

中国工程建设协会标准

给水排水工程顶管技术规程

Technical specification for pipe jacking of water supply and sewerage engineering

CECS 246: 2008

主编单位: 上海市政工程设计研究总院

批准单位: 中国工程建设标准化协会

施行日期: 2008年10月1日

中国工程建设标准化协会公告

第27号

关于发布《给水排水工程顶管技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会[2000]建标协字第15号文《关于印发中国工程建设标准化协会2000年第一批标准制、修订项目计划的通知》的要求,由上海市政工程设计研究总院等单位编制的《给水排水工程顶管技术规程》,经管道结构专业委员会组织审查,现批准发布,编号为CECS 246: 2008,自2008年10月1日起施行。

中国工程建设标准化协会
二〇〇八年七月一日

前 言

根据中国工程建设标准化协会(2000)建标字第15号《关于印发中国工程建设标准化协会2000年第一批推荐性标准制、修订计划的通知》要求,制定本规程。

本规程系根据国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068和《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153规定的原则,采用以概率理论为基础的极限状态设计方法编制,并与有关的结构专业设计规范协调一致。

顶管工程在工程建设中运用十分广泛,制定一个科学、完整的具有可操作性的涵盖勘察、设计、材料和施工、验收的规程十分必要。在本规程编制过程中,进行了大量的调研和分析论证,总结了我国顶管的工程实践经验,同时参照国外相关理论和规范,并广泛征求了有关设计和施工单位意见。

本规程共13章,3个附录,包括总则、术语和符号、顶管工程勘察规定,顶管设计规定,顶管施工,顶管施工监测及验收标准等内容。

根据国家计委标[1986]1649号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,推荐给工程建设、设计、施工、使用单位及工程技术人员采用。

本规程由中国工程建设标准化协会管道结构专业委员会CECS/TC17(北京西直门北大街32号3号楼,北京市市政工程设计研究总院,邮编:100082)归口管理,由上海市政工程设计研究总院(上海市中山北二路901号,邮编:200092)负责解释。在使用中如发现需要修改或补充之处,请将意见和资料寄交解释单位。

主编单位: 上海市政工程设计研究总院

参编单位: 上海建通工程建设有限公司

扬州广鑫机械有限公司

上海市基础工程公司管道分公司

新疆永昌积水复合材料有限公司

上海耀华玻璃钢有限公司

浙江东方豪博管业有限公司

主要起草人: 葛春辉 王承德 余彬泉 彭夏军 黄金枝 张道广 汤伟 王荣文 王广平 王恒栋 王大龄 周质炎 沙竺 舒亚俐 彭雪燕 姜春辉 周强 沙垣 王伯华

中国工程建设标准化协会

2008年7月1日

1 总 则

1. 0. 1 为了在给水处理工程顶管工程中贯彻国家的技术经济政策, 力求做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量, 制定本规程。

1. 0. 2 本规程主要适用于DN800以上使用顶管机顶进的给水排水工程顶管工程的设计、施工和验收, 小直径顶管工程和非给水排水工程的顶管工程也可参照使用。

1. 0. 3 本规程系根据《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068、《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153及《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332规定的原则制定。符号、计量单位和基本术语按照《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083的规定采用。

1. 0. 4 执行本规程设计时, 材料和施工质量等应符合《钢结构设计规范》GB 50017、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332、《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238、《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》JC/T 640、《给水排水工程埋地纤维增强塑料夹砂管管道结构设计规程》CECS 190、《橡胶密封件给、排水管及污水管道用接口密封圈材料规范》HG/T 3091、《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268等有关标准要求。

1. 0. 5 对于拟建在地震区、冻土地区、湿陷性黄土地区及膨胀土地区的顶管工程, 应符合国家现行的有关标准规范的规定。

1. 0. 6 给水排水工程顶管工程的勘察设计、施工和验收, 除应符合本规程外, 尚应符合国家现行的有关标准规范的规定。

2 术语和符号

2. 1 术 语

2. 1. 1 顶管 pipe jacking

借助顶推装置, 将管道在地下逐节顶进的非开挖施工技术。

2. 1. 2 小直径顶管 smaller diameter pipe jacking(microtunneling)

不宜进入或无法进入作业的内径小于800mm的顶管。

2. 1. 3 长距离顶管 long distance pipe jacking

一次连续顶进长度400m以上并设置中继间的顶管。

2. 1. 4 超长距离顶管 super long distance pipe jacking

一次连续顶进长度过1000m以上的长距离顶管。

2. 1. 5 中继间 intermediate jacking station

为控制最大顶力而设置在管道中间的续顶机构。

2. 1. 6 工作井 starting shaft

顶管始发端放置顶进设备并进行顶进作业的竖井。

2. 1. 7 深工作井 starting shaft for the depth over 10m

指井底离地面的高度超过10m的工作井。

2. 1. 8 接收井 arriving shaft

顶管终端接受顶管机的竖井。

2. 1. 9 曲线顶管 curvilinear pipe jacking

轴线在水平方向或垂直方向呈曲线变化的顶管。

2. 1. 10 顶管机 jacking machine

安装在顶进管道最前端的, 用于掘进、防坍、出泥和导向等的顶管机构。

2. 1. 11 主顶站 main jacking station

设置在工作井内并向顶进管道尾端施加推力的机构。

2. 1. 12 导轨 guide track

固定在工作井底板上, 作为顶管初始导向和管段拼接平台用的轨道。

2. 1. 13 穿墙孔 passage hole for pipe jacking

顶管机从工作井穿墙入土的墙洞。

2. 1. 14 接收孔 arriving hole for pipe jacking

顶管机从土中穿入接收井的孔洞。

2. 1. 15 不稳定土 nonstabilized soil

指饱和、松散的粉细砂、淤泥、淤泥质土、干燥的松砂土及膨胀土、湿陷性黄土等。

2. 1. 16 反力墙(后座墙) reaction wall

工作井中承受顶力的墙体。

2. 1. 17 后座 jacking base

安装在主油缸与反力墙之间, 用于扩大反力墙承力面积的支承件。

2 术语和符号

2. 1 术 语

2. 1. 1 顶管 pipe jacking

借助顶推装置, 将管道在地下逐节顶进的非开挖施工技术。

2. 1. 2 小直径顶管 smaller diameter pipe jacking(microtunneling)

不宜进入或无法进入作业的内径小于800mm的顶管。

2. 1. 3 长距离顶管 long distance pipe jacking

一次连续顶进长度400m以上并设置中继间的顶管。

2. 1. 4 超长距离顶管 super long distance pipe jacking

一次连续顶进长度过1000m以上的长距离顶管。

2. 1. 5 中继间 intermediate jacking station

为控制最大顶力而设置在管道中间的续顶机构。

2. 1. 6 工作井 starting shaft

顶管始发端放置顶进设备并进行顶进作业的竖井。

2. 1. 7 深工作井 starting shaft for the depth over 10m

指井底离地面的高度超过10m的工作井。

2. 1. 8 接收井 arriving shaft

顶管终端接受顶管机的竖井。

2. 1. 9 曲线顶管 curvilinear pipe jacking

轴线在水平方向或垂直方向呈曲线变化的顶管。

2. 1. 10 顶管机 jacking machine

安装在顶进管道最前端的, 用于掘进、防坍、出泥和导向等的顶管机构。

2. 1. 11 主顶站 main jacking station

设置在工作井内并向顶进管道尾端施加推力的机构。

2. 1. 12 导轨 guide track

固定在工作井底板上, 作为顶管初始导向和管段拼接平台用的轨道。

2. 1. 13 穿墙孔 passage hole for pipe jacking

顶管机从工作井穿墙入土的墙洞。

2. 1. 14 接收孔 arriving hole for pipe jacking

顶管机从土中穿入接收井的孔洞。

2. 1. 15 不稳定土 nonstabilized soil

指饱和、松散的粉细砂、淤泥、淤泥质土、干燥的松砂土及膨胀土、湿陷性黄土等。

2. 1. 16 反力墙(后座墙) reaction wall

工作井中承受顶力的墙体。

2. 1. 17 后座 jacking base

安装在主油缸与反力墙之间, 用于扩大反力墙承力面积的支承件。

2. 2 主要符号

2. 2. 1 管道结构上的作用和作用效应

F_{di} ——顶力作用设计值;

F_{d0} ——顶力偏心时管道传力面承受的最大顶力设计值;

$F_{sv \cdot k1}$ ——管顶覆土小于1倍管径或覆土皆为淤泥时, 管顶上部竖向土压力标准值;

$F_{sv \cdot k2}$ ——管拱背部竖向土压力标准值;

$F_{sv \cdot k3}$ ——管顶覆土较深时的竖向土压力标准值;

F_{tk} ——温度作用标准值;

F_{wk} ——管道的工作内水压力标准值;

R ——材料抗力设计值;

S ——作用效应组合值。

2. 2. 2 土及管材性能

C ——土的粘聚力;

E_p ——管材弹性模量;

E_d ——管侧土的综合变形模量;

f ——材料抗拉强度;

f_c ——材料抗压强度;

f_d ——地基承载力特征值;

SN ——玻璃纤维增强塑料夹砂管刚度等级;

γ_s ——土的重度;

γ ——管材重度;

ϕ ——土的内摩擦角。

2. 2. 3 几何参数

A_p ——当管节间无脱离时, 木垫圈与管道的接触面积;

B_t ——竖向土压力传至管顶的影响宽度;

D ——管道内径;

D_0 ——管道中心直径;

D_1 ——管道外径;
 DN ——管道公称直径;
 H_s ——管顶覆土厚度;
 H_w ——地下水位深度;
 t ——管壁设计厚度。

2. 2. 4 设计系数

K_a ——主动土压力系数;
 φ_c ——可变荷载组合系数;
 ϕ_1 ——承受顶力的受压强度折减系数;
 ϕ_2 ——偏心受压最大压应力提高系数;
 ϕ_3 ——材料脆性系数;
 ϕ_4 ——钢管顶管稳定系数;
 ϕ_5 ——混凝土强度标准调正系数。

3 顶管工程勘察规定

3. 1 一般规定

3. 1. 1 顶管工程勘察时, 应查明沿线各地段的地质、地貌、地层结构特征、各类土层的性质、空间分布。
3. 1. 2 当顶管工程地段有暗埋的河、湖、沟、坑时, 应查明分布范围、埋置深度, 提供覆盖层的工程地质特性。
3. 1. 3 应查明沿线各地段可能产生潜蚀、流沙、管涌和地震液化地层的分布范围、埋深、厚度及其工程地质特性。
3. 1. 4 当有地下障碍物时, 应查明地下障碍物及邻近地段地下埋设物的分布范围、埋置深度和特性。
3. 1. 5 当顶管管线范围内存在对人有害气体和其他有害物质时, 应查明分布位置。
3. 1. 6 当在化工区内顶管时, 应查明地下受工业污染的程度和分布范围。

3 顶管工程勘察规定

3. 1 一般规定

3. 1. 1 顶管工程勘察时, 应查明沿线各地段的地质、地貌、地层结构特征、各类土层的性质、空间分布。
3. 1. 2 当顶管工程地段有暗埋的河、湖、沟、坑时, 应查明分布范围、埋置深度, 提供覆盖层的工程地质特性。

3. 1. 3 应查明沿线各地段可能产生潜蚀、流沙、管涌和地震液化地层的分布范围、埋深、厚度及其工程地质特性。

3. 1. 4 当有地下障碍物时, 应查明地下障碍物及邻近地段地下埋设物的分布范围、埋置深度和特性。

3. 1. 5 当顶管管线范围内存在对人有害气体和其他有害物质时, 应查明分布位置。

3. 1. 6 当在化工区内顶管时, 应查明地下受工业污染的程度和分布范围。

3. 2 地下水勘察

3. 2. 1 当进行地下水勘察时, 应调查地下水历史上的最高水位和最低水位。

3. 2. 2 在有地下水地区, 应测定地下水的水温随深度的变化; 无地下水时应测定土体温度随埋深的变化。

3. 2. 3 在地下水有污染的场地, 应测定地下水的pH值、氯离子、钙离子和硫酸根离子等的含量以及对混凝土、钢、铸铁及橡胶的腐蚀程度。

3. 2. 4 当地下有承压水分布时, 应测定承压水的压力, 并评价对顶管施工的影响。

3. 3 布孔要求

3. 3. 1 顶管勘探孔应布置在管道设计轴线的两侧, 陆上各10m、水上各20m范围内, 但不宜布置在顶管管体范围。管道穿越小河道或主要道路时, 应在河道两岸和道路两侧及绿化带内布置勘探孔。

3. 3. 2 矩形工作井和接收井勘探孔应布置在四角, 圆形井勘探孔沿周边均匀布置。

3. 3. 3 顶管勘察的勘探孔间距应符合表3. 3. 3的规定。

表3. 3. 3 顶管勘察勘探孔间距 (m)

场地类别	I 类场地	II 类场地	III 类场地
勘探孔间距	30~50	50~100	100~150

在管道穿越暗埋的河、湖、沟、坑地段和可能产生流沙及地震液化的地段, 勘探孔应适当予以加密。

在管道穿越铁道、公路和河谷的地段, 勘探孔间距以能控制地层土质变化为原则, 宜采用30~100m, 但在穿越铁道、公路地段时, 不宜少于2个勘探孔; 在穿越河谷的地段时, 不应少于3个勘探孔。

3. 3. 4 工作井和接收井勘探孔的间距不宜超过30m。孔的数量不宜少于2个。

3. 3. 5 顶管的勘探孔深度在一般情况下应达到管底设计标高以下3~5m; 遇有下列情况之一时, 应

适当增加勘探孔深度:

- 1 当管道穿越河道时, 勘探孔深度应达到河床最大冲刷深度以下4~6m, 并应满足管底勘探深度要求。
- 2 当基底下存在松软土层或未经固结的回填土时, 勘探孔深度应适当增加。
- 3 当基底下存在可能产生流沙、潜蚀、管涌或地震液化地层时, 应予以钻穿。
- 4 当采取降低地下水位施工时, 勘探孔深度应钻至管底以下5~10m。
- 5 当已有资料证明, 或勘探过程中发现粘性土层下存在承压含水层, 且其水压较大, 需要降水施工时, 勘探孔应适当加深, 并应测量其水压。

3. 3. 6 工作井和接收井的勘探孔深度可取井底下5m, 特殊情况应适当加深。

3. 4 勘察报告

3. 4. 1 勘察报告由文字和图表构成, 应满足相应设计阶段的技术要求。工程地质条件简单和勘察工作量小的工程, 可适当简化勘察报告的内容。

3. 4. 2 初步勘察报告, 应阐述场地工程地质条件、评价场地稳定性和适应性, 为合理确定平面布置、选择顶进标高, 防治不良地质现象提供依据。

3. 4. 3 详细勘察报告, 应提供顶管段和工作井、接收井设计和施工所需的各土层物理力学性质设计参数, 以及地下水 and 环境资料, 并作出针对性的分析评价、结论和建议。

3. 4. 4 施工勘察报告, 应满足设计、施工的具体要求, 提供相应的资料, 并作出结论和建议。

3. 4. 5 勘察报告文字部分应包括下列内容:

- 1 勘察目的和任务要求;
- 2 拟建顶管工程的基本特性;
- 3 勘察方法和工作布置说明;
- 4 场地地形、地质(地层、地质构造)、地貌、岩土性质、地下水及不良地质现象的阐述和评价;
- 5 地基与斜坡上土的稳定性评价;
- 6 岩土参数的分析及选用;
- 7 建议地基处理方案;
- 8 工程施工及使用期间可能发生的岩土工程问题的预测及监控、防治措施的建议; 有关顶管工程设计及施工措施的建议。

3. 4. 6 勘察报告图表部分应包括以下内容:

- 1 勘探点平面布置图;
- 2 工程地质柱状图;
- 3 工程地质剖面图;
- 4 原位测试成果图表;
- 5 室内试验成果图表;
- 6 岩土工程计算简图及计算成果图表;
- 7 建议地基处理方案的图表。

必要时, 可附特殊性岩土分布图、综合工程地质图, 或工程地质分区(段)图、地下水等水位线

图、素描及照片等。

3.5 提供岩土物理力学指标的基本要求

3.5.1 岩石和土的物理力学性质指标,应按工程地质区(段)及层位分别统计,当同层土指标差别较大时,应进一步划分土质单元,并分别进行统计。

3.5.2 在勘察报告中,应提供岩土参数的平均值、最大值、最小值、子样数、均方差和变异系数。

3.5.3 土层物理力学性质参数表必须具有下列内容:土的颗粒分析、密实度、垂直和水平渗透系数、粘聚力、内摩擦角、土与混凝土、钢和玻璃钢等材料的摩擦系数、土的变形模量、泊桑比、地基承载力及其他必需的常规参数。

4 管材选用及管件构造要求

4.1 管材选用

4.1.1 顶管材质应根据管道用途、管材特性及当地具体情况确定。

4.1.2 给水工程管道宜选用钢管或玻璃纤维增强塑料夹砂管。

4.1.3 排水工程管道宜选用玻璃纤维增强塑料夹砂管或钢筋混凝土管。

4.1.4 输送腐蚀性水体及管外水土有腐蚀性时,应优先选用玻璃纤维增强塑料夹砂管。

4 管材选用及管件构造要求

4.1 管材选用

4.1.1 顶管材质应根据管道用途、管材特性及当地具体情况确定。

4.1.2 给水工程管道宜选用钢管或玻璃纤维增强塑料夹砂管。

4.1.3 排水工程管道宜选用玻璃纤维增强塑料夹砂管或钢筋混凝土管。

4.1.4 输送腐蚀性水体及管外水土有腐蚀性时,应优先选用玻璃纤维增强塑料夹砂管。

4.2 钢管

4.2.1 顶管用钢材宜选用Q235B。

4.2.2 顶管钢材的规格和性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700的要求。

4.2.3 管壁厚度应采用计算厚度加腐蚀量厚度,腐蚀量厚度应根据使用年限及环境条件确定,且不应小于2 mm。钢管年腐蚀量标准可按表4.2.3确定。

表4. 2. 3 钢管年腐蚀量(单面)标准

腐蚀环境	低于地下水位区		地下水位变化区		高于地下水位区
	海水	淡水	海水	淡水	
腐蚀量(mm/年)	0.03	0.02	0.06	0.04	0.03

4. 2. 4 卷制钢管的长度一般为钢板宽度, 同一横断面内宜采用一条纵向焊缝。若采用两条纵向焊缝, 对大直径管焊缝间距应大于300mm; 小直径管纵向焊缝间距应大于100mm。

4. 2. 5 卷制钢管接长时, 管口对接应平整, 当采用300mm的直尺在接口外纵向贴靠检查时, 相邻管壁的错位允许偏差为0. 2倍壁厚, 且不大于2mm。相邻管段对接时, 纵向焊缝位置错开的距离应大于300mm。

4. 2. 6 下井管段的长度应为卷制管段的倍数。管段长度不宜小于6m, 长距离顶管管段长度可适当增长。

4. 2. 7 下井管件几何尺寸的制作允许偏差应符合表4. 2. 7的规定:

表4. 2. 7 钢管管件几何尺寸允许偏差(mm)

项 目	允许偏差	
周长	$D_1 \leq 600$	± 2.0
	$D_1 > 600$	$\pm 0.0033D_1$
椭圆度	管端部位 $0.005D_1$; 其他部位 $0.01D_1$	
端面垂直度	$0.001D_1$, 且不应大于 1.5	
弧度	用弧长 $\pi \cdot D_1/6$ 的弧形板量测于管内壁或外壁纵缝处形成的间隙, 其间隙不大于 $0.1t+2$, 且不大于 4; 距管端 200mm 纵缝处的间隙不应大于 2	

注: 1 D_1 为管道外径(mm), t 为壁厚(mm);

2 椭圆度为同一横剖面上互相垂直的最大直径与最小直径之差。

4. 2. 8 小直径管道焊缝宜采用V形坡口, 大直径管道宜采用K形坡口。不论采用何种坡口形式, 同顶铁的接触面应为坡口的平端。

4. 2. 9 钢管焊缝质量检验, 非压力管不应低于焊缝质量分级的III级标准; 压力管不应低于焊缝质量分级的II级标准。

4. 2. 10 钢管内外应做防腐处理。下井管段两端各100mm范围应在井下焊缝检查合格后再涂快干型涂料防腐。给水管道的内壁防腐可采用涂料或水泥砂浆, 所用防腐涂料应具有相应的卫生检验合格证书。管道的外壁防腐可采用环氧玻璃鳞片或环氧沥青。

4. 2. 11 水泥砂浆内防腐层厚度可根据钢管直径在15~20mm范围内选择。水泥砂浆内宜掺入无毒纤维材料, 加强抗裂性能, 水泥砂浆的抗压强度标准值不应小于 30N/mm^2 。

4. 2. 12 当顶管两端设有工作井和接收井, 并且管道长度在100m以上时, 两井中应有一口井的穿墙管可让管道伸缩; 长度超过600m时, 两井墙的穿墙管、接收孔均应让管道伸缩; 长度超过1000m时, 每500m宜设一只伸缩接头。

4. 2. 13 钢管与工作井、接收井的井墙均采用刚性连接时, 必须验算温差作用下的井墙受力和管道的连接强度。

4. 3 钢筋混凝土管

4. 3. 1 钢筋混凝土顶管的混凝土强度等级不宜低于C50, 抗渗等级不应低于S8。

4. 3. 2 当地下水或管内贮水对混凝土和钢筋具有腐蚀性时, 应对钢筋混凝土管内外壁做相应的防腐处理。

4. 3. 3 混凝土骨料的碱含量最大值应符合现行协会标准《混凝土碱含量限值标准》CECS 53的规定, 在含碱环境中使用时应选用非活性骨料。

4. 3. 4 采用外加剂时应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119的规定。

4. 3. 5 钢筋应选用HPB 235、HRB 335和HRB 400钢筋, 宜优先选用变形钢筋。

4. 3. 6 混凝土及钢筋的力学性能指标, 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定采用。

4. 3. 7 钢筋混凝土顶管管节长度应根据使用条件和起吊能力确定。

4. 3. 8 钢筋混凝土管管节几何尺寸制作允许误差应符合现行行业标准《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》JC/T 640的规定。

4. 3. 9 混凝土管接头可按下列原则选用:

- 1 混凝土管接头宜使用钢承口和双插口接头(见图4. 3. 9-1、图4. 3. 9-2)。
- 2 双插口管接头应使用钢套环或不锈钢套环。
- 3 应优先选用钢承口接头。
- 4 接头的允许偏转角应大于 0.5° 。

