

三软不稳定岩层巷道支护技术研究进展

李旺旺，刘国祯，李建

鄂尔多斯市应急管理局，内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要：本文主要探讨了三软不稳定岩层巷道支护技术的研究进展。介绍了三软不稳定岩层的定义、分类以及工程影响，特别指出其低强度、高塑性的特点导致巷道围岩易发生严重变形和破坏。随后，概述了传统支护技术的局限性，以及现有支护技术如锚喷支护、预应力锚索支护等的适用性。进一步讨论了国内外研究现状，包括深部岩体加固技术、智能化支护技术和生物酶加固技术等新型支护技术的研究。还提出了支护设计优化、支护材料改进、施工工艺创新等支护技术的优化与应用建议。

关键词：三软不稳定岩层；巷道支护；锚喷支护；预应力锚索支护；支护设计优化

Research Progress On Support Technology For Roadway In Three Soft And Unstable Rock Layers

Li Wangwang, Liu Guozhen, Li Jian

Emergency Management Bureau of Ordos City, Ordos , Inner Mongolia 017000

Abstract : This article mainly discusses the research progress of support technology for tunnels in three soft and unstable rock layers. This article introduces the definition, classification, and engineering impact of the three soft unstable rock layers, and particularly points out that their low strength and high plasticity characteristics lead to serious deformation and damage of the surrounding rock of the tunnel. Subsequently, the limitations of traditional support technologies were outlined, as well as the applicability of existing support technologies such as anchor spray support and prestressed anchor cable support. Further discussion was conducted on the current research status at home and abroad, including the study of new support technologies such as deep rock mass reinforcement technology, intelligent support technology, and biological enzyme reinforcement technology. Suggestions for optimizing support design, improving support materials, and innovating construction techniques were also proposed for the optimization and application of support technologies.

Key words : three soft unstable rock layers; tunnel support; anchor spray support; pre stressing anchor support; optimization of support design

引言

在我国能源与资源开发领域，岩层巷道作为至关重要的基础设施，其支护技术的有效性是保障工程安全与可靠性的核心。随着我国能源需求的不断增长，巷道支护技术在岩层巷道的开发中日益显得至关重要。以鄂尔多斯市鄂托克前旗上海庙镇地区的煤矿开采为例，这里的三软不稳定煤层地质条件对支护技术提出了极为严峻的挑战。这些煤层的独特地形条件和力学特性，使得支护技术需要克服众多难题，包括提高支护材料的强度与耐久性、确保支护体系的整体稳定性，以及简化施工工艺的复杂性等。因此，研发和应用适应三软不稳定岩层的巷道支护技术，对于保障煤矿安全生产具有重大的现实意义。

一、三软不稳定岩层特性分析

(一) 鄂托克前旗上海庙镇地质概况

上海庙镇坐落在鄂托克前旗的西南部，距离旗政府所在地约67公里，地理位置独特，位于内蒙古自治区与宁夏回族自治区的交界区域。鄂尔多斯市矿产资源丰富，主要有煤炭、天然气、石

油、稀土等，上海庙镇地区有丰富的煤炭资源分布。地下煤炭储量达到1500万吨，为该地区带来了巨大的能源潜力。由于该地区煤层的物理和力学性质，使得煤层在采动影响下表现出软、弱、不稳定特征的煤层。这些特征通常包括煤层的强度低、结构松散、层理发育、夹矸较多、透气性差等。在煤矿开采过程中，三软不稳定煤层往往会导致一系列的技术和安全问题，如片帮、冒

顶、底鼓等。

(二) 三软不稳定岩层的定义

三软不稳定岩层通常是指煤矿开采中遇到的一种地质构造，它由软岩、软土和软弱夹层组成，具有强度低、稳定性差、易变形和流变等特点。这种岩层在采煤过程中容易发生冒顶、片帮、底鼓等矿山压力显现，给矿井安全带来严重威胁。

