

水利工程施工中边坡开挖支护技术应用概述

万谋丹

江西省水投建设集团有限公司，江西 南昌 330006

[摘要]在水利工程施工时，合理应用边坡开挖支护技术是保证工程安全、提升施工质量的关键，所以文中系统地阐述了该技术在水利工程的重要性以及它在施工中的应用情况。通过对地质条件、水文特性和施工工艺等边坡稳定性影响因素加以分析，探讨了分层开挖法、台阶式开挖法、逆作法这些常见边坡开挖技术于不同地质环境下的适用情形和技术特征，并且着重研究了锚杆支护、喷射混凝土支护、格构式支护、土钉墙支护、抗滑桩支护等主要支护技术的工作原理、施工工艺和适用范围。此外，拿工程实例来分析边坡开挖支护技术在不同类型水利工程的应用成效并总结出技术应用期间的问题和改进办法。研究显示，科学选取边坡开挖支护技术、优化施工工艺、强化监测预警能有效提升水利工程边坡的稳定性，文章对合理选择与应用水利工程施工中边坡开挖支护技术有参考意义，可给提高水利工程施工质量和安全性提供技术支持。

[关键词]水利工程；边坡开挖；支护技术；施工安全；稳定性分析

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18458

中图分类号：TV551.4

文献标识码：A

Overview of Slope Excavation and Support Technology Application in Water Conservancy Engineering Construction

WAN Moudan

Jiangxi Water Investment Construction Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330006, China

Abstract: Reasonable application of slope excavation and support technology is the key to ensuring project safety and improving construction quality in water conservancy engineering construction. Therefore, this article systematically expounds the importance of this technology in water conservancy engineering and its application in construction. By analyzing the factors affecting slope stability such as geological conditions, hydrological characteristics, and construction techniques, this study explores the applicability and technical characteristics of common slope excavation techniques such as layered excavation, stepped excavation, and reverse excavation in different geological environments. The study focuses on the working principles, construction techniques, and scope of application of major support technologies such as anchor rod support, shotcrete support, lattice support, soil nail wall support, and anti slip pile support. In addition, using engineering examples to analyze the application effectiveness of slope excavation and support technology in different types of water conservancy projects, and summarizing the problems and improvement methods during the technical application period. Research has shown that scientifically selecting slope excavation and support technologies, optimizing construction processes, and strengthening monitoring and early warning can effectively improve the stability of water conservancy engineering slopes. This article has reference significance for the rational selection and application of slope excavation and support technologies in water conservancy engineering construction, and can provide technical support for improving the quality and safety of water conservancy engineering construction.

Keywords: water conservancy engineering; slope excavation; support technology; construction safety; stability analysis

引言

国家基础设施的重要构成部分是水利工程建设，近些年来它于防洪减灾、水资源调配以及生态环境保护等诸多领域施展出了无可取代的效用，统计显示到 2023 年时我国各类水利工程的建成数量超百万座且大中型水利工程的数量一直在增加从而给经济社会发展提供了强有力的保障，不过水利工程的施工环境很复杂且边坡开挖与支护技术的运用跟工程的安全性、稳定性直接相关，若边坡失稳不但会造成施工延误和经济损失，还可能引发严重地质灾害威胁人员生命安全，所以在水利工程方面边坡开挖支护技术的研究和应用成了学术界和工程界的热门问题，近

年随着施工技术不断进步、监测手段完善，边坡开挖支护技术朝着精细化、智能化慢慢发展但依据具体工程条件挑出合适的技术方案依旧是急需解决的难题。

边坡开挖支护技术对工程整体稳定性起着决定性作用，这体现了该技术的重要性，因为水利工程往往地质条件复杂且水文特性多变，这对边坡稳定性是严峻考验，像软弱岩层、高地下水位、地震活动之类的情况都有可能使边坡失稳，并且施工工艺的选择也对边坡的力学性能和长期稳定性有明显影响，另外分层开挖法、台阶式开挖法、逆作法等技术在不同地质环境中适用性不一样，得根据现场实际状况做优化设计，而且锚杆支护、喷射混凝土支护、

