

# 水利水电工程土石方施工技术的分析

彭 初

黑水县应急管理局, 四川 阿坝 623500

**[摘要]** 水利水电工程作为国家基础设施的重要组成部分, 在调节水资源、发电、防洪、灌溉等诸多领域发挥着不可替代的关键作用, 为社会经济的稳健发展提供了坚实保障。土石方施工技术在水利水电工程建设中占据着核心地位, 贯穿工程始终, 其施工质量的优劣直接关乎整个工程的成败, 开展水利水电工程中土石方施工技术的研究具有极其重要的现实意义, 既能为工程质量、工期、成本管控提供有力支撑, 又能助力环境保护, 推动水利水电事业的可持续发展。

**[关键词]** 水利水电; 土石方施工技术; 施工技术

DOI: 10.33142/hst.v8i1.15148

中图分类号: TV541

文献标识码: A

## Analysis of Earthwork and Stone Construction Technology in Water Conservancy and Hydropower Engineering

PENG Chu

Heishui County Emergency Management Bureau, Aba, Sichuan, 623500, China

**Abstract:** Water conservancy and hydropower engineering, as an important component of national infrastructure, plays an irreplaceable key role in regulating water resources, power generation, flood control, irrigation and many other fields, providing solid guarantees for the stable development of the social economy. The earthwork construction technology occupies a core position in the construction of water conservancy and hydropower projects, running through the entire project. The quality of its construction directly affects the success or failure of the entire project. Conducting research on earthwork construction technology in water conservancy and hydropower projects has extremely important practical significance. It can not only provide strong support for project quality, schedule, and cost control, but also help environmental protection and promote the sustainable development of water conservancy and hydropower industry.

**Keywords:** water conservancy and hydropower; earthwork construction technology; construction technology

### 1 水利水电工程土石方施工技术概述

土石方工程在水利水电领域涵盖范围广泛, 包含诸多关键施工环节。场地平整作为开篇工序, 旨在为后续建设打造适宜的作业平面, 通过挖填、平整等操作, 使场地满足设计标高与坡度要求, 为建筑物、构筑物的精准定位奠定基础; 土方开挖与石方开挖则是核心任务, 依据工程设计蓝图, 运用各类机械设备或爆破手段, 移除山体、地面土石, 塑造大坝、渠道、厂房等所需的空间形态; 回填作业紧随其后, 将符合要求的土石材料回填回开挖区域, 压实处理, 确保地基稳固, 增强结构承载能力; 运输环节贯穿全程, 负责将开挖出的土石方精准运至指定地点, 如填方区、弃渣场等, 保障施工流畅性; 打夯与碾压工序对填方质量起着决定性作用, 借助夯锤、压路机等设备, 对回填土石施以冲击、碾压之力, 有效提升其密实度, 降低沉降风险。

### 2 水利水电工程土石方施工关键技术分析

#### 2.1 土石方爆破技术

在水利水电工程土石方爆破作业中, 爆破器材的选型与爆破方法的抉择至关重要, 二者直接关乎爆破成效、施工安全及成本把控。传统的手风钻, 操作简易、机动性强, 在小型工程或狭窄作业面仍有应用, 但其钻孔效率低、深

度受限, 面对大规模石方开挖力不从心; 潜风钻凭借更高风压, 钻孔速度与深度显著提升, 适用于中等规模石方作业, 但能耗较大。当下, 混装炸药车崭露头角, 集炸药制备、装填于一体, 可依据现场地质动态调整炸药配比, 确保爆破效果精准化, 大幅提升装药效率, 减少人工装药风险, 在大型工程中优势尽显。

爆破方法多样, 各有千秋。浅孔爆破, 炮孔深度小于 5m, 操作简便、灵活性高, 常用于小型土石方工程、基础开挖或二次破碎, 对周边岩体扰动小; 深孔爆破, 炮孔深度超 5m, 单次起爆药量较大, 爆破效率高, 适用于大规模石方开挖, 如大型水电站坝基开挖, 但对钻孔精度、装药结构要求严苛。预裂爆破别具一格, 于设计开挖边界预先布置密集炮孔, 起爆后形成平整破裂面, 有效阻隔主爆区爆破震动向保留岩体传播, 保护边坡岩体稳定性, 常用于高陡边坡开挖; 光面爆破与之类似, 在开挖边界实施, 使爆破后岩壁平整光滑, 减少超欠挖, 保障洞室、隧洞开挖成型质量。定向爆破巧妙利用炸药能量定向抛掷岩土, 快速完成场地平整、填方工程, 然其技术复杂, 需精准设计与把控。微差爆破, 借助高精度雷管精准控制起爆时差, 降低爆破震动, 增强破碎效果, 广泛应用于各类爆破场景,

