

# 防渗技术在水利工程施工中的应用

龚晓锋

启东市水务局堤闸管理所 江苏 南通 226200

**摘要：**水利工程渗漏问题直接影响工程安全与使用寿命，其成因涵盖历史遗留问题、施工管理缺陷、运行年限过长、施工技术不足及结构改变等多重因素。当前，防渗技术在水利工程施工中应用广泛，主要包括灌浆防渗技术、防渗墙技术、土工合成材料防渗技术及混凝土防渗技术。为提升防渗技术应用效果，需严格把控材料质量、落实施工标准、制定科学计划并强化监督检查，以保障水利工程的可靠性与耐久性。

**关键词：**防渗技术；水利工程；施工应用

引言：水利工程作为民生与经济发展的重要基础设施，其防渗性能是工程安全运行的关键保障。近年来，因地质条件复杂、施工管理疏漏、材料老化等因素，水利工程渗漏问题频发，不仅导致水资源浪费，更可能引发坝体塌陷、结构损坏等安全事故。深入分析渗漏成因并应用高效防渗技术，成为水利工程施工领域的核心课题。从水利工程渗漏的主要原因出发，系统阐述各类防渗技术的应用场景与工艺特点，并提出针对性的优化措施，为提升水利工程防渗施工水平提供理论与实践参考。

## 1 水利工程渗漏的主要原因

### 1.1 历史遗留问题

水利工程中的历史遗留渗漏问题，多源于早期工程建设标准与技术条件的局限性。20世纪中期以前的水利工程，受限于当时勘察设计水平，常出现地质勘探不充分、防渗方案设计简陋等问题。例如，部分土坝建设未对坝基透水层进行有效处理，或采用黏土等传统材料筑坝，因材料抗渗性不足及长期水侵蚀作用，逐渐形成渗漏通道。

### 1.2 施工管理不善

施工管理疏漏是导致水利工程渗漏的关键人为因素。部分项目在施工中存在材料管控不严现象，如使用不合格的水泥、骨料或止水带，其抗渗性能不满足设计要求，成为后期渗漏隐患。施工过程中，工序衔接不规范问题尤为突出，例如基础清基不彻底即浇筑混凝土，导致结合面存在夹泥层；止水带安装偏移或焊接不牢，形成渗水通道。

### 1.3 运行年限较长

长期运行导致的结构老化是水利工程渗漏的常见诱因。水利工程历经数十年运行后，受水流冲刷、冻融循环、地基沉降等自然因素影响，防渗体系逐渐退化。例如，混凝土坝体因碳化作用使保护层剥落，钢筋锈蚀引

发裂缝；土坝坝体填土在长期渗透压力下，颗粒级配发生变化，形成集中渗漏通道。金属止水片因氧化腐蚀出现断裂，沥青防渗层因老化失去柔韧性而开裂。

### 1.4 施工因素影响

施工技术与工艺缺陷直接影响水利工程的防渗性能。部分项目在施工中未充分考虑地质条件差异，如在卵砾石地层采用常规灌浆工艺，因颗粒间隙大、漏浆严重导致帷幕不连续；或在高边坡地段浇筑混凝土防渗墙时，未控制成槽垂直度，造成墙体厚度不均、局部透水。季节性施工措施不当亦会引发渗漏，如冬季混凝土浇筑未采取保温措施，导致早期冻胀裂缝；雨季基坑排水不及时，使地基土被水浸泡后承载力下降，引发防渗体沉降开裂。

### 1.5 结构改变因素

水利工程结构形态的改变可能破坏原有防渗体系。因功能调整或扩建需求，对原有坝体、堤身进行改扩建时，新旧结构衔接处易形成防渗薄弱环节。例如，在老坝体上增设混凝土防渗墙时，若未对结合面进行有效处理，会导致墙底与坝基接触部位漏水；或因新增建筑物荷载使地基产生不均匀沉降，拉裂原有防渗铺盖。

## 2 防渗技术在水利工程施工中的应用

### 2.1 灌浆防渗技术

#### 2.1.1 高压喷射灌浆技术

高压喷射灌浆技术通过高压喷射设备将水泥浆液高速喷射入地层，与土体颗粒搅拌混合，凝固后形成连续防渗墙体。施工时，利用高压泵将水泥浆以20-40MPa压力从喷嘴喷出，同时旋转提升钻杆，使浆液与松散土体充分置换、挤压，形成圆柱状或板墙状凝结体。该技术适用于粉土、砂土、淤泥质土等软土地层，能有效封堵孔隙与裂隙，防渗效果显著。例如，在河道堤坝防渗处理中，可根据渗漏情况调整喷射参数，形成0.3-1.2米厚的

防渗墙，渗透系数降低至 $10^{-6}$ - $10^{-8}$ cm/s。其优势在于施工灵活、对周边环境扰动小，但对卵砾石含量过高或基岩坚硬地层适应性较差，需结合地质条件合理选用。

