

防渗处理施工技术在水利工程中的具体应用

谷存坤

鄄城县水库管理处 山东 菏泽 274600

摘要: 防渗处理施工技术在水利工程中至关重要,其通过垂直防渗(如混凝土防渗墙、高压喷射灌浆、帷幕灌浆等)与水平防渗(如土工膜、黏土铺盖)技术,构建多层次防渗体系。在堤防、水库、渠道等工程中,防渗技术可有效阻断渗流通道,降低渗透压力,防止管涌、流土等隐患,延长工程使用寿命。结合地质勘察与新型材料应用,防渗施工显著提升了水利工程的整体安全性与耐久性。

关键词: 防渗处理施工技术;水利工程;具体应用

引言:水利工程作为国家基础设施的关键部分,在防洪、灌溉、供水及发电等方面发挥着不可替代的作用。然而,渗漏问题长期困扰着水利工程的安全与稳定运行,不仅可能导致水资源浪费,还可能引发工程结构损坏,甚至威胁周边地区安全。防渗处理施工技术作为解决这一问题的核心手段,通过科学选型与精准施工,能够有效阻断渗流路径,提升工程防渗性能。本文将系统探讨防渗技术在水利工程中的具体应用,为行业实践提供参考。

1 水利工程防渗技术分类与原理

1.1 垂直防渗技术

(1) 混凝土防渗墙:原理是在地基中形成连续混凝土墙体阻断渗流,液压抓斗法适用于软土地层,通过抓斗切削成槽后浇筑混凝土;冲击钻法适用于硬岩地层,依靠钻头冲击成孔,成墙整体性强。(2) 高压喷射灌浆:单管法仅喷水泥浆,设备简单但防渗效果一般;双管法同时喷浆和压缩空气,成桩直径更大;三管法增加高压水切割地层,适用于复杂地层,防渗性能最优。(3) 帷幕灌浆:水泥基浆液成本低、环保,适用于裂隙较粗的岩层;化学浆液(如环氧树脂)流动性好,可填充细微裂隙,但成本高、有一定污染,多用于特殊防渗需求场景。(4) 板桩防渗墙:钢板桩强度高、施工快,适用于软土及浅水区;塑料板桩耐腐蚀、成本低,但强度较弱,适用于地层稳定的中小型工程,两者施工效率均高于传统灌浆工艺。

1.2 水平防渗技术

(1) 土工膜防渗:HDPE膜抗渗性强,铺设需平整无褶皱,采用热熔焊接连接;复合土工膜(如膜+土工布)兼具防渗与加筋功能,连接时需确保膜层对齐,焊接强度达母材80%以上。(2) 黏土铺盖防渗:优先选用塑性指数15-25的黏土,压实度需控制在93%-95%,施工中分层摊铺,每层厚度20-30cm,通过碾压消除孔隙,避免渗流通道。

1.3 复合防渗技术

(1) 垂直+水平组合体系:如深基坑用混凝土防渗墙(垂直)阻断深层渗水,顶部铺设土工膜(水平)防止地表水下渗,两者衔接处采用灌浆密封,形成立体防渗网络。(2) 多材料协同案例:大坝基础先注水泥浆填充大裂隙,再注化学浆液封堵细微通道,两种浆液协同作用,大幅提升防渗效果,适用于高水头、高防渗要求的水利工程。

