

DOI: 10.11779/CJGE2014S2081

望京 A1-C-[#]4 地基坑工程锚杆拉力监测研究

张钦喜, 刘 新

(北京工业大学建筑工程学院, 北京 100124)

摘 要: 在北京地区深基坑工程是比较常见的, 目前深基坑工程相关的监测和理论研究不太成熟。通过对望京 A1 区 C 组团[#]4 地项目基坑支护工程中锚杆拉力的监测研究可知: 本工程极具特点, 两排锚杆的拉力变化趋势截然相反, 在一定程度上反映出现行规范的不尽详细之处, 也反映了基坑工程较强的地域特点; 工程中应加入桩身位移监测, 即保证工程安全, 又提供详细数据进行设计优化和减少少造价、工期; 建议今后有新进场施工的张拉机具时, 先采用锚杆轴力计对其锁定时的预应力损失进行量化, 并以此为依据适当优化施工参数; 由此可知目前的基坑工程存在很大的优化空间。研究结论也可类似工程设计提供参考和依据。

关键词: 深基坑工程; 桩锚支护; 锚杆拉力; 监测研究

中图分类号: TU470

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2014)S2-0466-05

作者简介: 张钦喜(1964-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 硕士生导师, 主要从事地基基础及地下工程等方面的教学与研究工作。E-mail: qinxizhang@126.com。

Monitoring study on anchor tension of deep excavation engineering of Wangjing A1-C-4 Project

ZHANG Qin-xi, LIU Xin

(College of Architecture And Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Deep-excavated foundation engineering is common in Beijing area, while the related monitoring and theoretical researches are not quite sound. Through the monitoring and researches on pulling force of bolts in the supporting project of foundation pit at Land No. 4 Group C, Wangjing A1 District, it is deducible that the project is quite distinctive as the change tendency of pulling force of the two lines of bolts are opposite. It is reflected by the incompleteness of the current regulations and the strong geographical characteristics of excavation projects. The displacement monitoring of piles should be introduced into the project so to ensure its safety and to provide detailed data for its design optimization and cost reduction. It's recommended that when the pulling machines in construction are available, axial force meters of bolts should be used firstly to quantify the pre-stressing loss locked so as to optimize the construction parameters properly in accordance. Therefore, it follows that there exists vast room for the optimization for the current excavated foundation engineering. The research results may provide reference and foundation for similar engineering design.

Key words: deep excavation engineering; pile-anchor support; anchor tension; monitoring study

0 引 言

在城市建筑群中, 由于要提高城市空间利用效率、克服场地狭小等困难, 高层建筑深基坑课题随之产生。深基坑课题所面临的困难和挑战也是前所未有的^[1-5]。国内外对深基坑课题进行了大量相关研究, 但目前深基坑理论方面仍然不太成熟完善, 不确定性因素影响依然很大^[6], 因此必然会造成项目设计施工的巨大浪费。

近几年, 在北京地区桩锚支护型式一直倍受工程技术人员青睐, 在大量实际工程中已得到了成功实践。但由于支护结构的安全、稳定受到多种因素的制约影

响, 人们对于此种支护结构存在的风险与安全问题的认识还处于发展阶段, 如支护结构的变形规律及安全问题不仅应考虑结构本身材料强度和土质参数等的静态影响, 还应考虑参数的时空变化给结构带来的不利影响。因此支护结构的设计要采用静态和动态设计相结合的理念, 并实时监控支护结构工作状态的变化情况, 为动态设计提供实时数据支撑^[7-10]。同时, 每个工程所积累的实际数据也可作为基坑工程设计、

基金项目: 国家自然科学基金项目(50678003)

收稿日期: 2014-07-28

施工理论分析的基础。

本文以北京望京 A1 区 C 组团#4 地基坑工程项目为对象, 通过原位测试分析方法, 研究了桩锚支护的锚杆张拉锁定后轴力的时空变化规律, 以此为工程安全提供实时预警, 也为当前的设计施工理论研究和规范修编提供参考和依据。

1 工程概况

望京 A1 区 C 组团#4 地项目位于北京市朝阳区望京, 望京街与阜通东大街交叉路口的东南角。场地地处北京东北部, 地势平坦。根据勘察报告, 勘探深度 (46.00 m) 范围内的土层可划分为人工堆积层和第四纪沉积层两大类, 按岩性、工程性质指标划分为 9 个大层。

