

井工煤矿放顶煤工作面矿压规律与控制技术研究

崔格日乐吐

雁宝能源有限公司敏东一矿 内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘要：本文深入研究了井工煤矿放顶煤工作面的矿压显现规律及其控制技术。通过先进的矿压监测方法与设备，详细分析了放顶煤开采过程中顶板运动及矿压显现特征。采用数值模拟技术构建了工作面地下回采模型，揭示了围岩应力的分布规律。基于上述研究，提出了支护技术优化和顶板控制技术的创新方案，并通过数值模拟与现场实测相结合的方式，确定了保护煤柱的合理留设尺寸。研究成果为提升矿井安全水平、优化开采效率提供了重要的技术支持。

关键词：井工煤矿；放顶煤开采；矿压显现；围岩应力；支护技术

引言：随着煤炭资源的不断开采，井工煤矿面临着越来越复杂的开采条件。放顶煤开采技术作为提高煤炭回收率的重要手段，在煤炭工业中得到了广泛应用。然而，放顶煤开采过程中矿压显现问题突出，对矿井安全和生产效率构成了严重威胁。因此，深入研究放顶煤工作面的矿压规律与控制技术，对于保障矿井安全、提高开采效率具有重要意义。

1 井工煤矿放顶煤工作面概述

1.1 放顶煤开采技术简介

井工煤矿放顶煤开采技术，作为一种高效煤炭回收手段，其核心在于利用矿山压力自然破碎顶煤，并通过特定工艺实现煤体的连续或间断放出。该技术涉及工作面布置、采煤机截割、液压支架支护、放煤口管理等多个环节，其复杂性体现在需精确控制煤层开采厚度、顶板垮落程度及放煤时机，以确保安全生产与高效回收。从技术细节来看，放顶煤开采需解决的关键问题包括：一是顶煤的充分破碎与流动性控制，这要求对工作面顶板岩层运动规律有深入了解，并据此优化开采参数；二是工作面支护系统的稳定性设计，需考虑顶板压力分布、支架工作阻力、支护密度等因素，确保支护结构能够抵御强烈矿压显现；三是放煤工艺的优化，包括放煤口位置选择、放煤速度控制等，以提高煤炭回收率和减少混矸率。

1.2 工作面地质条件分析

工作面地质条件是放顶煤开采技术成功应用的基础。在进行放顶煤开采前，需对工作面及其周边区域的地质条件进行全面而深入的分析。首先，需明确煤层的赋存状态，包括煤层的厚度、倾角、稳定性等，这直接关系到开采方法的选择与开采参数的设定。其次，需分析顶底板岩层的性质与结构。顶板岩层的强度、节理发育程度、含水性等因素将直接影响顶板的稳定性与垮落特性；而底板岩层的承载能力则关系到工作面底鼓的控制与支架的稳定

性。因此，需通过岩石力学试验与地质勘探等手段，获取顶底板岩层的物理力学参数与结构特征。

2 放顶煤工作面矿压显现规律研究

2.1 矿压监测方法与设备

在放顶煤工作面矿压显现规律的研究中，矿压监测是获取实时、准确数据的关键环节。目前，广泛采用的矿压监测方法与设备主要包括以下几种：

2.1.1 压力传感器监测

(1) 设备描述：利用高精度的液压支架工作阻力监测仪、顶板离层仪等压力传感器设备，对工作面液压支架的工作状态进行实时监测。(2) 技术参数：传感器精度可达0.1%FS（满量程），响应时间小于1ms，能够精确捕捉支架工作阻力的细微变化。(3) 应用方式：在工作面两端头过渡支架及中间每隔一定数量的支架上设置测站，每个测站安装一个或多个压力传感器，以实现对整个工作面矿压分布的全面监测。

