

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2024.02.039

双轮铣深搅(CSM)工法在深厚软土覆盖层锚碇基础中的应用

魏 豪,赵俊臣

(中交路桥华东工程有限公司,上海市 201203)

摘 要:以张靖皋长江大桥北航道桥南锚碇项目为例,开展了双轮铣深搅(CSM)工法与传统的三轴搅拌桩等技术的比选,并在锚碇现场进行试桩试验,分析了CSM工法搅拌桩在深厚软土覆盖层中的成桩效果,归纳总结搅拌桩施工过程中常见质量通病原因和预防措施。

关键词:CSM工法;槽壁加固;施工工艺;应用分析

中图分类号:U445.55

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)02-0173-03

0 引 言

地连墙由于具有良好的结构稳定性及止水特性,被广泛地应用于基坑、地下结构等工程。地连墙在地质情况好的地层中成槽,槽壁能够保持自稳,地连墙的设计厚度和质量也有所保证。但地连墙在软土中成槽时,由于软土各方面性能均较差,会导致槽壁向槽内移位,最终导致出现墙体厚度小于设计值或墙体出现夹泥等现象。为避免上述情况发生,在软弱土层中地连墙开槽前,会先对槽壁土体进行加固^[1-2]。传统的三轴搅拌桩采用旋切成桩,成桩质量与土层性质关联性较大,搅拌不均匀且返浆多,在砂性土层易渗漏^[5];CSM工法为铣削搅拌成墙工法,铣头在铣削下沉和上提过程中均喷射水泥浆液,切削土体与水泥浆液均匀搅拌,成墙质量好。采用CSM工法进行地连墙槽壁加固,代替传统的三轴搅拌桩等槽壁加固方式,可以缩短施工工期,提高地连墙施工质量。

1 工程概况

北航道桥南锚碇位于长江江心冲积岛上,软弱覆盖层以粉质黏土为主,强度和地基摩擦系数低,塑性差,承压水头高。为保证地连墙施工质量满足设计要求,需要对槽壁进行加固施工。

北航道桥南锚碇基础采用外径90 m、墙厚1.5 m的圆形地连墙+环形钢筋混凝土内衬支护结构。基础高度为21 m,下设0.3 m厚素混凝土垫层,基坑开挖深度21.3 m,底标高为-18.8 m。基底以下为28 m

厚人工处理地基,人工处理地基地标高为-46.8 m,位于密实粉砂⑦₅层。地连墙底标高为-51.8 m,嵌固深度为32 m。逆作法分层开挖基坑土和施工内衬,基础顶面以下0~7 m深度内衬厚1.5 m,分层施工高度为3 m+2 m+2 m;7~14 m深度内衬厚2.0 m,分层施工高度为2 m+2.5 m+2.5 m;14~21.3 m深度内衬厚2.5 m,分层施工高度为2.5 m+2.5 m+2.3 m。基础设置7 m厚顶板、7 m厚底板和7 m高混凝土填芯,为提高基底应力分布的均匀性,在基础前半部填芯设置32个6 m×6 m空仓。北航道桥南锚碇效果图如图1所示。

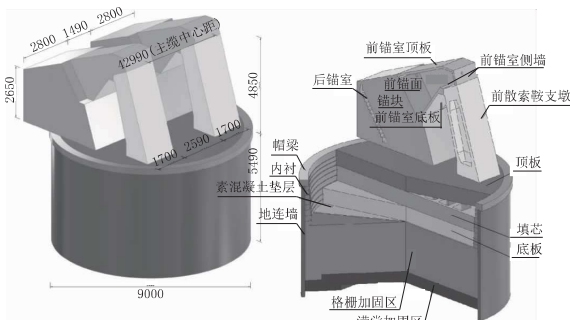


图1 北航道桥南锚碇效果图

1.1 工程水文地质情况

北航道桥南锚碇处于区域地质构造活动影响相对稳定地带。南锚碇地处Ⅵ区,根据《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01—2020)规定,Ⅶ度以下地区即Ⅵ度区的公路桥梁可不考虑砂土液化影响。南锚碇区地质主要为粉质黏土、粉砂及填土,基础地质剖面如图2所示。

