

## 高边坡防护设计关键技术与稳定性分析研究

刘 辉

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430074

**[摘要]**高边坡防护设计是山区交通工程建设的一项重要技术难题,直接影响着工程的安全性、经济效益以及使用寿命;文章论述了该问题的重要意义,介绍了边坡支护结构设计、护坡材料及生态防护、排水降水分法、边坡加固及加筋土法、信息及智能化辅助设计等相关关键技术,分别就多指标综合对比选择、设计-施工一体化协调、监测预警及全寿命周期管理等问题提出建议;研究结果表明:把稳定性计算纳入到高边坡防护设计之中来、运用信息化管理对整个工程进行全过程式监控是提高高边坡防护工程质量及安全性的方法。

**[关键词]**高边坡; 防护设计; 稳定性分析; 支护结构; 监测预警

DOI: 10.33142/ec.v9i5.19644

中图分类号: U416.1+4

文献标识码: A

### Research on Key Technologies and Stability Analysis of High Slope Protection Design

LIU Hui

Zhongnan Engineering Corporation Limited, Wuhan, Hubei, 430074, China

**Abstract:** The design of high slope protection is an important technical challenge in mountainous transportation engineering construction, which directly affects the safety, economic benefits, and service life of the project; The article discusses the significance of this issue and introduces key technologies such as slope support structure design, slope protection materials and ecological protection, drainage and precipitation methods, slope reinforcement and reinforced soil methods, information and intelligent auxiliary design. Suggestions are put forward for comprehensive comparison and selection of multiple indicators, integrated coordination of design and construction, monitoring and early warning, and full life cycle management; The research results indicate that incorporating stability calculations into the design of high slope protection and using information management to monitor the entire project is an important method to improve the quality and safety of high slope protection engineering.

**Keywords:** high slope; protective design; stability analysis; supporting structure; monitoring and early warning

#### 引言

伴随着我国道路交通基础设施建设的飞速发展,高速公路、铁路等建设项目越来越多地进入到山地之中,使高边坡工程的数量大幅度上升。高边坡系指高度超过 30m 的土质边坡或者高度超过 15m 的岩质边坡,它的稳定与否直接影响着整个工程的安全性、经济效益及使用寿命等。据统计,我国山区公路修建中,高边坡占了 20%~30%,而由于边坡滑塌而引发的工程事故更是占到了地质灾害总数量的 40%以上,造成的损失惨重,一处大型滑坡的整治费用就可达到数千万之巨。高边坡失稳突变性强、破坏性严重、难以防治,一旦发生滑坡、崩塌等事故,将会造成公路基础设施损坏,还会给人身安全带来危害,《公路路基设计规范》指出,高边坡工程要进行专门性的稳定性计算,在此基础上再制定综合治理方案,做到边坡稳定。

随着工程规模增大以及地质环境复杂性的提高,对高边坡防护设计的要求也越来越高,急需对其主要技术问题及稳定性分析进行深入研究。所以,系统地对高边坡防护设计关键技术进行研究并正确实施其稳定性分析工作有着重要的意义,有利于保证工程建设的安全可靠,减少不必要的投资,同时还能起到环保的作用。

#### 1 高边坡防护的重要性

高边坡防护的重要性在于其涉及方方面面,在山岭地区的道路建设当中是一项极其重要的内容,一方面保证工程建设的安全性,高边坡失稳会导致路基垮塌、桥梁破坏、隧道入口堵塞等一系列严重问题的发生,直接影响到工程结构以及运营安全,此外,山区公路建设过程中边坡稳定也是至关重要的一环,国内外由于边坡失稳引发工程灾害的例子层出不穷,例如某一山岭地区高速公路建成通车不

久之后便出现了大规模的滑坡现象,致使交通中断长达数月之久,所需修复资金达到数亿之巨,对社会造成了极大的负面影响。另一方面可以减少建设投资,在进行科学合理的高边坡防护设计的基础上能够做到在保证安全的同时降低工程量,防止出现过度防护所带来的浪费以及防护不到位带来的一些后期整改问题。据调查,边坡防护工程占山区公路总投入费用的10%~15%,进行精细设计有着良好的经济价值,合理的设计可以节省投资成本15%~20%,第三点是为了保护环境的要求,在高边坡开挖过程中会影响到原有的山地形态及植被,而采用绿化防护技术就可以重新建立边坡植被,防止水土流失等现象发生,做到工程与环境保护互相协调发展。绿色护坡技术包括客土喷播、植生袋、生态袋等的应用,已经在很多项目中得到了实践,达到了良好的加固作用以及环保价值,植物覆盖率也达到了80%,对于改善路段环境有较大帮助。第四是保障运营安全的要求,高边坡长久性稳定关系到公路运营过程中的行车安全,若出现滑塌、滚石等现象会导致道路阻塞或者引发交通事故,运营期边坡维护费用占公路维护总费用的10%~15%。

