

# 煤矿巷道围岩稳定性控制与支护技术优化

郭晓成

山西省吕梁市兴县蔚汾镇肖家洼煤矿 山西 033600

**【摘要】**：煤矿巷道是煤矿开采过程中的核心通道，承担着煤炭运输、人员通行及设备转运的重要功能，其围岩稳定性直接关系到煤矿开采的安全性、高效性与经济性。随着煤矿开采深度不断增加、开采强度持续提升，复杂地质条件下巷道围岩失稳问题日益突出，频繁引发巷道变形、坍塌等安全隐患，不仅影响开采进度，还严重威胁作业人员生命安全。本文概述煤矿巷道围岩稳定性控制的研究背景、临床意义及国内外研究现状，明确本文研究目标与技术路线；通过力学模型分析与现场调研总结，深入探讨巷道围岩失稳的核心影响因素，揭示围岩变形破坏的力学机制，为支护技术优化提供坚实理论依据；系统梳理当前常用巷道支护技术的适用条件、优缺点，重点分析传统支护技术在复杂地质条件下的局限性，指明技术优化方向；最后总结研究成果与临床启示，提出支护技术优化的整体思路，为煤矿巷道围岩稳定性控制提供理论参考与实践指导，助力煤矿开采行业安全、高效、可持续发展。

**【关键词】**：煤矿巷道；围岩稳定性；失稳机理；支护技术；技术优化

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.059

## 引言

煤矿开采是我国能源供给的核心支柱产业，安全生产是煤矿开采的首要前提。煤矿巷道作为开采过程中不可或缺的基础设施，其围岩稳定性受地质条件、应力状态、开采扰动等多种因素影响，易出现变形、开裂、坍塌等失稳现象。随着浅部煤炭资源日益枯竭，煤矿开采逐渐向深部延伸，复杂地质环境与高强度开采带来的围岩失稳问题愈发突出，成为制约煤矿安全生产与高效开采的关键瓶颈。传统围岩控制与支护技术已难以适应复杂地质条件下的开采需求，亟需开展系统性研究，明确围岩失稳机理，优化支护技术方案。本文聚焦煤矿巷道围岩稳定性控制与支护技术优化，梳理研究现状、分析失稳机理、总结支护技术局限性，为后续技术优化与工程应用奠定理论基础。

## 1 煤矿巷道围岩稳定性控制的研究背景与意义

### 1.1 研究背景与煤矿安全生产的关联性

煤矿安全生产是保障我国能源稳定供给、保护作业人员生命财产安全的核心要求，而煤矿巷道围岩稳定性是煤矿安全生产的关键环节。煤矿巷道开挖后，原有的围岩应力平衡状态被打破，围岩会发生不同程度的变形与破坏，若稳定性控制不当，极易引发巷道坍塌、冒顶等安全事故，造成人员伤亡、设备损坏，中断开采作业，带来巨大的经济损失与不良的社会影响。近年来，随着煤矿开采深度不断增加，深部围岩面临高应力、高水压、强扰动等复杂工况，围岩变形速率加快、破坏程度加剧，巷道失稳事故发生率居高不下，进一步凸显了围岩稳定性控制研究的紧迫性与

必要性。同时，我国煤矿开采行业正朝着智能化、高效化方向转型，对巷道围岩稳定性的要求也不断提高，亟需完善的稳定性控制技术体系作为支撑。

### 1.2 围岩稳定性控制的核心意义与价值

煤矿巷道围岩稳定性控制不仅关系到煤矿开采的安全性，还对开采效率与经济效益具有重要影响，其核心意义主要体现在三个方面。其一，保障作业人员生命安全，通过科学的稳定性控制技术，有效预防巷道失稳事故发生，为作业人员提供安全的作业环境，降低安全事故发生率；其二，提升煤矿开采效率，稳定的巷道环境可确保煤炭运输、人员通行与设备转运的顺畅性，避免因巷道失稳导致的开采中断，保障开采作业持续推进；其三，降低开采成本，合理的稳定性控制与支护技术可减少巷道返修次数，降低支护材料消耗与人力投入，同时避免因事故造成的经济损失，提升煤矿开采的经济效益。此外，围岩稳定性控制技术的优化的还能推动煤矿开采技术的升级，助力行业实现绿色、可持续发展。

### 1.3 国内外研究现状与本文研究目标、技术路线

目前，国内外学者针对煤矿巷道围岩稳定性控制开展了大量研究，形成了一系列理论与技术成果。国外在围岩稳定性控制领域起步较早，聚焦深部巷道高应力控制、智能化支护等方面，研发了多种高效支护材料与先进监测技术，在复杂地质条件下的围岩控制方面积累了丰富的经验。国内学者结合我国煤矿地质条件复杂、开采强度大的特点，重点研究围岩失稳机理、支护技术优化等内容，提出了多种适合我国煤矿实际

