

深厚杂填土基坑位移控制设计与施工技术

孙剑平¹, 邵广彪^{1*}, 江宗宝²

(1. 山东建筑大学土木学院, 山东 济南 250101; 2. 山东建大工程鉴定加固研究所, 山东 济南 250014)

摘要: 杂填土场地具有无规划堆积、成分复杂、性质各异等特点, 其黏聚力和内摩擦角数值较低, 在基坑支护工程中极易产生变形和沉降。济南某工程场地为建筑及生活垃圾回填场地, 回填年限约 30 a, 基坑开挖处杂填土厚度约为 18~20 m, 距坡顶边线 3.0 m 有毛石挡墙一道, 毛石挡墙外侧地面高出基坑坡顶约 3.0~3.5 m, 由于该基坑需垂直开挖, 开挖深度约 11 m, 基坑变形对毛石挡墙及外侧地面和道路的影响较明显, 需对该深厚杂填土基坑进行位移控制设计。充分考虑该基坑工程地质及周边环境后, 采用桩锚支护方案, 同时结合主动区和被动区注浆加固, 达到位移控制目标。通过基坑监测数据, 该基坑位移控制取得理想效果, 可为相似工程地质的基坑支护工程提供可靠的技术参考。

关键词: 杂填土; 基坑; 位移控制; 主动区加固; 被动区加固

中图分类号: TU473 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2012)S0-0576-05

作者简介: 孙剑平(1963-), 男, 山东临沂人, 教授, 主要从事基坑工程、地基基础加固和建筑物纠倾设计与研究工作。E-mail: jpsun1@263.net。

Design and construction technology of displacement control in deep miscellaneous fill foundation pits

SUN Jian-ping¹, SHAO Guang-biao¹, JIANG Zong-bao²

(1. School of Civil Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China; 2. Institute of Engineering Identification and Reinforcement of Shandong Ji'anda, Jinan 250014, China)

Abstract: Displacement and settlement are easily generated in foundation pits at miscellaneous fill site because of arbitrary fills, component complexity and heterogeneous characteristics and have lower cohesive force and internal friction angle. There is a foundation pit with deep miscellaneous fill in Jinan. The fills are construction wastes and domestic refuse for 30 years and the depth is up to 18~20 m. The pit needs to be excavated to more than 11 m in depth. There is a freestone retaining wall 3.0 m away from the slope top and the wall is 3.0~3.5 m higher than the slope crest. Design of displacement control is required in deep miscellaneous fill site due to damages of freestone retaining wall and road induced by large deformation of the pit. According to engineering geology and surrounding environment, the pile-anchor support is used and the reinforcement in active and passive zones are taken into account simultaneously. Through the monitoring data, the displacement control of the pit achieves better results, and it may provide reference for similar projects.

Key words: miscellaneous fill; foundation pit; active zone reinforcement; passive zone reinforcement

0 引言

在基坑支护设计与施工过程中, 除必须满足基坑边坡的抗滑移、抗倾覆等整体稳定性要求外, 由于周边环境的复杂性, 尚需对基坑支护结构的位移进行严格控制, 避免周边土体变形过大, 从而对周边环境造成较严重的影响。该类基坑危害实例如长沙某基坑工程^[1], 该基坑采用桩锚支护形式, 虽未产生倾覆、倒塌等重大事故, 但基坑侧向变形达 65~325 mm, 造成周边道路开裂; 类似事故还可参见北京地区某基坑工程^[2], 因此在环境复杂地区基坑位移控制尤为重要。

杂填土在基坑支护工程虽为不利土层, 但一般情

况下杂填土属人类活动产生的各种垃圾与土体的混合物, 其厚度较薄, 对基坑边坡的整体稳定性及变形影响较小。

但随着城市建设的迅速发展, 过去作为建筑垃圾、生活垃圾及工业废料的堆放场所也逐渐成为工程建设用地。济南某工程场地西半部分为垃圾回填场地, 回填厚度约 18~20 m。该基坑需垂直开挖, 开挖深度约 11 m, 而基坑坡顶外侧为相邻单位的行车道路和建筑

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51008183)

收稿日期: 2012-08-24

*通讯作者

物桩基础, 杂填土的性质对基坑支护体系的整体稳定性和位移控制均产生极不利影响。

针对该基坑特殊的工程条件和周边环境，首先进行了支护方案概念设计，确定了以桩锚支护为主，同时结合主动区加固和被动区加固的方案；通过采用合理的施工工艺使各项支护工程顺利完成，目前基坑已基本施工完毕，通过相关的监测数据表明，该基坑不仅整体稳定安全性满足要求，而且对位移控制达到预期目标。

