

UDC

中华人民共和国行业标准

JGJ

P

JGJ/T 375-2016
备案号 J 2215-2016

管幕预筑法施工技术规范

Technical code for construction of pipe-roof
pre-construction method

2016-06-14 发布

2016-12-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

管幕预筑法施工技术规范

Technical code for construction of pipe-roof
pre-construction method

JGJ/T 375 - 2016

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 6 年 1 2 月 1 日

中国建筑工业出版社

2016 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1146 号

住房城乡建设部关于发布行业标准 《管幕预筑法施工技术规范》的公告

现批准《管幕预筑法施工技术规范》为行业标准，编号为 JGJ/T 375-2016，自 2016 年 12 月 1 日起实施。

本规范由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 6 月 14 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发 2012 年工程建设标准规范制订修订计划的通知》（建标〔2012〕5 号）的要求，规范编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规范。

本规范的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 施工准备；5. 群管顶进施工；6. 钢管切割、焊接与切口支撑；7. 管幕预筑结构施工；8. 洞室土方挖运及结构施工；9. 防水施工；10. 辅助性施工措施；11. 施工监测。

本规范由住房和城乡建设部负责管理，由中建交通建设集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中建交通建设集团有限公司（地址：北京市海淀区西四环北路 160 号玲珑天地大厦 D 座 611 室，邮政编码：100142）。

本规范主编单位：中建交通建设集团有限公司

山东三箭建设工程股份有限公司

本规范参编单位：中国建筑股份有限公司

中国市政工程西北设计研究院有限公司

中国建筑一局（集团）有限公司

沈阳地铁集团有限公司

中铁工程设计咨询集团有限公司

华铁工程咨询有限责任公司

中南大学

北京紫荆香市政工程有限公司

中铁隧道勘测设计院有限公司

沈阳北普基础工程有限公司

上海同济建设工程质量检测站

本规范主要起草人员：黄常波 刘家昌 郭宏智 赵 东
邓美龙 房桂芹 仝学让 张可能
油新华 朱军军 刘 闵 郝本峰
尹清锋 张晶波 张 立 章伟民
李 钟 薛 刚 谭富圣 刘国生
于晓东 曾湘德 张先锋 朱世友
贺维国 张普选 刘学增 黄种发
本规范主要审查人员：贺长俊 张 雁 郭陕云 杨 斌
唐孟雄 霍瑞琴 李术才 刘俊岩
李耀良 高文生 陈学峰

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	4
4	施工准备	5
4.1	一般规定	5
4.2	工作井	5
4.3	垂直与水平运输系统	6
4.4	施工通风系统	6
5	群管顶进施工	8
5.1	一般规定	8
5.2	先导管	8
5.3	顶进设施	8
5.4	洞口加固及破除	9
5.5	顶进施工	9
5.6	控制测量与纠偏	12
5.7	质量检查与控制	13
6	钢管切割、焊接与切口支撑	14
6.1	一般规定	14
6.2	钢管切割	15
6.3	钢板焊接	16
6.4	切口支撑	17
6.5	质量检查与控制	17

7	管幕预筑结构施工	19
7.1	一般规定	19
7.2	模板制作、安装及拆除	19
7.3	钢筋加工及安装	20
7.4	混凝土浇筑	20
7.5	预留接口部位处理	21
8	洞室土方挖运及结构施工	22
8.1	一般规定	22
8.2	洞室土方挖运	22
8.3	结构施工	23
9	防水施工	25
9.1	一般规定	25
9.2	一般部位防水	25
9.3	特殊部位防水	25
10	辅助性施工措施	27
10.1	一般规定	27
10.2	超前预注浆	27
10.3	减阻注浆	28
10.4	壁后泥浆置换	28
10.5	填充注浆	28
10.6	地下水控制	28
11	施工监测	30
11.1	一般规定	30
11.2	工作井施工期监测	30
11.3	钢管顶进及管幕结构施工期监测	31
11.4	洞室开挖及结构施工期监测	33
11.5	资料整理与信息反馈	33
附录 A	钢管顶进质量检查记录	34
附录 B	钢管顶进施工记录	35

附录 C 钢板焊接及切口支撑质量检查记录	36
本规范用词说明	37
引用标准名录	38
附：条文说明	39

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	4
4	Preparations for Construction	5
4.1	General Requirements	5
4.2	Drive Shaft Construction	5
4.3	Vertical and Horizontal Transportation System	6
4.4	Construction Ventilation System	6
5	Group Pipe Jacking Construction	8
5.1	General Requirements	8
5.2	Guided Tube	8
5.3	Jacking Facilities and Equipments	8
5.4	Portal Reinforcement and Breaking	9
5.5	Pipe Jacking	9
5.6	Control Measuring and Correcting	12
5.7	Quality Inspection and Control	13
6	Pipe Cutting, Welding and Incision Support	14
6.1	General Requirements	14
6.2	Pipe Cutting	15
6.3	Pipe Welding	16
6.4	Incision Support	17
6.5	Quality Inspection and Control	17
7	Pre-construction Structure Construction	19

7.1	General Requirements	19
7.2	Formwork Fabrication, Installation and Removal	19
7.3	Concrete Rebar Processing and Installation	20
7.4	Concrete Placement	20
7.5	Treatment of Reserved Interface	21
8	Cavern Excavation and Structure Construction	22
8.1	General Requirements	22
8.2	Cavern Excavation	22
8.3	Structure Construction	23
9	Water-proof Construction	25
9.1	General Requirements	25
9.2	General Location Waterproof	25
9.3	Special Location Waterproof	25
10	Auxiliary Construction	27
10.1	General Requirements	27
10.2	Advance Pre-grouting in Tunnel Face	27
10.3	Jacking Synchronous Grouting	28
10.4	Post-pipe Mud Replacement	28
10.5	Filling Grouting	28
10.6	Underwater Treatment	28
11	Construction Monitoring	30
11.1	General Requirements	30
11.2	Monitoring During Drive Shaft Construction	30
11.3	Monitoring During Pipe Jacking and Pre-construction Structure Construction	31
11.4	Monitoring During Cavern Excavation and Structure Construction	33
11.5	Data Processing and Information Feedback	33
Appendix A	Quality Inspection Record of Pipe Jacking ...	34
Appendix B	Record Table of Pipe Jacking	35

Appendix C · Quality Inspection Record of Steel Plate Welding and Incision Support	36
Explanation of Wording in This Code	37
List of Quoted Standards	38
Addition; Explanation of Provisions	39

1 总 则

1.0.1 为规范管幕预筑法施工，加强采用管幕预筑法建造地下空间的施工管理，做到安全适用、经济合理、保证质量、保护环境，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于采用管幕预筑法建造地下空间的工程施工。

1.0.3 管幕预筑法施工时，应综合分析拟建场地的工程地质和水文地质条件、施工条件及环境，应重视当地经验，因地制宜，合理选择辅助工法、设备及地下水控制措施，强化施工质量和安全管理。

1.0.4 管幕预筑法施工除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 管幕预筑法 pipe-roof pre-construction method

在拟建地下工程设定的轮廓位置顶进的密排大直径钢管群，管间连通后在钢管内和管间预先构筑钢筋混凝土永久结构，并在其保护下开挖土方、施工内部结构，最终形成地下空间的一种建造方法。

2.1.2 管幕空间 pipe-roof roomage

钢管及钢管连通后形成的管内空间。

2.1.3 管幕预筑结构 pipe-roof pre-construction structure

管间连通后在钢管内和管间预先构筑的钢筋混凝土永久结构。

2.1.4 先导管 guided tube

钢管顶进施工过程中，起导向和纠偏作用的第一节钢管。

2.1.5 超前预注浆 advance pre-grouting in tunnel face

钢管顶进过程中每循环出土后，为保持开挖工作面稳定并限制开挖工作面前方地层中的水渗入钢管，在开挖工作面前方土层中钻孔注浆进行止水。

2.1.6 顶管减阻注浆 grouting for reducing jacking friction

钢管顶进过程中，为减小顶进过程中钢管和地层之间的摩擦阻力和减小地层沉降，在钢管外壁与地层之间的间隙进行的不间断注浆。

2.1.7 顶铁 jacking iron

把主顶千斤顶的推力均匀分散到顶管尾部的管壁断面上，起到保护管端面、延长短行程千斤顶行程作用的铸铁件，也称为承压环或均压环。

2.1.8 防水钢板 waterproof steel plate

管幕空间迎水侧相邻钢管间焊接的钢板称为防水钢板，主要起阻止地下水进入管幕空间的作用。

2.1.9 固定钢板 steel plate for fixing

管幕空间背水侧相邻钢管间焊接的钢板称为固定钢板，主要起连接相邻钢管成为一个整体的作用。

2.1.10 切口支撑 cut support

管幕预筑法施工中，防水钢板与固定钢板间通过焊接钢管或其他方式支撑内外层钢板，称为切口支撑。

2.2 符 号

A_p —— 钢管的最小有效传力面积；

D_1 —— 顶进钢管的外径；

D_g —— 先导管外径；

F_0 —— 钢管总的顶进阻力标准值；

F_{ds} —— 钢管允许顶力设计值；

f_k —— 钢管外壁与其周围土层之间的平均摩阻力；

f_s —— 钢材受压强度设计值；

L —— 设计钢管的顶进长度；

N_F —— 钢管顶进的迎面阻力；

R —— 开挖工作面单位面积土体顶进的迎面阻力；

t —— 先导管刃口厚度；

γ_{Qd} —— 顶力分项系数；

ϕ_1 —— 钢材受压强度折减系数；

ϕ_2 —— 钢材脆性系数；

ϕ_3 —— 钢管稳定系数。

3 基本规定

3.0.1 施工前应具备下列技术资料：

- 1 建筑场地的岩土工程勘察报告；
- 2 建筑场地和相邻区域内的道路、地下管线和架空线路等建（构）筑物相关资料及有关的测量技术资料；
- 3 工程施工图设计文件。

3.0.2 管幕预筑法施工前应根据工程合同、设计文件、相关标准，以及勘察资料等编制施工组织设计，经审批后实施；对技术条件复杂的分项工程，应进行多方案比选，编制安全可靠、技术可行、经济合理的专项施工方案。

3.0.3 施工期间，应对邻近建筑以及市政道路、桥梁、地下地上管线等进行监测，对重要或有特殊保护要求的对象，尚应采取保护措施。

3.0.4 钢管顶进、切割、焊接及切口支撑期间应进行有害气体检测。

3.0.5 管幕预筑法施工应采取地下水控制、通风等安全及劳动保护措施，确保施工人员和设备安全。

4 施 工 准 备

4.1 一 般 规 定

4.1.1 施工前应由设计单位进行设计交底；施工单位应进行施工现场调查与核实，当发现现场实际条件与设计不符时，应提请设计单位复核。

4.1.2 施工前应编制施工监测专项方案，合理布置监测点，对施工影响区域内地面沉降、建（构）筑物变形等进行重点监控，保证周边建筑、地下管线等设施的安全。

4.1.3 施工单位应对施工现场可能发生的工程事故制定应急预案，并应进行交底。

4.1.4 管幕预筑法施工采用的设备、仪表应定期校检，并应在有效期内使用。施工材料应有第三方检验报告，并应符合设计要求。

4.2 工 作 井

4.2.1 工作井的深度和大小应大于地下工程结构轮廓，并应满足钢管的吊装、顶进作业要求；工作井的宽度宜大于结构轮廓线 1.5m，深度宜大于结构底标高 1.0m。

4.2.2 工作井的围护结构应根据地质情况、工作井深度等因素选择便于钢管顶进和洞门拆除的结构形式。

4.2.3 反力墙后地层宜采取搅拌桩、旋喷桩等加固措施，加固范围及加固方法应根据地层情况，并结合理论计算确定。

4.2.4 工作井开挖应结合钢管分层顶进的要求，分层开挖土方、分步架设支撑。施工中不得碰撞支护结构和超挖。

4.2.5 工作井周边地面应有防排水措施，井内应设置临时集水井。

4.2.6 工作井口周边应采取安全防护措施，工作井周边的施工荷载不应超过设计限值。

4.2.7 内支撑的布置形式宜减小对吊装钢管等井内作业的影响。内支撑的层间距应满足顶进钢管作业空间的需要，并应经设计验算。

4.2.8 上下竖井的人行扶梯宜贴井壁设置，并应设置安全防护栏杆和防护网。

4.2.9 采用横通道内顶管时，横通道的施工除应参照上述工作井的相关规定外，尚应符合下述规定：

- 1 横通道外墙结构完成后方可在横通道内进行顶管等作业；
- 2 横通道的内支撑体系的设计应考虑顶管作业对横通道的作用力；
- 3 横通道内作业期间应做好降水工作，确保横通道内无积水。

