

# GCL复合竖向屏障在垃圾填埋场工程中的应用

暴志刚<sup>1</sup> 赵东凯<sup>2</sup>

1. 天津中联格林科技发展有限公司 天津 300380

2. 宁波市永安工程管理咨询有限公司 浙江 宁波 315000

**摘要:** 为进一步提高垃圾填埋场的防渗效果,本研究提出利用GCL复合竖向屏障进行防渗,通过现场监测数据等方式对其应用效果进行分析。现场分析结果表明,GCL复合竖向屏障具有较好的整体性和柔性,能够更好地适应填埋场内部填埋物的不均匀沉降和侧向压力变化,保证了屏障结构在较长时间内的稳定性,降低因结构破坏而导致防渗失效的可能性。且GCL复合竖向屏障能有效缩短垃圾填埋场竖向屏障的施工周期,减少人工投入,提高工程建设效率,从而降低施工成本并使填埋场能够更快投入使用。

**关键词:** GCL复合竖向屏障;垃圾填埋场

## 1 引言

垃圾处理是城市可持续发展面临的重大挑战之一,垃圾填埋作为一种传统且广泛应用的垃圾处置方式,在长期运行过程中对环境的潜在影响不容忽视。垃圾填埋场中积累的大量垃圾会产生富含各种污染物的渗滤液,若渗滤液渗漏进入周围的土壤和地下水系统,将引发一系列严重的环境问题,如土壤污染导致的植被破坏、农作物减产,地下水污染致使可饮用水源质量下降,威胁人类健康以及生态系统的平衡与稳定<sup>[1]</sup>。

传统的垃圾填埋场防渗措施在应对复杂的地质条件、长期的化学侵蚀以及填埋场不均匀沉降等问题时,往往存在一定的局限性。在此背景下,GCL(土工合成粘土衬垫)复合竖向屏障技术应运而生,为垃圾填埋场的防渗工程提供了一种创新且高效的解决方案<sup>[2-4]</sup>。GCL复合竖向屏障是一种结合了多种材料优势的综合性防渗结构体,它不仅具备良好的防渗性能,还拥有独特的自我修复能力、较强的耐久性以及对复杂环境条件的适应性。

随着环境科学与工程技术的不断进步,深入研究GCL复合竖向屏障在垃圾填埋场工程中的应用,对于提升垃圾填埋场的防渗效果、降低环境污染风险、保障生态安全以及推动垃圾填埋行业的可持续发展具有极为重要的现实意义。基于此,本研究深入分析GCL复合竖向屏障在垃圾填埋场工程中的施工准备、施工工业要点等,并通过现场实际情况,进一步分析GCL复合竖向屏障在垃圾填埋场工程的实际应用效果。

## 2 工程概况

浙江某垃圾填埋场治理工程-垂直阻隔(GCL复合竖向屏障),总用地面积约总占地面积约12.5万平方米。总水平长度1606m,深度为12.9-22.7m,平均深度16m。结

构形式采用GCL复合垂直阻隔墙工艺。

依照勘察报告,场区内施工范围内地层自上而下分为2层,各岩土层特征分述如下:第1-1a层杂填土(建筑垃圾)、1-1b层杂填土(生活垃圾),结构松散,成分复杂,渗透性好,工程特性差异较大,1-1c层吹填土主要成分以粉煤灰为主,系人工近期堆填,压缩性不均,且仅局部分布,以上土层未作处理不能作为本工程拟建(构)筑物的基础持力层;第1-2a层及1-2b层以软~流塑状的灰色淤泥质土为主,高压缩性,具有典型的软土特征,土的物理力学性质极差,全场基本均有分布,与其下第2层系本场地主要压缩层,未经处理,不能作为本工程的基础持力层;第2层流塑状的灰色淤泥质土为主,高压缩性,具有典型的软土特征,土的物理力学性质极差,全场均有分布;本工程槽孔底端设在场区全范围分布的相对不透水层2淤泥质粉质黏土层,且深入淤泥质粉质黏土不小于2.0m<sup>[5]</sup>。