1 工程概况

1.1 工程简介

某项目基坑位于济南市英雄山路西侧, 基坑南北长约 210 m, 东西宽约 100 m, 基坑挖深约 11 m, 基坑周边环境见图 1 所示。场地西部原为泄洪沟, 后河道改线后成为垃圾回填场地, 回填成分主要有建筑垃圾、灰渣和生活垃圾, 回填年限最长约 30 年, 回填厚度约 18~20 m。

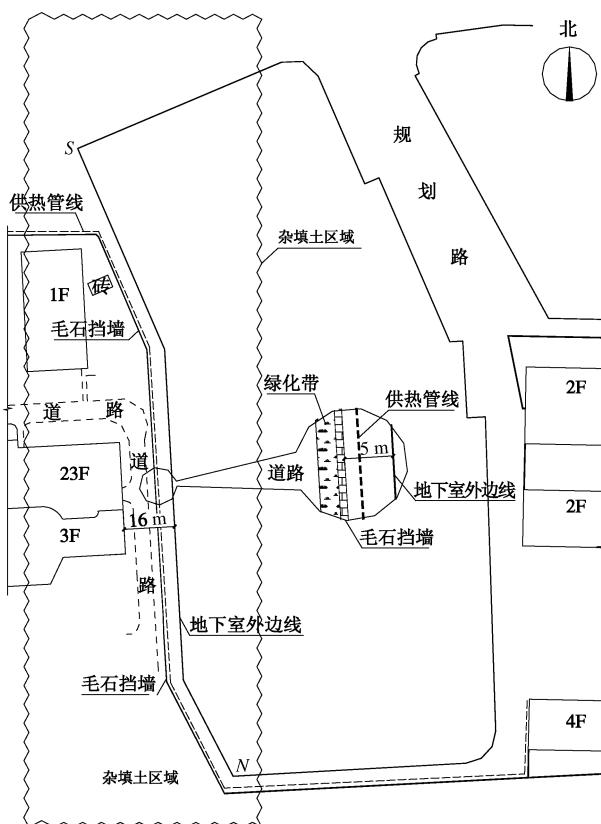


图 1 基坑周边环境平面布置图

Fig. 1 Surrounding environment of foundation pit

场地西侧距拟建地下室外边线约 5.0 m 有毛石挡墙一道, 挡墙西侧为某单位院内道路及绿地, 道路标高高出基坑坡顶约 3.0~3.5 m; 西侧院内中部有 23 层办公楼及 3 层附楼, 该建筑物在杂填土区域采用人工挖孔灌注桩基础, 桩基础距地下室外边线约 15.5 m。

基坑西侧坡顶尚有热力管线一道，距毛石挡墙约 1.2 m。

基坑东半部分为原状土, 土性参数较好, 此处设计属常规设计, 本文不再论述。

1.2 工程地质条件

根据该工程场地的勘察报告, 勘察深度范围内未见地下水, 其中场地西侧土层剖面分布情况见图 2 所示, 除西侧南段 50 m 左右杂填土厚度约 12.0~14.0 m 外, 西侧其余部位杂填土厚度约为 17.0~19.5 m, 土层情况自上而下简述如下。

