

金属矿山智能通风理论与技术

黄 坚¹, 徐 巍², 姚宗旭², 谷龙飞²

(1. 铜陵有色集团股份有限公司 冬瓜山铜矿, 安徽 铜陵 244000; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘 要] 针对我国金属矿山通风信息化、智能化升级的重大需求, 系统研究了矿井智能通风原理、关键技术及其系统组成。明确阐述了矿井智能通风是通过智能控制实现按需供风, 稳定、经济地向矿井连续输送新鲜空气, 供人员呼吸, 稀释并排出有害气体和粉尘, 改善矿井气候条件及救灾时具有一定智能调控风流的作业。根据目前矿山通风存在的问题, 从技术类型上给出了实现通风的途径, 并阐述了金属矿山通风的安全策略, 按照“平战结合”的理念实现按需供风及异常灾变状态下智能决策与应急调控, 既能满足日常通风的自动化管理与维护, 又可实现灾变时期的应急控风有效抑制灾情演化。所探讨的理论与技术可以为打造金属矿山智能通风系统提供借鉴。

[关键词] 金属矿山; 智能通风; 控风模型; 通风策略

[中图分类号] TD724

[文献标志码] A

[文章编号] 1003-8884(2021)05-0089-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.05.019

0 前言

金属矿山井下通风是保障矿井安全健康运行的重要技术手段之一^[1], 主要是利用机械通风的方法持续向矿井输送新鲜空气到井下各作业地点, 供工作人员呼吸, 稀释并排出井下有害气体和浮尘, 改善矿井气候条件及救灾时控制风流的作业, 有利于保障矿井安全生产, 是灾害防治的基础^[2]。

矿山智能通风技术根据井下各个地点的温度、湿度、有害气体和粉尘浓度的变化实时保证供风质量, 满足正常时期和灾变时期各用风地点按时按需供风^[3]。通风技术在保证矿井工作人员人身安全的同时, 还需要具有简单方便、易于操作、节能环保等优势, 在实际的矿山通风技术与设备选择过程中, 要结合矿山通风的实际所需, 在满足巷道通风要求的同时做到节能环保, 使企业获得最大的经济效益。

在具体的通风控制中存在很多困难, 矿井巷道的风道参数(例如风阻、风压)都是时变系统^[4], 这是由于一般大中型矿井的通风系统都由几百条甚至上千条风道组成的非线性流体网络, 而且地面大气

压和地温会随时变化, 以及巷道的变形、掘进工作面和回采工作面的推进、通风设施的状态改变, 各种人员、车辆和设备的扰动等, 都会对通风控制的效果产生巨大的影响。

因此, 目前矿山通风大多数仍然处于人工或半人工控制阶段, 难以满足通风智能化建设的需求。同时矿山通风灾害异常预警、应急决策与通风调控智能化能力明显不足, 灾变期间预警、应急不及时, 灾害将难以得到及时有效的控制^[5]。

多年来, 科技工作者对矿井智能通风系统建设开展了广泛的研究。刘晓伟^[6]分析了通风信息化要求, 阐述了智能通风领域的关键技术以及系统组成; 葛启发等^[7]使用 FLUENT 软件进行了数值模拟, 研究了采场进路安装局扇与不安装局扇时, 不同的出矿巷道风速对采场进路风流的影响; 王兵^[8]分析了掘进面智能通风调节系统功能, 对系统提出改进建议; 邵良杉等^[9]分析了煤矿智能通风关键技术, 研究了基于矿山检测监控系统参数的精确获取算法, 建立了基于最小调节功耗的矿井通风网络自适应优化方法来实现矿井的按需分风; 葛启发等^[10]对整个矿山使用按需通风技术, 并运用三维通风仿真软件对全矿区域通风方案进行模拟比较, 证明按需通风技术对于改善井下作业环境、降低风机能耗和通风及预热成本效果显著; 王明龙等^[11]分析了现代矿井智能通风系统的使用效果以及应用背景, 从

[收稿日期] 2021-06-20

[作者简介] 黄坚(1971-), 男, 上海市人, 工程师, 主要从事矿山自动化工作。

[引用格式] 黄坚, 徐巍, 姚宗旭, 等. 金属矿山智能通风理论与技术[J]. 有色设备, 2021, 35(5): 89-93.

