

面板堆石坝在深厚覆盖层上的渗流控制技术研究

孙小辉

中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司 贵州 贵阳 550001

摘要：本文针对面板堆石坝在深厚覆盖层上的渗流控制技术进行深入研究，通过综合评估国内外渗流控制技术发展现状，分析深厚覆盖层对渗流控制的影响，识别渗流路径，评估坝体结构与材料特性，并探讨渗流监测技术的应用。研究难点包括渗流路径预测难度、环境影响与渗流控制平衡、技术创新与材料改良。在此基础上，提出了坝体设计优化、抗渗材料选择与施工质量提升、渗流监测与预警系统建立等技术对策。研究表明，通过技术创新和材料改良，可以有效提高坝体的抗渗性能和稳定性，对保障大坝安全运行具有重要意义。

关键词：面板堆石坝；渗流控制；深厚覆盖层；技术对策

引言

面板堆石坝作为一种在水利工程领域中广泛应用的结构形式，尤其在深厚覆盖层上的建设，其应用过程中面临的主要挑战之一在于如何有效控制渗流。渗流控制技术研究，特别是在确保坝体结构完整、防止渗漏以及提升整体稳定性方面，对于保障坝体的稳定性和安全性具有至关重要的作用。本研究致力于全面分析面板堆石坝于深厚覆盖层之上的渗流控制技术细节，从而为实际的工程应用提供更为精准的科学指引与坚实的技术支撑。

1 面板堆石坝在深厚覆盖层上的渗流控制技术研究

1.1 面板堆石坝渗流路径识别

面板堆石坝的渗流路径识别，作为渗流控制技术体系中的一个重要组成部分，扮演着至关重要的角色，是确保技术实施效果的关键环节。渗流路径受到多种复杂地质条件的影响，具体包括岩层透水性的差异、断层和裂隙的具体分布状况以及地下水位动态变化的影响。这些地质条件，包括地层的渗透性、岩石的硬度与裂隙分布等，不仅精确地决定了地下水渗流的具体方向和速率，还直接且紧密地关联到坝体的结构稳定性以及抵御外部威胁的安全性^[1]。

在识别渗流路径的过程中，通常会采取将多种技术手段相互融合与补充的策略。地质勘探作为一种关键方法，在初步确定渗流路径方面发挥着重要作用，它借助钻探、物探等一系列专业技术手段，能够详细地获取坝基与坝肩的地质构造特征信息。数值模拟方法，例如有限元分析和地下水流动模拟技术，能够精确地提供渗流路径的详细预测信息。这些方法的应用需严格依赖于精确构建的地质模型以及详尽定义的边界条件，以此来保障预测结果的高度可靠性。

1.2 坝体结构与材料特性分析

坝体结构作为面板堆石坝的重要组成部分，在有效控制其内部渗流方面发挥着举足轻重的作用。坝体的几何形态具体特征、层次分布的详细构成以及各组成部分间精细的衔接方式，均会对渗流路径的选择过程和渗流量的有效控制产生极为深远且显著的影响。合理的坝体结构设计能够精确地引导水流流向，有效地分散并减缓水流速度，进而显著降低渗流对坝体的侵蚀作用，确保坝体在长期运行中保持其整体稳定性。

材料的具体物理和化学特性，如渗透性、吸附性等，同样是渗流控制过程中不可忽视的关键一环。堆石材料的粒径分布范围、孔隙率的具体数值、透水性的强弱程度以及抗剪强度的大小等关键特性，均直接且显著地影响了坝体对渗流的阻抗能力。选用粒径分布均匀、孔隙率较低且透水性相对较弱的材料，能够显著地减缓渗流速度，并降低渗流量。

1.3 渗流监测技术与应用

渗流监测技术，作为面板堆石坝安全管理体系中不可或缺的一环，其技术发展和应用现状已经达到了相对成熟的阶段。传统监测手段，例如渗压计与测压管等精密仪器，已经被广泛采用并应用于坝体内部及其周边区域的渗流监测工作中，它们为准确评估坝体的渗流状况提供了直观且可靠的数据支撑^[2]。近年来，随着传感器技术和信息技术的迅猛进步，诸如光纤传感监测、分布式渗流监测系统等一系列新型渗流监测技术开始逐渐显现其独特优势。

在坝体安全性的实际应用场景中，渗流监测技术扮演着举足轻重的角色，起到了至关重要的作用。通过对坝体内部及其周边区域进行连续的渗流数据监测与分析工作，我们能够迅速识别出坝体渗流的异常情况，从而为及时采取应急处理措施以及有效防止坝体发生失稳现

