

# “吊脚桩”桩锚支护在土岩组合地层 深基坑工程中的应用研究

黄 薛<sup>1,2</sup>, 曾纯品<sup>1</sup>, 雷炳霄<sup>1</sup>

(1.山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队,山东 济南 250014;  
2.山东省地矿工程勘察院,山东 济南 250014)

**摘要:**以济南黄金国际广场项目深基坑工程为例,针对土岩组合地层的特点,采用“吊脚桩”桩锚支护及两桩一锚布设方式的设计方案。对基坑设计、锚索试验、基坑监测等内容进行介绍,现场进行了锚索验收试验,试验结果符合设计要求。监测结果表明,基坑支护结构变形、周边建筑物沉降等均处于安全状态,远小于报警值,说明“吊脚桩”桩锚支护在土岩组合地层深基坑工程中的应用效果非常好,同时大大节省了造价,短缩了工期。本文的相关设计方法、试验、监测成果可为类似工程提供借鉴。

**关键词:**桩锚支护;“吊脚桩”;两桩一锚;土岩组合地层;锚索试验;基坑监测

**中图分类号:**TU473.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)04-0075-05

## Suspended piles and anchor cables used in support of deep soil-rock foundation pit

HUANG Xue<sup>1,2</sup>, ZENG Chunpin<sup>1</sup>, LEI Bingxiao<sup>1</sup>

(1. Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development 801 Hydrogeology  
and Engineering Geology Brigade, Jinan Shandong 250014, China;  
2. Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Jinan Shandong 250014, China)

**Abstract:** Take the deep foundation pit project of Jinan Gold International Plaza as an example, in view of the characteristics of soil rock combination formation, the support design with suspended piles and anchor cables in the layout of two piles plus one anchor was adopted. The design of the foundation pit, test of anchor cables and monitoring of the foundation pit are introduced. The acceptance test of anchor cables was carried out on site, and the test results meet the design requirements. The monitoring results show that the deformation of the supporting structure of the foundation pit and the settlement of the surrounding buildings are all in a safe state, which is far less than the alarm value, indicating that the application of the suspended piles and anchor support in the deep foundation pit in the soil rock composite stratum is very good with less costs and short construction period. The relevant design methods, experiments and monitoring results can provide reference for similar projects.

**Key words:** pile and anchor support; suspended piles; two piles and one anchor; composite strata of soil and rock; anchorage test; foundation pit monitoring

## 0 引言

桩锚支护技术广泛应用于基坑工程中,能较好地保证基坑安全。在济南地区,针对土岩组合地层采用“吊脚桩”桩锚支护方式较少。由于对岩层的稳

定性把握不准,设计桩端往往要求进入基底以下锚固深度,造成桩长较长,施工难度较大,同时也大大增加了工程造价,延长了工期。本文以济南黄金国际广场项目深基坑工程为例,针对土岩组合地层的

**收稿日期:**2018-08-11; **修回日期:**2018-10-24 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2019.04.013

**作者简介:**黄薛,男,汉族,1973年生,高级工程师,注册岩土工程师,一级建造师,建筑工程(岩土工程)专业,从事工程地质、水文地质、岩土工程相关技术研究工作,山东省济南市经十路13632号,1037719588@qq.com。

**引用格式:**黄薛,曾纯品,雷炳霄.“吊脚桩”桩锚支护在土岩组合地层深基坑工程中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):75-79.

HUANG Xue, ZENG Chunpin, LEI Bingxiao. Suspended piles and anchor cables used in support of deep soil-rock foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(4):75-79.

特点,采用“吊脚桩”桩锚支护及两桩一锚布设方式的设计方案<sup>[1-3]</sup>,为类似工程设计和施工提供借鉴。

## 1 工程概况

### 1.1 基坑概况

黄金国际广场工程位于济南市历下区历下广场,场区北侧为经十路,西侧为转山西路。拟建的工程建筑平面近似倒L形,平面尺寸为190 m×90 m,建筑±0标高103.5 m。包括超高层主塔楼、裙房及地下车库等建筑,基坑开挖深度12.8~18.5 m。

