

# 北京中关村科技园区丰台园东区 基坑工程支护设计与施工

张红涛

(北京市地质工程公司, 北京 100143)

**摘要:**目前多种支护方式组合在基坑支护工程中的使用越来越广泛。本文以北京丰台区中关村科技园区丰台园东区三期 1516-36 号地块项目基坑工程为例,根据现场实际需要选择了整体采用桩锚支护,在局部采用了土钉墙+大坡率放坡联合支护、大坡率放坡锚喷筒易支护和悬臂桩支护等多种支护组合的型式。相关测绘单位第三方基坑监测显示均处于安全变形范围内,满足设计要求。

**关键词:**基坑支护;桩锚支护;土钉墙;大坡率放坡;悬臂桩

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)03-0064-05

## Design and construction of foundation pit support in Fengtaiyuan east area of Zhongguancun Science and Technology Park, Beijing

ZHANG Hongtao

(Beijing Geological Engineering Company, Beijing 100143, China)

**Abstract:** The combination of multiple support methods is more and more widely used in current foundation pit support. For the foundation pit project of No.1516-36 plot in the third phase of Fengtaiyuan east area of Zhongguancun Science and Technology Park, Fengtai District, Beijing, the pile anchor is selected for overall support in combination with soil nailing wall plus large rate sloping, large sloping anchor spraying plus cantilever piles for local support according to the actual requirements. The third-party monitoring results of the foundation pit by the relevant surveying and mapping units are all within the safe deformation range, meeting the design requirements.

**Key words:** foundation pit support; pile-anchor support; soil nail wall; large slope rate sloping; cantilever pile

### 0 引言

随着我国现代化建设的推进,城市规模的扩大使得建筑向着高层和超高层发展,相应的地下空间也越来越深,施工复杂程度和不确定性越来越大。基坑支护具有安全经济、环境友好、工期较短等优点,是一项保护地下结构和施工安全的重要措施,得到广泛的应用<sup>[1-7]</sup>。然而基坑所处的复杂环境,使得基坑支护在设计 and 施工过程中不能采取一种支护方式,需要根据实际的地质条件、周围环境等来灵活选取多种支护方式组合,实现安全可靠、经济环保的目标<sup>[8-11]</sup>。

常见的基坑支护形式主要有地下连续墙、土钉

墙、原状土放坡、桩锚支护等,其中桩锚支护在实际应用中具有安全、工期短等特点,在北京地区的基坑工程中得到了广泛的应用<sup>[1-2,12-14]</sup>。本文以北京丰台区中关村科技园区丰台园东区三期 1516-36 号地块项目为例,根据现场实际情况,选择整体采用桩锚支护,在局部采用土钉墙+大坡率放坡联合支护、大坡率放坡锚喷筒易支护和悬臂桩支护等多种支护组合的型式,并对基坑进行监测。

### 1 工程概况

#### 1.1 项目概况

中关村科技园区丰台园东区三期 1516-36 号

**收稿日期:**2019-12-18; **修回日期:**2020-02-21 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.03.011

**作者简介:**张红涛,男,汉族,1977 年生,工程管理部主任,高级工程师,地质工程专业,硕士,长期从事岩土工程施工及项目管理工作,北京市海淀区田村路 39 号,zht175@163.com。

**引用格式:**张红涛.北京中关村科技园区丰台园东区基坑工程支护设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):64-68,74.

ZHANG Hongtao. Design and construction of foundation pit support in Fengtaiyuan east area of Zhongguancun Science and Technology Park, Beijing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):64-68,74.

