

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.02.042

超深土工膜复合防渗墙施工技术概述及应用

丁 玲

(上海远方基础工程有限公司, 上海市 200436)

摘 要: 土工膜复合防渗墙施工技术是一种防渗性能高、环保的施工工艺。其关键技术包括成槽、垂直铺膜、填充料的回填、防渗墙的接头施工。成槽施工设备包括液压抓斗、铣槽机、TRD、锯槽机等,铺膜方法有重力沉膜法、振动插入法、插入式,填充料有土与膨润土的混合填充、低标号混凝土、自凝灰浆、塑性混凝土等。接头形式有搭接式和锁扣式。介绍了三种土工膜复合防渗墙的施工工艺,并介绍了其应用范围。

关键词: 土工膜复合防渗墙;重力沉膜法;振动插入法;TRD 工法;自凝灰浆

中图分类号: TU473.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0165-04

0 引言

防渗墙广泛应用于水利水电工程的大坝的防渗帷幕,随着社会的不断发展,及国家“双碳”战略的实施,及美丽中国建设的不断推进,为了保证人类的和谐生活,国家对生态环境的要求越来越高。地下水的保护是当前生态环境保护的重要组成部分,因此对防渗工程的技术要求更高。土工膜复合防渗墙 20 世纪 90 年代年开始使用,经过近三十年的发展超深土工膜复合防渗墙的施工技术的研究取得了很大的进步,几个关键的技术研究也有了突破性进展,土工膜复合防渗墙以其超高的防渗性能在露天矿止水帷幕、填埋场与污染场地垂直阻隔墙和堤坝防渗等领域得到了很好的应用。

1 土工膜复合防渗墙的基本原理及技术难点

1.1 基本原理

“土工膜复合防渗墙”是在土体内开出一定宽度和深度的沟槽,在沟槽内垂直铺设土工膜并回填以设计要求的填充材料,经过回填料的固结形成以膜为主要幕体的复合防渗帷幕。

1.2 技术难点

土工膜复合防渗墙施工的技术关键点主要包括四个方面:成槽、铺膜、填充料回填和接头形式。成槽方式有液压抓斗成槽、锯槽机或者 TRD 工法机成槽,沉膜方法包括重力沉膜法和插入式沉膜法,接头施工有锁扣式、叠合式两种形式。

收稿日期: 2022-04-05

作者简介: 丁玲(1995—),女,本科,助理工程师,从事岩土工程施工管理工作。

2 重力沉入式 HDPE 膜复合防渗墙施工

2.1 成槽施工

成槽施工主要考虑四个方面的问题,成槽的设备、护壁泥浆的相关参数、槽段的分幅。

(1) 成槽的设备

结合当前地下连续墙的成槽工艺,采用成槽机或铣槽机进行成槽,成槽的厚度 40~800 cm,其主要区别在于斗架体的厚度。

(2) 护壁泥浆的相关参数

根据地质条件的不同泥浆的指标也略有不同,改变泥浆的指标主要考虑膨润土原材和外加剂的配合比。泥浆比重的控制最为关键,施工过程中泥浆比重太大导致后期进行沉膜的过程中不能铺设到设计深度,泥浆比重太小泥浆的护壁功能减弱,经过在现场的试验确定的泥浆指标见表 1。

表 1 泥浆的相关指标

泥浆性能	新制泥浆		循环泥浆		废弃泥浆	
	黏性土	砂性土	黏性土	砂性土	黏性土	砂性土
比重	1.04~1.05	1.06~1.08	<1.15	<1.25	>1.25	>1.35
黏度	20~24	25~30	<25	<35	>30	>40
PH 值	8~9	8~9	>8	>8	>14	>14
含砂率	<3	<4	<4	<7	>8	>11

(3) 槽段分幅

土工膜复合防渗墙的成槽宽度,在保证槽壁稳定性的条件下尽可能宽,目前已经使用过 21 m、14 m、8 m 三种幅宽。

2.2 铺膜施工

在泥浆护壁的槽段中进行垂直铺膜,采用重力沉膜法进行施工,针对性的设计了专用铺膜架,铺膜的

工序主要有展膜、卷膜、铺膜架就位、安装配重、沉膜。

2.3 接头施工

槽段内的膜与膜之间采用了直接搭接的方式,槽段间的防渗膜搭接需要借助于接头箱来实现搭接。其主要步骤是在槽段内铺膜施工结束后,在槽段的两侧下放接头箱,将两端的膜用接头箱覆盖住,然后在进行填充料的浇筑,经过填充料的固结或者凝固后进行临近槽段的开挖,临近槽段开挖结束后在进行接头箱的顶拔、刷壁与清底。

