

## 水利工程施工中边坡开挖和支护技术分析

张晨

扬州水利建筑工程有限责任公司, 江苏 扬州 225003

**[摘要]** 水利工程边坡施工是工程建设的重要组成部分, 在边坡开挖方式以及支护的技术手段的选择上影响整个工程的安全性和时间进程。文章对水利工程边坡的开挖方式和支护技术体系进行全面剖析, 着重论述了机械开挖和爆破开挖的应用场合; 同时针对分层分步法开挖、控制爆破技术与稳定性控制等方面进行详细介绍, 并对锚杆(索)、喷射砼、挡土墙及框格梁等支护型的特征及适用范围进行了说明, 最后总结了边坡开挖与支护相结合的施工技术方法, 施工流程的科学性安排、动态设计思路的应用和施工安全风险防范措施等。研究证明, 在边坡开挖及支护过程中要实行同步作业, 在信息化监控下进行即时的信息反馈以及设计上的调整, 可以有效的保证水利工程边坡的整体稳定。

**[关键词]** 水利工程; 边坡开挖; 支护技术

DOI: 10.33142/hst.v9i3.19335

中图分类号: TV512

文献标识码: A

### Analysis of Slope Excavation and Support Technology in Water Conservancy Engineering Construction

ZHANG Chen

Yangzhou Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225003, China

**Abstract:** Slope construction in hydraulic engineering is an important component of engineering construction, and the selection of excavation methods and support techniques for slopes affects the safety and timeline of the entire project. The article comprehensively analyzes the excavation methods and support technology system of water conservancy engineering slopes, with a focus on the application scenarios of mechanical excavation and blasting excavation; At the same time, a detailed introduction was given to the aspects of layered and step-by-step excavation, controlled blasting technology, and stability control. The characteristics and scope of application of support types such as anchor rods (cables), shotcrete, retaining walls, and frame beams were explained. Finally, the construction technology method combining slope excavation and support, the scientific arrangement of construction processes, the application of dynamic design ideas, and construction safety risk prevention measures were summarized. Research has shown that synchronous operation during slope excavation and support, real-time information feedback and design adjustments under information monitoring, can effectively ensure the overall stability of hydraulic engineering slopes.

**Keywords:** water conservancy engineering; slope excavation; support technology

#### 引言

水利工程施工中, 边坡开挖及支护是始终伴随整个工程施工的技术难点。我国水利工程大多处于复杂的地质环境背景下, 存在高边坡、软岩、透水地基等不良条件, 为边坡开挖支护工作提出了极大的难题。边坡开挖过程中的失稳事件不但会引发人员伤亡和经济损失, 还会导致工程拖期和超预算。所以开展水利工程边坡开挖支护技术的研究有着重要的现场应用价值。最近几年以来, 在国内外学者针对边坡稳定性评价、开挖方法选择以及支护方案确定等诸多方面都做了很多的研究工作。在开挖手段上, 阶梯

式分层开挖与预裂爆破技术已经普遍应用于高陡边坡当中。对支护技术而言, 锚杆(索)、喷射混凝土、抗滑桩、框架梁构成了完善的支护系统。但是, 在开挖和支护这两个密切相关的工程作业中, 它们之间的衔接协作方式还需要进一步研究。本文基于水利工程边坡工程施工的要求, 详细论述了开挖及支护的相关先进技术以及两者间如何进行协同合作的问题, 希望能够为类似项目的研究带来一定的启示作用。

#### 1 水利工程边坡施工概述

水利工程边坡指的是水坝、渠道、堤防等水工建筑物

周围的坡地地貌,它的好坏直接影响着主体工程的安全运行,相对于公路、市政工程边坡来说,水利工程边坡有以下不同点:第一,体量大,高边坡高达百米以上,开挖方量巨大;第二,地质条件差,常常会遇到断层、破碎层、软弱夹层等地质不良现象;第三,水文环境影响强,在施工过程中会有库水位上下波动,渗透力的作用一直都会对边坡产生一定的影响。对边坡进行开挖及支护的意义主要有三点:首先是合适的开挖方案是保证边坡稳定的先决条件,过量开挖以及不正确的爆破方法都会导致滑坡的发生;其次,在边坡长期稳定方面,支护结构起到至关重要的作用,在进行支护结构设计时需要结合具体情况有针对性的设计;最后,开挖及支护的一体化是信息化施工的重点,在施工中利用监控信息做出相应的处理措施可以有效的对工程施工的风险进行控制。

