

# 中心城区矩形顶管穿越砂性土层主动止退技术研究

梁辉

上海公路桥梁(集团)有限公司

DOI:10.12238/btr.v6i2.4099

**[摘要]** 矩形顶管技术在过街地下通道、地铁车站出入口、车行隧道等方面被广泛应用。顶管在新管节对接时需收回主顶千斤顶,采用止退技术能稳定开挖面土体,减小环境变形。传统被动止退技术在管节对接过程仍存在一定的后退变形,采用主动止退技术可以显著降低后退量。尤其在砂性地层,矩形顶管断面大,采用主动止退可有效控制开挖面土压力稳定,减小扰动。本文依托云岭东路地下连通通道工程,通过现场监测分析了主动止退技术在中心城区矩形顶管穿越砂性地层的环境影响,为今后中心城区矩形顶管穿越施工提供经验参考。

**[关键词]** 矩形顶管; 主动止退; 地表沉降; 砂性土

**中图分类号:** TU 文献标识码: A

## Research on Active Back-stopping Technology of Rectangular Pipe Jacking Crossing Sandy Soil Layer in Central Urban Area

Hui Liang

Shanghai Road and Bridge (Group) Co., Ltd

**[Abstract]** Rectangular pipe jacking technology is widely used in underground passages, subway station entrances and exits, and vehicular subway. The main jack needs to be recovered when the new pipe is connected. The back-stopping technology can stabilize the soil on the excavation surface and reduce the environmental deformation. There is still a certain amount of retreat deformation in the process of pipe section docking in the traditional passive back-stopping technology, and the active back-stopping technology can significantly reduce the amount of retreat. Especially in sandy strata, the rectangular jacking pipe section is large, and the active back-stopping can effectively control the earth pressure stability of the excavation face and reduce the disturbance. Based on the underground connected channel project of Yunling East Road, this paper analyzes the environmental impact of active back-stopping technology on the rectangular pipe jacking crossing sandy stratum in the central urban area through on-site monitoring, and provides empirical reference for the construction of rectangular pipe jacking crossing in the central urban area in the future.

**[Key words]** rectangular pipe jacking; active back-stopping; surface subsidence; sandy soil

### 引言

矩形顶管技术在我国正得到大力推广应用,特别是在地下过街通道、地铁车站站台与地面连接通道等方面<sup>[1]</sup>。然而,矩形顶管在中心城区全断面穿越砂性土地层的案例还较为罕见<sup>[2]</sup>,该种条件下的施工会面临一系列问题。通常,矩形顶管工程施工所处位置地面构筑物较为密集<sup>[3]</sup>,且顶管在砂性土层中顶进时经常会出现顶管机出土口喷涌、地面沉降等一系列问题,后续“再加固”或改变施工方案处理代价很大。通过止退技术可以有效降低顶管机后退量,从而减小土体变形,以往的工程实践中大多采用被动止退技术。王航<sup>[4]</sup>在洞口两侧预埋拉环,用钢索将混凝土管拉紧,主千斤顶回缩前安装止退钢索进行止退;蔡燕飞

<sup>[5]</sup>在与后靠背连成一体的排架传力梁上设置止退装置,并用焊在洞圈上的临时钢筋拉住,减少出洞注浆量。

被动止退技术对顶管机后退有了一定的控制,然而在对沉降控制要求较高的中心城区依然无法满足要求。主动止退技术被用于顶管机后退控制,如卢康明<sup>[6]</sup>等采用千斤顶、高强度剪力销对止退装置进行优化,通过设置预加载力减少管节因止退力而产生的结构变形,保证整个止退装置的强度、刚度和稳定性;杨祯乐<sup>[7]</sup>采用一组左右对称分布的止退结构,在焊接作业及吊装中继间时对管节起止退作用。虽然上述主动止退技术取得了一定效果,但是未能适用于砂性土层的自立性、承载力较差的情况,抑或未定量预加力。因此,本文以云岭东路地下连通通道工

