

# 石灰岩矿山边坡稳定性分析及岩土工程质量控制

施胜军

广东省核工业地质局二九三大队

DOI: 10.12238/ems.v6i11.9962

**[摘要]** 本文围绕石灰岩矿山边坡稳定性分析及岩土工程质量控制展开研究。在边坡稳定性分析部分, 首先分析了边坡的地质条件, 随后探讨了边坡稳定性的评估方法, 并指出了影响边坡稳定性的关键因素。在岩土工程质量控制策略方面, 提出了设计与施工方案的优化、施工过程的质量控制以及岩土材料性能的测试与评估。此外, 文章还强调了边坡稳定性监测与预警系统的重要性, 包括监测内容与方法、预警机制与应急预案, 以及信息化与智能化监测技术的应用。最后, 针对边坡治理与加固, 明确了治理原则与目标, 介绍了治理与加固技术, 并提出了治理效果评估与持续优化的建议。通过本文的研究, 为石灰岩矿山边坡的稳定性分析及岩土工程质量控制提供了有益的参考。

**[关键词]** 石灰岩矿山、边坡稳定性、岩土工程、质量控制

## Stability Analysis of Limestone Mine Slope and Quality Control of Geotechnical Engineering

Shi Shengjun

293rd Brigade of Guangdong Provincial Nuclear Industry Geological Bureau, Guangzhou 510800,

Guangdong Province

**[Abstract]** This article focuses on the stability analysis of limestone mine slopes and the quality control of geotechnical engineering. In the section of slope stability analysis, the geological conditions of the slope were first analyzed, and then the evaluation methods of slope stability were discussed, and the key factors affecting slope stability were pointed out. In terms of quality control strategies for geotechnical engineering, optimization of design and construction plans, quality control of construction processes, and testing and evaluation of geotechnical material properties have been proposed. In addition, the article emphasizes the importance of slope stability monitoring and warning systems, including monitoring content and methods, warning mechanisms and emergency plans, as well as the application of information and intelligent monitoring technologies. Finally, regarding slope treatment and reinforcement, the principles and objectives of treatment were clarified, the treatment and reinforcement techniques were introduced, and suggestions for evaluating the treatment effect and continuous optimization were proposed. Through the research in this article, useful references are provided for the stability analysis of limestone mine slopes and the quality control of geotechnical engineering.

**[Keywords]** Limestone mines, slope stability, geotechnical engineering, quality control

## 一、引言

石灰岩矿山作为重要的矿产资源, 其开采过程中边坡的稳定性问题不容忽视。边坡失稳不仅会导致安全事故, 还可能对周边环境造成严重影响。因此, 对石灰岩矿山边坡进行稳定性分析, 并采取有效的岩土工程质量控制措施, 是确保矿山安全、高效开采的关键。本文旨在深入探讨石灰岩矿山边坡的稳定性分析方法, 明确影响边坡稳定性的关键因素, 进而提出针对性的岩土工程质量控制策略。同时, 文章还将

关注边坡稳定性监测与预警系统的建立, 以及边坡治理与加固措施的实施, 以为石灰岩矿山的开采提供科学依据和技术支持。通过本文的研究, 有助于提升石灰岩矿山的安全生产水平, 促进矿产资源的可持续利用。

## 二、石灰岩矿山边坡稳定性分析

### 2.1 边坡地质条件分析

清远市清新区白水洞矿区水泥用石灰岩矿区的边坡地质条件复杂但总体稳定。矿区位于丘陵岩溶地貌区, 地层主要

为石炭系下统石磴子组灰岩, 倾向南东, 倾角  $45\sim 55^\circ$ 。矿区内主要发育两条近东西向的断层 (F1、F2), 对岩体完整性有一定影响, 但断裂带未明显破坏边坡的整体稳定性。边坡主要由坚硬岩组组成, 包括厚层状灰岩及白云质灰岩, 物理力学性质良好, 岩石质量指标 (RQD) 达  $84\sim 98\%$ , 抗压强度平均值为  $53.66\text{MPa}$ , 表明岩石强度高, 有利于边坡稳定。

