

ICS 03.220

R 07

DB32

江苏省地方标准

DB 32/ T 3913—2020

综合管廊矩形顶管工程技术标准

Technical code for box jacking construction of utility tunnel

2020 - 12 - 21 发布

2021 - 05 - 01 实施

江苏省市场监督管理局
江苏省住房和城乡建设厅 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号	3
5 基本规定	4
6 工程勘察	5
6.1 一般规定	5
6.2 勘探孔布置	7
6.3 地下管线及障碍物勘察	8
6.4 勘察成果及报告	9
7 工程设计	11
7.1 一般规定	11
7.2 工程选线	11
7.3 管节设计	12
7.4 管廊结构设计	13
7.5 结构防水	17
7.6 顶进阻力估算	20
7.7 中继间设计	21
7.8 始发井、接收井设计	23
8 施工	26
8.1 一般规定	26
8.2 施工准备	26
8.3 管节制作及运输	28
8.4 设备及安装要求	29
8.5 注浆减阻	32
8.6 顶管机始发和接收	35
8.7 顶进作业	37
8.8 施工控制	39
8.9 土体改良与渣土外运	41
8.10 施工监测	41
8.11 地表沉降控制和周边结构保护措施	42
8.12 顶后处理	43
8.13 通风、供电与照明	44
9 质量检验与验收	46
9.1 一般规定	46

9.2 管节验收.....	47
9.3 始发和接收洞口验收.....	48
9.4 工作井质量验收.....	48
9.5 管道顶进质量控制.....	49
9.6 顶进管廊质量验收.....	50

前 言

本标准按照GB/T1.1-2009给出的规则起草。

本标准由悉地（苏州）勘察设计顾问有限公司提出。

本标准由江苏省住房和城乡建设厅归口。

本标准起草单位：悉地（苏州）勘察设计顾问有限公司、苏州城市地下综合管廊开发有限公司、苏交科集团股份有限公司、中铁上海工程局集团有限公司、广州金土岩土工程技术有限公司、中亿丰隧道工程股份有限公司、中铁二十局集团第一工程有限公司、中国地质大学（武汉）。

本标准主要起草人：郭红敏、浦春林、王志红、胡一苇、黄俊、闫晓东、陈雪华、耿小飞、唐培文、马保松。

综合管廊矩形顶管工程技术标准

1 范围

本标准规定了综合管廊矩形顶管工程的术语和符号、基本规定、工程勘察、工程设计、施工、质量检验和验收。

本标准适用于采用土压平衡式矩形顶管法施工的城市地下综合管廊工程的勘察、设计、施工和验收，其它行业类似顶管工程也可参考采用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

《碳素结构钢》GB/T 700

《钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1

《钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2

《橡胶密封件给、排水及污水管道用接口密封圈材料规范》GB/T 21873

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《建筑结构荷载规范》GB 50009

《混凝土结构设计规范》GB 50010

《建筑抗震设计规范》GB 50011

《岩土工程勘察规范》GB 50021

《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》GB 50032

《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB 50058

《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065

《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068

《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069

《地下工程防水技术规范》GB 50108

《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119

《给水排水构筑物工程施工及验收规范》GB 50141

《构筑物抗震设计规范》GB 50191

《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202

《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

《地下防水工程质量验收规范》GB 50208

《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268

《轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307

《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476

《混凝土结构工程施工规范》GB 50666

《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733

《城市综合管廊工程技术规范》GB 50838
《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7
《市政工程勘察规范》CJJ 56
《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61
《建筑变形测量规范》JGJ 8
《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311
《给水排水工程顶管技术规程》CECS 246
《给水排水工程埋地矩形管管道结构设计规程》CECS 145-2002
《岩土工程勘察规范》DGJ32/TJ 208

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

综合管廊 utility tunnel

建设于城市地下用于容纳两类及以上城市工程管线的构筑物及附属设施。

3.2

矩形顶管技术 box jacking technology

借助顶管机械，将预制矩形管节顶入土中的非开挖施工技术。

3.3

始发井 starting shaft

顶管机始发、管节安装、顶进、出土作业的竖井。

3.4

接收井 reception shaft

顶管终端接收顶管机的竖井。

3.5

矩形顶管机 box jacking machine

具有对工作面旋转切削、渣土外排和盾体支护等功能的全断面矩形隧道掘进机。

3.6

推进装置 thrust equipment

由顶推液压缸、液压缸支架、阀组、泵站、行程测量装置等组成的安装在始发井内用于推动顶管机主机和管节前进的动力系统。

3.7

中继间 intermediate jacking station

由前后壳体、顶推液压缸、阀组、泵站、行程测量装置等组成的随管节一同前进的接力顶进装置。

3.8

洞门 hole at the wall of working shaft

工作井侧壁预留的供顶管机始发和接收的墙洞。

3.9

后座墙 reaction wall

始发井中承担顶进反力的结构。

3.10

后座 jacking base

安装在主顶油缸与后座墙之间，用于均匀扩散后座力的传力构件。

3.11

触变泥浆 thixotropic mud

用于填充顶进管道与土体之间的环状间隙并起到减阻作用的专用泥浆材料。

3.12

顶进力 jacking force

由主顶油缸提供的向前推进的力。

3.13

矩形管节 steel reinforced concrete box

用于顶管施工的预制矩形断面管道。

3.14

顶铁 jacked block

将主顶油缸推力均匀传递到管节上的设备。

3.15

土压平衡 earth pressure balance

利用推进装置把顶管机向前推进，切削下来的泥土挤进顶管机土仓内，通过调节机头顶进速度和螺旋输送机的转速来控制土仓内的压力来平衡地下水压力和机头前方土压力的平衡方式。

4 符号

下列符号适用于本文件。

- c ——土的粘聚力 (kN/m^2);
- P ——总顶进力 (kN);
- P_c ——机头控制土压力 (kPa);
- γ ——土的重度 (kN/m^3)。
- B ——管节宽度 (m);
- B_h ——后座墙的宽度 (m);
- b ——工作井的最小宽度 (m);
- D_{gl} ——顶管机宽度 (m);
- D_{gh} ——顶管机高度 (m);
- H ——管节高度 (m);
- H_d ——工作井底板最小深度 (m);
- h ——管道顶部覆土厚度 (m);
- h_d ——管底操作空间 (m);
- h_1 ——后座墙顶端离地面的高度 (m);
- h_2 ——后座墙高度 (m);
- h_3 ——后座墙深入基坑底部深度 (m);
- L ——管道设计顶进长度 (m);
- L_j ——工作井的最小长度 (m);
- L_1 ——顶管机或管段长度 (m);
- L_2 ——油缸长度 (m);
- L_3 ——后座墙厚度 (m);
- m ——考虑顶进管道后退、顶铁的厚度及安装富余量 (m);
- s ——施工操作空间 (m);
- ω ——管道单位长度自重 (kN/m)。
- f ——管道外壁与土之间的摩擦系数;
- K_p ——被动土压力系数;
- K_a ——主动土压力系数;
- ξ_0 ——后座墙承载能力计算系数, 取 $\xi_0=1.5\sim 2.5$;
- η ——安全系数, 通常取 $\eta \geq 1.5$ 。

5 基本规定

5.1

综合管廊工程需要应用矩形顶管技术的, 应统一规划、设计、施工和维护, 并应满足管线的使用和运营维护要求。

5.2

综合管廊矩形顶管工程应有专项设计,应根据通用设备的规格和入廊管线的要求合理确定管廊的断面形状和结构尺寸。

5.3

应根据工程地质、水文情况和周围环境等,选择合适的顶管机具设备,并进行单机调试、整机联动调试等,满足工程顶进施工的需要。

5.4

应根据工程特点建立地面和地下测量控制系统,对影响范围内的地表、邻近建(构)筑物和地下管线等保护对象设置专门的观测点监测。

5.5

工程中所用的主要原材料、主要构件、配件和专用产品等,应按照国家现行有关标准的规定检验和验收。

6 工程勘察

6.1 一般规定

6.1.1 拟建综合管廊矩形顶管工程项目的位置或规划设计线路确定后,应进行工程勘察,且勘察等级应不低于工程所在综合管廊项目工程勘察等级。

6.1.2 综合管廊矩形顶管工程勘察实施前,应取得施工区域内地形图以及地下管线、设施和障碍物等现状资料,并经现场确认,方可进行勘察作业,应开展工程周边环境及地下设施的专项调查。

6.1.3 综合管廊矩形顶管项目工程勘察应按规划、设计和施工阶段的技术要求分阶段进行,可分为可行性研究勘察、初步勘察和详细勘察等阶段。当工程场地及周边环境特别复杂、环境保护有特殊要求,或存在工程安全隐患时,应进行专项勘察;对岩土工程条件简单或邻近区域已有综合管廊工程经验的地区,可适当简化勘察阶段。

6.1.4 可行性研究勘察的主要工作应符合下列要求:

1. 主要采用收集资料、现场踏勘、调查等手段,了解场地的区域地质、地质构造、矿产、地震、场地的地形地貌、地层结构、岩性和特殊性岩土、地下水、不良地质作用等工程地质条件;
2. 当拟建工程场地地质条件复杂时,尚应进行必要的勘察、测试工作;
3. 应对拟建场地稳定性和适宜性做出评价,为综合管廊矩形顶管项目选址及技术经济方案比选提供依据。

6.1.5 初步勘察阶段主要工作应符合下列要求:

1. 搜集场地及邻近区域有关工程地质、水文地质资料及工程场地地形图、有关设计资料、工程经验等;
2. 采用现场踏勘、调查等适宜的勘察手段,初步查明场地的地质构造、地层结构、水文地质条件;
3. 初步分析地基土特征,提出岩土层的物理力学指标和主要设计参数;
4. 初步查明拟建场地特殊性岩土的类型、工程地质特性、成因、分布范围;

5. 初步查明场地内及其邻近对工程有影响的不良地质作用类型、规模，分析、评价其对工程建设的危害程度；
6. 初步分析评价水土腐蚀性；
7. 针对总平面布置、基础类型选择、工法选型、不良地质作用的治理进行初步分析和评价，对详细勘察阶段的重点工作内容提出建议。

6.1.6 详细勘察阶段主要工作任务应符合下列要求：

1. 系统分析、利用前期勘察成果，并采用适宜的勘察手段，详细查明场地的岩土类型、成因和场地水文地质条件；
2. 分析评价地基工程性质、场地稳定性和地震效应；
3. 详细查明高灵敏度软土层、松散砂土层、高塑性黏性土层、含承压水砂层、软硬不均地层、含漂石或卵石地层等特殊岩土，并调查其的类型、工程地质特性、成因、分布范围，分析、评价其对矩形顶管施工的影响；
4. 详细查明不良地质作用的类型、工程地质特性、成因、分布范围，分析、评价其对矩形顶管施工的影响，提出处理相关建议和处理设计所需的岩土参数；
5. 在基岩地区应查明岩土分界面位置、岩石坚硬程度、岩石风化程度、结构面发育情况、构造破碎带、岩脉的分布与特征等，分析其对矩形顶管施工可能造成的危害；
6. 详细查明场地水文地质条件，当矩形顶管下穿地表水体时应调查地表水与地下水之间的水力联系，分析地表水体对矩形顶管施工可能造成的危害；
7. 采用试验、统计和分析等方法，提供设计和施工所需的各岩土层的物理力学指标和各类岩土参数；
8. 评价地下水和土对管材使用的混凝土、钢材、橡胶的腐蚀性；
9. 对顶管始发（接收）井的地质条件进行分析和评价，预测可能发生的岩土工程问题，提出岩土加固范围和方法的建议；
10. 为下列工作提供勘察资料和建议：顶管轴线和顶管始发（接收）井位置的选定；顶管设备选型、设计制造和刀盘、刀具的选择；顶管管节及环空注浆设计；顶管推进阻力、推进速度、姿态控制等施工工艺参数的确定；土体改良设计；顶管始发（接收）井端头加固设计与施工；工程风险评估、工程周边环境保护及工程监测方案设计。

6.1.7 专项勘察工作应符合下列要求：

1. 查明对工程周边重要建（构）筑物或对工程建设有重要影响的地下设施的名称、类型（或用途）、地理位置、与拟建工程的空间关系、竣工图、特殊保护要求等情况，分析其与综合管廊矩形顶管工程之间的相互影响；
2. 当水文地质条件对工程评价或工程降水有重大影响时，应进行专门的水文地质勘察；
3. 重点查明岩溶、土洞、孤石、球状风化体、地下障碍物、有害气体的分布；
4. 遇有软土时，根据工程周边环境变形控制要求，对不良地质体的处理及沉降控制提出建议；
5. 分析评价管廊下伏的淤泥层及易产生液化的饱和粉土层、砂层对顶管施工和管廊运营的影响，提出处理措施的建议；施工勘察应根据施工阶段设计、施工要求，提供勘察资料并作出分析、评价和建议；
6. 对始发井和接收井条件和措施提出建议，施工勘察应根据施工阶段设计、施工要求，针对所需解决的具体问题，采用相应手段进行勘察，提供勘察资料，并作出分析、评价和建议。

