

水利工程面板堆石坝坝体填筑施工技术

田小燕

(四川路航建设工程有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 水利工程是国家基础设施的重要组成部分, 合理管理和利用水资源能够更好地满足社会发展及生态环境的需求。在水利工程中, 堆石坝因其独特的结构和良好的安全性而被广泛应用于水库建设、灌溉和防洪等领域。相较于混凝土坝, 堆石坝的设计理念简单, 施工技术成熟, 更具适应性和经济性。基于此, 本文重点研究了面板堆石坝坝体的填筑施工技术, 探讨了施工过程中常见的问题与质量控制, 以期为提高堆石坝的施工质量与安全性提供参考。

关键词 水利工程; 面板堆石坝; 坝体填筑

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.26.016

0 引言

面板堆石坝作为堆石坝的一种新型结构形式, 通过在坝体外侧设置混凝土面板, 以增强坝体的强度和稳定性。这一设计不仅提高了坝体抵抗水压力的能力, 还有效减少了坝体表面的侵蚀。随着水利工程建设规模的不断扩大和技术的持续进步, 堆石坝施工技术也经历了不断的创新与发展。这些技术涵盖了填筑材料的选择、施工工艺的优化以及质量控制的强化等方面。通过对施工技术的深入研究与分析, 为堆石坝的安全建设提供实践指导, 从而有效提升工程的经济效益与社会效益。

1 水利工程面板堆石坝坝体填筑施工关键技术

1.1 基础处理与测量控制

1.1.1 处理坝基填筑基础面

在水利工程中, 处理坝基填筑基础面是确保工程质量和安全的关键步骤。首先, 必须对坝基进行全面评估, 以确定其总体质量。这一过程包括在填筑区基岩上识别和定位覆盖层, 如松散土层、大块岩石和危石等。通过细致的现场调查和彻底的地质勘探, 能够为后续填筑作业的顺利进行奠定良好的基础。如果发现覆盖层较厚或存在危石, 需立即进行清理, 以确保施工的准确性与稳定性, 避免在填筑过程中出现意外情况。在检查坝基的过程中, 若发现有裂缝, 应采取适当的治理措施, 如开挖、削坡和回填等, 以保证坝基的稳定性。这些裂缝可能会导致土体的滑动或沉降, 进而影响整个坝体的安全^[1]。因此, 进行加固处理是至关重要的, 以增强坝基的稳定性, 防止裂缝的扩展带来安全隐患。此外, 应仔细查明填筑区内是否存在

岩溶洞穴等地质问题。对于这些区域, 需进行钻探以获取准确的信息。了解岩溶的分布情况后, 可以采用清挖、喷浆或回填等先进技术进行处理。在进行灌浆作业时, 要去除洞穴和裂缝表面的浮泥与杂物, 确保灌浆材料能够充分渗透并与周围土壤结合。这一过程能有效减少因水流浸入而引起的潜在风险, 从而提高坝基整体的稳固性。在填土施工前, 工程师需要进行开孔试样, 以确定干密度及填料级配是否符合设计规范, 从而为后续的大面积施工提供依据。同时, 填筑过程中需重视坝基填筑基础面的平整度, 集中管理大面积的径料, 确保填土的质量。此外, 对于坝基填方区结合部及角隅的碾压度要进行细致分析, 通过适当的碾压与夯实措施提高整体基础的承载能力。值得注意的是, 所有的勘探坑和平面洞需按设计图认真回填, 以确保整体结构的稳定性。在不透水面附近的探测孔尤其需要进行封闭, 以防止地下水的渗入而影响坝体的稳定性。最后, 在大坝的回填施工前, 必须对地基进行严格的清理, 并对碎石层实施碾压夯实, 以达到最佳压实状态, 确保坝体的长期稳定性和承载能力^[2]。

1.1.2 测量控制填筑区交界线

坝基填筑基础面处理完毕后, 要严格依据设计要求开展系统测设工作。采用竹桩吊线法精准标定垫层上游边线, 该方法操作简便且干扰施工流程, 为后续放样作业筑牢基础。于岩质边坡精确标注高程与桩号, 为施工提供清晰数据参照。准确测定各上升层与主堆石区交界线, 确保填筑层间衔接紧密、高度统一。为强化施工质量管控, 将主、次交界线下游边线适度放宽至二至三层, 优化整体测放流程, 有效规避边线误差风险。

基于坝体沉降观测数据实施详细放样,精准把控后续填筑精度与坝体稳定性。科学预留沉降超高,严格控制在坝体高度的 0.5%~1.0% 区间,前瞻性应对未来沉降问题。在填筑施工过程中,每完成一次提升即重新测量边线,系统整理勘测、验收等测绘记录,实时更新施工数据,确保施工全程契合设计规范。规范整理所有测量数据并汇编成册,同步绘制剖面图实现动态监测。这种标准化记录与实时监测机制,不仅为工程决策提供即时数据支撑,更为施工技术优化积累实践依据。

