

DOI: 10.11779/CJGE2014S2049

# 兰州市某深基坑降水及监测分析

李元勋<sup>1, 2</sup>, 朱彦鹏<sup>1, 2</sup>, 叶帅华<sup>1, 2</sup>

(1. 兰州理工大学甘肃省土木工程防灾减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学西部土木工程防灾减灾教育部工程研究中心, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 以兰州市某深基坑为背景, 针对其工程地质、水文条件进行深基坑支护及降水设计, 采用井点降水及有组织引流排水措施, 同时对支护结构水平、竖向位移, 基坑周边建筑物沉降实时监测。监测结果表明: 该降水方案条件下, 支护结构位移及周边建筑物沉降量均得到良好的控制, 为兰州市类似工程施工提供宝贵的经验。

**关键词:** 深基坑; 降水; 监测分析

中图分类号: TU470

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2014)S2-0279-05

**作者简介:** 李元勋(1988-), 男, 博士研究生, 主要从事深基坑支护结构及滑坡泥石流研究方面的工作。E-mail: liyuanxun.521@163.com。

## Dewatering and monitoring analysis of a deep foundation pit in Lanzhou

LI Yuan-xun<sup>1, 2</sup>, ZHU Yan-peng<sup>1, 2</sup>, YE Shuai-hua<sup>1, 2</sup>

(1. Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation in Civil Engineering of Gansu Province, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Western Engineering Research Center of Disaster Mitigation in Civil Engineering of Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** For a deep foundation pit in Lanzhou, its support and dewatering are designed according to the engineering geological and hydrological conditions. The measures of well-point dewatering and organized drainage are adopted, and real-time monitoring of horizontal and vertical displacements of supporting structures and settlement of buildings around the foundation pit is made. The monitoring results show that under the dewatering scheme the displacement of the supporting structures and settlement of surrounding buildings are well controlled. It may provide valuable experience for the construction of similar projects in Lanzhou.

**Key words:** deep foundation pit; dewatering; monitoring analysis

## 0 引言

随着城市的快速发展, 处于建筑密集的城市中心地段的土地资源显得异常宝贵, 地下空间的开发已成必然。基坑更大、更深, 地下、周边环境更为复杂, 因此, 对于基坑安全支护的要求也越来越高。

基坑能否安全顺利施工, 很大程度上取决于基坑降水是否成功。据统计 60% 的基坑工程事故直接或间接与地下水有关。基坑降水失败引发工程事故的原因大致可分为两个方面, 一方面是由于地勘不详细、建设场地内水环境复杂、施工方案不合理等其他不可预见因素引起的, 另一方面是对原状土体在开挖过程中水土与支护结构相互作用、水土之间相互作用机理的认识还不够深入及透彻, 基坑支护结构设计计算方法不够完善<sup>[1-3]</sup>。

本文中工程采用井点降水及有组织引流排水对该基坑进行降水, 并实时监测支护结构水平、竖向位移

及周边建筑物沉降。分析监测数据, 结果表明此种降水方案降水效果良好, 基坑支护结构位移、周边建筑物沉降量均得到较好的控制, 可供今后兰州类似工程的施工借鉴参考。

## 1 工程概况

兰州伊真置业广场基坑位于兰州市城关区, 甘南路南侧, 甘肃省供销社西侧。基坑设计开挖深度为 15.8 m, 总支护长度约为 297 m。场地不规整, 基坑周边环境复杂。

基坑北侧紧邻甘南路, 基坑上口距离甘南路边缘约 2 m (即为人行道), 人行道以下 2~3.5 m 处埋有

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (50978129); 甘肃省高等学校科研项目 (2013B-018); 兰州理工大学建工七七基金项目 (TM-QK-1304)  
**收稿日期:** 2014-07-28

大量市政管道、管线。甘南路为城市主干道，行人多，车流量大。

基坑东侧为原有 5 m 宽进出小区道路，且距离基坑上口约 6 m 处为 9 层框架结构住宅楼，该住宅楼无地下室，基础型式为桩基础。

基坑南侧 GH 支护段（分段如图 1 所示）距离基坑上口约 4.5 m 处为 9 层框架结构住宅楼，该住宅楼无地下室，基础型式为桩基础。4.5 m 宽度范围内为原有进出小区道路，且道路下管线杂乱。FG 支护段距离基坑上口约 12 m 处为 9 层框架结构住宅楼，该住宅楼无地下室，基础型式为桩基础。FG 段中间部位存在原有化粪池，该化粪池仍在使用，但渗漏现象严重。DE 支护段距离基坑上口约 4.2~5.4 m 处为 9 层框架结构住宅楼，该住宅楼无地下室，基础型式为桩基础。