地块项目位于北京市丰台区花乡四合庄,北侧为五圈路,南侧为六圈路,东侧为四合庄西路,西侧为南梗村三号路。拟建场地位于北京丰台区科技园南梗村三号路与五圈南路交叉口处,交通较便利,图 1 是

基坑支护平面图。拟建工程由 21 栋楼组成。建设用地面积约 80867.401 m<sup>2</sup>,总建筑面积为 325629.88 m<sup>2</sup>,其中地上 194081.76 m<sup>2</sup>、地下 131548.12 m<sup>2</sup>。

1.2 工程地质条件

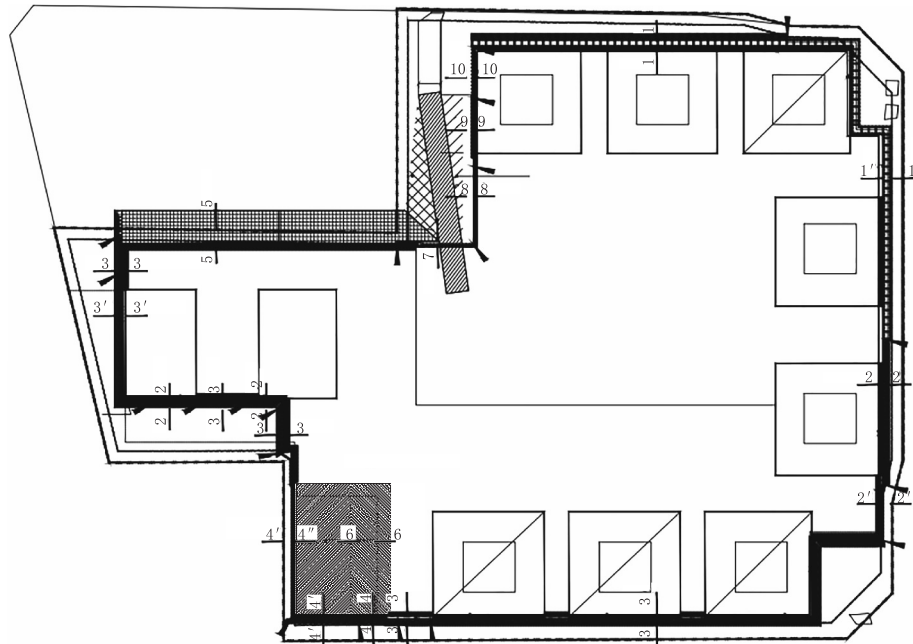


图 1 基坑支护平面图

Fig.1 Layout of the foundation pit support

拟建场地位于永定河冲洪积扇的中上部,地势较平坦,近年来由于采砂活动,在拟建工程场地的东侧形成了最深约 22.6 m 的采砂坑,后成为渣土消纳场,堆积巨厚的建筑垃圾及生活垃圾,原有采砂坑

全部被填平,成现有地形。拟建场地内钻探揭露地层主要为人工堆积层(Q<sub>4</sub><sup>ml</sup>)、第四系全新统冲洪积层(Q<sub>4</sub><sup>al+pl</sup>)、第四系上更新统冲洪积层(Q<sub>3</sub><sup>al+pl</sup>)及上第三系(N)泥岩<sup>[15-17]</sup>。各地层岩性如表 1 所示。