北侧围墙外为小区道路, 宽度约 15 m; 西侧围墙外阜通东大街, 路面宽度约 70 m, 路面下都埋设雨水、污水、通信等管线; 西南角围墙外为市政路, 路面宽度约 15 m, 路面下埋设路灯、雨水、通信等管线; 南侧围墙外望京街, 路面宽度约 60 m, 路面下埋设通信、雨水、污水、消防、自来水等管线; 东北侧围墙外为小区道路, 路面宽度约 7 m, 路面下埋设雨水、暖气、自来水、污水等管线; 东南角围墙外为小区道路, 路面宽度约 23 m, 路面下埋设雨水、污水、电力通信、自来水等管线。东侧北段为 2 层幼儿园和 3 层首开志信办公楼, 幼儿园无地下室, 志信办公楼 1 层地下室, 距离基坑 15 m; 东侧南段为望京东园 624 号楼, 距离基坑 28 m; 北侧东段为望京东园 612 号楼, 距离基坑 20 m。

基坑深 13.56~14.86 m, 为复杂的深大基坑, 基坑工程安全等级为一级, 且其周边交通道路、埋藏管线较多, 对基坑支护结构的水平位移的影响敏感, 因此基坑边坡支护基本上都采用桩锚支护型式, 局部区段采用复合土钉墙。根据基坑深度不同, 主要设计了 3 种不同的支护剖面, 如图 1 所示。

2 监测方案

监测所用仪器和设备详细信息见表 1 和图 2。

表 1 监测仪器及设备信息

Table 1 Information of monitoring instruments and equipments

序号	监测项目	仪器名称	仪器型号	产地	仪器精度
1	锚杆轴力	锚杆轴力计	ZX-12	金坛	±1 kN
2	锚杆轴力	测度仪	406c	金坛	±1 Hz

由于要监测的项目主要是工作状态锚杆轴力的时空变化, 为了监测更具代表性和设备的安全、受现场施工影响小, 在锚杆施工完后、张拉前, 初选了如图

2 所示的 22 处锚杆作为此次监测的对象, 见图 2。其中包括初选每层 8 个锚杆安装应力计, 另外, 在施工过程中, 依据现场情况增加部分监测点, 2 层锚杆实际共计安装锚杆轴力监测装置 22 个 (图 3)。