格构式支护等支护技术合理运用能有效提升边坡整体强度与抗滑能力，通过分析近些年好多水利工程实例可知，科学选取边坡开挖支护技术并在施工过程中强化动态监测可大大提高工程安全性和施工效率，所以本文打算系统探究边坡开挖支护技术的工作原理、适用范畴以及优化举措，给水利工程领域技术实践给予理论支撑和技术指引。

1 边坡开挖技术在水利工程中的应用

1.1 分层开挖技术的实施与效果

在水利工程施工里常见的边坡开挖方法是分层开挖技术，其要诀是把边坡划分成多个层级逐级进行开挖来减小对地质结构的整体干扰，这些年随着我国水利工程规模持续扩张，这一技术在高陡边坡施工方面获得了广泛运用，统计显示2022年全国大型水利工程大概有45%的项目用了分层开挖技术，主要是因为这技术能有效把控开挖时的应力释放以及岩土体变形情况，实际操作的时候支护措施往往跟分层开挖一块进行，像每层开挖完就马上喷射混凝土或者做锚杆支护以此保证边坡稳定，并且分层开挖技术适应性很强，复杂地质环境尤其是软弱夹层多的地方特别适用，合理设计好分层厚度与开挖顺序能大大降低边坡失稳的风险，某大型水库工程的实践表明，用上分层开挖技术之后边坡位移量相比传统办法减少了30%以上，并且施工效率也提高了20%，所以分层开挖技术不但提高了施工安全性，而且给后续支护工作顺利开展打下了根基。

分层开挖技术的实施需严格遵循既定的施工规范与流程。在施工准备阶段，需对施工现场进行详尽的地质勘察，明确边坡的地质结构、岩土体性质以及地下水分布等关键信息，为分层设计提供科学依据。根据勘察结果，合理确定分层厚度，一般而言，分层厚度应根据岩土体的稳定性、开挖设备的性能以及支护措施的有效性等因素综合确定，以确保每层开挖后边坡能够保持相对稳定。

1.2 台阶式开挖技术的应用案例分析

台阶式开挖技术在水利工程边坡施工里有着重要地位，因为其稳定性与经济性都不错，它是把边坡划分成好多水平台阶一步步往下开展开挖工作来分散整个边坡的荷载并让滑坡的风险减小。某水电站建设项目在山区，地质情况复杂且岩石节理发育厉害，传统单一开挖方式达不到施工要求，用台阶式开挖技术把边坡分成三级台阶且每级高度在8~10m间再加上抗滑桩支护措施就成功控制了边坡稳定，监测数据表明施工时边坡最大水平位移才12mm，比设计允许值低不少^[1]。台阶式开挖技术在经济性上也有很大优势，行业数据表明，相比其他开挖方式它能让施工成本降低大概15%~20%，大规模水利工程里经济效益更突出。不过，应用台阶式开挖技术得充分考虑地形地貌和水文条件的影响，像地下水多的地方就要加强排水措施防止渗流让边坡失去稳定，总的来说台阶式开挖技术性能很好，是水利工程边坡施工的重要选择之一。

1.3 预裂爆破技术在坚硬岩层中的应用优势

预裂爆破技术是一种针对坚硬岩层的高效开挖方法，其通过预先在设计边坡轮廓线上形成裂缝，从而减少主爆破对边坡岩体的破坏，近年来随着我国西部地区大型水利工程的不断推进，预裂爆破技术于坚硬岩层当中的应用变得愈发广泛，研究显示此技术可于确保开挖精准度之际，最大程度维护边坡岩体的完备性，在某大型引水隧洞工程里运用预裂爆破技术之后，边坡的超欠挖量被控制在正负10cm以内并且岩体表面的平整程度大幅提高。另外预裂爆破技术能够切实降低爆破振动给周边环境带来的影响契合绿色施工的理念，据2021年统计数据爆破振动速度在使用预裂爆破技术的水利工程中平均降低了40%，然而该技术对施工参数的精确控制要求较高，包含孔距装药量以及起爆顺序等需要依据具体的地质条件展开优化调整，尽管如此预裂爆破技术凭借其独特的优势，为坚硬岩层条件下边坡开挖给予了可靠的技术支撑。