锚碇区位于长江入海口北岸,地区气候温和,雨水充沛,日照充足,雨热同季;地表水体与地下水的水力联系较好,在丰水期对地下水有补给作用,对区域

收稿日期:2023-08-02

作者简介:魏豪(1997—),男,学士,助理工程师,从事桥梁工程施工工作。

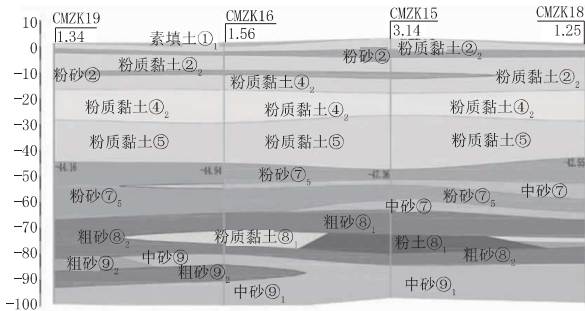


图2 基础地质剖面图

地下水的补给起了重要的作用。场地内地下水位较高,埋深不足2 m,且周围河流沟渠较多,水系发达。承压水含水层厚度大、渗透性好、补给条件好,且隔水层厚度较薄且不均匀。抽水试验显示南锚碇区域承压水顶板埋深43.8~50.5 m,承压水层厚度超过60 m、渗透性好、补给条件好,且隔水层厚度较薄且不均匀。

1.2 项目特点

(1)槽壁加固的垂直度和有效的水泥掺量以及地连墙平面位置尺寸的控制,是该项目施工管控的重点。
(2)槽壁加固与导墙施工在施工过程中存在交叉作业,机械设备的调用过程会对施工人员造成安全隐患,确保施工过程中的安全也是该项目的控制重点。

2 CSM 工法简介

2.1 CSM 工法流程

CSM 双轮铣深搅工法的施工原理是铣削机在掘进注浆、供气、铣、削和搅拌的过程中,两个铣轮相对相向旋转,通过凯氏方形导杆施加向下的推进力,向下掘进切削地层,直至要求的设计深度。此后,两个铣轮作相反方向的相向旋转,通过凯氏方形导杆向上慢慢提起铣轮,并通过供气、注浆管路系统再向槽内分别注入气体和固化液,并与槽内的基土相混合,从而形成由基土、固化剂、水、添加剂等形成的混合物。CSM 工法施工流程如图3所示。

