

# 煤矿通风安全评价与优化

靳亚星

武安市科技和工业信息化局 河北 邯郸 056300

**摘要：**煤矿通风系统是井下安全的核心保障，需结合地质构造与开采布局形成立体网络，依赖动态调控与智能监测维持高效运行。其安全评价涵盖定性、定量及综合方法，定性依托经验与因素图分析，定量借助数据统计与模型计算，综合法则融合二者优势。优化策略包括布局优化、设备升级、强化管理及智能化改造等方面，通过多维度措施提升系统安全性与效能，以应对复杂开采条件下的各类风险，保障矿井生产持续稳定。

**关键词：**煤矿通风安全；评价；优化

## 引言

煤矿通风系统对井下生产环境安全至关重要，深部开采的复杂条件使其面临诸多挑战。当前，通风系统的安全评价与优化成为保障矿井安全高效生产的关键。本文基于煤矿通风系统的概述，深入探讨其安全评价方法，包括定性、定量及综合评价法，进而提出优化策略，涉及网络布局、设备技术、安全管理及智能化改造等，旨在为提升煤矿通风系统安全水平与运行效能提供参考。

## 1 煤矿通风系统概述

煤矿通风系统是保障井下生产环境的核心环节，其通过合理布设风道与动力设备，实现空气的定向流动与循环，为作业面输送新鲜空气并排出有害气体，维系井下环境的安全稳定。该系统的设计需紧密结合矿井地质构造、开采布局及煤层赋存特征，形成覆盖全井的立体通风网络，确保各作业区域风量充足且分布均衡，避免因局部通风不畅引发瓦斯积聚、粉尘超标等风险。通风系统的高效运行依赖于对风流参数的动态调控，借助风机变频技术与智能监测终端，可实时感知井下风量、风压及气体浓度的变化，通过自动调节风机转速与风门状态，实现风量的精准分配，既满足生产需求又减少能耗损失。针对深部开采面临的高地温、高瓦斯等复杂条件，系统需融入热害治理与瓦斯抽采的协同机制，将抽采后的瓦斯通过专用通道导出，同时引入地表冷空气或采用制冷设备降低井下温度，构建多维度的环境调控体系。系统的维护管理强调预防性检修与状态评估，通过定期对风机、风筒、风门等关键设备进行性能检测，及时更换老化部件并优化风道布局，确保通风阻力处于合理区间，避免因设备故障导致通风中断。结合矿井开拓延伸与采区接替计划，通风系统需具备可扩展性，通过预留风道接口与设备安装空间，实现与新采区的无缝对

接，保障生产接续过程中通风能力的持续稳定。通风系统的智能化升级是提升管理效能的重要方向，通过构建数字孪生平台，将井下通风网络转化为可视化的虚拟模型，结合实时监测数据模拟不同工况下的风流状态，为系统优化与应急决策提供数据支撑，推动通风管理从经验驱动向数据驱动转变，提升整体安全保障能力。

## 2 煤矿通风安全评价方法

### 2.1 定性评价方法

定性评价方法在煤矿通风安全评价中占据重要地位，它主要凭借专业知识与经验积累，对通风系统的多个关键维度展开深入剖析。例如，专家凭借自身在煤矿通风领域多年积累的丰富实践经验，以及对各类通风设施原理、性能的透彻理解，对通风系统设计方案的合理性进行精准判断。他们会仔细考量风道布局是否符合矿井的复杂地质构造，是否能确保风流均匀且稳定地输送至各个作业区域，避免出现通风死角。在设备设施可靠性评估方面，专家会从设备的选型是否适配矿井的生产规模、运行年限以及日常维护记录等多方面综合判断。对于通风管理制度，专家会审查其是否涵盖全面且细致的日常巡检流程、故障应急处理预案以及人员培训计划等内容。因素图分析法也是定性评价的重要手段。通过构建详细的因素图，将通风系统中涉及的众多因素，如瓦斯浓度、风速、风量、通风阻力等关键参数，以及设备状态、人员操作规范程度等人为因素进行系统梳理与关联分析。从这些错综复杂的因素交织关系中，精准识别出可能对通风安全构成重大威胁的关键因素。定性评价方法能够直观且快速地为通风系统安全状况勾勒出大致轮廓，为后续更深入的评价工作奠定坚实基础，尽管其缺乏精确的量化数据支撑，但在初步筛查风险、把握整体安全态势方面具有不可替代的作用<sup>[1]</sup>。

