

文章编号: 1674—8247(2018)03—0031—05

某深基坑施工对临近高速铁路路基影响的研究

高显平

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300142)

摘要:文章针对临近既有铁路的深基坑工程逐渐增多的现状,以北京某深基坑工程为背景,利用三维有限元软件模拟深基坑施工对临近既有高速铁路路基的影响,计算出各施工步骤下的高速铁路路基变形数值,并找出了变形的变化规律。通过分析结果可知路基的变形满足高速铁路的相关要求。研究得出有限元数值模拟的安全评估方法是有效的,其结果可以指导施工,并通过对高速铁路路基进行监控,保证了铁路的运营安全。研究结果对类似的工程施工具有重大的借鉴和指导意义。

关键词:深基坑; 高速铁路; 路基; 有限元; 安全评估; 运营安全

中图分类号: U213

文献标志码: A

Study on the Influence of Deep Foundation Pit Construction on Nearby High-speed Railway Subgrade

GAO Xianping

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China)

Abstract: Now there are more and more deep foundation pit projects near the existing high-speed railwaying. This paper takes a deep foundation pit project in Beijing as an example to simulate the influence of deep foundation pit construction on adjacent existing high-speed railway subgrade by using 3D-finite element software. The deformation values of high-speed railway subgrade under each construction step are calculated and the deformation regularity is summarized. The results show that the deformation of the subgrade can meet the requirements of the code for design of high-speed railway. The method of safety assessment based on finite element numerical simulation is valid, the results of safety assessment can guide the construction, and ensure the safety of the railway operation through the monitoring of high-speed railway subgrade. The results of this paper have a great reference and guidance for similar engineering construction.

Key words: deep foundation pit; high-speed railway; subgrade; finite element model; safety assessment; operating safety

国家经济的发展,带动了铁路基础设施的建设,发达城市之间已建成了城际铁路和高速铁路,比如京津城际铁路和京沪高速铁路。随着经济和社会的快速发展,城市用地紧张的问题逐渐凸显,城市地下空间不断地被开发利用^[1]。随着城市规模的不断扩大,基础设施建设的加快,临近铁路深基坑工程越来越多。高速铁路无砟轨道对桥梁和路基的沉降变形以及轨道的平

顺性要求极为严格^[2]。深基坑施工时,基坑变形会导致附近的土体产生变形,有可能会使临近的路基产生变形,对于高速铁路路基,较小的变形会对铁路的运营带来安全隐患。如何保证临近高速铁路深基坑施工时高速铁路的安全,是一个亟待解决的问题。

北京城区内多年来都有洪水灾害发生,一到雨季市政的排水设施能力较为不足。为了应对排水能力不

收稿日期: 2017-06-07

作者简介: 高显平(1984-),男,工程师。

引文格式: 高显平. 某深基坑施工对临近高速铁路路基影响的研究[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(3): 31-35.

GAO Xianping. Study on the Influence of Deep Foundation Pit Construction on Nearby High-speed Railway Subgrade [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(3): 31-35.

足,北京市批复了多处排水管道、雨水泵站及调蓄池基坑工程。本项目以北京市区某高速铁路路基附近的调蓄池基坑施工为研究背景,利用三维有限元 ABAQUS 对此基坑开挖施工过程进行了建模计算,得到了基坑施工时高速铁路路基的沉降和水平变形数值。通过有限元计算结果,分析基坑施工对高速铁路路基变形影响,以规避可能的高速铁路运营风险,确保基坑施工时铁路运营的安全。

1 工程概述

此深基坑与某高速铁路路基的位置关系如图1所示。基坑边缘到高速铁路下行线最近距离为67.02 m。基坑长×宽为51.2 m×46.8 m,开挖深度为15.4 m,基坑的开挖过程可能会对既有路基产生影响,引起铁路路基的沉降和水平变形,进而影响铁路运营的安全性。

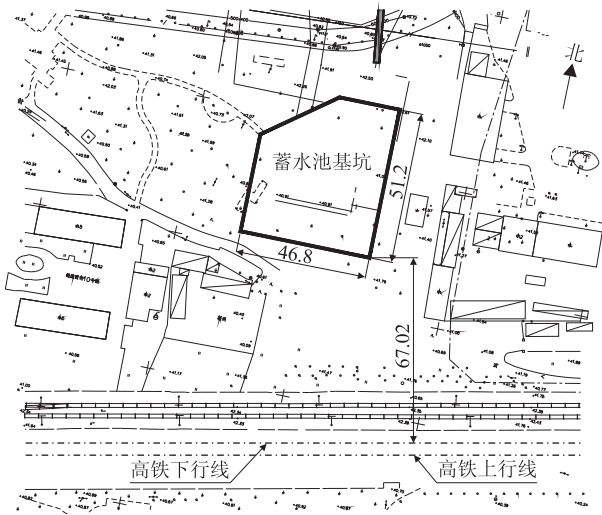


图1 深基坑平面置示意图(m)