4.3 垂直与水平运输系统

4.3.1 垂直与水平运输系统配置应根据不同施工阶段的运输强度、作业内容，结合工作井深度、大小等因素确定。

4.3.2 垂直与水平运输系统可采用龙门架、汽车吊或履带吊，并考虑顶管期间土方外运和材料运输的要求。

4.3.3 土方开挖及内部结构施工期间，可在管幕结构上设置天车梁，作为水平运输设施。其起吊、运输重量，应通过计算确定，并能可靠保证管幕结构的安全。

4.3.4 吊装和运输设备应建立现场维修保养、定期检查和交接班制度，并应符合现行国家标准《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》JGJ 276 的规定。

4.4 施工通风系统

4.4.1 井下通风系统应根据不同施工阶段的作业要求，结合工作井结构、隧道长度、断面形式等因素设置。

4.4.2 施工期间应采用通风管为顶管开挖工作面通风，每人所需通风量不应小于 $30 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

4.4.3 钢管切割、焊接及切口支撑作业期间作业面风速不宜低于 0.5m/s ，并应保证作业面烟尘及时排出；风速超过 2m/s 时宜采取挡风措施。

4.4.4 通风过程中，应定期巡检通风设施。风管风门破损、漏风时应修理或更换。

5 群管顶进施工

5.1 一般规定

5.1.1 顶管设备和顶管方式应根据地层情况、顶进距离、顶进力等要求确定。

5.1.2 钢管的材质、外径、内径、管间距应满足设计要求，并应满足施工要求；钢管内径尺寸应满足管内作业的最小尺寸。

5.1.3 每节钢管长度宜为 3m~5m，并应满足在工作井内吊放、安装的要求。

5.1.4 钢管顶进位置应结合测量误差、施工工艺、施工误差、施工及工后沉降等因素，沿拟建结构位置外放 0mm~50mm。

5.2 先导管

5.2.1 先导管外径宜比后续钢管外径大 10mm~20mm。

5.2.2 先导管前端宜设置刃口，刃口形式可根据土层顶进难易程度及地层稳定情况等确定。

5.2.3 先导管应加工成圆形，其圆度允许偏差为 $\pm 1\%$ 。

5.2.4 先导管前端可采用外焊钢板补强，加强板焊缝应饱满均匀，无夹渣、气孔、咬边等缺陷。

5.2.5 在易坍塌、顶进阻力大或容易使管头变形的地层中顶进时，应在先导管前端加设支撑。

5.2.6 先导管的材质宜与后续钢管相同，与后续钢管宜采用螺栓连接。

5.3 顶进设施

5.3.1 导轨可采用型钢制作，并在顶进平台上准确定位，轨面高程偏差宜小于 3mm，轨线偏差不宜大于 3mm。

5.3.2 先导管顶进前，应检查导轨平整度以及两根导轨间距，确认满足要求后，方可进行顶进作业。

5.3.3 千斤顶轴线应垂直于反力墙，并应与顶进钢管轴线平行；千斤顶的顶力、行程应满足顶管需要，使用前应进行标定。

5.3.4 千斤顶加载前应检查油箱、千斤顶的压力表，并应确认油路畅通、活塞运行正常，核实油缸行程、顶力范围等参数。

5.3.5 反力墙宜为素混凝土结构，表面应平整，千斤顶受力范围内垂直度允许偏差为 1/200。

5.3.6 顶铁安装和使用应符合下列规定：

1 顶铁可采用矩形顶铁、环形顶铁、弧形顶铁、马蹄形顶铁和 U 形顶铁等形式；

2 顶铁应有足够的刚度；

3 顶铁上应有锁定装置；

4 顶铁安装后轴线应与顶进方向一致，顶铁、轨道和钢管之间的接触面不得有泥土、油污。

5.4 洞口加固及破除

5.4.1 洞口破除前宜在钢管顶进位置两侧设置加固环梁，洞口周边土层应加固，加固范围可通过计算等确定。

5.4.2 洞门破除前应对洞口进行止水注浆，并应在检查止水效果满足设计要求后方可进行破除作业。

5.4.3 洞口破除宜在先导管就位于导轨并推至洞口后进行。

5.5 顶进施工

5.5.1 工作井开挖至钢管顶进位置处时，应根据顶进钢管底标高、顶进设备底座高度等因素平整基底并设置顶进作业平台，其强度、刚度、平整度应满足顶进作业要求。

5.5.2 反力墙面应与钢管顶进方向垂直，其背面应与工作井壁密贴。

5.5.3 导轨应牢固安装在顶进作业平台上，安装时应保证水平

间距及标高的精度，两导轨应顺直、平行、等高，安装稳固，并应在施工中经常检查校核。

5.5.4 安装顶进油缸时应使主顶油缸轴线与反力墙面垂直。

5.5.5 顶进作业前应检查顶进设备和试顶，并应符合下列规定：

1 千斤顶液压管路应连接可靠、无漏油现象，千斤顶操作键应灵活自如；

2 宜通过千斤顶空载调试和试顶，检验千斤顶的设计空载顶进速度、最大行程等参数，确定千斤顶的初始压力及其变化范围。

5.5.6 开挖工作面开挖应按标准圆形开挖，开挖面应以管外壁为基准修边，超挖允许偏差不大于 30mm。

5.5.7 钢管内土方挖运宜随挖随顶，遇层间滞水或流砂层时应预先处理后再挖。

5.5.8 顶进时，钢管尾部端面应垂直于顶进方向，顶铁应对齐，顶铁相邻面应密贴。

5.5.9 顶进过程中应检查并记录千斤顶顶力、钢管进尺、钢管轴线偏差等顶进数据。

5.5.10 当顶力较大导致钢管或顶铁变形时，应在顶进钢管与顶铁的接触面焊接加强钢板。

5.5.11 钢管顶进时，工作人员应处于后方安全地带，严禁在顶铁上面及侧面站人。

5.5.12 当无当地经验时，钢管总的顶进阻力标准值可按下列公式计算：

$$F_0 = \pi D_1 L f_k + N_F \quad (5.5.12-1)$$

$$N_F = \pi (D_g - t) t R \quad (5.5.12-2)$$

式中： F_0 ——钢管总的顶进阻力标准值（kN）；

D_1 ——顶进钢管的外径（m）；

L ——设计钢管的顶进长度（m）；

f_k ——钢管外壁与其周围土层之间的平均摩阻力（kN/m²），可按表 5.5.12 取值；

- N_F —— 钢管顶进的迎面阻力 (kN);
- D_g —— 先导管外径 (m);
- t —— 先导管刃口厚度 (m);
- R —— 开挖工作面单位土体顶进迎面阻力 (kN/m²), 可根据土质情况取 (300~500) kN/m²。

表 5.5.12 钢管外壁与其周围土层间的平均摩阻力 (kN/m²)

土质	黏性土	粉土	粉、细砂	中、粗砂
平均摩阻力值	3.0~4.0	4.0~7.0	7.0~10.0	10.0~13.0

5.5.13 考虑钢管节材质的钢管允许顶力设计值可按下式计算:

$$F_{ds} = 0.5 \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{\gamma_{Qd}} f_s A_p \quad (5.5.13)$$

式中: F_{ds} —— 钢管允许顶力设计值 (kN);

ϕ_1 —— 钢材受压强度折减系数, 可取 1.00;

ϕ_2 —— 钢材脆性系数, 可取 1.00;

ϕ_3 —— 钢管稳定系数, 可取 0.36; 当顶进长度小于 300m, 且穿越土层均匀时, 可取 0.45;

γ_{Qd} —— 顶力分项系数, 可取 1.3;

f_s —— 钢材受压强度设计值 (kN/m²);

A_p —— 钢管的最小有效传力面积 (m²)。

5.5.14 顶进设备能够提供的最大顶进力不应小于钢管顶进阻力标准值的 1.2 倍, 否则应采取减阻措施, 或设中继站。

5.5.15 顶进钢管管壁应设置注浆孔, 每节钢管顶进过程中宜进行顶管减阻注浆, 钢管全部顶进到位后应置换出管壁后泥浆。

5.5.16 注浆施工前应对注浆管及注浆设备进行带压检查, 查明注浆管及注浆泵的接口渗漏情况。

5.5.17 钢管顶进宜连续作业。当遇下列情况之一时, 应暂停施工并进行处理:

- 1 开挖工作面前遇到障碍;
- 2 反力墙变形严重;

- 3 顶铁发生扭曲现象；
- 4 管位偏差过大且校正无效；
- 5 顶力超过管端的允许顶力；
- 6 油泵、油路发生异常现象；
- 7 对作业影响范围内的建（构）筑物、地下管线或地面沉降等监测数据超过预警值。

5.5.18 一次顶管总长度不宜大于 100m，顶管轴线误差不宜大于 50mm。

5.5.19 暂停顶管作业前，应根据暂停作业时间长短、开挖工作面土体稳定性等因素，采取相应的封闭开挖工作面措施。

5.6 控制测量与纠偏

5.6.1 施工过程中应对顶进钢管姿态进行控制测量，包括地面控制测量、联系测量、地下控制测量。

5.6.2 工作井开挖至顶进平台位置处时，应采用联系测量方法，将平面和高程数据传入井下控制点，并应满足顶进设施安装及钢管顶进作业要求。

5.6.3 钢管顶进方向与设计轴线偏差应符合设计要求，可设置激光指向仪，作为测量导向设备。

5.6.4 顶进过程中应密切观察钢管的变形及线形情况，勤量测，勤纠偏。

5.6.5 纠偏作业应在顶进过程中进行，并应根据偏差的大小采取下列相应的纠偏方式：

- 1 当钢管偏斜不超过 30mm 时，宜采用开挖工作面土方开挖纠偏；

- 2 开挖纠偏不理想时，可在钢管前端加导向板的方式纠偏；

- 3 当钢管偏斜在 50mm 以上，且采用开挖纠偏、导向板纠偏均不理想时，宜采用千斤顶纠偏。

5.6.6 钢管顶进施工完成后应继续监测钢管变形情况，直到变形基本稳定后 15d~20d 结束。

5.7 质量检查与控制

5.7.1 每节钢管顶进施工前应对下列项目进行检查，并应按本规范附录 A 进行记录：

- 1 钢管及加强环材质、规格应符合设计要求；
- 2 钢管及加强环应无损伤、无锈蚀、平直无变形；
- 3 钢管及加强环焊接外观质量应经检验合格；
- 4 千斤顶工作应正常，压力计量应准确；
- 5 反力墙表面应平整、无变形、无裂纹；
- 6 导轨应平直、无扭曲、无变形；
- 7 开挖工作面的注浆范围、注浆压力、注浆量应符合设计和施工工艺标准的要求。

5.7.2 钢管顶进过程中应按本规范附录 B 填写钢管顶进记录表。

6 钢管切割、焊接与切口支撑

6.1 一般规定

6.1.1 钢管间的连接可采用局部钢管切割、焊接钢板和切口支撑的连接方式（图 6.1.1），也可采用钢管间焊接剪力件等连接方式。

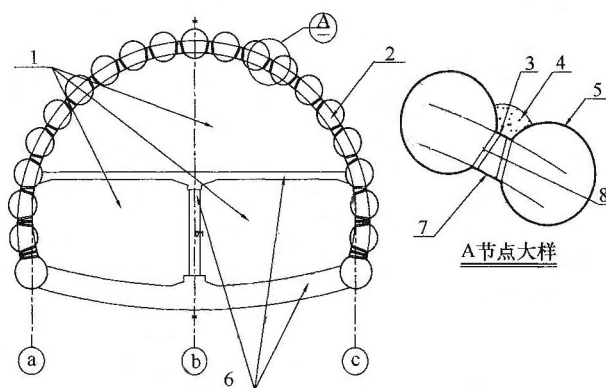


图 6.1.1 防水钢板、固定钢板、切口支撑示意图

1—洞室；2—管幕预筑结构；3—防水钢板；4—注浆区域；
5—钢管；6—洞室内结构；7—固定钢板；8—切口支撑

6.1.2 钢管切割、焊接与切口支撑作业应制定专项方案。

6.1.3 钢管切割、焊接与切口支撑应保证无水作业。

6.1.4 全部钢管顶进完毕，壁后泥浆置换完成，地面沉降稳定后，方可进行钢管切割、焊接与切口支撑作业。

6.1.5 大面积钢管切割与支护作业应分区施工。每一区段内的钢管切割与切口支撑施工方向及作业段长度应根据设计要求和总体施工组织确定，不宜大于 20m。

6.1.6 焊件表面潮湿时，焊接前应采取去湿除潮措施后方可

施焊。

6.1.7 相邻钢管内切割、焊接与切口支撑施工应分段跳作，同一根钢管两侧的作业单元应错开施工，保证作业过程不影响周围土体稳定。

6.1.8 同一切割单元的两相邻钢管管壁切割通透时，应焊接支护钢板、防水钢板，设置切口支撑。

6.1.9 单元切割、焊接与切口支撑施工应按下列顺序进行：

- 1 切割一侧钢管管壁；
- 2 挖除两钢管壁间土方；
- 3 切割另一侧钢管管壁；
- 4 焊接防水钢板与固定钢板；
- 5 采用千斤顶顶紧防水钢板与固定钢板后，安装切口支撑

