

# High Precision Single Head Construction Technology of Connected Pipe Curtain in Guide

Hang Jin

China Railway Tunnel Bureau Group Road and Bridge Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300308, China

## Abstract

With the rapid development of urbanization in China, the development of underground space represented by urban rail transit is moving forward rapidly. The density of rail transit line network is increased, and the existing lines are crossed on the new lines. Restricted by hydrogeological conditions, ground traffic, underground controlled buildings (structures) and pipelines, the setting conditions of some subway stations and adjacent sections are extremely harsh. Exploring construction methods, technologies and tooling is an important direction and necessary requirements for the expansion of underground engineering.

## Keywords

pipe curtain construction; construction technology; control points

## 导洞内连体管幕高精度独头施工技术

金航

中铁隧道局集团路桥工程有限公司, 中国·天津 300308

## 摘要

随着中国城市化高速发展,以城市轨道交通为代表的地下空间开发飞速前行。轨道交通线路网密度加大,新建线路上跨或下穿既有线路,形成交叉。受水文地质条件,地面交通,地下控制性建(构)筑物、管线的制约,部分地铁车站及相邻区间设置条件极其苛刻,探索施工工法、工艺、工装是地下工程拓展的重要方向和必要要求。

## 关键词

管幕施工; 施工技术; 控制要点

## 1 技术特点

**适用强:** 较以往管幕法无需常规接收井, 并能在导洞内横向独头高效施做高精度的管幕, 适用性强。**精度高:** 通过“3+1”精度控制体系, 管幕独头施工精度可控制在3‰L以内。**微沉降:** 采用千斤顶液压静力顶进, 可实现顶进、出土相协调, 先顶进后出土, 管幕施工实现微沉降。**质量佳:** 管幕钢管分节采用爬焊机为主+人工辅助焊接, 焊缝质量能有效保证。**效率高:** 钻机集成化程度高、移机就位方便, 大大提高了有限空间内管幕施工效率。

## 2 适用范围

### 2.1 工程水文地质适用性

#### 2.1.1 工程地质适用性

因管幕钢管内径及水平螺旋钻杆叶轮尺寸限制, 本技术适用于杂填土(建筑垃圾)、填土、粉土、粉质粘土、黏土、

新黄土、老黄土、古土壤、软土、砂卵石(最大粒径不宜超过100mm)等土质地层。

#### 2.1.2 水文地质适用性

有限空间内长大管幕独头施工技术可适用于无水、滞水或潜水地层, 但不适用于承压水地层。

### 2.2 工作断面适用性

适用于有限空间内管幕独头施工, 钻机及平台可根据导洞断面定制加工。但综合考虑施工功效及经济性, 建议管幕施工导洞空间尺寸不小于4m(宽)×3m(高)×(管幕施做范围+两侧各1m的作业空间)。

### 2.3 管幕规格适用性

本技术考虑的机械设备的顶推力及扭矩性能及经济合理性, 本技术适用于外径为180mm~600mm、壁厚不少于10mm、长度不大于80m的管幕施工。

### 3 工艺原理

导洞内连体管幕高精度独头施工工作主要通过顶进系统、出土系统、支撑系统及吊装系统四大系统实现管幕水平静压顶进及水平螺旋出土作业，将管幕钢管分段顶进并将管内土体出净。同时采用爬焊机将钢管进行剖口焊接连接。通过楔形钻头、激光成像仪及探棒对顶进钢管姿态实时观测并及时调整实现管幕精度控制。在管幕钢管分节顶进同时，同步将管外补偿注浆管分节跟进，待管幕钢管顶进完成后，通过搅拌及注浆系统对钢管管内实施水泥砂浆填充，及时施做管外补偿注浆，填充管幕管壁与土层之间的空隙，从而控制变形。