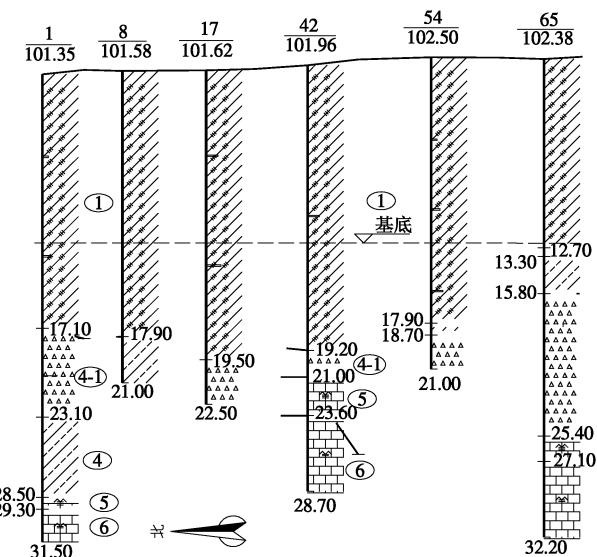


图 2 基坑西侧地质剖面图

Fig. 2 Geological profile at west side of foundation pit

①杂填土: 杂色, 松散, 稍湿, 主要以建筑垃圾, 灰渣为主, 局部混少量生活垃圾, 混少量黏性土及块石。③层黄土状粉质黏土: 场地南段局部分布, 厚度0.5~1.6 m, 黄褐色, 可塑, 稍有光泽, 干强度及韧性中等。④层粉质黏土: 场地南段局部钻孔分布, 棕黄—浅棕红色, 硬塑, 无摇振反应, 干强度及韧性中等。④-1碎石: 分布较普遍, 青灰色, 中密—密实, 湿, 母岩成分为石灰岩, 呈棱角或次棱角状, 粒径约3~5 cm, 最大粒径>10 cm, 含量约58%~66%。⑤强风化石灰岩: 青灰色, 灰黄色, 隐晶质结构, 中厚层构造, 灰岩顶面裂隙较发育, 场区普遍分布, 层底埋深19.70~40.10 m。⑥中风化石灰岩: 青灰色、灰黄色, 隐晶质结构, 中厚层构造, 节理裂隙发育, 由方解石充填, 岩体基本质量等级为III级。

根据基坑西侧建筑物施工记录, 其主楼和附楼均采用人工挖孔灌注桩, 杂填土厚度一般为 $18\sim20\text{ m}$, 因此, 本基坑工程西侧边坡以外较远范围内均为深厚杂填土。勘察报告对该杂填土提供的物理力学指标如下: 黏结力 c 为 0 kPa , 内摩擦角 φ 为 8° , 因此该层

杂填土将对边坡的整体稳定及位移控制造成极不利影响。

2 基坑支护方案概念设计

2.1 基坑特点

基桩西侧边坡具有以下特点：

(1) 地质条件较差。大部分地段杂填土厚 18 m 以上, 而且分布范围较远, 锚索施工范围内均为杂填土, 锚索成孔施工难度较大, 同样长度的锚索所提供的锚固力相对较低。

(2) 周边附加荷载较大。坡顶毛石挡墙边线距基坑坡顶约 3.0 m, 挡墙顶部有砖围墙一道, 挡墙外土层厚度 3.0~3.5 m, 挡墙外为某单位院内行车道路, 坡顶现状见图 3 所示。因此距基坑坡顶 3.0 m 相当于存在附加荷载约 60 kPa, 同时尚需考虑院内道路上的车辆荷载 20 kPa。

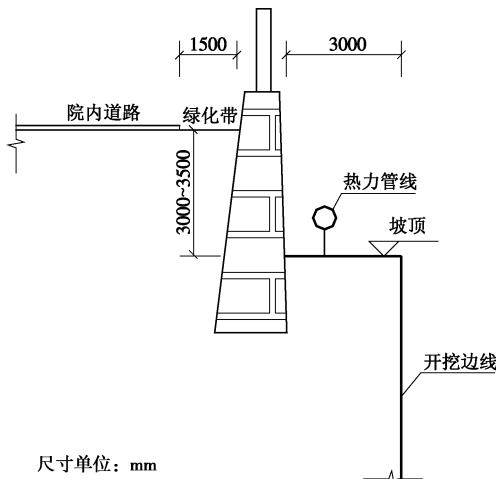


图 3 基坑坡顶环境图

Fig. 3 Details of slope crest of foundation pit

(3) 周边环境相对复杂。毛石挡墙砌筑年限约 13 a, 由于挡墙基底仍为杂填土, 故挡墙现状可见明显斜裂缝, 成因则主要为下部杂填土的不均匀沉降; 毛石挡墙整体性较差, 若基坑位移过大将引起毛石挡墙裂缝进一步加大, 甚至局部破坏, 同时将引起挡墙外侧行车道路不均匀沉降、开裂, 从而造成单位纠纷。另外挡墙内侧坡顶地面有热力管线一条, 为独立管道支架支撑, 同样需要避免过大位移。

(4) 其他不利因素: ①紧邻挡墙外侧院内地面上有宽约 1.5 m 的绿化带, 绿化带定期浇水及雨水将渗至边坡内, 对基坑整体稳定性及变形产生不利影响。②西侧某单位的主楼及附楼范围内为桩基础, 该桩基为人工挖孔灌注桩, 最外侧基桩距本基坑开挖边线约 13.5 m, 因此预应力锚索成孔施工时可能遇到基桩而无法达到设计锚固长度, 造成锚固力减少从而影响支护体系的稳定。