而提高矿井中工作的整体质量;冯鹏飞^[12]针对当前煤矿智能通风系统中普遍存在的 PLC 控制系统响应速度慢、易出现分析失准等问题,提出了一种以现场总线技术为基础的煤矿新型智能通风系统;陈翰光^[13]提出在矿井采用智能通风与实时监测控制系统,并对该系统地面监控系统、井下监控系统以及智能通风构筑物等进行详细阐述;葛启发等^[14]针对冬瓜山铜矿西翼矿体兼有深井矿山和缓倾斜中厚难采矿体的特点,对进风—采场—回风系统进行优化和仿真,较好地解决了冬瓜山铜矿采场通风困难问题;李芳^[15]在对矿井通风系统隐患进行精确摸排的基础上,建立数据库,实时采集通风系统参数,上传通风系统隐患,结合隐患识别模型,利用网络解算实现通风系统隐患在线实时监测和预警;薛刚锋^[16]在分析掘进通风系统存在问题的基础上,总结分析智能化通风控制系统设计和智能化通风控制系统作业原理;魏洋等^[17]提出了适应大型煤矿智能化通风系统的主要通风机配置方案;王阳^[18]提出采用现场总线技术的智能通风控制系统优化技术措施,设计的智能通风控制系统调节通风系统策略与人工方式一致;陈庆刚等^[19]提出了矿山通风系统优化改造方案,并利用 Ventsim Visual 三维通风仿真系统进行了模拟分析,证明优化改造方案通风管理简单、通风网络效率高,并且通风能耗显著降低;项利芳^[20]对井下智能通风系统自动控制功能做出分析,进而总结了井下智能通风系统设置要点与传感装置布设要点。

综上所述,以往研究成果主要从矿井智能通风的系统组成、PLC 控制、通风网络解算和调控原理等开展了局部研究,对矿井智能通风原理与架构建设论述较少。本文借助矿山物联网技术、自动化设备和智能软件系统的技术成果,重点围绕金属矿山智能通风的原理、功能展开,系统阐述了智能通风的原理,论述智能通风建设关键技术类型以及安全策略,为实现金属矿山通风智能化和无人化提供借鉴。

1 原理

1.1 概念

金属矿山智能通风的内涵是将信息采集处理技术、控制技术与通风系统深度融合,按照“平战结合”的理念实现按需供风及异常灾变状态下的智能决策与应急调控,既满足日常通风的自动化管理与

维护,又实现灾变时期的应急控风有效抑制灾情演化^[21]。其主要功能包括:

(1) 矿山通风系统经济可靠与灾情预警,达到安全、经济的目标,保障通风系统日常运行的可靠性与经济性,生产过程中风量做到按需供风,满足通风异常的自动感知、诊断与预警。

(2) 矿山通风系统的全程自动化,达到智能调控目标,运用互联网、物联网、人工智能、大数据、新材料,先进制造,信息通信和自动化技术,建设智慧矿山通风系统,实现分析决策与联动调控,灾变条件下能够实现防灾、减灾、控灾和主动救灾等全过程的自动化与智能化。

1.2 控风模型

假设通风网络中有 n 条分支、 m 个节点,独立回路 $b = n - m + 1$,其节点风量平衡与回路风压平衡方程为:

$$\begin{cases} \varphi_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} q_j = 0 & (1 \leq i \leq m-1) \\ f_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} R_j |q_j| - \sum_{j=1}^n c_{ij} h_{ij} = 0 & (1 \leq i \leq b) \end{cases} \quad (1)$$

式中, i, j 分别为节点和分支, $b_{ij} = 0, 1, -1$ 分别为节点 i 与分支 j 不相连、分支 j 风流流出节点 i 、分支 j 风流流入节点 i ; $c_{ij} = 0, 1, -1$ 分别为分支 j 不在回路 i 中、在回路 i 中与回路 i 同向、在回路 i 中与回路 i 反向; R_j 为分支 j 的风阻; q_j 为分支 j 的风量; h_{ij} 为分支 j 的风机风压。

