

邻近运营区间基坑安全施工控制技术

胡苗华

(上海市政交通设计研究院有限公司, 上海市 200030)

摘要: 以深圳地区某一邻近运营区间隧道新建车站基坑工程为依托, 采用三维有限元数值模拟分析方法, 对基坑施工引起的围护结构变形、周边土体沉降和运营隧道受力变形进行预测, 结合现场多种监测手段, 验证了数值模型分析预测的有效性, 确保了基坑工程顺利施工, 并介绍了工程中采用的数种施工影响控制措施, 为类似工程提供借鉴和参考。

关键词: 基坑; 数值模拟; 运营隧道; 变形; 监测; 控制措施

中图分类号: TU753

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)03-0302-05

Safety Construction Control Technology for Foundation Pits Adjacent to Operational Sections

HU Miaohua

(Shanghai Keda Municipal Traffic Designing Institute, Shanghai 200030, China)

Abstract: Relying on a newly-built station foundation pit project adjacent to the operating interval tunnel in Shenzhen, the three-dimensional finite element numerical simulation method is used to predict the deformation of enclosure structure, the settlement of peripheral soil and the force deformation of operating tunnel caused by the construction of foundation pits. Combined with the multiple monitoring methods at the site, the validity of the numerical model analysis and prediction is verified, and the smooth construction of the foundation pit is ensured. And several kinds of construction impact control measures adopted in the construction are introduced, which provides a reference for similar project.

Keywords: foundation pit; numerical simulation; operating tunnel; deformation; monitoring; control measures

0 引言

伴随着国家各大城市交通系统的高速推进和发展, 城市地铁网络建设规模的逐步扩大, 加之不断加快的建设速度, 涌现出数量庞大的地铁车站基坑工程。在繁华城市地区进行地铁车站深基坑施工, 要求基坑设计和施工不仅要把基坑本身的稳定性考虑在内, 还要把对周边环境的影响控制在安全影响范围内^[1-2], 尤其邻近运营区间地铁的基坑施工不可避免地会对地铁结构产生影响^[3-5]。如何有效控制深基坑开挖过程中围护结构变形、周围土体的变形以及既有运营区间隧道结构的变形, 一直以来是工程界的一大重要研究方向。

数值模拟方法具有较大的灵活性, 能对较复杂情况下的基坑开挖过程进行模拟并进行定性影响评

价, 目前已被广泛运用于基坑工程施工影响的分析。艾鸿涛^[6]采用FLAC3D软件, 对上海地铁七号线静安寺站的邻近基坑进行了数值模拟, 发现距离基坑最近的地铁上行线受基坑开挖的影响较大, 上行线产生了朝基坑方向变形的趋势。高广运、高盟等^[7]针对上海某邻近地铁区间的基坑建立了三维数值模型, 并采用了全过程动态模拟。分析结果表明: 基坑开挖卸载可导致邻近地铁区间结构的非对称变形。在数值模拟和监测手段基础上, 还有大量学者^[8-14]对邻近地铁深基坑施工对既有地铁影响机理和控制措施进行了相关的研究。相比较于上海的软土, 深圳地区的土层较坚硬, 且地质和环境情况条件较复杂, 本工程基坑施工环境影响控制更为艰难。

以深圳某邻近运营区间隧道新建车站基坑工程为依托工程, 采用三维有限元数值模拟分析和基坑施工监测相结合的手段, 预测和评估分析基坑施工对围护结构、周围土体及既有运营区间的影响, 提出相应的施工影响措施并在工程中进行实施, 确保了

收稿日期: 2025-07-12

作者简介: 胡苗华(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事岩土及结构设计工作。

基坑施工安全顺利地进行。

1 工程概况

1.1 工程简介

福民站为深圳轨道交通10号线第2个车站。车站南端设福田口岸站—福民站区间的盾构始发井，始发井基坑宽27.9 m，基坑开挖深度21.5 m，7号线运营区间线路外边缘距福民站南端头基坑仅7.85 m（见图1、图2）。

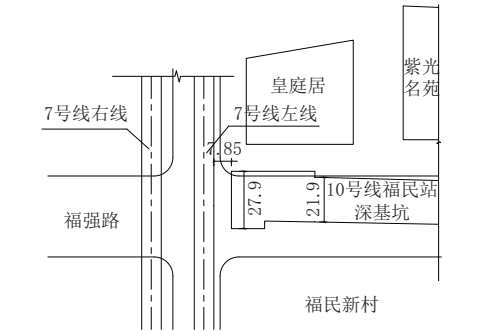


图1 基坑总平面图(单位:m)

