

# Research on the application of new technology for seepage prevention treatment of gravel foundation

Xiaohong Yan

Guojigong Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

## Abstract

Gravel foundations, due to their high permeability, are prone to engineering seepage issues, affecting structural safety and functionality. This paper delves into the characteristics of these foundations and the limitations of traditional anti-seepage methods. It provides a detailed explanation and optimization of new technologies such as concrete anti-seepage walls, high-pressure jet grouting, and geotextile membranes. The application effects and quality control are demonstrated through engineering case studies, with quantitative evaluation metrics comparing different techniques. The research explores the future development and innovation directions of these technologies. The findings offer scientific, economical, and reliable solutions for anti-seepage treatment of gravel foundations, which is crucial for ensuring project safety, extending service life, and reducing construction costs.

## Keywords

gravel foundation; seepage prevention treatment; new technology; engineering application; effect evaluation

## 砂砾石地基防渗处理新技术应用研究

闫晓宏

国基建设集团有限公司, 中国·山西太原 030000

## 摘要

砂砾石地基因高渗透性易引发工程渗漏问题,影响结构安全与功能。本文深入剖析其特点及传统防渗方法局限,详细阐述并优化混凝土防渗墙、高压喷射灌浆、土工膜等新技术原理、工艺,结合工程案例展示应用效果与质量控制,量化评估指标对比不同技术,探索技术发展前景与创新方向。研究成果为砂砾石地基防渗处理提供科学、经济、可靠的解决方案,对保障工程安全、延长使用寿命、降低工程造价具有重要意义。

## 关键词

砂砾石地基; 防渗处理; 新技术; 工程应用; 效果评估

## 1 引言

砂砾石地基在工程中很常见,但它的高渗透性常引发渗漏问题,影响工程安全与功能。据统计,过去二十年,30%的水库大坝事故与地基渗漏相关,其中砂砾石地基占比较高,给社会经济带来巨大损失。针对这些问题,传统防渗方法存在不少局限,像黏土斜墙施工复杂、成本高且防渗效果差;混凝土防渗墙在砂砾石地基中成槽困难、易开裂;帷幕灌浆则难以精准控制浆液扩散和注入量。

因此,我们聚焦砂砾石地基防渗处理新技术,探索更高效、经济、可靠的方法。通过理论分析、实验研究和工程实践,为工程技术人员提供科学指导,提升工程防渗水平,保障工程安全稳定。

## 2 砂砾石地基特点及传统防渗方法局限性

### 2.1 砂砾石地基工程地质特性

砂砾石地基主要由砂、砾石等颗粒组成,其粒径大小悬殊,级配复杂,孔隙结构多样。这种地基具有较高的渗透性,孔隙大且连通性良好,形成快速渗流通道,导致渗漏问题严重。同时,砂砾石地基的力学性质独特,抗压强度较高,但在渗流作用下易发生渗透变形,如流土、管涌等,进一步加剧渗漏破坏。

不同地区的砂砾石地基地质特性存在差异。例如,在我国长江中下游地区,砂砾石地基的粒径相对较小,级配较好,渗透系数约为  $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4}$  cm/s;而在黄河中游地区,砂砾石地基的粒径较大,级配较差,渗透系数可达  $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-3}$  cm/s。这些差异给防渗处理带来了不同的挑战<sup>[1]</sup>。

### 2.2 传统防渗方法局限性

#### 2.2.1 混凝土防渗墙

在砂砾石地基中成槽困难,易坍塌、卡槽,墙体与地基结合紧密性难保证,存在渗漏隐患。其刚性特点使墙体易

【作者简介】闫晓宏(1972-),男,中国山西太原人,高级工程师,从事水利施工研究。

受地基变形影响开裂渗漏。在某水利枢纽工程中，混凝土防渗墙施工过程中因砂砾石地基的坍塌导致成槽失败，增加了施工成本和工期。

### 2.2.2 帷幕灌浆

砂砾石地基孔隙大，浆液扩散范围、注入量难精准控制，易产生绕渗、集中渗漏通道，灌浆效果不理想且质量检测难度大。在某水库除险加固工程中，帷幕灌浆后通过注水试验发现多处渗透系数未达到设计要求，表明存在绕渗和集中渗漏问题。

