

# 水利水电工程施工中边坡开挖支护技术运用策略研究

文 / 刘昌银 广东省建筑工程集团股份有限公司

**摘要:** 在国家经济建设中, 水利工程的作用不可小觑, 它关系到国家的根本利益和人民的日常生活。在进行水利建设项目时, 重要的一步是根据实地施工的具体条件, 适当采用边坡挖掘和支撑技术, 以确保施工的安全性和工程的稳定性。在施工的过程中, 需要根据实际情况灵活调整原先的计划, 从而减少不必要的开支。通过针对特定施工场地的实况, 恰当地运用边坡挖掘与支护技术, 可以有效避免边坡中岩石和土壤的松动和滑落, 这对于提升水利建设项目的整体施工品质至关重要。

**关键词:** 边坡开挖支护技术; 水利水电工程; 运用策略

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.057

## 引言

边坡开挖支护是水利工程基础施工的重要环节, 直接关系到主体结构安全。工程地质条件多样性导致传统开挖技术难以满足复杂工况需求, 岩体裂隙发育或土质松散区域易产生失稳现象。现有支护技术应用中, 存在锚杆锚固力不足、喷射混凝土结合面处理不精细等问题, 影响支护体系整体效能。排水系统设计缺陷可能引发孔隙水压力剧增, 加速边坡变形。研究整合土方分层开挖、岩体预裂爆破等施工工艺, 结合实时变形监测数据, 构建动态支护决策机制, 形成具有地质适应性的技术解决方案。

### 一、边坡开挖支护技术在水利水电工程中的重要性

水利水电工程边坡开挖与支护技术是确保工程安全稳定、保障周边生态环境的关键技术之一。在水利水电工程的建设过程中, 边坡开挖是不可避免的重要环节, 它涉及到土体和岩体的挖掘与塑形, 旨在为后续的工程结构提供稳定的支撑面。而支护技术则是在边坡开挖后, 为了保持边坡的稳定性, 防止边坡滑坡、坍塌等安全事故的发生, 而采取的一系列工程措施。边坡开挖的方法和技术多种多样, 根据地质条件、工程规模和施工要求的不同, 可以选择人工开挖、机械开挖、爆破开挖等多种方式。而支护技术则主要包括锚杆支护、土钉墙支护、喷射混凝土支护等多种形式, 它们的作用原理都是通过增强边坡的抗剪强度和整体稳定性, 来抵御外部荷载和自然环境的影响。在水利水电工程中, 边坡开挖与支护技术的选择和应用需要综合考虑地质条件、施工环境、工程安全、经济成本等多个因素。合理的开挖与支护方案不仅可以提高工程的整体稳定性和安全性, 还可以降低施工成本, 保护周边生态环境, 实现经济效益和社会效益的双赢。因此, 在水利水电工程的建设过程中, 边坡开挖与支护技术的合理应用至关重要。

