

# Innovative application and durability research of anti-seepage reinforcement technology for embankment engineering

Jun Ma Liang Ma

Beijing North Canal Management Office, Beijing, 101100, China

## Abstract

Embankment engineering is of great significance for flood control safety, and anti-seepage reinforcement is the key to ensuring its performance and service life. This article delves into the anti-seepage and reinforcement techniques for embankment engineering, elaborating on traditional and innovative technologies such as grouting, impermeable walls, and nano material modified grouting. Analyze the factors that affect durability, such as material properties, environmental effects, and construction quality, and illustrate the effectiveness of innovative technology applications and durability improvement strategies through engineering cases. Intended to provide technical reference for engineering personnel, promote the development of embankment engineering construction, and ensure the safety of people's lives and property.

## Keywords

embankment engineering; Anti-seepage reinforcement technology; Innovative applications; durability

## 堤防工程防渗加固技术的创新应用及耐久性研究

马骏 马亮

北京市北运河管理处, 中国·北京 101100

## 摘要

堤防工程对防洪安全意义重大, 防渗加固是确保其性能与寿命的关键。本文深入探讨堤防工程防渗加固技术, 阐述传统与创新技术, 如灌浆、截渗墙、纳米材料改性灌浆等。分析影响耐久性因素, 像材料特性、环境作用、施工质量, 并结合工程案例说明创新技术应用效果与耐久性提升策略。旨在为工程人员提供技术参考, 推动堤防工程建设发展, 保障人民生命财产安全。

## 关键词

堤防工程; 防渗加固技术; 创新应用; 耐久性

## 1 引言

堤防工程时防洪体系当中极为关键的组成部分, 它在保护人民生命财产的安全以及推动社会经济实现稳定发展方面, 有着不容忽视的重要作用。在我国, 数量众多的城市、大面积的农田以及各类基础设施依傍着江河湖泊存在, 所以堤防的安全状况直接关联到这些区域的安全性。在长时间的过程里, 堤防一直受到水流冲刷的作用, 同时还要承受渗透压力, 经历干湿循环的情况, 再加上人为因素的影响, 堤防易产生渗漏问题。一旦出现渗漏问题, 这不但会使得堤防的防渗性能有所降低, 而且还有可能进一步引发管涌、流土这样的情况, 甚至严重到出现溃堤重大灾害。也正是因为如此, 研发并且应用防渗加固技术具有重大的实际意义。当下, 创新的防渗加固技术正在不断地涌现, 而针对防渗加固技术展

开的耐久性研究, 其对于确保堤防能够长期处于稳定运行的状态, 同样是极为关键的一件事。若能够深入地探究防渗加固技术在创新应用情况以及其自身的耐久性问题, 就可以给工程的设计以及施工提供具有科学性的依据, 提升堤防工程的质量以及其安全性。

## 2 堤防工程渗漏问题分析

### 2.1 渗漏产生的原因

#### 2.1.1 地质条件因素

地质条件在很大程度上会对堤防工程渗漏状况产生重要影响。砂性土地层存在着孔隙率相对偏高以及渗透性较强的特点, 水流便比较容易渗透其中。而包含断层、裂隙或者岩溶等地质构造的区域, 情况则更为复杂。其中, 断层以及裂隙能够为水流开辟出通道, 在岩溶地区, 溶洞和暗河是有可能与堤防基础相互连通的, 形成极为严重的渗漏通道, 对堤防安全构成严重威胁。

【作者简介】马骏(1997-), 男, 中国北京人, 本科, 从事水利工程研究。

### 2.1.2 设计与施工缺陷

倘若设计方面存在不合理之处，且施工质量未能达到相应标准，那么堤防便极有可能出现渗漏。在设计阶段当中，要是地质勘察工作做得不够详尽细致，就会致使防渗设计方案出现不合理的状况，比如防渗结构的厚度达不到要求，亦或是在材料的选择失当。而在施工的过程中，如填土的压实度有所欠缺、混凝土浇筑环节存在缺陷以及堤身和基础等相互结合的部位没有处理妥当等这些情况，均会促使渗漏的薄弱环节的形成。

