

水利工程中的防渗技术及应用效果评价

吴哲 王志刚 潘锋

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

摘要: 水利工程的安全稳定运行与防渗工作紧密相连。灌浆、混凝土防渗墙、土工合成材料及防渗帷幕等多种防渗技术,在实际工程中发挥着关键作用。为精准衡量这些技术的应用成效,渗透流量监测、水位观测、无损检测及现场试验等评价方法被广泛运用。通过对各类防渗技术及评价手段的深入探究,有助于提升水利工程防渗水平,保障水利设施的高效运行与长久使用。

关键词: 水利工程; 防渗技术; 应用效果评价

引言

在水利工程领域,防渗处理是确保工程安全与功能正常发挥的核心环节。渗漏问题若得不到妥善解决,不仅会降低工程效益,还可能引发严重的安全隐患。本文聚焦水利工程中的防渗技术,详细阐述了灌浆防渗、混凝土防渗墙、土工合成材料防渗以及防渗帷幕等常见技术手段,并深入探讨渗透流量监测、水位观测等应用效果评价方法,旨在为水利工程防渗工作提供有力的技术支撑与理论依据。

1 水利工程中防渗的重要性

水利工程中的防渗工作对于保障工程安全、提升水资源利用效率以及维护生态平衡具有不可替代的重要性。防渗设计是水利工程结构设计的核心环节之一,其核心目标在于有效阻止或减少水体通过坝体、堤防、渠道等结构物向非预期区域渗透,从而避免因渗透压力导致的结构失稳、滑坡甚至溃坝等严重事故。在堤防工程中,防渗措施能够显著降低堤基与堤身的渗透系数,减少渗漏通道的形成,防止因长期渗漏引发的土壤液化、管涌等地质灾害,确保堤防在洪水期间的抗冲刷与抗渗透破坏能力。对于水库大坝而言,防渗系统更是直接关系到坝体的长期稳定性与安全性,通过设置防渗帷幕、心墙或斜墙等结构,可有效截断地下渗流路径,降低坝基扬压力,防止坝体内部产生渗透变形,保障水库安全蓄水与运行。防渗工程在灌溉渠道与输水隧洞中的应用同样关键。通过优化渠道衬砌材料与结构设计,减少输水过程中的渗漏损失,不仅能够提高水资源利用效率,还能降低因渗漏引发的周边土壤盐碱化风险,保护农业生态环境。在输水隧洞中,防渗处理则能防止地下水对隧洞结构的侵蚀,延长工程使用寿命,减少维护成本。从更宏观的角度看,防渗技术的合理应用还对区域水资源管理具有积极影响。通过减少无效渗漏,可增加有效

灌溉面积,提升农作物产量,促进农业可持续发展;保障城市供水系统的安全稳定运行,为居民生活与工业生产提供可靠水源。防渗作为水利工程中的一项基础且关键的技术措施,其重要性不容忽视,需在工程规划、设计、施工及运维全生命周期中予以高度重视。

2 水利工程中常见的防渗技术

2.1 灌浆防渗技术

灌浆防渗技术在水利工程防渗体系里占据重要地位。其运作原理是借助压力,把特定的浆液材料,像水泥浆、化学浆等,注入到岩土层或者混凝土的缝隙、孔洞之中。当这些浆液在压力驱动下进入到目标区域后,会逐渐凝固,进而填充原本存在的空隙,有效提升基础的密实度与抗渗性能。在坝基防渗工作里,灌浆防渗技术能极大程度上减少坝基的渗漏量。因为坝基一旦出现渗漏,可能引发坝体扬压力增大,威胁坝体稳定性。通过在坝基合适位置钻孔,然后进行灌浆作业,能够在坝基内形成一道连续的防渗体,成功截断渗流通道。在一些土石坝的加固工程中,也经常运用该技术。土石坝历经长期运行,其坝体和坝基可能因各种因素产生渗漏隐患。灌浆防渗技术可以针对这些隐患部位,进行精准的灌浆处理,改善土石坝的防渗条件。在实际操作时,要依据不同的地质条件和工程需求,合理选择浆液材料与灌浆工艺。像是对于岩石基础,水泥灌浆较为适用;对于细颗粒含量较多的土层,化学灌浆可能效果更佳。灌浆压力、灌浆量以及灌浆时间等参数的把控也至关重要,这些参数直接影响到灌浆防渗的最终效果^[1]。

2.2 混凝土防渗墙技术

混凝土防渗墙技术是水利工程防渗的又一关键手段。此技术主要是在松散透水地基或者土石坝体中,建造一道连续的混凝土墙体,以此来阻挡水流渗透。在建造过程中,通常会采用专用的成槽设备,比如冲击钻