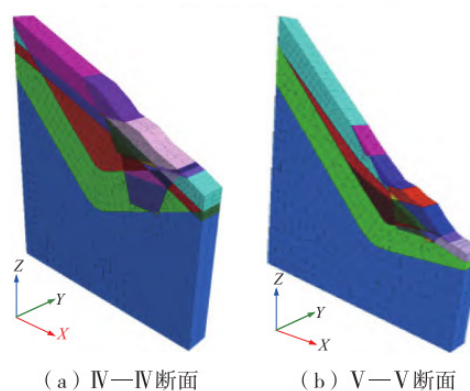


图1 边坡模型图

### 二、边坡稳定性的影响因素

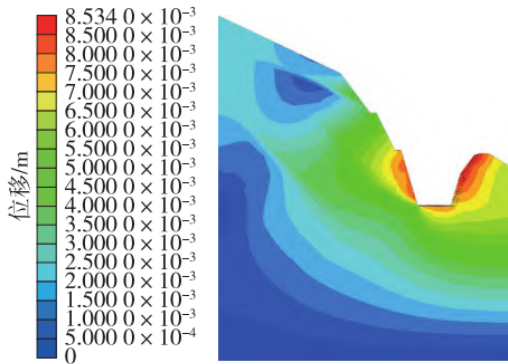
#### (一) 地质因素

褶皱、断层等地质构造的存在, 改变了岩土体的原始结构和应力状态。褶皱构造使岩土体产生弯曲变形, 在褶皱的轴部和翼部, 岩土体的完整性和强度受到不同程度的破坏, 容易形成潜在的滑动面。断层则是岩土体的薄弱带, 断层破碎带内的岩土体结构松散、强度低。地下水活动和软弱夹层的存在, 降低了岩体的抗剪强度。在一些岩溶地区, 地下水的溶蚀作用还会形成地下空洞, 破坏岩土体的完整性, 引发边坡塌陷。在地震活动频繁地区, 地震作用是边坡失稳的重要诱因。地震产生的地震波会使边坡岩土体产生惯性力, 增加了边坡的下滑力。同时, 地震还会导致岩土体结构破坏、孔隙水压力增加, 进一步降低岩土体的抗剪强度。在一些高陡边坡中, 地震作用还可能引发大规模的崩塌、滑坡等地质灾害。

#### (二) 变形失稳因素

对于一般土体而言, 在降雨过程中, 由于土壤颗粒间的孔隙分布以及水分入渗规律, 会在土层表面形成一定厚度的暂态饱和区。这一区域的形成是因为降雨初期, 雨水快速填充土壤孔隙, 导致土壤表层达到饱和状态。而该暂态饱和区会影响雨水进一步下渗, 使得多余

的雨水无法继续深入土壤,只能以地表径流的形式流走。这种现象不仅会造成水资源的流失,还可能在地表形成水流冲刷,对边坡表面的防护层造成破坏,进而影响边坡的整体稳定性。



(a) IV—IV断面

图2 断面

(三) 自然环境因素

水利水电工程施工的工作环境一般都比较差,往往在较为落后的边远地区,从工程勘探阶段到实际施工过程,对降雨情况进行持续跟踪观察后发现,每次降雨过后,边坡下游坡脚的岩土分界线附近常常会出现较大水流渗出的现象。基于这一实际观测情况,结合地质结构与水流运动的相关原理,判断在基岩线附近极有可能存在强透水带。强透水带的存在会改变地下水的径流路径和排泄方式,对边坡的稳定性构成潜在威胁。

三、水利水电工程施工中边坡开挖支护技术运用策略

(一) 优化边坡开挖工序

1. 土质边坡开挖技术

当面对岩质边坡的开挖项目时,施工前的准备环节尤为关键,其中包括了爆破作业的细致准备。施工过程中,坚持从顶部开始向下逐步开挖的施工原则,并且要根据施工现场的具体情况灵活调整,从而确保整个工地的有序运转。在整个开挖作业中,钻爆技术扮演着核心角色,这一技术的运用涵盖了钻孔、填装炸药以及执行爆破等关键步骤。采用钻爆技术进行施工要求施工队伍拥有高效的现场管理能力和精确的操作技巧,这对于确保爆破工作的精准度至关重要。此外,对于爆破后形成的梯段,施工团队还需要进行细致的高度和厚度控制,以避免后续施工过程中的潜在问题,确保施工作业能够顺畅无阻地推进。有效的钻爆技术不仅能够提高施工效率,更能在确保施工安全的前提下,通过精准控制爆破范围和强度,最大程度地减少对周边环境的影响。这要求施工团队不仅要有扎实的技术基础,还需要不断地根据现场情况进行灵活调整和优化施工策略,从而适应复杂多变的施工环境。