表 1 各地层岩性

Table 1 Lithology of formation

地层	层号	名称	性质
人工堆积层(Q <sub>4</sub> <sup>ml</sup> )	①	杂填土	杂色,松散—稍密,稍湿,成分以建筑垃圾、炉灰为主,厚 0.5~22.6 m
	① <sub>1</sub>	粘质粉土素填土	褐黄色,松散—稍密,稍湿,成分以粘质粉土为主,局部以粉质粘土重粉质粘土、粘土及粉细砂为主,厚 0.5~17.0 m
第四系全新统冲洪积层(Q <sub>4</sub> <sup>al+pl</sup> )	②	粉细砂	褐黄色,稍密—中密,稍湿,成分以石英、长石为主,该层下部含有少量的砾石,厚 0.3~6.2 m
	② <sub>1</sub>	粘质粉土砂质粉土	褐黄色,中密—密实,稍湿—湿,含有云母及氧化铁,局部夹粉质粘土层,厚 0.3~0.8 m
	③	圆砾	杂色,稍密—中密,稍湿,母岩成分以微风化的石英质砂岩为主,含少量辉绿岩,局部区域有缺失,夹粉细砂薄层,厚 0.4~2.0 m
	④	卵石	杂色,中密—密实,稍湿,母岩成分以微风化的石英质砂岩为主,含少量辉绿岩,局部夹粉质粘土、粉细砂及圆砾薄层,厚 1.9~10.0 m
	④ <sub>1</sub>	粉细砂	褐黄色,稍湿,密实,成分以石英、长石为主,该层含有少量的砾石,厚 0.7~0.9 m
第四系上更新统冲洪积层(Q <sub>3</sub> <sup>al+pl</sup> )	⑤	卵石	杂色,密实,稍湿—饱和,母岩成分以微风化的石英质砂岩为主,含少量辉绿岩,局部夹中粗砂及圆砾薄层,该层仅局部揭穿
	⑤ <sub>1</sub>	中粗砂	褐黄色,稍湿,密实,成分以石英、长石为主,该层含有少量的砾石,厚 0.6~1.0 m
	⑤ <sub>2</sub>	圆砾	杂色,中密,稍湿,母岩成分以微风化的石英质砂岩为主,含少量辉绿岩
第三系(N)泥岩	⑥	强风化泥岩	棕红色,岩心呈土柱状夹砂土状,局部区域夹块状,泥质结构,中厚层构造,风化裂隙发育,敲击易碎,原岩结构明显

### 1.3 水文地质条件

拟建场地存在2层地下水,分别为上层滞水和潜水,稳定水位埋深分别为8.3~19.5 m和29.3~29.8 m。潜水含水层对基坑挖深无影响。对于上层滞水,施工中可采取明排方式疏排。

### 1.4 基坑周边环境

基坑影响范围内无重要建(构)筑物,基坑开挖上口线北侧距离污水管(东西走向,Ø800 mm钢筋混凝土管,管底标高42.24 m)、雨水管(东西走向,Ø800 mm钢筋混凝土管,管底标高43.38 m)最近约6 m;基坑开挖上口线东侧伸进一条上水管(南北走向,Ø150 mm铸铁管,管底标高43.20 m),另外一条管线距离最近约4 m(南北走向,Ø150 mm铸铁管,管顶标高43.43 m);基坑开挖上口线西侧距离上水管(南北走向,Ø150 mm铸铁管,管顶标高44.99 m)及污水管(南北走向,Ø800 mm钢筋混凝土管,管底标高43.83 m)最近约8.5 m;基坑开挖上口线南侧距离电力管沟(东西走向,Ø1000 mm混凝土沟,管顶标高43.53 m)最近约9 m。

## 2 基坑支护设计

本工程±0.00=46.75 m。地表标高46.38~47.43 m。基坑支护设计时地坪按照±0计算,基坑深14.77~16.32 m,能源中心深19.67 m。根据基坑开挖深度和周边情况,支护划分为10个主剖面,根据现场和工程实际情况,基坑整体采用桩锚支护,在局部采用土钉墙+大坡率放坡联合支护、大坡率放坡锚喷筒易支护和悬臂桩支护等3种型式。桩锚支护段基坑安全等级为一级,其余为三级,使用年限为1年。基坑坡顶2.0 m范围内严禁堆载,2.0 m范围以外堆载 $\geq 20$  kPa。

### 2.1 桩锚支护设计

在桩锚支护施工设计中,根据支护剖面的不同进行调整。下面以1-1支护剖面和1'-1'支护剖面的设计进行说明。

(1)1-1支护剖面位于基坑北侧的支护段,图2是该段支护结构图。实际挖深16.32 m(主楼),上部5 m土钉墙,下部双排桩+锚杆支护型式,桩径0.8 m,桩顶位于-5.0 m。前排,即迎坑面设置Ø800@1600支护桩,桩长20.0 m;后排,即背坑面设置Ø800@3200支护桩,桩长20.0 m。双排桩中心间距3 m,中间设置拉梁。在后排桩-7.5 m处

