

中华人民共和国水利行业标准

SL 303—2017

替代SL 303—2004

SL 484—2010

SL 487—2010

SL 535—2011

SL 643—2013

SL 667—2014

水利水电工程施工组织设计规范

**Specifications for construction planning
of water resources and hydropower projects**

2017 - 09 - 08 发布

2017 - 12 - 08 实施

中华人民共和国水利部 发布

前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的要求，对 SL 303—2004《水利水电工程施工组织设计规范》进行修订。

本标准修订时合并了 SL 484—2010《水利水电工程施工机械设备选择设计导则》、SL 487—2010《水利水电工程施工总布置设计规范》、SL 535—2011《水利水电工程施工压缩空气及供水供电系统设计规范》、SL 643—2013《水利水电工程施工总进度设计规范》、SL 667—2014《水利水电工程施工交通设计规范》相关内容。本标准共 9 章和 9 个附录，主要技术内容有：施工导流、料源选择与料场开采、主体工程施工、施工交通运输、施工工厂设施、施工总布置、施工总进度、施工劳动力及主要技术供应等。

本次修订的主要内容有：

- 施工导流中增加了“施工期度汛”“导流建筑物封堵”两节，将“施工期蓄水与下游供水”“施工期通航与排冰”分列为两节，补充了岩塞、充蓄水库工程等施工导流的相关规定，补充细化了导流方式及导流程序、导流建筑物型式的相关规定。
- 将“料源选择与料场开采”独立作为一章，明确了设计需要量应考虑的扩大系数，规划开采量应考虑备用系数。附录中新增加了“天然建筑材料设计需要量计算”内容。
- 主体工程施工中增加了“施工机械设备选择”一节；将“土石坝施工”改为“土石方填筑”，并补充了吹填施工技术内容；“混凝土施工”部分补充了混凝土温度控制和胶凝砂砾石坝筑坝技术的相关规定，在附录中补充了

“混凝土施工温度控制”内容。

- 施工交通运输中增加了“转运站”“重大件运输”两节内容，细化了施工交通部分的设计标准和相关规定，删除了有关铁路设计技术标准的内容。
- 施工工厂设施中细化了“砂石料加工系统，混凝土生产系统和混凝土预冷、预热系统”部分的设计相关规定，明确了系统规模的划分标准。在附录中补充了“供水系统设计有关资料、供电系统设计有关资料”内容。
- 施工总布置中将“施工场地防洪与排水”“土石方平衡及渣场规划”“施工用地”三部分独立成节，细化了相关规定。
- 施工总进度中将“土石方明挖工程施工进度”单独列为一节；将“地面厂房施工进度”按照其施工程序纳入“土石方明挖工程、混凝土工程施工进度”中，不再独立成节；同时考虑水利工程特点，将“土石坝施工进度”名称改为“土石方填筑工程施工进度”，其内容也进行了扩展。
- 将“施工劳动力及主要技术供应”单独作为一章。

本标准中的强制性条文有：2.4.17条1款和2款、2.4.20条、4.6.12条4款。以黑体字标示，必须严格执行。

本标准所替代标准的历次版本为：

- SDJ 338—89
- SL 303—2004
- SL 484—2010
- SL 487—2010
- SL 535—2011
- SL 643—2013
- SL 667—2014

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

本标准主要起草人：齐志坚 马 军 王福运 崔金铁
赵永军 胡志根 黄 俊 于长征
史有富 黄相军 孙开畅 徐怀聚
史光宇 王 鹤 韩立阳 姜殿成
冯吉新 蔡光哲 梁 勇 王富强

本标准技术内容审查人：马毓淦

本标准体例格式审查人：陈 昊

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条 2 号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

目 次

1	总则	1
2	施工导流	3
2.1	一般规定	3
2.2	施工导流标准	3
2.3	施工导流方式及导流程序	6
2.4	围堰	8
2.5	导流泄水建筑物	13
2.6	河道截流	16
2.7	基坑排水	19
2.8	施工期度汛	20
2.9	施工期蓄水与下游供水	21
2.10	施工期通航与排冰	21
2.11	导流建筑物封堵	23
3	料源选择与料场开采	24
3.1	一般规定	24
3.2	料源选择	24
3.3	料场开采规划	25
4	主体工程施工	27
4.1	一般规定	27
4.2	土石方明挖	27
4.3	地基处理	29
4.4	土石方填筑	30
4.5	混凝土施工	32
4.6	地下工程施工	36
4.7	金属结构及机电设备安装	40
4.8	施工机械设备选择	41

5	施工交通运输	47
5.1	一般规定	47
5.2	对外交通	47
5.3	场内交通	50
5.4	转运站	52
5.5	重大件运输	53
6	施工工厂设施	55
6.1	一般规定	55
6.2	砂石料加工系统	55
6.3	混凝土生产系统	59
6.4	混凝土预冷、预热系统	61
6.5	压缩空气、供水、供电和通信系统	63
6.6	机械修配厂、加工厂	65
7	施工总布置	66
7.1	一般规定	66
7.2	施工总布置及场地选择	67
7.3	施工分区规划	68
7.4	施工场地防洪与排水	70
7.5	土石方平衡及渣场规划	71
7.6	施工用地	73
8	施工总进度	74
8.1	一般规定	74
8.2	筹建工程及准备工程施工进度	75
8.3	导流工程施工进度	76
8.4	土石方明挖工程施工进度	77
8.5	地基处理工程施工进度	78
8.6	土石方填筑工程施工进度	79
8.7	混凝土工程施工进度	80
8.8	地下工程施工进度	81
8.9	金属结构及机电安装施工进度	82

9	施工劳动力及主要技术供应	84
9.1	一般规定	84
9.2	施工劳动力	84
9.3	主要技术供应	85
附录 A	施工组织设计工作的依据和所需资料	86
附录 B	导流标准确定的风险度分析法	90
附录 C	天然建筑材料设计需要量计算	93
附录 D	岩土开挖级别划分及洞室开挖通风指标	95
D.1	岩土开挖级别划分	95
D.2	洞室开挖所需风量及风速值	100
附录 E	混凝土施工温度控制	101
附录 F	施工交通运输主要技术标准	103
F.1	对外交通运输量和运输强度计算	103
F.2	公路工程主要技术指标	111
F.3	水运工程技术标准	113
F.4	场内道路主要技术指标	116
F.5	斜坡道卷扬运输设备选择计算	121
F.6	公路重大件(大型物件)分级	122
附录 G	施工工厂设施	123
G.1	筛下负累积产品率典型粒度方程	123
G.2	压缩空气需用量估算公式	123
G.3	供水系统设计有关资料	124
G.4	供电系统设计有关资料	133
附录 H	施工总布置堆场和仓库面积计算	138
附录 I	土石方填筑工程和混凝土工程受气象因素影响的停工标准	145
	标准用词说明	147
	标准历次版本编写者信息	148
	条文说明	151

1 总 则

1.0.1 施工组织设计对工程选址、枢纽布置、建筑物型式、整体优化设计方案具有十分重要的作用。为提高水利水电工程施工组织设计水平，做到安全可靠、技术先进、经济合理、实用性强，并适应市场经济发展的需要，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于大、中型水利水电工程初步设计阶段施工组织设计。大、中型水利水电工程项目建议书、可行性研究设计阶段和招标设计阶段的施工组织设计，小型水利水电工程施工组织设计可参照执行。

1.0.3 水利水电工程施工组织设计应结合实际，因地、因时制宜，统筹安排、综合平衡、妥善协调工程各部位的施工，积极推广应用新技术、新材料、新工艺和新设备。

1.0.4 水利水电工程施工组织设计应同时满足水土保持、环境保护、节能降耗、劳动安全的要求。

1.0.5 水利水电工程施工组织设计应重视基础资料的收集。水利水电工程施工组织设计工作的依据和所需资料见附录 A。

1.0.6 本标准主要引用下列标准：

GB 146.1 标准轨距铁路机车车辆限界

GB 146.2 标准轨距铁路建筑限界

GB 5749 生活饮用水卫生标准

GB 6722 爆破安全规程

GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范

GB 50127 架空索道工程技术规范

GB 50139 内河通航标准

GB 50431 带式输送机工程设计规范

GB 50487 水利水电工程地质勘察规范

GB 51018 水土保持工程设计规范

- GBJ 22 厂矿道路设计规范
- SL 25 砌石坝设计规范
- SL 47 水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范
- SL 106 水库工程管理设计规范
- SL 191 水工混凝土结构设计规范
- SL 251 水利水电工程天然建筑材料勘察规程
- SL 252 水利水电工程等级划分及洪水标准
- SL 274 碾压式土石坝设计规范
- SL 279 水工隧洞设计规范
- SL 282 混凝土拱坝设计规范
- SL 285 水利水电工程进水口设计规范
- SL 314 碾压混凝土坝设计规范
- SL 319 混凝土重力坝设计规范
- SL 378 水工建筑物地下开挖工程施工规范
- SL 386 水利水电工程边坡设计规范
- SL 575 水利水电工程水土保持技术规范
- SL 619 水利水电工程初步设计报告编制规程
- SL 677 水工混凝土施工规范
- JTG B01 公路工程技术标准
- JTG D60 公路桥涵设计通用规范
- JTG/T D70 公路隧道设计细则
- JTJ 212 河港工程总体设计规范

1.0.7 水利水电工程施工组织设计除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 施工导流

2.1 一般规定

2.1.1 施工导流设计时，应充分掌握基本资料，全面分析各种因素，选择技术可行、安全可靠、经济合理，并使工程尽早发挥效益的导流方案。

2.1.2 施工导流设计应妥善解决从初期导流到后期导流施工全过程中的挡水、泄水、蓄水与供水、度汛、通航、排冰等问题。对各期导流特点和相互关系应进行系统分析，全面规划，统筹安排，处理洪水与施工的矛盾。

2.1.3 大型工程以及水力条件复杂或有通航、引水、冲沙、排冰等综合运用要求的中型工程，宜进行导流水工模型试验。

2.2 施工导流标准

2.2.1 导流建筑物应根据其保护对象、失事后果、使用年限和围堰工程规模划分为 3~5 级，应符合 SL 252 的有关规定，具体划分见 SL 252—2017 中表 4.8.1。

2.2.2 当导流建筑物根据 SL 252—2017 中表 4.8.1 指标分属不同级别时，应以其中最高级别为准。但列为 3 级导流建筑物时，至少应有两项指标符合要求。

2.2.3 规模巨大且在国民经济中占有特殊地位的水利水电工程，其导流建筑物的级别和设计洪水标准，应经充分论证后报主管部门批准。

2.2.4 导流建筑物级别应根据不同的导流分期按 SL 252—2017 中表 4.8.1 划分；同一导流分期中的各导流建筑物级别，应根据其不同作用划分。

2.2.5 导流建筑物设计时，建筑物级别可根据下列条件进行适当调整：

1 利用围堰挡水发电时，应经过技术经济论证，围堰级别可提高一级。

2 当4级、5级导流建筑物地基地质条件复杂或工程具有特殊要求采用新型结构的导流建筑物，其结构设计级别可提高一级，但设计洪水标准不提高。

3 在特殊情况下，可根据工程具体条件和施工导流阶段的不同要求，经过充分论证，予以提高或降低。

2.2.6 过水围堰级别应按 SL 252—2017 中表 4.8.1 确定，表中的各项指标以过水围堰挡水情况作为衡量标准。

2.2.7 导流泄水建筑物的永久封堵体级别应与永久挡水建筑物相同。导流泄水建筑物的施工支洞封堵体级别与导流泄水建筑物相同。

2.2.8 保护导流建筑物施工的围堰（包括岩坎），其建筑物级别可按5级设计。

2.2.9 采用预留岩塞临时挡水时，预留岩塞的级别应按 SL 252—2017 中表 4.8.1 确定，表中导流建筑物规模一栏的围堰高度应取岩塞承受的最大水头，库容应取岩塞底部高程以上对应的水库库容。

2.2.10 导流建筑物设计洪水标准应符合 SL 252 的有关规定，根据建筑物的类型和级别在 SL 252—2017 中表 5.6.1 的规定幅度内选择。同一导流分期各导流建筑物的洪水标准应相同，与主要挡水建筑物的洪水标准一致。

2.2.11 当导流建筑物与永久建筑物结合时，导流建筑物设计级别与洪水标准仍应按 SL 252—2017 中表 4.8.1 及表 5.6.1 的规定执行；但成为永久建筑物部分的结构设计应采用永久建筑物级别标准。

2.2.12 在下列情况下，导流建筑物洪水标准应采用 SL 252—2017 中表 5.6.1 中的上限值：

1 河流水文实测资料系列较短（小于20年），或工程处于暴雨中心区。

- 2 采用新型围堰结构型式。
 - 3 处于关键施工阶段，且失事后可能导致严重后果。
 - 4 工程规模、投资和技术难度用上限值与下限值相差不大。
 - 5 在导流建筑物级别划分中属于本级别上限。
- 2.2.13** 当枢纽所在河段上游建有水库时，导流建筑物采用的洪水标准及设计流量应考虑上游梯级水库的调蓄及调度的影响。导流设计流量应通过技术经济比较后，由同频率下的上游水库下泄流量和区间流量组合分析确定。
- 2.2.14** 围堰修筑期间各月的填筑最低高程应以安全拦挡下月可能发生的最大设计流量为准。计算各月最大设计流量的重现期标准可用围堰正常运用时的标准，经过论证也可适当降低。
- 2.2.15** 过水围堰的挡水标准宜结合水文特点、施工工期、挡水时段，经技术经济比较后在重现期 3~20 年范围内选定。当水文系列不小于 30 年时，可根据实测流量资料分析选用。
- 2.2.16** 过水围堰过水时的设计洪水标准应根据过水围堰的级别和 SL 252—2017 中表 5.6.1 选定。当水文系列不小于 30 年时，也可按实测典型年资料分析选用。并可通过水力学计算或水工模型试验，采用围堰过水时最不利流量作为设计依据。
- 2.2.17** 截流标准可采用截流时段重现期 5~10 年的月或旬平均流量，截流标准及截流设计流量亦可按下列方法选取：
- 1 在有 20 年以上的水文实测资料的河道，截流设计流量可采用实测资料分析确定。
 - 2 若由于上、下游梯级水库的调蓄作用而改变了河道的水文特性，则截流设计流量宜经专门论证确定。
- 2.2.18** 在已有水库中修建围堰时，围堰设计洪水标准经论证后可提高。
- 2.2.19** 当坝体填筑高程超过围堰堰顶高程时，坝体临时度汛洪水标准应符合 SL 252 的有关规定，根据坝型及坝前拦洪库容按 SL 252—2017 中表 5.2.9 的规定执行。
- 2.2.20** 导流泄水建筑物封堵后，如永久泄洪建筑物尚未具备设

计泄洪能力，坝体度汛洪水标准应符合 SL 252 的有关规定，在分析坝体施工和运行要求后按 SL 252—2017 中表 5.2.10 的规定执行。汛前坝体上升高度应满足拦洪要求，帷幕灌浆及接缝灌浆高程应满足蓄水要求。

2.2.21 对于开挖、围填形成的充蓄水库工程，临时导流建筑物的设计洪水标准应选用重现期 5~20 年的 24h 洪量，坝体及电站进出水口施工期临时度汛设计洪水标准应选用重现期 20~100 年的 24h 洪量。

2.2.22 导流泄水建筑物的封堵时间应在满足水库拦洪蓄水要求前提下，根据施工总进度确定。封堵下闸的设计流量可按封堵时段重现期 5~10 年的月或旬平均流量，或按实测水文统计资料分析确定；对于上游有水库控制的工程，下闸设计流量可取上游水库控泄流量和区间重现期 5~10 年的月或旬平均流量之和。

2.2.23 导流泄水建筑物封堵期间，封堵工程进口临时挡水设施的洪水标准应与相应时段的大坝施工期洪水标准一致。封堵工程出口临时挡水设施在施工期内的导流设计标准，可根据工程重要性、失事后果等因素在该时段 5~20 年重现期范围内选定。封堵施工期临近或跨入汛期时，应适当提高标准。

2.2.24 在导流建筑物封堵、水库施工期蓄水过程中，应满足下游必需的供水和生态保护要求。水库施工期蓄水标准应根据发电、灌溉、通航、供水等要求和大坝安全加高值等因素分析确定，保证率宜为 75%~85%。

2.2.25 对大型或有特殊要求的水利水电工程可进行风险度分析，风险度分析按附录 B 的方法计算。

2.3 施工导流方式及导流程序

2.3.1 施工导流可划分为一次拦断河床围堰导流方式和分期围堰导流方式，按泄水建筑物型式可分为：明渠导流、隧洞导流、涵管导流，以及施工过程中的坝体底孔导流、缺口导流和不同泄水建筑物的组合导流。施工导流方式应经过全面比较后选定。

2.3.2 施工导流方式选择应遵循下列原则：

- 1 适应河流水文特性和地形、地质条件。
- 2 工程施工期短，投资省，发挥工程效益快。
- 3 工程施工安全、灵活、方便。
- 4 合理利用永久建筑物，减少导流工程量和投资。
- 5 适应通航、供水、排冰等要求。
- 6 河道截流、围堰挡水、坝体度汛、封堵导流孔洞、蓄水和供水等各阶段能够合理衔接。

2.3.3 对于河谷狭窄的坝址采用一次拦断河床围堰导流方式时，应根据施工期挡、泄水建筑物的不同，合理划分初期、中期和后期导流阶段。

2.3.4 采用隧洞导流方式时，隧洞断面尺寸和数量应根据河流水文特性、地质条件以及围堰规模、运行条件等因素确定。

2.3.5 对于河流流量大、河槽宽、覆盖层薄的坝址采用分期围堰导流方式时，一期围堰位置应根据枢纽布置、纵向围堰地形地质条件、水力条件、施工场地和施工交通等因素确定。发电、通航、供水、排冰、排沙及参与导流用的永久建筑物宜尽早安排施工。

2.3.6 分期围堰导流应经技术经济比较确定，可选择二期导流、三期导流，不宜超过三期。

2.3.7 河流水位、流量变幅大，含沙量较少且被保护对象允许施工期过水，同时施工期过水对工程总进度影响小时，经技术经济比较，可采用过水围堰配合其他方式导流泄水。

2.3.8 经分析论证，一个枯水期内能将永久挡水建筑物或临时挡水断面修筑至汛期度汛标准洪水位以上时，或汛期淹没对工程进度影响较小且淹没损失不大时，可采用枯水期围堰挡水的导流方式。

2.3.9 对于无溪流汇入的充蓄水库工程，因降雨产生的少量积水，宜采用机械抽排的导流方式。在施工后期，可利用永久泄（排）水建筑物向外排水。

2.3.10 应在全面分析枢纽布置、导流方式、施工期度汛要求、各相关项目工期要求和开工、截流及蓄水发电等关键节点目标基础上，选择技术可行、经济合理并能使工程尽早发挥效益的导流程序。

2.3.11 导流程序应与施工进度相协调，合理确定导流建筑物、截流、度汛、下闸蓄水与供水、导流建筑物封堵以及机组分批（台）发电等项目的施工安排。

2.4 围 堰

2.4.1 围堰型式选择应遵守下列原则：

- 1 安全可靠，能满足稳定、防渗、防冲要求。
- 2 结构简单，施工方便，易于拆除，并优先利用当地材料及开挖渣料。
- 3 堰体防渗体便于与基础、岸坡或已有建筑物连接。
- 4 堰基易于处理，并与堰基地形、地质条件相适应。
- 5 能在预定施工期内修筑到需要的断面及高程，满足施工进度要求。
- 6 围堰堰体与永久建筑物相结合时，其型式应与永久建筑物型式相适应。

7 具有良好的技术经济指标。

2.4.2 不同围堰型式应符合下列要求：

1 土石围堰能充分利用当地材料，对地基适应性强，施工工艺简单，应优先采用。

2 混凝土围堰宜优先选用重力式碾压混凝土结构。河谷狭窄且地质条件良好的堰址可采用混凝土拱围堰。

3 根据地质条件的适宜性，在充分利用天然料和开挖石渣时，可采用胶凝砂砾石围堰、堆石混凝土围堰。

4 装配式钢板桩格型围堰适用于在岩石地基或混凝土基座上建造，其最大挡水水头不宜大于 30m；打入式钢板桩围堰适用于软土及细砂砾石层地基，其最大挡水水头不宜大于 20m。

5 结合当地材料分布、环境条件和施工特点，低水头围堰可采用浆砌石、钢筋石笼等围堰型式。

6 对于进/出水口或闸室前缘可采用混凝土叠梁、其他特殊钢围堰，以及起围堰作用的预留岩坎（岩塞）等特殊型式。

2.4.3 围堰布置应符合下列要求：

1 满足围护建筑物布置及施工要求。

2 满足堰体与岸坡或其他建筑物的连接要求。

3 围堰背水侧坡脚与围护建筑物基础开挖边坡开口线的距离，应满足堰基和基础开挖边坡的要求。

4 满足水力条件及防冲要求。避开两岸溪沟水流汇入基坑，避免溪沟水流对围堰造成危害性冲刷；无法避免时，应采取相应措施。

5 在有通航要求的河道上进行围堰布置应考虑施工期通航要求。

6 围堰宜与永久建筑物结合布置。

2.4.4 土石围堰填筑材料应符合下列要求：

1 均质土围堰填筑材料渗透系数不宜大于 1×10^{-4} cm/s；防渗体土料渗透系数不宜大于 1×10^{-5} cm/s。

2 心墙或斜墙土石围堰堰壳填筑料渗透系数宜大于 1×10^{-3} cm/s，可采用天然砂卵石或石渣。

3 围堰堆石体水下部分不宜采用软化系数值大于 0.7 的石料。

4 反滤料和过渡层料宜选用满足级配要求的天然砂砾石料。

5 与土石坝结合布置的堰体，其材料选择应符合 SL 274 的相关规定。

2.4.5 混凝土围堰采用的水泥、骨料、水、掺合料、外加剂应符合 SL 677 的有关规定。

2.4.6 土石围堰堰体及防渗体型式应根据其布置条件、地形地质条件、工期和造价等因素综合比选确定。

2.4.7 围堰基础处理应满足强度、渗流、沉降变形等要求，围

堰堰基的防渗处理方案应综合考虑安全可靠、经济合理、施工简便等因素，堰基覆盖层防渗处理宜采用下列方式：

1 覆盖层及水深较浅时，可设临时低围堰抽水开挖齿槽，或在水下开挖齿槽，修建截水墙防渗。截水墙尺寸必须满足防渗料及其与基础接触面的容许渗透比降要求。

2 根据覆盖层厚度和组成情况，可比较选用塑性混凝土防渗墙、混凝土防渗墙、高压喷射灌浆、沥青混凝土防渗墙、水泥土搅拌防渗墙、自凝灰浆墙、水泥或黏土水泥灌浆、板桩灌注墙、钢板桩、防渗土工膜等处理方式。

3 在满足渗透稳定的条件下，位于深厚覆盖层上的低水头围堰，可采用铺盖或悬挂式防渗型式。

2.4.8 土石围堰堰体防渗材料应根据料源情况、堰基防渗型式、施工条件等综合比选确定。堰体防渗材料选择宜符合下列规定：

1 在挡水水头不超过 35m 时宜优先选用土工膜。

2 当地土料储量丰富，满足防渗要求，且开采条件较好时，可用做围堰防渗体材料。

3 采用铺盖防渗时，堰基覆盖层渗透系数与铺盖土料渗透系数的比值宜大于 50，铺盖土料渗透系数宜小于 1×10^{-4} cm/s，铺盖厚度不宜小于 2m。

2.4.9 对围堰软基可采用振冲加密、置换、排水固结、反滤围压等加固处理措施，可按 SL 274、SL 314、SL 319 的规定适当放宽。

2.4.10 土石围堰的堰体结构应符合下列要求：

1 3 级土石围堰碾压部位堰体压实指标可按 SL 274 的有关规定选取，4 级和 5 级土石围堰可适当降低。

2 围堰堰体采用土料防渗时，堰体防渗土料与堰壳之间应设置反滤层，必要时设置过渡层。土料防渗体与两岸基岩的连接可采用扩大防断面或截水槽的方式。

3 围堰堰体防渗体与堰基及岸坡应形成封闭防渗体系。

2.4.11 土石围堰与泄水道接头处，宜适当加长导水墙或设丁坝

将主流挑离围堰，防止水流冲刷堰基。土石围堰迎水面堰坡保护范围可自最低水位以下 2m 起至堰顶，纵向土石围堰堰坡保护范围应根据水流条件确定。防护材料应根据获得条件、水流流速、施工难度等因素，经技术经济比较后选定。

2.4.12 土石过水围堰的型式应根据围堰过水时的水力条件、堰基覆盖层厚度、围堰施工工期要求等条件综合分析确定。过水围堰的流态和水力要素可采用水工模型试验验证。对最不利的溢流情况，可通过有效措施改善其流态及上、下游水面衔接，并宜采取下列防护措施：

1 过水前向基坑充水形成水垫；基坑边坡覆盖层预先做好反滤压坡。

2 土石过水围堰溢流面型式和防冲材料宜进行方案比较；溢流面可根据水力条件、施工条件等因素采用钢筋石笼、大块石（串）、合金网石兜或混凝土板等保护，并设置反滤垫层。

3 可在堰脚岩基上设重力式镇墩，也可在堰脚覆盖层上设置柔性防护结构，保护堰体坡脚和堰后基础。

4 过水围堰堰顶横河向宜做成两岸高、中间低的断面型式，并在两岸接头处采取防止岸坡冲刷的工程措施，保证过水水流位于主河道，以减少水流对两岸接头及堰后岸坡的冲刷破坏。

2.4.13 混凝土围堰的堰体结构应符合下列要求：

1 横缝间距应根据地形地质条件、堰体断面尺寸、温度应力和施工条件等因素确定。横缝间距宜为 15~25m，碾压混凝土围堰横缝间距可放宽。

2 重力式围堰和拱围堰的混凝土强度、抗渗、抗冻等性能指标的选择，以及堰体的廊道、止水及排水的设置，可按 SL 319 和 SL 282 的有关规定确定，经分析论证可适当简化或降低。

3 混凝土过水围堰宜采用台阶式溢流面，应重视下游消能防冲问题研究，下游消能防冲宜通过施工导流水力学模型试验论证。

2.4.14 胶凝砂砾石围堰的堰体结构应符合下列规定：

1 堰体断面宜采用梯形断面。用材料力学进行应力计算时，堰体及堰基最小垂直正应力宜为主压应力。

2 堰体迎水面宜采用富胶凝砂砾石护面等防渗措施。

3 胶凝砂砾石堰体的强度等级宜根据材料试验并结合堰体断面确定。

2.4.15 围堰结构设计荷载组合应只考虑设计工况，但不考虑地震荷载。堰顶宽度应能适应施工需要和防汛抢险要求。

2.4.16 3级和失事后果较严重的4级围堰的安全稳定除采用材料力学或土力学方法计算外，还宜采用有限元法复核其应力和变形。高水头、深基坑、高围堰的堰基防渗体宜进行应力应变分析。

2.4.17 土石围堰、混凝土围堰与浆砌石围堰的稳定安全系数应满足下列要求：

1 土石围堰边坡稳定安全系数应满足表 2.4.17 的规定。

表 2.4.17 土石围堰边坡稳定安全系数

围堰级别	计算方法	
	瑞典圆弧法	简化毕肖普法
3级	≥ 1.20	≥ 1.30
4级、5级	≥ 1.05	≥ 1.15

2 重力式混凝土围堰、浆砌石围堰采用抗剪断公式计算时，安全系数 K' 应不小于 3.0，排水失效时安全系数 K' 应不小于 2.5；抗剪强度公式计算时安全系数 K 应不小于 1.05。

3 混凝土拱围堰、浆砌石围堰的稳定安全系数及应力控制指标应分别符合 SL 282 和 SL 25 的有关规定。

2.4.18 混凝土围堰的安全标准应符合下列规定：

1 最大、最小垂直正应力可按材料力学公式计算。施工期堰趾垂直应力允许有小于 0.1MPa 的拉应力；围堰在设计工况时，迎水面允许有 0.15MPa 以下的主拉应力，堰体允许有 0.2MPa 以下的主拉应力。

2 核算堰基面的抗滑稳定采用抗剪强度公式或抗剪断强度公式。

3 对于高混凝土围堰，应考虑温度应力的影响。

4 存在两侧同时挡水工况时，两侧应力均应满足第 1 款要求。

2.4.19 导流挡水建筑物拦蓄库容较大时，施工导流设计宜考虑水库调蓄作用。

2.4.20 不过水围堰堰顶高程和堰顶安全加高值应符合下列规定：

1 堰顶高程应不低于设计洪水的静水位与波浪高度及堰顶安全加高值之和，其堰顶安全加高应不低于表 2.4.20 的规定值。

2 土石围堰防渗体顶部在设计洪水静水位以上的加高值：斜墙式防渗体为 0.8~0.6m；心墙式防渗体为 0.6~0.3m。3 级土石围堰的防渗体顶部应预留完工后的沉降超高。

3 考虑涌浪或折冲水流影响，当下游有支流顶托时，应组合各种流量顶托情况，校核围堰堰顶高程。

4 形成冰塞、冰坝的河流应考虑其造成的壅水高度。

表 2.4.20 不过水围堰堰顶安全加高下限值 单位：m

围堰型式	围堰级别	
	3 级	4~5 级
土石围堰	0.7	0.5
混凝土围堰、浆砌石围堰	0.4	0.3

2.4.21 过水围堰堰顶高程宜按静水位加波浪高度确定，不应另加堰顶安全加高值。

2.4.22 对导流围堰级别为 3 级且失事后果严重的工程，应提出发生超标准洪水时的应急预案。

2.5 导流泄水建筑物

2.5.1 导流明渠布置应符合下列规定。

- 1 泄量大，工程量小，宜优先考虑与永久建筑物结合。
- 2 弯道少，宜避开滑坡、崩塌体及高边坡开挖区。
- 3 应便于布置进入基坑交通道路。
- 4 进出口与围堰接头应满足堰基防冲要求。
- 5 弯道半径不宜小于 3 倍明渠底宽，进出口轴线与河道主流方向的夹角宜小于 30° 。

2.5.2 明渠底宽、底坡、弯道和进出口高程应使上下游水流衔接条件良好，并满足导截流、后期封堵和施工期通航、排冰要求。

2.5.3 导流明渠防冲、消能设计应安全可靠、经济合理。软基上的明渠，宜通过水工模型试验，确定其冲坑形态和深度，并采取有效消能抗冲措施。

2.5.4 明渠断面型式应根据地形、地质条件、主体建筑物结构布置和运行要求确定。明渠断面尺寸应根据导流设计流量及其允许抗冲流速等条件确定，明渠断面尺寸与上游围堰高度应通过技术经济比较确定。明渠衬护的范围和方式可根据地质和水力条件等，经技术经济比较确定。

2.5.5 导流隧洞的布置应符合下列要求：

- 1 洞线应综合考虑地形、地质、枢纽总布置、水流条件、施工、运行及周边环境的影响因素，并通过技术经济比较选定。

- 2 导流洞进、出口与上、下游围堰堰脚的距离应满足围堰防冲要求。

- 3 与枢纽总布置相协调，有条件时宜与永久隧洞结合，其结合部分的洞轴线、断面型式与衬砌结构等应同时满足永久运行与施工导流要求。

- 4 导流隧洞布置尚应符合 SL 279 的有关规定。

2.5.6 导流隧洞进出口高程应结合河道地形、地质条件，兼顾导流、截流及其他需要，经综合分析论证确定；对于高坝工程设置的多条导流隧洞，可分层布置。隧洞纵坡不宜采用平底和反坡。

2.5.7 导流隧洞断面型式应根据水力条件、地质条件、与永久建筑物的结合要求、施工方便等因素确定。断面尺寸应根据导流流量、截流难度、围堰规模和工程投资，经技术经济比较后确定。

2.5.8 导流隧洞垂直和侧向覆盖厚度，与相邻洞室间的岩体厚度应符合 SL 279 的有关规定。

2.5.9 导流隧洞弯曲半径不宜小于 5 倍洞径（或洞宽），转角不宜大于 60° ，且应在弯段首尾设置直线段，其长度不宜小于 5 倍洞径（或洞宽）。高流速有压隧洞弯曲半径和转角宜通过试验确定。

2.5.10 导流隧洞进口设置封堵闸门时，进水口可采用岸坡式、斜塔式、竖井式及闸门井式布置。进水口设计应符合 SL 285 的有关规定。

2.5.11 隧洞出口的消能防冲措施应根据地形地质、水力条件、运行方式、下游水深和变幅、河床的抗冲能力、水流衔接、消能防冲要求和相邻建筑物的影响等因素确定。

2.5.12 导流隧洞在运用过程中，若遇明满流交替流态或有压流为高速水流时，应采取措施防止产生空蚀、冲击波、振动等而导致洞身破坏。隧洞衬砌范围、支护结构、计算方法、灌浆和排水布置等，应符合 SL 279 和 GB 50086 的有关规定。

2.5.13 对高流速、大流量、水流条件复杂的隧洞，应进行整体或局部水工模型试验，验证建筑物布置和水力计算的合理性。对多泥沙河流或上游河道有弃渣影响的导流隧洞，应适当提高混凝土强度等级，研究闸门槽保护与衬砌结构抗磨损措施。

2.5.14 导流底孔布置应遵循下列原则：

- 1 宜布置在近河道主流位置。
- 2 宜与永久泄水建筑物结合布置。
- 3 坝内导流底孔宽度不宜超过该坝段宽度的一半，并宜骑缝布置。
- 4 应考虑下闸和封堵施工方便。

2.5.15 导流底孔设置数量、尺寸和高程应满足导截流、坝体度汛、下闸蓄水、下游供水、生态流量和排冰等要求。导流底孔与永久建筑物结合布置时，应同时满足永久和施工期运行要求。

2.5.16 导流底孔的体形、水流流态和消能方式宜通过水工模型试验确定。当底孔内发生高速水流时，应采取预防空蚀措施。

2.5.17 导流涵管轴线宜顺直，其进口要求与隧洞（底孔）进口要求相同。涵管内不宜出现明满流交替的流态。坝内涵管宜设置在基岩上。位于软基上的涵管，应对管道结构或基础采取加固措施。涵管应分段设置伸缩缝。

2.5.18 混凝土重力坝、拱坝等实体结构在施工过程中可预留坝体缺口与其他导流设施共同泄流，高拱坝预留缺口应专门论证其挡水安全性；支墩坝、坝内厂房等非实体结构在封腔前坝体不宜过流，如需过流应复核其结构安全。

2.5.19 坝体泄洪缺口宜设在河床部位，避免下泄水流冲刷岸坡。高坝设置缺口泄洪时应妥善解决缺口形态、水流流态、下游防冲及过流振动、过流面混凝土防裂等问题，并通过水工模型试验验证。利用未形成溢流面的坝段泄流，可经水工模型试验确定空蚀指数。当空蚀指数小于 0.3 时，应采取掺气措施降低坝面负压值。

2.5.20 堆石坝坝面施工期过流，坝体填筑高度、过流断面型式、水力学条件及相应防护措施应通过水工模型试验专门论证确定。

2.5.21 厂房施工期不宜过流。经论证需要过流时，应进行水工模型试验，确定过流方式、泄流能力及相应防护措施。

2.5.22 船闸不宜参与导流。确需过流时应进行论证，并提出临时保护措施。

2.6 河道截流

2.6.1 截流方案应综合分析水文气象条件、河流特性、河床地形地质条件、施工条件、截流难度、河流梯级开发情况等因素，

结合工程实际条件与要求，经技术经济比较后选定。

2.6.2 截流多采用戗堤法，宜优先采用立堵截流方式；在条件特殊时，经充分论证后可选用建造浮桥及栈桥平堵截流、定向爆破、建闸等其他截流方式。

2.6.3 截流方式应综合分析水力学参数、施工条件和截流难度、抛投材料数量和性质、抛投强度等因素，进行技术经济比较，并应根据下列条件选择：

1 截流落差不超过 4.0m 和流量较小时，宜优先选择单戗立堵截流。当龙口水流能量较大，流速较高，应制备重大抛投材料。

2 截流流量大且落差大于 4.0m 和龙口水流能量较大时，可采用双戗、多戗或宽戗立堵截流。

2.6.4 在河床覆盖层较厚、水较深的条件下，可采用先平堵护底，后立堵合龙的平、立堵结合方案；在龙口水深超过 20m 时，可采用先平抛垫底，后立堵合龙的截流方案。在具有架设浮桥或栈桥条件时，可采用平堵截流方案；在导流明渠等河床底部光滑的条件下截流时，可采用先抛投材料形成或设置拦石坎，后立堵截流方案。

2.6.5 截流设计应提出导流泄水建筑物附近围堰和其他阻水障碍物清除的具体要求。

2.6.6 截流戗堤轴线应根据围堰布置、河床和两岸地形地质、交通条件、围堰防渗、主流流向、通航要求等因素综合分析选定，并考虑戗堤闭气、基础处理、堰体加高等要求。截流戗堤宜为围堰堰体组成部分。

2.6.7 截流戗堤布置时，应考虑与围堰防渗体的关系，戗堤轴线宜位于围堰防渗轴线的下游。

2.6.8 截流戗堤顶宽度应根据抛投强度、行车密度和抛投方式确定，宜取 10~25m；为提高抛投强度或实施宽戗截流时，可适当加宽。

2.6.9 龙口位置的选择应结合截流戗堤轴线的选择统一考虑，

由地形、地质、交通和水力条件等因素综合确定。确定龙口宽度及位置应遵守下列原则：

1 截流龙口位置宜设于河床水深较浅、河床覆盖层较薄或基岩裸露部位。

2 应考虑进占堤头稳定及河床冲刷因素，保证预进占段裹头不发生冲刷破坏。

3 龙口工程量小。

4 龙口预进占戗堤布置应便于施工。

2.6.10 非龙口段进占宜遵守下列原则：

1 对于通航河道，应妥善解决戗堤进占施工与航运的矛盾。

2 控制束窄口门的落差和流速，减少覆盖层冲刷及戗堤抛投材料的流失量。

3 截流戗堤顶高程应考虑整个进占过程中不受洪水漫溢和冲刷，可按 SL 252—2017 中表 4.8.1 的规定，相应导流建筑物级别降低一级，取其当月洪峰流量对应的上游静水位加高 0.5~1.0m。

2.6.11 根据合龙过程中不同宽度口门流速、落差等水力指标，龙口段可划分为 3~4 个施工区段。

2.6.12 截流抛投材料选择应符合下列规定：

1 非龙口段及预进占段填筑料应利用开挖渣料和当地天然料。

2 截流备料总量应根据截流料物堆存条件、运输条件、可能流失量及戗堤沉陷等因素综合分析，并留适当备用量，备用系数可取 1.2~1.5。

3 龙口段重大抛投材料数量应考虑一定备用，备用系数宜取 1.5~2.0。

4 重大抛投体材料应考虑易于起吊运输。

2.6.13 重要或难度较大的截流工程设计，应通过水工模型试验验证，并提出截流期间的预报和测报要求。

2.6.14 工程形象面貌及导流泄水建筑物分流能力应满足截流

要求。

2.6.15 截流水力学计算应确定截流过程中的落差、单宽流量、单宽能量、流速等水力学参数及其变化规律，确定截流抛投材料的尺寸和重量。截流流量宜只考虑经由龙口和分流建筑物下泄，可不计戽堤渗流量和水库拦蓄量。

2.6.16 龙口段河床覆盖层抗冲能力低时，可预先在龙口抛石、抛钢筋石笼等护底。护底范围可通过水工模型试验或根据类似工程经验拟定。立堵截流的戽堤轴线下游护底长度可按龙口平均水深的2~4倍取值，轴线以上可按最大水深的1~2倍取值。护底顶高程应在分析水力条件和护底材料后确定，护底宽度可按最大冲刷宽度确定。

2.7 基坑排水

2.7.1 基坑排水分初期排水和经常性排水。应结合工程的自然条件和不同防渗措施进行综合分析，确定技术可行、经济合理的排水方案。

2.7.2 初期排水总量计算应包括围堰闭气后的基坑积水量、抽水过程中围堰及基础渗水量、堰身及基坑覆盖层中的含水量，以及可能的降水量。可能的降水量可采用抽水时段的多年日平均降水量计算。

2.7.3 经常性排水最大抽水强度应根据围堰和基础在设计水头的渗流量、覆盖层中的含水量、排水时降水量及施工弃水量确定。其中，计算经常性排水强度的降水量应按抽水时段最大日降水量在24h内抽干计算，施工弃水量与降水量不应叠加。基坑渗水量可根据围堰型式、防渗方式、堰基情况、地质资料可靠程度、渗流水头等因素分析确定。

2.7.4 确定基坑初期抽水强度时，基坑水位下降速度应根据围堰型式及岸坡对渗透稳定要求确定。

2.7.5 过水基坑过水后恢复基坑时的排水总量可参考初期排水计算，其中渗水量可按经常性排水时渗流量确定。排水强度可由

基坑内允许水位下降速度控制。

2.7.6 对于采用斜墙防渗的土石过水围堰或混凝土过水拱围堰，基坑过水后应控制基坑内外水位差，必要时设置退水设施。

2.7.7 经常性排水系统布置应考虑与初期排水系统结合，并避免与建筑物施工的相互干扰。

2.7.8 排水设备数量应根据不同排水阶段排水强度确定，宜使各个排水时期所选的泵型一致，排水设备容量组合相协调。排水设备应有一定备用和可靠电源。

2.8 施工期度汛

2.8.1 采用枯水期围堰挡水、汛期围堰过水导流方式时，应根据围堰过水条件，提出坝体度汛形象要求。围堰过水度汛时，应对基坑进行预充水，并制定充水措施。

2.8.2 应加强上游河道管制，避免上游船只等漂浮物失控堵塞导流隧洞等泄洪建筑物。

2.8.3 土石坝挡水度汛，当坝体难以在汛前全断面填筑至度汛高程时，可采用坝体临时断面挡水度汛。并应满足下列要求：

1 临时挡水断面设计应满足坝体施工期度汛的洪水标准、汛期抢险等要求。

2 临时断面应满足抗滑稳定要求，其安全系数应采用正常设计标准。

3 斜墙坝和心墙坝的防渗体不应采用临时断面挡水度汛。

4 上游垫层和块石护坡应按设计要求填筑到拦洪高程，否则应考虑临时的防护措施。

5 面板堆石坝挡水度汛时，垫层区上游坡面应采取固坡措施。

2.8.4 土石坝、混凝土拱坝不宜采用过水的度汛方式。必须采用时，土石坝过水断面及保护措施宜通过水工模型试验验证；拱坝过水度汛应经专门论证，挡水度汛时，应论证其封拱灌浆高程。

2.8.5 混凝土重力坝可在河床部位的坝面上预留缺口过流度汛，设置缺口时应妥善解决缺口形态、坝面空蚀、下游冲刷等问题，必要时通过水工模型试验验证。

2.8.6 应按施工进度要求，提出汛前达到度汛标准要求的工程形象面貌。分有纵缝的混凝土重力坝，若在纵缝进行接缝灌浆前过水或挡水，应复核坝体分仓柱状块的稳定和应力。

2.8.7 对于存在施工期水库临时淹没问题的工程，应提出施工期移民安置及临建设施度汛要求。

2.9 施工期蓄水与下游供水

2.9.1 施工期蓄水日期应和导流泄水建筑物封堵日期统一考虑，并根据下列条件确定：

- 1 与蓄水有关工程项目的施工进度和导流工程的封堵计划。
- 2 库区征地、移民、库底清理、水土保持和环境保护要求。
- 3 水文资料、水库库容曲线和水库蓄水历时曲线。
- 4 蓄水后的防洪标准、泄洪与度汛措施。
- 5 通航、灌溉、下游供水及生态流量等要求。
- 6 有条件时，可考虑利用围堰挡水受益的可能性。

2.9.2 确定施工期蓄水日期时，除应按蓄水标准逐月计算水库蓄水位，尚应按防洪标准计算坝前水位，确定坝体等主体建筑物施工面貌，分析其挡水安全性。

2.9.3 高坝大库等特殊情况宜研究水库分期蓄水方案。

2.9.4 水库蓄水期应综合分析下游供水要求，并采取措施满足下游航运、灌溉、生产、生活和生态用水等要求。

2.9.5 下闸蓄水前应进行导流泄水建筑物门槽、门槛等水下检查，制定修补处理和应急措施，确保下闸安全。寒冷地区下闸蓄水时间应避开流冰期。

2.10 施工期通航与排冰

2.10.1 施工期临时通航方案应结合施工导流方案统一设计，并

经过技术经济比较确定。经研究确认施工期间需断航时，应妥善解决断航后的客运货运问题。

2.10.2 应根据施工期通航要求，调查核实施工期通航过坝（闸）船舶的数量、吨位、尺寸及年运量，确定设计运量；分析其可通航的天数和运输能力，分析可能碍航断航的时间及其影响，研究解决措施；经方案比较提出施工期通航规划。

2.10.3 施工期通航可选用下列单一方式或组合方式，不同通航措施应相互衔接。

- 1 利用束窄河床通航。
- 2 利用导流明渠等导流建筑物通航。
- 3 利用永久过坝设施通航。
- 4 采用临时通航设施通航。

2.10.4 采用航运过坝方式时，通航口门或渠道的尺度、渠道与上下游原航道连接、流速、比降等均应符合航运要求，必要时应采取助航措施。

2.10.5 采用束窄河床通航时，应分析河床束窄率及通航水力条件，必要时可采取疏浚或拓宽加深等措施。

2.10.6 采用明渠通航时，明渠平面布置宜顺直，其宽度、弯曲半径等可根据地形条件与导流需要，并按 GB 50139 确定。明渠布置宜利用浅滩、台地，避开滑坡、崩塌体及高边坡开挖区，明渠内水流顺畅，使明渠底和岸坡少冲、少淤。

2.10.7 施工期通航可采用临时船闸或利用永久船闸、升船机。临时船闸的规模、尺度应根据工程施工期间客、货运量和船队（船舶）尺度及组成，通过分析论证确定。当流速、流态满足通航要求时，可利用闸孔、缺口、底孔等通航。

2.10.8 改善施工期通航条件可采用航道整治、大马力拖轮、绞滩等措施。必要时应通过模型试验进行验证。

2.10.9 当河道流冰量较多，冰块尺寸较大，导致泄水建筑物不能安全排泄时，应采取破冰或拦蓄措施。必要时，可通过水工模型试验确定破冰的冰块尺寸。

2.10.10 制定排冰措施前，应调查本河段的开江方式、流冰时段、流冰数量及最大冰块尺寸等冰情资料。

2.11 导流建筑物封堵

2.11.1 导流泄水建筑物封堵施工时段宜选在汛后枯水期，封堵工程宜在一个枯水期内完工。

2.11.2 导流隧洞封堵体稳定及防渗要求应与永久挡水建筑物相同。

2.11.3 封堵体位置应根据围岩的工程地质和水文地质条件、已有的支护或衬砌情况、相邻建筑物的布置及运行要求分析确定。导流隧洞轴线穿过挡水建筑物防渗帷幕或距离防渗帷幕较近时，封堵体应设置在防渗帷幕线上。

2.11.4 封堵体的体型和长度应根据承受内水压力的大小、地质条件、施工方法、封堵材料、运行要求，施工工期等因素确定。

2.11.5 封堵体采用混凝土结构时，其强度、抗渗等指标应按 SL 191 确定，可采用微膨胀混凝土，膨胀剂及其掺量宜通过试验确定。大体积封堵体混凝土宜采取温控措施。

2.11.6 封堵体设计和计算应符合 SL 191、SL 279 的规定。

3 料源选择与料场开采

3.1 一般规定

- 3.1.1** 天然建筑材料可作为混凝土骨料、土石坝填筑料和工程回填料等的料源。
- 3.1.2** 天然建筑材料的勘察储量应按 SL 251 的要求满足设计需要量。设计需要量应考虑物料的开采、加工、运输以及储存等各种损耗，并考虑 1.2 倍的扩大系数，计算方法见附录 C。
- 3.1.3** 天然建筑材料的质量应符合 SL 677 和 SL 251 的要求。大型工程的天然建筑材料宜进行必要的专项试验。
- 3.1.4** 采用工程开挖料作为料源时，其地质勘察内容和深度应同时符合 GB 50487 和 SL 251 的要求。

3.2 料源选择

- 3.2.1** 料源选择应根据工程建设对各种天然建筑材料的数量、质量及供应强度要求，在地质勘察和试验的基础上，通过对料源的分布、储量、质量及开采运输条件的综合分析和物料平衡规划，按优质、经济、节能、就近取材等基本原则，经技术经济比较选定，同时应优先利用工程开挖料。
- 3.2.2** 混凝土骨料料源可选择工程开挖料、天然砂砾料、石料场的开采料或外购料。应优先选择工程开挖料作为料源；天然砂砾料储量丰富，剥采比较小，级配和开采条件较好时，也可作为优先选用料源；无合适的天然砂砾料时，可就近选择石料场开采料。
- 3.2.3** 混凝土人工骨料宜选用线膨胀系数小、破碎后粒形好且硬度适中的岩石作为料源，宜优先选用石灰岩质料源。采用节理裂隙发育，特别是隐节理发育的石料，应进行试验论证。
- 3.2.4** 同一建筑物的混凝土宜采用同一类别的骨料料源，若采

用不同类别的骨料料源，应通过试验验证。

3.2.5 混凝土骨料料源应进行骨料碱活性试验。骨料碱活性试验方法的选择与判定标准应符合 SL 251 的规定。未经专门论证，不应使用碱活性骨料。

3.2.6 沥青混凝土骨料应级配良好、质地坚硬，且不因加热而引起性质变化。人工骨料宜采用碱性岩石破碎而成，当采用天然砂砾石或酸性岩石破碎料时，应进行试验研究论证。

3.2.7 天然砂砾料场宜选择料场分布集中、级配良好、质量均一、有良好的开采条件、开采对航道和取水影响小的河滩料场。

3.2.8 土料场宜选择土质均一、土层较厚、质量易于控制、出料率高、土料天然含水率与填筑最优含水率接近的料源。宜优先选择工程开挖区和水库淹没区范围内的土料场。

3.2.9 堆石料料源应优先利用工程开挖料，不足部分可就近选择料场开采。

3.2.10 过渡料宜优先利用工程洞室开挖料。反滤料或垫层料料源宜选用天然砂砾料，当工程附近缺乏合格的天然砂砾料时，可采用人工制备料。

3.2.11 物料平衡规划应根据施工进度计划，统筹安排各种料源的开采进度和开采强度，合理安排物料流向，宜减少物料堆存和中转。必要时可采用计算机动态仿真方法进行分析。

3.3 料场开采规划

3.3.1 料场开采规划应根据工程特性和要求、料场地形和地质等条件，综合分析比较后确定开采、运输、边坡支护及水土保持方案。

3.3.2 料场选用顺序，应根据工程特点，因地制宜，合理安排。宜先近后远，先水上后水下，先库区内后库区外。

3.3.3 土料场、天然砂砾料场及石料场应按规划开采量进行开采规划。规划开采量应按设计需要量的 1.05~1.25 倍确定。

3.3.4 受施工期洪水影响的土料场，应在洪水影响前开采受影

响部位。停采期备料量应按需用量的 1.2 倍考虑。

3.3.5 天然砂砾料场开采时段和开采规划应根据料场水文特性、地形条件、天然级配分布、设计级配要求等因素确定。停采期备料量应按需用量的 1.2 倍考虑。

3.3.6 有航运要求的河段应考虑砂砾料开采对通航的影响，并采取相应处理措施。

3.3.7 石料场开采工作面 and 出料作业线应根据各时段供料强度要求确定。开采工作面宜设两个以上。

3.3.8 石料场开采宜采用梯段爆破法，梯段高度宜为 10~15m。

3.3.9 混凝土骨料料场开采石料最大粒径应与挖装和破碎设备相适应，坝体堆石料料场开采应根据岩性、风化程度及坝料设计要求分区开采。

3.3.10 料场开采料运输方案，应根据地形条件、开采方案、物料特性、运输量、运输强度、运距和运输设备配置等因素，经综合比较后确定。

3.3.11 料场开挖边坡应保持稳定。边坡级别、抗滑稳定分析的最小安全系数标准、安全监测应按照 SL 386 执行。

4 主体工程施工

4.1 一般规定

4.1.1 主体工程施工方法应能够实现水利水电工程的总体设计方案，保证工程质量与施工安全。通过研究，应选择出技术可行、经济合理的施工方法，论证施工总进度的合理性和可行性，并提供编制工程概算所需的资料。

4.1.2 对下列单项工程施工方案宜做重点研究：

- 1 控制施工总进度的主体工程。
- 2 占投资比重较大的工程。
- 3 施工难度大或采用新技术的工程。
- 4 对环境影响较大的工程。

4.1.3 施工方案选择应遵循下列原则：

- 1 应保证工程质量、施工安全和施工进度。
- 2 宜减少辅助工程量及施工附加工作量，降低施工成本。
- 3 应有利于交叉工程施工各道工序之间协调均衡，减少干扰。
- 4 技术先进、可靠，所选用的施工新技术宜通过生产性试验。
- 5 施工强度和施工设备、材料、劳动力等资源需求应均衡。

4.1.4 主体关键工程的施工方案可采用计算机仿真技术进行比选。

4.2 土石方明挖

4.2.1 岩土开挖级别应根据地质条件，按附录 D.1 确定。

4.2.2 土石方开挖应自上而下分层进行，分层厚度经综合研究确定。水上、水下分界高程可根据地形、地质、开挖时段和水文条件等因素分析确定。

4.2.3 基础保护层以上岩石开挖，宜采取延长药包、分层梯段钻孔爆破开挖方式。

4.2.4 设计边坡轮廓面开挖，应采取防振措施。紧邻水平建基面的开挖，宜在常规梯段爆破孔的底部与建基面之间预留保护层。

4.2.5 水工建筑物岩石基础部位开挖不应采用集中药包爆破法，其他部位采用时，应按 SL 47 执行。

4.2.6 在新浇筑大体积混凝土、新灌浆区、新预应力锚固区、新锚喷（或喷浆）支护区等部位附近进行爆破，应经论证并采取控制爆破，爆破质点振动速度应满足安全允许标准。

4.2.7 高边坡开挖应符合下列规定：

- 1 应采取自上而下的施工程序。
- 2 应采用预裂爆破或光面爆破，并避免二次削坡。
- 3 对有支护要求的边坡每层开挖后应适时支护。
- 4 坡顶设置截排水沟的边坡，应先完成坡顶截排水沟的施工，之后再行边坡开挖。

4.2.8 水下开挖施工方法和设备应根据水深、水流流速、地形、地质、开挖范围、开挖量等因素选择确定。

4.2.9 可利用料的开挖应根据开挖条件、开挖强度和可利用料的数量、物理力学特性、质量要求等因素，研究采取合适的开挖、运输方法和设备。

4.2.10 应结合施工总布置和施工总进度做好整个工程的土石方平衡规划，并宜与水土保持措施相结合。应减少弃渣二次倒运，堆渣不应污染环境。

4.2.11 出渣道路布置应遵守下列原则：

- 1 应根据开挖方式、施工进度、运输强度、渣场位置、车型和地形条件等因素，统一规划主体工程土石方明挖出渣道路的布置。

- 2 进入基坑的出渣道路有困难时，最大纵坡可视运输设备性能、纵坡长度等具体情况酌情加大，但不宜大于 15%。在地

形复杂、深基坑等没有条件或难以布置基坑出渣道路的情况下，可研究采用其他出渣方法。

3 应能满足后续工程施工需要，不占压建筑物部位；宜不占压或少占压深挖部位。

4 宜短、平、直，减少平面交叉。

5 行车密度大的道路宜设置双车道或循环线；出渣强度低、地形陡峭的地段，出渣道路可采用单车道，并应设置错车道，错车道间隔距离不宜大于 200m。

4.3 地基处理

4.3.1 同一地段的基岩灌浆应按照先固结灌浆、后帷幕灌浆的顺序进行。固结灌浆可在基岩表层或岩面有混凝土盖重的情况下进行，盖重混凝土的厚度可为 1.5~3.0m。在有盖重混凝土的条件下灌浆，盖重混凝土应达到 50% 设计强度后钻孔灌浆方可开始。

4.3.2 灌浆应按分序加密的原则进行。根据不同的地质条件和工程要求，基岩灌浆方法可采用全孔一次灌浆法、自上而下分段灌浆法、自下而上分段灌浆法、综合灌浆法、套管灌浆法和打管灌浆法。

4.3.3 防渗墙槽段划分应综合考虑施工工期要求、地基的工程地质和水文地质条件、施工部位、造孔方法、机具性能、造孔深度和混凝土供应强度等因素确定。防渗墙混凝土拌和及运输能力，应不小于最大浇筑槽孔强度的 1.5 倍，并能保证浇筑连续进行。混凝土的浇筑宜在泥浆槽中采用直升导管法施工。

4.3.4 防渗墙造孔工艺应根据地层情况、墙深和墙厚及其他施工条件选择钻劈法、钻抓法或抓取法、铣削法等。防渗墙施工所用固壁土料应根据施工条件、造孔工艺、经济技术指标等因素选择，宜优先选用膨润土。

4.3.5 高压喷射灌浆应根据工程需要和地层条件，分别采用单管法、双管法和三管法。旋喷和大角度摆喷适用于淤泥质土、粉

质黏土、粉土、砂土、卵砾石土，定喷和小角度摆喷适用于粉土和砂土地层。高压水泥浆压力应大于 25MPa，高压水的压力应大于 35MPa。

4.4 土石方填筑

4.4.1 土石方填筑施工方案的选择应分析工程所在地区气象台(站)的长期观测资料。宜统计降水、气温、蒸发、大风和冰冻等各种气象要素不同量级出现的天数，确定对各种填筑料施工影响程度。对坝高 200m 以上的高土石坝施工方案应做专题研究。

4.4.2 填筑材料的运输方式应根据建筑物型式、施工区地形条件、运输量、开采方式、运输设备型号、运距等因素，通过技术经济比较后确定，并符合下列规定：

- 1 应满足填筑强度要求。
- 2 运输过程中不应掺混、污染和降低物料物理力学性能。
- 3 各种填筑料宜采用相同的运输方式；采用多种运输方式时，应统筹规划、合理布置，做好各运输方式之间的衔接。
- 4 运输中转环节少，运输费用较低，临时设施简易，准备工程量小。

4.4.3 土石方填筑道路布置应符合下列规定：

- 1 各路段标准应满足运输强度和施工安全要求，在分析各路段运输总量、使用期限、运输车型和当地气象条件等因素后确定。特殊路段应进行技术经济比较论证，在限制坡长条件下（不宜大于 200m），道路最大纵坡不大于 15%。
- 2 能兼顾地形条件，各期道路宜衔接使用。
- 3 能兼顾其他施工运输、两岸交通和施工期过填筑体运输，宜与永久公路结合。

4.4.4 碾压式土石坝坝体填筑规划应符合下列规定：

- 1 土质防渗体堆石坝、均质坝沿坝轴线方向宜采用全段施工，但在宽阔河道上，根据施工程序和施工总进度要求，也可研究采用分段施工方式。

2 坝体填筑横断面宜平起填筑、均衡上升。必要时也可研究填筑临时挡水断面，临时断面设计应符合 2.8 节的规定。

3 运输车辆不宜穿越心墙、斜墙和趾板，若需穿越时应提出专门的施工措施。

4.4.5 土石料压实设备类型可根据土石料性质等因素选择，铺料厚度、碾压遍数等施工参数应根据土石料性质和压实设备性能通过分析研究或工程类比法确定。大中型土石坝工程可采用数字大坝填筑质量监控系统。

4.4.6 堆石料宜选用进占法铺料，级配较好的石料、砂砾（卵）石料等宜选用后退法铺料，铺料层厚度大于 1.0m 的堆石料宜选用混合法铺料；碾压方向应沿建筑物轴线方向进行，碾压宜采用进退错距法作业，碾压前宜适当加水。

4.4.7 过渡料填筑宜采用后退法铺料，并与同层垫层料或反滤料一并碾压。

4.4.8 垫层料填筑宜采用后退法铺料，并与同层过渡料一并碾压。垫层料上游坡面可采用挤压式边墙、翻模固坡砂浆、碾压水泥砂浆、喷混凝土或喷乳化沥青等保护方式。

4.4.9 防渗体土料宜采用进占法铺填、平料，碾压方向应平行于建筑物轴线。土料含水率与最优含水率差别较大时应进行调整。接缝削坡坡度应根据选用的施工机械设备确定。

4.4.10 土料宜安排在少雨季节施工。土料在雨季施工，应选用适合的施工方案，采取可靠的防雨措施。

4.4.11 石料在负温条件下填筑时不应加水，并应减小铺料厚度和增加碾压遍数。当日平均气温低于 0℃ 时，土料应按低温季节施工考虑；当日平均气温低于 -10℃ 时，不宜填筑土料，否则应进行技术经济论证。土料低温季节施工，应研究土料场的保温和防冻措施。

4.4.12 土工膜防渗体施工应符合下列规定：

1 土工膜的分缝分块长度应根据工程施工条件确定，宜减少分缝长度及数量。

2 土工膜连接宜采用膜焊布缝的方式，使其搭接对齐、平整。

3 土工膜在完成铺设后，应及时喷射水泥浆或回填防护层。

4 土工膜心墙宜采用“之”字形布置，铺筑进度应与填筑进度相适应。

5 施工机械不宜穿越土工膜。

4.4.13 吹填施工应符合下列规定：

1 吹填工程施工除抓斗船采用顺流施工法外，其他船型应采用逆流施工法。

2 吹填工程施工应根据设备性能、工况条件等对泥泵和管路特性进行研究计算，选择合理的运行工况。

3 取土区施工应根据设计要求、土场土层和水位等条件，制定相应的施工程序并采取技术措施，确保取土质量与数量。

4 吹填施工应分区、分层进行。吹填区施工顺序应根据分期、分区交工要求、吹填土质、现场施工条件等因素确定。

4.5 混凝土施工

4.5.1 混凝土原材料选择应遵守下列原则：

1 混凝土原材料的选择应根据工程区的天然建筑材料和水文气象条件、环境条件、胶凝材料供应条件、混凝土性能要求、施工条件等因素，经技术经济比较后确定。

2 选用的水泥强度等级应与混凝土设计强度等级相适应，对大体积混凝土宜选用中热硅酸盐水泥。根据工程特殊需要，可对水泥的化学成分、矿物组成、细度等指标提出专门要求。

3 水工混凝土中宜掺入适量的掺合料和外加剂，以改善性能、提高质量、节约成本。

4 掺合料品种和掺量应根据工程的技术要求、掺合料品质和资源条件，经试验确定。粉煤灰宜选用Ⅰ级或Ⅱ级粉煤灰。外加剂品种和掺量应根据工程的技术要求、环境条件，经试验确定。

4.5.2 混凝土配合比选择应符合下列规定：

1 混凝土配合比应根据工程要求、结构型式、设计指标、施工条件和原材料状况，通过试验确定，并应符合 SL 677 的相应规定。

2 大体积内部常态混凝土的总胶凝材料用量不宜低于 $140\text{kg}/\text{m}^3$ ，水泥熟料含量不宜低于 $70\text{kg}/\text{m}^3$ 。大体积内部碾压混凝土的总胶凝材料用量不宜低于 $130\text{kg}/\text{m}^3$ ，最大骨料粒径宜不大于 80mm ，粉煤灰或其他活性掺合料掺量宜控制在 $30\% \sim 65\%$ 范围内，掺量超过 65% 时，应进行专题试验论证。

3 常态混凝土水胶比最大允许值宜不大于 0.65 ，碾压混凝土水胶比宜小于 0.7 。

4 碾压混凝土拌和物稠度 VC 值宜通过现场试验确定。

4.5.3 混凝土施工方案选择应遵守下列原则：

1 混凝土生产、运输、浇筑和养护各施工环节应衔接合理，并制定合理的全过程温度控制措施。

2 应满足施工强度、进度要求，选择施工工艺先进、设备配套合理、综合生产效率高的施工方案。

3 运输过程的中转环节少，运距短，温度控制措施简易、可靠。

4 初期、中期、后期浇筑强度宜协调平衡。

5 混凝土施工应与金属结构、机电设备安装干扰少。

6 混凝土施工方案宜通过比较选定。

4.5.4 混凝土浇筑程序、各期浇筑部位和高程划分应与供料线路、起吊设备布置和机电安装进度相协调，并符合相邻块高差及温度控制等有关规定。各期工程形象进度应能适应截流、度汛、下闸、封堵、蓄水等要求。

4.5.5 模板选择应遵守下列原则：

1 模板选用应与混凝土结构的特征、施工条件和浇筑方法相适应。

2 宜优先选用钢模、少用木模。

3 结构型式宜做到标准化、系列化；便于制作、安装、拆卸和提升；有利于机械化操作和提高周转次数。

4.5.6 最大浇筑仓面尺寸应根据混凝土性能、浇筑设备能力、温度控制措施和工期要求等因素确定。用平浇法浇筑混凝土时，设备生产能力应能确保混凝土初凝前将仓面覆盖完毕；当浇筑仓面面积过大，设备生产能力不能满足时，可用台阶法浇筑。

4.5.7 大体积混凝土施工应进行温度控制设计。混凝土温度控制标准和温度控制措施应根据工程特点，施工条件，水文和气象条件，混凝土原材料的热、力学指标及混凝土配合比，混凝土和基岩热、力学指标，坝体温度场和应力场计算成果确定。有条件时宜采用系统分析方法确定各种措施的最优组合。高混凝土坝应采用计算机温度应力仿真计算确定其温度控制标准和温度控制措施。大体积混凝土温度控制基本参数的选择和确定、温度控制标准及计算要求和温度控制防裂措施可按附录 E 中 E.0.1 选用。

4.5.8 低温季节混凝土施工必要性应根据总进度及技术经济比较论证后确定。在低温季节进行混凝土施工时，应采取保温防冻措施，其气温标准、保温防冻措施按附录 E 中 E.0.2 执行。

4.5.9 坝体接缝灌浆应符合下列规定：

1 接缝灌浆应待灌浆区两侧坝块及上部混凝土达到坝体稳定温度或设计规定值后进行，在采取有效措施情况下，灌区两侧混凝土龄期不宜短于 4 个月。

2 接缝灌浆系统应分灌区进行布置，每个灌区的高度宜为 9~12m。

3 拱坝封拱灌浆高程和浇筑层顶面间的允许高差应根据施工期应力确定。

4.5.10 碾压混凝土施工应符合下列规定：

1 宜避开高温季节施工，特别是基础约束区及重要部位。

2 碾压混凝土施工宜采用大仓面薄层连续上升，经试验论证能保证质量时可适当增大厚度。施工仓面面积较大，经论证后，施工可采用斜面铺料平仓碾压方式，坡度宜控制在 1:10~

1 : 15。

3 连续上升铺筑的碾压混凝土层间间歇时间应控制在直接铺筑允许时间以内，超过直接铺筑允许时间的层面应先在层面上铺水泥浆或水泥砂浆再铺筑上一层碾压混凝土，超过了加垫层铺筑允许时间的层面应按冷缝处理。

4.5.11 厂房混凝土浇筑与机电安装工程施工应妥善安排，避免或减少相互干扰；与第一台机组发电有关的混凝土宜先浇筑。

4.5.12 面板堆石坝的趾板混凝土施工，应在相邻区的垫层、过渡料和主堆石区填筑前完成。

4.5.13 坝高不大于 70m 时，面板混凝土宜一次浇筑完成；坝高大于 70m 时，根据施工安排或度汛、提前蓄水需要，面板可分期施工，分期施工宜分为二期或三期。面板混凝土浇筑宜采用滑模自下而上分条进行，条与条之间宜采用跳仓浇筑方式。面板的浇筑顺序宜先浇筑中部面板，再向两侧浇筑。

4.5.14 沥青混凝土施工方案，应根据工程布置、防渗体的结构型式、工程区的气候条件及施工设备等因素，经综合分析研究后确定，铺筑应符合下列规定：

1 沥青混凝土面板铺筑的斜坡长度、宽度应根据施工条件、施工设备、施工运行等情况确定。

2 碾压式沥青混凝土心墙的铺筑层厚宜通过碾压试验确定，可采用 20~30cm，与两侧过渡层填筑宜平起平压；浇筑式沥青混凝土心墙宜采用可拆卸组装的钢模施工。

4.5.15 自密实混凝土除应满足普通混凝土拌和物对凝结时间、凝聚性和保水性等的要求外，还应满足自密实性能的要求。自密实混凝土施工应符合下列规定：

1 应采用拌和站（楼）集中拌制，宜采用搅拌车运输，并宜采取保温等措施。

2 应根据浇筑部位的结构特点及混凝土自密实性能选择机具和浇筑方法。

3 浇筑速度不宜过快，浇筑过程应保持连续性。

4.5.16 胶凝砂砾石填筑施工应符合下列规定：

1 施工布置应与其相应的施工强度要求、材料特性要求、施工场地条件相适应。

2 砂砾石最大粒径不宜超过 150mm。胶凝砂砾石拌制宜采用产量大、效率高的连续式拌和设备。

3 胶凝砂砾石宜采用自卸汽车、输送机、装载机等运输，平仓设备宜采用平仓机、推土机、装载机、反铲挖掘机。

4 胶凝砂砾石宜采用分层、通仓、连续铺筑法，入仓后应尽快完成平仓和碾压。铺筑面积应与铺筑能力及允许层间间隔时间相适应，层间间隔时间应控制在直接铺筑允许时间以内，超过直接铺筑允许时间的层面应加垫层。

4.6 地下工程施工

4.6.1 地下工程施工方法及参数选择应以地下工程的围岩分类及产状构造特征、断面形状及尺寸为主要依据，围岩分类应按 GB 50487 的规定执行。

4.6.2 施工通道应根据地下工程布置、规模、施工方法、施工设备、工期要求、地形和地质等因素，经过技术经济比较后选定。

4.6.3 地下工程施工，符合下列情况时，可研究选用岩石掘进机施工：

1 圆形断面，洞线比较顺直，独头掘进长度超过 5km，布置施工支洞及竖井困难或不经济。

2 围岩类别 I ~ III 类，岩体构造均匀，物理力学指标适中，岩溶不发育，断层破碎带较少，围岩变形小。

3 岩石单轴抗压强度为 30~200MPa。

4 地下涌水量较小。

5 地应力条件在中等强度以下。

4.6.4 用钻爆法开挖隧洞时，施工方法应根据断面尺寸、围岩类别、设备性能、施工技术水平，并通过比较后选定，条件许可

时宜选用全断面开挖。

4.6.5 特大型洞室开挖应遵循下列原则：

1 应根据地质条件、洞室布置、施工通道、施工设备和工期要求确定开挖分层和分区。

2 施工通道的设置应满足开挖分层和施工进度要求。

3 应创造条件进行平行流水作业。

4 顶拱层开挖应根据围岩条件和断面大小确定开挖方式，地质条件允许时宜采取先开挖中导洞后两侧跟进扩大的开挖方法。若围岩稳定性差，则宜采用两侧导洞先掘进并进行初期支护，再进行中间预留岩柱跟进的开挖和支护方法。

5 岩壁（台）梁层开挖，应采用预留保护层法开挖。岩壁（台）开挖应进行专门的爆破设计，爆破参数应通过爆破试验确定，并在施工中不断进行修正。为确保岩壁（台）准确成型，必要时应先进行固结灌浆或结合锚杆、锚索加固围岩。岩壁（台）梁施工前应进行下层边线预裂爆破，并在下层开挖时进行爆破振动监测。

4.6.6 竖井开挖方法选择应符合下列规定：

1 宜从井底出渣，如无条件从井底出渣时，可全断面自上而下开挖。

2 井底有出渣通道可采用爬罐法、吊罐法、天井钻机或反井钻机施工导井。

3 竖井井下有通道且断面较大时，可用导井法开挖；扩挖宜自上而下进行，围岩为Ⅲ～Ⅴ类时，支护应紧跟开挖面。

4.6.7 斜井开挖方法选择应符合下列规定：

1 倾角小于 6° 时，可采用平洞方法开挖。

2 倾角为 $6^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 时，可自上而下采用平洞方法开挖。

3 倾角为 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 时，小断面斜井可自上而下开挖，若自下而上开挖，应采取扒渣、溜渣措施；大中型断面斜井，可采用导井扩大开挖。

4 倾角为 $45^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 时，可采用自下而上先挖导井、再自上

而下扩挖或自下而上全断面开挖。

5 倾角大于 75° 时，可用竖井方法开挖。

4.6.8 施工支洞、斜井及竖井的布置应符合下列规定：

1 施工支洞的选择应根据地形、地质条件、结构型式及布置、施工方法和施工进度的要求等综合研究确定。采用钻爆法施工时，施工支洞间距不宜超过 3km。地形、地质条件允许时，洞线宜短，并宜考虑平洞，洞口设置应能满足防洪要求。

2 平洞支洞轴线与主洞轴线交角不宜小于 45° ，且宜在交叉口设置不小于 20m 的平段。支洞断面型式及尺寸应能满足运输强度和物件通过要求，并有空间设置管线、排水沟和人行道等。平洞支洞纵坡：有轨运输不宜超过 2%；无轨运输不宜超过 9%，相应限制坡长 150m；局部最大纵坡不宜大于 14%。

3 斜井支洞的倾角不宜大于 25° ，井身纵断面不宜变坡与转弯，下水平段长度不宜小于 20m。斜井支洞的一侧，应设置宽度不小于 0.7m 的人行道。

4 竖井宜设在隧洞的一侧，与隧洞的净距宜为 15~20m。竖井内应设牢固、安全的爬梯。

5 斜井或竖井的井底，应布置回车场及集水井。

6 应满足地下洞室群分层开挖施工进度和通风排烟的需要。

4.6.9 出渣运输方式选择应符合下列规定：

1 运距较长时，宜采用电瓶机车有轨运输方式。机车在洞内行驶平均速度按 6km/h 计。

2 隧洞断面满足汽车通行要求时，宜采用无轨运输。汽车在洞内、外平均行驶速度分别按 10km/h 及 20km/h 计。开挖宽度不能满足汽车回车要求时，每隔 200m 左右设回（会）车洞，或在洞内设移动式转向盘。

3 斜井提升采用卷扬机，卷扬机运行速度不宜大于 2m/s；斜坡段应设置人行道，人行道边缘与车辆安全距离不小于 30cm。竖井提升多用吊罐，吊罐运行速度宜按下列方法确定：

——竖井在 40m 以内且无导向设备时，不超过 0.7m/s；

——井深在 40 ~ 100m 且沿导向设备升降时，不超过 1.5m/s；

——井深大于 100m 且沿导向设备升降时，不超过 3m/s。

4.6.10 初期支护宜采用锚喷支护。当围岩条件差，锚喷支护难以满足安全施工时，应研究采用挂网喷混凝土、钢筋格构架、钢支撑、预应力锚杆及预应力锚索等不同组合的联合支护措施。对地下水活动强烈、膨胀性围岩及岩爆等不良地质区，应及时锚喷支护封闭，必要时应加强挂网或加钢肋。

4.6.11 通风方式及参数选择应符合下列规定：

1 施工安排应尽早形成自然通风条件，在未形成自然通风前，应采用机械通风。

2 独头进尺长度大于 1km 时，宜用压、吸混合式通风。

3 洞室开挖所需通风量及风速值可按附录 D.2 确定。

4.6.12 防尘、防有害气体等综合处理措施应符合下列规定：

1 地下工程开挖应采用湿式凿岩机。

2 洞内宜配低污染、有废气净化装置的柴油机械，汽油机械不宜进洞。

3 长隧洞施工宜采用有轨运输。

4 对含有瓦斯等有害气体的地下工程，应编制专门的防治措施。

5 存在突涌水、高地温、高地应力（岩爆）等地质条件下的地下工程，应做专题研究。

4.6.13 平洞混凝土衬砌应在保证施工安全和工程质量前提下确定边墙、顶拱、底板衬砌顺序；有条件时可全断面一次衬砌；大断面洞室宜先衬顶拱。衬砌分段长度应在分析围岩特性、浇筑能力、模板型式及建筑物结构特征等因素后确定。

4.6.14 斜井及竖井混凝土衬砌分段应在分析围岩特性、结构型式及浇筑方式等因素后确定。当围岩稳定条件较差时，衬砌段长度应与开挖段长度一致，使两者能交替进行；建筑物结构外形变化处宜作为衬砌分段界线。

4.6.15 水工隧洞中的灌浆宜按照先回填灌浆、后固结灌浆、再接缝灌浆的原则进行。

4.7 金属结构及机电设备安装

4.7.1 金属结构及机电设备运输应符合下列规定：

1 金属结构及机电设备从工地加工厂或拼装场运至安装现场的道路标准应满足运输尺寸及单件重量的要求。

2 运输设备应能满足特重件和特大件运输要求。压力钢管宜在工地加工或拼装成管节后再运至现场。应根据道路及两侧障碍物情况、管节尺寸、管节重量等选择平运或立运，若条件合适应优先选择平运方式。

3 大型工程的钢闸门和启闭机宜将部件运至安装现场进行组装。

4 附属设备在场内的起重、运输可利用主机设备的起重、运输设备，不宜另行设置。

4.7.2 金属结构吊装方法的选择应符合下列规定：

1 吊装方法应根据构件外形尺寸、重心位置及单件重量、安装位置孔洞和通道尺寸确定。

2 宜利用施工现场已有的起重设备及起吊能力；使用专用起吊设备时，其制作安装时间应满足安装工期的要求。

3 宜考虑永久性桥机及启闭设备提前安装及使用的可能性。

4 应减少交叉作业，均衡生产。

4.7.3 水轮发电机组和水泵机组安装应符合下列规定：

1 机组安装工程应与土建施工程序相协调，合理安排安装进度，缩短安装直线工期。

2 机组吊装宜采用永久起重设备。

3 设备安装应在基础混凝土强度达到设计值的70%后进行。

4 机组安装宜利用已有场地，进行大件预组装。机组安装应在本机组段和相邻机组段的厂房屋顶封闭完成后进行。

4.7.4 压力钢管安装应符合下列规定：

1 压力钢管、钢衬的制造方式宜根据工程规模、对外交通运输条件和加工制造能力，通过技术经济比较确定。

2 在吊装运输条件允许的情况下，钢管宜采用大节安装，安装和混凝土浇筑宜分段交叉进行，每段长度应保证混凝土浇筑质量。

4.7.5 闸门安装应符合下列规定：

1 闸门安装方案应根据闸门型式和施工条件确定。

2 闸门埋件安装除弧形闸门铰座基础螺栓架采用一期混凝土预埋外，其余宜采用二期混凝土埋设，埋件可配合土建进度分段进行，也可集中连续进行。

3 埋件安装完成，应在 5d 内浇筑二期混凝土，混凝土一次浇筑高度不宜超过 5.0m。

4 门叶组装可在工地拼装场或门槽附近搭设拼装平台组装。

5 根据运输和吊装能力，分节（件）或整体吊装。平面闸门、露顶式弧门可采用现场已有起吊设备、移动式起重机或其他简易设备吊装，潜孔式弧门宜采用预埋锚钩，用滑轮组、卷扬机吊装。

4.7.6 主阀的安装应根据主阀重量、吊装设备能力及场地条件确定整体安装或分件安装。

4.8 施工机械设备选择

4.8.1 地下洞室采用钻爆法施工，应根据洞室规模、施工方案、地质条件和施工安全等因素选择钻孔机械，并应符合下列规定：

1 应根据断面尺寸和工程量大小选用相应规格的多臂钻车。

2 大断面隧洞下部台阶扩挖，可选用潜孔钻机、液压钻机。

3 工程量小、隧洞长度较短或设备条件不足时可选用手持式或支腿式钻机。

4.8.2 锚索钻孔应根据地质条件、设计孔径和深度、钻机工作空间等因素选择锚固钻机。针对特殊地质条件和设计要求的锚索

孔可选择地质钻机。

4.8.3 在坚硬、中等坚硬的较完整岩体中开挖隧洞时，宜选用开敞式掘进机开挖；在中等坚硬的完整性较差的岩体、软岩或局部土层中开挖隧洞时，宜选用护盾式掘进机开挖；处于松软地层的长隧洞根据地质、水文等条件可选用盾构掘进机。掘进机选择和使用时，应符合下列规定：

1 掘进机开挖洞径宜为 3~12m，对于采用大直径的掘进机时，应进行技术经济比较。

2 单向掘进长度宜大于 5km，洞长超过 15km 时，每 10km 宜布置一处检修洞。

3 掘进机设备性能应适合工程沿线的地质条件，并应保证工程施工安全及工期要求。

4.8.4 反井钻机可用于施工上、下部都有工作面的竖井、斜井的导井和小断面隧洞全断面开挖。反井钻机的选择应考虑下列条件：

1 隧洞的深度和倾角。斜井倾角不宜小于 50°，深度不宜大于 250m，超过该深度时，宜分段施工；竖井深度不宜大于 400m。

2 地质条件，包括岩石的物理力学性质、岩体产状、主要地质构造、水文地质条件。

4.8.5 仅有下部工作面的竖井、斜井的导井，当深度大于 50m 时，可选择爬罐施工。

4.8.6 洞室无轨运输车辆选择应符合下列规定：

1 在洞内路宽满足会车的条件下，宜选用大吨位自卸汽车。

2 装载机械的斗容与自卸汽车斗容的适宜比例为 1 : 3 ~ 1 : 5；运距远时自卸汽车斗容应取大值，反之取小值。

3 地下工程应选用低污染或带有废气净化装置的柴油车辆，不应使用以汽油机为动力的车辆。

4 单向行驶的自卸汽车，应满足最小转弯半径的要求。大吨位自卸汽车可选用转弯半径小的铰接式车架或选用移动式汽车

调向平台。

4.8.7 洞室有轨运输方式的装渣应按下列条件选取：

1 装渣机械设备宜选用后翻铲斗式装岩机，当选用的矿车长度大于 2.5m 时，应选用带式输送机的铲斗式装岩机，小断面开挖宜选用立爪式扒渣机与梭车配套。

2 当选用成组列车时可配备渣斗式转载机、胶带式转载机等。

4.8.8 洞室有轨运输车辆选择应符合下列规定：

1 洞底坡小于 1% 时，有轨出渣可用机车牵引，短距离时可用人工或小型装载设备牵引，其他情况下宜用卷扬设备牵引。

2 洞内牵引设备宜选用蓄电池式电机车，当蓄电池式电机车的牵引力不能满足要求时，可考虑选用架线电机车或内燃机车。在洞内宽度满足的条件下，运输车辆宜选用大容量矿车。

4.8.9 圆形长隧洞宜选用针梁式钢模台车或油压式伸缩钢模台车，斜井宜选用拉模，竖井宜采用滑模。

4.8.10 土石料碾压设备选择应符合下列规定：

1 心墙、斜墙防渗体土料的压实应选用振动凸块碾、羊足碾或气胎碾。

2 反滤料、垫层及过渡层的压实宜选用振动平碾、气胎碾或平板振动打夯机。

3 坝壳料的压实宜选用振动碾或气胎碾，对于含有软弱岩石的土石料，宜选用重型尖齿碾。

4.8.11 混凝土水平运输设备应符合下列规定：

1 混凝土宜采用自卸汽车或自卸汽车配吊罐的水平运输方式。

2 有条件的工程可采用带式输送机、混凝土输送泵、混凝土输送泵车或有轨机车运输方案。

3 当混凝土运距较远，宜采用混凝土搅拌运输车。

4.8.12 门式、塔式起重机布置应考虑下列因素：

1 适用于河谷较宽的坝址。

2 栈桥布置应满足施工期防洪要求，栈桥高程与混凝土供料线高程相协调。

3 栈桥宜平行坝轴线布置，在混凝土浇筑过程中避免拆迁。

4 栈桥型式应通过技术经济比较和工期要求等因素分析确定。

5 多台起重机布置时，机群应采用防撞和防干扰措施。

4.8.13 塔带机布置应考虑下列因素：

1 适用于连续、高强度混凝土浇筑。

2 混凝土浇筑过程中应避免拆迁。

3 混凝土生产能力、振捣设备等应与塔带机的运料能力相适应。

4 对混凝土温度控制要求较高的工程，采用塔带机进行混凝土运输，应有配套的温度控制措施。

4.8.14 缆索式起重机布置应考虑下列因素：

1 适用于河谷较窄的坝址。

2 缆索式起重机型式应根据两岸地形、地质、坝型及工程布置、浇筑强度、设备布置等条件进行技术经济比较后选定。

3 混凝土供料线应平直，设置高程宜接近坝顶，供料线的宽度和长度应满足混凝土施工及辅助作业的要求，高程不宜低于初期发电水位；不占压或少占压坝块。

4 供料线布置应能满足缆机在任一位置均可直接取料。当供料线布置不能满足时，应对供料线取料强度进行分析。

5 承重缆垂度可取跨度的5%，缆索端头高差宜控制在跨度的5%以内；供料点与塔顶水平距离不宜小于跨度的10%。

4.8.15 碾压混凝土施工设备选择应符合下列规定：

1 运输碾压混凝土宜采用自卸汽车、负压溜槽（管）、溜管、带式输送机、专用垂直溜管，必要时也可采用缆机、门机、塔机等机械。

2 碾压混凝土振动碾机型的选择，应考虑碾压效率、激振力、线压力、滚筒尺寸、振动频率、振幅、行走速度、维护要求

和运行的可靠性。

3 为适应不同部位碾压压实的要求，宜配备各种型号和功率的振动碾。

4.8.16 沥青混凝土施工机械设备选择应符合下列规定：

1 选择沥青混凝土运输设备，应坚固耐用，不易变形，且易倾卸，应有保温设施；水平运输设备，宜用汽车载底卸式保温立罐；斜坡运输设备，应采用喂料车。

2 斜坡沥青混凝土振动碾主要根据铺筑厚度、宽度和生产率选择，当爬坡能力不够时，可采用牵引设备。碾压机械选定后，应通过现场碾压试验确定碾压厚度、碾压速度、碾压遍数、振动频率等碾压参数。

3 沥青混凝土心墙的铺筑，宜优先采用集加热、摊铺、碾压功能于一体的设备施工，并通过现场试验确定有关参数。

4.8.17 地基加固处理机械可采用成孔（槽）机械、铰挖机、搅拌桩机、振冲器等专用机械和起重机等通用机械。地基灌浆施工机械可采用造孔（槽）机械、浆液搅拌机械、灌浆机械及辅助钻孔灌浆机械等。

4.8.18 吹填施工设备选择应根据下列因素确定：

1 施工作业区的地理位置、地形、地貌、水文、气象、工程地质等自然条件。

2 吹填工程类型、规模及开挖深度、宽度、边坡、挖掘精度、输送距离、排高、吹填区容量与形状、泥土处理要求等设计条件。

3 淤泥含水率、淤泥颗粒粒径、有机物含量、淤泥处理路径、淤泥污染情况。

4 拟选设备的性能、适用性和利用率等基本参数，环保清淤工程应选用配备环保机具施工。

5 船舶、设备调遣方式及其可行性。

6 工程量、工期、质量标准、工程投资等。

7 施工作业区的环境保护要求。

4.8.19 吹填施工设备选择配套应注意下列问题：

1 吹填施工应协调施工船舶作业、排泥管线布设、围堰及排水口的施工。

2 吹填距离超过船舶的最大合理吹距时宜采用接力泵。

3 吹填管线的规格和质量应适应吹填土质、流量和排压的要求。

5 施工交通运输

5.1 一般规定

5.1.1 施工交通运输可分为对外交通和场内交通。对外交通方案应根据施工总布置及施工总进度要求，经技术经济比较选择。对外交通和场内交通的规划应符合下列规定：

1 对外交通方案应确保施工工地与国家或地方公路、铁路车站、水运港口之间的交通联系，并具备完成施工期间外来物资运输任务的能力。

2 选择对外交通运输方案，应调查工程所在地区现有交通运输状况，以及近期的交通建设规划等内容。

3 场内交通应根据分析计算的运输量和运输强度，结合地形、地质条件和施工总布置进行统筹规划，应考虑永久与临时、前期与后期相结合。

4 场内交通方案应确保施工工地内部各工区、当地材料产地、堆渣场、各生产、生活区之间的交通联系，主要道路与对外交通衔接。

5 场内交通规划应合理解决超限运输。

5.1.2 对外及场内交通宜采用公路运输方式。对外交通经过论证可采用铁路、水运等其他运输方式或几种方式相结合。场内交通条件适宜时，可采用带式输送机、架空索道等方式。

5.1.3 施工交通运输系统应设置安全、交通管理、维修、保养、修配等专门设施。

5.1.4 对外及场内交通应保持运输畅通、设施及标志齐全，满足安全、环境保护及水土保持要求。

5.2 对外交通

5.2.1 对外交通运输应进行技术经济比较，选定技术可行、经

济合理、运行方便、干扰较少、施工期短、便于与场内交通衔接的方案。

5.2.2 对外交通运输应分析计算外来物资和设备的总运输量、分年度运输量及运输强度。运输量和运输强度计算方法、参数可按附录 F.1 选用。

5.2.3 对外交通运输方案选择应考虑下列因素：

1 工程所在地区可以利用的交通条件及相关交通运输设施情况，以及当地交通运输发展规划。

2 工程施工期总运输量、分年度运输量及运输强度。

3 主要外来物资的运输要求。

4 重大件运输要求。

5 与国家（地方）交通干线的连接条件，以及场内、外交通的衔接条件。

6 对外交通运输设施的建设工程期、使用期限及投资等。在对外交通建设期内，应有临时交通方案。

7 转运站以及主要桥涵、渡口、码头、站场、隧道等的建设条件。

5.2.4 对外交通运输方案选择应遵守下列原则：

1 线路运输能力应满足工程施工期间大宗物资、材料、设备和超重超限件运输，并应满足施工总进度要求。

2 物资运输宜中转环节少、运费省，及时、安全、可靠。

3 结合当地运输发展规划，应充分利用已有国家、地方交通道路和其他工矿企业专用线。

5.2.5 对外公路的等级和技术标准，应根据工程规模、运输量、运输强度、运输车种、车型、行车密度等综合确定，公路有关参数可按附录 F.2 选用。与社会交通相结合的或兼有社会交通功能的公路，其等级和技术标准的确定应符合 GBJ 22、JTG B01 等相关规定。

5.2.6 对外公路规划及路线设计应符合下列要求：

1 对外公路与国家（地方）交通干线应合理衔接。

2 路线选择应进行技术经济比较，选定技术可靠、经济合理、施工期短、便于与场内交通衔接的方案。

3 应根据重大件运输条件、防洪要求、地形条件、地质条件、技术等级、筑路材料状况以及当地村、乡（镇）建设和经济发展等要求综合考虑。

4 利用现有公路时，应对现有公路的技术标准进行充分研究，并提出改善措施以满足施工期的运输要求。

5 选线宜避开城镇，并宜避开泥石流、滑坡等不良地质区。

6 应节约用地，保护文物古迹。

5.2.7 桥涵设计应符合下列要求：

1 桥涵设计应根据相衔接道路性质和使用要求，按适用、经济、安全和美观要求确定；桥涵形式应根据地形、地质、水文等情况，按因地制宜、就地取材、便于施工和养护的原则选择。

2 大、中桥桥位的选择宜服从路线总方向，并选择在河道顺直、水流稳定、地质良好的河段上。

3 桥涵设计荷载等级的确定应符合 JTG B01 和 JTG D60 的相关规定，并满足水利水电工程对外交通运输主要车型和重大件运输的要求。

4 桥梁上的线形及与道路的衔接应符合路线设计的要求，大、中桥桥面纵坡不宜大于 4%，桥头引道纵坡不宜大于 5%，桥面净宽应与相衔接路段路基宽度一致。

5 桥涵孔径应满足设计频率洪水的过流要求，桥涵设计洪水频率应按 JTG D60 中相关规定执行。

5.2.8 隧道设计应符合下列要求：

1 隧道位置应服从公路路线走向，路隧综合考虑。宜选择在稳定的地层中，穿越不良地质地段时，应有切实可靠的工程措施。沿河傍山地段的隧道，其位置宜向山侧内移，并应注意水流冲刷对隧道稳定的影响。

2 隧道的洞口位置宜设在山坡稳定、地质条件较好处，应避免洞口仰坡过高。可采用设置明洞等措施实现安全进洞。

3 隧道内纵断面线形应满足行车安全、施工作业效率、通风和排水要求。根据 JTG/T D70 的规定，隧道内的纵坡不宜小于 0.3%，并不宜大于 3%；长度小于 100m 的短隧道，最大纵坡可不受此限制。

4 隧道的横断面应满足公路隧道建筑界限的规定，并满足工程重大件及施工物资运输的要求。同时，尚应考虑洞内排水、通风、照明、防火、监控、营运管理等附属设施所需要的空间以及围岩加固和施工方法等影响。确定的隧道断面形式及尺寸应满足安全、经济、合理的要求。

5.2.9 铁路运输线应与工程总体布置、现有铁路网及其他交通运输系统相协调，应保证工程建设和运行期间运输需要，并应兼顾地方发展需要。

5.2.10 水路运输方式的选择应符合下列要求：

- 1 应与工程所在地区现有的通航条件相适应。
- 2 应满足工程运输量和施工运输强度要求。
- 3 季节性通航航道应考虑停航期间的物资运输替代措施。
- 4 通航河段施工期间货物临时过坝运输时，其运输方式应经技术经济比较后确定。

5.2.11 施工码头位置选择应符合下列要求：

- 1 码头位置应选在地质条件好、河床及岸坡稳定、水流平顺、有足够水深和宽阔水域可供布置船位和锚地的河段上。
- 2 码头陆域应有足够的岸线长度和纵深，并宜少占耕地、避免大规模挖填。
- 3 通航期内船舶应能安全进出、靠离码头及泊离锚地。
- 4 码头主要建设规模及码头前沿设计水深、泊位长度、设计高水位标准应符合 JTJ 212 的相关规定，按附录 F.3 计算确定。

5.3 场内交通

5.3.1 场内交通应根据施工总进度确定的运输量和运输强度，

结合地形、地质条件和施工总布置进行统筹规划。

5.3.2 场内交通规划应考虑下列主要因素：

- 1 工程规模、工程特点、枢纽工程布置。
- 2 地形、地质及水文等自然条件。
- 3 对外交通运输方式及与场内交通的衔接。
- 4 当地建筑材料料场的位置及开采、加工方案。
- 5 施工方法及施工总布置规划。
- 6 运输量、运输强度、运输设备及运输距离。
- 7 存渣、弃渣调运要求。
- 8 施工期过坝交通、永久交通、对外交通等设施的利用。

5.3.3 场内交通规划设计应符合下列要求：

1 应根据物料流向、运输量及运输强度，合理选择运输方式和设施。

2 应充分利用现有交通设施，与对外交通衔接顺畅。

3 应满足施工总布置及各工区施工布置的需要。

4 施工期间物料临时过坝，不应干扰施工运输。

5 应满足施工要求，运输安全，装卸方便，运距短，工程量小。

5.3.4 场内永久道路及主要临时道路应符合下列要求：

1 场内主要道路的技术标准及防洪标准应按附录 F.4 选用，桥、涵等建筑物设计标准应符合 JTG D60 的相关规定。

2 应合理利用原有地方交通公路。与国家或地方公路相结合的场内主要道路，其新建、改扩建公路技术标准，应符合 JTG B01 的要求。

5.3.5 场内非主要临时道路应符合下列要求：

1 场内非主要道路技术标准可按附录 F.4 选用，在满足安全运行和施工要求的前提下，经过充分论证，可适当降低标准。

2 可根据年运量、车型等情况分段采用不同的车道数。

5.3.6 场内交通的一般性附属设施、设备（如供水、供电、照明以及生产、生活用房屋等）宜统一规划，专业性附属设施（如

准轨机车、车辆检修、保养、车站站场等)可按有关专业标准设计。

5.3.7 场内跨河设施(桥梁、渡口等)位置选择应满足工程施工需要,宜设在河道顺直、水流稳定、地形、地质条件较好的河段,必要时可进行水工模型试验验证。

5.3.8 跨河桥梁的设计应满足场内运输、重大件及施工机械设备的运输要求,设计标准应符合 GBJ 22、JTG D60 的相关规定。

5.3.9 场内交通隧道应满足场内施工车辆及施工机械的运输要求,有重大件运输通过,尚应满足重大件运输对建筑限界的要求。隧道纵坡应在 $0.3\% \sim 5.0\%$ 范围内选择,特殊情况可适当放宽。

5.3.10 带式输送机输送能力应根据地形条件、倾角、带宽、带速、驱动方式、拉紧装置型式及行程、机组电机容量等确定。带式输送机的选择和设计参数应根据 GB 50431 选定。

5.3.11 斜坡道卷扬运输线路宜直线布置,绞车房宜布置在斜坡卷扬道上方的延长线上,设备选择可按附录 F.5 计算。

5.3.12 架空索道运输线路的平面布置宜为直线,应避免滑坡、泥石流、溶洞等不良地质区域。不宜与公路、铁路、桥梁和架空电力线路等设施交叉。架空索道基本参数应按 GB 50127 选用、计算。

5.3.13 隧洞有轨运输宜设双车道,如用单车道时,应设错车道,其有效长度应满足列车车组的要求,间距应按行车密度确定。

5.4 转 运 站

5.4.1 外来物资的运输方式变换地点可设转运站,转运站宜利用当地交通运输部门已有转运站,或附近梯级水利水电工程已建转运站。

5.4.2 拟新建转运站应具备建站条件,转运站规模应根据工程施工期对外运输量、高峰转运强度、转运物资种类、来源、运输

条件、仓储方式等确定，应满足技术经济合理、安全可靠的要求，转运仓储规模应与场内仓储统筹考虑。

5.4.3 转运站设计应符合下列要求：

- 1 储运能力应满足施工强度及施工运输的要求。
- 2 场地选择应有足够的装卸作业、堆料和仓库用地，与外界交通联系方便。
- 3 装卸机械设备的选择应满足储运物资、材料、设备作业及转运强度和超限货物转运要求。
- 4 转运站布置宜结构简单、紧凑，方便装卸与运输，减少占地。

5.5 重大件运输

5.5.1 重大件运输方案应根据现有运输道路路况、建筑物技术标准及通行条件确定。必要时应进行专题论证，并报有关主管部门审批。

5.5.2 重大件运输方案选择应符合下列要求：

- 1 应根据现有铁路、公路、水运等交通运输条件，考虑重大件数量、解体后单件重量、运输外形尺寸、承重面积等因素，结合对外交通运输方式，经技术经济比较确定。
- 2 在满足运输条件下，应减少重大件的分解，宜采用整体方式运输。

3 重大件需分解运输时，应使交通干扰最小。

4 应减少重大件转运次数。

5.5.3 重大件运输采用铁路运输时应符合下列要求：

1 应满足建筑限界要求。铁路运输限界应按 GB 146.1 和 GB 146.2 确定。

2 其他相关要求应符合铁路部门的有关规定。

5.5.4 重大件运输采用公路运输时应符合下列要求：

1 应根据重大件设备特点，结合现有公路状况，合理选择运输车辆。公路重大件（大型物件）运输货物应按附录 F.6

分级。

2 对现有道路及桥涵进行现状调查时，对于影响重大件运输的特殊路段，应与有关部门协商处理，制定特殊路段的运行措施及采取必要的工程措施；桥涵应进行承载力复核，当承载能力不满足要求的，应采取必要的加固措施或利用临时措施绕道通行。

5.5.5 重大件运输采用水路运输时应符合下列要求：

1 应调查航道的通航能力，包括桥梁净空、船闸等级等，保证重大件运输安全可靠。

2 应根据重大件尺寸、重量合理选用船型，重大件水路运输宜采用专用船舶。

3 应调查重大件运输转运码头（港口）的货物转运能力，选择适宜的水运转运码头（港口）。

6 施工工厂设施

6.1 一般规定

6.1.1 施工工厂设施的任务应包括制备工程建设所需建筑材料，提供工程施工所需的水、电及压缩空气，建立工地内外通信联系，维修和保养施工设备，加工制作非标准金属构件等。

6.1.2 施工工厂规划布置应遵守下列原则：

1 应研究利用当地企业的生产设施，并兼顾梯级工程施工需要。

2 厂址宜设于交通运输和水电供应方便处，靠近服务对象和用户中心，避免物资逆向运输。

3 生活区宜与生产区分开，协作关系密切的施工工厂宜集中布置，集中布置和分散布置距离均应满足防火、安全、卫生和环境保护要求。

4 施工工厂的规划与设置宜兼顾工程实施阶段的分标因素。

6.1.3 施工工厂规划设计宜优先采用装配式结构形式，设备宜选择节能、通用性强、功能先进、机械化和自动化程度高的设备。

6.1.4 施工工厂生产规模、占地面积、建筑面积、用电负荷、生产人员等指标应计算确定。

6.1.5 施工工厂生产过程中产生的废水、废渣、粉尘或其他有害物质均应采取措施进行处理，并满足环境保护的要求。

6.2 砂石料加工系统

6.2.1 砂石料加工系统生产规模应符合下列规定：

1 砂石原料处理量应根据混凝土和其他有级配要求的砂石用料，计及系统内加工、运输过程等损耗和弃料量确定。

2 砂石料加工系统生产规模可按毛料处理能力划分为特大

型、大型、中型、小型，划分标准见表 6.2.1。

表 6.2.1 砂石料加工系统生产规模划分标准

类型	砂石料加工系统处理能力 /(t/h)	类型	砂石料加工系统处理能力 /(t/h)
特大型	≥ 1500	中型	< 500
大型	< 1500		≥ 120
	≥ 500	小型	< 120