的稳定性控制方案,推动了支护技术的国产化与普及化<sup>[1]</sup>。但总体而言,当前研究仍存在不足,部分复杂地质条件下围岩失稳机理尚未完全明确,传统支护技术适应性较差,智能化、高效化支护技术的临床转化不足。基于此,本文研究目标为:明确煤矿巷道围岩失稳的核心机理,梳理现有支护技术的局限性,提出针对性的支护技术优化方案。研究技术路线为:首先梳理研究背景与意义,总结国内外研究现状;其次分析围岩失稳影响因素与力学机制;再次梳理现有支护技术并分析其局限性;最后提出支护技术优化思路,总结研究成果与应用前景。

## 2 煤矿巷道围岩失稳机理分析

### 2.1 围岩失稳的主要影响因素

煤矿巷道围岩失稳是多种因素协同作用的结果,结合力学模型分析与现场调研总结,主要可分为地质构造、应力分布及开采扰动三大类核心影响因素。地质构造是基础因素,不同地质条件下围岩的物理力学性质差异显著,断层、褶皱、节理裂隙等地质构造会破坏围岩的完整性,降低围岩强度,增加失稳风险,其中节理裂隙发育的围岩,其整体性较差,易发生块体滑移、坍塌等破坏。应力分布是核心因素,巷道开挖后,原有的地应力平衡被打破,形成二次应力场,高应力集中区域易导致围岩发生塑性变形、开裂甚至破坏,而应力分布的均匀性也直接影响围岩稳定性。开采扰动是诱发因素,煤矿开采过程中的爆破作业、采掘扰动等会产生振动波,传递至巷道围岩,加剧围岩的变形与破坏,同时开采强度、开采顺序也会影响围岩应力状态,进一步增加失稳概率<sup>[2]</sup>。此外,围岩的含水量、岩体风化程度等也会间接影响围岩稳定性。

### 2.2 围岩变形破坏的力学机制

煤矿巷道围岩变形破坏的本质是围岩在各种应力作用下,其力学性能无法承受应力荷载,导致岩体发生塑性变形、断裂破坏的过程,其核心力学机制可概括为应力失衡与岩体损伤累积两个方面。巷道开挖前,围岩处于稳定的应力平衡状态,地应力均匀分布于岩体内部;巷道开挖后,岩体被揭露,部分应力释放,形成应力重新分布,在巷道周边形成高应力集中区,当集中应力超过围岩的抗压强度时,围岩会发生塑性屈服,产生不可逆的变形。同时,地质构造中的节理裂隙、开采扰动产生的振动等,会导致围岩岩体出现微小损伤,随着应力作用的持续与扰动的加剧,微小损伤不断累积、扩展,形成宏观裂缝,进一步破坏围岩的整体性与力学性能,当损伤累积达到一定程度时,

围岩会发生整体失稳破坏,表现为巷道顶板下沉、两帮收敛、底板鼓起等典型变形破坏形式。

### 2.3 机理分析对支护技术优化的理论支撑

深入揭示煤矿巷道围岩失稳的力学机制,明确各影响因素的作用规律,是实现支护技术优化的核心理论基础。通过分析围岩失稳的影响因素,可针对性地制定控制措施,例如针对地质构造复杂区域,可提前采取预处理措施,改善围岩完整性;针对高应力集中区域,可采用卸压技术,降低应力集中程度。通过研究围岩变形破坏的力学机制,可明确支护技术的核心需求,即支护结构需具备足够的强度、刚度与韧性,能够有效抵抗围岩变形,抑制岩体损伤累积,维持围岩稳定性。同时,机理分析可帮助优化支护参数,根据不同地质条件、应力状态下围岩的变形规律,合理设计支护材料、支护间距、支护强度等参数,避免支护不足或过度支护,提升支护技术的合理性与经济性。此外,机理分析还能为新型支护技术的研发提供理论指导,推动支护技术向高效化、精准化方向发展<sup>[3]</sup>。

## 3 现有巷道支护技术及其局限性

### 3.1 当前常用巷道支护技术及适用条件

随着煤矿巷道围岩稳定性控制研究的不断深入,国内外形成了多种常用的巷道支护技术,根据支护原理与材料的不同,主要可分为锚杆支护、喷射混凝土支护、锚索支护及联合支护四大类,各类技术具有不同的适用条件。锚杆支护是目前应用最广泛的支护技术之一,通过将锚杆植入围岩内部,利用锚杆的锚固力与围岩形成整体,抵抗围岩变形,适用于围岩完整性较好、应力相对较低的中浅部巷道。喷射混凝土支护通过向巷道围岩表面喷射混凝土,形成致密的混凝土层,封闭围岩表面裂隙,提升围岩整体性与强度,适用于围岩节理裂隙发育、易风化剥落的巷道。锚索支护主要用于高应力、大断面巷道,通过锚索的高强度锚固力,将巷道顶板深部稳定岩体与表层围岩连接,有效控制顶板下沉与围岩变形。联合支护是结合两种或多种单一支护技术的优势,形成协同支护体系,适用于地质条件复杂、应力状态恶劣的深部巷道或大断面巷道。