## 3 砂砾石地基防渗处理新技术

### 3.1 改进混凝土防渗墙技术

#### 3.1.1 新型墙体材料

研发高性能混凝土材料，掺入粉煤灰、矿渣粉等掺合料，优化配合比。如添加适量减水剂，在降低用水量的同时提升混凝土和易性与密实度，增强抗渗性能，相比传统混凝土防渗墙材料，渗透系数可降低 1~2 个数量级。实验室试验表明，掺入 20%~30% 粉煤灰的混凝土，其抗渗性能可提高 30%~50%。

#### 3.1.2 成墙工艺优化

采用液压抓斗成槽机、铣槽机等先进设备，提高成槽效率与精度。如液压抓斗成槽机抓斗入槽时，利用液压系统精准控制抓斗姿态与力度，减少槽壁扰动与坍塌风险；成槽后采用导管法浇筑混凝土，配合附着式振捣器振捣，确保墙体密实性与整体性。在某水库大坝工程中，采用改进后的混凝土防渗墙技术，成槽效率提高了 40%，墙体的渗透系数降至  $1 \times 10^{-7}$  cm/s 以下<sup>[2]</sup>。

### 3.2 高压喷射灌浆防渗技术

#### 3.2.1 工作原理

利用高压射流将浆液喷射切割砂砾石地基土体，使浆液与土体颗粒强制混合搅拌，形成具有一定强度与抗渗性能的凝结体。高压泵将浆液压力提升至 20~40MPa，通过喷嘴以极高速度喷出，冲击破坏土体结构，实现混合。在实际应用中，喷射压力的大小需要根据砂砾石地基的密实程度和颗粒大小进行调整。

#### 3.2.2 工艺流程

包括钻机就位、钻孔、插管、喷射灌浆、提升喷射等步骤。钻孔偏差控制在规范范围内，插管时确保管路密封性与通畅性；喷射灌浆时，合理控制喷射压力、流量、旋转速度与提升速度等参数，如压力 25~35MPa、流量 70~100L/min、旋转速度 10~20r/min、提升速度 10~20cm/min，依据地基情况调整，保证凝结体质量。在某水利工程施工中，通过优化高压喷射灌浆参数，使凝结体的均匀性提高了 30%，渗透系数降至  $1 \times 10^{-6}$  cm/s 以下<sup>[3]</sup>。

### 3.3 土工膜防渗技术创新应用

#### 3.3.1 新型土工膜材料

采用厚度 1.5~2.0mm 的高密度聚乙烯 (HDPE) 土工膜，其强度、抗老化性能显著提升。拉伸强度可达 20~30MPa，断裂伸长率 600% - 800%，碳黑含量达 2%~3% 的 UV 稳定

剂，确保在砂砾石地基复杂环境下长期稳定运行。在户外暴晒环境下，添加 UV 稳定剂的 HDPE 土工膜使用寿命可延长 3~5 倍。

#### 3.3.2 铺设与连接工艺

铺设前对砂砾石地基平整度进行处理，清除尖锐物；铺设时采用机械展开、人工辅助方式，确保平整密贴。连接采用热熔焊接技术，焊接前清理膜面污物、水分，调整焊接温度、速度与压力，如温度 300°C ~400°C、速度 2~3m/min、压力 0.2~0.3MPa，保证焊接质量满足渗流控制要求。在某水库工程中，采用新型土工膜防渗技术后，经过两年的运行监测，土工膜未出现老化和破损现象，防渗效果良好<sup>[4]</sup>。

## 4 工程应用案例

### 4.1 工程概况

某水库大坝基础为厚 15~20m 的砂砾石地基，粒径 0.1~10mm，渗透系数达  $1 \times 10^{-3}$  cm/s。传统帷幕灌浆防渗效果不佳，水库蓄水后渗漏损失严重，水位下降快，影响供水发电功能。为解决渗漏问题，决定采用高压喷射灌浆防渗墙与土工膜联合防渗方案。

在该工程中，水库的总库容为 5000 万立方米，设计洪水标准为 100 年一遇，大坝的高度为 45 米，长度为 300 米。砂砾石地基的渗透问题导致水库每年的水量损失高达 10%，严重影响了水库的正常运行和经济效益。

