

# “动调+变频”模式的智能通风系统探索与实践

常波峰 杨臻 杨春平

## 智能通风系统建设背景

### 主通风机对于煤矿安全生产的重要性

矿井通风机系统是保证煤矿安全清洁生产的重要关键设备，矿井主通风机作为煤矿中最重要的通风设备，又被称为“煤矿之肺”，主通风机的可靠运行是保证煤炭开采作业正常安全进行的必要前提。由通风机为主要设备所构成的煤矿通风系统的主要任务是向井下输送新鲜空气，并控制井下有害气体、瓦斯及粉尘的浓度，如果通风系统发生故障，将会给井下生产作业带来严重的安全隐患。

《关于颁发〈煤炭工业企业设备管理规程〉的通知》（能源煤〔1989〕104号）明确规定：“高突瓦斯矿井主通风机及分区通风机停风10 min及以上，其他矿井20 min及以上者，属重大事故；主通风机和分区扇风机停止供风30 min以上者，属特别重大事故。”因此，针对通风机建立一套安全、可靠、智能的监测与控制系统对提高煤炭生产的效率 and 安全性具有重要意义。

### 政策背景

行业主管部门很早就意识到，煤矿主通风机作为煤矿安全生产的核心关键设备，节能降耗意义重大。早在2014年12月，国土资源部在《矿产资源节约与综合利用鼓励、限制和淘汰技术目录（修订稿）》中就明确要求：“离心风机、低效率轴流风机等高耗能通风设备因能耗高仅允许在小型矿山使用，并逐步淘汰；推荐使用高效率矿用轴流风

机替代”。2017年11月，国家能源局公告（2017年第10号）正式批准NB/T 51078—2017《煤矿用通风机能效限定值》标准，自2018年3月1日起实施。自此，煤矿主通风机开始有了专属的能效值标准，也增加了一个全新的评价维度。

行业主管部门通过连续发布有关政策，持续引导行业向无人化、少人化、智能化方向发展，有效撑起安全生产“保护伞”。2018年1月，住建部发布GB/T 51272—2018《煤炭工业智能化矿井设计标准》要求：“主要通风机应具备自动无级调节功能”，并从2018年9月1日起实施。2020年2月，国家发改委、能源局等八部委联合发布《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》明确2条红线：“到2025年，大型煤矿和灾害严重煤矿基本实现智能化；到2035年，所有煤矿都要基本实现智能化”。2021年3月，国家能源局、国家矿山安全监察局联合发布《煤矿智能化发展指南（2021版）》（征求意见稿）提出：“主要通风机的动叶角度能实现自动调节”；6月5日发布《煤矿智能化发展指南（2021版）》正式文件，明确提出：“主要通风机、局部通风机鼓励实现在线变频调速”。从国家能源局对文件中智能通风专栏可看出，煤矿智能化专家组对真正智能通风系统的实现路径是清晰的。

行业主管部门通过明确安全准入门槛，为煤矿安全生产再添“护身符”。2022年9月，国家矿山安全监察局印发《关于印发执行安全标志管理的矿用产品目录的通知》，明确将主通风机纳入执行安全标志管理的矿用产品目录。

## 行业背景

目前,在我国煤矿主通风机市场,在用风机约80%为服役多年面临淘汰的传统对旋风机,其叶片角度在运转中无法在线调节;市场占有率仅为20%的长轴风机中也有一半属于叶片角度或是停机机械一次调节或是停机单片调节,均不能实现在线无极调节,不符合煤矿智能化发展的大趋势和安全生产规范,即将被淘汰。在此背景下,对智能通风系统的有益探索与实现,愈发凸显其现实价值和社会意义。

## 智能通风系统的探索与实践

由陕煤集团神木红柳林矿业有限公司(简称红柳林矿业公司)主导,煤炭科学技术研究院有限公司和诺文科风机(北京)有限公司联合开发并承建的“动调+变频”模式的智能通风系统,是在响应双碳约束条件下煤矿智能化建设、高质量发展的背景下研发。作为保障矿山安全的首要系统,该系统具备安全稳定、高效节能、低碳环保等特点,既满足了红柳林矿业公司的实际需求,又探索了智能矿山实现路径,更保障了国家能源安全。