设施；

- 6 拆除千斤顶，进行二次切割、焊接及切口支撑作业。

6.1.10 焊缝质量等级应根据不同用途确定，永久结构焊缝等级不应低于二级，临时结构焊缝等级不应低于三级。

6.1.11 焊接质量应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的相关规定。

6.1.12 钢管切割、焊接与切口支撑作业期间应对钢管变形等进行监测，实行信息化施工，保证施工质量和安全。

6.1.13 钢管切割、焊接与切口支撑作业过程中应做好通风工作，并应做好安全、防火、环保工作。

6.1.14 人行通道和材料运送通道处的钢管壁切割、焊接及切口支撑完成后应铺设走道板。

6.1.15 防水钢板应预留注浆孔，单元防水钢板焊接、切口支撑后应向防水钢板背后注浆，进行充填加固。

6.2 钢 管 切 割

6.2.1 每一施工区段内相邻钢管的切割焊接作业应错开施工。

6.2.2 同一段钢管完成一侧切割、焊接及切口支撑后，方可进

行另一侧施工，不得两侧同时切割。

6.2.3 每一段钢管切割前应根据设计要求进行测量放线，标记钢管拟切割部位，并应将拟切割区域沿纵向分块，每块长度不宜大于800mm。

6.2.4 钢管切割块应分为第一次切割块和第二次切割块，第二次切割块应待相邻切割块处钢板切割、焊接、切口支撑完成后方可进行（图6.2.4）。

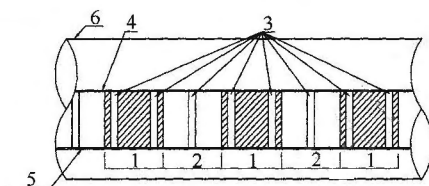


图 6.2.4 每段钢管内钢管切割施工示意图

1——一次切割段；2——二次切割段；3——切口支撑；

4, 5——纵切线；6——钢管

6.2.5 一次切割块处切口支撑与二次切割应顺序进行，以减小一次切割后土体暴露时间；当二次切割前土体发生局部散落时，应用砂浆等填充物填实；一次切割与二次切割部位连接处焊缝质量应满足设计要求。

6.2.6 每一切割部位作业时，应先切割一侧钢管壁，另一侧暂不切割；一侧管壁切除后，在此侧挖除管间土方，再切除另一侧管壁；管间挖土时防水钢板、固定钢板挖土面不得超挖。

6.2.7 单块钢板切割时宜先沿钢管纵向切割，再沿环向切割。

6.2.8 钢管切割面应平整；切口尺寸应根据施工经验预留一定变形量，满足后期防水钢板、固定钢板准确焊接对位，以及钢管切割与切口支撑完成后结构净空的要求。

6.3 钢板焊接

6.3.1 相邻钢管间单元切割块贯通，管间土体开挖完成时，应

立即焊接防水钢板、固定钢板，并做切口支撑。

6.3.2 迎水面的防水钢板、背水面的固定钢板尺寸应根据现场钢管切割后实测尺寸及焊接坡口形式确定，并应满足钢板与钢管的焊接质量要求。

6.3.3 防水钢板与钢管交接处、切口支撑与防水钢板交接处、切口支撑与固定钢板交接处、固定钢板与钢管交接处等焊缝应符合设计要求，并应无夹渣、咬边等质量缺陷。

6.3.4 设置在后期结构外侧的防水钢板宜作为结构防水的第一道防线。

6.4 切口支撑

6.4.1 单组防水钢板、固定钢板焊接完成后应立即施作切口临时支撑；切口支撑与上下钢板焊接完成后，方可拆除临时支撑。

6.4.2 切口支撑形式应按设计要求确定，尺寸不宜大于内衬钢筋间净距，长度应按防水钢板、固定钢板间的支护距离加工；采用内部填充混凝土形式的钢管支撑，应待充填混凝土达到设计强度后方可使用。

6.4.3 切口支撑宜垂直于其两端钢板，防水钢板应与切口支撑焊接牢固，切口支撑与固定钢板间可用支护垫连接，支护垫应垂直固定钢板设置。

6.4.4 切口支撑的数量应满足设计要求，一次切割块的防水钢板、固定钢板间的切口支撑不宜少于4根。

6.4.5 切口支撑与钢板间的焊缝高度应满足支护结构受力要求，一般不宜小于7mm。

6.4.6 每一流水段钢管切割、焊接与切口支撑完成后，应对切口支撑部位外侧土体进行注浆加固。

6.5 质量检查与控制

6.5.1 单元钢板焊接与切口支撑作业中应检查并符合下列规定，并按本规范附录C进行记录：

1 焊接钢板及切口支撑材质、品种、规格、性能等应符合设计要求；

2 焊接材料的品种、规格、性能应符合设计要求，应与母材相匹配；

3 焊接工艺应符合设计及相关标准要求；

4 焊缝表面应无裂纹、焊瘤缺陷；

5 防水钢板焊接部位应无渗水现象；

6 焊缝的外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

7 管幕预筑结构施工

7.1 一般规定

7.1.1 管幕预筑结构纵向大于 20m 或高度大于 7m 时，应沿主体纵向分段、上下分层进行。

7.1.2 每段钢管切割焊接支护完毕并做好防水后，方可架设本段管幕的模板、绑扎结构钢筋和浇筑混凝土。

7.1.3 模板安装及钢筋绑扎时，管内应提前通风，保证管内良好的施工环境。

7.1.4 管幕预筑结构钢筋、模板等材料的下料长度应满足管幕内材料二次搬运要求。

7.1.5 管幕内混凝土浇筑前，应在钢管顶部设置排气管，使浇筑时模板内的空气能随浇筑混凝土面的上升及时排除。

7.2 模板制作、安装及拆除

7.2.1 施工中管幕内结构模板及其支架应满足承载力、刚度和稳定性要求。

7.2.2 钢管迎水面、防水钢板及固定钢板可作为模板使用，其余部位应按设计尺寸安装模板。

7.2.3 防水钢板、固定钢板作为结构模板时，应与其他模板接缝平齐。

7.2.4 管幕内结构模板设置应保证面板边缘无悬臂现象。

7.2.5 固定钢板及模板应涂刷隔离剂，以便后期拆除。

7.2.6 模板拆除的时间和顺序应根据结构特点、模板部位和混凝土所达到的强度确定。

7.2.7 模板拆除时应对已浇筑完成的管幕内钢筋混凝土结构进行保护。

7.3 钢筋加工及安装

7.3.1 钢筋加工除应满足设计要求外，尚应满足钢管内运输要求。

7.3.2 钢筋连接可采用绑扎连接、焊接及机械连接，当采用机械连接时，钢筋两端接头加工完成后，一端采用保护帽保护，另一端安装接驳器，满足钢筋运输及安装要求。

7.3.3 钢筋布置应遵循先内后外、先下后上、先立筋后水平筋的原则。

7.3.4 管幕结构与内部结构连接处预留的钢筋接驳器宜采用正反丝接驳器，并应满足一级接头要求。

7.3.5 钢筋布置中应检查接头外观质量，并应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定。

7.4 混凝土浇筑

7.4.1 混凝土浇筑宜采用纵向分段，竖向分层，由内向外，逐层浇筑，分段长度、分层高度、施工缝的处理应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《地下工程防水技术规范》GB 50108 等的规定。

7.4.2 结构混凝土施工不具备振捣条件时，应采用自密实免振捣混凝土。

7.4.3 采用自密实免振捣混凝土时，混凝土浇筑前应在管内设置浇筑管、备用浇筑管和排气管（图 7.4.3），同时应在浇筑管顶部加设注浆管，后期进行混凝土缝隙注浆填充。

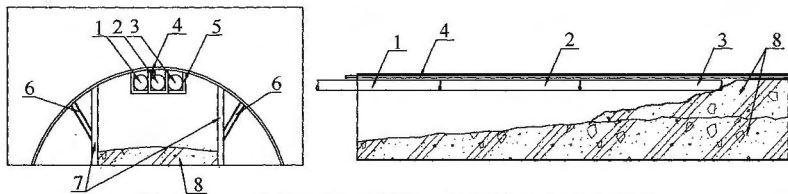


图 7.4.3 顶进钢管内混凝土浇筑设施布置示意图

1, 2—备用混凝土浇筑管；3—混凝土浇筑管；4—注浆管；
5—托架；6—模板支架；7—模板；8—混凝土

7.5 预留接口部位处理

7.5.1 钢管切割、焊接与切口支撑期间，管幕预筑结构上的预留接口部位应按设计要求焊接临时支撑。

7.5.2 预留接口部位的钢管应在管幕预筑结构混凝土强度达到设计要求后分块切除，切除作业时应做好安全防护工作。

7.5.3 预留接口部位结构施工时应做好防水处理。

8 洞室土方挖运及结构施工

8.1 一般规定

- 8.1.1 应在预筑钢筋混凝土强度达到设计要求后，方可进行洞室土方开挖，施作内部结构。
- 8.1.2 洞室土方挖运宜采用机械施工。
- 8.1.3 洞室土方挖运宜先在土方上部正中部位拉槽，再向两翼对称扩张，再向下方逐层开挖，分层高度应根据土质情况确定，放坡开挖应及时刷坡，严禁掏挖、超挖。
- 8.1.4 洞室内土方挖掘速度应与工作井等通道的运输能力相匹配。
- 8.1.5 结构施工可与土方挖运分段流水作业，其材料运输应避免影响土方挖运进度。
- 8.1.6 土方开挖及结构施工期间，应对管幕预筑结构、临时支撑及周边环境保护对象等进行实时监测，符合信息化施工要求。

8.2 洞室土方挖运

- 8.2.1 洞室土方挖运宜利用工作井作为土方运输通道，也可使用区间隧道、出入口等其他通道加快出土速度，并应与工作井、隧道等通道内的其他作业相互协调。
- 8.2.2 土方开挖过程中，应防止土方开挖机械对预筑结构的碰撞破坏，靠近预筑结构处应预留 0.5m 厚土层采用人工开挖。
- 8.2.3 管幕预筑结构未包括底板时，宜加强对开挖标高的控制；开挖接近基底 200mm 时，应配合人工清底，进行底板施工。
- 8.2.4 开挖过程中遇层间滞水或其他地下水渗漏情况时，应及时疏排后方可开挖。
- 8.2.5 大断面地下空间土方开挖应架设水平临时支撑，确保土

方挖运安全；水平临时支撑可通过焊接在预筑结构钢管外壁上的钢托架与预筑结构相连接。

8.2.6 土方运输宜利用挖掘机、装载机等运输机械将土方运至工作井处，采用机械进行垂直提升；也可使用皮带输送机或其他通道运输，但应加强各作业间的协调。

8.2.7 内部梁板类结构利用土模施工时，土方开挖应符合下列规定：

- 1 应按梁板类结构断面形状开挖成槽；
- 2 距离梁板类结构设计标高 200mm 内的土方应采用人工开挖；
- 3 开挖梁板类结构下层土方时，应清理梁板类结构底模。

8.3 结 构 施 工

8.3.1 结构梁板应与预筑结构可靠连接；可在预筑结构内预埋结构梁板的主筋及其接驳器，待土方开挖至结构部位时切割连接处钢管壁，凿出预埋钢筋接驳器，并应将结合部混凝土面凿毛，满足二次浇筑要求。

8.3.2 施工缝表面应凿毛，剔除浮石、浮浆和杂物等，用清水冲洗干净，在表面铺上厚度为 20mm~25mm 同强度等级的水泥砂浆或涂刷混凝土界面剂后，方可继续浇筑混凝土。

8.3.3 底板应分段施工。每段底板施工前应检查确认该段底板下防水板、底板防水板与侧墙防水钢板结合部符合防水设计要求，切割底板与侧墙拱脚结合部钢管，凿出预埋在侧墙内的底板钢筋接驳器，并应将结合部侧墙混凝土面凿毛，满足二次浇筑要求。