6.1.8 综合管廊矩形顶管的工程勘察除应符合上述要求外，尚应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、国家行业标准《市政工程勘察规范》CJJ 56 和江苏省工程建设标准《岩土工程勘察规范》DGJ32/TJ 208 中的相关要求。

6.1.9 综合管廊矩形顶管施工阶段，如遇未查明的地下障碍物、掘进地层与勘察结果不一致或施工对周边环境影响较大时，应进行补充勘察。

6.2 勘探孔布置

6.2.1 矩形顶管段勘探孔布置应符合下列规定：

1. 矩形顶管区间勘探孔应布置在管廊结构外侧3~5m范围，勘探线上的勘探孔宜交错布置；勘探孔距顶管中线间距应不大于10m，纵向间距不大于20m，始发井和接收井附近应适当加密；当勘探孔距顶管中线间距大于10m时，宜在顶管轴线布置一排勘探孔。勘探孔布置示意图如图6.2.1所示；

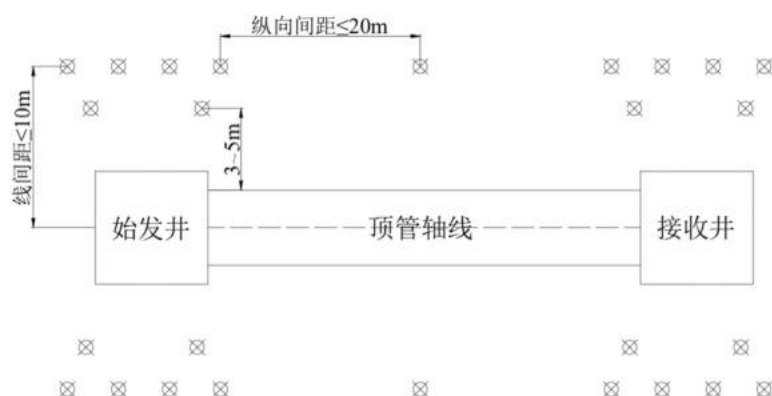


图6.2.1 勘探孔布置示意图

2. 勘探孔数量应根据管廊区间长度及地层的复杂程度确定。在矩形顶管穿越暗埋的河、湖、沟、坑地段和可能产生流沙及地震液化的地段，勘探孔应适当加密；在矩形顶管穿越铁路、公路和河流地段，勘探孔间距应能控制地层的变化；
3. 矩形顶管穿越高等级公路、铁路、河谷等地段时，宜在其两侧布孔，孔数不宜少于2个。穿越地质条件复杂的中、大型河流地段，应进行钻探，每个穿越方案宜布置勘探孔1~3个；
4. 勘探孔的深度应达到管底设计标高以下5m~10m，如遇下列情况之一，应适当增加勘探孔的深度：当管线基底下存在松软土层、湿陷性土及可能存在流砂、潜蚀或液化地层时，勘探孔深度应加深或钻穿该类地层；在必须采取降低地下水位来进行施工的地段，勘探孔孔深应在基底以下5m~10m，且应穿透主要含水层；当下部有承压水层时，勘探孔应适当加深，或钻穿承压水层，并测量其水位；满足地震效应评价要求。

6.2.2 始发井和接收井勘探孔的布置应符合下列规定：

1. 勘察的平面范围宜超出开挖边界外开挖深度的2~3倍；在深厚软土区，勘察深度和范围尚应适当扩大；宜在矩形工作井和接收井的四角布置勘探孔，圆形工作井在周边均匀布置勘探孔，并不应少于2个；

2. 顶管工作井基坑勘察深度宜为开挖深度的 2~3 倍,在此深度内遇到坚硬黏性土、碎石土和岩层,可根据岩土类别和支护设计要求减少深度,但不应小于基坑深度的 1.6 倍;

3. 在必须采取降低地下水位来进行施工的地段,勘探孔孔深应在井底以下 5m~10m,且应穿透主要含水层;井底下存在承压水层时应适当加深,必要时应钻穿承压水层。

6.2.3 根据地层结构、地基土的均匀性和设计要求,沿线路需在勘探孔中的进行取土试样和原位测试。

6.2.4 矩形顶管施工区域内的钻孔应按照要求进行封孔。

6.3 地下管线及障碍物勘察

6.3.1 综合管廊矩形顶管工程施工前,应搜集地下管线和障碍物的现状资料,并对管线的渗漏和使用状态进行排查和记录,经现场确认,方可进行施工作业。在施工前应进行专项地下管线和障碍物的勘察。

6.3.2 地下管线和障碍物勘察应在充分搜集分析已有资料的基础上,综合采用地球物理探测和实地调查的方法进行,所采用的地球物理探测方法的技术要求应符合《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7 的有关规定。

6.3.3 地下管线勘察应根据综合管廊工程的规划、设计、施工和管理部门的要求,查明受顶管施工影响的区域内埋设于地下的给水、排水、燃气、热力、工业等管道以及电力、电信电缆、光缆等缆线。

6.3.4 在进行地下管线现场勘察前,应全面搜集和整理测区范围内已有的地下管线资料和有关测绘资料,宜包括下列内容:

1. 已有的各种地下管线普查图;
2. 各种管线的设计图、施工图、竣工图及技术说明资料;
3. 相应比例尺的地形图;
4. 测区及其邻近测量控制点的坐标和高程;
5. 拟建顶管工程区间内的桩基、树根等障碍物。

6.3.5 应查明各种地下管线的敷设状况,即管线在地面上的投影位置和埋深,同时应查明管线类别、材质、规格、载体特征、电缆根数、孔数及附属设施等,绘制探查草图并在地面上设置管线点标志。

6.3.6 地下管线探查前,应在探查区或邻近的已知管线上进行方法试验,确定该方法技术和仪器设备的有效性、精度和有关参数。不同类型的地下管线、不同地球物理条件的地区,应分别进行方法试验。

6.3.7 地下管线探测的范围应覆盖顶管段综合管廊结构的外界线范围,以及管廊两侧各不小于 1 倍管廊宽度的区域。

6.3.8 地下管线探测应查明地下管线的平面位置、走向、埋深(或高程)、规格、性质、材料、接头类型等内容。具体的内容根据地下管线的性质可按表 6.3.8 选择,或根据委托方的要求确定。

表6.3.8 地下管线探测内容

管线类别		埋深 (m)		断面尺寸 (mm)		根数	管材	接头类型	附属物	载体特征			权属单位
		内底	外顶	管径	宽×高					压力	流向	电压	
给水			△	△			△	△	△				△
排水	管道	△		△			△	△	△		△		△
	方沟	△			△		△	△	△		△		△
燃气			△	△			△	△	△	△			△
工业	自流	△		△			△	△	△		△		△
	压力		△	△			△	△	△	△			△
热力	有沟道	△			△		△	△	△		△		△
	无沟道		△	△			△	△	△		△		△
电力	管块		△		△	△	△	△	△			△	△
	沟道	△			△	△	△	△	△			△	△
	直埋		△	△		△	△	△	△			△	△
电信	管块		△		△	△	△	△	△				△
	沟道	△			△	△	△	△	△				△
	直埋		△	△		△	△	△	△				△

注：表中“△”为应实地调查的项目。

6.3.9 地下管线探测后，应通过地面标志物、检查井、闸门井、人孔、手孔或钎探等方式进行复核。必要时应设置地面标志，并在探查记录中标注其与附近固定地物之间的距离和方位，实地栓点，并绘制位置示意图。

6.3.10 地下管线勘察区域内缺乏明显管线点或在已有明显管线点上尚不能查明而实地调查中应查明的项目时，可通过开挖进行实地调查和量测。

6.3.11 地下管线勘察的基本程序、测量方法、探测精度和成果提交等的要求应符合现行行业标准《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61 的有关规定。

6.3.12 地下障碍物包括在顶管范围及邻近区域内影响顶管施工安全的地下建（构）筑物及其基础、暗埋的河道、浜沟、孤石、球形风化体、卵砾石层、溶洞等不良地质体、树根和地下遗留的不明障碍物等。

6.3.13 建（构）筑物探测应查明矩形顶管施工区域附近的建（构）筑物的用途、结构类型、荷载类型，应重点查明基础的类型、边界范围和埋置深度。

6.3.14 孤石和卵砾石层探测可通过弹性波速度探测、重力探测、电法探测、电磁法探测、地震波法和声波法探测方法，需要采用精确探测的工程，可采用地震波 CT 法。

6.3.15 孤石、卵砾石夹层、溶洞等不良地质体障碍物在探测后宜补充采用钻探法探明。

6.4 勘察成果及报告

6.4.1 勘察报告应阐述场地工程地质条件、水文地质条件，评价场地稳定性和适应性，为顶管的平面布置、选择顶进标高、防治不良地质现象提供依据。

6.4.2 勘察报告应满足设计、施工的具体要求，提供顶管段和始发井、接收井设计及施工所需的各土层物理力学性质参数，以及地下水 and 环境资料，并做出针对性的分析评价、结论和建议。

6.4.3 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。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，推荐管廊最优线路方案，为合理确定平面布置、选择顶进标高，防治不良地质影响提供依据；详细勘察报告应分段评价岩土工程条件，应提供顶管和工作井设计、施工所需的各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。

6.4.4 勘察报告主要由文字和图表构成。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和依据的技术标准；
2. 勘察方法和工作布置；
3. 拟建顶管法管廊工程的基本特性；
4. 场地地形、地质（地层、地质构造）、地貌、岩土性质、地下水及不良地质作用的阐述和评价；
5. 地基稳定性评价及建议地基处理方案；
6. 岩土参数的搜集、分析和选用；
7. 工程施工期间可能发生的岩土工程问题的预测及监控、防治措施的建议；
8. 顶管施工中障碍物的类型、大小、埋深预测、分析和评价；
9. 顶管施工对周边环境影响的分析和评价；
10. 有关顶管工程设计和施工措施的建议，包括：顶管始发（接收）井端头岩土加固方法的建议；对不良地质作用及特殊性岩土可能引起的顶管法施工风险提出控制措施的建议；邻近堤岸、重要管线和建（构）筑物时，顶管施工对周围环境的影响评估；
11. 图表部分应包括以下内容：勘察点平面布置图、工程地质柱状图、工程地质剖面图、原位测试成果图表、室内试验成果图表和地下管线及障碍物勘察成果图表。

7 工程设计

7.1 一般规定

7.1.1 顶管范围内若与其他地下管线交叉或距离较近时，应对其他地下管线进行拆改或采取保护措施。

7.1.2 矩形顶管结构安全等级应为一級，设计使用年限不应小于 100 年。

7.1.3 矩形顶管结构应按乙类建筑物进行抗震设计，结构抗震等级为二级，抗震设防烈度为 7 度。

7.1.4 矩形顶管结构构件的裂缝控制等级不应小于三级，结构构件的最大裂缝宽度限值不大于 0.2mm，且不得贯通。

7.1.5 宜根据管节尺寸、运输条件、吊装和生产能力等确定采用预制整体式或预制拼装式管节。

7.1.6 工作井混凝土强度等级不低于 C35，抗渗等级不低于 P8。

7.1.7 顶管始发洞口应采取密封措施，以防止顶管机始发时正面的水土涌入工作井内和顶进施工时压入的减阻泥浆从此处流失。

7.1.8 对于始发段和接收段遇不良地质情况时，应对始发段和接收段整体进行土体进行改良或加固。

7.1.9 顶管施工结束后，工作井宜作为永久结构使用。

7.2 工程选线

7.2.1 始发井、接收井选址应符合下列规定：

1. 便于大型设备、构件进出场和渣土外运；
2. 尽量避开建（构）筑物、地下管线、架空杆线等不利于施工的场地；
3. 始发井宜设在管廊高程较低一端，有利于顶管机姿态控制和管道内排水；
4. 多排顶进或多向顶进时，宜尽可能利用同一个工作井作为始发井。

7.2.2 矩形顶管宜采用直线，纵向坡度应满足廊体排水和顶进需要，不小于 0.2%且不宜大于 3%；应尽量避开建（构）筑物基础，穿越河道时应选择在河床稳定的河段。

7.2.3 矩形顶管可在淤泥质粘土、粘土、粉土及砂土等土层中施工，长距离顶管不宜在土层软硬明显的界面上顶进。如遇下列情况之一时，则不宜采用土压平衡矩形顶管施工：

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

7.2.4 覆土厚度应符合下列规定：

1. 管顶覆土层厚度不宜小于顶管机高度的 1 倍，且不宜小于 3.5m；

2. 穿越河道时，管廊应布设在河床的最大冲刷线以下，管顶至远期规划河道底的最小覆土厚度不宜小于顶管机高度的1倍，且不宜小于3.5m；
3. 穿越通航河段时，管顶上覆土层厚度应满足通航安全要求；
4. 在有地下水地区及穿越河道水底时，管顶上覆土层的厚度还应满足管节抗浮要求；
5. 穿越轨道交通、铁路、公路、堤防或其它重要设施时，管顶上覆土层厚度应遵守轨道交通、铁路、公路、堤防或其他设施的相关安全规定。

