
1 总则

1.0.1 为统一沉管法管道工程技术要求，做到技术先进、安全适用、经济合理、保证质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于沉管法管道工程的勘测、设计、施工和验收。

1.0.3 沉管法管道工程的勘测、设计、施工和验收，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准和中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 沉管法 immersed pipeline method

将组装成一定长度的管段沉入或拖入水底基槽并回填覆盖管道的铺设方法，又称沉埋法。

2.1.2 管节 pipe

组成管段的制品单元。

2.1.3 管段 pipe element

由管节一次或分次预制完成，可实施浮运、沉放、水下对接组成管道结构的基本单元。

2.1.4 管节接头 pipe joint

管节与管节之间的连接结构。

2.1.6 浮运法 floating caisson method

管节组对拼组装后移运下水，浮运至下沉地点，下沉就位的方法。

2.1.7 水平划弧 horizontal stroke carve

当管段浮运至管中心线附近，先将管段一端牵引至中心线定位、固定，再将管段在水面上水平旋转至管线中心的过程。

2.1.8 垂直划弧 vertical stroke carve

将纵断面为折线（倒虹吸）的管段两端点固定，由漂浮在水面上的状态，通过控制注水量和调节吊力，使管段围绕两端点在水中垂直旋转至管中线的过程。

2.1.9 垂直划弧漂管下沉法 vertical arcing and floating pipeline sinking

根据管段淹没深度、开挖基槽一侧的进管水道，以完成管段水平划弧，将管段吊装定位；向管内注水，完成管段垂直划弧；向管内继续注水，控制管身及两端吊点，将管段沉入槽底。

2.1.10 一端先下沉法 one-end-first sinking

当管段纵断面为直线时，水平划弧定位，通过控制管内注水量和调整吊力，

先将管段一端沉放至槽底，继续注水，逐步将整条管道全部沉放就位。

2.1.11 弹性敷设下沉法 elastic deformation laying

当管段纵断面为直线时，水平划弧定位，调整管段两端吊力，使两端点略高于管身，向管内注水，利用管道弹性能力，使管段呈弧形逐步沉入槽底，继续注水，将整条管线全部沉放就位。

2.1.12 铺管船法 pipe-laying vessel method

在专用的船上将管节拼接，并沿规定线路下沉就位的方法。

2.1.13 管道发送 pipeline launching

采用铺管船法或底拖法时，管节在铺管滑道上向水下基床拖拉。

2.1.14 底拖法 bottom-pull method

管节组对拼组装后将管道沉入基床面上，按设计标高和路径拖行管道到指定地点就位的方法。

2.1.13 压力管道 pressure pipeline

指工作压力大于或等于 0.1MPa 的输送液体或气体介质管道。

2.1.15 压力管道水压试验 water pressure test for pressure pipeline

以水为介质，对已敷设的压力管道采用满水后加压的方法，来检验在规定的压力值时管道是否发生结构破坏以及是否符合规定的允许渗水量（或允许压力降）标准的试验。

2.1.16 无压管道闭水试验 water leakage test for non-pressure pipeline

以水为介质对已敷设重力流管道（渠）所做的严密性试验。

2.2 符号

- b_0 —— 管壁计算宽度（mm）；
- E_d —— 钢管管侧土的综合变形模量；
- E_p —— 钢管管材弹性模量；
- f —— 钢管管材或焊缝的强度设计值；
- $F_{cr, k}$ —— 钢管管壁截面失稳的临界压力标准值；
- F_f —— 管节浮力设计；
- F_{vk} —— 管内真空压力标准值；

-
- G_s —— 管节自重标准值；
- G_b —— 压舱、压块及或覆盖层等有效压重标准值；
- K_{st} —— 钢管管壁截面的设计稳定性抗力系数；
- M —— 在荷载组合作用下钢管管壁截面上的最大环向弯矩设计值；
- n —— 粗糙系数；
- N —— 在荷载组合作用下钢管管壁截面上的最大环向轴力设计值；
- Q —— 设计流量；
- t_0 —— 管的计算半径；
- α —— 钢管管材线膨胀系数；
- γ_0 —— 管道结构重要性系数；
- γ_s —— 抗浮分项系数；
- γ_w —— 水体重度；
- η —— 应力折算系数；
- ζ —— 管道局部水头阻力系数；
- σ —— 钢管管壁截面的最大组合折算应力；
- σ_θ —— 钢管管壁截面的最大环向应力；
- σ_x —— 钢管管壁截面的纵向应力。

3 基本规定

- 3.0.1** 半成品或成品的质量应符合国家现行有关标准的规定。
- 3.0.2** 沉管法管道设计前应进行工程调查与勘测工作。
- 3.0.3** 沉管法管道工程应进行管材选择、管位选择、管节结构和管节构造等内容的设计。
- 3.0.4** 为保证穿越管段的强度和稳定性,控制管道弯曲变形不超过弹性弯曲的安全要求,应根据施工方法进行沉管施工各阶段的管道强度、刚度、稳定性验算。
- 3.0.5** 应按管材、管节长度及制作要求生产管段,并应对管段进行质量检验。
- 3.0.6** 施工单位应建立健全施工技术、质量、安全生产、健康环境管理体系,制定各项施工管理制度,并贯彻执行。
- 3.0.7** 施工单位应组织有关技术管理人员深入现场调查,掌握现场情况,核对设计文件,做好充分的施工准备工作。
- 3.0.8** 施工单位应具备相应的施工资质,施工人员应具备相应的资格。给排水管道工程水下沉管施工和质量管理的应遵循相应的施工技术标准。
- 3.0.9** 施工单位在开工前应编制水下沉管专项施工方案,并按规定程序审批后执行,有变更时要办理变更审批。
- 3.0.10** 沉管施工方法的选择,应根据管道长度和管径、所处水域的工程水文地质、气象、航运交通等条件,周边环境、建(构)筑物、管线,以及设计要求和施工技术能力等因素,经技术经济比较后确定。不同施工方法的适应性宜满足下列规定:
- 1 当水文和气象变化相对稳定,水流速度相对较小时,可采用水面浮运法;
 - 2 当水文和气象变化不稳定、沉管距离较长、水流速度相对较大时,可采用铺管船法;
 - 3 当水文和气象变化不稳定,且水流速度相对较大、沉管长度相对较短时,可采用底拖法;且管节浮运、系驳、沉放、对接施工时水文和气象等条件宜满足:风速小于 10/s、波高小于 0.5、流速小于 0.8/s、能见度大于 1000m。
- 3.0.11** 沉管施工方案应取得相关河道管理等部门的审批意见。施工船舶、水上

设备的停靠、锚泊、作业及管道施工时，应符合航政、航道等部门的有关规定。

3.0.12 施工前应对施工范围内及河道地形进行校测，建立施工测量控制系统，并可根据需要设置水上、水下控制桩。设置在河道两岸的管道中线控制桩及临时水准点，每侧不应少于 2 个，且应设在稳固地段和便于观测的位置，并采取保护措施。

3.0.13 沉管处于通航河道时，夜间施工应有保证通航的航标设施。航标配布类别应根据航道条件与运输需要，以河区为单位，通过技术经济论证确定。沉管完成后应在需要在穿水管线的适当距离的两岸或一岸设置标示，禁止船舶在敷设水底管线的水域抛锚、拖曳航行或垂放重物，警告船舶驶至管线区域时注意采取必要的措施的管线标。

3.0.14 施工场地布置、土石方堆弃及成槽排出的土石方等，不得影响水源环境、水体水质、航运、航道及水利灌溉，也不得影响附近建（构）筑物的正常使用。施工中，对危及的堤岸、管线和建筑物应采取保护措施。

3.0.15 沉管法管道施工前，应进行安全与技术交底。

3.0.16 组对拼装后管段预水压试验应按设计要求进行，当设计无要求时，试验压力应为工作压力的 2 倍，且不得小于 1.0MPa，试验压力达到规定值后保持恒压 10min，不得有降压和渗水现象。

3.0.17 沉管施工作业前，应对水文、气象等条件进行监测，确保各项环境条件符合要求后，方可组织沉管施工。水文和气象的监测内容包括：风速、能见度、流速、波高、涨潮落潮等项目。

