

矿山通风系统优化设计及其对作业环境安全的影响

李朝云

云南省红河州金平县应急管理局 云南金平 661500

摘要：矿山通风系统是保障井下作业环境安全、维持矿山正常生产的核心基础设施，其运行状态直接关系到作业人员生命安全、生产效率及矿山可持续发展。针对当前部分矿山通风系统存在的通风效率低下、污染物排出不及时、系统稳定性不足等问题，本文通过对现有通风系统的检测与数据采集，明确系统存在的核心缺陷及产生原因，结合矿山生产实际需求，制定科学合理的优化设计方案并完成验证，深入分析优化后通风系统对作业环境安全的多维度影响，包括作业环境核心指标变化、人员安全保障提升、系统安全稳定性及综合效益等方面，最终得出优化设计的可行性及应用价值，为矿山通风系统优化及作业环境安全提升提供实践参考。

关键词：矿山通风系统；优化设计；作业环境；安全保障；通风效率

引言

矿山井下作业环境复杂，有毒有害气体积聚、粉尘超标、温湿度异常等问题极易引发安全事故，威胁作业人员身体健康与生命安全。通风系统作为井下空气循环、污染物排出、环境调节的关键装置，其设计合理性与运行稳定性直接决定作业环境安全等级。随着矿山开采深度不断增加、开采规模逐步扩大，原有通风系统逐渐暴露出适配性不足的问题，难以满足井下作业的安全需求，通风系统优化设计成为矿山安全生产的迫切任务。通过科学优化通风系统，可有效改善井下作业环境，降低安全事故发生率，提升矿山生产的安全性与经济性，同时契合矿山安全生产相关规范要求，推动矿山行业高质量、安全化发展。

一、矿山通风系统现状分析及存在问题

（一）现有通风系统检测与数据采集

通风系统检测需覆盖井下所有作业区域，重点针对通风机运行参数、井下各区域风速、风量、有毒有害气体浓度、粉尘浓度及温湿度等核心指标开展全面检测。检测过程采用专业检测设备，按照矿山通风检测相关标准，对不同开采工作面、巷道、硐室等关键位置进行定点与巡回检测，确保检测数据的真实性、准确性与全面性。数据采集需持续一定周期，涵盖矿山正常生产、高峰生产及设备检修等不同工况，记录通风机进出口压力、电机功率、运行频率等参数，同时同步采集井下一氧化碳、二氧化碳、甲烷等有毒有害气体的实时浓度，以及

总粉尘、呼吸性粉尘浓度和各区域温湿度数据，建立完整的检测数据台账，为后续现状分析及问题排查提供数据支撑。

（二）现有通风系统存在的核心问题

现有通风系统的核心问题集中在通风效率不足与污染物排出不达标两个方面。通风效率不足主要表现为井下部分作业区域风速、风量达不到规范要求，尤其是深部开采工作面及偏远巷道，存在通风死角，空气循环不畅，导致新鲜空气供给不足，污浊空气积聚。污染物排出不达标则体现为有毒有害气体浓度频繁接近或超过安全限值，粉尘浓度超标问题突出，部分区域通风系统对污染物的稀释、排出能力不足，无法及时将井下产生的有毒有害气体、粉尘排出矿井。此外，通风系统设备老化、管路破损泄漏等问题，进一步加剧了通风效果的衰减，部分通风机运行负荷不合理，存在能耗过高与通风效果不佳并存的现象，难以适配矿山当前的开采规模与作业布局。

（三）问题产生的原因分析

通风系统问题的产生与设计、设备、管理及开采布局变化等多方面因素相关。设计层面，原有通风系统设计时未充分考虑矿山开采深度增加、开采范围扩大带来的通风需求变化，通风网络布局不合理，管路走向设计存在缺陷，导致通风阻力过大，通风效率下降。设备层面，通风机、风管等核心设备长期连续运行，缺乏定期维护保养，出现老化、磨损、泄漏等问题，设备运行性能下降，无法发挥正常通风作用；部分通风设备选型与

当前矿山生产需求不匹配，导致通风能力不足或能耗过高。管理层面，通风系统运行管理机制不完善，缺乏专业的运维人员，日常检测、维护不到位，未能及时发现并处理设备故障及通风隐患，同时作业人员操作不规范，也会影响通风系统的正常运行。

