

不同岩性条件下掘进爆破效率对比试验分析

康志强

北京科技大学 北京

【摘要】在岩石工程中，岩性差异对掘进爆破效率具有显著影响。通过在花岗岩、石灰岩和砂岩等典型岩性条件下开展对比试验，系统分析了爆破参数、块度分布、装药利用率以及掘进速度等关键指标。结果表明，硬脆岩性表现出爆破后块度大、掘进效率低的特征，而中硬岩性在能量传递与岩体破碎之间达到较佳平衡，整体效率较高。软质岩石虽易于破碎，但能耗与药量利用率偏低，影响施工经济性。研究明确了不同岩性条件下爆破效果的规律性特征，为工程中爆破参数优化和施工方案选择提供了参考依据。

【关键词】岩性条件；掘进爆破；对比试验；爆破效率

【收稿日期】2025 年 7 月 14 日

【出刊日期】2025 年 8 月 12 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250352

Experimental analysis of blasting efficiency comparison under different lithology conditions

Zhiqiang Kang

Beijing University of science and technology, Beijing

【Abstract】In rock engineering, variations in lithological conditions significantly influence tunneling blasting efficiency. Through comparative experiments conducted under typical rock types including granite, limestone, and sandstone, this study systematically analyzed key indicators such as blasting parameters, block size distribution, charge utilization rate, and tunneling speed. Results indicate that hard brittle rocks exhibit characteristics of large blasted blocks and low tunneling efficiency post-blasting, while medium-hard rock types achieve optimal balance between energy transfer and rock fragmentation, demonstrating higher overall efficiency. Although soft rocks are easier to fracture, their lower energy consumption and charge utilization rates negatively impact construction cost-effectiveness. The research clarifies the regular patterns of blasting effectiveness under different lithological conditions, providing a reference for optimizing blasting parameters and selecting construction plans in engineering practice.

【Keywords】Lithological conditions; Tunneling blasting; Comparative experiments; Blasting efficiency

引言

掘进爆破是岩土工程中广泛应用的关键环节，其效率直接关系到施工进度与工程成本。岩体在成分、结构与力学性质上的差异，使得相同爆破方式在不同岩性条件下产生的效果迥异。如何通过试验分析揭示这种差异，并形成具有普适性的规律性认识，是提升掘进爆破技术水平的核心问题。通过在多种典型岩性环境中开展对比研究，不仅能够展现爆破效率随岩性变化的趋势，还能为现场工法优化提供数据支撑。这一研究思路为深层矿山开采和地下空间开发提供了重要参考。

1 不同岩性条件下掘进爆破效率存在的问题与研究意义

在岩土工程施工中，掘进爆破作为核心作业方式，其效率往往直接受岩性条件的制约。不同岩性所表现

出的矿物组成、颗粒结构与力学性质差异，使得炸药能量在岩体内部的传递、扩散与破碎效果呈现复杂的变化规律^[1]。坚硬致密的花岗岩在爆破过程中常常表现出能量利用不足的现象，爆生裂隙不易扩展，导致块度偏大和掘进速度降低；而软弱的砂岩或泥质岩虽然易于破碎，但在爆炸冲击作用下容易出现过度粉碎，药量利用率下降，增加了单位体积的能耗。这种差异直接导致了不同岩性条件下爆破效率的巨大差别，使得施工过程中常常难以形成统一的控制标准和参数体系。

针对这一问题，工程实践与理论研究均指出，岩性条件不仅决定爆破能量的释放与分布方式，也深刻影响掘进施工的稳定性与经济性。在石灰岩等中硬岩体中，炸药能量与岩体破碎特性往往能够形成较为合理的匹配，表现出相对理想的块度分布和较高的掘进效

率。然而,当面对多岩性组合地层时,传统参数的直接套用往往导致效果不佳,出现装药量偏高、掘进速率偏低或围岩损伤过大的问题。掘进爆破的研究因此不仅需要针对不同岩性的破碎机理进行深入剖析,还要探索在实际条件下如何调整炮孔布置、药量分配与起爆顺序,使能量释放过程更符合岩体特征。

从更广阔的工程背景来看,岩性条件差异带来的爆破效率问题已成为制约隧道施工、地下矿山开采以及地下空间开发的重要因素。随着对施工安全性与经济效益要求的不断提升,单一经验化的爆破设计方法已难以满足多变复杂的岩性条件。通过系统化对比试验,对不同岩性条件下的爆破效果进行科学分析,能够揭示出规律性特征,为掘进爆破的参数优化提供可靠依据^[2]。这一研究不仅有助于降低炸药消耗和施工成本,还能在保证掘进效率的同时,减少对围岩结构的破坏程度,从而推动地下工程向更加高效与可控的方向发展。

