

福建省工程建设地方标准

DB

工程建设地方标准编号：DBJ/T 13-309-2019

住房和城乡建设部备案号：J14952-2019

非开挖顶管技术规程

Trenchless Technology Specifications of Pipe Jacking

2019-12-10 发布

2020-03-01 实施

福建省住房和城乡建设厅发布

福建省工程建设地方标准

非开挖顶管技术规程

Trenchless Technology Specifications of Pipe Jacking

DBJ/T 13-309-2019

主编单位：福建省建筑科学研究院有限责任公司
福州城建设计研究院有限公司
批准单位：福建省住房和城乡建设厅
实施日期：2020年03月01日

福建省住房和城乡建设厅
关于发布《非开挖顶管技术规程》等
19项工程建设地方标准和设计图集的通知

闽建科[2019]14号

各设区市建设局，平潭综合实验区交通与建设局，各有关单位：

由省厅下达的《非开挖顶管技术规程》和《福建省建筑工程隔震构造标准图集》等19项省标和设计图集编制计划项目，经组织审查，批准为福建省工程建设地方标准和设计图集。在执行过程中，有何问题和意见请函告省厅科技与设计处。

上述省标及设计图集由省厅负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释。

福建省住房和城乡建设厅
2019年12月10日

前 言

根据福建省住房和城乡建设厅“关于印发福建省住房和城乡建设系统 2019 年第三批科学技术项目计划的通知”（闽建办科[2019]90 号文）的要求，由福建省城市建设协会非开挖技术专业委员会牵头组织福建省建筑科学研究院有限责任公司，福州城建设计研究院有限公司编制。编制组进行广泛的调查研究，充分征求意见，吸收借鉴国内外工程实践经验，特别是总结了编制单位近年来在顶管铺设生产实践经验与科研成果，编制了本标准。

本规程分 10 章。主要内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.顶管工程勘察；5.顶管管材及管件连接构造；6.顶管工程设计；7.顶管工程施工；8.特殊顶管；9.监测与环境控制；10.顶管工程质量验收。

本规程由福建省住房和城乡建设厅负责管理，由福建省建筑科学研究院有限责任公司负责具体技术内容的解释。各单位在执行过程中，如有意见和建议，请及时反馈给福建省住房和城乡建设厅科技与设计处（地址：福州市北大路 242 号，邮编：350001）

组织单位：福建省城市建设协会非开挖技术专业委员会

主编单位：福建省建筑科学研究院有限责任公司
福州城建设计研究院有限公司

参编单位：中国电建集团福建省电力勘测设计院有限公司
中国水利水电第十六工程局有限公司

中铁二十二局集团第三工程有限公司

福建省榕圣市政工程股份有限公司

福建东辰市政工程有限公司

福州市城市排水有限公司

福建永福电力设计股份有限公司
厦门市政工程有限公司
厦门电力勘察设计院有限公司
中铁一局集团厦门建设工程有限公司
福建省建科工程技术有限公司
福建省鑫勇通非开挖工程技术有限公司
福建力变科技集团有限公司

本规程主要起草人员：赵剑豪 魏忠庆 林一庚 陈孝湘
杨岳峰 邓建东 陈有雄 陈文杰
江 星 王达胜 卢纯青 何慕春
陈智新 朱俊辉 刘 钊 李继官
李招群 林水冷 李碧青 郑守铭
陈其同 郑一明 王新荣 李胜兵
黄以华 魏志强 余成书 杨 奇
寇晓强

本规程主要审查人员：陈 勇 吴应雄 夏 昌 陈华建
宫经成 林 震 陈 平

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
4	顶管工程勘察	7
4.1	一般规定	7
4.2	工程环境勘察	7
4.3	工程地质勘察	8
4.4	勘察布孔	10
4.5	勘察报告	11
5	顶管管材及管件连接构造	13
5.1	一般规定	13
5.2	钢管	14
5.3	钢筋混凝土管	15
5.4	玻璃纤维增强塑料夹砂管	18
5.5	预应力钢筒混凝土管	19
5.6	球墨铸铁管	21
6	顶管工程设计	23
6.1	一般规定	23
6.2	工程选线	23
6.3	顶进方案选择	24
6.4	管道结构设计	26

6.5	顶进井和接收井设计	30
6.6	顶进力估算	35
6.7	后背墙设计	37
6.8	中继间设计	37
7	顶管工程施工	40
7.1	一般规定	40
7.2	施工组织设计	40
7.3	顶进设备安装	41
7.4	始发和接收	44
7.5	管道顶进	45
7.6	注浆减阻	47
7.7	测量与纠偏	51
7.8	出土和泥浆运输	53
7.9	防旋转措施	54
7.10	施工排水	54
7.11	地面沉降控制措施	55
7.12	通风	56
7.13	供电	57
7.14	顶后处理	58
8	特殊顶管	60
8.1	一般规定	60
8.2	超长距离顶管	60
8.3	微型顶管	61
8.4	矩形顶管	61
8.5	曲线顶管	62
8.6	垂直顶升	63
9	监测与周边环境控制	65
9.1	一般规定	65

9.2	监测范围及监测等级划分	67
9.3	工作井工程支护结构及周围土体监测	69
9.4	顶管工程结构及周围土体监测	70
9.5	周边环境监测	72
10	顶管工程质量验收	76
10.1	一般规定	76
10.2	工程质量验收	78
附录 A	顶管工程施工监测控制标准	83
	本标准用词说明	86
	引用标准名录	87
附:	条文说明	89

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	6
4	Geotechnical Survey in Pipe-jacking Engineering	7
4.1	General Requirements	7
4.2	Environmental Survey	7
4.3	Geological Survey	8
4.4	Borehole arrangement	10
4.5	Geotechnical Survey Report	11
5	Material and Connection Structure of Pipes	13
5.1	General Requirements	13
5.2	Steel Pipes	14
5.3	Reinforced Concrete Pipes	15
5.4	Glass Fibre Reinforced Plastic Mortar Pipes	18
5.5	Prestressed Concrete Cylinder Pipes	19
5.6	Graphite Cast Iron Pipes	21
6	Pile Jacking Design	23
6.1	General Requirements	23
6.2	Route Selection	23
6.3	Jacking Solution Selection	24
6.4	Pipe Structure Design	26

6.5	Driving and arriving pits Design	30
6.6	Jacking Force Calculation	35
6.7	Reaction Wall Design	37
6.8	Intermediate Jacking Station Design	37
7	Jacking Construction	40
7.1	General Requirements	40
7.2	Construction Organization Design	40
7.3	Jacking Equipment Installation	41
7.4	Originating and Receiving.....	44
7.5	Pipe Jacking.....	45
7.6	Grouting and Friction Reducing.....	47
7.7	Measurement and Correction	51
7.8	Spoil and Slurry Transportation	53
7.9	Anti-Revolving Measures.....	54
7.10	Dewatering	54
7.11	Ground subsidence control measures	55
7.12	Ventilation	56
7.13	Electricity Supply	57
7.14	Treatment after Jacking	58
8	Special Pipe Jacking.....	60
8.1	General Requirements	60
8.2	Super Long Distance Pipe Jacking	60
8.3	Micro Pipe Jacking.....	61
8.4	Rectangle Pipe Jacking.....	61
8.5	Jacking in Curve.....	62
8.6	Vertical Jacking	63
9	Monitoring and Environmental Control	65
9.1	General Requirements	65

9.2	Influenced Zone due to Construction and Monitoring Measurement Range.....	67
9.3	Monitoring Point Arrangement of Supporting Structure, Surrounding Rock and Soil	69
9.4	Monitoring Point Arrangement of Pipe Jacking Structure, Surrounding Rock and Soil	70
9.5	Monitoring of Surroundings.....	72
10	Acceptance of Pipe Jacking.....	76
10.1	General Requirements	76
10.2	Construction Quality Acceptance	78
Appendix A	Controlled Value in Monitoring	83
	Explanation of Wording in This Standard	86
	List of Quoted Standards.....	87
	Addition: Explanation of Provisions	89

1 总 则

1.0.1 为规范福建省非开挖顶管技术要求，做到安全可靠、技术先进、经济合理、保护环境、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于在福建省采用非开挖顶管技术工程的勘察、设计、施工和工程验收。

1.0.3 非开挖顶管工程应综合考虑工程地质、环境条件、施工条件等因素，因地制宜合理选择适宜的顶管类型及施工工艺，并强化施工质量安全的控制管理。

1.0.4 福建省非开挖顶管工程的勘察、设计、施工和验收，除执行本规程外，尚应符合国家现行的相关标准规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 顶管 Pipe jacking

借助液压顶推装置，将管道在地下逐节顶进的非开挖工程技术。

2.1.2 工作井

用于顶管工程施工的地下作业空间，包括顶进井和接收井。

2.1.2 顶进井 Driving shaft/pit

用于安放顶管施工设备、连接管道和始发顶进等的地下作业空间。顶进井也称顶进坑。

2.1.3 接收井 Arriving shaft/pit

顶管终端接收顶管机的地下作业空间。接收井也称接收坑。

2.1.4 顶管机 Pipe jacking machine

安装在顶进管道最前端用于掘进、防坍、出泥和导向等的机械装置。

2.1.5 中继间 Intermediate jacking station

安装在顶进管线的某些部位，为满足顶力等而设置在顶管管道间的续顶装置，把顶进管道分成若干推进区间。中继间也称为中间顶推站、中继站或中继环。

2.1.6 穿墙孔 Passage hole for pipe jacking

顶管机从顶进井穿墙入土的墙洞。

2.1.7 接收孔 Arriving hole for pipe jacking

顶管机从土中穿入接收井的孔洞。

2.1.8 后背墙 Reaction wall

顶进井中承受顶进反力的墙体。

2.1.9 曲线顶管 Curved pipe jacking

轴线在水平方向或垂直方向呈曲线变化的顶管工程。

2.1.10 触变泥浆 Thixotropic mud

用于填充顶进管道和土体之间的空间并起到减阻作用的泥浆材料。

2.1.11 顶进力 Jacking force

顶管施工过程中推进整个管道系统和相关机械设备向前运动的力。

2.2 符号

2.2.1 管道结构上的作用和作用效应

F —— 顶进力 (kN);

F_0 —— 顶管机的迎面阻力 (kN);

R_c —— 后背墙的承载能力 (kN);

F_p —— 管道允许顶进力 (kN)。

2.2.2 土及管材性能

γ_s —— 土的重度 (kN/m³);

γ —— 管材重度 (kN/m³);

c —— 土的粘聚力 (kN/m²);

k_p —— 管道综合系数;

σ_p —— 管材抗压强度设计值 (kN/m²);

A_p —— 管道最小有效传力面积 (m²)。

2.2.3 几何参数

- L —— 管道设计顶进长度 (m);
 L_1 —— 顶管机或管段长度 (m);
 L_2 —— 千斤顶长度 (m);
 L_3 —— 后背墙厚度 (m);
 m —— 考虑顶进管道后退、顶铁的厚度及安装富余量 (m);
 B —— 工作井的最小宽度 (m);
 D_1 —— 管道的外径 (m);
 D_0 —— 管道中心直径 (m);
 s —— 施工操作空间 (m);
 H —— 工作井的深度 (m);
 H_s —— 顶管覆土层厚度 (m);
 h_d —— 管底操作空间 (m);
 D_g —— 工作井穿墙孔直径 (m);
 D —— 顶管机外径 (m);
 D_j —— 接收井穿墙孔直径 (m);
 C_0 —— 管道允许偏差的绝对值 (m);
 α_1 —— 曲线顶管时, 相邻管节之间接口的控制允许转角 ($^\circ$);
 ρ —— 曲率半径 (m);
 ρ_{\min} —— 最小曲率半径 (m);
 l —— 预制管节长度 (m);
 Δs —— 相邻管节之间接口允许的最大间隙与最小间隙之差 (m)
 B_h —— 后背墙的宽度 (m);
 h_1 —— 后背墙顶端离地面的高度 (m);

h_2 —— 后背墙高度 (m);

h_3 —— 后背墙深入基坑底部深度 (m)。

2.2.4 设计系数

f_k —— 管道外壁与土之间的平均摩阻力 (kN/m^2);

K —— 曲线顶管顶进力附加系数值;

S_0 —— 后背墙承载能力计算系数, 取 $S_0=1.5\sim 2.5$;

K_p —— 被动土压力系数;

η —— 安全系数, 通常取 $\eta\geq 1.5$ 。

3 基本规定

3.0.1 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。

3.0.2 顶管工程应综合考虑工程地质、环境条件、施工条件和工期等因素，因地制宜合理选择适宜的顶管类型、管材及施工工艺，并强化施工质量安全的控制管理。

3.0.3 顶管工程所用的原材料、半成品、成品等产品的品种、规格、性能应符合国家有关标准的规定和设计要求；接触生活用水的产品应符合有关卫生要求。

3.0.4 顶管工程应进行管道结构及工作井设计。

3.0.5 在地下水位以下、顶距大于 50m 的顶管工程，宜选用封闭式顶管机械。

3.0.6 当相距较近的两条或多条平行管道采用顶管法施工时，宜按照先深后浅、先大后小的原则实施。

3.0.7 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间进行置换填充。

3.0.8 顶管施工影响范围内存在重要建（构）筑物、地下管线或交通要道、铁路、高速公路、堤防时，应对施工引起的地表变形和对周边环境的影响进行实时监测并采取相应的安全保护措施，制定应急预案；在油气、自来水、燃气等管道周边作业时，要制定专项安全方案并进行评估。

3.0.9 顶管穿越铁路、公路或其他设施时，尚应符合铁路、公路或其他设施的有关规定。

4 顶管工程勘察

4.1 一般规定

4.1.1 顶管工程岩土勘察宜分阶段进行，勘察分为初步勘察、详细勘察二个阶段，必要时可进行施工勘察。应根据初步勘察成果综合判定实施顶管的可行性；对线路长、沿线情况复杂的工程，宜进行线路比选的选线勘察。

4.1.2 应根据勘察阶段、勘察等级制定勘察纲要，确定勘察工作量。

4.1.3 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、槽深、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。

4.1.4 当在顶管轴线范围内可能存在孤石或其他地下障碍物时，应采用工程物探等手段进一步探明孤石或地下障碍物范围。

4.1.5 岩土工程勘察报告应针对顶管工程的特点提出设计、施工的意见及建议等相关内容。

4.1.6 勘探工作完成后顶管影响范围内的勘探孔应进行全长完全封孔，封孔材料宜采用水泥砂浆或其他材料。

4.1.7 勘察参数除应提供常规的岩土物理力学指标外，尚应提供土与混凝土、钢和玻璃钢等材料的摩擦系数。

4.2 工程环境勘察

4.2.1 工程环境勘察对象是施工现场环境，现场环境是指对工程施工有影响或施工对其有影响的事物，包括地面环境与地下环境。

4.2.2 地面环境勘察应满足以下要求：

1 按照保护地面建筑物与维护道路交通、保证工程质量、安全、文明施工等要求，必须进行详细的现场调查工作；

2 对施工可能影响到的地面各种不可移动的物体、设施、构筑物，应标明名称、用途、尺寸、稳定程度、结构形式、位置关系、使用状况；

3 对于重要建（构）筑物，宜取得竣工资料，特别应了解其基础情况；

4 对于正在使用的设施，应与管理单位联系，了解使用情况。

4.2.3 地下环境勘察应满足以下要求：

1 对施工可能影响到的各种地下构筑物，应标明位置关系，应标明顶进管道与它们的间隔、距离，应标明地下构筑物的名称、用途、尺寸、结构形式、埋设年份及目前使用状况；

2 取得地下构筑物的竣工资料，或开挖探洞、探沟获取详细情况；

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

4 查明顶管沿线及影响范围内的地下建（构）筑物、各类地下管线及障碍物的现状，评价其对顶管工程的影响，必要时可进行多方公证取样存档；

5 查清顶管工程范围内对人体有害的气体和其它有害物质的分布位置（考虑条文说明明确范围内）；

6 在化工区内，应查明地下受工业污染的程度和分布范围。

4.3 工程地质勘察

4.3.1 工程地质勘察的对象为工程场区范围内及场区周边的岩土与地下水。

4.3.2 岩土勘察应符合以下规定：

1 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、均匀性等；

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

3 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，并提供覆盖层的工程地质特性；

4 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、地面沉降等；

5 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、各种污染土层等，评价其对顶管工程的影响；

6 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 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；

8 提供设计、施工所需的岩土参数和有关岩土工程资料，并提出相应建议；提供工作井基坑支护、边坡稳定的设计计算参数及可行的方案，并对工作井和顶管的施工对周边环境的影响作出评价；

9 判定岩土体对管道材料（混凝土、钢、铸铁及橡胶等）的腐蚀性。

4.3.3 地下水勘察应符合以下规定：

- 1 查明沿线的水文地质条件：地下水类型、含水层、地下水埋藏条件、补给与排泄条件、分布特征等；
- 2 调查历史上地下水的最高水位、最低水位、水位变化幅度；
- 3 测定地下水的 PH 值，氯离子、钙离子和硫酸根离子等的含量，判定地下水对管道材料（混凝土、钢、铸铁及橡胶等）的腐蚀性；
- 4 当地下有承压水分布时，应量测承压水的压力，评价其对顶管施工的影响；
- 5 提出地下水控制方案。

