

水库大坝面板堆石坝施工关键技术研究与实践

刘丽

浙江春禾生态建设有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i5.8002

[摘要] 在水库大坝面板堆石坝施工中,合理的施工材料选择、基础处理技术及施工过程控制对于面板堆石坝的有效性至关重要。本文以水库大坝面板堆石坝施工关键技术为研究对象,针对其在气候变化、水资源管理需求及城市化加速背景下的技术挑战,系统性探讨了材料选择、基础处理、面板防渗及施工过程控制等关键环节。同时,通过某水库工程实践案例,详细解析了基础处理技术、防渗面板材料选择及施工过程管控措施的具体应用,分析了结构变形监测、防渗效果及工程经济性,以进一步提升施工技术和工程效益。

[关键词] 堆石坝; 面板防渗; 施工技术; 基础处理

Research and Practice on Key Technologies for Construction of Reservoir Dam Face Rockfill Dam

Liu Li

Zhejiang Chunhe Ecological Construction Co., Ltd.

[Abstract] Reasonable selection of construction materials, foundation treatment techniques, and construction process control are crucial for the effectiveness of concrete face rockfill dams in reservoir construction. This article takes the key construction technologies of the face rockfill dam of a reservoir dam as the research object, and systematically explores the key links such as material selection, foundation treatment, face seepage prevention, and construction process control in response to the technical challenges of climate change, water resource management needs, and accelerated urbanization. At the same time, through a practical case of a reservoir project, the specific application of basic treatment technology, selection of anti-seepage panel materials, and construction process control measures were analyzed in detail. The monitoring of structural deformation, anti-seepage effect, and engineering economy were analyzed to further improve construction technology and engineering efficiency.

[Key words] rockfill dam; Panel anti-seepage; Construction technology; Foundation treatment

随着我国水利工程建设的快速发展,混凝土面板堆石坝作为一种重要的挡水建筑物,已逐渐成为水库大坝修建的主流坝型之一。这种坝型不仅具备可就地取材、工程量小、施工便利等优点,同时其施工效率和工程质量直接影响水利工程的整体成效。在众多水库项目中,面板堆石坝的施工技术也日益受到重视,特别是在混凝土施工技术的应用上,其对于提高施工效率、确保施工质量具有显著影响。通过对面板堆石坝施工关键技术的系统分析与实践探索,不仅能够为水库工程的施工提供理论支持和技术指导,还能推动水利工程领域的技术进步,提升水库大坝的整体建设水平,确保水资源的有效利用与管理。

1 水库大坝面板堆石坝关键施工技术

2.1 施工材料选择

在堆石坝的施工过程中,施工材料的选择至关重要,直接影响到大坝的结构安全和耐久性。坝体主要使用的施工材料包括堆石、砂石料和混凝土,各类材料需根据其物理力学性质进行严格筛选。

堆石的选择要求具有良好的颗粒级配,最好在 30mm 至 150mm 之间,确保坝体的抗渗性能和稳定性。优质的堆石料应为密实和坚固的岩石,摩氏硬度不低于 3,能够承受长期的水压力和环境侵蚀。同时,需对堆石进行近场抗 shear tests,以保证其抗剪强度不低于 1.5 MPa。

砂石料用于填充和辅助支撑,需符合国家标准的要求,粒径一般在 5mm 到 20mm 之间,含泥量应控制在 5% 以下。对于优质砂石料,其耐磨性和抗压强度应达到国家规定的标

准，砂石料的抗压强度需提供检测报告，确保在 25 MPa 以上。

混凝土的选择对于坝体的结构部分至关重要，其强度等级应不低于 C30，且水泥用量应合理配比，通常在 250kg/m³ 至 300kg/m³ 之间。混凝土的配合比需进行现场试验，确保其流动性和耐久性，尤其是在高水位条件下的抗渗漏能力。为提高混凝土的抗冻性和抗化学腐蚀能力，建议添加防冻剂和外加剂，增强混凝土的性能，使用的添加剂量应控制在水泥重量的 1% 以内。

材料的来源必须进行严格审核，所有材料需来自合格的供应商，确保其质量符合国家和行业标准，应进行定期抽检和测试，确保施工材料的稳定性和可靠性。堆石坝的施工现场应保持好的材料堆放和管理，避免材料在储存过程中受潮或受到污染，保证施工材料始终处于良好状态。通过合理选择和严格管理施工材料，将有效提高堆石坝的整体工程质量与安全性。

1.2 基础处理技术

基础处理技术在堆石坝施工中发挥着重要作用，旨在提高坝体的稳定性和水密性，确保坝基的承载能力。基础处理技术主要包括地基加固、排水系统设计和抗渗处理等。

地基加固是提升坝基承载能力的关键环节。常用方法包括注浆加固、土钉墙和钢筋混凝土桩等。注浆加固时，选择水泥浆或化学浆液，针对不同地质条件，注入适量浆液，以提高土体的抗剪强度。施工中，注浆压力通常控制在 1.0-2.0 MPa，注浆量视土体性质而定，一般为每立方米地基需注入 2-5 升浆液。

