

HDPE 土工膜膨润土复合防渗墙在非正规垃圾填埋场治理项目中的应用

王艳龙, 高瑞霞, 翟洪健

北京建工环境修复股份有限公司, 北京 100020

摘要 : 介绍了柔性垂直防渗技术, 以浙江省某非正规生活垃圾填埋场为例, 通过柔性垂直防渗技术在该垃圾填埋场的成功应用, 有效阻止污染物通过地下水往外渗漏, 阻止地下径流进入填埋场, 可以快速、有效地实现污染物的阻隔。

关键词 : 柔性垂直防渗技术; 非正规生活垃圾填埋场; HDPE 土工膜; 复合防渗墙

Application of HDPE Geomembrane Bentonite Composite Seepage Barrier Walls in Informal Landfill Management Projects

Wang Yanlong, Gao Ruixia, Zhai Hongjian

BCEG Environmental Remediation Co., Ltd, Beijing 100020

Abstract : Flexible vertical seepage control technology is introduced, taking an informal domestic waste landfill in Zhejiang Province as an example, through the successful application of flexible vertical seepage control technology in this landfill, pollutants can be effectively prevented from seeping outward through the groundwater, and underground runoff can be prevented from entering into the landfill, which can be quickly and effectively realized to prevent pollutants from entering into the landfill.

Keywords : flexible vertical seepage control technology; informal domestic waste landfill; HDPE geomembrane; composite seepage control wall

一、背景

在20世纪80至90年代, 我国一些城市建立了用于垃圾处理的准卫生填埋场, 这些填埋场多采用简陋的填埋技术和工艺, 对环境造成了影响, 并未能达到现代卫生填埋场的技术要求。如今, 这些填埋场已运营多年, 正面临封场和渗沥液阻隔的挑战。因此, 迫切需要在这些场地上采用先进的柔性垂直防渗技术, 并结合封场措施, 解决渗沥液渗透、填埋气体泄漏等问题, 以减轻对周边环境的污染。

为了控制地下水污染, 避免其影响超出垃圾填埋场的范围, 并防止周边土壤和地下水受渗沥液污染, 我们需根据风险管理原则, 结合场地条件、污染物特性、风险特征及阻隔技术性能, 选择最适宜的污染控制技术。

二、垂直防渗技术

(一) 垂直防渗技术类型

垃圾填埋场的防渗体系, 是防止垃圾渗滤液污染地下水和土壤的关键设施, 其设计和实施至关重要。防渗体系根据所用的材料和技术可以分为两大类: 水平防渗与垂直防渗^[1]。垂直防渗技术是重要的环保工程手段, 旨在防止污染物渗入地下水。它包括土-膨润土墙、高压喷射灌浆法、水泥土搅拌法、地下连续墙、水泥帷幕灌浆法、咬合桩、HDPE 土工膜-膨润土复合墙及渗透反应墙技术。根据材料, 这些技术分为三类: (1) 刚性技术, 以水泥

和混凝土为主; (2) 隔离墙技术, 以土和膨润土为主, 包括GCL复合墙; (3) HDPE 土工膜-膨润土复合墙技术, 以 HDPE 膜为核心, 辅以膨润土。

根据是否开槽施工, 上述垂直防渗技术可以分为非开槽法施工垂直防渗帷幕和开槽法施工置换型垂直防渗帷幕两类。

(二) HDPE 土工膜-膨润土复合墙

HDPE 复合土工膜具有良好的耐环境应力开裂性能、抗拉、抗顶破、抗撕裂强度高、延伸性好、变形模量大、耐老化、耐酸碱、防渗性能好及使用期长等特点。由于 HDPE 复合土工膜具有上述特点, 其在水利、市政、建筑等防渗工程中已得到广泛应用^[2]。HDPE 土工膜-膨润土复合墙技术是一种创新的垂直防渗系统, 以高密度聚乙烯 (HDPE) 膜为防渗核心, 结合膨润土的屏障特性。该技术旨在将污染物限制在特定区域, 防止扩散, 实现污染源的有效隔离和控制, 促进生态环境的修复和保护。

HDPE 土工膜-膨润土复合墙采用高密度聚乙烯 (HDPE) 膜作为主要防渗材料, 垂直植入不透水地质层中, 至少深入1.0米。膜的两侧通过特制锁扣闭合, 底部填充2.0米厚的高效密封材料, 共同构成坚实的垂直防渗结构^[3]。防渗系统的结构示意图如下所示。

