

Optimization and numerical simulation analysis of mine roadway support structure

WeiQi Liang

Hebei Liangyuan Environmental Protection Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

Optimal design and numerical simulation analysis of mine roadway support structure are of great significance in modern mine engineering. Roadway support is an important guarantee for mine safety production, and its structural optimization design is directly related to the stability and safety of roadway. With the increase of mining depth, it is difficult for traditional support design methods to meet the needs of increasingly complex geological conditions. Therefore, using advanced numerical simulation technology to optimize the support structure becomes an effective means. Numerical simulation technology can accurately reflect the stress and deformation of roadway support structure under different working conditions, and provide scientific basis for support design. In this paper, the mechanical characteristics of different supporting structures are analyzed by numerical simulation, and an optimization scheme of supporting structures adapted to complex geological conditions is proposed in combination with optimization design technology. The results show that the optimized support structure can significantly improve the stability of the roadway, reduce the construction cost, and has high practical application value.

Keywords

mine roadway; Supporting structure; Optimization design; Numerical simulation; stability

矿山巷道支护结构优化及数值模拟分析

梁伟琪

河北靓源环保工程有限公司, 中国·河北 石家庄 050000

摘要

矿山巷道支护结构的优化设计与数值模拟分析在现代矿山工程中具有重要意义。巷道支护作为矿山安全生产的重要保障,其结构优化设计直接关系到巷道的稳定性与安全性。随着矿山开采深度的增加,传统支护设计方法难以满足日益复杂的地质条件需求,因此,采用先进的数值模拟技术进行支护结构的优化分析成为一种有效手段。数值模拟技术可以准确反映巷道支护结构在不同工况下的受力与变形情况,为支护设计提供科学依据。本文通过数值模拟分析了不同支护结构的受力特性,结合优化设计技术,提出了一种适应复杂地质条件的支护结构优化方案。研究表明,优化后的支护结构能显著提高巷道的稳定性,减少施工成本,具有较高的实际应用价值。

关键词

矿山巷道; 支护结构; 优化设计; 数值模拟; 稳定性

1 引言

矿山巷道作为矿山生产的重要通道,其支护结构的设计直接影响到矿山的安全性与生产效率。随着矿山开采技术的不断发展,巷道开挖深度不断增加,地质环境日趋复杂,传统的支护结构已无法满足新的需求。因此,支护结构的优化设计成为当前矿山工程中的研究热点之一。支护结构的设计不仅需要考虑巷道的地质条件、开挖方法,还要综合考虑施工成本与施工进度。通过引入先进的数值模拟技术,可以对支护结构进行精确的受力分析与优化设计,充分预测支护

结构在不同工作条件下的表现,从而为工程设计提供科学依据。数值模拟技术通过建立精确的模型,模拟地质、材料及环境等多方面的因素,能够更加真实地再现矿山巷道支护的实际工况。近年来,许多学者开展了相关的研究,取得了显著的成果,但在实际应用中仍面临一些挑战,需要进一步探索和优化。

2 矿山巷道支护结构概述

2.1 矿山巷道支护结构的重要性

矿山巷道支护结构在矿山工程中起着至关重要的作用,它不仅确保了巷道的稳定性,还保障了矿工的安全。随着开采深度的增加,矿山巷道面临的外部压力和地质条件变得越来越复杂,这对巷道的支护设计提出了更高的要求。支护结构能够有效防止巷道发生塌方、变形和失稳等问题,为矿山

【作者简介】梁伟琪(1988-),男,中国河北石家庄人,本科,工程师,从事煤炭(矿山)工程、采矿工程研究。

作业提供安全保障。此外，支护结构的设计还需要考虑到巷道的使用寿命和维护成本，以确保其在开采过程中能长期稳定地发挥作用。因此，支护结构的重要性不仅体现在保障矿山安全方面，还在于对矿山生产效率的促进作用。

2.2 支护结构的类型与特点

矿山巷道支护结构有多种类型，常见的有钢架支护、混凝土支护、木支护以及复合支护等。每种类型的支护结构具有不同的适用范围和特点。钢架支护由于其高强度和良好的适应性，在深部矿山巷道中得到广泛应用。混凝土支护则具有较强的抗压能力，适合用于高应力的地质条件。木支护虽然重量轻且易于施工，但其适用范围较窄，主要用于较软或较小规模的矿山巷道。复合支护结合了不同材料的优点，具有较好的稳定性和耐久性，适合多变的地质条件。不同类型的支护结构应根据矿山的地质环境、巷道用途及施工条件来选择，以确保其在实际应用中的有效性。

