

Research on Application Points of Construction Technology of Roller Compacted Earth-rock Dam

Junfeng Sui

Beijing Chaoyang Water Conservancy Engineering Co., Ltd., Beijing, 100020, China

Abstract

As a widely adopted dam type in hydraulic and hydroelectric engineering, earth-rockfill dams have achieved considerable maturity in design and construction technologies. Compaction construction, characterized by high efficiency, excellent compaction quality, and strong adaptability, has become the mainstream method for modern earth-rockfill dam construction. However, mature techniques do not imply relaxed quality control requirements during construction. On the contrary, with the expansion of project scales and the elevation of construction standards, the application of refined and standardized construction technologies faces greater challenges. Any oversight in technical implementation at any stage may create potential risks for the entire project. Therefore, systematically reviewing and thoroughly understanding the specific application points of key construction technologies in compaction earth-rockfill dams holds significant practical importance for guiding on-site construction and ensuring the inherent safety of projects. This paper aims to elaborate and analyze these key points based on engineering practices.

Keywords

rolling; earth-rock dam construction technology; application points; quality control

碾压式土石坝施工技术的应用要点研究

隋俊峰

北京市朝阳区水利工程有限公司, 中国·北京 100020

摘要

土石坝作为水利水电工程中广泛应用的一种坝型,其设计与施工技术已发展得相当成熟。碾压式施工凭借其效率高、压实质量好、适应性强的特点,已成为现代土石坝建设的主流方法。然而,成熟的工艺并不意味着可以降低对施工过程的质量控制要求。相反,随着工程规模扩大和建设标准提高,对施工技术的精细化、标准化应用提出了更高挑战。任何一个环节的技术应用出现疏漏,都可能为整个工程埋下隐患。因此,系统梳理并深入理解碾压式土石坝各关键施工技术的具体应用要点,对于指导现场施工、保障工程本质安全具有重要的现实意义。本文旨在结合工程实践,对这些要点进行阐述与分析。

关键词

碾压式;土石坝施工技术;应用要点;质量控制

1 引言

碾压式土石坝的施工质量直接取决于各项关键技术要点的系统应用与协同控制。本文围绕施工全过程,重点探讨了从前期准备到后期防护的核心技术应用要点。施工实践表明,成功的筑坝作业不仅依赖于严谨的施工准备与精准的工程测量,更在于清基处理、内部排水设施构筑、土石料填筑碾压及坝面防护等环节的精细操作与严格把关。这些技术要点相互关联、环环相扣,共同构成了确保坝体结构安全、渗透稳定及长期耐久性的技术基础。

2 碾压式土石坝施工技术的应用要点

2.1 施工准备

施工单位需要组织技术力量对设计文件以及地质资料展开全面深入的联合审查,要精确掌握坝体结构、材料分区以及关键节点的技术要求^[1]。基于此编制的实施性施工组织设计,应当是一份有着较高可操作性的行动指南,其要科学规划料场的开采时间顺序以及运输线路,保证各类筑坝材料可持续且足量地供应。特别关键的是,一定要在主体填筑之前完成现场碾压工艺试验,借助试验段系统地确定不同填料的最佳铺层厚度、最优含水率控制范围、适宜的碾压机械组合以及具体的碾压遍数与行驶速度。这些经由试验获取的参数是指导后续标准化作业的根本依据,直接决定了坝体压实的均匀程度与密实程度。

【作者简介】隋俊峰(1977-),男,中国北京人,本科,初级工程师,从事水利水电工程研究。



图1 土石坝坝型

2.2 工程测量

工程测量工作起始于构建覆盖全域的高等级施工控制网，一直延续至坝轴线、清基边线、填筑坡脚线等关键轮廓的实地放样，明确划定了物理边界。在坝体逐层填筑的漫长进程中，测量控制发挥着动态监控的作用，施工人员要依据测量放样的桩线来开展摊铺与修坡工作，以此保证每一填筑层的平面位置以及高程可契合设计坡比。测量人员需要运用方格网法或者断面法及时跟进，精确测算填筑量与压实方量，这对于工程量的复核以及进度款的支付有重要意义。对于坝体与岸坡结合部、不同材料过渡区等复杂部位，还得加密测点进行精细化放样与控制，保证其几何形态符合设计要求，防止形成结构或防渗方面的薄弱环节。

