

伺服钢支撑在杭州软土基坑中的应用

代兴云,应卫超,孙海明

(中国联合工程有限公司,浙江 杭州 310052)

摘要:随着城市发展的加快,地下空间的开发越来越受到重视,但基坑周边的环境也越来越复杂,对基坑的变形要求也更加严苛。现以杭州地铁区间风井基坑为例,通过分析伺服钢支撑下的侧向位移变形,得出伺服钢支撑下基坑侧向变形只有预应力钢支撑下基坑侧向变形的一半,且基坑的侧向变形与钢支撑的竖向布置方式有着密切的关系;同时,通过分析伺服钢支撑与普通支撑下地表沉降数据,证明了伺服钢支撑对控制周边环境有着良好的效果,可为杭州地区同类型基坑变形控制提供参考。

关键词:深基坑;软土地层;伺服钢支撑;基坑变形

中图分类号: U417.9

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)12-0246-04

0 引言

随着城市建设的不断发展,地下空间的开发越来越受到重视。同时,基坑周边的建(构)筑物、重要管线也越来越多,对基坑的变形要求更加严苛。传统的支撑主要采用混凝土支撑和施加预加轴力的钢支撑,但是这两种都是被动支撑型式,即允许基坑产生一定的变形;并且钢支撑预应力在实际施工过程中很容易损失,因此传统的支撑型式难以满足基坑严格的变形要求。

为了满足基坑变形的要求,一种具有伺服系统的钢支撑逐渐应用在基坑围护中。2009 年 3 月,贾坚^[1]等首次将伺服钢支撑系统应用在“大上海会德丰广场”深基坑项目中,保护了紧邻地铁的运营安全。张秀川等^[2]对伺服钢支撑在复杂深大基坑中应用现状进行总结和分析。李建望等^[3]对伺服钢支撑的工作原理、主要组成等进行介绍,并在相关项目中变形控制取得了较好的结果。孙九春等^[4]研究了不同伺服钢支撑的设置方式对基坑变形的影响,为类似项目提供了参考依据。冯非凡等^[5]对伺服钢支撑的发展现状进行了总结和概述。刘俊超^[6]、龙华东^[7]、苏小文等^[8]对伺服钢支撑在地铁基坑中的应用进行了分析,基坑变形控制均取得良好效果。

综上,伺服钢支撑在约束基坑变形方面有着明显的优势,在周边环境复杂,管线密集的基坑中有着广阔的应用前景。目前,杭州软土基坑中应用伺服钢

支撑还相对较少,本文以杭州机场轨道快线的区间风井基坑为例,研究伺服钢支撑的应用效果,为后续类似工程提供参考。

1 工程概况

1.1 工程简介

本项目为杭州机场快线萧~萧区间第一个风井,风井长度约 44 m,宽度约 27 m,基坑开挖深度约 24 m。

如图 1 所示,项目位于 G92 杭州湾环线高速的北侧,与其相距约 42 m;基坑东北侧 38 m 处,存在一浅基础的混凝土厂房;基坑南侧存在两条燃气管线,其中中压 DN315 管线距离基坑 6.6 m,高压 DN660 管线距离基坑约 24 m,燃气管线为城市主要供气管线,对变形要求严格;基坑开挖过程中应严格控制基坑变形,保证周边管线和建(构)筑物的安全。

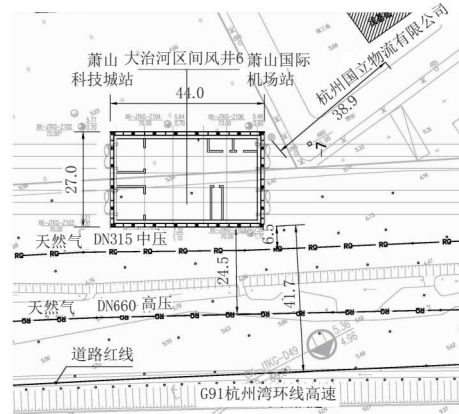


图 1 基坑及周边环境示意图(单位:m)

