

水利工程土石方施工技术应用探析

郑晓瑞

中核大地生态科技有限公司 河北 雄安 071700

摘要：水利工程土石方施工是整个水工构筑物建设的核心基础环节，其施工质量直接决定水利工程的长期运行稳定性与服役寿命。本文结合水利工程毗邻水体、土质条件复杂的特殊作业场景，系统梳理土石方施工区别于普通建筑工程的核心作业特点，逐一拆解开挖、填筑、压实三大核心工序的关键技术要点，明确前期场地处理、工序衔接两大关键控制节点，最终构建覆盖质量检测、工艺管控、现场安全的全流程管控体系，可为水利工程土石方施工的现场技术落地与精细化管控提供专业实操参考。

关键词：天然气管道；运行安全；风险分析；泄漏检测；安全防控

引言：当前我国水利基础设施建设持续推进，大量库区、堤坝、输水线路项目相继落地，土石方施工作为项目建设的首道核心工序，其作业质量直接影响后续水工构筑物的结构安全。不同于普通建筑土石方作业，水利工程土石方施工面临高含水率土体、水荷载长期作用等特殊工况，传统粗放式施工模式极易引发沉降、渗漏、边坡失稳等遗留隐患。因此系统梳理水利工程土石方施工的技术逻辑与管控路径，构建适配特殊工况的标准化作业体系，对保障水利工程整体建设质量、防范施工期安全事故具备重要的工程实践价值。

1 水利工程土石方施工核心特点

水利工程土石方施工的作业逻辑与管控标准，完全区别于普通建筑工程的土石方施工体系，具备独特的作业属性，整体施工实施难度更高，全流程质量管控要求更为严格。①施工环境的复杂性极强，多数水利工程作业区域毗邻河道、库区等水体，施工范围内土壤天然含水率长期处于高位，软土、淤土、饱和砂质土等特殊不良土质分布广泛，土体自身抗剪强度低、稳定性差，施工作业过程中极易出现边坡坍塌、基础不均匀沉降、作业面渗水等安全与质量问题，大幅提升了现场施工的处置难度。②施工的整体性要求极高，土石方施工全流程各工序衔接逻辑紧密，开挖、转运、填筑、压实、坡面修整等作业环节环环相扣，单一工序的施工指标不达标，会直接传导至后续作业环节，对整体水工基础结构的承载性能与稳定性造成不可逆的负面影响。③施工精度管控标准严苛，水利构筑物建成后需长期承受高速水流冲击、高水压荷载与渗透作用，对土石方填筑体的密实度、表面平整度、边坡坡度、防渗性能均设置了明确的强制标准，作业指标的偏差会大幅降低构筑物的长期服役寿命。同时水利工程土石方施工作业覆盖范围广、

单次施工工程量大，绝大多数作业场景为露天开展，降雨、高温、极端低温等气候环境的动态变化，会直接干扰正常施工进度与最终成型质量，对现场全流程技术管控体系提出了更高的要求^[1]。

2 水利工程土石方核心施工技术

2.1 土石方开挖技术

土石方开挖是水利工程土石方施工的首道核心工序，核心目标是严格按照设计给定的标高、坡度、轮廓尺寸完成土体与岩体的剥离作业，为后续填筑作业、水工构筑物施工提供合规的基底作业面。①施工前需结合施工现场地质勘察报告划定的作业范围、土体岩体特性、地下水位分布参数确定适配的开挖工艺，全程严格遵循分层、分段、自上而下的标准化开挖原则，从作业流程层面杜绝无序开挖、超挖、欠挖等违规作业行为。针对土质松软、地下水位偏高的施工区域，需严格控制单循环分层开挖厚度，减小单次作业的土体开挖体量，避免边坡土体受力失衡引发滑坡、坍塌安全隐患。②针对石方开挖作业场景，需根据岩体硬度等级、风化程度分级选择适配的机械破碎或控制爆破作业方式，精准控制破碎力度与作业影响范围，避免过度开挖破坏周边原有土体结构，保障基坑、边坡基底的完整性与长期稳定性。开挖全流程中需实时开展作业面坡度、标高的动态检测，及时修正开挖作业偏差，保证最终成型的开挖轮廓完全符合施工设计的技术标准^[2]。

2.2 土石方填筑技术

土石方填筑是水利堤坝、交通路基、基坑回填等核心施工场景的关键工序，填筑成型质量直接决定水工基础结构的长期承载性能与防渗抗渗性能。①填筑施工的核心管控要点覆盖填料筛选、填料预处理及分层填筑作业全流程。在填料选择环节，需优先选用颗粒级配连