4.4 勘察布孔

4.4.1 三级场地上的顶管工程可在管道中心线布置勘探孔；其它场地及重要的顶管工程应在管道设计轴线两侧 5~10m 范围内各布置一条勘探线，两条勘探线的勘探孔交错布置。

4.4.2 勘探孔的布置应符合以下要求：

- 1 顶管段勘探孔间距符合表 4.4.2 规定；

表 4.4.2 勘探孔间距 (m)

场地类别	一级场地 (复杂场地)	二级场地 (中等复杂 场地)	三级场地 (简单场地)	每个顶管管 段
勘探孔间距 (初步勘察)	30~60	60~100	100~150	1-2 个勘探孔
勘探孔间距 (详细勘察)	20~30	30~50	50~100	2-3 个勘探孔

2 工作井位置勘探孔数数量：初步勘察阶段不少于 1 个，详细勘察阶段不得少于 2 个，复杂地质条件下宜在矩形工作井的四角或圆形工作井的周边布置勘探孔并增加勘探孔数；

- 3 管道穿越铁道、公路地段时，勘探孔移位不宜偏离管线中

心轴线超过 3m，勘探孔间距以能控制地层土质变化为原则，但在穿越铁道、公路地段时，不得少于 2 个勘探孔；

4 在每个地貌单元、地貌单元交界部位、管线转角处、穿越铁路或公路的地段等复杂条件下，应根据场地复杂程度适当增加勘探孔数量；

5 在穿越暗埋的河、湖、沟、坑、溶洞或可能产生流砂和液化等地质条件复杂的地段时，勘探孔数量应适当增加；

6 在穿越河谷时，河谷两岸及河床上应布置勘探孔，其数量不应小于 3 个。

4.4.3 勘探孔的深度应达到管底设计标高以下 3~5m，如遇下列情况之一，应适当增加勘探孔的深度。

1 当管线穿越河谷时，勘探孔深度应达到河床最大冲刷深度以下 5~10m；

2 当管线基底下存在松软土层、湿陷性土及可能产生流砂、潜蚀或液化地层时，勘探孔深度应加深或钻穿该类地层；

3 在必须采取降低地下水位来进行管线施工的地段，勘探孔孔深应在管线中心以下 5~10m，且应穿透主要含水层；

4 当管线下部有承压强透水层时，勘探孔应适当加深，或钻穿承压水层，并测量其水位；

5 顶进井和接收井的勘探孔深度一般可取井底下 5m，在深厚软土、强透水层等特殊情况应适当加深，并穿透该层。

4.5 勘察报告

4.5.1 不同阶段的勘察报告应分别满足工程规划、设计、施工阶段的技术要求。

4.5.2 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，推荐管道最优线路方案，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。

4.5.3 详细勘察报告，应评价岩土工程条件，应提供顶管和工作井设计、施工所需的岩土层物理力学性质指标，以及地下水资料，对工作井和顶管设计、施工方案提出建议，并作出针对性的分析评价。

4.5.4 岩土的物理力学性能指标应包括下列数据：

- 1 土的颗粒分析、密实度、压缩模量、变形模量、渗透系数、粘聚力、内摩擦角指标等常规物理指标；
- 2 土的标准贯入试验等原位测试数据；
- 3 土与混凝土、钢和玻璃等材料的摩擦系数；
- 4 地基承载力的建议值及其他设计所需参数。

4.5.5 勘察报告文字部分应包含以下内容：

- 1 勘察目的和任务要求；
- 2 勘察方法和工作布置；
- 3 拟建顶管工程的基本特性；
- 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 岩土的物理力学性能指标、地基承载力及地震动参数；
- 6 地下水的勘察和腐蚀性；
- 7 场地岩土工程与顶管适宜性评价；
- 8 地基稳定性评价及建议地基处理方案。

4.5.6 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。

5 顶管管材及管件连接构造

5.1 一般规定

5.1.1 顶管管道根据横断面可划分为圆形、矩形及其它形状。

5.1.2 顶管管材应根据管道用途、管材特性及当地具体情况确定，顶管的管材类型为钢管、钢筋混凝土管、钢筒混凝土管、玻璃纤维增强塑料夹砂管、球墨铸铁管和其它能满足顶管要求的各类管材。

5.1.3 顶管管材应具有优良的力学性能，除满足一般埋地管道受力要求外，尚应有较高的轴向承载能力。

5.1.4 顶管管材应保证精确的尺寸，包括管口紧密的配合、管端垂直度、管材椭圆度等，管道轴向上应保证平直。顶管管道及其接口应有抵抗管道内、外化学腐蚀和机械损伤的能力，管道防护措施应与管道顶进过程、地层条件相适应；管道接口应具有传递轴向载荷的能力；非整体连接管道接口在保证密封性的条件下，应有一定角度的径向偏转性能。

5.1.5 顶管管材与饮用水直接接触的材料均应符合国家标准及《生活饮用水卫生标准》GB 5749 及《生活饮用水输配水设备及防护材料的安全性评价标准》GB / T 17219 的要求。

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

5.1.7 顶管管材的单节长度应结合工作井尺寸、吊装机械设备、顶管施工方式及进度要求等因素确定。钢筋混凝土管材的单节长度以 2m~3m 为宜，钢管的单节长度以 4m~10m 为宜，球墨铸铁

管的单节长度以 6m~8m 为宜，长距离顶管的管节长度可适当增加，曲线顶管的管节长度应根据曲线半径确定。

5.2 钢管

5.2.1 钢管钢材宜选用 Q235B 或 Q355B。;

5.2.2 钢管钢材的规格和性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T700 的规定。

5.2.3 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 2mm。钢管年腐蚀量标准可按表 5.2.3 确定。

表 5.2.3 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	高于地下水位地区
	淡水	淡水	
腐蚀量 (mm/年)	0.02	0.04	0.03

5.2.4 制作钢管的几何尺寸允许偏差应符合表 5.2.4 的规定。

表 5.2.4 钢管几何尺寸允许偏差

项目	允许偏差	
周长	$D_1 \leq 600$	$\pm 2.0\text{mm}$
	$D_1 > 600$	$\pm 0.0033D_1$
椭圆度	管端部位 $0.005 D_1$ ，其他部位 $0.01D_1$	
端面垂直度	$0.001D_1$ ，且不应大于 1.5mm	
弧度	用弧形板测量管内壁或外壁纵缝处形成的间隙，应不大于 $0.001D_1$ ，且不大于 4mm；距管端 200mm 纵缝处的间隙应不大于 2mm。	

注： D_1 管道外径(mm)

5.2.5 卷制管道焊缝应满足以下要求：

1 卷制钢管同一横断面内宜采用一条纵向焊缝。若采用两条纵向焊缝，则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为 0.2 倍壁厚，且不大于 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。

5.2.6 钢管焊缝质量检验，非压力管应不低于焊缝质量分级的 III 级标准；压力管应不低于焊缝质量分级的 II 级标准。

5.2.7 钢管防腐要求如下：

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 15~20mm 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/mm²；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规范；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规范。

5.2.8 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。

5.3 钢筋混凝土管

5.3.1 钢筋混凝土管适用于重力流输水管道及各类保护套管。钢

钢筋混凝土成品管应符合国家现行标准《混凝土和钢筋混凝土排水管》GB/T11836 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。

5.3.2 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。

5.3.3 钢筋混凝土管的钢筋应选用 HPB300、HRB400 及更高级别钢筋，钢筋性能应分别符合相关国家及行业标准。

5.3.4 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。

5.3.5 钢筋混凝土管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》GB50119 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。

5.3.6 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做相应的防腐处理。

5.3.7 钢筋混凝土管节长度应根据使用条件和起吊能力确定。

5.3.8 钢筋混凝土管接头可按下列原则选用：

1 用于输水的混凝土管接头宜使用柔性双插口和柔性钢承口接头（见图 5.3.8-1、5.3.8-2），并应优先选用钢承口接头，接头的允许偏转角应大于 0.5° ；双插口管接头应使用钢套环或不锈钢套环；

2 用于保护套管的混凝土管接头宜使用柔性双插口和柔性钢承口接头，也可根据使用要求采用柔性企口、钢承插口或刚性企口、平口接头。

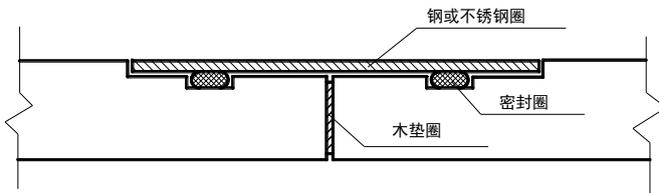


图 5.3.8-1 双插口接头

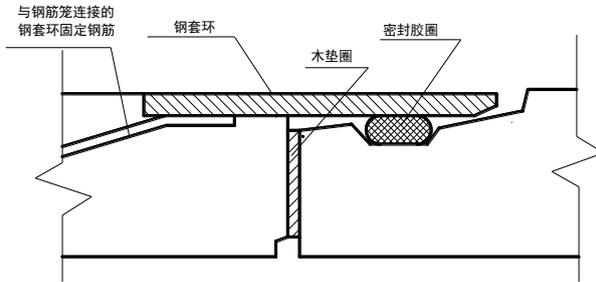


图 5.3.8-2 钢承口接头

5.3.9 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。

5.3.10 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、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、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、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。

5.3.11 管道接口的密封橡胶圈：

- 1 密封橡胶圈材料应符合《橡胶密封件给、排水管及污水管用接口密封圈》GB/T21873 规范的要求；
- 2 无压输水管接口可使用单胶圈；
- 3 有压水管接口应使用双胶圈；
- 4 密封橡胶圈的断面形状宜为“L”形、齿形、楔形或半圆半

方形；

5 微口径管材宜使用整体式缓冲阻水橡胶套环；

6 遇有含油地下水时，宜选用丁晴橡胶；含有弱酸、弱碱地下水时，宜选用氯丁橡胶；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；

7 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。

5.3.12 管接口密封材料的使用还应满足表 5.3.12 中的要求。

表 5.3.12 密封材料的尺寸和安装要求

密封材料	粘结剂		橡胶衬垫
接口宽度 b (mm)	最小 10 mm		
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		

5.3.13 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，木垫圈应符合以下要求：

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

5.4 玻璃纤维增强塑料夹砂管

5.4.1 玻璃纤维增强塑料夹砂管适用于输水管道，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，对于正常运行时管内介质温度超过 40℃的管道工程，不宜采用。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/T21238 以及《玻璃纤维增强塑料顶管》GB/T 21492 的规定。

5.4.2 玻璃纤维增强塑料夹砂管刚度等级不应小于 15kPa，缠绕管管体受压强度不应小于 75MPa，管端受压强度不应小于 105MPa，离心管管体受压强度不应小于 90MPa。

5.4.3 玻璃纤维增强塑料夹砂管应设置内衬层，并应满足管道在内压作用下的抗渗要求和耐输送介质腐蚀的要求，管道外壁应根据管道所处环境设置外表面层，并应满足防止外界腐蚀介质对管道产生不良影响的要求，满足以上要求的玻璃纤维增强塑料夹砂管可不另做防腐处理；给水管管道内衬层所采用的材料应符合《食品容器及包装材料用不饱和聚酯树脂及其玻璃钢制品卫生标准》GB 13115 的规定；缠绕成型的玻璃钢夹砂管的管端应增强，且应有增强过渡段。

5.4.4 管壁内衬层的厚度应不小于 1.2mm，结构层厚度由设计确定，管节长度由设计确定，一般不宜超过 6m。

5.4.5 玻璃纤维增强塑料夹砂管可采用套筒双插口接头或承插式柔性接头，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，其中木垫圈内径宜大于管道内径 2mm。

5.4.6 管接口密封应满足 5.3.9~5.3.11 相关要求。

5.5 预应力钢筒混凝土管

5.5.1 预应力钢筒混凝土管适用于输水管道，预应力钢筒混凝土管质量应符合国家行业标准方可采用。

5.5.2 预应力钢筒混凝土管常用埋置式预应力钢筒混凝土管，由钢管和钢管内、外两侧混凝土层组成管芯，在管芯混凝土外侧缠绕环向预应力钢丝，然后覆盖水泥砂浆保护层的管材。

5.5.3 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。

5.5.4 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分别符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T5223、《预应力混凝土用钢棒》GB/T5223.3 和《预应力混凝土用钢绞线》GB/T5224 的规定，钢筋应选 HPB300、HRB400 及更高级别钢筋，钢筋性能应分别符合相关国家及行业标准。

5.5.5 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标准《混凝土碱含量限值标准》CECS53 的规定，在含碱环境中使用时应选用非活性材料。

5.5.6 钢筋混凝土管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》GB50119 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。

5.5.7 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。

5.5.8 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。

5.5.9 预应力钢筒混凝土管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，其中木垫圈外径不超过管道外径。

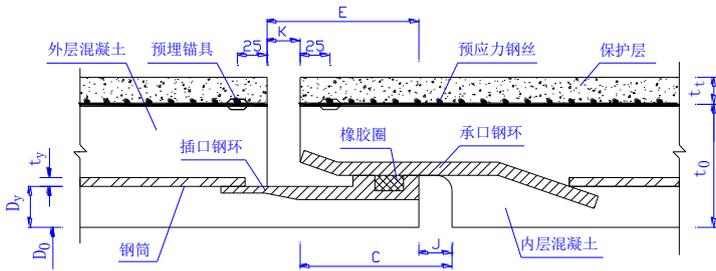


图 5.5.8-1 单胶圈埋置式钢筒混凝土管材接口图

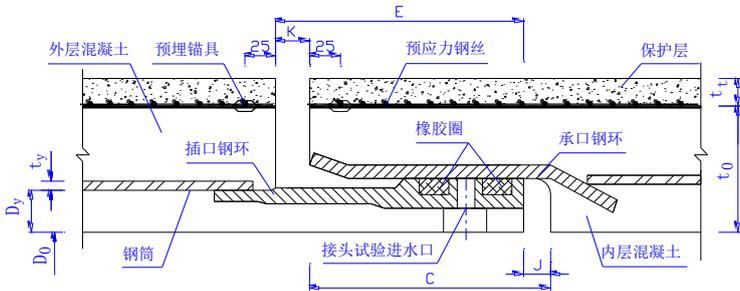


图 5.5.8-2 双胶圈埋置式钢筒混凝土管材接口图

5.6 球墨铸铁管

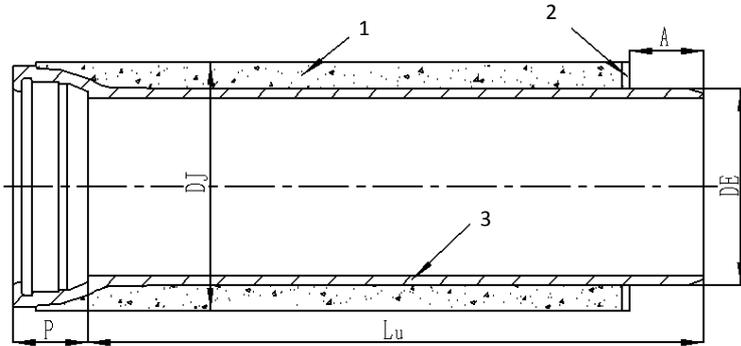
5.6.1 球墨铸铁管适用于输水管道，球墨铸铁顶管质量应符合《非开挖铺设用球墨铸铁管》YB/T 4564 及其他国家行业标准方可采用。

5.6.2 球墨铸铁顶管是在普通球墨铸铁管基础上，在插口端焊接顶推法兰、筋板，然后在外壁涂覆或浇筑一层钢筋混凝土的球墨铸铁管产品，管身可提供注浆孔，其外形结构如图 5.6.2 所示。其顶力传递由以下两种方式：

- 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。就是通过焊在插口端的顶推法兰和筋板传至管身及承口的。



说明：1——水泥保护层；2——顶推法兰；3——球墨铸铁管身。

图 5.6.2 球墨铸铁顶管外形

5.6.3 球墨铸铁管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《水及燃气管道用球墨铸铁管、管件和附件》GB/T 13295 要求；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，其中木垫圈内径宜大于管道内径 2mm，木垫圈外径不超过管道外径。

5.6.4 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 15~20mm 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 $30\text{N}/\text{mm}^2$ ；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规范；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。

