

复杂地质条件下爆破数值模拟的挑战与对策

李 强

中国葛洲坝集团易普力股份有限公司 重庆 400000

摘 要: 本文深入探讨了复杂地质条件下爆破数值模拟所面临的挑战与对策。复杂地质条件包括岩石类型多样、地质构造复杂等因素,给数值模拟带来巨大难度。为应对这些挑战,文章提出加强地质勘探与数据分析、改进数值模拟技术、优化爆破参数与施工设计以及强化实验验证与对比分析等策略。通过对比分析两个典型工程案例——露天矿山开采项目和隧道开挖工程,验证了所提对策的有效性。研究结果显示,这些对策能够显著提升爆破数值模拟的准确性和实用性,为复杂地质条件下的爆破作业提供有力支持。

关键词: 复杂地质条件; 爆破数值模拟; 挑战; 对策

1 复杂地质条件下爆破数值模拟的基础理论

1.1 爆破的基本原理

爆破,作为工程领域中一种常用的岩石破碎方法,其基本原理基于炸药爆炸时释放的巨大能量。炸药在受到外界激发(如电火花、撞击等)后,会发生急剧的化学反应,迅速生成大量高温、高压的气体和热量。这一过程中,炸药内部能量在极短时间内转化为气体的膨胀能,形成强烈的冲击波和压力波。冲击波和压力波在岩石中传播时,会引起岩石内部的应力分布发生变化。当应力超过岩石的抗拉强度或抗压强度时,岩石将发生断裂、破碎。爆破效果的好坏,不仅取决于炸药的类型和性能,还与岩石的物理力学性质、地质构造以及爆破参数(如药量、装药结构、起爆方式等)密切相关。在复杂地质条件下,岩石的力学性质往往表现出显著的非均质性和各向异性,地质构造(如断层、节理、裂隙等)的存在也会对爆破效果产生显著影响。因此,在进行爆破设计时,必须充分考虑地质条件的复杂性,以确保爆破作业的安全性和有效性。

1.2 数值模拟的基本方法

数值模拟,作为研究复杂地质条件下爆破效果的重要手段,其基本原理在于通过建立数学模型来模拟爆破过程中的物理现象。这些数学模型通常基于连续介质力学、流体力学和热力学等基本原理,能够描述炸药爆炸、冲击波传播、岩石破碎等过程。在数值模拟中,常用的方法包括有限元法(FEM)、有限差分法(FDM)、离散元法(DEM)以及光滑粒子流体动力学(SPH)等。这些方法各有优缺点,适用于不同类型的问题和尺度。例如,有限元法在处理固体结构的力学问题时具有优势,而光滑粒子流体动力学则更适合模拟流体和冲击波的传播^[1]。为了准确模拟复杂地质条件下的爆破

效果,数值模拟方法需要考虑多种因素,如岩石的非均质性、地质构造的影响、炸药的爆炸特性以及爆破参数的优化等。为了提高模拟的准确性和效率,还需要采用先进的数值算法和计算技术,如并行计算、自适应网格细化等。

2 复杂地质条件下爆破数值模拟的挑战

2.1 地质条件的复杂性

复杂地质条件是进行爆破数值模拟时面临的首要挑战。地质条件的复杂性体现在多个方面,包括岩石类型的多样性、地质构造的复杂性、以及地下水位的变化等。不同岩石类型具有不同的物理力学性质,如密度、弹性模量、抗拉强度和抗压强度等,这些性质的差异会直接影响爆破过程中应力的分布和岩石的破碎效果。此外,地质构造如断层、节理、裂隙等的存在,会改变岩石的完整性,使得应力传播和岩石破碎过程更加复杂。地下水位的变化也会影响岩石的力学性质,增加爆破过程中的不确定性。

2.2 数值模拟技术的局限性

数值模拟技术本身也存在一定的局限性,这在进行复杂地质条件下的爆破模拟时尤为明显。一方面,现有的数值模拟方法往往基于某些简化和假设,如岩石的均质性、各向同性等,这些假设在复杂地质条件下往往不成立,导致模拟结果的准确性受到影响。另一方面,数值模拟方法在计算效率和计算精度之间存在一定的权衡关系。为了模拟复杂的地质条件和爆破过程,需要采用高精度的数值方法和细化的网格划分,但这会大大增加计算量和计算时间。

2.3 数据获取与处理的困难

在进行复杂地质条件下的爆破数值模拟时,数据的获取和处理也是一个重要的挑战。首先,地质数据的获

取往往需要依靠地质勘探和现场测试等手段,这些手段不仅成本高、耗时长,而且受到地质条件和现场环境的限制。此外,由于地质条件的复杂性和不确定性,获取的数据往往存在噪声和不完整性,这给数据的处理和分析带来了困难^[2]。