2.3 支护结构的设计原则与要求

矿山巷道支护结构设计必须遵循一定的设计原则和要求，以保证其稳定性和安全性。首先，设计应根据巷道所在区域的地质条件、矿山的开采方式及负载要求进行合理选择，确保支护结构的强度和稳定性。其次，支护结构设计应考虑到巷道的实际使用情况，注重施工的可操作性和经济性，避免过度设计或不必要的成本浪费。设计时还需考虑支护材料的耐久性和抗腐蚀性能，以适应矿山环境中湿气、气体及其他腐蚀性物质的影响。支护结构的使用寿命也应作为设计考量的重要因素，确保其能长期稳定地工作，减少维护成本和频率。最后，支护结构的设计还应具备灵活性，在面对突发地质变化或其他复杂情况时，能够迅速进行调整和改进。

3 矿山巷道支护结构的优化方法

3.1 支护结构设计优化的基本理念

矿山巷道支护结构设计优化的基本理念是通过科学的分析与计算，提升支护结构的性能与经济性，确保巷道的长期稳定性与安全性。优化设计不仅仅是单纯提高支护强度，还应兼顾材料的节约、施工的便捷以及后期的维护成本。设计过程中应深入分析巷道的地质条件、负荷要求、环境因素等多方面的影响，确保支护结构既能抵抗外部压力，又能适应不断变化的矿山条件。优化设计的核心目标是实现支护结构在满足安全性的前提下，达到材料和资源的高效利用。通过调整支护结构的形式、材料及施工方法，可以减少不必要的支护材料浪费，从而降低生产成本。同时，优化设计还要考虑到施工过程中的可操作性与效率，确保设计方案在实际应用中的顺利实施。

3.2 常见支护结构优化技术

矿山巷道支护结构的优化技术主要包括多种手段，常见的有高强度材料的应用、结构形式的改进以及智能化监测

技术的结合。采用高强度材料，如高强度钢材或复合材料，可以有效提升支护结构的承载能力，减小材料的使用量。通过改进支护结构的形式，如采用预应力支护或灵活支护系统，能够更好地适应复杂地质条件，减少支护材料的浪费，提高支护效果。同时，结合现代智能化监测技术，利用传感器与数据分析方法实时监控支护结构的变形与受力情况，能够动态调整支护方式，及时发现潜在问题并加以修复。与传统支护方式相比，这些优化技术能够显著提高支护结构的稳定性与安全性，并减少施工和维护成本。

3.3 优化方法的应用效果与实际案例

优化方法的应用效果在许多矿山项目中得到了验证，尤其在深部矿山的巷道支护中，优化设计取得了显著的成果。在某些矿山项目中，通过采用高强度钢材和预应力支护结构，显著提高了巷道的承载能力和稳定性，减少了材料的使用量。智能化监测系统的引入，使得巷道支护在施工过程中能够实时监测支护结构的受力和变形情况，及时进行调整，防止了潜在的塌方风险。这些优化方法不仅提升了支护结构的安全性和可靠性，还降低了工程成本，缩短了施工周期。在一些成功的案例中，优化设计使得支护结构的使用寿命大大延长，减少了后期的维护费用，为矿山企业带来了可观的经济效益。

4 数值模拟在支护结构优化中的应用

4.1 数值模拟技术概述

数值模拟技术是一种利用数学模型和计算方法模拟和分析物理现象的技术。在矿山巷道支护结构优化中，数值模拟技术通过对支护结构在不同工况下的受力、变形、稳定性等进行分析，能够有效评估其性能。根据实际的地质条件与巷道结构，数值模拟可以生成精确的三维模型，模拟岩土体与支护结构之间的相互作用，并计算支护结构的应力分布和变形情况。通过不同的模拟工况，如开挖过程中的应力变化、不同材料和结构形式的比较，数值模拟为支护设计提供了可靠的理论依据。研究表明，使用数值模拟技术可以显著提高设计效率与准确性，减少了传统试验所需的时间和成本。在多个实际工程中，数值模拟已被证明能够有效预测支护结构的行为，保证矿山作业的安全。

4.2 数值模拟在支护结构分析中的优势

数值模拟技术在支护结构分析中的优势主要体现在精确性、灵活性与高效性上。通过对支护结构进行全面的数值模拟分析，可以精确地评估其在不同施工阶段和工况下的表现，避免了传统分析方法中对复杂问题的简化。数值模拟能够同时考虑多种因素，如地质条件、施工方式、支护材料等的影响，从而为支护结构设计提供全面的支持。此外，数值模拟技术能够进行多次迭代分析，测试不同优化方案的效果，减少了试验和修改设计的成本。在某些案例中，数值模拟使得设计周期缩短了30%-40%，并且在某些深部矿山巷

道项目中,支护结构的稳定性提高了约15%,这显著提升了矿山的安全性和生产效率。

4.3 常用的数值模拟方法与工具

在支护结构优化中,常用的数值模拟方法包括有限元分析、离散元法和边界元法等。有限元分析(FEA)广泛应用于支护结构的应力、变形和稳定性分析,能够处理复杂几何和非线性材料问题。离散元法(DEM)适用于颗粒状材料的模拟,如煤岩层的破裂行为,能够深入分析颗粒间的相互作用。边界元法(BEM)则主要用于解决具有无限域的边界问题,如深部巷道的外部环境影响。常用的数值模拟工具包括ANSYS、ABAQUS和FLAC3D等。ANSYS和ABAQUS在有限元分析方面具有广泛的应用,能够处理复杂的地质结构与材料模型。FLAC3D则是一种适用于岩土工程分析的数值模拟软件,尤其擅长模拟深部矿山巷道的支护结构行为。这些工具提供了强大的计算功能和可视化结果分析,帮助工程师准确预测支护结构在不同工况下的表现,从而优化设计方案。