(三) 三软不稳定岩层的分类

三软不稳定岩层的分类主要是根据岩层的物理力学性质和工程地质特征进行的。内蒙古自治区上海庙矿区的煤层埋藏深，围岩岩体软，开采难度高。^[1]

1. 按岩性分类

软岩如泥岩、页岩、粉砂岩等，具有较低强度和较高塑性；软土如淤泥、粉土、高塑性粘土等，含有较高水分，强度低，压缩性高；软弱夹层如煤层、泥岩层、石膏层等，位于硬岩层间，强度低，稳定性差。

2. 按结构特征分类

岩层结构主要有层状、块状和碎裂三种类型。层状结构中，岩层以弱层间结合力呈层状分布，易发生层间滑动；块状结构中，岩石以弱块间结合力呈块状分布，易发生块体滑移；碎裂结构中，岩石严重破碎，结构面发达，导致整体稳定性较差。

(四) 三软不稳定岩层的工程影响

上海庙镇地区的煤矿开采面临三软不稳定煤层的特殊地质挑战，这些岩层低强度、高塑性的特性导致巷道开挖后围岩易发生严重变形和破坏。传统支护方法难以满足其高强度支护需求，因此必须采取更有效的支护措施。这些复杂的地质条件增加了施工安全风险，如冒顶和片帮等事故更易发生。为确保巷道稳定与安全，不得不采用更复杂、成本更高的支护技术，从而提高了工程成本。因此，在煤矿开采中，针对三软不稳定煤层的特性，采取相应的支护技术和安全措施至关重要，以保障掘进作业的顺利进行和人员生命安全。

二、三软不稳定岩层巷道支护技术现状

(一) 传统支护技术

1. 木支架：这是一种历史悠久的支护方式，适用于小断面巷道。木支架施工简单，成本较低，但强度有限，不适用于大断面巷道或高地应力条件下的三软不稳定岩层。

2. 钢支架：钢支架具有较高的强度和刚度，适用于一些较为破碎的岩层。但钢支架重量大，安装困难，且对于极端软弱岩层的适应性较差。

3. 砌碹支护：砌碹支护是一种较为古老的支护方式，主要适用于稳定岩层或小断面巷道。对于三软不稳定岩层，砌碹支护的施工难度大，且容易发生破坏。

(二) 传统支护技术的局限性

我国煤炭资源十分丰富，分布范围广，煤层的赋存状态多样，煤层群是煤层赋存状态的主要体现。在煤层群开采方面，传统开采以下行开采为主，即先开采上部煤层，之后再进行下部煤

层开采。^[2]

传统支护方法通常只能提供被动支护，这意味着它们在岩层发生变形后才能发挥作用，因而无法有效控制围岩的大变形。特别是在上海庙镇地区存在三软不稳定岩层等复杂的地质条件，传统支护结构的稳定性和耐久性往往不足，难以满足巷道支护的需求。

(三) 现有支护技术及其适用性

1. 现有支护技术

(1) 锚喷支护：锚喷支护是一种主动支护方式，通过锚杆和喷射混凝土共同作用，能够有效地控制围岩的变形和松动。这种支护方式适用于各种地质条件，特别是对于三软不稳定岩层，锚喷支护能够提供及时而有效的支护。

(2) 预应力锚索支护：预应力锚索能够对围岩施加预应力，从而提前控制围岩的变形。这种支护方式适用于大断面巷道和高地应力条件下的三软不稳定岩层。

(3) 喷锚网支护：喷锚网支护结合了锚杆、喷射混凝土和金属网的优势，能够提供较强的支护能力，适用于围岩破碎、松散的三软不稳定岩层。

(4) 钢纤维喷射混凝土支护：钢纤维喷射混凝土具有较高的抗拉强度和抗裂性能，适用于对支护结构要求较高的三软不稳定岩层。

2. 现有支护技术的适用性

上海庙煤田是一个储量大、煤质好、地质构造简单的大型整装煤田，其开发潜力巨大。^[3] 现有的支护技术能够提供主动支护，有效地控制围岩的变形和松动。通过合理的支护设计，这些技术能够适应不同的地质条件和工程需求，展现出较强的灵活性和适应性。针对三软不稳定岩层的特性，支护技术可以进行优化和调整，以确保工程的安全和稳定。

