

Research on the Influence Law of Large-section Rectangular Pipe Jacking Construction on the Surrounding Environment

Jun Zhang¹ Yi Yang²

1. Hangzhou Rail Transit Operation and Public Utilities Support Center, Hangzhou, Zhejiang, 310000, China
2. Hangzhou 701 Project Management Office, Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

Taking a crossing facilities construction as an example, the paper focuses on the influence of large-section rectangular pipe jacking on the surrounding environment based on data during the construction and used the theory of elasticity to calculate the ground subsidence. This paper analyzes the horizontal and lateral displacement of the surrounding soil during the whole process of pipe jacking, and discusses the construction methods to avoid the surface uplift and slow down the surface subsidence. The main conclusion is that reasonable grouting and jacking speed can completely avoid the surface uplift in front of the palm surface, and the secondary grouting can slow down the uplift in the construction process without causing a large settlement, which provides experience for the future construction of urban crossing passage.

Keywords

rectangular pipe jacking tunnel; excavation deformation; underground street passage; antifriction slurry

大断面矩形顶管施工对周边环境的影响规律研究

张俊¹ 杨毅²

1. 杭州市轨道交通运行和公用事业保障中心, 中国·浙江 杭州 310000
2. 杭州市 701 工程管理所, 中国·浙江 杭州 310000

摘 要

以杭州市某过街设施建设为例, 依托工程中全面的监测数据, 并利用弹性力学理论对地表沉降进行了计算, 分析顶管顶进全过程中周围土体的水平及侧向位移规律, 探讨了避免地表隆起及减缓地表沉降的施工方法和措施。主要结论为顶管顶进会引起顶进段周围地表沉降且具有一定的规律, 顶进过程会引起深层土体水平位移, 合理的注浆及顶进速度可以避免掌子面前方的地表隆起, 二次注浆可以减缓施工过程中的隆起又不会引发大幅度沉降等, 从而为类似城市过街通道建设提供经验。

关键词

矩形顶管; 开挖变形; 过街通道; 注浆减摩

1 引言

作为非开挖技术的一种, 顶管工程最初被用于市政管道的开挖, 减少了对城市交通以及市容环境的影响。随着城市发展的需要, 城市地下空间被不断开拓, 顶管工程也被用于人行过街通道的开挖与建设, 管道断面也不断增大, 随之而来的便是对周围环境的扰动问题。扰动主要体现在地表的沉降或隆起、地下水位变化、周围管线位移等方面。

已有文献多为研究地面沉降及土体变形规律, 而对地下管线沉降、洞门水位变化、工作井收敛、顶管收敛及拱顶沉降等研究较少。论文依托杭州市某人行过街设施建设工

程, 对在顶管施工过程中引起的一系列扰动规律做了较为全面系统的分析, 为后续的工程提供参考。

2 工程及监测概况

2.1 工程概况

洞室净宽为 6.0m, 净高为 3.0m, 底板底埋深一般为 9.0~10.0m, 总长度 43.8m。地道出入口为开口型的半地下结构, 采用明挖法施工, 主通道部分采用浅埋暗挖法施工。地道南北两端各设一个工作井, 工作井采用明挖法施工, 最大开挖深度约 12.0m。

2.2 工程地质情况

土层为砂质粉土、砂质粉土夹粉砂和淤泥质粉质粘土等, 顶管主要穿越砂质粉土夹粉砂。土层参数见表 1。

【作者简介】张俊 (1979-), 男, 中国江西宁都人, 硕士, 高级工程师, 从事土木工程研究。

表 1 土层参数表

层序	岩土名称	厚度	含水量	重度	孔隙比	侧向基床比例系数	固快法 (峰值)	
							内聚力	摩擦角
		(m)	ω_0 (%)	γ (kN/m ³)	e_0 (%)	(MPa/m)	c (kPa)	φ (°)
1-0a	杂填土	2.50~6.90						
① -2a	砂质粉土	0.60~4.60	26.7	19.1	0.746	10.0	6.3	31.4
① -2b	砂质粉土夹粉砂	8.30~9.60	23.5	19.7	0.653	25.0	4.2	30.7
③ -2	淤泥质粉质粘土	1.80~2.70	36.1	17.9	1.036	4.0	16.0	5.2
④ -1	粉质粘土	8.80~9.50	28.3	18.8	0.823	8.0	21.0	17.2
④ -2	粘土	7.70~10.00	32.3	18.4	0.935		23.1	8.5

