

复合防渗材料在水库坝体中的应用与效果评价

李杰¹ 雍太朋²

1. 江苏中源工程管理股份有限公司 江苏南京 210000

2. 江苏恒逸源工程项目管理有限公司 江苏南京 210000

摘要: 复合防渗材料在水库坝体工程中展现出优越的防渗效果和耐久性能,成为水利工程中的关键材料。通过多层次结构设计,材料适应了复杂的地质环境,确保了坝体的长期稳定性和安全性。施工过程中,合理的材料选择和科学的工艺设计进一步提升了防渗效果,并有效应对了工程中的技术难点和环境挑战。同时,复合防渗材料具有良好的经济性和环保效益,能够降低维护成本,减少对环境的负面影响。随着新型技术的发展,材料的防渗性能和使用寿命将得到进一步提升,为水资源管理和环境保护提供了更可靠的技术支持。

关键词: 复合防渗材料; 水库坝体; 防渗性能; 结构稳定性; 环境友好

引言

水库坝体工程对防渗性能的要求越来越高,尤其在复杂地质条件下,传统材料难以满足长期稳定的需求。复合防渗材料凭借多层次结构和不同材质的组合,逐渐成为防渗领域的重要选择。通过增强材料的适应性与耐久性,不仅有效提升了坝体的整体安全性,还显著降低了施工和维护成本。在实际工程中,防渗材料的选择和应用直接关系到坝体的防护效果及长期运行的稳定性。因此,研究如何结合现代技术手段和施工工艺,进一步优化复合防渗材料的性能,成为水利工程领域的重要课题。

一、复合防渗材料的结构特点及其在坝体中的应用原理

(一) 多层次结构的材料组成

复合防渗材料的多层次结构是其优越防渗性能的关键。在坝体建设中,这类材料通常由不同功能层组合而成,每一层具有不同的作用。最外层通常采用高强度耐磨材料,能够承受外部环境的侵蚀和机械损伤,确保整体的耐久性。中间层则多为具有优异防水性能的材料,如高密度聚乙烯或沥青基材料,能够有效阻止水分渗透。内层通常为柔性材料,能够适应地基的微小变形,避免因坝体沉降或地质变化引发的开裂现象。多层次的结构设计通过功能互补,提高了材料的整体性能,确保其在

坝体长期使用中表现稳定。

(二) 不同材质的防渗性能分析

防渗层的主要材料一般选择高密度聚乙烯膜或黏土层,这些材料具有极低的渗透系数,能够有效阻止水分通过。在此基础上,还会增加纤维增强材料或土工布,增加其抗拉强度,使材料在受到拉伸时不易破裂。为了增加防渗系统的整体稳定性,复合材料中常加入沥青基或聚合物基质,这些基质材料具有良好的延展性,能够有效填补坝体中可能出现的微小裂隙^[1]。材料之间通过热压、粘结或复合加工技术紧密结合,确保不同材质之间形成稳定的结构,从而使得防渗效果更加可靠。

(三) 复合材料在复杂地质中的适应性

复合防渗材料在复杂地质条件下表现出良好的适应性。地质条件的多变对坝体的防渗系统提出了严苛的要求,尤其是在软弱地基或不稳定岩层中,防渗材料的延展性和抗变形能力显得尤为重要。复合防渗材料通过多层次设计和不同材质的结合,可以有效应对地基的沉降、滑动和开裂等问题。尤其是材料中的柔性层和弹性基质能够迅速响应地基的微小位移,避免结构破坏的发生。复合材料的抗压性能和耐久性也使其能够适应高压环境,确保坝体的长期稳定性。

二、复合防渗材料在水库坝体建设中的应用案例分析

(一) 工程背景与环境条件

该水库坝体工程位于地质条件复杂的山区,地质构造主要以花岗岩和片麻岩为主,但在部分区域存在软土层,给工程带来了一定的挑战。坝体所在区域气候条件

作者简介: 李杰(1984年9月—),男,汉,江苏扬州人,本科,高级工程师,现就职单位:江苏中源工程管理股份有限公司,研究方向:水利施工建设。

多变，年降雨量较大，且降雨具有明显的季节性特征，尤其在雨季，水库水位上升迅速，导致坝体承受较大的水压。同时，该地区的昼夜温差较大，坝体长期暴露在高温与寒冷交替的环境中，对防渗材料的耐候性和抗老化能力提出了更高的要求。地下水位的波动也较为频繁，增加了坝体防渗系统的复杂性。