三、三软不稳定岩层巷道支护技术研究进展

(一) 国内外研究现状

在全球范围内，针对三软不稳定岩层巷道支护技术的研究已经取得了一定的进展。^[3] 国外研究主要集中在巷道稳定性分析、新型支护技术的开发以及支护材料的改进等方面。国内研究则更加注重于工程实践，强调支护技术的适用性和经济性。国内外的研究都认识到，对于三软不稳定岩层的支护，需要综合考虑围岩特性、支护结构、施工工艺等多方面因素。

(二) 新型支护技术

1. 深部岩体加固技术

新型支护技术包括深部预应力锚索和深孔注浆等技术，这些技术通过在深部岩体中引入强度高的锚索和注浆材料，从而提高岩体的整体稳定性。^[4] 深部预应力锚索通过预先施加的拉力，将锚索锚固在稳定的岩层中，形成对不稳定岩体的有效约束，阻止其过度变形和破坏。同时，深孔注浆技术通过高压泵送将特制的注浆材料注入岩体的裂隙和孔隙中，填充空隙，增强岩体的密实性和强度，改善其力学性能。这些加固措施能够显著提高深部岩体的承载能力，有效控制围岩的大变形，确保巷道在复杂地质条件下安全运行。

下的长期安全与稳定，为矿井的安全生产提供有力支持。^[5]

2. 智能化支护技术

新型支护技术结合物联网、大数据和人工智能，实现对巷道支护的实时监测和智能控制。传感器和监测设备收集围岩数据，大数据和人工智能分析预测变形趋势，自动调整支护参数，提高支护效果和安全性。^[6] 智能化支护系统提升效率，降低成本和风险，是矿业支护技术的发展趋势。

3. 生物酶加固技术

新型生物酶支护技术通过生化反应改善软弱岩层物理力学性质，增强自承能力。生物酶催化作用与矿物成分发生反应，促进胶结，提高内聚力和摩擦角，提升整体稳定性和承载能力。^[7] 该技术相比传统物理或化学加固手段，更环保、高效，不损害岩层结构。生物酶加固技术可有效预防巷道变形和塌陷事故，保障矿井长期安全生产。

(三) 支护技术的优化与应用

1. 支护设计优化：在支护设计中，采用数值模拟和物理模型试验等方法，可以帮助工程师更准确地预测和评估不同支护方案的效果。通过这些方法，可以在设计阶段就对支护结构进行优化，确保其能够适应复杂的地质条件，满足实际的工程需求，从而提高工程的安全性和经济性。

2. 支护材料改进：研究和开发新型支护材料，如高强度、高韧性喷射混凝土，高性能锚杆和锚索等，以提高支护结构的性能。

3. 施工工艺创新：研究和应用新的施工技术和工艺，如机械化施工、快速支护等，以提高施工效率和支护质量。

4. 工程监测与反馈：建立和完善工程监测系统，实时掌握围岩和支护结构的变形和应力状态，为支护设计提供反馈和依据。

四、三软不稳定岩层巷道支护技术的关键问题

(一) 支护设计方法

支护设计方法是确保三软不稳定岩层巷道支护成功的关键。

1. 地质条件分析：详细分析三软不稳定岩层的地质条件，包括岩性、结构面、地应力等，为支护设计提供依据。

2. 设计原则：根据围岩的特性，确定支护的设计原则，如“先柔后刚”“先让后抗”等，以适应围岩的变形和应力变化。

3. 支护参数确定：通过理论分析、数值模拟、经验公式等手段，确定支护结构的参数，如锚杆长度、间距、预应力大小等。

4. 动态设计：根据施工过程中的监测数据，对支护设计进行动态调整，以适应围岩和支护结构的实际响应。^[8]

