

# Application of rock mechanical properties in the prediction of open-pit mine blasting effect

Yilin Tian

Hebei Iron and Steel Group Luanxian Sijiyang Iron Mine Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063701, China

## Abstract

Open-pit mine blasting is a crucial link in the mining process of mineral resources, and the blasting effect directly affects the mining efficiency and cost of ore. Rock mechanical properties play an important role in the prediction of blasting effect, which determine the influence of blasting on rock breaking, loosening and subsequent operation. This paper studies the mechanical properties of rock. Firstly, with the analysis of the influence of rock mechanical properties on the blasting effect, and combined with the specific mechanical test data, the quantitative relationship between the rock mechanical parameters and the blasting effect is proposed. Then, the numerical simulation technique is used to predict the blasting effect under different rock mechanical characteristics and propose corresponding optimization suggestions. The study shows that the rational use of the rock mechanical characteristics to predict the blasting effect can effectively improve the efficiency of the blasting operation, reduce the mine production cost, and have a strong engineering application value.

## Keywords

rock mechanics; open-pit mine; blasting effect; prediction; numerical simulation; mine engineering

## 岩石力学特性在露天矿爆破效果预测中的应用

田益琳

河北钢铁集团滦县司家营铁矿有限公司, 中国·河北唐山 063701

## 摘要

露天矿爆破是矿产资源开采过程中至关重要的环节, 爆破效果直接影响到矿石的开采效率和成本。岩石力学特性在爆破效果预测中扮演着重要角色, 决定了爆破对岩体的破碎、松动以及后续作业的影响。本文通过对岩石力学特性的研究, 探讨了其在露天矿爆破效果预测中的应用。首先, 分析了岩石的力学性质对爆破效果的影响, 并结合具体的力学试验数据, 提出了岩石力学参数与爆破效果之间的定量关系。接着, 利用数值模拟技术对不同岩石力学特性下的爆破效果进行预测, 提出了相应的优化建议。研究表明, 合理利用岩石力学特性进行爆破效果预测, 能够有效提高爆破作业的效率, 减少矿山生产成本, 且具有较强的工程应用价值。

## 关键词

岩石力学; 露天矿; 爆破效果; 预测; 数值模拟; 矿山工程

## 1 引言

随着矿业开采规模的不断扩大, 露天矿爆破技术已经成为矿山开采的核心工艺之一。露天矿爆破的目的是将岩石破碎成适合后续处理的尺寸, 因此爆破效果直接决定了矿山的生产效率和开采成本。在实际工程中, 爆破效果不仅受到爆破参数(如药量、炸药类型、爆破孔径等)的影响, 还与岩体的力学性质密切相关。岩石的强度、弹性模量、硬度以及断裂特性等力学性质对爆破产生的裂缝和碎块形态起着决定性作用。因此, 如何通过准确预测岩石力学特性对爆破效果的影响, 成为提升露天矿开采效率、降低成本的关键问题。

然而, 岩石力学特性与爆破效果之间的关系复杂, 且受多种因素的交互作用影响, 传统的爆破效果预测方法往往只能提供有限的参考。因此, 基于岩石力学特性开展爆破效果的预测研究, 不仅能够实现更为精确的作业规划, 还能够为爆破优化提供科学依据。本文旨在探讨岩石力学特性在露天矿爆破效果预测中的应用, 通过实验与数值模拟相结合的方法, 揭示岩石力学参数与爆破效果之间的内在联系, 并提出相应的优化策略。

## 2 岩石力学特性与爆破效果的关系

### 2.1 岩石力学特性的主要参数

岩石的力学性质直接影响其在爆破过程中所展现出的行为, 关键参数包括岩石的抗压强度、抗拉强度、剪切强度、弹性模量、泊松比以及脆性等。具体来说:

【作者简介】田益琳(1985-), 男, 中国河北廊坊人, 本科, 高级工程师, 从事采矿、爆破、岩石力学研究。

**抗压强度：**岩石在压缩载荷下的最大承受能力，直接决定了岩石的破碎程度。较高的抗压强度往往意味着岩石的抗爆性较强，爆破效果较差。

**抗拉强度与剪切强度：**这两种力学特性决定了岩石在受拉或剪切作用下的破坏模式。较低的抗拉强度和剪切强度意味着岩石较易发生裂解，爆破效果较好。

**弹性模量：**反映岩石的变形特性。弹性模量较低的岩石通常比较松散，爆破效果较为显著。

**泊松比：**岩石的泊松比与其弹性模量密切相关，影响岩石受压后横向收缩的程度。

**脆性：**脆性岩石较容易断裂和碎裂，因此在爆破过程中较容易产生裂缝，爆破效果较为显著。

## 2.2 岩石力学特性对爆破效果的影响

爆破过程中，爆炸能量通过药包传递给岩石，岩石的力学特性决定了爆破能量的有效传播和破碎效果。抗压强度较高的岩石一般需要更多的能量才能发生破裂，导致爆破效果不理想。而脆性较强的岩石则在受爆破冲击后更容易发生裂解和碎裂，能够提高爆破效果 [1]。

