

水利水电工程边坡支护技术应用

陶小伟

湖北江川水利水电工程有限责任公司 湖北 武汉 430070

摘要: 水利水电工程边坡支护技术通过锚杆、锚索、喷射混凝土及挡土墙等措施维持岩土体稳定,防止滑坡坍塌。地质条件、变形失稳机理及施工操作是影响支护效果的主要因素。锚杆与锚索提供深层锚固力,喷射混凝土封闭坡面,挡土墙抵抗侧向压力。施工前勘察、过程控制及后期维护构成完整的质量保障体系,确保工程安全与长期稳定。

关键词: 水利水电工程; 边坡支护技术; 施工质量

前言: 水利水电工程多建于复杂地质环境中,边坡稳定性直接关系工程整体安全与运行寿命。边坡失稳不仅会中断施工进度,还可能损毁结构物并威胁人员设备安全,同时引发水土流失等生态问题。因此,科学运用边坡支护技术至关重要。不同类型支护技术具有各自适用范围,其选择需综合考虑地质特征、边坡形态及施工条件。系统掌握技术原理、影响因素及质量控制要点,是保障工程顺利实施的基础。

1 水利水电工程边坡支护技术概述

1.1 边坡支护技术定义与重要性

边坡支护技术是指在水利水电工程建设与运行过程中,为维持边坡岩土体稳定而采取的一系列工程措施。其核心目的是通过对边坡进行加固处理,有效防止因边坡失稳所引发的滑坡、坍塌等地质灾害。水利水电工程往往处于复杂的地质环境,边坡稳定性直接关系到工程整体安全。若边坡发生破坏,不仅会中断施工进度,还可能损毁已建成的结构物,威胁人员与设备安全。从长期运行角度看,稳固的边坡有助于延长工程使用寿命,降低后期维护成本。边坡支护技术还注重减少对周边生态环境的扰动,避免因坡体破坏导致水土流失或河道的堵塞。因此,科学合理地运用边坡支护技术,是保障水利水电工程安全、稳定与可持续运行的关键环节。

1.2 边坡支护技术分类

水利水电工程中常用的边坡支护技术包括锚杆支护、锚索支护、喷射混凝土支护以及挡土墙支护等多种类型。锚杆支护适用于岩体较为破碎或层理发育的边坡,通过将锚杆深入稳定岩层来增强抗剪能力。锚索支护则适用于受力较大的深层边坡,能够提供更大的锚固力,常用于高陡边坡或变形明显的坡体。喷射混凝土支护常与锚杆联合使用,能够快速封闭坡面,防止水蚀和风化,增强表层岩土的整体性^[1]。挡土墙支护主要用于抵

抗土体侧向压力,适合填方边坡或坡脚受限的场地。各类技术依据边坡的高度、地质条件及施工环境选用,具有明确的适用范围和工程特点。

2 影响水利水电工程边坡支护的因素

2.1 地质因素

地质条件是决定水利水电工程边坡稳定性的基础性因素,主要包括岩体性质、地质构造和水文地质条件等方面。岩体性质涉及岩石的强度、完整性、风化程度及软弱夹层的分布情况,不同岩体对支护结构的锚固效果和受力响应存在显著差异。地质构造包括断层、节理、褶皱及层面产状等,这些构造面往往构成边坡潜在的滑动边界,控制着失稳模式。水文地质条件则体现为地下水的赋存状态、渗流路径及水压力分布,水体进入岩体会降低抗剪强度并增加下滑力。针对不同地质条件,边坡支护技术的选择需突出重点。对于岩体破碎或构造发育的边坡,应优先采用穿透潜在滑面的锚固措施。对于地下水活跃的区域,需结合排水系统降低孔隙水压力。对于软弱夹层发育的坡体,则需增强整体抗滑能力。应用过程中应准确把握地质特征,使支护结构与地质条件相匹配,避免因地质认识不足导致支护失效。

2.2 变形失稳因素

边坡变形失稳的机理涵盖应力释放、岩体蠕变及地下水作用等多个相互关联的过程。应力释放通常发生在开挖卸荷条件下,坡体内部原有的应力平衡被打破,导致局部应力集中或松弛,进而诱发裂隙扩展和位移增长。岩体蠕变表现为在恒定荷载作用下随时间持续增长的变形,软弱岩层或破碎带尤为明显,蠕变累积可能使边坡从缓慢变形逐步演化为加速失稳。地下水作用既包括静水压力对结构面的张裂效应,也包括动水压力对细颗粒的迁移冲刷,同时水会软化岩土体并降低抗剪参数^[2]。这些变形失稳因素会直接影响支护技术的实施效

果,例如锚固力可能因蠕变而衰减,排水失效会加剧水压力对支护结构的负担。应对措施包括采用预应力长期监测与补偿张拉技术,完善坡体内部及表层的排水系统,以及在施工期间控制开挖速率和卸荷幅度,从而抑制变形发展。