基坑西侧 CD 支护段距离基坑上口约 5 m 处为 3 层砖混结构办公楼，基础型式为条形基础。AB 支护段紧邻 8 层框架结构住宅楼，该住宅楼无地下室，基础型式为筏板基础，支护结构紧贴筏板边缘，筏板埋深 4 m。

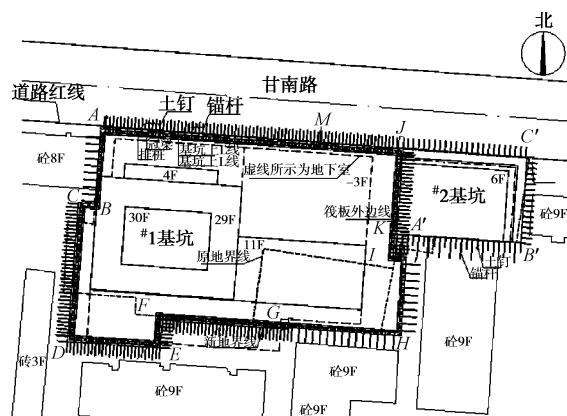


图 1 基坑平面图

Fig. 1 Plan of foundation pit

### 1.1 工程地质条件

根据勘探揭露，勘察深度内地层主要由杂填土、粉土、卵石、第三系褐红色砂岩等组成。在基坑支护深度范围内，场地地层分布顺序自上而下分述如下：  
①层杂填土（ $Q_4^{ml}$ ）：杂色，主要成分为碎砖块、炉渣、卵石和粉土等，局部该层下部分粉土含量较大，含细沙，湿—很湿，松散，为现代人工回填。场区普遍分布，厚度为 1.50~4.00 m，平均 3.02 m；层底埋深为 1.50~4.00 m，平均 3.02 m。  
②层粉土（ $Q_4^{al-pl}$ ）：黄褐色，土质不均匀，含细沙，摇震反应迅速，无光泽，强度低，韧性差，很湿，稍密。冲洪积成因，场区局部分布，厚度为 1.60~1.80 m，平均 1.06 m；层底埋深为 3.00~4.80 m，平均 3.78 m。  
③层卵石（ $Q_4^{al-pl}$ ）：

杂灰色，一般粒径 80~120 mm，最大可见大于 200 mm 的漂石，颗粒直接接触，孔隙中细砂充填，主要成分为变质岩、石英岩和少量砂岩等，磨圆度较好，呈亚圆形，分选型较差，中密，冲洪积成因。场区普遍分布，厚度为 5.70~9.50 m，平均 7.55 m；层底埋深为 8.50~12.40 m，平均 10.91 m。  
④-1 层中砂（ $Q_4^{al-pl}$ ）：灰黄色，质较纯，主要矿物成分为石英、长石，可见云母碎片，含少量黏性土，饱和，稍密，冲洪积成因。场区普遍分布，厚度为 0.4~0.7 m，平均 0.55 m；层底埋深为 4.70~6.60 m，平均 5.65 m。  
④层强风化砂岩（N）：褐红色，为第三系地层，厚层状构造，细粒结构，泥钙质胶结，强风化，岩芯呈砂状。场区普遍分布，厚度为 1.90~4.10 m，平均 2.39 m；层底埋深为 11.90~14.60 m，平均 13.29 m。  
⑤层中风化砂岩（N）：褐红色，为第三系地层，厚层状构造，细粒结构，泥钙质胶结，中风化，岩芯呈短柱状。场区普遍分布，揭露厚度为 0.3~18.60 m，平均 7.56 m；层面埋深为 11.90~14.60 m，平均 13.29 m。该层厚度巨大，未穿透。

### 1.2 水文地质条件

由区域水文地质资料显示，该区域地下水类型为潜水，本场区地下水类型仍为潜水，由大气降水和黄河水渗流补给，主要含水层为粉土层及卵石层，勘察期间水流流向基本由西南向东北，最终在下游排入黄河。受补给源的影响，水位随季节性变化而变化，根据经验估计地下水变化幅度在 0.5~1.0 m 之间。抗浮设计水位为 0.3 m。