## 2 高边坡防护设计关键技术

### 2.1 边坡支护结构设计技术

边坡防护结构是保证高边坡稳定的最重要的手段之一,主要有锚杆(索)、抗滑桩、挡土墙、格构梁等形式。锚杆(索)是通过把拉力传到稳定的岩土体上从而限制边坡变形的一种措施,用于对岩质边坡或者土质边坡。锚固力的大小由其锚固长度、灌浆质量以及岩土体本身的强度决定,在设计时需要做拉拔力试验来确定,一般要求锚固力的安全系数不得低于2.0,锚固段长度不应小于4m;抗滑桩是对付滑坡推力的主要结构,利用桩体及周围岩土体的作用产生抗滑力,适用于滑动面埋深大、下滑力大的情况。抗滑桩布置距离、桩径以及嵌入深度等相关数值应结合滑坡推力和桩体自重共同考虑以确定,桩距通常在桩径的3~5倍之间,而嵌入深度应该控制在桩高的1/3~1/2处;挡土墙是传统的支挡构造物,在边坡高度较小、地形环境许可的情况下可以使用;挡土墙的优点在于其工艺简化且成本较低;但是重力式的挡土墙墙体高度最好不要超过10m,悬臂式的挡土墙上部宽度不应超过6m<sup>[1]</sup>。格构梁加锚杆的锚杆格构梁系统,把点锚固体变成面积支撑,适用于一般的岩质边坡。格构梁节点间距一般情况下为3~5m。

### 2.2 护坡材料与生态防护技术

挡墙材料和生态环境保护方法在保证边坡安全的同时也考虑到了生态修复功能。传统的挡墙材料有浆砌片

石,混凝土等刚性材料虽然可以有效地避免坡体遭受雨淋风蚀,但是没有生态价值;生态护坡方法使用喷播客土、植生袋、生态袋、三维植被网等材料,在坡面上建立起植被覆盖层,利用植物根系固定土壤来提升边坡的安全系数,其根系深度可达到50~100cm左右,根系拉力强度为10~30MPa。客土喷播就是用含有草籽、肥料、土壤改良剂等混合物喷射到坡面上,适合在岩石或土质边坡上应用,喷播厚度通常为8~12cm,一次喷播即可达到形成稳固草皮的目的,养护半年左右时间草皮覆盖率可达90%以上;植生袋与生态袋是以植物生长基质填充在生物降解膜袋内,然后堆叠在坡面上形成的绿化护坡方式,适用于陡峭及难治理的坡面;生态袋透水防水的特点可以起到很好的防止水土流失的效果。三维植被网有3D立体结构能够有效的固定住土壤以及幼苗,提高了植物的成活率,适用于土质或者风化的岩石坡面。其耐冲刷性能比普通草坪高2~3倍。

### 2.3 排水与降水技术在边坡防护中的应用

排水及降水措施为保证边坡稳定性的重要手段之一,可以有效的减低坡体内部的孔隙水压力,降低发生滑坡的可能性;边坡的排水系统分为地面排水以及地下排水两项。地面排水工程有拦截水流的截水沟、排水沟、急流槽,用来拦截并排走坡面上的径流,避免雨水冲刷坡面,截水沟应在坡顶外5~10m的地方设置,在坡面上方汇集水流,排水沟横向设置,引导汇集水流到坡脚排水系统内,沟底纵坡不宜小于0.5%;设计暴雨重现期宜取用20~50y。地下排水设施为:仰斜排水孔、排水盲沟、排水隧洞等,用以降低地下水水位及孔隙水压力。仰斜孔是使用最多的地基排水方式之一,即采用钻孔穿过潜在滑动面,排走地下水,钻孔距离通常在5~10m之间,孔径90~110mm,仰角5~15°,可以将地下水降低2~5m。降水工艺主要用于施工过程中对地下水进行降排水,采用井点降水或管井降水等方式使地下水位降低,给边坡开挖创造良好环境,其中井点降水可使地下水位下降5~10m,适用于渗透系数较低的土层。