### 4 施工工艺流程及操作要点

#### 4.1 施工工艺流程

总体施工工艺流程见图1所示。

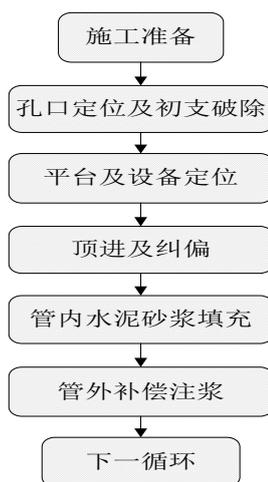


图1 施工工艺流程图

#### 4.2 操作要点

##### 4.2.1 施工准备

###### (1) 钻机及平台加工及调试

根据导洞尺寸定做导洞内横向管幕独头施工专用工装。整个装备由顶进、出土、吊装及支撑四大系统组成，具体构造详图见图2-1、2-2、2-3。洞内管幕施做专用工装首先应在场外进行安装调试，调试验收合格后解体通过电动葫芦垂直下井，然后在洞内采用人工+电动三轮车方式在洞内水平运至工作面，最后洞内再次组装、调试。运输过程中需对管幕设备做好保护。

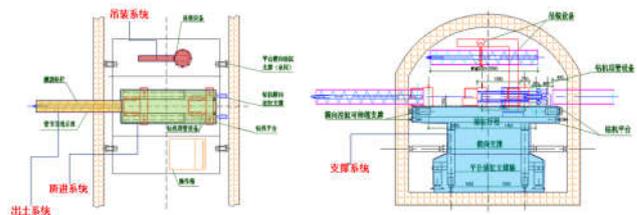


图2-1 洞内管幕施做专用工装平面图 图2-2 洞内管幕施做专用工装横断面图

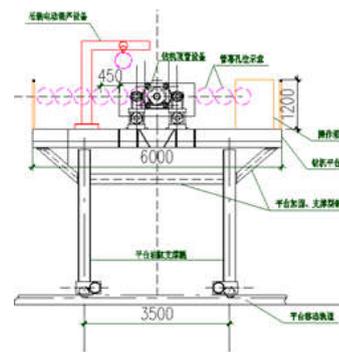


图2-3 洞内管幕施做专用工装纵断面图

###### (2) 材料准备

连体管幕所用主要材料有：钢管、角钢、小导管、水泥、沙等材料，在进场前均需按照试验要求对各项材料进行送检复验，验收合格后便可使用。为控制钢管坡口质量，管幕钢管坡口采用数控机床精准加工，运输过程中加强对坡口的保护，避免碰撞变形。钢管验收合格后，在工厂采用专用模具分节焊接好管幕锁扣，锁扣定位需准确无误，然后分节运至施工现场验收备用<sup>[1]</sup>。

###### (3) 其它准备工作

①辅助设施准备如螺旋钻杆、爬焊机、成像仪、探棒等随设备仪器进场；

②人员配备到位，并经培训及地面操作考核后上岗。

##### 4.2.2 孔口定位及临时初支拆除

由测量人员使用激光全站仪校检控制桩位，洞内测放出每根管幕的准确位置并按编号进行标记。放样完成后，采用人工手持风镐分段破除管幕范围内导洞初支混凝土，考虑初支破除对地表沉降影响，严格控制分段破除长度（单次破除长度不超过3m），预留格栅主筋，预先焊接帮焊板（兼做定位钢板），格栅主筋在对应管幕顶进前割除<sup>[2]</sup>。

##### 4.2.3 平台及设备就位

孔口放线完成后，在导洞内根据导洞中线及平台结构铺设轨道，然后搭设自动化平台并在平台上安装液压油泵、吊装系统及支撑系统，将平台定位准确后，安装顶进系统。钻

机操作平台采用梁式支架、设滑轮轨道式行走，高度可调，保证了平台及设备定位的精确度。平台通过轨道到达相应位置后，利用定位四个液压自锁油缸精准调整平台高度，经测量复核后再顶进侧向油缸使平台固定牢靠，避免管幕在顶进过程中，平台倾斜或发生位移。在钻机安装完成定位后，在钻机钻杆正后方安装激光成像仪对导向钻杆的靶盘进行对位（标准管增设探棒），以便在后续掘进过程中进行纠偏观测<sup>[1]</sup>。



图3 平台及设备就位

#### 4.2.4 管幕顶进及纠偏

整个顶进及过程纠偏是管幕施工的核心环节，其中精度控制、管节连接质量、地表及构建筑物沉降变形及施工工效是控制的重点。正常情况下采取“欠土顶进”方式，减少对周边土体扰动，利于沉降控制。顶进过程中需实时观测钢管前端姿态，发现偏离时及时实施纠偏，以保证其精度满足要求。采用钢管自动爬焊机+人工配合工艺为保证钢管焊接质量、提高施工效率<sup>[4]</sup>。