2.2 施工关键设备

该项目槽壁加固采用等厚度水泥搅拌墙,加固深度32 m,采用金泰 SC55 型铣削式双轮搅铣削机进行施工,设备参数见表1。

2.3 工法对比分析

传统的二轴搅拌桩工法虽成本较低,但其施工工效低,稳定性差^[4];加固深度和宽难以达到设计要求,导致出现冷缝的情况增大,槽壁稳定性不佳。

三轴搅拌桩工法较二轴搅拌桩整体搅拌均匀,

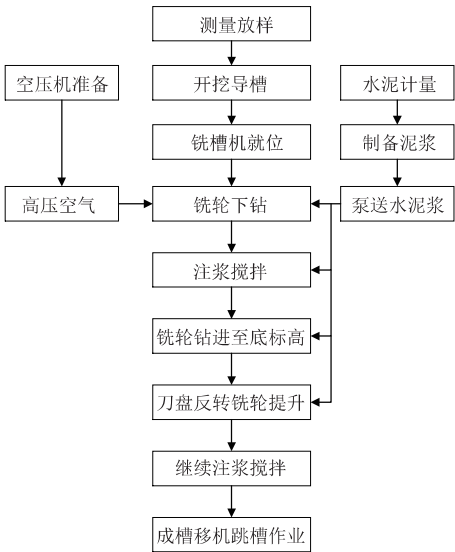


图3 CSM 工法施工工艺流程

表1 金泰 SC55 参数表

型号	SC55	图示
铣削头型号	SC55	
最大深度 /m	55	
最小厚度 /mm	700~1 000	
扭矩 / (kN·m)	80 × 2	
空载旋转速度 /rpm	28	
主机	BZ-70	
最大起拔力 /kN	960+1 000(油缸)	
主机功率 /kW	45	
液压系统压力 /MPa	31.5	
卷扬机提升拉力 /kN	960	
整机重 /t	190	

稳定性较好,但其遇到砂性地层时浆液容易离析,造成桩体强度降低^[3];其施工时土体置换率较高,约占整个加固方量的1/4~1/3,浆液为碱性,对生态环境有较大影响^[8]。

CSM 工法在施工时,铣头在铣削下沉和上提过程中均喷射水泥浆液,切削土体与水泥浆液均匀搅拌成墙,具有良好的止水和固壁效果,适用于地连墙成槽时的槽壁加固施工^[6]。CSM 工法施工质量更容易控制,施工工效远高于传统工法,节省施工工期^[7]。

综合以上三种施工工法,CSM 工法施工工效高,稳定性较好,有利于保护现场环境,综合比选,最终确定采用 CSM 工法进行项目槽壁加固施工。

3 CSM 工法试验

CSM 工法成墙试验在保证成墙质量的前提下,试桩采用控制变量法进行试验,旨在确定和优化施

工参数,验证得出适合该项目的水泥有效掺量、水灰比、下钻(提钻)速度等参数。

3.1 CSM 工法试验情况

采用CSM工法水泥搅拌墙进行4幅试成墙行进试验,以确定最终施工参数。选择在锚碇轻载环道处进行试验,搭接长度为27.5 cm,搅拌墙尺寸为2.8 m×0.7 m,墙身32 m。施工顺序为往复式双孔全套打复搅式标准形,如图4所示,即先施工1#、3#墙,再施工2#、4#墙。CSM工法试验墙采用控制变量法进行参数对比验证内容见表2。

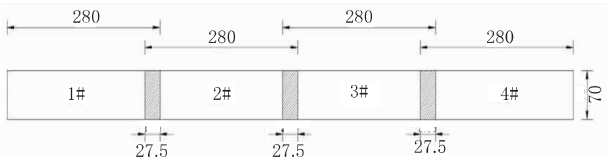


图4 CSM工法试验桩平面图(单位:cm)

表2 对比试验验证内容表

序号	对比槽段	验证内容
1	1#墙、2#、3#墙	在注浆压力、水灰比(1.2)不改变的前提下,通过调节下钻(提钻)速度和注浆量改变水泥有效掺量(22%、25%、20%),验证在满足设计要求下,得出适合本项目的水泥有效掺量
2	4#墙、	在注浆压力、铣轮转速不变的基础上,采用水泥有效掺量20%、水灰比1.5,得出适合的水泥有效掺量、水灰比、下钻(提钻)速度等参数

3.2 CSM 工法试验墙芯样检测

墙身强度成墙后14 d进行现场钻取芯样强度试验的方法确定,采用绳索钻取芯样,钻头直径 $\phi 110$ 。取芯处于槽壁加固中心位置、长边中心位置、接缝位置,如图5所示。芯沿墙体深度方向,每间隔5 m取样一组,每孔取芯数量3组,每组3件试块。以14 d桩体强度推28 d桩体强度是否 ≥ 0.8 MPa。



