

备案号：J 00000—2022

浙江省工程建设标准

DBJ

DBJ33/T 0000—2022

顶管工程技术规程

Technical specification for pipe jacking engineering

(报批稿)

2022-00-00 发布

2022-00-01 施行

浙江省住房和城乡建设厅 发布

前　　言

根据浙江省住房和城乡建设厅《关于印发<2018年度浙江省建筑节能与绿色建筑及相关工程建设标准制修订计划>的通知》(建设发〔2018〕341号)的要求,规程编制组通过广泛调查研究,参考国内外的有关标准,并结合浙江省在顶管工程方面的实践运用,制定了本规程。

本规程共分8章和3个附录。主要内容包括:总则,术语和符号,基本规定,勘察,设计,施工,监测,验收等。

本规程由浙江省住房和城乡建设厅负责管理,杭州市城市建设发展集团有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议,请将意见和有关资料寄送杭州市城市建设发展集团有限公司(地址:杭州市上城区婺江路289号城建发展大厦;邮编:310016;邮箱196086208@qq.com),以供修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位: 杭州市城市建设发展集团有限公司

浙江省建筑设计研究院

宁波市建设集团股份有限公司

参 编 单 位: 宁波市水务环境集团有限公司

杭州市勘测设计研究院有限公司

泛城设计股份有限公司

浙江省隧道工程集团有限公司

中国能源建设集团浙江火电建设有限公司

浙江金城建设集团有限公司

浙江省第一水电建设集团股份有限公司

浙江省建投交通基础建设集团有限公司

上海土盾隧道建设有限公司
新兴铸管股份有限公司杭州销售分公司
宁波三鼎钢管工程有限公司
浙江万华建设有限公司
核工业金华建设集团有限公司
浙江远辰建设股份有限公司
核工业井巷建设集团有限公司
杭州市地铁集团有限责任公司

主要起草人：吴桂才 刘兴旺 谢伟光 张文俊 陈卫林
叶剑伟 崔彦凯 刘恒新 李淑海 蔡慧静
干继红 王贵美 孔细俊 孙政波 马建红
俞 旭 沈建良 巴清华 叶晓娟 庄仲辉
蒋良程 刘敬亮 郑 哲 严伟飞 章艳杏
毛陈军 霍 超 李 瑛 胡 壤 韩东民
周 盛 张宏建 童 磊 朱小龙 杜占鹏
欧阳朝桂 谢国伟 赖在会 阮仁酉 王元明
杨道喜 沈海涛 项 斌 孙余好 于 翔
胡飞宙 莫云波 包正军 施 俊 黄 挺
肖伟鹏 陈伟浩 陈 成 张翰林 汪 浩
主要审查人：蒋建良 游劲秋 沈 浩 史文杰 张广健
卢汉清 郑 楠

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	4
3 基本规定	7
4 勘 察	8
4.1 一般规定	8
4.2 岩土工程勘察	8
4.3 环境调查	10
5 设 计	12
5.1 一般规定	12
5.2 线位设计	12
5.3 顶管选型	14
5.4 结构与防水	15
5.5 工作井	18
6 施 工	22
6.1 一般规定	22
6.2 施工准备	23
6.3 施工设备	24
6.4 始发	27
6.5 顶进	28
6.6 接收	35
6.7 安全与环境保护	36
6.8 应急处置	39

7 监 测	40
7.1 一般规定	40
7.2 监测范围及等级划分	42
7.3 测点布置	44
8 验 收	46
8.1 一般规定	46
8.2 主控项目	46
8.3 一般项目	49
附录 A 顶管机选择	53
附录 B 管 材	54
附录 C 压力标准值	61
本标准用词说明	63
引用标准名录	64
附：条文说明	65

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	Basic requirements	7
4	Survey	8
4.1	General provisions	8
4.2	Geotechnical investigation	8
4.3	Environmental investigation	10
5	Design	12
5.1	General provisions	12
5.2	Plane and vertical layout	12
5.3	Jacking pipe selection	14
5.4	Structure and waterproof	15
5.5	Working shaft	18
6	Construction	22
6.1	General provisions	22
6.2	Construction preparation	23
6.3	Construction equipment	24
6.4	Originating	27
6.5	Pipe Pushing	28
6.6	Receive	35
6.7	Safety and environmental protection	36
6.8	Emergency response	39

7	Monitor	40
7.1	General provisions	40
7.2	Monitoring scope and classification	42
7.3	Measuring point layout	44
8	Acceptance	46
8.1	General provisions	46
8.2	Dominant item	46
8.3	General items	49
Appendix A	Pipe jacking machine selection	53
Appendix B	Pipe	54
Appendix C	Pressure standard value	61
	Explanation of wording in this specification	63
	List of quoted standards	64
	Addition: Explanation of provisions	65

1 总 则

1.0.1 为规范顶管技术的工程应用，做到技术先进、经济合理、安全适用、质量保证，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于浙江省机械平衡式顶管工程的勘察、设计、施工、监测和验收。

1.0.3 顶管技术的工程应用除应符合本规程外，尚应符合国家和浙江省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 顶管 pipe jacking

地下管道、地下通道等地下结构施工中，依靠顶管机和顶进装置，将管节在地下逐节顶进的施工技术。根据断面分为圆形顶管和矩形顶管。

2.1.2 机械平衡式顶管 mechanically balanced pipe jacking

顶管顶进过程，通过控制顶管机前端压力，实现顶进面对土压力和水压力的平衡，以保持顶进面稳定的顶管施工方法。根据平衡方式分为土压平衡、泥水平衡和气压平衡等三种。

2.1.3 管节 pipe element

采用顶管技术施工形成地下结构的基本单元。

2.1.4 市政公用管道 municipal public pipeline

给排水、燃气、热力和电力等管道或工艺套管的统称。

2.1.5 顶管机 push bench

安装在管节前端用于掘进的机械设备。

2.1.6 长距离顶管 long – distant jacking – pipe

一次连续顶进长度 400m 以上并设置中继间的顶管。

2.1.7 土压平衡 earth pressure balance

通过控制土舱内泥土的压力，使顶进过程中顶管机与其所处土层的土压力和地下水压力处于平衡状态，而且排土量与顶管机切削刀盘破碎下来的土体积处于平衡状态，以保持顶进面稳定的一种施工方法。

2.1.8 泥水平衡 slurry balance

通过直接或间接对泥水舱压力进行控制，达到与顶进面对土压

力和地下水压力的平衡，以保持顶进面稳定的一种施工方法。

2.1.9 气压平衡 air pressure balance

通过向泥水舱内加压缩空气对泥水舱压力进行控制，达到与顶进面土压力和地下水压力的平衡，以保持顶进面稳定的一种施工方法。

2.1.10 工作井 working shaft

用于顶管作业时顶进或接收所需要的地下空间结构，包括顶进井和接收井。

2.1.11 顶进井 jacking shaft

用于顶管设备安装调试、管节拼装及顶进施工的地下作业空间。

2.1.12 接收井 arriving shaft

用于接收顶管机的地下作业空间，也称为接收坑。

2.1.13 导轨 rail

铺设在工作井底部，用于顶管工程初始导向和管节拼接用的轨道。

2.1.14 洞门 hole for penetrating wall

顶管机进出顶进井、接收井的洞口。

2.1.15 顶进 jacking

顶管机由顶进井进入土层开始顶进的过程，也称为出洞。

2.1.16 接收 receiving

顶管机由土层进入接收井、完成顶进的过程，也称为进洞。

2.1.17 中继间 intermediate station

设置在管节间的接力顶进装置。

2.1.18 触变泥浆 thixotropic slurry

用于填充管道外壁与土体之间的空隙并起到减阻作用的泥浆。

2.1.19 后背 reaction base

将顶管反力传递到工作井外岩土体的墙体结构。

2.1.20 后背墙 reaction wall

将顶管反力传递到工作井外岩土体的墙体结构。

2.1.21 顶推力 jacking force

推进整个管道系统和相关机械设备向前运动的作用力。

2.1.22 压浆孔 grouting hole

在管节插口处预埋设置的管状孔道，并设有止回阀，用于顶管施工时向外注压泥浆，以形成减阻泥浆套。

2.1.23 顶铁 jacking block

放置于千斤顶和被顶管道之间的传力装置，分环形顶铁、“U”型顶铁和组合顶铁等。

2.1.24 洞门止水环 wall hole waterproof ring

在洞口设置的环形止水装置。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

F_p ——管道允许顶推力 (kN)；

σ_p ——管材抗压强度设计值 (kN/m^2)；

2.2.2 作用和作用效应

C ——土的粘聚力 (kN/m^2)；

F ——总顶推力 (kN)；

F' ——主工作站千斤顶的最大反作用力；

F_0 ——顶管机的迎面阻力 (kN)；

F_p ——管道允许顶推力 (kN)；

$F_{sv \cdot k1}$ ——管顶上部竖向土压力标准值 (kN/m^2)；

$F_{sv \cdot k2}$ ——管拱背部竖向土压力标准值 (kN/m^2)；

$F_{sv \cdot k3}$ ——管顶竖向土压力标准值 (kN/m^2)；

F_0 ——顶管机的迎面阻力 (kN)；

f ——管道外壁与土层的平均摩阻力 (kPa)；

- P ——注浆压力；
 P_A ——泥浆套顶部的水压力和主动土压力 (kPa)；
 P_a ——主动土压力 (kPa)；
 P_p ——被动土压力 (kPa)；
 R_c ——后背墙的承载能力 (kN)；
 σ_p ——管材抗压强度设计值 (kN/m^2)；

2.2.3 几何参数

- A_p ——管道最小有效传力面积 (m^2)；
 B ——顶进井的最小宽度 (m)；
 B_i ——矩形关节外边宽 (m)；
 B_h ——后背墙的宽度 (m)；
 B_t ——管顶上部土层压力传递至管顶处的影响宽度 (m)；
 C_l ——管道外周长 (m)；
 D ——管道外径 (m)；
 D' ——顶管机外径 (m)；
 G ——工作井底板面最小深度 (m)；
 H_d ——管顶至原状地面埋置深度 (m)；
 H_g ——工作面或卸力拱以上的水柱高度 (m)；
 H_i ——管道中心埋深 (m)；
 H_l ——矩形关节外边高 (m)；
 H_s ——顶管覆土层厚度 (m)；
 H'_s ——顶管中心点埋置深度；
 H_z ——管道中线至地面的距离 (m)；
 h_d ——管底操作空间 (m)；
 h_i ——管道上部 i 层土层厚度 (m)；
 h_0 ——卸力拱的高度 (m)；
 h_1 ——地面到后背墙顶部土体的高度 (m)；

h_2 ——后背墙的高度 (m)；
 L ——管道设计顶进长度 (m)；
 L' ——顶进井的最小长度 (m)；
 L_1 ——顶管机或管段长度 (m)，取两者中最大值 (m)；
 L_2 ——千斤顶长度 (m)；
 L_3 ——后座及扩散段厚度 (m)；
 R ——曲率半径 (m)；
 S_1 ——顶入管节留在导轨上的最小长度；
 S_2 ——顶铁厚度 (m)；
 S_3 ——顶进管节回缩及便于安装间隙；
 s ——施工操作空间 (m)；
 φ ——管顶土的内摩擦角 ($^\circ$)；

2.2.4 计算系数及其他

C_j ——顶管竖向土压力系数；
 K_0 ——顶管中心静止土压力系数；
 K_c ——后背墙安全系数；
 K_p ——被动土压力系数；
 K_μ ——原状土的主动土压力系数和内摩擦系数的乘积；
 K ——管道综合系数；
 S_0 ——后背墙承载能力计算系数；
 α ——经验系数；
 γ ——土的重度 (kN/m^3)；
 γ_{si} ——管道上部 i 层土层重度 (kN/m^3)；
 γ_w ——水的重度 (kN/m^3)；
 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)。

3 基本规定

3.0.1 地下结构工程宜采用圆形顶管，地下情况受限时可采用矩形顶管。

3.0.2 顶管工程设计与施工应综合考虑地下结构功能、工程地质和水文地质、周边环境、施工场地和工期等因素，因地制宜选择管材与施工工艺。

3.0.3 顶管工程施工前应进行环境影响分析。当地质条件或周边环境复杂时，宜进行顶管工程与周边环境的相互影响专项分析与评估。

3.0.4 顶管工程施工全过程应对施工影响范围内的土体及周边环境进行全过程监测。

3.0.5 顶管工程宜采用信息化管理。

4 勘察

4.1 一般规定

4.1.1 顶管工程勘察宜分阶段进行，初步勘察和详细勘察应满足相应阶段的设计要求。当施工过程顶管线路调整时应进行补充勘察，当地质条件与勘察报告不符时应进行施工勘察。

4.1.2 勘察单位应根据勘察阶段和勘察等级制定勘察纲要，确定勘察工作量。

4.1.3 当在顶管轴线范围内可能存在孤石、废弃地下构筑物等地下障碍物或重要管线时，应采用工程物探等手段探明其分布范围。

4.2 岩土工程勘察

4.2.1 岩土勘察应符合下列规定：

1 应查明顶管沿线各地段的地形、地貌特征、岩土类型、分布范围、埋藏深度、工程特性，分析和评价地基的稳定性及均匀性等；

2 当管道穿越铁路、公路或河谷地段时，应查明微地貌特征、穿越断面的地层结构和工程地质特性，并应对穿越河流的洪水淹没范围、河床及岸坡的稳定性做出评价；

3 应查明顶管沿线地表及地下暗埋的河、湖、塘、沟、洞、坑、井的分布范围、赋存状态、埋置深度和特性，并应提供覆盖层的工程地质特性；

4 应查明顶管沿线的不良地质作用发育和地质灾害发生的可能性，包括岩溶、滑坡、危岩和崩塌、泥石流、采空区和地面沉降等；

5 应查明顶管沿线的特殊性岩土，包括软土层、混合土层、填土层、盐渍土、风化岩和残积土层及各种污染土层等，评价其对顶管工程的影响；

6 应查明顶管沿线的松软土层，可能产生潜蚀、流砂、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；

7 应查明浅层气的特征，评价其对顶管工程的影响；

8 应查明场地地下障碍物情况，评价其对顶管工程的影响；

9 在抗震设防烈度大于或等于 6 度的地段，应判定场地和地基的地震效应；

10 应提供设计和施工所需的地层分布、岩土物理力学参数等资料，并应提出相应建议；提供工作井基坑支护方案建议及计算参数；评价工作井、顶管施工对周边环境的影响；

11 应判定岩土体对管道材料的腐蚀性。

4.2.2 地下水勘察应符合下列规定：

1 应查明沿线地下水类型、埋藏条件、水位变化、补给与排泄条件和土层渗透系数等水文地质资料；

2 应取水质分析样本，判定地下水对管道材料的腐蚀性；

3 当地下有承压水分布时，应查明承压水水文地质条件，评价其对顶管施工的影响；

4 应提出地下水控制方案，分析其对周边环境影响并提出防范建议。

4.2.3 勘探孔的设置应符合下列规定：

1 勘探孔应沿管线，在管节两侧交错布置；

2 当顶管穿越河道、主要道路和隧道时，应在河道两岸、道路或隧道两侧布置勘探孔；

3 勘探孔间距应符合各类管道的勘察设计要求；

4 各个工作井的勘探孔的数量不宜少于 2 个，间距不宜超过 30m；

5 当顶管穿越暗埋的河、湖、沟、坑地段或可能产生流砂

及地震液化的地段、山前地段或地层变化较大的地段时，勘探孔应适当加密；顶管穿越轨道交通、公路或河谷的地段，勘探孔移位不宜偏离原布置位置超过3m，勘探孔间距以能控制地层土质变化为原则。当顶管穿越轨道交通或公路地段时，不宜少于2个勘探孔；当顶管穿越河谷地段时，不应少于3个勘探孔。

6 顶管的勘探孔深度不应小于管底设计标高以下3m，当符合下列情况之一时，应适当增加勘探孔深度：

- 1) 当顶管穿越河道时，勘探孔深度应达到河床最大冲刷深度以下4m~6m，并应满足管道勘探深度要求；
- 2) 当管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) 当管底下存在可能产生流砂、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措施施工时，勘探孔深度应满足降水设计需要；
- 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，勘探孔应钻穿承压水含水层，并测量其水压；
- 6) 工作井的勘探孔深度应满足基坑支护要求。

4.2.5 勘探工作完成后应对顶管影响范围内的勘探孔进行全长完全封孔。

4.3 环境调查

4.3.1 地面环境调查应符合下列规定：

- 1 对施工可能影响到的地面各种不可移动的物体、设施和构筑物，应标明名称、用途、尺寸、结构形式、位置关系和使用状况；
- 2 对于重要建（构）筑物，应了解其基础情况，并宜取得竣工资料；

3 对于正在使用的设施，应与产权管理单位联系，并应了解其使用情况和保护要求。

4.3.2 地下环境调查应符合下列规定：

1 应查明沿线及影响范围内地下构筑物的名称、用途、尺寸、结构形式、埋设年份及目前使用状况，并应标明顶进管道与构筑物的相对关系；

2 查明沿线及影响范围 2m ~ 3m 内的地下管线的类型、尺寸、埋置深度以及使用状况，并应标明顶进管道与管线的相对关系；

3 对于废弃的地下管道和地下构筑物应调查其类型、位置、尺寸、完好程度、残余内容物的性质以及泄露情况等；

4 地下构筑物和管线应收集设计图纸和竣工资料，或开挖探洞、探沟或探槽获取其详细资料，必要时可进行多方公证取样存档；

5 应查明影响顶管工程施工或人员安全的有害气体分布情况；

6 顶管工程通过化工区的，应查明地下受工业污染的程度和分布范围。

5 设 计

5.1 一般规定

5.1.1 顶管工程设计应包括下列内容：

- 1** 线位设计；
- 2** 顶管选型；
- 3** 结构与防水；
- 4** 工作井设计。

5.1.2 地下结构的安全等级、耐久性能及使用年限应符合现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 的规定，抗震性能应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《地下结构抗震设计标准》GB/T 51336 的规定。

5.1.3 顶管工程结构使用阶段的设计与计算应符合下列规定：

1 公路顶管工程设计与计算应符合现行行业标准《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》JTG 3370.1 的有关规定；

2 轨道交通顶管工程设计与计算应符合现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 的有关规定；

3 市政隧道顶管工程设计与计算应符合现行行业标准《城市道路工程设计规范》CJJ 37、《城市地下道路工程设计规范》CJJ 221 的有关规定；

4 市政给水排水顶管工程设计与计算应符合现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的有关规定。

5.1.4 顶管工程施工阶段的设计与计算应按本规程规定执行。

5.2 线位设计

5.2.1 顶管工程选线应符合下列规定：

- 1** 应避开活动性地震断裂带、岩溶发育地段；
- 2** 应考虑工作井施工空间；
- 3** 穿越河道时，顶管布置线路应满足河道的规划要求，并应布置在河床的最大冲刷线以下；穿越通航河道的，还应满足通航安全要求；
- 4** 宜避开地面建（构）筑物、管线及地下障碍物；
- 5** 宜避开土层软硬明显的界面；
- 6** 顶管顶进、接收宜避开强透水层，当不能避开时，应做地质改良或采取止水措施。