##### (1) 精度控制

为有效控制管幕施工，保证其精度满足设计要求，管幕采取带锁扣形式管幕，通过标准管进行导向及约束普通管，即提高了施工效率，又利于管幕整体精度提高。其中标准管采取“3+1”精度控制措施：

“3种”管幕姿态观测方法为：

“激光成像仪”过程中管幕前端姿态实时观测；

“探棒”过程中管幕前端竖向偏差实时精准量测；

“全站仪”最终三维坐标测定。<sup>[2-3]</sup>

“1种”纠偏手段：

纠偏主要是钻头前端的楔形板进行。通过调整楔形板方向，利用钻杆顶进过程中土体对钻杆的反作用力，来改变钻杆进轨迹，实现纠偏。<sup>[5]</sup>

##### ①激光成像仪

钻头内设激光，钻机后方固定成像仪实时测量管幕前端偏差。管幕顶进时成像仪里显示1绿2红共3个灯，通过观

察这3个灯的运行轨迹，确定偏差。

工况一：成像仪里靶心绿灯从有完全消失的过程，此时管幕相对与首节初始位置偏移0~30mm。

工况二：成像仪里绿灯完全消失至红灯1完全消失的过程，此时管幕相对与首节初始位置偏移30~45mm。

工况三：为成像仪里红灯1完全消失至红灯2完全消失的过程，此时管幕相对与首节初始位置偏移45~60mm。

工况四：为成像仪里红灯2运行轨迹完全消失时的工况，此时管幕相对与首节初始位置偏移>60mm<sup>[6]</sup>。

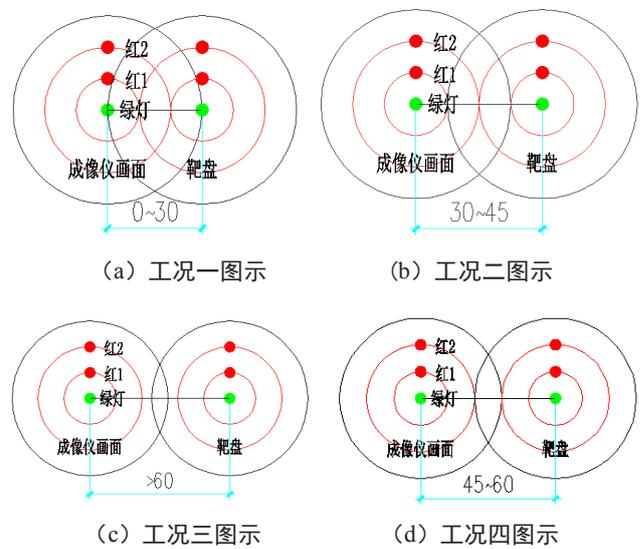


图4 激光成像仪控制管幕施工精度原理图

##### ②探棒控制精度

管幕施工采用有线导向仪测量管幕在顶管过程中钢管端倾角，从而计算钢管在顶管过程竖向偏差。其测试精度在试验室里显示≤1‰。与非开挖工程使用的无线导向仪不同，它不受任何杂波的影响，安装使用方便。<sup>[7]</sup>

③使用全站仪实测三维坐标，与理论坐标对比，测出管幕偏差。

##### ④纠偏



(c) 有线导向仪

(d) 界面显示器

图5 探棒控制管幕施工精度图示

可用水平螺旋顶管钻机辅助油缸实现双系统纠偏：管幕

发生偏移时,可辅助油缸调整钻头钢管的相对位置,使楔形板钻头伸出钢管前段,调整楔形板位置后采取光顶不转,利用土体对楔形板的反作用力来改变钻进轨迹实现纠偏。如下图 6:钻头部位的激光,12 点方向表示斜板朝下,此时顶进钢管会向上偏转。<sup>(6-7)</sup>



图 6 管幕纠偏图示

辅助油缸采用 1 套油缸系统(4 个油缸,每个顶力 25t),行程 47cm。

a. 管幕精度在允许偏差内顶进。油缸 B 行进 47cm,并自锁,此时钻头鸭舌板在管幕钢管内。

b. 管幕精度在允许偏差外纠偏。油缸 B 收回,油缸 A 行进,将钻杆推出管幕钢管外 47cm,通过鸭舌板钻头进行纠偏操作,满足允许偏差后,重复第 1 步。<sup>[8-9]</sup>



