

团体标准

T/CWEC 31—2022

埋地输水钢管设计与施工技术规范

Technical code for design and construction of buried water transmission steel pipes

(此为报批稿，以将由出版社的纸质文本为准)

2022 - 10 - 24 发布

2022 - 12 - 01实施

中国水利企业协会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号	3
4.1 材料性能	3
4.2 管道上的作用及其效应	3
4.3 几何参数	3
4.4 计算系数	4
5 管线及建筑物布置	5
5.1 管线布置	5
5.2 建筑物及附属设施布置	6
6 水力设计	6
6.1 一般规定	6
6.2 恒定流计算	6
6.3 非恒定流计算	8
7 材料	8
7.1 钢材	8
7.2 止水、钢筋和混凝土材料	8
8 结构设计	9
8.1 一般规定	9
8.2 结构设计	9
8.3 管道接口形式	12
8.4 构造要求	14
9 钢管制作	15
9.1 一般规定	15
9.2 技术要求	16
9.3 焊缝质量要求	16
9.4 无损检测	17
9.5 水压试验	18
9.6 焊缝修补	18
10 防腐	18
10.1 一般规定	18
10.2 钢管内防腐	19
10.3 钢管外防腐	20
10.4 防腐补口	21
10.5 阴极保护	22
11 管道施工	22

11.1	一般规定	23
11.2	施工准备	23
11.3	钢管装卸和堆放	23
11.4	管材运输	24
11.5	沟槽开挖	24
11.6	管道基础	24
11.7	管道安装	24
11.8	沟槽回填	25
12	管道功能性试验	27
12.1	一般规定	27
12.2	管道水压试验	27
12.3	承插接口密封试验	28
13	验收	28
13.1	一般规定	28
13.2	验收资料	28
附录 A (资料性)	作用在管道上的地面车辆载荷标准值	30
附录 B (资料性)	钢管管道竖向变形系数	34
附录 C (资料性)	管侧土的综合变形模量	35
附录 D (资料性)	土壤反力模量 E' 的确定	37
附录 E (资料性)	搭接焊圆角焊缝的设计计算	40

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件共13章和5个附录，主要技术内容有：

- 管线及建筑物布置；
- 水力设计；
- 材料；
- 结构设计；
- 钢管制作；
- 防腐；
- 管道施工；
- 管道功能性试验；
- 验收。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国水利企业协会提出并归口。

本文件起草单位：宁夏青龙管业集团股份有限公司、中国水利水电科学研究院、宁夏水务投资集团有限公司、宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司、山西省水利水电勘测设计研究院有限公司、云南省水利水电勘测设计研究院、安徽省水利水电勘测设计研究总院有限公司、武汉大学、宝鸡石油钢管有限责任公司、山西省水利建筑工程局集团有限公司、中国电建市政建设集团有限公司、河北维立方科技有限公司、唯特利管道设备（大连）有限公司、山东龙泉管道工程股份有限公司、青岛豪德博尔实业有限公司、德州黄河建业工程有限责任公司、松辽水利水电开发有限责任公司、廊坊艾格玛新材料科技有限公司。

本文件主要起草人：宋克军、崔卫祥、孟晋忠、窦铁生、伍鹤皋、田建林、刘文、童保林、王梅芳、南彦波、张浩、宋涛、陈炆、石长征、赵宏涛、陈建、毕士君、李向东、毕宗岳、孙芹先、赵丽君、刘传文、王伟、崔志刚、陈忠、杨志静、樊琨、彭俊、信永达、李晨晨、孙兆斌、邹希文、刘莉。

埋地输水钢管设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了埋地输水钢管结构设计方法与施工技术，确保工程质量、做到技术先进、经济合理、安全适用。

本文件适用于对接焊钢管不大于DN5000、承插搭接焊钢管DN800~DN4000、承插柔性接口钢管DN100~DN1800（工作压力不大于1.6 MPa）埋地输水钢管的设计、施工和验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管
- GB/T 5117 非合金钢及细粒钢焊条
- GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 9711 石油天然气工业管线输送系统用钢管
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB/T 17219 生活饮用水输配水设备及防护材料的安全性评价标准
- GB/T 21448 埋地钢质管道阴极保护技术规范
- GB/T 23257 埋地钢质管道聚乙烯防腐层
- GB 50013 室外给水设计标准
- GB 50235 工业金属管道工程施工及验收规范
- GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范
- GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
- GB 50289 城市工程管线综合规划规范
- GB 50332 给水排水工程管道结构设计规范
- GB 50698 埋地钢质管道交流干扰防护技术标准
- GB 50766 水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范
- GB/T 50991 埋地钢质管道直流干扰防护技术标准
- CECS 141 给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程
- CJ/T 120 给水涂塑复合钢管
- DL/T 5358 水电水利工程金属结构设备防腐蚀技术规程
- SL 105 水工金属结构防腐蚀规范
- SL 176 水利水电工程施工质量检验与评定规程
- SL 191 水工混凝土结构设计规范
- SL 223 水利水电建设工程验收规程
- SL/T 281 水利水电工程压力钢管设计规范
- SL 432 水利水电工程压力钢管制造安装及验收规范
- SL 654 水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范
- SY/T 0457 钢制管道液体环氧涂料内防腐层技术标准
- SY/T 4106 管道无溶剂聚氨酯涂料内外防腐层技术规范

SY/T 5037 普通流体输送管道用埋弧焊钢管
SY/T 6423.1 石油天然气工业 钢管无损检测方法 第1部分：焊接钢管焊缝缺欠的射线检测
SY/T 6423.5 石油天然气工业 钢管无损检测方法 第5部分：焊接钢管焊缝缺欠的数字射线检测
T/CECS 492 给水排水工程埋地承插式柔性接口钢管管道技术规程
T/CECS 10159 给水用承插柔性接口钢管
ISO 10802 球墨铸铁管道——施工安装后的水压试验 (Ductile iron pipelines——Hydrostatic testing after installation)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

埋地输水钢管 buried water transmission steel pipe
埋入管沟内，并回填土石等回填料的输水压力钢管。

3.2

工作压力 working pressure
输水钢管在正常工作时的运行压力。

3.3

瞬态压力 transient pressure
封闭管道中因流速变化导致弹性波沿管线传播时压力升高或降低，这些压力变化被称为瞬态压力，包括工作压力和水锤压力。

3.4

现场试验压力 field test pressure
现场进行水压试验时的试验压力。

3.5

水压试验 hydrostatic test
按规定进行的充水加压试验。

3.6

屈曲压力 buckling pressure
埋在土壤中的管道因载荷和变形导致的弹性不稳定性而塌陷或弯曲的压力。

3.7

承插搭接焊 socket lap welding
钢管在使用承插式连接有部份重叠的地方，在重叠处进行单面或双面焊接的方法。

3.8

对接焊 butt welding
将焊件固定，使其端面对准，在接触处进行单面或双面焊接的方法。

3.9

柔性接口 flexible interface

埋地钢管输水管道采用承插式柔性连接时，可有单胶圈承插连接和双胶圈承插连接两种接口方式。

3.10

流填料 flow packing

用土或细骨料、胶凝材料、水组合而成的一种低强度回填材料。

4 符号

下列符号适用于本文件。

4.1 材料性能

E_d —管侧土的综合变形模量；

E_e —管侧回填土在要求压实密度下的变形模量；

E_S —钢管钢材弹性模量；

E' —土壤反力模量；

EI —管的刚度；

E —弹性模量；

I —单个管壁构件单位长度的横向惯性矩；

I_p —钢管管壁纵向截面单位长度的截面惯性矩；

P —水压试验压力；

p_1 —管道内部工作压力；

p_2 —管道内部瞬态压力或现场试验压力；

p_v —内部真空压力；

q_a —允许屈曲压力；

S —水压试验环向应力；

s_1 —工作压力下钢材的允许应力；

s_2 —瞬态压力或现场试验压力下钢材的允许应力；

γ_s —回填土的容重；

γ_w —单位水重量；

σ_l —纵向应力；

σ_h —环向应力；

σ_T —轴向热应力；

σ_{T+v} —热应力和泊松应力的最大允许应力；

σ_U —钢材的最小规定抗拉强度；

σ_Y —钢材的最小规定屈服强度；

$\sigma_T + \sigma_v$ —角焊缝中许用应力。

4.2 管道上的作用及其效应

F_{fk} —管道单位长度摩擦力值；

$F_{fw,k}$ —作用在管道单位长度上的浮托力值；

ΣF_{GK} —作用在管道单位长度上的全部向下的竖向荷载；

h_j —管道局部水头损失；

h_y —管道沿程水头损失；

h_z —管道总水头损失；

i —单位长度管道的水头损失（水力坡降）；

Q_{vk} —车辆的单个轮压值；
 q —设计流量；
 q_{ik} —地面车辆荷载或地面堆积荷载；
 q_{vk} —地面车辆荷载传至管顶单位面积上的竖向压力荷载值；
 W_c —管道单位长度上管顶竖向土荷载值；
 $w_{d,max}$ —管道在外部荷载作用下的最大竖向变形；
 δ_f —管道竖向变形。

4.3 几何参数

A —钢管的过流面积；
 a —单个车轮着地长度；
 b —单个车轮着地宽度；
 β —管道转角；
 D_c —钢管外径；
 D_0 —钢管计算直径，可按管壁中心计算；
 d_i —相邻两个轮压间的净距；
 d_j —钢管内径；
 d_{j1} —钢管变形后的竖向内直径；
 g —工程所在地重力加速度；
 H_s —覆土深度；
 H_w —管道上方水的高度；
 h_d —管底以下部分人工土弧基础厚度；
 L —柔性接头距敷设方向改变处的距离；
 l —管段长度；
 N —轮压数量；
 R —水力半径；
 r_0 —钢管的计算半径；
 t_1 —内部工作压力下的计算钢管管壁厚度；
 t_2 —瞬态压力或现场试验压力下的计算钢管管壁厚度；
 t_3 —搬运的计算钢管管壁厚度；
 t —钢管管壁厚度；
 t_j —管道壁厚；
 v —管道内平均流速；
 φ —变形百分率；
 ΔT —温度的增量。

4.4 计算系数

α —钢材的线膨胀系数；
 C —谢才系数；
 C_h —海曾-威廉系数；
 C_n —经验修正系数；
 C_Δ —考虑预测的管道挠度极限；
 D_L —变形滞后效应系数；
 FS —安全系数；
 K_b —竖向压力作用下柔性管的竖向变形系数；

- K_f —管道的抗浮稳定安全系数；
 K_s —管道的抗滑稳定安全系数；
 K_v —土壤泊松比 ν_s 的模量修正系数；
 n —管道的粗糙系数；
 R_H —回填深度的校正系数；
 R_w —水浮力因子；
 ξ —管道系统局部水头损失系数；
 φ_s —考虑压实土壤反力模量变化因素的系数；
 μ_d —车辆荷载的动力系数；
 μ_s —钢管管道与土壤间的摩擦系数；
 ψ_c —动荷载组合系数。

5 管线及建筑物布置

5.1 管线布置

5.1.1 管线布置应与工程区域的相关规划相协调，并符合工程总体布置。布置时应充分考虑地形、地质、环境、施工、建设征地、水力学、交通、运行管理、既有地面及地下设施等因素，经技术经济综合比较后确定。

5.1.2 管线布置应选择地形、地质条件较好的地段，宜避开崩塌、滑坡、地矿采空区等不稳定地层，以及活动断层、流沙、淤泥、人工填土、湿陷性黄土、永久性冻土、膨胀土、地下水位高和涌水最大的地段。无法避开时，应采取保证管道施工及运行安全的工程措施。

5.1.3 管道条数应根据工程供水对象的规模、重要性、供水保证率、受水区水源数、调蓄能力及建设分期检修等因素，经技术经济综合比较后确定。如采用两条或多条管线输水时，管道之间的连通管数量及断面应按相关要求确定。多条管线平行埋设在同一管槽中时，相邻两条管线之间的净距应符合 SL/T 281 的规定。

5.1.4 输水管线布置应考虑控制内压流态，正常运行条件下，应保证管顶以上不少于 2 m 水头。

5.1.5 管道的埋设深度应根据地质、外荷载、地下水位、冻土深度、地表植被、环境温度、交通、抗浮、抗冲刷等因素确定。寒冷地区，管顶埋设深度应位于冻土层以下，覆土深度小于冻土深度的管道应采取保温措施。

5.1.6 管道的平面布置和竖向布置、管道与建（构）筑物、铁路和其他管道的水平净距、管道与其他管线交叉时的最小垂直距离应符合 GB 50013 和 GB 50289 的规定。

5.1.7 埋地输水钢管转弯半径可采用 2 倍~3 倍管径。位置相近的立面和平面转弯宜合并为空间弯管，位置相近的弯管和渐缩管宜合并成渐缩弯管。

5.1.8 埋地输水钢管在转弯、三通、检修阀等存在动静水推力处，应根据管线布置通过稳定计算确定是否设置镇墩。埋地输水钢管敷设于地震区或穿过活动断裂带时，宜设置伸缩变形设施。

5.1.9 管线敷设于河底时，应选择在稳定河段，管线高程应按不妨碍河道的整治、通航和管线安全的原则确定，并应符合下列规定：

- 在 I 级~V 级航道下面敷设，其顶部高程应在远期规划航道底标高 2.0 m 以下；
- 在 VI 级、VII 级航道下面敷设，其顶部高程应在远期规划航道底标高 1.0 m 以下；

——在其他河道下面敷设，其顶部高程应至少在河道设计洪水冲淤线以下 0.5 m，必要时采用防护措施。

5.1.10 一侧邻近冲沟或陡坎的埋地输水钢管，应对冲沟和边坡、沟底和陡坎采取加固措施。必须穿越冲沟的埋地输水钢管，应综合设计沟顶的截水、排水、导水工程、坡面的防护工程、沟底的稳管及防冲蚀工程，导水沟宜将水导入天然泄水沟中。

5.2 建筑物及附属设施布置

5.2.1 设置于管线上的调流调压设施、检修阀、排水阀、通气阀（孔）及水锤防护等设施，其型式和数量应根据管线布置、运行管理和水力过渡过程分析成果要求确定。

5.2.2 结合地形条件和运行管理要求，在管线上每间隔 5 km~10 km 宜设置一座检修阀室（井）。穿越河（渠）道、铁路、高等级公路可根据相关要求设置检修阀。检修阀前或后设置通气设施和检修孔时，两者宜结合布置。

5.2.3 在输水管线低点宜设置排水设施，其数量、直径应结合管道系统自排能力和管段放空时间及外部河道设施的安全泄放能力计算确定。

5.2.4 输水管线高点或隆起点和长平缓段应设通气设施。平缓管段每间隔 1 km 宜设置通气设施。

5.2.5 在管径大于等于 DN1000 的输水管道平缓段上必要位置宜设置直径为 800 mm 的检修人孔，检修人孔宜与通气设施结合布置。

6 水力设计

6.1 一般规定

6.1.1 有压输水系统的水力计算包括恒定流计算和非恒定流计算。其中，恒定流计算包括管道过流能力、上下游水流衔接、水头损失计算及水力坡降线等内容；非恒定流计算即水力过渡过程计算，应按工程运行过程中启泵、开阀、关阀、可能出现的事故停泵、正常运行及流量调节等工况，对管道系统进行水锤计算和综合防护设计。水力计算应符合下列规定：

