# Impact of Foundation Pit Excavation upon Metro Tunnel and Viaduct Foundation

# Shuaiguang Chen, Benhai Lin

Underground Engineering and Geological Disaster Research Center of Guangzhou University, Guangzhou Guangdong Email: 897237257@qq.com

Received: Dec. 25<sup>th</sup>, 2016; accepted: Jan. 13<sup>th</sup>, 2017; published: Jan. 16<sup>th</sup>, 2017

# Abstract

With the development of urban rail transit, which makes lots of foundation pit engineering and metro adjacent structures, the resulting environmental and geotechnical problems have become increasingly prominent, and subway station structure of deformation is extremely strict. Thus, it is necessary to take effective measures to make the foundation pit construction reduce the influence of metro structure. This research in this paper, by means of the field monitoring of a foundation pit construction near changeover portion from elevated structure to underground tunnel of Guangzhou Metro Line 4, using finite element analysis method, researched the foundation pit construction on the influence of metro structure. The result provides valuable reference for design and construction. It is helpful to other similar projects.

# **Keywords**

Foundation Pit Excavation, Metro Tunnel, Viaduct Foundation Pile, Finite Element Method

# 基坑开挖对地铁隧道及高架基桩的影响分析

# 陈帅光,林本海

广州大学地下工程与地质灾害研究中心, 广东 广州 Email: 897237257@qq.com

收稿日期: 2016年12月25日; 录用日期: 2017年1月13日; 发布日期: 2017年1月16日

# 摘要

随着城市轨道交通的发展,使得大量基坑工程与地铁结构相邻,由此引起的环境岩土问题日益突出,地 铁结构对变形控制要求极其严格,为此,需采取有效措施使基坑施工对地铁结构的影响减小。论文针对 广州南沙某邻近地铁四号线由高架转入地下隧道过渡段的基坑设计及施工,应用有限元方法,研究了基 坑施工对既有地铁结构的影响,其分析结果可为优化设计和施工提供有益参考,为以后类似的工程实践 提供积累经验。

#### 关键词

基坑施工,地铁隧道,高架基桩,有限单元法

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY). <u>http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</u>

C Open Access

# 1. 引言

随着广州经济的持续快速发展、人口的膨胀及城市功能拓张带来的各种市政基础设施、民用建筑和 工业厂房的大量建设,使得可用土地日益紧张,形成城市建设的纵深拓展,地铁的建设也带动房地产和 地下空间的发展,为此,越来越多的基坑工程出现在地铁沿线附近,在开发利用地铁沿线的周边地块时, 需充分考虑地铁运营的安全;在基坑开挖过程中如何对地铁结构的变形进行控制成为其施工最大难点。

目前,国内外已有许多学者对相关问题进行了研究。文献[1]建立了上海新金桥广场基坑工程的数值 分析模型,模型充分考虑了设计中隧道周围土体加固、充分利用时空效应开挖土方等重要措施,并采用 了能反应应力路径的上海软土卸荷模量。数值模型对实际施工工况进行模拟,动态地分析了施工过程中 开挖卸荷对地铁隧道的影响。文献[2]对某深基坑开挖对既有地铁隧道的影响进行了分析并提出控制措施, 应用三维渗流数值分析手段,对基坑施工过程的渗流场和变形场进行了三维模拟,并解析了诱发区间隧 道道床开裂和水沟翻浆冒泥病害的原因。文献[3]依据广州某临近地铁一号线的基坑工程的设计、施工和 监测资料,采用有限元方法对基坑支护的地下连续墙成槽和基坑土方开挖及各道支撑的设置对地铁隧道 的影响进行研究,动态模拟各施工工况对地铁隧道的影响过程,为合理安排施工工序提供了指导。文献 [4]针对基坑开挖对地铁区间隧道的影响评价,提出了一种数值方法与解析方法相结合的新方法。首先利 用纵向刚度等效和横向刚度等效原则建立了模拟区间盾构隧道的三维等效连续化模型,实现较为精确且 方便的三维弹塑性有限元分析,然后采用三次多项式曲线进行拟合,分析基坑开挖各工况下隧道的纵向 变形曲率的变化。文献[5]采用简化分析、三维数值模拟及原位监测等手段,对复杂环境下深基坑施工对 邻近高架桥基础的变形影响及变形控制措施进行研究,相互映证,效果良好。文献[6]采用弹塑性有限元 方法模拟无支撑基坑开挖对邻近高架桥基础的影响,分析了不同加固方案对控制桥梁桩基变形的作用。 文献[7]通过建立有限元数值模型,模拟某下穿地道工程中南北线基坑开挖对临近3个桥墩基础的影响, 得到基坑围护结构和临近桥墩基础侧向位移最大值发生在土质条件较差的坑底。