6 顶管工程设计

6.1 一般规定

6.1.1 顶管工程应根据岩土工程勘察报告、工程场地与环境条件、管道设施要求、施工条件等进行设计。

6.1.2 顶管工程的设计应根据管道功能要求、工程地质、环境因素及施工条件合理选择管道平面选线、穿越土层及覆土厚度。

6.1.3 顶管工程的管道构件应进行结构设计。

6.1.4 顶管工程的设计应根据工程地质、环境因素及管道埋深等因素合理确定工作井的结构型式。

6.2 工程选线

6.2.1 顶管工程选线按照以下原则：

- 1 应尽量避免地面建（构）筑物、树木及地下障碍物；
- 2 不宜在活动性地震断裂带通过；
- 3 合理控制线路与附近结构物的距离，以满足工作井施工空间的需要；
- 4 穿越河道时，应满足河道规划及航道要求；
- 5 长距离顶管不宜在土层软硬明显的界面上顶进；
- 6 对于长距离、大埋深水域顶管优先推荐采用大坡度纵向曲线顶管设计。

6.2.2 顶管管道上覆土层厚度应满足以下规定：

- 1 在不稳定土层中，管道上覆土层厚度宜大于管道外径的

1.5~2.0 倍（大口径管取小值，小口径取大值），并应大于 1.5m~2.5m；

2 穿越江河水底时，管道应布设在河床的冲刷线以下，管道上覆土层最小厚度不宜小于管道外径的 1.5 倍，且不宜小于 2.5m；

3 在有地下水地区及穿越江河时，管道上覆土层的厚度应满足管道抗浮要求；

4 穿越铁路、公路、航道、堤防或其他重要设施时，管道上部覆土厚度应遵守铁路、公路、堤防或其他设施的相关安全规定。

6.2.3 相邻管道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，应符合下列要求：

1 互相平行的管道水平净距应大于管道外径的 1 倍；

2 顶进管道与现况管道空间交叉时的净间距，钢管不宜小于管道外径的 0.5 倍，且不应小于 1.0m；其他管材不宜小于管道外径的 1 倍，且不应小于 2m；

3 顶管底与建（构）筑物基础底相平时，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；顶管底低于建（构）筑物基础底时尚应考虑基底土体稳定；

4 平行管道同时顶进施工时，相邻管间最小净距应根据地质条件、顶进方法和施工顺序等因素确定，通常宜大于较大管道的外径；不同埋深的管道顶进时，宜先顶进埋深较大的管道；不同口径管道顶进时，先顶进管断面较大的管道。

6.3 顶进方案选择

6.3.1 顶管工程应主要依据土质情况、地下水位、施工要求等因素，在保证工程质量、施工安全等的前提下，合理选用顶管方案。

6.3.2 顶管机的选型可参考表 6.3.2。

表 6.3.2 顶管机型和适用条件参考表

编号	顶管方式	适用口径 (mm)	覆土厚度 H/m	适用地层	地层稳定措施	地面变形	备注
1	手掘式	800-3600	>1.0D且 >1m	软塑、流塑粘土及高水位粉细砂中慎用	降水、注浆	较大，正常施工变形量<300m m	
2	挤压式	800-3600	>1.5D且 >3m	软塑和流塑性粘土,软塑和流塑的粘性土夹薄层粉砂。	控制推进速度和开口率	中等，正常施工变形量<200m m	
3	网格式	1000-2400	>1.5D且 >3m	软塑、流塑性粘土，粉砂	控制开口面积、推进速度和进土量	较大，精心施工变形量<300m m	
4	机掘式	1800-3600	>1.5D且 >3m	粘土，粉土，砂土，卵、砾石，水位以上	降水、注浆或充气	较大，精心施工变形量<300m m	渗透系数应≤10 ⁻⁴ c m/s.
5	钻顶式	300-1000	>1.0m	粘土、粉土、砂土	土压平衡	较小，正常施工变形量<30m m	
6	土压平衡式	1500-3600	>1.2D且 >2m	卵、砾石含量<20%，且粒径<100mm的粘土、粉土、砂土	土压平衡	较小，精心施工变形量<30m m	
7	泥	400-3600	>1.5D且	卵、砾石含量<	泥水平	较小，	

	水平平衡式		>3m	20%，且粒径<50mm的粘土、粉土、砂土渗透数>10-1cm/s，地下水流速较大时，应防止护壁泥浆被冲走。	衡	精心施工变形量<50mm	
8	气压平衡式	400-3600	>2.0D且>4m	粘土、粉土、砂土、卵、砾石，含有孤石的土体，但粘性土的渗透系数应不小于10-4cm/s。	气压平衡	较小，精心施工变形量<50mm	

6.3.3 岩石类顶管工程可采用平衡式顶管机并选择合适的刀盘、刀具，岩层抗压强度宜小于 120MPa。顶进长度较大时顶管机应具有顶进过程中更换刀具能力及适应岩层强度的二次破碎能力。

6.3.4 在卵砾石地层顶进时顶管机应具有二次破碎能力。

6.3.5 采用手掘式、挤压式顶管工程需进行施工专项论证。

6.4 管道结构设计

6.4.1 顶管结构设计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。

6.4.2 顶管管道应根据所选用管材类型按照相应规范标准进行结构设计，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。

6.4.3 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。

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

6.4.5 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。

6.4.6 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下列式计算：

$$F_{sv-k1} = \sum_{i=1}^n \gamma_{si} h_i \quad (6.4.6-1)$$

管拱背部的竖向土压力可近似化成均布压力，其标准值为：

$$F_{sv-k2} = 0.215 \gamma_{si} R_2 \quad (6.4.6-2)$$

式中： F_{sv-k1} —— 管顶上部竖向土压力标准值(kN/m²)；

F_{sv-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下列式计算：

$$F_{sv,k3} = C_j (\gamma_{si} B_t - 2C) \quad (6.4.6-3)$$

$$B_t = D_1 \left[1 + tg \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (6.4.6-4)$$

$$C_j = \frac{1 - \exp \left(-2K_a \mu \frac{H_s}{B_t} \right)}{2K_a \mu} \quad (6.4.6-5)$$

- 式中：
- $F_{sv,k3}$ — 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。

6.4.7 作用在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:

$$F_{h,k} = \left(F_{sv,ki} + \frac{\gamma_{si} D_1}{2} \right) K_a \quad (6.4.7)$$

- 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 $K_a = tg^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ 。

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(6.4.7)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/m^3 。

6.4.8 输水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 $\psi_q=0$ 。

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

6.4.10 地面车辆轮压传递到管顶处的竖向压力, 其标准值 q_{vk} 按相关规范规定执行, 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。

6.4.11 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 $\psi_q=1.0$ 。

6.4.12 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 $0.02 D_0$; 顶管后再抹水泥砂浆时, 最大竖向变形不应超过 $0.03 D_0$;

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 $0.03 D_0$;

3 玻璃纤维增强塑料夹砂管最大竖向变形不应超过 $0.05 D_0$ 。

6.4.13 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 。

6.4.14 钢管、钢筋混凝土管及玻璃纤维增强塑料管道允许顶进力可按下式计算:

$$F_p = k_p \cdot \sigma_p \cdot A_p \quad (6.4.14)$$

式中: F_p ——管道允许顶进力 (kN);

k_p —— 管道综合系数,钢筋混凝土管取值为 0.391; 钢管一般可取 0.277,当顶进长度小于 300m 且穿越土层均匀时,可取 0.346; 玻璃纤维增强塑料夹砂管取 0.277;

σ_p —— 管材抗压强度设计值 (kN/m²);

A_p —— 管道最小有效传力面积 (m²)。

6.4.15 钢筋混凝土顶管、预应力钢筒混凝土顶管及球墨铸铁顶管的顶进力不得超过成品管材标定允许顶力。

6.4.16 预应力钢筒混凝土顶管及球墨铸铁顶管应按照成品管材性能要求选用。

6.4.17 顶进钢管应考虑温差作用下的伸缩变化,当管道长度在 100m 以上时,应有一个工作井的穿墙管能使钢管自由伸缩;长度超过 600m 时,两端工作井墙壁的穿墙管均应能使钢管自由伸缩;长度超过 1000m 时,每 500m 宜设一个伸缩接头。钢管与工作井井墙均采用刚性连接时,必须验算温差作用下井墙受力和管道的连接强度。

6.5 顶进井和接收井设计

6.5.1 顶进井和接收井的选址应遵循以下原则:

- 1 充分利用线路上的检查井或通风井;
- 2 便于排水、出土和运输;
- 3 对周围建(构)筑物的影响小;
- 4 尽量避开房屋、地下管线、池塘、架空电线等不利于顶管施工的场地;
- 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 在有曲线又有直线的顶管中,顶进井宜设在直线段的一侧;

7 多排顶进或多向顶进时，宜尽可能利用一个顶进井。

6.5.2 顶进井和接收井平面形状：

1 平面上，顶进井和接收井有矩形、圆形、椭圆形、多边形等；

2 直线顶管或二段交角接近 90° 的折线顶管时，可采用矩形顶进井和接收井；

3 二段交角比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。

6.5.3 顶进井和接收井应根据井位周边环境条件复杂程度、井的开挖深度分为三个安全等级：

1 当井的开挖深度不大于 5.0m，且井四周 1 倍开挖深度范围内无重要地下管线或重要地下构筑物时，井及其围护结构的安全等级为三级；

2 当井的开挖深度大于 8.0m，且井四周 1 倍开挖深度范围内有重要的地下管线或重要地下构筑物时，井及其围护结构的安全等级应为一级；

3 除了一级和三级以外，其他条件下顶进井和接收井及其围护结构的安全等级可定义为二级。

6.5.4 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。

6.5.5 顶进井和接收井采用沉井时，设计应符合以下原则：

1 沉井结构侧壁高度范围及坑底分布有软弱土层的沉井应考虑坑底隆起稳定性，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、SMW（水泥土搅拌墙）、高压旋喷桩等；

3 沉井刃脚下存在水头高于底板的承压水层，采用排水下沉时，应按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120等相关规程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、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；

6 沉井结构设计可参照行业标准《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》（CECS137）及《油气管道穿越工程竖井设计规范》（SYT 6884）等相关规范及规程执行。

6.5.6 顶进井、接收井采用明挖顺作竖井或明挖逆作竖井时，应根据井的形状、尺寸及埋深，并综合考虑场地地质条件、周边环境条件、经济指标及施工工期要求等因素合理选用顶进井、接收井的支护结构。其设计宜符合以下原则：

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、放坡等；常用的竖向围护结构有：地下连续墙、灌注桩、SMW工法桩、钢板桩等；

2 在开挖深度较大、周边建（构）筑需要保护、变形控制较为严格时，宜选用内撑式支护结构，竖向围护结构可选用灌注桩、地下连续墙、SMW工法桩，水平支撑材料可采用型钢、钢筋混凝土且多采用对撑、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不为严格时，可选用悬臂式结构、土钉墙、重力式水泥土墙、放坡等，竖向围护结构可选用灌注桩、SMW工法桩、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、SMW（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；

6 对于大口径顶管，井的支护结构设计可参照表 6.5.6 选取。

表 6.5.6 顶管工作井不同基坑围护结构的适用条件

基坑支护结构类型	适用条件	
	工作井深度	环境条件、土类和地下水条件
钢板桩	适用于较浅的工作井	在软土地区应用，当地下水位较高时，柱列式钢板桩应设置止水帷幕或直接采用拉森钢板桩进行围护；一般情况下，适用于单向顶进井的基坑支护。
排桩加止水帷幕	适用于较深的工作井，一般深度超过 8m	在全土质范围内均可使用，当地下水位较高时应设置止水帷幕，止水帷幕可选择水泥土搅拌墙法或桩间旋喷法；根据实际需求浇筑内衬墙，围护结构需考虑对顶管进出洞口施工的影响
双排桩加止水帷幕		
咬合桩		在全土质范围内均可使用，尤其是在软土层及砂层中的施工效率较高，且不需另设止水帷幕；采用两墙合一设计理念时，咬合桩可直接作为顶进井或接收井永久受力的外墙
SMW 工法桩	适用于中等深度的工作井，一般不超过 13m	在软土地区应用，且施工场地要求较大，有需要时应浇筑永久性内衬墙。
地下连续墙	适用于较深的工作井，一般深度超过 13m	在全土质范围内均可使用，尤其适用于基坑周边环境条件很复杂的深竖井支护，竖井深度越深，经济效益越好。

6.5.7 当地下水位较低，且井周边环境较为简单，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《岩土锚杆与喷射

混凝土支护工程技术规范》(GB 50086)执行,井的内衬应满足顶管施工或永久功能井的结构要求。

6.5.8 除沉井外其它形式的工作井,当顶力较大时皆应设置钢筋混凝土后座墙。

6.5.9 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,应在进出洞口位置进行土层加固。

6.5.10 当顶进井和接收井的进出洞口影响范围内存在砂层等强透水层或顶管机械设备进出洞受地下水影响较大时,应在进出洞口位置设置土层加固及防渗措施。

6.5.11 顶进井尺寸设计宜按照以下原则:

1 顶进井的最小长度宜按下式计算:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + m \quad (6.5.11-1)$$

式中: L —— 顶进井的最小长度 (m);

L_1 —— 顶管机或管段长度,取两者中大值 (m);

L_2 —— 千斤顶长度 (m),可取 2.5m,最小不宜小于 1.8m;

L_3 —— 后背墙厚度 (m);

m —— 考虑顶入管段留在导轨上的最小长度、顶进管道后退、顶铁的厚度及安装富余量,可取 1.5m。

2 顶进井最小宽度可按下式计算:

$$B = D_1 + 2s \quad (6.5.11-2)$$

式中: B —— 顶进井的最小宽度 (m);

D_1 —— 管道的外径 (m);

s —— 施工操作空间,可取 1.0~1.5m,浅顶进井取小值,深顶进井取大值。

3 顶进井底板面深度应按式(6.5.11-3)计算:

$$H = H_s + D_1 + h_d \quad (6.5.11-3)$$

式中: H ——顶进井底板面最小深度(m);

H_s ——顶管覆土层厚度(m);

h_d ——管底操作空间(m), 钢管可取 $h_d=0.70\sim 0.80\text{m}$; 玻璃纤维增强夹砂管和钢筋混凝土管等可取 $h_d=0.40\sim 0.50\text{m}$ 。

4 顶进井穿墙孔直径可按式(6.5.11-4)计算:

$$D_g = D + 0.2 \quad (6.5.11-4)$$

式中: D_g ——工作井穿墙孔直径(m);

D ——顶管机外径(m)。

6.5.12 接收井尺寸设计宜按照以下原则:

- 1 最小长度应满足顶管机在井内拆除和起吊的要求;
- 2 最小宽度应满足有足够的操作空间。

6.5.13 接收井接收孔尺寸应按式(6.5.13)计算:

$$D_j = D + 2(C_0 + 0.1) \quad (6.5.13)$$

式中: D_j ——接收孔直径(m);

C_0 ——管道允许偏差的绝对值(m), 按第10章表10.2.3取值。

6.6 顶进力估算

6.6.1 总顶进力可按式(6.6.1)估算:

$$F = \pi D_1 L f_k + F_0 \quad (6.6.1)$$

式中: F ——总顶进力(kN);

- D_1 —— 管道外径 (m);
- L —— 管道设计顶进长度 (m);
- f_k —— 管道外壁与土之间的平均摩阻力 (kN/m²), 采用触变泥浆减阻技术时, 其取值可参照表 6.6.1 选取;
- F_0 —— 顶管机的迎面阻力 (kN), 可参照表 6.6.2 进行计算。

表 6.6.1 触变泥浆减阻管壁单位面积平均摩阻力 f_k (kN/m²)

土层类型		软粘土	粉性土	粉细土	中粗砂	岩石
管材类型	混凝土管	3.0~5.0	5.0~8.0	8.0~11.0	11.0~16.0	1.0~3.0
	钢管	3.0~4.0	4.0~7.0	7.0~10.0	10.0~13.0	1.0~2.0
	玻璃纤维增强塑料夹砂管	2.4~3.2	3.2~5.6	5.6~8.0	8.0~10.4	

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 3.0~5.0kN/m²;

2 球墨铸铁管和 PCCP 管可参照混凝土管取值。

6.6.2 不同形式顶管机的迎面阻力计算可按表 6.6.2 中公式进行, P_r 可取 300 kN/m²~500 kN/m²。

表 6.6.2 顶管机的迎面阻力计算方法

顶管机端面	常用机型	迎面阻力 F_0 (KN)	式中符号
敞开式刃口	机械式工具管	$F_0 = \pi(D-t)t_r P_r$	t_r ——刃口厚度 (m) e ——开口率 α_0 ——网格截面参数, 可取 0.6~1.0 P_r ——挤压阻力 (kN/m ²) P_n ——气压 (kN/m ²) H_s ——覆盖层厚度 (m)
喇叭口	挤压式	$F_0 = \frac{\pi}{4} D^2 (1-e) P_r$	
网格	挤压式	$F_0 = \frac{\pi}{4} D^2 \alpha_0 P_r$	

网格加 气压	气压平衡式	$F_0 = \frac{\pi}{4} D^2 (\alpha_0 P_r + P_n)$	
全断面 切削	土压平衡式 泥水平衡式	$F_0 = \frac{\pi}{4} D^2 \gamma_s H_s$	

