

# 水利施工中土石方开挖技术的应用

张士宝<sup>1</sup> 李祥云<sup>2</sup> 孙 粟<sup>3</sup> 张 洋<sup>3</sup>

1. 徐州市水利工程运行管理中心 江苏 徐州 221000
2. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司徐州分公司 江苏 徐州 221000
3. 徐州市南水北调工程管理中心 江苏 徐州 221000

**摘要：**水利施工中土石方开挖技术是保障工程质量和效率的核心环节。机械开挖以挖掘机、装载机为主，适用于大规模土方作业；爆破开挖通过浅孔、深孔、预裂及光面爆破等技术，精准破碎岩石，减少对周边岩体的扰动。针对软土、冻土等特殊地质，采用排水固结、换填或预热法处理，提升地基稳定性。信息化技术如BIM模拟与实时监测系统，可优化施工方案，保障安全。绿色施工理念下，泥浆循环利用与生态边坡修复技术进一步减少环境影响。

**关键词：**水利施工；土石方开挖技术；应用

引言：水利工程建设中，土石方开挖是基础且关键的环节，直接影响工程安全、质量与进度。随着技术发展，机械开挖、爆破技术及特殊地质处理手段不断创新，信息化与绿色施工理念亦逐步融入。如何根据地质条件、工程规模及环保要求，科学选择开挖技术并优化施工方案，成为提升水利工程建设效率与可持续性的重要课题。本文将系统分析土石方开挖技术的分类、应用及优化措施，为实际工程提供参考。

## 1 水利施工中土石方开挖技术概述

### 1.1 土石方开挖技术分类

(1) 按施工方式：机械开挖依靠挖掘机、装载机等设备作业，效率高、适用范围广，是当前水利施工主流方式；爆破开挖通过炸药爆破破碎岩石或土体，多用于坚硬地质，需严格控制爆破参数确保安全；人工开挖依赖人力操作，仅适用于工程量小、机械难以进入的区域，如狭窄沟槽或小型修复工程。(2) 按地质条件：岩石开挖针对岩质地层，需结合岩石硬度选择爆破或大型机械破碎；土方开挖适用于土层、砂层等松散地质，以机械开挖为主，需做好边坡防护防坍塌；软基开挖面对淤泥、泥炭等软弱地基，需采用分层开挖并配合排水措施，避免地基失稳。(3) 按开挖规模：大型基坑开挖常见于水库大坝、水电站等工程，开挖深度大、面积广，需制定专项支护方案；渠道开挖为水利输水工程服务，注重开挖坡度与断面尺寸精准度，保障输水效率；边坡开挖涉及堤坝、河岸等边坡结构，需严格控制坡度，防止滑坡或水土流失<sup>[1]</sup>。

### 1.2 技术选择原则

(1) 工程地质条件适应性是技术选择的首要前提。需全面勘察施工区域的地质构造、地层分布、岩石硬

度、土壤性质等，确保所选开挖技术与地质条件匹配。例如，坚硬岩石地层优先选择爆破开挖，松散土层则适合机械开挖，避免因技术与地质不适应导致施工困难、工程质量隐患。(2) 经济性需综合考量成本与工期。在满足工程要求的前提下，对比不同开挖技术的设备投入、人力成本、材料消耗等，选择性价比高的方案；同时，结合工程进度计划，选择能高效推进施工、缩短工期的技术，避免因工期延误增加额外成本，实现工程效益最大化。(3) 安全性与环保要求不可忽视。技术选择需保障施工人员、设备安全，避免因技术缺陷引发坍塌、爆破事故等安全问题；同时，需符合环保法规，减少开挖过程中对周边土壤、植被、水体的破坏，采取防尘、降噪、水土保持等措施，实现水利工程施工与生态环境的和谐发展。

## 2 水利施工中土石方开挖技术及应用分析

### 2.1 机械开挖技术

(1) 常用设备涵盖挖掘、装载、推运及特殊掘进类设备。挖掘机作为核心设备，按作业方式可分为正铲、反铲，正铲适用于土方开挖量较大的露天作业，反铲则更适合基坑、沟渠等深度开挖场景；装载机主要负责物料装载与短途转运，常与挖掘机配合提升作业效率；推土机多用于场地平整、土方推运，通过推土铲调整作业角度，适应不同地形修整需求；盾构机则针对隧道类水利工程，实现地下暗挖作业，减少对地表环境的干扰。(2) 应用场景聚焦于地形平缓、工程量集中的区域。平原区渠道开挖中，依托机械的连续作业能力，可快速完成渠道断面开挖与边坡修整，保障渠道线性与坡度精度；大型基坑分层开挖时，通过挖掘机分层开挖、装载机转运、推土机平整的协同作业模式，避免基坑一次性

