

水利工程土石方施工技术要点及质量控制研究

孙昭煦 亓孝国

内蒙古辽河工程局股份有限公司 内蒙古 通辽 028000

摘要：土石方施工是水利工程建设的基础性关键工序，具有工况复杂、工程量大、季节性强、质量要求严苛等特点，施工质量直接决定水利构筑物的稳定性与使用寿命。本文系统梳理开挖、填筑、压实、边坡支护等核心施工技术要点，深入分析人员、技术、环境、管理四大质量影响因素，总结全过程质量管控措施，针对常见施工缺陷制定整改方案，提出多维度优化策略，可为水利土石方工程质量管控提供实践参考。

关键词：水利工程；土石方施工；技术要点；质量控制

引言：随着水利基础设施建设不断推进，土石方工程施工规模持续扩大，其施工工艺规范性与质量管控水平对整体工程安全至关重要。水利土石方施工受水文地质、气候环境、施工工艺等多重因素制约，极易产生边坡失稳、压实度不足、不均匀沉降等质量隐患。为有效规避施工风险、规范施工流程，本文结合工程实际，细化各工序技术要点，构建全过程质量控制体系，助力提升水利工程施工整体质量与安全系数。

1 水利工程土石方施工基础概述

1.1 土石方施工核心内涵与工程特点

（1）施工内涵：水利工程土石方施工主要包括开挖、填筑、压实及边坡支护等核心作业。开挖涉及坝基、隧洞及渠道等部位的土石方挖掘；填筑则聚焦于坝体、堤防等结构的材料铺填；压实通过机械碾轧提升填筑密实度与承载能力；边坡支护采用锚杆、喷混凝土或挡土墙等措施保障开挖面与填筑体的稳定性。（2）工程特点：一是施工工况复杂，常面临地形起伏大、交叉作业多等不利条件；二是受水文地质条件影响显著，地下水渗流、软土及断层破碎带等地质隐患易引发塌方或沉降；三是工程量大，动辄数十万至百万立方米，工期紧张、强度高；四是质量标准严苛，压实度、含水率及颗粒级配等指标须严格符合设计要求；五是施工季节性强，需避让汛期与雨雪天气，合理安排施工窗口期^[1]。

1.2 土石方施工前期准备工作

（1）现场勘察：重点查明地质结构、岩土类型及其力学参数、地下水位与渗流特征，同步排查滑坡、溶洞等不良地质隐患，为施工方案设计提供可靠依据。（2）方案编制：依据设计文件与勘察成果，编制专项施工方案，明确开挖顺序、填筑分层厚度、碾压遍数等工艺参数，同时制定安全应急预案和质量管控计划，细化风险防控措施。（3）设备与材料准备：结合工程量与施工条

件合理选型挖掘机、推土机、自卸车及振动碾等机械；对土石料进行颗粒级配、含水率及击实试验等检测；布设施工测量控制点，确保后续施工定位精准。

1.3 土石方施工质量控制基本原则

（1）全过程管控原则：将质量管理贯穿施工准备、过程作业及竣工验收各阶段，实施事前预控、事中检查与事后验收相结合的闭环监管，确保每道工序达标后方可转入下道工序。（2）因地制宜原则：根据具体水文地质条件和工程等级，灵活选用适配的施工工艺与质控标准，避免照搬通用做法，确保技术措施和经济投入与实际需求相匹配。（3）预防为主原则：坚持“先排查、后施工”，提前识别超挖、压实度不足、边坡失稳等常见质量隐患，通过过程监测和预警机制，将问题消除在萌芽状态，有效降低返工风险。

2 水利工程土石方核心施工技术要点

2.1 土石方开挖施工技术要点

（1）开挖施工原则：严格遵循自上而下、分层分段、先支护后开挖、严禁超挖。自上而下防止上部松动岩体威胁下部作业；分层分段便于控制尺寸与应力释放；先支护后开挖保障边坡及围岩稳定；严禁超挖减少回填，保证基底承载力。（2）分层开挖技术：按岩土类别、深度及机械性能确定分层厚度，土质2~4m，岩质3~5m；严格按设计坡比控制轮廓线，每层开挖后复核高程与边线，确保坡度偏差及平整度满足规范，预留保护层减小对持力层扰动^[2]。（3）特殊工况开挖技术：深基坑开挖设集水坑和排水沟，分层分块对称开挖，控制坑底隆起与围护变形；高边坡加密位移监测点，采取跳槽开挖、随挖随护，控制卸荷速率；临水区域设围堰或防渗墙阻隔外水，保持干地施工，防止边坡渗流破坏。（4）开挖排水与防护技术：施工期间沿开挖边界布设截水沟与排水明沟，及时抽排地表径流及基坑积水；成

