

超深锚碇基坑围护结构施工关键技术

袁兆轩

(上海远方基础工程有限公司, 上海市 200436)

摘要: 某大桥为双塔双跨悬索桥,主跨跨径达到1 688 m,边跨钢箱梁长548 m,其西锚碇采用厚度为1.5 m的地下连续墙作为锚碇基坑开挖的主要围护结构,地下连续墙深入中、微风化泥岩,基坑开挖深度达到22.2 m,采用水泥粉喷桩加固软土。基于该大桥锚碇基坑围护结构施工,探讨超深锚碇基坑围护结构施工关键技术,并给出部分施工建议。

关键词: 锚碇基坑;地下连续墙;水泥粉喷桩;关键技术

中图分类号: U433.24

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)04-0179-04

0 引言

随着桥梁逐渐朝着大跨径发展,桥梁基础为获取更大的支撑,也朝着更深更大的方向发展。地下连续墙以其技术成熟,且兼具挡土、防水和承力3种作用于一体的优势,在超深超大基础中大有取代桩基础的趋势,且该趋势愈发明晰。如国内的润扬大桥、阳逻长江大桥、珠江黄埔大桥,以及孟加拉国的桑布贡吉公路大桥^[1]等。随着桥梁基础的发展,越来越多的学者对大桥基坑锚碇进行研究。李冕等^[2]、姚志安等^[3]皆对深中通道伶仃洋大桥东锚碇基坑进行研究。前者进行开挖数值模拟,采用理正、Flac3d、Abaqus软件对基坑开挖全过程进行对比分析,得到地下连续墙形成的“8”字形锚碇基础在开挖中的变形变化。后者针对东锚碇基坑支护结构采用海中筑岛围堰的总体方案施工进行分析探讨。何锦章等^[4]对广西滨海公路龙门大桥东锚碇基坑土压力和内力进行不同方法计算分析,得到采用《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)计算得到的圆形地下连续墙最大弯矩值较大以及对于较深的锚碇基坑,采用《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)计算得到的围护结构弯矩将偏于保守这一结论。基于某道桥西锚碇基坑施工过程,对圆形锚碇基坑围护结构施工关键技术进行分析研究。

1 工程概况

本项目地下连续墙施工槽段分I期、II期两种

各30个槽段,共60个槽段(见图1)。60个槽段组成外径为90 m、壁厚为1.5 m的圆形结构。由于本锚碇区域岩石饱和单轴极限抗压强度较低、基岩破碎、裂隙较为发育,为避免地下连续墙底脚发生渗流和踢脚破坏,保证基坑的稳定性,地下连续墙考虑嵌入中风化泥岩或泥质粉砂岩深度不小于6 m。

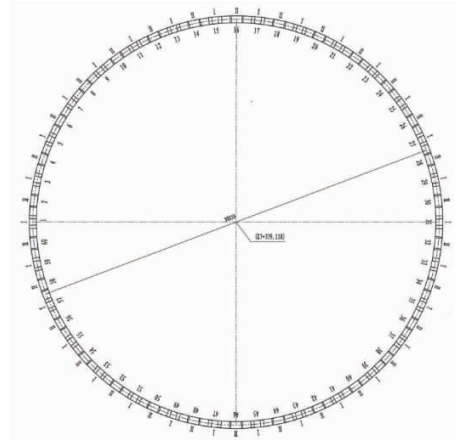


图1 槽段分布图

1.1 地质概况

该项目锚碇区覆盖层主要由第四系更新统砂土和第四系全新统海陆交互相淤泥质土组成,厚度达17.50~23.00 m。基底由白垩系白鹤洞组(Kn)泥质粉砂岩、泥岩组成,基岩存在风化夹层、风化不均现象。连续稳定中~微风化岩埋深在23.80~26.20 m。岩层强度见表1,各土层参数建议值见表2。

1.2 水文概况

地下水由第四系孔隙承压水和基岩裂隙承压水组成,以第四系孔隙水为主。淤泥(淤泥质土)、粉质黏土、残积土、全风化岩可视为相对弱透水层和相对隔水层。砂砾层为主要储水层,连通性较好,透水性