5.2.2 工作井的选址宜符合下列规定：

- 1** 检查井或通风井的设置宜充分利用工作井；
- 2** 便于排水、出土和运输，并宜靠近电源和水源；
- 3** 避开建（构）筑物、地下管线、池塘和架空电线等；
- 4** 在有曲线又有直线的顶管中，顶进井宜设在直线段的一侧；
- 5** 在地下水位以下单向顶进时，顶进井宜设在管线下游，逆管道坡度方向顶进；
- 6** 多排顶进或多向顶进时，可利用一个顶进井。

5.2.3 地下结构顶部覆土厚度以及相邻结构之间的距离宜根据地表条件、地层情况、结构断面尺寸、施工方法、平面及竖向的布置图等因素综合确定，并宜符合下列规定：

- 1** 顶部覆土厚度应满足抗浮要求；矩形顶管顶部覆土厚度不宜小于3m，圆形顶管顶部覆土厚度不宜小于2m；
 - 2** 下穿河床，或多条顶管并行施工时，顶部覆土厚度宜加厚；
 - 3** 多条顶管并行施工时，相邻结构间的净距不宜小于后施工圆形顶管管节外径或矩形顶管管节高度，且不宜小于2m。
- #### **5.2.4** 顶管工程涉及临近既有隧道、铁路、公路、航道、堤防或其他重要设施的保护时，平面布置及竖向净距控制应符合相关

技术标准及管理规定。

5.3 顶管选型

5.3.1 顶管选型应包括顶管机选择和管材选用。

5.3.2 顶管机选择应根据工程地质条件、水文地质条件、周边环境、地下结构尺寸及性能要求等因素综合确定，并符合下列规定：

1 顶管在岩石地层顶进时，顶管机应选择合适的刀盘和刀具，并具有顶进工程中换刀具能力及适应岩层强度的二次破碎能力；

2 矩形顶管的顶管机应具有对正面阻力有精确计量的装置；

3 地下水位以下、含卵石或砾石地层的圆形顶管，宜选用具有相应破碎能力的泥水平衡式顶管机；

4 长距离顶管的顶管机应满足相应的使用寿命，并备足相应的配件；顶进前应对后背墙及其后土体强度、变形进行复核验算，并确定加固范围及形式；

5 小直径顶管宜采用泥水平衡式顶管机，并能在地面进行遥控操作；

6 大直径顶管宜采用土压平衡式或泥水平衡式顶管机。

5.3.3 顶管机性能宜符合本规程附录 A 的规定。

5.3.4 顶管管材选用应符合下列规定：

1 顶管管材可根据使用功能、管材特性及地层情况选用钢筋混凝土管、钢管、球墨铸铁管、玻璃纤维增强塑料夹砂管和带防腐内衬混凝土管，管材性能宜符合本规程附录 B 的规定；

2 防水接头应设置在管道壁内，不应突出于管道的内外壁

3 管道接头应具有传递轴向载荷的能力，同时在发生一定角度的偏斜时应仍然具有防水能力；

4 顶管管材的单节长度应结合工作井尺寸、吊装机械设备、顶管设备尺寸和道路运输能力等因素确定。

5.3.5 圆形顶管的管节长度宜符合下列规定：

- 1 钢筋混凝土管的单节长度宜为 1m ~ 3m；
- 2 钢管的单节长度宜为 4m ~ 10m；
- 3 球墨铸铁管的单节长度宜为 6m ~ 8m；
- 4 长距离顶管的管节长度可适当增加。

5.3.6 矩形顶管宜采用钢筋混凝土管，管节长度宜为 1m ~ 2m。

5.4 结构与防水

5.4.1 结构设计应采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量结构的可靠度，除稳定验算外，均应采用分项系数的设计表达式进行设计。

5.4.2 结构设计应符合所选用管材的相应技术标准，极限状态计算内容应符合下列规定：

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；管节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；钢筋混凝土结构裂缝宽度超过规定限值。

5.4.3 钢管、玻璃纤维增强塑料夹砂管及球墨铸铁管应按柔性管道计算；钢筋混凝土管、预应力钢筒混凝土管应按刚性管道计算。

5.4.4 作用在结构上的竖向土压力，其标准值应按覆土层厚度和力学指标确定，可按本规程附录 C 的规定计算。

5.4.5 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 1.0。

5.4.6 柔性管道在准永久组合作用下长期竖向变形允许值，应符合下列规定：

1 内防腐为水泥砂浆的钢管、球墨铸铁管，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 $0.03D$ ；

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

3 玻璃纤维增强塑料夹砂管最大竖向变形不应超过 $0.05D$ 。

5.4.7 钢筋混凝土管道在准永久组合作用下，受拉面的最大裂缝宽度不应大于 0.2mm 。

5.4.8 顶管总顶推力可按下式估算：

$$F = C_1 L f + F_0 \quad (5.4.8)$$

式中： F ——总顶推力（kN）；

C_1 ——管道外周长（m）；

L ——管道设计顶进长度（m）；

f ——管道外壁与土层的平均摩阻力（ kN/m^2 ），采用触变泥浆减阻技术时，其取值可按表 5.4.8-1 选取；

F_0 ——顶管机的迎面阻力（kN），可按表 5.4.8-2 确定。

表 5.4.8-1 采用触变泥浆时管道外壁与土层的平均摩阻力 f （ kN/m^2 ）

土层类型		黏性土	粉性土	粉细砂	中粗砂	岩石
管材	钢筋混凝土管	3.0 ~ 5.0	5.0 ~ 8.0	8.0 ~ 11.0	11.0 ~ 16.0	1.0 ~ 3.0
类型	钢管	3.0 ~ 4.0	4.0 ~ 7.0	7.0 ~ 10.0	10.0 ~ 13.0	1.0 ~ 2.0

注：1 当触变泥浆技术成熟可靠、管外壁能够形成和保持稳定、连续的泥浆套时， f 的值可直接取 $3.0\text{kN}/\text{m}^2 \sim 5.0\text{kN}/\text{m}^2$ ；

2 球墨铸铁管和预应力钢筒混凝土管可按钢筋混凝土管取值；玻璃纤维增强塑料夹砂管可按钢管乘以 0.8 系数采用；

3 当上下土层不一样时，应取最大值。

表 5.4.8-2 机械平衡式顶管机的迎面阻力 F_0 （kN）

顶管机机型	迎面阻力（kN）	式中符号
圆形顶管	$F_0 = \alpha \frac{\pi}{4} D'^2 \gamma_s H_s K_0$	α 经验系数，无当地经验的，按 1.0 取值； D' 顶管机外径； γ_s 土的重度（ kN/m^3 ）；。

续表 5.4.8-2

顶管机机型	迎面阻力 (kN)	式中符号
矩形顶管	$F_0 = \alpha H_1 B_1 \gamma_s H_s K_0$	H'_s 顶管中心点埋置深度 (m); B_1 矩形关节外边宽 (m); H_1 矩形关节外边高 (m); K_0 顶管中心静止土压力系数。

5.4.9 钢管、钢筋混凝土管的允许顶推力可按下式计算：

$$F_p = k \cdot \sigma_p \cdot A_p \quad (5.4.9)$$

式中： f_p ——管道允许顶推力 (kN)；

K ——管道综合系数，钢筋混凝土管可取 0.391；钢管可取 0.277，当顶进长度小于 300m，无弯曲且穿越土层均匀时，可取 0.346；

σ_p ——管材抗压强度设计值 (kN/m^2)；

A_p ——管道最小有效传力面积 (m^2)。

5.4.10 顶管的总顶推力不得超过成品管材标定的允许顶推力。

5.4.11 顶管顶推力的确定应考虑顶进设备能力和施工技术措施等因素，并不应大于管节和管口的承载能力。

5.4.12 顶进钢管应考虑温差作用下的伸缩变化，钢管与工作井井墙采用刚性连接时，应验算温差作用下井墙受力和管道的连接强度。

5.4.13 工作井、接收井的洞门应设置止水装置，各止水装置的适用土层条件应符合表 5.4.13 的规定：

表 5.4.13 止水装置的适用土层条件

止水装置	适用土层条件
盘根止水	砂土、粉性土等土层
橡胶板止水	黏性土土层
多道或组合形式止水	在长距离顶管或承压水土层中

5.4.14 洞门止水装置联结环板应与工作井壁内的预埋件焊接牢固，且用胶凝材料封堵。

5.4.15 采用钢管做预埋顶管洞口时，钢管外宜加焊洞门止水环。

5.4.16 长距离顶管施工或富水松散地层施工时，宜设置双层洞门密封。

5.4.17 顶管顶进结束后，管道与洞门的间隙应及时进行封堵。

5.5 工作井

5.5.1 工作井平面形状可采用矩形、圆形、椭圆形和多边形等；二段交角较小或同一位置需要多个方向的顶进或接收时，可采用圆形、多边形顶进井和接收井。

5.5.2 根据地质条件、周边环境条件、管道埋深及直径、井的平面尺寸及埋深、经济指标及施工工期要求等因素，顶进井、接收井可采用沉井、明挖顺作竖井、明挖逆作竖井或喷锚逆作竖井等结构形式。

5.5.3 顶进井结构除了进行水土压力和地面荷载作用效应分析外，尚应进行顶力作用效应分析。分析时应采用相应的作用效应最不利组合，并对其进行承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

5.5.4 当顶进井和接收井的进出洞口影响范围内存在软土层且影响顶管机械设备的水平控制时，宜在进出洞口位置进行土体加固。矩形顶管土体加固尚应考虑土层性质、破洞门设计等因素。

5.5.5 长距离顶管供电时，一般采用380v以上的供电电压，较长距离顶管一般采用1000v高压供电。

5.5.6 当顶进井和接收井的进出洞口影响范围内存在砂性土等强透水层或顶管机械设备进出洞受地下水影响较大时，宜在进出洞口位置设置土体加固或降压防渗措施；环境保护要求高时，顶管机接收可采用水下进洞及钢套筒辅助进洞方式。

5.5.7 顶进井的平面尺寸及竖向标高应符合下列规定：

1 顶进井的最小长度应按下式计算：

$$L' = L_1 + L_2 + L_3 + S_1 + S_2 + S_3 \quad (5.5.7-1)$$

式中：
\$L'\$——顶进井的最小长度（m）；

\$L_1\$——顶管机或管节长度（m），取两者中最大值；

\$L_2\$——千斤顶长度（m）；

\$L_3\$——后座及扩散段厚度（m）；

\$S_1\$——顶入管节留在导轨上的最小长度，可取0.5m；

\$S_2\$——顶铁厚度（m）；

\$S_3\$——顶进管节回缩及便于安装间隙，可取0.2m。

2 顶进井的最小宽度应按下式计算：

$$B = D + 2s \quad (5.5.7-2)$$

式中：
\$B\$——顶进井的最小宽度（m）；

\$D\$——管道外径（m）；矩形或类矩形截面，取外边宽度\$B_1\$；

\$s\$——施工操作空间（m），可取0.8m~1.5m。

3 顶进井底板面深度应按下式计算：

$$H = H_s + Dh_d \quad (5.5.7-3)$$

式中：
\$H\$——工作井底板面最小深度（m）；

\$H_s\$——顶管覆土层厚度；

\$D\$——管道外径（m）；矩形或类矩形截面，取外边高\$H_1\$；

\$H_d\$——管底操作空间（m）。

5.5.8 接收井平面尺寸应符合下列规定：

1 最小长度应满足顶管机在井内拆除和起吊的要求；

2 最小宽度应满足足够的操作空间要求。

5.5.9 后背墙的结构形式可采用整体式和装配式，后背墙的设计应符合下列规定：

1 应有足够的强度，在顶管施工中能承受主顶工作站千斤顶的最大反作用力 F' ；

2 应有足够的刚度，在受到主顶工作站的反作用力时其变形应在允许范围内；

3 后背墙表面应平直，并垂直于顶进管道的轴线；

4 后背墙材料的材质应均匀一致；

5 结构简单且装拆方便。

5.5.10 现场浇筑整体式后背墙抗冲切验算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

5.5.11 后背墙的承载力应按下式计算：

$$R_c > K_c F' \quad (5.5.11-1)$$

$$R_c = B_h (\gamma \cdot h_2^2 \cdot \frac{K_p}{2} + 2C \cdot h_2 \cdot \sqrt{K_p} + \gamma \cdot h_1 + h_2 \cdot K_p) \quad (5.5.11-2)$$

式中： R_c ——后背墙的承载能力 (kN)；

K_c ——后背墙安全系数，取 1.4 ~ 1.5；

F' ——主顶工作站千斤顶的最大反作用力 (kN)；

B_h ——后背墙的宽度 (m)；

γ ——土的重度 (kN/m^3)；

h_2 ——后背墙的高度 (m)；

K_p ——被动土压力系数，计算参考公式 $K_p = \tan^2 (45^\circ + \varphi/2)$ 计算， φ 指的是墙背后土体的加权内摩擦角；

C ——土的粘聚力 (kN/m^2)；

h_1 ——地面到后背墙顶部土体的高度 (m)。

5.5.12 顶管距离超过 400m 时，宜增加中继间设计。

5.5.13 中继间的设计顶进力、数量和位置应符合下列规定：

1 中继间的设置及中继间的间距确定应根据地质状况和管

道材质决定；

2 中继间的设计顶力不应大于管节相应设计转角的允许顶推力；

3 第一个中继间的设计顶推力，应保证其允许最大顶推力能克服前方管道外壁所受摩擦阻力及顶管机的迎面阻力之和；后续中继间设计顶推力应克服两个中继间之间的管道外壁摩擦阻力；

4 确定中继间位置时，应留有足够的顶推力安全储备，第一个中继间位置宜安装于顶管机后 20m ~ 50m，并应提前安装，同时应考虑顶管机在迎面阻力作用下发生反弹，引起地面沉降；

5 中继间密封装置宜采用径向可调形式，密封配合面的加工精度和密封材料的质量应满足要求；

6 顶管距离超过 700m 时，中继间应具有密封性能可靠、密封圈压紧度可调和可更换密封装置的功能，并宜采用地面远程计算机联动控制。

5.5.14 中继间的结构形状应符合相应管节接头的要求，中继间应带有木质传压环和钢制均压环，端面尺寸应满足作用于其上的顶推力要求。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 顶管施工应建立质量控制和检验标准，并采取安全和环境保护措施。

6.1.2 顶管施工前应编制施工组织设计和专项施工方案，经审批后可执行，施工方案应包括下列内容：

- 1** 顶进方法比选和顶管段单元长度的确定；
- 2** 顶管机选型及各类设备的规格、型号及数量；
- 3** 工作井位置选择、结构类型及其洞口封门设计；
- 4** 管节、接口选型及检验、内外防腐处理；
- 5** 顶管进、出洞口技术措施，地基改良措施；
- 6** 顶力计算、后背设计和中继间设置；
- 7** 减阻剂选择及相应技术措施；
- 8** 施工测量、纠偏的方法；
- 9** 曲线顶进及垂直顶升的技术控制及措施；
- 10** 地表及构筑物变形与形变监测和控制措施；
- 11** 安全技术措施、应急预案。

6.1.3 顶管类型和设备技术性能应满足设计要求，经检验合格后再进入施工现场，并应进行单机、整机联动调试。

6.1.4 施工现场的场地应满足工作井、管材堆放、排水设施、浆液设施、供配电设施、控制室等施工运输和生产设施用地要求。

6.1.5 顶管施工期间应对邻近的建（构）筑物、地下管线、道路与轨道交通设施等进行监测，并应对重要或有特殊要求的建（构）筑物采取必要的保护技术措施。

6.1.6 当相距较近的两条或多条平行管道采用顶管法施工时，宜遵循先深后浅和先大后小的原则。

6.1.7 在管道顶进就位后，应采用水泥砂浆或其他材料对管壁与原状土体之间的泥浆或空隙进行填充加固。

6.1.8 施工要求工作坑的位置选择宜尽量远离房屋和带压管线等重要的建构筑物，应避免在电力架空线下作业。可根据环境情况选择钢板桩、沉井、锚喷倒挂井壁、地下连续墙等支护方式。

6.2 施工准备

6.2.1 顶管工程所用的管材、构配件和主要原材料等应进行进场验收，验收合格后方可使用。

6.2.2 顶管管材应有质量合格证书、按规定复试合格的证明文件，使用单位宜对交付使用的管材进行复检。

6.2.3 应严格控制管道线形，对于柔性接口管道，其相邻管间转角不得大于该管材的允许转角。

6.2.4 施工前应根据施工现场地形地貌情况，选择合适位置开挖泥浆池，并安装泥浆分离系统和注浆系统。

6.2.5 顶管洞口的施工应符合下列规定：

1 预留顶进和接收洞口的位置及几何尺寸和封堵方式应符合设计和施工方案的要求；

2 顶进和接收前应检查加固处理后的土体强度和渗漏水情况；

3 在软弱地层，洞口外缘宜设支撑点；

4 富水松散地层宜增加水下贯通措施。

6.2.6 下列情况宜增设管节止退装置：

1 高水压富水松散地层施工；

2 管节前方主动土压力较大。

6.2.7 应定时对顶管顶进区内的有毒有害气体含量进行检测和防护，并应对工作井下和顶管内进行通风处理。

6.2.8 顶管施工前应围绕管道设计中线和基坑建立地面与地下测量控制系统，控制点应设在不易扰动、视线清楚、方便校核和易于保护的地方。

6.2.9 在安装测量装置时，所用的测量仪器应与工作井的井底和井壁分开。

6.2.10 施工测量应符合下列规定：

1 施工中应对掘进方向的高程偏差、轴线偏差、顶管掘进的姿态与掘进长度等参数进行测量；

2 顶管定向测量应采用激光指向法；

3 顶管高程测量宜采用水准测量，并达到四等水准测量的精度。

6.3 施工设备

6.3.1 顶管后座钢板应符合下列规定：

1 所用材料厚薄应均匀一致，应与后背墙结构紧密接触，均匀受力；

2 承载能力应满足最大顶推力的要求，其整体刚度和强度应满足施工要求；

3 表面应平直，且与顶进轴线垂直，后背与后背墙之间宜设传力结构；

4 可采用装配式后座或整体式后座；

5 连续顶进时，可利用已顶进完毕的管道和现有井壁作为后背支撑。

6.3.2 导轨安装应符合下列规定：

1 导轨支架宜选用钢质材料制作。固定在工作井底板上的导轨在管道顶进时不应产生位移，其整体刚度和强度应满足施工要求；

2 导轨安装前，应先复核管道中心位置，导轨的高度应与穿墙管标高相对应，导轨的走向应与设计轴线一致；

- 3 两导轨安装应顺直、平行、等高，并应固定牢靠；
- 4 导轨对管道的轴心支承角宜为 60° ；
- 5 导轨安装的允许偏差应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 导轨安装允许偏差

