

煤矿井下通风系统优化与风量调节策略

吴文福

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

【摘要】：煤矿采掘范围不断延伸，井下巷道结构、用风地点和通风阻力持续变化，通风系统容易出现风量分配失衡、局部供风不足、漏风加剧和调节响应滞后等问题。依据矿井通风网络和作业区域实际需求，优化进回风线路，校核主要巷道阻力，合理设置调节风窗、风门和局部通风设施，建立风量监测、动态调节和异常预警机制。优化后可提高有效风量利用率，改善采掘工作面供风稳定性，降低瓦斯积聚和粉尘扩散风险，增强井下通风系统的安全性、可靠性和调控能力。

【关键词】：煤矿井下；通风系统；风量调节；通风阻力；安全管控

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.093

引言

井下通风承担着输送新鲜空气、稀释有害气体、排出粉尘和调节作业环境的重要任务。采掘工作面不断推进后，巷道长度、断面状态、通风路线和用风地点会发生明显变化，原有风量分配方案容易出现适应性不足。部分区域风量过大造成能源浪费，部分区域供风不足则可能引起瓦斯浓度升高、热害加重和粉尘滞留。风门设置不合理、巷道失修、密闭漏风和局部通风机运行不稳定，也会破坏通风网络平衡。为保持各用风地点风量满足安全生产要求，需要从通风阻力测定、网络结构调整、调节设施配置、局部供风控制和监测管理等方面进行系统优化，使风流方向明确、风量分配合理、异常变化能够及时识别，为井下采掘作业提供稳定可靠的通风条件。

1 煤矿井下通风系统运行特征分析

1.1 井下通风网络结构变化特征

采掘工作面持续推进使井下巷道数量、通风距离和风流路径不断调整，原有通风网络由相对稳定状态转向动态变化状态。新掘巷道接入、废弃巷道封闭、联络巷启用以及采区转移，都会改变进风支路和回风支路之间的连接关系。部分通风线路延长后，沿程阻力明显增加，风流容易向低阻支路偏移，造成局部区域供风不足。通风网络优化需要同步校核风路连通性、风流方向和节点压差，避免串联通风、循环风和无效风流，形成分区清晰、路线稳定、调控灵活的通风结构。

1.2 采掘区域用风需求差异

采煤工作面、掘进工作面、机电硐室和运输巷道的作业条件不同，对供风量、风速和空气质量的要求存在明显差异^[1]。采煤区域受瓦斯涌出、煤尘产生和设备散热影响，需要保持连续稳定的大风量；掘进区域空间狭长，局部通风距离较长，对风筒漏风控制和末端有效风量要求更高。机电设备集中区域需要重点控制温升和有害气体积聚，运输区域则需兼顾粉尘扩散与人员通行安全。风量配置应依据作业强度、瓦斯等级、人员数量和热湿负荷进行动态核定，避免平均分配造成风量浪费或重点区域供风不足。

1.3 通风阻力分布变化规律

井下通风阻力受巷道长度、断面尺寸、支护状态、转弯数量和风量变化共同影响，呈现出空间差异大、动态波动明显的特征。巷道变形、底鼓、积水和材料堆放会缩小有效断面，使局部阻力快速上升；风门、调节风窗和密闭设施设置不合理，也会形成附加阻力并扰乱风量分配。采区向深部延伸后，主通风线路增长，关键支路压差增大，高阻区域更易出现风流衰减。阻力分析需要结合测风、测压和网络解算结果识别异常节点，及时开展巷道修复、断面扩容和设施调整，使阻力分布保持均衡可控。

2 井下风量配置偏差及成因识别

2.1 采掘工作面供风不足问题

采掘工作面供风不足主要表现为实际风量低于作业需求，迎头风速偏小，瓦斯、粉尘和热量不能及时排出。成因涉及通风线路过长、局部通风机能力不匹配、风筒接头漏风、转弯过多及末端出口距离不合理。采区生产布局调整后，用风负荷增加，原有配风参数未能同步修正，也会造成风量分配偏差。部分支路阻力突然增大，使风流向低阻区域转移，进一步削弱重点工作面的有效供风，增加瓦斯局部积聚和作业环境恶化风险。

2.2 通风线路漏风增大问题

通风线路漏风增大多发生于风门、密闭墙、风桥、风筒接头及采空区边界等部位。设施老化、墙体开裂、密封材料失效和风压差过大，会使新鲜风流未到达用风地点便进入回风系统或非生产区域。漏风不仅降低有效风量利用率，还会破坏风流方向和区域压差，造成部分巷道风速异常波动^[2]。采空区漏风可能带入氧气并改变内部气体分布，增加遗煤氧化风险。线路巡检缺少定量检测时，微小漏风点容易持续扩大，形成隐蔽性较强的通风损失。

