矿井通风安全技术应用研究

陈冬冬

陕西煤业化工建设(集团)有限公司矿建二公司 陕西 西安 710000

摘要: 矿井通风系统对保障安全生产意义重大。本文介绍了矿井通风系统基本构成,包括通风方式、设备功能与风网结构;阐述风量调控、有害气体治理、火灾与粉尘防控等关键技术;分析地质、设备、环境等因素对通风安全的影响;提出智能化通风系统构建、节能高效通风技术发展、应急通风保障体系完善等优化方向,为矿井通风安全提供参考。

关键词: 矿井通风;通风安全技术;风量调控;智能化通风;应急通风

引言: 矿井作业环境复杂,通风安全至关重要。合理的通风系统可有效稀释和排出有害气体,调节井下气候条件,为作业人员提供安全健康的工作环境。随着矿井开采深度增加、规模扩大,通风安全面临更多挑战。深入探究矿井通风安全技术应用,提升通风系统性能与可靠性,成为保障矿井安全生产的关键所在。

1 矿井通风系统的基本构成

1.1 通风方式分类

中央式通风方式将进风井和回风井集中布置在矿井中央区域,新鲜空气从中央进风井进入后,沿主要运输巷道流向各作业面,污浊空气经回风巷道汇集至中央回风井排出^[1]。这种方式适用于井田走向较短、煤层埋藏较浅的矿井,空气流动路径简洁,便于集中管理,但覆盖范围有限,当矿井规模扩大时可能出现风量分配不均。对角式通风方式将回风井布置在井田两翼边界,进风井位于中央或井田一侧,新鲜空气经进风井进入后向两翼扩散,污浊空气分别从两翼回风井排出。该方式空气流动路径分散,能均匀覆盖较大井田范围,适用于走向较长、开采深度较大的矿井,可有效减少风阻损失,提升边远作业面的通风效果。混合式通风方式结合中央式与对角式的特点,通常设置多个进风井和回风井,形成多通道的空气循环系统。适用于开采条件复杂、多煤层同时开采的大型矿井,可根据各区域开采进度灵活调整风流方向,平衡不同区域的通风需求,但系统结构相对复杂,需精准控制各井巷的风量比例。

1.2 通风设备功能

主要通风机是矿井通风的核心动力设备,通过叶轮旋转产生风压,驱动空气在井巷中流动。轴流式通风风机依靠叶片推动空气沿轴向流动,适用于中低风压、大风量的通风场景;离心式通风风机通过离心力使空气沿径向流出,多用于高风压、小风量的复杂巷道系统。其运行

状态直接决定矿井总风量的供给能力,需根据矿井总风阻和所需风量确定型号与功率。局部通风机用于井下局部作业区域的通风,如掘进工作面,通过管道将新鲜空气输送至作业点,同时排出局部积聚的有害气体。其体积小、移动方便,能针对性解决局部区域通风不足的问题,布置时需靠近作业面且避免被物料遮挡,确保风流直达作业空间。设备选型需匹配矿井通风阻力和风量需求,布置时应避免风机入口受污浊空气影响,安装位置需便于维护和检修,采取减震措施减少运行噪音对作业环境的影响。

1.3 风网结构设计

矿井风网由一系列相互连接的巷道构成,风路连接形式包括串联、并联和角联。串联风路中空气依次流过各段巷道,适用于短距离、小风量区域,但一段巷道风阻变化会影响整个风路的风量;并联风路中空气同时流经多条巷道,各分支风量可独立调节,适用于需要均匀分配风量的区域,能提高通风系统的稳定性。分支风阻分布影响风量在各巷道的分配,风阻大的巷道风量较小,风阻小的巷道风量较大。设计时需通过调整巷道断面尺寸和支护形式控制风阻,避免局部风阻过大导致风量不足。风网结构的合理性直接关系到通风效率,简洁的风网能减少空气流动过程中的能量损耗,复杂风网则需通过优化分支布局降低风阻差异。风网应具备一定的冗余度,当某段巷道受阻时,风流可通过其他路径绕行,保障通风系统的整体稳定性。

2 矿井通风安全关键技术

2.1 风量调控技术

风量按需分配通过风门调节与风机变频调速协同实现。风门调节依靠改变巷道通风断面面积控制风量,在分支巷道设置可调节风门,根据作业面人数与设备运行情况调整开启度,使风流按比例分配至各区域。风机

变频调速则通过改变电机频率调整转速，当作业面减少时降低转速减少总风量，作业面增加时提高转速增大供风，实现风量动态匹配^[2]。通过精准调控风量，可将有害气体浓度控制在安全范围，当局部区域气体浓度上升时，增加该区域风量加速稀释；同时调节风流速度带走余热，维持井下温度在适宜区间，避免高温影响作业人员效率与设备寿命。风门与风机的联动调节可快速响应区域风量需求变化，确保通风系统灵活适应生产节奏。在掘进工作面与回采工作面转换时，这种调控机制能迅速完成风量重分配，保障各阶段作业环境安全。

