

A New Excavation Method for Controlling the Uplift of Overburden Tunnel

Yunpeng Yue¹, Jiqiang Liu², Tianjun Dong², Zhimin Hu¹, Xianchang Zheng^{1*}

¹School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou Guangdong

²Sino-Railway South Constructing Group Co. Ltd., Shenzhen Guangdong

Email: *zhengxianchang@gzhu.edu.cn

Received: Apr. 22nd, 2019; accepted: May 7th, 2019; published: May 14th, 2019

Abstract

As a large number of deep foundation pit works are carried out in urban built-up areas, more and more construction projects are carried out above the tunnel. At present, the uplift failure and hidden danger of deep foundation pit excavation often occur, it is necessary to further study the uplift deformation of the tunnel caused by foundation pit unloading, to explore the method of foundation pit excavation to control the uplift and protect the safety of the tunnel. This paper introduces a new method for controlling the uplift of tunnel in the foundation pit engineering of Qianhai Metro Protection Zone in Shenzhen, which provides the design concept and direction for the foundation pit design and construction of similar projects in the pearl river delta region.

Keywords

Small Shaft Method, Tunnel Uplift, Excavation of Foundation Pit

用于控制下覆地铁隧道隆起的一种新的基坑开挖方法

岳云鹏¹, 刘继强², 董天军², 胡志敏¹, 郑先昌^{1*}

¹广州大学土木工程学院, 广东 广州

²中铁南方投资集团有限公司, 广东 深圳

Email: *zhengxianchang@gzhu.edu.cn

收稿日期: 2019年4月22日; 录用日期: 2019年5月7日; 发布日期: 2019年5月14日

*通讯作者。

文章引用: 岳云鹏, 刘继强, 董天军, 胡志敏, 郑先昌. 用于控制下覆地铁隧道隆起的一种新的基坑开挖方法[J]. 土木工程, 2019, 8(3): 568-575. DOI: 10.12677/hjce.2019.83067

摘要

由于大量基坑工程在城市建筑密集区开展,因此在隧道上方进行土方开挖的施工项目越来越多。深基坑开挖引起隧道隆起破坏的情况时有发生,论文针对基坑开挖引起下覆隧道隆起变形的机理提出一种新的小竖井开挖工法,用于控制隧道隆起与保护隧道安全。在深圳前海地铁保护区基坑开挖施工中,利用该工法取得良好工程效果,为类似地铁隧道上方基坑的设计与施工提供示范。

关键词

小竖井工法, 隧道隆起, 基坑开挖

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前,越来越多的基坑工程位于既有地铁隧道之上,近距离基坑开挖土体势必引起下覆地铁隧道隆起[1][2][3][4]。运营中的地铁对隧道的变形控制要求严格,传统的基坑开挖方法不仅工期较长,而且引起的隧道变形有时会超标,造成地铁停运或限速运行,因此,研究控制下覆隧道隆起的开挖方法,在地下空间开发和利用要求极为严格的今天,具有相当的适用性和紧迫性[5][6][7]。如何用最短的开发时间、最省的开发成本,降低在基坑开挖时对下覆地铁隧道隆起的影响,已成为工程师急需解决的课题。

基坑开挖导致下覆地铁隧道产生隆起的主要原因是基坑开挖卸荷产生的坑底隆起[8][9][10][11]。这种场地一般不会采取大面积整体开挖,即使传统的分条分块开挖也会由于覆土卸载,引起下覆隧道上浮过大[12][13]。本文提出了小竖井开挖方法,并通过完整的工程实例进行示范,保证了工程的顺利进行,同时为控制下覆隧道隆起技术的发展提供了新思路。

2. 工程概况

深圳前海双界河路下沉隧道枢纽工程,基坑开挖长度为68.9 m,宽度为36.2 m,开挖深度为8.5 m。其主线在地铁1号线、5号线和11号线上方,且垂直距离较近,坑底距地铁11号线最小距离约3.25 m,距5号线最小距离为4.86 m,距1号最小距离为0.43 m。图1为地铁保护区关系布置图,由于地铁1号线和5号线都处于运营阶段,11号线地铁线正在施工,均需要采取适当的基坑开挖方式,减少对地铁隧道的影响。

