

凤城国贸工程超深基坑桩锚支护设计与施工

刘海兵

(华北地质勘查局第四地质大队,河北 秦皇岛 066000)

摘要:桩锚支护结构体系是将护坡桩与土层锚杆相结合的一种支护方法,安全经济的特点使它广泛应用于边坡和深基坑支护工程中,但在超深基坑中的应用仍在探索中。在凤城国贸超深基坑工程中,根据场地的工程地质条件、水文地质条件,充分考虑到周边条件,通过分析论证不同的基坑支护方案,选择技术上可行、经济上合理、整体性能好、同时便于基坑支护开挖及后续施工的桩锚支护体系。然后对基坑支护结构进行了土压力计算、灌注桩设计、锚杆设计、稳定性的验算,并通过后期变形观测,验证桩锚支护型式对于此超深基坑是安全经济适用可行的。

关键词:超深基坑;桩锚支护;护坡桩;土层锚杆;变形观测

中图分类号:TU473 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)05-0086-06

Design and construction of the ultra-deep foundation pile-anchor supporting in Fengcheng International Trade Project

LIU Haibing

(The Fourth Geological Brigade of the North China Geological Survey Bureau, Qinhuangdao Hebei 066000, China)

Abstract: The pile-anchor supporting structure system is a supporting method which combines slope protection piles with soil anchor bolts. It is widely used in slope and deep foundation pit support due to its safety and economic characteristics. However, its application in ultra-deep foundation pits is still under exploration. According to the engineering geological conditions and hydrogeological conditions at the foundation pit of Fengcheng International Trade Project, taking into account of its surrounding conditions, and with comparison of several different foundation pit support plans, the pile-anchor supporting system was selected, which is technically feasible, economically reasonable, provides good overall performance and is convenient for the excavation of foundation pits and subsequent construction. Then the soil pressure calculation, cast-in-place pile design, anchor bolt design and stability checking calculation were carried out for the foundation pit supporting structure. Later deformation monitoring verified that the pile-anchor support was safe, economical and feasible for the ultra-deep foundation pit.

Key words: ultra-deep foundation pit; pile-anchor supporting; slope protection pile; soil anchor; deformation monitoring

0 引言

近年来,随着我国经济建设的高速发展,高层建筑或超高层建筑越来越多的兴建,基坑也随之相应的越来越深,施工环境及施工难度也越来越大。因此,对基坑设计来说,既要保证基坑施工安全性,又要保证经济合理性,这就需要在基坑设计时,综合考虑基坑开挖深度、周边环境条件、岩土工程条件的复杂程度、施工作业设备和施工季节等条件,合理选取支护型式,达到既设计合理,又经济适用。

支护结构型式主要有:排桩、地下连续墙、水泥土墙、逆作拱墙、土钉墙、原状土放坡或采用上述型式的组合,每种支护结构型式都有其适用条件。

桩锚支护体系其主要特点是采用锚杆取代基坑支护内支撑,给支护排桩提供锚拉力,以减小支护排桩的位移与内力,并将基坑的变形控制在允许范围内。桩锚支护体系主要由护坡桩,土层锚杆,围檩和锁口梁 4 部分组成,在基坑地下水水位较高的地方,支护桩后还有防渗堵漏的水泥土墙等,它们之间相

收稿日期:2018-09-19; 修回日期:2019-01-25 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.05.015

作者简介:刘海兵,男,汉族,1981年生,土木工程专业,主要从事岩土工程、矿山水文地质、地质灾害评估等技术管理工作,河北省秦皇岛市经济技术开发区镜泊湖路12号,93684045@qq.com。

引用格式: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.

互联系,相互影响,相互作用,形成一个有机整体^[1-2]。桩锚支护结构体系是将护坡桩与土层锚杆相结合的一种支护方法,安全经济的特点使它广泛应用于边坡和深基坑支护工程中,但在超深基坑中的应用仍在探索中。

1 工程概况

凤城国贸由住宅楼、办公楼、商业、公寓及地下车库等组成,净用地面积 32488.98 m²,总建筑面积 356335.23 m²,地下 4 层,开挖深度 19.45~20.25 m,基底标高相当于黄海高程 5.55~6.35 m。 $\pm 0.000=26.30$ m,整平后地面绝对标高为 25.80 m。该基坑西侧为某大厦,地下 2 层,地上 13~28 层,距离本基坑 15~17 m;基坑北侧、东侧、南侧均为市政道路,道路下埋有市政给水、污水、配电、通讯、雨水和燃气管线。