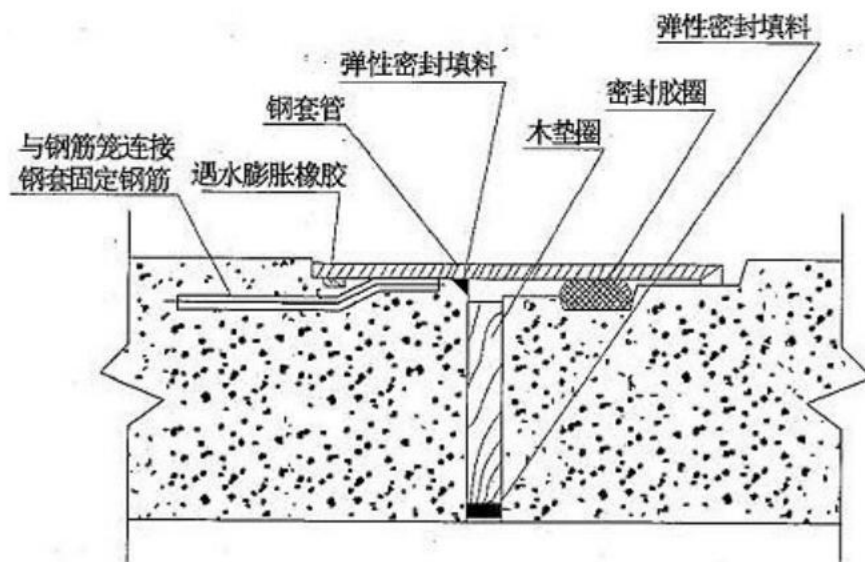


图4. 3. 9-1 钢承口接头

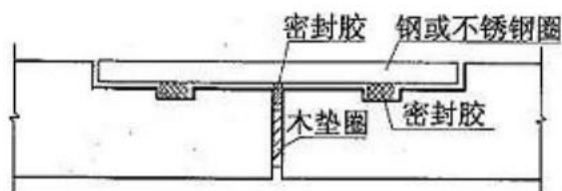


图4. 3. 9-2 双插口接头

4. 3. 10 混凝土管传力面上均应设置环形木垫圈，并用胶粘剂粘在传力面上。

4. 3. 11 钢承口接头的钢套管与混凝土的接缝应采用弹性密封填料勾缝。

4. 3. 12 接头钢套管必须有良好的防腐措施。

4. 4 玻璃纤维增强塑料夹砂管

4. 4. 1 玻璃纤维增强塑料夹砂管质量应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238 的要求。

4. 4. 2 缠绕管管体受压设计强度不应小于75MPa，管端受压设计强度不应小于105MPa；离心管管体受压设计强度不应小于90MPa。

4. 4. 3 顶管的刚度等级不应小于15000Pa。

4. 4. 4 玻璃纤维增强塑料夹砂管接头，包括无内水压顶管接头(见图4. 4. 4-1)、有内水压顶管接头(见图4. 4. 4-2、图4. 4. 4-3)、承插口接头(见图4. 4. 4-3)，可使用双插口接头或承插口接头。



图4.4.4-1 无内水压双插口接头

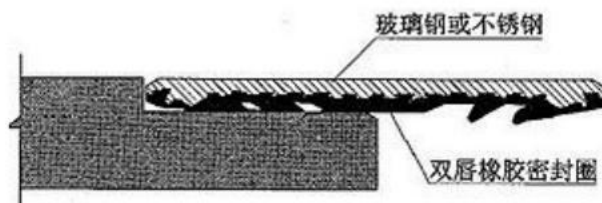


图4.4.4-2 有内水压双插口接头

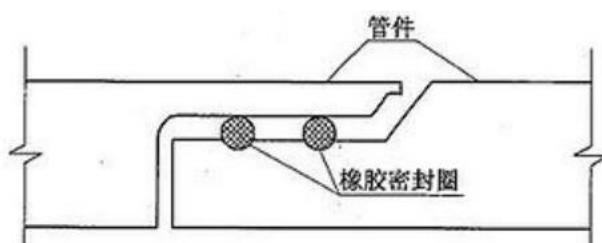


图4.4.4-3 有内水压承插口接头

4.4.5 玻璃纤维增强塑料夹砂管可不做防腐处理。

4.4.6 管道内表面应光滑、无缺陷和损伤。管道外表面平直度应小于3mm。顶管段长度由设计确定，一般不宜超过6m。

4.4.7 管道长度允许误差应符合表4.4.7的规定。

表4.4.7 管道长度允许误差(mm)

管道长度	2500	3000	4000	6000
允许误差	±12	±15	±20	±30

4.4.8 管径允许误差应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238的规定。

4.4.9 管端垂直度误差应符合表4.4.9的规定。

表4.4.9 管端垂直度允许误差(mm)

公称直径 DN	管端垂直度偏差
$800 \leq DN < 1600$	≤ 2.0
$DN \geq 1600$	≤ 2.5

4. 4. 10 用于输送饮用水的顶管, 管内涂层树脂必须达到食品级标准。

4. 4. 11 双插口接头的玻璃纤维增强塑料夹砂管在顶进时, 应在与顶铁及中继间接触面加设木垫圈; 承插式接头的玻璃纤维增强塑料夹砂管在顶进时, 应在每根管节头处加设木垫圈。

4. 5 橡胶密封圈

4. 5. 1 无压排水管接头用的橡胶密封圈可使用单胶圈。

4. 5. 2 有压水管接头用橡胶密封圈应使用双胶圈。

4. 5. 3 双插口管接头的密封圈宜采用L形、齿形及半圆半方形密封圈。密封圈材料应符合现行行业标准《橡胶密封件给、排水管及污水管道用接口密封圈材料规范》HG/T 3091的要求。

4. 5. 4 接头用的密封圈在遇有含油地下水的地方, 宜选用丁腈橡胶; 在含有弱酸弱碱地下水时宜选用氯丁橡胶; 遇霉菌侵蚀时宜选用防霉等级达二级及二级以上的橡胶; 在平均气温低的地方, 宜选用三元乙丙橡胶。

4. 6 木垫圈

4. 6. 1 木垫圈应选用质地均匀富有弹性的松木、杉木或胶合板。

4. 6. 2 木垫圈的压缩模量不应大于140MPa。

4. 6. 3 木垫圈厚度通常为10~30mm。木垫圈厚度应根据管道直径和曲率半径确定。

4. 6. 4 混凝土管木垫圈外径应与橡胶密封圈槽口齐平, 内径应比管道内径大20mm。

4. 6. 5 玻璃纤维增强塑料夹砂管木垫圈应等于接头的最小外径, 内径宜比管道内径大2mm。

5 顶管设计规定

5. 1 顶管管位选择

5. 1. 1 顶管位置应避开地下障碍物。

5. 1. 2 顶管管线不应在活动性地震断裂带通过。

5. 1. 3 顶管穿越河道时的埋置深度, 应满足河道的规划要求, 并应布置在河床的冲刷线以下。

5 顶管设计规定

5. 1 顶管管位选择

5. 1. 1 顶管位置应避开地下障碍物。

5. 1. 2 顶管管线不应在活动性地震断裂带通过。

5. 1. 3 顶管穿越河道时的埋置深度, 应满足河道的规划要求, 并应布置在河床的冲刷线以下。

5. 2 顶进土层选择

5. 2. 1 顶管可在淤泥质粘土、粘土、粉土及砂土中顶进。

5. 2. 2 下列情况不宜采用顶管施工:

- 1 土体承载力 f_d 小于30kPa。
- 2 岩体强度大于15MPa。
- 3 土层中砾石含量大于30%或粒径大于200mm的砾石含量大于5%。
- 4 江河中覆土层渗透系数 K 大于或等于 10^{-2}cm/s 。

5. 2. 3 长距离顶管不宜在土层软硬明显的界面上顶进。

5. 3 顶管间距

5. 3. 1 互相平行的管道水平净距应根据土层性质、管道直径和管道埋置深度等因素确定, 一般情况下宜大于1倍的管道外径。

5. 3. 2 空间交叉管道的净间距, 钢管不宜小于0. 5倍管道外径, 且不应小于1. 0m; 钢筋混凝土管和玻璃纤维增强塑料夹砂管不宜小于1倍管道外径, 且不应小于2m。

5. 3. 3 顶管底与建筑物基础底面相平时, 直径小于1. 5m的管道宜保持2倍管径净距; 直径大于1. 5m的管道宜保持3m净距。

5. 3. 4 顶管底低于建筑基础底标高时, 顶管间距除应满足本规程第5. 3. 3条要求外, 尚应考虑基底土体稳定。

5. 4 管顶覆盖层厚度

5. 4. 1 管顶覆盖层厚度在不稳定土层中宜大于管道外径的1. 5倍, 并应大于1. 5m。

5. 4. 2 穿越江河水底时, 覆盖层最小厚度不宜小于外径的1. 5倍, 且不宜小于2. 5m。

5. 4. 3 在有地下水地区及穿越江河时, 管顶覆盖层的厚度尚应满足管道抗浮要求。

5. 5 曲线顶管

5. 5. 1 设有中继间的曲线顶管最小管径不宜小于DN1400。

5. 5. 2 曲线顶管宜选用较短的管节。

5. 5. 3 曲率半径小的曲线顶管应选用较厚的和弹性模量较小的木垫圈。

5. 5. 4 预制管节顶管的曲率半径应按下列条件估算：

1 当传力面一侧压应力为零，另一侧压应力为最大的受力模式时，可按下式估算(见图5. 5. 4-1)：

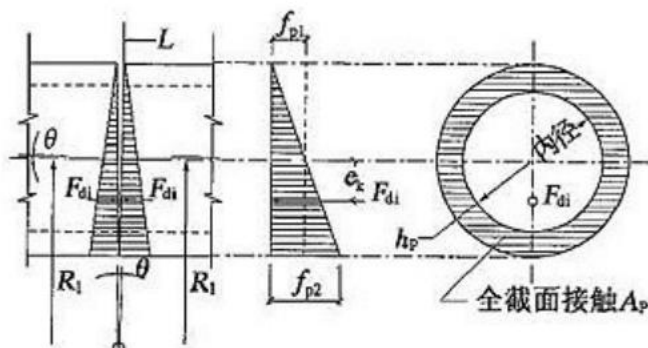


图5. 5. 4-1 不张口接头的受力模式

$$R_1 = \frac{L+a}{\tan\theta} \quad (5.5.4-1)$$

$$\tan\theta = \frac{2(f_{p2} - f_{p1})}{d} \left[\frac{a}{E_p} + \frac{h_p L/t}{E_c} \right] \quad (5.5.4-2)$$

$$f_{p1} = \frac{F_{di}}{A_p} \quad (5.5.4-3)$$

$$f_{p2} = \frac{2F_{di}}{A_p} \quad (5.5.4-4)$$

式中 R_1 ——曲率半径(mm)；

L ——管段的长度(mm)；

a ——木垫圈厚度(mm)；

θ ——接头处转角(弧度)；

E_p ——垫圈材料弹性模量(N/mm²)；

E_c ——管材弹性模量(N/mm²)；

t ——管壁设计厚度(mm)；

h_p ——垫圈宽度(mm)；

d ——垫圈外径(mm)；

f_{p1} ——中心顶力作用下表面均匀压应力(N/mm²)；

f_{p2} ——偏心顶力作用下表面最大压应力(N/mm²)；

F_{di} ——顶力作用设计值(N)；

A_p ——垫圈与管材接触面积(mm²)。

2 管道接头出现张口时的受力模式，可按下式估算(见图5. 5. 4-2)：

6. 1. 1 顶管结构上的作用, 可分为永久作用和可变作用两类:

1 永久作用应包括管道结构自重、竖向土压力、侧向土压力、管道内水重和顶管轴线偏差引起的纵向作用。

2 可变作用应包括管道内的水压力、管道真空压力、地面堆积荷载、地面车辆荷载、地下水作用、温度变化作用和顶力作用。

6. 1. 2 顶管结构设计时, 对不同性质的作用应采用不同的代表值:

1 对永久作用, 应采用标准值作为代表值。

2 对可变作用, 应根据设计要求采用标准值、组合值或准永久值作为代表值。

3 可变作用组合值应为可变作用标准值乘以作用组合系数; 可变作用准永久值应为可变作用标准值乘以作用的准永久值系数。

6. 1. 3 当顶管结构承受两种或两种以上可变作用时, 承载能力极限状态设计或正常使用极限状态按短期效应的标准组合设计中, 对可变作用应采用组合值作为代表值。

6. 1. 4 正常使用极限状态应按长期效应组合设计, 可变作用应采用准永久值作为代表值。

6. 2 永久作用标准值

6. 2. 1 管道结构自重标准值可按式计算:

$$G_{1k} = \gamma \cdot \pi \cdot D_o \cdot t \quad (6. 2. 1)$$

式中 G_{1k} ——单位长度管道结构自重标准值 (kN/m);

t ——管壁设计厚度 (m);

γ ——管材重度, 钢管可取 $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$; 混凝土管可取 $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$; 其他管材按实际情况取值。

6. 2. 2 作用在管道上的竖向土压力, 其标准值应按覆盖层厚度和力学指标确定。

1 当管顶覆盖层厚度小于或等于1倍管外径或覆盖层均为淤泥土时, 管顶上部竖向土压力标准值应按式计算:

$$F_{sv \cdot k1} = \sum_{i=1}^n \gamma_{si} h_i \quad (6. 2. 2-1)$$

管拱背部的竖向土压力可近似化成均布压力, 其标准值为:

$$F_{sv \cdot k2} = 0.215 \gamma_{si} R_2 \quad (6. 2. 2-2)$$

式中 $F_{sv \cdot k1}$ ——管顶上部竖向土压力标准值 (kN/m²);

$F_{sv \cdot k2}$ ——管拱背部竖向土压力标准值 (kN/m²);

γ_{si} ——管道上部*i*层土层重度 (kN/m³), 地下水位以下应取有效重度;

h_i ——管道上部*i*层土层厚度 (m);

R_2 ——管道外半径。

2 当管顶覆土层不属上述情况时, 顶管上竖向土压力标准值应按式计算:

$$F_{sv \cdot k3} = C_j (\gamma_{si} B_t - 2C) \quad (6.2.2-3)$$

$$B_t = D_1 \left[1 + \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right] \quad (6.2.2-4)$$

$$C_j = \frac{1 - \exp \left(-2K_a \mu \frac{H_s}{B_t} \right)}{2K_a \mu} \quad (6.2.2-5)$$

式中 $F_{sv \cdot k3}$ ——管顶竖向土压力标准值(kN/m²);

C_j ——顶管竖向土压力系数;

B_t ——管顶上部土层压力传递至管顶处的影响宽度(m);

D_1 ——管道外径(m);

ϕ ——管顶土的内摩擦角(°);

C ——土的粘聚力(kN/m²), 宜取地质报告中的最小值;

H_s ——管顶至原状地面埋置深度(m);

$K_a \mu$ ——原状土的主动土压力系数和内摩擦系数的乘积, 一般粘性土可取0.13, 饱和粘土可取

0.11, 砂和砾石可取0.165。

3 当管道位于地下水位以下时, 尚应计入地下水作用在管道上的压力。

6.2.3 作用在混凝土管道上的侧向土压力, 标准值可按下列几种条件分别计算:

1 当管道处于地下水位以上时, 侧向土压力标准值可按下式计算主动土压力:

$$F_{h,k} = (F_{sv,ki} + \gamma_{si} D_1 / 2) K_a - 2C \sqrt{K_a} \quad (6.2.3)$$

式中 $F_{h,k}$ ——侧向土压力标准值(kN/m²), 作用在管中心;

K_a ——主动土压力系数, 即 $K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$ 。

2 当管道处于地下水位以下时, 侧向水土压力标准值应采用水土分算, 土的侧压力按式(6.2.

3) 计算, 重度取有效重度; 地下水压力按静水压力计算, 水的重度可取10kN/m³。

6.2.4 管道内水重的标准值, 可按不同水质的重度计算。

6.3 可变作用标准值及其准永久值系数

6.3.1 管道设计水压力的标准值, 可按表6.3.1采用。准永久值系数可取0.7, 但不得小于工作压力。

表6.3.1 压力管道内设计水压力标准值

管材类型	工作压力	设计水压力(MPa)
焊接钢管	F_{wk}	$F_{wk} + 0.5 \geq 0.9$
混凝土管	F_{wk}	$(1.4 \sim 1.5) F_{wk}$
玻璃纤维增强塑料夹砂管	F_{wk}	$(1.4 \sim 1.5) F_{wk}$

注: 1 工业企业中低压运行的管道, 其设计内水压力可取工作压力的1.25倍, 但不得小于0.4MPa;

2 混凝土管包括钢筋混凝土管、预应力混凝土管、预应力钢筒混凝土管;

3 当管线上设有可靠的调压装置时, 设计内水压力可按具体情况确定。

6.3.2 管道在运行过程中可能产生的真空压力, 其标准值可取0.05MPa计算, 其准永久值系数可取 $\psi_q=0$ 。

6.3.3 地面堆积荷载传递到管顶处竖向压力标准值 q_{mk} , 可按 10kN/m^2 计算, 其准永久值系数可取 $\psi_q=0.5$ 。

6.3.4 地面车辆轮压传递到管顶处的竖向压力标准值 q_{vk} 可按本规程附录C规定确定, 其准永久值系数应取 $\psi_q=0.5$ 。当埋深大于2m时可不计冲击系数。

地面堆积荷载与地面车辆轮压可不考虑同时作用。

6.3.5 温度作用标准值, 可按温差 $\pm 20^\circ\text{C}$ 计算, 其准永久值系数可取 $\psi_q=1.0$ 。

7 顶管结构基本设计规定

7.1 一般规定

7.1.1 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法, 以可靠指标度量管道结构的可靠度, 除管道的稳定验算外, 均应采用分项系数的设计表达式进行设计。

7.1.2 钢管及玻璃纤维增强塑料夹砂管应按柔性管计算; 钢筋混凝土管应按刚性管计算。

7.1.3 管道结构设计应计算下列两种极限状态:

1 承载能力极限状态: 顶管结构纵向超过最大顶力破坏, 管壁因材料强度被超过而破坏; 柔性管道管壁截面丧失稳定; 管道的管段接头因顶力超过材料强度破坏。

2 正常使用极限状态: 柔性管道的竖向变形超过规定限值; 钢筋混凝土管道裂缝宽度超过规定限值。

7.1.4 管道结构的内力分析, 均应按弹性体系计算, 不考虑由非弹性变形所引起的塑性内力重分布。

7 顶管结构基本设计规定

7.1 一般规定

7.1.1 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法, 以可靠指标度量管道结构的可靠度, 除管道的稳定验算外, 均应采用分项系数的设计表达式进行设计。

7.1.2 钢管及玻璃纤维增强塑料夹砂管应按柔性管计算; 钢筋混凝土管应按刚性管计算。

7.1.3 管道结构设计应计算下列两种极限状态:

1 承载能力极限状态: 顶管结构纵向超过最大顶力破坏, 管壁因材料强度被超过而破坏; 柔性管道管壁截面丧失稳定; 管道的管段接头因顶力超过材料强度破坏。

2 正常使用极限状态: 柔性管道的竖向变形超过规定限值; 钢筋混凝土管道裂缝宽度超过规定限值。

7. 1. 4 管道结构的内力分析, 均应按弹性体系计算, 不考虑由非弹性变形所引起的塑性内力重分布。

7. 2 承载能力极限状态计算规定

7. 2. 1 管道结构按承载能力极限状态进行强度计算时, 结构上的各项作用均采用设计值。

作用设计值, 应为作用代表值与作用分项系数的乘积。

7. 2. 2 管道按强度计算时, 应采用下列极限状态计算表达式:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (7. 2. 2)$$

式中 γ_0 ——管道的重要性系数, 给水工程单线输水管取1. 1; 双线输水管和配水管道取1. 0; 污水管道取1. 0; 雨水管道取0. 90;

S ——作用效应组合的设计值;

R ——管道结构抗力设计值。钢筋混凝土管道按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定确定。钢管道按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017的规定确定, 其他材质管道按相应标准确定。

7. 2. 3 作用效应的组合设计值, 应按下式确定:

$$S = \gamma_{G1} C_{G1} G_{1k} + \gamma_{G, sv} C_{sv} F_{sv, k} + \gamma_{Gh} C_h F_{h, k} + \gamma_{Gw} C_{Gw} G_{wk} + \varphi_c \gamma_Q (C_{Q, wd} F_{wd, k} + C_{Qv} Q_{vk} + C_{Qm} Q_{mk} + C_{Qt} F_{tk}) \quad (7. 2. 3)$$

式中 γ_{G1} ——管道结构自重作用分项系数, 可取 $\gamma_{G1} = 1. 2$;

$\gamma_{G, sv}$ ——竖向水土压力作用分项系数, 可取 $\gamma_{G, sv} = 1. 27$;

γ_{Gh} ——侧向水土压力作用分项系数, 可取 $\gamma_{Gh} = 1. 27$;

γ_{Gw} ——管内水重作用分项系数, 可取 $\gamma_{Gw} = 1. 2$;

γ_Q ——可变作用的分项系数, 可取 $\gamma_Q = 1. 4$;

C_{G1} 、 C_{sv} 、 C_h 、 C_{Gw} ——分别为管道结构自重、竖向和侧向水土压力及管内水重的作用效应系

数;

$C_{Q, wd}$ 、 C_{Qv} 、 C_{Qm} 、 C_{Qt} ——分别为设计内水压力、地面车辆荷载、地面堆积荷载、温度变化的作用效应系数;

G_{1k} ——管道结构自重标准值;

$F_{sv, k}$ ——竖向水土压力标准值;

$F_{h, k}$ ——侧向水土压力标准值;

G_{wk} ——管内水重标准值;

$F_{wd, k}$ ——管内设计内水压力标准值;

Q_{vk} ——车行荷载产生的竖向压力标准值;

Q_{mk} ——地面堆积荷载作用标准值;

F_{tk} ——温度变化作用标准值;
 φ_c ——可变荷载组合系数, 对柔性管道取 $\varphi_c=0.9$; 对其他管道取 $\varphi_c=1.0$ 。

7.2.4 承载能力极限状态强度计算的作用组合, 应根据顶管实际条件按表7.2.4的规定采用。

表7.2.4 承载能力极限状态强度计算的作用组合表

管材	计算工况	永久作用			可变作用		
		管自重 G_1	竖向和水平土压力 F_{sv}	管内水重 G_w	管内水压 F_{wd}	地面车辆荷载或堆载 Q_v, Q_{in}	温度作用 F_t
钢管	空管期间	✓	✓			✓	✓
	管内满水	✓	✓	✓		✓	✓
	使用期间	✓	✓	✓	✓	✓	✓
混凝土管	空管期间	✓	✓			✓	
	管内满水	✓	✓	✓		✓	
	使用期间	✓	✓	✓	✓*	✓	

注: 1 玻璃纤维增强塑料夹砂管可参照钢管组合;
2 *指压力管。

7.2.5 对柔性钢管管壁截面进行稳定验算时, 各项作用应取标准值, 并应满足稳定系数不低于2.0, 作用组合应按表7.2.5规定采用。

表7.2.5 管壁稳定验算作用组合表

永久作用	可变作用		
竖向土压力	地面车辆或堆积荷载	真空压力	地下水
✓	✓	✓	✓

7.2.6 施工期间管道纵向尚应对允许顶力进行验算。

7.3 正常使用极限状态验算规定

7.3.1 管道结构按正常使用极限状态进行验算时, 各项作用效应均应采用作用代表值。

7.3.2 当验算构件截面的最大裂缝开展宽度时, 应按准永久组合作用计算。作用效应的组合设计值应按下式确定:

$$S=\sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + \sum_{j=1}^n \psi_{qj} C_{qj} Q_{jk}$$

(7.3.2)

式中 ψ_{qj} ——第j个可变作用的准永久值系数, 应按本规程第6.3节的有关规定采用;
 C_{Gi}, C_{qi} ——永久荷载和可变荷载作用效应系数;
 G_{jk}, Q_{jk} ——永久荷载和可变荷载标准值。

7. 3. 3 正常使用极限状态验算时, 作用组合工况可按本规程表7. 2. 4的规定采用。

7. 3. 4 柔性管道在准永久组合作用下长期竖向变形允许值, 应符合下列要求:

1 内防腐为水泥砂浆的钢管, 先抹水泥砂浆后顶管时, 最大竖向变形不应超过 $0.02D_0$; 顶管后再抹水泥砂浆时, 最大竖向变形不应超过 $0.03D_0$ 。

2 内防腐为延性良好的涂料的钢管, 其最大竖向变形不应超过 $0.03D_0$ 。

3 玻璃纤维增强塑料夹砂管最大竖向变形不应超过 $0.05D_0$ 。

7. 3. 5 钢筋混凝土管道在准永久组合作用下, 最大裂缝宽度不应大于 0.2mm 。

8 承载能力极限状态计算

8. 1 管道允许顶力验算

8. 1. 1 钢筋混凝土管顶管传力面允许最大顶力可按下式计算:

$$F_{dc} = 0.5 \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{\gamma_{Qd} \phi_5} f_c A_p \quad (8.1.1)$$

式中 F_{dc} ——混凝土管道允许顶力设计值(N);

ϕ_1 ——混凝土材料受压强度折减系数, 可取0.90;

ϕ_2 ——偏心受压强度提高系数, 可取1.05;

ϕ_3 ——材料脆性系数, 可取0.85;

ϕ_5 ——混凝土强度标准调整系数, 可取0.79;

f_c ——混凝土受压强度设计值(N/mm^2);

A_p ——管道的最小有效传力面积(mm^2);

γ_{Qd} ——顶力分项系数, 可取1.3。

8. 1. 2 玻璃纤维增强塑料夹砂管顶管传力面允许最大顶力可按下式计算:

$$F_{db} = 0.5 \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{\gamma_{Qd}} f_b A_p \quad (8.1.2)$$

式中 F_{db} ——玻璃纤维增强塑料夹砂管道允许顶力设计值(N);

ϕ_1 ——玻璃钢材料受压强度折减系数, 可取0.90;

ϕ_2 ——偏心受压强度提高系数, 可取1.00;

ϕ_3 ——玻璃钢材料脆性系数, 可取0.80;

f_b ——玻璃钢受压强度设计值(N/mm^2)。

8. 1. 3 钢管顶管传力面允许的最大顶力可按下式计算:

$$F_{ds} = \frac{\phi_1 \phi_3 \phi_4}{\gamma_{Qd}} f_s A_p \quad (8.1.3')$$

式中 F_{ds} ——钢管管道允许顶力设计值(N);

ϕ_1 ——钢材受压强度折减系数, 可取1.00;

ϕ_3 ——钢材脆性系数, 可取1.00;

ϕ_4 ——钢管顶管稳定系数, 可取0.36; 当顶进长度<300m时, 穿越土层又均匀时, 可取0.