8.3.4 地下工程底板、中板、结构柱等混凝土结构应按要求采取覆膜、洒水等措施进行养护。

8.3.5 临时支撑的拆除应符合施工工况要求。

8.3.6 大体积混凝土浇筑应采取控制混凝土内外温差措施；混凝土的自由下落高度不宜大于 2m，超过时应采取缓降或其他

措施。

8.3.7 采用管幕预筑法施作底板时，应在绑扎底板钢筋时在底板内预埋地下建筑结构的柱钢筋和接驳器，待土方开挖至底板顶标高时切割结构柱与底板结合部钢管壁，凿出预埋在底板内的结构柱钢筋接驳器，并应将结合部混凝土面凿毛，施作地下结构柱。

8.3.8 结构施工完成后，应对预筑结构上钢管外露部分涂刷防锈及防火漆，进行防腐蚀和防火处理。

9 防水施工

9.1 一般规定

9.1.1 管幕预筑结构防水应以混凝土结构自防水为主，以外包钢板等作为辅助防水措施。

9.1.2 作为防水钢板的结构外侧钢管与钢板连接焊缝质量应满足设计要求，并应在焊缝处涂刷防水涂料。

9.1.3 结构局部可采用柔性防水，柔性防水层铺设前应做好与钢板防水的过渡处理。

9.1.4 施工时应做好施工缝、不同防水材料搭接等特殊部位的防水处理。

9.1.5 迎水面钢管壁上的注浆孔应在预筑结构施工前进行焊接封堵，并应涂刷防水涂料。

9.2 一般部位防水

9.2.1 钢管切割、焊接期间，钢管、钢板错边较大时，应补焊同规格钢板进行过渡处理。

9.2.2 防水钢板焊缝表面宜平整，并应满足作为防水基面的技术要求。

9.2.3 管幕预筑结构施工前，应将结构迎水面钢管及钢板焊缝按设计要求进行防水处理。

9.2.4 钢板防水层与塑料防水板搭接时，应设钢板加强层进行过渡。

9.3 特殊部位防水

9.3.1 施工缝防水应满足设计要求，施工缝表面应先凿毛，将疏松、起皮、浮灰等凿除并清理干净，施工缝表面应坚实、干

干燥、无污物，并应根据设计要求采取止水措施。

9.3.2 应做好预筑结构的钢板防水与底板柔性防水的过渡处理。可先凿出预筑结构的防水钢板，沿其边缘补焊 500mm 宽薄钢板防水层后，在薄钢板防水层另一侧粘结柔性防水材料，两者搭接长度应满足设计要求（图 9.3.2）。

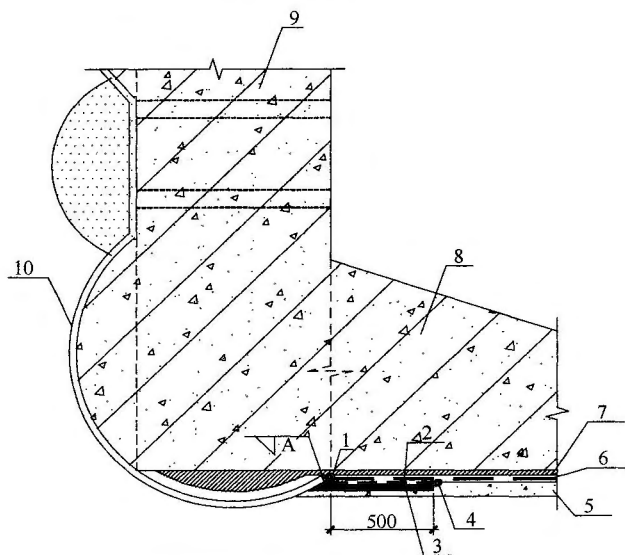


图 9.3.2 侧墙与底板交接处防水大样图

- 1—密封胶；2—粘结过渡层；3—后焊钢板防水层；
4—密封胶；5—混凝土垫层；6—塑料防水板；
7—细石混凝土保护层；8—现浇防水混凝土结构底板；
9—现浇防水混凝土结构侧墙；10—钢板防水层

9.3.3 预留接口部位防水施工应做好钢板防水与接口处柔性防水的过渡处理（图 9.3.2）。

10 辅助性施工措施

10.1 一般规定

10.1.1 注浆施工应符合下列规定：

- 1 注浆工艺应简单，操作方便，安全可靠；
- 2 注浆施工前，应查明注浆范围内工程地质、水文地质条件及施工影响区域内的既有建（构）筑物、交通设施、管线等情况，并根据注浆目的制定专项注浆方案；
- 3 注浆施工前，应根据注浆目的、施工空间等，选用合适的注浆机具、工艺及注浆材料；
- 4 注浆施工前应通过注浆试验确定合适的浆液配比、胶凝时间、注浆压力、注浆量、注浆孔间距、结束注浆条件等工艺参数；
- 5 注浆施工前宜在孔口设置止浆装置；
- 6 注浆施工应根据注浆量和注浆压力等设计要求，确定注浆终止时机。

10.1.2 地下水影响施工时，应根据工程地质、水文地质及施工情况，分别采用管井降水、止水帷幕、局部注浆止水等地下水控制措施。

10.2 超前预注浆

10.2.1 钢管顶进前应对洞口附近的地层进行超前预注浆。

10.2.2 钢管顶进遇松散易坍塌地层，或开挖工作面出水量较大等情况影响作业时，应进行超前预注浆。

10.2.3 注浆宜与钢管顶进循环作业；每循环注浆止水加固区长度宜比循环进尺大 1m 以上。

10.2.4 注浆孔宜沿开挖工作面均匀布置，超前预注浆应为速凝

浆液。

10.3 减阻注浆

10.3.1 减阻注浆前，应在顶进洞口的钢管管口周围设置洞口止浆装置。

10.3.2 减阻注浆孔宜在顶进钢管内壁上半部分对称设置，环向间距宜为浆液扩散半径的两倍。

10.3.3 减阻注浆浆液宜采用膨润土浆，经现场试验后也可添加水泥浆等可硬性浆液。

10.4 壁后泥浆置换

10.4.1 单根钢管顶进作业完成后，应对该钢管壁后注入可硬性浆液，置换出壁后减阻注浆浆液。

10.4.2 壁后泥浆置换宜利用前期减阻注浆孔。

10.4.3 注浆宜以水泥浆为主，封孔可用水泥水玻璃双液浆。

10.4.4 壁后泥浆置换完成后，应将注浆孔用钢板焊接封堵，且焊缝质量应满足防水要求。

10.5 填充注浆

10.5.1 两根相邻的钢管管间连通后，应对相邻钢管间的焊接钢板壁后进行填充注浆。

10.5.2 混凝土浇筑完成后，应对钢管顶部混凝土缝隙进行填充注浆。

10.6 地下水控制

10.6.1 工作井围护结构应根据地下水情况采取地下水控制措施。

10.6.2 钢管顶进期间可在开挖工作面进行超前预注浆止水。

10.6.3 管间连通作业施工期间可在钢管间迎水面注浆止水，或打开作业区周围降水井进行局部降水，满足钢管切割、焊接作业

面无地下水渗流的要求。

10.6.4 底板不采用预筑法施工时，洞室土方挖运及底板施工期间应提前进行降排水作业，并应保证地下水位低于作业面 0.5m。

10.6.5 管幕结构上预留接口处的外侧钢板割除前，应将钢板外侧地层的地下水位降至预留口底标高以下。

10.6.6 管幕预筑法施工中的地下水控制除应符合上述规定外，尚应符合现行行业标准《建筑与市政降水工程技术规范》JGJ/T 111 的相关规定。

11 施 工 监 测

11.1 一 般 规 定

11.1.1 施工前应根据设计文件、施工环境、工程地质和水文地质条件等编制监控量测方案；施工中依据方案进行监测，并应根据监测结果指导施工。

11.1.2 管幕预筑法施工监测除应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 及《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 外，尚应对下列部位进行重点监测：

- 1 工作井反力墙后土体水平位移；
- 2 管间支护变形；
- 3 顶进钢管变形；
- 4 管幕预筑结构变形。

11.1.3 监测点应在施工具备条件时布设，并取得初始值。

11.1.4 监测数据应进行综合分析和处理，并应编制监测日报、周报或月报，监测项目完成后应编制分析总结报告。

11.1.5 当监测结果超过控制标准或工程可能发生险情时，应增加监测频率，及时预警。

11.1.6 管幕预筑法应采用信息化施工，项目建设相关方应根据监测反馈信息及时采取相应措施。

11.2 工作井施工期监测

11.2.1 管幕预筑法施工在工作井施工期的监测应根据工程的结构特点、变形控制要求和施工工序等有针对性地选择监测项目，监测项目及要求应符合表 11.2.1 的规定，并应满足设计要求。

表 11.2.1 工作井施工期监测项目

序号	监测项目	支护结构安全等级		
		一级	二级	三级
1	巡视检查	应检	应检	应检
2	工作井围护结构顶部水平位移	应测	应测	应测
3	工作井围护结构顶部竖向位移	应测	应测	应测
4	工作井围护桩（墙）水平位移	应测	应测	宜测
5	工作井四周土体深层水平位移	应测	应测	宜测
6	工作井桩（墙）体内力	宜测	可测	可测
7	工作井锚杆应力	应测	应测	宜测
8	工作井支撑内力	应测	应测	宜测
9	工作井坑底隆起	宜测	可测	可测
10	工作井围护结构与围岩间的土压力	宜测	可测	可测
11	工作井四周孔隙水压力	宜测	可测	可测
12	工作井四周地下水水位	应测	应测	宜测
13	工作井四周土体分层竖向位移	宜测	可测	可测
14	工作井四周地表竖向位移	应测	应测	宜测
15	工作井邻近建（构）筑物竖向位移	应测	应测	应测
16	工作井邻近建（构）筑物水平位移	宜测	宜测	宜测
17	工作井邻近建（构）筑物倾斜	应测	宜测	可测
18	工作井邻近建（构）筑物裂缝	应测	应测	应测
19	工作井邻近地下管线水平及垂直位移	应测	应测	应测

11.2.2 各类监测项目宜在测点布置后及时测得初始值且不少于三次。

11.2.3 监测数据累计值或变化速率超过预警值以及突发变形异常情况时，应增加监测频率。

11.3 钢管顶进及管幕结构施工期监测

11.3.1 管幕预筑法施工在管幕结构施工期除应对本规范表

11.2.1 中的监测项目继续进行监测，尚应符合表 11.3.1 的规定，并应满足设计要求。

表 11.3.1 钢管顶进及管幕结构施工期监测项目

序号	监测项目	支护结构安全等级		
		一级	二级	三级
1	巡视检查	应检	应检	应检
2	管幕结构四周土体深层水平位移	应测	应测	宜测
3	管幕结构四周地下水水位	应测	应测	宜测
4	管幕结构四周土体分层竖向位移	宜测	可测	可测
5	管幕结构上方地表竖向位移	应测	应测	宜测
6	管幕结构邻近建（构）筑物竖向位移	应测	应测	应测
7	管幕结构邻近建（构）筑物水平位移	宜测	宜测	宜测
8	管幕结构邻近建（构）筑物倾斜	应测	宜测	可测
9	管幕结构邻近建（构）筑物裂缝	应测	应测	应测
10	管幕结构邻近地下管线水平及垂直位移	应测	应测	应测
11	钢管管壁应力	宜测	可测	可测
12	钢管内净空收敛	应测	应测	宜测
13	切口支撑钢管应力	宜测	可测	可测

11.3.2 钢管顶进过程中，宜按设计要求的间距在钢管内同一断面上布置纵向监测点和环向监测点，对钢管管壁应力进行实时监测，顶进完成后，宜利用顶进过程中布置的环向监测点继续进行监测。

11.3.3 钢管顶进完成时，应在钢管内同一断面上对称布置钢管净空收敛监测点，并应取得初始值。

11.3.4 钢管切割、焊接及切口支撑过程中，宜对切口支撑钢管的受力进行监测。当采用轴力计进行监测时，应保证轴力计的轴线与支撑钢管轴线一致；采用应力计和应变片进行监测时，应考虑支撑钢管在不同侧面的受力不均匀性。

11.3.5 各监测项目应在同一断面上布置，监测点数量和断面间

距在满足设计要求的基础上，应选择受力、变形较大且有代表性的位置。

11.3.6 管幕结构钢筋绑扎时，应把钢管内的监测元件电缆拉至或接长至管口位置并做好保护。

11.4 洞室开挖及结构施工期监测

11.4.1 管幕预筑法施工在洞室开挖及内部结构施工期除应对本规范表 11.2.1 和表 11.3.1 中的监测项目继续进行监测外，尚应根据表 11.4.1 及时增加监测项目，并应满足设计要求。

