

水利枢纽工程防渗施工技术研究

朱 晔

天津水务投资集团有限公司 天津 300200

摘 要：水利枢纽工程防渗施工对保障工程安全稳定运行意义重大。本文首先阐述了理论基础，包括渗流理论等。接着介绍了垂直防渗墙、水平防渗层等关键技术及要点。然后说明混凝土、土工合成材料等材料选择要求与质量控制。最后从施工前设计审查、材料检验，施工中工艺、参数控制，施工后成品检验、资料归档及维护保养等方面，论述防渗施工质量控制，为保障水利枢纽工程防渗效果提供全面技术指导。

关键词：水利枢纽工程；防渗施工技术；材料选择；质量控制

引言：水利枢纽工程关乎国计民生，其安全稳定运行至关重要。防渗施工是保障工程安全的关键环节，一旦出现渗漏问题，将影响工程效益，甚至威胁下游地区安全。研究水利枢纽工程防渗施工技术意义重大，涉及渗流理论、土力学与岩体力学等多学科知识。本文聚焦防渗施工的关键技术、材料选择及质量控制，旨在为水利枢纽工程防渗施工提供全面技术参考，提升工程防渗水平。

1 水利枢纽工程防渗施工技术的理论基础

渗流理论作为研究流体在多孔介质中流动规律的科学基础，能为防渗施工提供理论支撑，通过渗流分析可明确渗漏通道位置、规模及渗透系数，进而为防渗设计提供科学依据。土力学与岩体力学聚焦于土体与岩体在力作用下的变形和强度特性，对防渗墙设计、施工及稳定性分析意义重大，理解土体与岩体物理力学性质，有利于选择合适的防渗材料与施工方法。材料科学不断发展，为防渗施工带来多样化材料选择，高性能混凝土、土工合成材料、化学灌浆材料等各具特点，了解其性能与应用条件是确保防渗效果的关键^[1]。先进的施工技术与科学管理方法是实现防渗目标的重要保障，施工机械选择需契合工程需求，施工工艺要不断优化，施工过程中应加强监控与调整，这些环节均要紧密结合工程实际精心策划与实施，如此才能保障水利枢纽工程防渗施工顺利开展并达到预期效果。

2 水利枢纽工程防渗施工的关键技术

2.1 垂直防渗墙技术

在地下开展连续挖掘或钻凿作业形成槽孔，之后向槽孔内灌注混凝土或其他具备防渗性能的材料，以此构建一道垂直的防渗屏障，有效阻断渗漏通道，防止水体渗漏对工程造成损害。施工方法多样，抓斗法借助抓斗设备挖掘土体成槽，适用于土层相对较软的地质条件；

冲击钻法通过冲击钻的冲击作用破碎岩石或土体成槽，在硬质土层或岩层中应用较多；铣槽法利用铣轮旋转切削土体成槽，能较好地控制槽壁形状，对多种地质情况都有一定适应性。选择施工方法时，需综合考量地质条件与工程需求。技术要点方面，要严格保证槽孔的垂直度、宽度和深度精准符合设计要求，这是确保防渗墙结构稳定和防渗效果的基础；需严密控制混凝土灌注质量，从原材料把控、配合比设计到灌注工艺操作，都要精准无误，防止出现空洞、裂缝等缺陷；同时要加强施工过程中的监测与调整，运用专业仪器实时监测槽孔状态、混凝土灌注高度等参数，依据监测结果及时调整施工参数和工艺，保障防渗墙的整体性与连续性。

2.2 水平防渗层技术

在坝体或地基表面铺设一层或多层防渗材料，构建起水平的防渗屏障，从而有效减少渗漏量，保障工程的安全与稳定运行。施工方法涵盖土工膜铺设、沥青混凝土铺设、复合土工膜铺设等^[2]。土工膜铺设是直接将土工膜按设计要求铺于基底，利用其良好防渗性阻水；沥青混凝土铺设通过浇筑和碾压沥青混凝土形成防渗层，兼具柔韧性与耐久性；复合土工膜铺设结合了土工膜与土工布优势，既防渗又加筋保护。选择施工方法要依据工程需求，如防渗等级、工程规模等，以及材料特性，像土工膜的厚度强度、沥青混凝土的配合比等来确定。技术要点上，要严格确保防渗材料的平整度，避免褶皱影响防渗效果；保证搭接宽度符合标准，使各部分有效连接；重视焊接质量，采用合适工艺保证焊接处无渗漏。同时加强基底处理，清除杂物、平整表面，提高粘结力。此外，设置排水系统，合理引导排出水体，避免水压力积聚破坏防渗层。

