

矿井通风阻力计算与均压防灭火技术分析

沙 林

宁夏王洼煤业有限公司 宁夏 固原 756000

摘 要：矿井通风阻力计算与均压防灭火技术是保障矿山安全生产的关键。通过公式计算法、测定计算法和数值模拟法等精准计算通风阻力，可为通风系统优化提供依据；开区、闭区及联合均压技术在防灭火领域发挥重要作用。基于通风阻力计算优化均压系统设计，结合动态监测与智能调控、多技术协同融合等策略，实现二者协同发展，有效降低火灾风险，提高通风效率，为矿井安全生产与灾害防治提供有力支撑。

关键词：矿井通风；阻力计算；均压防灭火；技术

引言

在矿井安全生产中，通风阻力与火灾隐患严重威胁人员安全和开采效率。通风阻力影响风流分布与通风能耗，而煤自燃等火灾事故后果严重。准确计算通风阻力，科学运用均压防灭火技术至关重要。本文围绕公式计算、测定计算、数值模拟等通风阻力计算方法，深入分析开区、闭区及联合均压防灭火技术，并探讨二者协同优化策略，旨在为矿井通风系统优化与火灾防治提供理论和实践参考。

1 矿井通风阻力概述

矿井通风阻力是影响矿井通风系统稳定性与有效性的关键因素，其产生根源在于空气在井巷中流动时与井巷壁面、空气内部质点间的相互作用。在矿井复杂的三维空间内，空气流经形状各异、断面尺寸变化的巷道，以及遭遇风桥、风窗、调节风门等通风构筑物时，气流被迫改变方向、速度，由此引发能量损耗并形成通风阻力。按其表现形式，矿井通风阻力可分为摩擦阻力与局部阻力两类。摩擦阻力是空气沿井巷壁面流动时，因黏性力作用与壁面产生摩擦，同时空气内部各流层间相互摩擦所产生的阻力，其大小与井巷长度、风量平方、空气密度成正比，与井巷断面面积平方、周长成反比，遵循达西-威斯伯格公式的数学关系。而局部阻力则是空气流经巷道断面突变、转弯、分叉、汇合等局部地点，气流速度和方向急剧变化，致使风流内部质点相互碰撞、产生涡流，进而形成的阻力。在实际矿井生产中，通风阻力的存在使得通风机需消耗更多能量维持风流稳定，增加了矿山的能耗成本。若通风阻力过大，会导致通风系统风流分配不均，部分区域风量不足，形成瓦斯积聚隐患，严重威胁矿井安全生产；而另一部分区域则可能出现风量过剩，造成能量浪费。通风阻力过大还会加剧通风设备磨损，缩短设备使用寿命，提高设备维护成本。

合理控制矿井通风阻力，需从巷道设计阶段优化巷道布置，尽量减少不必要的弯曲、断面突变；在巷道施工过程中保证巷道壁面平整，降低粗糙度；生产运行阶段及时清理巷道内堆积物，保持通风断面畅通，通过科学管理与技术手段确保矿井通风系统高效稳定运行。

2 矿井通风阻力的计算方法

2.1 公式计算法

公式计算法基于流体力学和通风学理论，通过理论公式对矿井通风阻力进行计算。该方法依据达西-魏斯伯格公式，将矿井通风巷道视为流体流动通道，把通风阻力与巷道内空气的流速、密度、巷道长度、断面形状及粗糙度等因素相关联。对于摩擦阻力，通常采用达西公式 $h_f = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho v^2}{2}$ 进行计算，其中 λ 为摩擦阻力系数， L 是巷道长度， d 为巷道的当量直径， ρ 是空气密度， v 为空气流速。局部阻力则通过 $h_j = \xi \frac{\rho v^2}{2}$ 计算， ξ 为局部阻力系数。

在实际应用中，需要准确测定巷道的几何参数，依据巷道支护方式、壁面材料等确定摩擦阻力系数和局部阻力系数。公式计算法具有理论基础扎实的特点，在设计阶段和初步估算通风阻力时应用广泛，能够为矿井通风系统的规划提供重要参考。然而，由于实际矿井巷道情况复杂，一些参数难以精确获取，使得计算结果与实际值存在一定偏差。

2.2 测定计算法

测定计算法是通过实地测量获取数据，进而计算矿井通风阻力的方法。其核心在于在矿井通风系统中布置测点，利用精密仪器直接测量相关参数。通常采用压差计、风速仪等设备，在巷道不同位置测量风流的压力差和风速。在测量过程中，需要合理选择测点位置，确保能够全面反映通风系统的实际情况。一般在通风系统的