图 7 双系统纠偏油缸

#### ⑤ 增设锁扣提高管幕整体精度

根据施工实践,在管幕间增设锁扣,将其连成整体可大大提高整体施工精度及施工效率。首先施工 1 根标准管,两侧各 5 ~ 6 根钢管顺标准管锁扣顶进。根据后续管幕施工实测精度,当精度超出设计要求后,重新打标准管控制精度。标准管打设时,采用有线探棒、激光成像两种手段双控精度。

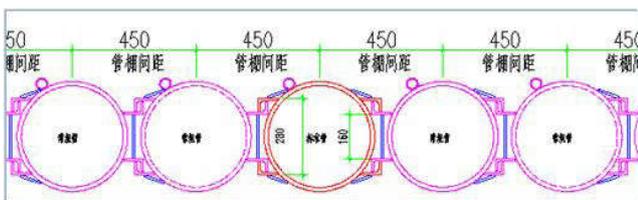


图 8 带锁扣连体管幕

⑥ 调整首接钢管管端剖口方向、增设铲土板,防止锁扣脱扣

管幕顶进过程中,锁扣内部易积土,发生脱扣现象,造成临侧常规管与标准管偏差较大。

为减少端头压力,管幕顶进第一节端头采用内坡口。顶进过程中管壁因内坡口,土体向管内挤压,边顶进边出土,减小端头压力。

为防止锁扣脱扣,顶进常规管时在第一节公扣端头焊接铲土板,保证锁扣之间土体向管内挤压,避免锁扣之间积土过多造成锁扣脱扣。

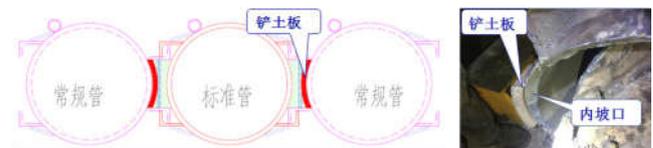


图 9 管端铲土板及坡口设置

#### (2) 施工变形控制

主要采取以下方法:

① 控制螺旋钻头与钢管的相对位置,采取“欠土顶进”方式使钢管超前钻头,实现顶进过程中的挤土效应,以控制沉降;

② 根据地表及管线的沉降观测情况,及时通过管外补偿注浆管对地层进行补注浆;

③ 控制钢管顶进与螺旋钻杆出土同步协调,禁止长时间光转不顶或光顶不转。

④ 做好渣土量统计分析,每节管实际出渣量与理论出土量做对比;

⑤ 及时做好监测分析,加强监测,利用监测数据反馈指导施工。

#### (3) 钢管连接

为保证焊接质量可靠可采取以下措施:

① 坡口在工厂采用车床精准加工,保证坡口质量。进场时,质检员对管面及垂直度进行检查,检验坡口形式及角度符合要求,将坡口及其内外侧面不小于 10mm 范围内应清除干净,观察是否有夹层、裂纹、加工损伤、毛刺及火焰切割熔渣等缺陷。

② 在洞口及顶管机前端(接近洞口处)各设置钢管固定托架,控制相邻钢管的错边量,管外再采用靠尺辅以靠尺及水平管、地质罗盘进行对位控制以保证钢管密贴平顺,提高钢管对接精度。<sup>[9]</sup>

#### 4.2.5 管内水泥砂浆填充

为保证管内砂浆填充密实采取以下措施:

①掺加微膨胀剂,根据试验现场试验确定添加微膨胀剂。

②管正上方安装  $\Phi 50\text{mm}$  镀锌管排气孔(如下图所示)