矿井智能通风系统进行风量调节时,需要事先确定按需分风优化调节方案,即在满足按需分风要求下,通风机功耗和调节设施数量越小越好,两者的量纲和数量级均不同,但需要建立相互结合的最优化目标函数。

1.3 单元模块

矿山智能通风系统精确感知通风与气体环境参数、通风设施与动力装备状态,基于信息处理与决策平台,运用风网智能调控软件系统、可调风机、可控通风设施,实现按需经济供风的智能化调节,在通风系统出现异常时,能够精准诊断异常或灾变关键影响因子,及时预警、智能给出调控方案,快速修复通风系统,保障通风系统安全、可靠、经济运行。据此,矿井智能通风系统由可调通风动力、可控通风设施、

通风网络 and 智能调控系统组成,按照矿井多元信息智能感知、高效可靠信息传输、通风状态智能分析与决策、通风设施/动力智能调控指令分发、执行及效果反馈的工作流程,实现通风系统的智能联动调控。主要的控制模块如下:

(1)通风信息感知模块。矿山智能通风系统核心信息来源的感知神经主要包括精密风量、风速、温度、CO 含量、NO_x 含量、粉尘质量浓度、压力等参数传感器;通风设施与通风机参数状态反馈传感器;防爆门数据监测传感器。

(2)信息交互传输模块。矿山智能通风系统信息交互的神经网络,主要包括井下多源信息交互传输算法、工业以太网络、防爆交换机、传输分站、传输线缆等。

(3)数据分析与智能决策模块。矿山智能通风系统的大脑,能通过数据挖掘准确判识通风异常状态、原因与位置,实时预警、研判异常致灾的时效性影响范围与灾害程度,融合井下人员定位系统与逃生行为等多元信息,制定井下和井上通风设施、设备的联动调控策略,并通过协同集控执行并反馈决策方案,从而最大限度的缩小灾害影响范围。因此,它主要包括通风网络在线解算、通风状态异常在线诊断与预警、灾变预测及演变过程仿真,以及防灾/减灾、抗灾、救灾决策等子模块。

(4)通风联动调控模块。矿井智能通风系统的执行层,主要包括风机智能变频调控装置、井下自动风门、井下自动可调风窗、区域联动控风装置、井上防爆门快速泄压复位装置、井下远程控制抗爆密闭装置等。

2 技术类型

2.1 多风机多级基站技术

在矿山通风系统中,应用多风机多级基站技术可以提升通风工作的效率,有效节约通风过程的电力资源消耗,既高效又节能,因此值得在矿山通风工作中广泛应用。多风机多级基站技术利用对两级或两级以上的风基站,将矿井外部的新鲜空气输送到矿井之中,并把矿井中的被污染空气输送到矿井之外,实现矿井内的空气净化,使矿井作业更加安全。通风基站运行过程中无需调节风窗大小来增加或减少通风量,只需要对风机产生的风量进行控制就可以保证矿井内通风系统的正常运行。利用多风机多

级基站技术对矿井进行通风换气工作,操作简单、节能环保、能更好地满足矿井的通风需求,因此值得在矿山通风中大力推广。

2.2 矿山通风网络动态优化技术

在矿山通风工作中,如果可以利用自然通风技术,天然的风资源对矿井中的空气进行净化,不仅能提高矿山通风的工作效率,还更加节能环保。但是目前这种技术在我国还处于研究和探索阶段,一旦研究成功投入使用,将能极大地节约矿井工作在通风中的能源损耗,因此具有较强的研究和实践意义,未来也具有十分可观的应用前景。无论是对哪种通风技术进行研究,最终为了形成矿山通风网络动态优化技术,但是由于在实际工作中,有诸多因素会影响矿山通风,因此还需要研究人员根据不同矿山的井下作业情况,对矿山通风系统进行调整,使矿山通风技术能够满足矿井对通风的要求。

2.3 主辅扇同时作业通风节能技术

主辅扇同时作业通风也可以有效节约能源,通过对主辅扇同时作业技术的研究,发现该技术在确保矿井内风量不变的情况下,可以有效控制矿井内作业区的有害气体含量,因此具有一定的节约能源作用,值得在矿山通风工作中广泛应用。