主干风路、分支风路以及通风设施附近布置测点。通过测量相邻测点间的压力差和风速等数据,结合巷道的几何尺寸,依据通风阻力计算公式进行计算。测定算法能够真实反映矿井通风系统的实际运行状况,获取的数据准确性高,可有效指导通风系统的优化调整。但该方法工作量大,需要投入大量的人力、物力和时间,且测量过程易受井下复杂环境因素的影响,如粉尘、湿度、巷道变形等,可能导致测量数据的误差^[1]。

2.3 数值模拟法

数值模拟法借助计算机技术和计算流体力学(CFD)理论,对矿井通风系统进行三维建模与仿真计算。通过将矿井巷道的几何形状、尺寸、通风设施等信息转化为计算机可识别的模型,设定空气的物理属性、边界条件和初始条件,利用专业的计算软件求解流体力学方程,从而模拟出矿井通风系统内的风流场分布,进而计算通风阻力。在建模过程中,需要对矿井巷道进行合理简化和网格划分,网格质量直接影响计算结果的准确性和计算效率。数值模拟法能够直观地展示通风系统内风流的流动规律和通风阻力的分布情况,可模拟多种复杂工况和通风方案,为通风系统的优化设计提供多种选择。与前两种方法相比,数值模拟法具有灵活性高、可重复性强的优势,能够快速评估不同设计方案或改造措施对通风阻力的影响。数值模拟法对建模人员的专业水平要求较高,且模型的准确性依赖于对实际情况的合理简化和参数设定,若模型与实际情况偏差较大,计算结果的可靠性将受到影响。

3 均压防灭火技术分析

3.1 开区均压技术

开区均压技术聚焦于煤矿开采过程中处于正常生产作业状态的区域,旨在通过调节通风系统压力,构建不利于煤炭自燃的环境条件。该技术依托调节风窗、调压风机等设施,精准调整工作面及其周边巷道的风压分布。在实际应用中,依据采区巷道布置、通风网络结构以及煤层赋存特征,对通风阻力进行优化调控,使工作面进回风两端的压力差维持在较低水平,从而有效抑制漏风现象。当工作面采空区遗煤处于氧化蓄热初期阶段,开区均压技术可显著降低氧气供给量,延缓遗煤氧化进程。其优势在于能够在不中断正常开采作业的前提下,实现动态压力平衡调节,通过对通风参数的实时监测与精准控制,降低采空区漏风量,进而减少煤炭自燃风险,为工作面安全生产提供可靠保障,有效延长工作面服务周期,提高煤炭资源回采率。

3.2 闭区均压技术

闭区均压技术针对已封闭的采空区、火区等区域,核心目标是防止外部空气渗入封闭空间,避免因氧气进入引发遗煤复燃或火势蔓延。该技术通过在封闭区域周边巷道合理设置调节装置,如调压气室、连通管等,构建压力平衡系统。依据封闭区域的地质条件、封闭时间以及周边通风状况,对封闭区域内外压力进行匹配调整,使封闭区域内外压力趋于一致,形成稳定的压力平衡状态。在火区封闭后,随着内部热量散发和气体成分变化,闭区均压技术可有效防止因气压波动导致的新鲜空气涌入,抑制火区内残留火源的复燃。该技术的关键在于能够长时间维持封闭区域的稳定压力环境,降低封闭区域漏风率,减少火区启封风险,为火区自然熄灭创造有利条件,同时也为后续封闭区域的安全启封和资源回收奠定坚实基础^[2]。

3.3 联合均压技术

联合均压技术整合了开区均压与闭区均压的技术优势,适用于复杂通风条件下的火灾防治场景。在煤矿开采过程中,当工作面与相邻采空区、火区存在通风联系且存在较大火灾隐患时,联合均压技术通过综合运用多种调压设施和手段,对开采区域和封闭区域的压力进行协同调控。针对工作面与采空区间的漏风问题,结合开区均压技术调节工作面风压,同时利用闭区均压技术稳定采空区压力,阻断漏风通道。在实际操作中,依据通风网络动态变化和火灾隐患分布情况,实时调整各调压装置参数,实现对整个防治区域压力场的精准控制。联合均压技术不仅能够有效降低工作面采空区的漏风量,防止煤炭自燃,还能避免封闭区域内火灾隐患对开采区域的影响,提高矿井通风系统的稳定性和安全性,为复杂条件下的煤炭安全开采提供全面且高效的防灭火解决方案,保障矿井安全生产和经济效益。