1.2 工程地质条件

基坑开挖范围内主要为素填土、砂质粉土、粉砂、淤泥质黏土夹粉土等,其中坑底土层为淤泥质土,地

收稿日期: 2023-01-04

作者简介: 代兴云(1992—),男,工学硕士,工程师,从事地下结构设计工作。

连墙进入圆砾层中。典型地质剖面图见图 2 所示。

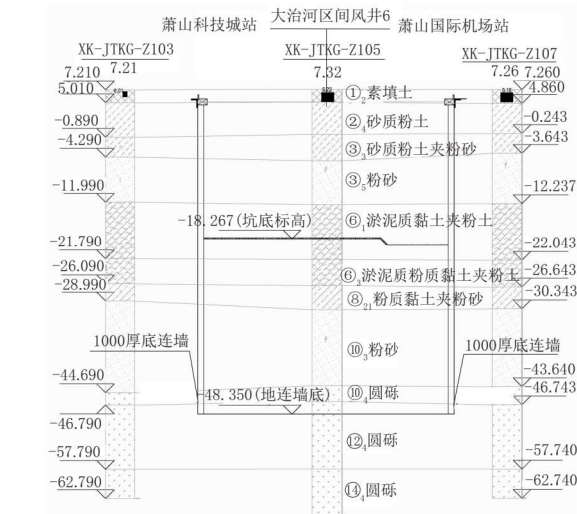


图 2 典型地质剖面示意图(单位:m)

根据地勘资料,各层土体的主要物理参数见表 1 所列。

表 1 土体物理参数表

编号	土层名称	压缩模量 /MPa	泊松比	$\gamma /(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	c / kPa	$\varphi /(^{\circ})$
1-2	素填土	2.5	0.33	(18.0)	(10.0)	(10.0)
2-4	砂质粉土	7.0	0.34	19.6	5.0	26.0
3-3	砂质粉土夹粉砂	14.0	0.28	19.9	5.0	30.0
3-5	粉砂	15.0	0.26	19.9	5.0	31.0
6-1	淤泥质黏土夹粉土	3.5	0.41	17.6	10.0	9.0
6-3	淤泥质黏土夹粉土	4.0	0.40	17.7	12.0	10.0
8-21	粉质黏土夹粉砂	6.5	0.35	18.5	18.0	17.0
10-3	粉砂	15.0	0.23	19.4	5.0	31.0
10-4	圆砾	35.0	0.17	(22.0)	(3.0)	(40.0)
12-4	圆砾	40.0	0.17	(22.0)	(3.0)	(42.0)
14-4	圆砾	40.0	0.17	(22.0)	(3.0)	(42.0)

1.3 水文地质条件

该项目地下水主要涉及潜水和承压水。

(1)拟建场地潜水主要赋存于浅(中)部填土层、粉(砂)性土中。潜水稳定水位埋深为地面下 0.60 ~ 2.10 m。潜水主要受大气降水与地下同层侧向径流补给,以竖向蒸发及地下同层侧向径流方式排泄,并随季节性变化。

(2)拟建场地承压水主要分布于下部的⑩层、⑫层及⑭层砂砾层中,各承压含水层相互连通,可视 为同一承压含水层组。该层承压水埋深较深,隔水顶 板埋深约在地面以下 45.0 ~ 49.5 m,隔水层厚度约

在 25.0 ~ 30.0 m。根据地勘抽水试验,承压水混合水 头埋深为 7.09 m。

1.4 特殊性岩土

拟建区间风井场地范围内淤泥质土层呈灰色, 流塑状,富含有机质残骸,具低强度、高压缩性,有较 明显的蠕变、触变特性,为软土层。该层层厚较厚,位 于粉砂性土层以下,厚度一般为 14 ~ 23 m。由于该 层淤泥质土强度低、压缩性高、工程性质差,对区间 风井开挖施工影响较大。

2 基坑围护方案

2.1 围护设计方案

根据该工程所处的环境、工程地质、水文地质条 件以及基坑深度,经计算分析和工程类比,风井主体 采用 1 000 mm 厚地下连续墙,接头采用工字钢接 头。内衬墙与地下墙之间均按复合墙设计。