(三) HDPE 土工膜-膨润土复合墙技术关键点

HDPE (高密度聚乙烯) 膜体的渗透系数极低, 不大于 1.0×10^{-12} 厘米 / 秒, 这使其成为高效防渗的首选材料。在 HDPE 土工膜-膨润土复合墙技术中, 关键在于确保 HDPE 土工膜各个单元之间的连接以及复合墙底部与相对隔水层之间的接合

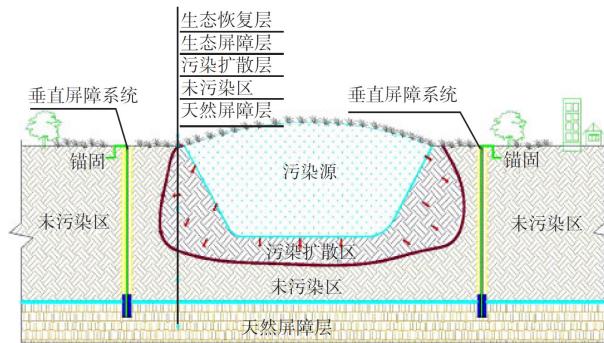


图1 HDPE 土工膜 – 膨润土复合墙系统结构示意图

点达到极高的密封标准。

(1) 单元与单元之间的连接

HDPE 土工膜 – 膨润土复合墙的防渗单元通过热熔焊接技术将膜体与专用的链接锁扣紧密结合在一起。相邻的两幅膜体通过这些锁扣相互连接，并在锁扣之间填充高倍率膨胀止水芯^[4]。这种止水芯的膨胀倍率高达 700%，能够完全封闭间隙，确保无缝连接。锁扣与止水芯耦合体的界面渗透系数小于或等于 1.0×10^{-7} 厘米 / 秒，这不仅满足了国家规范标准的要求，还可以保证其质量和性能。

(2) 复合墙底部与相对隔水层的连接

接下来，HDPE 土工膜 – 膨润土复合墙的底部与相对隔水层连接区域采用高性能高分子耦合防绕渗密封剂进行密封处理。这种密封剂具有极低的界面渗透系数，不大于 1.0×10^{-7} 厘米 / 秒，符合国家规范标准的要求^[5]。同时，这一连接处理可由具有相应资质的第三方检测机构进行独立检验，以确保其密封性能达到规定的标准。

(3) 抗形变能力

HDPE 土工膜 – 膨润土复合墙体内部的 HDPE 膜能够适应土体的变形，实现相应的较大程度的形变和拉伸，同时保持结构的完整性。此外，所采用的密封剂同样展现出强大的抗变形性能。作为防渗墙的主体材料，HDPE 土工膜符合 GB/T17643-2011《土工合成材料 聚乙烯土工膜》的标准要求，确保了材料的质量可控性。

(4) 整体渗透系数

HDPE 土工膜 – 膨润土复合墙的整体渗透系数极低，小于 1.0×10^{-7} 厘米 / 秒，这归功于 HDPE 膜所具备的卓越物理化学特性：耐酸碱腐蚀、抗老化、出色的防渗能力、良好的伸缩性和耐水溶性、抗拉抗压强度以及长寿命等。这些特性使得 HDPE 土工膜在环境保护措施中得到广泛应用^[6]。

HDPE 土工膜的耐久性受到多种因素影响，其中老化过程主要受到温度变化、紫外线辐射、应力波动、物理磨损和化学侵蚀的影响。在防渗墙建成后，温度、紫外线、应力和物理磨损的影响减少，而化学侵蚀成为主要问题。HDPE 膜因其出色的稳定性，能够抵抗各种复杂化学环境和化学品的侵蚀，显示出强大的抗腐蚀能力^[7]。HDPE 土工膜的理论使用寿命可达 300 年，其实际应用历史已超过 60 年，证明了其长期的稳定性和可靠性。垂直防渗技术，特别是 HDPE 土工膜 – 膨润土复合墙，在国内外取得了众多

成功案例，被认为是当前最安全、最有效的地下污染源阻隔技术之一。此外，电法检测技术可用于检测垂直防渗系统的完整性，确保其无渗漏，保障长期的稳定性和有效性。

三、HDPE 土工膜 – 膨润土复合墙的工程应用

(一) 工程概况及治理需求

位于浙江省的一个大型非正规垃圾填埋场始于 1985 年，占地 531.5 亩，是国内最大的垃圾填埋场之一。自 1987 年 5 月开始接收市区生活垃圾，至 2001 年停止，填埋了约 300 万立方米垃圾，持续了 14 年。停用后，未按规定封场，导致又堆积了 150 万立方米建筑渣土和 15 万立方米污水处理厂污泥。