## 系统简介

智能通风系统以“动调+变频”模式为核心,包括《煤矿安全生产先进适用技术装备推广目录(第四批)》推荐的“应用于煤矿智能通风领域”的煤矿地面用抽出式液压动叶可调轴流式节能主通风机、局部通风机、风门风窗、智能感知、以及灾变应急与处理系统等。通过将地理信息与安全环境监测、瓦斯抽采监测、采掘以及人员车辆定位进行系统集成和通风系统的优化及评价,从而实现通风系统状态自动识别和故障诊断、自动优化正常及灾变状态下的调风、控风。其中,正常状态下按照节能原则自动调节矿井风流;灾变时期按照控制灾变及有利救援原则智能控风、调风,并实现三维动态可视化。

具体来讲,智能通风系统可通过智能感知子系统精确获得通风机各种参数及管网风阻和自然风压等,自动生成通风机特性曲线。可通过采用动叶角度在线无极调主通风机风量、风压传感器,风速、振动传感器,开度、视频传感器、声光报警器和人车识别装置等,将人工智能、工业物联网、云计算、大数据、智能装备等与本系统深度融合,形成全面感知、实时互联、分析决策、自主学习、动态预测、协同控制的智能系统,实现“一通三防”的智能化运行。

## 主要性能及技术水平

智能通风系统在对通风参数智能感知、通风设施设备智能控制、通风技术智能决策3个方面的自动化和智能化需求基础上,提供通风参数智能感知技术及装备;开发集通风网络在线监测、隐患智能辨识、通风设施设备(含主通风机和局部通风机)远程监测与控制为一体的通风决策及控制系统;建设包含风量远程自动测量、风门远程自动控制、风窗远程自动调控等设施设备硬件控制系统;建设区域风流自动调节、工作面火灾反风、输送带运输大巷火灾风流应急控制的通风灾变联动控制系统;实现矿井通风参数无人化测量、矿井风量远程调控、通风隐患自动识别、通风灾变联动控制,最终在通风管理方面实现减人、智能决策和远程控制的目标。

(1)智能通风系统的主通风系统采用“动调+变频”模式的在线无极调主通风机(图1),由多种传感器、变送器、控制器、传输接口、监控计算机及软件等组成,能够在线连续监测风量、负压、轴温、电流、电压、振动等参数数据及风硐风门、通风机开停等运行状态。主通风系统集成动叶可调、一键不停风倒机、云服务平台等功能。其中动叶可调技术是煤矿通风行业先进技术的代表,通过执行器和液压调节系统控制叶片角度,在通风机运转过程中根据需要随时同步无极调节,通风机可在叶片角度最小的情况下零负荷启动,减小通风机启