45;

f_s ——钢材受压强度设计值(N/mm²)。

8 承载能力极限状态计算

8.1 管道允许顶力验算

8.1.1 钢筋混凝土管顶管传力面允许最大顶力可按下式计算:

$$F_{dc} = 0.5 \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{\gamma_{Qd} \phi_5} f_c A_p \quad (8.1.1)$$

式中 F_{dc} ——混凝土管道允许顶力设计值(N);

ϕ_1 ——混凝土材料受压强度折减系数, 可取0.90;

ϕ_2 ——偏心受压强度提高系数, 可取1.05;

ϕ_3 ——材料脆性系数, 可取0.85;

ϕ_5 ——混凝土强度标准调整系数, 可取0.79;

f_c ——混凝土受压强度设计值(N/mm²);

A_p ——管道的最小有效传力面积(mm²);

γ_{Qd} ——顶力分项系数, 可取1.3。

8.1.2 玻璃纤维增强塑料夹砂管顶管传力面允许最大顶力可按下式计算:

$$F_{db} = 0.5 \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{\gamma_{Qd}} f_b A_p \quad (8.1.2)$$

式中 F_{db} ——玻璃纤维增强塑料夹砂管道允许顶力设计值(N);

ϕ_1 ——玻璃钢材料受压强度折减系数, 可取0.90;

ϕ_2 ——偏心受压强度提高系数, 可取1.00;

ϕ_3 ——玻璃钢材料脆性系数, 可取0.80;

f_b ——玻璃钢受压强度设计值(N/mm²)。

8.1.3 钢管顶管传力面允许的最大顶力可按下式计算:

$$F_{ds} = \frac{\phi_1 \phi_3 \phi_4}{\gamma_{Qd}} f_s A_p \quad (8.1.3)$$

式中 F_{ds} ——钢管管道允许顶力设计值(N);

ϕ_1 ——钢材受压强度折减系数, 可取1.00;

ϕ_3 ——钢材脆性系数, 可取1.00;

ϕ_4 ——钢管顶管稳定系数, 可取0.36; 当顶进长度<300m时, 穿越土层又均匀时, 可取0.

45;

f_s ——钢材受压强度设计值(N/mm²)。

8.2 管道强度计算

8.2.1 钢管管壁截面的最大组合折算应力应满足下式要求:

$$\eta\sigma_{\theta} \leq f \quad (8.2.1-1)$$

$$\eta\sigma_x \leq f \quad (8.2.1-2)$$

$$\gamma_0\sigma \leq f \quad (8.2.1-3)$$

$$\sigma = \eta \sqrt{\sigma_{\theta}^2 + \sigma_x^2 - \sigma_{\theta}\sigma_x} \quad (8.2.1-4)$$

式中 σ_{θ} ——钢管管壁横截面最大环向应力(N/mm²);

σ_x ——钢管管壁的纵向应力(N/mm²);

σ ——钢管管壁的最大组合折算应力(N/mm²);

η ——应力折减系数,可取 $\eta=0.9$;

f ——管材的强度设计值。

8.2.2 钢管管壁横截面的最大环向应力 σ_{θ} 应按下列式确定:

$$\sigma_{\theta} = \frac{N}{b_0 t_0} + \frac{6M}{b_0 t_0^2} \quad (8.2.2-1)$$

$$N = \varphi_c \gamma_Q F_{wd,k} r_0 b_0 \quad (8.2.2-2)$$

$$M = \varphi \frac{(\gamma_{G1} k_{gm} G_{1k} + \gamma_{G,sv} k_{vm} F_{sv,k} D_1 + \gamma_{GW} k_{wm} G_{wk} + \gamma_Q \varphi_c k_{vm} Q_{ik} D_1) r_0 b_0}{1 + 0.732 \frac{E_d}{E_p} \left(\frac{r_0}{t_0} \right)^3} \quad (8.2.2-3)$$

式中 b_0 ——管壁计算宽度(mm),取1000mm;

φ ——弯矩折减系数,有内水压时取0.7,无内水压时取1.0;

φ_c ——可变作用组合系数,可取0.9;

t_0 ——管壁计算厚度(mm),使用期间计算时设计厚度应扣除2mm,施工期间及试水期间可不扣除;

除;

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 ——钢管管侧原状土的变形模量(N/mm²);

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作用下管壁截面的最大弯矩系数,可取土的支承角为120°,按本规程附录A确定;

D_1 ——管外壁直径(mm);

Q_{ik} ——地面堆载或车载传递至管道顶压力的较大标准值。

8.2.3 钢管管壁的纵向应力可按下列式核算:

$$\sigma_x = v_p \sigma_s \pm \varphi_c \gamma_Q \alpha E_p \Delta T \pm \frac{0.5 E_p D_0}{R_1} \quad (8.2.3-1)$$

$$R_1 = \frac{f_1^2 + \left(\frac{L_1}{2}\right)^2}{2f_1} \quad (8.2.3-2)$$

式中 v_p ——钢管管泊松比, 可取0.3;

α ——钢管管材线膨胀系数;

ΔT ——钢管的计算温差;

R_1 ——钢管顶进施工变形形成的曲率半径(mm);

f_1 ——管道顶进允许偏差(mm), 应符合本规程表13.2.1的规定;

L_1 ——出现偏差的最小间距(mm), 视管道直径和土质决定, 一般可取50m。

8.2.4 混凝土管道在组合作用下, 管道横截面的环向内力可按下列公式计算:

$$M = r_0 \sum_{i=1}^n k_{mi} P_i \quad (8.2.4-1)$$

$$N = \sum_{i=1}^n k_{ni} P_i \quad (8.2.4-2)$$

式中 M ——管道横截面的最大弯矩设计值(N·mm/m);

N ——管道横截面的轴力设计值(N/m);

r_0 ——圆管的计算半径(mm), 即自圆管中心至管壁中心的距离;

k_{mi} ——弯矩系数, 应根据荷载类别取土的支承角为120°, 按本规程附录B确定;

k_{ni} ——轴力系数, 应根据荷载类别取土的支承角为120°, 按本规程附录B确定;

P_i ——作用在管道上的*i*项荷载设计值(N/m)。

8.2.5 玻璃纤维增强塑料夹砂管的强度应按下列公式计算:

$$\gamma_o \eta_l (\varphi_c \sigma_{th} + \alpha_f r_c \sigma_{tm}) \leq f_{th} \quad (8.2.5-1)$$

$$\gamma_o \varphi_c \sigma_{th} \leq f_{th} \quad (8.2.5-2)$$

$$\gamma_o \sigma_{tm} \leq f_{tm} \quad (8.2.5-3)$$

式中 σ_{th} ——管道内设计水压力产生的管壁环向等效折算拉伸应力设计值(MPa);

σ_{tm} ——在外压力作用下, 管壁最大的环向等效折算弯曲应力设计值(MPa);

f_{th} ——管材的环向等效折算抗拉强度设计值(MPa);

f_{tm} ——管材的环向等效折算抗弯强度设计值(MPa);

α_f ——管材的环向等效折算抗拉强度设计值与等效折算抗弯强度设计值的比值;

r_c ——管道的压力影响系数。对重力流排水管道应取1.0, 对有压力管道可按表8.2.5取值;

η_l ——应力调整系数, 可取0.8。

表8.2.5 管道压力影响系数

管道工作压力 F_{wd} (MPa)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
r_c	0.93	0.87	0.80	0.73	0.67

注：其他工作压力的影响系数可取线性插值。

8. 2. 6 玻璃纤维增强塑料夹砂管管道设计内水压力产生的管壁环向等效折算拉应力按下式计算：

$$\sigma_{th} = \frac{\gamma_Q F_{wd,k} D_0}{2t} \quad (8.2.6)$$

式中 $F_{wd,k}$ ——管道的设计内水压力标准值 (MPa)；

γ_Q ——管道的内水压力分项系数，可取1.4。

8. 2. 7 玻璃纤维增强塑料夹砂管管道在外压力作用下，管壁最大的环向等效折算弯曲应力可按下式计算：

$$\sigma_{tm} = D_f E_p \left(\frac{\omega_{d,max}}{D_0} \right) \left(\frac{t}{D_0} \right) \quad (8.2.7-1)$$

$$SN = \frac{E_p t^3}{12 D_0^3} \times 10^6 \quad (8.2.7-2)$$

式中 $\omega_{d,max}$ ——管道的最大长期竖向变形 (mm)，可按本规程公式 (9.1.2) 计算；

E_p ——管材的环向弯曲弹性模量 (MPa)；

D_f ——管道的形状系数，刚度等级 (SN) 为 15000N/m² 时，可取 $D_f = 3.8$ ；刚度等级为 20000N/m² 时，可取 $D_f = 3.2$ ；

SN——管材的刚度。

8. 3 稳定验算

8. 3. 1 钢管在真空工况作用下管壁截面环向稳定验算应满足下式要求：

$$F_{cr,k} \geq K_{st} (F_{sv,k} + Q_{ik} + F_{vk}) \quad (8.3.1)$$

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

F_{vk} ——管内真空压力标准值 (N/mm²)；

$F_{sv,k}$ ——管外水土压力标准值 (N/mm²)；

Q_{ik} ——地面堆载或车辆轮压传至管顶的压力标准值 (N/mm²)；

K_{st} ——钢管管壁截面设计稳定性系数，可取2.0。

8. 3. 2 钢管管壁截面的临界压力应按下式计算：

$$F_{cr,k} = \frac{2E_p(n^2-1)}{3(1-\nu_p^2)} \left(\frac{t}{D_0} \right)^3 + \frac{E_d}{2(n^2-1)(1+\nu_s)} \quad (8.3.2)$$

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

ν_s ——管两侧胸腔土的泊桑比，应根据土工试验确定；一般对砂性土可取0.30，对粘性土可取

0.40;

ν_p ——钢材的泊桑比, 可取0.3;

D_0 ——管壁中心直径(mm);

E_p ——管材弹性模量(N/mm²);

E_d ——管侧土的变形模量(N/mm²)。

8.3.3 玻璃纤维增强塑料夹砂管管道的管壁截面环向稳定验算, 应满足下式的要求:

$$F_{cr,k} \geq K_{st} (F_{sv,k} + Q_{ik} \times 10^{-2} + F_{vk}) \quad (8.3.3)$$

式中 $F_{cr,k}$ ——管壁截面环向失稳的临界压力标准值(N/mm²);

K_{st} ——玻璃纤维增强塑料夹砂管管壁截面环向稳定性抗力系数, 不应低于2.5。

8.3.4 玻璃纤维增强塑料夹砂管管壁截面环向失稳的临界压力同样可按式(8.3.2)确定亦可按下式计算:

$$F_{cr,k} = \frac{8 \times 10^{-6} SN(n^2 - 1)}{(1 - \nu_p^2)} + \frac{E_d}{2(n^2 - 1)(1 + \nu_s)} \quad (8.3.4)$$

9 正常使用极限状态验算

9.1 柔性管道竖向变形验算

9.1.1 钢管管道在土压力和地面荷载作用下产生的最大竖向变形 $\omega_{c,max}$, 应按下式计算:

$$\omega_{c,max} = \frac{k_b r_0^3 (F_{sv,k} + \psi_q Q_{ik}) D_1}{E_p I_p + 0.061 E_d r_0^3} \quad (9.1.1)$$

式中 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;

ψ_q ——地面作用传递至管顶压力的准永久值系数;

I_p ——钢管管壁单位纵向长度的截面惯性矩(mm⁴/m)。

9.1.2 玻璃纤维增强塑料夹砂管管道在土压力和地面荷载作用下产生的最大长期竖向变形 $\omega_{d,max}$ 可按式计算:

$$\omega_{d,max} = \frac{(F_{sv,k} + \psi_q Q_{ik}) D_1 k_b}{8 \times 10^{-6} SN + 0.061 E_d} \quad (9.1.2)$$

9 正常使用极限状态验算

9.1 柔性管道竖向变形验算

9.1.1 钢管管道在土压力和地面荷载作用下产生的最大竖向变形 $\omega_{c,max}$, 应按下式计算:

$$\omega_{c,max} = \frac{k_b r_0^3 (F_{sv,k} + \psi_q Q_{ik}) D_1}{E_p I_p + 0.061 E_d r_0^3} \quad (9.1.1)$$

式中 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;

ψ_q ——地面作用传递至管顶压力的准永久值系数;

I_p ——钢管管壁单位纵向长度的截面惯性矩 (mm^4/m)。

9. 1. 2 玻璃纤维增强塑料夹砂管管道在土压力和地面荷载作用下产生的最大长期竖向变形 $\omega_{d, \max}$ 可按式计算:

$$\omega_{d, \max} = \frac{(F_{sv, k} + \psi_q Q_{ik}) D_1 k_b}{8 \times 10^{-6} SN + 0.061 E_d} \quad (9.1.2)$$

9. 2 钢筋混凝土管道裂缝宽度验算

9. 2. 1 钢筋混凝土管道结构构件在长期效应组合作用下, 计算截面处于大偏心受拉或大偏心受压状态时, 最大裂缝宽度可按现行国家标准《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069的有关规定计算, 并应符合本规程第7. 3. 5条的规定。

10 工 作 井

10. 1 工作井选址

10. 1. 1 工作井的位置应按以下因素确定:

- 1 应利用管线上的工艺井;
- 2 应考虑排水、出土和运输方便;
- 3 应靠近电源和水源;
- 4 应远离居民区 and 高压线;
- 5 应避免对周围建、构筑物 and 设施产生不利的影响;
- 6 当管线坡度较大时, 工作井宜设置在管线埋置较深一端;
- 7 在有曲线又有直线的顶管中, 工作井宜设在直线段的一端。

10 工 作 井

10. 1 工作井选址

10. 1. 1 工作井的位置应按以下因素确定:

- 1 应利用管线上的工艺井;
- 2 应考虑排水、出土和运输方便;
- 3 应靠近电源和水源;
- 4 应远离居民区 and 高压线;
- 5 应避免对周围建、构筑物 and 设施产生不利的影响;
- 6 当管线坡度较大时, 工作井宜设置在管线埋置较深一端;
- 7 在有曲线又有直线的顶管中, 工作井宜设在直线段的一端。

10. 2 工作井结构形式

10. 2. 1 工作井结构形式可采用钢板桩、沉井、地下连续墙、灌注桩或SMW工法。

10. 2. 2 当工作井埋置较浅、地下水位较低、顶进距离较短时, 宜选用钢板桩或SMW工法。工作井内水平支撑应形成封闭式框架, 在矩形工作井水平支撑的四角应设斜撑。

10. 2. 3 在顶管埋置较深、顶管顶力较大的软土地区, 工作井宜采用沉井或地下连续墙。

10. 2. 4 当场地狭小且周边建筑需要保护时, 工作井宜优先选用地下连续墙。

10. 2. 5 在地下水位较低或无地下水的地区, 工作井可选用灌注桩。

10. 2. 6 除沉井外其他形式的工作井, 当顶力较大时皆应设置钢筋混凝土后座墙。

10. 3 工作井平面形状

10. 3. 1 工作井可分为圆形、矩形和多边形三种。管线交叉的中间井和深度大的工作井宜采取圆形或多边形工作井。

10. 4 工作井最小长度确定

10. 4. 1 当按顶管机长度确定时, 工作井的最小内净长度可按下列公式计算:

$$L \geq l_1 + l_3 + k \quad (10. 4. 1)$$

式中 L ——工作井的最小内净长度(m);

l_1 ——顶管机下井时最小长度, 如采用刃口顶管机应包括接管长度(m);

l_3 ——千斤顶长度(m), 一般可取2. 5m;

k ——后座和顶铁的厚度及安装富余量, 可取1. 6m。

10. 4. 2 当按下井管节长度确定时, 工作井的内净长度可按下列公式计算:

$$L \geq l_2 + l_3 + l_4 + k \quad (10. 4. 2)$$

式中 l_2 ——下井管节长度(m):

钢管一般可取6. 0m, 长距离顶管时可取8. 0~10. 0m;

钢筋混凝土管可取2. 5~3. 0m;

玻璃纤维增强塑料夹砂管可取3. 0~6. 0m。

l_4 ——留在井内的管道最小长度, 可取0. 5m。

10. 4. 3 工作井的最小内净长度应按上述两种方法计算结果取大值。

10. 5 工作井最小宽度确定

10. 5. 1 浅工作井内净宽度可按下列公式计算:

$$B = D_1 + (2. 0 \sim 2. 4) \quad (10. 5. 1)$$

式中 B ——工作井的内净宽度(m);

D_1 ——管道的外径(m)。

10. 5. 2 深工作井内净宽度可按下列公式计算:

$$B=3D_1+(2.0\sim2.4) \quad (10.5.2)$$

10. 6 工作井深度确定

10. 6. 1 工作井底板面深度应按下列公式计算:

$$H=H_s+D_1+h \quad (10.6.1)$$

式中 H ——工作井底板面最小深度(m);

H_s ——管顶覆土层厚度(m);

h ——管底操作空间(m):

钢管可取 $h=0.70\sim0.80$ m;

玻璃纤维增强塑料夹砂管和钢筋混凝土管等可取 $h=0.4\sim0.5$ m。

10. 7 穿墙管止水装置

10. 7. 1 盘根止水穿墙管构造见图10. 7. 1, 盘根止水穿墙管可用于以下情况:

- 1 穿墙管处于透水层(包括砂土、粉土和砾石)。
- 2 地下水压力大于0.08MPa。
- 3 穿墙管兼作释放管道温度应力的伸缩机构。

10. 7. 2 橡胶板止水穿墙管的构造见图10. 7. 2, 橡胶板止水穿墙管可用于以下情况:

- 1 穿墙管处于渗透系数小的粘性土土层。
- 2 穿墙管处的地下水压力小于或等于0.08MPa。

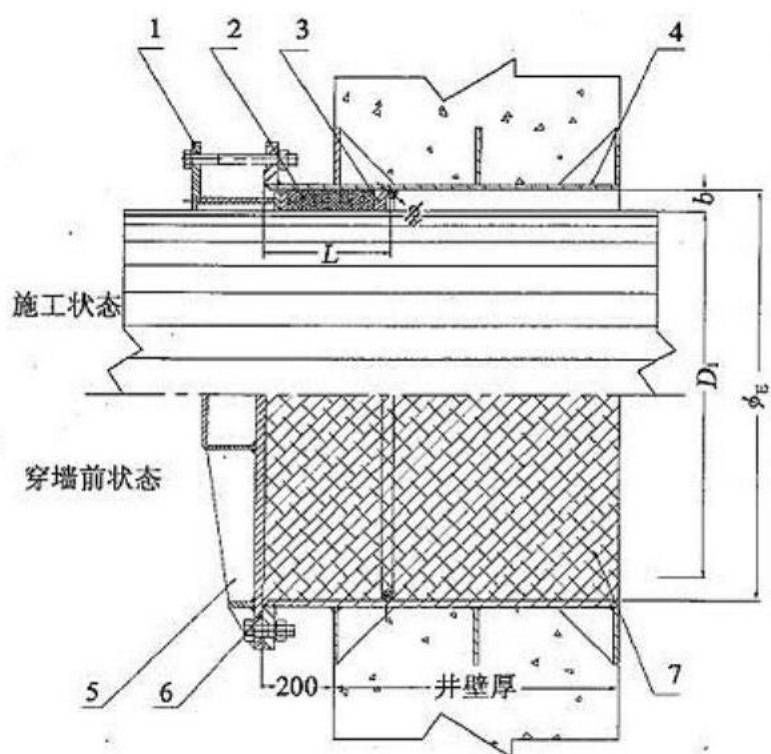
10. 7. 3 顶管结束后, 永久性工作井上的橡胶板止水穿墙管应改造成永久性柔性堵头。

10. 7. 4 穿墙管临时封填可采用下列材料:

- 1 沉井穿墙管可采用砖砌体或低强度水泥土。
- 2 地下连续墙穿墙管可用低强度水泥土或钢板。

10. 7. 5 工作井底板上应埋设安装导轨的预埋钢板。

10. 7. 6 工作井的允许顶力可按现行协会标准《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137进行验算。

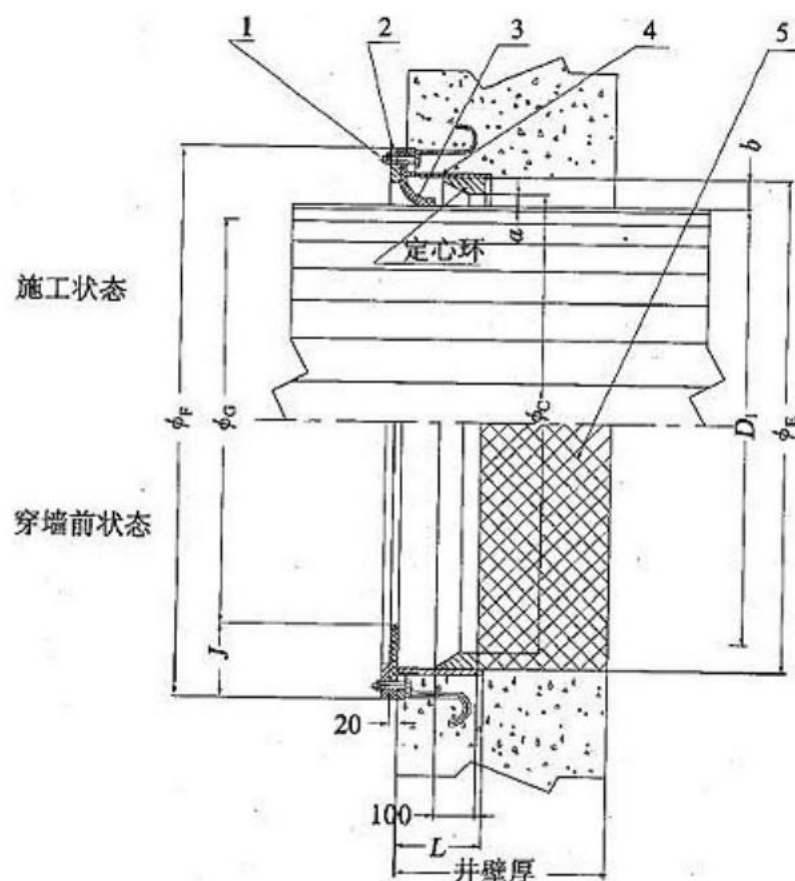


1—轧兰; 2—盘根; 3—挡环; 4—穿墙管; 5—闷板; 6—胶圈; 7—封填料;

