

水利施工中土石方工程关键技术及其环境影响研究

蒋燕东

浙江富江建设集团有限公司 浙江 温州 325000

摘要：本文旨在系统梳理和分析现代水利施工中土石方工程的关键技术体系，并深入探讨其在施工全生命周期内对生态环境产生的多维度影响。文章首先阐述了土石方工程在水利工程中的核心地位与主要任务；其次，从开挖、运输、填筑与压实、边坡稳定及信息化管理五个维度，详细论述了当前应用的核心技术及其发展趋势；再次，全面剖析了土石方工程在水土流失、水体污染、生物多样性破坏、地质灾害诱发及景观破碎化等方面的环境影响机理；最后，基于“预防为主、防治结合、综合治理”的原则，提出了涵盖规划设计、施工过程及后期修复的全过程、多层次生态环保对策。研究表明，通过技术创新与生态理念的深度融合，可有效实现水利工程建设与生态环境保护的协同发展，为构建人水和谐现代水利工程提供理论支撑与实践路径。

关键词：水利工程；土石方工程；关键技术；环境影响；生态修复

引言

水利工程作为国家基础设施，在防洪、发电、灌溉等多方面作用重大。随着生态文明建设推进，“两山”理念成共识，对水利工程建设要求提高，需注重全生命周期生态友好性。在此背景下，土石方工程作为水利工程前期投入最大、作业面最广、扰动强度最高的部分，其环境影响问题凸显，成为行业绿色转型关键瓶颈。土石方工程贯穿各类水利项目，核心任务如场地平整等活动会大规模扰动地表，改变水文地质条件，冲击周边生态。大型水利枢纽工程中，土石方工程量巨大，施工引发水土流失量占比高。所以，在保障工程质量和进度前提下，最大限度减少土石方工程对生态环境的负面影响，是水利科技领域亟待解决的重大课题。

1 水利土石方工程的关键技术体系

1.1 高效精准的开挖与爆破技术

开挖是土石方工程的首要环节，其效率与质量直接影响后续工序。针对不同地质条件（如软土、硬岩、风化岩等），需采用差异化的开挖策略。（1）机械开挖技术：对于土质或软岩地层，广泛应用大型液压挖掘机、推土机、装载机等设备。近年来，GPS/北斗定位与激光引导技术的集成，使得挖掘机能够实现厘米级的自动找平与坡度控制，显著提升了开挖的精准度，减少了超挖与欠挖，节约了成本并降低了对周边环境的无谓扰动。（2）控制爆破技术：在坚硬岩体开挖中，爆破仍是主要手段。传统爆破易造成过度破碎、飞石及强烈震动，对周边建筑物和生态环境构成威胁。现代控制爆破技术，如预裂爆破、光面爆破和微差挤压爆破，通过精确设计孔网参数、装药结构和起爆时序，能有效控制爆破范围、减小震动

效应、形成平整的开挖轮廓面，从而最大限度地保护保留岩体的完整性，减少次生灾害风险。

1.2 智能优化的运输与调配技术

土石方运输是连接开挖与填筑的关键纽带，其组织效率直接决定工程进度和成本。（1）运输路径与车辆调度优化：借助地理信息系统（GIS）和全球导航卫星系统（GNSS），可以对施工现场进行三维建模，动态规划最优运输路径，避开生态敏感区。同时，利用物联网（IoT）技术对运输车辆进行实时监控与调度，实现“挖-运-填”的无缝衔接，减少车辆空驶率，提高整体运输效率^[1]。（2）土石方平衡与综合利用：“就地取材、就近填筑”是减少运输距离、降低能耗与碳排放的核心原则。通过建立精确的土石方调配模型，对开挖料进行分类（如心墙黏土料、坝壳堆石料、混凝土骨料等），并优先用于工程自身填筑或加工，不仅能大幅减少外购材料和弃渣量，还能有效规避因长距离运输带来的扬尘、噪音等二次污染。

1.3 科学严密的填筑与压实技术

对于土石坝等填筑类工程，填筑质量直接关乎工程安全。（1）分层填筑与碾压技术：严格按照设计要求进行分层摊铺和碾压是保证填筑体密实度和均匀性的基础。现代振动碾、冲击碾等压实设备配备了实时监测系统，可连续记录碾压遍数、行进速度、激振力等参数，并通过车载终端反馈至项目管理平台，确保每一道工序都符合规范要求。（2）质量无损检测技术：传统的环刀法、灌砂法等检测手段效率低且具有破坏性。如今，核子密度仪、探地雷达（GPR）以及基于地震波/电磁波的无损检测技术被广泛应用，能够在不破坏填筑体的情况下，快速、大面积地评估其压实度和内部结构均匀性，为质量