3.0.18 沉管施工期间，除应对水文、气象等条件进行监测外，尚需对施工船舶的状态、管线的位移形态，以及其他可能对施工作业造成不利影响的因素进行监测。

3.0.19 施工中应加强施工测量、监测工作，实施信息化施工，必要时应开展试挖槽、垫层试验、管节大比尺或足尺模型试验等工艺性试验。

3.0.20 沉管施工采用斜管连接时，斜坡段的现浇混凝土应自下而上浇筑。

3.0.21 当管体采用钢材制作时，管体内外应采取防腐措施，管道施工过程中应采取有效措施避免损坏防腐涂层，避免钢丝绳或其他尖硬材料直接接触管体。

3.0.22 沉管法管道工程施工应采取环境保护、安全文明施工措施。

4 工程调查与勘测

4.1 一般规定

4.1.1 工程调查与勘测应根据沉管法的技术特点、设计要求和所在区域条件，采用相应的方法，且应符合《市政工程勘察规范》CJJ56-2012 中的相关规定。

4.1.2 工程勘测方法及勘测工作量应根据现场地形、地貌、地质条件、工程结构设置以及不同勘测手段的特殊性等确定。

4.2 工程调查

4.2.1 工程调查应根据沉管法不同设计阶段的任务、目的、要求，针对管道特点和规模，确定搜集、调查资料的内容、范围和深度要求。

4.2.2 工程调查应包括下列主要内容：

- 1 现状及规划资料，包括道路交通、城市建设、港口码头、航道运输、堤岸防护等；
- 2 气象资料，包括气温、湿度、降水、雾况、风向、风速等；
- 3 水文地质资料，包括水位、波浪、流速、流向、水温、重度、水质、防洪标准、河道整治、河（海）势变化等；
- 4 工程地质及地震资料，包括地形、地貌、工程地质、区域地震历史、抗震设防烈度、设计地震分组、设计基本地震加速度等；
- 5 沿线地面、地下及水下建（构）筑物资料，包括建（构）筑物、管线、文物、军事设施、矿产资源、危险爆炸物等；
- 6 环境资料应包括管道附近大水域生态保护要求等；
- 7 现场施工条件资料，包括场地、供水供电、建筑材料来源、装备和机械等。

4.3 工程勘测

4.3.1 管道勘测应与设计阶段相适应，分阶段进行。勘测阶段可分为可行性研究

勘测、初步勘测和详细勘测，必要时应进行施工勘测。

4.3.2 水下地形测绘应符合下列规定：

1 可行性研究阶段，水下地形应以搜集既有资料和现场调查为主，工程地质测绘比例应满足相关审批部门的要求；

2 初步设计阶段的测绘比例不宜小于 1: 1000，测绘范围宜取管道轴线两侧各 500m；

4 施工图设计阶段，测绘比例不宜小于 1: 500，测绘范围宜取管道轴线两侧各 200m；

4.3.3 水域段勘察工作应符合下列规定：

1 可行性研究勘察应以搜集资料、现场踏勘为主，辅以必要的勘探、测试工作，初步评价对管道的影响，勘探应符合下列规定：

1) 勘探点平面布置孔距不宜大于 100m 勘探点总数量不宜少于 2 个，且对沿线每一地貌单元及工法分段不应少于 1 孔；

2) 在松散地层中，勘探孔深度应达到管底设计标高以下 2.5 倍管道外径，且不应小于 10m；

3) 在微风化及中等风化岩石中，勘探孔深度应达管底设计标高以下，且不应小于 8m，遇岩溶、土洞、暗河时应穿透并根据需要加深钻孔。

2 初步勘察阶段，勘探应符合下列规定：

1) 处于地质条件复杂的管道，勘探点间距不宜大于 50m 且总数不应少于 5 个；

2) 在松散地层中，一般性勘探孔进入管底设计标高以下不应小于 1.5 倍管道外径，控制性勘探孔进管底设计标高以下不应小于 2.5 倍管道外径；

3) 在微风化及中等风化岩石中，勘探孔进入管底设计标高以下不应小于 1 倍管道外径，遇岩溶、土洞、暗河时应穿透并根据需要加深钻孔。

3 详细勘察阶段，勘探应符合下列规定：

1) 勘探孔可采用梅花形布设方式，管节底部投影区域勘探孔间距宜为 20~30m；水下浚挖边坡范围内勘探孔间距宜为 20~30m；

2) 在松散地层中，一般性勘探孔进入管底设计标高以下不应小于 1.5 倍管道外径，控制性勘探孔管底设计标高以下不应小于 2.5 倍管道外径；

-
- 3) 在微风化及中等风化岩石中，勘探孔深度应进入管底设计标高以下 0.5 倍管道外径且不应小于 5m，遇岩溶、土洞、暗河时应穿透并根据需要加深钻孔。当河（海）底存在淤泥时应实测淤泥层厚度及各分层浮泥密度。
- 4 管节浮运区域需疏浚时，疏浚范围内应布设勘探孔，勘探孔深度应满足疏浚工程量计算需要，勘探孔间距根据区域地质环境具体确定。
- 5 水域段的水文勘察应包括水流速度、水位、水重度等内容。

5 管道设计

5.1 一般规定

5.1.1 钢管沉管的结构设计，应计算承载能力和正常使用两种极限状态。

1 承载能力极限状态：管道及其支墩结构达到最大承载能力，或达到不适于继续承载的变形极限状态；管材或连接构件因其内力超过材料强度而破坏；管道结构作为刚体失去平衡而上浮或滑移；管壁截面丧失稳定。

2 正常使用极限状态：管道的竖向变形量超过正常使用变形量的最大限值。

5.1.2 管节结构设计除应满足设计工作年限和使用功能外，还应满足运营环境、施工工艺等要求。

5.1.3 管道结构内力分析，均应按弹性体系计算，不考虑由非弹性变形所产生塑性内力重分布。

5.1.4 钢管结构及其连接件，按承载能力极限状态进行强度计算时，结构上的各项作用应采用作用设计值；钢管结构及其连接件按正常使用极限状态验算变形时，结构上的各项作用应采用作用代表值。各种作用的分项系数均应按现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的规定采用。

5.1.5 管节结构设计时应同步进行预留预埋构件设计。

5.1.6 沉管工程宜在岸边考虑焊接、拼装及溜放下管的场地。

5.1.7 管节舾装设施应满足系泊、浮运、沉放、对接等施工工艺要求。

5.1.8 沉管管段采用浮运法施工时，吊点位置应进行吊装验算，管道不大于 DN1800 时，两个吊点之间钢管的最大挠度不应大于 $L/250$ ，管道大于 DN1800 时，两个吊点之间钢管的最大挠度不宜大于 $L/400$ 。

5.1.9 压力钢管端头敷设方向改变处有柔性接头时，应进行抗滑稳定验算，抗滑稳定性抗力系数 K_s 不应小于 1.5。

5.1.10 当聚乙烯（PE）管道公称直径不大于 630mm 时，管壁极限承载力强度计算中，可不考虑外压荷载效应。

5.1.11 用于输送饮用水的给水工程管道，内防腐材料应符合现行国家标准《生活饮用水输配水设备及防护材料的安全性评价》GB/T 17219 的有关规定。

5.1.12 钢管管道在准永久组合作用下，应采用延性良好的防腐涂料作为内衬，最大竖向变形不应超过 $0.04D_0$ ；聚乙烯（PE）管的竖向变形不应超过 $0.05D_0$ 。

5.1.13 管道转弯和交接处，其水流转角不应小于 90° 。当管径小于或等于 300mm 且跌水水头大于 0.3m 时，可不受此限制。

5.1.14 管道的流量应按下式计算：

$$Q = Av \quad (5.1.14)$$

式中： Q ——设计流量（ m^3/s ）；

A ——水流有效断面面积（ m^2 ）；

v ——流速（ m/s ）。

5.1.15 恒定流条件下排水管的流速应按下式计算：

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (5.1.15)$$

v ——流速（ m/s ），金属排水管宜不大于 10m/s；

R ——水力半径（ m ）；

I ——水力坡降；

n ——粗糙系数，钢管取 0.012。

5.1.16 管道总水头损失宜按下式计算：

$$h_z = h_y + h_j \quad (5.1.16-1)$$

$$h_j = \sum \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (5.1.16-2)$$

$$h_y = \frac{10.67 q^{1.852}}{C_h^{1.852} d_j^{4.87}} l \quad (5.1.16-3)$$

式中： h_z ——管道总水头损失（ m ）；

h_y ——管道沿程水头损失（ m ）；

h_j ——管道局部水头损失（ m ）；

ζ ——管道局部水头阻力系数，可根据水流边界形状、大小、方向的变化等选用；

q ——设计流量（ m^3/s ）；

C_h ——海曾-威廉系数，钢管采用水泥砂浆内衬时取 120~130，涂层内衬

时取 130~140。

5.2 沉管管位选择

5.2.1 穿越江、河的沉管管位宜与规划穿越线路一致。

5.2.2 穿越江、河的沉管宜在江、河的平直段，视野清晰，无障碍阻拦。

5.2.3 沉管位置应避开滑坡、泥石流、地震断裂带等危险地段。

5.2.4 沉管位置应根据地震活动性及工程地质条件选择抗震有利地段，穿越不利地段时应采取措施。

5.2.5 沉管位置宜选择在水文、河势稳定以及河床平缓地段，基槽底最大水深不宜大于 50m，水流速度窗口期满足管节浮运、沉放施工作业的要求。

5.2.6 沉管位置选择应满足水文和航运条件，有利于沉管施工和环境保护，沉管管位的平面位置与桥墩、码头的平面距离不宜过小；预计水下基坑开挖后的坡顶距桥墩、码头、水坝的平面距离不宜过小。