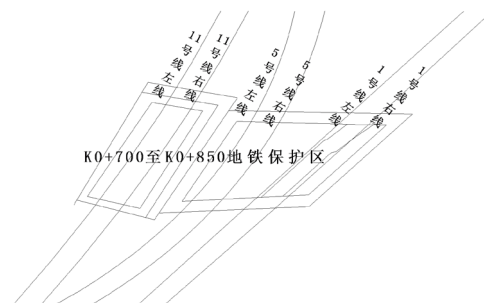


Figure 1. Metro protection area relationship layout

图1. 地铁保护区关系布置图

在双界河路地铁保护区场坪施工过程中,开始按照设计方案对 11 号线对地铁保护区进行分段分块场平施工时,下覆地铁隧道隆起超过警戒值,11 号线左线累计隆起最大值为 16 mm。在对地铁上浮区域采用覆土反压措施后,临时控制住隆起。为减少设计放坡开挖卸载大量土方造成地铁隧道隆起,在地铁保护区改用小竖井工法,运用竖井间隔开挖与放坡开挖相结合的方案,开挖到底后及时施工抗拔桩冠梁和抗浮板,取得良好的效果。

3. 小竖井工法

3.1. 小竖井工法简介

小竖井工法主要特点是小范围的对基坑内土体进行分层卸载,并安装支撑体系,支撑体系可较好的传递土体对地铁隧道两侧压力,对下覆地铁隧道周围土体的干扰较小,小竖井工法体系中的抗拔桩和抗浮板的联合作用可有效的控制隧道的隆起量。此外,小竖井工法还可对称平行作业,在多工作面同时开挖施工,减少施工的工期。

利用小竖井工法对基坑进行开挖,一方面分层卸载时土体间受卸载应力的作用而压缩变形,在小范围土层中产生土拱效应[14][15][16],在竖井周围形成了小的土应力拱。因为土体的卸载面积及影响范围较小,因此土体产生的隆起量较小。另一方面,当开始开挖竖井间的土体时,土体间产生卸载应力,导致土体隆起,竖井井壁安装支撑体系,表面粗糙,在隆起过程中土体受到井壁的摩擦力,同时竖井下的土受到抗浮板的压力。如图 2,在这个过程中,土体受到了较大的阻力,有效的控制了土体隆起。

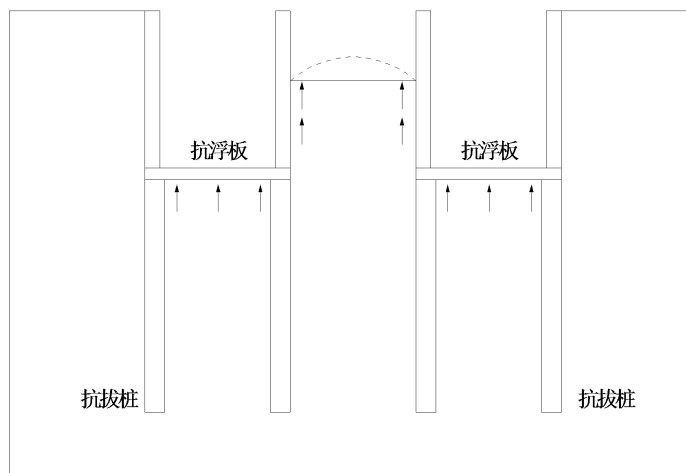


Figure 2. Diagram of blocked uplift
图 2. 隆起土体受阻示意图

3.2. 小竖井工法控制隧道隆起的力学机理

利用传统工法对基坑进行开挖,随着土体的开挖,基坑底部土体侧向应力变化较小,竖向应力不断减小。如图 3,用传统工法基坑在开挖过程中,平均主应力 p 减小,广义剪应力 q 先减小再增大,其应力路径将沿 ABC 轨迹接近破坏线。