2.1.2 数值模拟与现场实测结合

(1) 技术运用：结合FLAC3D等三维快速拉格朗日分析程序进行数值模拟，模拟工作面开采过程中顶板的运动规律和矿压显现特征。同时，将数值模拟结果与现场实测数据进行对比分析，以验证模型的准确性和可靠性。(2) 数值参数：数值模拟中涉及的参数包括煤层的厚度、倾角、强度，顶底板岩层的物理力学参数（如弹性模量、泊松比、内聚力、内摩擦角等），以及开采过程中的各种边界条件（如支护强度、开采速度等）。(3) 比例范围值：通过数值模拟，可以预测出工作面不同位置处矿压显现的强度范围，如支架工作阻力的最大值、最小值及其分布规律等。

2.1.3 视频监控系统

(1) 技术描述：在工作面安装高清摄像头，通过视频监控系实时观察顶板垮落、煤壁片帮等矿压显现现象。(2) 应用价值：虽然视频监控系统不直接测量矿压值，

但它能提供直观的视觉信息，帮助工作人员及时发现并处理潜在的矿压问题。

2.2 矿压显现特征分析

2.2.1 初次来压与周期来压

(1) 初次来压：工作面初次推进一定距离后（通常为20-50m），顶板开始垮落并产生较大的矿压显现，称为初次来压。初次来压强度较大，对支架的影响显著。(2) 周期来压：随着工作面的继续推进，顶板周期性垮落并产生矿压显现，称为周期来压。周期来压的步距和强度受多种因素影响，如顶板岩性、煤层厚度、开采速度等。

2.2.2 支承压力分布

在放顶煤开采过程中，顶板及上覆岩层传递的压力在煤体中形成支承压力。支承压力的分布范围较大，且峰值点相对单一煤层开采有所前移。但支承压力集中系数并未发生显著变化。

2.2.3 支架载荷特征

工作面支架的受载并不因采高加大而显著增加，而主要与煤的强度有关。煤的强度越大，顶煤的完整性越好，则支架载荷稍大。此外，支架前柱的工作阻力通常大于后柱工作阻力，这是由于前柱直接承受顶板压力所致。

2.2.4 顶板冒落特征

放顶煤工作面容易产生端部冒顶现象，这是由于煤顶容易破碎且工作面推进速度较慢所致。因此，煤壁及端面顶板的维护特别重要。

3 放顶煤工作面围岩应力分布规律研究

3.1 数值模拟模型建立

在放顶煤工作面围岩应力分布规律的研究中，数值模拟是一种重要且有效的技术手段。通过构建精确的数值模型，可以模拟工作面开采过程中围岩应力的动态变化过程，为实际工程提供理论依据。

3.1.1 模型建立步骤

(1) 几何模型构建：使用FLAC3D、UDEC或ABAQUS等三维数值模拟软件，根据工作面实际尺寸（如长度、宽度、采高）及地质条件（如煤层厚度、倾角、顶底板岩性）构建几何模型。设定模型的边界条件，通常包括固定边界、滚动边界和自由边界，以模拟实际地层的约束情况。(2) 材料参数设定根据实验室测试或地质勘探数据，为模型中的煤层、顶底板岩层等赋予相应的物理力学参数，如弹性模量（E，单位GPa）、泊松比（ ν ）、内聚力（c，单位MPa）、内摩擦角（ ϕ ，单位 $^\circ$ ）等。设定煤层和岩层的厚度、倾角等几何参数，确保模型与实际地质条件相符。(3) 开采过程模拟在模型中设置开采步骤，模拟工作面的逐步推进过程。通常包括割煤、放顶煤、顶板垮落等阶段。设定开采速度、支护强度等参

数，以反映实际开采过程中的工况变化。(4) 网格划分与求解对模型进行网格划分，确保网格质量满足计算要求。网格大小应根据计算精度和计算资源进行合理选择。设定求解器参数，如收敛准则、迭代次数等，并启动求解过程。