在施工工艺比选上,泥浆护壁成槽工艺技术成熟、地层适应性强、成槽精度高,能保障GCL复合竖向屏障施工质量,但会产生大量需处理的泥浆,成本高且施工进度慢;振动沉模工艺施工快、设备简单、操作便捷,但对复杂地层适应性差,易影响屏障密封性和稳定性;高压旋喷工艺能形成高强度防渗墙体,增强土体强度和防渗性能,但设备要求高、技术难度大、成本高且施工有噪音和振动污染。综合考虑地层条件、工期、成本和环境影响等因素,泥浆护壁成槽工艺虽有成本和泥浆处理问题,但因其成熟度高、成槽质量好,更适合本垃圾填埋场工程复杂地层和对GCL复合竖向屏障的高质量要求,实际施工中可优化泥浆处理和施工进度安排来减少不利影响。且复合防渗墙主要有HDPE土工膜复合防渗

墙及GCL复合防渗墙两种,经过经济技术比选,GCL复合防渗墙造价经济,防渗效果好,施工工艺较为成熟,且不存在接缝问题,因此,垂直阻隔采用GCL复合防渗墙,防渗墙渗透系数要求小于 $1 \times 10^{-7}$ cm/s,可有效阻隔填埋场渗滤液扩散。

### 3 GCL复合竖向屏障在垃圾填埋场中的施工应用

#### 3.1 施工准备

本工程GCL复合竖向阻隔屏障施工计划主要采用两台SG35A型液压抓斗成槽机开槽,该型成槽机斗容为 $1.5\text{m}^3$ ,最大成槽深度可达40m,能满足本工程防渗帷幕平均深度16m的施工要求。施工过程中采用泥浆护壁,泥浆选用优质膨润土调制,泥浆密度控制在 $1.15 - 1.20\text{g/cm}^3$ ,黏度为22 - 25s,确保槽壁稳定。且本研究在紧贴外侧槽壁设置好GCL复合构件后,进行防渗墙材料的水下导管灌注,最终形成一道地下的连续防渗帷幕。GCL复合竖向阻隔屏障厚度为600mm,防渗帷幕平均深度16m。GCL复合竖向阻隔屏障渗透系数: $k \leq 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ 。墙体28天侧抗压强度 $\geq 0.3\text{Mpa}$ 。

本工程计划使用地泵进行拌合料输送,根据现场情况及地泵输送能力需设置两台地泵接力以满足施工需要。拌合楼宜设置在场地中央地带,具体位置根据现场实际情况确定。本项目地下防渗垂直帷幕总铺设面积约25696平米。施工现场有供电容量为400Kv变压器。本工程计划使用地泵进行拌合料输送,选用的地泵型号为HBT60,其理论输送量为 $60\text{m}^3/\text{h}$ ,出口压力为8MPa。根据现场情况及地泵输送能力需设置两台地泵接力以满足施工需要。拌合楼宜设置在场地中央地带,具体位置根据现场实际情况确定。拌合楼生产能力为 $120\text{m}^3/\text{h}$ ,可满足工程施工材料供应。本项目地下防渗垂直帷幕总铺设面积约25696平米。施工现场有供电容量为400Kv变压器,经核算,施工高峰期设备总功率约300kW,该变压器可满足施工用电需求

#### 3.2 施工工艺要点

##### 3.2.1 导墙施工

地连墙中心轴线各拐点位置严格按图纸确定,采用RTK全站仪将各轴线控制点引测到施工作业面。施工导墙计划设置成“倒L”型,导墙净宽650mm,深1400mm,单侧翻边宽1200mm,导墙内设 $\Phi 12@200$ 单层双向钢筋网片,混凝土厚度不小于200mm,混凝土抗压强度标准值为C25。施工进场后按照现场情况实际划分槽段,确认首开槽段并规划开槽顺序。导墙施工结束后,立即在导墙顶面上画出分幅线,用红漆标明单元槽段的编号(距离分幅线约1.5m的位置)。