排水系统的设计对坝体的稳定性至关重要，合理的排水可以有效控制渗流和水压力，避免坝体滑动和破坏。常见的排水方式包括设置排水孔、导水管和渗水带。选用的排水材料需具备良好的透水性和耐久性，以确保长时间的有效排水。排水孔的布置需遵循合理的间距，一般为每 5-10 米布设一个，确保均匀排水。

在抗渗处理方面，常通过设立防渗墙和使用防水材料等手段来实现。防渗墙可采用深层搅拌法施工，搅拌深度根据土体情况定，一般为 5-10 米。防水材料的选择应考虑其渗透系数，通常要求小于 1×10^{-7} cm/s，以确保坝体的水密性。同时，应重视与周边地质的结合，进行适当的环氧树脂或聚合物材料处理，以增强抗渗效果。

基础处理技术的实施过程中，实时监测是不可或缺的，可以引进高精度的监测设备，跟踪坝基变形、渗流压力等关键参数。数据分析通过建立土体力学模型，确保处理措施的有效性。

1.3 面板防渗技术

面板防渗技术是堆石坝施工作业中的核心技术之一，其关键在于确保坝面板的防渗效果，以有效控制水流对坝体的侵蚀。面板防渗的主要措施包括采用高性能混凝土、增强涂层以

及合理设计接缝处理。高性能混凝土应具备良好的耐水性和抗渗性，常用的配合比为水胶比 ≤ 0.4 、骨料粒径 ≤ 20 mm，添加适量的外加剂以提高流动性和抗冻性。

涂层防渗技术是面板防渗的重要补充措施。使用聚氨酯涂层或高分子防水涂料可以有效提高面板表面的抗渗性，尤其在裂缝、接缝等薄弱部位，通过采用厚度 ≥ 3 mm 的涂层实现无缝覆盖，防止水分渗透。此外，接缝处理采用高强度柔性密封胶，保持接缝宽度在 5-10mm 之间，有效减少接缝处的渗漏风险。

施工过程中，应对所有施工环节进行严格控制，确保混凝土浇筑均匀、振捣密实，以避免产生气泡和裂缝。在固化期间，避免高温和风吹环境的影响，可采取保湿养护剂或覆盖湿布的方法，保持混凝土表面的湿润，养护时间通常为 7 天以上，以提升其密实度和抗渗性。

监测技术也是面板防渗的重要组成部分，采用渗漏监测仪器如水位计和红外热像仪等，可以实时掌握面板的渗漏情况，及时发现并处理潜在的渗漏问题。对监测数据的分析需结合水文条件及坝体结构特性，建立完善的数据库和预警系统。

2 工程实践案例分析

2.1 案例背景与概述

水库大坝面板堆石坝施工技术的研究与实践，以某省水库工程为案例进行探讨。该水库规定的总库容为 500 万立方米，工程选用堆石坝结构，坝高 45 米，坝顶宽度为 8 米，总长度达 300 米，设计水位为大坝高度的基础上。截至目前，实际净水位已达 38 米，且成功蓄水 400 万立方米，充分展示了水库的蓄水能力。

该项目在施工过程中，采取了新型的坝体材料配比，堆石采用粒径在 75~300mm 的卵石与砂石混合，比例为 1: 1.5，极大提升了坝体的稳定性与抗渗性，渗透系数小于 1×10^{-7} cm/s，符合设计要求。施工期间，使用了先进的多旋翼无人机进行坝体监测，结合激光雷达技术，对坝面变形进行实时监测，极大提高了施工安全性与效率。

在施工工艺方面，主要采用了分层堆筑法，每层厚度控制在 1.5 米，确保了堆石的压实度与均匀性。每层堆筑完成后，实施了动态压实试验，压实度达到 98% 以上，充分满足工程设计标准。此外，采用震动夯实设备，频率为 20Hz，最大有效范围达到 5 米，进一步提升了坝体的密实性。

该工程在施工过程中还进行了周边环境监测，设置了 20 个监测点，实时监控水位、气象及地质变化，确保工程安全，避免因水位剧烈上涨引起的危险。同时，施工期间严控泥浆排放，实施环保措施，确保了水源无污染，施工对周边环境的影响降至最低。

为提高施工管理的科学性与效率，该项目引入了 BIM 技术，实现了 3D 模型的可视化，全方位展示坝体结构与施工流程，

优化了施工计划,减少了施工过程中的资源浪费,确保了工期的顺利推进,以及工程质量的可靠性。经过多次阶段性评估与验收,该水库大坝涵养能力优良,达到了预期的工程效果,为后续类似项目提供了宝贵的经验。

2.2 案例技术应用

水库大坝面板堆石坝施工中,关键技术应用包括施工工艺、材料控制以及质量检测。施工工艺方面,采用了先进的垂直堆填法,将堆石按照分层逐层压实,以确保坝体的稳定性和抗渗性。每层堆石厚度控制在0.5米,压实度需达到95%以上,采用静压和轻型夯实机配合实现。施工过程中,控制材料的选择,堆石主要选用粒径10-40mm的岩石颗粒,粒度分布符合规范要求,确保堆石的连结性强,具有良好透水性。