表1 地基土构成与特性一览表

| 土层名称                     | 厚度/m     | 底层标高/m        | 密实度   | 压缩性   | 贯入阻力/MPa |
|--------------------------|----------|---------------|-------|-------|----------|
| ①杂填土                     | 0.2~0.5  | /             | /     | /     | /        |
| ② <sub>1</sub> 黏质粉土夹粉质黏土 | 1.0~1.5  | 1.90~0.91     | 稍密    | 中等    | 2.13     |
| ② <sub>3-1</sub> 黏质粉土    | 1.8~3.4  | 1.41~-1.29    | 松散~稍密 | 中等    | 1.50     |
| ② <sub>3-2</sub> 砂质粉土    | 7.0~10.1 | -1.05~-3.99   | 稍密~中密 | 中等    | 4.54     |
| ⑤ <sub>1-1</sub> 黏土      | 6.5~9.6  | -10.84~-12.46 | 流塑~软塑 | 高等    | 0.86     |
| ⑤ <sub>1-2</sub> 粉质黏土    | 4.6~10.0 | -17.49~-21.30 | 软塑    | 高等~中等 | 1.38     |
| ⑥粉质黏土                    | 1.4~3.2  | -24.97~-26.95 | 可塑~硬塑 | 中等    | 2.46     |
| ⑦粉砂                      | /        | -23.99~-29.95 | 密实    | 中等    | 12.64    |

