

水利水电工程混凝土面板堆石坝施工技术

卢宇奇

中国葛洲坝集团第三工程有限公司 陕西西安 710000

摘要: 本文系统阐述了水利水电工程中混凝土面板堆石坝的核心施工技术, 围绕坝体堆石料开采运输、堆石体填筑工艺、混凝土面板施工及质量控制体系展开研究。通过分析料场规划、爆破参数控制、运输调度优化等关键环节, 提出动态供应机制与产能匹配模型; 针对填筑工艺, 制定分区作业标准与“三检制”质量管控体系; 在面板施工中, 规范基础处理、混凝土配合比设计及养护工艺。研究表明, 采用标准化施工流程与全过程质量监测, 可显著提升坝体结构安全性与耐久性, 为同类工程提供技术参考。

关键词: 水利水电工程; 混凝土面板堆石坝; 施工技术

水利水电工程中, 混凝土面板堆石坝因其适应性强、经济性优等特点得到广泛应用。该坝型施工涉及多专业交叉作业, 其中堆石料质量控制、坝体填筑密实度保障及面板抗裂技术是影响工程安全的核心要素。本文通过系统梳理各施工环节技术要点, 建立从料场规划到结构验收的全流程管控体系, 旨在为提升堆石坝施工标准化水平提供实践指导, 推动行业技术规范完善。

一、坝体堆石料的开采与运输

1. 料场勘测与规划管理

料场选址作为堆石坝施工的基础性工作, 需建立多维度评估体系。施工方需综合考虑地质条件、岩石物理特性、开采技术可行性及物流运输效率等核心要素。以典型工程实践为例, 技术人员需对候选区域开展系统性地质勘察, 重点分析岩层走向、节理发育程度及岩石单轴抗压强度等指标。在料场规划阶段, 工程团队应根据总进度计划将料场划分为若干开采单元, 通过空间分区与时间分期相结合的方式, 建立动态供应机制。这种规划模式既能保障不同施工阶段对堆石料级配要求的适应性, 又可避免单一区域过度开采引发的地质环境问题。

2. 岩石开采工艺与装备配置

针对不同岩性特征需采取差异化开采方案。当处理花岗岩、玄武岩等硬质岩体时, 钻孔爆破法成为首选工艺。具体实施中, 钻机选型需匹配岩石可钻性等级, 潜孔钻机与牙轮钻机适用于中硬至坚硬岩层。爆破设计需遵循微差爆破原理, 通过精确控制孔网参数、装药结构及起爆顺序, 实现岩石解体与块度控制的双重目标。在软岩或风化岩层开采场景, 液压挖掘机可直接进行剥离

作业, 配备加长臂及强化斗齿的专用设备能有效提升作业效率。设备配置需建立产能匹配模型, 根据日开采强度需求, 合理配置钻爆、挖掘及装载设备的数量比, 确保各工序间产能平衡^[1]。

3. 运输系统构建与调度优化

物料运输体系是连接料场与坝体的关键纽带。道路规划设计需满足重型车辆通行要求, 路面结构层应包含基层、垫层及磨耗层。某工程实践表明, 采用20cm厚级配碎石基层加15cm厚C30混凝土面层的复合结构, 可有效承受30吨级自卸卡车的反复碾压。在交通组织方面, 需建立单向循环通行系统, 通过设置会车区、避让车道及智能交通信号装置, 实现运输车辆的有序流动。调度管理系统应集成GPS定位、车载终端及智能派车算法, 根据坝体填筑进度实时调整运输频次与路线, 避免料场出料口与坝面卸料区出现车辆积压。

4. 施工质量控制要点

堆石料质量控制贯穿开采、运输及摊铺全流程。在料场源头, 需建立分级筛选制度, 通过振动筛分设备剔除超径石及风化颗粒。运输过程中应采用篷布覆盖措施, 防止雨水侵入导致含水量超标。坝面摊铺环节需严格控制虚铺厚度, 通过网格法布料配合推土机初平, 再由振动碾进行分层碾压。质量检测应采用灌水法测定干密度, 结合试坑法验证孔隙率指标, 确保压实质量满足设计要求。

5. 安全环保管理措施

爆破作业需严格执行安全规程, 通过设置警戒区域、实施爆破震动监测及采用预裂爆破技术, 将飞石距离控

制在安全范围内。设备维护应建立三级保养制度，重点检查制动系统、转向机构及液压装置的技术状态。在环境保护方面，料场开采前需剥离表层覆盖土并集中堆存，用于后期生态修复。运输道路应配置洒水车定时降尘，坡面排水系统需与工程防汛体系有效衔接，防止水土流失对周边环境造成影响。