控制提供了强有力的技术支持。

1.4 稳定可靠的边坡防护与支护技术

水利工程施工形成的高陡边坡极易在降雨、地震等外力作用下失稳，是重大安全隐患和水土流失源。(1) 工程支护技术：包括锚杆（索）框架梁、抗滑桩、挡土墙等，通过提供外部约束力来增强边坡的整体稳定性。其中，预应力锚索技术因其主动加固、变形小的特点，在高边坡治理中应用广泛。(2) 生态防护技术：在满足工程安全的前提下，越来越多地采用格宾网、植生袋、三维植被网等兼具工程防护与生态恢复功能的复合技术。这些技术不仅能有效固土防冲，还能为植物生长提供基质，加速植被恢复，实现从“灰色防护”向“绿色防护”的转变。

1.5 全过程信息化与智能化管理技术

BIM（建筑信息模型）、数字孪生（DigitalTwin）等信息技术正深刻变革着土石方工程的管理模式。(1) BIM+GIS协同平台：将工程设计BIM模型与真实地理环境GIS数据深度融合，可以在虚拟空间中对土石方开挖、运输、填筑全过程进行4D（3D+时间）模拟与碰撞检查，提前发现并解决潜在冲突，优化施工方案。(2) 智慧工地系统：通过部署各类传感器（如扬尘、噪音、水质监测仪）、高清摄像头和无人机，构建覆盖全工区的感知网络。采集的数据汇聚至智慧工地云平台，可实现对环境指标、人员设备、工程进度的实时监控、智能预警与远程决策，极大地提升了工程管理的精细化与智能化水平。

2 土石方工程的主要环境影响分析

2.1 加剧水土流失与土壤退化

施工过程中，大量植被被清除，地表土壤结构被破坏，使其抗蚀能力急剧下降。在降雨尤其是暴雨冲刷下，裸露的坡面会产生严重的面蚀和沟蚀，导致大量泥沙进入下游河道、水库或农田。这不仅造成宝贵的土地资源流失，还会淤塞河道、抬高河床、降低水库库容，削弱水利工程自身的防洪与兴利功能^[2]。此外，表层肥沃的耕作层被剥离后，若未妥善保存和回覆，将导致土地生产力永久性下降。

2.2 污染水体与改变水文情势

一是水质污染：施工废水（如基坑排水、车辆冲洗水）若未经处理直接排放，会携带大量悬浮物（SS）、石油类、重金属等污染物进入水体，导致水体浑浊度升高，溶解氧降低，危害水生生物生存。弃渣场若选址不当或防护措施不到位，在雨水淋溶下，其中的有害物质可能渗入地下水或随地表径流进入地表水体，造成长期污染。二是水文情势改变：大规模的开挖和填筑会改变原有的地表径流路径和地下水流场。例如，渠道开挖可能截断浅

层地下水的侧向补给，导致周边区域地下水位下降；而大型填筑体则可能成为新的隔水屏障，影响区域水循环。

2.3 破坏生物栖息地与降低生物多样性

施工区域往往需要清除原有植被，这直接摧毁了陆生动植物的栖息地。特别是当工程穿越森林、湿地等生态敏感区时，对珍稀濒危物种的生存构成严重威胁。施工活动产生的噪音、灯光和人为干扰，也会迫使野生动物逃离原有家园，导致种群隔离、基因交流受阻，进而降低区域生物多样性。水下开挖（如疏浚）则会直接破坏底栖生物群落，搅起的沉积物会覆盖鱼卵和水生植物，影响整个水生生态系统的健康。

2.4 诱发次生地质灾害

不合理的开挖或弃渣堆置极易诱发滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害。高陡边坡在失去植被根系固持和遭遇强降雨时，稳定性大大降低。而随意堆放在沟谷或斜坡上的松散弃渣，在暴雨作用下极易形成破坏力巨大的泥石流，对下游居民点和基础设施安全构成致命威胁。这类次生灾害一旦发生，其后果往往比工程本身的影响更为严重。

2.5 造成视觉污染与景观破碎化

大规模的土石方作业会彻底改变原有的自然地貌和景观风貌，形成大面积的裸露创面、深邃的基坑和突兀的弃渣堆，产生强烈的视觉冲击，即所谓的“视觉污染”^[3]。同时，线性水利工程（如渠道、管道）会像一把刀一样切割原本连续的自然景观，形成“廊道效应”，阻碍了物种的迁移和扩散，加剧了生态系统的破碎化，不利于区域生态网络的完整性和稳定性。