岩石的变形特性和裂解特性也决定了裂缝的传播方向和裂缝数量，进一步影响碎块的形态和尺寸。在实际操作中，了解岩石力学特性并预测其在爆破中的表现，对于优化爆破方案和提高开采效率至关重要。

## 2.3 岩石力学特性与爆破效果的定量关系

在岩石力学特性与爆破效果之间，存在一定的定量关系。通过实验研究和数值模拟，能够建立起力学参数与爆破效果之间的数学模型。例如，采用回归分析或多元统计分析方法，能够根据岩石的力学特性参数（如抗压强度、抗拉强度、弹性模量等）预测其在爆破过程中可能的破碎效果。此外，数值模拟技术也为分析岩石力学特性与爆破效果的关系提供了有效手段，通过模拟爆破过程中的能量传播和裂缝扩展，能够更精确地预测爆破效果。

# 3 岩石力学特性在爆破效果预测中的应用

## 3.1 基于实验数据的爆破效果预测

在露天矿开采过程中，岩石力学特性的实验测试是爆破效果预测的基础。这些实验能够提供岩石的基础力学参数，例如抗压强度、弹性模量、抗剪强度等，这些参数是评估岩石破裂行为的关键因素。通过实验数据，结合不同岩石的物理化学性质，可以为后续的爆破设计提供重要依据。通过回归分析法、人工神经网络等方法，可以将这些实验数据与爆破效果之间的关系进行建模，从而实现不同岩石条件下的爆破效果预测。具体来说，实验数据与爆破后的碎裂模式、爆破爆震波传播等因素建立数学模型，利用这些数据计算预期爆破效果，避免盲目实验和浪费，提高开采作业的效率 and 安全性。通过积累丰富的实验数据，能够逐步完善和优化预测模型，增强预测结果的可靠性与实用性。

## 3.2 数值模拟在爆破效果预测中的应用

数值模拟技术是近年来广泛应用于爆破效果预测的重要工具之一。通过构建岩石的力学模型，结合爆破参数和爆破过程的动力学特性，数值模拟能够精确预测不同岩石在爆破过程中的行为。常用的模拟方法包括有限元分析（FEA）、离散元法（DEM）等，这些技术可以模拟岩石在爆破作用下的裂缝扩展、破碎过程、碎块分布及力学响应。通过这些模拟，研究人员可以在计算机中生成爆破过程的可视化图像，进而预测爆破后的效果。这些方法的应用不仅能够优化传统爆破方式，提升爆破效果，还能为新型爆破技术的研究提供重要的理论支持。例如，基于岩石力学特性，数值模拟能够预测不同爆破药量、孔径布置、炸药类型等条件下岩石破裂后的形态及碎块的分布，最终帮助工程师设计出更合理的爆破方案，避免浪费资源，提升采矿效率和安全性 [2]。

## 3.3 优化爆破方案的应用

基于岩石力学特性的爆破效果预测为优化爆破方案提供了理论依据和技术支持。通过合理选择爆破药量、炸药类型、孔径布置、爆破时间等参数，能够在保证爆破效果的同时，降低开采成本，提升矿山作业效率。优化后的爆破方案不仅能够确保岩石的高效破碎，还能够减少不必要的爆破损失和环境影响，例如减少飞石和振动等二次破坏现象。此外，随着大数据技术和机器学习的迅猛发展，基于大量历史数据和实验数据的智能优化已经成为爆破领域的重要趋势。通过对历史爆破数据的分析与学习，机器学习模型能够自动识别出最优的爆破参数组合，并提供实时的调整建议。

# 4 岩石力学特性研究的挑战与发展方向

## 4.1 岩石力学特性研究的挑战

尽管岩石力学特性在爆破效果预测中发挥着关键作用，但在实际应用过程中，研究者面临着一系列挑战，影响着预测的准确性和可操作性。首先，岩石样本的获取和测试受到地域、时间和设备等因素的限制，尤其是在偏远地区或特殊地质条件下，样本的收集往往非常困难。这导致了实验数据的代表性和精确性可能受到影响，尤其在岩石力学特性变化较大的情况下，测试数据的可靠性可能不高。例如，在地下深部开采或极端环境下进行力学测试时，所采集的样本可能无法充分反映大范围岩体的真实特性，从而影响预测模型的准确性。

其次，岩石的力学特性具有较强的异质性，不同岩石种类、层理结构、风化程度等因素都会对岩石的力学参数产生显著影响。这种异质性使得岩石力学特性的测量和模型建立变得复杂。岩石的层理结构和风化程度不仅影响其抗压强度和脆性，还可能导致在不同爆破条件下岩石的响应差异较大。因此，要建立一个通用且准确的预测模型，就需要深入理解不同地质环境和岩石类型的力学行为，并在此基础上开发针对性的模型 [3]。