表 11.4.1 洞室开挖及内部结构施工期监测项目

序号	监测项目	支护结构安全等级		
		一级	二级	三级
1	巡视检查	应检	应检	应检
2	管幕结构拱顶下沉	应检	应检	应检
3	管幕结构净空收敛	应检	应检	应检
4	管幕结构内力	宜测	可测	可测
5	支撑轴力	应检	应检	应检

11.5 资料整理与信息反馈

11.5.1 监测项目的允许变形值应根据工程要求确定，并按不同预警分级上报有关单位。

11.5.2 变形监测应满足信息化施工和管理的要求。

附录 A 钢管顶进质量检查记录

表 A 钢管顶进质量检查记录表

工程名称		分项工程名称		验收部位											
施工单位		项目经理		专业工长											
执行标准名称及编号															
分包单位		分包项目经理		施工班组长											
主控项目	项 目			施工单位检查 评定记录		监理（建设） 单位验收记录									
	1	钢管及加强环材质、规格													
	2	钢管及加强环无损伤、锈蚀、变形													
	3	钢管及加强环焊接外观质量													
	4	千斤顶工作正常，压力计量准确													
	5	反力墙表面平整、无变形、裂纹													
	6	导轨平直，无扭曲、变形													
	7	开挖工作面注浆范围、注浆压力、注浆量													
一般项目	项 目		允许 偏差	实测偏差										合格 率	监理（建设）单位 验收记录
	1	导轨高程(mm)	0~+3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	2	导轨中线位移 (mm)	3												
	3	钢管中线平面 (mm)	±50												
	4	钢管中线高程 (mm)	±50												
	5	反力墙倾斜度	1/200												
	施工单位 检查评定结果			项目专业质量检查员：_____年 月 日											
监理（建设） 单位验收结论			监理工程师： (建设单位项目专业技术负责人) _____年 月 日												

附录 B 钢管顶进施工记录

表 B 钢管顶进施工记录表

工程名称					施工单位									
顶管编号					管 径 (mm)				管材种类					
顶进方向					钢管连接 形 式									
月 日	班次 时间	土质 情况	顶进长度 (m)		测量记录		高程偏差 (mm)		中心偏差		掏 土 前 长 度 (cm)	表压 (MPa)	使用千 斤顶数 (t/台)	
			本次	累计	坡度	坡度 增减 (+-)	高(+)	低(+)	左 (mm)	右 (mm)				
施工单位 自检意见			技术负责人： 施工员： 年 月 日											
监理单位 验收意见			监理工程师： 年 月 日											

附录 C 钢板焊接及切口支撑质量检查记录

表 C 钢板焊接及切口支撑质量检查记录表

工程名称		分项工程名称		验收部位											
施工单位		项目经理		专业工长											
执行标准名称及编号															
分包单位		分包项目经理		施工班组长											
主控项目	项 目			施工单位检查 评定记录		监理(建设) 单位验收记录									
	1	防水钢板及支护钢板材质应符合设计要求													
	2	焊接材料品种、规格、性能应符合相关标准													
	3	焊接工艺应符合设计及规范要求													
	4	焊工应持证上岗													
	5	焊缝表面无裂纹、焊瘤缺陷													
	6	防水钢板焊接部位无渗水													
一般项目	项 目		允许 偏差	实测偏差										合格 率	监理(建设) 单位 验收记录
	1	焊缝余高 (mm)	$B < 20$: 0~4.0 $B \geq 20$: 0~5.0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	2	焊接钢板位置 纵向偏差 (mm)	±5												
	3	焊接钢板位置 横向偏差 (mm)	±5												
	4	支护钢管 垂直度 (%)	0.5												
	5	钢管切割开口处 外沿位置 (mm)	10												
施工单位 检查评定结果		项目专业质量检查员: _____ 年 月 日													
监理(建设) 单位验收结论		监理工程师: (建设单位项目专业技术负责人) _____ 年 月 日													

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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，在条件允许时首先应这样做的：

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

- 1 《地下工程防水技术规范》GB 50108
- 2 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 3 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 4 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 5 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 6 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911
- 7 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107
- 8 《建筑与市政降水工程技术规范》JGJ/T 111
- 9 《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》JGJ 276

中华人民共和国行业标准

管幕预筑法施工技术规范

JGJ/T 375 - 2016

条文说明

制 订 说 明

《管幕预筑法施工技术规范》JGJ/T 375-2016，经住房和城乡建设部 2016 年 6 月 14 日以第 1146 号公告批准、发布。

本规范编制过程中，编制组进行了广泛而深入的调查研究，总结了我国目前工程建设中管幕预筑法施工技术的实践经验，同时参考了国外先进技术标准，通过试验取得了采用管幕预筑法建造地下工程的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《管幕预筑法施工技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，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了说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总则	43
3	基本规定	45
4	施工准备	47
4.1	一般规定	47
4.2	工作井	47
4.3	垂直与水平运输系统	48
4.4	施工通风系统	48
5	群管顶进施工	50
5.1	一般规定	50
5.2	先导管	50
5.3	顶进设施	51
5.4	洞口加固及破除	52
5.5	顶进施工	52
5.6	控制测量与纠偏	60
6	钢管切割、焊接与切口支撑	63
6.1	一般规定	63
6.2	钢管切割	64
6.3	钢板焊接	64
6.4	切口支撑	64
7	管幕预筑结构施工	65
7.1	一般规定	65
7.2	模板制作、安装及拆除	65
7.3	钢筋加工及安装	65
7.4	混凝土浇筑	65
7.5	预留接口部位处理	66

8	洞室土方挖运及结构施工	67
8.1	一般规定	67
8.2	洞室土方挖运	67
8.3	结构施工	68
9	防水施工	69
9.1	一般规定	69
10	辅助性施工措施	70
10.1	一般规定	70
10.2	超前预注浆	70
10.3	减阻注浆	71
10.4	壁后泥浆置换	71
10.5	填充注浆	71
10.6	地下水控制	71
11	施工监测	72
11.1	一般规定	72
11.3	钢管顶进及管幕结构施工期监测	72

1 总 则

1.0.1 管幕预筑法是一种具有诸多优点的地下工程施工技术。但由于目前尚无相关设计、施工标准，影响了该技术的推广应用，故亟需制定相关的施工规范，以加强管幕预筑法建造地下工程的施工管理，确保施工过程的工程安全、环境安全和工程质量，规范管幕预筑法建造地下工程的施工技术和质量验收标准。从这个意义上说，本规范的制定是十分必要的。

1.0.2 目前，管幕施工技术的应用十分广泛，而管幕预筑法在此基础上更具有适用地层范围广、施工沉降小、利于环境保护等优点，除了适用于建造地铁车站外，还可以应用于地下广场、地下通道等地下空间的施工。

从工法的特点来讲，管幕预筑法的适用范围主要取决于顶进钢管的难易程度和周边环境对施工过程中土体扰动的容许度。较硬岩层中及含无法清除的地下障碍物的地层中顶进钢管难度较大，故不宜采用管幕预筑法施工。其他地层中施工时也应考虑地层的稳定性。一般情况下，顶管的覆土厚度应不小于 3m，或者不小于 1.5 倍的管道外径，否则应采取相应的技术措施。

综上所述，管幕预筑法适用于钢管顶进范围内无地下障碍物或地下障碍物可以迁改、拆除的一般土层及全风化岩层中的地下工程建设。

1.0.3 管幕预筑法的施工环节较为复杂，各个施工环节所采用的施工方法与设备差异很大。施工前应综合分析场地岩土工程条件，根据场地工程地质条件等选择合适的顶管方法及设备，根据场地水文地质条件等确定不同的降水、止水措施和时间段。

1.0.4 由于管幕预筑法施工没有设计规范可以参照，本规范中关于施工过程的技术、质量控制指标体系不很完整，因此，在编

制管幕预筑法工程的施工组织设计时，为保证安全，除应参照本规范的规定外，尚应根据施工相关内容，参照国家现行的相关标准执行。

3 基本规定

3.0.1 本条所列技术资料仅满足一般地质条件下的管幕预筑法施工要求，对于特殊场地条件下的管幕预筑法施工，应根据其具体情况，了解、调查其他技术资料 and 特殊要求。

3.0.2 顶管工程施工设计前，应对施工区域进行工程勘察，调查分析施工区域的工程地质和水文地质情况，充分掌握与顶进施工有关的现场资料。施工人员应根据设计图纸、技术标准和现场施工条件等因素，认真编写施工组织设计，并按照有关施工管理程序进行审批，对操作人员进行详细技术交底，明确职责分工。

管幕预筑法施工工序繁杂，应在施工前编制详尽的施工组织设计，保证工程顺利、有序进行。对技术条件复杂的分项工程，应进行多方案比选，制定经济合理的专项施工方案。如降水工程，在不同的施工阶段采用相应的降排水措施，一方面保证施工质量，另一方面尽量降低降排水成本。

对技术条件复杂的工程，或拟采用新技术、新工艺、新材料、新设备时，应委托专门单位进行可行性研究，并提供研究报告，经评审后纳入施工组织设计。

3.0.3 管幕预筑法施工过程中应确保邻近建（构）筑物、地下管线等的安全，且因其施工工序较多，环节复杂，尤其是注浆施工中注浆压力、注浆量等参数往往需根据其效果进行现场调整，施工前应对周围有可能受影响的目的物布设监测点，进行专门监测；施工中应特别重视监控量测工作，进行信息化施工。

3.0.4 管幕预筑法施工往往需要长距离顶进大直径钢管，尤其是在城区施工时，地下环境复杂，施工过程中地下有害气体伤人事件屡屡发生，因此，管幕预筑法施工除应按照相关规定做好常规安全及劳动保护措施外，钢管内施工时应加强通风除尘工作，

对可能遇到甲烷、沼气等有害气体的施工区段，施工人员应按要求佩戴安全防护装置，遇不明气体应查明来源，并进行处置后方可继续施工。

3.0.5 管幕预筑法属于暗挖施工，很多作业是在钢管内的狭小场地施工，其中的钢管切割、焊接等作业还要产生大量烟尘，因此，施工组织设计应有专门的安全及劳动保护措施，施工中应根据阶段施工的特点采取相应的安全及劳动保护措施，确保施工人员和设备的安全。

4 施 工 准 备

4.1 一 般 规 定

4.1.2 管幕预筑法往往应用于对地面、地层沉降控制要求比较严格的工程中，因此施工中的监测工作尤为重要，施工前应编制施工监测专项方案，合理布置监测点，及时取得初始值。

4.1.3 应急预案应按照工程施工的一般要求和特殊情况，在施工组织设计或有关安全章节中进行具体细化和明确。

4.2 工 作 井

4.2.1 在确定工作井的大小和深度等结构参数时，应明确地下工程结构轮廓，保证施工场地，并考虑单根钢管的长度、顶管设备、土方吊运等工作空间的要求。根据相关工程经验，一般地，工作井长度不宜小于8m，宽度宜大于结构轮廓线1.5m，深度宜大于结构底标高1.0m。

4.2.2 管幕预筑法工作井的围护结构应根据地层情况、工作井深度等因素设计，小型基坑围护结构可采用H型钢桩加旋喷组合桩，复杂地层可采用钻孔灌注桩等围护结构。在满足工作井特定要求的基础上，也可参考相关的基坑设计与施工规范。

4.2.3 顶管过程中的巨大顶力作用在反力墙上，通过反力墙传给反力墙后的工作井壁及周围地层。对于地层承载能力不足，经计算分析易产生土体位移、影响基坑稳定和安全的土层，须采取加固措施。一般可采用深层搅拌桩、旋喷桩等加固措施。

4.2.4 工作井应沿竖向分层开挖，分层高度可结合分层顶管的作业要求及井壁支护结构的稳定统筹考虑。开挖过程中应观察工作井井壁四周土层情况，土层自立性不足时应立即进行喷混凝土封堵；工作井井壁若有渗水现象，应及时进行疏水，观察渗水、