开挖过深导致边坡失稳,同时满足后续结构施工的分层作业需求。(3)技术优势体现在作业效率与质量控制两方面。相比人工开挖,机械作业单日开挖量可达数千立方米,大幅缩短施工工期;且通过设备操作参数调整,能精准控制开挖深度、坡度与断面尺寸,减少超挖、欠挖现象,提升工程质量可控性<sup>[2]</sup>。(4)局限性主要受地质条件与成本制约。面对硬度超过100MPa的硬岩层,挖掘斗齿磨损速度加快,开挖效率仅为软土层的1/5;同时,大型盾构机单台购置成本高达数千万元,设备维护与操作人员培训费用也显著增加,提升了工程前期投入。

## 2.2 爆破开挖技术

(1)爆破方法需根据开挖深度与精度要求选择。浅孔爆破孔径小于50mm、孔深小于5m,适用于小型岩石基坑与边坡修整;深孔爆破孔径大于75mm、孔深超过5m,常用于大型岩石山体开挖,单次爆破方量可达数千立方米;预裂爆破通过在开挖轮廓线先形成裂缝,减少主体爆破对保留岩体的损伤;光面爆破则通过控制炸药用量与起爆顺序,使开挖面平整度误差控制在5cm以内,适用于对岩体完整性要求高的水利枢纽基础开挖。(2)应用场景集中于岩石类地质条件。岩石山体开挖中,通过深孔爆破结合预裂爆破,可高效破碎坚硬岩体,为大坝基础、溢洪道施工创造空间;高边坡修整时,采用光面爆破技术,能精准控制边坡坡度,避免边坡岩体出现裂隙,提升边坡稳定性。(3)技术要点决定爆破效果与安全性。炸药选型需匹配岩石硬度,如铵油炸药适用于中硬岩层,乳化炸药适用于潮湿或有水环境;装药结构采用间隔装药或连续装药,间隔装药可减少炸药集中爆炸对岩体的破坏;起爆网络设计需确保炸药按预设顺序起爆,常用导爆管起爆网络,起爆可靠性达99%以上。(4)安全控制需多维度防范风险。振动监测通过布设振动传感器,将爆破振动速度控制在2.5cm/s以内,避免影响周边建筑物;飞石防护采用竹排、铁丝网双重覆盖,防护范围不小于爆破安全距离的1.2倍;粉尘抑制通过爆破后立即洒水与布设雾炮机,将粉尘浓度控制在10mg/m<sup>3</sup>以下,符合环保标准<sup>[3]</sup>。

## 2.3 特殊地质条件开挖技术

(1)软土地基处理需针对软土承载力低、压缩性高的特性选择技术方案。排水固结法通过布设排水板、砂垫层等排水系统,加速软土中水分排出,促进软土固结,提升地基承载力,适用于大面积软土地基处理;换填法采用级配砂石、灰土等强度较高的材料替换原软土层,通过分层碾压夯实,改善地基受力性能,适用于软土层厚度较浅、对地基承载力要求较高的水利建筑物基

础开挖场景。(2)冻土开挖需突破低温环境下土体坚硬、开挖难度大的限制。预热法通过燃油热风机、电加热等方式,将冻土温度提升至0℃以上,使冻土融化后再进行机械开挖,避免机械刀具过度磨损,适用于冻土厚度较浅、环境温度不过低的区域;爆破法针对厚度较大、硬度较高的多年冻土,采用低爆速炸药与特殊装药结构,在破碎冻土的同时,减少对周边冻土环境的扰动,避免冻土融化引发的地基沉降<sup>[4]</sup>。(3)水下开挖需适应水下作业环境,保障开挖效率与质量。抓斗式挖泥船通过液压驱动抓斗抓取水下泥土或松散岩体,适用于水深较浅、土质较硬的河道疏浚、水下基坑开挖场景,可精准控制开挖范围;绞吸式挖泥船通过绞刀破碎水下土体,同时利用泥浆泵将泥浆吸入并输送至指定区域,适用于水深较深、工程量较大的湖泊清淤、水库开挖作业,实现开挖与泥浆输送的一体化作业。

## 2.4 绿色开挖技术

(1)减振爆破技术通过优化爆破参数降低环境影响。以微差爆破为代表的减振技术,将多组炮孔按毫秒级时差起爆,使各炮孔爆破产生的振动波相互干扰抵消,大幅降低整体爆破振动强度,减少对周边岩体结构、建筑物及生态环境的破坏,适用于距居民区、古建筑或生态敏感区较近的水利爆破作业。(2)泥浆循环利用系统实现资源高效回收与污染控制。在机械开挖、水下开挖过程中,产生的泥浆通过沉淀池、压滤机等设备进行固液分离,分离出的清水可重新用于施工洒水、设备冷却等环节,固体泥渣经固化处理后可作为路基填料或建筑辅料,大幅减少泥浆排放量,降低对水体环境的污染,同时节约水资源与建筑材料成本。(3)生态边坡修复技术推动开挖作业与生态保护协同发展。在边坡开挖完成后,通过喷播草籽、种植固土植物等方式,恢复边坡植被覆盖;结合铺设生态袋、格宾网等生态防护设施,增强边坡抗冲刷能力,防止水土流失。该技术不仅能提升边坡稳定性,还能改善工程周边生态环境,实现水利工程建设与生态系统保护的和谐统一。