基坑深度约为 24 m,地连墙插入深度约为 30.08 m, 地墙墙趾位于 12-4 圆砾中,插入比约为 1.26。设置 3 道混凝土支撑和 4 道钢支撑(Φ800 t=20 mm 钢支 撑),混凝土支撑下设置 600 × 600 格构柱。其中钢斜 撑采用普通的预应力支撑,钢直撑采用伺服系统。钢 支撑布置型式见图 3 和图 4 所示。

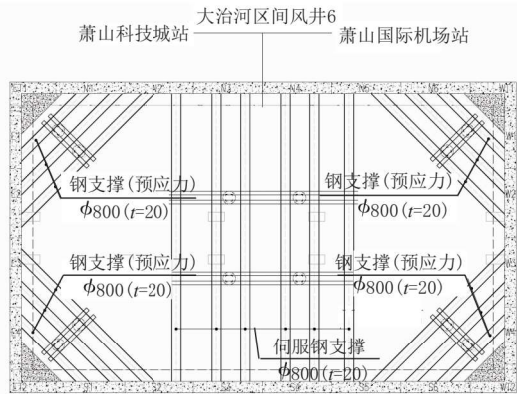


图 3 钢支撑平面布置示意图(单位:mm)

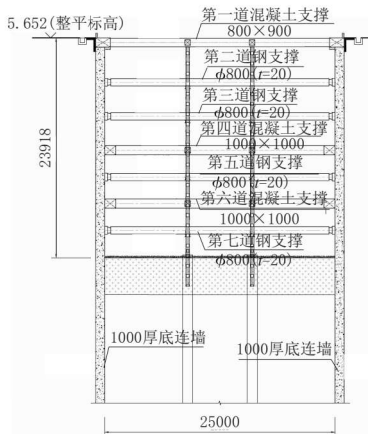


图 4 钢支撑剖面布置示意图(单位:mm)

2.2 施工要求

基坑开挖应以时空效应原理作为指导,分块、分段、分层地进行开挖,尽量减少无支撑暴露时间,严格控制土方开挖坡度与坡高,单层土坡坡度不得大于 $1:2.5$,土坡高度不得大于 3.0 m ,各级边坡平台宽度不应小于 3.0 m 。开挖时每层开挖深度不宜大于 3.5 m ,每段长度宜为 6 m ,混凝土支撑的浇筑时间不应大于 24 h ,钢支撑安装和预应力施加应在 16 h 小时内完成。

3 现场监测方案

3.1 监测内容

根据规范及相关技术要求规定,该项目变形监测的主要项目包括:基坑周边地表沉降、围护结构的水平及竖向位移、支撑轴力、地下水位、围护结构水平位移、周边地下管线的竖向变形、周边建筑物竖向位移等。

3.2 监测方案

该风井安全等级为一级。共设置了 8 个监测断面,图5监测布置图中主要表示墙体测斜监测点、地表沉降、管线沉降,相应的监测点位置如图5所示。

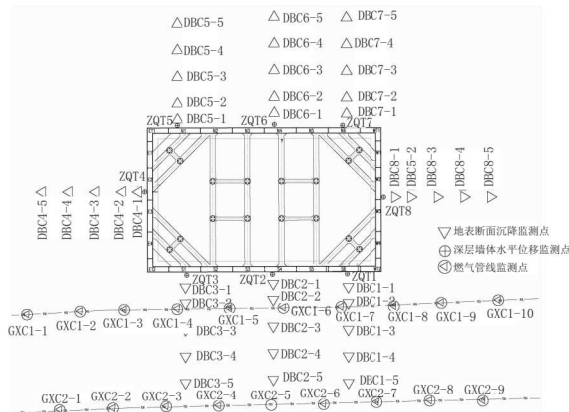


图5 监测点平面布置示意图

4 监测结果分析

4.1 围护结构水平位移

采用测斜管对基坑壁侧向变形进行监测,其中ZQT1、ZQT3、ZQT4、ZQT5、ZQT7、ZQT8为普通钢支撑区域的测斜管编号,ZQT2、ZQT6为采用钢支撑伺服系统区域的测斜管编号。ZQT2、ZQT4、ZQT6、ZQT8的监测数据较为完整,因此选择其进行对比分析。开挖至坑底时基坑壁侧向变形曲线见图6所示。其中侧向变形量为正表示朝向基坑变形,侧向变形量为负表示背离基坑变形。