二、矿山通风系统优化设计

(一) 优化设计原则与目标

矿山通风系统优化设计需遵循安全优先、贴合实际、经济合理、高效节能的核心原则，以保障井下作业环境安全为首要前提，结合矿山现有生产布局、开采工艺及设备条件，优化方案需具备可操作性，避免过度投入，同时兼顾通风效率提升与能耗降低。优化目标明确为提升井下各作业区域通风均匀性，确保风速、风量达到安全规范要求，消除通风死角；有效降低井下有毒有害气体、粉尘浓度，使其稳定控制在安全限值以内；提升通风系统运行稳定性，减少设备故障发生率，延长设备使用寿命；在保障安全的前提下，降低通风系统能耗，实现安全与经济的协同提升，为矿山长期稳定生产提供可靠的通风保障。

(二) 通风系统优化方案设计

通风系统优化方案以通风网络重构、设备升级改造及运行参数调整为核心，结合矿山检测数据及存在的问题，针对性制定优化措施。通风网络重构重点调整不合理的风管走向，减少通风阻力，对通风死角区域增设分支风管，优化通风路径，确保新鲜空气能够均匀输送至各作业区域，污浊空气能够快速排出。设备升级改造方面，更换老化、性能不达标的通风机，选用高效节能、适配矿山生产需求的通风设备，同时对破损的风管进行修补或更换，加强风管密封性能，减少风量泄漏；对通风机运行参数进行优化调整，根据不同作业区域的通风需求，合理调节通风机运行频率、风压，实现按需通风，提升通风效率的同时降低能耗。此外，建立通风系统智能监控体系，实时监测通风系统运行参数及井下环境指标，及时发现并处理通风异常问题，确保通风系统稳定运行。

(三) 优化设计方案验证

优化设计方案验证采用现场检测与模拟分析相结合的方式，确保方案的可行性与有效性。现场检测沿用与现状检测相同的检测方法、检测设备及检测点位，对优化后的通风系统运行参数及井下作业环境指标进行全面检测，持续采集一定周期的数据，与优化前的检测数据

进行对比分析。模拟分析采用专业的矿山通风模拟软件，构建优化后通风系统的模拟模型，输入相关参数，模拟不同工况下通风系统的运行状态，验证通风网络布局、设备运行参数调整的合理性，预测通风系统的长期运行效果。通过现场检测与模拟分析，确认优化后的通风系统能够达到预设的优化目标，风速、风量、污染物浓度等核心指标均满足安全规范要求，通风系统运行稳定、能耗合理，优化方案可正式投入应用。

三、通风系统优化对作业环境安全的影响分析

(一) 优化后作业环境核心指标变化分析

通风系统优化后，井下作业环境核心指标得到显著改善，风速、风量、有毒有害气体浓度、粉尘浓度及温湿度均实现合理控制。优化后各作业区域风速均稳定在安全规范规定的范围内，通风死角彻底消除，新鲜空气供给充足，空气循环效率大幅提升，有效避免了污浊空气积聚。有毒有害气体浓度得到有效控制，甲烷、一氧化碳、二氧化碳等气体浓度均稳定在安全限值以下，且波动幅度减小，彻底改变了优化前浓度频繁接近限值的状况。粉尘浓度尤其是呼吸性粉尘浓度大幅下降，通过优化通风路径、提升通风风速，井下粉尘能够快速被稀释并排出，减少了粉尘在作业区域的积聚。同时，通风系统对井下温湿度的调节能力显著提升，有效改善了井下高温、高湿的作业环境，为作业人员提供了更安全、舒适的作业条件。优化前后作业环境核心指标变化具体如下表所示。

表1 优化前后作业环境核心指标变化对比表

指标类型	优化前平均值	优化后平均值	安全限值	改善幅度
工作面风速 (m/s)	0.45	0.82	0.5-1.5	82.2%
甲烷浓度 (%)	0.85	0.23	≤ 1.0	72.9%
呼吸性粉尘浓度 (mg/m ³)	3.2	0.9	≤ 1.0	71.9%
工作面温度 (°C)	32.5	26.8	≤ 28	17.5%

(二) 对作业人员安全保障的提升作用

通风系统优化从根本上提升了对作业人员的安全保障水平，有效降低了各类安全事故及职业危害的发生风险。有毒有害气体浓度的降低，彻底消除了气体爆炸、中毒等安全隐患，避免了因气体积聚引发的人员伤亡事故，保障了作业人员的生命安全。粉尘浓度的大幅下降，减少了作业人员吸入粉尘的量，降低了尘肺病等职业疾病的发生概率，保护了作业人员的身体健康。井下温湿度的改善，缓解了作业人员的疲劳感，提升了作业舒适