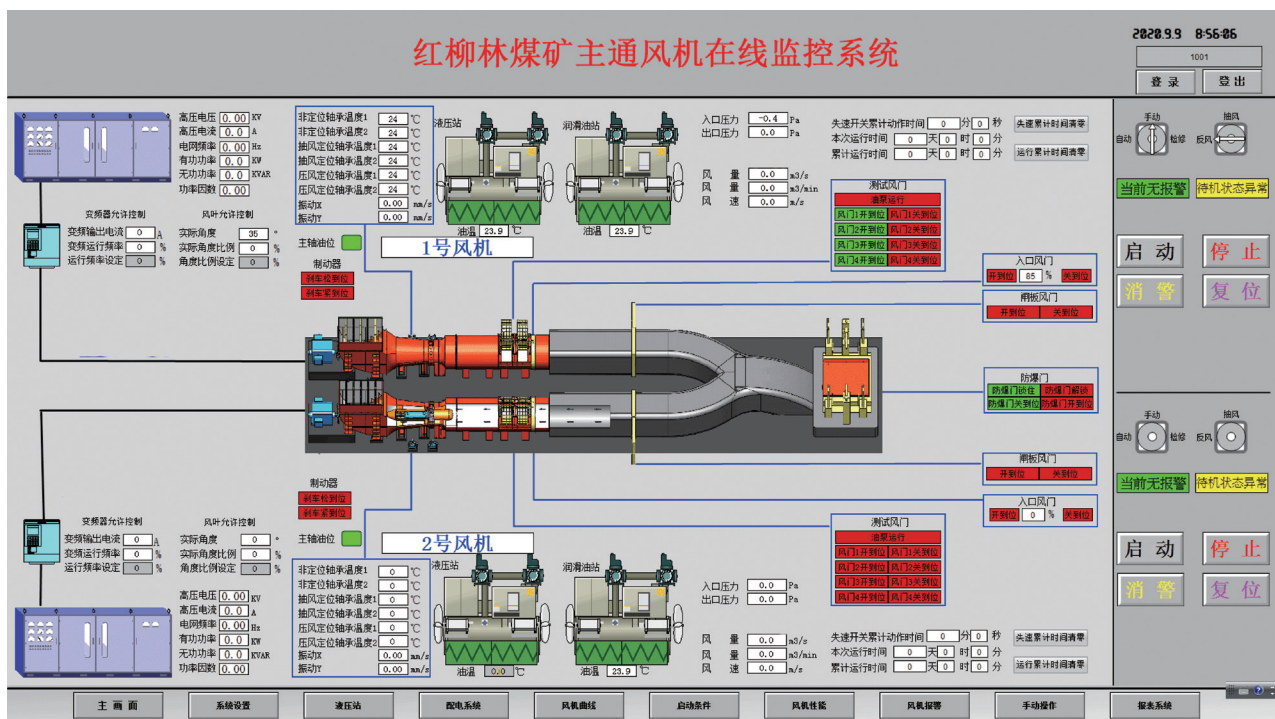


图1 主通风机在线监控系统

动时对电网系统的冲击。动叶可调技术结合变频器的调节转速效果，可以使风量的调节多维化、精细化，通过核心算法实时调节动叶角度和频率，实现正常工况下节能高效运行；一键不停风倒机功能为操作人员提供了简单方便的倒机操作方式，只需要点击一次按钮，系统根据预设程序，按时间及相关连锁逻辑，自动控制2台风机及配套设备，实现快速切换风机的操作，整个过程中，井下通风不间断，由停机停风改变为风量波动，避免主通风机倒机时，因停机造成的瓦斯积聚、超限现象，使得主通风机倒机这个安全的薄弱环节得到了改善，对矿井安全生产有着重要意义；云平台为系统提供了一个远程实时查看通风机运行状态的便捷通道，使用手机APP、微信公众号、电脑浏览器通过互联网访问云平台，即可查看运行数据，通过云平台还使系统具备了故障信号实时推送功能，在通风机发现故障时，系统自动将信息发送至管理人员绑定好的微信公众号，使管理人员及时掌握运行状态，系统还支持通过云平台对设备进行远程诊断，在发生故障时，专业人员可以通过互联网接入，通过远程监测程序，迅速找到故障点，及时解决问题。

(2) 智能通风系统的局部通风机控制系统由煤矿用隔爆型压入式轴流局部通风机、变频器、分风器、风筒风速传感器、瓦斯传感器、监控分站、电子牌板等组成。采用PLC与变频器组成的控制系统，对通风机频率实时调控，实现了“实时预管、人机双控、按需供风、防灾减灾”，达到掘进工作面需风量智能计算、局部通风机设备状态与环境参数监测感知、局部通风机安全保护、变频智能控制，实现了局部供风风筒漏风率自动测算、风电瓦斯电远程实验闭锁与工况闭锁、主备通风机远程一键切换、按需供风智能变频控制、瓦斯排放智能变频控制等。

(3) 智能通风系统可变形智能平衡风门具有自适应巷道变形、多重可靠闭锁、远程自动控制、防夹车夹人、耐锈蚀等特点；针对行车过人风门具备光控、红外感知、气动机械电控三重闭锁和夜视摄像等功能；针对矿压大导致巷道变形、风门易损坏的问题，设计了新型可适应变形门框，可保证风门稳定、可变形和不漏风；针对灾变控风设计了火灾监测感知和风门远程控制系统，具有闭锁状态下的远程解锁、控制可靠的功能。





图2 智能通风系统服务平台

(4) 智能通风系统智能平衡风窗采用百叶式结构,具有远程和就地2种控制功能,信息控制柜以TCP/IP协议接入井下环网与上位机软件通信,实现自动风窗的远程就地精确控制。窗体配备定量化气动控制单元,控制自动风窗和压缩空气的接通与关闭。

(5) 智能通风系统全断面智能测风仪通过风速的二维矢量准确测定,解决了煤矿井下风速测量仪表风速测量精度低的问题,实现了风速的高频、高精度、大量程快速检测;缩短了电路测量响应时间,降低了测量超声波衰减,提高了超声波测速仪表精度,形成了矿用高频超声波单点风速传感器。