2 岩性差异对掘进爆破参数与能量传递规律的影响分析

在掘进爆破过程中,岩性差异是影响爆破参数设定与能量传递效果的核心因素。岩体的矿物组成、结构特征与力学性质直接决定了爆炸能量的扩散模式和作用范围。硬质岩石如花岗岩,致密度高、波阻抗大,炸药爆炸产生的冲击波在岩体内衰减速度快,能量难以充分扩展,往往导致爆破后的块度大且裂隙不足^[3]。相比之下,砂岩等相对松散的岩性由于结构孔隙率高、抗拉强度低,爆炸能量更易形成大范围裂隙,但同时容易造成过度粉碎,使爆破能量利用率下降。这种因岩性差异导致的能量传递效率差别,是工程设计中必须重点考虑的影响因素。

在实际试验与施工经验中,爆破参数与岩性条件之间的耦合关系尤为突出。不同岩体在炮孔间距、装药结构、起爆顺序等方面的要求差别显著。硬脆性岩体需要增加单位体积的炸药量,并缩小炮孔间距,以保证能量集中作用在破碎面上,避免产生过多的大块石;而在中硬岩石如石灰岩中,爆炸冲击波与岩体特性之间能够较好匹配,适度调整孔径与装药量便能获得均匀的破碎效果。而软质岩体若采用同等参数,极易出现能量过剩与爆破区过度粉碎的问题,因此需降低药量或调整分段起爆方式,以达到控制破碎范围和提高装药利用率的目标。爆破参数与岩性差异之间的动态适配,是实现高效掘进的关键。

能量传递规律的研究进一步揭示了岩性条件对爆

破效果的深层次影响。爆炸能量在岩体中的传播不仅与岩石的密度和弹性模量有关,还受裂隙发育程度和层理结构影响。致密完整的岩体能量集中传递,适合采用强装药以形成有效裂纹网络,而裂隙发育或层理明显的岩石则容易导致能量泄散,使爆破能量无法有效利用^[4]。通过对比分析不同岩性的能量传递特征,可以建立参数优化模型,使能量分布更符合岩体特性。这种规律性认识为现场爆破设计提供了理论基础,使得在复杂地质条件下,能够通过合理调整炮孔布置、药量比例与起爆延时来提高爆破效率,降低能耗并改善块度分布。

3 对比试验揭示岩性条件下爆破效率优化路径与关键因素

对比试验是揭示不同岩性条件下爆破效率差异与优化路径的重要手段。通过在花岗岩、石灰岩与砂岩等典型岩性环境中开展多组对比试验,可以明确不同岩体对爆炸冲击波和应力波响应的规律性特征^[5]。坚硬岩体的试验结果表明,爆炸能量在致密结构中难以充分扩散,导致块度偏大和掘进效率下降,而在中硬岩体的对比试验中,能量传递与岩体破碎之间表现出良好的匹配关系,块度分布更为均匀,效率相对较高。对于软质岩体,试验结果则呈现出过度粉碎与能耗增加的特点,这种差异性使得参数优化必须建立在系统对比试验基础之上。

在对比试验过程中,不同的爆破参数组合成为影响效率的关键因素。装药结构、炮孔间距与起爆顺序的变化均对爆破效果产生显著作用。在硬岩条件下,试验证明增加装药密度与缩小孔距能够提高能量集中度,从而改善块度和掘进速度。而在软岩条件下,降低单位炸药量并采用分段起爆能够有效控制破碎范围,避免粉碎率过高导致的效率降低。对比试验还显示,延时起爆在中硬岩体中能够形成理想的能量叠加效应,使爆破作用更加均衡。通过这些试验数据的对比,可以清晰识别出不同岩性条件下影响爆破效率的主要控制因素。

综合试验结果可以发现,爆破效率的优化路径应当建立在岩性特征与能量传递规律的匹配基础上。对比试验不仅揭示了各类岩体在能量吸收与裂隙扩展方面的差别,也为参数优化提供了可操作的依据^[6]。在实际工程中,根据试验结论灵活调整装药方式与孔网布置,可有效提升爆破效率,降低单位能耗,并改善施工质量。通过系统的对比研究,能够总结出具有普遍指导意义的规律性经验,使掘进爆破在复杂岩性条件下实现更加科学的设计与控制,从而保障施工过程的安全