——压力管道和附属设备的水头损失，宜进行下列部分计算：

- 沿程水头损失；
- 进水口段、渐缩段、渐扩段、弯管、岔管以及阀门等引起的局部水头损失。

——水锤计算应结合工程实际合理确定计算工况，并提供下列计算成果：

- 最高压力线；
- 最低压力线。

6.1.2 应根据设计阶段、工程规模等选用解析法、数值分析法等计算水锤压力，必要时，应进行模型试验。在计算分析、试验的基础上，应根据工程重要性及输水系统布置特点，结合工程实践经验综合分析后确定。

6.2 恒定流计算

6.2.1 管道的总水头损失，可按公式（1）计算：

$$h_z = h_y + h_j \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

h_z —管道总水头损失，单位为米（m）；

h_y —管道沿程水头损失，单位为米（m）；

h_j —管道局部水头损失，单位为米（m）。

6.2.2 管道沿程水头损失宜采用海曾—威廉（Hazen—Williams）公式（2）或谢才（Chezy）公式（3）计算。

$$i = \frac{h_y}{l} = \frac{10.67q^{1.852}}{C_h^{1.852}d_j^{4.87}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

i —单位长度管道的水头损失（水力坡降），单位为米每米（m/m）；

l —管段长度，单位为米（m）；

q —设计流量，单位为立方米每秒（m³/s）；

C_h —海曾—威廉系数，可参照表1取值；

d_j —钢管内径，单位为毫米（mm）。

$$i = \frac{h_y}{l} = \frac{v^2}{C^2 R} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

v —管道内平均流速，单位为米每秒（m/s）；

C —谢才系数；

R —水力半径，单位为米（m）；对于圆管道， $R = \frac{d_j}{4}$ 。

其中，谢才系数 C 采用曼宁（Manning）公式（4）计算：

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

n —管道的粗糙系数，可参照表1取值。

表1 钢管阻力系数

钢管种类	钢管内衬形式	海曾—威廉系数 C_h	粗糙系数 n
新钢管	水泥砂浆内衬	120~130	0.011~0.012
	涂料内衬	130~140	0.0105~0.0115
旧钢管	无内衬	90~100	0.014~0.018

6.2.3 管道的局部水头损失可按公式（5）计算：

$$h_j = \Sigma \xi \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

v —管道内平均流速，单位为米每秒（m/s）；

ξ —管道系统局部水头损失系数；

g —工程所在地重力加速度，单位为米每平方秒（m/s²）。

6.2.4 管道过流能力及水力坡降线等其他恒定流计算均应结合管道水头损失及边界条件进行。

6.3 非恒定流计算

6.3.1 对于设计流速和运行压力较低且管道较短的简单有压重力流输水系统，水锤分析及防护设计可采用水锤经验公式计算或参照同类工程进行；对于管道较长的输水系统，水锤分析及防护设计应该进行水力过渡过程数值模拟计算分析，确定水锤防护措施；对于重要的（如泵站）或较复杂的长距离输水系统，还应进行对比分析计算，确定水锤防护措施。

6.3.2 有压输水系统经水锤计算分析采取水锤综合防护设计后，瞬态特性参数应满足下列要求：

- 包括最不利工况下最高压力不应超过管道正常工作压力的 1.3 倍~1.5 倍。
- 输水系统任何部位不应出现水流气化、水柱分离现象。

7 材料

7.1 钢材

7.1.1 钢管所用钢材的性能及技术要求应符合国家现行有关标准的规定。

7.1.2 钢管管壁、支承环、岔管加强构件等主要受力构件应使用镇静钢，宜采用的碳素结构钢有 Q235 的 B、C、D 级钢板；低合金高强度结构钢有 Q355、Q390 的 B、C、D、E 级钢板；压力容器用钢板有 20R、16MnR、15MnVR、15MnNbR 等。

7.1.3 用作主要受力构件的钢材，除应符合相应标准的要求外，还应满足下列条件：

- 应具有良好的焊接性能，焊后强度不低于母材；
- 沿板厚方向受拉的构件用材，应符合 GB/T 5313 的规定。每张钢板均应进行检查。

7.1.4 主要受力构件用钢材夏比冲击试验（V 形缺口）的温度和取样方向，应根据工程具体运行条件提出要求。

7.1.5 钢材的物理性能指标应符合下列要求：

- 弹性模量 $E_s=2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ；
- 容重 $\gamma_{st}=7.85 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$ ；
- 线膨胀系数 $\alpha=1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ；
- 泊松比 $\nu_p=0.3$ 。

7.1.6 钢管的焊接材料应符合下列要求：

- 手工焊选用的焊条型号应与钢管管材力学性能相适应，焊条应符合 GB/T 5117 的规定；
- 自动焊或半自动焊选用的焊丝应与钢管管材力学性能相适应，焊丝应符合 GB/T 14957 的规定。

7.2 止水、钢筋和混凝土材料

7.2.1 所用止水、钢筋和混凝土材料应符合国家现行有关标准的规定。

7.2.2 伸缩节止水材料可用油浸麻、橡胶、石棉、聚四氟乙烯等制作；法兰及人孔止水材料可采用橡胶、聚四氟乙烯、石棉、铅等。

7.2.3 管周、镇墩和支墩所用混凝土和钢筋材料应符合 SL 191 的规定。

8 结构设计

8.1 一般规定

- 8.1.1 埋地输水钢管结构计算应采用单一安全系数表达的方式。
- 8.1.2 埋地输水钢管结构应按柔性管道进行计算，结构内力分析应按弹性体系计算，结构计算应同时满足竖向变形和强度要求。
- 8.1.3 埋地输水钢管结构设计应提出埋设条件的要求，包括管道基础、管道连接、沟槽回填土类别与压实度等。
- 8.1.4 埋地输水钢管管道，当其敷设方向改变处的一侧或两侧设有柔性接头时，应对敷设方向改变处进行抗滑稳定验算，抗滑稳定性抗力系数 K_s 不应小于 1.5。
- 8.1.5 埋地输水钢管的地基应满足地基承载力的要求，镇墩应符合相关标准规定。

8.2 结构设计

- 8.2.1 埋地输水钢管管道结构上的内部荷载主要有工作压力、瞬态压力、现场试验压力、真空压力等；外部荷载主要有竖向土荷载、地面堆积荷载、车辆荷载、外水压力等。
- 8.2.2 埋地管道的管顶竖向土荷载值，应根据管道的敷设条件和施工方法计算确定。
- 8.2.3 对开槽敷设的埋地钢管，管顶竖向土荷载值应按公式（6）计算：

$$W_c = \gamma_s H_s D_c \dots\dots\dots (6)$$

式中：

W_c —管道单位长度上管顶竖向土荷载值，单位为千牛每米（kN/m）；

γ_s —回填土的容重，单位为千牛每立方米（kN/m³）；

H_s —覆土深度，单位为米（m）；

D_c —钢管外径，单位为米（m）。

- 8.2.4 管道上的动荷载应包括作用在管道上的地面车辆荷载或堆积荷载。车辆荷载与堆积荷载不应同时考虑，而应选用荷载效应较大者。车辆荷载等级应按实际行车情况采用。
- 8.2.5 作用在管道上的地面车辆荷载应符合附录 A 的规定。
- 8.2.6 地面堆积荷载应不小于 10 kN/m²；动荷载组合系数 Ψ_d 可取 0.5。
- 8.2.7 在设计内部荷载作用时，应计算管壁厚度。以将环向应力限制在允许的水平。设计中使用的内部荷载是管道在使用寿命期间可能会承受的实际工作压力和瞬态压力或现场试验压力。
- 8.2.8 钢管管材在工作压力下的允许应力取钢材规定最小屈服强度的 50%；在瞬态压力或现场试验压力下的允许应力取钢材规定最小屈服强度的 75 %。
- 8.2.9 钢管壁厚 t 应按下列方法确定，取所有管道计算壁厚值的最大值：

——在已知工作压力情况下，钢管壁厚可按公式（7）计算：

$$t_1 = \frac{p_1 D_c}{2s_1} \dots\dots\dots (7)$$

——在已知瞬态压力或现场试验压力的情况下，钢管壁厚可按公式（8）计算：

$$t_2 = \frac{p_2 D_c}{2s_2} \dots\dots\dots (8)$$

——在搬运条件下，钢管壁厚可按公式（9）计算：

$$t_3 = \frac{D_0}{240} \dots\dots\dots (9)$$

——钢管壁厚可按公式（10）确定取值：

$$t \geq \max(t_1, t_2, t_3) \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- p_1 —管道内部工作压力，单位为兆帕（MPa）；
- p_2 —管道内部瞬态压力或现场试验压力，单位为兆帕（MPa）；
- D_c —钢管外径，单位为毫米（mm）；
- D_0 —钢管计算直径，可按管壁中心计算，单位为毫米（mm）；
- s_1 —工作压力下钢材的允许应力，单位为兆帕（MPa）；
- s_2 —瞬态压力或现场试验压力下钢材的允许应力，单位为兆帕（MPa）；
- t_1 —内部工作压力下的计算钢管管壁厚度，单位为毫米（mm）；
- t_2 —瞬态压力或现场试验压力下的计算钢管管壁厚度，单位为毫米（mm）；
- t_3 —搬运的计算钢管管壁厚度，单位为毫米（mm）；
- t —钢管管壁厚度，单位为毫米（mm）（在任何情况下，钢管管壁厚度不得小于 3 mm）。

8.2.10 埋地输水钢管管道在外部荷载作用下，最大竖向变形限值应符合下列规定：

- 当内外防腐采用水泥砂浆时，最大竖向变形不应超过 0.02 D_0 ；
- 当内防腐为水泥砂浆，外防腐为涂料时，最大竖向变形不应超过 0.03 D_0 ；
- 当内外防腐为延性良好的涂料时，最大竖向变形不应超过 0.04 D_0 。

8.2.11 埋地输水钢管管道在外部荷载作用下的最大竖向变形验算，应符合下列规定：

——钢管在外部荷载作用下的最大竖向变形验算，应按公式（11）计算：

$$w_{d,max} \leq \varphi D_0 \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- $w_{d,max}$ —管道在外部荷载作用下的最大竖向变形；
- D_0 —钢管计算直径，可按管壁中心计算，单位为毫米（mm）；
- φ —变形百分率，按本文件 8.2.10 节的规定采用。
- 钢管在外部荷载作用下的最大竖向变形 $w_{d,max}$ ，应按公式（12）计算：

$$w_{d,max} = \frac{D_L K_b r_0^3 (W_c + \psi_c q_{ik} D_c)}{E_S I_p + 0.061 E_d r_0^3} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- D_L —变形滞后效应系数，取 1.0~1.5；
- K_b —竖向压力作用下柔性管的竖向变形系数，应符合附录 B 的规定；
- W_c —管道单位长度上管顶竖向土荷载值，单位为牛每毫米（N/mm）；
- q_{ik} —地面车辆荷载或地面堆积荷载，应根据设计条件采用其中较大值，单位为牛每平方毫米（N/mm²）；
- D_c —钢管外径，单位为毫米（mm）；
- E_S —钢管钢材弹性模量，单位为牛每平方毫米（N/mm²）；
- E_d —管侧土的综合变形模量，应符合附录 C 的规定，单位为兆帕（MPa）；

ψ_c —动荷载组合系数，可取 0.5；

r_0 —钢管的计算半径，单位为毫米（mm）；

I_p —钢管管壁纵向截面单位长度的截面惯性矩，单位为 4 次方毫米每毫米（ mm^4/mm ）。

8.2.12 埋在土壤中的钢管可能会因载荷和变形导致的弹性不稳定性而塌陷或弯曲。外部载荷的总和应等于或小于允许的屈曲压力。允许屈曲压力应按公式（13）计算：

$$q_a = \frac{1.2C_n(EI)^{0.33}(\varphi_s E' k_v)^{0.67} R_H}{(FS)(D_c/2)} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

q_a —允许屈曲压力，单位为兆帕（MPa）；

FS —安全系数=2.0；

EI —管的刚度= $E_S I_S + E_C I_L + E_C I_C$ ；

E —弹性模量 [$2.06 \times 10^5 \text{N}/\text{mm}^2$ （钢）（ E_S ）和 $2.7 \times 10^4 \text{N}/\text{mm}^2$ （水泥砂浆）（ E_C ）]；

I —单个管壁构件单位长度的横向惯性矩，单位为 4 次方毫米每毫米（ mm^4/mm ）[用于钢筒（ I_S ）、水泥砂浆衬里（ I_L ）和水泥砂浆涂层（ I_C ）]；

C_n —经验修正系数=0.55；

D_c —钢管外径，单位为毫米（mm）；

φ_s —考虑压实土壤反力模量变化因素的系数，建议值为 0.9；

K_v —土壤泊松比 ν_s 的模量修正系数 = $(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s) / (1 - \nu_s)$ ；在缺乏具体信息的情况下，通常假设 $\nu_s = 0.3$ ，给出 $K_v = 0.74$ ；

E' —土壤反力模量，单位为兆帕（MPa），应符合附录 D 的规定；

R_H —回填深度的校正系数 = $11.4 / (11 + 2r_0/H_s)$ ；

r_0 —钢管的计算半径，单位为毫米（mm）；

H_s —覆土深度，单位为毫米（mm）。

——考虑内部真空压力，则通过公式（14）计算满足屈曲要求：

$$q_a \geq \frac{\gamma_w H_w}{1000} + \frac{R_w W_c}{1000 D_0} + p_v \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中：

H_w —管道上方水的高度，单位为米（m）；

γ_w —单位水重量 = $10 \text{ kN}/\text{m}^3$ ；

p_v —内部真空压力，单位为兆帕（MPa）= 大气压力（MPa）减去管道内绝对压力（MPa）；

R_w —水浮力因子 = $1 - 0.33(H_w/H_s)$ ， $0 \leq H_w \leq H_s$ ；

D_0 —钢管计算直径，可按管壁中心计算，单位为米（m）；

W_c —管道单位长度上管顶竖向土荷载值，单位为千牛每米（ kN/m ），见本文件 8.2.3。

——若同时考虑活荷载，则通过公式（15）计算满足屈曲要求：

$$q_a \geq \frac{\gamma_w H_w}{1000} + \frac{R_w W_c}{1000 D_0} + \frac{q_{ik}}{1000} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

q_{ik} —地面车辆荷载或地面堆积荷载，应根据设计条件采用其中较大值，单位为千牛每平方米（ kN/m^2 ）；

D_0 —钢管计算直径，可按管壁中心计算，单位为米（m）。

8.2.13 对埋设在地表水或地下水以下的管道，应根据设计条件计算管道结构的抗浮稳定。

8.2.14 埋地输水钢管的抗浮稳定可按公式(16)计算:

$$\sum F_{GK} \geq K_f F_{fw,k} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中:

$\sum F_{GK}$ —作用在管道单位长度上的全部向下的竖向荷载,单位为千牛每米(kN/m);

$F_{fw,k}$ —作用在管道单位长度上的浮托力值,单位为千牛每米(kN/m);

