

# 大直径顶管浅埋穿越既有城市快速路地表沉降控制措施

霍九坤

武汉市市政建设集团有限公司, 湖北 武汉 430000

**[摘要]**非开挖工程技术彻底解决了管道埋设施工中对城市建筑物破坏和道路交通拥堵等问题,在稳定土层和环境保护方面凸显其优势,顶管施工属于非开挖工程施工技术一枝独秀,具有较为明显优势,随着城市地下空间的开发,管道布置也越来越密集,管径也越来越大。文章以两湖泵站周边配套管网工程(施工)项目为依托,浅谈大直径顶管浅埋穿越既有城市快速路地表沉降控制措施。

**[关键词]**非开挖技术;顶管施工技术;大直径;长距离;浅覆土

DOI: 10.33142/ec.v3i6.2086

中图分类号: TU990.3

文献标识码: A

## Ground Settlement Control Measures for Large-Diameter Pipe Jacking Shallow Buried Crossing Existing Urban Expressway

HUO Jiukun

Wuhan Municipal Construction Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

**Abstract:** Trenchless engineering technology has thoroughly solved the problems of urban buildings damage and road traffic congestion in the pipeline laying construction. In terms of stabilizing soil layer and environmental protection, pipe jacking construction is a trenchless engineering construction technology, which has obvious advantages. With the development of urban underground space, the pipeline layout is more and more dense, and the pipe diameter is also increasing. Based on the supporting pipe network engineering (construction) project around Lianghu pumping station, this paper discusses the surface settlement control measures of large diameter pipe jacking shallow buried crossing existing urban expressway.

**Keywords:** trenchless technology; pipe jacking construction technology; large diameter; long distance; shallow overburden

### 引言

为保护周围环境和既有建构筑物安全,在顶管施工时控制地表及周边建构筑物沉降至关重要,本文以两湖泵站周边配套管网工程(施工)项目为背景,结合 Y10~Y9 区间顶管施工浅谈大直径顶管浅埋穿越既有城市快速路地表沉降控制措施。

### 1 工程概况

两湖泵站周边配套管网工程(施工)位于武汉市洪山区南湖社区附近,北起民族大道铁路桥涵洞,向南沿民族大道至锦绣龙城 D 区 76 栋附近地块,向西转向沿三环线北侧绿化带向西敷设至光谷机动车检测中心,向南穿越三环线到达汤逊湖口岸。该工程为新建雨水管涵项目,工程总造价为 1.098 亿元。

线路全长 3633m,管线排水采用重力流方式流入汤逊湖内,主管道为 DN3000mm,整体坡度为 0.8%,线路平均埋深 3m~15m。其中, Y10~Y9 区间设计线路长度为 403.5m,采用顶管法施工,管道内径 3000mm,外径 3550mm。

该工程建成后将两湖泵站周边(民族大道铁路桥涵洞)滞水进行收集并统一排放至汤逊湖内,将有效缓解该区域逢雨必涝的城市内涝问题,助力武汉市打造滨水生态绿城。

#### 1.1 工程地质情况

场地沿线属剥蚀堆积岗状平原地貌,相当于长江 III 阶地。顶管段主要穿越的地层为: 3-2 黏土层、4 黏土层、4a 碎石层。管道范围内土层地质特征如表 1 所示。

表 1 地层分布特性表

序号	地质年代及成因	地层编号	地层名称	层厚(m)	层顶标高(m)	岩性特征
1	Q4a1+pl	3-2	黏土	1.10~3.30	17.07~33.18	褐黄色、灰黄色,可塑,饱和,含少量铁锰质氧化斑点。

(续表)

序号	地质年代及成因	地层编号	地层名称	层厚(m)	层顶标高(m)	岩性特征
2	Q3al+pl	4	黏土	1.00~26.80	14.20~35.40	褐黄色、褐红色，硬塑，局部可塑，饱和，含少量铁锰质氧化物结核，局部夹杂少许砾石，含量小于10%。
3	Q3al+pl	4a	碎石土	1.00~13.70	6.12~38.07	褐黄色、灰黄色，中密，碎石含量约65%，粒径多为2~5cm，钻孔中所见最大粒径11cm，岩性多为石灰岩及砂岩，碎石间充填硬塑状黏性土。