项目	允许偏差 (mm)
轴线平面位置	± 3
标高	$0 \sim +3$
轨道内距	± 2

6.3.3 千斤顶的配置和安装应符合下列规定：

- 1 千斤顶的规格和数量应根据实际需要的顶力、工作井允许顶力及管节允许顶力确定；
- 2 千斤顶应固定在组合架上，与管道中心的垂线对称排列，合力的作用点应在管道中心垂线上，合力作用中心应在管道端面范围内；
- 3 千斤顶不宜使用单台，当使用多台时，宜为偶数，并在管道中心轴两侧对称布置，多台千斤顶的油路应并联，每台千斤顶应有进油和退油的控制系统。

6.3.4 油泵安装和运行应符合下列规定：

- 1 应与千斤顶相匹配，并有备用油泵，油泵流量应满足顶进要求；
- 2 宜设置在千斤顶附近，油管应顺直且转角少；
- 3 安装完毕应进行试运转；
- 4 顶进开始时，应缓慢顶进，待各接触部位密合后，再按正常速度顶进；
- 5 顶进过程中，若油压突然升高，应立即停止顶进，检查原因并经处理后方可继续顶进。

6.3.5 顶铁安装应符合下列规定：

- 1** 宜采用弧形顶铁和马蹄形顶铁两种形式；
- 2** 两个受压面应平整且平行；
- 3** 应具有刚度大且稳定性好的结构性能，满足传递顶推力的要求；
- 4** 与管节端面之间的接触面应衬垫缓冲材料；
- 5** 单行纵向顶铁中心线应与管道轴线一致；双行纵向顶铁的两条中心线应平行，并与管轴线距离相等，且要垂直于管端平面；
- 6** 更换顶铁时，应先使用长度大的顶铁，顶铁拼装后应锁定。

6.3.6 顶管机的安装应符合下列规定：

- 1** 安装前，顶管机应做保养和调试，液压系统应无泄漏，电路系统应正常，机械运转应平稳，各部分动作应正常；
- 2** 吊装顶管机应采用专用吊具和吊绳；
- 3** 安放时，顶管机与基坑导轨的接触面应吻合；
- 4** 顶管机就位后，应重新测量基坑导轨的中线和高程，并应测量顶管机前端和后端的中线偏差和高程偏差；
- 5** 开顶前，应对顶管机的电路、油路、水路、气压管道、泥浆管道和控制系统等全面检查和试运行，各部件应安装正确、连接牢固、配合紧密和运转正常；
- 6** 开顶前，应统一调试顶管机的测量导向设备，并应记录原始数据。

6.3.7 管道内部装置的布置应符合下列规定：

- 1** 应遵循安全可靠及方便施工的原则；
- 2** 通风装置宜设置在管道两侧，并应固定牢靠；
- 3** 进水排泥装置宜设置在管道底部，进水排泥两路管道宜分不同颜色标识；
- 4** 供电线路及通信线路应便于设备供电，可设置在同侧。

6.3.8 中继间的安装、启动和拆除应符合下列规定：

- 1** 中继间壳体应有足够的刚度；其千斤顶的数量应根据该施工长度的顶推力计算确定，并沿周长均匀分布安装；其伸缩行程应满足施工和中继间结构受力的要求；
- 2** 中继间油缸宜取偶数，且其规格宜相同；当规格不同时，其行程应同步，并应将同规格的中继间油缸对称布置；
- 3** 中继间油缸的油路应并联，每台中继间油缸应有进油和退油的控制系统；
- 4** 中继间安装前应检查各部件，确认正常后方可安装；安装完毕应通过试顶检验后方可使用；
- 5** 中继间外壳在伸缩时，滑动部分应具有止水性能和耐磨性，且滑动时无阻滞；
- 6** 中继间的启动和拆除应由前向后依次进行；
- 7** 拆除中继间时，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；中继间的外壳若不拆除，应在安装前进行防腐处理。

6.4 始发

- 6.4.1** 顶管始发前应对洞口周边土体采取止水或降水措施。
- 6.4.2** 软土地层始发时，应采取下列防止顶管机倾斜下沉的技术措施：
- 1** 基坑导轨前端应尽量接近洞口；
 - 2** 顶进和接收作业应连续进行；
 - 3** 宜在洞口内设置支撑顶管机的临时装置。
- 6.4.3** 顶管始发时的顶进，应符合下列规定：
- 1** 起始顶进阶段不宜实施注浆减阻措施，不实施注浆减阻措施时，应验算顶管机和管节的后退受力状态，并设置可靠的止退装置；
 - 2** 顶管机脱离加固体前，管节与土体的空隙应填注惰性浆液；

- 3 导轨上的管节应与洞口的止水装置保持同轴；
- 4 顶进后应立即封闭洞口间隙。

6.5 顶进

I 顶进

6.5.1 管节顶进前应符合下列规定：

- 1 顶进前应对成品管节、钢套环、橡胶密封及衬垫材料作检测和验收；
- 2 钢套环应按设计要求进行防腐处理，刃口无疵点，焊接处应平整；
- 3 钢筋混凝土管传力面上应设置环形木垫圈，并应用胶粘剂粘在传力面上，传力应均匀；
- 4 管节承插前，应用粘结剂将橡胶圈正确固定在槽内，并涂抹对橡胶无腐蚀作用的润滑剂，承插时外力应均匀，承插后橡胶圈应不移位且不翻转；
- 5 管材为钢管时，在顶进前钢管外防腐应完好且接口外防腐应完全固化后，方可进行顶进施工。

6.5.2 顶进施工应符合下列规定：

- 1 工作面压力值应根据顶管机机型确定；
- 2 初始顶进速度应严格控制；
- 3 曲线顶管始发时应有一段长度不小于 20m 的直线顶进段，并应逐渐过渡到曲线段。

6.5.3 顶进测量控制应符合下列规定：

- 1 在顶进期间，应每天检查测量仪器及观测点位；发现工作井位移、沉降或变形时应及时对引测点进行复核；
- 2 顶进过程中宜绘制顶管机水平与高程轨迹图和顶力变化曲线图；
- 3 在穿越道路、轨道交通设施等特殊地段应加强变形监测，

观测地表变形和土体位移情况，指导掘进施工，并应提交测量成果；

4 变形速率或累计变形量较大时，应适当提高测量频率。

6.5.4 顶进时不应发生机头下沉、机尾上翘等情况，宜采取下列措施：

1 调整后座主推千斤顶的合力中心，用后座千斤顶进行纠偏；

2 将前3节~5节管节用拉杆相联；

3 对洞口土体进行加固处理；

4 加强洞口密封可靠性。

6.5.5 顶进时应采取下列抗扭转措施：

1 顶管机宜设置限扭装置；

2 在顶管机及每个中继间设管道扭转指示针，管道扭转时宜采用单侧压重，或改变切削刀盘的转动方向进行纠正；

3 采用螺旋焊缝钢管作为顶管时，相邻管节的螺旋焊缝方向不宜一致。

6.5.6 顶进时应采取下列措施防止顶管机旋转：

1 土质由硬变软时，应放慢顶推速度，减小刀盘切土深度；

2 应根据顶管机的旋转趋势，正向和反向交替旋转刀盘；

3 开顶时，应先启动刀盘再推进管道，停顶时，应先停止推进管道再关闭刀盘；

4 入洞时可使用防转卡板、防转钢缆或防转翼板等措施阻止顶管机旋转。

6.5.7 加接管节时，主推千斤顶在缩回前应对已顶进的管节与井壁进行临时固定。

6.5.8 当采用中继间技术时，应对中继间进行编组控制，应从顶管机头向后按次序依次将每段管节向前推移，当一组中继间伸出时，其他中继间应保持不动，在所有中继间依次完成作业后，主顶工作站应完成该顶进循环的最后顶进作业。

6.5.9 顶进施工中，当主顶油缸的推力达到中继间设计推力的40%~60%时，应安装第一套中继间；此后每当主顶油缸的推力达到中继间设计推力的70%~80%时，应安放一套中继间；中继间顶推力应有一定的安全储备，第一个中继间不宜小于40%，其余不宜小于30%；当主顶油缸的推力达到中继间设计推力的80%时，应启动中继间。

6.5.10 顶进过程应连续作业，当遇到下列情况之一时，应暂停顶进，并应及时采取防止顶管机前方塌方的措施：

- 1** 顶管机前方遇到障碍物；
- 2** 后背墙变形严重；
- 3** 顶铁发生扭曲现象；
- 4** 管位偏差过大且纠偏无效；
- 5** 顶推力超过管材的允许顶推力；
- 6** 油泵或油路发生异常现象；
- 7** 管节接缝或中继间渗漏泥水或泥浆；
- 8** 地层、邻近建（构）筑物和管线等周围环境的变形量超出允许值。

6.5.11 利用已顶进的管道承受后座反力时，应符合下列规定：

- 1** 待顶管道的顶推力应小于已顶管道管壁与土层之间的摩擦力；
- 2** 后背墙钢板与管口之间应衬垫缓冲材料；
- 3** 采取措施保护已顶入管节的接口不受损伤。

6.5.12 管道贯通后，工作井中的管端处理应符合下列规定：

- 1** 进入接收井的顶管机和管端下部应设枕垫；
- 2** 管道两端露在工作井中的长度不宜小于0.5m，且不得有接口；
- 3** 工作井中露出的混凝土管道端部应及时浇筑混凝土基础。

6.5.13 贯通测量应满足下列规定：

- 1** 顶管贯通后应进行贯通误差测量，贯通误差测量应包括

平面贯通误差测量和高程贯通误差测量；

2 顶管贯通后进行顶管轴线的附合路线测量，并重新平差作为以后测量依据。

6.5.14 进入接收井前应提前进行顶进轴线和姿态测量，并应根据预留洞门位置提前进行调整。

II 减 阻

6.5.15 顶进过程应采用触变泥浆减阻，并符合下列规定：

1 土体和管节之间的环状间隙，在松散地层不宜小于20mm；在岩层中不宜小于30mm；

2 管节应预设压浆孔，压浆孔设置应保证管外壁和土体之间的间隙能形成稳定和连续的泥浆套；

3 注浆应遵循“同步注浆与补浆相结合”和“先注后顶、随顶随注、及时补浆”的原则。

6.5.16 顶进施工过程触变泥浆应保持流动性，其配合比应按根据土层类别、地下水条件、泥浆技术指标等因素综合确定，并符合下列规定：

1 对粘性土、粉性土和渗透系数不大于 $10 - 3\text{cm/s}$ 的砂性土，触变泥浆宜用膨润土制作，膨润土造浆率、失水量和动塑比应符合泥浆性能要求；土体渗透系数大于 $10 - 5\text{cm/s}$ 时，应另添加化学稳定剂；

2 对渗透系数不小于 $10 - 2\text{cm/s}$ 的粗砂和砂砾层宜采用高分子化学泥浆；

3 石蜡和废油脂等非亲水减阻剂可用于无地下水的硬土层；

4 沿海地质条件下宜使用抗盐膨润土。

6.5.17 注浆系统应符合下列规定：

1 制浆装置容积应满足形成泥浆套的需要；

2 注浆泵宜选用液压泵、活塞泵或螺杆泵；

3 注浆设备和管路应具有足够的耐压和良好的密封性能。

4 注浆前，应检查注浆装置水密性；注浆时压力应逐步升至控制压力；当出现机械故障、管路堵塞或接头渗漏等情况时，应暂停顶进，经处理后方可继续施工。

6.5.18 顶进施工阶段触变泥浆如有渗漏应及时补充。

6.5.19 采用触变泥浆减阻的设计计算，应包括下列内容：

- 1** 泥浆配合比、压浆量和注浆压力的确定；
- 2** 泥浆制备和输送设备及其安装规定；
- 3** 注浆工艺、注浆系统及注浆孔的布置；
- 4** 顶进洞口的泥浆封闭措施；
- 5** 贯通后对泥浆的置换方法。

6.5.20 注浆压力 P 可按下列公式计算，施工现场估算时也可取 $P = (2 \sim 3) \gamma H_1$ 。

$$P_A \leq P \leq P_A + 30 \quad (6.5.20-1)$$

$$P_A = \gamma_w H_1 + \gamma H_s \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) - 2C \tan \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (6.5.20-2)$$

当存在卸力拱时：

$$P_A = \gamma_w H_1 + \gamma h_0 \quad (6.5.20-3)$$

$$h_0 = \frac{D \left[1 + \tan \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \right]}{2 \tan \varphi} \quad (6.5.20-4)$$

式中： P_A ——泥浆套顶部的水压力和主动土压力（kPa）；

γ_w ——水的重度（ kN/m^3 ）；

H_1 ——工作面或卸力拱以上的水柱高度（m）；

γ ——土的重度（ kN/m^3 ）；

H_s ——顶管覆土层厚度（m）；

φ ——管顶土的内摩擦角（°）；

h_0 ——卸力拱的高度（m）；

C ——土的粘聚力（kPa）；

D ——管道的外径。

6.5.21 注浆过程中，应根据减阻和地面变形的实际监测数据，及时调整注浆流量和注浆压力等工艺参数。

6.5.22 每套中继间宜单独设注浆孔，中继间的注浆应与中继间启动同步，并应在运行中连续注浆。

6.5.23 注浆管出口应设单向阀，出口压力应大于地下水压力；在砂性土中顶进时，单向阀宜加装在注浆孔的管道外侧。

III 纠 偏

6.5.24 顶进过程中，应遵循“勤测量、勤纠偏、微纠偏”的原则，控制顶管机前进方法和姿态，并应根据测量结果分析偏差产生的原因和发展趋势，确定纠偏的措施。

6.5.25 顶进施工过程中应对顶管水平轴线、高程、偏转和顶管机姿态等进行测量，确定控制值，及时对测量控制基准点进行复核，发生偏差及时纠偏。

6.5.26 顶管施工的纠偏应符合下列规定：

1 顶管过程中应绘制顶推力变化曲线图和管节编号图，随时掌握顶进方向和趋势；

2 纠偏应在管道推进和刀盘旋转的过程中进行；刀盘式顶管机应有纠正顶管机旋转措施；

3 圆形顶管的纠偏角度不宜大于 0.5° ，当偏差稳定在 $\pm 3\text{mm}/\text{m}$ 时应停止纠偏；

4 矩形顶管的纠偏宜采用小角度纠偏方式，反复且多次进行纠偏操作，严禁一次纠偏操作完成纠偏任务；

5 在曲线顶管或者管道纠偏过程中，如果设置有中继间，且中继间必须经过纠偏折点时，若机头纠偏角度大于中继间纠偏角度，在机头纠偏过程中，纠偏角度应以中继间最大纠偏量为准进行纠偏；

6 纠偏时开挖面土体应保持稳定；采用挖土纠偏方式时，

超挖量应符合地层稳定及变形控制要求。

IV 出土和泥浆运输

6.5.27 管内运输应综合考虑土层的性质、顶管机类型、管内作业空间、每次顶进的出土量和顶进长度等因素，选择矿车输送、泥浆管道输送和渣土管道输送等输送方式。

6.5.28 采用泥浆管道输送方式排泥时，应设置泥浆沉淀池；泥浆沉淀池的容积应根据泥、水分离速度与排土体积等计算确定；输送管路接头应密封，输送管路系统应尽量降低。

6.5.29 采用泥水平衡顶管系统产生的废弃泥浆应经过处理才可排放，避免污染环境；城市顶管废弃泥浆宜采用泥浆分离系统处理。

V 顶后处理

6.5.30 顶进完成后管内继续作业前，应做好通风和有害有毒气体监测，在顶管内动火作业前，应检测顶管内易燃易爆气体含量是否符合安全要求。

6.5.31 顶进完成后应对破损管材进行修补或更换。

6.5.32 顶进完成后应对管材接缝与注浆孔封闭处理，管缝封闭，对于柔性接口应使用柔性材料，对于刚性接口可使用防渗水泥；注浆孔应使用防渗水泥封闭。

6.5.33 顶进完成后应填充管外侧由于超挖或塌落等造成的空隙，并应对被扰动的土体进行胶结固化处理。可采用水泥砂浆、粉煤灰水泥砂浆等易于固结或稳定性较好的浆液置换泥浆。泥浆置换应符合下列规定：

1 注浆应编组进行，可将相邻的二组注浆孔编为一个单元，分别作为注浆孔与排浆孔，自注浆孔注入固结浆液，将润滑浆从相邻排浆孔挤出，应保持一定的排浆时间，尽量多地排出润滑浆；

2 固结浆的注入应从管道一端开始，依次顺序推进，直到全线完成；

3 全线注浆完成后，应关闭所有注浆阀门，静态保压至固结浆初凝；

4 浆液初凝后，进行第二次注浆，将原排浆孔作为注浆孔使用，将原注浆孔做为排浆孔使用，交替进行，注浆次数不宜少于三次，每两次的间隔时间不宜大于24h；

5 固结浆的注入压力宜控制在主动土压力与被动土压力之间；

6 当存在其他地下管线及地下构筑物时，应根据实际情况控制注浆压力。

6.5.34 顶进完成后管道的接口和内壁应根据管道用途及相关标准的要求进行处理。

6.6 接 收

6.6.1 洞口应预先进行处理，并校核位置。

6.6.2 在含承压水的砂性土层中，顶管接收宜采用降压措施；当地下水位高、可能发生管涌或流砂现象时，宜采用水下达到、水土接收和钢套筒接收等方式。

6.6.3 顶管机在进入接收井洞口和加固区时，应降低推进速度并减小正面压力，接收井内应设置接收导轨。

6.6.4 井内宜预留略高于管底的垫层。

6.6.5 顶管机和管节进入接收井后，应及时对顶管管道与洞口间的空隙进行填充止水处理。

6.6.6 工作井洞口封门拆除应符合下列规定：

1 钢板桩工作井，可拔起或切割钢板桩露出洞口，并应采取措施防止洞口上方的钢板桩下落；

2 沉井工作井，应先拆除洞圈内侧的临时门，再拆除井壁外侧的封板或其他封填物；

3 在不稳定土层中顶进时，封门拆除后，顶管机应立即顶入土层并连续顶进，直至洞口及止水装置发挥作用为止；

4 在高地下水压环境下施工时，应采取技术措施防止封门在水压作业下发生漏浆或漏泥现象。

6.7 安全与环境保护

I 地面沉降控制

6.7.1 应建立地面观察点，并通过试顶确定具有平衡功能顶管机的平衡参数。

6.7.2 顶进中对地层变形的控制应符合下列规定：

1 应通过信息化施工，进行实时监测和信息化施工，发生偏差应及时纠偏，优化顶进的控制参数，使地层变形最小；

2 应采用同步注浆和补浆，及时填充管外壁与土体之间的施工间隙，避免管道外壁土体扰动，管道贯通后应立即进行管外壁土体固结施工；

3 应避免管节接口、中继间、工作井洞口及顶管机尾部等部位的水土流失和泥浆渗漏，并应确保管节接口端面完好；

4 应限制顶管施工过程的径向超挖和轴向超挖幅度；

5 应严控出渣量，不应超量出渣，保持开挖量与出土量的平衡；

6 应通过控制土压和水压平衡力来控制地面沉降。

6.7.3 地面沉降控制应满足下列规定：

1 顶管造成的地面沉降不应造成道路开裂，隧道或其他地下设施损坏或渗水；

2 顶管造成的地面沉降量应符合周边保护设施的限值要求。

6.7.4 在不稳定的土体中顶进，应选择封闭式顶管。

6.7.5 封闭式顶管应严格控制土舱或泥水舱压力，可按下列方法控制土舱压力：

1 土舱压力应设定在主动土压力与被动土压力之间；

2 主动土压力可按下式计算：

$$P_a = \gamma H_z \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (6.7.5-1)$$