6.7 后背墙设计

6.7.1 顶进井（坑）后背墙结构设计应考虑顶力作用。

6.7.2 后背墙设计和安装应满足如下要求：

1 有足够的强度，确保在顶管施工中能承受主顶工作站千斤顶的最大反作用力；

2 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 表面应平直，并垂直于顶进管道的轴线；

4 墙体材料的材质应均匀一致；

5 结构简单、装拆方便。

6.7.3 利用已顶进的管道承受后座反力时，应符合下列规定：

1 待顶管道的顶进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道的接口不受损伤。

6.7.4 后背墙应充分利用土体抗力，必要时应对后背土体进行加固，以提高土体抗力。

6.8 中继间设计

6.8.1 采用中继间顶进时，其设计顶进力、数量和位置应符合下

列规定：

1 当估算的最大顶力大于管材的轴向抗压强度时，或当估算的最大顶力大于后背承载能力 70% 时，应设置中继间；

2 中继间的设计顶力应不大于管道管节相应设计转角的允许顶进力，第一个中继间的设计顶进力，应保证其允许最大顶进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；后续中继间设计顶进力应克服两个中继间之间的管道外壁摩擦阻力；

3 确定中继间位置时，应留有足够的顶进力安全储备，第一个中继间位置一般应安装于顶管机后 50m 以内，安装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；

4 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；

5 超深、超长距离顶管工程，中继间应配备密封性能可靠、密封圈压紧度可调及可更换的密封装置，并应采用地面远程计算机联动控制。

6.8.2 设计阶段中继间的位置和数量可根据所预测顶进力以及中继间的设计允许顶进力确定，按下式计算：

$$n_1 = \frac{\pi D_0 f_k (L + 50)}{0.7 \times f_0} - 1 \quad (6.8.2)$$

式中： n_1 —— 中继间数量（取整数）；

f_0 —— 中继间设计允许顶力（kN），按管道允许顶进力暂估。

6.8.3 中继间的允许转角宜大于 1.2°；合力中心应可调节。

6.8.4 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；中继间顶进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。

6.8.5 中继间的结构形状应符合相应管道接头的要求，中继间应带有木质的传压环和钢制的均压环，端面的尺寸必须同作用于其上的顶进力相适应。

7 顶管工程施工

7.1 一般规定

7.1.1 顶管施工应具有施工管理体系。建立质量控制和检验标准，并应采取安全和环境保护措施。

7.1.2 顶管类型和设备技术性能应满足工程地质、工程环境条件、管道功能、管道结构性能及环境保护的要求。

7.1.3 顶管工程专项施工方案和应急预案应根据顶管类型、地质条件和工程实际制定。

7.1.4 施工现场的场地应满足工作井、管材堆放、浆液设施、供配电设施、控制室等生产设施用地和施工运输要求。

7.1.5 顶管施工宜实施项目信息化管理，配置远程监控系统。

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

7.2 施工组织设计

7.2.1 顶管施工前应编写施工组织设计，顶管工程专项施工方案必须满足管线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，满足管线铺设与使用的要求，必要时可对设计进行优化，根据实际情况调整施工参数，确保工程质量和获取最佳的经济效益。

7.2.2 施工组织设计应包括如下主要内容：

- 1 施工标准及依据；
- 2 工程概况：主要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 顶管技术措施；
- 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：包括施工进度计划、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 工程安全文明措施；
- 11 应急预案；
- 12 施工组织与管理措施。

7.3 顶进设备安装

7.3.1 顶管后座钢板应符合下列要求：

- 1 厚薄均匀一致，应与后背墙结构紧密接触，均匀受力；
- 2 表面要平直，且必须垂直顶进轴线；
- 3 可采用装配式后座或整体式后座；
- 4 承载能力要满足最大顶进力的要求，其整体刚度和强度应满足施工要求；
- 5 连续顶进时，可利用已顶进完毕的管道作为后背支撑。

7.3.2 导轨的安装应符合下列要求：

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应产生位移，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道中心对准穿墙孔中心，导轨的走向应与设计轴线一致；

3 导轨安装的允许偏差如下：轴线位置： $\pm 3\text{mm}$ ；标高： $(0\sim+3)\text{mm}$ ；轨道内距： $\pm 2\text{mm}$ 。

7.3.3 千斤顶的配置和安装应符合下列要求：

1 根据工作井允许顶进力、管段允许顶进力确定千斤顶的规格和数量；

2 千斤顶不宜使用单支，使用多台时，宜为偶数，应围绕管道中心轴对称布置，多台千斤顶的油路必须并联，每台千斤顶应有进油、退油的控制系統；

3 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，合力作用中心须在管道端面的范围内。

7.3.4 顶铁安装应符合下列要求：

1 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；

2 顶铁两个受压面应平整、平行；

3 顶铁应具有刚度大，稳定性好的结构性能，满足传递顶进力的要求；

4 顶铁与管口之间的接触面应衬垫缓冲材料；

5 单行纵向顶铁中心线与管道轴线一致；双行纵向顶铁的两条中心线要平行，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。

7.3.5 油泵布置和运转应符合下列要求：

1 油泵应与千斤顶相匹配，油泵流量应满足顶进要求；

2 油泵宜设置在千斤顶附近，油管应顺直、转角少；

3 油泵安装完毕后进行试运转；

4 顶进开始时，应缓慢进行，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。

7.3.6 顶管掘进机的安装应符合下列要求：

1 安装前，顶管掘进机应作保养、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 吊装顶管掘进机须采用专用吊具、吊绳；

3 安放时，顶管掘进机与基坑导轨的接触面须吻合；

4 掘进机就位后，应重新测量基坑导轨的中线、高程，并应测量掘进机前端、后端的中线偏差和高程偏差；

5 开顶前，应对掘进机的电路、油路、水路、气压管道、泥浆管道、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、运转正常；

6 开顶前，应统一调试掘进机的测量导向设备，并须记录原始数据。

7.3.7 中继间的安装、运行、拆除应符合下列要求：

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进力计算确定，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、退油的控制系統；

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。

7.4 始发和接收

7.4.1 顶管洞口的施工应符合下列规定：

1 预留始发和接收洞口的位置应符合设计和施工方案的要求；

2 顶管洞口施工所影响范围内的土层宜进行预加固处理，始发和接收前应检查加固处理后的土体强度和渗漏水情况；

3 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。封门应拆除方便，拆除时应减小对洞门土层的扰动；

4 洞口应设置止水装置，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；顶管结束后，管道与洞口的间隙应及时进行封堵；

5 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；

6 采用钢管做预埋顶管洞口时，钢管外宜加焊止水环；

7 软弱地层，洞口外缘宜设支撑点；

8 富水松散地层宜增加水下贯通措施；

9 高水压富水松散地层施工时宜增加管节止退装置。

7.4.2 软土地区，进洞时应采取以下措施防止顶管机倾斜下沉：

1 基坑导轨前端应尽量接近洞口，缩短顶管机的悬空长度；

2 进、出洞作业应迅速连续不可停顿；

3 宜在洞口内设置支撑顶管机的临时装置。

7.4.3 顶管始发和接收洞口的土体加固应根据地质资料、顶管机

选型、管道直径、埋深和周围环境等情况决定。

7.4.4 顶管始发时，应符合下列规定：

1 出洞前，应降低顶进速度，减小迎面土压力，减轻对接收坑的不利影响；

2 顶管始发时，在顶管机未进入土体前，止水装置启用后应立即填注惰性浆液；

3 接收井内可安装掘进机临时支架，防止掘进机下落；

4 处于地下水较丰富的砂性土层时，应对洞口处土体进行固结处理；

5 出洞后应立即封闭洞口间隙，防止水土流入坑内。

7.4.5 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，并采取措施防止洞口上方的钢板桩下落；

2 工作井的围护结构为沉井工作井时，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 在不稳定土层和高地下水压环境下施工中顶进时，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，应防止封门在水压作业下突然倒塌造成人员伤亡，同时，利用顶管机头直接磨穿顶进封门，确保顶管机进洞的安全。

7.5 管道顶进

7.5.1 顶进过程应符合下列规定：

1 顶进前应对成品管道、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，刃口无斑点，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，并用胶粘剂粘在传力面上，保证均匀传力；

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，承插时外力必须均匀，承插后橡胶圈应不移位、不翻转；

5 顶进双插口接头的玻璃纤维增强塑料夹砂管时，应在顶铁及中继间接触面加设木垫圈；顶进承插式接头的玻璃纤维增强塑料夹砂管时，应在每根管接头处加设木垫圈。

7.5.2 管道顶进时应符合下列要求：

1 顶进速度宜控制在 20mm~50mm/min，出土量宜控制在理论出土量的 98%~100%；

2 工作面压力值应根据顶管机机型确定。

7.5.3 管道顶进中为防止发生机头下沉、机尾上翘的现象，可采取以下措施：

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 宜将管道前 3~5 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，防止或及时封堵顶管始发和接收时的水土流失。

7.5.4 管道顶进时应采取以下抗扭转措施：

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。

7.5.5 加接管段时，主推千斤顶在缩回前应对已顶进的管段与井壁进行临时固定。

7.5.6 当采用中继间技术时，应对中继间进行编组控制，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，其它中继间应保持不动，在所有中继间依次完成作业后，主顶工作站完成该项进循环的最后顶进作业。

7.5.7 顶进过程应连续作业，如遇下列情况之一时，应暂停顶进，及时处理，并应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 顶进力超过管材的允许顶进力；
- 6 油泵、油路发生异常现象；
- 7 管节接缝、中继间渗漏泥水、泥浆；
- 8 地层、邻近建（构）筑物、管线等周围环境的变形量超出控制允许值。

7.5.8 管道贯通后，工作井中的管端应按下列规定处理：

- 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。

7.6 注浆减阻

7.6.1 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。注浆减阻应满足下列要求：

- 1 选择优质的触变泥浆材料，对膨润土造浆率、失水量和动塑比进行取样测试；
- 2 在管道上预设压浆孔，压浆孔的设置要确保顶进时管外壁和土体之间的间隙能形成稳定、连续的泥浆套；

3 膨润土的贮藏及浆液配制、搅拌、水化时间必须按照产品的性能要求进行，使用前必须先进行试验；

4 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；

5 注浆设备和管路必须可靠，应具有足够的耐压和良好的密封性能；

6 长距离顶管线路长，为使全程注浆压力不致相差过大，可每隔 400m 增设压浆泵以增大压力；长距离顶管的布浆与补浆应分别设独立的注浆系统，布浆宜使用低压力、大流量的注浆泵，补浆可使用高压力、小流量的注浆泵。

7.6.2 注浆浆液选择应符合下列要求：

1 触变泥浆可用于粘性土、粉质土和渗透系数不大于 10^{-3}cm/s 的砂性土。渗透系数大于 10^{-5}cm/s 时应另添加化学稳定剂；

2 渗透系数大于或等于 10^{-2}cm/s 的粗砂和砂砾层宜采用高分子化学泥浆；

3 石蜡、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。

7.6.3 触变泥浆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 注浆管分为主管和支管两种，应根据顶管长度和注浆孔位置设置。主管道宜选用直径为 40~50mm 的钢管，支管可选用 25~30mm 的橡胶管。管接头拆卸方便且在工作压力下无渗漏现象；

4 注浆孔的布置：混凝土管每 3~5 管节应设一组注浆孔，钢管的每组注浆孔轴向间距一般为 10~25m；第一组注浆孔靠近顶管机布置，通常在顶管机后连接设置 3~10 组布浆孔；补浆孔

的间距可按式估算：

$$L_m = T \times V \quad (7.6.3)$$

式中： L_m —— 补浆孔间距（m）；
 T —— 减阻浆失效期（d），可取 $T = 6 \sim 10d$ ；
 V —— 每天平均顶进速度（m/d）。

5 注浆孔的布置按管道直径大小确定，每个断面可设置 3~5 个；相邻断面上的注浆孔可平行布置或交错布置；注浆孔宜有排气功能，每个注浆孔宜安装球阀，在顶管机尾部和其他适当位置的注浆孔管道上应设置压力表；

6 每套中继间应单独设注浆孔，中继间的注浆应与中继间启动同步，在运行中连续注浆；

7 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；注浆遇有机械故障、管路堵塞、接头渗漏等情况时，经处理后方可继续顶进。

7.6.4 要达到注浆减阻目的，应满足如下要求：

1 地层和管线之间的环状间隙要足够大，在松散地层不宜小于 20mm；在岩层中环状间隙不宜小于 30mm，并要求在整个施工过程中和整个施工管段都要保持这样的间隙；

2 注浆材料在任何施工阶段都应保持其流动性，不宜通过孔壁漏失到地层中，如有渗漏应及时补充。

7.6.5 采用触变泥浆减阻时，应编制施工设计，包括以下内容：

- 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 贯通后对润滑浆的置换方法。

7.6.6 触变泥浆的配合比，应按照管道周围土层的类别、地下水

条件、膨润土的性质和触变泥浆的技术指标确定。

7.6.7 注浆孔的实际注浆量，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。

7.6.8 同步注浆量宜为机尾空隙的 3~6 倍，沿线补浆量宜为机尾空隙的 3~5 倍。

7.6.9 注浆压力 P 可按公式 7.6.9 进行计算。在注浆过程中，应根据减阻和控制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。为计算方便，在施工现场也可以取 $P=(2\sim3)\gamma H$ 。

$$P_A \leq P \leq P_A + 30 \quad (7.6.9)$$

其中：

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

或存在卸力拱时： $P_A = \gamma_w H_1 + \gamma_s h_0$

$$\text{式中： } h_0 = \frac{D_0 \left[1 + \tan \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]}{2 \tan \varphi};$$

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/m³)；

H_1 ——工作面或卸力拱以上的水柱高度 (m)；

γ_s ——土的重度 (kN/m³)；

H_s ——管道顶部以上覆盖土层的厚度 (m)；

φ ——管道所处土层的内摩擦角 (°)；

h_0 ——卸力拱的高度 (m)；

C ——土的粘聚力 (kPa)。

7.6.10 每套中继间应单独设注浆孔，中继间的注浆应与中继间启动同步，在运行中连续注浆。

7.6.11 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。

7.7 测量与纠偏

7.7.1 顶管施工前，应围绕管道设计中线和基坑建立地面、地下测量控制系统，控制点应设在不易扰动、视线清楚、方便校核的位置，并应采取保护措施。

7.7.2 测量使用的仪器、测具应经过检查校正，精度应符合现行国家标准。

7.7.3 为了满足顶管施工精度要求，在施工中必须对以下参数进行测量：

- 1 顶进方向的垂直偏差；
- 2 顶进方向的水平偏差；
- 3 顶管机机身的转动；
- 4 顶管机的姿态；
- 5 顶进长度。

7.7.4 顶管定向测量宜采用下列方法：

- 1 管道长度小于 50m 时，可采用人工拉线法；
- 2 管道长度小于 300m 时，宜采用激光指向法；
- 3 管道长度超过 300m 时，应在管内设置测站，采用导线法转站测量；
- 4 管道长度超过 500m 时，宜使用自动测量导向装置；
- 5 曲线顶管应采用导线法，宜使用自动测量导向装置。

7.7.5 顶管高程测量宜采用下列方法：

- 1 水准测量，应达到四等水准测量的精度；
- 2 水准仪配合吊钢尺，每次应独立观测三测回，每测回均应变动仪器高度，三测回测得井上和井下水准点的高差应小于 3mm；

3 三角高程测量，应达到四等水准测量的精度。

7.7.6 在安装测量装置时，所用的测量仪器应和工作井的井底和井壁分开。

7.7.7 管道顶进过程中，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。

7.7.8 进入接收井前应提前进行顶管机位置和姿态测量，并根据进口位置提前进行调整。

7.7.9 在软土层中顶进混凝土管时，为防止管节飘移，宜将前 3~5 节管体与顶管机联成一体。

7.7.10 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。

7.7.11 顶管施工的测量应符合下列规定：

1 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，发生偏差时应及时纠正；

2 顶进施工过程中，每次测量前应对井内的测量控制基准点进行复核，发生工作井位移、沉降、变形时应及时对基准点进行调整；

3 管道水平轴线和高程测量应符合下列规定：

- 1)** 出工作井进入土层时，每顶进 500mm，测量不应少于一次；正常顶进时，每顶进 1000mm，测量不应少于一次；
- 2)** 进入接收井前 30m 应增加测量，每顶进 300mm，测量不应少于一次；
- 3)** 纠偏量较大或频繁纠偏时应增加测量次数；
- 4)** 每节管道顶进结束后，必须进行复测，绘制管道顶进轨迹图（含管道高程、方向、顶进力曲线等），并应检查复核；
- 5)** 顶管始发前必须认真测定顶管机头的轴线和标高，并将

测量数据及时反馈进行调整。顶进施工中的原始数据记录必须连续、真实、完整，记录表格填写清楚。

4 距离较长的顶管（大于 300m），宜采用计算机辅助导线法（自动测量导向系统）进行测量；在管道内增设中间测站进行常规人工测量时，宜采用少设测站的长导线法，每次测量均应对中间测站进行复核。