此基坑较深,按一级基坑进行设计,各项位移指标应满足 JGJ 120-2012《建筑基坑支护技术规程》^[3] 的规定。采用合适的基坑防护措施,可以有效的控制基坑的变形^[4]。根据基坑周边环境条件、基坑开挖深度、开挖深度范围内土层特性,结合基坑周边已施工完成的基坑工程实例,本工程采用护坡桩+预应力锚杆的支护结构形式。基坑侧面的护坡桩为直径0.80 m的钢筋混凝土钻孔桩,桩长20.9 m,桩间距1.5 m,桩顶冠梁宽高尺寸1.4 m×1.0 m。每根防护桩上均设3根锚索,锚索设置深度分别为4.0 m、8.0 m、12.0 m,支护设计如图2所示。

2 地质、水文条件和基坑止水设计

根据地质勘察的结果,地层按成因年代可划分为

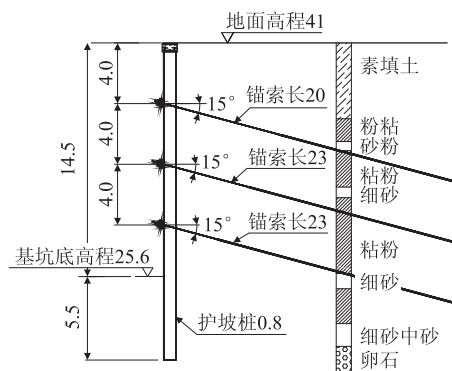


图2 基坑支护图(m)

人工堆积层和第四纪沉积层两大类,按岩性及工程特性划分为8个大层及其亚层。主要为粉质粘土和细砂。

本次岩土工程勘察期间于钻孔中实测地下水稳定水位标高为16.57~17.39 m(埋深10.10~16.40 m),地下水类型为潜水。

若基坑开挖过程布置有井点降水,因地下水位降低孔隙水压力消散,导致原有土层有效应力增加,进而引起周边建筑物新的沉降^[5]。由于基坑降水会对高速铁路路基造成不利影响,本次工程不采取井点降水方法,采用高压旋喷止水帷幕措施对基坑进行防水处理。

3 深基坑开挖施工对临近高速铁路路基影响的数值模拟

3.1 三维空间有限元模型

临近高速铁路施工对既有高速铁路产生一定的变形影响,利用有限元软件可以有效的分析出工程施工对既有结构的变形数值^[6],本研究采用三维有限元 ABAQUS^[7] 软件进行计算。建立基坑、防护桩、既有高速铁路路基以及周围土体的三维有限元模型,规定了计算模型中采用的坐标系:x轴为顺铁路方向,y轴为垂直铁路方向,z轴为竖直方向。为消除边界效应,降低模型的空间效应影响,土体模型在y方向上的尺寸为基坑到铁路路基距离的3倍左右取为400 m,在x方向的水平尺寸为基坑尺寸的5倍左右取为300 m,计算模型在z轴方向为50 m。高速铁路路基根据现场地形按路肩宽20 m,高2 m,边坡放坡为1:1.5进行模拟。

采用三维有限元 ABAQUS 软件建立模型,计算模型中土体、高速铁路路基和基坑防护桩单元均采用三维8节点六面体线性减缩积分单元。基坑防护桩与土体间采用嵌入的连接方式,土体模型的顶面设为自由边界,底面约束X、Y、Z3个方向的变形,其它面均约

束法向变形。土体的材料类型选用摩尔库仑模型,基坑防护桩的材料类型选用弹性模型。有限元计算模型如图3所示。

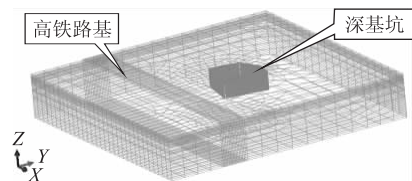


图3 有限元模型图

土体计算模型的网格划分与计算结果的收敛性密切相关,当模型的网格划分很细时,能提高结果的精确性,但耗费的计算时间较长,如果网格划分很粗,那结果会太粗糙。因此,在划分土体网格时,对基坑和铁路路基部分的土体网格进行细小的划分,而对于其他不重点关注的区域网格进行粗略划分,这样既保证计算收敛性又能提高计算效率。

