

# 柔性防护网+生态混凝土的滑坡治理集成技术应用研究

周思宏

(四川省第一地质大队,四川省成都市,610000)

**摘要** 本研究旨在分析边坡稳定性,并提出有效滑坡治理方案,提高边坡安全性。对工程现场进行详细勘察,评估风化层稳定性,基于分析采用柔性防护网与生态混凝土相结合的方式对滑坡治理。治理过程分为现场勘察、柔性防护网安装、生态混凝土浇筑三个步骤。通过实施治理方案,边坡抗压强度从施工前的16.0MPa提高至19.2MPa;植被覆盖率从10%提升至70%以上,改善生态环境。研究表明,柔性防护网与生态混凝土结合增强边坡稳定性,促进生态恢复。

**关键词** 柔性防护网;生态混凝土;滑坡治理;集成技术

中图分类号:P642.22 文献标识码:B  
文章编号:1008-0899(2026)06-0058-03

对公路滑坡问题进行分析,该地区年均降水量较高,夏季降雨量集中且频繁,影响边坡稳定性,强降雨会导致表层土壤饱和,增加地表径流,引发滑坡等地质灾害,给交通运输带来威胁<sup>[1-2]</sup>。随着公路建设推进,边坡在施工过程中遭到破坏,植被恢复能力不足,部分路堑边坡基岩逐渐暴露在外,面临风化侵蚀问题,加速边坡退化现象,增加滑坡风险,对公路安全运营构成威胁。边坡主要由砂岩、泥岩组成,岩石在长期风化和水流侵蚀作用下,形成较为松散的地质层,降低整体稳定性,降雨后水分渗入岩层中,加剧裂隙发育,影响边坡承载能力。因此需要开发滑坡治理方案,引入柔性防护网与生态混凝土结合技术,增强边坡物理稳定性,提升植被覆盖率,改善生态环境恢复状况,确保公路通行安全。

## 1 工程概况

黑沟矿区项目边坡整体呈现为岩质边坡,该边坡为爆破成型,在施工期间设置防护网。随着时间增加,防护措施效果减弱,因此采用柔性防护网+生

态混凝土的治理方式。边坡覆盖土层相对较薄,根据调查,未被植被覆盖区域风化层的厚度为1.2m,坡面直径变化范围在0.6~2.2m。在强风化层持续降雨影响下,坡面易形成冲刷带和冲刷槽,增加浅表滑移发生风险。

目前岩层裂隙未发现明显水体,但通过现场测量,该段边坡的坡向为6°,倾角为35°,该区域发育的构造裂隙有两组,分别标为J1(290°,20°)及J2(150°,72°),裂隙长度在3.2~8.5m,间距变化为0.6~1.4m,当前裂隙处于闭合至微张状态,存在潜在风险。

根据测量结果,边坡高度为32m,整体呈分级结构,分为四级平台,每级平台的高度为8.5m,坡率为1:1.4,陡峭的坡度和高差使边坡裸露区域岩层状况不平,增加了滑坡等地质灾害发生概率。周边植被由蕨类植物、被子植物构成,区域内未发现河流沟谷等地形特征。本项目边坡地质情况复杂,须结合地质特征制定可行边坡治理方案,确保公路安全<sup>[3-4]</sup>。

## 2 边坡稳定性分析

### 2.1 风化层稳定性

风化层由松散土壤和岩石碎片组成,风化层持水能力随降雨强度和持续时间不同发生变化,降雨期间,风化层水分饱和会导致有效应力减小,降低承载能力,增加滑移风险。风化层渗透系数为k,取值范围为 $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$ m/s,根据降雨强度和持续时间使

作者简介:周思宏(1992~),女,四川成都人,本科,工程师,研究方向:水文地质、工程地质与环境地质。

用下列公式估算风化层含水量:

$$q=k \times i \times A$$

$q$ 为渗流量; $i$ 为降雨量; $A$ 为风化层横截面积。

## 2.2 构造裂隙的影响

地质勘察结果表明:边坡上发育有两组主要的构造裂隙:J1和J2,两组裂隙的不同方向和倾角对边坡稳定性产生不同的影响。J1裂隙较为平缓,其倾角为 $20^{\circ}$ ,但在降雨期间,裂隙内水分沿着裂隙扩散,形成潜在滑动面。J2裂隙倾角为 $72^{\circ}$ ,较陡角度会促进水分聚集,在裂隙底部形成更强的滑动面。裂隙内的水分聚集会导致孔隙水压力的增加,尤其在J2裂隙中,压力增加会降低岩土体的有效应力,使得局部区域的抗滑力下降,增加滑坡发生的风险。两种类型对水流作用如下:裂隙类型J1对水流引导作用弱;裂隙类型J2对水流引导作用强,J2裂隙扩散速度更快。