L —轧兰长度; D_1 —管道外径; ϕ_E —穿墙管内径;

ϕ_d —挡圈断面直径; b —穿墙管与管道间隙

图10. 7. 1 盘根止水穿墙管构造



1—预埋螺栓;2—压板;3—橡胶止水板;4—穿墙管;5—封填料;

ϕ_c —定心环内径; ϕ_F —压板外径

图10. 7. 2 橡胶板止水穿墙管构造

11 接收井

11. 1 接收井结构形式

11. 1. 1 接收井可以采用钢板桩、沉井、地下连续墙、灌注桩及SMW工法等结构形式。

11. 1. 2 专为施工用的临时接收井可以不做钢筋混凝土内衬。

11 接收井

11. 1 接收井结构形式

11. 1. 1 接收井可以采用钢板桩、沉井、地下连续墙、灌注桩及SMW工法等结构形式。

11. 1. 2 专为施工用的临时接收井可以不做钢筋混凝土内衬。

11. 2 接收井尺寸确定

11. 2. 1 接收井内净最小宽度应按下式计算:

$$B=D_1+2\times 1000 \quad (11. 1)$$

式中 B——接收井内净最小宽度(mm);
D₁——顶管机外径(mm)。

11. 2. 2 接收井的最小内净长度应满足顶管机在井内拆除和吊出的需要。

11. 2. 3 接收井尺寸应满足工艺管道连接的要求。

11. 3 接收孔

11. 3. 1 接收井的接收口尺寸应按式(11. 2)确定:

$$D' = D_1 + 2(c + 100) \quad (11. 2)$$

式中 D' ——接收孔的直径(mm);
c——管道允许偏差的绝对值(mm), 按本规程表13. 2. 1确定。

11. 3. 2 出井墙孔和接收井的接收孔处于流砂层时, 孔外的砂性土层应经过地基处理。

11. 3. 3 管道进接收孔后, 应按设计要求将接收孔和管道之间空隙封堵。当接收井与管道之间可能产生不均匀沉降时, 应采用柔性材料封堵。

12 顶管施工

12. 1 施工组织设计

12. 1. 1 施工组织设计应包括下列主要内容:

- 1 工程概况: 应主要介绍施工场地的特征, 水文地质和工程地质概况。
- 2 编制依据及采用标准。
- 3 承包商或施工单位简介。
- 4 施工准备工作计划。
- 5 施工顺序与施工进度计划。
- 6 施工方法和施工设备选择。
- 7 施工平面布置图。
- 8 应采取的主要施工技术措施, 包括以下内容:
 - 1) 顶管机出洞和施工方法;
 - 2) 顶管机的定向和水平测量方法, 采用测量仪器, 测量精度分析;
 - 3) 顶管机进洞和施工方法;
 - 4) 减少管壁摩阻力;
 - 5) 出泥的方法和弃土的处置;
 - 6) 长距离顶管中的通风、供电、通讯、中继间等;
 - 7) 地面隆起、沉降和对周边挤压的控制;
 - 8) 曲线顶管中的技术措施;
 - 9) 解决工程难点的技术保障措施;
 - 10) 顶管设备型号、规格、性能和数量。
- 9 施工安全、质量和文明措施。

10 环境保护。

11 应急预案。

12 顶管施工

12.1 施工组织设计

12.1.1 施工组织设计应包括下列主要内容：

1 工程概况：应主要介绍施工场地的特征，水文地质和工程地质概况。

2 编制依据及采用标准。

3 承包商或施工单位简介。

4 施工准备工作计划。

5 施工顺序与施工进度计划。

6 施工方法和施工设备选择。

7 施工平面布置图。

8 应采取的主要施工技术措施，包括以下内容：

1) 顶管机出洞和施工方法；

2) 顶管机的定向和水平测量方法，采用测量仪器，测量精度分析；

3) 顶管机进洞和施工方法；

4) 减少管壁摩阻力；

5) 出泥的方法和弃土的处置；

6) 长距离顶管中的通风、供电、通讯、中继间等；

7) 地面隆起、沉降和对周边挤压的控制；

8) 曲线顶管中的技术措施；

9) 解决工程难点的技术保障措施；

10) 顶管设备型号、规格、性能和数量。

9 施工安全、质量和文明措施。

10 环境保护。

11 应急预案。

12.2 顶管机

12.2.1 不同性能的土质应采用不同类型的顶管机：地下水位以上的顶管可采用敞开类顶管机；地下水位以下的顶管应采用具有平衡功能类型的顶管机。

12.2.2 敞开类顶管机有：

1 机械式顶管机——采用机械掘进的顶管机，可用于岩层、硬土层和整体稳定性较好的土层。

2 挤压式顶管机——依靠顶力挤压出土的顶管机，可用于流塑性土层。

3 人工挖掘顶管机——采用手持工具开挖的顶管机，可用于地基强度较高的土层。

12.2.3 平衡类顶管机有：

1 土压平衡式顶管机——通过调节出泥舱的土压力稳定开挖面，弃土可从出泥舱排出的顶管机，可用于淤泥和流塑性粘性土。

2 泥水平衡式顶管机——通过调节出泥舱的泥水压力稳定开挖面，弃土以泥水方式排放出顶管机，可用于粉质土和渗透系数较小的砂性土。

3 气压平衡式顶管机——通过调节出泥舱的气压稳定开挖面，弃土以泥水方式排放出的顶管机，可用于有地下障碍物的复杂土层。

12. 3 顶管机的选择

12. 3. 1 顶管机选择应根据管道穿越土层的物理力学特性、有无地下水、是否存在有毒气体、地下障碍物情况和需要保护的构建筑物等因素，应按表12. 3. 1经技术经济比较后确定。

表12. 3. 1 顶管机选型参考表

地层		敞开式顶管机			平衡式顶管机		
		机械式	挤压式	人工挖掘	土压平衡	泥水平衡	气压平衡
无地下水	胶结土层、强风化岩	★★					
	稳定土层	★★		★			
	松散土层	★	★	★★			
地下水位以下地层	淤泥 $f_d > 30\text{kPa}$		★		★★	★	★
	粘性土 含水量 $> 30\%$		★★		★★	★	★
	粉性土 含水量 $< 30\%$				★	★★	★
	粉性土				★	★★	★
	砂土 $k < 10^{-4}\text{cm/s}$					★★	★★
	砂土 $k < 10^{-4} \sim 10^{-3}\text{cm/s}$					★	★★
	砂砾 $k < 10^{-3} \sim 10^{-2}\text{cm/s}$					★	★
	含障碍物						★

注：★★—首选机型；★—可选机型；空格—不宜选用。

12. 3. 2 顶进土层单一时宜选用表中的“首选机型”；在复杂土层顶进时，应根据可能的土层选择“可选机型”或“首选机型”。

12. 3. 3 含砾石地层可选用具有相应破碎能力的泥水平衡顶管机。

12. 3. 4 地面沉降有严格要求时，应选择对正面阻力有精确计量装置的平衡式顶管机。

12. 4 顶力估算

12. 4. 1 管道的总顶力可按下式估算：

$$F_0 = \pi D_1 L f_k + N_F \qquad (12. 4. 1)$$

式中 F_0 ——总顶力标准值(kN)；
 D_1 ——管道的外径(m)；
 L ——管道设计顶进长度(m)；
 f_k ——管道外壁与土的平均摩阻力(kN/m²)，可按本规程表12. 6. 14采用；

N_F ——顶管机的迎面阻力(kN)。

12. 4. 2 不同端口顶管机的迎面阻力计算可按12. 4. 2表选用。

表12. 4. 2 顶管机迎面阻力(N_F)的计算式

顶管机端面	常用机型	迎面阻力 N_F (kN)	式中符号
刃口	机械式 人工挖掘式	$N_F = \pi(D_g - t)tR$	t —刃口厚度(m)
喇叭口	挤压式	$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 (1 - e)R$	e —开口率
网格	挤压式	$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 \alpha R$	α —网格截面参数, 可取 $\alpha = 0.6 \sim 1.0$
网格加气压	气压平衡式	$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 (\alpha R + P_n)$	P_n —气压(kN/ m ²)
大刀盘切削	土压平衡式 泥水平衡式	$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 \gamma_s H_s$	γ_s —土的重度(kN/m ³) H_s —覆盖层厚度(m)

注: 1 D_g ——顶管机外径(m);

2 R ——挤压阻力(kN/m²), 可取 $R = 300 \sim 500$ kN/m²。

12. 4. 3 当估算总顶力大于管节允许顶力设计值或工作井允许顶力设计值时, 应设置中继间。

12. 4. 4 设计阶段中继间的数量可按式估算:

$$n = \frac{\pi D_1 f_k (L + 50)}{0.7 \times f_0} - 1 \quad (12.4.4)$$

式中 n ——中继间数量(取整数);

f_0 ——中继间设计允许顶力(kN)。

12. 5 中 继 间

12. 5. 1 中继间的设计允许顶力不应大于管节相应设计转角的允许顶力。

12. 5. 2 中继间性能应满足以下要求:

- 1 中继间的允许转角宜大于1. 2°;
- 2 中继间的合力中心应可调节。

12. 5. 3 中继间的选择:

- 1 顶进土层为粉土和砂性土时密封圈压紧度应可调节;
- 2 超长距离顶管宜采用密封性能可靠、密封圈压紧度可调及可更换的密封装置。

12. 5. 4 中继间顶力富裕量, 第一个中继间不宜小于40%, 其余不宜小于30%。

12. 5. 5 中继间在曲线段或轴线偏差段运行时, 应及时调整合力中心, 确保中继间转角不扩大。

12. 5. 6 超长距离顶管的中继间应采用计算机联动控制。

12. 5. 7 中继间拆除后应将间体复原成管道, 原中继间处的管道强度和防腐性能应满足管道原设计功能要求。

12. 5. 8 钢管中继间拆除后, 应在薄弱断面处加焊内环。

12. 6 减阻措施

12. 6. 1 长度超过40m的大直径顶管, 应采取措施减少管壁摩阻力。

12. 6. 2 扩孔减阻应满足下列技术要求:

- 1 扩孔后管周间隙可取10~30mm;
- 2 地下水以上顶管时, 管底弧形支承面角度宜取120° ;
- 3 扩孔间隙在地下水以下时应压注减阻泥浆; 无地下水处可涂抹非亲水减阻剂。

12. 6. 3 膨润土触变泥浆技术参数应满足表12. 6. 3。

表12. 6. 3 触变泥浆技术参数

比重	1. 1~1. 6g/cm ³	失水量	<25cm ³ /30min
静切力	100Pa 左右	稳定性	静置 24h 无离析水
粘度	>30s	pH	<10

12. 6. 4 触变泥浆可用于粘性土、粉质土和渗透系数不大于10⁻⁵m/d的砂性土。渗透系数较大时应另加化学稳定剂。

12. 6. 5 地下水有酸或碱离子时, 应就地采用地下水调配触变泥浆。

12. 6. 6 渗透系数大于或等于10⁻²cm/s的粗砂和砂砾层宜采用高分子化学泥浆。

12. 6. 7 石蜡、废油脂等非亲水减阻剂可用于无地下水的硬土层。

12. 6. 8 钢管预留注浆孔纵向间距一般可采用10~25m; 混凝土管取3~5管节。每组压浆孔在同一横截面上设2~4个, 管底不宜设注浆孔。

12. 6. 9 顶管机后部断面缩小处应设置一组主注浆孔; 在每个中继间处应设注浆孔。根据顶进速度应在预留孔上设置补浆孔, 补浆孔的间距可按下式估算:

$$L_m = T \times V \quad (12. 6. 9)$$

式中 L_m ——补浆孔间距(m);

V ——每天平均顶进速度(m/d);

T ——减阻泥浆失效期(d), 可取 $T=6\sim10d$ 。

12. 6. 10 注浆管出口处应设泥浆单向阀, 出口压力应大于地下水压力。

12. 6. 11 主注浆口的实际注浆量, 对于粘性土和粉土不应大于理论注浆量的1. 5~3倍, 对于中粗砂层应大于理论压浆量的3倍以上。

12. 6. 12 主注浆孔应与管道顶进同步注浆, 先注浆后顶进。中继间注浆孔的注浆应与中继间启动同步, 运行中连续注浆。

12. 6. 13 管道在覆盖层较薄的流塑性土层中顶进, 注浆量不宜过大, 防止地面拱起及管道上浮。

12. 6. 14 采用触变泥浆减阻的顶管, 管壁与土的平均摩阻力可按表12. 6. 14采用。

表12. 6. 14 触变泥浆减阻管壁与土的平均摩阻力(kN/m²)

土的种类		软粘土	粉性土	粉细土	中粗砂
触变泥浆	混凝土管	3.0~5.0	5.0~8.0	8.0~11.0	11.0~16.0
	钢管	3.0~4.0	4.0~7.0	7.0~10.0	10.0~13.0

注: 玻璃纤维增强塑料夹砂管可参照钢管乘以0. 8系数。

12. 6. 15 采用其他减阻泥浆的摩阻力应通过试验确定。

12. 7 管内弃土运输

12. 7. 1 管内弃土运输方式应根据管道内径、顶进长度和顶管机类型确定。

12. 7. 2 泥水平衡顶管机的泥水排放, 应选用管道运输。

12. 7. 3 采用土压平衡顶管机时, 弃土可用螺旋输送机从泥舱排出, 顶进距离较长的可用泥泵输送。顶进距离较短的可采用矿车运输。

12. 7. 4 气压平衡顶管机的泥水排放应采用管道输送。

12. 7. 5 除挤压式外其他敞开类顶管机宜采用矿车运输弃土。

12. 7. 6 挤压式顶管机挤出的块状土, 土块较小的可采用人工抛滑输送弃土, 土块较大的宜采用矿车输送。

12. 7. 7 管道输送的废弃泥浆必须经过处理才可排放, 避免污染环境。

12. 8 通风

12. 8. 1 长度超过150m的进入操作顶管, 应配置通风设施。

12. 8. 2 短距离顶管可采用鼓风机通风; 长距离顶管应采用压缩空气通风。

12. 8. 3 通风的空气质量应符合环保要求。

12. 8. 4 地面空气湿度较高且地面温度又高于地下温度的季节, 应采用经除湿后的压缩空气通风。

12. 8. 5 配置通风设施的顶管工程每人所需通风量不应小于 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。使用开敞式顶管机时通风量应酌情增大。

12. 8. 6 地层中存在有害气体时必须采用封闭式顶管机, 并应增大通风量。

12. 9 测 量

12. 9. 1 顶管施工应建立地面与地下测量控制系统。

12. 9. 2 测量控制点应设在不易扰动、视线清楚、便于校核和易于保护处。

12. 9. 3 顶管施工测量的相对坐标的X轴线应为工作井穿墙管中心与接收井的墙管中心(无接收井时采用设计管道终点的中心)的连线。

12. 9. 4 直线顶管的方向测量, 当顶进长度不超过300m时, 可采用经纬仪; 超过300m时, 宜采用激光经纬仪; 超过1000m时, 应在管内设置测站采用经纬仪导线法测量。

12. 9. 5 曲线顶管的方向测量, 应在管内设置若干测站, 用导线法测量。

12. 9. 6 管内水准测量仪器, 当顶进长度不超过200m时, 可使用水准仪; 超过200m时, 宜使用水位连通器; 轴线高度偏差大于管道内的 $1/3$ 时, 应采用微测压计。

12. 9. 7 测量成果应有精度分析, 并提供管道终点测量可能达到的最大误差。

12. 9. 8 原始记录和测量分析资料应完整存档。

12. 10 后 座

12. 10. 1 主顶站千斤顶与反力墙之间应设置后座。

12. 10. 2 反力墙为沉井或地下连续墙墙体时, 可采用拼装式后座。

12. 10. 3 反力墙为原状土或桩体时, 应采用整体式后座。

12. 10. 4 后座面积应使反力墙后土体的承载能力满足顶力要求。后座刚度应能保障顶进方向不变。

12. 10. 5 后座应与管道轴线垂直, 允许不垂直度为 $5\text{mm}/\text{m}$ 。

12. 11 顶进设备

12. 11. 1 导轨应符合下列规定:

1 导轨支架应采用钢材制作。固定在工作井底板上的导轨在管道顶进时不可产生位移。其整体刚度和强度应满足施工要求。

2 导轨对管道的支承角宜为 60° ，导轨的高度应保证管中心对准穿墙管中心。导轨的坡度应与设计轴线一致。

3 导轨安装的允许偏差应满足下列要求：

- 1) 轴线位置：3mm；
- 2) 顶面高程：0~+3mm；
- 3) 两轨净距：±2mm。

12. 11. 2 主顶站千斤顶的性能和安装宜满足下列规定：

1 千斤顶行程宜不小于1000mm，单只顶力宜不小于1000kN。

2 千斤顶安装应符合下列规定：

- 1) 除铰接式千斤顶外，千斤顶应安装在支架上。
- 2) 千斤顶数量应为偶数，设置在管道两侧，并与管中心左右对称。每只千斤顶均应与管轴线平行。
- 3) 千斤顶的合力中心应低于管中心，其尺寸宜为管道外径的 $1/10 \sim 1/8$ 。
- 4) 千斤顶应同步运行。

12. 11. 3 主站油泵安装应符合下列规定：

- 1 油泵应与千斤顶性能相匹配。油泵流量宜满足顶进速度100mm/min的要求。
- 2 油泵宜设置在千斤顶附近，油管应顺直、转角少。
- 3 除遥控顶管外，主油泵的运行应受控于顶管机。

12. 11. 4 顶铁安装应符合下列规定：

- 1 顶铁应满足传递顶力、便于出泥和人员出入的需要。
- 2 顶铁的两个受压面应平整，互相平行。
- 3 宜采用U形或弧形刚性顶铁。
- 4 与管尾接触的环形顶铁应与管道匹配，顶铁与混凝土管或玻璃纤维增强塑料夹砂管之间应加木垫圈。

12. 12 穿 墙

12. 12. 1 穿墙方法应根据工程地质、水文地质、管道直径、管道埋置深度、地下水的压力、穿墙管的构造和临时封堵方法等条件确定。

12. 12. 2 在地下水位以下的工作井，穿墙管应有临时封堵。

12. 12. 3 穿墙应根据不同条件采取以下相应措施：

- 1 穿墙管周围为粘性土且水头较高时，闷板开启后管道应迅速顶进，并及时安装好穿墙管止水装置。
- 2 穿墙管周围为粉土时，应降低地下水，并缩短穿墙时间。
- 3 穿墙管周围为淤泥质粘土时，应设置防管道回弹的措施。
- 4 穿墙管周围为砂土时，应加固穿墙管外的土体，降低渗透系数。

12. 12. 4 在软土地区，顶管机入土长度小于管道直径阶段，应采取以下措施防止顶管机头部下沉：

- 1 导轨前端应尽量接近穿墙管, 减少顶管机的悬臂长度。
- 2 穿墙作业应迅速连续不可停顿。
- 3 应在穿墙管内设置定心环。

12. 12. 5 无地下水的穿墙, 应防止井外土体的坍塌。

12. 13 顶 进

12. 13. 1 进入操作的顶管, 应在顶管机内发指令。

12. 13. 2 主顶站和中继间都应装设计量准确的油压表, 严格防止顶力超限。

12. 13. 3 顶管机偏差测量觇标宜接近前端。觇标设在顶管机第二段上的, 应借助仪器通过计算转换成顶管机前端面偏差。

12. 13. 4 管道偏差测量每顶进500mm不宜少于1次, 在纠偏阶段不宜少于2次。

12. 13. 5 顶管纠偏记录应包括如下内容: 日期、时间、顶进长度、顶进总长度、各组纠偏油缸的纠偏量、锁紧压力和上下纠偏角及左右纠偏角。

12. 13. 6 工作井中的顶进记录应包括如下内容: 日期、时间、顶进长度、顶进总长度、启动顶力和正常顶力。

12. 13. 7 顶管机的偏差测量记录应包括如下内容: 日期、时间、顶进长度、顶进总长度、方向测量和水准测量数据。

12. 13. 8 中继间油压应有记录。

12. 13. 9 采用触变泥浆减阻时的注浆记录应包括如下内容: 日期、时间、顶进长度、顶进总长度、注浆压力和注浆量。

12. 13. 10 应根据纠偏记录及时绘制顶管机顶进轨迹, 指导纠偏。

12. 13. 11 顶管机纠偏应根据管道偏差的大小、偏差发展趋势而确定, 使顶管机轨迹过渡平稳。

12. 13. 12 顶管机旋转需要校正时, 对大刀盘顶管机应采用改变刀盘的旋转方向校正, 其余顶管机可在管内采取单边配重校正。

12. 13. 13 经较长时间停顿的管道, 在启动前应加大补浆量、连续补浆及增加补浆点, 直至顶管启动。

12. 13. 14 在流塑性土层中的长距离顶管, 应防止管道纵向失稳。

12. 14 进 洞

12. 14. 1 顶管机进洞前的3倍管径范围内, 应减慢顶进速度, 减小管道正面阻力对接收井的不利影响。

12. 14. 2 进洞口的临时闷板宜加水平支撑便于顶管机接近闷板。

12. 14. 3 接收孔轴线上可安装临时支架, 防止顶管机头下落。

12. 14. 4 接收孔处于饱和砂土层时, 应进行土体加固。

12. 14. 5 管道进洞后应按设计要求封闭接收孔, 防止水土流入井内。

12. 15 减少地面沉降措施

12. 15. 1 在不稳定土中应选择有平衡功能的顶管机, 不应采用开敞式挖掘顶管。

12. 15. 2 建立地面观察点, 并通过试顶确定具有平衡功能顶管机的平衡参数。

12. 15. 3 顶管施工时应采取以下措施:

- 1 减少减阻泥浆套的厚度。
- 2 不可采用大角度纠偏。
- 3 严格控制出泥量, 不可超量出泥。

12. 15. 4 在道路下顶进, 当路面沉量超过10mm时, 应钻孔取样检查土体孔隙比变化。

12. 15. 5 顶管结束后应采用水泥砂浆加固减阻泥浆。

12. 16 曲线顶管

12. 16. 1 每个管节之间都应设木垫圈。

12. 16. 2 管接头的木垫圈厚度应根据曲率半径变化调整。曲线顶管木垫圈厚度不应小于20mm。

12. 16. 3 管节允许顶力与曲率有关, 应根据计算调整。

12. 16. 4 中继间的允许顶力应具备调整合力中心的能力。

12. 16. 5 曲线顶管在软土中施工时, 应防止管道向曲线外侧位移失控。

13 顶管施工监测及验收标准

13. 1 顶管施工监测

13. 1. 1 施工监测的范围应包括地面以上和地面以下两大部分。地面以上应监测地面沉降和地面建筑物的沉降、位移和损坏。地面以下应监测在顶管扰动范围内的地下构筑物、各种地下管线的沉降、水平位移及漏水、漏气。