开挖同一基坑,若采用小竖井工法施工,对土体小范围进行分级卸载。卸载过程中,土体在 AD 轨迹中发生塑性破坏,随后因在 DE 段进行了固结排水,使得土体的有效应力增加,在 EF 段继续卸载,发生塑性破坏,在 FG 段进行固结排水,如此重复,最后施工抗浮板。采用小竖井工法对土体进行开挖,产生的隆起量较小,最终应力路径离强度破坏线较远,有效的保护了下覆地铁隧道。

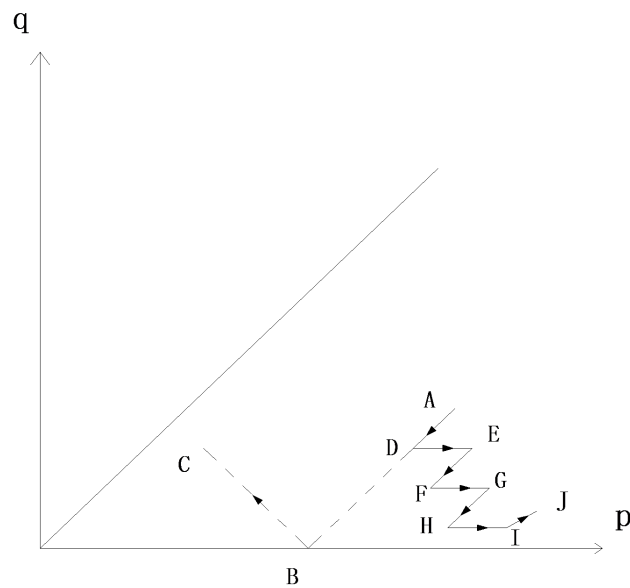


Figure 3. Stress path curve of soil mass at the bottom of foundation pit for shaft excavation
图 3. 竖井开挖基坑底部土体应力路径曲线变化图

4. 施工工艺

小竖井工法的施工工艺如图 4 所示。

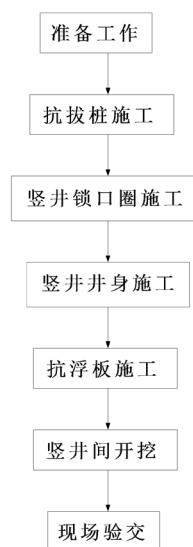


Figure 4. Flowchart of small shaft construction method
图 4. 小竖井工法施工流程图

4.1. 施工前期准备

施工前应将现场进行场地平整，检查施工中所需要的材料、设备、电源线等是否进入现场，并对材料和设备进行检测。安排专人定时测量隧道隆起情况，根据信息资料分析，推断结构稳定状态，据此采取改进施工程序、改变施工参数等相应措施，控制变形量，确保地铁区间安全。了解水源及电源情况，确定接口并配发电机，并对应急救援设备进行梳理和清点，确保各方面的准备工作落实到位。

4.2. 抗拔桩施工

抗拔桩沿地铁隧道两侧设置，桩间距 3 m，采用搓管机全护筒跟进进行施工，抗拔桩的上端高于地铁隧道。抗拔桩的施工为形成限制土体隆起的保护箍提供前提条件。

4.3. 锁口圈施工

采用人工配合长臂挖机对竖井锁口圈所在的位置地层进行放坡开挖，人工修整锁口圈地层中上下两层的土壁轮廓。锁口圈下口及时施作网喷砼及直径 22 mm 的砂浆锚杆护臂为初期支护，增强锁口圈位置地层的稳定性。按照立模支撑 → 放置钢筋笼 → 灌注砼 → 捣固的顺序完成锁口施工(见图 5)，竖井井口设置防淹墙，高出锁口面 0.3 m，和锁口同时完成。

