

水利水电工程土石方施工技术

冷自林

息县水利工程队 河南 信阳 464300

摘要：水利水电工程土石方施工技术是工程建设的关键环节，涉及大规模场地平整、坝体填筑及河道开挖等作业。该技术具有工程量大、施工条件艰难、系统性和综合性强及对自然环境影响大等特点。施工中常用爆破技术、土石方明挖技术、土石坝施工技术。为确保工程质量与安全，应加强技术创新与研发，提高施工人员技术水平与安全意识，强化施工管理，并关注环境保护。通过精细化管理和绿色施工策略，推动水利水电工程土石方施工技术的可持续发展。

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，对于促进水资源合理利用、保障防洪安全及促进区域经济发展具有重要意义。土石方施工是水利水电工程建设中的基础环节，其技术应用的优劣直接关系到工程的整体质量、进度及安全。随着科技的进步，土石方施工技术不断革新，朝着高效、智能、环保的方向发展。本文旨在探讨水利水电工程土石方施工的主要技术特点、关键技术及其应用优化策略，以期对相关工程建设提供理论参考与实践指导。

1 水利水电工程土石方施工特点

1.1 工程量大且施工条件艰难

(1) 水利水电工程往往涉及大规模的场地平整、坝体填筑及河道开挖等作业，开挖量通常以百万立方米为单位。如此巨大的工程量直接导致施工周期延长，需要投入大量的人力、机械持续作业，仅土石方开挖环节就可能占据整个工程工期的30%~50%，大幅增加了工程的整体工作量和难度。(2) 施工环境多为露天野外，且多位于山区、峡谷等地形复杂区域。这些区域地势陡峭、高差悬殊，部分施工面坡度可达60度以上，不仅给机械设备进场和材料运输带来极大阻碍，还增加了作业人员的安全风险。同时，地质条件复杂多变，可能遇到断层、溶洞、软弱夹层等不良地质构造，进一步加剧施工难度。(3) 施工区域常面临地质灾害威胁，如滑坡、崩塌、泥石流等，尤其在雨季，强降雨不仅会引发上述灾害，还会导致场地泥泞、基坑积水，迫使施工中断。据统计，多雨地区的水利工程因降雨影响，年均有效施工天数可能减少15%~20%，严重制约施工进度^[1]。

1.2 具有系统性和综合性

(1) 土石方施工与混凝土浇筑、防渗工程等其他工序关联性极强。例如，坝体填筑质量直接影响后续坝

体挡水性能，基坑开挖精度决定基础处理的难易程度，任何环节出现偏差都会引发连锁反应，需各工序协同推进。(2) 施工涉及范围广泛，需综合考量工程区域的地质地貌与水文特征。如河谷地带施工要分析河床冲刷规律以确定开挖深度，山地施工需评估地形坡度对土石方堆放的影响，同时还要考虑流域水文周期，避免在汛期进行水下开挖作业。

1.3 对自然环境影响大

(1) 施工过程中，土地开挖会直接摧毁地表植被，导致水土流失。机械设备运行产生的油污、施工废水若未经处理直接排放，会污染周边河流与土壤，破坏水生生物栖息地和农作物生长环境，影响区域生态平衡。(2) 土石方开挖产生的大量弃渣若堆放不当，会侵占林地、堵塞溪流，对森林生态系统造成破坏。弃渣覆盖林地会导致树木根系缺氧死亡，而随雨水流失的渣土还可能淤积河道，影响森林周边的水文循环，进一步加剧生态环境恶化。

2 水利水电工程土石方施工技术

2.1 爆破技术

(1) 潜风钻技术在水利水电爆破施工中应用广泛，其以压缩空气为动力，适配坚硬岩石与复杂地形的钻孔需求。该技术钻孔直径通常为40-100毫米，深度可达20米，单台设备日均钻孔量30-50米。相较于传统钻机，它体积小、移动灵活，能在狭窄边坡区域作业，且钻孔精度高，可精准控制炮孔角度与深度，减少超挖、欠挖现象，降低对周边岩体的扰动，显著提升爆破作业的安全性与经济性。(2) 混装炸药车的改进与创新聚焦于效率与安全双提升。新型混装炸药车实现炸药现场混制与连续输送，省去传统炸药运输和储存环节，大幅降低爆炸风险。其搭载的智能控制系统可精准调节炸药组分比