设置一道锚杆,角度35°,长31.5 m,间距1.6 m,轴向拉力标准值为500 kN。土钉墙面层编制Ø6.5@200×200钢筋网,喷射80 mm厚C20碎石混凝土;桩间1.5 mm厚钢板网,网目50 mm板网片与Ø14@1000加强筋焊接,横向加强筋深入护坡桩桩身不小于5 cm,加强筋中间用单面搭接焊接,桩间面层喷射50 mm厚C20混凝土。

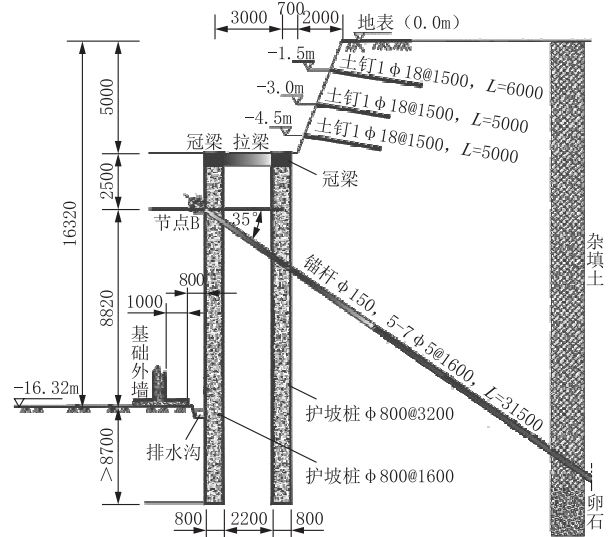


图2 1-1剖面支护结构

Fig.2 Support structure of Cross-section 1-1

(2)1'-1'剖面(集水坑位置)位于基坑北侧东段和东侧北段,图3是该段支护结构图。实际挖深18.32/17.02 m,双排桩+锚杆支护型式,前排桩顶位于-5.0 m,后排桩顶位于自然地面。前排设置Ø800@1600支护桩,桩长20.0 m;后排设置Ø800@1600支护桩,桩长25.0 m。双排桩中心间距3 m,中间-5 m位置设置拉梁。共设置2道预应力锚杆,第一道预应力锚杆长度31.5 m,一桩一锚,轴向拉力标准值为500 kN;第二道预应力锚杆长度20.0 m,一桩一锚,轴向拉力标准值为350 kN。桩间挂1.5 mm厚钢板网,网目50 mm板网片与Ø14@1000加强筋焊接,横向加强筋深入护坡桩桩身不小于5 cm,加强筋中间用单面搭接焊接,桩间面层喷射50 mm厚C20混凝土。

### 2.2 土钉墙+大坡率放坡联合支护设计

5-5支护剖面位于基坑西侧北段,图4是该段支护结构图。采用分级放坡支护型式。下部大坡率放坡插筋补强支护,坡度系数1:1;上部1:0.6放坡土钉墙支护。挖深17.32/15.32 m。面层编制Ø6.5@200×200钢筋网,喷射80 mm厚C20碎石混凝土。

