矿山开采过程中地质结构稳定性评估方法

王政安

辽宁德金矿业有限公司　辽宁抚顺

【摘要】矿山开采地质结构稳定性评估在矿山作业中占据着举足轻重的地位，它不仅直接关乎安全生产，还与资源的可持续利用紧密相连。文章详细介绍了多种先进的评估技术，并深入分析了它们在不同开采场景下的具体应用。此外，还创新性地提出了优化评估体系的策略，旨在为保障矿山开采的安全与高效，提供坚实的理论依据与极具价值的实践指导。

【关键词】矿山开采；地质结构；稳定性评估；评估技术；优化策略

【收稿日期】2025 年 3 月 9 日　　【出刊日期】2025 年 4 月 9 日　　【DOI】10.12208/j.jer.20250185

Method for assessing geological structure stability during mining

Zheng'an Wang

Liaoning Dejin Mining Co., Ltd, Fushun, Liaoning

【**Abstract**】The assessment of geological structure stability in mining operations holds a pivotal position. It not only directly concerns safety production but is also closely linked to the sustainable use of resources. This article provides a detailed introduction to various advanced evaluation techniques and delves into their specific applications in different mining scenarios. Furthermore, it innovatively proposes strategies for optimizing the evaluation system, aiming to provide solid theoretical foundations and highly valuable practical guidance for ensuring the safety and efficiency of mining operations.

【**Keywords**】Mining; Geological structure; Stability assessment; Assessment technology; Optimization strategy

引言

在矿业发展进程中，矿山开采规模不断扩大，地质结构稳定性评估成为保障安全生产、减少灾害事故的关键环节。复杂的地质条件如断层、破碎带等，以及开采活动引发的应力重分布，给稳定性评估带来巨大挑战。传统评估方法难以满足现代矿山开采对高精度、实时性的要求，因此亟需探索更先进、科学的评估方法。本文聚焦矿山开采地质结构稳定性评估，旨在突破现有技术瓶颈，提升评估水平，推动矿山行业安全可持续发展。

1 评估现状剖析

矿山开采地质结构稳定性评估，长期以来都处于复杂且充满挑战的局面。各个矿区的地质条件可谓天差地别，就岩层硬度而言，有的矿区岩石坚硬如铁，能承受较大压力，而有的矿区岩石则较为松软，极易在开采活动影响下发生变形。节理发育程度也大不相同，节理密集的区域，岩体完整性被破坏，稳定性大打折扣。地下水的赋存状态更是关键因素，丰富的地下水可能导致岩体软化、孔隙水压力增加，引发滑坡、泥石流等地质灾害。以深埋矿山为例，其所处的高地应力环境犹如一座无形的大山，重重压在岩体之上。在这种环境下，岩体内部应力分布极为复杂，常常产生非线性的变形和破坏模式。传统依靠经验判断的方法，仅仅依据过往有限的案例和主观认知，难以精准捕捉到深埋矿山岩体稳定性在复杂应力作用下的动态变化趋势，使得评估结果的准确性大打折扣。

当前，矿山所采用的评估手段暴露出明显的局限性。许多矿山依旧依赖传统的地质勘查方式，这种方式在数据采集上存在诸多不足，仅能获取有限区域的地质信息，无法全面覆盖整个矿区[1]。与之配套的经验公式计算，也是基于理想化的地质模型推导得出，严重忽略了实际地质条件中广泛存在的多样性和不确定性。一旦面对突发地质灾害，例如断层滑移引发的地震、溶洞塌陷导致的地面沉降等，传统方法由于缺乏对地质结构实时变化的精准感知和快速分析能力，无法及时发出预警信号。这就导致矿山在毫无防备的情况下，频

繁遭受事故侵袭，给人员生命和财产安全带来巨大威胁。传统方法在数据采集和分析环节效率低下，数据处理流程繁琐，从采集到得出有效结论往往需要耗费大量时间，这与矿山实时开采决策对信息及时性的迫切需求严重脱节，极大地制约了矿山开采在保障安全前提下的经济效益提升。

