

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2018.09.006

一种新型基坑支护结构的力学性能分析

赵康, 宁富金, 张俊萍, 严雅静, 邹希焯

(江西理工大学 建筑与测绘工程学院, 江西 赣州 341000)

摘要: 混凝土预应力支护桩墙工法(HCMW 工法)是在 SMW 工法的基础上发展起来的基坑支护新方法,该方法具有抗弯能力好、止水性强、对周围土体扰动小等优点。结合工程实际,从工况力学分析、地表沉降量、抗倾覆稳定性验算、整体稳定性验算、抗隆起稳定性验算等角度对 HCMW 工法的支护规律和效果进行研究,结果表明:支护结构的水平位移在加撑前后有较明显的变化,从地表到坑底呈现逐渐减小的趋势,由于开挖时土体卸载,导致侧支护土体的压力减小,在开挖范围内向基坑移动导致基坑下部土体位移减小,一般出现在距坑底 0~2 m 的范围;基坑周围整体沉降量和距坑边距离呈抛物线状,基坑的最大沉降量为 18 mm,发生在距离坑边 5.6 m 的位置;最后,对基坑抗倾覆稳定性、整体稳定性和抗隆起稳定性进行验算,得到其稳定安全系数分别为 1.974、1.386 和 2.793,均大于规范规定的安全系数,满足安全要求,表明 HCMW 工法具有较好的支护效果。

关键词: HCMW 工法;力学分析;地表沉降;支护效果

中图分类号: TU470

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2018)09-048-09

Analysis of mechanical properties of a new type of foundation pit supporting structures

ZHAO Kang, NING Fujin, ZHANG Junping, YAN Yajing, ZOU Xixuan

(School of Architectural and Surveying & Mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, P.R.China)

Abstract: Based on SMW engineering method, a new HCMW engineering method for foundation supporting was developed, with the advantages of good anti-bending ability, strong watertight sealing, smaller surrounding soil disturbance. Based on the engineering practice, this paper studies the supporting law and effect of HCMW method in the aspects of working condition mechanics analysis, surface settlement, anti-overturning stability, overall stability, heave resistance stability coefficient and so on. The result shows that the horizontal displacement of supporting structure has been significantly changed after bracing, with a gradually decreasing trend from the surface to the bottom of the pit. With the soil's

收稿日期: 2018-02-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50869002);江西省博士后科研择优资助项目(2016KY16);江西省科技厅科技支持计划项目(20161BBG70075、20143ACG70010);江西省教育厅科技重点研究项目(GJJ160592)。

Supported by National Natural Science Foundation of China (50869002), Research Excellence Program of Postdoctoral of Jiangxi (2016KY16), Science and Technology Support Program of Jiangxi Science and Technology Department(20161BBG70075、20143ACG70010), Science and Technology Key Research Program of Jiangxi Provincial Department of Education(GJJ160592).

作者简介: 赵康(1980—),男,博士后,副教授,主要从事工程岩体监测、岩土工程数值计算分析研究,
(E-mail)zhaok_666666@163.com。

unloading in the excavation area, collateral supporting soil pressure decreases, resulting in a decrease in the displacement of the soil in the lower part of the foundation pit, which generally occurs between 0 and 2 m from the bottom of the pit. The total settlements around the foundation pit and their distance from pit rim present a parabolic shape. The maximum settlement is 18mm, which occurs 5.6m away from the pit rim; the anti-overturning stability, overall stability and heave resistance stability coefficient of the foundation pit are calculated, the homologous values being 1.974, 1.386 and 2.793, which are all greater than the standard safety factors in the specification and meet the safety requirements, indicating that the HCMW method has a better supporting effect.

Keywords: HCMW construction method; mechanical analysis; surface subsidence; supporting effect

随着城市用地面积的减少,建筑密度不断增加,新建建筑的周边环境变得更为复杂,导致基坑支护难度增大。建筑基坑的开挖导致周围土体力学环境改变,影响土体稳定和周围建筑物的安全,对建筑基坑的支护要求较高^[1-3]。建筑基坑的支护方案一般应根据工程的实际情况来选择,以便达到结构稳定、经济适用、环境友好的效果。常用的基坑支护方法有 SMW(soil mixing wall)桩、土钉墙、钻孔灌注桩、深层搅拌桩等。国内外很多学者针对基坑支护体系做了系列研究,并取得一定成果^[4-6]。Gayarre F L 等^[7]对基坑的稳定性问题进行了深入分析;严薇等^[8]探讨了深基坑桩锚支护结构变形和内力分析方法;沈恺伦^[9]、杨磊等^[10]利用软件程序计算对基坑受力特性进行研究,实现了地基优化设计;武崇福^[11]等研究了刚性桩复合地基桩侧摩阻力在线性模式下中性面深度及桩土应力比的计算方法。1976年 SMW 工法复合围护结构在日本开发应用,该工法将型钢的强度特性与水泥土的止水特征有效结合在一起,具有止水性好、施工速度快等优点,在中国得到了广泛应用和发展^[12-13]。马郎等^[14]在工程中将 SMW 桩和水泥土桩锚结构相结合,探索了较深的软土地基基坑的支护方案,得到了较为理想的效果。徐汉东等^[15]在常州某基坑工程中,结合 SMW 桩特点提出了水泥土预应力支护桩墙(即水泥土搅拌桩内插预应力钢筋混凝土板桩, HCMW 工法)的做法,获得住房和城乡建设部推广。

