

优化矿井通风和安全生产之间的关系

吴 涛

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司综掘服务分公司 宁夏 银川 750000

摘 要：本文系统解析了矿井通风系统对安全生产的多重影响机制，揭示了通风不足引发的核心安全风险，阐明了通风优化带来的综合安全效益。研究指出，安全生产对通风系统存在动态匹配需求，特别是在多灾害耦合场景下需实现精准调控。通过优化通风网络设计、应用智能监测技术、强化应急保障能力，可显著提升矿井安全水平。针对深部矿井挑战与跨学科技术融合趋势，提出未来发展方向，为构建本质安全型矿井提供理论支撑。

关键词：矿井通风；安全生产；瓦斯积聚；粉尘爆炸；智能监测

引言：矿井作业环境复杂，通风系统作为核心安全设施，其效能直接影响生产安全性。随着开采深度增加，瓦斯、粉尘、地热等灾害因素耦合作用加剧，传统通风模式面临挑战。本文基于通风-安全作用链，从影响机制、需求匹配、优化策略三个维度展开探讨，为矿井通风系统升级提供科学依据。

1 矿井通风系统对安全生产的影响机制

1.1 通风不足引发的安全风险

矿井通风系统的有效性直接关系到地下作业环境的安全性。通风不足会带来一系列严重的安全风险，其中瓦斯积聚与爆炸极限分析是首要关注的问题之一。在煤矿等富含瓦斯的矿井中，瓦斯是一种极易燃易爆的气体。当通风不畅时，瓦斯容易在封闭空间内积聚，达到一定浓度后，一旦遇到火源或高温点，便可能引发剧烈爆炸^[1]。这种爆炸不仅会造成巨大的财产损失，还会严重威胁到现场人员的生命安全。粉尘浓度超标同样是通风不足带来的重大隐患。矿井内的煤尘或其他矿物粉尘在空气中悬浮时，若浓度超过安全界限，同样存在爆炸的风险。根据爆炸三角形原理，粉尘爆炸需要满足三个条件：足够的粉尘浓度、氧气和火源。在通风不良的情况下，粉尘无法得到有效稀释和排除，使得这三个条件更容易同时满足，从而增加了粉尘爆炸的可能性。此类事故往往造成灾难性的后果，包括大规模的坍塌和火灾。缺氧环境也是通风不足导致的一个重要问题。矿井深处由于空气流通不畅，可能导致局部区域氧气含量过低，形成缺氧环境。在这种环境下工作的人员如果没有适当的防护措施，很容易发生窒息。缺氧不仅影响人体正常的生理功能，还可能引发意识模糊甚至昏迷，严重影响工作效率和安全性。

1.2 通风优化的安全效益

优化矿井通风系统不仅能有效预防上述安全隐患，

还能带来诸多其他方面的安全效益。风流稳定性对于设备运行至关重要。稳定的风流可以确保机械设备处于适宜的工作环境中，减少因温度过高或湿度过大引起的故障率。例如，在一些自动化程度较高的矿井中，精密仪器对环境条件要求较高，良好的通风能够维持这些设备的最佳工作状态，延长使用寿命，降低维修成本。温湿度控制则是通风优化对作业人员生理健康产生积极影响的重要方面。在矿井这种特殊的工作环境中，温度和湿度的变化会对人体舒适度和健康状况产生显著影响。通过合理的通风设计，可以调节矿井内的温度和湿度，使之保持在一个相对舒适的范围内。这不仅有助于提高工人的工作效率，还能减少因恶劣环境引起的职业病，如呼吸道疾病和皮肤病等。适度的通风还可以带走有害气体和粉尘，进一步改善空气质量，保护工人身体健康。良好的通风系统还有助于提升整个矿井的安全管理水平。它能够为应急救援提供更好的条件。在紧急情况下，如火灾或爆炸发生时，有效的通风系统可以帮助迅速排除烟雾和有毒气体，为救援行动争取宝贵时间。通风系统的设计应考虑到不同场景下的需求变化，具备一定的灵活性和适应性。比如，在某些特定区域增加临时通风设施，以应对突发情况下的通风需求。

2 安全生产对矿井通风系统的需求

2.1 生产环节与通风动态匹配

在矿井安全生产中，确保通风系统与各个生产环节的动态匹配至关重要。首先在采掘工作面，需风量的计算方法是保障安全作业的基础。需风量不仅要满足稀释瓦斯和降低粉尘浓度的基本需求，还需考虑温度控制及人员健康等因素^[2]。根据矿井的具体条件，如开采深度、地质构造及瓦斯涌出量等，科学合理地确定需风量是保障安全的关键。通常情况下，需风量的计算需要综合考量多种因素，包括但不限于气体排放量、作业人数以及

