

水利渠道防渗漏控制技术及其应用

王锦燚

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：水利渠道作为水资源调配、农业灌溉、工业供水及生态补水的核心基础设施，其防渗性能直接决定水资源利用效率、工程运行安全及综合效益发挥。当前，我国各类水利渠道普遍存在渗漏问题，不仅造成大量水资源浪费，还易引发渠道边坡失稳、土壤盐碱化、地基沉降等一系列工程隐患和生态问题，严重制约水利工程可持续发展。本文结合水利工程实践，系统分析水利渠道渗漏的成因及危害，详细阐述刚性防渗、柔性防渗、复合防渗等主流防渗漏控制技术的原理、施工工艺及适用场景，通过具体工程案例验证不同技术的应用效果，探讨当前防渗漏技术应用中存在的问题，并提出针对性优化对策，最后展望防渗漏技术的发展趋势，为水利渠道工程防渗漏设计、施工、运维提供理论支撑和实践参考，助力水利工程提质增效，推动水资源高效利用。

关键词：水利渠道；防渗漏技术；施工工艺

引言

水资源是人类生存和社会发展的基础性资源，我国水资源总量丰富但时空分布不均，水资源短缺与用水需求增长的矛盾日益突出，节水增效已成为水利工程建设的核心目标之一。水利渠道作为水资源输送的关键载体，广泛应用于农业灌溉、城市供水、生态补水等领域，其工程质量直接关系到水资源调配的效率和稳定性。据统计，我国未采取防渗措施的土质渠道渗漏量可达总输水量的20%~30%，部分偏远地区甚至高达50%以上，每年因渠道渗漏造成的水资源浪费十分惊人^[1]。

渠道渗漏不仅导致水资源利用率大幅降低，加剧水资源短缺矛盾，还会带来一系列连锁问题：渗漏水流会软化渠道地基，导致渠道边坡坍塌、衬砌结构破损，影响工程运行安全；长期渗漏会抬高周边地下水位，引发土壤次生盐碱化，破坏周边农作物生长环境和生态平衡；对于有冻害地区，渗漏水分在冬季结冰膨胀，会进一步加剧衬砌结构的破损，增加工程维修成本^[2]。

1 水利渠道渗漏的成因及危害

1.1 渗漏成因

地质条件是导致渠道渗漏的核心自然因素。我国水利渠道分布广泛，穿越的地质类型复杂多样，包括粉质壤土、砂壤土、砂砾石等渗透性较强的土层，这类土层孔隙率大、连通性好，水分易沿孔隙渗透，形成渠道渗漏；部分渠道穿越岩溶洞隙、大断裂、密集裂隙等透水岩带，也会导致严重渗漏。此外，地下水位变化和水压作用会产生压力差，促使渠水沿着渗透路径流动，渗流遵循达西定律，流量与渗透系数和水头差成正比；温度变化和冻融循环会引发衬砌材料产生微裂纹，破坏材料

结构完整性，增加渗透风险；降水、暴雨等气象因素会加剧渠道周边土体含水量，降低土体强度，进一步扩大渗漏范围。

人为因素是导致渠道渗漏的主要诱因，主要体现在设计、施工、运维三个环节。在设计环节，部分设计人员未充分勘察渠道沿线地质条件，盲目选用防渗技术和材料，未结合实际情况优化渠道断面形式和防渗结构，导致设计方案不合理，为渗漏埋下隐患；部分设计忽略了渠道地基不均匀沉降的影响，未设置相应的伸缩缝和沉降缝，运行过程中地基沉降会导致衬砌结构开裂，引发渗漏。

1.2 渗漏危害

渠道渗漏是水资源浪费的主要途径之一，尤其是在干旱半干旱地区，水资源本身就十分匮乏，渠道渗漏会导致大量宝贵的水资源流失，降低水资源利用效率。据测算，我国每年因水利渠道渗漏浪费的水资源可达数百亿立方米，相当于多个大型水库的蓄水量，不仅影响农业灌溉、工业供水和城市生活供水的正常需求，还会加剧水资源短缺与经济社会发展用水需求之间的矛盾，制约区域经济社会可持续发展。部分未做防渗处理的渠道利用系数仅为0.3左右，渗漏损失极为惊人。渗漏水流会持续冲刷渠道地基和边坡，软化土体，降低土体强度和承载力，导致渠道边坡坍塌、基底沉降，进而破坏衬砌结构，形成恶性循环；对于刚性衬砌渠道，渗漏水流会侵入衬砌裂缝，在冻融循环作用下，裂缝会不断扩大，导致衬砌大面积破损、脱落，严重时会引起渠道决口，威胁周边人民群众的生命财产安全；渗漏还会导致渠道周边建筑物基础不均匀沉降，破坏建筑物结构完整性，

影响水利工程整体运行安全。渠道渗漏会导致衬砌结构破损、边坡坍塌等问题,需要定期进行维修、加固,增加工程运维成本;同时,渗漏导致水资源浪费,需要额外修建补水工程,增加工程建设成本;此外,渗漏引发的生态环境问题和农业减产,也会造成巨大的经济损失,降低水利工程的综合效益。