2 防渗技术在水利工程中的具体应用

2.1 水库工程防渗

(1) 大坝坝基与坝体防渗:混凝土防渗墙与帷幕灌浆常联合应用。针对坝基深层透水地层,先施工混凝土防渗墙,利用其连续墙体结构阻断深层强渗流通道,墙体深度需穿透透水层至隔水层;再在防渗墙上游侧开展帷幕灌浆,通过高压将水泥基浆液注入坝基岩层裂隙,填充细微孔隙,形成辅助防渗屏障。两者协同可形成“深层阻断+浅层封堵”的双重防护,有效降低坝基渗透压力,避免管涌、流土等隐患,保障大坝稳定性^[1]。(2) 库区周边渗漏治理:多采用水平铺盖与垂直截渗墙协同设计。对于库区周边浅层透水的松散地层,先铺设水平铺盖(如土工膜或黏土铺盖),覆盖库区周边地表,延缓地表水下渗速度;针对铺盖下方存在的集中渗漏通道,垂直施工截渗墙(如钢板桩、高压喷射灌浆墙),截渗墙顶部与水平铺盖紧密衔接,底部嵌入隔水层,形成“水平阻隔+垂直截堵”的立体防渗体系,减少库区水量渗漏损失,保护周边地质环境。

2.2 堤防工程防渗

(1) 堤身隐患处理:高压喷射灌浆与锥探灌浆技术各有侧重。高压喷射灌浆通过高压射流切割堤身土体,同时注入浆液形成固结体,适用于处理堤身内较大空洞、松散夹层等显性隐患,固结体强度高、防渗性好,可快速恢复堤身完整性;锥探灌浆则通过钻机成孔,向堤身

土体孔隙内低压注入水泥浆,依靠浆液渗透填充细微裂隙,适用于处理堤身浅层、分散性渗漏隐患,施工设备轻便,对堤身扰动小,两者需根据堤身隐患类型、深度合理选择。(2)堤基防渗:多头小直径深层搅拌桩技术应用广泛。该技术通过多组搅拌轴同步钻进,将水泥浆与堤基软土强制搅拌,形成连续的水泥土防渗墙,墙体厚度通常为50~80cm,深度可至堤基隔水层。施工中需控制搅拌转速、注浆压力及提升速度,确保水泥土均匀混合,形成的防渗墙渗透系数低,能有效阻断堤基横向渗流,提升堤防抗滑、防渗能力,适配堤基软土地层的防渗需求^[2]。

2.3 渠道与涵闸工程防渗

(1)渠道衬砌防渗:土工膜与混凝土衬砌优缺点差异明显。土工膜衬砌重量轻、柔韧性好,适应渠道变形能力强,施工速度快,成本较低,但抗穿刺、抗老化性能较弱,需铺设保护层;混凝土衬砌强度高、抗冲刷、抗老化能力强,使用寿命长,维护成本低,但重量大、刚性强,易因渠道沉降产生裂缝,施工周期长,成本较高,需根据渠道规模、水文条件、地质状况选择适配类型。(2)涵闸底板防渗:水泥基灌浆材料的抗冲刷性能是核心考量。涵闸底板受水流长期冲击,易因渗漏导致底板空鼓、破损,需采用水泥基灌浆材料(如普通硅酸盐水泥浆、水泥-水玻璃双液浆)进行防渗处理。此类材料固化后强度高,与底板混凝土结合紧密,能填充底板下孔隙及裂缝,形成稳定防渗层,同时具备良好的抗水流冲刷能力,可抵御高速水流对底板的侵蚀,保障涵闸运行安全,需通过调整水灰比、添加外加剂优化抗冲刷性能。

2.4 地下工程防渗

(1)输水隧洞防渗:喷锚支护与注浆加固联合应用效果显著。输水隧洞开挖后,先采用喷锚支护(喷射混凝土+锚杆)封闭隧洞围岩表面,防止围岩风化、剥落,初步阻断表层渗水;再针对围岩内部裂隙,通过注浆管注入水泥浆或化学浆液,浆液渗透填充裂隙,形成深层防渗帷幕,两者结合可形成“表层防护+深层封堵”的防渗体系,减少隧洞渗水损失,避免围岩渗透破坏,保障隧洞输水效率及结构安全^[3]。(2)泵站基坑防渗:止水帷幕(如三轴搅拌桩)的施工控制是关键。泵站基坑开挖深度大,易受地下水影响,需施工三轴搅拌桩止水帷幕,通过三组搅拌轴同步旋转切削土体,注入水泥浆形成连续水泥土墙体,墙体深度需穿透透水层至隔水层,厚度根据基坑深度、水头压力确定。施工中需严格控制桩位偏差、桩身垂直度、水泥掺量及搅拌均匀度,确保帷幕墙体连续、完整,无渗漏通道,有效阻隔基坑外地下水