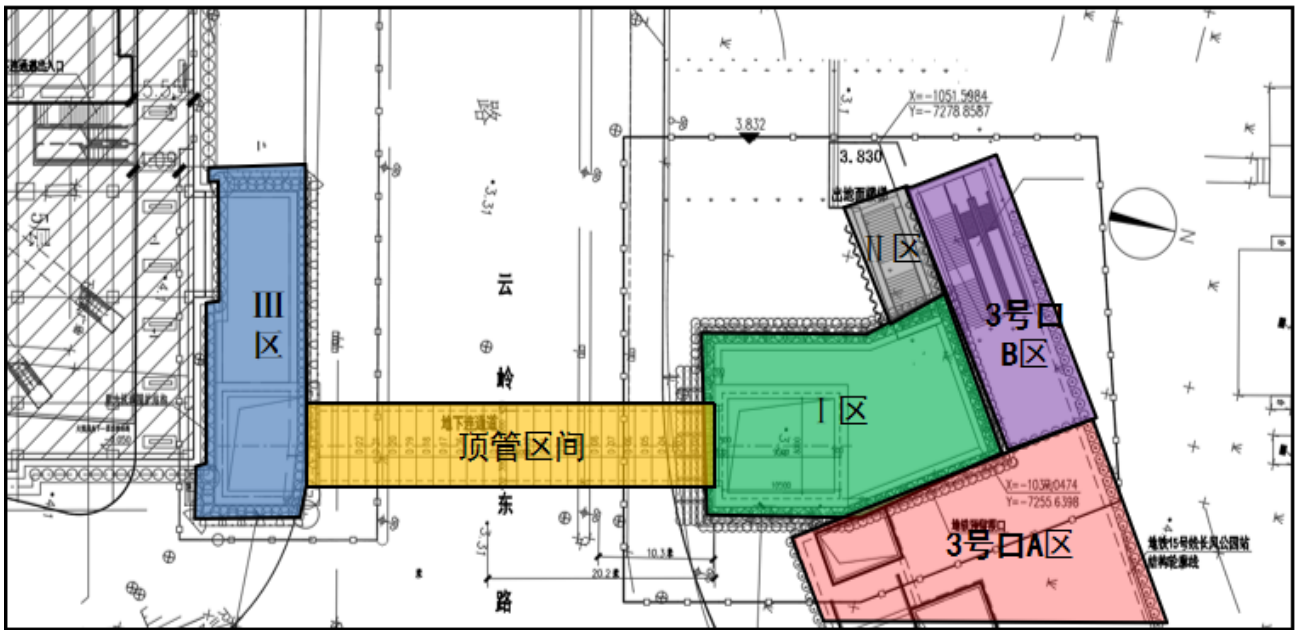


图1 工程平面图

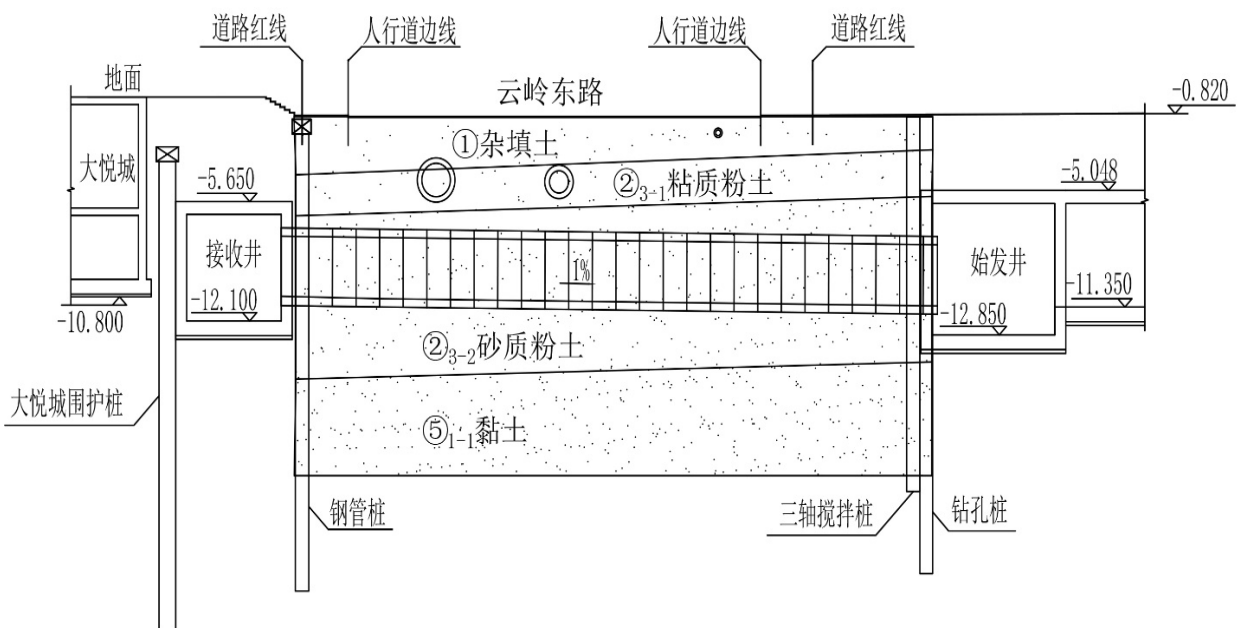


图2 顶管穿越地层剖面图

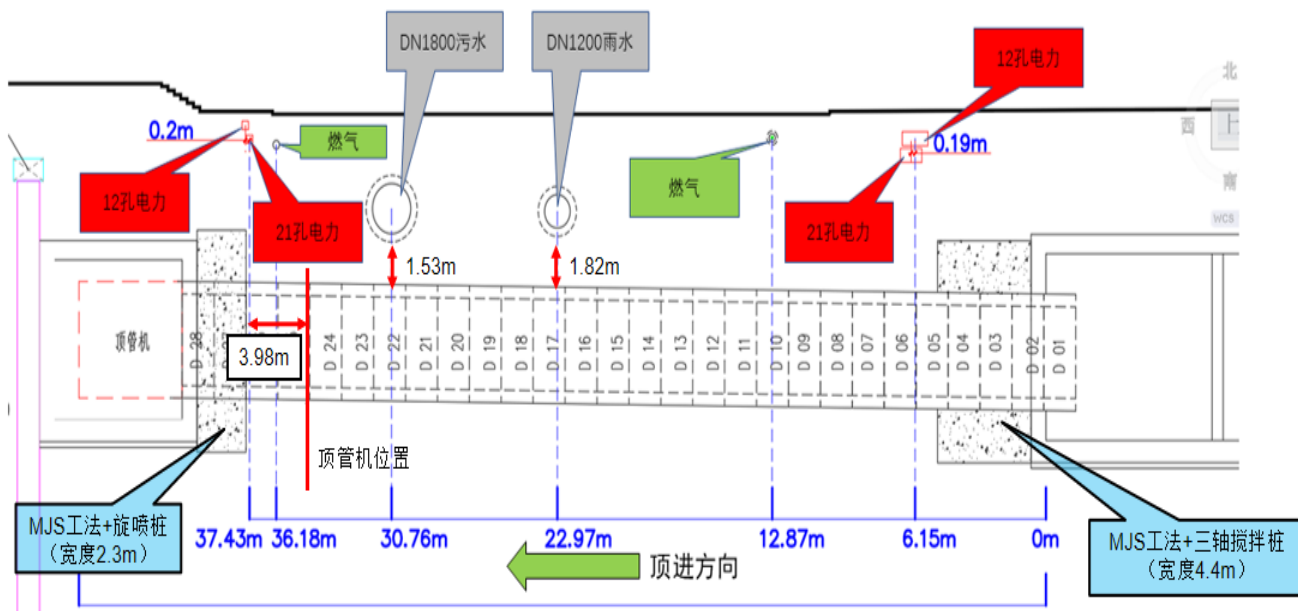


图3 顶管穿越管线剖面图

程为实例,提出大断面矩形顶管穿越全断面砂性地层主动止退技术,为今后全断面砂性地层矩形顶管沉降控制提供参考依据。

### 1 工程概况

云岭东路地下连通通道工程位于上海市云岭东路、大渡河路路口,由大悦城商场接轨道交通15号线长风公园站出入口。工程全长41m,通道采用6.9m×4.2m矩形顶管施工,顶管全断面穿越②<sub>3-2</sub>砂质粉土层。云岭东路两侧设工作井、接收井,北侧工作井紧邻15号线长风公园车站,南侧接收井位于云岭东路路侧人行道位置,紧邻大悦城商场门口,地下连通通道下穿云岭东路,拟建场地周边交通环境、管线情况极为复杂。工程平面图见图1。

#### 1.1 地质情况

根据地质报告,本工程各土层特性自上而下描述见表1:

本工程矩形顶管施工全断面穿越②<sub>3-2</sub>砂质粉土层,顶管穿越地层情况见图2。

#### 1.2 水文地质条件

本工程涉及地层的水文地质条件如下:

(1)潜水:上海地区地下水主要为潜水,部分地区存在微承压水和承压水。拟建场地潜水受大气降水及地表径流补给,本次勘察期间所测得地下水静水位为1.1~1.90m,其绝对标高为0.97~1.62m。

(2)承压水:本场地承压水赋存于第⑦砂土中,根据上海地区长期水位观测经验,承压水水头低于潜水水位,埋深呈年周期性变化,水位埋深约为3.0~12.0m。本工程基坑埋深11~12m,第⑦层层顶埋深31.2~33.0m,该层处于2.5倍基坑深度范围外,可不考虑承压水突涌对基坑开挖的影响。

#### 1.3 顶管穿越段管线情况

物探报告显示,本工程涉及管线众多,主要为电力、信号、国防以及雨水、污水、燃气等管线。具体统计见表2:

表2 本工程涉及管线

| 序号 | 管线名称 | 管径(mm)或根、孔数 | 管顶埋深(m)        | 延伸方向 |
|----|------|-------------|----------------|------|
| 1  | 电力   | 21孔         | 中心深度 1.00~1.20 | 东-西  |
| 2  | 电力   | 20孔         | 中心深度 1.20      | 东-西  |
| 3  | 电力   | 21孔         | 中心深度 1.60      | 东-西  |
| 4  | 燃气   | DN300       | 中心深度 0.70      | 南-北  |
| 5  | 雨水   | Φ1200       | 3.5            | 东-西  |
| 6  | 污水   | Φ1800       | 3.2            | 东-西  |

### 2 矩形顶管全断面穿越砂性土层重点、难点分析

顶管全断面穿越②<sub>3-2</sub>砂质粉土,埋深约7.5m,地下水埋深较浅为1.00~1.90m。本工程顶管下穿云岭东路,路面交通复杂,车流量大,下方埋有众多市政管线(矩形顶管管道顶部1.82m埋设DN1200雨水管道、矩形顶管管道顶部1.53m埋设DN1800污水管道),车辆动载对较浅埋深的顶管施工也会造成影响。施工过程中顶管设备的磕头、地面沉降以及流砂的发生均为重大风险。

土压平衡矩形顶管机施工过程中,正面土压力较大。由于顶管机前方的正面土压力较大,即使顶进较长距离,摩阻力仍然会小于土压力。在每次主千斤顶缩回,进行管节拼装或顶铁加设时,机头仍然会后退10cm~20cm。此时,机头和前方土体间的平衡状态受到破坏,易引发顶管机正前方土体塌方,此状况在砂性土层中尤其易发。在基坑内采用止退装置,减少顶管机后退量,可以使地面沉降量明显减少。