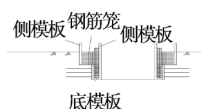


Figure 5. Construction drawing of lock ring

图 5. 锁口圈施工图

4.4. 竖井井身施工

开挖前先将水位降低至基底以下 1 m，并施工止水帷幕。井身采用人工分层开挖，每一层开挖深度为 0.5 m，每层的井身开挖成型后，及时对井壁进行喷砼，然后将钢筋网挂在井壁上，再紧贴井壁放置格栅钢架，施工锁脚锚管与联结筋，在格栅钢架处复喷砼，形成一个网喷砼层，最后对锁脚锚管进行注浆。

4.5. 抗浮板施工

竖井开挖至底部后，人工对井底进行整平，并施作冠梁，绑扎间距 200×200 mm、直径 16 mm 的钢筋网片，将相邻的抗拔桩用冠梁进行连接。最后对井底施工 15 cm 厚 C20 混凝土抗浮板封底，如图 6 所示。此时抗拔桩与抗浮板的联合作用形成了一个保护箍，有效的限制了土体隆起。

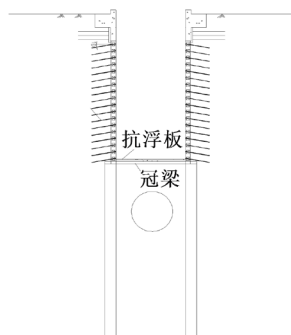


Figure 6. Construction drawing of anti-floating board

图 6. 抗浮板施工图

4.6. 竖井间开挖

如图 7 所示, 每个竖井区域开挖完毕后, 对竖井中间基坑区域进行分层放坡, 由 A 到 D 分台阶开挖, 开挖后拆除锁口圈和竖井井壁, 在开挖区域底部施工抗浮板, 连通相邻的竖井区域, 直至最后拆除基坑内部所有锁口圈和井壁, 连通整个基坑。

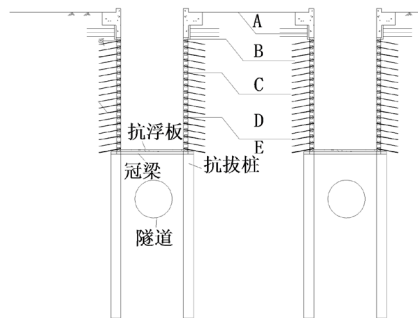


Figure 7. Excavation plan between shafts
图 7. 竖井间开挖图

5. 数值分析

为验证小竖井工法用于控制下覆隧道隆起的可行性, 本文利用 MIDAS 软件对该工法与原方案施工过程中引起隧道隆起进行对比模拟分析, 以便使该工程顺利实施。

人工填石、淤泥、黏土、砂质粘性土层采用 Hardening Soil 本构模型, 全风化花岗岩与强风化花岗岩使用弹性本构模型。地层从上而下为: 人工填石 10.9 m, 淤泥 2.5 m, 黏土 6.1 m, 砂质粘性土 7.9 m, 全风化花岗岩 4.0 m, 强风化花岗岩 3.6 m。小竖井工法中的中隔墙、抗拔桩、冠梁、抗浮板和井身均采用 C30 混凝土, 盾构隧道管片采用 C50 混凝土计算。经模拟计算得出利用小竖井工法与原工法开挖对保护区基坑开挖完毕后的隧道隆起云图如图 8, 图 9 所示。

由隧道隆起云图可以看出, 原方案基坑开挖完毕时, 11 号线在垂直方向上位移最大值为 36.5 mm, 开挖深度较浅的区域隆起值在 27.3 mm~30 mm 之间。利用小竖井工法开挖完毕后, 隧道隆起值在 20 mm 左右, 对比原开挖方案, 隆起值有明显下降。