### 2.4 边坡加固与加筋土技术

边坡加固和加筋土法通过对岩土体本身的强度进行提升从而提升边坡的安全系数,边坡加固主要分为注浆加固、锚喷加固、抗滑键等几个方面,其中注浆加固主要是对岩土体中裂隙以及孔洞使用压力泵进行充填从而增强整个岩土体的整体性和强度;注浆压力、浆液的比例都是影响注浆效果的重要因素,应该根据岩土体的渗透能力和裂隙情况来选择合适的注浆压力以及浆液比例,一般常用的

注浆压力在 0.5~2.0MPa 之间, 水灰比在 0.8~1.0 之间, 注浆范围也可以达到 1~2m 左右<sup>[2]</sup>。而锚喷加固就是将锚杆和喷射混凝土结合起来使用, 用于对岩石边坡进行快速加固, 喷层厚度一般控制在 8~15cm 之间, 强度要求不得低于 C20 的标准, 可以有效的避免岩面风化剥落的现象发生。加筋土技术是在填土中设置有土工格栅、土工织物等筋材, 依靠筋材同填土之间的摩擦力来限制填土的水平位移, 从而保证填土的整体性。加筋土挡墙有柔性强、能抵抗较大的变形量、施工简单快速的特点, 适合用于高填方边坡及地势起伏很大的地方, 加筋间隔通常是 0.5~1.0m。加筋长度最好控制成墙高的 0.7~1.0 倍。

### 2.5 信息化与智能化辅助设计技术

信息、智能辅助设计技术也是增加高边坡防护设计能力的有效途径。GIS 系统可以综合地勘、地形地貌、水文气象等多种数据建立边坡工程数据库系统来为设计方案的选择提供参考信息; BIM 系统可对边坡支护结构进行三维建模的设计, 方便精确以及高效地合作设计; 无人机倾斜摄影能够及时采集到边坡高精度三维地形图并生成三维模型, 以供边坡稳定计算、防护设计使用, 其测量精度达到厘米级别, 工作效率比人工方式快 5~10 倍。智能监控系统利用位移传感器、测斜仪、雨量计、锚杆(索)测力计等一系列传感设备监测边坡变形及外部环境的变化情况并进行报警提示。基于物联网的智能监测系统可以做到随时对边坡稳定性进行实时监测, 一旦监测的数据达到预警的数值, 就会自动发出警报, 反应迅速可以在一秒内做出反应, 数据传送依靠着无线通讯技术, 能够进行远距离的数据传送, 表 1 比较信息化及智能化辅助设计技术的应用领域。

## 3 高边坡防护设计与施工优化策略

### 3.1 多因素综合比选与方案优化

高边坡防护方法的选取应结合地质状况、边坡的规模以及破坏机理、建设环境、投资费用以及环保要求等各方面来进行综合考虑, 其中地质情况是最为基本的要求, 岩石和土壤的种类、节理裂隙的发展状态和地下水状况都会影响所采用的防护手段, 针对岩体滑坡时需要着重对岩层

中节理的走向以及与坡面的关系来判断其容易出现何种类型的灾害; 而土体滑坡则要注重对土质强度指标以及地下水的情况进行分析计算安全系数, 一般情况下工程的安全系数在 1.25~1.35 之间。破坏形式是选择保护工程措施的基本依据, 不同的破坏形式(滑坡、崩塌、剥落、坍塌)所对应采取的工程技术措施也不尽相同, 例如: 滑坡宜设置抗滑桩; 崩塌宜采用锚杆加主动网; 剥落宜采用喷射混凝土或者挂网喷护; 等等, 在方案优选上应该在多个方案比较中, 以技术经济分析来选定最有利方案<sup>[3]</sup>。借助层次分析法、模糊综合评价等方面的方法可以实现对各个方案进行量化的对比分析, 从而提升我们的决策水平, 一般而言会考虑安全系数、工程造价、施工难易程度、环境影响因素以及耐久性等要素来构建综合评价体系。

