

水利工程堤防防渗施工技术研究

尚瑞钦

河南水建集团有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 水利工程堤防的防渗施工技术是保障工程安全与稳定的关键环节。本文针对堤防渗漏问题展开研究,首先分析渗漏成因,包括外界环境侵蚀、施工工艺缺陷及结构老化等因素;其次系统阐述帷幕灌浆、高压喷射防渗墙、混凝土防渗墙、劈裂灌浆、垂直铺塑、水泥土搅拌桩、自凝灰浆防渗墙及复合土工膜等八种防渗施工技术的原理与应用要点;最后从材料管控、过程监督、人员培训及监测检测等方面提出质量控制措施,旨在为水利工程堤防防渗施工提供技术参考,提升工程抗渗性能与耐久性。

关键词: 水利工程;堤防防渗;施工技术;研究

引言:水利工程堤防作为防洪、挡水的核心构筑物,其防渗性能直接关系到工程安全与周边区域民生安全。近年来,受自然环境变化、施工技术水平差异及长期运行损耗等因素影响,堤防渗漏问题频发,轻则导致水资源浪费,重则引发管涌、坍塌等重大险情。因此,深入研究堤防防渗施工技术具有重要的工程实践意义。通过剖析渗漏成因,梳理当前主流防渗施工技术,并结合工程质量控制要点,探讨如何通过科学的施工工艺与管理手段提升堤防防渗能力,为水利工程的安全运行与可持续发展提供理论支撑与技术指导。

1 水利工程堤防渗漏原因分析

1.1 外界因素

外界环境对水利工程堤防的侵蚀作用是引发渗漏的重要诱因。在自然条件下,长期的水流冲刷会逐渐削弱堤防土体结构的密实度,使土体颗粒流失,形成孔隙通道,为渗水创造条件。此外,季节性水位波动频繁,当水位急剧下降时,堤身内部的孔隙水压力无法及时消散,形成渗透力,促使水分向薄弱部位集中,加速渗漏。同时,极端气候如暴雨、洪水等会对堤防产生强大的冲击力,可能直接破坏堤防表面防护层,加剧渗漏风险。另外,周边区域不合理的地下水开采活动,导致地下水水位下降,引发堤防基础应力失衡,产生裂缝,进而造成渗漏。

1.2 施工因素

施工过程中的诸多问题是造成堤防渗漏的关键隐患。在堤防建设时,如果施工工艺不规范,例如土料填筑过程中未严格控制含水量和压实度,就会导致土体密实度不足,形成大量孔隙,成为渗水通道。基础处理不到位,未能彻底清除软弱土层或不良地质体,使得堤防基础承载能力不均,在后期运行中易产生不均匀沉降,

引发裂缝渗漏。混凝土浇筑时,振捣不密实、养护不及时,会使混凝土结构出现蜂窝、麻面、裂缝等缺陷,严重影响其抗渗性能。此外,施工缝和伸缩缝处理不当,止水材料安装不规范,也会为水分渗透提供途径,威胁堤防安全^[1]。

1.3 老化因素

堤防经过长期运行,不可避免地会出现老化问题,进而引发渗漏。堤防材料随着时间推移,会发生物理和化学变化,如土体中的黏土矿物成分流失,导致防渗性能下降;混凝土材料因碳化、冻融循环等作用,内部结构逐渐破坏,裂缝不断扩展。同时,堤身及基础内部的微生物活动、虫蚁蛀蚀等生物侵蚀,也会形成隐蔽的空洞和通道,加剧渗漏。另外,早期建设的堤防工程,受当时技术水平和设计标准限制,本身在防渗性能上存在先天不足,随着使用年限增加,老化问题愈发严重,渗漏风险不断上升,威胁水利工程的正常运行和周边安全。

2 水利工程堤防防渗施工技术

2.1 帷幕灌浆防渗施工技术

帷幕灌浆防渗施工技术是通过钻孔向地层中注入水泥浆、化学浆液等材料,在地基或堤身内形成连续的阻水帷幕,截断渗水通道,达到防渗目的。施工时,首先根据地质条件和防渗要求确定孔位、孔深及灌浆参数,利用钻机钻孔至设计深度;随后进行清孔,确保孔内无杂物、沉渣;接着采用纯压式或循环式灌浆方法,按照分序加密原则注入浆液,通过控制灌浆压力、流量和时间,使浆液充分填充孔隙、裂隙。该技术的优势在于适应性强,可针对不同岩性地层进行防渗处理,且防渗效果持久稳定;其适用场景广泛,常用于砂砾石层、岩石地基等防渗工程。但施工中需注意避免串浆、冒浆等问题,严格控制灌浆压力,防止因压力过大导致堤身结构