2.3 施工因素

施工过程的操作规范、设备选择及施工顺序对水利水电工程边坡支护质量具有决定性影响。操作规范涉及钻孔精度、注浆饱满度、锚固段定位及喷射混凝土厚度控制等环节,任意环节的偏差都可能削弱支护体系的整体性能。设备选择应根据边坡高度、岩体硬度及施工条件合理配置,钻孔设备的钻进能力与锚杆锚索设计长度不匹配时容易导致锚固深度不足,注浆设备压力不稳定则会影响浆液扩散均匀性。施工顺序也至关重要,若未按自上而下或分区跳槽的原则进行开挖与支护,可能引发坡体临时性失稳。为优化施工流程,应在开工前制定详细的工序衔接方案,明确每道工序的质量验收标准。提高施工效率的措施包括采用集成化钻孔注浆设备减少工序间隔,以及合理安排多作业面平行施工。确保施工安全则需要加强现场监测与预警,发现异常变形立即调整施工参数,同时保障作业人员的防护设施和应急通道齐全有效。

3 水利水电工程边坡支护关键技术

3.1 锚杆支护技术

锚杆支护技术通过将杆体植入岩土体内部,利用杆体与周围介质的粘结力和锚固端的承载力来限制边坡变形。其构造主要由杆体、锚固段、自由段及外锚头组成,杆体通常采用高强度金属材料。施工流程包括钻孔、清孔、锚杆安装、注浆及外锚头锁定等步骤,其中注浆质量直接影响锚杆与岩体的协同工作性能。锚杆支护在边坡加固中的作用主要体现在提高岩体抗剪强度上,杆体穿越潜在滑动面后能够将不稳定岩层锚固于深层稳定岩体之中,从而增强边坡整体稳定性^[3]。锚杆参数的设计方法需综合考虑边坡高度、岩体质量及荷载条件。锚杆长度的确定应使杆体穿过潜在滑动面并进入稳定岩层一定深度,直径和间距则依据锚杆所承受的拉力大小及岩体承载力进行合理配置。间距过大会导致加固效果不连续,间距过小则可能造成施工困难和材料浪费。设计时还需考虑锚杆的排布方式,通常采用梅花形或矩形布置,以形成均匀的加固区域。

3.2 锚索支护技术

锚索支护技术的工作原理是利用高强度绞线组成的索体将边坡受拉区的拉力传递至深层稳定地层,通过施

加预应力主动约束边坡变形。其构造特点在于索体由多股钢绞线组成,承载力远高于普通锚杆,锚固段长度较大且往往采用压力分散型或拉力分散型结构。锚索支护在边坡加固中的优势体现为能够提供更大的锚固力,适用于高陡边坡或滑面埋深较大的坡体。对于高度超过限定值的边坡,锚索可以有效控制深层滑动。对于变形明显的坡体,通过预应力张拉可主动恢复部分已发生的位移。锚索支护的施工要点包括钻孔精度控制、锚索编束与安装、注浆饱满度保证及张拉锁定操作。钻孔应保持平直,避免偏斜影响锚固段位置。锚索安装前需进行除锈和防护处理。注浆采用孔底返浆方式确保全孔填充密实。张拉应按分级加载程序进行,并监测伸长值是否符合理论计算值,锁定后及时封锚防止锈蚀。

3.3 喷射混凝土支护技术

喷射混凝土支护技术是利用压缩空气或泵送方式将混凝土混合料高速喷射至岩体表面,形成密实的混凝土层。其施工方法分为干喷和湿喷两种,湿喷法因粉尘少、回弹低、质量稳定而在水利水电工程中应用更广。喷射混凝土在边坡防护中的作用主要体现在封闭岩体表面,阻止雨水和地表水渗入岩体裂隙。通过对坡面的及时覆盖,有效防止岩石风化剥落和卸荷松弛。同时,喷射混凝土层能够提高岩体抗冲刷能力,抵御径流对坡面的侵蚀作用。关键技术问题包括喷射混凝土配合比的设计和喷射厚度的控制。配合比设计应兼顾强度、耐久性、粘结性和低回弹率,水泥用量、骨料级配及外加剂掺量需经试验确定。喷射厚度的控制依据边坡岩体类型和支护等级进行设定,过薄无法起到封闭和加固作用,过厚则增加自重和材料成本。喷射作业通常分层进行,每层喷射后需有一定间隔时间以保证层间结合质量。

3.4 挡土墙支护技术

挡土墙支护技术依靠墙身自重或墙面与基础的共同作用来抵抗墙后土体的侧向压力,维持边坡稳定。挡土墙的主要类型包括重力式挡土墙、悬臂式挡土墙和扶壁式挡土墙。重力式挡土墙依靠自身重量维持稳定,构造简单,适用于高度较低的边坡。悬臂式挡土墙采用底板和立壁组成的倒形结构,利用底板上的土重增加抗倾覆能力,适用于中等高度的边坡。扶壁式挡土墙在悬臂式基础上增设扶壁连接立壁与底板,提高了墙体的整体刚度,适用于较高的填方边坡。挡土墙在边坡支护中的应用条件包括坡脚受限无法放坡、坡体为松散填土或软弱地基以及坡顶有重要建筑物需要保护等场合^[4]。设计要点涉及抗滑移稳定验算、抗倾覆稳定验算、地基承载力验算及墙身强度验算。施工过程中的质量控制包括基础处

