

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.05.005

# 某深基坑桩锚支护结构监测分析

杨晓华, 陈 藤, 刘龙海, 田峰亮, 杨志青

(湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘 要:** 根据某深基坑桩锚支护结构的支护特点及其周边环境情况, 制定了相应的监测方案。重点对基坑护壁桩顶水平位移、基坑周边地表沉降及基坑附近原有建筑的位移进行监测。监测结果表明: 基坑周边变形最大位置处于基坑每边的中间部位和基坑阳角处; 预应力锚杆能够有效抑制支护结构的水平位移和沉降; 基坑周边附近建筑物位移受基坑开挖速度、锚杆设置时间等因素影响, 具有明显的时间效应和空间效应。监测结果为现场施工安全和合理组织施工提供了可靠的依据。

**关键词:** 深基坑; 桩锚支护结构; 结构监测; 沉降

中图分类号: TU47

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)05-0018-06

## Analysis on Monitoring of a Deep Foundation Pit with Pile-Anchor Retaining Structure

Yang Xiaohua, Chen Teng, Liu Longhai, Tian Fengliang, Yang Zhiqing

(School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** According to the characteristics and surrounding environment of a deep foundation pit with pile-anchor retaining structure, a corresponding monitoring program was developed. The monitoring project focused on the horizontal displacement of retaining pile top, the surface settlement around foundation pit and the original buildings displacement near the foundation pit. The results show that the maximum deformations occur in the middle position of each side and the corners of the foundation pit. The prestressed anchor effectively rejects the horizontal displacement and settlement of retaining structure. The displacements of buildings near the foundation pit are affected by the foundation pit excavation speed and the anchor bar setting time, etc. The displacements have obvious timeliness and spatial effects. The results provide a reliable basis for the safety construction and rational organization of construction.

**Keywords:** deep foundation pit; pile-anchor retaining structure; structure monitoring; settlement

## 0 引言

随着现代城市的快速发展, 城市空间越来越有限。在有限的空间进行工程建设, 不得不向地下发展, 于是出现了许多诸如地下商场、地铁、地下停

车场等地下建筑。大型地下建筑的建设首先需要行进行基坑支护和深基坑工程的开挖。在深基坑工程的施工过程中, 基坑内外的土体将由原来的静止土压力状态向被动土压力和主动土压力状态转变, 应力

收稿日期: 2013-07-02

作者简介: 杨晓华(1963-), 男, 湖南岳阳人, 湖南工业大学教授, 主要从事混凝土结构及结构计算方法研究,

E-mail: yangsheep@126.com

通信作者: 陈 藤(1987-), 女, 湖南衡阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为混凝土结构设计原理,

E-mail: chenteng19870919@163.com

状态的改变将引起土体的变形<sup>[1]</sup>。在深基坑施工过程中,为了保证基坑开挖的安全和质量,确保工程安全顺利地进行,需要及时评价基坑支护结构的有效性。因此,对基坑围护结构、周围土体和相邻建(构)筑物进行实时监测显得尤为重要。结构监测数据可以称为工程建设的“体温表”,被监测的构筑物是否处于安全状态都会在监测数据上有所反映<sup>[2]</sup>。对支护结构及其周围环境的监测数据加以分析并总结其内在规律,现已成为深基坑工程研究的主要方法之一<sup>[3-4]</sup>。

桩锚支护结构由护壁桩和预应力锚杆组成,其在深基坑支护工程中应用越来越广泛。在桩锚支护结构的深基坑施工中,首先进行护壁桩的施工,然后在基坑内分层卸土,在基坑侧壁自上而下按设计要求分层进行预应力锚杆的施工。由于护壁桩和预应力锚杆进入工作状态的先后次序不同及支护结构承受土压力的不断增加,护壁桩及各层锚杆的应力状态随基坑卸土深度的增加和下部预应力锚杆的不断加入而发生改变。因此,对深基坑桩锚支护结构的监测显得尤为重要。