## 2.2 渗漏对堤防工程的危害

### 2.2.1 降低堤防稳定性

渗漏这一情况会使得堤身的土体含水量出现增加的情形，与此同时，堤基土体含水量同样也会增加。在此情形下，土体的重度会随之增大，而其有效应力则会相应地减小，抗剪强度降低。当渗流所产生的渗透力超出土体自身的抗渗强度之时，便有可能引发诸如管涌、流土这类的渗透破坏现象。其中，管涌会形成类似管状的通道，而流土则会对土体结构造成破坏，便会严重地削弱堤防的稳定性。

### 2.2.2 加速结构损坏

渗漏水流当中包含着化学物质以及杂质，这些成分往往会对堤防结构材料产生侵蚀作用。混凝土结构的酸性物质、硫酸盐物质会同水泥发生反应，致使其强度有所降低，还会出现裂缝以及剥落的情况。而对于土体结构而言，水流的冲刷作用会带走其中的颗粒，使得土体结构变得松散。并且，渗漏水流还会造成钢筋发生锈蚀，结构整体的强度以及耐久性都会随之降低。

## 3 传统防渗加固技术

### 3.1 灌浆技术

#### 3.1.1 水泥灌浆

水泥灌浆所采用的主要材料便是水泥，需把水泥和水依照特定的比例调配混合成浆液，借助压力使其灌注到堤身或者堤基所存在的孔隙、裂缝渗漏通道当中。水泥材料来源广泛，成本较低，相应的工艺已然十分成熟，在其硬化之后所形成的结石体，具备较好的耐久性，能够较为有效地抵御水流带来的冲刷以及侵蚀作用。不过，普通的水泥存在问题，即其颗粒相对偏大，在细微裂缝或者孔隙较小的通道中，可灌性差，并且在硬化的过程中还会出现收缩的情况，可能产生新的渗漏缝隙。

#### 3.1.2 化学灌浆

化学灌浆运用由化学材料调配而成的浆液，这种浆液具备分子较小以及渗透性较强的特点，能够灌注到细微的裂缝以及微小的孔隙之中，即便处于动水这样的条件下，也可以迅速实现固化。并且，其中部分材料还呈现出粘结强度颇高、耐腐蚀性较为出色。然而，化学灌浆材料存在不足之处，其成本相对较高，而且有一部分材料带有一定的毒性以及刺激性，产生了环保风险，另外，其耐久性还会受到多种多样复杂环境因素的影响。

### 3.1.3 复合灌浆

复合灌浆是把水泥灌浆以及化学灌浆相互结合，或采用多种化学浆液加以组合。首先通过水泥灌浆填充比较大的渗漏通道，再运用化学灌浆来处理较为细微的部分，综合运用不同材料所具备的优势，能够提升防渗的实际效果，使其可以更好地适应复杂的渗漏状况，同时还能降低成本以及二次渗漏风险。不过，其施工工艺比较复杂，对于相关设备以及人员的技术要求颇高。

## 3.2 截渗墙技术

黏土斜墙法的实施方式是在临水侧的堤坡处挖掘出台阶，铺填并压实黏土，以此来形成具备防渗功能的斜墙。这种方法比较适用于堤身断面规模偏小，并且临水侧有着足够滩地的情形。该方法有着诸多特点，其材料的获取来源广泛，所需成本也相对较低，所涉及的工艺也较为简单。不过，在施工过程中，它会对堤坡的稳定性产生一定影响，其防渗的实际效果会受到黏土自身质量以及压实程度的影响，而且在黏土资源比较匮乏的地区开展施工，操作更困难。复合土工膜防渗法的操作流程是，首先对临水侧的坡面进行清理，之后铺设细砂，再铺设复合土工膜，随后再铺中细砂以及进行护坡处理。这种方法适用于临水侧滩地较为狭窄或者是黏土资源缺乏的地区，如果能将其与堤基垂直防渗墙相连接，那么其防渗效果会更好。