2 工程地质与水文地质条件

根据本工程岩土工程勘察报告^[3-4],按地层岩性及其物理性质,将支护相关地层自上而下分述如表 1。

表 1 地层岩性及其物理性质
Table 1 Lithology and physical properties of strata

层号	岩土名称	岩性描述
①	杂填土	杂色,稍湿,松散,主要以粉土、砖块、碎石为主
②	粉土	褐黄色,密实,切面粗糙,干强度低,韧性低,摇振反应中等,夹粉质粘土薄层
③	细砂	黄褐—灰黄色,中密—密实,湿,长石石英质,砂质较纯净,级配不良,磨圆度中等
④	粘土	褐黄—黄褐色,可塑状态,切面光滑,干强度高,韧性高,无摇振反应,夹粉土薄层
④ ₁	粉砂	黄褐色,中密—密实,饱和,长石石英质,砂质纯净,亚圆形,磨圆度中等,级配较好
⑤	粉砂	黄褐色,密实,饱和,长石石英质,砂质纯净,亚圆形,磨圆度中等,级配较好
⑥	粘土	褐黄—黄褐色,可塑—硬塑状态,切面光滑,干强度高,韧性高,无摇振反应
⑦	粉砂	黄褐色,密实,饱和,长石石英质,砂质较纯净,亚圆形,磨圆度中等,级配较好,含少量圆砾,偶见卵石
⑦ ₁	卵石	杂色,密实,饱和,成分主要以风化石英砂岩为主,一般粒径 3~4 cm,最大可见 6 cm,填充物以中粗砂为主,局部存在
⑧	粉质粘土	褐黄色,可塑—硬塑状态,切面稍有光泽,干强度中等,韧性中等,无摇振反应
⑨	粉砂	黄褐色,密实,饱和,长石石英质,砂质纯净,亚圆形,磨圆度中等,级配较好

根据工勘报告,现场地下水埋深为 9.30~

12.50 m(黄海高程 13.30~16.50 m),地下水类型为潜水,该层水动态主要受大气降水及人工开采影响,年最低水位一般出现在 5 月底 6 月初,最高水位出现在 9 月底或翌年 1~2 月,地下水年变幅 2 m 左右,水位总体呈逐年下降趋势。

3 超深基坑支护设计方案选择

基坑开挖深度为 19.45~20.25 m,属超深基坑,基坑设计安全等级为一级,基坑水平及竖向位移按二级控制^[5]。对围护结构来说,方案选择本着安全第一,技术上可行、经济上合理的原则,考虑到基坑开挖深,基坑周围施工场地狭小,邻近基坑边有建筑物和地下管线需要保护,邻近基坑边有深基础建筑物等条件,经过多个方案的比较分析:虽然地下连续墙具有墙体刚度大、防渗性能好、可以贴近施工、占地少等优点^[6],但如果施工方法不当或地质条件特殊,可能出现相邻墙段不能对齐和漏水的问题,而且地下连续墙如果用作临时的挡土结构,比其他方法的费用要高很多;采用灌注桩作为围护体系,支撑体系如果采用内支撑则工作量太大极不经济,同时如果支撑拆除考虑在内工期过长,且拆除过程中难以保持原力系的平衡。

单一支护结构型式难以满足工程和经济要求,为节约施工空间,保护邻近建筑物和地下设施,减少基底回弹,利用支护结构进行地下水控制,保证基坑开挖安全,防止基坑变形对周边建筑物和市政道路造成不良影响,综合考虑采用组合式支护结构^[7],采用桩锚支护方案。

桩锚支护方案优点:

- (1)现场浇筑、无挤土效应、对周边环境影响小;
- (2)与地下连续墙比较设备简单造价低、速度快;
- (3)平面布置灵活。

桩锚支护体系桩顶用钢筋混凝土冠梁连结,起到遏制桩顶变形的作用,桩体自上而下按照一定的网度布设多道预应力锚杆(索),并通过横梁背拉桩体,共同约束基坑边坡变形,为确保边坡的整体稳定起到了主动支护的作用。

4 支护结构的设计计算

基坑支护结构计算包括土压力计算、灌注桩设计、锚杆设计、稳定性的验算。按照《建筑基坑支护

技术规程》(JGJ 120—2012)^[8]的要求,土压力计算采用朗肯土压力理论,所有土层采用水土合算。

4.1 原始数据(见表2)