2.3 监测点布置

在施工过程中，主要监测地表沉降（DBC）和土体水平位移（CX）。

3 影响区域地表沉降

3.1 沿顶管开挖段地表沉降

沿着顶管段共 10 个地表沉降监测点，取两出发井（DG-DBC1），接收井（DG-DBC10）和中部（DG-DBC5）作沉降分析，分析区间为北坑始发工作井破洞门，顶管机准备顶管工作；南坑接收工作井顶部圈梁完成，至顶管段通道全线顶进完成，二次注浆完成，每日 6 点、14 点、22 点采集一次数据，共 127 个监测数据（见图 1）。

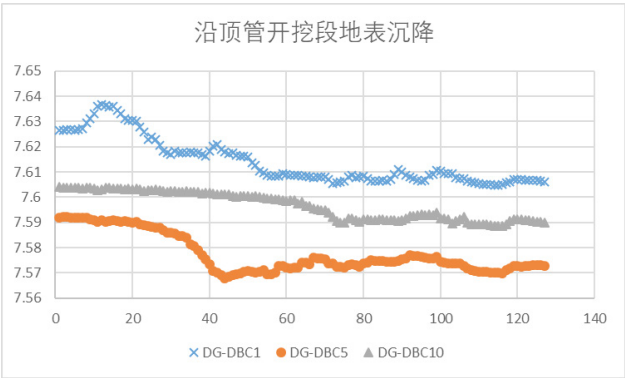


图 1 开挖段地表沉降曲线

根据工程经验^[5]，地表沉降量与开挖时序相关，先期开挖处的地表沉降往往较大，掌子面前方会发生地表隆起，影响范围为三倍洞径。本工程中，DG-DBC1 点位累计沉降值为 20.72mm，DG-DBC5 处累计沉降 19.56mm，DG-DBC10 处累计沉降 14.30mm，符合沉降规律。由于合理的顶进速度及注浆控制，除 DG-DBC1 点位在初期发生轻微隆起，其余两点全程均未发生隆起。

3.2 垂直开挖段地表沉降

垂直开挖段地表沉降见图 2。取通道轴线中段位置垂直轴线方向的三个监测点，由近及远依次为 S2-4，S2-3，

S2-1，其中，S2-4 紧邻通道，S2-3 距离中轴线约 11m，S2-1 距离轴线约 40m。S2-3 及 S2-1 基本未发生沉降，S2-4 在顶管顶进接近中段发生小幅度沉降，该点累计变化量为 21.67mm。

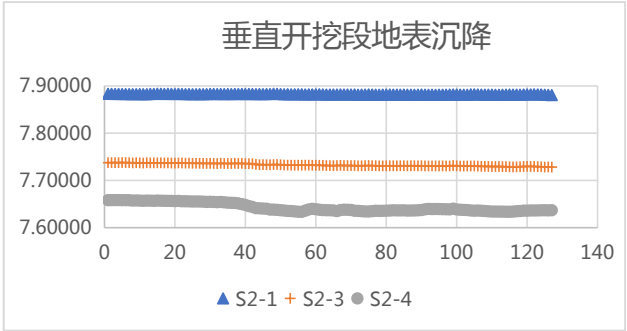


图 2 垂直开挖段地表沉降曲线

3.3 地表最终沉降量的理论计算

本工程中，为避免在顶进过程中地表隆起分两次注浆，在顶进过程中仅少量注浆以减少摩阻力，二次注浆以减轻沉降，所以计算仅考虑土体损失引起的沉降，并对比二次注浆前的沉降量^[2]。

$$S = \frac{V_{loss}}{2\pi} \frac{h}{y^2 + h^2} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}}\right)$$

式中： V_{loss} ——单位长度土体损失量（m³/m）， $V_{loss} = \pi R^2 \eta$ ；

x ——顶进方向离开开挖面的水平距离（m）；

y ——垂直轴线的水平距离（m）；

h ——隧道轴线埋深（m）；

η ——地层损失率。

计算结果对比实测值结果见表 2（ η 根据计算经验取 1.2%）。

对比计算结果可以看出，由于沉降量绝对值较小，总体计算误差较大，在沉降分布规律方面，理论计算在垂直轴线方向（ y 方向）与实际工程的变化趋势一致，而沉降值在沿顶管开挖方向的随机性较大，可能与在工程中注浆不均匀以及纠偏相关。

