

DOI: 10.11779/CJGE2014S2077

# 基于双排桩和锚索支护基坑开挖监测分析

王鸿运, 姚小波, 张 尧, 胡 瑾

(中冶集团武汉勘察研究院有限公司, 湖北 武汉 430080)

**摘 要:** 桩锚支护结构在基坑支护中已有广泛应用, 在同一个基坑中采用单排+预应力桩锚及双排桩+预应力锚索支护形式, 结合现场实际监测成果, 分析基坑变形性状以及对周边建筑物变形的影响, 同时阐述锚索施工对基坑及周边建筑的影响, 分析基坑变形的水平影响范围。

**关键词:** 预应力锚索; 双排桩; 基坑; 周边环境

中图分类号: TU470

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2014)S2-0446-05

**作者简介:** 王鸿运(1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事岩土工程研究、设计方面的工作。E-mail: 303769193@qq.com。

## Monitoring and analysis of excavation based on supporting structures of double-row piles and prestressed anchor cables

WANG Hong-yun, YAO Xiao-bo, ZHANG Yao, HU Jin

(Wuhan Surveying-Geotechnical Research Institute Co., Ltd. of MCC, Wuhan 430080, China)

**Abstract:** The pile-anchor supporting structures have been widely used in deep foundation pits. The supporting structures of single pile-anchor and double-row piles are used in the same deep foundation pit. The influence of deformation behaviors of the excavation and adjacent buildings are analyzed based on the monitoring results. The influence on the adjacent buildings is also described because of construction of anchor cables. In addition, the influence scope of horizontal deformation of the excavation is analyzed.

**Key words:** prestressed anchor cable; double-row pile; foundation pit; surrounding environment

## 0 引 言

基坑工程广泛存在于市政、建筑、工业等领域。随着基坑开挖深度和面积的不断增大, 基坑支护结构的设计和施工越来越复杂, 因此基坑开挖引起的环境问题也日益突出。很多位于城市中心地区的深、大型基坑, 周围紧邻既有重要建(构)筑物、市政管线和地铁车站等, 由于基坑开挖引起的土体位移使得周边建(构)筑物产生附加变形, 变形过大会影响建筑物的正常使用功能, 甚至导致建筑物结构破坏, 造成严重的后果。

为控制基坑变形, 大量的专家、学者及从业人员对基坑的支护形式做了很多的理论研究、试验。屠毓敏等<sup>[1]</sup>研究了土钉支护结构的极限开挖深度问题, 提出了土钉支护结构极限开挖深度的确定方法。刘润等<sup>[2]</sup>借助弹塑性有限元分析软件, 研究支撑位置的变化对整个支护体系内力和变形的影响规律。尹骥等<sup>[3]</sup>以工程实例的形式介绍了210 m超大直径圆环支撑在基坑工程的设计分析和应用, 对比分析了实测和数值模拟结果, 提出了数值模拟结果的局限性。邱佳荣等<sup>[4]</sup>研究了双排桩排距、连梁刚度和被动区土体加固对双排

桩影响的规律。崔宏环等<sup>[5]</sup>运用数值模拟的方法, 研究了双排桩支护结构的内力和变形以及与土的相互作用机理。叶新丰<sup>[6]</sup>通过对拉力分散型锚索拉拔试验, 提出了预应力锚索在海南特有的地质条件下预应力锚索的参数选择、结构调整及力学状态的分析方法。

在研究如何有效控制基坑变形的同时, 人们也从不同的角度对邻近建筑物的变形性状进行了大量的研究。黄茂松等<sup>[7]</sup>考虑建筑物自身的承载能力, 采用DCFEM法进行分析, 提出了基于周边建筑物承载能力的基坑变形控制标准。郑刚等<sup>[8]</sup>采用有限元法分析了坑角效应对基坑周边建筑物的影响。Burland等<sup>[9]</sup>通过观察裂缝宽度来评估建筑物破坏的程度。其分类直观明确, 已被广泛引用。吴荣良<sup>[10]</sup>通过对基坑坡顶沉降分析, 找出其变化规律, 探讨邻近建筑物的受力和破坏开裂情况, 研究基坑开挖影响下邻近建筑物的破坏影响程度评判, 并提出了评判模型。Cho等<sup>[11-12]</sup>用专家调查和模糊数学相结合, 对地下工程的风险进行评估, 开挖了一套基于风险模糊不确定模型的风险

