水利施工中的土石坝施工技术

王献美

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘要: 随着水利工程建设规模的不断扩大和技术水平的持续提升,土石坝作为一种历史悠久且应用广泛的坝型,凭借其取材便利、适应性强、造价较低等显著优势,在众多水利项目中占据着重要地位。本文围绕水利施工中土石坝施工技术展开研究,首先概述了土石坝施工技术的基本内涵与重要性,随后重点分析了关键技术环节,包括坝基处理、料场规划与管理、土石料开采与运输、坝体填筑与压实等。最后探讨了该技术的发展趋势,涉及智能化施工、新型材料应用、绿色施工及技术集成化等方向。研究旨在为水利工程中土石坝的高效、安全施工提供技术参考,助力提升土石坝工程的质量与耐久性。

关键词: 水利施工;土石坝施工;技术

引言:土石坝作为水利工程中常见的挡水建筑物,凭借取材便捷、适应性强、造价相对低廉等优势,在防洪、灌溉、供水等领域应用广泛。其施工质量直接关系到水利工程的整体安全性与运行效能,因此对施工技术研究具有重要现实意义。当前,随着水利工程建设规模的扩大和技术要求的提高,传统土石坝施工技术面临着效率提升、环保达标、质量管控等新挑战。本文基于土石坝施工的实际需求,系统梳理关键技术要点,并展望未来发展趋势,为优化施工工艺、保障工程安全提供理论与实践指导。

1 水利施工中土石坝施工技术的概述

水利施工中,土石坝施工技术是一项综合了地质勘察、材料利用、工程力学等多学科知识的系统工程技术,在水利工程建设中占据着关键地位。土石坝主要由土料、石料或土石混合材料填筑而成,其核心功能是挡水、蓄水,兼具防洪、灌溉、发电等多重作用。该技术的应用需结合工程所在地的地形地貌、水文条件、地质构造等自然因素,制定科学合理的施工方案。从技术特点来看,土石坝施工技术具有取材灵活的优势,能充分利用当地土石料,减少材料运输成本;适应性强,可在不同地质条件下施工;且施工工艺相对成熟,便于大规模开展作业。同时,土石坝施工技术对工程质量有着严格要求,需确保坝体具有足够的强度、稳定性和防渗性能,以抵御洪水冲击、渗透破坏等风险,保障水利工程的长期安全稳定运行^[1]。

2 水利施工中土石坝施工的关键技术

2.1 坝基处理技术

2.1.1 清基

清基是坝基处理的首要环节,旨在消除影响坝体与地基结合质量的表层障碍物,为后续施工奠定稳定基础。清基范围需覆盖坝体轮廓线外3-5米,确保坝肩、坝脚等关键区域处理彻底。施工时,先清除地表植被、

树根、腐殖土及建筑垃圾,对坑洼处用合格土料回填并压实;若遇淤泥层或泥炭层,需全部挖除至硬土层,必要时采用砂石料换填。清基过程中,需设置临时排水明沟,防止雨水浸泡地基形成软泥。清基完成后,需对地基表面进行平整碾压,采用环刀法检测地基土干密度,确保达到设计要求的压实度,避免后期沉降不均。

2.1.2 基础处理

基础处理需根据地基岩土性质采取差异化措施,以增强承载能力和抗渗性能。对于软土地基,采用真空预压法或堆载预压法加速土体固结,减少工后沉降;若地基存在粉细砂层,需通过振冲加密形成抗液化桩体。针对岩基,先清除表面强风化岩层,对断层破碎带采用混凝土塞回填,再进行帷幕灌浆处理——沿坝轴线布置灌浆孔,注入水泥浆液填充岩体裂隙,形成连续防渗屏障。处理后通过声波测试检查岩体完整性,渗透系数需控制在 10^{-6} cm/s以下,承载力特征值满足坝体荷载要求。

2.1.3 排水设施建设

排水设施是降低坝基渗透压力、防止渗透变形的核心工程。坝基排水系统通常由水平排水和垂直排水组成:水平排水采用级配碎石褥垫,铺设于坝基表面,厚度不小于50cm,与坝体防渗体紧密衔接,将地基渗水导入下游;垂直排水适用于深层透水地基,按梅花形布置减压井,井管采用透水性强的钢筋混凝土管,滤料选用级配砂石,确保井水顺畅排出。施工时,排水设施需与防渗体同步施工,避免出现贯穿性渗漏通道;滤料铺设需分层碾压,防止颗粒流失造成淤堵。运行阶段需定期监测排水量与水位,确保排水效率稳定。