### 3 主动止退技术应用

矩形顶管机在中心城区全断面穿越砂性土层,为确保路面及各类管线沉降可控,必须采用止退技术。目前行业内常规顶管

止退多属于被动止退,被动止退的工作原理是:在每次拼装管节或加顶铁时,首先点动收油缸泄压,泄压完成后安装被动止退装置,最后再收回主顶油缸。虽然采取相应措施,但每节管道顶进结束后顶管机仍会发生3cm~5cm后退量,地面及管线会发生2cm左右沉降。在中心城区全断面穿越②<sub>3-2</sub>砂质粉土时,由于车辆动载影响以及土层自立性、承载力较差等原因,采用被动止退装置会致使管线、地面沉降量仍有所增加。

为了确保矩形顶管穿越②<sub>3-2</sub>砂质粉土过程中沉降可控,当每节管道顶进结束对油缸进行收缩时,必须控制顶管机的后退量。本工程创新采用主动止退技术,其主要工作原理为:每节管道顶进完成后,根据顶管机正面土压力大小,通过主动止退装置的千斤顶施加预顶力,确保顶管机前方土体得到稳定支撑。预顶力施加完成后,缩回主顶油缸,最小程度减小顶管机后退量、减小地表及管线沉降。



图4 主动止退装置实景图

#### 4 监测及数据分析

##### 4.1 顶管机后退量监测及分析

本工程采用主动止退技术以减小管节后退量,共记录下28个管节顶进过程中顶管机的后退量,结果如图5所示。

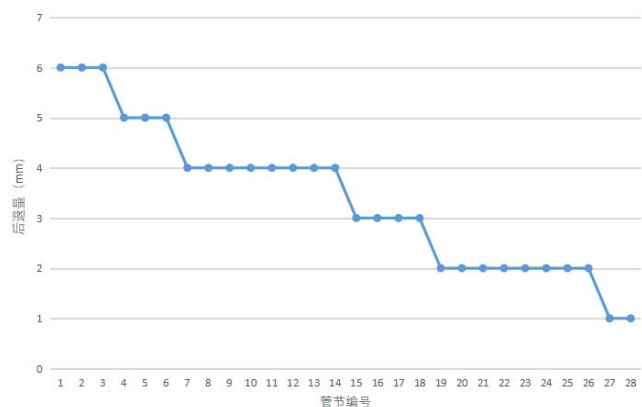


图5 顶管机后退量监测

从图5可知,随着管节顶进数量的增加,顶管机后退量呈现降低或不变的趋势。后退量每降低单位长度,管节的增加量无明显规律。

其中,后退量从4至3mm和2至1mm降低过程中,管节顶进数量的增加量最大。顶管机后退量最大值为6mm,最小值为1mm,分别大致出现在顶管顶进全过程开始和结束时期。顶管机的后退量控制在6mm以内,主动止退远小于被动止退时的后退量。这是由于随着顶进管节数量的增加,管道与土体、浆液接触面积增加,摩擦力增加,其克服顶管后退的作用越大。

