

# 爆破参数优化对提高矿石破碎效率的影响分析

戴建东

楚雄州蓝盾民用爆炸物品服务有限公司 云南 楚雄 675000

**摘要：**爆破参数的合理设置对于提高矿石破碎效率起着至关重要的作用。本文深入探讨了爆破参数优化与矿石破碎效率之间的关系，分析了主要爆破参数（如孔径、孔距、排距、装药量、起爆方式等）对矿石破碎效果的影响机制，并结合实际案例阐述了通过优化爆破参数提高矿石破碎效率的具体方法与显著成效，旨在为矿山企业提供科学合理的爆破参数优化策略，以实现矿山开采的高效、经济与可持续发展。

**关键词：**爆破参数优化；矿石破碎效率；矿山开采；爆破效果

## 1 引言

矿石破碎效率是衡量爆破作业质量的重要指标之一，高效的矿石破碎能够减少后续破碎、磨矿等工序的能耗与设备磨损，降低生产成本，提高矿山企业的经济效益。爆破参数的选择与优化是决定爆破效果的关键因素。不同的爆破参数组合会产生不同的爆破作用，进而影响矿石的破碎程度、块度分布以及抛掷距离等。因此，深入研究爆破参数优化对提高矿石破碎效率的影响，对于指导矿山企业制定科学合理的爆破方案，提高矿山开采的整体效益具有重要的现实意义。

## 2 爆破参数对矿石破碎效率的影响机制

### 2.1 孔径

孔径是爆破孔的直径，它对爆破效果有着多方面的影响。较大的孔径能够容纳更多的炸药，从而提供更大的爆破能量。在炸药量相同的情况下，大孔径爆破孔的炸药分布相对较为集中，爆破时产生的应力波和高温高压气体作用更为强烈，有利于矿石的破碎。然而，孔径过大也会带来一些问题。一方面，钻孔成本会随着孔径的增大而显著增加，包括钻头磨损、钻孔设备能耗等方面费用<sup>[1]</sup>。另一方面，过大的孔径可能导致爆破能量过于集中，造成局部过度破碎，产生过多的细粒级矿石，不利于后续的选矿作业。相反，孔径过小则可能无法提供足够的爆破能量，导致矿石破碎不充分，大块率增加，增加后续二次破碎的工作量。

### 2.2 孔距与排距

孔距是指同一排中相邻两个爆破孔之间的距离，排距是指相邻两排爆破孔之间的距离。孔距和排距的合理设置对于实现矿石的均匀破碎至关重要。当孔距和排距过小时，爆破孔之间的应力波相互叠加，容易造成过度破碎，同时增加了钻孔数量和炸药消耗量，提高了爆破成本。而孔距和排距过大时，爆破应力波的作用范围无

法有效覆盖整个爆破区域，导致矿石破碎不均匀，出现大块矿石和未破碎区域，影响矿石的破碎效率。在实际爆破设计中，需要根据矿石的性质、岩石的力学特性以及爆破目标等因素，通过理论计算和现场试验相结合的方法，确定合理的孔距和排距，以实现最佳的爆破效果。

### 2.3 装药量

装药量是影响爆破效果的核心参数之一。装药量的大小直接决定了爆破时释放的能量多少。适当的装药量能够产生足够的应力波和高温高压气体，使矿石在拉应力、压应力和剪应力的共同作用下发生破碎。装药量不足时，爆破能量无法达到使矿石充分破碎的要求，导致大块率增加，矿石破碎效率低下。而装药量过大时，不仅会增加炸药成本，还可能引发一系列问题。例如，过大的装药量会产生强烈的冲击波和地震波，对周边围岩和建筑物造成破坏；同时，过度的爆破能量可能导致矿石过度粉碎，产生大量细粒级矿石，增加后续选矿工艺的难度和成本。因此，准确确定装药量是实现高效爆破的关键，需要根据矿石的硬度、密度、节理裂隙发育程度等因素进行精确计算和调整。

### 2.4 起爆方式

起爆方式是指炸药在爆破孔中引爆的顺序和时间间隔。不同的起爆方式会产生不同的爆破效果，对矿石破碎效率有着显著影响。常见的起爆方式包括齐发爆破、毫秒延期爆破等。齐发爆破是指所有爆破孔同时起爆，这种方式能够产生强大的冲击力，使矿石在瞬间受到巨大的压力而破碎，适用于岩石坚硬、完整性较好的情况。然而，齐发爆破产生的地震波和冲击波较大，对周边环境的影响较为明显。毫秒延期爆破则是按照一定的时间间隔依次起爆各个爆破孔，这种方式能够使爆破应力波相互叠加和补充，延长应力波的作用时间，提高矿石的破碎效果。同时，毫秒延期爆破可以有效降低爆破

