

# 煤矿矿井通风安全管理及通风事故的预防

马磊磊

宁夏宁鲁煤电有限公司任家庄煤矿 宁夏 银川 750000

**摘要:** 煤矿矿井通风安全管理关乎井下作业人员生命安全与矿井稳定生产。本文聚焦通风系统基础理论, 剖析安全管理现状与问题, 如设计不合理、设备老化等。深入探究通风事故类型、成因及风险评估方法。针对性提出预防策略, 涵盖通风系统优化设计、设备改进、制度完善、人员培训及新技术应用等方面, 旨在提升矿井通风安全管理水平, 有效预防通风事故, 保障煤矿安全生产。

**关键词:** 煤矿矿井; 通风安全管理; 通风事故; 预防

引言: 在煤炭开采行业, 矿井通风系统犹如矿井的“呼吸系统”, 是保障作业安全、维持生产秩序的核心要素。良好的通风不仅能稀释瓦斯等有害气体、调节井下气候, 还能防止粉尘积聚。然而, 当前部分煤矿通风安全管理仍存在设计不合理、设备老化、人员操作不规范等诸多问题, 通风事故时有发生, 严重威胁矿工生命与矿井安全。因此, 深入探讨通风安全管理及事故预防策略, 具有重要的现实意义。

## 1 煤矿矿井通风系统基础理论

### 1.1 矿井通风的基本原理

(1) 空气流动规律与通风动力来源: 矿井空气流动遵循流体力学基本规律, 需满足能量守恒与质量守恒。通风动力分为自然通风和机械通风, 自然通风依赖井内外空气密度差产生的自然风压, 受季节、气温等影响较大; 机械通风通过主通风机提供稳定风压, 是现代矿井的主要通风方式, 能保障井下风量持续稳定。(2) 通风网络结构与通风方式分类: 通风网络由巷道、通风设备等构成, 常见结构有串联、并联、角联网络, 其中并联网络通风效率高、安全性好, 应用广泛。通风方式按进回风井位置分为中央式、对角式、混合式, 中央式适用于井田走向短的矿井, 对角式通风阻力小、风量分配均匀, 适合大型矿井。

### 1.2 通风系统的核心功能

(1) 稀释瓦斯与有毒有害气体: 煤矿井下会产生瓦斯、一氧化碳、硫化氢等气体, 通风系统通过持续输入新鲜空气, 稀释有害气体浓度至安全标准以下, 防止瓦斯积聚引发爆炸或人员中毒。(2) 调节井下气候条件: 井下受地温、机械设备散热等影响, 易出现高温高湿环境。通风系统通过空气流动带走热量与湿气, 将井下温度控制在 $26^{\circ}\text{C}$ 以下、湿度控制在 $80\%$ 以下, 保障作业人员舒适与健康。(3) 防止粉尘积聚与爆炸风险: 采煤、

掘进过程产生大量煤尘、岩尘, 通风系统通过合理风速( $0.25\text{-}4\text{m/s}$ )将粉尘带走, 避免粉尘积聚引发爆炸, 同时减少粉尘对人体的危害<sup>[1]</sup>。

### 1.3 通风系统的组成要素

(1) 主通风机、局部通风机、风门、风桥等设备: 主通风机是矿井通风的核心设备, 分为离心式和轴流式, 负责提供全矿所需风压与风量; 局部通风机用于掘进工作面等局部区域通风, 保障独头巷道空气流通; 风门用于调节巷道风量, 风桥用于跨越巷道时避免风流短路, 确保通风系统稳定。(2) 通风网络拓扑结构与风量分配模型: 通风网络拓扑结构以巷道为节点、风流为边, 通过图形化方式呈现矿井通风系统布局, 便于分析风流走向与阻力分布; 风量分配模型基于流体力学方程, 结合巷道阻力、设备性能等参数, 计算各巷道合理风量, 确保各用风地点风量满足安全需求, 实现通风系统高效运行。

## 2 煤矿矿井通风安全管理现状与问题分析

### 2.1 通风安全管理的关键环节

(1) 通风系统设计与优化: 需结合矿井井田范围、煤层赋存条件及开采规划, 确定合理的通风方式与网络结构, 确保风量满足各用风地点需求。同时, 随开采进度动态优化系统, 避免因开采布局变化导致风流紊乱, 为通风安全奠定基础。(2) 通风设备维护与检修: 建立主通风机、局部通风机、风门等设备的定期维护制度, 检查设备运行参数(如风机转速、风压)、零部件磨损情况及密封性能, 及时更换老化部件, 保障设备持续稳定运行, 防止因设备故障中断通风。(3) 通风参数监测与动态调控: 通过传感器实时监测井下风量、瓦斯浓度、温度等参数, 依托监控系统分析数据。当参数异常(如风量骤降、瓦斯超限)时, 及时调整风机工况或风门开度, 实现通风系统的动态平衡, 消除安全隐患<sup>[2]</sup>。

