

水利水电工程土石方施工技术

刘天鹏

中国葛洲坝集团股份有限公司勘测设计院 湖北 武汉 430070

摘要：水利水电工程土石方施工技术涵盖开挖、填筑、爆破及边坡加固等关键环节。开挖技术包括明挖、水下开挖及爆破开挖，需结合地形地质条件选择适宜方法。填筑技术注重材料选择与级配控制，采用分层填筑与压实工艺确保质量。爆破技术需精准控制药量与起爆顺序，保障安全与精度。边坡加固则采用锚杆、挡墙、抗滑桩等措施，增强稳定性。施工过程中还需注重环保，减少水土流失与生态破坏，推动工程可持续发展。

关键词：水利水电工程；土石方；施工技术

引言：水利水电工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，其建设质量与安全直接关系到国计民生。土石方施工作为水利水电工程的基础环节，涵盖开挖、运输、填筑及边坡支护等多项技术，具有施工规模大、地质条件复杂、环保要求高等特点。随着工程技术的不断进步，传统土石方施工方法正逐步向智能化、绿色化转型。本文旨在系统梳理水利水电工程土石方施工的关键技术，结合工程实践分析其应用要点，并提出优化策略与环保措施，以期提升施工效率、保障工程质量及推动行业可持续发展提供参考。

1 水利水电工程土石方施工特点与难点分析

1.1 工程特点

(1) 施工规模大、周期长：水利水电工程多需开挖或填筑数百万甚至数千万立方米土石方，如大型水库坝体填筑量常超千万立方米。且受季节、地质等因素影响，施工周期普遍达数年，需长期规划资源配置与进度管控。(2) 地形地质条件复杂：工程多位于山区、河谷地带，地形起伏大，常面临软土地基、风化岩层等地质问题。软土地基承载力低易导致沉降，风化岩开挖时易坍塌，增加施工难度与安全风险。(3) 多工序交叉作业：施工涵盖开挖、运输、填筑、压实等多道工序，各工序需同步推进。如开挖作业需与运输车辆调度衔接，填筑过程中需配合压实机械作业，工序交叉易引发干扰，需精准协调。(4) 环保要求高：施工区域多涉及生态敏感区，需严格落实水土保持措施，如设置截排水沟、种植植被防止水土流失。同时，需开展生态修复工作，减少对周边动植物栖息地的破坏，符合绿色工程建设标准。

1.2 技术难点

(1) 高陡边坡稳定性控制：山区工程边坡高度常超百米，坡度陡峭，易因开挖卸荷、雨水渗透发生滑坡。

需通过锚杆支护、喷混凝土等技术加固，同时实时监测边坡位移，确保施工安全。(2) 大体积土石方爆破精度与安全：爆破作业需控制药量与起爆顺序，保证开挖轮廓符合设计要求，避免损伤周边建筑物。同时，需做好爆破安全防护，防止飞石、冲击波引发事故。(3) 特殊地质条件下的施工处理：遭遇岩溶地质时，需填充溶洞防止坍塌；遇到断层带，需采取加固措施确保施工区域稳定。这些特殊地质处理工艺复杂，需针对性制定施工方案，增加了施工技术难度。(4) 施工机械协同作业效率：工程需投入挖掘机、运输车、压实机等大量机械，机械间需高效配合。若调度不当，易出现机械闲置或拥堵，影响施工进度。需借助智能化调度系统，优化机械配置与作业流程，提升协同效率^[1]。

2 水利水电工程土石方关键施工技术

2.1 土石方开挖技术

(1) 爆破开挖技术：预裂爆破通过先引爆周边预裂孔，形成平整裂缝，减少主体爆破对边坡的扰动，适用于高陡边坡开挖；光面爆破则控制药量与孔距，使开挖面保持平整，降低后续支护难度；控制爆破参数设计需结合地质条件，计算孔深、装药量、起爆时差，如硬岩开挖需增大装药量，软岩则需减小孔距，避免过度破碎。(2) 机械开挖技术：大型挖掘机（斗容10-50m³）适用于大规模土方及软岩开挖，可配合液压破碎锤处理硬岩；装载机（额定载重量10-30t）擅长短距离物料转运，在填筑作业中可辅助布料；盾构机适用于隧道或地下洞室开挖，尤其在复杂地质（如岩溶、断层带）中，能实现自动化掘进，减少地面沉降风险。(3) 特殊地形开挖：水下开挖采用绞吸式挖泥船或抓斗式挖泥船，绞吸船通过绞刀切割水底土体，再经管道输送至岸边，适用于河道疏浚；冻土开挖需先采用冻土破碎机破碎冻层，或用热风机融化表层冻土，再配合挖掘机开挖，避