1.2 坝料摊铺与过渡料填筑

1.2.1 坝料摊铺

在完成坝基填筑基础面处理和测量控制填筑区交界线后,下一步是进行坝料的摊铺,以确保坝料的工作性能。坝料质量直接影响坝体的稳定性和耐久性,因此必须剔除或击碎特大块石料,以确保填充材料的均匀性和密实性,从而提高坝体结构的整体强度和稳定性。在坝料摊铺过程中,垫层区和过渡区采用逐步填筑的方法,确保每一层材料均匀分布,防止局部沉降或裂缝。主堆石区则选择“进占”方式,这有助于保持坝体材料的湿润,减少块石间摩擦力,并增强石料的相互结合性。为提高填筑材料的密实度,应使用振动装置进行处理,同时控制水分含量,特别是在夏季高温条件下,防止物料脱水。在物料摊铺前,部分物料需排出,以确保顺利施工。在摊铺过程中,应用小幅振动沿坝轴方向对主堆石料进行碾压,碾压操作由坝体边坡向坝内进行,采用进退交错的方式,确保填筑层的密实性和均匀性。在碾压时,需依据碾压轮宽度与设计遍数比值确定错距,以保障每个区域都能充分处理。对于振动碾压无法达到的区域,平夯可作为有效的替代工具,确保这些区域达到设计要求的密实度。此外,填料层与过渡层主要石料应同步浇筑与均匀抬升,注意防止石料在交接点聚集,影响整体平整度和稳定性。在处理错列接缝时,坡度不得超过 1:3,形成平缓的斜坡以增强稳定性,同时应增加保护板和填线以确保施工安全。在垫层料填筑高度达到 10~15 m 时,必须进行削坡和碾压处理,以防止过压和漏压现象。利用激光技术进行坡面二次开挖,每次 3~5 m,有效确保填料的压实程度达到最佳效果^[3]。

1.2.2 过渡料填筑

坝料摊铺作业完成后,随即开展沥青混凝土心墙两侧过渡料的填筑施工。过渡料作为非塑性材料,其质量与施工标准需严格契合设计图纸要求。其中,颗

粒组成里粗颗粒占比不得超 3%,针状颗粒占比需控制在 10% 以内,这些指标对提升填筑材料的稳定性与密实度作用显著,是保障坝体安全及耐久性的关键。

为达成理想填筑效果,采用 220HP 推土机将过渡料铺至 44 cm 厚,随后进行水碾压作业,用水量按体积比保持在 15%~20%,该比例依据现场碾压试验确定,可确保材料达到最佳湿润度与压实效果。上下游分区宽度按规范设为 3.0 m,施工时遵循平行作业原则,同步实施三层过渡料(每层厚 25 cm)与一层坝体材料(厚 75 cm)的填筑,以避免因应力集中引发沉降问题^[4]。

物料运输环节,由车辆将过渡料运至坝面,采用后退式卸料方式保证布料均匀。针对 1.5 m 宽的路面,使用沥青混凝土摊铺机进行摊铺平整;其他区域则采用 1.6 m 反铲挖掘机作业,确保各区域铺设均符合设计标准。对于 25 cm 厚的过渡层摊铺料,需经 2.7 m 自激振动碾压实。而机械难以触及的角落,采用人工与小型振动夯实设备配合压实,确保无死角处理到位。最后一层填平后,需进行适度碾压,使过渡层表面平整且承载能力提升。

过渡层施工衔接处,尤其是上游坝壳料与过渡料的交界部位,采用台阶法施工,台阶宽度不小于 2 m,以防止因填筑不均产生沉降变形。这种结构设计能增强接缝处的抗沉降性能,保障坝体整体稳定。

2 水利工程面板堆石坝坝体填筑施工质量控制

2.1 原材料质量控制

在水利工程面板堆石坝的建设中,原材料质量是坝体填筑施工质量的基础。堆石料作为主要材料,其质量直接影响坝体的稳定性。在选择料场时,需进行详细的地质勘察,挑选出岩石抗压强度高、级配良好的料场。一般来说,岩石抗压强度需达到 40~50 MPa 以上,这样才能保证坝体在长期受力下不会出现过度变形或破坏。同时,要严格控制堆石料的级配,避免粗颗粒或细颗粒含量过多。粗颗粒过多会导致压实困难,细颗粒过多则可能增加坝体的渗漏风险。例如:通过筛分试验对石料进行分析,确保各级粒径石料比例符合设计要求。

土料作为防渗体或过渡层材料,其含水量和塑性指数是关键指标。合适的含水量能保证土料达到最佳压实效果,一般将土料含水量控制在最优含水量 $\pm 2\%$ 范围内。若含水量过高,可采用翻晒的方式降低水分;含水量过低,则需洒水搅拌均匀。塑性指数反映土料黏性,用于水利工程的土料塑性指数宜在 10~20 之间。对不符合要求的土料,可通过添加石灰、砂等进行改良,

