

矿井通风系统优化与作业环境安全保障策略

虞冬青

河南宝雨山煤业有限公司宝雨山煤矿 河南洛阳 471322

DOI:10.12238/ems.v7i7.14304

[摘要] 本文聚焦于矿井通风系统优化与作业环境安全保障策略的研究。通过分析当前矿井通风系统存在的主要问题，探讨优化通风系统的关键技术与方法，提出涵盖技术创新、管理提升、监测预警等多维度的作业环境安全保障策略。旨在为提升矿井通风系统效能，保障井下作业人员安全与健康，促进矿业可持续发展提供理论与实践参考。

[关键词] 矿井通风系统；系统优化；作业环境安全；保障策略

引言

矿井作业环境复杂，存在瓦斯、粉尘、高温、有害气体等多种危险因素，严重威胁着作业人员的生命安全和身体健康。矿井通风系统作为保障井下空气质量、排出有害气体和粉尘、调节井下气候条件的关键设施，其性能的优劣直接影响着矿井的安全生产。随着矿业开采深度的不断增加和开采规模的日益扩大，对矿井通风系统的要求也越来越高。传统的通风系统在面对复杂的开采条件和日益严格的安全环保标准时，逐渐暴露出诸多问题。因此，深入研究矿井通风系统优化与作业环境安全保障策略，对于提高矿井安全生产水平、促进矿业可持续发展具有重要的现实意义。

一、矿井通风系统现状及存在问题分析

（一）矿井通风系统现状

目前，我国矿井通风系统主要包括中央式、对角式、混合式等多种类型。中央式通风系统具有布局简单、基建投资少等优点，适用于井田范围较小、煤层埋藏较浅的矿井；对角式通风系统通风阻力小、风流稳定，能够有效排出井下有害气体，常用于井田范围较大、煤层埋藏较深的矿井；混合式通风系统则综合了中央式和对角式的优点，适用于地质条件复杂、开采规模较大的矿井^[1]。在通风方式上，主要有抽出式、压入式和混合式三种。抽出式通风能有效排出井下有害气体和粉尘，但在通风设备故障时，可能导致井下空气逆流；压入式通风可使井下形成正压，防止外部有害气体进入，但排出有害气体和粉尘的效果相对较差；混合式通风结合了两者的优势，在一些大型矿井中得到应用。

（二）存在的主要问题

1. 通风设备老化

部分矿井由于建设年代较早，通风设备长期运行，老化严重。风机效率下降，导致通风能力不足，无法满足井下日益增长的通风需求。同时，老化的通风设备故障率高，增加了设备维护成本和安全风险。

2. 通风网络不合理

随着矿井开采范围的不断扩大和开采布局的调整，原有的通风网络未能及时进行优化，存在通风阻力过大、风流分配不均等问题。一些采掘工作面风量不足，而部分巷道风量过剩，不仅造成能源浪费，还影响了井下作业环境的安全性^[2]。

3. 监测与控制技术落后

传统的矿井通风监测手段主要依靠人工定期检测，检测频率低、数据准确性差，无法实时掌握通风系统的运行状态。通风控制自动化程度低，难以根据井下实际情况及时调整通风参数，降低了通风系统的可靠性和安全性。

4. 安全意识淡薄

部分矿井管理人员和作业人员对通风系统的重要性认识不足，存在侥幸心理。在实际生产过程中，为了追求产量，忽视通风系统的维护和管理，甚至违规操作，导致通风系统运行异常，增加了安全事故发生的概率。

二、矿井通风系统优化关键技术与方法

（一）通风设备升级改造

选用新型高效节能风机，如轴流式高效节能风机，其具有效率高、能耗低、性能稳定等优点。通过优化风机的叶片形状、材质和结构设计，提高风机的通风能力和运行效率^[3]。同时，采用变频调速技术，根据井下实际通风需求实时调节风机转速，实现通风量的精准控制，降低能源消耗。对通风

设备进行智能化改造,安装传感器和智能控制系统,实现对风机运行状态的实时监测和远程控制。通过监测风机的风量、风压、温度、振动等参数,及时发现设备故障隐患,并自动报警和采取相应的保护措施。同时,智能控制系统可以根据井下通风需求的变化,自动调整风机的运行参数,确保通风系统的稳定运行。