## 3 水利施工中土石方开挖技术的优化措施

### 3.1 施工组织优化

(1)分层分段开挖顺序设计需结合工程地质条件与开挖规模科学制定。分层开挖需根据开挖深度、土体或岩体稳定性,合理划分开挖层数与每层开挖厚度,避免单次开挖深度过大导致边坡失稳或基坑坍塌;分段开挖则按照工程施工进度计划与作业面分布,将开挖区域划分为若干段落,有序推进开挖作业,减少不同区域施工干扰,同时为后续支护、衬砌等工序创造提前介入的条

件,缩短整体施工周期。此外,开挖顺序还需兼顾土方转运路径规划,避免二次倒运,提升土方利用与处置效率。(2)多设备协同作业调度需建立高效的协调机制。根据开挖作业各环节需求,合理配置挖掘机、装载机、运输车辆等设备数量与型号,明确各设备作业范围与衔接流程,确保挖掘、装载、转运等工序无缝衔接,减少设备闲置时间;同时,依托现场调度系统,实时掌握各设备运行状态、作业进度与物料供需情况,动态调整设备调度方案,应对施工过程中的突发状况,如设备故障、作业面调整等,保障开挖作业连续稳定进行,最大化发挥设备集群作业效能。

### 3.2 信息化施工应用

(1)BIM技术模拟开挖过程可实现施工方案的可视化与优化。通过构建包含工程地质、地形地貌、开挖边界等信息的BIM模型,对开挖顺序、开挖深度、设备行走路径等进行三维模拟,直观呈现开挖过程中可能出现的问题,如边坡坡度超标、设备碰撞等;基于模拟结果,对开挖方案进行调整与优化,提前规避施工风险;同时,BIM模型可与施工进度计划关联,实现开挖作业的进度模拟与管控,为施工资源调配提供数据支撑,提升施工方案的科学性与可行性。(2)实时监测系统的应用可保障开挖施工安全与质量。边坡位移监测通过布设位移传感器,实时采集边坡土体或岩体的位移数据,分析边坡稳定性,若位移量超出预警值,及时触发预警机制,采取加固、放缓开挖坡度等措施,防止边坡滑坡;振动监测主要针对爆破开挖作业,通过振动传感器实时监测爆破产生的振动波速,确保振动强度控制在安全范围内,避免对周边建筑物、岩体结构造成损伤;此外,实时监测数据可通过信息化平台实时传输与分析,为施工决策提供实时依据,实现开挖施工的动态管控<sup>[5]</sup>。

### 3.3 安全与环保措施

(1)爆破安全距离控制需严格依据爆破药量、地质条件与周边环境制定标准。根据相关规范计算最小安全距离,明确爆破作业的禁入区域,在安全距离范围内设置警示标识与防护设施,禁止无关人员与设备进入。同时,结合爆破方法与参数的调整,进一步优化安全距

离,在保障安全的前提下,减少对周边施工与生活区域的影响,确保爆破作业安全可控。(2)扬尘与噪声防控需从源头与传播途径采取措施。扬尘防控可采用喷淋降尘系统,在开挖区域、转运道路等部位设置喷淋装置,通过持续喷水抑制扬尘产生;还可覆盖防尘网,减少土方裸露面积。噪声防控可设置隔音屏障,在施工区域与敏感区域之间搭建隔音设施,降低噪声传播;同时,合理安排施工时间,避免在居民休息时段进行高噪声作业,减少对周边居民生活的干扰。(3)废弃土石方资源化利用需建立完善的处理与回收体系。对开挖产生的废弃土石方进行分类处理,筛选出符合要求的土石方用于工程回填,减少外购回填材料的使用;将符合制砖标准的土石方输送至制砖厂,加工成建筑用砖,实现资源循环利用。通过资源化利用,不仅减少了废弃土石方的堆放量,降低了对土地资源的占用与环境的污染,还能节约工程成本,提升工程的经济效益与环保效益。

### 结束语

水利施工中土石方开挖技术的科学应用,是保障工程安全、提升施工效率、实现绿色发展的关键。通过合理选择机械开挖、爆破技术或特殊地质处理方案,并结合信息化手段优化施工组织与实时监测,可有效应对复杂地质条件下的施工挑战。未来,随着绿色施工理念的深化与技术创新,土石方开挖技术将进一步向智能化、生态化方向发展,为水利工程建设的高质量推进与生态环境保护提供更强支撑。

### 参考文献

- [1]李翔.边坡开挖支护施工技术在水利水电工程中的应用研究[J].珠江水运,2021(21):43-44.
- [2]牛仙.土石方开挖填筑与支护施工技术及管理措施的研究[J].江苏科技信息,2022,39(19):62-63.
- [3]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.
- [4]吴国良.水利工程土石方施工技术的应用及管理[J].农家参谋,2020,(17):203-204.
- [5]马哲.水利工程土石方开挖施工技术应用分析[J].人民黄河,2024,46(S1):188-189.