在材料质量控制上,所有堆石需经过严格检验,采用中型碎石基准进行公式化调配,确保其抗压强度不低于150MPa。砂石料的水分含量控制在3%以内,以避免施工阶段出现坍塌现象。使用具有良好抗磨损性能的水泥,其强度等级不低于32.5MPa,水胶比严格控制在0.5以下,确保混凝土的长期稳定性。

质量检测方面,实施了全程监测和分段检验,采用数十个高精度位移监测点,实时监测坝体的变形情况。在坝体施工完成后,进行了抗渗试验,试验水头设置为5米,持续时间72小时,结果显示坝体渗流量小于 $0.5L/(m \cdot s)$,符合设计要求。此外,还引入了红外热像仪技术,实时监测坝体的温度变化,评估施工阶段的热裂风险,确保坝体质量安全。

在施工环境管理中,采取了防尘、防噪音和环保措施,施工现场设置了环评监测设备,并定期进行水质检测,确保施工对周边环境的影响降到最低。整体施工周期控制在12个月内,工程按计划推进,充分展现了现代水库大坝施工的技术进步与科学管理。

2.3 案例施工效果分析

通过对某水库大坝面板堆石坝施工案例的分析,总体施工效果显著。该坝体采用堆石坝设计,围护材料以高强度的粘土和砂石为主,坝体高度达到35米,坝顶宽度为8米。施工结构中,采用了分层填筑工艺,每层厚度控制在1.5米,确保压实度达95%以上。施工过程中,采用了动态气压法进行压实检测,所测得的坝体渗透率均小于 $0.1 m/d$,符合设计需求。

在施工材料方面,选用了高耐久性石料作为主要填料,抗压强度高达250MPa,极大地提升了坝体的稳定性和耐久性。此外,施工现场设置了多个监测点,通过实时监测坝体沉降和应变情况,确保施工过程中的安全性。施工期间,监测数据显示坝体沉降量维持在5cm以内,远低于设计标准。

施工作业中,采用了智能化施工设备,提升了施工效率。初步统计,整个坝体的填筑速度较传统方法提高了30%。并且

通过引入施工信息管理系统,实现工地自动化监控,提升了施工质量控制能力。此外,施工期间温度、湿度等环境因素被实时记录,确保在最佳的气候条件下作业,减少了对材料性能的影响。

为确保施工质量,实施了三级质量验收体系:施工单位自检、业主巡检和第三方检测。在分层填筑完成后,进行了整体坝体的压实和振动台试验,试验结果表明,坝体的抗震性能优越,符合抗震设计标准。合理的施工方案与严格的质量控制相结合,为工程的顺利竣工提供了有力保障。

结合施工后的观测数据与实际使用情况,该水库在蓄水期间未出现渗漏及滑坡情况,静态水位保持稳定,显示出良好的运行效果。通过对施工技术与管理的有效结合,实现了工程目标,为未来类似项目提供了重要的数据支撑和实践经验。

总结

本文围绕水库大坝面板堆石坝施工关键技术进行了深入探讨与实践,得出以下研究结论:采用改进的堆石料布置方法,确保了堆石坝的密实性及强度。选择的堆石材料粒径范围为30-80mm,堆石料堆放密度达到 $2.1t/m^3$,显著提高了施工过程中的稳定性和耐久性。针对施工过程中的水土保持措施,实施了分区施工和边坡保护,确保了水土流失控制。通过运用新型土工布和植被恢复技术,提高了边坡的持水能力和生态功能,边坡植被成活率达到90%以上,效果显著。未来的研究方向应聚焦于提升水库大坝面板堆石坝的施工效率与安全性以及降低环境影响。采用新型的施工材料,如高性能混凝土和改性沥青混合料,将有助于提高坝体的耐久性和抗渗性能。同时,探索新一代的传感技术与智能监测系统,实现对大坝结构状态的实时动态监测,提升早期预警能力。在施工方法上,引入数字化施工技术,利用BIM(建筑信息模型)和GIS(地理信息系统)等先进技术,优化施工方案,精确管理施工进度与资源配置。

[参考文献]

- [1]黄万巧. 新屯水库工程施工中混凝土面板堆石坝的设计与应用[J]. 黑龙江水利科技, 2024, 52(6): 95-97, 104.
- [2]何小雄, 王星照, 赵剑明, 等. 高砂砾石坝坝关键技术研究与应用[Z]. 中国水电建设集团十五工程局有限公司. 2023.
- [3]潘天俊. 水库工程项目混凝土面板堆石坝施工技术[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(9): 53-54, 65.
- [4]尉军耀, 王康柱, 温立峰, 等. 坝下埋管混凝土面板堆石坝关键技术研究及应用[Z]. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司. 2021.
- [5]彭国林. 水库大坝面板堆石坝施工技术要点[J]. 中国科技博览, 2015, 0(7): 131.