

# 爆破工程中影响爆破效果的因素探究

袁文青

宁波永安建设有限公司 浙江 宁波 315700

**摘要：**爆破效果的优劣直接影响工程施工的安全性、经济性与效率，其受多维度因素综合作用。研究表明，炸药性能、岩石特性、爆破参数、环境条件及施工管理均为关键影响因素。通过合理选择炸药类型、优化爆破工艺参数、改善环境适配性及强化施工管控，可显著提升爆破效果，实现工程目标。该分析为爆破工程的科学设计与实施提供了系统性参考。

**关键词：**爆破工程；影响爆破效果；因素探究

引言：在矿山开采、隧道掘进等工程领域，爆破作业是核心技术环节，其效果直接关系工程进度与成本控制。然而，爆破过程涉及炸药-岩石相互作用、能量传递等复杂机制，效果易受多元因素干扰。从工程实践看，炸药性能的匹配度不足、岩石特性认知偏差、参数设计不合理等问题，常导致爆破效率低下或安全隐患。因此，深入剖析影响爆破效果的关键因素，探索针对性优化策略，对提升爆破作业的精准性与可靠性具有重要工程价值。

## 1 影响爆破效果的因素概述

爆破效果是指爆破作业在岩石破碎、能量利用、安全控制等方面的综合成效，其受多维度、多层次因素的交叉影响。从本质上看，爆破是炸药能量释放与岩石介质响应的动态作用过程，任何环节的参数偏差或条件变化，都会直接或间接改变最终效果。在工程实践中，炸药性能是影响爆破效果的基础因素，其爆速、爆热、猛度等参数决定了能量释放的强度与速率，若炸药与岩石特性不匹配，易导致能量浪费或破碎不充分。岩石作为爆破作用的对象，其物理力学性质（如抗压强度、弹性模量）、结构特征（裂隙分布、层理发育）及赋存状态（埋深、地应力），会显著影响应力波传播与岩石破碎模式。爆破参数与工艺的设计合理性同样关键，装药量、炮孔布置、起爆顺序等参数若缺乏科学计算，可能引发飞石超标、大块率高等问题<sup>[1]</sup>。

## 2 影响爆破效果的因素分析

### 2.1 炸药性能因素

#### 2.1.1 炸药爆炸特性

炸药的爆炸特性包括爆速、爆热、爆压及猛度等参数，直接决定了爆破能量的释放强度与作用方式。爆速反映炸药爆炸时化学反应传播的速度，高爆速炸药能产生更强的冲击波，适用于坚硬岩石的快速破碎；爆热决定炸药释放的总能量，爆热越高，岩石破碎及抛掷效果

越显著；爆压与猛度则影响岩石的粉碎程度，高爆压炸药可增强岩石内部裂隙扩展，提升破碎均匀性。这些特性参数的差异，使不同炸药在爆破效果上呈现显著区别。

#### 2.1.2 炸药与岩石的匹配性

炸药与岩石的匹配性指炸药能量释放特性与岩石力学性质的适配程度。若炸药能量释放过快，而岩石抗冲击能力强，易导致能量未充分利用便扩散，造成破碎不充分；反之，炸药能量释放过慢，岩石可能因无法承受持续应力而产生过度粉碎，增加能耗。此外，岩石的波阻抗（密度与波速的乘积）与炸药波阻抗越接近，能量传递效率越高。

## 2.2 岩石特性因素

### 2.2.1 岩石物理力学性质

岩石的物理力学性质主要涵盖密度、弹性模量、抗压强度、抗拉强度等参数。密度与弹性模量直接影响应力波在岩石中的传播速度与衰减程度，密度大、弹性模量大的岩石，应力波传播快但衰减剧烈，易导致能量利用效率降低。抗压强度与抗拉强度则决定岩石的破碎难易程度，岩石的抗拉强度仅为抗压强度的1/10-1/50，爆破时岩石多因拉应力作用产生裂隙扩展与破碎。因此，岩石力学性质差异显著影响炸药能量需求与破碎效果。

### 2.2.2 岩石结构构造

岩石的结构构造包括层理、节理、裂隙等不连续面发育情况。层理面削弱了岩石的整体性，爆破时应力波易沿层理面反射、折射，导致能量分散，改变破碎方向与形态；节理、裂隙作为岩石的薄弱区域，会加速应力波衰减并诱导裂隙扩展，降低炸药能量消耗。此外，构造面的产状、密度与连通性不同，会形成复杂的应力分布，致使岩石破碎不均匀，甚至引发大块率升高、根底残留等问题，显著影响爆破效果。

## 2.3 爆破参数与工艺因素

### 2.3.1 自由面

自由面是岩石爆破时应力波反射和岩石破碎的临空面，其数量、位置和形态直接影响爆破效果。自由面越多，应力波反射拉伸作用越强，岩石破碎越充分，抛掷效果也越好。在实际工程中，通过预裂爆破、开挖辅助巷道等方式创造新自由面，可显著降低炸药单耗，提高破碎效率。相反，自由面不足或布置不合理，会导致岩石破碎不充分，甚至出现根底残留问题。