设备散热情况等。通过精确计算所需风量,并根据实际情况进行调整,可以有效避免有害气体积聚和粉尘超标的问题。爆破作业后,气流紊乱成为另一个重要问题。爆破瞬间释放的能量会引发局部气流剧烈波动,导致有害气体迅速扩散,增加了瓦斯积聚和粉尘爆炸的风险。为了有效控制这种气流紊乱现象,必须采取一系列措施。例如,在爆破前进行充分的通风准备,确保有足够的新鲜空气进入作业区域;爆破后立即启动强效通风系统,迅速排出有害气体,恢复正常的气流状态。还可以通过优化爆破参数,减少爆破产生的冲击波强度,从而降低气流紊乱的程度。采用自动化控制系统,实时监控并调整通风量,有助于快速应对爆破后的气流变化,确保作业环境的安全性。

2.2 多灾害耦合作用下的通风要求

在复杂的矿井环境中,多种灾害常常同时存在并相互作用,这对通风系统提出了更高的要求。当瓦斯突出与火灾共存时,如何调控风流成一项极具挑战性的任务。在这种情况下,通风系统不仅要能够快速排除瓦斯,避免其达到爆炸极限,还要防止火灾蔓延。合理的风流调控策略应根据实际情况灵活调整,比如在瓦斯突出初期,增加通风量以稀释瓦斯浓度;一旦发现火灾迹象,则迅速切换至隔离燃烧区的模式,切断氧气供应,阻止火势扩大。通过智能化的监测系统,及时获取瓦斯浓度和温度变化信息,为风流调控提供准确依据。冲击地压区域也是通风系统设计中需要特别关注的部分。冲击地压是一种由岩层应力突然释放引起的动力现象,往往伴随着大量粉尘和有害气体的释放。为了保护作业人员的安全,通风构筑物的防护功能显得尤为重要。这些构筑物不仅需要具备有良好的抗压能力,还应具有高效的通风性能,能够在冲击发生后迅速恢复通风,确保新鲜空气能够及时到达受影响区域。设置必要的监测装置,实时监控冲击地压区域内的空气质量变化,对于及时发现潜在危险并采取应对措施至关重要。例如,安装自动化的通风门和调节阀,可以在冲击发生时自动关闭或打开,以保持空气流通,避免有害体积聚。

3 通风系统优化策略

3.1 通风网络设计优化

矿井通风系统的高效运行建立在科学的通风网络设计之上,其核心在于多级机站通风与分区控制的协同机制。该机制通过在不同作业区域设置独立通风机站,实现风量和风压的灵活调节。当矿井存在高瓦斯区域时,系统可自动增加该区域通风量,确保瓦斯浓度被有效稀释;在常规作业区则维持基础通风量,避免能源浪费。

这种分级控制模式不仅提升了系统响应速度,更通过精准匹配通风需求实现了节能目标^[3]。巷道断面形状的优化是通风网络设计的关键环节,需综合考虑流体力学原理与工程实用性。矩形断面在设备运输中展现优势,其平直结构便于机械化设备通行;拱形断面则通过顶部弧形设计减少应力集中,增强结构稳定性。风阻系数优化通过数值模拟技术实现,采用CFD软件建立巷道模型,计算不同断面形状下的阻力分布,最终确定最优设计方案。为进一步降低摩擦阻力,可采用高分子聚合物内衬材料或水泥喷浆工艺,使巷道表面粗糙度降低至工业标准范围内,显著提升通风效率。在特殊地质条件下,通风网络设计需进行动态调整。遇断层构造时,采用绕道通风方案,避免有害气体沿裂隙扩散;在倾斜煤层开采中,设计折线型通风路线,利用重力作用促进风流循环。通过智能传感器实时监测网络节点压力变化,结合数字孪生技术构建虚拟通风模型,实现网络参数的动态优化,形成自适应调节机制。这种智能化设计使通风系统能够根据生产需求和环境变化自动调整运行状态,为矿井安全生产提供持续保障。

3.2 智能监测与动态调控

智能监测与动态调控技术的应用极大地提升了矿井通风系统的智能化水平。传感器网络布局与数据融合是实现这一目标的基础。在矿井内部合理布置各类传感器,如温度传感器、湿度传感器、瓦斯浓度传感器等,可以实时采集环境参数信息。这些传感器节点相互连接,形成一个覆盖全面的监测网络,能够及时发现异常情况并发出预警信号。通过数据融合技术,将来自不同传感器的数据进行综合分析,提取出有价值的信息,为决策提供依据。基于计算流体力学(CFD)的通风仿真与预案优化是另一项关键技术。利用CFD软件对矿井通风系统进行模拟仿真,可以直观地展示风流分布情况,并预测可能出现的问题。通过对不同工况下的通风效果进行仿真分析,可以提前制定出最优的通风方案。例如,在遇到特殊地质条件或突发事件时,可以通过预先设定的预案迅速调整通风策略,确保安全。这种基于仿真的优化方法不仅提高了决策的科学性,还增强了应对复杂情况的能力。