3.2 施工步骤

为了最大限度的反应基坑开挖对铁路的不利影响,模拟施工过程,按3步土体开挖进行分析计算,将基坑的动态开挖过程分为以下几个分析步。开挖步1:土体地表面0~5.5 m;开挖步2:土体地表面5.5~10.5 m;开挖步3:土体地表面10.5~15.4 m。同时为了研究调蓄池蓄水对高速铁路路基的影响,增加了第4个步骤(蓄水步):调蓄池加水。

有限元里的开挖步骤模拟采用设定生死单元的方法。单元的生死采用有限元软件所提供的修改 keywords 中的 remove 和 add 关键字实现。开挖某一步时,选定对应的土层单元,利用 remove 命令杀死这些单元,第4个蓄水步骤以压力荷载形式加载。

在实际工程中,由于天然土层在土体自重和周围建筑荷载作用下,已经固结沉降完毕,在此基础上进行工作坑开挖,需要将已经固结沉降完成的原状土作为后续开挖步的初始状态。因此,在利用有限元模拟工作坑开挖过程中,为了达到天然土层的初始状态,对土体开挖前进行了平衡初始地应力,使得在土体模型中只存在初始应力场而不出现初始位移^[1]。

3.3 计算结果

经过计算得到了基坑开挖到基坑底后,土体的沉降云图(如图4所示)。由图4可知基坑底由于土体卸载,应力释放,发生了向上的隆起变形,除去有限元受力集中数值,基坑底大部分隆起值在5 cm左右;基坑外土体最大下沉量为1.2 mm。

为分析基坑开挖对高速铁路路基的影响,在有限元模型中单独选出高速铁路路基单元,各施工步骤下

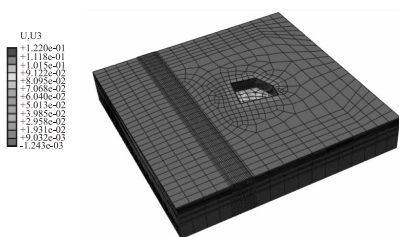


图4 基坑开挖引起的沉降变形云图

高速铁路路基的沉降变形云图(如图5所示),受开挖影响,路基发生沉降,最大沉降值由第1开挖步的0.167 mm发展到第3开挖步的0.276 mm,蓄水步时又回弹为0.169 mm,离基坑越近的位置,发生的沉降值越大。各施工步骤下高速铁路路基的横向变形云图(如图6所示),由图6可知,随着开挖的进行,路基向靠近基坑的方向产生附加横向变形,附加横向变形由第1开挖步的0.120 mm至第3开挖步的0.549 mm,到蓄水步时又回弹为0.357 mm。

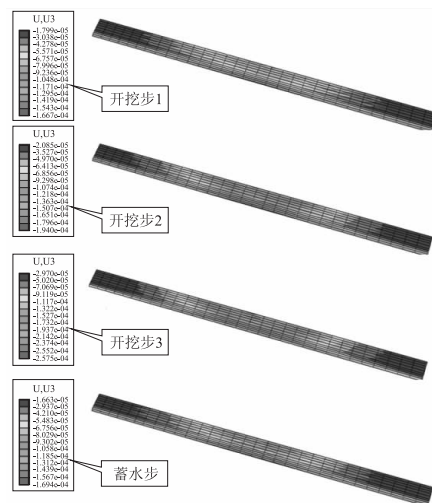


图5 高速铁路路基沉降变形云图

为分析基坑开挖对高速铁路轨道的影响,假定轨道与路基不产生离缝,以高速铁路下行线位置处的路基节点变形代表轨道变形,对高速铁路下行轨道中心线的单元节点进行了选取,提取了这些点的沉降和横向变形。高速铁路下行线轨道的沉降变形和横向变形如图7和图8所示。由图7可知,随着开挖的进行,临近基坑位置处的轨道沉降呈逐渐增加的趋势,在蓄水时有一定的反弹,在开挖步3时达到最大值为0.199 mm,到蓄水步时为0.103 mm。由图8可知,随着开挖的进行,临近基坑位置处的轨道横向变形呈逐渐增加的趋势,在蓄水时有一定的反弹,在开挖步3时达到最大值为0.400 mm,到蓄水步时为0.193 mm。