3 当混凝土连续高峰时段不大于 3 个月时，砂石料加工系统处理能力应按混凝土高峰时段月平均骨料需用量及其他砂石需用量计算；大于 3 个月时，还应计入相应的不均匀系数，对取值范围为 1.1~1.3。

4 砂石料加工系统主要生产车间（单元）工作制度，宜采用二班制，施工高峰月可采用三班制。粗碎或超径处理工作班次宜与采料场作业相一致，并符合下列规定：

- 1) 月工作日数：25d。
- 2) 日工作时数：二班制 14h；三班制 20h。

6.2.2 厂址选择应符合下列规定：

1 厂址宜设在料场或开挖利用料堆存场附近。多料场供应时，宜设在主料场附近，经论证亦可分设砂石料加工系统。

2 厂址应避开爆破危险区，安全距离应符合 GB 6722 的相关规定。

3 砂石利用率高、运距近、且场地有条件布置时，可设在混凝土生产系统附近，并与混凝土生产系统共用成品料堆。

4 厂址应避开泥石流、滑坡、流沙、溶洞等直接危害的地段，主要车间和设施的地基稳定并有足够的承载能力。

5 厂址宜靠近已有的交通运输线路、水源和主要输电线路。

6 厂址应远离城镇和居民生活区，需在城镇和居民生活区附近设厂时，应采取防护措施，减少噪声和粉尘的影响。

7 厂址应利用荒地，不占或少占耕地。需要占用部分耕地

时，应剥离表土并堆存，用于工程完建后复垦。

8 利用主体工程弃渣场作为砂石料加工系统厂址时，应分析其经济合理性和安全可靠。

6.2.3 工艺流程设计应符合下列规定：

1 应满足各类成品砂石生产能力及品质要求。

2 应能够适应不同时期各级骨料需用量的变化，工艺调整灵活。

3 各段破碎的设备配置和负荷分配宜相对均衡。

4 砂石料加工系统宜采用部分筛分效率法进行工艺流程计算，总筛分效率取值不低于90%。

5 特大型、大型砂石料加工系统粗骨料宜采用湿法加工工艺，细骨料可采用干法与湿法相结合或干法的加工工艺。若采用干法加工工艺，应有解决粗骨料裹粉、细骨料石粉控制与细度模数调整、加工粉尘污染等技术措施。

6 砂石原料的含泥量超过标准应进行冲洗，含有黏性泥团时，应配置专用洗石设备。

7 采用湿法加工工艺生产的成品砂石宜采用脱水设备脱水后再进入成品堆场。

8 特大型、大型砂石料加工系统，若无同类岩性加工试验资料可供借鉴，宜进行骨料生产性试验。中型工程可根据典型粒度方程计算破碎产品粒度，可按附录 G.1 的方法计算。

6.2.4 主要设备选用应符合下列规定：

1 特大型、大型砂石料加工系统宜对所选料源石料进行功指数及磨蚀性指数试验。

2 选用设备的类型、规格及数量应适应砂石原料岩性，并满足成品砂石的品质和产量要求。

3 设备配置应满足工艺流程要求，对砂石原料的岩性变化及级配波动有一定的适应性，避免成品骨料级配失调和超逊径含量超标。

4 上、下道工序所选用设备生产能力应均衡。同一作业宜

选用相同型号规格的设备。

5 特大型、大型砂石料加工系统应选用与生产规模相适应的大型设备，同一作业的设备数量不宜少于 2 台。

6 当砂石原料具有高硬度和强磨蚀性时，特大型、大型砂石料加工系统的主要设备宜整机备用，中型砂石加工系统的主要设备可适当降低设备负荷率。

7 中、细碎设备前的进料带式输送机上应设置金属处理装置。

6.2.5 主要车间、设施布置应遵守下列原则：

1 主要车间、设施布置应有一定的灵活性，能提前形成生产能力，满足施工前期砂石需要，并能及时调整生产方式，适应原料粒度变化及不同骨料级配要求。

2 各车间、设施应结合对外和场内运输道路进行布置。粗碎车间宜靠近料场来料方向，成品堆场宜靠近混凝土生产系统或主要用料点。

3 同一作业的多台同规格设备，宜对称或同轴线配置在同一高程上，设备间距应满足安装、操作及维修所需的安全距离。

4 除寒冷地区外，破碎、筛分、制砂等车间可露天设置，但电气设备应满足户外运行要求。

5 系统内道路布置应满足砂石加工设备运输、安装、调试及运行维护要求。

6.2.6 储运设施布置应符合下列规定：

1 砂石储存量可按高峰时段月平均值的 50%~80% 确定，汛期、冰冻期停采时，应按停采期砂石需用量的 1.2 倍校核砂石储存量。

2 成品砂石堆场应符合下列要求：

- 1) 湿法制砂的成品砂堆场隔仓不宜少于 3 个，单个料堆容积应满足成品砂自然脱水时间要求。
- 2) 碾压混凝土用砂和常态混凝土用砂宜分开堆存。
- 3) 堆场应有良好的排水系统，料堆之间应设置隔墙。

4) 特大型、大型砂石加工系统堆场宜采用带式输送机廊道取料。

5) 成品砂堆场应设置防雨棚。

3 特大型、大型砂石料加工系统砂石运输方案，经技术经济比较确定。砂石运输强度高、运输总量大且运输距离适中时，宜优先采用带式输送机运输方案。

6.3 混凝土生产系统

6.3.1 混凝土生产系统规模按生产能力可划分为特大型、大型、中型、小型，划分标准见表 6.3.1。混凝土生产系统应满足质量、品种、出机口温度和浇筑强度要求，单位小时生产能力可按高峰月浇筑强度计算，月有效生产时间可按 500h 计，小时不均匀系数按 1.5 取值，并按最大仓面入仓强度要求校核。

6.3.2 生产预冷、预热、碾压混凝土或其他低坍落度混凝土时，应核算拌和楼（站）的生产能力。

6.3.3 混凝土生产系统场址选择应遵守下列原则：

1 宜靠近混凝土浇筑地点，并应满足爆破安全距离，合理利用地形，主要建筑物的基础承载力满足要求。

2 统筹兼顾工程分标及工程前、后期施工需要，宜避免中途搬迁，不与永久性建筑物干扰；高层建筑物或料堆应与输电设备及线路保持足够的安全距离。

3 厂址应与城镇和居民区保持一定距离，若在其附近布置加工系统时，应采取必要的防护措施。

4 系统分期建成投产时应满足不同施工期混凝土浇筑要求。

6.3.4 混凝土生产系统宜集中布置，下列情况可分散布置：

表 6.3.1 混凝土生产系统规模划分标准

类型	设计生产能力/(m ³ /h)
特大型	≥480
大型	<480 ≥180
中型	<180 ≥45
小型	<45

1 工程规模大、水工建筑物分散且相对独立、混凝土浇筑强度高及混凝土级配要求相差悬殊，集中布置使混凝土运输距离远、供应不方便。

2 混凝土用料地点高差悬殊或两岸混凝土运输线不能沟通，混凝土运输距离远、运输困难。

3 砂石料场分散，集中布置时骨料运输不便或不经济。

4 考虑工程分标和运行管理要求需要分设混凝土生产系统的工程。

6.3.5 工艺流程设计应符合下列规定：

1 应满足不同时段、不同强度等级、不同级配、不同种类、不同温度控制标准混凝土的浇筑强度及品质等要求。

2 中小型混凝土生产系统内水泥和掺合料输送宜选用机械输送；大型以上混凝土生产系统水泥和掺合料输送宜选用气力输送。

6.3.6 主要车间布置应符合下列规定：

1 车间布置应合理利用地形，车间之间的布置应给物料的合理运输留出通道和停车空间场地，并简化各车间、设施之间的运输环节。

2 应以拌和楼（站）为中心，就近布置骨料储存、筛洗、水泥储运、掺合料储运、预冷或预热等设施。拌和楼（站）宜靠近混凝土浇筑地点布置，骨料堆宜靠近砂石加工系统来料方向，原材料进料方向宜与混凝土出料方向错开。

3 辅助车间宜靠近服务对象，水电供应设施宜靠近主要用户布置。

6.3.7 主要设备选用应符合下列规定：

1 设备类型、规格及数量应满足混凝土生产的品质及产量要求。

2 前后工序所选设备负荷应均衡，同一道工序设备宜优先选用相同型号及规格的设备。

3 拌和楼（站）型式和数量应根据工程规模、运行期、混

凝土强度等级、级配、骨料粒径、水泥及掺合料品种、混凝土温度控制、混凝土浇筑方案等因素选择。

4 常态混凝土宜采用自落式拌和楼（站），碾压混凝土宜选择强制式拌和楼（站），具体选择时，尚应综合考虑混凝土生产能力、级配和温度控制要求等因素。

5 搅拌机单机容量应满足混凝土级配中骨料最大粒径要求，且单机出料容量宜与混凝土运输设备和浇筑设备容量相匹配。

6.3.8 拌和楼出料线布置应符合下列规定：

1 满足混凝土生产系统出料要求，不影响系统的正常运行。

2 每个拌和楼有独立的出料线，大型拌和楼可布置双线出料。

3 成品混凝土运输可采用有轨、无轨或带式输送机运输方式。

6.3.9 混凝土生产系统成品堆料场的储量（活容积）宜按混凝土浇筑月高峰日平均3~5d的需用量确定，布置特别困难时，其活容积不宜少于1d的需用量。

6.3.10 沥青混凝土拌和系统生产规模可按设备额定生产率的65%~75%计算，并宜选用强制式搅拌机。沥青混凝土拌和系统宜靠近铺筑现场集中设置，并远离生活区和易燃建筑物，沥青混凝土料运输时间不宜超过0.5h。

6.3.11 沥青储存量应根据供应方式、运输情况和日需用量确定。

6.3.12 水泥储备应以散装为主，水泥和掺合料在工地储备量可结合实际运输、仓储条件和工程可供使用日数等因素综合分析确定。

6.4 混凝土预冷、预热系统

6.4.1 预冷混凝土生产能力应根据高温时段各月预冷混凝土浇筑强度确定，并以同时段的预冷混凝土最大仓面入仓要求校核；预冷负荷应根据高温时段预冷混凝土浇筑强度、出机口温度、水

温、气温、湿度等因素计算后确定，并按标准工况折算。

6.4.2 自然拌和混凝土和预冷拌和混凝土的出机口温度应按热平衡原理计算。混凝土出机口温度应根据混凝土浇筑温度并计入混凝土在运输、浇筑过程中的温度回升值计算确定。

6.4.3 混凝土原材料自然温度的计算值可按下列规定取值：

1 成品骨料堆场表面湿润、堆高保持在 6m 以上、地弄取料时，可按当地月平均气温取值；在堆场顶加盖遮阳棚或喷水雾、相对温度较低时，可较当地月平均气温低 1~2℃取值。

2 水泥、掺合料温度可根据出厂温度、出厂时间、运输及储存方式、当地气温等因素分析确定，高温季节可取 40~60℃。

3 片冰或冰屑的计算温度可取 0℃，冰的冷量利用率为 85%~100%。

6.4.4 制冷系统布置及工艺设计应符合下列规定：

1 制冷系统总体布置应与混凝土生产系统总体布置相结合，根据工艺流程特点，合理利用地形。

2 制冷系统宜靠近冷负荷中心布置。

3 主要车间选址应考虑风向，符合防火、防爆、卫生、交通、供配电和给排水等方面要求。

4 制冷系统以生产冷风、冷水、片冰为主，宜采用氨制冷系统。

5 混凝土骨料预冷方式应通过技术比较后确定，可采用冷水、加冰、风冷、水冷等单项或多项措施。

6.4.5 制冷系统设备选用应符合下列规定：

1 制冷厂制冷压缩机应按标准工况规模选定。

2 主要设备配置应满足预冷混凝土生产要求，适应环境温度的波动，主要设备配置还应考虑适当的负荷系数。

3 制冷系统的辅助设备应与制冷主机设计运行工况相匹配。

4 上、下工序选用设备能力应匹配，同一工序的设备型号宜一致，设备数量应适应不同预冷混凝土的生产要求，可灵活调配。

6.4.6 预热混凝土生产能力应根据低温时段混凝土浇筑高峰月强度计算。预热负荷应根据加热原材料、混凝土出机口温度、冲洗设备用水及建筑物采暖等所需热量计算确定。

6.4.7 预冷、预热系统生产工作制应与配套的混凝土生产系统相同。

6.4.8 低温季节预热系统设计时，骨料、水、水泥的初始温度应通过实测确定，设计阶段无实测数据时，可按下列规定选用：

1 当骨料由异地运来时，初始温度可取与室外温度一致；当骨料自近处露天料堆运来时，骨料初始温度可取室外计算温度的1/2。

2 水泥初温可根据室外气温、运输时间、储存条件等因素在10~15℃之间选取。

3 拌和用水初温可在2~5℃之间选取。

6.4.9 预热系统布置及工艺设计应符合下列规定：

1 混凝土预热系统设计应结合砂石加工及混凝土生产工艺进行。

2 供热设施宜靠近热负荷中心集中布置。

3 主要车间、设施布置应符合有关标准规定的防火、防爆要求。

4 混凝土原材料加热温度应根据出机口温度通过热平衡计算确定。

6.4.10 预热系统所选设备应满足预热混凝土浇筑要求，宜优先选用单机容量大的拌和设备，所选锅炉热效率高，能适应热负荷的变化。

6.5 压缩空气、供水、供电和通信系统

6.5.1 压缩空气系统宜根据用气对象的分布、负荷特点、施工进度安排及管网压力损失和管网设置的经济性等综合分析确定，可采用集中或分散供气方式。压气站规模可根据用气高峰期内同时使用的风动机械数量和额定耗气量计算或按用气负荷配置，压

缩空气需用量计算方法见附录 G. 2。

6.5.2 压气站位置宜靠近耗气负荷中心、接近供电和供水点，处于空气洁净、通风良好、交通方便、远离需要安静和防振的场所。

6.5.3 施工供水量应满足不同时期日高峰生产用水和生活用水需要，并按消防用水量进行校核。施工用水、生活用水和消防用水应满足水质、水压要求。可按附录 G. 3 的规定计算执行。

6.5.4 水源选择应符合下列规定：

1 水量充沛可靠，靠近用户。

2 满足水质要求或经过净化处理后能满足要求。

3 生产和消防用水应以河水为主要水源，生活饮用水应优先选用当地已有的水源。

4 通过经济论证采用回收的净化冷却水或其他施工废水，作为施工循环用水水源。

6.5.5 生活和生产用水宜根据水质要求、用水量、用户分布、水源、管道和取水建筑物设置等情况通过技术经济比较后选择集中或分散供水方式。

6.5.6 施工电源宜优先采用网电并具备应急的备用电源，当无网电条件时可采用自备电源，自备电源容量确定应符合下列规定：

1 用电负荷全由自备电源供给时，其容量应能满足施工用电最高负荷要求。

2 作为系统补充电源时，其容量应采用施工用电最高负荷与系统供电容量的差值。

3 事故备用电源，其容量应满足系统供电中断时工地一类负荷用电要求。

4 自备电源除应满足施工供电负荷和大型电动机起动电压要求外，尚应考虑适当的备用容量或备用机组。

6.5.7 各施工阶段用电高峰负荷宜按需要系数法计算；当资料缺乏时，用电高峰负荷可按全部工程用电设备总容量的 25%~

40%估算；当计算条件具备时，应按负荷曲线法计算分年用电量。可按附录 G.4 的方法计算。

6.5.8 供电系统中的输、配电采用的电压等级，应根据输送半径及容量确定。各级电压合理输送半径及容量参见附录 G.4.4。

6.5.9 施工通信系统宜与地方通信网络相结合。通信系统组成与规模应根据工程规模、施工设施布置，以及用户分布情况确定。有条件的工程应设置光纤通信网络系统。

6.6 机械修配厂、加工厂

6.6.1 机械修配厂宜靠近施工现场，便于施工机械和原材料运输，配有停放设备和材料的场地，宜与汽车修配厂结合设置。

6.6.2 汽车保养数量在 50~300 辆之间，宜集中设置汽车保养站。汽车数量多或工区较分散时，一级保养可分散设置，二级保养宜集中设置。

6.6.3 压力钢管加工制作场地宜根据钢管直径、管壁厚度、加工及运输条件等因素确定。大型钢管宜在工地制作；直径较小且管壁较厚的钢管可在专业工厂内加工成节或瓦片，运至工地组装。

6.6.4 木材加工厂规模宜根据工程所需原木总量、木材来源及其运输方式，锯材、构件、木模板的需要量和供应计划，场内运输条件等确定。

6.6.5 钢筋加工厂规模可按高峰月的日平均需要量确定。

6.6.6 混凝土构件预制厂规模宜根据构件的种类、规格、数量、最大重量、供应计划、原材料来源及供应运输方式等计算确定。

6.6.7 施工所用氧气宜在工程附近地区采购，当工程附近地区制氧厂供应能力不能满足或运距远、运输困难时，可在工地设制氧厂。

6.6.8 大型设备和金属结构拼装场宜靠近主要安装部位，拼装场地宜根据闸门和启闭机主要尺寸、水轮发电机类型、运输条件等因素确定。

7 施工总布置

7.1 一般规定

7.1.1 施工总布置规划应综合分析水工枢纽布置、主体建筑物规模、型式、特点、施工条件和工程所在地区社会、自然条件等因素，合理确定并统筹规划为工程服务的各种临时设施。

7.1.2 施工总布置方案应贯彻执行合理利用土地的方针，遵循施工临建与永久利用相结合、因地制宜、因时制宜、有利生产、方便生活、节约用地、易于管理、安全可靠、经济合理的原则，经全面系统比较论证后选定。

7.1.3 施工总布置规划应符合环境保护和水土保持的有关规定，处理好施工场地布局与环境保护、水土保持的关系。

7.1.4 施工场地条件具备布置不同的施工总布置方案时，应进行施工总布置方案比选，必要时应进行专题论证，施工总布置方案比选时应考虑下列因素：

1 场地平整工程量。

2 交通道路的工程量或造价指标，运输量及运输设备需用量。

3 土石方平衡计算成果及渣场规划成果。

4 风、水、电系统管线布置及主要工程量。

5 生产设施、生活营地建筑物面积和占地面积。

6 施工场地征地移民指标。

7 施工工厂设施的土建、安装工程量。

8 站场、码头和仓库装卸设备需要量。

9 其他临时建筑物工程量。

7.1.5 施工总布置方案宜采用有利于施工封闭管理的布置方案。

7.1.6 生活营地、大型工程主要施工工厂和重要临时设施的布置场地应有工程地质评价意见。

7.1.7 施工公用设施项目及规划布置应合理确定，并应明确各项公用设施范围及其分期实施面貌。

7.1.8 主要施工工厂和临时设施施工场区，防洪标准应根据工程规模、工期长短、河流水文特性等情况确定。

7.2 施工总布置及场地选择

7.2.1 施工总布置应根据施工需要分阶段逐步形成，满足各阶段施工需要，作好前后衔接。初期场地平整范围宜按施工总布置最终要求确定。

7.2.2 施工总布置应在施工导流方案、主体工程施工分区确定后，重点研究下列因素：

1 施工临时设施项目的划分、组成、规模及场地布置。

2 对外交通连接方式、主要站场位置、主要交通干线及跨河设施的布置。

3 可利用场地的相对位置、范围、高程和面积。

4 临建工程和永久设施结合的可行性。

5 前后期结合和重复利用场地的可行性。

6 供生产、生活设施布置的场地。

7.2.3 施工总布置应紧凑合理，节约用地，优先利用荒地、滩地、坡地；不占或少占耕地、林地；应避免文物古迹，避免损坏古树名木。

7.2.4 工程施工区有多处场地可以选用时，应根据可选手场地的地形、地质条件、枢纽布置特点、以分区规划为重点，结合场内外主要交通运输线路的布置、施工场地征地移民情况，经分析比较后选定施工场地。

7.2.5 工程附近场地狭窄、施工布置困难时，宜采取下列措施减少施工占地：

1 可适当利用库区场地布置前期施工临时设施。

2 可利用斜坡地形和高差布置砂石料加工系统、混凝土拌和系统，并按台阶式布置施工工厂设施、生活区等。

3 可提高临时房屋建筑层数和适当缩小间距。

4 做好施工前后期衔接，宜优先重复利用施工场地。

5 可利用弃渣填平洼地或冲沟作为施工场地，但应做好排水和防护措施。

6 结合工程场地条件，可研究采用地下布置或半地下布置。

7.2.6 施工总布置应做好土石方挖、填平衡，统筹规划弃渣场地，充分利用开挖渣料。

7.2.7 对于存在严重不良地质区或滑坡体危害的地区，泥石流、山洪、沙暴或雪崩可能危害的地区，重点保护文物、古迹、名胜区或自然保护区，与重要资源开发有干扰的区域，以及受爆破或其他因素影响严重的区域等地区，不应设置施工临建设施。

7.2.8 河道沿岸的主要施工场地，应按选定的防洪标准采取防护措施。大型工程可结合水工模型试验，论证场地防护范围。严寒地区应考虑冰冻的影响。

7.2.9 有通航要求的工程，应结合施工期临时通航设施的物资过坝规划设计，拟定码头、仓库和有关临建设施及场内外交通联系线路。

7.2.10 线型工程施工布置应以交叉建筑物、控制性建筑物为控制点分段进行布置。分段长度可按土石方平衡、工程施工特性、交通条件等确定。

7.3 施工分区规划

7.3.1 施工总布置可按功能分为下列区域：

- 1 主体工程施工区。
- 2 施工工厂区。
- 3 当地建材开采区。
- 4 工程存、弃渣场区。
- 5 仓库、站、场、码头等储运系统区。
- 6 机电、金属结构和大型施工机械设备安装场区。
- 7 施工管理及生活区。

8 工程建设管理及生活区。

7.3.2 施工分区规划布置应遵守下列原则：

1 应按对外交通运输方案，拟定场内、外交通连接方式，拟定车站、码头和各施工区的位置，并确定场内永久交通主干线走向。

2 应根据建筑物布置、施工导流特点和当地建筑材料产地，以及工程主要土石方和混凝土运输流向，结合场地分布情况拟定场内主要交通干线。

3 以混凝土建筑物为主的枢纽工程，施工区布置宜以砂石料开采、加工、混凝土拌和、浇筑系统为主；以当地材料坝为主的枢纽工程，施工区布置宜以土石料开采、加工、堆料场和上坝运输线路为主。

4 机电设备、金属结构安装场地宜靠近主要安装地点。

5 施工管理及生活区应设在主体工程施工区、施工工厂和仓库区的适中地段。

6 工程建设管理区宜结合生产运行和工程建设管理需要统筹规划，场地应具有良好的外部环境，且交通方便，避免施工干扰。

7 主要物资仓库、站（场）等储运系统宜布置在场内外交通干线连接处或沿线，并能满足主体工程施工需要。外来物资的转运站远离施工区时，应按独立系统设置仓库、堆场、道路、管理及生活设施。

8 施工管理及生活营区的布置应考虑风向、日照、噪声、水源水质等因素，其生活设施与生产设施之间应有明显的界限。

9 施工分区规划应考虑施工活动对周围环境的影响，减少噪声、粉尘、振动、污水等对办公及居住区、变电站、水厂等的危害。

10 火工材料、油料等特种材料仓库布置应符合国家有关安全标准的规定。

11 施工工厂、站场和仓库的建筑标准应满足生产工艺流

程、技术要求及有关安全规定，宜采用定型化、标准化和装配式结构。

7.3.3 施工分区规划中各施工区房屋建筑面积和占地面积的确定应遵循下列原则。

1 施工工厂区建筑面积和占地面积由施工工厂设计确定。

2 各种仓库、堆料的储存量以及建筑面积、占地面积按附录 H 计算确定，或按同类工程经验类比确定。

3 施工管理及生活区房屋建筑面积根据工程规模，宜按施工总进度施工高峰年平均人数乘人均建筑面积综合指标计算，人均建筑面积综合指标可取 $12 \sim 15\text{m}^2/\text{人}$ 。占地面积按附录 H 确定。

4 工程建设管理及生活区房屋建筑面积与占地面积应根据工程规模、建设工期、建设管理模式等，分析确定。

7.4 施工场地防洪与排水

7.4.1 沿河道（溪、沟）两岸主要施工工厂设施和临时设施的防洪标准应根据工程规模、工期长短、河流水文特性等情况，分析不同标准洪水对其危害程度，在 5~20 年重现期范围内采用。主要生活区和重要的施工工厂防洪标准应采用上限值。

7.4.2 河道沿岸的主要施工场地，防护措施应按选定的防洪标准确定，大型工程场地防护范围可根据永久工程水力学模型试验论证。可利用库区场地布置前期施工临时建筑工程，但应分析施工期水位情况，施工场地高程不应低于防洪标准的洪水水位，并考虑回水、风浪、冰凌、坍岸等的影响，松软地基应考虑浸没影响。在库区初期蓄水位以下，不宜布置后期还需使用的设施。

7.4.3 存、弃渣场防洪标准选择应符合下列规定：

1 工程施工期临时堆存有用料的存渣场防洪标准，应根据渣场的位置、规模及渣料回采要求等因素，在 5~20 年重现期内选用。

2 库区死水位以下的渣场防洪标准，应根据渣场规模、河

道地形与水位变化以及失事后果等因素，在 5~20 年重现期内选用。若蓄水前渣场使用时间较长，经论证可提高渣场防洪标准。

3 工程永久性弃渣场防洪标准，应根据渣场位置、规模、地形条件、周围环境以及失事后的危害程度等因素确定，其防洪标准应按 SL 575 和 GB 51018 确定。

7.4.4 施工场地排水设计应遵守下列原则：

1 场内排水系统应统一协调规划，保证畅通，衔接合理。应符合高水高排、低水低排、多自排、少抽排的原则。

2 应根据防洪标准、暴雨标准、工程地形、水文、气象因素及环境保护要求，划分排水区域、计算各排水区排水量、选定排水方式。

3 场地地表雨水排除的地面坡度不宜小于 3‰，湿陷黄土地区不宜小于 5‰，建筑物周围场地坡度宜大于 2‰。

4 宜采取截排方式避免较大溪沟水流进入基坑。

5 排水建筑物的型式、断面和尺寸应满足过水、消能防冲要求，还应考虑清淤条件。特殊地区应考虑冰冻和泥石流影响。

6 开挖、填筑的坡面排水需设置截水、排水设施，并引至主排水系统。

7.4.5 渣场、场平等填方区排水设计应遵守下列原则：

1 填方应稳定安全。填方底部宜设置反滤排水设施。

2 排水可采用隧洞、涵洞、竖井、明渠或组合方式。

3 排水线路宜布置在坚实的地基上，水流衔接顺畅，需要时可采用沿线消能措施。

4 进水口应保证收集主要水流，出水口应与天然沟渠衔接并设置消能防冲设施。

7.5 土石方平衡及渣场规划

7.5.1 土石方平衡应遵守下列原则：

1 应根据工程开挖区的地形地质条件、开挖料的质量特性和工程建筑材料的技术要求，填筑料和混凝土骨料来源宜利用建

筑物开挖料。

2 开挖料宜直接利用，减少存放周转渣料数量。

3 应合理规划存、弃渣场，使填筑料和弃渣料运输顺畅、运距短。

4 应合理确定弃渣松散系数和填筑料压实系数，以及工程总弃渣量和利用料量。

5 应根据开挖利用料来源和施工特点，考虑施工作业损耗。

7.5.2 渣场分为可用料临时堆存的存渣场和废弃料永久堆存的弃渣场，渣场选址及各渣场的堆存量应结合土石方平衡进行。渣场选址应遵守下列原则：

1 应满足环境保护、水土保持要求和当地城乡建设规划要求。

2 存渣场应便于渣料回采，减少反向运输。

3 弃渣场宜靠近开挖作业区的山沟、山坡、荒地、河滩等地段，不占或少占耕（林）地，地基承载力满足堆渣要求。

4 渣场布置宜避开天然滑坡、泥石流、岩溶、涌水等地质灾害区。

5 有条件时弃渣场可选在水库死库容以下，但不得妨碍永久建筑物的正常运行。

6 利用下游河滩地作堆弃渣场时，不得影响河道正常行洪、航运和抬高下游水位。

7 应考虑场内交通、渣料来源等因素。

7.5.3 渣场规划应遵守下列原则：

1 存渣与弃渣应分开堆存，存、弃渣场容量应适当留有余地。

2 存、弃渣场规划利用同一场地时，宜遵循下部弃渣、上部存料的原则。

3 应按堆存料的性状确定分层堆置的台阶高度和稳定边坡，保持堆存料的形体稳定。

4 应结合施工总进度要求提出渣场运行程序，设置渣场临

时排水或永久排水设施。

5 存、弃渣场周边应设置导、排水与挡（截）水设施。

6 应及时进行渣场封闭，利用渣场作为施工场地或进行绿化、造地。

7.6 施工用地

7.6.1 施工用地规划应遵照科学、合理、节约、集约用地、便于建设期和运行期管理、方便施工的原则。

7.6.2 施工用地宜相互靠近连片规划，避免小块交错穿插。

7.6.3 施工用地范围应根据场地条件、施工总布置、用地性质、使用时限、征地补偿及移民安置等综合分析确定，并应考虑与地方区划、建设和交通现状及发展规划相结合，宜结合利用，减少矛盾。

7.6.4 施工用地分为施工临时用地和永久用地。施工临时用地与永久用地应统筹规划，工程建设中应优先规划使用永久用地，并宜使临时用地和永久用地相结合。

7.6.5 工程永久用地应按 SL 106 及有关规定确定。

7.6.6 施工临时用地宜以施工临时设施外轮廓线为基础，考虑安全、维修、施工影响、便于管理等因素确定。

7.6.7 取料场和弃渣场等用地应优先复垦，并列为临时用地；不能或难以复垦的土地，可列为永久用地。

8 施工总进度

8.1 一般规定

8.1.1 工程建设工期应根据工程特点、工程规模、技术难度，施工组织管理水平和施工机械化程度确定。

8.1.2 工程建设全过程可划分为工程筹建期、工程准备期、主体工程施工期和工程完建期四个施工时段。编制施工总进度时，工程施工总工期应为后三项工期之和。工程建设相邻两个阶段的工作可交叉进行。

1 工程筹建期：主体工程开工前，为主体工程施工具备进场开工条件所需时间，其工作内容宜为对外交通、施工供电和通信系统、征地补偿和移民安置等工作。

2 工程准备期：准备工程开工起至关键线路上的主体工程开工或河道截流闭气前的工期，其工作内容宜包括场地平整、场内交通、施工工厂设施、必要的生活生产房屋建设以及实施经批准的试验性工程等。根据确定的施工导流方案，工程准备期内还应完成必要的导流工程。

3 主体工程施工期：自关键线路上的主体工程开工或河道截流闭气开始，至第一台机组发电或工程开始发挥效益为止的工期。

4 工程完建期：自水利水电工程第一台发电机组投入运行或工程开始发挥效益起，至工程完工的工期。

8.1.3 编制施工总进度应遵守下列原则：

1 应遵守基本建设程序。

2 宜采用国内平均先进施工水平合理安排工期；地质条件复杂、气候条件恶劣或受洪水制约的工程，工期安排宜适当留有余地。

3 应做到资源（人力、物资和资金等）均衡分配。

4 单项工程施工进度应与施工总进度相互协调，各项目实施工程序应前后兼顾、衔接合理、干扰少、施工均衡。

5 在保证工程施工质量、施工总工期的前提下，应充分发挥投资效益。

6 应确保工程项目的施工在安全、连续、稳定、均衡的状态下进行。

7 应研究工程分期建设、降低初期建设投资、提前发挥效益的合理性。

8.1.4 施工总进度应突出关键工程、重要工程、技术复杂工程，明确准备工程起点时间，明确截流、下闸蓄水、第一台（批）机组发电或工程发挥效益和工程完工日期。控制施工进度的重要关键节点（导流工程、坝肩开挖、截流、主体工程开工、工程度汛、下闸蓄水、工程投产运行等）应具备的条件，在施工进度设计文件中应予以明确。

8.1.5 施工总进度的表示形式应采用横道图或网络图。

8.1.6 在枢纽布置、建筑物型式和施工导流等方案比较中，应进行各方案控制性进度的比较。大、中型工程的施工总进度编制可利用网络计划技术，分析优化资源配置、施工强度、工期、关键线路。

8.2 筹建工程及准备工程施工进度

8.2.1 桥梁、隧洞等对外交通工程，以及地下工程施工通道，宜优先安排在施工筹建期或准备期内建设，并分析确定投入使用的时间。

8.2.2 场内交通主干线宜在施工准备期内建设，并确定场内交通主干线投入使用时间。其他场内施工道路的建设应与所服务的主体工程施工进度协调安排。

8.2.3 应根据主体工程施工进度要求确定砂石系统、混凝土生产及预冷（热）系统投入正常运行的建设时间，宜创造条件提前建设。

8.2.4 场地平整、施工供电系统、施工供水系统、施工供风系统、场内通信系统、施工工厂设施、生活和生产房屋等准备工程的建设应与所服务的主体工程施工进度协调安排，施工工期宜结合类似工程经验、工程实际情况和有关规定等分析确定。

8.3 导流工程施工进度

8.3.1 导流工程施工进度应根据确定的施工导流方案，对导流工程的开工、截流、下闸、封堵等控制节点进行充分论证，对控制工程发挥效益的导流工程应尽早安排施工，并与其他准备工程施工期相协调。

8.3.2 一次拦断河床施工导流工程宜安排在施工准备期内进行，若为关键工程则应根据工程需要提早安排施工。

8.3.3 分期导流的一期导流工程宜安排在施工准备期内进行。一期围堰拆除进度应与后续围堰施工相协调。

8.3.4 河道截流宜安排在枯水期或汛后期进行，不宜安排在封冻期和流冰期，截流时间应根据围堰施工时段和安全度汛要求、所选时段各月或旬平均流量分析确定。

8.3.5 围堰工程应在非汛期内达到设计要求的面貌。围堰施工强度应遵守下列原则：

1 应满足围堰施工工期以及围堰各月施工最低控制高程的要求，且强度均衡。

2 心墙（或斜墙）土石围堰的填筑强度应与心墙（或斜墙）的上升速度相协调。

3 混凝土围堰的平均升高速度与堰型、浇筑仓面数量、浇筑高度、浇筑设备能力等因素有关，应通过浇筑仓面安排或工程类比确定。

8.3.6 采用过水围堰导流方案时，应分析围堰过水期限及过水前后对工期的影响，在多泥砂河流上应考虑围堰过水后清淤所需工期。

8.3.7 基坑初期排水应在围堰水下防渗设施完成之后进行。基

坑初期排水时间应根据围堰边坡稳定允许的基坑降水速度与基坑水深确定。对土石围堰、覆盖层地基或软岩地基，应控制基坑水位下降速度，以保证基坑边坡安全。

8.3.8 挡水建筑物施工工期临时度汛时段应根据施工进度安排确定，度汛时段前挡水建筑物满足设计度汛洪水标准要求的施工面貌应通过论证确定。

8.3.9 导流泄水建筑物封堵时段宜选在汛后，封堵时间应根据河流水文特性、施工难度、水库蓄水及下游供水要求等因素综合分析确定。如汛前或汛期封堵，应进行充分论证，并采取保证工程安全度汛的措施。

8.3.10 水库下闸蓄水时间应与导流泄水建筑物的封堵计划、工程发挥效益计划统一考虑，结合水文资料、库容曲线和水库蓄水利时曲线等资料综合分析确定，并应遵守下列原则：

1 应与蓄水有关的工程项目施工进度和导流工程的封堵计划相协调。

2 应满足库区征地、移民和清库、环境保护的要求。

3 应考虑蓄水后的防洪标准、泄洪与度汛措施等的要求。

4 应满足下游供水、灌溉及通航的要求。

5 应分析利用围堰挡水发电或工程发挥效益的可能性。

8.4 土石方明挖工程施工进度

8.4.1 土石方明挖宜根据开挖规模、岩土级别、枢纽布置、出渣道路及施工方案等分析计算开挖强度及相应的工期，并应根据下列因素确定：

1 排水和降水措施。

2 土方渠道及沟槽开挖规模，边坡稳定条件等。

8.4.2 石方明挖施工工期应根据开挖规模、岩体强度、施工方法、施工机械及出渣道路布置等确定。

8.4.3 坝基、河床式厂房地基等的岸坡开挖，可安排与导流工程平行施工，宜在河道截流前完成。河床基础开挖可安排在围堰

闭气和基坑排水后进行。

8.4.4 利用工程开挖料填筑坝体或加工骨料时，开挖施工进度宜与其需求相协调，提高直接利用率。

8.4.5 土料开采强度和工期应根据开采规模、开挖方法、施工机械、施工临时道路、水文地质条件等因素确定。土料场开采宜避开雨季。

8.4.6 砂砾石料场开采进度应根据地形、地质条件、枢纽布置、导流方式、施工条件和施工总进度要求等综合确定。汛期和冰冻期不宜安排水下砂砾料的开采。

8.4.7 石料场开采进度应根据地形、地质条件、施工方案和施工总进度要求等综合确定。

8.4.8 用于加工骨料的石料开采施工工期，应根据骨料的粒径与级配、开挖规模、岩体性质、施工方法、施工设备数量及性能、道路与骨料使用强度等情况确定。

8.4.9 边坡支护应随着边坡的开挖适时进行。

8.5 地基处理工程施工进度

8.5.1 地基处理工程进度应根据地质条件、处理方案、工程量、施工程序、施工水平、设备生产能力和总进度要求等因素研究确定。地质条件复杂、技术要求高、对总工期起控制作用的地基处理，应分析论证对施工总进度的影响，合理安排工期。

8.5.2 两岸岸坡有地质缺陷的坝基，施工工期应根据地基处理方案确定，当处理部位在坝基范围以外或地下时，可考虑与坝体浇筑（填筑）同时进行，并应在水库蓄水前按设计要求处理完毕。

8.5.3 不良地质地基处理宜安排在建筑物覆盖前完成。固结灌浆时间可与混凝土浇筑交叉作业，固结灌浆宜在混凝土浇筑 1~2 层后进行，经过论证也可在混凝土浇筑前进行。帷幕灌浆应在本坝段和相邻坝段固结灌浆完成后进行，并应在蓄水前完成。帷幕灌浆宜在坝基混凝土浇筑面或廊道内进行，不占直线工期。

8.5.4 防渗墙施工工期应根据总工期要求，经分析论证或工程经验类比确定。

8.5.5 地基加固处理的施工进度应根据地基情况、地基处理方案等确定。

8.6 土石方填筑工程施工进度

8.6.1 应根据导流与安全度汛要求，研究坝体的拦洪方案，论证上坝强度，确定大坝分期填筑高程。

8.6.2 土石坝填筑强度拟定应遵守下列原则：

1 应满足总工期以及各阶段或历年度汛的工程形象要求。

2 各期填筑强度宜均衡，月高峰填筑量与填筑总量比例相协调。

3 坝面填筑强度应与料场合格料的出料能力、运输能力及坝面面积、碾压设备能力相协调。

8.6.3 土石坝填筑有效施工工日应根据水文、气象条件分析确定。雨天停工标准可按附录 I 中 I.0.1 选用。

8.6.4 对于过水土石坝应分析坝体过水后恢复正常施工所需的时间，并应论证在设计要求的过水时间之前完成坝体防护工程施工。

8.6.5 土质心墙坝、土质斜墙坝和均质土坝的上升速度，应根据导流设计、施工总进度安排、施工方法综合分析比较后选定。

8.6.6 土质心墙和土质斜墙土石坝的上升速度应按其心墙或斜墙的上升速度控制，心墙、斜墙施工速度应根据材料特性、有效工作日、工作面、施工工艺、压实设备性能和压实参数等因素确定。心墙应同上、下游反滤料及部分坝壳料平起填筑。

8.6.7 沥青混凝土心墙坝体填筑进度应与沥青混凝土心墙施工进度相适应，沥青混凝土斜墙应在坝体填筑完成，并满足坝体沉降要求后，再进行施工。

8.6.8 混凝土面板堆石坝施工应合理安排面板施工时间，减小面板施工和坝壳填筑等相互干扰。混凝土面板施工前，相应坝体

应安排有一定的沉降期。

8.6.9 堤防、护岸、护坡等工程宜分期分段施工，平衡施工强度，保证施工进度，满足度汛要求。

8.6.10 碾压式土石坝填筑期的月不均衡系数宜小于 2.0。

8.7 混凝土工程施工进度

8.7.1 混凝土工程施工进度应根据下列因素确定：

- 1 当地自然条件、地形条件、施工导流与度汛方案。
- 2 混凝土生产系统生产能力、水平及垂直运输条件和能力。
- 3 浇筑能力及温度控制要求等。

8.7.2 在安排混凝土施工进度时，应分析有效工作天数，大型工程经论证后若需加快浇筑进度，可考虑在冬季、雨季、夏季采取确保施工质量的措施后施工。混凝土浇筑的月工作日数可按 25d 计。对控制直线工期的工作日数，宜将气象因素影响的停工天数从设计日历数中扣除。气象因素影响停工标准可按附录 I 中 I.0.2 和 I.0.3 的规定执行。

8.7.3 常态混凝土的平均升高速度应根据坝型、浇筑块数量、浇筑块高度、浇筑设备能力以及温度控制要求等因素确定，宜通过浇筑排块或工程类比分析确定。

8.7.4 碾压混凝土平均升高速度应综合分析仓面面积、铺筑层厚度、混凝土生产和运输能力、浇筑能力、温度控制、防渗结构等因素后确定。

8.7.5 混凝土坝施工期历年度汛高程与工程面貌应按施工导流要求确定。

8.7.6 混凝土的接缝灌浆进度（包括厂坝间接缝灌浆）应满足施工期度汛与水库蓄水安全要求。

8.7.7 在开挖与混凝土浇筑平行作业时，爆破开挖对已浇筑或新浇筑混凝土不应产生有害影响。

8.7.8 厂房混凝土浇筑平均上升速度应根据下列因素，经浇筑排块或工程类比确定：

1 厂房型式、浇筑块、浇筑高度、浇筑能力及温度控制要求。

2 机电设备、金属结构及埋件安装工序要求。

3 安装间形成时间、桥机安装完成时间的要求。

8.7.9 高强度混凝土、抗磨蚀混凝土、硅粉混凝土、纤维混凝土、水下混凝土、泵送混凝土等，施工进度可按概算台时定额、机械效率分析或工程类比确定。

8.7.10 沥青混凝土心墙施工安排时，与岸坡结合部位宜先施工，并始终使该部位领先一个升层。沥青混凝土不宜在夜间施工。

8.7.11 混凝土浇筑期的月不均衡系数：大型工程宜小于 2.0，中型工程宜小于 2.3。

8.8 地下工程施工进度

8.8.1 地下工程施工进度应统筹兼顾开挖、支护、浇筑、灌浆、金属结构、机电安装等工序。

8.8.2 地下工程可全年施工。施工程序和洞室、工序间衔接和合理工期应根据工程项目规模、地质条件、施工方法及设备配套，采用关键线路法确定。

8.8.3 地下工程月进尺指标可根据地质条件、施工方法、施工设备性能、工作面和交通条件等情况，经分析计算或工程类比确定。对于关键线路上的主要洞室，应进行循环作业进尺分析。

8.8.4 钻爆法开挖进尺可按循环作业时间进行分析和工程类比确定。钻爆法施工循环作业时间应包含施工准备、测量放样、钻孔、起爆、通风散烟、清理危石、出渣运输、一次支护各工序作业时间。钻爆法施工每循环的炮孔深度应根据洞室的围岩条件、断面尺寸和钻孔机械的性能确定。

8.8.5 掘进机开挖进度，可根据单位进尺、每天掘进时间和每月掘进天数，以及地质条件、掘进机的类型和工程类比分析确定。

8.8.6 临时安全支护与开挖应遵守下列原则：

1 支护与开挖的间隔时间、施工顺序及相隔距离，应根据地质条件、爆破参数、支护类型等因素确定，应在围岩出现有害松弛变形之前支护完成。

2 稳定性差的围岩，支护应紧跟开挖工作面或爆破后立即支护顶拱。

8.8.7 隧洞混凝土衬砌施工进度，可按每浇筑段时间分析和工程类比确定。隧洞混凝土衬砌浇筑施工进度控制指标应通过循环作业进尺分析确定；衬砌浇筑循环作业时间应包括施工准备、架设钢筋、支模、浇筑混凝土、混凝土养护、拆模各工序作业时间。

8.8.8 地下厂房混凝土浇筑施工进度宜通过浇筑分层、排块安排或工程类比分析确定，二期混凝土浇筑在时间上应与水轮发电机组埋件安装时间相协调。

8.8.9 隧洞混凝土衬砌段的灌浆，应按先回填灌浆、后固结灌浆、再帷幕灌浆的顺序进行。回填灌浆应在衬砌混凝土达到70%设计强度后进行，固结灌浆宜在该部位回填灌浆后7d后进行。

8.9 金属结构及机电安装施工进度

8.9.1 金属结构及机电安装施工进度应协调与土建工程施工的交叉衔接，应满足防洪、供水、灌溉、航运、发电等要求。控制金属结构及机电安装进度的土建工程交付安装的时间应逐项确定。

8.9.2 处于关键线路上的金属结构及机电安装工程进度应在施工总进度中逐项确定。

8.9.3 压力钢管安装施工进度，应根据大坝、引水系统、厂房混凝土浇筑方案和施工总进度进行编制。

8.9.4 闸门、拦污栅及启闭机安装应遵守下列原则：

1 应协调与土建工程施工的交叉衔接，逐项确定控制金属

结构安装进度的土建工程交付安装时间。

2 应考虑土建工程与金属结构安装施工工序的安排，确定金属结构安装的时机。

3 导流封堵闸门的安装进度，应结合施工导流方案和施工总进度编制。

4 闸门的安装进度，应结合溢洪道、大坝、进水口、发电厂房等施工进度安排，并考虑工程度汛、通航、蓄水进度确定。

8.9.5 机组设备安装进度编制应考虑机组容量、结构特点、施工环境、运输条件、安装场地、设备制造质量、施工装备、资源供应、管理水平和技术能力等因素。

8.9.6 水轮发电机组安装进度，应根据机组安装次序、机组规模、结构型式安排机组调试和试验时间确定。

8.9.7 辅助设备及管路安装进度，应以土建施工和主机设备安装进度为依据，协同平衡，均衡施工，满足机电安装进度要求，避免占用直线工期。

9 施工劳动力及主要技术供应

9.1 一般规定

9.1.1 施工劳动力、主要施工设备数量、主要材料总需要量及分年需要量，应根据资源优化后的施工总进度确定。

9.1.2 施工劳动力配置应根据工程施工条件和施工方法经综合分析后确定。

9.1.3 主要材料来源应通过市场调查，宜就近供应。材料消耗指标可按现行行业定额计算，当有可靠的试验资料时，应以试验指标为准。

9.2 施工劳动力

9.2.1 直接生产人员应根据施工总进度，按分年、分月及分项工程分别计算。

9.2.2 直接生产人员配备宜在设备选择配套基础上，按工作面、工作班制及施工方法，以混合工种结合国内平均先进施工水平进行劳动力优化组合后进行计算，并确定各年平均生产人数和施工总工期内平均生产人数。也可以定额为基础，结合现有生产效率水平进行劳动力分析计算。

9.2.3 间接生产人员应根据施工设施运行维护和生产规模确定；场内主要交通道路运行维护、场外交通运输及仓库系统（包括转运站）搬运及值班人员，可按定额或通过工程类比分析计算，并据此计算各年平均生产人数和施工总工期内平均生产人数。

9.2.4 应根据直接生产人员和间接生产人员计算结果，计算各年平均、施工总工期平均及施工高峰期年平均的生产人员总数。

9.2.5 施工总人数应包括生产人员总数、管理人员和缺勤人员。管理人员可按生产人员总数的5%~8%取值，大型工程宜取低值，小型工程可视具体情况分析取值；缺勤人员可按生产人员和

管理人员数之和的 4%~6%取值。

9.2.6 施工总工日数可按施工总工期内平均劳动力数量乘各年有效工作日求得。

9.3 主要技术供应

9.3.1 应根据工程施工总进度，确定工程所需主要建筑材料分年度供应期限和数量，提出主要材料分年度供应计划表。

9.3.2 应根据工程施工总进度，确定主要设备分年需要量，并按照设备名称、规格、数量及使用期限进行汇总。

附录 A 施工组织设计工作的 依据和所需资料

A.0.1 施工组织设计工作应按下列依据进行：

- 1 SL 619《水利水电工程初步设计报告编制规程》。
- 2 可行性研究报告及审批意见、上级单位对本工程建设的要求或批件。
- 3 工程所在地区有关基本建设的法规或条例、地方政府、业主对本工程建设的要求。
- 4 国民经济各有关部门（铁道、交通、林业、灌溉、旅游、环境保护、城镇供水等）对本工程建设期间有关要求及协议。
- 5 当前水利水电工程建设的施工装备、管理水平和技术特点。
- 6 工程所在地区和河流的自然条件（地形、地质、水文、气象特征和当地建材情况等）、施工电源、水源及水质、交通、环境保护、旅游、防洪、灌溉、航运、供水等现状和近期发展规划。
- 7 当地城镇现有修配、加工能力，生活、生产物资和劳动力供应条件，居民生活、卫生习惯等。
- 8 施工导流及通航等水工模型试验、各种原材料试验、混凝土配合比试验、重要结构模型试验、岩土物理力学试验等成果。
- 9 工程有关工艺试验或生产性试验成果。
- 10 勘测、设计各专业有关成果。

A.0.2 施工组织设计所需资料见表 A.0.2。

A.0.2 施工组织设计所需资料

序号	内容	所需资料
1	施工导流	<p>(1) 工程所在河段水文资料、洪水特性、各种频率的流量及洪量、水位流量关系、冬季冰凌情况（北方河流）、施工区各支沟各种重现期洪水、泥石流，以及上下游水利水电工程的影响情况。</p> <p>(2) 工程地点的气温、水温、地温、降水、风、冻层、冰情和雾等气象资料。</p> <p>(3) 工程地点的地形、地质等资料。</p> <p>(4) 枢纽布置图、水工建筑物结构图、泄流能力曲线、水库特性水位及主要水能指标、水库蓄水分析计算、施工期的水库淹没资料等规划设计资料。</p> <p>(5) 工程所在河段的通航资料。</p> <p>(6) 有关试验资料。</p> <p>(7) 有关社会经济调查和其他资料</p>
2	料源选择与料场开采	<p>(1) 天然建筑材料勘察报告，包括各类天然建筑材料料源的分布、位置、储量、质量、开采及运输条件等。</p> <p>(2) 1/2000~1/500 料场地形图、综合平面图、地质剖面图。</p> <p>(3) 专项试验报告，包括爆破试验、破碎试验、混凝土性能试验、骨料碱活性试验、碾压试验等。</p> <p>(4) 施工总布置及施工交通运输等有关图纸资料</p>
3	主体工程施	<p>(1) 工程地点的气温、水温、地温、降雨、风、冻层、冰情和雾等实测资料和统计分析成果；地形图、工程地质和水文地质平、剖面图，各种数据指标和地质报告。</p> <p>(2) 施工对象的结构特征，布置型式、尺寸。分部位、分高程的细部工程量和平、剖面图。开挖影响范围内的已有建筑物的抗震和安全要求。</p> <p>(3) 施工导流、施工总进度、施工总布置和各类施工工厂等有关图纸资料。</p> <p>(4) 施工所需的原材料、成品、半成品的有关试验数据、指标；各种新材料、新工艺、新技术、新设备的生产性试验或现场试验成果。</p> <p>(5) 有关施工方法的生产人员配备、施工设备的各种性能指标及实践中的生产能力。</p> <p>(6) 环境保护与水土保持方面的要求</p>

A. 0. 2 (续)

序号	内容	所需资料
4	施工交通运输	<p>(1) 与交通运输线路有关的气象、水文资料和地形地质资料。</p> <p>(2) 铁路运输：</p> <p>1) 拟与接轨的铁路线及其车站的技术条件、车流情况、运输能力、机车、车辆修理设施规模；</p> <p>2) 现有桥梁、隧道的极限通过限界；</p> <p>3) 当地铁路有关部门对该地区的铁路规划和接轨要求；</p> <p>(3) 公路运输：</p> <p>1) 工程附近可利用的公路情况，如等级及技术指标、交通量、路况等；</p> <p>2) 桥涵、隧道等构筑物设计标准、规模、结构型式、通行能力和通行限制等；</p> <p>3) 公路规划、有关承运单位能力及费率等。</p> <p>(4) 水路运输：</p> <p>1) 港口、码头及航道的基本情况，如航道等级、运输里程、船舶技术资料、港口、码头起重及吞吐能力等；</p> <p>2) 利用现有港口、码头的可能性及新建专用码头的地点和要求；</p> <p>3) 有关部门对航运的规划情况</p>
5	施工工厂设施	<p>(1) 工程建设地点及附近可能提供的施工场地情况，工厂所在地区的交通布置图，料场和工厂区地形图，厂址区水文、地质及气象资料等。</p> <p>(2) 施工总布置图、施工总进度表、主要混凝土工程的施工方法、对外交通和工地运输方案等有关图纸资料。</p> <p>(3) 当地可能提供的修理能力和加工能力。</p> <p>(4) 建筑材料的来源和供应条件调查资料。</p> <p>(5) 施工区水源、电源情况及供应条件。</p> <p>(6) 温度控制设计的有关成果</p>

A. 0. 2 (续)

序号	内容	所需资料
6	施工总布置	<p>(1) 当地国民经济现状及其发展前景。</p> <p>(2) 可为工程施工服务的建筑、加工制造、修配、运输等企业的规模, 生产能力及其发展规划。</p> <p>(3) 现有公路、铁路、水运、航空运输条件和通过能力, 及其近远期发展规划。</p> <p>(4) 水、电以及其他动力供应条件。</p> <p>(5) 邻近城、镇现状和近期发展规划。</p> <p>(6) 当地建筑材料及生活物资供应情况。</p> <p>(7) 工程区土地利用状况、有关规划和征地有关问题。</p> <p>(8) 工程区有无自然生态系统需要重点保护的珍稀、濒危野生动植物以及自然与人文遗迹; 地方环境保护、水土保持部门对工程建设提出的有关要求。</p> <p>(9) 工程所在地区行政区划图, 施工现场 1/2000~1/5000 地形图。</p> <p>(10) 工程区内的工程地质与水文地质资料。</p> <p>(11) 河流水文资料, 当地气象资料。</p> <p>(12) 规划、设计各专业设计成果或中间资料。</p> <p>(13) 当地及各有关部门对工程施工的要求。</p> <p>(14) 主要工程项目定额、指标、单价、运杂费率等</p>
7	施工总进度	<p>(1) 规划、设计各专业设计成果或中间资料。</p> <p>(2) 工程建设地点的对外交通现状及近期发展规划。</p> <p>(3) 施工期 (包括初期蓄水期) 通航和下游用水要求等情况。</p> <p>(4) 建筑材料的来源和供应条件调查资料。</p> <p>(5) 施工区水源、电源情况及供应条件。</p> <p>(6) 地方及各部门对工程建设期的要求和意见。</p> <p>(7) 当地可能提供加工、修理能力的情况。</p> <p>(8) 当地承包市场及可能提供的劳动力情况。</p> <p>(9) 当地可能提供的生活必需品的供应情况, 居民的生活习惯。</p> <p>(10) 工程所在河段水文资料、洪水特性、各种频率的流量及洪量、水位流量关系、冬季冰凌情况 (北方河流)、施工各支沟各种频率洪水、泥石流以及上下游水利水电工程对本工程的影响情况。</p> <p>(11) 工程地点的地形、地质、水文工程地质条件等资料。</p> <p>(12) 工程地点的气温、水温、地温、降水、风、冻层、冰情和雾等气象资料。</p> <p>(13) 与工程有关的国家政策、法律和规定</p>

附录 B 导流标准确定的风险度分析法

B.0.1 应根据设计资料，考虑水文、水力等不确定性因素的影响，分析上游围堰高程与上游设计水位的关系，判断围堰是否满足度汛要求，可采用 Monte - Carlo 方法模拟施工洪水过程和导流建筑物泄流能力。在围堰施工设计规模和一定的导流标准条件下，统计分析确定围堰上游水位分布和围堰的挡水高度对应的风险。围堰堰前水位超过围堰设计挡水位的风险率应按公式 (B.0.1) 计算：

$$R = P(Z_{\text{up}} \geq H_{\text{upcoffer}}) \quad (\text{B.0.1})$$

式中 Z_{up} ——上游围堰堰前水位；

H_{upcoffer} ——上游围堰设计挡水位。

B.0.2 当量洪水重现期应按公式 (B.0.2) 计算：

$$T_e = 1/R \quad (\text{B.0.2})$$

B.0.3 导流建筑物泄流能力对应的当量洪水重现期 T_e 大于或等于设计洪水重现期（或导流标准）。

B.0.4 在围堰使用运行年限内， n 年内遭遇超标洪水的动态综合风险率 $R(n)$ 应按公式 (B.0.4) 计算：

$$R(n) = 1 - (1 - R)^n \quad (\text{B.0.4})$$

B.0.5 由于水文资料的收集、整理和设计洪水过程线推求结果与实际洪水过程之间的偏差，施工设计洪水可根据坝址的实测水文资料，按放大典型洪水过程线方法确定计算洪水过程线，最大洪峰流量均值可采用 $P - \text{III}$ 型分布，其密度函数可按公式 (B.0.5-1) ~ 公式 (B.0.5-4) 计算：

$$f(Q_1) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (Q_1 - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(Q_1 - a_0)} \quad (\text{B.0.5-1})$$

$$\alpha = \frac{4}{C_s^2} \quad (\text{B.0.5-2})$$

$$\beta = \frac{2}{\mu_Q C_v C_s} \quad (\text{B. 0. 5 - 3})$$

$$\alpha_0 = \mu_Q \left(1 - \frac{2C_v}{C_s} \right) \quad (\text{B. 0. 5 - 4})$$

式中 Q_1 ——最大洪峰流量；

α 、 β 、 α_0 —— P -Ⅲ型分布的形状、刻度和位置参数；

C_s —— P -Ⅲ型分布的离差系数；

C_v —— P -Ⅲ型分布的离势系数；

μ_Q —— P -Ⅲ型分布的均值。

$\Gamma(\alpha)$ —— α 的伽玛参数。

B. 0. 6 在施工导流泄洪建筑物及其规模确定的情况下，受围堰上游水位和泄流建筑物流量系数等水力参数的不确定性影响，导流建筑物的泄洪量可采用三角分布，其分布函数可按公式(B. 0. 6)计算：

$$F(Q_2) = \begin{cases} \frac{2(Q_2 - Q_a)}{(Q_b - Q_c)(Q_c - Q_a)} & Q_a \leq Q_2 \leq Q_b \\ \frac{2(Q_c - Q_2)}{(Q_c - Q_a)(Q_c - Q_b)} & Q_b < Q_2 \leq Q_c \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (\text{B. 0. 6})$$

式中 Q_2 ——导流建筑物的泄洪量；

Q_a ——泄洪能力下限；

Q_b ——平均泄洪能力；

Q_c ——泄洪能力上限。

Q_a 、 Q_b 、 Q_c 参数通过导流建筑物施工及其运行的统计资料确定。

B. 0. 7 其他随机性因素可按下列方法确定：

1 典型洪水过程线确定与水文资料的收集、整理和选择密切相关。在分析导流系统风险时，应以各典型洪水过程线为基础分别计算，选择最不利的情况作为围堰挡水风险分析的依据。

2 应考虑由于工程测量、计算以及围堰上游库区的坍塌等自然因素引起围堰上游库容与水位之间关系的不确定性。

3 上游围堰起调水位也是影响调洪计算的重要因素。应通过水位计算的敏感性分析确定上游围堰调洪起调水位对调洪计算结果的影响。

B.0.8 水利水电工程施工导流的风险受到来流洪水过程和建筑物泄流能力的影响。为了确定上游围堰的堰顶高程和堰前水位，应综合考虑堰前的洪水水文特性、导流泄洪水力条件等不确定性，通过随机调洪演算分析计算来确定。施工导流系统风险率的计算流程为：

第1步 分析确定导流系统水文、水力原始数据及计算参数；

第2步 生成施工洪水过程及其随机数；

第3步 拟合洪水过程线；

第4步 生成导流建筑物泄流过程及其随机数；

第5步 拟合导流建筑物泄流过程线；

第6步 随机调洪演算分析和围堰上游水位的计算；

第7步 统计上游围堰的堰前水位分布；

第8步 分析在不同围堰高度条件下风险率 R （或保证率 P ）及其动态风险 $R(n)$ 。当坝体的修筑高程超过围堰的高程，采用坝体的临时断面度汛时，施工导流标准风险分析校核度汛洪水标准的方法和步骤与围堰挡水度汛相同。

B.0.9 在选择导流标准的决策时，应考虑决策者在能够接受的风险范围内，协调处理投资规模、导流系统的施工进度、超载洪水导致的导流建筑物损失、溃堰时对河道下游造成的损失和发电工期损失之间的关系，可采用多目标风险决策方法进行施工导流标准的选择。

附录 C 天然建筑材料设计需要量计算

C.0.1 在进行设计需要量计算时，各种料物自然方和压实方折算系数应根据试验成果确定。在无具体试验资料的情况下，可参考表 C.0.1 选用。

表 C.0.1 自然方和压实方折算系数参考表

料种	自然方	压实方
黏土	1	0.85
堆石料	1	1.31
砂砾料	1	0.94
爆破块石料	1	1.43
土石混合料	1	0.88

C.0.2 坝体填筑料料场设计需要量可按公式 (C.0.2) 计算，均为自然方。

$$V_{\text{B需}} = 1.2 \times [V_{\text{B场}} + V_{\text{B场加}} \times (K_2 - 1) + V_{\text{B场存}} \times (K_3 - 1)] \times K_1 \times K_4 \times K_5 \quad (\text{C.0.2})$$

- 式中 $V_{\text{B需}}$ ——坝体填筑料料场设计需要量， m^3 ；
 $V_{\text{B场}}$ ——扣除工程开挖可利用量后的坝体填筑量， m^3 ；
 $V_{\text{B场存}}$ ——来自料场的需转存的坝体填筑量， m^3 ；
 $V_{\text{B场加}}$ ——来自料场的需加工的坝体填筑量， m^3 ；
 K_1 ——坝面作业损耗补偿系数，按表 C.0.2 选取；
 K_2 ——坝料加工损耗补偿系数，按表 C.0.2 选取；
 K_3 ——转存损耗补偿系数，按表 C.0.2 选取；
 K_4 ——运输损耗补偿系数，按表 C.0.2 选取；
 K_5 ——开采损耗补偿系数，按表 C.0.2 选取。

表 C.0.2 损耗补偿系数参考表

料种	坝面作业 K_1	坝料加工 K_2	转存 K_3	运输 K_4	开采 K_5
洞挖料	1.01~1.02	1.05~1.30	1.05~1.15	1.03~1.05	1.05~1.10
明挖料	1.01~1.02	1.05~1.30	1.05~1.15	1.03~1.05	1.05~1.15
石料场 开采料	1.01~1.02	1.05~1.30	1.05~1.15	1.03~1.05	1.05~1.15
土料场 开采料	1.01~1.02	1.05~1.10	1.05~1.15	1.03~1.05	1.05~1.10
砂砾料场 开采料	1.01~1.02	1.1~1.27	1.05~1.10	1.03~1.05	1.05~1.1 (水上) 1.1~1.25 (水下)

C.0.3 混凝土骨料料场原料设计需要量可按公式 (C.0.3) 计算，均为自然方。

$$V_{\text{H需}} = 1.2 \times [V_{\text{H场}} + V_{\text{H场存}} \times (K_3 - 1)] \times K_4 \times K_5 \quad (\text{C.0.3})$$

式中 $V_{\text{H需}}$ ——混凝土骨料料场原料设计需要量， m^3 ；

$V_{\text{H场}}$ ——扣除工程开挖可利用量后的加工混凝土骨料所需原料， m^3 ；

$V_{\text{H场存}}$ ——来自料场的需转存的混凝土骨料原料量， m^3 。

附录 D 岩土开挖级别划分及 洞室开挖通风指标

D.1 岩土开挖级别划分

D.1.1 土类开挖级别划分应符合表 D.1.1 的规定。

表 D.1.1 土类开挖级别划分

土类 级别	土类名称	天然湿度下 平均容重 /(kN/m ³)	外型特征	开挖方式
I	1. 砂土 2. 种植土	16.5~17.5	疏松，黏着力 差或易透水，略 有黏性	用锹或略加脚 踩开挖
II	1. 壤土 2. 淤泥 3. 含壤种植土	17.5~18.5	开挖时能成 块，并易打碎	用锹需用脚踩 开挖
III	1. 黏土 2. 干燥黄土 3. 干淤泥 4. 含少量砾石 黏土	18.0~19.5	黏手，看不见 砂粒或干硬	用镐、三齿耙 开挖或用锹需用 力加脚踩开挖
IV	1. 坚硬黏土 2. 砾质黏土 3. 含卵石黏土	19.0~21.0	壤土结构坚 硬，将土分裂后 成块状或含黏粒 砾石较多	用镐、三齿耙 工具开挖
<p>注：土方指人工填土、表土、黄土、砂土、淤泥、黏土、砾质土、砂砾石、松散坍塌体及软弱的全风化岩石，以及小于 0.7m³ 的孤石或岩块等，无须采用爆破或土方机械开挖的地质体。</p>				

D.1.2 岩石开挖级别划分应符合表 D.1.2 的规定。

表 D.1.2 岩石开挖级别划分

岩石级别	岩石名称	天然湿度下 平均容重 (kN/m^3)	净钻孔时间/(min/m)		极限抗压 强度 R /MPa	强度系数 f
			用直径 30mm 合金 钻头, 凿岩机打眼 (工作气压 0.456MPa)			
软石	V	1. 硅藻土及软的白垩岩 2. 硬的石炭纪的黏土 3. 胶结不紧的砾岩 4. 各种不坚实的页岩	—	—	<20	1.5~2.0
			—	—	20~40	2.0~4.0
坚石	VI	1. 软的有孔隙的节理多的石灰岩及介质石灰岩 2. 密实的白垩岩 3. 中等坚实的页岩 4. 中等坚实的泥灰岩	—	—	40~60	4.0~6.0
			—	—	—	—
VII	1. 水成岩卵石经石灰质胶结而成的砾石 2. 风化的节理多的黏土质砂岩 3. 坚硬的泥质页岩 4. 坚实的泥灰岩	22.0	—	—	—	—
		22.0	—	—	—	—
		23.0	—	—	—	—
		25.0	—	—	—	—

表 D.1.2 (续)

岩石 级别	岩石名称	天然湿度下 平均容重 (kN/m^3)	净钻孔时间/(min/m)		极限抗压 强度 R /MPa	强度系数 f
			用直径 30mm 合金 钻头, 凿岩机打眼 (工作气压 0.456MPa)			
Ⅷ	1. 角砾状花岗岩	23.0	6.8 (5.7~7.7)		60~80	6.0~8.0
	2. 泥灰质石灰岩	23.0				
	3. 黏土质砂岩	22.0				
	4. 云母页岩及砂质页岩	23.0				
	5. 硬石膏	29.0				
Ⅸ	1. 软的风化较甚的花岗岩、片麻岩及正长岩	25.0	8.5 (7.8~9.2)		80~100	8.0~10.0
	2. 滑石质蛇纹岩	24.0				
	3. 密实的石灰岩	25.0				
	4. 水成岩卵石经硅质胶结的砾石	25.0				
	5. 砂岩	25.0				
	6. 砂质石灰质的页岩	25.0				
Ⅹ	1. 白云岩	27.0	10 (9.3~10.8)		100~120	10.0~12.0
	2. 坚实的石灰岩	27.0				
	3. 大理石	27.0				
	4. 石灰质胶结的质密的砂岩	26.0				
	5. 坚硬的砂质页岩	26.0				

表 D.1.2 (续)

岩石级别	岩石名称	天然湿度下 平均容重 (kN/m^3)	净钻孔时间/(min/m)		极限抗压 强度 R /MPa	强度系数 f
			用直径 30mm 合金 钻头, 凿岩机打眼 (工作气压 0.456MPa)			
XI	1. 粗粒花岗岩 2. 特别坚硬的白云岩 3. 蛇纹岩 4. 火成岩卵石经石灰质胶结的砂岩 5. 石灰质胶结的坚实的砂岩 6. 粗粒正长岩	28.0 29.0 26.0 28.0 27.0 27.0	11.2 (10.9~11.5)		120~140	12.0~14.0
	1. 有风化痕迹的安山岩及玄武岩 2. 片麻岩、粗面岩 3. 特别坚硬的石灰岩 4. 火成岩卵石经硅质胶结的砾岩	27.0 26.0 29.0 26.0	12.2 (11.6~13.3)		140~160	14.0~16.0
XIII	1. 中粒花岗岩 2. 坚实的片麻岩 3. 辉绿岩 4. 玢岩 5. 坚实的粗面岩 6. 中粒正长岩	31.0 28.0 27.0 25.0 28.0 28.0	14.1 (13.4~14.8)		160~180	16.0~18.0

表 D.1.2 (续)

岩石级别	岩石名称	天然湿度下 平均容重 (kN/m^3)	净钻孔时间/(min/m)		极限抗压 强度 R /MPa	强度系数 f
			用直径 30mm 合金 钻头, 凿岩机打眼 (工作气压 0.456MPa)			
XIV	1. 特别坚实的细粒花岗岩	33.0				
	2. 花岗片麻岩	29.0				
	3. 闪长岩	29.0	15.5 (14.9~18.2)		180~200	18.0~20.0
	4. 最坚实的石灰岩	31.0				
	5. 坚实的玢岩	27.0				
特坚石 XV	1. 安山岩、玄武岩、坚实的角闪岩	31.0				
	2. 最坚实的辉绿岩及闪长岩	29.0	20.0 (18.3~24.0)		200~250	20.0~25.0
	3. 坚实的辉长岩及石英岩	28.0				
XVI	1. 钙钠长石质玄武岩及橄榄石质玄武岩	33.0				
	2. 特别坚实的辉长岩、辉绿岩、石英岩及玢岩	33.0	>24.0		>250	>25.0

注：位于水下或地下水水位以下的岩石极限抗压强度取湿抗压强度，反之取干抗压强度。

D.2 洞室开挖所需通风量及风速值

D.2.1 洞室开挖所需通风量应根据下列要求分别计算，取其中最大值：

1 应按洞内同时工作的最多人数，每人供给 $0.05\text{m}^3/\text{s}$ 的新鲜空气计算。

2 应按爆破后 20min 内将工作面的有害气体排出或冲淡至允许浓度计算，每千克炸药爆破产生的有害气体折合成 40L 一氧化碳气体。

3 洞内使用柴油机械施工时，可按每千瓦供风量 $0.068\text{m}^3/\text{s}$ 计算，并与同时工作的人员所需的风量相加计算。

4 计算通风量时，应根据通风方式和长度考虑漏风增加值，漏风系数可取 1.20~1.45。

5 当洞、井位于海拔 1000m 以上时，计算出的通风量应乘以高程修正系数，高程修正系数应按 SL 378—2007 中 11.2.4 的规定选择。

6 计算的通风量应按最大、最小容许风速和相应洞室温度所需的风速进行校核。

D.2.2 工作面附近的最小风速不应低于 $0.25\text{m}/\text{s}$ ，最大风速按下列规定执行：

1 隧洞、竖井、斜井工作面最大风速不应超过 $4\text{m}/\text{s}$ 。

2 运输洞与通风洞最大风速不应超过 $6\text{m}/\text{s}$ 。

3 升降人员与器材的井筒不应超过 $8\text{m}/\text{s}$ 。

D.2.3 洞室内温度 28°C 以下的通风风速值应符合表 D.2.3 的规定，超过 28°C 时，风速应进行专门研究。

表 D.2.3 洞室开挖所需风速值

温度/ $^\circ\text{C}$	<15	15~20	20~22	22~24	24~28
风速/ (m/s)	<0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	>2.0

附录 E 混凝土施工温度控制

E.0.1 大体积混凝土温度控制基本参数的选择和确定、温度控制标准及计算要求和温度控制防裂措施可按表 E.0.1 所列内容选用。

表 E.0.1 混凝土温度控制参数、标准及要求 and 措施

序号	项 目	内 容	
1	基本参数的选择和确定	水文、气象资料	(1) 地区的多年各月(旬)平均气温、水温和地温; (2) 气温骤降(日平均气温降低值)统计资料(降温幅度和次数等); (3) 其他有关日照、风速等气象资料
		混凝土原材料	(1) 水泥物理力学性能、水化热及化学分析试验资料; (2) 粉煤灰来源、掺量及指标; (3) 外加剂来源、掺量及指标; (4) 砂石骨料来源及物理力学指标
		混凝土及基岩热力学指标	(1) 混凝土标号及主要热力学指标; (2) 基岩岩性及主要热力学指标
2	温度控制标准及计算要求	(1) 确定混凝土出机口温度、坝体混凝土浇筑温度; (2) 确定拌制每方混凝土所需加冰或加冷水的数量、时间及相应措施的混凝土数量; (3) 确定混凝土骨料预冷的方式,预冷时间与温度; (4) 确定坝体基础温差及最高容许温度; (5) 确定坝体内外温差、上下层温差和冷却水温差; (6) 进行坝体温度场和温度应力场计算,确定坝体的稳定设计温度; (7) 确定坝体各月混凝土浇筑温度; (8) 确定坝体混凝土初、中、后期通低温水的时间、流量、冷水温度及通水区域; (9) 确定坝体接缝灌浆的时间; (10) 确定各制冷或冷冻系统的工艺流程,配置设备的名称、规格、型号、数量和制冷剂消耗指标等; (11) 确定混凝土表面保护的方式,保护材料的品种、规格	

表 E. 0. 1 (续)

序号	项 目	内 容
3	温度控制防裂措施	(1) 原材料和配合比优化, 降低水化热温升; (2) 合理分缝、分块; (3) 合理安排混凝土施工程序和施工进度, 控制坝体最高温度; (4) 控制相邻坝块、坝段高差; (5) 确定合理的混凝土浇筑层厚和间歇期; (6) 采用骨料预冷 (必要时采用二次风冷或水冷加风冷)、加冰、加冷水拌和混凝土等措施, 控制混凝土出机口温度; (7) 减少运输途中和仓面的温度回升; (8) 坝内初、中、后期通水冷却; (9) 混凝土表面保温与养护; (10) 温控综合管理

E. 0. 2 低温季节混凝土施工气温标准和保温防冻措施除应按表 E. 0. 2 所列内容选用, 尚应遵守 SL 677 的有关规定。

表 E. 0. 2 低温季节混凝土施工气温标准和保温防冻措施

序号	项 目	施 工 要 求
1	气温标准	当日平均气温连续 5d 稳定在 5℃ 以下或最低气温连续 5d 稳定在 -3℃ 以下时, 应按低温季节进行混凝土施工。
2	保温防冻措施	(1) 混凝土浇筑温度: 大坝不宜低于 5℃, 厂房不宜低于 10℃; (2) 在负温的基岩或老混凝土面上浇筑时, 应将基岩或老混凝土加热至正温, 加热深度应不小于 10cm, 并要求上下温差不超过 15~20℃; (3) 采用保温模板, 且在整个低温期间不拆除; (4) 掺引气剂, 掺量通过试验确定; (5) 混凝土拌和时间应较常温季节适当延长, 具体延长时间值宜经试验确定; (6) 当日平均气温低于 -10℃ 时, 应在暖棚内浇筑; (7) 混凝土允许受冻的成熟度不应小于 1800℃·h

附录 F 施工交通运输主要技术标准

F.1 对外交通运输量和运输强度计算

F.1.1 运输量估算法适用于规划、项目建议书、可行性研究等。根据水利水电工程建筑物特性和施工特性，使用扩大指标估算。每立方米混凝土需用外来物资和设备运输量见表 F.1.1-1。

表 F.1.1-1 混凝土坝外来物资和设备运输量指标表

材料名称	运输量/(t/m ³)		
	下限	中限	上限
水泥	0.183	0.168	0.131
粉煤灰	0.020	0.072	0.131
木材	0.038	0.048	0.058
钢材	0.042	0.049	0.068
施工机械	0.020	0.036	0.042
永久机电设备	0.002	0.003	0.003
煤炭	0.021	0.028	0.045
油料	0.034	0.056	0.082
房建材料	0.021	0.049	0.071
生活物资	0.045	0.062	0.082
其他	0.023	0.030	0.037
合计	0.450	0.600	0.750

注 1：本表仅提供运输量及性质分类用，不能作为计算材料用量的依据。
注 2：根据我国目前施工实际情况和有关政策规定等因素，建议 D 值采用 0.45~0.75t/m³。

1 混凝土坝外来物资和设备运输量可按公式 (F.1.1-1) 计算:

$$N = VD \quad (\text{F.1.1-1})$$

式中 N ——运输量, t;

V ——混凝土总工程量 (包括主体工程和施工临建工程), m^3 ;

D ——每立方米混凝土需用外来物资和设备运输量, t/m^3 。

2 土石坝枢纽外来物资和设备运输量可按公式 (F.1.1-2) 和公式 (F.1.1-3) 两种情况进行估算。每立方米混凝土、土石填筑量所需外来物资和设备运输量指标见表 F.1.1-2。

1) 当枢纽混凝土总工程量 (包括主体工程和施工临建工程, 下同) 占土石总填筑量 (包括主体工程和施工导流工程, 下同) 的 5%~30% 时, 所需外来物资和设备运输量可按公式 (F.1.1-2) 估算:

$$N = V'D' \quad (\text{F.1.1-2})$$

式中 N ——运输量, t;

V' ——枢纽混凝土总工程量, m^3 ;

D' ——每立方米混凝土所需外来物资和设备运输量指标, t/m^3 。

2) 当枢纽混凝土总工程量占土石总填筑量的 1%~4% 时, 所需外来物资和设备运输量可按公式 (F.1.1-3) 计算:

$$N = V''D'' \quad (\text{F.1.1-3})$$

式中 N ——运输量, t;

V'' ——枢纽土石总填筑量, m^3 ;

D'' ——每立方米土石填筑量所需外来物资和设备运输量指标, t/m^3 。

F.1.2 运输量详算法适用于初步设计阶段, 施工总进度计划、施工方案、施工总平面布置、施工机械数量、劳动力等均已确定的情况。

表 F.1.1-2 土石坝枢纽外来物资和设备运输量指标表

单位: t/m³

项目	混凝土总工程量占土石总填筑量百分比									
	1%	2%	3%	4%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1m ³ 混凝土外来物资和设备运输量	—	—	—	—	1.440	1.050	0.920	0.855	0.816	0.790
1m ³ 土石筑外来物资和设备运输量	0.040	0.050	0.058	0.065	—	—	—	—	—	—
水泥	0.0075	0.0115	0.0143	0.0169	0.351	0.288	0.2673	0.2565	0.2502	0.2457
粉煤灰	—	—	—	—	0.039	0.032	0.0297	0.0285	0.0278	0.0273
木材	0.0025	0.0033	0.0039	0.0044	0.0980	0.0740	0.0660	0.0620	0.0600	0.0580
钢材	0.0030	0.0039	0.0045	0.0051	0.1140	0.0855	0.0765	0.0720	0.0690	0.0675
施工机械	0.0038	0.0046	0.0052	0.0057	0.1230	0.0831	0.0698	0.0628	0.0587	0.0565
永久机电设备	0.0016	0.0017	0.0018	0.0019	0.0400	0.0250	0.0200	0.0170	0.0160	0.0150
煤炭	0.0033	0.0039	0.0043	0.0047	0.1000	0.0653	0.0540	0.0480	0.0447	0.0420
油料	0.0058	0.0067	0.0077	0.0084	0.1810	0.1216	0.1008	0.0923	0.0862	0.0815
房建筑料	0.0035	0.0042	0.0049	0.0054	0.1180	0.0835	0.0720	0.0660	0.0625	0.0605
生活物资	0.0070	0.0078	0.0086	0.0094	0.2040	0.1380	0.1160	0.1050	0.0980	0.0940
其他	0.002	0.0024	0.0028	0.0032	0.072	0.054	0.048	0.045	0.043	0.042
其中										

1 主体工程水泥、粉煤灰、木材、钢材需用量应包括主体工程本身需用量及施工附加材料用量；施工临建工程包括导流、辅助企业、仓库、交通运输、生活办公房屋等（下同）。主体工程和施工临建工程水泥、粉煤灰、木材、钢材需要量指标，查有关单项工程概预算定额。水泥、粉煤灰、木材、钢材运输量宜按公式（E.1.2-1）计算：

$$N_1(\text{或 } N_2 \text{ 或 } N_3 \text{ 或 } N_4) = 1.2(\sum Z + \sum L) \quad (\text{F.1.2-1})$$

式中 N_1 ——水泥运输量，t；

N_2 ——粉煤灰运输量，t；

N_3 ——木材运输量，t（木材密度按 $0.7\text{t/m}^3 \sim 0.8\text{t/m}^3$ 计）；

N_4 ——钢材运输量，t；

Z ——主体工程水泥、粉煤灰、木材、钢材分别需用量，t；

L ——施工临建工程水泥、粉煤灰、木材、钢材分别需用量，t；

1.2——运输损耗和不可预见系数。

2 工程施工所需施工机械设备运输量宜按公式（F.1.2-2）计算：

$$N_5 = 1.2KG \quad (\text{F.1.2-2})$$

式中 K ——未计及的施工机械设备重量增加系数， $K=1.1 \sim 1.2$ ；如提供的施工机械设备仅为主要的土石方、混凝土及起重运输设备时取大值，如提供的施工机械设备较齐全，且包含各辅助企业大部分设备时则取低值；

G ——施工机械设备总重量，t；

1.2——运输包装附加重量和不可预见系数。

3 永久机电设备运输量宜按公式（F.1.2-3）计算：

$$N_6 = 1.35(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5) \quad (\text{F.1.2-3})$$

式中 Y_1 ——水轮机组成套设备重量, t;

Y_2 ——发电机组成套设备重量, t;

Y_3 ——主变压器重量, t;

Y_4 ——厂内桥机重量, t;

Y_5 ——启闭机重量, t;

1.35——其他设备运输量系数 (包括水力机械辅助设备、通信设备、机修设备、电气设备及运输包装材料等的重量)。

4 煤炭运输量宜按公式 (F.1.2-4) 计算:

$$N_7 = 1.25(N_{71} + N_{72} + N_{73} + N_{74}) \quad (\text{F.1.2-4})$$

式中 N_{71} ——生产用煤需要量, t;

N_{72} ——职工和家属生活用煤需要量, t;

N_{73} ——职工取暖、卫生用煤需要量, t;

N_{74} ——家属取暖、卫生用煤需要量, t;

1.25——运输、堆存损耗和不可预见系数。

1) 生产用煤需要量宜按公式 (F.1.2-5) 计算:

$$N_{71} = \sum_{i=1}^m (E_i T_i D_i C_i) \quad (\text{F.1.2-5})$$

式中 E_i ——各类型蒸汽与供热设备台数;

T_i ——各类型蒸汽与供热设备使用年限, 年;

D_i ——各类型号蒸汽与供热设备平均年使用台班数量, 台班/年;

C_i ——各类型蒸汽与供热功当量设备台班耗煤量, t/台班。

2) 职工和家属生活用煤需要量宜按公式 (F.1.2-6) 计算:

$$N_{72} = P_1 T_1 B_1 \quad (\text{F.1.2-6})$$

式中 P_1 ——历年职工和家属平均人数;

T_1 ——职工和家属用煤年限, 年;

B_1 ——职工和家属每人每年生活用煤需要量, $B_1 = 0.3 \sim 0.4 \text{t}/(\text{人} \cdot \text{年})$ 。

- 3) 职工取暖和卫生用煤需要量宜按公式 (F. 1.2-7) 计算:

$$N_{73} = P_2 T_2 B_2 \quad (\text{F. 1.2-7})$$

- 式中 P_2 ——历年职工平均人数;
 T_2 ——职工取暖和卫生用煤年限, 年;
 B_2 ——职工每人每年取暖和卫生用煤需要量, 南方地区 $B_2 = 0.1\text{t}/(\text{人} \cdot \text{年})$, 北方地区 $B_2 = 0.25 \sim 0.3\text{t}/(\text{人} \cdot \text{年})$ 。

- 4) 家属取暖和卫生用煤需要量宜按公式 (F. 1.2-8) 计算:

$$N_{74} = P_3 T_3 B_3 \quad (\text{F. 1.2-8})$$

- 式中 P_3 ——历年职工带着平均户数, 可视具体情况酌定;
 T_3 ——家属取暖和卫生用煤年限, 年;
 B_3 ——每户每年取暖和卫生用煤量, 南方地区不计, 北方地区 $B_3 = 0.9 \sim 1.0\text{t}/(\text{户} \cdot \text{年})$ 。

- 5 油料运输量宜按公式 (F. 1.2-9) 计算:

$$N_8 = 1.1 \sum_{i=1}^m (E'_i T'_i D'_i C'_i) \quad (\text{F. 1.2-9})$$

- 式中 1.1——其他用油及不可预见系数;
 E'_i ——各类型用油施工机械设备台数;
 T'_i ——各类型用油施工机械设备使用年限, 年;
 D'_i ——各类型用油施工机械设备平均年使用台班数量;
 C'_i ——各类型用油施工机械设备台班用油量。

- 6 房建材料包括砖、瓦、石灰、玻璃、沥青、油毛毡、小五金、电线等。房建材料运输量宜按公式 (F. 1.2-10) 计算:

$$N_9 = \sum_{i=1}^m (A_i B_i) \quad (\text{F. 1.2-10})$$

- 式中 A_i ——各类型企业厂房、仓库、住宅、宿舍、公共建筑等的建筑面积, m^2 , 根据施工总平面布置提供资料, 分项分结构型式计算;

B_i ——各类型企业厂房、仓库、住宅、宿舍、公共建筑等单位建筑面积需用房建材料运输量, t/m^2 。

7 职工和家属日常所需主副食、蔬菜、工业品(不包括煤炭)等的生活物资运输量宜按公式(F.1.2-11)计算:

$$N_{10} = 1.2(P_2 T_4 B_4 + P_4 T_5 B_5) \quad (\text{F.1.2-11})$$

式中 P_2 ——历年职工平均人数;

P_4 ——家属多年平均人数;

T_4 ——职工消耗生活物资年限, 年;

T_5 ——家属消耗生活物资的年限, 年;

B_4 ——职工每人每年需用生活物资运输量, $B_4 = 0.65 \sim 0.75 t/(人 \cdot 年)$;

B_5 ——家属每人每年需用生活物资运输量, $B_5 = 0.6 \sim 0.7 t/(人 \cdot 年)$;

1.2——运输损耗和不可预见系数。

8 其他器材物资运输量宜按公式(F.1.2-12)计算:

$$N_{11} = (0.05 \sim 0.10) \sum_{i=1}^{10} N_i \quad (\text{F.1.2-12})$$

式中 $0.05 \sim 0.10$ ——系数;

$$\sum_{i=1}^{10} N_i \text{——} N_1 \text{ 到 } N_{10} \text{ 运输量的总和, } t。$$

F.1.3 年高峰运输强度应采用下列方法计算确定:

1 估算适用于规划、项目建议书、可行性研究等阶段, 可按公式(F.1.3-1)计算:

$$Q_{\text{年}} = \frac{N}{T} K_1 \quad (\text{F.1.3-1})$$

式中 $Q_{\text{年}}$ ——年高峰运输强度, $t/\text{年}$;

N ——外来物资和设备总运输量, t ;

T ——控制性总进度计划土建工程施工期限, 年;

K_1 ——施工不均匀系数, $K_1 = 1.8 \sim 2.0$ 。

2 详算适用于初步设计阶段, 施工总进度计划、施工方案、

设备、劳动力、器材物资供应计划等均已确定的情况。年高峰运输强度宜按公式 (F. 1. 3 - 2) 计算:

$$Q_{\text{年}} = WK_2 \quad (\text{F. 1. 3 - 2})$$

式中 W ——与设计施工总进度计划相适应的分年各类器材物资需用量的最大值, t/年;

K_2 ——年施工不均匀系数, $K_2 = 1.2 \sim 1.5$ 。

F. 1. 4 月高峰运输强度应采用下列方法计算确定:

1 估算月高峰运输强度可按公式 (F. 1. 4 - 1) 计算:

$$Q_{\text{月}} = \frac{Q_{\text{年}}}{12} K_3 K_4 \quad (\text{F. 1. 4 - 1})$$

式中 $Q_{\text{月}}$ ——月高峰运输强度, t/月;

$Q_{\text{年}}$ ——估算的年高峰运输强度, t/年;

K_3 ——月施工不均匀系数, $K_3 = 1.4 \sim 1.5$;

K_4 ——器材物资供应和运输不均匀系数, $K_4 = 1.1 \sim 1.2$ 。

2 详算月高峰运输强度宜按公式 (E. 1. 4 - 2) 计算:

$$Q_{\text{月}} = \frac{Q_{\text{年}}}{12} K_3 K_4 \quad (\text{F. 1. 4 - 2})$$

式中 $Q_{\text{年}}$ ——详算年高峰运输强度, t/年;

K_3 ——月施工不均匀系数, $K_3 = 1.4 \sim 1.5$;

K_4 ——器材物资供应和运输不均匀系数, $K_4 = 1.1 \sim 1.2$ 。

F. 1. 5 昼夜高峰运输强度可按公式 (F. 1. 5 - 1) 计算, Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 分别代表铁路、公路、水路和水陆联运昼夜运输强度 (t/昼夜)。 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 以 Q_i 表示, 可按公式 (F. 1. 5 - 2) 计算。

$$Q_{\text{日}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (\text{F. 1. 5 - 1})$$

$$Q_i = \frac{Q_{\text{月}} N_i}{T_i} K_i \quad (\text{F. 1. 5 - 2})$$

式中 $Q_{\text{日}}$ ——昼夜高峰运输强度, t/昼夜;

$Q_{\text{月}}$ ——估算或详算的月高峰运输强度, t/月;

N_i ——各种运输方式分别占月总运输量的百分比;

T_i ——各种运输方式每月运输天数;

K_i ——器材物资供应和运输不均匀系数。

F.2 公路工程主要技术指标

F.2.1 对外交通公路工程主要技术标准应按表 F.2.1 选择，并应符合 JTG B01、GBJ 22 的有关规定。

F.2.2 桥涵设计应符合下列规定：

1 桥涵应根据相衔接的道路性质和使用要求，按适用、经济、安全和美观的要求设计；应根据地形、地质、水文等情况，按因地制宜、就地取材、便于施工和养护的原则选择桥涵型式。

2 大、中桥位的选择宜服从路线总方向；综合考虑桥、路两方面，宜选择在河道顺直、水流稳定、地质良好的河段上，桥梁纵轴线宜与洪水主流方向正交。

3 桥涵设计荷载等级的确定应符合 JTG B01 和 JTG D60 的相关规定，并满足水利水电工程对外交通运输主要车型和重大件运输的要求。

4 桥涵上的线形及与道路的衔接，应符合路线设计的要求；大、中桥桥面纵坡不宜大于 4%，桥头引道纵坡不宜大于 5%；桥面净宽应与相衔接路段路面宽一致；弯道上的桥梁桥面宽度，应按路线设计予以加宽。

5 桥涵孔径应满足宣泄设计频率洪水的要求；桥涵设计洪水频率应符合 JTG D60 的规定。

F.2.3 隧道设计应符合下列规定：

1 当地形、地质、水文、施工等条件适宜且经过技术经济比较确认采用隧道方案较为合理时，可采用隧道。

2 隧道的位置宜服从公路路线走向，路隧综合考虑。宜选择在稳定的地层中，避免穿越不良地质地段，若应通过时，应有切实可行的工程措施；沿河傍山地段的隧道，其位置宜向山侧内移，避免隧道一侧洞壁过薄产生偏压，并注意水流冲刷对隧道稳定的影响。

表 F.2.1 公路工程主要技术指标

公路等级	一级			二级			三级		四级
	100	80	60	80	60	40	30	20	
设计速度/(km/h)	100	80	60	80	60	40	30	20	
车道数	4	4	4	2	2	2	2	1或2	
行车道宽度/m	3.75	3.75	3.75	3.75	3.50	3.50	3.25	3.50或3.00	
路基宽度/m	一般值	24.5	23.0	12.0	10.0	8.5	7.5	4.5或6.5	
	最小值	24.5(23)	21.5	20.0(19)	10.0	8.5	—	—	
极限最小半径/m	400	250	125	250	125	60	30	15	
停车视距/m	160	110	75	110	75	40	30	20	
最大纵坡/%	4	5	6	5	6	7	8	9	
车辆荷载	公路-I级			公路-II级			公路-II级		公路-II级
路基设计洪水重现期/年	100			50			25		按具体情况确定

注1：各级公路的适用范围：

- (1) 一级公路应能适应按各种汽车折合小客车的年平均日交通量15000~30000辆。
- (2) 二级公路应能适应按各种汽车折合小客车的年平均日交通量5000~15000辆。
- (3) 三级公路应能适应按各种汽车折合小客车的年平均日交通量2000~6000辆。
- (4) 四级公路应能适应按各种汽车折合小客车的年平均日交通量；双车道2000辆以下；单车道400辆以下。

注2：车辆折算系数：

- (1) 小客车 (≤ 19 座的客车和载质量 $\leq 2t$ 的货车)1.0。
- (2) 中客车 (> 19 座的客车和 $2t < \leq$ 载质量的货车)1.5。
- (3) 大客车 ($7t < \leq$ 载质量 $\leq 14t$ 的货车)2.0。
- (4) 拖挂车 (载质量 $> 14t$ 的货车)3.0。

注3：路基宽度：

- (1) 各种车辆折合成小客车的年平均日交通量超过400辆的道路，其远期交通量发展不大时，可采用四级道路的技术指标，但路面宽度采用6.0m，路基宽度采用7.0m。
- (2) 四级公路在交通量较少、工程特别艰巨的路段，其路面宽度可采用3.0m，路基宽度4.5m。
- (3) 交通量接近下限的平原、微丘区的道路，路面宽度可采用7.0m，路基宽度可采用10.0m。
- (4) 一级公路在施工难度较大，且该公路仅作为工程施工道路未列入国家公路网时，路基宽度可采用表中括号内的数值。

注4：利用原有道路，三级路纵坡可提高1%。

3 隧洞的洞口位置应设在山坡稳定、地质条件较好处，宜避免大挖大削，可采用设置明洞等措施实现安全进洞；濒临水库的隧道，洞口底高程应高出水库计算水位 0.5m 以上。

4 隧道内的纵坡不宜小于 0.3%，并不宜大于 3%；较短的隧道，宜采用单面坡，较长的隧道可采用人字坡；隧道内纵坡变更处要设置竖曲线。

5 隧道的横断面应满足公路隧道建筑限界的规定，同时，应考虑洞内排水、通风、照明、放火、监控、营运管理等附属设施所需要的空间，并考虑围岩加固和施工方法等影响，使确定的断面形式及尺寸，达到安全、经济、合理；可设计为方圆形。

F.3 水运工程技术标准

F.3.1 泊位数目应根据年吞吐量、泊位、货种和船型等因素宜按公式 (F.3.1) 计算：

$$N = \frac{Q_n}{P_t} \quad (\text{F.3.1})$$

式中 Q_n ——根据货物类别确定的年吞吐量，当设计年吞吐量中有水上过驳量时，通过码头的年货物吞吐量扣除过驳量，t；

P_t ——泊位的年通过能力，t；

N ——泊位数目。

F.3.2 泊位年通过能力宜按公式 (F.3.2-1) ~ 公式 (F.3.2-3) 计算，港口生产不平衡系数可按表 F.3.2 中选用。

$$P_t = \frac{1}{\sum \frac{\alpha}{P_s}} \quad (\text{F.3.2-1})$$

$$P_s = \frac{T_y}{t_z + t_f} \times \frac{G}{K_B} \quad (\text{F.3.2-2})$$

$$t_z = \frac{G}{p} \quad (\text{F.3.2-3})$$

式中 α ——当货种多样而船型单一时， α 为各货种年装卸数量占泊位年装卸总量的百分比，%；当船型、货种都不相同时， α 为各类船舶年装载不同货物的数量占泊位年装卸总量的百分比，%；

P_s ——与 α 相对应的泊位年通过能力，t；

G ——某一类船舶单船的实际载货重量，t；

t_z ——装、卸一艘该类船舶所需的纯装、卸时间，h；

p ——船时效率，t/h，按货种、船型、设计能力、作业线数和营运管理等因素综合分析确定；

t_f ——该类型船舶装卸辅助与技术作业时间之总和，h。内河船舶可取 0.75~2.5h；进江海轮可取 2.5~4h；

t_s ——昼夜泊位非生产时间之和，h，可根据各港实际情况确定，三班制可取 4.5~6h，两班制可取 2.5~3.5h，一班制可取 1~1.5h，对石油码头取零；

t_d ——昼夜法定工作小时数，h，根据工作班次确定：三班制 24h，两班制 16h，一班制 8h；

T_y ——泊位年营运天数，d，可根据各港实际统计资料分析确定；

K_B ——港口生产不平衡系数。

表 F.3.2 码头生产不平衡系数

货 种	年吞吐量/ 10^3 t			
	<100	100~200	200~300	>300
钢铁及机械设备	1.70~1.60	1.60~1.50	1.50~1.40	1.40~1.30
矿建材料	1.65~1.55	1.55~1.45	1.45~1.35	1.35~1.25
水泥	1.75~1.65	1.65~1.60	1.60~1.50	1.50~1.30
木材	1.80~1.70	1.70~1.60	1.60~1.50	1.50~1.40
件杂货	1.65~1.55	1.55~1.45	1.45~1.35	1.35~1.20
综合货种	1.60~1.50	1.50~1.40	1.40~1.30	1.30~1.20

F.3.3 码头前沿高程应为设计高水位加超高，平原河流、河网地区和山区河流码头设计高水位标准可按表 F.3.3 确定。超高值可取 0.1~0.5m。

表 F.3.3 平原河流、河网地区和山区河流码头设计高水位标准

码头受淹 损失类别	平原河流、 河网地区	山区河流		
		斜坡式、 直立式	分级直立式多年历时保证率	
			高水级	低水级
一类	2%	5%	0.5%	10%~30%
二类	5%	10%	1%	
三类	10%	20%	2%	

注 1：码头受淹损失类别
 一类：受淹将造成生产、货物和设备重大损失的码头。
 二类：受淹将造成生产、货物和设备一定损失的码头。
 三类：受淹将造成生产、货物和设备损失较小的码头。

注 2：对出现高于码头设计高水位历时很短的山区斜坡式码头和直立式码头，经论证后，其码头设计高水位可适当降低。

注 3：多年历时保证率可采用综合历时曲线法计算，其计算方法见 JTJ 214《内河航道与港口水文规范》。

F.3.4 码头设计低水位应与所在航道的设计最低水位相一致。宜采用多年历时保证率 90%~98% 的水位。

F.3.5 码头前沿设计水深应能保证设计标准船舶安全通过、靠离和装卸作业，应按公式 (F.3.5) 计算：

$$H = T + h \quad (\text{F.3.5})$$

式中 H ——码头设计水深，m；

T ——设计标准船舶的满载吃水，m；

h ——龙骨下的最小富余水深，m，按表 F.3.5 采用。

表 F.3.5 最小富余水深 h

单位: m

设计船型吨级 DWT/t		$100 \leq DWT < 500$	$500 \leq DWT \leq 3000$
河床质	土质	0.20	0.30
	石质	0.30	0.50

注 1: 设计船型小于 100t 时, h 值可适当减小; 大于 3000t 时, h 值适当加大; 码头前沿河底有石质构筑物时, h 值按石质河床考虑。

注 2: 油轮的 h 值适当加大。

注 3: h 值不包括因回淤需要增加的富余水深。因回淤需增加富余水深时, 其增加不小于 0.2m。

注 4: 当采用设计船型满载吃水不经济时, 船舶吃水深度可根据具体情况确定。

F.3.6 码头前沿水域不应占用主航道。码头前沿水域宜自船位端部与码头前沿线成 $30^\circ \sim 35^\circ$ 交角向外扩展, 扩展部分达到设计水深。

F.3.7 码头长度及宽度应根据设计船型及装卸作业要求确定。直立式顺岸单个泊位码头长度不小于 $2/3$ 船长, 直立式顺岸多个泊位码头的每个泊位长度宜按公式 (F.3.7) 确定:

$$L = L_c + d \quad (\text{F.3.7})$$

式中 L ——每个泊位长度, m;