本文依据某公共建筑深基坑工程在施工过程中基坑周边环境的监测数据,分析桩锚支护结构桩顶水平位移、周边土体表面沉降以及基坑周边建筑物位移的变化情况,研究基坑开挖过程中桩锚支护结构的变形规律和对周边环境的影响规律。

## 1 工程概况及工程地质条件

### 1.1 工程概况

本工程项目为某新建公共服务大楼,建筑层数为16层,下设地下停车场。建筑所处场地原本为山坡,西南面高,东北面低,地下停车场需要开挖的基坑深度随现场地形而改变,深度范围为8~13 m,最大深度在建筑的西南角。基坑平面尺寸东西向长约85 m,南北向宽约30.9 m。距基坑边界西侧约4 m处有相邻单位建设的一道3 m高的片石砌筑挡土墙,基坑边界西南角附近有2栋单层建筑,南侧距基坑边界11 m有一栋6层服务大楼,东侧紧邻基坑边有一条5 m宽车行通道;基坑北侧为城市主干交通道路,距基坑较远,可以不考虑基坑开挖的影响。根据建筑场地环境情况,桩锚支护结构设置在基坑的西、南、东三面;根据最终基坑边挡土高度的不同,护壁桩上分别设置1~4道预应力锚杆;桩锚支护挡土墙总长度约145 m。

### 1.2 工程地质条件

根据场地地质勘察报告得知,场地内地层自上

而下分别为素填土层、粉质黏土层、黏性土砾砂层和石灰岩层。场地内各土层天然地基承载力及主要物理力学性能指标代表值如表1所示。

表1 各土层主要物理力学性能指标

Table 1 Physico-mechanical parameters of construction site soil

| 土层序号 | 土层性质   | 状态    | 地基承载力特征值/kPa | 弹性模量/MPa | 内摩擦角/(°) | 黏聚力/kPa |
|------|--------|-------|--------------|----------|----------|---------|
| 1    | 素填土    | 松散-稍密 | 80           | 4.3      | 6.5      | 10.0    |
| 2    | 粉质黏土   | 硬塑    | 220          | 7.0      | 17.0     | 22.0    |
| 3    | 粉质黏土   | 硬塑    | 230          | 7.1      | 17.0     | 22.5    |
| 4    | 粉质黏土   | 可-软塑  | 120          | 4.8      | 10.0     | 16.0    |
| 5    | 含黏性土砾砂 | 中密    | 420          | 20.0     | 30.0     | -       |
| 6    | 石灰岩    | 微风化   | 5 000        | -        | -        | -       |

场地水文地质条件中等。素填土含上层滞水,为大气降水及附近生活用水补给,并向地势低洼处排泄;粉质黏土层含水量较贫乏,为相对隔水层;含黏性土砾砂为含水和强透水层,含较丰富的潜水;石灰岩裂隙中含少量基岩裂隙水。根据勘察报告,各孔的静止水位埋深在2.0~7.2 m之间。

场地内特殊性土表现为素填土、粉质黏土和含黏性土砾砂。素填土分布不均,承载力低,不宜作为基础持力层,基坑开挖时,在素填土部位应增大其放坡坡度。粉质黏土呈硬塑状和可-软塑状,分布不均,埋深较大,局部厚度较大,这给桩基础施工带来不利影响,在选用桩基础时应慎重考虑其易变形对施工的不利影响。含黏性土砾砂含水量大且为强透水层,桩基础施工的难度较大。护壁桩开挖影响深度范围的地质分布如图1所示。