## 1.2 工程水文情况

拟建场地勘察期间地表水主要为三环线南侧水塘水，水深 1.20~1.40 米，水面高程 25.12m (85 国家高程系统)，地表水对工程影响小。

## 1.3 周边环境及管线情况

顶管接收井 Y9 位于光谷机动车年审中心门口三环线绿化带内，距离房屋较远。顶管段 Y9~Y10 区间，顶管工作井 Y10 位于三环线南侧弘毅驾校训练场内，顶管段下穿三环线快速路，下穿三环线南侧水塘，侧穿三环线南侧高压线塔，顶管掘进至 178m 处，下穿一根 380V 电缆线。

## 2 工程重难点

### 2.1 管道直径大

成型管道内径 3000mm，外径 3550mm，管道直径大。区间最大覆土仅有 5m，小于 1.5D，埋深覆土浅。顶管施工对地面扰动影响较大，浅覆土顶进时，地面沉降控制难度高。

### 2.2 穿越三环快速路、覆土浅

本区间在里程 K2+642.782~K2+684.782 穿越现状三环快速路庙山段，该区段管道覆土 4.35m~5.36m，覆土浅，仅为 1~1.5 倍管径长，管道上覆土依次为 1-2 素填土和 3-2 黏土层。三环线车流量大、车辆重量大、车速快、引起地面动荷载大，对地下土层承载能力要求高；由于管道覆土浅，顶管施工对土层扰动较大，且三环线为城市快速路对地表沉降敏感度高，沉降控制要求程度高，施工难度大。

### 2.3 穿越长距离池塘

本区间在里程 K2+699.412~K2+832.529 穿越池塘，长度约为 133m，池塘作为旁边商混站储水池长期储备大量的水，水深约为 5m~8m。穿越鱼塘段管道覆土深度仅为 3.3m~4.5m，覆土浅，部分地段不足 1 倍管径，管道上覆土 2 淤泥、3-1 粉质粘土和 3-2 粘土。顶管施工对土层扰动较大，覆土浅，淤泥土稳定性差，容易发生地面塌陷、管道渗漏水等情况。

### 2.4 长距离顶进施工

Y10~Y9 区间总长度 406.5m，管径为 DN3000mm，根据相关规范要求属于大直径、长距离顶管顶进施工。该区间主要穿越 3-2 黏土层和 4 黏土层，土体呈软塑、硬塑状，少许夹杂着砾石，长距离顶进土体侧摩阻力大，对管材承受能力、顶进油缸提供动力、中继间安装与启动和减阻剂等提出了较高的要求，施工难度加大。

为确保城市快速路行驶安全和道路等级平整度要求，大直径、浅覆土、穿越城市快速路时沉降控制需严控。

## 3 地表沉降的原因分析

结合顶管施工工艺流程和现场施工经验，顶管施工过程中，影响浅覆土地表沉降的主要影响因素有以下几点：

### (1) 顶进速度过快

顶进速度过快时，引起掌子面顶进压力较大，大直径浅覆土顶进时，易引起地表隆起。

### (2) 土仓压力不稳定

土仓压力控制不稳定时，忽大忽小的土仓压力，致使掌子面压力不稳定，在地表土压力、静荷载和行车动荷载的作用下，引起地表沉降或隆起。

### (3) 减阻注浆不规范

顶管施工主要阻力分两部分：管壁与围岩之间的侧摩阻力和掌子面的迎面土压力，其中大直径长距离顶管施工围岩的侧摩阻力为顶进施工需克服的主要阻力。因此，顶管施工时减阻注浆至关重要。但现场实际施工时，因班组未做

到“线注浆，后顶进，定期补浆”的施工要点和注浆点位选取不合理，致使管壁外不能形成成型的浆套。顶进施工时，管道直接与围岩接触，易形成“背土现象”，且顶进施工压力变大，引起地表土体损失或地表隆起。

不能及时注射减阻浆液时，管材与围岩之间的空隙不能及时填充，在浅覆土地表土压力、静荷载和行车动荷载的作用下，引起地表沉降。顶进压力过大对管材质量也会造成一定的影响。

#### (4) 顶进开挖不规范

因顶管施工与盾构施工不同，围岩和管材之间的空隙只能使用减阻剂进行临时填充，不能及时在管材与围岩之间填充永久性的填充资料。若顶进施工时，刀盘超挖易引起土体损失，造成地表沉降。

#### (5) 泥浆置换不规范

泥浆置换是保证管节背后填充密实，保证后期管道运行安全和减少地层沉降的关键环节。对注浆浆液质量或注浆效果重视度不够，致使空隙填充不饱满。尤其是大直径顶管，管材与围岩之间空隙大，浅覆土施工后，后期在车载和地表土压力作用下，地表会慢慢发生沉降。