### 3.2 常用支护技术的优缺点分析

各类常用巷道支护技术均有其独特优势,同时也存在一定局限性。锚杆支护的优势在于施工便捷、成本较低、支护效率高,可快速实现巷道支护,减少开采中断时间,但其局限性在于对围岩完整性要求较高,在节理裂隙极度发育或高应力区域,支护效果有限,

易出现锚杆断裂、失效等问题。喷射混凝土支护的优势在于封闭性好、可有效防止围岩风化剥落，提升围岩整体性，但其刚度较低，抵抗围岩大变形的能力较弱，单独使用时易出现混凝土层开裂、脱落等现象。锚索支护的优势在于锚固力大、支护强度高，可有效控制高应力区域围岩变形，但其施工工艺相对复杂、成本较高，施工周期较长，对施工技术要求较高。联合支护的优势在于可实现优势互补，提升支护效果与稳定性，适用于复杂地质条件，但其设计与施工难度较大，需根据具体地质条件优化支护组合方案，否则难以发挥协同支护作用。

### 3.3 传统支护技术在复杂地质条件下的局限性

随着煤矿开采向深部延伸，地质条件愈发复杂，传统巷道支护技术的局限性日益凸显，主要体现在三个方面。其一，适应性较差，传统支护技术多是针对特定地质条件设计，难以适应深部高应力、强扰动、复杂地质构造等恶劣工况，在深部巷道中易出现支护结构失效、围岩变形失控等问题。其二，支护理念滞后，传统支护技术多以“被动支护”为主，即围岩发生变形后再进行支护，难以提前抑制围岩变形与损伤累积，支护效果有限，且易导致巷道返修率升高。其三，智能化水平较低，传统支护技术的设计、施工多依赖经验判断，缺乏精准的力学分析与监测数据支撑，支护参数设计不合理，同时支护过程中的监测手段较为落后，难以实时掌握围岩变形与支护结构受力状态，无法及时采取针对性的调整措施<sup>[4]</sup>。此外，传统支护

材料的性能也难以满足复杂地质条件下的支护需求，强度、韧性与耐久性不足，易出现老化、失效等问题，进一步制约了支护效果的提升。

## 4 结语

煤矿巷道围岩稳定性控制是保障煤矿安全生产、提升开采效率的关键，其核心在于明确围岩失稳机理，优化支护技术方案，适应复杂地质条件下的开采需求。本文通过系统研究，梳理了煤矿巷道围岩稳定性控制的研究背景与意义，总结了国内外研究现状，明确了研究目标与技术路线；深入分析了围岩失稳的主要影响因素与力学机制，为支护技术优化提供了坚实的理论支撑；系统梳理了当前常用巷道支护技术的适用条件、优缺点，重点指出了传统支护技术在复杂地质条件下的局限性，为技术优化指明了方向。当前，我国煤矿巷道围岩稳定性控制与支护技术仍面临诸多挑战，复杂地质条件下围岩失稳机理尚未完全明确，智能化、高效化支护技术的临床转化不足。未来，需聚焦深部开采、复杂地质条件等核心痛点，进一步深入研究围岩失稳的微观力学机制，研发新型高性能支护材料与智能化支护技术，优化支护参数与施工工艺，构建“主动预防-精准支护-实时监测-动态调整”的一体化围岩稳定性控制体系。同时，加强多学科交叉融合，推动围岩稳定性控制理论与技术的创新发展，提升煤矿巷道围岩稳定性控制水平，为我国煤矿开采行业的安全、高效、可持续发展提供有力支撑。

### 参考文献：

- [1] 白锦荣,张斌.深部煤矿巷道围岩稳定性控制与快速掘进技术研究[A].2025年第八届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会议论文集[C].广西网络安全和信息化联合会:2025:25-26.
- [2] 谢玉龙.煤矿巷道支护存在的问题及稳定性控制分析[J].科学技术创新,2025,(16):167-170.
- [3] 孙晓强.煤矿巷道变形破坏机理及返修支护效果探析[J].能源技术与管理,2021,46(06):70-72.
- [4] 李国彪.干河煤矿大断面巷道围岩稳定性分析及控制技术研究[D].导师:杨仁树.中国矿业大学(北京),2013.