

水利工程堤坝防渗技术

崔福海 房星辰

菏泽市水利勘测设计院 山东 菏泽 274000

摘要：堤坝渗漏成因复杂，危害大，常见防渗技术包括防渗墙、灌浆、防渗体加固技术等。应用时需依据地质、渗漏特征等选型，把控施工关键环节，加强防渗效果监测评估。未来，堤坝防渗技术将优化发展，材料创新、工艺改进，发展复合防渗技术；应用物联网、BIM等智能化技术；研发环保防渗材料，推广生态防渗工艺，实现防渗功能与生态保护协同，推动水利工程可持续发展。

关键词：水利工程；堤坝防渗技术；质量控制；发展趋势

引言：堤坝作为水利工程的关键防线，其防渗问题关乎工程安全与效益。然而，受地质条件、设计施工及运行管理等因素影响，堤坝渗漏现象频发，危害严重。当前，防渗墙、灌浆防渗、防渗体加固等技术广泛应用，但在选型、施工控制及效果评估等方面仍需精准把控。为进一步提升堤坝防渗效能，技术优化、智能化应用及生态友好型防渗技术的发展成为必然趋势，对保障水利工程长期稳定运行意义重大。

1 堤坝渗漏的常见原因及危害

堤坝作为水利工程的关键组成部分，其安全性至关重要，而渗漏是堤坝常见的病害之一，其成因复杂且危害巨大。（1）从地质条件方面来看，坝基存在透水层、强风化带、断层破碎带等地质缺陷时，这些部位成为渗水的薄弱通道，水会沿着这些结构面渗透，进而威胁堤坝安全。设计因素也不容忽视，若防渗结构设计不合理，如防渗墙深度不足、排水设施布置不当，或者防渗材料选择未充分考虑工程实际需求和水文地质条件，都会降低堤坝的防渗性能。（2）施工环节的质量把控直接影响堤坝的防渗效果。防渗体压实度不足，会使防渗层存在孔隙，为渗水提供通道；接头处理不严密，如防渗墙与堤身的连接部位、混凝土结构之间的接缝处理不当，容易出现渗漏；混凝土浇筑过程中若存在蜂窝麻面等施工缺陷，也会削弱结构的防渗能力。在运行管理过程中，堤坝长期受水流冲刷、冻融循环、生物侵蚀等作用，防渗结构会逐渐老化损坏。例如，水流冲刷会带走堤坝表面的保护层，使防渗体暴露在外；冻融循环会使防渗材料产生裂缝，降低其完整性。（3）堤坝渗漏的危害不容小觑。轻度渗漏会造成水资源的无谓浪费，降低工程的灌溉、供水等效益。中度渗漏会使坝体浸润线抬高，增加坝体自重和孔隙水压力，导致坝体抗滑稳定性降低。严重渗漏则可能引发管涌，水流带走坝体或坝基

中的细颗粒物质，形成空洞和塌陷，最终可能引发溃坝事故，给下游地区带来巨大的经济损失和人员伤亡^[1]。

2 水利工程堤坝主要防渗技术

2.1 防渗墙技术

防渗墙技术作为堤坝防渗的关键手段，其核心原理是在坝体或者坝基之中精心构筑一道连续且不透水的墙体，以此有效阻断渗流通道，切实保障堤坝的安全稳定，尤其适用于坝基透水层较厚、渗漏问题极为严重的工程场景。常见的防渗墙类型丰富多样，各有其独特优势与适用范围。混凝土防渗墙，是借助钻机成槽，随后向槽内浇筑混凝土，最终形成具备高强度、低渗透性特征的墙体。这种墙体坚固耐用，能够适应各种复杂的地质条件，在众多堤坝工程中发挥着重要作用。高压喷射注浆防渗墙，则是利用高压喷射装置，将水泥浆液强力喷射与地层土颗粒充分混合，进而形成固结体防渗墙。它对砂性土、黏性土地层有着良好的适应性，施工灵活高效。塑性混凝土防渗墙，具有良好的柔韧性和抗裂性，在面对地震烈度较高或者地基变形较大的区域时，能够凭借自身的特性有效抵御外力作用，减少墙体开裂的风险。防渗墙技术优势显著，其防渗效果可靠，能够显著降低堤坝的渗漏量，提高工程的整体安全性。同时，该技术适用范围广泛，可根据不同的工程地质条件和防渗要求灵活选择合适的防渗墙类型，因而成为当前堤坝防渗领域的主要技术之一。

2.2 灌浆防渗技术

灌浆防渗技术是堤坝防渗治理中一项极为重要的手段，其基本原理是借助专业设备，将精心配制的浆液精准注入坝体或者坝基存在的裂隙、孔隙之中。通过浆液的填充作用，有效堵塞渗透通道，同时浆液胶结后形成坚固的防渗体，从而显著提升堤坝的防渗性能，该技术尤其适用于处理坝体裂缝、坝基破碎带等局部渗漏问