### 4 地表沉降控制措施

#### 4.1 试验段确定参数

在正式穿越城市快速路时，设置顶进试验段。

##### (1) 设置顶进试验段，调整优化顶进参数

在正式进入三环线下方时，前段设置 30m 顶进试验段，在其上方布置监测点，通过地表点监测数据不断优化顶进参数，确保顺利通过。

##### (2) 合理布置监测点，加强现场监测

由于三环线车流量大、车速快，无法进行正常的高程监测，采取两侧监测点加密、中间护栏设置十字丝，采用水准仪和全站仪同时监测的方式，确保安全、全面监测，并及时反馈指导顶进施工。

通过试验段采集顶进速度、顶进压力、土仓压力等参数，统筹分析地表沉降，优化顶进参数，有效控制地表沉降。

#### 4.2 限速限挖顶进施工

大直径、浅覆土顶进穿越城市快速路时，需低匀速穿行。为保证顶进施工效率和控制地面沉降影响，由机电工程师设定编程序，做到限速顶进施工：

穿越三环至接收井施工段，严禁顶进速度大于 20mm/min。避免浅覆土顶进速度过大造成对土体扰动大，引起土体损失。

穿越三环段，限制超挖段开启程序，严禁超挖渣土引起地面沉降。



图 1 设定顶进速度上限及超挖刀禁开程序

#### 4.3 土仓压力控制

施工前，根据分段覆土深度，初步计算掌子面土压力。优化土仓压力传感器配置及位置，在土仓和螺旋输送机内，增加两支电子式传感器，并将传感器系统接入控制屏面，有效观察和控制土仓压力，确保土仓压力反馈信息较为准确。根据顶进里程，实时调控土仓压力，保证土仓压力与掌子面同压或略大约掌子面压力。

#### 4.4 规范注浆减阻工艺

##### (1) 注浆管节调整

减阻注浆管节每间隔一节布置一处，即“1+1”模式。

### (2) 注浆点位

大直径顶管管节断面大，建议在管节预制时，在底腰部 120° 以上均匀布置 5 个注浆。

### (3) 注浆减阻浆液质量

为克服 Y10~Y9 区间长距离侧摩阻力大的施工难题，我部通过选择优势膨润土、外加剂，通过反复现场试验确定其配比，控制注浆压力，增大注浆量等措施，使管道外壁形成良好的浆套，区间长度 406m，设计需要设施 4 个中继间，我部共设置 3 个，且在施工中仅启动 2 个中继间，足以保证了顶管顺利贯通。

### (4) 及时补浆

因减阻泥浆有失效期显示，在施工时应遵循“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，及时填充触变泥浆，减小围岩与管道之间的空隙。

在顶管机后部缩小处设置一组主补浆孔，在每个中继间处设置注浆孔。并根据顶进速度在预留孔上设置补浆孔，补浆孔的间距可按照：

$$L_m = T \times V$$

式中：L<sub>m</sub>—补浆孔间距（m）；

V—每天平均顶进速度（m/d）；

T—减阻泥浆失效期（d），可取 6~10d。

### 4.5 规范泥浆置换

泥浆置换是保证管节背后填充密实，保证后期管道运行安全和减少地层沉降的关键环节，为保证管道后期通水运行稳定，需在区间管道贯通后，将其周围的减阻浆套采用水泥浆液进行填充、置换，使管道长期稳固和保障被穿越的地面构筑物安全。采取以下措施：

#### (1) 优化注浆浆液配比

因此填充注浆和盾构二次注浆一样，注浆浆液中添加骨料注浆困难，容易堵塞注浆管道。建议减阻泥浆置换浆液采用水灰比 1:1 水泥浆液，水泥采用普通硅酸盐水泥，标号为 P.042.5。