(二) 支护材料选择

1. 材料的强度和刚度：确保支护材料能够承受设计载荷，同时具有一定的柔韧性，以适应围岩的变形。

2. 材料的耐久性：支护材料应具有良好的耐久性，能够抵抗地下水、化学腐蚀等环境因素的影响。^[9]

3. 材料的施工性能：支护材料应方便施工，包括运输、安装和加固，以提高工程效率和保障施工安全。

4. 材料的经济性：在确保支护结构安全和稳定的前提下，选

择经济合理的材料是降低工程成本的关键，同时也要考虑材料的可持续性和环境影响。

(三) 支护施工工艺

支护施工工艺是确保支护结构质量和工程安全的关键。^[10]

1. 施工顺序：合理的施工顺序能够确保支护结构的及时形成，从而减少围岩的暴露时间，有效控制围岩的变形和松动，保障工程的安全与稳定。

2. 施工方法：合理选择施工方法，如钻爆法、机械开挖等，对于适应不同的地质条件和满足工程要求至关重要。这将有助于提高施工效率，确保工程质量与安全。

3. 施工质量：严格控制施工质量，确保支护结构的几何尺寸、安装精度等符合设计要求，是保障工程安全与稳定的关键。这有助于提高施工效率，降低工程成本，实现快速、高效、安全的施工目标。

4. 施工安全：在施工过程中，应采取有效的安全措施，如超前支护、临时支护等，以保障施工人员的安全。

结束语

随着煤矿生产对安全与效率要求的不断提升，三软不稳定岩层巷道支护技术的研究显得尤为重要。然而，面对复杂的地质条件和不断变化的工程需求，仍需认识到现有技术的局限性，并在此基础上进行不断地优化和完善。未来的研究应更加注重智能化、绿色化和高效化的支护技术发展，以适应更加严苛的安全生产环境。相信，通过学术界和工业界的共同努力，能够推动三软不稳定岩层巷道支护技术迈向新的高度，为保障煤矿安全生产做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 王斌, 来兴平. STUDY ON HYDRAULIC PROPERTIES OF SOFT ROCKS IN THE SHANGHAIMIAO COAL MINING REGION IN THE NORTHWESTERN EDGE OF ERDOS BASIN IN CHINA [C]// 中国地质学会工程地质专委会, 中国地质环境监测院(国土资源部地质灾害应急技术指导中心), 山西省国土资源厅. 2014年全国工程地质学术大会论文集. 西安科技大学能源学院; 内蒙古维华矿业有限责任公司; , 2014:5.
- [2] 刘浩, 王森. 近距离煤层上行开采破碎围岩巷道支护技术 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023,(07):163–165.DOI:10.13487/j.cnki.imce.023532.
- [3] 鄂托克前旗上海庙镇 [J]. 实践(思想理论版), 2011,(06):2+65–66.
- [4] 王晓彤. 深部软岩巷道支护技术的优化设计研究 [D]. 上海应用技术大学, 2022. DOI:10.27801/d.cnki.gshyy.2022.000502.
- [5] 石小磊. 高应力软岩巷道支护技术的研究与应用 [J]. 机械管理开发, 2022, 37(08):153–155.DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2022.08.066.
- [6] 高旭. 极近距离煤层开采下的巷道支护技术分析 [J]. 矿业装备, 2023,(01):20–22.
- [7] 任硕, 李中伟, 周文凯. 煤矿松散煤层破碎顶板巷道支护技术研究 [J]. 能源与环保, 2022,44(12):39–44.DOI:10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.12.007.
- [8] 谷鹏. 煤矿软岩巷道支护技术优化应用研究 [J]. 机械管理开发, 2022, 37(03):105–106.DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2022.03.043.
- [9] 吴景铜, 高荣. 煤矿巷道支护技术研究现状 [C]// 北京力学学会. 北京力学学会第二十八届学术年会论文集(下). 中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院; , 2022:2. DOI:10.26914/c.cnkihy.2022.001728.
- [10] 方保明. 深部煤层采空区下巷道支护技术 [J]. 煤矿安全, 2021,52(12):121–127. DOI:10.13347/j.cnki.mkaq.2021.12.020.