表1 边坡地质条件参数表

| 参数名称         | 数值/描述  |
|--------------|--|
| 地层岩性         | 石炭系下统石磴子组灰岩                                      |
| 岩层倾向         | 南东   |
| 岩层倾角         | $45\sim 55^\circ$                                |
| 主要断层         | F1、F2  |
| 岩石抗压强度       | $46.3\sim 62.7\text{MPa}$ , 平均 $53.66\text{MPa}$ |
| 岩石质量指标 (RQD) | $84\sim 98\%$                                    |
| 边坡稳定性总体评价    | 良好, 但需注意断层影响                                     |

矿区边坡地质条件分析显示, 尽管存在断层等不利地质构造, 但岩石的高抗压强度和良好的岩体完整性为边坡稳定性提供了有力保障。然而, 在矿山开采过程中仍需密切关注断层带及软弱结构面的变化, 以防边坡失稳的发生。同时, 应加强边坡监测, 采取必要的工程治理措施, 确保矿山安全生产。

## 2.2 边坡稳定性评估方法

在本项目中对石灰岩矿山边坡稳定性的评估采用了多种综合方法。通过地质勘查确定了矿区的地质岩性、构造特征以及节理裂隙发育情况, 为稳定性评估提供了基础地质资料。运用工程地质力学测试, 如岩石抗压强度测试, 获得了岩石的物理力学参数, 这些参数直接反映了岩石抵抗外力破坏的能力, 是评估边坡稳定性的关键指标。此外, 还结合了数值模拟技术, 利用计算机软件对边坡在各种工况下的应力分布、变形特征进行模拟分析, 预测边坡在不同条件下的稳定性状态。同时, 采用地质雷达、无人机航拍等现代技术手段, 对边坡进行实时监测, 及时发现潜在的不稳定因素。

在评估过程中, 还充分考虑了降雨、地震等自然因素对边坡稳定性的影响, 通过历史气象数据和地震活动资料, 对边坡在自然条件下的稳定性进行了综合评估。最终, 结合以上多种方法, 形成了对矿区石灰岩矿山边坡稳定性的全面、科学评估。

## 2.3 影响边坡稳定性的关键因素

清远市清新区石灰岩矿山边坡稳定性的关键因素复杂多样。首先, 地质构造对边坡稳定性具有显著影响, 矿区内发育的 F1、F2 断层破坏了岩体的完整性, 导致局部应力集中, 增加了边坡滑动的风险。其次, 岩石的物理力学性质是决定边坡稳定性的基础, 该矿区岩石抗压强度较高, 但节理裂隙的发育程度也影响着岩石的整体强度。此外, 水文地质条件也是不可忽视的因素, 降雨和地下水的的作用会软化岩石, 降低岩石强度, 增加边坡滑动的可能性。同时, 开采活动本身也会对边坡稳定性产生影响, 如爆破震动、开挖卸荷等都可

能诱发边坡失稳。综合考虑以上因素, 对边坡稳定性进行综合评估时, 需全面考虑地质构造、岩石性质、水文地质条件以及开采活动等多方面的影响, 确保评估结果的准确性和可靠性。

## 三、岩土工程质量控制策略

### 3.1 设计与施工方案优化

在本项目上针对水泥用石灰岩矿山的岩土工程, 设计与施工方案经过深度优化。依据勘探数据, F1 断层长度达  $294.6$  米, 设计方案中特别强化了其区域的注浆加固措施, 加固长度超过  $150$  米, 显著提升岩体稳定性。采用微差爆破技术, 将爆破震动速度控制在  $1.5\text{cm/s}$  内, 有效保护边坡。机械化施工效率提升至日均矿石开采量  $2500$  吨, 同时, 运输路线优化减少运输成本约  $18\%$ 。引入的数字化管理系统, 已累积监控数据  $45$  万条, 确保施工精准无误。这些优化措施基于详尽数据支持, 使设计与施工方案更加科学合理, 为工程质量控制提供了坚实保障。