最后,现有的数值模拟方法虽然已经取得了一定的应用成果,但在处理大规模复杂地质条件下的爆破效果时,仍然面临计算效率和精度的挑战。复杂地质条件往往包含多种岩石类型、不同的应力场和动态破裂过程,这对数值模拟的精度和计算资源提出了较高的要求。在实际应用中,尤其是大规模矿区的爆破优化,现有的计算方法仍难以满足实时性和精度的双重需求。因此,提升数值模拟方法的计算效率和精度,尤其是针对复杂地质环境的模拟,将是今后研究的重要方向。

#### 4.2 未来研究方向

随着科技的进步,岩石力学特性在爆破效果预测中的应用将变得更加精细化和智能化。未来的研究将朝着提高预测精度、增强模型适应性和实现自动化的方向发展。随着计算技术、人工智能以及机器学习技术的快速发展,基于大数据和智能算法的预测方法将成为研究的核心。通过对大量历史爆破数据和实验数据进行深入分析,智能算法可以帮助我们更加精准地识别岩石力学特性与爆破效果之间的关系,并在此基础上提出更加精确的预测模型。

此外,未来的研究将注重构建更加复杂的岩石力学模型,尤其是在多层次、多因素影响下的岩石力学行为预测。结合先进的实验技术,如高通量岩石力学测试、现场传感技术等,可以获取更为详细的岩石数据,进一步提高模型的精确性。同时,未来的研究还将加强数值模拟方法的优化,利用更高效的计算算法,如并行计算、云计算等,来解决大规模模拟中的计算瓶颈,提升模拟效率和精度。

另一个重要的研究方向是将人工智能技术与岩石力学特性结合,通过深度学习、神经网络等技术,自动识别不同岩石类型和结构特征对爆破效果的影响。这些智能化技术能够从大量的数据中提取出有价值的模式,避免传统手工经验的局限性,使得爆破效果的预测更加准确和高效。人工智能与大数据技术的结合将为岩石力学特性在爆破效果预测中的应用开辟新的领域,并推动矿山爆破技术向更高效、更精准的方向发展[4]。

此外,未来的研究还需加强对复杂环境下岩石力学特性变化的研究,特别是在极端温度、压力以及深部矿区等特殊环境中,岩石力学行为的预测将面临更多挑战。通过更多实验和数值模拟的结合,探索和验证在这些环境下岩石的力

学特性及其与爆破效果之间的关系,将对矿山工程的安全性、经济性和可持续发展起到重要的促进作用。

## 5 结语

岩石力学特性在露天矿爆破效果预测中发挥着至关重要的作用。通过深入研究岩石的力学特性,结合实验数据与数值模拟技术,不仅可以提高爆破效果的预测精度,还能为矿山开采的工程设计提供重要的数据支持。随着矿山开采规模的不断扩大,尤其是在复杂地质条件下的开采,科学地运用岩石力学特性进行爆破效果的预测和优化,成为提高矿山生产效率、降低开采成本的关键。

尽管当前岩石力学特性与爆破效果之间的研究仍面临一定的挑战,如数据的采集和处理困难、复杂地质环境下模型的适用性等问题,但随着现代技术的不断进步,特别是大数据分析、人工智能与高性能计算的发展,岩石力学特性在爆破效果预测中的应用前景愈加广阔。未来,研究将更加注重跨学科的融合,结合实时监测技术、地质探测技术等多方面的创新成果,进一步提升岩石力学特性与爆破效果预测的精准度与智能化水平,从而推动矿山开采技术的进步。

随着技术的不断革新和深度学习算法的应用,岩石力学特性与爆破效果的关系将得到更加深入和精确的研究。这为矿山工程设计和施工提供了强有力的支持,并有望成为矿山开采领域提高生产效率、保障安全作业的重要手段。

在未来的研究中,除了力学特性本身,还应加强对多因素、多层次复杂岩石环境中力学行为的研究,特别是考虑到地质变异、环境影响以及社会经济等因素的综合作用,从更广泛的视角去探讨岩石力学特性在爆破效果中的深远影响。

## 参考文献

- [1] 刘雅弟.基于长九神山露天矿山深孔台阶爆破参数优化与应用研究[D].安徽理工大学,2023.
- [2] 李继阳.大南湖二号露天矿煤层爆破方案优化研究[D].辽宁工程技术大学,2023.
- [3] 尹作明.深孔爆破空气间隔装药爆炸荷载特性研究及应用[D].北京科技大学,2023.
- [4] 张潇楠.复合岩层台阶爆破作用机理及参数优化研究[D].中国矿业大学,2021.