象提供强有力的数据支撑和科学依据。渗流监测数据能够用于全面评估坝体的抗渗性能及其整体稳定性，从而为坝体的日常维护和长期管理提供更为精确和科学的依据。

2 面板堆石坝渗流控制技术难点分析

2.1 渗流路径预测难度

渗流路径预测在面板堆石坝的安全稳定及渗流控制机制中占据着举足轻重的核心地位，其面临的主要挑战则源自地质构造的多样复杂性以及当前预测技术手段存在的局限性。地质条件，特别是深厚覆盖层的具体组成成分、广泛的分布范围、具体的厚度大小以及渗透性的强弱程度，均对渗流路径的形成过程和演化趋势产生了至关重要的决定性影响。覆盖层的复杂非均质特性及其内在的不确定性因素，显著提升了渗流路径预测工作的挑战性，导致传统的地质勘察手段在精确捕捉渗流路径实际状况方面面临较大困难。

在预测技术的发展与应用领域，尽管当前已存在一系列渗流模拟软件和数值方法，它们能够在一定程度上对渗流过程进行模拟和再现，然而，鉴于地质条件具有高度的复杂性和多样性，这些现有的技术手段在模拟结果的准确性和可靠性方面，仍然面临着严峻的挑战和考验^[3]。

2.2 环境影响与渗流控制平衡

在面板堆石坝渗流控制技术的研究过程中，对于环境因素的全面考量是至关重要的。坝体的稳定性和安全性是至关重要的，必须得到严格确保，并且在实施过程中要充分考虑到周围生态环境的保护与修复。渗流控制技术若未能得到妥善应用，可能会导致地下水位发生异常变动，对水文地质条件造成不利影响，从而干扰生态系统的平衡状态。环境友好型渗流控制技术，在保障坝体结构安全稳固的基础上，通过科学设计与精细施工，有效降低了对周围生态环境的负面干扰与影响。在设计和实施渗流控制措施的过程中，必须全面考虑生态平衡以及其对可持续性的影响。采用诸如生态友好型建筑材料和环保施工方法等措施，能够更为有效地控制工程中的渗流现象，同时确保不对周边的自然水循环造成破坏。

2.3 技术创新与材料改良

在面板堆石坝的渗流控制技术体系中，技术创新，特别是针对渗流监测与分析方法的革新，以及材料改良，如采用新型防渗材料和增强材料耐久性等方面的进步，均扮演着至关重要的角色。技术创新不仅极大地推动了渗流控制技术在多个领域的应用与发展，还显著增强了坝体结构的整体稳定性和运行安全性。现代计算机技术和数值模拟方法，如高精度模拟算法和先进的数据处理技术，在渗流路径预测中的应用，已经显著提升了

预测结果的准确性，从而更为可靠地为坝体设计提供了科学依据^[4]。

材料改良领域，特别是在新型抗渗材料的研发与实际应用方面，已经取得了显著成效，这些努力极大地增强了坝体的整体抗渗性能。这些材料展现出了卓越的防水性能和长期的耐久性，能够有效地阻挡水分的渗透，从而确保坝体结构免受任何形式的侵蚀和损害。材料改良在注重提升抗渗性能的同时，也着重关注其环保性能，力求在有效增强材料抗渗能力的同时，最大限度地减少对环境的不良影响。采用具有优异性能的环保型防水材料，不仅能够有效地满足工程中的渗流控制需求，同时还可以在施工过程中显著地减少对环境造成的污染。

3 面板堆石坝渗流控制技术对策研究

3.1 坝体设计优化对策

坝体设计的优化策略，特别是针对面板堆石坝的渗流控制方面，构成了其渗流控制过程中的核心与关键环节。设计过程中，需对坝体结构的合理性进行全面且深入的分析，以确保其在遭受水压力、地震力以及其他各种外部荷载的作用下，能够维持稳定状态，并有效地降低和控制渗流量^[5]。设计优化在渗流控制方面展现出了显著的影响，具体表现为：通过精细地调整坝体的形状、尺寸以及材料分布的合理性，可以有效地减少渗流路径的数量并缩短其长度，进而显著提升坝体的整体抗渗性能。具体措施涵盖了采用更为科学合理的坝体横断面设计策略，旨在有效减轻水流对坝体造成的直接冲刷影响；同时，对排水系统的布局进行了优化，确保渗流能够及时且顺畅地排出，从而防止水分在坝体内发生不必要的积聚；此外，还充分利用了现代先进的计算技术，例如有限元分析方法，对坝体进行了更为精细化的设计，以便实现对渗流的精确控制。