被动土压力可按下式计算：

$$P_p = \gamma H_z \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (6.7.5-2)$$

式中： P_a ——主动土压力（kPa）；

γ ——土的重度（kN/m³）；

H_z ——管道中线至地面的距离（m）；

φ ——管顶土的内摩擦角（°）；

P_p ——被动土压力（kPa）。

3 土舱压力增大可采取增加顶进速度、降低出土速度和向土舱内注浆等措施；

4 土舱压力降低可采取降低顶进速度、增加出土速度等措施。

II 通 风

6.7.6 顶管施工应确保施工人员安全，在位于回填土和淤泥等可能存在有毒有害气体的地层中施工时，应安装有毒有害气体检测报警装置；管径不大于2m、长度超过100m或管径不小于2m、长度超过150m的顶管应采取通风措施。

6.7.7 送风口宜设在距顶管机12m~15m处。

6.7.8 小管径和长距离的顶管宜采用压缩空气通风；小于150m的短距离顶管可采用鼓风机通风。

6.7.9 每个人的供气量不应小于30m³/h，采用敞开式顶管时送风量应酌情增大；送风管道出口空气质量应满足环保要求。

6.7.10 顶进地层中存在有害气体时应采用封闭式顶管机并应增大通风量。

6.7.11 地面空气湿度较高且地面温度又高于地下温度的季节，应采用压缩空气通气，通风管应固定在工作井侧壁及顶管管道内壁侧边，并不应影响施工作业。

6.7.12 有毒有害气体指标应符合下列规定：

1 含氧浓度为 19% ~ 21% 为正常范围，小于 17% 为报警值，小于等于 12% 时管井内施工人员应全部撤离；

2 甲烷浓度为 0 ~ 0.25% 为正常范围，0.25% ~ 0.5% 为警戒范围，0.5% ~ 1% 为终止作业，大于 1% 应疏散作业人员，切断电源和火种；

3 一氧化碳浓度为 35PPm 为报警界限，出现煤气泄露，施工人员应撤离现场并切断电源和火种；

4 硫化氢浓度为小于等于 7PPm 为正常范围，10PPm 为报警界限，超过此界限时，管井内施工人员必须全部撤离。

III 供 电

6.7.13 顶管施工用电输出端宜分为三路，分别为工作井井上供电系统，井下顶管系统和主千斤顶用电系统。

6.7.14 管内供电系统应配备防触电和漏电装置。

6.7.15 井内与管内照明应采用安全电压的照明装置。

6.7.16 顶管施工应进行电压降的核算，不满足核算要求时，可采取下列措施：

1 调压器配电；

2 高压电引进管内，增设变压器进行供电。

6.7.17 应定期对电气设备和电缆线路进行检查。

IV 排 水

6.7.18 顶管排水工作仅限于在修建工作井混凝土基础时使用。

6.7.19 地下水可通过下列方法进行排出或抑止：

1 开放式排水；

- 2 封闭式排水；
- 3 组合排水方法；
- 4 水力平衡抑止地下水；
- 5 特殊的工艺方法。

6.8 应急处置

6.8.1 施工单位应制定顶管工程应急预案，包括地下管线破坏应急预案、坍塌事故应急预案、触电事故应急预案、机械伤害事故应急预案、发生窒息事故应急预案和其他事故应急预案等，加强应急情况处置。

6.8.2 施工单位应根据应急预案做好应急物资和设施设备的储备。

6.8.3 施工单位应建立应急处置组织机构和相应的作业机制，并定期组织应急知识培训和应急演练。

6.8.4 事故发生后应及时上报，并做好现场人员疏散，按照应急预案积极采取有效措施，开展事故应急处理工作。

6.8.5 应急事件处理结束后，应进行事故分析，编写事故分析报告。

7 监 测

7.1 一般规定

7.1.1 在顶管工程施工过程中，应对工程本体结构及施工影响范围内的土体和周边环境进行监测。

7.1.2 顶管施工的监测项目应包括下列内容：

- 1** 顶管管节结构监测，包括管节应力、变形和外观监测；
- 2** 工作井基坑工程支护结构及周围土体变形监测；
- 3** 顶进过程对周围土体进行水平位移、沉降监测；
- 4** 对邻近建（构）筑物、轨道交通设施、堤岸及可能引起严重后果的地下管线等重要设施进行监测，具体内容应符合相关专业要求。

7.1.3 结构监测应包括下列内容：

- 1** 对周围土体进行水平位移、路面沉降监测和深层土体孔洞探测；
- 2** 对邻近建（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应进行监测；
- 3** 对地铁、隧道和重要管线等的监测应符合相关专业要求。

7.1.4 工作井基坑工程监测频率与周期应符合下列规定：

- 1** 工作井基坑工程施工监测应涵盖地下工程施工的各个阶段，应从施工作业一周前开始，直至施工至回填土结束且变形稳定为止；如有特殊要求可根据需要延长监测期限；
- 2** 监测频率的确定应以准确反映工作井支护结构、周围土体和周边环境动态变化为前提，采用定时监测，必要时应进行跟踪监测；
- 3** 施工中支护结构、周围土体和周边环境的监测频率应符

合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497、《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 和现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定。

7.1.5 顶进过程施工监测应涵盖顶进施工的各个阶段，应从始发作业一周前开始，直至接受且变形稳定为止。

7.1.6 顶管施工前应编制监测方案，并提出相应的轴线地面竖向变形报警参考值，报警参考值宜符合表 7.1.6 的规定。

表 7.1.6 轴线地面竖向变形报警参考值

报警指标	
日变化量 (mm)	连续三天变化量 (mm/d)
±5	2 ~ 4

7.1.7 顶管穿越地面建（构）筑物、地铁隧道、铁路、桥梁、防汛墙和地下管线等重要设施时，报警限值和监测频率应符合相应设施的保护要求。

7.1.8 监测数据整理和反馈应符合下列规定：

1 监测数据的采集应根据预先的计划按时进行，数据应采用计算机程序批量处理，并应建立监测数据库；

2 应结合施工和现场环境状况定期进行综合分析，并应绘制管节变形、地表沉降等时态曲线图；

3 应对时态曲线进行基于概论统计的分析，从中找出共性以指导施工；

4 对重要的观测项目应建立预警值，当实测变形值大于允许变形的 $4/5$ 时，应及时通报建设、施工和监理等单位，并应采取相应措施；

5 应在当次施测后 2h ~ 4h 内提供监测成果，当变形超过预警值时应向现场提供实时监测数据；

6 工程竣工后应提供监测技术总结报告。

7.2 监测范围及等级划分

7.2.1 工程影响分区应根据顶管工程施工对周围土体扰动和周边环境影响的程度及范围确定，可分为主要影响区和次要影响区。

7.2.2 工作井基坑工程影响分区宜按表 7.2.2 的规定进行划分。

表 7.2.2 工作井基坑工程影响分区

工程影响分区	范 围
主要影响区	工作井边线外侧 $1H$ 范围内
次要影响区	工作井边线外侧 $1H \sim 2H$ 范围内

注： H —工作井底板面深度（m）。

7.2.3 顶管工程影响分区宜按表 7.2.3 的规定进行划分。

表 7.2.3 顶管工程影响分区

工程影响分区	范 围
主要影响区	管道地表投影区域， 45° 坡度角 $1H_i$ 深度
次要影响区	管道地表投影区域边线 $\sim 1H_i$ 范围内（管道中心埋深小于或等于 20m） 管道地表投影区域边线 $\sim 3D_i$ 范围内（管道中心埋深大于 20m 时）

注： H_i —管道中心埋深（m）； D —管道外径（m）。

7.2.4 当遇到下列情况时，应根据工程实际情况调整监测范围：

1 采用地下水降水控制措施时；

2 施工期间发生严重的渗漏水、涌砂、冒水、支护结构变形过大、邻近建（构）筑物或地下管线严重变形等异常情况时。

7.2.5 工作井支护结构安全等级应综合考虑基坑周边环境和地质条件的复杂程度及工作井深度等因素，工作井结构本体的安全等级宜符合表 7.2.5 的规定。

表 7.2.5 工作井结构本体安全等级

安全等级	破坏后果
一级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响很严重
二级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响严重
三级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响不严重

7.2.6 顶管工程的结构本体安全等级宜根据工程所处的地质条件、施工工况条件及外界制约因素确定，并宜符合表 7.2.6 的规定。

表 7.2.6 顶管工程结构本体安全等级

安全等级	等级划分
一级	掘进断面遇到古河道中软塑状粘性土、粘性土与粉性土、粉砂相间成层土的顶管
	顶部埋深小于等于 $1D_1$ 的顶管
	平面曲率半径小于等于 350m 的顶管
	近距离施工的顶管（并行或交叠）
	掘进断面存在地下障碍物的顶管
二级	顶部埋深在 $1D_1 \sim 1.5D_1$ 的顶管；顶管顶进与接收区段
三级	除一级、二级以外的顶管

注：1 符合条件之一即为对应的结构本体安全等级，从一级开始，以最先满足为准；

2 近距离顶管是指两条管道净间距在一倍直径（或开挖宽度）范围以内。

7.2.7 周边环境保护等级宜符合表 7.2.7 的规定。

表 7.2.7 周边环境保护等级

保护等级	周边环境条件
一级	主要影响区内存在既有重要桥梁与隧道，重要建（构）筑物，重要市政设施及重要市政管线，河流、湖泊
二级	主要影响区内存在一般建（构）筑物，一般市政设施及市政管线 次要影响区内存在既有重要桥梁与隧道，重要建（构）筑物，重要市政设施及市政管线，河流、湖泊
三级	主要影响区内无建（构）筑物，市政设施 次要影响区内存在一般建（构）筑物、一般市政设施及市政管线般环境条件，包括空旷地段

注：符合条件之一即为对应的周边环境保护等级，从一级开始，以最先满足为准。

7.2.8 监测等级划分为三级，根据工作井及顶管工程的本体结构安全等级和周边环境保护等级中的最高安全等级确定。

7.3 测点布置

7.3.1 监测点应沿顶管轴线上方地表布设，监测点间距宜为 5m；顶管顶进和接收加固区应加密布设监测点，加固区轴线测点应布设为深埋点。

7.3.2 应选择有代表性的部位布设垂直于顶管轴线的横向监测断面，监测断面间距宜为 20m ~ 40m；每个顶管工程应至少布设一条监测断面。

7.3.3 横向监测断面的监测点数量宜为 7 个 ~ 9 个，应以顶管轴线为中心对称分布，主要影响区监测点间距宜为 2m ~ 3m，次要影响区监测点间距宜为 3m ~ 5m。

7.3.4 距离顶管 45° 角范围内的建筑物均应设置沉降观测点，建筑物四角和外墙每 10m ~ 20m 处设置监测点，每个建（构）筑物的监测点不宜少于 3 个。

7.3.5 路面水平位移监测点设置要求应为纵向间距 20m，横向

间距 5m。

7.3.6 沉降监测点设置要求应为纵向间距 20m，横向间距 5m。

7.3.7 距离管线 45°角范围内的建筑物均应设置沉降观测点，建筑物四角和外墙每 10m ~ 20m 处设置监测点，当最后 100d 的最大沉降速率小于 $0.01 \text{ mm/d} \sim 0.04 \text{ mm/d}$ 时，可认为已达到稳定状态，可不考虑影响。

8 验收

8.1 一般规定

8.1.1 顶管工程施工质量验收应在施工单位自检基础上，按检验批、分项工程、分部工程和单位工程的顺序进行，并应符合下列规定：

- 1** 工程施工质量应符合本规程和相关国家和浙江省现行验收规范的规定；
- 2** 工程施工质量应符合工程勘察和设计文件的要求；
- 3** 参加工程施工质量验收的各方人员应具备相应的资格；
- 4** 涉及结构安全和使用功能的试块、试件和现场检测项目，应按规定进行平行检测或见证取样检测；
- 5** 验收批的质量应按主控项目和一般项目进行验收；
- 6** 承担检测的单位应具有相应的资质；
- 7** 外观质量应由质量验收人员通过现场检查共同确认。

8.1.2 分部工程质量验收应符合下列规定：

- 1** 分部工程所含分项工程的质量验收应全部合格；
- 2** 质量控制资料应完整；
- 3** 分部工程中，混凝土强度、管道接口连接、管道位置及高程等的检验和抽样检测结果应符合各类管道的相关标准规定。

8.2 主控项目

8.2.1 工作井的支护结构、井内结构施工质量验收标准应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 和各类管道的相关标准规定。工作井的允许偏差应符合表 8.2.1 的规定。

表 8.2.1 工作井的允许偏差

检查项目		允许偏差 (mm)	检查数量		检查方法
			范围	点数	
井内导轨安装	顶面高程	+3.0	每座	每根导轨 2 点	用水准仪测量、水平尺量测
	中心水平位置	3		每根导轨 2 点	用经纬仪测量
	两轨间距	±2		2 个断面	用钢尺量测
井尺寸	矩形 每侧长、宽	不小于设计要求	每座	2 点	挂中线 用尺量测
	圆形 半径				
工作井和接收井预留洞口	中心位置	20	每个	竖、水平各 1 点	用经纬仪测量
	内径尺寸	±20		垂直向各 1 点	用钢尺量测
井底板高程		±30	每座	4 点	用水准仪测量
工作井后背墙	垂直度	0.1% h_2	每座	1	用垂线、角尺量测
	水平扭转变度	0.1% L_h			

注： h_2 为后背墙的高度 (mm)； L_h 为后背墙的宽度 (mm)。

8.2.2 顶管管道质量验收应符合下列规定：

1 管节的规格、技术性能、产品质量应符合现行国家相关标准的规定和设计要求。

检查方法：对照设计文件检查产品每批出厂质量保证材料、力学性能报告；检查成品管进场验收记录；

检查数量：全数检查。

2 管节应无裂缝、保护层脱落、空鼓、接口掉角等缺陷，管端面混凝土应平整、光洁、密实；承口、插口的工作面应光洁；钢套环应无焊瘤、毛刺、锈斑等现象，防腐涂装应完整；

检查方法：观察；

检查数量：全数检查。

3 衬垫表面应平整无剥落，粘贴牢固，位置准确；

检查方法：目测检查；

检查数量：每台班。

4 橡胶圈的性能指标应符合设计文件规定，外形平整，接口无裂纹，表面无油污和机械损伤。

检查方法：检查进场台账记录、质保书检测报告，外观目测检查；

检查数量：每批次。

5 橡胶圈粘结剂涂刷应均匀、粘结牢固、无皱折、断面无明显收缩。

检查方法：目测、尺量；

检查数量：每台班。

6 管节拼装时应在钢套环与橡胶圈涂抹硅油等润滑剂，拼装时橡胶圈不应滑移。

检查方法：目测检查；

检查数量：全数检查。

7 接口橡胶圈安装位置应正确，无位移、脱落现象。

检查方法：观察；

检查数量：全数检查。

8 管道的管底坡度应无明显反坡现象。

检查方法：观察；检查顶进施工记录、测量记录；

检查数量：全数检查。

9 管道接口端部应无破损、顶裂现象，接口处应无滴漏。

检查方法：观察；

检查数量：全数检查。

8.2.3 管道接口密封胶质量验收应符合下列规定：

1 密封胶材料应符合国家相关标准规定和设计要求。

检查方法：对照产品标准和设计文件，检查出厂合格证，质量检验报告，现场抽样试验报告；

检查数量：全数检查。

2 密封胶施工完成后表面应平整，宽度均匀，密封胶质量

要求应符合表 8.2.3 的规定。

表 8.2.3 密封胶质量要求

检查项目	指 标	检查数量	检查方法
厚度	+3 mm	伸缩缝的随机抽检率 10%，一条伸缩缝至少测 4 点。如合格率少于 80%，加倍抽检，依次类推，直至全部检测	针刺法
密封胶与伸缩缝内侧混凝土表面粘结力	胶条断裂或粘结剥离有效面积比 $\geq 60\%$ 为合格	按伸缩缝随机抽检率的 1%，但不少于 3 条，如合格率少于 80%，加倍抽检，依次类推，直至全部检测	将密封胶在缝中切断，用手以 90° 从一端拉起，胶条断裂或粘结剥离有效面积比 $\geq 60\%$ 为合格

注：粘结剥离有效面积比是指从密封胶从槽中拉起时，两侧胶面扯裂面积加混凝土剥离附着面积之和与两侧总面积之比。

8.2.4 管道内防腐质量验收应符合下列规定：

1 内防腐层材料应符合国家相关标准规定和设计要求。

检查方法：对照产品标准和设计文件，检查产品质量保证资料；检查防腐成品管进场验收记录；

检查数量：全数检查。

2 混凝土基层应平整、洁净，无湿渍及异物；防腐结构层应符合设计文件要求。

检查方法：观察；对照设计文件检查施工记录；

检查数量：全数检查。

3 防腐层应无气泡、开裂、剥落等缺陷。

检查方法：观察；检查施工记录；

检查数量：全数检查。

8.3 一般项目

8.3.1 顶管管道质量验收应符合下列规定：

1 管道防水、防腐蚀处理应符合设计要求，且应无明显渗

水和水珠现象，严禁滴漏和线流。

检查方法：观察；

检查数量：全数检查。

2 圆形顶管施工贯通后管道的允许偏差应符合表 8.3.1-1 的规定。

表 8.3.1-1 圆形顶管施工贯通后管道的允许偏差

检查项目		允许偏差 (mm)		检查数量		检查方法			
		钢筋混凝土管	钢管	范围	点数				
直线顶管水平轴线	顶进长度 < 300m	50	200			用经纬仪，或挂中线用尺量			
	300m ≤ 顶进长度 < 1000m	100	200						
	顶进长度 ≥ 1000m	L/10	100 + L/10						
直线顶管内底高程	顶进长度 $D < 1500$ $< 300m$	+30, -40	+60, -60			用水准仪或水平仪测量			
	$D \geq 1500$	+40, -50	+80, -80						
	300m ≤ 顶进长度 < 1000m	+60, -80	+100, -100						
	顶进长度 ≥ 1000m	+800, -100	+150, -100, -L/10						
相邻管间错口	钢管	≤ 2			每管节 1 点	用尺测量			
	钢筋混凝土管	15% 壁厚，且 ≤ 20							
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							
钢管管道环向变形		≤ 0.0.3D							
对顶时两端错口		50							