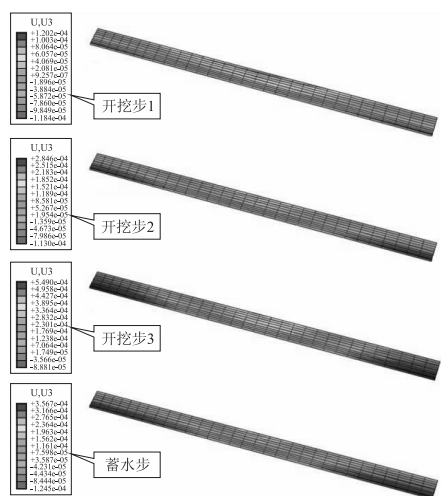


图6 高速铁路路基横向变形云图

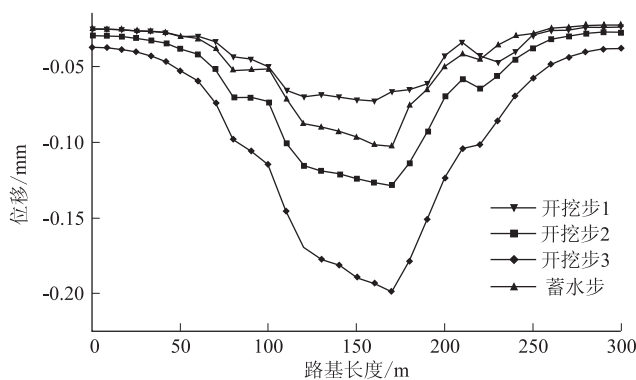


图7 轨道沉降变形图

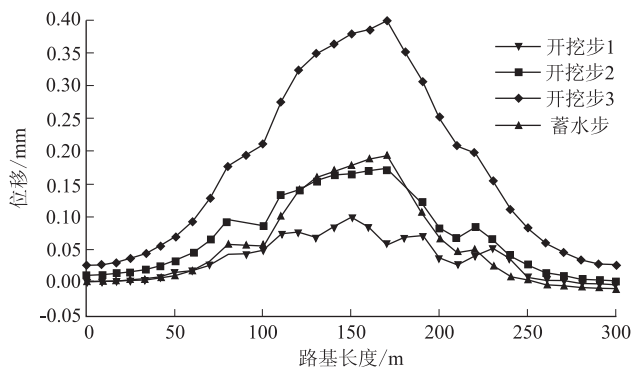


图8 轨道横向变形图

4 数值模拟计算安全评估分析

由数值计算结果可知,当基坑开挖到坑底时,上部土体自重产生的基坑底土应力释放,致使坑底的土体产生隆起现象,基坑外部土体发生沉降现象。当开挖到基坑底部时,高速铁路路基发生轻微的沉降和靠向基坑方向的横向变形,在蓄水后沉降和横向变形会有

一定的反弹。其中路基最大的沉降值为0.276 mm,最大的横向变形为0.549 mm;轨道最大的沉降值为0.199 mm,最大的横向变形为0.400 mm。由于对基坑采用的护坡桩+预应力锚杆的支护结构形式,有效的控制了基坑壁的变形,从而减小了基坑变形导致高速铁路路基的横向变形,证明采用的基坑支护结构是有效可行的。

TB 10621-2014《高速铁路设计规范》^[8]对新建高速铁路的路基的沉降要求已经很严格,但高速铁路开通后,对无砟轨道的变形要求更加严格。根据铁运[2012]83号《高速铁路无砟轨道线路维修规则》(试行)^[9]的要求,竖向位移和横向水平位移容许偏差均为2 mm。分析计算结果可知,此基坑施工时对高速铁路路基和轨道的位移影响均能满足相关规范要求,能够保证高速铁路运营的安全。

由于基坑开挖会导致高速铁路路基和轨道产生一定的变形,施工时必须对高速铁路路基和轨道进行实时监控,以保证铁路的运营安全可靠。

5 结论

(1)本工程已经安全施工结束,通过施工现场对轨道和路基的实时监控,未发现引起高速铁路安全隐患的变形情况发生,同时铁路局有关部门对轨道进行常规检测也未发现不满足使用的情况,说明本次安全评估的结果达到了预期的目的。

(2)通过有限元程序模拟本基坑在采用基坑防护情况下的开挖工况,得到了临近高速铁路轨道的最大的沉降值为0.199 mm,最大的横向变形为0.400 mm,轨道变形值满足《高速铁路无砟轨道线路维修规则》(试行)的要求。

(3)通过本研究可得出深基坑施工会对临近的高速铁路产生一定的变形,在施工前利用有限元软件对施工过程进行数值模拟和安全评估分析,可以避免可能的铁路运营风险,同时施工过程中加强对高速铁路路基的实时监控,可以最大程度地保证高速铁路的运营安全。

(4)通过本次研究,可以得出采用有限元数值模拟评估的方法,可以有效指导施工,从而保证铁路的运营安全,对临近高速铁路深基坑工程的施工具有重大的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王菲, 崔一. 盾构法施工对既有桥基础变位的影响分析[J]. 铁道工程学报, 2011, 27(6): 14-20.

