

# 水利工程堤坝复合混凝土防渗与加固施工技术研究

张文峰

(南雄市水库灌区工程管理服务中心, 广东 韶关 512000)

**摘要** 水利工程项目是捍卫国家水资源安全的有力防线, 更是经济社会可持续发展的关键保障, 但在长时间的运行中, 常常会遇到渗漏带来的严峻挑战。针对渗漏问题, 堤坝复合混凝土防渗与加固是一种行之有效的施工技术, 具有重要的应用价值。本研究阐述了堤坝防渗加固的重要性, 分析了水利工程堤坝渗漏的主要原因, 对相关施工过程进行了详细介绍, 并进行了相应的实验分析, 以期为相关的水利工程建设施工提供经验借鉴。

**关键词** 水库工程; 堤坝复合混凝土; 防渗与加固施工技术

中图分类号: TV64

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.004

## 0 引言

水利工程在防洪减灾、农业灌溉、水力发电及航运等多个关键领域发挥着举足轻重的作用。然而, 大坝渗漏等问题时常阻碍水利工程的稳定运行, 影响其效益的充分发挥。复合混凝土作为一种高性能的新型材料, 在堤坝防渗与加固方面展现出了卓越的优势。因此, 对该技术的研发与应用, 对保障水利工程的安全运行具有重要的意义。

## 1 水利工程堤坝防渗加固的重要性

堤坝是水利工程中不可或缺的要素, 对于充分发挥水利工程综合效益起着决定性作用。堤坝不仅肩负防洪、拦沙的基本职责, 还承担着供水等重要使命, 其安全状况直接影响着周边民众的生命与财产安全, 为了维护堤坝的结构完整性和稳定性, 采取有效的堤坝防渗手段尤为关键。堤坝复合混凝土防渗与加固施工技术能够显著提升堤坝的防渗能力, 确保水利工程的稳定性。同时, 堤坝复合混凝土防渗与加固技术还能降低水利工程蓄水过程中的水损失, 提高水系统的整体效能, 为稳定调配水资源提供坚实的保障。此外, 堤坝周边的生态环境, 如天然湿地、沙漠或农田等, 确保了生态平衡和生物多样性。强化堤坝的防溢能力, 将地下水和地表水的污染程度降到最低, 减少周边土壤污染和地下水渗漏, 从而保障生态环境的稳定与健康发展。边坡防渗加固同样不容忽视, 它能增强堤坝的结构稳定性, 有效抵御水压、水锤以及地震等外力作用。这不仅能提升堤坝的抗震性能和安全性, 还能使其更好地应对极端气候条件和地质灾害带来的挑战。

通过防渗加固, 可以延缓堤坝的老化进程, 减少损失, 延长其使用寿命。

## 2 水利工程堤坝渗漏的主要原因

水利工程的堤坝渗漏问题是一项复杂且严峻的挑战。堤坝出现渗漏的原因是多方面的, 主要包括以下几个方面: (1) 地质因素。部分地区的地质构造繁杂, 存在着如软弱土层、断层以及裂隙等地质现象。这些地质因素极易导致堤坝产生渗漏情况。(2) 设计施工存在缺陷。设计不合理或是施工质量未达到相应标准, 如防渗层材料挑选不合理、施工工艺不规范等, 都会造成堤坝防渗的能力降低, 进而引发渗漏问题。(3) 河流冲刷与地下水位上升。河流长时间的冲刷作用会对堤坝的迎水面造成破坏, 致使防渗层遭受损害, 从而引发渗漏。地下水位上升会加大堤坝的渗透压力, 促使渗漏的过程加快。(4) 自然灾害与人为破坏因素。地震、洪水等自然灾害以及人为破坏都会给堤坝带来极为严重的冲击与破坏, 使堤坝的结构失去稳定性, 防渗性能也随之下降<sup>[1]</sup>。

## 3 堤坝复合混凝土防渗与加固施工

### 3.1 防渗墙

防渗墙构筑有两个关键步骤, 即槽孔开挖和混凝土浇筑, 具体构造如图1所示。在槽孔开挖环节要依据准确的设计图纸还有详实的地质勘探资料, 对槽孔的位置及规格精确设定。通过专业的挖掘设备以及工艺技巧保证槽孔的形状与尺寸能够精准契合预设的标准。在此期间, 将槽孔底部的松散土壤、碎石等杂质

全部清除干净是极为重要的，这能为混凝土和地基之间具备强大黏结力以及高度密实性筑牢稳固基础。混凝土浇筑属于构筑防渗墙的另外一个关键环节。制备高性能复合混凝土材料的关键在于精心挑选材料，并严格按照工程设计要求的配比进行精确拌合。通过采用先进的搅拌与振捣工艺，可以大幅提高混凝土的均匀度和密实度。在灌注混凝土至槽孔的过程中，需运用科学合理的振捣技术，以确保混凝土能够充分且紧密地填充槽孔，并与地基紧密结合，从而打造出坚固耐用、防渗性能优异的墙体结构<sup>[2]</sup>。