在实际矿山开采应用中，评估结果的偏差所带来的后果十分严重。当稳定性评估不准确时，支护措施的制定便如同在黑暗中摸索。若支护过度，大量的人力、物力和财力被浪费在不必要的支护结构搭建上，造成资源的无端消耗，增加了矿山开采成本[2]。相反，支护不足则犹如埋下一颗定时炸弹，随时可能引发塌方、冒顶等恶性事故。在过往的矿山开采历史中，不乏因对地质结构稳定性判断失误而酿成悲剧的案例。一些矿山由于误判，导致开采过程中岩体突然失稳，造成井下作业人员伤亡，矿山生产被迫中断，不仅需要承担巨额的救援和赔偿费用，还对周边生态环境造成难以估量的破坏。

2 评估技术发展

地球物理勘探技术在矿山地质结构稳定性评估领域占据着举足轻重的地位。地震勘探技术利用人工激发的地震波在地下传播的特性，当地震波遇到不同弹性性质的地质界面时，会发生反射、折射等现象。通过在地面布置大量检波器，接收这些反射和折射波，并对其进行精细分析，能够清晰地勾勒出地下地质构造的轮廓，准确探测出断层的走向、倾角以及溶洞的具体位置和规模大小。电磁法勘探则是基于不同地质体具有不同的电磁特性这一原理，通过发射和接收电磁场信号，分析电磁场的变化规律，从而识别出诸如金属矿脉、含水构造等特殊地质体。

数值模拟技术为矿山地质结构稳定性评估提供了一种直观且强大的分析手段。借助有限元、离散元等先进数值方法，能够对矿山开采这一复杂过程进行逼真的三维建模。在模型中，将岩体视为由无数个微小单元组成，通过赋予每个单元相应的力学参数，模拟岩体在不同开采工况下的应力、应变和位移变化情况。以深部矿山开采为例，随着开采深度的增加，地应力不断增大，围岩的力学行为变得愈发复杂[3]。利用数值模拟技术，可以深入研究采动影响下围岩的变形规律，观察在不同开采顺序、开采速度以及支护条件下，围岩内部应力如何重新分布，位移如何逐渐发展。

监测预警技术的出现，为矿山地质结构稳定性评估带来了革命性的变化，实现了从静态评估到实时动态监控的跨越。随着传感器技术的飞速发展，如今可以将高精度的应力传感器、位移传感器以及地下水水位传感器等设备，精准布设在矿山的关键部位，如巷道交叉口、采场周边等。这些传感器如同一个个敏锐的“眼睛”，能够实时采集地质结构的各项关键参数，并通过无线传输或有线传输方式，将数据迅速传输至监测中心[4]。在监测中心，利用先进的数据分析算法和预警模型，对采集到的数据进行实时分析处理。一旦数据出现异常波动，超出预先设定的预警阈值，系统会立即发出警报。

3 应用实践探索

在某金属矿山开采项目中，综合运用多种评估技术展现出了强大的效能。项目伊始，地球物理勘探技术率先登场，采用先进的地震勘探和电磁法勘探设备，对整个矿区进行了全方位、地毯式的探测。经过详细的数据采集与分析，成功查明了地下断层错综复杂的分布情况，以及破碎带的具体位置和延展范围，为后续的开采设计提供了一份详实且精准的地质“地图”。基于这份珍贵的地质资料，项目团队运用数值模拟技术，对多种可能的开采方案展开模拟分析。

在金属矿山正式进入开采阶段后，为确保开采过程的安全可控，项目团队精心构建了一套实时监测系统。通过在巷道壁、采场顶板等关键部位科学布设应力传感器、位移监测点等设备，实时采集地质结构的应力和位移数据。这些数据如同矿山的“生命体征”，被源源不断地传输至监控平台。一旦监测数据出现异常，超过预先设定的预警阈值，系统便会迅速发出尖锐警报[5]。矿山工作人员在接收到警报后，能够在第一时间采取相应措施，若情况尚不严重，可及时对支护结构进行加固，增强岩体稳定性；若危险程度较高，则迅速组织人员撤离现场，避免人员伤亡。

另一煤矿开采项目同样验证了多技术应用在保障矿山安全生产方面的有效性。在开采前期，煤矿项目团队充分利用地球物理勘探技术，精准探测煤层顶底板的地质构造，同时借助数值模拟技术，对不同开采条件下煤层顶底板的稳定性进行深入评估。通过模拟分析，确定了最为适宜的开采方法和支护形式，为后续开采工作的顺利开展奠定了坚实基础。在开采过程中，煤矿项目团队引入微震监测技术，实时监测岩体内部的破裂情况[6]。微震监测设备能够敏锐捕捉到岩体在开采扰动下产生的微小地震信号，通过对这些信号的分析，可判断岩体内部的损伤程度和破裂发展趋势。