笔者对采用 HCMW 工法支护的南昌某基坑工程进行研究,通过对其工况力学分析、地表沉降量、抗倾覆稳定性验算、整体稳定性验算、抗隆起稳定性验算等参数的研究,就此种基坑支护的新方法在工程中的应用效果和稳定性进行评价。

1 工程概况

1.1 工程环境条件

基坑工程位于南昌市,基坑周边环境较复杂:基坑东侧 15 m 处为围墙,围墙距地铁四号线 27.5 m,且埋设有市政管线;基坑南侧 4.5 m 处为广场东路某地下室边线,8 m 处有某 3 层住宅(浅基础,1 层地下室);基坑西侧 7 m 处为 8 层浅基础的某印刷厂住宅。基坑复杂的周边环境,对其开挖和支护方案的选择及施工提出了较高的要求。

1.2 工程地质条件

工程场地为中间稍微凹陷的坑状地形,场地地面高程约为 16~20 m;工程区域新构造运动不明显,近场区构造活动微弱、地震震级小、强度弱、频度低,自有记载以来,未产生过破坏性地震。结合土的沉积规律和工程特点,将勘察范围内的主要土体划分成 7 个单元土层,自上而下分别为:①杂填土,粘性土;②粉质粘土,可塑~硬塑;③细砂,中密,级配良好;④中砂,中密,级配良好;⑤砾砂,中密状态,级配良好;⑥强风化泥质粉砂岩,风化作用强烈,裂隙发育,岩芯呈碎块状、短柱状。⑦中风化泥质粉砂岩,风化程度一般。各土层的土性指标如表 1 所示。

1.3 工程水文条件

工程的开挖深度为 11.2 m,根据勘察报告显示,场地内土层均匀性一般,基坑局部有较厚的填土,大部份位于粉质粘土层上,现场施工条件较好。勘探报告表明,拟建场地地下水系丰富,潜水主要赋存于砂砾层中,水线高度起伏较大,基坑开挖基底位于地下水位以下 2~3 m,整体基坑须考虑一定的排水措施。

表 1 各土层土性指标
Table 1 Property indices of different soil

土层编号	承载力特征值/kPa	压缩模量 E_s /变形模量 E_0 /MPa	天然重度 γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力 C /kPa	内摩擦角 φ ($^\circ$)	渗透系数 k /($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)
①	50	2.5	18.0	0	16.0	2~5
②	170	7.7	18.8	27.7	16.4	0.02~0.05
③	150	12.0	19.0	0	25.0	15~25
④	200	15.0	19.0	0	28.0	20~35
⑤	280	17.0	19.5	0	33.0	70~100
⑥	320	—	—	—	—	—
⑦	1 500	—	—	—	—	—

2 HCMW 工法原理及工艺流程

2.1 HCMW 工法原理

HCMW 工法是在三轴长螺旋钻机钻进时,在钻机端部将水泥浆液与土体进行原位搅拌,从而形成水泥土桩墙;在相邻桩搭接完成后,插入预应力钢筋混凝土板桩,形成连续完整的地下连续墙的基坑支护方法。该工法能充分发挥水泥土混合体和钢筋混凝土板桩的力学特性,具有抗弯性能好、工期短、截水性强、经济成本低和对周围环境影响小等特点。

2.2 HCMW 工法施工工艺流程

HCMW 工法在工程应用中选取钢筋混凝土板桩代替 SMW 工法中的 H 型钢,其施工工艺流程如图 1 所示。

3 方案设计

以基坑工程西侧一段工程为例,研究 HCMW 工法的支护效果。由于本段围护周围存在居民生活区、轨道交通以及地下商场等,要求基坑的支护对周围环境影响降至最小且要保证支护效果良好。周边复杂的环境对内支撑结构的选择和桩锚支护结构的使用都受到很大的影响。在对周围环境全面分析、科学决策后采用 HCMW 工法来进行悬臂式支护。支护排桩选取截面类型为圆形,直径为 0.90 m,桩间距为 1.2 m。锚杆选取的是级别为 HRB400 的钢筋。

4 HCMW 工法基坑支护效果分析与讨论

4.1 工况力学分析

根据设计方案,基坑开挖分为 3 个阶段:第 1 阶段开挖至 2.2 m 处加撑上部锚索;第 2 阶段开挖至 6.7 m 处加撑下部锚索;第 3 阶段开挖至 11.2 m 基底设计标高处。工况信息表如表 2 所示。