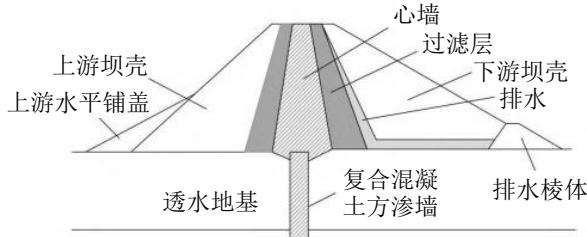


图 1 堤坝复合混凝土防渗墙示意图

严格依照设计图纸开展放线作业，保证槽孔位置准确。对堤坝的地质构造以及水文特征加以分析，要以科学合理的方式设定防渗墙的深度以及厚度。基础准备阶段必须全方位清理并且整平基础的表面，要保证上面没有任何异物残留，而且还要均匀地涂刷防水漆。钢筋的绑扎作业要绑扎牢固可靠。模板的选择及安装必须保证足够的刚度和强度，确保防渗墙形状的规整性和尺寸的精确性。浇筑环节要严格把控混凝土的分布情况以及密实度，防止出现诸如蜂窝、麻面等缺陷，保证混凝土均匀且致密。完成浇筑工序后要及时开始养护，养护期限届满后，要妥善拆除模板<sup>[3]</sup>。

### 3.2 灌浆孔设置

本工程灌浆孔采用双排布孔方案，能够在很大程度上提升灌浆孔的密度，还可以依照堤坝实际呈现出的形态以及渗漏方面的具体情况，灵活地对灌浆孔的深度、间距加以调整。在对堤坝土体的实际情况展开全面且细致的评估之后，为了更有效地提升堤坝防渗性能，将相邻灌浆孔的距离精确调整至 3 m，并采用了干法造孔技术来实施双排布孔作业，进而对堤坝的裂缝以及空隙实现有效的封堵与加固。通过实施双排布孔的布置方案，能够构建出一个既紧凑又高效的灌浆孔网络。该方案赋予了我们依据堤坝的具体形态和渗漏情况灵活调整灌浆孔深度和间距的能力，进而实现对灌浆范围和深度的精确掌控，显著增强加固成效（见图 2）。并通过干法造孔技术在作业中实施了双排布孔，

有效避免了堤坝遭受水和其他液体的侵蚀。每次造孔作业完成后，都会立即开展孔道清理工作，彻底清除碎石、杂物等，以保障孔道的顺畅。同时，还会对每个孔实施严格的质量检查，不但要平整光滑，更不能有积水出现在内外表面，确保之后的灌浆作业的顺利进行。

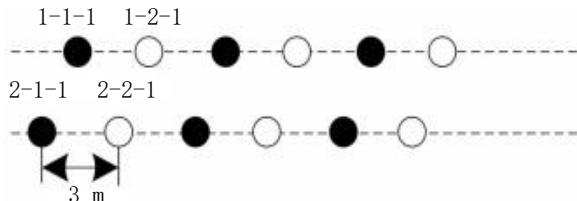


图 2 灌浆孔布设示意图

### 3.3 劈裂帷幕灌浆

根据水利劈裂原理，针对质量不良或者有隐患的土坝，劈裂帷幕灌浆技术利用钻孔和加压灌浆的方法构成新的防渗墙体。灌浆材料选择要充分考虑堤坝的地质特性、施工条件等因素。通常情况下，灌浆材料有水泥浆、水泥砂浆以及化学浆液等。对于这些材料的选择，应当依照它们各自的流动性、凝结所需要的时间、所能达到的强度等一系列关键性能指标来进行确定，确保其能够满足工程施工要求，具体材料规格如表 1 所示。

灌浆施工前，要严格依照设计图纸来明确钻孔具体位置以及需要达到的深度，运用专业的钻孔设备进行作业操作。灌浆环节运用合适的灌浆设备以及相应的工艺，把灌浆材料精准地灌注到裂隙里。注浆用的材料是能够较为充分地对土体的孔隙、裂隙加以填充的，这样可以有效地阻拦地下水的渗入，让施工环境始终维持在干燥的状态<sup>[4]</sup>。

表 1 劈裂灌浆施工材料规格参数

序号	材料	规格
1	水泥	强度等级高于 32.5 级的硅酸盐水泥
2	骨料	确保细度模数 2.4 ~ 3.0 的河砂、粗砂或者中砂
3	外加剂	确保减水剂、引气剂、缓凝剂的高效性
4	复合掺合料	粉煤灰和矿渣粉
5	钢筋	HRB500 级钢筋，直径不宜小于 10 mm
6	防水剂	TY4-1G 甲基硅酸钠