7.2.5 下穿（上跨）建（构）筑物、轨道交通、铁路、公路、重要地下管线等时应符合下列规定：

1. 应对穿越建（构）筑物等地段进行详细调查，评估施工对建（构）筑物的影响，并针对性地采取保护措施，控制地层变形；
6. 宜根据建（构）筑物基础与结构的类型、现状，采取地基加固或桩基托换措施；
7. 穿越轨道交通、铁路、公路、重要地下管线等时，宜垂直穿越；受条件限制时可斜向穿越，其交叉角宜大于60°；
8. 穿越轨道交通、铁路、公路等设施时，除需符合本标准的有关规定外，尚应遵守相关行业的有关技术安全的规定。

7.2.6 与现状相邻地下管道及地下构筑物平行、交叉时的间距应符合下列规定：

1. 空间交叉管道的垂直净距，不宜小于管道外径的1倍，且不宜小于1.0m；
2. 与相邻地下管线及地下构筑物的最小水平间距应根据地质条件和相邻构筑物的性质确定，且不宜小于1.0m。

7.3 管节设计

7.3.1 矩形顶管管节的基本构成应包括钢筋混凝土管体、承插口、止退钢环、定位钢环、压浆孔、试压孔、吊装孔、木衬垫板；断面尺寸应与明挖断面尺寸相适应，且满足综合管廊标准断面内部净高和净宽的相关要求。

7.3.2 矩形顶管管廊内部净高应根据综合管廊容纳管线的种类、规格、数量、安装要求等综合确定，不宜小于2.4m。

7.3.3 矩形顶管管道内部净宽应根据综合管廊容纳管线的种类、数量、运输、安装、运行、维护等要求综合确定。

7.3.4 多舱管廊的内隔墙采用顶通后施工时，应预留相应的连接构造。

7.3.5 预制管节的长度应根据管节吊装、运输等施工过程的限制条件综合确定，管节长度一般为1.5m，断面较小时可采用2.0m，单节重量不宜大于50t。

7.3.6 矩形管节断面宜设计为四个角为圆弧的仿矩形，管节各方向壁厚相等，具体参数可参考图5.3.6和表7.3.6。

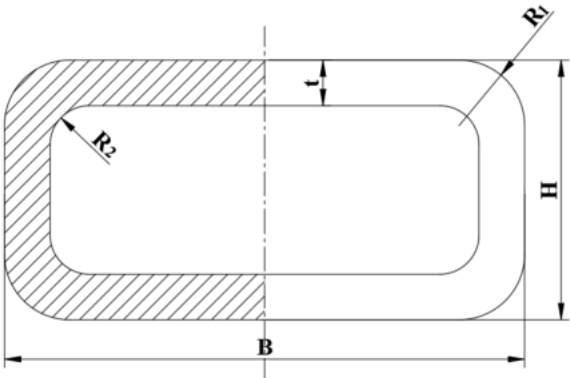


图7.3.6 矩形管节断面示意图

表7.3.6 常用矩形管节断面尺寸

名称	符号	基本尺寸（mm）			
管节宽度	B	3800	6000	6900	9100
管节高度	H	3500	4000	4200	5500
管壁厚度	t	400	500	450	650
管节外圆角半径	R1	300	500	700	700
管节内圆角半径	R2	90	300	300	300

7.3.7 矩形管节几何尺寸的允许偏差应符合表 7.3.7 的规定。

表7.3.7 矩形管节尺寸允许偏差

名称	符号	允许偏差（mm）	检验方法
管节宽度	B	±5	尺测量
管节高度	H	±5	
管节长度	L0	+15, -10	
管壁厚度	t	±3	
端面平整度	—	±2	靠尺检查
端面倾斜	S	≤ 5	垂线、尺测量
混凝土保护层厚度	C	±5	检测仪

7.3.8 矩形顶管一般采用标准长度管节，不应忽略各个管节间木衬垫板的厚度。必要时可根据实测的工作井的相对位置调整最后一节预制管节的长度。

7.4 管廊结构设计

7.4.1 管廊结构上的作用分类和作用代表值应符合下列规定：

1. 管廊结构上的作用，按性质可分为永久作用、可变性作用和偶然作用三类；结构设计时，对不同的作用应采用不同的代表值，永久作用应采用标准值作为代表值，可变作用应根据设计要求采用标准值、组合值或永久值作为代表值；作用的标准值应为设计采用的基本代表值；
2. 当结构承受两种或两种以上可变作用时，在承载力极限状态设计或正常使用极限状态按短期效应标准值设计时，对可变作用应取标准值和组合值作为代表值；
3. 当正常使用极限状态按长期效应准永久组合设计时，对可变作用应采用准永久值作为代表值；

4. 结构主体及收容管线自重可按结构构件及管线设计尺寸计算确定,常用材料及其制作件的自重可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用;

5. 建设场地地基土或管顶覆土高度有显著变化段的管道结构,应计算地基不均匀沉降的影响,其标准值应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定计算确定;

6. 制作、运输和堆放、安装等短暂设计状况下的预制构件验算,应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

7.4.2 永久作用应包括结构自重、土压力(竖向和侧向)、地基不均匀沉降,其取值应分别符合下列规定:

1. 结构自重:可按结构构件的设计尺寸与相应的材料单位体积自重计算确定,钢筋混凝土自重可取 $25\text{kN}/\text{m}^3$ 计算;

2. 竖向土压力:其标准值计算应按《给水排水工程埋地矩形管管道结构设计规程》CECS145-2002 附录 A 的 A.0.4 进行计算;

3. 侧向土压力:可按朗金公式计算主动土压力,土的重力密度,地下水位以上可取 $18\text{kN}/\text{m}^3$;地下水位以下部分的侧压力应为主动土压力与地下水静水压力之和,此时土的有效重力密度可取 $10\text{kN}/\text{m}^3$ 计算;

4. 地基不均匀沉降标准值:应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定计算。

7.4.3 可变作用应包括地下水压力、堆积荷载(含地面人群荷载)、车辆荷载(堆积荷载与车辆荷载不同时考虑,取大者计入),其取值应分别符合下列规定:

1. 地下水压力:应考虑可能出现的最高和最低水位,不可直接引用勘察时的水位,应要求勘察报告予以明确;地下水位应综合考虑近期内变化的统计数据及对设计基准期内发展趋势的变化分析判断,确定其可能出现的最高及最低地下水位;相应的地下水压力准永久值系数,当采用最高地下水位时,可取平均水位与最高水位的比值,当采用最低水位时,应取 1.0 计算;

2. 堆积荷载:其竖向压力标准值可取 $10\text{kN}/\text{m}^2$ 计算,并视作分布面积较大,沿不同深度等值,准永久值系数可取 0.5;相应的侧向压力可取 1/3 竖向压力计算;

3. 车辆荷载:应与我国道路桥梁设计的荷载标准相协调,准永久值系数可取 0.5。

7.4.4 偶然作用主要考虑地震作用,宜按所在地区抗震设防等级进行地震作用验算。

7.4.5 矩形管廊应核算承载能力极限状态和正常使用极限状态:

1. 承载能力极限状态:管廊结构达到最大承载能力,管体构件因材料强度被超过而破坏,管廊结构作为刚体失去平衡;

2. 正常使用极限状态:管廊结构出现超过使用期耐久性要求的裂缝宽度限制。

7.4.6 管廊结构的内力分析,均应按弹性体系计算,不考虑由非弹性变形所产生的内力重分布。

7.4.7 管廊按承载能力极限状态进行强度计算时,结构上的各项作用均采用作用设计值。作用设计值应为使用分项系数与作用代表值的乘积,可按照《给水排水工程埋地矩形管管道结构设计规程》CECS145-2002 第 5.2.2、5.2.3 条进行计算。

7.4.8 强度作用时的作用组合工况应符合表 7.4.8 的规定。

表 7.4.8 承载能力极限状态强度计算的作用组合表

计算工况	永久作用				可变作用		
	结构自重	竖向土压力	侧向土压力	不均匀沉降	地下水压力	堆积荷载	车辆荷载
试验工况	√	√	√	—	—	√	
使用期间	√	√	√	Δ	√	√	

注：1 表中打“√”的作用为相应工况应与计算的项目；打“Δ”的作用应按具体设计条件确定采用；

2 车辆荷载、堆积荷载不应同时计算，应根据不利条件计入其中一项；

3 对永久作用的分项系数，应按对结构不利或有利分别采用；

4 当管顶覆土变化较大，应计算地基不均匀沉降对管道结构的纵向影响。

7.4.9 管廊构件按正常使用极限状态验算时，作用效应均采用作用代表值计算。

7.4.10 管道构件在组合作用下，当计算截面的受力状态处于受弯、大偏心受压或受拉时，截面设计应按作用效应准永久值组合（长期效应）验算控制裂缝宽度，裂缝最大宽度不应大于 0.2mm；当计算截面的受力状态处于轴心受拉或小偏心受拉时，截面设计应按不允许裂缝出现控制。

7.4.11 正常使用极限状态下作用效应的组合设计值和控制裂缝的计算可按照《给水排水工程埋地矩形管管道结构设计规程》CECS145-2002 第 5.3 节执行。

7.4.12 由于结构对称，利用对称性可使计算简化，采用弯矩分配法进行管节在对称作用下的内力计算，如图 7.4.12 所示，在组合作用下的内力，应按下列规定计算：

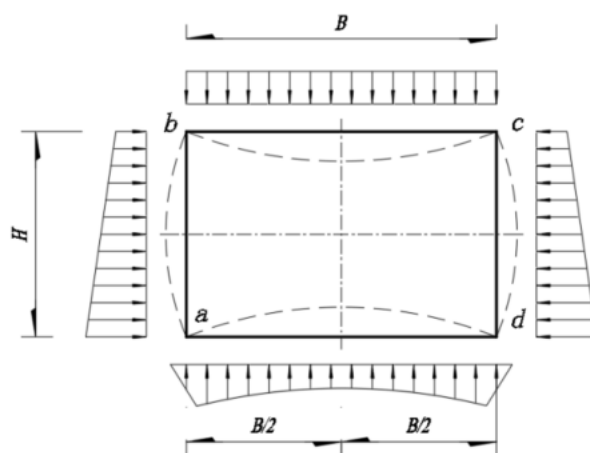


图7.4.12 结构计算荷载简图

1. 计算构件的荷载常数固端弯矩 M^F ：

M_{bc}^F 、 M_{ba}^F 、 M_{cd}^F 按两端固定的构件求得， M_{cd}^F 计算须包括侧边 ba 、 cd 传来的轴力。

2. 各边的形常数抗挠刚度 S 按下式进行计算：

$$S_{bc} = 2 \cdot \frac{E_c I_{bc}}{B} \quad (7.4.12-1)$$

$$S_{ab} = S_{ba} = 4 \cdot \frac{E_c I_{ab}}{H} \quad (7.4.12-1)$$

$$S_{ad} = 4 \cdot \frac{E_c I_{ad}}{B} \bar{S}_{ad} \quad (7.4.12-2)$$

式中： E_c 、 I ——分别为各边的混凝土弹性模量与截面惯性矩；

$\bar{S}_{ad}$ ——底边抗挠刚度系数。

3. a 及 b 结点的分配系数 μ 按下式进行计算：

a 结点：

$$\mu_{ab} = \frac{S_{ab}}{S_{ab} + S_{ad}} \quad (7.4.12-3)$$

$$\mu_{ad} = \frac{S_{ad}}{S_{ab} + S_{ad}} \quad (7.4.12-4)$$

b 结点：

$$\mu_{ba} = \frac{S_{ba}}{S_{bc} + S_{ba}} \quad (7.4.12-5)$$

$$\mu_{bc} = \frac{S_{bc}}{S_{bc} + S_{ba}} \quad (7.4.12-6)$$

4. 分配不平衡弯矩，得出结点弯矩；
5. 根据结点弯矩与外荷载求得梁上每点内力。

7.4.13 抗震设计应符合下列规定：

- 1 矩形顶管工程应按乙类建筑物进行抗震设计，抗震等级为二级，抗震设防烈度为 7 度，并应满足国家现行标准的有关规定；
- 2 管廊结构在 E2 地震（设防地震）作用下，不破坏或轻微破坏，应能够保持其正常使用功能，结构处于弹性工作阶段；结构在 E3 地震（罕遇地震）作用下，可能破坏，经修补，短期内应能恢复器正常功能，结构局部进入弹塑性工作阶段；
- 3 周围地层分布均匀、规则且具有对称轴的纵向较长的顶管管节，结构分析可选择平面应变分析模型并采用反应位移法或等效水平地震加速度法、等效侧力法计算；长宽比和高宽比均小于 3 的顶管管节，宜采用空间结构分析计算模型并采用土层—结构时程分析法计算；
- 4 工程线位宜选择密实、均匀、稳定的地层，当处于软弱土、液化土或断层破碎带等不利地段时，应分析其对结构抗震稳定性的影响，采取相应措施；
- 5 管节内布置应力求简单、对称、规则、平顺；
- 6 受力主筋应采用抗震钢筋，抗震构造措施应满足国家现行标准的有关规定。