## 2.2 当前存在的主要问题

(1) 通风系统设计不合理: 部分矿井设计时未充分考虑煤层瓦斯涌出量及开采规模, 导致风量分配不均; 或因巷道布局不当形成风流短路, 使掘进工作面、采空区等关键区域风量不足, 增加瓦斯积聚风险。(2) 设备老化与维护缺失: 一些中小型矿井为降低成本, 长期使用超期服役的通风设备, 且未落实定期维护计划, 风机轴承磨损、风门密封失效等问题频发, 却未及时检修, 设备故障概率大幅上升, 严重威胁通风系统可靠性。(3) 人员操作不规范与安全意识薄弱: 作业人员存在违规操作, 如擅自关闭风门、调整风机参数; 部分员工未充分认识通风安全的重要性, 日常巡检流于形式, 未能及时发现设备异常或参数偏差, 为事故埋下隐患。(4) 应急预案与应急能力不足: 矿井应急预案针对性不强, 未结合通风事故(如风机停机、瓦斯超限)制定详细处置流程; 且应急演练频次不足, 员工应急处置技能欠缺, 事故发生时难以快速有效响应, 导致事故危害扩大。

## 3 煤矿矿井通风事故的成因与风险评估

### 3.1 通风事故的主要类型

(1) 瓦斯积聚与爆炸事故: 当井下通风不良导致瓦斯浓度超过5%-16%的爆炸极限, 且遇到火源(如电气火花、机械摩擦火花)时, 易引发爆炸。事故会产生高温高压冲击波, 破坏巷道与设备, 同时释放大量有毒气体, 造成人员伤亡, 是煤矿最严重的通风事故之一。

(2) 煤尘爆炸事故: 采煤、掘进过程中产生的煤尘若未被通风系统有效带走, 浓度达到 $45\text{g}/\text{m}^3$ - $2000\text{g}/\text{m}^3$ 时, 遇火源会发生爆炸。爆炸不仅会直接造成人员伤亡, 还会扬起更多煤尘引发二次爆炸, 扩大事故危害范围, 且爆炸后产生的一氧化碳会加剧人员中毒风险。(3) 通风系统瘫痪导致的窒息事故: 主通风机故障停机、巷道坍塌堵塞或风流短路等原因, 会导致通风系统瘫痪, 井下氧气浓度快速降至18%以下。作业人员因缺氧出现头晕、昏迷, 若未能及时撤离, 将发生窒息死亡, 此类事故在独头巷道或深部开采区域尤为危险。

### 3.2 事故成因的多因素分析

(1) 自然因素: 复杂地质构造(如断层、褶皱)会阻碍风流流通, 形成局部通风死角; 高瓦斯矿井或煤层瓦斯涌出量突然增大时, 通风系统若无法及时稀释, 易导致瓦斯积聚。此外, 地温升高会加速瓦斯解吸, 进一步增加事故风险。(2) 设备因素: 通风机轴承磨损、电机故障等会导致停机, 中断井下供风; 风门密封件老化、转轴锈蚀会造成风门关闭不严, 形成风流短路, 导致用风地点风量不足。局部通风机供电不稳定或备用设

备缺失, 也会加剧通风中断风险<sup>[3]</sup>。(3) 管理因素: 部分矿井未建立完善的通风管理制度, 存在巡检频次不足、隐患整改不及时等问题; 员工安全培训流于形式, 作业人员缺乏瓦斯、煤尘检测技能, 违规操作(如带电检修、违规动火)频发, 为事故埋下隐患。

### 3.3 通风安全风险评估方法

(1) 层次分析法(AHP)在通风风险评估中的应用: 将通风风险划分为自然、设备、管理等目标层, 再细化为瓦斯涌出量、风机可靠性、培训效果等指标层, 通过构建判断矩阵确定各指标权重, 量化评估不同因素的风险等级, 为制定管控措施提供优先级依据。(2) 基于模糊综合评价的通风系统安全性分析: 针对通风系统中“风量充足度”“设备完好率”等模糊指标, 通过专家打分确定评价等级(如“安全”“较安全”“危险”), 结合隶属度函数计算综合评价结果, 精准识别通风系统的安全薄弱环节。(3) 数值模拟技术(CFD)在通风优化中的实践: 利用CFD软件构建井下通风系统三维模型, 模拟不同工况下的风流速度、瓦斯浓度分布, 预测通风死角或风量不足区域。通过模拟结果优化巷道布局、调整风机参数, 提前消除通风隐患, 降低事故发生概率。