- 注：1 L 为顶进长度 (m)； D 为管道外径 (m)， 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)，宜取 1/2 的木垫圈厚度， R 为曲率半径；
- 2 对于长距离的曲线钢顶管，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 ，当 $D \leq 1600$ 时，应满足 $R \geq 2080m$ ，当 $D > 1600$ 时，应满足 $R \geq 900D$ ；
- 3 矩形顶管施工贯通后管道的允许偏差应符合表 8.3.1-2 的规定。

表 8.3.1-2 矩形顶管施工贯通后管道的允许偏差

检查项目		允许偏差 (mm)	检查数量		检查方法
			范围	点数	
水平轴线		80	每管节	1 点	用经纬仪, 或挂中线用尺量
内底高程		80			用水准仪或水平仪测量
相邻管间接口		15			用钢尺量
顶进 长度	L≤150m	高程	±50	每管节	用全站仪、激光经纬仪、 水准仪测量
		平面	≤80		
	150m≤L ≤500m	高程	±80		
		平面	≤100		

8.3.2 管道接口密封胶质量验收应符合下列规定：

1 伸缩缝基槽尺寸应符合表 8.3.2 的规定。

表 8.3.2 伸缩缝基槽尺寸要求

检查项目	允许偏差	检查数量	检查方法
槽宽 B	±2mm	逐条检测, 每条伸缩缝一般至少 4 点	用钢尺量
槽深 H	±3mm		

2 槽内应无浮灰残渣, 无湿迹。槽缝混凝土两内侧面界面剂涂层应均匀, 无漏涂现象。

检查方法：观察；检查施工记录；

检查数量：全数检查。

3 密封胶施工应符合现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB 50208 的规定。

8.3.4 管道内防腐质量验收应符合下列规定：

1 防腐层表面应平整、光滑, 无划痕、透底、色差等, 湿膜应无流淌现象。

检查方法：观察；检查施工记录；

检查数量：全数检查。

2 防腐层的平均干膜厚度不应小于设计要求，其最小值不应小于 85% 的设计要求。

检查方法：对照设计文件检查检测记录，用测厚仪检测；

检查数量：每段节取距管口大于 150mm 范围内的两个截面，每个截面测量上、下、左、右四点的防腐层厚度。所有结构符合设计要求值为合格。

3 附着力应经检验合格。

检查方法：检查施工记录、附着力检测记录；附着力现场检验方法应按现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》 GB 50212 或设计要求执行；

检查数量：附着力每 $200m^2$ 取 1 点，且两井之间不少于 1 点。

附录 A 顶管机选择

A. 0.1 常用的顶管机适用口径、覆土厚度及适用地层可按表 A. 0.1 选取。

表 A. 0.1 顶管机选择参考表

序号	顶管方式		适用口径 (mm)	覆土厚度 (H/m)	适用地层
1	土压平衡式	圆形顶管	1500 ~ 3600	>1.2D 且 >2.0m	粘性土、砂性土、卵石、砾石、淤泥质土
		矩形顶管	≥1000 × 1000	>3.0m	粘性土、砂性土、砾石层、淤泥质土
2	泥水平衡式		800 ~ 3600	>1.5D 且 >3.0m	卵石、砾石含量小于 20%，且粒径小于 50mm 的粘性土、砂性土、淤泥质土，渗透系数不应大于 10 - 1cm/s
3	气压平衡式		800 ~ 3600	>2.0D 且 >4.0m	粘性土、砂性土、淤泥质土，卵、砾石，含有孤石的土体，但粘性土的渗透系数不应大于 10 - 4cm/s

附录 B 管材

B. 1 钢管

B. 1. 1 钢管钢材宜选用 Q235B 或 Q355B。

B. 1. 2 钢管钢材的规格和性能等应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定，且焊缝等级不应低于 II 级。

B. 1. 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 2mm。钢管单面年腐蚀量标准可按表 B. 1. 3 确定。

表 B. 1. 3 钢管单面年腐蚀量标准

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
	淡水	淡水	
腐蚀量 (mm/年)	0.02	0.04	0.03

B. 1. 4 制作钢管的几何尺寸允许偏差应符合表 B. 1. 4 的规定。

表 B. 1. 4 钢管的几何尺寸允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	
周长	$D \leq 600$	± 2.0
	$D > 600$	$\pm 0.0033D$
椭圆度	管端部分 $0.005D$ ；其他部位 $0.01D$	
端面垂直度	$0.001D$ ，且不应大于 1.5	
弧度	用弧形板测量管内壁或外壁纵缝处形成的间隙，间隙不应大于 $0.001D$ ，且不应大于 4mm；距管端 200mm 纵缝处的间隙不应大于 2mm	

注：1 D 为钢管外径 (mm)；

2 椭圆度为同一横剖面上互相垂直的最大外径与最小外径之差。

B. 1.5 卷制钢管焊缝应符合下列规定：

1 卷制钢管同一横断面内宜采用一条纵向焊缝。当采用两条纵向焊缝时，大直径管纵向焊缝间距应大于300mm，小直径管纵向焊缝间距应大于100mm；

2 卷制钢管对接时，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应为0.2倍壁厚，且不应大于2mm；

3 卷制钢管对接时，相邻管段的纵向焊缝位置错开距离应大于300mm；

4 对口焊接时，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，同顶铁的接触面均应为平端。

B. 1.6 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。

B. 1.7 钢管防腐应符合下列规定：

1 钢管内、外应做防腐处理；

2 下井管节两端各100mm宽度范围内，应在井下焊缝检查合格后使用快干型涂料防腐；

3 钢管的内壁防腐可采用防腐涂料或水泥砂浆，水泥砂浆内防腐层厚度可根据钢管直径在15mm~20mm范围内选择，水泥砂浆内宜掺入纤维材料以增强抗裂性能，水泥砂浆的抗压标准值不应小于 30N/mm^2 ；防腐涂料应根据管道输送介质类型及生产工艺确定其技术要求并满足相关行业标准的规定；给水管道所用防腐涂料及水泥砂浆内掺纤维材料应具有卫生检验合格证书；

4 钢管外壁防腐可采用阴极保护加防腐层，防腐层可采用耐磨损的防腐涂料或玻璃纤维布缠绕复合涂层，应根据管道顶进距离及生产工艺确定其技术要求并满足相关行业标准的规定。

B. 1.8 下井管段的长度宜为卷制管段长度的倍数；管节长度不宜小于6m，长距离顶管的管节长度可适当加大。

B. 1.9 焊接钢管的长度应根据工作井的尺寸确定。

B. 1.10 钢管与工作井和接收井的井墙均采用刚性连接时，应验算温差作用下井墙受力和管道的连接强度。

B. 2 钢筋混凝土管

B. 2.1 钢筋混凝土管可用于重力流输水管道及各类保护套管。钢筋混凝土成品管应符合现行国家标准《混凝土和钢筋混凝土排水管》GB/T 11836 及其他相关规定；管节长度及接口的抗渗性能应符合设计要求。

B. 2.2 钢筋混凝土管的混凝土强度等级不应低于 C50，抗渗等级不应低于 P8。

B. 2.3 钢筋混凝土管的钢筋应选用 HPB300、HRB400 及更高级别钢筋，钢筋性能应符合国家和行业现行有关标准的规定。

B. 2.4 钢筋混凝土管的混凝土骨料碱含量最大限值应符合现行标准的规定，在含碱环境中使用时应选用非活性材料。

B. 2.5 钢筋混凝土管采用的外加剂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，所用产品应符合国家和行业现行有关标准的规定，并应通过试验确定其适用性及掺入量。

B. 2.6 当地下水或管内贮水对混凝土或钢筋具有腐蚀性时，应对钢筋混凝土管内外壁采取防腐处理措施。

B. 2.7 管节的生产应采用钢模，钢模的设计制作除各部件的几何尺寸和公差应符合产品设计几何尺寸的要求外，尚应符合下列规定：

1 结构的设计应合理，内模、外模应有足够的强度、刚度和稳定性；

2 钢模的使用应拆装方便，使用安全；

3 管节钢模承口和插口部分的加工精度应高于管节承口和插口的设计精度；

4 在生产使用过程中应采取防止钢模变形的措施。

B. 2.8 钢筋混凝土管节长度应根据使用条件和起吊能力确定。

B. 2.9 钢筋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；
- 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° 。

B. 2.10 管道接口密封应能保证管道接口的抗渗性能及顶进施工的正常进行，应采用适宜的方法避免管道发生转动；管道贯通后，应进行接口密封处理。

B. 2.11 橡胶圈防水接口应符合下列规定：

- 1 管节接口处的表面应光洁、平整，无蜂窝、麻点、气孔、裂纹或缺边掉角等现象，接口尺寸应符合规定；
- 2 橡胶圈外形尺寸应符合设计要求，外观致密且均匀，无裂缝、孔隙或凹痕等缺陷；
- 3 橡胶圈应保持清洁，表面无油污或泥砂等，不得在阳光下曝晒；
- 4 钢套环的焊接接缝应平整，肋部与钢板平面垂直，表面应进行防腐处理。

B. 2.12 管道接口的密封橡胶圈应符合下列规定：

- 1 密封橡胶圈材料应符合现行国家标准《橡胶密封件给、排水管及污水管道用接口密封圈》GB/T 21873 的规定；
- 2 无压输水管接口可使用单胶圈；有压水管接口应使用双胶圈；
- 3 密封橡胶圈的断面形状宜为“L”形、齿形、楔形或半圆半方形；
- 4 微口径管材宜使用整体式缓冲阻水橡胶套环；
- 5 当遇含油地下水时，宜选用丁晴橡胶；当遇含有弱酸、弱碱地下水时，宜选用氯丁橡胶；当遇有霉菌侵蚀时，宜选用防霉等级达二级或二级以上的橡胶；在平均气温低的地方，宜选用

三元乙丙橡胶；

6 当管道对接时，橡胶圈表面宜使用润滑材料，润滑材料宜选用白油或洗洁精等，为防止密封橡胶接口老化，不得使用黄油或机油。

B. 2.13 管道接口密封材料的尺寸和安装应符合表 B. 2.13 的规定。

表 B. 2.13 管道接口密封材料的尺寸和安装

密封材料	粘结剂	橡胶衬垫	
接口宽度 b (mm)	最小 10mm		
接口深度 t (mm)	单层 $t \geq 12 + b/3$	双层 $t \geq 2(12 + b/3)$	$t \geq 2b$
接合面	干燥 (湿度 < 5%)，无油，无灰尘		
	表面平整，无突起，无坑洞		

B. 2.14 钢筋混凝土管传力面上均应设置环形缓冲木垫圈，并用胶粘剂粘在传力面上，木垫圈应符合下列规定：

- 1** 选用质地均匀富有弹性的松木、杉木或胶合板；
- 2** 压缩模量不应大于 140MPa；
- 3** 厚度应根据管道直径和管道的曲率半径确定，并应与设计顶力相适应，厚度通常为 10mm ~ 30mm；
- 4** 外径应与橡胶密封圈槽口齐平，内径应大于管道内径 20mm。

B. 2.15 管道长度应根据设计要求和工作井的适用条件确定。

B. 3 球墨铸铁管

B. 3.1 球墨铸铁管可用于输水管道，球墨铸铁顶管质量应符合现行行业标准《非开挖铺设用球墨铸铁管》YB/T 4564 的规定。

B. 3.2 球墨铸铁顶管应在插口端焊接顶推法兰和筋板，外壁应

涂覆或浇筑一层钢筋混凝土，管身宜设置注浆孔。其顶力传递可采用下列两种方式：

- 1 通过推动承口端面使得插口端的法兰与另一个管子承口端面接触进行顶力传递；
- 2 通过相应的工装推动插口端的法兰接触另一个管子上承口端面进行顶力传递。

B.3.3 球墨铸铁管宜采用承插式柔性接头，接头的允许偏转角应大于 1° ，并应符合现行国家标准《水及燃气管道用球墨铸铁管、管件和附件》GB/T 13295 的规定；管节传力面上均应设置环形缓冲木垫圈，接口密封胶圈及木垫圈要求可同钢筋混凝土管，其中木垫圈内径宜大于管道内径 2mm ，木垫圈外径不应超过管道外径。

B.3.4 球墨铸铁管内壁防腐可采用防腐涂料或水泥砂浆；水泥砂浆内防腐层厚度可根据管道直径在 $15\text{mm} \sim 20\text{mm}$ 范围内选择，水泥砂浆内宜掺入纤维材料以增强抗裂性能，水泥砂浆的抗压标准值不应小于 30N/mm^2 ；防腐涂料应根据管道输送介质类型及生产工艺确定其技术要求并满足相关行业标准的规定；给水管道所用防腐涂料及水泥砂浆内掺纤维材料应具有卫生检验合格证书。

B.4 预应力钢筒混凝土管

B.4.1 预应力钢筒混凝土管可用于输水管道，预应力钢筒混凝土管质量符合国家及行业相关标准的规定方可采用。

B.4.2 预应力钢筒混凝土管的混凝土强度等级不应低于 C50，抗渗等级不应低于 P8。

B.4.3 预应力钢筒混凝土管预应力钢丝应采用冷拉钢丝，其物理力学性能指标应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223、《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3 和《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定。钢筋应选 HPB300、

HRB400 及更高级别钢筋，钢筋性能应符合国家及行业现行相关标准的规定。

B. 4.4 预应力钢筒混凝土管的混凝土骨料碱含量最大限值应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定，在含碱环境中使用时应选用非活性材料。

B. 4.5 外加剂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，所用产品应符合相关国家及行业标准，并应通过试验确定其适用性及掺入量。

B. 4.6 当地下水或管内贮水对混凝土和钢筋具有腐蚀性时，应对预应力钢筒混凝土管内外壁做相应的防腐处理。

B. 4.7 预应力钢筒混凝土管管节长度应根据使用条件和起吊能力确定。

B. 4.8 预应力钢筒混凝土管应采用承插式柔性接头，接头的允许偏转角应大于 0.5° ；管节传力面上均应设置环形缓冲木垫圈，接口密封胶圈及木垫圈要求同钢筋混凝土管，其中木垫圈外径不应超过管道外径。

B. 5 玻璃纤维增强塑料夹砂管

B. 5.1 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。

B. 5.2 给水顶管的管内涂层树脂必须符合现行国家标准《食品安全国家标准 食品接触用塑料树脂》GB 4806. 6 的规定。

B. 5.3 玻璃纤维增强塑料夹砂管接头可采用双插口接头或承插口接头方式；

B. 5.4 玻璃纤维增强塑料夹砂管在顶进时，应在每根管节接口端面、顶铁及中继间接触面加设木衬垫；

B. 5.5 管节接口连接完成后，应对双道橡胶密封圈进行单口打压试验，合格后方可进行顶进作业。

附录 C 压力标准值

C. 0.1 当管顶覆盖层厚度小于或等于 2 倍顶管外径或覆盖层均为淤泥质土时，管顶上部竖向土压力标准值应按下式计算：

$$F_{sv \cdot k1} = \sum_{i=1}^n \gamma_{si} h_i \quad (C. 0. 1)$$

式中： $F_{sv \cdot k1}$ ——管顶上部竖向土压力标准值 (kN/m^2)；

γ_{si} ——管道上部 i 层土层重度 (kN/m^3)，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)。

C. 0.2 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下式计算：

$$F_{sv \cdot k3} = C_j (\gamma_{si} B_t - 2C) \quad (C. 0. 2 - 1)$$

$$B_t = D \left[1 + \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (C. 0. 2 - 2)$$

$$C_j = \frac{1 - \exp \left(-2K_a \mu \frac{H_s}{B_t} \right)}{2K_a \mu} \quad (C. 0. 2 - 3)$$

式中： $F_{sv \cdot k3}$ ——管顶竖向土压力标准值 (kN/m^2)；

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 ——管道外径 (m)；矩形或类矩形截面，取外边宽 B_1 ；

φ ——管顶土的内摩擦角 ($^\circ$)；

C ——土的粘聚力 (kN/m^2)，宜取地质报告中的最小值；

H_d ——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。

C. 0.3 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。

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，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 《食品安全国家标准 食品接触用塑料树脂》 GB 4806. 6
- 《预应力混凝土用钢丝》 GB/T 5223
- 《预应力混凝土用钢棒》 GB/T 5223. 3
- 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 《混凝土和钢筋混凝土排水管》 GB/T 11836
- 《水及燃气管道用球墨铸铁管、管件和附件》 GB/T 13295
- 《玻璃纤维增强塑料夹砂管》 GB/T 21238
- 《橡胶密封件给、排水管及污水管道用接口密封圈》GB/T 21873
- 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 《建筑工程地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202
- 《地下防水工程质量验收规范》 GB 50208
- 《建筑防腐蚀工程施工规范》 GB 50212
- 《建筑基坑工程监测技术规范》 GB 50497
- 《城市轨道交通工程监测技术规范》 GB 50911
- 《地下结构抗震设计标准》 GB/T 51336
- 《建筑与市政工程抗震通用规范》 GB 55002
- 《城市道路工程设计规范》 CJJ 37
- 《城市地下道路工程设计规范》 CJJ 221
- 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》 JTG 3370. 1
- 《非开挖铺设用球墨铸铁管》 YB/T 4564

浙江省工程建设标准

顶管工程技术规程

DBJ33/T 0000 – 2021

条文说明

目 次

1	总 则	69
2	术语和符号	71
2.1	术语	71
3	基本规定	74
4	勘 察	77
4.1	一般规定	77
4.2	岩土工程勘察	78
5	设 计	79
5.1	一般规定	79
5.2	线位设计	79
5.3	顶管选型	80
5.4	结构与防水	82
5.5	工作井	85
6	施 工	88
6.1	一般规定	88
6.2	施工准备	89
6.3	施工设备	90
6.4	始发	92
6.5	管道顶进	93
6.6	接收	97
6.7	安全与环境保护	97
6.8	应急处置	100
7	监 测	103
7.1	一般规定	103

7.2	监测范围及等级划分	104
8	验 收	107
8.1	一般规定	107
8.2	主控项目	107

1 总 则

1.0.1 顶管技术是一项用于市政施工的非开挖掘进式管道铺设施工技术。顶管通过设置工作井，借助顶进设备产生的顶力，克服管节与周围土体的摩擦力，将管节逐节顶入土中，形成地下管道、通道等地下结构，在我省已经广泛应用，不仅大量应用于市政给排水、燃气、电力电缆、通信等管道工程，近年来也常常应用于地下通道、地下综合管廊等工程。当地下工程需要穿越公路、铁路、隧道、河流、建筑物等特殊地段时，其技术经济优势更为明显，可显著减少施工对既有设施的损坏和城市交通的影响，为城市创造一个洁净、舒适和美好的环境。

由于我省工程地质和水文地质条件复杂，顶管技术在应用过程中也常常出现涌水涌砂、地面沉降过大、顶进困难等问题，甚至造成地面塌陷和既有设施受损严重等工程事故；随着工程实践的发展，施工装备、施工技术也在不断改进，现有的国家、行业技术标准已不能满足工程实际的需要，因此编制本规程，规范顶管的勘察、设计、施工、监测和验收，已非常迫切且意义重大。