题。依据所使用的浆液材料差异,灌浆防渗技术可细分为多种类型。水泥灌浆以水泥作为主要材料,由于其颗粒相对较粗,更适用于裂隙较宽的岩层或者土体,能有效增强结构的整体性和稳定性。化学灌浆则采用丙烯酰胺、聚氨酯等化学材料,这类材料具有独特的优势,对于细微裂隙或者在动水条件下,都能展现出良好的可灌性,并且固化速度极快,可迅速形成防渗屏障。水泥黏土灌浆是由水泥与黏土按一定比例混合而成,成本较为低廉,在中低水头堤坝的防渗工程中应用广泛。在实际应用中,灌浆技术的关键在于科学合理地确定灌浆孔布置、灌浆压力以及浆液配比。只有精准把控这些参数,才能确保浆液充分填充渗漏通道,达到理想的防渗效果^[2]。

2.3 防渗体加固技术

防渗体加固技术是针对坝体防渗性能提升而采取的重要举措,其核心在于通过强化坝体自身的防渗能力来实现有效防渗,尤其适用于坝体防渗体质量未达设计标准或者因长期使用而出现老化的情况。(1)常见的防渗体加固技术类型多样。黏土心墙加固是较为传统且有效的方法之一,对于原有黏土心墙,可通过培厚、压实等操作,增加其厚度和密实度,也可以直接铺设新的黏土防渗层。利用黏土本身所具有的低渗透性,能够有效阻断渗流路径,增强坝体的防渗效果。(2)沥青混凝土防渗斜墙则是将沥青混凝土铺设在坝体上游面,形成连续且完整的防渗层。这种防渗层不仅具备良好的抗渗性,能有效阻止水分的渗透,还拥有出色的柔韧性,能够适应坝体在不同工况下的变形,因此特别适用于土石坝的防渗加固工程。(3)土工合成材料防渗技术近年来应用广泛,例如铺设土工膜、复合土工膜等。这些材料具有不透水性和较高的抗拉强度,可在坝体表面或内部构建起可靠的防渗屏障。而且该技术施工简便、成本较低,对于中小型堤坝或者临时防渗工程而言,是性价比极高的选择。

3 堤坝防渗技术的应用要点

3.1 技术选型依据

在堤坝防渗工程中,科学合理地选型防渗技术是确保工程质量和长期稳定运行的核心环节。(1)工程地质条件是选型的基础依据。坝基土类型决定了其透水性,透水层厚度影响着渗流路径,裂隙发育程度则关乎渗漏的严重程度。需选择与地质条件适配的技术,如针对深厚透水层,可考虑混凝土防渗墙等能有效截断渗流的技术。(2)渗漏特征是选型的重要参考。依据渗漏位置(坝基、坝体、坝肩)、渗漏量大小以及渗流速度等,制定针对性方案。若坝体渗漏量大且速度快,需采用快

速封堵、防渗性能强的技术。(3)工程规模与水头也影响技术选择。高水头堤坝压力大,要选用强度高、防渗性能好的技术,如混凝土防渗墙;低水头堤坝则可采用成本较低的土工膜防渗技术。同时,还需考虑施工条件,选择易于施工且能保证质量的技术。

3.2 施工关键环节控制

施工过程中的质量控制是决定堤坝防渗效果优劣的关键因素。(1)在防渗墙施工环节,成槽精度关乎墙体的位置准确性,必须严格把控,确保其符合设计要求;泥浆护壁质量影响着槽壁的稳定性和连续性至关重要,一旦中断可能产生施工缝,降低墙体完整性,需保证混凝土供应和浇筑设备正常运行,从而确保墙体垂直度和整体完整性。(2)灌浆施工时,精确定位灌浆孔孔位和深度是基础,这需要依据地质勘察资料和设计要求进行精确测量定位;灌浆压力和浆液浓度的控制直接影响灌浆效果,要根据地层情况和灌浆阶段合理调整;通过压水试验验证灌浆效果,判断是否达到防渗标准。

(3)土工合成材料防渗施工中,材料铺设要平整,搭接严密,接缝处采用热熔焊接或胶粘处理,防止出现褶皱、破损导致渗漏。同时,加强现场监测,及时发现并处理施工缺陷,保障防渗工程质量^[3]。

3.3 防渗效果监测与评估

防渗工程竣工后,全面且精准地监测与评估防渗效果是保障堤坝长期安全稳定运行的关键步骤。(1)在监测手段上,渗透监测不可或缺。通过在坝体合理位置设置测压管,能够实时、精准地监测坝体浸润线的变化情况,从而直观反映坝体内部的渗流状态;采用渗流量观测仪可精确测量渗漏量,为判断防渗效果提供量化数据。变形监测同样重要,定期开展沉降观测和位移观测,能及时发现坝体因渗流等因素产生的变形,评估其对防渗体系和整体结构安全的影响。此外,质量检测也必不可少,利用钻孔取芯可直观了解防渗体的材料质量和施工工艺情况;注水试验则能进一步验证防渗体的实际防渗性能。(2)若监测与评估发现渗漏未得到有效控制,或出现新的渗漏点,必须迅速组织专业人员分析原因,如是否存在施工质量缺陷、地质条件变化等,并及时采取补充防渗措施,确保堤坝防渗性能始终满足设计要求。