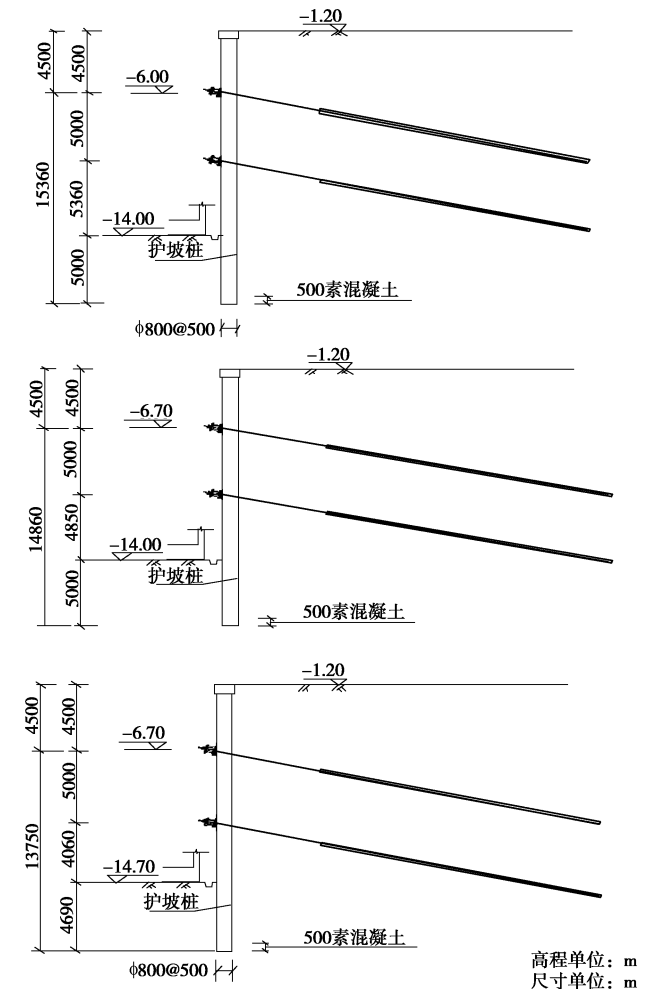


图 1 3 种不同的支护剖面
Fig. 1 Three kinds of supporting faces

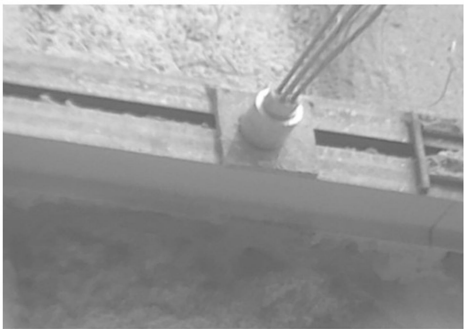


图 2 监测仪器样图
Fig. 2 Sample photo of monitoring instruments

仪器的安装一般在锚杆张拉锁定时进行。提前将锚头拉力计安装在锚杆端部, 张拉锁定后, 即可由拉力计上的数字信号线, 通过专用数据采集器, 将采集到的数据转换为锚杆拉力。具体安装大样见图 4。

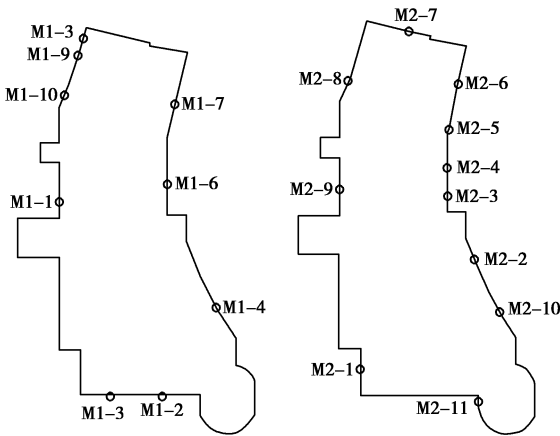


图 3 监测点位置图

Fig. 3 Position of monitoring points

在整个基坑开挖过程中，设计锚杆轴力监测的频率为 1 次/2 d；在遇到较大规模降雨天气或者支护结构位移、内力变化较大时，轴力监测频率为 1 次/1 d，当监测数据趋于稳定后，监测频率就加大了。实际在施工过程中由于施工不当或其他原因造成 2 个锚杆测力计无法正常读数，导致有效监测点为 20 个，有效利用率 91%。



图 4 监测仪器安装大样

Fig. 4 Installation details of monitoring instruments

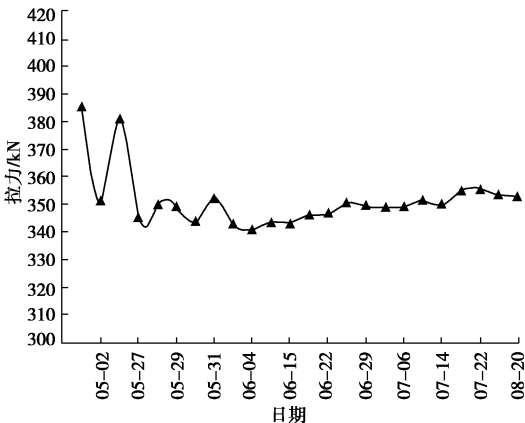


图 5 3-1 锚杆拉力变化曲线

Fig. 5 Curve of axial force of 3-1 anchor

3 监测成果

锚杆轴力计和测度仪安设完毕后，立即开始收集初始数据。随着基坑的开挖，实时跟踪测度仪的数据

变化，监测工作历时 2 个半月。初始数据经过整理、计算和分析，得出各锚杆拉力随着时间的变化规律。下面选出了有代表性的第一排锚杆 3-1、8-1、9-1 与第二排锚杆 2-4、2-7、2-8 的曲线图做本文分析对象，详见图 5~10。