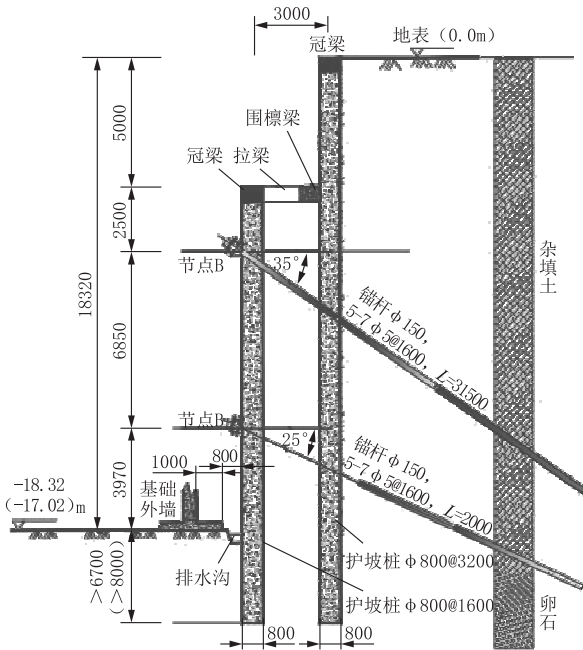


图 3 1'-1'剖面(集水坑位置)支护结构

Fig.3 Support structure of Cross-section 1'-1' (sump location)

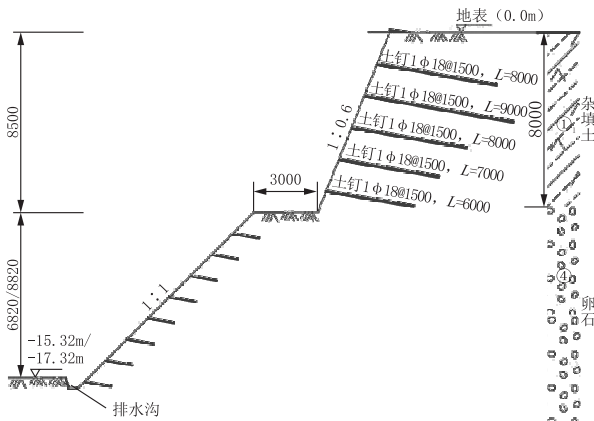


图 4 5-5剖面支护结构

Fig.4 Support structure of Cross-section 5-5

### 2.3 大坡度放坡锚喷筒易支护设计

6-6 支护剖面位于基坑西南角,高差 3.4 m,图 5 是该段支护结构图。采用分级放坡、大坡度放坡插筋补强支护,坡度系数 1:1。

### 2.4 悬臂桩支护设计

7-7 支护剖面位于基坑北侧与坡道交界位置,图 6 是该段支护结构图。设置 Ø800@1600 支护桩,桩长 12.0 m,桩顶标高 -11.0 m。桩间挂 1.5 mm 厚钢板网,网目 50 mm 板网片与 Ø14@1000 加强筋焊接,横向加强筋深入护坡桩桩身不小于 5 cm,加强筋中间用单面搭接焊接,桩间面层喷射 50 mm 厚 C20 混凝土。