③采用后退式反压灌注法灌注水泥砂浆,并控制灌浆压力,防止端头处地层存在隆起及对临近管线的破坏等风险。<sup>[10]</sup>

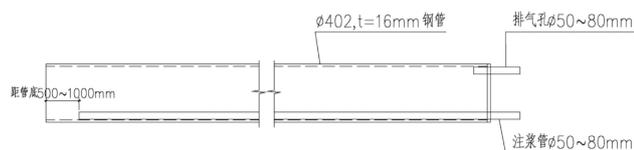


图 10 管内砂浆灌注导管及排气孔设置

#### 4.2.6 管外补偿注浆

管幕管外补偿注浆是控制地表及周边管线沉降的重要手段。管外补偿注浆宜及时进行,一般不宜连续超过 10 根,并根据地表监测情况随时进行调整。补偿注浆采用 1:1 水泥浆进行灌注。注浆过程重点控制注浆压力(0.1–0.3MPa)与注浆量。注浆过程中需严格控制注浆压力、加强巡视,防止注浆对周边管线等建构筑物造成破坏。

#### 4.2.7 有限空间内管幕施工组织

(1) 优化顶管机装置:通过优化顶管设备,提高了有限空间内顶管机单节顶管长度,大大缩短施工时间,提高了功效。经过多次优化顶管机方案,在净宽 4.3m 的先行导洞内,单节顶管长度可达到 2.8m,较原设计管幕单节长度 2m,即减少了分节数量,又减少了对接及焊接时间,以 35m 管幕为例,设计需要 18 节钢管、17 条焊缝,而优化后仅需要 13 节钢管、12 条焊缝,每根管对接焊接时间缩短约 5h。<sup>[10]</sup>

(2) 提高机械化程度:洞内设备、材料运输均采用以电动三轮车为主,人工辅助模式。<sup>[11]</sup>

(3) 合理安排工序:导洞内管幕施工包含测量定位、初支破除、移机就位、钢管顶进、钢管连接、管幕封端、初支支护补强、管外注浆、管内砂浆填充等多道工序,交替进行,通过合理优化施工工序,形成各工序流水作业,大大提高在有限作业空间内的效率。

#### 4.2.8 地表及管线的沉降监测

地表及地下管线沉降监测,监测范围取结构边缘两侧各 1.0H 范围。地表监测点横向间距 5m,纵向间距 15m。对于改迁过程中或者暴露条件下的管线宜布设直接监测点,一般情

况下管线测点布置在管线对应的地表,管线位于强烈影响区时测点沿管线纵向布设,间距应为 5~10m,一般影响区测点间距应为 10~20m。建筑物沉降监测,测点布置在建筑物的四角,拐角处及沿外墙;高低悬殊或新旧建(构)筑物连接处、伸缩缝、沉降缝和不同埋深基础两侧;建筑物四角,沿外墙每 10~15m 处或每隔 2 根柱基上。<sup>[12]</sup>

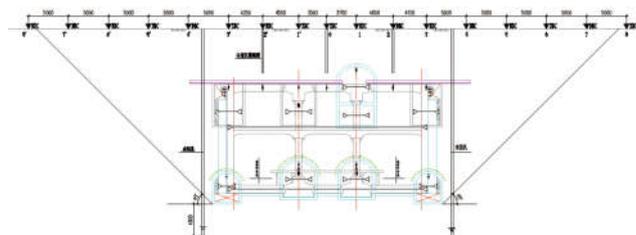


图 11 地表及管线横断面测点布设图

## 5 质量控制

管幕钢管、锁扣的型钢原材、水泥砂浆原材必须满足设计和相应的施工及验收规范要求。

管幕钢管坡口加工采用机械数控加工以控制坡口形式和坡口尺寸符合设计及规范要求。

管幕钢管对接前清除坡口及其内外侧表面不小于 10mm 范围内的油、污垢、毛刺等,对接时,相邻两节钢管应内壁齐平、轴线一致,尽可能避免错边量。

管幕钢管焊接采用爬焊机分层焊接,避免操作空间受限或仰焊焊接质量不可控的因素。

严格控制管幕入口孔位及入孔仰角,管幕标高误差范围 0 ~ 5mm,入口仰角宜控制在 +0.1% 以内,孔口位置偏差控制在 20mm 以内。

过程中加强管幕轴线偏差控制,采用探棒及成像仪可将精度控制在 +0.3% 以内。

定期对油缸进行校核平台进行检查,避免两侧油缸不同步或平台不稳定而导致管幕发生偏向。

顶进过程中采取“欠土顶进”,统计分析顶进速度与出土量,使两者协调一致,以有效控制地层沉降变形。

## 6 安全措施

认真贯彻执行有关安全的方针政策、规章制度,牢固树立“安全第一”的思想,坚持“安全第一、预防为主、综合治理”的方针。<sup>[14]</sup>

专用螺旋顶管钻机、配套液压油泵、钢管单重较重和洞内环境及条件受限,采用平台自带的吊装系统。吊装进洞作业前应仔细检查桁架吊点、吊环、锁具的安全性,配件吊装就位过程设专职指挥人员,设置专职安全员旁站,洞内照明需有足够的照度。<sup>[13]</sup>