机、抓斗等,在地基中挖掘出符合设计要求的槽孔。槽孔挖掘完成后,紧接着进行清孔作业,确保槽孔内无沉渣等杂物。通过导管法进行混凝土浇筑,使得混凝土在槽孔内逐渐上升,最终形成一道坚实的混凝土防渗墙。在水库大坝建设中,混凝土防渗墙技术应用广泛。尤其是在一些深厚覆盖层地基上修建大坝时,混凝土防渗墙能够有效解决地基防渗难题。它可以承受较大的水头压力,保证大坝在长期运行过程中,坝基不会因渗漏问题而影响大坝安全。在河道堤防加固工程里,混凝土防渗墙也能发挥重要作用。当堤防面临渗漏风险,通过在堤身合适位置建造混凝土防渗墙,能够提升堤防的防渗能力,防止洪水期间堤身出现管涌、流土等险情。混凝土防渗墙耐久性强,在恶劣的水利环境中,依然能够长期保持良好的防渗性能,为水利工程的长期稳定运行提供坚实保障。

2.3 土工合成材料防渗技术

土工合成材料防渗技术凭借其独特优势,在水利工程防渗领域应用愈发普遍。土工合成材料主要包含土工膜、复合土工膜等。这些材料具有极低的渗透系数,能够有效阻止水分透过。土工膜一般由聚乙烯、聚氯乙烯等高分子聚合物制成,其防渗性能卓越。在实际工程应用时,通常会将土工合成材料铺设在需要防渗的部位,比如渠道底部与边坡、蓄水池池底与池壁等。铺设过程中,要确保土工合成材料的完整性,避免出现破损。要做好材料之间的拼接工作,一般采用焊接或者粘接的方式,保证拼接缝的防渗效果。在灌溉渠道工程中,土工合成材料防渗技术优势明显。它能够显著减少渠道输水过程中的渗漏损失,提高水资源利用效率。与传统的渠道衬砌材料相比,土工合成材料重量轻、施工便捷,能够大大缩短施工周期。在一些小型水利工程中,土工合成材料防渗技术的应用更为灵活。像是在小型水库的防渗加固中,通过铺设土工膜,可以快速有效地解决水库渗漏问题,而且成本相对较低。土工合成材料还具有一定的柔韧性,能够适应一定程度的地基变形,在复杂地质条件下依然能够保持良好的防渗性能^[2]。

2.4 防渗帷幕技术

防渗帷幕技术是水利工程中保障坝基防渗安全的重要技术措施。该技术主要是在坝基的透水层中,通过钻孔、灌浆等一系列作业,形成一道连续的、具有低渗透性的帷幕体。这道帷幕体就如同在坝基内筑起一道坚固的屏障,有效阻挡地下水向坝基内部渗透。在建造防渗帷幕时,先要对坝基的地质条件进行详细勘察,明确透水层的分布范围、厚度以及渗透特性等。根据勘察结

果,确定防渗帷幕的深度、厚度以及灌浆材料等参数。在大型水利枢纽工程中,防渗帷幕技术应用十分关键。例如在高水头大坝的建设中,坝基承受的水压力巨大,如果坝基防渗处理不当,极易引发渗漏问题,威胁大坝安全。通过设置合理的防渗帷幕,能够有效降低坝基的渗透压力,减少渗漏量。防渗帷幕一般会深入到相对不透水层一定深度,确保截断主要的渗流路径。在防渗帷幕的施工过程中,对灌浆工艺的要求非常高。要严格控制灌浆压力、灌浆量以及灌浆时间等参数,保证灌浆质量,使形成的防渗帷幕具有良好的连续性和抗渗性能,为水利工程的长期安全运行奠定坚实基础。

3 水利工程防渗技术应用效果评价方法

3.1 渗透流量监测评价法

(1) 渗透流量监测评价法通过对水利工程结构物周边渗透水流的实时计量,直观反映防渗体系的实际效能。该方法利用安装于排水系统、集水井或渗流出口处的流量计,对单位时间内的渗流量进行精确测定。在土石坝工程中,沿坝基排水孔布设流量监测设备,可动态捕捉渗流变化趋势,当防渗结构出现破损或老化时,渗流量通常会出现显著跃升,由此可及时判断防渗失效位置及严重程度。(2) 对于渠道与隧洞等线性输水工程,分段式渗透流量监测尤为关键。通过在不同里程段设置量水堰、测流槽等设施,对比设计渗流量与实际监测数据,能够精准量化渗漏损失。当实测渗流量超出允许范围时,可结合地质条件与结构特点,分析判断是材料老化、接缝开裂还是基础变形导致的防渗失效,为后续维护提供依据。(3) 在渗透流量监测实施过程中,需综合考虑环境因素对监测结果的影响。季节性降雨、库水位波动等外部条件会导致渗流量出现自然波动,因此需建立长期监测数据库,通过数学模型对监测数据进行趋势分析与异常值剔除。采用高精度电磁流量计、超声波流量计等先进设备,配合自动化数据采集系统,可实现渗流量的连续监测与实时预警,提升防渗效果评价的准确性与时效性。