表2 支护结构设计原始数据

Table 2 Original data of the supporting structure design

基坑深度 (桩顶距坑 底距离)/m	水位距桩顶 距离/m		地面均 布荷 载/kPa	条 形 荷 载			桩嵌固 深度安 全系数	桩背与土的 摩擦角系数 (0~2/3)	锚 杆 参 数					
	邻土面	邻坑面		荷载 值/kPa	距桩的 距离/m	宽度/ m			深度(距桩 顶距离)/m	锚撑 道数	钢筋安 全系数	锚固长度 安全系数	抗拉强 度/MPa	钻孔直 径/m
20.25	8.2	23	15	300	18.5	15	10.8	1.2	0.45	5	1.4	1.4	1220	0.15

4.2 计算结果

基坑分6步开挖,分别为基坑深度5.5、9.0、12.5、15.5、18.5、20.25 m,计算结果见表3。第6步开挖,设计最大弯矩805.86 kN·m;桩径800 mm,桩距1.42 m;按圆形截面配筋,压缩区角度100.08°,受拉区角度249.84°,受拉面配筋面积47.99 cm²,配筋数11Φ25 mm,受压面配筋面积

21.16 cm²,配筋数7Φ25 mm,总配筋面积69.14 cm²,箍筋Φ8 mm,间距200 mm,加强筋Φ18 mm,间距2000 mm;抗管涌安全系数2.38,底部隆起值0.18 cm;地基承载力安全系数2.01。

锚撑设计^[9]见表4。土压力、弯矩、剪力及位移计算结果见图1~5,桩锚支护结构体系见图6。

表3 基坑支护计算结果

Table 3 Calculation results of the foundation pit support

开挖步骤	开挖基坑 深度/m	土压力零点距 桩顶距离/m	桩嵌固 深度/m	最大弯矩点距 桩顶距离/m	纵向每延米最大弯 矩值/(kN·m)	抗滑安 全系数	锚撑纵向每延米水平向计算锚固力/kN				
							第1道	第2道	第3道	第4道	第5道
第1步	5.50	5.51	1.88	6.00	44.78	2.61					
第2步	9.00	9.78	4.65	11.41	112.77	1.32	98.98				
第3步	12.50	13.68	7.39	17.31	411.09	1.46	98.98	189.84			
第4步	15.50	17.42	6.18	14.20	464.07	1.28	98.98	189.84	315.26		
第5步	18.50	19.83	8.28	24.98	936.43	1.36	98.98	189.84	315.26	277.64	
第6步	20.25	23.42	8.73	16.51	567.51	1.24	98.98	189.84	315.26	277.64	341.64

表4 锚撑设计

Table 4 Anchor supporting design

锚撑道数	型式	锚杆水平 间距/m	纵向每延米水平向 计算锚固力/kN	锚杆轴向设计 拉力值 N _t /kN	锚杆与水平线 的夹角/(°)	锚杆钢筋 面积/cm ²	钢绞线	锚杆自由 段长/m	锚杆锚固 段长/m
第1道	一桩一锚	1.42	98.98	161.88	15	1.67	2束 15.0(7Φ5)	10.10	6.96
第2道	一桩一锚	1.42	189.84	279.08	15	3.20	2束 15.0(7Φ5)	8.99	14.35
第3道	一桩一锚	1.42	315.26	463.46	15	5.32	4束 15.0(7Φ5)	5.88	22.17
第4道	一桩一锚	1.42	277.64	408.15	15	4.68	3束 15.0(7Φ5)	5.07	17.73
第5道	一桩一锚	1.42	341.64	502.24	15	5.76	4束 15.0(7Φ5)	5.00*	21.59

* 计算锚杆自由段长3.27 m,根据规范要求,若锚杆自由段长度<5 m,设计自由段长度取5 m。

5 桩锚施工方案

进场后首先进行测量放线及场地平整,待条件具备后,布置6台套反循环钻机进行护坡桩施工,布置1台套高压旋喷钻机进行西侧桩间帷幕的施工,并随着护坡桩进度,采用2台套反循环钻机进行降水井的施工。随着开挖进度,及时进行护坡桩桩顶冠梁及挡墙施工。待开挖至-5 m时,降水井联网抽水。随着土方工作的进行,分别进行每一步的锚杆、腰梁、桩间土支护等项目。

5.1 反循环成孔灌注桩施工^[10]