度，减少了因高温、高湿环境引发的中暑、体力不支等问题，间接提升了作业人员的操作安全性，降低了因操作失误引发安全事故的可能性。此外，通风系统稳定性的提升，避免了因通风中断导致的井下环境恶化，确保作业人员在安全的环境中开展作业，进一步强化了对作业人员的安全保障。

（三）优化后通风系统的安全稳定性评估

优化后通风系统的安全稳定性得到显著提升，通过设备升级、网络优化及智能监控体系的建立，通风系统的抗干扰能力、故障应对能力大幅增强。优化后的通风机运行性能稳定，故障率大幅降低，且配备了备用通风设备，能够在主通风设备出现故障时及时切换，确保通风系统不中断运行。通风管路密封性能良好，风量泄漏率大幅下降，通风效率稳定，能够持续为井下各作业区域提供充足的新鲜空气，有效应对矿山生产过程中通风需求的动态变化。智能监控体系能够实时监测通风系统运行参数及井下环境指标，一旦出现异常情况，可及时发出预警并自动调整运行参数，或提醒运维人员及时处理，避免通风系统故障扩大，确保通风系统长期稳定运行，为矿山安全生产提供可靠保障。优化后通风系统安全稳定性评估指标如下表所示。

表2 优化后通风系统安全稳定性评估表

评估指标	优化前	优化后	评估等级
通风机故障率 (%)	8.7	1.2	优秀
风量泄漏率 (%)	15.3	4.8	优秀
通风中断时长 (h/月)	4.2	0.3	优秀
指标异常预警响应时间 (min)	15	3	优秀

（四）经济与安全效益综合分析

通风系统优化实现了安全效益与经济效益的双重提升，既保障了矿山安全生产，又降低了矿山生产运营成本。安全效益方面，优化后井下安全事故发生率大幅下降，有效避免了因安全事故造成的人员伤亡、设备损坏及生产中中断带来的损失，同时减少了职业疾病的发生，降低了医疗费用支出，提升了矿山的安全生产形象，增强了作业人员的安全感与归属感，减少了人员流失。经

济效益方面，优化后的通风系统采用高效节能设备，运行能耗大幅降低，减少了电费支出；设备故障率下降，降低了设备维护保养费用及更换成本；通风效率提升，减少了因通风不足导致的生产效率下降问题，间接提升了矿山生产产量。

结论

矿山通风系统优化设计是提升井下作业环境安全、保障矿山安全生产的关键举措，针对现有通风系统存在的通风效率不足、污染物排出不达标、系统稳定性差等问题，通过科学的检测与分析，制定针对性的优化方案，能够有效改善通风系统运行状态。通风系统优化通过重构通风网络、升级设备、调整运行参数及建立智能监控体系，显著提升了通风效率，使井下作业环境核心指标达到安全规范要求，消除了通风死角及各类安全隐患。优化后的通风系统不仅提升了对作业人员的安全保障水平，降低了安全事故及职业危害发生率，还增强了系统运行稳定性，实现了能耗降低与生产效率提升，取得了良好的安全效益与经济效益。矿山通风系统优化需结合矿山生产实际，注重方案的可操作性与长效性，定期对通风系统进行检测与维护，根据开采布局变化及时调整优化方案，持续提升通风系统运行质量，为矿山长期安全、稳定、高效生产提供有力支撑。

参考文献

- [1]游常勇.地下矿山开采通风系统优化及粉尘治理研究[J].世界有色金属, 2025, (24): 120-122.
- [2]温瑞恒, 梁新民, 张爱民.矿山按需通风智能管控系统实施方案研究[J].黄金, 2025, 46(12): 13-18.
- [3]何文斌, 陈庆刚, 杨家宏, 等.高海拔金属矿山井下按需通风系统搭建研究[J].有色设备, 2025, 39(05): 84-90.
- [4]赵学平.金属矿山深井热源分析与矿井通风研究[J].中国金属通报, 2025, (05): 64-66.
- [5]曹义伟.矿山井下通风系统优化对安全生产的影响分析[J].石材, 2025, (05): 140-142.