

浅谈水利水电工程边坡开挖及防护技术

耿 旭

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：水利水电工程边坡开挖及防护技术对于保障工程整体稳定性、保护周边环境与人员安全、延长工程使用寿命具有重要意义。本文探讨了土质边坡与岩质边坡的开挖技术，包括爆破开挖与静态破碎法，以及坡面防护与支挡防护等边坡防护技术。通过科学合理的开挖方法与有效的防护措施，可以增强边坡的抗滑能力，提高稳定性，确保工程安全稳定运行，同时减少对周边环境的破坏，保护施工人员和附近居民的生命财产安全。

关键词：水利水电工程；边坡开挖；防护；技术

引言

水利水电工程的建设往往面临着复杂的地质条件和地形挑战，边坡作为工程的重要组成部分，其稳定性直接关系到整个工程的安全。所以边坡开挖及防护技术成为水利水电工程中的关键环节。本文旨在探讨边坡开挖与防护的先进技术与方法，以确保工程在复杂环境下的安全与稳定，为水利水电工程的可持续发展提供有力保障。

1 水利水电工程边坡开挖及防护技术的重要性

第一，保障工程整体稳定性，水利水电工程通常建设在地形复杂、地质条件多样的区域，边坡的稳定性直接关系到整个工程的安全与稳定，在工程运行过程中，边坡需承受自身重力、水压力、地震力等多种荷载作用，若边坡开挖及防护不当，极易引发滑坡、坍塌等事故，对大坝、厂房、输水系统等主体工程结构造成严重破坏，通过科学合理的边坡开挖及防护技术，如采用合适的开挖方法、控制开挖坡度、设置有效的支护结构等，可以增强边坡抗滑的能力，提高其稳定性，确保水利水电工程在整个生命周期内能够安全稳定运行。第二，保护周边环境与人员安全，水利水电工程往往涉及大规模的土地开挖和填筑，若边坡防护措施不到位，在雨水冲刷、风化等自然因素作用下，极易引发水土流失、泥石流等地质灾害，对周边生态环境造成严重破坏，而且边坡失稳还可能导致人员伤亡和财产损失，给当地居民的生命财产安全带来巨大威胁，有效的边坡防护可以通过设置挡土墙、护坡、排水系统等措施，减少雨水对边坡的冲刷，防止土体流失，保护周边环境，稳定的边坡能够避免因坍塌、滑坡等事故对周边人员和设施造成的危害，保障了施工人员和附近居民的生命财产安全。第三，延长工程使用寿命，水利水电工程长期暴露在自然环境中，受到水、风、温度变化等多种因素的侵蚀，边坡作为工程的前沿防线，其状况直接影

响到整个工程的耐久性，如果边坡出现裂缝、坍塌等问题，会导致地表水渗入工程结构内部，加速混凝土的碳化、钢筋的锈蚀，从而降低工程结构的强度和稳定性，缩短工程的使用寿命，科学的边坡开挖及防护技术能够有效阻止自然因素对边坡及工程主体的侵蚀^[1]。

2 边坡开挖技术

2.1 土质边坡开挖

土质边坡开挖技术作为边坡工程中的核心环节，直接关系到工程的整体稳定性、安全性以及施工效率与成本控制。这一技术不仅要求施工人员具备深厚的专业知识和丰富的实践经验，还强调对边坡的高度、坡度、土质特性及环境因素进行全面深入的考量，以便科学规划开挖策略，保障工程的顺利进行。在实际操作中，合理确定分层开挖厚度是关键所在，需依据边坡的土质特性和高度，经过精确计算和科学评估来设定，以确保开挖层厚度适中，既满足施工进度需求，又不影响边坡的稳定性。分段开挖策略也至关重要，通过将边坡划分为相对独立的开挖段，有效控制施工范围，降低对边坡整体稳定性的影响，并利用相邻开挖段间形成的台阶增强边坡稳定性，为后续支护和加固工作奠定坚实基础。开挖顺序的选择同样不容忽视，自上而下逐步开挖的方式成为首选，旨在最大限度地维持边坡的原始应力平衡，降低失稳风险，排水问题也需特别关注，通过设置合理的排水沟、集水井等措施，确保开挖区域内积水及时排出，防止土体因长期浸泡而软化、强度下降，影响边坡的整体稳定性。

2.2 岩质边坡开挖

2.2.1 爆破开挖技术

在岩质边坡开挖作业中，爆破开挖技术因其高效、快速的特点而被广泛应用，预裂爆破与光面爆破作为两种先进的爆破技术，凭借其独特优势在各类工程中占据了显著地位。预裂爆破技术是在主体爆破作业前，沿

