

水利工程中混凝土面板堆石坝坝体填筑施工关键技术分析

霍晓龙

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘要:混凝土面板堆石坝凭借结构优势广泛应用于各类水利工程,坝体填筑施工质量直接关乎水工建筑物的整体稳定性与使用安全性。本文结合面板堆石坝施工流程,循序渐进梳理坝体填筑的前期基础施工、分区主体施工、精细化成型施工及特殊工况专项施工工艺,细化各施工环节的技术要点与操作规范,规范填筑施工全流程工艺,有效规避填筑松散、结构变形、界面渗漏等常见施工问题,为水利工程堆石坝填筑施工提供成熟的技术参考。

关键词:混凝土面板堆石坝;坝体填筑;分层碾压;基面处理;特殊工况施工

引言:在水利基础设施建设体系中,混凝土面板堆石坝具备适应性强、结构稳固、施工便捷等诸多优势,应用场景十分广泛。坝体填筑作为堆石坝施工的核心环节,施工工艺的规范性与精细化程度,直接影响坝体的承载性能、防渗能力及整体成型质量。不同填筑区域、施工环境对应的施工工艺存在明显差异,施工过程极易出现压实不均、界面衔接不良、结构形变等问题。依托标准化施工技术把控填筑全过程,是保障堆石坝施工质量、提升坝体结构稳定性的重要举措。

1 坝体填筑前期基础施工技术

1.1 填筑原材料处理技术

填筑原材料的整体品质是把控坝体施工质量的核心前提。堆石料、过渡料、垫层料等填筑用料,都需要经过系统化、规范化的处理流程。施工人员参照既定施工标准完成石料分级筛选工作,剔除质地疏松、规格不达标的石料,保障填筑物料整体均匀规整。彻底清扫石料表面附着的浮土、杂质与风化碎屑,避免杂质混杂物料内部,影响填筑层的密实程度与结构整体性。对不同类型的填筑物料进行分区存放,规划专属堆放区域并做好隔离防护^[1]。削弱雨雪、风沙等自然环境对物料的侵蚀破坏,维持物料原有物理性能,保证各类填筑物料品质均匀、状态稳定。

1.2 坝基基底预处理技术

坝基基面为整个坝体结构提供承载支撑,基面完整性、平整性与稳固性直接影响填筑施工的整体质量。正式启动坝体填筑作业前,需对坝基施工全域开展系统性清理作业。彻底清除场地范围内的松散土层、风化岩体、堆积渣土与各类杂物,打造干净整洁的作业基面。对基面存在的高低起伏、局部凸起与凹陷位置进行人工修整找平,规范基面整体轮廓形态。细致排查基面细微缺陷,对裂隙、坑槽、软弱夹层等薄弱位置采用适配材

料填充夯实,修复基面结构破损问题。所有修整作业结束后,对整体基面进行精细化找平压实,优化基面受力状态,让基面承载性能更加均匀稳定,满足后续分层填筑的结构承载条件。

1.3 施工布局与设备适配技术

科学合理的现场布局与设备配置,是保障填筑施工有序推进、提升施工效率的重要支撑。结合坝体填筑体量、分区施工规划与现场地形条件,对施工场地进行功能划分,明确作业施工区、物料堆放区、机械通行区与辅助施工区的具体范围。规整现场施工秩序,规避场地杂乱、动线交叉引发的施工阻滞与质量问题。结合摊铺、整平、碾压、清理等各工序作业需求,匹配性能参数适配的施工机械设备。对进场机械开展全方位检修养护与参数校准,排查机械故障隐患,保证设备作业状态稳定可靠。依据施工流程规划机械停放位置与作业动线,优化场地整体布置格局,构建规范有序的施工体系,为后续标准化、连续化的坝体填筑施工提供充足的场地与设备保障。

2 坝体分区填筑主体施工技术

2.1 垫层与过渡区填筑施工技术

垫层区与过渡区紧邻上部混凝土面板,是坝体防渗体系的核心组成结构,也是衔接面板与堆石主体的关键过渡层级。该区域施工质量把控标准更为严格,对物料级配、铺筑方式都有着较高要求。垫层填筑选用粒径细小、级配连续的优质物料,严控物料杂质含量,减少填筑层内部孔隙生成^[2]。施工全程采用薄层铺筑、逐层施工的方式,缓慢推进填筑作业。人工配合机械修整作业面,保障填筑层面平整顺滑,维持均匀的铺筑厚度。过渡区布置在垫层外侧,能够缓解垫层与主堆石区的结构刚度差,避免结构应力集中引发的形变问题。填筑选用梯度合理的级配石料,弱化不同结构层的性能差异。规