L_c ——设计船型长度, m;

d ——泊位富余长度, m, 两相邻泊位船型不同时, d 值按较大船型选取。

F.3.8 码头型式可采用浮码头或固定码头两类。应根据装卸量大小、船舶和装卸设备类型、河流水位变化幅度等情况, 经综合分析比较后确定。

F.4 场内道路主要技术指标

F.4.1 场内主要道路主要技术指标见表 F.4.1。

表 F.4.1 场内主要道路主要技术指标

项 目	等 级			特殊情况的规定
	一	二	三	
线路/等			三	—
年运量/万 t	>1200	250~1200	<250	—
行车密度/(辆/单向小时)	>85	25~85	<25	—
计算行车速度/(km/h)	40	30	20	—
最大坡度/%	7	8	9	在工程特别困难路段可增加 1%，三级公路个别地段可增加 2%，但在积雪严重及海拔 2000m 以上地区不应增加，位于海拔 3000m 以上的高原地区，各级公路的最大纵坡应予以折减，最大纵坡折减后若小于 4%，则仍采用 4%
最小平曲线半径/m	45	25	15	—
不设超高的平曲线半径/m	≥250	≥150	≥100	—
视距 /m	停车	30	20	—
	会车	80	60	40
竖曲线最小半径/m	凸形	700	400	200
	凹形	700	400	200
路基设计洪水重现期/年	50	50	25	当相邻坡度代数差大于 2% 时，应设置竖曲线

表 F.4.1 (续)

项 目		等 级				特殊情况的规定	
双车道路面宽度 /m	车宽分类 /m	一	2.3	7.0	6.5	6.0	当实际车宽与计算车宽的差值大于 15cm 时, 应按内插法, 以 0.5m 为加宽量单位, 调整路面的设计宽度
		二	2.5	7.5	7.0	6.5	
		三	3.0	9.5	9.0	8.0	
		四	3.5	11.0	10.5	9.5	
		五	4.0	13.0	12.0	11.0	
		六	5.0	15.5	14.5	13.5	
		七	6.0	19.0	18.0	17.0	
		八	7.0	22.5	21.5	20.0	
单车道路面宽度 /m	车宽分类 /m	一	2.3	4.0	4.0	3.5	车道需双向行车时, 应在适当距离内设置错车道
		二	2.5	4.5	4.5	4.0	
		三	3.0	5.0	5.0	4.5	
		四	3.5	6.0	6.0	5.5	
		五	4.0	7.0	7.0	6.0	
		六	5.0	8.5	8.5	7.5	
		七	6.0	10.5	10.5	9.5	
		八	7.0	12.0	12.0	11.0	

表 E.4.1 (续)

项 目		等 级			特殊情况的规定	
回头曲线	计算行车速度/(km/h)	25	20	15	(1) 特别困难时一级、二级公路回头曲线各项技术指标可适当降低,但分别不低于二级、三级公路。无挂车运输时,最小曲线半径可采用12m。 (2) 单车道路面加宽值,应按表列数值折半	
	平曲线最小半径/m	20	15	15		
	超高横坡/%	5	6	6		6
			1.3	1.7		1.7
	双车道路面加宽值/m	轴距加前悬/m	6	2.4		2.4
			7	(2.5)/2.0		(3.3)/2.5
			8	2.5		3.0
	最大纵坡/%	8.5	2.7	3.3		3.3
			3.5	4.0		4.5
	停车视距/m	25	20	15		
	会车视距/m	50	40	30		

注:表中轴距加前悬为7m、8m、8.5m的双车道路面加宽值系按表列最小曲线半径增加一个相应的计算车宽值后算得的,但括号内的数值系仍按表列最小曲线半径算得的。

F.4.2 场内非主要道路主要技术指标见表 F.4.2。

表 F.4.2 场内非主要道路主要技术指标

项 目		指标	特殊情况的规定
路面宽度 /m	双车道 单车道	6~9 3~4.5	(1) 车间引道宽度, 可与车间大门相适应; (2) 一条道路可根据使用任务分段采用不同的路面宽度; (3) 当路面宽度 9m 尚不能满足使用要求时, 可根据具体情况适当增加; (4) 运输繁忙、经常通行大型车辆 (车宽大于 2.5m)、行人及混合交通量大, 采用上限值, 反之采用下限值
计算行车速度/(km/h)		15	—
最大纵坡/%		10	(1) 专供运输易燃、易爆危险品的道路最大纵坡, 不宜大于 8%; (2) 位于海拔 3000m 以上的高原地区, 各级公路的最大纵坡应予以折减, 最大纵坡折减后若小于 4%, 则仍采用 4%
最小平曲线半径 /m	行驶单车汽车	9	(1) 车间引道的最小转弯半径, 不小于 6m; (2) 行驶表列以外其他车辆时, 道路最小曲线半径可根据实际需要采用; (3) 以上曲线半径均指路面内边缘最小转弯半径
	汽车带一辆拖车	12	
	12~15t 平板拖车	15	
	40~60t 平板拖车	18	
视距/m	会车视距	30	—
	停车视距	15	—
	交叉路口的停车视距	20	—
竖曲线最小半径/m	凸形	100	—
	凹形	100	—
注: 仅供设备临时通行的便道, 不受表中数值限制, 根据设备技术参数确定。			

F.5 斜坡道卷扬运输设备选择计算

F.5.1 小时运输量计算可按公式 (F.5.1) 计算:

$$Q_s = \frac{CQ_n}{t_y t_s} \quad (\text{F.5.1})$$

式中 Q_s ——小时运输量, t/h;
 C ——不均匀系数;
 Q_n ——年运输量, t/年;
 t_y ——年工作日数, d;
 t_s ——日有效作业小时数, h。

F.5.2 一次牵引循环时间宜采用下列方法计算确定:

1 单钩斜坡卷扬道。一次牵引循环时间可按公式 (F.5.2-1) 计算:

$$T_{jt} = \frac{2L}{v_{pj}} + \frac{2L_{sh}}{v_p} + \frac{2L_{sa}}{v_p} + 2Q_p \quad (\text{F.5.2-1})$$

式中 T_{jt} ——一次牵引循环时间, s;
 L ——斜坡道长度, m;
 L_{sh} ——上部平车场长度, 根据一次拉车数确定, 一般取 6~15m;
 L_{sa} ——下部平车场长度, 根据一次拉车数确定, 一般取 6~15m;
 Q_p ——平车场休止时间, 可取 30~60s;
 v_{pj} ——斜坡道运行平均速度, 视运输长度而定, 一般取 (0.75~0.9) v_{max} ; 当运距 ≤ 300 m 时, v_{max} 为 2.0m/s; 当运距 > 300 m 时, v_{max} 为 4.0m/s;
 v_p ——平车场线路的运行速度, 一般取 1.5m/s。

2 双钩斜坡卷扬道。一次牵引循环时间可按公式 (F.5.2-2) 计算:

$$T_{jt} = \frac{L}{v_{pj}} + \frac{L_{sh}}{v_p} + \frac{L_{sa}}{v_p} + Q_p \quad (\text{F.5.2-2})$$

F.5.3 矿车有效载重计算可按公式 (F.5.3) 计算:

$$G_x = C_m \gamma V_r \quad (\text{F. 5. 3})$$

式中 G_x ——有效载重, kg;

C_m ——装载系数, 当坡道倾角小于 25° 时, 取 0.9; $25^\circ \sim 30^\circ$ 时, 取 0.8;

γ ——料物堆积容重, kg/m^3 ;

V_r ——矿车容积, m^3 。

F. 5. 4 一次需要牵引的矿车数可按公式 (F. 5. 4) 计算:

$$n = \frac{Q_s T_{jt}}{3.6 G_x} \quad (\text{F. 5. 4})$$

式中 n ——一次需要牵引的矿车数, 辆;

G_x ——有效载重, 按公式 (F. 5. 3) 计算。

F. 6 公路重大件 (大型物件) 分级

F. 6. 1 重大件 (大型物件) 指符合下列条件之一的货物:

1 长度在 14m 以上或宽度在 3.5m 以上或高度在 3m 以上的货物。

2 重量在 20t 以上的单体货物或不可解体的成组 (捆) 货物。

F. 6. 2 重大件 (大型物件) 按外形尺寸和重量 (含包装和支架) 分成四级, 应按其长、宽、高及重量四个条件之一中级别最高的的确定, 具体划分见表 F. 6. 2。

表 F. 6. 2 重大件 (大型物件) 分级标准

大件分级	设备长度 /m	设备宽度 /m	设备高度 /m	设备重量 /t
一级大件	$14 \leq \text{长度} < 20$	$3.5 \leq \text{宽度} < 4.5$	$3.0 \leq \text{高度} < 3.8$	$20 \leq \text{重量} < 100$
二级大件	$20 \leq \text{长度} < 30$	$4.5 \leq \text{宽度} < 5.5$	$3.8 \leq \text{高度} < 4.4$	$100 \leq \text{重量} < 200$
三级大件	$30 \leq \text{长度} < 40$	$5.6 \leq \text{宽度} < 6.0$	$4.4 \leq \text{高度} < 5.0$	$200 \leq \text{重量} < 300$
四级大件	长度 ≥ 40	宽度 ≥ 6.0	高度 ≥ 5.0	重量 ≥ 300

附录 G 施工工厂设施

G.1 筛下负累积产品率典型粒度方程

G.1.1 产品粒度以绝对量表示的典型方程式可按公式 (G.1.1) 表达:

$$Y = AX^K \quad (\text{G.1.1})$$

式中 Y ——筛下产物的负累积率, %;

X ——筛孔尺寸, mm;

A 、 K ——参数, 按表 G.1.1 选取。

表 G.1.1 破碎产物典型粒度特性方程中参数 A 与 K 值

岩石的可碎性等级	旋回型		颚式		标准型		短头型			
	A	K	A	K	A	K	开路		闭路	
							A	K	A	K
难碎性岩石	0.66	1.39	0.63	0.97	0.47	1.56	0.20	1.42	0.25	1.32
中等可碎性岩石	0.79	0.77	0.75	0.64	0.65	0.83	0.34	1.20	0.41	1.16
易碎性岩石	0.87	0.43	0.86	0.34	0.77	0.54	0.55	0.87	0.63	1.04

G.1.2 产品粒度与破碎机排料口宽度比的典型方程式可按公式 (G.1.2) 表达:

$$Y = AZ^K \quad (\text{G.1.2})$$

式中 Y ——同公式 (G.1.1);

Z ——产品的相对粒度, 用产品粒度与破碎机排料口宽度的比;

A 、 K ——参数, 按表 G.1.1 选取。

G.2 压缩空气需用量估算公式

G.2.1 压缩空气需用量可按公式 (G.2.1) 估算:

$$Q_y = K_1 K_2 K_3 \sum (nqK_4 K_5) \quad (\text{G.2.1})$$

- 式中 Q_y ——压缩空气需用量, m^3/min ;
- K_1 ——由于空气压缩机效率降低以及未预计到的少量用气所采用的系数, 可取 1.05~1.10;
- K_2 ——管网漏气系数, 取 1.1~1.3, 管网长或铺设质量差时取大值;
- K_3 ——高程修正系数, 按表 G. 2.1-1 选取;
- n ——同时工作的同类型风动机械台数;
- q ——1 台风动机械耗气量 (m^3/min), 一般采用风动机械额定耗气量;
- K_4 ——各类风动机械同时工作系数, 按表 G. 2.1-2 选取;
- K_5 ——风动机械磨损修正系数, 对凿岩机取 1.15, 其他风动机具取 1。

表 G. 2.1-1 压缩空气高程修正系数

高程/m	0	305	610	914	1219	1524	1829
高程修正系数	1.00	1.03	1.07	1.10	1.14	1.17	1.20
高程/m	2134	2433	2743	3049	3653	4572	
高程修正系数	1.23	1.26	1.29	1.32	1.37	1.43	

表 G. 2.1-2 凿岩机同时工作系数

同时工作凿岩机/台	1	2	3	4	5	6	7
K_4	1.0	0.9	0.9	0.85	0.82	0.8	0.78
同时工作凿岩机/台	8	9	10	12	15	20	30
K_4	0.75	0.73	0.71	0.68	0.61	0.59	0.50

G. 3 供水系统设计有关资料

G. 3.1 施工生活用水量应按公式 (G. 3.1-1) 计算, 施工生产用水量应按公式 (G. 3.1-2) 计算。

$$Q_s = K_1 K_2 \left(\frac{qN}{1000} + \sum Q_i \right) \quad (G. 3.1-1)$$

- 式中 Q_s ——最高日生活用水量， m^3/d ；
 K_1 ——管网漏损水量系数，取 1.1~1.2，管网长时取大值；
 K_2 ——未预见水量系数，取 1.08~1.2，或参照同类工程经验选取；
 N ——工程高峰时段劳动力人数；
 q ——生活用水量标准， $L/(人 \cdot d)$ ，其值见表 G.3.1-1；
 Q_i ——浇洒道路和绿地用水量， m^3/d ，根据路面、绿化、气候和土壤等条件确定。

表 G.3.1-1 生活用水量标准

地域分区	日用水量 /[$L/(人 \cdot d)$]	适用省（自治区、直辖市）
一	80~135	黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古
二	85~140	北京、天津、河北、山东、河南、山西、陕西、宁夏、甘肃
三	120~180	上海、江苏、浙江、福建、江西、湖北、湖南、安徽
四	150~220	广西、广东、海南
五	100~140	重庆、四川、贵州、云南
六	75~125	新疆、西藏、青海

注 1：本表选自 GB/T 50331《城市居民生活用水量标准》。
注 2：表中所列日用水量是满足人们日常生活基本需要的标准值。
注 3：指标值中的上限值是根据气温变化和用水高峰月变化参数确定的，一个年度当中对居民用水可分段考核，利用区间值进行调整使用。上限值可作为一个年度当中最高月的指标值。

$$Q_{zs} = K_1 K_2 \sum \left(\frac{q_i W_i + q_j W_j}{30} + q_k W_k \right) \quad (G.3.1-2)$$

- 式中 Q_{zs} ——最高日生产用水量， m^3/d ；
 K_1 ——管网漏损水量系数，取 1.1~1.2，管网长或铺设质量差时取大值；

K_2 ——未预见水量系数，取 1.08~1.2，或参照同类工程经验选取；

W_i ——在用水高峰月份需要用水的各项工程的施工强度；

q_i ——各项工程的用水量指标，其值见表 G.3.1-2；

W_j ——在用水高峰月份各施工辅助企业规模；

q_j ——各施工辅助企业的用水量指标，其值见表 G.3.1-3；

W_k ——在用水高峰期施工机械数量；

q_k ——各施工机械的用水量指标，其值见表 G.3.1-4。

表 G.3.1-2 主体工程施工用水量参考指标

序号	项 目	单 位	用水指标	备 注
1	土石方工程			
1.1	土方机械施工	L/100m ³	350~400	
1.2	石方机械施工	L/100m ³	3500~4500	
2	土料填筑碾压洒水			
2.1	砾石土	L/m ³	50	
2.2	砂砾石	L/m ³	380	
2.3	黏土	L/m ³	20	视天然含水率和设计最优含水率计算确定
3	混凝土工程			
3.1	混凝土养护水	L/m ³	2800~5600	以养护 14d 计
3.2	混凝土养护水	L/m ³	5600~11200	以养护 28d 计
3.3	坝体冷却用水	L/m ³		由混凝土温度控制计算确定

表 G.3.1-3 施工辅助企业生产用水量参考指标

序号	企业名称或用水项目	单 位	用水指标	备 注
1	混凝土生产系统			
1.1	拌和用水	L/m ³	150~300	以每立方米混凝土计
1.2	料罐冲洗用水	L/s	10~20	以一个冲洗台用水计
2	制冷厂	L/万 kcal	3000~5000	以标准工况计， 1cal=4.19J

表 G.3.1-3 (续)

序号	企业名称或用水项目	单位	用水指标	备注
3	砂石加工系统			
3.1	天然砾石筛选	L/m ³	1500~2500	视砂石含泥量大小选用
3.2	人工砂石筛选	L/m ³	1500~3000	视砂的岩石岩性选用
3.3	洗砂机用水	L/m ³	1500~4000	视砂的含泥量大小选用
4	压缩空气站			
4.1	有后冷却器时	L/m ³	5.5~8.0	终压力 0.8MPa, 进水温差 10℃
4.2	无后冷却器时	L/m ³	4.0~5.0	
5	混凝土预制件厂			
5.1	浇水养护	L/m ³	300~400	以每立方米混凝土计
5.2	蒸汽养护	L/m ³	500~700	为蒸汽用量, 以每立方米混凝土计
6	机械修配厂			
6.1	铸铁件	L/t	2000~3000	
6.2	铸钢件	L/t	6000~10000	
6.3	锻件	L/t	1000~14000	
6.4	铆焊件	L/t	1000~1500	
6.5	机械加工件	L/t	1000~5000	
7	汽车修理厂、保养站			
7.1	汽车大修	L/辆	12000~27000	
7.2	汽车大修	L/(d·辆)	60~140	以修理厂年大修车辆规模计
7.3	汽车保养	L/(d·辆)	170~200	以承担一保、二保、小修时每辆在保汽车计
7.4	汽车保养	L/(d·辆)	70~100	以承担二保、小修时每辆在保汽车计
8	汽车停车场			
8.1	工程用汽车外部清洗	L/辆次	700~1500	
8.2	汽车散热器灌水	L/辆次	15~30	为 5t 以下汽车
8.3	汽车散热器灌水	L/辆次	45~60	为 5t 以上汽车

表 G. 3. 1 - 3 (续)

序号	企业名称或用水项目	单位	用水指标	备 注
8. 4	冬季发动机预热	L/辆	1.5~2.5 倍 散热器容积	
9	建筑用水			
9. 1	砖砌体	L/100 块	200~500	
9. 2	毛石砌体	L/m ³	50~80	
9. 3	抹灰	L/m ²	30	
9. 4	预制件养护	L/(s·处)	5~10	各单位自制混凝土 构件时采用值

表 G. 3. 1 - 4 施工机械用水量参考指标

机械名称	单 位	用水指标	备 注
1.5~3t 汽车	L/(d·辆)	400~500	
4~5t 汽车	L/(d·辆)	500~700	
6~10t 汽车	L/(d·辆)	700~800	
10~25t 汽车	L/(d·辆)	800~1000	
交通车	L/(d·辆)	1500	
拖拉机	L/(d·台)	300~600	
内燃挖土机	L/(台班·m ³)	200~300	以斗容量计
内燃起重机	L/(台班·t)	15~18	以起重吨数计
内燃压路机	L/(台班·t)	12~15	以压路机吨数计
蒸汽打桩机	L/(台班·t)	1000~1200	以锤重吨数计
蒸汽锅炉	L/(h·t)	1000	以小时蒸发量计
风动凿岩机	L/(h·把)	600~800	进水管内径 13mm
井下式潜孔钻	L/(h·台)	480~720	进水管内径 16mm
内燃动力装置	L/(台班·HP)	120~300	直流水, 1HP=0.735kW
内燃动力装置	L/(台班·HP)	25~40	循环水, 1HP=0.735kW

G. 3. 2 工程施工区及施工营地消防用水量可按照表 G. 3. 2 - 1 所列数值选取。

表 G.3.2-1 工程施工区及施工营地消防用水量

工厂、仓库、堆场、储罐(区)和民用建筑在同一时间内的火灾次数及水量计算				
名称	基地面积 /hm ²	居住区人数 /万人	同一时间内的 火灾次数 /次	灭 火 水 量
施工营地	不限	≤1.0	1	一次灭火水量按成组布置的建筑物按消防用水量较大的相邻两座计算, 但得不小于 10L/s
		≤2.5	1	一次灭火水量按成组布置的建筑物按消防用水量较大的相邻两座计算, 但得不小于 15L/s
工程施工及运行区			1	按需灭火水量最大一个设备或一个建筑物计算
仓库、民用建筑	不限	不限	1	按需水量最大的一座建筑物(或堆场、储罐)计算
工程施工区+ 施工营地	≤100	≤1.5	1	按需水量最大的一座建筑物(或堆场、储罐)计算
		>1.5	2	工厂、居住区各一次
	>100	不限	2	按需水量最大的两座建筑物(或堆场、储罐)之和计算

表 G. 3. 2 - 1 (续)

耐火等级		建筑物名称及类别		建筑物的屋外消火栓一次灭火用水量/(L/s)					
				建筑物体积/m ³					
			≤1500	1501~3000	3001~5000	5001~20000	20001~50000	>50000	
一、二级	厂房	丙	10	15	20	25	30	40	
		丁、戊	10	10	10	15	15	20	
	库房	丙	15	15	25	25	35	45	
		丁、戊	10	10	10	15	15	20	
	其他建筑		10	15	15	20	25	30	
	三级	厂房或库房	乙、丙	15	20	30	40	45	—
丁、戊			10	10	15	20	25	35	
其他建筑		10	15	20	25	30	—		

G.3.3 施工各类用户水压要求，应按照表 G.3.3-1 所列数值确定。

表 G.3.3-1 各类用户水压要求

序号	用水户名称		要求水压/MPa
1	施工用水		
1.1	混凝土一般养护		0.26~0.30
1.2	混凝土流水养护		>0.05
1.3	凿毛冲洗		>0.30
1.4	仓面喷雾		>0.20
1.5	灌浆		>0.10
1.6	风动凿岩机		0.20~0.30
1.7	井下式潜孔钻		0.80~1.00
2	生产用水		
2.1	立式冷却器		>0.05
2.2	卧式冷凝器		0.15~0.25
2.3	制冷机组冷却器		0.10~0.15
2.4	空压机冷却水		0.07~0.20
2.5	柴油发电机冷却水		0.07~0.15
2.6	骨料筛分冲洗		0.20~0.30
3	消防用水		>0.10 (宜采用低压制)
4	生活用水		
4.1	建筑物层数 (地面上)	1层	>0.10
4.2		2层	>0.12
4.3		2层以上	0.12+每增高一层增加0.04

G.3.4 施工生产用水水质要求应符合表 G.3.4-1 规定，或满足通过实验确定的其他水质要求。

表 C.3.4-1 施工生产用水水质要求

用水类别	物理指标		化学指标										
	浑浊度	水温	有机物含量	含油量	总含盐量	硫酸根离子含量	硫化氢	铁	硫酸钙	碳酸盐硬度	氯化物含量	碱含量	pH
	mg/L	℃											
单位													
施工用水	20~50	—	<100	无	—	—	—	—	—	—	—	—	6.0~9.0
灌浆用水	<20	—	—	无	—	<2700	—	—	—	—	<3500	—	>4
混凝土拌和用水	<20	>2	<50	—	<3500	≤2700	—	—	—	—	钢筋混凝土 ≤1200; 素混凝土 ≤3500	≤1500	≥4.5
骨料冲洗用水	<100	—	—	—	—	<2700	—	—	—	—	<3500	—	>4
冷却用水	20~25	—	25	5	—	—	—	—	—	10	—	—	6.5~8.5
冷凝用水	立式	100	30~32	—	—	—	0.5	0.3	1500~2000	—	—	—	6.5~8.5
	卧式	50	27~28	—	—	—	—	—	1500~2000	—	—	—	6.5~8.5

G.4 供电系统设计有关资料

G.4.1 用需要系数法计算供电高峰负荷时，可按公式 (G.4.1-1)、公式 (G.4.1-2) 计算。

$$P = K_1 K_2 K_3 (\sum K_c P_d + \sum K_c P_m + \sum K_c P_n) \quad (\text{G.4.1-1})$$

式中 P ——施工供电系统高峰负荷时的有功功率，kW；
 K_1 ——考虑未计及的用户及施工中发生变化的裕度系数，取 1.1~1.2；
 K_2 ——各用电设备组之间的用电同时系数，取 0.6~0.8；
 K_3 ——配电变压器和配电线路的损耗补偿系数，取 1.06；
 K_c ——需要系数，见表 G.4.1-1；
 P_d ——各用电设备组的额定容量，kW；
 P_m ——室内照明负荷，kW，见表 G.4.1-2；
 P_n ——室外照明负荷，kW，见表 G.4.1-3。

$$S = P / \cos\phi \quad (\text{G.4.1-2})$$

式中 S ——施工供电系统高峰负荷时的视在功率，kVA；
 $\cos\phi$ ——施工供电系统的平均功率因数，无功未补偿时的 $\cos\phi$ ，取 0.70~0.75；无功补偿后的 $\cos\phi$ ，取 0.90~0.95。

表 G.4.1-1 需要系数 K_c 及功率因数 $\cos\phi$

序号	名称	需要系数	功率因数
1	大型混凝土生产系统	0.50~0.60	0.70
2	中型混凝土生产系统	0.60~0.65	0.70
3	小型混凝土生产系统	0.60~0.65	0.70
4	压缩空气站	0.60~0.65	0.75
5	水泵站	0.60~0.75	0.80
6	起重机	0.20~0.40	0.40~0.50
7	挖掘机	0.40~0.50	0.30~0.50

表 G. 4. 1 - 1 (续)

序号	名称	需要系数	功率因数
8	连续式皮带机	0.60~0.70	0.65~0.70
9	非连续式皮带机	0.40~0.60	0.65~0.70
10	电焊机	0.30~0.35	0.40~0.50
11	破碎机	0.65~0.70	0.65~0.75
12	灌浆设备	0.70	0.65~0.75
13	钢管加工厂	0.60	0.45~0.60
14	修钎厂	0.50~0.60	0.50
15	钢筋加工厂	0.50	0.50
16	木材加工厂	0.20~0.30	0.50~0.60
17	混凝土预制构件厂	0.60	0.68
18	大中型机修厂	0.20~0.30	0.50
19	小型机修厂	0.20~0.30	0.50
20	码头	0.35	0.40~0.50
21	仓库动力负荷	0.90	0.40~0.50
22	施工场地	0.60	0.70~0.75
23	室内照明	0.80	0.90
24	室外照明	0.90~1.00	0.70~0.90
25	住宅照明	0.60	0.90
26	仓库照明	0.35	0.90
27	基坑排水	0.35	0.80~0.85

表 G. 4. 1 - 2 室内照明单位负荷表

序号	地点	单位负荷 /(W/m ²)
1	拌和楼(厂)、汽车库	5
2	预制构件厂	6
3	空气压缩机机房、水泵房	7
4	钢筋木材加工厂	8

表 G. 4. 1 - 2 (续)

序号	地 点	单位负荷 /(W/m ²)
5	发电厂、变电所	10
6	金属结构厂	10
7	机械修配厂	7~10
8	棚仓	2
9	仓库	5
10	办公室、试验室	10
11	宿舍、招待所	4~6
12	医院、托儿所、学校	6~9
13	食堂、俱乐部	5

表 G. 4. 1 - 3 室外照明单位负荷表

序号	地 点	单位负荷
1	人工开挖土石方	0.8~1.0W/m ²
2	机械开挖土石方	1.0~2.0W/m ²
3	人工浇筑混凝土	0.5~1.0W/m ²
4	机械浇筑混凝土	1.0~1.5W/m ²
5	金属结构安装	2.0~3.0W/m ²
6	钻探工程	1.0~2.0W/m ²
7	材料设备堆场	1.0~2.0W/m ²
8	主要人行道、车行道	2.0kW/km
9	其他人行道、车行道	2.0kW/km
10	警卫照明	1.5kW/km
11	廊道、仓库照明	3.0W/m ²
12	防洪抢险场地	13.0W/m ²

G. 4. 2 用总同时系数法计算施工供电系统高峰负荷时，应按公式 (G. 4. 2) 计算：

$$P = K \sum P_d \quad (\text{G. 4. 2})$$

式中 P ——施工供电系统高峰负荷时的有功功率, kW;

K ——总同时系数, 取 0.25~0.45;

$\sum P_d$ ——全工程用电设备容量的总和, kW。

G. 4.3 用负荷曲线法进行计算时, 可按公式 (G. 4.3) 计算:

$$W = P_{fm} T_m \quad (\text{G. 4.3})$$

式中 W ——年用电量, kWh;

P_{fm} ——年最大负荷, kW;

T_m ——年最大负荷利用小时数, h。

G. 4.4 各级电压合理输送半径及容量应按表 G. 4.4 确定。

表 G. 4.4 各级电压合理输送半径及容量

额定电压/kV	输送半径/km	输送容量/kW
0.38	<0.6	100
6	4~5	100~1200
10	6~20	200~2000
35	20~50	2000~10000
110	50~150	10000~50000
220	100~300	100000~500000

G. 4.5 配电变压器容量计算, 应按公式 (G. 4.5-1)、公式 (G. 4.5-2) 计算:

$$P_b = 1.1(\sum K_c P_d + \sum K_c P_m + \sum K_c P_n) \quad (\text{G. 4.5-1})$$

$$S_b = 1.1(\sum K_c P_d / \cos\phi + \sum K_c P_m + \sum K_c P_n) \quad (\text{G. 4.5-2})$$

式中 P_b ——配电变压器所承担的总有功功率, kW;

S_b ——配电变压器所承担的总视在功率, kVA;

K_c ——需要系数, 见表 G. 4.1-1;

$\cos\phi$ ——电器设备平均功率因数, 取 0.7~0.8, 金属结构厂、钢管加工厂为 0.4~0.6;

1.1——低压网络功率损耗系数。

G. 4.6 无功补偿容量计算, 应按公式 (G. 4.6-1)、公式

(G. 4. 6 - 2) 计算:

$$Q_c = P(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \quad (\text{G. 4. 6 - 1})$$

式中 Q_c ——无功补偿容量, kvar

P ——用电设备的计算负荷, kW;

$\tan\phi_1$ ——补偿前用电设备自然功率因数的正切值;

$\tan\phi_2$ ——补偿后用电设备功率因数的正切值, 按 $\cos\phi_2 \geq 0.9$ 考虑。

$$Q_c < P_{\min} \tan\phi_{1\min} \quad (\text{G. 4. 6 - 2})$$

式中 P_{\min} ——用电设备最小负载时的有功功率, kW;

$\tan\phi_{1\min}$ ——用电设备在最小负荷下, 补偿前功率因数的正切值。

附录 H 施工总布置堆场和仓库面积计算

H.0.1 施工总布置堆场及仓库面积的估算可采用下列两种方法进行计算：

1 采用公式法进行估算。

2 按工程规模、装机容量及台数，主要土建及安装工程的工程量与施工强度，对照已建工程实践采用分析类比法确定。

H.0.2 施工总布置堆场和仓库面积与各种材料的储存量有关，各种材料的储存量应根据施工、供应和运输条件确定。对受季节影响的材料，应考虑施工和生产中断因素；采用水运方式运输应考虑洪水、枯水和严寒等季节影响。材料储存量计算、施工材料（含半成品）仓库面积计算、施工机械设备停置场地及仓库面积计算、施工仓库（堆场）占地面积计算、永久设备及堆场面积计算、上述面积计算应按下列公式计算：

1 材料储存数量应按公式（H.0.2-1）计算：

$$q = QtK/n \quad (\text{H.0.2-1})$$

式中 q ——需要材料储存量，t 或 m^3 ；

Q ——高峰年材料总需要量，t 或 m^3 ；

n ——年工作日数，d；

t ——需要材料的储存天数，d，参考表 H.0.2-1 选用；

K ——材料总需要量的不均匀系数，可取 1.2~1.5。

表 H.0.2-1 各种材料储备天数参考表

序号	材料名称	储备天数/d	备注
1	钢筋、钢材	60~120	
2	设备配件	180~270	根据同种配件的多少乘以 0.5~1.0 的修正系数
3	水泥	7~15	

表 H. 0. 2 - 1 (续)

序号	材料名称	储备天数/d	备注
4	炸药、雷管	15~30	
5	油料	15~30	若当地有商业供应条件， 储备天数可缩短
6	木材	30~90	采用水运时，储存时间按 放排间隔确定
7	五金材料	20~30	
8	沥青、玻璃、油毡	20~30	
9	电石、油漆、化工	20~30	
10	煤	30~90	
11	电线、电缆	40~50	
12	钢丝绳	40~50	
13	地方房建材料	10~20	
14	砂、石骨料（成品）	10~20	
15	混凝土预制构件	10~15	
16	劳保、生活用品	30~40	
17	土产杂品	30~40	

2 施工材料（含半成品）仓库面积应按公式（H. 0. 2 - 2）计算：

$$W = \frac{q}{PK_1} \quad (\text{H. 0. 2 - 2})$$

式中 W ——材料、器材仓库面积， m^2 ；

q ——需要材料储量， t 或 m^3 ；

K_1 ——仓库面积利用系数，参考表 H. 0. 2 - 2 选用；

P ——每平方米有效面积的材料存放量， t 或 m^3 。

表 H.0.2-2 每平方米有效面积材料存放量 P 及
仓库面积利用系数 K_1

材料名称	保管方法	堆高 /m	每平方米有效 面积存放量 P	储存方法	仓库面积利用 系数 K_1
水泥	堆垛	1.5~1.6	1.3~1.5t	仓库、料棚	0.45~0.6
水泥		2.0~3.0	2.5~4.0t	封闭式料斗机械化	0.7
水泥		6.0~10.0	7~12t	封闭仓楼罐式	0.8~0.85
圆钢	堆垛	1.2	3.1~4.2t	料棚、露天	0.66
方钢	堆垛	1.2	3.2~4.3t	料棚、露天	0.68
扁、角钢	堆垛	1.2	2.1~2.9t	料棚、露天	0.45
工、槽钢	堆垛	0.5	1.3~1.6t	料棚、露天	0.32~0.54
钢板	堆垛	1.0	4.0t	料棚、露天	0.57
钢管	堆垛	1.2	0.8t	料棚、露天	0.11
铸铁管	堆垛	1.2	2.9t	露天	0.38
钢线	料架	2.2	1.3t	仓库	0.11
铝线	料架	2.2	0.4	仓库	0.11
电线	料架	2.2	0.9t	仓库、料架	0.35~0.4
电缆	堆垛	1.4	0.4t	仓库、料架	0.35~0.4
盘条	叠放	1.0	1.3~1.5t	棚式	0.5
钉、螺栓、 铆钉	堆垛	2.0	2.5~3.5t	仓库	0.6
炸药	堆垛	1.5	0.66t	仓库、料架	0.45~0.6
电石	堆垛	1.2	0.9t	仓库	0.35~0.4
油脂	堆垛	1.2~1.8	0.45~0.8t	仓库	0.35~0.4
玻璃	堆垛	0.8~1.5	6.0~10.0 箱	仓库	0.45~0.6
油毡	堆垛	1.0~1.5	15~22 卷	仓库	0.35~0.45
石油沥青	堆垛	2.0	2.2t	料棚	0.5~0.6
胶合板	堆垛	1.5	200~300 张	仓库	0.5
石灰	堆垛	1.5	0.85 t	料棚	0.55

表 H.0.2-2 (续)

材料名称	保管方法	堆高 /m	每平方米有效面积存放量 P	储存方法	仓库面积利用系数 K_1
五金	堆垛	2.2	1.5~2.0t	仓库、料架	0.35~0.5
水暖零件	堆垛	1.4	1.3t	料棚、露天	0.15
原木	叠放	2~3	1.3~2.0m ³	露天	0.4~0.5
锯材	叠放	2~3	1.2~1.8m ³	露天	0.4~0.5
混凝土管	叠放	1.5	0.3~0.4m ³	露天	0.3~0.4
卵石、砂碎石	堆放	5~6	3~4m ³	露天式机械化	0.6~0.7
卵石、砂、碎石	堆放	1.5~2.5	1.5~2.0m ³	露天式非机械化	0.6~0.7
毛石	堆放	1.2	1.0m ³	露天式非机械化	0.6~0.7
砖	堆放	1.5	700 块	露天式	
煤炭	堆放	2.25	2.0t	露天仓库	0.6~0.7
劳保用品	叠放		100 套	料架	0.3~0.35

表 H.0.2-3 混凝土预制件堆存参考指标

构件名称	堆置高度层	通道系数	堆置定额/(m ³ /m ²)
薄板	5	1.6	0.23
空心板	6	1.6	0.4
槽形板	5~6	1.5	0.5~0.6
大型桥梁	1~3	1.5	0.28
小型桥梁	6	1.5	0.8
其他构件	5	1.5	0.8

3 施工机械设备停置场地及仓库面积应按公式 (H.0.2-3) 计算:

$$W = \frac{\sum Na}{K_2} \quad (\text{H.0.2-3})$$

式中 W ——施工设备仓库面积, m²;

N ——储存施工设备台数；
 a ——每台设备占地面积， m^2 ，参考表 H.0.2-4 选用；
 K_2 ——面积利用系数，库内有行车时取 0.3，无行车时取 0.17。

表 H.0.2-4 施工机械停放场地所需面积参考指标

序号	施工机械名称	停放场地面积 (m^2 /台)	存放方式
一、起重、土石机械			
1	塔式起重机	200~300	露天
2	履带式起重机	100~125	露天
3	履带式正铲或反铲，拖式铲运机，轮胎式起重机	75~100	露天
4	推土机、拖拉机、压路机	25~35	露天
5	汽车式起重机	20~30	露天 80%，室内 20%
6	门式起重机 (10~60t)	300~400	解体，露天 80%， 室内 20%
7	缆式起重机 (10~20t)	400~500	解体，露天 80%， 室内 20%
二、运输类机械			
8	汽车 (室内)	20~30	一般情况下室内 不小于 10%
	汽车 (室外)	40~60	
9	平板拖车	100~150	露天
三、其他机械类			
10	搅拌机、卷扬机、电焊机、 电动机、水泵、空气 压缩机、油泵等	4~6	一般情况下室内占 30%， 室外占 70%

4 施工仓库 (堆场) 占地面积应按公式 (H.0.2-4) 计算：

$$A = \sum WK_3 \quad (\text{H. 0. 2 - 4})$$

式中 A ——占地面积, m^2 ;

W ——仓库建筑面积或堆场面积;

K_3 ——占地面积系数, 按表 H. 0. 2 - 5 中指标计算。

表 H. 0. 2 - 5 仓库占地面积系数参考指标

仓库种类	K_3
物资总库, 施工设备库	4
油库	6
机电仓库	8
炸药库	6
钢筋、钢材库、圆木堆场	3~4

5 永久设备包括机械设备、电气设备、闸门及启闭机设备三大类型, 根据永久设备不同的性质与技术要求, 其储存仓库种类分为保温仓库、封闭仓库、敞棚仓库、露天仓库、电缆堆放棚等, 各类永久设备的仓库面积应按公式 (H. 0. 2 - 5) 计算:

$$F = \frac{Q\beta K_4}{P\alpha} \quad (\text{H. 0. 2 - 5})$$

式中 F ——组装场地面积, m^2 ;

Q ——各类永久设备总重量, t ;

K_4 ——同时储存系数, 见表 H. 0. 2 - 6;

β ——永久设备需要各类仓库或堆场的百分率, 见表 H. 0. 2 - 7;

α ——场地利用系数, 取 0. 7~0. 75;

P ——永久设备单位面积储存量, t/m^2 , 见表 H. 0. 2 - 7。

表 H. 0. 2 - 6 永久设备同时储存系数 K_4

电站机组台数	1	2	3	4	>10
K_4	1	0. 75	0. 6	0. 5	0. 2

表 H.0.2-7 永久设备库面积计算系数 β 、 P

仓库类别	机械设备		电气设备		闸门及启闭机设备	
	$\beta/\%$	$P/(t/m^2)$	$\beta/\%$	$P/(t/m^2)$	$\beta/\%$	$P/(t/m^2)$
保温仓库	10	0.1	10	0.1		
封闭仓库	15~20	0.2	20	0.2	2	0.1
敞棚仓库	10~15	0.2	12~18	0.2	10	0.2~0.3
露天仓库	65~55	0.2	50	0.2	88	1.0~2.0
电缆堆放棚			8~2	0.01		

附录 I 土石方填筑工程和混凝土工程 受气象因素影响的停工标准

- I.0.1** 土石方填筑采用一般防护措施的停工标准见表 I.0.1。
- I.0.2** 常态混凝土施工受气象因素影响时应采用下列停工标准：
- 1 日降雨量大于 10mm（机械化程度低的工程），或 20mm（施工机械化程度较高工程）时，若无防雨措施，宜停工。
 - 2 月平均气温高于 25℃时，若温度控制措施费用过高，可考虑白班停工。
 - 3 当日平均气温低于 -10℃时，应停止露天混凝土浇筑；当日平均气温低于 -20℃或最低气温低于 -30℃时，宜停工。
 - 4 大风风速在六级以上宜考虑停工。
 - 5 能见度小于 100m 时应停工。
- I.0.3** 碾压混凝土施工受气象因素影响时应采用下列停工标准：
- 1 当降雨等级超过“小雨”时，不宜施工。
 - 2 日平均气温连续 5d 稳定在 5℃以下或最低气温连续 5d 稳定在 -3℃以下时，应按低温季节施工。
 - 3 日平均气温 -10℃以下不宜施工。

标准用词说明

标准用词	严格程度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

标准历次版本编写者信息

SDJ 338—89

本标准主编单位：原水电部成都勘测设计院——徐世志
王友全 付鸿明 陈连清 任德昌
王世德

本标准参编单位：原水电部长江流域规划办公室——陈尚德
朱永福 严华俊 刘正启 郭燕鸿
姚本福

原水电部北京勘测设计院——刘景云

原水电部东北勘测设计院——吴承章

李瑞珍

原水电部天津勘测设计院——徐强华

原水电部西北勘测设计院——曾宪典

原水电部华东勘测设计院——左兆熙

原水电部昆明勘测设计院——徐 永

杜作霖 叶志强

原水电部中南勘测设计院——杨佩章

藤子佩

陕西机械学院水利系——杨全民

SL 303—2004

本标准主编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司（原水利部东北勘测设计研究院）

本标准参编单位：武汉大学水利水电学院

本标准主要起草人：任金明 肖焕雄 胡志根 崔金铁
程 燕 赵永君 杨明刚 齐志坚
苏 石 黄 俊 于长征 史有富

林淀翔 吴显伟 胡 东 谭继文
贺昌海 周宜红 薛云飞

SL 484—2010

本标准主编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

本标准主要起草人：赵永君 苏 石 史有富 王福运
栾远新 黄 俊 黄相军 冯吉新
郑希娟 胡 东 王仁超 刘海瑞
任金明 王剑英 朱立新 史光宇
徐怀聚 于长征

SL 487—2010

本标准主编单位：长江水利委员会长江勘测规划设计研究院

本标准主要起草人：谢向荣 翁永红 刘百兴 姜凤海
倪锦初 王真民 张晓平 何 为
朱卫军 常汉军 徐文林 胡宏敏
卢清波 彭伟光 王曙东

SL 535—2011

本标准主编单位：长江水利委员会长江勘测规划设计研究院

本标准主要起草人：陈 迁 卢清波 彭伟光 鄢双红
刘 军 胡宏敏 曹小冶 苏利军
孔繁忠

SL 643—2013

本标准主编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

本标准主要起草人：赵永君 王福运 韩立阳 蔡光哲
黄相军 王佳奎 蔡仲银 赵福全
赵 丹 王仁超 竹怀水 王守明
杨春国 樊建华 陈友平 解红军

朱殿英

SL 667—2014

本标准主编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

本标准参编单位：黄河勘测规划设计有限公司

本标准主要起草人：齐志坚 马 军 黄 俊 冯吉新

郑希娟 李佩南 匡啟兵 吉士道

薛 强 徐智桓 杨恩文 王 伟

孙鹏辉 田伟峰 张雨豪 郭 海

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程施工组织设计规范

SL 303—2017

条 文 说 明

目 次

1 总则	153
2 施工导流	154
3 料源选择与料场开采	278
4 主体工程施工	284
5 施工交通运输	332
6 施工工厂设施	345
7 施工总布置	374
8 施工总进度	386
9 施工劳动力及主要技术供应	445
附录 A 施工组织设计工作的依据和所需资料	446
附录 B 导流标准确定的风险度分析法	447
附录 C 天然建筑材料设计需要量计算	449
附录 D 岩土开挖级别划分及洞室开挖通风指标	450
附录 E 混凝土施工温度控制	451
附录 F 施工交通运输主要技术标准	454
附录 G 施工工厂设施	458
附录 H 施工总布置堆场和仓库面积计算	466
附录 I 土石方填筑工程和混凝土工程受气象 因素影响的停工标准	467

1 总 则

1.0.1 施工组织设计是水利水电工程设计文件的重要组成部分；是编制工程投资概（估）算的主要依据和编制招标设计阶段设计文件的主要参考，是工程建设和施工管理的指导性文件。认真做好施工组织设计对正确选定坝址、坝型、枢纽布置、整体优化设计方案、合理组织工程施工、保证工程质量、缩短建设周期、降低工程造价都有十分重要的作用。本标准是在总结 SL 303—2004《水利水电工程施工组织设计规范》颁布 10 余年来我国水利水电工程施工组织设计实践经验的基础上，对原标准修订而成的。修订的目的是为了适应市场经济条件下水利水电工程施工组织设计的需要，统一设计标准和技术要求。为此要求水利水电工程施工组织设计做到安全可靠、技术先进、经济合理、实用性强等几个方面的要求。但对这几个方面的要求，不能只强调其中某个方面而忽视其他几个方面。

1.0.2 本标准沿用了原标准的适用范围，项目建议书、可行性研究设计阶段和招标设计阶段的施工组织设计时，可参照执行。条文中提到的大、中型水利水电工程，其划分标准按 SL 252 中的规定执行。

1.0.3 强调水利水电工程施工组织设计需积极推广新技术、新材料、新工艺和新设备；凡经实践证明技术经济效益显著的科研成果，最好采用。

1.0.5 水利水电工程施工组织设计中需全面掌握工作依据、所需资料，为此专门将其列入附录 A。

2 施工导流

2.1 一般规定

2.1.1 本条主要强调施工导流设计的重要性。施工导流是水利水电枢纽工程总体设计的重要组成部分，是选择枢纽布置、永久建筑物型式、施工程序和施工总进度的重要因素。施工导流是水利水电工程施工过程中对江河水流进行控制的简称，是为了创造干地施工条件，将原河水通过适当的方式导向下游的工程措施。施工导流设计包括导流、截流、拦洪度汛、下闸蓄水等，其内容多、程序复杂，与枢纽布置和主体工程施工密切相关。因此，在坝址比较和枢纽布置方案研究时，需将施工导流视为总体设计的重要组成部分；在编制施工总进度时，需要首先研究导流方案，并控制好截流、度汛、下闸蓄水、封堵等关键环节。在充分掌握基本资料进行导流方案比较的基础上，选择出技术可行、经济合理的设计方案，使工程达到安全可靠、工期短、投资省、效益高等目标。

2.1.2 施工导流从时间上可分为初期导流、中期导流和后期导流三个阶段，通常将坝体临时挡水以前时段划入初期导流阶段（即围堰挡水阶段），坝体临时挡水至导流泄水建筑物完全封堵时段划入中期导流阶段，导流泄水建筑物完全封堵后、永久泄洪设施具备运用条件至工程完建划入后期导流阶段。施工导流设计不仅要解决初期导流问题，而且要妥善解决施工全过程的挡水、蓄水、泄水问题，初期、后期导流密切相关，既要重视初期导流也需要重视后期导流。中、后期导流设计涉及的内容往往随工程情况不同而异，对大中型拦河坝一般包括坝体临时挡水、导流泄水建筑物封堵和水库蓄水等几个阶段；对中小型闸、坝工程，可能不存在坝体临时挡水问题。但工程施工导流全过程是一个不可分割的有机整体，设计中需要统筹规划、合理安排，才能设计出安

全可靠、技术可行、经济合理、实用性强的导流方案。

2.1.3 与原规范相比，对于大型工程及水力条件复杂或有综合利用要求的中型工程，仅靠水力计算难以准确反映导流建筑物运用过程中的情况，或在导流期间有其他特殊要求时，则需要在设计过程中进行必要的导流模型试验，以验证和改善工程布置。

2.2 施工导流标准

2.2.1 条文中导流建筑物级别划分与 SL 252 的规定一致。本标准划分导流标准的特点主要有：导流建筑物划级不划等，并将导流建筑物划分为三级；在划分级别时，各施工阶段导流建筑物的级别需要视其服务对象的重要性不同而有所区别，并严格控制最高级别出现。导流建筑物属短期使用的临时性工程。为了节约投资，在拟定划级所依据各种指标时，指导思想是将绝大部分导流工程划为 4 级或 5 级，对划为 3 级导流建筑物的指标控制较严格。具体导流建筑物划分时可按照表 1 进行选择。

表 1 导流建筑物级别划分

级别	保护对象	失事后果	使用年限 /年	导流建筑物规模	
				围堰高度/m	库容 /亿 m ³
3	有特殊要求的 1 级永久性水工建筑物	淹没重要城镇、工矿企业、交通干线或推迟工程总工期及第一台（批）机组发电，造成重大灾害和损失	>3	>50	>1.0
4	1 级、2 级永久性水工建筑物	淹没一般城镇、工矿企业或影响工程总工期及第一台（批）机组发电而造成较大经济损失	≤3, ≥1.5	≤50, ≥15	≤1.0, ≥0.1

表 1 (续)

级别	保护对象	失事后果	使用年限 /年	导流建筑物规模	
				围堰高度/m	库容 /亿 m ³
5	3 级、4 级 永久性水工建 筑物	淹没基坑、但对总 工期及第一台(批) 机组发电影响不大, 经济损失较小	<1.5	<15	<0.1

注 1: 导流建筑物包括挡水和泄水建筑物, 两者级别相同;

注 2: 表列四项指标均按导流分期划分, 保护对象一栏中所列永久性水工建筑物级别系按 SL 252 划分;

注 3: 有、无特殊要求的永久性水工建筑物均系针对施工期而言, 有特殊要求的 1 级永久性水工建筑物系指施工期不应过水的土石坝及其他有特殊要求的永久性水工建筑物;

注 4: 使用年限系指导流建筑物每一导流分期的工作年限, 两个或两个以上导流分期共用的导流建筑物, 如分期导流一期、二期共用的纵向围堰, 其使用年限不能叠加计算;

注 5: 导流建筑物规模一栏中, 围堰高度指挡水围堰最大高度, 库容指堰前设计水位所拦蓄的水量, 两者应同时满足。

对表 1 中四项指标说明如下:

(1) 保护对象是永久建筑物, 其级别作为划分导流建筑物级别的依据之一, 各级永久建筑物相应的临时建筑物级别一般划为 4~5 级; 只有同时满足表 1 中 3 级导流建筑物一栏两项以上指标, 其导流建筑物级别才有条件研究提高到 3 级的可能性。

(2) 失事后果一栏很难用定量指标体现。美国土木工程学会大坝分级标准, 将失事后果按人口死亡和灾害划分三级。英国土木工程学会按人口死亡和财产损失划分为四级。俄罗斯等一些国家提出施工期按成本分类划分等级。本标准将围堰失事后带来的经济损失按其程度划为重大、较大和较小三级。失事后果的定量分析方法尚不成熟, 暂不列入标准。

(3) 使用年限系指各施工阶段导流建筑物的运用年限, 围堰挡水期越长, 遭遇洪水破坏的可能性越大, 承担的风险也就越

大。目前，国内外大型水利水电工程主体工程施工期（从基坑开挖到发电）为5~7年，一般工程大约为3年。故将3级导流建筑物使用年限定在3年以上，4级导流建筑物的使用年限框为1.5~3年，5级导流建筑物使用年限定为1.5年以内。在以往使用过程中，曾出现这样的问题：某工程是汛前完成截流，围堰使用不到1.5年就失去作用。虽然使用时间短，但却跨越了两个主汛期。导流建筑物的最危险工况一般出现在汛期，导流建筑物经过一个完整的汛期定为一个使用年。

(4) 围堰工程的规模用围堰高和堰前库容来衡量，本标准规定工程规模的上限为围堰高大于50m、库容大于1亿 m^3 ，两项指标要同时满足。在使用时，实质上是由较低指标控制，在平原地区河流上往往是堰高控制，高山峡谷区河流则多受库容控制。导流泄水建筑物的规模实际上受围堰规模控制。对于覆盖层上修围堰的情况，基坑开挖后覆盖层的厚度不计入堰高，围堰堰高采用覆盖层建基面以上堰体最大填筑高度。但需要根据围堰堰脚至基坑边缘的距离，具体分析复核基坑覆盖层开挖边坡对围堰边坡稳定性的影响，研究处理措施。

(5) 同一导流建筑物的不同部位因作用不同应有差别，如混凝土纵向围堰的上段、中段和下段，若中段与坝体结合，上段、下段则需要分别拟定不同的级别。

2.2.3 本标准规定临时建筑物划分为3个级别，但大江大河上修建的巨型水利水电工程，由于导流建筑物规模大，允许个别特殊工程经充分论证，报主管部门批准后可另行确定。例如：长江三峡工程二期上游土石围堰最大高度达82.5m，拦蓄洪水量达20亿 m^3 ，使用年限为5年，围堰失事后将威胁下游葛洲坝工程和宜昌市的安全，并延误三峡工程建设工期，推迟发电和造成长江断航，后果严重，经论证和批准，二期土石围堰按2级建筑物设计。

2.2.4 本条规定有下列几个方面的含义：

(1) 在不同导流分期，导流建筑物可能有不同级别。

(2) 同一导流分期(阶段)的导流建筑物,可能因作用和型式不同,其级别也可能不一样,如上游围堰、下游围堰、纵向围堰就可能采用不同级别。

2.2.5 本条规定调整导流建筑物结构设计级别需要具备的条件。

本条第1款对于导流建筑物级别提高至2级时,按照2.2.3条的规定其洪水标准需要经充分论证后报主管部门批准。

本条第3款说明在特殊情况下不要限制过死。仅从下列两种特殊情况阐明:

(1) 长距离引水式电站。例如宝兴水电站为长距离引水式电站,引水枢纽至电站厂房相距18km,其间河道无重要城镇,其拦河坝枢纽工程施工工期为2年,但厂房及引水洞工程施工工期3年,故坝体施工不占直线工期,其围堰堰高不到10m。按原标准表2.2.1划分除使用年限大于1.5年以外,其他指标均为5级建筑物,但“以最高级别为准”则导流标准应为4级建筑物,洪水重现期10~20年。然而实际选择5级建筑物,洪水重现期为5年,其导流量和导流工程规模比前者可减少一半,而且若遇超标洪水时,除需重建围堰,清理基坑,延长3个月工期外不会影响第一台机组发电,也无其他不利,尚可节约大量投资。类似的工程还有西藏沃卡水电站等。

(2) 抽水蓄能电站。抽水蓄能电站水库往往利用山区垭口围建而成,无天然径流,洪水由暴雨汇集而成,坝体和进出口施工期如修建围堰,其级别则不要限制过死。

2.2.6 采用过水围堰允许基坑淹没的导流方式在国内外得到广泛运用,让河流最大洪峰流量通过围堰或施工中的坝体,事实证明是既经济又可行的。

过水围堰特点是既挡水又泄水,过水围堰的级别,我国惯例的设计方法是对应永久建筑物的等级即可确定围堰级别,此标准主要用于堰体稳定和结构计算。本条规定按表1确定过水围堰级别,一般情况下因挡水期围堰较低,库容较小,所定级别不会高于4级,这符合我国实际设计施工情况。

2.2.7 导流泄水建筑物的永久封堵体实际上是枢纽挡水建筑物的组成部分。在确定导流隧洞施工支洞封堵体的建筑物级别时，共分为下列两种情况：

(1) 穿过大坝防渗帷幕的支洞封堵体级别需与坝体相同。

(2) 其余情况下，支洞封堵体的设计级别需与所在的泄水建筑物相同。

2.2.8 导流泄水建筑物为临时建筑物，保护其施工的进出口围堰使用时间一般较短，且围堰挡水期间通过原河床过流，因此选用较低的设计级别比较符合实际。

2.2.9 库水位以下的预留岩塞是一种特殊围堰。一般适用于已建水库内新建供水取水口、排沙或泄洪洞进口时，水库水位无法降低，或降低对周边环境、经济效益影响较大，且修建围堰的难度大，经专题论证可采用预留岩塞挡水，最终采用水下爆破拆除。

2.2.10 按照施工导流的挡水、泄水和封堵蓄水等特点划分，设计洪水标准主要分导流建筑物设计洪水标准、坝体施工期临时度汛设计洪水标准、导流泄水建筑物封堵后坝体度汛设计洪水标准等情况。按照 SL 252 的规定，具体参照表 2 进行划分。

表 2 导流建筑物洪水标准划分

导流建筑物类型	导流建筑物级别		
	3	4	5
	洪水重现期/年		
土石结构	50~20	20~10	10~5
混凝土、浆砌石结构	20~10	10~5	5~3

在整个施工导流期，与施工设计洪水标准有关的设计工况有：围堰挡水期，过水围堰的基坑过流期，蓄水前坝体临时挡水度汛期（围堰已失去作用，汛后坝前基坑不再抽水），导流建筑物封堵期，水库蓄水后坝体挡水度汛期等。导流建筑物设计洪水标准做以下几方面说明：

(1) 设计洪水标准：根据导流建筑使用时间较短的特点，采用一个设计标准，使用起来方便。

(2) 导流建筑物类型的影响：混凝土结构抵御洪水的能力远比土石结构强，因而土石围堰的设计洪水标准较同级混凝土围堰要求高。1988年8月，广西岩滩水电站二期碾压混凝土围堰经受了 $19100\text{m}^3/\text{s}$ 的超标洪水考验。福建水口水电站三期碾压混凝土围堰也在1992年7月经受了50年一遇的大洪水考验。由于两个工程的洪水预报比较及时，基坑过水后损失甚微。相反，龙羊峡水电站的土石围堰在1981年遇到100年一遇的特大洪水时，堰顶溢洪道下游出现了较大的险情。

(3) 强调初期导流阶段，导流泄水建筑物与围堰的设计洪水标准应相同，同一导流阶段采用相同的设计洪水标准以统一各导流建筑物的设计高程，按主要挡水建筑物统一确定设计洪水标准是通常采用的方法。只有上、下游围堰的规模相差悬殊，承受的安全风险相差很大时，上、下游围堰才采取不同的设计洪水标准，如三峡、二滩、水口等工程的上游围堰设计洪水标准均高于下游围堰。

(4) 从经济和安全因素考虑，围堰的设计洪水标准要考虑运行时间因素。两个同等规模的围堰工程，使用时间分别为1年和2年时，对应的设计洪水标准有差别。

(5) 导流洪水设计标准是确定导流建筑物规模的依据，其选择原则是：在主体工程施工期，要有一定的安全向，同时又要经济合理。

(6) 同一导流泄水建筑物分属于不同导流阶段时，要根据其所处的导流阶段选用相应的设计洪水标准。

(7) 对于大型或有特殊要求的水利水电工程可参照附录B的方法进行分析。导流标准风险决策的内容主要有最大单位风险度效益率法和最小期望损失决策法等，目前由于施工导流风险度理论在实践中并未完全成熟因此本标准未作强制性规定。

我国若干已建和在建水利水电工程导流标准统计见表3。

表 3 我国已建和在建水利水电工程导流标准统计表

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	
1	丹江口	混凝土宽缝重力坝	1	分期导流	IV	一期低土石围堰	13	初期	8060	5590
							21		34500	5770
					IV	二期土石围堰	45	设计 20 (全年)	47000	—
								校核 50 (全年)	52000	
2	富春江	混凝土重力坝	2	分期导流	IV	一期竹笼戗石围堰	16		18400	10800
						二期堆石竹笼围堰	15		10160	—
						三期木笼戗石围堰	—		8550	—
3	刘家峡	混凝土重力坝	1	隧洞导流	IV	混凝土拱形围堰	49	初期	4700	5350
4	龚嘴	混凝土重力坝	1	明渠导流	IV	木板心墙堆石围堰	35	初期	9650	5680
								中期	10600	
5	青铜峡	混凝土重力坝	2	分期导流	IV	一期低土石围堰	9.5		2130	—
						一期高草土围堰			5450	4200
						二期草土、土石混合围堰			5450	5940
					IV		17.5	设计 20 (全年)	6200	
								校核 50 (全年)		

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	重测最大	
6	碧口	黏土心墙坝	1	隧洞导流	IV	围堰与坝体结合		初期	14年实测最大	3260	1310
7	八盘峡	混凝土闸坝	2	分期导流	IV	一期土石围堰		初期	设计20(全年) 校核50(全年)	经刘家峡调蓄后 5500	3680
								初期	10(枯水期)	2910	—
8	白山	混凝土重力拱坝	1	明渠导流	IV	土石围堰	28	中期	10(全年)	5800	
								后期	100(全年)	11800	
9	葛洲坝	混凝土闸坝	1	分期导流	IV	二期上游土石围堰	42		设计10(全年)	66800	72000
									校核20(全年)	71100	
									保堰125(全年)	86000	
10	鲁布革	心墙堆石坝	2	隧洞导流	IV	围堰与坝体结合		初期	20(全年)	3400	—
								中期	50(全年)	4260	
								后期	100(全年)	4910	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量 (m^3/s)
								重现期/年	设计流量 (m^3/s)	设计流量 (m^3/s)	
11	乌江渡	混凝土拱形重力坝	1	隧洞导流	IV	混凝土拱围堰	38	初期	挡水 10 (11月—4月)	1500	—
								中期	过水 10 (全年)	9700	
								后期	20 (全年)	11000	
									50 (全年)	13000	
								50 (全年)	14600		
50 (全年)	15100										
12	铜街子	混凝土重力坝	1	明渠导流	IV	一期土石围堰	17	中期	20 (全年)	9200	—
								后期	20 (全年)	9200	
								后期	50 (全年)	10300	
									500 (全年)	13100	
13	安康	碾压混凝土重力坝	1	隧洞导流	IV	一期土石围堰	32	中期	10 (11月 1日—5月 15日)	4700	19200
								后期	10 (11月 1日—5月 15日)	4700	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	
13	安康	碾压混凝土重力坝	1	隧洞导流		三期		10 (11月1日—6月30日)	9200	19200
								中期	22200	
								50 (全年)	25200	
								设计100 (全年)	28100	
								后期	35700	
14	江垭	碾压混凝土重力坝	1	隧洞导流	IV	碾压混凝土过水围堰	20.5	初期	2100	
								过水10 (全年)	5870	
								中期	8470	
								后期	9380Z	
								初期	1350	5140
								挡水10 (11月—4月)	7290	
								过水设计10 (全年)	8430	
								后期	8430	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量 (m^3/s)
								重现期/年	设计流量 (m^3/s)	设计流量 (m^3/s)	
15	东风	混凝土 双曲拱坝	1			土石过水围堰	17.5	设计 20 (全年)	8430		
								中期	9880		
								设计 50 (全年)	9880		
								校核 100 (全年)	11000		
16	砂溪口	混凝土重力坝	2	分期导流	IV III IV	混凝土与砌石 上游土石围堰 下游土石围堰	40.9	10 (全年)	13900		
							44.2	50 (全年)	18500		
							25	20 (全年)	15900		
17	隔河岩	混凝土 重力拱坝	1	隧洞导流	IV	碾压混凝土 过水围堰	43.5	挡水 20 (枯水期)	3000		
								过水 10 (全年)	12000		
								50 (全年)	13500		
18	漫湾	混凝土重力坝	1	隧洞导流	IV	土石围堰	64.3	20 (全年)	9500		8500
								50 (全年)	11600		
19	龙羊峡	混凝土 重力拱坝	1	隧洞导流	III	混凝土心墙 堆石围堰	53	设计 20 (全年)	4100		5570
								校核 50 (全年)	4720		
								50 (全年)	4720		
							后期	200 (全年)	5650		

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	
20	水口	混凝土重力坝	1	明渠导流	IV	一期预留岩埂 二期土石围堰 三期上游横向碾压混凝土围堰 四期封堵导流底孔	44.55	枯期 10 (10月—2月)	7000	10750
								设计 20 (全年)	28400	
								校核 50 (全年)	32200	
								保堰 100 (全年)	35000	
21	二滩	混凝土重力坝	1	隧洞导流	III	土石围堰	56	10 (全年)	25200	31300
								3月上、下旬, 10%	3110~3730	
								二期 100 (全年)	35000	
								三期设计 20 (全年)	28400	
								中期	32200	
								初期	13500	10500
								保堰 50 (全年)	14600	
								100 (全年)	16000	
								后期	200 (全年)	17300

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量 (m^3/s)
								重现期/年	设计流量 (调蓄流量) (m^3/s)	设计流量 (m^3/s)	
22	万家寨	混凝土重力坝	1	分期导流	IV	一期土石围堰	12	20 (全年)	8350	—	
						二期土石围堰	25.6	20 (全年)	8350	—	
								中期	10300	—	
								后期	11700	—	
23	三峡	混凝土重力坝	特	二期明渠 导流三期 底孔导流	IV	一期土石围堰	42	20 (全年)	72300	—	
						二期上游横向 土石围堰	82.5	设计 100 (全年) 保堰 100 (全年)	83700 88400	—	
						二期下游横向 土石围堰	68.5	20 (全年)	72300	—	
23	三峡	混凝土重力坝	特	二期明渠 导流三期 底孔导流	I	三期上游横高碾压 混凝土围堰	121	20 (全年) 保堰 100 (全年)	72300 83700	—	
						三期下游横向 土石围堰	36.5	20 (全年)	72300	—	
								中期	83700	—	
						后期	200 (全年)	88400			

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	设计流量/(m ³ /s)	
24	小浪底	黏土斜墙堆石坝	特	隧洞导流	Ⅲ	均质土围堰	59	初期	100 (全年)	17340	4000
								中期	500 (全年)	24760	
								后期	1000 (全年)	26640	
25	拉西瓦	混凝土双曲拱坝	1	隧洞导流	Ⅳ	土石围堰	45.3	初期	20 (全年)	2000	龙羊峡按后 1200
								中期	100 (全年)	2500	
								后期	设计 100 (全年)	3000	
26	李家峡	混凝土双曲拱坝	1	隧洞导流	Ⅳ	土石围堰		初期	20 (全年)	2000	龙羊峡按后 1500
								中期	50 (全年)	2500	
								后期	100 (全年)	3000	
27	公伯峡	混凝土面板堆石坝	1	隧洞导流	Ⅳ	土石围堰	38	初期	20 (全年)	2000	龙羊峡按后 1200
								中期	50 (全年)	2500	
								后期	200 (全年)	3770	
								设计 200 (全年)	3770		
								校核 500 (全年)	4070		

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	
28	溪洛渡	混凝土 双曲拱坝	1	隧洞导流	Ⅲ	碎石土斜心墙 土石围堰	78	初期	32000	
								中期	34800	
								后期	37600	
29	小湾	混凝土 双曲拱坝	1	隧洞导流	Ⅲ	黏土心墙 土石围堰	60.59	初期	10300	
									11500	
								中期	12500	
									13100	
									14600	
								后期	14600	
30	锦屏 一级	混凝土 双曲拱坝	1	隧洞导流	Ⅲ	复合土工膜斜墙 土石围堰	64.5	初期	9370	
								中期	10900	
								后期	11700	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量 (m^3/s)
								重现期/年	设计流量 (调蓄流量) (m^3/s)	设计流量 (m^3/s)	
31	龙滩	碾压混凝土 重力坝	1	隧洞导流	III	碾压混凝土围堰	82.7	初期	10 (全年)	14700	8890
								中期	100 (全年)	23200	
								后期	200 (全年)	25100	
32	构皮滩	混凝土 双曲拱坝	1	隧洞导流	IV	碾压混凝土围堰	72.6	初期	10 (全年)	13500	
								中期	100 (全年)	21000	
									200 (全年)	23200	
								后期	设计 200 (全年) 校核 500 (全年)	23200 27900	
33	大岗山	混凝土 双曲拱坝	1	隧洞导流	III	土工膜心墙土 石围堰	51	初期	30 (全年)	6190	
								中期	100 (全年)	7040	
								后期	200 (全年)	8120	
34	金安桥	碾压混凝土 重力坝	1	隧洞导流	III	复合土工膜 堆石围堰	62	初期	30 (全年)	10600	
								中期	50 (全年)	11400	
								后期	100 (全年) 500 (全年)	12400 14600	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量 (m^3/s)
								重现期/年	设计流量 (m^3/s)	设计流量 (m^3/s)	
35	糯扎渡	砾石土心墙 堆石坝	1	隧洞导流	Ⅲ	黏土斜墙土 石围堰	74	初期	100 (全年)	17400	
								中期	200 (全年)	22000	
								后期	设计 500 (全年)	25100	
									校核 1000 (全年)	27500	
36	水布垭	混凝土面板 堆石坝	1	隧洞导流	Ⅳ	土石过水围堰	33	初期	挡水 20 (枯水期)	4190	
								中期	过水 30 (全年)	11600	
									30 (全年) ~ 300 (全年)	11600 ~ 15500	
								后期	枯期 10 (102)	16500	
37	瀑布沟	砾石土心墙 堆石坝	1	隧洞导流	Ⅲ	复合土工膜斜 墙土石围堰	47.5	初期	30 (全年)	7320	
								中期	100 (全年)	8230	
									200 (全年)	8770	
								后期	200 (全年)	8770	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量 (m^3/s)	
								重现期/年	设计流量 (m^3/s)		
38	双江口	砾石土心墙 堆石坝	1	隧洞导流	Ⅲ	土工膜心墙 土石围堰	51	初期	50 (全年)	4840	
								中期	100 (全年)	5330	
									200 (全年)	5810	
								后期	设计 200 (全年)	5810	
									校核 300 (全年)	6080	
									设计 500 (全年)	6430	
39	两河口	砾石土心墙 堆石坝	1	隧洞导流	Ⅲ	复合土工膜斜 墙土石围堰	64.5	初期	50 (全年)	5240	
								中期	200 (全年)	6110	
40	功果桥	碾压混凝土 重力坝	2	隧洞导流	Ⅳ	土石过水围堰	22.5	初期	挡水 10 (枯水期)	2030	
								中期	过水 20 (全年)	7710	
									100 (全年)	10300	
41	蜀河	混凝土重力坝	1	分期明渠 导流	Ⅳ	纵向草土围堰 一期土石围堰 二期土石围堰	8~10 27 34	5 (4月)	2730	13000	
								10 (全年)	19700		
								10 (全年) (安康 电站控制泄流量)	17000	2600	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高 /m	导流设计			实际最大流量 /(m^3/s)
								重现期 /年	设计流量 (调蓄流量) /(m^3/s)	初期	
42	梨园	混凝土面板堆石坝	2	隧洞导流	III	土石围堰	65.5	初期	8950		
								中期	10400		
								后期	12200		
43	阿海	碾压混凝土重力坝	1	隧洞导流	IV	土石围堰	69	初期	9800		
								中期	11200		
								后期			
44	龙开口	碾压混凝土重力坝	1	分期明渠导流	IV	一期上、下游土石围堰, 纵向混凝土围堰 二期土石围堰 三期进口钢闸门	55		10 (全年)	9640	
									5 (全年)	8360	
									20 (全年)	10800	
									枯期 10 (11月—4月)	2490	
								中期	二期 30 (全年) 三期 100 (全年)	11500 13400	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	重流期/年	
45	鲁地拉	碾压混凝土重力坝	1	隧洞导流	IV	土石——碾压混凝土混合过水围堰	33.5	初期	挡水 20 (枯水期)	2170	
									过水 20 (全年)	10700	
								中期	设计 50 (全年)	12200	
									校核 100 (全年)	13400	
							后期	200 (全年)	14500		
46	观音岩	碾压混凝土重力坝	1	分期明渠导流	IV	二期上游土石围堰	37		20 (全年)	11400	
									30 (全年)	12100	
									枯期 20 (11月—5月) 鲁地拉满发	3320	
								中期	100 (全年)	14200	
									设计 200 (全年)	15400	
								后期	校核 500 (全年)	16900	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量/(m ³ /s)	
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)		
47	景洪	碾压混凝土重力坝	1	分期底孔和缺口导流	IV	一期纵向围堰		10 (全年)	12700		
					III	二期上游土石围堰	65	20 (全年)	15100		
								中期	100 (全年)		20800
48	天生桥一级	混凝土面板堆石坝	1	隧洞导流	IV	土石过水围堰		初期	挡水 20 (11月11日—5月20日)	1670	4430
								中期	过水 30 (全年)	10800	
								中期	设计 300 (11月—4月)	17400	
								校核 500 (全年)	18800		
49	天生桥二级	混凝土重力坝	1	明渠导流	IV	土石过水围堰		初期	挡水 20 (11月—4月)	1230	4310
									过水 20 (全年)	7310	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	中期	
50	岩滩	混凝土重力坝	1	分期明渠 底孔导流	Ⅳ	一期明渠施工围堰		5 (12月1日—4月15日)	1340		19100
						二期上游土石围堰		20 (12月1日—4月15日)	2220		
						二期厂坝基坑上游碾压混凝土围堰		5 (全年)	15100		
51	锦屏二级	混凝土重力坝	1	隧洞导流	Ⅳ	三期明渠坝段施工		20 (12月1日—4月15日)	2220		6960
								中期	19700		
								后期	30500		
						堰高/过水堰高 24.5/21	挡水20 (11月—4月) 过水20 (全年)	1450 8850			
						土石过水围堰		20 (全年)	8850		

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	初期	
52	珊溪	混凝土面板堆石坝	1	隧洞导流	IV	土石过水围堰	20	初期	挡水 10 (11月—4月)	1100	
									过水 20 (全年)	7790	
								中期	100 (5—6月)	4890	
									100 (全年)	11500	
								后期	设计 500 (全年) 校核 1000 (全年)	15200 16700	
53	滩坑	混凝土面板堆石坝	1	隧洞导流	IV	土石过水围堰	堰高/ 过水 堰高 23.5/ 18	初期	挡水 10 (11月—4月)	2420	
									过水 20 (全年)	10400	
								中期	200 (11月—4月)	10100	
									200 (全年)	17500	
								后期	设计 500 (全年) 校核 1000 (全年)	20300 22500	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计			实际最大流量 (m^3/s)
								重现期/年	设计流量 (m^3/s)	设计流量 (m^3/s)	
54	三板溪	混凝土面板 堆石坝	1	隧洞导流	IV	土石围堰	30	初期	枯水期 20 (10月—4月)	3370	5250
								中期	设计 100 (全年)	12600	
									校核 200 (全年)	14300	
55	碗米坡	混凝土重力坝	2	隧洞导流	IV	土石围堰	28	初期	枯水期 5 (11月 1 日— 4 月 15 日)	1830	1640
								中期	设计 20 (全年)	10900	
									50 (全年)	13000	
56	向家坝	混凝土 重力坝	1	分期底孔 导流	IV	一期纵向围堰	20.5		20 (全年)	28200	
									50 (全年)	3200	
								中期	100 (全年)	34800	
								后期	200 (全年)	37600	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	
57	光照	碾压混凝土重力坝	1	隧洞导流	IV	土石过水围堰	22	初期	挡水 10 (枯水期)	1120
									过水 10 (全年)	5470
								中期	20 (全年)	6260
									50 (全年)	7270
							后期	设计 200 (全年)	8740	
58	洪家渡	混凝土面板堆石坝	1	隧洞导流	IV	上游围堰 (枯水期) 下游围堰 (全年)	16	初期	10 (枯水期)	1260
							19.6		10 (全年)	3250
								中期	100 (全年)	5210
								后期	500 (全年)	6550
							初期	10 (10月16日—5月5日)	1170	
59	引子渡	混凝土面板堆石坝	1	隧洞导流	IV	土石围堰	23.5	中期	50 (全年)	5780
									100 (全年)	6390
								后期	设计 500 (全年)	6390
									校核 1000 (全年)	6980

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量 (m^3/s)
								重现期/年	设计流量 (调蓄流量) (m^3/s)	
60	大朝山	碾压混凝土重力坝	1	隧洞导流	IV	碾压混凝土拱围堰	53	初期	挡水 5 (10月—6月)	5000
									过水 20 (全年)	
								中期	50 (全年)	
									100 (全年)	
61	喜河	碾压混凝土重力坝	2	分期明渠导流	IV	一期土石草土围堰 二期上游土石围堰 三期上游土石围堰	8.5		10 (11月 1日— 3月 31日)	880
									10 (全年)	
									10 (11月 1日— 5月 31日)	
									10 (11月 1日— 5月 15日)	
								中期	10 (全年)	
								后期	设计 50 (全年) 校核 100 (全年)	

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量/(m ³ /s)
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)	
62	土卡河	混凝土重力坝	3	分期枯期 隧洞导流	V	一期土石围堰	9.9	10 (12月—4月)	1230	6980
						一期上游碾压混凝土围堰	25.8	10 (全年)	5730	
						二期上游土石围堰	17.5	5 (12月—4月)	730	
63	天花板	碾压混凝土双曲拱坝	3	隧洞导流	IV	土石围堰	40.5	中期	8660	
								后期	8660	
64	大华桥	碾压混凝土重力坝	2	隧洞导流	IV	胶凝砂砾石过水围堰	49	初期	2130	2060
								中期	2730	
								挡水 10 (10月 16日—5月 31日)	6950	
								过水 20 (全年)	8300	
								中期	9310	
								后期	1420	
								20 (12月 1日—4月 30日)		

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量/(m ³ /s)				
								重现期/年	设计流量(调蓄流量)/(m ³ /s)					
65	五强溪	混凝土重力坝	1	分期底孔导流	IV	一期上游混凝土过水围堰	18.6	挡水	16000	21200				
								过水 20 (全年)	31800					
								挡水	18000	30000				
								过水 20 (全年)	31800					
66	枕头坝一级	混凝土重力坝	2	分期明渠导流	IV	一期预留岩坝		中期	36600					
								后期	43400					
								10 (全年)	6080					
								20 (全年)	6600					
67	沙坪二级	混凝土闸坝	2	分期明渠导流	IV	二期上游土石围堰	28		20 (全年)					
											三期上游土石围堰	30	20 (12月1日—5月25日)	3510
											截流前预留岩坝			
											一期上游土石围堰	37	10 (全年)	7490
二期上游土石围堰	19	20 (全年)	8250											

表 3 (续)

序号	工程名称	坝型	永久建筑物级别	导流方式	导流建筑物级别	围堰形式	堰高/m	导流设计		实际最大流量 (m^3/s)	
								重现期/年	设计流量 (m^3/s)		
68	藏水	混凝土 重力坝	2	分期明渠 导流	IV	一期纵向围堰	15	10 (全年)	7760		
						二期上游土石围堰	40	20 (全年)	8870		
						三期上游土石围堰	6	20 (11月—6月)	955		
69	银盘	混凝土 重力坝	2	分期明渠 导流	V	一期预留岩坝	19.5	3 (全年)	12700		
					IV	二期上游土石围堰	42.4	20 (全年)	20800		
					IV	三期上游土石围堰	40	20 (全年)	20800		
70	卡基娃	混凝土 面板堆石坝	1	隧洞导流	IV	土石围堰	42	后期	100 (全年)	27100	
								初期	20 (全年)	973	
								中期	设计100 (全年)	1220	
71	立洲	碾压混凝土 双曲拱坝	2	隧洞导流	IV	土石过水围堰	堰高 14, 过水 堰高 10.7	后期	300 (1—5月)	152	
								初期	挡水10 (11月—5月)	161	
								中期	过水10 (全年)	1120	
								20 (全年)	1260		
								后期	100 (3—5月)	225	

2.2.11 同期导流建筑物中如其中一部分利用永久建筑物，利用部分的结构设计标准需按永久建筑物采用，但其作为担负导流任务而言，与其他临时导流建筑物组合成一个整体，其导流设计级别需与其他临时导流建筑物级别相同，即仍需要参照表 1 进行划分，亦即导流设计洪水标准不因其为永久建筑物而提高。

2.2.12 本条主要基于考虑降低施工导流的风险。

2.2.13 位于梯级开发河流上的工程当上游有大型水库控制时坝址处的水文特点有：

(1) 年流量分配趋于均匀，枯水期的来流量较天然状态增加，但汛期的来流量较天然减少。

(2) 受上游水库的调蓄影响同频率下的天然设计洪水流量得到大幅度的削减，度汛压力得到减轻。

(3) 通过和下游区间洪水的错峰调度，达到调蓄目的。

1986 年 10 月龙羊峡水库蓄水后，黄河上游的拉西瓦、尼那、李家峡、康扬和公伯峡等水电站其 20 年重现期的施工洪水流量较天然状态下降了约 40%。贵州的构皮滩水电站在施工期通过上游的乌江渡水库预留防洪库容较天然降低洪峰流量约 $2610\text{m}^3/\text{s}$ 。丰满水电站下游的永庆反调节水库施工洪水为丰满水库泄流（发电）+ 区间洪水组合。在建的丰满水电站全面治理（重建）工程，其施工导流标准为 20 年重现期洪水，经丰满水库调蓄的出库施工洪水流量为 $2500\text{m}^3/\text{s}$ ，大幅度降低了洪峰流量。

本条在使用过程中某种频率下的水库下泄流量是否要与区间同频率的洪水叠加要分析：

(1) 两个位置是否处于同一暴雨中心。

(2) 区间发生暴雨时上游水库能否错峰调度等。

2.2.14 围堰的基础防渗墙施工大都安排在枯水期完成（一般不超过 6 个月），持续时间较短。混凝土围堰一般都在基坑抽水完成后开始浇筑，持续时间更短。不少工程的实践经验证明，在枯水季节围堰施工期，上游的来水设计标准适当降低（如围堰的设计标准为 20 年重现期洪水，防渗墙施工期的设计标准可取 10 年

重现期洪水),可以减少部分防渗工程量,缩短施工工期,有利围堰的度汛安全。

2.2.15、2.2.16 在我国的水利水电工程施工中,也常根据工程的水文特性和具体情况,采用枯水流量作为导流建筑物设计洪水流量。该类导流标准的围堰型式又可分为两种情况:

(1) 采用枯水期流量挡水的挡水围堰。系指工程规模小,坝基开挖、处理及坝体下部混凝土,在一个枯水期抢筑到常水位以上,在汛前坝体可达到替代围堰的挡水高程或达到拦洪度汛高程。此方法节省工期、降低设计难度、施工程序简单,工程能够顺利进行。

(2) 采用枯水期流量挡水的过水围堰。指工程规模较大,工程所在河流洪枯流量、水位变幅很大,采用全年洪水标准导流工程规模太大,费用太高,在工期上、技术上都难以实现的工程,采用低导流标准挡水的过水围堰,即只拦挡枯水期一定标准流量,超过标准允许淹没基坑的过水围堰,待坝体达到一定高程时再用坝体拦洪度汛,以降低导流建筑物规模、消减导流工程量,获得较好的经济效益。如隔河岩、岩滩、万滩、万安、五强溪、普定等工程都获得成功。

过水围堰的特点是枯水期挡水,汛期泄水。根据我国近几十年来的水利水电建设经验,土石过水围堰的高度一般不超过35m,混凝土过水围堰的高度一般不超过50m,过水围堰的级别一般为4级或5级。但过水围堰的挡水标准不要过低,以避免基坑频繁过水,保证大坝等永久建筑物有足够长的有效工期,对高坝或工程量较大的工程更要尽可能争取有较长的工期。若挡水流量降低太多,围堰过水频繁,损失工期太多以致影响施工总进度会更不经济。例如,东风、安康、乌江渡等工程均因基坑过水次数偏多,或造成工程施工困难或延长了工期。相比之下,五强溪工程导流标准选用的就比较恰当,导流标准采用枯水期(9月至次年4月)20年重现期洪水标准,流量相当全年2年重现期洪水量,工程经过6年施工,基坑一年只过一次水,达到了工程

建设预期的目的。

在使用中要注意下列几点：

(1) 为使选定的流量符合河流的水文特性，满足安全、经济和工期要求，除按重现期确定外，当水文系列较长时也可在分析实测资料的基础上确定。

(2) 围堰过水的最危险状况不一定发生在最大洪水期，需要找出最危险流量作为控制标准。国内过水围堰设计情况汇总见表 4。

2.2.17 本条主要针对天然来流情况的工程，提出有关截流设计标准。三峡工程大江截流设计流量 $Q=14000\sim 19400\text{m}^3/\text{s}$ ，相当于 11 月月平均及 11 月上旬 $P=10\%$ 频率最大日平均流量，实际截流流量 $Q=8480\sim 11600\text{m}^3/\text{s}$ ，小湾工程截流时段为 2004 年 11 月上旬（旬平均），截流标准 $P=10\%$ ，相应的设计流量 $Q=1320\text{m}^3/\text{s}$ 。实践证明，我国不少工程的截流标准选用相对较高，在实际中允许采用频率法以外的其他方法。

由于施工管理、施工技术和机械化水平的提高，截流经验不断丰富，目前大流量的河道截流标准有下降趋势。以往国内外多选用 5~20 年一遇月或旬平均流量作为截流标准，我国实际截流情况是：除极个别工程外，设计截流流量一般为实际发生的流量的 1~3 倍。说明我国以往截流标准普遍偏高，因此本条文未将截流标准限制过死，使用本标准时需要注意到这一点。国内外若干截流工程设计流量与实际流量对比见表 5 和表 6。

考虑到截流戗堤不同于围堰挡水，而采用频率法确定的设计流量又往往大于实际流量，有的甚至相差悬殊，因此，有的工程采用统计分析法确定设计流量。这种方法的实质是根据历年水位资料统计出该时段内（月或旬）的历年最大、最小及平均流量，也可以根据该年的水文特性按典型年（丰水年、平水年或枯水年等）求出该时段的流量。然后，通过综合分析，确定其设计流量。也可以根据历年实测资料统计结果，选取几个可能流量，分析在其时段内出现的天数，最后确定设计流量。对于水文系列长的河流可考虑独立使用此法，一般总是和频率法配合使用。

表 4 部分过水围堰设计情况汇总表

工程名称	挡水标准	过水标准	围堰设计指标	备注
天生桥二级	$P=5\%$ (枯水期) $Q=1230\text{m}^3/\text{s}$	$P=5\%$ (汛期) $Q=1230\text{m}^3/\text{s}$	上游土石围堰用楔形体保护, 高度 14.7m, 设计落差 2.7m, 堰顶最大水深 10m, 最大流速 9.02m/s, 单宽流量 $36\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$	实际过流 17 次; 累计过流 360h; 最大洪峰流量 $4310\text{m}^3/\text{s}$; 过堰流量 $2715\text{m}^3/\text{s}$; 最大过堰流速 9m/s
东风	$P=5\%$ (枯水期) $Q=919\text{m}^3/\text{s}$	$P=5\%$ (汛期) $Q=8420\text{m}^3/\text{s}$	上游土石围堰高度 17.5m, 用混凝土楔形体保护。设计落差 4.5m, 堰顶最大水深 15.6m, 最大流速 $11.6\text{m}/\text{s}$, 单宽流量 $10\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$	实际过流 18 次; 累计过流 220h; 最大洪峰流量 $5140\text{m}^3/\text{s}$; 过堰流量 $4250\text{m}^3/\text{s}$; 单宽流量 $57\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$; 最大过堰流速 $11.6\text{m}/\text{s}$
天生桥一级	$P=5\%$ (枯水期) $Q=1670\text{m}^3/\text{s}$	$P=3\%$ (汛期) $Q=10800\text{m}^3/\text{s}$	上游土石围堰高度 21m, 设计落差 5m, 最大流速 $10.9\text{m}/\text{s}$	1995 年过水 12 次, 历时 1926h, 1996 年过水 7 次
隔河岩	$P=5\%$ (枯水期) $Q=3000\text{m}^3/\text{s}$	$P=10\%$ (汛期) $Q=12000\text{m}^3/\text{s}$	上游 RCC 围堰最大高度 43.5m, 堰顶水深 11m, 单宽流量 $31\text{m}^3/\text{s}$	下游为 16m 高的过水土石围堰, 实际最大单宽流量 $50.4\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$, 流速 $11.5\text{m}/\text{s}$
岩滩	$P=20\%$ (枯水期) $Q=15100\text{m}^3/\text{s}$	$P=10\%$ (全年) $Q=19700\text{m}^3/\text{s}$	上游 RCC 围堰最大高度 52.3m	汛期基坑过水 1 次
五强溪二期	$P=58.8\%$ (相当于 1.7 年一遇) $Q=16000\text{m}^3/\text{s}$	$P=5\%$ (全年) $Q=31800\text{m}^3/\text{s}$	上游 RCC 围堰最大高度 40.8m	下游为过水土石围堰, 最大堰高为 33m
蒲石河抽水蓄能电站下水库大坝二期	$P=10\%$ (汛前期) $Q=360\text{m}^3/\text{s}$	$P=10\%$ (大汛) $Q=4180\text{m}^3/\text{s}$	上游土石围堰高度 11.5m, 用 1.5m 厚混凝土板保护。设计落差 7.3m, 堰顶最大水深 6.75m, 最大单宽流量 $25\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$	下游为土石围堰, 最大堰高 5.0m, 采用 1.0m 厚钢筋混凝土笼防护

表 5 国内部分工程设计截流流量与实际截流流量对比

工程名称	河流	设计截流流量		实际截流 流量 /(m ³ /s)	截流日期 (年-月)
		流量频率	流量 /(m ³ /s)		
三门峡 (神门)	黄河	5%中水年月平均	1000	2030	1958-11
盐锅峡	黄河	10%旬平均	860	447	1959-04
丹江口	汉江	5%最大瞬时	640	310	1959-12
刘家峡	黄河	10%旬平均	500	220	1960-01
青铜峡	黄河	统计分析结合预报	320	325	1960-10
西津	郁江	10%旬平均	1300	594	1968-02
龚嘴	大渡河	统计分析结合预报	420	448	1968-02
白山	松花江	20%旬平均	440~260	118	1976-10
大化	红水河	10%旬平均	1500	1390~1210	1980-10
铜街子	大渡河		750	850	1986-11
岩滩	红水河	10%旬平均	1900	1160	1987-11
隔河岩	清江	10%月平均	425	210	1987-11
浸湾	澜沧江		922	436	1987-11
水口	闽江		1620	1133	1989-09
李家峡	黄河	龙羊峡水电站下泄	300	620~262	1991-10
五强溪	沅水		1400	613	1991-11
大朝山	澜沧江	10%旬平均 加浸湾下泄	873~522	618	1997-11
葛洲坝 大江截流	长江	统计分析结合预报	7300~ 5200	4800~4400	1981-01
三峡 大截流	长江	频率结合统计分析	19400~ 14000	11600~8480	1997-11
三峡明渠 截流	长江	频率结合统计分析	12200~ 10300	10300~8600	2002-11

表 6 国外部分工程设计截流流量与实际截流流量对比

国家	工程名称	河流名称	设计截流流量		实际截流流量 /(m ³ /s)
			流量频率	流量/(m ³ /s)	
巴西、巴拉圭	伊泰普	巴拉那河	5%	17000	8100
前南斯拉夫、 罗马尼亚	铁门	多瑙河	5%	7000	3300
波兰	符沃次瓦维克	维斯拉安河	10%月平均	1000	840~870
俄罗斯	布拉茨克	安加拉河	5%月平均	6300	2800~3500
	乌斯季伊里姆	安加拉河	5%月平均	6300	2970
	古比雪夫	安加拉河	5%月平均	12000	3600~3800

三峡大江截流与二期围堰招标设计阶段，将大江截流合龙期由 1997 年 12 月上旬提前至 11 月中旬，截流设计流量 $Q=14000\sim 19400\text{m}^3/\text{s}$ （相应于 11 月下旬及中旬 5% 频率旬最大日平均流量）。根据坝址下游宜昌水文站 1877—1996 年共 120 年实测水文资料统计资料分析，10 月 26—31 日和 11 月 1—5 日出现小于 $20000\text{m}^3/\text{s}$ 的年数分别为 96 年和 111 年，比例分别为 80% 和 92.5%（见表 7），说明大江截流龙口合龙时段提前到 10 月底至 11 月上旬是有可能的。1997 年 11 月 8 日，成功实现了大江截流。

表 7 宜昌站 1977—1996 年 10 月下旬—11 月上旬
实测流量统计资料

项目	日 期			
	10 月 21—25 日	10 月 26—31 日	11 月 1—5 日	11 月 6—10 日
小于 $20000\text{m}^3/\text{s}$ 的年数	80	96	111	119
所占百分比/%	66.7	80.0	92.5	99.2

目前水文预报科学日臻成熟，特别在枯水期，流量稳定，预报值有较高的准确性。青铜峡、刘家峡、龚嘴等工程都曾采用预报法确定截流流量。

以青铜峡水电站为例，确定截流设计流量时，既分析了实测水文资料，又考虑了预报值。根据水文预报，1960年为中水年，2月流量为 $210\sim 320\text{m}^3/\text{s}$ ，结合实测资料的统计分析，确定设计流量为 $300\text{m}^3/\text{s}$ 。龚嘴水电站根据12月下旬截流，又根据预报确定截流设计流量为 $420\text{m}^3/\text{s}$ ，实际截流时，流量为 $448\sim 420\text{m}^3/\text{s}$ ，与设计值相近。

采用预报法可取得较接近实际的结果，但是由于水文气象条件影响因素复杂，特别是长期预报尚难做到准确无误。因此，一般都是配合其他方法，通过综合分析，确定截流设计流量。

在梯级河流上截流，综合分析水文、施工、水库调度运行、发电、通航、防凌等因素后确定截流设计流量。对于上游有水库控制的情况，合龙设计流量可取上游电站的控泄流量与区间5~10年重现期的旬平均流量之和。以黄河公伯峡水电站为例，由于上游有龙羊峡和李家峡水库调节，2003年3月中旬截流期的流量按下列要求控制：初期进占期流量取 $360\text{m}^3/\text{s}$ （李家峡一台机组发电），合龙流量取 $10\text{m}^3/\text{s}$ （李家峡水电站关机，仅考虑少量河槽渗流量），戗堤闭气后的挡水流量取 $720\text{m}^3/\text{s}$ 。

2.2.18 位于库区内的进出水口围堰具有设计水头高、拦截库容大、持续挡水等特点，这类工程设计洪水标准需要取上限值。进出水口施工期通过引水发电系统及其他泄水建筑物与下游有连通时，将危及下游城镇等安全，需要提高相应挡水建筑物的设计洪水标准。

2.2.19 根据SL 252的规定，当坝体填筑高程超过围堰堰顶高程时，坝体临时度汛洪水标准参照表8的规定选择。

表8 坝体施工期临时度汛洪水标准（重现期/年）

坝型	拦洪库容/亿 m^3			
	≥ 10.0	$< 10.0, \geq 1.0$	$< 1.0, \geq 0.1$	< 0.1
土石坝	≥ 200	200~100	100~50	50~20
混凝土坝、浆砌石坝	≥ 100	100~50	50~20	20~10

本条细分了临时度汛时的库容大小指标。结合近年来部分工程的实际度汛情况，将施工期混凝土坝的最高度汛标准由不小于 50 年重现期改为 100 年重现期；将施工期土石坝的最高度汛标准由不小于 100 年重现期改为不小于 200 年重现期。部分面板堆石坝采用临时度汛断面设计情况见表 9。

表 9 部分面板堆石坝采用临时度汛断面设计情况汇总表

工程名称	大坝设计指标	临时度汛断面设计指标	度汛标准
天生桥一级	坝高：178m； 库容：102.57 亿 m ³ ； 1 级建筑物	一汛临时度汛断面高程：111m； 拦蓄库容：大于 20 亿 m ³ ； 填筑时间：1995 年 5 月 21 日至 1996 年 5 月 20 日； 填筑量：761m ³	$P=0.33\%$
		二汛临时度汛断面高程：121m； 拦蓄库容：大于 20 亿 m ³ ； 填筑时间：1996 年 5 月 21 日至 1996 年 5 月 20 日； 填筑量：1154m ³	$P=0.2\%$
洪家渡	坝高 179.5m； 库容：49.47 亿 m ³ ； 1 级建筑物； 500 年重现期洪水	临时度汛断面高程：57m； 拦蓄库容：1.5 亿 m ³ ； 填筑时间：2003 年 1 月 16 日至 5 月 26 日； 填筑量：87 万 m ³	$P=1\%$ ； $Q=5210\text{m}^3/\text{s}$
引子渡	坝高 129.5m； 库容：5.31 亿 m ³ ； 2 级建筑物； 100 年重现期洪水	临时度汛断面高程：70m； 拦蓄库容：0.5 亿 m ³ ； 填筑时间：2001 年 12 月 3 日至 2002 年 5 月 20 日； 填筑量：120 万 m ³	$P=2\%$ ； $Q=5780\text{m}^3/\text{s}$

表 9 (续)

工程名称	大坝设计指标	临时度汛断面设计指标	度汛标准
三板溪	坝高 185.5m; 库容: 37.48 亿 m ³ ; 1 级建筑物; 500 年重现期洪水	临时度汛断面高程: 93m; 拦蓄库容: 3.7 亿 m ³ ; 填筑时间: 2003 年 12 月 30 日至 2004 年 4 月 30 日; 填筑量: 201 万 m ³	$P=0.5\% \sim 1\%$; $Q=12600\text{m}^3/\text{s}$
东津	坝高 88.5m; 库容: 7.98 亿 m ³ ; 2 级建筑物	临时度汛断面高程: 56.7m; 拦蓄库容: 大于 1 亿 m ³ ; 填筑时间: 1992 年 12 月 30 日至 1993 年 4 月 27 日; 填筑量: 87 万 m ³	$P=1\%$; $Q=3630\text{m}^3/\text{s}$
公伯峡	坝高 132.2m; 库容: 6.3 亿 m ³ ; 1 级建筑物; 500 年重现期洪水	一汛临时度汛断面高程: 36.5m; 填筑时间: 2003 年 8 月至 2004 年 5 月	$P=2\%$; $Q=2500\text{m}^3/\text{s}$;
		二汛	$P=0.5\%$; $Q=3770\text{m}^3/\text{s}$
察汗乌苏	坝高 110m; 库容: 1.25 亿 m ³ ; 2 级建筑物; 500 年重现期洪水	临时度汛断面高程: 80m; 拦蓄库容: 0.5 亿 m ³ ; 填筑时间: 2005 年 3 月至 2006 年 6 月; 填筑量: 344 万 m ³	$P=2\%$; $Q=1390\text{m}^3/\text{s}$
糯扎渡	坝高 261.5m; 库容: 227.41 亿 m ³ ; 1 级建筑物; 1000 年重现期洪水	临时度汛断面高程: 115m; 拦蓄库容: 12.83 亿 m ³ ; 填筑量: 1168.66 万 m ³	$P=0.5\%$; $Q=22000\text{m}^3/\text{s}$

表 9 (续)

工程名称	大坝设计指标	临时度汛断面设计指标	度汛标准
梨园	坝高 155m; 库容: 7.27 亿 m ³ ; 1 级建筑物; 500 年重现期洪水	临时度汛断面高程: 85m; 拦蓄库容: 1.0 亿 m ³ ; 填筑时间: 第 3 年 5 月至第 5 年 5 月; 填筑量: 431.8 万 m ³	$P=1\%$; $Q=10400\text{m}^3/\text{s}$
珊溪	坝高 132.5m; 库容: 18.24 亿 m ³ ; 1 级建筑物; 500 年重现期洪水	临时度汛断面高程: 78m; 填筑时间: 1998 年 1 月至 1999 年 6 月; 填筑量: 570 万 m ³	$P=1\%$; $Q=11500\text{m}^3/\text{s}$
滩坑	坝高 162m; 库容: 41.55 亿 m ³ ; 1 级建筑物; 500 年重现期洪水	临时度汛断面高程: 89m; 填筑时间: 2006 年 1 月至 2007 年 6 月; 填筑量: 405 万 m ³	$P=2\%$; $Q=17500\text{m}^3/\text{s}$
注: P 为洪水频率, Q 为洪峰流量。			

本条在使用过程中要把握好以下 3 个原则:

(1) 与同等规模的围堰相比提高一个量级, 与下闸发电后坝体的度汛标准相比可下降一个量级。

(2) 下游洪水影响区分布有重要城镇或交通设施时, 坝体的度汛标准不允许低于城镇或交通设施的设防标准。

(3) 当坝体填筑高度超过围堰顶高程时, 按坝体临时度汛确定洪水设计标准。汛前或汛期内部分时段坝体未超过围堰顶高程, 仍按围堰挡水标准度汛, 围堰需考虑其运行使用期。

2.2.20 按照 SL 252 的规定, 导流泄水建筑物封堵后, 如永久泄洪建筑物尚未具备设计泄洪能力, 坝体度汛洪水标准参照表 10 进行选择。

表 10 导流泄水建筑物封堵后坝体度汛洪水标准（重现期/年）

坝 型		大坝级别		
		1	2	3
混凝土坝、浆砌石坝	设计	200~100	100~50	50~20
	校核	500~200	200~100	100~50
土石坝	设计	500~200	200~100	100~50
	校核	1000~500	500~200	200~100

水库蓄水阶段或大坝施工期运用阶段导流泄水建筑物封堵后，水库下闸蓄水后的第一个汛期，坝体仍处于初级运行阶段，泄水建筑物尚未具备设计的过水能力，因此坝体度汛设计洪水标准比建成后的大坝正常运用洪水标准低，用正常运用时的下限值作为施工期运用的上限值。由于混凝土坝施工期运用的标准需比土石坝低，故取土石坝的下限值作混凝土坝的上限值。