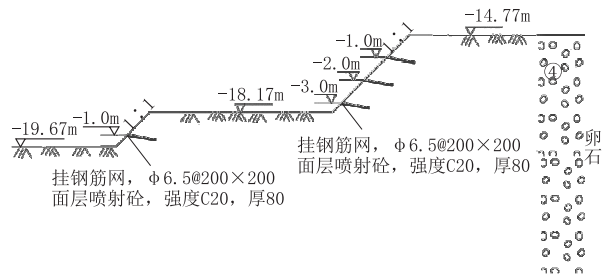


图 5 6-6剖面支护结构

Fig.5 Support structure of Cross-section 6-6

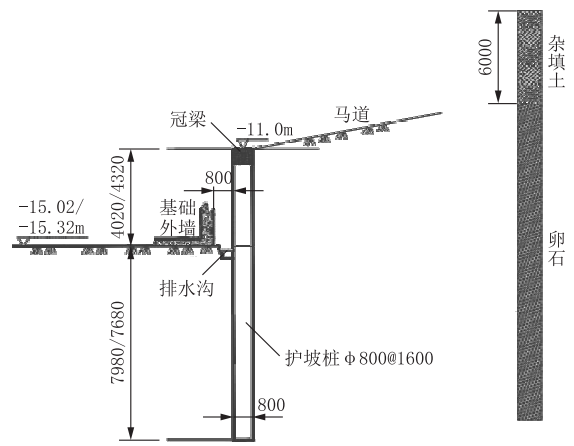


图 6 7-7剖面支护结构

Fig.6 Support structure of cross-section 7-7

## 3 基坑质量监测结果分析

在基础施工及维护阶段,由于工程的基础深,开挖面积大,基坑边坡服务时间长,需要在开挖前根据支护形式准确放线定位、在开挖过程中不断监测,掌握基坑变形发展趋势,防止基坑过大变形,确保边坡的安全稳定和工程顺利进行,及时掌握基坑边坡变形动态,为基坑施工提供信息反馈。本工程基坑侧壁安全等级为一级,主要支护形式为土钉墙及桩锚,基坑周边无重要建(构)筑物,地下水位埋深约 30 m。基坑监测项目应包括:支护结构顶部水平位移,地下管线、道路沉降,基坑周边地面沉降,支护结构顶部竖向位移,支护结构深部水平位移,锚杆拉力。

依据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-2012)<sup>[4]</sup>、《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2014)<sup>[18]</sup>及设计图纸,委托相关测绘单位进行第三方监测。监测结果如下:

(1)根据 18 根土钉的抗拔承载力检测结果,受检的 18 根土钉在最大加载时均未被拔出,未发现明显破坏迹象,锚头变形稳定,抗拔承载力满足设计要求,表 2 为部分土钉拉拔试验结果。

表2 部分土钉拉拔试验结果  
Table 2 Pull-out test results of some soil nails

编号	位置	设计参数			试验结果	
		土钉长度/m	成孔直径/mm	抗拔承载力标准值/kN	最大加载值/kN	锚头变形量/mm
1	1-1 第二道	5	100	15	30	2.48
2	2-2 第一道	5	100	30	40	3.87
3	3-3 第一道	6	100	36	50	4.62
4	3'-3' 第一道	6	100	18	30	1.76
5	4'-4' 第二道	5	100	45	60	8.33
6	5-5, 第三道	8	100	96	100	9.23

(2) 锚杆验收试验最大加载不低于锚杆轴向受拉承载力标准值的 1.4 倍, 试验点位置由委托方指定。根据 127 根锚杆的试验结果, 锚杆在最大加载时变形稳定, 弹性变形不小于自由段长度变形计算值的 80%, 锚杆最大荷载时对应的变形满足验收要求, 受检锚杆抗拔力均满足设计要求。

(3) 根据低应变法桩身完整性检测结果, 本工程受检的 168 根护坡桩桩身完整性均为 I 类合格桩。

(4) 植筋拉拔力检测结果表明, 本工程受检的 29 根植筋最大加载值均设为植入钢筋材料强度标准值, 结果表明在最大加载时植入的钢筋均未被拔出, 未发现破坏迹象, 抗拔承载力满足设计要求。

#### 4 结语

本工程在同一基坑支护工程中, 整体采用桩锚支护, 在局部采用土钉墙+大坡率放坡联合支护、大坡率放坡锚喷筒易支护和悬臂桩支护等 3 种型式, 经过监测, 土钉、锚杆等均处于安全变形范围内, 满足设计要求。实践证明, 根据实际地质条件灵活选用不同的支护方式组合能够更好的满足不同情况下的需要, 提高工程的安全性和可靠性, 也为类似的基坑工程提供了借鉴和指导。

#### 参考文献(References):

- [1] 刘海兵. 凤城国贸工程超深基坑桩锚支护设计与施工[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(5): 86-91.  
LIU Haibing. Design and construction of the ultra-deep foundation pile-anchor supporting in Fengcheng International Trade Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(5): 86-91.
- [2] 黄薛, 郭长恩, 孔涛. 济南东舍坊深基坑工程多种支护方式及变形对比分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(6): 77-82, 87.  
HUANG Xue, GUO Changen, KONG Tao. Comparison of deformation with various support methods used at a deep foun-