由于该填埋场在设计和建设时未配备 HDPE 膜防渗系统，停用后也未按规定进行封场整治和生态修复，加上城市发展的步伐，周边地区已发展成为居住区，环境敏感性高。因此，如何科学治理该填埋场，以保护环境并改善居民生活，成为该市相关部门亟待解决的问题^[8]。

为了阻止填埋场内渗沥液的扩散，必须在垃圾填埋区域的四周构建垂直的阻隔层，从而切断渗沥液与地下水的直接接触途径。本工程采取风险管控措施，遵循生活垃圾填埋场的封场标准，通过工程手段实施封场。这涉及控制污染物迁移或阻断暴露途径，以减少地下水污染扩散，并降低或消除对人类健康和生态的风险。

(二) 治理方案

(1) 垂直防渗隔水层的确定

根据《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》(CJJ176-2012) 的规定，用于控制生活垃圾填埋场渗沥液污染的垂直防渗帷幕，其渗透系数应达到 10^{-7} 厘米 / 秒的量级，并且帷幕的厚度应控制在 60 厘米至 150 厘米之间。防渗帷幕应嵌入渗透系数不大于 1×10^{-7} 厘米 / 秒的隔水层中，且嵌入的深度不应小于 1 米，以确保有效的防渗效果。

根据本工程的详细勘察报告，粉质黏土层⑤1 和 ⑤2 具有较低的垂直渗透系数，范围在 0.11×10^{-6} 厘米 / 秒至 0.15×10^{-6} 厘米 / 秒，以及水平渗透系数在 0.22×10^{-6} 厘米 / 秒至 0.4×10^{-6} 厘米 / 秒。这两层的平均厚度为 12.8 米，表现出良好的隔水层特性。这些层的渗透性基本符合防渗帷幕底板的设计要求。在场区内，这些层连续分布，厚度变化较小，均匀性较好，因此，它们可以作为本工程防渗帷幕底部的目标相对隔水层。

(2) 垂直防渗帷幕使用年限

根据填埋场的现场调查资料，并考虑到填埋场土地的未来再利用情况，本工程确定垂直防渗帷幕的设计使用年限为 20 年^[9]。

(3) 垂直防渗帷幕深度

依据《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》(CJJ176-2012)，建议防渗帷幕应嵌入渗透系数不超过 1×10^{-7} 厘米 / 秒的隔水层中，且嵌入深度应不少于 1 米。

根据《污染地块阻隔工程技术指南》(征求意见稿) 的规定，垂直阻隔屏障应深入渗透系数不大于 10^{-7} 厘米 / 秒的隔水层，嵌

入深度应不少于2米。

综合考虑过往工程实践和垂直防渗帷幕的设计使用年限，本工程决定将垂直防渗帷幕的嵌入深度定为2.5米，以确保长期的稳定性和高效的防渗效果。

根据填埋场内不同点位土层分布及污染土状况，填埋区域中最深处的污染土底部的绝对标高为-13.39米。依据《工业污染场地竖向阻隔技术规范》(HG/T20715-2020)第5.2.5条第1款的规定，竖向阻隔屏障的设计深度应超过污染土的深度。综合考虑隔水层的具体深度，本工程垂直防渗帷幕的平均设计深度定为约20米，以确保有效的污染阻隔和长期的防渗效果。