## 4 实验分析

### 4.1 实验准备

实验紧紧围绕A水利工程项目来开展，这个项目里水库坝址以上的集雨面积达到了 $198\text{ km}^2$ ，其总库容量更是多达 $1102\text{ km}^3$ 。为了满足实验需求，从这个工程中挑选了6个颇具代表性的堤坝段落，把它们当作研究的样本，并且依次给编号，从DB-01#一直到DB-06#。为了保证实验可以顺利地开展下去，准备了充足的核心材料，还配备了水压试验装置、渗透试验装置以及加固设备等必要的工具。在实验开始之前，针对堤坝的基础部分展开了细致入微的预处理工作，如清除杂物、表面整平等，以此来确保基础部分既平整又清洁。接着，严格依照实验方案进行操作，充分地搅拌复合混凝土，并且精准地把控质量以及配合比。在铺设的过程当中，依照复合混凝土防渗与加固施工技术的流程来进行。为了能够进一步提升防渗的性能，在混凝土的表面铺上了一层聚乙烯薄膜，然后使用热风枪加热，让它能够紧密地贴合起来。

### 4.2 结果分析

本研究针对6个堤坝段落开展了水压试验工作，其间还研发制作出了多种不同配比的复合混凝土样品。在实验室中，努力还原贴近真实的施工环境，每一种复合混凝土样品都一一经过了完整且严格规范的水压测试相关流程。在测试进行的过程中，逐步缓缓增加水压大小，并详细记录下每个样品在特定水压之下的渗水量具体数据信息。深入地剖析了渗透系数和防渗性能二者之间存在的紧密联系，针对不同的技术方案所呈现出的防渗效果实施了综合全面的对比评估分析。渗透系数作为用以衡量防渗性能的关键指标参数，数据必须准确无误。渗透系数的计算公式具体如下所示：

$$K=q \times d \times \Delta p / L \quad (1)$$

式中， $q$ 代表的是渗透流量， $d$ 代表的是堤坝段落的厚度； $\Delta p$ 代表的是堤坝两侧存在的压力差； $L$ 代表的是堤坝段落的长度。依照水压试验得出的结果，进行每个堤坝段落计算。把所提出的堤坝复合混凝土防渗与加固施工技术设定成实验组，与此同时，把高压喷射防渗技术以及河道堤岸防护工程施工技术分别设定成对照组1和对照组2。经过对这三种技术在实施之后堤坝段落渗透系数所发生的变化进行细致的对比。对比实验的结果明确展示了堤坝段落DB-01#至DB-06#中，实验组与对照组在渗透系数上的显著差异。具体而言，实验组的渗透系数稳定维持在较低的 $0.48 \times 10^{-6}$

至 $0.60 \times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 范围内。相比之下，对照组的表现大相径庭：对照组1的渗透系数在 $1.12 \times 10^{-6}$ 至 $1.33 \times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 间波动，而对照组2的波动范围更宽，达到 $1.49 \times 10^{-6}$ 至 $2.01 \times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 。这一显著差异主要归因于实验组所采用的复合混凝土防渗墙设计。该设计凭借出色的水流阻隔能力，显著增强了堤坝的防渗性能。此外，实验组还在堤坝两岸坡段实施了双排布孔策略，通过密集的灌浆孔网络，进一步加固了堤坝的防渗屏障，不仅优化了灌浆效果，还实现了对灌浆范围和深度的精准控制，从而进一步增强了堤坝的稳定性。引入劈裂灌浆技术后，实验组堤坝在稳固性和防水性能方面均实现了显著提升。相比之下，堤坝段落DB-01#至DB-06#中的对照组1与对照组2，其渗透系数并未呈现明显差异，普遍保持在 $1.12 \times 10^{-6}$ 至 $2.01 \times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 这一相对较高的范围内。这一结果归因于对照组继续沿用了传统的堤坝防渗技术和施工方法，因此其防渗效果相对有限。综上所述，针对堤坝段落DB-01#至DB-06#，本研究提出的复合混凝土防渗与加固施工技术展现出了卓越且显著的成效，其性能明显优于传统技术<sup>[5]</sup>。

## 5 结束语

在处理水库工程堤坝渗漏问题方面，复合混凝土防渗以及加固施工技术展现出了显著优势。运用合理、科学的防渗加固措施，能够在最大程度上提升堤坝的抗渗性能，同时也能增强其承载能力，进而保证水库工程稳定安全地运行。未来，要持续不断地对复合混凝土防渗以及加固施工技术展开深入研究，推动其在技术层面实现创新以及发展，全方位提升堤坝防渗加固施工技术的整体效能。

## 参考文献：

- [1] 王积功. 水利工程施工中堤坝渗漏原因以及防渗加固技术研究 [J]. 河南科技, 2020, 39(25):60-62.
- [2] 卜祥禹, 马建强. 水利工程施工中堤坝防渗加固技术分析 [J]. 建筑技术开发, 2020, 47(15):99-100.
- [3] 王攀生. 河道堤岸防护工程施工技术在水利工程中的应用分析 [J]. 水上安全, 2023(05):170-172.
- [4] 徐晓兵, 韩小凡, 邓彪, 等. 渠式切割水泥土连续墙(TRD)在赣江某综合整治工程中的应用 [J]. 建筑结构, 2023, 53(10):144-151.
- [5] 李涛. 水利工程堤坝防渗与加固技术研究: 评《水利工程施工技术》 [J]. 人民黄河, 2023, 45(04):168.