4 堤坝防渗技术的优化与发展趋势

4.1 技术优化方向

鉴于现有防渗技术尚存一定局限,为进一步提升堤坝防渗工程的效能与可靠性,技术优化可从多个关键方

向展开。(1)材料创新是基础且关键的优化途径。致力于研发高性能防渗材料,例如低渗透性混凝土,其能极大降低水分渗透速率,增强防渗体的密封性;自修复灌浆材料,可在出现细微裂缝时自动修复,有效延长防渗体使用寿命;耐老化土工合成材料,能抵御自然环境的长期侵蚀,保持稳定的防渗性能,从而全面提升防渗体的耐久性和抗裂性。(2)工艺改进也不容忽视。通过优化防渗墙成槽工艺,提高成槽的精度和效率,减少施工误差;精准把控灌浆参数控制技术,确保浆液充分填充渗漏通道,提高施工质量和稳定性。(3)积极发展复合防渗技术。结合不同技术的优势,采用“防渗墙+灌浆”“土工膜+黏土防渗体”等组合方案,可有效应对复杂地质条件下的渗漏问题,实现多种防渗机制的协同作用,显著提升整体防渗效果。

4.2 智能化技术应用

在堤坝防渗领域,智能化技术的应用正逐渐成为不可阻挡的发展趋势,为提升工程的安全性与可靠性带来全新契机。(1)物联网监测系统是智能化监测的核心手段之一。通过在坝体关键部位布置各类高精度传感器,能够实时、精准地采集坝体渗流量、浸润线、应力应变等关键数据。这些数据经无线传输至监控中心后,借助先进的数据分析算法,可快速识别异常数据,实现渗漏隐患的早期预警,为及时采取应对措施争取宝贵时间。

(2)BIM技术则为堤坝防渗工程的设计与施工提供了强大的数字化支持。利用BIM技术构建堤坝防渗工程的三维模型,不仅能直观展示工程的整体结构与细节,还可模拟施工过程和防渗效果。设计师可据此对设计方案进行反复优化,提前发现并解决潜在问题,提高设计质量。

(3)采用自动化施工设备,如智能灌浆系统、自动化防渗墙浇筑设备等,能够实现施工参数的精准控制,提高施工精度和效率,有效减少人为操作误差,保障工程质量^[4]。

4.3 生态友好型防渗技术发展

在生态环境保护理念日益深入人心的当下,生态友

好型防渗技术的发展备受瞩目,成为堤坝防渗领域的重要方向。(1)研发环保防渗材料是关键举措。可降解土工合成材料在完成防渗使命后,能在自然环境中逐渐分解,不会像传统材料那样长期残留,对土壤和水体造成潜在污染;天然黏土改性材料则通过对天然黏土进行科学改良,提升其防渗性能的同时,保留了材料的天然属性,减少了对周边生态环境的负面影响。(2)推广生态防渗工艺也至关重要。植被防渗是一种极具创新性的方式,在坝坡精心种植耐旱、耐湿植物,利用植物发达的根系固土防渗,不仅能有效阻挡水流渗透,还能改善坝坡的生态环境,为野生动植物提供栖息场所,实现防渗功能与生态保护的完美协同,有力推动水利工程与自然环境的和谐共生、可持续发展。

结束语

堤坝防渗技术对于保障水利工程安全意义重大。从常见原因剖析到多种防渗技术介绍,再到应用要点把控,我们全面了解了该领域现状。当下,技术优化正朝着材料创新、工艺改进、复合防渗等方向迈进,智能化技术的应用为工程安全与可靠提供新契机,生态友好型防渗技术也顺应时代需求蓬勃发展。未来,我们需持续探索创新,不断提升防渗技术水平,既要确保堤坝防渗性能满足设计要求,又要兼顾生态环境保护,推动水利工程朝着更加安全、智能、绿色的方向稳健发展,为经济社会可持续发展筑牢坚实的水利根基。

参考文献

- [1]廖雪梅. 水库堤坝工程中的防渗墙施工技术及管理[J]. 水上安全, 2023, (12): 148-150.
- [2]郭良有. 农田水利工程中水库堤坝防渗施工技术研究[J]. 中国高新科技, 2023, (01): 140-142.
- [3]郭光明. 水利工程中水库堤坝防渗施工技术研究[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38 (04): 61-63.
- [4]孙玉梅. 水利工程堤坝防渗漏技术研究[J]. 科学技术创新, 2019(03):138~139.