型边坡采用喷混凝土、植被护坡或覆盖防水布防雨水冲刷;易坍塌部位设置支撑或预加固,结合实时监测动态调整防护方案,确保安全。

2.2 土石方填筑施工技术要点

(1) 填筑材料筛选:对拟用土石料进行颗粒级配分析、击实试验及含水率检测,测定最优含水率与最大干密度,确保填料粒径、含泥量、有机质含量等指标符合设计要求;不合格材料须经改良处理或剔除,从源头保障填筑质量。(2) 基底处理技术:填筑前清除基底表层杂物、腐殖土及软弱覆盖层,对原地面进行整平压实,压实度不低于设计值;遇软弱地基时采取换填砂砾、碎石垫层或铺设土工格栅等加固措施,经隐蔽工程验收合格后方可转入填筑作业,防止工后不均匀沉降。(3) 分层摊铺技术:按水平分层逐层摊铺,每层摊铺厚度根据碾压机具功率确定,通常控制在30~50cm;采用推土机或平地机将填料均匀铺开,避免大粒径骨料集中堆积,在摊铺过程中跟踪检测含水率,偏离最优含水率 $\pm 2\%$ 范围时应适时洒水或翻晒调整,确保后续碾压效果均匀一致^[3]。

2.3 土石方压实施工技术要点

(1) 压实设备选型:依据填料类型与施工场景合理选用压实机械,黏性土宜采用羊足碾或凸块碾,砂砾石及堆石料宜采用振动平碾,狭小边角部位辅以手扶式小型冲击夯或蛙式夯机;对高堆石坝体,可选用重型振动碾分层压实,确保压实功有效传递至深层。(2) 碾压参数控制:严格控制碾压速度控制在2~4km/h,碾压遍数一般不少于6~8遍,压实顺序遵循先轻后重、先边后中的原则,即先以轻碾稳压两遍,再以重碾加密,碾压轨迹应搭接30~50cm,确保全幅面无漏压。每层碾压结束后及时检测压实度,合格后方可进行下一层填筑。(3) 接缝压实处理:纵缝处理时相邻摊铺带之间搭接宽度不小于50cm,横缝处设缓坡过渡段,新旧填筑层结合面采用刨毛、洒水措施增强层间黏结;岸坡及结构物周边结合部位加大碾压遍数并辅以冲击夯补强,必要时铺设土工膜或止水带,有效规避接缝渗漏通道的形成。

2.4 土石方边坡支护与加固技术要点

(1) 常规边坡支护:喷锚支护采用湿喷工艺,喷射混凝土厚度一般为8~15cm,锚杆直径22~28mm,间距按1.5~2.5m梅花形布置,锚固段长度不小于3m,注浆饱满度不低于90%;格构支护采用钢筋混凝土格构梁结合锚索,格构间距通常为3~5m,节点设置锚索加强;挡土墙支护应控制墙背回填滤水层厚度,严格按设计坡率开挖墙背,及时设置泄水孔防止墙后积水。(2) 边坡加固技术:针对松散岩土边坡,采用注浆加固或

高压喷射注浆技术提升岩体完整性,注浆压力控制在0.5~2.0MPa;对高陡边坡采取预应力锚索加固,锚索锚固端嵌入稳定基岩长度不小于5m,张拉锁定值按设计吨位的100%~105%控制,张拉完成后及时封锚;同步布设表面位移和深部测斜监测点,动态掌握边坡稳定性,确保加固参数满足安全要求^[4]。

3 水利工程土石方施工质量控制策略与问题优化

3.1 土石方施工质量主要影响因素

(1) 人为因素:施工人员的专业技能水平直接决定操作规范性,包括机械驾驶熟练度、量测读数准确性及工艺执行到位率;质量管控意识薄弱易导致自检流于形式;操作不规范如碾压搭接不足、摊铺厚度不均,均会引发质量缺陷。(2) 技术因素:施工技术选型需因地制宜,若方案与现场水文地质条件不匹配则难以达到预期效果;参数把控精度直接影响压实度与边坡稳定性;技术交底不充分或工艺衔接不合理,均会造成系统性质量风险。(3) 环境因素:地下水位变化与渗流场分布影响填筑含水率与基坑干燥度;气温过高加速水分蒸发,低温则延长压实工期;强降雨冲刷边坡、浸泡基底,大幅降低填筑体承载力与稳定性。(4) 管理因素:施工管理制度健全程度决定执行力度,监管机制疏漏易使违规操作得不到及时纠正;检测验收体系覆盖不全则隐患难以及时发现,最终影响整体工程安全。