### 3.2 施工过程质量控制

在清远市清新区矿区的石灰岩矿山施工中, 过程质量控制是保障工程安全与质量的重要环节。施工中, 通过实施严格的取样与分析流程, 确保矿石与岩土样品的分析准确率达到  $97.5\%$  以上, 为施工调整提供可靠依据。同时, 采用先进的机械化施工方法, 每日钻探深度精确控制, 累计钻探进尺达数千米, 误差率控制在  $0.01\%$  以内。此外, 利用数字化管理平台实时监控施工动态, 及时预警潜在问题, 有效规避了因施工不当导致的边坡失稳等风险。这一系列过程质量控制措施, 确保了工程的顺利进行与高质量完成。

在本项目中我们采取分析、梳理、研究前期矿区地质成果, 征求矿山建设单位需求, 对其加密勘察工程, 进行钻探、分析测量等工作提高框体控制程度, 求取探明资源数量, 针对矿区边坡开挖, 我们进行地质填图, 详细了解该矿区岩石产状、倾角、走向, 为保证开挖安全, 我们进行跑地表工作, 把矿区裂隙、节理了解清楚, 并为后续开挖安全进行现场素描, 防止部分地区存着较大孤石, 开挖时存着安全隐患提供帮助。

野外填图照片



照片1 断层

### 3.3 岩土材料性能测试与评估

在本次矿山岩土工程中, 岩土材料性能测试与评估是确保工程稳定与安全的关键环节。

表2 部分关键岩土材料性能测试数据

| 测试项目         | 测试值         | 标准值         | 测试结果描述              |
|--------------|-------------|-------------|---------------------|
| 抗压强度 (MPa)   | 53.66       | $\geq 30$   | 满足建筑用石强度要求, 表现优异    |
| 岩石质量指标 (RQD) | 84%-98%     | $\geq 70\%$ | 岩体完整性好, 质量上乘        |
| 放射性指数 (Ira)  | 0.016-0.064 | $\leq 1.0$  | 属于 A 类装饰装修材料, 使用无限制 |
| 外照射指数 (Ir)   | 0.020-0.081 | $\leq 1.3$  | 符合环保标准, 环境影响小       |

通过对岩土材料的系统性测试与评估, 我们发现该矿区的石灰岩材料具有优异的物理力学性能。抗压强度平均值达到 53.66MPa, 远高于建筑用沉积岩的最低强度要求 ( $\geq 30$ MPa), 显示出良好的承载能力。同时, 岩石质量指标 (RQD) 介于 84%至 98%之间, 表明岩体完整, 结构稳定, 有利于减少开采过程中的破碎与损失。在放射性测试方面, 内照射指数 Ira 和外照射指数 Ir 均远低于国家标准限值, 确认矿石材料属于 A 类装饰装修材料, 其产销和使用范围不受限制, 且对环境的影响微小。这些测试结果不仅验证了矿区材料的优良品质, 也为后续工程设计与施工提供了可靠依据, 保障了岩土工程的整体质量与稳定性。

#### 四、边坡稳定性监测与预警系统

在石灰岩矿山的边坡稳定性监测中, 我们重点对岩体的位移、应力变化及地下水动态进行实时监测。通过高精度 GPS 和测斜仪, 对关键边坡点进行位移监测, 位移精度达到毫米级。结合应力计和渗压计, 实时监测边坡体内应力分布及地下水位变化, 确保数据准确。系统采用自动化采集技术, 每小时自动记录一次数据, 并实时上传至云端服务器。同时, 建立预警模型, 当监测数据超出预设阈值时, 系统自动触发预警, 通知相关人员采取应急措施。

信息化技术的应用显著提升了监测效率与准确性。通过高精度 GPS 与自动化测斜仪的结合使用, 我们能够实现对边坡表面及内部的全方位监测, 确保数据的全面性和准确性。每小时一次的数据记录频率确保了监测的时效性, 使得任何微小的变化都能被及时捕捉并分析。

云端数据分析平台作为数据处理的核心, 不仅实现了数据的集中管理与实时分析, 还提供了可视化的监测报告, 便于管理人员直观了解边坡稳定性状况。一旦监测数据接近或超出预设的预警阈值, 系统将自动触发预警, 并通过多种方式通知相关人员, 确保及时采取应对措施。

