

# 复杂环境双排桩结合锚杆支护出现问题及处理措施

丁武保<sup>1</sup>, 孙磊<sup>1</sup>, 刘学友<sup>1</sup>, 崔文泰<sup>2</sup>

(1.青岛地质工程勘察院, 山东 青岛 266100; 2.青岛地矿岩土工程有限公司, 山东 青岛 266071)

**摘要:**随着城市建设飞速发展,加强对地下空间开发利用是大势所趋,基坑越来越深,基坑周边环境越来越复杂。双排桩因具有很多优点,应用越来越广泛。本文结合工程实例,简要介绍了双排桩支护体系受力变形特点,双排桩结合锚杆支护方案及思路、出现问题及处理措施。

**关键词:**基坑支护;双排桩;锚杆;止水帷幕

**中图分类号:**TU473 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)11-0086-06

## Problems with support of double-row piles combined with anchors in complex environment and treatment measures

DING Wubao<sup>1</sup>, SUN Lei<sup>1</sup>, LIU Xueyou<sup>1</sup>, CUI Wentai<sup>2</sup>

(1.Qingdao Geological Engineering Survey Institute, Qingdao Shandong 266100, China;

2.Qingdao Geotechnical Engineering Co., Ltd., Qingdao Shandong 266071, China)

**Abstract:** With the rapid development in urban construction, it is the general trend to intensify underground space development and utilization, leading to deeper foundation pits and more complex surrounding conditions. Double-row piles have found more wider usage due to many advantages. Based on a field case, this article briefly introduces the characteristics, the plan, and the concept; as well as problems of the double-row pile support combined with anchors, and treatment measures.

**Key words:** foundation pit support; double-row piles; anchor; water cutting-off curtain

近年来,随着城市建设飞速发展,高层建筑和地下工程大量兴建,基坑开挖深度日渐加深,周边环境日趋复杂,给基坑工程带来严峻考验,基坑支护结构日益增多。双排桩因具有很多优点,能克服政策和场地条件等限制,应用越来越广泛。

### 1 双排桩支护体系受力变形特点

双排桩支护体系由前后 2 排支护桩、桩顶冠梁及其间设置的刚架梁组成,是一种侧向刚度较大的自立式围护结构体系,具有施工简单、克服设置锚杆困难、与土石方开挖交叉作业影响小、工期短、控制基坑侧向变形强等优势。主要受力变形特点如下<sup>[1-6]</sup>:

(1)充分利用桩土共同作用的土拱效应,前后排

桩均分担主动土压力,其中前排桩主要起负担土压力的作用,后排桩兼起支护、拉锚的双重作用。

(2)桩的弯矩、剪力和轴力在设计实践中是必须考虑的项目。同条件下,桩身轴力随排距的减小而增大。前排桩轴力为压力,使其发生向下竖向位移;后排桩轴力为拉力,使其发生向上竖向位移。前后排桩出现不同方向竖向位移,使双排桩刚架整体向基坑内侧倾斜,增大了顶部水平位移,前后排桩沉降差对结构内力、变形影响很大。

(3)连梁刚度很大,相对的压缩变形很小,导致前后排桩桩顶位移、桩身弯矩分布均基本一致,但弯矩在桩身上下分布有差异,总体趋势:上部分和下部分弯矩方向相反,反弯点在基坑底面附近。双排桩通过前后排桩间的桩顶连梁形成门式刚架结构,增

收稿日期:2019-03-19; 修回日期:2019-09-10 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.11.015

作者简介:丁武保,男,汉族,1980年生,安徽怀宁人,注册岩土工程师、高级工程师、主任工程师,主要从事岩土工程勘察设计、深基坑支护设计施工、地基与基础施工技术管理工作,山东省青岛市崂山区科苑纬四路73号,13969696592@163.com。

引用格式:丁武保,孙磊,刘学友,等.复杂环境双排桩结合锚杆支护出现问题及处理措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):86-91.  
DING Wubao, SUN Lei, LIU Xueyou, et al. Problems with support of double-row piles combined with anchors in complex environment and treatment measures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(11): 86-91.