7.4.14 对位于历史最高水位以下的工程，应根据设计条件计算结构的抗浮稳定；计算时管廊内管线和设备的自重不应计入，其他各项作用应取标准值；不考虑侧摩阻力时抗浮安全系数取值不低于 1.05；当考虑计入侧壁摩阻力时，抗浮安全系数取值不低于 1.15。

7.4.15 顶管管节的构造要求应符合下列规定：

- 1 管节的混凝土强度等级不小于 C50，抗渗等级不小于 P8；

- 2 钢筋宜采用 HPB300 级钢、HRB400 级钢，其技术标准应分别符合《钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1 和《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2 的有关规定；
- 3 预埋钢板、型钢宜采用 Q235 钢、Q345 钢，其技术指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的有关规定；
- 4 钢筋混凝土矩形管节厚度不应小于 250mm；
- 5 矩形顶管的纵向配筋不应少于 0.2% 配筋率的钢筋量，受力钢筋的最小配筋率，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 的规定；
- 6 矩形顶管管壁外侧钢筋保护层厚度不应小于 50mm，管壁内侧钢筋保护层厚度不应小于 35mm。

7.4.16 结构接地应符合下列规定：

- 1 矩形管道内的接地系统应形成环形接地网，接地电阻不应小于 1Ω ；
- 2 接地网宜采用热镀锌扁钢，且截面积不应小于 $40\text{mm} \times 5\text{mm}$ 。接地网应采用焊塔搭接，不得采用螺栓搭接；
- 3 内部金属构件、电缆金属套、金属管道以及电气设备金属外壳均应与接地网连通；
- 4 作为天然气管道舱室的接地系统尚应符合现行国家标准《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB 50058 的有关规定。

7.5 结构防水

7.5.1 矩形顶管工程应根据气候条件、水文地质情况、结构特点、施工方法和使用条件等因素进行防水设计，防水等级标准应为二级，并应满足结构的安全、耐久性和使用要求。

7.5.2 矩形管廊的结构防水设计应以工作井及钢筋混凝土管节的结构自防水和管节接头防水为重点，并应满足以下要求：

- 1 防水混凝土应通过调整配合比或添加外加剂、掺合料等措施配制而成，管节混凝土强度等级不得低于 C50，抗渗等级不得小于 P8。施工配合比应通过试验确定，抗渗等级应比设计要求提高一级（0.2MPa）；
- 2 管节表面应平整，无缺棱、掉角、麻面和露筋；
- 3 钢筋混凝土管片应制作抗压强度试件进行检测，并应做单块管节检漏测试，在设计抗渗压力下保持时间不应少于 2h，渗水深度不应超过管片保护层的厚度；
- 4 防水混凝土的设计抗渗等级，应符合表 7.5.2 的规定；

表 7.5.2 防水混凝土设计抗渗等级

管廊埋置深度 h (m)	设计抗渗等级
$h < 20$	P8
$20 \leq h < 30$	P10
$h \geq 30$	P12

- 5 当地下水介质对混凝土具有腐蚀性时，应对管节内外分别做防腐蚀处理。砂性地层顶进的管节的外表面宜设耐磨涂层。

7.5.3 管廊外防水防腐蚀应符合下列规定：

1. 管片外防水涂料宜选用环氧或改性环氧类等具有封闭功能及兼有渗透特性特点的反应型涂料，也可选用水泥基渗透结晶型或硅氧烷类渗透自闭型涂料；
2. 应具有耐化学腐蚀性、抗微生物侵蚀性、耐水性、耐磨性应良好，且无毒或低毒；
3. 在管片外弧面混凝土裂缝宽度达到 0.2mm 时，在最大埋深处水压下不应渗漏；
4. 管节外防水防腐应按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 中规定的海洋氯化物环境、化学腐蚀性等环境条件分类，确定相应的环氧或改性环氧等封闭型涂料、水泥基渗透结晶型或硅氧烷类等渗透自愈型材料等管片外防水防腐涂层的技术性能指标。

7.5.4 管节接头防水应符合下列规定：

1. 宜采用“F”型钢承口形式，接口内设齿形氯丁橡胶止水带和聚氨酯密封胶防水装置。钢承口的套环应使用钢或不锈钢套环，钢套环接口应无斑点。接头钢套环的钢材宜选用经防腐处理的 Q235B 级钢；
2. 顶管接头的弹性橡胶密封圈在施工中应有良好的密封性能，在长期的设计水压作用下应保持接头不渗漏；
3. 钢套环接头的钢套环一段应埋入混凝土管中，钢套环与混凝土的结合面处应设雨水膨胀橡胶条或密封胶条。钢套环的另一段应与管节外表面的槽口组成防水构造，槽口内应设 L 形、齿形或鹰嘴形弹性橡胶密封圈，如图 7.5.4 所示；

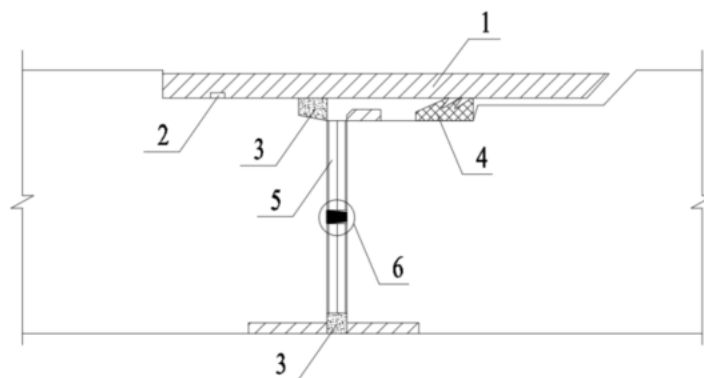


图 7.5.4 钢套环接头

- a) 钢套环；2-遇水膨胀止水条；3-弹性密封胶；4-密封圈；5-木衬垫板；6-弹性密封垫
4. 顶管接头内面槽口宜采用石棉水泥、弹性密封膏或水泥砂浆、聚合水泥砂浆密封；
 5. 密封圈材料、规格应符合现行行业标准《橡胶密封件给、排水管及污水管道用接口密封圈材料规范》GB/T 21873；
 6. 在楔形橡胶圈表面宜涂润滑剂或有止水功能的润滑剂。润滑油脂宜采用硅脂类材料；润滑剂应采用先润滑后止水的特种聚氨酯材料，不应使用可能损害橡胶圈的润滑材料；
 7. 钢承口接头外表面应根据所处环境涂布防腐涂料；
 8. 中继间接口处，宜预留缺口，设置橡胶止水带；
 9. 管节拼缝防水应采用预制成型弹性密封垫为主要防水措施，弹性密封垫的界面压力不应低于 1.5MPa；拼缝弹性密封垫应沿环、纵面兜绕成框；拼缝处应至少设置一道密封垫沟槽，密封垫沟槽截面积宜为密封垫截面积的 1.0~1.5 倍；
 10. 顶管施工结束后，管节间的接口进行封闭处理。要求压紧刮平，保证强度和气密性，在填充材料未充分固化前要注意保护，防止浸水；

11. 管节接头处应设置衬垫板，一般采用木衬垫板，木衬垫板应选用质地均匀有弹性的松木、杉木或胶合板；在满足传力要求的同时，尚应满足强度和变形要求；木垫圈厚度应根据管道尺寸确定，一般为10mm~30mm；
12. 密封垫宜选择具有合理构造形式、良好弹性或遇水膨胀性、耐久性、耐水性的橡胶类材料，其外形应与沟槽相匹配。弹性橡胶密封垫材料、遇水膨胀橡胶密封垫胶料的物理性能应符合表7.5.4-1和表7.5.4-2的规定。

表7.5.4-1弹性橡胶密封垫的主要物理性能

序号	项目			指标	
				氯丁橡胶	三元乙丙橡胶
1	硬度（邵氏），度			$(45\pm 5)^{\sim}$ (65 ± 5)	$(55\pm 5)^{\sim}$ (70 ± 5)
2	伸长率（%）			≥ 350	≥ 330
3	拉伸强度（MPa）			≥ 10.5	≥ 9.5
4	热空气老化	$(70^{\circ}\text{C}\times 96h)$	硬度变化值（邵氏）	$\geq +8$	$\geq +6$
			拉伸强度变化率（%）	≥ -20	≥ -15
			拉断伸长率（%）	≥ -30	≥ -30
5	压缩永久变形 $(70^{\circ}\text{C}\times 24h)(\%)$			≤ 35	≤ 28
6	防霉等级			达到或优于2级	

注：以上指标均为成品切片测试的数据，若只能以胶质制成试样测试，则其伸长率、拉伸强度的性能数据应达到本规定的120%。

表7.5.4-2遇水膨胀橡胶密封垫的主要物理性能

序号	项目		指标			
			PZ-150	PZ-250	PZ-450	PZ-600
1	硬度（邵氏A）（度*）		42 ± 7	42 ± 7	45 ± 7	48 ± 7
2	拉伸强度（MPa）		≥ 3.5	≥ 3.5	≥ 3.5	≥ 3
3	扯断伸长率（%）		≥ 450	≥ 450	≥ 350	≥ 350
4	体积膨胀倍率（%）		≥ 150	≥ 250	≥ 400	≥ 600
5	反复浸水试验	拉伸强度（MPa）	≥ 3	≥ 3	≥ 2	≥ 2
		扯断伸长率（%）	≥ 350	≥ 350	≥ 250	≥ 250
		体积膨胀倍率（%）	≥ 150	≥ 250	≥ 500	≥ 500
6	低温弯折 $-20^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$		无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹
7	防霉等级		达到或优于2级			

注：1 *硬度为推荐项目；

2 成品切片测试应达到标准的80%；

3 接头部位的拉伸强度不低于上表标准性能的50%。

7.5.5 顶管结束后，应采用水泥砂浆、粉煤灰水泥砂浆等易于固结或稳定性较好的浆液置换触变泥浆；待压浆体凝结后方可拆除注浆管路，将管廊上的注浆孔使用防渗水泥封闭严密，并以闷盖封堵。

7.6 顶进阻力估算

7.6.1 估算矩形顶管顶进力时,应综合考虑管节结构、顶进工作井后座墙结构的允许最大荷载、顶进设备能力、施工技术措施等因素。最大顶进力应大于顶进阻力,但不得超过管材或工作井后座墙的允许顶进力。

7.6.2 顶进阻力估算主要考虑迎面阻力与管道摩阻力(如图 7.6.2 所示)。最大顶进力应小于后座墙提供反力的 0.7 倍,否则应设置中继间。

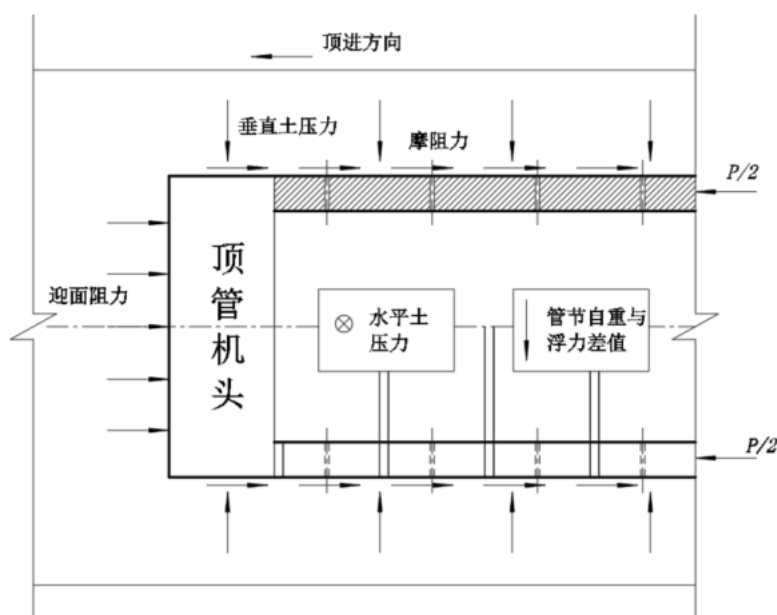


图7.6.2 矩形顶管顶进阻力构成示意图

7.6.3 矩形管道的顶进阻力可按下式进行估算:

$$P = 2(B + H)Lf_k + B'H'P_c \quad (7.6.3-1)$$

式中: P ——总顶进阻力 (kN);

B ——管节宽度 (m);

H ——管节高度 (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/m^2), 通过试验确定, 采用触变泥浆减阻技术时,

其取值可参照表5.6.3选取;

B' ——顶管机宽度 (m);

H' ——顶管机高度 (m);

P_c ——刀盘控制土压力 (kPa), 可按式 (7.6.3-2) 进行计算; 当顶进轴线位于水面以下且土体为砂性土时, 控制土压力可按式 (7.6.3-3) 进行计算;

$$P_c = K_0 \gamma \left(h + \frac{2}{3} H \right) \tag{7.6.3-2}$$

$$P_c = K_0 \gamma \left(h + \frac{2}{3} H \right) + \gamma_w h_w \tag{7.6.3-3}$$