1.0.2 本条阐述了本规程的适用范围。我国早期顶管施工以人工手掘式为主，1964年前后上海首次使用机械式顶管，上世纪80年代以后顶管技术发展迅速，1984年前后，北京、上海、南京等地先后开始引进国外先进的机械式顶管设备，1988和1992年我国第一台多刀盘土压平衡掘进机和第一台加泥式土压平衡式掘进机分别研制成功，顶管施工工效显著提升。目前机械平衡式顶管在工程中应用最为广泛，编制组对我省百余项顶管工程的调研表明，人工手掘式顶管技术的应用项目占比小于5%，且均用于土质条件较好、地下水位以上的工程；管道等圆形顶管工程普

普遍采用泥水平衡顶管机，地下通道、综合管廊等矩形顶管工程，普遍采用土压平衡顶管机。因此，本规程适用于量大面广的机械平衡式顶管工程。

1.0.3 本规程涉及的主要标准包括国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011、《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010、《岩土工程勘察规范》GB 50021—2001、《钢结构焊接规范》GB 50661—2011 和《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004—2015 和等。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.2 本规程所指的机械平衡式顶管是由机械出土，并利用土体、空气或泥水压力平衡水土压力的机械掘进顶管施工方法。顶管机是指带动力的顶管掘进机头。下列顶管工程宜选用机械平衡式顶管：

- 1 矩形顶管工程；
- 2 地下水位以下或顶距大于 50m 的圆形顶管工程。

顶管按单向一次顶进长度可分为短距离 ($L \leq 100\text{m}$)、中距离 ($100\text{m} < L \leq 400\text{m}$)、长距离顶管 ($400\text{m} < L \leq 700\text{m}$) 和超长距离 ($L > 700\text{m}$)；顶管按管径大小可分为巨口径 ($D \geq 3.6\text{m}$)、大口径 ($2.2\text{m} < D < 3.6\text{m}$, 需搭设平台作业)、中口径 ($1.5\text{m} < D < 2.2\text{m}$, 人员可进入并完全直立作业)、小口径 ($0.8\text{m} < D < 1.5\text{m}$, 人员可进入但不能完全直立作业)、微口径 ($D < 0.8\text{m}$, 人员不能进入)；顶管按顶进轨迹可分为直线顶管和曲线顶管；根据挖掘面是否密闭，将顶管施工方式分为敞开式与封闭式两大类；管节断面为圆形时简称为圆形顶管，断面为矩形时简称为矩形顶管。

2.1.4 供水、排水、燃气和电力等市政公用管道是城市基础设施的重要组成部分。2020 年 12 月 31 日，住房和城乡建设部发布《2019 年城市建设统计年鉴》和《2019 年城乡建设统计年鉴》公布了 1981 年至 2019 年全国历年城市管网行业情况以及 2000 年至 2018 年全国历年涉及到的管网数据汇总。截止 2019 年底：全国供水投资 560.1 亿元，燃气 242.7 亿元，集中供热 333 亿元，综合管廊 558.1 亿元，排水 1562.4 亿元，污水处理

及其再生利用 803.7 亿元，从 2013 年开始均有大幅度的增长。管道规划管理时应坚持统一规划、科学布局、综合利用、保障安全的原则。

2.1.6 长距离顶管的施工程序是：先在管道的一端挖掘工作坑（井），完成后在其内安装顶进设备将管道顶入土层，边顶进边挖土，将管段逐节顶入土层内，直到顶至设计长度为止。在顶进过程中，常采用润滑剂减阻和中继接力技术。

2.1.10 顶管施工前都需要设置工作井，即顶进井和接收井。工作井的制作方法因开挖深度、地质及环境条件不同而异，可采用钢板桩、灌注桩排桩和地下连续墙作为围护墙，也可以根据稳定及变形控制要求沿竖向设置一道或多道内支撑；对城市内的给排水管道，管道顶进完成后，顶进井和接收井内开始砌筑或浇筑检查井，然后回填和恢复路面。

2.1.13 导轨也可称为轨道。

2.1.17 中继间，也称作中继站或中继环，其结构主要由壳体、油缸、密封件等部件组成。中继间可安装在管道中的某个部位，把管道分为若干个顶进区间，其供油方式一般是通过在中继间附近安装一台中继间油泵。

顶进时，由若干个中继间按先后顺序把管道顶进一段距离，然后由主顶装置顶进最后一个区间的管道。管道贯通后，需按先后顺序拆除中继间内部的油缸，然后按设计要求对中继间部位进行处理。

2.1.18 触变泥浆是指在静置或振动条件下呈凝胶或溶胶状态的一种酸性泥浆。在顶管过程中，为减小井壁与周围土体的摩阻力，防止坍塌涌砂，隔离涌水和封闭裂隙，通常向管壁后灌注触变泥浆。触变泥浆由膨润土、水和化学处理剂混合而成，其质量和性能影响到顶管能否顺利施工，一般要求触变泥浆具有良好的护壁性、触变性和稳定性。泥浆中加入化学处理剂（如纯碱），可增加粘土的分散性和浆液的稳定性，加强土颗粒的水化作用、

降低泥浆的失水量，使之保持适当的稠度。

2.1.20 后背墙是顶管时为千斤顶提供反作用力的一种结构，也称为后座墙。在施工中，要求后座墙必须保持稳定和具有足够的强度，一旦后座墙遭到破坏，顶管施工就要停顿。

2.1.24 洞门止水环，如环形顶铁，是放置于管道尾部用于向管道传力的环形装置，使管道受力均匀，是顶管必备的装置。

3 基本规定

3.0.1 顶管施工过程需穿越各种地层，改变周边土体的应力状态和平衡条件，从而使既有地上地下设施受到一定程度的影响。采用圆形顶管，与其他截面形状相比，可在较大程度上减少顶管施工的难度和环境影响，早期的市政管道顶管大都采用圆形顶管；随着地下通道、综合管廊等工程实践的发展以及穿越既有高速公路、城市轨道交通、铁路等复杂设施的工程需求，矩形顶管由于其综合性能较好而逐步得到应用，施工装备性能的不断提升也使其环境影响基本可控。

3.0.2 顶管工程可用于市政公用管道、城市综合管廊、城市隧道及地下通道等工程，顶管技术可用于淤泥质黏土、黏性土、砂性土、碎石土、强风化岩、中风化岩等地层。

顶管工程在设计和施工前，应按基本建设程序进行岩土工程勘察和工程环境调查，并对地下障碍物、地下构筑物及地下管线等进行调查，必要时可进行探查。地下障碍物对顶管工程影响较大，障碍物类型、分布等对顶管选线、顶管施工方式、顶管机选型有决定性影响，前期内查明的地下障碍物可能导致顶管工程的失败，对地下可能存在的障碍物加强勘察。

3.0.3 当出现下列情况时，宜进行顶管工程与周边环境的相互影响专项分析与评估：

- 1 下穿或紧邻建（构）筑物和重要管线（电力、燃气和输油管等）；
- 2 顶管进入文物保护建（构）筑物的保护区域内；
- 3 地基复杂等级为一级、二级时，复杂等级可按表 3-1 确定。

表 3-1 地基复杂等级分级表

序号	地基类型	地基特点
1	一级地基 (复杂地基)	1 岩土种类多，很不均匀，性质变化大，需要特殊处理； 2 严重湿陷、膨胀、盐渍、污染的特殊性岩土，以及其他情况复杂，需作专门处理的岩土。
2	二级地基 (中等复杂地基)	1 岩土种类较多，不均匀，性质变化较大； 2 除一级地基以外的特殊性岩土。
3	三级地基 (简单地基)	1 岩土种类单一，均匀，性质变化不大； 2 无特殊性岩土。

3.0.4 由于顶管施工是在地下进行，地下工程有诸多不可预见的状况，同时顶管施工不可避免地导致地面隆起或沉降，影响周围的建筑物、管线安全，所以应采取监测措施。

相关试验研究表明，顶管施工过程，在顶管上方的土体，均有不同程度向下的沉降，距管道的距离越近，沉降的幅度越大；在顶管下方的土体，均有不同程度的隆起，距管道越近，隆起现象越严重。顶管施工的环境影响程度及范围与顶管截面形状及尺寸、埋深、工程地质与水文地质、顶管工艺以及施工参数等多种因素相关，对不同土体损失的顶管施工，土体损失越大，对周围土体的扰动越大；对于不同埋深的顶管施工，在一定埋深深度范围内，埋深越大，顶管周围土体的变形越大；对于不同管径的顶管施工，顶管的管径越大，顶管周围土体受到的扰动越大，会产生较大的变形。

理论分析的结果与实际情况往往存在一些差异，因此，通过合理的监测，可以及时评估顶管施工的环境影响程度及范围，完善设计及施工参数，并通过及时调整设计与施工措施，使顶管工程顺利进行，环境影响可控。

3.0.5 顶管工程存在大量不确定因素，现场监测数据是对设计与施工技术措施合理性的最好检验。实施信息化管理，对监测获

得的数据及时进行系统、全面的分析，并予以反馈，有效指导设计与施工。近年来自动化监测、信息技术及智慧工地等数字化技术推广力度持续加大，与其他地下工程相比，顶管工程较适宜采用全过程智能化控制技术以提高施工效率，更好地实现环境保护，尽可能减少人为因素对工程的不利影响。

4 勘察

4.1 一般规定

4.1.1 初步勘察以搜集资料和调查为主，主要包含下列内容：

- 1** 划分沿线的地貌单元，初步查明管道埋设深度内岩土的成因、类型、厚度和工程特性；
- 2** 调查沿线各种不良地质作用的分布、性质、发展趋势及其对管道的影响；
- 3** 调查沿线井、泉的分布和地下水位情况，调查沿线矿藏分布、开采和采空情况；
- 4** 初步查明拟穿、跨越河流的洪水淹没范围，评价岸坡稳定性。

初步勘察采取土试样和进行原位测试的勘探点应结合地质单元、地层结构和土的工程性质布置，其数量可占勘探点总数的 $1/4 \sim 1/2$ ；采取土试样的数量和孔内原位测试的竖向间距，应按地层特点和土的均匀性确定，每层土均应采取土试样或原位测试，其数量不宜少于6个。

详细勘察应查明沿线的岩土工程条件、岩土体及地下水对管道材料腐蚀性，提出顶管工程设计所需的岩土特性参数。采取土试样和进行原位测试的勘探数量，应根据地层结构、土的均匀性和设计要求确定，每个顶管段不应少于2个；顶管沿线每一主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于6件（组）。

4.1.2 勘察方法和勘察手段的选择，应根据优势互补的原则，宜采用钻探、槽探、触探、工程物探等综合勘察方法，准确反映建设场地的岩土工程地质条件，获取符合工程实际情况的勘察结果。重要管线包括油气、给排水、燃气、电力、通讯等。

4.2 岩土工程勘察

4.2.1 ~ 4.2.2 规定了岩土工程勘察和地下水勘察的基本情况。

4.2.3 本条规定了勘探孔设置的数量和间距：

1 顶管勘探孔不宜布置在轴线上，以避免掉落的钻头、封孔不彻底时承压水突涌等可能引发的对顶管施工的不利影响；

2 对市政顶管工程，勘探孔间距可按表 4-1 确定；

表 4-1 勘探孔间距 (m)

场地及岩土条件复杂等级	一级场地	二级场地	三级场地
初步勘察	30 ~ 60	60 ~ 100	100 ~ 150
详细勘察	20 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 100

注：场地及岩土条件复杂等级分类按行业标准《市政工程勘察规范》CJJ 56 - 2012 的有关规定确定。

4 顶进井和接收井的勘探孔间距应视井的尺寸大小而有所不同。与泵站结合在一起的顶进井尺寸一般较大，孔距可取 30m 左右；而长度不到 30m 的小尺寸顶进井至少需设 2 个孔，必要时设 4 个孔。

4.2.5 对较浅的土层勘探孔可就近采取素土进行分段回填夯实，岩质勘探孔可采用水泥浆回填封孔法进行处理，当勘探孔与承压水或河道、湖泊等水体有水力联系时，应采取黏土球、水泥浆等有效封孔。封孔材料宜采用水泥浆、水泥砂浆或其他材料。

5 设 计

5.1 一般规定

5.1.2 顶管施工形成的地下结构，其安全等级划分依据应符合国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153－2008 的规定，根据工程结构的破坏后果，即危及人的生命、造成经济损失、对社会或环境产生影响等的严重程度进行规定。

5.1.3 顶管工程结构设计与计算分为施工阶段和使用阶段，本条规定了顶管工程结构使用阶段的设计与计算，其中包括构件截面计算、构造设计和地基基础设计等。根据不同应用行业，执行相关行业的现行标准。

5.2 线位设计

5.2.1 本条对顶管工程选线提出了具体要求：

5 在土层软硬明显的界面进行顶管施工时，顶管机姿态较难控制，容易产生较大的施工偏差；

6 工作井设置于强透水地层，进出洞施工存在较大的涌水涌土风险，地下水控制不当容易产生较为严重的工程问题，甚至酿成工程事故。

5.2.2 本条对工作井选址提出了具体要求：

3 避开建（构）筑物、地下管线、池塘和架空电线等不利于顶管施工的场地，可减少工程风险，提高施工效率，降低工程造价；无法避让时，应做好环境保护；

4 曲线段顶管施工难度大、要求高，顶进井设置在直线段，可以在顶管施工进入曲线段前，充分调整好顶管机的姿态，掌握相应地层的合理施工参数，为曲线段施工创造良好的试验段

条件；

5 逆管道坡度方向顶进，有利于管道排水。

5.2.3 顶部覆土厚度关系到施工阶段和使用阶段的结构安全、环境安全以及长期运营安全，同时对降低工程投资、缩短施工周期至关重要，其数值应根据地下结构功能及尺寸、地面环境、既有地下设施、工程地质和水文地质条件、顶管装备及工艺等因素综合确定，在有效减少顶管施工引起的土体竖向变形及背土效应基础上，确保施工安全。

顶管的顶部覆土厚度与顶管装备及工艺密切相关，土压平衡式的覆土厚度宜大于 $1.2D$ (D 为圆形管道外径或矩形管道高度) 且大于 $2.0m$ ，泥水平衡式的覆土厚度宜大于 $1.5D$ 且大于 $3.0m$ ，气压平衡式的覆土厚度宜大于 $2.0D$ 且大于 $4.0m$ ；长距离或超长距离顶管设计覆土厚度宜视地质情况适当加厚。

目前，随着顶管截面尺寸的加大，小于 $1.0D$ 浅覆土顶管不断涌现，设计可采用临时覆土等措施解决施工过程顶管最小覆土不足的问题。

并行施工的顶管间距要求是从顶进施工时避免相互影响的最小距离考虑的，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。

5.2.4 顶管穿越地铁盾构隧道、重要管线等设施时，其平面位置及竖向净距除了应满足相应标准及管理规定外，尚应满足施工影响评估确定的安全距离，结合后续的设计、施工和监测措施，使顶管施工产生的既有设施变形满足要求。

5.3 顶管选型

5.3.2 顶管设备的选型与配置应符合可靠性、安全性、地层适应性等原则，并应根据断面大小、掘进距离、地质条件、估算总顶力、顶管施工方法等确定顶管机设备类型和合适的刀盘布置形式。顶管机应在保证工程质量、安全、文明施工，保护地下、地

上构建筑物和管线安全，减少施工对交通的影响基础上，根据工程水文地质和施工环境条件合理选型。由于顶管施工具有一定的风险，所以在顶管机的选型时应充分考虑到设备的可靠性。同时，还应考虑顶管机的顶进效率、施工方法的经济性和环保要求等。

5.3.3 顶管机选用附录 A 说明如下：

1 土压平衡式是利用刀盘全断面切削正面土体，再通过刀盘后搅拌棒的作用，使土舱内的土体形成塑性流动状态。该顶管机适用地层范围较广，能满足环境保护要求较高的条件。在砂性土层可通过土舱内加泥、泡沫等材料改善土体流塑性，并保持土场内压力稳定。

2 泥水平衡式是一种固定刀盘和切土口的顶管机，面板式刀盘在泥水的作用下切削正面土体，通常刀盘所需的扭矩可以比土压式顶管机小一些。由于土体的输送是通过泥水管道连续进行的，所以顶进效率比较高。在粉砂地层中采用泥水平衡式顶管机，宜对泥水系统中泥水的黏度、比重和压力进行有效的控制。

3 气压平衡式通过作用于临时掘进工作面上的气体压力（这里的气体压力一般根据工具管底部的地下水压力来确定），来阻止地下水。在整个掘进工作面的高度范围内，作用的气体压力是相等的，但地下水的压力是有梯度的，因此在工具管的顶部就形成一个超过平衡压力的气体压力区。在这一压力作用下，地层空隙中的水被挤出，地层也从原来的饱和状态过渡到半饱和状态，从而起到平衡挖掘面的作用。

5.3.4 用于弱腐蚀性的流体和土质的管道工程宜选用钢管或混凝土管；输送中等或中等以上腐蚀性且温度低于40℃液体的管道工程宜选用带防腐内衬混凝土管或玻璃纤维增强塑料夹砂管；使用环境具有中等或中等以上腐蚀性的管道工程宜选用玻璃纤维增强塑料夹砂管。新型管材和接口形式应进行试验并取得可靠数据后方可采用。

5.3.5 顶管管材的单节长度不宜超过顶管机或微型隧道掘进机的机身长度。

5.4 结构与防水

5.4.2 承载能力极限状态。管道结构达到最大承载力，管壁或连接构件因材料强度被超过而破坏；管道管壁截面丧失稳定。

正常使用极限状态。对应于管道结构达到正常使用的某项规定限值的某种规定状态，如变形量限值或裂缝宽度限值、耐久性限值等。

顶管结构上的作用可分为永久作用、可变作用和偶然作用，永久作用包括管道结构自重、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；可变作用包括管道内的介质（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；偶然作用包括地震作用等。

5.4.3 刚性管道主要依靠管体材料强度支撑外力，在外荷载作用下其变形很小，管道的失效受管壁强度的控制；柔性管道在外荷载作用下变形显著，竖向荷载大部分由管道两侧土体所产生的弹性抗力所平衡，管道的失效通常由变形造成而不是管壁的破坏。

5.4.4 管顶覆盖层的竖向土压力的计算方面参考了一些国内外行业标准和研究成果，进一步说明如下：

1 对作用在隧道上的土压力，当覆土厚度和隧道外径相比较小时，一般不考虑土拱效应。不仅是黏性土，即使是砂质土，当设计土压力采用松弛土压力时会有诸多问题。对于这样的隧道，一般采用全覆土压力作为垂直土压力。

当覆土厚度与隧道外径相比较大，地层的土拱效应比较可靠，设计计算土压力可以采用松弛土压力。依据隧道的覆土厚度、隧道外径、地层条件等来确定采用全覆土土压力还是松弛土

压力。在砂质土中，当覆土厚度大于 $(1 \sim 2) D$ 时多采用松弛土压力；在黏性土中，如果由硬质黏土 ($8 \leq N < 25$) 构成的良好地基，当覆土厚度大于 $(1 \sim 2) D$ 时多采用松弛土压力；对于中等固结黏土 ($4 \leq N < 8$) 和软黏土 ($2 \leq N < 4$)，按土层不能成拱考虑，将隧道的全部覆土重力作为土压力计算的算例较为常见。浙江地区中等固结黏土和软黏土较多，因此本规程推荐 2 倍直径作为土体中形成有效土拱效应的界限值。

