

# 矿井通风系统能效评估及节能改造技术路径探索

齐 强

山西宁武德盛煤业有限公司 山西 忻州 036700

**【摘要】**：矿井通风系统是保障煤矿安全生产的核心基础设施，其运行能效直接关系到煤矿生产的安全性、经济性与环保性。当前我国部分矿井通风系统存在设备老化、网络布局不合理、运行调控粗放等问题，导致能效偏低、能耗居高不下，既增加了生产成本，也不符合绿色矿山建设的发展要求。本文结合矿井通风系统实际运行特点，识别能效影响因素，构建科学可行的能效评估体系，重点探索设备、通风网络、运行调控三个核心层面的节能改造技术路径，并分析不同技术路径的适配性，为矿井通风系统能效提升与节能改造提供实践指导，助力煤矿行业实现节能降耗与安全生产的协同发展。

**【关键词】**：矿井通风系统；能效评估；节能改造；技术路径；通风网络

DOI:10.12417/2705-0998.26.05.064

## 引言

煤矿开采过程中，通风系统承担着向井下输送新鲜空气、排出有害气体、调节井下温湿度的重要职能，是煤矿安全生产不可或缺的组成部分。随着煤矿开采深度不断增加、开采规模持续扩大，通风系统的运行负荷逐年提升，能耗占煤矿总能耗的比例也不断增大，部分矿井通风系统能耗占比已达到30%以上，成为煤矿节能降耗的关键环节。当前，绿色矿山建设与“双碳”目标提出了更高的节能要求，传统矿井通风系统的能效短板日益凸显，诸如通风设备低效运行、通风网络阻力分布不均、运行参数调控不及时等问题，不仅造成能源的大量浪费，还可能因通风不足引发安全生产隐患。开展矿井通风系统能效评估及节能改造技术路径探索，能够精准识别通风系统的能效短板，提出针对性的改造方案，实现通风系统安全、高效、节能运行，对于推动煤矿行业高质量、绿色化发展具有重要的现实意义。

## 1 矿井通风系统基础理论与能效影响因素分析

### 1.1 矿井通风系统核心构成

矿井通风系统由通风动力设备、通风网络、通风构筑物及监测调控装置四部分构成，各部分协同作用，保障通风系统稳定运行。通风动力设备是系统运行的核心动力来源，主要包括主通风机、局部通风机，其中主通风机承担着全矿井的通风任务，其运行性能直接决定通风系统的整体能效；通风网络是新鲜空气输送与有害气体排出的通道，由井筒、巷道、采空区等构成，网络布局的合理性直接影响通风阻力与风量分配；通风构筑物用于调节通风网络中的风量、风压，包括风门、风桥、风窗等，其设置精度与密封性会影响通风系统的漏风率；监测调控装置用于实时监测通风系统的风量、风压、有害气体浓度等参数，为系统运行调控提供数据支撑，其监测精度与响应速度决定了调控的及时性与准确性。

### 1.2 矿井通风系统能效核心内涵

矿井通风系统能效是指通风系统在满足井下安全生产所

需通风条件的前提下，消耗单位能源所实现的通风效能，核心体现为通风系统的能源利用效率与通风效果的匹配度。高效的矿井通风系统需在保证井下各作业地点风量充足、有害气体浓度控制在安全标准范围内、温湿度符合作业要求的基础上，最大限度降低能源消耗。能效水平的高低不仅取决于通风设备的运行效率，还与通风网络的阻力分布、运行调控的精准度密切相关，是通风系统设计、设备选型、运行管理等多方面因素共同作用的结果，其核心评价标准是在满足安全生产底线要求的前提下，实现能源消耗最小化与通风效能最大化的平衡。

### 1.3 矿井通风系统能效影响因素识别

矿井通风系统能效受多方面因素影响，且各因素相互关联、相互影响。通风设备性能是核心影响因素，设备老化、选型不合理会导致运行效率大幅下降，比如老旧主通风机的运行效率可能低于70%，远低于新型高效通风机的85%以上；通风网络阻力分布不均会增加通风能耗，巷道断面过小、转弯过多、积尘堆积等都会增大局部通风阻力，导致通风机需消耗更多能源克服阻力；漏风问题也是影响能效的重要因素，通风构筑物密封性不足、采空区漏风等会导致有效风量损失，使得通风机输出的风量无法全部用于井下作业面通风，间接增加能耗；运行调控方式不合理会导致通风系统与井下生产负荷不匹配，比如生产负荷降低时未及时调整通风机转速，导致能源浪费；此外，矿井开采深度、地质条件、生产布局等也会通过影响通风阻力、通风需求，间接影响通风系统能效。