##### 3.2.2 成槽挖土

###### (1) 挖槽设备

成槽采用液压抓斗法施工,计划使用SG35A型液压抓斗成槽机械,配备400mm斗体进行抓土成槽作业。

###### (2) 槽段的挖掘顺序

本研究采用液压抓斗成槽机挖槽时,要想做到槽段端部垂直,除抓土挖槽时控制好斗体、斗头的垂直外,关键是要使抓斗在吃土阻力均衡的状态下挖槽。首开槽段的挖掘顺序为:挖好第一抓后,跳开一段距离挖第二抓,然后再抓取两个单孔之间留下一段隔墙,这就使抓斗在挖每抓时都能做到吃力均衡,保证槽段两端垂直度。后面槽段均采用间隔抓好一抓后回头再抓取之间的隔墙最终形成连续的槽。

###### (3) 清孔

挖槽完成后,用液压抓斗扫除槽底部在挖槽过程中掉落土块、残渣等。

##### 3.2.3 GCL复合构件铺设

垂直防渗专用GCL复合构件执行《钠基膨润土防水毯》JG/T193-2006标准。根据导墙上标注的开槽线摆放并固定垂直铺设机具,且与导墙边缘齐平,铺设前应探测沟槽深度,确认沟槽深度及铺设区域内是否有障碍物。控制垂直铺设机具电机转速,使GCL复合构件缓慢下放。垂直铺设的GCL应无褶皱、折叠和悬空现象,铺设应平整、贴紧沟槽壁,不宜过度拉紧。第一幅GCL复合构件铺设至设计深度后。为保证灌注低渗透反应墙浆料质量及第一幅与下一幅搭接区域无杂物,搭接处放置接头箱。浇筑完成后,将铺设设备移动至下一幅槽段GCL复合构件上部应预留一定长度以完成最终封固。

低渗透反应墙达到设计强度后,方可拔出接头箱,拔出过程应缓慢小心、避免破杯低渗透反应墙和GCL复合构件。第二幅槽段开挖并验槽合格后,按上述步骤重复GCL复合构件的铺设。第二幅GCL复合构件应与上一幅复合构件保证不小于450mm的搭接宽度,接缝应紧密服帖、平整,严禁褶皱。浇筑GCL复合构件搭接区域时,应设定浇筑位置,保证泥浆流动方向与搭接方向一致,以减小浇筑过程中对搭接区域的扰动。

##### 3.2.4 低渗透反应墙浆料灌注施工

水泥采用42.5普通硅酸盐水泥,膨润土采用钠基膨润土,将低渗透反应墙浆料等材料按照《水利水电工程混凝土阻隔墙施工技术规范》(SL174-2014)进行现场试配试做。经拌合楼搅拌成较为均匀的糊状材料。

拌合楼由控制室、配料机、计量系统(带传感器)、储料罐、螺旋输送机、搅拌机、输送泵等设备组

成,控制室通过计量系统(带传感器)可以精确控制各种物料进料量,同时控制物料搅拌时间,确保达到设计配合比要求。

采用泥浆下直升导管法浇筑,导管开浇顺序为自低处至高处,逐管开浇。导管距孔底15~25cm,采用压球满管法开浇。

本工程低渗透反应墙设计平均深度16m,墙体浇筑到导管上口后停止作业,待反应墙整体施工完成后清除上部50cm浮浆凝固层,GCL复合构件上部预留部分覆盖在低渗透反应墙上端,再用50cm混凝土压顶。