免机械过载损坏,同时需做好冻土保温,防止融化后土体坍塌^[2]。

2.2 土石方运输与填筑技术

(1) 运输方案优化:自卸汽车灵活性高,适用于地形复杂、运距5-10km的场景,但油耗较高;带式输送机运距可达数百米至数千米,连续输送效率高,适合大规模、长距离运输,如坝体填筑骨料输送;管道输送适用于细颗粒物料(如粉土、砂土),密闭性好,可减少扬尘污染,但需定期清理管道堵塞,适用于近距离、小坡度运输。(2) 填筑材料选择与级配控制:优先选用级配良好的砾石土、砂卵石等材料,其压实性好、透水性低,符合坝体防渗要求;级配控制需通过筛分试验,确保不同粒径颗粒占比达标,如防渗体填筑需控制细颗粒(粒径5mm)含量在15%-30%,避免出现孔隙过大或压实不均问题^[3]。(3) 分层填筑与压实工艺:振动碾压(激振力200-500kN)适用于黏性土、砾石土,通过高频振动使土体颗粒重新排列,压实度可达95%以上;冲击碾压采用多边形轮冲击土体,适用于深层土体压实,可提高地基承载力;静压组合(先静压后振动碾压)适用于软土地基填筑,先通过静压消除表层孔隙,再振动压实深层土体,防止后期沉降。

2.3 边坡支护与加固技术

(1) 锚杆/锚索支护技术:锚杆(长度3-10m)通过钻孔植入边坡土体,端部锚固后施加预应力,增强土体抗剪强度,适用于中小型边坡加固;锚索(长度10-50m)由多根钢绞线组成,拉力可达数千千牛,适用于高陡边坡(高度>50m)或滑坡体治理,能有效限制边坡位移。(2) 抗滑桩与挡土墙设计:抗滑桩(直径1-3m,深度10-30m)嵌入稳定岩层,通过桩体阻挡边坡滑动,常用于滑坡体前缘加固;挡土墙采用浆砌石、混凝土浇筑,按重力式或悬臂式设计,重力式挡土墙依靠自身重量抵抗土压力,适用于低边坡(高度m),悬臂式则通过钢筋混凝土悬臂结构承受压力,适用于地形受限区域。(3) 生态护坡技术:植被恢复选择本土耐旱、耐贫瘠植物(如紫花苜蓿、狗牙根),通过喷播或植草皮方式覆盖边坡,增强土体稳定性;三维植被网由聚乙烯材料制成,铺设于边坡表面,可固定土壤、促进植被生长,同时减少雨水冲刷,适用于缓坡(坡度<1:1.5)生态修复^[4]。

2.4 信息化施工与智能控制

(1) BIM技术在土石方工程中的应用:通过建立三维模型,模拟开挖、填筑全过程,优化施工方案,如提前排查边坡开挖中的碰撞风险;同时可整合地质、进度、成本数据,实现施工全过程可视化管理,如实时对

比设计与实际开挖量,及时调整进度计划。(2) 无人机测绘与实时监控:无人机搭载高清相机或激光雷达,可快速获取施工区域地形数据,生成三维地形图,用于开挖轮廓复核、边坡位移监测;实时监控系统通过布设传感器(如位移计、应力计),采集边坡沉降、土体应力数据,传输至后台平台,当数据超阈值时自动报警,保障施工安全。(3) 智能压实控制系统:通过在压实机上安装GPS定位模块与压实度传感器,实时采集压实位置、遍数、压实度数据,在显示屏上动态显示,引导操作人员按规范施工;同时数据同步至云端,管理人员可远程查看压实质量,避免漏压、过压,确保填筑体压实度达标。

3 水利水电工程土石方施工技术优化与质量控制

3.1 施工工艺优化策略

(1) 爆破参数动态调整方法:施工前依据地质勘察数据初步设定孔深、装药量、孔距等参数,首次爆破后通过现场检测(如开挖轮廓平整度、岩石破碎度)分析参数合理性。若出现超挖或欠挖,及时调整孔距与装药量;遇风化岩等软质地质,减小单孔药量、加密孔网;硬岩区域则适当增大药量,通过动态调整实现精准爆破,减少资源浪费与边坡损伤。(2) 机械配置与调度优化模型:基于施工进度计划与工程量,采用“需求匹配法”配置机械,如大规模开挖优先投入多台大型挖掘机与自卸汽车,隧道开挖则搭配盾构机与小型转运设备。借助智能化调度模型(如遗传算法、粒子群优化算法),实时采集机械位置、作业状态数据,优化运输路线,避免机械拥堵;根据工序衔接需求,动态调整机械数量,如填筑高峰期增加压实机投入,提升整体作业效率。(3) 绿色施工措施:粉尘控制采用“源头+过程”双重防控,开挖面与运输道路定时洒水,料场设置防风抑尘网,爆破作业前喷洒降尘剂;噪声减排优先选用低噪声机械,对高噪声设备(如破碎机)安装隔音罩,合理规划作业时间,避开周边居民休息时段,同时设置噪声监测点,确保噪声值符合环保标准^[5]。