2 水利渠道防渗漏控制技术分类及应用要点

2.1 刚性防渗技术

混凝土衬砌防渗技术是通过在渠道内壁浇筑一定厚度的混凝土,形成致密的防渗层,阻止渠水渗漏,其核心原理是利用混凝土的低渗透性和高强度,填补渠道基底的孔隙和裂缝,形成连续、完整的防渗屏障。该技术适用于土质渠道、岩石渠道等各类渠道,尤其适用于农业灌溉渠道、大型输水渠道等流量较大的工程。

2.2 柔性防渗技术

土工膜防渗技术是目前柔性防渗技术中应用最广泛的一种,利用高分子合成材料制成的土工膜,铺设在渠道内壁,形成致密的防渗层,其核心原理是利用土工膜的低渗透性和柔韧性,适应地基不均匀沉降,阻止渠水渗漏。该技术适用于各类土质渠道、岩石渠道,尤其适用于地质条件复杂、地基沉降较大的渠道,防渗效果显著,渗漏损失可降低80%以上。

“混凝土+土工膜”复合防渗技术的施工工艺主要包括:渠道基底处理、土工膜铺设、混凝土浇筑、养护等环节。对渠道基底进行清理、夯实,确保基底平整、密实;其次,铺设土工膜,按照土工膜防渗技术的施工要求,完成土工膜的铺设、搭接与焊接,并进行检测,确保土工膜无破损、焊接牢固;在土工膜表面浇筑混凝土,混凝土强度等级不低于C20,浇筑厚度一般为8~12cm,采用插入式振捣器进行振捣,确保混凝土密实,与土工膜结合紧密,无蜂窝、麻面、裂缝等缺陷;最后,进行养护,养护时间不少于14天,养护期间需保持混凝土表面湿润,防止出现干缩裂缝。

2.3 复合防渗技术

“混凝土+土工膜”复合防渗技术的施工工艺主要包括:渠道基底处理、土工膜铺设、混凝土浇筑、养护等环节。对渠道基底进行清理、夯实,确保基底平整、密实;其次,铺设土工膜,按照土工膜防渗技术的施工要求,完成土工膜的铺设、搭接与焊接,并进行检测,确保土工膜无破损、焊接牢固;在土工膜表面浇筑混凝土,混凝土强度等级不低于C20,浇筑厚度一般为8~12cm,采用插入式振捣器进行振捣,确保混凝土密实,与土工膜结合紧密,无蜂窝、麻面、裂缝等缺陷;

最后,进行养护,养护时间不少于14天,养护期间需保持混凝土表面湿润,防止出现干缩裂缝。例如新疆某灌区15公里输水渠道,采用该技术后,渗漏损失由35%降至5%以下。复合防渗技术的材料选型需结合渠道的地质条件、防渗要求等因素,合理选择刚性材料和柔性材料的规格、厚度;土工膜的铺设需确保平整、无破损,焊接质量符合要求,避免土工膜与混凝土结合不紧密形成间隙渗漏;混凝土浇筑过程中,需控制振捣力度,避免振捣过度导致土工膜破损;伸缩缝和沉降缝的设置需兼顾刚性材料和柔性材料的特性,缝内填充止水材料,确保接缝处防渗严密;养护期间需加强管理,避免外力碰撞、扰动复合防渗层;复合防渗技术的施工难度较大,需安排专业的施工队伍,严格按照施工规范进行施工,确保施工质量。

3 水利渠道防渗漏控制技术应用中存在的问题

3.1 设计方案不合理

部分设计人员在进行渠道防渗漏设计时,未充分勘察渠道沿线地质条件,盲目选用防渗漏技术和材料,未结合工程实际情况优化设计方案,导致设计方案与工程实际不匹配。例如,在地基不均匀沉降明显的渠道中,选用刚性防渗技术,未设置合理的伸缩缝和沉降缝,运行过程中易导致衬砌结构开裂,引发渗漏;在腐蚀性较强的水体渠道中,选用普通土工膜,导致土工膜老化、破损,影响防渗效果;部分设计方案忽略了渠道的运行要求,未考虑渠水流量、流速等因素对防渗层的影响,导致防渗层抗冲刷能力不足,易被水流冲刷破损。此外,针对冻胀地区的渠道设计存在明显疏漏,未做抗冻胀设计,同时部分设计中伸缩缝间距过大,易因温度变化和地基沉降导致衬砌开裂渗漏;部分设计人员对新型防渗材料和施工工艺了解不足,仍采用传统落后的设计方案,难以满足现代水利渠道的防渗要求。