例,适配不同岩性爆破需求,自动化程度高,单台车日作业量相当于20吨传统炸药。部分车型采用防爆设计与实时监控系统,能在复杂工况下稳定运行,进一步筑牢施工安全防线。(3)爆破网络设计与起爆技术向精准化、智能化迈进。爆破网络设计需结合工程规模与地质条件,合理规划炮孔间距、排距及起爆顺序,严格控制爆破振动、飞石和冲击波范围。目前主流的毫秒延时起爆网络,通过不同段位雷管组合实现分段爆破,有效减少对周边建筑物和岩体的影响。起爆技术中,电子雷管的应用使起爆精度和可靠性大幅提升,延时误差可控制在1毫秒以内,且支持无线远程操作,避免人为失误,确保爆破效果完全符合设计标准。

2.2 土石方明挖技术

(1)微差爆破、光面爆破、预裂爆破技术持续发展并日趋完善。微差爆破通过精准控制相邻炮孔起爆时差,利用应力波相互作用增强岩石破碎效果,减少爆破振动与大块率,提升开挖效率;光面爆破在开挖轮廓线布置密集炮孔,采用小装药量,使爆破后岩壁保持平整,降低超挖量并保护保留岩体;预裂爆破先于主爆破在开挖边界形成裂缝,阻断主爆区应力波向保留岩体传播,有效保护边坡稳定。三者组合应用,可满足不同工程的开挖精度与安全要求。(2)高度边坡开挖多采用分层分段开挖方式,配合边坡支护措施,保障施工安全与稳定。开挖过程中自上而下分层进行,每层高度根据边坡坡度和地质条件确定,一般为5-10米,同时设置马道与截排水系统,防止雨水冲刷边坡。针对陡坡边坡,采用台阶式开挖,搭配锚杆、锚索、喷混凝土等支护手段,增强边坡岩体整体性与抗滑能力。该方式能有效分散边坡应力,避免大规模坍塌,适用于高度超100米的复杂边坡工程,具有安全性高、施工可控性强等优势^[2]。(3)爆破技术的控制与优化通过动态监测与参数调整实现。施工中运用爆破振动监测仪、高速摄像机等设备,实时采集振动速度、飞石距离、块度分布等数据,结合地质勘察结果,不断优化装药量、炮孔深度、起爆顺序等参数。同时,借助数值模拟技术预演爆破过程,预测爆破效果,减少试爆次数,降低施工成本。通过精准控制,可将爆破振动速度限制在安全范围内,保障周边建筑物和设施安全,同时提高开挖效率与岩石破碎质量。

2.3 土石坝施工技术

(1)土石坝按材料组成可分为均质坝、分区坝、土石混合坝等类型。均质坝采用单一土料填筑,结构简单、施工便捷,但防渗性能较差,适用于地质条件较好、坝高较低的工程;分区坝由防渗体、坝壳、过渡层

等组成,防渗体采用黏土、沥青混凝土等材料,坝壳采用砂石料,具有防渗性能优、适应变形能力强的特点;土石混合坝结合土料和石料优势,能充分利用当地材料,降低工程造价。(2)心墙土石坝施工中,心墙采用黏土或沥青混凝土等防渗材料,施工时需严格控制铺土厚度、碾压遍数和含水量,确保压实度达标,同时做好心墙与坝壳的结合处理,防止渗漏。沥青混凝土面板堆石坝通过在堆石体表面铺设沥青混凝土面板作为防渗体,施工中需保证面板与堆石体紧密结合,采用专用摊铺机摊铺沥青混凝土,并做好碾压和接缝处理,具有抗裂性强、施工速度快等优势。(3)土石坝施工质量控制与检验贯穿全程。料场质量控制需对土石料物理力学性质抽样检测,确保符合设计标准;填筑过程中,通过环刀法、灌砂法等检测压实度,采用渗透试验检验防渗性能;坝体碾压后,检查表面平整度和高程,及时处理不合格区域。同时,建立质量追溯体系,记录每一层填筑的材料来源、施工参数和检测结果,确保坝体质量稳定可靠^[3]。

2.4 土石方平衡施工

(1)开挖料的利用与挖填平衡的保持是施工关键。施工前需对开挖料分类评估,将符合填筑要求的土石料就近用于坝体、路基等填筑工程,减少弃渣量和外购材料用量。通过建立土石方平衡计算模型,结合施工进度计划,动态调整开挖与填筑顺序,确保开挖量与填筑量匹配。例如,坝体填筑阶段优先利用枢纽工程开挖的合格石料,实现“开挖即利用”,降低运输成本和场地占用。(2)提高土石方利用率的措施包括:优化开挖方案,减少超挖和无效开挖;对不合格料进行改良处理,如掺入水泥改善土料性能;设置中转料场,分类堆放材料,减少损耗。利用BIM技术建立土石方信息管理系统,实时追踪开挖、运输、填筑全过程,部分工程利用率可达85%以上。