评估软件。

本文基于工程实例，介绍工程概况及周边环境、基坑的支护形式以及监测点的布置情况，在实测资料的基础上分析了基坑变形性状以及对周边建筑物变形的影响，同时阐述锚索施工对基坑及周边建筑的影响，分析基坑变形的水平影响范围，为基坑的设计、施工提供工程经验。

1 工程概况及地质条件

1.1 工程概况

昆明万科金色领域项目 B 地块位于昆明市昌源中路西侧，昌源花园和美丽新世界北侧，A 地块的南侧，共建 5 栋 32~34 层住宅楼。基坑南侧基础底板底标高为 1881.90 m，北侧底板底标高为 1881.217 m，由南向北基础底板有 0.5%坡度，基础底板厚度 600 mm。基坑面积约 21891.8 m<sup>2</sup>，基坑周长为 632 m，普挖深度为 11 m，电梯井等开挖深度约为 13 m。本基坑工程于 2012 年 2 月底开始施工支护桩。本基坑开挖分两次施工，第一次施工#9~#11 楼区域，第二次施工#7 和#8 楼区域。

基坑周边环境：基坑东侧为昌源中路，道路边线距基坑开挖底边线约为 28 m；西边小河位于基坑和昌源中路之间，距基坑开挖底边线约 14 m；紧邻西边小河的西侧有污水管线和煤气管线，距基坑开挖底边线为 12~13 m；加油站位于基坑东南角，加油站公用房距基坑开挖底边线约为 14.2 m，油罐区距基坑开挖底边线约为 11 m；南侧昌源花园小区#1 住宅楼，距基坑开挖底边线约为 18.4 m；南侧美丽新世界小区#31 住宅楼，距基坑开挖底边线约为 30 m。昌源花园和美丽新世界小区住宅，房屋为 7 层，预制桩基础。

1.2 工程地质条件

根据揭露的地层，基坑侧壁主要地层为杂填土①<sub>1</sub>、素填土①<sub>2</sub>、粉质黏土③<sub>1</sub>、有机质土④<sub>1</sub>、粉质黏土④<sub>2</sub>。除粉质黏土③<sub>1</sub>、④<sub>2</sub>外，其它地层自稳性差。除杂填土①<sub>1</sub>外，其它土层属微弱透水层。基坑侧壁及底部大多数地段分布有机质土④<sub>1</sub>层，其自然结构变化十分敏感，具触变性，工程性能差，易产生蠕动变形。各土层物理力学指标见表 1、2。

地下水主要为上层滞水和地表水。

2 基坑支护设计及监测点布置

北侧紧邻 A 地块，场地开阔，采用放坡+喷锚支护，其余各区段均采用放坡+桩锚的组合支护形式。顶部放坡为 1.5~2 m，桩顶设置平台，平台宽度为 1.5~4 m。采用拉力分散型锚索，竖向共设置 3 排，

竖向间距 2.5 m，水平间距 2.2 m，入射角度 15°~25°。支护桩均采用 Φ800 长螺旋灌注桩，间距 1.1 m，双排桩之间采用高压旋喷桩加固。止水帷幕采用 Φ500 单管高压旋喷桩，旋喷桩位于支护桩之间。