以满足工程需求。对原材料质量的严格把控,为后续施工奠定坚实的基础。

2.2 施工工艺规范

合理的施工工艺是保障面板堆石坝坝体填筑质量的关键。在填筑顺序上,遵循先低后高、先岸坡后河床的原则。先从坝体较低部位开始填筑,能使基础逐步承受上部荷载,减少不均匀沉降的风险。例如:在某峡谷地区的水利工程中,施工团队先对河床底部进行填筑,随着坝体升高,基础也逐渐适应了压力变化。先进行岸坡填筑,是因为岸坡地形复杂,处理难度大。在岸坡填筑前,需对其进行清理和修整,清除表面的松散岩石和杂物,并对陡坡进行削坡处理,以保证填筑层与岸坡紧密结合。

卸料和铺料环节也至关重要。卸料方式有进占法和后退法。进占法对已压实坝面扰动小,但对设备要求高;后退法便于控制铺料厚度,但可能影响已压实层。施工时需根据实际情况选择合适的卸料方式。铺料厚度应严格控制在设计范围内,一般为 $0.6 \sim 1.0$ m。通过在坝面设置标杆,推土机操作人员依据标杆高度将石料推平,确保铺料厚度均匀。例如:在某中型水利工程中,施工人员每隔一定距离设置标杆,使得铺料厚度偏差控制在极小范围内,为后续压实作业创造良好的条件。

2.3 施工过程监测

施工过程监测是保障面板堆石坝坝体填筑质量的重要手段,主要涵盖坝体变形监测、孔隙水压力监测和填筑层内部质量检测等方面。

坝体变形监测包括高程测量和平面位移测量。在坝体的不同位置,如坝顶和坝坡,合理设置观测点。通过水准仪定期测量高程,获取坝体的沉降数据,若沉降速率过快或沉降量超出设计范围,可能预示坝体存在压实不足或基础沉降问题。借助全站仪测量平面位移,了解坝体水平方向的移动情况,当平面位移异常时,可能影响坝体结构稳定。比如在某次强降雨后,某面板堆石坝通过监测发现部分区域平面位移增大,施工方及时进行加固处理,避免了潜在风险。

孔隙水压力监测同样不容忽视。在坝体内部不同深度埋设孔隙水压力计,实时监测孔隙水压力变化。当孔隙水压力过高时,会降低堆石料间的有效应力,增加坝体失稳风险。例如:在连续降雨后,某工程坝体部分区域孔隙水压力上升,施工方通过增设排水设施,有效降低了孔隙水压力,保障了坝体安全。

填筑层内部质量检测常采用地质雷达等无损检测

技术。定期对填筑层进行检测,若发现内部存在空洞、疏松等缺陷,及时进行返工处理,确保坝体填筑质量。

2.4 人员管理与培训

人员管理与培训在面板堆石坝坝体填筑施工质量控制中起着核心作用。组建专业且分工明确的项目团队是基础,团队成员涵盖项目经理、技术负责人、质量管理人员、施工人员和安全管理人員等。项目经理统筹项目全局,制定质量目标和施工计划;技术负责人负责技术方案制定与指导;质量管理人员把控施工质量;施工人员负责具体操作;安全管理人员保障施工安全环境。各成员各司其职,协同合作,为施工质量提供有力保障。技术交底与培训是提升施工人员技能和质量意识的关键。在工程开工前,技术负责人对施工人员进行全面技术交底,详细讲解施工工艺、质量标准 and 注意事项。在施工过程中,定期组织培训,内容包括新技术应用、质量问题案例分析等。针对新入职人员开展岗前培训,使其快速熟悉工作要求^[5]。例如:某水利工程通过培训,施工人员熟练掌握压实设备操作技巧,压实度一次合格率大幅提高。此外,建立有效的激励机制,鼓励施工人员提升技能水平,对表现优秀者给予奖励,充分调动人员积极性,从人员层面确保施工质量。

3 结束语

面板堆石坝作为一种高效且经济的水利结构形式,其施工技术的持续改进与创新,不仅能提高工程的整体性能,还能水资源可持续利用做出贡献。本文通过对水利工程面板堆石坝坝体填筑施工技术的深入研究,总结了当前施工过程中涉及的关键问题及其解决方案,强调了合理施工工艺和严格质量控制在保证坝体安全性和耐久性方面的重要性。

参考文献:

- [1] 龚欣傲.软岩堆石料在高面板堆石坝上的变形机理及分区优化研究[D].天津:天津农学院,2024.
- [2] 聂培,周娟.水利工程混凝土面板堆石坝坝体填筑施工技术[J].水上安全,2024(04):187-189.
- [3] 贾晓峰.堆石坝面板挤压破坏机理分析及预防探讨[J].山西水利科技,2024(01):13-16.
- [4] 王亚军.水利工程中面板堆石坝坝体填筑施工技术[J].大众标准化,2023(22):98-100.
- [5] 贾玉.混凝土挤压边墙施工技术在金昌市韩家峡水库工程面板堆石坝中的应用[J].大众标准化,2023(07):37-39.