2.3 清基工程

清基处理的关键要求在于达到“彻底”以及“干净”的标准，要运用机械设备把坝基范围内的全部腐殖土、植物根系、松散堆积物以及强风化层完全清除，一直到露出相对完整且坚实的基岩或者密实的原状土层^[2]。施工期间大多时候会发现局部地质缺陷，像浅层软弱夹层、渗水点或者小规模断层破碎带，面对这些情况绝不能进行简单的回填处理，一定要依照设计单位给出的处理方案开展专门施工，比如采用局部挖除之后回填混凝土或者实施接触灌浆。清基之后形成的建基面应当修整得平顺，并且形成有利于向下游排水的缓坡，严格禁止出现反坡或者低洼积水区域。唯有经过监理联合验收合格的建基面，才可允许进行垫层或者反滤料的填筑，倘若这道工序的把关不严格将会给整个大坝的安全埋下长期的隐患。

2.4 排水盲沟工程

排水盲沟一般会设置在坝基或者坝体内部，其作用是汇聚并且引导渗水。在进行施工时，需要严格依据设计断面来开挖沟槽，要保证底坡的坡度符合要求，沟内铺设的反滤土工布，其搭接宽度以及保护措施都要做到位，避免被碎石刺破。随后填充的碎石或者砾石料，应该级配良好且洁净，要分层进行填筑并且适当拍实，以此保证其渗透性能稳定。

而处于下游坡脚的砌石棱体排水，更加注重结构的稳固性与耐久性。砌筑的时候要挑选坚硬的石材，采用坐浆法分层砌筑，做到错缝紧密、砂浆饱满，棱体与坝体土料以及岸坡接触的反滤层，要按照设计层次分明地铺设各层反滤料，防止细颗粒土料被渗水带出，这是保证排水体长期有效工作的关键所在。

2.5 快石棱体排水工程

施工选用的石料质地需坚硬且耐风化，块石尺寸最好大致保持均匀。砌筑时普遍采用坐浆法，分段分层开展，要求上下层石块错缝砌筑，内外紧密咬合，砂浆填塞饱满密实，以此保证整体结构的稳固。棱体与坝体土料以及两岸岸坡的接触面是防渗的关键区域，要严格依照设计分层铺设砂砾石反滤料，各层反滤料的粒径与厚度都要严格把控，施工过程中要避免不同层级材料相互混杂，保证持续发挥其“滤土排水”的核心作用，防止坝体土料在渗流作用下出现流失。

2.6 土石料筑坝工程

从料场开始进行开采，接着运输到坝上，再到摊铺平整以及碾压密实，这一系列过程需要组织高效的流水作业才行。铺料厚度保持均匀是实现均匀压实的前提条件，在现场要设立层厚控制标桩，以此来防止出现铺料超厚或者过薄的情况。防渗土料的含水率控制是另一项重点的动态管理工作，需要凭借翻晒或者洒水等措施把它调整到最优含水率附近，使其在一个较窄的范围内波动。碾压工序对于赋予坝体设计要求的密实度与强度起着关键作用，要使用指定的重型振动碾，严格按照试验确定的碾压遍数、行驶速度以及轨迹重叠宽度来进行操作，绝对不能出现漏压的情况^[3]。对于碾压机械没办法有效覆盖的坝肩、接合部以及边角区域，要配置小型振动夯或者冲击夯来进行薄层补压，保证坝体整体质量的均一性。

2.7 坝面防护及排水工程

上游护坡长期经受库水风浪淘刷以及水位骤降的影响，不管是选用干砌石、浆砌石还是混凝土预制块，其下垫层都得碾压得平整密实，护坡砌体自身要嵌固紧密且表面平整，拥有足够的抗冲能力以及整体稳定性。下游坝坡大多采用草皮或者生态混凝土网格植草护坡，施工的最关键的是修整出顺直又平顺的坡面，还要保证坡面排水畅通，所选用的草种要适合当地气候，并且加强初期养护来保证成活率与覆盖度。沿着坝顶、马道、坝肩以及坡脚布设的表面排水系统一定要完整、连贯，排水沟与截水沟的断面尺寸和纵坡要契合设计泄水能力，砌筑得牢固且抹面光滑，保证在强降雨状况下能迅速排走地表径流，有效防止坡面遭受雨水集中冲刷破坏。

3 碾压式土石坝施工质量控制策略

3.1 建立标准化制度

标准化制度并非只是存在于纸面上的规章汇编，而是

可对现场所有管理以及作业人员起到指导作用的行为准则与操作模板。它一定要明确规定出从原材料进入场地进行检验开始,历经各道工序相互交接,直至最终单元工程验收的一整套程序与标准。就好比坝体填筑这一关键工序,制度要详细规定不同分区填料的技术指标、铺料厚度所允许出现的偏差范围、碾压设备的参数设置情况、碾压遍数的下限要求以及作业面的清洁标准等内容^[4]。制度需要明确每一个质量控制节点的责任主体,规定清楚谁负责检查、谁负责记录、谁负责签字确认,以此形成一个闭合的责任链条。借助这种制度化的约束,把原本依靠个人经验与责任心的施工行为,转变为可以进行复制、追溯以及评价的标准化作业,从源头上减少人为随意性所导致的质量波动。