范铺筑流程,保持填筑层面连续完整,实现坝体前部防渗结构与主体堆石结构的平稳衔接,构建稳定可靠的防渗缓冲体系。

2.2 主堆石区填筑施工技术

主堆石区为坝体核心承重结构,占据坝体绝大部分断面体量,是承接水体荷载、传递坝体整体应力的主要结构。该区域填筑施工质量,直接决定坝体的承载能力与运行稳定性。施工选用质地坚硬、抗压性能优异的大块石料作为核心填筑材料,依托石料之间的嵌挤咬合作用,形成高强度、高稳定性的堆石结构体。施工过程严格管控分层铺筑厚度,匀速开展物料摊铺作业,保障石料在作业面均匀分布。及时处理局部骨料集中、细料缺失的区域,规避结构内部出现空洞、松散等施工缺陷。按照标准化工序逐层填筑,持续强化石料颗粒的咬合紧密性,提升堆石体整体密实程度。统一规范的施工标准可以保证主堆石区结构均匀稳定,有效抵御各类结构荷载,规避不均匀沉降与结构变形问题。

2.3 下游堆石区填筑施工技术

下游堆石区设置于坝体背水侧,主要作用为平衡坝体整体内力、稳固坝体外部轮廓,辅助维持坝体结构整体稳定。该区域不直接参与防渗工作,施工管控标准相较主堆石区更为宽松。填筑物料可选用粒径范围更广的石料,充分利用工程开采石料资源,优化施工成本管控。填筑作业依照既定施工顺序逐层推进,严格把控每层铺筑平整度,规整下游坝面整体形态。施工管控重点放在整体结构均匀性把控方面,无需过度追求局部精细化指标。规范铺料与基础整平流程,维持填筑层面平整统一。成型后的下游堆石结构可以有效约束坝体外形,抵抗户外环境带来的风蚀、雨水冲刷等外力影响,平衡坝体整体受力状态,保障坝体长期运行的结构安全。

3 填筑成型精细化施工技术

3.1 分层摊铺与整平施工技术

分层摊铺与整平是填筑成型施工的基础工序,摊铺整平的作业质量直接影响后续碾压施工的整体效果。填筑摊铺严格遵循分层施工原则,依照现场施工标准控制单层铺筑厚度。机械摊铺设备保持平稳匀速的作业状态,推动填筑物料均匀铺散在作业层面,有效规避局部物料堆积或铺料空缺的问题。大型机械难以覆盖的坝体边缘、结构转角等区域,采用人工铺料方式完成补填作业,保证整体铺筑厚度保持统一标准。摊铺作业结束后,及时开展整平作业,对填筑层面存在的凸起、凹陷进行修整,平复层面起伏偏差。彻底清理表层松散石料与浮动碎屑,让填筑层面保持平整密实的状态。规范细

致的摊铺整平作业,能够构建均匀稳定的作业基面,为碾压施工提供良好的作业条件,从源头减少压实不均的施工缺陷^[3]。

3.2 全域碾压密实施工技术

碾压密实作业是提升坝体填筑密实度、强化结构稳定性的核心工序,直接决定堆石坝主体结构的承载能力。施工人员结合垫层区、过渡区、主堆石区等不同区域的结构特性,选用适配的碾压设备与作业方式。碾压作业依照预设作业路线有序开展,规范机械行走轨迹,保证作业范围覆盖全部填筑区域,杜绝作业盲区。针对常规碾压难以到位的边角位置、结构衔接节点,采取专项补强碾压手段,提升局部结构密实程度。合理控制碾压作业强度与作业频次,推动石料颗粒发生位移与重组,加强石料之间的嵌挤咬合作用,压缩堆石体内部空隙。规范的碾压流程可以提升填筑层整体均匀性,缩减结构内部孔隙体积,提升堆石体整体紧凑度,优化坝体结构的整体受力条件。

3.3 填筑接缝与界面处理技术

分层填筑与分区施工会产生大量水平接缝与竖向界面,此类结构部位属于坝体施工的薄弱点,处理质量对坝体整体性与防渗能力影响深远。新层填筑作业开展前,对原有成型填筑层面进行彻底清理,清除表层松散颗粒、杂质与风化碎屑。对硬化平整的旧层面进行粗糙处理,提升新旧填筑层的结合性能。界面填筑施工严格把控物料级配与铺筑质量,细化界面位置的摊铺与碾压流程,弱化不同结构层之间的性能差异。针对施工形成的纵向、横向施工缝,采用专项处理工艺优化衔接状态,消除界面松散、衔接不密等问题。科学的接缝与界面处理方式,能够让分层分区结构形成统一整体,规避渗漏、脱层、变形等常见质量问题。