破坏。同时，对浆液配比和凝结时间的把控至关重要，需根据现场实际情况进行调整优化。

2.2 高压喷射防渗墙施工技术

高压喷射防渗墙施工技术利用高压喷射流的冲击力，将土体破坏并与水泥浆液充分搅拌混合，形成连续的板墙状凝结体，从而实现防渗功能。施工流程包括：先通过钻机成孔至预定深度，然后将带有喷嘴的喷射管插入孔内；利用高压设备使水泥浆液、高压水或空气以高速从喷嘴喷出，切割和破碎土体，同时喷射管边旋转、边提升，使浆液与土体充分混合，凝固后形成防渗墙体。该技术具有施工速度快、墙体强度高、防渗性能好等特点，尤其适用于软土地基、粉细砂层等难以采用传统防渗方法的地层。然而，施工过程中易受地层条件影响，若遇卵石层、漂石层，可能导致喷射流能量损耗大，影响成墙质量。

2.3 混凝土防渗墙施工技术

混凝土防渗墙施工技术是在松散透水地基或堤身中建造一道连续的混凝土墙体，以截断渗流路径。施工时，采用冲击钻、抓斗等设备进行槽孔开挖，泥浆固壁保持槽孔稳定；成槽后进行清孔换浆，清除孔底沉渣和悬浮泥砂；然后下设钢筋笼，利用导管法进行水下混凝土浇筑，使混凝土自下而上充满槽孔，形成密实的防渗墙体。该技术具有防渗效果好、墙体强度高、耐久性强等优点，适用于各类复杂地质条件下的防渗工程，如深厚砂砾石层、软弱土层等。但施工工艺复杂，对施工设备和人员技术要求高，成槽过程中易出现塌孔、缩径等问题，需加强泥浆性能监测和槽孔稳定性控制。同时，混凝土浇筑质量直接影响墙体防渗性能，需严格控制浇筑速度、导管理深等参数，确保墙体连续完整、无缺陷。

2.4 劈裂灌浆防渗施工技术

劈裂灌浆防渗施工技术是利用水利劈裂原理，在堤身内沿轴线方向劈裂形成浆脉，填充裂缝、孔隙，挤压密实土体，从而提高堤身的防渗性能和稳定性。施工时，首先沿堤轴线布置灌浆孔，采用机械或人工方式钻孔；然后通过灌浆泵将水泥浆液注入孔内，当浆液压力达到一定值时，土体被劈裂，浆液沿裂缝扩散并填充；随着浆液不断注入，浆脉逐渐扩展、加厚，形成连续的防渗帷幕。该技术具有施工简便、成本较低、对原有堤身破坏小等优势，适用于处理堤身内部松散、裂缝、洞穴等隐患。但施工过程中需严格控制灌浆压力和灌浆量，防止出现堤身隆起、滑坡等险情。同时，应根据堤身土质和隐患情况合理选择浆液配比，确保浆液能有效渗透并凝固，达到预期防渗效果。

2.5 垂直铺塑防渗施工技术

垂直铺塑防渗施工技术是将塑料薄膜垂直铺设在堤身或地基内，形成一道连续的防渗屏障。施工时，先利用开槽机在堤身或地基中开挖一定深度和宽度的沟槽，沟槽深度根据防渗要求确定；随后将塑料薄膜铺设于沟槽内，薄膜两侧用土料回填压实，顶部与堤顶或地面妥善连接，形成封闭的防渗体系。该技术具有施工速度快、成本低、防渗效果显著等特点，适用于黏土、粉质黏土等土质条件较好的堤段防渗处理。但施工中对开槽精度要求较高，需保证沟槽的垂直度和深度一致，避免薄膜出现褶皱、破损。同时，塑料薄膜的质量直接影响防渗效果，应选择抗老化性能好、强度高、防渗性优的材料，并做好薄膜与周边土体的密封处理，防止出现绕渗现象。

2.6 水泥土搅拌桩防渗墙施工技术

水泥土搅拌桩防渗墙施工技术是利用深层搅拌机，将水泥浆与原位土体强制搅拌混合，使土体硬化后形成具有一定强度和抗渗性能的水泥土桩体，桩体相互搭接形成连续的防渗墙体。施工时，搅拌机沿设计轴线定位，预搅下沉至设计深度；然后边提升搅拌头边喷浆，使水泥浆与土体充分搅拌均匀；重复搅拌下沉和提升过程，确保桩体质量均匀。该技术施工设备简单、工艺成熟、对周边环境影响小，适用于软土地基、淤泥质土等土层的防渗处理。但施工中需严格控制搅拌深度、提升速度、喷浆量等参数，保证桩体的强度和防渗性能。同时，桩体搭接质量是防渗的关键，需确保搭接长度符合设计要求，避免出现缝隙导致渗水。

2.7 自凝灰浆防渗墙施工技术

自凝灰浆防渗墙施工技术是将膨润土、水泥、掺和料及外加剂等按一定比例混合制成自凝灰浆，通过泥浆护壁成槽后，将自凝灰浆直接浇筑于槽内，使其在槽内缓慢凝固形成防渗墙体。施工流程与混凝土防渗墙类似，包括成槽、清孔、浇筑等环节，但无需下设钢筋笼。该技术具有施工成本低、墙体适应变形能力强、防渗性能稳定等优点，适用于各类软土地基防渗工程。自凝灰浆的凝结时间和强度增长速度需根据施工进度和地质条件精确控制，避免因凝结过快影响成槽和浇筑质量，或因凝结过慢导致墙体强度不足。此外，施工过程中需加强对灰浆性能的监测，确保其密度、黏度等指标符合设计要求，保证防渗墙体的整体性和防渗效果。