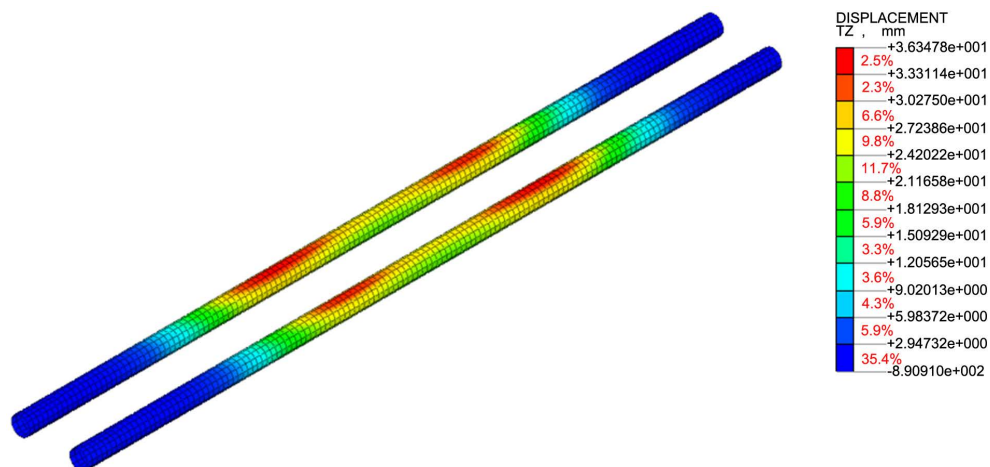


Figure 8. Original scheme tunnel uplift cloud map
图 8. 原方案开挖隧道隆起云图

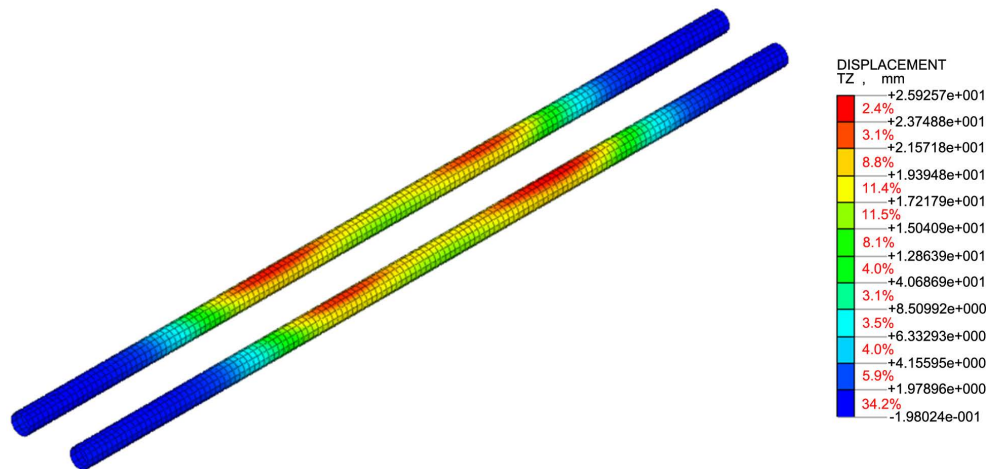


Figure 9. Uplift cloud picture of tunnel excavation with small shaft method
图 9. 小竖井工法开挖隧道隆起云图

6. 实测结果分析

11 号线左、右隧道监测数据如图 10 所示, 其中 2015 年 3 月 28 日开始对保护区上方覆土进行回填, 于 4 月 17 日开始大规模对抗拔桩进行施工, 此时隧道平均隆起值为 8.3 mm, 然后进行小竖井开挖和竖井间开挖, 基坑开挖完成后, 隧道最终平均隆起值为 22.5 mm, 完全达到了预期开挖要求。若采用原方案进行开挖, 隧道将会产生较大的塑性变形, 对地铁施工造成严重影响。