(二) 通风网络优化设计

运用通风网络解算软件,对矿井通风网络进行全面分析和计算。通过建立通风网络数学模型,模拟不同工况下的风流分布情况,找出通风网络中的阻力过大区域和风流分配不合理环节。根据解算结果,优化通风网络布局,调整巷道断面尺寸、改变通风构筑物的设置,降低通风阻力,实现风流的合理分配。合理设置风门、风桥、风窗等通风构筑物,确保通风系统的风流稳定和有效控制。对现有的通风构筑物进行检查和维护,及时修复损坏的风门和风窗,调整风桥的结构和位置,提高通风构筑物的密封性和可靠性^[4]。同时,根据通风网络优化的需要,增设必要的通风构筑物,以满足不同采掘工作面的通风需求。

(三) 通风系统智能化监测与控制

利用物联网、传感器、大数据等技术,构建矿井通风智能化监测系统。在井下关键位置安装风速传感器、风压传感器、瓦斯传感器、一氧化碳传感器等多种监测设备,实时采集通风系统运行参数和井下空气质量数据。通过无线网络将数据传输至地面监控中心,实现对通风系统的全方位、实时监测。基于监测系统采集的数据,开发智能控制与决策系统。该系统能够根据井下通风需求和环境变化,自动分析和判断通风系统的运行状态,制定合理的通风控制策略。当检测到有害气体浓度超标或通风异常时,系统自动发出报警信号,并启动应急预案,调整通风设备运行参数,确保井下作业环境安全。

三、矿井作业环境安全保障策略

(一) 加强安全管理与培训

制定矿井通风安全管理手册,明确矿长、通风区队长、班组长及作业人员在通风系统管理中的职责。建立通风设备操作规程,规定风机启动前需检查叶片转动灵活性、轴承润滑情况,启动后每2小时记录1次运行参数;制定通风系统维护保养制度,要求每月对通风构筑物进行密封性检测,

每季度对通风网络阻力进行1次全面测定;建立通风安全检查制度,实行班组日检、区队周检、矿级月检三级检查机制,检查内容包括通风设备运行状态、通风构筑物完好情况、作业区域风量风压等指标,检查结果形成书面报告存档。设立独立的安全督查部门,配备专职督查人员,每月对通风安全管理制度执行情况进行专项检查。对违规操作设备、未按规定进行通风系统维护等行为,根据情节轻重给予警告、罚款、停职培训等处罚。建立违规行为台账,定期分析违规原因,针对性完善制度漏洞。制定年度通风安全培训计划,每季度组织1次集中培训,培训内容涵盖通风系统理论知识、设备操作技能、常见故障排查方法。邀请高校通风专业教授、行业专家进行授课,采用理论讲解与实际操作相结合的方式,培训后进行闭卷考试,考试合格者颁发培训合格证书。每年开展2次安全警示教育,选取行业内典型通风事故案例,通过视频播放、事故现场还原模型展示、事故责任人现身说法等形式,强化员工安全意识。新入职员工须参加不少于40学时的岗前通风安全培训,完成理论学习、设备操作实践及模拟应急演练,经考核合格后,在老员工带领下实习1个月方可独立上岗作业。

(二) 优化通风系统运行管理

依据矿井年度开采设计方案,运用通风网络解算软件模拟不同开采阶段通风需求,制定年度通风计划。计划明确各采掘工作面在开拓、回采等不同作业阶段的需风量标准,主采工作面需风量不低于 $40\text{m}^3/\text{min}$,掘进工作面需风量不低于 $20\text{m}^3/\text{min}$ 。根据通风计划,合理配置通风设备,确定主通风机运行台数、转速及备用风机启动条件。每月根据实际开采进度,对通风计划进行动态调整,重新核算各区域需风量,优化风流分配方案。制定有关通风设备维护保养规程,主通风机每运行2000小时进行1次大修,内容包括叶片动平衡检测、轴承更换、电机绝缘性能测试;每运行500小时进行1次中修,检查皮带松紧度、风机振动值等参数。每月对风门、风窗等通风构筑物进行检修,更换损坏的密封胶条,调整风门开启角度;每季度对风桥进行结构稳定性检测。对风速传感器、瓦斯传感器等监测设备,按照国家计量标准,每半年进行1次校准,校准记录由专人保管。建立设备维护保养电子档案,详细记录维护时间、维护内容、更换配件型号及维护人员信息,便于追溯设备运行状态。在通风系统关键

节点安装智能监测终端,实时采集风量、风压、温度、有害气体浓度等数据,数据传输至地面监控中心服务器。监控中心设置 24 小时专人值班,每小时对监测数据进行分析,当发现某区域风量波动超过 10%、瓦斯浓度达到 0.5% 等异常情况时,立即通知通风区队进行排查处理。每周对通风系统运行数据进行汇总分析,绘制风量风压变化曲线图,预测通风系统运行趋势,提前采取优化措施。