二、堆石体的填筑工艺

1. 施工准备阶段的技术规范

坝基处理是堆石体填筑的首要前置工序。施工人员需对坝基表面进行彻底清理，通过机械挖掘与人工拣选相结合的方式，全面清除杂草、腐殖土、松散岩块等杂物。对于地质条件复杂的区域，需采用地质雷达进行隐伏缺陷探测，确保基岩面完整无裂隙。清理完成后，需对坝基进行压实处理，通常选用自重20吨以上的振动碾进行分层碾压，每层碾压厚度控制在30~50厘米范围内。碾压作业需遵循“先轻后重、先慢后快”的原则，通过三遍静压加五遍振压的组合工艺，使坝基压实度达到设计标准的98%以上。垫层铺设作为坝体与基础的过渡结构，其施工质量直接影响堆石体的应力分布。工程技术人员需根据地质勘察报告，选择级配良好的天然砂砾石或人工骨料作为垫层材料。垫层厚度通常设定为1.0~1.5米，粒径组成需满足 $D_{max} \leq 80\text{mm}$ 、 $D_{10} \geq 5\text{mm}$ 的级配要求。铺设过程中，采用后退法卸料工艺，自卸汽车沿坝轴线方向匀速后退，配合推土机进行初步摊铺。为确保垫层平整度，需使用激光水准仪进行实时监测，将高程误差控制在 ± 2 厘米以内。密实度检测采用灌砂法，每200平方米设置一个检测断面，确保压实度不低于95%。

2. 填筑施工的工艺控制要点

堆石体填筑采用分区作业模式，典型分区包括过渡区、主堆石区、次堆石区三个功能层。过渡区作为面板与主堆石区的缓冲结构，需选用粒径5~40mm的连续级配材料，填筑时采用进占法卸料工艺。自卸汽车在已压实层面上保持5~8米间距，沿坝轴线方向匀速后退卸料，避免料流对基础产生冲击。推土机进行初步摊铺后，需使用25吨以上的振动碾进行6~8遍碾压，确保孔隙率控制在22%以内。主堆石区作为坝体主要受力结构，应选用强度高、级配良好的硬质岩石。填筑作业采用定点卸料方式，自卸汽车在指定网格内卸料，单层填筑厚度控制在0.8~1.0米。摊铺过程中，采用“后退法”与“进占法”相结合的工艺，先使用推土机进行粗平，再配合装载机进行精平。振动碾压实行“错距法”，轮迹重叠宽度

不小于20厘米，碾压遍数根据现场试验确定，通常不少于8遍。对于大型填筑面，需采用振动凸块碾进行补充压实，重点加强边坡部位的压实质量。次堆石区作为坝体辅助结构，可适当放宽材料要求，选用粒径40~600mm的块石料。填筑工艺与主堆石区基本一致，但允许采用“倾填法”进行快速施工。为保证填筑质量，需控制单次倾填高度不超过3米，并使用液压破碎锤对超径石进行二次解小。碾压设备可选用30吨以上的重型振动碾，通过增加碾压遍数弥补材料级配的不足。

3. 全过程质量控制体系

填筑质量控制建立“三检制”管理体系，即施工班组自检、质量员专检、监理工程师抽检的三级检验制度。每层填筑完成后，需进行压实度、颗粒级配、含泥量三大指标检测。压实度检测采用核子密度仪与灌水法相结合的方式，每500平方米设置不少于3个检测点。颗粒级配检测通过筛分试验进行，要求不均匀系数 $C_u \geq 5$ ，曲率系数 $C_c = 1 \sim 3$ 。含泥量控制需严格，过渡区材料含泥量不得超过3%，主堆石区不得超过5%。施工过程控制需建立动态调整机制。当检测发现压实度不达标时，应立即分析原因并采取补救措施：对于局部压实不足区域，可采用冲击碾进行补充压实；对于大面积质量缺陷，需进行返工处理。填筑面保护方面，需在降雨前完成覆盖层施工，对于已填筑但未碾压的层面，需使用防雨布进行临时苫盖。冬季施工时，当气温低于 5°C 时需停止填筑作业，已填筑层面需铺设保温材料防止冻胀破坏。在坝体变形监测方面，需埋设测压管、沉降标等观测设施，对填筑过程中的沉降变形进行实时监测。典型断面每20米设置一个观测点，监测数据每日分析比对，当沉降速率超过 2mm/d 时，需立即调整填筑速率或暂停施工。通过这种全过程、多参数的质量控制体系，可有效保障堆石体填筑的工程质量，为混凝土面板的顺利施工奠定坚实基础。

三、混凝土面板的施工

1. 基础处理与钢筋安装

面板施工前需对堆石基面进行标准化处理。施工人员需对堆石体表面进行精细修整，采用专业设备清除浮石与尖角，确保基面平整度满足设计规范。基面处理完成后，需铺设专用垫层材料。施工人员需在基面上均匀摊铺水泥砂浆或沥青砂浆，使用抹平机械进行压实找平，形成与面板紧密结合的基层结构。钢筋骨架安装是基础处理的重要工序。技术人员需根据设计图纸，精确下料