### 2.3.2 最小抵抗线和炮孔密集系数

最小抵抗线是药包中心到自由面的最短距离，决定了岩石破碎的难易程度和抛掷方向；炮孔密集系数（孔距与最小抵抗线的比值）则影响炮孔间岩石的破碎均匀性。最小抵抗线过大，炸药能量难以克服岩石阻力，易产生大块；过小则会导致能量浪费和飞石风险增加。合理的炮孔密集系数能确保应力波相互叠加，促进岩石充分破碎，降低爆破成本。

### 2.3.3 装药结构

装药结构影响炸药能量在炮孔内的分布及对岩石的作用效果。连续装药结构能量集中，适用于坚硬岩石的破碎；间隔装药可降低孔壁初始压力峰值，减少过度粉碎，多用于软岩或控制爆破。耦合装药（炸药与炮孔壁紧密接触）能量传递效率高，但易损伤炮孔壁；不耦合装药则可保护孔壁，常用于光面爆破。选择合适的装药结构，能有效优化能量利用率和岩石破碎形态。

### 2.3.4 炮孔堵塞质量

炮孔堵塞通过约束炸药爆炸气体逸散，延长高压气体对岩石的作用时间，从而提高爆破能量利用率。堵塞长度不足或质量差，会导致爆炸气体过早逸出，降低岩石破碎效果，增加飞石风险；合理的堵塞长度和密实度，能迫使应力波充分作用于岩石，促进裂隙扩展和破碎均匀性。此外，堵塞材料的选择（如黏土、岩粉等）也会影响堵塞效果。

### 2.3.5 起爆顺序和起爆药包位置

起爆顺序决定应力波叠加方式和岩石移动方向，合理的起爆顺序（如微差起爆、逐孔起爆）可减少爆破振动，提高破碎质量。起爆药包位置影响炸药能量的传播方向，正向起爆（起爆药包位于孔口）适用于软岩，反向起爆（起爆药包位于孔底）可增强孔底岩石破碎，降低根底残留。优化起爆顺序与药包位置，能显著提升爆破效率 and 安全性。

## 2.4 环境条件因素

### 2.4.1 地下水位

地下水位直接影响爆破作业环境与炸药性能。高地下

水位区域，炮孔易积水导致粉状炸药受潮失效，降低爆炸威力；水的不可压缩性会改变应力波传播路径，使能量快速扩散，削弱岩石破碎效果。此外，含水岩石在爆破后易形成泥团，阻碍岩块抛掷，增加清碴难度。若采用防水炸药或排水措施不当，还可能引发拒爆、残爆等安全隐患。

### 2.4.2 地质条件

地质条件包括断层、软弱夹层、岩溶等特殊构造，显著干扰爆破能量传递。断层带与软弱夹层因力学性质差异大，会吸收、反射应力波，导致能量衰减，使岩石破碎不均；岩溶洞穴可能改变爆炸气体逸散方向，造成局部能量失控，引发飞石或爆破振动异常。

### 2.4.3 气象条件

气象因素通过影响炸药性能与施工安全间接作用于爆破效果。高温环境下，炸药热稳定性下降，存在自燃、早爆风险；低温则可能导致炸药冻结失效。强风、暴雨等恶劣天气会加速爆炸气体扩散，降低能量利用率，增加飞石控制难度；雷电天气可能引发感应电流，威胁起爆系统安全。

## 2.5 施工管理因素

### 2.5.1 施工操作技术水平

施工人员的技术水平直接决定爆破作业的执行精度。操作人员对炮孔定位、钻孔角度和深度的把控，影响炸药能量分布与岩石破碎效果；装药、堵塞、联网等环节若操作不当，如药量偏差、堵塞不密实或起爆网络连接错误，易导致拒爆、爆破不均等问题。此外，缺乏经验的人员在复杂地质条件下难以灵活调整参数，可能加剧大块率高、根底残留等现象。因此，施工人员的专业技能和实操经验是实现精准爆破的重要基础。

### 2.5.2 施工组织管理

科学的施工组织管理是爆破工程顺利推进的保障。合理的进度安排可避免因工期压力而简化操作流程，保障各环节质量；完善的的安全管理制度能有效控制飞石、振动等危害，减少对周边环境的影响。同时，施工组织管理还涉及设备维护、材料供应及人员协调，若管理不善，可能出现设备故障、炸药受潮等问题，干扰爆破计划执行<sup>[2]</sup>。

## 3 优化爆破效果的措施

### 3.1 合理选择炸药

炸药性能与岩石特性的适配性是优化爆破效果的基础。应根据岩石的硬度、波阻抗等物理力学参数，选择对应爆炸特性的炸药。对于硬度高、波阻抗大的岩石，优先选用爆速高、爆压大的炸药，如铵梯炸药、乳化炸药，以确保足够的能量冲击岩石；而对于软岩或需要控制破碎范围的工况，可采用爆速较低、猛度适中的炸