流水流量与水质变化，必要时采取注浆封堵，加固井壁，维持工作井壁的稳定。发生异常情况时，应立即停止挖土，并应立即查清原因和采取措施，方可继续开挖。

4.2.5 施工现场排水系统的设置应充分考虑地区降雨状况和场地安全的需要。

4.2.6 工作井周边地面的堆载及其他施工荷载，应满足工作井支护结构设计的要求。

4.2.7 内支撑的层间距一般应稍大于顶进钢管的直径，否则会影响钢管顶进作业的进行。如果场地条件许可，也可采用锚固或其他支撑方式。

4.2.8 人行扶梯贴井壁设置，有利于井内施工。

4.3 垂直与水平运输系统

4.3.1 施工期间的运输系统可分为工作井内垂直与水平运输、顶进钢管内水平运输、主体结构内垂直与水平运输等多个系统，可根据施工进度分段设置。

4.4 施工通风系统

4.4.1 管幕预筑法属于暗挖施工，井下通风系统的设置很重要。一般应在施工组织设计中明确表述专门通风系统的设置及其检测、维护要求。

4.4.2 采用专用的管道向开挖工作面送风时，作业面的风速可以通过计算确认；《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299-1999（2003年版）规定：风量应按每人每分钟供应新鲜空气 3m^3 计算，风速为 $(0.12\sim 0.25)\text{m/s}$ ；《给水排水工程顶管技术规程》CECS 246-2008规定：顶管工程每人所需通风量不应小于 $30\text{m}^3/\text{h}$ ，使用敞开式顶管机时通风量应酌情增加。本规范采用后者。

4.4.3 在进行钢管切割、焊接及切口支撑作业期间，切割焊接作业产生大量烟尘，送风量应该保证作业面烟尘及时排出，并需

要计算确定。此外，根据《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 - 2012，超过 5m/s 的气压焊、超过 2m/s 的二氧化碳气体电弧焊应采取挡风措施。

4.4.4 作业区的通风工作应覆盖全区域、全时段，原则上应有专人负责巡检，或有明确的兼职责任人，以便及时发现故障、及时修理。

5 群管顶进施工

5.1 一般规定

5.1.1 根据施工方法的不同，顶管机可分为敞开式顶管掘进机和封闭式顶管掘进机两大类。敞开式顶管掘进机有手掘式、挤压式和网格式等；封闭式顶管掘进机有土压平衡、泥水平衡、混合型等形式。本规范适用于手掘式顶管施工，如采用其他方式，可参照相关标准执行。

5.1.2 钢管内径大小的确定，需要考虑土方挖运、预筑结构施工的要求；壁厚应满足控制钢管变形的要求。根据沈阳地铁新乐遗址站的施工经验，顶进钢管内需要进行土体开挖、钢管切割、支撑、钢筋绑扎、混凝土灌注等作业，为了满足作业人员在钢管内施工操作空间及安全要求，钢管直径不宜小于 1.8m。

5.1.4 考虑到对主体结构空间、施工误差、测量误差和工后沉降等的影响，钢管顶进位置外放值一般不宜超过 50mm。

5.2 先导管

5.2.1 先导管一般应具有如下三个作用：1) 抗磨损、保护标准管；2) 导向；3) 防止开挖工作面土体坍塌。根据施工经验，其长度一般可取 2m~3m。先导管直径比顶进钢管直径大 10mm~20mm，有利于减少土体与钢管之间的摩阻力，同时，钢管与土体间空隙的存在，便于减阻材料的灌注。

5.2.2 先导管前端宜设置刃口，其形式有直立式和遮帽式两种，见图 1。

直立式优点是上下同时切削土体，先导管不容易偏离轴线，可减少纠偏工作量，缺点是工人在开挖过程中前端没有预支护作用，施工风险较大，适合稳定性较好、不易坍塌的地层；遮帽式

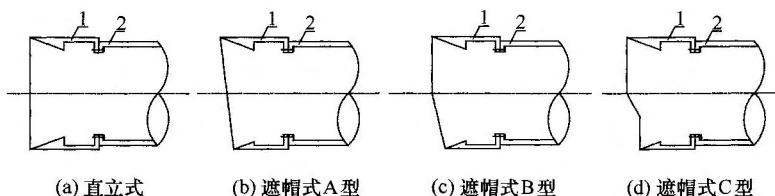


图1 常用刃口形式示意图

1—先导管；2—顶进钢管

优点是上端先切削土层，具有预支护作用，减少土体坍塌施工风险，缺点是先导管容易叩头，偏离轴线，增加了纠偏工作量，适合稳定性较差、易坍塌的地层。

5.2.3 圆度是指工件的横截面接近理论圆的程度，测量工具为圆度仪。先导管越接近圆，切削的工作面也越接近圆，减少了土层对顶进钢管摩阻力，根据沈阳地铁新乐遗址站的施工经验，建议顶进 $\phi 2000\text{mm}$ 钢管时偏差不超过 10mm 。

5.2.6 若先导管与后续标准管之间为活动连接，可在连接处一周均匀布设 4 个调节螺栓，通过调节螺栓调节先导管的方向，可在顶进过程中对顶管方向进行微调，实现顶管轴线的动态控制。

5.3 顶进设施

5.3.1 导轨一般采用两根，以便定位和支撑顶进钢管。导轨两端高差不超过 3mm ，左右线高差不超过 3mm ，导轨两端间距差值不超过 3mm ，导轨边缘顺直无变形、缺陷。导轨标高控制偏差 $\pm 5\text{mm}$ ，采用垫铁固定。

5.3.2 洞口的破除往往对导轨的准确定位有一定影响，因此洞口破除后应重新检查导轨。

5.3.3、5.3.4 根据相关工程经验，液压千斤顶的着力点宜位于管端面垂直直径的 $1/4$ 左右处，且不小于组装反力墙高度的 $1/3$ 。千斤顶的固定布置根据个数按对称形式布置，固定在支架上，千斤顶轴线垂直反力墙面，并与顶进钢管轴线平行。

千斤顶后座安装应与反力墙贴紧，与顶管轴线垂直，如不垂直应加后座调整垫，使调整垫与油缸的接触面垂直于顶管轴线。千斤顶安装不平行度不得超过 3mm，垂直方向不得大于 2mm。

5.3.5 反力墙施工与千斤顶安装对顶管方向的控制十分重要。根据相关工程经验，反力墙垂直度要求为偏差不超过 5mm，且应垂直于顶管轴线，水平方向 2m 宽内偏差不超过 5mm。反力架前端作用在千斤顶上，后端作用在反力墙（工作井壁）上，反力架要求足够的刚度，防止千斤顶作用时变形。反力架可采用型钢或钢板加工而成。

5.3.6 顶铁又称为承压环或者均压环，其作用主要是把主顶千斤顶的推力比较均匀地分散到顶进钢管的管端面上，还起到保护管端面的作用，同时还可以延长短行程千斤顶的行程。

5.4 洞口加固及破除

5.4.1 洞口周边加固范围应满足工作井围护结构破除后洞周土体的稳定性要求。加固深度不宜小于洞口开挖宽度。

5.5 顶进施工

5.5.1 顶管作业面基础可采用素混凝土硬化，硬化厚度根据施工要求的承载力进行确定，一般宜为 150mm。

5.5.3 导轨是在基础上安装的轨道，一般采用装配式。钢管在顶进前先安放在导轨上。在顶进钢管入土前，导轨承担导向功能，以保证钢管按设计高程和方向前进。导轨应选用钢质材料制作，其安装应符合下列规定：

两导轨应顺直、平行、等高，其坡度应与管道设计坡度一致。当管道坡度小于 1% 时，导轨可按平坡铺设。导轨安装的允许偏差可参考下列标准：轴线位置：3mm；顶面高程：0mm～+3mm；两轨内距：±2mm；安装后的导轨必须稳固，在顶进中承受各种荷载时不产生位移、不沉降、不变形。

顶进平台硬化层、反力墙、反力件、钢板、千斤顶布置可参

考图 2 布置。

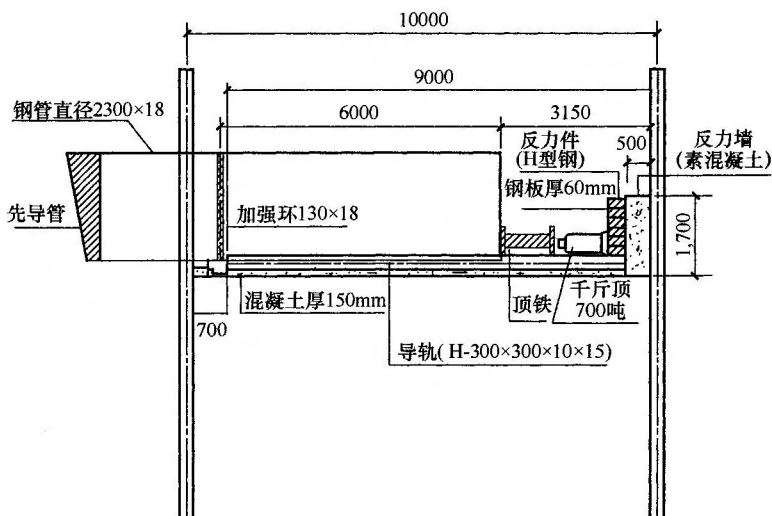


图 2 顶管基面硬化及顶管设施布置

5.5.6 开挖工作面超欠挖是引起钢管顶进偏差的一个重要因素，应在钢管顶进过程中进行严格控制。通常要求是对称开挖，需要进行纠偏作业时才能根据纠偏方向进行某方向上的超欠挖安排。偏差超过 $\pm 30\text{mm}$ 的超欠挖已属于纠偏作业，故应在正常顶进作业中予以避免。

5.5.7 开挖工作面渗水严重影响施工时，每工作循环开挖工作面出土结束后，可先进行开挖工作面注浆止水施工。注浆完成后，观察开挖工作面无明显渗水点时，再挖运开挖工作面土方。

前方开挖土体围岩稳定性差、易坍塌时，可采用“先顶后挖”方式。先顶进钢管，在先导管内形成 1m 左右的“土塞”，然后进行先导管超前注浆，形成 1.5m 以上长度的止水加固区，最后进行土方开挖，减小先导管内土塞的长度，完成一个完整的作业循环。当前方土质较硬、围岩稳定时，可采用“先挖后顶”的方式。

5.5.10 焊接加强钢板主要是改善顶铁与顶进钢管接触面的传力特性,减少钢管变形。

5.5.12 本条公式中把总顶力分为侧壁摩阻力和端头迎面阻力两部分。侧壁摩阻力的计算采用钢管与土体总接触面积乘以平均侧摩阻力。平均侧摩阻力取值范围根据施工经验统计值列出表格,计算过程中查表即可,平均侧摩阻力的取值已考虑泥浆减阻《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268-2008 第 6.3.4 条、《给水排水工程顶管技术规程》CECS 246-2008 第 12.4.3 条中都使用了此公式来估算顶管顶力。根据《给水排水工程顶管技术规程》CECS 246-2008 条文说明第 12.4.3 条——“实践证明管道顶力与覆盖层高低无关”,该条文说明可用土拱效应理论来进行解释。根据普氏土拱效应理论,当顶管埋深达到一定的深度且地层稳定,顶管上方的土体将形成一个“卸荷拱”,该土拱可承受其上部土体压力,而钢管只需要承受拱下土体压力。因此,在一定埋深的稳定土层中,顶管顶力与覆土的高低关系不大。地铁新乐遗址站管幕预筑法施工中的顶力实测结果也与之相符,因此认为该公式虽未明确提出土拱效应的存在,但还是隐含了顶管过程中的土拱存在的实际情况。据此认为可以在本规范中使用此公式。

关于顶进阻力计算,可用的还有以下四个公式:

1 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268-97 曾采用下式计算:

$$p = f\gamma D_1 \left[2H + (2H + D_1) \times \tan^2(45^\circ - \varphi/2) + \frac{\omega}{\gamma D_1} \right] L + P_F \quad (1)$$

式中: p ——计算的总顶力 (kN);

γ ——钢管所处土层的重力密度 (kN/m³);

H ——管道顶部以上覆盖土层的厚度 (m);

D_1 ——钢管的外径 (m);

φ ——钢管所处土层的内摩擦角 (°);

ω ——钢管单位长度的自重 (kN/m);

L ——钢管的计算顶进长度 (m);

f ——顶进时钢管表面与其周围土层间的摩擦系数;

P_F ——钢管顶进迎面阻力 (kN)。

公式 (1) 为理论公式, 顶管总顶力由侧摩阻力和端头迎面阻力相加得到, 其中顶管侧摩阻力由摩擦系数乘以总竖向压力得到。竖向压力计算过程中未考虑土拱效应, 且公式 (1) 中给出的参考摩擦系数是不考虑泥浆减阻的。管幕预筑法中的顶管埋深普遍大于市政给水排水顶管, 埋深较大, 在稳定土层中, 土拱效应肯定是存在的, 且管幕预筑法中施工一般都需要同步注浆减阻。由于土