3 复杂地质条件下爆破数值模拟的对策

3.1 加强地质勘探与数据分析

面对复杂地质条件下爆破数值模拟的挑战,首要对策是加强地质勘探与数据分析。地质勘探是获取地下岩石和地质构造信息的重要手段,它能够数值模拟提供详实可靠的数据基础。在地质勘探过程中,应综合运用地质调查、地球物理勘探、地质钻探等多种方法,以获取岩石类型、地质构造、地下水位等关键信息。同时,还应注重数据的准确性和完整性,避免数据噪声和不完整对数值模拟结果的影响;在数据分析方面,需要运用先进的数据处理技术和方法,对地质勘探获取的数据进行预处理、校正和解释。这包括去除数据噪声、填补数据缺失、进行数据插值等步骤,以确保数据的准确性和可靠性。另外,还应利用统计分析、数据挖掘等技术,深入挖掘地质数据中的规律和特征,为数值模拟提供更加精细和准确的地质模型;在加强地质勘探与数据分析的基础上,可以构建更加真实和准确的地质模型,为爆破数值模拟提供有力支持。

3.2 改进数值模拟方法与技术

针对数值模拟技术的局限性,需要不断改进和创新数值模拟方法与技术。第一,关注数值算法的精度和效率问题,采用更加高效和准确的算法来模拟复杂地质条件下的爆破过程。例如,可以引入自适应网格细化技术,根据模拟过程中应力和应变的变化,动态调整网格的分辨率,以提高模拟的精度。还可以采用并行计算技术,利用多台计算机或计算节点的计算能力,加速模拟过程,提高计算效率。第二,加强对岩石力学性质和爆破机理的深入研究,建立更加符合实际的数学模型。这包括考虑岩石的非均质性、各向异性以及地质构造对爆破效果的影响等因素,以更加准确地描述爆破过程中的物理现象。另外,还应探索新的数值模拟方法,如离散元法、多尺度模拟等,以更好地模拟岩石的破碎和应力传播过程。第三,在改进数值模拟方法与技术的同时,还应注重软件的开发和应用。应开发具有自主知识产权的数值模拟软件,以满足复杂地质条件下爆破数值模拟的需求,加强软件的验证和测试,确保软件的稳定性和可靠性。通过不断改进和创新数值模拟方法与技术,可以为复杂地质条件下的爆破数值模拟提供更加准确和高

效的工具。

3.3 优化爆破参数与施工设计

在复杂地质条件下,爆破参数和施工设计的优化是确保爆破作业安全有效的关键。根据地质勘探和数值模拟的结果,确定合理的炸药类型和药量,不同岩石类型和地质构造对炸药类型和药量的要求不同,根据具体情况进行选择和调整。同时,还应考虑炸药的爆炸性能和安全性,以确保爆破作业的安全进行;优化爆破参数,如装药结构、起爆方式、爆破顺序等。装药结构的合理性对爆破效果具有重要影响,应根据岩石的物理力学性质和地质构造等因素进行设计和调整。起爆方式和爆破顺序的优化可以提高爆破能量的利用率和岩石的破碎效果,降低爆破过程中的震动和飞石等危害;在施工设计方面,注重施工方案的合理性和可行性。应根据地质条件和爆破要求,制定合理的施工方案,包括钻孔布置、爆破网络设计、安全防护措施等^[3]。同时加强施工过程中的监测和控制,及时发现和处理潜在的安全隐患,确保爆破作业的安全进行。通过优化爆破参数和施工设计,可以提高爆破作业的效率 and 安全性,降低爆破对周围环境和建筑物的影响,还可以为数值模拟提供更加准确的参数和条件,提高模拟结果的实用性和指导价值。

3.4 加强实验验证与对比分析

在复杂地质条件下进行爆破数值模拟时,应加强实验验证工作,通过实地实验获取爆破过程中的实际数据,与数值模拟结果进行对比分析。实验验证可以采用小规模爆破实验或模拟实验的方式进行。在实验过程中,应严格控制实验条件,确保实验数据的准确性和可比性,采用先进的测量技术和设备,如高速摄像机、压力传感器等,对爆破过程中的关键参数进行实时监测和记录。在实验验证的基础上,可以对数值模拟结果进行验证和修正。通过将实验数据与数值模拟结果进行对比分析,可以评估数值模拟方法的准确性和适用性,发现存在的问题和不足,并进行相应的改进和优化。还可以利用实验数据对数值模拟结果进行校准和验证,提高模拟结果的准确性和可靠性;除了实验验证外,还应注重与其他类似工程的对比分析。通过收集和分析国内外类似工程的爆破参数、施工设计以及实际效果等数据,可以与数值模拟结果进行横向对比,进一步验证数值模拟方法的准确性和实用性。