图5 取芯位置

芯样试块完整性高,无断桩,水泥含量高且搅拌均匀,经检测芯样28 d抗压强度满足设计要求,芯样渗透系数满足设计要求,芯样抗压强度统计表见表3。

表3 芯样抗压强度统计表

桩型	检测数量	墙身芯样代表值/MPa		平均值/MPa	标准差	变异系数
		最小	最大			
水泥土搅拌墙	4	1.19	2.31	1.55	0.446 37	0.287 98

3.3 CSM 工法搅拌桩施工参数

CSM工法试验桩经检测满足设计要求,可用于

地连墙槽壁加固施工。CSM工法施工参数见表4。

表4 CSM工法施工参数

项目	水泥掺入量/%	水灰比	下沉速度及时间	上升速度及时间	下沉喷浆量/%	上升喷浆量/%
单幅搅拌墙	20	1.2	0.45 m/s;72 s	0.40 m/s;80 s	30	70

4 CSM 搅拌桩施工

4.1 CSM 工法施工工效

锚区CSM工法双轮铣槽壁加固桩深度均为32 m,共计219幅,合计加固土13 735.7 m³,金泰SC55双轮搅在本项目软塑状态的粉质黏土层中施工效率约为20 m³/h。项目配置一台双轮搅,每天进行16 h作业,地下连续墙槽壁加固施工42 d完成。

4.2 搅拌桩施工顺序

CSM工法搅拌桩施工顺序采用往复式双孔全套打复搅式标准形,搭接宽度分别为26.8 cm(内侧)和27.5 cm(外侧)。CSM工法搅拌桩成墙顺序如图7所示。

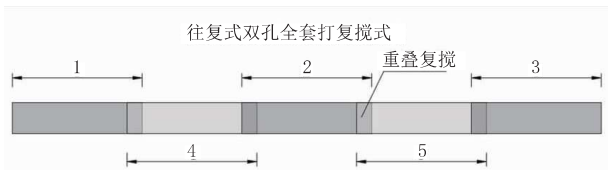


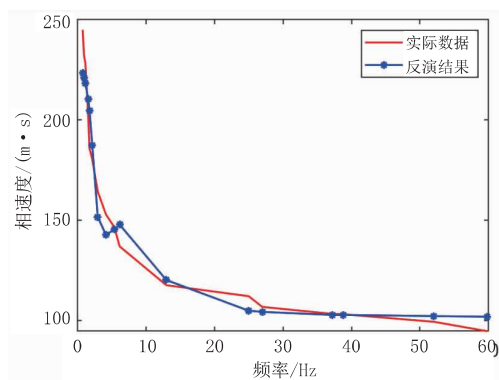
图7 搅拌桩成槽顺序

5 CSM 工法搅拌桩质量通病及预防措施

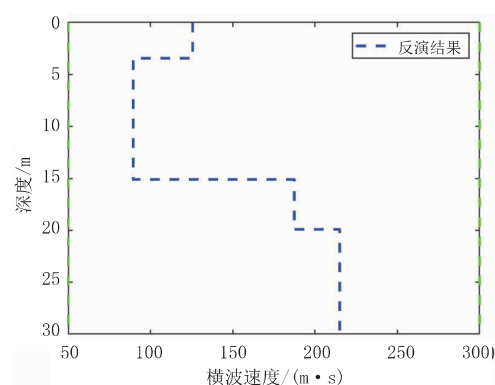
CSM工法搅拌桩施工受地层变化、机械设备、作业人员、材料供应、周边环境或其它特殊情况等因素的影响,会产生常见的质量通病。CSM工法施工常见质量通病的预防措施详见表5。

