

基于非连续变形分析（DDA）的深部磷矿开采围岩流变特性与结构稳定性研究

Research on the Rheological Characteristics and Structural Stability of Surrounding Rock in Deep Phosphate Mine Exploitation Based on Discontinuous Deformation Analysis (DDA)

姚毅^{1,2} 王浩^{1,2} 石亮^{1,2} 左海军^{1,2} 何良^{1,2} 陈元喜^{1,2} 贺天全³ 朱红金^{4,5} 宋润权^{4,5}
Yao Yi^{1,2}, Wang Hao^{1,2}, Shi Liang^{1,2}, Zuo Haijun^{1,2}, He Liang^{1,2}, Chen Yuanxi^{1,2}, He Tianquan³, Zhu Hongjin^{4,5},
Song Runquan^{4,5}

(1.四川蜀道矿业集团德阳昊华清平磷矿有限公司, 四川德阳, 618299

2.四川蜀道矿业集团德阳昊华清平磷矿有限公司技术中心, 四川德阳, 618202

3.四川省化工地质勘察院, 四川成都, 611930

4.四川煤矿安全监察局安全技术中心, 四川成都, 610046

5.四川铸创安全科技有限公司, 四川成都, 610046)

(1.Sichuan Shudao Mining Group Deyang Haohua Qingping Phosphate Mine Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618299

2.Sichuan Shudao Mining Group Deyang Haohua Qingping Phosphate Mine Co., Ltd. Technology Center, Deyang, Sichuan, 618202

3.Sichuan Provincial Institute of Chemical Geological Exploration, Chengdu, Sichuan, 611930

4.Sichuan Coal Mine Safety Supervision Bureau Safety Technology Center, Chengdu, Sichuan, 610046

5.Sichuan Zhuchuang Safety Technology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610046)

摘要: 深部磷矿开采是响应资源枯竭挑战的关键策略, 深部开采面临着围岩高应力、高地温、复杂地质条件等挑战, 但其过程中围岩的流变特性和结构稳定性问题成为制约开采安全与效率的主要因素。非连续变形分析 (DDA) 作为一种模拟岩石块体系统行为的数值方法, 为深部开采围岩的力学分析提供了新的视角, 能够模拟岩石块体系统的非连续变形和破坏过程, 为深部磷矿开采提供了一种新的分析工具。本研究旨在探讨 DDA 方法在清平磷矿深部开采磷矿围岩流变和结构失稳分析中的应用, 以期为清平磷矿深部安全开采提供理论支持和技术指导。

本课题首先回顾了 DDA 方法的基本原理和发展历程, 分析了其在岩石力学领域的应用现状。DDA 方法通过将岩土体划分为多个块体, 并在块体间设置接触面, 模拟块体间的相互作用和运动, 从而实现对整个岩石块体系统的力学行为的模拟。该方法特别适用于处理岩石块体系统的大变形、大位移以及复杂的接触问题。接着, 本研究针对清平磷矿深部开采的特点, 建立了适合于清平磷矿围岩的 DDA 模型。模型考虑了围岩的非均质性、各向异性以及存在的裂隙、节理等不连续面。通过参数敏感性分析, 确定了影响模型预测精度的关键参数, 如块体的力学性质、接触面的摩擦系数和粘结强度等。在模型建立的基础上, 本文采用 DDA 方法对深部磷矿开采过程中围岩的流变行为进行了模拟。研究了不同开采条件下围岩应力-应变关系的演化过程, 分析了围岩的流变特性及其对开采稳定性的影响。此外, 还探讨了开采过程中围岩结构的失稳模式, 如岩爆、片帮、冒顶等现象的发生机制。为了验证 DDA 模型的适用性和预测精度, 本研究选取了具有代表性的深部磷矿开采案例进行模拟, 并与现场监测数据进行了对比分析。结果表明, DDA 模型能够较好地模拟围岩的流变响应和结构失稳过程, 为开采方案的优化提供了科学依据。最后, 本文对 DDA 方法在深部磷矿开采中的应用前景进行了展望。提出了 DDA 方法在三维建模、多物理场耦合、长期稳定性评估等方面的研究方向, 并讨论了提高 DDA 计算效率和结果可靠性的技术途径。

关键词：非连续变形分析（DDA）；深部开采；围岩流变；结构稳定性；参数敏感性分析；多物理场耦合；长期稳定性评估

基金项目：全国危机矿山接替资源找矿项目管理办公室“四川省绵竹市清平磷矿接替资源勘查”（项目编号：200751070）、德阳昊华清平磷矿有限公司深部延伸接替工程项目“德阳昊华清平磷矿有限公司 100 万吨/年磷矿延伸接替工程”联合资助。