强支护结构自身稳定性和整体刚度。前后排桩的排距是影响其内力与变形性状的重要因素,排距过小受力不合理,排距过大刚架效果减弱,合理范围为 2~5 倍支护桩桩径。

(4)刚性连梁与前后排桩组成一个超静定结构,整体刚度大,在复杂多变外荷载作用下能自动调整结构本身内力。增强桩梁的连接能调整双排桩的变形和内力特征,减小结构位移,调整正负弯矩值。由于前后排桩以及桩间土体的共同作用,在变形中会产生抵抗力矩,具有明显的抵抗变形能力,从而有利改善桩身内力及变形。

## 2 工程概况及周边环境

工程场地位于青岛市区某商圈中心地段,地下 3 层,以风化岩为地基持力层,基坑深度约 13.4 m,周长约 400 m。该基坑周边环境复杂,地下室轮廓线东侧距红线 2.8~6.4 m,红线外为市政预留绿化带;南侧距红线 5.0~7.4 m,南侧东段距现有酒店 7.0~8.9 m(7~8 层,无地下室,框架结构,长螺旋钻孔压灌混凝土桩基础,桩端入强风化岩约 0.5 m);西侧距红线 7.0~14.0 m,红线外为现有居民楼(5~6 层,无地下室,砖混结构,条形基础);北侧距红线约 5 m,红线外为城市主干道。基坑周边影响范围内地下埋藏多条管线,放坡空间较有限。

## 3 地层分布及特性

据《岩土工程勘察报告》和《青岛市区第四系层序》,主要地层分布如下:

①层杂填土,杂色,稍湿,松散—稍密,成分以回填砖块、砂砾、碎石等建筑垃圾为主,局部混粘性土、粉土等,分布广泛,层厚 1.2~6.4 m,平均 3.43 m;

⑤层粗砂,黄褐色,湿—饱和,松散—稍密,分选性和磨圆度较差,矿物成分以长石、石英为主,分布较广泛,层厚 0.5~6.0 m,平均 3.27 m;

⑦层粉质粘土,黄褐色,可塑,含砂砾,稍有光泽,干强度与韧性中等,无摇震反应,分布较广泛,层厚 1.1~5.0 m,平均 2.22 m;

⑨层砾砂,黄褐色,饱和,稍密—中密,分选性和磨圆度差,矿物成分以长石、石英为主,局部夹砾石,分布广泛,层厚 2.1~9.0 m,平均 4.81 m;

⑯层强风化花岗岩,黄褐色,风化强烈,裂隙发育,原岩结构与构造基本已破坏,岩体呈散体—碎裂状,岩心手搓呈砂砾状,矿物成分以石英、长石为主,分布较广泛,层厚 0.5~2.1 m,平均 1.04 m;

⑰层中风化花岗岩,肉红色,粗粒花岗结构,块状构造,节理发育,矿物成分以石英、长石为主,岩心呈碎块状、短柱状,心面较粗糙,锤击音脆,回弹震手,较易击碎,分布广泛,未揭穿,揭示厚度 5.6~9.7 m,平均 7.18 m。

各岩土层物理力学性质见表 1。

表 1 地层物理力学参数  
Table 1 Physical and mechanical property of strata

层号	岩土名称	密度或状态	重度 $\gamma$ / ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	粘聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\varphi$ /( $^{\circ}$ )	锚杆的极限粘结强度标准值 $q_{sk}$ /kPa	渗透系数 $k$ / ( $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ )	(压缩模量 $E_{s1-2}$ /变 形模量 $E_0$ ) /MPa	地基承载力特 征值 $f_{ak}$ /kPa
①	杂填土	松散—稍密	18	5	15	20	20		
⑤	粗砂	松散—稍密	20	0	30	40	30	—/7	120
⑦	粉质粘土	可塑	20	15.5	13.3	45	0.1	6.13/—	170
⑨	砾砂	稍密—中密	20	0	35	170	40	—/12	220
⑯	花岗岩	强风化	21		45*	200		—/45	800
⑰	花岗岩	中风化	22		55*	400		—/2000( $E$ )	2000( $f_a$ )