理,应将基底置于承载力足够的地层并设置适当埋深。墙体砌筑应保证灰缝饱满和墙面平直。泄水孔的设置可有效降低墙后水压力,孔后需设置反滤层防止土颗粒流失。

4 水利水电工程边坡支护施工质量控制

4.1 施工前准备

施工前对边坡地质条件的详细勘察是质量控制的首要基础工作。勘察内容应包含地质测绘,系统查明坡体岩土层的分布范围、产状特征及构造发育情况,准确识别潜在滑动面的位置与形态。同时开展岩土试验,获取岩土体的物理力学参数,为后续支护设计提供定量依据。根据勘察结果制定的支护方案需明确支护技术的具体类型,合理确定锚固长度、直径、间距、喷射厚度及墙体尺寸等关键参数,并规划科学的施工顺序。不同类型边坡的受力特征存在显著差异,支护方案必须针对实际地质条件进行差异化设计。施工顺序的规划应充分考虑开挖与支护的衔接关系,遵循自上而下或分区跳槽的原则,避免因工序倒置引发临时性失稳。施工前还应完成材料进场检验、设备性能调试及技术交底工作,确保全体作业人员清晰掌握质量标准 and 操作要求。充分的施工前准备能够有效减少现场设计变更,为后续施工过程的平稳有序推进奠定坚实基础。

4.2 施工过程控制

施工过程中的质量控制涵盖材料检验、设备调试及施工操作规范等多个方面。进场材料应按批次进行严格检验,锚杆锚索的力学性能指标、水泥的安定性与强度等级、骨料的级配与含泥量均需符合预定标准。设备调试包括钻孔设备的位置与角度校准、注浆设备的压力稳定性测试以及张拉设备的计量标定,确保各类设备处于良好工作状态。施工操作规范要求各道工序严格按设计参数执行,不得随意更改工艺流程。关键工序的监控尤为重要,锚杆钻孔应控制孔深、孔径及倾斜度偏差在允许范围内,锚索张拉应按分级加载程序操作并同步记录伸长值,喷射混凝土需控制喷射距离与角度以保证密实度和厚度均匀^[5]。每道工序完成后应及时组织质量检验,检验合格后方可进入下一道工序,形成完整的质量追溯链条。对于发现的不合格项,应立即分析原因并采取整改措施,防止问题累积。

4.3 施工后检查与维护

施工完成后对边坡支护效果的检查是验证工程质量的重要环节。外观检查主要观察坡面是否存在开裂、渗水或喷射混凝土脱空现象,锚头及挡土墙墙面是否有可见变形或位移。无损检测方法可用于评估锚杆锚索的锚固长度和注浆密实度,以及喷射混凝土层与岩体的粘结状况。对于检测发现的不合格部位,应采取补强注浆、增设锚固点或局部返工等处理措施。支护结构的定期维护是确保长期有效性的必要工作。维护内容包括清理排水孔内的淤积物,防止排水通道堵塞导致水压力异常升高;检查并修补喷射混凝土或挡土墙表面出现的裂缝,避免裂缝持续扩展引发局部破坏;对锚头进行防锈防腐处理并定期检测预应力损失情况。维护工作应建立定期巡检制度,按照规定的频次和方法进行检查,并形成完整的维护记录,便于分析支护结构的长期工作状态和演变趋势。

结束语:水利水电工程边坡支护是一项涵盖技术选型、影响因素分析、关键施工工艺及全过程质量控制的系统性工作。锚杆、锚索、喷射混凝土及挡土墙等支护技术各有其适用范围与作用机理,需依据地质条件、变形特征及施工环境合理选用。地质条件、变形失稳机理与施工操作共同决定着支护效果的优劣。施工前勘察、过程控制及后期检查维护构成了完整的质量保障体系。只有将各项技术措施与现场实际情况紧密结合,严格控制每一道工序的质量标准,并建立长效维护机制,才能真正实现边坡的长治久安,保障水利水电工程的安全运行与长期稳定。

参考文献

- [1]杨庆红.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].价值工程,2025,44(22):134-137.
- [2]王学奇.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].模型世界,2026(1):201-203.
- [3]陈速洪.边坡开挖支护施工技术在水利水电工程中的应用研究[J].水上安全,2025(15):171-173.
- [4]陆佳,徐镇扬,花叶琦,等.高边坡开挖支护技术在水利水电工程中的应用研究[J].水上安全,2026(1):43-45.
- [5]郭兴强.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术应用研究[J].中州建设,2024(5):119-120.