5.3 管节结构设计

5.3.1 钢管管道的强度计算，应满足下列要求：

$$\gamma_0 \eta \sigma_\theta \leq f \quad (5.3.1-1)$$

$$\gamma_0 \sigma \leq f \quad (5.3.1-2)$$

式中 σ_θ —— 钢管管壁截面的最大环向应力（N/mm²）；

σ —— 钢管管壁截面的最大组合折算应力（N/mm²）；

γ_0 —— 管道结构的重要性系数，根据现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB50332 的规定采用；

η —— 应力折算系数，可取 0.9；

f —— 钢管管材或焊缝的强度设计值，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的有关规定取值。

5.3.2 钢管管壁截面的最大组合折算应力，应按下式计算：

$$\sigma = \eta \sqrt{\sigma_{\theta}^2 + \sigma_x^2 - \sigma_{\theta} \sigma_x} \quad (5.3.2)$$

式中 σ_x ——钢管管壁截面的纵向应力 (N/mm²) ;

5.3.3 钢管管壁截面的最大环向应力 σ_{θ} 应按下式确定:

$$\sigma_{\theta} = \frac{N}{b_0 t_0} + \frac{6M}{b_0 t_0^2} \quad (5.3.3-1)$$

$$N = \psi_c \gamma_Q F_{wd,k} r_0 b_0 \quad (5.3.3-2)$$

$$M = \varphi \frac{(\gamma_{G1} k_{gm} G_{lk} + \gamma_{G,sv} k_{vm} F_{sv,k} + \gamma_{Gw} k_{wm} G_{wk}) r_0 b_0}{1 + 0.732 \frac{E_d}{E_p} \left(\frac{r_0}{t_0} \right)^3} \quad (5.3.3-3)$$

式中: b_0 ——管壁计算宽度 (mm) ;

φ ——弯矩折减系数, $\varphi = 1 - \frac{F_{wk}}{3}$;

t_0 ——管壁计算厚度 (mm) , 取 $t_0 = t - 2$;

r_0 ——管的计算半径 (mm) ;

M ——在荷载组合作用下钢管管壁截面上的最大环向弯矩设计值 (N·mm) ;

N ——在荷载组合作用下钢管管壁截面上的最大环向轴力设计值 (N) ;

E_d ——钢管管侧土的综合变形模量 (N/mm²) , 当为单线敷设时可按附录B采用; 当为双线敷设或与其他管线合槽施工时, 其取值应根据实际情况具体确定;

E_p ——钢管管材弹性模量 (N/mm²) ;

k_{gm} 、 k_{vm} 、 k_{wm} ——分别为钢管管道结构自重、竖向土压力和管内水重使用下管壁截面的最大弯矩系数, 可按本规程附录A确定;

γ_{G1} ——钢管管道结构自重分项系数;

$\gamma_{G,sv}$ ——竖向土压力分项系数;

γ_{Gw} ——管内水重分项系数;

γ_Q ——设计内水压力和温度作用的分项系数;

G_{lk} ——钢管管道结构自重标准值 (kN/m) ;

F_{wk} ——钢管管道内工作压力标准值 (kN/m²) ;

$F_{wk,k}$ —— 钢管管道的设计内水压力标准值 (kN/m²) ;

$F_{sv,k}$ —— 每延米管道上管顶的竖向土压力标准值 (N/mm) ,

γ_s —— 回填土的浮重度 (kN/m³) ;

H_s —— 管顶至河床底的覆土高度 (m) ;

G_{wk} —— 管道内水重标准值;

ψ_c —— 可变作用的组合系数, 取 0.9。

5.3.4 钢管管节纵向计算应符合下列规定:

1 施工期管节纵向结构分析宜根据管节结构形式、施工工艺、波浪力、水流力等因素进行计算, 对于受力状态复杂的施工工况可采用三维数值计算方法进行结构分析;

2 运营期管节纵向结构分析宜采用弹性地基梁模型进行计算;

3 应对纵向不均匀沉降、温度变化作用下的结构和接头变形进行分析, 并满足管节接头允许变形要求。

5.3.5 计算土弧基础中心角可取 90°, 设计土弧基础中心角取 120°, 管侧回填土变形模量宜取 3~5MPa。覆土形式, 碎石、混凝土、袋装混凝土, 考虑覆土厚度, 水流速度的抗冲刷性能。

5.3.6 钢管管壁的纵向应力应按下列式计算:

$$\sigma_x = \nu_p \sigma_\theta \pm \psi_c \gamma_Q \alpha E_p \Delta T + \sigma \Delta \quad (5.3.6)$$

式中: ν_p —— 钢管管材泊松比;

α —— 钢管管材线膨胀系数;

ΔT —— 钢管管道的闭合温差;

$\sigma \Delta$ —— 地基不均匀沉降引起的纵向应力, 可按弹性地基上的长梁计算确定。

5.3.7 钢管管壁截面的稳定性验算, 应满足下列式要求:

$$F_{cr,k} \geq K_{st} \left(\frac{F_{sv,k}}{2r_0} + q_{ik} + F_{vk} \right) \quad (5.3.7)$$

式中: $F_{cr,k}$ —— 钢管管壁截面失稳的临界压力标准值 (N/mm²) ;

F_{vk} —— 管内真空压力标准值 (N/mm²) ;

K_{st} —— 钢管管壁截面的设计稳定性抗力系数, 可取 2.0。

5.3.8 钢管管壁截面的临界压力应按式计算：

$$F_{cr,k} = \frac{2E_p(n^2-1)}{3(1-\nu_p^2)} \left(\frac{t}{D_0} \right)^3 + \frac{E_d}{2(n^2-1)(1+\nu_s^2)} \quad (5.3.8)$$

式中： n —— 钢管管壁失稳时的折皱波数，其取值应使 $F_{cr,k}$ 为最小值，并为不小于 2 的整数；

ν_s —— 钢管管侧回填土的泊松比；

ν_p —— 钢管管材的泊松比；

D_0 —— 钢管管道的计算直径，可取管壁中线距离（mm）。

5.3.9 钢管管道在准永久组合作用下的最大竖向变形验算，应满足下式要求：

$$\omega_{d,max} \leq \phi_d D_0 \quad (5.3.9)$$

式中： $\omega_{d,max}$ —— 管道在准永久组合作用下的最大竖向变形

ϕ_d —— 变形百分率，按本规程第 5.1 节的规定采用。

5.3.10 钢管管道在准永久组合作用下的最大变形竖向 $\omega_{d,max}$ ，应按式 5.3.10 计算：

$$\omega_{d,max} = D_L \frac{k_b r_0^3 (F_{sv,k} + \psi_q q_{ik} D_0)}{E_p I_p + 0.061 E_d r_0^3} \quad (5.3.10)$$

式中： D_L —— 变形滞后效应系数，可取 1.0~1.5 计算；

k_b —— 竖向压力作用下柔性管的竖向变形系数，按本规程附录 A 确定；

I_p —— 钢管管壁纵向截面单位长度的截面惯性矩（mm⁴）；

ψ_q —— 准永久值系数，取 0.5；

5.3.11 聚乙烯（PE）管在荷载作用下管壁承载力强度应满足下式要求：

$$\gamma_0 (\psi_c \sigma_p + \alpha_f r_c \sigma_m) \leq f_t \times f_p \quad (5.3.11-1)$$

$$\alpha_f = f_p / f_m \quad (5.3.11-2)$$

$$r_c = 1 - F_{wk} / 3 \quad (5.3.11-3)$$

式中： γ_0 ——管道工程的重要性系数，按现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB50332 的有关规定取值；

ψ_c ——管道强度计算的荷载组合系数，取 0.9；

σ_p ——管道内设计压力作用下，管壁环向拉应力设计值（MPa）；

- α_f ——管道拉伸强度设计值与弯曲强度设计值之比值；
- r_c ——管道的压力影响系数；
- σ_m ——管道在外压力作用下，管壁最大的环向弯曲应力设计值（MPa）；
- f_t ——管道的温度对压力的折减系数，按表 5.3.11-1 的规定取值；
- f_p ——管道拉伸强度设计值（MPa），按表 5.3.11-2 的规定取值；
- f_m ——管道弯曲强度设计值（MPa），按表 5.3.11-3 的规定取值；
- F_{wk} ——管道的工作压力标准值。

表 5.3.11-1 聚乙烯（PE）管温度对压力折减系数

温度 T（℃）	0<T≤20	20<T≤25	25<T≤30	30<T≤35	35<T≤40
压力折减系数 f_t	1.0	0.93	0.87	0.80	0.71

表 5.3.11-2 管道的材料拉伸强度设计值

管道名称	拉伸强度设计值（MPa）
聚乙烯（PE）管	PE80 6.3
	PE100 8.0

表 5.3.11-3 管道的材料弯曲强度设计值

管道名称	弯曲强度设计值（MPa）
聚乙烯（PE）管	PE80 16.0
	PE100 16.0

5.3.12 聚乙烯（PE）管设计内水压力产生的管壁环向拉应力可按下式计算：

$$\sigma_p = \frac{\gamma_Q \eta F_{wk,k} D_0}{2t} \quad (5.3.12)$$

式中： γ_Q ——可变荷载分项系数，此处为管道的内水压力分项系数，按现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB50332 的有关规定取值；