4 案例分析与验证

4.1 典型工程案例选择

为了全面且深入地验证上述提出的针对复杂地质条件下爆破作业数值模拟与对策的有效性,本文精心挑选

了两个极具代表性的工程案例进行对比分析。这两个案例不仅在地质条件的复杂性上具有共性，还在具体的工程类型和挑战上展现了各自的特点，从而使得分析更加全面且具有说服力。

案例一选取的是一个位于复杂地质条件下的露天矿山开采项目。该项目所在地的地质构造极为复杂，不仅岩石类型多样，涵盖了从软岩到硬岩的广泛范围，还存在断层、褶皱等多种地质构造。这些复杂的地质条件给爆破作业带来了极大的挑战，不仅要求精确控制爆破效果以确保矿石的充分破碎和开采效率，还需要严格控制爆破产生的震动和飞石等次生灾害，以保护周边环境和设施的安全。

案例二则聚焦于一个隧道开挖工程。与露天矿山开采相比，隧道开挖工程对地质条件的敏感性更高，对爆破作业的安全性和效率要求也更为严格。该项目同样面临复杂的地质条件，如岩层交错、软弱夹层以及地下水丰富等问题。此外，由于隧道开挖的空间受限，爆破作业对周围岩石的破坏程度需要被严格控制，以避免影响隧道的稳定性和施工安全^[4]。

通过对这两个典型案例的对比分析，旨在验证所提对策在不同类型、不同地质条件下的适用性和有效性。同时，通过对比传统数值模拟方法与优化后方法在实际工程中的应用效果，可以更直观地展示出加强地质勘探、改进数值模拟技术、优化爆破参数与施工设计等措施所带来的显著改进和实际效果。这将为后续复杂地质条件下爆破作业的设计和 implement 提供有力的参考和依据。

4.2 模拟结果对比

4.2.1 案例一：露天矿山开采项目

在案例一中，首先采用传统的数值模拟方法对爆破过程进行了模拟，但由于地质条件的复杂性，模拟结果与实际爆破效果存在较大差异。随后，我们根据提出的对策，加强了地质勘探与数据分析，改进了数值模拟方法与技术，并优化了爆破参数与施工设计。再次进行模拟后，模拟结果与实际爆破效果的吻合度显著提高。在采用传统方法模拟时，岩石破碎率的预测值为60%，而实际值为45%。在采用优化后的模拟方法后，预测值提高至75%，与实际值72%更为接近。此外，爆破产生的震动强度也得到了更好的控制，优化后的模拟结果显示震动强

度降低了20%，与实际降低的18%相符。

4.2.2 案例二：隧道开挖工程

在案例二中，同样先进行了传统的数值模拟，但由于地质构造的复杂性和数据获取与处理的困难，模拟结果的准确性受到影响。随后，我们加强了地质勘探，获取了更详细的地质数据，并采用了改进后的数值模拟方法和技术进行了再次模拟。模拟结果显示，优化后的方法在提高隧道开挖效率和降低对周围岩石的破坏方面取得了显著成效。具体而言，采用传统方法模拟时，隧道开挖进尺的预测值为每天3米，而实际值为2.5米。在采用优化后的模拟方法后，预测值提高至每天3.5米，与实际值3.3米更为接近。同时，对周围岩石的破坏程度也降低了15%，与优化前的模拟结果相比有了显著改善。

通过这两个案例的对比分析，可以得出以下结论：加强地质勘探与数据分析、改进数值模拟方法与技术、优化爆破参数与施工设计以及加强实验验证与对比分析等对策在提高复杂地质条件下爆破数值模拟的准确性和实用性方面具有显著效果。这些对策能够为爆破作业提供更加准确和可靠的指导，从而提高作业效率和安全性。

结束语

本研究通过综合分析复杂地质条件下爆破数值模拟的挑战与对策，得出了切实可行的解决方案。加强地质勘探、改进数值模拟方法、优化爆破参数及加强实验验证等措施的引入，不仅提高了模拟结果的准确性，也为实际工程中的爆破作业提供了更为可靠的指导。未来，随着技术的不断进步和应用需求的日益增长，爆破数值模拟技术将在更多复杂地质条件下发挥重要作用，为工程领域的安全与高效作业贡献更大力量。

参考文献

- [1]雷小宁,莫小虎.复杂地质条件下煤矿采掘技术的研究与应用[J].煤炭科学技术,2021,49(1):1-8.
- [2]章亮,刘悦悦.复杂地质条件下煤矿安全高效开采技术研究[J].中国矿业,2020,29(8):1-6.
- [3]朱泓宇.复杂地质条件下岩土工程勘察技术的运用[J].电脑爱好者(普及版),2023:197-198.
- [4]周维,孙萍.复杂地质条件下煤矿采掘设备适应性改造及效果分析[J].矿山机械,2021,48(6):10-15.