1.4 机械开挖与人工开挖技术的选择依据

在水利工程边坡施工里，选择机械开挖还是人工开挖技术是个关键决策环节且这对施工效率和安全性有着直接的影响^[2]。机械开挖技术在地质条件比较单纯、开挖规模较大的情况下适用，因为速度很快且成本低，例如某个平原地区的河道整治工程用挖掘机挖边坡，施工周期一下子缩短了百分之三十多。而在地质情况复杂或者空间受限的地方，人工开挖就更有灵活劲儿，尤其在软弱土层或者有地下管线的时候，人工开挖能更好地把控开挖范围以防止周边环境被破坏。2020年行业调查数据显示机械开挖和人工开挖的比例大概是七比三，不过，这个比例会随着工程种类和地区不同而变，所以选开挖方式的时候还得综合工期要求、设备是否好用以及施工队伍的经验等因素，只有科学合理地选择开挖技术才能提高施工效率并且有效保证边坡稳定从而让水利工程安全运行有强有力保障。

2 边坡支护技术在水利工程中的应用

2.1 锚杆（索）支护技术的设计与应用

水利工程里，锚杆（索）支护技术是边坡稳定的很重要手段且近年来在复杂地质条件下应用越来越广泛。锚杆把拉力传给深层稳定岩体就能有效控制边坡变形，而锚索承载能力强所以常用于大型水利工程^[3]。设计的时候要综合考量边坡的地质构造、水文特性和施工环境才能合理确定锚固深度、间距和预应力值。拿近五年的数据来说，国内某个大型水库用了锚杆支护之后，边坡位移量大概降了40%整体稳定性提高了不少。锚杆（索）的施工有钻孔、注浆、张拉这些环节，注浆质量跟支护效果直接相关，所以得严格把控材料配比和施工精度。再者，锚杆（索）支护技术对付软弱夹层、断层破碎带这类地质问题挺有适应性的，不过它的长期耐久性还得进一步研究。监测数据结合起来看，锚杆（索）支护效果要靠科学设计和精细施工

来保证，这能让水利工程安全运行更有保障^[4]。

2.2 喷锚支护体系在不同地质条件下的适应性

喷锚支护体系在水利工程边坡支护里很重要，因为其有着快速施工、高效加固的特性，它靠喷射混凝土和锚杆协同作用形成整体性比较强的支护结构，能有效应对多种复杂地质情况，像在岩质边坡上，喷锚支护能把岩面很快封闭起来防止风化剥落，而在土质边坡中，锚杆被用来加强土体抗剪强度让其更稳定，近五年行业数据表明中小型水利工程里喷锚支护的应用占比超 60%，不过地质条件影响着它的适应性，碰到高含水量或者膨胀性土体就得用辅助排水办法或者改良土体性质，并且喷射混凝土厚度和配合比设计对支护效果很关键，太薄可能防护不够而太厚会增加经济成本，实际工程里喷锚支护体系常常跟其他支护形式一起用才能充分发挥长处从而满足不同地质条件下支护的需求。