7.7.12 顶管施工的纠偏应符合下列规定：

1 顶管过程中应绘制顶管机水平与高程轨迹图、顶进力变化曲线图、管节编号图，随时掌握顶进方向和趋势；

2 纠偏须在管道推进和刀盘旋转的过程中进行；

3 严禁一次纠偏操作完成纠偏任务，采用小角度纠偏方式，反复、多次进行纠偏操作，使管道逐渐趋近回归；

4 纠偏时开挖面土体应保持稳定；采用挖土纠偏方式时，超挖量应符合地层变形控制和施工设计要求；

5 刀盘式顶管机应有纠正顶管机旋转措施。

7.8 出土和泥浆运输

7.8.1 管内运输应考虑土层的性质、顶管机选型、管内作业空间、每次顶进的出土量、顶进长度等因素，选择合适的运输方法，通常采用矿车输送、泥浆管道输送、渣土管道输送等三种方式。

7.8.2 采用泥浆管道输送出土方式排泥时，应设置泥浆沉淀池。泥浆池的容积根据泥、水分离速度与排土体积等实际需要计算确定，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。

7.8.3 采用泥水平衡顶管系统产生的废弃泥浆必须经过处理才可排放，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。

7.9 防旋转措施

7.9.2 应采用如下措施防止掘进机旋转：

- 1 始发入土时，应放慢顶推速度，减小刀盘切土深度；
- 2 应尽快连接机头管，增大摩擦力矩；
- 3 根据掘进机的旋转趋势，应正向、反向交替旋转刀盘；
- 4 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；
- 5 入洞时可使用防转卡板、防转钢缆或防转翼板等措施阻止掘进机旋转。

7.9.3 使用防转卡板应符合下列规定：

- 1 防转卡板应在掘进机入洞前安装；
- 2 防转卡板应安装在掘进机尾部外壳上；
- 3 防转卡板应紧贴工作井导轨；
- 4 防转卡板进洞前应去除，以防止划伤止水圈胶板。

7.9.4 使用防转钢缆应符合下列规定：

- 1 使用钢缆将掘进机捆绑在工作井导轨上；
- 2 钢缆内应垫有方木；
- 3 钢缆宜采用手拉葫芦拉紧；
- 4 随着掘进机进洞，应逐渐将钢缆后移，掘进机入洞前应将钢缆全部拆除。

7.9.5 使用防转翼板应符合下列规定：

- 1 阻止掘进机进洞后旋转应使用防转翼板；
- 2 宜使用可伸缩式的防转翼板，便于进、出洞作业；
- 3 在砂卵石层中施工时，防转翼板应加厚、缩短。

7.10 施工排水

7.10.1 顶管排水工作仅限于在修建工作井混凝土基础时使用。

7.10.2 地下水可通过以下的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（如：冰冻法）。

7.11 地面沉降控制措施

7.11.1 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。

7.11.2 顶进中对地层变形的控制应符合下列要求：

1 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，不宜采用大角度纠偏，优化顶进的控制参数，使地层变形最小；

2 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 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，并确保管节接口端面完好；

4 应严格限制顶管中的径向超挖、轴向超挖幅度；

5 严格控制出渣量，不可超量出渣，保持开挖量与出土量的平衡；

6 通过控制土压、水压平衡力来控制地面沉降。

7.11.3 地面沉降应满足以下规定：

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应符合国家相关规定或工程设计

要求；

3 当检测数据达到变形限值 70%时，应及时报警并适时启动应急事故处理方案。

7.11.4 在不稳定的土体中顶进，应选择封闭式顶管，不宜采用敞开式顶管。

7.11.5 地面变形控制较严格时，应建立地面变形观测点，通过观测数据的变化调整顶进参数。

7.11.6 封闭式顶管须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：

$$P_a = \gamma H \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (7.11.6-1)$$

3 被动土压力可按下式计算：

$$P_p = \gamma H \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (7.11.6-2)$$

式中： P_a —— 主动土压力（kPa）；

γ —— 容重（加权平均值）；

H —— 管道中线至地面的距离（m）；

φ —— 土的内摩擦角（°）（加权平均值）；

P_p —— 被动土压力（kPa）。

4 增加顶进速度、降低出土速度、向土舱内注浆可以增大土舱压力；

5 降低顶进速度和增加出土速度可以降低土舱压力。

7.12 通风

7.12.1 进入作业的顶管管道，必须确保施工人员安全，管道位

于回填土、淤泥等可能存在有毒有害气体的地层应安装有有毒有害气体检测报警装置；管径小于等于 2m，长度超过 100m 或直径大于等于 2m，长度在 150m 以上的顶管必须采取通风措施。

7.12.2 送风口宜设在距顶管机 12~15m 处。

7.12.3 小管径、长距离顶管宜采用压缩空气通风；短距离顶管（小于 150m）可采用鼓风机通风。

7.12.4 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。

7.12.5 顶进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。

7.12.6 地面空气湿度较高且地面温度又高于地下温度的季节，应采用压缩空气送风，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。

7.12.7 有毒有害气体指标如下：

1 含氧浓度 (O₂): 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 (CH₄): 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%要疏散作业人员，切断电源和火种；

3 一氧化碳浓度 (CO): 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 (H₂S): 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。

7.13 供电

7.13.1 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。

7.13.2 管内供电系统应配备防触电漏电装置。

7.13.3 井内与管内照明应采用 36V 以下的低压防爆灯。

7.13.4 顶管距离超过 800m 时，宜采用调压器配电，或将高压电引进管内，增设变压器进行供电。

7.13.5 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”的控制保护的原则安装施工机具，严禁“一闸”或“一漏电开关”控制和保护多台用电设备。

7.13.6 定期对电气设备、电缆线路进行检查。

7.14 顶后处理

7.14.1 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。

7.14.2 顶进完成后应对破损管材进行修补或更换。

7.14.3 顶进完成后须对管材接缝与注浆孔封闭处理，管缝封闭时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。

7.14.4 顶进完成后须填充管外侧超挖、塌落等原因造成的空隙，并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。

1 注浆应编组进行，可将相邻的二组注浆孔编为一个单元，分别做为注浆孔与排浆孔，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，将原排浆孔做为注浆孔使用，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 24 小时；

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 当存在其它地下管线及地下构筑物时，应根据实际情况控制注浆压力。

7.14.5 顶进完成后管道的接口和内壁应根据管道用途按照相关工程行业标准的要求进行处理。

8 特殊顶管

8.1 一般规定

8.1.1 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 ($400\text{m} < L \leq 1000\text{m}$) 和超长距离 ($L > 1000\text{m}$)。

8.1.2 顶管按管径大小可分为巨口径 ($D \geq 3.6\text{m}$)、大口径 ($2.2\text{m} \leq D < 3.6\text{m}$, 需搭设平台作业)、中口径 ($1.5\text{m} \leq D < 2.2\text{m}$, 人员可进入并完全直立作业)、小口径 ($0.8\text{m} \leq D < 1.5\text{m}$, 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)。

8.1.3 顶管按顶进轨迹可分为直线顶管和曲线顶管。

8.1.4 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。

8.2 超长距离顶管

8.2.1 超长距离顶管中继间的有效行程应不小于 300mm, 宜适当加密中继间设置间距, 中继间液压站油箱容量宜为 3 倍千斤顶满腔容量。

8.2.2 超长距离顶管应配置足够容量的动力电源。当电压降到不能满足正常施工需要时, 应采用高压进线或调压措施。

8.2.3 超长距离顶管顶管机应设置姿态仪, 在管内设置中转测站, 宜使用自动测量定位装置进行定位、导向。

8.2.4 超长距离顶管施工渣土输送宜采用管道输送, 在渣土输送管道的中间宜设置中继泵。

8.2.5 超长距离顶管宜使用摩擦系数较小的减阻泥浆，在注浆主管道上，宜使用减阻泥浆加压泵；应增大注浆主管道的管径。

8.3 微型顶管

8.3.1 微型顶管宜采用泥水平衡式或钻顶法施工，并能在地面进行遥控操作。

8.3.2 应根据管材的允许顶力，确定顶管控制顶力。

8.3.3 微型顶管的顶距宜小于 100m，不应超过 150m。

8.3.4 严禁施工人员进入微口径管道内。

8.3.5 单节管材长度不宜超过 2.0m。

8.4 矩形顶管

8.4.1 矩形顶管适宜于覆土厚度大于矩形顶管机高度的地层中施工。

8.4.2 矩形顶管机应设置姿态纠偏装置、纠转装置、防背土装置。遇土层为砂性土时宜设置加泥装置。

8.4.3 矩形混凝土管节长度宜为 1500mm。制作质量应满足设计规范。管节间宜采用钢承接口连接。

8.4.4 顶管机在工作井内安装的平面及高程偏差应控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内。

8.4.5 顶管机初始顶进时，支座两侧应有控制顶管机偏移的限位导向装置。

8.4.6 初始顶进阶段，顶进速度不宜过快，宜控制在 $10\text{mm}/\text{min}$ 。正常顶进时，速度宜控制在 $20\sim 30\text{mm}/\text{min}$ 。顶管机出加固区时，应注意土压变化，并及时调整各项参数。

8.4.7 顶管机与首三节管节应纵向连接。

8.4.8 顶管施工轴线控制测量应包括同一管节两侧的高程误差。

8.4.9 侧转控制宜采取下列措施：改变刀盘转动方向；使用平衡翼；压浆纠转。

8.4.10 管节防水条粘贴时，直线处和转角处防水条的伸长率应相同。

8.5 曲线顶管

8.5.1 顶进钢筋混凝土管的曲线顶管应符合下列规定：

1 初始顶进时，宜有不小于 20m 长的直线顶进段，然后逐渐过渡到曲线段；

2 相邻两管节之间的转角 α 宜小于 0.3° ；

3 在估算曲线顶管的顶进力时，应在直线顶管顶进力计算的基础上，根据曲率半径增加顶进力附加系数 K 值， K 值可按表 8.5.1 选取。

表 8.5.1 曲线顶管顶进力附加系数 K 值

ρ	$300 D_1$	$250 D_1$	$200 D_1$	$150 D_1$	$100 D_1$
K	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3

注： ρ ——曲率半径（m）， D_1 ——管道外径。

8.5.2 焊接钢管应采取合适的技术措施方可用于曲线顶管，曲率半径宜大于 $1800 D_1$ 。

8.5.3 相邻两管节之间的转角大于 0.5° 时，应使用具有节间纠偏装置的多节顶管机。

8.5.4 顶管机尾部钢套环及管材钢承口的外伸宽度应不小于 140mm。

8.5.5 管材的允许顶力与曲率变化有关，应根据实际情况调整。

8.5.6 曲线顶管的管材应根据曲率半径的变化选用较短的管节。

8.5.7 曲率半径较小时，宜选用厚度较大、弹性模量较小的木垫圈，木垫圈厚度应根据曲率半径变化调正，应不小于 20mm，木

垫圈宜选用无节疤松木板。

8.5.8 曲线顶管注浆时，应通过压力表或注浆阀门的细节表现判断曲线段管外壁浆液的形成情况，并及时补浆。

8.5.9 中继间应具备调整合力中心的能力，确保中继间转角不扩大。

8.5.10 设有中继间的曲线顶管最小管径不宜小于 1400mm。

8.5.11 曲线顶管在软土地区施工时，应防止管道向曲线外侧位移失控，需增大测量频率。

8.5.12 曲线顶管的施工测量采用以下原则：

- 1 曲线顶管时宜优先采用自动测量系统；
- 2 应在管内设置中间测站，中间测站数不宜超过 4 座；
- 3 为防止偏差过大，在曲线段，每顶进 1 节管宜进行不小于 1 次的测量定位；
- 4 应定时对导线基点复测，宜每隔 24 小时复测 1 次。

8.5.13 曲线顶管最小曲率半径可按下式计算：

$$\tan \alpha_1 = l / \rho_{\min} = \Delta S / D_0 \quad (8.5.13)$$

式中： α_1 ——曲线顶管时，相邻管节之间接口的控制允许转角（°），一般取管节接口最大允许转角的 1/2，F 型钢承口的管节宜小于 0.3°；

l ——预制管节长度（m）；

ρ_{\min} ——最小曲率半径（m）；

ΔS ——相邻管节之间接口允许的最大间隙与最小间隙之差（m），其值与不同管节接口形式的控制允许转角和衬垫弹性模量有关。

8.6 垂直顶升

8.6.1 垂直顶升的最大顶力估算按式（8.6.1）计算。

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (8.6.1)$$

式中： P ——最大顶力（kN）；

P_1 ——顶盖处水压力值，等于顶盖处水压力乘以压力面积（kN）；

P_2 ——顶盖处土的破土力值（kN），根据顶盖的面积取值，在粘性土中可取 500kN/m^2 ，砂性土可取 800kN/m^2 ；

P_3 ——顶升管壁与土的摩阻力值。取整根竖管的外壁摩阻力（kN）；

P_4 ——管节重量，取整根竖管重量（kN）。

8.6.2 垂直顶升施工应遵循如下原则：

1 验算反力架管段下部土体允许承载力确定反力架长度和面积；

2 顶升帽应设置与外部相通的闸阀和气孔；

3 在顶升前应先安装止水装置；

4 顶升垂直度宜采用铅锤方式控制；

5 在安装管节或加垫块时应有保险装置锁住顶升管节；

6 多根垂直顶升顺序应由远工作井向近工作井方向作业。

9 监测与周边环境控制

9.1 一般规定

9.1.1 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、周边环境进行监测。

9.1.2 出现以下情况时，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 下穿或紧邻建筑物和已建建（构）筑物（如大型管道、地铁隧道、桥梁、驳岸等）；
- 2 文物保护单位建（构）筑物在顶管工程施工影响范围内；
- 3 其它周边相关业主单位提出相应需求时。

9.1.3 顶管工程设计单位应对施工监测提出监测技术要求，包括监测项目、监测频率、监测报警值等。委托单位宜提供下列资料：岩土工程勘察成果文件、设计文件、工程施工影响范围内地下管线图及地形图、工程施工方案、周边建（构）筑物状况调查报告等。

9.1.4 监测频率与周期应符合以下要求：

1 工作井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1周前开始，直至施工至回填土结束为止。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、周边环境动态变化为前提，采用定时监测，必要时进行跟踪监测；

3 施工中支护结构、周围土体和周边环境的监测频率应按照

《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120)、《建筑基坑工程监测技术规范》(GB50497)及《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911相关内容执行。

9.1.5 监测工作应遵循以下流程:

- 1 现场踏勘、收集相关资料;
- 2 编制、审查及确定监测方案;
- 3 监测基准点、工作基点和监测点等布设、验收及保护;
- 4 监测数据采集,现场巡查;
- 5 结合现场巡查情况及相关资料,处理和分析监测数据;
- 6 监测工作过程中提交监测日报、警情快报、阶段性监测报告等;
- 7 监测工作结束后,提交监测工作总结报告及相应的成果资料,并归档。

9.1.6 监测方案宜根据设计文件要求、岩土工程勘察报告、周边环境情况、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它要求,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、断面布置图;
- 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。

9.2 监测范围及监测等级划分

9.2.1 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，工程影响分区包括主要影响区和次要影响区。

9.2.2 工作井支护工程影响分区宜按表 9.2.2 的规定进行划分。

表 9.2.2 工作井支护工程影响分区

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 —工作井设计开挖深度(m)。

9.2.3 顶管工程影响分区宜按表 9.2.3 的规定进行划分。

表 9.2.3 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
次要影响区	管道地表投影区域边线 $\sim 1H_1$ 范围内(管道中心埋深小于或等于 20m 时)； 管道地表投影区域边线 $\sim 3D$ 范围内(管道中心埋深大于 20m 时)

注： H_1 —管道中心埋深(m)， D —管道外径(m)。

9.2.4 当遇到下列情况时，应调整监测范围：

1 采用地下水降水控制措施时，应根据降水影响范围和预计的地面沉降大小调整监测范围；

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，宜根据工程实际情况增大监测范围。

9.2.5 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、工作井深度等因素，按表 9.2.5 采用工作井结构本体的安全等级。

表 9.2.5 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

9.2.6 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按表 9.2.6 确定。

表 9.2.6 顶管工程结构本体安全等级

本体结构安全等级		等级划分标准
顶管工程	一级	掘进断面遇到古河道中软塑状粘性土、粘土与粉性土、粉砂相间成层土的顶管； 顶部埋深小于等于 $1D$ 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 $1\sim 1.5D$ 的顶管；顶管始发与接收区段
	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本体结构安全等级，从一级开始，以最先满足为准；
2 D 为顶管管片结构的外径(m)；
3 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。

9.2.7 周边环境保护等级可根据周边环境条件按表 9.2.7 划分为三个等级。

表 9.2.7 周边环境保护等级划分

周边环境保护等级	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；一般环境条件，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。

9.2.8 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、周边环境保护等级中的最高安全等级确定。

9.3 工作井工程支护结构及周围土体监测

9.3.1 工作井工程支护结构、周围土体监测对象宜包括以下内容：

- 1 围护墙（桩）、围檩、支撑等支护结构变形及内力；
- 2 工作井影响范围内土体变形、地下水分布及变化等。

9.3.2 工作井工程施工支护结构和周围土体监测项目的报警值应根据监测等级、设计参数、支护结构特点、场地条件等因素确定，如无具体的报警值时，可按表 9.3.3-1 和表 9.3.3-2 确定。