2.3 化学灌浆技术

借助专业设备，将化学浆液精准注入渗漏通道，浆

液在通道内发生一系列物理化学反应后逐渐固化,最终形成一道致密且不透水的屏障,有效阻断渗漏,防止水体继续渗透对工程结构造成破坏。施工方法主要有单液法和双液法等,单液法是将单一浆液直接注入渗漏通道,操作相对简便,适用于一些渗漏情况相对简单的情况;双液法则是把两种不同性质的浆液通过不同管道同时注入,在渗漏通道内混合后发生反应固化,能更好地适应复杂渗漏状况。选择施工方法综合考量浆液性质,如浆液的粘度、固化速度等,以及渗漏情况,包括渗漏通道的大小、渗漏量的大小等。要精准选择合适的浆液类型与配比,确保浆液具有良好的流动性以便顺利注入,固化时间和强度满足设计要求;严格控制灌浆压力与灌浆量,避免压力过大浆液扩散过远造成浪费或影响周边结构,压力过小浆液无法充分填充通道;同时加强施工过程监测与调整,实时掌握灌浆情况,保障灌浆效果。

2.4 复合防渗技术

将两种或两种以上的防渗技术有机结合,通过不同防渗技术的优势互补,构建多道防渗屏障,从而显著提高整体的防渗效果,有效抵御水体渗漏对工程的侵害。施工方法常见的有垂直防渗墙与水平防渗层结合,垂直防渗墙深入地下阻断深层渗漏路径,水平防渗层在坝体或地基表面防止表层渗漏;化学灌浆与垂直防渗墙结合,化学灌浆精准填充细微渗漏通道,垂直防渗墙提供整体防渗框架^[3]。选择复合方式时,需依据工程需求,以及地质条件,如土层的软硬、地下水位等来确定。技术要点要确保各防渗层之间实现有效衔接,保证整体性,避免出现衔接薄弱环节导致渗漏;加强施工过程中的协调与配合,合理安排不同防渗技术的施工顺序和时间,防止施工相互干扰影响进度与质量;同时要综合考虑各防渗技术的优缺点,结合工程实际情况对施工方案进行优化,使复合防渗技术发挥最大作用,切实保障水利枢纽工程的防渗安全。

3 水利枢纽工程防渗施工的材料选择

3.1 混凝土材料

对于高性能混凝土,其性能有明确要求,需具备高强度,以承受工程中的各种荷载;高耐久性,能在复杂环境下长期保持性能稳定;良好的工作性,便于施工操作;以及出色的抗渗性,满足防渗墙设计要求,有效阻止水体渗透。在选择混凝土材料时,要遵循一定原则,如防渗墙的深度、厚度等,以及工程所在地的地质条件,像土层的软硬、地下水位等,挑选合适的水泥品种、骨料粒径与级配、外加剂类型与掺量,进而优化混凝土配合比,确保混凝土性能符合工程要求。在质量控

制方面,要严格加强原材料的质量把控,从水泥、骨料到外加剂等,都要进行检验检测。保证混凝土的生产、运输与灌注过程严格符合规范要求,在生产中精准控制各成分比例,运输时防止混凝土离析,灌注时确保连续、均匀,以此提高混凝土的质量与均匀性,保障防渗墙的施工质量。

3.2 土工合成材料

其性能要求严格,需具备良好的物理力学性能,以承受工程中的拉力、压力等作用;化学稳定性强,能在不同环境条件下保持性能不变;耐久性佳,可长期使用而不易老化损坏,从而满足防渗层的设计要求,有效阻止水体渗漏。在选择土工合成材料时,要依据工程需求和材料特性。工程需求包括防渗层的厚度、防渗等级等,材料特性涉及土工膜、土工布、复合土工膜等不同类型。要综合考虑材料的厚度、强度、延伸率、抗穿刺能力等指标,确保所选材料能适应工程实际工况。质量控制方面,首先要加强材料的检验与验收,对每一批次材料进行严格检测,保证其质量符合设计要求。在施工过程中,要格外注意材料的保护,避免材料受到尖锐物体划伤、重物挤压等损坏,同时防止材料被油污、化学物质等污染,确保土工合成材料能正常发挥防渗作用,保障水利枢纽工程的防渗效果。

3.3 化学灌浆材料

其性能要求明确,需具备良好的流动性,如此才能在压力作用下顺利注入渗漏通道,充分填充缝隙;固化时间要符合设计要求,既不能过长影响施工进度,也不能过短导致操作困难;强度方面要达标,固化后形成坚固屏障,有效阻挡水体渗漏,满足灌浆施工的设计需求。选择化学灌浆材料时,要依据渗漏情况与浆液性质。渗漏情况包括渗漏通道大小、渗漏速度等,浆液性质涵盖水泥基浆液、化学浆液等不同类型的点。综合考虑这些因素,挑选合适的浆液类型与配比。质量控制上,要严格加强浆液的配制与检验。配制时精准控制各成分比例,检验时确保浆液性能稳定可靠。施工过程中,密切注意浆液的注入速度与压力控制。注入速度过快或压力过大,浆液可能扩散过远,造成浪费且影响周边结构;注入速度过慢或压力过小,浆液则无法充分填充渗漏通道,影响防渗效果。