2.3 挡土墙支护结构的优化设计

挡土墙这种传统又有效的支护结构在水利工程建设中用于边坡稳定与防洪保护，由于设计理念不断更新且技术也在进步，挡土墙优化设计成了研究热点，调整墙体形状、精心选材以及合理处理基础能大大提高其承载能力与抗滑性能，像加筋土挡土墙既可降低材料成本又能增强整体结构稳定性且在软土地基条件下尤为适用，近五年统计数据显示优化设计后挡土墙使用寿命平均延长超 20%，而且新型复合材料的应用让挡土墙支护结构有了更多可能，例如纤维增强混凝土抗裂性和耐久性都很出色，需要注意的是挡土墙设计要充分考量水文条件影响并设置好排水系统以减少水压力对墙体的破坏，优化设计既能提升挡土墙性能又能给水利工程的安全性与经济性提供强大支撑。

2.4 生态型支护技术在水利中的创新应用

近年来，在水利工程里生态型支护技术逐渐兴起，其核心要义是既要确保边坡稳定又要达成生态环境的修复和保护，像植被混凝土支护技术，把植物种子和营养基质掺进混凝土后，不但让边坡抗冲刷能力得以增强而且促使植被生长起来，近五年的数据表明，使用生态型支护技术的水利工程数量每年平均增长率超 15%，格构式生态支护把钢筋混凝土框架和植被覆盖的优点相结合，既能给高强度支护又能使景观效果得到改善，不过生态型支护技术的应用还面临着不少挑战，例如植物生长周期跟施工进度的协调、极端气候条件下植被存活率等问题，但生态型支护技术可持续且环境友好，正一步一步地变成水利工程边坡支护的重要发展趋向，从而给实现生态保护与工程建设双赢的目标带来新的想法。

2.5 综合支护技术在复杂地质条件下的实践

综合支护技术把多种支护形式组合应用后，在复杂地

质条件下优势明显，就像某个大型引水工程，把锚杆、喷射混凝土和抗滑桩结合起来就成功解决了高陡边坡稳定性的难题，而且近五年来的统计表明，综合支护技术在复杂地质条件下应用的比例超 70%，这一技术核心是按照不同地质特点合理安排支护形式功能，例如用锚杆控制深层滑动、喷射混凝土封闭表层裂缝、抗滑桩承受主要水平荷载，并且引入实时监测技术给综合支护提供重要支持，通过动态分析边坡变形、应力分布这些参数来及时调整支护方案，虽然综合支护技术成本高，但在复杂地质条件下可靠性与适应性强，所以成为水利工程边坡支护首选方案从而给工程安全提供坚实保障。

3 结论

水利工程施工时，边坡开挖支护技术的运用跟工程安全和施工质量直接挂钩且近些年在水利工程实践里其重要性越发突显^[5]。近五年的数据表明，全球水利工程事故里边坡失稳造成的占 20% 之多，而且地质条件复杂的区域该比例还更高，所以系统若分析边坡稳定性的影响因素以及支护技术的特点就能明白不同支护技术在特定地质环境下适用与否的情况，就像锚杆支护在岩质边坡下性能很好而土钉墙支护更适宜土质边坡加固这种情况一样。从工程实例来看，科学选支护技术和优化施工工艺既能大幅提升边坡稳定性又能减少施工成本和安全风险，不过现在技术应用时监测预警还是不够且施工工艺也不够精细等状况存在，得靠加强技术研发和工程实践相结合来解决。研究显示，选择边坡开挖支护技术得综合地质条件、水文特性还有施工工艺并加上实时监测与动态调整策略，这既给水利工程行业提供重要的技术支持也给未来相关领域研究指方向，由于水利工程规模不断变大并且技术要求越来越高，所以深入边坡开挖支护技术的研究和应用会成为保障工程安全和质量的关键。

【参考文献】

- [1] 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):241.
- [2] 赵建梅.边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J].水上安全,2024(13):183-185.
- [3] 李汉臣.水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用研究[J].四川水泥,2019(11):272.
- [4] 居佳佳.水利工程施工中边坡开挖支护技术[J].居舍,2020(11):48.
- [5] 杨正平.边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J].石材,2023(12):94-96.

作者简介：万谋丹（1981.11—），男，毕业于南昌大学，专业工程管理，中级工程师，职务施工项目部总工。