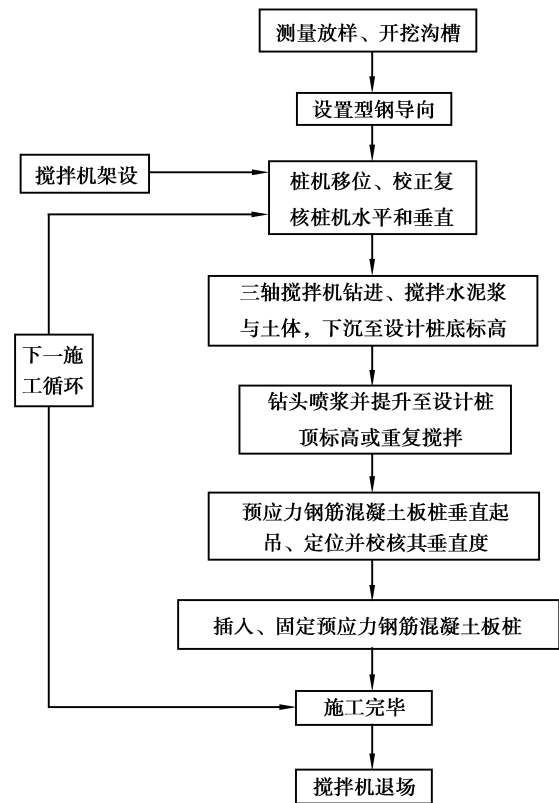


图 1 HCMW 施工工艺流程图

Fig.1 The construction process flow chart of HCMW.

表 2 工况信息表
Table 2 Condition information

工况序号	工况类型	工况深度/m	支锚道号
1	开挖	2.200	—
2	加撑	—	1 锚索
3	开挖	6.700	—
4	加撑	—	2 锚索
5	开挖	11.200	—

4.1.1 土压力计算

土压力计算选用库伦土压力理论,不考虑地面堆载、地下水、地震荷载等对计算的影响,土压力计算公式为

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a, \tag{1}$$

式中: E_a 为最大土压力, kN/m ; K_a 为主动土压力系数; γ 为土的重度, kN/m^3 ; H 为高度, m 。

4.1.2 基坑内力及位移计算

在考虑土压力的同时,考虑支护结构的弯矩、位移、剪力等力学指标在基坑的开挖和支护过程中的变化,根据该基坑工程的设计参数及施工情况,通过理正深基坑 6.0 软件的弹性法计算,对支护效果进行全面的理论分析。各工况计算结果如图 2~图 6 所示。

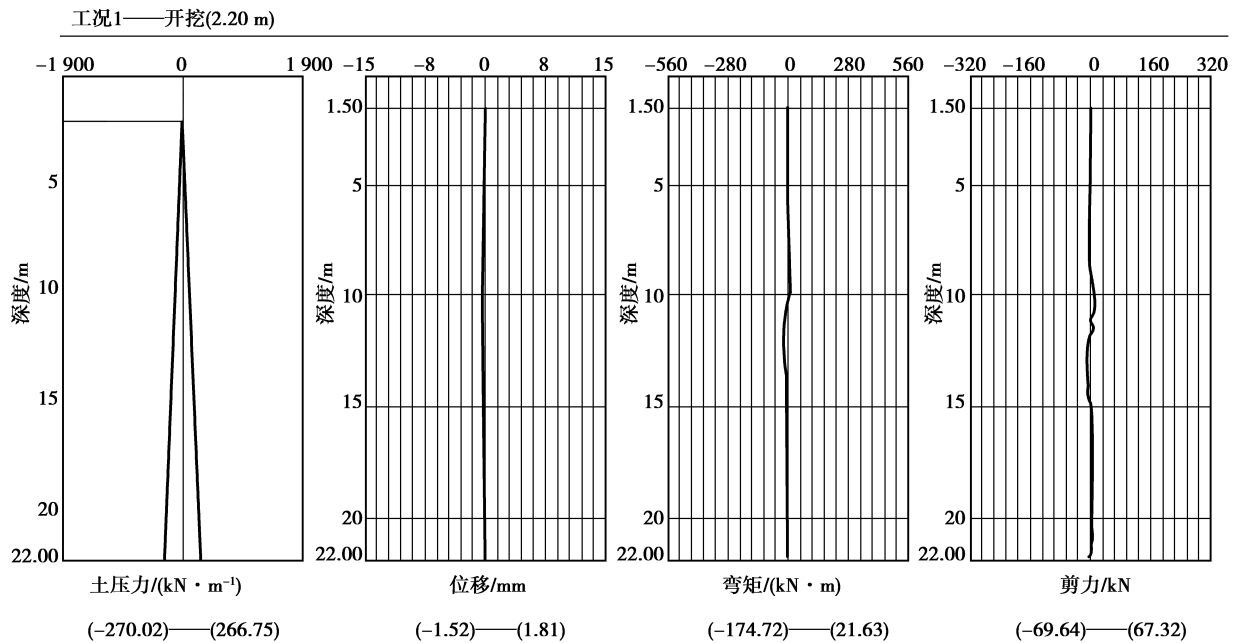


图 2 工况 1 的计算结果

Fig.2 The calculation result of the first condition

图 2 为工况 1(开挖至 2.20 m 时)的计算结果。由图可知,弹性法计算得到的基坑侧壁位移的变化范围为 $-0.36 \sim 0.00 \text{ mm}$,弯矩的分布范围为 $-15.92 \sim 8.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$,剪力分布范围为 $-24.81 \sim 26.05 \text{ kN}$,土压力的范围为 $-269.67 \sim 266.75 \text{ kN/m}$ (正号表示向基坑外侧的位移,负号表示向基坑内侧的位移)。图 3 为工况 2(加撑 1.70 m 时)的计算结果。弹性分析法求解出的支护后基坑侧壁位移变化范围为 $-0.38 \sim 3.11 \text{ mm}$,弯矩的分布范围为 $-137.84 \sim 5.66 \text{ kN} \cdot \text{m}$,剪力分布范围为 $-42.83 \sim 60.89 \text{ kN}$,土压力的分布范围为 $-269.33 \sim 266.75 \text{ kN/m}$ 。工况 2 较工况 1 的基坑侧壁位移大,最大达到 3.47 mm ,土压力的变化范围有所