K_f —管道的抗浮稳定安全系数,取1.10。

8.2.15 当埋地输水钢管在敷设方向改变处一侧或两侧有柔性接头时,柔性接头距敷设方向改变处的距离,应按公式(17)和公式(18)计算:

$$L \geq \frac{K_s p_2 A (1 - \cos \beta)}{F_{fk}} \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$A = \frac{\pi}{4} d_j^2 \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

L —柔性接头距敷设方向改变处的距离,单位为米(m);

A —钢管的过流面积,单位为平方米(m^2);

p_2 —管道内部瞬态压力或现场试验压力(取大值),单位为千牛每平方米(kN/m^2);

K_s —管道的抗滑稳定安全系数,取1.50;

F_{fk} —管道单位长度摩擦力值,单位为千牛每米(kN/m);

β —管道转角;

d_j —钢管内径,单位为米(m)。

8.2.16 管道单位长度摩擦力值可按公式(19)计算:

$$F_{fk} = \frac{\pi}{2} \mu_s \gamma_s D_c \left(H_s + \frac{1}{3} H_s + \frac{D_c}{2} \right) + \frac{\pi \mu_s \gamma_w}{4} d_j^2 \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

F_{fk} —管道单位长度摩擦力值,单位为千牛每米(kN/m);

μ_s —钢管管道与土壤间的摩擦系数,应根据试验确定;当缺乏试验资料时,可采用0.2~0.4;

H_s —覆土深度,单位为米(m);

γ_s —回填土的容重,单位为千牛每立方米(kN/m^3);

D_c —钢管外径,单位为米(m);

t —钢管管壁厚度,单位为米(m);

γ_w —单位水重量=10 kN/m^3 ;

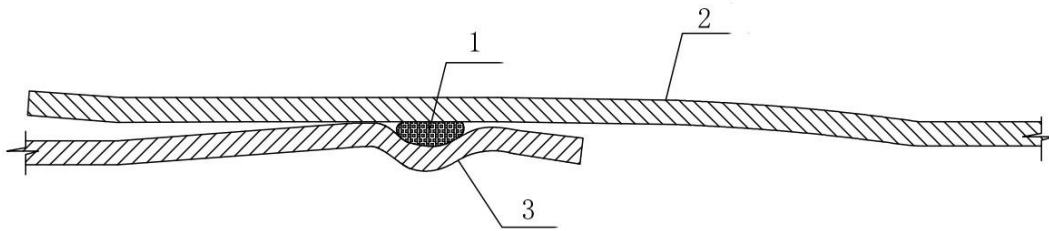
d_j —钢管内径,单位为米(m)。

8.2.17 承插搭接焊接的圆角焊缝的设计计算,应符合附录E的规定。

8.3 管道接口形式

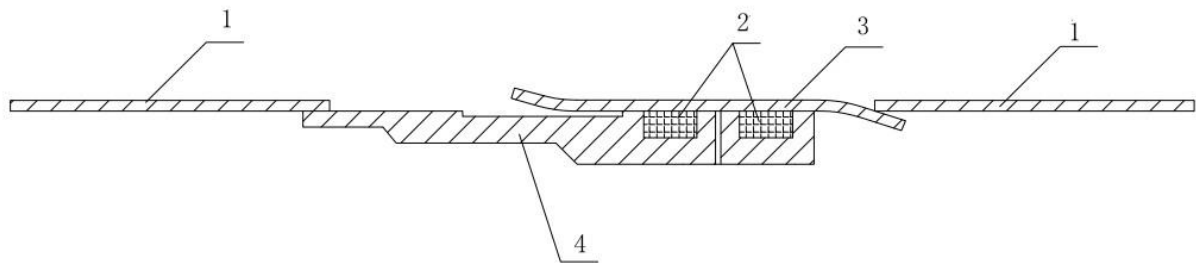
8.3.1 埋地输水钢管可采用承插式柔性接口、承插搭接焊或对接焊连接,连接部位应满足结构强度、变形和密封性要求。承插式柔性接口适用于不大于DN1800的埋地输水钢管。

8.3.2 承插式柔性接口分为单胶圈承插式柔性接口和双胶圈承插式柔性接口两种型式,单胶圈承插式柔性接口示意图见图1,双胶圈承插式柔性接口示意图见图2。接口密封试验可参照T/CECS 10159的相关规定执行。



- 标引序号说明：
 1——橡胶密封圈；
 2——承口；
 3——插口。

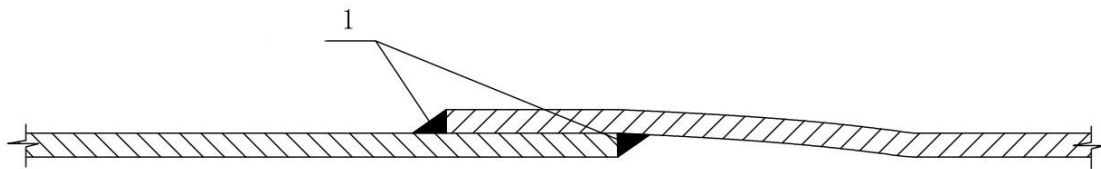
图1 单胶圈承插式柔性接口示意图



- 标引序号说明：
 1——钢管；
 2——橡胶密封圈；
 3——承口；
 4——插口。

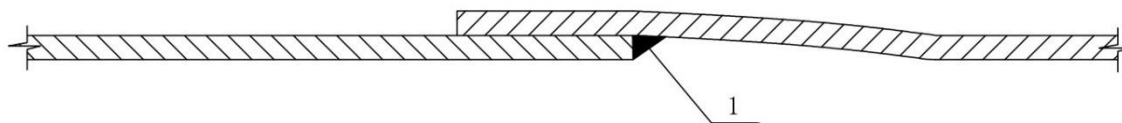
图2 双胶圈承插式柔性接口示意图

8.3.3 承插式搭接焊分为承插搭接内外焊接口和承插搭接内焊接口两种形式，承插搭接内外焊接口示意图见图 3，承插搭接内焊接口示意图见图 4。



- 标引序号说明：
 1——焊缝。

图3 承插搭接内外焊接口示意图

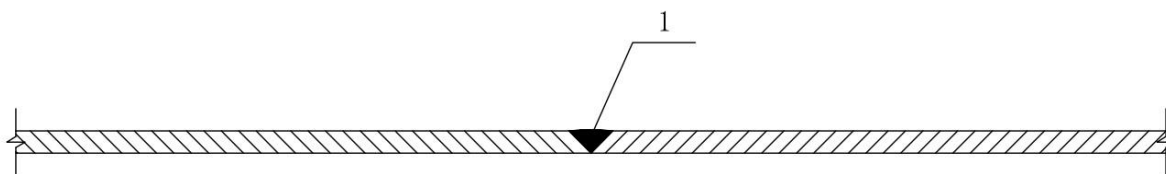


标引序号说明:

1——焊缝。

图4 承插搭接内焊接口示意图

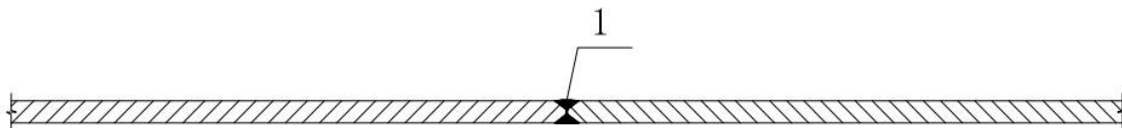
8.3.4 对接焊接口分为单面焊和双面焊两种形式,对接焊单面焊接口示意图见图 5,对接焊双面焊接口示意图见图 6。



标引序号说明:

1——焊缝。

图5 对接焊单面焊接口示意图



标引序号说明:

1——焊缝。

图6 对接焊双面接口示意图

8.4 构造要求

8.4.1 埋地输水钢管的管壁最小厚度,除满足结构分析要求外,还应考虑制造工艺、安装、运输等要求,保证必需的刚度。

8.4.2 埋地输水钢管依靠足够的土壤侧支撑和足够的土壤覆盖层来分配施工设备的荷载和管道上方的其他荷载。当钢管内径大于等于 DN600 且钢管内径与壁厚之比大于 120 时,钢管两端内壁应加设支撑。支撑应放置在距离每段管道长度 15%~20% 的位置,但距离端口不小于 1200 mm。装运支架应位于支撑附近。对于内部裸露的水泥砂浆衬里管道,通常木支撑尺寸为 50 mm~100 mm。然后使用木垫或楔子顶紧支柱,使其紧密贴合。

8.4.3 对接焊焊接时,钢管壁厚宜保持内径不变,当对焊钢管的壁厚差大于 4 mm 时,应将钢管壁厚较大的接口坡口按照 1:3 比例制作。

8.4.4 纵向焊缝不应布置在横断面的水平轴线和垂直轴线上，与其夹角应大于 10° ，相邻管节纵缝弧线错距不应小于 300 mm。环向焊缝间距直管不宜小于 500 mm，岔管、弯管等结构不宜小于下列各项之大值：

- 10 倍管壁厚度；
- 300 mm。

8.4.5 弯管段相邻管节转折角不宜大于 10° 。直径改变的渐变圆锥管，锥顶角不宜大于 7° 。

8.4.6 焊缝按重要性可分为下列三类：

- a) 一类焊缝，主要包括下列类型：
 - 钢管管壁纵缝；
 - 人孔颈管的对接焊缝、人孔颈管与颈口法兰盘和管壁的连接焊缝；
 - 闷头焊缝及闷头与管壁的连接焊缝；
 - 支承环对接焊缝和主要受力角焊缝。
- b) 二类焊缝，主要包括下列类型：
 - 除列入一类环缝的其他钢管管壁环缝；
 - 阻水环、止推环的对接焊缝。
- c) 三类焊缝，不属于上列范围的其他焊缝。

8.4.7 符合下列情况之一者，应进行消除残余应力处理。如采取其他消应措施，则应进行有关试验论证。

- a) 钢管壁厚超过下列数值：
 - Q235、Q245R，钢管壁厚大于 42 mm；
 - Q355、Q345R，钢管壁厚大于 38 mm；
 - Q390、Q370R，钢管壁厚大于 36 mm；
 - 高强钢，钢管壁厚大于 32 mm；
 - 其他钢种经研究后确定。
- b) 冷加工成型的钢管壁厚超过下列数值：
 - Q235、Q355、20R、Q345R，壁厚大于等于 $D/33$ ；
 - Q390、Q370R，壁厚大于等于 $D/40$ ；
 - 高强钢，钢管壁厚大于等于 $D/57$ ；
 - 其他钢种经研究后确定。

9 钢管制作

9.1 一般规定

9.1.1 钢管制造工艺可采用螺旋埋弧焊或直缝埋弧焊工艺，焊接方式应采用对接焊。

9.1.2 制管标准可按设计要求选用 GB/T 9711、SY/T 5037、GB/T 3091、SL 432 的规定执行。直缝埋弧焊工艺制作直管和管件时，应符合 SL 432 的相关要求。

9.1.3 不同焊接工艺对应的管径范围应符合以下要求：

- 直缝埋弧焊工艺 DN150~DN5000；
- 螺旋焊埋弧焊工艺 DN200~DN4000。

9.1.4 钢管制作材质应符合设计要求。

9.2 技术要求

9.2.1 钢管外径偏差见表 2:

表2 钢管外径偏差

单位为毫米

钢管外径 D_c	允许偏差	
	管体	管端
$219 < D_c \leq 630$	$\pm 1.0 \% D_c$	$\pm 0.75 \% D_c$ 或 ± 2.5 ，取小值
$630 < D_c \leq 1420$	$\pm 0.75 \% D_c$	$\pm 0.50 \% D_c$ 或 ± 3.5 ，取小值
$D_c > 1420$	依照协议	

注1：管端为距钢管端部100 mm范围内的钢管。

9.2.2 距管端 100 mm 范围内钢管的椭圆度应不大于 1.5 % D_c 。

9.2.3 根据规定钢管外径，管道外周长与标称外周长的偏差不得超过 $\pm 1\%$ ，最大不得超过 19 mm。

9.2.4 板材、薄板的厚度负公差应小于 0.25 mm 或钢管公称厚度的 6%两者中的较小值。

9.2.5 标准管定尺长度为 6000 mm~12000 mm，允许误差 ± 500 mm。非标准长度管由生产厂家按照施工单位提出的尺寸进行加工。三通及弯管等长度按照实际所需要长度及详细施工图确定。

9.2.6 钢管直度偏差不大于钢管长度的 0.2 %，每个管端 1.0 m 长度范围内的钢管相对于直线的局部偏离应小于等于 4.0 mm。

9.2.7 对接管及钢板对头焊缝

9.2.7.1 不应以对接管的形式交付货物，钢管上可存在钢板对头焊缝，每根钢管对头焊缝小于等于 1 处，且钢板对头焊缝距管端不应小于 300 mm。

9.2.7.2 钢板对头内外焊缝焊接各不应少于 1 道，且焊接应采用埋弧焊。

9.2.7.3 允许对头焊缝的余高去除，但去除后的焊缝表面不应低于钢板原始表面。

9.2.8 管端

9.2.8.1 钢管管端应加工焊接坡口。

9.2.8.2 钢管壁厚大于 3.2 mm 的平端钢管的管端应加工焊接坡口。坡口角度为 30_0^{+5} °，钝边为 $1.6_{-0.8}^{+8}$ mm，以钢管轴线的垂线为基准测量坡口角。

9.2.8.3 坡口加工应在制造厂内采用机械倒棱方式加工，禁止使用火焰切割。

9.2.8.4 管端也可采用承插形式交货，承插口可在管端直接成型。

9.2.9 按本文件交货的钢管应为平端或承插接口钢管。平端钢管应切直，切斜应符合以下规定：

- 外径小于 820 mm 的钢管，切斜偏差为 1.6 mm；
- 外径大于等于 820 mm 的钢管，切斜偏差为 3 mm。

9.2.10 经购方与制管厂协商，钢管可以以其他角度的坡口或以平头交货。

9.3 焊缝质量要求

9.3.1 外观

9.3.1.1 钢管焊缝外观应逐节进行检查。

9.3.1.2 表面光顺、均匀、焊道与母材应平缓过渡。

9.3.1.3 表面不得有熔化金属流到焊缝外未熔化的母材上，焊缝和热影响区表面不得有裂纹、气孔、弧坑和灰渣等缺陷。

9.3.2 摔坑

钢管管壁上不应有深度超过 6.4 mm 的摔坑。摔坑长度在任何方向不应超过 0.5D_o。凹陷部分带有尖锐划伤时，凹陷深度不应超过 3.2 mm。当凹陷部分带有尖锐划伤时应将尖锐划伤磨去，但磨后的凹坑深度、长度应符合上述规定，修磨处剩余壁厚也应符合相应要求。

注：摔坑深度是指凹陷处最低点与钢管原始轮廓延伸部分之间的距离。

9.3.3 宽度

焊缝宽度每边应覆盖坡口边缘 2 mm~3 mm。

9.3.4 焊偏

无损检测的结果表明焊缝完全焊透和熔合，焊偏不应成为拒收的原因。

9.3.5 表面余高

应小于或等于 1+0.2 倍坡口边缘宽度，且不大于 4 mm，钢管的焊缝与管体应平滑过渡。

9.3.6 咬边

深度应小于或等于 0.5 mm，焊缝两侧咬边总长不得超过焊缝长度的 10%，且连续长不应大于 100 mm。

9.3.7 错边

应小于或等于 0.2 倍的钢管管壁厚度，且不应大于 2 mm。

9.3.8 分层

9.3.8.1 管端面上不允许存在分层，距管端 25 mm 范围内以及距焊缝两侧 25 mm 范围内的分层均视为缺陷，有这种缺陷的钢管应切除，直到除去这种分层为止。