根据该工程所在地区工程地质条件和设计特点,选用GPS-15型反循环成孔钻机,原土自然造浆护壁,泥浆循环系统由泥浆池、泥浆沟等组成。钻孔和混凝土浇灌中所排出的废泥浆输入泥浆储存池清渣由挖掘机挖出,用装载机运至场地指定地点。钢筋笼在现场制作,然后安放钢筋笼和砼导管,如果沉渣过大,进行第二次清孔。桩体采用商品混凝土。

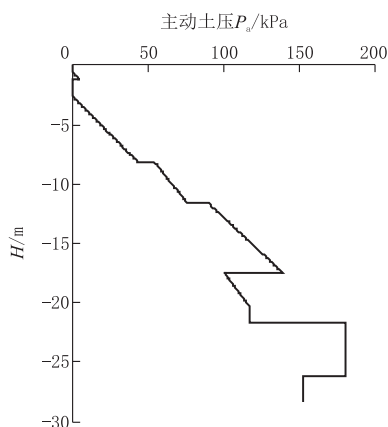


图 1 主动土压力
Fig.1 Active soil pressure

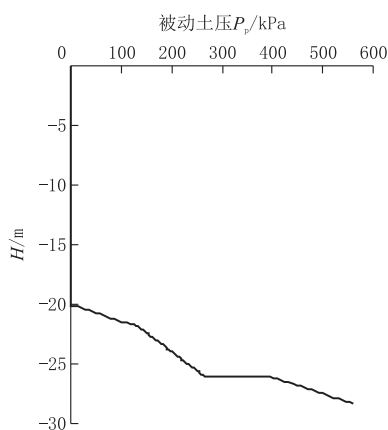


图 2 被动土压力
Fig.2 Passive soil pressure

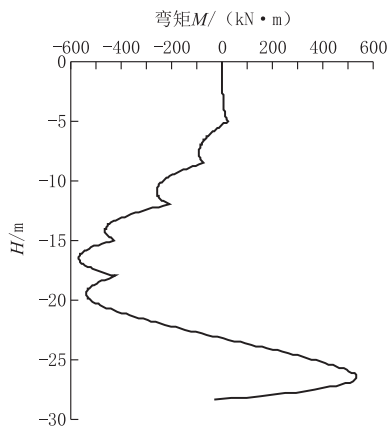


图 3 弯矩图
Fig.3 Bending moment diagram

护坡桩作为一种隐蔽工程,在施工过程中,从钻机对位到成孔,每一道施工工序都需要有甲方质检员及现场监理工程师按照国家有关规范和技术要求进行验证、确认,经过甲方质检员及现场监理工程师验收合格并同意后,方能进入下一道施工工序。

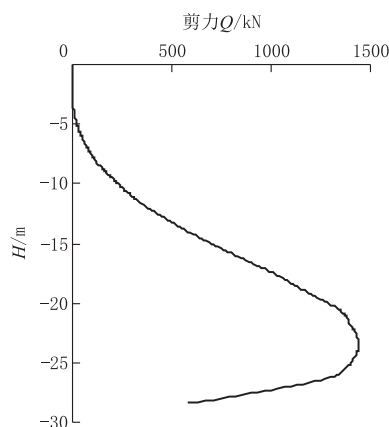


图 4 剪力图
Fig.4 Shear diagram

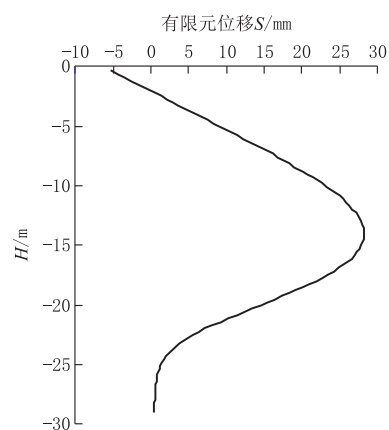


图 5 有限元位移图
Fig.5 Finite element displacement diagram

5.2 桩间止水帷幕施工

护坡桩间止水帷幕采用双管高压旋喷桩机施工。

5.3 桩顶冠梁施工

工艺流程:挖槽→绑钢筋→支模→浇筑混凝土→养护。

5.4 砖砌挡墙施工

除部分剖面外,护坡桩顶均低于地面 2.3 m,护坡桩顶冠梁以上区域采用砌砖墙加构造柱的挡土方式。

(1)桩冠梁顶至地面范围砌筑 370 砖挡墙,砖墙的标号为 Mu10,砂浆标号为 M10。确定砖墙的砌筑高度 2.4 m。在砖墙顶上设一道钢筋混凝土压顶梁;圈梁断面尺寸 200 mm×370 mm,圈梁主筋 6Φ14 mm,箍筋 Φ6 mm@250 mm。