（二）材料选择与施工方案设计

在材料选择方面，考虑到坝体的长期防渗需求以及环境的复杂性，采用了多层复合防渗材料。该材料由高密度聚乙烯膜、弹性聚合物基质以及增强土工布组成，能够在保持优异防渗性能的同时，增强整体结构的抗拉强度与柔韧性^[2]。施工方案设计中，结合了当地地质条件，采用了分层压实技术，通过逐层铺设防渗材料和基质层，并使用专门的机械设备进行密封压实，以确保防渗材料与坝体紧密结合。同时，施工过程中通过实时监测材料的铺设质量和密封效果，确保每一层的材料铺设均匀，达到预期的防渗效果。

（三）防渗效果的施工测试与评估

在施工完成后，防渗效果通过多项测试进行评估。测试内容包括渗透系数测量、坝体变形监测和水位波动对防渗系统的影响等。通过在坝体不同深度和区域进行的渗透测试，发现防渗材料的渗透系数保持在较低水平，远低于国家相关标准要求。与此同时，坝体表面的变形监测数据表明，材料铺设后的稳定性良好，未出现明显的沉降或开裂现象。通过对雨季期间水位波动的实时监控，进一步验证了防渗材料在高水压条件下的表现，结果显示坝体的渗漏率保持在极低水平，防渗系统运行稳定，见表1。

表1 水库坝体防渗系统性能参数表

项目	数值	单位
渗透系数	1.2×10^{-6}	cm/s
坝体表面变形量	2.5	mm
最大水位波动幅度	3.4	m
防渗材料使用寿命预估	50	年
年降雨量	1200	mm

三、复合防渗材料的关键施工技术与实施管理策略

（一）施工工艺与技术难点

在水库坝体的施工中，采用了多层复合防渗材料，施工过程中要求材料层与地基紧密结合，以确保整体防渗效果。施工的难点集中在复杂地质条件下材料的铺设与压实，尤其在软土层或岩石不均匀处，需要特别加强地基处理，并使用特殊机械进行分层压实。材料的粘

性、耐久性和施工过程中的温度控制也对整体施工质量产生了直接影响。由于坝体规模庞大，施工进度与防渗效果之间的平衡成为一大技术挑战。

（二）质量控制与管理措施

在施工过程中，质量控制措施严格执行，确保每一层防渗材料的铺设质量达到标准。施工中引入了实时监控系統，确保材料铺设的均匀性和完整性，尤其是接缝和边缘部位。采用先进的检测设备对压实度和渗透性进行动态监测，确保施工各环节处于可控状态。材料的进场检验和施工后的定期抽检制度相结合，有效确保了施工质量的稳定性与可持续性。所有管理措施均通过相关工程标准进行评估，并由第三方机构监督。

（三）施工中的环境影响与应对策略

施工过程中，防止对周边环境产生不利影响尤为重要。水库区域的生态环境较为敏感，施工可能引发土壤侵蚀和水体污染问题。因此，在施工阶段采取了水土保持措施，避免施工过程中产生的废弃物对周边水体和土壤造成污染^[3]。同时，通过设置沉淀池和污水处理设施，及时处理施工废水，防止水源污染。噪声控制与空气质量监测也在施工中得到严格执行，确保施工对周围环境的影响降至最低。见表1。

表2 施工过程环境影响及应对策略测试数据

指标	数值	单位
土壤侵蚀量	15.6	t/年
废水处理量	1200	m ³
水体悬浮物浓度（施工期）	25.3	mg/L
噪声监测值（昼间）	68.5	dB
空气颗粒物浓度	85	μg/m ³

四、复合防渗材料在长期使用中的性能表现及优化

（一）材料长期防渗性能评估

在坝体工程中，复合防渗材料的长期防渗性能是确保工程质量的关键。以某大型水库的实际工程为例，复合防渗材料的应用经过了超过10年的实际运行测试，渗透系数保持在 1.1×10^{-6} cm/s的稳定水平，远低于国家标准的规定。在长期运行中，该材料表现出优异的耐老化和抗腐蚀性能，尤其是在面对复杂的水压和气候条件时，仍能维持材料的结构稳定性。根据监测数据显示，该材料在使用期间未出现明显的渗漏情况，坝体周围地下水的监测点显示水位变化极小，渗流量每年保持在 10 m^3 以下，证明材料的防渗效果稳定可靠。