9.3.8.2 如果发现管口有分层现象，应对整条管道进行分层检查。其余部位上的分层的限值为任何方向不允许存在长度超过 50 mm 的分层。

9.3.8.3 长度在 30 mm~50 mm 的分层相互间距应为大于 500 mm；长度小于 30 mm、相互间距小于板厚的若干小分层构成连串性分层，该连串性分层中的所有小分层长度总合不得大于 80 mm。

9.3.8.4 应在厂内对管端的分层夹杂进行抽检（抽检比例≥20%，且每班不少于 2 次）。

9.3.9 未焊满

钢管所有焊缝不允许出现未焊满。

9.4 无损检测

9.4.1 对接焊焊缝全长应按 SY/T 6423.1 或 SY/T 6423.5 要求进行 X 射线工业电视检测。

9.4.2 允许对无损检测出的缺陷按修补要求进行修补，不能出现两次以上的修补，最终要确保所供货管道焊缝 100 %射线无损检测合格，确保焊缝无裂缝、未融合及未焊透及直径超过 5 mm 的夹渣气孔缺陷。

9.5 水压试验

9.5.1 钢管应在出厂前进行水压试验抽检，水压试验抽检的取样频率应按照相关标准规定执行。

9.5.2 钢管的水压试验压力保持时间不应小于 15 s，并同时有水压压力曲线记录存储功能，试验过程管道及焊缝应无渗漏现象。

9.5.3 试验压力应按公式（20）计算，计算结果精确到 0.1 MPa：

$$P=2St/D。 \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

P —水压试验压力，单位为兆帕（MPa）；

S —水压试验环向应力，按SY/T5037表3所示百分数与钢管规定的最小屈服强度的乘积，单位为兆帕（MPa）；

t —钢管管壁厚度，单位为毫米（mm）；

D_c —钢管外径，单位为毫米（mm）。

9.6 焊缝修补

9.6.1 钢管焊缝上的缺陷均可修补。修补处应彻底清理，清理后应符合施焊要求。

9.6.2 焊缝修补可采用埋弧焊、电弧焊（手工焊）等方法进行补焊。

9.6.3 间隔小于 100 mm 的多个焊缝缺陷应当作一个连续单个焊缝进行修补，单个焊缝至少应补两层。

9.6.4 补焊焊缝的最小长度应为 50 mm。

9.6.5 单节钢管补焊焊缝总长度不应超过管节长度的 20%。

9.6.6 修补位置检测合格后应对修补位置进行打磨处理，修磨位置应平缓过渡到钢管及焊缝原始表面，高度不应超过 1.5 mm。

9.6.7 焊缝修补后应再次进行无损检测。

9.6.8 符合以下任一条件的不允许修补：

- 1) 距管端 300 mm 范围内；
- 2) 同一部位的返工次数不宜大于 2 次，高强钢不宜大于 1 次。

10 防腐

10.1 一般规定

10.1.1 埋地输水钢管防腐设计应根据使用条件、输送介质、腐蚀环境、结构尺寸等要求合理选用。

10.1.2 埋地输水钢管现场焊接后焊缝两侧的表面处理和补涂技术工艺，应按钢管出厂前相同的技术要求进行，其技术要求及设计寿命应不低于管道主体防腐标准。

10.1.3 与生活饮用水直接接触的防腐材料应符合饮用水卫生标准 GB/T 17219 要求。

10.1.4 埋地输水钢管涂装表面应进行除锈预处理，达到规定的清洁度和粗糙度要求后进行涂装。

10.1.5 埋地输水钢管金属表面处理应符合 GB/T 8923.1-2011 的规定，其中喷射清理等级为 Sa2½级，热喷涂金属涂装应不低于 Sa3 级，外壁与混凝土接触表面应达到 Sa2 级，手工和动力工具清理等级为 St3。

10.1.6 埋地管道设计前应对周围环境进行腐蚀等级综合评价。对于腐蚀等级为“中”、“强”区域宜采用阴极保护与涂装联合保护，对于腐蚀等级为“弱”区域采用防腐涂料，也可采用阴极保护。腐蚀等级评价按照 GB/T 50021-2001 中 12.2 的规定执行。

10.1.7 涂层类别与表面粗糙度取值范围见表 3。

表 3 涂层类别与表面粗糙度取值范围

单位为毫米

涂层类别	非厚浆型涂料	厚浆型涂料	超厚浆型涂料	金属热喷涂
粗糙度Rz	0.04~0.07	0.06~0.1	0.1~0.15	0.06~0.1

10.1.8 其它技术要求按 SL 105 执行。

10.2 钢管内防腐

10.2.1 埋地输水钢管内壁防腐可分为离心水泥砂浆、机械喷涂、热熔涂层等防腐方式。内防腐层厚度应符合下表取值：

- 无溶剂聚氨酯内防腐层厚度应按表 4 的规定取值；
- 水泥砂浆内防腐层厚度应按表 5 的规定取值；
- 液体环氧涂料内防腐层厚度应按表 6 的规定取值；
- 熔结环氧粉末、聚乙烯粉末内防腐层厚度应按表 7 的规定取值；
- 环氧树脂内防腐层厚度应按表 8 的规定取值。

10.2.2 钢管水泥砂浆内防腐层宜采用皮带离心机成型。

10.2.3 无溶剂聚氨酯涂料性能指标应符合 SY/T 4106 要求，环氧树脂粉末性能需满足 CJ/T 120。

表 4 无溶剂聚氨酯内防腐层厚度

单位为毫米

涂层结构	涂层种类	涂层干膜厚度
一次成型	无溶剂聚氨酯涂料(用于供水工程)	0.5

表 5 水泥砂浆内防腐层厚度

单位为毫米

公称直径DN	厚度	
	机械喷涂	手工涂抹
500~700	8.0	-
800~1000	10.0	-
1100~1500	12.0	14.0
1600~1800	14.0	16.0
2000~2200	15.0	17.0
>2200	16.0	18.0

表 6 液体环氧涂料内防腐层厚度

单位为毫米

内防腐层等级	干膜厚度
普通级	≥ 0.2
加强级	≥ 0.3
特加强级	≥ 0.45

表 7 熔结环氧粉末、聚乙烯粉末内防腐层厚度

单位为毫米

内防腐层	厚度
普通级（熔结环氧粉末）	≥ 0.3
加强级（熔结环氧粉末）	≥ 0.5
公称直径DN80~150（聚乙烯粉末）	> 0.5
公称直径DN150~300（聚乙烯粉末）	> 0.6

表 8 环氧树脂内防腐层厚度

单位为毫米

公称直径DN	厚度
400~800	> 0.4
≥ 900	> 0.45

10.3 钢管外防腐

10.3.1 埋地输水钢管外壁防腐可分为无溶剂聚氨酯、三层结构聚乙烯、熔结环氧粉末和聚烯烃胶黏带等防腐方式。外防腐层厚度应符合下列表要求：

- 无溶剂聚氨酯外防腐层厚度应按表 9 的规定取值；
- 三层结构聚乙烯外防腐层厚度应按表 10 的规定取值；
- 熔结环氧粉末外防腐层厚度应按表 11 的规定取值；
- 聚烯烃胶黏带外防腐层厚度应按表 12 的规定取值。

10.3.2 钢管与混凝土接触部分可采用不含苛性钠水泥浆或无机改性水泥浆防护。

10.3.3 无溶剂聚氨酯涂料性能指标应符合 SY/T 4106 要求，环氧粉末涂料、胶粘剂和聚乙烯性能应符合 GB/T 23257 的规定。

表 9 无溶剂聚氨酯外防腐层厚度

单位为毫米

外防腐层厚度		
A级	B级	C级
≥ 0.65	≥ 1.0	≥ 1.50
注：焊缝处防腐层的厚度，不应低于规定厚度的80%。		

表 10 三层结构聚乙烯外防腐层厚度

单位为毫米

钢管公称直径DN	构造			
	环氧粉末涂层	胶粘剂层	聚乙烯层	
			普通级	加强级
≤100	≥0.12	≥0.17	1.8	2.5
100~250			2.0	2.7
250~500			2.2	2.9
500~800	≥0.15		2.5	3.2
800~1200			3.0	3.7
≥1200			3.3	4.2

注：不适用于二层结构聚乙烯防腐层

表 11 熔结环氧粉末外防腐层厚度

单位为毫米

类型	构造	厚度	
		普通级	加强级
单层	-	≥0.30	≥0.40
双层	底层	≥0.25	≥0.30
	面层	≥0.35	≥0.50

表 12 聚烯烃胶黏带外防腐层厚度

单位为毫米

类型	构造	总厚度		
		普通级	加强级	特加强级
聚丙烯胶黏带	底漆	≥0.7	≥1.2	≥2.0
	厚胶型聚丙烯胶黏带			
聚乙烯胶黏带	底漆			
	防腐黏胶带（内带）			
	保护黏胶带（外带）			

10.4 防腐补口

10.4.1 埋地输水钢管的防腐施工应符合现行国家标准的相关要求。

10.4.2 现场钢管焊缝无损检测合格后，应及时进行防腐补口。现场钢管、管件的防腐补口、补伤施工应符合设计要求和现行有关标准的规定。

10.4.3 埋地输水钢管补口防腐层应选择与主体管道防腐层等级相匹配的类型和等级。

10.4.4 主体管道防腐层为无溶剂聚氨酯涂料防腐层时，内补口防腐层的等级和厚度应符合表 4 的规

定；外补口防腐层的等级和厚度应符合表 9 的规定。

10.4.5 主体管道外防腐层为聚烯烃防腐层或环氧类防腐层时，采用无溶剂聚氨酯外补口防腐层分为普通级和加强级，其厚度应符合表 13 的规定。

表 13 无溶剂聚氨酯防腐层外补口等级和厚度

单位为毫米

等级	厚度	
	普通级	非穿越段
穿越段		≥ 1.5
加强级	非穿越段	≥ 1.5
	穿越段	≥ 2.0

10.4.6 对环氧树脂、熔结环氧粉末内防腐层的内补口，应采用液体环氧涂料，补口按照 SY/T 0457 的相关规定执行，厚度不低于管道内防腐层设计厚度。

10.4.7 三层结构聚乙烯防腐及承插搭接焊（外口不焊接）的现场外补口应采用液体环氧底漆/辐射交联聚乙烯热缩带（套）方式，当采用液体环氧底漆/辐射交联聚乙烯热缩带（套）时，性能应满足 GB/T 23257 的规定。

10.4.8 辐射交联聚乙烯热缩带（套）应按管径选用配套的规格，产品的基材边缘应平直，表面应平整、清洁、无气泡、裂口及分解变色。热缩带（套）的厚度应符合表 14 的规定。

表 14 聚乙烯热缩带（套）厚度

单位为毫米

基材类型	适用管径DN	基材	胶层	周向收缩率
普通型	≤ 400	≥ 1.2	≥ 1.0	$\geq 15\%$
	> 400	≥ 1.5		
高密度型	-	≥ 1.0	≥ 1.5	$\geq 50\%$

10.4.9 防腐层的外表应平整，无漏涂、褶皱、流淌、气泡和针孔等缺陷；防腐层应能有效地附着在金属表面；聚乙烯热收缩套（带）、聚乙烯冷缠胶带，以及双组分环氧粉末补伤液、补伤热熔棒等补口、补伤材料应按其生产厂家使用说明的要求施工。

10.5 阴极保护

10.5.1 阴极保护设计与施工应按 GB/T 21447 和 GB/T 21448 的规定执行。

10.5.2 埋地管道附近 10 m 以内有高压输电线路或电气化铁路等区域还应进行交直流杂散电流干扰防护。

10.5.3 交流干扰防护技术应按照 GB/T 50698 的规定执行。

10.5.4 直流干扰防护技术按照 GB/T 50991 的规定执行。

10.5.5 阴极保护应与涂料防腐联合作用。

11 管道施工

11.1 一般规定

11.1.1 埋地输水钢管工程施工除应符合本文件的规定外，尚应按照 GB 50268、GB 50766、SL 432 的规定执行。

11.1.2 埋地输水钢管工程施工质量控制应符合下列规定：

- 各分项工程（单元工程）应按照施工技术标准进行质量控制，每分项工程（单元工程）完成后必须进行检验；
- 相关各分项工程（单元工程）之间，必须进行交接检验，所有隐蔽相关各分项工程之间，必须进行隐蔽验收，未经检验或不合格不得进行下道分项工程。

11.1.3 管道各部位结构和构造形式、管节、管件、橡胶圈及主要工程材料等应符合本文件的要求。

11.2 施工准备

11.2.1 施工前应由设计单位进行设计技术交底。

11.2.2 施工准备工作应符合以下规定：

- 分析、核查工程水文地质资料，并进行现场调查，掌握工程沿线实际情况；
- 施工单位在开工前应编制施工组织设计和专项施工方案，并按规定程序审批后执行；
- 临时水准点、管道轴线控制桩等应根据现场交付资料及有关规定设置，并保存完整的原始记录。对已有的建（构）筑物的平面位置和高程应进行校测；
- 应有可靠的临时降、排水措施和相应的设施，并由专人管理和检查。

11.2.3 施工负责人应根据工程部位和工序要求，对施工人员进行专门培训，进行技术和安全交底。

11.3 钢管装卸和堆放

11.3.1 钢管在装卸过程中应轻装轻卸，严禁摔跌或撞击。

11.3.2 装卸时吊索宜用柔韧的、较宽的皮带、吊带或绳或专用工具，不得用钢丝绳或铁链直接接触吊装钢管。

11.3.3 钢管的起吊应采用两个吊点起吊，严禁用钢丝绳从管内穿心吊装。

11.3.4 钢管装卸机具的工作位置和机具的起吊能力应稳定、安全可靠。

11.3.5 钢管的堆放场地应满足承载力要求，坚实平整，排水设施完善。

11.3.6 钢管直接堆放于地面时，地面应平坦并不得对管材造成腐蚀，严禁将管材放在尖锐的硬物上。所有堆放的管材应采取措施防止滚动。

11.3.7 钢管堆放和运输时，对管径大于等于 1400 mm，径厚比大于 75 的管材两端应设米字形支撑。

11.3.8 钢管应按不同型号、规格分别堆放，钢管允许的堆放层数应符合表 15 的规定。

表 15 钢管允许的堆放层数

公称直径 mm	堆放层数
<800	3
800~1400	2
≥1400	1

11.3.9 堆放时，上下层垫子应对齐，垫木的厚度应保证承、插口不接触，垫木安放位置距管端距离应为管长的 1/5。

11.4 管材运输

11.4.1 管材应牢固固定在运输车辆上。

11.4.2 待发运的管材应做好管壁及接头承插口端的保护。

11.4.3 管材采用套装方式装运时，套装的管材间应设有衬垫材料，并应相对固定。

11.4.4 严禁在运输过程中发生管与管、管与其他硬物之间的直接接触和碰撞。

11.5 沟槽开挖

11.5.1 埋地输水钢管工程的施工降排水、沟槽开挖与支护、地基处理及沟槽允许偏差等应符合 GB 50268 的相关要求。

11.5.2 埋地输水钢管工程的沟槽底宽，承插柔性接口应参照 T/CECS 492 的规定执行，焊接接口应参照 GB 50268 的规定执行

11.6 管道基础

11.6.1 敷设于砂砾石、砂、粉土等相对均匀的柔性基础上的管道，可不设砂垫层。敷设于岩石、碎石和坚硬黏性土层上的管道，宜在管道下方设置砂垫层。软、硬地基变化处，应在硬地基段设置长度不宜小于两节标准管的过渡砂垫层。

