

# 预抽煤层瓦斯抽采钻孔设计间距优化应用研究

张宇昊 刘雨鑫 王泽民 孙星杰 李明攀

平顶山天安煤业股份有限公司十二矿 河南 平顶山 467000

**摘要:** 煤矿瓦斯事故作为矿井安全生产的重大威胁, 长期以来一直是煤矿行业关注的焦点。基于此, 本文简要介绍了煤层瓦斯抽采基础理论, 并对钻孔设计间距优化方法进行了研究, 包括衰减分析法应用、对比测试法应用、虚拟参数分析法应用、综合优化方法探讨等方面, 确保了煤层开采的安全性, 同时降低了生产成本, 为煤矿瓦斯治理提供了重要参考。

**关键词:** 预抽煤层; 瓦斯抽采; 钻孔设计; 间距优化; 应用

引言: 预抽煤层瓦斯作为防治瓦斯灾害的重要手段, 其抽采效果直接关系到煤矿生产的安全性和经济性。然而, 在实际操作中, 钻孔设计间距的合理性往往成为制约瓦斯抽采效果的关键因素。传统的钻孔设计间距多基于经验判断, 缺乏科学性和精准性, 导致抽采效率低下、资源浪费严重。因此, 开展钻孔设计间距优化应用研究, 对于提高瓦斯抽采效率、保障煤矿安全生产具有重要意义。

## 1 煤层瓦斯抽采基础理论

### 1.1 煤层瓦斯赋存与运移规律

煤层作为瓦斯的主要储存载体, 其地质特征对瓦斯的赋存状态具有决定性影响, 煤层的厚度、埋深、构造应力、裂隙发育程度以及煤岩组合等因素共同作用于瓦斯的生成、储存和运移过程。随着煤层的埋藏深度增加, 地温升高, 煤层中的有机质在适宜的温度和压力条件下逐渐热解, 生成以甲烷为主的瓦斯气体。这些气体在煤层中的孔隙、裂隙及层界面等空间内聚集, 形成煤层瓦斯。其中, 煤层瓦斯的赋存状态多样, 主要包括游离态和吸附态两种。游离态瓦斯以自由气体的形式存在于煤层的较大孔隙和裂隙中, 其运移相对容易, 受煤层压力和温度梯度驱动; 而吸附态瓦斯则紧密吸附在煤颗粒表面, 尤其是微孔和小孔内, 其运移受到煤的吸附能力和解吸速率的限制。这两种赋存状态的瓦斯在煤层中并非孤立存在, 而是处于动态平衡之中, 随着煤层开采活动的进行, 两者之间的转化会直接影响瓦斯的涌出量和速度。另外, 瓦斯的运移规律是瓦斯抽采技术设计的关键, 在煤层未受开采扰动时, 瓦斯主要通过煤层自身的渗透率进行缓慢扩散和渗流。渗透率受煤层裂隙发育程度、孔隙结构、流体压力以及温度等多种因素影响。当煤层受到开采活动的影响时, 采动应力和开采卸载作用会导致煤层发生变形、破坏和裂隙扩展, 从而改变煤

层的渗透性和瓦斯的运移通道。这一过程往往伴随着瓦斯的突然释放和积聚, 对煤矿安全生产构成严重威胁。总之, 研究煤层瓦斯赋存与运移规律, 对于煤矿安全生产和瓦斯资源开发利用具有重要意义。通过分析瓦斯赋存特征、煤层结构影响、瓦斯运移机制、地质因素作用、瓦斯运移模型及瓦斯防治策略, 有助于提高煤矿瓦斯防治水平, 保障煤矿安全生产。

### 1.2 瓦斯抽采技术原理

瓦斯抽采技术的目的在于通过有效的技术手段将煤层中的瓦斯抽出, 以降低煤层中的瓦斯含量, 减少瓦斯爆炸和突出的风险, 从而保障煤矿的安全生产。随着钻孔与巷道的建立, 瓦斯抽采系统随即启动, 抽采泵作为这一系统的“心脏”, 通过产生负压或正压环境, 在煤层与抽采管道之间形成显著的压力差。这种压力差成为驱动瓦斯气体流动的强大动力, 促使煤层中的瓦斯沿着钻孔与巷道迅速流向抽采管道, 并最终被抽出至地面或其他安全地点。在这一过程中, 瓦斯的流动并非一帆风顺, 它受到煤层渗透率、瓦斯压力、温度梯度以及抽采系统参数等多种因素的制约与影响<sup>[1]</sup>。一方面, 渗透率高的煤层, 瓦斯流动效率更高; 而渗透率低的煤层, 则需要采取额外的措施, 如水力压裂、注气增透等, 以提高其透气性。瓦斯压力则是驱动瓦斯流动的直接动力, 压力越大, 瓦斯流动的速度和量也越大。然而, 过高的瓦斯压力也可能导致煤层突出等安全隐患, 因此, 在抽采过程中需要密切监测并合理控制瓦斯压力。另一方面, 温度梯度对瓦斯流动的影响虽然相对较小, 但在某些特定条件下也不容忽视。随着煤层深度的增加, 地温逐渐升高, 这就会影响瓦斯的吸附与解吸平衡, 进而影响瓦斯的抽采效果。