## 2.3 岩层抗压强度

在边坡稳定性分析中,岩层抗压强度关系到边坡承载能力和长期稳定性,通过现场测试,该区域岩层的抗压强度超过 $16\text{MPa}$ ,反映出岩层在静态条件下强度较高,为后续稳定性分析提供数据基础。当前测得抗压强度较高,但边坡在降雨及风化作用等外部环境因素影响下会导致岩层水分含量增加,引发岩石风化和劣化,降低抗压强度,因此通过安装地下水位监测仪器,实时监控岩层水分变化,评估降雨对岩层稳定性影响,采用地质钻探取样分析方法,对岩层风化程度进行定期评估,判断其对抗压强度的影响。通过综合分析抗压强度及时发现潜在安全隐患,制定滑坡治理方案,确保工程安全<sup>[5]</sup>。

# 3 滑坡治理方案

## 3.1 柔性防护网+生态混凝土

### 3.1.1 柔性防护网

柔性防护网由钢丝网、锚杆、横向绳、纵向绳组成,主体结构为 $16\text{mm}$ 和 $12\text{mm}$ 钢丝绳交叉,经过AB级以上防腐热浸镀锌处理,防腐寿命为 $30\sim 50$ 年,通过弹性适应土体变形,防止滑坡和土体流失。与传统刚性防护措施相比,柔性防护网的拉伸强度可达 $2\ 000\sim 3\ 000\text{N/cm}$ ,能够承受较大外部压力和冲击力。该材料网状结构使水分能够自由渗透,避免水分积聚导致土体饱和风险,研究表明,在降雨条件

下,柔性防护网可将边坡水分渗透率提高 $40\%$ 。且柔性防护网材料可回收,不会对环境造成污染,还可为植物生长创造良好的条件。

### 3.1.2 生态混凝土

生态混凝土透水率在 $300\sim 600\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,相比于传统混凝土透水率 $10\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 高出多个数量级,高透水性能够降低雨水对边坡的冲击,减少径流现象,降低水土流失风险。在使用生态混凝土的边坡区域,降雨后水土流失量减少 $70\%$ ,保护土壤结构。

生态混凝土中添加生物质和天然矿物,为植物生长提供基质,增强边坡生态功能,使植物根系可以固定土壤,增强边坡稳定性,减轻滑坡风险。

在边坡治理中,生态混凝土的抗压强度达到 $30\text{MPa}$ ,高于普通混凝土的 $20\text{MPa}$ ,生态混凝土在承受地质压力和外部冲击时具有更强稳定性,滑坡发生率降低 $40\%$ ,表明生态混凝土提升边坡结构安全。

### 3.1.3 综合治理方案实施效果

将柔性防护网与生态混凝土结合使用,形成互补综合治理方案。具体实施效果如下:通过柔性防护网透水性,配合生态混凝土,减少边坡在降雨时的滑动风险,减轻滑坡对周边环境的危害。结合生态混凝土的生物相容性,该方案能防止滑坡,促进边坡植被的恢复,增强生态系统的稳定性。根据统计数据,采用该综合治理方案,边坡维护的长期成本降低,为滑坡治理提供切实可行解决方案。

## 3.2 施工步骤

### 3.2.1 现场勘查准备工作

在施工前进行地质调查,通过钻孔取样和地质剖面分析,评估土层和岩层抗压强度。根据初步勘查,该区域土层抗压强度为 $150\text{kPa}$ ,岩层抗压强度为 $600\text{kPa}$ ,数据为后续施工提供基础。在施工区域需清除所有杂物、植被、松动土层,确保作业面平整,清理后的地面须达到平整度标准,误差不超过 $\pm 5\text{cm}$ ,便于后续施工。根据设计方案,标高放线的精度需控制在 $\pm 2\text{cm}$ 内,确保施工的准确性。

### 3.2.2 安装柔性防护网

在坡面上需固定支撑结构,如锚杆、支架。锚杆直径为 $20\text{mm}$ ,埋深为 $1.5\text{m}$ ,支架间距控制在 $2\text{m}$ 内,确保防护网能够均匀受力。