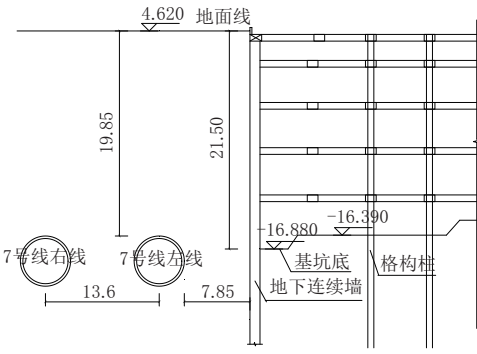


图2 基坑与区间相对位置关系断面图(单位:m)

1.2 工程地质及水文概况

始发井基坑从上至下主要穿越地层为①素填土、②淤泥质黏性土、③含有机质砂、④粉质黏土、⑤粗砂、⑥砾砂、⑦全风化花岗岩。基坑底板主要位于③砾砂、⑩圆砾、⑧全风化花岗岩。7号线运营区间主要位于⑧全风化花岗岩、②块状强风化花岗岩、③中风化花岗岩、④微风化花岗岩层。

车站点地表水不发育，地表水主要为坑洼地带的积水。

1.3 现场监测方案及布设概况

基坑现场施工过程中，监测单位对基坑进行了全方位的监测，以确保基坑工程施工安全、高效地进行，基坑监测点位布设图3所示。

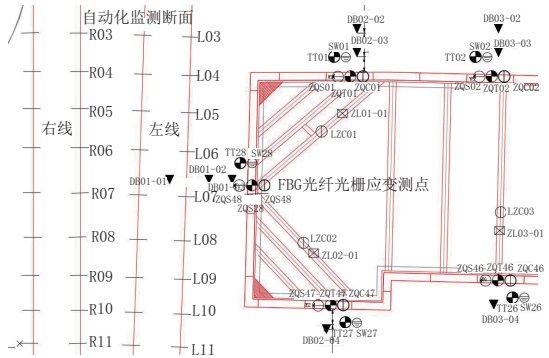


图3 基坑施工监测点位布设图

2 邻近区间隧道新建基坑施工数值模拟

2.1 数值分析模型

通过福民站的车站南端始发井设计图，建立计算模型。现场地面起伏较小，模型中将地面设为水平，考虑模型边界的影响，数值模型长取160 m，宽取100 m，高50 m；模型四周采用水平约束，下部采用竖向约束，上部边界采用自由边界。基坑土体网格取1 m大小，两侧逐步放射稀疏，土体本构采用修正Mohr-Coulomb（修正MC）模型；地下连续墙、结构板以及区间结构均采用板单元模拟，基坑立柱及抗拔桩均采用梁单元模拟。建立的有限元模型如图4所示，模型单元数171 109，节点数92 424。

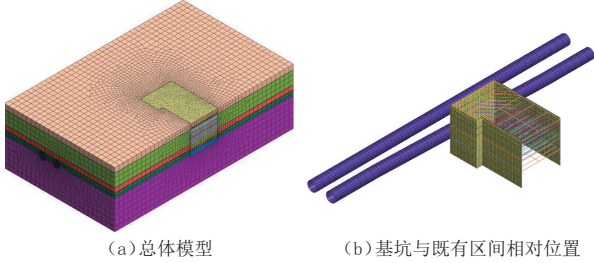


图4 数值计算模型

2.2 模型参数设计

土体和基坑结构的物理力学参数依据地质勘察报告、相关规范和设计资料确定，具体如表1和表2所示。

2.3 数值分析施工环境影响评估

2.3.1 基坑周边地表沉降分析

基坑开挖完成后，基坑周边的总体竖向沉降如图5所示，并绘制各阶段DB03-02所在位置Y方向的地表沉降槽曲线如图6所示。由图5、图6可以看出，地表沉降呈常规的基坑地表沉降曲线（漏斗形），地表沉降最大值为7.4 mm，仅为基坑开挖深度的0.034%，小于规范建议值（0.3%~0.5%），说明基坑周边地表土体沉降变形在正常可控范围之内。基坑开