2.2.21 部分充蓄水库及抽水蓄能电站的上、下水库所在的环境比较特殊，有山间小溪、人工库盆、天然湖泊、已有水库等。对于开挖围填形成的库盆选用 24h 洪量作为标准（需根据水气象条件，分析降雨历时及过程）；降雨量大，且汇流面积较大时，仍选用洪峰流量作为设计标准。

2.2.22 下闸时间一般持续时间较短，当出现短时间的大流量时，可滞后下闸，因此下闸设计标准不要太高。

2.2.23 在导流泄水建筑物下闸后，确定导流标准的目的：一是确定坝前水位，对坝体的收尾进度计划提出要求；二是确定导流泄水建筑物进出水口封堵闸门或围堰的规模。与原规范规定有所不同，根据 SL 252 的规定，本标准提高了导流隧洞（底孔）的进口闸门的设计洪水标准，即：导流隧洞（底孔）的进口闸门采用与封堵施工时段的大坝施工期洪水标准。但封堵工程出口的临时挡水设施的设计洪水标准沿用了原规范的规定，根据以往经验，导流隧洞（底孔）的出口围堰采用 5~20 年重现期的导流设

计标准能满足要求。当封堵需要跨汛期或导流泄水建筑物的进出口土石围堰使用时间超过一年时，需要适当提高设计标准。

2.2.24 水库蓄水期间需保证河流生态水量和环境保护的基本要求，满足下游必需的供水、生态保护需要的最小流量。参考 SL 322《建设项目水资源论证导则》，北方河流生态基流指标原则上不允许小于多年平均流量的 10%，枯水时段不允许低于同期流量均值的 20%。参考《水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南（试行）》，下游生态最小需水流量标准可按多年月平均流量的 10% 或多年实测最小月平均流量确定。水库蓄水期维持下游生态系统稳定的最小需水量，是以历史实测流量为基础，根据简单的水文指标确定的，必要时可通过生态保护专题论证或环境影响评价确定。

水库蓄水期的来水保证率与河流的来水特点有关，对于上游有大型水库控制、水量稳定、蓄水历时较短的情况，可选用较高的保证率。当发电、灌溉、通航、供水等对蓄水进度的要求高时，也需选用较高的保证率。

2.2.25 对于施工导流风险度分析方法的应用，本标准未作硬性规定，对大型或有特殊要求的水利水电工程必要时可酌情采用。

2.3 施工导流方式及导流程序

2.3.1 导流方式是指主体工程工期控制水流的方法。不同的施工阶段对应不同的控制水流方法，导流方式大体分为两类：

(1) 采用一次拦断河床围堰将河水引向河床外的明渠或隧洞导向下游的导流方式。

(2) 采用分期围堰使河道水流先通过被束窄的河床下泄，再永久通过明渠、底孔或其他永久泄水建筑物导向下游的导流方式。

根据导流泄水建筑物的型式和汛期基坑的施工特点，导流方式分类见表 11。

表 11 导流方式分类表

基本分类	按导流建筑物的名称和基坑的施工特点分类	工程实例
围堰一次拦断河床的导流方式	围堰一次断流，基坑全年施工的隧洞（明渠）导流方式	刘家峡、龙羊峡、鲁布革、漫湾、二滩、小湾、拉西瓦、龙滩、小浪底、溪洛渡、锦屏一级、瀑布沟、大岗山、两河口、公伯峡、察汗乌苏、糯扎渡、阿海、金安桥、天花板、梨园、双江口等
	枯水期围堰断流，汛期过水围堰及基坑过水的隧洞导流方式	乌江渡、东江、大朝山、东风、隔河岩、普定、天生桥一级、鲁地拉、功果桥、滩坑、水布垭、珊溪、锦屏二级、光照、大华桥等
	枯水期围堰断流，汛前坝体临时断面超过度汛水位，汛期基坑过水的隧洞导流方式	碗米坡等
	枯水期围堰断流，汛前坝体临时断面挡水的隧洞导流方式	三板溪、洪家渡、引子渡等
	枯水期围堰断流，汛前坝体临时断面挡水的明渠导流方式	白山、映秀湾等
	涵洞、渡槽等导流方式	琅琊山抽水蓄能电站上水库工程采用涵洞导流，湖南金江工程采用渡槽导流
围堰分期围护河床的导流方式	截流前围堰挡水、束窄的原河床过水，截流后围堰断流、明渠过水的导流方式	三峡、水口、宝珠寺、观音岩、龙开口、龚嘴、铜街子、岩滩、大峡、喜河、银盘、蜀河、天生桥二级、藏木等
	截流前围堰挡水、束窄的原河床过水，截流后围堰断流、导流底孔和坝体缺口过水的导流方式	向家坝、景洪等

表 11 (续)

基本分类	按导流建筑物的名称和基坑的施工特点分类	工程实例
围堰分期围护河床的导流方式	截流前枯期围堰挡水、束窄的原河床过水，汛期基坑过水，截流后枯期围堰断流、导流底孔过水、汛期导流底孔和坝体缺口过水的导流方式	五强溪等
	截流前围堰挡水、束窄的原河床过水，截流后枯水期围堰断流、隧洞过水、汛期束窄的河床坝段基坑和隧洞联合过流的导流方式	土卡河等
	在河床较窄、水位变幅大的河流上，枯水期围堰断流，汛期基坑过水的明渠导流方式	安康等

2.3.2 导流建筑物一般属临时建筑物，但在条件具备时，和永久建筑物结合布置，除节省临建费用外，还可使枢纽总布置更紧凑、更合理。常见的结合型式有：心墙堆石坝可以和围堰结合布置，导流隧洞和龙抬头泄洪洞结合布置，导流明渠和泄水闸结合布置，发电尾水隧洞（包括低水头的引水发电隧洞）和导流隧洞结合布置，坝身永久底孔和导流底孔结合布置等。

2.3.3 采用围堰一次拦断河床导流方式，导流泄水建筑物布置河床外，围堰一次性拦断河床，导流程序相对简单。河床内枢纽建筑物施工从时间上分为初期导流、中期导流和后期导流三个阶段。

(1) 初期导流为围堰挡水阶段，水流由导流泄水建筑物下泄。

(2) 中期导流为坝体临时挡水阶段，坝体填筑高度超过围堰堰顶高程，洪水由导流泄水建筑物下泄，坝体满足安全度汛条件。

(3) 后期导流为坝体挡水阶段，导流泄水建筑物下闸封堵，

水库开始蓄水，永久泄水建筑物尚未具备设计泄流能力。

坝体临时挡水以前时段划入初期导流阶段，坝体临时挡水至导流泄水建筑物完全封堵时段划入中期导流阶段，导流泄水建筑物完全封堵后、永久泄洪设施具备运用条件至工程完建划入后期导流阶段。导流程序设计时，要统筹安排好开工、导流泄水建筑物施工、截流、导流挡水建筑物施工，大坝临时断面挡水度汛、导流建筑物封堵和蓄水发电等施工工序和关键点。已建工程刘家峡、龙羊峡、鲁布哥、漫湾、二滩、小湾、拉西瓦、龙滩、构皮滩、小浪底、寺坪、溪洛渡、锦屏一级、瀑布沟、大岗山、两河口、公伯峡、察汗乌苏、糯扎渡、阿海、金安桥、天花板、梨园、双江口等，均采用围堰一次性拦断河床、隧洞导流方式。

2.3.4 主要是几十年来我国若干工程采取隧洞导流的经验总结。国内部分导流隧洞设计情况见表 12。

表 12 国内部分导流隧洞设计情况汇总表

工程名称	初期导流方式	设计流量 (实际过流量) /(m ³ /s)	设计尺寸	过流日期 (年-月)
龙羊峡	土石围堰 一次断流 的隧洞 导流方式	3340 (5570)	L=661m 15m×18m (方型)	1979-12— 1986-10
拉西瓦		2000	L=1436m D=14m (有压段) 11.5m×14m (无压段)	2004-01— 2008-10
李家峡		2000 (约 1500)	L=1147m 11m×(14~15)m (无压洞)	1991-10— 1996-12
公伯峡		3510 (约 1200)	L=1005m 12m×15m (有压洞) 后期改建为泄洪洞	2002-03— 2004-08

表 12 (续)

工程名称	初期导流方式	设计流量 (实际过流量) /(m ³ /s)	设计尺寸	过流日期 (年-月)
二滩	土石围堰 一次断流 的隧洞 导流方式	13500 (10500)	L=1090m (左) L=1168m (右) 17.5m×23m 部分和尾水洞结合布置	1993-11— 1997-11
小湾		10300	L=891~983m (2条) 16m×19m (有压洞)	2004-11— 2008-10
龙滩		14700	L=598~849m (2条) 16m×21m (有压洞)	2003-10— 2006-07
漫湾		9500	L=423~458m (2条) 15m×18m (有压洞)	1987-12— 1993-03
隔河岩	枯水期围堰 断流, 汛期 基坑过水的 隧洞导流 方式	3000	L=695m 13m×16m (有压洞)	1987-10— 1991-01
东风		1350	L=600m 12m×13.3m (有压洞)	1989-11— 1993-12
大朝山		3940 (4900)	L=644m 15m×18m (有压洞)	1997-11— 2001-10
小浪底	土石围堰 一次断流 的隧洞 导流方式	8740 (约 4000)	L=1149~1220m (3条) D=14.5m	1997-10— 1999-12

在表 12 中, 隔河岩、东风和大朝山工程选择了汛期基坑过水方案。对于隧洞导流情况, 是否要选择汛期基坑过水方案, 需结合洪枯流量比、河床覆盖层的厚度和坝型特点, 从安全、进度和投资等方案进行综合比较。

2.3.5 主要对我国部分工程采用明渠进行分期导流的经验总结。河流流量大、河床一侧有较宽台地、汊河、堰口或古河道的坝址

一般优先选用明渠导流方式。分期围堰导流方式一般要减少分期数，且各期工程量需大体平衡。部分导流明渠设计情况见表 13。选用与明渠配合的分期导流方案时，纵向围堰的布置需要考虑 4 个因素：

- (1) 纵向围堰施工难度。
- (2) 河床砂砾石覆盖层的抗冲能力。
- (3) 水位壅高引起的防洪问题。
- (4) 一二期基坑施工强度均衡性等。

大中型水利水电工程施工导流一般优先研究分期导流的可能性和合理性，分期导流有利于提前受益，且对施工期通航、排冰影响较小。影响采用分期导流的因素较多，纵向围堰的布置条件是主要因素之一，布置纵向围堰的一期基坑所占河床宽度与原河床宽度比可采用 0.3~0.7，束窄后的河道设计平均流速不要大于原河床的抗冲流速，且各期工程量一般要大体平衡。表 13 为部分工程一期基坑对原河床的束窄影响情况。

表 13 国内外部分工程分期导流一期基坑对河床的束窄影响汇总表

工程名称	一期基坑束窄 河床程度 /%	工程名称	一期基坑束窄 河床程度 /%
新安江	60	三峡	30
盐锅峡	67	景洪	44.68
青铜峡	70	向家坝	46
桓仁	55	喜河	30
三门峡	58	蜀河	43
富春江	37	藏木	40
古田一级	27	西津	60
大化	40	红石	70
葛洲坝	25	丹江口	50
五强溪	66	回龙山	35

表 13 (续)

工程名称	一期基坑束窄 河床程度 /%	工程名称	一期基坑束窄 河床程度 /%
沙溪口	72	别尔木	60
高尔可夫	60	伏尔谢	52
萨扬-舒申斯克	58	齐雅	50
布拉茨克	30	齐姆良	49
克拉斯诺雅尔斯克	50	铁门	35
乌格里却	47	卡霍夫卡	40

2.3.6 分期围堰导流程序相对复杂，一般适用于混凝土重力坝。河床内枢纽建筑物施工不仅从时间上分期，还需从空间上分期，导流程序设计时，大多分为二期导流或三期导流。导流分期越多，导流工程量相对越大，主体工程（如大坝）施工连续性较差，对主体工程施工特别是施工进度产生不利影响。二期导流方式一般先修建混凝土纵向围堰和永久泄水建筑物，同时兼顾提前发电，一期修建的永久泄水建筑物规模需满足二期过流及度汛要求。三期导流方式一般先修建导流明渠和混凝土纵向围堰，第二期修建永久泄水建筑物和发电厂房，永久泄水建筑物规模满足三期过流和度汛要求，第三期在导流明渠里修建非溢流坝段或少量溢流坝段。采用二期导流的工程有：五强溪、凌津滩、丹江口等，采用三期导流的工程有富春江、三峡、银盘、亭子口、水口和高坝洲等。采用分期围堰导流方式时，虽有时分三期以上也是必要的，但分期越多，左右河床交替导流，挡水围堰需反复拆除、填筑，如富春江工程导流分三期、八盘峡工程导流分四期、三峡工程亦分为三期导流，但从实践总结说明，分期越多导流工程费用越高，故一般尽量以分两期导流为宜。

国内部分分期围堰导流方式特性见表 14。

表 14 国内部分分期围堰导流方式特性统计表

工程名称	河床宽度 /m	导流方式	挡水标准			上游围堰		下游围堰		纵向围堰		泄水建筑物
			重现期 /年	流量 /(m^3/s)	形式	高度 /m	形式	高度 /m	形式	高度 /m		
桓仁	200	二期导流、 梳齿导流	一期 20 (全年)	7600	一期混凝土	13	一期混凝土	10.5	一期混凝土	13	一期混凝土	梳齿 5 个, 8~7 m。底孔 8-3.5m×4m
			二期 10 (6月)	1660	二期混凝土	10.5	二期土石	7.5	二期土石	7.5	二期土石	
			二期 10 (全年)	6200								
三门峡	300	二期梳齿、 底孔	设计 20 (全年)	16500	一期土石	24	一期土石	14	一期土石	5~7	一期土石	底孔 12-3m ×8m
			校核 100 (全年)	22500	二期土石	47	二期土石	25	二期土石	25	二期混凝土	
新安江	180	二期底孔 导流	一期 20 (9月—4月)	4600	一期过水 木笼	16					一期木笼	底孔 3-10m ×13m
			二期 20 (2月)	3000	二期不过水 木笼、土石	22	木笼	15			二期块石混 凝土	
盐锅峡	300	二期底孔 导流	一期 10 (11月—4月)	1470	一期草土	6	一期草土				一期草土	底孔 6-5m ×9m, 2-4m ×9m, 坝顶溢 洪道宽 32m
			二期 100 (全年)	5870	二期土石	28	二期土石	12.5			二期混凝土 导墙	
西津	400	二期厂房 导流	一期 10 (全年)	15700	一期土石	28	一期土石				一期木笼	3号、4号机 组段及 2号机 尾水管
			二期 10 (11月—3月)	1300	二期土石	9	二期土石	6			二期木笼 堆石	

表 14 (续)

工程名称	河床宽度 /m	导流方式	挡水标准		上游围堰		下游围堰		纵向围堰		泄水建筑物
			重现期 /年	流量 /(m^3/s)	形式	高度 /m	形式	高度 /m	形式	高度 /m	
红石	200	二月底孔导流	一期利用上游白山水库控制泄流量	1300	一期土石	10.5	一期土石	7.4	一期土石	10.5	底孔 6 - 4m ×7.5m
			二期 2 (全年)	1820	二期土石	14.1	二期土石	8.6	二期混凝土	15.1	
葛洲坝	大江 880	二期汇水 闸孔导流	一期 10 (全年)	66800	一期土石	14	一期土石	20	一期土石	21	二江流水闸 27孔, 12m× 12m; 二江电站 7 台机组; 三江冲砂闸 6孔×12m× 10.5m
			二期 100 (全年)	71100	二期土石	38	二期土石	28	二期钢板柱	19.5	
沙溪口		二期厂房 导流	一期 10 (全年)	13900	一期混凝土 与砌石混合	40.9	二期土石	25			10 个溢流 坝段; 2 台机组段
			二期 50 (全年)	18500	一期混凝土 与嵌石	44.2	二期土石				

表 14 (续)

工程名称	河床宽度 /m	导流方式	挡水标准		上游围堰		下游围堰		纵向围堰		泄水建筑物
			重现期 /年	流量 /(m^3/s)	形式	高度 /m	形式	高度 /m	形式	高度 /m	
水口	380	二期明渠 导流 三期底孔 导流	一期 10 (10月—2月)	7000	二期土石 三期碾压混 凝土	44.55 39	二期土石 三期土石	31.9 28.3	一期土石 二期混凝土 导墙	11 48	明渠底宽 75m, 10—8m ×15m 导流底 孔和溢流坝 孔口
			二期设计 20 (全年)	28400							
			二期校核 50 (全年)	32200							
			三期 10 (全年)	25200							
			四期 10 (3月)	3730							
五强溪	330	二期底孔、 缺口导流	一期挡水	16000	一期混凝土 二期碾压混 凝土	18.6 40.8	一期混凝土 二期土石过 水围堰	13.5 32	一期、二期 共用混凝土 围堰		3—7.5m × 10m 和 2—8.5m ×10m 导流底 孔及底孔顶部 缺口宽 81.25m
			一期过水 20 (全年)	31800							
			二期挡水	18000							
			二期过水 20 (全年)	31800							
			一期 5 (12月 1 日—4 月 15 日)	1340							
岩滩	100	二期明渠 导流 三期底孔 导流	二期 20 (12月 1 日—4 月 15 日)	2220	二期土石 二期碾压混 凝土	27.5 52.3	二期土石 二期碾压混 凝土	23 39.2	一期混凝土、 浆砌石 二期混凝土 导墙	2~9 10~20 6~9	明渠底宽 51~62m, 8— 4m×10m 导流 底孔及底孔顶 部缺口宽 75m
			二期 5 (全年)	15100							
			三期 20 (12月 1 日—4 月 15 日)	2220							

表 14 (续)

工程名称	河床宽度 /m	导流方式	挡水标准			上游围堰		下游围堰		纵向围堰		泄水建筑物
			重现期 /年	流量 /(m^3/s)	形式	高度 /m	形式	高度 /m	形式	高度 /m		
三峡	1000	二期明渠 导流 三期底孔 导流	一期 20 (全年)	72300	一期土石	42	一期草土 二期土石 三期土石	68.5	一期土石 二期、三期 共用碾压混 凝土	94	二期明渠 350m 宽, 三期 22-6m×9m 底 孔, 23-7m× 9m 永久泄水孔	
			二期 100 (全年)	83700	二期土石	82.5						
			三期 20 (全年)	72300	三期碾压混 凝土	121						
景洪	70 ~ 100	二期底孔 导流	一期 10 (全年)	12700	一期土石	30	一期预留 岩坝 二期土石	42.5	混凝土	49	5-8m×14m 导流底孔, 开 船机坝段缺口 宽 30m	
			二期 20 (全年)	15100	二期土石	65						
银盘	263	二期明渠 导流 三期缺口 导流	一期 3 (全年)	12700	一期预留岩 坝	19.5	一期草土 二期土石 三期土石	17	混凝土	39	二期明渠底 宽 90m, 三期 缺口宽 17.5m	
			二期 20 (全年)	20800	二期土石	42.4						
			三期 20 (全年)	20800	三期土石	40						
喜河	100 ~ 180	分期明渠 导流	一期 10 (11月-3月)	880	一期混凝土	28	一期混凝土 二期土石 (明渠封堵闸 门)	9 13 14	一期草土 二期混凝土 导墙	8.5 左 22 右 26	二期明渠底 宽 35.5m, 三 期 5-14m× 22m 表孔	
			二期 10 (11月-5月)	3380	二期土石	21						
			三期 10 (11月 1日-5 月 15日)	3310	三期土石	14						

表 14 (续)

工程名称	河床宽度 /m	导流方式	挡水标准		上游围堰		下游围堰		纵向围堰		泄水建筑物
			重现期 /年	流量 /(m^3/s)	形式	高度 /m	形式	高度 /m	形式	高度 /m	
蜀河	140 ~ 160	一期明渠 导流 二期泄洪闸 导流	5 (4月)	2730	一期土石 二期土石	27 34	一期土石 二期土石	24.2 23.7	草土 一期、二期 共用混凝土 导墙	8~10	一期明渠底 宽148m,二期 5 - 13m × 27.6m,泄洪 闸和 9m × 16.1m表孔
			一期 10 (全年)	19700							
			二期 10 (全年) (安康 电站控制泄流量)	17000							
土卡河	130	分期枯期 隧洞导流	一期 10 (12月—4月)	1230	一期碾压混 凝土 二期土石	28.5 17.5	一期土石 二期土石	18 4	一期土石 二期混凝土 导墙	9.9 35	6m × 8m 和 6m × 6m 导流 隧洞及溢流坝 缺口
			一期 10 (全年)	5730							
			二期 5 (12月—4月)	730							
			二期 10 (全年)	5730							
向家坝	160 ~ 220	二期底孔和 缺口导流	一期 20 (全年)	28200	一期土石 二期土石	59	一期土石 二期土石	45	一期土石 二期混凝土	20.5 94	二期 6 - 10m × 14m 导流底 孔和 11.5m 宽 缺口
			二期 50 (全年)	32000							

表 14 (续)

工程名称	河床宽度 /m	导流方式	挡水标准			上游围堰		下游围堰		纵向围堰		泄水建筑物		
			重现期 /年	流量 /(m^3/s)	形式	高度 /m	形式	高度 /m	形式	高度 /m				
龙开口	80 ~ 110	二期明渠 导流	一期 10 (全年)	9640	一期土石 二期土石 三期钢闸门	55	一期混凝土 二期混凝土 导墙	47.5	二期明渠底 宽 40m, 明渠 内 2 个 10m \times 14m 底孔, 底 孔顶部缺口 宽 40m					
			二期 20 (全年)	10800									二期土石 三期土石	30
			三期 10 (10 月—4 月)	2490										
观音岩	70 ~ 160	二期明渠 导流 三期底孔 导流	一期 20 (全年)	11400	一期预留 二期土石 三期土石 岩坝	18 52 37	一期预留 二期混凝土 导墙	52	二期明渠底 宽 45m, 三期 2-6m \times 13.5m 导流底孔和 2- 6m \times 9m 泄洪 中孔					
			二期 30 (全年)	12100									二期土石 三期土石	22 32 6.8
			三期 20 (11 月—5 月)	3320										
藏木	100 ~ 150	二期明渠 导流 三期底孔 导流	一期 10 (全年)	7760	二期土石 三期土石	40 6	一期土石 二期混凝土 导墙	15 45	二期明渠底 宽 45m, 三期 6-7m \times 11.5m 导流底孔、4m \times 5m 和 5m \times 6m 冲沙底孔					
			二期 20 (全年)	8870									二期土石 三期土石	15 7
			三期 20 (11 月—6 月)	950										
枕头坝 一级	70 ~ 130	分期明渠 导流	一期 10 (全年)	6080	二期土石 三期土石	28 30	一期土石子 堰及预留岩坝 二期混凝土	30	二期明渠底 宽 30.4m, 三 期 6-8m \times 16m 泄洪闸					
			二期 20 (全年)	6600									二期土石 三期土石	17 13
			三期 20 (11 月—5 月)	3510										

2.3.7、2.3.8 面板堆石坝是我国近 30 年来发展最为迅速的一种坝型，具有施工方便、填筑上升速度快等优点。尤其是对于流量较大的河流，利用枯水期围堰断流，在截流后的第一年采用坝体临时断面挡水度汛，可以减少围堰工程量。如三板溪、洪家渡、引子渡、东津等面板堆石坝。根据以往工程经验，坝体开始填筑时间主要受三个因素的制约：

(1) 河床覆盖层的薄厚及围堰的防渗设计特点。

(2) 截流前两岸趾板的开挖情况和基坑抽水结束后趾板线的调整幅度。

(3) 基坑内趾板混凝土的开始浇筑时间等。

汛前坝体临时断面所能达到的填筑高度主要从填筑工期、上坝道路布置情况和料场布置情况等三个方面进行论证。

关于土石坝的初期导流方式，在设计中把握好以下三点：

(1) 流量较小的河流，从方便坝体填筑出发，一般选用围堰全年挡水的导流方式。

(2) 流量较大的河流，经过分析地质地形条件，可选用坝体临时断面挡水度汛的导流方式。

(3) 流量很大的河流，经方案比较，面板堆石坝可选用汛期基坑过水的导流方式，如天生桥一级、珊溪和滩坑等工程。

采用枯水期围堰挡水、汛期围堰过水导流方式时，需拟定围堰挡水、过水断面、提出坝体度汛形象要求。

位于山区性河流上的混凝土坝工程，当河床覆盖层浅、汛期流量比较大时，可提出研究过水围堰方案。如安康、东风、隔河岩、大朝山、功果桥、锦屏二级、光照、鲁地拉和大华侨等。

湖南省的碗米坡混凝土重力坝，坝址处河床水面宽度约 65m，河床砂砾石覆盖层厚度为 3~5m，采用枯水期围堰断流，导流隧洞泄流的导流方式，围堰挡水设计标准为 11 月至次年 4 月 15 日 5 年重现期洪水，相应流量 $1830\text{m}^3/\text{s}$ ；2002 年汛前，大坝浇筑至高程 215m，汛期利用洪水间隙继续坝体施工。大坝度汛标准采用全年 20 年重现期，相应洪峰流量 $10900\text{m}^3/\text{s}$ 。

随着大型施工机械的发展，使土石坝建设速度明显加快，在截流以后的第一个汛期到来之前可将坝体抢筑至拦挡大汛水位。三板溪 185.5m 高的混凝土面板堆石坝，采用枯水期围堰断流，在第一个汛期之前将坝体临时断面抢填至拦挡 100 年重现期洪水水位高程，三板溪大坝于 2003 年 12 月 17 日正式开始填筑，至 2004 年 4 月 30 日，坝体临时断面填筑到高程 390m，可以拦挡 100 年重现期洪水，确保坝体安全度汛，在 4.5 个月坝体填筑施工中，坝体临时断面上升 93m，平均月上升 20.7m，最高月上升 25m，坝体堆石填筑 230.7 万 m³，平均月填筑 51.3 万 m³，最大月填筑 71.7 万 m³。东津（坝高 88.5m）、引子渡（坝高 129.5m）和洪家渡（坝高 179.5m）等混凝土面板堆石坝，也都采用枯水期围堰断流，在第一个汛期之前抢填至坝体临时断面拦洪度汛。

国内部分土石坝工程第一个汛前坝体抢筑至拦洪的实例见表 15。

表 15 国内部分土石坝工程第一个汛前坝体抢筑至拦洪的实例统计表

工程名称	总工程量 /万 m ³	最大坝高 /m	设计拦洪标准		开工至拦洪日期 (年-月-日)	拦洪 坝高 /m	填筑量 /万 m ³
			重现期 /年	流量 /(m ³ /s)			
密云	1105	66.0	100	8910	1958-09-1959-08	49.0	—
清河	773.5	39.4	100	5944	1958-05-1959-07	28.5	—
岗南	1447	63.0	100	6260	1958-03-1959-07	51.0	—
松涛	447.1	80.1	100	7100	1958-07-1959-08	55.0	—
黄壁庄	1930.1	30.7	100	9050	1958-10-1959-07	—	—
王快	861.4	52	100	7860	1958-06-1959-06	35.0	—
西大洋	1198.3	54.8	100	6490	1958-07-1959-07	35.8	—
山美	154	74.5			1971-10-1972-07	74.0	—
察尔森	621.6	40.0	100	2280	1988-09-1989-06	28.0	—
东津	170	88.5	100	3630	1992-12-30-1993-04-27	57	70
引子渡	310	129.5	50	5780	2001-12-03-2002-05-20	70	87
洪家渡	902.6	179.5	100	5210	2003-01-16-2003-05-26	55	120
三板溪	871.4	185.5	100	12600	2003-12-17-2004-04-30	93	230.7

2.3.9 对于开挖围填形成的库盆，如：抽水蓄能电站上下水库所处的环境比较特殊，有天然沟谷（有小溪或泉眼）、人工库盆、天然湖泊、已有水库等，需根据水文气象条件，分析降雨历时及过程选用 24h 洪量作为标准；对于降雨量大，且汇流面积较大、有天然径流时，仍选用洪峰流量作为标准。

2.3.10 在水利水电工程设计时，导流程序需根据总进度、主要关键节点及其相应施工进度汛形象编制的施工导流次序安排。导流程序是施工导流规划的主线，与枢纽布置、永久建筑物型式、导流方式、施工程序和施工总进度直接相关；是导流建筑物布置、截流时段选择和施工总进度控制的重要因素。在进行导流程序规划时，要根据枢纽布置和河床地形特征等首先研究导流方式，包括一次拦断河床围堰导流方式和分期围堰导流方式，并控制好截流、度汛、下闸蓄水、封堵等关键环节。

2.3.11 导流程序规划不是孤立的，与导流建筑物施工工期、截流时段、各年度汛前永久建筑物施工形象等因素相互制约。因此，要求根据各期导流特点和相互关系进行系统分析、全面规划、统筹安排。导流程序需明确各关键进度节点的起止时间和工程施工形象等，为了表达清晰，要列出施工导流程序表。

2.4 围 堰

2.4.1 围堰工程系临时性水工建筑物，具有使用期短、修建时间受限制、使用任务完成后往往还需拆除等特点，但对于永久工程的施工建设关系甚大。因此，围堰结构型式需在满足安全运用的基础上，力求结构简单，方便施工，尽量利用当地材料，充分进行技术、经济比较后选择合理的堰型。本条主要为围堰型式选择需遵循的原则。

(1) 为降低造价，利于环保，缩短工期，围堰型式选择需充分利用当地材料和主体建筑物基础开挖料，在大中型水利水电工程中需优先选用土石围堰，以便于填筑和拆除。

(2) 为确保围堰基础满足堰体稳定和防渗要求,围堰型式选择时,需结合围堰基础地质(含堰基覆盖层及基岩)条件,确定符合实际地质条件的可靠处理方案。基础处理方案需尽量简化,在保证施工质量的前提下,有利于加快围堰施工进度。对深覆盖上的高围堰,工期紧张问题突出,围堰防渗型式选择时需考虑围堰施工工期的影响。围堰与岸坡或建筑物连接需满足防渗和稳定要求。需视岸坡地形、地质条件和建筑物的结构特点选择连接简便的接头型式。

(3) 围堰为临时建筑物,通常围堰施工安排在一个枯水期修筑至设计高程或度汛高程,以保安全度汛,因此,围堰施工工期紧,故在选择围堰型式时,需考虑堰体结构简单、施工方便,在保证围堰施工质量和安全的前提下,有利于加快施工速度。

(4) 按照筑堰材料的不同,围堰可分为土石围堰、混凝土围堰、钢板桩围堰、浆砌石围堰及其他特种围堰等。不同的围堰型式有其不同的使用条件,围堰型式必须与地基的地形地质条件相适应。

(5) 围堰是临时建筑物,设计标准不要太高。在围堰型式选择时要能适应防汛抢险施工需要。

2.4.2 围堰型式可分为土石围堰、混凝土围堰、钢板桩围堰等。对不同围堰型式的适应性阐述如下:

(1) 土石围堰是水利水电工程施工中广泛采用的围堰形式,其优点是能够适应不同的地质条件,可充分利用当地材料和工程开挖渣料等各种物料,并利于机械化施工,堰基易于处理,施工和拆除都较简单,需优先选用。

(2) 混凝土围堰具有断面小、工程量少,利于过水并易与混凝土建筑物结合和连接,具有较强的抗冲能力等优点,因此,纵向围堰常采用这种堰型。当过水围堰单宽流量较大时也要采用。混凝土围堰常用重力式和拱型,拱型混凝土围堰对两岸拱座的地质条件要求比重力式围堰严格,适合于岸坡稳定、岩石坚硬完整的地基,以及两岸地形陡峭的峡谷河床。

碾压混凝土施工技术近年来发展较快，造价低、施工速度快，利于在短时间内抢到设计高程，因此在有条件时需优先选用。我国在沙溪口、岩滩、隔河岩、大朝山、龙滩、三峡等工程中均采用碾压混凝土围堰以缩短围堰施工工期。

(3) 胶凝砂砾石坝 (CSG) 是介于混凝土面板堆石坝和碾压混凝土重力坝之间的一种新坝型，是利用天然砂砾石混合料或开挖弃渣料，掺入少量胶凝材料，胶结成具有一定强度的干硬性坝体。其显著的特点是：胶凝材料用量少，对筑坝材料要求低，坝体和地基受力条件好，具有一定的抗冲能力。胶结砂砾石坝 (CSG) 起源于欧洲，在法国、希腊和土耳其等国家已建成 10 余座，其中土耳其的两座坝坝高都超过了 100m。日本至今已有 10 余座 CSG 坝 (围堰) 建成。我国贵州松桃道塘水库、福建尤溪街面大坝、宁德洪口水电站、大花桥水电站等工程上游围堰均采用了 CSG 围堰，取得了较好的效果，积累了一定的工程经验，因此在工程具备条件时可以采用。

洪口水电站、大花桥水电站的上游围堰为 CSG 过水围堰。洪口水电站上游围堰设计挡水标准为枯水时段 10 年重现期洪水，相应流量 $1350\text{m}^3/\text{s}$ ，过水标准为全年 10 年重现期洪水，相应流量 $4180\text{m}^3/\text{s}$ ；围堰堰顶轴线长 87m，顶宽 4m，高度 35.5m，上、下游坡比分别为 1 : 0.3 和 1 : 0.75；坝顶设常态混凝土保护层 50cm，上游面和基础设置 50~80cm 厚富浆混凝土防渗层；围堰基础位于基岩上；堰体胶凝材料用量 $70\sim 90\text{kg}/\text{m}^3$ ，其中水泥 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 。2006 年 6 月洪峰过堰流量达到 $5400\text{m}^3/\text{s}$ ，堰顶水头达 8m 左右，总过水时间 44h。洪峰过后经检查，CSG 围堰无裂缝，只是最大渗漏量达到 8L/s，围堰经受住超标准洪水的考验。

(4) 堆石混凝土技术 (Rock Filled Concrete, RFC) 是一种新型大体积混凝土施工技术，利用自密实混凝土的高流动、抗分离性能好以及自流动的特点，在粒径较大的块石 (30cm 以上) 内随机充填自密实混凝土而形成的混凝土堆石体。堆石混凝土突

破传统施工工艺的限制，堆石比例一般在 55%~60%，可大大减少混凝土的生产浇筑量。通过堆石的加入降低了水泥水化热，增大了坝体容重，极大降低了浇筑纯自密实材料的施工成本。主要具有简化温控措施，机械化程度高，质量易于控制，施工成本低，施工进度快等特点。从技术的研究、发展和工程应用实践来看，堆石混凝土已经是相对成熟的新技术。在陕西百佳水电站、云南松林水库工程坝体设计，大渡河沙坪二级水电站基础回填工程设计，新疆山口电站围堰工程均采用了堆石混凝土。在有条件时可以采用。

(5) 钢板桩格型围堰是一系列彼此连接的钢板桩格体所组成的临时挡水建筑物，格体钢板桩的锁口互相扣接形成一定形态的封闭空间，内回填砂砾石以保持格体稳定。钢板桩格型围堰在岩石基础、混凝土基座上修建较为简单。在软基上也可修建，但板桩须有一定的入土深度或打到岩层内；对于含有大量漂砾石的覆盖层，打桩极为困难，适用性较差。按格体形状，钢板桩格型围堰有圆筒形、鼓形、花瓣形等型式，圆筒形格体最高挡水水头可达 15~18m；花瓣形格体最高挡水水位水头可达 30m 左右。美国马克兰德水电站厂房施工围堰采用双排圆筒形格体，圆筒形格体直径 18.90m，高度达 35m；美国肯塔基水电站采用花瓣形格体最大宽度 30.67m，高度为 29.87m。葛洲坝工程二期纵向围堰采用干地施工，现浇筑混凝土基座，上接钢板桩格型围堰，圆筒形格体直径 19.87m，高 19.5m，在混凝土面上插打钢板桩形成圆筒格体，再回填砂砾石料。

(6) 浆砌石、钢筋石笼等低水头围堰在中小型工程中使用较多。

(7) 新安江、水口工程的坝身导流底孔封堵采用混凝土叠梁型式；甘肃大峡水电站的导流明渠封堵采用钢叠梁方式；三门峡泄水底孔的改建采用特种钢围堰型式。这些围堰的设计和施工之所以比较成功，关键在于细部结构设计和工序环节控制做得比较好。

2.4.3 围堰布置要满足围护建筑物的施工及围堰自身的稳定、防渗及防冲等要求，尽可能利用地形地质及工程条件，减小围堰工程量。

1 围堰布置要满足围护的建筑物基础开挖、施工机械、施工道路及施工场地布置，基坑排水系统布置等要求。

2 围堰与岸坡接头设计要保证堰体与岸坡接合面具有良好的防渗性能，并防止岸坡附近的堰体因不均匀沉陷而开裂。土石围堰与混凝土建筑物的连接型式，要防止与防渗体接触带产生渗透变形破坏，以保证围堰稳定，并使结合面具有良好的防渗性能。

3 围堰布置要考虑围堰稳定及堰后基坑开挖边坡稳定等因素。对堰地质条件复杂及深厚覆盖层的基坑开挖边坡，围堰布置要考虑为堰后基坑边坡需要的工程处理措施留出位置；若布置有困难，可在背水坡脚处设置临时挡墙。对永久建筑物基础开挖较深时，要对围堰基础岩层和覆盖层中的软弱层面稳定进行核算。

4 围堰布置需满足水力学条件及防冲要求：

(1) 纵向围堰布置既要考虑沿线堰体坡脚附近水流平顺，还需兼顾上、下游横向围堰坡脚附近的流态、流速情况，避免水流紊乱对横向围堰坡脚造成危害性冲刷。

葛洲坝水电站一期土石围堰因围护二期纵向围堰上、下游端部弯段施工的需要，上游横向段与纵向段的相接处、下游横向段与纵向段的相接处形成凸出部位（称矾头），起到挑流作用，矾头部位坡脚流速达 $5\sim 7\text{m/s}$ ；纵向段沿线及下横段坡脚处为回流区，流速 $1\sim 2\text{m/s}$ ；对矾头部位进行重点防冲保护，运行实践证明此设计是成功的。

三峡水利工程一期土石围堰主要保护右岸导流明渠、混凝土纵向围堰和三期碾压混凝土围堰基础部分施工。围堰纵向段坡脚已伸入大江主流区，根据水工模型试验资料，设计流量 $72300\text{m}^3/\text{s}$ ，河道平均流速 $3\sim 3.5\text{m/s}$ ，围堰束窄河床约30%，

上、下游转角起挑流作用，迎水侧坡脚处流速达 $4\sim 5\text{m/s}$ ，纵向段及下游横向段存在不同程度的回流。参照葛洲坝水电站工程实践经验，确定围堰防冲“守点顾线”设计方案，在围堰上、下游转角处设防冲矶头，作为重点防护，采用堆石体护脚，围堰顺水流向沿线迎水坡设一般块石及石渣护坡。

三峡工程混凝土纵向围堰，其上、下游端部均采用曲线布置，主要考虑了以下水力条件：上、下游纵向围堰的形状、长度，尤其是上游纵向围堰上端弯曲部位必须满足二期工程施工期明渠通航条件要求；上、下游纵向围堰平面布置要使二期导流期间水流平顺，以保围堰防冲安全；上游纵向围堰布置要尽量减少对导流底孔泄流的影响，减小三期截流难度；下游纵向围堰对水流起导向作用，使主流尽快归槽，避免主流直冲右岸。

(2) 围堰与导流泄水建筑物（包括临时的导流建筑物和永久泄水建筑物）进出口的距离要考虑导流泄水建筑物泄流的流态及流速情况，必要时在导流泄水建筑物进出口修筑一定长度的导墙，以防止导流泄水建筑物泄流对围堰坡脚造成危害性冲刷。

(3) 围堰布置要尽量避开两岸溪沟进入基坑，同时堰体与岸坡接头需防止两岸溪沟的水流对围堰坡脚的冲刷。围堰布置若较难避开两岸溪沟对堰体的影响，可研究采用排水洞（沟）、撇洪沟等措施将溪沟改道引至基坑外，或采用强排水、挡墙防护等措施。例如：葛洲坝水电站大江下游土石围堰与右岸坡接头位于紫阳河（实测最大流量 $200\text{m}^3/\text{s}$ ）出口处，设计采用一条长 138m 的改道隧洞（宽 4m 、高 4.5m 的圆拱直墙断面）将紫阳河出口向下游移 200m 引入长江，避免了紫阳河出口水流对围堰坡脚的冲刷，运行效果很好。

5 围堰位置要考虑基础覆盖层及基岩条件，围堰防渗轴线一般选择在覆盖层较薄和基岩条件较好的部位，以减少围堰基础防渗处理工程量。

2.4.4 本条为防渗土料、堰壳料、反滤料和过渡料、水下堆石体等土石围堰填筑材料要求。由于围堰为临时工程，为充分利用

当地材料及开挖料，围堰堰体堆在水下部分的软化系数适当降低，采用大于 0.7 的标准。

2.4.5 本条为水泥、骨料、水、掺合料、外加剂等混凝土围堰材料的要求，满足 SL 677 的相关规定。

2.4.6 土石围堰按填筑材料可分为均质土围堰和土石混合围堰；按堰体防渗体可分为斜墙围堰、心墙围堰等。土石围堰堰体防渗布置型式主要有心墙和斜墙。斜墙与堰体施工干扰小，基础防渗处理与堰体填筑可同时进行，以利基坑提早抽水，但围堰断面较大，往往增加了纵向围堰或隧洞、明渠的长度；心墙围堰其断面尺寸较斜墙围堰小，心墙和堰壳填筑需循序升高，其高差不要过大，基础防渗处理与心墙填筑也不能同时进行。

2.4.7 围堰基础处理主要满足强度和防渗要求。围堰基础覆盖层防渗处理可采用下列方式：

(1) 截水墙适用于堰基砂砾石覆盖厚度 15m 以内的土石围堰，采用开挖至基岩或相对不透水层，回填防渗土料或其他防渗材料。截水墙的底宽根据挡水水头、回填土料及其与基岩接触面的允许渗透坡降和开挖施工条件确定。对于黏土截水墙，截水墙底宽一般为 3~5m，边坡 1:1~1:1.5，土料和基岩接触面的允许坡降，一般砂壤土取 3，壤土取 3~5，黏土取 5~10。

(2) 高压喷射灌浆由于施工方便、施工速度快，造价低等优势，目前已在堰基防渗中大量应用。高压喷射灌浆适用于粉土、砂土、砾石、卵（碎）石等松散透水地层。根据一些工程实践经验与试验资料，堰基砂砾石层采用高压喷射灌浆一般控制砂砾石厚度小于 40m，且卵石最大粒径小于 40cm。

高压喷射灌浆有旋喷、摆喷和定喷三种基本形式。目前常用的高压喷射灌浆结构布置型式有 4 种：定喷折接、摆喷折接或对接、旋喷搭接、旋喷套接。选择时需注意以下几点：

①定喷和小角度摆喷适用于粉土和砂土地层，大角度摆喷和旋喷适用于淤泥质土、粉质黏土、粉土、砂石、砾石、卵（碎）石等松散透水地层和石渣填筑体。

②承受水头较小的或水头虽较大但历时短暂的地层，可采用摆喷折接或对接、定喷折接型式。

③在卵（碎）石地层，深度小于 20m 时，可采用摆喷对接或折接型式，对接摆角不要小于 60° ，折接摆角不要小于 30° ；当深度大于 30m 时，一般采用双排或三排旋喷套接型式或其他形式。

(3) 在可灌性较好的砂砾石地基上也可采用灌浆防渗帷幕防渗。砂砾石地基采用灌浆防渗帷幕防渗技术曾一度因混凝土防渗墙技术的发展，使用逐渐减少，但近年来随着技术的进步和工程建设的需要，在江河堤防、病险水库的防渗加固和围堰工程中防渗帷幕灌浆应用逐渐增多。目前灌浆技术发展了控制性帷幕灌浆、膏状浆液灌浆等技术。控制性帷幕灌浆技术是利用水泥浆液和化学浆液分别从孔内灌入加固处理的基础中，使两浆液产生速凝化学作用，从而达到防渗目的，是浅层灌浆加固技术、精确控制水泥浆液凝固技术和水泥灌浆防水堵漏技术等三项新技术的组合，具有施工快、造价低等优点。

(4) 采用铺盖防渗处理时，堰基覆盖层渗透系数不要太大，且无大的集中渗漏带和通道，因为覆盖层地层如有透镜体、夹层，纵向、横向、深度方向不均匀，甚至有架空情况，铺盖各部位承受渗透压力不同，容易遭受破坏；渗透系数太大的堰基渗流已不符合达西定律，而类似于管道的压力流，此时，渗透途径已不起作用，只有作垂直防渗才能防止渗透破坏。铺盖可减少渗流量和渗透水压力，常与下游排水减压设施联合作用，以有效控制堰基渗流。铺盖设计需在保证渗透稳定的前提下经济合理，同时要兼顾施工的要求。

(5) 钢板桩防渗墙是采用振动沉拔桩机将钢板桩打入堰基覆盖层至基岩，靠钢板桩连成封闭的防渗墙，钢板桩防渗墙适用于堰基为砂土冲积层或砂砾石层，卵石含量小于 40%，无大漂石的覆盖层，且厚度小于 15m，以利于钢板桩施工。

(6) 深厚覆盖层上的低水头围堰由于其水头较低，渗透压力

不大，经稳定分析和经济比较后，可采用铺盖或悬挂式防渗形式，以节省围堰工程量及投资。如：新疆察汗乌苏水电站围堰基础采用悬挂式高喷防渗墙，瀑布沟水电站围堰堰基采用悬挂式混凝土防渗墙。

(7) 由于防渗墙具有施工简单、速度快、质量易于控制、防渗效果好等优点，其应用范围不断扩大。我国水利水电工程围堰基础多为透水性较强的第四系覆盖层。因此，堰体及基础防渗措施极为重要。但实践证明，在第四季覆盖层中帷幕灌浆因砂砾石地层可灌性差和漂卵石地层浆体流失量大，难以形成完整的防渗帷幕，影响防渗效果。垂直防渗的防渗墙技术能有效控制堰体和堰基的渗漏，且能使围堰施工程序简化，便于机械化施工，加快进度，围堰挡水运行安全度增大。近年来，成槽技术发展较快，新的钻孔机械造孔深度超过 100m，且钻孔精度可控制在槽孔深度的 0.5% 以内。实践证明，在深厚覆盖层堰基防渗处理措施中，防渗墙比灌浆防渗优越，使用灌浆方法处理深厚覆盖层防渗的不确定因素较多，其造价大多超过混凝土防渗墙。

防渗墙造孔机具一般为冲击式钻机、回转式钻机、液压铣钻机和抓斗，防渗墙材料主要有普通混凝土和塑性混凝土。水利水电工程防渗墙一般采用普通混凝土标号为 C20、抗渗标号 W8、允许水力坡降 80~100，在防渗墙拉力较大部位布设钢筋。但在覆盖层地基中混凝土防渗墙因其弹性模量高，与地基变形不相适应，导致防渗墙产生裂缝，引起墙体破坏，从而大大降低防渗效果，国内外已有不少防渗墙破坏的实例。近年来，发展塑性混凝土作为防渗墙材料，即在混凝土拌和时掺黏土或膨润土，以减少水泥用量，其抗压强度 2~10MPa，变形模量 200~1000MPa。塑性混凝土能适应水下堰体填料的地基变形，因而使墙体应力状态好、抗震性能较好的结构性能。目前，塑性混凝土防渗墙在围堰堰体和基础防渗中越来越得到广泛的应用。

2.4.8 本条为土石围堰堰体防渗材料的选择要求，说明如下：

1 土石围堰防渗体的水上部位优先选用土工膜防渗。土工

膜具有性能可靠、变形能力强、施工方便、造价低廉等优点，而且避免了防渗土料开采对当地土地的侵占和环境破坏，有利于环保，近年被广泛应用于水利水电工程的土石围堰中。土工膜有单层土工膜、加筋土工膜和复合土工膜，工程应用较多的为复合土工膜。目前围堰工程的土工膜的挡水水头大部分在 40m 以下，部分围堰工程如雅砻江锦屏一级上游围堰（44m）挡水水头超过 40m，目前尚未有超过 50m 的。对于挡水水头大于 50m 的围堰采用土工膜防渗时，需参照 GB/T 50290《土工合成材料应用技术规范》的规定进行专题论证。因此采用土工膜防渗其挡水水头不要太高。

2 防渗土料作为传统防渗材料，防渗效果好，挡水水头高，施工方法成熟。造价比较低，但其开采必然会对当地环境造成一定破坏。如果坝址附近土料分布零星、弃料较多、有用层少、可采比低，对当地环境破坏就会较大，此时尽量避免使用。若坝址附近有渗透系数小于 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 的土料，且分布集中、储量丰富、可采比高、开采条件良好、对环境影响也不大时，可优先用作防渗土料。若坝址附近有砂壤土、砾石土料或风化料，碾压密实后渗透系数大于 $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ，可用做防渗料，采用加大防渗断面以满足围堰防渗要求。

3 除土工膜和土料防渗体以外，其他材料防渗体还有混凝土心墙、沥青混凝土斜墙和心墙、钢板桩心墙、混凝土防渗墙、高压喷射灌浆防渗墙、控制性帷幕灌浆等。

(1) 现浇混凝土心墙主要用于堰体水上部位，堰体水下部位因水下清基、立模、混凝土浇筑难度大而很少采用，常结合围堰基础防渗墙采用泥浆固壁冲击钻造孔成槽，浇筑水下混凝土。混凝土心墙也可用于堰基防渗。

(2) 沥青混凝土斜墙和心墙可用于围堰防渗体的水上部位，沥青混凝土斜墙下接黏土斜墙铺盖，其插入黏土斜墙的深度为 $(1/2 \sim 1/3)H$ （水头）。沥青混凝土心墙下接混凝土防渗心墙，通常在接缝处设止水片，也可采用铺设沥青含量较高的沥青混凝

土加厚层或填以沥青玛缔脂等填料，以防止接缝脱开。沥青混凝土防渗墙须干地施工，受降雨影响大，目前在围堰中较少采用。

(3) 钢板桩心墙因其施工简单，且钢板桩可重复使用，故在国外工程应用较广泛。通常钢板桩高度 12~15m 为宜，适合于砂质基础。对于砂砾石覆盖层和堰体填料，如果堰体或堰基中颗粒粒径过大或密实度过大，打钢板桩不易成功。

(4) 混凝土防渗墙、高压喷射灌浆防渗墙、控制性帷幕灌浆主要用于堰体水下部分和堰基的防渗处理。因工程造价相对较高，围堰工期相对较长，不利于及早闭气，大型工程围堰水上部分采用的较少。

2.4.9 围堰软基处理的方法，也可以多种方法结合使用。振冲法是快速加固软弱地基的技术方法之一，可以广泛应用于松散砂层和黏土地基。其功能是提高地基的承载力，减少沉降量。控制不均匀沉陷，增强地基的抗滑稳定以及提高地基抗地震液化能力，振冲技术具有施工简单、功效高等特点。对于软基处理还可以根据覆盖层地质条件和承载力要求，结合稳定分析成果，选用置换回填、排水固结、反滤围压、沉井、高喷桩、灌浆和预应力锚索等处理措施。

2.4.10 本条结合近 10 年来我国水利水电工程的建设经验，对土石围堰的结构设计提出了要求。

1 土石围堰的碾压指标，高度不小于 30m 的 4 级围堰可参照 SL 274《碾压式土石坝设计规范》的有关规定控制；高度小于 30m 的 4 级及 5 级围堰可参照 SL 189《小型水利水电工程碾压式土石坝设计规范》的有关规定控制。

2 土料防渗体及其反滤层的设置可参照 SL 274 的有关规定。

当围堰堰体采用复合土工膜防渗时，防渗结构一般包括复合土工膜两侧垫层。复合土工膜的布置可参照 GB/T 50290《土工合成材料应用技术规范》的有关规定。

当围堰堰体采用混凝土防渗墙、高压喷射灌浆等防渗型式

时，防渗体需满足 SL 174《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》和 DL/T 5200《水电水利工程高压喷射灌浆技术规范》的有关规定。混凝土防渗墙、高压喷射灌浆等防渗型式，需先形成防渗体施工平台进行钻孔或成槽施工，填料粒径较大时影响造孔效率，而且对孔壁稳定和防渗体的质量也不利，因此，需控制防渗体部位的填筑材料粒径。同样，在确定截流戽堤位置时也要考虑上述因素，为防止截流戽堤抛投材料流失到防渗体部位，截流戽堤一般布置在防渗体下游侧。

3 堰体防渗体与堰基及岸坡需形成封闭防渗体系。混凝土防渗墙、高喷防渗墙、钢板桩与土料防渗体的连接，一般只要插入一定长度即可；混凝土防渗墙、高喷防渗墙、灌浆帷幕与土工膜的连接一般采用混凝土连接板的方式。土工膜与两岸基岩需通过混凝土基座连接，连接处需设伸缩节，混凝土基座需置于基岩上。

2.4.11 本条款为围堰防护设计要求。水下防护材料可用抛石、钢筋石笼、合金网石兜或混凝土柔性排等；水上防护材料可用卵石、合金网石兜或钢筋石笼等。钢筋石笼、合金网石兜为采用新材料、新工艺编制而成，装上石块使用，具有施工方便，整体性好，抗冲能力强等特点。

2.4.12 本条为土石过水围堰的防护设计要求。土石过水围堰单宽流量小于 $40\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，流速在 5m/s 以内，可采用铅丝石笼或大块石（粒径 $0.5\sim 0.8\text{m}$ ）保护；流速 $5\sim 7\text{m/s}$ ，可采用钢筋笼块石、加筋块石、特大块石（重 $3\sim 5\text{t}$ ）保护；流速 $7\sim 10\text{m/s}$ ，可采用浆砌块石、混凝土块保护。

根据近年工程经验增加了土石过水围堰的型式选择的要求。土石过水围堰的型式按消能防冲方式主要有镇墩挑流式、顺坡护底式、坡面平台消能式三种。镇墩挑流式是在围堰下游坡脚设置镇墩，利用镇墩挑流消能，镇墩一般采用混凝土结构，建在基岩上，并与混凝土面板溢流面结合布置，具有结构可靠、整体性好、宣泄流量大的优点，在堰后水深较小，不能形成面流衔接时

较为适用。有时虽然堰后水深较大，为保护堰脚不受冲刷，也常采用此种型式（如上犹江、柘溪水电站的土石过水围堰）。其缺点是，镇墩施工对堰体填筑施工干扰较大，施工速度较慢，在覆盖层较厚的河床上修建时围堰施工工期较长。顺坡护底式是在围堰下游坡脚及下游河床设置混凝土面板、钢筋石笼等措施，保护堰体坡脚及下游河床覆盖层，围堰下游溢流面水流与下游水流形成底流水跃衔接，利用底流消能，因此，水流对堰体坡脚及下游河床覆盖层冲刷较大，增加了防冲保护工程量，但可避免镇墩挑流式的镇墩浇筑和堰体填筑的施工干扰问题，如黄龙滩水电站土石过水围堰采用此种堰型。坡面平台消能式是在围堰下游溢流面的下部设置平台，借助平台挑流与下游水流形成面流水跃衔接，利用面流消能，因此，可减少水流对平台下游堰坡和堰后基础的冲刷，降低平台下游的防护难度，而且施工速度也比较快，目前运用较多，如富春江水电站二期上游土石过水围堰、功果桥上游土石过水围堰、鲁地拉下游土石过水围堰、大朝山下游土石过水围堰等均采用了此种堰型，国外莫桑比克的卡博拉巴萨的下游围堰也采用了此种堰型。

溢流面、堰趾下游基础和两岸接头的防冲保护是土石过水围堰的设计重点，必须深入分析围堰过水水力条件，找出最不利的过流流量作为防冲保护的设计流量，分析其单宽流量和过流流速，并考虑流速分布、流态、脉动压力等，必要时通过施工导流水力模型试验研究验证，提出可靠的防冲保护措施。

国内、国外部分土石过水围堰工程运用状况见表 16、表 17。

2.4.13 混凝土围堰堰体分缝布置需综合考虑堰基地形地质条件、堰体布置、堰体断面尺寸、温度应力和施工条件等因素。条件允许时，尽量采用通仓浇筑。由于碾压混凝土采用大面积摊铺碾压的施工方式，国内外已建的碾压混凝土重力坝大多数均不设纵缝，考虑到围堰运行期较短，碾压混凝土围堰不宜设纵缝，且少设横缝，以利于快速施工。混凝土拱围堰的堰体分缝尚需按 SL 282 的有关规定进行接缝灌浆。

表 16 国内部分水利水电工程土石过水围堰运用状况

工程名称	堰高/m	护面类型与材料尺寸	过水状况	损坏状况
上犹江	14.0	混凝土板 (厚 1.5m)	$q=27.0$, $v_m=5.0$	
柘溪	28.0	混凝土板 (厚 0.5m) 和 $\phi 1.0\text{m}$ 石笼	$q=10.0$, $H=3.08$ 水跃顶首 $v_m=14.5$	铅丝石笼有损坏, 抗滑差 (笼内石料太小)
庙岭	20.3	沥青混凝土护面	$q=11.0$ $v_m=16.0\sim 17.0$	表面轻度损坏 (糙率由 0.0167 增至 0.0189)
石桥	20.3	沥青混凝土护面	$q=12.5$	完好柘
高斯	19.4	干砌、浆砌石	$q=6.0$, $h=2.6$	
王家园	36.8	混凝土护面	$q=24.6$	
故县	14.0	混凝土护面	$q=11.0$	
天生桥	14.7	堰顶混凝土班, 护坡为混凝土楔体 ($3.5\text{m}\times 2.0\text{m}\times 0.7\text{m}$)	$v_m=9.0$, $H=5.7$	模型上 $q=40$, $Z=4$ 仍安全 (坡面 1:6)
东风	14.7	堰顶混凝土板, 护坡为混凝土楔体 (厚 0.7m)	$q=10.5$, $v_m=11.2$, $H=8.6$, $v_m=8.0$, $Z=4.0$	完好无损 (坡面 1:6.5, 边坡上水跃)

表 16 (续)

工程名称	堰高/m	护面类型与材料尺寸	过水状况	损坏状况
流溪河	14.0	混凝土板	$q=30.0$, $H=3.8$, $v_m=8.0$	安全度汛
楠木峡	20.0	混凝土板 (厚 0.4m), 毛石镇墩	$q=6.7$	正常 (下游坡 1:1.5)
普定	13.0	键槽楔形体, 互相搭接	$H=12.5$, $Z=5.4$	(下游坡 1:6)
新丰江	25.0	块石	$q=31.0$, $v_m=15.0$	楔体稳定, 仅尾部两排楔体上抬 10cm
大朝山	17.0	碾压混凝土 (厚 0.9m)	$q=12.9$, $v_m=9.0$	完好无损
锦屏二级	21	混凝土板 (厚 1.2m)	$Q=6960$, $q=40.0$ $v_m=10.2$	完好无损
鲁地拉	33.5	碾压混凝土 (厚 4.0m)	$Q=5225$ $q=32.3$, $v_m=13.3$ $H=6.29$, $h=4.95$	完好无损
功果桥	22.5	混凝土楔型面板	$Q=2200$, $q=12.5$ $v_m=12.7$ (接近最大)	完好无损

注: q 为实际过水单宽流量, $m^3/(s \cdot m)$; v_m 为实际堰面最大流速, m/s ; H 、 h 、 Z 为堰上水头、堰面水深和水头, m ; Q 为实际过水流量, m^3/s

表 17 国外部分水利水电工程土石过水围堰运用状况

工程名称	国名	堰高 /m	护面类型与材料尺寸 / (m×m×m 或 m)	围堰过流情况	护面损坏状况
卡姆拉 巴萨	莫桑比克	37.0	3~5t 块石 混凝土板 (7×7×2.5 透水)	$q = 50.0, h = 4.0,$ $v_m = 9.0$	未发生严重损坏 (设计 $q = 100.0, v_m = 23$)
阿克姆博	加纳	68.0	铅丝笼 (0.92×0.92×2.75)	$q = 67.0, h = 5.12,$ $v_m = 13.0$	正常 ($q = 69.3$)
德聂泊	苏联		混凝土楔形板 (3×2×0.7)	$q = 36, v_m = 11.0 \sim 12.0$	获得成功
阿马内昌	苏联	20.0	混凝土楔形板 (2×2×0.25)	$q = 60.0$ $v_m = 17.0 \sim 23.0$ $H = 37.0, Z = 35.0$	出现沉陷, 仍每年过水, 排水 (下游边坡 1:2)
努列克	苏联	20.5	混凝土板 (1.5×1.5×0.8)	$q = 40.0$ 面流消能	坝体沉陷 1m, 部分混凝土班, 砾石冲走
德聂斯特 罗夫斯克	苏联	20.0	混凝土楔形板 (1×1×0.25) 铰接	$q = 20.0$	护面作用明显

表 17 (续)

工程名称	国名	堰高 /m	护面类型与材料尺寸 /(m×m×m 或 m)	堰堰过流情况	护面损坏状况
托克 托古丽	苏联	25	钢筋混凝土陡槽	$q=12.0$, 淹没水跃, 底流 消能	除消力池有变形, 无大损坏 (下游坡面 1:3.7)
汉塔依	苏联		大块石, 块石护面	$q=66.7$ 底面消能	完全冲毁
亚库梯	苏联	22.0	块石 (0.5) 护面	$q=3.08$ 面流消能	正常
奥尔特	澳大利亚	31.8	块石 (1.0) 砌护钢筋混凝土	$q=46.0$ $v_m=4.5$	总体完好, 少量小块石 冲失
阿里德 阿达维拉	西班牙	30.0	混凝土护面 (6×6, 厚 0.8)	$q=40.0$	安全度汛
露色雷斯	苏丹		石笼块石	$q=40.0$	正常
依尔一克久	洪都拉斯	40		$q=30.6$	下游坡度 1:2, 模型成果

注: q 为实际过水单宽流量, $m^3/(s \cdot m)$; v_m 为实际堰面最大流速, m/s ; H 、 h 、 Z 为堰上水头、堰面水深和水头, m 。

混凝土围堰需根据堰基灌浆、排水孔设置、堰体高度及排水、堰体灌浆等条件确定堰体内是否设置廊道。如需设置廊道，其设置需符合 SL 319、SL 282 的有关规定。重力式围堰横缝的上游面、溢流面、下游面最高尾水位以下及堰内廊道和孔洞穿过分缝处的四周等部位需布置止水设施。横缝止水片必须与堰基岩石妥善连接。

重力式混凝土围堰用作过水围堰，为了利于溢流堰面消能和碾压混凝土施工，通常做成台阶式。混凝土过水围堰需通过分析计算，确定下游消能防冲措施，以保护下游河床及两岸基础，必要时需经过施工导流水力学模型试验验证。对上游过水围堰尚需要考虑大坝形象面貌对围堰下游消能工的影响，并按下游水力衔接最不利的工况进行防冲设计。若围堰基础地质、地形条件较好，可采用挑流消能，以减少下游防护工程量，简化施工；若围堰基础地质、地形条件较差，一般采用底流消能，但下游防护工程量大，需视施工条件及工期的可行性，进行综合分析比较。

2.4.14 胶凝砂砾石技术目前正处于发展阶段，工程应用上不多，但从已建胶凝砂砾石工程来看，其结构设计主要有如下基本特征：

1 胶凝砂砾石是在天然砂砾石料或石渣料中掺入少量胶凝材料并经碾压形成的，其力学性能介于堆石料（包括砂砾石料）和混凝土之间，比堆石料的强度要高，但比混凝土的强度低。这种材料性质上的特点决定了胶凝砂砾石围堰堰体内一般不允许出现拉应力，堰体断面介于重力式围堰和土石围堰之间，一般采用梯形断面，对地基的适应能力较强。

2 胶凝砂砾石中胶凝材料掺量低，胶凝砂砾石抗渗性较差且离散性较大，如贵州松桃道塘大坝现场抗渗试验表明，28d 龄期的胶凝砂砾石渗透系数为 $10^{-5} \sim 10^{-2}$ cm/s，因此迎水面一般设置富胶凝砂砾石护面、混凝土面板等防渗措施。

3 胶凝砂砾石的一个特点是就地取材，骨料为工程附近易于获得的天然砂砾石或工程开挖渣料等，一般不进行特殊加工，

力学性能差异性较大，对胶凝砂砾石材料的性能影响较大，因此，堰体胶凝砂砾石材料的强度等级一般根据材料试验并结合堰体剖面确定。

4 水泥用量少是胶凝砂砾石的主要特征之一，低水泥用量意味着水化热较小，温升较小，而且对于围堰堰体，即使出现微量裂缝也不致对结构性能产生过大影响，故胶凝砂砾石围堰可不设纵、横缝。

2.4.15 围堰结构设计基本与坝工设计相同，由于围堰具有使用期短，堰前水位时涨时落、高水位持续时间短等特点，设计荷载只需按正常情况计算就可满足要求。若遇到超标准荷载，可采取临时措施解决。围堰设计荷载一般包括围堰自重、设计洪水位的静水压力、浮托力、渗透压力、土压力、泥沙压力、风浪压力等，根据围堰型式及其运用条件确定。对属 3 级建筑物的围堰，尚需核算校核洪水位（或保堰洪水位）的静水压力和施工荷载作用下围堰的稳定。作用在围堰上的荷载计算可采用 SL 744《水工建筑物荷载设计规范》中荷载计算中的计算公式。

围堰顶宽主要考虑施工和防汛抢险要求。土石围堰堰顶宽度一般取为 4~15m，对部分围堰高度大和有特殊要求的工程，堰顶宽度可适当增加；混凝土围堰、浆砌石围堰堰顶宽度一般取为 3~7m，若有交通要求，其顶宽度一般不小于 5m，对小型工程可适当放宽要求；钢板桩格型围堰平均宽度为 0.85D（圆筒格体直径），框架填石围堰宽度一般为高度的 1.0~1.3 倍，竹笼围堰高度一般为 10~15m，顶宽 5~10m。

2.4.16 对 3 级和失事后果较严重的 4 级围堰，混凝土围堰和土石围堰分别在材料力学法和土力学计算的基础上，要求用有限元法复核计算围堰应力、变形。对于围堰基础中存在断层破碎带或软弱结构面的围堰，尚需用有限元法复核堰基深层抗滑稳定。

2.4.17 关于土石围堰、混凝土围堰与浆砌石围堰稳定安全系数的要求说明如下：

1 关于土石围堰堰坡及地基抗滑稳定计算方法及稳定安全

系数选取。根据 SL 274 的规定，确定相应的安全系数。围堰堰坡及堰基的极限平衡稳定分析，常用的方法为条分法，有不计条块间作用力和计及条块间作用力两类，按滑动面形状分圆弧法和折线法两种。最早的瑞典圆弧法是不计条块间作用力的方法，计算简单，已积累了丰富的经验，但理论上存在缺陷，且当孔隙压力较大和地基软弱时误差较大。简化毕肖普圆弧法或其他计及条块间作用力的方法，由于“计及条块间作用力”能反映土体滑动土条之间的客观状况，但计算比瑞典圆弧法复杂。由于计算机的广泛应用，使得计及条块间作用力方法的计算容易实现，近 20 多年来已积累了很多经验。大量计算及实践表明，简化毕肖普圆弧法计算数值比瑞典圆弧法计算数值大 8%。

当采用滑楔法进行稳定计算时，若假定滑楔之间作用力为水平方向，其安全系数取值同瑞典圆弧法；若假定滑楔之间作用力平行于坡面和滑底斜面的平均坡度，其安全系数取值同简化毕肖普圆弧法。

2 混凝土围堰抗滑稳定采用抗剪强度公式或抗剪断强度公式，当存在两侧向同时挡水工况时（如混凝土纵向围堰与横向混凝土围堰衔接段），需复核两向同时挡水条件下围堰的稳定与应力。

2.4.18 本条为混凝土围堰安全核算的规定。

1 混凝土重力式围堰应力计算通常采用材料力学公式计算。对于按 3 级建筑物设计的围堰一般用平面问题的有限元法求解堰体和基础的应力及位移，计算公式参见有关混凝土坝的应力计算公式。围堰系临时建筑物，具有使用期短，特别是洪水时涨时落、最高水位持续时间不长等特点，混凝土重力式围堰施工期堰趾垂直应力允许有小于 0.1MPa 的拉应力，运行期堰基截面允许主拉应力 0.1~0.15MPa，堰体截面允许主拉应力 0.2MPa。

2 混凝土稳定计算内容及计算方法可参照混凝土重力坝、混凝土拱坝等相关设计规范执行。

3 混凝土围堰由于施工期紧，施工期间降温措施不太完善，

完建后立即投入使用等因素，运行期间会受到外部荷载和内部温度应力的双重作用，计算时一般考虑施工期温度应力。

4 混凝土纵向围堰在围堰挡水发电期间会发生双向挡水的工作，结构计算中需对双向挡水的部位进行复核。

2.4.19 围堰拦蓄库容较大时，考虑调蓄作用，同频率下的天然洪水流量得到了较大幅度的消减，可达到缩小导流工程规模，节约工程投资的目的。

2.4.20 强调3级土石围堰的防渗体顶部需预留竣工后的沉降超高。在确定围堰顶部高程时，需要考虑波浪高度、沉陷量、安全加高和其他水力因素。其中，波浪高度和沉陷量可按SL 274计算选取。其他类型围堰如钢板桩格型围堰、框架填石围堰、竹笼围堰、草土围堰等安全加高值可按土石围堰值取用，折冲水流和冰塞等引起的水位攀高可结合试验和现场等实际情况确定。

2.4.21 强调过水围堰堰顶高程按围堰挡水期设计洪水的静水位加波浪高度确定，不计安全加高值。为了降低过水围堰的保护难度和工程量，过水围堰上部经常设置子堰，此时子堰堰顶高程按照2.4.20条确定，过水堰体顶高程根据子堰高度相应降低。子堰高度不要太高，否则会增加度汛风险。国内部分工程过水围堰设计挡水位与子堰高度见表18。

表 18 国内部分工程过水围堰设计挡水位与子堰高度

围堰名称	项 目 名 称			
	设计挡水位 /m	过水围堰顶高程 /m	子堰顶高程 /m	子堰高度 /m
皂市水利枢纽上游土石过水围堰	96.33	92.0	98.0	6.0
普定水电站上游土石过水围堰	1100.7	1098.0	1101.2	3.2
桥巩水电站上游过水土石与橡胶坝组合围堰	78.0	73.5	78.5	5

表 18 (表)

围堰名称	项 目 名 称			
	设计挡水位 /m	过水围堰顶高程 /m	子堰顶高程 /m	子堰高度 /m
喜河水电站下游土石过水围堰	337.8	335.5	340.0	4.5
锦屏二级水电站上游土石过水围堰	1644.98	1642.0	1645.5	3.5
滩坑水电站上游土石过水围堰	—	—	—	5.5
蒲石河抽水蓄能电站下水库大坝上游土石过水围堰	52.9	52.4	53.4	1.0

2.4.22 水利水电工程施工工期长，施工期每年汛期都会遭遇洪水，甚至超标准洪水的袭击，度汛贯穿施工全过程。对于特别重要或围堰失事后果严重的工程，为了增加围堰的安全度，需考虑遭遇超标准洪水的应急措施和预案，主要包括洪水预报、围堰的加高加固、基坑充水及有关防汛管理等，提出应急措施和预案的目的是降低围堰漫顶破坏的风险，提高围堰的安全度。

2.5 导流泄水建筑物

2.5.1~2.5.3 对导流明渠的布置原则提出了要求。导流明渠应力求水力条件良好，需不恶化施工条件，并能减少工程量，尤其是施工较困难的水下开挖量。导流明渠运行期属于人工河槽，进出口高程的选择尽可能维持原河流的自然比降，否则会产生进口淤积和下游冲刷等问题。明渠上、下游水流衔接条件以及出口消能设计对运行安全影响甚大。

避免泄洪时对上下游沿岸及施工设施产生冲刷，同时为消除回流、涡流，有利于通航，减小明渠冲淤变化的影响，明渠进出口的方向与河道主流方向夹角一般小于 30° ，转弯半径一般不小

于3倍明渠底宽。

大型工程或有通航要求的导流明渠，需满足通航时的水深、水面宽度、比降、流速和转弯半径的要求，并需通过水工模型试验验证其水力学条件。

2.5.4 常用的导流明渠渠道断面形式有梯形、矩形、多边形和复式断面。

梯形断面适用于大、中、小型渠道，其优点是施工简单，边坡稳定，便于应用混凝土薄板衬砌；矩形断面适用于坚固岩石中开挖的明渠；多边形断面适用于在粉质砂土地区修建的渠道，当渠床位于不同土质的大型渠道，也采用多边形断面；复式断面适用于深挖渠道，复式断面有利于调整明渠弯道水流的流速分布及流态，改善明渠通航条件。

国内部分水利水电工程导流明渠设计过流情况统计见表19。

表19 国内部分水利水电工程导流明渠设计过流情况统计表

工程名称	明渠宽度 /m	设计过流流量 /(m ³ /s)	单宽流量 /[m ³ /(s·m)]
映秀湾	14	620	44.3
柘溪	16	1300	81.3
白山	20	2910	145.5
池潭	8	1020	127.5
龚嘴	35	9560	276.1
铜街子	54	9200	170.4
水口	75	28400	378.7
观音岩	45	14200	315.6
喜河	25.5	3380	132.5
蜀河	148	19700	133.1
沙坪二级	55	7490	136.2
尼尔基	190	9880	52
岩滩	51	15100	396.1
陆水	17.5	3000	171.4
黄龙滩	8	800	100

表 19 (续)

工程名称	明渠宽度 /m	设计过流流量 /(m^3/s)	单宽流量 /[$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$]
新丰江	8	1000	125
飞来峡	300	15500	51.7
宝珠寺	35	9570	237.4
大峡	40	5000	125
三峡	350	79000	225.7
龙开口	40	10800	270
银盘	90	20800	231.1
枕头坝一级	30.4	6600	217.1
沙坡头	40	5860	146.5
藏木	35	8870	253.4
安康	40	4700	117.5

2.5.5 本条为导流隧洞布置的原则，具体布置时需符合 SL 279 关于导流隧洞的有关规定。导流隧洞布置必须适应地形和地质条件，并力求临时建筑物与永久建筑结合，水力学条件良好，工程量省。隧洞线路选择是导流隧洞设计最重要的环节，洞线的选择需通过地质、地形、施工布置、交通条件、施工程序，以及下游的冲刷、干扰等条件经技术经济综合比较后选定。

2.5.6 导流隧洞进出口高程的选择需满足运行期间施工导流、截流、排冰等要求，同时尚需考虑施工方便、通航、泥沙淤积以及封堵条件等综合因素，并满足泄流及出口消能防冲要求。对于和高围堰配套布置的多条导流隧洞，其中部分导流隧洞的进口高程布置需满足截流要求，其余导流隧洞从方便施工、降低闸门水头、满足下闸后向下游供水等因素考虑，可适当抬高进口高程。在导流隧洞结构设计时，需重视其出口明渠体型和消能防冲设计。

导流隧洞无论是有压还是无压，设置反坡时不但影响过水水流，还存在淤积和排水问题，尤其是对水中泥沙含量较大和存在

遇水易软化的岩层时影响更大，故不要设置平坡和反坡。

2.5.7 导流隧洞断面选择是一个安全、经济和施工进度综合比较的问题。从工程实际应用情况来看，采用方圆型（圆拱直墙式）断面的工程较多，而采用圆形和马蹄形断面的工程相对较少。但随着施工技术的进步，马蹄形断面和方圆型（圆拱直墙式）断面的施工难易程度无明显的差别，因受力条件较好，马蹄形断面在工程中的应用越来越多，尤其是国外类似工程，一般均采用马蹄形断面。

2.5.8 导流隧洞垂直和侧向最小覆盖层厚度，需根据地质条件、隧洞断面形状及尺寸、施工成洞条件、内外水压力、支护（衬砌）结构型式、围岩渗透特性等因素，经综合分析后确定。由于导流隧洞系临时性建筑物，可根据具体工程实际情况，因地制宜适当降低标准。

2.5.9 导流隧洞平面布置采用曲线时，其弯道的缓急对隧洞的流态、压力分布、水头损失和施工难易都有影响，具体体现为弯道的转角和弯道的半径。目前国内外的规范大都规定，在低流速隧洞内弯道的转角不要大于 60° ，弯曲半径一般不小于5.0倍洞径（或洞宽）。而洞线转角越小其损失系数越小。结合工程实际运行经验，规定低流速无压隧洞转弯曲线的几何参数限定为“转角不要大于 60° ，弯曲半径不要小于5.0倍洞径（或洞宽）”。对于高流速隧洞主要是考虑隧洞抗冲耐磨、避免产生负压引起的空蚀破坏，往往需要通过水工模型试验进行验证其转弯曲线的几何参数选择的合理性。

2.5.10 对导流隧洞进口平台型式及进口断面设计的要求。

（1）岸塔式背靠岸坡布置，闸门设在塔形结构中，可兼做岸坡支挡结构，是最常采用的形式。

斜坡式进口使闸门尺寸偏大（大于隧洞断面），一般适用于进口易于布置斜坡滑道的小型隧洞。

竖井式闸门并适用于隧洞沿线（大坝帷幕上游）存在沟谷地形，便于布置竖井的工程。

闸井式进口的闸门布置在竖井中，竖井上部洞室内布置启闭机的操作室，启闭机室通过廊道进出。闸井式适用于高山峡谷地区，可以避免进口高边坡的大开挖，目前我国西南地区采用较多。

另外，对于规模较小的导流隧洞工程，可采用临时起吊设备下闸封堵，可不设置启闭机平台。

(2) 当进水口布置不当时，会产生偏流、回流、漩涡等现象，影响隧洞泄流能力，也容易使隧洞发生气蚀破坏。在进口断面设计中，需保证进口喇叭口水流顺畅，尽量避免出现负压、气泡等不利流态。顶拱曲线一般为椭圆曲线，或椭圆和斜线的组合线，设计时先根据工程类比选择一个曲线，必要时通过水工模型试验验证和优化。

2.5.11 本条为导流隧洞进出口设置渐变段的设计基本规定。

2.5.12 结合国内工程经验，导流隧洞进口高程一般较低，下游水位变化较大，消能防冲型式多采用挑流消能和底流消能。挑流消能多用于高水头隧洞，底流消能多用于中低水头隧洞，隧洞出口一般都进行扩散，以减少单宽流量，消减水流的冲击力。若下游水位比较稳定，且水深比较适宜时，采用适当的护岸工程后也可采用面流消能。

2.5.15 在混凝土坝中预留导流底孔单独担负导流泄洪，或其他泄水建筑物组合导流，是经济可行的导流设施。在采用单独底孔导流的布置中，一般为满足二期导流时泄洪，尽量布置在近主流河道处。当布置大尺寸底孔时，尽可能跨坝缝布置，以节约配筋量。在两岸陡峻的大江大河上采用坝体导流底孔进行导流时，由于混凝土坝的永久孔洞布置已较紧凑，再布置数量较多的导流底孔时，虽然对于坝体结构的影响不是制约因素，但是由于各孔洞是上下左右错综布置，设计导流底孔进口闸门平台和封堵施工的难度可能较大，故需考虑施工方便的因素。

2.5.16 底孔尺寸，除在满足各项综合要求之外，尚需根据坝体应力、封堵底孔闸门的钢结构允许应力等综合选定，除特殊要求

外，尽可能采用窄、高形式。

2.5.17 在坝体布置临时底孔或缺口（包括梳齿段），下部布置临时底孔同时泄洪时，为避免发生空蚀破坏，需重视水力学条件研究。可通过水工模型试验确定这种布置方式的出口水流对下游坝基的冲刷影响。

2.5.18 对于土石坝工程，导流涵管埋在当地材料坝底部，已构成坝体的一部分，如果开裂漏水，极易沿管外壁发生集中渗流，引起土石坝不均匀沉陷或失事。因此，当涵管建在土基上时，地基需经过特殊处理。如某些软基上的涵管，平面采用格型钢板桩加固，在板桩间开挖基础土层，回填土料，压实后再将涵管置于其上。

2.5.19 利用混凝土坝实体结构预留缺口单独导流或与其他导流设施组合导流，是重力坝和拱坝在施工过程中经常采用的导流泄水方式。

2.5.20 当临时过水坝面前沿过长时，因通气不畅可能引起负压过大，必要时采取增加隔墩掺气等措施。水流对坝后基础的冲刷破坏往往超过坝建成后的设计或校核洪水泄洪时的影响，故需通过水工模型试验提出防止冲刷破坏的保护措施。

2.5.21 由于厂房结构复杂，既有土建施工又有机电安装，工期较长，一般情况下，不要通过厂房过流。经论证厂房必须过流时，则需在不影响按期发电情况下，经过水工模型试验，确定过流方式、部位及泄流能力，并确认不会发生气蚀和振动破坏。关于厂房过流方式，富春江电站及西津和沙溪口电站的3号、4号机组段在尾水的肘管顶部临时封盖后泄流，大化电站及西津电站的2号机组段利用未完建的蜗壳和尾水管泄流。未完建的蜗壳和尾水管泄流流态复杂，发生涌浪及漩涡，厂房泄流一般要避免采用这种方式。

由于厂房结构相对较为单薄，当泄流流态不稳时，易引起结构振动破坏或空蚀，且对工程加快工期尽早受益不利，故一般尽可能不采用未完建厂房泄流。

2.6 河道截流

2.6.1 截流在水利水电工程中是重要的关键项目和里程碑目标之一，也是影响整个工程施工进度的一个控制项目。如果截流不能按时完成，将制约围堰施工，直接影响围堰度汛的安全，并将延误永久建筑物的施工工期；若不能按时截流，失去了枯水期的良好截流时机，将延误工程总工期；对于通航河道，还可能造成断航的严重后果。因此，一定要综合慎密分析研究，提出切实可行的截流方案，保障截流顺利进行。

为确保截流成功，必须精心组织施工，包括：截流备料堆场、截流交通道路布置、截流设备选型及配套数量、截流施工管理、截流施工控制性进度等。

2.6.2 截流方式需综合分析水力学参数、施工条件和截流难度、抛投材料数量和性质等因素，经技术经济比较后确定。河道截流一般有立堵、平堵，以及较特殊的定向爆破、截流闸等方式。目前国内外应用较多的方法为戗堤法，并以戗堤立堵为多，该方法简单易行。尤其是在大吨位汽车迅速发展的今天，更适应戗堤法对大强度进占、合龙的要求。据此，本条提出在拟定截流方案时，需优先考虑戗堤立堵。

苏联在 20 世纪 50 年代用浮桥平堵截流例子较多，20 世纪 60 年代逐步减少，20 世纪 70 年代后期基本不再采用，主要是浮桥价格昂贵，架设和运用技术条件复杂。20 世纪 60 年代后期罗马尼亚与南斯拉夫合建的铁门电站和苏联的布拉茨格电站，用立堵与平堵相结合的方案。平堵部分是修筑栈桥。栈桥价格很贵，施工技术条件也很复杂，故架桥平堵截流方法目前已不常采用。当水力学条件允许和已具有设备的情况下，可以研究采用船只平抛作为截流的辅助措施。

在特殊的情况下，截流方式也可采用定向爆破、建闸或浮运结构法。

2.6.3 单戗立堵是较为常用的截流方法，简单易行，截流辅助

措施少，比较经济。但当落差大于 4m（一般指截流进占期间，而非最终合龙时的落差）时，合龙时非常困难，因此，本条以 4m 为控制指标，一般情况下，单戗立堵一般在 4m 落差以下时采用。

近 20 年来，随着大型施工机械制造水平的提高，截流一般以大型机械化作业程度高的立堵为主。选择单戗还是双戗截流，实质上是个施工难易问题。有关研究成果认为，选择双戗堤截流需掌握下列 3 条原则：

(1) 截流过程中，上、下戗堤各自的截流难度，都必须小于单戗立堵的难度。

(2) 下戗堤在截流过程中，除进占难度小以外，还必须对上戗堤有显著的壅水作用。

(3) 两戗堤之间的距离要满足有关水力条件。

葛洲坝和三峡工程是双戗立堵截流的成功范例。目前，对于落差 4m 的截流已不存在技术难度。根据统计情况分析，对于落差大于 4m，且合龙流量大于 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 的情况，需考虑采用双戗截流。为了改善截流水力学条件，对于截流落差大于 4m 的情况，部分工程采用宽戗截流也取得了较好的效果，一般情况下戗堤宽度大于 30m 称为宽戗。

国内若干水利水电工程截流指标见表 20。

2.6.4 在河道水深流急，立堵十分困难时可考虑平、立堵结合的方案，但需研究平堵的可能性，造桥费用高是平堵截流的主要缺点，但其截流水力条件好。因此，有架设浮桥或栈桥的条件时，亦需进行平堵截流方案与平、立堵截流方案的技术经济比较。

在深水河道截流中，一般采用平抛垫底等防止堤头坍塌措施，通过平抛垫底使河床地基挤压加密，坡度变缓，水深变浅，可有效减少堤头坍塌。

2.6.5 导流泄水建筑物的泄流能力是影响截流难度的重要因素，导流泄水建筑物的进出口围堰在截流前往往由于水下拆除和时间

表 20 国内若干水电工程截流指标

序号	工程名称	河流	截流时间 (年-月)	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 (m)	最大 落差 (m)	最大 流速 (m/s)	主墩 墩顶宽 (m)	截流 历时 (m)	抛投强度 (m^3/d (m^3/h))	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般材料	合龙用特 殊材料	运输机械	其他机械
1	三门峡	黄河	1958-11	1000	2030	单墩 一岸 立堵	56	2.97	6.75	25	133	>7000 (294)	石渣 0.1 ~1.0m	3~5t 大块石, 15t 混凝土四面 体, 铅丝石笼	12.5~25t 自 卸汽车	推土机、起重 机、挖掘机
2	盐锅峡	黄河	1959-04	—	—	单墩 一岸 立堵	55	4.43	5.2	10	36	(190)	石渣	3~5t 大块 石, 15t 混凝土 四面体	10~25t 自卸 汽车 23 辆	5~15t 起重 机, 3 台 D80 推土机
3	丹江口	汉江		640	310	立堵		2.84	6.88				石渣	15t 混凝土四 面体		
4	刘家峡	黄河			210	立堵		5.97	5.0				石渣			
5	青铜峡	黄河			325	立堵	40	1.49	4.65				石渣			
6	西津	郁江		1300	594	立堵		1.75	4.70				石渣			
7	龚嘴	大渡河			448	立堵		4.0	7.0			(287)	石渣	9~15t 混凝 土四面体		
8	天桥	黄河			690	立堵		3.10	6.0			(3000)	石渣	6t 混凝土四 面体		
9	白山	二松 花江		440~ 260	126	立堵		1.48	4.80			(5270)	石渣			

表 20 (续)

序号	工程名称	河流	截流时间 (年-月)	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 /m	最大 落差 /m	最大 流速 (cm/s)	主墩 堤顶宽 /m	截流 历时 /m	抛投强度 (m^3/d (m^3/h))	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般材料	合龙用特 殊材料	运输机械	其他机械
10	龙羊峡	黄河	1979-12	800	170	单墩 立堵	40	1.4	3.0	8~10	4	(800)	石渣	大石、钢筋石 笼、四面体	10~25t自卸 汽车 55 辆	挖掘机、装载 机、推土机、起 重机
11	大化	红水河	1980-10	1500	1390	单墩 一岸 立堵 预平 抛	59.4	2.32	4.2	16	24	12688 (654)	粒径 0.4~ 1.0m 大石为 主, 少量石渣	粒径 1m 以上 大块石、竹笼、 石串、铅丝石 笼, 10t 四面体	20t、15t、12t 自卸汽车 75 辆	挖掘机 7 台、 推土机 8 台、起 重机 14 台
12	葛洲坝	长江	1981-01	5200	4720	单墩 两岸 立堵 拦石 坎护 底	203	3.23	7.5	25	36	70000	石渣, 粒径 为 0.4~0.7m 的块石	粒径 1m 以上 大块石, 15~ 25t 四面体钢架 石笼	20~45t 自卸 汽车 417 辆, 20t 为主	推土机、起重 机、挖运机、装 载机、开底驳
13	安康	汉江	1983-12	300	180	单墩 立堵	36.2	1.2	3.9	9	1.3	(858)	石渣	铅丝石笼	20t 自卸汽车 83 辆	挖运设备 4 台, 推土机 10 台, 起重设备 2 台
14	铜街子	大渡河	1986-11	750	850	单墩 单向 立堵	80	2.4	5.4	22	19	23000	粒径不超过 0.7m 石渣	粒径 1m 大块 石, 15t 四面 体、铅丝石笼、 异形体	20t、15t 自卸 汽车 80 辆	挖掘机 11 台、 推土机 15 台、 汽车起重设备 6 辆

表 20 (续)

序号	工程名称	河流	截流时间 (年-月)	截流流量 (m^3/s)		截流方法与特点	龙口宽度 (m)	最大落差 (m)	最大流速 (m/s)	主墩堤顶宽 (m)	截流历时 (m)	抛投强度 (m^3/d (m^3/h))	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般材料	合龙用特殊材料	运输机械	其他机械
15	岩滩	红水河	1987-11	1900	1160	自右向左单墩立堵	59	2.6	3.5	30	9.2	(972)	石渣	粒径 0.6m 以上块石、4~10t 石串	20t、32t 自卸汽车 52 辆	挖掘机 12 台、推土机 11 台、汽车起重机械 19 台
16	漫湾	澜沧江	1987-12	922	636	单墩立堵	65	3.0	7.13	30	22	35000	石渣、中小石	大石、立体四角钢架、钢筋铅丝石笼塔 ($780m^3$)	20t 自卸汽车 82 辆	挖装设备 8 台、推土机 8 台、起重机械 5 台
17	隔河岩	清江	1987-12	—	—	—	15	2.7	7.0	15	3.6	(800)	石渣	大石串、四面体	20t 自卸汽车 50 辆	挖装设备 9 台、推土机 8 台、起重机械 2 台
18	水口	闽江	1989-09	1620	1133	—	82.5	0.95	3.34	26	15.4	33700 (2200)	石渣、粒径为 0.45m 块石站 20%~30%	粒径 0.9m 大块石、8t 以上大石串	45t、32t、20t 自卸汽车 46 辆	装载机 10 台、推土机 7 台
19	李家峡	黄河	1991-10	300	620	—	40	5.3	5.4	15	51	7680	石渣	15t、20t 四面体、 $0.8m \times 0.8m \times 2m$ 铅丝石笼	12~20t 自卸汽车共 30 辆	装载机 2 台、推土机 2 台、起重机械 5 台
20	五强溪	沅水	1991-11	1400	613	—	85	2.56	5.56	18~20	29.8	(695)	中小石	粒径 0.6m 以上大石，钢筋石笼、四面体	20t、32t 自卸汽车共 42 辆	装载机 9 台、推土机 5 台、汽车起重机械 6 台

表 20 (续)

序号	工程名称	河流	截流时间 (年-月)	截流流量 /(m^3/s)		截流 方法与 特点	龙口 宽度 /m	最大 落差 /m	最大 流速 /(m/s)	主墩 堤顶宽 /m	截流 历时 /m	抛投强度 /[m^3/d (m^3/h)]	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般材料	合龙用特 殊材料	运输机械	其他机械
21	二滩	雅鲁江	1993-11	2000	1440	平、 立堵	52	3.83	7.14	—	3.4	(600)	石渣	粒径 0.7m 石料	30t 自卸汽车 22 辆	装载机、推 土机
22	天生桥 一级	红水河	1994-12	473	428	单墩 双向 立堵	28.45	1.43	4.82	15	4.3	(834)	粒径不超过 0.8m 石渣	粒径 0.8~ 1.6m 大石, 10t 石串	32t 自卸汽车 63 辆	装载机、推 土机
23	江垭	澧水	1994-12	42.6	33	单向 单墩 立堵	25	1.89	3.67	10	3.0	(867)	石渣、一般 块石	粒径大于 0.7m 块石料、 钢筋石笼	20t 自卸汽车 8 辆	挖掘机、装载 机、推土机、汽 车起重机各 1 台
24	万家寨	黄河			510			3.49	6.75				石渣	18t 混凝土四 面体		
25	小浪底	黄河	1997-10		132~ 190			3.73	4.8		63	(3574)	石渣			
26	大朝山	澜沧江	1997-11	873	618	单墩 立堵	60	3.96	7.0	25	20.25	(1066)	粒径 0.8~ 1.6m 大石, 10t 石串	粒径 1.0m 以 上大石、钢筋石 龙、四面体	15t、32t 自卸 汽车共 80 辆	挖掘机、装载 机、汽车起重机
27	珊溪	飞云江	1997-11	80.6		单向 单墩 立堵	25	1.55	3.3	10			石渣及块 石料			

表 20 (续)

序号	工程名称	河流	截流时间 (年-月)	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 /m	最大 落差 /m	最大 流速 /(cm/s)	主墩 堤顶宽 /m	截流 历时 /m	抛投强度 /[m^3/d (m^3/h)]	主要截流材料		主要机械设备		
				设计	实际								一般材料	合龙用特 殊材料	运输机械	其他机械	
28	三峡 大江	长江	1997-11	14000 ~ 19400	8480 ~ 11600	单墩 立堵 平抛 垫底	130	1	4.22	30	120990 (1446)	粒径 1.0m 以上大石, 钢 筋石龙、四 面体	5~10t 大石	77t、45t、30t 自卸汽车 351 辆	10 m^3 挖掘 设备 66 台, 710HP 下列推土机 20 台, 平地船		
29	引子渡	乌江	2001-10	58		单墩 单向 立堵	40	3.77	3	12	15	(600)	小石和卵石 和普通石渣, 大石、中石	特大石	自卸汽车 (15~20t) 20 辆	装载机 (3~ 6 m^3) 3 台, 挖 掘机 (4 m^3) 3 台, 推土机 (180~320HP) 3 台, 汽车起重机 (20~40t) 2 辆, 木船 2 艘	
30	碗米坡	西水	2001-11	357	137	单墩 立堵	60	2.1	4.0	15	36	(600)	石渣	1.5 m^3 块石、 钢筋石笼	自卸汽车		
31	公伯峡	黄河	2002-03	360	100	单墩 立堵	30			20	24	(600)	石渣	10t 中混凝土 四面体, 1.2 m^3 钢筋石笼	20t 自卸汽车 30 辆	3 m^3 装载机 3 台, 大型推土机 2 台	
32	三峡 明渠	长江	2002-11	10300 ~ 11000	7970 ~ 9050	双枪 立堵 平抛 垫底	上 150, 下 125	4.11	6	30	约 120	42700 (3000)	粒径 1.0m 以上大石, 钢 筋石龙、四 面体	8 m^3 钢筋石 笼等	77t、45t、30t 自卸汽车 295 辆	10 m^3 挖装设 备 50 台, 710HP 推土机 20 台, 平地船	

表 20 (续)

序号	工程名称	河流	截流时间 (年-月)	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 /m	最大 落差 /m	最大 流速 /(cm/s)	主墩 堤顶宽 /m	截流 历时 /m	抛投强度 /[m^3/d (m^3/h)]	主要截流材料		主要机械设备			
				设计	实际								一般材料	合龙用特 殊材料	运输机械	其他机械		
33	三板溪	清水江	2003-09	394	100	单墩 立堵	65	3.12	4.3	20	24	(660)						
34	龙滩	红水河	2003-11	1570	1100 ~ 830	单墩 单向 立堵	70	0.7	3.8	20	48	(1060)	石渣	块石最大粒径 0.6~0.8m, 少 量钢筋石笼	20t、32t自卸 汽车	推土机、反铲		
35	拉西瓦	黄河	2004-01	20~30	20~30	单墩 立堵	35			15			石渣					
36	小湾	澜沧江	2004-10	1320	1320	单墩 单向 立堵	60	5.92	5.1	20			石渣混合 渣、石渣料、 中小石、大块 石、块石钢筋 石笼	特大块石及混 凝土四面体	15~32t自卸 汽车	装载机、挖掘 机和推土机		
37	光照	北盘江	2004-10	433	122	单墩 单向 立堵	55	6.36	5.03	15								
38	构皮滩	乌江	2004-11	819	577	单墩 单向 立堵	40	1.58	4.57	12		(668)	石渣、中 石、大石	特大块石及钢 筋石笼				

表 20 (续)

序号	工程名称	河流	截流时间 (年-月)	截流流量 /(m^3/s)		截流方法与特点	龙口宽度 /m	最大落差 /m	最大流速 /(m/s)	主墩堤顶宽 /m	截流历时 /m	抛投强度 /[m^3/d (m^3/h)]	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般材料	合龙用特殊材料	运输机械	其他机械
39	景洪	澜沧江	2005-01	633		单墩单向立堵	50	3.14	5.33	28.5			石渣、中石、大石	钢筋石笼、混凝土四面体	32t、25t、20t 自卸汽车	挖掘机、装载机、推土机、汽车起重重机、洒水车
40	滩坑	瓯江	2005-10	114		单墩双向立堵	25	2.3	3.27	12			石渣料及大块石			
41	察汗乌苏	开都河	2005-11	89.5		单墩单向立堵	30	4.9	4.43	18	24	(600)	石渣	混凝土四面体和钢筋石笼	45t和 20t 自卸汽车	4 m^3 挖掘机、1 m^3 反铲
42	瀑布沟	大渡河	2005-11	1000	890	单墩双向立堵	40.8	4.35	8.1	20	10	(2793)	石渣	四面体、大石串	32t、20t 自卸汽车	推土机、起重重机
43	金安桥	金沙江	2005-11	889	829	宽墩堤单向力度	50	4.72	7.15	60	45	(1785)	石渣、中石、大块石	钢筋石笼、混凝土四面体	32t、25t、20t、15t 自卸汽车	挖掘机、装载机、推土机、汽车起重重机、洒水车
44	土卡河	李仙江	2005-12	271	280	单墩双向立堵	30	4.5	6	15	9.5		石渣、中石、大块石	钢筋石笼、大石串	20t、15t 自卸汽车 20 辆	推土机 3 台、1.2 m^3 反铲 5 台

表 20 (续)

序号	工程名称	河流	截流时间 (年-月)	截流流量 /(m ³ /s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 /m	最大 落差 /m	最大 流速 /(cm/s)	主墩 堤顶宽 /m	截流 历时 /m	抛投强度 /[m ³ /d (m ³ /h)]	主要截流材料		主要机械设备		
				设计	实际								一般材料	合龙用特 殊材料	运输机械	其他机械	
45	锦屏 一级	雅砻江	2006-12	814	523	单墩 立堵	40	5.23	6.41	25	32.5	(1197)	石渣、中石 (0.4~0.7m)、 大块石 (0.7~ 1.1m)	5t 重钢筋石笼			
46	溪洛渡	金沙江	2007-11	5160	3560	单墩 双向 立堵	75	4.5	9.5	30	31	(2300)	粒径不大于 0.6m, 石渣料	混凝土四面体 和钢筋石笼、块 石串	32t、20t 自卸 汽车 129 辆	推土机 10 台、 4~5.3m ³ 挖装 设备 24 台和 25~ 50t 汽车起重机 7 辆	
47	糯扎渡	澜沧江	2007-11	1815	2890	单墩 双向 立堵	66.6	7.16	9.02	25	27	(3216)	石渣、大 块石	3m ³ 钢筋石 笼、4.5m ³ 钢 筋石笼、7~ 8.5t 混凝土四 面体块、15t 混 凝土六面体块、 25t 混凝土六面 体块	6m ³ 争产挖 掘机、4.5m ³ 、 2.0m ³ 、1.6m ³ 反铲挖掘机和 3m ³ 装载机攻 击 19 台、DI55、 320HP、D85 及 220HP 推土机 10 台、25~50t 汽车起重机 3 台	20t 与 32t 自 卸汽车 173 辆	
48	蜀河	汉江	2007-12	415	133	单墩 立堵	50	2.84	4.31	15	22	(400)	石渣料	钢筋石笼与大 块石	20t 与 45t 自 卸汽车	装载机、液压 反铲、推土机、 汽车起重机	

表 20 (续)

序号	工程名称	河流	截流时间 (年-月)	截流流量 (m^3/s)		截流方法与特点	龙口宽度 (m)	最大落差 (m)	最大流速 (cm/s)	主战堤顶宽 (m)	截流历时 (m)	抛投强度 (m^3/d (m^3/h))	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般材料	合龙用特殊材料	运输机械	其他机械
49	大岗山	大渡河	2008-01	410	272	单向 双向 立堵	40	7.2	7.65	25	24	(1483)	大、中石和 石渣	钢筋或铅丝石 笼串		
50	锦屏 二级	雅砻江	2008-11	637	746	单向 单墩 立堵	40	4.6	7.4	18	36	(800)	石渣及块 石料	块石串、钢筋 石笼及混凝土四 面体		
51	功界桥	澜沧江	2008-11	727	660	单墩 立堵	50	7.2	7.55	20	48	(1420)	石渣	钢筋石笼、大 块石和混凝土四 面体	20t和 32t自 卸汽车	装载机、反 铲、推土机、汽 车起重机
52	阿海	金沙江	2008-12	951	650	宽墩 堤单 向立 堵	65	8.0	5.73	60			石渣、中 石、大石	钢筋石笼、混 凝土四面体	32t、25t、20t 自卸汽车	挖掘机、装载 机、推土机、汽 车起重机
53	龙开口	金沙江	2009-01	707	592	单墩 立堵	38	4.88	5.5	23~26	31	(3000)	石渣料	直径大于 0.9m的大块石、 中 8t以上石串	20t与 32t自 卸汽车 63 辆	装载机共 6 台、挖掘机 23 台、推土机 5 台、 汽车起重机 6 台
54	鲁地拉	金沙江	2009-01	654	590	单向 单墩 立堵	50	6.2	4.9	30	16.3	(1003)	石渣、中 石、大块石	特大石、混凝土 四面体、钢筋 石笼	32t、25t自卸 汽车	推土机、装 载机