由以上分析可见,众多学者大部分研究都集中在基坑开挖对其邻近地铁隧道或高架路基桩的影响, 对于基坑开挖同时对地铁隧道和高架基桩影响的研究比较鲜见。本文以广州南沙某项目基坑施工对邻近 地铁 4 号线地铁由高架转入地下隧道段影响为例,采用 MIDAS GTS 三维有限元软件对基坑进行动态施 工的四维模型分析,并结合基坑施工的监测资料对比,为以后类似的工程实践提供经验。

#### 2. 工程概况

#### 2.1. 工程介绍

该基坑工程位于南沙区丰田生活区东侧,北临双山大道,西临祈丰路,南临丰泽路,东临金隆路。

项目包括有 4 栋 20 层商住楼、5 栋 20 层住宅楼、1 栋 21 层商住楼和部分 1~2 层商业楼, 1 栋 3 层幼儿 园。本工程北面为 1 层地下室,南面设置 2 层地下室。基坑呈不规则矩形,基坑支护周长约 1000 m。本 基坑的东北部为一期基坑工程,基坑开挖深度为 3.35 m,也是地铁四号线延长线由北面高架段转入东北 面及东面的地下隧道的过渡段。基坑支护采用分级大放坡 + 地基加固处理的形式,为本文的重点讨论对象。

地铁四号线延长线高架桥墩与基坑坡顶的最近距离约 27 m,坡脚距离桥墩最近距离约 38 m;基坑东侧北段地铁由高架转化为地下隧道,隧道入口距基坑坡顶线约 22 m,隧道入口距离基坑坡脚线约 33 m。 南侧二层地下室的基坑边距离隧道结构约 150 m。基坑与地铁结构的关系图见图 1、图 2 和图 3。

#### 2.2. 场地工程地质及水文地质情况

据钻探揭露,场地地层由上往下由人工填土层、淤泥、淤泥质粉细砂、粉质粘土、粉细砂、砂质粘 性土及燕山期花岗岩风化岩层组成。分层描述如下:

第一层人工填土:主要由块石、碎石、中细砂及粉质粘土等组成。

第二层淤泥:深灰色,呈流塑状,含少量贝壳碎片及粉细砂。

第三层淤泥质粉细砂:深灰色,饱和,松散,级配较差,含腐植质,含少量淤泥,砂质成份以石英砂为主。

第四层粉质粘土:灰白、褐黄、灰黄、浅灰色,粘粒为主,土质较均匀,可塑~硬塑。

第五层粉细砂:灰、黄褐、灰黄色,饱和,松散~稍密,局部中密,砂质成份以石英砂为主。

第六层砂质粘性土:黄褐、灰白、青灰等色,可塑~硬塑,为花岗岩类风化残积土。

第七层层全风化花岗岩:岩芯呈坚硬土柱状,含大量石英质颗粒,岩质极软。

第八层强风化花岗岩:岩芯呈半岩半土状,局部夹碎块状,手可捏碎,岩质极软,遇水易软化、崩 解,岩体基本质量等级为V级。













第九层中风化花岗岩。

第十层微风化花岗岩。

场区揭露的地下水类型属松散土类孔隙水和基岩裂隙水。勘察期间测得地下水水位埋深为 0.30~1.30 m。本场地的总体水量较丰富。

场地岩土层的物理力学计算参数见表 1;基坑边典型地质剖面图见图 4、图 5。

# 3. 整体三维有限元数值模拟分析

本文采用的有限元模型中对地层的模拟主要是根据基坑东北侧最近的勘察钻孔及基坑附近地铁隧道的勘察资料进行归并并偏向不利地层状况简化而得,即地层自上而下为:2m厚杂填土、8m厚淤泥、4m厚粉细砂、5m厚砂质粘性土、3.0m厚粉砂、3.6m厚粉质粘土、4.9m厚全风化花岗岩、7.5m厚强风化花岗岩、14m厚中风化花岗岩和20m厚微风化花岗岩。