η ——管道压力计算调整系数，聚乙烯（PE）管可取 0.8；

D_0 ——管道计算直径（mm），即管道外壁减壁厚；

t ——管壁计算厚度（mm）；

$F_{wk,k}$ ——管道的设计内水压力标准值。

5.3.13 聚乙烯（PE）管在外压力作用下，管壁最大的环向弯曲应力可按下式计算：

$$\sigma_m = 0.88 D_f E_p \frac{\gamma_G F_{sv,k} D_1 K_d t}{D_0^2 (8 S_N + 0.061 E_d)} \quad (5.3.13-1)$$

$$S_N = \frac{E_p I_p}{D_0^3} \quad (5.3.13-2)$$

式中：D_f——管道的形状系数，按本规程表 5.3.13-1 的规定取值；

E_p——管材的弹性模量（MPa）；

γ_G——永久荷载分项系数，此处为管道顶覆土荷载分项系数，按现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB50332 的有关规定取值；

F_{sv, k}——管顶单位面积竖向土压力标准值（N/mm²）；

D₁——管道的外径（mm）；

E_d——管侧土的综合变形模量（MPa），可按本规程附录 A 的规定取值；

K_d——竖向压力作用下管道的竖向变形系数，应根据管底土弧基础的中心角按本规程表 5.3.13-2 的规定取值；

S_N——管道的刚度等级（N/mm²）；

I_p——管壁纵向截面单位长度截面惯性矩（mm⁴/mm）。

表 5.3.13-1 管道的形状系数

管材的环刚度 (kN/m ²)		2.5	4	5	6.3	8	10	12.5	15	16
砾石	压实系数≥ 0.90	5.5	4.8	4.5	4.2	4.0	3.8	3.5	3.2	3.1
砂	压实系数≥ 0.90	6.5	5.8	5.5	5.4	4.8	4.5	4.1	3.5	3.4

表 5.3.13-2 竖向压力作用下管道的竖向变形系数

土弧基础中 心角	20°	60°	90°	120°	150°
变形系数 K _d	0.109	0.103	0.096	0.089	0.085

5.3.14 聚乙烯（PE）管道应根据各项作用的不利组合，验算管壁截面的环向稳定性。验算时各项作用均应取标准值，并应符合下式要求：

$$F_{cr,k} = K_{st} (F_{sv,k} / D_0 + F_{vk}) \quad (5.3.14)$$

式中：F_{cr,k}——管壁截面环向失稳的临界压力（N/mm²）；

K_{st} ——管壁截面环向稳定性抗力系数， K_{st} 不应小于 2.0；

$F_{sv, k}$ ——管顶处的竖向土压力标准值（ N/mm^2 ）；

F_{vk} ——管道内的真空压力标准值（ N/mm^2 ）。

5.3.15 聚乙烯（PE）管道管壁截面环向失稳的临界压力可按本规程公式 5.3.8 计算，其中弹性模量 E_p 应乘以长期性能调整系数 η_E ，聚乙烯管材取 $\eta_E=0.25$ 。

5.3.16 聚乙烯（PE）管道在土压力作用下产生的最大长期竖向变形可按下式计算：

$$\omega_{d \cdot \max} = \frac{D_l F_{sv, k} D_1 K_d}{8 \eta_E S_N + 0.061 E_d} \quad (5.3.16)$$

式中： D_L ——变形滞后效应系数，可取 1.2~1.5；

$F_{sv, k}$ ——管顶单位面积竖向土压力标准值（ kN/mm^2 ）；

D_1 ——管材的外径（ m ）；

K_d ——竖向压力作用下管道的竖向变形系数，应根据管底土弧基础的中心角按本规程表 5.3.13-2 的规定取值；

η_E ——管材弹性模量的长期性能调整系数，聚乙烯管材可取 0.25；

S_N ——管材的刚度等级（ N/mm^2 ）；

E_d ——管侧土的综合变形模量（ MPa ）。

5.3.17 聚乙烯（PE）管道管底以上部分人工土弧基础的尺寸，应根据工程结构计算的支撑角值增加 30° 确定，人工土弧基础的支撑角不宜小于 90° 。

5.3.18 聚乙烯（PE）管道由温差产生的纵向变形量可按下式计算：

$$\Delta L = C_p \times L \times \Delta t \quad (5.3.18)$$

式中： ΔL ——由温差产生的纵向变形量（ m ）；

C_p ——管材线膨胀系数（ $m/(m \cdot ^\circ C)$ ）；

L ——管段长度（ m ）；

Δt ——管壁处施工安装与运行使用中的最大温度差（ $^\circ C$ ）。

5.3.19 管节在施工期和运营期，应按下列公式进行抗浮计算：

$$F_f \leq \frac{G_s + G_b}{\gamma_s} \quad (5.3.19-1)$$

$$F_f = \gamma_w V \quad (5.3.19-2)$$

式中： F_f ——管节浮力设计值（kN）；
 G_s ——管节自重标准值（kN）；
 G_b ——压舱、压块及覆盖层等有效压重标准值（kN）；
 γ_w ——水体重度（kN/m³）；
 V ——管节排开水的体积（m³）；
 γ_s ——抗浮分项系数，按本规程表 5.3.19 的规定取值。

表 5.3.19 抗浮分项系数

所处阶段	抗浮分项系数 γ_s
沉放、对接阶段	1.0~1.02
对接完成后	1.05
覆土完成后	1.10~1.20

5.4 构造设计

- 5.4.1** 沉管压力管道应采用整体式管段，无压管道可采用分段式管段。
- 5.4.2** 钢管管道的设计厚度应采用计算厚度加构造厚度，构造厚度为 2mm。
- 5.4.3** 管节沉放后应及时对基槽进行回填覆盖，回填选用级配良好、透水性强、不液化的材料。
- 5.4.4** 基槽回填应根据回填料和回填部位，按先低后高、分段分层、对称均衡的原则进行，各阶段施工中管道横断面两侧回填高差应为+500mm，最终允许偏差应为+300mm。
- 5.4.6** 管节对接完成后，应及时在管节两侧进行锁定回填，锁定回填长度可为 8m~10m，高度不超过所在管节顶部。
- 5.4.7** 管节顶部防护性回填应根据船舶抛锚、沉船和冲刷等因素确定，最小厚度不宜小于 1.5m。
- 5.4.8** 钢管管道内外壁应根据内外介质的腐蚀等级，采用相应的防腐涂层保护措施，也可采用阴极保护进行增强防护。钢管管道内外壁防腐应符合《给水排水管道工程施工及验收规范》GB50268 中相关规定。
- 5.4.9** 沉管管道在上、下弯头的转角处，应进行加强处理，并在沉管铺设就位后，在转角处设置混凝土桩墩。

5.4.10 沉管端头岸上应设置警示标志；沉管段有航道时，应设置航标、禁止抛锚等警示设施；无通航要求时，可设置航标、浮筒等警示或阻隔设施。警示或阻隔设施应符合相关管理部门的要求。