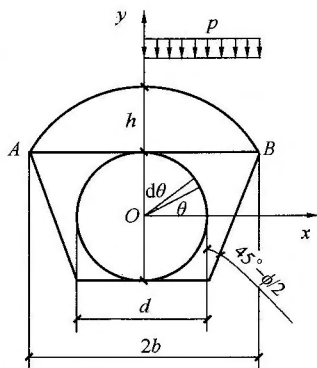


图 3 普氏理论计算模型

拱效应和泥浆套的作用, 公式 (1) 计算得出的顶力估计值比实际使用顶力值要大, 因此, 公式 (1) 在施工中指导意义并不大。《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 - 2008 也已经不再采用此公式。因此, 本规范中不采用此公式。

2 考虑土拱效应的普氏理论方法

普氏理论计算模型见图 3, 计算公式如下:

$$h = \frac{b}{f} \quad (2)$$

$$b = D/2 + D \tan(45^\circ - \varphi/2) \quad (3)$$

拱轴线方程为:

$$y = \frac{D}{2} + \frac{b^2 - x^2}{bf} \quad (4)$$

钢管上各点的竖向土压力为:

$$\sigma_z = \gamma \left(y - \frac{D \sin \theta}{2} \right) \quad (5)$$

式中: h ——拱高 (m);

b ——拱跨的一半 (m);

D ——钢管直径 (m);

f ——为土体坚固系数, $f = \tan \varphi$, φ 为土体内摩擦角;

θ ——为钢管上任意点和原点的连线与 x 轴线的交角 ($^\circ$)。

计算得到各点的竖向土压力之后, 进行积分可得到总的竖向土压力, 然后乘以管壁与土体的摩擦系数即可得到侧摩阻力, 再加上端头迎面阻力即可得到总顶力。

3 考虑土体黏聚力挟制作用的太沙基理论方法

1946 年, 太沙基基于应力传递法, 提出了松散岩体的围岩压力计算公式, 计算模型见图 4。

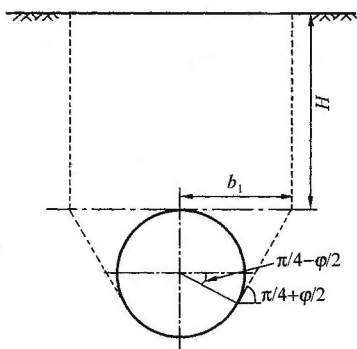


图 4 太沙基理论计算模型

图 4。太沙基压力公式考虑了松散材料的内部黏聚力对管道顶部地层的挟制作用。管道顶部任意点的垂直压力为:

$$\sigma_z = \frac{b_1 (\gamma - c/b_1)}{k_0 \tan \varphi} (1 - e^{-k_0 \tan \varphi H/b_1}) \quad (6)$$

式中: k_0 ——朗肯主动土压力系数;

c ——土体黏聚力 (kPa);

b_1 ——土体破坏线宽度的一半 (m)。

计算得到各点的竖向土压力之后, 进行积分可得到总的竖向土压力, 然后乘以管壁与土体的摩擦系数即可得到侧摩阻力, 再加上端头迎面阻力即可得到总顶力。

4 同时考虑土拱效应和挟制作用的改进计算理论

综合已有研究成果和工程经验, 一般情况下可以考虑使用太

沙基理论。但是太沙基理论更适用于浅埋情况，在深埋情况中计算值偏于保守。这主要是因为该理论未考虑到深埋情况下，开挖引起的土层松动并未一直延伸到地表。考虑到土拱效应，地表以下的一部分土体实际上是能够保持自稳的，并未对下层土体形成土压力。张可能教授研究团队尝试结合普氏理论和太沙基理论，既考虑土拱效应，又考虑土体的挟制作用，提出了改进的土压力计算理论，使之更符合深埋情况下的土压力计算。

根据普氏理论，在深度较大的稳定土层中开挖，会形成土拱。改进的理论计算中按照普氏理论相同的方法建立土拱模型。土拱上部土体压力被土拱承受。计算顶管受到的竖向土压力时只需要考虑土拱以下土体的压力。在普氏理论中，土拱以下土体的压力计算只考虑了土拱以下土体的重力。根据经验，土拱以下土体压力计算除了考虑土体重力外，还必须考虑周围土体对松动土体的挟制力，土拱以下土压力的计算参照太沙基理论推导过程进行。不同的是，太沙基理论中进行应力传递推导时，选取的是水平薄条带状基本单元，而在改进的理论中，压力拱以下的拱形线为计算边界，土压力为 0，进行应力传递推导时，选取的基本单元应为拱形的薄条带。综上所述，可以建立如图 5 的计算模型。

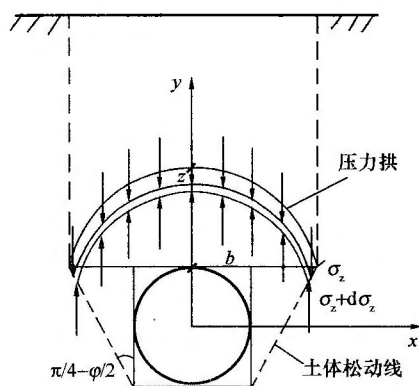


图 5 改进理论计算模型

1) 求拱形条带长度

根据普氏压力拱理论, 拱曲线方程为:

$$y = \frac{D}{2} + \frac{b^2 - x^2}{bf} \quad (7)$$

假设所取的薄条带拱形离压力拱的距离为 z , 则该拱形线可以看作是压力拱沿着 y 轴向下平移了 z , 因此拱形线的方程为:

$$y = \frac{D}{2} + \frac{b^2 - x^2}{bf} - z \quad (8)$$

由普氏理论可知, 土体松动线的方程为:

$$y = \tan(\pi/4 + \varphi/2)(x - b) + D/2 \quad (9)$$

两方程联立求解, 可以得到交点的 x 坐标值, 该值用 z 的函数表示为:

$$x_{(z)} = \frac{-bf \tan(\pi/4 + \varphi/2) + \sqrt{[bf \tan(\pi/4 + \varphi/2)]^2 - 4[bfz - b^2 f \tan(\pi/4 + \varphi/2) - b^2]}}{2} \quad (10)$$

拱曲线与土体松动线相交坐标的 x 值得出后, 即可以利用曲线积分得到拱曲线一半的长度:

$$l_{(z)} = \int_0^{x_{(z)}} \sqrt{1 + \frac{4h^2 x^2}{b^4}} dx \quad (11)$$

2) 求垂直土压力

拱形土条自重: $2l_{(z)} \gamma dz$

垂直应力差: $2l_{(z)} d\sigma_z$

土条两侧剪应力: $\tau = 2(c + \sigma_z k_0 \tan \varphi) dz / \cos \theta \quad (12)$

列平衡方程: $2l_{(z)} \gamma dz = 2l_{(z)} d\sigma_z + 2(c + \sigma_z k_0 \tan \varphi) dz / \cos \theta \quad (13)$

代入 $l_{(z)}$ 的值, 再代入边界条件即可解微分方程。

边界条件为压力拱拱线下应力为 0, 即: $z = \frac{x^2}{bf}$ 时, $\sigma_z = 0$ 。

根据该计算模型, 可以编写 MATLAB 程序来计算钢管上各

点的竖向土压力。进行积分可得到总的竖向土压力，然后乘以管壁与土体的摩擦系数即可得到侧摩阻力，再加上端头迎面阻力即可得到总顶力。

公式（5）、公式（6）、公式（13）都属于理论计算公式，其中，公式（5）和公式（6）为经典计算公式，公式（13）为在公式（5）和公式（6）的基础上得出的改进公式。各公式的适用性在上文中已经作出了说明，三个公式主要是竖向土压力的计算上有所区别。

本规范不建议使用这三个公式中的任意一个，原因如下：

① 三个公式在计算顶力时都需要使用管壁与土体的摩擦系数。该系数的选择直接关系到顶力估算的准确性，虽然部分文献中有说明，但仍然缺乏广泛的使用和验证。所以很难在规范中给出合理的摩擦系数值。

② 三个公式形式上都比较复杂，需要进行积分。特别是公式（13），必须要编程才能进行计算。这些公式在理论上可以明确地解释实测顶管顶力的变化值，但是在现场用于估算顶力时，过于复杂。

③ 顶进管与岩土之间，存在着多种复杂的关系。顶进管与周围土体共同组成一个动态的平衡系统，而任何理论公式计算管道荷载都是在结构与土体稳定状态下考虑的，所以只能是近似的推论。本规范认为理论公式更适合于使用在对顶力变化的趋势、规律等方面进行理论解释，而在现阶段，要使用理论公式进行顶力准确估算还有一定难度。

5.5.13 钢管纠偏在减少偏差的同时，必然造成管轴线弯曲。由弯曲造成的纵向弯矩大小与钢管的抗弯刚度、曲率半径有关，刚度越大曲率半径越小，弯曲应力越大。实践证明，如对管径较大的钢管弯曲应力不加重视，容易造成不良后果，计算钢管允许顶力时不能不考虑钢管弯曲的因素，参照以往的钢管施工经验，取稳定系数 $\phi_3 = 0.36$ 。但是短距离顶管与长距离顶管不同，顶距小于 300m 且穿越土层均匀时，可以取 $\phi_3 = 0.45$ 。

5.5.14 理想的情况下，当顶进设备能够提供的顶进力大于顶进阻力时钢管向前顶进。然而，实际顶进过程中，顶进钢管的轴线总是会产生局部的些许弯曲，增加了顶进阻力；另一方面，顶进设备的安装误差也不可避免地消耗一部分顶进力；此外，本规范公式（5.5.12）属于经验公式，采用它计算的顶进阻力也难免产生一些误差。根据沈阳地铁新乐遗址站管幕预筑法施工经验，顶进设备能够提供的最大顶进力宜大于计算顶进阻力的 1.2 倍，方能完成顶进施工，不足时应考虑设中继站。本条可作为顶进设备选型的参考依据。

5.5.15 钢管顶进施工中，减阻注浆的效果直接关系到顶进阻力的大小。实践证明，在顶管施工中采用注浆润滑技术，顶管阻力明显减小；不进行顶管同步注浆，管壁与地层单位面积摩阻力约为（20~30）kN，有时会增加两倍，而注浆后顶进阻力可减小到原来的 $1/4 \sim 1/3$ 。

注浆材料宜采用水泥黏土浆液。

5.6 控制测量与纠偏

5.6.1、5.6.2 顶进过程中的方向控制应满足下列要求：有严格的放样复核制度，并做好原始记录。顶进前必须遵守严格的放样复测制度，坚持三级复测：施工测量员→施工项目部→监理工程师，确保测量万无一失。为避免布设在工作井后方的反力墙在顶进时移位和变形，应定期对其复测并及时调整。

5.6.4 顶进纠偏应勤测量、多微调，纠偏角度应保持在 $10' \sim 20'$ ，不得大于 0.5° ，并设置偏差警戒线。

目前纠偏的方法主要有：挖土校正法和强制校正法。

挖土校正法即在不同部位增减挖土量，以达到校正目的的方法。例如管头误差为正值时，应在管底超挖土方（但不能过量），在管节继续顶进后借助管节本身重量而沉降。开始时管节后部已被土挤紧，而前节管的自重又不足以克服它，故管子可能先出现继续爬坡现象，经过一段距离，在管自重的作用下才趋于下降。

这种方法校正误差的效果较慢,适用于误差值不大于 10mm 的情况下。挖土校正法多用于土质较好的黏性土内,或用于地下水位以上的砂土层中。

强制校正法是采用强制措施造成局部阻力,迫使管子向校正方向转移的方法。这类方法又可分为衬垫法、支顶法、支托法和主顶千斤顶校正法。

- 1) 衬垫法:在首节管的外侧局部管口位置垫上钢板或木板,用加工成短节的刃板亦可,造成强制性的局部阻力后,迫使管子转向。误差消除后撤出垫板,不易撤除时可挤入土内。短节刃板可以取出重复使用。
- 2) 支顶法:采用支柱或 (50~100) kN 的千斤顶在管前设支撑,斜支于管内顶端。为扩大承压面积,在支柱下垫上木托板。这样,边顶进,管节就随着被支顶起来。此种校正方法见效快。注意不要使管节调向过快,而应当缓慢地转向,否则支撑受力过大,管壁受到的局部压力也大,容易引起管体破坏。当管节接近设计高程时,可拆除支撑使管节缓慢地正常顶进。
- 3) 支托法:在流砂层顶进时,发现误差要立即校正。当采用支顶法无效时可采用支托法以增加支撑能力。
- 4) 主顶千斤顶校正法:当顶距较短时 ($\leq 15\text{m}$),如发现管中心线有误差,可以利用主压千斤顶进行校正。例如,管中线向右偏时,可将管口处右侧的顶铁比左侧顶铁加长 (10~15) mm,当千斤顶向前推进时,右侧顶力大于左侧,从而校正右偏的误差。