## 2 矿井通风系统能效评估体系构建

### 2.1 评估指标筛选与确定

评估指标的筛选需遵循科学性、实用性、针对性原则，结合矿井通风系统实际运行特点，从设备运行、通风网络、运行效果、能耗水平四个维度筛选核心评估指标。设备运行维度选取主通风机运行效率、局部通风机利用率两个指标，直接反映通风设备的能源利用效率；通风网络维度选取通风阻力系数、漏风率两个指标，体现通风网络的合理性与密封性；运行效果

维度选取有效风量率、井下有害气体达标率、作业面温湿度达标率三个指标,保障通风系统满足安全生产需求;能耗水平维度选取单位风量能耗、通风系统能耗占比两个指标,直接反映通风系统的能耗状况。各指标均选取可直接监测、量化计算的参数,避免选取难以量化的抽象指标,确保评估工作可落地、可操作。

## 2.2 评估方法选择与优化

结合矿井通风系统能效评估的复杂性,选取层次分析法与模糊综合评价法相结合的评估方法,兼顾评估的科学性与实用性。层次分析法用于确定各评估指标的权重,通过构建层次结构模型,将评估目标、评估维度、评估指标逐级分解,通过两两比较判断矩阵确定各指标的相对重要性,避免主观因素对权重分配的影响;模糊综合评价法用于对各指标进行综合评分,针对不同指标的评价标准,建立模糊评价矩阵,通过模糊运算得出综合评估结果,解决评估过程中存在的模糊性、不确定性问题。对评估方法进行优化,简化层次分析法的判断矩阵构建流程,结合矿井实际运行数据校准模糊评价矩阵的隶属度,提高评估结果的准确性与针对性,确保评估方法能够适配不同类型矿井的通风系统。

## 2.3 评估等级划分与标准确定

根据矿井通风系统能效综合评估得分,结合煤矿行业相关标准与实际运行情况,将能效等级划分为优秀、良好、合格、不合格四个等级。优秀等级对应综合得分85分及以上,要求通风设备运行效率高、通风网络合理、漏风率低,能耗水平远低于行业平均水平,通风效果完全满足安全生产需求;良好等级对应综合得分70-84分,通风设备运行正常、通风网络基本合理,漏风率控制在合理范围,能耗水平低于行业平均水平,通风效果满足安全生产需求;合格等级对应综合得分60-69分,通风设备运行基本正常、通风网络存在轻微不合理现象,漏风率与能耗水平处于行业平均水平,通风效果基本满足安全生产需求,但存在一定节能空间;不合格等级对应综合得分60分以下,通风设备运行效率低、通风网络不合理,漏风率高,能耗水平远超行业平均水平,通风效果难以完全满足安全生产需求,需立即进行节能改造与优化。各等级的具体评价标准结合各评估指标的量化值确定,确保标准清晰、可量化、可对照。

# 3 矿井通风系统节能改造核心技术路径探索

## 3.1 设备层面节能改造技术路径

设备层面的节能改造是矿井通风系统节能降耗的核心抓手,核心思路是通过更新改造低效设备、优化设备运行状态,提升设备能源利用效率,降低设备能耗。针对老旧通风设备,逐步淘汰运行年限过长、效率偏低、能耗过高的主通风机与局部通风机,替换为高效节能型通风设备,优先选择变频调速通风机,这类设备能够根据井下通风需求实时调整转速,避免设

备长期处于额定功率运行造成的能源浪费。对于仍具备使用价值的通风设备,开展针对性的检修与改造,对主通风机的叶轮、轴承、密封件等易磨损部件进行更换与维护,减少设备运行过程中的机械损耗,提升设备密封性,降低漏风率,进而提升设备运行效率。优化通风设备的布局,根据井下通风需求与通风网络分布,合理调整主通风机的安装位置,减少通风路径上的阻力,确保设备输出功率能够高效转化为有效通风量。安装设备能耗监测装置,实时采集设备的运行参数与能耗数据,建立设备能耗台账,及时发现设备运行过程中的异常能耗问题,采取针对性的调控措施,确保设备始终处于高效运行状态。