11.6.2 在流沙等土壤松软地区，应对管道进行基础处理，采用混凝土基础时，宜为圆心角 90° ~ 120° 的连续式基础，所采用混凝土强度等级不应低于 C15。

11.6.3 采用人工土弧基础的埋地输水钢管，人工土弧基础应采用中粗砂或细碎石铺设，不宜采用人工碎石。管底以上部分人工土弧基础的尺寸可根据工程需要的砂基角度计算。管底以下部分人工土弧基础的厚度可按公式 (21) 计算，但不宜大于 0.3 m。

$$h_d = 0.1(1 + d_j) \dots\dots\dots (21)$$

式中：

h_d —管底以下部分人工土弧基础厚度，单位为毫米 (mm)；

d_j —钢管内径，单位为毫米 (mm)。

11.6.4 管道基础施工和质量验收应符合 GB 50268 的相关规定。

11.7 管道安装

11.7.1 在管道基础施工完毕并达到有关技术要求后，方可安装管道。

11.7.2 安装管道前应复核高程，排除槽内积水。

11.7.3 两端管中心位置及标高应根据高程确定。

11.7.4 连接管道前应按设计要求对管材、管件及管道附件等进行复核，并按产品标准逐节进行外观检验，不合格产品，严禁安装。

11.7.5 下管前应先检查管节的内外防腐层，合格后方可下管，防腐层破损应按照要求及时修补。管道下管、安装过程中，应避免磕碰。

11.7.6 埋地输水钢管在安装及回填施工时应在管内设置内支撑，并注意防止损坏防腐层。内支撑应

在回填完成后及时拆除。

11.7.7 在管道接口处应设置接口工作坑，工作坑开挖尺寸应满足操作人员和连接工具的安装作业空间要求，并便于检验人员的检查；有混凝土基础的应设置凹槽，凹槽的长度、宽度和高度可按管道接头尺寸确定。

11.7.8 承插式柔性接口管道采用管道卡环和紧线器安装接口，卡环与管道间应加衬垫。

11.7.9 安装承插式橡胶圈柔性接口时应符合下列规定：

- 清理管道承口内侧、插口外部凹槽等连接部位和橡胶圈；
- 将橡胶圈套入插口凹槽内，保证橡胶圈在凹槽内受力均匀、无扭曲翻转现象；
- 用配套的润滑剂涂擦在承口内侧和橡胶圈上，检查涂覆是否完好；
- 在插口上按要求做好安装标记，以便检查插入是否到位；
- 接口安装时，将插口一次插入承口内，达到安装标记为止；
- 安装时接头和管端应保持清洁；
- 间断施工时，管口处应采取封堵措施。

11.7.10 管节承插就位后，放松紧管器具后应进行下列检查：

- 复核管道的高程和中心线；
- 用钢尺插入钢管承插口之间检查橡胶圈周围的环向位置，应确保橡胶圈嵌入同一深度；
- 承插式接口采用双胶圈的，安装时应将单口水压试验用的进水口设在管道底部，并进行单口水压试验，试验压力宜为 0.6 MPa；
- 承插式管道的偏转角度应符合设计要求，并不大于管道接口允许转角的 1/2。

11.7.11 钢管施焊的预热要求，应符合 GB 50766 的规定。

11.7.12 埋地输水钢管采用焊接连接时，应符合现行 GB 50235、GB 50236、GB 50766 等相关规定，还应符合下列规定：

- 对首次采用的钢材、焊接材料、焊接方法或焊接工艺，必须在施焊前按设计要求和有关规定进行焊接试验，并根据试验结果编制焊接工艺指导书；
- 应根据经过评定的焊接工艺指导书进行施焊；
- 沟槽内焊接时，应采取有效的技术措施保证管道底部的焊缝质量。

11.7.13 焊缝外观质量应符合本文件 9.3 条的规定。

11.7.14 搭接焊角焊缝的焊接和防腐施工应满足设计要求。

11.7.15 管道敷设允许偏差应符合 GB 50268 的相关要求。

11.7.16 采用阴极保护的承插口柔性连接钢管，应保证钢管接口导电的连续性。阴极保护施工应与管道施工同步进行。

11.7.17 管道接口防腐应按本文件 10.4 条执行。

11.8 沟槽回填

11.8.1 管道安装施工完毕并经检验合格后，沟槽应及时回填至设计回填高程。

11.8.2 回填管道两侧和管顶以上 0.5 m 范围内的回填材料，应由沟槽两侧对称运入槽内，不得直接回填在管道上。回填其他部位时，应均匀运入槽内，不得集中推入。

- 11.8.3 在管顶以上 1.0 m 范围内回填土时，应注意不得损坏管道。
- 11.8.4 回填材料应达到设计规定的质量要求，回填土中不得掺有大于 50 mm 的混凝土碎块、石块和大于 100 mm 的坚实土块。
- 11.8.5 需要拌和的回填材料，应在运入槽内前拌和均匀，不得在槽内拌和。
- 11.8.6 回填材料应分层夯实，从管底基础部位开始到管顶以上 0.5 m 范围内应采用人工回填，管顶 0.5 m 以上部位，可采用机械从管道轴线两侧同时夯实。
- 11.8.7 回填时每层的虚铺厚度，动力打夯机械时不宜大于 0.3 m，人工回填时不宜大于 0.2 m。
- 11.8.8 回填土的压实指标应符合设计要求或按 SL 281 的规定执行。
- 11.8.9 管道接口处的工作坑回填，应采用中粗砂或砾石砂，管道两侧应同时回填，并用人工夯实。
- 11.8.10 当管道覆土深度较小，或原土回填达不到设计要求的压实指标时，应采取换填等措施。
- 11.8.11 新建管道与其他管道交叉部位的回填应符合压实标准要求，并使回填材料与被支承管道紧贴，或按有关规定进行加固处理。
- 11.8.12 如开挖土料不适用直接回填，但可以作为流填料原材料使用时，可采用流填料回填。为防止钢管漂浮，管道应该被压紧或限制移动。
- 11.8.13 埋地输水钢管采用流填料回填时，应确保钢管抗浮稳定。管道应采用柔性基础支撑，保证流填料充满管道周围的空隙，支撑点位置距管端距离应为管节长的 1/5~1/4。
- 11.8.14 流填料的浇筑温度、养护条件应符合混凝土的相关要求。
- 11.8.15 流填料回填固化后，应进行落锤试验，测量其压痕直径，如果直径小于 75 mm，则可以在流填料表面进行回填压实。
- 11.8.16 采用加劲环措施的埋地输水钢管管线中不宜设置伸缩节或补偿接头。为防止管道地基非均匀沉降和温差应力危害管道而设置的伸缩设施，宜采用不需更换止水填料的波纹管伸缩节或配套补偿接头。
- 11.8.17 管道变形应符合下列规定：

- 管沟回填至设计高程后，应在 4 h~12 h 内测量检验管道的初始变形值；
- 采用柔性连接时，安装后的管道各测量断面初始竖向变形率不得超过 2 %；
- 管道竖向变形应按式（22）计算：

$$\delta_f = (d_j - d_{j1}) / (d_j + t_j) \times 100 \dots\dots\dots (22)$$

式中：

- δ_f —管道竖向变形；
- d_j —钢管内径，单位为毫米（mm）；
- d_{j1} —钢管变形后的竖向内直径，单位为毫米（mm）；
- t_j —管道壁厚，单位为毫米（mm）。
- 管道变形的测量偏差不得大于 1 mm；
- 安装后的管道不得出现管壁隆起、扁平及其他突变现象；
- 安装后管道的初始竖向变形值大于 2 % 的规定值时，可按下列程序纠正变形超标的管道：
 - 将回填材料挖出，直到露出管道的 85 % 处；

- 管道上部300 mm往下及管两侧面区域应用人工挖掘；
- 检查管道，有损伤的管材应进行修复或更换；
- 重新夯实主管区底部的回填材料；
- 采用合适的回填材料分层回填管区，并逐层夯实；
- 回填到设计标高并检查管道竖向变形，不应超过2 %的限值。

11.8.18 当管道最大竖向变形限值超过本文件 8.2.10 的规定时，应更换新管材后再按规定要求安装回填。

12 管道功能性试验

12.1 一般规定

12.1.1 埋地输水钢管竣工验收前应进行管道功能性试验。

12.1.2 压力管道应进行水压试验。试验的技术要求和试验条件应符合相关规范和设计要求或按本文件的规定执行。对于承插式接口的压力管道安装就位后应进行接口密封检验。

12.1.3 管道水压试验前，设计单位应编制水压试验技术要求，施工单位应编制水压试验实施方案，并经监理审批后进行试验。试验完成后，施工单位应编制水压试验报告。

12.1.4 管道水压试验合格的判定依据为允许压力降值。

12.1.5 管道水压试验应有安全防护措施，作业人员应按照相关安全作业规程进行操作。

12.1.6 试验用水应使用洁净水，不应使用污染水源。试验前应制定水源的引接、排放方案，采取措施确保人员、交通通行和附近设施的安全。

12.1.7 试验前应对有代表性的试验数据进行计算，明确其对应试验仪表读数。试验过程中根据仪表读数初步判定是否满足要求，对不合理的结果和误差应进行分析。

12.2 管道水压试验

12.2.1 管道水压试验的条件：

- 管道安装完成，焊接接头、承插接头或法兰接头检验合格，焊接接口防腐处理满足要求，沟槽回填至设计地面高程；
- 止推结构、管线阀室建筑物、附属设施施工完成，经复核满足水压试验工况的稳定和强度要求；
- 管线水力机械设备安装完成，并检验合格；
- 管道内部清理干净；
- 水压试验工作方案批准；
- 试验水源、试验场地、试验人员已落实，试验设备已安装、调试完成。

12.2.2 水压试验分段长度应综合考虑地形、工程特点、水源、建筑物布置、施工工艺、管道工作压力等因素确定，并符合设计文件要求，设计未做规定时分段长度不宜大于 10 km。

12.2.3 水压试验压力应符合设计要求，设计无要求时应执行 GB 50268 中相关要求，试验压力为工作压力 $p_1+0.5$ MPa，且不小于 0.9 MPa。

12.2.4 采用阀门作为试验段封堵板时，阀门应通过密封性和强度试验，且试验压力不低于阀门位置处的管道试验压力。

12.2.5 水压试验采用的设备、仪表规格及安装要求、安全操作要求等均应符合 GB 50268 的有关规定。

12.2.6 内衬砂浆保护层的钢管，水压试验管段注满水后，宜在满水条件下充分浸泡后再进行水压试验，浸泡时间不少于 24 h。

12.2.7 水压试验采用允许压力降判定，试验应符合下列规定：

- 预试验阶段：通过进水管补水增压，将试验段管道内水压由起始压力缓慢分级升至试验压力并稳压 30 min，期间如有压力下降可注水补压，但不得高于试验压力；升压与保压期间实时检查井室内管道接口、配件、水力设备及管道沿线等处有无漏水、损坏现象；有漏水、损坏现象并可能导致试验失败或造成工程事故时，应及时停止试压，查明原因并采取相应措施后重新试验；
- 主试验阶段：停止注水补压，稳压 15 min；对于焊接接头管道当 15 min 后压力不下降，对于承插接头或法兰接头的管道当 15 min 后压力下降不超过 0.03 MPa 时，将试验压力降至工作压力并保持恒压 30 min，进行外观检查，如无漏水现象，则水压试验合格。

12.3 承插接口密封试验

12.3.1 采用双胶圈的承插式接口，管道安装过程应进行密封试验，试验分管道安装就位后和管沟回填后两次进行。

12.3.2 安装就位后密封试验不合格需要拆除、检查后重新安装；管沟回填后密封试验不合格的需综合分析后采取补救措施。

12.3.3 接口密封试验应符合下列规定：

- 管道安装时应确保一个试压孔位置在管道下部 120° 范围内；
- 接口密封试验应采用水压试验，试验压力宜为 0.6 MPa；
- 试验用压力计应经过审定，压力计精度不应低 1.6 级，最大量程宜为试验压力的 1.3 倍～1.5 倍，表壳的公称直径不应小于 150 mm；
- 加压应采用专用加压泵，试验时应先排净水压腔内的空气。加压泵与管道下部试压孔连接，上部试压孔排气，排气结束后拧紧密封螺栓，加压至规定压力恒压 2 min，无压力降为合格。

13 验收

13.1 一般规定

13.1.1 埋地输水钢管工程验收应符合 GB 50268、SL176 或 SL 223 的规定。

13.1.2 管道工程质量检验方法应按相关标准的规定执行。

13.1.3 管道工程验收工作的分类、组织和程序应按相关标准的规定执行。

13.1.4 管道工程施工现场管理应有相应的施工技术标准、健全的质量管理体系、施工质量控制和质量检验制度。

13.1.5 埋地输水钢管的质量应符合设计、标准及相关规范的要求。

13.2 验收资料

13.2.1 设计文件、设计变更文件和竣工图。

- 13.2.2 管材和管件的出厂合格证明和检验记录。
- 13.2.3 管材和管件材质证明资料及检验资料。
- 13.2.4 管材和管件的进场复验记录。
- 13.2.5 焊接材料、防腐材料等出厂质量证明书及抽查检验和复查检验的报告。
- 13.2.6 焊缝无损检测报告。
- 13.2.7 安装的焊工、无损检测人员和防腐蚀操作工、检测人员的有效资格证书复印件。
- 13.2.8 焊接工艺评定报告、生产性产品焊接试板检验报告。
- 13.2.9 施工方案、焊接工艺规程。
- 13.2.10 防腐检测资料。
- 13.2.11 工程施工记录、隐蔽工程验收记录和最终检查资料。
- 13.2.12 管道的功能性试验资料。
- 13.2.13 管道变形监测记录。

附录 A
(资料性)