对进场螺旋顶管钻机及其配件加强验收,实现在地面组装调试验收合格后再运入洞内重新组装调试验收。并定期检查设备工况,加强日常维护及保养。

专用螺旋顶管机操作是本技术安全质量控制的核心之一。需对操作工人进行详细、准确的培训教育,经考核其具备操作资格后才允许上岗,并定期对操作工人进行再教育和考核。

吊带、钢丝绳发现有损坏、磨损的及时更换。

吊装作业周边不允许站人,作业过程中设专职安全员进行指挥。

顶进过程中采取“欠土顶进”,统计分析顶进速度与出土量,使两者协调一致,以有效控制地层沉降变形。

顶进过程中,需加强观测顶推力的观测,如发生顶推力异常时,因停止顶进、分析原因采取措施、消除阻碍后继续施工,严禁盲目增大顶推力顶进,防止发生意外。

钢管对接及焊接质量,直接影响管幕承载力,需严格控制管幕管节的连接质量。

严格按方案,控制破除初支砧分段长度,及时完成初支帮焊板连接及管内砂浆填充。

及时进行管外补偿注浆,填充钢管与地层之间的空隙。

## 7 结语

该技术解决提高了新管幕法适用范围,实现了新管幕法与暗挖法完美结合,即避免了大规模市政管线改移工作,又提高了地下空间利用率,避免加大地下结构埋深造成工程造价大幅提升,为以后复杂环境下地下工程设计方案选择提供了新思路,其应用前景十分广阔。

## 参考文献:

- [1] 导洞内咬合大管径管幕施工工法在超浅埋暗挖地铁站中的应用(3032).
- [2] 曹保利,何占江,陈文,夏曾银.《工程建设与设计》.2018-06-30,棚盖法平顶暗挖地铁站施工力学行为研究.
- [3] 高胜雷(导师:陶连金)-《北京工业大学硕士论文》.2018-06-01.
- [4] 夏热冬冷地区绿色建筑运行项目性能监测与实效评估研究.陈浩(导师:龚光彩,段胜)-《湖南大学硕士论文》.2018-05-21.
- [5] 农业农村部办公厅关于加强农药监督管理的通知.《今日农药》.2019-01-08.
- [6] 基坑监测技术在深基坑施工中的应用研究.刘丹丹.《河南科技》.2018-05-15.
- [7] 对加油站施工过程中的安全管理探讨.王继成,颜飞.《经营管理者》.2012-04-20 是否引证:否.
- [8] 基于 PSO-LSSVM 模型的地铁深基坑水平位移反分析研究.罗志远(导师:葛克水,梁向前).《中国地质大学(北京)硕士论文》-2018-05-01 是否引证:否.
- [9] 坚守不可逾越红线 铸就固若金汤长城——龙岗区工业园区安全整治与提升专项行动综述.《新经济》.2019-01-10 是否引证:否.
- [10] 优化提升班组管理——内蒙古巴彦淖尔电业局着力夯实发展之基.赵长青.《当代电力文化》.2018-12-15 是否引证:否.
- [11] 电梯工程违章案例与纠正措施(续1).李志.《中国电梯》.2018-10-15 是否引证:否.
- [12] 农业企业安全文化建设和实施方案研究.李国梁,施兴荣,倪耀全,彭辉.《乡村科技》.2018-11-10 是否引证:否.
- [13] 经济法通则原论.程信和.《地方立法研究》.2019-01-15 是否引证:否.
- [14] 关于城市落实总体国家安全观的思考——以深圳市为例.黄铁苗;蒋鑫.《广东行政学院学报》-2019-01-16 1. 是否引证:否.
- [15] 企业安全生产主体责任之落地.江志强.《中国电力企业管理》.2019-01-25 是否引证:否.