### 2.2 定量评价方法

定量评价方法为煤矿通风安全评价注入了科学精准的力量，它借助先进的监测技术与严谨的数学模型，实现对通风系统关键参数的精确量化分析。统计分析法通过长期、持续地收集通风系统运行过程中的海量数据，诸如不同时间段的风量、风压、瓦斯浓度等数据序列，运用统计学的专业方法，深入挖掘数据背后隐藏的规律与趋势。通过计算数据的平均值、标准差等统计量，能够清晰地了解各参数的正常波动范围，一旦实际监测数据超出该范围，便能迅速察觉通风系统可能出现的异常状况。模型计算法则基于通风系统的物理原理与数学逻辑，构建高度贴合实际的数学模型。例如，依据流体力学原理构建风流在复杂风道网络中流动的数值模型，输入风道的几何尺寸、粗糙度、风机性能参数等详细信息，通过计算机模拟运算，精确预测不同工况下各作业区域的风量分配、风速分布以及通风阻力大小。这种方法能够在通风系统设计阶段，提前对多种设计方案进行模拟比对，筛选出最优方案，确保通风系统在投入运行后具备高效稳定的性能。定量评价方法以数据为核心驱动力，为通风安全评价提供了精确且客观的依据，极大地提升了评价结果的可靠性与说服力，有助于制定针对性强且精准有效的安全管理策略。

### 2.3 综合评价方法

综合评价方法巧妙融合定性与定量评价的优势，从多个维度全面且深入地剖析煤矿通风安全状况。权重法在其中发挥着关键作用，它依据各评价指标对通风安全影响程度的不同，科学合理地赋予相应权重。例如，在众多影响因素中，瓦斯浓度的控制对于通风安全至关重要，其权重可设定相对较高；一些次要因素，如通风设备外观的完好程度，权重则相应较低。通过对各指标的量化数据与定性评价结果进行加权计算，得出能够综合反映通风系统安全水平的量化数值，使评价结果更加全面、准确地体现通风系统的实际安全状态。TOPSIS法（逼近理想解排序法）也是综合评价的有力工具。它通过构建理想解和负理想解，将通风系统的实际评价指标与理想状态下的最优指标、最差状态下的指标进行对比分析。在对比过程中，综合考量各指标与理想解的接近程度以及与负理想解的远离程度，从而对通风系统的安全性进行精准排序。这种方法能够充分利用定性与定量评价所获取的丰富信息，避免单一评价方法的局限性，为通风安全评价提供更为科学、全面、可靠的结论，为煤矿通风系统的优化改进与安全管理决策提供坚实有力的支撑<sup>[2]</sup>。

## 3 煤矿通风安全优化策略

### 3.1 优化通风网络布局

(1) 依据矿井的地质构造与开采规划，构建精准的通风网络模型。利用先进的建模软件，充分考虑巷道的走向、坡度、断面尺寸以及煤层的赋存状态等因素，模拟不同工况下风流的流动路径与分布情况。通过对模拟结果的深入分析，精准识别通风薄弱区域，如可能出现风流短路、通风死角的地段，进而针对性地调整风道走向与布局，确保风流能够均匀、高效地覆盖各作业区域，从根本上消除通风隐患。(2) 在通风网络中合理设置调节设施，如采用智能型风量调节阀。这类调节阀能够根据监测到的实时风量数据，自动调整开度，精确控制各分支风道的风量分配。在采区接替或开采工艺发生变化导致需风量改变时，调节阀可快速响应，实现风量的动态平衡，避免因风量分配不合理引发的瓦斯积聚或粉尘飞扬等问题，保障通风系统的稳定运行。(3) 注重通风网络的冗余设计，增设备用风道与联络巷。在主要通风路线出现故障或需要维修时，备用风道能够迅速投入使用，维持井下通风的连续性。联络巷则可在不同通风区域之间建立灵活的风流联络通道，便于在紧急情况下进行风流的调配与控制，增强通风系统的抗灾变能力，确保矿井在复杂工况下仍能保持良好的通风状态。