\*:等效值。

## 4 地下水条件

场地毗邻河道,地下水丰富,类型以孔隙潜水—微承压水为主,基岩裂隙水为辅。孔隙潜水—微承压水主要赋存于⑤、⑨层中,以侧向迳流、大气降水垂直入渗补给为主,侧向迳流、蒸发排泄为主。勘察期间(枯水期)实测稳定水位埋深 4.1~5.0 m,水位

标高 14.06~14.40 m,水位年变化幅度 2~3 m,历史最高水位约 17 m。基岩裂隙水主要以层状、带状赋存于基岩强风化带、岩脉旁侧裂隙密集发育带中,因裂隙发育不均匀,其富水性亦不均匀。强风化带中长石多风化成粘土矿物,透水性较差,富水性贫;节理发育带裂隙张开性较好,导水性较强,富水性中等。

## 5 支护方案及思路

该基坑工程具有如下特点:开挖深度大、周边环境复杂、强透水层厚度大、南侧东段现有酒店对基坑影响大。综合确定基坑支护结构安全等级为一级,设计使用期限1年。基坑南侧东段边界距现有酒店太近,且酒店无地下室,采用长螺旋钻孔压灌混凝土桩基础。若采用单排支护桩,受酒店桩基础影响,锚杆难以设置,支护桩悬臂高度过大,支护结构整体稳定性差。

据“技术可行、经济合理、确保安全、方便施工”的原则,该处设计采用双排桩支护(其它处采用桩锚支护),其平面布置及支护剖面如图1、图2所示。前、后排桩均用钻孔灌注桩( $\text{O}800\text{ mm}@1500\text{ mm}$ , C30),桩端入基底且入中风化岩分别为3、1 m,先采用回转成孔工艺施工后排桩,再采用冲击成孔工艺施工前排桩,以最大限度消减支护桩施工对现有酒店的不利影响,之间由刚架梁连接。开挖深度5.5

m处仅在单元两端局部设置锚杆MG1(倾角 $25^\circ$ ,垂直基坑侧壁,水平间距1.5 m,成孔直径130 mm,材料规格 $5\text{O}s15.2$ ,自由段12 m,锚固段10 m)或斜向拉锚MG1'(倾角 $15^\circ$ ,偏离现有酒店轮廓线与基坑侧壁呈 $65^\circ$ 夹角,水平间距1.5 m,成孔直径130 mm,材料规格 $5\text{O}s15.2$ ,自由段12 m,锚固段10 m);开挖深度9.5 m处单元整体设置大角度锚杆MG2(倾角 $45^\circ$ ,垂直基坑侧壁,水平间距1.5 m,成孔直径130 mm,材料规格 $5\text{O}s15.2$ ,自由段12 m,锚固段6 m);后排桩中心设置垂直锚杆MG3(水平间距1.5 m,后排桩完成后在桩中心垂直成孔,成孔直径110 mm,材料规格 $3\text{O}s15.2$ ,自由段18 m,锚固段5 m,基坑开挖前锁定,预加力500 kN),保证该处支护结构整体稳定和控制变形;前排桩侧桩间土采用内置钢筋网喷射混凝土面层防护措施;为减少锚杆应力对原有地基及锚杆间相互影响,MG1、MG1'、MG2采用压力型锚杆。