表 1 各土层物理指标

Table 1 Physical parameters of soils						
土层名称	土层	重度 /(kN·m <sup>-3</sup> )	液性指数 I <sub>L</sub>	塑性指数 I <sub>P</sub>	含水率/%	孔隙比 e <sub>0</sub>
杂填土	① <sub>1</sub>	19.5	—	—	—	—
素填土	① <sub>2</sub>	19.7	—	—	—	—
粉质黏土	③ <sub>1</sub>	20.1	14.5	0.17	23.8	0.684
有机质土	④ <sub>1</sub>	17.3	22.5	0.59	44.6	1.166
粉质黏土	④ <sub>2</sub>	19.5	15	0.45	27.9	0.743
黏土	④ <sub>3</sub>	18.7	19	0.43	34.3	0.898
粉土	④ <sub>4</sub>	20.5	6.8	0.83	20.4	0.554
泥炭质黏土	④ <sub>5</sub>	15.3	29.7	0.79	65.7	1.752

表 2 各土层力学指标

Table 2 Mechanical parameters of soils						
土层名称	土层	压缩模量 E <sub>s</sub> /MPa	直剪快剪		固结快剪	
			c/kPa	φ/(°)	c/kPa	φ/(°)
杂填土	① <sub>1</sub>	—	6	15	—	—
素填土	① <sub>2</sub>	—	10	8	—	—
粉质黏土	③ <sub>1</sub>	7.5	22	16	30	19
有机质土	④ <sub>1</sub>	4.0	12	6	20	10
粉质黏土	④ <sub>2</sub>	5.0	16	10	25	13
黏土	④ <sub>3</sub>	5.5	20	9	30	12
粉土	④ <sub>4</sub>	9.0	8	24	—	—
泥炭质黏土	④ <sub>5</sub>	3.5	10	4.5	12	5.5

基坑南侧靠近昌源花园小区段，锚索长度受到限制，采用双排桩+3 排拉力分散型预应力锚索的支护形式，控制预应力锚索长度不进入建筑基础下部，见图 1。

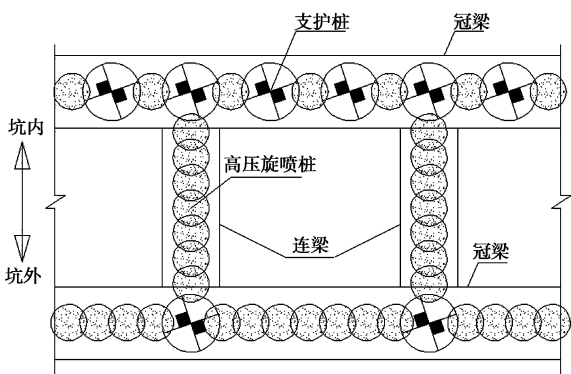


图 1 双排桩平面布置图

Fig. 1 Plane layout of double-row piles

为监测变形，沿基坑四周及邻近建筑物和主要道路布置沉降和位移监测点，基坑支护及监测平面图见图 2。

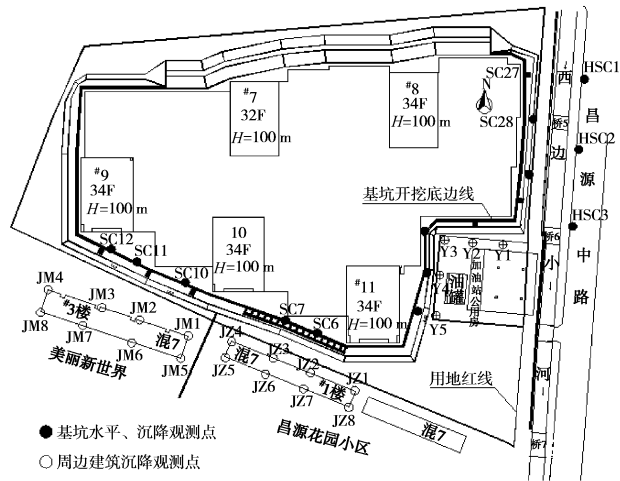


图2 基坑支护及监测平面布置图

Fig. 2 Plane layout of excavation retaining and monitoring

3 基坑监测分析

3.1 基坑变形监测分析

图3表明,昌源花园#1楼区段的SC6和SC7监测点的累计水平位移在40 mm以内,满足现行规范<sup>[13]</sup>水平位移控制标准;加油站和美丽新世界#31楼区段的SC10,SC11,SC12监测点累计水平位移在45~65 mm,均超过了位移控制标准<sup>[13]</sup>。