5.5 基槽设计

5.5.1 水下基槽可采用机械挖泥船、泵吸船或爆破法开挖；

5.5.2 爆破成槽时，爆破线路的设计和施工、爆破器材的性能和质量、爆破安全措施的制定和实施，应符合国家相关标准的规定；

5.5.3 基槽底宽应根据管道结构的宽度、开挖水底泥土流动性确定。并应符合下列规定：

1 河床岩土层相当稳定、河水流速度小、回淤量小，且水下开挖施工对土层扰动影响较小时，底部宽度可按公式（5.5.3）确定；

$$B \geq D_1 + 2b + 1000 \quad (5.5.3)$$

式中：B—管道基槽底部的开挖宽度（mm）；

D_1 —管外径（mm）；

b—管道保护层及沉管附加物等宽度（mm）。

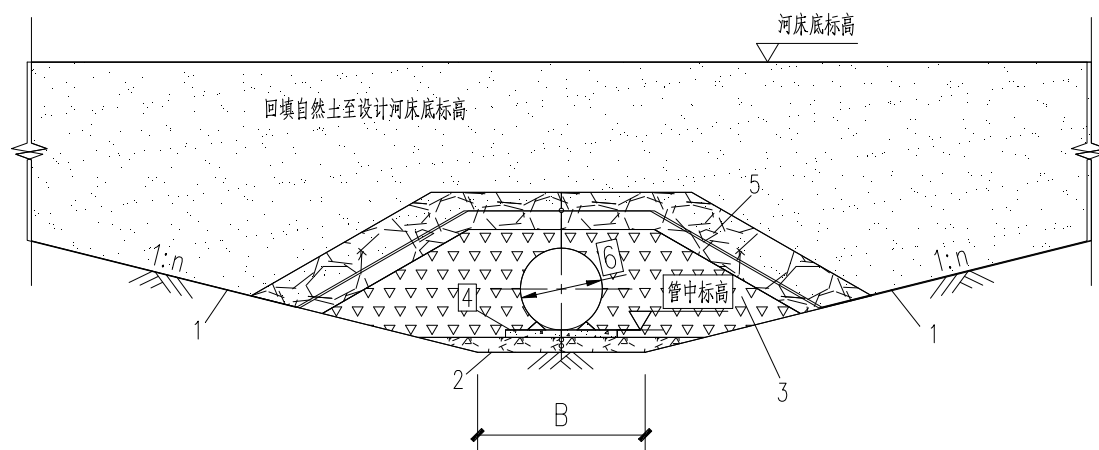
2 缺乏相关试验资料和经验资料时，基槽底部宽度可按表 5.5.3 的规定执行。

表 5.5.3 沉管基槽底部宽度和边坡尺寸

岩土类别	底部宽度（mm）	边坡	
		开挖深度<2.5m	开挖深度≥2.5m
淤泥、粉砂、细砂	$D_1 + 2b + 2500 \sim 4000$	1:3.5~4.0	1:5.0~6.0
砂质粉土、中砂、粗砂	$D_1 + 2b + 2000 \sim 4000$	1:3.0~3.5	1:3.5~5.0
砂土、含卵砾石土	$D_1 + 2b + 1800 \sim 4000$	1:2.5~3.0	1:3.0~4.0
粉质黏土	$D_1 + 2b + 1500 \sim 3000$	1:2.0~2.5	1:2.5~3.5
黏土	$D_1 + 2b + 1200 \sim 3000$	1:1.5~2.0	1:2.0~3.0
岩石	$D_1 + 2b + 1200 \sim 3000$	1:0.5	1:1.0

5.5.4 开挖基槽的泥土应抛在于合流相交基槽断面的下游。回填后，多余的土不

得堆积在河道内或岸边。



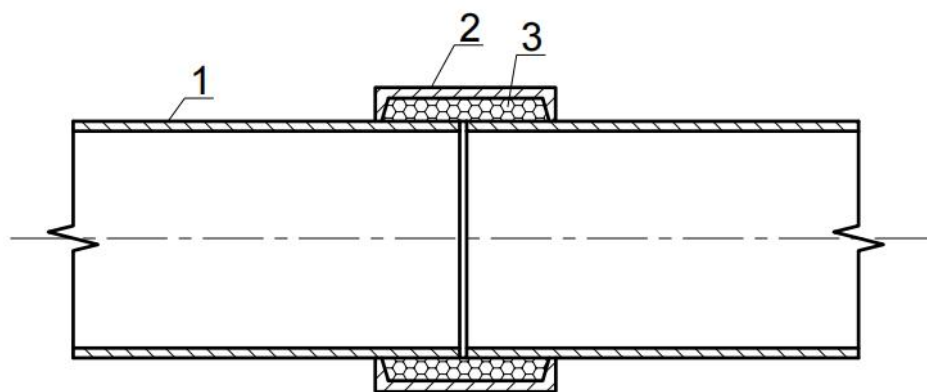
1—开挖线；2—找平层下回填级配碎石；3—回填级配碎石；4—找平层；5—回填块石；6—管径

图 5.5.4 沉管基础横断面示意图

6 管段制作

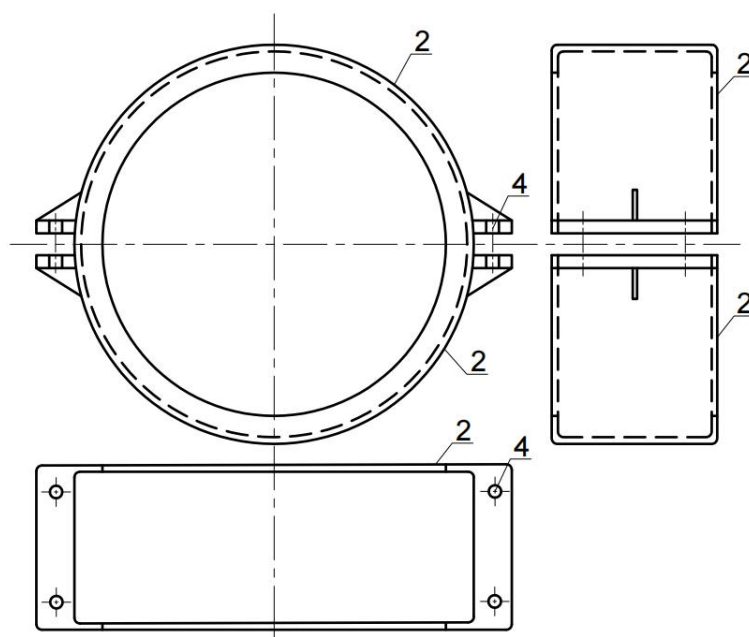
6.1 一般规定

6.1.1 钢管及哈夫卡的钢材强度等级不应低于 Q235B, 其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的要求; 钢管管道采用哈夫卡连接如图 6.1.1-1 和图 6.1.1-2 所示。



1—管道; 2—哈夫卡件; 3—连体橡胶圈

图 6.1.1-1 哈夫卡连接示意图



1—管道; 2—哈夫卡件; 3—连体橡胶圈; 4—螺栓孔

图 6.1.1-2 哈夫件示意图

6.1.2 钢管管节可采用直缝焊接，或采用螺旋焊接。

6.1.3 钢管的焊接、连接材料应符合下列要求：

1 手工焊接用的焊条应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T 5117 的要求，选用的焊条型号应与钢管及其支承的钢材物理性能相适应。焊条型号宜采用 E4300～E4313；

2 自动焊接或半自动焊接应采用与钢管管材物理性能相适应的焊丝和焊剂。焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957 的要求；

3 普通螺栓或锚栓应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的要求。

6.1.4 钢材的物理性能指标应按表 6.1.4 的规定采用。

表 6.1.4 钢材的物理性能指标

弹性模量 E_p (N/mm^2)	线膨胀系数 α (以每 $^\circ\text{C}$ 计)	重度 γ_{st} (kN/m^3)	泊松比 ν_p
2.06×10^5	12×10^{-6}	78.5	0.3

6.1.5 普通螺栓、锚栓连接的强度设计值，应按表 6.1.5 的规定采用。

表 6.1.5 普通螺栓连接的强度设计值 (N/mm^2)

螺栓、锚栓的钢材牌号	抗拉 f_t^b	抗剪 f_v^b	抗拉 f_t^a
普通螺栓 Q235	170	140	/
锚栓 Q235	/	/	140

6.1.6 聚乙烯 (PE) 管的要求应符合现行国家标准《给水用聚乙烯 (PE) 管道系统 第 2 部分：管材》GB/T 13663.2 的规定。

6.2 管节连接

6.2.1 钢管的管节应在工厂制作，管节的长度不宜小于 12m。

6.2.2 钢管采用直缝焊接时，卷制钢管的同一管节可两条纵缝，管径不小于 600mm 时，纵向焊缝的间距应大于 300mm。

6.2.3 钢管管径小于 DN800 时，焊缝宜采用 V 型坡口；管径不小于 DN800 时，焊缝宜采用 K 型坡口双面焊接。

6.2.4 钢管管道上开孔应符合下列规定：

1 不得在干管的纵向、环向焊缝处开孔；

- 2 管道上任何位置不得开方孔；
- 3 不得在短节上或管件上开孔；
- 4 开孔处应进行加固补强。

6.2.5 钢管内防腐应采用防腐涂料；钢管管节的内外防腐层宜在工厂内完成，现场连接的补口按设计要求处理，补口防腐层质量应达到整体防腐层质量要求。

6.2.6 钢管管段宜在靠近沉管处的场地制作，制作场地的长度不宜小于沉管长度的 0.5 倍长度。具备水上焊接条件时，可在沉管管位处进行管节的焊接连接。

6.2.7 钢管各管节可采用机械或人工焊接连成管段。现场焊接时，宜选择当日温差较小进行焊接作业。

6.2.8 在寒冷或恶劣环境下钢管焊接应符合下列规定：

- 1 清除管道上的冰、雪、霜等；
- 2 工作环境的风力大于 5 级、雪天或相对湿度大于 90% 时，应采取保护措施；
- 3 焊接时，应使焊缝可自由伸缩，并应使焊口缓慢降温；
- 4 冬期焊接时，应根据环境温度进行预热处理，并应符合表 6.2.8 的规定。

表 6.2.8 冬期焊接预热的规定

钢 号	环境温度 (℃)	预热宽度(mm)	预热达到温度 (℃)
含碳量 $\leq 0.2\%$ 碳素钢	≤ -20	焊口每侧 不小于 40	100~150
$0.2\% < \text{含碳量} < 0.3\%$	≤ -10		
16Mn	≤ 0		100~200

6.2.9 钢管管节组对焊接时应先修口、清根，管端端面的坡口角度、钝边、间隙，应符合设计要求或现行国家标准《给水排水工程管道施工及验收规范》GB 50268 的相关规定。且不得在对口间隙夹焊帮条或用加热法缩小间隙施焊。