(三) 建立完善的监测预警与应急救援体系

在井下所有采掘工作面、回风巷道、机电硐室等区域,按照每 50 米间距安装瓦斯传感器、一氧化碳传感器,每 100 米安装风速传感器、风压传感器,实现井下全覆盖监测。设定预警阈值,瓦斯浓度超过 0.75%、一氧化碳浓度超过 24ppm、风速低于 0.25m/s 时,监测系统自动发出声光报警,并通过短信、对讲机等方式通知矿长、总工程师、安全管理人员及现场作业人员。建立预警信息分级处理机制,一般预警由通风区队在 2 小时内组织排查处理,重大预警由矿领导班子立即启动应急预案,开展应急处置工作。编制完善矿井通风事故专项应急预案相关内容,明确应急救援指挥部由矿长任总指挥,总工程师、安全副矿长任副总指挥,下设抢险救援组、技术保障组、医疗救护组等 7 个工作组,各工作组职责、人员构成及联系方式在预案中详细列明。规定通风事故应急响应程序,事故发生后,现场人员在 3 分钟内通过电话或对讲机报告调度室,调度室接到报告后 10 分钟内启动应急预案,应急救援队伍须在 30 分钟内集结完毕并赶赴事故现场。预案中制定瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出、通风系统瘫痪等不同类型事故的具体救援措施,如瓦斯爆炸事故救援需先进行灾区侦察,确定爆炸区域范围及人员伤亡情况,再进行通风系统恢复、火源扑灭等工作。每年组织不少于 2 次通风事故应急演练,演练内容涵盖应急响应启动、人员疏散撤离、灾区救援、通风系统恢复等全流程。演练结束后,组织相关人员进行总结评估,针对演练中暴露的问题,如应急通讯不畅、救援设备操作不熟练等,在 1 个月内完成整改完善。在井下各水平设置应急物资储备点,每个储备点配备正压式呼吸器 50 台、自救器 200 个、便携式瓦斯检测仪 10 台、灭火器 20 具等应急救援设备,并定期进行检查维护,确保设备完好率 100%。地面设立应急物资仓库,储备足够的风机、

风筒、支护材料等,以满足大规模事故救援需求。

四、案例分析

以某大型煤矿为例,该煤矿在开采过程中,随着开采深度的增加和开采范围的扩大,通风系统逐渐出现了通风能力不足、风流分配不均、监测控制落后等问题。为了解决这些问题,该煤矿实施了通风系统优化改造工程。

在通风设备方面,更换了新型高效轴流式风机,并采用变频调速技术,实现了通风量的精准控制,风机效率提高了 20%,能耗降低了 15%。在通风网络优化上,通过通风网络解算,调整了部分巷道的断面尺寸和通风构筑物的设置,通风阻力降低了 18%,风流分配更加合理。同时,构建了智能化监测与控制系统,实现了对通风系统运行参数和井下空气质量的实时监测和自动控制。

通过实施通风系统优化改造工程,该煤矿的通风系统效能得到显著提升,井下作业环境得到明显改善,有害气体浓度和粉尘浓度均符合安全标准,安全事故发生率大幅降低,为矿井的安全生产和可持续发展提供了有力保障。

五、结论

矿井通风系统优化与作业环境安全保障是一项系统工程,涉及通风设备升级改造、通风网络优化设计、智能化监测与控制、安全管理与培训等多个方面。通过采用新型高效通风设备、优化通风网络布局、构建智能化监测与控制系统,能够有效提高通风系统的效能和可靠性;加强安全管理与培训、优化通风系统运行管理、建立完善的监测预警与应急救援体系,能够为井下作业人员创造安全、健康的作业环境。

[参考文献]

- [1]任旭,盛敏敏,杨付岭.基于灵敏度矩阵的矿井通风系统优化[J].自动化应用,2025,66(09):66-68.
- [2]张平.基于通风改善指标的矿井通风系统优化设计研究[J].能源技术与管理,2025,50(02):27-29+71.
- [3]杜红玉.煤矿矿井通风系统优化改造方案研究[J].内蒙古煤炭经济,2025,(07):142-144.
- [4]魏小宾.金渠金矿深井开采通风系统优化改造与热害治理研究[D].西安建筑科技大学,2018.

作者简介:虞冬青(1989.11),男,汉族,安徽安庆人,本科,工程师,研究方向:矿井通风与防突管理。