- dation pit project in Jinan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(6): 77-82, 87.
- [3] 刘明, 任文天. 多种支护方式在深基坑工程中综合运用的工程实例[J]. 中国新技术新产品, 2016(16): 98-100.  
LIU Ming, REN Wentian. Field cases of comprehensive application of multiple support methods in deep foundation pit works[J]. New Technology & New Products of China, 2016(16): 98-100.
- [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] 万涛英. 浅谈软土地基中基坑支护质量控制措施[J]. 华北国土资源, 2019(5): 37-38.  
WANG Taoying. Quality control measures of foundation pit support in soft ground[J]. Huabei Land and Resources, 2019(5): 37-38.
- [6] 任伟. 岩土工程中软质岩石基坑支护设计及应用[J]. 工程建设与设计, 2019(21): 56-58.  
REN Wei. Design and application of soft rock foundation pit support in geotechnical engineering[J]. Construction & Design for Engineering, 2019(21): 56-58.
- [7] 康果, 朱斌, 刘君. 岩土工程中软质岩石基坑支护设计及应用[J]. 中华建设, 2019(10): 142-143.  
KANG Guo, ZHU Bin, LIU Jun. Design and application of soft rock foundation pit support in geotechnical engineering[J]. China Construction, 2019(10): 142-143.
- [8] 熊赞民, 高全臣, 陆伟, 等. 多种支护方式在深基坑工程中的综合应用[J]. 建筑科学, 2008(3): 75-77.  
XIONG Zanmin, GAO Quanchen, LU Wei, et al. Application of supporting techniques for deep foundation pit[J]. Building Science, 2008(3): 75-77.
- [9] 赵益良, 简青松. 多种支护方式在深基坑施工中的应用[J]. 山西建筑, 2005(11): 62-63.  
ZHAO Yiliang, JIAN Qingsong. The application of various supporting ways in deep foundation pit excavation[J]. Shanxi Architecture, 2005(11): 62-63.
- [10] 丁祖双. 多种支护形式组合在复杂环境基坑中的应用[J]. 低碳世界, 2019, 9(8): 73-75.  
DING Zushuang. Application of various support combinations in foundation pit works in the complex environment[J]. Low Carbon World, 2019, 9(08): 73-75.
- [11] 江义, 薛社社. 多种深基坑支护方式的组合应用的施工质量控制——芜湖站东广场地下空间工程深基坑支护应用[J]. 价值工程, 2015, 34(4): 144-146.  
JIANG Yi, XUE Sheshe. Construction quality control of the combined application of multiple deep foundation pit supporting ways: Application in the underground space construction deep foundation pit supporting in the East Square of Wuhu Station[J]. Value Engineering, 2015, 34(4): 144-146.
- [12] 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 bracing of deep foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(7): 72-77.

(下转第 74 页)