基坑周边环境较复杂,构筑物、地下管线密集,详见表1。

表1 基坑周边建(构)筑物及地下管线分布情况

Table 1 Buildings and underground pipelines surrounding the foundation pit

| 位置 | 建(构)筑物及管线                   | 距拟建工程地下车库外墙距离/m |
|----|-----------------------------|-----------------|
|    | 广告牌                         | 3.5~4.0         |
| 西侧 | 污水管:白瓷质,直径300 mm,顶部埋深2.0 m  | 8.24            |
|    | 燃气管:PVC管,直径150 mm,顶部埋深1.5 m | 10.24           |
|    | 雨水管:铸钢,直径150 mm,顶部埋深1.5 m   | 12.24           |
| 北侧 | 广告牌                         | 3.5~4.0         |
| 东侧 | 办公楼:地上6层,埋深1.5 m,条基,砖混结构    | 4.0~4.6         |
|    | 渣土堆:高5~15 m                 | 15.0            |
|    | 围墙                          | 4.3~6.2         |
| 南侧 | 燃气管:PVC管,直径150 mm,顶部埋深1.5 m | 1.8~4.15        |
|    | 渣土堆:高5 m                    | 4.5~5.0         |

### 1.2 工程地质条件

根据勘察报告,地貌单元属山前倾斜平原地貌单元。场地地势相对较平缓,南高北低,高程99.87~105.55 m,地表相对高差5.68 m。基坑支护涉及的地层主要为:①杂填土,②黄土,③粉质粘土,③<sub>1</sub>漂石,④<sub>1</sub>粉质粘土,⑤中风化石灰岩,⑤<sub>1</sub>溶蚀破碎石灰岩,其中灰岩岩层产状为6°∠12°。基坑开挖深度范围内无地下水。典型工程地质剖面见图1,基坑支护设计参数见表2。

表2 基坑支护设计参数

Table 2 Design parameters of foundation pit supporting

| 层号             | 土层      | 直剪快剪     |                           | 重度 $\gamma$ /<br>( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | 摩阻力<br>$q_{si}$ /kPa |
|----------------|---------|----------|---------------------------|--|----------------------|
|                |         | $c$ /kPa | $\varphi$ /( $^{\circ}$ ) |  |                      |
| ①              | 杂填土     | 3        | 20.0                      | 18.5   | 20                   |
| ②              | 黄土      | 22       | 13.0                      | 17.9   | 45                   |
| ③              | 粉质粘土    | 44       | 13.7                      | 18.2   | 55                   |
| ③ <sub>1</sub> | 漂石      | 100      | 40.0                      | 20.0   | 180                  |
| ④ <sub>1</sub> | 粉质粘土    | 34       | 10.8                      | 18.1   | 60                   |
| ⑤              | 中风化石灰岩  | 200      | 42.0                      | 24.0   | 300                  |
| ⑤ <sub>1</sub> | 溶蚀破碎石灰岩 | 60       | 35.0                      | 22.0   | 180                  |