由图6可知,基坑墙体的侧向位移均随着基坑

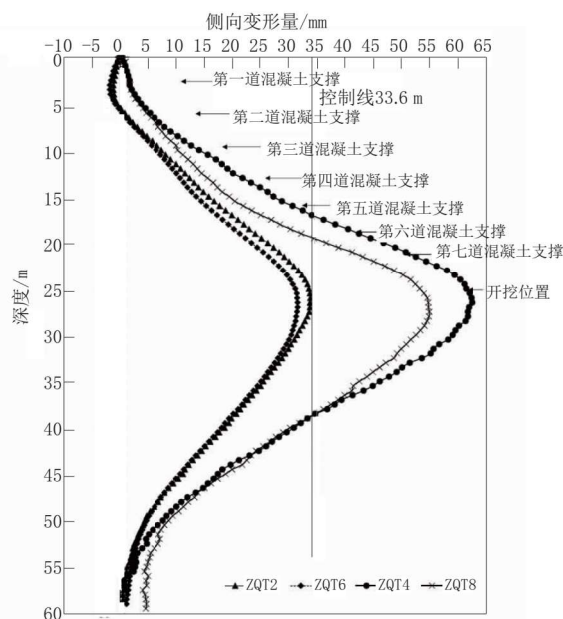


图6 基坑侧向变形曲线图

的开挖深度增加,先逐渐增大后再逐渐减小,即变形曲线呈现“大肚子”型;采用伺服系统的钢支撑处的测斜变形明显小于普通钢支撑处的测斜变形,普通钢支撑处的最大变形约是伺服系统钢支撑处最大变形的 2 倍;基坑侧向变形的最大值并不是出现在基坑底部,而是出现在开挖面以下的 $2\sim 3\text{ m}$ 的位置;采用伺服系统处基坑侧向变形最大值约 33.58 mm ,能够满足基坑变形控制的要求,而普通钢支撑处基坑侧向变形最大约 62.37 mm ,不能满足基坑控制变形的要求。

选取钢支撑伺服系统处的测斜监测点ZQT2作为研究对象,绘制不同支撑状态下的墙体侧向变形曲线,如图7所示。从图7中可知,基坑侧向变形基本随着支撑的增加即基坑的开挖逐渐增大;从图中可以看出开挖前三道支撑时变形较小,由于第二、三道为伺服钢支撑系统,在伺服系统作用下基坑最大变形仅有 9.54 mm ;第四道是混凝土支撑,浇筑时间长,基坑暴露时间也相应增长,所以从第三道到第四道支撑之间基坑变形较大;从图上可以看出架设第五道支撑后,基坑侧向变形略有减小,这是在第五道钢支撑伺服系统的支撑轴力下,将墙体变形回顶了一部分;第五道钢支撑与第六道混凝土支撑的间距较小,所以两者之间的变形要比第三道钢支撑与第四道混凝土支撑两者之间变形小的多;第七道伺服系统钢支撑的变形也相对较大,这是因为施工单位在架设第七道支撑时未遵循设计“先撑后挖”的要求,从而导致基坑变形较理论值偏大。

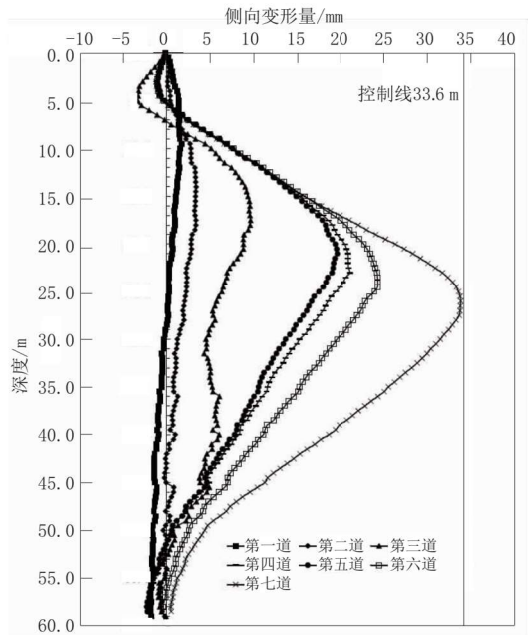


图 7 ZQT2 监测点基坑侧向变形曲线图

4.2 地表沉降

根据地表监测点布置图,选取基坑四边地表沉降最大且具有代表性的地表监测点 DBC2-4、DBC4-4、DBC6-4、DBC8-4 作为分析对象;其中 DBC2-4 和 DBC6-4 位于伺服钢支撑的影响范围,DBC4-4 和 DBC8-4 位于预应力支撑的影响范围。