3.3 应急通风保障技术

应急通风保障技术对于矿井安全生产至关重要。灾变时期风流逆转防控是一项极具挑战性的任务。当发生火灾或其他灾害时,原有的通风系统可能无法正常工作,甚至出现风流逆转的情况,导致有害气体向其他区域扩散,增加事故范围。为此,需要采取一系列措施来

防止风流逆转。例如,安装自动化的风门和反风装置,可以在紧急情况下迅速切换风流方向;利用局部增压风机,强制排出有害气体,确保主要通道的安全畅通。避难硐室正压通风维持则是保障人员生命安全的最后一道防线。在矿井发生重大事故时,避难硐室成为被困人员的临时庇护所。为了保证避难硐室内空气清新,必须维持一定的正压状态,阻止外界有害气体进入。这通常通过专用的通风设备实现,如小型增压风机和过滤装置。这些设备能够在有限的空间内提供足够的新鲜空气,并去除有害成分,确保避难硐室内的空气质量符合标准。定期检查和维护这些设备,确保其始终处于良好状态,是保障应急通风功能的关键。

4 技术挑战与发展方向

4.1 深部矿井通风难题

随着开采深度的增加,深部矿井面临一系列独特的通风难题。高温环境对设备性能的影响尤为显著。在深部矿井中,地热梯度导致温度显著升高,这不仅影响到工人的作业舒适度,还对通风设备的运行效率提出了更高要求。例如,电机和风机等关键设备在高温环境下容易出现过热现象,导致效率下降甚至故障。为了解决这一问题,需要采用耐高温材料和技术,优化设备设计,以提高其在极端条件下的稳定性和可靠性。还需要研究如何通过改进通风系统设计来降低设备的工作负荷,减少热量积聚^[4]。另一个挑战是地应力场变化导致的巷道变形。随着开采深度的增加,岩层承受的地应力也随之增大,可能导致巷道发生变形甚至坍塌。这种变形不仅影响了通风系统的正常运行,还可能造成风流路径的变化,进而影响到整个矿井的通风效果。为了应对这一问题,需要加强对地应力的研究,采用先进的地质探测技术,提前识别潜在风险区域,并采取相应的支护措施,确保巷道结构的安全稳定。还可以通过优化巷道布局和通风网络设计,尽量避开高应力区段,减少变形带来的不利影响。

4.2 跨学科技术融合

面对复杂的矿井通风挑战,跨学科技术融合成为提升管理水平的关键途径。物联网与通风系统的协同管理

是一种新兴的应用模式。通过将各类传感器、控制器和通信设备集成到一个统一的物联网平台中,可以实现对矿井环境参数的实时监测和控制。例如,利用温湿度传感器、瓦斯浓度传感器等设备收集的数据,结合自动化控制系统,能够根据实际情况动态调整通风量,确保各个区域都能获得充足的通风。物联网平台还可以与其他管理系统(如安全监控系统、人员定位系统)进行对接,形成一个综合性的智能管理体系,进一步提升矿井的整体运营效率。人工智能在风流预测中的应用也展现出广阔前景。借助机器学习算法,可以从大量的历史数据中挖掘出潜在规律,建立精准的风流预测模型。这些模型可以根据当前的环境条件和生产活动情况,提前预测未来一段时间内的风流分布和变化趋势,为通风系统的优化提供科学依据。例如,在爆破作业前,可以通过人工智能模型预测气流紊乱的程度,并据此制定合理的通风策略,快速排出有害气体,恢复正常的通风状态。人工智能还可以用于设备故障诊断和维护计划制定,通过分析设备运行状态数据,提前发现潜在故障隐患,及时安排维修保养,避免因设备故障导致的停工损失。

结束语

矿井通风系统与安全生产的协同优化,需通过全流程设计、智能化调控与跨学科技术融合实现。从通风网络的科学布局到应急保障技术的创新应用,再到深部开采难题的突破,均需系统性解决方案。未来,随着物联网、人工智能等技术的深度介入,通风系统将向精准预测、动态自适应方向发展,为矿井安全生产构建更可靠的环境屏障,推动行业向本质安全型升级。

参考文献

- [1]黄伟.井工煤矿开采通风安全技术分析[J].矿业装备,2022(5):170-171.
- [2]王育伟.煤矿开采通风技术与安全技术分析[J].矿业装备,2022(2):141-143.
- [3]张宏利.矿井通风技术及通风系统节能技术探讨[J].山西化工,2025,45(01):215-217.
- [4]高永强.煤矿安全生产中的通风瓦斯治理探究[J].当代化工研究,2023(18):116-118.