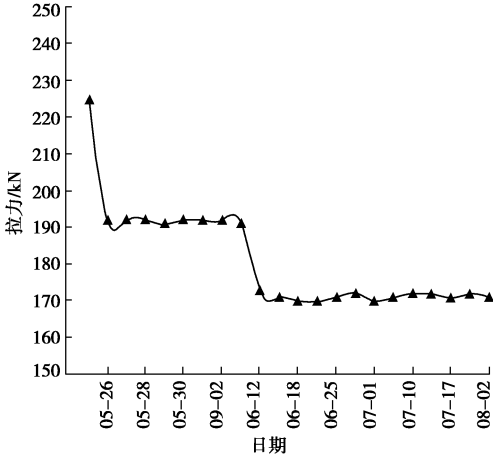


图 6 8-1 锚杆拉力变化曲线

Fig. 6 Curve of axial force of 8-1 anchor

4 监测成果分析

通过对锚杆轴力 - 时间关系曲线的对比分析发现，锚杆轴力的变化趋势主要分为两种：①锚杆轴力随着时间而减少，并在一段时间后趋于稳定，呈现此趋势的锚杆绝大部分为第一排锚杆，如图 5~7 所示；②锚杆轴力随着时间而逐渐增大，在一段时间后轴力也趋于稳定，轴力增大的幅度为 20~40 kN，呈现此趋势的锚杆绝大部分为第二排锚杆，如图 8~10 所示。

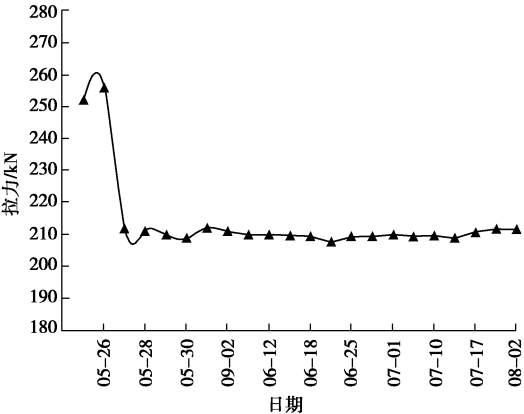


图 7 9-1 锚杆拉力变化曲线

Fig. 7 Curve of axial force of 9-1 anchor

这两种变化趋势截然相反，反映出了在支护方案设计中可能存在的问题。依照国家标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120—2012 及地方标准《北京地区建筑基坑支护技术规程》DB11/489—2007 中提出的计算方法及理论，应该是随着基坑的开挖，护坡桩向基坑内变形，从而使锚杆拉力增大。这个理论与第二种变

化趋势是相符合的, 换言之, 第二排锚杆处的锚杆拉力变化及桩身变形更接近于规范方法中的假设。但是对比方案中锚杆拉力的增加幅度, 实际监测数据 20~40 kN 是远小于设计值的, 这说明对于该工程所在地区的地质条件及工程采用的支护型式而言, 依照现行上述规范计算得来的第二排锚杆拉力设计值还是偏安全的, 具有一定的安全储备。