表 2 计算与实测比较

监测点	实测值(二次注浆前) (mm)	计算值 (mm)
DG-DBC1	20.61	14.60
DG-DBC2	12.45	14.56
DG-DBC3	24.32	14.50
S2-1	1.65	0.48
S2-3	8.19	2.92
S2-4	22.72	12.23

4 土体水平位移

4.1 工作井开挖及支护情况

两个工作井均采用明挖法施工，开挖深度为12.05~12.15m，结构底板位于砂质粉土或砂质粉土夹粉砂层^[3]。围护结构采用Φ800 钻孔灌注桩+三轴搅拌桩止水帷幕，桩长为10.0~27.15m。第一道支撑采用700×700 钢筋砼支撑，第二、三道支撑为了方便施工、方便支撑架设及拆卸，采用Φ609×16mm 钢管支撑。

4.2 始发井处土体水平位移

土体水平位移见图3和图4。随着顶管的向前顶进，向坑外的位移不断增大，发生最大位移的深度在顶管拱顶位置处，最大位移量为10.23mm。在第一道支撑上方发生反向位移，但幅度较小。监测点位DG-CX1 位于始发井洞门东侧，位移+为往基坑内位移，位移-为往基坑外位移。

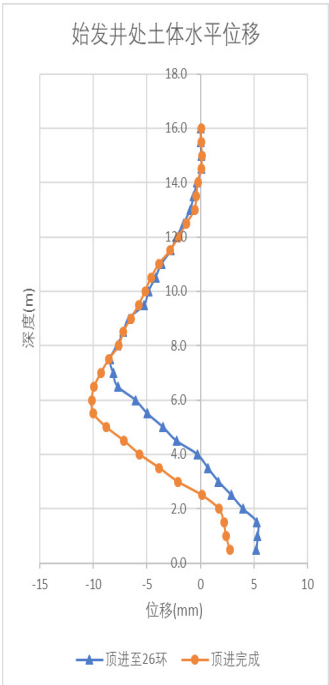


图 3 始发井处土体水平位移

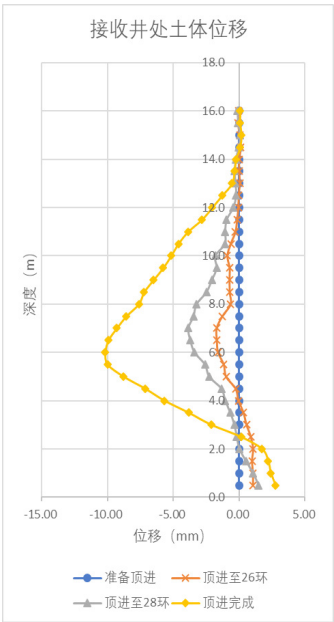


图 4 接收井处土体水平位移

4.3 接收井处土体水平位移

监测点位DG-CX5 位于接收井洞门东侧，位移+为往基坑内位移，位移-为往基坑外位移。

当始发井顶管机进行第二十六环管片顶进工作时，接收井处才开始发生土体水平位移，此时顶管机距离接收井仅1.5m 左右，最大位移同样发生在顶管拱顶处，最大位移量为10.61mm。

5 结语

①顶管顶进会引起顶进段周围地表沉降，沿顶进方向靠近始发井处沉降量较接收井处更大，垂直顶进方向由轴线向两侧沉降量递减。

②合理的注浆量及顶进速度可减少甚至避免掌子面前方的地表隆起。

③弹性力学解能很好地反映出垂直轴线方向的沉降变化趋势，但由于注浆控制以及纠偏等随机因素，在沿顶进方向，尤其是顶管正上方，沉降随机性较大与理论解不相符。

④顶进过程会引起深层土体水平位移，影响范围约为1.5m，最大位移发生于拱顶深度处，方向背离顶管轴线，在接近地表会产生反向位移，但幅度较小。

⑤顶进过程中减少注浆量以减少摩擦且不会引发地表隆起，可在顶进完成后二次补浆以避免大幅度沉降。

参考文献

[1] 韩占波,豆小天,曹伟明,等.浅覆土小间距矩形顶管施工地表变形控制技术[J].隧道建设(中英文),2019,39(3):496-503.
[2] 曹宇春,诸葛恒源,曾阳,等.大口径顶管施工对地表沉降的影响分析[J].科技通报,2019,35(6):75-79.
[3] 董晓娟,林峰.顶管施工对市政道路工程的影响分析[J].市政技术,2018,36(4):179-182.