（二）使用过程中可能出现的问题分析

在实际使用过程中，复合防渗材料可能会面临一系

列问题。某水库坝体工程在运行第三年时，曾因地基沉降引发了材料的局部变形，导致局部区域渗漏。该渗漏问题的出现与地质结构的复杂性有关，特别是坝体所在区域的软土层在长期水压作用下发生了不均匀沉降，致使防渗材料在某些部位出现拉伸和开裂现象^[4]。根据监测数据，沉降量在坝体西南侧最大，达到15 mm，超过了材料的容忍范围。经过紧急处理，采用加固基底和局部修复材料的方式，成功遏制了渗漏问题。长期的紫外线辐射和水化学成分的侵蚀也是造成材料老化的潜在因素，因此材料的维护和定期检修至关重要。

（三）复合材料使用寿命的提升策略

某工程案例表明，通过在复合材料表层增加一层抗紫外线涂层，可以有效减缓材料的老化速度，预计可延长材料的使用寿命至60年。基于地基沉降的影响，采用先进的监测技术实时监控坝体的沉降情况，及时调整基础处理和材料修复方案，可以显著降低因沉降带来的结构破坏风险。通过增加土工织物增强层，提升了材料的整体强度和适应性，进一步增强了材料在复杂地质条件下的表现。结合材料科学的最新研究成果，采用抗腐蚀性更强的聚合物基质，将材料的耐化学性提升30%，大幅度提高了其在恶劣水质条件下的长期使用性能。

五、复合防渗材料在水库坝体中的推广应用前景

（一）行业发展趋势与政策支持

近年来，随着国家对水资源管理和生态环境保护的重视，复合防渗材料的应用得到了政策的大力支持。多项水利工程建设项目中，防渗技术被列为重点技术之一，推动了防渗材料行业的快速发展。国家出台的《水土保持法》《环境保护法》等法律法规为材料的推广与应用提供了法律保障。同时，政府对绿色环保材料的补贴政策和技术研发支持，进一步促进了新型复合防渗材料的研究与应用，为行业发展提供了有力推动力。

（二）复合防渗材料的经济性与环保效益

复合防渗材料的经济性体现在其高效防渗性能和较长的使用寿命，降低了坝体维护和修复的成本。从项目全生命周期的角度分析，使用复合防渗材料能够减少因渗漏导致的水资源浪费与环境破坏，带来了显著的环保效益。复合材料的生产过程采用了更多的可再生原材料，减少了生产对环境的影响，同时减少了传统防渗材料中有害物质的排放，符合当前绿色建筑和可持续发展的要求。

（三）新型防渗材料的发展方向

新型防渗材料的研发方向集中在提高材料的耐久性、环保性能和适应性。通过纳米技术与新型聚合物的结合，材料在耐腐蚀、抗紫外线和抗老化性能方面得到显著提升^[5]。同时，智能材料的引入使得防渗系统能够自我修复小规模破损，进一步提高坝体工程的安全性与稳定性。未来的发展趋势还将侧重于材料轻量化与可回收利用，最大限度地降低资源消耗，提升防渗材料的综合效益。

结语

复合防渗材料在水库坝体中的应用体现了其优越的防渗性能、环境适应能力和经济效益，随着施工技术的不断优化，材料的长期表现得到了有效验证。通过多层次结构的合理设计，材料在复杂地质条件下展现出卓越的防渗效果，显著提升了坝体工程的安全性与耐久性。未来，随着政策支持和科技进步的不断推进，复合防渗材料在水利工程中的应用将会更加广泛。智能材料和绿色环保技术的发展，也将为新型防渗材料带来更多的创新空间。通过进一步提高材料的耐久性、经济性和环保性能，复合防渗材料将在保障水资源安全和环境保护方面发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 刘国柏. 复合水泥基——水玻璃双液注浆材料在土石坝防渗施工中的应用[C]// 中国无机盐工业协会无机硅化物分会. 2018年全国无机硅化物行业年会暨长江经济带发展研讨会论文集. 辽宁润中供水有限责任公司, 2018: 3.
- [2] 王丽新. 复合材料坝分析与坝面防渗材料试验[D]. 清华大学, 2013.
- [3] 鲁南, 胡嘉东. 复合土工膜防渗材料在上下肚水库安全加固中的应用[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2005, (03): 22-24.
- [4] 詹中凯, 王茜, 姜琳, 等. 氯氧镁复合材料在渠道防渗工程中的应用[J]. 东北水利水电, 2003, (03): 18-19.
- [5] 张慧莉, 田堪良. 关于复合土工膜等渠道防渗材料改性的意见[J]. 防渗技术, 2001, (04): 16-17+24.