图4表明,基坑水平位移速率在开挖和锚索施工期间有较大波动,最大值为7.8 mm/d,远超过2~3 mm/d的控制标准<sup>[13]</sup>。结合现场施工分析原因:土方开挖较快,没有严格按设计工况施工;锚索成孔施工会扰动地层,锚索注浆压力较大,地面有冒浆现象;锚索张拉锁定时,施加预应力,会明显影响桩顶水平位移。

图5表明基坑各区段支护桩顶累计沉降随时间的变化情况。除昌源花园#1楼区段的累计沉降量14~15 mm满足现行规范<sup>[13]</sup>不大于20 mm的要求外,其余各区段均不满足,最大累计沉降约为30 mm。

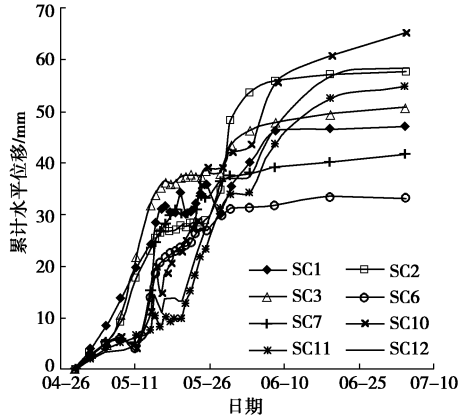


图3 基坑水平位移监测成果曲线

Fig. 3 Horizontal displacement-time curves of excavation

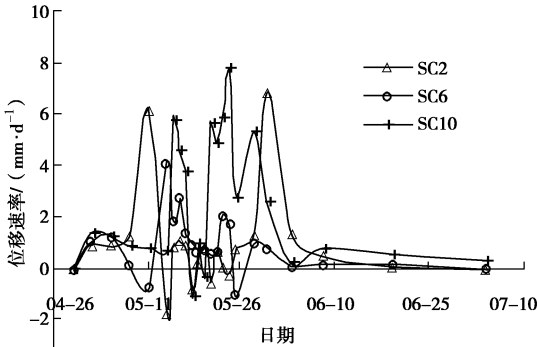


图4 基坑水平位移速率监测曲线

Fig. 4 Curves of horizontal displacement rate of excavation

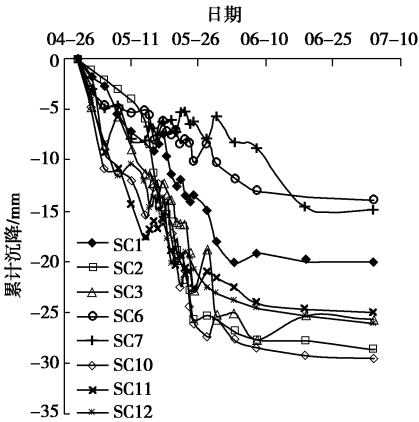


图5 基坑累计沉降监测成果曲线

Fig. 5 Vertical displacement-time curves of excavation

图3~5还表明双排桩支护区段的基坑水平位移和竖向位移均能得到有效控制;桩锚支护结构对控制基坑变形具有较大的局限性,深、大型基坑应慎重选用。

3.2 周边建筑监测分析

昌源花园#1楼距基坑开挖底线最近约18 m,是本次基坑开挖的重点监测对象。图6表明#1楼最大沉降点位于楼房西北角的JZ4监测点,沉降量为23 mm;最小沉降点位于东南角的JZ8监测点,沉降量为6.6 mm。各监测点局部倾斜率最大值为0.0015,满足现行规范<sup>[14]</sup>的要求。

