

# 水利水电工程防渗技术研究

石书苹

洛阳水利勘测设计有限责任公司 河南 洛阳 471000

**摘要:** 水利水电工程渗漏问题直接威胁工程安全与功能发挥,是工程建设与运维的核心防控要点。本文针对水利水电工程渗漏成因及危害展开分析,明确地质、设计、施工及运维为主要成因,渗漏危害涵盖安全、功能、经济及生态多维度。系统探讨坝基、坝体、渠道及边坡防渗关键技术要点,阐述新型防渗材料的应用规范。研究旨在为水利水电工程防渗设计、施工及材料选型提供技术参考,助力提升工程防渗效果与长效稳定性,保障工程安全高效运行。

**关键词:** 水利水电工程; 防渗关键技术; 新型材料应用

引言: 水利水电工程作为水资源调控与能源供应的核心基础设施,其运行稳定性与安全性至关重要。渗漏是水利水电工程普遍存在的隐患问题,易引发工程结构失稳、水资源流失及生态破坏等连锁反应,制约工程综合效益发挥。随着水利水电工程建设规模扩大与工况复杂度提升,传统防渗技术与材料已难以满足高标准防渗需求。基于此,本文深入研究渗漏成因及危害,系统梳理核心防渗技术,探讨新型防渗材料应用,为工程防渗体系优化提供理论与实践支撑。

## 1 水利水电工程渗漏成因及危害分析

### 1.1 渗漏成因分析

水利水电工程渗漏成因复杂,核心可归结为地质、设计、施工及运行维护四大关键因素。地质条件是基础诱因,工程区域岩土体的渗透性直接影响渗漏风险,松散土体孔隙率高、岩体裂隙或断层发育等,易形成天然渗透通道,若地质勘察不充分,将直接埋下渗漏隐患。设计层面的先天不足同样关键,防渗结构选型偏差、防渗参数取值不合理、防渗范围界定不全面等,会导致防渗系统无法有效阻断水流渗透路径。施工质量缺陷是渗漏的重要诱发因素,防渗材料铺设不密实、接缝处理不严密、混凝土浇筑存在质量瑕疵等施工疏漏,会破坏工程防渗完整性。此外,长期运行中自然因素侵蚀与维护不当,会加剧防渗结构老化破损,进一步诱发或加重渗漏。

### 1.2 渗漏危害分析

渗漏对水利水电工程及周边环境危害深远,主要体现在安全、功能、经济及生态四大维度。安全层面,渗漏产生的动水压力易引发管涌、流土等灾害,导致工程主体结构承载力下降,严重时引发坝体失稳、溃坝等重大安全事故。功能层面,渗漏造成水资源大量流失,降低工程蓄水、供水及灌溉效率,削弱工程核心功能。经

济层面,渗漏携带的泥沙会淤积设施内部及下游河道,增加清淤维护成本,同时工程修复需投入大量资金。生态层面,渗漏导致周边地下水位异常上升,引发土壤盐渍化、沼泽化,破坏农作物生长环境,影响居民生产生活,加剧生态失衡<sup>[1]</sup>。

## 2 水利水电工程防渗关键技术

### 2.1 坝基防渗关键技术

坝基作为工程渗漏防控的核心区域,防渗技术实施需紧密匹配地质条件,核心技术要点如下:(1)灌浆防渗技术,依据坝基地质类型精准选用灌浆材料与工艺,岩基优先采用水泥灌浆,对于裂隙发育较密集的岩基,可选用超细水泥浆或水泥-水玻璃双液浆,通过高压注浆设备将浆液匀速注入岩体裂隙,形成连续、致密的防渗帷幕;松散土体地基则采用水泥黏土混合灌浆,根据土体孔隙率调整黏土掺量,一般黏土掺量控制在20%-40%,以提升浆液扩散性与防渗稳定性。施工中需严格把控浆液配比、灌浆压力、灌浆顺序及结束标准,灌浆压力需根据地质承载力分级调控,避免压力过大引发地基扰动,同时通过钻孔检测验证防渗帷幕厚度均匀性与衔接连续性,确保无渗漏薄弱段。(2)防渗墙技术,适用于深层松散地基或复杂地质工况,按工艺分为混凝土防渗墙、塑性混凝土防渗墙、钢板桩防渗墙等,其中塑性混凝土防渗墙因具备良好的变形适应性,更适用于软土地基。施工核心是保障槽孔开挖精度与稳定性,采用泥浆护壁工艺防止槽壁坍塌,泥浆比重需根据土层特性动态调整,槽孔开挖完成后需进行清孔处理,去除孔底沉渣。同时严控墙体混凝土浇筑质量,采用导管法连续浇筑,避免出现断桩、夹泥等缺陷,确保墙体与坝体、基岩衔接密实,形成完整垂直防渗屏障。(3)置换夯实防渗技术,针对浅层软弱地基,采用分层开挖置换不良土体、回填防渗性能优良材料(压实土、灰土、三合土