### 2.1.2 土坝坝体劈裂灌浆技术

土坝坝体劈裂灌浆技术针对土坝坝体渗漏问题，通过在坝体轴线布置灌浆孔，利用压力使坝体沿轴线方向劈裂，注入浆液形成防渗泥墙。施工时，采用低压、慢灌、多次复灌的方式，使浆液在劈裂缝中充填、挤压，改善坝体密实度并封堵渗漏通道。该技术特别适用于均质土坝或心墙坝的防添加固，能有效处理坝体内部的松散层、裂缝及坝基接触带渗漏。例如，某黏土心墙坝经劈裂灌浆后，坝体浸润线明显降低，渗流量减少80%以上。其原理是利用“以浆治坝”的理念，通过浆液压力压实土体，兼具防渗与加固双重作用，且施工成本低、工期短，是土坝防渗的常用技术之一。

### 2.1.3 卵砾石层帷幕灌浆技术

卵砾石层帷幕灌浆技术主要用于处理卵砾石地层的渗漏问题，通过分段钻孔、分段灌浆的方式，在地基中形成连续的防渗帷幕。施工时，先采用套管护壁成孔，再逐段拔除套管并灌注水泥黏土浆或化学浆液，利用浆液的渗透、充填与胶结作用，填充卵砾石间的孔隙，形成防渗屏障。该技术适用于河床覆盖层深厚、颗粒级配复杂的水利工程，如水库大坝基础防渗。为提升防渗效果，常结合高压旋喷灌浆或防渗墙技术，形成复合防渗体系。

## 2.2 防渗墙防渗技术

### 2.2.1 抓斗成槽防渗墙技术

抓斗成槽防渗墙技术通过液压抓斗直接开挖槽段，形成连续的墙体以阻隔渗流。施工时，利用抓斗的斗体开合与垂直升降，将土体直接抓取运输至地面，分段开挖后浇筑混凝土形成防渗结构。该技术适用于黏土、砂土及粒径较小的砂砾石地层，成槽效率高，单日可完成10-15米槽段开挖，且成槽精度可控，垂直度偏差小于0.3%。其优势在于机械化程度高、对周边环境扰动小，但对大粒径孤石、漂石地层适应性较差，需配合预破碎处理，以保障成槽质量与施工安全。

### 2.2.2 冲击成槽防渗墙技术

冲击成槽防渗墙技术借助冲击钻机的重锤反复冲击破碎岩土，通过泥浆护壁形成槽段，最终浇筑混凝土形成防渗墙体。施工时，重锤以10-20次/分钟的频率冲击地层，将破碎后的岩渣利用泥浆循环带出孔外。该技术对复杂地层适应性强，尤其适用于卵砾石、孤石及基岩地层，可处理粒径达2米的大块石。例如，在山区水库坝

基防渗工程中，冲击成槽技术成功穿透深厚的卵砾石覆盖层，形成防渗效果优异的混凝土墙。其缺点是施工效率较低，单槽段成槽周期约3-5天，且需严格控制泥浆指标，防止塌孔风险，常用于地质条件复杂、对防渗要求高的工程场景。

### 2.2.3 射水法防渗墙技术

射水法防渗墙技术利用高压水流切割土体，结合泥浆护壁形成槽段，再浇筑混凝土构筑防渗墙。施工时，通过射水造墙机的喷嘴喷射20-30MPa高压水流，破碎土体并由泥浆携带岩渣排出，同时利用成型器修整槽壁，确保墙体厚度均匀。该技术适用于粉土、砂土及软土地层，成墙厚度一般为0.2-0.4米，造墙速度可达80-120平方米/天。例如，在中小型河道堤防防渗工程中，射水法以其高效、经济的特点被广泛应用，墙体渗透系数可低至 $10^{-7}$ cm/s。其优势在于设备轻便、操作简便，施工成本较其他方法降低20%-30%，但对硬质地层及大粒径颗粒处理能力有限，多用于浅层防渗加固。

## 2.3 土工合成材料防渗技术

### 2.3.1 土工膜防渗技术

土工膜防渗技术以高分子聚合物材料为核心，通过铺设连续的土工膜隔绝水流，达到防渗目的。常用的土工膜材料包括聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）等，其具有极低的渗透系数（通常小于 $10^{-12}$ cm/s）和良好的耐腐蚀性。施工时，需先对铺设基面进行平整压实处理，确保无尖锐物损伤膜体，再采用热熔焊接或胶黏剂将土工膜拼接成整体，搭接宽度一般不小于10cm。该技术广泛应用于水库库底、渠道防渗等工程，如在某大型灌区改造中，铺设复合土工膜后，渠道渗漏量减少超90%。其优势在于施工便捷、防渗效果显著，且能适应一定程度的地基变形；但对紫外线和机械损伤敏感，需配合保护层施工，以延长使用寿命。

### 2.3.2 土工织物防渗技术

土工织物防渗技术利用透水性土工织物与其他材料结合，形成兼具排水与防渗功能的复合结构。土工织物多由聚酯、聚丙烯等纤维编织而成，通过过滤、排水作用减少土体中的孔隙水压力，抑制渗透破坏。施工时，常将土工织物与黏土、土工膜等组合使用，如在堤坝背水坡铺设土工织物反滤层，可有效防止管涌；或在土石坝心墙与坝壳之间铺设土工织物，增强界面稳定性。该技术尤其适用于处理土体渗透变形问题，在河道护坡、围堰工程中应用广泛。