## 4 煤矿矿井通风安全管理及通风事故的预防策略与技术措施

### 4.1 通风系统优化设计

(1) 基于矿井地质条件的通风网络优化: 结合井田地质构造(如断层、煤层倾角)、瓦斯涌出量分布及开采进度, 采用通风网络解算软件(如Ventsim)模拟不同工况下的风流状态。对高瓦斯区域采用分区通风模式, 增设专用回风巷; 针对通风死角, 通过调整巷道走向、增加联络巷等方式优化网络结构, 避免风量浪费与局部风量不足, 从源头降低瓦斯积聚风险。(2) 智能通风控制系统的研发与应用: 构建集数据采集、分析、调控于一体的智能系统, 通过部署风速、瓦斯、温度传感器, 实时获取井下通风参数。系统可自动识别风流异常(如短路、逆流), 并远程控制风门开度、风机转速, 实现风量动态分配。例如, 当掘进工作面瓦斯浓度升高时, 系统自动加大局部通风机风量, 同时关闭邻近非必要巷道风门, 确保关键区域供风稳定。

### 4.2 通风设备与设施的改进

(1) 主通风机的智能化改造与节能运行: 对传统主通风机进行变频改造, 配备智能监控模块, 实时监测风机电流、振动、轴承温度等参数, 当参数异常时自动报警并切换至备用风机。结合矿井用风需求, 通过变频技

术调节风机转速，避免“大马拉小车”现象，在保障风量的同时降低能耗，延长设备使用寿命。（2）局部通风机的动态调控与防爆设计：研发具备风压自适应调节功能的局部通风机，根据掘进工作面长度变化自动调整风量，防止因风量过大导致煤尘飞扬或风量不足引发瓦斯积聚。采用隔爆型外壳与阻燃电缆，提升设备防爆等级，同时在风机进风口加装粉尘过滤装置，减少粉尘对设备的磨损，降低故障概率<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 安全管理制度的完善

（1）通风安全标准化管理体系的构建：依据《煤矿安全规程》，制定涵盖通风系统设计、设备维护、参数监测等环节的标准化流程，明确各环节操作规范与质量标准。例如，规定主通风机每月至少进行1次性能测试，风门每季度进行1次密封性能检查，确保管理工作有章可循，减少人为失误。（2）通风安全责任制与考核机制强化：建立“矿长-通风科长-区队负责人-岗位员工”的四级安全责任体系，将通风安全责任落实到个人。将通风安全指标（如设备完好率、瓦斯超限次数）纳入绩效考核，对责任落实到位、未发生安全隐患的团队与个人给予奖励，对违规操作、隐患整改不力者严肃追责，形成“奖优罚劣”的管理氛围。

#### 4.4 人员培训与应急能力提升

（1）通风安全操作规程的规范化培训：针对不同岗位（如通风工、风机操作工）制定专项培训计划，采用“理论授课+现场实操”的模式，讲解通风系统原理、设备操作方法及瓦斯、煤尘应急处置要点。每半年组织1次技能考核，考核不合格者不得上岗，确保员工具备扎实的安全操作技能。（2）通风事故应急预案的制定与演练：结合矿井常见通风事故类型（如风机停机、瓦斯爆炸），制定针对性应急预案，明确应急指挥机构、救援流程及人员职责。每季度组织1次实战化应急演练，模拟事故场景（如井下风门失效导致风流短路），提升员工应急响应速度与协同处置能力，避免事故扩大<sup>[5]</sup>。

#### 4.5 新技术应用与前沿探索

（1）物联网（IoT）在通风监测中的集成应用：将物联网技术与井下通风监测系统融合，通过无线传感器网络实现通风参数（风量、瓦斯浓度）的实时传输与远程监控。管理人员可通过手机APP随时查看井下通风状态，及时发现异常并下达调控指令，打破传统“定时巡检”的局限性，实现通风管理的全天候、全覆盖。（2）人工智能（AI）在通风故障预测中的实践：利用AI算法（如神经网络、支持向量机）分析历史通风设备运行数据、故障记录，构建故障预测模型。模型可根据实时监测数据预测设备潜在故障（如风机轴承磨损、风门密封老化），提前发出预警并推荐维修方案，将“事后维修”转变为“事前预防”，大幅降低通风系统瘫痪风险。

#### 结束语

煤矿矿井通风安全管理是煤矿安全生产的基石，关乎矿工生命与矿井存亡。通过对通风系统优化、设备改进、制度完善、人员培训及新技术应用等多维度探索，我们构建起全方位的预防体系。未来，仍需持续创新安全管理理念，紧跟技术发展前沿，不断提升通风安全管理水平。唯有如此，才能有效预防通风事故，为煤矿安全生产筑牢坚实防线，推动行业稳健发展。

#### 参考文献

- [1]周连松.煤矿通风安全管理及瓦斯防治技术[J].矿业装备,2023(9):91-93.
- [2]籍鹏.煤矿通风安全隐患管理的措施探讨[J].当代化工研究,2020(15):56-57.
- [3]贺小斌.煤矿井下通风安全隐患管理探讨[J].山西冶金,2022,45(3):365-367.
- [4]冯剑.煤矿矿井通风安全管理及通风事故的预防[J].能源与节能,2024,(08):242-244.
- [5]荆景云.煤矿矿井通风安全管理及通风事故的预防[J].矿业装备,2023,(10):108-110.