等)并分层夯实的方式,提升地基密实度与防渗性。置换深度需结合地质勘察资料确定,一般不小于3米,回填材料需提前进行含水率试验,控制最优含水率范围,夯实采用振动碾或蛙式打夯机,根据回填层厚度确定夯实遍数,通常不少于3遍,确保置换层压实度达标,杜绝局部渗漏通道。(4)截水墙防渗技术,在坝基上游侧设置截水墙阻断浅层渗透水流,墙型根据地质条件选用黏性土截水墙、混凝土截水墙等,黏性土截水墙需选用塑性指数大于17的优质黏土,混凝土截水墙强度等级不低于C15。施工中需保证墙体与周边土体或岩体结合紧密,墙体两侧采用台阶式搭接,搭接宽度不小于50厘米,浇筑或回填过程中及时排除界面气泡与空隙,避免出现缝隙渗漏。

## 2.2 坝体防渗关键技术

坝体防渗需兼顾材料性能与结构完整性,核心技术要点涵盖:(1)土质坝体防渗技术,核心为防渗体合理布设,主要形式包括心墙防渗、斜墙防渗、均质坝防渗。心墙防渗选用黏土、膨润土等低渗透材料,渗透系数需小于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ,布设于坝体中部,心墙顶部高程需高于正常蓄水位0.5-1.0米,需确保与坝基防渗系统顺畅衔接,衔接处采用扩大接触面增强密封性;斜墙防渗铺设于坝体上游坡面,斜墙厚度根据防渗要求确定,一般不小于1.0米,配套设置砂砾石垫层与干砌石保护层防止水流冲刷。施工中需严格控制防渗材料压实度,采用环刀法实时检测,压实度不低于96%,避免出现孔隙、裂缝等质量缺陷。(2)混凝土坝体防渗技术,重点防控裂缝与接缝渗漏。施工缝、沉降缝处设置止水铜片、橡胶止水带等构造,止水铜片厚度不小于1.5毫米,橡胶止水带需选用天然橡胶材质,止水构造需预埋到位,保证接缝密封严密;运行期产生的裂缝需先进行裂缝宽度与深度检测,宽度大于0.2毫米的裂缝采用压力灌浆封堵,选用环氧树脂、聚氨酯等化学浆液精准注入填充,灌浆压力需控制在0.3-0.5MPa,避免压力过大扩大裂缝。同时可在混凝土表面涂刷渗透结晶型防渗涂层,涂层厚度不小于1.5毫米,涂刷前需对混凝土表面进行打磨、除尘处理,提升涂层附着力。(3)坝体防渗加固技术,针对老旧坝体渗漏问题,可采用坝体培厚加固,在upstream侧回填防渗材料并压实,培厚宽度根据渗漏程度确定,一般不小于2米;或采用高压喷射灌浆技术,选用三重管法喷射,形成直径不小于80厘米的防渗固结体,在坝体内部形成连续防渗帷幕,提升整体防渗性能<sup>[2]</sup>。

## 2.3 渠道防渗关键技术

渠道防渗以降低输水渗漏损失为核心,技术选择需

适配地形、流速等工况,关键点如下:(1)刚性材料防渗技术,常用材料为混凝土、浆砌石、预制混凝土板等。现浇混凝土防渗需选用C25-C30混凝土,控制配合比与坍落度,坍落度宜为50-70毫米,保证表面平整,板块间设置伸缩缝,缝间距不大于4米,伸缩缝内填充沥青杉木板或聚氨酯密封胶;浆砌石防渗采用M7.5水泥砂浆砌筑,选用强度等级不低于MU30的石块,注重灰缝饱满度与墙体平整度,灰缝厚度控制在20-30毫米,采用水泥砂浆勾缝增强密封性。该技术适用于流速较大、地形平缓的渠道段落,抗冲刷能力较强。(2)柔性材料防渗技术,核心为土工膜、复合土工膜铺设,土工膜选用高密度聚乙烯材质,厚度不小于0.5毫米,复合土工膜选用“膜-布”复合结构,具有防渗效果好、施工便捷的特点,适用于地形复杂、地基变形较大的渠道。施工前需平整夯实渠基,压实度不低于93%,清除尖锐杂物,避免刺破膜体;铺设时保证膜体平整,搭接宽度不小于10厘米,搭接处采用热融焊接或专用粘接剂处理,焊接温度控制在200-230℃,焊接后进行充气检测,确保密封严密,同时配套设置5-10厘米厚的砂砾石保护层防止膜体破损。(3)土壤改良防渗技术,通过在渠道土壤中掺入膨润土、石灰、水泥等改良剂,降低土壤渗透性,膨润土掺量一般为土壤干重的3%-5%,石灰掺量为5%-8%,适用于中小型渠道或生态要求较高的区域。施工中需控制改良剂掺量、搅拌均匀度及回填压实度,采用旋耕机搅拌不少于3遍,回填后分层夯实,压实度不低于94%,确保改良层防渗性能稳定。(4)生态防渗技术,采用种植根系发达的草本、灌木等植被,如狗牙根、紫穗槐等,利用根系固结土壤减少渗漏,同时兼具生态防护功能。需选择适配当地气候与土壤条件的植被品种,采用混播方式提升覆盖效果,播种量根据植被品种确定,保障植被成活率与覆盖度,后期需定期进行养护管理,及时补种枯萎植株。