## 2 钻孔设计间距优化方法研究

### 2.1 衰减分析法应用

衰减分析法基于瓦斯在煤层中自然衰减的规律,通过监测和分析钻孔中瓦斯流量的变化,来推断地下瓦斯分布态势,并据此优化钻孔布置间距。该方法的核心在于建立瓦斯流量与钻孔间距之间的数学模型,通过计算和分析,找到既能保证抽采效率又能降低成本的最佳钻孔间距。在实际应用中,通常将目标孔内的瓦斯流量(A)表示为初始瓦斯流量(B)与衰减系数(x)的乘积,即 $A = xB$ 。同时,还需考虑瓦斯在阶段时间内的抽取量(C)、钻孔深度(Q)以及抽放时间(m)等因素,进一步构建衰减分析的计算公式。这些公式中的参数可以通过现场实测和数据分析获得,从而确保模型的准确性和可靠性。在获取了足够的瓦斯流量数据后,利用数学分析软件对数据进行处理和分析。通过比较不同钻孔间距下的瓦斯流量衰减曲线,可以直观地看出钻孔间距对瓦斯抽采效率的影响。一般来说,钻孔间距过小会增加钻孔数量和施工成本,而钻孔间距过大则可能导致抽采效率降低。因此,需要找到一个平衡点,即既能保证抽采效率又能降低成本的最佳钻孔间距。以某煤矿为例,技术人员采用衰减分析法对瓦斯抽放钻孔布置间距进行了优化。通过现场实测和数据分析,发现不同钻孔间距下的瓦斯流量衰减曲线存在显著差异。经过综合比较和评估,最终确定了3.5m作为最佳钻孔间距。在该间距下,瓦斯抽采效率较高且施工成本相对较低。

## 2.2 对比测试法应用

第一,需要明确测试区域的地质条件、煤层特性、瓦斯赋存状态以及开采工艺等基本信息,作为设计钻孔布局的基础。在此基础上,选取具有代表性的区域作为测试区,并设置一定数量的标准孔。标准孔的位置、深度、直径等参数需根据前期勘探数据和经验进行精心设计,以确保其能够反映该区域煤层的平均瓦斯抽采特性。第二,在标准孔周围,按照预设的不同间距设置测试孔<sup>[2]</sup>。测试孔的数量、布局以及间距的变化范围应根据具体研究目的和实验条件来确定,一般而言,为了更全面地评估钻孔间距对抽采效果的影响,可以设置多个不同间距的测试组,每组包含若干测试孔,以形成对比。第三,在钻孔施工完成后,需立即启动抽采系统,对标准孔和测试孔进行同步抽采。抽采过程中,需定期记录各孔的瓦斯浓度、流量、压力等关键参数,并密切关注煤层及周围环境的变化情况,这些数据是后续分析钻孔间距对抽采效果影响的重要依据。第四,在数据分析的基础上,可以绘制出钻孔间距与抽采效果(如抽采量、抽采率等)之间的关系曲线图。通过观察曲线图的形态和变化趋势,可以直观地找到抽采效果最佳的钻孔间距

范围。

## 2.3 虚拟参数分析法应用

在瓦斯抽采技术的钻孔设计优化过程中,虚拟参数分析法作为一种高效、经济的手段,通过计算机建模与数值模拟技术,为确定最佳钻孔间距提供了强有力的支持。这种方法不仅能够避免传统实验方法中的高成本、长周期等局限性,还能在更广泛的参数范围内进行灵活探索,加速优化进程。首先,根据煤层的地质条件、瓦斯赋存状态、开采工艺等实际情况,利用专业的地质建模软件和数值模拟平台,建立高精度的三维煤层模型。该模型应详细反映煤层的几何形态、岩性分布、瓦斯压力场、渗透率等关键属性,为后续的数值模拟提供准确的基础数据。在建模过程中,需要特别注意关键参数的设置。这些参数包括但不限于:煤层厚度、孔隙率、渗透率、瓦斯压力、温度、钻孔直径、钻孔深度、钻孔间距等。其中,钻孔间距作为本次优化的核心变量,需设置多个不同的水平值,以模拟不同间距下的瓦斯抽采效果。其次,完成模型建立与参数设置后,利用数值模拟软件对瓦斯抽采过程进行动态模拟。在模拟过程中,通过输入适当的边界条件和初始条件,模拟瓦斯在煤层中的流动、扩散以及被钻孔抽采的过程。同时,利用软件强大的后处理功能,实时记录并分析不同钻孔间距下的瓦斯浓度分布、流量变化、压力场演化等关键指标。通过对比不同间距下的模拟结果,可以直观地观察到钻孔间距对瓦斯抽采效果的影响。具体而言,可以关注以下几个方面:一是抽采效率,即单位时间内从钻孔中抽出的瓦斯量;二是抽采范围,即钻孔能够有效影响并抽采的煤层区域;三是抽采稳定性,即在不同时间段内抽采效果的波动情况。最后,基于数值模拟的结果分析,可以进一步确定最佳的钻孔间距。应选择那些既能保证较高抽采效率,又能有效覆盖煤层区域,同时保持抽采稳定性的钻孔间距作为优化结果。