(2)砖墙视冠梁距地面的高度不同,间隔 2.4 m 设置一个构造柱,柱断面尺寸 370 mm×370 mm,

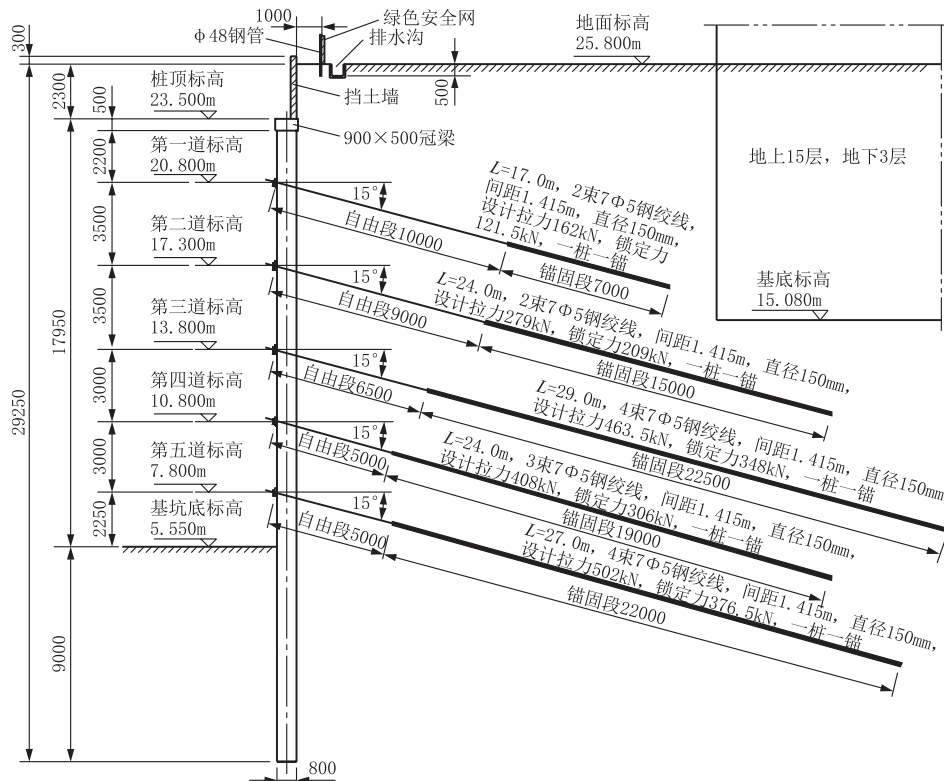


图6 桩锚支护结构体系

Fig.6 Pile-anchor supporting structure system

柱主筋 $8\Phi 14$ mm, 箍筋 $\Phi 6$ mm@250 mm。沿砖墙高度方向自下而上每间隔 0.5 m 设置 $2\Phi 6$ mm 拉结筋, 每侧锚入砖墙内长度 < 0.6 m。

5.5 降水井施工

工艺流程: 放线定点 → 钻机就位 → 泥浆护壁 → 钻孔 → 验井 → 下井管 → 填砾料 → 洗井。

5.6 桩间土护壁施工

为防止桩间土的坍塌流失, 进行挂网抹浆处理, 用 2.5 mm 厚钢板网, 规格为 $20\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 3.26\text{ mm}$, 其外侧加 $\Phi 14\text{ mm} @ 1000\text{ mm}$ 钢筋, 钢筋与镶嵌护坡桩内的膨胀螺栓焊接, 膨胀螺栓规格为 $M12 \times 105$, 喷 50 mm 厚 C20 豆石混凝土。为保证桩壁面的平整度、垂直度, 护坡桩施工时, 必须严格控制桩孔的位置、垂直度, 随时检查钻机的平稳及钻杆的垂直度; 在土方开挖时, 桩壁面禁止机械挖方, 应用人工清除, 以避免桩间土因机械开挖, 而造成过度坍塌及超挖; 在挂网喷浆处理时, 用经纬仪测出壁面, 在桩间土中插入细钢筋, 拉横线和吊垂线控制喷浆厚度及垂直度、平整度。从基坑桩顶至坑底全面控制, 保证壁面的垂直度及平整度。为保证护壁效果, 要求坑内土方开挖时, 在坑内周边预留 5.0 m