根据该项目基坑支护设计的平、剖面图及其与邻近地铁四号线延长线结构的空间关系,选取的模型 边界为基坑支护结构边线外 10 倍基坑深度范围,隧道结构边线外 5 H (H 为隧道结构宽度)范围,高架结 构边线外 25 D (D 为高架基桩直径,其桩径为 1.8 m)范围,且同时满足距离高架基桩底 10 D (D 为高架结 构基桩直径,其桩径为 1.8 m)范围作为边界来分析,最终确定分析模型的大小(长 × 宽 × 高)为 530 m × 420 m × 50 m。考虑岩土体为半无限体,模型以外不再考虑变形,即设定为固定边界。对模型底部约束 Z 方向位移,模型前后面约束 Y 方向位移,左右面约束 X 方向位移。在模型顶面除基坑开挖范围内,考虑 20 kN/m<sup>2</sup>地面活动荷载。三维有限元模型见图 6、图 7 和图 8。

MIDAS GTS 三维大型分析软件能够较好的模拟包括塑性、非线性、粘塑性、粘弹性等在内的多种非 线性材料,本次分析的计算模型采用德鲁克-普拉格模型,该模型能够较好的模拟包括土体和岩体在内的 颗粒材料。为保证计算结果精度及计算分析效率,划分网格前先对各个构件按精度要求进行不同单元尺 寸播种,基坑、隧道及高架周围播种较密,最外土层播种稍疏,然后再采用四面体网格和以六面体为中 心的混合网格对模型单元进行划分。

结合基坑施工的工况,建立三维整体有限元模型,进行地应力场分析及位移场清零,然后对基坑施 工工况进行模拟计算,基坑施工对地铁隧道及高架基桩的影响主要发生在基坑土方开挖过程中,因此, 基坑施工对隧道及高架产生较明显影响的工况主要有以下几个:

工况一: 土方第一次开挖至第一道土钉以下 500 mm, 施工第一道土钉;

工况二: 土方第二次开挖至第二道土钉以下 500 mm, 施工第二道土钉;

工况三: 土方第三次开挖至北侧基坑底和南侧基坑第三道土钉以下 500 mm,施工第三道土钉,局部施工锚索;

工况四: 土方第四次开挖至南侧基坑底。

有限元模拟计算分析的结果见表 2。

基坑实际开挖施工时支护结构的监测结果和有限元计算分析结果的对比(见图 9)可知,监测最大水平 位移为 45.78 mm,有限元计算最大水平位移 42.331 mm。可见,计算数据与监测数据非常接近,验证了 有限元模型、各构件及岩土参数的合理性。

通过基坑整体施工三维有限元分析结果可知:

1) 根据国标《城市轨道交通结构安全保护技术规范》[8],基坑施工引起的地铁隧道结构绝对位移量预警值为 10 mm,控制值为 20 mm。本基坑施工引起的地铁隧道结构的总位移为 2.138 mm,小于《规范》预警值 10 mm,因此,基坑施工引起的地铁隧道结构位移小于地铁保护的规范限制要求,地铁隧道结构 是安全的。









陈帅光,林本海

#### Table 1. Material parameters of rock and soil layer and the structures 表 1. 岩土层和结构物材料参数

名称	重度(kN/m <sup>3</sup> )	变形模量(MPa)	粘聚力(kPa)	内摩擦角(度)
人工填土	17.5	8	10	10
淤泥	15.3	3	6	4
淤泥质粉细砂	16.5	5	2	8
粉质黏土	19.0	5.5	20	18
粉细砂	18.5	6	0	25
砂质粘性土	18.0	40	28	22
全风化花岗岩	20.0	65	35	25
强风化花岗岩	21.0	120	40	28
中风化粉花岗岩	22.0	700	150	32
微风化花岗岩	23.0	1500	200	35
混凝土	25	30,000	_	

Table 2. Subway tunnel structure and viaduct pile of the maximal displacement change of foundation pit supporting structure (mm) 专 1444 1843 1844 - 三型其林最大位移变化汇总表