## 2 支护结构

针对本基坑工程所具有的特点，以“安全可靠，经济合理”为原则，对该基坑分段采用“土钉墙+排桩预应力锚杆”复合支护结构型式进行支护。依据《建筑基坑支护技术规程》<sup>[4]</sup>，本基坑安全等级取为一级，基坑侧壁重要性系数取 1.1。

对于不同支护段，作用于基坑上部的荷载不同、管道管线分布杂乱，因此，基坑上部一定深度范围内采用土钉墙进行支护，下部统一采用排桩预应力锚杆进行支护，支护结构典型剖面如图 2 所示。基坑支护照片如图 3 所示。

土钉墙采用 HPB300 级双向  $\Phi 6@250 \times 250$  钢筋网片，喷射混凝土厚度为 100 mm，混凝土强度等级为 C25。竖向间距 1.5 m 布设水平向通长加强筋 HRB335 级 2 根，直径为 16 mm。土钉选用花钢管，规格为 48 mm  $\times$  3 mm，横竖向间距均为 1500 mm，呈梅花形布置，采用 M20 级水泥浆注浆。

冠梁截面尺寸为  $1000\text{ mm} \times 800\text{ mm}$  ( $GH$  支护段为  $800\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ ), 纵筋为 HRB335 级  $8\Phi 25+4\Phi 16$ , 箍筋为 HPB300 级  $\Phi 10@200$ , 混凝土采用 C30 级。

排桩桩径  $800\text{ mm}$  ( $GH$  支护段为  $600\text{ mm}$ ), 混凝土强度等级 C30, 保护层厚度  $50\text{ mm}$ , 纵筋采用 HRB335 级钢筋, 箍筋采用 HPB300 级钢筋, 桩长为  $14.8\sim 20.5\text{ m}$ 。为了防止桩间土体的流失, 采用钢筋网片喷射混凝土进行封堵, 钢筋等级及混凝土强度等级与土钉墙中所选取的一致。

锚杆材料选用 HRB400 级钢筋, 直径为  $28\text{ mm}$ , 入射角度为  $10^\circ$ , 预应力为  $120\text{ kN}$ , 锚具为  $200\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 15\text{ mm}$  钢垫板与高强螺栓。锚孔孔径为  $150\text{ mm}$ , 注浆采用 M20 级水泥浆。按照《锚杆喷射混凝土支护技术规范》<sup>[5]</sup> 对锚杆张拉及锁定, 预张拉力为设计预应力值的  $1.05\sim 1.10$  倍。

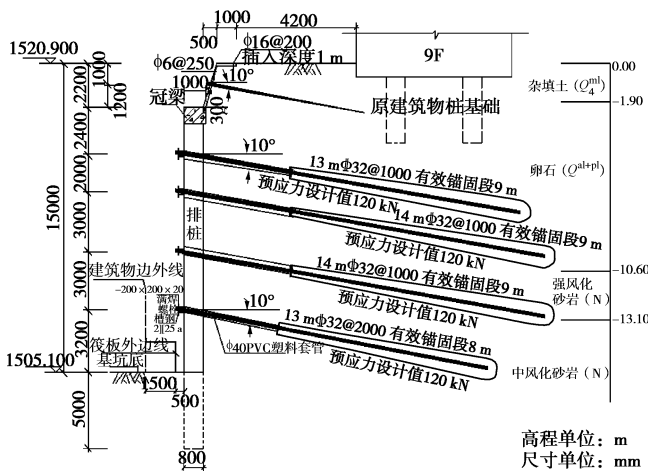


图 2 DE 支护段剖面图

Fig. 2 Profile of DE support section



图 3 基坑支护照片

Fig. 3 Photo of supporting structures of foundation pit

### 3 降水措施

降水方案的选择是决定降水工程能否又快又省又能保证一次性成功的主要环节。根据兰州地区降水成功的经验和该场地水文地质、工程地质条件, 并针对

本工程水位降低深度较大、地下水赋存于强风化砂岩层与卵石层界面处、地下水较丰富的特点, 选用机械管井井点降水、有组织引流排水及基坑内明沟排水方案。另外, 基坑顶部设置截水沟, 坡面以上区域雨水经截水沟疏排, 顶土体夯实, 必要时设灰土封闭层, 防止地表水渗入基坑土体而影响稳定性。