式中： K_0 ——静止土压力系数， $K_0 = 1 - \sin \varphi$ ；
 φ ——土体摩擦角（°）；
 γ_s ——土的重度（ kN/m^3 ）；
 h ——管道埋深（m）；
 γ_w ——水的重度（ kN/m^3 ）；
 h_w ——地下水位线到顶管机机头底部 $\frac{1}{3}H$ 的高度（m）。

表 7.6.3 采用触变泥浆技术时管壁单位面积平均摩阻力（ kN/m^2 ）

土压平衡式	黏性土	粉土	粉、细砂土	中粗砂土
混凝土管	3.0~5.0	5.0~8.0	8.0~11.0	11.0~16.0

注：当触变泥浆技术成熟可靠，管外壁能形成和保持稳定、连续的泥浆套时，可直接取 3.0 ~ 5.0 kN/m^2 。

7.7 中继间设计

7.7.1 当估算顶进力超过主顶工作站的推进能力、施工管道或后座装置所允许的最大荷载 70% 时，应在施工管道中安装中继间进行辅助施工，中继间设置示意图如图 7.7.1 所示。

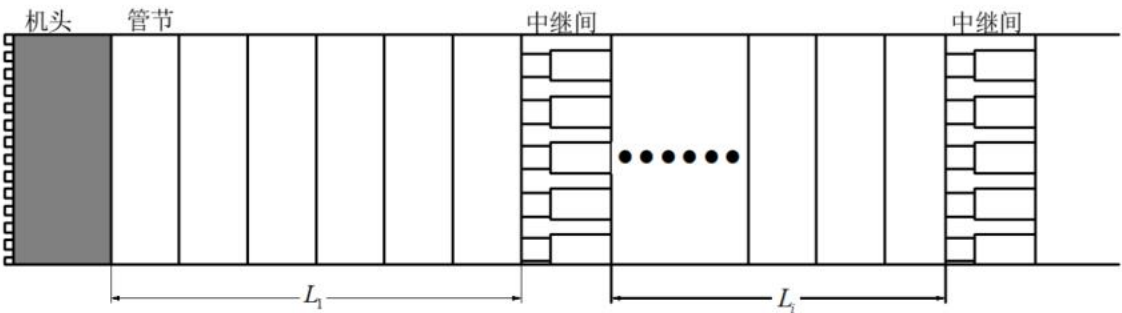


图 7.7.1 中继间设置示意图

7.7.2 中继间设置应符合下列规定：

- 1. 主顶总推力达到中继间的总推力 40%~60%时，放置第一个中继间，顶进过程中启动前一个中继间顶进后，主顶油缸推动的管段总顶进力达到中继间总推力的 60%~80%时安置下一个中继间；
- 2. 中继间顶进力应有富余量，第一个中继间不宜小于自身最大顶进力的 40%，其余不宜小于 30%；
- 3. 中继间的位置和数目一般是根据所预测顶进力以及作用在管道上的允许顶进力来确定，或者根据中继间的最大顶进力来确定，计算公式如下：

$$i \geq \frac{P}{F_y} - 1 \tag{7.7.2-1}$$

式中： i ——中继间的数目（取整数）；

P ——总顶进力；

F_y ——管节或后座墙顶进力，取较小值；

4. 第一个中继间位置按下式计算：

$$L_{i1} \leq \frac{F_y - F_0}{2(B + H)f_k} \quad (7.7.2-2)$$

式中： L_{i1} ——第一个中继间与顶管机头的距离，m；

5. 其他中继间之间的间距按下式计算：

$$L_i = \frac{F_y}{2(B + H)f_k} \quad (7.7.2-3)$$

6. 中继间位置应根据顶进长度和设计顶进力确定，预留足够的顶进力安全系数。第一个中继间宜安装于距离顶管机较近的位置，并提前安装，同时考虑顶管机在迎面阻力作用下发生反弹，引起地面变形。

7.7.3 中继间的构造应符合下列规定：

1. 中继间的允许转角宜大于 1.2° ，合力中心应可调节，其结构示意图见图 7.7.3 所示；

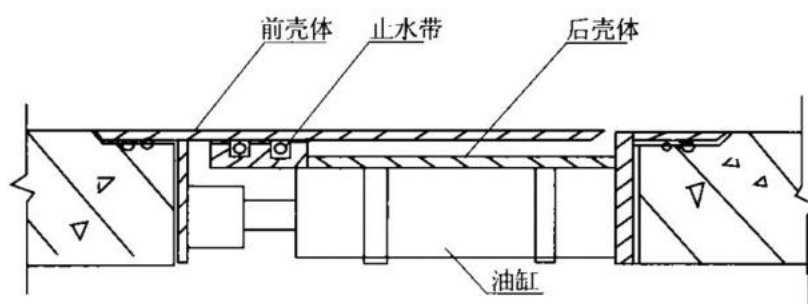


图 7.7.3 中继间结构示意图

2. 中继间应有足够的刚度，其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；
3. 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；
4. 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；
5. 超深、超长距离顶管工程，中继间应选用具有密封性能可靠、密封圈压紧度可调及可更换的密封装置。

7.7.4 中继间液压油缸的布置形式应符合下列规定：

1. 中继间的油缸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。

7.7.5 中继间结构须在安装前进行防腐处理。顶管施工完成后，拆除中继间内部零部件，保留壳体并做好壳体防水结构，加做钢筋混凝土衬砌作为管廊永久性结构。

7.8 始发井、接收井设计

7.8.1 应根据场地工程地质、水文地质、周边环境等条件合理选用工作井的支护结构形式，并应符合下列规定：

1. 在土质较软且地下水较丰富的地区，如果场地允许，宜采用沉井；
2. 在顶管埋置较深、顶进力较大的软土地区，宜采用沉井或地下连续墙；
3. 当顶管埋置较浅、地下水位较低、顶距较短时，宜选用钢板桩或 SMW 工法桩；
4. 当地下水位比顶管埋设深度低或无地下水的地段，可选用灌注桩或钢板桩；
5. 当周边建筑需要保护时，宜采用地下连续墙；
6. 当顶进力较大时，除沉井外其它形式的工作井都应设置钢筋混凝土后座墙；
7. 始发井与接收井端墙面应与顶管中心线垂直，若受地形条件限制，则可将工作井做成异形，只需将端墙面与顶管中心线垂直即可；
8. 工作井支护形式尚应满足国家其他现行标准及《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ311 的相关要求，并应符合江苏省各地市基坑工程管理办法的规定。

7.8.2 始发井、接收井尺寸要求应符合下列规定：

1. 净尺寸和内支撑应满足井内设备安装的需求；
2. 始发井的最小长度宜按下式计算：

$$L_j = L_1 + L_2 + L_3 + m \quad (7.8.2-1)$$

式中： L_j ——始发井的最小长度（m）；

L_1 ——顶管机或管段长度，取两者中大值（m）；

L_2 ——顶进油缸长度（m）；

L_3 ——后座墙厚度（m）；

m ——考虑顶管管道后退、顶铁的厚度及安装富余量，可取1.5m；

3. 始发井的最小宽度可按下式计算：

$$b = B + 2k \quad (7.8.2-2)$$

式中： b ——始发井的最小宽度（m）；

k ——施工操作空间，可取1.0m~1.5m，浅始发井取小值，深工作井取大值；

4. 始发井的底板面深度应按下式计算：

$$H_d = h + H + h_d \quad (7.8.2-3)$$

式中： H_d ——始发井底板面最小深度（m）；

h ——顶管埋深（m）；

h_d ——管底操作空间（m），钢筋混凝土管可取 $h_d = 0.4m \sim 0.5m$ ；

5. 接收井的最小长度和宽度应满足顶管机在井内拆除和起吊的要求。

7.8.3 始发井后座墙应满足以下要求：

1. 应有足够的强度，确保在顶管施工中能承受主顶工作站油缸的最大反作用力；
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在允许范围内；
3. 后座墙表面应平直，并垂直于顶进管道的轴线。

7.8.4 后座墙承载能力可按下列方法计算：

1. 一般可按下列公式进行计算

$$R_c = S_0 \cdot B_h \cdot \left(\gamma \cdot h_2^2 \cdot \frac{K_p}{2} + 2C \cdot h_2 \cdot \sqrt{K_p} + \gamma \cdot h_1 \cdot h_2 \cdot K_p \right) \quad (7.8.4-1)$$

式中： R_c ——后座墙的承载能力（kN）；

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

B_h ——后座墙的宽度（m）；

h_2 ——后座墙的高度（m）；

K_p ——被动土压系数，计算参考公式 $K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$ ，其中 φ 指的是土的内摩擦角；

C ——土的粘聚力（kPa）；

h_1 ——地面到后座墙顶部土体的高度（m）；

2. 后座墙的承载能力也可分别用下列公式计算：

在不考虑后背支撑情况时：

$$R_c = \frac{K_p \cdot \gamma \cdot H_0}{\eta} \cdot B_h \cdot h_2 \quad (7.8.4-2)$$

在考虑后背支撑情况时：

$$R_c = \frac{K_p \cdot \gamma \cdot B_h \cdot H_0}{2 \cdot \eta} (h_1 + 2h_2 + h_3) \quad (7.8.4-3)$$

式中： H_0 ——始发井的深度（m）；

h_3 ——后座墙深入基坑底部深度（m）；

η ——安全系数，通常取 $\eta \geq 1.5$ ；

7.8.5 后靠土体需要加固时，应符合下列规定：

1. 当无原状土作后座墙时，应设计结构简单、稳定可靠、就地取材、拆除方便的人工后座墙；
2. 在设计后座墙时应充分利用土抗力，在工程进行中应严密的注意后背土的压缩变形值，残余变形值应不大于 20mm，当发现变形过大时，应考虑采取辅助措施，必要时应对后靠背土体进行加固，以提高土抗力；
3. 后靠背土体的加固可采用搅拌桩或旋喷桩等形式，必要时可在加固体内部插入型钢，也可在始发井后靠背土体上适当堆载。

7.8.6 井壁预留洞口应符合下列规定：

1. 始发井壁预留始发洞口尺寸不宜小于顶管机外尺寸+0.20m；
2. 接收井壁预留接收洞口尺寸不宜小于顶管机外尺寸+0.30m；
3. 预留洞口的底面与工作井底板面的距离不宜小于 400-500mm；
4. 始发井和接收井的洞门临时封门可采用钢封门、砖砌封门、钢筋混凝土封门、型钢封门或以上几种的组合等形式。

7.8.7 洞门外土体加固应符合下列规定：

1. 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、管廊断面尺寸、埋深和周围环境等情况决定，土体加固可采取水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、冰冻法或降水等形式；
2. 顶管洞口的加固效果可采用钻芯取样的方式进行检验，加固体的强度宜在 0.5-1.0MPa 之间，并应检查加固体的均匀性和防渗漏性能，始发、接收前应在洞门上打设探测孔，确认止水措施的有效性；
3. 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；在砂性土、粉土等土层宜采用盘根止水，在粘性土土层宜采用橡胶板止水。覆土深度超过 10m、地层为透水层时，应设置井壁预埋钢环，宜采用双层止水橡胶板，橡胶压板可加工成铰接；覆土深度超过 15m 时宜采用钢刷止水装置，在承压水土层中宜用组合形式止水。

7.8.8 顶管完成后，管道与洞口之间的间隙应及时有效地进行封堵，封堵结构应牢固可靠，有效防止渗漏。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 施工单位应按照设计资料编制相应施工组织设计，宜对土体加固、注浆减阻、始发和接收等关键分项编制专项施工方案。

8.1.2 施工单位必须遵守国家 and 地方政府有关环境保护的法律、法规，采取有效措施控制施工现场的各种粉尘、废气、废弃物以及噪声、振动等对环境造成的污染和危害。

8.1.3 工程所用的管材、管道附件、构（配）件和主要原材料等产品进入施工现场时必须进行进场验收并妥善保管。

8.1.4 现场配置的混凝土、砂浆、防腐与防水涂料等工程材料应检测合格后方可使用。

8.1.5 所用管节、半成品、构（配）件等在运输、保管和施工过程中，必须采取有效措施防止其损坏、锈蚀或变质。

8.1.6 在质量检验、验收中使用的计量器具和检测设备，必须经计量检定、校准合格后方可使用。承担材料和设备检测的单位，应具备相应的资质。

8.1.7 两条或多条平行管廊采用顶管法施工时，宜先深后浅、先大后小；平行管道掘进时，其净距不宜小于 0.5m，并应采取相应的措施，对先行顶进管道加强安全监测。

8.1.8 施工质量控制应符合下列规定：

1. 各分项工程应按照施工技术标准进行质量控制，每分项工程完成后，必须进行检验；
2. 相关各分项工程之间，必须进行交接检验，所有隐蔽分项工程必须进行隐蔽验收，未经检验或验收不合格不得进行下道分项工程。

8.1.9 施工应按照相应的施工技术标准对工程进行全过程控制，建设单位、勘察单位、设计单位、监理单位等各方应按有关规定对工程质量进行管理。

8.2 施工准备

8.2.1 综合管廊矩形顶管施工前应按照设计文件要求编写施工组织设计。

8.2.2 施工组织设计应包括下列主要内容：

1. 工程概况：主要介绍施工场地条件、工程地质和水文地质条件、地面及地下建（构）筑物、地下管线及其他地下障碍物、施工过程中主要风险及重难点等内容；
2. 编制依据及采用标准；
3. 施工场地总平面布置；
4. 工作井技术措施：根据工作井结构型式制定相应技术措施；