### 4.2 防渗处理方案设计

#### 4.2.1 高压喷射灌浆防渗墙设计

防渗墙深度 18m，墙厚 0.8m，沿大坝轴线方向布置，连续成墙。设计参数依据地基渗透系数、水力坡降等确定，确保渗透系数降至  $1 \times 10^{-6}$  cm/s 以下，满足水库防渗要求。通过数值模拟分析，防渗墙的深度和厚度能够有效阻挡渗流，使大坝的渗透流量减少 90% 以上。

#### 4.2.2 土工膜铺设设计

在防渗墙上游侧铺设双层 HDPE 土工膜，总厚度 3.0mm，铺设范围从坝顶至坝脚，宽度 20m。土工膜与防渗墙、坝体混凝土等结构衔接部位做特殊处理，保证整体防渗效果。土工膜的铺设能够进一步降低渗透流量，提高防渗系统的可靠性。

### 4.3 施工过程与质量控制

#### 4.3.1 高压喷射灌浆施工

钻机定位精确，钻孔垂直度控制在 1% 以内。喷射灌浆时，实时监测各项参数，确保凝结体均匀连续。施工完成后，采用钻孔取芯、注水试验等检测墙身完整性与渗透性，对缺陷部位及时补灌修复。在施工过程中，共进行了 200 余个钻孔的高压喷射灌浆作业，经检测，凝结体的渗透系数均低于  $1 \times 10^{-6}$  cm/s，满足设计要求。

#### 4.3.2 土工膜铺设施工

铺设前严格检验土工膜质量，施工中控制铺设速度与张紧度，避免褶皱、破损。焊接时，对焊缝进行气压检测、真空检测，确保焊缝质量；回填保护层时分层压实，防止土工膜受力破坏。施工全程专人监督，保证各环节质量符合设

计标准。土工膜的焊接质量检测合格率达到 98% 以上,对于不合格的焊缝及时进行了返工修复。

#### 4.4 应用效果评估

##### 4.4.1 渗漏量监测

水库蓄水后,通过库区水位观测、流量监测系统对比发现,渗漏量从治理前的  $150\text{m}^3/\text{h}$  降至  $15\text{m}^3/\text{h}$ , 渗漏损失大幅减少,水库蓄水位稳定在设计高程,有效改善了水库供水发电功能。经过一个汛期的运行,水库的水位保持稳定,未出现因渗漏导致的水位下降问题,供水发电的效率提高了 20%。

##### 4.4.2 环境影响改善

渗漏减少使下游地下水水位恢复正常,周边生态环境得到修复,植被覆盖率提升,河流生态流量得到保障,促进了区域生态平衡。监测数据显示,下游地下水水位在水库蓄水后逐渐回升,周边植被覆盖率在两年内提高了 15%,河流生态流量恢复至正常水平,鱼类等水生生物的数量也有所增加。

### 5 效果评估与对比分析

#### 5.1 防渗效果量化评估指标与方法

##### 5.1.1 渗透系数测定

采用室内渗透试验、现场注水试验等方法。室内试验对砂砾石地基土样及防渗结构取样分析,现场注水试验在防渗处理前后进行,通过达西定律计算渗透系数,准确评估防渗效果变化。在某工程中,通过对比防渗处理前后的渗透系数,发现处理后的渗透系数降低了 3 个数量级,表明防渗效果显著。

##### 5.1.2 单宽渗流量监测

在工程关键部位设置渗流监测断面,安装量水堰、流量计等设备,实时监测渗流量,直观反映防渗处理效果。在某水库工程中,监测结果显示防渗处理后单宽渗流量从  $50\text{L}/(\text{m}\cdot\text{d})$  降至  $5\text{L}/(\text{m}\cdot\text{d})$ , 渗漏损失得到有效控制。

#### 5.2 不同新技术对比分析

##### 5.2.1 改进混凝土防渗墙与高压喷射灌浆防渗墙对比

改进混凝土防渗墙防渗性能优异,渗透系数可达  $1\times 10^{-7}\text{cm/s}$ , 但成本较高,施工设备复杂;高压喷射灌浆防渗墙施工便捷、适应性强,能处理深层地基,渗透系数  $1\times 10^{-6}\sim 1\times 10^{-7}\text{cm/s}$ , 成本相对较低,但在粗颗粒砂砾石地基中质量控制难度稍大。在某水利工程中,采用改进混凝土防渗墙技术的成本比高压喷射灌浆防渗墙技术高出 40% 左右,但在细颗粒砂砾石地基中,其防渗效果更为稳定可靠。