作用在管道上的地面车辆载荷标准值

A.1 作用在管道上的地面车辆荷载，应按公式 (A.1) 计算，其荷载组合系数 Ψ_0 可取 1.0。

$$q_{vk} = \frac{\mu_d Q_{vk}}{(a + 1.4H_s)(b + 1.4H_s)} \dots\dots\dots (A.1)$$

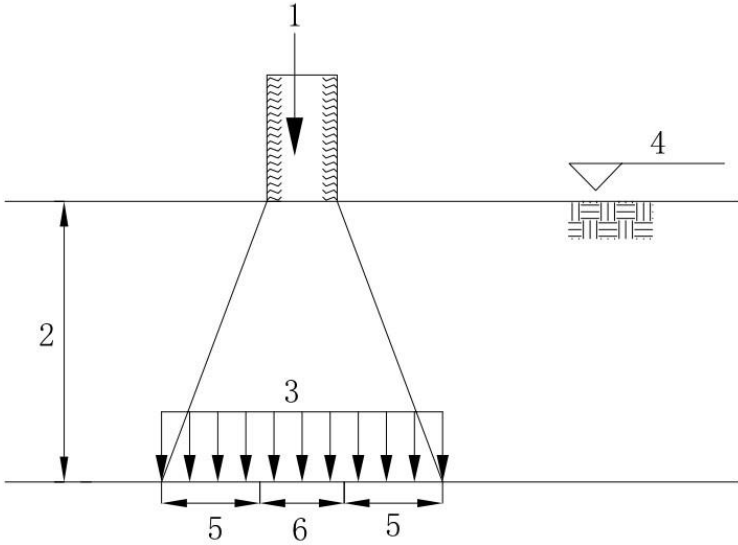
式中：

- q_{vk} 一地面车辆荷载传至管顶单位面积上的竖向压力荷载值，单位为千牛每平方米 (kN/m²)；
- μ_d 一车辆荷载的动力系数，应按表 A.1 的规定取值；
- Q_{vk} 一车辆的单个轮压值，单位为千牛 (kN)；
- a 一单个车轮着地长度，单位为米 (m)；
- b 一单个车轮着地宽度，单位为米 (m)；
- H_s 一覆土深度，单位为米 (m)。

表A.1 动力系数

覆土厚度/m	≤0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	≥0.70
动力系数 μ_d	1.30	1.25	1.20	1.15	1.05	1.00

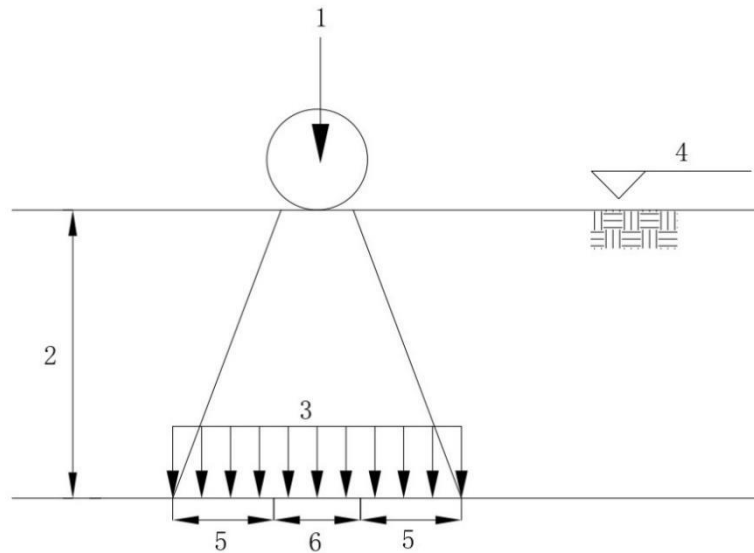
A.2 地面车辆的传递分布可分单个轮胎顺轮胎着地宽度方向的压力分布见图 A.1 和单个轮胎顺轮胎着地长度方向的压力分布见图 A.2。



- 标引序号说明：
- 1——车辆的单个轮压值；
 - 2——覆土深度；

- 3——地面车辆荷载传至管顶单位面积上的竖向压力荷载值；
- 4——地面；
- 5—— $0.7H_s$ ；
- 6——单个车轮着地宽度。

图A.1 单个轮胎顺轮胎着地宽度方向的压力分布图



标引序号说明：

- 1——车辆的单个轮压值；
- 2——覆土深度；
- 3——地面车辆荷载传至管顶单位面积上的竖向压力荷载值；
- 4——地面；
- 5—— $0.7H_s$ ；
- 6——单个车轮着地长度。

图A.2 顺轮胎着地长度方向的压力分布

A.3 两个以上单排轮压综合影响传递到管顶处的竖向压力可按式 (A.2) 计算：

$$q_{vk} = \frac{N\mu_d Q_{vk}}{(a + 1.4H_s)(Nb + \sum_{i=1}^{n-1} d_i + 1.4H_s)} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- N —轮压数量；
- d_i —相邻两个轮压间的净距，单位为米 (m)。

A.3 地面车辆两个以上单排轮压综合影响的传递分布分顺轮胎着地宽度方向的压力分布见图 A.3 和顺轮胎着地长度方向的压力分布见图 A.4。

- 5—— $0.7H_s$;
- 6——单个车轮着地长度。

图A.4 顺轮胎着地长度方向的压力分布图

附录 B
(资料性)
钢管管道竖向变形系数

B.1 钢管管道在各种荷载作用下的竖向变形系数，可按表B.1采用。

表B.1 钢管管道竖向变形系数

项目	土弧基础中心角				
	20°	60°	90°	120°	150°
竖向变形系数 K_b	0.109	0.103	0.096	0.089	0.085

附录 C

(资料性)

管侧土的综合变形模量

C.1 管侧土的综合变形模量应根据管侧回填土的土质、压实密度和基槽两侧原状土的土质，综合评价确定。

C.2 管侧土的综合变形模量 E_d 可按公式 (C.1) 计算：

$$E_d = \xi_1 E_e \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

E_e —管侧回填土在要求压实密度下的变形模量，应根据试验确定，可按表C.1的规定取值，单位为兆帕 (MPa)；

ξ_1 —与 B_r (管中心处槽宽度) 和 D_c 的比值及 E_e 与基槽两侧原状土变形模量 E_n 的比值有关的计算参数，按表C.2的规定取值。

表C.1 管侧回填土和槽侧原状土的变形模量

单位为兆帕

土的种类	回填土压实系数 (%)			
	85	90	95	100
	原状土标准贯入锤击数			
	4<N≤14	14<N≤24	24<N≤50	>50
砾石、碎石	5	7	10	20
砂砾、砂夹石，细粒土含量不大于12%	3	5	7	14
同上，细粒土含量大于12%	1	3	5	10
粘性土或粉土 ($W_L < 50\%$)，砂粒含量大于25%	1	3	5	10
粘性土或粉土 ($W_L < 50\%$)，砂粒含量小于25%	-	1	3	7
注 1：表中数值适用于10 m以下覆土；当覆土超过10 m时，上表数值偏低； 注 2： 回填土的变形模量可按要求的压实系数采用；表中的压实系数 (%) 指设计要求回填土压实后的干密度与该土相同压实能量下最大干密度的比值； 注 3：基槽两侧原状土的变形模量 E_n 可按标准贯入度试验锤击数确定； 注 4： W_L 为粘性土的液限； 注 5：细粒土指粒径小于0.075 mm的土； 注 6：砂粒指粒径为0.075 mm~2.0 mm的土。				

表C.2 计算参数

B_r/D_1	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
E_c/E_n						
0.1	3.06	2.04	1.63	1.40	1.17	1.05
0.2	2.50	1.83	1.52	1.34	1.15	1.04
0.4	1.80	1.35	1.35	1.24	1.11	1.03
0.6	1.43	1.29	1.21	1.15	1.07	1.02
0.8	1.18	1.18	1.09	1.07	1.03	1.01
1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.73	0.78	0.82	0.86	0.93	0.98
2.0	0.57	0.64	0.70	0.76	0.86	0.95
2.5	0.47	0.54	0.61	0.68	0.81	0.93
3.0	0.40	0.47	0.54	0.61	0.76	0.90
4.0	0.30	0.37	0.44	0.51	0.67	0.87
5.0	0.25	0.30	0.37	0.43	0.61	0.83

附录 D
(资料性)
土壤反力模量 E' 的确定

D.1 土壤反力模量 E'

土壤反力模量 E' 是对管道嵌入材料刚度的度量，管道嵌入材料围绕在管道周围，如管沟示意图见（图D.1）所示，管道周围的土壤通常不依赖于管沟壁外的土壤。

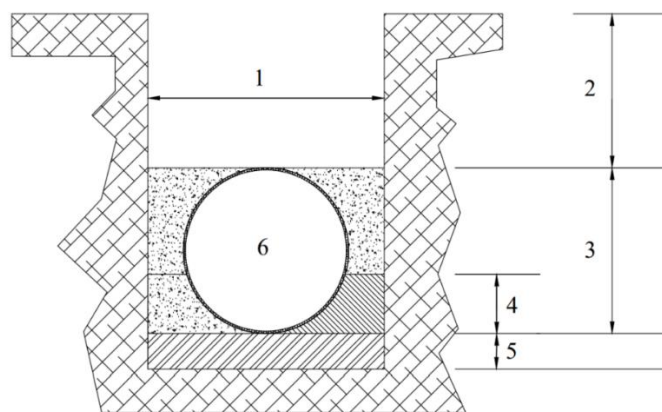
E' 是一个混合模量，它是经验推导出来的，是管区土的被动阻力模量与管径的乘积。 E' 随覆盖深度的增加而增加，它不是一种基本的材料特性，不能在现场或在岩土实验室中通过土样进行测量。

D.2 E' 的值可按公式（D.1）计算：

$$E' = 16.4 \left(\frac{C_{\Delta} \times \sum F_{GK}}{r_0} - \frac{EI}{r_0^3} \right) \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

- E' —土壤反力模量，单位为兆帕（MPa）；
- C_{Δ} —考虑预测的管道挠度极限（ $C_{\Delta}=1$ 用于柔性内衬和涂层； $C_{\Delta}=1.67$ 用于水泥砂浆内衬和柔性涂层； $C_{\Delta}=2.5$ 用于水泥砂浆涂层）；
- $\sum F_{GK}$ —作用在管道单位长度上的全部向下的竖向荷载 = $(W_c + q_{ik}D_c)$ ，单位为牛每毫米（N/mm）；
- D_c —钢管外径，单位为毫米（mm）；
- EI —管的刚度 = $E_S I_S + E_C I_L + E_C I_C$ ；
- E —弹性模量 [$2.06 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ （钢）（ E_S ）和 $2.7 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ （水泥砂浆）（ E_C ）]；
- I —单个管壁构件单位长度的横向惯性矩，单位为4次方毫米每毫米（ mm^4/mm ）[用于钢筒（ I_S ）、水泥砂浆衬里（ I_L ）和水泥砂浆涂层（ I_C ）]；
- r_0 —钢管的计算半径，单位为毫米（mm）。



标引序号说明：

- 1—开挖沟槽宽度；
- 2—最终回填高度；
- 3—初始回填高度；
- 4—拱腋区；
- 5—管道垫层；
- 6—钢管。

注1：管道嵌入材料可以是SC1、SC2、SC3或规定的材料。

注2：材料应均匀放置在管道两侧，并压实至规定的密度。

注3：如果沟底材料不合格或不稳定，则可能需要更换或修改路基。

注4：沟槽宽度应足以确保清除埋置区域的空隙和/或适当放置和压实初始回填材料。

图D.1 管沟示意图

D.3 在选定的覆盖深度确定最有效的土壤类型和埋置材料的压实度时，应按公式（D.1）计算和表（D.1）的规定取值。当公式计算得出的 E' 较表（D.1）得出的值大时，应使用较高的压实度或不同的土壤类型。

表D.1 管道埋置材料的土壤反力模量 E'

单位为兆帕

土壤反力模量类别 (SC)	土壤类型	覆盖深度 (m)	压实度			
			85 %	90 %	95 %	100 %
SC1	清洁的粗粒土壤：SW、SP、GW、GP或以这些符号之一开头的任何土壤，通过200号筛的百分比小于等于12 %	0.61-1.52	4.83	6.89	11.03	17.24
		1.52-3.05	6.89	10.34	15.17	22.75
		3.05-4.57	7.24	11.03	16.55	24.82
		4.57+	7.58	11.72	17.24	26.20
SC2	含细粒的粗粒土：GM、GC、SM、SC或任何以其中一种符号开头的超过12 %细粒的土壤。砂质或砾质细粒土：CL，ML（或CL-ML，CL/ML，ML/CL），200号筛上保留25 %以上	0.61-1.52	4.14	6.89	8.27	13.10
		1.52-3.05	6.21	9.65	12.41	18.62
		3.05-4.57	6.89	10.34	14.48	22.06
		4.57+	7.58	11.03	16.55	25.51
SC3	细粒土：CL，ML（或CL-ML，CL/ML，ML/CL），在200号筛上保留25 %或更少。	0.61-1.52	4.14	4.83	6.89	10.34
		1.52-3.05	4.14	6.89	9.65	13.79
		3.05-4.57	4.83	8.27	11.03	15.86
		4.57+	5.52	8.96	12.41	17.93

注1：标准普氏试验涵盖了保留4 mm筛上的30 %或以下的土壤，但对一些干净砾石的试验可能难以完成，结果也难解释。干净的砾石（GP和GW）材料，如“碎石”被认为是最坚硬层土壤，当固结时，至少相当于100 %标准普氏压实，以选择 E' 值。

表D.2 统一土壤分类

符号	描述
GW	级配良好的砾石，砾石和砂混合物，很少或没有细粒
GP	级配不良的砾石，砾石和砂混合物，少量或无细颗粒
GM	粉质砾石，级配不良的砾石-砂-粉土混合物
GC	粘质砾石，级配不良的砾石-砂-粘土混合物
SW	级配良好的砂，砾质砂，少量或无细粒
SP	级配不良的砂，砾质砂，细砂或无细砂
SM	粉砂，级配不良的砂粉混合料
SC	粘质砂，级配不良的砂土混合物
ML	无机粉土和极细砂，粉质或粘质细砂
CL	中低塑性无机粘土

附录 E
(资料性)

搭接焊圆角焊缝的设计计算

E.1 圆周角焊缝的设计必须考虑到可能由于推力，泊松环向应力比（也称为泊松应力）和热负荷而产生的应力。

E.2 对于任意给定的内部水压力 p ，纵向应力 σ_l 应按公式 (E.1) 计算：

$$\sigma_l = \frac{\sigma_h}{2} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

σ_l —纵向应力，单位为兆帕 (MPa)；

σ_h —环向应力，单位为兆帕 (MPa)。

E.3 钢的泊松比为 0.3，钢管在瞬态或试验压力下，泊松应力 $\sigma_v = 0.3\sigma_h$ 。

E.4 钢管热应力仅取决于钢中的温差，应按公式 (E.2) 计算：

$$\sigma_T = E_s \alpha \Delta T \dots\dots\dots (E.2)$$

式中：

σ_T —轴向热应力，（温升为压应力，温降为拉应力），单位为兆帕 (MPa)；

E_s —钢管钢材弹性模量，单位为牛每平方米 (N/mm^2)；

α —钢材的线膨胀系数；

ΔT —温度的增量，单位为摄氏度 ($^{\circ}C$)。

E.5 热应力和泊松应力的最大允许应力 σ_{T+V} 为钢材的最小规定屈服强度 σ_y 的 90%，但不超过钢材的最小规定抗拉强度 σ_u 的 2/3。应按公式 (E.3) 计算。

$$\sigma_{T+V} = \min(0.9\sigma_y, 0.67\sigma_u) \dots\dots\dots (E.3)$$

式中：

σ_{T+V} —热应力和泊松应力的最大允许应力，单位为兆帕 (MPa)；

σ_y —钢材的最小规定屈服强度，单位为兆帕 (MPa)；

σ_u —钢材的最小规定抗拉强度，单位为兆帕 (MPa)。

E.6 钢管壁厚与角焊缝喉部之间有厚度差异，因此角焊缝中许用应力应为 0.707 倍的钢材容许应力，用来保持整个搭接接头的静态平衡。搭接角焊缝中的许用应力在热应力和泊松应力的作用下，按公式 (E.4) 计算。

$$\sigma_T + \sigma_v \leq 0.707\sigma_{T+V} \dots\dots\dots (E.4)$$

式中：

$\sigma_T + \sigma_v$ —角焊缝中许用应力，单位为兆帕 (MPa)。

中国水利企业协会团体标准

埋地输水钢管设计与施工技术规范

T/CWEC: 31-2022

条文说明

目次

1	范围.....	1
5	管线及建筑物布置.....	2
6	水力设计.....	5
8	结构设计.....	6
9	钢管制作.....	7
10	防腐.....	8
11	管道施工.....	9
12	管道功能性试验.....	12
	附录E（资料性） 搭接焊圆角焊缝的设计计算.....	14