(1) 接头箱的设计

膜的搭接设计长度一般为 1 m,接头箱设计尺寸长度为 1 m,根据槽段的厚度接头箱的宽度比槽段厚度减 5 cm。800 mm 厚防渗墙的接头箱宽度为 750 mm,600 mm 厚的防渗墙的接头箱宽度为 550 mm,400 mm 厚防渗墙的为 350 mm。在接头箱的设计中需要根据最大顶拔力,进行接头箱之间的销子和扁担孔进行设计。

(2) 磁吸式叠合接头

为了保证搭接部分的两张膜能够紧密的粘结在一起,铺膜前,在每张膜的搭接部分的土工膜上粘结了磁膜,在铺膜结束后经过压实后两张膜因为有磁性而紧密的吸附在一起,保证了接头处的连接效率。磁膜粘贴示意与实际施工分别见图 1、图 2。

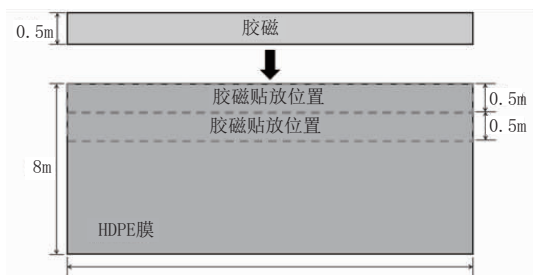


图 1 胶磁粘贴示意图



图 2 胶磁粘贴现场施工图

2.4 填充料浇筑

填充料可选用的材料有,塑性混凝土、低标号混

凝土、粉煤灰等作为填充料。填筑料的浇筑需要考虑以下几个方面,一是槽段的宽度,8 m 幅宽采用两个打灰架进行浇筑,14 m 槽段采用四个打灰架,21 m 槽段采用 6 个打灰架;二是 14 m 和 21 m 槽段的浇筑要考虑几个打灰架之间的浇筑速度,因为超长副段的采用的是两张或者三张膜在槽段内有方向性的叠加,膜叠加的时候没有膜与膜之间没有直接固定的,如果搭接在下方土工膜上的几个打灰架的放料的速度过快很容易导致混凝土把膜冲起,导致叠加失效。三是在浇筑和铺膜前进行反循环清底,这样既可以保证下膜的准确性,又可以降低在浇筑到最后 10 m 时的翻浆压力。

2.5 接头箱顶拔

接头箱采用后顶拔的方式,在填充料浇筑的过程中采用微动的方式进行接头箱的顶拔,保证接头箱不会因填充料的凝固或者自密实而“埋”在填充料中,导致油顶不能进行接头箱的顶拔。

3 插入式土工膜防复合防渗墙施工

插入式垂直铺膜施工方法是采用 TRD 工法机或者锯槽机,用膨润土泥浆作为软化材料,形成土与膨润土泥浆的软弱唧泥沟槽,再采用带有高频振动锤的插板将土工膜插入到沟槽的唧泥中形成膨润土和 HDPE 组成的复合防渗墙。

3.1 TRD 或锯槽机施工

TRD 工法机和锯槽机施工的原理是相同的,通过其前端的锯齿将土体搅松,并进行土和泥浆的搅拌,使其充分混合形成一个防渗体。

3.2 振动插入式铺膜施工

铺膜施工中采用的设备有履带吊车、带有高频振动锤的特制插板,经过加工后的 HDPE 膜。用履带吊将特制插板吊起后,进行就位同时将插板的底部卡入土工膜的底部卡槽中,进行下放,同时打开高频振动锤,借用插板的自重和高频振动的振动将其插入到锯槽机或者 TRD 施工完成的沟槽中。

3.3 接头施工

其接头形式采用锁扣式接头。

4 自凝灰浆土工膜复合防渗墙施工

自凝灰浆土工膜复合防渗墙结合了自凝灰浆的墙的基础之上增加的土工膜的下放工序而形成的复合防渗墙。其施工的关键工序包括成槽、自凝灰浆的配置和土工膜的下放方法。

4.1 成槽施工

成槽施工与重力沉入式土工膜防渗墙的成槽工艺相同,其区别在于自凝灰浆兼做墙体材料和成槽施工时的护壁泥浆。

4.2 自凝灰浆

自凝灰浆由膨润土、水泥和水混合组成,可添加填充料和外加剂来改善其性能。自凝灰浆的性能要能保证槽孔开挖的稳定性和连续性。

自凝灰浆的制备:自凝灰浆的制备高速搅拌机拌制成膨润土泥浆,其配合比见表2。

表2 膨润土泥浆和自凝灰浆配合比

膨润土泥浆配合比/(kg·m ⁻³)			自凝灰浆配合比/(kg·m ⁻³)			
水	膨润土	密度	泥浆	水泥	缓凝剂	密度
983	49	1.025~1.03	947	253	5.3	1.2