表1 土层物理力学参数

地层	厚度/m	弹性模量/MPa	泊松比	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
素填土	4.5	6	0.4	17.9	10	10
淤泥质黏性土	11.5	6	0.4	17.3	14	10
圆砾	4	28	0.25	20.0	0	30
强风化花岗岩	3	96	0.22	20.5	35	28
中风化花岗岩	1.5	500	0.22	25.3	3 000	38
微风化花岗岩	25.5	5 000	0.22	26.1	6 000	26

表2 结构物理力学参数

结构	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	弹模 E/MPa	泊松比 ν	尺寸/m
冠梁	2 400	30 000	0.2	0.8×1.0
斜撑及混凝土支撑	2 400	30 000	0.2	0.8×0.8
管片	2 400	32 500	0.2	厚0.3
地连墙	2 400	32 500	0.2	厚1
结构	2 400	33 500	0.2	顶、底板1;中板0.4,侧墙0.75
钢支撑	7 850	206 000	0.3	—

挖第二层和第三层过程中引起了周边地表的较大沉降,这是因为这两层土为淤泥质黏性土,开挖时易引起土体卸荷较大,从而引起地表较大沉降。基坑开挖主要的影响范围为距基坑边40 m的区域,大于40 m的区域地表沉降可忽略不计。

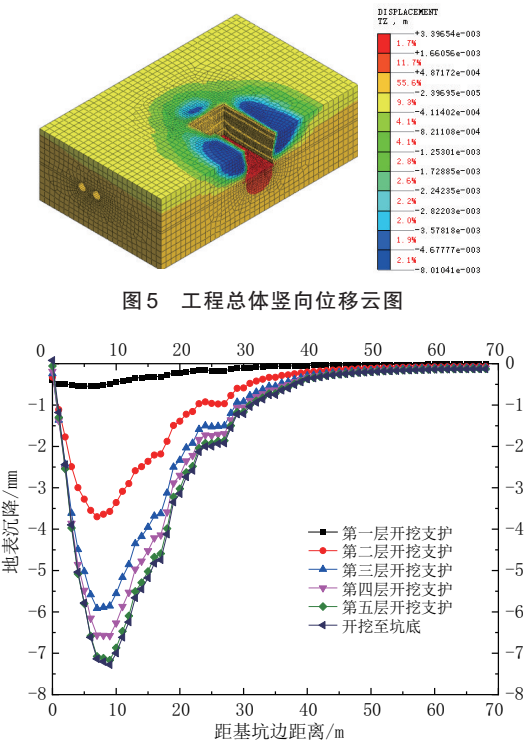


图5 工程总体竖向位移云图

图6 各阶段DB03-02点所在位置Y方向的地表沉降槽曲线图

2.3.2 基坑围护结构变形分析

图7、图8所示分别为基坑开挖完成后围护结构连续墙的总位移云图和监测点ZQT-03处连续墙各施工阶段水平位移曲线图,可以看出,地下连续墙围护结构水平位移最大位置均是在墙体中下部位置(15 m左右),最大变形值为15.6 mm,小于规范规定的围护结构最大位移限值40 mm。随基坑开挖深度增加,连续墙最大水平位移位置存在逐渐下移现象,随着开挖深度的增加,地连墙所受弯矩最大值的位置逐渐下移,从而导致地下连续墙的侧向变形产生了一定的跟随效应。同时,基坑两侧连续墙水平位移略大于端墙连续墙水平位移。中下部土体自由度较大,抵抗土体层压力的能力也最薄弱。这与土体的侧向变形特性在某种程度上表现出一致性,同时也说明在支护结构的中下部需适当加大支撑强度。