3.1.2 参数与数值示例

煤层厚度：3-5m（具体值根据地质勘探结果确定）

采高：2.5-3.5m（根据开采设备能力和煤层稳定性确定）

弹性模量（E）：煤层约为1-3GPa，顶底板岩层根据岩性不同，范围在5-50GPa之间。

泊松比（ ν ）：煤层约为0.2-0.3，岩石约为0.25-0.4。

内聚力（c）：煤层较低，一般小于1MPa，岩石根据岩性不同，范围在1-50MPa之间。

内摩擦角（ ϕ ）：煤层约为20-30 $^\circ$ ，岩石约为30-60 $^\circ$ 。

开采速度：根据工作面实际情况，一般设定为每天推进几米至十几米不等。

3.2 围岩应力分布规律分析

3.2.1 垂直应力分布

工作面前方煤壁处形成应力集中区，垂直应力峰值可达原岩应力的1.5-2.5倍。随着工作面的推进，采空区上方顶板逐渐垮落，形成卸压区，垂直应力显著降低。底板岩层在采动影响下也产生应力重新分布现象，但应力集中程度相对较低。

3.2.2 水平应力分布

水平应力在工作面前后方向呈现“前高后低”的分布特征，即工作面前方煤壁处水平应力较高，后方采空区则逐渐降低。煤层倾角较大时，水平应力分布可能受到重力分量的影响而变得更加复杂。

3.2.3 应力集中系数

应力集中系数是反映应力集中程度的重要指标，其值等于最大应力与原岩应力的比值。在放顶煤工作面中，应力集中系数通常在1.2-2.5之间。

3.2.4 支护效果评估

通过分析支护结构受力情况（如液压支架工作阻力），可以评估支护效果是否满足要求。若支护强度不足，可能导致煤壁片帮、顶板垮落等安全事故的发生。

4 放顶煤工作面矿压控制技术研究

4.1 支护技术优化

4.1.1 技术方法运用：

(1) 液压支架选型与布置：根据煤层厚度、倾角、顶底板岩性等地质条件，选择适宜的液压支架型号。支架的初撑力、工作阻力等参数需满足工作面矿压显现规律的要求。支架布置应确保工作面有足够的支护密度，以抵抗

顶板压力。通常, 支架间距控制在1.5-2.0米之间, 具体值根据支架型号和地质条件确定。(2) 支护强度与刚度调整: 通过调整支架的支护强度和刚度, 以适应不同开采阶段的矿压变化。在初次来压和周期来压期间, 应适当提高支架的支护强度, 确保顶板稳定。支护强度的计算可采用经验公式或数值模拟方法, 结合现场实测数据进行验证和调整。(3) 支护系统监测与反馈: 在工作面安装压力传感器、位移传感器等监测设备, 实时监测支架的工作状态和围岩的变形情况。根据监测数据, 及时调整支护参数, 如增加支护密度、提高支护强度等, 以应对矿压变化。

4.1.2 参数与数值示例

液压支架初撑力: 不低于2500kN (具体值根据支架型号和地质条件确定)

液压支架工作阻力: 一般为初撑力的1.5-2.0倍, 即3750-5000kN

支架间距: 1.5-2.0米 (具体值根据支架型号和地质条件确定)

支护强度调整范围: 根据监测数据, 每次调整幅度不超过10%

4.2 顶板控制技术

4.2.1 技术方法运用

(1) 顶板预裂与弱化: 在工作面推进前, 采用水力压裂、爆破等方法对顶板进行预裂和弱化处理, 降低顶板的强度和完整性, 使其更容易垮落。预裂参数 (如水压、爆破药量、孔距等) 需根据顶板岩性和地质条件进行精确设计。(2) 顶板垮落监测与预测: 利用声发射、微震监测等先进技术, 实时监测顶板垮落前的微破裂信号, 预测顶板垮落的时间和位置。结合数值模拟和现场实测数据, 建立顶板垮落预测模型, 提高预测的准确性和可靠性。(3) 顶板垮落控制: 在顶板垮落前, 采取适当的控制措施, 如增加支护强度、调整开采速度等, 以减缓顶板垮落的速度和强度。在顶板垮落后, 及时清理垮落物, 恢复工作面的正常生产秩序。