#### 3.1 井点降水<sup>[6-7]</sup>

降水井沿主楼基坑周边布置, 共计 15 个井点, 井点间距不大于  $20\text{ m}$ , 降水井的布置可在地下水补给方向适当加密, 排泄方向适当减少。降水深度在基坑地面以下  $500\text{ mm}$ , 降水井平均深度为  $18.6\text{ m}$ 。井内的水采用潜水泵向外抽排。排水总管根据井点的走向进行变径布设, 排水先进入沉砂池进行三级沉淀处理, 然后排入市政管网。

根据兰州市地区经验参数: 卵石层的渗透系数  $K=40\text{ m/d}$ 。

依据《建筑基坑支护技术规程》<sup>[4]</sup>, 采用大井简化法计算基坑涌水量。

(1) 等效半径  $r_0$

$$r_0 = \sqrt{A/\pi}, \quad (1)$$

式中,  $A$  为降水井群连线所围的面积 ( $\text{m}^2$ )。

(2) 影响半径  $R$

$$R = 2s_w \sqrt{kH}, \quad (2)$$

式中,  $s_w$  为井水位降深 ( $\text{m}$ ),  $k$  为含水层的渗透系数 ( $\text{m/d}$ ),  $H$  为潜水含水层厚度 ( $\text{m}$ )。

(3) 基坑涌水量  $Q$

$$Q = \frac{1.366k(2H - s_w)s_w}{\ln(1 + R/r_0)}. \quad (3)$$

(4) 单井出水量  $q$

$$q = 120\pi r_s l^3 \sqrt{k}, \quad (4)$$

式中,  $r_s$  为过滤器半径 ( $\text{m}$ ),  $l$  为过滤器进水部分长度 ( $\text{m}$ )。

(5) 降水井数量  $n$

$$n = 1.1 \frac{Q}{q}. \quad (5)$$

#### 3.2 有组织引流排水

基坑开挖过程中, 发现基坑西南侧 ( $DE$  支护段) 强风化砂岩层与卵石层界面处存在地下水, 且地下水较丰富, 井点降水不能满足该界面处降水要求, 强风化砂岩遇水、暴露在空气中易风化, 极易引起基坑的滑塌。因此, 必须在最短时间内对该界面处地下水进行排导, 有组织引导疏排的方法可有效解决此问题。

有组织引流排水施工工艺为: ①制作滤水管。选取直径为  $50\text{ mm}$  的塑料管, 长  $2.0\text{ m}$ , 在塑料管一端  $1.0\text{ m}$  范围内环向钻孔, 孔径  $5\text{ mm}$ , 间距  $20\text{ mm}$ , 沿

管长梅花状分布,内填滤水材料,填塞密实。②钻孔。在桩间强风化砂岩层与卵石层界面处间隔 2.0 m 钻水平孔,孔径 50 mm,孔深 1.0 m。③安放滤水管。将制作好的滤水管放置于水平孔中,并固定。④挂网、喷护。桩间参照土钉墙做法进行挂网喷护。⑤安装地下水收集管。选用直径为 100 mmPVC 管,在其上钻孔与滤水管相连,并悬挂于槽钢梁上,使其形成排水坡度,将所收集的地下水有组织的排入集水井或其他地下水收集系统。⑥地下水抽排。用潜水泵先将所收集地下水排入现场沉淀池,经沉淀后排入相应市政管道。有组织引流排水系统照片如图 4 所示。



图 4 有组织引流排水系统  
Fig. 4 Organized drainage system

4 监测数据分析

本基坑周围环境复杂,基坑支护结构体系是否安全可靠直接关系到基坑及周边建筑物、道路、管线的正常安全使用,一旦发生基坑坍塌事故,造成的损失不可估量。对基坑进行全过程监测,及时了解支护结构体系及周围环境的动态变化,用监测所得的数据信息来指导施工,确保基坑工程安全、顺利的完成<sup>[8]</sup>。