3.2 抗渗材料选择与施工质量提升

在面板堆石坝的渗流控制技术对策实施过程中，选择适宜的抗渗材料以及确保施工质量的显著提升，构成了其中至关重要的两大核心环节。抗渗材料的性能要求具体涵盖了高抗渗性、出色的耐久性、稳定性，并且需要拥有在复杂地质条件下仍能保持良好表现的能力。这些材料应具备极低的渗透系数，以确保能够有效且高效地阻隔水分渗透；并且在长期的使用过程中，它们能够始终维持稳定的物理特性和化学性质，几乎不会受到外界环境因素如温度、湿度等的明显或显著影响。施工质量的优劣，特别是材料的选择、施工工艺的精细程度以及质量监控的严格性，都直接影响着坝体的渗流控制效果。施工质量不佳可能引发一系列问题，其中材料间

的缝隙会逐渐增大,这些缝隙为水流渗透提供了可乘之机,进而显著降低了坝体的整体抗渗性能。在施工过程中,必须严格监控并细致管理施工工艺和流程中的每一个环节,以保证每一道工序都能够精准地符合既定的设计要求。

3.3 渗流监测与预警系统建立

渗流监测与预警系统的科学建立,通过对渗流数据的实时监测与准确预警,对于确保面板堆石坝的安全稳定运行及有效进行渗流控制起到了至关重要的作用。该系统具备实时监测坝体渗流状况的能力,能够迅速捕捉到渗流的任何异常变化,并即时反馈,从而为坝体的整体安全提供坚实可靠的保障。渗流监测系统借助精密的监测仪器,这些仪器被精心布置在坝体的各个关键位置,用以全面收集包括渗流压力、流量等在内的多项数据,进而通过深入的数据分析技术,对坝体的渗流状态进行准确判断。预警系统的构建主要依赖于渗流监测数据的收集与分析,同时充分结合坝体的具体设计参数以及既定的安全标准,科学合理地设定预警阈值。当系统的监测数据显示超过预设的阈值界限时,该系统会自动触发预警信号机制,及时提醒管理人员注意并采取相应的处理措施。监测与预警系统的技术集成是一个复杂的过程,它涵盖了从数据采集、高效传输、精确处理到深入分析等多个关键环节,并要求我们能够综合运用先进的传感器技术、稳定可靠的通信技术、高性能的计算机技术以及强大的大数据分析技术。通过先进的技术集成手段,能够确保监测数据实现即时的传输,并且进行高效、精准的处理,从而显著提升预警系统的响应速度及准确性。

4 结论

本研究针对面板堆石坝在深厚覆盖层上的渗流控制

技术,进行了全面而深入的探讨,详细分析了当前渗流控制技术的实际状况、面临的主要难点,以及针对这些难点所提出的行之有效的对策。研究明确指出,在面临深厚覆盖层地质条件所展现出的高度复杂性时,其对渗流控制带来了前所未有的严峻挑战。然而,通过对地质条件进行全面且细致的实地考察,以及利用先进技术对渗流路径进行精确无误的识别,同时,紧密结合坝体结构设计的科学性与材料特性的针对性优化,我们完全有可能并且能够有效地提升坝体的整体抗渗性能。渗流监测技术的持续革新与日益完善为坝体安全筑起了一道坚实的防线,而预警系统的成功构建则大幅度提升了坝体在面对突发渗流事件时的快速响应与处理能力。本研究提出的技术对策显著提升了面板堆石坝在深厚覆盖层上对于渗流的控制能力,同时,在增强坝体整体稳定性及保障其安全性方面也展现出了重要的实践意义。

参考文献

- [1]何欣,魏匡民,屈洁.峡谷区深厚覆盖层上面板堆石坝结构安全研究[J].西北水电,2024(2):82-88.
- [2]范雄安,田应辉,侯树芃.深厚覆盖层上沥青心墙堆石坝智能建设关键技术研究及应用[J].四川水力发电,2024(3):84-87.
- [3]冯亚新,王润英,孙丹,等.深厚覆盖层上面板堆石坝渗流敏感性分析[J].中国农村水利水电,2023(3):191-198.
- [4]张正勇,石永刚.阿尔塔什深厚覆盖层高面板堆石坝防渗体系布置及关键施工技术[J].水利建设与管理,2021(1):1-6.
- [5]邢建营,关志诚,吕小龙.面板堆石坝深覆盖层处理技术研究及在河口村水库工程中的应用[J].岩土工程学报,2020(7):1368-1376.