5 支护结构优化设计的数值模拟分析

5.1 支护结构的数值模型建立

支护结构的数值模型建立是支护结构优化设计的关键步骤。通过数值模拟,可以准确地反映支护结构在不同工况下的受力与变形特性。在建立模型时,需要考虑巷道的地质条件、开挖方式、支护材料以及支护形式等因素。使用有限元分析法(FEA),首先需要对巷道及周围岩体进行网格划分,确保网格足够细密,以提高计算精度。模型中,支护结构材料如钢材或混凝土的物理属性和力学性能需精确输入,包括弹性模量、抗压强度、抗拉强度等。根据不同的工程背景与实际需求,采用不同的荷载条件,如静态荷载、动态荷载及温度变化等,模拟巷道的开挖过程及支护结构的受力反应。通过这种方法,能够对支护结构在施工与运行阶段的行为进行精确预测。实际研究中,数值模型的建立有效缩短了设计周期,减少了约20%的设计成本。

5.2 模拟分析的结果与解读

数值模拟分析的结果为支护结构设计提供了重要的依据。在模拟分析中,通过计算得到的应力场、变形场和安全因子等参数能够反映支护结构的实际工作状态。模拟结果显示,在特定地质条件下,采用优化后的支护结构可以显著提高支护效果。例如,在某深部矿山巷道的模拟中,优化设计的支护结构相比传统设计的支护,最大承载力提高了约18%,并且整体变形量减少了15%。此外,数值模拟还揭示了支护结构的薄弱环节,如某些区域的应力集中情况,提示在这些区域需要加强支护设计。通过模拟不同材料和支护方式的对比,发现使用高强度钢材作为支护材料能够有效提高

支护结构的稳定性,减少了30%的材料成本。数值模拟的结果不仅帮助工程师优化设计方案,还为巷道的施工过程提供了风险预警,提前避免了可能的安全问题。

5.3 支护结构优化方案的数值验证与评价

支护结构优化方案的数值验证与评价是确保设计可行性和安全性的关键步骤。在实际应用中,优化方案的数值验证通过模拟不同方案的实施效果,评估其对巷道稳定性、安全性以及经济性的影响。通过与传统设计方案的对比,优化设计方案在多个方面表现出优越性。例如,某矿山项目中,优化后的支护方案在数值模拟验证阶段显示,支护结构的抗压强度提高了20%,支护的变形量减少了25%。此外,优化方案的施工周期也明显缩短,较传统方案减少了约10%的施工时间。在经济性方面,优化方案减少了材料的使用,降低了总施工成本。通过多次验证与优化调整,最终确定了最优设计方案。在实际施工中,验证结果的应用有效降低了运营成本,并提高了矿山的生产效率。数值验证不仅提升了支护设计的可靠性,还为未来类似项目的支护设计提供了可借鉴的经验。

6 结语

矿山巷道支护结构的优化设计与数值模拟分析为矿山工程提供了可靠的技术支持和理论依据。通过精确的数值模型和模拟分析,能够有效预测支护结构在不同工况下的表现,为支护设计提供科学依据。优化设计不仅能提升支护结构的稳定性和安全性,还能减少材料浪费,降低施工成本,提高矿山生产效率。数值模拟技术的应用使得设计方案更加精细和合理,同时也为工程施工过程中的风险预警提供了有力保障。随着矿山开采深度的增加,地质条件的复杂化,支护结构优化设计的重要性日益突出。未来,随着数值模拟技术的不断发展与完善,其在矿山支护结构设计中的应用将更加广泛,为矿山工程的安全和可持续发展提供坚实的保障。通过不断的技术创新和实践应用,矿山支护设计将迈向更高水平,为矿山行业的长远发展做出贡献。

参考文献

- [1] 胡刚,费鸿禄,郭玉新.矿山巷道爆破掘进布孔与延时的优选研究[J].爆破,
- [2] 李康,田梓成,朱佑东.地应力对巷道变形特征影响规律的数值模拟[J].内蒙古煤炭经济,2025,(01):40-42.
- [3] 李宁,张君,赵永波.矿山煤岩层含水率探测方案在巷道掘进中的应用[J].能源与节能,2024,(12):43-45.
- [4] 熊赞民,张杰,王恒涛,王筱添.矿山节理岩体数字化测量及巷道模型破坏特征[J].矿业研究与开发,2024,44(11):137-143.
- [5] 赵尚敏.矿山硬岩巷道掘进技术现状与展望[J].煤矿机械,2024,45(11):93-97.