6.2.10 钢管对口时应使内壁齐平，错口的允许偏差应为壁厚的 10%。

6.2.11 钢管对口检查合格后，方可进行接口定位焊接。定位焊接采用点焊时，应符合下列规定：

- 1 点焊焊条应采用与接口焊接相同的焊条；
- 2 点焊时，应对称施焊，其焊缝厚度应与第一层焊接厚度一致；

3 点焊长度与间距应符合表 6.2.11 的规定。

表 6.2.11 点焊长度与间距

管外径 Do (mm)	点焊长度 (mm)	环向点焊点 (处)
350~500	50~60	5
600~700	60~70	6
≥800	80~100	点焊间距不宜大于 400mm

6.2.12 钢管管节对口时纵、环向焊缝的位置应符合下列规定：

- 1 纵向焊缝应放在管道中心垂线上半圆的 45° 左右处；
- 2 纵向焊缝应错开，错开的间距不得小于 500mm；
- 3 有加固环的钢管，加固环的对焊焊缝应与管节纵向焊缝错开，其间距不应小于 100mm；加固环距管节的环向焊缝不应小于 50mm；
- 4 环向焊缝距支架净距离不应小于 100mm；
- 5 直管管段两相邻环向焊缝的间距不应小于 2m，并不应小于管节的外径；
- 6 管道任何位置不得有十字形焊缝。

6.2.13 聚乙烯（PE）管道连接前应按设计要求核对管材、管件及管道附件，并进行外观质量检查。

6.2.14 聚乙烯（PE）管材、管件的连接宜采用热熔对接连接，聚乙烯（PE）管材与金属管或金属附件连接时，应采用法兰连接。

6.2.15 聚乙烯（PE）管道连接时，应选用专用的连接工具；管材的切割应采用专用割刀或切管工具，切割断面应平整并垂直于管轴线。

6.2.16 沉管段与斜管段之间应采用弯管连接。钢制弯头处的加强措施应符合设计要求。

6.2.17 与陆上管道连接的弯管。在支墩施工前应按设计要求对弯管进行临时固定，以免发生位移、沉降。

6.2.18 管道连接的环境温度宜为-5℃~45℃。在环境温度低于-5℃或风力大于 5 级的条件下进行连接操作时，应采取保温、防风措施，并应调整连接工艺；在炎热的天气进行连接操作时，应采取遮阳措施。

6.2.19 聚乙烯（PE）管道的热熔对接连接应符合下列规定：

- 1 应根据管材或管件的规格，选用夹具，将连接件的连接端伸出夹具，自

由长度不应小于公称直径的 10%，移动夹具使连接件端面接触，并校直对应的待连接件，使其在同一轴线上，错边不应大于壁厚的 10%。

2 应将管材或管件的连接部位擦拭干净，并应铣削连接件端面，使其与轴线垂直；连续切屑平均厚度不宜大于 0.2mm，切削后的熔接面不得污染。

3 连接件的端面应采用热熔对接连接设备加热，加热时间应符合设计要求或现场适用条件要求。

4 加热时间达到工艺要求后，应迅速撤出加热板，检查连接件加热面熔化的均匀性，不得有损伤；并应迅速用均匀外力使连接面完全接触，直至形成均匀一致的对称翻边。

5 在保压冷却期间不得移动连接件或在连接件上施加任何外力。

6.3 质量检验

6.3.1 钢管焊缝外观检查合格后方可进行无损检测。焊缝外观检查应符合下列规定：

1 焊缝外观成型应均匀一致，焊缝及其热影响区表面上不得有裂纹、未熔合、气孔、夹渣、飞溅、弧坑等缺陷；

2 电弧烧痕应打磨掉，打磨后的管壁厚度应不小于标准允许的最小厚度。不满足要求时，应将含有电弧烧痕的这部分管子整段切除。

6.3.2 钢管焊缝外观质量应符合表 6.3.2 的规定：

表 6.3.2 焊缝的外观质量

项目	技术要求
外观	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；表面光顺、均匀、焊道与母材应平缓过渡
宽度	应焊出坡口边缘 2mm~3mm
表面余高	应小于或等于 1+0.2 倍坡口边缘宽度，且不大于 4mm
咬边	深度应小于或等于 0.5mm，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 100mm
错边	应小于或等于 0.2t，且不应大于 2mm
未焊满	不允许

6.3.3 钢管管道对接时，环向焊缝的检验应符合下列规定：

- 1 焊缝检查等级应符合设计要求；
- 2 检查前应清除焊缝的渣皮、飞溅物；
- 3 应在无损检测前进行外观质量检查，并应符合本规范表 6.3.2 的规定；
- 4 无损探伤检测方法应按设计要求选用；
- 5 无损检测取样数量与质量要求应按设计要求执行；设计无要求时，压力管道的取样数量应不小于焊缝量的 10%；
- 6 不合格的焊缝应返修，焊缝同一部位的返修次数不宜超过 2 次。

6.3.4 压力钢管的现场焊缝质量等级不应低于Ⅱ级焊缝要求，超声波检测量宜为 100%，X 射线的检测量不宜低于 20%；钢管在转角处的焊缝应采用 X 射线检测；无压自流管的现场焊缝质量等级不应低于Ⅲ级焊缝要求。

6.3.5 聚乙烯（PE）管热熔对接连接质量检验应符合下列规定：

- 1 连接完成后，应对接头进行 100% 的翻边对称性、接头对正性检验和不少于 10% 的翻边切除检验。
- 2 翻边对称性检验的接头应具有沿管材整个圆周平滑对称的翻边，翻边最低处的深度（A）不应低于管材表面，如图 6.3.5-1 所示。
- 3 接头对正性检验的焊缝两侧紧邻翻边的外圆周的任何一处错边量（V）不应超过管材壁厚的 10%，如图 6.3.5-2 所示。

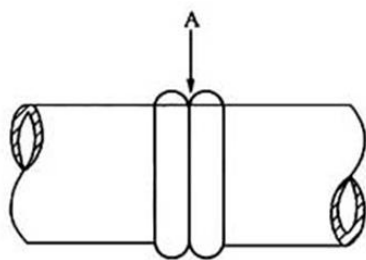


图 6.3.5-1 翻边对称性示意图

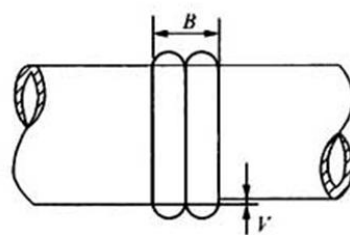


图 6.3.5-2 接头对正性示意图

4 翻边切除检验应使用专用工具，并应在不损伤管材和接头的情况下，切除外部的焊接翻边，如图 6.3.5-3 所示，且应符合下列规定：

- 1) 翻边应是实心圆滑的，根部较宽，如图 6.3.5-4 所示。
- 2) 翻边下侧不应有杂质、小孔、扭曲和损坏。

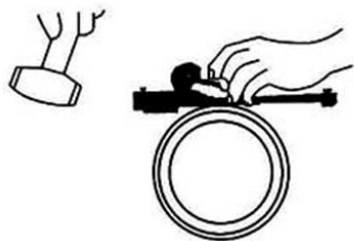


图 6.3.5-3 翻边切除示意图

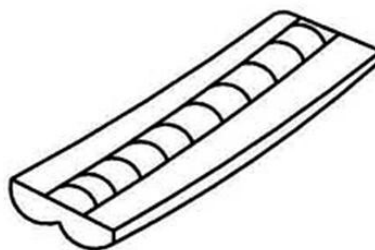


图 6.3.5-4 合格实心翻边示意图

3) 每隔 50mm 应进行 180° 的背弯试验, 如图 6.3.5-5 所示, 且不应有开裂、裂缝, 接缝处不得露出熔合线。

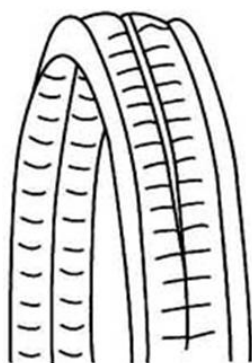


图 6.3.5-5 翻边背弯试验示意图

7 基槽开挖与回填

7.1 一般规定

7.1.1 根据工程地质和水文条件因素以及水上交通和周围环境要求,结合基槽设计要求选用浚挖方式和船舶设备。

7.1.2 水下开挖基槽应根据水域的水文、地质、航运等条件,确定水下挖泥、出泥及水下爆破、出渣等施工方案,必要时可进行试挖或试爆。

7.1.3 水下基槽浚挖前,应对管位进行测量放样复核,开挖成槽过程中应及时进行复测。

7.1.4 采用管道底拖法施工时,应确定导流沟、发送道、牵引道的几何尺寸,并进行施工场地平面布置。

7.2 施工准备与测量放线

7.2.1 施工前,应做好下列准备工作:

- 1 熟悉、审查施工图纸和有关设计资料;
- 2 编制施工组织设计和专项施工方案;
- 3 应对专用设备、特种设备进行专项设计、制造验收及人员培训。
- 4 施工机具、船舶性能应满足沉管施工要求。