2 对于顶管拱背处竖向土压力，在管顶土压力计算中一般忽略不计，但当管径大，管顶覆土不大时，不宜忽略这部分土重对结构的作用，管拱背部的竖向土压力可近似化成均布压力，其标准值为：

$$F_{sv \cdot k2} = 0.215\gamma_{si}R_0 \quad (5.4.4)$$

式中： $F_{sv \cdot k2}$ ——管拱背部竖向土压力标准值 (kN/m^2)；

R_0 ——管道外半径 (m)。

5.4.5 温差指冬季或夏季管内温度与顶管埋置深度的土体温度之差。顶管与埋管有相同之处，都有闭合温差，埋管在最后接拢的管节处，顶管在中继间处。

5.4.6 钢管内防腐为水泥砂浆时，其最大竖向变形不应超过 $0.02D$ ，超过比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，钢管变形可以控制在 $0.03D$ ，最大竖向变形的控制值可不计涂抹水泥砂浆前的初始变形。如果先顶管，水泥砂浆在顶管后再抹，也可控制变形在 $0.03D$ 。玻璃纤维增强塑料夹砂管最大竖向变形不应超过 $0.05D$ ，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 $0.05D$ ，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。

5.4.8 总顶推力估算与实际施工顶推力有一定的误差，与土层

情况和施工技术水平等有关。

估算公式中不反映土压力，这里的估算公式没有采用与土层高度有关的理论公式。原因如下：

- 1) 理论公式的计算顶力普遍偏大，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，绝大部分土层比较稳定，扩孔后管道不直接承受土压力作用。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，管道是悬浮在泥浆套中向前移动的，管道不直接承受土压力作用。

表 5.4.8-2 中机械平衡式迎面阻力主要指土压平衡顶管和泥水平衡顶管，如采用气压平衡式、网格挤压式等方式，建议根据挤压阻力估算。

5.4.9 本条规定参考了一些国内外行业标准和研究成果，并做了简化，综合考虑强度折减、偏心受压提高、材料脆性、强度标准调整和顶力变化等因素，提出管道综合系数 k 。考虑到顶进长度小于 300m，无弯曲且穿越土层均匀时，钢管稳定性较高，因此提高到 0.346。

5.4.13 工作井洞口设置止水装置是为了防止顶管机初进洞口时发生水土流失，造成土体坍塌，并要求顶管机迅速穿墙，使顶管机快速顶入土体，避免渗漏。管道与穿墙孔的间隙及时封堵，主要是为了防止管道移动和管端的移位，同时也可防止水的浸入。

5.4.15 钢管与洞门间隙往往在高水压环境下，容易发生渗漏水，因此建议增加焊接洞门止水环。

5.4.17 顶管结束后，永久性工作井上的橡胶止水穿墙管应改造成永久性柔性堵头。管道与穿墙管间隙封填材料可根据工作井围护结构的不同合理选用，沉井穿墙管可采用砖砌体或低强度水泥土，地下连续墙穿墙管可采用低强度水泥土或钢板。

5.5 工作井

5.5.2 顶进井和接收井采用沉井时，设计需要注意下列要点：

1 沉井结构侧壁高度范围及坑底分布有软弱土层时，应考虑坑底抗隆起稳定性，必要时可在沉井结构侧壁外设置帷幕或进行坑底固化；

2 地下水比较丰富或存在强透水层的场地，采用排水下沉时，宜布设降水井点进行场地降水，必要时可在沉井结构侧壁外侧设置止水帷幕，并进行渗流稳定及抗管涌稳定验算，帷幕可采用咬合灌注桩、水泥土搅拌墙和高压旋喷桩等；

3 沉井刃脚下方向存在水头高于底板的承压水层，采用排水下沉时，应按行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 等相关规定的要求进行承压水作用下的坑底突涌稳定性计算，当不满足突涌稳定性要求时，应对该承压水含水层采取截水或减压措施；

4 在地下水位较高的砂层宜采用不排水下沉或部分不排水下沉以减少流砂现象，并采用水下封底；

5 沉井刃角底为淤泥层时应在施工前对该淤泥层进行加固处理。

顶进井和接收井采用明挖顺作竖井或明挖逆作竖井时，需要注意下列设计要点：

1 支护结构宜为封闭式结构；常用的支护结构类型有：内撑式结构、悬臂式结构、土钉墙、重力式水泥土墙和放坡等；常用的围护墙有：地下连续墙、灌注桩、SMW工法桩和钢板桩等；

2 在开挖深度较大、周边建（构）筑需要保护且变形控制较为严格时，宜选用内撑式支护结构，围护墙可选用灌注桩、地下连续墙或SMW工法桩，水平支撑材料可采用型钢或钢筋混凝土，且多采用对撑和角撑结构形式；

3 在开挖深度较小、周边场地较开阔且变形控制要求不严

格时，可选用悬臂式结构、土钉墙、重力式水泥土墙或放坡等，围护墙可选用灌注桩、SMW工法桩或钢板桩；

4 地下水比较丰富或存在强透水层的场地，应设置封闭式止水帷幕，或设置悬挂式止水帷幕结合井点降水；

5 止水帷幕可采用地下连续墙、咬合灌注桩、水泥土搅拌墙、高压旋喷桩等，坑底固化常采用水泥搅拌桩、高压旋喷桩、压密注浆等。

当地下水位较低，且周边环境较为简单，同时竖井开挖侧向的土体具有一定自稳能力时，可采用锚杆喷射混凝土逆作法竖井结构，锚杆喷射混凝土设计及施工可参照国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086－2015 的规定执行，井的内衬应满足顶管施工或永久功能井的结构要求。

5.5.4 洞口土体采取加固的主要目的是保证开洞门时土体具有一定的强度，防止土体坍塌涌人井内；同时保证开洞门时土体具有一定的抗渗透性，防止地下水涌人井内。始发到达洞口土体加固的范围取决于顶管截面尺寸、深度以及工程地质和水文地质条件等因素。

5.5.5 长距离顶管供电时，考虑到低电压长距离输电产生的压降，可能导致电气故障增多，因此一般采用 380v 以上的供电电压，较长距离顶管一般采用 1000v 高压供电。地下管道内供电线路安全维护工作必须高度重视。

5.5.6 在顶管机接收安全风险较大时，可采取水中或钢套筒辅助进洞的措施，以平衡内外水土压力。在洞口间隙封堵完成后，再排水或拆除钢套筒，然后吊装机头。

5.5.7 除简易顶管机外，各种圆形机械平衡顶管机参考长度如下：小于 DN1000 的顶管机长度 3.5m；大中直径顶管机长度 $\geq 5.5\text{m}$ ，千斤顶安装长度 2.5m 左右。矩形顶管机考虑起吊重量原因，一般都是在顶管井内分段组装，因此一般情况下，矩形顶管的顶进井净长 10m 即可满足顶管施工要求。

5.5.8 接收井在空间受限的情况下，根据可操作空间对顶管设备提出额外要求，如弃壳接收、分段拆解接收等。

5.5.9 整体式后背墙多采用现场浇筑的混凝土结构；装配式后背墙是常用的形式，具有结构简单、安装和拆卸方便及适用性较强等优点。后背墙的设计和安装要确保避免偏心受压，使顶进力损失和发生质量、安全事故，同时避免后背墙因压缩不均而出现倾斜现象。

5.5.13~5.5.14 中继间允许顶力是指控制顶力，比中继间的允许最大顶力小，也就是中继间顶力有储备，平均按30%~40%计。顶管机后20m~50m设置的中继间，主要是为了顶管机在纠偏时，后续的管道能够及时纠偏，如果距离过长，纠偏效果难以保证。

钢管在软土地基情况下，顶进长度800m以内可不考虑设置中继间，当遇到地质较硬或砂层等不良地质或超长距离顶管时，可考虑设置中间件，距离宜为200m~600m。某些管材在后期顶管顶力足以破坏管材的情况下，可考虑使用中继间分段减小顶管距离，保证顶管顺利进行。

中继间密封装置应具有良好的密封性、耐磨性和较长的寿命，应避免浆液、地下水、土体颗粒等进入中继间外壳和其后部的管道之间。可以通过注油管定期地向内外弹性密封环之间以及密封环的外部注入油脂润滑。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.2 施工组织设计一般需要包括下列内容：

- 1** 施工标准及依据；
- 2** 工程概况，包括施工场地的特征、水文地质和工程地质概况、地面建筑及地下障碍物等内容；
- 3** 施工现场总平面布置；
- 4** 工作井技术措施；
- 5** 应采取的主要顶管施工技术措施，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，采用的测量仪器，测量精度分析；
 - 3)** 顶管机进洞和施工方法；
 - 4)** 减少管壁摩阻力措施；
 - 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措施；
 - 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。
- 6** 设备选择，应根据管径、顶管长度、估算的总顶力、顶进施工方法等确定顶管设备类型，包括顶管机、中继间、泥浆泵、主顶泵站、主顶油缸、泥浆搅拌机等，注明主要设备的性能参数，以及顶管施工参数的选定；
- 7** 工程施工安排，包括施工准备工作计划、施工顺序与施

工进度计划、施工方法和机械设备计划及劳动力安排计划等；

- 8 监测措施；**
- 9 工程质量要求及保证措施；**
- 10 施工安全及文明施工措施；**
- 11 应急预案；**
- 12 施工组织与管理措施。**

顶管工程专项施工方案应根据顶管类型、地质条件和工程实际制定。顶管工程专项施工方案必须满足设计文件与合同协议的要求，在现场踏勘的基础上，综合考虑各方面因素，根据实际情况选用设备和选择最优施工方法与工艺，满足使用要求，必要时可对设计进行优化，根据实际情况调整施工参数，确保工程质量和社会效益。

6.1.3 顶管设计应根据地质和周边环境条件，通过计算合理选择满足要求的顶管类型和设备；顶管施工设备必须在全过程正常工作，一旦出现故障，处理难度大且容易引发工程事故，延误工期，因此，前期检查、调试很重要。

6.1.6 合理的施工顺序可将平行施工的相互影响控制在较小程度，减少工程风险。

6.1.8 后背墙结构一般为素混凝土。为增大后背墙有效承载能力，可采取适当加宽后背墙宽度及墙体受拉面增加钢筋的措施。

6.2 施工准备

6.2.2 进场验收时的检查内容应包括外观检查、设备零部件核对、随机文件检查等。设备零部件应与装箱单内容相符合；随机文件应包括产品出厂合格证、说明书、质量证明书和装箱单等文件。

6.2.5 顶管洞口的加固效果应采用钻芯取样的方式进行检验，加固体的强度不应小于设计要求；并检查加固体的均匀性和防渗漏性能，顶进、接收前应在洞门上打设探测孔，确认止水措施的

有效性。对透水性较强的地层，当采取降水措施时，应检查坑外水位是否满足设计要求。当检查发现加固体的强度或止水效果不满足设计要求时，应采取补救措施。

6.2.7 当顶管通过淤泥层，腐烂动、植物体等有毒有害气体聚集时，施工人员的健康和生命受到危害；同时，由于工作井深、顶进距离长造成管道内缺氧，人在里面作业时容易窒息，所以有人在管内操作时，需要定时监测管内有毒有害气体的含量，并对井下和管内进行通风，以保证管内作业人员有足够的新鲜空气。

6.2.9 在安装测量装置时，所用的测量仪器与工作井的井底和井壁分开，避免这些位置在施工由于顶进力的施加产生位移，从而和起始位置不一致，产生误差。

6.2.10 施工过程中应对管道水平轴线和高程、顶管机姿态等进行测量，并及时对测量控制基准点进行复核，以便发现偏差；顶管机姿态包括其轴线空间位置、垂直方向倾角、水平方向偏转角、机身自转的转角。

6.3 施工设备

6.3.1 采用装配式后背墙时，宜采用方木、型钢或钢板等组装，组装后背墙的构件在同层内的规格应一致，各层之间的接触应紧贴，并层层固定，保证组装后的后背墙具有足够的强度和刚度；后背墙土体壁面应平整，与管道顶进方向垂直，并与后背墙贴紧，有间隙时采用砂石料填塞密实。

顶管工作井及装配式后座墙施工允许偏差可按表 6-1 确定。

表 6-1 工作井及装配式后背墙的施工允许偏差 (mm)

项目		允许偏差
工作井每侧	宽度	不小于施工设计规定
	长度	

续表 6-1

项目		允许偏差
装配式后背墙	垂直度	0.1%H
	水平扭转变度	0.19%L

注：1 H 为装配式后背墙的高度；

2 L 为装配式后背墙的长度。

6.3.2 导轨的坡度要与管道设计坡度一致，当管道坡度 $> 1\%$ 时，导轨可按平坡铺设；安装后的导轨要保证在顶进中承受各种负载时不产生位移、不沉降、不变形。

6.3.3 千斤顶的组合布置一般采用固定式、移动式、双冲程组合式。顶站千斤顶行程不宜小于 1000mm，单只顶力不宜小于 1000kN；顶管支架安装应使千斤顶的合力中心与顶进管道中心线重合。

6.3.5 弧形顶铁适用于土压平衡式等多种方式的顶管，马蹄形顶铁仅用于泥水平衡式顶管。

6.3.6 入洞时可使用防转卡板、防转钢缆或防转翼板等措施阻止顶管机旋转，使用防转卡板时，防转卡板应在顶管机入洞前安装在尾部外壳上，紧贴工作井导轨，进洞过程及时去除，防止划伤止水圈胶板；使用防转钢缆时，用钢缆将顶管机捆绑在工作井导轨上，钢缆内垫置方木，采用手拉葫芦拉紧钢缆，进洞时，逐渐将钢缆后移，直至将钢缆全部拆除；使用防转翼板可阻止顶管机进洞后旋转，宜使用可伸缩式的防转翼板，便于进、出洞作业，在砂卵石层中施工时，防转翼板应加厚、缩短。

6.3.8 中继间的设置应根据估算总顶力、管材允许顶力、工作井允许顶力、中继间千斤顶总顶力和主顶千斤顶的顶力确定，第一道中继间的设计顶力，应保证其允许最大顶力能克服前方管道的外壁摩擦阻力及顶管机的迎面阻力之和；而后续中继间设计顶力应克服两个中继间之间的管道外壁摩擦阻力。

中继间的外径应与管道外径相同，允许转角宜为 $0.4^{\circ} \sim 1.2^{\circ}$ ，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有不同要求，曲线顶管对中继间的允许转角的要求较为严格。中继间的合力中心应可调节，千斤顶应予以固定，防止旋转；对于曲线顶管，中继间千斤顶应能够单独关闭及开启油路，使得中继间具有调整合力中心位置的能力。止水橡胶密封圈应耐磨，并易于更换；对于超深、长距离或砂性土层中的顶管工程应采用组合式密封形式的中继间。

中继间应设置安全行程开关，曲线顶管在曲线内启用中继间时，应预先向曲线内弧侧调整合力中心，并应在使用过程中调整。

中继间拆除经处理后的管道结构强度不应低于管道的结构强度，钢管中继间拆除后，应在薄弱断面处加焊内环。

6.4 始发

6.4.1 止水和降水措施是为了防止顶管机始发时正面的水土涌入工作井内，也可以避免顶进施工时压入的减阻泥浆从此处流失。始发与接受前应检查加固处理后的土体强度和渗漏水情况；设置临时封门时，应考虑周围土层变形控制和施工安全等要求，并采用便于拆除的形式，拆除时应减小对洞门土层的扰动。

6.4.2 导轨前端尽量接近洞口，是为了缩短顶管机的悬空长度，必要时可设置延伸导轨，其标高和轴线要与工作井内导轨一致；洞口凿除物应清除干净。

6.4.3 顶管机始发时，导轨上的管节与洞口的止水装置保持同轴，以避免损坏洞口的止水装置；始发后立即封闭洞口间隙，以及顶管机脱离加固体前注浆填实管节与土体之间的空隙，均为防止水土流入坑内。

6.5 顶进

I 顶进

6.5.2 顶管正常顶进时应控制开挖量与出土量的平衡，初始顶进时应控制顶进速度，不宜过快，在此过程中应摸索顶进的相关数据，为正常顶进提供依据。

顶管机土压力控制值应根据选用的顶管机型确定，土压平衡式顶管机的土压力值宜设定在静止土压力值与被动土压力值之间；气压平衡顶管机的气体压力值宜高出地下水压力 0.1bar；泥水平衡顶管机泥水压力值宜等于地层和地下水压力之和；顶管机初始土压力控制值和顶进速度还应考虑洞口外侧土体的加固强度和加固体积。

6.5.3 直线顶进施工建议采用激光经纬仪或其他具有激光发射功能的测量仪器，实时测量监控。激光发射的有效距离应大于顶进的长度；测量记录应及时、准确、清晰、完整。

6.5.4 由于工作井基坑开挖时周围土体被扰动，顶管机出洞时，洞外土体如果有流失现象或强度过低，顶管机在自重作用下易出现机头下沉、机尾上翘现象，因此要采取相应措施防止此类现象发生。

6.5.5 顶进过程中由于周围土质的变化、纠偏的影响及管内设备的不均布置，可能会造成管道推进时发生不同程度的扭转，所以要采取防扭措施。采用螺旋焊缝钢管时，通过规定焊缝方向，避免螺旋焊缝方向一致时，在顶进过程中，摩擦力带来的扭矩累积效应造成机头扭转。

6.5.7 拼装管节时，主推千斤顶在缩回前应对已顶进的管节与井壁进行临时固定。由于在初始顶进阶段，正面水土压力远大于管周围的摩阻力，因此在千斤顶回缩时，管道也跟随后退，导致洞口止水装置受损，为此需将初始顶进的管道与井壁相连，防止

管道退缩，直至管道外壁摩阻力大于顶管机正面水土压力为止。

6.5.8 超长距离顶管的中继间应采用计算机联动控制。

6.5.13 贯通误差测量是在接收井的贯通面设置贯通相遇点，利用接收井传递下来的地下控制点和指导贯通的地下控制点分别测定贯通相遇点三维坐标，贯通误差归化到线路纵向、横向和高程的方向上。

6.5.14 进入接受井前对管道水平轴线和高程、顶管机姿态等进行测量，并及时对测量控制基准点进行复核；发生偏差时及时纠正，可以主动把握接受过程的施工安全和质量控制。

II 减 阻

6.5.15 减阻泥浆注浆要求是保证顶进管道外壁与土体之间形成稳定的、连续的泥浆套，其效果可以通过顶进力降低程度来验证，顶进过程中应经常检查各个推进段的浆液形成情况。注浆孔中应设置一个单向阀，使浆液管外的土不能倒灌而堵塞注浆孔，从而影响注浆效果。