进入坑内,为泵站主体结构施工创造干燥作业环境。

3 水利工程中防渗处理施工关键技术要点

3.1 地质勘察与材料选择

(1)地质条件对防渗方案的影响:针对砂卵石层,因其透水性强、颗粒级配不均,需优先选用高压喷射灌浆或混凝土防渗墙,通过墙体阻断颗粒间渗流通道,施工中需加强护壁措施防止塌孔;软土层承载力低、易变形,宜采用深层搅拌桩或塑料板桩,利用材料柔韧性适配土层沉降,同时需控制施工速率避免土层扰动。地质勘察需明确地层分布、透水系数及隔水层深度,为防渗方案选型提供精准依据,避免因地质误判导致防渗失效。(2)防渗材料性能指标:抗拉强度需满足施工与运行阶段受力需求,如土工膜抗拉强度不低于15MPa,防止铺设或变形时撕裂;渗透系数是核心指标,混凝土防渗墙渗透系数需 $\leq 1 \times 10^{-6}$ cm/s,水泥基灌浆材料需 $\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s,确保阻隔渗水能力;耐久性需适配工程环境,水利工程材料需具备抗冻、抗渗、抗化学侵蚀性能,如处于严寒地区的防渗材料,抗冻等级需达F200以上,延长使用寿命^[4]。

3.2 施工工艺控制

(1)混凝土防渗墙:槽孔开挖需控制孔斜率 $\leq 0.3\%$,采用分层开挖避免超挖,针对复杂地层可采用钻抓结合法;泥浆护壁需保证泥浆比重1.15~1.25,黏度20~25s,形成稳定泥皮防止孔壁坍塌;接头处理是关键,相邻槽段采用接头管法或双反弧接头,浇筑前清除接头处泥皮,确保墙体连续无渗漏,混凝土浇筑需保持导管埋深2~6m,防止断桩或夹泥。(2)高压喷射灌浆:喷射压力根据地层调整,软土层采用20~25MPa,硬岩地层提升至30~35MPa;提升速度需与喷射压力匹配,一般控制在5~15cm/min,确保浆液充分填充地层孔隙;摆动角度根据防渗需求设定,帷幕防渗摆动角度宜为 10° ~ 20° ,形成连续防渗墙体,施工中需实时监测参数,避免因参数偏差导致防渗效果不均^[5]。(3)土工膜铺设:焊接质量检测采用真空检测法与电火花法结合,真空检测需在焊缝处形成0.02MPa真空度,保持30s无泄漏;电火花法检测电压设定为3000~5000V,沿焊缝匀速移动,无击穿现象即为合格。铺设时需避免土工膜褶皱,相邻膜体搭接宽度 ≥ 10 cm,焊接温度控制在 180 ~ 220°C ,确保焊接强度达标。

3.3 质量检测与验收标准

(1)防渗墙完整性检测:超声波检测可全面排查墙体内部缺陷,通过声波传播速度判断墙体密实度,密实区域声波速度 ≥ 4000 m/s,缺陷区域需标记并补修;钻

孔取芯需按每100m²取1组芯样,芯样连续完整、胶结良好,抗压强度不低于设计值的90%,芯样渗透系数满足设计要求,方可判定防渗墙完整性合格。(2)灌浆效果评估:压水试验采用单点法或五点法,试验压力为设计水头的1.5倍,稳定渗透流量 $\leq 5\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}$ 即为合格;物探方法可辅助评估,采用地质雷达或地震映像法,对灌浆区域进行扫描,无明显异常低阻区或空洞,说明浆液填充均匀,灌浆效果达标,检测不合格区域需重新灌浆处理,直至满足验收标准。