根据规范要求并结合现场实际情况,采用仪器对基坑顶支护结构水平、竖向位移及周围建(构)筑物变形监测等,对支护结构、施工工况、周边环境、监测设施等同步进行巡视检查。并参照监测数据,做出正确的判断、及时预警,可大大降低事故的发生率<sup>[9-10]</sup>。选取基坑北侧甘南路道牙边电线杆基座处一点及基坑南侧 30 m 外居民楼前地面一点埋设高程基准点。基坑顶支护结构上共布置 21 个水平、竖向位移监测点,布置 12 个周边建筑物沉降监测点,监测点位布置详见图 5。

考虑到 DE 支护段地层复杂,强风化砂岩层较厚,且在强风化砂岩层与卵石层界面处存在地下水,因此,在施工及降水过程中加强支护结构位移、周边建筑物监测。监测结果显示,基坑开挖至设计深度时,DE 段支护结构水平位移为 4 mm,竖向位移为 13 mm,

建筑物沉降量最大为 6.1 mm,见图 6~8。均满足规范要求。

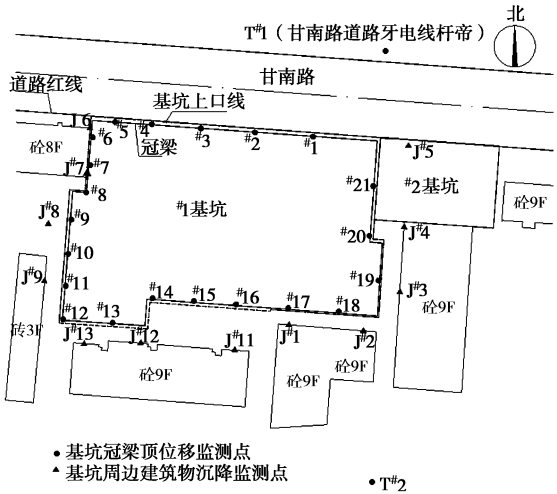


图 5 基坑监测点位布置平面图  
Fig. 5 Arrangement of monitoring points

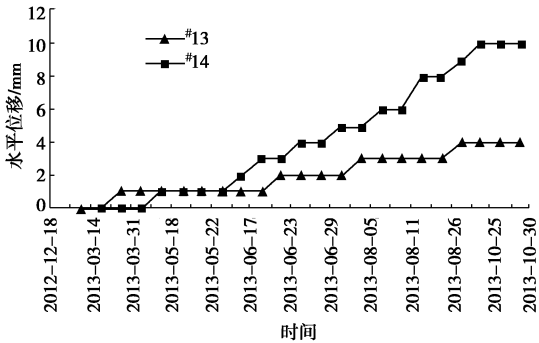


图 6 DE 段支护结构水平位移曲线  
Fig. 6 Horizontal displacement curves of supporting structures of DE

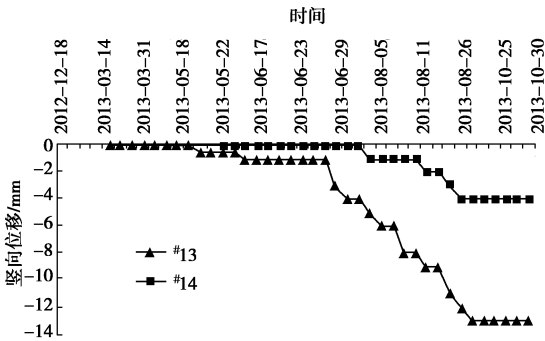


图 7 DE 段支护结构竖向位移曲线  
Fig. 7 Vertical displacement curves of supporting structures of DE

从监测曲线图中可以看出,2013 年 5 月份(基坑开挖至强风化砂岩层与卵石层界面处)开始,支护结构水平、竖向位移以及周边建筑物沉降量均增大,至 2013 年 9 月份趋于稳定。说明界面处地下水的排导对作用于支护结构上的水土压力有较大影响,同时也证明有组织引流排水可有效解决土层界面处地下水的排导问题,并能较好地防止桩间土体的流失。