## 2 边坡开挖施工技术分析

### 2.1 开挖方法分类(机械开挖与爆破开挖)

水利工程边坡开挖方法主要有两种即机械开挖与爆破开挖。机械开挖一般运用在土质边坡、风化岩层或者受限制施工环境区域上,常见的机械设备有挖掘机、推土机、装载机等。它的优点是边坡扰动较小、安全可靠,缺点就是受施工设备限制较大。而爆破开挖主要用于坚硬岩质边坡上,先进行钻孔装药然后起爆使岩体破碎,其优点是加快工程进度、节省费用,但是需要严格控制爆破振动引起的边坡不稳定状况发生。选何种开挖方式须根据岩体强度、边坡高度、周围地形地貌以及工期长短情况分析决定,在靠近建筑物或者含有易崩解岩的地方应当尽量使用机械开挖或者采取控制爆破措施。对于开挖量大、岩体完整的区段,可选用深孔台阶爆破提高效率。

### 2.2 分级分层开挖技术

高边坡开挖要坚持分台阶、分层的原则进行。所谓分台阶就是指沿着边坡的高度方向分成几个台阶状的平台,每个台阶的高度约为10~15m,台面宽度2~3m,兼具着运输车辆通道的功能以及截排水的作用。分层则是指每一个台阶之内又分成几层来开挖,每层深度不宜超过3~5m,在此深度范围之内可以及时施加支撑。分步分层开挖的重点就是限制一次开挖所卸落的范围。实践证明,如果一次开挖过大,则会使得边坡产生过大的瞬时卸荷量,造成岩体松弛与变形。分步分层开挖能够使边坡逐渐趋于平衡,从而给支护结构施加一定的承载力创造了有利条件,施工过程中要严格遵守由上到下的开挖顺序,禁止掏根式开挖或者乱挖。

### 2.3 控制爆破技术在边坡开挖中的应用

控制爆破是岩质高边坡开挖的重要技术手段,主要分

为预裂爆破和光面爆破方式。预裂爆破即首先在主爆区引爆之后,在预定好的设计边坡线条上先行爆破出一条贯穿缝用来反射传过来的压力波从而维护边坡岩体不受损伤;而光面爆破就是保留一层保护层,在主爆区爆炸之后再行轮廓线的爆破来使得边坡看起来光滑整洁。边坡开挖过程中,对分级分层开挖工艺以及控制爆破技术进行系统的改进,可以有效的提高高边坡的整体稳定性。预裂爆破的参数设置要根据岩石波速、抗压强度以及结构面发育状况来进行合理的设置孔径、孔距、线装药密度等参数。工程中预裂爆破形成的预裂缝可以有效地阻止爆破动荷载对边坡深部的影响,降低为主爆区振动能对保留岩体破坏程度。光面爆破就是通过对周边孔装药量的分配以及起爆时间间隔来实现爆破能量沿着设计边界面的均匀扩散,从而使得爆破面较为平整光滑。预裂爆破和光面爆破的选择要结合岩体完整情况、构造面走向还有边坡高度等条件共同考虑,对坚硬完整围岩而言预裂爆破比较适用,在有较多的节理或者较破碎的岩层中使用光面爆破会更加合适一些。半孔率是衡量控制性爆破好坏的一个重要参数,半孔率越大,则代表成型坡面越好,对于维护边坡稳定性效果也越好。

### 2.4 开挖过程中的稳定性控制措施

开挖阶段稳定性控制是保证施工期间边坡稳定性的主要手段。具体对策有:坡面防护,对开挖暴露的岩土体立即喷护或者覆盖,避免风化剥落和雨淋侵蚀;截排水系统,在坡顶设置截水沟,坡面设置排水孔、泄水孔,减缓地表水渗透入岩土体及孔隙水压力累积;变形监测,布置表面位移监测点和深部位移计,时刻了解边坡变形状态的发展趋势;该项技术基于分层开挖和控制爆破工艺的改进以及集高性能喷射混凝土为主体的组合支护结构为一体而提出的针对高边坡施工全过程的精细同步控制方法。在监测量测发生异常的时候,要马上停止开挖,查明原因,采取加固措施,待边坡稳定以后才可继续作业。