2.2 料场规划与管理技术

2.2.1 料场规划原则

料场规划需遵循因地制宜、统筹兼顾的原则,以实现资源高效利用与施工成本优化。首先,应结合坝体设计对土石料的质量要求(如级配、含水量、抗压强度

等), 优先选择储量充足、运输距离短的料场, 减少材料转运成本。其次, 需根据施工进度计划合理划分料场开采区域, 明确各阶段的供料范围与开采量, 避免出现供料中断或积压问题。同时, 要兼顾环境保护要求, 远离生态敏感区, 规划弃渣场地与排水系统, 防止水土流失。此外, 还需考虑料场的地质条件稳定性, 避开断层、滑坡等危险区域, 并预留足够的缓冲带, 保障开采作业安全。

2.2.2 料场管理措施

料场管理需从资源管控、质量监测、安全保障三方面制定综合措施。在资源管控上, 建立料场储量动态监测机制, 定期勘察并更新储量数据, 根据施工进度调整开采强度, 避免过度开采或资源浪费。质量监测方面, 需在料场设置专门的检测点, 对土石料的含水量、颗粒级配等指标进行常态化抽检, 不合格材料严禁入场; 同时, 对不同类型的土石料进行分区堆放, 做好标识以防止混料。安全保障措施包括划定开采作业边界, 设置警示标识, 配备防尘、降噪设备以减少对周边环境的影响。

2.3 土石料开采与运输技术

2.3.1 土石料开采方法

土石料开采需根据材料性质和料场条件选择适宜方法, 以保证开采效率和材料质量。对于土料, 若含水量适中且料场表层无坚硬岩层, 可采用挖掘机配合推土机进行立面开采, 分层剥离表土后自上而下开挖, 避免混入杂质; 若土料黏性较大或存在夹层, 需采用爆破松动后再进行挖掘。石料开采多以爆破法为主, 根据岩层厚度和硬度设计爆破参数, 控制单响药量以减少对周边岩体的扰动, 爆破后通过颚式破碎机处理大块石料, 确保颗粒级配符合要求。

2.3.2 土石料运输方案

土石料运输需结合开采量、运输距离及施工场地条件制定方案, 兼顾效率与成本。短途运输(距离小于1km)可采用推土机配合铲运机, 灵活穿梭于料场与填筑区, 减少转运环节; 中长途运输(1-5km)宜选用自卸汽车, 根据路面条件选择8-20t载重车型, 确保运输过程中材料无过度散落。运输线路规划需避开施工密集区和陡坡路段, 设置会车点和避让带, 保证通行顺畅。同时, 运输过程中需对土料覆盖篷布, 防止水分蒸发或降雨导致含水量变化; 石料运输则需控制车速, 避免颠簸造成颗粒分离。卸料时应配合填筑进度均匀堆放, 减少二次搬运。

2.4 坝体填筑与压实技术

2.4.1 坝体填筑工艺

坝体填筑需遵循“分层填筑、分层碾压”原则, 确保坝体结构均匀稳定。施工前需清理填筑面杂物, 洒水湿润使表层土料含水量符合压实要求。铺料采用进占法

或后退法: 进占法适用于黏性土料, 自卸汽车卸料后直接向前推进, 推土机同步平料, 可减少土料过度扰动; 后退法多用于砂砾料, 汽车在已压实层面后退卸料, 避免轮胎碾压未压实区域。铺料厚度需按压实机械类型确定, 一般控制在20-50cm, 且相邻层铺料接缝应错开, 形成阶梯状搭接, 搭接宽度不小于1m。填筑过程中需设置临时挡墙分隔不同类型土料, 防止混填影响坝体防渗性能。

2.4.2 压实技术要点

压实是提升坝体密实度的关键, 需根据土料性质选择合适机械与参数。黏性土料宜采用羊足碾或凸块碾, 通过碾压产生的剪切力挤出空气和水分; 砂砾料则选用振动碾, 利用高频振动使颗粒重新排列密实。压实遍数需通过试验确定, 通常黏性土碾压6-8遍, 砂砾料碾压4-6遍, 且碾压方向应平行于坝轴线, 碾压带重叠宽度不小于10-20cm。压实过程中需监测土料含水量, 若含水量过高需翻晒, 过低则洒水调整。压实后采用环刀法或灌砂法检测干密度, 确保达到设计压实度标准, 不合格区域需补压处理^[2]。

3 水利施工中土石坝施工技术的发展趋势

3.1 智能化施工技术的应用

智能化技术正深刻改变土石坝施工格局, 通过数字化与自动化融合, 实现施工全流程的精准管控。在填筑作业中, 智能碾压设备配备GNSS定位与物联网模块, 可实时接收施工参数并自动调整碾压轨迹、速度及压力, 确保每一层填筑料的压实度均匀达标, 较传统人工操作减少20%的返工率。质量监控环节, 智能传感网络发挥关键作用。埋入坝体的光纤传感器能持续监测应力、应变及渗流数据, 无人机搭载热成像仪定期巡检坝面, 快速识别温度异常区或潜在裂缝, 数据实时传输至云端平台, 经AI算法分析后生成质量评估报告, 为施工调整提供依据。此外, BIM技术构建的三维数字模型实现了施工全过程可视化。通过模拟填筑进度、料场调度及机械配置, 提前优化施工方案; 结合现场实时数据更新模型, 动态呈现工程进展与质量状态, 提升各环节协同效率。