2. 岩质边坡开挖技术

在进行岩质边坡开挖的工程中,彻底和精细的爆破准备工作是成功的关键。这种准备不仅涉及技术和物质的储备,还包括了对施工方案的周密策划。在施工的具体操作中,遵循从上至下的开挖原则至关重要,这样做可以有效地防止上层土壤或岩石对下方施工区域产生影响。同时,施工计划还需要根据现场的具体情况进行调整,以适应不同的工程环境,确保施工的连续性和安全性。在整个岩质边坡的开挖过程中,钻爆法无疑扮演着核心角色。这种方法包含了三个基本步骤:首先是精准地进行钻孔,然后根据需要填入适量的炸药,最终执行爆破操作。这一过程要求施工队伍不仅拥有操作上的技巧和精度,还需要对施工现场的各个方面作出细致的控制,以确保爆破的效果符合预期,同时减少对周边环境的影响,施工团队在采用钻爆法开挖岩质边坡时,对爆破产生的梯段的管理也相当重要。这不仅包括严格控制梯段的高度与厚度,以符合设计要求和安全标准,还涉及对梯段表面和周围环境的保护,避免因爆破而导致的不必要的滑坡或塌方。

(二) 支护施工中的监测与控制

强化施工过程中的安全管理与监控是保障水利水电工程边坡开挖支护作业顺利进行的关键环节。建立健全的安全管理体系是基础,明确各级安全管理职责,制定详细的安全操作规程和应急预案,确保安全管理工作的有序开展。加强对施工人员的安全教育培训,提高其安全意识和应急处理能力,为安全施工打下坚实基础。在施工过程中,实施全方位的安全监控至关重要。利用现代科技手段,如远程监控系统、智能传感器等,实时监测边坡变形、支护结构应力状态等关键参数,及时发现并预警潜在的安全隐患。同时,定期组织安全检查,对施工现场的安全设施、作业环境、人员行为等进行全面排查,确保各项安全措施得到有效执行。边坡稳定性监测数据,如表1所示。

监测日期	位移 / mm	应力 / MPa	地下水位 / m	支护结构状态	备注
2024-06-01	5	2.5	10	稳定	初始监测数据
2024-06-15	7	2.8	10.5	稳定	施工中后期
2024-07-01	9	3.1	11	稳定,无裂缝	施工后期
2024-07-15	10	3.2	11.5	稳定,无裂缝	施工完成

表1 边坡稳定性监测数据

(三) 喷射混凝土支护技术

边坡支护体系中喷射混凝土技术形成柔性护壳,新拌混凝土配合速凝剂实现快速凝结封闭岩土体。施工前需清理坡面松动岩块,渗水点埋设导水管引排,凹凸面采用初喷找平处理。钢筋网片铺设时纵向筋压茬连接,

网片与锚杆端头焊接形成空间骨架。干喷工艺适用于含水地层，湿喷法能有效控制回弹率提升密实度。喷射角度保持与坡面垂直，分层喷射间隔时间控制在新喷层终凝后。纤维增强混凝土掺入钢纤维或聚丙烯纤维，抑制塑性收缩裂缝开展。喷射厚度检测采用预埋标尺法，局部超薄区域实施补喷修复。养护阶段覆盖透水养护剂，保持表面湿润防止早期干缩开裂。纳米材料改性混凝土提升界面粘结强度，碳酸钙晶核加速剂改善喷射层抗渗性能。冻融地区施工添加引气剂形成均匀闭孔结构，盐渍土环境采用抗硫酸盐水泥基材料。支护层与排水系统协同设计，混凝土面层预留泄水孔配合反滤层形成立体排水网络。质量验收重点检测喷层密实度与厚度均匀性，空鼓区域钻孔注浆补强。喷射参数需根据地层含水率动态调整，破碎带实施挂网喷锚联合支护。技术应用需配合变形监测，应力集中区设置变形缝释放结构内力。喷射混凝土与后续植被恢复协同，表面粗糙度控制为喷播基质提供附着基础。