地震波的峰值，减少对周边围岩和建筑物的破坏。在实际应用中，需要根据矿山的具体条件和爆破要求，选择合适的起爆方式，并通过优化起爆顺序和时间间隔，进一步提高矿石破碎效率。

### 2.5 堵塞长度

堵塞长度是指爆破孔口未装药部分的长度，通常用堵塞材料（如砂、黏土等）进行填充。堵塞长度对爆破效果有着重要影响。适当的堵塞长度能够使炸药爆炸产生的高温高压气体在孔内充分作用，延长气体对矿石的作用时间，提高爆破能量利用率，有利于矿石的破碎。堵塞长度过短时，炸药爆炸产生的气体容易从孔口过早逸出，导致爆破能量损失，降低矿石破碎效果。而堵塞长度过长时，会增加钻孔难度和成本，同时可能使爆破应力波在堵塞段产生反射和干扰，影响爆破效果<sup>[2]</sup>。因此，需要根据爆破孔的直径、装药量以及岩石性质等因素，合理确定堵塞长度，以确保爆破效果的最佳化。

## 3 爆破参数优化方法与实践案例

### 3.1 爆破参数优化方法

**理论计算法：**运用岩石力学、爆破工程等相关理论，建立爆破参数与矿石破碎效果之间的数学模型，通过计算确定合理的爆破参数。例如，根据库仑-莫尔强度准则，岩石的破坏取决于其内部的正应力和剪应力。结合炸药的性能参数，如爆速、爆压等，可以计算出使岩石发生破坏所需的爆破能量，进而确定最佳的孔径、孔距、排距和装药量等。

**现场试验法：**在矿山现场选取具有代表性的区域进行爆破试验，通过改变不同的爆破参数组合，观察和测量爆破后矿石的破碎效果，如块度分布、大块率、飞石距离等指标，根据试验结果筛选出最优的爆破参数组合。现场试验法能够直观地反映爆破参数对矿石破碎效果的影响，但试验过程需要投入一定的人力、物力和时间成本，且试验结果可能受到现场环境等多种因素的干扰。

**数值模拟法：**利用计算机数值模拟软件，如ANSYS、LS-DYNA等，对爆破过程进行模拟分析。通过建立爆破模型，输入岩石和炸药的相关参数，模拟不同爆破参数下的爆破应力波传播、岩石破碎过程等，从而预测爆破效果，为爆破参数优化提供参考<sup>[3]</sup>。数值模拟法具有成本低、周期短、可重复性强等优点，能够模拟各种复杂的爆破条件，但模拟结果的准确性依赖于模型的建立和参数的选取，需要与理论计算和现场试验相结合，以提高优化结果的可靠性。

**综合优化法：**将理论计算法、现场试验法和数值模拟法相结合，充分发挥各种方法的优势，进行综合优

化。首先通过理论计算确定爆破参数的初步范围，然后利用数值模拟软件对不同参数组合进行模拟分析，筛选出较优的参数方案，最后通过现场试验对模拟结果进行验证和调整，最终确定最优的爆破参数组合。综合优化法能够综合考虑各种因素的影响，提高爆破参数优化的科学性和准确性。

### 3.2 实践案例

以某大型露天铁矿为例，该矿山在开采过程中面临着矿石破碎效率不高、大块率较大等问题，导致后续二次破碎工作量增加，生产成本上升。为了解决这些问题，矿山企业决定对爆破参数进行优化。

#### 3.2.1 现状分析

在优化前，对该矿山的爆破参数进行了详细调查和分析。发现当前采用的爆破孔径为150mm，孔距为5m，排距为4m，装药量为每米15kg，起爆方式为齐发爆破，堵塞长度为3m。通过现场取样和实验室测试，了解到该矿山矿石的硬度系数为12-14，节理裂隙发育程度一般。爆破后，大块矿石（粒径大于500mm）占比达到25%，细粒级矿石（粒径小于10mm）占比为20%，矿石破碎效率较低。

#### 3.2.2 优化过程：

**理论计算：**根据岩石力学参数和炸药性能，运用相关理论公式计算出理论上较为合理的爆破参数范围。考虑到矿石的硬度和节理裂隙发育情况，初步确定孔径可在160-180mm之间选择，孔距为4.5-5.5m，排距为3.5-4.5m，装药量为每米13-17kg。

**数值模拟：**利用数值模拟软件建立爆破模型，对不同参数组合进行模拟。模拟了9种不同的参数组合，分别改变孔径、孔距、排距和装药量。模拟结果显示，当孔径为170mm，孔距为5m，排距为4m，装药量为每米15kg时，爆破应力波分布较为均匀，矿石破碎效果较好，大块率模拟值为16%，细粒级矿石占比模拟值为18%。