3 生态环保综合对策与建议

3.1 规划设计阶段：源头预防与生态选线

在项目前期论证中，必须强化生态选线（址）的科学性与严肃性。应充分利用遥感（RS）、地理信息系统（GIS）等先进技术手段，对多个备选方案进行详尽的生态环境本底调查、生态敏感性分区和累积影响预测分析。在此基础上，优先选择能够完全避让自然保护区、饮用水水源保护区、基本农田、珍稀物种栖息地等环境敏感目标的方案。即便在客观条件限制下无法完全避让，也应通过多方案比选，确定对生态环境影响最小、修复难度最低的路径。与此同时，应在工程设计理念上进行革新，大力推行“零弃方”或“少弃方”的目标。这意味着在设计初期就要进行极其精细化的土石方平衡计算，充分考虑不同料源的工程适用性，通过优化枢纽总体布置、调整大坝断面形式、合理利用洞挖料等多种途径，力求将开挖产生的土石方100%地转化为工程所需的填筑材料或建筑材料，从源头上消除弃渣的产生，从而一劳

永逸地解决弃渣场占地和污染问题。

3.2 施工阶段：过程控制与绿色施工

首先，应坚决摒弃“大开大挖”的粗放模式，实施分区、分期的精细化施工组织。遵循“先防护、后开挖”的基本原则，对即将扰动的区域，必须先行布设完善的临时截水沟、排水沟和沉沙池等水土保持设施，确保做到“开挖一片、防护一片、恢复一片”，将扰动范围和影响程度控制在最小。其次，要大力推广绿色施工工艺与装备。优先选用电动、氢能等新能源或国六及以上排放标准的低噪音、低排放施工机械，减少大气和噪音污染。在必须进行爆破作业时，应严格执行设计方案，采用微差爆破、预裂爆破等先进工艺，并辅以水幕降尘、覆盖防护等措施，最大限度地控制飞石、震动和粉尘。对于土石方运输，所有车辆必须实行全密闭运输，出场前须经过自动洗车台冲洗干净，严防带泥上路造成城市道路污染。最后，对无法避免的弃渣，必须进行规范化管理^[4]。弃渣场的选址必须经过严格的地质灾害危险性评估和环境影响评价审批。在堆渣前，必须严格按照“先挡后弃”的程序，先行完成拦渣坝、截排水系统、边坡防护等主体防护工程的建设，确保弃渣堆置过程安全可控，杜绝安全隐患和水土流失。

3.3 后期修复阶段：生态重建与长效监管

在主体工程完工后，应立即启动对施工迹地、永久边坡、弃渣场等所有扰动区域的生态修复工作。修复工作应坚持“适地适树、近自然”的原则，优先选用乡土、速生、根系发达且具有良好水土保持能力的植物种类。根据不同的立地条件，灵活组合运用液压喷播、植生槽、生态袋、格宾网等多种生态工程技术，为植物生长创造有利条件，加速植被群落的重建，尽快恢复其水土保持、生物栖息和景观美化等多重生态功能。然而，生态修复并非一蹴而就，新栽植的植被需要数年甚至更长时间才能形成稳定的群落。因此，必须建立一套长效的监测与维护机

制。通过设立固定监测样地，利用无人机遥感、地面调查等手段，对植被的成活率、覆盖率、生长状况以及区域水土流失动态、水质变化等进行持续跟踪评估。同时，应设立专项管护资金，明确管护责任主体，确保修复区域得到及时的补植、灌溉、病虫害防治等必要管护，直至生态系统完全恢复稳定，真正实现“绿水青山”的回归。

4 结语

水利施工中的土石方工程是连接人类工程需求与自然生态系统的关键界面，其技术应用与环境影响之间存在着深刻的辩证关系。一方面，以信息化、智能化、绿色化为代表的先进技术体系，为提升工程效率、保障施工安全、减少资源消耗提供了强大支撑；另一方面，大规模的地表扰动不可避免地对水土资源、生物多样性、地质安全及景观风貌构成多重压力。本研究认为，解决这一矛盾的根本出路在于实现“技术赋能”与“生态优先”的深度融合。未来的水利土石方工程，不应仅仅追求物理空间的塑造，更应致力于生态空间的修复与重构。这要求我们：第一，强化顶层设计，将生态环保目标内化为工程规划、设计、施工、运维各环节的刚性约束；第二，深化技术创新，持续研发和推广更加精准、高效、低碳、友好的施工技术与装备；第三，完善制度保障，建立健全覆盖全生命周期的环境监管与生态补偿机制。

参考文献

- [1]柏淑霞,郭瑜瑜.水利水电工程中土石方施工技术要点分析[J].水上安全,2025,(08):196-198.
- [2]李翔晖,周坤峰.水利工程施工中土石方开挖技术与安全措施研究[J].水上安全,2025,(12):184-186.
- [3]刘艳洲,刘彦龙,查萨.水利工程施工中的土石方施工技术探析[J].内蒙古水利,2024,(S2):59-60.
- [4]陈毅.解析水利水电工程土石方施工技术[C]//广东省国科电力科学研究院.第三届电力工程与技术学术会议论文集.四川子禾工程技术有限公司,2023:152-158.