表 2. 地铁隧道结构、高架基桩最大位移变化汇总表(	mm)
----------------------------	-----

计算工况 一	高架基桩最大位移			地铁隧道结构位移	基坑支护最大位移
	水平位移(T1)	竖向位移(T3)	总位移(TOT)	总位移(TOT)	水平位移(T2)
工况一	-0.788	-0.147	0.879	0.410	11.798
工况二	-1.549	-0.215	1.747	0.674	21.564
工况三	-1.780	-0.235	2.023	1.214	36.103
工况四	-2.042	-0.308	2.434	2.138	42.331







**Figure 7.** The finite element 3D axis side view of retaining and protection structure for excavations, the subway tunnel and metro viaduct 图 7. 基坑支护结构与地铁隧道、高架的有限元三维等轴侧视图



**Figure 8.** The finite element 3D axis top view of the relation between retaining and protection structure for excavations, the subway tunnel and metro viaduct 图 8. 基坑支护结构与地铁隧道、高架关系顶视图



Figure 9. Comparison of horizontal displacement and monitoring results of support structure during excavation

图 9. 基坑施工过程中支护结构水平位移与监测结果对比图

2) 当基坑逐步开挖到底时,高架基桩因基坑支护结构的侧移和坑底土体的隆起,发生了向基坑内最 大为 2.042 mm 的位移量;高架基桩随着坑边土体向坑内移动,发生了最大为 0.308 mm 的沉降量,高架 基桩的总位移量为 2.434 mm;高架基桩的沉降差为 0.221 mm < 0.005l<sub>o</sub> = 13 mm (l<sub>o</sub>为相邻桩间的距离, 其值为 2.6 m),在《规范》允许值以内。

#### 4. 结语

通过上述基坑施工对邻近地铁隧道及高架基桩影响的整体三维有限元模拟可得到如下结论。

1) 靠近高架、隧道侧的基坑支护结构随着基坑开挖至基坑底时,发生了向基坑内侧 42.33 mm 的位移,高架基桩也因支护结构的侧移和坑底土体的隆起,产生了一定的位移。

2) 基坑开挖对邻近的地铁隧道有明显的影响。基坑开挖卸载使土体发生变位,带动土体中的隧道发 生明显位移,由于隧道结构相对土体的刚度较大,隧道结构发生了 2.138 mm 的位移。

3) 基坑工程施工应遵循分区、分块、分层、对称、限时原则,必要时可在地铁结构变形较大区域范 围适当反压,抑制支护结构位移。

4) 基坑开挖到底时,地铁隧道的水平位移和竖向位移最大。因此,在基坑开挖到底后,应及时浇筑 地下室底板,避免基坑底长时间暴露。必要时底板混凝土浇筑可掺入适量的速凝剂。

5) 鉴于基坑施工过程及场地的复杂性,地铁结构变形与支护结构侧移息息相关,为确保隧道、高架 基桩及基坑的变形在控制范围内,建议加强靠地铁侧的基坑的水平及测斜的监测工作。

# 参考文献 (References)

[1] 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(z2): 251-255.

- [2] 刘庭金. 深基坑施工对地铁盾构隧道的影响分析[J]. 现代隧道技术, 2008(S1): 216-220.
- [3] 赵志强, 张冬梅. 临近基坑开挖对地铁区间隧道影响评价[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(5): 1040-1046.
- [4] 唐仁, 林本海. 基坑工程施工对邻近地铁盾构隧道的影响分析[J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10(s1): 1629-1634.
- [5] 丁勇春, 王建华. 深基坑施工对高架基础的变形影响及控制研究[J]. 土木工程学报, 2012(7): 155-161.
- [6] 李龙剑,杨宏伟,李政林,蔡永昌. 基坑开挖对邻近桥梁桩基的影响分析[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(s2): 1697-1701.
- [7] 庄子帆. 基坑卸载对临近高架桥墩影响分析[J]. 中国市政工程, 2016(3): 58-62.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ/T202-2013 城市轨道交通结构安全保护技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

# **Hans**汉斯

# 期刊投稿者将享受如下服务:

- 1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
- 2. 为您匹配最合适的期刊
- 3. 24 小时以内解答您的所有疑问
- 4. 友好的在线投稿界面
- 5. 专业的同行评审
- 6. 知网检索
- 7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <u>http://www.hanspub.org/Submission.aspx</u> 期刊邮箱: <u>hjce@hanspub.org</u>