- 术, 2018, 47(S1): 67-69.  
WANG Liang. Effect of the soil mechanical parameters on deformation behavior in deep foundation excavation [J]. Construction Technology, 2018, 47(S1): 67-69.
- [5] 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].
- [6] 李芬, 于建立. 施工扰动荷载对基坑支护结构的影响研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2019, 43(1): 26-30.  
LI Fen, YU Jianli. Research on the influence of construction disturbing loads on supporting structure of foundation pit[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2019, 43(1): 26-30.
- [7] 陈志辉. 深基坑边坡位移突变的原因分析及控制措施[J]. 西部探矿工程, 2008, 20(10): 28-30.  
CHEN Zhihui. Analysis and control measures for abrupt displacement of the deep foundation pit slope[J]. West-China Exploration Engineering, 2008, 20(10): 28-30.
- [8] 苏铁志, 马世敏, 吴敏. 深基坑边坡位移突变原因及处理措施分析[J]. 岩土工程技术, 2018, 32(2): 88-91.  
SU Tiezhi, MA Shimin, WU Min. Deep foundation pit slope displacement mutation causes and treatment measures reliability analysis[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2018, 32(2): 88-91.
- [9] 张彬. 钢板桩与支撑体系间空隙大小对围堰系统内力变形影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.  
ZHANG Bin. Effect of the clearance between the steel sheet pile and the support system on the internal force and deformation in the cofferdam system[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [10] 耿晔宽, 高芬芬, 周成君. 深厚软土地区基坑大变形机理与控制对策研究[J]. 岩土工程技术, 2018, 32(6): 313-316.  
GENG Yekuan, GAO Fenfen, ZHOU Chengjun. The research of large deformation mechanism and control countermeasures of excavation under deep soft soil area[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2018, 32(6): 313-316.
- [11] 李光宏. 复杂环境基坑支护方案的综合设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(9): 80-83.  
LI Guanghong. Comprehensive design of foundation pit support scheme in complex environment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(9): 80-83.
- [12] 董建忠, 黄飞. 复杂环境条件下深基坑支护方案设计研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(12): 34-38.  
DONG Jianzhong, HUANG Fei. Study on the design of deep foundation pit supporting scheme in complicated environment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(12): 34-38.
- [13] 黄世华, 李元志, 陈墨. 多种支护型式联合应用在深基坑支护工程中[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1): 429-432.  
HUANG Shihua, LI Yuanzhi, CHEN Mo. Application of multi-supports in deep foundation pit excavation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(S1): 429-432.
- [14] 彭常青, 贺金仁, 林日练. 软土地基上钢管桩围堰的基础理论研究[J]. 水运工程, 2015, 40(6): 152-155.  
PENG Changqing, HE Jinren, LIN Rilian. Basic theory of steel pile cofferdam on soft clay foundation[J]. Port & Waterway Engineering, 2015, 40(6): 152-155.
- [15] 潘泓, 曹洪, 尹一鸣. 广州猎德大桥钢板桩围堰的设计与监测[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(11): 2242-2248.  
PAN Hong, CAO Hong, YIN Yiming. Design and monitoring of steel sheet pile cofferdams of Liede Bridge in Guangzhou[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(11): 2242-2248.
- [16] 任俊. 对若干基坑事故的分析与探讨[D]. 荆州: 长江大学, 2012.  
REN Jun. Discussion on foundation pit accidents[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2012.

(编辑 周红军)

## (上接第 68 页)

- [13] 孙延贺, 郭少华. 探讨深基坑工程桩锚支护的应用[J]. 河南建材, 2019(5): 46-47.  
SUN Yanhe, GUO Shaohua. Application of pile anchor support in deep foundation pit works[J]. Henan Building Materials, 2019(5): 46-47.
- [14] 单宝学, 倪晓荣, 李哲琳. 北京地区深基坑桩锚支护结构协同变形分析研究[J]. 山西建筑, 2019, 45(20): 3-5.  
SHAN Baoxue, NI Xiaorong, LI Zhelin. The interaction deformation research on pile-anchor supporting structure of deep foundation pits in Beijing area[J]. Shanxi Architecture, 2019, 45(20): 3-5.
- [15] GB 50021-2001, 岩土工程勘察规范(2009版)[S].  
GB 50021-2001, Code for investigation of geotechnical engineering (2009 edition)[S].
- [16] JGJ/T 87-2012, 建筑工程地质勘探与取样技术规程[S].  
JGJ/T 87-2012, Technical specification for engineering geological prospecting and sampling of constructions[S].
- [17] DBJ 11-501-2009, 北京地区建筑地基基础勘察设计规范[S].  
DBJ 11-501-2009, Code for geotechnical investigation and design of building foundations in Beijing area[S].
- [18] JGJ 106-2014, 建筑基桩检测技术规范[S].  
JGJ 106-2014, Technical code for testing of building foundation piles[S].

(编辑 周红军)