13. 1. 2 施工监测的重点应放在邻近建筑物(构筑物)、堤岸及可能引起严重后果的地下管线及其他重要设施。

13. 1. 3 在设置监测点时, 应避开各种可能对其产生影响的因素, 以确保不被损坏。

13. 1. 4 观察裂缝应记录地面和结构裂缝的生成时间、裂缝的长度及宽度发展状况。

13. 1. 5 所有监测点必须在顶管施工开始前进行埋设、布置。

13. 1. 6 观测点应定时测定, 测定数据应保持连续、真实、可靠。

13 顶管施工监测及验收标准

13. 1 顶管施工监测

13. 1. 1 施工监测的范围应包括地面以上和地面以下两大部分。地面以上应监测地面沉降和地面建筑物的沉降、位移和损坏。地面以下应监测在顶管扰动范围内的地下构筑物、各种地下管线的沉降、水平位移及漏水、漏气。

13. 1. 2 施工监测的重点应放在邻近建筑物(构筑物)、堤岸及可能引起严重后果的地下管线及其他重要设施。

13. 1. 3 在设置监测点时, 应避开各种可能对其产生影响的因素, 以确保不被损坏。

13. 1. 4 观察裂缝应记录地面和结构裂缝的生成时间、裂缝的长度及宽度发展状况。

13. 1. 5 所有监测点必须在顶管施工开始前进行埋设、布置。

13. 1. 6 观测点应定时测定, 测定数据应保持连续、真实、可靠。

13. 2 工程验收标准

13. 2. 1 顶进贯通后的管道允许偏差应符合表13. 2. 1的规定。

表13. 2. 1 顶管管道顶进允许偏差(mm)

检 查 项 目			、 允许偏差		检查频率		检查方法
			玻璃纤维增强塑料夹砂管, 钢筋混凝土管	钢管	范围	点数	
1	直线顶管水平轴线	顶进长度<300m	50	130	每管节	1点	用经纬仪, 或挂中线用尺测量
		300m≤顶进长度<1000m	100	200			
		顶进长度≥1000m	L/10	100+L/10			

2	直线顶管内底高程	顶进长度 ＜300m	$D_1<1500$	+30, -40	+60, -60	每管节 1点	用水准仪 或水平仪 测量
			$D_1\geq 1500$	+40, -50	+80, -80		
		300m≤顶进长度<1000m		+60, -80	+100, -100		用水准仪 测量
		顶进长度≥1000m		+80, -100	+150, -100, -L/10		
3	曲线顶管水平轴线	$R\leq 150D_1$	水平曲线	150			用经纬仪 测量
			竖曲线	150			
			复合曲线	200			
		$R>150D_1$	水平曲线	150			
			竖曲线	150			
			复合曲线	150			
4	曲线顶管内底高程	$R\leq 150D_1$	水平曲线	+100, -150		用水准仪 测量	
			竖曲线	+150, -200			
			复合曲线	±200			
		$R>150D_1$	水平曲线	+100, -150			
			竖曲线	+100, -150			
			复合曲线	±200			
5	相邻管间错口	钢管、玻璃纤维增强塑料夹砂管		≤2		用尺测量	
		钢筋混凝土管		15%壁厚, 且≤20			
6	钢筋混凝土管曲线顶管相邻管间接口的最大间隙与最小间隙之差			≤ΔS			
7	钢管、玻璃纤维增强塑料夹砂管管道环向变形			≤0.03 D ₁			
8	对顶时两端错口			50			

注: 1 L 为顶进长度(m); D_1 为管道外径(mm); ΔS 为曲线顶管相邻管节接口允许的最大间隙与最小间隙之差(mm), 一般可取1/2的木垫圈厚度; R 为曲线顶管的设计曲率半径。

2 对于长距离的直线钢顶管, 除应满足水平轴线和高程允许偏差外, 尚应限制曲率半径 R_1 : 当 $D_1 \leq 1600$ 时, 应满足 $R_1 \geq 2080\text{m}$; 当 $D_1 > 1600$ 时, 应满足 $R_1 \geq 1260D_1$ 。

13. 2. 2 水平管道垂直顶升施工的允许偏差应符合表13. 2. 2的规定。

表13. 2. 2 水平管道内垂直顶升施工的允许偏差(mm)

检查项目			允许偏差	检查频率		检查方法
				范围	点数	
1	顶升管帽盖顶面高程		±20	每根	1点	用水准仪测
2	顶升管管节安装	管节垂直度	$\leq 1.5\% H$	每节	各1点	用垂线量
		管节连接端面平行度	$\leq 1.5\% D_1$, 且 ≤ 2			用钢尺、角尺等量
3	顶升管节间错口		≤ 20			
4	顶升管道垂直度		$0.5\% H$	每根	1点	用垂线量
5	顶升管的中心轴线	沿水平管纵向	30	各1点	各1点	用经纬仪、钢尺测量
		沿水平管横向	20			
6	开口管顶升口中心轴线	沿水平管纵向	40	每处	1点	
		沿水平管横向	30			

注：H为垂直顶升管总长度(mm)；D₁为垂直顶升管外径(mm)。

13. 2. 3 顶管竣工后管道的闭水试验结果应满足现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268)的要求。

13. 2. 4 地面沉降应满足下列规定：

- 1 顶管造成的地面沉降不应造成道路开裂，大堤及地下设施损坏和渗水。
- 2 顶管造成的地面沉降量不应超过下列规定：

1) 土堤小于或等于30mm；

2) 公路小于或等于20mm；

3) 顶管穿越铁路、地铁及其他对沉降敏感的地下设施时，累计沉降量尚应符合国家相关的规定。
- 3 当检测数据达到沉降限值70%时，应及时报警并启动应急事故处理预案。

附录A 柔性管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形系数

A. 0. 1 柔性管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形系数可按表A采用。

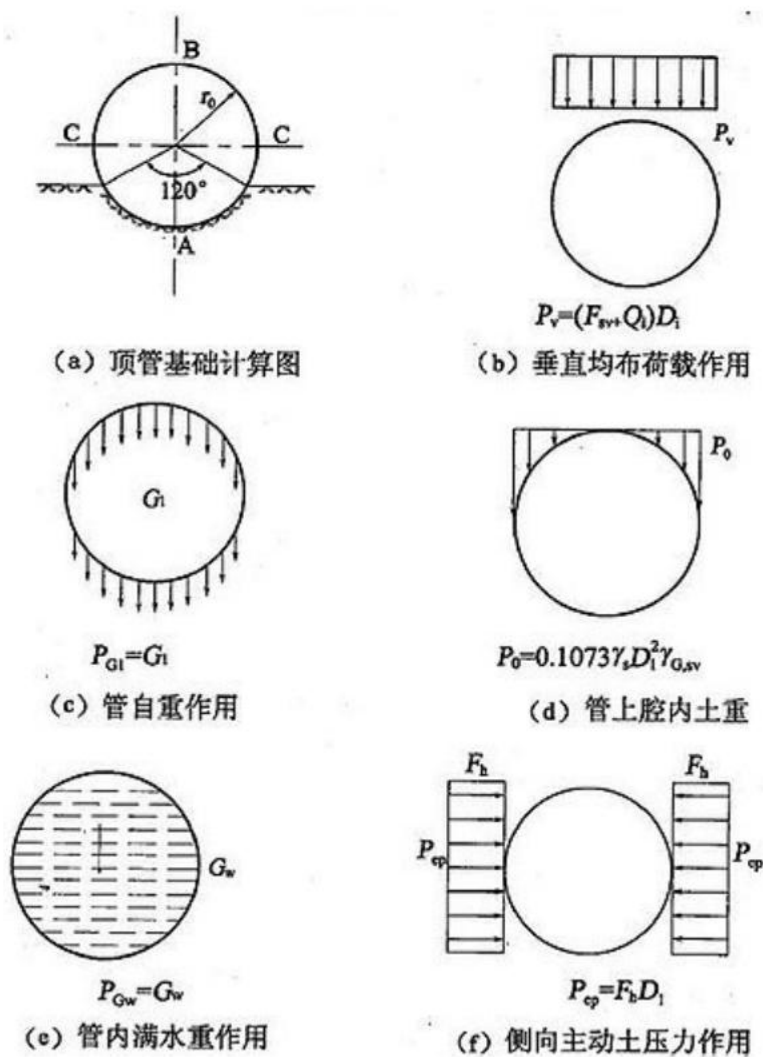
表A 最大弯矩系数和竖向变形系数

项目	弯矩系数			变形系数
	管道自重 k_{gm}	竖向土压力 k_{vm}	管内水重 k_{wm}	竖向压力 k_b
系数	0.083	0.138	0.083	0.089

注：支承角取 $2\alpha=120^\circ$ 。

附录B 圆形刚性管道在各种荷载作用下的内力系数

B. 0. 1 圆形刚性管道荷载作用图式如下(图B)：



图B 荷载作用图

B. 0. 2 圆形刚性管内力系数可查表B:

表B 圆形刚性管内力系数表

内力系数 荷载类别	k_{mA}	k_{mB}	k_{mC}	k_{nA}	k_{nB}	k_{nC}
垂直均布荷载	0.154	0.136	-0.138	0.209	-0.021	0.500
管自重	0.100	0.066	-0.076	0.236	-0.048	0.250
管上腔内土重	0.131	0.072	-0.111	0.258	-0.070	0.500
管内满水重	0.100	0.066	-0.076	-0.240	-0.208	-0.069
侧向主动土压力	-0.125	-0.125	0.125	0.500	0.500	0

附录C 地面车辆荷载对管道作用标准值的计算方法

C. 0. 1 地面车辆荷载对管道上的作用, 包括地面行驶的各种车辆, 其载重等级、规格型式应根据地面运行要求确定。

C. 0. 2 地面车辆荷载传递到管道顶部的竖向压力标准值, 可按下列方法确定:

1 单个轮压传递到管道顶部的竖向压力标准值可按下式计算(图C. 0. 2-1):

$$q_{vk} = \frac{Q_{vi,k}}{(a_i + 1.4H)(b_i + 1.4H)} \quad (C. 0. 2-1)$$

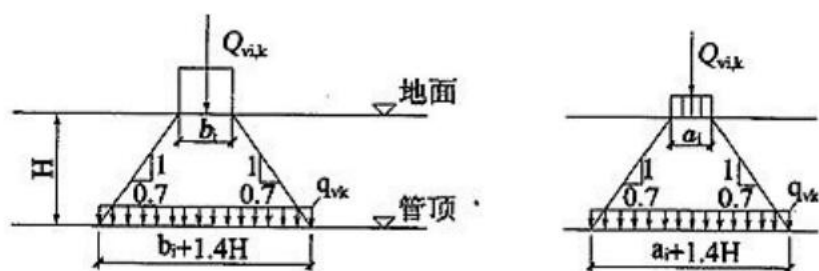
式中 q_{vk} ——轮压传递到管顶处的竖向压力标准值(kN/m^2);

$Q_{vi,k}$ ——车辆的*i*个车轮承担的单个轮压标准值(kN);

a_i ——*i*个车轮的着地分布长度(m);

b_i ——*i*个车轮的着地分布宽度(m);

H ——自车行地面至管顶的深度(m)。



(a) 顺轮胎着地宽度的分布

(b) 顺轮胎着地长度的分布

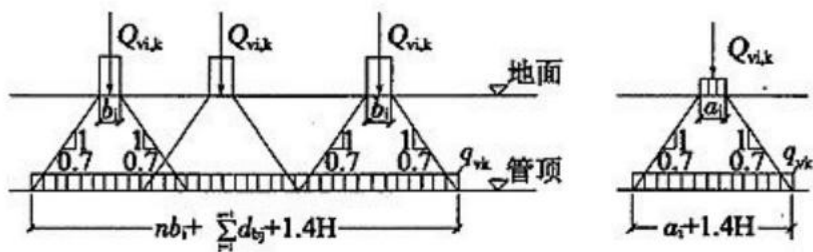
图C. 0. 2-1 单个轮压的传递分布图

2 两个以上单排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值, 可按下式计算(图C. 0. 2-2):

$$q_{vk} = \frac{nQ_{vi,k}}{(a_i + 1.4H) \left(nb_i + \sum_{j=1}^{n-1} d_{bj} + 1.4H \right)} \quad (C. 0. 2-2)$$

式中 n ——轮胎的总数量;

d_{bj} ——沿车轮着地分布宽度方向, 相邻两个车轮间的净距(m)。



(a) 顺轮胎着地宽度的分布

(b) 顺轮胎着地长度的分布

图C. 0. 2-2 两个以上单排轮压综合影响的传递分布图

3 多排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值, 可按下式计算:

$$q_{vk} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{vi,k}}{(\sum_{i=1}^{m_a} a_i + \sum_{j=1}^{m_a-1} d_{aj} + 1.4H) (\sum_{i=1}^{m_b} b_i + \sum_{j=1}^{m_b-1} d_{bj} + 1.4H)} \quad (\text{C. 0. 2-3})$$

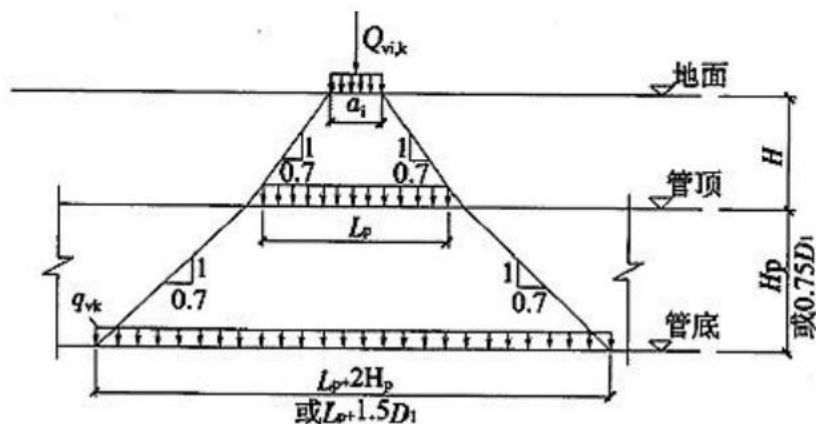
式中 m_a ——沿车轮着地分布宽度方向的车轮排数;
 m_b ——沿车轮着地分布长度方向的车轮排数;
 d_{bj} ——沿车轮着地分布长度方向, 相邻两个车轮间的净距(m)。

C. 0. 3 当刚性管道为整体式结构时, 地面车辆荷载的影响应考虑结构的整体作用, 此时作用在管道上的竖向压力标准值可按下式计算(图C. 0. 3):

车辆荷载的竖向压力传递分布:

$$q_{ve,k} = q_{vk} \frac{L_p}{L_e} \quad (\text{C. 0. 3})$$

式中 $q_{ve,k}$ ——考虑管道整体作用时管道上的竖向压力(kN/m^2);
 L_p ——轮压传递到管顶处沿管道纵向的影响长度(m);
 L_e ——管道纵向承受轮压影响的有效长度(m), 对圆形管道可取 $L_e = L_p + 1.5D_1$; 对矩形管道可取 $L_e = L_p + 2H_p$, H_p 为管道高度(m)。



图C. 0. 3 考虑结构整体作用时

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待, 对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1) 表示很严格, 非这样做不可的:
 正面词采用“必须”;
 反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格, 在正常情况下均应这样做的:
 正面词采用“应”;
 反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择, 在条件许可时首先应这样做的:
 正面词采用“宜”;

反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择, 在一定条件下可以这样做的:

正面词采用“可”;

反面词采用“不可”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行时, 写法为“应按……执行”或“应符合……要求(或规定)”。非必须按所指定标准执行时, 写法为“可参照……执行”。

中国工程建设协会标准

给水排水工程顶管技术规程

CECS 246: 2008

条文说明

1 总 则

1. 0. 2 本规程主要针对DN800以上的用顶管机顶进的顶管。由于小直径顶管、拖拉管及手掘式顶管问题较多, 本规程难以概括, 有关单位在设计和施工中可以参照本规程某些章节, 但应根据具体情况进行修正。

目前玻璃纤维增强塑料夹砂管已广泛地运用于给排水工程中的顶管。

1. 0. 5 在冻土地区顶管应在冻结深度以下进行, 在膨胀土地区顶管应避开地下水变化的土层。并应按照现行的国家标准和强制性条文的有关规定执行。

3 顶管工程勘察规定

3. 1 一般规定

3. 1. 1 应查明地层结构特征及各类土的空间分布, 供顶管选位参考, 发现不稳定土层或岩石层应特别提示。

3. 1. 2 顶管管线位于暗浜和江湖河沟时, 应查明土层分布和不均匀状况。

3. 1. 4 当有地下障碍物时, 应查明障碍物的分布范围、埋深和特性。

3. 1. 5 地下存在沼气及其他有毒有害物质时, 应查明分布范围、埋深和特性。

3. 1. 6 在化工厂区地下顶管时, 查明酸碱和油脂的污染程度。供设计单位对管材选用和防腐处理作参考。

3 顶管工程勘察规定

3. 1 一般规定

3. 1. 1 应查明地层结构特征及各类土的空间分布, 供顶管选位参考, 发现不稳定土层或岩石层应特别提示。
3. 1. 2 顶管管线位于暗浜和江湖河沟时, 应查明土层分布和不均匀状况。
3. 1. 4 当有地下障碍物时, 应查明障碍物的分布范围、埋深和特性。
3. 1. 5 地下存在沼气及其他有毒有害物质时, 应查明分布范围、埋深和特性。
3. 1. 6 在化工厂区地下顶管时, 查明酸碱和油脂的污染程度。供设计单位对管材选用和防腐处理作参考。

3. 2 地下水勘察

3. 2. 1 地下水勘察时的水位不是最高水位也不是最低水位。最高水位和最低水位应向当地水文部门查询。
3. 2. 2 地下水温度或土体温度对顶管设计很重要, 应当在勘察报告中提供。
3. 2. 4 地下的承压水有可能威胁顶管施工的安全, 应准确提供必要的数。

3. 3 布孔要求

3. 3. 1 勘探孔布置在轴线两侧, 不要布置在轴线上, 以避免对顶管的不利影响。
3. 3. 3 本条参照现行行业标准《市政工程勘察规范》CJJ 56, 场地分类见表1。

表1 场地分类

I 类土	II 类土	III 类土
1. 按现行的国家规范《建筑抗震设计规范》GB 50011 划分的对建筑抗震危险的场地和地段。 2. 不良地质现象强烈发育。 3. 地质环境已经或可能受到强烈破坏。 4. 地形地貌复杂。 5. 岩土种类多, 性质变化大, 地下水对工程影响大, 且需特殊处理。 6. 变化复杂, 作用强烈的特殊性岩土	1. 按现行的国家规范《建筑抗震设计规范》GB 50011 划分的对建筑抗震不利的场地和地段。 2. 不良地质现象一般发育。 3. 地质环境已经或可能受到一般破坏。 4. 地形地貌较复杂。 5. 岩土种类较多, 性质变化较大, 地下水对工程有不利影响。 6. 不属于 I 类的一般特殊性岩土	1. 地震设防烈度为 6 度或 6 度以下, 或按现行的国家规范《建筑抗震设计规范》GB 50011 划分的对建筑抗震有利的场地和地段。 2. 不良地质现象不发育。 3. 地质环境基本未受破坏。 4. 地形地貌简单。 5. 岩土种类单一, 性质变化不大, 地下水对工程无影响。 6. 非特殊性岩土

注: 1 表中未列项目可按其复杂性比照推定;

2 从 I 类开始, 向 II 类、III 类推定, 6 项中其中一项属于 I 类, 即划为 I 类场地, 依次类推。

3.3.4 工作井和接收井的勘探孔间距应视井的尺寸大小而有所不同。如果同泵站结合在一起的大尺寸工作井,孔距30m左右,而长度不到30m的小尺寸工作井至少设2个孔,必要时设4个孔。

3.4 勘察报告

3.4.1~3.4.6 勘察报告内容应根据任务要求,勘察区的地理、地质特征和工程地质环境特征,以及市政建设工程项目的具体情况确定。为便于工作,本节规定了勘察报告内容的基本要求,这些内容可根据上述原则作适当增减。对地质条件简单和勘察工作量小的工程,勘察报告可适当简化,采用图表形式,并附必要的文字说明。

3.5 提供岩土物理力学指标的基本要求

3.5.1~3.5.3 本节要求提供的物理力学的基本要求,是针对顶管工程的必需资料。第3.5.3条所列的土层物理力学系数是顶管设计和施工的必需参数,不同于一般的工程勘察项目。勘察部门编写勘察报告时应参照勘察行业的有关规范编写。

本章的内容主要参考了现行行业标准《市政工程勘察规范》CJJ 56和上海市工程建设规范《地基基础设计规范》DGJ 08-11。

4 管材选用及管件构造要求

4.1 管材选用

给水工程常用钢管,排水工程常用混凝土管。目前我国玻璃纤维增强塑料夹砂管运用已日臻成熟,在排水工程中已普遍使用;在给水工程中运用也有相当规模,顶管最大直径已达DN2300,新疆某引水工程使用DN3100。目前钢筒混凝土管和铸铁管在顶管工程中也有运用,各地可以根据具体情况选用。

4 管材选用及管件构造要求

4.1 管材选用

给水工程常用钢管,排水工程常用混凝土管。目前我国玻璃纤维增强塑料夹砂管运用已日臻成熟,在排水工程中已普遍使用;在给水工程中运用也有相当规模,顶管最大直径已达DN2300,新疆某引水工程使用DN3100。目前钢筒混凝土管和铸铁管在顶管工程中也有运用,各地可以根据具体情况选用。

4.2 钢管

4.2.1 Q235B在焊接性能方面比Q235A好,而且价格相当。

4.2.3 表4.2.3来源于日本的防腐蚀学会资料。

4.2.4 大直径管指直径大于或等于800mm的管道,小直径管指直径小于800mm的管道。

4.2.6 钢制顶管的现场焊接工作量大、工期长。因此每节管长越长越好,一般而言,短距离顶管,单节管长取6m,长距离顶管宜取8~10m或更长。单节管长度大的缺点是顶管工作井长度相应增加,提

高了工作井的造价。

4. 2. 7 表4. 2. 7来源于1998年中国建筑工业出版社出版的《实用给水排水工程施工手册》。

4. 2. 9 钢管中的无压管, 一般用于给水工程中的取水管。取水管中的埋管段接头常用哈夫接头, 所以顶管中的取水管, 焊缝质量检查标准不必取Ⅱ级而取用Ⅲ级。

4. 2. 11 本条规定来源于现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268。建议在水泥砂浆中掺入聚丙烯纤维, 限制裂缝宽度。

4. 2. 13 当钢管与两井之间不设伸缩接头, 需验算钢管温度应力。如果是曲线顶管或折线顶管一般可以不验算。当需要验算时, 可按温度20℃计算。钢管与井连接经常发生断裂漏水, 除了钢管收缩变形原因外, 尚有沉降变形的原因。

4. 3 钢筋混凝土管

4. 3. 1 钢筋混凝土顶管的混凝土强度等级不宜低于C50, 如果管径较小, 顶距也不长时可以适当降低, 但要经过顶力验算。

4. 3. 7 混凝土顶管每节长度通常取2~3. 5m。直线顶管可取大值, 曲线顶管宜取小值。

4. 3. 9 混凝土管接头过去常称T形接头、F形接头等。根据现行行业标准《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》JC/T 640接口改称钢承口式、双插口式、企口式和平口式。本规程不推荐平口式和企口式。

4. 3. 10 因为混凝土管接口不平整, 承力面必须设置木垫圈, 木垫圈应选择有弹性的木质材料做成, 其厚度视顶管条件决定, 曲线顶管时厚度要厚些。据了解, 日本人按照曲率半径要求将木垫圈做成变截面而不是等截面。