#### （四）土钉墙支护技术

边坡支护体系中土钉墙技术通过土体自稳能力提升形成复合支挡结构，钻孔注浆土钉适用于砂土层与粘性土混合地层，击入式土钉在松散填土区施工效率优势显著。土钉布置采用梅花形阵列，倾角设计考虑最大主应力方向与潜在滑移面空间关系。注浆工艺采用二次加压注浆法，首次注浆形成锚固体后实施劈裂注浆增强界面粘结强度。面层钢筋网片与土钉端部承压板可靠连接，喷射混凝土厚度控制重点加强阴阳角部位覆盖。施工顺序遵循“分层开挖、即时支护”原则，每层开挖高度不超过土钉竖向间距的0.8倍。土钉长度设计需穿越潜在滑动区进入稳定地层，自由段与锚固段比例根据土体抗剪强度调整。复合土钉墙结合微型桩形成超前支护体系，桩体嵌入深度满足力矩平衡要求。冻融敏感区域土钉防腐采用环氧涂层与PE套管双重防护，注浆体添加防冻胀剂抑制冰晶生长。质量控制重点检测注浆体充盈系数，采用电阻率法监测浆液扩散均匀性。位移敏感地段实施预应力土钉，张拉锁定力根据监测数据动态调整。土钉墙与截排水系统协同工作，面层设置泄水孔配合反滤包维持土体含水率稳定。验收阶段开展拉拔试验验证群体土钉协同工作效应，位移超限区域加密土钉补强。技术应用中需控制施工振动对土体结构扰动，饱和软土地层采用跟管钻进工艺防止缩孔<sup>[4]</sup>。

#### （五）深层支护施工

在水利建设项目中，深层支护施工的重要性不亚于浅层支护，这两者在确保工程稳定性方面相辅相成。执行深层支护任务时，经常采用灵活有效的轻型锚固钻机，这是实现精确施工的关键装备。整个施工过程中，全球定位系统（GPS）技术的引入，为施工提供了强有力的技

术支持，确保了钻孔施工的精确度和倾斜度的严格控制，进而为整个工程的精准测量奠定了坚实的基础。为了增强深层支护的效能，存在一系列重要环节需予以重视。首当其冲的便是利用高压注浆泵，这样的支援设备能够大幅度优化灌注工艺的成效，有效提升深层支护结构的稳定性和密封性。此外，在施工过程中，精准掌握张拉的力度至关重要，这不仅考验了施工技术的高效性，也反映了追求优化效果的工匠精神。在完成张拉作业之后，综合工程实际情况与周边自然环境的条件，设计出合理的深层支护方案就显得尤其重要，这不仅能够保障施工的科学性和合理性，同时也能在整体上进一步提高深层支护结构的质量，确保建设项目的长期稳定性。

#### （六）浅层支护施工工作

在水利工程施工的众多环节中，浅层边坡支护技术尤其显得重要，其中喷射混凝土和排水孔的配置尤为关键。喷射混凝土技术的核心优势，在于它能够对开挖后的边坡表面进行坚固的封闭，这样可以显著减少外部环境因素，如水和空气，对边坡造成的风化和侵蚀作用。考虑到水利工程往往具有较长的建设周期，边坡支护中排除水分累积的问题成为一项重要任务。因此，在施工初期便设计和布置一定数量的排水孔，成为确保施工进度稳定安全的一个关键步骤。

引入高效的液压钻孔技术，不仅助力于精确测量工作的顺利完成，更保障了数据测量的精度和可靠性。实施这些技术后，及时的现场整理和过滤管的安装也十分关键。这不仅涉及工程后续环节的顺利进行，更关乎工程质量的保障。在排水孔的设计上，同样要考虑到排水的效率和效果，恰当地进行降压处理，以最大限度地发挥浅层边坡支护技术在水利项目中的实际作用，保障整个工程的顺利完成。

#### 结语

总结而言，水利工程中的边坡开挖支护工作至关重要，其成败不仅取决于选择的技术方案，更与施工的质量密切相关。因此，根据工程的具体特点精心选择合适的支护技术，并通过施工各个要点控制，确保支护工作的质量符合标准，最大化地发挥其作用，保证边坡的稳定性和整个工程的安全。

#### 参考文献

- [1] 曹钢进, 黄志华. 水利水电工程中高边坡开挖支护施工技术[J]. 珠江水运, 2023(7): 9-11.
- [2] 纵向群, 王轩. 抽水蓄能电站生态边坡支护技术探讨[J]. 人民黄河, 2022, 44(增刊1): 162-163.
- [3] 王旭鑫. 水利工程施工中的边坡开挖支护技术分析[J]. 新型工业化, 2022, 12(5): 128-132.
- [4] 杨金勇. 山地城市顺层岩质建筑边坡垂直开挖支护技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.