3.2 完善检测评估体系

检测评估体系涉及常规实验室物理力学试验,像填料的击实试验、颗粒分析等,同时着重全作业面的现场实时检测。现场质量控制人员要配备完备检测工具,如环刀、灌砂筒、核子密度仪或者更先进的无核密度仪,依照规定频率与网格布点,对每一压实层开展压实度与干密度抽检^[5]。检测数据需及时整理、分析并反馈,形成动态质量控制图表,直观呈现施工过程是否受控。评估体系还应包含关键工艺参数复核,比如定期校验碾压机械的激振力与行驶速度,抽检反滤料级配曲线是否符合设计包络线。这种以数据为支撑的评估方式,让质量判断脱离主观臆断,能精准发现趋势性偏差,为过程纠偏提供科学依据。

3.3 强化现场问题处理

现场问题的快速处理需要现场技术负责人以及质量工程师拥有丰富经验和敏锐洞察力,以便能从细微异常现象里提前预判潜在风险。比如要是发现局部填料含水率有异常情况或者出现弹簧土现象,就要马上暂停该区域的施工,迅速去分析原因,到底是料源问题、洒水不均匀还是排水不顺畅,然后果断采取翻晒、挖除换填或者改善排水等针对性举措^[6]。对于坝体与刚性建筑物结合部、岸坡接触带等薄弱环节出现的压实不足或者渗水迹象,更要启动专项处理方案。构建一套规范化的“问题报告-技术会商-方案制定-处理实施-效果复核”闭环流程,保证每一个问题可被及时记录下来、科学分析并且彻底解决,还可以形成案例库用于经验反馈,避免同类问题再次发生。

3.4 推行信息化管理

在施工过程中,借助建设工程信息化管理平台、物联

网传感器、无人机巡检以及大数据分析等一系列技术手段,可使质量控制达到一个全新的层面。比如说,在碾压机械上安装北斗/GPS定位与压实度实时监测系统,该系统可自动记录碾压的轨迹、遍数以及压实质量指标,生成数字化碾压地图,这样一来就能完全避免出现漏压、欠压的情况,同时还可以实现压实质量的可视化以及可追溯性。利用无人机定期对坝区进行高清摄影测量,借助三维建模可快速且准确地计算出填筑方量,并且监测坝体轮廓的变形情况^[7]。所有的检测数据、巡检记录以及问题处理报告都会实时录入云端数据库,管理者借助移动终端可随时了解全局质量状况,开展趋势分析以及风险预警工作。

4 结语

综合来看,碾压式土石坝的施工是一项高度集成化的系统工程,其技术应用要点贯穿于建设的始终。从施工前的周密策划与参数试验,到施工中的精准测量、彻底清基、排水设施的精心构筑,再到主体填筑的标准化、参数化作业,以及最终的坝面系统防护,每一个步骤都承载着特定的质量功能。唯有将技术的应用要点不折不扣地落实于每一个施工细节,才能构筑起一座经得起时间考验、安全可靠的挡水屏障,从而实现工程建设的根本目标。

参考文献

- [1] 李光春. 复合土工膜防渗斜墙在碾压土石坝工程中的应用与质量控制[J]. 科技资讯, 2024, 22 (12): 100-103.
- [2] 曾鹏. 基于有限元方法的不良地质条件下碾压土石坝渗流及边坡稳定性分析[J]. 大坝与安全, 2024, (02): 42-46.
- [3] 林威伟, 崔博, 佟大威, 王佳俊, 王晓玲, 张君. 基于B/S架构的土石坝碾压质量三维智能监控系统研发与应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50 (05): 131-138.
- [4] 李韬, 陈强, 张志杰, 王强, 景东红. 土石坝智能碾压系统研究及在黄南水库大坝质量控制中的应用[J]. 浙江水利科技, 2021, 49 (04): 75-77+81.
- [5] 王学勋, 赵春. 高海拔干热河谷沥青混凝土心墙碾压施工技术土石坝的应用[J]. 中国高新科技, 2020, (20): 141-142.
- [6] 张庆春. 努尔加水库碾压式土石坝沥青混凝土心墙酸性砂砾石料的配合比试验研究[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25 (04): 215-220.
- [7] 张庆春. 库什塔依水电站冬季施工的碾压式土石坝沥青混凝土心墙配合比试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12 (04): 137-142.