**现场试验：**根据数值模拟结果，在矿山现场选取了三个区域进行爆破试验，分别采用不同的爆破参数组合。试验过程中，对爆破后的矿石块度分布、大块率等指标进行了详细测量和分析。结果表明，采用孔径170mm、孔距5m、排距4m、装药量每米15kg的参数组合时，矿石破碎效果最佳，大块率较优化前降低了36%（从25%降低到16%），细粒级矿石占比为19%，且飞石距离在安全范围内，平均飞石距离从优化前的80m降低到60m。

#### 3.2.3 优化效果

经过爆破参数优化后，该露天铁矿的矿石破碎效率

得到了显著提高。后续二次破碎工作量明显减少，二次破碎设备的台时处理量从优化前的100t增加到130t，破碎设备能耗降低了20%。选矿工艺的效率也有所提升，磨矿机的处理量从优化前的150t/h提高到170t/h，选矿厂的精矿品位从62%提高到63%，金属回收率从85%提高到88%。同时，由于爆破效果改善，矿石的贫化率和损失率降低，贫化率从优化前的8%降低到6%，损失率从7%降低到5%，提高了矿石的回收率和矿山企业的经济效益。此外，优化后的爆破参数还降低了爆破地震波和冲击波对周边环境的影响，周边建筑物的振动速度从优化前的0.7cm/s降低到0.4cm/s，减少了安全隐患，实现了矿山开采的高效、经济与可持续发展。

#### 4 爆破参数优化过程中需要注意的问题

##### 4.1 矿石性质的变化

矿山矿石的性质往往存在一定的变化，不同区域的矿石在硬度、密度、节理裂隙发育程度等方面可能存在差异。因此，在爆破参数优化过程中，需要充分考虑矿石性质的变化，根据不同区域的实际情况进行参数调整<sup>[4]</sup>。例如，在矿石硬度较大的区域，可以适当增加装药量或减小孔距、排距；而在节理裂隙发育的区域，则需要注意控制爆破能量，避免过度破碎。

##### 4.2 周边环境的影响

矿山周边可能存在建筑物、道路、地下管线等设施，爆破作业产生的地震波、冲击波和飞石等可能对这些设施造成破坏。因此，在进行爆破参数优化时，必须充分考虑周边环境的影响，采取相应的安全防护措施。例如，通过合理确定爆破参数，降低爆破地震波的峰值；采用毫秒延期爆破等方式，减少飞石距离；在爆破区域周围设置防护屏障等。

##### 4.3 经济成本因素

爆破参数优化不仅要考虑提高矿石破碎效率，还需要综合考虑经济成本因素。优化爆破参数可能会增加钻孔成本、炸药成本等，但同时也能够降低后续破碎、磨矿等工序的成本。因此，在进行参数优化时，需要进行全面的经济分析，权衡各项成本与效益，选择在经济上最

为合理的爆破参数组合。

#### 4.4 人员素质与安全管理

爆破作业是一项高风险的工作，对操作人员的素质和安全管理要求较高。在进行爆破参数优化过程中，需要加强对爆破作业人员的培训，提高其专业技能和安全意识。同时，建立健全的安全管理制度，严格执行爆破作业规程，确保爆破作业的安全进行。

#### 结语

爆破参数优化对于提高矿石破碎效率具有至关重要的作用。通过对孔径、孔距、排距、装药量、起爆方式等主要爆破参数的合理设置与优化，能够有效改善矿石的破碎效果，降低大块率，减少后续破碎、磨矿等工序的能耗与成本，提高矿山企业的经济效益。在实际应用中，需要综合运用理论计算、现场试验、数值模拟等多种方法进行爆破参数优化，并充分考虑矿石性质的变化、周边环境的影响、经济成本因素以及人员素质与安全管理等问题。通过不断优化爆破参数，实现矿山开采的高效、经济与可持续发展，为矿产资源的合理开发和利用提供有力保障。在未来的矿山开采中，随着科技的不断进步，新的爆破技术和设备将不断涌现。矿山企业应积极关注行业动态，引进和应用先进的爆破技术和理念，进一步优化爆破参数，提高矿石破碎效率，推动矿山开采行业向智能化、绿色化方向发展。同时，加强与科研院校的合作，开展爆破参数优化方面的深入研究，为解决实际生产中的问题提供更多的技术支持和理论依据。

#### 参考文献

- [1] 李绍斌,尹俊,杨长辉,等.某露天采场破碎岩体预裂爆破参数研究[J].云南冶金,2025,54(02):40-46.
- [2] 朱学胜,贾明波,邱贤阳.基于爆破漏斗试验的米拉多露天铜矿爆破参数优化研究[J].现代矿业,2025,41(04):61-65.
- [3] 尹东升,熊国雄,贾贝,等.铜绿山矿中深孔爆破参数优化研究[J].中国矿山工程,2025,54(01):8-12+19.
- [4] 王明君.露天铜矿爆破参数优化对边坡稳定性的影响分析[J].世界有色金属,2025,(03):133-135.