## 2 基坑支护设计

### 2.1 基坑设计选型

基坑类型为土岩组合基坑,根据基坑开挖深度、工程地质条件,以及需要保护的周边建筑物、地下管线和甲方对基坑周边场地的使用要求,根据赤平投影

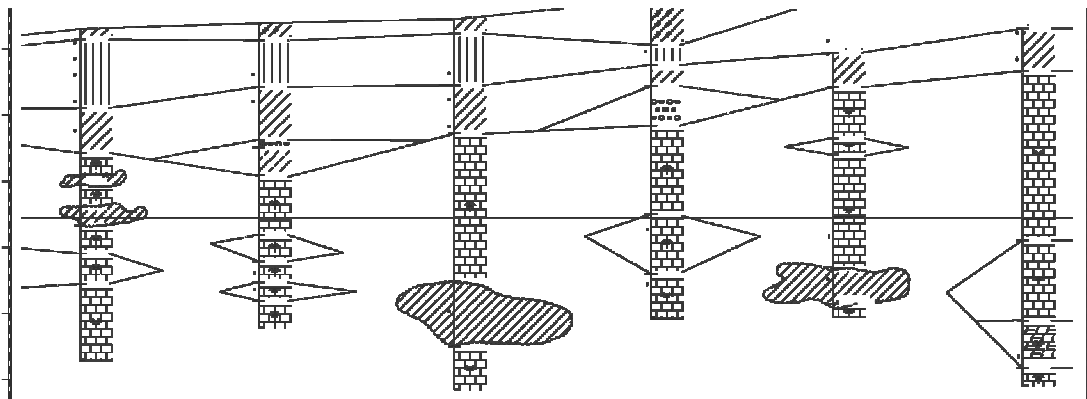


图1 典型工程地质剖面

Fig.1 Typical engineering geological cross section

理论对岩层稳定性进行了计算,岩层处于稳定状态,考虑安全性、经济性及施工的难度,采用“吊脚桩”+预应力锚索支护设计方案,采用两桩一锚布设方式,

分为7个支护单元,按一级基坑设计。

基坑周边设计超载20 kPa,建筑物地上5层,无地下室,按90 kPa取值,施工重型车辆按60 t取

值,折算为 30 kPa,超载作用范围为基坑坡顶 2 m 以外;基坑设计使用年限 18 个月。

### 2.2 支护设计方案

(1)排桩:桩径 600 mm,桩长 9.3~16.25 m,确保桩端进入岩层 <math>\leq 2.0\text{ m}</math> 的设计要求,桩间距 1.4 m,采用通长配筋,钢筋材质为 HRB400,强度标准值  $f_{yk}=400\text{ MPa}$ 。

(2)锚索:长度为 6.0~20.0 m,间距 2.8 m,矩形布置,锚孔直径 150 mm,杆材为钢绞线,采用预应力锚索,锚索与水平面夹角为  $15^\circ\sim 20^\circ$ ,锚索应按要求进行锁定。第三排为锁脚锚索,确保桩端的稳定性<sup>[4-8]</sup>。

(3)注浆材料均采用水泥浆,水泥型号 P.O 42.5,水灰比为 0.5,均采用压力注浆,第一次注浆压力采用 0.4~0.5 MPa,第二次注浆压力 <math>\leq 1.5\text{ MPa}</math>,水泥浆强度 <math>\leq M20</math>。

(4)腰梁为 2 根 20a 槽钢,承压板为 200 mm×200 mm 厚 20 mm 钢板。

(5)面层:面层钢筋网按  $\text{O}6.5@300\times 300$  布置,喷 C20 混凝土,坡面混凝土厚度 <math>\leq 50\text{ mm}</math>。腰梁与混凝土面层应紧密接触,减少缝隙,确保腰梁受力均匀,腰梁范围内的混凝土面层应平整,厚度 <math>\leq 80\text{ mm}</math>。