5. 设备选型：应根据管廊断面尺寸、顶管长度、估算的总顶进力、顶管方法等确定顶管设备类型，包括顶管机型、中继间构造和数量、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；
6. 矩形顶管机选型应符合下列要求：刀盘形式应满足盲区最小的原则；对切削下的土体应满足一定的搅拌率；刀具组合应对可能穿越的不同地层条件具有适应性；螺旋出土器的出土口宜具备远程操作关闭的能力；具备应急处理能力；
7. 主要施工技术措施，具体详见 8.2.3 节；
8. 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；
9. 施工安全和质量控制措施；
10. 文明施工和环境保护措施；
11. 施工应急预案：包括应急动力配置、应急电源配置、障碍物处理措施、周边环境控制、机械故障处理措施和顶管施工关键分项的突发事件处理预案等；
12. 施工组织管理措施：包括始发和接收条件保障管理（人员准备、管节准备、机械准备、材料准备等）；
13. 现场远程管理和视频监控。

8.2.3 施工应采取的主要技术措施应包括下列主要内容：

1. 总顶进力估算、后背承载力估算；
2. 后靠背、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. 始发和接收措施及安全控制；
4. 管节预制场地及运输、吊装措施、管材的选择及管节长度的确定、管节的连接与防水；
5. 管节的内外防腐及保护措施；
6. 顶进减阻措施，触变泥浆的配制与管理方法；
7. 洞口外缘宜设过渡导轨；
8. 排渣方式和渣土的处置，附渣土暂存位置图；
9. 顶进纠偏措施；

10. 管道定位和测量方法, 采用的测量仪器, 测量精度分析;
11. 地面变形的控制及对周边环境影响的控制措施;
12. 中继间的布设位置、安装、使用与拆除措施;
13. 顶管施工时的通风、供电、照明、通讯等措施;
14. 工程重点部位和关键环节的技术措施;
15. 管道贯通后的处理措施、泥浆置换的措施和方法。

8.3 管节制作及运输

8.3.1 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、公差应符合产品设计图几何尺寸的要求外, 还应符合下列规定:

1. 结构的设计应合理, 内模、外模必须有足够的强度、刚度和稳定性;
2. 钢模的使用应拆装方便, 使用安全;
3. 管节钢模的承口、插口部分应加工, 加工精度应高于管节承口、插口的设计精度。

8.3.2 每套钢模生产 100 节管节后应进行 1 次综合检验, 其检验内容应包括内模、外模的几何尺寸偏差及形位误差。偏离公差范围的钢模, 不得继续使用。

8.3.3 混凝土强度检测应采用 150mm×150mm×150mm 的试块。

8.3.4 混凝土管节所使用的水泥和砂石应符合下列规定:

1. 场地没有侵蚀性介质作用时, 宜采用普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥;
2. 当防水混凝土中掺入粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等活性矿物掺合料时, 宜采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥;
3. 混凝土骨料的碱含量应符合现行国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733 的规定;
4. 采用外加剂时应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定;
5. 在受侵蚀性介质作用时, 应按侵蚀性介质的性质选用相应的水泥品种;
6. 用于防水混凝土的砂、石应符合现行国家标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定;

7. 混凝土管节表面应光洁、平整、无砂眼、气泡，尺寸应符合设计要求。

8.3.5 钢筋混凝土管节长度应根据使用条件和起吊能力确定，起吊强度不得低于 70%设计强度。

8.3.6 管节接口及连接形式应符合设计要求，插口工作面不应有气泡、裂缝，接口处应做好防水，可采用弹性密封填料或密封胶圈填充。

8.3.7 对钢筋工程、预埋件工程等隐蔽工程实施“三检”制度，对不符合质量要求的不予验收，不准进入下道工序施工。

8.3.8 管节传力面上应设置木垫圈，并用胶粘剂粘在传力面上。

8.3.9 管节的养护应符合下列规定：

1. 混凝土浇筑成型后可采用蒸汽养护或自然养护方式进行；
2. 蒸汽养护应严格遵守养护规定，必须分静停、升温、恒温、降温四个阶段进行，蒸汽养护环境相对湿度不得小于 90%；
3. 采用自然养护时应保持管节混凝土表面湿润，当气温超过 25℃时应采用软织物覆盖并及时浇水。

8.3.10 管节、构（配）件和主要原材料等产品进入施工现场时必须进行进场验收并妥善保管。

8.3.11 管节运输应符合下列规定：

1. 管节在搬运、吊装及运输过程中，应轻吊、轻装、严禁碰撞；
2. 管节在搬运、吊装及运输过程中，应采用专用工具和起吊设备进行翻转、搬运，不得损坏管节的承口、插口部位；
3. 管节运往施工现场，应先行对运行道路的路况进行踏勘，制定详尽的运输方案和安全措施，并取得交通管理部门的许可；
4. 应使用专用车辆，专用垫衬，将管节的插口部分竖直、平稳地放置在运输车上，并应绑扎牢固；
5. 车辆运行时应在车身的左右两侧和车辆尾部安放警示灯，还应在交通管理部门的指导下，运输途中应有特种车引道。

8.4 设备及安装要求

8.4.1 起重设备应在保证安全的条件下，具有满足顶管机、管节、配套设备等的起吊要求的起吊能力。

8.4.2 在工作井内应安设钢扶梯，上铺走道板。

8.4.3 顶进施工前在洞圈上安装帘布橡胶板密封洞圈。

8.4.4 基座必须定位准确、安装稳固，在顶进过程中不位移、不变形、不沉降；基座上的两根轨道必须平行、等高；在基座的两侧应安装有止退装置，防止油缸回缩时顶管机和管节后退。

8.4.5 顶管后座安装应符合下列规定：

1. 后座所用材料厚薄均匀一致；
2. 后座表面要平直，且必须垂直顶进轴线；
3. 后座可采用装配式后座或整体式后座；
4. 后座承载能力应满足最大顶进力的要求，其整体刚度和强度应满足设计要求；
5. 连续顶进时，可利用已顶进完毕的管道作为后座支撑。

8.4.6 导轨的安装应符合下列规定：

1. 导轨支架采用钢材制作并安装牢固，其整体刚度和强度应满足设计要求，使用过程中不应产生位移；
2. 导轨对管道的支承角宜为 60° ，导轨高度应保证管道中心对准穿墙孔中心，导轨走向应与设计轴线一致；
3. 导轨安装的允许偏差为：轴线位置 $\pm 3\text{mm}$ ，标高 $0\sim+3\text{mm}$ ，轨道内距 $\pm 2\text{mm}$ 。

8.4.7 主顶油缸及支架安装应符合下列规定：

1. 根据工作井允许顶进力、管段允许顶进力以及顶进力富裕情况要求确定油缸的规格和数量；
2. 油缸行程宜满足管节一次顶进要求，单只顶进力宜不小于 2000kN ；
3. 油缸应固定在组合架上，不宜使用单支；使用多支时，宜为偶数，且应围绕管节中心轴对称布置，多支油缸的油路必须并联；
4. 中机架、前机架按顺序分次进行吊装，起吊前认真检查吊环是否紧固，下井过程中，在机架两侧栓绳牵引，防止在下井过程中机架旋转造成顶管机以及井内设施的损坏；
5. 后机架吊装时，基座和主顶油缸按上、下段分段、分次进行，先安装好基座，再进行主顶油缸安装。

8.4.8 主站油泵安装应符合下列规定：

1. 油泵应与油缸性能相匹配，其流量宜满足顶进速度要求；
2. 油泵宜设置在油缸附近，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。

8.4.9 顶管机的安装和调试应符合下列规定：

1. 顶管机应适应穿越土层的物理力学特性、有无地下水、是否存在氧气、有毒有害气体如甲烷、地下障碍物处理情况和需要保护的构建筑物等因素，并具备精确测量迎面阻力的装置；
2. 顶管机始发井内配套组装顺序为：导轨→后靠钢盒→油缸架→主顶油缸→顶环→过渡顶铁；
3. 顶管机吊装顺序为：后配套吊装→主机吊装→液压系统吊装→其它配套系统吊装；
4. 主机组装顺序为：前壳体 1→动力系统→前壳体 2→中后壳体 1→中后壳体 2→刀盘安装→螺旋输送机安装→后配套与主机连接；
5. 顶管机组装包括始发井底板处理及始发导轨的安装、前壳体安装、动力系统安装、中后壳体安装、螺旋输送机下井安装、刀盘下井组装、顶管机调试、顶管机拆解及倒运等；
6. 顶管机吊下井后，需对顶管机进行精确定位，使顶管机轴线与设计轴线一致；
7. 在顶管机准确定位后，必须进行反复调试，在确定顶管机运转正常后，方可进行顶管始发和正常顶进工作。

8.4.10 顶铁安装应符合下列规定：

1. 顶铁两个受压面应平整、平行；
2. 顶铁应具有刚度大、稳当性好和满足传递顶进力的要求；
3. 顶铁与管口之间的接触面应衬垫缓冲材料；
4. 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；
5. 更换顶铁时，应先使用长度大的顶铁，顶铁拼装后应锁定。

8.4.11 管节安装应符合下列规定：

1. 拼装管节时，主顶油缸在缩回前应对已顶进的管节与井壁或导轨进行临时固定，相关止退措施应通过设计计算确定；

2. 管节起吊前应进行试吊,起吊操作应平稳,起吊前在管节上栓绳牵引,以防起吊过程管节旋转,造成管节及井内设施碰撞、损坏;
3. 每节管节安装前,需先粘贴止水圈及木衬垫,管节与管节的接口部分应按设计要求进行嵌填,同时,应保证管节与机体处于同心同轴状态,管节相连后应在同一轴线,不应有夹角、偏转,受力面应均匀。

8.4.12 中继间的安装、运行、拆除应符合下列规定:

1. 中继间壳体应有足够的刚度,其油缸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、退油的控制系统;
4. 中继间安装前应检查各部件并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. 中继间的设计允许顶进力不应大于管节的允许顶进力;
6. 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;
7. 中继间的启动和拆除应由前向后依次进行;
8. 拆除中继间后,应将中继间间体复原成管道,原中继间处的管道强度和防腐性能应满足管廊原设计功能要求,中继间的外壳若不拆除,应在安装前进行防腐处理。

8.5 注浆减阻

8.5.1 现场应设置减阻泥浆站,满足顶管工程所需不同泥浆的配置需求。

8.5.2 顶管过程中应向管外壁与土体间注入润滑浆的方式减阻并应满足下列要求:

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. 当顶管机始发进入地层一定距离后,开始第一节管节的压浆,并在以后顶进中压浆位置逐渐后移,保证顶管始发阶段形成完好的泥浆套;

5. 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. 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；
7. 长距离顶管的注浆与补浆应分别设独立的注浆系统，注浆宜使用低压力、大流量的注浆泵，补浆可使用高压力、小流量的注浆泵。

8.5.3 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。

8.5.4 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. 注浆泵可选用液压泵、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. 注浆孔的布置应按管道断面大小确定；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；
5. 宜根据地层条件设置一定数量的润滑站，其中第一个润滑站要尽可能地靠近顶管机布置；
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；
8. 注浆时注浆压力应逐步升至控制压力；
9. 当注浆遇有机械故障、管路堵塞、接头渗漏等情况时，经处理后方可继续顶进。

8.5.5 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、注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. 顶管始发的泥浆封闭措施;
5. 顶管贯通后对润滑浆的置换方法。

8.5.6 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。

8.5.7 注浆孔的实际注浆量,对于粘性土和粉土不宜大于理论注浆量的 1.5~3.0 倍,对于中粗砂层宜大于理论注浆量的 3 倍以上。

1.1.1 注浆压力 P_s 可按公式 8.5.8 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 $P_s = (2 \sim 3) \gamma H$ 。

$$P_A \leq P_s \leq P_A + 30 \quad (8.5.8)$$

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)。

8.5.8 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。

8.6 顶管机始发和接收

8.6.1 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应进行预加固处理，始发和接收前应采取洞门探孔的方式检查加固处理后的土体强度和渗漏水情况，探孔数量及布置情况，根据洞门尺寸进行综合考虑；
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，洞门拆除顺序应满足专项方案要求；
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. 当洞口土层为粘性土且地下水压力较高时，宜采用橡胶板止水，并应加快始发、接收的施工速度；当洞口土层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，并缩短始发、接收的施工时间，无法降水时，应对土体进行固结处理；当洞口土层为砂土时，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；
6. 在施工阶段，顶管始发井的洞圈上安装帘布橡胶板密封，无漏泥、滴水现象，并采用可调节的钢压板作后靠，以保证帘布橡胶板的密封性能（见图 8.6.1）；