增大,在第 1 次加撑后位移出现正位移,有效减小了工况 1 开挖向基坑内侧位移变化,弯矩、剪力值等相关数据也有所增大,说明支护结构对基坑侧壁的支持力增强。

工况 3(开挖至 6.70 m)的计算结果如图 4 所示,弹性法计算得到基坑侧壁位移的变化范围为 $-1.89 \sim 1.58$ mm,弯矩的分布范围为 $-215.75 \sim 34.48$ kN·m,剪力分布范围为 $-92.21 \sim 69.39$ kN,土压力的范围为 $-270.20 \sim 266.75$ kN/m。图 5 为工况 4(加撑 6.20 m 时)的计算结果。可以看出,弹性法计算得到的支护后基坑侧壁位移的变化范围为 $-1.52 \sim 1.81$ mm,弯矩的分布范围为 $-174.72 \sim 21.63$ kN·m,剪力分布范围为 $-69.64 \sim 67.32$ kN,土压力的范围为 $-270.02 \sim 266.75$ kN/m。工况 3 和工况 4 的曲线走向趋势基本一致。

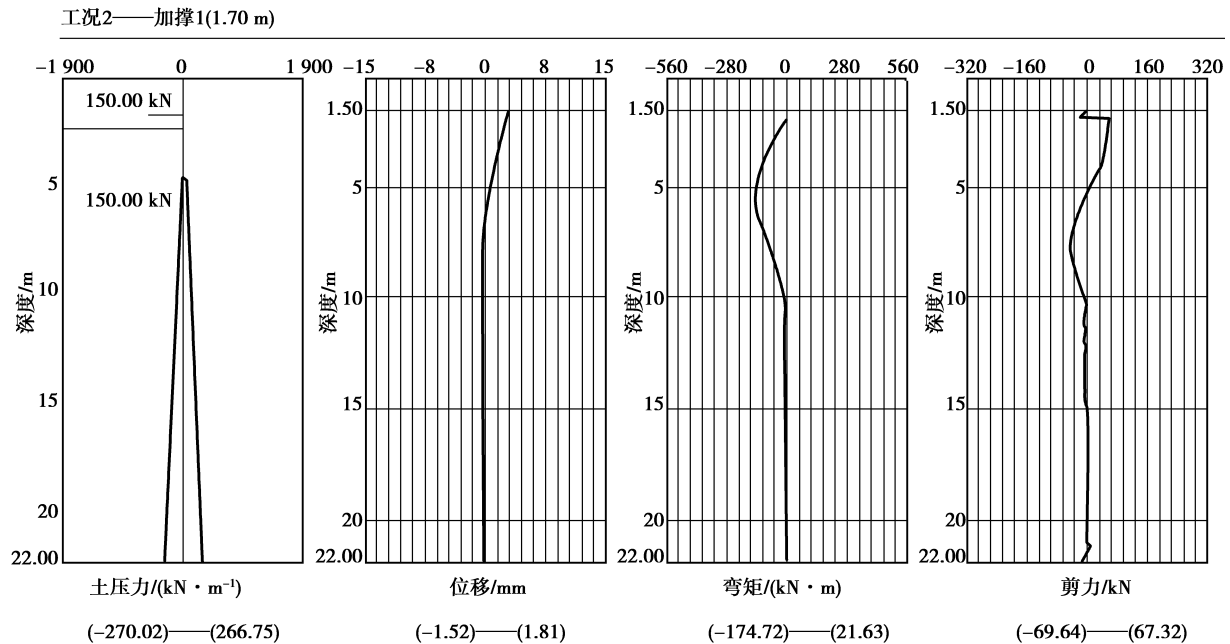


图 3 工况 2 的计算结果

Fig.3 The calculation result of the second condition

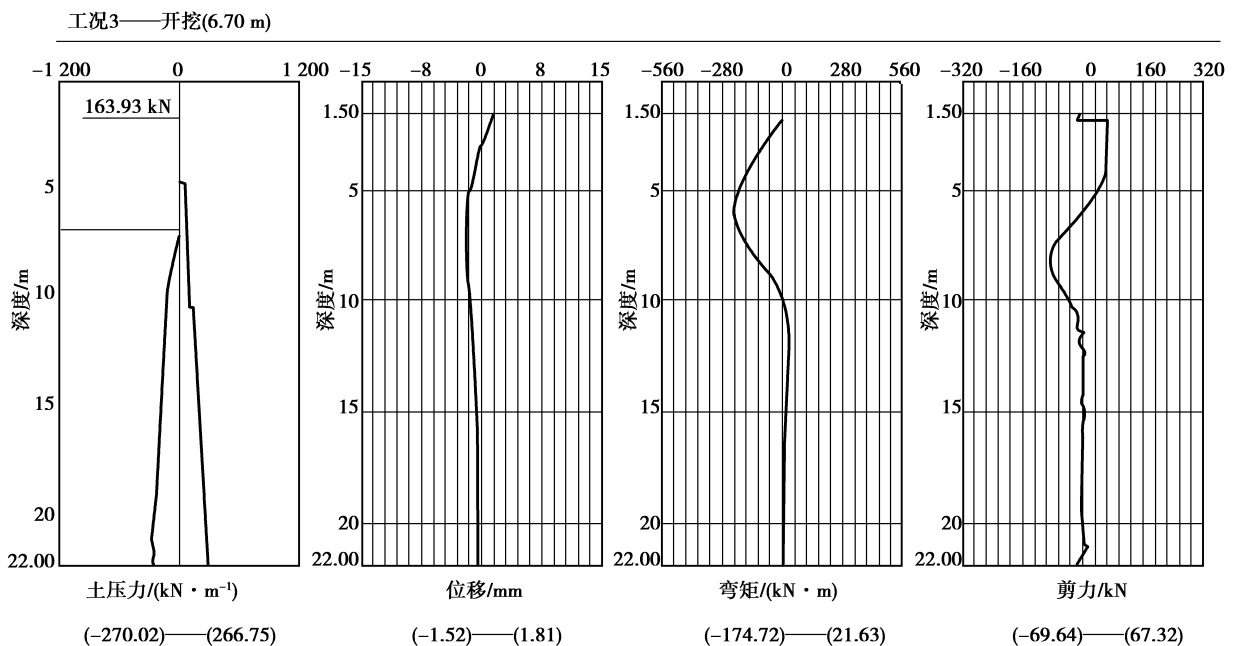


图 4 工况 3 的计算结果

Fig.4 The calculation result of the third condition

在第 2 次加撑(工况 4)后可以看出,基坑内侧位移最大值减少、基坑外侧位移最大值增大,说明基坑内壁整体向外移动。弯矩和剪力的变化范围均有所减小。根据设计方案,基坑继续开挖至 11.20 m,通过求解得到工况 5 的计算结果如图 6 所示。经弹性法计算得到的位移的变化范围为 $-13.46 \sim 0.00$ mm,弯矩的分布范围为 $-511.45 \sim 391.97$ kN·m,剪力分布范围为 $-291.49 \sim 138.66$ kN,土压力的范围为 $-280.84 \sim 266.75$ kN/m。