2.2 方案概念设计

考虑本工程周边荷载情况和施工空间, 结合本地设计经验, 基坑支护设计一般选取桩锚支护形式, 而受工期及工程造价要求, 具有较高安全系数的地下连续墙和内支撑方案不予考虑。通过桩锚支护体系控制边坡的整体位移从而确保上部毛石挡墙的安全, 但桩锚支护需要依靠锚索(杆)提供可靠的锚固力, 从而形成稳定的支护结构体系。

鉴于本基坑杂填土厚度约 18 m, 分布范围自基坑开挖边线向外不小于 30 m, 锚索的锚固力难以得到保证, 因此需对传统的桩锚支护体系进行加强, 方能满足本次深厚杂填土基坑边坡的整体位移要求。

(1) 主动区加固: 除了支护体系的合理设计外, 通过地基处理措施提高土体强度和变形模量, 是控制基坑周围土体位移的有效途径^[3]。软土地区常采用深层搅拌法或压力注浆法加固, 而本工程为深厚杂填土, 可考虑采用压力注浆进行主动区加固。坑外主动区加固由于增强杂填土的黏结力和内摩擦角, 因而可以有效地控制基坑开挖引起的位移。

(2) 被动区加固: 基坑被动区加固作为一种可行的变形控制措施, 能够有效地改善土体的力学指标, 提高被动区土压力系数, 降低对周边环境影响^[4]。本工程由于基底下 5.0~8.0 m 仍为杂填土, 土体对支护桩嵌固段约束性能较差, 可造成基坑边坡位移过大, 因此本工程被动区同样需要考虑土体增强。

(3) 西侧单位主楼及附楼范围内桩基距离开挖边线仅 13.5 m, 基桩水平间距约 2.0 m, 该段边坡南北长约 35 m; 若该段边坡锚索不进入桩基范围内则其长度过短, 锚固力过小而使基坑边坡稳定性不满足要求。若考虑双排桩方案, 而施工空间有限, 双排桩排距不足 2.0 m, 其空间框架结构的稳定性效果难以完全发挥出来。作为西侧基坑边坡支护的重中之重, 该段边坡最终仍确定采用桩锚支护并结合主动区和被动区加固, 锚索施工虽面临一定的不确定性, 但根据外侧主楼桩基础的布置, 部分锚索可达到预定长度, 对锚索长度不足部位则需根据实际施工效果进行局部加强。

3 基坑设计方案

根据该基坑特点和支护方案的概念设计, 对该深厚杂填土基坑进行了具体支护方案设计, 明确了支护桩、预应力锚索、主动区和被动区的注浆加固等设计参数, 支护设计剖面见图 4 所示。

(1) 支护桩: 桩径 800 mm, 桩间距 1.5 m, 桩端进入原状土(岩)层 2.0 m, 桩长约 20.0~22.0 m。

(2) 预应力锚索: 锚索成孔直径 150 mm, 水平间距 1.5 m, 竖向间距 2.5 m, 锚索材料采用 2φ15.2

钢绞线,长度有21 m和24 m两种,锁定力分别为100,120 kN。

(3) 主动区加固: 由于挡墙外侧为某单位道路, 无法在坡顶进行直接加固, 本设计采用水平注浆花管进行提高杂填土的土体强度和变形模量, 花管水平间距 1.5 m, 竖向布置在两排预应力锚索中间, 花管长度 12 m, 注水灰比 0.5 左右的纯水泥浆, 注入率不小于 0.15, 注浆压力 1.0~1.2 MPa。

(4) 被动区加固: 在开挖至坑底 1.5 m 时进行被动区注浆加固, 共布置 4 排注浆孔, 按 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 梅花型布置, 成孔直径 110 mm, 进入原状土层 0.5 m; 封孔长度不小于 2.0 m, 封孔后注水灰比 0.5 左右的纯水泥浆, 注入率不小于 0.15, 注浆压力 1.0~1.2 MPa。