(4) HDPE 土工膜 - 膨润土复合防渗墙施工方案

HDPE 土工膜 - 膨润土复合防渗墙施工方案具体如下：

1) 在施工平台开工前，需对其进行彻底的推压平整，确保平台的表面平坦、结实且稳定，以避免不均匀沉降的问题，并便于施工车辆的通行以及导墙的浇筑作业。

2) 在施工过程中，先根据设计图纸精确测量并标注垂直阻隔墙的轴线控制点，随后由监理工程师进行复核，以确保定位的准确性和施工质量。

3) 导墙的开挖与支护是关键步骤，它不仅为成槽机提供准确的导向，确保槽壁的稳定性，还维持护壁泥浆的必要高度^[10]。

1) 开工前，施工平台需彻底平整，确保平坦、坚实，避免沉降，便于车辆通行和导墙浇筑。

2) 根据设计图纸，精确测量垂直阻隔墙轴线控制点，监理复核定位和施工质量。

3) 导墙开挖支护确保成槽机导向、槽壁稳定和泥浆高度。

4) 施工便道沿垂直阻隔墙中心线铺设，确保能承受机械荷载，保障安全与效率。

5) 采用双管高压旋喷工艺加固槽体两侧土体，保证槽壁稳定性和安全性。

6) 使用液压抓斗机进行成槽作业，确保机械准确就位，施工顺利进行。

7) 泥浆配制支撑孔壁、稳定地层，悬浮沉渣，冷却润滑钻具，确保钻探顺利进行。

8) 成槽作业中，持续监测垂直度和泥浆密度，注意异常，及时处理，确保槽壁稳定。

9) 成槽清孔：液压抓斗清孔，清除沉渣，抽取粘稠物，潜水排污泵抽浆，新鲜泥浆补充，满足设计要求。

10) 成槽后，液压抓斗清孔，清除沉渣，通过抽取粘稠物质，利用潜水排污泵进行抽浆作业，同时补充新鲜泥浆，以确保成槽的深度和沉渣的厚度均符合设计规范。

在成槽作业完成后，预先焊接的 HDPE 土工膜通过专用的垂直铺设方法竖直安装。在上一幅膜铺设未完成时，下一幅膜已放入槽中，并通过特制的多孔密封装置连接，确保连续性。

11) HDPE 土工膜铺设后，需立即从两侧回填混合水泥和膨润土的粘土，确保渗透系数小于 1.0×10^{-7} 厘米 / 秒。粘土需筛除大石子和硬质物体，以保护 HDPE 膜。回填应分层进行，确保均匀连续，并需多次回填，以增强墙体稳定性。

(三) 治理效果

总体来说，垃圾堆体对周边环境的污染主要通过地下水流动进行传播。因此，柔性垂直防渗系统的效果成为决定治理成效与否的关键所在。在施工过程中，每幅 HDPE 膜都经过了严格的流程检测，确保没有漏点被遗漏。柔性垂直防渗系统建成后，还对整个系统进行了完整性检测，以保证防渗系统的完整性和连续性，从而为垃圾堆体的有效封堵提供了坚实而可靠的安全保障。

四、总结

在 HDPE 土工膜 - 膨润土复合墙的垂直阻隔施工完成后，独立的第三方监测单位负责通过监测井定期采集水样进行检测。根据水质监测数据，可以看出垂直阻隔系统施工后，水质得到了显著改善，这表明阻隔系统有效地控制了污染物的迁移。

参考文献

- [1] 沈晓东, 张璐伟. HDPE 膜柔性垂直防渗技术在垃圾填埋场中的应用 [J]. 广州化工, 2023, 51(23):76-78.
- [2] 林桂堂. HDPE 复合土工膜施工过程及质量控制 [J]. 湖南水利水电, 2023, (02):73-75+78.DOI:10.16052/j.cnki.hnslsd.2023.02.029.
- [3] 刘能胜, 曹恒明. 非正规垃圾填埋场地下水污染模拟与控制措施研究 [J]. 环境影响评价, 2024, 46(01):49-56.DOI:10.14068/j.ceia.2024.01.009.
- [4] 汪武, 黄和文. HDPE 土工膜柔性垂直防渗墙在污染治理项目中的应用 [J]. 中国建筑防水, 2022, (10):38-43.DOI:10.15901/j.cnki.1007-497x.2022.10.010.
- [5] 王瑞, 曾树元. 土工膜水平防渗在已建水库岩溶漏水处理中的应用 [J]. 吉林水利, 2024, (03):59-62.DOI:10.15920/j.cnki.22-1179/tv.2024.03.010.
- [6] 田卫祖. 复合土工膜在人工湖蓄水池防渗工程中的应用 [J]. 云南水力发电, 2023, 39(11):355-358.
- [7] 贾振鹏. 基于复合土工膜的湖区防渗进占法施工探讨 [J]. 陕西水利, 2023, (09):133-134+137.DOI:10.16747/j.cnki.cn61-1109/tv.2023.09.066.
- [8] 左韵琳, 王经相, 彭峰. 探讨土工膜在水利防渗工程中的施工质量控制 [J]. 居业, 2023, (06):55-57.
- [9] 庄作义, 郝雷. 复合土工膜技术在塘坝防渗加固中的应用 [J]. 黑龙江水利科技, 2023, 51(05):138-140.DOI:10.14122/j.cnki.hskj.2023.05.013.
- [10] 丁玲. 超深土工膜复合防渗墙施工技术概述及应用 [J]. 城市道桥与防洪, 2023, (02):165-168+21.DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.02.042.