图7表明#1楼各监测点沉降速率最大值约为1.2 mm/d,且沉降速率在4月15号、4月30号以及5月15号左右发生剧烈变动。结合现场施工分析原因主要为锚索成孔、注浆及张拉锁定施工所致。

从图2可以看出,JZ4监测点对应于双排桩和单排桩交界区,变化速率最为明显,而且沉降值最大。因此,双排桩和预应力锚索组合能有效控制邻近建筑物的变形,双排桩在设计时应超过邻近建筑物一定宽度。

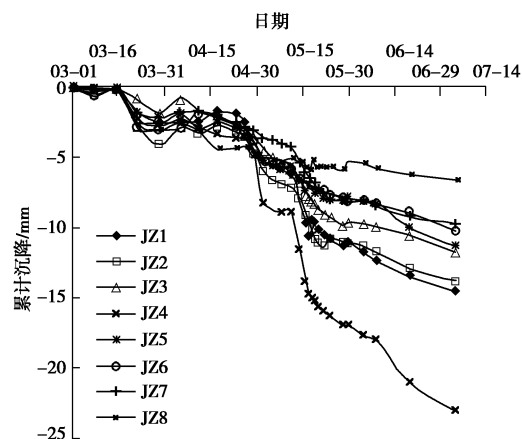


图 6 昌源花园#1 楼累计沉降监测成果曲线

Fig. 6 Vertical displacement-time curves of No. 1 building of Changyuan Garden

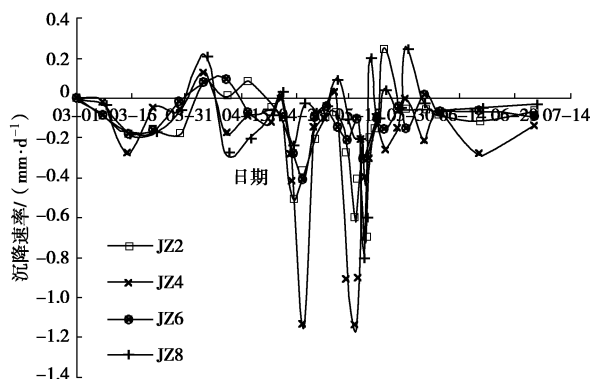


图 7 昌源花园#1 楼沉降速率曲线

Fig. 7 Vertical displacement rate curves of excavation of No. 1 building of Changyuan Garden

根据图 8 监测数据可知, 美丽新世界#31 楼最大沉降约为 3.6 mm, 沉降差约为 1.1 mm, 总沉降和沉降差均远小于昌源花园#1 楼监测数值。该#楼距基坑开挖底边线约为 30 m, 基坑开挖施工对楼房的影响并不明显。

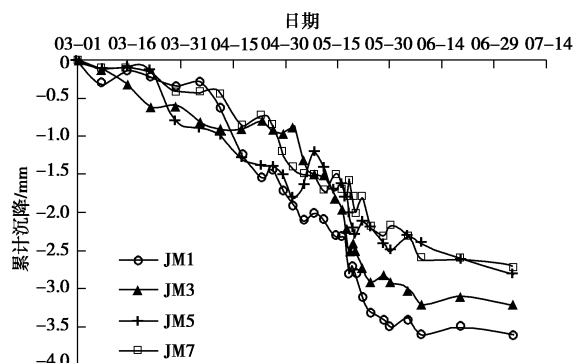


图 8 美丽新世界#31 楼累计沉降监测成果曲线

Fig. 8 Vertical displacement-time curves of the No. 31 building of Meilixinshijie Community