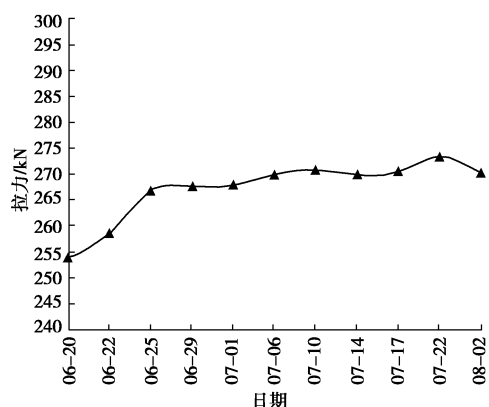


图 8 2-4 锚杆拉力变化曲线

Fig. 8 Curve of axial force of 2-4 anchor

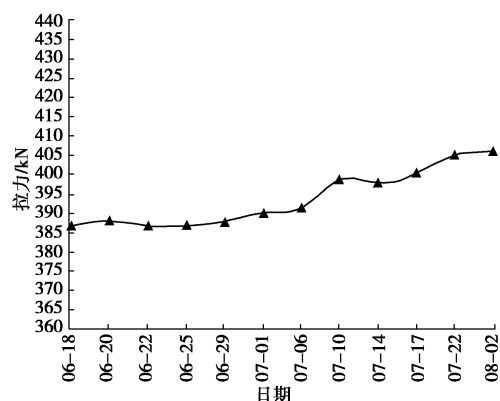


图 9 2-7 锚杆拉力变化曲线

Fig. 9 Curve of axial force of 2-7 anchor

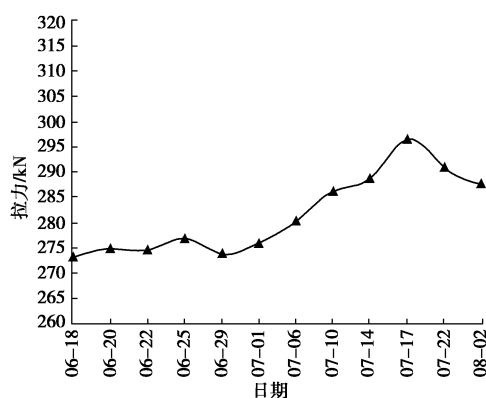


图 10 2-8 锚杆拉力变化曲线

Fig. 10 Curve of axial force of 2-8 anchor

而对于第一排锚杆而言, 即呈现第一种变化趋势, 锚杆拉力随着时间的变化而减小, 这与从现行规范中的得来计算模型及其结果是截然相反的。标准规范中

提及的锚杆轴力变化趋势主要原因在于由于护坡桩变形导致锚杆被拉长, 从而使预应力增加。针对产生第一种变化趋势的原因, 根据实际情况做出了如下两种假设:

(1) 假设 1

锚杆的锚固段并没有完全锚固在稳定土层之中, 而是随着锚杆锁定端的位移锚杆锚固段与周围土体之间进行了滑移移动。锚杆锚固段滑移位移量的增大, 致使由护坡桩变形引起的锚杆自由段伸长量被抵消了, 从而导致锚杆自由段的应变减小, 从而导致锚杆自由端本身的预应力减少, 故而锚杆拉力随着时间而减小, 最后趋于稳定。

(2) 假设 2

由于初始施加于锚杆的预应力过大, 即初始预应力不仅可以抵消掉基坑侧边的土压力, 而且还有剩余的应力作用于基坑侧边, 导致护坡桩桩身不仅没有如计算模型预计的那样向坑内变形或者变形很小, 而且因为有剩余的拉力作用于土体, 使得桩身反而向坑外产生了一定的位移量。这个位移的方向就是使锚杆自由段的应变减小的方向, 导致自由段应变减小, 从而预应力无法增加反而减小, 最后趋于一个稳定的值。此稳定的锚杆轴力值正好与其所承担的土压力值平衡。另外, 也要考虑到工字钢梁变形、混凝土收缩变形及土地蠕变等因素可以导致锚杆预应力水平降低。两者综合作用, 致使锚杆拉力逐渐减少, 待钢梁、混凝土、土体的变形稳定后, 锚杆拉力也趋于稳定。

针对假设 1, 考虑到两排锚杆由同样的人员、成孔设备、张拉设备完成, 且第一排锚杆的锚固段深入砂层, 较第二排锚杆锚固段深入的黏土层而言, 其稳定性及摩阻力均优于黏土层, 因此假设 1 成立的可能性较小。

针对假设 2, 由于本工程没有进行桩身位移的监测, 我们无法量化第一排锚杆处桩身位移。但是通过对比其他与本工程采用相同支护方式且地质条件相似的工程发现, 开挖深度越大的基坑, 其锚杆拉力越大, 较大的锚杆拉力限制了桩身变形, 个别基坑桩身位移最大处仅为 7 mm, 远小于计算值与控制值。这类基坑锚杆的变化趋势与本工程的第一排锚杆的变化趋势是相似的, 均为随着时间而减少, 然后趋于稳定, 最后的稳定值也远小于设计值。通过上述对比, 假设 2 成立的可能性是比较大的。

假设 2 的成立, 说明第一排锚杆锁定荷载过大, 提供的支点水平反力过大, 尚存在优化设计的空间。

5 结 论

本文以望京 A1 区 C 组团#4 地基坑支护工程为背

景,通过现场监测支护锚杆轴力随时间的变化过程,研究了不同排锚杆轴力的变化差别,并得到了以下的5点结论。

(1)本工程是极具特点的一个工程,两排锚杆的拉力变化呈现截然相反的态势,在一定程度上反映了现行规范在计算锚杆拉力值得规定上有不尽详细之处,也反映了基坑工程较强的地域性特点,一部规范,不可能放之四海而皆准,在不同地区、同一地区的不同场地、甚至同一场地的不同区段都会存在差别,尚需各地研究者采用原位测试的方法收集大量数据,总结经验,加以完善。