## 3.2 通风网络层面节能改造技术路径

通风网络层面的节能改造核心是优化网络布局、降低通风阻力,实现通风气流的合理分配,减少因网络不合理导致的能源浪费。对现有通风网络进行全面排查,识别网络中的高阻力区域与不合理路径,结合矿井开采布局,对冗余巷道进行封堵或改造,减少通风路径长度,避免气流迂回,降低网络整体阻力。优化巷道断面结构,对断面过小、风速过高的巷道进行扩修,增大巷道断面面积,降低巷道风速,减少摩擦阻力,同时规范巷道支护方式,避免巷道变形导致的断面缩小,确保通风网络的畅通。合理设置风门、风桥、调节风墙等通风构筑物,优化构筑物的安装位置与数量,减少因构筑物设置不合理导致的局部阻力,确保通风气流能够顺畅通过,实现各区域通风量的按需分配。对于多煤层、多采区的矿井,优化采区通风系统布局,采用分区通风模式,避免不同采区之间的通风干扰,提升通风效率,同时根据采区开采进度,及时调整通风网络,关闭废弃采区的通风通道,减少无效通风,降低能耗。此外,定期对通风网络进行清理与维护,清除巷道内的积尘、杂物,保持巷道畅通,进一步降低通风阻力,提升网络能效。

## 3.3 运行调控层面节能改造技术路径

运行调控层面的节能改造重点是建立科学的调控机制,实现通风系统的动态调控,确保通风量与井下实际需求精准匹配,避免无效能耗。构建智能化通风监测监控系统,整合风量、风压、有害气体浓度、温湿度等各类监测数据,实现对通风系统运行状态的实时监测与精准研判,为调控决策提供数据支撑。采用变频调控技术,对主通风机、局部通风机进行变频改造,根据井下通风需求的变化,实时调整设备转速,实现风量的动态调节,当井下作业人员减少、有害气体浓度较低时,适当降低风机转速,减少能耗;当井下通风需求增加时,及时提高风机转速,确保通风安全。建立通风需求动态预测机制,结合矿井开采进度、作业布局、地质条件等因素,预测不同时段、不同区域的通风需求,提前调整通风参数,避免通风量过剩或不足,实现按需通风。优化通风调度管理流程,明确调控责任,建立常态化的调控检查机制,定期对通风系统的运行参数进行排查,及时发现调控过程中的问题,调整调控策略,确保调控

措施落地见效。

### 3.4 技术路径适配性分析

不同矿井的通风系统现状、开采条件、能耗水平存在差异，各类节能改造技术路径的适配性也有所不同，需结合矿井实际情况选择合适的技术路径，确保改造效果。设备层面的节能改造技术路径适用于通风设备老化、效率偏低、能耗过高的矿井，尤其是老旧矿井，通过更换高效节能设备、开展设备维护，能够快速提升设备能效，实现短期节能目标，改造难度较小、见效较快，但前期设备投入成本较高。通风网络层面的节能改造技术路径适用于通风网络布局不合理、阻力过大、通风不均匀的矿井，尤其是多采区、深矿井，通过优化网络布局、降低通风阻力，能够从根本上提升系统能效，但改造周期较长、工程量较大，需要结合矿井开采规划逐步推进。运行调控层面的节能改造技术路径适用于通风系统调控粗放、风量与需求不匹配的矿井，无论是新建矿井还是老旧矿井，都可通过构建智能化调控系统、优化调控机制，实现能耗的精准控制，改造难度适中、投入成本合理，且能够实现长期节能效益。实际应用中，

多数矿井需结合自身能效短板，采用多种技术路径相结合的方式，实现设备、网络、运行调控的协同改造，既要通过设备更新与网络优化解决根本性问题，也要通过科学调控实现短期节能目标，确保节能改造效果最大化，同时兼顾改造成本与安全生产需求。

## 4 结论

矿井通风系统的能效水平直接关系到煤矿安全生产与节能降耗，开展能效评估与节能改造技术路径探索，是推动煤矿行业绿色化、高质量发展的重要举措。矿井通风系统能效受设备性能、网络布局、运行调控等多种因素影响，各因素相互关联，共同决定系统的整体能效。构建的能效评估体系，通过科学筛选评估指标、优化评估方法、明确评估等级，能够精准识别通风系统的能效短板，为节能改造提供科学依据。设备、通风网络、运行调控三个层面的节能改造技术路径，各有侧重、适配不同矿井的实际需求，设备层面改造见效快，网络层面改造解决根本问题，运行调控层面改造实现长期节能，三者协同应用能够最大化提升通风系统能效。

### 参考文献：

- [1] 王志远.矿井通风系统智能化升级改造[J].中国金属通报,2026,(01):111-113.
- [2] 翟伟伟.矿井通风机节能技术的实例应用研究[J].能源与节能,2024,(08):107-110.
- [3] 翟伟伟.矿井通风系统节能技术的应用与实践[J].能源与节能,2024,(04):87-89+119.
- [4] 焦毅.节能技术在矿井通风中的应用[J].矿业装备,2023,(07):52-53.
- [5] 焦明玉.矿井通风系统节能技术的应用与实践[J].山西冶金,2021,44(06):266-267.