##### 5.2.2 土工膜防渗与高压喷射灌浆防渗墙对比

土工膜防渗技术施工快、造价低,但长期耐久性受环境影响大;高压喷射灌浆防渗墙耐久性好,能与土工膜联合使用,优势互补,提升综合防渗性能。在某水库工程中,单独采用土工膜防渗的使用寿命预计为 15~20 年,而与高压喷射灌浆防渗墙联合使用后,使用寿命可延长至 30 年以上。

#### 5.3 与传统方法对比分析

##### 5.3.1 改进混凝土防渗墙与传统混凝土防渗墙对比

改进后墙体渗透系数降低 90% 以上,成槽效率提高

30%~40%,成本减少 20%~30%,有效解决了传统混凝土防渗墙在砂砾石地基中的质量与成本问题。在某水利枢纽工程中,采用改进混凝土防渗墙技术后,施工工期缩短了 3 个月,成本降低了 25%,防渗效果显著提高。

##### 5.3.2 高压喷射灌浆防渗墙与帷幕灌浆对比

高压喷射灌浆防渗墙渗透系数较帷幕灌浆降低 2~3 个数量级,施工周期缩短 40%~50%,工程造价降低 30%~40%,克服了帷幕灌浆在砂砾石地基中效果不佳的难题,为工程防渗提供更优选择。在某水库除险加固工程中,采用高压喷射灌浆防渗墙技术后,施工周期比帷幕灌浆缩短了 6 个月,造价降低了 35%,经过检测,防渗效果达到设计要求。

### 6 应用与展望

技术发展前景:未来将研发纳米复合防渗材料与智能防渗材料。纳米复合材料利用纳米颗粒特性,可将渗透系数降至  $1\times 10^{-8}\text{cm/s}$  以下;智能防渗材料能够实时监测渗漏并自动修复,可延长防渗系统使用寿命 20%~30%。同时,借助物联网、大数据及机器人技术,推动防渗施工自动化与智能化,如机器人铺设焊接土工膜,提高施工精准度与效率,通过传感器实时采集数据并智能分析调整参数,保障施工质量。

技术创新与改进方向:一是优化复合防渗结构,研究多种防渗技术组合,借助数值模拟与试验确定最佳形式与参数,使防渗效果相比单一结构提高 40%~60%。二是发展质量检测技术,开发高精度无损检测技术,利用电磁波、超声波检测防渗结构内部缺陷,检测精度可达 95% 以上,及时修复降低质量风险。

### 7 结语

砂砾石地基防渗处理新技术在实际工程中展现出显著优势,有效解决传统难题。它们凭借优异性能,为工程防渗提供全新选择。未来,我们应持续加大研发投入,推动技术创新升级。通过开发新型防渗材料,提升技术性能与适应性,拓展其应用范围。同时优化施工工艺,提高效率,降低成本,使新技术更易推广应用。

此外,强化质量检测与监测技术研究,确保工程长期稳定运行。相关行业需紧密合作,共享经验,攻克技术难题。如此,我们必能为工程建设筑牢防渗屏障,助力行业可持续发展,为社会创造更多安全、耐久的工程设施。

#### 参考文献

- [1] 李永威,丁海滨,傅金阳,等.振动作用下砾石土渗透特性试验研究[J/OL].工程科学与技术,1-12[2025-05-25].
- [2] 姚伯清,邢义军.水电站水库混凝土坝防渗墙施工技术研究[J].重庆建筑,2023,22(04):71-73.
- [3] 石蓝星,朱春光,罗京蕾,等.高压喷射灌浆防渗墙在堤防渗漏处理中的应用[J].水利技术监督,2025(05):309-312.
- [4] 邓伯均,黄涛涛,张镗.某水库工程全库盆土工膜防渗结构设计研究[J].东北水利水电,2025,43(03):5-9+71.