7.2.2 施工前,应根据设计图纸和施工方案,编制施工测量方案,选定测量控制等级,确定测量方法。

7.2.3 施工前,应按照设计文件要求沿管线敷设方向采用水下地形测量、浅地层剖面等技术进行预调查,并对影响管线施工的障碍物进行清除。

1 水下地形测量。可采用侧扫声呐进行调查。预调查时可采用侧扫声呐对管道轴线两侧各 50m 范围进行扫测。调查中如果发现声呐障碍物,将对声呐障碍物的大小,精确的位置和形状进行详尽的调查。

2 浅地层剖面测量。采用浅地层剖面仪,以调查路由为中心,对路由中心线

的浅地层进行扫测，旨在发现管线路由上是否存在地质钻孔未揭露的埋藏物。浅地层剖面测量以管底以下 5m 深度范围为宜。

7.2.4 测量仪器应定期校验，并应满足仪器的精度要求。

7.2.5 测量放线定位应包括下列工作：

- 1 编制施工场地平面布置图；
- 2 建立平面及高程测量控制系统；
- 3 放出管道中心线；
- 4 确定水上铺管定位控制、基槽定位控制和水下测深控制测量方法；
- 5 做好岸上、水上施工导航设施。

7.2.6 应做好设计、勘测的交桩和交线工作，复查测量控制点、基准点、水准点。在复测控制网的基础上，根据工程需要适当加密，建立施工测量控制网。

7.2.7 测量作业时应分别复核采集数据、实测数据的准确性。

7.2.8 各等级平面控制测量，最弱点点位中误差为 $\pm 50\text{mm}$ ，最弱相邻点间相对点位中误差为 $\pm 30\text{mm}$ ，最弱相邻点边长相对中误差不得大于表 7.2.8 的规定。

表 7.2.8 平面控制测量精度要求

测量等级	最弱相邻点边长相对中误差	测量等级	最弱相邻点边长相对中误差
一等	1/20000	二等	1/100000
三等	1/70000	四等	1/35000

7.2.9 沉管工程平面控制测量的等级不应小于表 7.2.9-1 的规定，管道轴线精度尚应符合表 7.2.9-2 的规定。

表 7.2.9-1 平面控制测量精度要求

跨越水域宽度 L (m)	测量等级
$L \geq 500$	二等
$300 \leq L < 500$	三等
$150 \leq L < 300$	四等
$L < 150$	一等

表 7.2.9-2 管道轴线相对中误差

测量等级	管道轴线相对中误差	测量等级	管道轴线相对中误差
二等	$\leq 1/150000$	四等	1/60000
三等	$\leq 1/100000$	一等	1/40000

7.2.10 高程控制网的等级按《工程测量规范》GB50026 中要求，并不应低于国家三等水准测量，根据工程结构部位的特点及重要性，局部应采用二、三、四等水准加密。

7.2.11 应在场地适当位置建立高程控制基点组，点数不应少于三个，点间距离宜为 50~100 米，应采用 I 等水准测定高程。

7.2.12 高程控制网最弱点高程允许误差为±10mm。

7.2.13 水准测量的限差要求应符合表 7.2.13 的规定。

表 7.2.13 水准测量结果限差

等级	往返较差、附和或环线闭合水准线路允许闭合差（mm）	
	平地	山地
II 等	$4\sqrt{L}$	/
III 等	$12\sqrt{L}$	$4\sqrt{n}$
IV 等	$20\sqrt{L}$	$6\sqrt{n}$

注：L 为往返段、附和或环线的水准路线长度（km）；n 为测站数

7.2.14 测量结束后，应对外业资料进行检查、整理，如果有超限的应按《工程测量规范》GB50026 要求进行补测。外业成果合格后，对结点网和附和水准计算平差。根据平差成果，分析是否达到相应等级规范要求，如果超限，应补测或重新施测。

7.3 基槽开挖

7.3.1 应综合考虑基槽设计、地质条件、水文条件、周边环境、设备资源、纳泥区等因素，选择下列基槽开挖设备和方法：

- 1 对河床土层松软、水流速度小、回淤量小的河流，宜采用绞吸式或吸扬式挖泥船开挖管沟。
- 2 当河床土层为硬土层或卵石层时，可采用抓斗挖泥船或轮斗挖泥船开挖管沟。
- 3 当河床地层为砂土、黏土或夹卵石时，可用拉铲配合其他方法开挖管沟。
- 4 当河床底地层为岩石时，可采用炸礁船爆破成沟进行基槽开挖作业。

7.3.2 基槽开挖的船舶应配备卫星定位系统，如施工点距岸不超过 5km，则应配

备 RTK 定位系统，确保施工平面精度及高程精度满足要求。

7.3.3 水下基槽开挖施工应符合下列规定：

1 基槽底部宽度和边坡应根据工程具体情况进行确定，必要时进行试挖；基槽底部宽度和边坡应符合下列规定：

1) 河床岩土层相对稳定，河水流速度小、回淤量小，且浚挖施工对土层扰动影响较小时，底部宽度可按式 7.3.3 的规定确定，边坡可按表 7.3.3 的规定确定；

$$B \geq D_0 + 2b + 1000 \quad (7.3.3)$$

式中：B——管道基槽底部的开挖宽度（mm）；

D_0 ——管子外径（mm）；

b——管道外壁保护层及沉管附加物等宽度（mm）。

2) 在回淤较大的水域，或河床岩土层不稳定、河水流速度较大时，应根据试挖实测情况确定浚挖成槽尺寸，必要时沉管前应对基槽进行二次清淤；

3) 浚挖基槽底部宽度应按设计要求执行，设计无要求时，基槽底部宽度可按表 7.3.3 的规定进行控制。

表 7.3.3 沉管基槽底部宽度和边坡坡度

岩土类别	底部宽度（mm）	边坡坡度	
		浚挖深度<2.5m	浚挖深度≥2.5m
淤泥、粉砂、细砂	$D_0 + 2b + 2500 \sim 4000$	1: 3.5~4.0	1:5.0~6.0
砂质粉土、中砂、粗砂	$D_0 + 2b + 2000 \sim 4000$	1:3.0~3.5	1:3.5~5.0
砂土、含卵砾石土	$D_0 + 2b + 1800 \sim 3000$	1:2.5~3.0	1:3.0~4.0
黏质粉土	$D_0 + 2b + 1500 \sim 3000$	1:2.0~2.5	1:2.5~3.5
黏土	$D_0 + 2b + 1200 \sim 3000$	1:1.5~2.0	1:2.0~3.0
岩石	$D_0 + 2b + 1200 \sim 2000$	1:0.5	1:1.0

2 基槽浚挖深度应满足设计要求，超挖时应采用砂或砾石填补。

3 基槽经检验合格后应及时进行管基施工和管道沉放。

7.3.4 沉管管基处理应符合下列规定：

1 管道及管道接口的基础，所用材料和结构形式应满足设计要求；

2 基槽整平时可由潜水员或专用刮平装置进行水下粗平和细平；

3 管基顶面高程和宽度应符合设计要求；

4 采用管座、桩基时管座、基础桩位置和顶面高程应符合设计和施工要求。

7.3.5 基槽开挖应与管道铺设工艺衔接紧凑，避免基槽回淤。

7.3.6 当外界条件不宜采用预开沟施工时，可先将管道敷设在预定管轴线上，利用喷射水流等将管道下方和周围的土壤切削、冲刷和扰动，通过水力（气）喷射和排泥设备将土壤（或泥浆）排出，在管道周围及下方形成管沟。

7.4 基槽回填

7.4.1 基槽回填料应满足设计要求，宜采用具备自密实特性的砂、砾石、碎石进行回填。回填应均匀，与管道直接接触部位不得采用片石、块石等大粒径、有尖锐角的坚硬材料，避免损坏管材或管道外涂层。水下部位应连续回填至满槽，水上部位应分层回填夯实。

7.4.2 回填高度应满足设计要求，并满足防止水流冲刷、通航和河道疏浚要求。

7.4.3 当管道铺设于水流湍急的水域，且原表层土为淤泥时，宜考虑在管顶采取覆盖石笼、膜袋混凝土等防冲刷措施。

7.4.4 基槽回填时应在管道两侧对称回填，避免施工期间单侧回填过高推动管道发生轴线偏移。

回填保护层

7.4.5 采用吹填回土时，吹填土质应符合设计要求，取土位置及要求应征得航运管理部门的同意，且不得影响沉管管道。

7.4.6 应及时做好稳管和回填的施工及测量记录。

7.5 质量检验

I 主控项目

7.5.1 沉管基槽中心位置和浚挖深度应符合设计要求；

检查方法：检查施工测量记录、浚挖记录。

7.5.2 沉管基槽处理、管基结构形式应符合设计要求

检查方法：可由潜水员水下检查；检查施工记录、施工资料。

II 一般项目

7.5.3 浚挖成槽后基槽应稳定，沉管前基底回淤量不大于设计和施工方案要求，

基槽边坡符合本规程第 7.3.3 条的规定；

检查方法：检查施工记录、施工技术资料；必要时水下检查。

7.5.4 管基处理所用的工程材料规格、数量等应符合设计要求

检查方法：检查施工记录、施工技术资料。

7.5.5 沉管基槽浚挖及管基处理的允许偏差应符合表 7.5.5 的规定。

表 7.5.5 沉管基槽浚挖及管基处理的允许偏差

检查项目		允许偏差	检查数量		检查方法
			范围	点数	
1	基槽底部高程	土：0， -300	每 5m~ 10m 取个断面	基槽宽度不大于 5m 时测 1 点； 基槽宽度大于 5m 时测不少于 2 点	用单波束、多波束测深仪检查；或用水准仪、全站仪、RTK、钢尺量测定位标志，潜水员检查。
		石：0， -500			
2	整平后基础顶面 高程	压力管道：0， -200		1 点	
		无压管道：0， -100			
3	基槽底部宽度	不小于规定			
4	基槽水平轴线	100			
5	基础宽度	不小于设计要求			
6	整平后基础平整度	砂基础：50	潜水员检查，用刮平尺量测		
		砾石基础：150			