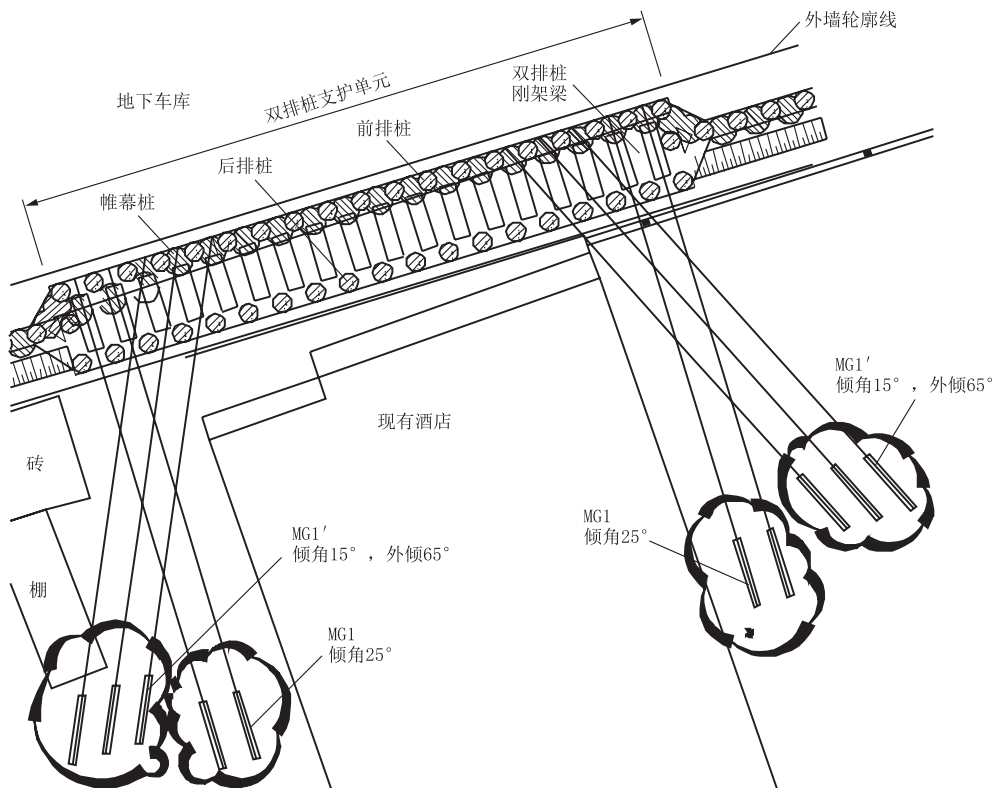


图1 双排桩支护单元平面图

Fig.1 Plan of double-row pile support unit

场地地下水丰富,地层透水性较强,大面积、长时间降水使基坑内外形成水位差,土体在动水压力作用下,细颗粒产生移动,土体孔隙增大,产生不均

匀压缩变形和沉降,导致周边建筑、市政设施发生倾斜、裂缝、甚至断裂、倒塌,故设计采用止水帷幕(三重管法高压旋喷帷幕桩, $\text{O}1200\text{ mm}@1500\text{ mm}$ ,与