药,减少过度粉碎。

### 3.2 优化爆破参数与工艺

#### 3.2.1 确定合理的自由面

自由面是岩石破碎的关键要素,通过创造和优化自由面可大幅提升爆破效果。在爆破前,可采用预裂爆破、切槽爆破等技术预先形成人工自由面,改变应力波传播路径,降低岩石破碎阻力。同时,合理规划自由面的数量与位置,确保应力波能有效反射拉伸岩石。在隧道掘进时,利用导洞开挖创造多个临空面,减少岩石夹制作用,提高破碎效率与抛掷效果。

#### 3.2.2 精确计算最小抵抗线和炮孔密集系数

最小抵抗线和炮孔密集系数需结合岩石特性与爆破要求精确计算。最小抵抗线过大易产生大块和根底,过小则增加飞石风险,需根据岩石强度、炸药性能及允许的爆破振动值,通过经验公式或数值模拟确定合理值。炮孔密集系数的优化同样关键,应使炮孔间应力波相互叠加形成拉应力区,促进岩石充分破碎。例如,对于裂隙发育的岩石,可适当增大孔距、减小抵抗线,利用天然裂隙降低能量消耗;对于坚硬完整岩石,则需缩小孔网参数,增强破碎效果。

#### 3.2.3 选择合适的装药结构

装药结构需根据岩石性质和爆破目标灵活选择。对于坚硬岩石,采用连续耦合装药可提高能量传递效率,增强破碎能力;而对于软岩或需要保护周边岩体的爆破(如巷道支护),间隔不耦合装药能降低孔壁压力峰值,减少超挖与振动危害。此外,底部加强装药结构可有效破碎孔底岩石,减少根底残留;分层装药则适用于深孔爆破,能优化能量沿炮孔轴向的分布。

#### 3.2.4 保证炮孔堵塞质量

炮孔堵塞质量直接影响炸药能量利用率,需从长度、材料和密实度三方面严格控制。堵塞长度应根据最小抵抗线、孔径等参数计算确定,一般不小于最小抵抗线的0.7-0.8倍,防止爆炸气体过早逸散。堵塞材料优先选用可塑性强、密实度高的黏土或岩粉,避免使用碎石、木块等松散材料。施工时采用专用堵塞工具分层捣实,确保堵塞段无空隙、无松动。此外,可在堵塞段设置水袋或泡沫材料,延长高压气体作用时间,进一步提高破碎效果和减震性能。

#### 3.2.5 优化起爆顺序和起爆药包位置

起爆顺序和药包位置的优化可显著改善爆破效果与安全性。微差起爆技术通过控制各药包起爆时间间隔(通常15-75ms),使应力波相互叠加并减少振动干扰,适用于大规模爆破;逐孔起爆则能精确控制岩石破碎与

抛掷方向,降低大块率。起爆药包位置需根据岩石特性调整,反向起爆可增强孔底岩石破碎,常用于台阶爆破;正向起爆则适用于软岩或薄层岩石。此外,采用孔底与孔口双起爆药包,可提高起爆可靠性和能量分布均匀性,尤其适用于深孔爆破和难爆岩石。

### 3.3 改善环境条件

针对环境因素对爆破效果的制约,需采取主动干预措施降低不利影响。面对高地下水位,可通过预降水、使用防水炸药或防水套袋隔绝水分,确保炸药性能稳定;在复杂地质区域,结合地质勘察数据调整爆破参数,如在断层带附近减小单孔药量、加密炮孔,防止能量散失。气象条件方面,高温天气下采用隔热措施保护炸药,雷电天气禁止露天爆破并做好防雷接地;大风、暴雨天气则通过调整起爆时间、加强覆盖防护,控制飞石与爆堆形态,保障爆破效果与施工安全。

### 3.4 加强施工管理

#### 3.4.1 提高施工操作技术水平

通过定期开展理论与实操培训,提升施工人员专业素养,内容涵盖爆破原理、设备操作规范及常见问题处理方法。建立考核上岗机制,确保人员熟练掌握炮孔定位、装药堵塞、起爆网络连接等核心技能。推行“传帮带”模式,促进经验传承,减少因操作不当引发的爆破质量缺陷。

#### 3.4.2 完善施工组织管理

优化施工流程,制定详细的作业计划与安全预案,明确各环节责任分工。加强设备与材料动态管理,定期维护检修设备,规范炸药储存与运输流程。运用信息化手段实时监控现场,及时调整施工参数,同时强化安全巡查与隐患排查,保障爆破作业高效、有序开展<sup>[1]</sup>。

### 结束语

爆破工程中,爆破效果受炸药性能、岩石特性、爆破参数、环境条件及施工管理等多因素交织影响。炸药与岩石的适配性奠定能量利用基础,精准的参数设计是提升破碎效率的核心,环境条件的动态变化则需灵活应对,而施工管理水平直接决定方案执行精度。这些因素既相互独立又紧密关联,任何环节的疏漏都可能导致爆破效果偏离预期。

### 参考文献

- [1]刘磊.试析爆破工程中影响爆破效果的因素[J].工程建设与设计,2021,(07):256-257+260.
- [2]李春军.浅析爆破工程中影响爆破效果的因素[J].中国水运(理论版),2022,(07):88-89.
- [3]张志平.爆破工程中影响爆破效果的因素探究[J].住宅与房地产,2022(25):215.