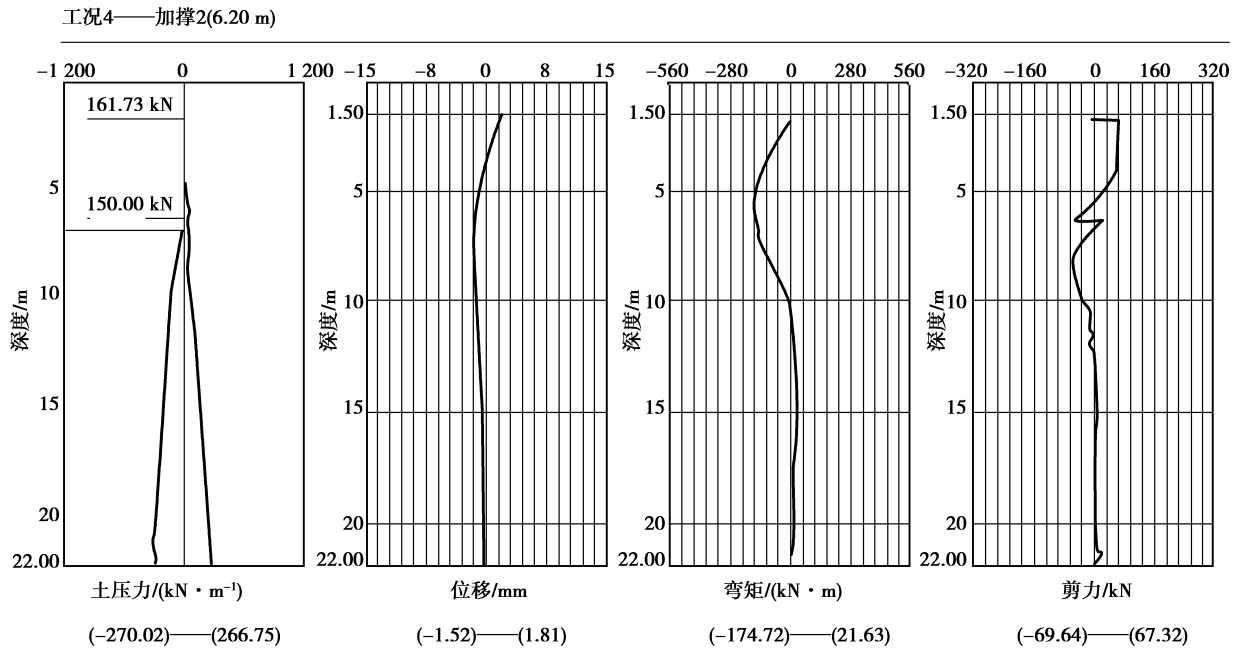


图 5 工况 4 的计算结果

Fig.5 The calculation result of the fourth condition

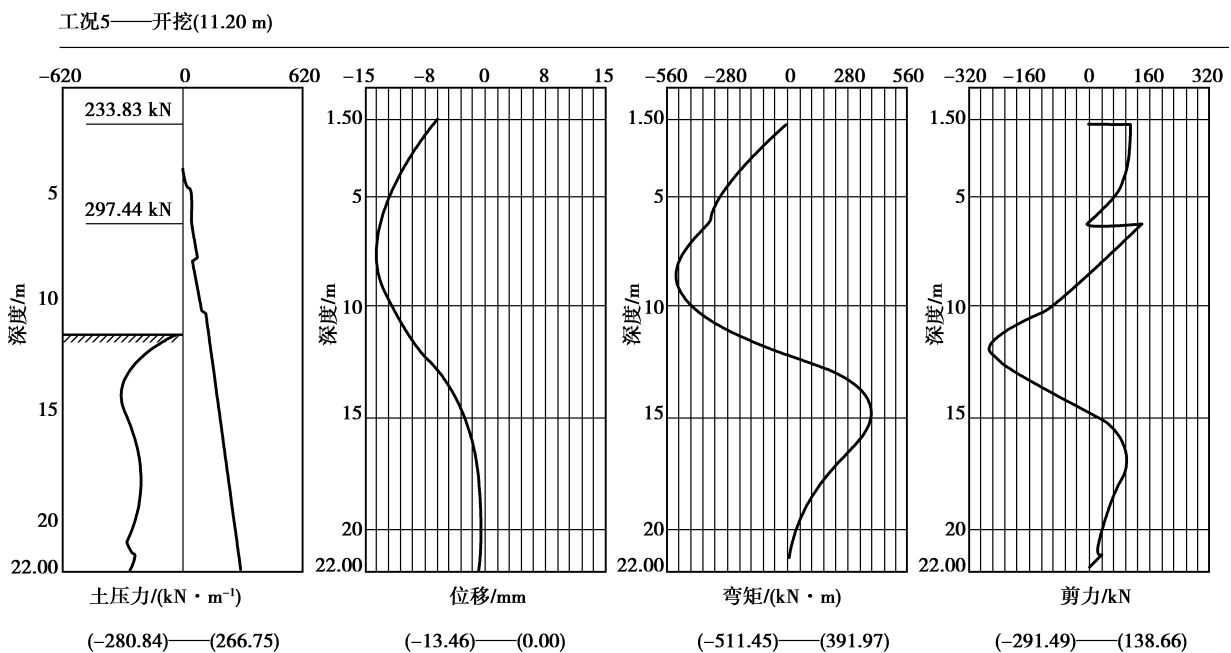


图 6 工况 5 的计算结果

Fig.6 The calculation result of the fifth condition

对比可知,支护结构的水平位移从地表到坑底呈现逐渐减小的规律。由于开挖时土体卸载导致侧支护土体的土压力减小,并在开挖区域内向基坑内移动导致基坑下部土体位移减小,变小的区域一般出现在距坑

底 0~2 m 的范围内。各个工况的正向位移最大值如图 7 所示,工况 2 的加撑有效增大了基坑侧壁正向位移,工况 3 开挖时,由于土体卸载使基坑侧壁向内移动,导致正向位移变小。工况 4 的加撑改善了由工况 3 开挖时引起向基坑内侧移动的趋势。从整个开挖和加撑过程来看,开挖时正向位移减小,说明基坑周边围护结构向基坑内移动,加撑支护以后能有效增大侧壁的正向位移即支护结构向外侧移动,由此可见,支撑效果比较理想。