3.4 其他辅助材料

止水带、密封胶这类辅助材料,在性能方面有着严格的标准,它们不仅要具备优异的密封性能,以有效阻挡水体通过缝隙渗漏,还需拥有良好的耐久性,从而在工程长期运行期间持续发挥作用,满足防渗施工的辅

助需求。选择这些辅助材料时,要综合考虑工程需求和材料特性^[4]。工程需求涵盖防渗部位的具体状况、对密封程度的要求等;材料特性则涉及不同辅助材料的适用范围、施工便捷性等。通过全面考量这些因素,来挑选出适宜的辅助材料。在质量控制上,首先应加强辅助材料的检验与验收工作,对每一批次的材料都进行严格检测,核查其各项性能指标是否符合设计要求。在施工过程中,要特别注重辅助材料的安装与固定,保证安装位置精准、固定稳固,防止出现松动、移位等问题,进而确保密封效果,使辅助材料能够与主要防渗材料相互配合,共同保障水利枢纽工程的防渗质量。

4 水利枢纽工程防渗施工的质量控制

4.1 施工前的质量控制

(1)设计审查,对防渗施工设计展开严格审查,从防渗结构布局到具体参数设定,都要细致考量,确保设计科学合理、切实可行,既能满足工程防渗的实际需求,又符合相关规范标准。(2)材料检验,要对所有投入防渗施工的材料进行全面严格检验,涵盖混凝土、土工合成材料、化学灌浆材料等各类主材及止水带等辅助材料,检查其质量、规格、性能等是否与设计要求相符,坚决杜绝不合格材料进入施工现场,为防渗质量奠定基础。(3)施工机械准备,要根据施工方案和实际需求,精心准备合适的施工机械与设备,不仅要保证机械性能良好、运行稳定,还要确保数量充足,避免因机械故障或数量不足影响施工进度和质量。

4.2 施工过程中的质量控制

其一是施工工艺控制,必须严格按照既定施工工艺流程操作,从基础处理到防渗主体施工,每道工序都要精准执行,保证施工质量符合规范标准,为防渗工程筑牢根基^[5]。其二是施工参数控制,要对混凝土灌注速度、灌浆压力、土工膜铺设张力等关键参数严格把关,这些参数直接影响防渗效果,需确保其始终满足设计要求,避免因参数偏差导致防渗性能下降。其三是施工监测与调整,要运用专业设备和技术手段,加强施工全过程监测,实时掌握施工动态,一旦发现问题,迅速分析原因并调整施工方案和处理措施,及时消除质量隐患,确保

防渗施工的质量与效果达到预期目标,保障水利枢纽工程长期稳定运行。

4.3 施工后的质量控制

(1)成品检验,要对完成的防渗工程展开严格检验,通过外观检查查看表面是否存在裂缝、破损等缺陷,利用无损检测技术探测内部结构质量,采用压水试验评估防渗性能,多管齐下确保防渗工程质量符合设计要求。(2)资料整理与归档,需将施工过程中的各类资料,如施工记录、检验报告、监测数据等进行系统整理与妥善归档,这些资料是工程建设的真实记录,能为后续维护与管理提供关键依据(3)维护与保养计划,依据工程实际状况和使用要求,定期对防渗工程进行检查与维护,及时发现并处理潜在问题,保障工程长期有效运行,延长其使用寿命,确保水利枢纽工程持续发挥防渗等重要功能。

结束语

综上所述,理论基础为施工提供支撑,关键技术各具特点且要点明确,材料选择要求严格并注重质量控制,施工质量控制贯穿施工前、中、后全过程。严格把控各环节,保障防渗施工达到预期效果,有效防止水体渗漏对工程造成损害,确保水利枢纽工程安全稳定运行,为经济社会发展和人民生命财产安全提供坚实保障,推动水利事业持续健康发展。

参考文献

- [1]李琪.水利枢纽工程中的混凝土防渗技术及施工方案研究[J].建筑技术开发,2025,52(2):31-33.
- [2]梅旭智.水利枢纽工程防渗方案设计及施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(13):71-73.
- [3]龙泉斌.水利枢纽工程中的混凝土防渗技术及施工方案研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(8):017-020.
- [4]黄允波.水利枢纽工程中高边坡开挖与支护施工技术研究[J].珠江水运,2025(11):51-53.
- [5]刘志强,王凯,谢坤.水利枢纽工程中的混凝土防渗技术及施工方案[J].工程建设与设计,2025(18):206-208.