## 2.4 边坡防渗与排水协同技术

边坡渗漏易引发失稳灾害,需构建防渗与排水协同体系,关键技术要点包括:(1)边坡表层防渗技术,采用防渗膜覆盖、喷射混凝土、浆砌石防护墙等方式形成表层屏障。岩质边坡优先采用C20喷射混凝土结合锚杆支护,喷射混凝土厚度不小于10厘米,锚杆长度根据边坡高度确定,一般不小于2.5米,兼顾防渗与稳定性;土质边坡采用土工膜覆盖,配套植被防护提升抗冲刷能力。施工需保证覆盖层与边坡贴合紧密,边坡坡面平整度误差小于5厘米,避免空鼓、松动,接缝处密封严密。(2)边坡内部防渗技术,针对内部裂隙、软弱夹层,采

用注浆封堵技术,注入水泥浆、化学浆液等填充渗漏通道,对于细微裂隙选用化学浆液,对于宽裂隙选用水泥-砂浆液;深层渗漏可设置垂直防渗井、水平防渗廊道,垂直防渗井间距不大于10米,水平防渗廊道坡度不小于1%,阻断深层渗透水流。注浆施工需通过物探手段精准定位渗漏通道,控制浆液扩散范围与凝固时间,水泥浆凝固时间控制在4-8小时。(3)配套排水技术,表层设置排水沟、截水沟疏导雨水,排水沟断面尺寸根据汇水量确定,一般采用梯形断面,边坡比为1:1.5,避免雨水下渗;内部布设排水盲沟、渗沟、排水孔等,排水盲沟采用砂砾石填充,渗沟设置反滤层防止堵塞,排水孔采用PVC管,间距不大于3米,及时排出边坡内部渗透水,降低孔隙水压力。排水系统需保证坡度合理、排水畅通,出口设置消能坎防止冲刷。(4)防渗-加固一体化技术,对于稳定性较差的渗漏边坡,采用防渗墙与锚杆、锚索加固结合的方式,防渗墙采用钢筋混凝土结构,锚杆、锚索间距根据边坡稳定性计算确定,在阻断渗漏的同时提升结构承载能力。施工中需协调防渗施工与加固施工顺序,先进行加固施工再实施防渗施工,确保两者协同作用,保障边坡整体稳定<sup>[3]</sup>。

### 3 新型防渗材料在水利水电工程中的应用

新型防渗材料凭借优良的性能优势,在水利水电工程防渗中应用日益广泛,核心应用要点如下:(1)高分子复合防渗材料,以复合土工膜、高密度聚乙烯土工膜为代表,具有防渗性能强、抗老化、抗腐蚀及施工便捷的特点。应用中需根据工程防渗等级确定材料厚度与复合层数,施工前做好基底平整夯实与杂物清除,铺设时严控搭接宽度与焊接质量,采用热融焊接工艺确保接缝密封,配套设置保护层避免材料破损。(2)渗透结晶型防渗材料,多应用于混凝土构筑物防渗补强,材料能在水的作用下渗透至混凝土内部,与水化产物反应形成不

溶性结晶,堵塞毛细孔隙与微裂缝。使用时需保证混凝土基层坚实、洁净,按比例调配材料浆料,采用涂刷或喷涂工艺施工,控制涂层厚度均匀,施工后做好养护确保结晶充分生成。(3)生态型防渗材料,包括膨润土防水毯、植被混凝土等,兼具防参与生态防护功能。膨润土防水毯应用时需保证搭接处膨润土填充密实,避免出现搭接缝隙;植被混凝土则需合理调配骨料、水泥与植被种子比例,确保材料防渗性与植被成活率,适用于生态要求较高的边坡、渠道防渗场景。(4)高性能化学灌浆浆材料,如聚氨酯灌浆材料、环氧树脂灌浆材料等,适用于裂缝封堵与渗漏通道处理。应用中需根据渗漏介质与裂缝尺寸选择适配材料,精准控制浆液配比与灌浆压力,确保浆液充分填充渗漏空间并固化成型<sup>[4]</sup>。

结束语:水利水电工程防渗技术的优化与应用是保障工程安全长效运行的关键。本文通过分析渗漏成因及危害,系统梳理了多场景下的防渗关键技术,并探讨了新型防渗材料的应用要点,形成了较为完整的防渗技术体系梳理。随着材料科学与施工技术的发展,防渗技术将向生态化、智能化方向进阶。工程实践中,需结合具体地质与工况条件,实现技术与材料的精准适配,强化施工质量管控,持续提升工程防渗水平,为水利水电工程综合效益发挥提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]赵首全.水利水电工程中防渗技术的应用研究[J].现代工业工程,2025(6):82-84.
- [2]董艳霞.水利水电工程施工中防渗技术研究[J].水上安全,2025(7):130-132.
- [3]李延霖.水利水电工程的防渗渠道施工技术研究[J].水上安全,2025(9):110-112.
- [4]马洋,陈焕凤,马卫,蒋昂.水利水电工程防渗施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(8):72-74.