3.2 水位观测评价法

(1) 水位观测评价法基于渗流场水位变化规律,通过监测水利工程结构物周边地下水位及孔隙水压力,间接评估防渗体系性能。在坝基防渗评价中,于防渗帷幕上下游及坝体内部布设测压管,利用振弦式孔隙水压力计、投入式水位传感器等设备,实时采集不同高程处的水位数据。当防渗帷幕发挥正常作用时,帷幕上下游会形成明显的水位差,若水位差缩小或消失,则表明防渗效果下降。(2) 在渠道防渗效果评价方面,沿渠道纵向

与横向布置水位观测井,监测渠底以下不同深度的地下水位变化。正常工况下,防渗良好的渠道对周边地下水影响有限,若渠道渗漏严重,会导致附近地下水位持续上升,引发土壤盐碱化等问题。通过对比不同时段的水位数据,可量化渗漏对地下水环境的影响程度,判断防渗结构的有效性。(3)水位观测需结合工程地质条件与水文地质参数进行分析。采用有限元数值模拟方法,构建渗流场模型,将实测水位数据与模拟结果进行对比验证。针对复杂地质条件下的水位异常波动,需综合考虑含水层分布、隔水层特性等因素,排除自然水文循环的干扰,从而准确判定防渗体系的运行状态,为工程安全评估提供科学依据^[3]。

3.3 无损检测评价法

(1)无损检测评价法利用物理场特性差异,在不破坏防渗结构的前提下,实现对其内部缺陷的探测与评估。地质雷达技术通过向防渗体发射高频电磁波,接收反射信号形成图像,可清晰显示混凝土防渗墙中的蜂窝、孔洞,以及土工膜的破损、搭接不良等缺陷。该方法检测速度快、分辨率高,适用于大面积防渗结构的快速筛查。(2)探地雷达法在土石坝防渗体检测中,能够识别坝体内部的渗漏通道与裂缝发育情况。通过分析雷达波反射波组特征、频率变化等参数,可确定缺陷的位置、规模及延伸方向。对于混凝土防渗墙,超声波检测技术通过测量声波在介质中的传播速度、波幅衰减等参数,判断墙体的密实度与完整性,有效检测出墙体中的夹泥、空洞等隐患。(3)红外热像检测技术利用物体表面温度差异,对防渗结构进行热成像分析。在防渗结构中,当防渗体出现渗漏时,渗流区域因水分迁移会引发局部热传导特性改变,导致温度场出现异常。通过红外热像仪捕捉温度分布图像,能直观定位渗漏点。无损检测技术常结合多种方法进行综合分析,形成互补优势,提高缺陷检测的准确性与可靠性,为防渗结构的维护与加固提供精确的技术支持。

3.4 现场试验评价法

(1)现场试验评价法通过在水利工程现场开展针对性试验,获取防渗结构的实际性能参数。压水试验是坝

基防渗评价的常用手段,在钻孔内分段施加压力,观测单位长度岩体的吸水量,计算透水率指标,以此评估岩基的渗透性及防渗帷幕的效果。试验过程中严格控制压力分级与稳定时间,确保试验数据真实反映地层渗透特性。(2)在土工合成材料防渗性能评价中,常采用现场注水试验。在铺设土工膜的区域设置试验坑,注入定量水体,监测水位下降速率,计算材料的渗透系数。该方法可直观反映土工膜在实际工程条件下的防渗效果,验证其拼接工艺的可靠性。对于渠道衬砌结构,开展原位渗透试验,通过控制上下游水位差,测量单位面积的渗漏量,评估衬砌材料的防渗性能。(3)现场试验需遵循严格的操作规范与质量控制流程。在试验前对设备进行校准与标定,试验过程中详细记录环境条件、操作参数等信息。试验结束后,采用数理统计方法对数据进行处理,剔除异常值,结合工程设计要求对防渗效果进行综合评价。现场试验结果直接反映防渗结构在实际工况下的性能表现,为工程验收与运行维护提供关键依据^[4]。

结语

综上所述,水利工程防渗技术多样且各有优势,不同评价方法也为准确判定技术效果提供了多元视角。在实际工程应用中,应依据工程特点与需求,合理选择防渗技术,并运用适宜的评价方法,确保防渗效果达到最佳。持续推进防渗技术的创新与优化,加强对应用效果的精准评估,对保障水利工程长期稳定运行、发挥最大效益具有重要意义。

参考文献

- [1]魏菊花.水利工程中的水土保持与农田防渗技术应用[J].工程技术研究,2024,6(7):126-128.
- [2]林森森.水利工程施工过程中防渗技术分析[J].工程建设与设计,2024(21):107-109.
- [3]马丽.水利工程施工中防渗技术的探讨[J].水上安全,2024(5):145-147.
- [4]张靖鸿.智能算法在水利工程调度优化中的应用与效果评价研究[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2020(7):1699-1700.