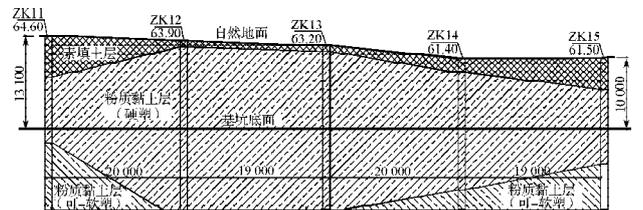


图1 护壁桩开挖影响深度范围的地质分布

Fig. 1 Geological distribution of retaining pile excavation depth range

## 2 基坑现场监测

### 2.1 基坑监测方案

基坑围护结构的稳定性不仅关系到工程的安全,而且还关系到基坑周边附近其他建筑物、道路及管道设施的保护等。因此,必须采取信息化管理方法

对基坑施工的全过程进行有效监测。基坑支护机构工程变形的监测点布置，应能反映监测对象的实际状态及变化趋势，并应满足监控要求。根据JGJ120—2012《建筑基坑支护技术规程》<sup>[5]</sup>第3.1.3条有关规定，确定本工程基坑安全等级为二级。结合GB 50497—2009《建筑基坑工程监测技术规范》<sup>[6]</sup>有关规定及设计方的要求，将监测点布置在支护结构内力及变形的关键特征点上。监测点的布置如图2所示，具体布置方法如下：

1) 沿深基坑支护结构顶部周围布置13个监测点，这13个监测点即可监测支护结构水平位移，又可监测支护结构的沉降；在桩锚支护结构各边的中部、拐角处布置监测点，监测点设置在护壁桩顶，各监测点的水平间距不大于20 m，且每边监测点数目不少于3个；土体深层水平位移监测点布置在基坑桩锚支护各边的中部及有代表性的部位上，该监测点的水平间距为20~50 m，每边监测点数目不少于1个。

2) 在基坑南面附近建筑物上布置3个水平位移和沉降共用监测点，以便监测基坑南侧附近原有6层建筑物的位移和沉降情况。

3) 沿基坑西侧临近小区挡土墙上布置3个水平位移和沉降共用监测点。各监测点水平间距为10~15 m。

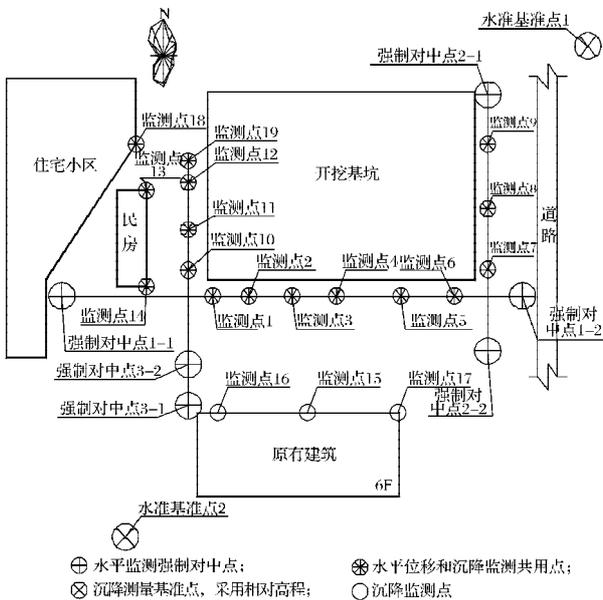


图2 监测点布置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of monitoring points arrangement

2.2 监测方法

根据GB50497—2009《建筑基坑工程监测技术规范》中的有关规定选择监测仪器及施测方法。沉降差采用DSZ2级水准仪加DS1级测微器进行观测，按测微法施测；水平位移采用DJ2级光学经纬仪进行观

测，按视准线法、小角法施测。水平位移监测基准点的埋设符合国家现行标准JGJ8—2007《建筑变形测量规范》<sup>[7]</sup>的有关规定。在监测现场设置强制对中的观测墩，采用精密光学装置进行对中检测，对中误差不大于0.5 mm。