典型支护结构剖面见图 2。

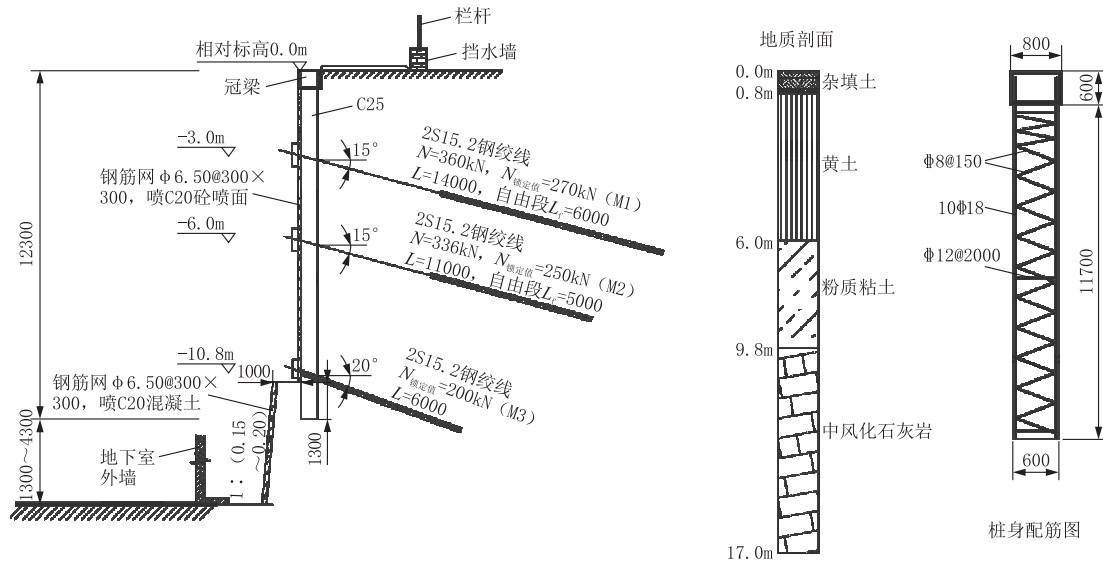


图 2 典型支护结构剖面

Fig.2 Typical supporting structure cross section

### 3 锚索现场试验

现场试验按《建筑基坑支护规程》(JGJ 120—2012)要求进行。为了验证锚索施工质量能否达到设计要求,现场随机抽取 20 根锚索进行验收试验,判定锚索在抗拔承载力检测值下是否合格。

验收试验采用单循环加荷法,最大试验荷载下锚索杆体应力不应超过预应力钢绞线抗拉强度标准值的 0.85 倍。根据锚索试验结果,锚索抗拔力设计值为 280 kN,验收试验最大加载量 370 kN 时,锚头最大位移 29.80~36.68 mm,最大回弹量大于杆体自由端长度理论弹性伸长量 80%,加载至检测值时锚索位移稳定,锚索拉力值符合设计要求<sup>[9]</sup>,见图 3。

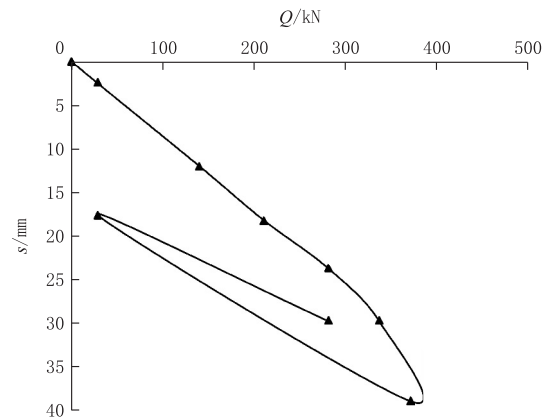


图 3 锚索典型验收试验 Q-s 曲线

Fig.3 Typical Q-s curve of acceptance test of anchor cables

### 4 基坑监测

在本基坑施工过程中,基坑监测项目包括支护结构坡顶水平位移和竖向位移监测;深层水平位移;锚索轴力;周边管线变形监测等<sup>[10]</sup>。实时掌握基坑变形、周边建(构)筑物地基变形,科学指导施工。从2017年8月18日开始开挖到2018年7月1日基坑回填,监测时间历时317 d,开挖过程进行了3次锚索施工。基坑变形情况以基坑东侧为例进行说明,其冠梁水平位移见图4,基坑东侧支护结构随深度变化见图5。

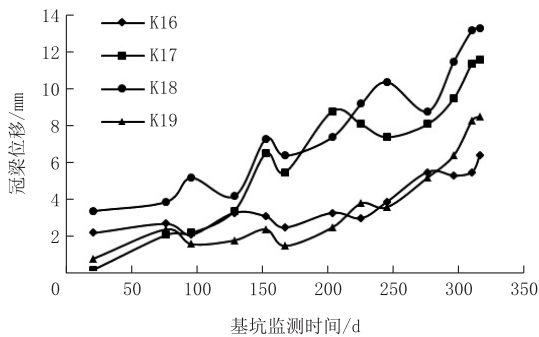


图4 基坑东侧冠梁水平位移历时曲线

Fig.4 Horizontal displacement-time curve of the top beam on the east of the foundation pit

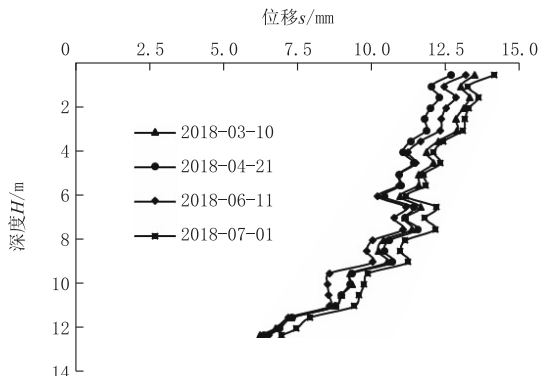


图5 基坑东侧支护结构水平位移随深度变化曲线

Fig.5 Horizontal displacement-depth curve of the retaining structure on the east of the foundation pit