由图 8 可知,基坑外侧土层的最大沉降量为 18 mm,发生在距离坑边 5.6 m 的位置,距离基坑边缘越近,变形量越小,整体沉降量和距坑边距离呈抛物线状。建议在施工时应加密最大沉降量附近监测点的布置,并增加监测频率,以保障工程的安全质量。

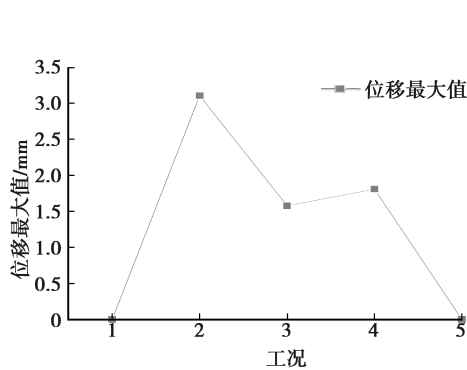


图 7 基坑侧壁正向位移最大值

Fig.7 The positive displacement maximum of the sidewall

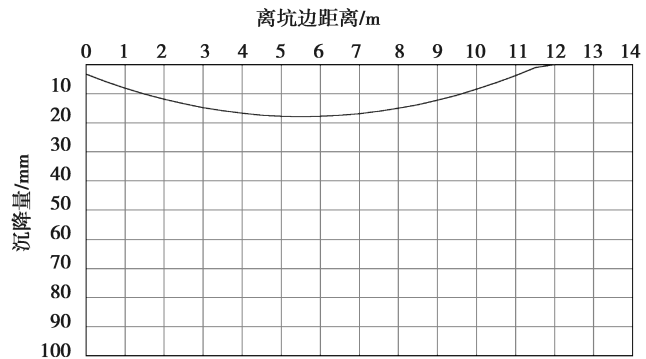


图 8 地表沉降量结果

Fig.8 The result of surface subsidence

4.2 抗倾覆稳定性验算

抗倾覆稳定性是决定支护结构插入土体深度的重要因素。在抗倾覆安全系数的计算时,假定在主动区受的是主动土压力,被动区受的是被动土压力,在失稳时,以最下层支撑点为转动中心。相关计算参数如表 3 所示。