紧迫而未能全部清除，从而使实际截流水头比设计计算值要高。因此需对影响截流时分流建筑物泄流能力的建筑清理提出具体要求，保证截流顺利进行。

2.6.6 涉及截流戗堤布置的因素很多，且这些因素均同截流难度有关。在进行截流布置时，需首先选定截流方案，根据选定的截流方案选择龙口位置，使之总体布置合理，创造有利的戗堤进口、龙口封堵和闭气的条件。

截流戗堤一般和上游围堰结合，但如果下游围堰地形、地质、交通更为有利，特别是龙口段地质条件良好、上下游围堰间水头差又不大时，也可比较截流戗堤和下游围堰结合方案。

截流戗堤是在水中抛投进占形成，其边坡由抛投料自然休止角和水流条件决定。根据工程经验，戗堤上游边坡一般为 $1:1.2\sim 1:1.5$ ，下游边坡为 $1:1.4\sim 1:1.5$ ；堤头边坡为 $1:1.3\sim 1:1.5$ 。

2.6.7 本条对截流戗堤的位置选择提出了要求。截流戗堤的布置要考虑后续防渗体的施工方便因素。从以往工程情况看，单戗堤立堵截流戗堤布置在上游围堰，有利于围堰闭气后基坑抽水，大部分截流戗堤置于上游围堰轴线的下游侧，其优点是：截流戗堤兼作排水棱体，有利于围堰的渗透稳定；可减少截流过程中围堰基础的冲刷；当围堰采用防渗墙垂直防渗时，可避免截流抛投的大块体流失到防渗轴线范围内而增加防渗墙造孔难度，并影响防渗效果。

当截流流量小，龙口材料流失率小或采用上游电站关机合龙时，经分析论证，截流戗堤可置于围堰的迎水侧。

2.6.8 截流戗堤的顶宽须满足截流抛投料运输和回车要求，主要与抛投强度、行车密度和抛投方式有关，通常为 $10\sim 25\text{m}$ ，有时为提高抛投强度，堤顶宽度可达 30m 。

2.6.9 本条为有关龙口位置、宽度选择的主要考虑因素和需要遵守的原则。

1 龙口位置选择需根据工程的具体施工条件、设备水平和

水力指标等综合分析确定，龙口位置选在河床覆盖层薄处或基岩裸露处，是为避免合龙过程中，河床覆盖层冲刷，引起截流戗堤塌滑事故；选在河床深槽主航道处，是尽量减小龙口合龙前对通航的影响；龙口选在浅滩处，可减少合龙工程量、降低抛投强度。通常情况下，龙口处河床不要有顺流向陡坡和深坑，如选在基岩面突变的河床，需采取措施，确保截流戗堤稳定。

2 若龙口段河床覆盖层抗冲能力低，可预先在龙口抛石、抛钢筋笼或合金钢网兜等护底。护底范围可通过水工模型试验或参照类似工程经验拟订。立堵截流的戗堤轴线下游护底长度可按龙口平均水深的2~4倍取值，轴线以上可按最大水深的1~2倍取值。护底顶面高程在分析水力学条件及护底材料后确定。护底宽度根据最大可能冲刷宽度确定。

3 龙口宽度需综合考虑利用要求、合龙工程量和施工条件等因素，综合分析戗堤地形、地质、交通和水力条件而定，有的工程采取工程措施后还可将不利条件转化为有利条件。龙口预进占戗堤一般布置在运输抛投材料方便的河岸一侧，对于河床宽度小于80m时，可不安排预进占，不设置龙口。

2.6.10 通常非龙口段施工期间，分流建筑物尚未投入运用，流量全部通过戗堤束窄的口门下泄，改变了截流河道的水流流态。考虑束窄河道水力学条件变化造成两岸非龙口段戗堤稳定及覆盖层冲刷，需限制非龙口段戗堤进占施工进度。截流戗堤在满足通航等条件下，尽量提前进占，为围堰防渗体施工创造有利条件。

1 对通航河道，在非龙口段进占过程中，坝址河段的航运尚未中断，但两岸戗堤施工与船舶通航有干扰。因此，戗堤进占时需尽量减少对航道的影响。

2 两岸非龙口段戗堤施工期间，需划分若干施工时段，限制进占长度。通常，控制束窄口门流速不大于4m/s，落差不大于1m，以减少河床覆盖层冲刷，并考虑戗堤进占尽量利用石渣料。

3 在实际施工过程中，大多数工程都充分利用水情预报，确定截流戗堤顶高程，在保证截流戗堤整个进占过程中不受洪水

漫溢和冲刷情况下，尽量降低截流戗堤顶高程、减少合龙工程量。

2.6.11 随着截流戗堤进占，龙口逐渐束窄，落差增大，口门水流流态由淹没流变为非淹没流。最大流速出现在淹没流过渡到非淹没流的临界状态时，龙口断面束窄到三角形过水断面后，口门纵向水面线趋于平缓，流速也降低较快，龙口合龙时，流速趋于零，但落差最大。根据龙口合龙进占水力学指标将龙口分区，是为便于施工时控制抛投材料及采用适当的抛投技术。

2.6.12 本条对截流材料提出了要求。预进占段一般流速较低，除裹头外，开挖渣料一般均能满足要求，大量利用开挖渣料可降低截流费用。龙口段一般流速较大，重点需考虑大石块及块石串，混凝土四面体只在开采大块石有困难之处采用。关于储料备用系数，它与截流难度紧密相关，一般不要考虑太大。

截流抛投物需有较强的透水能力，使截流过程中透过戗堤的流量占较大比例，从而可降低截流难度。

2.6.13 截流过程中水力现象比较复杂，在理论计算时某些水力计算有局限性和近似性，需通过模型试验验证，发现问题研究对策措施。截流过程中，一般要对动态变化的水流边界条件和主要水力要素进行原型实时观测，用以指导截流施工。

2.6.14 导流泄水建筑物分流能力是影响截流难度的重要因素，导流围堰泄水建筑物的进出口围堰往往由于水下拆除和时间紧迫而未能全部清除，从而使实际截流水头比设计计算值高。

一般来讲，截流前工程形象面貌要求如下：

(1) 截流前需完成围堰挡水淹没范围内的水库移民搬迁和库底清理工作。

(2) 对有通航、灌溉和供水等要求的河道，在截流前后必要的通航及灌溉等建筑物能如期投入使用。

(3) 截流前需做好截流物料的合理安排，规划好堆存场地和运输道路。

2.6.15 通过截流水力学计算，以确定截流过程中的落差、单宽

流量、单宽能量、流速等水力学参数及变化规律，再据此拟定截流戗堤进占程序，以及不同区段的截流抛投材料尺寸规格和数量。

截流设计流量（河道来流量）在截流过程中分为四部分：龙口泄流量、分流建筑物泄流量、上游河槽调蓄流量和截流戗堤渗流量。因龙口泄流量和分流建筑物泄流量为主要下泄流量，在截流设计水力计算时，可将上游河槽调蓄流量和截流戗堤渗流量作为安全裕度，一般可不予计入。但对于截流流量较大、渗漏流量很大的特殊工程，可结合工程具体情况，酌情考虑戗堤渗漏量。

2.6.16 在有覆盖层的河道上截流，为了保证截流安全和减少龙口抛投量、往往采取护底措施。护底优点为：增大了龙口糙率，减少了龙口合龙时工程量、抛投材料流失量，降低了截流难度。软基河床截流，护底加糙是保证抛投料稳定，减少合龙工程量的有效手段。即使是非软基河床，加糙河床改善截流条件也是非常有利的。

2.7 基坑排水

2.7.1 基坑排水是主体工程施工过程中持续时间比较长的一项重要工作。基坑排水需与围堰防渗方案同步研究，以使二者的总费用最低。基坑排水时间长、费用高，需通过调整围堰轴线布置，将较大冲沟分隔至基坑以外，如基坑内有较大溪沟时，需设置截、排水沟将溪流引至基坑以外，减小基坑降雨汇水量，节约基坑排水费用。国内几个导流工程投资与基坑排水费对比见表 21。

表 21 国内几个导流工程投资与基坑排水费对比表

工程名称	导流工程投资/万元	基坑排水费/万元	百分比/%
五强溪	6678.0	990.0	14.8
小东江	143.7	10.5	7.3
东风	1310.0	150.0	11.5
湾塘	143.0	46.0	32.2

表 21 (续)

工程名称	导流工程投资/万元	基坑排水费/万元	百分比/%
岩滩	5922.3	420.0	7.1
铜街子	8680.0	355.0	4.1
紧水滩	1341.7	49.0	3.7
大峡	1513.8	17.3	1.2
鱼子溪二级	46.0	121.0	263.0

2.7.2 围堰闭气时，多在旱季或枯水期，降雨和围堰渗水均是较小的时段，因此，初期排水中以基坑积水为主，基坑积水量可采用下游围堰的基础防渗施工平台洪水设计标准时的下游水位作为积水水位进行计算。渗水量同围堰和基础防渗结构型式、围堰与基础及岸坡结合部位的处理情况、覆盖层的渗透系数等密切相关，影响因素较多，渗水流量难以精确计算。故在初步设计中，初期排水总量常采用经验估算法，一般采用3~6倍的基坑积水计算，当覆盖层较厚，渗透系数较大时取上限。在实际施工中，制定措施计划时，还常用试抽法来确定设备容量。

2.7.3 计算经常性排水强度时涉及降雨量标准的采用，一种意见是用重现期概念，即按5~10年重现期标准，另一种意见是用实测资料，条文中采用实测资料。渗水除由围堰和基础渗透两部分组成外，还要注意基坑内是否有出露的承压水，即泉眼，此部分涌水量也需列入渗水中。施工弃水量主要包括混凝土养护用水、冲洗用水（凿毛冲洗、模板冲洗和地基冲洗等）等，其他施工废水因有时段性或数量相对有限，未被列入主要考虑范围，如灌浆排放废水虽数量较大，但时间较短，土石坝碾压渗水多被坝体吸收等。

2.7.4 为了避免基坑边坡因渗水压力过大，造成边坡失稳，对于土质围堰或覆盖层边坡，其基坑水位下降速度必须控制在允许范围内。一般开始排水降速以0.5~1.0m/d为宜，接近排干时可允许达1.0~1.5m/d。其他型式围堰，基坑水位降速一般不是控制因素。三峡工程二期土石围堰基坑初期排水（包括限制性

排水)日降水位不允许超过 1m,崔家营航电枢纽工程一期土石围堰基坑,基坑水位下降速度在前 4d 控制在 0.8m/d 左右,后 3d 增大至 1.5m/d,初期排水时间为 7d。

排水时间的确定,要考虑基坑工期的紧张程度,基坑水位允许下降速度、各期排水设备及相应用电负荷的均匀性等因素,进行比较后选定。一般情况下,大型基坑可采用 5~7d,中型基坑可采用 3~5d。特大基坑初期排水时间可能较长,如三峡工程二期基坑实际初期排水时间为 58d。

2.7.6 对于采用斜墙防渗的土石过水围堰或混凝土过水拱围堰,如堰外河槽退水过快,而堰内水位下降不能与之相适应时,反向水压力有可能造成围堰破坏,需经过技术经济论证后,决定是否需设置退水闸或止回阀。

2.7.7 经常性排水系统布置中必须注意研究开挖规划和建筑物施工方案,以避免相互干扰。排水系统一般布置在基坑四周,排水沟一般布置在建筑物轮廓线外侧,且留有一定的安全距离,排水泵站布置不要过于分散。

2.7.8 排水设备备用量见表 22。因受季节、降雨、河道水位变化的影响,基坑渗水量是不稳定的。选用不同流量的水泵,来适应排水量的变化,避免过多的停顿。但泵的种类不要过多,以免造成维修、养护困难。强调有可靠电源是为了避免停电导致基坑积水。

表 22 水泵备用量参考

水泵工作台数/台	1	2	3	4	≥5
备用水泵百分比/%	100	50	33	25	20

2.8 施工期度汛

2.8.3 临时断面顶部需有足够的宽度,主要是为了在紧急情况下仍有余地抢筑子堰确保安全。临时断面的边坡需保证稳定,为防止施工期间由于暴雨和其他原因而坍塌,必要时应采取简便易行的防护措施和排水措施。SL 274—2001 中第 9.1.4 条规定土

质心墙、斜心墙和斜墙不允许采取分期加厚的形式，因此斜墙坝和心墙坝的防渗体不允许采用临时断面。

小浪底大坝为壤土斜心墙堆石坝，最大坝高 154m，截流后的第一个汛期为围堰挡水度汛，第二、第三个汛期为坝体挡水度汛。糯扎渡大坝为掺砾黏土心墙堆石坝，最大坝高 261.5m，截流后的第一、第二个汛期为围堰挡水度汛，第三、第四、第五个汛期为坝体挡水度汛。

2.8.4 一般情况下土石坝不要过水，但也有成功过水度汛的工程实例，如黑龙江龙凤山水库土坝采用在坝身设宽 70m 的临时溢流口过流度汛，广东省高坪水库土坝、合河水库土坝、凤溪水库土坝，以及四川省升钟水库心墙坝均采用在下游设置壅水溢流堰过水度汛。土石坝过水断面型式及保护措施一般由水工模型试验验证，过水防护措施可采用大块石护面、砌石护面、混凝土块面板、钢筋铅丝笼、合金网石兜或混凝土柔性排等。

二滩、小湾、构皮滩、溪洛渡、锦屏一级拱坝均在全年围堰的挡水下施工，而隔河岩、乌江渡、采用的是坝体过水度汛方式，前五个水电站大坝为双曲拱坝，后两个水电站大坝为重力拱坝。混凝土拱坝采用坝面过水度汛方式时，需经专门论证。混凝土拱坝挡水度汛时需论证封拱灌浆高程。

面板堆石坝经技术经济比较论证，可采用下列 4 种度汛方式：

- (1) 坝体临时断面挡水度汛；
- (2) 围堰挡水基坑及坝体全年施工；
- (3) 坝体先期过流后期挡水度汛；
- (4) 坝体预留缺口过流坝体分段填筑度汛。

大桥、花山、万安溪、东津、白溪、洪家渡、鱼跳、引子渡、乌鲁瓦提、三板溪等工程采用的是第 (1) 种度汛方式；黑泉、紫坪铺、公伯峡、巴西辛戈、缅甸道耶坎等工程采用的是第 (2) 种度汛方式；西北口、珊溪、水布垭、芹山、大河等工程采用的是第 (3) 种度汛方式；天生桥一级、莲花等工程采用的是第 (4) 种度汛方式。面板堆石坝采用第 (1) 种度汛方式的居多

数，该种度汛方式充分利用了面板堆石坝施工方便、填筑上升速度快的优点，可以减少围堰工程量。

面板堆石坝体拦洪度汛时，垫层区上游坡面需采取固坡措施，固坡措施可采用碾压低强度砂浆、喷射混凝土、喷洒阳离子乳化沥青或挤压式边墙。挤压式边墙施工技术始用于巴西埃塔坝，国内已在公伯峡、水布垭、寺坪、芭蕉河、双河口、白莲河等工程面板堆石坝中应用。坝面过水保护措施一般采用加筋堆石、钢筋石笼、碾压混凝土或组合方式。需重视堆石坝体与两岸及下游坝趾附近连接部位的保护。用碾压混凝土保护下游坝坡时需作坝体排水设计。

以砂砾石填筑的面板坝体表面不要采用过水度汛方式，采用挡水度汛时，一般要在汛前浇筑混凝土面板，或加强垫层上游坡面的防护措施。

2.8.5 丹江口、江垭、彭水、五强溪、皂市等工程均采用大坝预留缺口度汛方式。

2.8.7 由于导流泄水建筑物泄流能力低于永久泄洪建筑物，造成施工期水位高于正常运行期水位，出现施工期临时淹没问题。还有的工程，因移民进度落后，出现施工期临时淹没问题。

2.9 施工期蓄水与下游供水

2.9.1 大型水利水电工程的工程量大，工期长，为了提前受益，一般都采取边施工、边蓄水发电的办法。国内已建的许多大型工程，如新安江、拓溪、乌江渡、丹江口和葛洲坝，均在施工期开始蓄水。影响施工期蓄水的因素很多，起控制作用的因素是枢纽施工总进度计划和库区淹没线下的移民进度。在开始蓄水前主要单项工程需要达到规定的防洪要求。这些要求在施工总进度中需作出具体安排。大流量、低水头分期导流的大型枢纽工程，还可以论证利用围堰挡水受益的可能性。

国内部分水利水电工程下闸蓄水及下游供水措施资料详见表 23。

表 23 国内部分水电工程下闸蓄水及下游供水措施资料统计

序号	工程名称	下闸水头	闸门最大挡水水头	下闸蓄水概况	下游供水措施
1	溪洛渡	1号、6号导流洞：8.59m； 2~5号导流洞：21.62m； 1号、2号、5号、6号导流洞底孔：15.54m； 3号、4号导流洞底孔：55m； 7~10号导流洞底孔：150m (控)	1号、6号导流洞：16.63m； 2~5号导流洞：93.89m； 1号、2号、5号、6号导流洞底孔：51.89m； 3号、4号导流洞底孔：190m； 7~10号导流洞底孔：150m	导流洞及导流洞底孔共分5批下闸，依次为： 1号、6号导流洞→2~5号导流洞→1号、2号、5号、6号导流洞底孔→3号、4号导流洞底孔→7~10号导流洞底孔。 3号、4号导流洞底孔下闸水库开始蓄水，蓄水时考虑了下泄通航流量	1号、6号导流洞下闸，其他导流洞下闸后，2~5号导流洞下闸后，水位升至导流洞底孔高程的过程中，下游将断流12.21h，以后由不同高程导流洞底孔及水工泄洪深孔接续向下游供水
2	小湾	1号、2号导流洞：11.8m； 导流底孔：79.5m； 导流中孔：83m	1号、2号导流洞：70m； 导流底孔：135m； 导流中孔：100m	1号、2号导流洞先同时下闸→导流底孔下闸→导流中孔下闸	导流洞下闸后水位升至导流洞底孔高程的过程中，下游将断流2.42d，断流期间可由下游漫湾水库有效库容调节，随后由设置在坝体不同高程的导流底孔、中孔及永久放空底孔接续供水

表 23 (续)

序号	工程名称	下闸水头	闸门最大挡水水头	下闸蓄水概况	下游供水措施
3	锦屏一级	1号、2号导流洞：8.88m、 12.02m； 导流底孔：100m（控）	1号、2号导流洞：72.4m； 导流底孔：105m	1号、2号导流洞同时下闸→导流底孔下闸。 导流洞封堵完成后水库开始蓄水，蓄水期间下泄流量不能完全满足二滩发电站蓄水要求，二滩发电站在蓄水期需灵活调度	生态环保 流量 720m ³ /s。 1号、2号导流洞下闸后，水位升至导流底孔高程的过程中，下游将断流132.9h，导流底孔在160.78h后即可下泄全部来水流量，该期间下游二滩水电站利用自身的调节库容供水发电
4	水口		导流底孔：62m		向下游供水308m ³ /s。 最后一个导流底孔下闸后，由2个5×8m永久泄水底孔宣泄
5	二滩	左导流洞：7.7m； 右导流洞：8m； 导流底孔：18.5m	导流底孔：186m	左导流洞下闸→右导流洞下闸→导流底孔（导流隧洞封堵完毕后）	两岸导流洞封堵完毕后立即下导流底孔闸门，导流底孔下闸约20h后，库水位即上升至1060m二级放空孔底板高程，对下游供水无影响

表 23 (续)

序号	工程名称	下闸水头	闸门最大挡水水头	下闸蓄水概况	下游供水措施
6	构皮滩	导流洞: 11.8m	导流底孔: 140m	导流洞下闸→导流底孔下闸(导流隧洞封堵完毕后)	导流洞下闸后水位从430m蓄至导流底孔高程490m;所需时间较短(仅3.4d),不考虑向下游供水,从490m蓄至最低发电水位过程由水久放空孔或中孔向下游供水,供水量10m ³ /s
7	大岗山	导流洞: 9.1m; 导流底孔: 37.57m	导流洞: 65.45m; 导流底孔: 125m	导流隧洞下闸→左导流底孔下闸→右导流底孔下闸。 导流隧洞下闸后水库先不蓄水,综合考虑来流量及下游电站调度后,选择合理时间依次分梯段水库蓄水	导流洞下闸后水库水位蓄至左导流底孔高程约需11.7h,而下游龙头石电站水库库容可满足保证出力发电13.3h,因此不考虑下游供水措施,随后由左导流底孔供水,封堵左底孔由右底孔供水,封堵右底孔后由泄流深孔接续供水

表 23 (续)

序号	工程名称	下闸水头	闸门最大挡水水头	下闸蓄水概况	下游供水措施
8	拉西瓦	导流洞: 20m	导流洞: 165m; 导流底孔: 120m	导流洞下闸→导流底孔下闸	导流隧洞下闸后蓄水位至导流底孔过程中, 下游断流 1.5d, 影响较小, 此后由底孔泄流, 深孔关闭, 控制下泄流量且 $Q = 300\text{m}^3/\text{s}$, 满足下游供水要求。导流底孔下闸封堵期由泄洪深孔向下游供水
9	龙滩	导流洞: 15m	导流洞: 105m	两条导流洞同时下闸, 蓄水期间考虑到上游天生桥一级水库的调节影响	高程 290m 处设 2 个 $5\text{m} \times 8\text{m}$ 底孔。 水库初期蓄水期断流 15d, 下游岩滩水电站依靠其自身的调节库容仍可基本满足电站按保证出力发电运行的要求, 相应下游其他方面用水要求亦可基本得到满足。当蓄水位超过 290.0m 后, 由泄洪底孔向下游供水

表 23 (续)

序号	工程名称	下闸水头	闸门最大挡水水头	下闸蓄水概况	下游供水措施
10	金安桥	1号导流洞右边孔: 11.45m; 1号导流洞左边孔: 21m; 2号导流洞两孔: 6.35m	1号、2号导流洞: 108m	2号导流洞两孔下闸→ 1号导流洞右边孔下闸→ 1号导流洞左边孔下闸→ 旁通洞下闸。 通过接续下闸, 最终 使得水位蓄至永久冲 沙泄洪孔的过程中, 下 游不断流, 在满足下游 供水要求的前提下, 水 库蓄水	向下游供水 350m ³ /s。 导流洞、冲沙底孔接 力供水, 2号导流隧洞 进口设置旁通洞向下游 供水, 通过接续以满足 下游供水要求, 下游不 断流
11	糯扎渡	1号导流洞: 20m; 2号导流洞: 15m; 3号导流洞: 20m; 4号导流洞: 67.5m; 5号导流洞: 44.5m	1号导流洞: 119m; 2号导流洞: 114m; 3号导流洞: 119m; 4号导流洞: 89m; 5号导流洞: 150.5m	导流洞分三批下闸, 依次为: 1~3号导流洞 (1号、2号、3号依次 下闸)→4号导流洞→5 号导流洞。 蓄水分两阶段, 1~3 号封堵后第一阶段开始 蓄水, 5号封堵后第二 阶段开始蓄水	向下游供水 400m ³ /s。 考虑到下游喜洪电站 调节库容, 分析可允许 断流 2.5d, 1~3号导 流洞封堵后, 先断流 28.35h, 水位蓄至 4号 导流洞(下游供水洞) 底高程后, 由供水洞泄 流, 65h后下泄流量满 足下游供水要求。4号 导流洞封堵后, 由 5号 导流洞及泄洪洞接续 供水

表 23 (续)

序号	工程名称	下闸水头	闸门最大挡水水头	下闸蓄水概况	下游供水措施
12	水布垭	1号、2号导流洞: 18m	1号、2号导流洞: 100m	2条导流洞同时下闸, 需水分两阶段进行, 先高蓄水至永久放空洞底高程, 随后由永久放空洞控制泄蓄水, 同时满足下游供水	导流洞下闸后蓄水至永久放空洞开始泄流前, 约断流 21d, 下游隔河岩水电站依靠水库调度方式减小影响, 坝址下游约 10km 范围为断水区域, 期间无工业, 主要为约 150 人生活用水, 采用洒水车运送生活用水结合补偿方式解决
13	天生桥一级	导流洞: 17m	导流洞: 150m	1997年12月15日导流洞顺利下闸后, 至12月18日放空洞开始过流, 进入水库蓄水第一阶段, 此后, 由于放空隧洞工程尾工需进行, 故至1998年8月25日, 放空隧洞工作弧型门开始节制, 水库水位1998年9月10日达738m高程, 至当年12月28日, 首台机正式并网发电时, 水库蓄水位736m高程, 已超过水库死水位5m, 满足首台机组发电要求, 初期蓄水任务顺利完成	向下游供水 305m ³ /s。 1998年后汛期蓄水阶段由放空隧洞向下游供水

表 23 (续)

序号	工程名称	下闸水头	闸门最大挡水水头	下闸蓄水概况	下游供水措施
14	梨园		导流洞：100.23m		向下游供水 $305\text{m}^3/\text{s}$ 。 左岸泄洪冲沙洞向下游供水
15	瀑布沟	导流洞：16.4m	导流洞：118.5m		向下游供水 $327\text{m}^3/\text{s}$ 。 利用下游深溪沟电站围堰前库容蓄水并向下游供水
16	龙开口		导流底孔：84m		向下游供水 $380\text{m}^3/\text{s}$ 。 最后一个导流底孔下闸后，由永久泄洪中底孔和冲沙底孔宣泄下游供水流量
17	滩坑	导流洞：6.4m	导流底孔：89.99m		向下游供水 $7\text{m}^3/\text{s}$ 。 下游有支沟天然来水
18	功果桥	导流洞：7.5m	导流底孔：65.5m		无专门供水设施，采用大坝底孔泄流
19	鲁地拉	导流洞：15m	导流洞：85m		向下游供水 $400\text{m}^3/\text{s}$ 。 坝体设放水孔
20	碗米坡	导流洞：8.13m	导流洞：50m		下游凤滩水库水量及回水在满足自身发电的需求下，尚可满足碗米坡电站下闸断流期下游供水要求
21	向家坝	第一批底孔：45.71m； 最后一个底孔：72.95m	导流底孔：100m		向下游供水 $1200\text{m}^3/\text{s}$ 。 导流底孔分批下闸，先 5 孔后 1 孔，1 个导流底孔供水

2.9.2、2.9.3 在进行施工期蓄水历时计算时，需综合考虑下游用水要求，因为下游通航、灌溉、发电和居民生活、生态用水有时是重复利用，不要简单叠加得出，要通过综合分析，扣除合理用水量。施工期蓄水历时的计算方法常用频率法和典型年法，频率法一般偏于安全，为国内设计和施工单位常采用。施工蓄水后，要校核坝体面貌，要求各月末坝体最低坝段高程需满足下月或蓄水时段坝体度汛的最高水位，其度汛标准与同期坝体度汛标准相同。除汛期洪水不能越过坝体外，还需校核临时挡水断面的稳定和应力，混凝土坝纵缝灌浆和坝体封拱灌浆达到相应高程。施工期蓄水前，坝前水库一般具有一定库容，但枢纽尚未达到设计泄洪能力，在计算施工水位及校核防洪度汛安全时，需要考虑水库调蓄作用。

水库蓄水期的来水保证率与河流的来水特点有关，对于上游有大型水库控制、水量稳定、蓄水历时较短的情况，可选用较高的保证率。对年调节水库，一般采用保证率75%、50%年份的入库径流过程和不同用水量方案进行入库调节计算，采用丰水年份（保证率15%、10%、5%）的水库蓄水过程进行防洪安全复核。对多年调节水库，采用枯水年份入库径流计算完成初期蓄水的时间；采用平水年份入库径流计算可争取完成初期蓄水的时间；采用丰水年份的入库径流检验初期蓄水过程中水库工程的防护安全。

水库初期蓄水计划需满足大坝及库岸稳定要求，提出控制水库水位及上升速度的措施等。如小湾、溪洛渡、锦屏一级高拱坝初期蓄水采取水库分期蓄水方案，确定每期的控制水库水位及水库水位允许上升速度。

三峡工程分三期建设，受水库移民和碾压混凝土围堰高度等因素的影响，第一次库水位仅蓄至139m，利用围堰挡水发电。

二滩下闸分两次完成（第一次在1997年11月仅完成导流隧洞下闸，第二次，1998年5月1日完成临时底孔下闸），因漂木问题造成的导流隧洞闸门跨度大和因下游生活用水造成的断流时

间要求短是考虑的主要因素。

2.9.4 水库初期蓄水时可采取临时措施向下游供水。梯级开发河流上可利用上、下游水库的调节库容协助施工期蓄水和供水。如金沙江中游梨园水电站导流洞下闸蓄水期间，利用下游阿海水电站水库回水保证上游梨园水电站下闸蓄水时段下游河道不出现脱水河段。施工下闸蓄水期向下游的供水设施，需尽可能与永久泄水建筑物相结合，若不具备结合条件时可采取水泵抽水、虹吸管供水、旁通洞等措施供水。

2.9.5 对于导流隧洞工程，运行期水流流态复杂，水流泥沙和漂浮物不可控，长时间运行可能产生损坏，且缺乏检修条件，因此下闸蓄水前对隧洞进口闸门门槽、门槛等进行水下检查、修补是必要的。在下闸前要结合闸门井的施工道路布置，研究下闸后的临时抢险措施。例如：

(1) 1993年11月19日，福建某水电站下闸时，就出现过进水塔闸后顶板局部开裂的事故，后经大量抛投堵漏材料才初步切断了渗水。

(2) 20世纪60年代末黄河刘家峡水电站也出现过闸门下不到底，洞内漏水不止事件。

寒冷地区须在流冰期之前完成下闸，以免流冰卡塞，影响下闸。

2.10 施工期通航与排冰

2.10.1 在常年通航河道建造水利水电工程，施工期通航措施解决是否合理，不仅影响整条江河的航运事业，上下游人民生活 and 建设，而且直接影响到工程投资、建设工期，甚至成为能否建坝的决定因素之一，通航河道上的导流设计要妥善解决施工期通航，在调查核实施工期间各年客货运量及年内分配情况等基本资料后，结合枢纽建筑物布置，提出满足施工期通航要求的导流方案。在确定施工通航任务和规模、标准时，不能仅从施工通航设施造价考虑，全面比较因停航或断航所造成的损失，除了直接损

失外，还要注意对社会经济生活所造成的损失。

要求维持施工期不断航并非所有河道均能办到，长江是我国最重要的通航河道，葛洲坝工程截流期间也断航半年多。临时断航期间可用各种临时措施解决货运过坝问题。在通航河道上无论采用何种导流方案，均需研究施工期航运过坝方案，但经研究后认为不可能或不合理时，也可采用其他过坝措施，如客货分流、陆路转运等。

短期断航期间货运量亦可从运输管理上采取提前或滞后安排运输加以解决。即经国家有关部门总体协调，实行分流、调节、物资储备等措施。葛洲坝工程大江截流后断航期用此方式，三峡工程也用此方式减少过坝运量。

陆路转运主要指公路转运，其优点是运输线可绕坝通过，对工程施工干扰小。缺点是，需修建专用转运线和相应的码头设施，建设投资大，运输费用高，物资损耗多；常规公路运输能力小，过坝运量较大时往往不能满足要求，只能用于货运量不大的河流或作为短期停航时的临时过坝措施。

断航期间也可采用陆路翻坝，可在坝址上、下游设置临时码头，将旅客及少量必须过坝的货物经临时码头接公路翻坝运输。如三峡工程导流明渠截流至永久船闸通航前就是采用修建临时码头翻坝运输。

2.10.2 此条为施工期通航规划的主要内容，施工期通航规划，一般根据工程规模、航道等级、货运量大小，船舶吨位及通航水位（流量）保证率要求等，研究各种现实可行的临时通航或其他过坝方案，作技术经济比较确定。

在施工期内一般不考虑船舶吨位的发展，选择设计过坝运量需同施工期通航规划结合进行，尽可能维持原通航客、货运水平。如维持原通航水平有困难，或因耗资过大运行费用太高时，可考虑由陆路分流，以减轻临时过坝的负担。须在充分调查研究的基础上，合理安排，作出方案比较，并同有关部门协商经批准确定。

施工期各阶段的通航标准可能不尽相同，需分别拟定。定出通航标准总的要求，最高、最低的范围值。

2.10.3 本条所列是施工期常用的通航方式，并被一些工程所采用。例如：葛洲坝、大藤峡工程一期利用原河道通航，二期利用永久船闸通航。新安江、安康等工程采用底孔过船通航；闽江水口、长江三峡、乌江银盘和嘉陵江草街航电枢纽工程采用明渠通航。

由于施工期间通航水位随着工程施工的进展而变化，单一的通航方式难以适应自开工至蓄水发电的全过程，各施工期需要采取不同的通航措施，并能互相衔接。

对位于客货运量大、重要航道上的水利枢纽工程，施工期较长，采用单项临时通航设施，不能满足客货运量通过的需要和保证不断航的要求时，一般采用几种临时设施相结合的方式，如临时船闸与导流明渠相结合，两者相辅相成交替使用，三峡工程二期施工期即采用此种通航方式。

2.10.5 分期导流方式常利用束窄河床通航，束窄河床通航又分为两种情况：一是由束窄后的原主河道通航；二是对浅滩加以疏浚或开挖人工航道通航。前者按天然及渠化河流设计，后者按限制性航道设计。设计内容及方法详见 GB 50139。

分期导流施工程序，一般先围浅滩后围深水河槽，尽量推迟改变原河床主航道。如因枢纽布置或提前发电要求，需要第一期先围主河槽时，为满足通航要求，对浅滩需加以疏浚，或开挖一条人工通航渠道，疏浚要求或渠道宽度、水深、弯道等布置，可结合地形条件和当地情况参照航道等级标准确定。其比降、流速、流态均需满足安全通航要求。纵向围堰的布置需尽量保持水流顺直，减少进口、出口集中落差，避免发生跌水、回流、旋涡等不利于通航的水流状态。当地形复杂时，根据地形特点，扩挖岸坡滩边，切除突嘴，炸平礁石或修建丁坝等导流建筑物，顺正流向，减缓流速，调整比降，改善流态。

束窄河床通航需设计确定，河床束窄率、航道宽度及水深、

通航时段及相应最高、最低通航水位、通航保证率、设计最小及最大通航流量、允许通航流速、坡降、年通过能力等主要水力指标及通航特征值。

通航流量与通航水位保证率取决于河床束窄程度，在导流的其他条件允许的情况下，对不同河床束窄率选择几个流量级，分别计算其流速、比降、水深等，并统计其相应的通航天数与保证率，加以综合分析比较确定。通航流量与通航水位保证率可用历年平均通航天数占全年天数的百分率表示。确定通航流量和水位时需考虑下列因素：

(1) 通航水位保证率需满足航运能力的要求。一般保证率达到 90% 时，对通航影响较小。

(2) 一次停航天数，即一次洪水连续停航天数及其对航运的影响。

(3) 最大、最小通航流量要与上、下游滩险通航情况基本相适应。

(4) 如因河床束窄率过大，通航水位（流量）保证率不能满足要求时，可设置助航设施，以提高通航水位（流量）的保证率。

由于影响通航的因素较多，各条河流的水流条件、通航船舶大小、机动船功率等也各不相同，故通航主要水力指标无统一标准。一般认为，当流速小于 $2.0 \sim 2.5 \text{m/s}$ 时，机动木船和小马力船队可以逆水自航；大型船舶（队）自航流速可达 $3.0 \sim 4.0 \text{m/s}$ ，横行过江允许对岸航速大于 1.0m/s ，局部水面集中落差不大于 0.5m 。

通航允许流速、比降的确定，需要根据河流的特性具体分析，并同航运部门协商确定。一般取决于下列因素：

(1) 船舶型式、自航推力及其技术特性，即航速与实际流速的差值大小。

(2) 航道宽度、水深及其断面流速的分布。

(3) 大流速、大比降河段的长度，考虑船舶冲程的影响，若

长度短，允许流速及比降可大一些；反之，则需小一些。

2.10.6 采用导流明渠通航保证率高，比其他通航措施便捷、灵活、可靠。由于明渠兼有施工期通航任务，明渠中水流流速（含横向流速）、坡降、流场分布、斜流效应及航道尺度，均需满足通航要求。

导流明渠内的施工期航道布置尽可能与天然航道平顺衔接。进出口适当扩大成喇叭口状。控制上游进口与天然河道主流方向夹角不大于 25° （无通航要求时，放宽为 30° ），使水流进入明渠前逐渐收缩，流出明渠后又能逐步扩大。明渠上下游口门不能留有子埂。

明渠轴线曲率半径 $R < 3B$ （ B 为明渠水面宽度）时，水流会在靠近凸岸部位产生离解，恶化流态，加大流速，一般要控制 $R > 3B$ 。明渠进出口距离上、下游土石围堰堰脚一般大于30m。土质河岸及渠底在设计最高水位，基坑抽水到最低水位时，渠边与基坑边的最短距离要满足渗透稳定要求。

纵向底坡设计需保持最大通航流量时，仍为缓流状态。当渠道水深较大，远超过航深要求（如三峡工程），过水断面主要受流速控制。为减少开挖量，均衡航道流速，可采用复式断面抬高明渠流速较低部位（主要为进、出口部位）的高程，做到水流较高流速区的水面比降较小，而高比降区的流速又较小，船舶上行只须克服坡降阻力或水流阻力。

当渠道水深在枯水期仅能基本满足航深要求时，采用沿纵向平底布置形式（如飞来峡、万安工程），有利于减缓水流流速、均化水面坡降、提高河床质的抗冲稳定性。

横向断面要力求满足枯水期航深要求和大水期通航流速和流态要求，一般采用复式断面。三峡施工通航试验成果表明，左侧低渠渠底高程每降低1m，可减少右侧高渠坝轴线附近流速0.15m/s左右，说明明渠高低渠底高差越大，调整、降低凹岸流速的效果越好；降低明渠上半段凸岸渠底高程是减少明渠凹岸坝轴线附近流速最经济、可靠的方法。因此，一般将低渠布置于

凸岸（纵向围堰侧）或航道中，高渠布置在凹岸侧。进口段凹岸及出口段凸岸（纵向围堰）采用较陡岸坡，以减少弯道分流，弯道内至出口凹岸采用较缓岸坡，以消除反向环流。这种形式可以减少明渠开挖量，枯水期水浅流速低，船可走低渠；高水期过流断面形心偏靠凸岸，有利于减少凹岸流速，有利于高水期船走凹岸，不斜穿主流，比较安全，还有利于简化凹岸防冲设施。

导流明渠通航需设计确定：明渠全长、进口上弯道转弯半径、进口底高程、出口下弯道转弯半径、出口底高程、渠底坡、明渠断面型式、底宽、上行与下行航线、设计最大与最小通航流量、设计最高水位、最低通航水位、通航保证率、允许通航流速、坡降、船舶航行允许最小对岸航速、允许通过船舶吨级、尺度及队形、通航时段及年通过能力等主要水力指标及通航特征值。

纵向流速大，不仅船舶上水困难，即使下水也会因为船舶对水航速减小，降低舵效，操作船舶困难，增加航行危险。因此，明渠设计通航流量，按大水期船舶安全航行要求的流速控制。纵向允许流速一般按各类船舶保持上水的平均对岸航速不小于 1.0m/s 、局部航段对岸航速不小于 0.5m/s 所能克服的最大流速，作为判别船舶能否通过导流明渠的依据。

相对于航线的横向流速，或出口扩散产生的斜流，会对船队产生扭矩和侧推力，对下行船队特别危险，以抵抗横向流速作用的船舶用舵量不大于 25° 作为控制依据。一般控制横向流速不超过 0.2m/s 。

纵向围堰上游头部产生绕流，形成局部水流跌落。一般控制局部集中落差不大于 0.5m ，葛洲坝工程不同表面流速所允许水面比降见表 24。

导流明渠内需保持最大通航流量时为缓流状态，水流顺畅，不出现泡漩、剪刀水、回流等不利于通航的水流流态。各工程实际采用的导流明渠尺度及通航标准见表 25。

表 24 葛洲坝工程允许通航流速与比降

船队类别		长航船队						地方船队		木排	
通航方式		自航			改队		绞滩	大马力 拖轮 助航	自航	大马力 拖轮 助航	流放
通航 指标	表面 流速 /(m/s)	≤4.5	≤4	≤3	≤4.5	≤3.5	≤6.0~ 6.2	≤5.4~ 5.5	平均 ≤2.0 局部 ≤2.5	≤3	≤3.5~ 4
	比降 /‰	≤1	≤3	≤4	≤3	≤7	≤8	≤10		≤5	

2.10.7 临时船闸一般用于大、中型工程的分期导流施工期通航。当临时通航不能与永久通航建筑物结合时，可在第一期工程内修建临时船闸，以解决第二期工程施工至水库开始蓄水这一期间的施工期通航。由于临时船闸使用期较短，投资大，目前仅有五强溪水电站及三峡水利枢纽等。

2.10.8 在沙质河床中，采用适当的整治措施可以改变河水流向和流态，使其满足施工期通航要求。航道整治包括整治宽度、整治水深和最大整治流量。三峡工程导流明渠上、下游连接河段经整治后，提高了通航流量。

由于泥沙淤积产生边滩和散滩，影响通航，需配备疏浚船维护航道。

在束窄河床、人工航道和导流明渠内均可设置助航措施，以改善通航条件，提高通航能力。助航设施常有大马力拖轮助航和设置绞滩两种形式。大马力拖轮机动灵活，绞滩虽然投资少，见效快，但绞速慢（15~25m/min），常用于急流险滩。三峡工程明渠施工期通航的助航措施采用大马力拖轮和设置绞滩取得了成功。

大马力拖轮助航，如多瑙河上的铁门枢纽，在围堰截流戗堤侵占过程中，将主河槽束窄至70m宽时，水面流速达4.8m/s，局

表 25 各工程实际采用的导流明渠尺度及通航标准

工程名称	通航能力		通航标准						通航明渠尺度				实际水深 /m	通航船舶	
	年运量	等级	通航方式	通航流量 / (m ³ /s)	纵向流速 / (m/s)	横向流速 / (m/s)	局部落差或比降	水深 /m	长度 /m	底宽 /m	纵向底坡及高程 /m	弯曲半径 /m			
三峡 (长江)	下水货运量 1550 万 t, 客运 250 万人次	I	长航及地方船队均自航	≤10000	≤2.5	用舵量不大于 25°	平均小于 0.4%, 最大比降小于 1%	≥5.0	凹岸边线长 3950, 轴线长 3410	高渠 100; 低渠 250; 总宽 350	高渠 (高程 58m) 为平底, 低渠沿水流方向依次为 58m、50m、45m 及 53m 四级底部高程, 高低渠连接坡为 1:1	要求不小于 750m, 进出口边线 777.6m, 出口右边线 787.5m, 航道中心线 1000m	最小 7~20m (水面高程 65m) 最大 11.5~24.5m (水面高程 69.5m)	地方船队 2 × 500t + 1 × 700t + 800HP 长航船队 3 × 1000t + 2640HP, 2 × 1500t + 2000HP	
			长航船队均自航	≤20000	≤4.4		≥5.0								
			减载减载绞滩及大马力拖轮助航	20000~35000			≥5.0								
飞来峡	300 万 t	VI	自航	≤3000	≤3.0	≤0.2~0.3	局部落差 不大于 0.5m	≥1.0	轴线长 1697.4	航道宽 不小于 60, 采用高渠 100, 低渠 200, 总宽 300	高渠 (高程 11m) 为平底, 低渠 (高程 9m) 为平底, 高低渠连接坡为 1:3	要求小于 1000~1200m, 采用 1200m 及 1421m	枯水期走低渠, 最小水深 1.4m, 大水走高渠, 最小水深 3.6~5.3m	106t 机驳 (98HP) 船型尺寸 32.7m × 6.2m × 0.8m, 90t 货驳船型尺寸 30.0m × 6.2m × 0.8m, 顶推船尺寸 62.17m × 6.2m × 0.85m	
			150~180kW 拖轮助航	3000~5000											

表 25 (续)

工程名称	通航能力		通航标准						通航明渠尺度				实际水深 /m	通航船舶
	年运量	等级	通航方式	通航流量 / (m ³ /s)	纵向流速 / (m/s)	横向流速 / (m/s)	局部落差或比降	水深 /m	长度 /m	底宽 /m	纵向底坡及高程 /m	弯曲半径 /m		
万安 (徽江)	设计 100 万 t, 实际 124 万 t	VI	自航	≤2000	≤2.0		局部落差 不大于 0.5 m	≥0.9	轴线长 1530	航道宽 50, 总宽 170~ 180	航道(高程 66m)为平底, 其他高程 67~ 68m,高低渠 连接坡为 1:3	船不小于 1200m,木排 不小于1400m, 采用 3000m	枯水期走航 道,最小水深 1.5m,大水时 水深 5.3~7.3m	100~200t 铁驳 船,50~79t 铁驳 船,设计水位通航 保证率为 95%,相 应流量 176m ³ /s, 所对应水位 67.5m
			176.5kW 拖轮 助航	2000~ 4000	≤3.5									
银盘 (乌江)	100 万 t	V	自航	400~ 3500	≤2.8		小于 3%		轴线长 769.06	90	明渠进口底 板高程 177.0m, 出口底板高程 176.0m,在坝 轴线上,下游 各设一段长 100m 变坡段, 坡比为 5%		300~500t 机驳 船型尺寸 46.8m× 8.8m×2.2m	
			绞滩助航	4000~ 6000	≤4.4		≥2.6							

部比降达 5%，采用 2400HP 拖轮助航，仍能维持通航。我国乌江、川江上的急流滩险，使用出力 7tf(1tf=9.8kN) 的绞滩机助航，能克服 6~7m/s 流速。当航道流速超过船舶安全通航流速标准时，采用助航措施。

绞滩机助航的最大允许流速，不仅决定于绞机的牵引力，还取决于被绞船的类型与结构。木质船的坚固性差，强行牵引将导致船舶破坏，钢驳结构坚固，能承受较大牵引力，但也要加固系缆部位。按绞滩的动力分类，有人力绞滩、水力绞滩和机械绞滩。人力绞滩已较少采用，水力绞滩常用于小河流，船舶吨位一般在 30t 以下，流速不大于 3.0m/s；机械绞滩广泛应用于主要河流的急流滩险，其动力有电动机、柴油机、蒸汽机等型式。

2.10.9 天然河道开江排冰的冰块尺寸具有很大的随机性，武开江河道尤甚。导流建筑物的孔口尺寸难以满足所有冰块通过的要求，必要时，要采取限制冰块尺寸的措施。如桓仁工程，开江前在上游 2km 范围内，用撒砂将冰面分割成 2m×3m 的方法，开江时，撒砂部位冰体变薄，开江时沿变薄部位开裂，以此来控制流冰冰块尺寸。

在流冰河道上、下游已建水库的末端，由于流速降低，入库冰花或冰块堆积形成冰塞或冰坝，造成壅水，给在上游的水利枢纽、围堰和施工带来威胁和危害。

下游有水库壅水的排冰，可研究采取下列措施：

(1) 加高围堰。在确定围堰高程时，考虑下游水库末端形成冰塞冰坝的最高壅水值。

(2) 河道整治。河流上流速较大的不封冻的敞露水面是产生冰花的场所。据国内外实测资料可知，当平均流速小于 0.7m/s 时，流冰可插堵形成冰盖。为消除冰花，可扩大河道过水断面，降低流速，使其形成冰盖，避免产生冰塞堆积体和冰塞壅水。

(3) 拦冰河埂。在地形不规则或呈喇叭形或有岛可作支撑的条件，且平均流速在 0.7m/s 以下，布置河埂拦冰，使流冰插堵

形成冰盖。

(4) 在条件允许时,开河前夕,下游水库加大下泄量,将有利于上游水利枢纽顺利地度过凌汛。

上游有水库进行水量调节的排冰:

(1) 上游水库较近,泄水温度较高,使河段在一定距离内不结成冰盖或仅有少量冰盖,从而简化了下游枢纽的施工期排冰。有时正在蓄水的上游水库可完全把开河期的冰块蓄在库内,使其下游水利枢纽的施工解除冰情的危害。

(2) 上游水库较远时,则可根据水文冰情预报,利用水库闸门控制凌汛期下泄流量,为下游河道文开江创造条件,以解决施工排冰问题。

流冰河道上施工导流的几个典型工程实例如下:

(1) 桓仁工程 1959 年春截流后,排冰仅限于 4 个宽 9m 的坝体缺口,由于上游混凝土围堰炸除后留下间距为 7m 的 4 个支墩,故实际过冰为支墩所形成的缺口控制。为保证顺利排泄冰凌,开江前夕在坝前 2km 的范围内进行人工撒砂,形成 2m×3m 的长方格子,使之连成网状。1959 年春为典型文开江,最大冰厚仅 0.54m,开江前夕减为 0.3m 左右,整个江面已有 1/3 以上面积扩为清沟。3 月 23 日开江时,冰盖被分割为 2m×3m 小块,顺利过坝下泄,个别较大冰块因其厚度薄,在缺口破碎后下泄。

(2) 1977 年春,白山工程截流后在明渠上、下游 1.5~2.5km 范围内破冰,目的是使冰盖破成小于 6m×6m 的小块(根据模型试验结果,对于 9m 宽的底孔,6m×6m 以下冰块基本上能顺利地通过),下游破冰是为流冰开出一条畅通水道,以防下游产生冰坝壅水,并对下游河段堆积严重处进行了重点破冰。底孔经历 4 次流冰未被堵塞,安全度凌。该工程围堰堰前库容 3500 万 m³,开江的洪水过程线呈尖瘦型,水库有一定的调蓄作用,故对流冰采用排蓄结合的方法。

(3) 青铜峡大坝梳齿在 1966—1967 年冬季封堵时,主体工

程已基本完工，采用排蓄结合方式解决流冰问题，即用电站 7 条泄水管排冰，当堰前水位较围堰顶高出约 0.5m，堰顶流速接近 1.0m/s，具备排冰的条件；利用峡谷以上开阔段蓄冰，该库距坝 8km 河段为峡谷弯道（水面宽 300m 左右），弯道以上河宽一般为 2.0~3.0km，在峡谷弯道处设置障碍物，使冰凌停留封冻，并大量蓄在上游开阔河段内，而下游基本无冰凌流出，工程安全度凌。

2.10.10 寒冷地区的河道施工期流冰问题需予充分重视，尤其武开江的河道，流冰不畅极易形成冰塞、冰坝，或流冰壅塞基坑，因处理积冰而影响工期。

2.11 导流建筑物封堵

2.11.1 汛后下闸封堵导流泄水建筑物，水位上升慢，利于下闸封堵工程施工。

2.11.2 根据我国几十年来的水利水电建设经验，大部分隧洞封堵体是水工结构的组成部分，均设在地质条件较好的洞段，其标准按永久建筑物设计。施工支洞的封堵体按其功能设计，主要由运行情况决定。输水发电洞和泄洪洞等永久建筑物的施工支洞封堵体主要充当围岩作用，需要按永久建筑物设计。导流隧洞的施工支洞封堵体主要起临时挡水作用，需要按临时建筑物设计。

2.11.3 封堵体布置需注意地质条件、前期支护、相邻建筑物的布置。封堵前需对支护进行认真的清理、检查，以保证封堵的安全进行。封堵体与相邻建筑物的防渗需有较好联系，以保证枢纽防渗要求。当洞轴线穿过坝体防渗帷幕线时，封堵体要设置在防渗帷幕线上，与其成为整体，满足坝体防渗要求。

2.11.4 等断面封堵体长度可按式（1）~式（3）计算：

$$KS \leq R \quad (1)$$

$$S = \sum P \quad (2)$$

$$R = f' \sum W + C' \sum \lambda_i A_i \quad (3)$$

- 式中 K ——按抗剪断强度计算的抗滑稳定安全系数；
- S ——荷载效应设计值；
- R ——封堵体的承载力设计值；
- ΣP ——封堵体承受的全部荷载效应对滑动面的最大切向分力，荷载效应计算需符合 SL 191 规定，kN；
- ΣW ——封堵体承受的全部荷载效应对滑动面的法向分力，向下为正，荷载效应计算需符合 SL 191 规定，kN；
- f' ——混凝土与围岩或混凝土与混凝土的抗剪断摩擦系数；
- C' ——混凝土与围岩或混凝土与混凝土的抗剪断凝聚力，kPa；
- A_i ——除顶拱部位外，封堵体底面、侧面与围岩或混凝土接触面的面积， m^2 ；
- λ_i ——除顶拱部位外，封堵体底面、侧面与围岩或混凝土接触面的有效面积系数，底面 $\lambda = 1$ ，侧面 λ 值根据工程具体情况确定。

封堵体与围岩或混凝土的接触面包括顶面、底面和侧面。即使通过灌浆顶部接触面也不可避免地出现脱空或脱离，因此，封堵体稳定计算中，不计顶拱凝聚力。由于重力作用，封堵混凝土底部接触面能够保证接触密实，故底面接触面有效面积系数 λ 取 1。

侧向接触面受封堵混凝土的断面形状、浇筑质量、收缩性能、接触面条件（如岩石开挖面、混凝土衬砌的凿毛情况等）、接触灌浆及接缝灌浆质量等影响较大，因此，侧向接触面有效面积系数 λ 要根据工程具体情况确定。不同工程的封堵体稳定计算时，侧向接触面有效面积系数 λ 取值也不尽相同，如隔河岩水电站工程导流洞临时封堵体侧向接触面有效面积系数 λ 取 0.3，水布垭水电站导流洞封堵体侧向接触面有效面积系数 λ 取 0.8，芹山水电站导流洞封堵体侧向接触面有效面积系数 λ 取 0.8。

2.11.5 为了减小封堵体周边的缝隙，封堵混凝土可采用微膨胀

混凝土。大体积封堵体混凝土建议采取有效的温控措施，如控制入仓温度、低温浇筑、合理分层分块、减少水泥用量、采用低热水泥、掺粉煤灰、设循环水降温等。

3 料源选择与料场开采

3.1 一般规定

3.1.1 天然建筑材料一般包括工程开挖料和土料场、天然砂砾料场及石料场的开采料或商品料。

3.1.2 本条是对天然建筑材料料源的储量要求。勘察储量是指料场圈定范围内的有用层的总储量，已扣除上覆无用层及不可用夹层等的体积。

根据 SL 251《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》规定：“各类天然建筑材料的初查储量应不小于设计需要量的 2.5 倍，详查储量应不小于设计需要量的 1.5 倍。”考虑到勘察储量并非可采储量，没有充分考虑施工程序、工艺和设备技术性能对开采的影响，容易造成料场的勘察储量不足，所以设计需要量的计算就显得尤为重要，另外原规范并没有定义设计需要量，各有关标准、规范、手册对天然建筑材料的需要量界定内涵也不统一，故本次规范修编重新定义了设计需要量，明确了料物的开采、加工、运输以及储存等各种损耗。设计需要量在各种损耗基础上考虑 1.2 倍的扩大系数，主要是与 SL 251《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》衔接，提高料场保证率，为料场开采规划留有余地。

3.1.3 本条是对天然建筑材料料源的质量要求。大型工程天然建筑材料的专项试验，主要包括：混凝土人工骨料生产性试验、不同岩性骨料掺混对混凝土性能影响试验、土石坝坝体堆石料爆破试验、坝体防渗料加工试验、现场碾压工艺、防渗料原位或原状样载荷（包括压缩、直剪）等专项试验。

3.1.4 本条主要提出工程建筑物开挖料作为料源时，建筑物的勘探深度除要满足建筑物设计要求外，还要满足天然建筑材料的勘探要求。

3.2 料源选择

3.2.2 本条对混凝土骨料料源作出解释，并对料源选择原则作出说明。对于天然砂砾料源与人工砂石料源的比较，需结合工程具体用料要求进行选择。一般碾压混凝土坝倾向于首选人工砂石料，因天然砂砾料缺乏石粉，对碾压混凝土施工不利；而对于常态混凝土坝，一般要首选条件较好的天然砂砾料源，因其开采及加工均较简便，工程费用较低。

3.2.3 线膨胀系数小的料源如石灰岩骨料需水量较小，加工成骨料配制的混凝土抗裂性能优于其他种类岩石，有条件时一般要优先选用。本条还强调对某些质量指标不符规定的料源，应有试验论证后予以采用。

3.2.4 不同类别的骨料料源配置的混凝土性能有可能差异较大，通过混凝土配合比及性能试验可以了解差异性，并采取相应措施。

3.2.5 混凝土骨料碱活性问题对工程影响甚大，需予以高度重视。混凝土骨料碱活性试验方法的适用范围和判定标准需符合 SL 251 的相关规定。如从成本考虑或料源困难需使用碱活性骨料，要经过专门论证，否则禁止使用碱活性骨料。

3.2.6 本条规定了沥青混凝土人工骨料的质量技术要求，主要依据 SL 251 的规定。由于碱性岩石制作的骨料与沥青黏附性能好，且有比较成熟的工程经验，因此需优先采用。目前工程多采用灰岩等碳酸盐岩制作沥青混凝土骨料。

3.2.7 天然砂砾料场河滩料开挖采用水上开采方法，开挖方法简单、费用低，如开采水下砂砾料，开采方法复杂、费用高。一般选择砂砾料场时，若有质量、储量满足要求的河滩料，要优先选择。如确需选择水下砂砾料时，需要考虑料场储量、级配和开采运输条件受河道水流影响，综合考虑开采和运输方案。天然砂砾料场若位于通航河段或取水口处，料源的选用或对河道通航、取水等产生影响，故需要与相关部门充分沟通后，在提出可行的对环境影响降到最低或零影响的措施或方案后，方可选用此料场。

3.2.8 土料场一般土层较厚，则所需料场占地面积相对较小；同时选择工程开挖区和水库淹没区范围内的土料场，也主要为了减少施工征地，减少土料场开挖对耕地的影响。

3.2.9、3.2.10 主要根据不同料物的粒径要求提出不同的料源选择。充分利用工程开挖料上坝，主要是为了减少工程投资和施工征地。

3.3 料场开采规划

3.3.1 在进行料场开采规划时，要综合分析开采、运输及边坡支护方案，既要考虑设计开采的料场部位料源质量好、数量满足要求，同时也要做到运输方案、边坡支护经济合理，必要时需进行方案比较。

3.3.2 针对一个工程选用多个料场的情况，提出各料场的使用顺序。

3.3.3 进行料场开采规划设计时，要按料场规划开采量进行开采规划。料场规划开采量按设计需要量的 1.05~1.25 倍选取。设计需要量是指考虑料物的开采、加工、运输以及储存等各种损耗后的计算开采量基础上，再考虑 1.20 倍的扩大系数的可用料总量。由于原规范中，对设计需要量和料场规划开采量的关系没有明确规定，有些工程直接以设计需要量作为规划开采量，实施过程中容易受到地质条件和施工工艺等不可预见因素的影响，导致开采量不足，需要二次征地或重新选择料场，从而影响工程施工。所以本次对设计需要量进行明确规定，并提出需按料场规划开采量进行开采规划设计的要求。有关工程在初步设计阶段的料场规划开采量备用系数统计见表 26。

在进行各种料物的料场规划开采量计算时，1.05~1.25 倍的备用系数取值遵循下列原则综合考虑选取：

(1) 石料场地形完整、岩性单一、地质条件较清楚时取低限；石料场地形陡峻凌乱、地质条件复杂时取高限。

(2) 土料场地形平缓完整、土层厚度大、地质条件明朗时取

表 26 有关工程料场规划开采量备用系数统计表

工程名称	料场简况	料场提供	备用系数
丰满水电站全面治理(重建)工程	腰屯石料场为条形山脊, 山体较单薄, 植被发育, 林木茂密。料场按岩性可分为花岗岩、凝灰岩两区。料场地形坡度一般 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$, 山体比高一般 $100 \sim 250\text{m}$ 。高程 370m 以上基岩多裸露, 高程 370m 以下基岩露头则较少。料场基岩为华力西晚期钾长花岗岩和二叠系凝灰岩, 花岗岩分布于料场主山体及其两侧沟谷, 凝灰岩则分布于料场西侧山体坡脚。两者呈混融式接触关系, 接触带岩石多较破碎	骨料	1.05
文得根水利枢纽工程	坝下缓坡土料场长约 0.85km , 宽 0.08km , 面积约 0.068km^2 , 地形呈 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$, 由西南向东北方向倾斜, 地面高程 $350 \sim 360\text{m}$ 。表部无土层较薄, 一般小于 0.2m , 其下土料由黏土组成, 底部为含砾黏土。有土层厚度一般 $3 \sim 6\text{m}$, 最大厚度约 10m	黏土心墙料	1.05
荒沟抽水蓄能电站	砂砾石料场位于坝址下游右岸一级阶地及漫滩上, 地形较平坦, 高出河水面 $1 \sim 3\text{m}$, 地面高程 $332 \sim 335\text{m}$ 。表部为 $0.5 \sim 3\text{m}$ 厚的腐殖土及低液限黏土, 其下为级配不良砾、黏土质砾。该料场无土层平均厚度 1.27m , 有用层平均厚度水上 1.39m , 水下 4.46m , 该料场砾石储量大部分在水下	坝料和骨料	1.05
梨园水电站	库盆石料场地面自然坡度一般为 $10^{\circ} \sim 18^{\circ}$, 第四系覆盖层普遍存在于岸坡上部, 由碎、块石及孤石组成, 厚度一般为 $1 \sim 3\text{m}$ 。基岩为白岗花岗岩, 弱风化以下岩石坚硬, 抗压强度较高。开挖底高程 634m 时有有用层平均厚度 23.32m , 当开挖底高程为 630m 时有有用层平均厚度 24.12m 。该料场靠近沟底部位无土层变厚, 有用层变薄	坝料和骨料	1.05
	上咱日沟石料场灰岩呈厚层块状, 岩石强度较高, 岩体较完整, 构造、喀斯特等发育程度较弱; 大部分基岩裸露, 地表岩石多呈弱风化状, 部分为强风化, 岩石基本为弱风化至微风化—新鲜	坝料和骨料	1.05

表 26 (续)

工程名称	料场简况	料场提供	备用系数
观音岩水电站	龙洞石料场大地石料区料源为二叠系下统茅口组 (P1m) 灰岩, 料区位于龙洞背斜的南西翼, 构造简单, 岩层呈缓倾斜的单斜层产出, 产状总体较稳定, 一般倾向在 $16^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。基岩强风化层厚 $0 \sim 5\text{m}$, 弱风化层厚 $8 \sim 40\text{m}$; 岩体完整性较好	骨料	1.17
阿海水电站	新源为石料场的地层为志留系中上统 (S2+3), 岩性为灰、浅灰色中厚层夹厚层状和部分薄层状灰岩, 其中分布一层厚为 $4 \sim 6\text{m}$ 的灰黑色灰岩, 主要矿物为方解石。料场浅表部所分布零星覆盖层和强风化岩石为无用料, 弱风化及以下岩石均为有用料, 岩体多为中厚层状, 完整性较好	骨料	1.17
黄登水电站	石料场为两座孤立的山峰, 山峰为裸露基岩, 料源分布高程 $1950 \sim 2240\text{m}$ 。石料场地层为灰色、深灰色厚层—巨厚层状生物碎屑灰岩夹少量条带状方解石脉, 岩层产状不明显, 块状构造, 岩体完整, 局部受构造影响, 挤压呈板状构造, 地表露头均呈弱风化, 岩体中喀斯特不发育, 仅局部见有少量的溶隙或规模较小的溶穴	骨料	1.21
南鹞江六级水电站	拉哈石料场主要提供工程混凝土骨料及坝体填筑所需砂岩用料。料场出露地层为石炭系下统 (C1) 和第四系坡积层 (Q)。石炭系下统岩性为灰黑色钙质板岩及变质钙质长石细砂岩, 料场范围内呈互层状, 板岩单层厚为 $20 \sim 30\text{m}$, 变质细砂岩单层厚为 $8 \sim 20\text{m}$ 。第四系覆盖层、全强风化岩体和板岩作为无用料, 变质钙质长石细砂岩为有用层	坝料和 骨料	1.08
三岔河水电站	清水河石料场料源岩性为喜山期粗粒钾长花岗岩, 坡积层及全、强风化花岗岩为剥离层, 一般厚度为 $5 \sim 35\text{m}$, 平均厚度约 15m ; 弱风化及以下花岗岩为可用层, 弱风化以下岩体完整性较好, 岩性均一。石料场开采提供混凝土骨料加工料源、坝体部分主堆石料、部分次堆石料和垫层料	坝料和 骨料	1.08
瑞丽江二级水电站	左岸下游石料场石料岩性主要为寒武系第六段 (Єf) 大理岩, 以大理岩为主, 夹斜长花岗岩片麻岩、二云片岩, 适于加工混凝土细骨料及用于大坝填筑料。料场弱、微风化岩层强度能满足混凝土骨料要求, 为有用层		1.08

低限；土料场地形陡峻、土层厚度小、地质条件复杂时取高限。

(3) 天然砂砾料场陆上开采量大、天然级配较好时取低限；天然砂砾料场陆上开采量小、需进行水下开采、天然级配较差时取高限。

(4) 设计需要开采量大时取低限；设计需要开采量小时取高限。

(5) 料源用于坝料填筑时取低限；料源用于加工混凝土骨料时取高限。

(6) 选定料场为单一料场时取低限；选定料场为两个及以上时取高限。

3.3.4 有的土料场位于坝址上游库区，有的距离江边较近，需在受水库蓄水或洪水影响前将其开采并堆存，确保土料的合理利用。在土料可采时段内需要有足够的开采强度，除满足高峰时段土料需求强度外，同时开采期末的开采存量需满足停采期的施工要求，且保证 1.2 倍的备料量。土料存储期间需加以覆盖保护，保证合格土料及时供应。

3.3.5 天然砂砾料开采受河水和地下水位影响较大。洪水季节河道水位升高，两岸滩地一般被淹没，陆上开采无法进行；河床部位水位升高，流速增大，采砂船作业安全风险大，开采困难，汛期一般需停采。寒冷地区，冬季冻深较大，冻结后的砂砾石料使用机械开采难度较大，而且开采砂砾料含水量较高，不利于冬季施工压实。各工程砂砾料场开采时段需根据气象、水文特性及料场地形等综合确定。开采期末的开采存量需满足停采期的施工要求，且保证 1.2 倍的备料量。

3.3.9 石料场开采爆破，要控制石料的粒径，用于混凝土骨料的石料粒径主要考虑破碎设备的能力，最大粒径不大于粗碎设备进料口的 0.85 倍；用于堆石料填筑的石料，主要考虑坝体填筑分区的要求。

3.3.11 料场开挖边坡包括开采过程中和开采完成后所形成的边坡。

4 主体工程施工

4.1 一般规定

4.1.1、4.1.2 由于整个工程中的各个施工项目施工难易程度不一，对工程建设工期、投资、工程质量和施工安全等各方面的影响程度也有所差别，施工的方法存在轻重、主次之别。某些简易工程项目或是某些显然可用常规方法施工的项目无需进行施工方案比较；但施工难度大、对工程建设影响较大的项目，需分项在设计中作多方案比较。确保工程质量和施工安全是选择施工方案的一项基本原则，特予以强调。

4.1.3 选择施工方案的原则既要有定量指标，也要进行定性分析。各种定量指标说明各比较方案的优劣程度，在比较过程中当然是必不可少的，但某些内容很难定量体现，则只能定性分析。使用本条时还应注意符合本标准 1.0.3 条和 1.0.4 条的规定。

4.1.4 计算机施工仿真技术的应用，可有效地分析各种施工过程，为施工组织设计提供理论依据。应用程序时需注意，各种参数需与现行标准相适应。

4.2 土石方明挖

4.2.1 岩土开挖级别是确定岩石钻孔、爆破难易程度的定量指标，是合理选择开挖方法、爆破参数、生产定额和计算开挖单价的主要依据。岩土开挖级别参照附录 D.1 确定（我国目前水利水电工程概预算编制中使用的分级法）。

开挖区内岩土级别确定正确与否对开挖单价和材料、设备、劳动力的数量均有较大影响，故需慎重。通常按岩石容重、可钻性和抗压强度来选定岩石级别。

4.2.2 开挖分层厚度经综合研究确定的内涵是指考虑地质条件、出渣道路、施工部位、开挖规模、开挖断面特征、爆破方式、开

挖运输设备性能及有关规范要求等因素。

有些工程为了减少前期工程量，只重视导流工程，放松了坝肩开挖，结果河床截流后不能进行基坑施工，只好回过头来再挖坝肩，延误了工期。考虑到坝肩、基坑上下交叉作业容易发生安全事故，所以规定截流前一般要完成或基本完成水上坝肩开挖；同时也考虑到小湾电站、拉西瓦电站和锦屏一级电站等由于坝址两岸地形陡峻，坝肩开挖出渣困难，采用截流后将坝肩开挖出渣推至河床、从基坑运输出渣的施工方法，另外也确有少数工程（如葛洲坝）岸坡平缓，与基坑同时开挖不会影响直线工期和施工安全，故对截流前完成或基本完成水上坝肩开挖未作严格限制。

4.2.3 梯段爆破是成熟的先进钻爆技术，具有爆破自由面多、爆破药量分散、单位耗药量小、起爆药量便于控制等优点。使用本条时需注意下列几点：

（1）梯段爆破采用毫秒爆破具有降低地震强度、减少单位耗药量、改善爆破质量（渣堆集中，渣粒均匀）、减少后冲破坏和飞石等优点，故一般要采用。毫秒爆破包括微差挤压爆破与微差爆破，前者虽有炸药单耗较高和后冲力较大的缺点，但钻孔与出渣可以完全平行，出渣经常在渣堆较高的条件下进行，因而生产率较高。

（2）深孔梯段爆破垂直钻孔容易，装药方便，但大块率高，易留垠坎，后冲破坏严重，梯段坡面稳定性差，而且梯段高度受炸药包直径限制，因此在实际工程中多采用斜孔方式。

（3）对基础岩石采用分层的梯段爆破方法开挖，层厚（梯段高度）是梯段爆破的重要参数，它对爆破效果、劳动工效和爆破施工安全等都有影响。层厚主要根据基础岩石开挖高度、地质条件、岩体特性、施工进度、钻孔机械和挖掘机械性能等因素确定。

4.2.4 设计边坡轮廓面的开挖，关系到边坡轮廓面的成型和保留岩体的开挖质量。预裂爆破或光面爆破是成熟的先进钻爆技

术，绝大多数情况下能形成质量好的边坡轮廓面，可减少超欠挖，减小梯段爆破的有害效应对边坡保留岩体的作用。

紧邻水平建基面的开挖，预留保护层是为了防止其上部梯段爆破对水平建基面岩体造成破坏或不利影响，预留保护层厚度需由爆破试验确定，若无条件进行试验，可采用工程类比法确定，或按上一层台阶爆破药卷直径的 25~40 倍考虑。预留保护层的开挖常采用水平预裂爆破。

4.2.5 洞室法爆破、药壶法爆破、蛇穴法爆破等集中药包法虽具有一次爆破量大、需要机械设备简单、可缩短工期、适于交通困难和人烟稀少地区施工等许多优点，但由于装药集中引起的地震较大，因而对基岩破坏大，对边坡稳定及周围的地面地下建筑物的保护不利，正常情况不得在大坝及其邻近的水工建筑物地基开挖中使用，SL 47—94 中 1.0.8 条也有明确的规定。至于在留有足够的保护层，采取减震措施，经过论证可以保证坝基岩基的质量，而在个别情况采用集中药包法进行爆破属于特例，不提倡采用。

4.2.6 本条主要根据 SL 47 提出。爆破安全允许标准需由爆破试验确定，若难以获得试验成果，可参照 GB 6722 的相关规定确定。

4.2.7 对高边坡开挖规定需采用预裂爆破或光面爆破，是从边坡稳定、施工安全和减少超欠挖等方面考虑，这在国内外施工中都有丰富的经验。

每层开挖后及时支护，其中锚杆、喷混凝土支护在每层开挖后立即进行，锚索支护可滞后 1~2 层。尽快支护不仅是为了边坡稳定、安全，也是为了方便施工，锚喷作业点距平台过高则施工困难，尤其是台车钻孔需在台车工作高度范围内。

4.2.9 土石方开挖工程中，往往有大量可利用料，如不按要求开挖会造成很大浪费。可利用料的开挖方法可参考料场开采方法。

4.2.10 施工组织设计中要避免二次倒渣，但有时倒渣反而是合

理的。鲁布革引水隧洞系日本大成公司施工，隧洞出渣时先将石渣暂时堆存于洞口，每排炮石渣出完进行钻孔作业时，利用洞内装运的同一机械将洞口堆存的石渣运至渣场，这样使用机械效率能得到较充分的利用，比直接从洞内运至渣场更为经济合理。因此，条文规定对开挖石渣需合理安排减少二次倒运。

4.2.11 在大坝、厂房基坑开挖中，开挖深度有时很大，出渣道路布置非常困难。例如，二滩电站下游围堰顶高程 1029.0m，基坑最低开挖高程 965.0m，高差达 64m，下基坑道路平均坡度每增加 1%，基坑长度即可缩短约 50m，两岸导流隧洞长度可相应各缩短 50 余米，导流隧洞投资约可减少 4%，效果十分显著。况且有时基坑受地形、地质条件限制，长度很难增加，所以需允许采用超限标准。

没有条件或难以布置基坑出渣道路情况下的特殊出渣方法，可以研究选用竖井溜渣、卷扬机牵引、起重设备吊运、挖掘机倒运等方式。

出渣道路一般要采用双车道循环线，当出渣强度低、仅一台挖掘机开挖，且地形陡峻、修建双车道工程量过大时，可以采用单车道。

4.3 地基处理

4.3.1 为增强固结灌浆效果，一般要在混凝土盖重情况下施灌。特殊情况下，亦可在基岩施灌，但混凝土与岩石接触面是否需要补灌及如何补灌问题，方案选择时需综合考虑研究确定。

4.3.4 根据国内各个工程实践，膨润土泥浆性能优于黏土泥浆，如采用循环出渣、回收净化再使用的工艺，其耗量和成本将大幅下降，因此需优先考虑选用膨润土泥浆。

4.4 土石方填筑

4.4.1 对条文的使用说明如下：

(1) 认真分析工程所在地区气象台(站)的观测资料，这对

于气象条件比较复杂的地区是必要的。这类地区，有些气象台（站）虽然距工程所在地比较近，但并不属同一气象分区，条件差别较大，不要选用。

(2) 各种气象要素对填筑料施工的影响程度分为两类：第一类是对填筑料施工有显著影响，设计工作中需用其具体数据，如降水、气温和蒸发等，需根据各种量级对施工影响的程度，制表统计分月出现的天数。第二类是对填筑料施工有影响，但不使用具体数据，如相对湿度、日照、云量、风力、风向等气象资料，也需统计作定性分析用。

(3) 近年来，随着水利水电工程的快速发展，我国的土石坝建设取得了举世瞩目的成就，修建了大量高土石坝，其中有许多坝高超过 100m，仅坝高超过 150m 的已建和在建高土石坝就有几十座，水布垭、糯扎渡、长河坝、猴子岩、江坪河等工程土石坝坝高超过了 200m，而双江口、两河口两座 300m 级超高土石坝也已开工建设。我国用现代技术修筑土石坝已有 60 多年，尤其是在最近 30 多年土石坝建设快速发展中，施工技术水平不断进步，对坝高 200m 以下的土石坝建设积累了丰富的经验，但对于坝高 200m 以上的高土石坝，现有施工经验相对较少，故其施工方案需做专门研究。

4.4.3 本条强调布置运输道路首要问题是正确确定道路标准。这是保证汽车正常使用、减少轮胎消耗、提高运输能力的基本条件。

条文中还强调了道路布置需兼顾周围建筑物施工通道要求、施工期过填筑体运输要求、沟通两岸交通要求，一般和永久公路结合。道路布置需统筹规划，使整个工程的交通网趋于合理。

道路修建费用较高，修建时间较长，布置又常受地形条件的限制。因此需根据各段道路的任务，确定各自的标准，以期达到既能满足要求，又能节约费用的目的。

目前，在土石坝等土石方填筑施工中，自卸汽车运输占主导地位，为提高汽车运输效率，其主要措施是建好场内外道路。由

于工程规模、地形条件、汽车型号等的差异，当前国内土石坝修筑道路采用（或参考）的技术标准尚不一致。国内几个土石坝工程施工道路技术参数见表 27。

表 27 部分土石坝工程施工道路技术参数

序号	项 目	单 位	工 程				
			小浪底	黑河	鲁布革	碧口	天生桥
1	坝体总填筑量	万 m ³	5185	820	222	397	1800
2	坝体填筑高峰强度	万 m ³ /月	158	57	22.3	27.7	118
3	行车密度	车次/h	30~85	26~68	—	—	—
4	汽车载重量	t	65	45	10~20	12.5	32
5	采用标准	—	露天矿山道路Ⅱ级	露天矿山道路Ⅱ级	—	—	露天矿山道路Ⅱ、Ⅲ级
6	路面宽度	m	16.5	12	10	8	11~13
7	最大纵坡	%	8	8	6	11	—
8	最小转弯半径	m	30	15	—	10	—
9	路面结构	—	泥结碎石	泥结碎石	—	土路	混凝土

4.4.4 碾压式土石坝坝面施工是多料种、多工序共同作业，施工作业集中，彼此关系密切，需协调相互间的关系，条文中提出了一些坝面作业规划需遵守的原则。

关于沿坝轴线方向分段（设置横缝）施工问题，DL/T 5129—2013《碾压式土石坝施工规范》中 9.1.4 条规定“不影响行洪的坝体部位可先行填筑，横向接坡坡度需符合设计要求”，9.2.4 条第 2 款中要求“防渗体及均质坝的横向接坡不要陡于 1:3，需采用更陡接坡时，应论证后实施”。从目前国内工程实施看，小浪底工程采用了分段填筑施工。但考虑到防渗体横向接坡是坝体施工的薄弱环节，不均匀沉陷、缝面处理措施、填筑高度的影响极为明显，缝面处理不妥，极易形成贯穿上下游的渗流通道，埋下隐患，不仅影响坝体的安全运行，甚至给工程带来

危害。因此，土质防渗体需尽量减少横向接坡。在高山峡谷地区，河道狭窄，不要采用分段施工；在宽泛河道上，若施工程序需要采用分段施工时，需加强对缝面处理措施研究，确保工程施工质量和安全。

根据国内外土石坝施工经验，由于截流后需要基坑抽水、坝基开挖处理，在截流后第一个汛前坝体很难全断面达到拦洪度汛高程，需要采用临时断面度汛，有时也采用临时断面挡水，来满足提前蓄水、提前或临时发挥效益等方面的需要。临时断面的设置，不仅要考虑安全和质量要求，还需要为后续项目施工创造条件，使后续项目施工能够顺利进行。

4.4.7 使用本条时需注意下列几点：

(1) 过渡料填筑时自卸汽车将料直接卸入工作面，倒料顺序可从两岸向中间进行，以利流水作业。

(2) 对于碾压式沥青心墙堆石坝，每层心墙沥青混合料与两侧过渡料一般要采用专用摊铺机同时铺筑、碾压。沥青心墙摊铺宽度按设计要求从下而上变化，一般为1.2~1.6m。过渡料宽度一般为2~4m，随摊铺机摊铺的过渡料宽度取决于摊铺机宽度，不随摊铺机摊铺的过渡料则采用其他设备摊铺。如：尼尔基水利枢纽碾压式沥青心墙坝沥青心墙设计厚度0.5~0.7m，摊铺机最大摊铺宽度3.5m；四川冶勒水电站碾压式沥青心墙坝沥青心墙设计厚度0.6~1.2m，摊铺机最大摊铺宽度1.2m。

(3) 对于浇筑式沥青心墙堆石坝，一般要先安装、固定沥青混凝土心墙模板，然后铺筑、碾压两侧过渡料，再进行同层的沥青混凝土心墙浇筑。为防止模板的变形、移位，要利用小型振动碾同时对两侧的过渡料进行铺筑及压实，过渡料与堆石体结合部位利用大型振动碾压实。

4.4.8 对条文的使用说明如下：

(1) 关于挤压式边墙技术。

挤压式边墙施工法是在混凝土面板堆石坝施工中，每填筑一层垫层料之前，用挤压式边墙机制作出一个低强度、低弹模的半

透水混凝土边墙，然后在其下游面按设计铺填垫层料，碾压合格后重复以上程序。挤压式边墙一般为梯形断面，选用专用混凝土边墙挤压机施工，挤压式边墙施工结束 2h 后铺筑垫层料。

挤压式边墙是垫层料上游坡面保护的一种形式，以垫层料的垂直碾压代替传统施工工艺的削坡及坡面斜坡碾压，与传统垫层料上游坡面防护形式比较，简化了坡面的施工工艺，增加了垫层料的密实度，有利于保证施工质量及安全、加快施工进度和节约工程费用，近年来在我国混凝土面板堆石坝工程建设中得到广泛应用，截至 2011 年底我国已有 90 多座面板堆石坝使用了挤压式边墙技术，国内部分使用挤压式边墙技术的混凝土面板堆石坝见表 28。

表 28 国内部分使用挤压式边墙技术的混凝土面板堆石坝资料

序号	工程名称	地点	所属流域	坝高/m	完成年份
1	公伯峡	青海循化	黄河	132.2	2004
2	龙首二级	甘肃张掖	黑河	146.5	2004
3	多尔	甘肃迭部	白龙江	83	2005
4	那兰	云南金平	藤条江	108.7	2005
5	鄂坪	湖北竹溪	汇湾河	124.3	2005
6	鹤峰一级	湖北鹤峰	芭蕉河	115	2006
7	美岱	内蒙古	大黑河	93.2	2006
8	双河口	贵州	蒙江	99	2006
9	盘石头	河南鹤壁	淇河	102.2	2006
10	崖羊山	云南普洱	李仙江	88	2006
11	洞巴	广西田林	西洋江	105	2006
12	洞峪	陕西华县	洞峪河	81	2007
13	鲤鱼塘	重庆开县	桃溪河	103.8	2007
14	水布垭	湖北巴东	清江	233	2007
15	龙马	云南	李仙江	130	2007
16	九甸峡	甘肃	兆河	136.5	2007

表 28 (续)

序号	工程名称	地点	所属流域	坝高/m	完成年份
17	汉坪咀	甘肃文县	白龙江	108.7	2007
18	街面	福建尤溪	尤溪	126	2007
19	洒南江	云南墨江	洒南江	115	2007
20	老鹰岩	四川武胜	吉安河	66.1	2007
21	林口	云南镇雄	林口河	79	2008
22	鱼泉	湖北	龙潭河	65	2008
23	老虎潭	浙江湖州	埭溪	35.5	2008
24	瓦屋山	四川洪雅	周公河	138.8	2009
25	白莲河	湖北	浠水	64.4	2009
26	沐尘	浙江龙游	灵山港	55.9	2009
27	郑家湾	安徽霍山	太阳河	51.5	2009
28	南山	广西	南山江	63	2010
29	苏家河口	云南	槟榔江	130	2010
30	积石峡	青海	黄河	103	2011
31	苗家坝	甘肃文县	白龙江	111	2011
32	柏叶口	山西吕梁	文峪河	88	2011
33	佃石	浙江三门	亭旁溪	53.6	2011
34	杨东河	湖北利川	磨刀溪	88	2011
35	永德大雪山	云南永德	忙令河	78.5	2011
36	唐河	山西灵丘	唐河	30.4	2011
37	泽城西安	山西	清漳河	46.8	2011
38	潘口	湖北竹山	堵河	114	2012
39	毛家河	湖北兴山	毛家河	100	2012
40	黔中枢纽	贵州	三岔河	162.7	2015
41	牛栏江—滇池 补水工程	云南	牛栏江	142	2013
42	河口村	河南济源	沁河	122.5	2015
43	中葛根	新疆台奇	中葛根河	81	2012
44	黄连山	云南	茶卡河	70.1	—

另外，针对趾板建在深厚覆盖层的面板堆石坝，以坝高110m的新疆察汗乌苏面板坝为代表，经试验研究，在挤压式边墙技术基础上推出了移动边墙施工技术。移动边墙技术是通过坐落在垫层料上的边墙作为垫层料的约束体，使垫层料实现水平碾压，其原理是：在每填筑一层垫层料之前，将移动边墙安装在靠近上游坡面，其稳定利用自重保持。移动边墙采用长方体钢筋混凝土预制块，高度根据垫层料每层填筑高度确定，单块移动边墙尺寸多为 $8\text{m}\times 0.6\text{m}\times 0.4\text{m}$ （长 \times 宽 \times 高）、重约5t，顶部设吊环，采用汽车吊吊装就位，通常当施工至第四层后，移动边墙还可实现循环使用。

(2) 关于翻模固坡技术。

翻模固坡技术是近年新开发的一项施工新技术，是混凝土面板堆石坝垫层料填筑及固坡砂浆成形一次完成的技术，适用于混凝土面板堆石坝及其他类型面板堆石坝的垫层料填筑及垫层料上游坡面防护施工。

翻模固坡法的优点包括：

(1) 坡面平整度好，固坡砂浆厚度小且均匀，能够较好地适应坝体变形，且对面板的约束小，有利于面板混凝土防裂。

(2) 与挤压式边墙类似，以垫层料的垂直碾压代替传统施工工艺的垫层料超填、修坡、斜坡碾压等复杂施工工序，增加了垫层料的密实度，有利于保证施工质量及安全。

(3) 不占直线工期，施工速度快。

(4) 工程造价低。

(5) 施工干扰小。

(6) 大坝随时具备挡水度汛条件。

当前，翻模固坡法的缺点是机械化程度较低、用人工较多，需进一步研究改进。

应用翻模固坡技术的部分工程实例：

1) 吉林双沟水电站混凝土面板堆石坝最大坝高110m，通过试验研究，在大坝施工中成功地采用了翻模固坡技术，属国内

外首创，取得了很好的技术经济效果和社会效益。与混凝土挤压式边墙技术相比较，每平方米上游坡面可降低造价 28 元；与斜坡碾压固坡法相比较，可缩短大坝施工直线工期 2~3 个月。双沟水电站已于 2010 年 4 月投产发电，大坝运行情况良好。

2) 辽宁蒲石河抽水蓄能电站上水库混凝土面板堆石坝最大坝高 78.5m。通过学习、借鉴双沟大坝施工经验，在大坝施工中采用了翻模固坡技术。该大坝坝体施工至 2009 年 10 月全部完成，运行情况良好。

3) 湖北江坪河水电站混凝土面板堆石坝最大坝高 219m。参建各方通过到双沟水电站工程和蒲石河抽水蓄能电站工程调研，确定大坝施工采用翻模固坡技术，自 2010 年 6 月开始实施。

目前，混凝土面板堆石坝翻模固坡技术相关技术标准有：电力行业标准 DL/T 5268—2012《混凝土面板堆石坝翻模固坡施工技术规程》。

(3) 关于不采用挤压式边墙或翻模固坡技术时垫层坡面施工。

不采用挤压式边墙技术或翻模固坡技术时，垫层坡面碾压保护施工流程为：测量放样→坡面粗修→斜坡静碾→测量放样→坡面细修→洒水碾压→测量放样检查→坡面局部修整→检查验收→碾压水泥砂浆（或喷混凝土或喷乳化沥青）固坡→养护。

碾压砂浆固坡施工较方便，护坡平整度好，对面板混凝土的约束小，有利于面板混凝土防裂。碾压水泥砂浆厚一般为 5~8cm，强度等级不大于 M5。水泥砂浆由人工或机械摊铺，每条幅宽度不要小于 4m，砂浆初凝前需碾压完毕，终凝后洒水养护。

喷混凝土固坡法利用常规的喷护用设备和工艺，需在施工参数上做调整。喷混凝土厚度一般为 5~8cm，强度等级 M5 左右，一般采用湿喷法施工，表面需平整、厚度均匀、密实，终凝后洒水养护。

当垫层料上游坡面保护不采用挤压式边墙技术或翻模固坡技

术时，上游坝坡的整平压实应采用振动压实设备进行斜坡碾压，多采用振动碾或液压振动平板顺坡碾压。上游坡面碾压分级长度以10~20m为宜，分级长度过大，振动碾不易控制，影响碾压质量。马来西亚的巴特埃（Batai）面板堆石坝施工时，上游坡面采用振动夯板压实（夯板装于反向铲臂端），效果甚佳，可以作为辅助压实设备。垫层料铺筑上游边线水平超宽宜为20~30cm，振动平板压实时垫层料水平超宽可适当减少；采用自行式振动碾压实时，振动碾与上游边缘的距离不宜大于40cm。垫层料每填筑升高10~20m，宜进行垫层上游坡面削坡、修整和碾压；采用反铲削坡时，宜每填高3~4.5m进行一次削坡。

4.4.9 土料天然含水率与最优含水率差别较大时需调整天然含水率。防渗土料含水率的调整一般在填筑区以外进行，特殊情况下可在填筑工作面调整。当土料的平均含水率需少量增加时，可采用在填筑工作面直接洒水，否则要在料场加水调节。当土料的含水率大于施工控制含水率上限时，碾压前填筑面要进行翻晒，降低土料的含水率。防渗土料接缝坡度不宜陡于1:3，高差不宜超过15m。

4.4.10 考虑到黏土料受降雨影响特别明显，而在雨季可施工天数较少，时停时续的施工方式层面处理工作量较大，因此在雨季不要进行大面积黏土料填筑施工。

防渗土料的雨季施工是施工的重点和难点，在降雨量充沛的地区尤其突出。切实可行的雨季施工措施和经验是保证土料防渗体雨季顺利施工的关键。

雨季施工需认真分析当地的水文气象资料，确定雨季各种填筑料的施工天数，合理选择施工机械数量，使之满足填筑强度和形象进度要求。做好必要的物资准备是顺利施工的先决条件。

雨季施工措施包括：超前安排心墙区域的填筑，缩短防渗体填筑流水作业段长度，防渗体与两岸接坡及上、下游反滤料平起施工，及时用振动平碾快速将防渗体碾压成光面，做好防渗体填筑面防护，不失时机进行雨后复工和用旋耕犁翻晒土料，加强施

工道路维护和保养等。

4.4.11 负温下露天填筑砂砾料与堆石，不得加水，可采取减薄层厚、增加遍数、加大压实功能等措施，以保证达到设计要求。由于冬季施工难度加大，施工质量难以控制，且降低工效增加成本，因此，如工期允许，尽量避免冬季施工。黑龙江莲花水电站大坝最大坝高 71.8m，是我国在高寒地区修建的第一座面板堆石坝，其冬季施工时减小了铺料厚度，增加了碾压遍数。

负温施工是土石方填筑冬季施工中必然遇到的问题，采取有效的填筑方法、步骤和措施，是保证负温下土料填筑工程质量和顺利施工的关键。在负温下填筑土料，需采取一系列可靠的保温、防冻和保证工程质量的措施，主要包括：

- (1) 特别加强质量控制和施工前保温、防冻的准备工作。
- (2) 在冻结前完成坝基处理，并做好防冻处理。
- (3) 在负温下施工，土料含水率需控制在下限。

在严寒地区施工条件恶劣、质量保证较困难且施工工效大幅度降低时，采用冬季停工方式，实践证明是较合理的选择。

负气温下土料填筑可分为露天施工和暖棚法施工两种。暖棚法施工一般只是在小范围内进行，所需器材多，施工费用较高，生产效率低，只有在经过技术、经济论证后，方可考虑采用。露天施工可大面积进行，需要严格控制填筑质量。负温下土料填筑工作效率低，成本高，质量较难保证，如非十分必要，以停工为宜。

4.4.12 土工膜铺设前，基础垫层料级配需满足设计要求，并碾压密实平整，不允许有突出尖角块石，以免损坏土工膜。

土工膜防渗斜墙铺设一般有两种方式：一是平行于建筑物轴线铺设（顺铺）；二是垂直于建筑物轴线铺设（横铺），采用横铺的工程较多，采取人工展铺的方式铺设在垫层上。土工膜防渗心墙要采用“之”字形布置，两侧回填料的级配、粒径、干密度需满足设计要求。

复合土工膜接缝处理有粘接法和热焊法，采用热焊法对土工

膜进行接缝施工的工程较多，就是在现场通过热合机把 PE 土工膜相接的表面加热，使之表面熔化，然后加压使之熔为一体，为了使之充分结合，搭接长度为 8~10cm，每幅焊接完毕并通过专职人员检查确认后，方可缝合 PE 膜上、下的土工布。

土工膜与地基、岸坡及刚性建筑物的连接是施工的薄弱环节。

4.4.13 使用本条时需注意下列几点：

(1) 对无分期、分区交工要求的工程：吹填细粒土时，要设置二个或二个以上排泥区轮流交替吹填，必要时还需采取加速排水固结的措施；其他土质吹填时，需根据现场具体情况，按照提高效率，降低消耗，方便施工的原则，选择最佳吹填顺序。

(2) 吹填厚度宜根据吹填土质经现场试验确定。在淤泥等超软地基上吹填分层不要过厚，需根据设计或经过试验确定，第一层高度要高出最高水位 0.5~1.0m，其余每层厚度要控制在 1.0m 左右。

(3) 吹填工程施工还需注意符合 SL 17 的规定。

4.5 混凝土施工

4.5.1 本条是对混凝土原材料的选择提出的要求：

1 本条强调所选原材料的品质需符合现行国家和有关行业标准，这些标准主要包括 GB 175《通用硅酸盐水泥》、GB 200《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥》、DL/T 5055《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》和 DL/T 5100《水工混凝土外加剂技术规程》等。

2 选择水泥品种的原则主要是根据工程部位、技术要求和环境条件。大体积水工混凝土需优先选用中热硅酸盐水泥，以降低混凝土发热量，减少温度裂缝。

水泥熟料中内含较多的 MgO，可使混凝土具有延滞性微膨胀性能，部分补偿混凝土后期混凝土温降收缩，已有大量的科研成果和国内工程应用实例。因此，某些大、中型工程规定水泥熟

料中 MgO 含量一般要在 3.5% 以上，但不超过国家标准规定的上限 5%。重力坝工程对内含 MgO 水泥的应用经验较多，效果可以肯定。对膨胀变形有时间限制的拱坝工程，如要求 90d 龄期不再产生膨胀变形，内含 MgO 水泥的应用还有待进一步深入研究。

水泥细度过小，混凝土早期发热快，不利于温度控制。因此，某些大、中型水利水电工程对水泥细度进行了要求，比表面积要控制在 $320\text{m}^2/\text{kg}$ 以下。

3 水工混凝土中掺入适量的掺合料，具有改善混凝土性能，提高混凝土质量，减少混凝土水化热温升，抑制碱骨料反应，节约水泥，降低成本等作用。混凝土外加剂可以改善混凝土拌和物性能以及硬化混凝土性能，是水工混凝土必不可少的组分。掺入适量的掺合料和外加剂成为混凝土配合比优化设计的一项重要措施。大、中型水利水电工程已普遍掺用掺合料和外加剂。

4 选用何种水泥和掺合料，要遵循技术可靠、经济合理、就近取材的原则。水泥、掺合料、外加剂等原材料品种和掺量要通过试验确定。掺合料和外加剂品种多、质量差异大、掺量范围较宽，用于混凝土时只有通过试验验证，才能有效地实施混凝土的质量控制。为方便混凝土施工和质量管理，要求原材料供应厂家相对固定，避免影响混凝土质量的稳定性。

粉煤灰已广泛应用于水工混凝土中，Ⅰ级、Ⅱ级粉煤灰具有减水增强和改善混凝土多种性能的效果，并可降低混凝土水化热温升。因此各种混凝土需优先选用等级较高的粉煤灰，以获得更大的技术经济效益。二滩工程使用了除细度外其余各项指标均满足Ⅰ级灰标准的Ⅱ级灰，三峡工程使用了Ⅰ级粉煤灰，对降低水泥用量、提高混凝土质量，起到了十分重要的作用。

4.5.2 混凝土配合比设计包括了混凝土原材料的优选和混凝土配合比选择试验两个阶段。对混凝土配合比选定提出了以技术指标、和易性和经济性三项内容进行综合比较优选。

VC 值的大小对碾压混凝土的性能影响显著，采用较小的

VC 值，使碾压混凝土入仓至碾压完毕有良好的可碾性，并且在上层碾压混凝土覆盖以前，下层碾压混凝土表面仍能保持良好塑性。VC 值的控制以碾压混凝土全面泛浆和具有“弹性”，经碾压能使上层骨料嵌入下层混凝土为宜。根据近年来大量工程实践，现场 VC 值在 2~12s 比较适宜，并根据施工现场的气候条件变化，动态选用和控制。

4.5.4 水工建筑物混凝土施工分期一般是根据截流、导流、拦洪、度汛、蓄水等各阶段进度要求划分。混凝土浇筑顺序一般是由低高程逐步上升，但对上部结构复杂、基岩易风化、荷载大或沉陷量较大的基础混凝土一般要先浇筑。各期具体浇筑部位和高程主要根据起重机及混凝土供料线路的布置确定。

4.5.6 通仓浇筑不仅能避免垂直施工缝对结构物整体性的影响，而且可以加快施工进度，减少模板工程量，降低工程造价，但对浇筑强度和温度控制要求较高。对坝高小于 70m 的坝段，按目前的机械浇筑能力和制冷措施，在低温季节通仓浇筑基础混凝土是可能的；高坝采用通仓浇筑则需有论证。

当采用平浇法浇筑、机械生产能力不能满足仓面要求时，可采用台阶法浇筑，其浇筑顺序的要求如图 1 所示。台阶法使用的基本条件是薄层，根据吊运混凝土设备的能力和混凝土散热的需要，浇筑块高一般要在 1.5m 以内。其台阶宽不小于 1.0m，斜坡坡度不小于 1:2，浇筑块前进方向卸料宽不小于 2.8m（考虑用 3m³ 吊罐卸料时需要的宽度）。对于拱坝大仓面施工，一般采用平浇法施工。当采用台阶法浇筑时，需有分析论证。

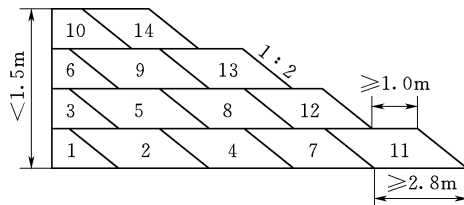


图 1 台阶浇筑法

4.5.7 为防止拦河坝等大体积混凝土由于温度应力而产生裂缝和坝体接缝灌浆后接缝再度拉裂，高、中拦河坝等大体积混凝土工程的施工，都需进行混凝土温度控制设计，提出温度控制标准和温控防裂措施。需根据工程所在区域的水文气象条件，坝体结构型式和材料分区，工程特定施工条件等综合因素，最终确定综合温度控制措施。

4.5.9 坝体的接缝灌浆对坝体的施工进度和造价影响较大，在初步设计阶段需对坝体的接缝灌浆进行认真研究。

根据 SL 62《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》，接缝灌浆灌区两侧坝块混凝土的龄期要大于4个月，在采取了有效冷却措施情况下，也不要少于3个月。根据东江水电站的试验，为满足混凝土的干缩要求，混凝土有3个月的龄期可满足要求。二滩水电站采用全年灌浆，灌浆区混凝土龄期均不少于4个月。设计时可根据具体情况选用。

4.5.10 根据国内外资料，碾压混凝土筑坝可较常规混凝土筑坝节约水泥，简化温度控制措施，减少模板工程量，能充分发挥机械效率，加快施工进度，降低工程造价。由于碾压混凝土多采用高块连续浇筑，虽水泥用量较少，水化热不易散发，但仍须进行温度控制设计，并有防裂措施。

斜层碾压施工的优点：浇筑作业面积比总仓面面积小，每层需要浇筑的混凝土方量比通仓平铺小；缩短了层间间隔时间，降低了高温季节条件下的预冷混凝土温度倒灌，有利于温度控制和提高混凝土层间的结合质量；对混凝土入仓强度要求较低，在混凝土入仓强度受高温环境影响较大的情况下也可以进行大仓面连续浇筑、有利于加快施工进度、减少坝体横缝模板工程量、降低施工成本等；由于仓面覆盖面积缩小，浇筑仓面具有一定的坡度，便于仓面排水，有利于雨后迅速恢复施工。

龙滩水电站针对区域夏季气温高，雨季降水频繁，混凝土浇筑量大等因素，为了达到大坝混凝土连续、快速浇筑，降低施工成本，首次在6号和7号坝段高程323.00~326.30m坝体碾压