从图4看,在基坑监测周期内,冠梁水平位移总体呈增加趋势。在基坑开挖过程中,受3次锚索张拉索定、地表渗水、施工车辆的影响,冠梁水平位移呈现小幅变化,开挖至基底时达到最大值13.4 mm;支护结构完成后至基坑回填,冠梁水平位移趋于稳定。

从图5看,在基坑监测周期内,桩身水平位移随深度变化呈减小趋势,至桩底时趋于6.26~6.96 mm。最大位移位于桩顶附近,约14.0 mm,在锚索

附近,位移有所减小,说明锚索受力良好。

根据对周边环境的沉降数据统计,建筑物沉降0.6~3.7 mm。根据上述分析,基坑支护结构变形、周边建筑物、道路、地下管线均处于安全状态,远小于报警值,说明“吊脚桩”桩锚支护及两桩一锚布设方式在深基坑支护中应用效果非常好<sup>[11-16]</sup>。

### 5 结语

本工程将“吊脚桩”桩锚支护在土岩组合地层深基坑工程中成功应用,利用岩层稳定的特点,缩短桩长,减小支护桩施工难度;并通过两桩一锚布置方式,大大减少了锚索数量。现场进行了锚索验收试验,试验结果符合设计要求。在基坑监测周期内,监测结果表明,基坑支护结构变形、周边建(构)筑物沉降等均处于安全状态,远小于报警值,说明“吊脚桩”桩锚支护及两桩一锚布设方式在土岩组合地层深基坑工程中应用效果非常好,同时大大节省了造价,短缩了工期。研究成果已在其他类似基坑工程的设计和施工中得到推广应用。本文的相关设计方法、试验、监测成果可为类似工程提供借鉴。

### 参考文献(References):

- [1] 鲍树峰,邱青长,罗彦,等.土岩组合基坑施工监控技术研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(S1):3270-3276.  
BAO Shufeng, QIU Qingchang, LUO Yan, et al. Study of monitoring techniques of foundation pit composed of soil and rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(S1): 3270-3276.
- [2] 李宁宁,董亚男,孙建成.上软下硬地层基坑支护型式——吊脚桩支护结构分析[J].平顶山工学院学报,2013,22(2):14-17.  
LI Ningning, DONG Yanan, SUN Jiancheng. Analysis of foot-hanging pile retaining structure in upper-soft lower-hard ground[J]. Journal of Pingdingshan Technology University, 2013, 22(2): 14-17.
- [3] 刘红军,王亚军,姜德鸿,等.土岩组合双排吊脚桩桩锚支护基坑变形数值分析[J].岩石力学与工程学报,2011,30(S2):4099-4103.  
LIU Hongjun, WANG Yajun, JIANG Dehong, et al. Numerical analysis of deep foundation pit displacement with double-row end-suspended piles in strata of soil-rock dualistic structure[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(S2): 4099-4103.
- [4] 赵文强.上软下硬复合地层条件下深基坑支护设计探析[J].隧道建设,2014,34(2):153-157.  
ZHAO Wenqiang. Design of support of deep foundation pits in hard-soft heterogeneous ground [J]. Tunnel Construction, 2014, 34(2): 153-157.
- [5] 万鸿,宿星,叶伟林,等.预应力锚索地梁在矿山已变形边坡加

固中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):71-75.

WAN Hong, SU Xing, YE Weilin, et al. Application of pre-stressed anchor cable groundsill in reinforcement engineering of deformed mine slope[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(7):71-75.

[6] 邓春海,张耕念,王守江.吊脚支护桩在康大凤凰国际基坑中的应用[J].岩土工程技术,2011,25(3):125-127.

DENG Chunhai, ZHANG Gengnian, WANG Shoujiang. The use of un-embedded piles in the Kangda International Building foundation pit[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2011, 25(3):125-127.

[7] 杨志银,张俊.深圳地区深基坑支护技术的发展和应[J].岩石力学与工程学报,2006,25(S2):3377-3383.

YANG Zhiyin, ZHANG Jun. Development and application of supporting techniques for deep foundation pit excavation in Shenzhen region[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006,25(S2):3377-3383.

[8] 赵辉.预应力锚索在基坑超深开挖中的应用及分析[J].建筑科学,2010,26(7):102-104,71.