3 监测结果分析

本工程深基坑监测目的有2个：基坑本体监测和周边环境监测。基坑本体监测包括对围护桩墙、支撑、锚杆、土钉、基坑内土层的受力和变形及地下水位的变化等情况进行监测，周边环境监测包括对深基坑周围地层、地下管线、周边附近建筑物、周边道路等位移和变形情况进行监测。结合本工程的实际特点，仅对深基坑桩锚支护结构的桩顶水平位移、沉降和基坑附近周边房屋建筑的沉降和水平位移进行监测。

3.1 护壁桩顶水平位移

图3给出了深基坑南侧支护桩顶6个监测点（监测点编号分别为D1~D6）的监测结果。

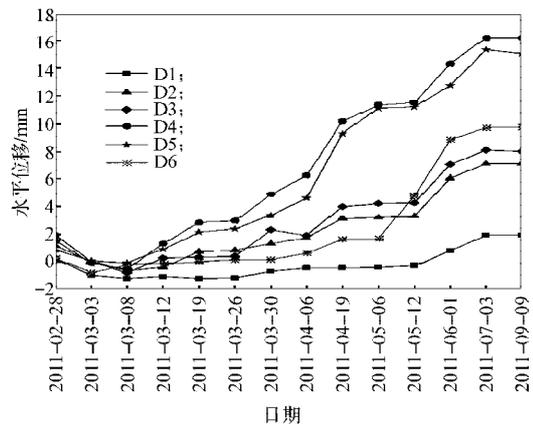


图3 南侧桩顶水平位移随时间变化曲线

Fig. 3 Curves for pile top horizontal displacement varying with time in south side

从图3可以看出，桩顶各监测点向基坑方向上的水平位移随基坑开挖时间呈现先增大，后部分减小，趋于稳定，然后再增大，再部分减小，趋于稳定的循序渐进过程。总体上桩顶水平位移随开挖时间呈不断增大趋势，到最后一排锚杆施工完毕后，桩顶水平位移的增势才慢慢缓解，直至最后趋于稳定。在建筑物地下室底板施工完毕后，基坑支护结构中间部分桩顶水平位移出现减小现象。出现这一现象的原因在于基坑刚开挖时，基坑内侧土体被挖除，基坑护壁桩开始处于悬臂状态，基坑外的土体对护壁桩产生土压力，使护壁桩有向基坑内侧滑移和弯曲变形的趋势。随着基坑开挖深度增加，基坑外的土

体对护壁桩产生的土压力不断加大,造成护壁桩顶的水平位移不断增加。当开挖到一定深度时,在护壁桩上进行第一排预应力锚杆施工,由于预应力锚杆的张拉作用,护壁桩身的弯曲变形很快得到控制并对基坑壁的土体产生较大的反压;对基坑继续进行开挖,当施工到一定深度时,护壁桩顶的水平位移又会变大,随着第二排预应力锚杆施工完成,护壁桩身的弯曲变形又得到控制并且又会有反压;随后基坑继续向下开挖。当建筑物地下室底板施工完毕后,由于地下室地板厚度较大(地板厚度约为1.5~2.0 m),地下室地板的刚度较大,对护壁桩的嵌固效果明显;再由于护壁桩支挡土体厚度减小,相应的土压力减小,在锚杆预加应力的作用下,使护壁桩顶的水平位移出现回缩现象。因此可以看出,预应力锚杆可有效地抑制护壁桩顶向基坑内侧的水平位移,提高支护结构的整体刚度。进一步研究表明,对第二排锚杆及时有效的锁定,可减少护壁桩体的整体水平位移。

从图3还可看出,桩顶水平位移变化的最大位置在D4监测点,该监测点处于基坑南侧边中部,监测发现D4点的最大水平位移为16.16 mm。国家现行规范要求深基坑支护结构累计水平位移应小于开挖深度的5‰和30 mm两者中的小值。根据监测结果可知,该深基坑支护结构满足国家现行规范的要求,结构一直处于安全状态。本监测结果与一般深基坑每边的中部、基坑阳角处变形较大的研究结论<sup>[8]</sup>相一致,说明在深基坑支护结构的设计和施工过程中,特别要注意深基坑每边中部的结构设置和位移控制。