### 3.2 升级通风设备与技术

(1) 引入高效节能型通风机，采用新型的叶轮设计与电机驱动技术。新型叶轮在保证大风量输出的同时，能够有效降低风机运行时的阻力，提高风机的气动效率；高效电机则具备更高的功率因数与能量转换效率，减少电能损耗。通过应用此类通风机，可在满足井下通风需求的前提下，显著降低通风系统的能耗，实现节能增效的目标，降低煤矿的运营成本。(2) 对通风风筒进行升级换代，选用高强度、低风阻且具有良好阻燃性能的新型材料制作风筒。例如，采用纳米复合材料增强的风筒，其表面光滑，可有效减少风流在风筒内流动时的摩擦阻力，提高通风效率。新型风筒的高强度特性使其更能适应井下复杂的作业环境，减少风筒破损漏风的情况发生，确保通风系统的风量稳定传输。(3) 积极探索并应用新型通风技术，如采用诱导通风技术。该技术通过在巷道中合理布置诱导风机，利用高速射流诱导周围空气流动，有效解决局部通风难题，尤其是在一些复杂的采掘工作面或通风困难区域，能够增强空气的流动性，改善通风效果。还可引入空气幕技术，在特定区域形成空气屏障，阻挡有害气体与粉尘的扩散，优化作业环境，保障矿工的身体健康<sup>[3]</sup>。

### 3.3 加强通风安全管理

(1) 制定详细且科学的通风安全操作规程，明确各

岗位在通风系统运行与维护中的职责与操作流程。对通风设备的开启、关闭、日常巡检以及故障应急处理等环节，均制定标准化的操作步骤，并要求工作人员严格执行。通过规范操作流程，减少因人为失误导致的通风事故发生概率，确保通风系统的安全稳定运行。（2）建立常态化的通风安全检查机制，组建专业的检查团队，定期对通风系统的各个环节进行全面检查。检查内容涵盖通风设备的运行状态、通风设施的完好程度、风道的畅通情况以及气体浓度监测数据等。对于检查中发现的问题，及时记录并下达整改通知书，明确整改责任人与整改期限，跟踪整改落实情况，形成闭环管理，确保通风系统始终处于良好的运行状态。（3）强化员工的通风安全培训与教育，定期组织开展通风安全知识讲座与技能培训活动。邀请行业专家进行授课，讲解通风系统的工作原理、常见故障及处理方法、通风安全事故案例分析等内容，提高员工对通风安全重要性的认识，增强员工的操作技能与应急处置能力。通过开展安全知识竞赛、技能比武等活动，激发员工学习通风安全知识的积极性，营造良好的安全文化氛围。

### 3.4 推进通风系统智能化改造

（1）构建智能化通风监测系统，在井下通风网络的关键节点部署各类智能传感器。这些传感器能够实时采集风量、风压、风速、瓦斯浓度、一氧化碳浓度等多种参数，并通过无线传输技术将数据快速上传至地面监控中心。利用大数据分析与人工智能算法，对采集到的数据进行实时分析与处理，及时发现通风系统中的异常情况，并发出预警信号，为通风安全管理提供准确、及时的数据支持。（2）开发通风系统智能决策平台，结合通风网络模型与实时监测数据，借助大数据分析与智能算法技术，深度洞察通风系统运行态势。当监测到某区域

风量不足或瓦斯浓度异常时，智能决策平台能依据预设算法，快速精准自动生成优化调整方案，如调整风机转速、开启或关闭特定风门等，并通过远程控制技术自动执行，实现通风系统的智能化自适应调节，提高通风系统的响应速度与调控精度。（3）利用虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术，为通风系统的维护与管理提供可视化支持。通过构建通风系统的三维虚拟模型，维修人员可借助VR设备沉浸式地对通风设备进行虚拟检修与故障模拟演练，提高维修技能与效率。在现场作业中，AR设备可将设备的实时运行参数、维修指南等信息直观地呈现在维修人员眼前，辅助其快速准确地进行设备维护与故障排查，提升通风系统的维护管理水平<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述，煤矿通风系统是矿井安全的核心环节，其高效运行与安全保障依赖科学的评价方法和优化策略。定性、定量及综合评价方法从不同维度为系统安全提供判断依据，而布局优化、设备升级、管理加强及智能化改造等策略，有效提升了系统的安全性、经济性与适应性。未来，需持续推进通风系统的智能化与协同发展，以应对更复杂的开采环境，为煤矿安全生产提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]程韦华.煤矿通风安全评价与优化[J].能源与节能,2024(3):228-230,237.
- [2]杨国仁.煤矿通风安全评价与优化[J].能源与节能,2022(12):186-188.
- [3]刘丹丹.煤矿通风安全评价与优化[J].电脑校园,2024(6):340-342.
- [4]张洪涛.煤矿通风系统安全性评价与优化研究[J].西部探矿工程,2020,32(10):121-123.