4 体系优化方向

整合多源数据已成为优化矿山开采地质结构稳定性评估体系的核心要点。在矿山开采这一复杂的生产过程中，海量数据不断涌现。地质勘查数据详尽记录了矿区的地层分布、岩石特性等基础地质信息，是探究矿山地质背景的关键；开采监测数据则实时呈现开采中地质结构的应力、位移等动态变化，宛如矿山的“实时健康指标”；环境数据囊括了矿区周边气象、水文等要素，像降雨可能引发山体滑坡，地下水水位变动可能影响岩体强度。将这些不同领域、不同时期的数据深度融合分析，能够从多个维度全面且精准地反映地质结构的真实状态。通过构建统一的数据管理平台，运用先进的数据挖掘算法，从海量数据中筛选、提取出有效信息，再借助机器学习算法对这些信息进行学习和训练，为稳定性评估模型提供更加丰富、准确的输入依据，从而大幅提升评估结果的可靠性。

加强技术融合与互补是提升矿山地质结构稳定性评估效果的重要途径。地球物理勘探技术擅长快速获取大面积的地下地质构造信息，但对于一些复杂地质体内部的精细结构和力学特性，难以做到精准刻画；数值模拟技术能够对矿山开采过程进行细致入微的模拟分析，预测地质结构的稳定性变化趋势，但模拟结果的准确性高度依赖于输入参数的可靠性，而实际地质条件的不确定性往往导致参数获取困难；监测预警技术虽然能够实时捕捉地质结构的动态变化，但在灾害发生前的预测能力相对有限[7]。将这三种技术有机结合，能够实现优势互补。

引入人工智能、大数据等前沿新技术，已成为矿山开采地质结构稳定性评估未来发展的必然趋势。人工智能算法具备强大的数据处理和模式识别能力，能够在短时间内对复杂的地质数据进行高效分析，自动识别地质结构中的各种特征和潜在规律，例如快速识别断层、褶皱等地质构造的形态和分布规律。大数据技术则能够整合海量的历史数据，这些历史数据包含了不同地质条件下矿山开采的成功经验和失败教训，为稳定性评估提供丰富的参考案例[8]。通过构建智能化评估模型，将人工智能算法与大数据分析深度融合，实现评估过程的自动化和智能化。

5 结语

矿山开采地质结构稳定性评估对行业发展意义重大。目前虽已取得一定技术成果，但在面对复杂多变的地质条件和开采需求时，仍有提升空间。未来，随着多源数据整合、技术深度融合以及人工智能等新技术的广泛应用，评估体系将朝着智能化、精准化方向发展。通过不断优化评估方法和技术，有望为矿山安全生产和可持续发展提供更坚实的保障，推动矿山行业向更高水平迈进。

参考文献

[1] 陈庆发,甘泉,张继,等.协同开采过程灾害防治新思路及应用实践[J/OL].矿产保护与利用,1-12[2025-04-24].

[2] 靳博,刘祖昱.金属矿山开采过程中存在的问题及解决措施探讨[J].西部探矿工程,2025,37(03):204-206.

[3] 苑雪燕.基于绿色矿山采矿技术的金属矿山开采[J].有色金属设计,2025,52(01):31-34.

[4] 郝瑞峰.煤矿高效开采技术与应用研究[J].当代化工研究,2025,(05):136-138.

[5] 蔡胡阳.金属矿山井巷围岩稳定性分析与支护优化技术[J].世界有色金属,2025,(04):110-112.

[6] 孟凡廷,赵允昌.金属矿山采矿工程中岩石力学的应用探析[J].新疆钢铁,2025,(01):123-125.

[7] 童炜,章金正芝.水工环地质工程在矿山开采中的综合应用与影响评估[J].中国金属通报,2025,(01):40-42.

[8] 周立,廖超龙.金属矿山采矿技术在降低成本方面的应用[J].中国金属通报,2025,(01):31-33.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/