4. 4 玻璃纤维增强塑料夹砂管

4. 4. 3 管道刚度等级是为设计者所用的名义管刚度。管刚度公式 $SN = \frac{E_p t^3}{12D_0^3} \times 10^6$ 。

4. 4. 4 三种图示为常用接头。应优先采用套筒固定在一节上的接头。橡胶圈也可采用O形或鹰嘴类型。

4. 4. 7 管节越长纠偏越困难、接头偏转角越大, 就容易造成漏水。所以管节不宜过长, 一般控制在4000mm之内。

4. 4. 11 承插式玻璃纤维增强塑料夹砂缠绕管接头的承插口内圈很难加工平整, 故应在每个接头处都设木垫圈。承插口式接头目前仅用于缠绕式玻璃纤维增强塑料夹砂管。

5 顶管设计规定

5. 1 顶管管位选择

5. 1. 3 当河床有冲刷, 顶管应布置在冲刷线以下。除此以外, 抗浮和航道要求在设计中仍要考虑。

5 顶管设计规定

5. 1 顶管管位选择

5. 1. 3 当河床有冲刷, 顶管应布置在冲刷线以下。除此以外, 抗浮和航道要求在设计中仍要考虑。

5. 2 顶进土层选择

5. 2. 1 砾石和抗压强度大于15MPa的岩石也可以顶管, 但是要使用大刀盘, 并且顶进速度要慢。在地下水以下的土体承载力小于30kPa, 含有垃圾的杂填土和渗透系数较大的砂砾层都可以顶管, 但要采取适当措施, 否则施工中易失稳。

5. 2. 2 所列4种不宜顶管的条件是南方的顶管经验和教训的总结, 曾出过不少工程事故。现代技术发展了, 采取适当措施当然也可以顶管, 能避开则应尽量避免为好。

5. 2. 3 在软硬不匀的土层界面上也可以顶管, 只是加大纠偏的频率, 当有条件避免时应当避免。

5. 3 顶管间距

5. 3. 1 顶管间距是从顶进时避免相互影响的最小距离考虑, 这个结论已有试验验证。对于重要的输水干道之间的安全运行距离, 尚应考虑水管破坏时压力水释放的影响。

5. 4 管顶覆盖层厚度

规定管顶覆盖层厚度主要是减少地面沉降。另外, 也有施工方面的考虑。

5. 5 曲线顶管

5. 5. 4 曲线顶管的最小曲率半径计算假定截面不脱离, 即接触面应力呈三角形分布, 参照美国土木工程师协会(American Society of Civil Engineers)的《预制混凝土管顶管设计规范》(《Standard Practice for Direct Design of Precast Concrete Pipe for Jacking In Trenchless Construction》ASCE 27-00), 考虑接头处垫圈的厚度、弹性模量和管材弹性模量等因素推导建立。如果考虑截面有张口, 曲率半径可按公式5. 5. 4-5计算。

5. 5. 5 焊接钢管不宜进行曲线顶管, 但曲线顶管曲率半径较大还是可以的。对于顶管施工而言, 管道刚度小, 厚度薄, 可纠性好, 更适于顶管。

确实需要做曲线顶管时, 可以多设中继间, 用若干短折线顶管替代曲线, 在折线交点处设置中继间。

6 顶管结构上的作用

6. 2 永久作用标准值

6. 2. 2 管顶覆盖层的竖向土压力公式取自现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB

50332附录B。

原公式只考虑土的内摩擦角 ϕ ，未考虑的粘聚力 C ，本规程根据美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》ASCE 27-00考虑了内摩擦角和粘聚力共同作用，对于顶管而言比较符合真实情况，但由于粘聚力在土工试验时离散性较大，为确保安全，建议 C 值取试验成果的最低值。砂性土也可考虑 C 值，美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》ASCE 27-00规定：对于粉质砂土 C 可取 $4800\text{N}/\text{m}^2$ ，密实砂土 C 可取 $4400\text{N}/\text{m}^2$ 。干燥的松砂时 C 取0。美国标准取 $B_t = D_1$ ，本规程在送审稿审查后决定取 $B_t =$

$D_1[1 + \text{tg}(45^\circ - \frac{\phi}{2})]$ ，与现行国家标准《给水排水管道结构设计规范》GB 50332协调一致。关于 $K_a\mu$ 本规程则按美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》ASCE 27-00按土质分别取值。

6.2.3 当覆盖层土体部分在地下水以上，部分在地下水以下时，地下水以上土重取实重，地下水以下土重取有效重度。

管道处于地下水以下时，计算竖向压力和水平侧压力时都采用水土分算。有地下水时计算结果比没有地下水时要小，因此地下水位应选取较低的水位比较安全。

6 顶管结构上的作用

6.2 永久作用标准值

6.2.2 管顶覆盖层的竖向土压力公式取自现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332附录B。

原公式只考虑土的内摩擦角 ϕ ，未考虑的粘聚力 C ，本规程根据美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》ASCE 27-00考虑了内摩擦角和粘聚力共同作用，对于顶管而言比较符合真实情况，但由于粘聚力在土工试验时离散性较大，为确保安全，建议 C 值取试验成果的最低值。砂性土也可考虑 C 值，美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》ASCE 27-00规定：对于粉质砂土 C 可取 $4800\text{N}/\text{m}^2$ ，密实砂土 C 可取 $4400\text{N}/\text{m}^2$ 。干燥的松砂时 C 取0。美国标准取 $B_t = D_1$ ，本规程在送审稿审查后决定取 $B_t =$

$D_1[1 + \text{tg}(45^\circ - \frac{\phi}{2})]$ ，与现行国家标准《给水排水管道结构设计规范》GB 50332协调一致。关于 $K_a\mu$ 本规程则按美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》ASCE 27-00按土质分别取值。

6.2.3 当覆盖层土体部分在地下水以上，部分在地下水以下时，地下水以上土重取实重，地下水以下土重取有效重度。

管道处于地下水以下时，计算竖向压力和水平侧压力时都采用水土分算。有地下水时计算结果比没有地下水时要小，因此地下水位应选取较低的水位比较安全。

6.3 可变作用标准值及其准永久值系数

6.3.1 表6.3.1摘自现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332。

6.3.4 地面堆积荷载与地面车辆轮压不考虑同时作用，当垂直土压力计算的土柱高度大于顶管埋深时，这两项都可不考虑。

6.3.5 温差指冬季或夏季管内水温与顶管埋置深度的土体温度之差。

7 顶管结构基本设计规定

7. 2 承载能力极限状态计算规定

7. 2. 4 顶管的计算分四个工况：顶管期间、空管期间、管内满水、使用期间。

顶管期间管内不可能有水、水压，也没有温差作用，顶管计算只考虑顶力。当采取注浆减阻并且浆液确实饱满时，管外水土压力和地面堆载可以不计，只承受减阻泥浆压力，此工况不是受力控制工况，所以在计算组合中不考虑。管内满水工况不同于使用工况，因为管内静水压力，对管壁横截面弯矩起控制作用。当不使用减阻泥浆施工时，施工阶段管道计算可参照使用阶段工况设计，并应考虑顶力作用，但不考虑温度作用。

7. 2. 5 验算柔性管截面稳定时，竖向土压和侧向土压应分别按本规程第6. 2. 2条和第6. 2. 3所列公式计算，地面车辆或地面堆积荷载是否考虑视计算土柱高度决定。

使用期间承载能力和稳定验算时，对于钢管应扣除腐蚀厚度，对于玻璃纤维增强塑料夹砂管应考虑老化系数和长期作用的强度值。而施工阶段则不应考虑这些因素。

7 顶管结构基本设计规定

7. 2 承载能力极限状态计算规定

7. 2. 4 顶管的计算分四个工况：顶管期间、空管期间、管内满水、使用期间。

顶管期间管内不可能有水、水压，也没有温差作用，顶管计算只考虑顶力。当采取注浆减阻并且浆液确实饱满时，管外水土压力和地面堆载可以不计，只承受减阻泥浆压力，此工况不是受力控制工况，所以在计算组合中不考虑。管内满水工况不同于使用工况，因为管内静水压力，对管壁横截面弯矩起控制作用。当不使用减阻泥浆施工时，施工阶段管道计算可参照使用阶段工况设计，并应考虑顶力作用，但不考虑温度作用。

7. 2. 5 验算柔性管截面稳定时，竖向土压和侧向土压应分别按本规程第6. 2. 2条和第6. 2. 3所列公式计算，地面车辆或地面堆积荷载是否考虑视计算土柱高度决定。

使用期间承载能力和稳定验算时，对于钢管应扣除腐蚀厚度，对于玻璃纤维增强塑料夹砂管应考虑老化系数和长期作用的强度值。而施工阶段则不应考虑这些因素。

7. 3 正常使用极限状态验算规定

7. 3. 4 钢管内防腐为水泥砂浆时，其最大竖向变形不应超过 $0.02D_0$ ，超过此值以后，砂浆会因此而开裂。如果采取措施提高水泥砂浆抗裂性能，钢管变形也可以控制到 $0.03D_0$ 。如果先顶管，水泥砂浆在顶管后再抹，水泥砂浆就不易开裂了。

玻璃纤维增强塑料夹砂管最大竖向变形不应超过 $0.05D_0$ ，由于玻璃纤维增强塑料夹砂管会产生老化，刚度老化系数为0.5，所以这里的变形是指长期变形。因为顶管采用的管道刚度较大，经计算竖向变形很小，不会达到 $0.05D_0$ ，用变形控制的计算受力设计指标可以使用实际计算的长期挠度。

8 承载能力极限状态计算

8. 1 管道允许顶力验算

8. 1. 1 钢筋混凝土管顶管允许顶力计算公式(式8. 1. 1)参考了美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》(ASCE 27-00)。建立此公式时，假定顶力存在偏心，并且顶力的合力作用点在管道截面核心区

的边缘,即假定管道截面压应力呈三角形分布,管道一侧为0,管道另一侧受力最大。如本规程第5.4条图5.5.4-1所示。

美国标准原公式是针对混凝土管的。顶力偏心时,管节接触面上最大压应力 f_{p2m} 按下式计算:

$$f_{p2m} = \frac{0.85\phi_1 f'_c}{LFJ_2} \quad (1)$$

顶力不偏心时,管节接触面上最大压应力 f_{p1m} 按下式计算:

$$f_{p1m} = \frac{0.85\phi_1 f'_c}{LFJ_1} \quad (2)$$

截面上能承受最大顶力为

$$P_{jm} = 0.5 f_{p2m} A_p = \frac{0.5 \times 0.85 \phi_1 f'_c}{LFJ_2} A_p \quad (3)$$

式中 ϕ_1 ——0.9;

f'_c ——美国的混凝土受压设计强度;

$LFJ_2=1.2$ 。美国标准考虑截面均匀受压时,接触面上均匀受压时,压应力的计算公式是 LFJ_1 , $LFJ_1=1.5$,显然,这里考虑了材料局部受压的应力提高系数 $1.5/1.2=1.25$ 。但这个系数同中国规范有所区别。

本规程所用公式:

$$F_{dc} = \frac{0.5\phi_1\phi_2\phi_3}{\gamma_{Qd}\phi_5} f_c A_p \quad (4)$$

其中 ϕ_1 ——材料受压强度折减系数,钢管取 $\phi_1=1.0$,其余均取 $\phi_1=0.9$;

ϕ_2 ——偏心受压材料应力提高系数, $\phi_2=1.05$;这个系数是根据国内相应规范得来的;

ϕ_3 ——材料脆性系数, $\phi_3=0.85$;对混凝土管, ϕ_3 就是美国标准公式中的0.85;

ϕ_5 ——混凝土强度标准调整系数,考虑到中国的混凝土强度 f_c 等于美国 f'_c 的0.79。调整后安全度标准与美国接近;

γ_{Qd} ——活载分项系数, $\gamma_{Qd}=1.3$ 。

混凝土管美国算式 $f_{dc}=0.318f_c A_p$ 。

本规程算式 $f_{dc}=0.309f_c A_p$,调整后本规程算式与美国算式仅相差3%。

8.1.2 玻璃纤维增强塑料夹砂管顶管允许顶力计算模式同混凝土管。

根据本规程的计算式,安全系数为3.61,同我国目前通用的离心管安全系数3.5比较接近,与缠绕管的安全系数3.61基本相同。

关于玻璃纤维增强塑料夹砂管的受压强度设计值,至今尚无规范规定,厂家提供的受压强度是破坏强度,把破坏强度当作设计强度不妥当。为此本规程建议设计强度取厂家提供系列试验报告的最低值。每批试验报告的样品数量不应少于10个,或者按照平均受压破坏强度除以1.2当作设计值。

8.1.3 钢管顶管接触面最大允许顶力计算:

1 计算模型:

管道纠偏在减少偏差的同时,必然造成管轴线弯曲。由弯曲造成的纵向弯矩的大小与管道的抗弯刚度、曲率半径有关,刚度越大、曲率半径越小,则抗弯刚度越大,弯曲应力越大。实践经验证明,管径较大的钢管弯曲应力如不加重重视,容易造成不良后果。

钢管设计允许顶力的计算模式是:钢管最大允许弯曲应力加顶力造成的钢管平均应力应等于钢管

最大允许应力 f_m (见图1)。

钢管最大允许压应力为:

$$f_m = \frac{\phi_1 \phi_3 \phi_4 f}{\gamma_{Qd}} \quad (5)$$

钢管最大允许弯曲压应力为:

$$f_{b, \max} = \gamma \phi_1 \phi_3 f \quad (6)$$

式中 f_m ——钢管最大允许压应力;

$f_{b, \max}$ ——可能发生的钢管最大纵向弯曲应力;

f_p ——允许顶力造成的钢管平均应力。

f ——钢材强度设计值。

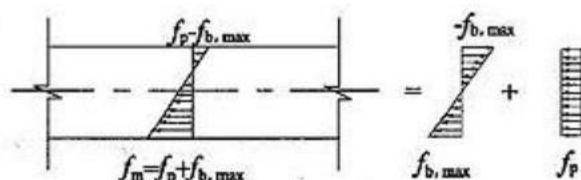


图1 钢管顶力计算模型图

2 最大允许顶力计算公式推导:

$$F_{ds} = f_p A_p = \left[\frac{\phi_1 \phi_3 \phi_4 f}{\gamma_{Qd}} - f_{b, \max} \right] A_p \quad (7)$$

钢管允许最大纵向弯曲应力 $f_{b, \max}$ 是根据施工纠偏的需要及钢管弯曲的可能以及参照以往的施工经验确定为:

$$f_{b, \max} = 0.72 \cdot \phi_1 \phi_3 f \quad (8)$$

代入(7)式并取 $\phi_4 = 0.36$ (根据顶管施工经验推定) 可得:

$$F_{ds} = \frac{\phi_1 \phi_3 \phi_4}{\gamma_Q} f A_p \quad (9)$$

3 验算方法:

为了防止钢管弯曲超过允许范围, 可以通过检验管轴线的最小弯曲半径来实现。

首先测定弯曲最严重部分的管轴线, 在轴线上确定最大弯曲平面上的三个点的平面坐标, 点与点的间距不宜太大或太小, 可采用5倍管道外径。三点已知后求出管道的曲率半径。通过下式可得到钢管的实际弯曲应力并检验钢管的实际弯曲应力是否超过 $f_{b, \max}$ 。

$$f = \frac{D_1 \cdot E_p}{2R_1} \quad (10)$$

式中 R_1 ——曲率半径;

D_1 ——管道外径;

E_p ——钢材弹性模量。

4 弯曲应力超过设计值情况下的顶力调整:

当管道轴线弯曲超过钢管最大允许纵向弯曲应力 f_{bmax} 时, 应根据实际弯曲应力 f 按下式计算顶力:

$$F'_{di} = \left[\frac{\gamma_x \phi_1 \phi_3 \phi_4 f_s}{\gamma_{Qd}} - f \right] \cdot A_p \quad (11)$$

5 预制管节接触面有脱离情况下最大允许顶力可按下式计算(图2):

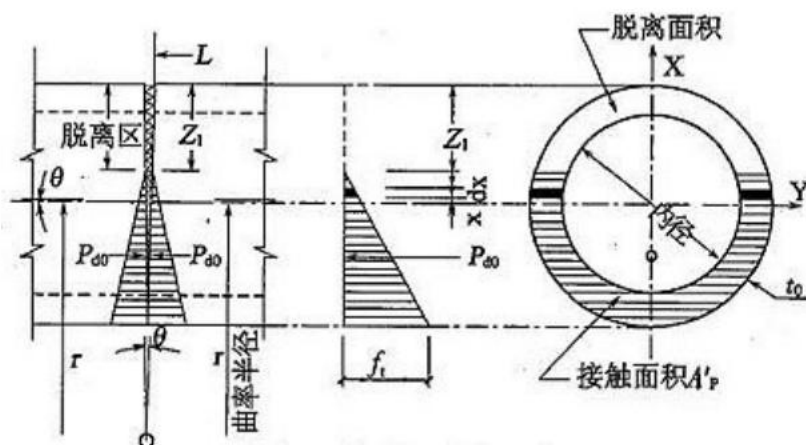


图2 接触面受力示意

此图是美国《混凝土顶管规范》(ASCE 27-00)刊载的受力图, 据此图建立积分公式可解得接触面有脱离各种情况下的允许顶力。

当 $0 < Z_1 \leq t_0$ 时:

$$P_{\phi} = \frac{2\phi_1\phi_2\phi_3}{\gamma_{Qd}\phi_0} \left[\int_{-\frac{D_1}{2}}^{-\frac{D_1}{2}+t_0} f_t \cdot \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - x^2} dx \dots \right. \\ \left. + \left[\int_{-\frac{D_1}{2}+t_0}^{\frac{D_1}{2}-t_0} f_c \cdot \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - x^2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2} \right] dx \dots \right. \right. \\ \left. \left. + \int_{\frac{D_1}{2}-t_0}^{\frac{D_1}{2}-Z_1} f_t \cdot \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - x^2} dx \right] \right]$$

当 $t_0 < Z_1 \leq D_1 - t_0$ 时:

$$P_{\phi} = \frac{2\phi_1\phi_2\phi_3}{\gamma_{Qd}\phi_0} \left[\int_{-\frac{D_1}{2}}^{-\frac{D_1}{2}+t_0} f_t \cdot \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - x^2} dx \dots \right. \\ \left. + \left[\int_{-\frac{D_1}{2}+t_0}^{\frac{D_1}{2}-Z_1} f_c \cdot \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - x^2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2} \right] dx \right] \right]$$

式中 f_t ——预制管节顶管管材受压强度设计值。

8 承载力极限状态计算

8.1 管道允许顶力验算

8.1.1 钢筋混凝土管顶管允许顶力计算公式(式8.1.1)参考了美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》(ASCE 27-00)。建立此公式时,假定顶力存在偏心,并且顶力的合力作用点在管道截面核心区边缘,即假定管道截面压应力呈三角形分布,管道一侧为0,管道另一侧受力最大。如本规程第5.4条图5.4-1所示。

美国标准原公式是针对混凝土管的。顶力偏心时,管节接触面上最大压应力 f_{p2m} 按下式计算:

$$f_{p2m} = \frac{0.85\phi_1 f'_c}{LFJ_2} \quad (1)$$

顶力不偏心时,管节接触面上最大压应力 f_{p1m} 按下式计算:

$$f_{p1m} = \frac{0.85\phi_1 f'_c}{LFJ_1} \quad (2)$$

截面上能承受最大顶力为

$$P_{1m} = 0.5 f_{p2m} A_p = \frac{0.5 \times 0.85 \phi_1 f'_c}{LFJ_2} A_p \quad (3)$$

式中 ϕ_1 ——0.9;

f'_c ——美国的混凝土受压设计强度;

LFJ₂=1.2。美国标准考虑截面均匀受压时,接触面上均匀受压时,压应力的计算公式是LFJ₁, LFJ₁=1.5,显然,这里考虑了材料局部受压的应力提高系数1.5/1.2=1.25。但这个系数同中国规范有所区别。

本规程所用公式:

$$F_{dc} = \frac{0.5\phi_1\phi_2\phi_3}{\gamma_{Qd}\phi_5} f_c A_p \quad (4)$$

其中 ϕ_1 ——材料受压强度折减系数,钢管取 $\phi_1=1.0$,其余均取 $\phi_1=0.9$;

ϕ_2 ——偏心受压材料应力提高系数, $\phi_2=1.05$;这个系数是根据国内相应规范得来的;

ϕ_3 ——材料脆性系数, $\phi_3=0.85$;对混凝土管, ϕ_3 就是美国标准公式中的0.85;

ϕ_5 ——混凝土强度标准调整系数,考虑到中国的混凝土强度 f_c 等于美国 f_c 的0.79。调整后安全度标准与美国接近;

γ_{Qd} ——活载分项系数, $\gamma_{Qd}=1.3$ 。

混凝土管美国算式 $f_{dc}=0.318f_c A_p$ 。

本规程算式 $f_{dc}=0.309f_c A_p$,调整后本规程算式与美国算式仅相差3%。

8.1.2 玻璃纤维增强塑料夹砂管顶管允许顶力计算模式同混凝土管。

根据本规程的计算式,安全系数为3.61,同我国目前通用的离心管安全系数3.5比较接近,与缠绕管的安全系数3.61基本相同。

关于玻璃纤维增强塑料夹砂管的受压强度设计值,至今尚无规范规定,厂家提供的受压强度是破坏强度,把破坏强度当作设计强度不妥当。为此本规程建议设计强度取厂家提供系列试验报告的最低值。每批试验报告的样品数量不应少于10个,或者按照平均受压破坏强度除以1.2当作设计值。

8.1.3 钢管顶管接触面最大允许顶力计算:

1 计算模型:

管道纠偏在减少偏差的同时,必然造成管轴线弯曲。由弯曲造成的纵向弯矩的大小与管道的抗弯刚度、曲率半径有关,刚度越大、曲率半径越小,则抗弯刚度越大,弯曲应力越大。实践经验证明,管径较大的钢管弯曲应力如不加重重视,容易造成不良后果。

钢管设计允许顶力的计算模式是:钢管最大允许弯曲应力加顶力造成的钢管平均应力应等于钢管最大允许应力 f_m (见图1)。

钢管最大允许压应力为:

$$f_m = \frac{\phi_1\phi_3\phi_4 f}{\gamma_{Qd}} \quad (5)$$

钢管最大允许弯曲压应力为:

$$f_{b,max} = \gamma\phi_1\phi_3 f \quad (6)$$

式中 f_m ——钢管最大允许压应力;

$f_{b,max}$ ——可能发生的钢管最大纵向弯曲应力;

f_p ——允许顶力造成的钢管平均应力。

f ——钢材强度设计值。

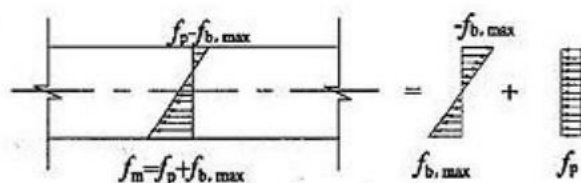


图1 钢管顶力计算模型图

2 最大允许顶力计算公式推导:

$$F_{ds} = f_p A_p = \left[\frac{\phi_1 \phi_3 \phi_4 f}{\gamma_{Qd}} - f_{b, \max} \right] A_p \quad (7)$$

钢管允许最大纵向弯曲应力 $f_{b, \max}$ 是根据施工纠偏的需要及钢管弯曲的可能以及参照以往的施工经验确定为:

$$f_{b, \max} = 0.72 \cdot \phi_1 \phi_3 f \quad (8)$$

代入(7)式并取 $\phi_4 = 0.36$ (根据顶管施工经验推定) 可得:

$$F_{ds} = \frac{\phi_1 \phi_3 \phi_4}{\gamma_Q} f A_p \quad (9)$$

3 验算方法:

为了防止钢管弯曲超过允许范围, 可以通过检验管轴线的最小弯曲半径来实现。

首先测定弯曲最严重部分的管轴线, 在轴线上确定最大弯曲平面上的三个点的平面坐标, 点与点的间距不宜太大或太小, 可采用5倍管道外径。三点已知后求出管道的曲率半径。通过下式可得到钢管的实际弯曲应力并检验钢管的实际弯曲应力是否超过 $f_{b \max}$ 。

$$f = \frac{D_1 \cdot E_p}{2R_1} \quad (10)$$

式中 R_1 ——曲率半径;

D_1 ——管道外径;

E_p ——钢材弹性模量。

4 弯曲应力超过设计值情况下的顶力调整:

当管道轴线弯曲超过钢管最大允许纵向弯曲应力 $f_{b \max}$ 时, 应根据实际弯曲应力 f 按下式计算顶力:

$$F'_{di} = \left[\frac{\gamma_x \phi_1 \phi_3 \phi_4 f_s}{\gamma_{Qd}} - f \right] \cdot A_p \quad (11)$$

5 预制管节接触面有脱离情况下最大允许顶力可按下式计算(图2):

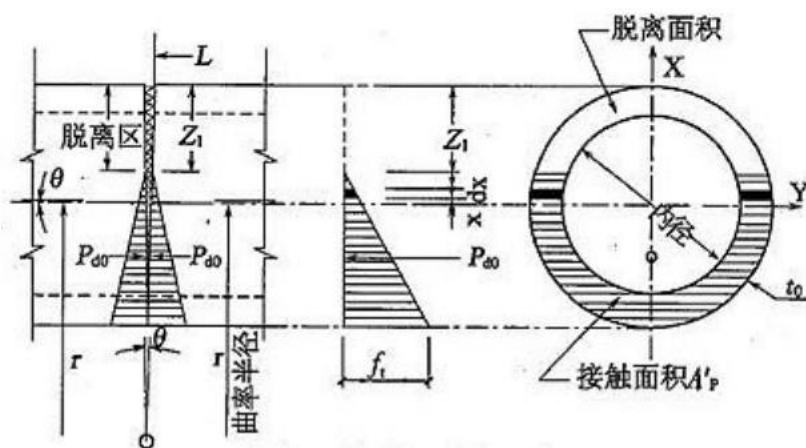


图2 接触面受力示意

此图是美国《混凝土顶管规范》(ASCE 27-00)刊载的受力图, 据此图建立积分公式可解得接触面有脱离各种情况下的允许顶力。

当 $0 < Z_1 \leq t_0$ 时:

$$P_{\phi} = \frac{2\phi_1\phi_2\phi_3}{\gamma_{Qd}\phi_6} + \left[\int_{-\frac{D_1}{2}}^{-\frac{D_1}{2}+t_0} f_t \cdot \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - x^2} dx \dots \right. \\ \left. + \left[\int_{-\frac{D_1}{2}-t_0}^{\frac{D_1}{2}-t_0} f_t \cdot \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - x^2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2} \right] dx \dots \right. \right. \\ \left. \left. + \int_{\frac{D_1}{2}-t_0}^{\frac{D_1}{2}-Z_1} f_t \cdot \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - x^2} dx \right] \right]$$

当 $t_0 < Z_1 \leq D_1 - t_0$ 时:

$$P_{\phi} = \frac{2\phi_1\phi_2\phi_3}{\gamma_{Qd}\phi_6} + \left[\int_{-\frac{D_1}{2}}^{-\frac{D_1}{2}+t_0} f_t \cdot \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - x^2} dx \dots \right. \\ \left. + \left[\int_{-\frac{D_1}{2}-t_0}^{\frac{D_1}{2}-Z_1} f_t \cdot \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - x^2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2} \right] dx \right] \right]$$

式中 f_t ——预制管节顶管管材受压强度设计值。

8.2 管道强度计算

8.2.2 钢管的内力计算公式同埋地钢管结构设计规程相同, 由于钢管的侧向弹抗力是通过钢和土的弹性模量比来反映的, 不再计入侧向水土压力作用。由于压力水作用下管道的变形同土压作用下是相反的, 计算M的组合作用公式的折减系数取0.7。当有地下水时, 计算竖向土压力取土的有效重度。

8.2.3 钢管的纵向应力通常包括三个部分:

1 因钢材的泊桑比影响产生的纵向应力。

2 温度应力。一般顶管埋置较深,温差不大,并且顶管在土层中不可能呈直线,而是不同曲率的曲线,它能释放部分温度应力。本规程建议温差取 20°C 。

3 公式 8.2.3-1 最后一项是考虑钢管弯曲产生的应力,钢顶管轴线偏差值除了满足顶管验收要求外,尚应要求钢管变形的曲率半径 $R_1 \geq 1260D_0$ 。当 $R_1 < 1260D_0$ 时,公式 8.2.3-1 中第三项 $\frac{0.5E_p D_0}{R_1}$ 值较大,可能导致 $\sigma_x > f$,此时,可通过增加管壁厚度或根据实际情况调整 L_1 来满足设计要求。

$1260D_0$ 的依据见如下推导过程:

$$\text{纵向应力 } \sigma_x = \nu_p \sigma_\theta \pm \varphi_c \gamma_Q \alpha E_p \Delta T + \sigma_m$$

假定横截面应力 $\sigma_\theta \leq f$,并取 $\nu_p = 0.3$, $\varphi_c = 0.9$, $\gamma_Q = 1.4$, $\alpha = 12 \times 10^{-6}$, $E_p = 2.06 \times 10^5$, $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ 。

$$\begin{aligned} \text{则得 } \sigma_x &= 0.3f + 0.9 \times 1.4 \times 12 \times 10^{-6} \times 2.06 \times 10^5 \times 20 + \sigma_m \\ &= 0.3f + 62.29 + \sigma_m \\ &= 0.3f + \frac{62.29}{205} f + \sigma_m \\ &= 0.3f + 0.302f + \sigma_m \\ &= 0.602f + \sigma_m \end{aligned}$$

假定 $\sigma_x = f$ 代入上式:

$$\text{则 } \sigma_m = (1 - 0.602)f = 0.4f$$

根据计算:

1) 当轴线高程偏差为 $f_1 = 150\text{mm}$, 轴线长度 $L_1 = 150\text{m}$, 100m , 75m 时, σ_m 均不超过 $0.4f$ 。

2) 当轴线高程偏差 $f_1 = 150\text{mm}$, 轴线长度 $L_1 = 50\text{m}$ 时,某些直径的钢管出现应力 $\sigma_m > 0.4f$,因此在限制轴线允许偏差的同时必须限制曲率半径。

考虑到钢板厚度可能超过 16mm ,根据现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 取 $f = 205$ 。

$$\text{令 } \sigma_m = \frac{0.5E_p D_0}{R_1} = 0.4f$$

$$R_1 = \frac{0.5E_p D_0}{\sigma_m} = \frac{0.5 \times 2.06 \times 10^5 D_0}{0.4 \times 205} = 1256.1 D_0 \approx 1260 D_0$$

考虑管道纵向应力 σ_x 的几种可能组合(第二项和第三项符号变化)比较:

$$\text{组合 I } \sigma_{x1} = 0.3f + 0.302f + 0.4f = 1.0f;$$

$$\text{组合 II } \sigma_{x2} = 0.3f - 0.302f + 0.4f = 0.4f;$$

$$\text{组合 III } \sigma_{x3} = 0.3f - 0.302f - 0.4f = -0.4f;$$

$$\text{组合 IV } \sigma_{x4} = 0.3f + 0.302f - 0.4f = -0.2f;;$$

计算组合折算应力 σ 时,组合 III $\sigma_x = -0.4f$ 最为不利, σ_0 也应要有余地,假定 $\sigma_0 = 0.9f$ 。

$$\begin{aligned} \sigma &= \eta \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_x^2} - \sigma_0 \sigma_x \\ &= 0.9 \times \sqrt{(0.9f)^2 + (-0.4f)^2} - 0.9f \times (-0.4f) \\ &= 0.9f \sqrt{0.81 + 0.16} + 0.36 \\ &= 0.9f \sqrt{1.33} \\ &= 1.037f \approx f \end{aligned}$$

根据表 13.2.1,考虑长距离顶管,按管底高程偏差 $f_1 = 150\text{mm}$,取相应的轴线长度 $L_1 = 50\text{m}$ 。

$$\text{此时曲率半径: } R_1 = \frac{(0.15)^2 + (50/2)^2}{2 \times 0.15} = 2083.4\text{m} \approx 2080\text{m};$$

$$\text{按应力控制时: } R_1 = \frac{0.5E_p D_0}{\sigma_m} = \frac{0.5 \times 2.06 \times 10^5}{0.4 \times 205} D_0 = 1260 D_0;$$

$$\text{协调管径: } D_0 = \frac{2083}{1256} = 1.6584\text{m, 取 } 1.60\text{m}.$$

$$\text{即当管径: } D_0 \leq 1600 \text{ 时,应满足 } R_1(50\text{m}) \geq 2080\text{m};$$

$$D_0 > 1600 \text{ 时,应满足 } R_1(50\text{m}) \geq 1260 D_0 \approx 1260 D_1.$$

设计时,可根据实际情况调整 L_1 的取值。

8.2.4 计算公式来源于协会标准《给水排水工程埋地预制混凝土圆形管管道结构设计规程》CECS 143: 2002, 公式 P_1 应按本规程有关公式计算。有地下水时,水土压力按水土分算。

8.2.6、8.2.7 公式8.2.6~公式8.2.7均取自协会标准《给水排水工程埋地玻璃钢增强塑料夹砂管管道结构设计规程》CECS 190: 2005。其中 $\omega_{d, \max}$ 取最大长期竖向挠度值,而不取 $0.05D_0$ 限值,因为顶管刚度大,可能达不到此值。公式中形状系数则是根据已有系数按曲线延伸得出。

9 正常使用极限状态验算

9.1 柔性管道竖向变形验算

本节中公式9.1.1和公式9.1.2摘自《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》CECS 141: 2002和《给水排水工程埋地玻璃钢增强塑料夹砂管管道结构设计规程》CECS 190: 2002, 所不同的是本规程公式中没有变形滞后系数 D_L , 并且管侧土的综合变形模量 E_d 应取原状土的试验值。顶管同埋管不一样,顶管管侧基本上是原状土,根据在软土地基上的实测,施工阶段管道是有一定变形量,使用

阶段变形反而减小。

10 工 作 井

10. 2 工作井结构形式

10. 2. 1 工作井承受千斤顶的推力，必须满足在顶力和周边水土压力作用下的强度和变形要求。工作井变形过大就必然导致顶管轴线偏移，如果用土坑或板桩替代工作井一定要慎重。

10. 2. 2 工作井结构形式应根据顶力大小和地下水情况因地制宜选择。

10 工 作 井

10. 2 工作井结构形式

10. 2. 1 工作井承受千斤顶的推力，必须满足在顶力和周边水土压力作用下的强度和变形要求。工作井变形过大就必然导致顶管轴线偏移，如果用土坑或板桩替代工作井一定要慎重。

10. 2. 2 工作井结构形式应根据顶力大小和地下水情况因地制宜选择。

10. 3 工作井平面形状

10. 3. 1 圆形工作井受力性能好，特别适用于超深的情况，而矩形井则适用于多根平行顶进的工作井，可根据使用功能选择。

10. 4 工作井最小长度确定

10. 4. 1 确定顶管工作井长度所需的各种平衡类顶管机的参考长度如下：
小于DN1000的小直径顶管机长度为3. 5m。
大中直径顶管机长度大于或等于5. 5m。

10. 7 穿墙管止水装置

10. 7. 1 盘根止水穿墙管构造(图10. 7. 1)中的具体尺寸可参照表2使用。

表2 盘根止水管穿墙尺寸(mm)

管道外径 D_1	800~1800	1800~2400	3000~4000
项目			
穿墙管内径 ϕ_E	D_1+90	D_1+120	D_1+140
间隙 b	45	60	70
盘根断面	35×35	45×45	50×50
ϕ_d	20	25	30
L	300	350	400

10. 7. 2 橡胶板止水穿墙管的构造(图10. 7. 2)中的具体尺寸可参照表3使用。

表3 橡胶板止水管穿墙尺寸(mm)

管道外径 D_1 项目	800~1100	>1100~2400	>2400~4000
ϕ_C	$D_1 + 40$	$D_1 + 50$	$D_1 + 60$
ϕ_G	$D_1 - 60$	$D_1 - 80$	$D_1 - 100$
ϕ_E	$D_1 + 120$	$D_1 + 140$	$D_1 + 160$
ϕ_F	$D_1 + 260$	$D_1 + 280$	$D_1 + 320$
a	20	25	30
b	60	70	80
J	160	180	210

11 接收井

接收井的结构形式基本上同工作井。不是每个顶管工程都需要接收井, 如果管道不需要检修则可不设接受井, 而挖一个接收坑即可。

接收井的尺寸满足工艺管道的连接要求, 以及顶管机拆除吊出的尺寸要求。顶管机的尺寸可参见本规程第10. 4节的条文解释。

12 顶管施工

12. 2 顶管机

1 说明。

有无地下水, 对土的性能影响很大。顶管机根据有无地下水分为两大类。地下水位以下的大多数土层不够稳定, 一般需要采用具有平衡功能的顶管机。

目前我国顶管已处于发展成熟期, 顶管机的机型很多, 性能各异。仅以泥水平衡式顶管机为例, 还可分泥水平衡、泥水土压平衡、带轧石功能的、带破岩功能的泥水平衡顶管机, 其中一些机型比较成熟, 还有一些不够成熟, 还需要时间的考验, 所以把某些顶管机列入规程, 条件还不够成熟。

纵观国内外的顶管机, 用平衡功能分类是比较可行的, 既有指导意义, 又有实用价值。例如世界上第一条超千米的顶管工程-德国汉堡下水道顶管工程所采用的是气压平衡式机型。如今有了许多高性能顶管机, 但气压平衡式在复杂地层中仍然被采用, 而且还在提高。

2 敞开式顶管机。

1) 机械式:

指采用机械方法掘进的顶管机。如全断面切削的顶管机, 遇岩层用盆刀, 硬土层用切削刀。挖掘机械可固定, 也可移动, 适用于整体稳定性好的地层, 如胶结土层和强风化岩等。

2) 挤压式:

依靠顶力挤压出泥的顶管机。最适用于具有流塑性较好的软土层。在这层土中施工效率很高。网格挤压式是挤压式的一种, 在机头上加设网格, 达到更好的稳定土体。

3) 人工挖掘式:

这是一种最简单的顶管机, 工作面一目了然, 排障容易。适用于土体稳定、易开挖的土体。

3 平衡类顶管机。

1) 土压平衡式:

普通土压平衡式最佳使用土层是淤泥和流塑性的粘性土, 带加泥装置的可用于粉性土, 但施工时用于淤泥和流塑性的粘性土, 仍是最“可靠、经济、环保”。加泥是辅助手段。加泥不但增加施工成本, 而且还会影响工期, 如操作不当, 会增加设备负荷。如在流砂层加泥, 螺旋输送机出口容易产生喷发, 增加施工的危险性。虽然泥水平衡式或气压平衡式也可用于淤泥和流塑性粘土, 但一方面污染环境, 另一方面提高施工成本, 不及土压平衡式。

辅助装置的作用是扩大设备的使用范围。如果管道顶进土层主要是淤泥和流塑性的粘性土, 另外还有粉性土, 则应采用带有反加泥的土压平衡式顶管机。反之, 如果主要土层是粉性土, 则不应采用土压平衡式, 而应改用泥水平衡式。

2) 泥水平衡式:

普通泥水平衡式可用于淤泥和粘性土、粉质土、粉土、砂土, 适用土层较广, 最佳使用土层是粉质土和渗透系数小的砂性土。但施工最“可靠、经济、环保”的土层是粉性土和渗透系数较小的砂性土。泥水平衡式用于粘粒含量较高的土层, 泥分离困难, 废泥浆很多, 对环境污染较大, 用于渗透系数较大的砂性土, 进水管中的运载液要改用化学泥浆, 随着渗透系数的继续增加, 运载液要改用特殊的化学泥浆, 这样会大大提高施工成本。虽然泥水平衡式的最佳土层也可采用气压平衡式, 但气压平衡出泥效率低、施工成本高。

3) 气压平衡式:

气压平衡式可用于淤泥和粘性土、粉质土、粉土、砂土, 与泥水平衡基本一致, 适用土层也较广, 最佳使用土层是有障碍物的复杂土层。但施工最“可靠、经济、环保”的地层是渗透系数较大的砂土(渗透系数比泥水平衡大)。在渗透系数较大的砂土中施工, 采用气压平衡式不需要另加措施, 而采用泥水平衡式要付出运载液改用高分子化学泥浆后的高额代价, 另外还要污染环境。

12 顶管施工

12.2 顶管机

1 说明。

有无地下水, 对土的性能影响很大。顶管机根据有无地下水分为两大类。地下水位以下的大多数土层不够稳定, 一般需要采用具有平衡功能的顶管机。

目前我国顶管已处于发展成熟期, 顶管机的机型很多, 性能各异。仅以泥水平衡式顶管机为例, 还可分泥水平衡、泥水土压平衡、带轧石功能的、带破岩功能的泥水平衡顶管机, 其中一些机型比较成熟, 还有一些不够成熟, 还需要时间的考验, 所以把某些顶管机列入规程, 条件还不够成熟。

纵观国内外的顶管机, 用平衡功能分类是比较可行的, 既有指导意义, 又有实用价值。例如世界上第一条超千米的顶管工程-德国汉堡下水道顶管工程所采用的是气压平衡式机型。如今有了许多高性能顶管机, 但气压平衡式在复杂地层中仍然被采用, 而且还在提高。

2 敞开式顶管机。

1) 机械式:

指采用机械方法掘进的顶管机。如全断面切削的顶管机, 遇岩层用盆刀, 硬土层用切削刀。挖掘机械可固定, 也可移动, 适用于整体稳定性好的地层, 如胶结土层和强风化岩等。

2) 挤压式:

依靠顶力挤压出泥的顶管机。最适用于具有流塑性较好的软土层。在这层土中施工效率很高。网格挤压式是挤压式的一种, 在机头上加设网格, 达到更好的稳定土体。

3) 人工挖掘式:

这是一种最简单的顶管机, 工作面一目了然, 排障容易。适用于土体稳定、易开挖的土体。

3 平衡类顶管机。

1) 土压平衡式:

普通土压平衡式最佳使用土层是淤泥和流塑性的粘性土, 带加泥装置的可用于粉性土, 但施工时用于淤泥和流塑性的粘性土, 仍是最“可靠、经济、环保”。加泥是辅助手段。加泥不但增加施工成本, 而且还会影响工期, 如操作不当, 会增加设备负荷。如在流砂层加泥, 螺旋输送机出口容易产生喷发, 增加施工的危险性。虽然泥水平衡式或气压平衡式也可用于淤泥和流塑性粘土, 但一方面污染环境, 另一方面提高施工成本, 不及土压平衡式。

辅助装置的作用是扩大设备的使用范围。如果管道顶进土层主要是淤泥和流塑性的粘性土, 另外还有粉性土, 则应采用带有反加泥的土压平衡式顶管机。反之, 如果主要土层是粉性土, 则不应采用土压平衡式, 而应改用泥水平衡式。

2) 泥水平衡式:

普通泥水平衡式可用于淤泥和粘性土、粉质土、粉土、砂土, 适用土层较广, 最佳使用土层是粉质土和渗透系数小的砂性土。但施工最“可靠、经济、环保”的土层是粉性土和渗透系数较小的砂性土。泥水平衡式用于粘粒含量较高的土层, 泥分离困难, 废泥浆很多, 对环境污染较大, 用于渗透系数较大的砂性土, 进水管中的运载液要改用化学泥浆, 随着渗透系数的继续增加, 运载液要改用特殊的化学泥浆, 这样会大大提高施工成本。虽然泥水平衡式的最佳土层也可采用气压平衡式, 但气压平衡出泥效率低、施工成本高。

3) 气压平衡式:

气压平衡式可用于淤泥和粘性土、粉质土、粉土、砂土, 与泥水平衡基本一致, 适用土层也较广, 最佳使用土层是有障碍物的复杂土层。但施工最“可靠、经济、环保”的地层是渗透系数较大的砂土(渗透系数比泥水平衡大)。在渗透系数较大的砂土中施工, 采用气压平衡式不需要另加措施, 而采用泥水平衡式要付出运载液改用高分子化学泥浆后的高额代价, 另外还要污染环境。

12.3 顶管机的选择

12.3.1~12.3.4 根据单一地层选择顶管机可直接按本规程表12.3.1选取。根据复杂地层选择顶管机就比较复杂, 要选择对所有土层均符合“可选机型”或“首选机型”的机型。适合复杂地层顶管机早期常用的是气压平衡式, 现在趋向于泥水平衡式。国外除泥水平衡式外还有混合式机型。1994年2月完成的当今世界上最长的顶管工程是在荷兰, DN3000的钢筋混凝土管, 从海岸工作井呈曲线向海域顶进, 总顶进长度为2535m, 采用的是具有土压平衡、泥水平衡和气压平衡的混合式机型。

混合式机型是专门为特定工程而研制的, 有其局限性, 不是通用机型。

12.4 顶力估算

1 为什么称估算?