为工程安全与高效施工保驾护航。

## 2.2 明挖施工技术

### 2.2.1 石方开挖

石方开挖在水利水电工程建设中同样占据重要地位,其施工技术的科学性与精准性对工程质量、进度及成本有着深远影响。装药过程中,依据岩石硬度、裂隙发育程度及爆破设计方案,精细计算装药量。选用乳化炸药,周边孔采用间隔装药结构,以控制爆破轮廓,减少对保留岩体的扰动;掏槽孔与辅助孔则采用连续装药,确保岩石破碎效果。运用木质或竹质炮棍轻轻捣实炸药,确保装药密度均匀,同时,严格保护雷管脚线,防止其受损短路。爆破作业是石方开挖的关键节点,采用微差爆破技术,借助高精度电子雷管,精准控制起爆时差在 25~50ms。依掏槽孔、辅助孔、周边孔的顺序依次起爆,充分利用爆炸能量,提高破碎效果,降低爆破震动。在紧邻居民区一侧,设置减震沟,沟深 2m、宽 1.5m,内填松散砂土,有效阻隔爆破震动波传播,确保周边建筑物安全。爆破后,及时组织撬挖与修整作业。施工人员运用撬棍、风镐等工具,小心清除松动岩石,对欠挖部位进行补爆或人工修整,确保开挖面平整度符合设计要求。对于超挖区域,采用浆砌石或混凝土回填,保障岩体完整性与稳定性。通过严谨的施工流程与精细的技术把控,实现石方开挖的高效、安全推进,为后续工程建设筑牢根基。

### 2.2.2 高陡边坡开挖与防护

高陡边坡开挖与防护是水利水电工程中的重难点问题,其施工质量直接关系到工程整体稳定性与安全性。开挖过程中,依据边坡高度、坡度及地质条件,因地制宜地选择开挖方式。对于高度超过 50m、坡度大于 60° 的高陡边坡,采用分层分段开挖结合预裂爆破技术。每层开挖高度控制在 5~8m,分段长度 15~20m,预裂爆破孔间距 30~40cm,装药不耦合系数控制在 2~3,确保爆破后沿边坡形成平整的预裂面,有效阻隔主爆区爆破震动对边坡岩体的破坏。在开挖过程中,实时监测边坡变形,布置全站仪监测点与测斜仪观测孔,监测频率为每 2 小时一次,及时掌握边坡动态。

防护加固措施同步跟进,确保边坡稳定。在坡面防护方面,采用锚杆锚索联合支护体系。按 2m×2m 间距布置锚杆,锚杆长 6~8m,深入稳定岩体,注入高强度水泥砂浆锚固;锚索间距 4m×4m,长度 20~30m,依据边坡岩体下滑力计算确定锚索拉力,施加预应力,增强岩体整体性。挂设双层钢筋网,喷射 15cm 厚的 C25 混凝土,形成坚固防护层。坡顶设置截水沟,拦截地表水;坡体内部按 5m 间距布置排水孔,孔径 75mm,内置排水管,将地下水引排,降低孔隙水压力。此外,在坡脚修筑挡土墙,墙高 5~8m,采用重力式挡土墙或锚索抗滑挡土墙,依据边坡推力计算确定墙体尺寸与配筋,有效抵抗边坡土体下滑,保障工程施工与运营期间高陡边坡的稳定安全。

## 2.3 土石方平衡施工技术

### 2.3.1 土石方量计算方法

精准计算土石方量是水利水电工程土石方施工的关

键前置环节,其计算精准度直接关乎工程成本控制、资源调配合理性以及施工进度安排的科学性。当前,常用的土石方量计算方法有断面法与方格网法,二者各具特性,适用于不同工程场景。