混凝土浇筑中进行了斜层碾压混凝土施工生产性试验，获得了一定的施工经验。

百色水利枢纽工程，采用分区通仓薄层施工方式，仓面面积不超过 7200m^2 的按平层铺料平仓碾压方式施工，仓面面积超过 7200m^2 的则采用斜面铺料平仓碾压方式施工或分仓施工。斜面铺料碾压浇筑时由下游往上游或左右岸按 $1:10\sim 1:15$ 坡度铺料平仓碾压，并逐层往前推进而后部逐层收仓的方式。

在斜层碾压浇筑混凝土时，需注意坡脚处理、坡度控制和仓面污染等问题。

4.5.13 当坝较高、工程量较大时，面板分期施工是必要的，否则会因为坝坡太长，给施工带来较大困难。面板分期施工，有利于防止裂缝，同时可使堆石填筑、混凝土施工在组织上更趋均衡，也为施工期度汛、提前蓄水受益等创造条件。

从已建面板堆石坝工程观测资料分析，大坝的沉降变形主要在施工期发生，特别是面板施工前的3个月最为重要。二期面板施工时，一期面板顶部容易因沉降不够而脱空，使面板受力不平衡而发生破坏。例如天生桥一级大坝面板脱空 150mm ，洪家渡大坝面板脱空 11.9mm ；三板溪大坝面板脱空 13.2mm ；水布垭大坝面板脱空 40mm 。

现行面板堆石坝设计规范从施工工艺及避免面板脱空考虑，要求“分期浇筑的面板，其顶高程要低于浇筑平台的填筑高程 5m 左右”。但是最后一期面板顶部为防浪墙底，一般工程填筑至此高程即停止填筑，从而使最后一期面板顶高程与堆石填筑高程齐平，一方面不便于面板混凝土施工，另一方面也不利于堆石的预压。洪家渡坝采取了提高分期面板顶部堆石填筑超高的措施，分期填筑高度较规范要求增加 $2\sim 5\text{m}$ ；坝体填筑到面板顶部高程（防浪墙底高程）后继续填筑超过防浪墙底高程 2m ，浇筑防浪墙时再回挖至防浪墙底高程；同时，三期面板浇筑前从坝顶对堆石持续洒水，促进和加速堆石沉降。

采用无轨滑模浇筑面板是国内外的成功经验，无轨滑模的特

点在于：

(1) 滑动模板由侧模或已浇块混凝土和混凝土浮托力支承，取消了专用轨道。

(2) 起始三角块可以与主面板一起浇筑。

(3) 滑动模板重量轻、配套设备少，制造、安装和移动就位较为方便。

面板混凝土跳仓浇筑的目的，在于保持滑动模板均衡滑升，并使相邻已浇块有一定龄期。

面板纵缝分缝宽度需根据施工条件确定，为了便于滑模制作、操作和混凝土分料入仓浇筑，河床部位可取 12~18m，两岸根据情况可取 6~9m。浇筑块过大施工困难，过小则分缝太多。

滑模施工时的滑升速度，需与浇筑强度、脱模时间相适应，滑升速度一般为 1.5~2.5m/h。在高、低温及干燥季节进行混凝土施工时，需有防开裂、保温、防冻及保湿措施。

面板混凝土裂缝产生的原因除一些特殊情况外，都是由温度变化和干缩引起的。由温度、湿度等环境因素变化引起混凝土收缩，受到基础约束而在混凝土内诱发拉应力，是面板产生裂缝的破坏力，这是面板裂缝的外因。混凝土的自身性能和质量决定混凝土的抗裂能力，这是内因。因此，防裂措施可归结为提高混凝土自身抗裂能力，尽量减少环境因素引发的破坏力。面板混凝土养护防裂就是要从面板混凝土裂缝破坏力方面进行研究，探讨在高、低温及干燥环境下混凝土面板裂缝发生的特点、裂缝产生的主要外部原因及其养护防裂措施。

4.5.14 沥青混凝土施工方案，常用的有碾压法和浇筑法两种。碾压法是将热拌沥青混合料摊铺后碾压成型的施工方法，可用于大中型土石坝的面板或心墙施工，该方法比较成熟，应用广泛。浇筑法是将热拌沥青混合料浇筑成型的施工方法，由于其热拌沥青混合料中沥青含量较多，高温时流动性较好，能靠自重压实，不需压实设备，一般适用于严寒地区的土石坝心墙施工。工程位于严寒地区且防渗体又是心墙的，可考虑采用浇筑法，否则一般

采用碾压法。

沥青混凝土面板如设水平缝，其接缝处理非常麻烦，而且还会成为防渗面板的一个薄弱环节，为了确保防渗效果，通常采用一次铺筑完成、不设水平缝。但高坝面板斜坡过长将给牵引摊铺碾压机械的卷扬设备带来困难，这不仅是因为卷扬机的钢丝绳长度有一定限度，而且还由于过长的钢丝绳在自重作用下易损坏已铺好的面板，同时牵引设备与铺压机械相距过远，操作不方便容易失控，且斜坡运距加大，施工速度降低。国内外工程实践除日本沼原抽水蓄能电站上水库沥青混凝土面板斜坡长度达 150m 外，多数斜坡长度不超过 120m。因此当斜坡长度超过 120m 或因工程施工度汛需要时，可分两期施工，但需做好接缝处理。

面板的铺筑宽度以 3~4m 为宜。加大面板摊铺宽度可减少面板施工缝、提高防渗效果和面板的整体性，国外的面板多采用铺设宽度 3~4m，我国牛头山水库铺设宽度采用 3m。根据铺设宽度单层防渗影响的初步研究，单层防渗的组合渗透系数 k 可按式 (4) 求得：

$$k = \frac{(b + 0.45)k_t}{b} \quad (\text{m/s}) \quad (4)$$

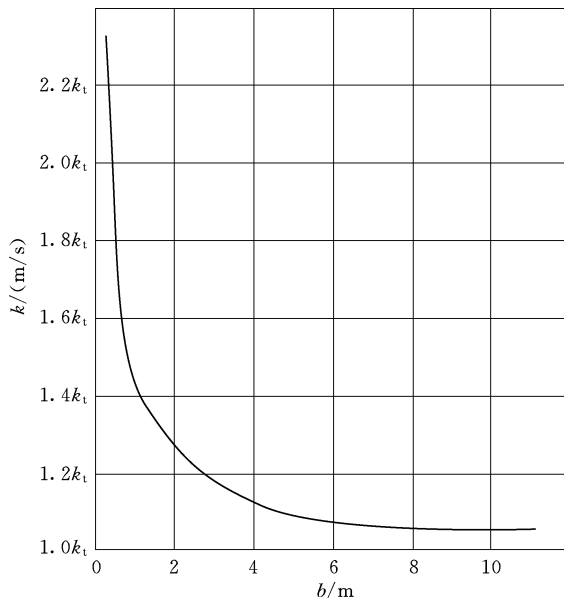
式中 b ——条幅宽度，即一次铺设宽度，m；

k_t ——条面渗透系数，m/s。

根据式 (4)，可绘得 k — b 关系曲线如图 2 所示。从图 2 中可以看出：随着铺设条幅宽度的增加， k 值减小很快，但超过 4m 以后， k 值减小缓慢、增大条幅宽度提高防渗效果不明显且施工困难，故面板的铺筑宽度一般为 3~4m。

碾压式沥青混凝土心墙每层铺设厚度与碾压机械的压实功能有关，需通过碾压试验确定。根据国内外工程实例，铺设厚度常为 25cm，故提出碾压式沥青混凝土心墙每层铺设厚度可为 20~30cm。部分工程碾压式沥青混凝土心墙铺设厚度见表 29。

根据天荒坪上水库、三峡茅坪溪、冶勒水电站、尼尔基水利枢纽等工程沥青混凝土面板及心墙的施工实际情况，施工时段平



k_t —一条面渗透系数

图 2 $k-b$ 关系曲线

表 29 部分工程碾压式沥青混凝土心墙铺设厚度实例

工程名称	碧流河	高岛	武利	街所	三峡茅坪溪	冶勒	尼尔基
铺设厚度/cm	20	25~30	25	25	25	30	25

均气温在 5°C 以上，都能正常施工，但有因环境温度低于 5°C 而停工的。国外一般也规定以 5°C 作为确定施工与停工的分界标准。JTG F40《公路沥青路面施工技术规范》1.0.4 条规定“沥青混凝土不得在低于 10°C （高速公路和一级公路）或 5°C （其他等级公路）以及雨天潮湿情况下施工”。鉴于上述情况，本标准规定时段平均气温低于 5°C 不要施工。如需施工，需采取专门措施，并进行模拟试验。如南桠河冶勒水电站，试验表明气温 $-6\sim 5^{\circ}\text{C}$ 条件下可以施工，但需采取下列措施：

(1) 调整碾压参数（静碾 1 次，动碾 8 次，再静碾 8 次）。

(2) 提高初碾温度，一般经验初碾温度为 130℃，冷勒低温条件提高至 130~155℃。

(3) 严格控制终碾温度，不得低于 130℃。碾压后，任何人员和设备不得在心墙上行走。

(4) 表面覆盖以降低温度损失。

沥青是一种憎水性胶结材料，当雨（雪）天有水分浸入时会影响矿料之间的紧密黏结，致使沥青混凝土质量降低。如果在有水分的铺筑层面上摊铺防渗层，也会引起沥青防渗层鼓泡和层间结合不良，故降雨时停工，雨后需将已铺层面烘干才能继续施工。根据国内外一些工程实例，如日本深山坝规定日降雨量大于 5mm 作为因雨停工标准，我国天荒坪、冷勒、尼尔基等工程大坝规定日降雨量大于 0.1mm 作为因雨停工标准，实际施工中均因降雨降雪而停止沥青混凝土铺筑。

寒冷地区是指年度内最低月平均气温小于 -10℃、年内日平均气温大于 5℃的天数少于 215d 的地区。越冬前采取保护措施，可减少表面温差，将温度应力控制在沥青混凝土抗拉强度允许的范围内，防止产生温度裂缝。保护层厚度需根据当地的最大冻结深度而定。沥青混凝土表面用干砂覆盖，能形成一个保温层。

4.5.15 自密实混凝土，具有高流动性、均匀性和稳定性，浇筑时无需外力振捣，能够在自重作用下流动并充满模板空间的混凝土，自密实性能主要包括填充性、间隙通过性和抗离析性。

自密实混凝土填充性可通过坍落度扩展和扩展时间试验方法确定；间隙通过性可通过 J 环扩展度试验方法确定；抗离析性可通过离析率筛析试验方法确定。

采用集中搅拌方式生产，有利于控制自密实混凝土质量的稳定性。运输过程中，搅拌车的滚筒保持匀速转动有利于减少自密实混凝土拌和物流动性损失，搅拌车内加水将严重影响自密实混凝土的自密实性能，必须严格控制。

自密实混凝土的浇筑效果主要取决于混凝土的工作性能。因

此，保持混凝土浇筑的连续性是其关键，停泵时间过长，自密实混凝土的自密实性能变差。

4.6.16 胶凝砂砾石填筑是我国基于国内外实践提出的新的筑坝方式，即通过合理的结构设计和便捷的施工工法，将不受传统级配限制的砂砾石料用较少的胶凝材料胶结起来进行筑坝，属于从散粒材料坝到混凝土坝（碾压混凝土坝）之间的过渡坝型（胶结颗粒料坝）之一，是一种新的筑坝方式，可充分利用当地材料，在坝基适应性、坝型选择、结构分区中充分体现工程安全、经济合理、施工便捷、生态环保等方面的优势。使用本条时应注意下列几点：

(1) 砂砾石宜在生产场地设置一次储料堆，存储量为 3~5d 的使用量；在拌和站皮带进料口附近宜设置二次储料堆，存储量为不少于 1d 的使用量。

(2) 胶凝砂砾石坝施工工艺包括表观密度、密实度、力学性能等参数。

(3) 碾压条带间的搭接宽度宜为 0.3~0.4m，端头搭接长度宜为 1m。碾压厚度不应小于最大石料粒径的 3 倍，且最大厚度不宜超过 700mm。若压实厚度较大时，每个碾压层可分 2~3 次平仓铺筑，但每层厚度应大于砂砾石最大粒径的 1.2 倍。

(4) 直接铺筑允许时间和加垫层铺筑允许时间，应根据工程要求，综合考虑拌和物初凝时间确定。

(5) 层间间隔时间超过加垫层铺筑允许时间的层面即为冷缝。施工缝和冷缝缝面处理合格后方可加垫层料继续施工。

(6) 胶凝砂砾石层边缘部位处理措施：宜碾压成 1:4 的斜坡面，恢复施工后将坡脚处厚度小于 150mm 的部分切除。

(7) 胶凝砂砾石坝低温条件下施工指：日平均气温连续 5d 稳定在 5℃ 以下时或最低气温连续 5d 稳定在 -3℃ 以下时，应采取低温施工措施；气温骤降时，宜对胶凝砂砾石表面进行覆盖保温；气温在 -10℃ 以下时不宜施工。

(8) 胶凝砂砾石填筑施工还应注意符合 SL 678《胶结颗粒

料筑坝技术导则》的规定。

4.6 地下工程施工

4.6.1 地下工程施工组织设计是否合理，首先取决于对围岩特征的掌握程度。围岩分类是为了选择合理的设计计算理论、提供正确的设计参数、确定合理的施工方法、准确地计算施工定额、选择合适的施工机具。因此，一个合理的围岩分类，对地下工程的设计、施工均有重要意义。本标准修订后的围岩分类采用 GB 50487 的规定，作为选择开挖方法、支护型式和确定钻爆参数的依据。

4.6.3 本条阐明采用岩石掘进机施工的适用范围。

随着国民经济发展，兴建各种用途的长隧洞越来越多，地质条件越来越复杂，采用常规钻爆法开挖隧洞难以满足快速、安全、文明施工的需要，采用掘进机开挖技术经过近半个世纪的发展，应用已相当成熟。采用掘进机开挖除了有比常规钻爆法开挖具有掘进速度快的优势外，还为隧洞施工创造了更为安全、文明的施工条件；把由于受隧洞长度限制而设计成折线的隧洞改成直线隧洞，缩短了洞线长度，减少了施工支洞的数量和相应的临建设施；超挖小和对围岩的扰动小；带来巨大的经济效益、时间效益和社会效益。

20 世纪后期，使用掘进机开挖隧洞在我国得到普遍推广和应用。广西天生桥二级水电站发电引水隧洞使用直径 10.8m 的开敞式掘进机开挖了部分洞段；甘肃引大入秦工程、山西万家寨引黄一期工程使用双护盾掘进机开挖隧洞总长度已达 150km；全长 18.4km 秦岭铁路隧道，使用两台直径 8.8m 的开敞式掘进机开挖了约 10km；上海、广州、北京、天津等城市使用盾构式掘进机开挖了多条地铁隧道；云南昆明掌鸠河引水工程隧洞、辽宁大伙房引水隧洞和山西万家寨引黄二期工程北干隧洞以及新疆八十一大坂隧洞工程均使用双护盾式或开敞式掘进机开挖。今后将有更多的隧洞采用掘进机开挖。对于长隧洞的开挖，需就常

规钻爆法开挖和掘进机法开挖进行技术经济比较，选择合适的施工方法。

(1) 隧洞洞径和洞长问题：

①国内外已生产岩石掘进机，其适用洞径多为 1.98 ~ 11.25m，且国外经验认为隧洞直径以 5~10m 为最佳。

②从国外 4 个主要制造公司生产 101 种不同规格的掘进机分析，掘进洞径小于 6.7m 的机种占 85%；洞径 9m 以上的机种仅占 5%左右。

③从采用掘进机施工的工程实例资料分析，使用 9m 以上直径掘进机的工程比例仅占 4%左右。

④大直径掘进机购置费用高，经济风险大。

⑤若隧洞长度太短，掘进机的制造或购置费用占施工总费用的比例大，且掘进机的安装准备时间占掘进机总工期的比例也必然较大，远不如钻爆法经济合理。从美国 35 条隧洞的施工成本曲线（钻爆法 12 条，掘进机法 23 条）分析。当隧洞长度 3~6km 时，掘进机施工成本下降最快。另据国外有关资料介绍，当隧洞长度超过洞径 600 倍且岩性在中硬范围内，掘进机施工比钻爆法施工更为经济。

根据我国国情。经研究 3km 洞长仍不能弥补掘进机法比钻爆法购置费用高和安装、施工准备时间长的不利因素，5km 洞长才能弥补其不足。至于洞长与洞径的倍数问题，从实际工程来看，变化幅度很大，看不出其中的规律性，故不作为依据条件。

(2) 隧洞断面型式：更适用于圆形隧洞，亦可施工城门洞形隧洞。

(3) 通风及出渣问题：单洞长度超过 15km 时，每隔 10km 一般布置一条永久检修、通风、补气支洞，施工期可利用支洞向洞内供电、供水、通风及出渣。

(4) 围岩地质条件：

①国内外多年的施工实践证明，掘进机对复杂地层的适应性差，尤其是在塌陷、涌水、暗河地段掘进易发生事故，掘进速度

及变换施工方法的适应性等方面远不如钻爆法。地下涌水会给掘进机施工带来不利影响，地下涌水量较小时一般采用顺坡和逆坡开挖，地下涌水量较大时一般采用逆坡开挖。

②掘进机虽可在抗压强度达 250MPa 的硬岩中掘进，但耗刀率及费用较在抗压强度为 100MPa 的中等硬岩中掘进高约 5 倍。实践证明，掘进机在岩石抗压强度 30~150MPa 范围内使用的经济效果最佳。

4.6.4 用钻爆法开挖平洞的方法甚多，方案的取舍取决于围岩类别、断面尺寸、工期要求、施工机械化程度以及施工技术水平等因素。对需支护的洞室，若断面尺寸相宜，一般要研究全断面开挖方法。

4.6.5 随着我国常规水电站和抽水蓄能电站的大量兴建，大型、特大型地下厂房得到越来越广泛的采用。为此，通过对以往工程实践的总结，介绍大型地下洞室群开挖需遵循的一些原则：

(1) 对于高边墙、大跨度的地下洞室开挖，首先需研究确定合理的开挖分层。开挖分层决定于洞室的地质条件、洞室的规模及施工通道、施工设备和工期要求等因素，分层高度一般为 6~10m，其中顶拱层开挖高度需根据开挖后底部不妨碍吊顶牛腿的锚杆施工和不影响多臂钻最佳效率发挥而确定。第 2 层一般为岩锚吊车梁所处部位，层高需考虑岩锚的造孔和安装、吊车梁混凝土浇筑以及下层开挖爆破的影响，一般在吊车梁以下不小于 2.0m 较合适。国内部分大型地下厂房的开挖分层特性见表 30、表 31。

(2) 施工通道的设置需满足分层开挖和工期要求。施工通道包括永久通道和增设的临时通道。可利用的永久道路通常有厂房通风洞，可作为厂房第 1 层和第 2 层开挖的施工通道；厂房交通洞可作为第 3 层和第 4 层开挖的施工通道。5 层及以下各层可分别通过高压管道、尾水洞等永久洞及另设的临时通道进入。临时通道可采用施工支洞、竖井和斜井等型式。对于特大型洞室，为了争取工期，可设双向通道。

表 30 国内部分地下厂房开挖分层及施工特性表

序号	工程名称	装机容量 /MW	厂房尺寸 (长×宽×高) /(m×m×m)	开挖量 /万 m ³	围岩性质	开挖 分层 /层	开挖 工期 /月	施工强度 / (m ³ /月)	
								平均	最高
1	白山 (一期)	900	123×25×54.35	15.46	混合岩	3	43	3680	10700
2	鲁布革	600	125×15.5×32.7	7.7	白云质灰岩	5	22.5	3245	16000
3	广州抽水蓄能电站 (一期)	1200	146.5×21×44.54	10.5	斑状黑云母花岗岩	5	17.5	4192	18400
4	广州抽水蓄能电站 (二期)	1200	150.5×21×47.64	11.94	斑状黑云母花岗岩	6	20	5970	—
5	东风	510	105×21.7×48	8.9	石灰岩	5	26	3462	—
6	十三陵抽水蓄能电站	800	145.0×23×46.6	12.91	砾岩	7	27	6148	—
7	太平驿	260	112.2×19.7×45.3	5.7	花岗岩	6	23	8994	—
8	天荒坪抽水蓄能电站	1800	200.7×21×47.53	17.00	凝灰岩	6	22	7727	—
9	小浪底	1800	251.5×26.2×61.4	27.6	砂岩	10	—	—	—
10	大广坝	240	87×14×37.5	4.07	玄武岩、凝灰岩	5	16.5	2467	—
11	二滩	3300	280.29×30.7×65.58	40.5	正长岩、玄武岩	10	33.5	11960	—
12	大朝山	1350	233.9×26.4×67.3	27.92	玄武岩、凝灰岩	7	29	9600	—
13	棉花滩	600	129.5×21.9×52.08	12.5	花岗岩	6	16.5	11900	—
14	泰安	1200	190×24.5×52.27	21.0	花岗岩	6	26.5	7900	—

表 30 (续)

序号	工程名称	装机容量 /MW	厂房尺寸 (长×宽×高) /(m×m×m)	开挖量 /万 m ³	围岩性质	开挖 分层 /层	开挖 工期 /月	施工强度 / (m ³ /月)	
								平均	最高
15	桐柏	1200	182.7×24.5×60.25	19.2	花岗岩	7	27.0	7100	—
16	龙滩	4200	388.5×28.9×77.3	64.06		9	32	2070	—
17	水布垭	1600	168.5×23.0×69.47	18.3	磁岩	8	26	7000	—

表 31 国内部分地下厂房开挖分层情况表

工程名称	厂房尺寸 (长×宽×高) /(m×m×m)	开挖量 /万 m ³	开挖 分层 /层	分层层高/m											
				1层	2层	3层	4层	5层	6层	7层	8层	9层	10层		
十三陵抽水蓄能电站	145.0×23×46.6	12.91	7	10.5	3.4	10	8	5	6	6	3.7				
二滩	280.29×30.7×65.58	40.5	10	8.98	6	6	6.5	6.2	6.5	6.5	6.5	5.6	6.7	7.7	
天荒坪	200.7×21×47.53	17.0	6	8.5	7	7.56	7.87	10	6.8						
桐柏抽水蓄能电站	182.7×24.5×60.25	22.9	7	9.75	8.8	6.9	7	8.4	5.38	6.72					
泰安抽水蓄能电站	190×24.5×52.27	21.0	6	9.775	9	7.5	7	12.8	6.2						
小湾	298.4×30.6×82.0	54.4	10	10.7 (11.86)	9.2 (6.6)	6.3	6.75	8.8	6.7	8.5	10.95				
棉花滩	129.5×21.9×52.08	12.5	6	9.18	7.4	7.8	7.3	10.9	9.5						

(3) 高边墙、大跨度洞室开挖，最关键的首先是顶拱层的开挖。顶拱层的开挖决定于跨度的大小和地质条件。一般情况下，如地质条件允许，先开挖中导洞，然后两侧跟进扩大开挖，如天荒坪、桐柏、广州抽水蓄能、二滩、泰安等工程。若围岩的稳定性较差，采用两侧导洞先掘进，并随即进行初期支护，中间岩柱起支撑作用，然后再进行中间预留岩柱的开挖与支护，如大朝山、宜兴抽水蓄能等项目。但也有例外，如西龙池抽水蓄能电站工程厂房顶部围岩为薄层页岩，近似水平，稳定条件很差，在对厂房顶部岩体进行预应力锚索等加固处理后，采取了先挖中间导洞随即进行支护再两侧扩挖跟进的施工方法，也取得了成功。

(4) 岩壁（台）梁层（通常为第2层）开挖是高边墙大跨度地下洞室开挖的又一关键问题，其中最重要的是保证岩壁梁的开挖成型和减少下层开挖爆破对岩壁吊车梁的振动影响。根据各工程的实践经验，可采取下列一些综合措施：

①采用预留保护层开挖，即中间岩体拉槽超前，两侧保护层跟进。保护层的厚度以中间岩体爆破时产生的松动范围不超过保护层为原则，一般为2.5~5m。中间岩体采用潜孔钻垂直钻孔，分段爆破，保护层开挖采取凿岩台车水平造孔爆破。

②在进行岩壁（台）开挖前，先进行岩台斜面上部边墙、下一层边墙及中部主爆区与保护层间的预裂。

③为了保证岩壁（台）成型，当岩体较破碎时，可先进行固结灌浆，对围岩进行加固，然后再开挖。

④岩壁（台）梁开挖，要求进行专门的钻爆设计和爆破试验，并进行爆破振动监测。

(5) 地下洞室群中，主厂房、主变压器室及尾水闸门室多数呈平行布置，且距离较近。主厂房的上、下游边墙常有大小不同的洞室相交，如下游边墙上有母线洞、尾水洞在不同高程上与厂房相交，上游边墙有高压管道与厂房相交。每一洞室的开挖均会不同程度地对周围岩体的稳定产生影响，为此采取一系列工程措施，防止围岩失稳，例如：

①优化施工程序，尤其是主厂房、主变压器室及尾水闸门室三大洞室的开挖程序需认真拟订，必要时进行计算机仿真分析，以尽可能减少开挖后围岩松弛区的范围和深度。

②尽可能先开挖与主厂房相交的“小洞室”，即“小洞”进“大洞”的开挖方法，如上游高压管道需先开挖到厂房上游边墙，然后再进行该部位的厂房开挖，并做好锚喷支护。

③当在进度安排上难以满足先开挖“小洞”，而必须先开挖主厂房后开挖“小洞”时，则“小洞”开挖需采取先导洞后扩大，先加固周边岩体然后再进洞开挖的方案，并采取潜孔小炮、多循环、弱爆破等措施，以减少对围岩的破坏。

④对平行洞室，如母线洞、尾水洞的开挖，在开挖程序上需交错进行，不要齐头并进。

(6) 为了加快施工进度，需创造条件进行立体平行流水作业，即“立体多层次，平面多工序”的施工程序。

4.6.7 平洞与斜井的区别在于洞内能否行驶水平运输车辆，车辆需由提升设备牵引者为斜井。考虑到公路最大纵坡规定为9%，即稍小于6°。所以在正文中规定以6°为平洞与斜井的区分界限。斜井开挖方法按其倾角确定，斜井倾角按《水利水电建筑工程概算定额》进行划分。

4.6.8 施工支洞、斜井及竖井布置需根据地形地质条件、主洞的布置、工程量、施工工期、施工方法及机械化程度等具体情况，通过技术经济比较后确定。支洞型式与尺寸，除与上述诸因素有关外，还需考虑支护型式、运输方式、运输强度和运距等条件。主洞洞底高程与施工支洞进口高程之差往往是决定运输方式和支洞长度的条件。为计算支洞长度，本条对有轨与无轨（汽车）运输的纵坡作了规定，但考虑到国内施工运输设备型号较多，其中一些性能好的汽车（如进口汽车）爬坡能力强，根据国内一些工程实践经验，对无轨运输纵坡提出了两个要求：其一，一般不要大于9%；其二，局部最大纵坡不要大于14%。

4.6.9 出渣运输可参照SL 378的有关规定执行。考虑到车速的

大小对计算车辆的配备数量有一定影响，为减少计算工作量，提出了本条。

(1) 机车牵引平均时速按 6km 考虑，主要是综合考虑下列因素：洞内时速不超过 10km，调车及人员稠密段时速限制为 3km，变道、道岔或视线不良洞段时速不超过 5km，并考虑了装渣与等待时间而定出的。

(2) 汽车洞内时速 10km 的规定较日本等一些国外的规定偏低，不利于减少柴油机排出废气中的有毒气体，有条件似需提高一些。为了避免与 SL 378 的规定相矛盾，仍按时速 10km 考虑，其中已包含了转弯、错车等速度减小的影响在内。

4.6.11 通风设计是施工组织设计工作中不可缺少的部分。关于地下工程施工中有害气体允许含量、需要的风量及风速等具体数值，基本引用 SL 378 中的规定。

4.6.12 在设计中需对粉尘危害予以足够重视，一般要采用湿式凿岩、喷雾洒水、机械通风、个人防护等综合措施，对所采取的措施需计算耗水量及费用。

由于汽油机械废气中的有害气体（一氧化碳及氮氧化物）浓度为柴油机械的十几倍至几十倍，对人体危害严重，所以规定洞内严禁汽油机械进入。

长隧洞洞内空气较稀薄、氧含量低，使洞内内燃设备油料燃烧不充分，排出废气中的有害气体量增加。因此，规定一般选择有轨运输。

地下工程中若含有瓦斯等有害气体，对人体危害严重，甚至会致人死亡。因此，需根据有关的规程、规范编制专门的防治措施，并作为强制性条文。

4.7 金属结构及机电设备安装

4.7.1 根据大、中型水电站施工经验，金属结构及机电起重运输方式多种多样，没有统一模式，条文中提出的是选择运输方案时需考虑的一般原则，需根据各个工程现场实际情况选择制定运

输方案。

4.7.2 金属结构吊装大多利用土建施工起吊设备吊装或土法吊装，闸门安装在施工进度许可时尽量利用永久启闭设备吊装；机组埋件安装时通常机组永久起重设备均未安装，因此一般采用土建施工起吊设备吊装，水轮发电机安装一般均利用机组永久起重设备吊装，临时起吊设备在起重量和布置上都难以满足要求。

金属结构吊装机械需根据设备起重量、起吊高度、安装部位等因素选用。

4.7.3 机电设备安装主要是水轮发电机组安装，包括水轮机埋件安装、水轮机和发电机及其附属设备和管路安装。本条从水利水电工程施工组织设计角度出发，概括地提出水轮发电机组埋件、水轮机等安装的一般程序和施工条件等要求。具体的施工技术要求遵照 GB/T 8564《水轮发电机组安装技术规范》的规定。

4.7.4 压力钢管安装通常在工地加工厂制作成管节，在运输吊装条件允许时，采用大节安装，目的在于减少现场焊接缝数量，以加快施工进度。具体施工技术要求遵照 GB 50766《水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范》、SL 432《水利工程压力钢管制造安装及验收规范》的规定。

4.7.5 平面闸门门槽安装也有随一期混凝土浇筑一起安装的，但其安装精度往往难以达到要求。鉴于此，本条提出一般要随二期混凝土埋设安装。闸门和启闭机的安装施工技术要求遵照 GB/T 14173《水利水电工程钢闸门制造、安装及验收规范》、SL 381《水利水电工程启闭机制造安装及验收规范》的规定。

根据 GB/T 14173，埋件安装完，经检查合格，应在 5d 内浇筑二期混凝土。如过期或者有碰撞，应予复测，复测合格，方可浇筑二期混凝土。二期混凝土一次浇筑高度不宜超过 5m，浇筑时，应注意防止撞击埋件和模板，并采取措施捣实混凝土，应防止二期混凝土离析、跑模和漏浆。

4.8 施工机械设备选择

4.8.1、4.8.2 地下洞室采用钻爆法施工，需根据地下工程的工程规模大小（开挖断面尺寸、工程量等）、施工方案，并考虑岩石物理力学特性及地质构造，如岩层完整程度、岩石坚固系数、地应力条件，在保证施工安全的条件下，选择相应的凿岩机械设备。多臂钻车的选择需注意各臂工作范围是否满足空间要求。用钻爆法进行平洞开挖，一般选用凿岩台车。需根据断面尺寸和一个循环进尺深度选择合适的凿岩台车，履带式凿岩台车能在有尖刺的岩面上行驶，但车速慢；轮胎式凿岩台车车速快但轮胎易磨损。手持式风钻也能用于扩挖钻孔，但生产率较低。

根据锦屏二级水电站引水隧洞和锦屏辅助洞工程施工经验，当地应力较高可能引发岩爆时，施工人员的安全风险极大，在此类洞段施工时，需选择有防护措施的凿岩台车等机械化施工设备，避免采用简易台车钻孔作业，以确保施工人员安全。

地下洞室选择凿岩台车时需要考虑下列因素：

(1) 凿岩台车的最大工作范围（高×宽）需与被开挖的隧洞断面尺寸相适应。

(2) 需根据隧洞断面尺寸，合理选择凿岩台车的臂数。

(3) 选用多臂台车时，需注意各臂工作范围是否满足断面钻孔施工要求。

(4) 凿岩台车钻臂推进器最大推进长度需大于炮孔孔深。

(5) 根据岩石条件，凿岩台车可调整工作压力，实现自动防卡钻功能。

锚杆孔和排水孔施工可选用多功能锚杆安装台车或凿岩机钻孔，锚杆安装机安装锚杆有利于施工安全。所选用的机械设备需满足最大工作高度和最大钻孔深度的要求。

锚索孔一般因孔深较大，对钻孔精度要求较高，因此需根据锚索施工的地质条件、锚索孔径和深度以及施工条件等因素选择合适的钻孔，液压锚索钻机具备高效率、能耗低、粉尘少、噪声

低等优点，要优先选择。

4.8.3 本条主要说明应根据围岩地质条件合理选用不同掘进机型式，以及掘进机的使用条件。一般岩石掘进机选择考虑以下因素：

(1) 圆形断面洞径 3m 以上，洞长超过 5km 的永久性隧洞，布置支洞及竖井困难或不经济。

(2) 岩体物理力学指标及构造均匀，岩溶不发育，断面破碎带较少。

(3) 隧洞全长没有不宜使用掘进机的弯角和坡度。

(4) 地应力条件较好，沿线无发生强及极强岩爆或发生大变形的地质条件。

直径为 3~12m 的掘进机制造技术成熟，应用比较普遍。对于大直径（大于 12m）的掘进机，在国外隧道开挖工程中已有所应用，例如：加拿大的 Sir Adam Beek 引水洞（岩石隧洞）直径为 13.9m，荷兰 Groene Hart 隧道（软土—岩石隧洞）直径为 14.87m。在国内隧道开挖工程中应用很少，锦屏二级水电站引水隧洞直径为 12.4m 采用 TBM 施工，对于特别工程需要采用大直径的掘进机，可通过技术经济比较确定。

岩石掘进机一般有：开敞式、护盾式、扩孔式、摇臂式等型式。开敞式适用于岩石整体性较好或中等的情况，围岩单轴饱和抗压强度大于 150MPa 硬岩中往往使用开敞式掘进机；护盾式除适用于岩石好的情况外，更适用于松散和复杂的岩石条件，围岩单轴饱和抗压强度为 5~150MPa 的硬岩、软岩混合地层中往往使用双护盾式掘进机。扩孔式适用于在小导洞贯通后，进行导洞的扩挖；摇臂式适用于扩挖较软的岩石，开挖非圆形断面的隧洞。

在砂层或土层中的隧道，宜采用盾构机开挖。盾构机应根据工程地质、水文地质、施工进度情况及平面布置、衬砌型式选择。

在下述情况下可优先选用土压式盾构机施工：

(1) 在含有足够的细颗粒、适宜的含水量、水压较小土壤里开挖隧道时。

(2) 隧道沿程有高含量的细料和黏性颗粒（如不固结的黏土、白垩岩等）。

(3) 对于地下水的污染有较高环保要求时。

在地层渗透性强、地下静水压力较高或非黏性土层中，可选用泥水式盾构机施工。

4.8.4 在Ⅰ、Ⅱ类围岩中，开挖中断面以上的竖井、斜井的导井时，反井钻机适用于岩石抗压强度小于 200MPa，钻进直径小于 2.0m、深度小于 250m、倾角大于 45°的斜导井和深度小于 400m 竖井的开挖。

国内的反井钻机在水利水电工程上一般用于 45°~90°大倾角斜井、竖井的施工，国产反井钻机直径一般为 1.2m、1.4m、2.0m，深度可达 400m。

国外反井钻机扩孔直径可达 7m，井深可达 1000m，可在 0°~360°范围内使用，从软岩到硬岩均可使用反井钻机进行施工，但岩石硬度会影响钻机的钻速。

随着反井钻机性能的不断更新，反井钻机在水利水电工程中将会更广泛应用。

4.8.6、4.8.7 洞室的出渣运输方式需根据开挖断面尺寸、洞深及出渣运距、施工进度要求及设备来源等因素确定。运输机械设备需与钻孔或掘进机械设备及衬砌机械设备的类型相适应。洞室的出渣运输分为有轨运输、无轨运输及带式运输三种方式，这三种运输方式都有各自的优点。

当采用有轨、无轨两种方式均能满足工程要求时，需对两种方式进行比较。无轨运输生产率高，道路基建和维护工作量少，设备机动灵活，通用性好，几个工作面和工种有可能共用一套运输设备，设备利用率高，能实现洞外远距离弃渣。但当洞内运输距离长时，柴油机的废气处理量大，增加通风难度和费用。有轨运输废气排放量少，通风要求较低，适用于各种断面尺寸。当洞

口距开挖工作面距离大于 2km，通风条件很差，断面的高宽尺寸在 5~6m 以下时，可考虑选用有轨运输。但有轨运输设备转移不够方便，一套设备投资较多，只能在支洞口附近弃渣，而且设备转售价值较低。采用无轨运输方式，则钻孔、装渣、喷锚支护及衬砌设备都应采用无轨式；采用有轨运输，则上述配套设备都需采用有轨式。因此，选用无轨或有轨运输，实质上需对洞挖施工机械设备配套方案作全面的技术经济比较，而不能仅对运输方式作比较。

根据装岩机的斗容、生产率、运输条件及调车方式，一般选用大容量斗车，装岩机的生产率随斗容量成比例增长。调车设施可选用活动浮放道岔、垂直摘车器、横向平移调车器等。装载装置可选用渣斗渣机或带式转载机等。有轨车辆的牵引设备需优先选用蓄电池式电动机，当牵引力不能满足要求时，才选用架线电机车或内燃车。选用内燃机车，由于排放废气，需注意洞内通风。

4.8.9 在施工中应注意混凝土的脱模时间问题。

4.8.10 不同的碾压机械其压实机理是不同的，因而其适用的土质也是有区别的，选用时需根据工作对象来考虑，以便选择最适宜的碾压设备。由于防渗体土料种类不一，碾压防渗体土料所用的设备也各异，但最常用的是轮胎碾、羊足碾或振动凸块碾。同一种土质虽有几种压实机械可供选择，但其压实效率和经济效益是有差异的，因此选用时可通过碾压试验与技术经济比较确定。一般情况下，对含水量略低的黏性土防渗料，可用羊足碾压实；对含水量略高的，可用轮胎碾压实；对黏性土料、砾质土及软弱风化土石混合料也可用振动凸块碾压实，石头河坝使用振动凸块碾碾压心墙，国外常使用 40~50t 轮胎碾，甚至 90~100t 轮胎碾碾压心墙。

对坝壳料的压实而言，振动碾适用于堆石、砂卵石、砂砾石和砾质土；轮胎碾适用于砂、砂砾料、砂质土、黏性土料；尖齿碾仅适用于软弱风化石料。

对反滤料的压实而言，振动平碾适用于各种施工方法；轮胎碾适用于土砂平起法施工；机械夯板适用于松土厚度较大的先土后砂法；平板振动打夯机适用于设计宽度小的土砂平起法施工。

混凝土面板下的堆石垫层和沥青、混凝土防渗斜墙或心墙的过渡层的压实标准要求很高，一般要用振动碾才能达到要求，特别是当过渡区由含极少量细颗粒材料所构成时，更是如此。碾压时，除要求水平薄层压实外，还要求用振动碾在坡面上仔细碾压，一般上行振压，下行静压。

随着钢筋混凝土面板堆石坝坝型的迅速发展，为了简化垫层料施工程序，提高施工速度，巴西 ITA 坝成功开发并采用了挤压混凝土边墙施工技术。在我国通过几年来的消化和吸收，已由陕西省水利机械厂成功研制出了 BJY-40 型混凝土边墙挤压成型机，并于 2002 年起，在公伯峡和水布垭等工程中得到了实际应用。

碾压机械设备的机型选定后，尚需确定各种压实工作参数，包括适用于所选压实机械设备的土料的最优含水量、铺填松土厚度、接触压力和碾重、压实遍数以及机械的作业速度等。对于振动碾尚需规定振动碾的总作用力和振动频率。工程实践证明，振动碾的振动频率对碾压效果是有影响的。一般认为，当振动频率与振动碾压土体组成的振动系统的固有频率一致时，能达到最好效果。实践表明，对非黏性土砂砾料、堆石和中等弱黏性土，可采用频率为 30~40Hz 的振动碾进行碾压；对沥青混凝土等，可采用频率 40~50Hz 的振动碾进行碾压。

另外，轮胎碾的碾重在气胎允许变形条件下，一般尽量增大。因为轮胎碾与被压材料的接触压力主要是由轮胎的负荷和轮胎内压而定，加大轮胎内压，可提高接触压力强度。如果胎压不变，仅增大轮胎负荷，接触压力不会增加太多，但压实深度增大了。因此，为了提高轮胎碾的生产效率，需尽量增加碾重，而胎压的大小则需根据土料性质和要求的密度而定。过小的胎压不能产生需要的压强，过大的胎压又可能使土料表面产生剪力破坏，

降低土料表面的强度。

用碾压法压实土料时，碾磙与土料之间需具有一定的接触压力，这样才能使土料在负荷移开以后仍能维持被压实变形的紧密状态。但碾磙的接触压力不允许超过压实土料的极限强度，通常是将接触压力定为土料极限强度值的 0.9~1.0 倍。这是确定碾重的依据，对可以增减配重的碾压机械更是如此。

当压实机械设备的各种压实参数和压实方法选定之后，就可以此为依据进行施工，并监督压实、规范实施，严格控制压实质量，现场压实质量的检查主要是测定压实土体的干密度是否达到要求，测定方法以中子水份密度仪最为方便快捷。

土石坝施工设备选型工程实例：小浪底壤土斜心墙堆石坝，坝高 154m，坝顶长 1667m，大坝体积 5185 万 m^3 。坝基砂砾石覆盖层最深达 80m 左右。大坝工程于 1994 年 12 月开工，2001 年 7 月完工。小浪底坝是当今我国最高的心墙土石坝，是当代土石坝施工水平的代表。其心墙坝料为粉质壤土，坝壳料为硅质细砂岩爆破堆石。堆石施工工艺流程为：液压履带钻机造孔、台阶爆破松动石料→10.3 m^3 挖掘机装料→60t 自卸车运输上坝→推土机辅料→17t 自行式振动平碾碾压。心墙土料施工流程是：推土机开采集料→装载机装料→36t 和 60t 自卸车运输上坝→17t 自行式振动凸块碾碾压。要求填筑含水量与最优含水量的偏差为 -1%~+2%，压实度 1.00 的合格率为 100%。小浪底坝施工以高度机械化和严格的施工管理实现了高强度、高水平和高效率，最高月填筑强度达到 158 万 m^3 /月，最大日填筑强度 6.7 万 m^3 /d，坝体最大月升高 8m，月填筑不均匀系数为 1.31。

4.8.11 混凝土直接从带式输送机入仓，经国内工程实践证明有以下问题：

(1) 混凝土骨料分离。

(2) 料堆集中。

(3) 砂浆损失多。根据丹江口工程测试资料，滑槽、储料斗等黏附造成的砂浆损失为 1.5%~2.5%，带式输送机损失为

0.63%~2.14% (未计多台带式输送机转运)。

汽车直接入仓主要问题有：

(1) 入仓前很难保证将车轮冲洗干净。

(2) 倒退入仓无法铺砂浆；葛洲坝一期工程有严重教训，二期工程有相同问题出现而禁止使用汽车直接入仓。汽车运送混凝土道路需平整，以免过分震动而使混凝土液化泌水和骨料下沉分离。

4.8.12 门座式起重机（简称门机）适用于混凝土工程量较大、浇筑强度较高的大型闸、坝工程。塔式起重机（下列简称塔机）也基本上相同，但更适宜布置应用在建筑物呈铅直壁面的工程。

由于起吊设备栈桥一般在基坑开挖后浇筑桥墩及安装设备，因而时间上不能满足建筑物基础混凝土浇筑要求，栈桥上起吊臂杆也还不可能完全控制各个部位混凝土浇筑，因此栈桥方案尚需辅以其他浇筑设备。

所用机型和栈桥布置一般根据坝或厂房体形、尺寸和技术要求而定。对于100m以上高坝常需设高、低栈桥，往往还需拆迁。同一栈桥上设备台数须满足相互间运行安全要求。

4.8.13 塔式皮带起重机（简称塔带机）适用于混凝土工程量较大、浇筑强度较高的高大型闸、坝工程。

塔带机生产率高，可适应浇筑常态混凝土及碾压混凝土，运送两种以上品种混凝土时改变混凝土品种较困难，国内工程中除三峡工程外较缺乏实践经验，所以塔带机的布置及选择要根据坝或厂房布置、混凝土系统布置通过技术经济、工期分析比较后确定。

4.8.14 平行移动式缆索起重机适用于各种坝型，特别对峡谷中的重力坝利用率较高。其主、副塔需紧靠河岸布置，使主索跨度较短。由于两岸需设置既平行、且高差不太大的行走平台，故对两岸地形要求较高，土建工程较大；且缆机结构较复杂，安装工作量较大。施工中可能发生压块现象，尤其是宽河床、多坝段的工程，对多机组的坝后厂房，当用缆机吊装钢管和进水口埋件

时，处于主索下的其他坝块都不能作业。

辐射式缆机由于只有一岸行走平台，布置较灵活，易适应地形。适用于各类坝型，更适用于薄拱坝施工。

当两台辐射式缆机及同平台共轨运行时，欲取得更大的工作控制面，可将两台缆机固定塔分开设置。

固定式缆机要专门用于转料、安装或协同移动式缆机工作。其优点是具有较大的跨度和起重量，适应各种地形条件，基础工程量小，结构简单。缺点是：工作面仅呈狭窄带状，使用范围有限，若欲扩大工作面，可用摇摆塔式等改进型的缆机。

4.8.15 碾压混凝土施工设备包括拌制、运输、摊铺、碾压等设备，是保证碾压混凝土快速、连续的高度机械化施工的关键，因此各环节设备选择非常重要。

根据国内外实践，自卸汽车、带式输送机、负压溜槽（管）、专用垂直溜管等设备均已比较成熟，是碾压混凝土运输的主要设备；缆机、门机、塔机等机械也可作为辅助运输工具。

根据我国的工程实践，BW - 200、BW - 201D、及 BW - 202AD 型振动碾较适用。国内外类似性能的振动碾，其激振力、振动频率经试验能满足技术要求的也可采用。

4.8.16 制备沥青混合料的拌和设备无论是固定式、半固定式还是移动式，其作业方式有三种类型，即循环作业式、连续作业式和综合作业式。循环作业方式的拌和设备简单，对地方性工程易于实现，由于它存在间断性喂料与连续作业烘干之间的矛盾，使燃料不能得到充分利用，同时由于砂石料先计量、后加热，并由于砂石料在烘干机内产生撞击和摩擦，影响到配料精度，故在条文中对大中型工程没有推荐采用循环作业方式。综合作业方式能保证配合比准确，燃料消耗低，能避免超温的砂石料造成沥青在拌制过程中的老化，制成的沥青混合料质量较好，虽然这种装置的一次性投资费用较高，但对大中型工程较为适宜。国外现有一种新型的滚筒式拌和设备，是连续作业式，极具推广价值。

双轴强制式搅拌机搅拌能力强，出料方便，特别适宜拌制黏

稠状的沥青混凝土，搅拌机的容量一般为其几何容量的 45%~55%。

内热式沥青加热锅的热效率高，燃料消耗低，机械化程度较高，使用方便，但设备复杂，投资大，一般有条件的工程才采用。

骨料烘干、加热常用的方法：一是钢板炒拌加热，此法工效很低，燃料消耗高，仅适用于小型工程；二是用燃油（或燃煤）的内热式加热滚筒，适用于规模较大的工程，如正岔水库所采用的 $\phi 600\text{mm} \times 3.50\text{m}$ 烘干机，石岭峪水库采用的 $\phi 1000\text{mm} \times 5.70\text{m}$ 烘干机，碧流河水库的 LB-30 型沥青混合料制备系统采用 $\phi 1200\text{mm} \times 5.70\text{m}$ 烘干机。国内各工程的烘干机倾角通常为 $3^\circ \sim 6^\circ$ ，倾角过大，出料过快，加热温度不易达到要求；反之，倾角过小矿料可能过热，且降低生产效率。由于气温条件，矿石料含水率的变化，倾角的控制需要通过试验确定。

填料是否加热，需由施工技术人员决定，从以往的经验来看，采用红外线加热器或外热式加热筒进行加热较为有效。

因沥青混凝土属于高温、黏筒物料，而且要维持 $140 \sim 180^\circ\text{C}$ 的浇筑温度，所以对运输设备有下列特殊的要求：

(1) 运输机械设备需做到快装、快运、快卸，减少倒运次数，减少运输途中的散热，沥青混凝土的出机口温度一般都是由运输等环节温降决定的。例如聚宝水电站大坝为浇筑式沥青混凝土心墙，沥青混凝土入仓温度不低于 $155 \sim 170^\circ\text{C}$ ，而出机口温度要达到 $160 \sim 190^\circ\text{C}$ 。如要对沥青混凝土进行保温，可在料箱底部及四周均加石棉板隔热保温，对沥青混凝土进行保温的条件是依据大量工程实践的数据制定的，在气温低于 15°C ，运输时间大于 10min ，或者气温在 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 而运输时间大于 20min ，或者气温在 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 而运输时间大于 30min 等条件下要有保温设施。

(2) 沥青混凝土面板工程规模较大时，采用专用机械设备铺筑，沥青混合料的运输多数采用汽车配立式保温吊罐。这种运输

方式机动灵活，运输温度损失少，只有当工程规模不大，半机械化铺筑或布置运输道路困难时，可采用其他运输方式，如直接用翻斗车或自卸汽车运输，如果在坝体填筑时有窄轨铁路，也可用窄轨铁路运输底开式立罐。

(3) 在大中型工程中，一般用汽车把沥青混凝土立罐运至坝顶，再由移动式起重机吊起立罐，然后将沥青混凝土卸入喂料车转运至摊铺机。在小型工程中，因施工场面窄小，可不设喂料车。

沥青混凝土的斜坡运输除上述两种方法外，还可根据实际作业条件，选用空中运输或水平斜坡两用运输车。空中运输是用起重机将料罐吊至摊铺地点附近的摊铺机卸料，起重机可以是缆索式起重机或移动式起重机，水平斜坡两用运输车既兼作水平运输，又兼作斜坡运输。在斜坡上运行时需由卷扬机牵引，沿坝坡下行至摊铺地点卸料。在美国蒙西马利坝，设计有一可沿坝顶移动的旋转斜面，汽车可开上此斜面、挂上卷扬机上的钢绳，斜面经旋转一定角度后，使其后端朝向坝坡，则可用卷扬机放绳下坡。

沥青混凝土配套设备的容量需满足后续工序的设备容量略大于紧前工序，以保证整个施工过程中所有设备都能高效率地工作，具体要求如下：

(1) 水平运输的车辆或料罐的容量需略大于搅拌机的出料容量。

(2) 斜坡运输的车辆或喂料车的容量需大于运输车辆或料罐的容量。

(3) 斜坡摊铺机料斗的容量需略大于斜坡喂料车或斜坡运输车辆的容量。

另外，水平运输车辆（或料罐）不要过小，否则不仅热量损失大，漏料多，而且影响斜坡作业机械生产率。

国内外用于摊铺斜墙沥青混凝土的摊铺机可分为牵引式与桥式两种，桥式只适用于斜坡短并等长的斜墙工程。摊铺速度

以 $1\sim 3\text{m}/\text{min}$ 为宜。牛头山工程使用的摊铺机，摊铺速度为 $0.8\text{m}/\text{min}$ ，摊铺速度取决于沥青混凝土的供应，以保证不中断为原则。对于兼作斜坡运输的摊铺机，为兼顾运输的需要，一般开行速度为 $15\sim 20\text{m}/\text{min}$ ，对摊铺显得过高。要同时满足斜坡运输快、摊铺慢两种要求，最好能用变速的卷扬机牵引，故在条文中提出了这一要求。

为了尽快地使已经摊铺的沥青混凝土达到可能的密实度，可使用带可加热的夯实棒和振动板、压实梁的摊铺机。

斜坡摊铺机的铺设宽度、铺设厚度等参数需能满足施工工艺要求。国产摊铺机的标准铺设宽度为 2.8m ，如果采用道路铺筑用的摊铺机，需适当加以改造，并要选用轮胎式，附带的整平装置最好是属于振动式，德国公司把一种带加热装置的整平装置成功地用于工程建设。

斜坡沥青混凝土一般采用振动碾，分两次或三次碾压，初始碾压一般用附在摊铺机后的轻型振动碾碾压。当摊铺机没有初压设备时，亦可用振动力较大的一种斜坡振动碾完成初碾至终碾的全部碾压过程，一般斜坡面板振动碾不能自行，需由坝顶卷扬台车牵引，上行振动，下行静碾。碾压机械的碾压力不要过大，以防沉陷。

斜坡上的振动碾最好是铰接车架式，并且每个碾轮内都有偏心激振机构，以便振动碾有较好的灵活性。碾压条件千差万别，用经验或理论计算确定的碾压参数需由现场碾压试验进行修正。

可移式卷扬台车可同时牵引喂料车、摊铺机，移动方便，安全可靠，在牛头山工程中应用过。可移式卷扬台车一次性投资大，对中小型工程不经济，因此可考虑采用其他斜坡施工机械设备牵引及锚锭的方法，如斜坡机械设备—卷扬机—装拆式拉杆—地锚；斜坡机械设备—活动转向滑车—卷扬机—地锚；斜坡机械设备—卷扬机—推土机或拖拉机—活动地锚等。

沥青混凝土心墙的铺设方法有：人工、半机械化、机械化（专用铺筑机）三种。人工铺压工效低，质量不易保证，故只适

用于工作量小或专用机械设备无法达到的地方。半机械化铺筑是利用活动钢模板形成的腔体，将沥青混凝土用机械填入，人工摊铺，然后用自行式振动碾压实，可用于中小型心墙工程。机械化施工是采用专用的铺筑机，它装有远红外加热器，可对底层沥青混凝土加热，并装有滑动模板，随机械设备前进而移动；过滤层和沥青混凝土同时摊铺，装在机尾的振动板对沥青混凝土进行初步压实。这种专用铺筑机不仅施工速度快，质量也较有保证，故条文中推荐采用。

沥青混凝土心墙专用设备可用于铺筑的心墙厚度为 30~120cm，也可用于设有层间交错和有严格斜度要求的斜心墙，心墙和加热设备有长约 4m 的钢罩保护起来，以防其与过渡区填料接触。此外，这种专用设备有一套抽排装置，用来排除在其他方面可能危及层间黏结强度的灰尘等沉淀物。

封闭层的涂刷，需尽可能采用机械化施工，在缺乏专用设备时，可用橡胶刮板涂刷。封闭层沥青玛王帝脂的涂刷方法主要有如下两种：

(1) 橡胶刮板涂刷。设备简单，操作方便，质量基本上可满足要求，这是我国的传统方法。

(2) 专用涂刷机涂刷，这种装置有一个或两个橡皮刀口的橡皮板摊铺箱，以保证封闭层的厚度均匀，并有升降装置来调整厚度。专用涂刷机在国外采用较多。

4.8.17 地基处理工程的种类很多，按处理的方法可分为：基础面修整、灌浆（在水工建筑物中所起的作用划分有帷幕灌浆、固结灌浆、接触灌浆、回填灌浆和接缝灌浆等，采用材料有水泥、水泥黏土或化学材料）、防渗墙、桩基（钻孔灌注桩、振冲桩、旋喷桩及深层搅拌桩）、预应力锚固等。

泥浆护壁钻孔灌注桩包括正循环回转钻孔、反循环回转钻孔、潜水电钻钻孔、冲击钻机钻孔、旋挖钻机钻孔、抓斗成孔等成孔方法的灌注桩。泥浆护壁钻孔灌注桩适用于各种土层、风化岩层，以及地质情况复杂、夹层多、风化不均、软硬变化较大的

地层。桩径和桩深较大，而且不受地下水位的限制，可在地下水丰富的地层中成孔，但在岩溶发育地区需慎重使用。钻孔灌注桩还能穿透旧基础、大孤石等障碍物。

干作业成孔灌注桩包括长螺旋钻孔、短螺旋钻孔、洛阳铲等成孔方法的灌注桩。干作业成孔灌注桩一般只适用于地下水位以上的黏性土、粉土、中等密实以上的砂土层。

灌浆造孔一般采用的钻机有回转式、冲击式和回转冲击式三种。目前使用最多的灌浆造孔机械是回转式钻机，它的钻进速度较高，不受孔深、孔向和岩石硬度的限制，还可钻取岩芯。钻灌不超过 20m 且不要求钻取岩芯的浅孔可采用移动方便的风钻或架钻等冲击式钻机。回转冲击式钻机钻进速度快，适用于各种地层，多用于固结灌浆等不需要钻取岩芯要求的灌浆工程。灌浆造孔机械动力方式一般分风动和电动两种。对空间狭小，通风不畅的灌浆工程，需选择电动动力机械。

为了对墙体质量和防渗效果进行检查，处理坚硬大孤石及进行必要的补充地质勘探，尚需配备一定数量的岩芯钻机，一般选用 100~300 型的地质钻机。

防渗墙施工挖槽占整个施工工时的一半左右，挖槽精度直接影响防渗墙的质量，因此慎重的选择挖槽方法和挖槽机械设备是保证工程高速度、高质量的关键。其机械选择如下：在国内常使用的挖槽机械设备有 CZ 型钢丝绳冲击钻机、反循环回转式钻机、反循环多头潜水钻机、回转冲击钻机、液压抓斗等。结合我国现有大量冲击钻机的特点而研究的用冲击钻钻凿主孔，用抓斗抓取副孔中土体的“两孔一抓”成槽施工技术，提高了成槽施工速度，国内工程实践证明，这种方法比单独用冲击钻造孔能降低造价、提高工效。

在国外，防渗墙挖槽最常用的是抓斗，挖掘深度 30~40m，对太深的槽则不经济，液压抓斗工效已达 270t/台班。常用的机械还有冲击式、回转式、铣切式挖槽机械。反循环回转冲击钻机单机成槽工效达 80~100m²/台班，能自行纠偏的造孔机械设备

精度可达 1/500 以上，挖掘深度达 100m 左右。

防渗墙成槽施工选用的专用成槽机械的特点为：

(1) 液压铣槽机是一种带有 3 个潜入孔底的液压马达和泥浆反循环系统的开挖设备，我国于 1996 年首次引进了一台 BC30 型液压铣槽机用于长江三峡二期围堰防渗墙施工，2003 年又引进一台适用于廊道施工的矮尺寸的 CBC25/MBC30 型低净空铣槽机，首先用于四川冶勒廊道防渗墙施工。这两种型号的铣槽机械均适用于均质的地层，包括比较坚硬的岩层。

(2) 钢丝绳抓斗成槽机械结构比较简单，易于操作维修，运转费用较低，广泛应用在较软弱的冲积层中造墙，可挖掘宽度为 30~150cm，最大深度可达 130m；液压抓斗是通过液压油缸提供动力，从而驱动左右两个组合斗或多个颚板的开合抓取和卸出散状物料的一种工作装置。由多个颚板组成的抓斗也叫抓爪。

(3) 钢丝绳冲击式钻机（简称冲击钻）是通过钻头向下的冲击运动破碎地基上，借助于泥浆固壁和出渣，而形成钻孔。钢丝绳冲击钻机结构简单，操作、维修和运输方便，价格低廉。因此，尽管冲击钻效率较低，仍在我国水利水电和其他行业中被普遍采用。

(4) 射水成槽机，以高压射水冲击破坏土体，土渣与水混合回流溢出地面，或反循环抽出，经矩形成槽箱修整后形成槽孔。造孔过程中采用自然泥浆固壁，成槽后用直升导管法浇筑混凝土成墙，主要由正反循环泵组、成型器和拌和浇筑机组成。

(5) 锯槽机是通过锯管的上下往复运动，以锯齿克取土体，形成连续的沟槽，再浇筑墙体材料成墙。当槽底有起伏不平的岩面、陡坡时，施工难度大。

(6) 链斗挖槽机是通过串联的链条及链条上的链斗，对地层进行连续挖掘和排出钻渣，形成沟槽。其最大挖槽深度 12m，槽宽 0.15~0.30m。挖掘的槽孔宽度一致，连续性好，工效较高，平均工效 450~600m²/d。

三峡二期围堰防渗墙施工中使用了液压双轮铣切式挖槽机。

小浪底水利枢纽主坝右岸部分防渗墙轴线长 259.60m，造孔进尺 15183.70m，截水面积 10540.63m²，浇筑混凝土 21526.90m³，最大墙深 81.90m，防渗墙分为 43 个槽孔，单数号槽孔为一期槽，双数号槽孔为二期槽，槽孔长度为 6.6~8.7m，主孔长均为 1.20m，副孔长 1.30~1.95m。采用 CZ30 型和 CZ22 型钢绳冲击钻机造主孔，液压导板抓斗抓部分副孔，另一部分副孔采用钻劈法施工。总计投入冲击钻机 20 台，液压导板抓斗 1 台，2m³ 卧式泥浆搅拌机 10 台。防渗墙混凝土由 JS500 型卧轴强制式混凝土搅拌机拌和，造孔泥浆由 10 台 2m³ 泥浆搅拌机生产。

2009 年 4 月 5 日，由中国葛洲坝集团公司基础公司承担施工的向家坝水电站二期围堰防渗墙施工全面完成，比计划工期提前半个月，其工效创国内同类地层领先水平。受复杂地质条件影响，该项目施工具有任务重、工期紧、难度大等特点。经过 3 个月的艰苦奋战，共完成上下游围堰防渗墙造孔进尺 26397m，成槽浇筑 108 个槽段，成墙面积约 21362m²，并创造了平均每天 60m 深槽段高强度造孔和每天完成两个槽段施工的新佳绩，用 68 台钻机设备完成了原计划需 108 台设备完成的所有施工任务，工时、工效超过向家坝一期围堰基础防渗工程的 30% 左右。

泸定水电站大坝防渗墙工程位于四川省泸定县境内，该工程是我国施工规模较大、墙体较深、工期最紧、难度空前的地下防渗墙工程项目，极具难度和挑战性。2008 年汛前，中国水电基础局有限公司最终以成功浇筑 116m 孔深单元槽段的成绩书写了当时国内防渗墙施工的最好成绩，并以拔管 113.6m 的数据刷新了 94m 的国内拔管最高纪录；取得了防渗墙单孔施工造孔 154m 的成绩。

西藏旁多水利枢纽工程主要由碾压式沥青混凝土心墙砂砾石坝、泄洪洞及泄洪兼导流洞、发电引水系统、发电厂房和灌溉输水洞等组成，为 I 等大（1）型工程。坝址控制流域面积 16370km²，水库总库容 12.3 亿 m³，正常蓄水位 4095m，灌溉

面积 67 万亩，电站装机容量 160MW，大坝坝顶高程 4100m，最大坝高 72.3m。

坝基防渗墙轴线沿沥青混凝土心墙轴线布置，防渗墙轴线全长 1073m，设计成墙面积 12.5 万 m^2 左右。防渗墙工程分两期施工，一、二期分界处桩号为 0+758.60，一期导流期间主要施工左岸漫滩和阶地基础防渗工程，二期导流期间主要施工右岸预留约 210m 宽河床部位基础防渗工程。

坝地质特征为：①左岸河漫滩、阶地段基岩埋深远大于 150m，有些部位甚至超过 424m；②覆盖层中广泛分布有漂石透镜体、粉细砂透镜体、孤石透镜体等特殊地层。因此，给超深防渗墙施工带来了极大挑战。

该工程混凝土防渗墙的主要施工机具为：利勃海尔 HS875HD 重型钢丝绳抓斗、HS885HD 重型钢丝绳抓斗、金泰 SG40 重型液压抓斗、利勃海尔 HS843HD 钢丝绳抓斗、CZ-A 或 ZZ-6A 型冲击钻机、YBJ-800/960 型大口径液压拔管机。

中国水电基础工程局有限公司基于固壁泥浆技术、垂向滑膜技术、排渣技术和水下混凝土浇筑技术等，应用新材料和新工艺的创新，成功地在海拔 4033m 的高原高寒缺氧地区建成了 158.47m 世界最深防渗墙，它标志着我国在该领域的科研、设计、施工水平已跃居世界领先行列。

用振冲法处理软基的工效与振冲器的功率及地基情况有关。振冲器功率越大，所形成的振冲置换桩直径越大，加密面积越大。例如，用 30kW 振冲器在砂土中工效为 40~50m/台班；在黏土中工效为 30~40m/台班。用 75kW 振冲器比用 30kW 振冲器单位功率控制加密面积提高 1.25 倍。在大面积施工时使用 75kW 振冲器施工，孔数和填料量均可减少 50%，工期和造价亦可下降 50%以上。

5 施工交通运输

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定对外交通和场内交通范围，同时明确施工交通运输设计的总体任务。对外交通是联系施工工地与国家（或地方）公路、铁路车站、水运港口之间的交通。对外交通公路均为永久交通公路。场内交通为连接场内永久建筑和临时建筑、设施的交通，场内交通道路分为场内永久交通道路和场内临时交通道路。在设计时需充分考虑水利水电工程交通运输的如下特点：

（1）对外交通一般运距较长，运输量和运输强度相对比较稳定，运输工具比较单一，而且一般在工程竣工后还要作为水电站永久对外交通。施工期间一般自成系统。

（2）场内交通需符合枢纽工程施工总布置的规划，满足施工总进度的要求。场内运输包括：工程外来器材和物资、施工工厂设施产品、工程堆弃物料、经过工地的当地运输物资、进出工地的各类人员的运输。运输量及运输强度的分析计算是以工程施工总进度为依据，确定各个时段物料需要量，并选择大宗物料运输作为重点，再叠加计算各单项工程（或工作面）、各场（厂）区、各施工工厂设施不同时段的运输强度和主要料物运输流向后，确定运输道路的走向、规模及技术标准。

（3）场内交通运输比较复杂，其中有外来物资的转运，以及大量土石方的堆弃、回填、砂石骨料及混凝土的浇筑运输等。这些运输多是与工程施工直接联系，往往对运输要求严格，且水利水电工程施工的特点是地形条件复杂、运输强度大、车型大，又多是临时性质，工程完工后一般无用途，即使使用，运输量也大大减少。

5.1.2 根据我国水利水电工程多年来的实践经验，公路运输具有方便、灵活、可靠、适应性强、投资少、工期短的特点，可以

独立完成水利水电工程施工的运输任务。铁路运输一般不够灵活，适应性较差，且投资大、工期长。水路运输同样存在不够灵活、适应性较差的问题，且河道通航往往受季节性影响。铁路运输和水路运输都难以独立完成水利水电工程施工的运输任务，必须和公路运输结合使用，或者作为施工交通运输的辅助（或备用）方式。因此，在进行新建施工交通运输设计时要考虑采用公路运输方式。同时，需充分利用国家已有的铁路干线、航道、转运站、货场、码头等设施。

5.1.3 施工交通道路需保持良好的技术状况，才能经济地完成其施工运输任务。但是道路的养护以往多被人们忽视，结果路况很差，造成车辆过早损坏，加大了配件、轮胎和油料消耗，影响生产和安全。为了引起有关部门对此项工作的重视，本标准明确规定，需设置与其标准相适应的安全交通管理、维护等设施，以及经常作好养护以保持其良好的技术状态。这些要作为设计内容，以解决养护机构和劳动力指标等，而不是要求在设计规范中规定具体养路技术问题或管理问题。

5.2 对外交通

5.2.1 对外交通运输方案选择的正确与否直接影响水利水电工程的进度和造价，因此需慎重对待。在进行方案比较时，需进行综合分析，技术上需满足施工进度对运输的要求，运行需方便灵活，方案本身经济合理，工期短、便于与场内交通衔接，并能减少占地面积和中转环节。在进行经济分析时，需计算投资及综合经济效益，如有条件，需采用系统分析方法进行选择。

5.2.2 外来物资总运输量、分年度运输量和运输强度是对外交通设计的重要内容，也是运输方案选择的基本依据，需分项计算，避免漏项。水利水电工程运输量的组成：主要外来物资和设备有水泥、木材、钢材（包括钢筋、钢板、型钢及金属结构等）、施工机械设备、永久机电设备、爆破材料（包括炸药、雷管、导火线等）、生活物资及其他器材物资（包括化工产品、医药、工

具、施工队伍转移等)。

5.2.3 对本条文所列运输方案选择需考虑的若干因素阐述如下:

1 工程所在地区附近可资利用的交通运输条件,是选择交通运输方案的基本条件,任何方案都脱离不了现有交通运输条件,进行方案选择时,需充分掌握并着重研究工程所在地区可资利用的交通运输条件。

2 施工期间的总运输量和运输强度对运输方案及线路标准的拟定有着极为密切的关系,是决定运输方案的主要因素。大、中型水利水电工程在施工期间的对外总运输量和运输强度均比较大,选定的方案需满足其要求。因此需着重分析研究、合理确定总运输量及运输强度。

3 主要外来物资,特别是水泥、粉煤灰、钢材等的来源、运输条件是选择对外交通方案的重要因素。

4 重大件运输也是影响对外交通运输方案的一个重要因素,对外交通运输方案需能满足重大件的运输要求。

5 与国家(地方)交通干线的连接条件需充分分析研究,在现有线上联接需与有关主管单位进行联系。铁路设计规范明文规定:铁路专用线与路网接轨,需经该主管路局同意;在工业企业上接轨,需经该主管单位同意;在新线上接轨,需经该主管设计单位同意。公路接线也是如此。同时也需分析研究该联接地点是否能满足施工交通运输的要求。

场内交通是对外交通的延续,在研究对外交通方案时,需密切联系场内交通,尽可能使场内、外交通联系成为一个有机的整体,使外来物资尽快运往各用户,尽可能减少中转环节。

6 专用线的标准需根据施工总进度合理选定,确定的技术标准需能满足施工总进度对运输强度的要求。

专用线的施工工期也是对外交通方案选择的一个条件,选定方案需能满足施工总进度对交通运输的要求,确保工程开工后能及时通车,并保证交通运输畅通。以往有些工程的主体工程开工后,施工交通干线还未修通,以致影响施工总进度计划的顺利

执行。

7 研究转运站的设置以及主要桥涵、渡口、码头、站场、隧道等的建设条件，使外来物资转运距离短、沿线主要建筑物工程量少、投资省，以缩短施工准备期及总工期，尽早投入运行。

5.2.4 运输方案选择原则有以下几点：

1 选定方案的运输能力需满足工程各时期施工需要，这是一条最基本的原则。

2 尽可能减少中转、确保物资器材运输及时、安全可靠是保证运输能力、减少装卸费用及物资损耗所要求的。

3 尽可能减少对交通运输基建投资，可缩短对交通运输线路基建工期。但如果对外交通线路在主体工程开工后仍不能建成通车，往往给施工带来很大损失，则将影响施工进度或增加工程投资。

5.2.5 对外公路的等级和技术标准的选择需充分考虑本条中所有内容综合分析确定。与社会交通相结合的或兼有社会交通功能的专用公路，不仅需要满足水利水电工程外来物资的运输的要求，还需要承担其他社会车辆的通行任务，故其等级和技术标准需严格执行 GBJ 22、JTG B01 等标准。

5.2.6 对外公路规划及路线设计要求所述 6 款是选线必备因素。

由于重大件运输是短时间的特殊运输，在满足安全通行的条件下，可采取减速行驶、临时加固、暂禁其他车辆通行或绕行等措施，以免因重大件运输，使运输技术标准过高。对外公路连接点的选择，需充分调查现有线路、车站、港口现状及近期规划。

选线需尽量避开城镇，避免交通运输互相干扰，以达到工程对外物资运输安全、快捷、节约的目的。

5.2.7 考虑水利水电工程特点，公路上大、中型桥梁的工程造价及施工复杂等因素，本条规定桥位原则上服从路线走向，路桥综合考虑，避免因强调桥位而忽视线形布置的合理性。

5.2.8 考虑洞内的排水需要，隧道内的纵坡不要小于 0.3%。对于寒冷及严寒地区地下水发育的隧道，为减少冬季排水沟产生

冻害，需加大排水纵坡以利于排水。

5.2.9 铁路运输线需结合当地铁路运输发展规划，充分利用已有国家、地方铁路线和其他工矿企业专用线。

铁路接轨是选择铁路规划、设计的首要任务，是专用线设计成果的主要内容、铁道部门审批的主要依据，在规划设计中需予充分重视，铁路设计规范明确规定：“铁路专用线与路网接轨，需经该主管路局同意；在工业企业上接轨，需经该主管单位同意。在新线上接轨，需经该主管设计单位同意”。

与公路运输方案相比，铁路基建工程量大，占地较多，施工期长，一般不能单独承担施工交通任务，尚需与公路运输相配合，因此一般不要采用。若现有路网距工地较近、施工场地较为宽阔或梯级开发能够结合利用，经论证经济可靠时，也可采用铁路运输方案。

5.2.10 水路运输是施工交通运输的方式之一，在对工程区现有航道水深、宽度、转弯半径、流速及运输能力进行调查研究的基礎上，酌情采用。

对于通航的河流，施工期间货物临时过坝运输可分为陆路驳运和航运过坝两类。采用何种方式，需根据工程的特点经过技术经济比较确定。由于施工期间通航水位随着工程施工的进展而变化，单一的通航方式难以适应自开工至蓄水发电的全过程。各施工期需要采取不同的通航措施，并能互相衔接，避免与施工运输的干扰。

5.2.11 施工码头位置需根据施工期的年高峰货运量、航道上通航的船型及工程施工运输的特有船型、货物运输特性、河流特性、地形、地质、水文、气象、水域陆地条件等，结合施工总平面布置，从经济技术上进行综合分析、全面比较，慎重确定。

码头前沿线是码头建筑物或趸船靠船一侧的竖向平面与水平面的交线。它是决定码头平面位置的重要基线。选定码头前沿线位置，利用天然水深沿水流方向及地形等高线布置，可减少水下开挖量，不破坏河床的原有平衡状态，保持码头前的水流平顺和

方便船舶的靠离作业。

顺岸式码头的前沿位置需考虑码头建成后对防洪、水流改变、河床冲淤变化及岸坡稳定的影响。码头前需有可供船舶运转的水域。顺岸码头端部泊位的水域边线与码头前沿线一般成 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 夹角。码头前停泊水域，不允许占用主航道，水流平缓河段的码头前沿停泊水域宽度可取 2 倍设计船型宽度；水流较急河段的码头前沿停泊水域宽度可取 2.5 倍设计船型宽度；在同一泊位前靠多艘船舶时，码头前沿停泊水域宽度可取并靠船舶总宽度加 1 倍设计船型宽度。

单船或顶推船队回旋水域沿水流方向的长度，不要小于单船或船队长度的 2.5 倍；当流速大于 1.5m/s 时，水域长度可适当加大，但不允许大于单船或船队长度的 4 倍。

回旋水域沿垂直水流方向的宽度不要小于单船或船队长度的 1.5 倍，当船舶为单舵时，水域宽度不允许小于其长度的 2.5 倍。

施工码头断面形式需根据水文、地质、地形，货物年吞吐量、货种、装卸工艺及施工条件等因素综合考虑，进行经济技术比较后确定。

5.3 场内交通

5.3.1 场内运输包括：工程外来器材、物资，施工工厂设施产品，工程堆弃料物，经过工地的当地运输物资，进出工地的各类人员等。运输量及运输强度是以施工总进度为依据。确定各个时段料物需要量，并挑选出大宗料物运输作为重点。再叠加计算各单项工程（或工作面）、各场（厂）区、各施工工厂设施不同时段的运输强度和主要料物运输流向，确定运输道路的走向、规模及技术标准。

5.3.2 本条提出了场内交通规划需考虑的主要因素。场内交通是联系施工工地内部各工区、料场、堆弃渣场、各生产生活区之间的交通，担负工程施工期间工地内部的运输任务。设计中需结

合工程施工总布置及施工总进度要求，进行场内交通规划。

5.3.3 场内交通公路规划设计，需根据场内交通的特点及分类进行规划。水利水电工程场内交通运输具有以下特点：

(1) 场内运输物料种类多、运量大、受施工场地限制及物料特性限制，一般运距较短。

(2) 场内交通基本上是一种单向运输，运输组织工作比较简单方便，有条件时能够保证重车运行。

(3) 场内交通运输强度和线路工作时间，受施工总进度影响，运输具有不均衡性，运输强度需满足工程施工需要，同时还需满足工程施工进度的要求。

(4) 线路技术标准不高，急弯、陡坡较多，且常常要在有限的范围内解决较大的高差和较复杂地形的运输问题。

(5) 由于弯道多、坡度陡，行车速度低，且运输距离短，行走时间亦短，车辆装卸时间在一次周转时间中占的比重比一般运输要大，因此线路通过能力，多为装卸时间所控制。

(6) 线路迁建较多，土料场、砂石料场出渣线路经常随料场的开采和卸料面的推移而移动。

(7) 坝区线路需适应基坑施工初期到大坝完工各阶段的需要，有时尚需随坝体升高，按不同高程分期形成。

(8) 运输方式多样性，由多种运输方式联合实现物料运输任务。

水利水电工程场内交通运输的主要任务、道路分类如下：

①衔接对外交通、将外来工程物资和生活物资运往使用地点的运输道路。

②场内包括工区与工区之间，生活区与生产区之间，料场、仓库、消防、医院等之间的交通运输道路。

③基坑开挖出渣和地下工程开挖出渣的运输道路。

④将砂石骨料、土料、石料自料场运至储料或加工区运输道路。

⑤为截流服务专设的运输线，具有使用时间短、行车密度

大、车辆吨位大、运输强度高的特点。

⑥混凝土熟料自拌和楼至栈桥、缆机或工作面的运输线路，当地材料自料场、加工厂、储料场或坝下至工作面的运输线路随坝体上升而迁移。

⑦为施工期上下游的行人、放木、通航需要设置的过坝临时交通设施。

⑧沟通施工场地两岸的跨河设施，如桥梁、渡口等。

5.3.4 场内主要施工道路是指为完成开挖、填筑、浇筑施工，联系主体建筑物、料场、渣场、施工工厂、仓储系统、生活区、对外接线，交通强度相对较高或具备多种功能，构成施工主体交通网络的公路。在确定道路的技术标准时需满足工程车辆通行要求，确保工程施工进度。

5.3.5 场内非主要临时道路，一般指修配、钢筋、木模加工等施工工厂设施之间以及生活区内部的道路。

对场内非主要施工道路干线，在受到地形、地质等条件限制时，在满足运输安全和施工要求的前提下，允许在个别路段可适当降低（超限）标准。

根据水利水电工程施工特点，主要从减少工程量、节约投资的角度考虑，允许场内施工道路分路段采用不同的车道数。

5.3.7 运输方式、车辆型号（机车或起控制作用的拖车）、行车密度及行人量是确定桥梁、渡口型式及其规模的重要依据。

在施工地区河道上选择桥梁、渡口位置及型式时，特别是有关通航要求的河道上，需根据可靠的地质资料，必要时尚需进行水工模型试验。如工程施工需要尽早沟通河道两岸运输线，可先建简易桥梁或渡口等过河设施，然后再建正式桥梁、渡口。

5.3.8 桥梁的设计荷载可参照公路工程有关荷载标准执行，同时满足重大件、施工机械设备运输及工程车辆通行的荷载要求。通航河流的桥下净空需满足内河通航标准的规定。

5.3.9 隧道纵坡需在 0.3%~5% 范围内选择。对于限制坡长 150m 的隧道，纵坡不要超过 9%，局部最大坡度不允许大

于 14%。

隧道横断面设计除需符合隧道建筑限界的规定外，还需考虑洞内排水、通风、照明、消防等附属设施所需要的空间。

5.3.10 带式输送机输送砂石时，其允许倾角向上一般要小于 16° ，向下一般要小于 12° 。当布置受地形条件限制、向上倾角需大于 16° 时，可选用波状挡边带式输送机。波状挡边带式输送机具有可大倾角输送物料、结构紧凑、占地较少的特点，在矿山等行业已成功应用。

根据输送物料的特性及输送线沿线地形、地质条件，长距离运输可分析比较采用管状带式输送机。与普通带式输送机相比，管状带式输送机可封闭输送物料，输送机水平转弯半径较小，可大倾角输送物料，便于跨越河流、道路、建筑物等，但单位造价相对较高。

5.3.11 斜坡卷扬道主要用于物料运输两地高差大、地形陡峻、公路与铁路运输难于到达、或筑路基建工程量过大而运输量不大的很不经济的地段。

线路坡度要小于 25° ，最大不允许超过 30° （如兼作人员运输时不允许大于 25° ），当坡度大于 $25^\circ\sim 30^\circ$ 时须采用台车或箕斗运输，其坡度需小于 40° 。当地形较复杂，须设计成几个坡段时，上部一般要采用较大坡度，下部一般要采用较小坡度，有利于起动和制动；线路变坡处的相邻坡度差要小于 5° ；凹形变坡点的竖曲线半径采用 $200\sim 500\text{m}$ ，凸形竖曲线半径可用 $20\sim 30\text{m}$ 。

绞车房与斜坡道顶点距离一般为 $30\sim 40\text{m}$ ，不要小于 $12\sim 14\text{m}$ ，绞车房高程一般要与上部车场同一高程，也可高于上部车场 $2\sim 3\text{m}$ 。钢丝绳和水平线夹角取 $2^\circ\sim 4^\circ$ ，平面偏角取 $4^\circ\sim 5^\circ$ 。

5.3.12 货运索道多用于工矿企业和高山地区运输货物，主要形式有单线循环式索道和双线循环式索道两种。单线循环式索道是在循环运转并形成一闭合环的钢丝绳两侧，按等间距各挂若干个货厢，一侧为重载，另一侧为空载。既作承载用又作牵引用的钢丝绳循环运行，便可把货物由甲地运往乙地。这种索道适用于

运输量小、服务年限短、爬坡角度大的地方，一般运输量为 15~100t/h，运行速度为 2.0~2.5m/s，爬坡角度为 35°左右。它构造简单，建设时间短，基本建设投资省，但经营费用比双线循环式索道高；双线循环式索道循环运转的钢丝绳仅作牵引用，另在两侧各增加一条承载索，用以承受线路中的载荷。由于线路中的载荷由两条钢丝绳承担，因而运输量 100~300t/h。这种索道的运行速度为 2.5~3.15m/s，爬坡角度一般不超过 23°，适合于运输量大、服务年限长、线路侧型起伏变化小的地方，经营费用低，经济效果好，但基建投资大。线路的平面布置一般为直线。在下列情况下可采取折线方案：

(1) 线路坡度过大，进出站角超过 14°（双线）或 20°（单线），线路某处总爬坡角超过 24.5°（双线）或 35°（单线）。

(2) 塔线间距大于 1200m（双线）或 1000m（单线）。

(3) 线路最高点与最低点高差大于一个传动区段所允许的高差，一般为 200m。

(4) 与厂区、居民区交叉而又不易保护时。

(5) 线路通过不良工程地质区，如滑坡、岩溶区等。

5.3.13 隧道有轨运输洞外需根据需求，设调车、卸车和车辆检修等线路。机车在洞内行驶速度不许超过 10km/h；在调车或人员稠密地段行驶，速度需减速至 3km/h；通过弯道、道岔或视线不良地段，速度需小于 5km/h。

5.4 转 运 站

5.4.1 水利水电工程所需外来物资、器材、设备在运抵工程施工现场前，如运输方式发生变化，需在变化运输方式地点设置转运站。其主要功能是负责装卸、临时保存和转运工作。

为节约建设投资，对外来物资的转运需优先利用（或租用）现有设施。可利用的转运设施包括交通运输部门的车站、码头等，也包括附近其他企业的转运站等。

5.4.2 转运站一般设置在火车站或港口码头及公路运输转运站

附近，这样可以减少装卸倒运量，转运站一般包括仓库、料棚、堆场、道路、办公及生活福利设施，需要有足够的场地。

转运站的储运能力满足施工运输强度要求是设置转运站的前提条件，转运量视外来器材物资来源的具体情况而定，通常生活物资中的主副食品和当地建筑材料，多由邻近地区供应，直达工地，不需转运。需要转运的主要是水泥、钢材、木材、机械设备、煤炭、油料及其他，一般情况下转运量约占总运输量的60%。转运站的规模与交通运输部门的运输计划密切相关，因此需与有关部门洽商。

5.4.3 转运站一般包括铁路专用线（或专用码头）、仓库、道路、管理及生活福利等附属设施。满足工程施工需要，适应外来物资的来源、种类，是转运站选择的基本要求。同时，转运站的位置还要较好地与对外交通运输线路协调。新建转运设施站要因地制宜，尽量少占地，节约建设费用，如能利用现有交通运输设施及转运设施站，可节约投资和缩短工期。

5.5 重大件运输

5.5.1 重大件运输是水利水电工程施工交通运输的一个特点，是比较复杂的问题，它与运输方案的选择有密切的关系，在施工交通运输设计中，研究各运输方案能否适应重大件运输，需要进行比较。重大件的运输线路、运载工具、装卸设备以及交通沿线各种建筑物的承载能力等，均需配合有关专业进行研究比较，在确定方案时，需征求有关专业部门的意见。订立有关协议。必要时还需写出专题报告，报请主管部门审批。

5.5.2 水利水电工程的重大件运输是水利水电工程交通运输的重要环节，重大件运输往往对工程进度、机组容量、机型选择、水工布置以及投资等有较大影响。重大件设备的制作及组装在制造厂内较施工现场可靠度高，设备后期运行风险小，因此，重大件设备在运输过程中尽可能减少分解。

减少重大件转运次数是节省运输时间，保证设备安全、节省

运输费用的有效措施。

重大件运输往往由多种运输方式组成，如何合理选择运输方式与供货地点的当地交通运输状况密切相关。重大件运输方案选择时，需经过现场调查，了解沿线交通现状及近期的发展规划，经技术经济比较后做出选择。重大件运输一般优先选择水路运输方式，水路运输与公路及铁路运输相比，受超限、超重的限制条件较少、运输费用较低。

5.5.4 本条列出重大件运输采用公路运输时需符合的要求：

1 重大件设备的运输工具需根据重大件分级选用。运输工具主要指具有装载整体大型物件实际吨位级的重（超重）型车组，包括牵引车和挂车（半挂车、凹式低平台挂车、长货挂车、3纵列或4纵列挂车、其他变型挂车等），并有相应的配套附件。

2 现状调查是重大件运输方案制定的基础，对于影响重大件运输的特殊地段道路，如路面窄、转弯半径小、纵坡大等路段，往往只是局部路段，因此可通过与有关部门协商处理解决，协商制定特殊路段的运行措施。同时，根据具体路段的实际情况，可采取必要的拓宽路面、垫渣等永久或临时的工程措施。重大件公路运输路线上的现有桥涵是运输过程中的重要节点，是重大件能否顺利通过的关键。复核已建桥涵的承载能力时，要注意桥涵的设计等级、修建时间、完好状况以及是否经过改建等因素，合理确定是否采取必要的加固措施或能否利用临时措施绕道通行。

5.5.5 本条列出重大件运输采用水路运输时需符合的要求：

1 水运在整个综合运输系统中通常是一个中间运输环节，它在两端码头（港口）必须与其他运输方式衔接和配合，为其聚集和疏运货物。河道水位和流速随季节变化很大，有些河段还有暗礁险滩，因而水运受自然因素的影响较大，重大件水路运输中调查通航能力对合理选择运输方案十分重要。

2 按船舶营运组织形式，水路运输可分为定期船运输、不定期船运输和专用船运输。定期船运输是选配适合具体营运条件

的船舶，在规定航线上，定期停靠若干固定港口的运输；不定期船运输系指船舶的运行没有固定的航线，而是按照运输任务或按租船合同所组织的运输；专用船运输系指企业自置或租赁船舶从事本企业自有物资的运输。根据这三种水路运输方式，重大件水路运输采用专用船舶比较适宜，并在保证运输安全、运输时间方面有一定优势。

3 重大件运输转运码头（港口）是水运和陆上运输的连接点，它在重大件运输过程中对货物转运、货运速度、运输成本等起着十分重要的作用。重大件运输转运码头（港口）要有为重大件货物服务的起吊运输设备，并有足够的场地条件。

6 施工工厂设施

6.1 一般规定

6.1.1 主要说明施工工厂设施的任务，明确施工工厂设施是供应主体工程施工所需的各种建筑材料，以及直接为生产服务的其他各项工厂，其中供水、供电、通信系统需兼顾管理人员和施工人员的生活需要。施工组织设计中为施工服务的施工工厂设施可分为：砂石加工、混凝土生产、预冷、预热、压缩空气、供水、供电和通信、机械修配厂、汽修保养站、钢筋加工厂和木材加工系统等。工地上纯粹为生活服务的设施，不属于“施工工厂设施”范畴。

6.1.2 与一般工矿企业相比，水利水电工程施工工厂设施往往规模大，设备与投资多，要求建成速度快，但使用时间却只有几年。其产品通常批量少、品种多、生产不均衡。施工工厂设施总体规划时，需适应这一特点。

水利水电工程建设已全面实行招投标制。工程建设所需的大宗原材料，成品、半成品、机械设备配件均以商品型式，依照合同约定，按质、按量、定期供应。因此，需研究利用工程所在区域现有的设施及工矿企业力量，尽量缩减工地现场施工工厂规模，减少施工占地，降低对环境的破坏，从而降低工程造价。

施工工厂与一般工矿企业在厂址选择上有其类似性。本条内容不仅归纳了水利水电工程施工有关经验，同时也参考一般工矿企业相类似工厂厂址选择设计手册，以及相关标准、规程规范有关内容。其中“协作关系密切的施工工厂一般集中布置”，主要是考虑到施工工厂不同于独立的工矿企业，它往往是由承包商统一领导的。除生产或存放危险性产品的工厂外，各施工工厂靠近布置，比一般工矿企业更利于协作配合，防止重复建设，对利用率不高的大型和专用设备可以考虑合用；压缩空气、供水、供

电、通信、交通、仓库以及公共生活福利设施也易统一布局解决；便于生产管理。

本次规范修订增加了“施工工厂的规划与设置需兼顾工程实施阶段的分标因素”内容。有很多工程在初步设计阶段未考虑分标因素，给后续的招标设计带来一些问题。

例如，大藤峡水利枢纽右岸布置有船闸和泄洪坝段及厂房，初步设计阶段仅在右岸设置一处带有预冷车间的混凝土拌和系统，由于船闸部分相对独立且规模较大，完全具备独立成标的条件，因此在招标设计阶段，建设单位要求将船闸部分单独作为一个标段进行招标，船闸部分混凝土浇筑由中标人自行解决。为此，必须将原来的混凝土系统拆分为2处重新布置，重新设计，增加了设计难点和工作量。

6.1.3 水利水电工程的特点是一旦项目批准开工，往往工期安排的很紧凑。要适应这种要求，筛分楼、拌和楼、罐式水泥库、风冷楼、带式输送机桁架、排架等结构物，都要采用装配式钢结构。尽管组装式钢结构一次投资及钢材耗量较多，但由于可以重复使用，节约施工时间，提高施工速度，因而仍是经济合理的。

近年来水利水电工程在选用通用和多功能设备上已取得长足进步，但受制于水利水电工程施工特点，设备利用率普遍较低。水利水电工程施工的特点是各位置施工负荷不均衡，施工条件和环境恶劣，维修、保养量较大，易损配件需要量较大，所以，在施工工厂设施设备选型中，需特别注重选用设备的经济合理性、通用性和多功能性。

此外，随着我国国民生产总值的提高，能源消耗越来越大，环境污染问题也越来越严重，已经严重制约我国经济的进一步发展，因此在水利水电建设中，需尽量选择效率高、能耗低、对环境破坏小的施工工厂设施及设备。

6.1.4 本条强调施工工厂设施设计需取得的一些定量指标。这些定量指标可依设计阶段的不同采取不同的计算方法：

(1) 项目建议书和可行性研究设计阶段可按指标法估算。

(2) 初步设计阶段或招标设计阶段需按公式法进行详算。

6.1.5 一切生产建设活动都需符合国家现行法律法规，当前，环境污染治理已经上升到国家战略层面，因此本次修改增加条款特殊予以强调：施工工厂生产过程中产生的废水、废渣、粉尘或其他有害物质均需采取措施进行处理，并在满足环境保护要求后，可循环使用或排放。

6.2 砂石料加工系统

6.2.1 砂石料加工系统生产规模计算根据所在工程混凝土浇筑强度和其他砂石料需要量确定。混凝土高峰时段是指混凝土月浇筑强度为最高月浇筑强度 70% 以上的持续期。若混凝土高峰时段持续时间较短（3 个月以内），砂石料加工系统生产规模按混凝土浇筑高峰时段月平均强度设计是较为合理的，通过堆场调节和短期三班制生产，能满足工程需要。若混凝土高峰时段持续时间较长，砂石料加工系统难以保证长期三班制生产，仅靠堆场调节难以满足工程需要，因此需适当提高砂石料加工系统生产规模。

本次修订明确了砂石料加工系统生产规模可按毛料处理能力分为特大、大、中、小型的划分标准。

砂石加工系统、混凝土生产系统设计作业制度目前尚未规范化，同一浇筑强度，由于选用不同的月工作日与日工作小时数，结果会出现很多生产强度，在数据与引用上引起混乱。因此有必要制定一套规范化的计算方法，首先是设计采用的作业制度规范化，这样能使统计与分析工作也统一起来。考虑水利水电工程施工的特殊性，砂石料加工系统采取每月工作日为 25d，每日两班生产、一班维修保养（高峰月短期三班制生产）的设计工作制度，能保证砂石料加工系统长期、稳定、持续生产。为执行劳动法的有关要求，可采取人休息机器不停机的工作方式。

确定砂石料加工系统工作制度时还需考虑下列因素：

(1) 目前每月实际工作日数和每月实际工作小时数均高于规

定值，但为了计算规范化，仍建议采用规定值，可在设备选型时取较高的负荷系数。

(2) 天然骨料的超径石处理或人工骨料的粗碎工段工作制度与采场的采运作业相一致，超径石处理或粗碎设备选择时，其负荷系数可取 0.65~0.75，三班制工作时取较低值，超径石处理之前如设有毛料堆时，可取高于 0.75 的负荷系数。

(3) 筛洗和中细碎工段采用两班制，其设备的负荷系数可取 0.75~0.95。

(4) 制砂工段：棒磨机制砂，要求产品级配稳定，一般采用连续三班工作制，其设备的负荷系数可取 0.85~0.95，采用其他设备制砂时（如立轴冲击式破碎机、锤式破碎机等），可采取与中细碎工段相同的工作制度。

(5) 当各车间（工段）采用不同工作制度时，中间需设置活容积不小于一个班处理量的调节料仓。

(6) 长距离带式输送机输送系统，通常采用连续三班工作制。长距离带式输送机的前端和尾端均需设置调节料仓，其进料端的调节料仓活容积需不低于两个班的输送量，出料端的调节料仓活容积需不低于三个班的输送量。如果场地条件允许，经技术经济比较，两端调节料仓的容积可适当增大。

6.2.2 砂石料加工系统厂址需考虑料场和混凝土生产系统位置，并结合地形、地质条件进行选择。

国内大多数砂石料加工系统均设在主料场附近，主要有以下优点：

(1) 减少无效运输，降低生产成本。毛料加工成为成品料的过程中，一般有 10%~20% 的加工运输损耗及级配不平衡弃料。

(2) 成品料可采用带式输送机运输，降低运输成本。

厂址需避免在溶洞、滑坡、泥石流及填方地段布置破碎、筛分及制砂等重要生产车间，如必须在上述地段布置时，需进行充分的技术经济论证，并采取可靠的处理措施。在湿陷性黄土地区建砂石料加工系统时需特别注意厂区和建筑物基础的可靠性和处

理措施。

水、电供应条件也是选择砂石料加工系统厂址的重要因素。向家坝工程曾对砂石料加工系统是布置在料场附近还是布置在坝区附近进行过比选工作。料场距坝址约 30km，料场附近无满足砂石生产需要的水源，需从距料场约 15km（高差 830m）处的金沙江取水，费用较高，尽管运输成品骨料可减少加工损耗费用，但比选后仍选择综合费用相对较低的坝区附近布置方案。

在高山峡谷地区修建水利水电工程，主体工程弃渣场往往布置在主体工程附近的山沟内；利用弃渣场平整的场地作为砂石料加工系统半成品或成品堆场，主要车间布置在山沟两侧的山坡上，可有效减少砂石料加工系统的土建工程量，但需注意施工进度安排的弃渣形成时间与砂石料加工系统建设期能否正常衔接。

设计中根据不同工程的具体条件，对各种可行的厂址位置进行综合比较，选择砂石生产单价相对较低、砂石料加工系统建设费用相对较省、建设周期相对较短的厂址布置方案。

6.2.3 大、中型砂石系统一般建设工期相对较长，如果砂石系统工艺布置灵活，能生产出主体工程的各种建材，将是经济合理的方案。

工艺流程计算中，有不少重要数据仅仅是控制性的概值，离差异性较大。如各级骨料需用级配百分比，往往是全工程的综合平均值。原料及各种破碎机产品粒度级配，或是料场平均值，或仅有几组试验的成果，或是按其他工程推算，或者按典型方程推算。由于在不同时期，开采不同区域、深度时，原料级配变化很大，产品粒度级配及需用级配都在发生很大波动。乌江渡工程从总体平衡计算，破碎设备采用开路生产能满足要求，但某一时期二、三级配混凝土增加时，便出现有些级配骨料用量大幅度减少，堆料场容纳不下，而有些级配又感到不足，仅靠调整排料口的办法，难于达到目的。丹江口、葛洲坝、潘家口和渔子溪等工程都有这方面的经验与教训。所以，要求工艺设计有一定的灵活性，以适应实际生产变化的需要，特别是细碎和制砂的生产能力

要留有一定裕度。

通常工艺流程计算有部分筛分效率法和简易计算法两种方法。与简易计算法相比，部分筛分效率法虽然算式较为复杂，但计算结果较为准确，因此推荐采用部分筛分效率法。为控制成品骨料的超逊径含量，筛分效率不要低于 90%。

工程实践表明，湿法加工是比较成熟可靠的砂石料加工工艺，可保证成品骨料质量，降低环境污染。当采用干法加工工艺时，曾出现粗骨料裹粉、细骨料细度模数超标及加工粉尘污染严重的问题。冲洗用水量需根据石料含泥量和含泥的性质经分析后确定，一般用水量为 $1\sim 2\text{m}^3/\text{t}$ ，水压一般控制在 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ 。乌江渡工程采用石灰岩加工骨料，石料含泥量约 15%，通过槽式洗石机搓洗后，含泥量可降到 0.5% 以下。

特大型、大型水利水电工程利用石料加工混凝土人工骨料或其他级配料时，数量往往较大，如用典型粒度方程计算岩石破碎粒度曲线往往和实际有出入，因为岩石的成分、风化程度、破碎方法等都对其破碎后的粒径有影响，为使砂石料加工系统工艺设计建立在较为可靠的基础上，采用相同或相似的工艺流程和破碎、制砂设备进行骨料生产性试验是必要的。

6.2.4 通过功指数及磨蚀性指数试验，检测所选料源石料的可碎性、磨蚀性，对设备的选型及磨耗件寿命有较准确的判断，试验成果可作为设备选型的基本依据。

一些水利水电工程砂石料源不止一个，且不同料源的岩性和级配特性也可能不同，因此在同一个砂石料加工系统内，设备配置需能兼顾不同料源岩石的加工特性和级配波动的要求。

上、下道工序选用的设备负荷均衡，对提高设备利用率、保证砂石料加工系统连续均衡生产较为有利。同一作业设备的类型和规格统一，可简化车间布置，便于对设备进行操作控制和检修。

特大型、大型砂石料加工系统如选用中小型设备，则设备数量多，占地面积大，运行、检修工作量大。同一作业设备如仅配

置一台，则运行可靠度较低，一旦发生故障将造成加工系统停产。

当砂石原料为高硬度（莫氏硬度 ≥ 7 ）、强磨蚀性（二氧化硅含量 $\geq 90\%$ ）的岩石时，加工过程中对设备的磨损十分严重，设备维修、更换易损件的工作量大大增加，因此，主要设备要考虑整机备用，以保证设备维修时不影响加工系统的正常生产。

原岩在钻爆、挖装过程中，常易将各种金属混入岩石中，这对中细碎设备的安全运行威胁很大，因此有必要在中细碎前设置金属探测器和金属处理设备。如映秀湾人工砂石系统金属探测设施因未订到货而未装，曾数次发生圆锥机被卡住事故，并从料石中检得挖土机斗齿、二锤、钢钎、钻头、铁件数十件。

6.2.5 砂石料加工系统总体布置是否合理，关系到建设工期能否缩短，建设费用能否降低，运输线路是否顺畅，施工是否安全方便，运行是否稳定可靠。总体布置既要考虑各车间、设施之间的平面、空间布置的合理性，在保证砂石料加工系统正常运行的前提下，尽量减少转运环节，减少土建工程量，还需考虑设备运输、水源、电源线路布置，以及与系统建设有关的各种因素，因此，需进行多方案的设计比较工作，选取较优的总体布置方案。

对于大型水利水电工程建设期间，由于混凝土施工强度不均衡，往往使砂石料加工系统的设备部分闲置，生产能力不能得到充分发挥，因此希望砂石料加工系统工艺布置有一定的灵活性，以适应分期分批投产需要，使方案更为经济合理。