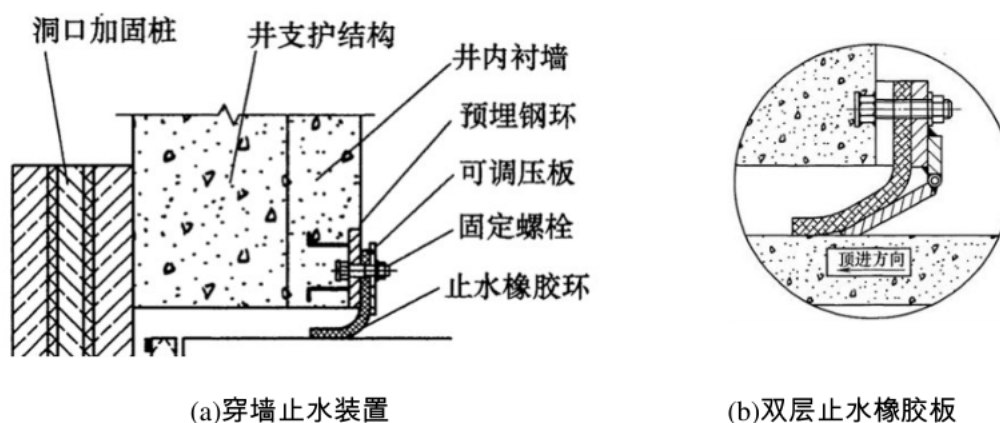


图8.6.1 洞口止水装置

7. 当管廊覆土厚度超过 10m、地层为透水层时，应在井壁设置预埋钢环，宜采用双层止水橡胶板；橡胶压板可加工成钳接；深度超过 15m 时宜采用钢刷止水装置；

8. 顶管管节与工作井的永久接头采用后浇的钢筋混凝土井圈，混凝土强度等级及抗渗等级应与顶管工作井结构一致；为保证管节与工作井的可靠连接，需在洞口处及其相应的管节预埋钢框，以便后浇混凝土井圈与管节和工作井结构形成整体；

9. 在软弱地层，洞口外缘宜设支撑点。

8.6.2 为防止在软土地区顶管始发时出现顶管机倾斜下沉，应采取以下措施：

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. 始发、接收作业应迅速连续，不应停顿；
3. 宜在洞口内设置支撑顶管机的临时装置。

8.6.3 顶管始发作业应符合下列规定：

1. 洞口凿除物应清理干净，导轨上的管道应与洞口的止水装置保持同轴，避免损坏洞口的止水装置；
2. 始发井为沉井时，应先拆除内侧的临时砖墙或混凝土封门，然后拆除井壁封板或其他封填措施；
3. 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；
4. 在不稳定土层中始发时，封门拆除后应马上将顶管机切入土层，避免前方土体松动和坍塌；
5. 顶管及进入地层后应慢速推进，减小迎面土压力；
6. 应做好软土地区顶管始发时顶管机倾斜下沉的防控措施；
7. 始发后应立即封闭洞口间隙，防止水土流入坑内。

8.6.4 顶管机接收和洞口封门拆除应符合下列规定：

1. 对于钢板桩工作井，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. 当工作井的围护结构为沉井时，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. 在不稳定土层中接收时，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，确保顶管机安全接收。

8.6.5 顶管机拆解与吊出应符合下列要求：

1. 顶管机到达接收井进行后，应按依次为刀盘、前壳体上分体、前壳体下分体、动力系统、中后壳体、螺旋输送机及其他部件的顺序进行拆解和吊出；
2. 每块拆解完成后立即装车，采用大型液压平板拖车转运，运输前对运输线路进行实地考察；运输过程中，确保每个部件固定可靠，并做充分的防护措施。

8.7 顶进作业

8.7.1 顶进前的管节准备应符合下列规定：

1. 顶进前应对成品管道、钢套环、橡胶密封及衬垫材料进行检测和验收并符合相关要求；
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，承插后橡胶圈不应产生移位和翻转。

8.7.2 顶进工艺参数应符合下列规定：

1. 初始顶进速度宜控制在 5mm~10mm/min 范围；
2. 正常顶进时，顶进速度宜在 10mm~20mm/min 范围；
3. 出土量宜控制在理论出土量的 95%~105%；
4. 工作面压力值、刀盘扭矩等参数应根据顶管机机型合理确定。

8.7.3 当采用中继间时，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，主顶工作站完成该顶进循环的最后顶进作业。

8.7.4 施工参数的记录要求包括以下内容：

1. 顶管始发前应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；
2. 顶进施工中的原始数据记录应连续、真实、完整；
3. 原始记录和测量分析资料应完整存档。

8.7.5 加接管段时，主顶油缸在缩回前应对已顶进的管段与止退架进行临时固定。

8.7.6 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，并应采取措施防止顶管机前方塌方：

1. 顶进力和扭矩出现异常；
2. 顶管机前方遇到障碍物；
3. 后座墙变形严重；
4. 顶铁发生扭曲现象；
5. 管位偏差过大且纠偏无效；
6. 顶进力超过管材的允许承载力；
7. 油泵、油路发生异常现象；
8. 管节接口、中继间渗漏泥水、泥浆；
9. 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。

8.7.7 应针对以下紧急情况制定应急预案，并能及时采取应对措施：

1. 顶管机穿越众多管线引起管线沉降偏大的风险；
2. 由于工程施工而产生周围环境卫生水平下降的风险；
3. 施工期间存在突然停电、停水等影响工程质量的风险；
4. 施工期间存在不测恶劣水文气候条件对工程产生不利影响的风险；
5. 各种意外事件对工程施工工期如期完成构成风险；
6. 施工现场机械设备产生故障的风险；
7. 施工现场的火灾风险；
8. 工程项目的实际成本超出计划预算的风险。

8.7.8 应对水土压力及顶管机开挖面力进行复核，合理设定顶管机的正面压力值。开挖仓土压力控制措施及监测应符合下列规定：

1. 始发阶段顶管机进入原状土后，为防止机头“磕头”，宜适当提高顶进速度，使正面土压力稍大于理论计算值；

2. 在顶管机切口进入接收井洞口加固区域时，应适当减慢顶进速度，调整出土量，逐渐减小机头正面土压力，以确保顶管机设备完好和洞口结构稳定；

3. 密切关注顶管机的土压力参数，随时掌握顶管机掌子面的压力数值。

8.7.9 应严格控制出土量，防止超挖或欠挖。初始顶进时，出土量宜为理论出土量的 95%；正常情况下出土量控制在理论出土量的 95%~105%；加固区一般控制在 105%左右，非加固区一般控制在 95%左右。

8.7.10 排泥时应将泥土仓的土压力控制在比地层的主动土压力大 10~30kpa 范围内。

8.7.11 在含水量少的土层顶进排土困难时，宜向泥土仓注水或加气，增加切削土体的流动性；在砂层中顶进时，宜向泥土仓注泥，增加切削土体的流动性和抗渗性；在黏性土中顶进时，适量注入分散剂，降低土体的粘稠度。

8.7.12 每段管节顶进完成后，在停止推进后应继续转动刀盘将泥土仓内的土体搅拌均匀。

8.7.13 刀盘前面的注浆口、注水口或浓泥注入口宜设置在刀盘中心前面及刀盘辐条上，提高搅拌效率；注入口应安装防护头和单向阀。

8.7.14 采用土砂泵出土时应使排土具有良好的流动性和均匀性；采用矿车出土时，应注意及时停止顶进。

8.8 施工控制

8.8.1 顶管施工前，应根据管道设计中线 and 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。

8.8.2 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。

8.8.3 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。

8.8.4 顶管定向测量应采用激光指向法，必要时应在管内设置测站，采用导线法转站测量。

8.8.5 顶管高程测量宜采用下列方法并应分别满足下列要求：

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。

8.8.6 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。

8.8.7 管道顶进过程中，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。

8.8.8 顶管机进入接收井前应提前对其位置和姿态进行测量并与进口位置进行复核，需要时应提前进行调整。

8.8.9 在软土层中顶进混凝土管时，为防止部分管节不均匀沉降，宜将前 3~5 节管体与顶管机联成一体。

8.8.10 应严格控制管道线形，其相邻管间转角不得大于该管材的允许转角。

8.8.11 顶管施工的测量与纠偏应符合下列规定：

1. 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；
2. 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；
3. 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；
4. 顶管机进入接收井前 30m 应增加测量，每顶进 300mm，测量不应少于一次；
5. 纠偏量较大或频繁纠偏时应增加测量次数；
6. 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），并检查复核；
7. 顶进距离大于 300m 时，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；
8. 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；
9. 纠偏应在管道推进和刀盘旋转的过程中进行；
10. 应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；

11. 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。

8.9 土体改良与渣土外运

8.9.1 顶管机在顶遇不良地层时，应进行土体改良。

8.9.2 管内弃土的运输宜采用泵送为主，矿车轨道运输为辅的方法。

8.9.3 外运前的渣土应存放在施工场地内专用的渣土池中，禁止随意排放渣土中的渗水。

8.9.4 废弃渣土应集中运至指定的渣土处理中心处理；废弃泥浆应外运至相关管理部门指定存放地点。

8.10 施工监测

8.10.1 顶管施工的监测范围应包含以下内容：

1. 施工监测的范围应包括地面以上和地面以下两部分。地面以上应监测地表和周边建筑物的沉降、位移和损坏；地面以下应监测在顶管扰动范围内的地下构筑物、各种地下管线的沉降、水平位移及泄漏等；

2. 监测等级按符合《建筑变形测量规范》JGJ 8 中的有关规定，采用二级变形测量级别。

8.10.2 顶管施工的监测项目应包含以下内容：

1. 顶管管节结构监测，包括管节应力和外观监测，观察裂缝应记录地面和结构裂缝的生成时间、裂缝的长度及宽度发展状况；

2. 工作井工程支护结构及周围土体变形监测，采用目测巡视，检查支护结构成型质量、支护有无裂缝出现，施工过程中有无涌土、流沙、管流；

3. 对周围土体进行水平位移、路面沉降监测，按相关测量国家标准执行；

4. 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它重要措施进行监测；

5. 对轨道交通、重要管线等的监测要求应符合相关专业要求。

8.10.3 测点间距应符合下列要求：

1. 路面水平位移监测点设置要求为纵向间距 20m，横向间距 5m；

2. 沉降监测点设置要求为纵向间距 20m，横向间距 5m；

3. 距离管线 60° 角范围内的建筑物均需设置沉降观测点，建筑物四角、外墙每 10m-20m 处设置监测点。

8.10.4 沉降或变形监测可按表 8.10.4 设置报警值。

表 8.10.4 报警参考值

项目	报警指标	
	日变化量 (mm)	累计变化量 (mm)
顶管经过路面水平位移、沉降监测	±2	±30
周边既有建筑沉降、倾斜监测	±3	±20

注：可将以上警戒值的 80%作为预警值。

8.10.5 对监测数据的处理应满足下列要求：

1. 监测数据经过整理后以“日报表”形式上报相关部门；
2. 实测数据达到（或超过）报警值时，即刻向相关负责人口头报警，以便及时采取相关措施；
3. 在“日报表”上对超限数据用明显的示警标记提示；
4. 满足设计计算的要求，不可超出设计值；
5. 满足测试对象的安全要求，达到保护目的；
6. 对于相同的保护对象应针对不同的环境及不同的因素而确定；
7. 满足各保护对象的主管部门提出的要求；
8. 满足现行的相关标准规范的要求；
9. 在保证安全的前提下，综合考虑工程质量和经济等因素，减少不必要的资金投入。

8.11 地表沉降控制和周边结构保护措施

8.11.1 顶进中对地层变形的控制应符合下列规定：

1. 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. 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；
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. 保持开挖量与出土量的平衡；
5. 通过控制土压、水压平衡来控制地面变形。

8.11.2 地面变形应符合下列规定：

1. 顶管造成的地面变形不应造成道路开裂，大堤及地下设施损坏和渗水；
2. 顶管造成的地面变形量应满足以下要求：土堤宜小于 30mm，或根据具体工程要求而定；公路宜小于 20mm，或根据具体工程要求而定；顶管穿越铁路或其它对变形敏感的地下设施时，累计变形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。

8.11.3 控制地表沉降的措施应包含以下内容：

1. 减小减阻泥浆套的厚度；
2. 要严格遵守操作规程，及时进行测量，避免大角度纠偏；
3. 严格控制出泥量，不可超量出泥；
4. 顶管结束后应采用水泥砂浆加固或置换减阻泥浆。

8.12 顶后处理

8.12.1 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。

8.12.2 顶进完成后，管道内的管节接口应按设计要求处理；设计无要求时，接口处应填缝抹平，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。

8.12.3 对于顶进完成后管外侧超挖、塌落等原因造成的空隙需进行注浆填充，注浆材料必须选用可硬性浆液，注浆率、注浆压力、注浆部位等必须满足施工规程要求。

8.12.4 应按地层性质、地面超载条件、变形控制要求、注浆设备的特点经试验选择合适的浆液配比，注浆浆液的性能应达到表 8.12.4 的规定。

表 8.12.4 可硬性浆液的性能指标

测试内容	性能标准
稠度 (cm)	10~11
初凝值 (h)	16~24
泌水量 (ml/mm ²)	<2.5
抗压强度 (MPa)	R7≥0.1 MPa, R28≥0.5 MPa
密度 (g/cm ³)	1.75±0.5