### 3.2 护壁桩顶沉降

图4~6分别给出了基坑南侧、西侧和东侧护壁桩顶的沉降监测结果。

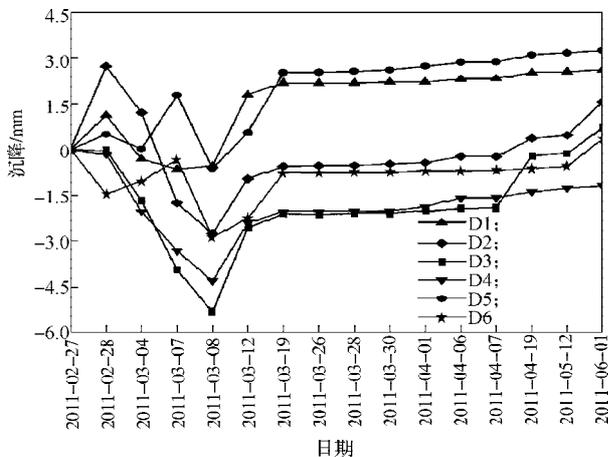


图4 南侧桩顶沉降随时间变化曲线

Fig. 4 Curves for settlement of pile top varying with time in south side

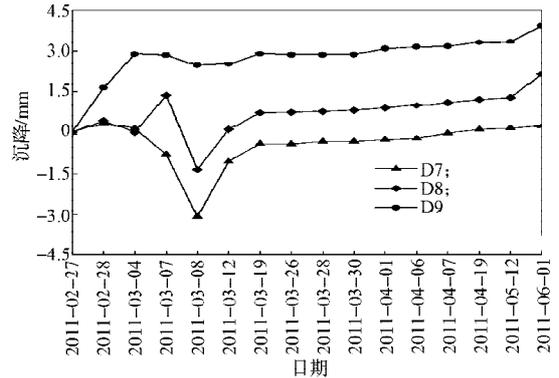


图5 西侧桩顶沉降随时间变化曲线

Fig. 5 Curves for settlement of pile top varying with time in west side

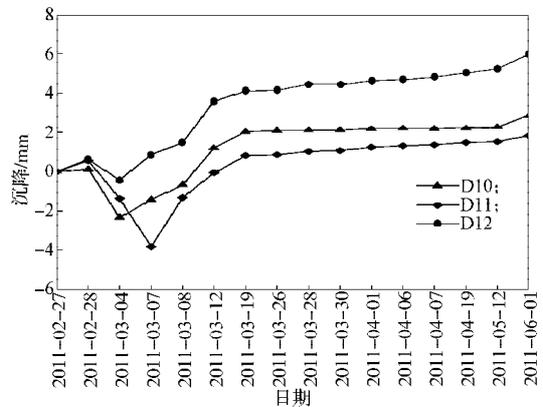


图6 东侧桩顶沉降随时间变化曲线

Fig. 6 Curves for settlement of pile top varying with time in east side

从图4~6可以看出,各监测点检测的桩顶沉降在基坑开挖的初期先不断增大,当第一道预应力锚杆施工完毕后,护壁桩顶的沉降开始减少,甚至有反弹的趋势;随着基坑深度的继续加大,桩顶沉降又开始增加,当第二道锚杆施工完毕后,护壁桩顶沉降略有反弹,然后桩顶沉降趋于稳定。产生这一现象的原因还是源于预应力锚杆对护壁桩顶沉降的抑制作用。同时,从图中还可看出,在监测点D3, D7, D11处产生最大沉降,这3个监测点分别处于基坑长边的中部和基坑边的转角处。由此可以判断,深基坑护壁桩顶及附近土体表面的沉降在基坑每边中部和基坑阳角处最大。在施工过程中,应加强在这些部位的监测和控制,如出现异常,立即报警,以防发生安全事故。