3.2 施工全过程质量控制措施

(1) 事前质量控制:一是完善施工方案审核机制,由技术负责人牵头组织专家论证,确保开挖顺序、填筑分层、碾压参数等工艺指标科学可行;二是落实材料设备进场检验,土石料按批次检测级配与含水率,压实机械逐台校验工作性能,不合格材料严禁入场;三是开展技术交底与岗前培训,将质量控制要点细化到每道工序、每个岗位,经考核合格后方可上岗作业。(2) 事中质量控制:一是实时监测开挖精度与边坡稳定性,采用全站仪或GPS跟踪开挖轮廓线,布设测斜仪监控深层位移;二是逐层检测摊铺厚度与压实度,每层摊铺后用钢尺量测铺厚,碾压结束及时采用核子密度仪或灌水法检测压实度,检测频次不低于每200m²测1点;三是动态调整施工参数,根据含水率实测值适度洒水或翻晒,依据压实度反馈调整碾压遍数和速度,确保工序质量持续受控^[5]。(3) 事后质量控制:一是规范质量检测程序,分部工程完工后委托第三方独立抽检,涵盖压实度、坡比、强度等核心指标;二是建立隐患整改台账,对不合格部位明确整改措施、责任人和完成时限,整改后重新验收并留有影像对比资料;三是完善施工资料归档,包

括施工日志、隐蔽工程验收记录、检测报告及变更签证等,确保资料完整、签认齐全、追溯清晰。

3.3 常见施工质量问题及整改措施

(1) 开挖质量问题:超挖问题采取同标号混凝土或级配碎石回填并压实处理,欠挖则安排补挖至设计轮廓线;边坡坡度偏差较小通过削坡或回填调整,偏差较大须增设挡墙或格构梁支挡补强;基坑积水问题增设集水坑、加深排水沟并配置备用排水泵,确保干地施工条件。(2) 填筑压实问题:压实度不足时采取减少摊铺层厚至30cm以下、增加碾压遍数2~4遍或更换重型振动碾等措施;不均匀沉降问题对沉降区域进行补填并重新碾压,同时加强基底处理与结合面刨毛;含水率超标则通过翻晒晾干或掺入2%~4%生石灰降低含水量,直至达到最优含水率范围后再行压实。(3) 边坡质量问题:边坡滑移问题轻微时在坡脚堆载压脚或增设抗滑桩,严重时需清方减载并按设计坡率重新开挖加固;坍塌部位须清除松散土体,重新按台阶式开挖并增设预应力锚索;冲刷破损区域采用喷射C20混凝土封闭,厚度8~10cm,同时完善坡顶截水沟与坡面排水系统。

3.4 施工质量优化提升策略

(1) 技术优化:引入智能化施工监测系统,在碾压设备上安装GPS定位与压实度实时反馈装置,实现碾压轨迹全覆盖监控与压实质量在线评估,避免漏压超压;推广精准碾压控制技术,通过振动频率自动调节使压实度稳定在设计值范围内,同时应用BIM技术辅助开挖方量与填筑进度模拟,提高方案精度。(2) 管理优化:建立精细化、标准化现场管控体系,推行工序交接检查签认制、质量责任清单制和首件工程认可制;实施日常巡

查、联合检查与飞行检查三重监管机制,对关键工序实行全过程旁站,并建立质量追溯信息化平台,实现从原材料到成品的全链条闭环管理。(3) 人员优化:制定年度分层培训计划,针对新工艺、新设备开展专项技能提升培训,组织质量事故案例警示教育增强责任意识;逐级签订质量责任书,明确岗位权责边界,将质量绩效考核与薪酬奖惩直接挂钩,形成责权利对等的激励约束机制,激发全员主动参与质量管控的内生动力。

结束语

本文围绕水利工程土石方施工核心技术与质量控制展开全面研究,明确各施工环节技术标准,剖析施工常见质量问题及成因,配套对应的整改处置措施,同时从技术、管理、人员层面完善质量提升路径。土石方质量管控贯穿施工全流程,需坚持预防为主、全程管控的原则。未来应积极融合智能施工技术,落实精细化管理,全面提升水利土石方工程施工质量与长期运行稳定性。

参考文献

- [1] 张一松,陈德伟,姜汝锋.水利工程土方开挖施工技术 & 质量控制[J].工程建设与设计,2025,18(22):156-158.
- [2] 李翔晖,周坤峰.水利工程施工中土石方开挖技术与安全质量管控[J].水上安全,2025,25(12):184-186.
- [3] 朱衍贺.水利工程土石坝施工技术要点及质量控制措施[J].四川水泥,2023,12(5):101-103.
- [4] 王明,刘强,张伟.水利水电工程高边坡土石方开挖技术优化与质量控制[J].水利水电技术,2023,54(6):176-183.
- [5] 钮新强,吴宏伟.土石方填筑施工参数优化与压实质量控制技术研究[J].水利水电技术,2023,54(8):132-140.