设计轮廓线预先布置炮孔并进行爆破,从而在保留岩体中形成一条宽度适宜的贯穿裂缝,有效缓冲并反射后续爆破产生的振动波,限制对保留岩体的破坏,确保开挖轮廓精确贴合设计要求。这种技术在处理复杂地形、高精度开挖工程中尤为有效,如坝基开挖和高精度边坡处理等。相比之下,光面爆破技术则更注重开挖面的平滑度,它通过在主体开挖后,沿设计轮廓线边缘的周边孔装药起爆,移除薄薄的光爆层,形成平滑、整齐的开挖面,显著减少开挖后的修整工作量,提高工程效率,广泛应用于地下洞室岩体开挖、隧道掘进等工程。为确保爆破效果,这两种技术都需要精确调控爆破参数,包括炮孔间距、排距、孔深、装药量及起爆次序等,需综合考虑岩石物理力学特性、地质状况及开挖需求进行设定。实际操作中,爆破参数的确定常结合现场试验与理论计算结果,通过反复试验和调整,逐步优化参数至最佳状态。为最小化爆破对边坡岩体的干扰,还需采取辅助措施,如爆破前加固边坡以提高抗爆能力,爆破中严格控制装药量和起爆次序以降低震动和飞石现象,爆破后及时监测评估边坡,及时发现并处理潜在安全隐患^[2]。

2.2.2 静态破碎法

静态破碎法作为一种非爆破式的岩石破碎技术手段,凭借其显著优势在岩石工程领域中表现突出,该方法通过混合含有钼、镁、钙、钛等多种元素的无机盐粉末状破碎剂与水,形成具有流动性的浆体,随后被直接注入到预先钻设的孔洞中。随着水化反应的进行,静态破碎剂中的晶体发生变形,逐渐在孔壁周围产生巨大的膨胀压力,包括径向压应力和环向拉应力,这些压力缓慢而持续的作用于孔壁,直至达到最大值,从而实现混凝土或岩石的胀裂与破碎。相较于炸药爆破,静态破碎法以其安全可靠的特性著称,有效避免了震动、空气冲击波、飞石、噪声、有毒气体和粉尘等危害,特别适用于人口密集区、建筑物周边、交通要道旁等安全要求高的区域,广泛应用于城市改造、地下空间开发、隧道掘进等工程,显著降低了施工对周边环境和居民生活的影响。同时静态破碎法具备精确控制破碎部位和范围的能力,通过精确设计钻孔参数,可实现对破碎区域的精确把控,这在文物保护区的岩石破碎、高压线下岩石开挖等需要保留部分岩体或精确开挖的工程中展现出显著优势,而且静态破碎剂作为核心材料,其安全性得到充分保障,不属于危险品,购买、运输、保管和使用不受限制,简化了施工流程,降低了成本,提高了效率。

3 边坡防护技术

3.1 坡面防护

3.1.1 喷浆防护

喷浆防护技术通过精心设计与精细施工,能够在坡面上形成一层坚固且连续的防护层,这层防护层如同一道屏障,有效隔绝了外界因素与坡面岩石的直接接触,从而显著减缓了岩石的风化速度,有效预防了岩石剥落现象。在材料选择上,水泥品质起到了至关重要的作用,通常优先选用符合国家标准且标号不低于P·O42.5的普通硅酸盐水泥,其高强度和良好的水化性能使得混凝土浆料在固化后能够形成坚固的防护层。细骨料应选用质地坚硬、耐久的粗、中砂,细度模数需大于2.5,含水率控制在5%-7%之间,以确保混凝土的密实性和拌合性能。粗骨料则宜选用质地坚硬、耐磨的卵石或碎石,粒径不超过15mm,以避免在喷射过程中堵塞喷嘴或影响混凝土的密实度,且严禁使用含有活性二氧化硅的骨料,以防止对防护层的性能造成不良影响。水质方面,确保清洁无污染,符合饮用水标准,这既能保证混凝土浆料的品质,又能避免对坡面环境造成污染,必要时还可以添加适量的速凝剂等外加剂,确保混凝土浆料在喷射后能够迅速固化形成连续的防护层,速凝剂的质量需符合相关要求,确保初凝时间不超过5分钟,终凝时间不超过10分钟。在喷射作业中,应遵循自下而上的原则,喷嘴保持垂直坡面,距离约1米,确保混凝土浆料能够均匀喷射,避免漏喷或喷射不均的情况,若设计厚度超过6厘米,则应分两次进行喷射,并预留试件进行强度检测。