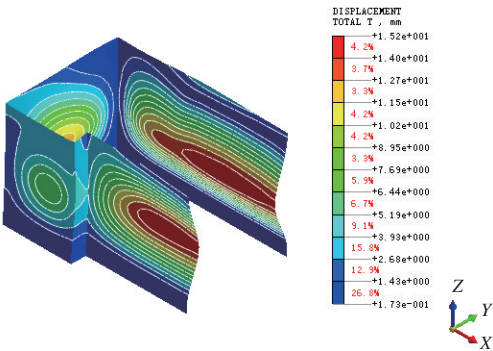


图7 围护结构连续墙总体变形云图

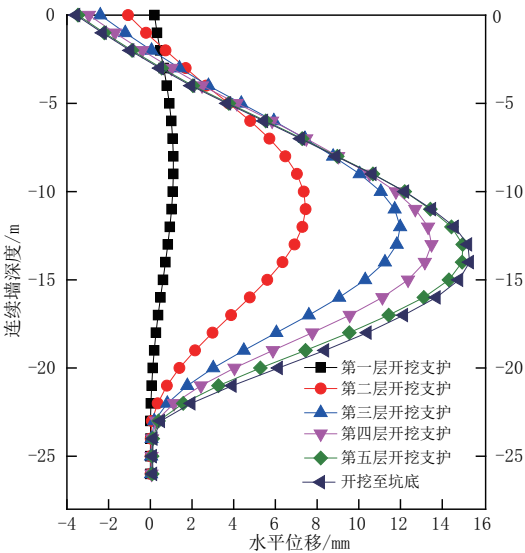


图8 ZQT-03处连续墙各施工阶段水平位移曲线图

2.3.4 运营区间管片变形与受力分析

由基坑车站施工完成后的运营区间隧道管片变形云图9和盾构管片最大应力云图10可知,7号线区间隧道最大变形值为0.83 mm,最大拉应力0.43 MPa,最大压应力0.87 MPa,均在控制值内,基坑8 m以下

土层开挖对其变形和应力变化有相对较大的影响。

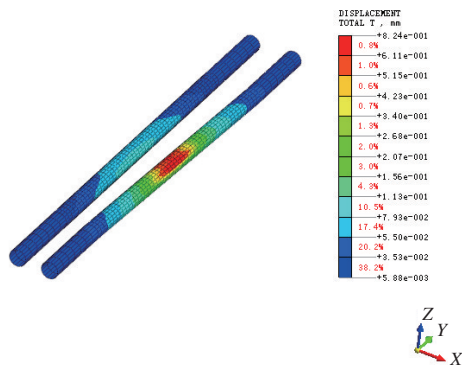


图9 运营区间隧道总位移云图

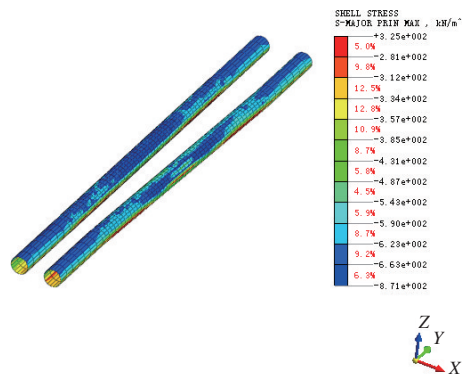


图10 运营区间隧道主应力云图

3 现场基坑监测与运营区间自动化监测分析

3.1 现场基坑监测分析

由图 11 部分地表沉降点监测数据变化曲线可知,基坑前 8 m 开挖过程中,附近地表土体沉降速度较快,后 14 m 体开挖过程中,地表沉降速率逐渐降低。地表沉降随开挖深度的增加大致呈线性增加,说明基坑周边土体变形处于弹性范围内。

3.2 运营区间自动化监测分析

既有运营区间隧道水平和竖向位移监测结果如图 12 所示。分析可知,整个基坑施工过程中,既有运营区间左线和右线隧道结构的水平位移变化较稳定且数值较小,最大水平位移值左线约 0.8 mm,右线约 0.7 mm;隧道管片总体呈现上浮趋势,基坑开挖阶段隧道竖向位移呈现逐渐增大的变化规律,结构施作阶段隧道竖向位移变化较小,最底部基坑土开挖影响最大,最大竖向位移左右线分别为 2.3 mm 和 2.2 mm。左右线的水平和竖向位移均在 10 mm 的控制值范围内,基坑施工过程中运营隧道结构处于安全状态。