2.2 有害气体治理技术

针对瓦斯等有害气体，通风排除采用强化局部风流的方式，在瓦斯易积聚的采空区周边布置导流风障，引导新鲜空气流经积聚区域，将瓦斯带入回风系统排出。通风稀释与抽采结合的协同技术中，抽采设备通过钻孔直达瓦斯源，将高浓度瓦斯直接导出，剩余低浓度瓦斯则由通风系统稀释排出，形成立体治理体系。对于一氧化碳等有毒气体，采用分区隔离通风，在产生源头设置密闭罩，通过局部通风机将污染空气直接抽至回风巷，减少与新鲜空气混合的机会，降低全井气体处理压力。抽采与通风的参数配合需根据气体涌出量实时调整，确保治理效果持续稳定。在爆破作业后，这套技术体系能快速降低巷道内有毒气体浓度，缩短人员进入等待时间。风障角度与风流方向精准匹配，可提升对积聚气体的裹挟能力，增强局部区域通风排险效率。

2.3 火灾与粉尘防控中的通风应用

通风系统在火灾控制中通过调控风流方向阻止火势扩散。火灾发生时，关闭着火区域进风侧风门，打开回风侧风门，使风流反向流动，切断火势蔓延的氧气供给。同时调整风机运行状态，降低着火区域风量，减少助燃空气量，为灭火创造有利条件。通风参数对粉尘扩散影响显著，风速过低时粉尘易沉降堆积，过高则会卷起沉积粉尘扩大污染范围。通过优化风速使粉尘处于悬浮状态并随风流移动，配合在巷道中设置喷雾装置，当含尘风流经过时，水雾吸附粉尘颗粒使其沉降，形成通风与降尘的协同防控体系，降低粉尘对作业人员呼吸系统的危害。喷雾装置的布置密度需与风流速度相适配，提升粉尘捕捉效率。在综采工作面，这种协同防控模式能有效控制煤机作业产生的高浓度粉尘，改善作业能见度与空气质量。

3 影响矿井通风安全的因素

3.1 地质与开采条件

矿井深度增加会使井下温度升高，空气密度降低，

通风阻力随之增大，需强化通风动力以维持足够风量。煤层赋存状态复杂时，如煤层倾斜角度大或存在断层，会导致巷道布置曲折，风流路径延长，增加通风系统的能量消耗。不同开采方式对通风的要求各异，长壁开采形成的大面积采空区可能积聚有害气体，需要针对性布置通风巷道；短壁开采的分散作业面则要求通风系统具备更灵活的风量分配能力^[3]。地质条件发生变化时，如遇涌水或岩层破碎，需及时调整通风方案，增设局部通风设备或改变风流方向，确保有害气体不出现异常积聚。煤层厚度变化也会影响通风效果，厚煤层开采产生的空间更大，需相应提升风量以覆盖全作业区域。断层发育区域易形成通风死角，需额外布置导风设施引导风流穿过。煤层顶板垮落会压缩通风断面，需及时清理垮落物并临时加大局部风量。

3.2 设备运行状态

通风设备老化会导致性能下降，风机叶片磨损使风压降低，无法满足矿井实际通风需求，进而造成局部区域风量不足。设备故障可能突然中断通风，如电机烧毁或传动部件损坏，导致井下风流停滞，有害气体迅速积聚，形成安全隐患。设备维护不当会加速部件损耗，轴承润滑不足会增加运行阻力，过滤器堵塞会影响进风质量，这些问题都会削弱通风系统的稳定性。定期检查设备运行状态，及时更换老化部件，能有效减少因设备问题引发的通风安全风险。通风管道连接处密封不良会造成风量泄漏，尤其在长距离送风的掘进巷道，泄漏量累积会显著降低末端风量供给。风机控制柜元件老化可能导致调速失灵，影响风量精准调控。通风机与风道连接不平整会产生涡流，额外消耗通风能量。

3.3 环境参数变化

矿井内温度升高会降低空气的携氧能力，使作业人员代谢加快，对风量需求增加，通风系统需通过提高风速加速热量散发。湿度增大时，空气流动性变差，粉尘更易附着在巷道壁面，影响通风排尘效果，还可能加剧设备锈蚀，降低通风设备的使用寿命。气压波动会改变风流方向，尤其在多井连通的矿井中，外界气压变化可能导致局部区域出现反向风流，破坏正常的通风秩序。环境参数的持续变化要求通风系统具备良好的适应性，通过动态调整风机运行参数和风门状态，维持稳定的通风效果。巷道内积聚的瓦斯遇温度骤升可能改变爆炸极限，通风系统需协同控制风流与温度，避免形成危险环境。湿度骤升还会使电气设备绝缘性能下降，间接影响通风设备正常运行。采掘面爆破后产生的冲击波会短暂扰乱风流，通风系统需快速恢复稳定送风。