### 3.3 其他传统防渗方法

黏土斜墙法的操作流程如下：首先在临水侧堤坡上开挖阶梯状平台，随后将黏土铺设于其上并进行压实处理，以此构建防渗斜墙。这种方法比较适用于堤身断面相对较小，而且临水侧有着足够滩地的情形。该方法有着诸多特点，其材料来源颇为广泛，成本较低，所涉及的工艺简单。不过，在施工时是会对堤坡的稳定性产生一定影响的，其防渗效果会受到黏土质量以及压实度的影响，若在黏土资源比较匮乏的地区进行施工，操作难度较大。复合土工膜防渗法的操作流程是，首先清理临水侧的坡面，铺设上细砂，再铺上复合土工膜，再铺中细砂以及做好护坡。这种方法适用于临水侧滩地比较狭窄或黏土缺乏的地区，如果能和堤基垂直防渗墙连接，那么它的防渗效果将会更好。

## 4 创新防渗加固技术的应用

### 4.1 纳米材料改性技术

纳米材料所涉及的改性技术，在堤防工程的防渗加固方面，呈现出别具一格的优势。把诸如纳米二氧化硅、纳米碳酸钙这类纳米颗粒添加到传统的灌浆材料之中，能够较为明显地改良材料的性能。纳米颗粒依靠其自身具备的小尺寸效应以及表面效应，可以对水泥颗粒之间存在的空隙予以填充，提高浆液的密实程度与强度，使得防渗的效果得以强化。并且，纳米材料的加入还能够促使材料的抗渗性、耐腐蚀性以及耐久性都获得提升，让防渗结构在较为复杂的环境之下可以维持长期的稳定状态。纳米改性水泥灌浆材料在细微裂缝当中的可灌性是有所提升的，在固化之后所形成的结石体

结构会更加致密，能够有效地阻断渗漏通道。

## 4.2 生物矿化技术

生物矿化技术属于新型且环保的防渗加固技术手段。它借助特定微生物自身的代谢活动，产生碳酸钙等矿物质，对土体孔隙或者裂缝加以填充，最终实现防渗加固的预期效果。该技术具备环境友好的特性，同时施工也较为简便，不会给周边生态带任何负面的影响。微生物处在适宜的环境条件之下，会通过分解底物产生碳酸根离子，这些碳酸根离子会和周围环境里的钙离子相结合，形成碳酸钙沉淀。而这些沉淀会慢慢地填充土体孔隙，使得土体渗透性得以降低。生物矿化技术能够适用于多种不同类型的土体，特别是在处理诸如松散砂土这类容易出现渗漏情况的地层时，其效果显著，并且所形成的矿化结构在耐久性方面表现良好。

## 4.3 新型截渗墙技术

在技术持续发展的进程之中，不断有新型的截渗墙技术接连涌现，如塑性混凝土截渗墙以及自凝灰浆截渗墙等。塑性混凝土截渗墙所运用的是塑性混凝土这一材料，它具备着颇为良好的柔韧性和抗裂性能，能够很好地适应地基所产生的变形情况，以降低因为地基沉降而致使墙体出现开裂的可能性，对防渗效果起到提升的作用。而自凝灰浆截渗墙，是将按照特定配比的灰浆灌注到地层当中，这些灰浆会在自身所发生的化学反应的影响之下，慢慢地凝固，形成墙体。其施工的整个过程相对比较简便，而且对地层所造成的扰动也比较小，所以特别适用于地质条件较为复杂的区域。上述这些新型的截渗墙技术，不管是在防渗性能方面，还是在施工效率方面，亦或是在适应性等诸多方面，相较于传统的相关技术而言，都得到了一定程度的提升。