### 3.3 空间效应

结合其它项目的工程实践,对基坑周边附近建筑物沉降监测数据进行分析后发现,距基坑边界的远近,基坑支护结构的布置情况,时间效应和预应力锚杆施加有效预应力的的大小,对基坑周边附近建筑物沉降的影响较明显<sup>[9]</sup>。依据本工程的实际监测

数据,分别得到基坑边南侧和西侧附近建筑物沉降随时间的变化曲线,如图7~8所示。

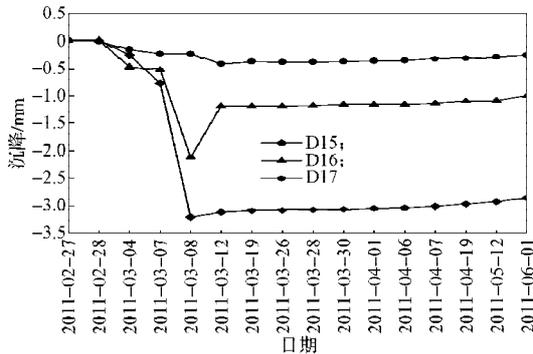


图7 南侧周边建筑物沉降变化曲线

Fig. 7 Curves for settlements of buildings near the foundation pit in south side

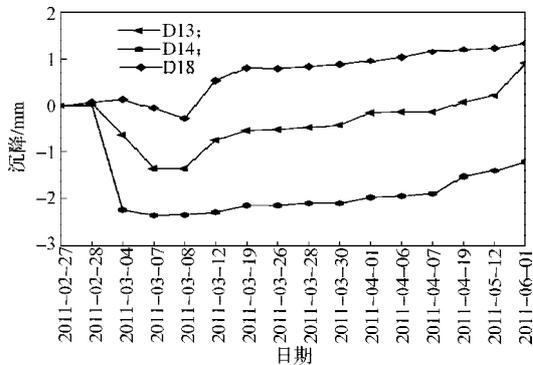


图8 西侧周边建筑物沉降变化曲线

Fig. 8 Curves for settlements of buildings near the foundation pit in west side

由图7~8可知,在基坑西南角的D14监测点和基坑南侧(基坑长边)的中部D15监测点,出现最大沉降,最大沉降值分别为2.36 mm和3.20 mm。理论分析表明,在基坑转角处、基坑边中部变形最敏感,这些地方附近的地面沉降也较大。基坑开挖后,基坑附近周边土体出现临空状态,紧靠基坑侧边的土体将向临空方向缓慢滑动,直接引起土体发生剪切破坏,导致基坑附近的土体变松软且压缩性增大,引起附近建筑物地基在原有荷载作用下产生新的沉降。距基坑边界越远,土体受基坑开挖的扰动程度越轻,土体整体稳定性就保持越好。由此可见,基坑周边附近建筑物的沉降受建筑物与基坑边界之间距离的影响较大,建筑距基坑越近,产生的沉降越大,其沉降变化具有明显的空间效应。

### 3.4 时间效应

由图7~8可知,在基坑开挖初期,基坑周边附近建筑物的沉降发展较缓慢,沉降量较小。在第一排预应力锚杆施工完成后,基坑南侧及西侧附近建筑物的沉降开始变明显,随后基坑周边附近建筑物的沉降趋于平稳。从沉降监测结果发生的时间上分析

表明,基坑周边附近建筑物的沉降与基坑开挖深度之间存在明显的滞后特性,即基坑周边附近建筑物发生的沉降差在基坑开挖一段时间后才表现出来。这主要是基坑在开挖的初期时段仅影响垂直基坑周边表面的土体,使基坑周边新开挖的土体进入临空状态,土体中的应力开始释放,裂隙逐步扩张,其后土体缓慢发生滑动剪切破坏,这些变化需要一个时间过程。因此,基坑周边附近土体产生滑移蠕变和剪切破坏存在一个滞后期,导致基坑周边附近建筑物的沉降过程具有明显的时间效应。