顶管过程中须采取措施减小管壁摩擦阻力，常用向管外壁与土体间注入润滑浆的方式减阻。

6.5.16 泥浆材料的选择、组成和技术指标要求，应经现场试验确定；顶管机尾部同步注浆建议选择黏度较高、失水量小、稳定性好的材料；补浆宜选择黏滞小、流动性好的材料。

6.5.17 触变泥浆注浆系统应由拌浆装置、注浆装置、注浆管道系统等组成，本条给出其布置、安装和运行的规定；制浆设备容积计算宜按5倍~10倍管道外壁与其周围土层之间的环形间隙的体积来设置拌浆装置和注浆装置。

注浆时，对于浆液难以到达的区域，可以在切削刀盘位置或顶管机的尾部进行注浆；对于浆液容易到达的区域，可通过管道上的注浆孔进行注浆，注浆结束后应对注浆孔进行密封。

6.5.19 触变泥浆配合比根据试验确定，性能指标应满足表6-

2 的要求；

表 6-2 触变泥浆性能指标

比重 (g/m ³)	粘度 (s)	失水量 (cm ³ /30min)	pH 值	静切力 (Pa)	稳定性
1.1 ~ 1.3	>30	<25	8 ~ 10	100	静置 24h 无离析

6.5.21 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 倍~3 倍，对于中粗砂层应大于理论注浆量的 3 倍以上；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。

6.5.22 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。

III 纠偏

6.5.24 顶管机姿态包括其轴线空间位置、垂直方向倾角、水平方向偏转角、机身自转的转角。

6.5.25 管道纠偏的测量依据是顶管机端面的中心偏差，但由于测点无法进入顶管机头部，因此对于管端的偏差无法测量，从而需要从测点推算顶管机管端的偏差，以此作为纠偏的依据。

管道顶进出现偏差是正常的，在允许偏差内可以不纠偏，当偏差大于允许偏差时才考虑纠偏，纠偏过程不能大起大落，不追求零偏差，要保持管道轴线以适当的曲率半径逐步回到轴线上来。

6.5.26 顶管纠偏过程中，应优先利用机头内部纠偏油缸进行纠偏，但不得超出纠偏设备的最大偏转角度；纠偏难度较大时，可以适当考虑利用井内不同方位的主顶千斤顶配合纠偏，但不得超出管件抗压极限；刀盘式顶管机纠偏时，可采用调整挖土方法、调整顶进合力方向、改变切削刀盘的转动方向、在管内相对于机

头旋转的反向增加配重等措施。

IV 出土和泥浆运输

6.5.27 弃土运输分为管内运输和场内地面运输两种。不同类型的顶管机可参考使用的输土方法有下列几种：

1 泥水平衡顶管机采用水力机械方式将泥浆通过与管路连接的吸泥泵排出并由排泥旁通装置直接输送至地面泥浆沉淀池；

2 土压平衡顶管机由螺旋输送机控制出土，然后通过电瓶车、皮带输送机将弃土运输至顶进工作井，再由垂直运输机械吊至地表；或者采用砂石泵直接从螺旋输送机将弃土泵送至地表；

3 气压平衡顶管机的泥水排放采用管道输送；

4 顶进距离较长的一般采用泥泵输送，顶进距离较短的可采用矿车运输；

5 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。

6.5.28 输送管路接头应密封，防止渗漏；为降低排泥输送压力，输送管路系统应尽量降低。

V 顶后处理

6.5.30 当顶管通过淤泥层，腐烂动、植物体等有毒有害气体聚集体时，处理不当会危害施工人员的健康和生命；同时，由于工作井深、顶进距离长造成管道内缺氧，人在里面作业时容易窒息，所以有人在管内操作时，需要定时监测管内有毒有害气体的含量，并对井下和管内进行通风，以保证管内作业人员有足够的新鲜空气。

6.5.33 管道顶进结束后，须进行泥浆置换；特别是管道穿越道路、铁路、堤防等重要设施时，填充泥浆后应进行地下病害或管线探测，避免过大的工后沉降。

6.6 接收

6.6.1 顶管到达时顶进速度明显下降，顶力明显上升，故应预先开好洞口清除障碍物，同时方便检查洞口的位置。

6.6.3 顶管机进入加固区和接收井洞口时，顶进速度不宜大于 10mm/min 。

6.6.4 预留垫层是为了支承顶管机。

6.6.5 土层与管壁之间总有空隙，硬塑土层和岩层空隙往往更大，需要及时充填，避免涌水涌土和过大的工后沉降。

6.6.6 采用沉井施工的工作井，洞口临时封门可采用钢封门、砖砌封门、钢筋混凝土封门、型钢封门或以上形式的组合。

6.7 安全与环境保护

I 地面沉降控制

6.7.2 顶管施工常采取的控制地层变形的措施包括：减少减阻泥浆套的厚度；不可采用大角度纠偏；严格控制出泥量，不可超量出泥。

6.7.3 在道路下顶进，当路面沉降量超过 10mm 时，建议通过钻孔取样检查土体孔隙比变化。在路面下顶进，在发生超量出泥时路面一般不会马上下沉，若施工中路面已经发生较大的沉降则说明路面以下塌方严重，并可能产生孔洞。因此，在路面下顶进时，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，并加强地面沉降监测，严格控制路面下沉。

6.7.4 在不稳定土层中应选择有平衡功能的顶管机，不应采用开放式挖掘顶管。

6.7.5 本条中 γ 和 φ 需取加权平均值。

II 通 风

6.7.6 顶管工程施工的地层一般会通过淤泥层、腐烂动、植物可能会在地下形成有毒有害气体聚集体，如果在顶管施工时没有对有毒有害气体进行检测，也没有采取通风等措施，施工人员在这样的作业环境下极易发生中毒事故，危害施工人员的健康和生命。

6.7.8 小管径顶管工程通风需要注意下列技术要点：

1 禁止直接向密闭空间输送氧气，防止空气中氧气浓度过高导致危险；

2 保证密闭空间在整个许可期内始终处于安全卫生受控状态；

3 顶管空间内通风管道宜采用非易燃材料组成，保证管道接口的完好性，以防有害气体介入；

4 加强通风和跟踪检测，保证管道内有足够的新鲜空气，新鲜空气不应低于每人每小时 $25\text{m}^3 \sim 30\text{m}^3$ ；

5 根据防化要求分别在管道内和工作井处设置氧气急救装置；

6 一般情况下，管道内禁止使用明火，如施工确需气割、电焊等，应按规定办理申报手续，确定没有安全隐患后，才能动用明火；动用明火时，必须做好监护工作；

7 应把通风管道延伸至密闭空间底部，有效去除重于空气的有害气体或蒸气，保持空气流通。

6.7.11 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，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。

6.7.12 顶管施工比较容易遭受的情况之一是有毒有害气体伤害，人员在管道内要消耗大量的氧气，管道内出现缺氧，影响作

业人员的健康。由于管节顶进施工距离长，施工过程中，随着管道不断向前延伸，空气不流通，管内温度会逐渐增高，空气中的氧气会逐渐稀少，管内湿度增大。为改善管内工作环境，在施工全过程中应采取通风措施，加大管道内空气流通量，营造良好的作业环境。为保证各种有害气体的浓度不超过规定值，管道内应配备多功能有毒、有害、可燃气体的监测仪。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。

III 供 电

6.7.14 顶管施工现场所有用电设备，除作保护接零外，还应在设备负荷线的首段处设置漏电保护装置，开关箱中必须装设漏电保护器。即总配电箱和开关箱中分别设置漏电保护器，形成用电线路的两级保护。顶管施工现场专用的中性点直接接地的电力系统中，必须实行 TN-S 三相五线制供电系统。电缆的型号规格要采用五芯电缆。

6.7.15 管道内应设有应急照明系统，应急照明宜安装在顶管机和中继间处。

6.7.16 顶管距离较长时，管内供电会引起电压降低，致使管内设备无法起动。因此，必须采用高压供电。高压供电解决了压降问题，但也带来了安全问题，最大的安全问题就是井下吊顶铁、吊管道时万一碰撞、砸伤高压电缆将带来严重后果。因此，采取措施在井下设置一个带零序继电保护的高压操作电柜，万一高压电缆碰坏损伤接地电柜将立即跳闸断电，杜绝事故发生。另外，地面的箱式变压器也带有继电保护回路，给电路第二道保护。

6.7.17 用电机具进场应由电工检测绝缘电阻、检查电器附件是否完好无损，用电设备必须按“一机、一闸、一漏电开关”的控制保护原则安装施工机具，严禁“一闸”或“一漏电开关”控制和保护多台用电设备。

IV 排 水

6.7.19 本条主要列出顶管工程常用的排水方法：

1 开放式排水：在施工条件允许的情况下，可以通过顶进管道将地下水引入到顶进井，然后再将地下水泵至地表。应通过合适的处理方法防止大量地下水从工作面涌出；

2 封闭式排水：顶进施工期间，施工区域的地下水平面应保持在一定的水位以下。当地下水位高于管道的底面时，顶进工作站应进行防水处理；

3 组合排水方法指将开放式和封闭式排水两种方法结合起来；

4 特殊的工艺方法如冰冻法；

5 采用压缩空气的排水系统：如果需要在超压的环境下进行人工作业，则必须遵守相应的在压缩空气环境下工作的各项规章和法律。在压缩空气的环境下，进入管道的最小内径应为1.60m。应装备职员密封舱，这样可以让施工环境外的助手能够在任何工作舱中出现危险的情况下将其带入到密封舱，并且所有在工作舱中的工作人员也可以随时进入到封闭舱。

6.8 应急处置

6.8.1 顶管施工大多数都是在城市市区道路下进行，路下有通讯、电力、煤气、给水等管线，如果在开工前未探明地下管线的位置、埋深和走向，则顶管施工中极易对其造成破坏，引发安全事故；而如果在吊管过程中未与地面高压线保持安全距离，则又极易发生触电事故。

针对下列突发情况应采取相应的预防措施：

1 路面沉降、塌陷：选用优质的管材；顶管施工过程中做好润滑减阻，根据地面变化和地下水位情况等因素调整压力和润滑浆量；在施工前、施工中和施工后全过程进行沉降监测；

2 管线破坏：施工前确认顶管施工范围内是否有管线通过，根据实际情况随时调整施工路线和高程，避免与管线相交；

3 触电事故：配电系统采用分级配电、三相五线制的接零保护。配电箱保证电器可靠完好，其线形、定值要符合规定，开关标明用途，开关箱外观完整，牢固。满足防雨防水、防尘的要求，统一编号外涂明显色标，停用必须拉闸断电，锁好开关箱；

4 高处坠落事故：工作坑施工前期应对工作坑平台进行护栏安装（或立挂安全网封严），防护栏杆高度不低于1.2m，以防施工人员跌落。上下顶管工作坑应走爬梯，采用钢筋制成并固定在墙体上，外设人身护栏。顶管工作坑周边需设护栏；

5 顶进事故：顶进前应检查千斤顶，液压时系统与接头完好无泄漏，压力表、安全阀正常，电源电动机无漏电，接地牢固，触电保护器灵敏有效；

6 吊装事故：吊装作业时，必须有持证的起重指挥和司索人员，严禁在吊机臂杆的回旋半径站立停留或通过，并有专人监护。往工作坑下管时，吊钩应吊点牢靠，吊点下严禁站人并缓慢将管子送入导轨就位，防止滑脱坠落，吊管材时当管材距离导轨小于50cm时，操作人员方可近前工作。

6.8.2 应急物资储备应包括报警器、灭火器、救护设备、防毒面具、专用车辆、应急照明和逃生用具等。

6.8.3 遇到下列突发情况时应采取相应的措施：

1 路面沉降：超出预警值时应立即停止作业，找出相应原因调整施工方案并采取相应措施后方可继续施工；如沉降不能得到控制，应停止顶管作业，马上进行注浆工作加固土体，地面注浆材料宜采用纯水泥浆，注浆压力0.5Mpa~1.0Mpa，保证路面的稳定和安全；

2 路面塌陷：用彩钢板封闭塌陷部位路面，进行道路封闭并设置警示标牌；夜间在围板处设置警示红灯和照明灯；采用洞内二次注浆或路面注浆加固的方法稳固地基，整理填平路基，再

恢复路面；

3 涌水、涌砂事故：采用超前小导管注浆法堵水、止水或超前固岩注浆法堵水。

7 监 测

7.1 一般规定

7.1.1 工程监测对象主要包括支护结构、周围岩土体和周边环境，支护结构监测对象主要为工作井支护桩（墙）、立柱、支撑、锚杆、土钉，顶管管片；周围岩土体监测对象主要为工程周围的岩体、土体、地下水以及地表；周边环境监测对象主要为工程周边的建（构）筑物、地下管线、高速公路、城市道路、桥梁、既有轨道交通以及其他城市基础设施。这些对象的安全状态是控制城市顶管地下工程施工安全的关键所在。

7.1.2 施工监测的范围应包括地面以上和以下两部分。地面以上应监测地面沉降和地面建筑物的沉降、水平位移和损坏；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、漏气等状况。

7.1.6 监测方案宜根据设计文件要求、岩土工程勘察报告、周边环境条件、安全风险评估报告及施工方案等相关资料以及委托方的其他要求，在进行现场踏勘后编制。监测方案应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 建设场地工程地质和水文地质条件及周边环境状况；
- 3 监测目的和依据；
- 4 监测范围及监测等级；
- 5 工程潜在的风险辨识，涉及重大风险源及特殊要求时相应的监测措施；
- 6 监测对象及监测项目；
- 7 现场巡查；

8 基准点、工作基点、监测点等的布设与保护，监测点平面、断面布设图；

9 监测方法及精度指标；

10 监测频率；

11 监测报警值及异常情况下的监测应急预案；

12 监测报表格式、监测信息处理、分析及反馈方式；

13 监测主要人员和仪器设备；

14 质量管理、安全管理及其他管理制度。

监测时应重点注意下列内容：

1 环境对象与工程的位置关系及场地周边环境条件的变化情况；

2 工程影响范围内的建（构）筑物、桥梁、地下构筑物等环境对象的使用现状和结构裂缝等病害情况；

3 重要地下管线和地下构筑物分布情况，并应特别注意是否存在废弃地下管线和地下构筑物，必要时开挖确定。同时，对地下管线的阀门位置，雨水、污水管线的渗漏情况等进行调查；

4 周边环境对象调查工作一般在设计前期开展，但受工期及技术条件等限制及其他各种原因影响难免有遗漏或不准确的情况，同时随着城市建设的变化如拆迁、新建、改建等，在顶管工程建设过程中，环境条件可能发生较大变化，现场踏勘发现这些情况应及时与设计单位、建设单位及相关单位等进行沟通，保证监测方案的编制更具体、更有针对性，并且能符合相关各方的要求。

7.2 监测范围及等级划分

7.2.1~7.2.3 工作井、顶管工程施工对周围岩土体的扰动范围、扰动程度是不同的，一般来说，邻近工作井、顶管地段的岩土体受扰动程度最大，由近到远的影响程度越来越小。本规范将这一受施工扰动的范围称之为工程影响区。在施工影响范围内根

据受施工影响程度的不同，从工作井、顶管外侧由近到远依次划分为主要影响区和次要影响区，本条列举了工程出现异常等条件需要调整工程监测范围的情况。

7.2.5~7.2.6 本条对工作井、顶管工程监测等级划分的依据进行了明确。工程监测等级的划分有利于在监测工作量布置时更具针对性，突出重点，合理开展监测工作。根据相关规范、工程经验及相关研究成果，工程监测等级的确定需要考虑工程自身特点周边环境条件和工程地质条件三大影响因素。

工程本体安全等级是根据工程自身设计、施工的复杂程度带来的风险程度进行划分。本规程根据城市顶管工程特点，结合相关规范中关于工程安全等级的划分标准，对工作井、顶管工程本体结构安全等级进行了划分。

工作井工程本体结构安全等级划分的方法较多，尚无统一的标准。国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202—2018、《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 和行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 等划分了基坑工程安全等级，各规范、规程划分的依据或指标主要包括以下几个方面：基坑开挖深度；周边环境对象特点、分布和保护要求；工程地质条件；重要工程或支护结构与主体结构相互关系，支护结构破坏、土体失稳或过大变形的后果（工程自身和周边环境）等。

根据专题研究，本规程以行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 为依据，结合城市工作井基坑工程特点，采用支护结构发生变形或破坏、岩土体失稳等的可能性及后果的严重程度，或基坑设计深度对基坑工程自身风险等级进行划分。

顶管工程本体结构安全等级的划分依据与标准目前研究成果不多，本规程采用顶管埋深、土层和周边环境等进行等级划分。

7.2.7 工程周边环境风险等级根据周边环境过大变形或破坏的可能性大小及后果的严重程度，划分为一级、二级、三级。周边

环境对象的重要性程度可根据环境对象重要性、相关规范、破坏后果或风险评估等综合确定，也可参考如下分类：

重要建（构）筑物一般是指文物古迹、近代优秀建筑物，10层以上高层、超高层民用建筑物，重要的烟囱、水塔等；重要桥梁是指城市高架桥、立交桥等；重要顶管是指城市过江顶管、公路顶管、铁路顶管等；重要地下管线是指雨污水干管、中压以上煤气管、直径较大的自来水管等对工程有较大危害的地下管线等；城市重要道路是指城市快速路、主干路等；市政设施是指由市政府出资建造的公共设施，一般指市政规划区内的各种建筑物、构筑物、设备等，主要包括城市道路（含桥梁）、供水、排水、燃气、热力、道路照明、垃圾处理等设施及附属设施。

8 验 收

8.1 一般规定

8.1.1 本条规定顶管工程施工质量验收基础条件是施工单位自检合格，并应按验收批、分项、分部工程、单位工程依次进行。

验收批是工程项目验收的基础，验收分为主控项目和一般项目。主控项目，即在顶管工程中的对结构安全和使用功能起决定性作用的检验项目，一般项目，即除主控项目以外的检验项目，通常为现场实测实量的检验项目又称为允许偏差项目。检查方法和检查数量在相关条文中规定，检查数量未规定者，即为全数检查；工程的外观质量应由质量验收人员通过现场检查共同确认，这是考虑外观（观感）质量通常是定性的结论，需要验收人员共同确认。

8.1.2 顶管工程的特点是线形构筑物工程，通常采用分期投资建设。工程招标时将一条管线分成若干单位工程；工程规模大小决定了工程项目的划分，规模较小的工程通常不划分验收批。在工程具体实施时应按照工程施工合同或有关规定，在工程施工前由有关单位共同确认。

8.2 主控项目

8.2.2 对混凝土预制构件专业企业生产的预制管节，进场时应检查质量证明文件。质量证明文件包括产品合格证明书、混凝土强度检验报告及其他重要检验报告等；预制构件的钢筋、混凝土原材料、预埋件等均应参照本规程及国家相关标准的有关规定进行检验，其检验报告在预制管节进场时可不提供，但应在管节生产企业存档保留，以便需要时查阅。对总承包单位制作的预制管

节，没有“进场”的验收环节，其材料和制作质量验收应符合国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 - 2015 的规定。对管节的验收方式为检查管节制作中的质量验收记录。