

Research on control technology of rock strata in deep mining in mine engineering

WeiQi Liang

Hebei Liangyuan Environmental Protection Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

Deep mining rock control technology plays a crucial role in mining engineering, especially in the modern mining process, with the increase of mining depth, rock stability problems become increasingly prominent. This technology mainly ensures the safety and efficiency in the mining process through the research of rock deformation, instability and its control methods. The development of rock formation control technology has experienced many stages, from the early simple reinforcement method to the numerical simulation analysis and intelligent control method, and has made remarkable progress. However, the complex geological conditions of deep mining and the changing rock formation characteristics still pose many challenges to rock formation control. This paper will discuss the basic theory, technical progress and application of rock formation control in deep mining, focus on analyzing the research results of rock formation stability control methods, put forward the development direction of future technology, and look forward to its application in mine engineering. Finally, this paper aims to provide theoretical support and practical guidance for the rock layer control technology in mining.

Keywords

deep mining; Rock layer control; Stability; Technological progress; Numerical simulation

矿山工程中深部开采岩层控制技术研究

梁伟琪

河北靓源环保工程有限公司, 中国·河北 石家庄 050000

摘要

深部开采岩层控制在矿山工程中扮演着至关重要的角色,尤其是在现代矿山开采过程中,随着开采深度的增加,岩层的稳定性问题日益突出。该技术主要通过对岩层变形、失稳及其控制方法的研究,确保矿山开采过程中的安全与高效。岩层控制技术的发展经历了多个阶段,从早期的简单加固手段到如今的数值模拟分析与智能化控制方法,取得了显著进展。然而,深部开采的复杂地质条件和不断变化的岩层特性仍然给岩层控制带来了许多挑战。本文将探讨深部开采岩层控制的基本理论、技术进展及其应用情况,重点分析岩层稳定性控制方法的研究成果,提出未来技术的发展方向,并展望其在矿山工程中的应用前景。最终,本文旨在为矿山开采中的岩层控制技术提供理论支持和实践指导。

关键词

深部开采; 岩层控制; 稳定性; 技术进展; 数值模拟

1 引言

随着全球矿产资源的逐步开采殆尽,矿山开采深度日益增加,深部开采成为现代矿业发展的重要方向。深部开采对岩层的稳定性提出了更高的要求,尤其是在复杂地质条件下,岩层变形、失稳等问题成为制约开采安全和效率的瓶颈。因此,岩层控制技术的研究与应用在深部开采中具有至关重要的作用。岩层控制技术不仅能够有效解决开采过程中遇到的安全隐患,还能提高矿山开采的效率与资源利用率。近年来,随着科技的不断进步,岩层控制技术不断创新,尤其是

基于数值模拟与智能化手段的研究,为矿山工程提供了新的解决方案。然而,在技术推广与实际应用中,如何应对深部开采的复杂性与不确定性,仍是当前岩层控制领域亟待解决的问题。为此,本文将系统梳理深部开采岩层控制的相关理论与技术,探讨其在不同矿山中的实际应用,并对未来发展趋势进行展望。

2 深部开采岩层控制的基本理论与发展现状

深部开采指的是矿山开采深度超过一定范围的作业,通常是指开采深度达到几百米或更深的矿体。随着矿体开采深度的增加,岩层的稳定性和地质条件的复杂性对开采作业提出了更高的要求。深部开采不仅需要克服巨大的地压和水压,还要处理由地层变化、岩石强度差异以及地下水流动引发的各种技术难题。技术要求方面,深部开采必须保障作业

【作者简介】梁伟琪(1988-),男,中国河北石家庄人,本科,工程师,从事煤炭(矿山)工程、采矿工程研究。

过程中的安全性,确保矿体的稳定性。与此同时,提高开采效率、减少资源浪费、实现环境保护等也是深部开采技术所需达到的重要目标。此外,随着新材料的应用与智能化技术的发展,岩层控制技术不断优化,如自适应支护、动态监测与智能预警等技术逐步成熟。目前,岩层控制技术已不仅限于物理支护,还涉及地质探测、动态控制和预防性技术的综合应用。这些技术的进步在一定程度上提高了深部开采的安全性与效率。

3 深部开采岩层控制技术的研究进展

3.1 岩层变形控制技术

岩层变形控制技术旨在通过有效手段减缓或阻止岩层的变形,确保深部开采作业的稳定性。在深部开采过程中,岩层受到外力作用后可能发生不同程度的变形,导致矿山结构失稳。近年来,岩层变形控制技术逐渐从传统的支护方式向智能化、动态化方向发展。利用数值模拟技术和地质雷达技术,可以实时监测岩层的变形情况,并根据监测数据及时调整支护结构的设计和施工方案。此外,岩层的加固措施也在不断优化,采用钢筋混凝土支护、喷射混凝土加固等新型材料,使岩层的变形得到有效控制。随着科技的进步,智能化传感器、自动化控制系统的应用也逐渐提升了岩层变形控制的精度与效率。