# 5 堤防工程防渗加固的耐久性研究

## 5.1 影响耐久性的因素

### 5.1.1 材料特性

材料自身所具备的性能，在根本上影响着防渗加固结构的耐久性。材料的抗渗性、抗腐蚀性以及强度以及柔韧性等方面，均会对其在长期使用过程中的效果产生直接的影响，抗渗性欠佳的材料往往容易受到水流渗透作用的影响，使得结构内部出现损坏；而对于抗腐蚀性不足的材料而言，当它处于含有化学物质的水环境当中时，就会慢慢地被侵蚀，致使结构强度有所降低。

### 5.1.2 环境作用

环境因素对耐久性带来的影响不容小觑。水流冲刷，干湿循环，冻融循环，温度的改变，化学腐蚀等等，这些情况都会持续地对防渗加固结构发挥作用。长时间存在的水流冲刷情况，会对结构的表面造成磨损的，还会对材料起到破坏作用。而干湿循环以及冻融循环，它们会让材料内部出现应力变化，促使裂缝产生并且还会不断扩展。化学腐蚀会导致材料原本的化学性质发生改变，让材料的性能有所降低。

### 5.1.3 施工质量

施工质量直接关联着防渗加固结构的耐久性。在施工

过程当中，材料配比、施工工艺方面、压实度情况以及连接处理环节等若出现问题，就会致使结构产生缺陷，比如说出现孔隙、裂缝情况。而这些缺陷会变成环境因素对其进行侵蚀的突破口，促使结构的损坏速度加快。

## 5.2 耐久性提升策略

### 5.2.1 材料优化选择

依照工程所在的地质状况以及周遭环境条件挑选契合的防渗加固材料。要优先选用抗渗性能佳、抗腐蚀能力强且具备较高耐久性的材料，像纳米改性材料、高性能混凝土等。与此同时，依据材料自身所具有的特性来开展合理的配比设计工作，以促使材料的综合性能得以提升。

### 5.2.2 施工工艺改进

持续对施工工艺加以改进，以切实确保施工能够达到应有的质量水准。在施工的过程当中，需着重强化对于质量的把控力度，要严格依照设计所提出的要求调配材料的比例，并且规范施工的具体操作流程，保障结构具备应有的密实程度以及完整状态。灌浆施工要妥善控制好灌浆时的压力大小、浆液的浓度等各项参数，以保证浆液可以充分地填充到渗漏通道之中；而在截渗墙施工时，则要确保墙体能够保持连续且完整，尽可能地减少施工过程中出现的各类缺陷情况。

### 5.2.3 监测与维护

建立一套长期有效的监测体系，以针对堤防工程的防渗加固结构展开定期的监测工作，能够及时发现该结构所存在的各类问题。监测内容包括渗流量情况、结构出现的变形状况以及材料性能发生的变化等方面。依据所得到的监测相关结果，进一步采取与之相对应的一系列维护举措，如对裂缝进行修补、补充开展灌浆等操作，以便能够及时对结构所出现的损坏情况加以处理，达到延长其使用寿命的目的。

## 6 结语

堤防工程里的防渗加固方面及其耐久性是保障防洪安全的重要环节。传统的防渗加固技术，在长期的实践过程当中发挥了不容忽视的重要作用。不过，随着工程方面需求一步步地提高，纳米材料改性技术、生物矿化技术还有新型截渗墙技术等创新技术，渐渐地展现出了更为出色的性能表现以及更强的适应性。未来，应加大对新技术的应用，并持续推进技术进步。

## 参考文献

- [1] 杨声玉. 针对堤防工程中堤基处理的河道治理方法研究 [J]. 水利科技与经济, 2025, 31 (07): 129-133.
- [2] 何佳乐. 水利堤防工程防渗加固技术的应用 [J]. 工程技术研究, 2025, 10 (11): 98-100. DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2025.11.032.
- [3] 李兴国. 基于现代技术的水利工程堤防加固与防渗施工方法研究 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (16): 214-216. DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202516071.