4 矿井通风阻力计算与均压防灭火技术的协同优化策略

4.1 基于通风阻力计算的均压系统优化设计

(1) 通风阻力计算作为均压系统优化设计的基础,需精确运用流体力学原理,结合矿井巷道的实际拓扑结构、断面尺寸、粗糙度等参数,构建准确的阻力计算模型。通过对不同巷道段通风阻力的细致分析,明确通风系统中的阻力分布特征,识别高阻力区域,为均压系统的针对性优化提供数据支撑。(2) 在均压系统设计中,依据通风阻力计算结果,合理布置调压设施,如调节风窗、风机等。针对高阻力巷道,可采用增设辅助通风机的方式提升风压,平衡各区域压力;对于低阻力巷道,则可设置调节风窗进行阻力调节,确保整个通风网络

压力均衡,有效抑制漏风现象,降低采空区自燃风险。

(3)考虑到矿井开采过程中巷道形态、设备布置等因素的动态变化,通风阻力也随之改变。这种变化具有复杂性和不确定性,不同区域的巷道变形程度、设备新增或移除情况都会导致通风阻力出现差异。需基于动态变化的通风阻力数据,对均压系统进行实时优化调整。通过建立通风阻力与均压系统参数的关联模型,实现均压系统对通风阻力变化的自适应响应,保障均压系统长期稳定运行,提升防灭火效果^[3]。

4.2 动态监测与智能调控

(1)构建全面的动态监测体系,在矿井的关键位置,如巷道交汇处、通风设施周边等,科学合理地部署高精度传感器。这些传感器能够实时采集风速、风压、温度、氧气浓度等与通风和火灾密切相关的参数。利用物联网技术将数据快速传输至监控中心,形成多维度、实时性强的监测数据信息流,为通风阻力计算与均压系统调控提供准确、及时的数据基础。(2)借助大数据分析 with 人工智能算法,对监测数据进行深度挖掘与分析。通过建立通风阻力预测模型和火灾预警模型,提前预判通风阻力变化趋势以及火灾隐患。根据预测结果,智能生成最优的均压系统调控方案,自动控制调节风窗开度、风机转速等设备,实现通风系统的动态平衡与火灾预防的智能化管理。(3)为确保动态监测与智能调控的有效性,需定期对监测设备进行校准与维护。这包括对各类传感器的精度检测、硬件设备的故障排查以及软件系统的更新升级,全方位保障数据的准确性和可靠性。不断优化智能调控算法,结合实际应用场景和反馈信息,持续提升算法的适应性和调控精度,使通风系统始终处于高效、安全的运行状态,有效应对矿井复杂多变的工况。

4.3 多技术协同融合

(1)将通风阻力计算技术与均压防灭火技术深度融合的同时,结合束管监测技术、红外热成像技术等先进检测手段。束管监测技术可实时分析采空区气体成分,

精准掌握自燃发展进程;红外热成像技术能够直观检测巷道表面温度异常,快速定位高温隐患区域,多技术协同为通风阻力计算和均压系统优化提供更全面、准确的信息。(2)引入数值模拟技术,建立矿井通风与火灾防治的三维数值模型。通过模拟不同工况下通风阻力变化、均压系统运行效果以及火灾发展态势,在虚拟环境中对多种优化策略进行预演和评估。依据模拟结果,优选最佳的协同优化方案,指导实际工程应用,降低现场试验成本和风险,提高优化策略的科学性和有效性。

(3)推动自动化控制技术与通风防灭火技术的协同发展,实现通风设备的自动化运行与远程监控。通过自动化控制系统,根据通风阻力和均压系统需求,自动调节设备参数,确保通风系统稳定运行。远程监控功能便于技术人员实时掌握系统运行状态,及时处理异常情况,提升矿井通风防灭火工作的效率和安全性,形成多技术协同的高效防灭火体系^[4]。

结语

综上所述,深入研究矿井通风阻力计算方法与均压防灭火技术,对保障矿井安全生产意义重大。通过对比分析多种通风阻力计算方法及均压防灭火技术特性,提出协同优化策略,为矿井通风系统优化设计与火灾防治提供了有效途径。未来,需进一步深化动态监测与智能调控技术应用,加强多学科交叉融合,持续完善矿井通风阻力计算与均压防灭火技术体系,以适应矿井安全生产不断发展的需求。

参考文献

- [1]徐明亮.矿井通风阻力计算与均压防灭火技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2024(6):94-96.
- [2]张婧,李强.矿井通风阻力的测定及分析[J].今日制造与升级,2024(7):162-165.
- [3]许津津.矿井通风阻力测定与改进[J].矿业装备,2023(10):120-121.
- [4]李长龙.煤矿综采工作面均压通风防灭火技术分析[J].矿业装备,2024(12):25-27.