#### (2) 优化注浆工艺

采用从底部至上部分层、分段注浆方式进行泥浆置换。注浆点位选除顶部 120° 外，均匀布设 5 个注浆孔，并控制置换泥浆顺序。

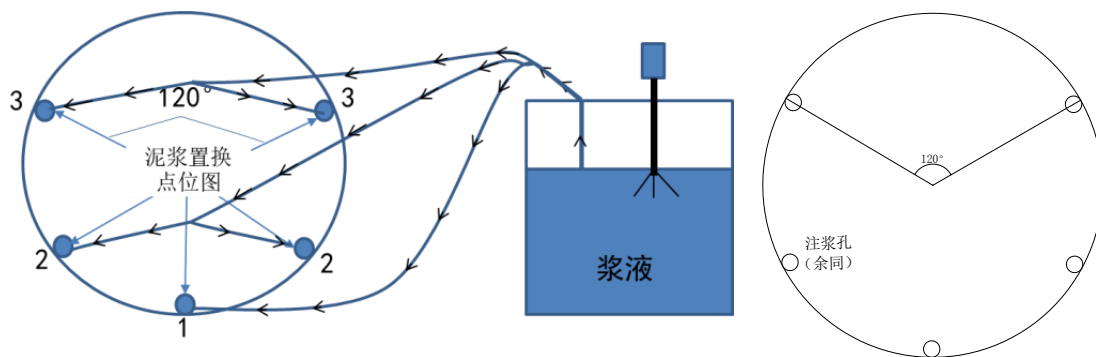


图 3 泥浆置换注浆次序图

#### (3) 注浆压力及注浆量控制。

①应由管内均匀分布的注浆孔向外测空隙压注浆液；注浆应与地面监控相配合，应采用多点注浆将管道与土层的间隙充分填满，注浆量宜按计算空隙体积的 150% 控制。

②注浆压力应根据管顶覆盖土层的厚度计算或试验确定，宜为 0.1~0.3MPa，砂卵石层宜控制在 0.1~0.2MPa。

③注浆结束后，应在规定时间内将注浆孔封闭。

通过以上措施，顶管机顺利、安全穿越了三环快速路，道路两侧和中间最大隆起或沉降不超过 ±5mm。保证了三环

线正常运行和使用等级。

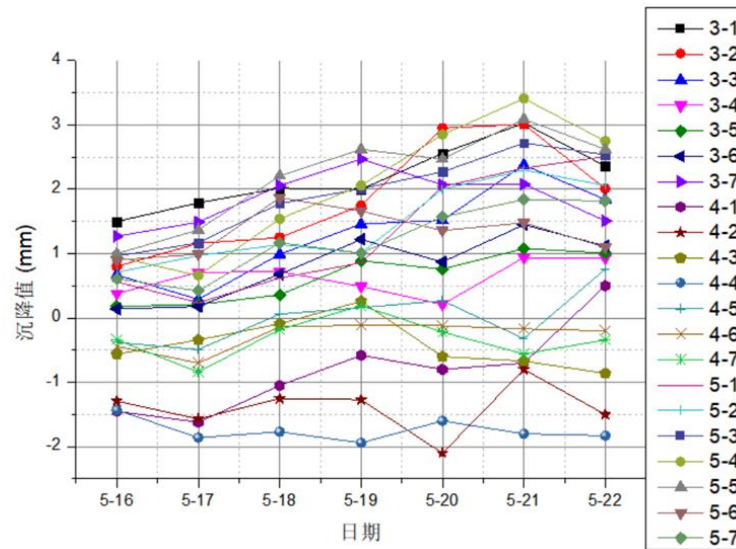


图4 三环线路面沉降监测

## 5 结论

通过两湖泵站周边配套管网工程中大直径浅覆土穿越城市快速路施工经验和查阅相关资料，总结出大直径浅覆土顶管穿越城市快速路地表沉降控制的要点为：

(1) 严控掌子面出土量，严禁超挖。

(2) 严控减阻注浆施工工艺，施工时，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，确保注浆效果。

(3) 做好顶管机掌子面土压力、做好现场地面监测、设置试验段，及时调整顶进参数，确保施工安全，减少建（构）筑物变形或沉降。

(4) 严控泥浆置换施工，确保后期管道运营施工安全。

### [参考文献]

- [1] 给水排水管道工程施工及验收规范. GB 50268-2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [2] 给水排水工程顶管技术规程. CECS 246:2008 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [3] 顶管施工技术及验收规范(试行). [S]. 中国非开挖技术协会行业标准, 2006.
- [4] 顶管技术规程. [S]. 中国地质学会非开挖技术专业委员会.
- [5] 赵惠川, 郭重, 王惠和等. 大口径长距离土压平衡式顶管施工技术[S]. 2008 城市道桥与防洪第三届全国技术高峰论坛论文集, 2008: 10.

作者简介: 霍九坤(1990.3-), 男, 毕业院校: 中国矿业大学(北京), 所学专业: 建筑与土木工程, 研究方向: 城市地下空间工程, 当前就职单位: 武汉市市政建设集团有限公司, 职务: 项目副总工程师, 职称级别: 工程师。