2.3 调节设施控制滞后问题

调节设施控制滞后表现为风门开闭状态、调节风窗面积和局部通风设备运行参数不能及时适应采掘布局及用风负荷变

化。依赖人工测风和经验调整时,数据采集周期较长,异常风量发现后仍需逐级处置,容易错过最佳调节时机。部分设施缺少状态传感、远程控制和联动逻辑,调节动作相互独立,可能引起相邻支路风量再次失衡。监测数据未与通风网络模型有效衔接,也会降低调节指令的准确性,使风量控制停留在事后修正层面。

3 通风系统结构优化实施方法

3.1 进回风路线分区优化

进回风路线分区优化应依据采区边界、采掘接续计划、瓦斯涌出特征和巷道阻力水平重新划分通风单元,使各采掘区域形成相对独立、方向明确的进风和回风通道。主进风巷承担稳定输送新鲜风流的任务,回风巷集中排出瓦斯、粉尘和热湿空气,避免不同工作面之间出现串联通风、污风复用或风流短路。路线调整前需开展通风网络解算,核定节点风压、支路风量和主要通风机工况,识别风流交叉、高阻绕行和无效供风区域。采煤工作面与掘进工作面应按照生产时序设置分区风路,减少共用回风巷数量,防止单一区域风阻变化干扰其他用风地点。新建联络巷启用后,需要同步完善风门、密闭和调节风窗配置,控制支路压差,保证进回风系统相互独立。数字化通风平台可将巷道拓扑、风量数据和采掘进度联动更新,为路线切换、风流校核和异常支路识别提供实时依据。

3.2 高阻巷道断面修复处理

高阻巷道断面修复需要结合风阻测定、巷道变形监测和风速分布结果确定治理范围,重点处理底鼓、片帮、顶板下沉、积水淤泥及材料占道造成的有效断面缩小。修复前应计算巷道断面积、周界和摩擦阻力变化,明确局部缩径对整条通风支路风量的影响,避免仅凭外观判断安排工程。变形程度较轻的区域可实施清淤卧底、巷帮修整和支护构件复位,恢复设计通风断面;变形严重区域需要采取扩帮、挑顶、加固支护和局部扩容措施,降低单位长度风阻。弯道、岔口和断面突变位置应进行平顺化处理,减少风流分离、涡流和局部能量损失^[3]。修复作业还需控制设备、管线和材料堆放位置,保持巷道净宽与净高满足通风要求。治理完成后应重新测定风速、风量和压差,将修复前后数据纳入通风阻力数据库,持续评估巷道断面变化趋势,为预防性维修和精准治理提供依据。

3.3 通风设施位置合理调整

通风设施位置调整应以稳定风流方向、控制支路压差和提高有效风量利用率为核心,结合巷道交叉关系、人员运输需求和设备布置条件重新确定风门、调节风窗、风桥及密闭设施的安装地点。风门不宜设置于风压波动剧烈、巷道转弯或运输频繁区域,防止启闭过程引起风流短路和局部风量突变;成组风门之间需保留合理间距,并建立闭锁控制,避免同时开启。调节风窗应布置于便于测风和维护的稳定风流段,依据支路目标

风量确定有效通风面积,减少过度节流产生的附加阻力。废弃巷道、采空区通道和临时联络巷需要及时实施密闭,密闭位置应避开破碎带和高压差区,保证墙体承压能力及气密性能。风桥设置应保持进回风流完全隔离,控制断面突变和转弯角度。智能传感装置可对设施状态、两侧压差和风量变化进行连续采集,并根据通风网络运行参数触发远程调节,提高设施调整的准确性和响应速度。

4 井下风量精准调节控制策略

4.1 主要用风地点风量核定

主要用风地点风量核定应综合瓦斯涌出量、作业人数、设备散热、粉尘产生强度、巷道断面及允许风速等参数,分别确定采煤工作面、掘进工作面、机电硐室和运输巷道的最低需风量。核定过程不能沿用固定配风指标,需要根据生产班次、推进进度、设备负荷和环境参数变化进行动态修正。瓦斯涌出较大的区域应以稀释浓度要求作为控制依据,同时校核风速是否满足煤尘控制和作业舒适度要求;局部热害明显的地点还需考虑显热、潜热及空气湿度对风量的附加需求。测风结果应与设计风量、计划风量进行比对,识别风量偏低、配置过剩和波动异常支路。数字化测风系统可持续采集风速、温度、湿度和气体浓度数据,形成分区需风量模型,使风量核定由周期性人工测算转向实时计算,为调节设施控制和主通风机工况调整提供准确参数。

4.2 调节风窗开度动态控制

调节风窗开度控制需要依据目标风量、支路阻力和相邻区域压差建立动态调节规则,避免单纯依靠经验增减通风面积。风窗调整前应分析开度变化对整个通风网络的影响,防止某一支路风量增加后造成其他重点区域供风下降。控制过程中可将实时风量与设定值进行偏差比较,按照小幅度、分阶段原则调节开度,并在每次动作后留出风流稳定时间,重新检测风速和压差。开度变化过大容易引起风量突变、风门承压增加和局部风流紊乱,因此需要设置调节上限、下限及异常锁定条件^[4]。智能执行机构可接收监测系统指令,实现远程启闭和精细定位,并将实际开度、动作时间和风量反馈上传至控制平台。风量异常、瓦斯浓度升高或设施故障时,控制系统应自动切换至安全开度,保留人工干预权限,形成监测、分析、调节和复核相衔接的闭环控制流程。