3.2 质量检测与验收标准

(1) 压实度检测方法:灌砂法适用于各类土料检测,通过称量砂的体积计算土体密度,精度高但操作耗时,多用于关键部位(如坝体防渗体)检测;核子密度仪采用放射性元素检测,可快速获取压实度数据,适用于大面积填筑体检测,但需定期校准仪器确保准确性,检测时需按规范选取代表性测点,避免数据偏差。(2) 边坡稳定性监测技术:位移监测采用全站仪、GNSS定位系统,定期测量边坡关键点位坐标,分析位移量与变

化趋势,若位移超预警值及时采取加固措施;应力应变分析通过在边坡内部布设应力传感器,实时采集土体应力数据,判断边坡是否存在失稳风险,为施工安全提供保障。(3)验收规范与质量评价体系:严格遵循《水利水电工程施工质量检验与评定规程》,分单元工程、分部工程、单位工程进行验收,验收内容涵盖工程量、施工工艺、检测数据等。质量评价体系采用“量化评分法”,从施工精度(如开挖轮廓偏差)、实体质量(如压实度达标率)、环保达标情况等维度打分,80分以上为优良,60-80分为合格,低于60分需返工处理,确保工程质量符合设计与规范要求。

4 水利水电工程土石方施工中的环境保护与可持续发展

4.1 施工期环境影响分析

施工过程中易引发水土流失问题,土石方开挖破坏地表土壤结构,降雨冲刷下易造成泥沙淤积河道,影响水文环境;大规模场地清理与植被铲除会破坏原生植被群落,导致局部生态系统失衡,甚至威胁乡土物种生存;开挖、爆破、运输等作业产生大量扬尘,不仅降低空气质量,还可能附着于周边植被叶片,影响光合作用,同时粉尘扩散会对居民生活环境造成干扰。

4.2 生态保护措施

(1)临时用地复垦方案:施工前明确临时用地范围(如料场、施工营地),划定复垦责任区;施工结束后及时清理建筑垃圾,分层回填表土,根据原土地类型选择适宜植被(耕地复垦种植农作物,林地复垦栽种乡土乔木),配套修建灌溉、排水设施,确保复垦土地恢复生产力,复垦后需经环保部门验收达标。(2)施工废水处理与循环利用:在施工区设置沉淀池、隔油池,基坑排水、混凝土养护废水经沉淀过滤去除悬浮物与油污,检测达标后用于洒水降尘、机械冲洗;生活污水通过一体化污水处理设备处理,达标后可用于绿化灌溉,实现废水零排放或循环利用,避免污染周边水体。(3)生物多样性保护技术:施工前开展物种调查,划定动植物保护缓冲区,严禁在缓冲区范围内作业;对施工区域内的古树名木、珍稀植物采取移植保护措施,对野生动物栖

息地设置防护围栏与迁徙通道;爆破作业避开动物活跃时段,减少对野生动物的惊扰,维护区域生物多样性。

4.3 可持续发展路径

(1)低碳施工技术推广:优先采用电动挖掘机、新能源运输车辆替代传统燃油机械,降低碳排放;推广模块化施工理念,减少现场浇筑作业量,降低能源消耗;利用光伏发电为施工营地、临时设施供电,构建清洁能源供应体系,实现施工全过程低碳化。(2)资源节约型施工模式:施工前开展土石方量精准测算,建立土石方平衡模型,将开挖弃土优先用于填筑作业(如坝体填筑、路基回填),减少外运弃土与外购填料量;对多余弃土进行资源化利用,加工成建筑骨料或用于场地平整,提高土石方利用率,降低资源消耗与运输成本,实现施工资源的循环高效利用。

结束语

水利水电工程土石方施工技术是保障工程安全、高效建设的关键所在。通过科学规划开挖方案、精准控制爆破参数、合理选用填筑材料及优化边坡支护措施,可显著提升施工质量与效率。同时,融入信息化施工与智能控制技术,能有效实现施工过程的动态管理与精准调控。此外,注重环境保护与资源节约,推动绿色施工理念落地,对促进水利水电工程可持续发展具有重要意义。未来,需持续技术创新,以更好地适应复杂工程需求,服务国家水利事业发展。

参考文献

- [1]牟君之,胡卫中,肖明.水利水电工程土石方施工技术初探[J].科技风,2024,(13):79-81.
- [2]唐伟.土石方开挖施工技术在水利水电工程中的应用分析[J].四川水泥,2023,(06):169-171.
- [3]何卫安.土石方施工技术在水利水电工程建设中的应用[J].中华建设,2023,(04):105-107.
- [4]张福文.水利水电工程中土石方施工技术应用的有效性探究[J].现代物业,2020,(05):160-161.
- [5]练松涛.水利水电工程土石方施工技术的发展探究[J].智能城市,2020,5(01):82-83.