### 3.2 动态设计与施工协同

高边坡工程地层复杂多变, 在勘查过程中不可能对全部地层信息进行了解, 使用动态设计可以很好地适应地层变化。动态设计是在施工中以开挖暴露的地层, 实时调整防护方案。“边开挖、边防护、边监测”的动态设计及施工方案能够使支护参数依据现场的实际地层情况以及监测的数据进行改进, 在最大程度上保障工程的安全性同时减少不必要的防护措施, 可以节省投资 10%~20%。设计院与施工单位要形成一种联动机制, 施工期间如果遇到地质问题或者变形的问题要及时派工作人员去现场确认并做出相应的施工变更。施工现场获取到的各种检测数据都是动态设计的基础, 要及时传送给设计师来进行识别判断, 运用 BIM 联合工作平台可以做到设计与施工和监测同步, 提高配合的高效率, 降低由于信息传达上的不足造成的工程隐患, 达到各专业配合的目的。

### 3.3 监测预警与全生命周期管理

监测预警作为保证高边坡长期稳定的可靠措施, 全过程监控管理是保障边坡工程施工安全可靠的管理方式。边坡监测主要包含地表变形、深层变形、地下水位、支护结构应力、降水量等, 而地表变形监测可通过 GNSS、全站仪等方式, 精确到毫米级别; 深层变形监测则是通过测斜仪来判定滑动面的位置, 支护结构应力监测使用锚索应力

表 1 信息化与智能化辅助设计技术应用对比

技术类型	主要应用	技术优势	适用阶段
地理信息系统	地质信息管理、空间分析	多源数据整合、可视化表达	勘察设计
建筑信息模型	三维设计、碰撞检查	可视化、协同化、参数化	方案设计
无人机倾斜摄影	地形测绘、三维建模	高效快速、精度高	勘察设计
智能监测系统	变形监测、预警预报	实时性、自动化、远程化	施工运营

**表 2 边坡监测方法对比**

监测方法	监测内容	主要设备	适用阶段	特点
地表位移监测	水平位移、垂直位移	GNSS、全站仪	施工、运营	覆盖范围广、自动化程度高
深部位移监测	坡体内部变形	测斜仪	施工、运营	确定滑面位置、精度高
地下水位监测	地下水位变化	水位计	勘察、施工、运营	反映水文条件变化
支护结构监测	锚索轴力、钢筋应力	锚索测力计、钢筋计	施工、运营	验证支护效果

计、钢筋应力计等，检验支护成效，监测频率要结合施工进度与边坡稳定性灵活掌握，重大施工节点和雨天要加强监测，重要边坡可设置自动在线监测系统。预警临界值应在稳定性分析以及工程经验和实际情况的基础上进行设定，在监测数据达到警戒临界值时应当及时采取应急措施<sup>[4]</sup>。全寿命周期管理中需要将勘探、设计、施工及运营全过程信息管理集成起来，构建边坡工程项目数据库，以便在运营期间制定相应的养护方案，提高边坡工程使用年限，在运营期间应当定期进行边坡巡查、监测数据分析等。表 2 比较了几种监测方式的监测内容、适用阶段。

#### 4 结语

高边坡防护工程的设计是山岭区公路工程建设中的重要工程技术难题，包括稳定性分析、支护结构设计、生态防护、排水降水、监测预警等多个方面的内容。本文对高边坡防护的重要性和支护结构设计、生态防护、排水降水、边坡加固、信息化辅助设计等关键技术进行了详细的介绍，在此基础上就多因素综合比选、动态设计与施工同步、监测预警及全生命周期管理等方面提出现有高边坡防

护工程项目存在的不足之处并提出相应解决方案。研究发现，把稳定性分析和防护设计相结合，利用信息化的方法实施全过程动态监控管理是提高高边坡防护工程质量与安全性的一种有效方法。今后应继续开展新技术、新材料、新工艺的应用，制定和完善相应的工程技术标准和技术规范，强化对边坡工程全过程监管，为交通工程建设运行安全保驾护航。

#### [参考文献]

- [1]苏相岗,赖世民,陈振林,等.高边坡防护工艺设计与施工技术研究[J].工程建设与设计,2023(2):137-139.
  - [2]刘敏.基于锚杆框架梁的高边坡防护施工技术[J].中国新技术新产品,2022(21):110-113.
  - [3]王昕远.公路路基高边坡防护设计探讨[J].科技创新与应用,2022,12(8):69-71.
  - [4]冯禄强.高边坡防护工程的勘察设计关键与施工分析[J].世界有色金属,2021(5):115-116.
- 作者简介：刘辉（1991—），男，汉族，吉林德惠人，毕业于吉林大学道路与桥梁工程，道路桥梁设计路基专业。