2.5 水下开挖技术

(1)施工方案编制需全面勘察水下地形、水文条件和地质状况,明确开挖范围、深度、边坡坡度及安全防护措施,包含施工导流、防冲刷、泥沙控制等内容,并制定应急预案应对突发水流变化、设备故障等情况,保障施工顺利。(2)施工方法与开挖方式依水深选择:水深较小时采用陆地机械配合围堰施工;水深较大时使用绞吸式挖泥船(适用于淤泥、砂土)、抓斗式挖泥船(适用于硬质土层和块石);岩石地层采用水下爆破结合机械清渣,保证开挖精度。(3)施工机械设备选用防水性能强的专用设备,如水下挖掘机、潜孔钻等;交通

运输路线优先利用水上运输,设置临时码头转运材料,避免陆上运输对周边环境的破坏,提高运输效率。同时,设备选型需考虑施工区域航道条件和承载力,确保运输安全稳定。

3 水利水电工程土石方施工技术的优化建议

3.1 加强技术创新与研发

技术创新是推动施工效率提升的核心动力。应重点攻关智能化施工装备,研发具备自动导航、工况自适应功能的爆破钻机,结合北斗定位系统实现钻孔精度误差控制在 ± 2 厘米内;开发爆破效果模拟软件,通过输入地质参数可精准预测岩石破碎块度与振动范围,减少试爆次数。在绿色技术方面,推广低爆速、低污染的环保炸药,降低爆破产生的有毒气体排放量;研究弃渣再生技术,通过添加新型固化剂将废弃土石方转化为符合强度要求的填筑材料,使资源利用率提升15%以上。同时,建立企业技术研发中心,与高校共建实验室,针对高边坡开挖、水下爆破等难点技术开展联合攻关,形成“研发-试验-应用”的闭环体系。

3.2 提高施工人员技术水平与安全意识

施工人员的能力素质直接影响技术应用效果。构建分层分类培训体系:对技术骨干开展智能化设备操作培训,包括BIM模型应用、电子雷管控制系统调试等进阶内容;对一线工人进行实操技能强化,设置爆破参数设置、边坡支护作业等实训模块,考核通过率需达100%方可上岗。安全意识培养采用“案例警示+情景模拟”模式,每月组织观看事故警示教育片,每季度开展爆破飞石防护、边坡坍塌救援等实景演练,让施工人员直观感受违规操作的危害。建立技能等级与薪酬挂钩机制,鼓励工人考取特种作业资格证书,通过技术比武、创新提案等活动激发学习热情。

3.3 强化施工管理,确保施工质量与安全

精细化管理是技术落地的关键保障。施工前编制专项技术方案,明确土石坝碾压的含水率控制范围、爆破振动速度限值等量化指标,采用“首段认可制”,首段施工经监理验收合格后方可全面展开。引入智慧工地管理平台,对爆破作业面、高边坡区域安装视频监控与振动监测设备,实时上传数据至管理终端,发现超阈值情

况自动报警并锁定设备操作权限。质量管控实行“二维码追溯制”,每个填筑层、每批爆破材料均生成专属二维码,扫码可查看施工人员、检测数据等信息;安全管理推行“风险分级管控”,对特级风险点实施“作业许可+双人监护”制度,每日班前开展安全技术交底,确保防护措施落实到位^[4]。

3.4 关注环境保护,减少施工对自然环境的影响

生态保护需融入施工全流程。施工前完成生态环境基线调查,对古树名木、鱼类产卵场等敏感区域设置生态隔离带,划定禁止施工时段。优化施工工艺减少污染,爆破作业采用“水袋间隔装药”技术降低扬尘,车辆行驶路线铺设碎石路面并配备洒水车,使施工区PM10浓度控制在 $0.8\text{mg}/\text{m}^3$ 以下;设置沉淀池处理施工废水,经检测达标后循环用于洒水降尘。建立环境监测与修复机制,在河道周边布设水质监测点,每周检测pH值、悬浮物等指标;工程结束后对弃渣场进行覆土绿化,选用本地物种构建植被群落,使生态恢复率达到90%以上,实现工程建设与生态保护的协同发展。

结束语

综上所述,水利水电工程土石方施工技术是一个复杂而系统的工程,其高效实施不仅关乎工程进度和质量,更直接影响到工程的经济效益、生态效益和社会效益。通过不断的技术创新与优化,我们能够显著提升土石方施工的效率与安全性,同时减少对自然环境的影响。未来,随着智能化、绿色化施工技术的不断发展,水利水电工程土石方施工将迎来更多挑战与机遇。我们期待通过持续的技术革新与管理优化,推动土石方施工技术迈向更高水平,为水利水电事业的蓬勃发展贡献力量。

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的有效性探究[J].现代物业(中旬刊),2020,(05):160-161.