这些信息化与智能化监测技术的应用, 不仅提高了边坡稳定性监测的精度与效率, 还为矿山的安全生产提供了强有力的技术保障。通过持续的数据收集与分析, 我们能够不断优化监测方案与应急预案, 确保矿山长期、稳定、安全运行。

#### 五、边坡治理与加固措施

##### 5.1 治理原则与目标

在清远市清新区矿区, 边坡治理遵循“预防为主, 综合治理”的原则, 旨在确保边坡安全稳定, 保障矿山生产安全。具体目标包括: 通过科学合理的治理措施, 将边坡位移控制在合理范围内 (如最大位移量不超过 5mm), 同时确保边坡岩土体的物理力学性质满足安全生产要求。此外, 通过实施绿化复垦等措施, 逐步恢复边坡生态环境, 实现经济效益与生态效益的双赢。在治理过程中, 注重数据的实时监测与分析, 为治理方案的科学调整提供依据, 确保治理目标的有效实现。

##### 5.2 治理与加固技术

针对清远市清新区矿区水泥用石灰岩矿的边坡特点, 我们采用了多种治理与加固技术以确保边坡稳定。在治理过程中, 我们优先采用预应力锚索框架梁加固技术, 通过施加预应力来增强边坡岩土体的抗滑能力。锚索长度根据边坡高度和岩性特性设计, 一般可达 30 至 50 米, 锚索间距则根据边坡稳定性分析确定, 通常为 5 至 8 米。同时, 对于存在潜在滑坡风险的边坡段, 我们实施了抗滑桩加固措施。抗滑桩直径和间距根据地质条件和计算分析确定, 一般直径不小于 1.2 米, 间距约为 3 至 5 米。抗滑桩嵌入稳定地层中的深度需超过潜在滑动面的深度, 以确保其抗滑效果。

在加固过程中, 我们还采用了挂网喷浆护坡技术, 通过在边坡表面铺设钢筋网并喷射混凝土, 形成一层坚固的保护层, 防止边坡岩土体松散脱落。挂网喷浆的厚度根据边坡高度和岩土性质确定, 一般不少于 10 厘米。此外, 为应对降雨引发的地下水压力增加, 我们在边坡底部设置了完善的排水系统, 包括截水沟和排水孔, 确保及时排除边坡体内积水, 降低地下水对边坡稳定性的影响。通过综合运用这些治理与加固技术, 我们有效提升了白水洞矿区边坡的稳定性, 保障了矿山生产的安全进行。

##### 5.3 治理效果评估与持续优化

边坡治理效果通过实时监测数据得到科学评估。例如, 边坡最大位移量控制在 5mm 以内, 远低于安全阈值, 表明加固措施有效。同时, 植被覆盖率从治理前的不足 10%提升至 60%, 生态环境明显改善。我们建立了定期评估机制, 每半年进行一次全面评估, 结合 GPS 监测数据和现场勘查, 确保治理效果持续有效。针对评估中发现的问题, 及时调整治理方案, 如增加锚索密度或优化排水系统。此外, 积极引进新技术, 如智能监测系统, 以进一步提升治理效果和效率, 确保边坡长期稳定。

#### 六、结论

通过综合实施边坡稳定性监测、预警系统、治理与加固措施, 白水洞矿区水泥用石灰岩矿的边坡稳定性显著提升, 保障了矿山安全生产。治理效果显著, 生态环境逐步恢复, 经济和社会效益显著。未来将继续优化监测与治理技术, 确保矿山可持续发展。

##### 【参考文献】

- [1] 中华人民共和国国土资源部. 矿产勘查地质规范 石灰岩、水泥用粘土质和硅质原料[S]. DZ/T 0213-2020.
- [2] 陈恒宇, 尹永明, 陈钢华, 等. 某石灰岩矿山典型边坡稳定性分析研究[J]. 矿产勘查, 2024, 15 (S1): 205-210.
- [3] 袁颖, 曹思源, 刘建兵, 等. 石灰岩矿山地质及资源问题与恢复治理研究[J/OL]. 矿业研究与开发, 1-13[2024-09-13].
- [4] 王小鹏. 某岩质矿山边坡的稳定性评价及加固治理研究[J]. 中国矿山工程, 2021, 50 (05): 7-12.