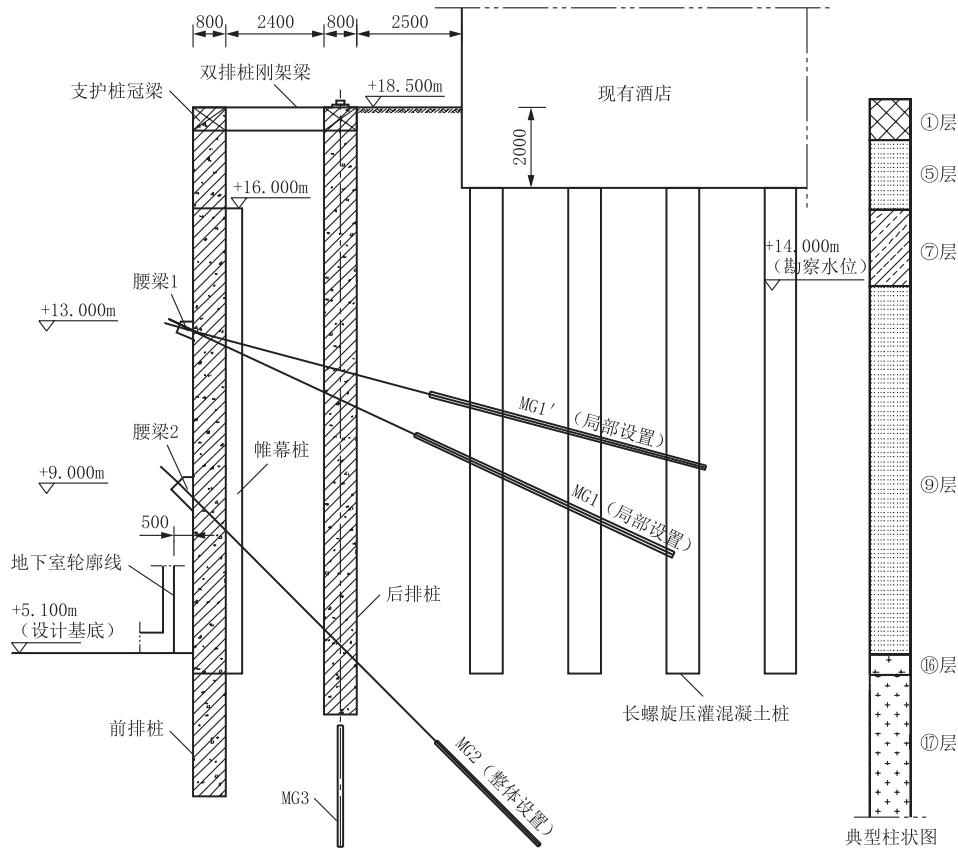


图 2 双排桩支护单元剖面图

Fig.2 Profile of double-row pile support unit

前排支护桩相咬合施工,桩端入风化岩 0.5 m, P. O 42.5 普通硅酸盐水泥用量 550 kg/m),截断基坑内外水力联系,坑内采用降水井或集水坑集水明排,地表处的雨水等水体通过地面排水沟截流排至市政管道,坡面设置泄水孔排水。

## 6 出现问题及处理

### 6.1 高压旋喷帷幕桩成孔困难

因场地局部分布厚度较大杂填土层,其成分复杂,多碎石、块石、旧基础等建筑垃圾,造成高压旋喷帷幕桩难以成孔或成孔后易塌孔。施工过程中选用 XY-2 型地质钻机配偏心冲击钻头和 20 m<sup>3</sup> 空气压缩机进行偏心跟管钻进,成孔直径 130 mm。钻至设计深度后,将跟管钻具收敛并取出,及时下设  $\text{O}105$  mm 软 PVC 管,提出钻进过程中下设的护壁钢套管,PVC 管留在原位,并确保 PVC 管下入深度超过填土层,起到护壁作用,然后下入喷射管。由于所用 PVC 管壁薄且较脆,喷射注浆过程中喷射压力可轻易将其射穿而不影响注浆效果<sup>[7-8]</sup>。

### 6.2 支护桩偏孔、倾斜

该单元地下结构预留施工空间非常狭小,支护桩施工偏差对主体地下结构施工影响相当大,防止偏孔、倾斜而缩小施工空间或侵占主体地下结构位置尤为关键。前排支护桩冲击成孔施工过程中,有 4 根桩施工至强风化与中风化过渡带时,因基岩风化节理裂隙发育不均,桩孔范围内岩层软硬不一,造成钻头着地时,一侧进程多于另一侧,钻进一段深度后出现偏孔、倾斜现象,桩身垂直度超过了规范允许值 0.5%。为此,施工过程中采取回填片石校正处理,将  $\text{O}30$  cm 左右片石(含有部分直径较小的,确保回填密实度)回填至偏孔位置 2 m 以上,先以较小冲程反复冲砸,使孔底形成平台,然后加大冲程至 1.5 m 左右,直至冲击时不再发生偏孔为止,其中 3 根桩反复 2~3 次解决了问题。另外 1 根桩桩底出现半边石,采取回填片石校正易造成卡钻现象,处理效果不好。后改用 C35 混凝土回填,待混凝土强度达到设计强度 70% 以上时,再进行钻进,达到纠偏、纠斜处理效果<sup>[9-10]</sup>。