表5 CSM工法搅拌桩质量通病预防措施表

常见质量通病	原因分析	预防措施
桩位偏差	桩位放样稍有偏差	1. 施工过程中控制钻孔位置与设计位置的偏差 ≤ 50 mm 2. 施工时,钻机就位须在测量员的测量下精确就位,经三方复核后,钻机方可开钻
桩身垂直度不满足要求	1. 基底发生不均匀沉降 2. 机架垂直度不满足要求 3. 地下障碍物影响	1. 机架底部架设槽钢基座或铺设钢板 2. 钻机就位后进行调平;若因故钻机下陷倾斜,需及时调整,重新进行调平 3. 对施工区域的地下障碍物提前清除
缩颈、夹泥、断桩	1. 材料不合格 2. 操作不规范 3. 浆液水灰比与设计不符 4. 浆液离析	1. 原材料进场时,随船须附出厂合格证,试验室及时进行复验 2. 各设备操作均要按规定施工,以避免单根桩的水泥用量使用不均 3. 现场施工人员严格控制水泥浆液配比,试验室安排专人定期抽查浆液质量 4. 对于离析的浆液作废浆处理,严禁使用



(a) 频散曲线拟合



(b) S波速度反演结果

图6 泵站井室反演结果

5 结论

该文通过模型试算和实际数据反演进行比较:

(1)得到的频散曲线整体吻合度高,横波速度浅层误差很小,算法具有较好的抗噪性。(2)在缺少先验信息约束的情况下,反演结果符合设计资料,验证了方法的可靠性。然而,从模型试算中可以看出,反演的第二层往后总是存在误差更大的情况,需要更深入的研究来了解参数变化和改进策略(与遗传算法、Lévy飞行策略等)的结合,来获得更好的反演结果^[7]。

参考文献:

- [1] 伍敦仕.基于面波信息的近地表参数反演方法研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2018.
- [2] Vahid Ganji.Automated Inversion Procedure for Spectral Analysis of Surface Waves[J].Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,1998,124(8).
- [3] Laura Valentina Socco,Daniele Boiero.Improved Monte Carlo inversion of surface wave data[J].Geophysical Prospecting,2008,56(3).
- [4] Seyedali Mirjalili,Andrew Lewis.The Whale Optimization Algorithm [J].Advances in Engineering Software,2016,95.
- [5] Mohammed H. Qais,Hany M.Hasanien, Saad Alghuwainem. Enhanced whale optimization algorithm for maximum power point tracking of variable-speed wind generators[J].Applied Soft Computing,2020,86:105937.
- [6] 闫月峰.石油勘探中地震面波的非线性反演方法研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2016.
- [7] 许德刚,王再庆,郭奕欣,等.鲸鱼优化算法研究综述[J].计算机应用研究,2023,40(2):328-336.

(上接第175页)

6 结语

在超厚软土覆盖层地区的地下连续墙工程中,采用CSM工法搅拌桩进行槽壁加固施工,能充分发挥其施工速度快、搅拌均匀、节省材料的优势,施工范围周边地层及结构物稳定,是一种安全可靠、节能环保的槽壁加固形式,具有推广意义。

参考文献:

- [1] 张雷.水泥土搅拌桩在深基坑围护中的应用[J].建筑安全,2021,36(4):13-16.
- [2] 张亚峰,龙伟义.超深淤泥质土层单轴水泥土搅拌桩技术[J].建筑技

术开发,2021,48(20):161-162.

- [3] 陈盛原,张伟锋,韦未.水泥土搅拌桩技术研究现状及发展前景[J].工程建设,2020,52(4):6-10.
- [4] 邓友生,孟丽青,蔡梦真,等.水泥土搅拌桩加固黄土路基稳定性研究[J].郑州大学学报(工学版),2022,43(3):59-66.
- [5] 宋珪.五轴水泥土搅拌桩止水帷幕关键施工技术研究[J].江西建材,2022(8):232-235.
- [6] 徐鸿晟.水泥土搅拌桩在地连墙槽壁加固中的应用[J].西部交通科技,2018(8):140-142,159.
- [7] 蔡雷波.CSM工法在上海地区深基坑围护止水帷幕中实践探究[J].山西建筑,2018,44(16):34-36.
- [8] 沈丹.五轴水泥搅拌桩与传统水泥搅拌桩的对比分析[J].山西建筑,2015,41(3):78-80.