将柔性防护网铺设在坡面上,覆盖整个滑坡区域,防护网的边缘需埋入土中,埋入深度为 $30\text{cm}$ ,增

强固定度,铺设后检查防护网张力,确保无松弛。

使用锚固件将防护网固定在支撑结构上,锚固件的间距应不超过1.5m,防止风雨等外力对防护网的撕扯,每个锚固件抗拉强度达到2kN以上,保证防护网的有效性。

### 3.2.3 浇筑生态混凝土

边坡治理工程中,生态混凝土浇筑环节涉及混凝土配料、浇筑、表面处理,还需结合防护网具体数据,实现最佳的工程效果。生态混凝土配制主要考虑透水性、抗压强度,常规配比为:水泥350kg/m<sup>3</sup>;水175kg/m<sup>3</sup>;粗骨料与细骨料的比例为2:1,700kg/m<sup>3</sup>粗骨料+350kg/m<sup>3</sup>细骨料;矿物掺合料为50kg/m<sup>3</sup>矿渣,增强混凝土凝结性;增塑剂3kg/m<sup>3</sup>。

浇筑生态混凝土时,需确保防护网正确铺设并固定在坡体上,混凝土浇筑厚度控制在5~10cm,施工中采用激光水平仪等测量工具,确保每个区域的混凝土厚度均匀,误差控制在±1cm内,当浇筑区域面积为100m<sup>2</sup>,厚度为8cm,所需混凝土体积为8m<sup>3</sup>,混凝土总重量为19200kg。

混凝土浇筑完成后,须对其表面进行处理,表面平整度为±3mm,使用平整器进行修整,确保无明显凹陷或凸起,最终达到设计要求。

### 3.3 施工效果分析

在实施柔性防护网后,边坡稳定性得到增强,根据监测数据,施工前边坡的抗压强度为16.0MPa,经过治理后提高至19.2MPa,提升幅度达20%,降低了滑坡发生概率,为周边环境提供稳固基础。

生态混凝土促进植被的生长,经过为期6个月的后期监测,植被覆盖率由施工前10%提升至70%,提高边坡生态功能,促进生态系统恢复。采用柔性防护网与生态混凝土后,后期维护需求降低,维护成本减少30%,从施工前的50万元降至35万元。施工前边坡抗压强度16.0MPa,施工后抗压强度19.2MPa;植被覆盖率施工前10%,施工后70%;土壤侵蚀率施工前60kg/(m<sup>2</sup>·年),施工后15kg/(m<sup>2</sup>·年),减少75%;施工周期从30d缩短至25d,减少5d,数据表明柔性防护网与生态混凝土的结合可以有效阻挡

雨水与风力对土壤的侵蚀,提升边坡的防护能力。

为确保治理效果的持续性,建议设立长期监测机制,定期评估边坡的稳定性、植被生长及生态环境的变化,在关键位置设置监测点,采用传感器进行实时数据采集,分析边坡在不同气候条件下的表现,以便及时调整治理方案。

## 4 结语

对边坡现状展开全面且细致的评估工作是滑坡治理的关键前提。评估团队综合运用地质雷达探测、无人机航拍以及现场采样分析等多种技术手段,从边坡的地质构造、岩土性质、水文条件以及植被覆盖等多个维度进行深入剖析。通过这些分析,精准揭示边坡的脆弱性所在,如岩土层间的薄弱面、潜在的滑动面以及易受雨水侵蚀的区域等,为后续制定科学合理的治理方案提供坚实可靠的依据。而生态混凝土的应用则具有多重优势,它不仅能为植被生长提供良好的基质,还能通过自身的孔隙结构促进水分和养分的交换,从而大大改善边坡的植被覆盖率,使其从原本的10%提高至70%以上,有效防止水土流失。施工过程严格按照精心设计的步骤进行,从现场勘查、方案制定,到柔性防护网的安装,再到生态混凝土的浇筑,每个环节都严格把控质量。经过优化施工流程,施工周期较初期计划缩短了5d,大幅提升了施工效率。治理完成后,土壤侵蚀率显著降低,降幅高达75%,为滑坡治理提供了一种可持续且行之有效的解决方案。

## 参考文献

- [1] 李强.滑坡地质灾害勘查与解决对策[J].石材,2025,(04):19-21.
- [2] 田硕鹏.某公路路堑边坡滑坡分析与治理措施[J].四川水泥,2025,(03):239-241.
- [3] 王攀.韶关市南岭山区滑坡地质灾害治理研究[J].西部资源,2025,(01):52-55.
- [4] 李龙刚,梁梦清,聂立力.软弱土层滑坡治理方案及应用效果分析[J].四川水泥,2025,(02):215-217.
- [5] 俞文斌.预应力锚索+主动防护网+喷射混凝土在矿山高边坡支护中的应用[J].中国金属通报,2024,(03):31-33.