经过多年来的施工实践, 影响顶力的主要因素是土的性质、管道弯曲大小和施工技术水平高低。在同样的土层中顶管, 施工人员操作方法不同, 顶力也有所不同。因此顶力计算公式有一定误差。

2 估算公式中不反映土压力。

本规程的估算公式不采用与土层高度有关的理论公式。原因如下:

1) 以往的理论公式, 计算顶力普遍偏大, 实际上很少采用此类公式指导施工。

2) 现代的顶管除极短的顶管外, 都需要减阻措施。减阻的基本措施是扩孔。地下水位以上的顶管, 极大部分土层比较稳定, 扩孔后管道不直接承受土压力作用这是显而易见的。地下水位以下的顶管, 扩孔后管道与土层之间压注减阻泥浆, 管道是浮在泥浆套中向前移动的, 管道不直接承受土压力作用。

3) 实践证明管道顶力与覆盖层高低无关。最直观的证明是采用中继间的顶管, 经测试同一中

继间在不同厚度的覆盖层下经过时, 中继间的顶力对覆盖厚度变化无明显反映。

12. 4. 4 中继间数量估算公式考虑了如下因素:

- 1 中继间的顶力储备平均按30%计, 用公式中的0.7表示。
- 2 估算时忽略顶管机类型, 并假设第1号中继间安装在前50m的位置。

12. 5 中 继 间

12. 5. 1 中继间允许顶力是指控制顶力, 应比中继间的允许最大顶力小。

12. 5. 2 中继间转角受套接部位的间隙、油缸行程、密封构造等制约, 不同工程对中继间的转角是有要求的。曲线顶管对中继间的允许转角的要求更严格。

12. 6 减阻措施

12. 6. 2 目前顶管减阻的基本措施是扩孔。地下水位以上的顶管, 通常按 120° 扩孔, 如果土质硬、阻力大, 可按图2所示的顶管头扩孔, 方法简单, 但是在顶管完工后, 对空隙应采取吹砂措施, 保证管道在使用阶段的受力。用超挖扩孔不是好办法, 管道的摩阻力主要是由管道与土在管底摩擦造成的, 施工时可在管底涂抹非亲水减阻剂进一步减少摩阻力。如忽略管道弯曲, 管道顶进阻力可按管道自重乘以摩擦系数估算。

地下水位以下顶管的扩孔, 四周扩大成圆形。扩孔后的间隙注满减阻泥浆(减阻泥浆包括膨润土触变泥浆和化学泥浆), 管道浮在泥浆中向前移动。

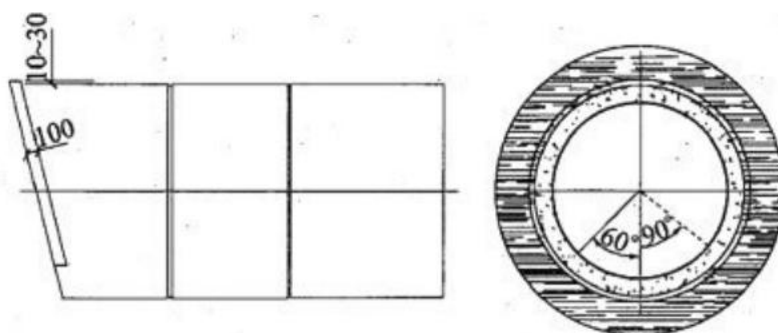


图2 无地下水稳定土层的扩孔示意图

12. 6. 8 预留注浆孔。

管道中增加预留注浆孔是近年来的经验, 这对减小管道摩阻力、预防摩阻力突升是很好的办法。管道在顶进过程中, 由于种种原因摩阻力突升时有发生。遇到这种情况可采用增加补浆孔, 加大补浆量来减少摩阻力, 使管道恢复正常顶进。最典型的例子是2004年发生广东省过陈村水道的顶管, 管道内径DN2200的钢管, 全长近400m。管道顶进到170余米时, 顶力猛增到12000kN, 后背墙体移动, 顶管被迫停止。经过一个多月后背墙重建施工, 很担心管道能否启动。增加顶力又怕管道受损, 已经没有任何余地。后决定用增加补浆孔大面积补浆。每隔6m增设一环补浆孔, 每环3孔。全面连续注浆后, 管道在第四天顶动, 不久顶力很快下降到近8000kN, 管道恢复正常顶进。

经过不断的摸索, 有经验的施工人员, 已经找到用注浆的办法保持管道在低摩阻力下顶进的规律。这就是备足补浆孔, 哪里摩阻力大, 就在哪里补浆, 防患于未然, 而且非常经济。

12. 6. 9 补浆孔间距。

补浆孔的间距与泥浆的稳定性、泥浆的流失有关。公式中减阻泥浆失效期“T”值的取用, 泥浆稳定、流失少的土层取大值, 反之取小值。当管道顶进速度减慢时, 可按此经验公式启用补浆孔, 特别是遇事故阶段, 更应如此。泥浆是否失效, 还可通过打开未启用的补浆孔取样检查, 但要避开管顶的补浆孔, 因为管道在泥中是浮的, 管顶与土接触紧密, 不能反映真实情况。在管道的弯曲段, 又要避开弯曲段内侧的补浆孔, 此处管道的管壁与土可能直接接触, 也不能反映泥浆的真实情况。

12. 6. 13 补浆能使摩阻力降低, 但是处在流塑性土中的管段, 如不加阻止大量补浆, 注浆压力足够使洞穴扩大。覆盖层薄, 扩大方向必然向上。无论钢管还是混凝土管, 在泥浆中都是上浮的, 所以这段管道轴线向上浮起, 偏差变化。这一情况已经在上海奉贤污水排海混凝顶管中发生过, 要防止类似情况再次发生。

12. 6. 14 表4是通过典型工程的调查确定的。调查发现在同一类土中混凝土管的摩阻力要比钢管稍大。

表4所列平均摩阻力, 不适用于轴线偏差超标、中继间漏浆严重、曲线顶管等情况。表中的平均摩阻力有一个范围, 这是因为同一类土的摩阻力还有区别, 而且更重要的是施工技术水平的高低对摩阻力影响很大, 应根据实际情况取用。

表4 典型工程管壁摩阻力调查汇总表

工程名称	管径、长度 $\phi \times L(m)$	中继间使用	土质	平均摩阻力 (kPa)	摩阻力 (kPa)
武钢青山电厂 取水管	钢管 $\phi 2.6 \times 105$ $\phi 2.6 \times 107$	无	粉细砂	6.1 4.3	
甬江越江 通道顶管	钢管 $\phi 2.6 \times 581$	有 6 只	粉细砂为主淤 泥质粉质粘土	5.4	
宝钢自备电厂 取水管	钢管 $\phi 3.0 \times 161$ $\phi 3.0 \times 165$ $\phi 3.0 \times 167$	无	淤泥质 粉质粘土	4.5 3.9 4.1	
南市水厂 过江源水管	钢管 $\phi 3.0 \times 1120$	设 14 只	粉质粘土	3.0	1.7~4.1
汕头自来水 过海管	钢管 $\phi 2.4 \times 1142$	设 12 只	淤泥质粘土	3.0	2.5~3.1

某电厂联网 过江管	钢管 $\phi 2.4 \times 850$	设 10 只	粉质粘土与暗 绿色粘土夹层	4.9	4.4~6.4
长江引水二期 顶管	钢管 $\phi 2.4 \times 836$ $\phi 2.4 \times 916$	设 6 只	淤泥质粘土	2.4 3.7	
黄浦江上 游引水二期 3.2 标长桥段	钢管 $\phi 3.5 \times 1732$	设 18 只	粉砂, 砂粒 含量 97%	5.0	1.5~7.8
星火工业区 污水排海管	混凝土管 $\phi 1.6 \times 1511$	设 20 只	淤泥质粘土	4.0	
合流污水二期 1.2A 标	混凝土管 $\phi 3.0 \times 412$ $\phi 3.0 \times 335$ $\phi 3.0 \times 350$	设 5 只 设 4 只 设 4 只	淤泥质粘土	5.6 5.4 3.3	

12.7 管内弃土运输

1 干出泥。

干出泥是对环境污染最小的一种施工方法, 无地下水的顶管中常被采用, 在地下水位以下的顶管只有土压平衡式和挤压式两种顶管机才采用。有条件的地方应大力提倡干出泥, 特别是在市区或无法排泥的地方。

干出泥方法有三种: 人力抛滑、车辆运输和管道输送。人力抛滑是利用顶进管道作为滑道, 将泥块由人力一段一段抛滑出管道, 效率很高, 但仅适合于管径较小的挤压式顶管机和流塑性土的输送。车辆运输设备简单、效率高, 适合运距较短的场合。随着运距的增加, 效率逐渐降低。为了提高效率宜铺设双轨, 但又受到管道空间的限止, 所以车辆运输不宜用于顶距较长或管径较小的场合。采用管道输送弥补了车辆运输的不足, 运距长、效率高、占用空间小, 在管径较小的管道内同样可以采用。管道输送由于设备比较复杂, 在顶距较短的顶管是不经济的。

2 用泥泵输送弃土。

干出泥顶管机的出泥可采用泥泵。泥泵输送的泥要求呈塑性, 而且要有自润滑性, 这类土就是有一定含水量的粘土、粉质粘土和部分粘质粉土。也就是说泥泵对土质的要求与土压平衡式顶管机相仿, 两者搭配使用是非常合适的, 不但满足了出泥, 而且还可满足土压平衡式顶管机连续出泥的需要。

泥泵在上海地区顶管中已有成功应用的实例。合流污水二期1.2A标混凝土顶管, 总长1097.3m, 管径DN3000, 壁厚270mm, 外径 $\phi 3540$ mm, 分412.8m, 334.9m, 349.6m三段顶进。因为运距长, 车辆运输效率低, 铺双轨又受到管径限制。顶进土层是粘质粉土和淤泥质粘土, 适合泥泵输送, 因此决定采用泥泵。通过试验, 最后以SCHWING-BP3000型电动混凝土泵代用泥泵。该泵の出泥量 $0 \sim 45\text{m}^3/\text{h}$, 最大输送压力15.4MPa, 水平输送距离大于400m。土压平衡式顶管机, 最大连续出泥量为 $22\text{m}^3/\text{h}$, 两者是可搭配的。从实施效果看, 采用泵送后管内施工有条不紊, 人员出入安全方便, 施工效率高, 平均每天顶进15~20m, 采用泵送是合理的。如果采用专用泥泵输送, 效果会更好。上海合流污水二期1.2A标为顶管干法出泥创出了一条新路。

12.8 通风

12.8.2 采用压缩空气通风。

轴流风扇通风的缺点是噪声较大, 管道越小噪声越大, 在较长距离顶管中不宜采用。压缩空气通风不但可降低噪声, 而且输送距离长应优先采用。

12. 8. 4 采用压缩空气除湿。

地面湿度较高, 地面温度又高于地下温度的季节, 采用压缩空气通风, 空气送入管道后急剧降温, 管内湿度达到饱和, 出现露点, 工作条件极差。潮湿的环境又影响电器和计算机等运行, 所以遇这种情况送入管道的空气推荐先除湿。

12. 8. 6 顶管内有害气体超标时人员应迅速撤离, 在加强通风措施, 使空气的有害气体含量达标后, 才能恢复施工。

12. 9 测量

关于长距离顶管和曲线顶管中定向测量的说明。

在全球定位系统尚未引入顶管机以前, 长距离顶管和曲线顶管中定向测量的基本方法是经纬仪导线法。

1) 管道内布置多台全站仪, 依靠全站仪的优势, 在短时间内通过计算机测定经纬仪导线, 指出管道顶进方向。

2) 管道内设置一台普通经纬仪, 一个觇标, 两者均布置在顶管机的后部。顶管机上的标尺、经纬仪、后视觇标三者间保持一定的距离, 并与管道固定, 随管顶进而推进。施工中管道的指向就是靠三者的关系确定的, 由经纬仪指向。三者坐标是根据事先测定的实际管轴线计算所得。施工中可以根据顶进距离推算出三者的即时坐标, 通过计算机的运算, 就能指出顶管机顶进方向。采用这一方法, 速度快、相对精度高, 能满足顶管施工的需要。但不能消除经纬仪导线误差。

VMT公司的SLS-RV导向系统, 同样是建立在经纬仪导线法之上的, 与上面的第二种方法是同一类型的。它的优点是已商品化。

在长距离顶管中, 为了提高定向误差, 采用陀螺经纬仪是可行的。1986年在我国第一根超长距离顶管中采用的是中误差为10s的陀螺经纬仪, 如采用5秒级、1秒级的陀螺经纬仪, 顶管定向精度还会进一步提高。

12. 10 后座

12. 10. 3 整体式后座。

反力墙一般宜采用整体式后座。

整体式后座要根据顶力的大小, 合力中心的位置, 坑外被动土压力的大小来决定整体式后座的宽度、高度和厚度。

整体式后座的计算简图如图3, 顶力的反力 P 作用在整体式后座上, P 的作用点相对于管中心偏低 e 。

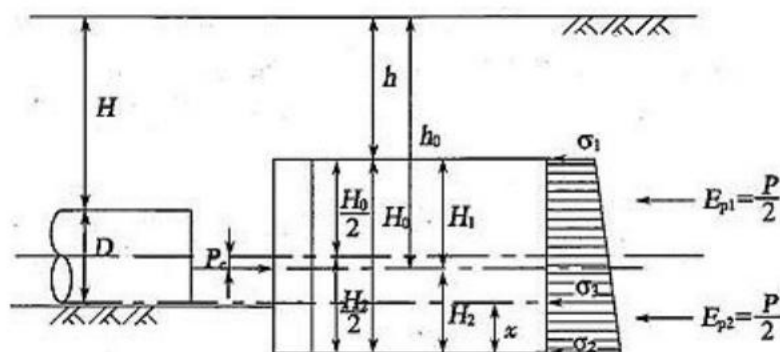


图3 后背墙计算图式

理想的情况是整体式后座的被动土压力的合力中心与顶力反力的合力中心在同一条线上。为了便于计算, 设合力中心以上的整体式后座承担一半反力, 另一半反力由合力中心以下的整体式后座承担。这样就可使被动土压力合力中心近似与顶力合力中心一致。

已知管顶覆土高度、管道外径、设计顶力、顶力偏心距和整体式后座宽度时, 则可计算上部整体式后座的高度。

$$E_{p1} = \frac{B}{K} \left(\frac{1}{2} \gamma H_1^2 K_p + 2CH_1 \sqrt{K_p} + \gamma h H_1 K_p \right)$$

式中 E_{p1} ——上部整体式后座上的被动土压力(kN);

P ——设计允许顶力的反作用力(kN);

B ——整体式后座的宽度(m);

K ——安全系数;

当 $\frac{B}{H_0} \leq 1.5$ 时, 取 $K=1.5$;

当 $\frac{B}{H_0} > 1.5$ 时, 取 $K=2.0$

γ ——土的重度;

H_1 ——上部整体式后座的高度(m);

K_p ——被动土压力系数;

C ——土的内聚力(kPa);

h ——整体式后座顶的土柱高度(m);

H ——管顶覆土高度(m);

D_1 ——管道外径(m);

e ——顶力偏心距(m);

解方程后可得 H_1 和 h_0 。

下部整体式后座以上的土柱高度:

$$h_0 = h + H_1$$

则可求得下部整体式后座的高度:

$$E_{p2} = \frac{B}{K} \left(\frac{1}{2} \gamma H_2^2 K_p + 2CH_2 \sqrt{K_p} + \gamma h H_2 K_p \right)$$

式中 h_0 ——下部整体式后座以上的土柱高度(m);

E_{p2} ——下部整体式后座后的被动土压力(kPa);

H_2 ——下部整体式后座的高度(m)。

解方程可得 H_2 , 则整体式后座的高度为:

$$H_0 = H_1 + H_2$$

式中 H_0 ——整体式后座的高度(m)。

整体式后座的厚度可根据主油缸的布置, 通过结构计算决定。一般在0.5~1.6m范围内。

12. 11 顶进设备

主油缸合力中心宜低于管中心, 宜低于管道外径的 $1/10 \sim 1/8$ 。顶管机正面阻力可分解成三角形和矩形两部分, 矩形部份的合力中心通过管中心, 三角形部分的合力中心低于管中心。如果是特殊的矩形断面顶管机, 三角形荷载的合力中心离底面为高度的 $1/3$, 即比断面中心低高度的 $1/6$, 正面阻力计算图式详见图4。

因为此处管道是圆形断面, 三角形荷载的合力中心计算如下:

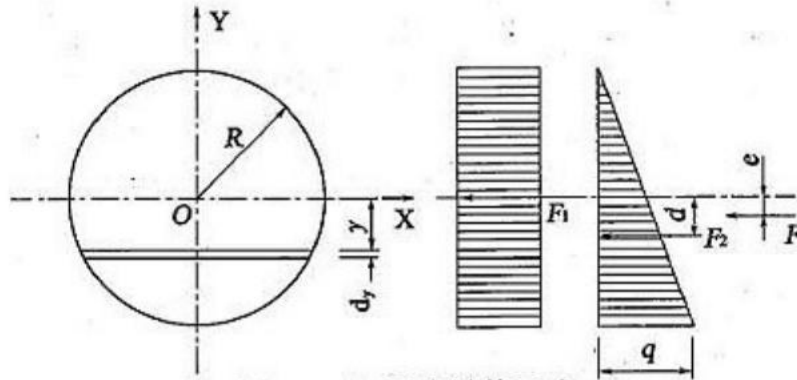


图4 正面阻力计算图式

假设三角形的底边压力强度为 q , 三角形阻力的强度方程为:

$$P = \frac{q}{2R}(R - y)$$

三角形阻力:

$$F_2 = \frac{q}{2} \cdot \pi R^2 = \frac{\pi R^2}{2} \cdot q$$

三角形阻力的合力中心可通过积分求得:

$$\begin{aligned} F_2 d &= \int_{-R}^R \frac{q}{2R}(R - y) \cdot y \cdot 2 \sqrt{R^2 - y^2} \cdot dy \\ &= q \left[\int_{-R}^R y \sqrt{R^2 - y^2} \cdot dy - \int_{-R}^R \frac{1}{R} y^2 \sqrt{R^2 - y^2} \cdot dy \right] \end{aligned}$$

积分后得

$$\begin{aligned} \frac{\pi R^2 q}{2} \cdot d &= -\frac{\pi}{8} q R^3 \\ d &= -\frac{1}{4} R \end{aligned}$$

三角形阻力的合力中心比管中心低 $R/4$ 。由此可见, 圆形断面与矩形断面的三角形阻力合力中心是有区别的。

正面阻力的合力中心:

$$e = \frac{F_1 \cdot O + F_2 \cdot d}{F} = \frac{F_2 d}{F_1 + F_2}$$

当 $F_1 = 0$ 时, F_2 的合力中心就是 F 的合力中心。当 $F_1 \geq F_2$ 时, F 的合力中心接近管中心。这说明覆盖层较厚时, 不能忽视三角形阻力的影响, 顶力的合力中心要低于管中心, 低近 $R/4$ 。管道穿墙时, 顶管机入土较浅, 土的支承面较小, 支撑面的应力就较大, 顶管机容易下沉。入土深度增加后支撑面应

力很快就减少, 顶管机不再下沉。为了防止穿墙初期顶管机下沉, 顶力的合力中心也应偏下。

一方面覆土较薄时, 合力中心需要下移, 另一方面, 穿墙时为防止管道下偏, 合力中心也需要下移。所以顶力合力中心一般要求低于管中心, 低 $R/5 \sim R/4$ 。

12. 12 穿 墙

12. 12. 3 穿墙壁管临时闷板提起后, 应迅速顶进。近年来已有数个工程发生穿墙时大量坍方的情况, 其中原因之一是打开闷板到顶管机开始顶进时间过长, 这是时空效应在顶管中的反映。时空效应在许多场合, 例如深基础开挖, 证明是非常重要的。顶管的成功经验也证明, 穿墙迅速, 顶管机尽快向土体挤压, 在大多数情况是可以避免坍方的。

12. 12. 4 在软土地区, 顶管机入土长度较小时要防止顶管机头下沉。

在软土地区, 如果导轨的支承力不够, 顶管机入土长度较小时, 因土体支承面小, 造成较大的地基应力, 容易发生顶管机端部下沉, 应采取以下措施:

- 1 导轨前端应尽量接近穿墙管, 减少顶管机的悬臂长度。
- 2 穿墙内应有定心环。
- 3 穿墙迅速连续, 不应在此停留。

12. 13 顶 进

12. 13. 3 顶管机测量觇标宜接近管端。顶管纠偏依据的是顶管机端面的中心偏差, 但顶管机偏差测量觇标无法进入出泥舱, 又要避开动力设备, 往往设在第二段, 所以觇标上测得的偏差不能代表顶管机端部偏差, 特别是在纠偏阶段差别更大。觇标越接近管端, 两者差别就越小。如果能换算到端部, 对纠偏更有利。建议按图5推算顶管机端部中心偏差来指导纠偏。这一方法已经在多个工程中实施, 收到了很好的效果。

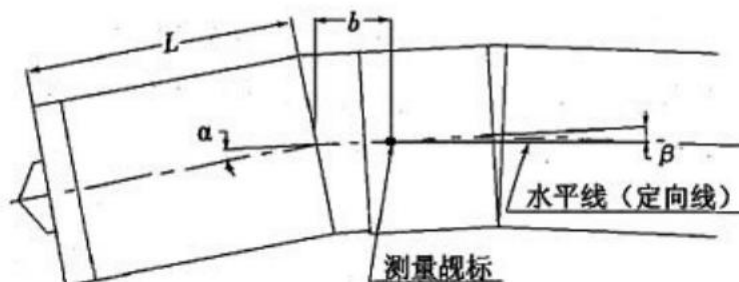


图5 管端偏差推算图

12. 13. 11 顶管机纠偏不宜追求零偏差。

1 追求零偏差必然要经常纠偏, 效果适得其反, 因为纠偏角存在误差, 小偏差纠偏反而会造成管轴线摆动。

2 顶管机的测定偏差还有误差的, 假设1000m的方向中误差是 $\pm 50\text{mm}$, 如果测量偏差为“0”, 实际偏差可能是 $+50\text{mm}$, 也可能是一 50mm , 在此范围内都是正确的。也就是如偏差在中误差范围内, 纠偏是没有必要的。根据误差理论, 再结合顶管施工, 只有偏差超过2倍中误差才可以考虑纠偏, 纠偏前还应根据偏差的大小、发展趋势决定如何纠偏, 并力求管道轴线平稳过渡。

12. 13. 14 顶管应防止管轴线纵向失稳。

防止管道失稳是近年来从工程中提出来的, 到目前为止已有数个工程发生管道失稳, 后果严重,

因此必须引起注意。本条中列举的管道失稳原因, 有的已在工程中发生, 有的经分析很有可能发生, 例如曲线顶管的转弯半径过小。下面是几个实例:

1 不稳定土体会造成管轴线移动, 例如深圳妈湾工程中, 由于填海造地, 深层土移动, 造成管轴线下沉和偏移。

2 厦门污水排海工程顶管, 管道大部分处于软土层, 土体承载低(容重仅 1.39kN/m^3), 再加上施工偏差大, 顶管机通过软土层后遇上砂层, 顶力增加, 造成中继间上拱, 最大达 1.6m 。后来通过外力将管轴线基本复位, 管道才得以继续顶进。

3 某一工程由于覆盖层薄, 管道轴线又向上弯曲, 中继间移到弯曲段, 侧向分力使覆盖层向上移动, 因此造成管轴线向上弯曲, 达 1.28m 。

4 软粘土中触变泥浆过量注浆, 也会造成轴线移动。某一工程, 管道在淤泥质土层中顶进, 由于过量压注触变泥浆, 土层抬高, 洞穴扩大, 管道向上移动约 800mm , 这一情况却正好发生在管道向下弯曲段, 虽没有造成不良后果, 但这一管道上浮的事实, 是值得引起注意的。过量压浆造成管道上浮也可能造成管道失稳。

12. 14 进洞

12. 14. 1 进洞前减慢顶进速度。

进洞多发的事故是顶管机正面阻力太大, 造成接收孔闷板被顶开, 或板桩墙向井内鼓起, 结果造成涌土、塌方和流砂。最好的解决办法是减慢顶进速度, 减少顶管机的正面阻力, 使顶管机平稳地进入墙洞, 接近闷板。这种情况对周围的土体扰动最小, 可避免上述不良后果。

12. 15 减少地面沉降措施

12. 15. 4 在路面下顶进, 如果发生超量出泥的情况, 路面不会立刻下沉, 如果施工时路面已经发生了较大的坍塌, 会使路面下方塌方严重, 并产生空洞。

因此, 在路面下顶进应采取以下措施:

- 1 顶管机的正面阻力宜取大值, 可将路面转换成等代土体高度计算正面阻力。
- 2 加强地面沉降观察, 严格控制地面下沉。

13 顶管施工监测及验收标准

13. 1 顶管施工监测

顶管是非开挖作业, 施工中必须保障地面上相关建筑和设施的安全, 施工方案中应有监测点布置和监测方案的内容, 由于监测对象的重要性可能有所不同, 监测内容应相应变化。

13 顶管施工监测及验收标准

13. 1 顶管施工监测

顶管是非开挖作业, 施工中必须保障地面上相关建筑和设施的安全, 施工方案中应有监测点布置和监测方案的内容, 由于监测对象的重要性可能有所不同, 监测内容应相应变化。

13. 2 工程验收标准

13. 2. 1 在本规程表13. 2. 1中, 顶管管道顶进允许误差, 直线顶管的混凝土管部分来源于现行国

家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268, 钢管部分来源于地方标准《地基基础设计规范》DGJ 08-11。曲线顶管部分全部来源于现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268。由于钢管不推荐曲线顶管, 本规程未列入钢管曲线顶管的顶进允许误差, 且表中列入的曲线顶管允许误差要求偏严, 钢管曲线顶管的允许误差建议按表中所列数据乘以1.50执行。

13.2.2 在本规程表13.2.2中, 水平管道内垂直顶升施工的允许偏差来源于现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268。

13.2.4 土堤和公路级别不同要求也应不同, 本规程所列土堤是指防洪大堤; 公路是指国家级公路。本规程第13.2.4条中第1款和第2款应同时执行。