ZHAO Hui. The application and analysis of prestressed anchoring cable in ultra-deep excavation pit[J]. Building Science, 2010,26(7):102-104,71.

[9] 王全成,姜昭群,罗宏保,等.自承载式预应力锚索现场试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(8):79-82,87.

WANG Quancheng, JIANG Zhaoqun, LUO Hongbao, et al. Field test of self-bearing pre-stressed anchor cable[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(8):79-82,87.

[10] JGJ 120-2012,建筑基坑支护规程[S].

JGJ 120-2012, Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S].

[11] 杨春柳.地铁站超深基坑围护结构变形监测结果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):47-51.

YANG Chunliu. Analysis on deformation monitoring results of retaining structure in subway extra-deep foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(6):47-51.

[12] 袁金荣,赵福勇.基坑变形预测的时间序列分析[J].土木工程学报,2001,34(6):55-59.

YUAN Jinrong, ZHAO Fuyong. Predicting deformation of foundation pit using ANN[J]. China Civil Engineering Journal, 2001,34(6):55-59.

[13] 徐中华,王卫东.深基坑变形控制指标研究[J].地下空间与工程学报,2010,6(3):619-626.

XU Zhonghua, WANG Weidong. Deformation control criteria of deep excavations[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010,6(3):619-626.

[14] 石汉生,周念清,周洪波.港湾广场(一期)深基坑变形监测与分析[J].岩土工程技术,2007,21(6):279-284.

SHI Hansheng, ZHOU Nianqing, ZHOU Hongbo. Deformation monitoring and inverse analysis of deep foundation pit of Gangwan Plaza (phase 1)[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2007,21(6):279-284.

[15] 李芳,李强,于元峰,等.桩锚支护结构设计及支护结构变形监测分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(4):53-57,62.

LI Fang, LI Qiang, YU Yuanfeng, et al. Design of pile-anchor retaining structure and the analysis on its deformation monitoring[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(4):53-57,62.

[16] 白晓宇,张明义,袁海洋.移动荷载作用下土岩组合基坑吊脚桩变形分析[J].岩石力学,2015,36(4):1167-1173,1181.

BAI Xiaoyu, ZHANG Mingyi, YUAN Haiyang. Deformation analysis for the end-suspended piles in the combined soil-rock foundation pits under moving loadings[J]. Rock and Soil Mechanics, 2015,36(4):1167-1173,1181.

(编辑 周红军)

(上接第 74 页)

[21] 王建华,吴厚信,周宏益,等.紧邻地铁基坑支护工程设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11):71-75.

WANG Jianhua, WU Houxin, ZHOU Hongyi, et al. Design of foundation pit support project close to the subway[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(11):71-75.

[22] 郭德强.软土地区基坑回弹机理及工程桩受力变形研究[D].天津:天津大学,2017.

GUO Deqiang. The study of pit resilience mechanism and behavior of pile in soft region[D]. Tianjin: Tianjin University, 2017.

[23] GB/T 50123-1999,土工试验方法标准[S].

GB/T 50123-1999, Standard for soil test method[S].

[24] 张坤勇,李广山,梅小洪,等.基于  $K_0$  固结排水卸荷应力路径试验粉土应力-变形特性研究[J].岩土工程学报,2017,39(7):1182-1188.

ZHANG Kunyong, LI Guangshan, MEI Xiaohong, et al. Stress-deformation characteristics of silty soil based on  $K_0$  consolidation and drainage unloading stress path tests[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(7): 1182-1188.

[25] 赵建军,姜蕊.卸荷应力路径下海积软土力学性质试验[J].天津城建大学学报,2015,21(4):267-272.

ZHAO Jianjun, JIANG Xin. Test research of mechanical properties of marine soft soil under unloading stress path[J]. Journal of Tianjin Chengjian University, 2015,21(4):267-272.

[26] 王立忠,但汉波,李玲玲. $K_0$  固结软土的循环剪切特性及其流变模拟[J].岩土工程学报,2010,32(12):1946-1955.

WANG Lizhong, DAN Hanbo, LI Lingling. Cyclic shearing behavior of  $K_0$ -consolidated clay and its rheological simulation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(12):1946-1955.

(编辑 周红军)