3.2 施工质量管控不到位

施工质量是影响渠道防渗漏效果的关键因素,目前部分施工单位存在施工质量管控不到位的问题,主要表现为:一是选用质量不合格的防渗材料,如强度不足的混凝土、渗透性超标的土工膜、劣质膨润土等,为渗漏埋下隐患;二是施工工艺不规范,如混凝土浇筑振捣不密实、土工膜铺设搭接不严密、焊接质量不合格、土工膜焊接漏检、浆砌石砌筑砂浆饱满度不足等,形成渗漏通道,同时混凝土养护不足,易导致衬砌表面产生裂缝,引发渗漏;三是地基处理不彻底,未对软土地基、岩石裂隙等进行有效处理,运行过程中地基沉降导致防渗层破损;四是施工过程中质量检测不到位,未及时发

现和处理施工中的质量问题,导致渗漏隐患遗留到运行阶段。

3.3 防渗材料性能不足

防渗材料的性能直接决定防渗漏效果和工程使用寿命,目前我国部分防渗材料仍存在性能不足的问题:一是传统刚性防渗材料(如混凝土)抗拉强度不足,易受温度变化和地基沉降影响产生裂缝;二是部分柔性防渗材料(如普通土工膜)抗老化性能、耐腐蚀性不足,长期暴露在阳光下或接触腐蚀性水体后,易老化、破损,缩短使用寿命,其中低价劣质土工膜问题尤为突出,不仅老化速度快,抗穿刺能力也较差,极易在施工和运行过程中破损;三是部分防渗材料的兼容性较差;四是新型防渗材料的研发和应用不足,部分新型材料成本较高,难以广泛推广应用,且部分新型材料的性能尚未经过长期工程实践验证,存在一定的不确定性。

4 水利渠道防渗漏控制技术应用优化对策

4.1 优化设计方案,提升设计科学性

设计方案的科学性是确保防渗漏效果的基础,需从以下方面优化设计:一是加强地质勘察工作,设计前充分勘察渠道沿线的地质条件、地下水位、土壤类型等,明确渗漏隐患点,为技术选型和设计提供依据;二是结合工程实际情况,合理选用防渗漏技术和材料,建立“地质—冻胀—流量”三位一体选型表,结合勘察结果精准匹配防渗技术与材料,兼顾抗冻胀、抗冲刷需求;三是优化渠道断面形式和防渗结构,设置合理的伸缩缝、沉降缝,选用优质的止水材料,确保接缝处防渗严密,同时推广应用抗老化土工膜、纤维混凝土等优质防渗材料,提升防渗结构的稳定性和耐久性。

4.2 强化施工质量管控,确保施工质量

施工质量管控是提升防渗漏效果的关键,需从以下方面强化管控:一是严格把控材料质量,建立材料进场检验制度,对进场的防渗材料(如混凝土、土工膜、膨润土等)进行严格检测,重点推广抗老化土工膜、纤维混凝土等优质材料,不合格材料严禁进场使用;二是规范施工工艺,制定详细的施工方案,明确施工流程 and 操作规范,加强对施工人员的培训,提升施工人员的专业素质和操作水平,确保施工工艺符合要求,针对土工膜施工,增加真空检测、气压检测等专项检测手段,保障

焊接质量;三是加强地基处理,对软土地基、岩石裂隙等进行有效处理,采用夯实、换填、灌浆等方式,提高地基承载力和密实度,避免地基沉降导致防渗层破损;四是加强施工过程质量检测,建立完善的质量检测体系,对混凝土浇筑、土工膜焊接、浆砌石砌筑等关键工序实行旁站监理,进行实时检测,及时发现和处理施工中的质量问题,确保施工质量;五是建立施工质量责任制,明确各岗位的质量责任,加强对施工过程的监督管理,杜绝偷工减料、违规操作等行为^[3]。

结论

本文针对我国水利渠道普遍存在的渗漏问题展开系统研究,分研究结论、主要成果、应用价值三方面总结如下:

一是研究结论。水利渠道渗漏成因复杂,涵盖自然与人为两大因素,渗漏不仅造成水资源严重浪费,还会破坏工程结构稳定性、影响周边环境与农业生产活动,同时增加工程运维成本,对水利工程高效运行构成制约,亟需采取科学有效的防控措施。

二是主要成果。明确目前常用防渗漏技术分为刚性、柔性、复合三大类,各类技术在作用原理、施工工艺及适用场景上各有侧重,需结合工程实际条件合理选型;通过工程实例验证,混凝土衬砌、土工膜及“混凝土+土工膜”复合防渗技术均能实现良好控渗效果,且兼具经济、社会与生态效益;同时梳理出技术应用中存在的设计不合理、施工管控不到位、材料性能不足等问题,并提出针对性优化对策。

三是应用价值。研究提出的防渗漏技术选型建议与优化对策,可有效提升水利渠道防渗漏效果,减少水资源浪费,保障水利工程安全稳定运行,助力水资源高效利用与农业、生态可持续发展。

参考文献

- [1]郭腾,呼磊.水利工程现浇混凝土衬砌渠道防渗漏技术探究[J].建材发展导向,2025,23(19):67-69.
- [2]严锐.水利工程渠道的防渗漏结构设计分析[J].建材发展导向,2024,22(17):53-55.
- [3]葛红花,魏俊勇.水利工程渠道的防渗漏结构设计探讨[J].水上安全,2023,(11):189-191.