3 安全策略

3.1 科学设置矿井的通风系统

矿山通风系统主要是将矿井外的新鲜空气输入矿井内的作业地点,然后将矿井内的有害气体与粉尘排放到矿井以外,所以科学地设置矿山通风系统,对于保证矿井作业安全具有十分重要的作用。矿井的通风方式根据进风井与回风井布置方式的不同,分为对角式、中央式以及混合式三种类型,而通风系统根据主扇地点以及主扇的工作方式又分为抽出式、压入式以及混合式三种。在具体的设计过程中,要结合矿井的实际情况进行分析,根据矿井的地形和深度对通风系统进行合理设计。针对一些地形比较复杂的矿井,一定要同时安装一套备用的通风设备,确保一套设备出现故障以后,能够有另一套设备立即投入使用。针对一些比较深的矿井,在通风系统的设置上一定要适当增加主扇的功率,使其能够满足深井的通风需要。在通风系统的设置上,还要考虑不同地区的气候条件对矿山通风的影响,将通风系统做出合理的调整。

3.2 维护矿山通风设施

对矿山的通风设施进行维护,也是保证矿山安全作业的手段之一。矿山内的通风系统在长时间的工作过程中内部零件会有所损耗,由于受到工作环境的影响,也会导致通风设备的损耗,如果得不到及时的维修与养护,有可能出现通风系统漏风现象,影响矿井内有害气体以及粉尘的排出,造成矿井工作的安全隐患,危及矿井工作人员的人身安全。风桥、风门、挡风墙、调节窗都是矿山通风常用的设备,设备是否正常运行直接影响矿井的通风质量、矿井工作人员的人身安全,因此需要设备检修人员不定时的对通风设备进行检修与维护。矿井工作人员也要加强自身的安全意识,注意观察通风设备的运行情况,一旦发现设备问题,要及时报技术人员维修,共同维护矿井作业的安全。

3.3 合理调整矿井风量

风量的大小与巷道的风阻有关系,在实际的通风工作中,要根据巷道风阻的大小对通风设备的风量进行调节,使通风设备能满足巷道的通风需求。

3.3.1 总体调整

总体调整相对来说比较简单,只需要改变主扇风机性能或改变矿井的总风阻就可以起到总体调整的作用。

3.3.2 局部调整

局部调整相对来说难一些,首先技术人员可以利用增加风阻的方法调节矿井的风量,在矿山通风中选择风力阻值比较小的巷道增大风阻,使各巷道的风阻能达到同一阻力水平,在实际的操作过程中,通过调节风门来实现增大局部巷道风阻。其次,技术人员还可以利用降低风阻的方法来调节矿井的风量,通过增加巷道横截面积以及新的并联巷道等降低巷道内的风阻,该方法能有效降低风机的耗电量,从而实现节能环保。

3.3.3 辅助风机调整方法

在风阻较大的巷道,利用辅助风机使巷道内的风阻与辅助风机的风压相互抵消,从而使巷道内的并联风阻趋于平衡,辅助风机调整法比降低风阻法操作起来更方便、简单,但是安全性能比较差,因此最好与其他方法结合使用。

4 结论

通过对金属矿山控风模型的研究,可以将通风

系统分为可调通风动力、可控通风设施、通风网络和智能调控系统,按照矿山多元信息智能感知、高效可靠信息传输、通风状态智能分析与决策、通风设施/动力智能调控指令分发、执行及效果反馈的工作流程,可以实现通风系统的智能联动调控。同时对金属矿山通风技术类型、通风安全策略进行讨论,以探索更好的矿山通风技术,满足不同矿山通风的要求,为最终实现智慧矿山的目标而打下基础。

[参考文献]