续合理、结构稳定性强、天然含水率适配施工要求的土石方材料,严格杜绝淤泥、冻土、有机质杂质土、高膨胀性土等不符合规范要求的不合格填料进入作业现场。

②所有进场填料需提前开展针对性预处理作业,对粗细颗粒配比失衡的填料进行均匀拌合调整,对含水率超出最优含水率区间的填料分别采取晾晒风干或雾状加湿处理,确保填料各项参数完全匹配填筑施工的技术标准。填筑作业全程严格执行分层填筑工艺,根据压实设备性能、施工区域地质工况确定每层填筑的虚铺厚度,保证填筑作业面平整均匀。针对堤坝防渗体、高水头基础等关键部位,进一步优化填料铺设与布料方式,规避填料内部空隙、层间衔接不严等质量隐患,保障最终填筑结构的整体性与材质均匀性。

2.3 土石方压实技术

压实作业是提升土石方填筑体密实度、降低工后土体沉降变形、增强结构防渗抗渗性能的关键工序,是全流程土石方施工质量管控的核心收尾环节。①压实施工需结合填筑材料物理特性、单层面填筑厚度、施工部位的功能要求选择适配的压实设备与作业工艺,当前行业内常用的压实方式包含静载碾压、冲击夯实、振动压实三类。常规土质填筑填料多采用重型振动碾压设备开展作业,通过机械振动与静压力的协同作用,充分排出土体内部的残留空隙,系统性提升土体密实度;作业空间受限的狭小作业面、构筑物周边边角区域则采用小型手扶式夯实设备进行人工补夯,彻底规避常规碾压设备覆盖不到的压实盲区。②压实全流程作业需严格遵循先轻后重、先慢后快、先边后中的标准化作业原则,精准控制碾压行进速度与规定碾压遍数,保证每层填筑土体压实状态均匀,无漏压、欠压、过压等违规作业现象。每层压实作业完成后,需按规范要求的检测点位布设规则开展压实度抽样检测,检测结果完全达标后方可开展下一层填筑作业,从工艺执行层面保障整体填筑结构的长期稳定性。

3 水利工程土石方施工关键控制要点

3.1 施工前期场地处理控制

施工前期场地处理是保障后续全流程土石方施工质量的核心基础前提,可从作业源头规避场地原有杂质、不良土体对整体施工质量的持续性负面影响,是所有正式工序启动前必须闭环完成的前置管控环节。①正式施工作业启动前,需采用人工配合机械的作业模式,全面清理划定施工红线范围内的杂草、树根、表层浮淤、建筑垃圾等各类杂物,彻底清除地表分布的高有机质腐殖土层,避免这类压缩性高、稳定性差的软弱土层留存于

作业基底,直接引发后期土体不均匀沉降、上部结构变形等长期质量隐患。针对场地内部原始地形高低差过大的区域,提前开展精细化整平作业,同步修整临时通行与作业边坡,保证施工场地整体平整度完全匹配大型开挖、压实机械的通行与连续作业要求。②针对地下水位偏高、土体天然含水率远超最优区间的区域,提前布设完整的地表与地下联合排水系统完成疏干处理,通过开挖周边截水沟、作业面排水沟、设置集水井持续抽排的方式,将场地局部地下水位控制在作业面以下0.5米的安全区间内,优化土体原生作业性能,避免后续开挖、填筑作业过程中出现土体软化、边坡失稳坍塌的问题,为全流程土石方施工创造稳定可控的前置作业条件。

3.2 施工工序衔接控制

土石方施工各工序的技术关联性极强,工序衔接的执行规范性直接决定整体施工成型质量与最终结构稳定性。施工推进过程中需严格把控各工序的衔接节奏,从流程层面杜绝工序脱节、交叉作业混乱等违规问题。开挖作业全部完成后,第一时间开展基底精细化修整与专项性能检测,确认基底标高、地基承载力、表面平整度全部符合设计要求后,立即启动后续填筑作业,避免基底长期裸露受雨水冲刷、表层土体风化影响,造成基底原状土结构破坏。填筑与压实工序需实现无缝衔接,单层填料摊铺作业完成后在规定时间内窗口内启动压实作业,防止填料含水率出现大幅波动、表层土体松散,直接影响最终压实效果。同步做好相邻分段施工区域的衔接处理,优化搭接位置设置与搭接长度参数,保证分段成型的土石方结构整体性能一致,不存在衔接缝隙、台阶状高低差等遗留质量缺陷^[3]。