综上所述,智能通风系统有效解决了传统矿井通风系统普遍存在的通风参数监测点数量少、准确性低、风量自动调控难、人工调控效率低、“一通三防”设施自动化控制水平低的问题。智能通风系统保证了矿井通风安全的可靠性和有效性,减少了人工管理缺陷和效能不足,提高了矿井通风的自动化、信息化和智能化水平,适应新时代智能化矿山建设发展的需求。

## 智能通风系统服务平台

智能通风系统通过在线监控系统对通风机运行参数在线测量、实时显示,以判断通风机运行状况,根据主通风机操作流程对其进行运行控制(图2)。该系统可接入应用现场网络平台,实现通风机和风门的就地集中控制、远程控制、逻辑判断和闭锁。

## 技术安全性与先进性

智能通风系统采用“动调+变频”模式,其智能主通风机具有在线无极调节功能,安全稳定、节能高效、绿色低碳;而“对旋+变频”模式的智能通风系统由于风量变化与转速变化呈一次方关系,而负压变化与转速变化呈二次方关系,且“对旋+变频”模式的智能通风系统在运行过程中叶片角度不可调,所以在多数情况下都是处于“大马拉小车”的状态;而智能通风系统由于主通风机的叶片角度可在线无极调节,所以在除灾变状态外的任何情况下,均可高效运行。

## 技术经济合理性

由于智能通风系统在除灾变状态外的任何情况下，均可高效运行，所以选择“动调+变频”模式智能通风系统，比选择传统“对旋+变频”模式可降碳40%。

## 结 语

智能通风系统采用“动调+变频”技术，实现了矿井通风多维度精准调节，解决了矿井传统通风系统普遍存在通风参数监测点数量少、准确性低、风量自动调控难、人工调控效率低、“一通三防”设施自动化控制水平低的问题。提高了矿井通风的自动化、信息化和智能化水平，适应了新时代智能化矿山建设发展的需要，满足了矿井通风的实时监

测感知、故障智能诊断、灾害智能预警、安全智能管控和灾变智能应急控制的要求，达到了煤矿减人增效、绿色低碳等效果。

智能通风系统适用于所有新建、改（扩）建和生产矿井，尤其适合于风量、负压变化较大的井工矿，特别是高瓦斯矿井。其自动化程度高，自适应能力强，准入门槛低，示范效应好，应急救援及时，监测预警精准，节能降碳突出，减人增效明显。

■ 责任编辑：李金松

### 作者简介：

第一作者：常波峰，高级工程师，现任陕煤集团神木红柳林矿业有限公司党委副书记、总经理。

E-mail: 153897758@qq.com

作者单位：陕煤集团神木红柳林矿业有限公司

## 热点问答

### “双碳”目标下化石能源如何高效清洁利用发展？

#### （1）高效燃烧与低碳转化技术

燃煤锅炉灵活调峰技术：加快开发和应用燃煤锅炉深度灵活调峰技术、超低负荷稳燃技术等，实现锅炉深度调峰与快速变负荷；工业过程高效燃烧技术：针对冶金、建材等典型高耗能、高排放工业过程的节煤、降碳、减排等需求，突破气化-燃烧、富氧/全氧燃烧等关键技术；工业过程/流程低碳耦合关键技术：重点突破高耗煤/高耗能行业间、流程/过程间的物质和能量的耦合瓶颈，形成煤电-可再生发电、煤化-冶金、煤化-石化等高效低碳耦合利用技术；煤炭高效转化技术：发展煤炭清洁经济制备一氧化碳技术，利用可再生能源的氢源合成能源产品和化学品。

#### （2）石油、天然气高效清洁利用技术

石油高效利用技术：通过石油直接制备化学品技术及石油基与煤基原料耦合制烯烃芳烃技术，构建石油制烯烃/芳烃等化学品的新技术体系；天然气高效清洁利用技术：充分发挥天然气具有调节灵活、响应迅速的优点，与可再生能源协同发展，形成良性互补，并开展天然气制备化学品技术研究。

#### （3）煤转化及石油采炼过程“三废”处理技术

废水处理：推动煤化工废水低成本处理及资源化利用，开展催化臭氧氧化、催化湿式电氧化等关键技术研究；废气处理：重点突破NO<sub>x</sub>和挥发性有机物等多种污染物协同脱除技术，进行污染物系统高效脱除催化剂开发和应用；固废处理及资源化：推动大宗化石资源的固废资源化、高值化及低碳化利用，开发气化灰渣焚烧利用、废液与废固高温熔融高质化等关键技术。

——来源：《“双碳”目标下的化石能源高效清洁利用》