3.1.2 混凝土预制块防护

混凝土预制块防护技术因其良好的稳定性和耐久性,被广泛适用于各类土质及风化严重的岩质边坡防护。该技术对混凝土预制块的制作质量有着严格的要求:选用符合现行国家标准及相关部门规定的水泥品质,确保与混凝土设计标号相匹配,且每批水泥需附带厂家合格证及出厂品质实验报告,并需通过有资质的试验室复检;砂料优选天然洁净的中砂,石子质量也应满足规范技术要求。制作流程始于确定精准的混凝土配合比,通常由质量检测公司实验室实验确定。施工期间,需配备混凝土拌和机、预制压制机等完整的施工机械及配件,并预先进行保养和试机。预制场地需平整碾压后铺面,并设置有效的排水系统。在预制块压制过程中,要确保预制块表面光滑平整、颜色均匀、无裂缝、麻面或棱角破损,且养护后强度达标。铺设时,先处理基础以确保其平整坚实,再依据设计要求,采用分段挂线铺设法,确保铺砌平整稳定、缝隙紧密且缝线规则。在水库大坝上游护坡施工中,以预制踏步为中心向两侧放线,每10m设一控制点并放出坡度线,自下而上咬合铺

砌，最终使用2m靠尺检测坡面平整度。这种通过预制块相互咬合及与坡面紧密结合的防护方式，能有效抵御雨水冲刷和坡面土体位移，显著提升边坡的稳定性^[1]。

3.2 支挡防护

3.2.1 挡土墙

挡土墙是支挡防护结构中常见的一种，主要用于支撑边坡土体，防止其滑动，确保边坡稳定。重力式挡土墙依靠自身重力抵抗土压力，结构简单，施工方便，取材容易，应用广泛。根据墙背倾角的不同，重力式挡土墙可分为仰斜、竖直和俯斜三种，其中仰斜挡土墙因能承受较小的主动土压力而优先采用，竖直挡土墙次之，俯斜挡土墙则较少使用。重力式挡土墙的顶宽应不小于500mm，底宽约为墙高的1/2-1/3，墙底埋深也应不小于500mm。为增强抗滑能力，基底可设计为逆坡，但当墙高超过5m时，由于材料用量多，不太经济。对于墙高大于5m的情况，悬臂式挡土墙更为适用，其墙体内设置钢筋承受拉应力，墙身截面较小。而当墙高超过10m时，扶壁式挡土墙成为更好的选择，通过在墙身设置扶壁，可增强抗滑和抗倾覆能力，常用于重要的大型土建工程。锚杆式挡土墙则由钢筋混凝土墙板及锚固于稳定土层的地锚组成，能将墙体承受的土压力传递到土内部，维持挡土墙稳定。在设计挡土墙时，需综合考虑工程地质条件、边坡高度、土体性质、墙后填土情况以及周边环境等多种因素，确定挡土墙的类型、尺寸和结构形式，并进行土压力计算、稳定性验算，确保挡土墙在各种工况下都能满足安全要求。

3.2.2 抗滑桩

抗滑桩是一种高效可靠的边坡防护结构，在水利水电工程和地质灾害治理中，尤其在滑坡防治领域，展现出了其不可或缺的重要性。其设计与实施过程严谨而精细，从桩位测量放线开始，这一步骤精确无误地确定了抗滑桩的位置，为后续施工奠定了坚实基础，确保了抗

滑桩能够精准布置在预定位置，形成坚固的防护体系。随后，根据地质条件与施工环境的差异，灵活选择人工挖孔或机械成孔的方式，前者适用于地质简单、空间充裕的场合，需特别注意孔壁稳定并采取护壁措施；后者则凭借旋挖钻机、冲击钻机等设备，针对复杂地质条件高效准确地完成成孔。成孔达到设计深度后，通过高压水枪或泥浆泵等设备彻底清孔，确保孔底无沉渣杂物，为混凝土浇筑提供良好条件。紧接着，严格按照设计图纸制作钢筋笼，确保其规格、数量、间距及连接方式均达标，再利用专用吊装设备平稳放入孔内，保障钢筋笼的垂直度与位置精确。最后，采用导管法进行水下混凝土浇筑，严格控制浇筑速度，防止混凝土离析分层，确保浇筑质量，从而赋予抗滑桩足够的强度与耐久性。抗滑桩的工作原理在于，其桩身与周围岩土体间的摩擦力及桩底承载力共同作用，当边坡出现滑动趋势时，滑坡体推力作用于抗滑桩，通过摩擦力将推力传递至稳定岩土体中，同时桩底承载力提供额外支撑，有效阻止滑坡体滑动，恢复边坡稳定性，实现滑坡灾害的有效防治。

结语

综上所述，水利水电工程边坡开挖及防护技术是确保工程安全与稳定的重要基础，通过科学合理的开挖方法及有效的防护措施，可以有效增强边坡的稳定性，延长工程使用的寿命，同时保护周边环境与人员安全，随着技术的不断进步与创新，边坡开挖及防护技术将更加高效、环保，为水利水电工程的可持续发展贡献更多力量。

参考文献

- [1]吕志明.探究水利工程施工中边坡开挖支护技术[J].珠江水运,2020(14):62-63.
- [2]孙军萍.水利工程施工中边坡开挖支护技术[J].河南水利与南水北调,2020(6):55-56.
- [3]李涛,陈敬江,王震,等.水利工程施工中边坡开挖支护技术[J].绿色环保建材,2020(1):233.