表 9.3.3-1 工作井支护结构和周围土体变形监测项目的监测报警值

	一级		二级		三级	
	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)
围护墙（桩） 顶端竖向位移 和水平位移	2~3	0.14%H	3~4	0.3%H	4~5	0.4%H
围护墙（桩）						

深层水平位移						
地表竖向位移	2~3	0.1%H	3~4	0.2%H	4~5	0.4%H
地下水位	300	500	500	1000	500	1000

注：H 为工作井设计深度(m)。

表 9.3.3-2 工作井支护结构和周围土体力学监测项目的监测报警值

	一级	二级	三级
孔隙水压力 (kPa)	(60%~70%) <i>f</i>	(70%~80%) <i>f</i>	
土压力 (kPa)			
支撑轴力 (kN)	(80%) <i>f</i>		
桩、墙、柱应力 (MPa)	(80%) <i>f</i>		

注：1 *f* 为荷载设计值；

2 支撑的受力小于预应力时，应综合分析支撑的工作状态，必要时也应报警。

9.4 顶管工程结构及周围土体监测

9.4.1 顶管工程顶进施工过程中监测应包含以下内容：

- 1 顶管结构管段变形及内力；
- 2 工作井影响范围内土体变形、地下水分布及变化等。

9.4.2 顶管工程顶进施工过程中现场巡查应包括顶管工作井及顶管沿线状况的巡查。

9.4.3 顶管工程顶进施工过程中的周边地表竖向位移监测点应符合下列要求：

1 监测点应沿顶管轴线上方地表布设，监测点间距宜为 5m；顶管始发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；

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；

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。

9.4.4 结构变形及管段应力监测应根据管材、管径、断面及设计文件要求布置监测点。

9.4.5 监测基准点及周围土体监测点应在施工前布置完成,并测量初始值;管段结构监测点应在现场具备布点条件时及时布置,并测量初始值,或根据设计要求预埋传感器。顶管井接头施工完成后,且变形趋于收敛时结束监测工作。

9.4.6 地表竖向位移的监测频率宜按表 9.4.6 确定。

表 9.4.6 顶管工程施工监测频率

施工工况	监测频率
顶管顶进施工	2 次/1d
其他工况	1 次/1d~1 次/5d

注: 1、顶管结构变形、管段应力、土体深层水平位移、水位等项目的监测频率应根据工程情况及设计要求确定;

2、顶管始发和接收前后应提高监测频率。

9.4.7 顶管工程顶进施工过程中监测项目报警值应根据设计要求确定,当无具体要求时,地表竖向位移监测报警值按表 9.4.7 确定。

表 9.4.7 顶管工程地表竖向位移监测项目报警值

监测项目	监测等级					
	一级		二级		三级	
	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
地表竖向 位移	+10~ -10	3	+10~ -20	4	+10~ -30	5

9.4.8 监测数据应结合顶管推进参数、环境巡查情况及顶管断面地质条件进行综合分析。

9.5 周边环境监测

9.5.1 顶管工程周边环境监测应包括主要和次要影响区范围内的建（构）筑物、管线、高速公路与城市道路、桥梁、既有铁路、既有隧道等的监测。

9.5.2 周边环境监测项目及要求应根据周边环境保护等级、周边环境所处工程影响分区、地质条件复杂程度，并结合设计及施工工况的要求等因素综合确定。周边环境监测点应布设在反映监测对象变形特征的关键部位和受施工影响的敏感部位。周边环境监测项目应按表 9.5.2 确定。

表 9.5.2 周边环境监测项目（括号未打印出）

序号	监测对象	监测项目	工程影响分区	
			主要影响区	次要影响区
1	建（构）筑物	竖向位移	√	√
2		水平位移	○	○
3		倾斜	○	○
4		裂缝	√	○
5	地下管线	竖向位移	√	√
6		水平位移	○	○
7	高速公路与城市道路	路面路基竖向位移	√	√
8		挡墙竖向位移	√	○
9		挡墙倾斜	○	○
10	桥梁	墩台竖向位移	√	√
11		墩台差异沉降	√	√
12		墩柱倾斜	√	○
13		梁板应力	○	○
14		裂缝	√	○
15	既有铁路	路基竖向位移	√	√
16	既有隧道	隧道结构竖向位移	√	√
17		隧道结构净空收敛	○	○
18		隧道结构水平位移	○	○
19		结构变形缝差异沉降	√	√

20		裂缝	√	○
----	--	----	---	---

注： 1 √-应测项目，○-选测项目。

2 主要影响区的超高压输电铁塔等高耸建（构）筑物还应进行倾斜监测。

9.5.3 当工程周边影响范围内存在特殊保护要求的建（构）筑物及设施时，应与相关管理部门共同确定监测项目及要求。

9.5.4 建（构）筑物监测点布设可参照《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑变形监测规范》（JGJ 8-2016）相关内容执行。

9.5.5 地下管线监测点、高速公路与城市道路、桥梁、既有铁路和隧道监测点的布设可参照《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 相关内容执行。

9.5.6 周边环境的巡查内容可参照表 9.5.6。

表 9.5.6 周边环境巡查内容

分类	巡查内容
建（构）筑物	建筑物、桥梁梁体或墩台、既有轨道交通结构、既有隧道结构等的裂缝位置、数量和宽度，混凝土剥落位置、大小及数量，新旧建筑物连接处的错台、设施的使用状况等情况
路面或地表	路面或地表的裂缝、沉陷、隆起、冒浆等的位置、数量、范围等情况
地下构筑物	建筑物地下室的积水、渗水、管道的漏水等情况
地下管线	地下管线的漏水、漏气等情况
河流湖泊	河流、湖泊的水位变化情况，水面出现气泡、漩涡及其位置、范围等情况，堤岸裂缝位置、宽度、深度、长度等情况
邻近施工	工程周边土方开挖、堆载、桩基施工等可能影响工程安全的生产活动

9.5.7 基准点、周边环境监测点、监测元器件的完好情况及保护情况应定期巡查。

9.5.8 施工阶段周边环境监测满足下列条件之一时，可结束监测工作：

1 工程主体施工监测结束后，且周边环境变形趋于稳定时，

可结束监测工作；

2 满足设计要求结束监测工作的条件。

9.5.9 建（构）筑物监测项目报警值的确定应符合下列规定：

1 建（构）筑物报警值可参考有关管理部门的要求；

2 建（构）筑物监测项目报警值应在调查分析建（构）筑物使用功能、建筑规模、修建年代、结构形式、基础类型、地质条件等基础上，结合其与工程的空间位置关系、已有竖向位移、差异沉降、倾斜或房屋检测报告进行确定，并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定；

3 对环境保护等级为一级、二级的建（构）筑物，宜通过结构检测、计算分析和安全评估等确定建（构）筑物的竖向位移、差异沉降和倾斜报警值。

9.5.10 地下管线监测项目报警值的确定应符合下列规定：

1 报警值应在调查分析管线功能、材质、工作压力、管径、接口形式、埋置深度、铺设方法、铺设年代等基础上，结合其与工程的空间位置关系和工程经验进行确定；

2 对风险等级较高的地下管线，宜通过专项调查、计算分析和安全性评估确定其沉降和差异沉降控制值，并应满足权属单位的相关要求。

9.5.11 高速公路与城市道路监测项目报警值的确定应符合下列规定：

1 高速公路与城市道路监测项目报警值应在调查分析道路等级、路基路面材料、道路现状情况和养护周期的基础上，结合其与工程的空间位置关系进行确定，并应符合现行行业标准《公路沥青路面养护技术规范》JTJ 073.2和《公路水泥混凝土路面养护技术规范》JTJ 073.1的有关规定；

2 对保护等级较高或有特殊要求的高速公路与城市道路，宜通过现场探测和安全评估等确定其竖向位移报警值。

9.5.12 桥梁监测项目报警值的确定应符合下列规定：

1 桥梁监测项目报警值应在调查分析桥梁规模、结构形式、基础类型、建筑材料、养护情况等基础上，结合其与工程的空间位置关系、已有竖向位移、差异沉降和倾斜以及工程经验进行确定，并应符合现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99、《公路桥梁承载能力检测评定技术规程》JTG/TJ21 的有关规定；

2 宜通过结构检测、计算分析和安全评估确定桥梁的竖向位移、差异沉降和倾斜报警值。

9.5.13 既有城市轨道交通线及既有铁路监测项目报警值的确定应符合下列规定：

1 监测项目报警值应在调查分析地质条件、线路结构形式、轨道结构形式、线路现状情况等的基础上，结合其与工程的空间位置关系进行必要的结构检测、计算分析和安全评估后确定；

2 路线结构及轨道几何形位的监测项目报警值应符合现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 和现行行业标准《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的有关规定，并应满足线路维修的要求。

9.5.14 当无地方工程经验时，对于保护等级较低且无特殊要求的建（构）筑物、桥梁、地下管线、道路、既有轨道交通线、既有铁路等监测项目预警值可按附录 A 确定。

9.5.15 既有公路隧道、铁路隧道监测项目报警值尚应根据产权单位的要求确定。

10 顶管工程质量验收

10.1 一般规定

10.1.1 顶管工程施工质量的控制、管理与检查应贯穿整个施工过程，应建立健全有效的施工质量保证体系，对每个施工环节严格把关，确保施工质量的稳定性。

10.1.2 顶管工程施工质量验收应在施工单位自检基础上，按验收批、分项工程、分部工程、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地方验收规范的规定；

2 工程施工质量应符合工程勘察、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。

10.1.3 单位工程、分部工程、分项工程和验收批的划分可根据工程规模及施工合同确定，质量验收记录应按相关质量验收规定填写。

10.1.4 验收批质量验收应符合下列规定：

1 主控项目的质量经抽样检验合格；

2 一般项目中的实例（允许偏差）项目抽样检验的合格率应

达到 80%，且超差点最大偏差值应在允许偏差值的 1.5 倍范围内；

3 主要工程材料的进场验收和复验合格，试块、试件检验合格；

4 主要工程材料的质量保证资料以及相关试验检测资料齐全、正确；具有完整的施工操作依据和质量检查记录。

10.1.5 分项工程质量验收应符合下列规定：

1 分项工程所含的验收批的质量验收全部合格；

2 分项工程所含的验收批的质量验收记录应完整、正确；有关质量保证资料和试验检测资料应齐全、正确。

10.1.6 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、管道设备安装调试、水压试验等的检验和抽样检测结果应符合《给水排水管道工程施工及验收规范》GB50268 的规定。

10.1.7 单位工程质量验收应符合下列规定：

1 单位工程所含分部工程质量验收全部合格；

2 质量控制资料应完整；

3 单位工程所含分部工程有关安全及使用功能的检测资料应完整；

4 外观质量验收应符合要求。

10.1.8 顶管施工工程质量验收不合格时，应按下列规定处理：

1 经返工重做或更换材料、构件、管节、管件、管道设备等的分项工程（验收批），应重新进行验收；

2 经有相应资质的检测单位检测鉴定能够达到设计要求的验收批，应予以验收；

3 经有相应资质的检测单位检测鉴定达不到设计要求，但经

原设计单位验算认可，能够满足结构安全和使用功能要求的验收批，可予以验收；

4 经返修或加固处理的分项工程、分部工程，改变外形尺寸但仍能满足结构安全和使用功能要求，可按技术处理方案文件和协商文件进行验收。

10.1.9 通过返修或加固处理仍不能满足结构安全或使用功能要求的分部工程、单位工程，不得通过验收。

10.1.10 所有顶管设备必须经检验合格后方可进入施工现场，并进行单机、整机联动调试。

10.2 工程质量验收

10.2.1 工作井的围护结构、井内结构、顶管管道施工质量验收标准应按现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202、《给水排水构筑物工程施工及验收规范》GB50141 及《给水排水管道工程施工及验收规范》GB50268 的相关规定执行。

10.2.2 工作井应符合下列规定：

1 主控项目

- 1) 工程原材料、成品、半成品的产品质量应符合国家相关标准规定和设计要求；
- 2) 工作井结构的强度、刚度和尺寸应满足设计要求，结构无滴漏和线流现象；
- 3) 混凝土结构的抗压强度等级、抗渗等级符合设计要求；

2 一般项目

- 1) 结构无明显渗水和水珠现象；
- 2) 顶管顶进工作井的后背墙应坚实、平整；后座与井壁后背墙联系紧密；
- 3) 两导轨应顺直、平行、等高；导轨与基座连接应牢固可靠，不得在使用中产生位移；

4) 工作井施工的允许偏差应符合表 10.2.2 的规定。

表 10.2.2 工作井施工的允许偏差

检查项目			允许偏差 (mm)	检查数量		检查方法	
				范围	点数		
1	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
2	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				
3	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
4	井底板高程		±30	每座	4点	用水准仪测 量	
5	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）。

10.2.3 顶管管道应符合下列规定：

1 主控项目

- 1) 管节及附件等工程材料的产品质量应符合国家有关标准的规定和设计要求；
- 2) 接口橡胶圈安装位置正确，无位移、脱落现象；钢管的接口焊接应符合《给水排水管道工程施工及验收规范》GB50268 第 5 章的相关规定，焊缝无损检验符合设计要求；
- 3) 无压管道的管底坡度无明显反坡现象；曲线顶管的实际曲率半径符合设计要求；
- 4) 管道接口端部应无破损、顶裂现象，接口处无滴漏。

2 一般项目

- 1) 管道内应线形平顺、无突变、变形现象；一般缺陷部位应修补密实、表面光洁；管道无明显渗水和水珠现象；
- 2) 管道与工作井出、进洞口的间隙连接牢固，洞口无渗漏水；
- 3) 钢管防腐层及焊缝处的外防腐层质量验收合格；
- 4) 有内防腐层的钢筋混凝土管道，防腐层应完整、附着紧密；
- 5) 管道内应清洁，无杂物、油污；
- 6) 顶进贯通后的管道允许偏差应符合表 10.2.3 的规定。

3 用于输水的顶管工程完成后应按照《给水排水管道工程施工及验收规范》GB50268 要求进行管道功能性试验，用于其他目的的顶管工程完成后应根据其使用功能按照相应标准规范检查其防水抗渗性能。

表 10.2.3 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、球墨铸铁管	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	$D_0 < 1500$	+30, -40			+60, -60	用水准仪或水平仪测量
			$D_0 \geq 1500$	+40, -50			+80, -80	
		300m≤顶进长度<1000m	+60, -80	+100, -100			用水准仪测量	

		顶进长度 $\geq 1000\text{m}$		+80, -100	+150, -100, -L/10		
3	曲线 顶管 水平 轴线	$R \leq 150D_0$	水平曲线	150			用经纬 仪测量
			竖曲线	150			
			复合曲线	200			
		$R > 150D_0$	水平曲线	150			
			竖曲线	150			
			复合曲线	150			
4	曲线 顶管 内底 高程	$R \leq 150D_0$	水平曲线	+100, -150			用水准 仪测量
			竖曲线	+150, -200			
			复合曲线	± 200			
		$R > 150D_0$	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				
		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	$\leq \Delta S$				用尺测 量	
7	钢管、玻璃纤维增强塑料夹砂 管管道环向变形	$\leq 0.03D_0$					
8	对顶时两端错口	50					

注：(1) L ——顶进长度 (m)； D_1 ——管道外径 (mm)； ΔS ——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 ——曲线顶管的设计曲率半径 (mm)。(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 $D_0 \leq 1600$ 时，应满足 $R_1 \geq 2080\text{m}$ ；当

$D_0 > 1600$ 时，应满足 $R_1 \geq 1260 D_0$ 。

附录 A 顶管工程施工监测控制标准

序号	监测项目	变形特征	最大变形允许值		变化速率 控制值 /mm/d	备注
1	刚性管线	竖向变形/mm	10		2	刚性管线指供水、燃气、雨污水等管线；柔性管线指电缆、通讯等管线； L 为相邻两测点的水平距离
		差异沉降	0.25% L			
	柔性管线	竖向变形/mm	10~30		3	
2	地表	竖向变形/mm	(1) +10~-10		(1) 3	(1)、(2)、(3) 分别为一、二、三监测等级。+为隆起变形，-为沉降
			(2) +10~-20		(2) 4	
			(3) +10~-30		(3) 5	
3	路基沉降	高速公路、城市主干道 /mm	10~30		3	
		一般城市道路/mm	20~40		3	
4	建（构）筑物沉降控制标准	竖向变形/mm	10~30		2~3	
5	建筑物沉降差控制标准（地基	砌体承重结构基础的局部倾斜	0.002	0.003		(1): 中、低压缩性土 (2): 高压缩性土
			(1)	(2)		

