

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.02.041

超深地下连续墙大体积水下混凝土浇筑方法的研究

宁文祥

(上海远方基础工程有限公司,上海市 200436)

摘要: 基于昆明某超深基坑围护工程,对该项目施工过程中超过96 m的地下连续墙围护结构施工中大体积水下混凝土浇筑的控制要点进行研究。根据实际施工经验,结合理论分析,对浇筑前的准备工作、浇筑过程控制以及浇筑异常情况进行了详细分析与阐述。结果表明在浇筑大体积混凝土之前需规划好混凝土罐车运输的交通路线,以保障浇筑不中断;并且首灌混凝土方量也需要进行计算,保证浇筑底管埋深不小于2.5 m,确保浇筑质量。

关键词: 超深基坑;地下连续墙;大体积混凝土;水下浇筑

中图分类号: TU74

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0161-04

0 引言

城市建设地下空间设计开发和施工的技术不断发展,深基坑施工技术已经成为特殊地形下施工不可或缺的重要手段。地连墙等地下结构更是得以广泛地推广和应用,水下大体积混凝土浇筑的要求也逐步增加。对于大体积混凝土浇筑的研究仍然不足。郑思明^[1]针对建筑施工中大体积混凝土浇筑施工技术进行分析,介绍了大体积混凝土浇筑施工的概念,探讨了该项技术的应用,并提出裂缝问题具体的防治策略;在高层建筑领域内,田鑫柳与蔡传远^[2]对大体积混凝土浇筑技术应用过程中产生混凝土裂缝的原因进行分析,提出大体积混凝土浇筑技术应用的优化措施;黄泽勇^[3]针对大体积混凝土浇筑的几点不足以及相应解决措施进行阐述,强调了大体积混凝土浇筑的全过程管理;赵波^[4]、刘方啟等^[5]依托实际工程项目对桥梁高墩大体积混凝土浇筑中的施工工艺控制进行了研究。然而,鲜有对于超深地下连续墙大体积水下混凝土浇筑方法的研究。本文依托昆明某超深基坑围护结构工程,对超过96 m深的地下连续墙水下混凝土浇筑技术进行研究,填补国内在该方向上的遗漏。

1 项目概况

该项目建基高程为1 886.700 m,地面高程为1 964.000 m,地连墙顶高程为1 961.400 m,基坑开挖深度77 m。基坑围护结构为 $R=10$ m圆形结构,是

国内最深小半径圆井,尚无相关施工经验借鉴,不可控因素多。

围护结构采用1.5 m厚地下连续墙,地下连续墙墙深94 m,分I期槽和II期槽施工,一期槽、二期槽宽度皆为2.8 m,搭接0.51 m,且I、II期槽段各7个,共计14幅。接头型式为铰接头,连续墙嵌入基岩。I期槽浇筑方量超1 000 m³,大方量水下混凝土浇筑质量控制要求高,属于工程重点、难点。

1.1 地质条件

根据勘测结果,拟建场地地层主要为<1>素填土、<2>粉质黏土、<2-1>黏土、<2-2>粉土、<3>粉质黏土、<3-1>黏土、<3-2>粉土、<3-3>泥炭质土、<4>强风化白云质灰岩,基坑开挖范围内分布有软土,软土天然含水量较大,渗透性弱,抗剪强度很低,属于灵敏度较高土层,受扰动后强度将大幅降低,应对基底软土、软弱土层进行处理。<2-2>粉土及<3-2>粉土在扰动及基坑水力梯度作用下易产生流土、流砂现象,因此土层开挖后稳定性差,基坑必须采取支护措施。具体土层信息见表1。

1.2 水文条件

拟建场地地势较高,属地表水的径流补给区,地形地貌较单一。场地及周边无地表水分布,本区地下水主要为上层滞水及岩溶裂隙水类型,地下水埋藏深浅不一,其动态特征主要接受大气降水、地表水下渗补给。