4.2.2 参数与数值示例

顶板预裂水压: 根据顶板岩性确定, 一般为5-20MPa

爆破药量: 根据顶板厚度和岩性确定, 每孔装药量一般不超过1kg

顶板垮落预测准确率: 通过不断优化预测模型和提高监测技术水平, 预测准确率可达到80%以上

顶板垮落后清理时间: 根据垮落规模和清理设备能力确定, 一般不超过24小时

5 保护煤柱留设尺寸研究

5.1 数值模拟确定保护煤柱尺寸

5.1.1 方法技术运用

(1) 模型构建: 采用FLAC3D、3DEC或ABAQUS等高级数值模拟软件, 根据地质勘探数据和矿井实际情况, 构建包含煤层、顶底板岩层及相邻采空区的三维模型。

(2) 参数设定: 根据实验室测试和地质资料, 为模型中的各岩层赋予准确的物理力学参数, 如弹性模量 (E , 单位GPa, 范围5-50GPa)、泊松比 (ν , 范围0.2-0.4)、内聚力 (c , 单位MPa, 范围1-50MPa)、内摩擦角 (φ , 单位 $^{\circ}$, 范围20-60 $^{\circ}$) 等。(3) 边界条件与加载: 设置合理的边界条件, 模拟地层的约束情况, 并施加地应力场, 以反映实际地层的受力状态。(4) 煤柱尺寸模拟: 设定一系列不同的煤柱宽度 (如10m、15m、20m等), 分别进行数值模拟计算, 分析各煤柱尺寸下的应力分布、塑性区扩展及位移变形情况。(5) 结果分析: 通过对比分析不同煤柱尺寸下的模拟结果, 确定既能有效隔离采空区影响, 又能保证煤柱自身稳定性的最小合理煤柱尺寸。

5.2 现场实测验证

5.2.1 方法技术运用

(1) 监测设备布置: 在煤柱内部及边缘布置应力计和位移传感器, 确保能够全面监测煤柱的应力和变形数据。

(2) 数据采集与分析: 定期采集监测数据, 并进行处理和分析, 以获取煤柱的实际应力和变形情况。(3) 对比验证: 将现场实测数据与数值模拟结果进行对比, 验证数值模拟的准确性和可靠性。如果两者之间存在较大差异, 需要重新检查数值模拟的输入参数和边界条件, 或调整监测设备的布置和采集方法。

结语: 本文通过对井工煤矿放顶煤工作面的矿压规律与控制技术的深入研究, 揭示了矿压显现规律和围岩应力分布特征, 提出了支护技术优化和顶板控制技术的创新方案, 并确定了保护煤柱的合理留设尺寸。研究成果为提升矿井安全水平、优化开采效率提供了重要的技术支撑和理论依据。未来应继续加强矿压监测与数据分析工作, 不断完善矿压控制技术和保护煤柱留设方法, 以应对更加复杂的开采条件。

参考文献

- [1]元雪鹏.智能机械化放顶煤工作面在长平矿的应用实践[J].山东煤炭科技,2021,(2):101-104.
- [2]张博,李晋,郑伟,赵垚庭.智能化放顶煤工作面快速过构造技术实践[J].能源技术与管理,2022,(5):123-127.
- [3]王强.井工煤矿大采高放顶煤工作面矿压显现规律及控制技术研究[J].煤炭科学技术,2022,50(5):123-128.
- [4]赵刚.井工煤矿坚硬顶板综放工作面矿压规律及控制策略研究[J].煤矿安全,2022,53(7):78-83.
- [5]刘丽.浅埋深大采高综放工作面矿压显现特征及控制技术[J].煤炭工程,2023,55(4):34-38.