## 2.4 混凝土防渗技术

### 2.4.1 普通混凝土防渗技术

普通混凝土防渗技术通过合理设计混凝土配合比、严格控制施工工艺,利用混凝土自身密实性实现防渗功能。施工时,需根据工程抗渗要求确定混凝土等级(如P6-P12),选用低水化热水泥、级配良好的骨料,并控制水灰比在0.45-0.6之间,以减少孔隙率。在浇筑过程中,采用振捣棒充分振捣,确保混凝土密实,避免出现蜂窝、麻面等缺陷;同时设置伸缩缝与止水带,防止因温度变化或地基沉降产生裂缝。该技术常用于水库大坝、渡槽等永久性水工建筑物,如某重力坝采用C25抗渗混凝土浇筑后,坝体渗流量满足设计标准。其优势在于耐久性强、防渗效果稳定,但对施工工艺要求高,易因振捣不密实或养护不当产生渗漏隐患,需严格把控施工质量。

#### 2.4.2 纤维混凝土防渗技术

纤维混凝土防渗技术是在普通混凝土中掺入合成纤维(如聚丙烯纤维、聚酯纤维)或钢纤维,通过改善混凝土抗裂性能提升防渗效果。纤维的加入可有效抑制混凝土早期塑性收缩裂缝的产生,提高其韧性与抗渗能力。施工时,纤维按0.9-1.8kg/m<sup>3</sup>的掺量均匀分散于混凝土拌合物中,搅拌时间需延长30-60秒,确保纤维分散均匀。该技术适用于对防渗抗裂要求高的工程,如薄壁渡槽、渠道衬砌等。相比普通混凝土,纤维混凝土具有抗裂、抗冲击性能优异的特点,尤其适合应对温度变化频繁或动荷载作用的工况,但需注意纤维掺量过高可能影响混凝土和易性,需通过试验优化配合比。

### 3 加强防渗技术应用的措施

#### 3.1 严格把控材料质量

材料质量是保障防渗技术效果的基础。在水利工程施工中,需建立严格的材料采购与检验制度。对于水泥、骨料、土工膜、止水带等关键防渗材料,采购前应审核供应商资质,要求提供质量检验报告及产品合格证,优先选用通过国家认证的品牌。进场后,按批次进行抽样复检,例如对水泥检测其强度、凝结时间及安定性,对土工膜测试拉伸强度、渗透系数等指标,严禁不合格材料进入施工现场。同时,加强材料存储管理,对易受潮的水泥设置防潮仓,对土工合成材料采取遮阳、防雨措施,避免因存储不当导致性能劣化。

#### 3.2 落实施工规定和标准

规范施工是防渗技术有效应用的核心。施工单位需

严格执行《水利水电工程施工质量检验与评定规程》等国家标准,针对不同防渗工艺制定详细的作业指导书。混凝土防渗墙浇筑前,需对槽段垂直度、沉渣厚度进行验收。建立技术交底制度,确保施工人员掌握关键工艺要点,避免因操作不当造成防渗缺陷。同时,推行样板引路原则,在大面积施工前选取典型区域进行试验段施工,验证工艺可行性并总结经验。

#### 3.3 制定科学施工计划

科学的施工计划是防渗工程顺利实施的保障。需结合工程地质条件、气候环境及施工工艺特点,合理安排工期与资源调配。冬季施工时,制定混凝土保温养护专项方案,确保强度增长不受冻害影响。优化施工工序衔接,如在灌浆防渗作业中,采用分段流水作业,提高施工效率同时保证灌浆连续性。同时,引入BIM技术进行施工模拟,提前预判施工风险,动态调整进度计划。

#### 3.4 加大监督检查力度

强化监督检查是提升防渗工程质量的关键手段。建立“施工单位自检、监理单位平行检验、建设单位抽查”的三级质量监督体系,明确各环节检查标准与责任。施工过程中,监理人员需对灌浆压力、混凝土坍落度、土工膜焊接质量等关键工序进行旁站监督,留存影像资料。定期开展质量专项检查,采用地质雷达、超声波等无损检测技术,对防渗墙完整性、灌浆密实度进行检测,及时发现内部缺陷。对检查中发现的问题,建立整改台账,明确整改责任人与期限,实行闭环管理。

#### 结束语

综上所述,防渗技术是保障水利工程安全运行、提升水资源利用效率的核心环节。面对渗漏成因的复杂性与多样性,高压喷射灌浆、防渗墙、土工合成材料等多元化技术手段为工程实践提供了有力支撑。然而,技术应用效果的发挥仍依赖于严格的材料管控、规范的施工流程、科学的计划安排及全面的监督体系。

#### 参考文献

- [1]段凯涛.浅析水利工程建设施工中防渗技术的应用[J].建筑工程技术与设计,2019,(36):2778-2779
- [2]李燕.水利工程施工中防渗技术的应用分析[J].农业科技与信息,2019,(24):396-397.
- [3]苏敏.关于水利工程施工中防渗技术的应用[J].建筑工程技术与设计,2019,(31):2496-2497