5.6.5 纠偏作业应根据偏差的大小采用适当的纠偏方式。当钢管偏斜不超过 30mm 时宜采用开挖工作面土方开挖纠偏,即在偏斜一侧留斜坡土边,另一侧超挖,超挖量控制为 (30~50) mm。在开挖纠偏不理想的情况下,可利用导向板纠偏,在钢管前端加导向板的方式纠偏,纠偏作业前应在先导管附加立柱加

固，以防钢管变形。当钢管偏斜在 50mm 以上，且采用开挖纠偏、导向板纠偏均不理想时，宜采用千斤顶纠偏。纠偏时将先导管与其尾部钢管切开并用小千斤顶连接先导管和钢管，用千斤顶在偏斜的一侧顶开一段距离，使先导管与后续钢管形成反倾角，在顶进的过程中进行纠偏。

6 钢管切割、焊接与切口支撑

6.1 一般规定

6.1.2 钢管切割、焊接与切口支撑作业属管幕预筑法施工的关键环节，影响到钢管群及其周围地层的稳定性，应予高度重视。施工前应编制专项施工方案，对钢管切割、焊接与切口支撑作业的分区大小、施工顺序、施工质量保证措施、作业的通风和安全措施进行合理的安排。

6.1.3 地下水的存在往往影响钢管的焊接质量。特别是焊接防水钢板时，如焊接质量得不到保证，会导致焊缝渗漏水，影响防水效果。因此，钢管切割、焊接与切口支撑应保证无水作业。具体的止水措施可以考虑整体降水至地下水位到焊点以下，也可局部降水至作业面无水状态。

6.1.4 本条规定是为保证钢管群的整体稳定性，避免钢管切割支撑作业中钢管群失稳、局部地层坍塌掉块等现象发生。

6.1.5 大面积钢管切割与支撑作业的分区大小应考虑地层的稳定性及钢管群的稳定性要求，避免切割支撑过程中钢管群产生较大变形。

6.1.7 相邻钢管内切割、焊接与切口支撑施工的跳作施工，可防止焊渣飞溅伤人、火灾等事故发生，避免不同钢管间切割焊接作业的相互影响。

6.1.8 钢管顶进完成后，钢管壁即承受全部外侧土体侧压力。一方面钢管切开后，管外土体易向管内发生垮塌、掉落。另一方面，切割边缘会形成应力集中，易发生变形破坏，因此，钢管壁切开以后至钢管焊接和切口支撑完成期间是管幕空间最易发生失稳的时间段。为保证此过程中钢管壁及壁外土体稳定，本条文规定，同一切割单元的两相邻钢管管壁切割通透后，应及时焊接支

护钢板、防水钢板，并采取切口支撑措施，同时操作过程中应尽量减小支护结构受力和变形。

6.1.10 永久结构的焊缝应同时考虑结构的受力要求和防水要求。

6.2 钢管切割

6.2.3 沿钢管环向的切割宽度应根据管幕结构的厚度尺寸而定，一般稍大于结构厚度尺寸（1~3）mm。单块钢板的切割长度选择除应保证钢管群的稳定外，还应考虑施工方便的因素，过长则单块钢板过重，拆卸、运输均不方便。

6.2.4 钢管切割分为一次切割块和二次切割块，是为了保证切割过程中钢管的稳定，不致因切割段过长导致局部钢管壁受力产生过大变形。一次切割时，未切割的部分起支撑作用；二次切割时，一次切割块已经焊接、支撑完成，并能发挥支撑作用了，这样才能满足切割过程中钢管的稳定要求。

6.3 钢板焊接

6.3.4 作为结构防水的迎水面焊缝应确保焊接质量，一般在阶段性焊接作业完成后应对迎水面焊缝进行检查，确保防水质量。

6.4 切口支撑

6.4.4 防水钢板与固定钢板之间的支撑钢管数量可根据钢管所受土层侧压力计算确定。采用4根支撑钢管能够确保二次切割时一次切割块位置的支撑钢管提供足够、稳定的支撑力；二次切割支撑时，若能满足支撑力需要，支撑钢管可适当减少。

6.4.6 切口支撑部位外侧土体的注浆加固，可通过防水钢板上预留的注浆孔，向其背后的空隙注入水泥浆液进行，以满足钢板与土体密贴的要求。

7 管幕预筑结构施工

7.1 一般规定

7.1.1 管幕预筑法工程较大时，如主体纵向长度超过 20m，或者上下高度超过 7m 时，一次性进行钢管切割支撑及结构施工会造成局部土体沉降过大，引起失稳，因此一般宜沿主体纵向分段，上下分层，分区块流水施工，纵向分段长度不超过 20m，上下高度不大于 7m。

7.1.5 排气孔的设置，可在浇筑的每层混凝土体最上部设置一根水平的 $\phi 35\text{mm}$ 钢管，沿钢管外壁间隔 300mm 钻 $\phi 6\text{mm}$ 的小孔作为浇筑混凝土时的排气孔，此钢管在混凝土初凝后可作为注浆花管使用。

7.2 模板制作、安装及拆除

7.2.1 模板及其支架系统的材质、规格、步距等参数应按照相关规范验算后确定。

7.3 钢筋加工及安装

7.3.1 钢管内场地狭小，运输条件较差，一般钢筋加工时要考虑适当减小钢筋加工长度，增加钢筋连接数量。

7.3.4 钢筋接驳器的使用，应严格按照厂家提供的接驳器使用说明进行安装。因钢管内场地狭小，钢筋接头可能较多，采用一级接驳器可满足相关规范对钢筋搭接的要求。

7.4 混凝土浇筑

7.4.1 混凝土浇筑时，为避免冷缝的产生，一般纵向分段长度不大于 20m，竖向宜分层浇筑，一般以每根钢管作为一个浇筑层

来设置浇筑管。

7.4.3 每个浇筑层顶的空隙宜以层顶排气管作为注浆花管，在本层混凝土初凝前注入水泥浆液进行空隙回填。

7.5 预留接口部位处理

7.5.1 预留接口部位周边一般设置加强环梁，中间为预留孔洞。此处钢管切割后如无适当支撑，迎土面钢板易变形失稳，因此，应在切割前焊接临时支撑。

8 洞室土方挖运及结构施工

8.1 一般规定

8.1.1 洞室土方挖运施工原则上应待预筑结构混凝土达到设计强度；如果采取有效措施，混凝土达到 75% 也可进行后续施工。

8.1.3 为避免土方挖运时开挖工作面处预筑结构产生应力集中现象，导致预筑结构破坏的情况，大面积土方挖运前宜先在土方上部正中部沿预筑结构纵向拉槽，释放部分集中应力。

8.2 洞室土方挖运

8.2.2 管幕预筑结构内施工应加强对永久结构的保护，如在机械作业易磕碰处悬挂警示标、安装防护挡板等。

8.2.3 管幕预筑结构未包括底板是指管幕预筑结构完成，预筑结构内土方开挖至底板底标高时，才施工底板钢筋混凝土结构。在此种情况下，机械挖运应预留 200mm 厚土方，进行人工清底，保证不得超挖或扰动基底土。

8.2.4 遇含水层时应及时降排水，使地下水位低于作业面 0.5m。

8.2.5 水平临时支撑可选 $\phi 605$ 钢管支撑。当土方开挖至临时支撑设计位置时，先在预筑结构钢管外壁上焊好钢托架，再用挖掘机械配合人工安设钢支撑，然后通过特制的液压千斤顶对钢管支撑活动端端部施加设计轴力的 70%~80% 作为预加力，再用特种钢制的楔子塞紧，取下千斤顶。钢支撑与预筑结构的连接可参考图 6。

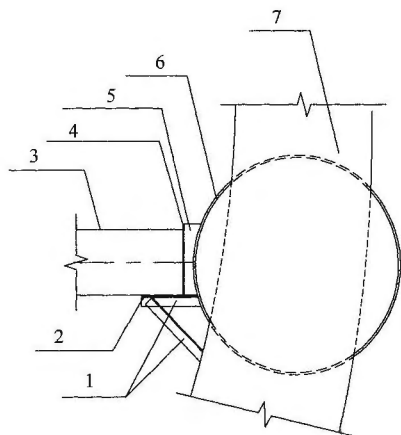


图 6 钢支撑与预筑结构连接大样图

1—三角支架；2、4—钢垫板；3—钢支撑；
5—钢缀板；6—顶进钢管；7—管幕预筑结构

8.3 结构施工

8.3.1 管幕预筑法结构内部结构梁、中板、底板等可根据设计要求选择逆作或者顺作施工。

8.3.5 临时支撑须在阶段区域内底板结构混凝土强度达到设计要求后方可拆除。

8.3.6 现场一般可采用降低混凝土入仓温度和浇筑时加速混凝土散热等措施来控制大体积混凝土内外温差措施，如采用薄层浇筑、预埋水管通水冷却等。

9 防水施工

9.1 一般规定

9.1.2 外包钢板作为管幕预筑结构的第一道防水，应确保防水质量，钢板连接处应确保焊接质量，并经焊缝渗透检测确认无渗漏缝。

10 辅助性施工措施

10.1 一般规定

10.1.1 注浆是一种应用广泛的传统施工方法，但是注浆效果受到很多因素的影响，制定专项注浆方案十分重要，进行现场注浆试验也很必要。

注浆是直接将浆料注入地层中，注浆材料应具有较好的可注性、粘结性、抗渗性、耐久性和化学稳定性，固结收缩小、无毒并对环境污染小。

当注浆量达到设计要求，或注浆压力达设计要求后注浆量迅速减小，或注浆量、注浆压力虽未达到设计要求，但孔口出现大量冒浆时，可终止注浆。

10.1.2 地下水的处理方式包括降水、排水、止水等，应根据工程地质、水文地质情况及管幕预筑法施工的阶段性要求，确定相应的地下水处理措施。

10.2 超前预注浆

10.2.3 根据沈阳地铁新乐遗址站的施工经验，钢管顶进过程中，每循环注浆范围宜为每循环作业沿顶管纵向 3m 左右，其中前端 1.5m 范围内为止水加固区，应具备止水功能，再向前 1.5m 范围为延伸加固区，以保证开挖工作面土体稳定。

10.2.4 注浆孔间距宜为 1.6 倍浆液扩散半径；速凝浆液可采用水泥-水玻璃浆液或添加速凝剂。超前预注浆宜采用水泥-水玻璃双液浆，也可根据情况采用其他的速凝浆液。

10.3 减阻注浆

10.3.3 膨润土浆液的具体配比宜通过试验确定。一般情况下，黏度宜大于 30s，注浆前膨润土造浆需提前 24h，使膨润土颗粒与水充分浸泡膨胀。当地层沉降控制要求严格或地面沉降过大时，可适当加入水泥浆等可硬性浆液，控制地面沉降。

10.4 壁后泥浆置换

10.4.3 当地层稳定性较好、含水量较少时，可以单液水泥浆为主，封孔可采用双液浆；当地层稳定性较差或含水量较大时宜采用双液浆。

10.5 填充注浆

10.5.1 两根相邻的钢管管间切割后，会出现焊接钢板壁后地层超挖的现象，应在切口支撑后及时进行填充注浆，以减小地面沉降。

10.5.2 混凝土浇筑时，钢管顶部混凝土很难浇筑密实，应及时对钢管顶部混凝土缝隙进行填充注浆。

10.6 地下水控制

10.6.1 工作井周边地下水的处理可按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 执行。

10.6.2 敞开式顶管施工应保持开挖工作面无水作业，难以做到时应保证开挖工作面渗水量不影响掘进作业。

10.6.4 洞室土方挖运时应提前做好地层滞水的疏排工作；底板施工期间应做好施工区内降水、排水工作，确保施工区地下水位低于底板底标高 0.5m。

11 施 工 监 测

11.1 一 般 规 定

11.1.1、11.1.2 管幕预筑法施工过程中，应根据设计文件、周边环境、施工工艺等制定监测方案，包括工作井深基坑、周边的建筑物、地下管线以及管幕结构内应力应变监测。其中钢管顶推千斤顶作用在工作井围护结构上，对围护结构内力及变形有一定影响，因此，需重点对围护结构水平位移及内支撑进行监测，另外还要对管间支护应力及应变、钢管应力及应变、管幕预筑结构应力及应变等进行重点监测。

11.3 钢管顶进及管幕结构施工期监测

11.3.1 在钢管切割、焊接与切口支撑施工期间应对管间支护应力及应变进行监测，每根钢管内每个施工段设监测点不少于 2 个；管幕预筑结构施工期间应对钢管应力及应变进行监测，测点间距根据相关规范确定，必要时可加密布置；土方开挖期间，可随土方开挖进度及时布置管幕预筑结构应力及应变监测点。