8.12.5 注浆压力应结合地层水土压力、管阻损耗压力和管节稳定性进行综合计算设定，并满足环境保护要求。

8.12.6 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润滑泥浆，注浆作业应符合下列规定：

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,将原注浆孔作为排浆孔使用,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。

8.12.7 拆除注浆管路后,将管道上的注浆孔使用防渗水泥封闭严密。

8.12.8 顶进完成后,为防止管节产生不均匀变形,可在管道纵向施加预应力,将管片连成整体,以抵抗单节或多节管片承受浮力。预应力筋张拉或放松时,混凝土强度应符合设计要求;锚具的封闭保护应符合设计要求,并应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。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。

8.12.9 管廊贯通后,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。

8.12.10 管节渗漏水的治理应符合下列规定:

1. 宜在气温较低,接口、裂缝张开较大时进行注浆堵水处理;
2. 结构仍在变形、未稳定的裂缝渗漏水,可先行堵水处理,同时应具备结构稳定后进一步治理的条件;
3. 需要补强的渗漏部位,应选用改性亲水环氧树脂灌浆材料、水泥基灌浆材料、油溶性聚氨酯灌浆材料等固结体强度较高的灌浆材料。

8.13 通风、供电与照明

8.13.1 必须确保施工人员安全,管廊内部应安装有毒有害气体检测报警装置;长度超过 50m 的顶管必须采取通风措施。

8.13.2 送风口宜设在距顶管机 12~15m 处。

8.13.3 小断面、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。

8.13.4 供气量不应小于 30m³/h/人，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。

8.13.5 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。

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

8.13.7 通风和有毒有害气体指标应符合下列要求：

1. 含氧浓度（O₂）应维持在 19%~21%的正常范围；小于 17%为报警值；当小于等于 12%时，管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。

8.13.8 顶管段贯通后应继续保持通风。

8.13.9 供电功率应满足现场机具运转和人员工作、生活的要求。

8.13.10 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，井下顶管系统和主油缸用电系统。

8.13.11 管内供电系统应配备防触电、漏电装置。

8.13.12 井内与管内照明应采用 36V 的低压防爆行灯。

8.13.13 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。

8.13.14 定期对电气设备、电缆线路进行检查。

9 质量检验与验收

9.1 一般规定

9.1.1 工程所用的管材、管道附件、构（配）件和主要原材料等产品进入施工现场时必须进行进场检验和验收并妥善保管。

9.1.2 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，验收批、分项工程、分部工程、单位工程按表 9.1.2 进行划分。

表 9.1.2 矩形顶管工程验收批、分项、分部和单位工程划分

单位工程	分部工程	子分部工程	分项工程	验收批
按现场实际情况进行划分	主体结构工程	现浇混凝土结构工程	钢筋、模板、混凝土、支墩	每座井的每条施工缝
		沉井工程	沉井制作（钢筋、模板、混凝土）、沉井下沉、沉井封底（底板钢筋、底板混凝土）	每座井的每条施工缝
		工作井区间的顶管	始发与接收洞口、管节、管道顶进、顶进管廊	顶管每 100m~200m 区间

注：沉井以外的顶管工作井围护形式应满足相关规范的规定。

9.1.3 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%，且超差点的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。

9.1.4 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。

9.1.5 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根据顶管工程目的，按国家现行相关标准执行。

9.1.6 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。

9.1.7 顶管工程质量验收不合格时，应按下列规定处理：

1. 经返工重做或更换管节、管件、管道设备等的验收批，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。

9.2 管节验收

主控项目

9.2.1 管节的规格、技术性能、产品质量应符合国家相关标准的规定和设计要求。

9.2.2 检查方法：对照设计文件检查产品每批出厂质量保证资料、力学性能检验报告；检查成品管进场验收记录。

9.2.3 钢筋混凝土管管节应无裂缝、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：目测观察。

9.2.4 木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。

9.2.5 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：按批次检查；检查进场台帐记录、质保书检测报告，外观目测检查。

9.2.6 橡胶圈粘接剂涂刷应均匀、粘接牢固、无皱折、断面无明显收缩。检查方法：按台班检查；目测、尺量。

9.2.7 接口橡胶圈安装位置应正确，无位移、脱落现象。检查方法：逐个接口观察。

一般项目

9.2.8 管节制作允许偏差应符合表 9.2.7 的规定。

表 9.2.7 矩形钢筋混凝土管节制作允许偏差

序号	检查项目		允许偏差 或允许值	检查数量		检验办法
				范围	点数	
1	承插口尺寸偏差 (mm)	承口宽度、高度	± 1.5	每节	4	垂线、尺量
		插口工作面宽度、高度	± 1.5			
		承口长度	± 1	每节	4	尺量
		插口长度	± 2			
		承插口端面平整度	≤ 3	每节	4	2m 靠尺和塞尺量
		承插口端面倾斜	≤ 5	每节	4	拉线、尺量
2	管节尺寸偏差 (mm)	管节内宽、内高	± 5	每节	4	尺量
		管壁厚度	± 3			
		管节有效长度	$+15, -10$			

9.2.9 木衬垫：木衬垫板厚度允许偏差不应大于 2mm。木衬垫板进厂每批抽检不应少于 10%，且不应少于 5 环。

9.2.10 预埋件：吊装孔、注浆孔、试压孔制作选用的钢管材料，钢管壁厚、落料长度必须符合设计图纸要求，每 1000 只为 1 个批次，每批次抽取 10 只作长度检验，允许偏差应控制在 0mm~5mm。

9.3 始发和接收洞口验收

9.3.1 顶管始发与接收洞口防护措施应符合设计文件及施工工艺要求。

主控项目

9.3.2 洞口外土体采用加固措施时，其强度和止水效果应满足设计文件或施工工艺要求。检查数量为：抽查总数量的 1%，但不应少于两孔；检验方法为：取芯或原位测试。

一般项目

9.3.3 始发与接收洞口止水密封装置应符合设计文件规定。止水密封件应与井壁密贴，在注浆压力下不外翻，不漏水，并具有耐磨、抗折性能。止水帘布橡胶圈与导轨上管节外径宜满足同轴度要求。检查数量为：全数检查；检验方法为：用尺量、目测检验。

9.4 工作井质量验收

9.4.1 工作井的围护结构、井内结构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标准》GB 50202、《给水排水构筑物工程施工及验收规范》GB 50141 的相关规定执行。

9.4.2 工作井质量验收应符合下列规定：

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；检查方法为：检查产品质量合格证、出厂检验报告和进场复验报告；
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；检查方法为：逐节检查有无滴漏、线流等现象，检测方法参照《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 中相关内容，并检查施工记录；
3. 混凝土结构的抗压强度等级、抗渗等级应符合设计要求；检查数量：每根钻孔灌注桩、每幅地下连续墙混凝土为一个验收批，各留置一组抗压强度、抗渗试块；沉井及其他现浇结构的同一配合比混凝土，每工作班且每浇筑 100m^3 为一个验收批，抗压强度试块应留置不少于 1 组；每浇筑 500m^3 混凝土抗渗试块留置不应少于 1 组；检查方法：检查混凝土浇筑记录，检查试块的抗压强度、抗渗试验报告；

一般项目

1. 结构物无明显渗水和水珠现象；检查方法为：逐节检查有无渗水、水珠等现象，检测方法参照《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 中相关内容，并检查施工记录；
2. 工作井的后座墙应坚实、平整；后座与井壁后座墙联系紧密；检查方法为：逐个检查，检查相关施工记录；
3. 两导轨应顺直、平行、等高，顶管基座及导轨的夹角应符合规定；导轨与基座连接应牢固可靠，不得在使用中产生位移；检查方法为：逐个观察、量测；
4. 工作井施工允许偏差应满足表 9.4.2 的要求。

表9.4.2 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	井尺寸	矩形 圆形	每侧长、宽 半径	不小于设计要求	每座	2 点	挂中线用尺量测
2	始发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
3	井底板高程			±30	每座	4 点	用水准仪测量
4	始发井后座墙		垂直度	0.1% h_2	每座	1	用垂线、角尺量测
			水平扭转度	0.1% B_h			

注： h_2 为后座墙的高度 (mm)； B_h 为后座墙的宽度 (mm)。

9.5 管道顶进质量控制

- 9.5.1 顶管管节与井壁连接质量应符合设计文件规定，洞圈结构应无渗漏水。

9.5.2 顶管接收前应加密贯通测量频率，确保机头准确接收；顶管机壳体与首节混凝土管脱离时，不得影响后续管节的接口密封性能。

主控项目

9.5.3 顶进允许偏差应符合表 9.5.3 的规定。

表 9.5.3 顶管顶进允许偏差

顶进长度 L (m)	允许偏差	
	高程 (mm)	平面 (mm)
$L \leq 150$	± 50	≤ 80
$500 \geq L \geq 150$	± 80	≤ 100

检查数量为：每管节检查；

检查方法为：用全站仪、激光经纬仪、水准仪等测量。

一般项目

9.5.4 止水橡胶圈粘接剂涂刷应均匀、粘接牢固、无皱折、断面无明显收缩。

检查数量为：每管节检查；

检查方法为：目测、手推。

9.5.5 管节拼装时宜在钢套环与橡胶圈表面涂抹润滑剂，拼装中橡胶圈不应有滑移。

检查数量为：每管节检查；

检验方法为：目测。

9.5.6 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。

检查数量为：每个工程项目应检查 1 次~2 次；

检查方法为：查验进场的台账记录、质保书、材料检测报告，外观目测检查。

9.5.7 顶管的始发与接收洞口和管道接口应无泥水渗漏。

检查数量为：全数检查；

检查方法为：目测。

9.5.8 顶管施工接口的允许偏差应符合表 9.5.8 的规定。

表 9.5.8 顶管施工接口允许偏差

序号	检查项目	允许偏差 (mm)	检查数量		检查方法
1	相邻管间错口	15	每个接口	1 点	尺测量
2	橡胶止水圈	不脱出、轴向位移 <6		4 点	探尺测量
3	接口内表面	无渗漏		整环	目测

9.6 顶进管廊质量验收

9.6.1 顶进的矩形管廊质量应符合下列规定：

主控项目

1. 管节及附件等工程材料的规格、技术性能、产品质量应符合国家有关标准的规定和设计要求；检查方法为：检查产品质量合格证明书、各项性能检验报告，检查产品制造原材料质量保证资料和进场验收记录；
2. 管节应无裂缝、保护层脱落、空鼓、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；防腐涂装应完整；钢套环应无焊瘤、毛刺、锈斑等现象；检查数量为：检查每管节；检查方法为：可用目测、尺量的方法检验；
3. 衬垫表面应平整无剥落，粘贴牢固，位置准确；检查方法为：按台班目测检查；
4. 接口橡胶密封圈的性能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失，安装位置正确，无位移、脱落现象；检查方法为：按批次逐个接口观察，检查进场台账记录、质保书检测报告；
5. 橡胶圈粘结剂涂刷应均匀、粘接牢固、无皱褶、断面无明显收缩；检查方法为：按台班检查，目测、尺量；
6. 管节安装时必须在套环与橡胶圈表面涂抹硅油等润滑剂，安装时橡胶圈不应滑移；检查方法为：全数检查，目测检查；
7. 管底坡度无明显反坡现象；检查方法为：观察，检查顶进施工记录、测量记录；
8. 管道接口端部应无破损、顶裂现象，接口处无滴漏；检查方法为：逐节观察，其中渗漏水程度检查参照《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的相关内容执行；
9. 顶进管廊的允许偏差应符合表 9.6.1 的要求；

表 9.6.1 顶进管廊的允许偏差要求

检查项目		允许偏差 (mm)	检查频率		检查方法
			范围	点数	
1	水平轴线	80	每管节	1 点	用经纬仪，或挂中线用尺测量
2	内底高程	80			用水准仪或水平仪测量
3	相邻管间错口	15			用钢尺量

一般项目

10. 管廊内应线形平顺、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；检查方法为：参照《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的相关规定逐节观察；

11. 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；防水混凝土的检查主要包括原材料、力学性能、抗渗性、抗冻性和隐蔽工程等，应符合设计要求或《地下工程防水技术规范》GB 50108 的相关规定；检查方法为：逐节观察；
12. 管道与始发井、接收井的洞口间隙应连接牢固，洞口无渗漏水；检查方法为：观察每个洞口。

9.6.2 管廊接口密封胶质量验收应符合下列规定：

主控项目

1. 密封胶材料应符合国家相关标准规定和设计要求；检查方法为：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；
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 9.6.2 的规定；

表9.6.2 密封胶质量要求

检查项目	指标	检查数量	检查方法
厚度	允许偏差+3mm	全部检测	针刺法

一般项目

3. 管道接口槽内应无浮灰残渣，无湿迹。接口槽内侧两侧面界面剂涂层应均匀，无漏涂现象；检查方法为：观察，检查施工记录；
4. 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 的相关规定。