(2)本工程锚杆内力变化呈现极具特点的变化趋势,但苦于没有桩身位移数据,无法继续分析。建议在以后的工程中加入桩身位移监测,即保证工程安全,又可提供详细数据进行设计优化,可以减少造价、工期。

(3)在采用张拉机具进行张拉锁定时,均会产生一定的预应力损失,而且在工字钢梁、混凝土梁上产生的损失值不一样。建议今后有新进场施工的张拉机具时,先采用锚杆轴力计对其锁定时的预应力损失进行量化,并以此为依据适当优化施工参数。

(4)基坑的监测是施工信息化的重要内容,是为基坑的安全稳定提供预警的重要手段。现场监测数据能很好地反映支护结构的工作状态,也可以为下一阶段完善理论计算及改进施工方法提供基础数据。

(5)加强锚杆轴力计及其电缆的保护。

参考文献:

- [1] 张钦喜,佟德凯,熊宗喜,等. 亚奥广场护坡桩内力及锚杆拉力测试与分析[J]. 北京工业大学学报, 2006, 32(增刊 2): 110 - 114. (ZHANG Qin-xi, TONG De-kai, XIONG Zong-xi, et al. Measurement and analysis of the stress in retaining pile and the force of anchor at a deep excavation of Yaa Building[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2006, 32(S2): 110 - 114. (in Chinese))
- [2] 陆培毅,顾晓鲁,钱征. 天津港务局综合业务深基坑支护与监测[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(3): 323 - 327. (LU Pei-yi, GU Xiao-lu, QIAN Zheng. Design and monitoring of deep foundation pit in Tianjin port office multiple building[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 21(3): 323 - 327. (in Chinese))
- [3] 郝文朝,高华东. 北京城铁东直门车站土压力现场监测[J]. 建筑技术, 2003, 34(2): 113 - 114. (HAO Wen-chao, GAO Hua-dong. In-situ measurements of earth pressure on retaining structure at Dongzhimen Subway Station in Beijing[J]. Construction Technology, 2003, 34(2): 113 - 114. (in Chinese))
- [4] 张明聚,郭忠贤. 土钉支护工作性能的现场测试研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(3): 319 - 323. (ZHANG Ming-ju, GUO Zhong-xian. In-situ measurement and test study on the working behavior of soil-nailing wall[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(3): 319 - 323. (in Chinese))
- [5] 杨耀辉,马昕,周予启. 中国石油大厦复合土钉支护现场监测与分析[J]. 岩土工程技术, 2006, 20(1): 9 - 12. (YANG Yao-hui, MA Xin, ZHOU Yu-qi. Field measurements and theoretical analysis of internal force of composite soil-nailing at Zhongshiyu foundation pit[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2006, 20(1): 9 - 12. (in Chinese))
- [6] 张钦喜,陈鹏,尹文彪. 国贸中心三期基坑支护工程监测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(11): 2319 - 2326. (ZHANG Qin-xi, CHEN Peng, YING Wen-biao. Monitoring and study for support engineering of deep excavation of China World Trade Center Tower phase 3[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(11): 2319 - 2326. (in Chinese))
- [7] 张钦喜,梁德周,许超. 桩锚支护结构在回填土地区的应用[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(增刊): 358 - 363. (ZHANG Qin-xi, LIANG De-zhou, XU Chao. Application of pile-anchor system in backfilling areas[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(S0): 358 - 363. (in Chinese))
- [8] JGJ120—2012 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. (JGJ120—2012 Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1999. (in Chinese))
- [9] 潘旭亮,张钦喜,杜修力,等. 桩锚支护结构内力和变形试验分析[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(增刊): 277 - 281. (PAN Xu-liang, ZHANG Qin-xi, DU Xiu-li, et al. Experimental study on internal force and deformation of anchored bracing piles[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(S0): 277 - 281. (in Chinese))
- [10] 张丽丽,张钦喜,马庆迅. 桩锚—土钉组合支护中土钉受力规律[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(9): 1338 - 1342. (ZHANG Li-li, ZHANG Qin-xi, MA Qing-xu. Soil nail's axis force of pile-anchor composite soil nailed wall[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2011, 37(9): 1338 - 1342. (in Chinese))