### 6.3 锚杆穿透止水帷幕孔口涌水、涌砂

锚杆开孔位置与坑外地下水位之间存在1~5 m水头差,为砂、水从锚杆孔中涌出提供了动力条件;基坑深度范围分布厚层砂土,饱和,透水性强,易随水涌出;锚杆钻进施工对原状土层造成扰动,加速了砂随水涌出。该单元MG2锚杆施工钻穿止水帷幕后,局部发生涌水、涌砂现象,锚杆难以成孔。若强行施工,大量砂土随水涌出,势必会掏空基坑周边地层,引起地面下陷,严重危及基坑侧壁、周边建筑安全。施工过程中采取以下多种措施处理:(1)采用双套管护壁成孔工艺,先前进场的螺旋钻锚杆钻机撤出现场;(2)锚杆注浆后,及时采用止水带进行封堵、修补帷幕;(3)锚杆采用加水玻璃二次高压注浆快速堵漏,弥补地下水流动对一次注浆造成的缺陷;(4)涌砂严重地段锚杆施工前,采取注浆预加固处理<sup>[11-12]</sup>。

### 6.4 桩间渗水、流砂

受施工桩位偏差、桩身垂直度偏差影响,该单元前排桩与帷幕桩之间在基坑中下部透水性强的砂层处未完全搭接而出现桩间渗水、流砂现象。施工过程中采取“疏导为主、封堵结合、加强排水”的处理方案,具体处理措施如下:(1)及时进行帷幕堵漏,阻止流砂使土体内产生空洞;(2)立即回填压脚,周边设置集水井,加强排水;(3)在沿漏水点基坑顶部桩后位置采用双液注浆,注浆范围超过漏水点位置上下不小于1 m;(4)对漏水点轻微且未继续发展的漏点,采取桩间引流,即在漏点处插管将水引流到坑内集水坑,用快速水泥(或堵漏灵)对漏点进行二次修补加强<sup>[13]</sup>。

### 6.5 桩间土塌落、桩间护壁破损

受土石方开挖、施工质量等影响,该单元基坑侧壁局部出现了前排桩桩间土塌落、桩间护壁破损现象。针对各种形成原因,施工过程中采取了以下相应处理措施:(1)按设计图纸采用效果好的桩间土防护措施,内置钢筋网喷射混凝土面层,前排桩桩间土植筋固定;(2)开挖后桩间土土质稳定性较差处,在桩间护壁面层施工前,先及时喷射混凝土防护;(3)桩间土塌落并形成空洞时,采用沙袋等填充、钢筋网喷射混凝土护壁,对未充填密实的孔隙采用打入钢管注入水泥浆等方式及时修补;(4)因冻胀、漏水等原因使桩间护壁面层脱落、破损、护壁后出现空洞时,及时修补加固或返修面层、对空隙处进行注浆充

填<sup>[14]</sup>。

### 6.6 邻近建筑物基础下地基受扰动

锚杆穿过邻近建筑物基础下方,不合理施工工艺会使建筑地基受到扰动、变形,造成沉降变形裂缝、基础下沉。施工过程中采取了以下预防处理措施:(1)锚杆采用压力型锚杆、套管护壁施工工艺;(2)优化调整锚杆标高、倾角,尽量远离建筑物基础;(3)锚杆跳打施工,成孔后立即插入锚杆杆件和注浆,避免分批注浆<sup>[15]</sup>。

## 7 结语

基坑监测资料表明,该基坑工程坡顶和邻近建筑的变形位移、管线变形远小于设计报警值,均满足设计和规范要求,取得了良好的经济、社会和环境效益。

双排桩支护体系既解决了复杂环境条件无法采用锚杆或只能采用短锚杆的限制,又提高了支护结构侧向刚度以达到满足基坑变形位移要求。在特定条件下,双排桩与锚杆共同使用具有独特的优越性。通过工程实例,双排桩结合锚杆支护在深基坑支护工程取得了较好效果,是一种处理复杂环境条件下、侧向变形要求较高基坑的一种有效支护结构形式。