并加工钢筋。在垫层固化后,施工班组按照测量放线位置进行钢筋绑扎。操作人员需使用铁丝将主筋与分布筋牢固绑扎,关键节点采用焊接加固。钢筋间距控制需使用定位卡具,保护层厚度通过预制砂浆垫块维持,确保钢筋骨架既满足受力要求,又具备足够的抗腐蚀能力。

2. 混凝土制备与运输

混凝土配合比设计需综合考虑环境因素与技术要求。技术人员需根据工程特点,选用合适的水泥品种与骨料级配。在寒冷地区施工时,需通过添加引气剂改善混凝土抗冻性能,同时调整水灰比保证工作性能。试验室需进行多组配合比试配,通过强度测试与耐久性试验确定最优方案。混凝土生产系统需做好浇筑准备。操作人员需对搅拌设备进行全面检查,校准计量装置,确保原材料投料准确。混凝土运输需制定专项方案,选择适宜的运输工具与路线。运输过程中需控制装载量与行驶速度,采取防离析措施,确保混凝土抵达浇筑现场时仍保持良好的工作性能^[2]。

3. 浇筑工艺与养护措施

面板浇筑需根据结构特点选择适宜工艺。对于大面积面板,通常采用分块跳仓浇筑法。施工人员需按照预定顺序,逐块进行混凝土浇筑。振捣作业需配备多种振捣设备,先用插入式振捣器确保内部密实,再用平板振捣器进行表面处理。在连续面板施工中,滑模工艺可实现高效浇筑,通过模板滑动保持混凝土成型质量。混凝土终凝后需立即启动养护程序。养护方式需结合气候条件选择,常温下可采用覆盖保湿法,使用土工布或塑料膜保持表面湿润。在干燥风大环境,需延长养护周期并加强保湿措施。养护期间需安排专人巡查,监测混凝土表面状态,防止因水分蒸发过快产生收缩裂缝,确保面板达到设计强度与耐久性要求^[3]。

四、施工过程中的质量控制与安全管理

1. 质量控制体系与措施

在水利水电工程中,混凝土面板堆石坝的施工质量与安全管控至关重要。为确保工程质量,必须构建完备的质量管控体系。施工单位应设立专职质量监督部门,配备专业技术人员及精密检测仪器,对原材料质量进行严格把控。从石料开采到混凝土拌制,每个环节均需执行进场验收制度。例如,堆石料需检验粒径级配及含泥量,水泥需核查强度等级与安定性,砂石骨料需检测含

水率与杂质含量。施工全过程推行质量终身负责制,明确划分各参建单位的质量责任边界。项目经理部需建立质量责任清单,将质量控制指标分解至各作业班组。通过开展岗前技术交底与技能培训,强化一线作业人员的质量意识。现场管理人员应实施旁站监督,对混凝土振捣、堆石碾压等关键工序进行全过程监控^[4]。

2. 安全管理要点与防范措施

针对施工安全风险,需制定专项防护方案。在高空作业区域,必须架设标准化防护栏杆并铺设密目安全网。从事面板钢筋绑扎的工人必须全程系挂双钩安全带,作业平台需设置防滑条并定期检查防护设施稳定性。大型机械设备操作人员须持证上岗,建立设备日检、周检制度,重点检查制动系统与安全装置可靠性。爆破作业应编制专项施工方案,严格划定安全警戒范围。爆破前需清场确认,设置声光报警装置,安排专人值守交通要道。装药作业必须使用木质炮棍,严禁使用金属器具。起爆后需经过充分通风,由专业人员进入现场检查盲炮情况^[5]。

结语

混凝土面板堆石坝施工需建立“技术-管理-监测”三位一体管控体系:通过地质勘测与设备选型优化保障原料质量,采用分区填筑与智能调度提升施工效率,运用动态检测与工艺修正确保结构安全。实践证明,严格落实工序验收标准、强化关键参数监测、完善应急处理机制,可有效控制施工变形与质量缺陷。未来随着智能建造技术发展,BIM建模与物联网监测将进一步提升堆石坝施工精细化水平。

参考文献

- [1] 刘晓刚. 水利水电工程混凝土面板堆石坝施工技术[J]. 工程建设和设计, 2024, (20): 190-192.
- [2] 罗永红. 创新技术在混凝土面板堆石坝中的应用分析[J]. 工程与建设, 2024, 38(04): 881-882.
- [3] 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.
- [4] 龚波. 水利水电施工混凝土面板堆石坝技术初探[J]. 建材与装饰, 2024, 20(13): 154-156.
- [5] 杨世林. 水利水电施工混凝土面板堆石坝技术现状[J]. 2024(4): 64-66.