砂石料加工系统布置较为理想的自然地形坡度为 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。合理利用缓坡地形，不仅可使布置紧凑，减少土建工程量，同时能充分利用落差自流运输，减少运输设备和能耗，这已为部分砂石料加工系统实践所证实。

作业相同的工序通常选用相同规格的设备，并在同一高程对称或同轴布置，显然有利于流程变换与设备互换，便于检修、起吊与集中管理。设备对称与同轴布置，非标准设备采用同规格相同布置，可以使结构与非标准设备简化、制作与安装方便。

砂石料加工系统一般能适应各种恶劣工况的运行条件，因此各车间的设备、设施等允许露天布置，但对电气设备需加以防护。这主要是根据乌江渡、大化、葛洲坝、东江等工程的经验。目前来看，国内水利水电工程的设计仍遵循这一原则。

6.2.6 大量工程实践表明，砂石贮存量按高峰时段月平均值50%~80%的砂石需用量确定，可以保证混凝土骨料的连续供应，满足工程需要。

天然砂石料场及工程开挖利用料的开采时段与砂石生产时段难以一致，且所需堆存容量一般较大，因此一般堆存毛料，以降低堆场土建费用。人工石料场开采时段与砂石生产时段基本相同，所需堆存容量一般较小，因此最好堆存半成品料或成品料为主。寒冷地区，低温季节砂石生产作业困难、生产成本低，为保证低温季节混凝土施工，通常在非低温季节生产、堆存成品砂石。成品堆场容量需满足砂石自然脱水时间要求。

筛洗后螺旋分级机出砂的含水率达14%~17%，要满足水工混凝土施工规范要求，自然脱水至6%以内，天然砂一般需要5d左右，而人工砂需要5~7d。

成品堆场对场地的要求相对较高。湿法制砂时，成品堆场布置3个砂料堆（其中1个进料、1个脱水、1个使用），循环使用，才能较好地控制成品砂含水率。

碾压混凝土用砂和常态混凝土用砂的石粉含量控制标准不一样，通常分别堆存。

由于大中型砂石混凝土系统骨料发送总量与发料强度都很大，廊道出料仍较为经济，且对确保砂石质量、稳定与降低骨料温度等有利，因此被广泛采用。对于小型水利水电工程，如采用廊道发送，每立方米骨料所分摊土建费用将很高，此时选用机械挖装出料可能更为经济。

有些大中型工程堆料场，因地下水位高，地基承载力很低或设置廊道将会产生很大不均匀沉陷时，为了节约地基处理工程量和确保安全运行，需考虑选用机械挖装出料方式。砂石料场到坝

区之间的骨料运输方案，20 世纪 50—60 年代基本以小火车和小吨位自卸汽车运输为主；70—90 年代，基本以自卸汽车运输为主；进入 21 世纪，随着水利水电工程规模日益增大，砂石运输强度和运输总量不断提高。与自卸汽车运输相比，带式输送机运输方案具有运输连续稳定、运输能力高、运输距离短、运行污染小、单位能耗省，运行费用低、一次性投资较大的特点，较适用于运输能力高、运输总量大的大型水利水电工程。

此外，皮带机输送物料在国内外冶金、煤炭建材等行业也被广泛采用，几十年来，长距离带式输送机的设计、制造、安装及运行已取得较为成熟的经验。目前，国内外输送能力达到 7000～8000t/h、带宽在 2.0m 以上、带速在 5.0m/s 以上、单机长度为 5～15km 的大型带式输送机已有较多工程实例。国内外部分长距离带式输送机工程项目见表 32、表 33。

表 32 国外部分长距离带式输送机工程项目

序号	项 目	主要参数	使用地点、其他参数、投产时间
1	最大输送能力	$Q=37500\text{t/h}$	德国莱茵褐煤有限公司 Hambaha 矿； $B=3000\text{mm}$ ， $V=6\text{m/s}$ ， $St=5400\text{N/mm}$ ； 1977 年投产
2	最大带宽	$B=3200\text{mm}$	德国莱茵褐煤有限公司 Fortuna 矿； $Q=37500\text{t/h}$ ， $B=3200\text{mm}$ ， $V=5.2\text{m/s}$ ， $N=2\times 1500\text{kW}$ ； 1977 年投产
3	最高带速	$V=8.4\text{m/s}$	英国国家煤炭局 Selby 矿； 该矿带式输送机保持有 15 项“世界之最”； 1983 年投产
4	最大单机长度	$L=15000\text{m}$	英国国家煤炭局 Selby 矿； $B=1300\text{mm}$ ， $H=996\text{m}$ ， $V=8.4\text{m/s}$ ， $N=2\times 5145\text{kW}$ ； $St=7100\text{N/mm}$
5	最大单机功率	$N=6\times 2000\text{kW}$	德国莱茵褐煤有限公司 Hambaha 矿； 其他参数同序号 1

表 32 (续)

序号	项目	主要参数	使用地点、其他参数、投产时间
6	最大驱动单元功率	$N=5145\text{kW}$	英国国家煤炭局 Selby 矿 (无减速度器, 低速直流电机轴与滚筒轴为一体)
		$N=2000\text{kW}$	德国莱茵褐煤有限公司 Hambaha 矿 (有减速度器, 交流电机驱动)
7	最大带强	$St=7100\text{N/mm}$	英国国家煤炭局 Selby 矿; 其他参数同序号 3、4
8	最大单机提升高度	$H=996\text{m}$	英国国家煤炭局 Selby 矿; 其他参数同序号 3、4、6、7
9	最大单机下降高度	$H=-557\text{m}$	法属新喀里多尼亚 Me'a 镍矿; $Q=560\text{t/h}$, $B=800\text{mm}$, $V=3.6\text{m/s}$, $N=808\text{kW}$, $St=2500\text{N/mm}$; 1980 年投产

表 33 国内部分长距离带式输送机工程项目

工程项目	带式输送机长度/km	带式输送机输送量/(t/h)	带式输送机已运行时间/年	工程地点
秦皇岛煤码头	1.30	6000	10	河北秦皇岛
大柳塔煤矿	4.64	2500	9	陕西神府
向家坝水电站	6.22	3200		云南水富
龙滩水电站	4.00	3000		广西天峨

6.3 混凝土生产系统

6.3.1 根据近年来国内开工建设许多特大型、大型水利水电工程的情况, 本次规范修订参照电力行业标准, 对混凝土生产系统的规模提出了划分标准, 以适应水利水电工程设计和建设的需要。

确定混凝土生产系统生产规模依据的基础资料是施工进度,

施工进度通常提供的是混凝土浇筑月高峰平均强度，由于混凝土施工的不均衡性，各月浇筑的混凝土量不可能是平均的，因此，要确定混凝土高峰月浇筑强度还需考虑不均衡系数，即：高峰月浇筑强度 = 混凝土浇筑月高峰平均强度 × 月不均衡系数。

根据国内已建和在建工程的经验，月不均衡系数取值为 1.0 ~ 1.3。混凝土浇筑高峰时段较长时取大值。

关于日及小时不均匀系数，国内多个水电工程经验证明：根据混凝土高峰月浇筑强度，按月有效生产 500h，（每月 25 个生产日，每天 20 个生产小时），考虑 1.5 的系数是合适的，由此计算出小时高峰浇筑强度，并选择拌和楼（站），可满足工程进度要求。

混凝土最大仓面浇筑时，必须在底层混凝土初凝前覆盖下一层混凝土，即混凝土拌和设备的小时生产能力还必须满足式（5）的要求：

$$Q_h \geq 1.1 \frac{FD}{t_1 - t_2} \quad (5)$$

式中 F ——最大仓面面积， m^2 ；

D ——最大仓面混凝土分层浇筑厚度， m ；

t_1 ——混凝土初凝时间， h ；无试验数据时可参照表 34 选取；

t_2 ——混凝土出机后到浇筑入仓的时间， h 。一般混凝土不要超过 1.5h，温控混凝土不要超过 45min。

表 34 混凝土初凝时间（未掺外加剂）

浇筑温度/°C	初凝时间/h	
	普通水泥	矿渣水泥
30	2.0	2.5
20	3.0	3.5
10	4.0	4.0

最典型的实例为龙滩工程右岸大坝混凝土生产系统，按混凝土高峰月强度计算，混凝土浇筑高峰强度为 $970m^3/h$ ，按混凝土

最大入仓强度计算，混凝土浇筑能力需为 $1080\text{m}^3/\text{h}$ ，显然需按最大入仓强度选择拌和设备。

6.3.2 在考虑加冰及掺合料时，需根据试验或其他工程生产经验，适当调整生产能力。生产预冷混凝土时，风冷骨料需耗费一定的时间，加冰拌和需考虑冰屑融化因素；生产预热混凝土时，要改变投料循序，混凝土搅拌时间会有所延长，一般比正常搅拌时间延长 $20\% \sim 50\%$ 。拌制干硬性、低坍落度混凝土不仅要增加搅拌时间，还要大大缩小搅料筒的有效容积，因此规范规定，遇到上述情况需要重新核算拌和楼的生产能力。

拌和楼理论生产率可按式（6）求得：

$$\text{理论生产率} = \text{单台公称容量} \times \text{台数} \times \text{小时搅拌次数} \quad (6)$$

当搅拌机台数超过 4 台时，因生产能力受称量速度控制，只能提高拌和楼设备利用率，而理论生产率与 4 台相当。混凝土拌和楼理论生产能力见表 35，该表所列值是指设备配套拌和楼（站），在生产正常混凝土配合比级配不变，坍落度不小于 50mm ，不加冰及掺合料情况下，每小时平均生产能力。

表 35 混凝土拌和楼理论生产能力

锥形倾翻搅拌机		强制式搅拌机	
搅拌机台数× 每台公称容量 /L	理论生产能力 /(m^3/h)	搅拌机台数× 每台公称容量 /L	理论生产能力 /(m^3/h)
1×750	20	1×500	20
2×750	40	1×750	30
1×1000	25	2×750	60
2×1000	50	1×1000	40
3×1000	75	2×1000	75
1×1500	40	1×1500	60
2×1500	75	2×1500	115
3×1500	115	1×3000	115
4×1500	132	2×3000	230
1×3000	60		
2×3000	115		
3×3000	180		
4×3000	236		

6.3.3 水利水电工程的工程量、导流方式、施工工期、施工方法、交通条件、场地条件、地质条件、混凝土浇筑强度、骨料供应状况等，都是影响混凝土生产系统的规划与布置的重要因素，因此需对混凝土生产系统进行合理规划，必要时需拟定方案进行技术经济比选，选择指标较优方案。国内近些年修建的特大型、大型水电工程如三峡、龙滩、向家坝、锦屏等均进行了规划设计方案比选。

水利水电工程混凝土生产系统大多数设在坝下游，水库蓄水后尚能运行。只有当砂石料来自上游，或下游在一定范围内确实难找到合适场地时，才设在上游。

在不受爆破威胁或施工现场干扰的情况下，一般都希望混凝土生产系统尽可能靠近浇筑地点。这对保持混凝土均匀性、不产生离析、易于卸料、防止混凝土产生初凝等均更有利。对有温控要求的混凝土，可以减少热量损失或温度回升。SL 677 规定，混凝土运输时间不要超过 90min，在夏天需控制在 45min 以内。

拌和楼、水泥罐、制冷楼、堆料场地弄等属于高层或重载建筑物，对于地基要求较高，如国产拌和楼对地基承载能力要求在 0.15MPa 以上。地基承载力不满足要求时要采取措施进行处理。山西万家寨水电站右岸混凝土生产系统布置了两座 $4 \times 3\text{m}^3$ 拌和楼，拌和楼基础开挖时遇见了泥岩，该岩石遇见阳光和空气很快风化崩解，显然不满足基础承载力要求，必须将其清除，置换基础。

大型水利水电工程，规模大、工程量大、强度高、工期长，通常为分期建设，需统筹兼顾前期与后期混凝土浇筑施工并考虑分标因素设置混凝土生产系统，其目的是避免无为的拆迁带来人力和物力的损失，节省系统建设周期和工程投资。

6.3.4 混凝土生产系统集中设置便于混凝土集中生产和供应，供料设施、储料设施、预冷预热设施以及其他辅助设施均可以共用，管理方便，工程量省。根据一些工程统计，集中设置规模约小 15%，人员少配 25%~30%，投资和运行费用相应较低。但

经过论证，集中设置混凝土生产系统不可行或不经济，则最好分散布置。分散设置的混凝土系统生产能力需按分区混凝土浇筑高峰强度设计，其总和大于工程总的高峰强度。

分散布置混凝土生产系统虽然设备相对较多，土建工程量相对较大，但适应性较强。有些工程受水工建筑物布置、施工工期、施工场地条件、交通条件等因素限制时，必须分散布置混凝土生产系统。例如三峡工程分三期施工，根据水工建筑物的布置和施工分期以及场地条件，共设置了 8 处混凝土，向家坝水电站布置了 4 处混凝土生产系统，拟建中的文得根输水系统工程，由于施工线路狭长，在输水线路沿线布置了 18 处独立的混凝土拌和系统。

6.3.5 本条规定混凝土生产系统工艺流程设计需遵循的原则。

(1) 水利水电工程不同时间段的混凝土级配、强度、温度控制标准、浇筑强度都不相同。强约束区混凝土温控标准高，但浇筑强度不高，非约束区混凝土温控标准相对较低，但浇筑强度高。此外，混凝土的级配，品种在施工过程中经常变换，因此设计需综合分析，在工艺流程上适应这些特点。

(2) 粉状物料有多种输送方式，水利水电工程中，水泥、掺合料运输常用的有气力输送和机械输送两种方式。气力输送具有输送距离较长、输送能力较大、土建工程量较小、设备相对简单、环境适应性较强等特点，比较适用于大型、特大型混凝土生产系统中水泥及掺合料的转载运输。气力输送按物料在输送管道中的灰气混合比分为稀相和浓相两类，稀相的灰气比一般为 15~30，浓相的灰气比一般为 30~60，近年来，随着技术的进步，采用浓相、低速气力输送物料在水利水电工程中应用较多。该方式具有能耗较低、运行可靠的特点，因此，小湾、光照、溪洛渡等工程均采用这种方式输送水泥及掺合料。如果按输送物料在管道中所受风压状态区分，水泥及掺合料的输送还可以分为正压输送和负压输送两种方式，负压输送系统投资较省，可以多点受料，且由于设备及管路处于真空状态下，物料只能发生内泄漏，

因而环境比较清洁，但是由于负压值有限，输送的距离短（极限值 200m），输送能力较小，因而多用于火电系统，水利水电工程多采用正压输送，三峡、龙滩、向家坝等工程均采用正压气力输送。机械输送方式具有成本相对较低，输送距离短（一般不大于 60m），设备较多、布置相对复杂、检修维护工作量较大的特点。大型以上的混凝土生产系统通常采用 2 座以上的拌和楼（站），水泥、掺合料的输送强度高，如果采用机械输送方式，输送机械的布置特别难，因此大型以上的混凝土生产系统一般不采用机械输送方式；中小型混凝土生产系统中，水泥及掺合料的需要量较小，输送强度较低，多采用机械方式输送。

6.3.6 利用地势形成的自然高差，阶梯形布置混凝土生产系统可以缩小车间之间间距，减少系统占地，减少土石方开挖工程量和设备投资，阶梯形布置混凝土生产系统可以使主要原材料利用重力自上而下或水平运输，减少能量消耗，节能环保。国内很多水利水电工程如二滩、龙滩等，所处位置均处于山区，地势陡峭，混凝土生产系统均采用阶梯式布置。

拌和楼（站）是混凝土生产系统中最重要的设备，因此在混凝土生产系统的布置中需首先确定拌和楼（站）的位置，然后再根据工艺设计要求统筹布置其他车间及设施。主要原材料进料方向需和混凝土出料方向错开，以免形成干扰，最佳布置是两者互相垂直，如此可避免进料带式输送机的桁架支柱与混凝土出料线相互干扰。

6.3.7 水利水电工程建设中，拌和楼（站）是最主要的施工设备之一，拌和楼（站）最主要的设备是搅拌机，强制式搅拌机和自落式搅拌机最为常用，其中强制式搅拌机又分为双卧轴式与单卧轴式，较为常用的为双卧轴强制式。由于是强制性搅拌，因而，强制式搅拌机具有搅拌均匀性好，拌和时间短（一般为 65~75s），生产效率高，混凝土质量好等特点，既可生产低坍落度、干硬性的碾压混凝土，又可拌制常态混凝土，但与自落式搅拌机相比，前者能耗相对较高，对生产的混凝土级配有一定要

求，生产四级配常态混凝土时，搅拌机容量不小于 4m^3 。

自落式搅拌机由旋转的筒体和固定在筒体上的叶片将混凝土原材料带至高处，靠其自重进行搅拌，较适合拌制高坍落度的常态混凝土。生产常态混凝土时，搅拌时间一般为 $100\sim 120\text{s}$ ；生产干硬性混凝土时，搅拌时间一般为 150s ；混凝土生产能力有所降低，因此需复核其生产能力。此外，自落式搅拌机生产碾压混凝土的生产能力还受到搅拌机进料容量和投料顺序的影响，搅拌机容量越大，容量调节系数越大，对生产能力的影 响越小，两者均须通过试验确定。

强制式搅拌机有两个轴，受力较大，当拌制三级配混凝土问题不大，拌制四级配混凝土时，易发生断轴，这种现象在水口工程和三峡工程施工中经常发生。

另外，生产温控措施要求高的混凝土的时候，冰片融化需一定时间，采用强制式搅拌机拌和混凝土时，由于搅拌时间短，冰片未完全融化，有可能造成混凝土出机温度不满足要求。例如三峡工程混凝土出机口温度要求为 7°C ，采用强制式搅拌设备生产时不能满足要求，后改为用自落式搅拌机。

近年来，除强制式、自落式拌和楼（站）外，生产碾压混凝土还可以采用连续式拌和楼（站）。连续式拌和机为强制式，混凝土原材料的进料、搅拌、出料三道工序在一个长筒内同时连续进行，一端进料，另一端出料，混凝土生产从配料、搅拌到出料的整个过程均为连续。连续强制式拌和楼（站）具有拌和时间短（ $10\sim 20\text{s}$ ）、产量大、结构简单、能耗低、可靠性高、操作简单方便、占地面积少、建设周期短等特点，因此，混凝土生产工艺相对简单，碾压混凝土生产成本相对较低，但因其搅拌时间短，不易采取预冷措施，尤其是加冰拌和，且受骨料允许粒径限制，生产三级配混凝土时，需选用生产能力大于 $280\text{m}^3/\text{h}$ 的连续式双卧轴搅拌机，通常适用于快速、连续、混凝土浇筑强度高、温控要求不高、不采取混凝土预冷措施的工程，如我国的沙牌工程。沙牌工程采用连续式拌和站生产碾压混凝土，拌和时间

10s, 混凝土生产能力 $200\text{m}^3/\text{h}$ 。

此外, 选择拌和楼(站)时, 还需注意尽量与混凝土浇筑设备匹配, 当拌和楼罐与浇筑时的吊罐容量不匹配时, 拌和楼的效率将不能得到充分利用。如小湾选用 $4\times 3\text{m}^3$ 拌和罐, 与缆机吊罐 9m^3 不匹配, 影响供料效率。

综上所述, 选择拌和楼(站)时, 需考虑生产混凝土的种类, 级配、强度、骨料岩性、混凝土浇筑方案等因素, 在综合分析的基础上做出合理选择。

对于不同品种混凝土运输车辆需要配置明显的识别系统, 并保持与拌和楼(站)生产的混凝土品种相一致, 杜绝错用。

6.3.8 拌和楼(站)出料线路(无轨运输、有轨运输、带式输送机运输)布置方式直接关系到拌和楼(站)所生产的混凝土的顺利发运和拌和楼(站)的正常生产。

有轨运输运行成本相对较低, 环境污染小, 但对地形条件和轨道的线形参数要求较高, 土建费用相对较高。采用有轨机车运输混凝土一般均配合揽机。

无轨运输运行成本相对较高, 但线路布置灵活, 适用范围较广, 可供应多个混凝土浇筑区。

带式输送机运输成本相对较低, 线路布置最为灵活, 对地形的适应性强, 混凝土可连续均衡入仓, 有利于快速浇筑, 施工进度快, 但设备投资相对较高。国内已建工程中, 三峡、小浪底、龙滩等工程均采用了带式输送机转塔带机运输方式。

6.3.9 混凝土生产系统成品骨料堆场主要调节作用, 国内混凝土生产系统骨料储量(活容积)大多为月高峰日平均的 $3\sim 5\text{d}$ 需用量。实践证明, 当骨料总储量小于 2d 时, 其活容积常不足两个班的生产需用量, 加上各级骨料需要量与储存量百分比存在不均衡的因素, 此时管理稍有疏忽或运输线路上出些问题, 便会影响正常生产进行。龚嘴工程原设计有 3d 的储量, 施工时为了减少开挖量, 将堆料场由 140m 长缩短到 100m , 实际储量不足 2d , 高峰期间经常供料不足。他们认为储量(活容积)以 $3\sim 5\text{d}$

为宜，乌江渡江南系统，因受施工场地限制，堆场总储量 10000m^3 ，其中活容积只有1d的使用量，既不能保证脱水需要，也影响供料，因此后来又增设 10000m^3 。

美国混凝土施工手册规定骨料堆存3~7d。日本一般水利水电工程也在这一范围，但有些工程受地形限制时，储量仅几小时的需用量。我国有些工程条件较困难，如白山工程预热仓与堆料场相结合，为减少基建费用，骨料只有1.5d的储量。

当地布置特别困难时，骨料储量（活容积）可适当减少，但不要少于1d的需用量。

6.3.10 沥青混凝土制备机械额定生产能力一般是针对道路工程的，水工沥青混凝土中细料用量较多，必须延长搅拌时间才能保证搅拌均匀，故而生产能力下降，据国内外工程实践统计分析，一般拌制水工沥青混合物生产率均为额定值的65%~75%。

沥青拌和厂厂址通常靠近铺筑现场，除了便于管理、避免离析外，更主要是减少运输过程热量损失，以确保施工质量。

一般情况下，运输时间在0.5h以内，运输过程热量损失较小，这对提高起始碾压温度，保证沥青混凝土施工质量十分有利。

沥青混凝土工厂需远离易燃仓库与建筑物，以减少发生火灾的可能性，由于生产过程会产生大量有毒烟尘，故要求远离生活区，并设在下风处。厂址选择其余要求，同混凝土工厂。

6.3.11 沥青分为散装沥青和桶装沥青，桶装沥青损耗较大，有条件时需选用散装沥青。散装沥青运输一般采用铁路专用罐车运输，一次运来的沥青量较大，因此工地沥青库需考虑到这一特点。

6.3.12 大中型水利水电工程水泥用量大，通常选用散装水泥。美国、日本等在20世纪70年代后，散装水泥使用比重已占95%以上。目前国内也达到70%以上。因此，本标准强调以散装水泥为主。但一般在初期临建工程或散装设施未建成之前还需使用少量袋装水泥，因此在工艺布置上也要考虑留有使用袋装余

地，并纳入整个水泥储运系统中。

考虑到混凝土浇筑高峰时段一般仅2~3个月，水泥储存量过大将给施工布置带来困难，并增加基建及运行费用，水泥是一种水硬性胶凝材料，储存期间会和空气中的水气及二氧化碳发生作用，从而降低水泥强度。因此水泥仓库不要过大。

水泥储备量需根据混凝土系统的生产规模、水泥供应及运输条件、施工特点及仓库布置条件等综合分析确定，既要保证混凝土连续生产，又要避免储存过多、过久，影响水泥质量，水泥和粉煤灰在工地的储备量按可供工程使用日数而定：①陆路运输：4~7d；②水陆运输：5~15d；③当中转仓库距工地较远时，可增加2~3d。

本条对不同运输方式所取储存天数与我国水利水电工程当前实际水平是相近的。随着水泥供应、运输等技术水平不断提高，按水泥储存天数下限值减少1~2d是完全可能的，目前国外不少水利水电工程水泥储存天数只有1~2d，因此储存天数拟向低值调整，但同时需满足混凝土温控对水泥和掺合料的温度要求。

同种水泥，袋装价格高于散装价格，且散装水泥使用与专用车辆运输。国内水利水电工程主体工程以使用散装水泥为主，袋装水泥主要在水电工程建设前期使用，多用于临建工程。

水泥及掺合料储存天数主要根据国内工程多年来的工程经验而定。实践表明，按照本条规定储存水泥及掺合料可以满足混凝土系统的使用要求。

6.4 混凝土预冷、预热系统

6.4.1 原材料在自然条件下拌和是指混凝土的组成材料未采取任何预冷措施的条件下拌和。经热平衡计算后，当混凝土出机口温度高于混凝土温控要求的入仓温度时，需设置预冷系统。

拌制预冷混凝土时，由于骨料预冷和加冰拌和等因素的影响，拌和设备的生产能力有所降低，需对拌和楼（站）的生产能力进行复核，同时按最大预冷混凝土的入仓强度进行复核。

混凝土预冷系统制冷容量需综合考虑预冷混凝土浇筑强度、混凝土出机口温度、混凝土生产时段及水文气象条件进行计算后确定。因为预冷系统的生产规模不仅与施工进度安排的高温时段各月预冷混凝土浇筑强度有关，还与高温时段各月预冷混凝土的温度控制要求有关，和水文气象条件诸如水温、气温、湿度等因素也有关。预冷混凝土生产能力仅反映的是每小时需预冷的混凝土量，但决定混凝土预冷系统规模的是预冷骨料、制冷水、制冰等所消耗的冷量。很多工程为降低温度控制费用，通常在高温时段的最热月份少交或停浇预冷混凝土，因此会出现最热月份温度控制要求较高（混凝土入仓温度低），但预冷混凝土浇筑强度低于高温时段的其他月份，所需冷负荷不是最高的情况。因此，需要用预冷混凝土的生产能力和所需的预冷负荷来表示混凝土预冷系统的生产规模。

不同的混凝土预冷措施，其相应配置的制冷机组设计工况也各不相同，同一台机组在不同的工况下，其制冷量也不一样，与系统地蒸发温度和冷凝温度有关。标准工况是制冷系统的统一工况，是指制冷机组在蒸发温度为 -15°C ，冷凝温度为 30°C 条件的运转工况。将设计工况下的制冷量统一折合成标准工况下的制冷量，便于用来比较不同制冷系统制冷能力的大小。

制冷设施中的管道、围护结构等的隔热保温都需要冷负荷，拌和楼（站）、冰库等设施也需要保温，这些都需要消耗冷负荷。在确定混凝土预冷系统的预冷规模时，需计入这部分冷负荷。

6.4.2 混凝土浇筑温度由温控计算确定。混凝土出机口温度根据浇筑温度和混凝土在运输、浇筑、振捣过程中的热损失来确定。混凝土各组成材料预冷温度根据混凝土出机口温度、预冷方式，按照热平衡原理通过计算确定。混凝土出机口温度是混凝土预冷系统设计的基本参数，它决定混凝土的预冷工艺。

拌和料预冷方式可采用骨料堆场降温、加冷水、加冰拌和、粗骨料预冷等单项或多项综合措施。这些都是国内大、中型工程已普遍采用的措施。采用时需根据具体情况进行技术经济比较

确定。

水的热容量大，制冷水和制冰工艺成熟，便于输送，因此，确定预冷措施时，需首先考虑加冷水和加冰拌和。当加冷水和加冰拌和不能满足要求时，需对粗骨料进行冷却。随着骨料预冷技术的发展，冷水喷淋冷却骨料因存在脱水、保温及上料问题，逐渐被一、二次风冷所取代。三峡工程水利枢纽工程、大藤峡水利枢纽工程、丰满水电站全面治理（重建）工程以及在建的云南黄登水电站等均采用二次风冷工艺深冷骨料。

6.4.3 采取增加堆料场堆高、地弄取料、搭棚、喷水等措施，简便易行。对防止骨料升温，减少温控负担有良好的效果。各工程由于情况不尽相同，特别是相对湿度影响较大，但一般均能达到本标准所列数值水平。

干燥并曝晒在阳光下，砂石温度常大大高于实际温度，通常避免。

水泥温度实测资料较少，根据丹江口 1959—1962 年实测拌和楼水泥温度最高为 36℃，丹江口为袋装水泥，可能储存时间较长，葛洲坝散装水泥的实测温度也很少超过 40℃。但东风与五强溪工程调查中发现有时可达 50℃，而铜街子工程在使用附近的峨眉水泥厂专门为工程生产的矿渣水泥时，由于厂方为尽快腾空仓库，有时工地测得的水泥温度可达 70℃ 以上。但这属于特例。根据上述，结合国内水泥市场供应条件较为优越、宽松的情况，本标准推荐夏季水泥入机温度一般在 40~60℃ 范围选取。

近年来，进口或国产片冰机的大量使用，使加冰技术大大提高，国内工程已很少采用加冰块的方法。二滩、小浪底、三峡、黄登等工程已改为加冰屑（或称冰粒）。片冰制成时为 -12~-8℃，隔热储存后为 -5℃；转运多次或无隔热储存后亦多为 0℃，且有融化现象。

随着国内制冰、储冰技术和设备的不断发展，冰的潜热利用率越来越高，统计资料表明，上世纪建设的丹江口、葛洲坝等工程，冰的冷量利用率为 75% 左右，本次修编规范，推荐冰的

冷量利用率为 85%~100%，采用过冷冰屑可取值为 100%，从目前国内制冷技术水平和水利水电工程建设现状来看，趋势是采用高值。

6.4.4 预冷系统是混凝土生产系统的重要组成部分，故预冷设施布置需与混凝土生产系统其他设施的布置统筹规划。

拌和楼（站）是冷负荷中心，各种冷却措施如加冰、加冷水、二次风冷、保温等均围绕拌和楼（站）进行，冷却设施靠近拌和楼（站）布置可有效减少冷量损耗。此外，合理利用地形布置制冷系统不但可以减少土建工程量和设备投资，也可以减少冷量损耗。

水利水电工程混凝土预冷系统主要由制冷车间、冷却水循环系统、各末端装置（冷风机、片冰机等）及其构筑物和相关设施组成。制冷车间是预冷系统的中枢，是冷源生产地。水利水电工程混凝土预冷系统一般采用氨制冷系统，主要原因是：

（1）系统适应环境能力强，水电工程多建于深山峡谷地区，地域环境较差，氨制冷系统可以较好的适应这种环境。

（2）单机制冷容量大，可减少系统占地面积。

（3）混凝土预冷系统制冷剂用量大，氨液价格低廉，经济实用。

（4）氨压缩机、辅助设备、冷却设备、管道及其配件价格较低，可节省投资。

氨制冷系统广泛应用于人工低温环境、冷库等工程，混凝土预冷系统氨压车间设计时，可以根据自身特点，因地制宜，有针对性地参照执行 GB 50072《冷库设计规范》以及相关国家标准。

6.4.5 制冷压缩机的产冷量和运行工况有关，不同工况下制冷效果相差很大，因此需要将不同蒸发压力（温度）的各种冷却设备负荷折算为标准工况下的负荷，并考虑冷耗附加系数后再据此选择氨制冷机。电动机功率一般按标准工况或空调工况配置电机。

水利水电工程采用最广泛的是螺杆式制冷机。制冷系统辅助

设备的配置需与主机设计运行工况相匹配，并适当留有余地。

预冷系统设备通常在高温季节运行，且满负荷运行持续时间较短，因此不考虑整机备用，一般可根据工程的具体情况考虑适当的负荷系数。

同一作业设备的型号统一，目的是便于设备的运行、维护和以及管理的工作量。

拌和设备的预冷混凝土生产能力与预冷混凝土的品种、出机口温度及采取的预冷措施等有关。一般情况下将降低拌和楼的生产能力，在选择拌和设备时需予以注意。

6.4.6 混凝土预热系统的主要任务是为低温季节混凝土施工提供满足入仓温度要求的预热混凝土。预热混凝土生产能力需根据低温时段混凝土浇筑高峰月强度计算。预热负荷需根据加热原材料、混凝土出机口温度、冲洗设备用水及建筑物采暖等所需热量计算确定。

由于低温条件下的混凝土硬化和施工有其特殊性，因而对混凝土生产系统也提出了一系列要求。混凝土早期受冻所受到的损害，对结构物来说，是永久性的破坏。在混凝土拌和物中，水的冰点大约为 $-2.5\sim-0.5^{\circ}\text{C}$ 。当温度低于 4°C 时，水的体积就会膨胀，当温度降低到 -3°C 时，拌和物中90%的水将被冻结，水化作用基本停止，冻结使混凝土体积膨胀，使水泥黏结力丧失，这时解冻，就不能恢复原来的状态。

如果在低温季节为新浇筑的混凝土创造一个人工环境，使混凝土拌和物在正温条件下养护一定时间，获得一定强度后再遭冻结，那么解冻后的混凝土就不致于会造成破坏。因为这时已有相当一部分拌和水已固定到水化物中去了，混凝土内可能冻结的自由水量很少，即使冻结，引起的内应力也很小。混凝土早期允许受冻临界强度，按 SL 677 规定，大体积混凝土需不低于 7.0MPa ；非大体积混凝土和钢筋混凝土需不低于设计强度的85%。

在工程实践中，正温的温度不许低于 5°C 。这就必须对混凝土

土的一种或几种组成材料进行加热，使混凝土拌和物蓄有相当的热量。这是低温季节混凝土施工对混凝土生产系统提出的要求，也正是混凝土预热系统所要解决的问题。

混凝土各组成材料的加热温度，需根据混凝土出机口温度，按照热平衡原理，通过计算确定。水的热容量占混凝土拌和物总热容量的 26%，加热拌和用水可以得到较好的预热效果。水的比热大，是良好的热载体。另外水加热设备简单，工艺成熟，有许多种加热方法可供选用。水加热设备易于密封，输送管道易于保温，热损失小，设备造价和运行费用均较低。因此，在确定混凝土各组成材料的加热温度时，需首先考虑加热拌和水，只有在最大限度地加热拌和水所带来的热量不能满足热平衡要求时，才考虑加热其他组成材料。

当水温超过 60℃ 时，水与水泥拌和时易产生假凝现象。如室外气温很低，为提高混凝土出机口温度，水温需高于 60℃ 时，则需改变拌和顺序，将骨料与水先拌和，然后加入水泥拌和。

6.4.8 为防止混凝土早期受冻，混凝土浇筑温度高好一些，一般各国规范要求及实践均不低于 5℃。

大体积混凝土除要防冻外，还需防裂。由于体积大，混凝土浇筑后，其表面温度虽然很低，内部温度因水泥水化热而上升，为减少内外温差和基础温差，混凝土浇筑温度尽量要低，一般最好不超过 10℃，因此混凝土浇筑温度一般以 5~10℃，如能采取措施，加强浇筑后的保温，使浇筑温度维持在 5℃ 是最为有利的。

中小体积的混凝土结构，由于散热条件好，水化热温升可以较快的散发，加之中小结构的混凝土较易受外界温度的影响，因此，混凝土浇筑温度需高于大体积混凝土浇筑温度，但浇筑温度也不能过高。

6.4.9 预热系统的布置及设计需与砂石料加工及混凝土生产工艺统筹规划，预热系统集中布置可有效减少供热热能损耗，系统布置及运行管理也相对方便。

预热系统的锅炉房有明火源，加热骨料的介质有热水，高温蒸汽，均是可引发人身安全和财产损失的危险源，因此，预热系统的设计需满足国家和行业的相关法律、法规、规程及规范。

加热水拌和是低温季节混凝土施工最简便易行的工艺，需首先考虑。若加热水拌和不满足要求，才可考虑加热骨料。

加热水泥容易引起水泥硬化、过热，发生假凝，影响混凝土后期强度，因此不允许以任何方式加热水泥。

预热混凝土出机口温度不同，混凝土原材料加热的温度也不同，因此需通过热平衡计算确定混凝土原材料的加热温度。

骨料预热系统只有在寒冷地区的水利水电工程且有低温季节浇筑混凝土时设置，而砂石料加工系统冬季一般处于停产状态，因此低温季节混凝土浇筑所需骨料需在低温季节到来之前全部加工生产完毕，妥善储存并考虑 1.25 倍的裕量。

6.4.10 选用单机容量大的搅拌机或拌和楼，可减少同时运行设备的数量，减少热水冲洗量，降低热能损耗和热量损失。

混凝土预热系统的热源由锅炉提供，是混凝土预热系统的主要设备，锅炉数量的选择需考虑经济合理、便于运行管理，以及能够更好地适应工程所需热负荷的变化等因素综合考虑。锅炉台数过少，系统供热的灵活性和适应性较差，还易造成能源浪费；锅炉台数过多，给管理、运行及维修等均带来不利因素，土建费用及占地面积也随之增加。确定混凝土预热系统的锅炉数量时，可参照 GB 50041《锅炉房设计规范》的有关规定。

6.5 压缩空气、供水、供电和通信系统

6.5.1 本条系指压缩空气（简称压气）系统的供气对象。距施工现场较远的施工工厂和临建工程用风量不大，可由自备空压机供气。

根据水利水电工程用气点分散和经常变动的特点和设站的经验，压气站不要过分集中，否则会导致管道过长，不仅增加投资，也使漏气、压力损失增大，这将导致风动工具生产效率大幅

度下降。所以对压气站集中或分散设站，需进行认真研究比较后确定。

现在大型凿岩设备正在向液压发展，仅需少量供冲孔的压气，可随机供气，大型风动凿岩机及长隧洞掘进国外也倾向于随机供气，既可缩短输气距离减少压力损失，又使凿岩设备及其动力具有更大机动性，所以本条提出在有设备配套的条件下尽可能地采用随机供气。

附录 G.2 所推荐的压气需用量计算公式为常用公式，引自《压缩空气站设计手册》。

6.5.2 本条参照 GB 50029《压缩空气站设计规范》编写。压气站需靠近“负荷中心”，系指各用风点耗风总量的重心所在地。当受爆破安全或施工布置场地限制时（如隧洞施工），压缩空气站至用气地点的距离最好在 0.5km 以内，至多 2km。“位于空气洁净，通风良好之处”，包含了避免靠近散发爆炸性、腐蚀性和有毒气体，以及粉尘等有害物的场所内容。

6.5.3 本条规定施工给水系统的任务是保证供应一定数量、质量和水压的施工生产、生活和消防用水。

生产用水有各种不同用途，对水质、水压标准要求也不同，设计中需遵循附录 G.3 所列有关规定。其中施工生产用水水压要求，主要根据用水设备要求的进水口压力拟定。确定供水量的原则是满足不同时期日高峰需要量，由于分区日高峰用水量并非同时出现，只有满足不同时期用水量要求，才真正满足了施工供水水量要求。

生产用水、现场生活用水和生活区用水情况不同，前者通常以班计，后者通常以昼夜计。因而不均匀系数亦需分别选定。

总供水量 = 生产用水量 + 生活用水量 \geq 消防用水量 (7)

6.5.4 水源选择需考虑的因素，除列出 GB 50013—2014《室外给水设计规范》中 5.1.2 所列一般性原则外，由于水利水电工程往往地处深山峡谷，有可能利用地下水或自流水，有条件时，通常采用比较经济的方案。

不少工程实践已证明，施工生产废水（特别是冷却水）的回收，不仅可节约能耗与水资源，也有利于满足环境保护、节能降耗的要求，因而需考虑废水回收循环使用。

6.5.5 水利水电工程施工场面大、用户比较分散，施工场地地形条件差别甚大，供水系统或集中或分散，需根据现场条件及其他因素通过技术经济比较后确定。

6.5.6 本条阐述自备发电厂供电方式及容量计算原则，可结合大中型水利水电工程施工特点拟订。

6.5.7 本条阐明施工供电的负荷计算。水利水电工程施工现场一类负荷主要有井、洞内的照明、排水、通风和基坑内的排水、汛期的防洪、泄洪设施以及医院的手术室、急诊室、局一级通信站以及其他因停电即可能造成人身伤亡或设备事故引起国家财产严重损失的重要负荷。由于单一电源无法确保连续供电，供电可靠性差，因此大中型电站需具有两个以上的电源，否则需建自备电厂。

需要系数法为我国目前各设计部门对施工供电设计用电负荷所常用的计算办法，但当资料不足时，尚可采用总同时系数法。其总同时系数，从目前国内若干工程统计资料分析在 0.21~0.31 范围内（见表 36），这本身反映了各工程的设备有效利用率很低，随着技术水平不断发展，该值有所提高，因而规范推荐总同时系数在 0.25~0.4 范围选取。

表 36 国内若干水利水电工程总同时系数统计

工程名称	总同时系数	工程名称	总同时系数
三门峡	0.26~0.28	刘家峡	0.30
新安江	0.31	葛洲坝	0.21
丹江口	0.26		

6.5.8 各级电压合理的输送半径及容量参照《电力工程设计手册》的有关内容，结合水利水电工程施工供电情况进行调整后拟订。

6.5.9 本条强调通信系统设计需体现“迅速、准确、安全与方便”的原则，阐述施工通信系统的组成与要求。光纤通信网络系统已在水利水电工程中得到广泛应用，移动电话已成为工程施工管理不可缺少的通信工具。

6.6 机械修配厂、加工厂

6.6.1 本条主要指出机械修配厂（站）址选择及布置的一般原则。其中“宜与汽车修配厂设结合置”，是考虑到施工机械中的内燃机底盘等与汽修厂修理内容基本一致，相结合或靠近布置便于协作。

需要指出的是，随着技术的发展和市场经济的完善，水利水电工程工地的机械修配规模已大大缩小，其原因一是水利水电工程实行招投标后，设备更新加快、机械折旧年限缩短，使施工机械从购置到报废期间的修理次数大大减少；二是施工设备的故障率比过去大大降低，且很多设备均由生产厂家专门负责维修、保养；三是工程分标发包和施工机械租赁企业的出现，使得为整个工程服务的修配厂也失去了必要性，因此，利用工程附近城镇的机械修配能力，减少现场机械修配厂规模是水利水电工程建设的趋势。

6.6.2 为便于经济有效的管理，从国内钢铁、冶金、交通运输部门对汽车保养站服务范围，推荐值均为50~300辆，这与目前水利水电工程汽车保养站服务范围基本一致，因而本标准确定选用该值。

为使汽车修配厂、保养站规模与工作量直接挂钩，一般用标准台或以工时劳动量表示。但目前很多工程施工使用的车型比较单一，此时保养站规模用自然台表示更为有利。

和机械修配厂同样原因，尽量缩小现场汽车修理厂或汽车保养站规模也是水利水电建设的趋势。国内很多大型工程现场均不设汽车修理厂，仅设置规模较小的汽车保养站。正在建设中的丰满水电站全面治理（重建）工程，大坝标段是整个工程最大的标

段，该标段使用的重型汽车全部采购自国内某著名厂家，承包商只提供 5000m² 场地，汽车的运行维护由厂家派专人常驻现场进行。

6.6.3 大型钢管运输困难，即使加工成瓦状，途中变形仍较大，将增大校正工作量，而节省加工工序不多，因而最好在工地制作。若运输及变形可以解决，亦可由厂家加工成节或瓦状运至工地组装。龚嘴、鲁布革即这样做的。但厚壁、小直径钢管则不受此限。

6.6.4 考虑到目前水利水电工程钢模、钢木组合模板、滑模及混凝土预制构件大量使用，木材加工厂规模大为缩小，计算中不宜再套用早期各水利水电工程统计值。

6.6.5 本条主要阐明钢筋加工任务与规模的确定。钢筋加工厂规模过去设计一般由年钢筋用量来推算产量。考虑到初设阶段施工总进度一般按月编制，利用高峰期各部位混凝土强度及钢筋含量来计算规模更为准确一些，故予推荐。

6.6.6 既往工程经验表明，是否单独设置混凝土预制厂需视预制量多少和场地等条件确定，当年构件需要量小于 3000m³ 时，一般相当于日产 10m³，所需场地不大，因而可以就地拌制，不必单独设厂。混凝土预制构件重量大，易损坏，厂址需设在交通方便、接近用户处。

6.6.7 关于工地设厂条件，有的部门规定制氧厂距工地超过 50km，或昼夜用氧量超过 480m³/d。以 50km 划线，对于水利水电工程并不适宜，自设制氧厂，在经济上主要是减少了氧气瓶往返运输费，但各水利水电工程临时性制氧厂，其生产成本往往高于永久制氧厂出售价，有些甚至高出 80% 左右，即使不计入这一因素，一般工程制氧厂土建费用与不设厂增加运输费用对比，其经济半径约 250km。

6.6.8 水利水电工程一般均安装有大型设备和金属结构，外形尺寸较大，因此大型水电工程需设置大型设备和金属结构拼装场，拼装场需尽量靠近安装部位，便于大型设备及金属结构拼装后运输到安装现场。

7 施工总布置

7.1 一般规定

7.1.1 主要阐明了在进行工程施工总布置时要注意的一些问题，设计所涉及的各种基本资料。施工总布置规划要综观全局，统筹规划、协调局部与整体间的关系，使施工总布置设计成果不仅能保证工程施工顺利进行，而且具有良好的技术经济效益。

7.1.2 施工总布置规划要适应现行的水利水电工程建设管理体制，充分考虑项目管理模式、工程建设的分标因素及其对施工总布置格局、规模等的影响；要协调好涉及施工区整体布局以及在规定时间内、空间的各方关系。水利水电工程施工总布置设计，涉及的问题比较广泛，每一个工程都有自身特点，没有一个固定的格局可以沿用。在本条中提出了“因地制宜，因时制宜”做为设计原则，就是要在设计过程中针对具体工程的条件和特点，充分考虑建设期与运行期的结合、近期与远期的结合、临时与永久的结合、地方已有设施的利用、工程建设管理等因素，采用先进的施工技术和恰当的组织型式，使施工总布置规划合理，交通运输通畅便捷；同时贯彻珍惜每一寸土地的方针，合理规划工程占地，控制移民规模，有利于建设征地和移民安置的实施，并能满足环境保护和水土保持的要求，确保工程施工顺利进行，同时具有良好的社会效益。

7.1.3 本条单独成条，强调施工总布置规划要严格遵守环境保护和水土保持的规定，施工总布置规划要与环境保护、水土保持统筹兼顾、协调一致。

7.1.4 施工总布置需要全面调查收集和综合分析各种基本资料，在此基础上合理确定并统筹规划布置为工程服务的各种临时设施。施工总布置方案比选要对上述因素进行论证，确保方案的合理性。上述成果要满足 SL 619 的要求。施工总布置特性决定了

布置方案的多样性，并且这种多样性很难穷尽，工作量太大难以实现。一般根据施工交通布置和场地条件对不同方案进行比较分析，逐步优化，形成有明显可比选的方案。

7.1.6 本条主要是针对大型工程施工场地条件差、地质条件复杂的情况，对施工管理和生活营地、砂石加工系统、混凝土生产系统等地质和周围环境要求较高的重要设施的场地，需开展地质勘察工作，以保证建筑物的安全。

7.1.7 施工总布置所涉及的内容中许多项目为多个施工承包单位公用的施工设施，如外来物资转运站、场内交通干线、渣料堆（弃）场地等。本条明确施工总布置要对公用设施规模、布置、运行与维护管理，分期实施面貌，相互之间的衔接等作出规定。

7.1.8 本条对主要施工工厂设施和临建设施、渣场等施工场地提出了防洪基本要求。临建设施和施工场地的防洪标准因不同工程规模、工期、河流水文条件等各工程互不相同，在工程设计中根据各种设施的不同性质选取不同的标准。砂石加工系统、混凝土生产系统、施工管理区、生活区等重要场区的防护标准需选用较高的标准。临时工程防洪标准还要考虑回水、涌浪、冰凌、冲刷、浸没和坍岸影响，必要时需采取可靠的防护措施，以确保施工临建设施的安全。

7.2 施工总布置及场地选择

7.2.1 根据以往施工经验，施工场地布置可分为下列几个阶段：

（1）工程准备阶段，主要是人员设备进场，形成风、水、电系统，导流工程、临时房建工程及主体工程开工前必要的施工工厂设施，包括骨料筛分、混凝土拌和系统及相应的修配厂、仓库等。

（2）主体工程施工阶段，为工程全面施工的关键阶段。需确保重点、照顾一般、全面规划，统筹安排。在布置上一般先以开挖为主，逐步转为地基处理、主体工程填筑或混凝土浇筑以及金属结构安装等工程。

(3) 工程完建阶段, 要妥善解决水库蓄水、发电有关布置问题, 作好工程管理单位的厂区规划, 合理使用场地; 随着主体工程施工强度显著降低, 逐步清还租用的施工场地。

7.2.2 在施工布置方案比较前, 需要根据现场实际情况作好各施工临时设施的比较研究工作。条文中指出的六个方面不是孤立的, 而是相互关联又互相制约, 要妥善协调相互间的关系, 才能为各种可能方案的技术经济比较提供依据。

7.2.3 随着我国社会经济的进一步发展, 土地资源日趋珍贵, 大中型水利水电工程施工需要占用大量土地, 不仅费用高, 征地移民难度也在逐年增大。因此, 在满足工程施工的前提下, 尽量少占用土地是施工总布置的一大原则, 并需避开文物古迹, 保护古树名木。

7.2.4 施工布置往往不具有唯一性, 在有场地条件时需要根据枢纽布置、场地布置条件, 建设及移民因素, 结合施工需要进行多方案比较分析, 从中选择较优方案。

7.2.5 许多施工场地狭窄, 受地形限制施工布置非常困难, 需研究采取相应的措施以获得施工空间, 满足施工总布置要求。一般情况下, 施工场地不要布置在坝址上游水库区, 如果场地不足时, 则需要研究利用水库区的可能性。如利用水库区, 需着重研究水库水位变化情况, 及水库坍岸的影响。对于松软基础, 还要研究浸没的影响, 避免因考虑不周而拆迁临建工程。利用弃渣场做为施工场地时, 要特别重视解决导流、洪水带来的冲刷影响, 也要考虑主要河道及两岸沟谷洪水顶冲的影响, 作好防护设施。当开挖渣场不足时, 采有堤坝维护时, 需妥善解决场地防洪和排水问题。

7.2.6 本条提出了土石方平衡与堆弃渣场规划设计的主要原则, 要尽可能的利用开挖渣料, 减少工程投资。

7.2.7 本条所指出的地区, 不要设置施工临时设施, 其主要原因是在这些地区布置施工临建设施将危及人员和工程安全, 违反国家有关环境保护、自然资源保护等法律、法规。

7.2.8 利用河床滩地或对原河道进行裁弯取直获得施工场地时，必须满足防洪标准要求，要慎重研究对河道行洪和对环境的影响。对于施工场地要注意地基稳定，采取措施保证边坡稳定，防止冲刷破坏。

7.2.9 施工总布置要统筹规划设计有通航要求的水利水电工程的过坝临建设施。

7.2.10 渠、堤类线型工程施工区域狭长、工期较短，施工营地集中布置弊端较多，一般针对不同地段的自然条件和施工特点，充分利用社会的生产、生活资源，采用集中与分散相结合的场地布置方式。

7.3 施工分区规划

7.3.1 本条根据水利水电工程施工的一般状况，划分为8个施工区，目的是为了统一分区名称，按分区统计建筑和占地面积，以便类似工程能相互比较。本次将原规范中的施工管理及生活区分解为施工管理及生活区和工程建设管理及生活区，主要是满足目前大中型工程建设管理的需要。

(1) 主体工程施工区。

主体工程施工包括闸、坝、厂房、泵站、渠道、河道、堤防等永久工程和导流工程的施工现场。主要施工项目有开挖和填筑、混凝土浇筑、灌浆、金属结构和机电安装等。主体工程施工区内的施工布置要明确主体工程土建、金属结构与机电设备安装的运输道路、施工机械布置及运行场地，协调区内给排水设施、施工压缩空气设施、供电设施、现场加工及材料存放的位置。

(2) 施工工厂区。

施工工厂区包括砂石加工系统，混凝土生产系统，综合加工厂（混凝土预制厂、钢筋加工厂、模板加工厂），土料加工系统，机械修配厂，施工压缩空气、供水、污水处理、供电系统，金属结构和机电设备拼装厂，制冷供热系统等区域。砂石加工系统、混凝土生产系统最好集中布置。土料加工系统要根据不同加工工

艺流程布置。综合加工厂选址通常靠近交通干线，方便运输；最好靠近主体工程施工区；混凝土预制厂一般要靠近混凝土拌和系统；要与生活、管理区保持一定的距离。机械修配厂最好选择交通方便、地形地质条件满足要求、对生活管理区影响小的场地。

(3) 当地建材开采区。

当地建材开采区包括土料、砂砾石料、块石料等需要开采的当地建材布置区域。需根据当地建材料场开采规划，分析确定开采区占地范围和爆破影响区范围。

(4) 工程存弃、渣场区。

工程存、弃渣场区包括工程开挖的有用料的存放和无用料的堆弃区域，也包括施工工厂、生活环境产生的固体废物处理堆弃区域。有用料包括围堰填筑料、大坝填筑料、混凝土骨料、块石料等。水库库内弃渣时不影响建筑物正常运行；不影响水库调节库容；不影响施工期导流和安全度汛。下游沿河不要布置存、弃渣场。无场地条件必须布置时，不影响工程安全度汛，不妨碍行洪畅通，不影响河道通航条件，不影响工程效益。

(5) 仓库、站、场、码头等储运系统区。

仓库、站、场、码头等储运系统区包括外来材料和设备的中转装卸场和仓库。储运系统要有良好的交通条件，其布置要符合国家安全、防火、防爆等规定，其位置要根据储存材料、技术要求、服务对象、场地条件确定。

(6) 机电、金属结构和大型施工机械设备安装场区。

机电、金属结构和大型施工机械设备的停放、拼装和加工场地可根据施工条件和需要设置，且要靠近安装部位或直接现场布置。选择场地要交通运输方便、地势较平坦、水电供要方便。

(7) 施工管理及生活区。

施工管理及生活区包括施工单位的办公、生活设施场地，也包括一部分设备停放、材料存储、加工修配厂等。施工管理及生活区选址一般要交通便利、相对独立和安静。场地规划通常结合分区（段）情况，前后协调、充分利用土地及建筑资源。房屋建

筑标准需根据当地地形和气象特征、房屋使用条件确定，并需满足消防要求。使用期在 3 年以上的房屋建筑最好选用永久结构。

(8) 工程建设管理及生活区。

工程建设管理及生活区包括业主、设计、监理营地、运行管理区、现场公共设施。现场公共设施包括接待中心，警卫营地、工地试验室、水文气象站、医院、消防站、运动场、通信系统等。工程建设管理及生活区一般要结合工程布置特点、施工分期、运行管理要求，兼顾生产和生活区布置。施工期建设、设计和监理办公生活区通常集中布置。建筑规模要根据施工期和建成后运行管理人数和其他因素综合分析选定，并满足国家对项目建设用地控制指标的要求。

7.3.2 在总结工程实践资料基础上，归纳了施工分区布置的 11 条原则，在研究施工分区时，一般情况下需要根据这些原则进行布置。

施工分区规划首先要进行场内交通规划，场内交通规划要首先研究对外交通衔接方式，坝顶和进厂交通的主干线走向。要以大宗的天然建筑材料运输流向拟订场内主要交通干线，进而进行施工分区规划。

混凝土坝和当地材料坝两种坝型，在布置上要保证主要生产系统布置适宜的位置，使其运用可靠、经济合理。妥善解决重点设施布置问题，其他临时设施则处于从属地位。在设计中重视研究重点设施布置方案，非重点项目则围绕重点项目布置。

随着场内道路和交通工具的改善，对居住区工作地点的距离不作具体规定，有条件可适当远些，但需要对工作人员的上、下班交通问题给予重视。

生产临时设施要靠近施工区布置，生活区要布置在安全地带，体现以人为本的原则。注重施工作业区、施工工厂区、当地建材开采区、仓库区、主要施工道路、堆（弃）渣场地、生活及商业服务区等按功能分区布置，避免交叉混杂。各区之间要留有过渡带，并能适应分标施工。特别对砂石加工与混凝土生产系

统、采石场、金属结构拼装场、钢筋、木材加工厂等产生噪声、粉尘的施工作业，要注意对周边环境危害的控制，必要时需采取工程措施以满足环境保护要求。外来物资转运站距施工区较远时，需有独立的配套临建设施。

易燃易爆等特殊物资库在总布置中摆放的位置、建筑物结构型式、物资堆放要求及必要安全设施等设计，均需要满足国家及有关行业法律法规、规程规范要求。

施工工厂、站（场）和仓库的建筑标准和结构型式要根据所在地的地形地质条件、气象特征和使用年限确定，生产建筑要体现安全生产，满足生产工艺流程与技术要求，为缩短建设周期尽量采用定型化、标准化的装配式结构。

7.3.3 在确定施工工厂、仓库和项目规模以及建筑面积、占地面积时，除分析计算外尚需参考类似工程的实践经验。

工程施工管理及生活建筑面积，根据施工人数及人均占用面积进行计算。为保证所建房屋面积既不多余又能满足使用要求，计算时采用施工高峰年平均人数。

根据已建工程经验，工程建设管理人员的生活建筑面积以及公共的文化、商业、服务等设施的建筑面积，各工程由于建设和管理模式不同而差异较大，无法统一计算标准。因此，该部分建筑面积主要通过分析工程建设管理和公共设施所设置的项目、规模，参考类似工程估算。

7.4 施工场地防洪与排水

7.4.1 针对主要施工工厂设施和临建设施的防洪标准尽量不要定得太死，因工程规模、工期、河流水文条件等各工程互不相同，在工程设计中可根据各种设施的不同性质选取不同的标准，如砂石料加工系统、混凝土生产系统、生活区等重要场区的防洪标准需选用较高的标准。临时工程防洪标准还需考虑回水、涌浪、冰凌、冲刷、浸没和塌岸等影响，必要时需采取可靠的防护措施，以确保场地和设施的安全。

确定施工场内的主要交通干线、桥梁、隧道、码头等建筑物的设计防洪标准时，还需参考有关专业部门颁布的规程、规范中的相关规定。一般情况下，临时工程防洪标准需取下限值。若经研究确定主要施工工厂设施和临建设施与城镇规划相结合时，需与城镇防洪标准相适应。

7.4.2 利用河床滩地或对原河道进行裁弯取直获得施工场地时，需满足防洪标准的要求，需慎重研究对河道行洪和对环境的影响。对于施工场地需注意地基稳定，采取措施保证边坡稳定，防止冲刷破坏。在严寒地区需考虑冰冻影响。

在一般情况下，施工场地尽量不要布置在坝址上游水库区。如果场地不足时，则需研究适当利用水库区的可能性，但需分析库水位变化情况，以及水库坍岸的影响。如果是松软地基，还需考虑浸没的影响，避免因考虑不周而拆迁临建工程。

7.4.3 本条明确了工程临时堆弃渣场和永久弃渣场的防洪标准。永久渣场往往弃渣量大，而且属于永久性质，若遭受山洪冲刷失事后将影响电站发电，威胁工程或下游的安全，防洪标准根据其位置、地形条件、渣场规模、周围环境以及失事后的危害程度等因素结合 SL 575、GB 51018 中的相关规定选用。

7.4.4 本条总结了施工场地排水规划的一般原则：

高处雨水需设置截水沟（天沟）集中引排至主排水或支线排水系统，低处雨水需考虑场地（地形）或排水沟坡度，直流至雨水口或主（支线）排水系统。

场地排水一般包括降水、生产和生活废（污）水、天然沟渠汇水及地下渗水。降水是指地面上径流的雨水和冰雪融化水，常叫雨水，生产废水是指施工附属企业生产过程中产生的废水、污水，其来源为砂石加工系统、混凝土生产系统等。生活污水是指人们日常生活活动中所产生的污水，其来源为宿舍区、办公区、公用设施等处排出的水。

场地排水分为主排水系统和支线排水系统，支线排水系统一般接入主排水系统。主排水系统是指主要溪沟或为多个场地利用

流量较大的排水设施。支线排水系统是指单个工作区及场地内部的排水设施。

规划施工总布置场地排水时，需按条文的要求，充分利用自然地形和采取相应措施，保证及时排除地表雨水及自然排水的畅通。避免因排水不畅或内涝成灾，影响生产和职工生活。

对场内主要冲沟、溪流需采取防洪措施，以保证施工场地和设施不被冲毁，重要的施工场地不被淹没，次要的可临时停产的部分场地和道路，在泄洪过后能顺利排水清污，及时恢复生产。冲沟、溪流的防洪措施需与场地排水统一考虑，结合场地地形，因势利导，以导为主，尽量避免主要冲沟、溪流水进入施工基坑和主要施工场地，基坑运用时段较短、抽排量不大时可采用抽排措施。对泄水时可能产生泥石流和危及河内的临建设施，要予以足够的重视。

排水系统干、支沟一般有土质梯形明沟、梯形干（浆）砌石明沟，盖板式暗沟、暗管、涵洞等结构型式。沿场地地形布置排水干、支沟，纵横成网，有一定的纵坡和足够的断面，以保证排水畅通。排水系统与道路及临建设施统一规划，一般情况下，主要道路两侧均需设置排水沟。排入江河的主要出水口，根据排水量、流速和地基的土质情况做好护坡或挡墙等加固防冲措施。如果江河高水位时高于出水口，需采取措施避免倒灌。为防止暴雨内涝成灾，必要时设置排水泵站。

水利水电工程原来一般不设污水处理厂，而直接排入江河，利用江河自净作用处理污水。现在随着环保意识的增强，环保执法力度的加大，要求对施工工厂、生活营地和现场施工集中的大量污水、废水设厂进行处理，以达到环保要求的排放标准。

7.4.5 本条总结了渣场、场平等填方区排水设计的一般原则。为保证渣场稳定，底部结合反滤排水设施可设置抗滑区，抗滑区需选用质量较好的填筑料填筑。排水设施是渣场设计的重点，因地制宜、因时制宜地选择排水设施，一般按永久运行要求一次实施到位，减少施工过程中的风险。随着环保意识的提高，渣场均

要求防护和园林绿化、返土还田。

7.5 土石方平衡及渣场规划

7.5.1 根据物料性质合理确定其开挖的松散系数、回填的压实系数，以及开挖与回填施工作业中的损耗系数，最终目的是计算整个工程各种渣料的总开挖量、总利用量、总周转量和总弃渣量，为工程概算和渣场的选址规划提供依据。施工场地平整原则上要做到自身挖填平衡，一般情况下不参与工程土石方平衡规划。

7.5.2 根据土石方挖填平衡计算成果，按照《中华人民共和国水土保持法》《中华人民共和国河道管理条例》、GB 18599《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》、GB 50201《防洪标准》等的有关规定，对渣场选址与规划提出7条原则性规定，要求在设计中遵循。

7.5.3 本条规定了渣场规划的一般原则。渣场运行是一个动态的过程，从开始使用到封闭持续的时间长短差别很大，跨汛期使用的渣场排水和防护比较复杂，要求结合施工总进度要求提出渣场运行程序，以便于渣场排水和防护设计。

7.6 施工用地

7.6.1 我国人多地少，耕地资源稀缺，水利水电工程用地需符合土地利用总体规划。建设项目立项要经过充分论证其技术、经济的可行性，对确有必要建设的项目，需综合考虑环境资源、资金等条件，并严格按照国家有关规定确定用地标准，以避免造成投资和土地的重大浪费。特别在地形复杂的山岭地区，施工可利用的场地多为当地群众（特别是少数民族）赖以生存的耕地，施工用地直接关系到移民安置工作的效果和难度，事关重大。

7.6.2 本条提出工程建设用地范围划定的原则。考虑到地形条件与工程建设管理需要，建设场地尽量连片征用。

7.6.3 施工用地范围需根据工程规模、场地地形条件以及用地

(建筑物)性质、使用时限等综合因素进行确定。施工用地往往涉及交通线路和若干企事业单位用地,施工总布置一般结合城市规划进行交通和场地布置,尽量避开省级以上政府部门依法批准的需特殊保护的区域,并使基础设施在施工结束后仍可利用。

根据近年来工程施工的实践,大型工程施工区附近有条件时,一般考虑与地方规划用地相结合,一是为工程施工提供拾遗补缺的服务;二是依靠工程的便利条件解决一部分移民安置问题。

7.6.4~7.6.6 根据工程施工用地在使用完成或工程竣工后能否恢复原用途,将工程施工用地划分为临时用地与永久用地两种类型,以利于补偿费用计算和界定工程建设征地工作的开展。

工程永久占用地包括工程运行管理必需的陆域和水域,施工期可用于工程施工。施工临时用地按照《中华人民共和国土地管理法》规定,是指建设项目施工和地质勘查所需临时使用的土地,包括工程建设施工中设置的临时加工车间、修配厂、搅拌站、预制场、材料堆场、运输道路和其他临时设施用地,工程建设过程中的取土弃土用地,以及架设地上管线、铺设地下管线和其他地下工程所需临时使用的土地等。施工影响区包括爆破、爆炸、火灾、辐射、烟尘、噪声等危及安全的影响范围,在此范围内的居民需要搬迁,但不影响土地使用。对高坝大库和重要的水利水电工程,确定的安全保护区为主体建筑物附近的库区两侧至分水岭范围。

SL 106 中规定,其他建筑物占地范围从工程外轮廓线向外不少于 20~50m(规模大的取值趋向上限,规模小的取值趋向下限)。JTG B01 中规定,公路用地范围为公路路堤两侧排水沟外边缘(无排水沟时为路堤或护坡道坡脚)以外,或路堑坡顶截水沟外边缘(无截水沟为坡顶)以外不小于 1m 范围内的土地,在有条件的地段,高速公路、一级公路不小于 3m,二级公路不小于 2m 范围内的土地为公路用地范围。

水利水电工程施工临时设施用地的范围须考虑工程的特点,

平原区从严控制，山区则考虑地形、地质条件和建筑物大挖大填影响适当放宽。

水利水电工程场内施工道路、施工临时设施、料场渣场等用地范围建议从工程外轮廓线向外不少于 5~20m（规模大的取值趋向上限，规模小的取值趋向下限）。河流水面用地一般包括左、右岸岸边用地范围至河道中心的区域。

施工用地一般连片征用。为封闭管理需要，征地拐点数尽量不要过多。水利水电工程施工临时设施及场地用地，一般分为非封闭管理和封闭管理用地。非封闭管理用地根据设施及场地实际占用面积征地；封闭管理用地可根据施工总布置、交通及运行管理需要连续成片征地，但须慎征严重影响当地居民交通、水源等生产、生活条件的区域。

开挖爆破、爆炸、火灾、辐射、烟尘、噪声等危及安全的施工影响区需根据影响方式、现场条件确定。爆破（含水下爆破）、砂石加工和施工运输为影响施工区及周边环境的主要施工因素。爆破施工环境是受多种因素影响的多变的动态系统，各类爆破均会产生爆破地震、空气冲击波、飞石及有毒气体，危及爆区及附近人员、设备、建筑物等的安全。因此，必须确定爆破安全距离，设置警戒范围和采取安全措施。爆破安全距离按各种爆破效应分别计算后取最大值。

7.6.7 集中的取料场和弃渣场等用地，原则上需列为临时用地，并按国家有关规定进行复垦，恢复利用；如确难复垦可列为永久用地，但需结合地形、地质条件和施工安排等，优化用地方案。

8 施工进度

8.1 一般规定

8.1.1 施工进度计划是从工程建设的施工准备起始到完工为止的整个施工期内，所有单项工程建设的施工程序、施工速度及技术供应等相互关系，通过综合协调平衡后显示出总体规划的工期与强度指标。施工总进度是其他专业进度的指南，各专业进度需服从于施工总进度的要求，反过来施工总进度需根据各专业进度的情况进行调整。

编制施工总进度时，需根据工程特点、工程规模、技术难度，依据我国施工组织管理水平和施工机械化程度，合理安排工程建设工期。需分析论证项目业主对施工总工期提出的要求。

《中华人民共和国建筑法》《中华人民共和国招标投标法》和《国务院关于投资体制改革的决定》、国家（和地方）发改委制定的《企业投资项目核准暂行办法》、国家对基本建设程序和项目开工条件的有关规定等是确定工程工期和编制施工总进度的主要根据之一，设计需满足相关要求。

在水利水电工程建设中，合理工期需基于合理的施工组织设计。合理的施工组织设计需根据工程项目的特点（工程量大小、难易程度等）、环境条件（如交通、水文气象等）等具体情况，基于目前能达到的施工能力、施工水平而定，且必须确保工程安全和施工质量，避免相互干扰，保证各工序正常的施工条件及施工周期，达到合理的施工效率和经济效益。一般情况下，机械化程度越高、工期越短，工程受益越早，项目的经济指标越好，但需引起注意的是对于不控制工期的分项工程或条件差的中型项目，采用高度机械化施工有可能引起临建工程规模或附加工程量的大幅增加。

施工总进度可按下列步骤进行编制：明确施工导流方案、导

程序和主体工程施工程序；编制单项工程进度；确立各单项工程间的逻辑关系，明确关键线路；调整平衡资源配置；确定工程总工期；编制工程总进度图（表）；编写施工总进度报告等。

施工总进度设计成果需明确下列事项：主要工程量表；施工控制性进度表；施工劳动力高峰人数、平均人数和总劳动量；土石方开挖、土石方填筑、混凝土浇筑强度等指标；钢材、木材、水泥、油料和爆破材料等需要量指标；初步设计阶段需列出永久工程、临时工程工程量汇总明细表；大型工程和复杂工程需列出分年工程指标，绘制土石方开挖、土石方填筑、混凝土浇筑强度和劳动力强度曲线。

8.1.2 根据我国水利水电工程建设的实际情况，本条对水利水电工程的各施工时段所进行的工作做出进一步明确，对主体工程施工开始起点进行了详细规定，以避免造成不必要的混乱。

随着社会主义市场经济的建立，我国工程建设管理实行项目法人责任制、招标投标制、工程监理制、合同管理制和资本金制。根据国家发改委的有关规定，工程项目建设程序由项目决策阶段、项目设计阶段、项目实施阶段、竣工验收交付生产阶段和项目后评价阶段组成；2004年国务院发布《关于投资体制改革的决定》，确立企业在投资环境中的主体地位，规定“对于政府投资项目，采取直接投资和资本金注入方式的，从投资决策角度只审批项目建议书和可行性研究报告”。1995年，水利部明确规定“水利工程建设程序一般分为：项目建议书、可行性研究报告、初步设计、施工准备（包括招标设计）、建设实施、生产准备、竣工验收、后评价等阶段”；2016年水利部对水利工程建设程序中“初步设计、施工准备（包括招标设计）”调整为“施工准备、初步设计”，并明确“项目可行性研究报告已经批准，年度投资计划已下达或建设资金已落实，项目法人即可开展施工准备，开工建设”，确定水利工程决策后，项目法人全面负责工程建设责任。目前，包括建筑、交通、电力、水利等各行业项目施工多分为施工准备、主体工程施工和竣工验收阶段，水利

水电工程施工准备阶段的工作内容包括本规范所规定的工程筹建期和工程准备期的工作内容。由于工程筹建期主要是安排进入施工场地的交通、供电和通信系统以及有关施工场地的征地和移民等工作内容，具有较多的不确定因素，因此习惯上在编制施工总进度时，工程施工总工期仅计列工程准备期、主体工程施工期和工程完建期三个施工时段工期之和。本条将水利水电工程实施阶段划分为四个施工阶段（工程筹建期、工程准备期、主体工程施工期、工程完建期）具有现实意义。主要理由有以下三点：

（1）工程筹建期和工程准备期所需要完成的主要工作均为施工准备工程，同属工程建设准备工作，是为主体工程开工建设创造条件所做工作，但性质有所区别，具有明显的场外和场内特点，筹建期的工作内容是准备期各项工作顺利开展的基础，特别是施工场地的征地补偿和移民安置工作，应在筹建期内尽快完成。工程项目招标、评标及签约等多属工程筹建期和准备期需要完成的管理性工作，有的工程建设内容也可以根据施工进度陆续安排进行招标，法律法规对此已有明确的要求，本规范修订时条文中删除了这些管理性工作内容。在保证工程进度的条件下，后续施工项目的准备工作可安排在前期工程的施工期进行。

技术复杂的工程，在施工准备阶段需要安排实施有针对性的试验性工程，目的是为初步设计以及施工图设计提供必要的技术参数。

导流工程是工程准备期中重要的工作内容，往往是主体工程开工的控制因素，应尽早安排实施。

（2）主体工程开工后，业主负责的对外工作大局基本已定，逐步转移到工程内部各方的管理协调上，设计、施工、监理等各参建方的技术和物质准备工作也基本结束，中心任务转变为落实蓝图上面，其工作方向、工作强度、质量要求完全不同于前期准备阶段。

(3) 首台(批)机组发电(或工程发挥效益)是项目开始还贷的起点。水利水电工程施工筹建期和准备期工程项目繁多、数量较大,其中施工准备期如导流工程等的工程投资和所需时间均占较大比例,具有与其他行业如建筑、火电等显著不同的特点,对于位于边远地区的大型水利水电工程尤甚。如装机容量1350MW的大朝山水电站设计安排完成筹建和准备工作需3年时间,占整个项目实施阶段历时的35%;截流前需完成投资额约13.82亿元,占整个项目实施阶段投资的33%。由于工程筹建期受当地条件和国家宏观调控政策的制约很大,有的工程仅对外交通和施工供电线路的建设就需时较长,且易受国家政策等其他条件影响,故工程筹建期不计入总工期是适宜的。工程建设总工期为后三项工期之和。

上述施工阶段基本按照水利水电行业的惯例进行划分的,在施工组织设计时,具体施工阶段划分和施工项目内容安排,必须符合现行的国家、水利部和地方政府关于水利水电工程项目基本建设程序的政策和相关规定。针对具体工程建设时,依据当前的产业政策,可以对各施工阶段的具体工作内容和施工项目安排进行调整、合并;在实际施工进度安排时,相邻两个阶段不存在明显的划分界限,其工作安排往往可交叉进行,比如:工程筹建期的中对外交通、施工供电和通信系统、施工场地征地以及移民等工作内容,在不影响工程施工的前提下,可以纳入工程准备期中进行。

主体工程施工工期起点以控制总进度的关键线路上的项目的施工起点计算。当控制工期的项目为拦河坝时,考虑到主河床实现截流是工程项目实施的重要里程碑,截流后工程施工全面展开,故此类水利水电工程主体工程施工起点确定为主河床截流后基坑开挖。当控制工期的项目为发电厂房系统时,尤其是充蓄水库工程或抽水蓄能电站的地下厂房,地质条件复杂,支护处理量大,工期长,故主体工程起点以厂房主体土建工程施工或地下厂房顶拱开挖为起点。当控制工期的项目为输水系统中长引水工程,尤

其是长引水隧洞工程，在进度关键线路上，以输水系统主体工程施工为起点。有些充蓄水库工程或抽水蓄能电站的上（下）水库工程量大，在进度关键线路上，则以上（下）水库工程施工为起点。主体工程施工期起点见表 37。

表 37 主体工程施工期起点一览表

序号	关键线路项目	主体工程施工期起点	备注
1	拦河坝（含河床式厂房、坝后式厂房、拦河闸）	主河床截流或拦河坝主体土建工程施工	—
2	发电厂房系统	厂房主体土建工程施工或地下厂房顶拱层开挖施工	—
3	输水系统	输水系统主体工程施工期	—
4	充蓄水库工程或抽水蓄能电站的上（下）库工程	上（下）库主体工程施工期	—
5	水闸	水闸主体工程开挖施工	—
6	泵站	泵站主体工程开挖施工	—
7	疏浚	疏浚主体工程开挖施工	—
8	堤防	堤防主体工程填筑施工	—
9	渠道	渠道主体工程开挖施工	—
10	其他	主体防护、挡墙工程砌筑	护坡、护岸、护底、挡墙等

8.1.3 本条主要针对编制施工总进度提出若干要求与原则，使设计人员有所遵循。强调“单项工程施工进度需与施工总进度相互协调”，“宜采用国内平均先进施工水平合理安排工期”，对于“地质条件复杂、气象条件恶劣或受洪水制约”的工程，工期安排宜适当留有余地。“平均先进施工水平”随着工程规模、工程环境条件的不同而不同，且随着时间的推移是不断发展的，设计时需充分调查、合理选用。

8.1.4 水利水电工程施工总进度需重点研究关键线路、次关键线

路上各作业的逻辑关系，以及技术复杂、难度大、相对重要工程的工作历时。在设计文件中明确影响施工形象的重要工程能够顺利开展的必要条件，对项目业主决定前期准备工作的进行和组织主体工程施工具有重要的参考作用。

8.1.5 横道图是以往设计中经常采用的形式。使用网络图编制施工总进度的方法，由于其具有许多优点，需该大力推广，本条对此加以明确规定。网络图的编制需按 JGJ/T 121 的有关规定执行。进度计划的表达方式主要有横道图和网络图两种，横道图表达直观易懂、容易掌握，便于检查和计算资源需求状况，但不能全面而准确的反映各项工作之间相互制约、相互依赖、相互影响的关系；存在难以在有限的资源下合理组织施工、挖掘计划的潜力等缺陷。而网络图恰恰弥补了横道图的不足，尤其是在对关键线路、关键工作的表现上非常直观，利于进度控制中抓住主要矛盾，同时对于机动时间可通过计算或直接读取的方式得到，便于对进度计划的调整和优化。水利水电工程施工总进度网络图编制步骤如下：

(1) 确定目标、分解工程项目：水利水电工程总进度目标是确保第一批机组的发电工期（或工程发挥效益）。在此前提下，视具体工程不同将其施工划分为几个单项工程，以水力发电工程为例划分如下：导流工程、挡水工程、泄洪工程、引水发电工程、防护工程等。

①导流工程：根据导流程序及其与大坝施工的逻辑关系，导流工程可分解为：导流泄水建筑物、截流、围堰、导流工程下闸封堵等施工。

②挡水工程：根据坝型的不同，大坝工程可分为混凝土坝和土石坝工程，其施工工序的划分不尽相同。坝体上升至发电高程、水库蓄水并满足第一批机组发电的要求，是控制水利水电工程施工进度的主要目标。

③泄洪工程：一般包括泄洪洞（孔），溢洪道和消能防冲建筑物等。泄洪工程需与施工导流、度汛相协调。

④引水发电工程：主要由引水系统、厂房系统、尾水系统组成。

⑤防护工程：特指专项防护工程。

(2) 确定施工方案：针对具体的施工方案，分析每个单项工程的施工工序，各施工工序之间以及各单项工程之间的逻辑关系等，绘制施工进度网络图。

(3) 确定工序历时：各工序工作时间的确定分两种情况，一种是对工序相对复杂、持续时间较长、往往难以用传统方法计算工序工期的情况，可通过施工仿真计算确定；另一种是工序相对简单、持续时间不长，或不确定因素较少的情况，可按实物工程量、工程经验和有关定额估算工序工期。

(4) 计算网络时间参数，判断关键工作和关键线路。

(5) 对网络进度进行资源、工期优化。

8.1.6 水利水电工程方案控制性进度的比选需从工期、施工强度、资源配置、投资和效益等方面综合考虑。

有条件时需采用计算机仿真技术，对资源配置、施工强度和工期风险等进行分析优化。水利水电工程施工中的资源一般指机械设备、劳动力、材料、水、电等，施工强度指标通常指最大强度、平均强度和不平衡系数，机械设备指标指其年、月利用率情况和不同机械配套的合理性。

随着计算机技术的发展，利用计算机技术进行施工组织设计已渐成主流。目前国内、外工程管理类软件大部分可用于施工方案的编制，可适应各种不同结构类型的工程，软件内容大部分以各种不同的施工工艺、不同的质量、安全等技术措施为单位，形成内置的施工组织设计模块或素材库，用户则根据工程具体情况，查询、浏览、编辑，所以编制方案的针对性强，能突出重点，也不会遗漏内容。只要输入相应数据，便能迅速生成所需的图表。有些软件对数据库内的资料均可以进行增加、修改或删除，这样就能更好地适应形势的发展，及时将成功的施工新材料、新工艺和新技术输入计算机，运用到实际工

程中去。

施工总进度仿真以网络计划技术为基础，采用蒙特卡罗 (Monte - Carlo) 随机模拟方法，对拟订的工程进度计划进行不确定性分析，评价拟订的工程总进度计划的可行性。施工总进度计划仿真分析结果包括施工总工期（或控制性工期）的分布、不同工期的完工概率和各个工序成为关键工作的概率（或关键度指标）等。

施工总进度蒙特卡罗 (Monte - Carlo) 仿真可基于工序持续时间的分布型式已知或影响工程进度计划的随机事件的发生概率已知进行，前者是较为成熟的施工总进度仿真方法，该方法通过对各个工序持续时间的抽样，然后依据逻辑关系和相应约束推求一次模拟的总工期（或控制性工期）；后者是一种新的方法，它通过对可能影响工程进度计划的随机事件抽样，通过分析事件对各个工序的影响机制生成各个工序的持续时间，然后依据逻辑关系和相应约束推求一次模拟的总工期（或控制性工期）。

基于工序持续时间的分布型式已知施工总进度计划仿真的步骤通常按照下列步骤进行：

(1) 按照工程总进度各个工序之间逻辑关系，建立网络进度计划。

(2) 采用计划评审技术 (PERT)、工程类比、工程定额、施工仿真分析等方法，估计各个工序的时间参数，确定各个工序的持续时间的分布型式。

(3) 运用蒙特卡罗 (Monte - Carlo) 方法，随机生成各个工序的持续时间。

(4) 根据逻辑关系，计算网络进度计划的总工期（或控制点工期）和关键路线。

(5) 记录本次模拟的总工期（或控制点工期）和关键工作。

(6) 重复步骤 (3) ~ 步骤 (5)，直到达到预定的模拟次数 N 为止。

(7) 按照得到的工期区间统计总工期（或控制点工期）的频率，绘制直方图，拟合形成经验分布曲线，统计计算各个工序成为关键工序的频率或关键度指标。

基于影响工程进度计划的随机事件的发生概率已知施工总进度计划仿真的步骤可按下列步骤进行：

(1) 按照工程总进度各个工序之间逻辑关系，建立网络进度计划。

(2) 确定影响进度计划实施的特定事件可能发生的概率。

(3) 确定不受特定事件影响情况下的各个工序的持续时间以及特定事件对各个工序影响的程度。

(4) 运用蒙特卡罗（Monte - Carlo）方法，对特定事件的发生进行抽样。

(5) 根据特定事件发生对各个工序的影响程度，计算各个工序的持续时间，再依据逻辑关系，计算网络进度计划的总工期（或控制点工期）和关键路线。

(6) 记录本次模拟的总工期（或控制点工期）和关键工作。

(7) 重复步骤（3）～步骤（5），直到达到预定的模拟次数 N 为止。

(8) 按照得到的工期区间统计总工期（或控制点工期）的频率，绘制直方图，拟合形成经验分布曲线，统计计算各个工序成为关键工序的频率或关键度指标。

对于规模较大的复杂的水利水电工程或工程采用了新工艺、新设备等使得工程某些关键工序的持续时间较难估计或估计精度不佳情况下，需采用单项工程施工过程计算机仿真方法，辅助总进度计划仿真分析。

8.2 筹建工程及准备工程施工进度

8.2.1 准备工程施工进度编制依据控制性施工进度计划，做好与主体工程施工进度合理衔接。编制准备工程施工进度步骤如下：

(1) 确定准备工程的项目，了解各项准备工程布置情况，收集工程量等资料。

(2) 根据准备工程规模、施工特性和工程总体控制性施工进度计划，参照类似工程经验，初步编制准备工程施工进度计划。

(3) 综合平衡土石方、砌石、混凝土、房屋建筑等工程的施工强度，结合投资计划和征地移民进度调整施工准备计划。

(4) 编制、完善准备工程进度计划。

明确对外交通工程中的道路、隧洞和桥梁等，以及地下工程施工交通通道（如抽水蓄能电站工程中的关键工程—地下厂房工程的通风洞），为了加快施工进度，保证主体工程顺利开工，建议在施工筹建期或准备期内建设。

场内交通主干线需尽可能提前与对外交通等筹建工程同期施工，场内其他公路与所服务的主体工程协调施工，以便节约前期筹建和准备时间。施工筹建、准备工程施工参考工期见表 38。

表 38 施工筹建、准备工程施工参考工期

序号	项目	规模	施工条件	参考工期/年	备注
1	准轨铁路	100km	山区	2~3	—
			丘陵	1~2	—
2	窄轨铁路	50km	—	0.5~1.0	—
3	公路	100km	山区	1.5~2.5	—
			丘陵	1.0~2.0	—
4	大型桥梁	>300m	—	0.5~1.0	—

8.2.2~8.2.4 合理安排好准备工程施工进度是保证按计划完成主体工程施工的先决条件，需着重对其施工进度进行分析。对于混凝土工程是关键工程的情况，需重点分析两大系统建设的施工工期。施工准备工程施工参考工期见表 39。

表 39 施工准备工程施工参考工期

序号	项目	规模	参考工期/年	备注
1	天然砂石系统	—	0.5~1.0	—
	人工砂石系统	>150 万 t/年	1.5~2.5	—
		30 万~150 万 t/年	0.5~1.5	—
		<30 万 t/年	0.5	—
2	混凝土系统	>70 万 m ³ /年	1.0~1.5	—
		30 万~70 万 m ³ /年	0.5~1.0	—
		<30 万 m ³ /年	0.5	—
3	高压输电线	100km	0.5~1.5	山区取大值
4	施工供水 (含取水泵站、 净化水池等)	小型	<1.0	山区取大值
		中型	0.5~1.5	
		大型	1.5~2	
5	通信线路	100km	0.5~1.0	山区取大值
6	房屋建筑	10 万 m ²	0.5~1.0	—
		10 万~20 万 m ²	1.0~2.0	—
		>20 万 m ²	2.0~3.0	—
7	施工供电工程 (含变电站等)	小型	<0.5	山区取大值
		中型	0.5~1.0	
		大型	1.0~1.5	

8.3 导流工程施工进度

8.3.1 合理安排导流工程进度关系着工程建设的总工期，对其关键性的节点工期如开工、截流、下闸、蓄水等日期的确定要有充分论证，同时能否满足主体工程工期要求是选择导流方案的因素之一，因此导流工程和施工进度安排相辅相成。

8.3.2 对于施工导流为控制工期的关键项目，提早开工有利于缩短工程施工工期，且为后续工作提供有利条件。一次拦断河床施工导流程序是在建成导流隧洞等泄流建筑物之后，上、下游围

堰一次拦断河床，形成基坑，进行坝基开挖处理，而后坝体全面升高。一次拦断河床施工导流方案的一般施工程序见图 3。

项 目	施 工 期					
	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	第六年
准备工程						隧洞封堵 底孔封堵
导流隧洞修建		↓	隧洞建成			↓
截流		↓	截流 围堰修建完成			
上、下游围堰修建			↓			
坝基开挖		岸 坡	河 床		底孔形成	
大坝	当为混凝土坝时			▽	↓	
	当为土石坝时			▽	↓ 拦洪	

图 3 一次拦断河床施工导流（隧洞导流）的一般施工程序

8.3.3 鉴于以往工程经验，有些分期导流工程在截流时对一期围堰拆除进度不够重视，以致带来不利于施工的问题，故在导流施工进度安排时需引起重视。分期导流方案一般采用分二期导流，其施工程序是将闸、坝分为二期施工，第一期先围一岸，进行一期基坑施工，待形成导流条件后，进行二期围堰截流，形成二期基坑，修建二期工程，直至工程完建。根据地形、水工布置和施工条件，也有分三期或多期施工导流的工程，其施工程序和二期导流方案基本相同。

8.3.4 确定河道的截流时间时，需充分考虑河流的水文气象特征、施工总进度安排、通航、供水等多方面因素后经综合分析确定。由于枯水期或汛后期河道流量基本处于下降趋势，流量相对较小，有利于减小截流规模和截流强度；在总进度安排中截流时间安排在枯水期或汛后期，可在非汛期完成堰体填筑、围堰闭气、基坑排水等准备工作，可以为主体工程施工争取到相对宽裕的施工周期。特别是北方工程，可以为混凝土浇筑施工提供最大限度的混凝土施工工期。另外，枯水期或汛后期由于通航交通相对较小，受截流影响也相对较小。因此，大部分工程的截流时间

基本都安排在枯水期或汛后期进行。河道流量小、截流后堰体填筑量较小的工程也可以在汛前期进行截流。国内部分工程截流施工历时及抛投强度资料见表 40。

8.3.5 围堰工程施工受洪水制约，其上升速度需满足设计挡水时段的要求，一个枯水期建议达到设计要求的面貌，使其能安全运用和度汛。

8.3.6 过水围堰在围堰过水前通过预报从基坑安全撤退，过水后经清淤、抽水后才能重新入基坑施工。安排进度时，这些工作对工期的影响需有所考虑。对于多泥砂河流上建坝、基坑过水后淤积很严重的情况，需引起重视。

8.3.7 需重视基坑初期排水的进度安排，因为开挖工效高低与基坑积水情况有很大的关系，以往有些工程不重视围堰防渗措施的质量或在防渗措施未完成情况下强行抽排，结果造成大量漏水。若围堰或地基大量漏水，有时会淹没整个基坑，基坑开挖工作将无法进行。

为了加快施工进度，盲目提高施工排水速度，可能会导致由于基坑降水速度过快，危及堰基边坡稳定，所以需考虑合适的排水程序和一定的排水工期。大型基坑排水时间可控制在 5~7d，中型基坑排水时间可控制在 3~5d。

8.3.8 强调合理确定挡水建筑物施工临时度汛时段，充分分析论证需在度汛时段之前达到工程的度汛面貌。

8.3.9 导流泄水建筑物（如导流隧洞、导流底孔等）封堵工程包括下闸、堵漏、洞内排水和清理、混凝土凿毛、分层分块浇筑混凝土、温度控制冷却、灌浆等工序，均需在一个枯水期内完成，故建议在汛后下闸。若在汛前下闸，需加强隧洞进口段衬砌与闸门结构，并对度汛安全进行充分论证。

8.3.10 大型水利水电工程的工程量大、工期长，为尽早发挥效益，国内已建的许多大型工程均在施工期间开始蓄水。影响施工期蓄水的因素很多，其控制因素是枢纽工程的施工总进度和施工形象面貌。在开始蓄水前，主要单项工程需要达到规定的防洪要

表 40 国内部分工程截流施工实例

工程名称	河流	截流流量 /(m^3/s)	截流方法与特点	龙口 宽度 /m	最大 落差 /m	最大 流速 /(m^3/s)	主戽堤 顶宽 /m	截流 历时	投抛强度 /[$\text{m}^3/\text{昼夜或}$ (m^3/h)]
三峡	长江	11600~8480	平抛垫底, 单戽双向立堵	130	0.66	4.22	35	29.5h	154000 (9100)
葛洲坝	长江	4610	单戽两岸立堵, 拦石坎护底, 下戽辅行	209	3.23	7.5	25	36h	70000
大伙房	浑河	30~22	平堵, 两条简易木栈桥, 0.1~ 0.15m 卵石护底	20	2.6	3.32	—	2.5h	—
神门河	黄河	2030	单戽一岸立堵	56	2.97	6.75	15~25	133h	7000 (294)
三门峡	神门岛泄水道	1720	单戽一岸立堵, 设管柱拦石栅, 用混凝土爆破体	35	4.37	6.50	8	32h	(107)
	鬼门河泄水道	960	先下闸(未堵死), 后单戽两岸 立堵	76	7.08	5.25	5	74.5h	4800
拓溪	资水	80	多龙口立堵、平堵、下闸相结 合, 12m立堵, 5m平堵, 5m下闸	22	1.09	4.48	—	12.5h	—
盐锅峡	黄河	447~400	单戽一岸立堵, 设管柱拦石栅	55	4.43	5.2	10	36h	(190)
位山	黄河	755~322	立堵, 埽工截流, 柳石枕合龙	—	1.6	3.78	—	—	—

表 40 (续)

工程名称	河流	截流流量 /(m^3/s)	截流方法与特点	龙口 宽度 /m	最大 落差 /m	最大 流速 /(m^3/s)	主铰堤 顶宽 /m	截流 历时	抛抛强度 /[$\text{m}^3/\text{昼夜或}$ (m^3/h)]
丹江口	汉水	310~280	先平堵后立堵, 截流前覆盖层已冲光, 平抛一部分以减少水深	23	2.84	6.88	7.5~14	3.2h	—
刘家峡	黄河	220	三铰进占, 单铰双向立堵, 左岸用汽车, 右岸用溜石槽	19	2.97	4—5	—	7h	(220)
青铜峡	黄河	346~325	立堵, 简易浮桥平抛护底, 护底宽 60m, 顺水长 37m	40	1.18	4.65	10	27.3h	7300
西津	郁江	624	预先平抛填坑, 单向立堵, 设拦石栅, 最后下闸合龙	149	1.75	4.7	—	80.7h	2500
龚嘴	大渡河	448~426	单铰两岸立堵, 曾用地锚锚系四面体	96	4	7	14~20	49.5h	(287)
恶滩	红水河	824	单铰一岸立堵, 仅用竹笼截流	24	4.66	9.0	—	7d	—
天桥	黄河	1000~150	单铰两岸立堵	48	3.10	6.0	左10, 右14	7d	3000
白山	第二 松花江	126	双铰两岸立堵, 下铰分担落差 0.2m	上18, 下20	1.48	4.8	8	3.8d	5352
大化	红水河	1390	单铰一岸立堵, 预先平抛填坑, 设拦石栅, 下铰辅行	59.4	2.33	4.2	16	24h	上12686, 下4397

求。这些要求在施工总进度中需做出具体安排。对于大流量、低水头分期导流的大型枢纽工程，还可以论证利用围堰挡水发电的可能性。施工导流进度安排对河道通航条件影响较大，需充分考虑施工期临时通航方案，统筹规划、合理安排。

8.4 土石方明挖工程施工进度

8.4.1 在水利水电工程施工中，土石方明挖主要是指按照建筑物设计体型、范围和对周边及建基面的要求进行的露天开挖，是水利水电工程的先行工序，不仅直接影响后续工序的进行，而且事关工程整体的进度、质量、安全及运行的稳定性。

土石方明挖可以包括坝基、溢洪道、堤防、渠道、地面厂房等水工建筑物地基开挖，以及隧洞进、出口开挖。土石方开挖一般自上而下分层进行，分层厚度经综合研究确定。土石方明挖的工期计算需分析工程所处的地形、地质条件、施工工作面布置、施工方法和施工设备的资源配置等，工期计算需包括采取特殊施工措施的工期、施工期大坝拦洪和蓄水对土石方明挖的影响工期。

土石方明挖一般分为一般明挖和沟槽开挖。土石方明挖包括永久工程或临时工程的场地清理、地基开挖、料场覆盖层清除等，一般土石方明挖不需要临时支撑就可以大面积开挖。沟槽开挖主要指小面积开挖。场地清理主要指永久或临时工程的施工用地需要清理的全部区域的植被清理和表土清挖。在土石方明挖进度编制时需考虑排水和降水措施工期。

土石方明挖出渣通道是影响开挖强度和工期的重要因素，在土石方明挖工期编制时，需充分考虑出渣通道的影响。在土方渠道及沟槽开挖过程中，需慎重研究确定开挖边坡，制定合理的边坡支护方案，确保施工安全和制定工期的合理性。

大型水利水电工程主体土石方开挖情况见表 41。

8.4.2 出渣通道是影响开挖强度及工期的重要因素之一。从目前国内外工程施工发展趋势来看，对出渣道路等级要求越来越高，

表 41 大型水利水电工程主体土石方开挖一览表

序号	工程名称	坝型	最大坝高 /m	岩石性质	开挖量 /万 m ³	开挖强度 /(万 m ³ /a)	开工年份
1	新安江	宽缝重力坝	105	砂岩、石英砂岩	586	—	1957
2	刘家峡	混凝土重力坝	147	云母石英片岩	811	—	1958
3	青阳峡	混凝土重力坝	42.7	灰页岩、砂岩	692	—	1958
4	碧口	土石坝	101.8	千枚岩、凝灰岩	531	—	1969
5	葛洲坝	土石坝、重力坝、闸坝	53.8	砾岩、砂岩、粉砂岩	7464	1259	1971
6	白山	重力拱坝	149.5	混合岩	501	—	1975
7	大化	空腹重力坝	78.5	薄层泥岩、泥质灰岩	747	—	1975
8	潘家口	重力坝、土石坝	107.5	片麻岩	539	78	1975
9	安康	混凝土重力坝	147	千枚岩	793	83	1978
10	天生桥二级	重力坝	58.7	灰岩、页岩	546	180	1982
11	岩滩	宽缝重力坝	110	辉绿岩	1058	42	1985

表 41 (续)

序号	工程名称	坝型	最大坝高 /m	岩石性质	开挖量 /万 m ³	开挖强度 /(万 m ³ /a)	开工年份
12	五强溪	混凝土重力坝	87.5	砂岩、石英岩	555	—	1986
13	隔河岩	重力拱坝	151	灰岩、页岩	588	110	1987
14	水口	混凝土重力坝	101	黑云母花岗岩	879	—	1987
15	李家峡	混凝土拱坝	165	片麻岩、片岩、混合岩	575	178	1988
16	天生桥一级	混凝土面板堆石坝	178	灰岩	2116	408	1991
17	二滩	双曲拱坝	240	玄武岩、正长岩	814	370	1991
18	莲花	混凝土面板堆石坝	71.8	花岗岩	624	350	1992
19	三峡	混凝土重力坝	183	花岗岩	12145	4400	1994
20	小浪底	斜心墙堆石坝	154	砂岩、粉砂岩	3625	1400	1994
21	洪家渡	混凝土面板堆石坝	179.5	灰岩	560	—	1999
22	龙滩	碾压混凝土重力坝	216.5	灰岩、砂岩、泥岩	1775	—	2001
23	水布垭	混凝土面板堆石坝	233	灰岩	—	—	2001

所以在计算施工工期时需考虑出渣道路这一因素。

国内部分工程石方明挖强度及工期情况见表 42。国外部分工程石方明挖强度及工期情况见表 43。

表 42 国内部分工程石方明挖强度及工期统计表

工程名称	开挖项目	开挖量 /万 m ³	月平均 开挖强度 /万 m ³	施工工期 /月	备注
三门峡	坝基石方	82.5	3.4	24	分二期施工
新安江	坝基石方	32.8	2.75	12	左、右岸分期施工
葛洲坝	一、二期河床	5134.5	82.8	62	扣除停工时间
梅山	坝基石方	33.7	8.4	4	—
龙羊峡	坝基石方	118	4.5	26	—
大化	厂坝石方	81.6	5.6	15	—

表 43 国外部分工程石方明挖强度及工期统计表

工程名称	开挖项目	月平均开挖强度 /万 m ³	施工年份
摩西罗克	石方	12.0	1965—1966
新布拉巴	石方	8.5	1966—1967
德沃歇克	石方	9.8	1966—1968
契尔克	石方	5.3	1966—1970
大古力	石方	15.6	1969—1970
姆拉丁其	石方	3.2	1970—1972

8.4.3 根据以往一些工程的经验教训，坝基水上部分的岸坡开挖与导流工程施工不重视安排平行作业，以致在截流后水上部分的岸坡开挖与基坑内的施工同时进行，形成很大的干扰，影响工效，有的还会造成人身事故或工程质量事故，延误工期。所以，建议坝基岸坡开挖与导流工程平行施工，河流截流前基本完成，为基坑全面开挖工作作好准备，以利于克服干扰，缩短工期。国内部分水利水电工程坝基开挖资料见表 44。

表 44 国内部分水利水电工程坝基开挖资料

工程名称	坝型、岩石、 导流方式	开挖量 /万 m ³		部位	开挖量 /万 m ³	面积 /万 m ²	开挖厚度 /m		平均开挖 强度 /(万 m ³ /月)	施工期 /(年-月)	开挖程序	开挖方式
		总量	坝基				最大	平均				
宝珠寺	混凝土重力坝， 岩石有页岩、灰 岩，并以砂岩为 主，明渠三期导流	492	252	右岸挡水坝段 及导流坝段	150.7	3.8	—	—	—	1987-10—1991-12	自上而下 及上下结合 开挖	主要采用 KQD-80 及 KQ-150 型潜孔钻机微 差爆破，边界进行预裂爆 破；出渣使用 3~5m ³ 装 载机，1~3m ³ 反铲，4 m ³ 电铲，装 15t 汽车运输
							20	—				
							—	—				
铜街子	混凝土重力坝， 三叠系玄武岩为 主，明渠二期导流	661	225	左岸坝段	41.21	—	18	—	—	1985-01—1985-12	自上而下 开挖	预裂控制爆破，挖掘机 装渣，自卸汽车出渣
				—	70	—	—	—	—			
				—	113.3	—	51	—	—			
天生桥 二级	碾压混凝土重力 坝，TSJ 岩层明渠 导流	164	75	坝体	70.39	2.4	38.42	19.47	5.5	1986—1989	—	主要用 4m ³ 挖掘机或 3.8m ³ 装载机装 10~20t 自卸车出渣，液压履带钻 机钻孔，微差挤压及预裂 爆破

表 44 (续)