- WANG Fei, ZHUO Yi. Analysis of Impact of Shield Tunneling on Displacement of Existed Bridge Foundation [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011, 27(6): 14-20.
- [2] 嵇一, 张军, 宋顺忱. 软土地区基坑开挖对临近高铁影响数值仿真分析[J]. 铁道工程学报, 2014, 30(2): 41-47.
- ZHUO Yi, ZHANG Jun, SONG Shunchen. Numerical Simulation and Analysis of Influence of Foundation Pit Excavation on Adjacent High-speed Railway in Soft Soil Area [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 30(2): 41-47.
- [3] JGJ 120-2012 建筑基坑支护技术规程[S].
- JGJ 120-2012 Technical Specification for Retaining and Protection of Building Foundation Excavations[S].
- [4] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- LIU Guobin, Wang Weidong. The Foundation Pit Engineering Handbook[M]. Beijing: Chinese Building Industry Press, 2013.
- [5] 朱瑞钧, 高谦, 齐干. 深基坑支护桩周边建筑物沉降分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2006, 28(2): 52-55.
- ZHU Ruijun, GAO Qian, QI Gan. Settlement Analysis on Building near Retaining Pile of Deep Foundation Pit[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2006, 28(2): 52-55.
- [6] 刘玉洲. 相邻高铁桥梁的公路工程施工对其影响分析[J]. 高速铁路技术, 2017, 8(42): 72-75.
- LIU Yuzhou. Analysis on Influence of Highway Engineering Construction on Adjacent High-speed Railway Bridge[J]. High speed Railway Technology, 2017, 8(42): 72-75.
- [7] 费康, 张建伟. ABAQUS 在岩土工程中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- FEI Kang, ZHANG Jianwei. Applications of ABAQUS in Geotechnical Engineering[M]. Beijing: China Water Power Press, 2010.
- [8] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
- TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway[S].
- [9] 铁运[2012]83号, 高速铁路无砟轨道线路修理规则(试行)[S].
- Tie Yun[2012] No. 83, Repair Rule for Ballastless Track Line of High-speed Railway(Trial) [S].
- (编辑: 车晓娟 苏玲梅)

(上接第30页)

- [3] 唐朝生, 施斌. 干湿循环过程中膨胀土的胀缩变形特征[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(9): 1376-1384.
- TANG Chaosheng, SHI Bin. Swelling and Shrinkage Behaviour of Expansive Soil During Wetting-drying Cycles [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(9): 1376-1384.
- [4] 杨和平, 肖夺. 干湿循环效应对膨胀土抗剪强度的影响[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2005, 2(2): 1-6.
- YANG Heping, XIAO Duo. The Influence of Alternate Dry-wet Effect on the Strength Characteristic of Expansive Soils [J]. Journal of Changsha University of Science and Technology (Natural Science), 2005, 2(2): 1-6.
- [5] 刘龙武. 公路膨胀土路堑边坡的破坏特征及勘察技术研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011.
- LIU Longwu. Study on Failure Characteristics and Investigation Technology of Highway Expansive Soil Cutting Slope[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2011.
- [6] 长沙理工大学. 膨胀土地区公路修筑成套技术研究总报告[R]. 长沙: 长沙理工大学, 2007.
- Changsha University of Science and Technology. Road Construction Technology Research in Expansive Soil Area [R]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2007.
- [7] 冯玉勇, 张永双, 曲永新, 等. 南昆铁路百色盆地膨胀土路堤病害机理研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(4): 463-467.
- FENG Yuyong, ZHANG Yongshuang, QU Yongxin, et al. Mechanism of Embankment Defects Caused by Expansive Soils in Baise Basin, Nankun Railway [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(4): 463-467.
- [8] TB 10001-2016 铁路路基设计规范[S].
- TB 10001-2016 Specification for Railway Subgrade Design[S].
- [9] TB 10035-2006 铁路特殊土路基设计规范[S].
- TB10035-2006 Code for Design on Special Subgrades of Railway [S].
- [10] 李海光, 周德培. 新型支挡结构设计工程实例[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- LI Haiguang, ZHOU Depei. Design and Engineering Practice about New Retaining Structure[M]. Beijing: China Communications Press, 2010.
- [11] TB 10025-2006 铁路路基支挡结构设计规范[S].
- TB 10025-2006 Code for Design on Retaining Structures of Railway Subgrade [S].
- (编辑: 赵立红 苏玲梅)