## 参考文献(References):

- [1] 易星,何成燕.双排桩支护运用于淤泥质软土基坑的实践研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):79-81.  
YI Xing, HE Chengyan. Practice research on application of double-row piles used in foundation pit retaining in silt soft soil [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(2):79-81.
- [2] 林鹏,王艳峰,范志雄,等.双排桩支护结构在软土基坑工程中的应用分析[J].岩土工程学报,2010,32(S2):331-334.  
LIN Peng, WANG Yanfeng, FAN Zhixiong, et al. Application and analysis of retaining structure with double-row piles in soft ground excavation engineering [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010,32(S2):331-334.
- [3] 黄全海,梁宁.联合支护技术在深基坑支护中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(7):72-77.  
HUANG Quanhai, LIANG Ning. Combined support technology in the application of deep foundation pit [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(7):72-77.
- [4] JGJ 120-2012,建筑基坑支护技术规程[S].  
JGJ 120-2012, Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S].
- [5] 龚晓南,侯伟生.深基坑工程设计施工手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.  
GONG Xiaonan, HOU Weisheng. Design and construction handbook for deep foundation pits (the second edition)[M].

- Beijing: China Architecture & Building Press, 2017.
- [6] 王殿斌,吕三和.青岛市深基坑工程实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.  
WANG Dianbin, LÜ Sanhe. Construction of deep foundation pits in Qingdao[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.
- [7] 梁宁,张洪欣,黄全海.复杂条件深基坑止水帷幕墙施工技术的探索[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):66-70.  
LIANG Ning, ZHANG Hongxin, HUANG Quanhai. Exploration of water-stop curtain wall for deep foundation pit in complex conditions[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(6):66-70.
- [8] 李洪厂,张淑娟,朱效品.高压旋喷桩在北京某深基坑止水帷幕中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(11):56-58.  
LI Hongchang, ZHANG Shujuan, ZHU Xiaopin. Application of high-pressure jet pile in water-stop curtain for a deep foundation pit in Beijing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(11):56-58.
- [9] 温顺福,张旺,杨文威.支护桩、锚桩、预应力锚索、土层锚杆联合支护体系的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(3):45-46.  
WEN Shunfu, ZHANG Wang, YANG Wenwei. Application of combined supporting system with protecting pile, anchor pile, pre-stressed anchor cable and soil anchor[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(3):45-46.
- [10] 林书成,周振荣,唐咸远.复杂环境中深基坑综合支护设计与施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):70-74.  
LIN Shucheng, ZHOU Zhenrong, TANG Xianyuan. Design of comprehensive supporting for deep foundation pit in complex environment and the construction technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(1):70-74.
- [11] 张岩,王万德.预应力锚杆在深基坑围护中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(1):12-14.  
ZHANG Yan, WANG Wande. Application of pre-stressed anchor bolt in deep foundation pit shoring[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(1):12-14.
- [12] 熊楚炎.某基坑锚杆失效事故的原因分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):52-55.  
XIONG Chuyan. Analysis on the causes of anchor bolt failure accident in a foundation pit [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(7):52-55.
- [13] 蔡文盛.基坑围护结构渗漏的堵漏措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(3):47-48,51.  
CAI Wensheng. Seepage control on leaking in support structure of foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(3):47-48,51.
- [14] 杜甫志,王宪章,吴旭君,等.饱水砂层深基坑中悬臂式双排桩支护及地下水处理方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):55-59.  
DU Fuzhi, WANG Xianzhang, WU Xujun, et al. Cantilever type double-row piles retaining and groundwater treatment for deep foundation pit in saturated sand[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(4):55-59.
- [15] 胡国超,刘施蕊.邻近建筑物的深基坑工程实例[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):64-67,73.  
HU Guochao, LIU Shirui. An example of deep foundation pit engineering with adjacent buildings [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(10):64-67,73.

(编辑 周红军)