	变形)	工 民 建 柱 间 沉 降 差	框架结构	0.002L (1)	0.003L (2)		
			砖石墙填充的边 排柱	0.007L (1)	0.001L (2)		
6	多层和高层建筑物的基础 倾斜控制标准		H≤24	0.004			H为建筑物高度,单位:m 其他建筑基础变形允许值参照《建筑 地基基础设计规范》(GB 50007-2011) 相关条文。
			24<H≤60	0.003			
			60<H≤100	0.002			
			H>100	0.0015			
7	桥梁		桥梁墩台允许沉降控制 值/mm	15 (1)、25 (2) 35 (3)			(1): 铁路桥梁、城市高架桥、立交 桥主桥连续箱梁 (2): 立交桥主桥简支 T 梁、异形板、 立交桥匝道桥 (3): 人行天桥及其他一般桥梁
			纵向相邻桥梁墩台间差 异沉降控制值/mm	2 (1)、2 (2) 3 (3)			
			横向相邻桥梁墩台间差 异沉降控制值/mm	3 (1)、3 (2) 4 (3)			
			承台水平位移控制值 /mm	3 (1)、3 (2) 4 (3)			

8	既有铁路	路基沉降/mm	10~20 (1) 20~30 (2)	1.5	(1): 整体道床 (2): 碎石道床
9	既有隧道	隧道结构允许沉降控制值/mm	5 (1)、10 (2) 20 (3)	1	(1): 地下区间轨道岔区 (2): 地下车站、地下区间其他部位、 地面车站 (3): 通风竖井、风道、联络通道、 地下车站出入口
		隧道结构允许上浮控制值/mm	5 (1)、5 (2) 5 (3)	1	
		隧道结构允许水平位移控制值/mm	3 (1)、4 (2) 5 (3)	1	
		差异沉降控制值/mm	1 (1)、2 (2) 4 (3)	1	
10	驳岸(堤岸)	允许沉降控制值/mm	10~30	3	

注：周边环境监测报警值除执行本规程外，尚应符合国家现行的相关标准规范的规定。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，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

- 《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009年版）
- 《给水排水构筑物工程施工及验收规范》GB 50141-2008
- 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202-2002
- 《给排水管道工程施工及验收规范》GB 50268-2008
- 《堤防工程设计规范》GB 50286-2013
- 《碳素结构钢》GB/T700-2006
- 《混凝土和钢筋混凝土排水管》GB/T11836-2009
- 《给水排水工程顶管技术规程》CECS246-2008
- 《市政工程勘察规范》CJJ 56-2012
- 《顶管工程施工规程》DG/TJ08-2049-2008
- 《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2011)
- 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911-2013
- 《城市轨道交通工程施工监测技术规范》(DG/TJ 08-2224-2017)

福建省工程建设地方标准

非开挖顶管技术规程

DBJ/T 13-309-2019

条文说明

制 订 说 明

《非开挖顶管技术规程》DBJ/T 13-309-2019，经福建省住房和城乡建设厅 2019 年 12 月 10 日闽建科〔2019〕14 号通知批准发布，并经住房和城乡建设部备案，备案号为 J14952-2019。

本标准是由编制组在总结福建省公共建筑节能设计的相关实践经验和研究成果，借鉴国内外先进经验，结合福建省气候特点，通过反复讨论、协调、修改和专家审查后编制而成。

为了便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《非开挖顶管技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行说明。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则.....	93
3	基本规定.....	94
4	顶管工程勘察.....	95
4.1	一般规定.....	95
4.2	工程环境勘察.....	96
4.3	工程地质勘察.....	96
4.4	勘探孔的布置.....	96
4.5	勘察报告.....	97
5	顶管管材及管件连接构造.....	98
5.1	一般规定.....	98
5.2	钢管.....	98
5.3	钢筋混凝土管.....	98
5.4	玻璃纤维增强塑料夹砂管.....	99
6	顶管工程设计.....	100
6.2	工程选线.....	100
6.4	顶管管道结构设计.....	100
6.5	顶进井和接收井设计.....	102
6.6	顶进力估算.....	103
6.7	后背墙设计.....	103
6.8	中继间设计.....	103
7	顶管工程施工.....	104
7.2	顶管施工组织设计.....	104

7.3	顶进设备的安装.....	105
7.4	顶管始发和接收.....	105
7.5	管道顶进.....	106
7.6	注浆减阻.....	106
7.7	测量与纠偏.....	108
7.8	弃土和泥浆运输.....	109
7.10	施工排水.....	109
7.11	地面沉降控制措施.....	110
7.14	顶后处理.....	110
8	特殊顶管.....	111
8.1	一般规定.....	111
8.2	超长距离顶管.....	112
8.3	微型顶管.....	112
8.4	矩形顶管.....	112
8.5	曲线顶管.....	113
8.6	垂直顶升.....	114
9	监测与周边环境控制.....	115
9.1	一般规定.....	115
9.2	监测范围及监测等级划分.....	116
9.4	顶管工程结构及周围土体监测.....	117
9.5	周边环境监测.....	118
10	顶管工程质量验收.....	121
10.1	一般规定.....	121

1 总则

1.0.1 顶管技术在福建省内使用已相当广泛，施工技术也日趋成熟，但目前尚无顶管施工和验收规范对本地区顶管施工给予统一的指导和明确的质量目标，因此制订本规程是非常迫切及需要的。

3 基本规定

3.0.1 地下障碍物对顶管工程较大影响，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，前期未查明的地下障碍物可能导致顶管工程的失败，故本规程建议加强对地下可能存在的障碍物宜加强勘察强度。

3.0.5 对于地下水位以下的较长距离顶管工程，本规程建议优先采用封闭式机械顶管，可以提供工程的安全性和施工效率。

3.0.8 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的会产生地面的隆起或沉降，影响周围的建筑物、管线，所以对施工引起的地表变形和对周边环境的影响进行实时监测并采取相应的安全保护措施，制定应急预案；在油气、自来水燃气等管道周边作业时，要制定专项安全方案并进行评估。

4 顶管工程勘察

4.1 一般规定

4.1.1 初步勘察应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，调查沿线矿藏分布及开采和采空情况；

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应符合下列要求：

1 初步勘察采取土试样和进行原位测试的勘探点应给合地质单元、地层结构和土的工程性质布置，其数量可占勘探点总数的 $1/4\sim 1/2$ ；

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（混凝土、钢、铸铁及橡胶）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应符合下列要求：

1 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；

2 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）。

4.2 工程环境勘察

4.2.1 本条为强制性条文，规定了工程环境勘察的范围和基本内容。

4.2.2~4.2.3 工程环境勘察分为地面环境勘察和地下环境勘察。条文分别阐述了地面环境勘察和地下环境勘察的工作要求。

4.3 工程地质勘察

4.3.2~4.3.3 规定了岩土勘察和地下水勘察的基本内容。

4.4 勘探孔的布置

4.4.1 勘探孔的布孔要求依据以下几点制定：

本规程规定的场地类别是引自中华人民共和国国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 的规定。《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 第 3.1.2 条根据场地的复杂程度，可按下列规定分为三个场地等级：

- 1 符合下列条件之一者为一级场地（复杂场地）：
 - 1) 对建筑抗震危险的地段；
 - 2) 不良地质作用强烈发育；
 - 3) 地质环境已经或可能受到强烈破坏；
 - 4) 地形地貌复杂；
 - 5) 有影响工程的多层地下水、岩溶裂隙水或其他水文地质条件复杂，需要专门研究的场地。
- 2 符合下列条件之一者为二级场地（中等复杂场地）：
 - 1) 对建筑抗震不利的地段；

- 2) 不良地质作用一般发育;
 - 3) 地质环境已经或可能受到一般破坏;
 - 4) 地形地貌复杂;
 - 5) 基础位于地下水位以下的场地。
- 3 符合下列条件者为三级场地 (简单场地):
- 1) 抗震设防烈度等于或小于 6 度, 或对建筑抗震有利的地段;
 - 2) 不良地质作用不发育;
 - 3) 地质环境基本未受破坏;
 - 4) 地形地貌简单;
 - 5) 地下水对工程无影响。

参照《给水排水工程顶管技术规程》(CECS246-2008) 规定顶管勘探孔布置在轴线两侧, 不应布置在轴线上, 以避免对顶管的不利影响。现行行业标准《市政工程勘察规范》(CJJ56-94) 虽规定: “勘探孔应沿管道中线布置, 当条件不允许时, 勘探孔移位不宜超出预计开挖工作井范围”, 但此规定中所指为采用沟埋方式施工的管道, 不适宜顶管工程勘察。如在勘察条件有限的情况下, 必须将勘探孔布置在顶管轴线上, 则应参照《市政勘察规范 CJJ56-94 2.0.11 条款》对勘探孔进行封孔处理。

4.4.2 勘探孔的深度要求参考了《市政工程勘察规范》CJJ56 第 8.3.3 条和第 8.4.3 条的规定。

4.5 勘察报告

4.5.1~4.5.6 勘察报告内容应根据任务要求, 勘察区域的地理、地质特征和工程地质环境特征, 以及顶管工程项目的具体情况确定。为了便于工作, 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。

5 顶管管材及管件连接构造

5.1 一般规定

5.1.2 给水工程常用钢管，排水工程及电力套管常用根据混凝土管，玻璃纤维增强塑料夹砂管在给排水工程中已普遍使用，钢筒混凝土管和铸铁管在各类顶管工程中也有应用，各地可根据具体情况选用。

5.2 钢管

5.2.3 表 5.2.3 来源于日本的防腐蚀学会资料。

5.2.7 钢顶管采用熔结环氧涂层的 3PE 外防腐技术在大量钢顶管工程实践中效果较好，耐摩擦性能优异；鉴于钢管顶进过程可能发生外防腐层损伤及维修难度，建议钢顶管选应阴极保护技术。

5.2.8 钢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。

5.3 钢筋混凝土管

5.3.2 为确保钢筋混凝土顶管在顶进时不发生碎裂，要求混凝土强度等级不应低于 C50。

5.3.8 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《顶进施工法常用钢筋混凝土排水管》JC/T640 接口改称钢承口式、双插口式、企口式和平口式。本规程不推荐使用企口式和平口式。

5.4 玻璃纤维增强塑料夹砂管

5.4.4 管节越长纠偏越困难、接头偏转角越大，越容易造成漏水，所以管节不宜过长，一般控制在 6m 之内。

6 顶管工程设计

6.2 工程选线

6.2.1 规定了顶管工程选线原则：

5 抗浮和航道要求在设计中仍要考虑；

7 根据以往工程经验，在这种情况下极易发生地基不均匀沉降引起的管道错位和地层塌陷事故，如管道确需穿越该类地层，则应对地层进行加固处理。

6.2.2 规定管道上覆土层厚度主要是为了减少地面沉降或隆起。另外，也有管道和施工安全方面考虑。本规程在参考 CECS 246-2008 《给水排水工程顶管技术规程》的基础上，进一步明确了：

1 顶管穿越江河时管道应布设河流冲刷线以下；

2 穿越铁路、公路、堤防或其他设施时，管道上部覆土厚度应遵守铁路、公路、堤防或其他设施的相关安全规定。

6.2.3 本条参考了《给水排水工程顶管技术规程》CECS 246-2008 的相关规定。

6.4 顶管管道结构设计

6.4.6 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 4800N/m^2 ，密实砂土 C 可取 4400N/m^2 。干燥的松砂时 C 取 0。取 $B_i = D_1 [1 + tg(45^\circ - \phi/2)]$ 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。

6.4.7 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。

6.4.10 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。

6.4.11 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。

6.4.14 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。

6.5 顶进井和接收井设计

6.5.4 随着越来越大的顶管口径和越来越复杂的周边环境条件，顶进井和接收井也呈现挖深越来越深和周边地层变形控制要求越来越严格的趋势，故除了传统的沉井法外，已经在实际工程中采用了排桩支护的明挖顺作井、逆作井和喷锚支护的逆作竖井等结构形式。

6.5.5 土质比较软或地下水比较丰富的地区，可优先采用沉井作为顶进井或接收井，但沉井设计时除了考虑井结构本身的受力外，还必须考虑井施工对周边环境的影响，尤其是在周边环境对地层变形控制要求严格但地质条件又比较差的工程中。本条文对福建省内常见地层的软弱地基处理和地下水控制措施进行总结分析，并制定一般的设计原则。

6.5.6 非沉井类的顶进井及接收井本质上为一深竖井，其基坑支护应遵循深基坑的设计技术要求，本条的主要参考《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 的规定，制定顶进井及接收井的基坑支护设计的基本原则。

6.5.7 锚杆喷射混凝土逆作法竖井结构本质上为采用喷锚结构临时支护、内部浇筑永久性衬墙的竖井，其锚杆喷射混凝土设计及施工可参照《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086)。

6.5.11 工作井尺寸设计应遵循以下原则：

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：

- 1) 直径小于 1000mm 的顶管机长度约为 3.5m；
- 2) 大中直径顶管机长度大于或等于 5.5m。

6.6 顶进力估算

6.6.1 与土层情况和施工技术水平等有关，总顶进力估算与实际施工顶进力有一定的误差，国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB50268 给出的顶进力计算公式简单易懂、计算结果与工程实际比较吻合，本规程在此予以引用，供参考使用。其中表 6.4.1 内前四种土层中管壁单位面积平均摩阻力取值参照《给排水管道工程施工及验收规范》GB50268-2008 和在总结福建省顶管工程实际的基础上所得，岩石中管壁单位面积平均摩阻力取值主要基于岩石地层顶管工程的理论分析和福建省实际工程实践。对于玻璃纤维增强塑料夹砂管 f 的值可适当减小。

6.7 后背墙设计

6.7.2 本条文列出了后背墙设计和安装的要求：

- 3 以免产生偏心受压，使顶进力损失和发生质量、安全事故；
- 4 以免承受较大的后坐力时造成后背墙材料压缩不匀，出现倾斜现象。

6.8 中继间设计

6.8.1 本条文主要列出的中继间顶进时，其设计顶进力、数量和位置的相关规定：

4 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、沙子或者土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。

6.8.5 木质的传压环和钢质的均压环均应保证顶进力均匀地分布于管道的端面上。

7 顶管工程施工

7.2 顶管施工组织设计

7.2.1 顶管施工属于地下工程，影响施工的因素很多，除了施工工艺方法多、技术要求差异大等特点外，工程地质条件、原有地下设施和地下障碍物情况以及施工现场环境等因素均可对施工进度、工程质量、施工安全和施工成本造成影响。为了保证顶管施工项目的顺利进行，取得良好的经济效益和社会效益，编写好顶管施工技术组织设计是十分关键的。

7.2.2 本条列出了施工组织设计的主要内容。

5 顶管技术措施，应包括下列内容：

- 1) 总顶力估算、后背承载力估算及后背墙设计；
- 2) 后背、止水圈、基坑导轨、顶管机、油泵、油缸的安装方法，应附安装图；
- 3) 顶管始发和接收措施及安全控制；
- 4) 管材的选择及管节长度的确定，管节的连接与防水；
- 5) 管节的内外防腐；
- 6) 顶进减阻措施，触变泥浆的配制与管理；
- 7) 排渣方式和渣土的处置，附渣土暂存位置图；
- 8) 顶进纠偏措施；
- 9) 管道定位和测量方法，采用的测量仪器，测量精度分析；
- 10) 地面变形的控制措施，对周边环境影响的控制措施；
- 11) 中继间的布设、安装、使用与拆除措施；
- 12) 顶管施工时的通风、供电、通讯措施；
- 13) 顶管施工中的垂直运输措施；
- 14) 工程重点部位的技术措施；
- 15) 管道贯通后的处理措施，泥浆置换的措施和方法；

- 16) 特殊顶管技术措施：比如长距离、曲线、大坡度、卵砾石地层、岩石地层等。

7.3 顶进设备的安装

7.3.1 后背墙为沉井或地下连续墙结构时，可采用拼装式后座；后背墙为 SMW 工法、旋喷桩、深层搅拌桩等结构形式时可采用整体式后座。后背墙的面积应满足土体承载力的要求，强度、刚度应满足最大顶进力要求。

7.3.3 本条文列出了千斤顶的配置和安装要求：

- 1 千斤顶数量宜为偶数；
- 2 主顶站使用顶进力不宜超过满负荷的 60%，可用限压阀调节；
- 3 为防止管道穿墙时下偏，千斤顶合力中心应低于管中心标高，一般宜为管道外径的 $1/10\sim 1/8$ 。

7.3.5 本条文列出了油泵布置和运转要求：

- 1 油泵流量宜满足顶进速度 100mm/min 左右。

7.4 顶管始发和接收

7.4.1 工作井洞口设置止水装置是为了防止顶管机开始顶进时发生水土流失，造成大量坍方，并保证顶管机迅速穿墙，使顶管机快速顶入土体，止住渗漏。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，止水装置有盘根止水及橡胶止水二种，也可采用组合形式止水。