## 4 结论

该工程深基坑施工过程比较顺利,深基坑支护结构及附近地面的水平位移与垂直位移及基坑周边附近建筑物的沉降,均在国家现行规范允许的范围内,基坑支护结构安全稳定。基坑附近环境的监测结果详细真实,准确指导了深基坑工程的施工。结合监测结果分析可得以下结论:

1) 桩锚支护结构的水平位移和沉降受预应力锚杆的影响较大,在护壁桩上增加预应力锚杆能有效减少基坑支护结构向基坑方向产生的水平位移,并且能抑制护壁结构的整体沉降。通过观测护壁桩顶的水平位移和沉降,能够有效监测支护结构整体所处的状态,及时发现基坑附近出现的异常现象,并将信息反馈给施工单位,研究决定采取相应的措施以确保支护结构的安全。

2) 在基坑开挖施工过程中,基坑周边的最大变形出现在基坑每边的中间部位和基坑阳角位置。基坑支护结构设计时应对这些部位进行结构加强,施工时要特别注意其变形,以免发生安全事故。

3) 基坑周边附近建筑物的沉降受多种因素影响,如建筑物距基坑边界的距离、支护桩的布置情况、时间效应等。影响最大的是建筑物距基坑边界之间的距离,离基坑越近,沉降量越大。基坑周边附近建筑物的沉降过程具有明显的时间效应。基坑开挖的前期沉降较缓慢,沉降量较小;开挖一段时间以后沉降加快,沉降量明显增大;最后逐渐趋于稳定。

### 参考文献:

- [1] 安关峰,高峻岳.广州地铁公园前地下空间深基坑综合支护监测分析[J].岩土工程学报,2007,29(6):872-879.

An Guanfeng, Gao Junyue. Comprehensive Analysis of

- Deep Foundation Pits for Underground Space in Guangzhou [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(6): 872-879.
- [2] 刘国彬,王卫东. 基坑工程手册[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 108-159.
- Liu Guobin, Wang Weidong. Excavation Engineering Handbook[M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009: 108-159.
- [3] 李淑,张顶立,房倩,等. 北京地铁车站深基坑地表变形特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(1): 189-198.
- Li Shu, Zhang Dingli, Fang Qian, et al. Research on Characteristics of Ground Surface Deformation During Deep Excavation in Beijing Subway[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(1): 189-198.
- [4] 丁勇春,王建华,徐中华,等. 上海软土地区地铁车站深基坑的变形特性[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(11): 1871-1875.
- Ding Yongchun, Wang Jianhua, Xu Zhonghua, et al. Deformation Characteristics of Deep Excavations for Metro Stations in Shanghai Soft Soil Deposits[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2008, 42(11): 1871-1875.
- [5] 中华人民共和国行业标准编写组. JGJ120—2012 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 6-8.
- The Professional Standards Compilation Group of the People's Republic of China. JGJ 120—2012 Technical Specification for Retaining and Protection of Building Foundation Excavations[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012: 6-8.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50497—2009 建筑基坑工程监测技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009: 7-9.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. GB50497—2009 Technical Code for Monitoring of Building Foundation Excavation Engineering[S]. Beijing: China Planning Press, 2012: 7-9.
- [7] 中华人民共和国建设部. JGJ8—2007 建筑变形测量规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 9-16.
- Ministry of Construction of the People's Republic of China. JGJ8—2007 Code for Deformation Measurement of Building and Structure[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2007: 9-16.
- [8] 欧阳劲. 某基坑桩锚支护结构监测分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2013, 10(2): 87-91.
- Ouyang Jin. Monitoring and Analysis of a Deep Foundation Pit with Pile-Anchor Retaining Structure[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2013, 10(2): 87-91.
- [9] 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.

(责任编辑: 邓光辉)