1 范围

埋地输水钢管具有寿命长、强度和韧性高、水流阻力小、设计和安装方便，适应性高等特点。近年来随着管道生产厂家生产制造技术的提高以及创新技术的应用，埋地输水钢管在水利、市政、农业输水管道中不断推广应用。为了适应水利、市政、农业输水管道发展需要，确保埋地输水钢管工程质量，制定本标准。

在项目投资允许及需要的条件下，应使用各种管道检测设备及信息化平台，实现管道运行的信息化和数字化。实时检测水质、流量、水压等参数，管道关键段进行应力应变监测，保障输供水安全。

5 管线及建筑物布置

5.1 管线布置

5.1.1 本条主要强调管线布置首先要符合当地总体规划，其次才是地形、地质、占地、施工工期、工程投资和运行安全等因素，特别是管线穿过城市、城乡结合部，规划的园区等，大部分管线位置由规划部门结合其他管线统一规划确定。输水管线布置应符合下列要求：

- 宜避开复杂地形、不良地质区、采空区、污染和腐蚀环境，无法避开时应采取相应措施；
- 宜避开环境敏感区；
- 宜结合现有道路或规划道路布置，并力求顺直；
- 应减少与铁路、公路、河流及其他设施的交叉，无法避免时宜采用正交或大角度交叉穿越；
- 应减少拆迁、征地及对环境的影响；
- 应便于施工和运行管理维护。

5.1.2 埋设管道的地基需要满足地基承载力的要求，避免发生不均匀沉陷，此外还要考虑地下水和地下杂散电流对钢管的腐蚀。

5.1.3 供水规模、供水对象的重要性、供水对象是单水源还是多水源、供水线路末端是否设有事故备用调蓄库、地形地质条件、施工占地、供水线路长度、管材、管径等都是确定管道条数需要考虑的因数。根据国内外工程实际，同等供水规模单管比双管节省工程投资的 30 % 以上。

GB 50013《室外给水设计规范》规定“输水干管不宜少于两条，当有安全储水池或其他安全供水措施时也可修建一条”。对于两条或多条供水管道之间的连通管数量及断面还应考虑事故供水量的要求，事故供水量为供水系统设计水量的 70 %。在国内外两条管线或多条管线输水工程中，出于占地因素考虑，同槽安装多于分槽安装。同槽安装的优点为占地少、方便施工；缺点为当两条管线或多条管线中，其中一条管发生爆管或其他原因大量漏水时，其他管道也不能正常供水，失去双管比单管供水安全可靠的功能。

SL/T 281《水利水电工程压力钢管设计规范》规定多条埋地管平行安设在同一沟槽中时，相邻两条管道之间的净距除应满足公式 (5.1) 和公式 (5.2) 的要求外，还应满足施工要求，不宜小于 500 mm。

$$x = \left(\frac{1}{2} - \frac{\pi}{8}\right) D_1^2 \gamma_s / A \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$$A = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} \gamma_s H_s - \gamma_s \left(H_s + \frac{D_c}{2}\right) - 0.477 \times \frac{W}{\left(H_s + \frac{D_c}{2}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

式中：

- x—相邻两管之间的净距，单位为米 (m)；
- γ_s —回填土的容重，单位为千牛每立方米 (kN/m³)；
- H_s —覆土深度，单位为米 (m)；

ϕ —土的内摩擦角, 单位为度 ($^{\circ}$);

D_c —钢管外径, 单位为米 (m);

W —地面车辆轮压值, 单位为千牛 (kN)。

5.1.4 输水管道在稳态运行工况时, 管顶不能出现负压, 但在瞬态工况允许出现不大于2 m~3 m的负压。

5.1.5 若地下水位较高, 当管内放空时, 可能影响钢管的抗浮稳定, 需要将钢管埋在较深的地层中; 若在寒冷地区还要考虑地层的冻结深度影响。除此之外, 埋地管线路选择尽量避开地下电缆、通信线路, 以减少施工干扰。

5.1.6 输水管道与建(构)筑物、铁路和其他管道的水平净距应根据建(构)筑物基础结构、路面种类、卫生安全条件、管道埋深、管径、施工条件、管内工作压力、管道上附属构筑物大小等确定, 不得小于现行国家标准GB 50013的规定, 并满足下列要求:

——输水管道应与污水管平行设置时, 管外壁净距不得小于 1.5 m;

——输水管应设在污水管的上方, 特殊原因设在污水管下方的输水管, 应外加密封性能好的套管, 套管伸出交叉管的长度每边不应小于 3.0 m, 且套管的两端应采用防水材料封闭;

——输水管道与给水管道交叉时, 其净距不应小于 0.15 m;

——输水管穿越铁路、河道等人工和天然障碍物时, 应经计算采取相应的安全措施, 并应征得有关部门同意。

5.1.7 对于小直径输水管或布置受限的弯管, 转弯半径可适当放宽。合并成空间弯管和渐缩弯管的水头损失较小。

5.1.8 市政工程给水管直径较小、水压较低, 一般不设镇墩, 但水电站埋地管或引调水工程大直径埋地管转弯处不平衡力较大, 因此一般设置镇墩。

埋地管由于钢管埋在土体中, 土体对钢管的摩擦力约束较大, 特别是钢管设加劲环后, 即使设伸缩节作用也不大, 故沿线一般不设伸缩节。但对于长距离引调水工程中, 管线不可避免地通过活动断裂带, 有些活动断裂带宽度可达数十米甚至几百米, 因此通过这些区域的埋地管, 其沿线设置一定数量的万向铰链型伸缩节以适应工程正常使用年限内可能出现的各向不均匀变形, 此时钢管不设加劲环, 且万向铰链型伸缩节一般设置于专门的井内。但由于活动断裂带沿线为基本农田的情况较为常见, 永久占地报批、置换耕地等程序复杂, 为解决征地困难, 万向铰链型伸缩节直接埋地布置, 其优点是既能满足设计要求, 又能解决常规伸缩节需修建伸缩节井室及附属设施而永久占用基本农田的弊端, 有效避免了工程后期维护及运营所带来的难题, 同时充分体现了土地资源的空间利用性, 做到了地面地下的协调统一。

复式万向铰链型伸缩节直接埋地布置的工程实例越来越多, 云南永胜县程海流域生态综合治理水利骨干应急补水工程、云南省滇中引水工程大理州水电站水资源综合利用配套一期和二期工程中埋地输水钢管均设置直埋复式万向铰链型伸缩节来适应活动断层变位, 其直径分别为 1.4 m、1.8 m 和 2.4 m, 最大设计压力均为 2.5 MPa。

5.1.9 本条规定要求工程管线敷设在稳定的河段，并提出了不同河道下敷设管线的高程要求，以保证河道疏浚或整治河道时与工程管线不相互影响，保证工程管线施工及运行安全。

5.2 建筑物及附属设施

5.2.1 为保护管道安全运行，应依据管线水力过渡过程分析计算，在管线适当的位置设置调压设施（如调压井、调压塔、空气罐、超压泄压阀等），以减小管线正常运行或事故时产生的破坏性水锤压力。对于采用超压泄压阀的压力阈值不应超过管道设计压力。各种阀件应具备以下条件：

- 所有阀件宜安装在阀室（井）内。阀室（井）应满足阀门操作、检修空间要求和整体稳定；
- 地下水位以下的阀室（井），应做好防水处理，并满足抗浮要求；
- 寒冷地区的阀室（井）应采取必要的防冻措施；
- 通气阀井盖板应设置通气孔。

5.2.2 输水管道沿线设置的检修阀主要用于管道分段充水、检修、事故处理时分段排水。目前国内输水管道工程检修阀设置间距差别较大，间距大的20 km~30 km设一处，间距小的3 km左右设置一处。设置过密，表面上便于检修时排水，减少排水量，缩短检修时间，但实际上增加投资和管理难度。检修阀在正常运行输水时处于常开状态，使用几率很小。根据国内外输水管道工程实际运行情况，大部分工程2年~3年都不使用，甚至有的工程连续运行十几年都未使用过，故检修阀设置间距宜取大值。

5.2.3 为排除管道中的沉淀物以及输水管线检修时排空管道，在输水管线的低洼处宜设置一定数量的排水阀井等设施，排水阀井通常由干井和湿井组成，阀放置于干井，沉淀物和水排入湿井，根据地形采用自排或抽排的方式实现管道排空。当地形高程允许时，可只设干井，采用自排直接排入附近河道或沟谷。排水阀使用几率低，设置数量不宜过多，但管线上两座阀室之间不得少于1座排水阀井。对于小口径管道不具备进入检修条件的，充排水时间不影响检修维护和事故处理的，也可不设置排水阀井设施。

5.2.4 通气设施一般为空气阀和通气管，其合理布设对输水管道工程安全运行至关重要。大多数输水管道工程通气设施以空气阀为主，其口径、型式、规格和布设位置应结合地形条件和水力过渡过程分析计算成果确定。通气阀的型式宜同时具备缓闭及空管充水时适量排气、管线放空排水或瞬态负压时高速补气、正常运行时微量排气功能。当地形条件运行时也可采用通气管。

6 水力设计

6.2 恒定流计算

6.2.2 我国有压输水管道的沿程水头损失计算多数习惯采用谢才公式。管道均匀流沿程水头损失的普遍计算公式为达西(Darcy)公式,它适用于任何截面形状的光滑或粗糙管内的层流和紊流。谢才(Chezy)公式与达西公式是一致的,只是表达形式不同。将C带入达西公式就可得到谢才公式。谢才系数的经验公式是根据阻力平方区紊流的大量实测资料求得的,所以只能适用于阻力平方区的紊流。

GB 50015《建筑物排水设计规范》采用明确采用海曾-威廉(Hazen—Williams)公式作为各种管材水力计算公式。该公式适用于光滑区至部分粗糙度区,一般适用于管道直径大于等于50 mm、管道为中低流速 $V \leq 3$ m/s的情况。

影响粗糙系数的因素有很多。对于钢管内衬防腐工艺越好,粗糙系数越小。因此,准确选取粗糙系数,需要进行大量反复的现场水力学实验,工程设计时,需综合考虑多种因素予以取值,必要时,需要根据具体工程布置参数进行粗糙系数敏感性分析,最终依据分析结果进行取值。

6.2.3 在管道系统中,对于管道较短的有压输水系统,局部水头损失可按公式(5)计算;对于管道长度大于1000倍管径的有压输水系统,在方案设计、项目建议书及可行性研究阶段,管道局部水头损失可按沿程水头损失的5%~10%进行估算,具体比列取值应综合考虑管线沿线的地形复杂程度、管道长度、闸阀、管道上异形部件及附属件的数量来确定,在初步设计、招标设计及施工图设计阶段,须按公式(5)计算管道的局部水头损失。

局部水头损失系数可参照《水力学计算手册》、《水电站机电设计手册》(水利机械)与《机电排灌设计手册》等相关资料中的局部水头损失系数 ξ 值表进行选取,新型阀件应在咨询多家相关行业厂家的基础上对比分析后取值。

6.3 非恒流计算

6.3.1~6.3.2参考CECS 193:2005《城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程》对输水工程压力管道水锤计算的工况和内容进行了规定。

8 结构设计

8.2 结构设计

8.2.15 输水钢管水平转弯段上游、下游或上下游一定范围内设有柔性接口时，可利用公式（17）计算柔性接口距弯管的最小长度，在管道转弯前后一定长度采用焊接接口，利用管道摩擦力以实现弯头抗滑稳定，能有效地减少止推墩或镇墩的工程量、减小沟槽的开挖断面和减少工程占地。但输水钢管弯管承受的推力较大，使得弯管的强度和刚度不满足时应增设镇墩。竖向弯管的受力条件与水平弯管不同，止推设计方法也不同。对于下凸弯头根据受力计算结果，可通过设置混凝土基础等措施以满足地基承载力要求；对于上凸弯头可根据受力计算结果结合经济比较，可采取镇墩、或分布式抱箍锚固于岩石或混凝土基础等止推型式，也可采用以上几种型式的组合。

9 管材制作

9.1 一般规定

9.1.2 制管标准可按设计（或合同）要求选用GB/T 9711-2017《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》、SY/T 5037-2018《普通流体输送管道用埋弧焊钢管》、GB/T 3091-2015《低压流体输送用焊接钢管》、SL 432-2008《水利工程压力钢管制造安装及验收规范》。

9.4 无损检测

9.4.1 应按SY/T 6423.1-2013《石油天然气工业 钢管无损检测方法 第1部分：焊接钢管焊缝缺欠的射线检测》或SY/T 6423.5-2014《石油天然气工业 钢管无损检测方法 第5部分：焊接钢管焊缝缺欠的数字射线检测》要求对焊缝全长进行X射线工业电视检测。

10 防腐

10.1 一般规定

10.1.3 管道输供水存在二次污染，管道内衬涂料的析出物要达到国家的饮用水标准。

11 管道施工

11.1 一般规定

11.1.2 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300-2013规定：建筑工程施工质量验收应划分为单位工程、分部工程、分项工程和检验批。《水利水电建设工程验收规程》SL 223—2008规定：法人验收应包括分部工程验收、单位工程验收、水电站（泵站）中间机组启动验收、合同工程完工验收等；政府验收应包括阶段验收、专项验收、竣工验收等。水利水电工程中分部工程划分为若干单元工程，与建筑工程中分项工程相对应。

11.4 管材运输

11.4.3~11.4.4 防腐管的运输应符合交通部门的有关规定，拖车与驾驶室之间应设置止推挡板，立柱应牢固。装车前应核对防腐管的防腐等级、材质、壁厚，不宜将不同防腐等级、材质、壁厚的防腐管混装。运输防腐管时，捆扎牢固，对防腐层采取保护措施。防腐管与车架或立柱之间、防腐管之间、防腐管与捆扎绳之间应设置橡皮板或其他软质材料衬垫，捆扎绳应套橡胶管或其他软质管套。弯管运输应采取保护措施，保温管的运输应使用配备装有柔性垫板的运管车。

11.7 管道安装

11.7.4 在运输和存放期间，管材有可能受到意外撞伤等，因此在管道敷设前应进行外观检查。对于存放过程中引起的管材径向变形，可采用转动90°。利用自重或压载恢复变形，否则会影响管道的连接。若管材有损伤迹象，视损伤情况的严重程度，可分别采取请管材生产厂修复或部分报废或整根管材全部报废的处理办法。