图 9 表明昌源中路累计沉降量最大值约为 3.5 mm, 3 个监测点的变化规律相似, 沉降差约为 1 mm。现场观测路面无因基坑开挖引起的开裂现象。

可见, 基坑开挖对 3 倍开挖深度左右的建筑物影响已经很小。

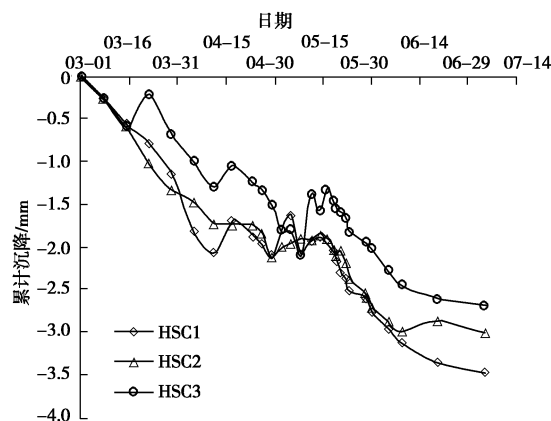


图 9 昌源中路累计沉降监测成果曲线

Fig. 9 Vertical displacement-time curves of Changyuan road

加油站区段由于空间限制, 未采用双排桩, 而且锚索伸入加油站基础下方。从图 10 来看, Y4 监测点最大沉降达 61 mm。现场观测, 引起了加油西侧围墙和内部地面裂缝, 但未影响加油站正常使用。图 11 表明加油站监测点沉降速率变化比较接近, 最大速率发生在第三排锚索施工期, 基础底板浇筑后, 沉降变化速率和累计沉降均趋于稳定。

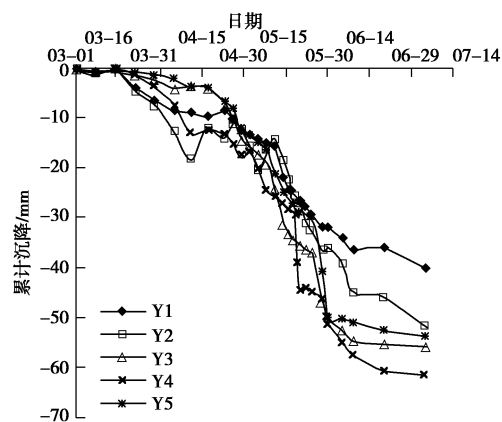


图 10 加油站累计沉降曲线

Fig. 10 Vertical displacement-time curves of gas station

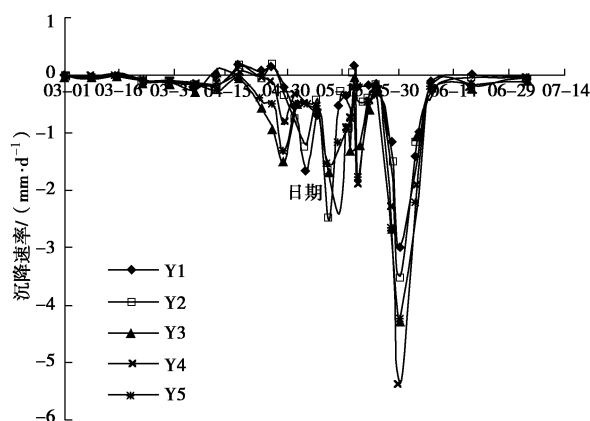


图 11 加油站沉降速率曲线

Fig. 11 Vertical displacement rate curves of gas station

## 4 结 论

本文以实际工程监测成果为基础,分析了单排桩+锚索及双排桩+锚索支护形式下基坑变形以及对周边环境的影响,同时阐述了锚索施工对基坑及周边建筑的影响,由此可以得到以下结论:

(1) 在支护空间有限的条件下,双排桩+预应力锚索的支护形式能够有效控制基坑水平位移,保护邻近基坑的建筑物。

(2) 锚索成孔、注浆及张拉锁定施工对基坑和周边建筑物的变形有较大的影响。因此,有必要探索先进的锚索施工工艺,以减小锚索施工的负面影响。

(3) 基坑开挖影响范围约为 3 倍基坑开挖深度,对距离基坑开挖深度 3 倍左右的建筑物影响很小。

(4) 局部采用双排桩控制邻近建筑物变形时,双排桩在设计时应超过邻近建筑物外侧边缘一定宽度。

## 参考文献:

- [1] 屠毓敏,王士宏.土钉支护结构极限支护深度的研究断续节理岩体的压剪断裂及其强度特性研究[J].岩土力学,2009,30(7):2087-2090.(TU Yu-mim, WANG Shi-hong. Limit protection depth of soil nailing protection structures[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(7): 2087-2090. (in Chinese))
- [2] 刘润,闫玥,闫澍旺.支撑位置对基坑整体稳定性的影响[J].岩石力学与工程学报,2006,25(1):174-178.(LIU Run, YAN Yue, YAN Shu-wang. Stability analysis of foundation pit with position change of braces[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(1): 174-178. (in Chinese))
- [3] 尹骥,管飞,李象范.直径210 m超大圆环支撑基坑设计分析[J].岩土工程学报,2006,28(增刊):1596-1599.(YIN Ji, GUAN Fei, LI Xiang-fan. Design and analysis of a 210 m-diameter circular strutted foundation pit[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(S0): 1596-1599. (in Chinese))
- [4] 邱佳荣,陈征宙,胡谢飞,等.基坑工程中双排桩支护结构的应用分析[J].建筑科学,2013,29(7):104-108.(QIU Jia-rong, CHEN Zheng-zhou, HU Xie-fei, et al. Application analysis of retaining structure with double-row piles in excavation engineering[J]. Building Science, 2013, 29(7): 104-108. (in Chinese))
- [5] 崔宏环,张立群,赵国景.深基坑开挖中双排桩支护的三维有限元模拟[J].岩土力学,2006,27(4):662-666.(CUI Hong-huan, ZHANG Li-qun, ZHAO Guo-jing. Numerical simulation of deep foundation pit excavation with double-row piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(4): 662-666. (in Chinese))
- [6] 叶新丰.拉力分散型锚索在铁路明挖基坑中的应用[D].北京:北京工业大学,2010.(YE Xin-feng. Application of tension dispersion-type anchor in railway open cut foundation pit[D]. Beijing University of Technology, 2010. (in Chinese))
- [7] 黄茂松,朱晓宇,张陈蓉.基于周边既有建筑物承载能力的基坑变形控制标准[J].岩石力学与工程学报,2012,31(11):2035-2041.(HUANG Mao-song, ZHU Xiao-yu, ZHANG Chen-rong. Deformation controlling criterion for excavation based on bearing capacity of adjacent buildings[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(11): 2035-2041. (in Chinese))
- [8] 郑刚,李志伟.坑角效应对基坑周边建筑物影响的有限元分析[J].天津大学学报,2012,45(8):688-699.(ZHENG Gang, LI Zhi-wei. Finite element analysis of adjacent building response to corner effect of excavation[J]. Journal of Tianjin University, 2012, 45(8): 688-699. (in Chinese))
- [9] BURLAND J B. Assessment of risk of damage to buildings due to tunneling and excavation [J]. Earthquake Geotechnical Engineering, 1997: 1189-1201.
- [10] 吴荣良.基坑开挖对周边建筑物安全性影响及评定方法研究[D].重庆:重庆大学,2012.(WU Liang-rong. Study of the safety assessment method of influence of foundation excavation on nearby buildings[D]. Chongqing: Chongqing University, 2012. (in Chinese))
- [11] CHO H N, CHOI H N, KIM Y B. A risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts[J]. Journal of Reliability Engineering and System Safety, 2002, 78(2): 173-183.
- [12] CHO H N, CHOI H N, SEO J W. Risk assessment methodology for underground construction projects[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2004, 130(2): 258-272.
- [13] GB50497—2009 建筑基坑监测技术规范[S]. 2009. (GB50497—2009 Technical code for monitoring of building foundation pit engineering[S]. 2009. (in Chinese))
- [14] GB50007—2011 建筑地基基础设计规范[S]. 2011. (GB50007—2011 Code for design building foundation[S]. 2011. (in Chinese))