4 矿井通风安全技术的优化方向

4.1 智能化通风系统构建

智能监测技术通过在巷道关键节点布设多类型传感器,实时捕捉风量、风速、气体浓度及设备运行参数^[4]。这些数据经传输网络汇聚至控制中心,形成对通风系统整体状态的动态感知。自动调控技术基于监测数据构建的分析模型,精准判断各区域通风需求,自主调整风门开启度与风机运行参数。当某一作业面瓦斯浓度出现上升趋势时,系统可迅速增加该区域风量,降低非关键区域的风量占比,实现风量按需分配的精准化。智能系统能通过历史数据比对识别异常变化规律,提前预判可能出现的通风隐患,在问题显现前启动调控措施,大幅提升通风系统对井下环境变化的响应速度,减少人工干预的滞后性。引入机器学习算法后,系统可不断优化调控策略,根据不同开采阶段的通风特征自动调整参数设置,适应矿井生产条件的动态变化。在多煤层开采场景中,智能系统能协调各煤层间的风量分配,避免因某一煤层风量过度占用导致其他区域通风不足。

4.2 节能与高效通风技术发展

低能耗通风设备的研发聚焦于提升能量转化效率,采用新型材料制作风机叶片,减少空气阻力带来的能量损耗,优化电机结构降低运行能耗。变频技术的应用使风机可根据实际需求调整输出功率,避免恒定功率运行造成的能源浪费。风网优化通过重构巷道布局减少不必要的转折与狭窄段,降低风阻系数。在巷道分支处采用流线型设计,减少风流扰动形成的能量损耗。对现有风网进行数值模拟分析,识别高阻力区域并进行针对性改造,如扩大局部断面或调整支护形式,使风流流动更顺畅,在满足通风需求的前提下减少总能耗,实现高效运行与节能目标的平衡。开发通风系统与矿井生产进度的联动调节模式,根据采掘面推进情况动态调整风网结构,避免固定风网在生产布局变化后出现的能量浪费。利用余热回收技术将矿井回风中的热量转化为可用能源,为通风设备辅助系统供电,进一步降低整体能耗。

4.3 应急通风保障体系完善

针对突发事故的应急通风方案需结合矿井可能发生

的险情类型设计。火灾事故时,方案应明确风流反向的操作步骤,通过关闭特定风门与切换风机转向,切断火势蔓延路径。瓦斯突出事故时,需快速启动局部抽采设备并加大回风侧风量,防止有害气体扩散至作业区域。备用通风系统的布置需与主通风系统形成互补,在主系统失效时能迅速接替运行。备用风机与主风机采用独立供电线路,确保断电情况下仍可启动^[5]。快速切换机制通过自动化控制实现,当监测到主系统异常时,触发连锁反应,自动开启备用设备并调整相关风门状态,缩短通风中断时间。应急通风路径需避开事故影响区域,确保新鲜空气能持续送达避险硐室与救援通道,为人员疏散与抢险作业提供保障。定期开展应急通风演练,检验备用系统的响应速度与切换可靠性,根据演练结果优化方案细节。在高风险区域预设临时通风接口,事故发生后可快速连接移动通风设备,形成临时通风回路,弥补主备用系统切换过程中的风量缺口。

结束语

矿井通风安全技术应用研究对矿业生产意义重大。通过了解通风系统构成、掌握关键技术、分析影响因素,可针对性优化通风方案。智能化、节能高效通风技术发展以及应急通风保障体系完善,是提升通风安全性的重要方向。未来需持续探索创新,结合实际生产需求,推动矿井通风安全技术不断进步,为矿井安全生产筑牢坚实防线。

参考文献

- [1]苗于录.关于矿井通风安全监测监控系统关键技术的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2023(20):118-120.
- [2]魏向阳,谭晓林.矿井通风技术在煤矿安全中的应用分析[J].内蒙古煤炭经济,2023(24):106-108.
- [3]张乐,贺绍山,陈梦乔.矿井通风安全监测监控系统关键技术应用[J].内蒙古煤炭经济,2024(1):106-108.
- [4]王敏.矿井通风技术在煤矿安全生产中的应用分析[J].现代盐化工,2024,51(3):76-78.
- [5]谢超.煤矿矿井通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J].山西化工,2023,43(2):141-142,157.