## 2.4 综合优化方法探讨

在瓦斯抽放钻孔设计间距的优化过程中,传统的单一方法往往难以全面考虑地质条件、瓦斯分布、抽放效率及经济性等多重因素。因此,本文提出的综合优化策略融合了衰减分析法、对比测试法、虚拟参数分析法以及基于流体力学模拟和统计学模型的方法,通过优势互补,实现钻孔间距的精准确定。一方面,衰减分析法通过监测钻孔中瓦斯流量的衰减规律,推断地下瓦斯分布态势,从而优化钻孔布置间距<sup>[3]</sup>。该方法科学性和客观性较强,但受地质条件影响可能存在一定误差。对比测试法则通过设置标准孔与测试孔,根据气压仪数据直观

判断最佳布置间距,其优势在于直接、易操作,但精度受测试孔数量和位置的影响。将两者结合,可先在衰减分析法的指导下确定大致范围,再通过对比测试法进行微调,确保结果的准确性和可靠性。另一方面,虚拟参数分析法借助计算机建模,利用MATLAB等数学分析软件,基于煤层厚度、瓦斯流速等标准化参数进行模拟分析,得出理想的钻孔布置间距。该方法具有高度的灵活性和预测能力,但对参数收集的准确性和全面性要求较高。流体力学模拟软件则能更直观地展示瓦斯在不同布置间距下的流动情况,通过优化算法自动确定最佳间距。将两者结合,可以利用虚拟参数分析法提供初步方案,再通过流体力学模拟进行验证和优化,确保方案的合理性和可行性。此外,在综合优化策略中,还可以引入统计学模型,对已有的瓦斯抽放工程数据进行统计分析,建立预测模型。该模型能够综合考虑多种影响因素,如煤层透气性、瓦斯含量、钻孔深度等,对瓦斯抽放效果进行预测。根据预测结果,结合实际情况进行钻孔布置间距的调整,使优化结果更加科学、合理。

### 3 应用效果分析

钻孔设计间距优化方法在煤矿瓦斯抽放中的应用效果分析,是一个多维度、系统性的评估过程,它不仅关乎瓦斯抽放的效率与效果,还直接影响到煤矿作业的安全性、经济性及资源利用率。(1)从瓦斯抽放效率的角度来看,钻孔设计间距的优化显著提升了抽放效率。通过科学合理的间距设定,能够确保钻孔布局更加密集且均匀,从而更有效地覆盖煤层中的瓦斯富集区域。这种布局方式使得瓦斯在钻孔内的流动路径缩短,抽放阻力减小,进而加快了瓦斯的逸出速度,提高了单位时间内的抽放量<sup>[4]</sup>。(2)在经济性方面,钻孔设计间距的优化也带来了显著的效益。一方面,合理的间距设置减少了钻孔数量,降低了钻孔施工成本和维护费用。这包括钻机设备的运行成本、人员工资及材料消耗等直接成本,

同时也减少了因钻孔过多而可能导致的资源浪费和环境污染。另一方面,抽放效率的提升意味着在相同时间内能够抽取更多的瓦斯,进而增加了瓦斯利用的经济效益。对于煤矿企业来说,这不仅提高了资源回收率,还为企业带来了额外的经济收益,增强了企业的竞争力和可持续发展能力。(3)从安全性的角度考量,钻孔设计间距的优化是煤矿安全生产的重要保障。瓦斯是煤矿开采过程中的主要危险源之一,其浓度过高易引发爆炸等安全事故,通过优化钻孔设计间距,能够显著降低煤层中的瓦斯浓度,减少瓦斯积聚和逸散的风险。同时,合理的钻孔布局还能为矿井通风系统提供更好的支持,促进矿井内空气的流通和置换,进一步提高了矿井的通风效果和安全系数。

### 结语

综上所述,预抽煤层瓦斯抽采钻孔设计间距的优化应用研究,不仅提高了瓦斯抽采效率和作业安全性,还降低了生产成本,为煤矿瓦斯治理提供了科学有效的解决方案。未来,随着技术的不断进步和数据的持续积累,钻孔设计间距的优化研究将更加深入和完善,为煤矿安全生产和可持续发展做出更大贡献。

### 参考文献

- [1]刘忠全,陈殿赋,孙炳兴等.高瓦斯矿井超大区域瓦斯治理技术[J].煤炭科学技术,2021,49(05):120-126.
- [2]赵宇新.高瓦斯低透性煤层高速水射流破煤增透技术研究[J].煤矿现代化,2019(06):198-201.
- [3]林柏泉,宋浩然,杨威等.基于煤体各向异性的煤层瓦斯有效抽采区域研究[J].煤炭科学技术,2019,47(06):139-145.
- [4]高文贵,王贤田,武德尧.基于钻孔瓦斯流量和煤层瓦斯含量测定有效抽采半径[J].中国煤炭,2019,45(01):143-146.