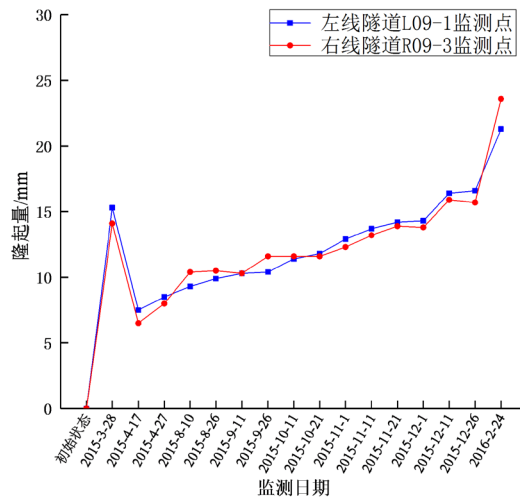


Figure 10. The uplift change map of the no.11 tunnel is monitored
图 10. 11 号线隧道监测隆起变化图

7. 结论

1) 小竖井工法与常规基坑开挖工法相比, 在控制隧道隆起变形方面具有强大优势, 有较高的推广价值, 可为基坑开挖技术提供新的发展思路。

2) 在使用小竖井工法施工时, 由于抗拔桩和抗浮板的联合作用, 在隧道上方形成了保护箍, 使隆起的土体受到较大的阻力, 让地铁隧道的隆起值较小。

3) 采用小竖井工法开挖土体, 最终应力路径离强度破坏线较远, 有效抑制了土体和隧道隆起。

基金项目

中国中铁股份有限公司重点课题(2016-重点-17), 广州大学研究生创新计划资助项目(2018GDJC-D35)。

参考文献

- [1] 刘国彬, 黄院雄, 侯学渊. 基坑工程下已运行地铁区间隧道上抬变形的控制研究与实践[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(2): 202-207.
- [2] 马总路. 基坑施工对邻近隧道影响的流固耦合数值模拟[J]. 施工技术, 2018, 47(19): 85-88.
- [3] 章润红, 刘汉龙, 仇文岗. 深基坑支护开挖对临近地铁隧道结构的影响分析研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2018, 38(5): 857-866.
- [4] 赵伟, 朱茂国, 尹凯. 地铁基坑放坡开挖引发下卧斜交盾构区间结构形变的研究[J]. 天津建设科技, 2018, 28(5): 38-40.
- [5] 张祁, 张敏. 基坑施工对紧邻地铁结构安全性的影响分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(5): 72-77.
- [6] 闫静雅. 邻近运营地铁隧道的深基坑设计施工浅谈[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S1): 234-237.
- [7] 孙佳羽. 基坑开挖引起周边既有隧道变形的预测分析[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2017.
- [8] 刘灿, 陈俊生. 复杂深基坑开挖引起邻近既有隧道变形的的评价方法研究[J]. 建筑技术, 2018, 49(8): 890-893.
- [9] Marta, D.J. (2001) Tunnel Complex Unloaded by a Deep Excavation. *Computers and Geotechnics*, **28**, 469-493. [https://doi.org/10.1016/s0266-352x\(01\)00005-2](https://doi.org/10.1016/s0266-352x(01)00005-2)
- [10] 王卫东, 吴江斌, 翁其平. 基坑开挖卸载对地铁区间隧道影响的数值模拟[J]. 岩土力学, 2004, 25(S2): 251-255.
- [11] 刘天正. 砂卵石地层基坑开挖对下卧运营盾构隧道结构变形研究[J]. 铁道标准设计, 2019(2): 1-7.
- [12] 李家平. 基坑开挖卸载对下卧地铁隧道影响的数值分析[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(S1): 1345-1348+1360.
- [13] 丁传松. 基坑开挖对侧向运营地铁隧道变形的影响分析[J]. 施工技术, 2018, 47(S1): 659-662.
- [14] 吴子树, 张利民, 胡定. 土拱的形成机理及存在条件的探讨[J]. 都科技大学学报, 1995(2): 15-19.
- [15] 霍晓科. 考虑土拱效应的盾构隧道开挖面稳定性分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2018.
- [16] 贾海莉, 王成华, 李江洪. 关于土拱效应的几个问题[J]. 西南交通大学学报, 2003, 38(4): 398-402.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org