3.4 坝体整体整形规整技术

整体整形作业用于统一坝体外部轮廓,规整坡面形态与结构尺寸,完善坝体整体成型效果。主体填筑工序全部结束后,对坝顶、上下游坡面及坝体边缘位置进行全面排查,精准定位坡面起伏、轮廓偏移、局部凹凸等问题区域。结合设计参数开展整形作业,通过机械削坡、人工补平相结合的方式,修整坡面不规则结构。清理坝面多余堆积物料,填补局部凹陷点位,让坝体坡度、轮廓尺寸完全契合施工设计要求。整形作业同步梳理坝体各类衔接部位,修正边缘错乱结构,保障坝体外形规整顺滑。规范的整体整形施工可以均衡坝体结构受力状态,优化坝体外观形态,为后续混凝土面板施工提供规整的作业基面。

4 特殊工况填筑专项施工技术

4.1 雨雪天气防水排水施工技术

雨雪天气会大幅改变填筑物料含水率,冲刷扰动松散填筑层面,对堆石坝填筑施工造成持续性干扰。降雨来临前,施工现场需提前布设可移动防护设施,对摊铺完成、尚未碾压的填筑层进行全覆盖遮挡,阻隔雨水直接冲刷和下渗^[4]。场地内部提前规划开挖临时排水沟槽,构建完整的地表排水体系,快速汇集并排走作业区域内的积水,避免积水长期滞留浸泡填筑结构。降雪天气需及时开展坝面清雪除冰作业,彻底清除坝体表层积雪与冻结冰层,避免冰雪混入填筑石料中。雨雪天气全程停止填筑铺料作业,待天气好转后,对受潮、受浸的作业面进行晾晒、翻松处理,恢复基面干燥状态。对出现软化、松散的填筑层,重新开展整平与碾压作业,消除天气因素带来的质量隐患,维持填筑结构密实度均匀统一。

4.2 高低温环境温控施工技术

外界环境温度的剧烈变化,会改变填筑石料的物理性能与结构成型规律,影响堆石体的压实质量与结构稳定性。高温环境下,露天填筑层面水分蒸发速率加快,表层石料极易出现风干松散、颗粒分离的问题。施工过程可对静置填筑层采取保湿防护措施,缩短摊铺与碾压工序的间隔时长,减少石料裸露晾晒的时间,保证石料颗粒可以在最优状态下完成嵌挤压实。低温环境会提升石料整体硬度,增加碾压作业难度,弱化颗粒重组效果。施工过程可合理调整作业时段,避开凌晨、夜间等低温极值时段开展核心填筑作业。对物料堆放场地进行封闭防护,阻隔低温气流影响,减少物料冻结现象,保障进场石料性能稳定,让摊铺、碾压等工序始终处于适宜的温度条件下开展。

4.3 特殊基面填筑施工技术

坝体部分施工区段存在地形起伏落差大、基面坡度陡峭、结构形态不规则的特点。常规平铺填筑工艺无法

适配复杂场地条件,容易出现铺料不均、压实不到位、局部空隙过多等施工问题。正式填筑前,需要对特殊基面开展精细化修整作业,清理基面范围内的松动岩体、淤积杂物与软弱土层,打磨修整突兀结构,优化基面整体受力条件。填筑作业采用薄层渐进的铺筑方式,根据基面地形变化调整铺料厚度与作业范围,适配基面起伏形态逐层填筑。针对基面转折、坡体交界等关键薄弱区域,优化碾压作业方式,加大作业管控力度,消除碾压盲区。细化每一层填筑施工流程,严控物料级配与铺筑质量,提升复杂基面位置填筑结构的整体性,杜绝变形、脱空等结构问题发生^[5]。

结束语

坝体填筑施工是一项系统性、连续性的水利施工工程,各施工环节相互关联、相互影响。通过规范前期基面与物料处理、优化分区填筑核心工艺、落实成型精细化处理措施、适配各类特殊工况施工技术,可全方位提升堆石坝填筑施工的规整度与结构稳定性。严格落实各工序施工技术要求,细化施工过程管控,能够有效改善坝体施工缺陷,保障混凝土面板堆石坝的施工质量与结构完整性,助力水利工程构筑物长效安全运行。

参考文献

- [1]秦红莉.水利工程中混凝土面板堆石坝坝体填筑施工技术关键点分析[J].散装水泥,2026(5):58-60.
- [2]辛立东.混凝土面板堆石坝坝体填筑施工技术在水利工程中的应用[J].建筑·建材·装饰,2026(1):112-114.
- [3]成柳.基于混凝土面板堆石坝坝体填筑施工技术与质控检测[J].中国水泥,2025(11):97-100.
- [4]何鹏.水利工程面板堆石坝坝体填筑施工探讨[J].东北水利水电,2025,43(3):23-25,58.
- [5]黄车杰.水利工程中混凝土面板堆石坝坝体填筑施工技术关键点研究[J].城市周刊,2026(8):74-76.