4 水利工程中防渗处理施工技术发展趋势与优化建议

4.1 技术创新方向

(1)新型防渗材料研发:纳米改性土工膜通过在土工膜基材中添加纳米颗粒,提升抗穿刺强度与抗老化性能,其使用寿命较传统HDPE膜延长50%以上,且渗透系数可降至 $1\times 10^{-11}\text{cm}/\text{s}$,适配高防渗要求工程;自愈合混凝土内置微生物孢子与营养剂,当墙体出现微裂缝时,孢子遇水激活并分泌碳酸钙,自动填充裂缝,裂缝愈合率可达80%以上,减少后期维护成本,尤其适用于大坝、隧洞等难检修工程。(2)智能化施工设备应用:自动化灌浆记录仪可实时采集灌浆压力、流量、浆液浓度数据,通过AI算法自动调整参数,避免人工操作误差,灌浆合格率提升至95%以上;3D打印防渗墙采用特种混凝土材料,通过机械臂分层打印成型,施工效率较传统工艺提高30%,且墙体连续性更好,适用于异形断面或复杂地质条件下的防渗工程,减少模板损耗与施工周期。

4.2 绿色施工与成本控制

(1)环保型浆液材料:低碱水泥浆液碱含量 $\leq 0.6\%$,可避免碱-骨料反应导致的墙体开裂,同时减少对周边土壤、水体的污染;生物灌浆剂以微生物代谢产物为核心,通过微生物诱导碳酸钙沉积封堵裂隙,无化学毒性,适配生态敏感区工程,如水库库区、饮用水源地周边防渗,且材料成本较化学浆液降低20%。(2)施工废弃物资源化利用:混凝土防渗墙施工产生的废浆液,通过压滤脱水、添加固化剂处理后,可制成免烧砖或用于路基填料,废弃物利用率达85%以上;高压喷射灌浆产生的弃土,经筛分

后可重新用于土方回填,减少建筑垃圾外运量,降低碳排放,同时节约外购填料成本,每吨废弃物可节约处理费用50-80元。

4.3 政策与标准完善建议

(1)细化防渗设计规范:针对砂卵石层、膨胀土、岩溶地层等特殊地质,制定专项防渗设计指南,明确材料选型、工艺参数、结构形式等要求,避免“一刀切”设计导致的防渗失效;增加气候适应性条款,如严寒地区需规定防渗材料抗冻等级、伸缩缝设置标准,高温地区明确材料抗紫外线老化要求。(2)加强施工监管与质量评估:推行施工全过程信息化监管,要求关键工序安装视频监控与数据传感器,实现质量问题可追溯;建立第三方质量评估机制,由独立机构开展防渗效果检测,检测结果作为工程验收核心依据,避免建设单位自验自评的弊端,提升工程质量可靠性,减少后期渗漏隐患。

结束语

防渗处理施工技术作为保障水利工程安全稳定运行的基石,其科学应用直接关系到工程效益与使用寿命。通过垂直与水平防渗技术的协同、新型材料的研发以及智能化施工设备的引入,水利工程防渗能力已实现质的提升。未来,需持续强化技术创新,优化绿色施工工艺,并完善监管标准体系,以应对复杂地质条件与极端气候挑战,推动水利工程向更高效、更环保、更可持续的方向发展。

参考文献

- [1]张润超.防渗处理施工技术在水利工程中的具体应用[J].价值工程,2025,44(11):151-154.
- [2]陈胜森.防渗处理施工技术在水利水电工程中的应用[J].新农村,2024,(04):40-42.
- [3]吴林林,吴伟国.水利工程防渗施工处理技术应用探析[J].冶金管理,2023,(17):77-78.
- [4]郭涛.防渗处理施工技术在水利工程中的具体应用[J].科技与创新,2024,(14):182-184.
- [5]曹梦辉.水利工程中堤防防渗施工技术的应用研究[J].水上安全,2025,(02):70-72.