2 浇筑前准备工作

2.1 混凝土性能指标相关

(1)根据每方混凝土配合比设计参数,试拌80 L

收稿日期:2022-03-23

作者简介:宁文祥(1984—),男,大专,助理工程师,从事基坑支护工程施工工作。

表1 土层信息表

土层编号	土层名称	工程地质特征描述	标贯击数修正范围值
<1>	素填土	主要成分为黏性土、局部夹碎石、块石,稍密	5.8~6.8
<2>	粉质黏土	可塑为主,局部硬塑,不均匀,韧性中等,中压缩性	6.3~14.9
<2-1>	黏土	可塑为主,局部硬塑,湿,韧性好,中压缩性	5.3~8.0
<2-2>	粉土	浅黏粒含量 14.6~19.0%	—
<3>	粉质黏土	硬塑为主,局部可塑,饱和,韧性中等,中压缩性	12.6~26.6
<3-1>	黏土	可塑为主,局部硬塑 韧性中等,中压缩性	5.2~11.2
<3-2>	粉土	浅中密,饱和;中夹 30~50 cm 砾砂薄层,中等压缩性	13.3~18.9
<3-3>	泥炭质土	饱和,硬塑为主,局部可塑不均匀,中偏高压缩性	11.1~16.8
<4>	白云质灰岩(强风化)	属较硬岩,岩体基本质量等级 IV~V,岩溶裂隙中等发育。岩芯呈砾砂状、碎块状,完整性差,RQD为0	18.0~19.5

混凝土拌和物,进行棍度、含砂、析水性、和易性、坍落度、容重、扩散度、含气量、压力泌水率等性能指标的试验检测。根据试拌检测结果,对混凝土配合比参数进行调整,以满足设计和施工要求。混凝土拌和物性能试验成果见表2。

表2 设计参数表

序号	级配	设计指标	基本参数		粉煤灰参量	外加剂参量	坍落度		密度	
			W/(kg·m ⁻³)	S/%			设计值	实测值	理论密度	实测密度
1			166	46	15	1.3	180~220	213	2 412	2 430
2	连续级配	C35 P10	166	46	15	1.3	180~220	200	2 424	2 430
3	5~31.5 mm	(水下)	166	46	15	1.3	180~220	225	2 426	24 30



图1 夜间运输路线图



图2 高峰期运输路线图

要进行刷壁,确保沉渣厚度、泥浆指标等满足规范要求。图3为实际施工中刷壁施工图。

(2)导管配节:导管内径30 cm,壁厚5 mm,采用38节2.5 m长导管,最上端配1节1.5 m长导管,浇

(2)外加剂的使用:根据配合比设计进行混凝土试拌的初凝时间为3 h,终凝时间为6 h,不满足超深地连墙浇筑要求,增加缓凝剂后的初凝时间不小于12 h,终凝时间不小于20 h,满足超深地连墙浇筑要求。

(3)搅拌站试拌:发料前,在搅拌站进行试拌,确保外加剂搅拌均匀,检查混凝土的和易性、坍落度及扩散度。

2.2 交通准备

I期槽浇筑方量达1 000 m³,浇筑时间长达20 h,为保证浇筑的连续性,需提前规划多条混凝土交通运输线路,并办理高峰期通行手续,搅拌站实时监控路上车辆行踪。

根据不同的道路通行状况,选择不同的运输线路。路况按夜间运输路线、高峰期运输路线划分。具体路线见图1、图2。

2.3 现场准备

施工单位需确保槽段满足浇筑混凝土的条件,浇筑混凝土的配套设施需要检测质量问题。具体措施如下:

(1)混凝土浇筑前应进行二次清孔,II期槽还需



图3 刷壁器刷壁图

筑前导管总长96.5 m。在浇筑之前进行泌水性试验,确保导管没有裂缝,防止在浇筑过程中漏水,见图4。

(3)防堵管措施:为防止大块凝固的混凝土进入导管造成堵管,在储料斗底装上钢筋网片,见图5。

3 浇筑过程控制

3.1 混凝土进场前检验

罐车进场前依次进行检验,到场混凝土坍落度、



图4 导管泌水性试验图



图5 防堵管钢筋网片图

扩散度必须满足设计要求,且和易性好,不满足要求的混凝土严禁进场。本工程连续墙墙身混凝土的设计标号为水下 C35,P10,混凝土坍落度为 180~220 mm。

3.2 浇筑方法选择

施工过程中,使用两种浇筑方法配合施工,分别是翻滚法和顶升法:

(1)翻滚法:埋管较浅,开始浇筑时导管埋深在 2~3 m 之间,浇筑时混凝土往外翻滚,把表面的沉渣往槽壁挤压,有利于浇筑的顺利进行,适用于 I 期槽大方量水下混凝土浇筑。

(2)顶升法:埋管较深,开始浇筑时导管埋深在 4~6 m 之间,浇筑时混凝土整体往上顶升,把槽壁连接处的浮渣进行顶升清理,适用于接缝要求高的水下混凝土浇筑。

表 3 给出了本工程具体混凝土浇筑方法的选择,可以看出, I 期槽 10~96 m 选择的是翻滚法,0~10 m 选择的是顶升法。槽内 10 m 以下时选择翻滚法有利于其快速浇筑,上部 10 m 选择顶升法可以将底部淤积的沉渣顶出槽段; II 期槽底部 6 m 选择的是翻滚法,上部 90 m 选择的是顶升法, II 期槽浇筑方量相对较小,尤其是浇筑表面积小, II 期槽需要考虑到接缝质量,因此选择埋管较深的顶升法更加合适。

3.3 I 期槽首方混凝土的确定

一期槽混凝土方量根据式(1)确定:

$$V=3 \times h_1 \times \pi \times d^2 \div 4 + H_c \times A \quad (1)$$

$$h_1=H_2 \times \gamma_w \div \gamma_c \quad (2)$$

表 3 混凝土浇筑方法选择

序号	浇筑深度 /m	I 期槽	II 期槽	备注
1	90~96	翻滚法	翻滚法	
2	80~90	翻滚法	顶升法	
3	70~80	翻滚法	顶升法	
4	60~70	翻滚法	顶升法	
5	50~60	翻滚法	顶升法	
6	40~50	翻滚法	顶升法	
7	30~40	翻滚法	顶升法	
8	20~30	翻滚法	顶升法	
9	10~20	翻滚法	顶升法	
10	0~10	顶升法	顶升法	

式中: V 为导管浇筑首方混凝土所需的用量, m^3 ; D 为导管直径,取 0.3 m; H_c 为首方混凝土设计要求浇灌深度, m, 考虑浇注管底部距槽底 30~50 cm, 因此, H_c 取值为 3 m; A 为槽内浇筑段的横截面面积, m^2 , I 期槽段 $A=9.84 m^2$; h_1 为槽内混凝土高度达到时, 导管内混凝土柱与导管外水压平衡所需高度, m; H_w 为预计浇筑混凝土顶面至槽内泥浆面的高差, m, 取 94.9 m; γ_w 为槽内地下水的容重, 考虑水中所含砂土率, 取 12 kN/m; γ_c 为混凝土拌合物容重, 取 25 kN/m;

$$\text{则 } h_1=H_w \cdot \gamma_w / \gamma_c, =45.6 \text{ m};$$

$$\text{则可得: I 期槽段 } V=34.24 \text{ m}^3.$$

为提高浇筑效率, 实际浇筑过程中同时采用 4 辆灌车进行混凝土浇筑。

3.4 封底混凝土浇筑

I 期槽封底浇筑时采用四辆罐车站在两侧同时浇筑, 之后的浇筑采用两辆车同时浇筑, II 期槽采用单根导管一辆车连续浇筑。

I 期槽槽段宽, 封底需要的混凝土量大, 且封底浇筑时不能中断, 期间中断, 易导致中断部位形成“断墙”, 采用 2 车同时浇筑时, 混凝土不够封底的量, 后续车辆就位浇筑的过程中耽误的时间将会导致“断墙”质量事故的发生, 采用 4 车同时浇筑可以满足封底需要, 后续浇筑再采用常规的两车浇筑即可满足浇筑要求。

II 期槽槽段宽度较窄, 因此首灌量小, 1 车即可满足首灌要求, 且槽段工作面也仅能满足 1 辆混凝土车浇筑的需求, 因此采用单根导管一辆车连续浇筑。

3.5 导管埋深控制

I 期槽由于混凝土浇筑时向两侧上翻, 导管埋入混凝土不宜过深, 每次拔管后埋深控制在 2~3 m。

II期槽混凝土浇筑时是整体顶升,导管理深不宜过浅,每次拔管后埋深控制在4~6 m。

四车封底浇筑之后,再浇筑两车,混凝土面从92.5 m深度处上升到89 m深度处,上升高度为3.5 m。同时在浇筑前抽取6车混凝土取样进行混凝土初凝试验,试验得出初凝时间大于12 h,满足浇筑要求。