表 3 计算参数

Table 3 Calculation Parameters

序号	支锚类型	锚固力/(kN·m ⁻¹)	材料抗力/(kN·m ⁻¹)
1	锚索	325.500	490.076
2	锚索	325.500	971.394

计算公式为

$$K_s = \frac{M_p}{M_a}, \quad (2)$$

式中: K_s 为抗倾覆安全系数; M_p 为被动土压力对支撑点的弯矩,kN·m,内支撑的支点力由其抗压力决定,锚索的支点力由锚索抗拉力的最小值决定; M_a 为主动土压力对支撑点的弯矩,kN·m。

计算可知,工况 5 的安全系数最小。规范要求安全系数为 1.250,而工况 5 的安全系数 $K_s = 1.974 > 1.250$,抗倾覆稳定性满足规范要求。

4.3 整体稳定性验算

基坑的整体稳定性判断是把基坑作为一个平面问题来考虑,整体稳定性的验算一般采用圆弧法。圆弧法能求解有效应力的应力状态,利用瑞典条分法^[16]的计算方法,条分法中的土条宽度为 1.00 m。

滑裂面整体稳定安全系数 K :

$$K = \frac{M_R}{M_T}, \quad (3)$$

式中, M_R 为抗滑力矩,kN·m,可由式(4)确定:

$$M_R = R \tan\varphi \sum_{i=1}^n Q_i \cos\alpha_i + RcL。 \quad (4)$$

式中, M_T 为滑动力矩,可由式(5)确定:

$$M_T = R \sum_{i=1}^n Q_i \cos\alpha_i, \quad (5)$$

式中: R 为圆弧半径,m; φ 为内摩擦角, $(^\circ)$; Q_i 为第*i* 个土条重量,kN; c 为粘聚力,kPa; L 为圆弧AB的总长度,m; α_i 为法向分力 N_i 与垂线之间的夹角, $(^\circ)$ 。

计算滑裂面的数据分别为:圆弧半径 $R=16.794$ m,圆心坐标 $(x,y)=(-2.793, 5.219)$,整体稳定安全系数 $K_s=1.386>1.250$,满足规范对整体稳定性的要求。

4.4 抗隆起稳定性验算

基坑隆起是由于基坑支护结构受到自重、底边荷载和基坑土体卸载等影响,对基坑底部土体作用,造成基坑底部土体向坑内移动的现象。基底隆起也是基坑支护结构底部土体卸载的表现。结合本工程对基坑的抗隆起稳定性进行验算分析。由抗隆起稳定性计算公式:

$$K_{wz} = \frac{\gamma_2 DN_q + cN_c}{\gamma_1 (H + D) + q}, \quad (6)$$

式中: K_{wz} 为抗隆起稳定性安全系数; c 为土体的粘聚力,kPa; γ_1 为坑外地表至围护墙底各土层天然容重的加权平均值,kN/m³; γ_2 为坑内开挖面以下至围护墙底各土层天然容重的加权平均值,kN/m³; H 为基坑的开挖深度,m; D 为支护墙体在基坑开挖面以下入土深度,m; q 为坑外地面荷载,kPa; N_q 、 N_c 分别是地基承载力系数。

从支护底部开始,逐层验算抗隆起稳定性,抗隆起稳定性安全系数 $K_s=15.714\geq 1.800$,满足规范要求。坑底抗隆起以最下层支点为转动轴心的圆弧条分法计算 $K_s=2.793>2.20$,满足规范要求。

综上所述,HCMW工法在工程应用中选取钢筋混凝土板桩代替SMW工法中的H型钢,省略了型钢回收工序,节省了工期;同时避免了回收型钢对周围环境的影响;另外,该方法继承了SMW工法止水性强、抗弯性好的优点。通过对各工况力和位移的变化计算分析,再结合抗倾覆稳定性、整体稳定性、抗隆起稳定性的验算,证明了HCMW工法的安全性,表明该工法在工程中具有一定的优越性和实用性。

5 结 论

1) 支护结构的水平位移在加撑前后有较明显的变化。其水平位移从地表到坑底呈现逐渐减小的规律,由于开挖时土体卸载,导致侧支护土体的压力减小,在开挖区域内向基坑内移动,导致基坑下部土体位移减小,一般出现在距坑底0~2 m的之间。

2) 经计算分析基坑周围整体沉降量及其距坑边距离呈抛物线状,最大沉降量为18 mm,发生在距离坑边5.6 m的位置。应注意在该区域加强安全监测措施,加密监测点的布置和增加监测频率等。