1 当为粘性土且地下水压力较高时宜采用橡胶板止水，并应加快进、出洞的施工速度；

2 当为粉土且有地下水时，宜采用盘根止水，可采取措施降低地下水位，并缩短进、出洞时间，无法降水时，应对土体进行

固结处理；

3 当为砂土时，宜采用盘根止水并应加固洞口外的土体，降低土体的渗透系数。

顶管始发和接收洞口的加固形式有土体加固和钢封门加固及两种形式组合工法。其土体加固的范围宜为离洞口正前方 6m，上下方各 3m~4m，左右各 3m~4m。

7.5 管道顶进

7.5.2 本条文列出了管道顶进的详细要求：

1 顶管正常顶进时应控制开挖量与出土量的平衡，管道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；

2 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。

7.5.3 由于工作井施工时周围土体被扰动，顶管机出洞时，洞外土体易流失，同时顶管机自重太重，所以要采取防“磕头”措施。

7.5.4 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，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。

7.6 注浆减阻

7.6.1 减阻泥浆注浆要求是保证顶进进管道外壁与土体之间形成稳定的、连续的泥浆套，其效果可通过顶进力降低程度来验证。

4 在顶进过程中，要经常检查各推进段的浆液形成情况；

5 在注浆孔中设置一个单向阀，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。

7.6.3 触变泥浆注浆应由拌浆装置、注浆装置、注浆管道系统等组成（见图1），本条给出其布置、安装和运行的基本规定：

1 制浆装置容积计算时宜按5~10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、注浆装置；5 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。

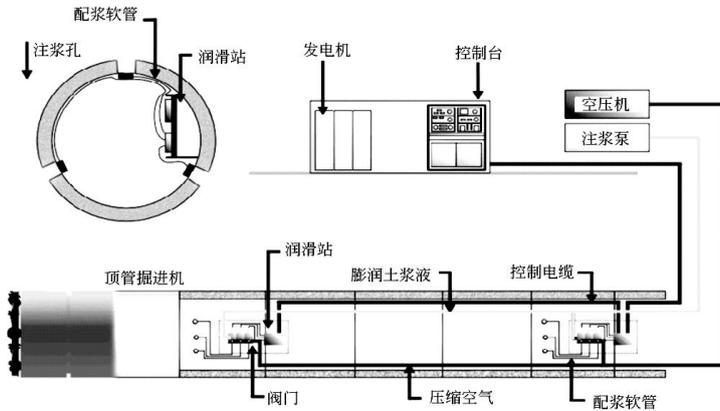


图1 注浆装置和润滑系统

7.6.6 一般情况下，在现场按重量进行泥浆的配制，所用的主要材料包括：膨润土、水、 Na_2CO_3 和 CMC，有时也可以加入其它掺合剂，如废机油、粉煤灰和其它高分子化合物等。材料的配比通常为：

水：土=（4~5）：1

土：掺合剂=（20~30）：1

触变泥浆的性能可参考表1。

表1 触变泥浆性能指标

粘度 s	滤失量 cm ³ /30min	比重 g/cm ³	含砂量 %	稳定性	静切力 Pa
>30	<25	1.05~1.20	≤3	静置 24h 无离析水	100 左右

7.6.8 本条是指同步注浆、补浆量的控制和注浆压力的控制。一般情况下是以注浆为控制目标。在注浆过程中，应该注意注浆孔堵塞与否，要使得管外壁形成完整的触变泥浆润滑套，防止单侧有泥浆，形成制动效应。

7.7 测量与纠偏

7.7.4 顶管定向测量宜采用下列方法：

- 1 采用全站仪直接传递定向时，全站仪传递采用 I 级全站仪且传递倾角不应大于 30°；
- 2 采用联系三角形定向时，联系三角形的图形应符合相关要求；
- 3 采用铅垂仪投点定向时，铅垂仪的投点精度应得到保证。

7.7.5 顶管高程测量宜采用下列方法：

- 1 工作井为斜井或通道时可采用水准测量的方法传递高程；
- 2 工作井为竖井时可采用水准仪配合吊钢尺的方法传递高程；
- 3 工作井为竖井、斜井或通道均可采用三角高程测量方法传递高程。

7.7.7 避免在施工中由于顶进力的施加产生位移引起测量误差。

7.7.11 顶管施工的测量应符合下列要求：

- 1 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；顶管机姿态应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。

7.7.12 纠偏基本要领：及时纠偏和小角度纠偏；挖土纠偏和调

整顶进合力方向纠偏；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。

7.8 弃土和泥浆运输

7.8.1 弃土运输分为管内运输和场内地面运输两种。可参考使用的输土方法有以下几种：

1 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；

2 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；

3 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。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；

4 接力泵的形式进行出土，有条件的还可采用电动混凝土泵取代泥泵。

7.10 施工排水

7.10.2 本条文主要列出顶管工程常用的排水方法：

1 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工作井，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 顶进施工期间，施工区域的地下水平面应该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 开放式和封闭式排水两种方法结合起来的排水方法。

7.11 地面沉降控制措施

7.11.3 在路面下顶进，在发生超量出泥时路面不会马上下沉，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。

7.14 顶后处理

7.14.4 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，填充注浆后应进行雷达探测等方法检测。

8 特殊顶管

8.1 一般规定

8.1.1~8.1.4 顶管工程按管道截面尺寸(管径)、单向一次顶进长度、及挖掘面密闭状况进行分类, 详见表 2。

表 2 顶管类型表

分类依据	类型	定义或特征参数	
截面尺寸	巨口径顶管	$D \geq 3.6\text{m}$	
	大口径顶管	$2.2\text{m} \leq D < 3.6\text{m}$, 需搭设平台作业)	
	中口径顶管	$1.5\text{m} \leq D < 2.2\text{m}$, 人员可进入并完全直立作业	
	小口径顶管	$0.8\text{m} \leq D < 1.5\text{m}$, 人员可进入但不能完全直立作业	
	微口径顶管	$D < 0.8\text{m}$, 人员不能进入	
单向顶进长度	超长距离	$L > 1000\text{m}$	
	长距离顶管	$400\text{m} < L \leq 1000\text{m}$	
	中距离	$100\text{m} < L \leq 400\text{m}$	
	短距离	$L \leq 100\text{m}$	
挖掘面密闭状况	敞开式顶管	手掘式顶管	$D > 1.0\text{m}$, 采用人工手持工具挖掘岩土顶管施工方式, 采用该方式应制定专项施工方案并经专家论证;
		机掘式顶管	采用各种形式的挖掘机挖掘岩土顶管施工方式
		钻爆式顶管	通过钻孔、装药、爆破进行岩土破碎的顶管施工方式
		网格式顶管	将管端的挖掘面分成数个小挖掘单元, 对每个小单元分别进行挖掘的顶管施工方式
		水冲式顶管	使用高压水冲击、破碎土体的顶管施工方式
		挤压式顶管	管道前端设计为喇叭口形, 顶进时, 部分土体进入管内, 部分土体推挤到管外周的顶管施工方式
		挤密式顶管	不进行出土作业的顶管施工方式, 管道前端安装管尖, 管尖将土体推挤到管外周

封 闭 式 顶 管	螺旋钻进式 顶管	使用钻机导向钻孔，使用螺旋机械排土的顶管施工方式
	土压平衡式 顶管	通过调节土舱内渣土的压力维持挖掘面稳定的顶管施工方式
	泥水平衡式 顶管	通过调节泥水舱内泥水的压力维持挖掘面稳定的顶管施工方式
	气压平衡式 顶管	向挖掘面充入气体，利用气体压力维持挖掘面稳定的顶管施工方式
	泥水或土压 式与气压式 组合的平衡 式顶管	以上三种平衡式的组合
	泥水平衡岩 石顶管	具有相应对抗地质条件的刀盘结构和刀具、具有二次粉碎功能、通过泵排出渣的顶管施工方式

注： D 为管道内径或边长

8.2 超长距离顶管

8.2.1 超长距离顶管中继间的建议有效行程为（500~800）mm。

8.3 微型顶管

8.3.1 本条推荐微型顶管宜采用土压、泥水平衡式顶管机施工。这是因为管径小，施工人员难以进入管内操作，所以采用在地面进行遥控操作的形式。

8.3.2 本条是结合微型顶管的管材容易产生结构破坏的特点提出来的。应对管子的允许顶力严格控制，先确定顶管控制顶力。在顶管施工中，严格控制顶进阻力，避免管材结构破坏。

8.3.3 本条对微型顶管的最长顶进距作了界定。

8.4 矩形顶管

8.4.1 随着市政建设的高速发展，基本建设对地下空间的利用也与日俱增。矩形顶管的截面形式，能充分提高结构的有效面积，减少

土地征用量和掘进面积，降低工程造价。矩形顶管能进行浅埋通道的施工，起上覆土厚度宜大于或等于顶管机的高度。

8.4.2 矩形顶管机有偏心多轴土压平衡顶管机，多刀盘切削的土压平衡顶管机等多种形式。

顶进施工中会产生实际轴线同设计轴线的偏差，由于土体抗力的作用，顶管机姿态纠偏更不容易，利用纠偏装置，控制出土量、调整正面土压等施工参数，控制顶进轴线。

顶进过程中不可避免产生顶管机的旋转，矩形顶管机的扭转不经须克服土体摩擦力，还须克服土体的抗力，利用纠偏装置，压浆等扭转。

由于土体的顶管机外壳间的摩擦作用，引用顶管机顶部背土造成地层损失，进而产生环境间的摩擦作用，引用顶管机顶部背土造成地层损失，进而产生环境影响。因此顶管机顶部设有防背土装置，在顶部注浆，形成泥浆膜，减少土体与外壳间的摩擦，防止背土的发生。

为了增加矩形顶管机对土层适应性，改良开挖面的土体，顶管机应设有加泥或其他改良土体的装置。

8.4.3 混凝土管节制作质量要求较高，因此宜采用钢膜浇筑。管节采用钢承口连接，齿形氯丁橡胶止水带。

8.4.5 由于矩形顶管机的支座无导向装置，因此初始顶进是，支座两边应该有控制顶管机偏移的限位装置。

8.4.7 为了控制顶进轴线，顶管机与首三节管节用角钢或槽钢纵向连接。

8.5 曲线顶管

8.5.2 现国内已有曲线钢顶管的成功案例，故本规程建议有条件可选用。

8.6 垂直顶升

8.6.2 当顶力较大时，闸阀可接高压水破坏土体，气孔在管内灌水时用作泄气孔。

9 监测与周边环境控制

9.1 一般规定

9.1.1 本条为强制性条文,对顶管工程在施工阶段开展监测工作进行了要求。

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,盾构法顶管管片;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。

9.1.5 本条是通过对各地工程监测工作的开展流程进行归纳、总结的基础上,提出的较为系统的工作流程,遵循该工作流程开展监测工作是实现监测目的、保证监测质量的重要基础。

9.1.6 本条规定了监测方案必须包含的主要内容。其中,监测范围内的周边环境现场踏勘与核查是编制监测方案的重要环节,开展现场踏勘与核查工作时应注意以下内容:

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 F 管线和地下构筑物,必要时挖探确认。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。

周边环境对象调查工作一般在设计的前期开展，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时应及时与设计单位、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。

9.2 监测范围及监测等级划分

9.2.1~9.2.3 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。

9.2.4 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。

9.2.5~9.2.6 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设计工作量布置时更具针对性，突出重点，合理开展监测工作。根据现行相关规范、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。本规范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，对城市工作井、顶管工程本体结构安全等级进行了划分。

1 工作井工程本体结构安全等级

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。国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202、《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 等划分了工作井工程安全等级，各规范、规程划分的依据或指标主要包括以下几个方面：①工作井设计深度；②周边环境对象特点、分布和保护要求；③工程地质条件；④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，本规范以现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 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。

2 顶管工程本体结构安全等级

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，本规范采用顶管埋深、土层和周边环境等进行等级划分。

9.2.7 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进行确定，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、中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。

9.4 顶管工程结构及周围土体监测

9.4.2 顶进施工过程中现场巡查宜包括以下内容：

- 1 顶管施工过程中有无涌土、流砂；
- 2 场地地表水、地下水排放状况是否正常；
- 3 工作井后靠设施的状态；
- 4 基准点，监测点完好状况；
- 5 监测元件的完好及保护情况。

9.4.3~9.4.5 规定了顶管顶进过程中周围土体和顶管结构的监测点布置、监测频率的相关要求。

9.4.6 提供顶管工程地表竖向位移监测项目报警参考值。

9.4.7 监测工作持续一段时间后，监测人员应对该阶段的监测工作进行总结，形成阶段性报告，反馈给相关单位。阶段性报告是某一段时间内各类监测信息、监测分析成果的较深入的总结和分析。综合分析后得出该阶段内监测工点各个监测项目以及工程整体的变化规律、发展趋势和评价，以便于为信息化施工提供阶段性指导

9.5 周边环境监测

9.5.1 本条为强制性条文，规定了顶管工程的监测范围。

9.5.2~9.5.3 规定了周边环境的监测项目，并结合不同的工程影响分区规定了应测项目和选测项目。当周边影响范围内存在特殊被保护物时，应与相关管理部门共同确定监测项目和要求。

9.5.4~9.5.5 周边环境对象监测点的布设位置、数量通常要考虑、以下几个条件：

- 1 周边环境对象的风险等级大小；
- 2 周边环境所处的工程影响区；
- 3 周边环境对象自身的材质、结构形式；
- 4 工程地质水文地质条件的复杂程度；
- 5 所采用的监测方法和现场监测的可实施性。

为了能够反映建（构）筑物竖向位移的变化特征和便于监测结

果的分析,监测点的布设应考虑其基础形式、结构类型、修建年代、重要程度及其与顶管工程的空间位置关系等因素。按照国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑变形测量规范》JGJ 8 中的有关规定执行。

地下管线与工程的邻近距离不同,受施工的影响程度不同,扰动程度越大地下管线的破坏风险越高,监测点的布设密度应相应增大。因此,主要影响区监测点的布设密度应大于次要影响区。隧道工程下穿地下管线时,监测点间距应取本条款规定间距的小值。

地下管线的节点、转角点、结构软弱部位(金属管线受腐蚀较大部位)、与工程较为邻近可能出现较大变形部位容易发生管线开裂或断裂,是地下管线监测的重点部位。由于地下管线的特殊性,难于调查获得上述部位时,可根据管线特点,利用害井、阀门、抽气孔以及检查井等易于调查获得的管线设备作为监测点。

工程影响区管线分布比较集中时,重点监测重要的、抗变形能力差的、容易出现渗漏的高风险管线。一方面,通过监测这类管线的变形能够满足要求时,其他管线也能满足,另一方面,这样也可减少监测的工作量。

城市道路下方多存在过街通道、地下管线等,路面和路基竖向位移监测点的布设时,应考虑与地下构筑物、地下管线等环境监测点的布设相互协调,适当优化、整合。

高速公路、城市道路的路面与路基刚度差异较大,路面与路基变形不能协调同步,已有工程实测案例表明路面与路基出现分离的情况时有发生,只进行路面竖向位移监测难以反映路基的竖向位移情况,特别是隧道下穿的情况,容易造成路面与路基的脱空,为道路交通带来重大安全隐患。因此,要适当增加路基竖向位移监测点的数量。

公路挡土墙主要有砌体、悬臂式、扶臂式、桩板式、锚杆、锚陡板和加筋土挡土墙等几种类型。根据道路挡墙结构形式、尺寸特

征以及工程实际监测经验,道路挡墙竖向位移监测点主要沿挡墙走向布置。与工作井、隧道较为邻近或道路等级较高时,监测点布设间距取本条款规定间距的小值。

桥梁承台或墩柱是整个桥梁的支撑结构,城市顶管工程建设对地层的扰动通过桥梁承台或墩柱传递到桥梁上部结构,引起桥梁整体的变形和应力变化。桥梁承台或墩柱竖向位移是桥梁整体竖向位移的直接反映,在其上布置监测点可获得评价桥梁变形的数据。当承台尺寸较大时,可以适当增加监测点数量,以全面反映桥梁的竖向位移变化。

桥梁墩台的沉降或差异沉降可导致桥梁结构内部应力的变化,当结构出现应力集中而超过其应力限值时,会导致结构开裂甚至破坏。桥梁结构应力监测点一般需要在墩台附近或跨中部位的中部和两侧翼板端部等代表性部位。

根据现行国家标准《地铁设计规范》GB 50517 要求,城市轨道交通隧道内和高架桥的轨道结构一般采用短枕式整体道床,地面正线的轨道结构一般采用混凝土枕碎石道床。轨道结构竖向位移监测主要是指监测整体道床或轨枕的竖向位移。轨道结构竖向位移监测按监测断面形式布置,并与隧道结构或路基竖向位移监测断面对应布置,便于分析隧道结构、路基与轨道结构竖向位移之间的关系以及差异变形情况,为分析线路结构变形及维护提供依据。

9.5.6 施工所对应的对施工工况、支护结构以及周边环境进行巡查的主要对象及内容。实际现场巡查工作中应包括但不仅限于此内容,要根据实际情况进行适当增加。

9.5.7 监测基准点、监测点、监测元器件的稳定或完好状况,直接关系到数据的准确性、真实性及连续性,因此,这也是现场巡查的内容之一。

10 顶管工程质量验收

10.1 一般规定

10.1.2 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，即在管道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。

10.1.3 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方共同确认。