由于后退量精确到1mm,当测量精确度提高后,会展现更加准确的规律,这是该研究可以进一步完善的方面。

##### 4.2 地表及管线沉降监测及分析

云岭东路地下连通通道施工过程中,对地表及各类管线进行全过程跟踪监测。监测结果如图6所示。

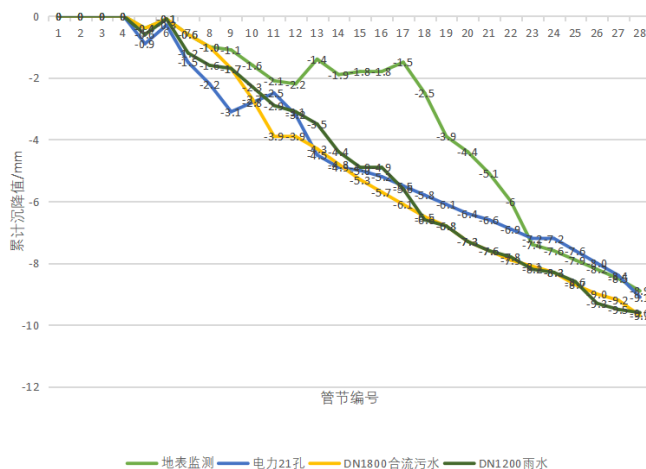


图6 地表及管线沉降监测

由图6可知,地表、电力21孔、DN1800合流污水和DN1200雨水管线累计沉降量与管节顶进数量大体上呈现正相关,即顶进管节越多,累计沉降量越大。在顶进第6个管节时,四个监测对象均产生明显隆起。随后在顶进第10和11个管节时,21孔电力管线产生明显隆起;在顶进第12个管节时,DN1800合流污水管线无明显隆起或隆起;在顶进第13和17个管节时,地表发生明显隆起;在顶进第16个管节时,DN1200雨水管线产生略微隆起。

结合图3的监测对象和顶管位置关系可知,当顶管顶进至21孔电力管线竖向投影位置时,21孔电力管线隆起量最大,达到0.6mm,其余三个监测对象也有隆起;当顶管顶进至燃气管线竖向投影位置后,DN1800合流污水管线、21孔电力管线和地表均发生隆起;当顶管顶进至DN1200雨水管线竖向投影位置时,DN1200雨水管线产生微隆起,达到0.1mm,地表也产生相应隆起。

上述现象的发生可能是由于如下原因:顶管顶进至21孔电力管线下位置时,由于这是经过的第一根管线,对周围土体产生了影响,导致地表、该管线及后续管线均产生隆起;顶管顶进至燃气管线下位置后,导致地表、已经过的21孔电力管线、后续的合流污水和雨水管线都产生隆起;顶管顶进至DN1200雨水管线下位置时,导致地表和该管线隆起,后续的合流污水、已经过的电力管线未受到明显影响。矩形顶管的背土效应<sup>[8]</sup>明显,会导致一定范围内的土体产生隆起,包括已经过和未经过的管

线和地表。

主动止退技术和顶进管节数量增加对顶管后退量的降低作用,导致沉降量的降低,理论上增加了同一监测对象隆起量,并提早了隆起时间。顶管机后退量被有效控制,地表及管线累计沉降均控制在10mm以内。

## 5 结论

目前矩形顶管技术在我国城市中正得到大力推广应用,本文针对中心城区矩形顶管全断面穿越砂性土层沉降控制要求高、管线保护难度大等特点,依据云岭东路地下连通通道工程,创新提出主动止退技术应用在工程实践中,得到如下结论:

(1)顶管全断面穿越砂性土层时,顶进管节数量的增加、主动止退技术的采用可以有效降低顶管的后退量,从而减少周围土体和管线的沉降量;(2)矩形顶管的背土效应对一定范围内已经过和未经过的土体、管线会产生影响,促发隆起现象;(3)采用主动止退技术将顶管机的后退量控制在6mm以内,地表和各类管线的沉降量控制在10mm以内。实现了大口径矩形顶管全断面穿越砂性土层微扰动施工,确保了地表及管线安全,有效降低施工风险,为今后中心城区矩形顶管穿越工程提供经验参考。

## [参考文献]

- [1]李俊玲.矩形顶管法在浅层地下空间施工中存在的主要问题及控制措施[J].城市道桥与防洪,2022,(10):174-178+181+22.
- [2]刘宇宏,杨景辉.粉质黏土地层矩形顶管施工对地面变形影响实测研究[J].城市轨道交通研究,2023,26(03):166-169.
- [3]卢康明,王金一,黄德中.城市密集区超大断面矩形顶管设计与施工关键技术[J].施工技术(中英文),2022,51(07):69-73.
- [4]王航.超大口径顶管施工进出洞技术研究[J].建筑科技,2019,3(06):77-79.
- [5]蔡燕飞.输水管线大口径钢顶管施工技术措施[J].净水技术,2011,30(05):147-150.
- [6]张涛.中心城区矩形顶管全断面穿越砂性土施工关键技术[J].中国市政工程,2022,(2):84-86.
- [7]杨祯乐.管幕暗挖法顶管施工的主顶进装置设计[J].上海建设科技,2018,228(04):12-15.
- [8]甄亮,张显裕,李晓军.浅埋矩形顶管整体背土效应判别方法应用与处理措施[J].现代隧道技术,2022,59(2):167-171+181.