从图 8 中可以看出,随着基坑开挖,地表沉降均逐渐增大。总体而言,预应力钢支撑作用范围内地表沉降比伺服钢支撑影响范围的地表沉降大,其中监测点 DBC4-4 最大沉降 13.5mm 左右;基坑中部在伺服支撑作用下能够较好地控制地表变形,而基坑端部除了预应力支撑作用,还有就是基坑长宽比不大,尺寸效应明显,所以与伺服支撑影响范围的地表沉降相差不大;在钢支撑施加的过程中,沉降变形的速率明显较小,在混凝土支撑施加的过程中,沉降变形的速率明显较大,这与钢支撑施加速度快,控制变形效果好是相符合的。

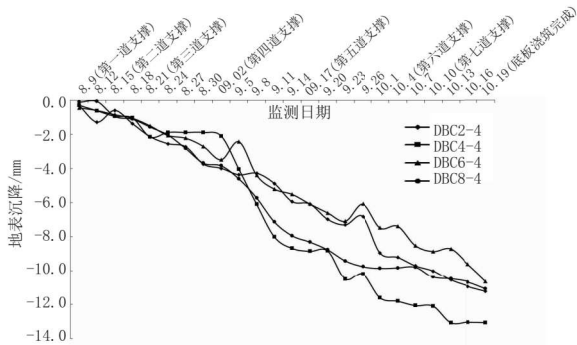


图 8 地表沉降监测图

4.3 管线沉降

选取中压燃气管线监测点 GXC1-5、GXC1-6,

高压燃气管线监测点 GXC2-5、GXC2-6 作为分析对象。

管线变形的整体规律与地表沉降的规律基本一致,随着开挖深度的增加,沉降逐渐增大,但沉降变形的数值较小。钢支撑施加时变形速率与混凝土支撑施加时变形速率相差更为明显,特别是在第二道和第三道伺服钢支撑的作用下,管线沉降速率约为 0.02 mm/d,而第三道至第四道支撑施加过程,管线沉降速率则为 0.14 mm/d。在伺服钢支撑的作用下,中压燃气管线最大变形约 5.1 mm,高压燃气管线沉降变形仅 3.4 mm,完全满足规范及产权单位的要求。

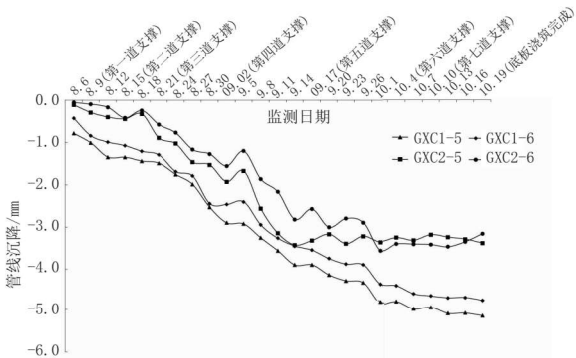


图 9 管线沉降监测图

5 结 语

本文以杭州机场快线区间风井为基础,研究分析伺服钢支撑下的围护结构的变形基本规律,得出如下结论:

(1)基坑围护墙体的侧向变形随着基坑开挖深度的增加逐渐增大,基坑的侧向变形呈现“大肚子”的形式,即随着深度的增加基坑侧向变形先逐渐增大后逐渐减小。

(2)在伺服系统钢支撑作用下,基坑变形得到了较好的控制,其侧向变形量是普通钢支撑下的二分之一。

(3)基坑的变形与支撑的形式有着密切的关系,钢支撑因架设速度快,对比混凝土支撑在控制变形方面有着明显的优势。

(4)伺服钢支撑控制基坑周边地表沉降及管线变形的效果显著,在周边环境复杂的条件中,有着广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 贾坚,谢小林,罗发扬,等.控制深基坑变形的支撑轴力伺服系统[J].上海交通大学学报,2009,43(10):1589-1594.
[2] 张秀川,郑彬,闫磊,等.伺服系统钢支撑同步施工技术在临近地铁狭长深基坑中的应用[J].施工技术,2016,45(19):23-26.