4 施工影响控制措施

基于以往邻近运营区间隧道地铁站深基坑施

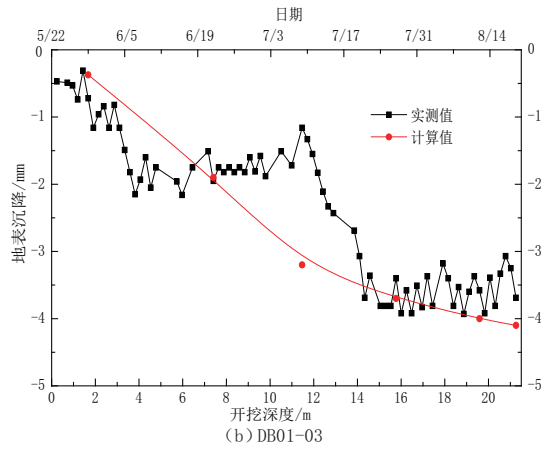
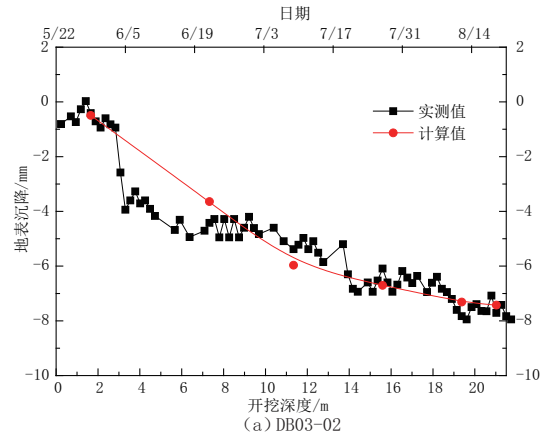


图11 地表沉降监测值和计算值折线

工安全的影响,结合模型计算结果,现场提出并实施了一些施工影响控制措施,以控制深基坑施工对自身安全和周边环境的影响,确保车站施工的安全有效进行和既有运营区间的结构安全。

4.1 坑内地基加固措施

对靠近运营区间的南端基坑内部约 70 m 范围内采用采用 $\phi 600\text{ mm}@1000\text{ mm}$ 的搅拌桩对淤泥质土层进行抽条加固,搅拌桩底至淤泥层底桩长约 12 m,目的是减少靠近运营区间侧地下连续墙施工引起槽壁坍塌以及基坑开挖时渗漏水对既有运营区间隧道的影响及危害,同时,在邻近运营区间的地下连续墙施工前,在连续墙内外两侧进行 $\phi 600\text{ mm}@450\text{ mm}$ 搅拌桩成槽加固,桩长约 14 m。