浇筑速度:混凝土连续浇筑,没有中断,从浇筑记录点线(见图6)可以看出,前12车浇筑速度为5 m/h,13~16车的浇筑速度有明显提高,为8.6 m/h,在最后20 m的时候速度又明显降低,为4.4 m/h。浇筑方量预测见图7。

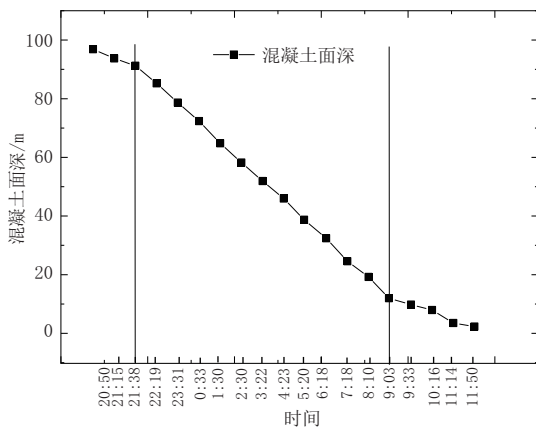


图6 浇筑记录图

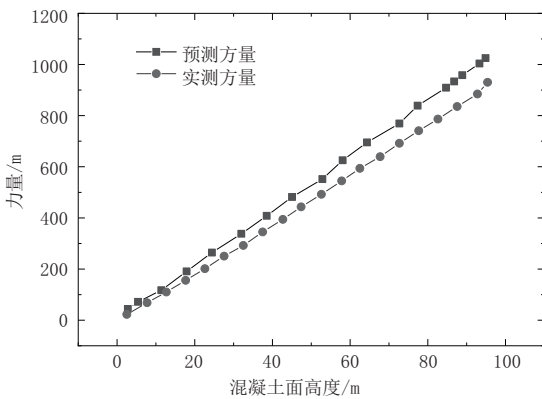


图7 浇筑方量预测图

4 浇筑异常情况分析与处理

4.1 浇筑过程

首次浇筑I-1幅混凝土时,在完成四车封底混凝土浇筑后,测绳测槽深度93 m,混凝土上升高度4.2 m,导管理深3.9 m,无拔管。在大斗换小斗过程中发现卷扬机拔管困难,换斗共耗时26 min。

5、6车开始浇筑后发现导管内混凝土无法顺利下落,疑似出现堵管现象,吊车配合数次拔管后堵管未消除,浇筑终止。此时拆管后发现管内混凝土均已初凝无流动性,堵管现状见图8。



图8 拔管后底部混凝土凝结图

4.2 原因分析

根据实际施工经验以及详细分析,得出以下造成堵管的主要原因:

(1)由于混凝土配合比设计未考虑地下连续墙超深因素的影响,混凝土初凝时间较短是造成堵管的主要原因。

(2)混凝土运输线路长,且未选择绕城高速通行,混凝土到场后押车等待时间长,第6车到达后才开始浇筑,第1车从搅拌站出场到开始浇筑间隔时间约90 min。

(3)对浇筑过程中所遇到的问题处理不及时,在封底混凝土浇筑后出现的混凝土下落不顺畅后,未能有效处置。

4.3 采取措施

在发现堵管问题后,采取如下有效措施解决堵管问题:

(1)在搅拌站进行配合比增加缓凝剂试验,试验合格方可再次开盘浇筑I-1幅地连墙;

(2)优化混凝土运输线路,缩短运输时间;

(3)优化导管拆管方案,缩短导管拆管时间;

(4)每浇筑完2车算好混凝土面的高度,严格控制拔管时间,禁止把导管拔出混凝土面;

(5)优化混凝土罐车发车间隔,尽量减少混凝土罐车从出厂后直至灌注开始的等待时间。

5 结语

依托昆明某超深基坑项目地下连续墙工程,对大体积水下混凝土浇筑进行了分析研究,得出以下结论:

(1)严格控制混凝土配合比,以满足设计和施工要求;

(2)浇筑前,协调好各方单位的职责以及明确注意事项,并提前规划好交通路线,保障浇筑过程中混凝土浇筑不中断;

(3)浇筑混凝土的各种设备设施需要提前检查,

(下转第168页)

或失效。

HDPE膜的主要成分为高密度聚乙烯原生树脂(约97.5%),采用HDPE膜的垂直防渗墙渗透性极低,HDPE膜的渗透系数达到10~12 cm/s,甚至更低。HDPE膜段之间采用特殊的接头施工后,形成连续的整体防渗结构面。因此土工膜的低渗透性是其其他防渗墙难以达到的。

HDPE土工膜防渗墙由土工膜和矿物材料共同作用,对酸、碱、盐、无机类具有良好的抗侵蚀能力,渗透系数较低,适用于防渗要求等级高、有效阻隔期较长的工程。被认为是目前最为安全有效的地下污染源阻隔技术。

7 结论与展望

(1)土工膜复合防渗墙施工的成槽和铺膜工艺已经有相对较为成熟的施工工艺;

(2)填充料可选择的种类较多,需要开发研究成本更为低廉的材料;

(3)接头施工工艺仍然有很大的研究空间,开发更为简易、有效的施工工艺是当前急需解决的问题;

(4)在危险物垂直阻隔技术施工领域,土工膜复合防渗墙是未来的一个发展方向;

(5)自凝灰浆土工膜复合防渗墙施工难度最大。自凝灰浆兼做墙体材料和护壁泥浆,在槽内丧失流动性之前必须完成清孔、铺膜工作,各工序的施工时间非常紧张。

参考文献:

[1] 夏可风.水利水地地基基础工程技术创新与发展[M].天津:中国水利水电出版社,2011.

[2] 杜延军,刘松玉,刘志斌.工业污染场地竖向阻隔技术[M].南京:东南大学出版社,2020.

[3] 龚晓南,沈小克.岩土工程地下水控制理论、技术及工程实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2020.

[4] 钱学德,朱伟,徐浩青.填埋场和污染场地防污屏障设计和施工(下册)[M].北京:科学出版社,2017.

[5] 中国土木工程学会土力学及岩土工程分会.深基坑支护技术指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.

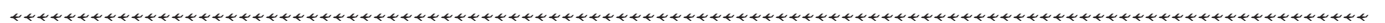
[6] 丛蔼森,杨晓东,田彬.深基坑防渗体的设计施工与应用[M].北京:知识产权出版社,2012.

[7] 甄胜利,霍成立.垂直阻隔技术的对比与应用研究[J].环境卫生工程,2017,2(25):51-56.

[8] 李文嵩,党亚堃,朱明诚.露天煤矿截水帷幕防渗膜垂向隐蔽铺设施工工艺[J].煤田地质与勘探,2020,8(48):68-73.

[9] 黄选明,张雁,李文嵩.我国露天煤矿水害特征与防治水技术[J].煤田地质与勘探,2020,48(4):53-60.

[10] 刘薇.探究HDPE防渗膜在自凝灰浆防渗墙中的应用[J].黑龙江科技信息,2015,7(11):59-61.



(上接第164页)

确保浇筑时不发生设备故障;

(4)选择合适的浇筑方法,控制好导管理深;

(5)计算好首灌量,确保封底成功。

参考文献:

[1] 郑思明.论建筑施工中大体积混凝土浇筑施工技术[J].建筑与预算,2021(6):119-121.

[2] 田鑫柳,蔡传远.建筑施工中的大体积混凝土浇筑技术分析[J].住宅

与房地产,2021(12):192-193.

[3] 黄泽勇.浅谈大体积混凝土浇筑技术在建筑施工中的应用[J].四川水泥,2021(11):159-160.

[4] 赵波.桥梁承台大体积混凝土浇筑施工工艺[J].四川建材,2021,47(10):132-133.

[5] 刘方啟,杨加奇,鲁光荣.液压式布料机在高墩大体积混凝土浇筑中的施工技术[C]//2021年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册),2021.