3.2 地质条件下岩层控制的技术应用

地质条件的复杂性是深部开采中岩层控制的主要难题之一。不同的地质条件下,岩层的稳定性差异较大,传统的控制方法往往无法完全适应复杂环境。随着技术的不断发展,地质条件下岩层控制技术得到了显著改进。通过精确的地质勘探与分析,结合岩层的物理力学特性,能够实现更为精准的控制。钻探技术与地质雷达的结合使得对地下岩层的实时监测与分析成为可能,确保开采过程中及时发现潜在的岩层失稳风险。在实际应用中,基于不同地质条件选择合适的支护材料和加固措施,可以显著提高岩层的稳定性。在复杂的地质环境下,综合利用机械化支护、液压支撑等技术,也有效提升了岩层控制的可靠性。

4 深部开采过程中岩层失稳分析与控制方法

4.1 深部开采岩层失稳的形成机制

深部开采岩层失稳的形成机制是多种因素交织的结果。在深部开采过程中,岩层受到来自地表及地下的巨大压力,特别是垂直压力随着开采深度增加显著增大。研究数据显示,每增加100米的开采深度,垂直地应力大约增加2~3 MPa,这种应力的变化是岩层失稳的主要诱因。开采过程中,岩层会受到开采面前方和后方的应力集中,导致岩层在局部区域的破裂或滑移。在一些矿山中,岩体的局部破坏通常发生在应力达到25 MPa以上时,尤其在深度达到500米以上时,岩体的裂隙和断层线明显增多,导致岩体的整体稳定性下降。地质条件的复杂性是岩层失稳的另一个重要因素。

岩层内部的裂隙、破碎带及含水层的存在使岩层的抗压强度降低,增加了岩体的脆弱性。研究发现,当岩层的含水率超过15%时,岩体的抗压强度会下降约30%,进一步促进了岩层的破坏。地下水的渗透作用使得岩体内部的孔隙压力增大,增强了岩体的脆弱性,因此,水文条件也是影响岩层失稳的关键因素。

4.2 岩层稳定性分析方法

岩层稳定性分析方法通过理论、实验和数值模拟相结合,旨在预判岩层的变形与失稳行为。传统的理论分析方法通过力学模型计算岩体的应力和变形,依赖于对岩层物理力学性质的掌握。在一些矿山开采中,采用静力平衡法和极限分析法来评估岩层的稳定性。这些方法通过计算岩层在开采过程中所受的应力分布,预测岩体的破坏区域。然而,这些传统方法难以充分考虑复杂的地质条件和非线性的变形行为。近年来,岩层稳定性分析更多依赖于数值模拟技术。研究表明,数值模拟可以精确模拟岩层在不同应力、地下水、温度等因素作用下的变形行为,尤其是有限元法(FEM)和离散元法(DEM)在这一过程中得到了广泛应用。通过建立三维岩层模型,数值模拟能够捕捉到开采过程中应力集中的局部区域,预测岩层在不同开采阶段的稳定性。以某矿山为例,数值模拟显示在开采深度达到800米时,岩体的最大应力集中达到30 MPa,导致岩层出现破裂风险,这一数据为矿山的支护设计提供了重要依据。

4.3 基于数值模拟的岩层稳定性研究与应用

基于数值模拟的岩层稳定性研究为深部开采提供了精确的分析工具。数值模拟通过有限元分析法和离散元法,能够模拟复杂地质条件下岩层的应力分布、变形情况以及破裂过程。研究表明,数值模拟不仅能揭示岩层在开采过程中应力的变化,还能预测岩层变形的临界点。例如,在某矿区,采用三维有限元模型进行模拟,发现当开采深度达到700米时,岩层的应力集中特征区域的应力值可达到27 MPa,超过了岩层的抗压强度,显示出岩层在该深度下的失稳风险。数值模拟技术还被广泛应用于岩层支护设计中,通过对岩层的模拟分析,可以优化支护结构的布置,确保矿山开采的安全性。此外,数值模拟技术的应用还体现在岩层稳定性实时监控中。通过结合现场监测数据和数值模拟结果,工程师可以动态调整开采策略与支护设计,降低失稳发生的风险。例如,某深部矿山在开采过程中通过数值模拟与监测数据的结合,在岩层应力达到15 MPa时,及时采取了加固措施,有效防止了严重的塌方事故发生。数值模拟技术已成为现代矿山开采岩层控制中的核心技术之一,能够为实际开采提供科学的决策支持。