4 水利工程土石方施工质量与安全管控

4.1 施工质量检测管控

质量检测是把控水利工程土石方施工全流程质量、及时识别隐蔽施工缺陷的核心管控手段,需严格落实覆盖开挖、填筑、压实全工序的常态化检测机制,杜绝质量管控的断点盲区。①施工推进过程中,针对土石方开挖工序,重点检测基底设计标高、边坡成型坡度、实际开挖轮廓尺寸,同步排查超挖、欠挖、基底原状土扰动等违规作业问题,避免基底原生结构被破坏。针对土石方填筑工序,重点检测进场填料的实际含水率、颗粒级配参数、单层虚铺厚度,确认填料指标与作业工艺完全符合设计规范要求,从源头规避填料不合格引发的后续质量问题。针对土石方压实工序,核心检测土体压实度、作业面平整度,按规范要求随机布设检测点位,重点覆盖边角区域、层间接接处等常规检测的薄弱部位,

消除压实管控的遗漏区域。②所有现场检测数据需同步录入电子化施工质量台账完成留痕,检测结果不合格的作业部位需立即下达正式整改通知完成返工处理,复检确认达标后方可推进后续工序。通过落实分层、分段的常态化检测机制,实现全流程施工质量的动态把控,从作业细节层面彻底消除遗留质量隐患^[4]。

4.2 施工现场工艺管控

为保障水利工程土石方施工技术的落地执行效果,需全面强化施工现场工艺的标准化管控体系建设,从人员、参数、适配性、设备四个角度构建全链条管控机制。①安排具备对应作业资质的专业技术人员全程旁站开展作业指导,对一线施工人员的操作流程、大型设备的运行参数、既定施工工艺的实际落实情况进行全流程监督,第一时间识别并纠正各类不规范作业行为。以正式书面技术交底形式,向作业班组明确各工序的强制施工标准,精准划定分层开挖厚度、填筑分层虚铺厚度、碾压作业遍数、压实行进速度等核心工艺控制参数,严格杜绝现场作业人员随意更改既定施工工艺的违规情况。②针对不同施工区域的地质勘察结果、不同类别的填筑土质物理特性,差异化动态调整现场施工方案,针对性优化工艺参数的场景适配性,避免通用工艺与现场工况不匹配的问题。同步建立全周期施工设备定期运维台账,做好开挖、碾压、夯实等核心作业设备的日常检修与作业前性能调试,确保设备全程运行性能稳定,避免因设备突发故障导致施工工艺落实不到位,保障全项目整体施工工艺的规范性与执行统一性。

4.3 施工安全现场管控

水利工程土石方施工场景复杂,普遍存在边坡坍塌、大型机械伤害、土体滑落等显性安全风险,需建立覆盖全作业面的全方位安全管控体系,落实针对性防控措施。①针对高陡边坡开挖作业,严格按照设计参数控制边坡放坡比例,严禁在未做支护的陡坡、存在失稳风险的危坡区域开展作业,定期对边坡稳定性开展定向监测排查,及时清理坡面松动的土体与悬空岩体,从源头

防范边坡坍塌类安全事故。针对挖掘机、碾压机等大型机械作业场景,划定专属封闭作业区域,设置硬质隔离设施与安全警示标识,严格规范机械操作流程,全面杜绝人机混合作业行为,规避机械碰撞、人员碾压类安全隐患。②同步完善施工现场临时安全防护体系,对开挖形成的深度基坑、狭长沟槽等危险区域设置标准化防护围挡,配套做好作业面排水、通道防滑、临边防坠落的专项防护措施。建立固定周期的现场安全隐患排查机制,对排查出的各类风险隐患逐项登记闭环整改,全程规范现场作业秩序,保障水利工程土石方施工全流程的安全稳定推进^[5]。

结束语

水利工程土石方施工是覆盖全流程的系统性作业,绝非单一工序的独立管控即可保障最终质量。从前期场地预处理筑牢基础,到三大核心工序严格执行标准化技术要求,再到全流程质量与安全管控体系落地,多环节协同形成完整的作业闭环,才能系统性规避各类施工隐患。随着水利工程建设标准的持续提升,精细化、场景适配型的土石方施工管控模式将成为行业主流,为我国水利基础设施的长期安全稳定运行筑牢坚实的基底支撑,充分发挥水利工程的防灾减灾与水资源调配核心功能。

参考文献

- [1]陈潇.水利工程施工中的土石方施工技术优化措施[J].建材发展导向,2026,24(6):91-93.
- [2]燕岩生.水利工程施工中的土石方施工技术优化措施[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(6):093-096.
- [3]李承霖.水利工程施工中边坡开挖支护技术应用与稳定性控制[J].全面腐蚀控制,2026,40(1):80-82.
- [4]李飞,张春媛.水利工程中水库生态修复施工技术的应用研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(3):182-184.
- [5]车书甬.水利工程堤防防渗施工技术应用研究[J].科技资讯,2026,24(4):133-135.