3) 对基坑抗倾覆稳定性、整体稳定性和抗隆起稳定性验算,安全系数分别为1.974、1.386和2.793,均大于规范规定的安全系数,表明此工法能有效利用预应力混凝土板桩和水泥土混合体的力学性质,保证基坑的稳定。

参考文献:

- [1] Luis S C, Antonio A C. Bi-layer diaphragm walls: evolution of concrete-to-concrete bond strength at early ages [J]. Construction and Build Materials, 2012, 31(6): 29-37.
- [2] 蒋关鲁,兰维维,肖红兵,等.路基荷载下地基侧向变形的计算方法[J].重庆大学学报,2014,37(2):89-97.
JIANG Guanlu, LAN Weiwei, XIAO Hongbing, et al. A study on lateral deformation calculation of foundation under embankment[J]. Journal of Chongqing University, 2014, 37(2): 89-97. (in Chinese)
- [3] Zhang X, Yang J, Zhang Y, et al. Cause investigation of damages in existing building adjacent to foundation pit in construction[J]. Engineering Failure Analysis, 2018, 83: 117-124.
- [4] 严薇,王维说.基坑排桩支护结构选型的技术经济分析[J].重庆大学学报,2008,31(2):224-227.

- YAN Wei, WANG Weishuo. Technical economy analysis on selection of structure about soldier pile [J]. Journal of Chongqing University, 2008, 31(2):224-227. (in Chinese)
- [5] Cui K, Feng J, Zhu C. A Study on the mechanisms of interaction between deep foundation pits and the pile foundations of adjacent skewed arches as well as methods for deformation control[J]. Complexity, 2018(6):1-19.
- [6] 李必红,周健,史秀志.深基坑支护结构选型决策的 Fisher 判别分析模型[J].重庆大学学报,2011,34(9):109-116.
LI Bihong, ZHOU Jian, SHI Xiuzhi. Fisher discriminant analysis model for selecting the retaining structure type of deep foundation pit[J]. Journal of Chongqing University, 2011, 34(9):109-116. (in Chinese)
- [7] Gayarre F L, González-Nicieza C, Alvarez-Fernández M I, et al. Forensic analysis of a pile foundation failure[J]. Engineering Failure Analysis, 2010, 17(2):486-497.
- [8] 严薇,王维说,曾友谊.深基坑桩锚支护结构变形和内力分析方法探讨[J].重庆大学学报,2008,31(3):344-348.
YAN Wei, WANG Weishuo, ZENG Youyi. Analytic method discussion on deformation and inner force of the pile-anchor structure of deep excavation under construction [J]. Journal of Chongqing University, 2008, 31(3):344-348. (in Chinese)
- [9] 沈恺伦.土钉加排桩复合围护结构的共同作用分析[J].岩石力学与工程学报,2007,26(1):169-174.
SHEN Kailun. Interaction analysis of composite building enclosure of soil nailing and cast-in-pile [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(1):169-174. (in Chinese)
- [10] 杨磊,贺为民,周杨,等.深层搅拌桩复合地基的优化设计[J].岩土力学,2010,31(8):2575-2579.
YANG Lei, HE Weimin, ZHOU Yang, et al. Optimal design of deep-mixing pile composite foundation [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(8):2575-2579. (in Chinese)
- [11] 武崇福,郭维超,李雨浓,等.考虑负摩擦力的刚性桩复合地基中性面深度及桩土应力比计算[J].岩土工程学报,2016,38(2):278-286.
WU Chongfu, GUO Weichao, LI Yunong, et al. Calculation of neutral surface depth and pile-soil stress ratio of rigid pile composite foundation considering influence of negative friction [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, 38(2):278-286. (in Chinese)
- [12] Wenzhao C, Wenping C. Study on monitoring of deep foundation pit with SMW engineering method plus anchor cable retaining structure[C]// 2nd International Workshop on Advances in Energy Science and Environment Engineering (AESEE), Feb 02-04, 2018, Zhuhai, Peoples R China, AIP Conference Proceedings 1944, 020016 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5029730>.
- [13] 顾士坦,施建勇.深基坑 SMW 工法模拟试验研究及工作机理分析[J].岩土力学,2008,29(4):1121-1126.
GU Shitan, SHI Jianyong. Simulation test & performance mechanism analysis of SMW engineering method in deep foundation pits [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(4):1121-1126. (in Chinese)
- [14] 马郦,徐光黎. SMW+水泥土桩锚结构在基坑工程中的应用-以武汉长江 I 级阶地基坑工程为例[J].地下空间与工程学报,2013,9(4):934-938.
MA Yun, XU Guangli. Application of SMW and pile anchor retaining structure in a soft soil excavation pit [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2013, 9(4):934-938. (in Chinese)
- [15] 徐汉东,滕坤,符新军,等. HCMW 工法在常州地区某深基坑工程中的应用[J].施工技术,2014,43(19):78-80.
XU Handong, TENG Kun, FU Xinjun, et al. Application of HCMW method for deep foundation excavation supports in Changzhou [J]. Construction Technology, 2014, 43(19):78-80. (in Chinese)
- [16] Fellenius W. Calculation of the stability of earth dams[C]. Washington: Transactions of the 2nd Congress on Large Dams, 1936, 4: 445-462.