性与经济性。

4 掘进爆破效率规律性认识及对工程施工方案的指导价值

在长期的试验与工程实践中,掘进爆破效率在不同岩性条件下表现出一定的规律性特征。硬质岩体由于密度大、抗压强度高,爆破能量的扩散受到限制,块度偏大,掘进速度降低,表现为能量利用不足的典型模式。中硬岩体在能量吸收与裂隙扩展方面达到较佳平衡,块度分布均匀且掘进效率较高,被认为是最具经济性与稳定性的条件^[7]。软质岩体虽然易于破碎,但能量利用率偏低,易产生过度粉碎和高能耗现象,施工过程中的效率优势并不明显。这种规律性认识为后续的参数设计与方案优化提供了方向,强调了岩性特征对爆破效率的决定性影响。

对不同岩性条件下爆破效率的规律性总结,不仅停留在块度分布与掘进速度的宏观指标上,还深入到能量传递机制与裂隙扩展特征的微观层面。在致密岩石中,爆炸冲击波以高应力集中形式作用于岩体,裂纹数量有限且延伸受阻,需要通过提高单位装药量与调整炮孔布置来改善破碎效果。而在中硬岩性中,冲击波与岩体的力学性质相互适应,形成理想的能量传递通道,延时起爆能够进一步增强能量叠加效应,提高爆破均匀性。对于软质岩体,能量传递速度快且裂隙发育过度,为避免能量浪费与粉碎率过高,应降低药量并采用分段起爆方式。这些规律表明,爆破效率并非单一由装药量决定,而是由岩性条件与参数匹配程度共同控制。

将上述规律应用于工程施工方案设计中,能够显著提升掘进爆破的科学性与经济性。在实际施工中,通过对岩性条件的准确判别,结合规律性认识调整炮孔间距、药量配比和起爆顺序,可以在保证施工安全的前提下提高掘进速度,减少炸药消耗,并降低对围岩的扰动范围^[8]。在多岩性组合地层中,差异化的参数配置更能体现规律性总结的价值,使爆破方案更具针对性与适应性。实践表明,依托规律性认识优化施工方案,能够在保证块度适宜与爆破均匀性的同时,兼顾经济效益与结构稳定性,从而推动掘进爆破技术向精细化和高效化方向发展。

5 结语

掘进爆破效率在不同岩性条件下的规律性分析揭示了岩体性质与能量传递之间的紧密联系。研究结果表明,硬质岩体存在能量利用不足的问题,中硬岩体在爆破效率与经济性方面表现最佳,而软质岩体则容易导致能耗增加和过度粉碎。这些特征明确了岩性对爆破参数设置及施工效果的决定性影响。将对比试验结论应用于工程实践,能够实现装药方式、孔网布置与起爆顺序的优化,既提升掘进效率,又降低施工风险与成本,为复杂地质条件下的工程建设提供了科学依据和可靠指导。

参考文献

- [1] 辛金生,冯连伟,邢超,等. 深部硬岩矿山巷道掘进凿岩爆破参数优化试验研究[J].黄金,2025,46(08):13-18.
- [2] 李育宗,张讴,崔浩翔,等. 不同岩性和错动位移条件下岩体结构面的真实接触面积[J/OL].岩石力学与工程学报,1-19[2025-09-13].
- [3] 张学清,李云龙,张宇鹏,等. 岩石截割刀具在不同岩性条件下的受力特性实验研究[J].能源与环保,2025,47(07):263-268.
- [4] 杨啸,高文学,吕奔,等. 地铁车站掘进爆破对老旧建筑物的振动影响分析[J].市政技术,2025,43(07):146-152.
- [5] 胡宇,汪良忠,周珉,等. 隧道掘进楔形掏槽精确延时爆破技术与应用研究[J].地下空间与工程学报,2025,21(03):1050-1056.
- [6] 杨欢.隧道掘进液氧储能岩石破碎智能设计平台及应用[D].湖南科技大学,2025.
- [7] 张虎,弓培林,史明将,等. 不同底板岩性条件下煤柱宽度对巷道底鼓影响[J].煤炭技术,2023,42(05):46-50.
- [8] 卜士洁.不同岩性条件下曲线隧道地震响应的损伤特性分析[D].常州大学,2023.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