(下转第 253 页)

综上所述,两种固化土均有良好的结构性能,土源均可就地取材,均可在现场进行拌合施工,二者施工时间相近,但环保型固化土所需养生时间相对较短,因此更具优势。

7 建 议

7.1 土源含水率控制

(1)在雨水较少、地下水位较低的春、秋季节进行路基处理可节省较多的费用。当挖方路基土方含水量较大时,为降低土体含水率,一般采用土方翻晒处理,对底层采用原地翻晒,其余部分开挖后进行分层翻晒,大面积施工时可采用铧犁翻晒。当土的含水量接近最佳含水量时,再进行固化土施工。

(2)土源含水率是固化土施工的重要控制因素,将直接影响固化土的施工质量.建议开展土方含水率的简便测定方法及设备研发,便于施工过程中质量控制。

7.2 土源质量控制

在利用现场结构施工的余土时,选用上层较好的土方专门留置作为固化土土源,并对掺杂的石块进行筛除,保证土源质量。

7.3 路拌法施工控制

(1)由于固化土施工位于城区,若采用路拌法施工会产生一定的扬尘,可能会被相关行政部门制止。因此,建议采用移动式拌合机械在后场集中拌合,然

后运输至现场进行摊铺。

(2)固化土拌合机械对于窨井较多的道路施工段较为困难,且质量难以保证。若采用现场拌合工艺,建议引进或研发操作灵活、施工速度快的小型设备。

8 结 语

固化土施工相较于常规施工更加绿色环保、便捷,不但可以就地取材,还能直接在现场进行拌合施工。本次固化土在道路底基层中的应用,可大大减少底基层对水泥、碎石的依赖,节约不可再生的自然资源。

随着城市发展,绿色施工已成为工程建设中面临的迫切需求,而固化土这种“循环利用+绿色施工”的工程建设模式必然成为主流趋势。通过本工程实际应用可知,固化土施工有利于促进绿色施工技术的推广和使用,对未来的绿色工程发展方向提供宝贵的实践经验,具有十分重要的实践价值。

参考文献:

[1] 季节,梁桦,韩秉烨,等.中国道路工程中土壤固化技术综述[J].交通运输工程学报,2023,23(2):47-66.
[2] 杨科学.土壤固化在城市道路淤泥质土软弱地基处理中的应用[J].中国建筑装饰装修,2022(8):161-163.
[3] 欧海湖,谭树成,杨仕波,等.基于原土固化技术的固化土基层现场试验研究[J].山西建筑,2022,48(8):81-84.
[4] 徐中,徐迪.浅议道路施工中固化土路面施工技术控制措施[J].中国高新技术企业,2015(30):94-95.

(上接第 249 页)

[3] 李建望.钢支撑伺服系统在某地铁基坑中的运用及其变形控制效果分析[J].施工技术,2018,47(S4):1505-1507.
[4] 孙九春,白廷辉.地铁基坑钢支撑轴力伺服系统设置方式研究[J].地下空间与工程学报,2019,15(S1):195-204.
[5] 冯非凡,魏纲,朱家烜,等.伺服钢支撑在基坑开挖中的应用综述[J].低温建筑技术,2021,43(9):103-107,122.
[6] 刘俊超. 伺服钢支撑对杭州软土地层地铁深基坑变形的影响研究[J].路基工程,202(4):173-177.
[7] 龙华东,周辉,涂洪亮,等.钢支撑伺服系统在富水软弱地层深基坑施工中的应用[J].铁道建筑,2022,62(2):137-140.
[8] 苏小文,李寒冰,黄浩.钢支撑伺服系统在软土深基坑中的应用与研究[J].测绘与空间地理信息,2022,45(8):174-175.