3.2 新型材料的研发与应用

新型材料的创新应用为土石坝施工质量与耐久性提升提供了关键支撑, 推动传统施工材料向高性能、多功能方向升级。在防渗领域, 复合土工膜的迭代产品已实现“防渗+加固”双重功能, 其以高密度聚乙烯为基材, 复合纳米级防渗涂层后, 渗透系数可降至 10^{-11} cm/s以下, 且抗穿刺强度提升40%, 在坝体防渗体铺设中能适应复杂地形变形, 减少接缝渗漏风险。高性能填筑材料的研发取得突破, 改性土料通过掺入工业废渣(如粉煤灰、钢渣)优化级配, 不仅提高了压实度, 还增强了抗剪强度与水稳定性, 在软基坝体填筑中可减少30%以上的沉

降量。此外,生态友好型材料逐步推广,植被混凝土结合当地土壤与植物种子,用于坝坡防护时,既能固坡防渗,又能恢复生态植被,实现工程功能与环境效益的统一。新型胶凝材料的应用简化了施工工艺,如环保型水硬性胶结料可替代传统水泥,与土料混合后无需漫长养护即可形成稳定结构,早期强度提升显著,为快速施工提供了材料保障。

3.3 绿色施工技术的推广

绿色施工技术的推广是土石坝工程可持续发展的核心方向,通过全过程环境管控与资源高效利用,实现工程建设与生态保护的协同。在扬尘治理方面,施工区采用雾炮机与围挡喷淋系统联动降尘,土料堆场覆盖可降解防尘网,结合气象数据智能调节喷淋频率,使施工扬尘排放浓度控制在 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,远低于国家标准。资源循环利用技术大幅降低了工程能耗,料场开采产生的弃渣经破碎筛分后,可重新用于坝体垫层或道路基层,利用率提升至80%以上;施工废水通过沉淀池+过滤膜系统处理,去除悬浮物与油污后回用于洒水降尘和混凝土拌合,节水率达40%。此外,生态修复技术同步跟进,坝体边坡采用“网格梁+本土植物”组合防护,既固坡防冲刷,又恢复地表植被覆盖,减少水土流失。绿色施工管理体系逐步完善,通过引入ISO14001环境管理体系,对噪声、废水、固废等污染因子进行实时监测,结合施工进度动态调整作业时间,避免夜间施工对周边居民造成干扰。绿色技术的普及不仅降低了工程对生态环境的影响,更构建了“低消耗、低排放、高循环”的施工模式,为水利工程的可持续发展提供了范本。

3.4 施工技术的集成化与系统化

施工技术的集成化与系统化是土石坝施工领域的重要发展方向,通过整合各环节技术资源、构建协同作业体系,实现工程效能的整体提升。在技术整合层面,将

坝基处理、料场管理、填筑压实等分散工艺纳入统一技术框架,形成“勘察-设计-施工-监测”的闭环流程。例如,料场规划与坝体填筑参数通过BIM平台联动,根据实时填筑需求动态调整料场开采计划,减少材料积压或短缺问题,使施工效率提升25%以上。信息协同系统的搭建打破了传统技术壁垒,利用物联网将施工机械、监测设备、管理终端连接成智能网络。碾压机械的实时作业数据与坝体质量监测数据同步传输至中央控制系统,系统通过算法模型自动匹配最优施工参数,指导后续工序调整,实现“机械作业-质量检测-参数优化”的无缝衔接。此外,系统化管理体系的完善为技术集成提供保障,通过制定统一的技术标准和作业规范,明确各参与方的权责与协同机制。从材料进场检验到最终竣工验收,每个环节都纳入标准化管理流程,减少因技术衔接不畅导致的质量隐患^[3]。

结束语

综上所述,水利施工中土石坝施工技术保障水利工程安全稳定运行的核心支撑。从坝基处理、料场管理到坝体填筑压实,每一项关键技术都关乎工程质量。而智能化、新材料、绿色化及集成系统化的发展趋势,为土石坝施工注入新活力。随着技术不断革新与应用,土石坝将更适应复杂环境,提升工程效益与生态价值,为水利事业可持续发展提供坚实保障,助力实现水资源合理利用与防灾减灾目标。

参考文献

- [1]付伟.探讨水利施工中土石坝施工技术的运用研究[J].建筑与装饰,2021(5):154,159.
- [2]刘飞.土石坝施工技术在水利中的运用[J].数码设计(上),2021(12):114.
- [3]周昊.水利水电工程中土石坝施工技术分析[J].商品与质量,2020(10):291.