收稿日期: 2022-06-16

作者简介: 袁兆轩(1989—),男,本科,助理工程师,从事岩土工程施工与管理工作。

表1 各岩层强度 单位:MPa

序号	土层	单轴抗压强度	单轴抗压强度平均值	单轴抗压强度标准值
1	中风化泥岩	5.06~9.49	7.48	6.7
2	微风化泥岩	10.38~19.79	13.17	11.7
3	中风化泥质粉砂岩	3.51~9.15	6.29	4.4
4	微风化泥质粉砂岩	10.23~19.28	14.31	13.0

表2 各土层参数建议值

序号	土层	容重 / (kN·m ⁻³)	浮容重 / (kN·m ⁻³)	承载力容许值 f _{a0}	摩阻力标准值 q _{ik}	内摩擦角 / (°)	黏聚力 C / kPa
1	淤泥	15.4	5.4	50	20	3	5
2	淤泥质土	16.5	6.5	60	25	5	8
3	中砂	19.0	9.0	300	40	18	—
4	砾砂	19.8	9.8	400	70	28	—
5	粉质黏土	18.8	8.8	180	55	15	20
6	强风化泥岩	19.99	9.99	450	100	20	50
7	中风化泥岩	20.5	10.5	650	180	30	450

好。地下水由于水力梯度小,水平排泄缓慢,水位一般埋深较浅。下伏基岩强~中风化岩层风化裂隙发育,裂隙开裂不大,有地下水活动痕迹,其赋存及运动条件较差,透水性较弱,基岩裂隙受岩性、埋深等因素的控制,裂隙发育具有不均匀性,因而其水量分布不均。

2 锚碇基坑围护结构施工工艺

2.1 地下连续墙

该锚碇基坑围护结构采用地下连续墙结构。地下连续墙施工顺序为:场地平整→导墙→成槽→下钢筋笼及注浆管→插入导管→浇筑下混凝土→下一幅槽段施工→完成地下连续墙及墙底注浆。具体施工工艺流程见图2。

2.2 水泥粉喷桩

该锚碇基坑土体加固采用水泥粉喷桩。水泥粉喷桩施工顺序为:场地平整→安装机具、备料→搅拌机就位对中→预搅下沉→提升喷粉→复搅下沉。图3给出了水泥粉喷桩分布及其大样图。