2.8 复合土工膜防渗技术

复合土工膜防渗技术是利用由土工织物和土工膜复合而成的防渗材料，铺设于堤防迎水面或堤身内部，阻

止水分渗透。施工时,先对铺设基面进行清理和平整,去除尖锐物和杂物,确保基面平整、密实;然后将复合土工膜展开铺设,膜与膜之间采用焊接或粘接方式连接,保证接缝强度和密封性;最后在土工膜上铺设保护层,如黏土、砂砾石等,防止土工膜受到机械损伤和紫外线老化。该技术具有重量轻、运输方便、施工简便、防渗性能优异等特点,广泛应用于小型堤防、渠道、蓄水池等防渗工程。但施工中需注意避免土工膜破损,焊接或粘接质量直接影响防渗效果,需严格控制焊接温度、速度等参数,确保接缝牢固、无渗漏。同时,应根据工程实际情况选择合适规格的复合土工膜,保证其抗拉强度、抗渗性等指标满足设计要求^[2]。

3 水利工程堤防防渗施工质量控制措施

3.1 施工材料质量控制

施工材料是决定水利工程堤防防渗效果的基础要素,严格把控材料质量至关重要。在材料采购环节,需建立供应商资质审查制度,优先选择信誉良好、产品质量达标的企业合作,确保水泥、砂石、土工膜、止水带等材料符合国家相关标准和设计要求。所有进场材料必须附带质量检验报告、合格证等文件,并按规范进行抽样复检,对不合格材料坚决退场处理,从源头上杜绝质量隐患。对于水泥等易受潮变质的材料,应加强仓储管理,设置专用防潮仓库,分类存放并做好标识,避免材料混用或过期使用。

3.2 施工过程质量控制

施工过程的规范性直接影响堤防防渗工程的最终质量。首先,应制定详细且可操作的施工方案,明确各工序的技术标准和操作流程,并严格按照方案执行。在基础处理阶段,需对软弱地基进行彻底清理和加固,确保基础承载力满足设计要求;土方填筑时,要控制土料的含水量和压实度,分层填筑、分层压实,每层厚度符合规范,避免出现虚铺过厚或压实不足的情况。混凝土浇筑过程中,要严格控制浇筑速度、高度和振捣时间,防止出现蜂窝、麻面和孔洞,同时加强养护管理,确保混凝土强度和抗渗性能达标。对于关键施工环节,如帷幕灌浆的压力控制、防渗墙接头处理等,应安排专业技术人员现场指导和监督,及时发现并纠正施工偏差,保证每道工序质量可控,实现全过程精细化管理。

3.3 施工人员培训与管理

施工人员的专业技能和质量意识是保障防渗施工质量的关键因素。一方面,应加强对施工人员的岗前培训,针对不同岗位开展专项技术培训,使其熟练掌握各类防渗施工技术的操作要点和质量标准,例如高压喷射防渗墙的设备操作、劈裂灌浆的压力控制等。同时,定期组织技术交流和案例分析会,分享施工经验和教训,提升施工人员解决实际问题的能力。另一方面,建立健全施工人员考核与激励机制,将施工质量与个人绩效挂钩,对质量表现优秀的人员给予奖励,对违规操作或造成质量问题的人员进行处罚,以此增强施工人员的责任心和质量意识。

3.4 施工监测与质量检测

施工监测与质量检测是及时发现和解决防渗施工质量问题的重要手段。在施工过程中,需采用先进的监测技术对堤防的变形、渗流等情况进行实时监测,例如利用测压管、渗压计等设备监测堤身内部的水位变化和渗流状态,通过全站仪等仪器监测堤防的位移情况,一旦发现异常数据,立即分析原因并采取相应处理措施。质量检测方面,要严格按照相关规范和标准,对施工成果进行全面检测,如采用钻孔取芯、注水试验等方法检测混凝土防渗墙的强度和抗渗性能,利用探地雷达等无损检测技术检查复合土工膜的铺设质量^[3]。

结束语

水利工程堤防防渗施工技术是保障工程安全运行的核心要素。本文系统分析了渗漏成因,涵盖外界侵蚀、施工缺陷及老化因素等;深入探讨了帷幕灌浆、高压喷射防渗墙等八大防渗技术的原理与应用要点,并提出施工材料、过程、人员及监测等质量控制措施。随着水利工程建设需求的增长,未来需持续创新防渗技术,融合新材料、智能化监测手段,优化施工工艺,提升质量管控水平,以应对复杂地质与环境挑战,为水利工程的长期稳定与区域安全提供坚实保障。

参考文献

- [1]肖文平.压力容器焊接新技术及应用研究[J].中国设备工程,2022,(24):269-271.
- [2]王伟.压力容器焊接技术分析[J].产业创新研究,2021,(16):113-115.
- [3]卢振权.压力容器焊接质量的控制因素分析[J].中国设备工程,2022(02):94-95.