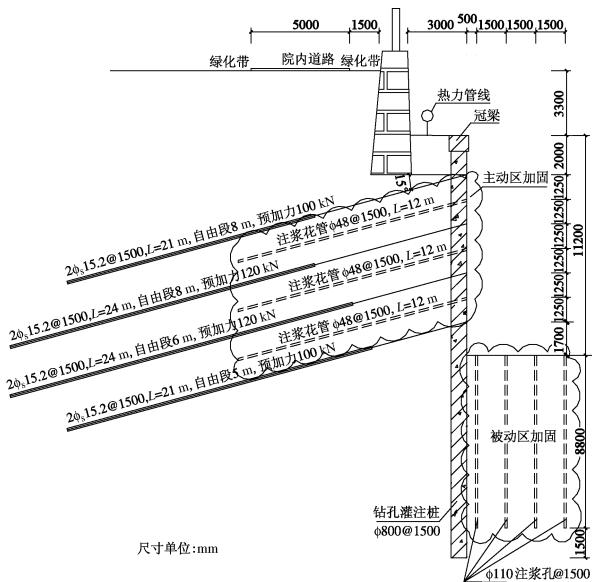


图 4 基坑支护设计剖面图

Fig. 4 Supporting design of foundation pit

对于西侧主楼桩基础范围内,设计时仍采用以上类似设计,支护剖面见图5所示,共布置4道同等长度预应力锚索,主动区加固和被动区加固与其他部位相同;若部分锚索无法达到设计长度,可调整锚索水平角度重新施工,或采用增加锚索进行加强。

4 施工措施与监测结果

4.1 施工措施

深厚杂填土中灌注桩、锚索、花管注浆及竖向土体注浆等各项目的施工情况如下。

(1) 灌注桩。灌注桩的成孔方式主要有：人工挖孔、机械钻孔（正、反循环）、旋挖钻孔以及长螺旋钻孔等，针对杂填土以及支护桩的特点和要求，尽量不采用泥浆护壁避免水渗入杂填土，从而影响开挖后土体的稳定，初步确定人工挖孔和旋挖成孔两种方式。

西侧建筑物基础即采用人工挖孔桩，桩长均为 20m 左右，但考虑施工进度及安全要求，本次施工未被

采纳。而旋挖钻头直接从孔内提土，成孔速度快，施工工期短，生产效率高，适应地层能力强，对底部碎石土也能成孔，最终采用旋挖钻机进行成孔。

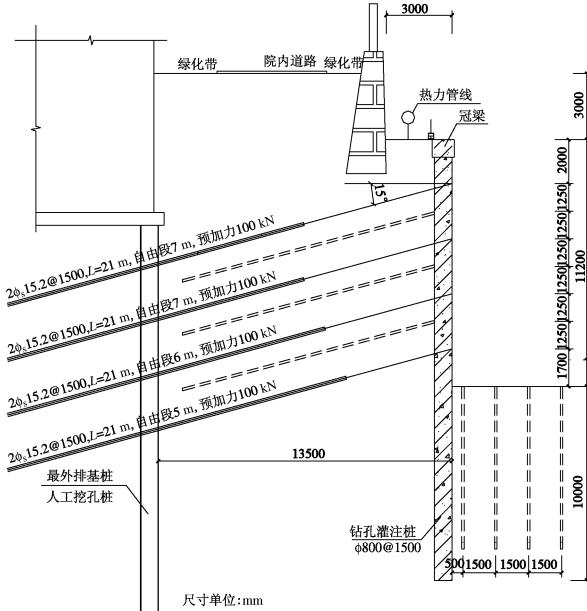


图 5 邻近桩基位置支护剖面图

Fig. 5 Supporting design of foundation pit near piles

在实际施工时未采取套管或护壁等措施，而且成孔过程并未发生塌孔现象，顺利完成了深厚杂填土场地灌注桩施工。

(2) 预应力锚索。由于杂填土较为松散, 成孔长度 21 或 24 m, 施工采用履带式液压多功能锚杆机, 岩芯管钻进, 虽有局部塌孔, 但经过再次钻机清理后, 一般均能顺利将锚索送入孔内, 张拉锁定均能满足设计要求, 说明杂填土场地只要成孔及注浆达到设计要求, 仍能具备一定的锚固能力。

(3) 主动区注浆花管。注浆花管采用直径 48 mm 钢管加工而成, 施工时采用潜孔冲击器, 将花管安装在冲击器前端直接击入, 除个别花管外均能满足设计长度要求, 击入后进行压力注浆即可, 见图 6 所示。



图 6 主动区注浆加固施工

Fig. 6 Grouting construction of active zone

(4) 被动区注浆。采用地质钻机竖向成孔, 成孔直径 110 mm, 孔深进入原状土 0.5 m, 置入注浆管至孔底, 对上部 2.0 m 进行封孔后采用压力注浆, 如图 7 所示。