## 3 边坡支护技术体系

### 3.1 锚杆(索)支护技术

锚杆及锚索是现阶段边坡加固最为常见的主动加固措施。锚杆一般指长度较短( $\leq 20\text{m}$ )、直径较小(20~32mm)的钢筋杆体,以锚杆端部与岩体间的粘结力作为抗拔力来源;锚索是由若干钢绞线组成,长度一般大于50m以上,利用施加预应力主动加固深层滑动面。抗滑桩与锚杆联合支护体系适用于治理一些特殊工况边坡。研究发现,当采用锚杆框架梁时会有一部分滑坡推力传导给抗滑桩,从而使抗滑桩桩顶附近的桩身应力值较低,联合支护效果较好。

锚杆施工工艺包含有钻孔、清孔、注浆、插杆以及二次补浆等环节，注浆材料应采用 M30 以上等级的水泥砂浆。预应力锚索要经过张拉锁定，在张拉过程中加载到设计荷载 110%，然后锁定，安装锚头护盖。

表 1 锚杆与锚索技术参数对比

对比项目	锚杆	锚索
直径/规格	20~32mm	50~150mm (孔)
长度范围	3~20m	3~20m
锚固力	50~300kN	500~3000kN
预应力施加	可施加或不施加	通常施加预应力
适用场景	中等高度边坡、系统支护	高陡边坡、深层加固

### 3.2 喷射混凝土支护技术

喷射混凝土指将混凝土搅拌物高速地喷射到受喷面上，在短时间内迅速凝固硬化成为支护结构的一种施工方法，它具有快等特点，适用于边坡开挖之后尽快对坡体进行防护，喷射混凝土的方法有干喷法与湿喷法两种，其中干喷法比较简便易行并且便于搬运，但是回弹量很大，约为 25%~35%，而且对环境造成很大的危害，而湿喷法则是在混凝土喷嘴处加入速凝剂使得回弹量降低到了 15% 左右，同时混凝土的质量也更均匀<sup>[1]</sup>。对于高边坡工程而言使用湿喷法能有效改善施工条件并提升支护效果。喷射砼的设计强度一般为 C20~C30 之间，砼厚度 8~15cm，在分层喷射的情况下每层喷射厚度应控制在 3~5cm 左右。在实际建设过程中使用长臂架泵车改造而成湿喷机来解决复杂地形下的施工问题，整体施工效率高于传统方法很多。

### 3.3 挡土结构支护技术（重力式、悬臂式等）

挡土构筑物是用于路基边坡坡脚防护和路堑边坡支挡的常见类型，重力式挡土墙通过自身重力抵抗作用于墙上的侧向土压力的作用，其墙身可用浆砌块石或者混凝土砌筑而成，高度不大于 8m，在良好的地基条件下可用于路基边坡底部的防护。悬臂式挡土墙分为立板和基础两部分，靠基础内回填土的压力来保持平衡，适用地面以上为 6~10m 的高度<sup>[2]</sup>；联合支护体系是最优的支护方式，可以极大的减少路基边坡顶部的水平位移与沉降，增强路基边坡的整体抗震性能；当路堤填筑较高或者受到地形限制时可以用扶壁式挡土墙和加筋土挡土墙来代替；挡土墙施工过程中要注意检查其基底的承载力情况以及墙身泄水孔位置布置情况以及墙背的填料质量情况等，保障其自身安全性。

### 3.4 框架梁与格构梁支护技术

框架梁和格构梁都是边坡面上加固的一种方式，是由纵横梁构成一个网格状构造，在里面可以配合植树、种草进行绿化来达到生态防护的目的。框架梁一般都是用钢筋混凝土现浇成形，梁截面一般为 200mm\*300mm ~

300mm\*400mm，网格间距一般是在 2~4m 之间，梁和梁之间的锚杆或者是索子连接起来就形成了共同的承载单元。框格梁加预应力锚索联合支护技术应用于复杂的条件下高边坡治理当中效果明显，经观测数据显示，使用此技术后坡面沉降变形日均最高为 0.34mm/d、累计沉降量达 8.3mm、远远低于警戒值。组合支护结构主要是受拉力的作用，最大拉力小于 1000kN 的设计限值，防止边坡楔状体下滑的效果很好。格构梁施工流程为：测量放线-基槽开挖-钢筋绑扎-模板安装-混凝土浇筑-养护。同时在锚索锚头部位要加设承压钢板与锚垫板保证预应力能够顺利传达到梁体上，在施工时应认真把控好梁体的轴线位置以及顶部高度，在进行混凝土浇筑之后应及时覆膜保湿保养。