11.7.6 为减小钢管在安装及回填施工时产生变形，在管内设置临时的竖向支撑，待管周回填稳定后，再撤去支撑。设置支撑时应注意保护防腐层，一般在支撑与管道接触部位设置柔性垫板。考虑施工人员进入管内的要求，DN800以下管道可不设置。

11.7.9 橡胶圈及承口的内侧或插口的外侧任何部分缺少润滑剂都将影响承插效果。

11.7.10 由于单口水压试验时，接口受力条件与运行工况并不相同，过高的试验压力可能会损伤接口、胶圈及砂浆防腐层，因此不宜采用过高的试验压力。

11.8 沟槽回填

11.8.1~11.8.3 管道安装施工完毕经检验合格后及时回填沟槽，可减少露槽时间，同时可防止因地下水水位上涨或雨水可能造成的漂管的发生。本条规定的目的是防止管道位移，同时起到隔温作用。

11.8.4~11.8.7 对于埋地输水钢管，回填土质量的好坏直接影响管道的安全度，因此对回填材料及回填过程有严格的要求，尤其对不设置加劲环的大口径钢管，更要注意。

采用重型压实机械压实回填土时，为了不损伤管道，管顶以上必须有一定厚度的已经压实的回填土，以将压实工具作用于管道上的荷载减小到不损伤管道的程度。鉴于重型压实工具的种类、规模不同，管道承载能力不同，管顶最小压实回填土厚度应按计算确定，计算方法可参照现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332的有关规定或其他有关资料。

11.8.8 管道沟槽回填和压实的目的，除埋设管道后一般应恢复原地貌外，还应起到保护管道结构的作用。柔性钢管的沟槽回填土密实度变形影响很大，若在沟槽回填土上修筑路面，还应满足土质路基压实度的要求。本条规定中的达不到设计要求的压实度的原土主要是指高压缩性、淤泥质软土，因其含水量高，渗透系数小，往往难以达到较高的压实度。虽可采用翻晒的方法以降低其含水量，但因施工场地、气候条件、工期限制等原因，往往难以实现。因此，本条规定，凡不具备降低原土含水量条件，不能达到要求压实度的部位，应回填石灰土、砂、砾石砂或其他可以达到要求压实度的材料。

11.8.9 从管道沉降的测试情况可发现，管接口处沉降往往大于管道中间部分，因此，对于管接口连接坑的回填应采用较好的材料，以达到密实度要求。

11.8.12 流填料应符合下列规定：

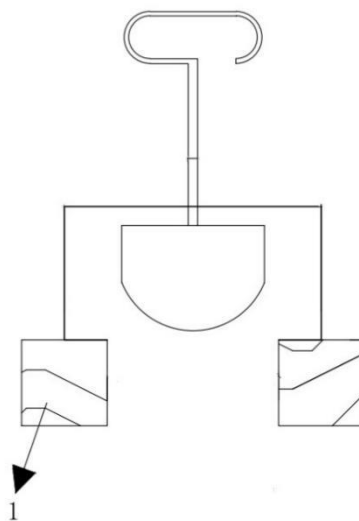
- 流填料也可用作管顶至地面（或地下路面）的回填材料。流填料应该同时用于管侧回填，而不能仅用于管顶回填；
- 流填料的骨料最大颗粒不应超过管道与沟壁之间开口距离的八分之一。原生土壤需要经过一定的处理，才能作为骨料进行混合；
- 流填料混合物的流动性使用一个直径 75 mm，高 15 mm 的开口圆筒内装满泥浆，然后将圆筒提起的方法测试，流动度的直径应该在 200 mm~300 mm 之间。在斜坡上，拌合物应该使用混凝土塌落度试验测试其流动性能。其塌落度应满足 200 mm~25 mm；
- 流填料抗压强度测试包括确定硬化混合物的 7 d 和 28 d 抗压强度，至少应准备两个直径 150 mm，高度 300 mm 抗压强度试件代表每个抽样批次。每敷设约 200 m 的管道，应至少测定一次抗压强度，或每班至少测定两次抗压强度。

11.8.14 流填料浇筑温度、养护条件应符合下列规定：

- a) 浇注温度
 - 由于水泥在 5 °C 以下不会水化（硬化），因此流填料的温度应保持在 5 °C 以上；
 - 空气温度低于 4 °C 时，不应浇筑流填料，除非温度为 2 °C 或更高，并不断上升；
 - 在浇筑时，流填料的温度必须是 10 °C 或更高。
- b) 流填料的养护要求
 - 流填料必须在初始凝固前使用保温毯，或在初始凝固后使用潮湿的土壤覆盖防止至少 36 h 的冻结；
 - 如果空气温度为 10 °C 或更小，则暴露的流填料上的湿润覆盖层应至少为 45 cm 厚；
 - 如果在浇筑 8 h 之内不将回填物放置在流填料上，则应在流填料上覆盖 15 cm 的湿土。

11.8.15 压实土回填应符合以下要求

- a) 使用落锤试验，将一个钢球在硬化材料的表面上投掷 5 次，测量压痕的直径；
- b) 落锤试验装置如图 11.8.5 所示：
 - 落锤试验装置，由一个带手柄的半球组成，总重量为 14 kg~15 kg。半球形可由金属坯料加工或铸造或旋压而成，表面光滑。引导手柄，使半球自由下落并垂直于被测表面。
 - 使用木块或超高分子量塑料将框架提升至适当高度。框架必须在长方块上居中，避免倾斜，并牢牢固定，以免发生移位。长方块应相互平行并垂直于框架。不得干扰落锤装置，使半球在 108 mm~114 mm 的距离内自由下落。



标引序号说明：

1——垫块。

图 11.8.5 落锤试验装置示意图

11.8.17 为保证管道设计寿命内的使用可靠性就必须控制管道在长期使用情况下的变形。T/CECS 492-2017相关说明，根据实际工程积累的观测数据建立了12 h-24 h变形与长期变形的关系，因此，为控制管道的长期变形应测量控制管道 24 h 变形。参考国内相关规范，SL 281-2020规定，管内放空时管道最大竖向变形允许值取(2-4) %D₀。GB 50353-2014规定，按无内压状态验算在外力作用下的变形，其水平方向直径的变形量不应大于钢管外径的 3 %。CECS 141-2002规定，钢管在准永久组合作用下，采用水泥砂浆作为防腐内衬时最大竖向变形限值为(2-3) %D₀；采用延性良好的防腐涂料作为内衬时为(3~4) %D₀。T/CECS 492-2017规定，钢管在准永久组合作用下，采用水泥砂浆等刚性材料作为防腐内衬时最大竖向变形限值为3 %D₀；采用延性良好的防腐涂料作为内衬时为4 %D₀。考虑变形滞后系数影响，管道24 h变形限值取2 %D₀。

12 管道功能性试验

12.1 一般规定

12.1.1 管道功能性试验从工程设计合理性, 管材及水力机械设备制造质量, 管沟开挖及回填、管道及设备安装、管线建筑物、镇墩等施工质量多角度综合验证工程是否满足规范及安全运行要求, 检验工程整体合理性, 是竣工验收及工程投入使用前应完成的工作。

12.1.2 管道功能性试验是对管节、管件、接口(接头)、阀件以及镇墩、阀井等附属建(构)筑物的设计、制作、施工、安装等阶段的综合验证, 通过试验也确实能发现和暴露一些问题, 因此, 进行功能性试验是必要的。

工程用钢管接头型式不同, 有焊接接头、承插连接接头、法兰连接接头等。埋地输水钢管施工方法有开槽式、顶进式、水平定向式、沉管式等。工程运行主要有泵站加压输水、重力流输水等。工程的运行、施工和试验条件不同, 工程功能性试验的方式也不尽相同, 总体可分为以下几类:

- 承插式、法兰式接头的管道安装完成, 并回填到设计要求的水压试验回填标高后, 也可以将管口暴露, 进行水压试验, 试验基本按照现行 GB 50268-2008《给水排水管道工程施工及验收规范》的要求进行;
- 焊接接头的管道安装完成后, 接头应按照 SL 432-2008《水利工程压力钢管制造安装及验收规范》或 GB 50766-2012《水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范》检验合格, 并回填到设计要求的水压试验回填标高后, 进行水压试验。试验基本按照现行 GB 50268-2008《给水排水管道工程施工及验收规范》的要求进行。近年来, 类似水利水电工程多采用管沟回填后进行水压试验的方式;
- 对于顶进施工、水平定向钻、沉管等采用非开槽式施工的埋地独立管段, 施工完成后应进行水压试验, 不具备单独条件的应结合总体管线分段试验。

12.1.3 设计单位应统筹考虑管道工程在各种工况下的压力状态、管道材质、接头型式和管件选择、构筑物布置和稳定性、阀门结构和密封性等因素, 编制技术要求, 说明工程基本情况、试验分段、充排水方案、合格标准、主要仪器设备、操作程序、安全及应急预案等内容。

管道水压试验压力较高, 操作不当可能导致试验失败, 严重的造成事故。因此, 试验前施工单位应该编制实施方案, 并经监理批准。试验完成后, 施工单位应将试验报告提交建设单位。

12.1.4 压力钢管管材在制作前均进行钢板的整体检验和焊缝检验, 现场施工过程, 焊接接头有进行超声和 X 射线检查, 不会出现渗水问题。法兰连接、承插连接的接头从制作、安装、止水橡胶质量均有成熟的工艺和严格的控制, 渗水量也是非常小的。通过多个工程水压试验结果分析, 发现利用允许压力降值进行合格判定要严于允许渗水量值, 即允许压力降值判定合格时, 允许渗水量也合格。

标准编制过程参照 T/CWHIDA 0002 中 8.1.3 条文说明, 承插接头的钢管类比球墨铸铁管, 对实测渗水量值和允许渗水量取值进行了对比。发现现行 GB 50268 要求的允许渗水量过于宽松, 所有的管道工程, 甚至有明显漏水的工程, 也能达到合格标准。在现行 ISO 10802《球墨铸铁管道安装后水压试验》中, 要求实测渗水量不应超过 0.001 体积(L)/时间(h)/管线长度(km)/公称直径(mm)/试验压力(0.1 MPa), 相对于 GB 50268 要严格的多, 对于常规管道工程, 相差几十倍。通过对河北省南水北调配套工程邢清干渠、保沧干渠球墨铸铁管水压试验的结果分析, 水压试验渗水量实测结果远低于 GB 50268 规定的允许值, 但是有 50%左右的试验段达不到 ISO 10802 的要求。

综合压力降和渗水量的试验结果分析, 对于水压试验, 本标准采用 GB 50268 中对允许压力降值的规定, 不再要求允许渗水量值判定。

12.2 管道水压试验

12.2.1 本条规定了水压试验前的准备工作, 止推结构的稳定性和强度、封堵结构或泄水阀门的密封性、水力机械设备安装的密封性、管道的排气条件等需要详细的检查及处理。

本条相对现行 GB 50268-2008《给水排水管道工程施工及验收规范》变化较大之处是对于管沟的回填，现行 GB 50268 规定管顶以上覆土不小于 0.5 m，同时暴露接口用于水压试验时的渗水检查。根据近年来供水工程水压试验经验，管道接口基本不渗水，且大多工程采用完全回填后再进行水压试验，以充分利用回填土增加止推作用。并且由于渗水检测手段的增加，当局部渗水时，也能准确的探寻位置。因此，本标准不再对管口是否暴露做出规定。

12.2.2 现行 GB 50268-2008《给水排水管道工程施工及验收规范》从便于试验操作的角度规定水压试验分段不宜超过 1km。工程实施中发现水压试验分段过短，会增加封堵工程量，整体施工效率降低，费用增加。且有的试验管段也不具备水源条件或排水泄水条件。对于管线布置平缓、施工工艺成熟的管段，有必要增加试验分段长度，因此本标准放宽了试验分段长度的限制。目前国内已经实施完成的诸多工程水压试验长度都突破 1 km。

12.2.3 埋地输水钢管承受内压能力相对较强，通常应用于泵站压力管道的高压力段、水电站引水管道的高压力段等，管道水压试验压力应充分考虑水力过渡计算成果，符合设计要求及实际运行条件。钢管用于无压管道较少，局部非开挖地段可能涉及无压钢管，试验可按照设计要求进行。

12.2.4 常规用于管线工程上的检修阀阀门均按双向密封和受力设计。经复核阀门强度和密封性满足试验压力要求，阀门结构和阀井的稳定性满足水压试验的止推要求时，可以利用阀门作为试验段封堵板。阀门作为密封装置时，试验压力不应超过阀门的额定压力。利用沿线的检修阀和阀井作为水压试验的封堵和止推结构在国内较为普遍，实施效果良好。

12.2.7 设计无明确要求时，压力管道可免去预试验阶段，而直接进行主试验阶段。

本条引用了现行 GB 50268-2008《给水排水管道工程施工及验收规范》中允许压力降法水压试验的规定。对于埋地管道，水压试验值无法达到规定时，漏水点可以通过地面干湿进行判断，或者漏水探测仪进行检测。

考虑管道试验段长度根据工程具体条件差别较大，依据 GB 50268 渗漏量判定法标准存在单点严重渗漏平摊到全线的不合理性，本次去掉压力管道渗漏量判定合格标准。

12.3 承接口密封试验

12.3.3 埋地承插式接口的钢管根据其抗内压强、施工便捷等特点，目前在工程中使用量逐渐增加，但钢管变形受覆土厚度荷载和回填质量影响较大，为了确保接口密封要求，对于承插式双胶圈接头的管道要求均进行密封检验，管道内能进人的可在内部进行，无法进人的可在外部进行。

附录 E

(资料性)

搭接焊圆角焊缝的设计计算

E. 1 钢筒的纵向推力通过接头处的环向角焊缝传递到相邻的钢筒上。对于单根完整角焊缝的钢管，保守的纵向应力识别方法是假定应力通过角焊缝的喉部传递。在任意给定的压力 p 下，钢管的纵向应力，即钢管厚度与角焊缝喉部厚度的比值为 $1/0.707 \approx 1.4$ ，增加了由于完全止推力引起的焊缝应力。从上面看，对于任何环向应力，由此产生的钢管纵向应力不超过 $0.5 \sigma_h$ 。因此，角焊缝处的合成应力不超过 $0.5 \sigma_h (1.4) = 0.7 \sigma_h$ 。因此，与最终推力状态相关的应力并不包括角焊缝的设计。

E. 2 在分析环形角焊缝时，内部压力引起的环向应力的泊松效应必须添加到热应力中。

E. 3 热应力是限制管道热收缩或膨胀的结果。当管道被阻止移动并且在安装过程中遇到与管道温度不同的温度时，就会发生热负荷。温度升高使管道处于压缩状态，这将缓解泊松效应产生的拉伸应力。然而，温度降低会产生纵向拉伸应力，应进行分析。热应力是一种二次应力，是应变驱动的，而不是载荷驱动的。

E. 4 限制主应力（例如，环向应力或因内部压力导致的推力产生的纵向应力），次应力是自限制的，因此不受与设计相同的限制。主要压力单独作用的二次应力的保守限制是钢管材料的最低规定抗拉强度的 90 %。热应力与管道厚度无关，但是在钢管和圆周角焊缝中产生的纵向应力是每个钢管各自厚度的函数。