4.3 铺膜及接头方法

(1)铺膜方法

自凝灰浆的比重大于普通膨润土的比重,在灰浆中下放的阻力较大,因此单纯的采用重力沉入式的铺膜方式下放到位有很大的难度,采用插入与重力沉入的组合下放方式能够切实保障铺膜深度的准确性,且能够防止土工膜上浮。

(2)接头施工方法

膜的下放不可能完全连续施工,在临近槽孔施工时应保护好连接的接头,保证在临近槽段施工时接头不被破坏,有利于下次的连接。同时施工时的杂质不能进入已施工完的区域。为此制作了特制的接头板,接头板上附有HDPE的连接锁扣,可与已下设膜的连接锁扣互锁,保护钢板的宽度略小于墙宽^[9]。下好土工膜膜后,把接头板下放到槽孔中,接头板锁扣与已下入膜锁扣插好,即可起到保护土工膜和已完工槽孔的作用。其接头也可以采用叠加式的接头施工工艺。

5 土工膜复合防渗墙施工工艺的对比

目前众多底线连续墙项目采用的土工防渗膜主要有三种形式,分别是重力沉入式、插入式以及自凝灰浆,表3给出了这三种工艺的对比。

6 土工膜复合防渗墙工法的应用

6.1 露天矿截水帷幕的应用

当前疏排水是我国露天煤矿疏降地下水保证正常生产的常规方式,露天矿的开采时间较长,长期疏

表3 几种土工膜复合防渗墙的对比如

项目	重力沉入式	插入式	自凝灰浆
成槽设备	液压抓斗	TRD或锯槽机	液压抓斗
护壁浆液	膨润土泥浆	无	自凝灰浆
成墙厚度	800 mm	550~900 mm	400~800 mm
施工深度	60 m	20 m(60 m)	20 m(60 m)
铺膜	重力沉膜法	振动插入	重力沉入与插入式组合
填充料	塑性混凝土、低标号混凝土或粉煤灰	膨润土与土	水泥与膨润土
浇筑方式	水下浇筑	不浇筑	不浇筑
接头方式	叠加	锁扣式	叠加或者锁扣式
优点	1.成墙较深; 2.成槽工艺较为成熟; 3.地层适应性较强	1.工艺简单,实现较为容易; 2.施工高效环保	1.工艺简单; 2.地层适应性强
优缺点	1.施工成本较高; 2.工序较为复杂; 3.接头连接效果相对较差	1.成墙深度较浅; 2.需连续不间断的施工,不能多工作面开展施工,否则新老接头连接效果较差	1.成槽过程中灰浆的浪费较多; 2.灰浆比重较大,铺膜难度相对较多; 3.进入硬层成槽,不能采用铣槽设备

排水可造成地下水资源的严重浪费、生态环境的严重破坏,进而造成土地的沙漠化等后果,同时也增加了生产成本。随着我国对煤矿绿色开采的日益重视,露天煤矿采用长期大量疏排地下水的做法已不可取,将截水帷幕技术应用于露天煤矿进行截渗减排,是解决露天煤矿疏排水问题的根本措施,可实现露天煤矿的绿色、安全、可持续发展。土工膜复合防渗墙因其极低的“渗透性”在内蒙古扎尼河露天煤矿得到了应用,取得了显著的截水效果,截水率达到90%,目前周边地下水已恢复至生态水位,植被绿化植树提高到原来的4倍,生态环境得到了极大的改善,促进了植被的生长,植被多样性增加15%,完成施工的两年共节约排水能耗近8000万^[9]。

6.2 危险物垂直阻隔技术领域的应用

危险物垂直阻隔技术是利用地下阻隔封存污染物或改变地下水流向,以达到控制污染水平迁移的目的。为了达到阻止地下污染物迁移的目的,要求垂直阻隔墙有非常低的渗透性,实际应用中要求渗透系数不大于 1.0×10^{-7} cm/s,同时阻隔墙要有较好的连续性和耐久性,墙体材料具有较高的稳定性和耐腐蚀性,污染物与其作用不会导致阻隔功能的减弱

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.