4.3 局部通风设备协同运行

局部通风设备协同运行应统筹局部通风机、风筒、变频控制装置、备用电源和环境监测设备之间的运行关系,保证掘进迎头风量连续稳定。局部通风机选型需匹配送风距离、风筒直径、沿程漏风和末端需风量,避免设备能力不足或长期高负荷运行。多台设备并联或串联运行时,应校核风压、风量和工况点,防止相互干扰、循环风及喘振现象。风筒吊挂应保持平直,

接头密封严密,转弯半径和出口位置符合送风要求,降低局部阻力和漏风损失。变频控制可根据迎头瓦斯浓度、风速和设备负荷自动调整转速,在满足安全供风的基础上减少无效能耗。主用设备发生停电、故障或风量骤降时,备用通风机和电源应快速切换,并同步触发声光报警、人员撤离和停电闭锁指令,使设备控制、供电保护和监测保持联动运行。

5 通风优化效果检验及管理完善

5.1 有效风量利用水平评价

有效风量利用水平评价应以矿井总进风量、各用风地点实得风量、漏风量和无效风量为基础,建立覆盖主通风线路、采区支路及局部供风系统的指标体系。评价过程需要核对风量分配是否符合核定需求,重点分析采掘工作面有效风量占比、矿井有效风量率、内部漏风率及单位产量通风能耗。测定数据应选择生产状态稳定、通风设施运行正常的时段,并对进风井、回风井、主要巷道和关键节点开展同步测风,减少时差造成的计算偏差。风量利用率下降时,应结合压差变化、设施状态及巷道阻力查明损失路径,区分采空区漏风、风门漏风和非生产区域无效供风。评价结果还需与主要通风机功率、运行效率及风量调节记录进行关联,识别高能耗低利用支路,为通风系统节能调度提供量化依据。

5.2 重点区域供风稳定检验

重点区域供风稳定检验应覆盖高瓦斯采掘面、长距离掘进迎头、机电设备集中区及通风条件易变区域,连续分析风量、风速、压差、瓦斯浓度、温度和湿度等参数。检验不能仅依据单次测风结果,需要比较不同生产班次、设备启停、风门开闭

及采掘推进状态下的参数波动,判断实际供风是否保持在核定范围内。采煤工作面应重点检查进回风端风量差异和风流分布均匀程度,防止局部风速偏低形成气体滞留区;掘进迎头需核查风筒末端风量、出口距离和漏风变化,确认新鲜风流能够到达作业区域^[5]。供风波动超限时,应沿风流方向追踪节点压差和支路风量,定位阻力突增、设施误动或局部通风设备异常,形成问题位置、持续时间及影响范围相互对应的检验记录。

5.3 动态监测调控机制固化

动态监测调控机制固化需要将测风、气体监测、设备控制和通风网络分析纳入统一管理平台,形成数据采集、状态识别、指令下达、执行反馈和效果复核相衔接的闭环流程。监测点位应覆盖主要进回风巷、采掘工作面、通风设施两侧及局部通风机出口,依据风险等级设置采样频率和报警阈值。系统应对风量突降、风向改变、压差异常及瓦斯浓度升高进行关联判断,避免单一参数报警造成误判。调节指令下达后,需要自动记录风窗开度、风机频率、设施状态和参数恢复时间,形成可追溯的运行档案。日常管理还应建立传感器校验、数据质量审查、异常处置分级和通风模型定期更新制度,使采掘布局、巷道状态及用风负荷变化能够及时映射至控制参数,保持调节规则与井下实际工况一致。

6 结语

煤矿井下通风优化应立足采掘布局和用风需求变化,统筹风网结构、巷道阻力、设施配置及局部供风控制。合理核定风量并强化动态监测,可减少漏风和无效供风,改善重点区域通风条件,促进通风管理向精准调节、智能控制、节能运行方向持续深化。

参考文献:

- [1] 张洁.风量分配下的煤矿井下通风量时序控制[J].西昌学院学报(自然科学版),2025,39(3)57-65.
- [2] 曹杰.煤矿井下通风工程与瓦斯治理技术研究综述[J].内蒙古煤炭经济,2025,(15)49-51.
- [3] 张茂.煤矿井下通风及瓦斯爆炸的防治措施探究[J].内蒙古煤炭经济,2025,(13)64-66.
- [4] 李虎.煤矿井下通风系统的优化设计与节能分析[J].能源与节能,2025,(5)91-93.
- [5] 李楠.矿井通风系统风量调节与优化仿真综合研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(4)44-46.