图 7 被动区注浆加固施工

Fig. 7 Grouting construction of passive zone

(5) 西侧主楼桩基础范围。在该段约 35 m 范围内锚索施工时, 共 5 根锚索钻至 13 m 左右, 约占该段总数的 20%, 对该 5 根锚索压缩自由段至 4.0 m, 减小其锁定力至 70 kN, 并对其中 3 根连续均为 13 m 的部位在其上方增设一排锚索, 对另 2 根间隔为 13 m 的锚索未进行加强处理。

4.2 监测结果

为掌握基坑施工过程对周边环境的影响, 对西侧加强监测, 主要监测内容有: 基坑坡顶水平位移和竖向位移, 毛石挡墙的水平位移和沉降, 挡墙外侧路面、建筑物的沉降和预应力锚索的锁定力。

在基坑施工完毕后, 对监测结果进行分析:

(1) 基坑坡顶位移最大点为西侧主楼范围内, 该桩顶监测点水平位移达到 24 mm, 向南北两侧水平位移逐渐减小, 一般在 10~16 mm 左右。

(2) 基坑坡顶的竖向位移均较小, 最大沉降为 7.8 mm, 一般在 3~6 mm, 最大沉降点仍位于西侧主楼范围内。

(3) 尽管采取的多种措施, 西侧挡土墙仍有一定沉降, 特别是西侧主楼范围内, 最大沉降达到 25 mm, 整个西侧挡土墙沉降一般在 13~20 mm 左右, 说明挡墙下方土质较为疏松, 锚索施工对其产生一定影响; 挡土墙的水平位移普遍较小, 一般在 5~9 mm 左右, 仅有位于主楼范围内的一点达到 12.7 mm。

(4) 西侧挡墙外侧道路也发生沉降, 沉降数值一般在 16~25 mm, 相对分布比较平均; 由于西侧建筑物采用桩基, 建筑物基本无沉降发生。

(5) 对预应力锚索的监测与位移变化基本一致, 位于西侧主楼位置处初始锚索内力值为 100 kN 左右 (第一排), 在该位置位移增大时锚索内力也明显增大, 最终数值稳定在 160 kN, 同时也说明预应力锚索的锚固力尚有一定的安全度。

目前该基坑各项监测指标基本保持稳定, 位移数值不再进一步增大, 表明该边坡已处于稳定状态。

5 结语

杂填土为岩土工程中各项性能较差的土体, 特别是当回填时间较短, 土质较为疏松的情形, 本基坑工程杂填土厚 18~20 m, 而且分布范围广, 给支护设计和施工带来较多不利影响, 特别是基坑坡顶有永久毛石挡墙及大于 3 m 的土层荷载, 进一步增加了本工程的支护难度。

处于对基坑位移控制设计的思路, 在传统的桩锚支护设计基础上, 增加了主动区注浆加固和被动区注浆加固, 通过合理选择各项施工工艺, 顺利完成各设计要求, 监测结果虽表明坡顶仍产生一定位移, 但以上位移均在预期可控范围内, 位移未对毛石挡墙及道路路面产生明显影响, 并在基坑施工完毕后各项监测指标均保持稳定, 因此本深厚杂填土基坑支护的位移控制取得理想的效果。

参考文献:

- [1] 夏成昊. 长沙某基坑变形过大原因分析及治理[J]. 广东建材, 2011, 27(2): 59~62. (XIA Cheng-hao. Cause analysis and management of large deformation of foundation pit in Changsha[J]. Guangdong Building Materials, 2011, 27(2): 59~62. (in Chinese))
- [2] 芦清建, 张志平, 程学. 北京某深基坑边坡变形过大原因分析[J]. 岩土工程技术, 2010, 24(5): 264~266. (LU Qing-jian, ZHANG Zhi-ping, CHEN Xue. Cause analysis of large deformation of deep foundation pit in Beijing[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2010, 24(5): 264~266. (in Chinese))
- [3] 邵国波, 范红涛, 张建波. 主动区加固控制邻近基坑桩基础变形分析[J]. 公路, 2010, 39(8): 102~106. (SHAO Guo-bo, CHANG Hong-tao, ZHANG Jian-bo. Influence analysis of active zone reinforcement on pile foundation adjacent to excavation[J]. Highway, 2010, 39(8): 102~106. (in Chinese))
- [4] 郑俊杰, 章荣军, 丁烈云, 等. 基坑被动区加固的位移控制效果及参数分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(5): 1042~1051. (ZHENG Jun-jie, ZHANG Rong-jun, DING Lie-yun, et al. Displacement control effects and parameter analysis of passive zone improvement of foundation pits[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(5): 1042~1051. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)