3 锚碇基坑围护结构施工关键技术

该锚碇基坑围护结构主要由地下连续墙组成,但地下连续墙施工前,先要对地下连续墙施工位置两侧进行地基加固。设计采用水泥粉喷桩进行地基

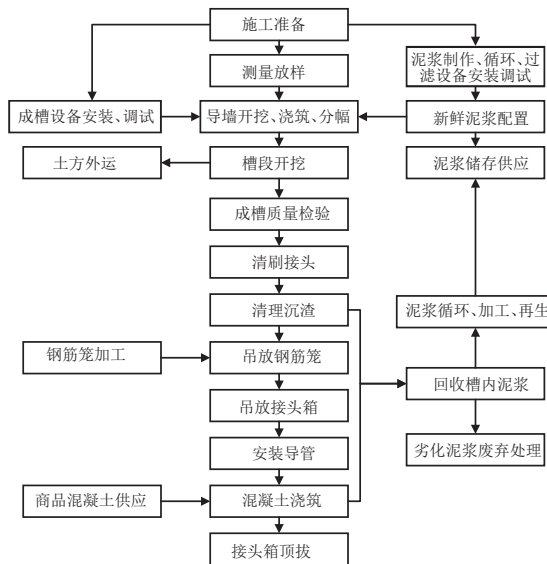


图2 地下连续墙施工工艺流程图

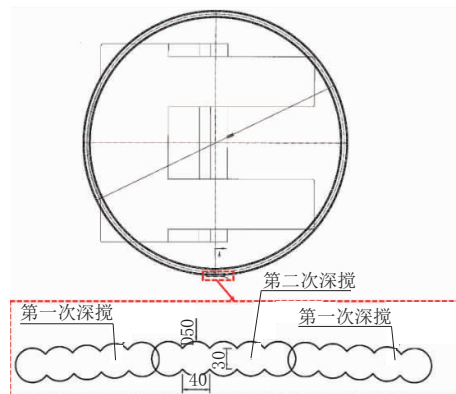


图3 水泥粉喷桩及其大样图

加固。

3.1 水泥粉喷桩施工关键技术

使用水泥粉喷桩对软弱土层进行加固,且在地下连续墙内外侧皆布置一层水泥粉喷桩,便于后期地下连续墙施工,避免地下连续墙施工过程中因软弱土层影响导致混凝土浇筑方量过大等现象出现。

水泥粉喷桩作为土层加固措施,其在地下连续墙浇筑完成后,在开挖过程中随坑内土体逐层开挖。水泥粉喷桩的主要施工顺序为:施工准备→钻机就位→钻进→提升喷粉搅拌→升到设计标高后再复钻→提升复拌喷灰→升到设计标高后停机→下一桩循环施工。水泥粉喷桩主要工序的控制要点如下:

(1)根据设计,确定放置机体位置处土体部分的强度。若不够,可换填部分砂层,使搅拌桩机机轴保持垂直,误差不大于5 cm。调节桩机支腿油缸使钻机钻杆倾斜度不大于1%,以防打桩过程中倾斜,造成地下连续墙成槽过程中被直接挖除。

(2)开动桩机,启动空压机并缓慢打开气路调压阀,对桩机供气。桩机逐渐加速,正转预搅下沉。观察

压力表读数,随钻杆下钻压力增大而调节压差,使后阀较前阀大 0.02~0.05 MPa。当钻至接近设计深度时,应用低速慢转钻,钻机原位转动 1~2 min。

(3)提升喷粉搅拌。当到达设计桩底后,一般以 1.0 m/min 左右的速度反向旋转提升钻头。提升过程中边喷粉边搅拌,使软土与水泥充分混合。当提升到设计停灰标高后,应慢速原地搅拌 1~2 min。喷射量与提升速度相匹配,单根粉喷桩喷射量控制在 48~50 kg/m 以内。若一次喷灰不能达到设计要求,可采用两次喷灰。提升时选择中、慢档提升,保证搅拌均匀,要求每提升 16 mm,搅拌轴转动不小于 1 圈。当钻头提升至地面以下 0.5 m 时,喷粉机应停止喷粉。粉喷桩施工时,泵送水泥必须连续,水泥用量和泵送水泥的时间应有专人记录。在提升过程中喷粉搅拌,通过粉体发送器将水泥粉喷射入搅拌的土体中,使土体和水泥沿深度方向充分拌合。

(4)复搅。停止喷粉,钻头边旋转边钻进,直至设计深度处,再边提升边反向旋转,使土体和水泥充分拌合,土体被充分粉碎,水泥粉被均匀地分散在桩土中。

(5)提升至停灰面顶旋转 1 min,将钻头提离地面 0.2 m。

3.2 圆形地下连续墙施工关键技术

由于该项目 I 期、II 期地下连续墙交角角度为 177.3°,若成槽过程中垂直度控制不足,较易出现两墙搭接不足甚至部分未搭接的现象出现。因此,地下连续墙的施工关键技术包含导墙施工、成槽施工和清孔。

3.2.1 导墙施工

导墙设计见图 4。为保证成槽施工垂直度,导墙深度设计为 180 cm,导墙面垂直度控制为 0.5%,且施工过程中利用水准仪进行垂直度确认,确保垂直度达到设计要求。