- [1] 彭家兰. 金属矿山通风系统优化与管理[D]. 赣州:江西理工大学,2014.
- [2] 张秀华,王李管,冯兴隆. 金属矿山通风系统安全性综合评价[J]. 中国矿业,2010,19(4):93-96.
- [3] 吴丽春. 矿井通风监测系统的设计与实现[D]. 长沙:中南大学,2012.
- [4] 司俊鸿. 矿井通风系统风流参数动态监测及风量调节优化[D]. 徐州:中国矿业大学,2012.
- [5] 高洋. 煤矿开采引起的采空区瓦斯与煤自燃共生灾害研究[D]. 北京:中国矿业大学,2014.
- [6] 刘晓伟. 浅析矿井智能通风原理及关键技术[J]. 当代化工研究,2021(5):9-10.
- [7] 葛启发,于润沧,翟建波,等. 基于 FLUENT 的进路式采场通风优化控制[J]. 矿业研究与开发,2017,37(12):111-116.
- [8] 王兵. 掘进面智能化通风系统应用分析[J]. 能源与节能,2021(1):188-189.
- [9] 邵良杉,于保才,陈晓永. 矿井智能通风关键技术[J]. 煤矿安全,2020,51(11):121-124.
- [10] 葛启发,于润沧,朱维根,等. 按需通风技术在某矿山工程设计中的应用[J]. 中国有色冶金,2017(6):58-63.
- [11] 王明龙,丁忠波. 现代矿井智能通风系统研究[J]. 科技创新与应用,2020(35):63-64.
- [12] 冯鹏飞. 煤矿智能通风控制系统优化研究[J]. 西部探矿工程,2020(12):119-120.
- [13] 陈翰光. 矿井智能通风与实时监测控制系统[J]. 工矿自动化,2020(9):126-128.
- [14] 葛启发,朱维根,朱瑞军,等. 深井难采矿体开采与通风控制技术研究[J]. 有色金属工程,2017(6):86-89.
- [15] 李芳. 矿井通风系统隐患智能监测系统应用[J]. 山东煤炭科技,2020(7):190-192.
- [16] 薛刚锋. 掘进作业面智能化通风控制系统应用探究[J]. 能源与节能,2020(7):178-179.
- [17] 魏洋,孙露,张静. 大型煤矿主要通风机站建设方案研究[J]. 煤炭与化工,2020,43(6):72-74.
- [18] 王阳. 矿井智能通风系统优化研究[J]. 山西能源学院

- 学报,2020,33(2):28-30.
- [19] 陈庆刚,葛启发,杨卓明,等. 某铜矿通风系统优化与改造研究[J]. 有色设备,2020,(3):75-78.
- [20] 项利芳. 井下智能通风系统研究[J]. 能源与节能,2020(1):52-53.
- [21] 刘菊红. 金属矿山通风系统改造方法的研究[D]. 赣州:江西理工大学,2012.
- [22] 吕涛. 基于通风网络模拟的金山店铁矿东区通风方式选择[D]. 武汉:武汉科技大学,2013.

Theory and Technology of Intelligent Ventilation in Metal Mines

HUANG Jian, XU Wei, YAO Zong-xu, GU Long-fei

Abstract: In view of the important demand of information and intelligent upgrading of metal mine ventilation in China, the principle, key technology and system composition of mine intelligent ventilation are systematically studied. It is clearly stated that intelligent mine ventilation is a kind of operation which can supply air according to demand, it can transmit fresh air stably and economically to the mine continuously for personnel to breathe, dilute and discharge harmful gases and dust, improve the climatic conditions of the mine and have certain intelligent control of air flow during disaster relief. According to the existing problems of mine ventilation, this paper gives the ways to realize ventilation from the perspective of technical types, and expounds the safety strategy of metal mine ventilation. According to the concept of “combining peacetime and wartime”, it realizes the air supply according to demand and the intelligent decision-making and emergency control under the condition of abnormal disaster, which can not only meet the automatic management and maintenance of daily ventilation, but also can realize the emergency wind control in the period of disaster and effectively restrain the evolution of disaster. The theory and technology discussed in this paper can provide reference for building intelligent ventilation system in metal mines.

Key words: metal mine; intelligent ventilation; wind controlling model; ventilation strategy ▲

期刊投稿系统上线通知

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况,本刊已开通“腾云”期刊全流程采编系统,投稿网址为 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。

首次投稿的作者请先注册,注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

《有色设备》编辑部