5 岩层控制在深部开采中的应用

5.1 深部开采中的岩层稳定性控制方法

深部开采中的岩层稳定性控制方法主要通过优化开采

工艺和支护设计,确保岩层在开采过程中维持稳定。近年来,随着深部开采深度的增加,岩层所受的应力越来越大,传统的支护方式已难以满足要求,因此,岩层稳定性控制方法也在不断创新。研究表明,采用超前地质勘探技术能够提前了解岩层的结构和应力分布,从而为支护设计提供依据。此外,采用自适应支护技术,能够根据岩层的变形情况及时调整支护结构,以达到动态控制的效果。在实际应用中,越来越多的矿山采用了喷射混凝土加固与高压注浆技术,这些方法可以有效增加岩层的抗压强度,减少裂缝的扩展。通过结合岩层的物理力学性质和开采过程中的实际应力变化,实施综合性的岩层稳定性控制措施,能够显著提高矿山开采的安全性。在某深部矿山中,岩层稳定性控制方法通过改进支护设计,成功延长了矿山的安全开采周期,避免了因岩层失稳导致的停产和人员伤亡。

5.2 岩层监测技术在深部开采中的应用

岩层监测技术在深部开采中的应用,能够实时跟踪岩层的应力、变形和稳定性,为开采过程中的决策提供数据支持。随着深部开采技术的发展,岩层监测技术逐渐成为矿山安全管理的重要组成部分。现代岩层监测技术包括地质雷达监测、应变计监测、位移传感器和地下水监测等。通过这些技术,矿山能够实时掌握岩层的变化情况。例如,地质雷达技术可以用来探测岩层内部的裂缝和空洞,避免因隐藏的地质缺陷导致的岩层失稳。研究数据显示,在某矿区的应用中,地质雷达能够提前发现裂缝,并在裂缝扩展到一定程度之前,及时调整开采方案,避免了岩层塌陷事故的发生。应变计和位移传感器则能够精确监测岩层的变形情况,帮助工程师评估岩层的安全性。此外,地下水压力的变化对岩层稳定性有重要影响,通过安装地下水监测系统,可以实时跟踪地下水的流动与压力变化,为岩层稳定性控制提供重要依据。

5.3 岩层加固与支护技术的应用

岩层加固与支护技术在深部开采中的应用是保障矿山作业安全的核心措施之一。随着开采深度的增加,岩层的破裂和坍塌风险显著上升,传统的支护方式常常无法应对深部开采的复杂条件。因此,岩层加固与支护技术不断发展,并已广泛应用于深部矿山开采。喷射混凝土支护技术已成为最常用的加固手段之一,研究表明,喷射混凝土能够有效增

强岩层的抗压能力,并防止岩体的进一步破裂。除此之外,高压注浆技术也是一种重要的加固方法,通过注入化学浆液填充岩层的裂缝和孔隙,提高岩层的密实度和抗拉强度。数据表明,在某矿山项目中,注浆技术成功地增强了岩层的稳定性,减少了由水压引起的岩层失稳问题。自适应支护系统的应用也得到了广泛关注,这种支护系统能够根据实时监测的数据调整支护力,确保矿井在整个开采过程中处于稳定状态。在深部开采中,岩层加固与支护技术的应用大大提高了矿山的安全性,并有效延长了矿山的开采寿命。

6 结语

深部开采岩层控制技术在矿山工程中的应用至关重要,随着开采深度的增加,岩层稳定性问题日益突出。现代岩层控制技术不断发展,创新性支护设计、智能化监测系统以及新型加固技术为矿山安全提供了有力保障。通过精确的岩层稳定性分析和实时监测,矿山能够及时发现潜在风险并采取相应措施,极大地提高了开采过程的安全性和效率。同时,岩层加固与支护技术的不断优化,使得深部开采得以顺利进行,减少了因岩层失稳带来的经济损失和人员伤亡。未来,随着技术的不断进步,岩层控制技术将更加精准与高效,能够应对更加复杂的地质条件,推动深部开采向更深、更复杂的矿区拓展。岩层控制技术的不断创新将为矿山工程的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 翟建波,张少杰,洪伟.某矿山不同开采方案下的地表变形时空演化研究[J].绿色矿冶,2025,41(01):65-70.
- [2] 冯俊,党帅珂,任高峰,葛永翔,张露伟,张聪瑞,李吉民,曹泽伟.非煤矿山地下开采碳排放核算系统研究[J].矿业研究与开发,2025,45(02):226-234.
- [3] 李林,王智能,杨磊,李树建,郑魁,史磊,徐亚飞.浅部地下矿山开采引发地表露天矿山变形规律研究[J].采矿技术,2024,24(05):63-68.
- [4] 彭捷,李成,孙菲,杜江丽,李姝玮,张坤,孙魁,李辉,艾庆祥.陕西省矿山地质环境问题特征及修复模式研究[J].中国煤炭,2024,50(09):136-143.
- [5] 张海鹏.地下金属矿山深部开采的主要问题及应对措施[J].世界有色金属,2024,(13):49-51.