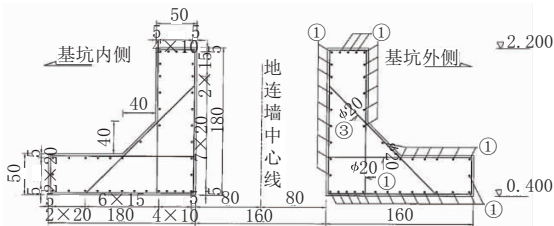


图 4 导墙设计图

3.2.2 成槽施工

由于施工场地上部存在 17.50~23.00 m 的淤泥层,因此,上部宜采用成槽机进行成槽施工。地下连续墙设计中需深入中风化泥岩或泥质粉砂岩深度不

小于 6 m,因此下部岩层施工需使用铣槽机进行。由此确定了上部抓槽下部铣槽的成槽工艺。成槽过程中,先施工一期槽,待两幅相邻一期槽强度达到 80% 以上后,施工中间二期槽。一期槽宽度为 6.97 m,二期槽宽度为 2.8 m,两槽段搭接宽度为 0.25 m。30 幅一期槽与 30 幅二期槽组成一个直径为 90 m 的圆形支护,因此,一期槽与二期槽之间除搭接宽度需进行精细控制外,还需对两槽形成角度进行控制,需在成槽前进行成槽位置标定。施工中采用三角形油漆进行成槽位置标记。

3.2.3 清孔

在成槽结束后,利用铣槽机进行孔底沉渣清理。尽管铣槽机清底较为彻底,单在钢筋笼下放过程中,若下放过程中钢筋笼触碰槽壁,会造成槽壁坍塌导致槽底产生二次沉渣。因此,需在钢筋笼下放完成后进行二次清底。二次清底采用泥浆气举反循环进行,即高压气体喷出风管后与泥浆混合,在导管内部形成一个气液混合段。由于混合段密度较低,在其下方形成负压,由该段下部的泥浆不断补充,孔底沉渣在泥浆运动的带动下进入导管,随泥浆排出孔外,形成一个连续稳定的运动过程。泥浆气举反循环见图 5。在选用空气压缩机时,其空气压力控制为 0.5~0.8 MPa,进气量 8~20 m³/h。

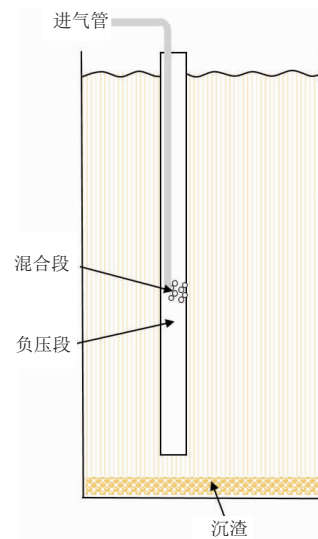


图 5 气举反循环示意图

3.3 墙底防渗压浆

为进一步提高地下连续墙防渗性能,在地下连续墙墙底进行墙底防渗压浆施工,墙底灌浆帷幕设计见图 6。一期槽灌浆孔布置有两种形式,分别见图 7、图 8。类似的,二期槽灌浆孔布置也有两种形式,分别见图 9、图 10。这四种灌浆孔的布置可以确保地下连续墙墙底形成连续的墙底灌浆帷幕。

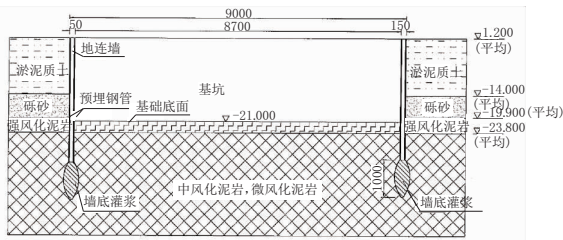


图6 墙底灌浆帷幕设计(单位:mm)

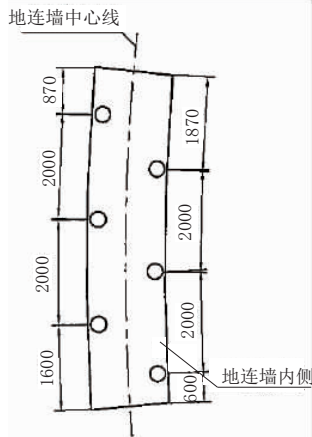


图7 一期槽第一种灌浆孔布置(单位:mm)