断面法,其原理是沿场地取若干个相互平行的断面,将所取的每个断面(涵盖边坡断面)细致划分为若干个三角形和梯形,而后依据各断面的面积以及断面间距,运用特定公式精确计算土石方量。该方法在地形变化较大、狭长形的工程区域优势显著,如山区的输水隧洞工程,沿线地形起伏剧烈,通过合理设置断面,能精准把控不同段落的土石方挖填量。不过,断面法对断面选取的科学性、代表性要求颇高,若断面设置不合理,易导致计算结果偏差较大;且当工程地形复杂多变、断面数量过多时,计算工作量将大幅增加,耗时费力。

方格网法,通常由设计单位在 1:500 的地形图上,将场地划分为边长 10~40m 的若干方格,使之与测量的纵横坐标精准对应,在各方格角点规定位置上,详实标注角点的自然地面标高和设计标高。基于这些数据,利用专业软件或计算公式,按照一定规则依次计算每个方格的土石方量,最后累加得出总量。方格网法适用于地形相对平坦、变化连续的地形状况,像大型平原地区的水利枢纽工程的场地平整作业,运用方格网法可高效、精准地完成土石方量核算。但此方法对地形图的精度依赖性强,若地形图测绘存在误差,将直接影响计算准确性;且在处理地形突变区域时,可能需要加密方格或结合其他方法辅助计算,方能满足精度要求。

在实际工程中,为确保土石方量计算的高精度,常综合运用多种方法,相互校验。同时,借助先进的测量技术,如 GPS 实时动态测量、三维激光扫描技术等,获取高精度地形数据,为计算提供坚实基础,为后续施工的顺利开展筑牢根基。

### 2.3.2 土石方调配原则与优化

土石方调配是水利水电工程施工中一项极具挑战性与复杂性的系统工程,其核心目标是实现土石方挖填平衡、运距最短以及经济合理,这对工程成本控制、施工效率提升、资源合理利用乃至生态环境保护均有着深远影响。

在施工筹备阶段,依据地形地貌、地质勘查资料以及工程设计蓝图,施工团队对整个工程区域展开精细的土石方平衡规划。首先,秉持挖填平衡原则,对各施工分区的开挖量与填筑需求量进行严谨核算,力求将开挖出的土石方就近合理利用于填方区域,减少不必要的弃渣与远距离取土。坝基开挖产生的大量石方,经筛选、破碎处理后,优先用于坝体下游护坡、围堰等部位的填筑,既充分利用资源,又降低了弃渣带来的环境压力。

运距最短原则贯穿调配全程。通过构建数学模型,结合现场交通条件,对土石方运输路线展开优化设计。利用地理信息系统(GIS)技术,将工程区域内的料场、开挖区、填筑区以及既有道路等信息数字化,直观呈现各节点间的空间关系,运用路径分析算法,精准规划出多条运输

路线方案,经比选确定最优路径,有效降低运输成本,提高运输效率,经济合理原则统筹全局。在选择料源时,综合考量开采成本、运输费用、料场征地费用等诸多因素。对于可利用的建筑物开挖料,优先评估其质量与适用性,尽量直接上坝或经简单处理后用于合适部位,减少料场开采量;同时,兼顾施工进度安排,避免因土石方调配不畅导致施工延误,增加额外成本。在调配过程中,还充分考虑生态环保因素。合理规划弃渣场位置,做好防护与复垦措施,防止水土流失与环境污染;对表层耕作土进行单独剥离、妥善保存,以便后期用于土地复垦或生态修复,实现工程建设与生态保护的协同共进,为水利水电工程的可持续发展提供有力支撑。

### 3 水利水电工程土石方施工常见问题与对策

#### 3.1 施工质量问题

##### 3.1.1 土方坍塌

土方坍塌是水利水电工程土石方施工中较为常见且危害严重的质量问题,其成因复杂多样,涉及地质条件、施工工艺、环境因素等诸多方面。在地质层面,若土体的抗剪强度不足,如淤泥质土、松散砂土等软弱土质,自身稳定性差,极易在开挖后出现坍塌;土体内部存在的裂隙、空洞等缺陷,破坏了土体的整体性,也为坍塌埋下隐患。施工工艺不合理同样会诱发坍塌,开挖时若未严格按照设计要求放坡,坡度过陡,土体侧向压力失衡,便容易失稳;缺乏有效的固壁支撑措施,在深度较大或土质较差的基坑、沟槽开挖中,无法抵御土体变形。环境因素影响不容小觑,强降雨天气使土体含水量急剧增加,重度增大、抗剪强度降低,同时地下水水位上升,产生动水压力,对土体形成冲刷与侵蚀;临近施工区域的震动荷载,如重型车辆行驶、爆破作业等,会扰动土体结构,削弱其稳定性。