I 主控项目

7.5.6 稳管、管基二次处理、回填时所用的材料应符合设计要求；

检查方法：观察；检查材料相关的质量保证资料。

7.5.7 稳管、管基二次处理、回填应符合设计要求，管道未发生漂浮和位移现象；

检查方法：观察；检查稳管、管基二次处理、回填施工记录。

II 一般项目

7.5.8 管道未受外力影响而发生变化。

检查方法：观察。

7.5.9 二次处理后管基承载力符合设计要求；

检查方法：检查二次处理检验报告及记录。

7.5.10 基槽回填应两侧均匀，管顶回填高度符合设计要求

检查方法：观察，用水准仪或测深仪每 10m 测 1 点检测回填高度；检查回填施工、检测记录。

8 水面浮运法施工

8.1 一般规定

8.1.1 水文和气象变化相对稳定，水流速度不大于 0.5m/s 时，可采用水面浮运法施工。

8.1.2 管段制作场地的选择，应根据设计的管线位置、长度、直径、管材，结合地形地貌等现场条件，应设在便于溜（吊）放下水、管节运输和组对拼装的位置。

8.1.3 管节（段）吊运应符合下列规定：

1 吊装设备、吊点位置的选择应根据施工条件通过计算确定，安装与使用应符合起重吊装及有关安全操作技术规定；

2 吊点、牵引点位置应设置管段保护装置，起吊缆绳不应直接捆绑在管壁上；

3 利用河道进行船吊起重作业时应遵守当地河道管理部门的有关规定，确保水上作业和航运的安全。

8.1.4 当管段重量等于或大于浮力时，可采用加刚性浮筒或柔性浮块的方法进行浮拖。

8.1.5 在管段下水、浮运、沉放过程中，应采取措施防止管段产生超过允许轴向扭曲、环向变形、纵向弯曲，并避免外力损伤。

8.1.6 施工中应根据设计要求、现场情况及施工能力选择下列浮运方式：

1 整体组对接拼装、整体浮运、整体沉放；

2 分段组对接拼装、分段浮运，管段间接口在水上连接后整体沉放；

3 分段组对接拼装、分段浮运，沉放后管段间接口在水下连接。

8.1.7 沉放方式应结合管段长度、直径、纵断面形状、水深和施工机具等情况选择下列沉放方式：

1 垂直划弧漂管下沉：当管段纵断面为折线（倒虹吸）时，应选择垂直划弧漂管下沉；

2 直线漂管下沉：当管段纵断面为直线时，可采用一端先下沉或弹性敷设下沉。

8.1.8 利用管道自身弹性能力进行沉管铺设时,管道及管道接口应满足相应的力学性能要求。

8.1.9 应做好注水量、吊力、沉放量、管位测量等沉管记录。

8.2 浮运施工

8.2.1 水面浮运法施工前,组对拼装管道下水浮运时,应符合下列规定:

- 1 管段溜(吊)放下水作业时,可采用起重吊装、专用发送装置、牵引拖管、滑移滚管等方法下水,潮汐水流段可利用潮汐水位差下水;
- 2 下水前,管段两端管口应封堵:采用堵板封堵时,应在堵板上设置进水管、排气管和阀门;
- 3 管段溜(吊)放下水、浮运、拖运作业时,应采取防止管段防腐层损伤的措施,局部损坏时应及时修补;
- 4 管段浮运时,浮运所承受浮力不足以使管段漂浮时,可在两旁采用系结刚性浮筒、柔性浮囊或捆绑竹、木材等助浮措施;管段浮运应实时测量定位;
- 5 管段采用起重浮吊吊装时,应根据计算选择吊点,并应进行吊装应力与变形验算;
- 6 应按水平划弧要求,做好河床和堤脚的浚挖。

8.2.2 管段浮运至沉放位置时,在沉放前应做好下列准备工作:

- 1 管段沉放定位标志已按规定设置;
- 2 基槽浚挖及管基处理应满足设计要求;
- 3 管段和工作船缆绳绑扎牢固,船舶锚泊应稳定;
- 4 起重设备布置及安装完毕,试运转良好;
- 5 灌水设备及排气阀门应齐全完好;
- 6 采用压重助沉时,压重装置应安装准确、稳固;
- 7 潜水员应做好下水准备。

8.2.3 管段水上连接接口时,应符合下列规定:

- 1 两连接管段接口的外形尺寸、坡口、组对、焊接检验等应符合钢管组对、焊接、补口及检验中的有关规定和设计要求;
- 2 在浮箱或船上进行接口连接时,应将浮箱或船舶锚泊固定,并应设置专用

的管段扶正、对中装置；

3 采用浮箱连接时，浮箱可采用钢板焊制而成，接口连接的作业空间应满足操作要求，并应防止进水；沿管道轴线方向应设置与管径匹配的弧形管托，且止水严密；浮箱底部可焊钢管短节作集水井；浮箱及进水、排水装置安装、运行可靠，并由专人指挥操作；

4 管道接口完成后应按设计要求进行防腐处理。

8.2.4 管段水下连接接口时，应符合下列规定：

1 管段水下接口连接形式应满足设计要求，沉放前连接面及连接件应经检查合格；

2 采用管夹抱锥连接时，管夹下半部分可在管段沉放前，由潜水员固定在接口管座上或安装在先行沉放管段的下部；管段沉放就位后，将管夹上半部分与下半部分对合，并由潜水员进行水下螺栓安装固定；

3 采用法兰连接时，两分段管道沉放就位后，法兰螺栓应全部穿入。并由潜水员进行水下螺栓安装固定；

4 管夹与管道外壁、法兰表面的止水密封圈应设置正确。

8.2.5 管段沉放应符合下列规定：

1 利用两岸设置的吊装设备，将管段吊正并准确定位。开始注水前，应将管段两端点提高 30cm～50cm；

2 管段注水时，应同时做好排气，注水应缓慢、适量，排气应通畅。应设置计量水表，用注水量控制管段的沉放量；

3 管段注水下沉过程中，应严格控制各吊点的沉放速度，管段应整体均匀、缓慢下沉；

4 注水下沉过程中如发生牵引绳不稳固等情况，应立即停止注水，待检查修整后再继续注水下沉；

5 采用垂直划弧漂管下沉时，应保持管道水平段的水平状态，使其同步沉放于基槽内；采用垂直划弧漂浮下沉时，应控制注水量，有效控制管段两侧斜管段的空管长度；

6 采用一端先下沉的直线漂浮下沉时，开始注水前可将管道一端先下压 20cm～30cm，使注入的水向此端集中，逐步沉放至槽底；

7 管段沉入槽底后，两岸设置的起重设备不应立即放松，待管段稳固后方可

卸载并撤走。

8.2.6 采用一端先下沉的直线漂浮下沉时，管段应按下列公式验算：

1) a 段最大弯曲应力可按下列公式计算：

$$\sigma_{\alpha}=D_0\varphi_{\alpha}\sqrt{\frac{3Ehw}{8I}}<[\sigma] \quad (8.2.6-1)$$

$$\varphi_{\alpha}=\frac{2(n-1)}{n(n+2)} \quad (8.2.6-2)$$

$$\frac{p-2-3n+n^3}{q-3n-2} \quad (8.2.6-3)$$

式中：

σ_{α} —— a段最大弯曲应力 (kPa)

φ_{α} —— 系数，按式 (8.2.6-2) 计算

E—— 管材的弹性模量 (kPa)

h—— 沉没深度 (m)

D_0 —— 管外径 (m)

I—— 管道的截面惯性矩 (m^4)

w—— 单位长度管内水的重量 (kN)

$[\sigma]$ —— 钢材的许用应力 (kPa)

n—— 系数，按式 (8.2.6-3) 计算

p—— 单位长度满水管在水中的重量 (kN)，等于单位长度管的自重加上管内水的自重减去所受浮力

q—— 单位长度空管在水中的重量 (kN)，等于单位长度空管所受浮力减去管的自重

2) b 段最大弯曲应力可按下列公式计算：

$$\sigma_b=D_0\varphi_{\alpha}\sqrt{\frac{3Ehw}{8I}}<[\sigma] \quad (8.2.6-4)$$

$$\varphi_b=\frac{-2(n-1)}{n(3n+2)} \quad (8.2.6-5)$$

式中：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/958077141055006035>