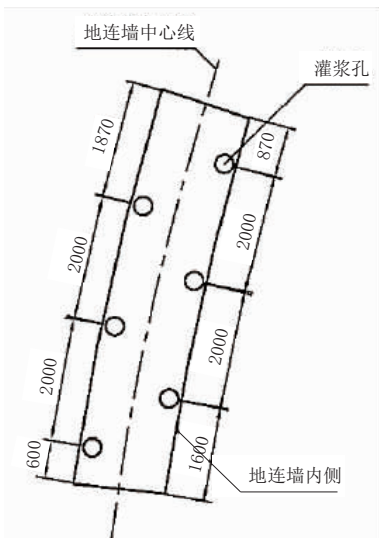


图8 一期槽第二种灌浆孔布置(单位:mm)

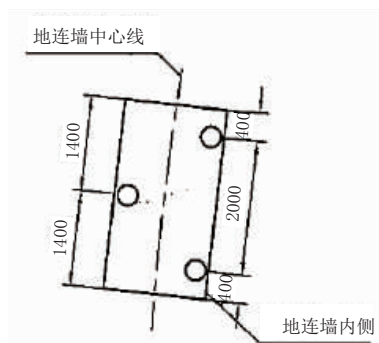


图9 二期槽第一种灌浆孔布置(单位:mm)

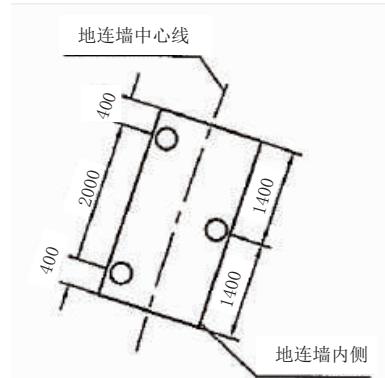


图10 二期槽第二种灌浆孔布置(单位:mm)

4 施工建议

根据该锚碇基坑项目实际施工经验,给出如下几点建议:

(1)水泥粉喷桩深度。采用水泥粉喷桩进行土体加固时,加固深度根据上部软土厚度进行控制,一般控制在超出上部软土厚度3m左右的深度。本项目水泥粉喷桩深度控制在淤泥质土层下3m处,实际深度为20.5~26m。

(2)高压旋喷桩使用。大部分大型基坑工程的安全等级和防渗要求较高。因此,为避免施工冷缝导致的渗漏情况出现,可以考虑在地下连续墙槽段接缝处采用高压旋喷桩进行处理。

(3)灌浆帷幕钻孔设计。灌浆帷幕钻孔采用梅花状布置,且根据槽段大小,一期槽设置6个灌浆孔,二期槽设置3个灌浆孔。

5 结语

根据某双塔双跨悬索桥锚碇基坑围护工程实际施工,对超深锚碇基坑围护结构施工关键技术进行研究,包含:(1)水泥粉喷桩主要工序控制要点;(2)地下连续墙施工中的导墙制作、成槽施工和清孔技术;(3)地下连续墙墙底灌浆孔设置等。并基于实际施工经验给出部分施工建议。

参考文献:

[1] 徐伟,刘玉涛,吕鹏.超深嵌岩地下连续墙承载力试验研究[J].建筑施工,2002(5):397-400.
 [2] 李冕,李思吟,袁航.深中通道伶仃洋大桥东锚碇基坑开挖数值模拟及施工技术研究[J].公路,2021,66(10):130-134.
 [3] 姚志安,陈炳耀.深中通道伶仃洋大桥东锚碇基坑支护施工关键技术[J].桥梁建设,2020,50(3):105-110.
 [4] 何锦章,崔立川,王昊,等.广西滨海公路龙门大桥东锚碇基坑支护分析[J].公路,2021,66(8):152-157.