4.2 运营区间隧道周边加固措施

为减小基坑开挖施工对运营区间隧道结构的影响,参考相关研究及文献^[15],对区间隧道和基坑之间的土体采用地表袖阀管注浆加固。

由现场监测结果分析可知,在采取以上施工控制措施情况下,基坑施工引起的环境影响和对运营区间隧道结构的影响均在允许的控制范围内,具有较好的控制效果。

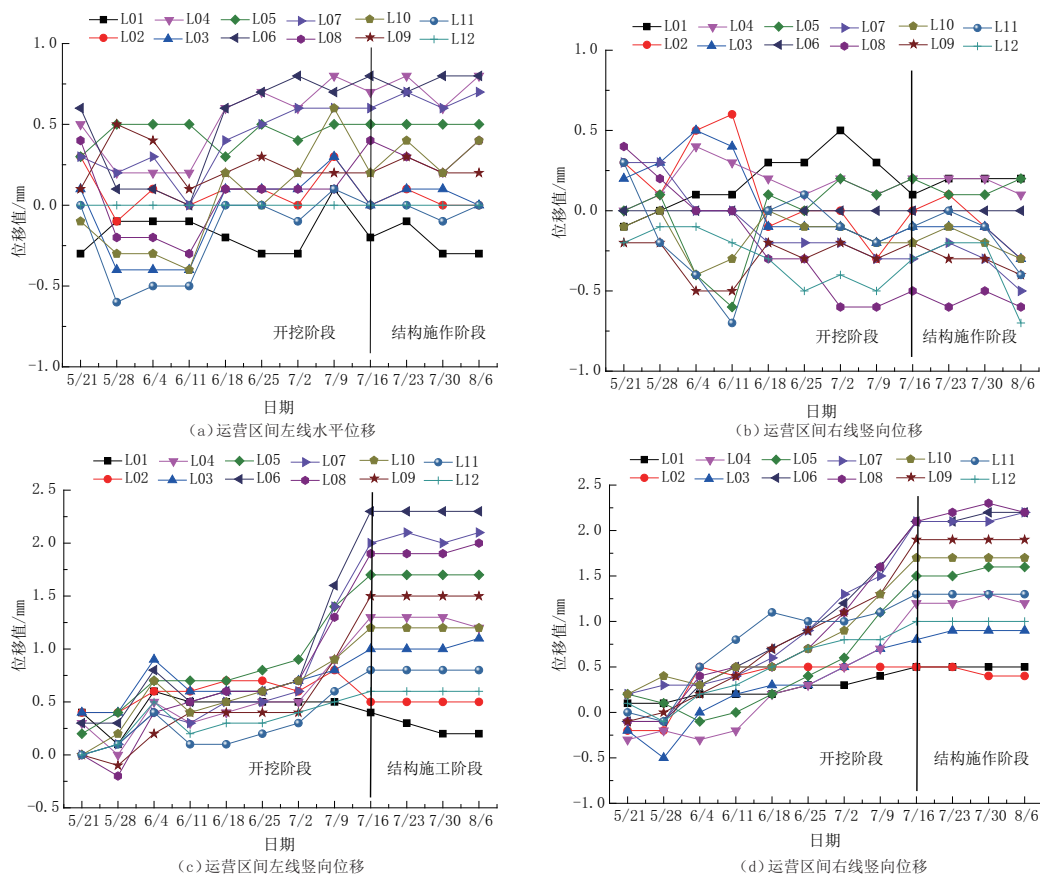


图12 运营区间隧道位移变化曲线图

5 结论与展望

本文对邻近运营区间隧道新建车站深基坑开挖进行了数值仿真,建立了既有运营区间隧道-车站深基坑-围护结构的三维数值计算模型,计算得到由车站基坑开挖支护及结构施工引起的周边环境、围护结构变形及既有运营区间隧道的变形和内力并进行了相应的分析,预测得到影响在容许的影响范围之内,为车站深基坑施工安全顺利地进行提供了信息化支撑,对于控制深基坑施工过程中对既有运营区间隧道结构的影响,具有重要的尝试意义。在三维数值仿真基础上,结合现场基坑监测和运营区间自动化监测结果分析,可得到以下几点主要结论。

(1)本工程基坑开挖施工主要的影响范围为距基坑边约40 m的区域,引起地表沉降较大的施工阶段为基坑开挖第二层和第三层。基坑施工过程中围护结构水平位移最大位置均是在墙体中下部位置,在支护结构的中下部需适当加大支撑强度。

(2)通过现场监测和三维有限元计算结果对比显示两者较为接近,说明采用三维有限元计算方法有助于较全面地预测分析邻近运营区间车站深基坑施工对周边环境及运营区间隧道的影响。现场可参

考有限元计算得到的影响规律和预测结果,采取相应的控制措施来控制基坑施工的影响。

(3)基坑施工采取了坑内地基抽条加固以及运营区间与基坑间土体注浆加固组合的施工影响控制措施,以减少基坑开挖卸荷引起的环境影响,由现场监测统计的结果可知,各类监测指标均在允许的安全控制值内,说明施工控制措施得到了较好的环境影响控制效果,可为类似工况下基坑施工提供一定的借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 吴双武,李辉,许焯霜,等.深圳上软下硬地层中超深基坑的性状分析[J].地下空间与工程学报,2016,12(2):330-335.
- [2] 王继华,刘涛,严莉,等.深圳某项目基坑开挖对地铁影响的风险应对与实践[J].施工技术,2015,44(7):77-82;86.
- [3] 王翌.基坑开挖施工对邻近运营地铁隧道变形影响分析[J].施工技术,2016,45(20):86-90.
- [4] 张立明,朱敢平,郑习羽,等.软土地区深基坑对临近地铁结构影响的实测与分析[J].岩土工程学报,2017,39(增刊2):175-179.
- [5] 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(增刊2):251-255.
- [6] 艾鸿涛,高广运,冯世进.临近地铁隧道的深基坑工程的变形分析[J].岩土工程学报,2008,30(增刊1):31-36.
- [7] 高广运,高盟,杨成斌,等.基坑施工对运营地铁隧道的变形影响及控制研究[J].岩土工程学报,2010,32(3):453-459.
- [8] 李志高,曾远,刘国彬.邻近地铁车站基坑开挖位移传递规律数值

(下转第315页)