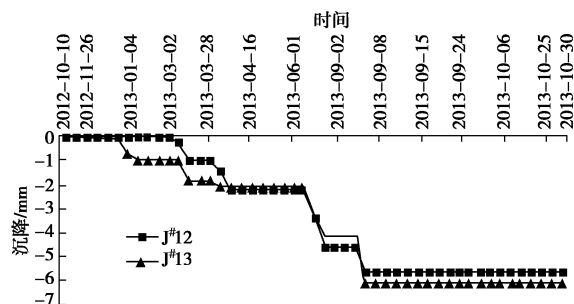


图 8 DE 段周边建筑物沉降曲线

Fig. 8 Settlement curves of surrounding buildings of DE

## 5 结 论

本文以兰州伊真置业广场基坑为背景, 针对兰州地区特殊地质情况, 论述了基坑降水中有组织引流排水的施工工艺及要点, 并通过监测数据, 分析得出以下 3 点结论和启示:

(1) “土钉墙+排桩预应力锚杆”复合支护结构型式用于复杂环境超深基坑中, 通过调整土钉墙高度、排桩长度以及锚杆层数来满足不同支护段的环境要求。对支护结构位移能较好的控制, 并能大大提高地下空间的利用率。在保证基坑安全的同时, 有较好的经济性。

(2) 有组织引流排水有效解决了强风化砂岩遇水、暴露在空气中易风化, 进而引起桩间土体流失、基坑滑塌的问题。

(3) 监测结果表明, 采用该降水方案能较好的满足基坑支护结构位移及周边建筑物沉降量的控制要求。对兰州地区类似基坑工程的施工提供宝贵经验及参考。

## 参考文献:

- [1] 王 洋, 汤连生, 杜赢中. 地下水渗流对基坑支护结构上土压力的影响分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(2): 107 - 110. (WANG Yang, TANG Lian-sheng, DU Ying-zhong. Effect of groundwater seepage on water and soil pressure in brace system of excavation[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2003, 42(2): 107 - 110. (in Chinese))
- [2] 臧亚君, 蒋克锋. 地下水的分布对沉降计算的影响[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2006, 38(1): 144 - 148. (ZANG Ya-jun, JIANG Ke-feng. Influence of underground water on the foundation settlement calculation[J]. Journal Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2006, 38(1): 144 - 148. (in Chinese))
- [3] 汤连生, 黄国怡, 杜赢中, 等. 考虑地下水渗流的基坑水土压力计算新图式[J]. 岩土力学, 2004, 25(4): 565 - 569. (TANG Lian-sheng, HUANG Guo-yi, DU Ying-zhong, et al. A new calculation chart of water-earth pressure on foundation pit considering groundwater seepage[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(4): 565 - 569. (in Chinese))
- [4] 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. (JGJ120—2012 Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012. (in Chinese))
- [5] GB50086—2001 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001. (GB50086 — 2001 Specifications for bolt-shotcrete support[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2001. (in Chinese))
- [6] 邓 鹏, 冯晓腊, 唐 彦, 等. 深基坑降水设计及降水对周边环境的影响分析[J]. 安全与环境工程, 2012, 19(3): 116 - 120. (DENG Peng, FENG Xiao-la, TANG Yan, et al. Design of deep foundation pit dewatering and analysis on the influence of dewatering on surrounding environment[J]. Safety and Environmental Engineering, 2012, 19(3): 116 - 120. (in Chinese))
- [7] 齐晓华. 喷锚支护与管井降水技术在基坑支护中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(9): 63 - 67. (QI Xiao-hua. Application of shotcrete & rock bolt support and tube well dewatering technologies in foundation pit support[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(9): 63 - 67. (in Chinese))
- [8] 孙 凯, 许振刚, 刘庭金, 等. 深基坑的施工监测及其数值模拟分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(2): 293 - 298. (SUN Kai, XU Zhen-gang, LIU Ting-jin, et al. Construction monitoring and numerical simulation foundation of a analysis pit[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(2): 293 - 298. (in Chinese))
- [9] 叶帅华, 朱彦鹏, 周 勇. 兰州市某复杂深基坑工程设计与监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 33(增刊 1): 431 - 437. (YE Shuai-hua, ZHU Yan-peng, ZHOU Yong. Design and monitoring analysis of a complicated deep foundation pit in Lanzhou[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 33(S1): 431 - 437. (in Chinese))
- [10] 任永忠, 朱彦鹏, 周 勇. 兰州市某深基坑支护设计及监测研究分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 34(增刊): 705 - 710. (REN Yong-zhong, ZHU Yan-peng, ZHOU Yong. Design and monitoring of bracings for a deep foundation pit in Lanzhou[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 34(S0): 705 - 710. (in Chinese))

(本文责编 胡海霞)