宽工作台, 待上层壁面处理完毕后, 再用机械和人工清土。

5.7 预应力锚杆施工

因本工程基坑较深, 深基坑桩锚支护的锚杆设计拉力较大, 为最大程度降低对土体的扰动和减少沉降量, 每层锚杆施工前期根据设计要求进行拉拔力试验, 以检测锚杆抗拉强度能否达到设计要求。

主要施工工艺流程: 钻机就位 → 校正孔位调整角度 → 钻孔至设计孔深 → 安放锚索 → 灌浆 → 二次注浆 → 养护 → 安装腰梁、锚头 → 张拉锁定。

本工程基底以上有一层地下水为潜水。根据本地施工经验, 对地下水采用管井围降的方式进行基坑降水, 同时考虑降水会对周边道路及邻近建筑物产生沉降变形的影响, 故局部增加止水帷幕确保周边建筑无沉降变形。

6 支护结果评述

通过对超深基坑桩锚支护结构顶部沉降观测、水平位移及深层水平位移的观测发现^[11], 土体开挖对基坑支护结构变形有较大影响, 在开挖过程中及时支撑锚杆能有效控制变形^[12]; 同一测点随着深

度的增加,水平位移值逐渐减小,土体最大的水平位移位置发生在地表附近,随着空间位置的变化,各测点的桩身水平位移表现出明显的空间效应,基坑各测点深层水平位移值由大到小,在监测过程中,支护的沉降、位移量均控制在预定的范围内,基坑施工始终是安全、稳定的,邻近道路、建构筑物未发生实质性沉降,证明基坑支护总体方案是比较成功的。

7 结语

基坑工程是建筑工程尤其是高层建筑的重要部分,基坑支护设计及施工方案的合理与否关系到基坑施工的经济性以及整个建筑施工的安全。桩锚支护结构体系是一种超静定结构,稳定性好,安全性能高,适用于深基坑及超深基坑工程,以及地层土质条件差、周边环境条件需要严格控制下的基坑支护工程,在各地各种地层中都有成功应用的实例,对于超深基坑采用桩锚支护结构在基坑开挖后应加强实时监测,掌握施工动态,分析变形,指导后续施工。

参考文献(References):

- [1] 王明龙,王景梅.深基坑桩锚支护中桩内力变化规律数值模拟研究[J].地下空间与工程学报,2013,9(3):576-584,627.
WANG Minglong, WANG Jingmei. Numerical simulation on the variation law of pile internal force of pile-anchor retaining structure in deep foundation pit[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2013,9(3):576-584,627.
- [2] 何司忠.北京东坝中路红松园基坑工程设计及施工方案[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):54-59.
HE Sizhong. Design and construction scheme of a foundation pit project in Beijing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):54-59.
- [3] 编写组.工程地质手册(第五版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.
Writing Group. Geological engineering handbook (5th edition) [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2018.
- [4] GB 50021-2001,岩土工程勘察规范(2009年版)[S].
GB 50021-2001, Code for investigation of geotechnical engineering (2009 edition)[S].
- [5] DB13(J) 133-2012,建筑基坑工程技术规程[S].
DB13(J) 133-2012, Technical specification for building excavation engineering[S].
- [6] 杨东河,刘珂,王国伟,等.YCJF20型冲击反循环钻机进行地下连续墙成槽施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(11):65-68.
YANG Donghe, LIU Ke, WANG Guowei, et al. Trenching construction technology of underground diaphragm wall by YCJF20 percussive and reverse circulation rig[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(11):65-68.
- [7] 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.
- [8] 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].
- [9] GB 50086-2015,岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范[S].
GB 50086-2015, Technical code for engineering of ground anchorages and shotcrete support[J].
- [10] JGJ 94-2008,建筑桩基技术规范[S].
JGJ 94-2008, Technical code for building pile foundations [S].
- [11] GB 50497-2009,建筑基坑工程监测技术规范[S].
GB 50497-2009, Technical code for monitoring of building excavation engineering[S].
- [12] 陈娟,李夕兵,顾开运.深基坑变形监测实例分析[J].土工基础,2009,23(1),26-28,35.
CHEN Juan, LI Xibing, GU Kaiyun. Study of deformation monitoring on deep excavation [J]. Soil Engineering and Foundation, 2009, 23(1), 26-28,35.

(编辑 周红军)