工程名称	坝型、岩石、 导流方式	开挖量 /万 m ³		部位	开挖量 /万 m ³	面积 /万 m ²	开挖厚度 /m		平均开挖 强度 /(万 m ³ /月)	施工期 /(年-月)	开挖程序	开挖方式
		总量	坝基				最大	平均				
东风	双曲率混凝土薄拱坝, 中山叠统永宁镇组灰岩, 右岸导流洞	213.3	39.72	左坝肩	13.427	1.35	15	10	0.64	1989-06—1991-02	自上而下	坝基开挖采用深孔梯段微差爆破及少量抛掷爆破边坡采用预裂爆破和无保护层一次爆破技术。出渣用推土机推至河床岸边, 用液压挖掘机挖装 18t 自卸汽车运输
				右坝肩	19.349	1.75	15	10	0.88	1989-05—1991-02		
				河床深槽	6.4	0.46	6	4	3.2	1989-12—1991-02		
				左岸传力墩	0.54	0.04	13	13	0.04	1989-05—1989-06		
小浪底	土质斜心墙堆石坝二叠纪、三叠纪砂岩、粉砂岩、黏土岩, 分期导流、隧洞导流	6027	866	坝基	518.4 (右)	86.6	44 (总)	10 (总)	47.1 (右岸)	1994-12— 2000-06 (总) 1994-12— 1995-11 (右)	自上而下	深孔梯段微差爆破。心墙槽侧边预裂, 建基面用保护层浅孔小药量爆破
黑河	黏土心墙、砂砾石坝, 云母石英片岩、绿泥石片岩、钙质石英岩, 左岸导流洞	1360	229.8 (其中石方 119.6)	右坝肩	84.6	6.32	55	13.4	6.1	1996-09—1997-10	自上而下	深空梯段微差爆破, 侧坡预裂。河床及右岸(坡比 1:1.36)建基面留保护层, 采用柔性垫层一次爆破, 左岸坡比 1:0.75, 建基面预裂。右岸分阶出渣, 左岸一次出渣
				左坝肩	103.4	7.93	61	13.1	7.2	1996-10—1998-09		
				河床	41.4	8.41	26	5.0	8.6	1998-11—1999-03		

8.4.4 利用开挖渣料作为土石坝体填筑料或进行混凝土骨料制备，可以达到节约投资、保护环境的双重目的，应当加以提倡。为提高开挖渣料的直接利用率，因而建议开挖进度安排与填筑需求协调一致，否则会影响到坝体升高速度、混凝土浇筑或增加二次倒运工作量和工程费用。

8.4.5 土料场地下水水位较高时，需考虑提前降低地下水位的工期与干扰，土料含水量过大不能满足直接使用的，进度安排时需考虑翻晒的时间，以便土料开采强度与填筑强度相协调。分析料场位置、开挖规模、开采条件以及土料性质等条件，便于结合表层清理、分层开挖与边坡防护、填筑方法等因素合理安排开采进度。

土料开采受雨水影响明显，进度安排时需分析有效施工天数并适当留有余地，以确保不对填筑工期造成影响。受主体工程填筑的影响，确需开采土料的，需协调好填筑与开采的进度，确保填筑质量，开采强度和进度安排需考虑采取保护措施对开采的影响。

8.4.6 砂砾石料场开采往往受水文气象条件影响明显。进度安排时需结合使用部位或使用要求，尽量避开低温、洪水、蓄水等影响，以降低开采难度、节省费用。

8.4.7 石料开采的工期计算时需分析工程所处的地形、地质条件、施工工作面布置、施工方法和施工设备的资源配置等，工期计算需包括对覆盖层清理、不良地质及不稳定边坡处理等采取特殊施工措施的影响工期。

8.4.8 用于加工骨料的石料需要提前开采，开采的时段需结合骨料需求高峰强度、加工系统的生产能力，以及考虑设备故障、天气等因素需要储备数量进行计算。一般骨料备用量不少于5~7d用量，重要且条件复杂的工程尚需更长，比如溪洛渡工程，备用量为15d使用量。因此，用于加工的石料开采进度需要综合分析，提前安排。

8.4.9 强调开挖边坡支护的适时性和及时性，特别是高边坡开挖的支护，需引起足够重视。

8.5 地基处理工程施工进度

8.5.1 主要提示有关地基处理需注意的事项。

8.5.2 两岸岸坡有地质缺陷的坝基基础处理工程量大，处理起来较复杂，是对总工期起控制作用的因素之一，所以需作较详细分析，以落实所需工期。同时需注意坝基范围以外部分，亦需在蓄水前完成。如龙羊峡工程岸坡地基处理工程量很大，直接影响到施工总工期。

8.5.3 岸坡不良地质地基处理技术复杂、处理工程量很大、牵涉到总工期问题需慎重分析工期，在工期安排上需有所考虑，并要求在覆盖前完成。

明确了固结灌浆、帷幕灌浆的施工顺序和施工工期安排的要求：

(1) 明确固结灌浆和帷幕灌浆的施工顺序。由于固结灌浆孔浅，采用的灌浆压力较小，且布置范围较大，先施工可以将浅层岩石中的裂隙充填密实，从而减小了帷幕灌浆时的串、冒浆情况，也可以使帷幕灌浆采用较大压力。

(2) 目前国内工程一般采用有盖重（式）灌浆，但也将无盖重灌浆作为一个重要的补充措施。为了增强固结灌浆效果，建议在混凝土盖重情况下施灌，特殊情况下可以采用无盖重下基岩施灌，有利于缩短固结灌浆时间，减少与后续工程的施工干扰，但混凝土与岩石接触面是否需要补灌及如何补灌问题，在方案选择时需综合考虑研究确定。

(3) 面板堆石坝帷幕灌浆一般安排在坝基趾板面施工，混凝土坝帷幕灌浆可以在廊道、灌浆平洞内完成，需在蓄水前结束施工。为保证帷幕后排水孔有效性，排水孔的施工需安排在帷幕灌浆后进行。帷幕灌浆的施工工期需考虑施工场地的条件。

8.5.4 混凝土防渗墙施工工期考虑下列因素：

- (1) 混凝土防渗墙槽段的划分。
- (2) 工程地质及水文地质条件。

(3) 施工分期、施工导流度汛的安排。
(4) 施工部位、墙体的深度和厚度。
(5) 造孔工艺、施工设备性能、施工场地条件和混凝土供应能力。

(6) 混凝土龄期与防渗墙检测时间等。

混凝土防渗墙的槽孔建造工期满足下列要求：

(1) 槽孔建议分期建造，槽孔建造结束后，经检查合格后方可进行清孔。

(2) 清孔检验在换浆完成 1h 后进行，合格后需在 4h 内开浇混凝土。

高压喷射灌浆防渗墙施工工期结合分析论证或工程类比确定，并考虑下列因素：

(1) 工程需要、地质条件、地下水流速和水文地质条件。

(2) 喷射灌浆形式、高喷墙体结构形式和规格尺寸。

(3) 施工工艺、施工条件和设备生产能力。

(4) 防渗墙的龄期和检测时间等。

8.5.5 采取开挖置换的地基处理方式时，根据基础开挖、坝体浇筑（填筑）施工工期确定其合理工期。

振冲加固施工工期结合分析论证或工程类比确定，并考虑下列因素：

(1) 设计荷载、设计桩长、设计桩径。

(2) 地层特性、振冲桩体的材料和设计每延米的填筑量。

(3) 施工工艺、振冲器具的功率和填料方式等。

灌注桩施工工期结合分析论证或工程类比确定，并考虑下列因素：

(1) 地质、水文地质条件。

(2) 设计的桩径、桩深尺寸。

(3) 成孔的施工工艺、钢筋笼体的安装和混凝土浇筑等。

锚索施工工期结合分析论证或工程类比确定，并考虑下列因素：

- (1) 工程地形、地质条件和地下水情况。
- (2) 钻孔工艺、施工部位、施工条件和张拉设备等。

8.6 土石方填筑工程施工进度

8.6.1 实际施工有时难于实现设计要求的度汛面貌，处于非常被动的局面，某些工程因此引起失事事故，造成不必要的损失，故专门列此一条，要求在设计时对工期分析需作到充分合理。

8.6.2 明确了坝体填筑强度满足总工期、度汛要求，同时考虑填筑强度的均衡性、协调性和料场出料能力、设备生产能力的要求。

随着筑坝技术的发展，堆石坝大量采用，施工设备不断向大吨位、高容量、高功率、高效率、多种类、配套化方向发展，实际填筑强度在加大。如水布垅面板堆石坝坝高 233m，坝体总填筑量 1546 万 m^3 ，其坝体填筑施工从 2003 年 1 月底开始，至 2006 年 9 月完成，填筑总工期 40.5 个月（已扣除 2003 年 6 月 1 日—9 月 20 日汛期坝面过水影响时间），平均月填筑强度 38.17 万 m^3 ，高峰月填筑强度 75.11 万 m^3 ，其坝体高峰月填筑量与填筑总量比例为 1 : 20.58。十三陵抽水蓄能电站上水库板堆石坝坝高 75m，坝体总填筑量 275 万 m^3 ，其坝体填筑施工从 1992 年 4 月开始，至 1993 年 9 月 20 日完成，历时 18 个月，平均月填筑强度 15 万 m^3 ，高峰月填筑强度 28.28 万 m^3 ，其坝体高峰月填筑量与填筑总量比例为 1 : 9.72。鲁布革水电站直心墙堆石坝，坝高 103.5m，坝体总填筑量 222 万 m^3 ，其坝体填筑历时 25.6 个月，高峰月填筑强度 22.33 万 m^3 ，其坝体高峰月填筑量与填筑总量比例为 1 : 10。坝体填筑施工的各期填筑强度需有协调均衡要求，其比值建议不超过 1.3~1.6，以免使用过多的施工机械、劳动力和临时设施。

近年来施工的混凝土面板堆石坝填筑强度统计见表 45。

8.6.3 强调设计者需重视水文、气象对土石坝施工进度的影响，并需分析料场开采、坝体填筑等的年、月施工天数。部分土石坝计划的施工天数见表 46。

表 45 混凝土面板堆石坝填筑强度统计表

序号	坝名	坝体体积 /万 m ³	平均强度 /(万 m ³ /月)	高峰强度 /(万 m ³ /月)
1	水泊渡	49.40	5.39	—
2	老渡口	133.84	14.90	—
3	古洞口	193.50	11.06	—
4	大桥	198.00	8.49	—
5	鲁布革	222	8.95	—
6	芹山	248.00	14.88	—
7	那兰	249.30	17.00	19.00
8	龙首二级	253.00	15.18	—
9	引子渡	286.00	44.40	—
10	街面	342.00	38.50	—
11	瓦屋山	350.00	21.00	—
12	升钟	357	14.59	—
13	公伯峡	471.00	34.20	—
14	盘石头	540.00	23.14	—
15	冶勒	670	24.36	—
16	乌鲁瓦提	677.00	30.09	—
17	吉林台	836.20	40.00	69.00
18	董箐	891.00	44.55	—
19	洪家渡	906.00	29.00	33.70
20	三板溪	960.00	40.00	71.67
21	滩坑	1000.00	40.00	60.00
22	紫坪铺	1167.00	43.00	86.00
23	茅坪溪	1213	30.33	—
24	天生桥一级	1800.00	55.00	117.93
25	瀑布沟	2052	48.86	—
26	溧阳(抽水蓄能)	2158	53	—
27	水布垭	2326.00	36.40	—
28	糯扎渡	3591.66	73	—
29	小浪底	5185	106.11	157.97

表 46 部分土石坝计划的施工天数

工程名称	月份												小计	施工情况
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
石头河	17/20	12/19	23/30/	17/25	17/26	15/23	15/25	16/26	10/19	16/25	22/28	22/25	202/291	土料 173d, 石料 336d
毛家村	16/29.5	18/27	23/29	25/26	19/24.5	0/22.5	0/25	0/22	0/18	16/24	23/25.5	27/29.5	167/302.5	接近
升钟	25/30	25/24	25/30	24/29	21/28	22/24	19/25	21/22	15/23	23/26	25/29	25/31	270/321	没达到
鲁布革	25/27	24/25	26/27	16/22	0/14	0/14	0/11	0/15	0/15	0/19	17/19	29/29	137/237	—
松涛	28.5/26	22.5/22	26.5/27	21.5/25	17.5/23	14.5/23	18.5/25	15.5/25	5/20	17/23	20/25	26/27	233/288	没达到
黑河	17/20	12/12	23/28	17/26	17/26	15/27	15/22	16/24	10/18	16/21	22/27	22/24	202/275	土料 225d, 石料 262d
小浪底	22/25	16/19	22/24	18/22	19/23	17/22	14/21	18/22	18/23	18/22	21/23	23/25	226/271	—

注：分子为土料施工天数，分母为坝壳料施工天数。

8.6.4 施工期需临时过水的土石坝，一般坝体防护工作量都很大，因此要求设计者在进行工期分析时需慎重考虑。

8.6.6 土质心墙坝、土质斜墙坝和均质土坝的上升速度，结合导流设计、施工总进度安排、施工方法分析比较选定。土石坝上升速度主要受心墙（斜墙）上升速度的控制，心墙（斜墙）施工上升速度和土料的性能、有效工作日、工作面条件、运输与碾压设备性能以及施工工艺等有关，一般通过分析并结合工程经验确定，必要时可以进行现场生产性试验。黏土料填筑速度一般为 $0.2\sim 0.5\text{m/d}$ ， $3\sim 7\text{m/月}$ ，最高可达 10m/月 以上，黑河坝曾达到 14m/月 。

8.6.7 一般来说，沥青混凝土心墙施工进度决定沥青混凝土心墙坝体填筑进度，沥青混凝土心墙与两侧过渡料交错式平起上升，两侧的坝壳料进度略低于心墙进度或与心墙进度一致。沥青混凝土斜墙在坝体填筑完成后施工，为了保证施工质量，在满足施工进度要求的情况下，最好在坝体沉降完成后，再进行沥青混凝土斜墙施工。

8.6.8 混凝土面板堆石坝填筑，在保证按期达到各期计划目标的前提下，各个施工期的填筑强度均衡，避免使用过多的施工机械、劳动力和临时设施，保持施工的均衡性。堆石坝施工进度，需按石料的开采强度、运输能力和填筑强度进行复核。

在截流后可以先期填筑趾板线下游 $20\sim 30\text{m}$ 范围外的堆石体，在此范围内的垫层、过渡层和部分堆石体可以待浇筑趾板后再填筑。

混凝土面板堆石坝的施工工期主要受坝体填筑控制，需合理安排防渗体施工时间，减少防渗体施工与坝体填筑等相互干扰。混凝土面板施工前，相应坝体需有不小于 3 个月的预沉降期。坝高不大于 70m 时，面板混凝土最好一次浇筑完成；坝高大于 70m 时，根据施工安排或提前蓄水需要，面板建议分二期或三期浇筑。分期浇筑的面板，其施工缝需低于填筑体顶部高程，高差建议大于 5m 。近年来施工的混凝土面板堆石坝填筑强度统计见表 47。

表 47 混凝土面板堆石坝填筑强度统计表

序号	坝名	坝体体积 /万 m ³	平均强度 /(万 m ³ /月)	高峰强度 /(万 m ³ /月)
1	水泊渡	49.40	5.39	—
2	老渡口	133.84	14.90	—
3	古洞口	193.50	11.06	—
4	大桥	198.00	8.49	—
5	鲁布革	220	8.95	—
6	芹山	248.00	14.88	—
7	那兰	249.30	17.00	19.00
8	龙首二级	253.00	15.18	—
9	引子渡	286.00	44.40	—
10	街面	342.00	38.50	—
11	瓦屋山	350.00	21.00	—
12	升钟	357	14.59	—
13	公伯峡	471.00	34.20	—
14	盘石头	540.00	23.14	—
15	冶勒	670	24.36	—
16	乌鲁瓦提	677.00	30.09	—
17	吉林台	836.20	40.00	69.00
18	董箐	891.00	44.55	—
19	洪家渡	906.00	29.00	33.70
20	三板溪	960.00	40.00	71.67
21	滩坑	1000.00	40.00	60.00
22	紫坪铺	1167.00	43.00	86.00
23	茅坪溪	1213	30.33	—
24	天生桥一级	1800.00	55.00	117.93
25	瀑布沟	2052	48.86	—
26	溧阳(抽水蓄能)	2158	53	—
27	水布垭	2326.00	36.40	—
28	糯扎渡	3591.66	73	—
29	小浪底	5185	106.11	157.97

有研究文献表明，高 178m 的天生桥一级混凝土面板堆石坝在施工及初期蓄水期间，混凝土面板所出现的裂缝和超常脱空的主要原因是堆石徐变量大，面板混凝土浇筑离填筑完成时间太短造成的。为保证混凝土面板施工质量，避免混凝土面板和防浪墙脱空，洪家渡工程设计建议面板混凝土施工时坝体需自然沉降 3 个月以上，最好经历一个汛期；水布垭工程设计进度安排面板混凝土浇筑滞后坝体填筑 6~10 个月或使其与临时坝顶有近 20m 的高差。所以，本条规定混凝土面板施工前，相应坝体需安排一定的沉降期，主要是针对高面板堆石坝工程的。

8.6.9 堤防、护岸、护坡工程属于线性工程，分期分段施工有利于保证工程进度，有利于多工种、多部门协同施工，灵活掌握施工时段，突出重点，解决关键部位的防汛问题，保证工程安全。

8.7 混凝土工程施工进度

8.7.1 本条明确了混凝土工程施工和导流度汛、混凝土生产系统、运输浇筑能力及混凝土温控等工程项目有密切关系，安排混凝土施工进度时需综合考虑，引起足够重视。

8.7.2 本条明确了混凝土浇筑月工作日一般情况下采用的天数，对控制直线工期的关键项目施工天数需要细致计算，即日历天扣除气象停工天数。

北方地区施工时间一般为 4—10 月，仅 7 个月，如再考虑汛期暴雨、洪水的影响，施工有效时间会更短。冬天、雨天需要施工时，需采取有效措施（如冬天搭暖棚、雨天搭遮雨棚、夏天降温等）。

8.7.3 本条阐明了常态混凝土平均升高速度需考虑的因素，混凝土浇筑进度有两个主要指标，一个是浇筑强度，它是反映机械设备容量与混凝土不均匀系数的指标；另一个是坝体平均升高速度，它是反映形象面貌和施工程序的指标。这二者指标都能满足要求，才能实现工程进度计划。

坝体常态混凝土升层高度强约束区（高度 $\leq 0.2L$ ， L 为坝体最大宽度）可以按 1.5~2m 考虑，脱离强约束区后可以为 3.0m。坝体常态混凝土正常浇筑情况下月平均浇筑强度可以按表 48 选取。月平均上升高度可以按表 49 参考选用。

表 48 常态混凝土月平均浇筑强度参考值

混凝土总量 /万 m ³	月平均浇筑强度 /万 m ³	月平均浇筑强度 占总量百分比/%
20~60	2.0~4.0	10.0~5.0
60~120	3.0~5.0	5.0~4.0
120~250	4.0~8.0	3.5~3.0
250~500	6.0~15.0	3.0~2.4

表 49 常态混凝土月平均上升高度参考值 单位：m

坝型	一般坝段	引水、溢流坝段	闸坝
重力坝	4.0~6.0	3.0~4.0	4.0~6.0
重力拱坝	5.0~7.5	3.0~4.0	4.0~6.0
薄拱坝	6.0~8.0	—	—
轻型坝	6.0~9.0	—	—

8.7.4 本条阐明了碾压混凝土平均升高速度需考虑的因素，每一升层高度，强约束区（高度 $\leq 0.2L$ ， L 为坝体最大宽度）可以按 1.0~2.0m 选取，脱离强约束区后可以为 3.0~6.0m。坝体碾压混凝土正常浇筑情况下，月平均浇筑强度可以按表 50 选取。坝体碾压混凝土正常浇筑情况下，月平均上升高度可以按表 51 选用。

表 50 碾压混凝土月平均浇筑强度参考值 单位：万 m³

混凝土总量	月平均浇筑强度	混凝土总量	月平均浇筑强度
100 以下	3.0~5.0	250~500	12.0~15.0
100~250	7.0~12.0	500 以上	15.0~25.0

表 51 碾压混凝土月平均上升高度参考值 单位: m

坝 型	挡水坝段	溢流坝段
重力坝	5.0~8.0	4.5~6.0
拱坝	9.0~12.0	6.0~9.0

8.7.5、8.7.6 主要根据国内实践经验,强调了施工进度与安全度汛的关系,彼此需互相协调,尤其是接缝灌浆涉及的问题比较多,需作妥善安排。

混凝土坝接缝灌浆需符合下列要求:

- (1) 需自下而上分层进行。
- (2) 同一高程上重力坝建议先灌纵缝再灌横缝,拱坝建议先灌横缝再灌纵缝。

(3) 横缝灌浆建议从大坝中部向两岸推进。

(4) 纵缝灌浆建议从下游向上游推进;也可以先灌上游第一道纵缝后,再从下游向上游推进。每一灌区高度建议为 9~12m,面积建议为 200~300m²。当每一灌区高度超过 12m,面积超过 300m² 时需特别论证。

各灌区符合下列条件时方可以进行灌浆:

- (1) 灌区两侧坝块混凝土的温度需达到设计规定值。
- (2) 灌区两侧坝块混凝土的龄期建议大于 6 个月。在采取了有效冷却措施情况下,一般不少于 4 个月。

(3) 除顶层外灌区上部混凝土厚度一般不少于 9m,其温度需达到设计规定值。

(4) 接缝的张开度一般不小于 0.5mm。

(5) 灌区密封,管路和缝面畅通。

同一高程的灌区灌浆,需符合下列要求:

- (1) 灌浆结束 3d 后,其相邻的灌区方可以灌浆。
- (2) 相邻灌区具备灌浆条件时,可以采用同时灌浆方式,也可以采用逐区连续灌浆方式。

(3) 采用连续灌浆时,前一灌区灌浆结束后 8h 以内,开始

后一灌区的灌浆，否则仍需间隔 3d 后再进行灌浆。

同一坝缝的灌区灌浆，需符合下列要求：

(1) 下层灌区灌浆结束 14d 后，上层灌区方可以灌浆。

(2) 上下层灌区具备灌浆条件时，可以采用连续灌浆方式，但上层灌区灌浆需在下层灌区灌浆结束后 4h 以内进行，否则仍需间隔 14d 后再进行灌浆。

8.7.7 一般情况下基础岩石开挖完成后再覆盖混凝土。但当厂房为关键工程时经充分论证覆盖混凝土可以与岩石开挖交叉进行施工。当厂房混凝土浇筑需与岩石开挖交叉进行时，需论证其必要性和安全性，强调爆破开挖对已浇筑或新浇筑混凝土不要产生有害影响。

8.7.8 本条对厂房工程的施工进度做出了相关规定，并明确了需考虑的因素。为充分发挥桥机（一般为小桥机）的吊装作用，一般优先形成安装间，尽早完成桥机（特别是小桥机）的安装。

8.7.11 考虑到国内一些工程施工均衡性较差，以致既占用了施工设备又延长了工期。一般混凝土浇筑不均衡系数与导流方式和坝型虽有一定关系，但不明显，可以忽略不计。但是与浇筑期历时有关。通常建设工期历时短的，其均衡性较好，月不均衡系数就低；反之，月不均衡系数偏高，高峰时段与高峰年的月不均衡系数也相应增大。根据实际工程施工经验推荐不均衡系数建议值，详见表 52。

表 52 不均衡系数建议值

项 别	整个工程 浇筑期	高峰时段		
		历时超过 15 个月	历时 12 个月	历时小于 8 个月
国内平均先进值	2.36	1.6	1.5	
国外先进值	1.31	1.28	1.2	
建议值	2.3~1.3	1.6~1.3	1.5~1.25	1.4~1.2

通过对 20 世纪 90 年代以来国内已建和在建的部分大坝混凝土浇筑月不均衡系数进行的统计表明，常态混凝土坝的月不

均衡系数大多为 1.27~1.7，个别项目如 1994 年完工的东风薄拱坝（坝高 162m）的月不均衡系数达 2.44；高峰年浇筑混凝土的月不均衡系数多数为 1.2~1.4，最大为 1.68。可见 20 世纪 90 年代以来，我国混凝土坝的施工技术和管理水平已经有了很大进步，接近国外水平。国内已建大型工程常态混凝土浇筑高峰不均衡系数见表 53，国内大型工程常态混凝土坝浇筑月不均衡系数见表 54，国内已建碾压混凝土坝的月不均衡系数见表 55。

表 53 国内已建大型工程常态混凝土浇筑高峰不均衡系数

工程名称	高峰年强度 /(万 m ³ /年)	高峰月强度 /(万 m ³ /月)	高峰年月平均强度 /(万 m ³ /月)	月不均衡 系数
五强溪	117	16.3	9.7	1.68
隔河岩	90.4	10.2	7.5	1.4
漫湾	88	9	7.3	1.233
龙羊峡	72	7.5	6	1.25
二滩	211.6	24.5	17.6	1.392
三峡二期	542.85	55.35	45.24	1.224

注：二滩工程强度为整个工程的全部统计结果。

表 54 国内大型工程常态混凝土坝浇筑月不均衡系数

坝型	工程名称	坝高 /m	坝体 混凝土 总量/m ³	混凝土 浇筑净 历时/月	平均强度 /(万 m ³ /月)	高峰月 强度/(万 m ³ /月)	月不均衡 系数
拱坝	东风	162	42.56	26	1.64	4	2.44
	二滩	240	410	39	10.38	16.36	1.575
	小湾	294.5	846.9	64	13.23	22.5	1.7
	锦屏一级	305	430	56	10.27	17.47	1.7
	拉西瓦	250	253.9	45	6.42	8.35	1.3
重力 坝	三峡二期	181	1600	41.29	38.75	55.35	1.43
	漫湾	132	240	34	7.06	9	1.27

表 55 国内已建碾压混凝土坝施工指标

坝型	工程名称	坝高 /m	碾压 混凝土 总量 /m ³	混凝土 浇筑净 历时/月	平均强度 /(万 m ³ /月)	高峰月 强度 /(万 m ³ /月)	月不 均衡 系数
拱坝	普定	75	13.7	9.6	1.43	2.54	1.77
	招徕河	107	22	10.27	2.14	3.96	1.85
	光照	200.5	279	34	8.21	24.84	3.03
重力坝	大朝山	111	135.25	29.5	4.58	9.1	1.99
	棉花滩	115	64	18	3.56	5.96	1.68
	龙滩一期	192	341	51	6.69	28	4.19
	江垭	131	137	22	6.23	12	1.93
	官地	168	327	23	14.21	28.3	1.99

8.8 地下工程施工进度

8.8.1、8.8.2 主要考虑到地下厂房布置往往形成一组洞室群，它深受工程地质与水文地质以及建筑物布置的影响，其施工干扰性较大，如不事先加以统一考虑，则会影响工程进度。所以，要实现快速施工，需做好施工程序设计，提出有效的技术措施。

水利水电工程地下建筑物包括：引水隧洞、尾水隧洞、导流洞、泄洪洞、放空洞、排砂洞、调压井、地下主副厂房、主变压器室、尾闸室、交通洞、通风洞（井）、出线洞（井）、排水洞和施工支洞等。

(1) 按照工作性质分为过水和不过水两大类。

(2) 按其结构特性分为不衬砌结构、柔性支护结构（喷锚支护）、混凝土衬砌结构和钢衬结构等。

(3) 按体型和布置型式可以分为平洞、斜井、竖井、大型洞室等。

地下工程施工主要工序为：开挖，出渣，安全处理或临时支护，浇筑混凝土衬砌或锚喷混凝土衬砌，灌浆及附属工作，金属

结构及机电安装等。

8.8.3、8.8.4 地下工程的施工进度，与地质、水文地质、断面积和断面形状、采用的施工方法及工作面个数有关。同时受交通条件的限制，因此在编制地下工程施工进度之前，研究设置施工支洞布置的合理性与必要性，为地下工程洞室群的施工程序的合理衔接创造条件，满足施工总进度的要求。

确定开挖作业循环进尺的因素较多。虽然其成果的主要参数是钻孔深度，但是国内外计算钻孔深度的公式有以装渣时间、钻孔时间或循环作业时间作为主要控制因素的，也有综合上述三个因素的，本标准推荐根据综合装渣、钻孔、一次支护的循环作业时间确定开挖作业循环进尺。

(1) 最大钻孔深度受钻孔设备和围岩类别限制，按照 SL 378《水工建筑物地下开挖工程施工规范》中的规定：

① I～Ⅲ类围岩，采用手风钻造孔时，循环进尺建议为 2.0～4.0m；采用液压单臂或多臂钻造孔时，循环进尺建议为 3.0～5.0m。

② Ⅳ类围岩，循环进尺建议为 1.0～2.0m。

③ Ⅴ类围岩，循环进尺建议为 0.5～1.0m。

(2) 单项工序的进度按下列规定经分析确定：

① 对关键线路中的主要洞室，需进行循环作业进尺分析。

② 钻爆法月进尺可以按以循环作业时间计算的理论月进尺乘以 0.6～0.7 的系数安排。

(3) 钻爆法施工每循环的炮孔深度需根据洞室的围岩条件、断面尺寸和钻孔机械的性能确定。炮孔深度一般不超过隧洞宽度的 0.6 倍，每循环开挖进尺建议为炮孔深度的 0.85～0.9 倍。并需按 SL 378 的规定确定循环进尺。平洞开挖循环作业的时间，符合下列要求：

① 以班为单位进行安排。

② 小断面洞室可以安排每班两个及以上的作业循环。

③ 中型断面洞室可以每班一个循环。

④ 大断面洞室可以 2～3 班一个循环。

(4) 爬罐开挖速度，一般为 2~3m/d。

(5) 天井钻机开挖速度，结合井深、地质条件、设备、岩石性状、井的倾角和钻井直径等综合考虑，一般为 4~10m/d。

(6) 随着地下工程施工设备、施工工艺、施工水平的日益更新，地下工程开挖工期也将会不断缩短，需不断积累实际工程经验，通过类比来确定地下工程开挖施工工期。国内部分平洞钻爆法施工实例见表 56。

(7) 小断面斜井、竖井和导井开挖时采用向上开挖法，选用爬罐开挖作为升降钻孔平台是一种先进、成熟的方法。爬罐目前是国内、外陡倾角、长斜井施工最常采用的设备。爬罐开挖具有施工安全性能良好、出渣容易、施工进度快的优点。爬罐的开挖速度受地质条件、工程规模、施工条件和设备性能等制约。爬罐开挖速度，建议为 2~3m/d。在国内水利水电工程项目的反导井施工中，许多大、中型抽水蓄能电站（如广州抽水蓄能电站、浙江天荒坪抽水蓄能电站、十三陵抽水蓄能电站、桐柏抽水蓄能电站等）进行了成功应用。国内部分工程爬罐法施工实例见表 57。

(8) 天井钻机是一种将竖井钻机和巷道掘进技术结合而成的设备，天井钻机开挖竖井、斜井是一种高效率、高安全、高质量、施工方便、人工劳动强度小的凿井施工方法。天井钻机安装在露天或两个工作面的上工作面，天井钻机开挖速度需根据钻孔深度、钻孔直径、井孔倾角、地质条件、施工条件和设备性能等因素综合确定。国内的天井钻机在水利水电工程上一般用于 45°~90°大倾角斜井、竖井的施工，国产天井钻机直径一般为 1.2m、1.4m、2.0m，深度可以达 400m。国外天井钻机扩孔直径可以达 7.0m，井深可以达 1000m，可以在 0°~360°范围内使用，从软岩到硬岩均可以使用天井钻机进行施工，但岩石硬度会影响钻机的钻速。随着天井钻机性能的不断更新，天井钻机在水利水电工程中将会更广泛应用。天井钻机开挖导井施工实例见表 58。

表 56 国内部分平洞钻爆法施工实例

工程项目	开挖断面尺寸	围岩性质和类别	开挖方法	主要施工机械	开挖速度/(m/月)	
					平均	最高
鲁布革引水隧洞	圆形 $\phi 8.8\text{m}$	白云岩、石灰岩 I~III	全断面开挖	三臂液压台车, 3m^3 侧卸式装载机, 15~20t 自卸汽车	230	373.56
天生桥二级引水隧洞	圆形 $\phi 9.7\sim 12.2\text{m}$	灰岩 砂页岩 I~V	全断面开挖	液压多臂钻, 装载机, 自卸汽车	60~70	140
小浪底1号导流洞	圆形 $\phi 16.5\text{m}$	砂岩 III~V	上部中导洞三层 台阶五步开挖	二臂液压台车, 988D 装载机, DROYT 正向铲, 15~20t 自卸汽车	93.58	—
广州(抽水蓄能I期)尾水隧洞	马蹄形 $9.0\text{m}\times 9.8\text{m}$	花岗岩 I~IV	全断面开挖	三臂液压台车 3m^3 侧卸式装载机, 15~20t 自卸汽车	156.19	181.70
大朝山1号尾水洞	圆形 $\phi 16.00\text{m}$	玄武岩 II~IV	上部中导洞二层 台阶三步开挖	三臂液压台车, HCR 履带钻机, 966F 装载机, 15t 自卸汽车	54.86	导洞 150 扩挖 210
漫湾1号导流洞	方圆形 $16.0\text{m}\times 19.0\text{m}$	流纹岩 II~IV	上部边导洞二层 台阶三步开挖	TH480 液压台车, 5.4m^3 装载机, 712 潜孔钻, 15~20t 自卸汽车	顶拱 237.3	顶拱 271.9
二滩1号导流洞	方圆形 $15.0\text{m}\times 15.5\text{m}$	玄武岩 II~IV	上部边导洞四层 台阶五步开挖	—	43.40	—

表 57 国内部分工程爬罐法施工实例

技术指标	渔子溪二级		鲁布革		广州 (抽水蓄能)			天生桥二级	天荒坪 (抽水蓄能)	桐柏 (抽水蓄能)
	调压井	压力斜井、 排水斜井	I 期	II 期	上斜井 406.202, 下斜井 347.459	上斜井 397.72, 下斜井 351.84	压力直井	压力斜井	压力斜井	
洞长/m	64	—	—	—	—	—	六条平均 588, 其中直井 178.3	总长 697.43, 反导井长 324	总长 413.19, 反导井长 278	
倾角/(°)	—	48	—	—	50	50	—	58	50	
施工方法	先导井 后扩大法。 导井: SIH - 5L 爬罐	先导井后 扩大法。 导井: 爬 罐法。大: 使 用支柱式钻 机平台车, 手风钻孔	先导井后 扩大法。 导井: SIH - 5L 爬罐	先导井后扩大法。 导井: 正反井结合, 反 井 SIH - 500 型及 SIH - 5EE 型爬罐	先导井后 扩大法。 导井: SIH - 500 型及 SIH - 5EE 型爬罐	先导井后 扩大法。 导井: SIH - 500 型及 SIH - 5EE 型爬罐	先导井后 扩大法。 导井: SIH - 500 型及 SIH - 5EE 型爬罐	先导井后 扩大法。 导井: SIH - 500 型及 SIH - 5EE 型爬罐	先导井后 扩大法。 导井: SIH - 500 型及 SIH - 5EE 型爬罐	
	下段	中段	—	—	—	—	—	—	—	—
导井	平均月 进尺 /m	—	56	89	121	120	正井 30.4, 21.9, 反井 113.15	55	—	93
	最高月 进尺 /m	70	56	100	160	180	正井 37.7, 78, 反井 134.1	80	127	—

表 58 天井钻机开挖导井施工实例

技术指标	十三陵 (抽水蓄能)		二滩		琅琊山 (抽水蓄能)		大朝山			张河湾 (抽水蓄能)
	出线竖井	1号高压 管道下斜井 (50°)	引水隧洞 竖直段	500kV 电缆斜井	压力管道	排风竖井	T1 通风竖井	尾调室 通风竖井	厂房 通风竖井	
开挖直径/m	8.6	6.6~4.6	10.6 (88.2m ²)	6.6m× 4.85m	—	—	—	—	—	7.76
井深/m	157.84	238	竖井段70m, 加上上弯段 共94.7m	274 (倾角37°58')	133.7	148.3	101 (73°)	162.18 (90°)	133.56 (87.167°)	386
地质条件	砾岩 抗压强度	砾岩、 安山岩 砾岩抗压	玄武岩	玄武岩	薄层夹 中厚层 灰岩	薄层夹 中厚层 灰岩	—	—	—	—
反井钻机型号	LM-200	LM-200	H170	RIBSER250	LM-120	LM-120	LM-120	LM-120	LM-120	ZYF2.0/400型
导孔直径/mm	216	216	300	300	216	216	216	216	216	270
平均日进尺/(m/d)	14.6	8.3	—	17.13	7	7	14.43	18	26.6	—
扩孔直径/mm	1400	1400	1524	1524	1400	1400	1400	1400	1400	1400
平均日进尺/(m/d)	10.57	9.12	—	15.22	11	15	4.39	5.4	10.23	—
从导孔开始至扩孔完 综合进尺/(m/d)	6.34	1.39	6号竖井 3.8m; 5号竖井 4.3m	8	共完成7条竖井, 累计总深度959.35m	竖井6条和压力管道1条, 总钻孔深度825.07m	—	—	—	反井钻机导 井深307m

(9) 随着我国常规水电站和抽水蓄能电站的大量兴建, 大型、特大型地下厂房越来越多。根据以往工程实践, 为了保证围岩稳定、方便施工、发挥施工设备能力和满足工期要求, 大型洞室开挖需遵循下列原则:

①对于高边墙、大跨度的地下洞室开挖, 首先需研究确定合理的开挖分层。分层高度一般为 6~10m, 地下厂房的第 2 层一般为岩锚吊车梁所处部位, 层高需考虑岩锚的造孔和安装、吊车梁混凝土浇筑以及下层开挖爆破的影响, 一般在吊车梁以下不小于 2m 较合适。

②设置合理的施工通道(施工支洞)。施工通道包括永久通道和增设的临时通道, 对于特大型洞室或控制性工程, 需设置双向通道。

③为了加快施工进度, 需创造条件进行立体平行流水作业, 即“立体多层次、平面多工序”的施工程序。

国内部分大型地下厂房开挖施工实例见表 59。

8.8.5 随着水利水电工程的发展和建设, 兴建各种用途的深埋长隧洞越来越多, 地质条件也越来越复杂, 采用常规钻爆法开挖隧洞难以满足快速、安全、文明施工的需要, 采用掘进机开挖技术经过近半个世纪的发展, 应用已相当成熟, 具有如下优势:

(1) 掘进速度快。

(2) 隧洞施工安全、文明程度高。

(3) 把成折线的隧洞改成直线隧洞, 缩短了洞线长度, 减少了施工支洞的数量和相应的临建设施。

(4) 减少超挖和对围岩的扰动, 经济效益、时间效益和社会效益巨大。

根据国外公司经验, 掘进机开挖速度参考数据为:

(1) 每小时的进尺: ①硬岩 1.5~2.5m/h, ②中硬岩 2.5~4.5m/h, ③软岩 4.0~6.0m/h。

(2) 每天安排掘进时间 16~18h。

(3) 每月安排掘进天数 22~25d。

表 59 国内部分地下厂房开挖施工实例

序号	工程名称	装机容量 /MW	厂房尺寸 (长×宽×高) /(m×m×m)	开挖量 /万 m ³	围岩性质	开挖 分层 /层	开挖 工期 /月	月施工强度 /(m ³ /月)	
								平均	最高
1	白山 (一期)	900	123×25×54.35	15.46	混合岩	3	43	3680	10700
2	鲁布革	600	125×15.5×32.7	7.7	白云质灰岩	5	22.5	3245	16000
3	广州 (抽水蓄能一期)	1200	146.5×21×44.54	10.5	斑状黑云母花岗岩	5	17.5	4192	18400
4	广州 (抽水蓄能二期)	1200	150.5×21×47.64	11.94	斑状黑云母花岗岩	6	20	5970	—
5	东风	510	105×21.7×48	8.9	石灰岩	5	26	3462	—
6	十三陵 (抽水蓄能)	800	145×23×46.6	12.91	砾岩	7	27	6148	—
7	太平驿	260	112.2×19.7×45.3	5.7	花岗岩	6	23	2478	8994
8	天荒坪 (抽水蓄能)	1800	200.7×21×47.64	17	凝灰岩	6	22	7727	—
9	小浪底	1800	251.5×26.2×61.4	27.6	砂岩	10	38	7263	—
10	大广坝	240	87×14×37.5	4.07	玄武岩、凝灰岩	5	16.5	2467	—
11	二滩	3300	280.29×30.7×65.68	40.5	正长岩、玄武岩	10	33.5	11960	—
12	大朝山	1350	233.9×26.4×67.3	27.92	玄武岩、凝灰岩	7	29	9600	—

表 59 (续)

序号	工程名称	装机容量 /MW	厂房尺寸 (长×宽×高) (m×m×m)	开挖量 /万 m ³	围岩性质	开挖 分层 /层	开挖 工期 /月	月施工进度 (m ³ /月)	
								平均	最高
13	棉花滩	600	129.5×21.9×52.08	12.5	花岗岩	6	16.5	11900	—
14	泰安(抽水蓄能)	1200	190×24.5×52.27	21	花岗岩	6	26.5	7900	—
15	桐柏(抽水蓄能)	1200	182.7×24.5×60.25	19.2	花岗岩	7	27	7100	—
16	龙滩	4200	388.5×28.9×77.3	64.06	砂岩、粉砂岩、 泥板岩	9	32	2070	—
17	水布垭	1600	168.5×23×69.47	18.3	碳岩	8	26	7000	—
18	张河湾(抽水蓄能)	1000	151.55×23.8×50.8	—	变质安山岩	—	21	—	—
19	宜兴(抽水蓄能)	1000	155.3×22×52.4	—	砂岩、粉沙质泥岩	7	24	—	—
20	蒲石河(抽水蓄能)	1200	165.8×22.7×54.1	17.86	混合花岗岩	7	23.5	7600	—
21	三峡(右岸地下厂房)	4200	311.3×32.6×87.24	61.8	花岗岩、闪长岩	9	36	17170	—
22	拉西瓦	4200	311.75×30×74.84	—	花岗岩	9	35	—	—
23	溪洛渡(右岸厂房)	6300	443.34×31.9×75.6	62.63	—	—	30	20877	—
24	向家坝	3200	255.2×34.3×88.2	59.53	细至中细粒砂岩	10	34	17509	25000

随着掘进机在水利水电工程中的不断应用和工程经验的不断积累，可以通过工程类比的方式确定掘进机的开挖进度安排。引黄入晋工程部分采用掘进机，其掘进速度见表 60。

国内、外若干隧洞应用掘进机施工概况见表 61。

表 60 引黄入晋工程已使用的双护盾掘进机施工统计

工程名称	刀头直径 /m	长度 /km	最高日进尺 /(m/d)	最高月进尺 /(m/月)	平均月进尺 /(m/月)
南干 4 号洞	4.920	6.64	99.4	1821.5	998
南干 5 号洞北段		19.30			
南干 5 号洞南段	4.820	6.21	81.0	1417	748
南干 6 号洞		13.98			
南干 7 号洞北段	4.880	21.28	79.3	1635	788
南干 7 号洞南段	4.895	19.36	75.9	1324	774
总干 6 号洞	6.125	6.7	51.2	876.8	601
总干 7 号洞	6.125	2.7	51.2	948	529
总干 8 号洞	6.125	12.2	65.6	1083.9	711
连接段 7 号洞	4.819	13.46	113.2	1637.5	1245

8.8.6 本条主要给出临时支护和开挖的时间关系，在施工进度安排时需充分考虑。

8.8.7 地下工程混凝土浇筑工期受施工条件、衬砌施工工艺、混凝土生产及运输能力等制约。衬砌混凝土施工工期安排可以根据实际工程类比确定。在洞室围岩自稳情况较好或已有临时支护的情况下，每浇筑段时间一般为 3~7d。

竖井、斜井衬砌混凝土建议采用滑模及配套的混凝土运输设备施工；平洞一般采用钢模台车及配套的混凝土运输设备施工。

国内部分水电站斜井、竖井滑模工程实例见表 62。

表 61 国内、外若干隧道应用掘进机施工概况

国别	隧洞名称	施工时间 (年-月)	洞径 /m	断面 面积 /m ²	用掘进机 掘进长度 /m	岩石及抗压强度/MPa	掘进机 型号	平均进尺 /m		日最大 进尺/m
								日	月	
中国	新王庄	1981—1983	5.8	26.2	1449	砂质灰岩, 60~83	SJ-58A	5.16	129	19.85
中国	新王庄	1981—1983	5.8	26.2	1449	长石石英岩, 276.4	SJ-58A	—	57.5	—
中国	引大人秦	1990—1992	4.8	18.1	11649	砾岩, 砂岩, 页岩, 30~50	罗宾斯	33.28	832	75.2
中国	秦岭 1 线	1998—1999	8.8	60.8	3685	片麻岩, 花岗岩, 78~325	TB880E	11.32	283	40.6
中国	山西引黄	1997—2001	4.9	18.9	86865	砂岩, 白云质灰岩, 页岩	罗宾斯	45.2	1130	99.4
中国	天生桥二级	1985—1987	10.8	92	—	石灰岩, 30~100	罗宾斯	—	70	22.4
美国	奥埃	1945	7.9	48.7	—	软页岩	罗宾斯	24	600	36
美国	奥埃	1958	9.0	63.2	2350	软页岩	罗宾斯	20	500	32
美国	纳伐约	1956	6.45	32.5	3000	砂页岩, 35~40	休斯	17.4	435	52
美国	阿佐梯	1966	3.8	11.3	20000	砂页岩, 28~35	—	62	1550	73
美国	勃莱河	1967	3.04	7.2	13600	砂页岩, 28~35	—	41.1	1027	114
美国	奥索	1968	3.2	8.0	8000	页岩, 7~35	—	69	1725	127
美国	圣路易	1966	2.4	4.5	3048	石灰岩, 燧石, 84~105	佳伐式	15.2	380	24.4

表 61 (续)

国别	隧洞名称	施工时间 (年-月)	洞径 /m	断面 面积 /m ²	用掘进机 掘进长度 /m	岩石及抗压强度/MPa	掘进机 型号	平均进尺 /m		日最大 进尺/m
								日	月	
美国	弗城	1966	4.2	13.7	488	石灰岩, 角闪岩, 42~17.5	—	12.0	300	17
美国	巴克斯金	1976—1976	7.16	40.0	11000	砂岩	—	14.7	376	15.5
美国	华盛顿地铁	—	5.79	26.1	—	—	—	18	360	260 (周最大 进尺)
瑞士	柯勃	1968—1969	3.0	7.02	1145	英岗岩	—	5.3	132.5	15.7
日本	惠郡山	1968	4.45	15.8	4250	英岗岩, 80~110	—	4.6	115	20.0
日本	大山	1968-02— 1968-10	4.3	14.4	1798	凝灰岩, 硅岩, 黏板岩, 50~100	—	8.57	214	26.4
日本	香川引水	1969	4.3	14.4	7752	页岩, 40~130	—	20.9	522	—
巴基斯坦	曼格拉导流洞	1964-01— 1964-02	11.1	97	467	粉砂岩, 0.85~12.6	—	67(周 最大 进尺)	—	22
澳大利亚	塔斯马尼亚	—	4.9	18.7	7010	页岩, 84~12.6	佳伐式	20.8	522	—
奥地利	沃拉	1981—1982	3.5	9.5	6770	安山岩	—	32	800	58

表 62 国内部分水电站斜井、竖井滑模工程实例

工程项目	设计参数	模板型式	衬砌速度/ (m/月)	
			平均	最高
天荒坪 (抽水蓄能)	斜井高 723.56m, 倾角 58°, 开挖直径 8m, 衬砌后内径 7m	XHM - 7m 不间断式滑模系统	上斜井 190.30; 下斜井 93.04	230.3
	电缆井并高 126.16m	液压滑模、连续滑升	—	2.40m/d
广州 (抽水蓄能)	上井 406m, 下井 347m, 倾角 50°, 平均开挖直径 9.7m, 衬砌后内径 8.5m	英国 CSM 公司研制的 XDM-8.5m 间断式滑模系统	102	149
桐柏 (抽水蓄能)	斜井长 413.12m, 倾角 50°, 平均开挖直径 10m, 衬砌后内径 9m	LSD 斜井连续式滑模系统	—	189.5
鲁布革	调压井高 64m, 倾角 90°, 开挖直径 15m, 衬砌后内径 13m	液压滑模、连续滑升	2.73m/d	—
天生桥二级	调压井高 90m × 3 条, 倾角 90°, 开挖直径 24m, 衬砌后内径 21m	液压滑模、连续滑升	一个月滑完	—

国内部分工程平洞混凝土衬砌钢模台车工程实例见表 63。

8.8.8 地下厂房混凝土浇筑是地下工程施工中重要的施工项目和环节,其施工工期直接影响机电设备的安装,影响首台机组的发电工期,地下厂房混凝土浇筑分一、二期混凝土。一期混凝土包括厂房的顶拱、边墙、底板、弯管段和扩散段。二期混凝土以机组分段,每机组段自下而上分层浇筑,其浇筑时间需与水轮发电机组(包括座环和蜗壳)的安装时间统一考虑,保证机电设备的安装工期,从而保证机组发电的工期。

8.8.9 隧洞混凝土衬砌段的灌浆是隧洞施工重要环节之一,灌

表 63 国内部分工程平洞混凝土衬砌钢模台车工程实例

工程项目	设计参数	模板型式	浇筑块长 /m	混凝土运输方式	混凝土平均浇筑强度 /($\text{m}^3/\text{月}$)	施工工速度 /($\text{m}/\text{月}$)		备注
						平均	最高	
鲁布革引水隧洞	洞长 9382m, 开挖直径 8.8m, 衬砌后内径 8.0m	针梁式钢模台车	15	搅拌机、混凝土泵车	2610	167	270	全断面一次性衬砌
小浪底 1 号导流洞	洞长 9382m, 开挖直径 16.5m, 衬砌后内径 14.5m	无轨底拱钢模, 有轨边顶模钢模台车	12	搅拌机、混凝土泵车	4998	—	—	—
广州(抽水蓄能一期)尾水隧洞	洞长 1424.5m, 开挖断面 $9\text{m} \times 9.8\text{m}$ (马蹄形), 衬砌后内径 9m	针梁式钢模台车	15	搅拌机、混凝土泵车	4000	105	165	全断面一次性衬砌
大朝山 1 号尾水隧洞	洞长 1152m, 开挖直径 16m, 衬砌后内径 15m	CM150 钢模台车	15	搅拌机、混凝土泵车	—	底拱 180; 边顶 120	—	—
漫湾 1 号导流洞	洞长 458m, 开挖断面 $16\text{m} \times 19\text{m}$ ($D \times h$), 衬砌厚度 0.5m	顶拱钢模台车、边墙蝴蝶钢模	顶 19.2 边 24.0	搅拌机、混凝土泵车	5700	81	180	—

表 63 (续)

工程项目	设计参数	模板型式	浇筑块长 /m	混凝土运输 方式	混凝土平均 浇筑强度 ($\text{m}^3/\text{月}$)	施工工速度 /($\text{m}/\text{月}$)		备注
						平均	最高	
二滩 1号泄洪洞	洞长 868m, 开挖断面 $15\text{m} \times 15.5\text{m}$ ($D \times h$), 衬 砌厚度 1m	钢模台车, 爬 升模板	8	搅拌车、 混凝土泵车	3026	—	—	—
天生桥二级 引水隧洞	洞长 9700m, 平均开挖直 径 9.7m, 衬砌后平均内 径 8.7m	全断面钢模 台车, 边顶拱 和底板钢模	15	搅拌车、 混凝土泵车	—	90	150	全断面 一次性 衬砌
隔河岩引水洞	平均洞长 446m (4条), 衬砌后平均内径 8.5m	针梁式钢模 台车	—	搅拌车、 混凝土泵车	—	—	84	全断面 一次性 衬砌
溪洛渡右岸 导流洞	平均洞长 1464m (3条), 城门洞型, 开挖断面 $21\text{m} \times$ 23m 衬砌后断面 $18\text{m} \times 20\text{m}$	穿行式边顶 拱钢模台车	12	搅拌车、 混凝土泵车	30000	—	—	先底板、 后边顶拱

浆施工与混凝土衬砌施工有搭接，滞后于混凝土衬砌施工。隧洞混凝土衬砌灌浆中规定了一般按先回填灌浆、后固结灌浆、再进行接缝灌浆的施工顺序，说明了灌浆施工和衬砌混凝土的时间要求。

隧洞混凝土衬砌段的灌浆，需按先回填灌浆、后固结灌浆的顺序进行。回填灌浆需在衬砌混凝土达到 70% 设计强度后进行，固结灌浆建议在该部位回填灌浆后 7d 后进行。当在隧洞中进行帷幕灌浆时，需先进行回填灌浆、固结灌浆，再进行帷幕灌浆。

水工隧洞钢衬段各类灌浆的顺序需按设计规定进行。钢衬接触灌浆需在衬砌混凝土浇筑结束 60d 后进行。

隧洞顶拱回填灌浆需分区段进行，每区段长度一般不大于 50m。回填灌浆建议分为两个次序进行，后序孔需包括顶孔。在规定的压力下，灌浆孔停止吸浆，延续灌注 5min 即可以结束。

隧洞固结灌浆需按环间分序、环内加密的原则进行。环间建议分为两个次序，地质条件不良地段可以分为三个次序。在规定的压力下，灌浆孔段注入率不大于 0.4L/min 时，延续灌浆 30min，可以结束。

水工隧洞钢衬接触灌浆，在规定的压力下，灌浆孔停止吸浆，延续灌注 5min，可以结束。

地下工程灌浆施工进度安排时，每台灌浆机组的月生产能力：回填灌浆一般为 500m²；固结灌浆一般为 300m。

8.9 金属结构及机电安装施工进度

8.9.1、8.9.2 强调体现关键线路上的金属结构及机电安装施工与土建工程施工的衔接，并需对其工期分析留有适当余地。机组安装进度安排需协调与土建工程施工的交叉衔接，控制机电安装进度的土建工程交付安装的时间按下列各项交面时间逐项确定：

- (1) 安装场交面时间。
- (2) 尾水管安装工作面的交面时间。
- (3) 座环安装工作面的交面时间。
- (4) 蜗壳安装工作面的交面时间。

- (5) 发电机层交面时间。
- (6) 桥机轨道梁交面时间。
- (7) 厂房封顶时间。
- (8) 副厂房、开关站交面时间。

8.9.3 压力钢管安装施工进度需考虑下列要求：

(1) 需考虑天锚、地锚、轨道及支墩、吊装及牵引设备、插筋等施工的前期准备工作所占用的时间。

(2) 平洞压力钢管安装进度需根据运输距离、管径、材质及厚度确定一个安装单元的安装时间。

(3) 斜井、竖井压力钢管安装进度除需考虑平洞压力钢管安装的相关因素外，还需考虑洞内的管节运输时间及材料运输、人员上下运输等因素。

8.9.4 闸门、拦污栅及启闭机工程工期可以按如下估算：

(1) 闸门安装工期估算。

平面闸门埋件安装总工期可以按式 (7) 估算：

$$M = A + B + C + D + T_1 + T_2 \quad (7)$$

式中 M ——平面闸门埋件安装总工期，班；

A ——底槛安装工期，班，可以按表 64 规定计算求得；

B ——主、反轨安装工期，班，可以按表 64 规定计算求得；

C ——门楣安装工期，班，可以按表 64 规定计算求得；

D ——侧轨安装工期，班，可以按表 64 规定计算求得；

T_1 ——测量控制点设置、脚手架搭设、拆除和油漆工期，班；

T_2 ——二期混凝土浇筑和养护工期，班。

表 64 平面闸门埋件安装工期

项目	底槛	主、反轨	门楣	侧轨
	A	B	C	D
工期/班	$0.3L$	$0.75H$	$0.4h$	$0.15H_1$
埋件长/m	L	H	h	H_1

(2) 平面闸门门叶组装工期见表 65。

表 65 平面闸门门叶组装工期 单位：班

门叶组装方法	门叶宽度/m			
	<5	5~8	8~12	12~16
整体门叶	6	6	7	7
门叶二节组成、节间螺栓连接或销轴连接	9	12	14	16
门叶二节组成、节间焊接	12	15	18	20
注：每增加一节门叶，当节间螺栓连接或销轴连接时，增加 2 个班；当节间焊接，门宽≤8m 时，增加 3 个班；门宽>8m 时，增加 4 个班。				

(3) 平面闸门门叶安装工期见表 66。

表 66 平面闸门门叶安装工期 单位：班

门叶组装方法	门叶宽度/m			
	<5	5~8	8~12	12~16
门叶整体吊入	2	2.5	3	3
门叶分节吊入，二节组成，节间螺栓连接或销轴连接	3	4	5.5	6
门叶分节吊入，二节组成，节间焊接	8.5	11.0	14.5	16
注 1：在安装前，门叶经过组装或已拼装成整体。 注 2：表列安装工期不包括吊杆安装、脚手架搭、拆和油漆工期。 注 3：每增加一节门叶，当节间螺栓连接或销轴连接时，增加 2 个班；当节间焊接，门宽≤8m 时，增加 3 个班；门宽>8m 时，增加 4 个班。				

(4) 弧形埋件安装总工期可以按式 (8) 估算：

$$M = A + B_1(\text{或 } B_2) + C + D_1(\text{或 } D_2) + T_1 + T_2 \quad (8)$$

式中 M ——弧形闸门埋件安装总工期，班；

A ——底槛安装工期，班，可以按表 67 规定计算求得；

$B(\text{或 } B_1)$ ——露顶（或潜孔）侧止水座板安装工期，班，可以按表 67 规定计算求得；

C ——侧轮导板安装工期，班，可以按表 67 规定计算

求得；

D (或 D_1) —— $\leq 15t$ (或 $> 15t$) 铰座钢梁安装工期，班，可以按表 67 规定计算求得；

T_1 —— 测量控制点设置、脚手架搭设、拆除和油漆工期，班；

T_2 —— 混凝土浇筑和养护工期，班。

表 67 弧形闸门埋件安装工期

项目	底 槛	侧止水座板		侧轮 导板	铰座钢梁	
		露 顶	潜 孔		$\leq 15t$	$> 15t$
	A	B_1	B_2	C	D_1	D_2
工期/班	0.3L	0.3H	0.4H	0.15H	5	7
注 1：表中 L 、 H 为埋件长度、高度，m。 注 2：铰座钢梁需争取和支铰座组装成整体后一起安装。						

(5) 露顶式、潜孔式弧形闸门安装总工期可以按式 (9) 和式 (10) 估算：

$$M_1 = A + n_1 B + n_2 C + D + E + T_1 \quad (9)$$

$$M_2 = KA + n_1 B + n_2 C + D + E + F + T_1 + T_2 \quad (10)$$

式中 M_1 —— 露顶式弧门安装总工期，班；

M_2 —— 潜孔式弧门安装总工期，班；

A —— 根据弧形闸门安装方法，分别取 A_1 、 A_2 或 A_3 ，其安装工期可以从表 68 中查得；

K —— 系数，需根据弧门所承受的水头大小、结构形式和施工条件等综合考虑，一般取 1.1~1.5；

n_1 —— 门叶焊缝系数；

B —— 门叶焊接工期，班，可以从表 68 中查得；

n_2 —— 门叶节数；

C —— 门叶吊装工期，班，可以从表 68 中查得；

D —— 支臂焊接工期，班，可以从表 68 中查得；

- E ——支腿间桁架连接工期，班，可以从表 68 中查得；
 F ——门楣安装工期，班，可以从表 68 中查得；
 T_1 ——测量控制点设置、脚手架搭设、拆除和油漆工期，班；
 T_2 ——门楣二期混凝土浇筑和养护工期，班。

表 68 弧形闸门安装工期 单位：班

安装方法		门叶宽度			
		<5m	5~8m	8~12m	12~16m
分件吊装空间穿轴	A_1	12	14	18.5	20
支铰整体吊装	A_2	10	12	16	17
支铰支腿整体吊装	A_3	9	11	14	15
门叶每条接缝焊接	B	1.5	2	3	3
门叶吊装	C	1	1	1.5	1.5
支臂接缝焊接	D	1	1.5	2	2.5
支腿间桁架连接	E	2~3		3~4	
门楣安装	F	3~4		4~6	
注：潜孔式弧形闸门门楣虽是埋件，但一般均配合弧形闸门一起安装，故列入弧形闸门安装工期。					

(6) 船闸人字门埋件安装工期见表 69。

表 69 船闸人字门埋件安装工期 单位：班

安 装 项 目	单扇门叶宽度		
	<9m	9~15m	15~20m
底槛	0.4L		
底枢底座、枕座、枕垫块、顶枢拉架埋件	4+0.5H	5+0.5H	6+0.5H
注：表中 L 为底槛长度， m ； H 为门叶高度， m 。			

(7) 船闸人字门门叶安装总工期估算方法如下：
人字门门叶竖立安装总工期可以按式 (11) 估算：

$$M = nA + (n - 1)B + C + D + E + F + G + H + T_1 + T_2 \quad (11)$$

式中 M ——人字门门叶竖立安装总工期，班；

n ——门叶节数；

A ——拼装一节门叶工期，班，可以从表 70 中查得；

B ——焊接一节门叶工期，班，可以从表 70 中查得；

C ——背拉杆安装调整工期，班，可以从表 70 中查得；

D ——顶枢拉杆安装和门体轴线调整工期，班，可以从表 70 中查得；

E ——支、枕垫块安装调整工期，班，可以从表 70 中查得；

F ——填层浇筑工期，班，可以从表 70 中查得；

G ——底、侧止水安装工期，班，可以从表 70 中查得；

H ——其他附件安装工期，班，可以从表 70 中查得；

T_1 ——测量控制点设置、门体临时加固及拆除、脚手架搭设和拆除、油漆涂装工期（班）；

T_2 ——二期混凝土浇筑和养护工期，班。

船闸人字门门叶平地安装总工期为 $0.8M$ ，班。

表 70 船闸人字门门叶竖立安装工期 单位：班

安装项目		单扇门叶高度/m						
		<9	9~15		15~20		>20	
		单扇门叶宽度/m						
		<15	≥15	<15	≥15	<15	≥15	
拼装一节	A	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0
焊接一节门叶焊缝	B	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5
背拉杆安装调整	C	2	2	3	3	4	4	5
顶枢拉杆安装和门体轴线调整	D	2	2	4	4	6	5	7
支、枕垫块安装调整	E	3	4	5	5	6	6	7

表 70 (续)

安装项目		单扇门叶高度/m						
		<9	9~15		15~20		>20	
		单扇门叶宽度/m						
		<15	≥15	<15	≥15	<15	≥15	
填层浇筑	F	3	4	5	5	6	6	7
侧、底止水安装	G	3	4	5	5	6	6	7
其他附件安装	H	1.0	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0
注 1: 预应力背拉杆乘 1.5。								
注 2: 支垫块系分块安装。								

(8) 启闭机安装工期估算。

螺杆式启闭机安装工期见表 71。

表 71 螺杆启闭机安装工期

启门力/kN	<100	100~300	>300
安装工期/d	4~6	6~10	10~16

固定卷扬式启闭机安装工期见表 72。

表 72 固定卷扬式启闭机安装工期

启门力/kN	单吊点	400~1000	1000~2000	2000~4000	4000~6000
	双吊点	2×160~ 2×500	2×500~ 2×1000	2×1000~ 2×2000	2×2000~ 2×3000
安装工期/d		5~8	8~14	14~18	18~24

台车式启闭机安装工期见表 73。

表 73 台车式启闭机安装工期

启门力/kN	单吊点	400~1000	1000~2000	2000~4000	4000~6000
	双吊点	2×160~ 2×500	2×500~ 2×1000	2×1000~ 2×2000	2×2000~ 2×3000
安装工期/d		15~20	20~30	40~50	50~70

门式启闭机安装工期见表 74。

表 74 门式启闭机安装工期

启门力 /kN	单吊点	<1000	2000	3500~400	>4000
	双吊点	2×400	2×1000	2×1600	—
		2×500	—	—	2×2500
		2×750	2×1250	2×2000	—
安装工期/d	50~60	60~70	70~80	80~90	

液压启闭机安装工期见表 75。

表 75 液压启闭机安装工期

启门力/kN	<1000	1000~2000	2000~4000	4000~6000
安装工期/d	15~20	20~25	25~30	30~40

桥式启闭机安装工期见表 76。

表 76 桥式启闭机安装工期

启门力/kN	<500	1000	2000	3000	>4000
安装工期/d	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80

清污机安装工期见表 77。

表 77 清污机安装工期

拦污栅宽度/m	<3	5	8
安装工期/d	15~20	20~25	25~30

8.9.5 机电设备安装工期按如下估算：

(1) 机电辅助设备和管路安装工期估算。辅助设备或系统管路的安装工期可以按式 (12) 估算：

$$T_1 = \frac{Q\Phi K}{DdN} \quad (12)$$

式中 T_1 ——辅助设备或系统管路安装施工工期，月；

Q ——辅助设备或系统管路安装工程量，设备单位为 t，

管路单位为 m；

Φ ——辅助设备或系统管路安装设计预算定额，工日，可以查该电站设计预算定额；

K ——高峰系数，可以取 1.2~1.4；

D ——每人每月工作日，取 21 日/（人·月）；

d ——每天工作日的班数，建议取 1~2；

N ——该系统管路或设备安装施工人数，可以根据施工进度需要安排。

蝴蝶阀或机组管路的安装工期可以按式（13）计算：

$$T_2 = \frac{WK}{DdN} \quad (13)$$

式中 T_2 ——蝴蝶阀或机组管路安装工期，月；

W ——蝴蝶阀或机组管路安装设计预算定额，工日/台，机组管路安装工程量，以水轮发电机空气冷却器环形供水管直径及定子铁芯外径表示，由电站设计预算定额中查取。

(2) 厂房桥式起重机安装参考工期见表 78。

表 78 厂房桥式起重机安装工期

起重机型号	跨度/m	安装工期/d
150/50 桥式	14	20
350/75/10 桥式	21	30
400/80/10 桥机	21	35
500/125/16 桥机	28	40
1200/125/16 桥机	33.5	45
2×250/125/16 桥式	26	40
2×350/150/16 桥式	26	45

注 1：安装工期系从主梁吊装起至起重机试验止。
注 2：表中所列安装工期不包括轨道安装工期。

(3) 水轮发电机组主要单项工程参考工期见表 79。

表 79 水轮发电机组主要单项工程参考工期 单位: d

项 目	座环安装	蜗壳挂装	定子组装	定子下线	转子组装
50~100MW	15~20	30~40	40~50	40~50	50~65
100~200MW	20~25	40~55	50~60	50~60	65~80
200~300MW	25~30	55~65	60~70	60~70	80~90
300~400MW	30~35	65~75	70~80	70~80	90~100
400~600MW	35~40	75~85	80~90	80~100	100~120
700MW (风冷)	40	90	100	110	130
700MW (水内冷)	40	90	100	180	130

注 1: 表中工期适用于立轴混流式机组。

注 2: 立轴轴流式机组最大单机容量小于 300MW, 其单项工程工期 (除蜗壳外) 可以在表中对应的工期基础上乘系数 1.1~1.2 求得。

注 3: 立轴冲击式机组最大单机容量小于 200MW, 其单项工程工期可以参考上表并取下限。

注 4: 贯流式机组单机容量更小 (不大于 100MW), 其结构形式与混流式机组区别较大, 单项工期建议根据实际情况确定。

8.9.6 机组安装次序一般需根据安全、交通及安装条件确定。常规水轮发电机组并网发电前的调试包括机组本身的无水、有水调试两种, 还有水道充水试验。抽水蓄能机组由于还包含水泵试验, 其所需调试时间一般比常规水轮发电机组长 1~2 个月时间。

9 施工劳动力及主要技术供应

9.1 一般规定

9.1.1 需针对施工总进度进行资源优化，在不影响总工期情况下，调整非关键线路上的工程项目，使施工劳动力、主要施工设备数量及主要材料总需要量及分年需要量相对均衡。

9.1.2 计算劳动力数量时，是以施工总进度为基础，而施工总进度表上的工程项目是各施工工序的综合项目。因此，计算劳动力所需的定额需根据工程施工条件和施工方法经综合分析后拟定。

9.2 施工劳动力

9.2.2 强调需根据工程实际配备施工劳动力人数。直接生产人员按工作面、工作班制及施工方法，以混合工种配备计算，是一种较科学、能反映实际情况的计算方法，其成果有一定的竞争力且又结合实际，一般可优先采用。

9.2.5 生产人员总数包括直接生产人员和间接生产人员。目前水利水电工程施工管理水平较过去有较大的提高，管理人员数量有所减少，管理人员取生产人员总数的 5%~8%（大型工程通常取低值，小型工程视具体情况分析取值）。缺勤人员取生产人员总数和管理人员之和的 4%~6% 比较合适。

附录 A 施工组织设计工作的 依据和所需资料

A.0.1、A.0.2 附录 A 所列施工组织设计工作的依据和所需资料按初步设计深度制定。使用时需注意以下几点：

(1) 强调目前初步设计阶段施工组织设计工作内容及其成果需执行 SL 619，工程量计算需执行 SL 328《水利水电工程设计工程量计算规定》。其他设计阶段施工组织设计工作内容及其成果需执行的标准虽未提及，但设计时需理解目前项目建议书编制阶段执行的是 SL 617《水利水电工程项目建议书编制规程》，可行性研究阶段执行的是 SL 618《水利水电工程可行性研究报告编制规程》。

(2) 设计对地方政府、业主及国民经济各有关部门对工程建设的要求不能忽视，需深入进行研究，妥善解决。

(3) 市场经济条件下采用招标发包方式建设水利水电工程，设计时不必再专门收集和掌握某一特定施工单位的情况，只有对国内外施工队伍的施工装备、技术特点和管理水平有所了解，才能切合实际地作好施工组织设计工作。

(4) 条文中所列出的工作依据和各项资料，并非每个工程设计时都需全部具备；另外，有的工程设计时尚需增加某些资料，由于需要的资料内容繁多，且不同工程需要的资料也不尽一致，因此本标准不可能一一列举，设计时可根据具体情况确定。

附录 B 导流标准确定的风险度分析法

B.0.1 施工导流的挡水建筑物的设计必须考虑施工洪水过程和导流建筑物泄流能力，确定上游设计水位与上游围堰高程，分析上游围堰高程与上游设计水位的关系，判断围堰是否满足度汛要求。公式 (B.0.1) 给出了分析确定围堰的堰前水位超过围堰设计挡水位可能性的概念和方法。

B.0.2 以往施工导流设计标准只考虑施工洪水过程，即洪水的重现期，计算采用式 (14)：

$$T = 1/P \quad (14)$$

而围堰是否满足度汛要求，不仅与施工洪水过程有关，还与导流建筑物泄流能力有关。因此，综合考虑施工洪水过程和导流建筑物泄流能力确定上游设计水位，将导流的风险率 R 转换成当量洪水重现期 T_e 。

B.0.3 由于在导流设计标准中考虑了导流建筑物泄流能力的不确定性，因此当量洪水重现期 T_e 要求大于或等于设计洪水重现期（或导流标准）。

B.0.4 在围堰使用运行年限内， n 年内遭遇超标洪水的动态综合风险率 $R(n)$ 类似于过去的含义，采用式 (15) 表示：

$$R(n) = 1 - (1 - 1/T)^n \quad (15)$$

B.0.5 施工洪水过程线采用 P-III 型分布。

B.0.6 在施工导流泄洪建筑物及其规模确定的情况下，受围堰上游水位和泄流建筑物流量系数等水力参数影响，导流建筑物的泄流能力的不确定性可采用三角分布进行描述。

B.0.7 施工导流设计不仅仅受施工洪水过程和导流建筑物泄流能力的影响，还有其他随机性因素，如：

- (1) 典型洪水过程线确定与水文资料的收集、整理和选择。
- (2) 由于工程测量、计算以及围堰上游库区的坍塌等自然因

素引起围堰上游库容与水位之间关系的变化。

(3) 上游围堰起调水位的影响等。

B.0.8 为了确定上游围堰的堰顶高程和堰前水位，通过 Monte-Carlo 随机抽样水文特性和水力条件的不确定性，每一次抽样进行一次调洪演算，统计分析计算堰前水位。1~8 步骤给出了随机调洪演算的计算流程。

当坝体的修筑高程超过围堰的高程，采用坝体的临时断面度汛时，施工导流标准风险分析校核度汛洪水标准的方法和步骤与围堰挡水度汛的方法相同。

B.0.9 对于导流标准选择，风险、投资（或费用）与工期三者之间的关系取决于两方面的约束，一方面是最大允许的施工进度要求；另一方面是最大允许投资的限制。这两个要求的理解是超载洪水发生后，是否有允许的时间和投资重新恢复被破坏的导流建筑物重新恢复。导流标准是通过协调风险、投资（或费用）与工期三者之间的关系而确定的。对于初期导流而言，围堰和导流泄水建筑物的规模取决于两方面的约束，一个是最大允许的施工进度要求；另一个是最大允许投资的限制。同时，超载洪水发生后有无允许的时间和投资把被破坏的导流建筑物重新恢复起来，也是影响取舍的重要因素。在选择导流标准决策时，考虑决策者在能够接受的风险范围内，需协调处理投资规模、施工进度、超载洪水导致的导流建筑物损失、溃堰时对河道下游的损失和发电工期的损失等关系后进行综合决策。

附录 C 天然建筑材料设计需要量计算

C.0.1 表 C.0.1 中各种料物自然方和压实方折算系数与《水利建筑工程概算定额》（水利部文件水总〔2002〕116号）及《水利建筑工程预算定额》（水利部文件水总〔2002〕116号）土石方松实系数是一致的。

C.0.2 在进行料物的设计需要量计算时，各种损耗补偿系数难以通过实验确定，每个工程都不尽相同，在具体选用时一般根据工程自身特点按下列原则综合考虑选取：

（1）土料加工损耗是指土料翻晒、加水、掺砾及筛分等工艺过程的损耗，结合工程具体情况综合分析选用；石料和砂砾料加工损耗补偿系数与最终加工的成品料有关，一般过渡料取小值；垫层料和反滤料取大值；

（2）转存损耗补偿系数主要与堆存场地条件有关，存料场设置在弃渣场上部时，转存损耗取大值。

（3）开采损耗补偿系数需根据料场开采条件，料场夹层分布、节理和构造发育以及岩性破碎成粉等情况，综合分析选用。

附录 D 岩土开挖级别划分及 洞室开挖通风指标

D.1 岩土开挖级别划分

D.1.1 岩土开挖级别划分与 SL 378 的岩石分级和《水利建筑工程概算定额》《水利建筑工程预算定额》的土类分级及岩石类别分级基本一致。

D.2 洞室开挖所需通风量及风速值

D.2.1~D.2.3 洞室开挖所需通风量及风速值与 SL 378 规定的通风指标基本一致。原标准规定工作面附近的最小风速不要低于 0.25m/s ，比 SL 378—2007 中 11.2.5 规定的 0.15m/s 略大，鉴于过去施工中由于对环境卫生认识不够，通风设备能力往往不够，因此为改善作业环境，保障施工人员的身体健康，本次修订仍采用原标准的规定，作为施工组织设计的控制指标，使用时需注意这一点。

附录 E 混凝土施工温度控制

E.0.1 由于大体积混凝土温度控制并不是施工组织设计一个专业的工作内容，因此所列内容仅为大体积混凝土温度控制基本参数的选择和确定的一般要求和目前成熟的防裂措施。相邻坝块过大的高差对坝体是不利的，主要有以下几个方面：

(1) 先浇坝块长期暴露在空气中，受到气温剧烈变化的作用，容易产生表面裂缝。

(2) 先浇坝块长期暴露时间较长，散热较大，温度较低，而后浇坝块温度较高，在两坝块之间形成温差，从而引起不同的变形，减小接缝张开度，影响接缝灌浆质量。

(3) 相邻坝块高差在接缝两侧可能产生较大的剪切变形，对于接缝的止水设备也是不利的。

基于上述原因，在混凝土施工中，一般都限制相邻坝块高差，使各坝块尽量均匀上升。

E.0.2 从以下几个方面阐述：

(1) 关于低温季混凝土施工气温标准问题，SL 677 中规定“日平均气温连续 5 天稳定在 5°C 以下或最低气温连续 5 天稳定在 -3°C 以下时”。由于日平均气温降至 5°C 以下时，混凝土强度增长明显减缓；最低气温 -3°C 以下时，混凝土易受早期冻害，所以采用此双指标控制是需要的。我国现行 SL 677 以及苏联、日本、美国等国，亦均根据气温条件规定为一种标准，见表 80。

表 80 国内外低温季节混凝土施工气温标准

规范名称	低温季节混凝土施工气温标准
《水工混凝土施工规范》(SL 677)	日平均气温连续 5 天稳定在 5°C 以下或最低气温连续 5 天稳定在 -3°C 以下时
苏联规范 (1976 年)	日平均气温低于 0°C 或最低气温低于 -5°C

表 80 (续)

规范名称	低温季节混凝土施工气温标准
美国 ACI 306—1978	日平均气温连续 3 天低于 4.5℃
日本土木学会规范	日平均气温低于 4℃
西德工业标准 DIN 1045 规定	日平均气温低于 5℃
国际建设材料及结构试验研究协会, RILEM 规定 (1963 年)	日平均气温低于 5℃

由表 80 可见,大多数都以平均气温低于 5℃为低温季节混凝土施工的气温标准,这与混凝土养护温度低于 5℃时其强度增长显著减缓是一致的。

确定低温季节施工期需依据当地 10 年以上气象资料。当地缺少资料可借鉴邻近地区气象部门资料。

(2) 提出经济合理低温季节施工的温度范围为日平均气温为 $-20\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。从理论上讲只要供热保温符合要求,在任何负温条件下,都可以进行混凝土施工,但比较经济的还是施工期平均气温在 -20°C 以上。根据桓仁、白山、红石水电工程的经验,日平均气温低于 -20°C 时,施工设备、建筑材料及施工各环节出现问题的几率成倍增加。比如:暖棚法、电热法或蒸汽法在低于 -20°C 条件下施工,供热管的接头、运料胶带、电器开关出现故障几率增加,施工人员的劳动生产率也将大大降低。在此条件下施工,将增加大量的人力、物力。经济合理的施工温度范围是根据当前水利水电工程施工企业通常使用的设备、建材及施工工艺水平提出的。

(3) 混凝土的强度是其养护龄期和温度乘积的函数,不同的龄期与温度的乘积相等时其强度亦大致相同。用这一乘积计算混凝土强度的方法称为成熟度法。成熟度法可解决不需混凝土试块只需测得养护温度和龄期,计算出成熟度就可以查出或计算出混凝土强度。

SL 677 对混凝土早期允许受冻的临界强度规定为:“受冻期无外来水分时,抗冻等级小于(含) F150 的大体积混凝土抗压

强度需大于 5.0MPa (或成熟度不低于 $1800^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$)；抗冻等级大于 (含) F200 的大体积混凝土抗压强度需大于 7.0MPa (或成熟度不低于 $1800^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$)；结构混凝土不要低于设计强度的 85%。受冻期可能有外来水分时，大体积混凝土和结构混凝土均不要低于设计强度的 85%。”

成熟度 $1800^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 是北方严寒地区桓仁、白山、红石工程中的应用成果，对普通硅酸盐水泥拌制的混凝土强度可达到 28d 标准养护的 40% 以上，同大体积 $\text{C}_{90.15}\sim\text{C}_{90.20}$ 混凝土达到允许受冻临界的强度基本一致。成熟度法计算混凝土早期强度运用于 50°C 以下养护条件的普通混凝土和 30°C 以下养护的掺外加剂混凝土，在其标准值的 60% 以内吻合较好。

附录 F 施工交通运输主要技术标准

F.1 对外交通运输量和运输强度计算

F.1.1 表 F.1.1-1 混凝土坝外来物资和设备运输量指标表及表 F.1.1-2 土石坝枢纽外来物资和设备运输量指标表中数据参考《水利水电工程施工组织设计手册》(第 1 卷), 在应用中, 可根据实际情况调整, 参考标准如下:

(1) 水泥。引水式枢纽一般取上限, 重力坝坝后式厂房枢纽一般取下限。当地下工程的混凝土量占混凝土总量的 40% 以上时, 可在限基础上再增加 10%~20%。

(2) 木材。坝型为轻型坝或闸, 又较多的使用木模时, 一般采用上限, 对大量使用钢模板的工程一般取下限。

(3) 钢材。坝型为轻型坝闸时一般取上、中限, 地下工程较多时一般取上、中限, 重力式坝型一般取下限。

(4) 施工机械。大、中型工程且机械化程度不高时一般取下限。

(5) 永久机械设备。低坝或闸一般取上限, 高坝一般取下限。

(6) 煤炭。北方及高寒地区的工程一般取上限, 南方取下限。

(7) 油料。施工机械化程度较高时一般取上限。反之取下限。

(8) 房建材料。施工布置与城镇全部或部分结合时一般取上、中限, 反之取下限。

(9) 生活物资。施工机械化程度较低, 工期较长的工程一般取上限, 反之取下限。

(10) 其他。引水式工程一般取上限, 堤坝式工程一般取下限。

F.1.2 第二种方法(详算)房建材料运输量计算中 B_i 取值可参考表 81。

F.1.5 昼夜高峰运输强度的确定中 T_i 取值可参考表 82, K_i 取

值可参考表 83。

表 81 企业厂房、仓库、住宅、宿舍、公共建筑建筑运输量

项 目		单位建筑面积运输量/(t/m ²)		
		厂房、仓库	住宅、宿舍、公共建筑	
砖混结构		0.65		
砖混结构楼房			0.70	
砖基础	土坯墙	砖柱瓦顶平房	0.35	0.35
		瓦顶平房		0.31
	活动房屋			0.10

表 82 各种运输方式月运输天数

项 目	运输天数 T_i/d			
	铁路运输	公路运输	水路运输	水陆联运
东北、西北、	30	23~26	20~25	20~25
华东、中南	30	25~28	20~25	20~25
西南	28	25~28		

表 83 器材供应和运输不均匀系数

运输方式	铁路运输	公路运输	水路运输	水陆联运
K_i	1.05	1.10	1.15	1.15

F.2 公路工程主要技术标准

F.2.1 表 F.2.1 按照 JTG B01 及 GBJ 22 相关规定编制，适用于水利水电工程场外永久交通道路的设计。

F.2.2 考虑水利水电工程特点，公路上大、中型桥梁的工程造价及施工复杂等因素，规定桥位原则上服从路线走向，路桥综合考虑，以避免因强调桥位而忽视线形布置的合理性，而增加桥梁的工程造价或使设计、施工过于复杂。

F.2.3 考虑洞内的排水需要，隧道内的纵坡不要小于 0.3%。寒冷及严寒地区地下水发育的隧道，为了减少冬季排水沟产生冻

害，加大排水纵坡以利于排水。

F.3 水运工程技术标准

F.3.3 ~ F.3.8 水运主要技术标准摘自 J TJ 212，适用于内河码头的设计。

F.4 场内道路主要技术指标

F.4.1 本条为场内主要施工道路的技术指标。适用于场内主要临时道路的设计，如场内各工区之间、生产与生活区之间、至天然建材产地的道路、至弃渣场的施工道路等。

由于受到各种因素的制约，部分水利水电工程的场内道路的一些技术指标，如平曲线半径、路线纵坡、视距等，均采用了降低标准的方法。但同时水利水电工程交通运输多采用较大吨位的车辆，路面宽度受到车型的限制。如拉西瓦、糯扎渡、天生桥一级、洪家渡等工程场内公路最大纵坡达到 12%~15%，路面宽度达到 14~15m。其中拉西瓦电站右坝肩开挖施工道路，最大纵坡达到 30%。

向家坝左岸坝段坝基不良地质体开挖施工主干道长 400m，路面宽度 10m，最小转弯半径 18m，最大纵坡 12%。非主干道中最短 90m，路面宽度 9m，最大纵坡 13%。

构皮滩水电站根据施工需要，共设置 22 条场内道路，总长 27.42km，其中隧道 5.9km，主要技术标准如下：干线道路按露天矿山 3 级标准修建；计算行车速度为 20km/h；路面宽度为 7.5~9.0m，路基宽度为 8.5m~11m，最小转弯半径 20m，最大纵坡 9%，路面结构形式为混凝土路面或泥结碎石路面；设计荷载为汽-超 20 级，校核荷载为挂-200t。

锦屏一级水电站左岸边坡开挖中，道路宽度 10m，纵坡一般采用 12%，局部达到 28%，主要用于履带式机械行走。

随着我国西部高原地区水利水电工程的建设开发，高原公路设计逐渐引起重视。高原地区公路随着海拔高度的增加，大气压

力、空气湿度和密度都逐渐减小。空气密度的减小，使汽车发动机的正常操作状态受到影响，从而使汽车的动力性能受到影响。研究及试运转表明，解放牌汽车发动机平均功率在海拔 1000m 处，下降 11.3%；2000m 处下降 21.5%；3000m 处下降 33.3%；4000m 处下降 46.7%；4500m 处下降 52.0%。另外，空气密度变小，散热能力也降低，发动机易过热。经常持久使用低挡，特别容易使发动机过热，并使汽车水箱中的水易沸腾而破坏冷却系统。根据实验与分析，当海拔高度超过 3000m 时，需考虑对纵坡予以折减。

F.4.2 本条为场内非主要施工道路的技术指标。适用于场内非主要临时道路的设计，如修配厂、钢筋加工厂、木模加工厂等各施工工厂设施之间，以及生活区内部的道路等。

F.5 斜坡道卷扬运输设备选择计算

F.5.1~F.5.4 估算斜坡道卷扬运输小时运输量、一次牵引循环时间、矿车有效载重和一次需要牵引的矿车数时，公式中未给定的指标和系数可参考有关资料选用。

F.6 公路重大件（大型物件）分级

F.6.1、F.6.2 因水利行业尚未明确重大件（大型物件）分级，本标准依据交通部颁发的《道路大型物件运输管理办法》中的相关规定，对水利水电工程重大件（大型物件）进行分级。

附录 G 施工工厂设施

G.3 供水系统设计有关资料

G.3.1 供水系统高峰时段日平均用水量是由各供水单元最高日最高时设计供水量通过平衡计算后确定的。单元用水量的具体算法是：根据工程进度计划里各单项工程的施工进度、规模来确定高峰时段日平均用水量，单元计算时应对本单元的施工工艺生产用水、施工机械用水、施工现场生活用水分别计算。

浇洒道路和绿化用水量应根据路面、绿化规划、气候和土壤等具体情况而定。初设阶段资料不全时，可按下列指标估算：浇洒道路和广场用水量一般为 $2.0 \sim 3.0 \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；浇洒绿地用水量一般为 $1.0 \sim 3.0 \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

G.3.2 消防用水量大小按扑灭一处火灾所需消防水量及同时发生火灾数目而定，而扑灭一处火灾所需消防水量及同时发生火灾的数目则取决于人口数及建筑物特征。

G.3.3 生活用水水压应符合 GB 50013 中的有关规定。消防用水水压应符合 GB 50016 的有关规定。

表 G.3.3-1 所列数值系一般用户的水压要求，个别要求水压较高者，应单独加压。

施工场区一般采用低压制消防，要求给水管网中最不利点的压力不小于 0.1MPa 。

G.3.4 水利水电工程建设生产用水量大，对水质要求不高（无特殊的物理化学指标要求），地表水一般经沉淀后即可使用，但水中含泥量不宜超过 $20 \sim 100 \text{mg}/\text{L}$ （洪水期取高限），过大时应进行处理。

为保证混凝土质量，混凝土拌和用水和养护用水所含物质不应对应混凝土产生有害影响。符合国家标准的饮用水适用于拌和和养护混凝土。地表水、地下水和其他类型水是否适用于拌和和养

护混凝土，JGJ 63《混凝土用水标准》、SL 677 和 GB 50204《混凝土结构工程施工质量验收规范》均作出了响应规定。JGJ 63 中规定应检验以下三项限制指标：

(1) 混凝土拌和养护用水与标准饮用水试验所得的水泥初凝时间差及终凝时间差均不得大于 30min。

(2) 混凝土拌和养护用水配制水泥砂浆 28 天抗压强度不得低于用标准饮用水拌和的砂浆抗压强度的 90%。

(3) 拌和与养护混凝土用水的 pH 值和水中的不溶物、可溶物、氯化物、硫酸盐的含量应符合表 84 的规定。

如果满足这三项指标，则可用于拌和和养护混凝土。

表 84 拌和与养护混凝土用水的指标要求

项 目	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
pH 值	≥5	≥4.5	≥4.5
不溶物/(mg/L)	≤2000	≤2000	≤5000
可溶物/(mg/L)	≤2000	≤5000	≤10000
氯化物 (以 Cl ⁻ 计)/(mg/L)	≤500	≤1000	≤3500
硫酸盐 (以 SO ₄ ²⁻ 计)/(mg/L)	≤600	≤2000	≤2700
碱含量 (mg/L)	≤1500	≤1500	≤1500
注：碱含量按 Na ₂ O+0.658K ₂ O 计算值表示。采用非碱活性骨料时，可不检测碱含量。			

施工机械及设备用水水质应根据不同要求分别确定，有关标准中均有相应的规定。

GB 50029《压缩空气站设计规范》规定的空气压缩机的冷却水水质指标要求如下：

- (1) 悬浮物含量不宜大于 100mg/L。
- (2) pH 值不得小于 6.5，不宜大于 9。
- (3) 具有热稳定性。

GB 50072 中规定的氨压缩机等制冷设备及冷凝器冷却水水质指标应符合表 85 的规定，并规定洪水期浑浊度可适当放宽。

表 85 冷却水水质指标

设备名称	碳酸盐硬度 /(mg/L)	pH 值	浑浊度 /(mg/L)
立式壳管式冷凝器淋浇式冷凝器	6~10	6.5~8.5	150
卧式壳管式冷凝器蒸发式冷凝器	5~7	6.5~8.5	50
氨压缩机等制冷设备	5~7	6.5~8.5	50

GB/T 1576《工业锅炉水质》规定了锅炉用水水质指标要求。

其他施工机械设备用水水质指标，可以按照机械设备用水水质参考上述水质指标选用确定。

GB 5749 中规定的生活饮用水水质标准见表 86。

表 86 生活饮用水水质标准

指 标	限 值
水质常规指标及限值	
1. 微生物指标 ^①	
总大肠菌群/(MPN/100mL 或 CFU/100mL)	不得检出
耐热大肠菌群/(MPN/100mL 或 CFU/100mL)	不得检出
大肠埃希氏菌/(MPN/100mL 或 CFU/100mL)	不得检出
菌落总数/(CFU/mL)	100
2. 毒理指标	
砷/(mg/L)	0.01
镉/(mg/L)	0.005
铬(六价)/(mg/L)	0.05
铅/(mg/L)	0.01
汞/(mg/L)	0.001
硒/(mg/L)	0.01
氰化物/(mg/L)	0.05
氟化物/(mg/L)	1

表 86 (续)

指 标	限 值
硝酸盐 (以 N 计) / (mg/L)	10 (地下水源限制时为 20)
三氯甲烷 / (mg/L)	0.06
四氯化碳 / (mg/L)	0.002
溴酸盐 (使用臭氧时) / (mg/L)	0.01
甲醛 (使用臭氧时) / (mg/L)	0.9
亚氯酸盐 (使用二氧化氯消毒时) / (mg/L)	0.7
氯酸盐 (使用复合二氧化氯消毒时) / (mg/L)	0.7
3. 感官性状和一般化学指标	
色度 (铂钴色度单位)	15
浑浊度 (NTU-散射浊度单位)	1 (水源与净水技术条件限制时为 3)
臭和味	无异臭、异味
肉眼可见物	无
pH	不小于 6.5 且不大于 8.5
铝 / (mg/L)	0.2
铁 / (mg/L)	0.3
锰 / (mg/L)	0.1
铜 / (mg/L)	1
锌 / (mg/L)	1
氯化物 / (mg/L)	250
硫酸盐 / (mg/L)	250
溶解性总固体 / (mg/L)	1000
总硬度 / (以 CaCO ₃ 计) / (mg/L)	450
耗氧量 (COD _{Mn} 法, 以 O ₂ 计) / (mg/L)	3 (水源限制, 原水耗氧量 >6mg/L 时为 5)
挥发酚类 (以苯酚计) / (mg/L)	0.002

表 86 (续)

指 标	限 值
阴离子合成洗涤剂/(mg/L)	0.3
4. 放射性指标 ^②	指导值
总 α 放射性/(Bq/L)	0.5
总 β 放射性/(Bq/L)	1
<p>① MPN 表示最可能数；CFU 表示菌落形成单位。当水样检出总大肠菌群时，应进一步检验大肠埃希氏菌或耐热大肠菌群；水样未检出总大肠菌群，不必检验大肠埃希氏菌或耐热大肠菌群。</p> <p>② 放射性指标超过指导值，应进行核素分析和评价，判定能否饮用。</p>	
饮用水中消毒剂常规指标及要求	
消毒剂名称	与水接触时间
氯气及游离氯制剂（游离氯）/(mg/L)	至少 30min
一氯胺（总氯）/(mg/L)	至少 120min
臭氧（O ₃ ）/(mg/L)	至少 12min
二氧化氯（ClO ₂ ）/(mg/L)	至少 30min
水质非常规指标及限值	
1. 微生物指标	
贾第鞭毛虫/(个/10L)	<1
隐孢子虫/(个/10L)	<1
2. 毒理指标	
锑/(mg/L)	0.005
钡/(mg/L)	0.7
铍/(mg/L)	0.002
硼/(mg/L)	0.5
钼/(mg/L)	0.07
镍/(mg/L)	0.02
银/(mg/L)	0.05
铊/(mg/L)	0.0001

表 86 (续)

指 标	限 值
氯化氰 (以 CN ⁻ 计)/(mg/L)	0.07
一氯二溴甲烷/(mg/L)	0.1
二氯一溴甲烷/(mg/L)	0.06
二氯乙酸/(mg/L)	0.05
1, 2-二氯乙烷/(mg/L)	0.03
二氯甲烷/(mg/L)	0.02
三卤甲烷 (三氯甲烷、一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、三溴甲烷的总和)	该类化合物中各种化合物的实测浓度与其各自限值的比值之和不超过 1
1, 1, 1-三氯乙烷/(mg/L)	2
三氯乙酸/(mg/L)	0.1
三氯乙醛/(mg/L)	0.01
2, 4, 6-三氯酚/(mg/L)	0.2
三溴甲烷/(mg/L)	0.1
七氯/(mg/L)	0.0004
马拉硫磷/(mg/L)	0.25
五氯酚/(mg/L)	0.009
六六六 (总量)/(mg/L)	0.005
六氯苯/(mg/L)	0.001
乐果/(mg/L)	0.08
对硫磷/(mg/L)	0.003
灭草松/(mg/L)	0.3
甲基对硫磷/(mg/L)	0.02
百菌清/(mg/L)	0.01
呋喃丹/(mg/L)	0.007
林丹/(mg/L)	0.002
毒死蜱/(mg/L)	0.03
草甘膦/(mg/L)	0.7

表 86 (续)

指 标	限 值
敌敌畏/(mg/L)	0.001
莠去津/(mg/L)	0.002
溴氰菊酯/(mg/L)	0.02
2, 4-滴/(mg/L)	0.03
滴滴涕/(mg/L)	0.001
乙苯/(mg/L)	0.3
二甲苯/(mg/L)	0.5
1, 1-二氯乙烯/(mg/L)	0.03
1, 2-二氯乙烯/(mg/L)	0.05
1, 2-二氯苯/(mg/L)	1
1, 4-二氯苯/(mg/L)	0.3
三氯乙烯/(mg/L)	0.07
三氯苯(总量)/(mg/L)	0.02
六氯丁二烯/(mg/L)	0.0006
丙烯酰胺/(mg/L)	0.0005
四氯乙烯/(mg/L)	0.04
甲苯/(mg/L)	0.7
邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯/(mg/L)	0.008
环氧氯丙烷/(mg/L)	0.0004
苯/(mg/L)	0.01
苯乙烯/(mg/L)	0.02
苯并(a)芘/(mg/L)	0.00001
氯乙烯/(mg/L)	0.005
氯苯/(mg/L)	0.3
微囊藻毒素-LR/(mg/L)	0.001
3. 感官性状和一般化学指标	
氨氮(以N计)/(mg/L)	0.5
硫化物/(mg/L)	0.02
钠/(mg/L)	200

G.4 供电系统设计有关资料

G.4.1~G.4.3 参阅《水利水电工程施工组织设计手册》第四卷第11篇第4章（中国水利水电出版社，1991年）相关内容拟定。

G.4.5、G.4.6 参阅《水利水电工程施工组织设计手册》第四卷第11篇第4章（中国水利水电出版社，1991年）相关内容拟订。

附录 H 施工总布置堆场和 仓库面积计算

H.0.1、H.0.2 估算材料储存量、堆场和仓库面积时，需注意公式中未给定的指标和系数可参考有关资料选用。

附录 I 土石方填筑工程和混凝土工程 受气象因素影响的停工标准

I.0.2、I.0.3 影响混凝土浇筑的气象因素主要有降雨、气温、大风和能见度等，明确了低温季节混凝土施工的界定。其中雨季施工问题在旱、雨季分明的我国南方多雨的地区较为突出。一般情况下，当降雨强度达到某一限值就不得进行混凝土施工。按照 GB/T 28592《降水量等级》不同时间段的降雨量等级划分见表 87。

表 87 不同时间段的降雨量等级划分 单位：mm

等级	12h 降雨量	24h 降雨量
微量降雨 (零星小雨)	<0.1	<0.1
小雨	0.1~4.9	0.1~9.9
中雨	5.0~14.9	10.0~24.9
大雨	15.0~29.9	25.0~49.9
暴雨	30.0~69.9	50.0~99.9
大暴雨	70.0~139.9	100.0~249.9
特大暴雨	≥140.0	≥250.0

按照 GB/T 28591《风力等级》并参考有关资料风力等级划分标准见表 88。

表 88 风力等级划分

风力等级	名称	风速		风压 $W_0 = V^2 / 16$ (10N/m ²)	陆地地面 物体征象	海岸渔船征象	海面 状态	海面浪高/m	
		/(m/s)	/(km/h)					一般 浪高	最大 浪高
0	无风	0~0.2	<1	0~0.0025	静、烟直上	静	静	—	—
1	软风	0.3~1.5	1~5	0.0056~0.014	烟能表示方向,但风向标不动	寻常渔船略觉摇动	微波	0.1	0.1
2	轻风	1.6~3.3	6~11	0.016~0.68	人面感觉有风,树叶微响,风向标转动	渔船张帆时可随风移行 2~3km/h	小波	0.2	0.3
3	微风	3.4~5.4	12~19	0.72~1.82	树叶及微枝摇动不息,旌旗展开	渔船渐觉波动,随风移行 5~6km/h	小波	0.6	1.0
4	和风	5.5~7.9	20~28	1.89~3.9	能吹起地面纸张与灰尘,树枝摇动	渔船满帆时,可使船身倾于一方	轻浪	1.0	1.5
5	清风	8.0~10.7	29~38	4~7.16	有叶的小树摇摆,内陆的水面有小波	渔船缩帆(即收去帆之一部分)	中浪	2.0	2.5
6	强风	10.8~13.8	39~49	7.29~11.9	大树枝摇动,电线呼声响,举伞困难	渔船加倍缩帆,捕鱼须注意风险	大浪	3.0	4.0
7	疾风	13.9~17.1	50~61	12.08~18.28	全树摇动,迎风步行不便	渔船停港中,在海者下锚	巨浪	4.0	5.5

表 88 (续)

风力等级	名称	风速		风压 $W_0 = V^2 / 16$ (10N/m ²)	陆地地面 物体征象	海岸渔船征象	海面 状态	海面浪高/m	
		/(m/s)	/(km/h)					一般 浪高	最大 浪高
8	大风	17.2~20.7	62~74	18.49~26.78	微枝折毁, 人向前行 阻力甚大	进港渔船皆停留不出	狂浪	5.5	7.5
9	烈风	20.8~24.4	75~88	27.04~37.21	建筑物有小损(烟筒 顶部及平屋摇动)	汽船航行困难	狂涛	7.0	10.0
10	狂风	24.5~28.4	89~102	37.52~50.41	可拔起树来, 损坏建 筑物(路上少见)	汽船航行颇危险	狂涛	9.0	12.5
11	暴风	28.5~32.6	103~117	50.77~66.42	陆上很少见, 有则必 有广泛破坏	汽船遇之极危险	狂涛	11.5	16.0
12	飓风	32.7~36.9	118~133	66.42~85.1	陆上绝少见, 摧毁力 极大	海浪滔天, 破坏力 极大	海浪 滔天	14.0	>20.0
13	—	37.0~41.4	134~149	—	—	—	—	—	—
14	—	41.5~46.1	150~166	—	—	—	—	—	—
15	—	46.2~50.9	167~183	—	—	—	—	—	—
16	—	51.0~56.0	184~201	—	—	—	—	—	—
17	—	≥56.1	≥202	—	—	—	—	—	—