##### 3.1.2 石方爆破效果不佳

石方爆破效果不佳在水利水电工程中时有发生,严重阻碍施工进度、影响工程质量,其诱因涵盖爆破参数、器材选用、施工操作等关键环节。爆破参数设计若缺乏精准性,炮孔间距过大,炸药能量分散,岩石破碎不均匀,易产生大块石;排距过小,岩石夹制作用增强,阻碍破碎效果。炸药单耗量估算偏差,过大易引发飞石、震动等危害,过小则无法实现预期破碎。选用的爆破器材性能不匹配,雷管延期精度差,微差爆破时差失控,导致爆炸能量不能有效叠加利用;炸药威力与岩石硬度不匹配,硬岩用低威力炸药,破碎困难,软岩用高威力炸药,易造成过度破碎与飞石。施工人员操作不规范,装药过程中,炸药装填不均,部分炮孔装药密实,部分松散,影响爆炸能量分布;起爆顺序混乱,未按设计依次起爆,破坏岩石破碎规律,降低爆破效果。

##### 3.1.3 填筑压实度不足

填筑压实度不足是影响水利水电工程结构稳定性与防渗性能的关键质量问题,其根源涉及填料质量、施工工艺、检测管控等多个环节。填料选择不当是首要因素,若采用含草皮、树根、有机质含量高(超8%)的土料或淤

泥质土,这些材料压缩性大、强度低,难以压实至设计标准;土料的天然含水量偏离最优含水量过多,含水量过高,土粒间孔隙被水填充,压实过程中空气难排出,压实功多被水吸收,含水量过低,土粒间摩擦力大,不易紧密排列,均无法达到理想压实度。施工工艺不合理同样不容忽视,铺料厚度过大,超出压实机械有效作用深度,下部土层压实不足;碾压遍数不够,土料颗粒未充分重组排列,密实度低;碾压速度过快,压实能量来不及均匀传递,压实效果大打折扣。压实质量检测与管控不力,检测频率不足,难以及时发现压实度问题;发现问题后未及时返工处理,导致问题累积,影响整体工程质量。

#### 3.2 施工安全问题

爆破作业作为水利水电工程土石方施工中的关键环节,具有极高的风险性,一旦发生事故,后果不堪设想,不仅会对人员生命安全构成严重威胁,还可能造成巨大的财产损失,甚至对周边环境产生恶劣影响。爆破事故的发生往往源于多方面因素,其中爆破器材管理不善是重要诱因之一。若在运输环节,未能严格遵循相关法规与安全规程,选用不具备专业资质的运输车辆或人员,抑或未采取妥善的防震、防火、防潮等防护措施,极易致使爆破器材在运输途中受损,进而引发爆炸隐患;在储存过程中,倘若仓库选址不当,靠近居民区、火源或其他易燃易爆场所,且仓库内部的温湿度调控、通风设施以及防火防爆设备配置不符合标准要求,就可能导致爆破器材性能劣化,为事故发生埋下伏笔;而在使用环节,若未建立严格的领用登记制度,造成爆破器材流向不明,或者现场使用人员违规操作,都极有可能瞬间引发爆炸灾难。在水利水电工程施工现场,尤其是土石方施工区域,高处坠落与物体打击事故时有发生,对施工人员的生命安全构成严重威胁,给工程建设带来诸多不利影响。

### 4 结论

本研究对水利水电工程土石方施工技术进行了深入探究,展望未来,智能化浪潮下,BIM、无人机、智能监测、自动化设备深度融合,5G、AI助力,施工将更智能高效;绿色环保成刚需,绿色爆破、生态修复、节能减排、资源循环利用技术多点开花,环保与发展相得益彰;新材料、新工艺涌现,高性能土工合成、生态友好、智能材料革新工程,土壤加固、数字化工艺优化流程,为行业注入澎湃动力,指引水利水电土石方施工迈向高质量、可持续新征程。

#### [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]焦翔鹏,于乃辉.土石方施工技术在水利水电工程建设中的应用[J].世界家苑,2023(22):162-164.
  - [3]刘卫君.关于水利水电工程土石方施工技术探究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(1):3.
- 作者简介:彭初(1994.12—),男,毕业于四川农业大学,学历本科,所学专业水利水电工程,当前就职单位黑水县应急管理局。