### 3.3 试验方法

#### 3.3.1 防渗效果监测

在垃圾填埋场周边未受填埋场影响的区域设置背景监测井,监测井距离填埋场边界至少30m,以获取该区域地下水的本底水质数据。背景监测井的深度要穿透潜水含水层,达到稳定的隔水层顶部,确保采集到未受污染的地下水样本。同时使用专业的贝勒管地下水采样器,在采样前,需要对采样器具进行清洗和消毒,以避免样本污染。对于监测井,先测量水位深度,然后将采样器缓慢放入井中,在水位以下适当深度(距离井底1)采集水样。每个监测井采集的水样体积为1升),并将水样转移至经过预处理的清洁采样瓶中,采样瓶要密封良好,防止水样挥发和受到外界污染。将GCL复合竖向屏障外侧监测井的数据与背景监测井的数据进行对比分析。计算各项指标的差异值,如浓度差值、比值等。

#### 3.3.2 沉降量和侧向位移监测

GCL复合竖向屏障面积大、长度长,为全面准确掌握位移情况,监测点数量每隔10m设置一个监测点,使用高精度水准仪,按照二等水准测量精度要求,定期(1年、3年、5年)对监测点的高程进行测量。通过对比不同时期的高程数据,计算得出各监测点的沉降量。测量时需稳定的基准点上设站,采用闭合水准路线或附合水准路线进行测量,以保证测量精度。且在GCL复合竖向屏障侧面的稳定位置设置基准点,在屏障上设置监测点,监测点的布置要考虑屏障的形状和可能出现位移的关键部位。通过全站仪定期测量监测点相对于基准点的

水平位移,计算侧向位移量。且每次测量时,要保证全站仪的位置和测量角度的一致性,以提高测量精度。

### 3.4 应用效果分析

垃圾填埋场产生的渗滤液含有大量有害物质,如重金属(汞、镉、铅等)、有机物(化学需氧量COD、生化需氧量BOD等)和氨氮等。如果这些渗滤液渗入地下水中,会导致地下水水质恶化。因此,本节通过现场监测,进一步分析不同时间下的防渗效果,随着监测时间增加,GCL复合竖向屏障外侧渗滤液浓度和渗透系数均远低于传统黏土屏障。在1-5年期间,GCL复合竖向屏障外侧渗滤液浓度增长幅度相对较小,且可以观察到,GCL复合竖向屏障始终保持在较低水平,表明GCL复合竖向屏障具有更优异的长期防渗性能,能有效阻止渗滤液向周围土壤和地下水渗透,减少环境污染风险。

### 4 结束语

经过长时间的运营监测,GCL复合竖向屏障在垃圾填埋场复杂的化学和物理环境中展现出了一定的耐久性。其材料性能在长期与渗滤液、土壤等接触过程中虽有一定程度的变化,但仍能满足基本的防渗和结构稳定要求。同时,施工单位应建立完善的施工质量检测体系,加强对施工全过程的监督与检验,对施工人员进行专业培训,提高其施工操作技能和质量意识,从源头上保障GCL复合竖向屏障的施工质量,充分发挥其在垃圾填埋场工程中的防渗和防护效能。

### 参考文献

- [1]何顺辉,张健,肖成志,等.GCL复合竖向阻隔屏障技术污染阻隔机理分析[J].环境卫生工程,2024,32(03):94-99.
- [2]何顺辉,张健,谢世平,等.复合竖向阻隔屏障技术介绍与对比[J].岩土工程技术,2024,38(02):246-252.
- [3]章玲玲,林海.土工膜GCL复合衬里剪切强度确定方法[J].人民长江,2023,54(12):174-178+201.
- [4]詹良通,丁兆华,谢世平,等.竖向阻隔墙中土工复合膨润土防水毯搭接区渗透系数测试与分析[J].岩土力学,2021,42(09):2387-2394+2404.
- [5]林海,章玲玲.水化状态对含针刺GCL复合衬里抗剪强度的影响分析[J].岩土工程学报,2017,39(S1):219-223.