## 4 边坡开挖与支护协同施工技术

### 4.1 施工工序优化与组织管理

边坡开挖及支护共同作业的关键在于工序之间的严密衔接。以往施工方法下，开挖和支护分别属于不同的施工队伍，在实际操作过程中出现边坡开挖完毕后支护不到位的现象，导致坡面裸露时间过长增加边坡塌方的可能性。共同作业就需要做到边坡开挖一层之后马上进行支护，达到开挖一层、支护一层的效果<sup>[3]</sup>。组织施工改进措施主要有两点：第一点是划分好各个区域，每个边坡都分成若干个区段，在一个区域里面同时开展开挖和支护工作；第二点是准备物资，支护所必须的锚杆、钢丝网片、喷射混凝土等材料在开挖之前就运到指定地点；第三点是工序交接制度，在开挖队伍完成各自的任务进行相互检查合格之后才能交付给支护队伍。

### 4.2 动态设计方法应用

动态设计就是信息化施工的关键点在于按照施工过程中的监测信息实时地对支护参数做出相应的改变，而进行动态设计的方法就是在施工前依据地质勘察的结果来制定第一个方案，然后在施工期间布置好监测设备收集边坡变形，锚杆轴力，地下水等信息，间隔一段时间就去查看一下监控的数据了解边坡是否处于一个稳定的状态，然后在监控数值即将达到预警线的时候开始做出相应的设计改动。利用坡面沉降变形、锚杆拉力检测手段分析高边坡的安全性，有利于衡量防护措施是否合理。预应力锚索与灌注桩相结合的形式越来越普及应用于边坡加固当中。动态设计变更的内容有加密锚杆间距、增大锚索长度、增强坡面排水等，在变更方案必须得到设计单位的认可之后方可进行施工。

### 4.3 施工安全风险控制

边坡工程施工安全隐患主要有滑坡坍塌事故、高空坠

物事故、爆破震动伤害以及机械设备伤害等。隐患防治需要采用以技术和管理相结合的方式。技术方面有：严格按照设计方案开挖，不出现超挖欠挖的情况；爆破作业实行警戒范围，并使用电子雷管定时分段引爆；高空施工搭建操作平台，工作人员系安全带；机械操作确保适当间距，对设备进行定期保养。从管理上讲要有针对性的措施：要有专项施工方案以及组织专家评审；在施工前做好安全技术交底工作；建立危险源辨识与隐患排查双重预防体系；有应急救援预案以及演练。工程施工中的安全管理必须覆盖整个边坡工程，任何一个阶段出现问题都会造成事故的发生，要时刻保持警惕。

## 5 结语

水利工程基坑边坡开挖及其支护属于一个复杂的系统性工作，包含现场的勘探调查、支护设计方案的选择以及实施过程中的施工组织、实时监控等一系列内容，在文章中作者就开挖施工和支护体系以及协同施工三个方面对关键技术点进行了详细的研究，其主要观点是：边坡开挖施工应该先进行分层分段施工，减少一次爆破的爆破量；控制爆破作业可以在一定程度上保持边坡岩体的稳定，预裂爆破、光面爆破参数要结合工程实际岩体特性确定；

支护体系应该结合锚杆（索）、喷锚混凝土、挡墙或挡板、框架梁等方法综合考虑，根据具体情况选取支护类型；协同施工可以加快整体进度，提高工作效率，但必须要满足安全要求。开挖和支护同步进行是保证边坡稳定的措施，在工序合理组织、调整以及风险管理中可以达到整个施工过程安全受控的效果，随着水利工程的发展向着高程更高等级，切割更深，地质条件更复杂的区域发展，工程中的边坡问题也变得更加复杂。智能检测报警装置、预制式支护结构、生态防护等也是今后的研究方向。

## 【参考文献】

- [1]张帆.水利工程施工中的边坡开挖支护技术分析[J].水上安全,2023(7):170-172.
- [2]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.
- [3]张庆伟.边坡开挖支护技术在水利施工工程中的应用分析[J].安家,2024(9):199-201.

作者简介：张晨（1995.7—），男，2018年毕业于南京工业大学土木工程专业，当前就职单位：扬州水利建筑工程有限责任公司，职务：安全工程师，职称级别：工程师。