



# 煤矿井下智能通风系统的设计及应用

白怡明

矿山智能化开采已成为行业发展的技术共识，在国家政策的支持下，建成多种类型、不同模式的智能化示范矿井已成为煤炭企业的新目标。智能化矿山建设是指煤矿开拓系统、提升运输系统、采掘运输系统、通风安全系统等全过程智能化。矿井通风系统是煤矿井下通风方式、通风方法和通风网络的总称，科学合理的矿井通风系统，是决定矿井安全生产、矿井生产产能及抗灾能力的重要保障之一。

曹家滩煤矿设计应用的智能通风系统集成了矿用风速仪、自动风门、自动风窗等设备，可采集风速、空气压力（绝压）、空气温度、湿度、风门（风窗）位置等参数；该系统可以依据设定值实现远程控制风门风窗的位置（开度），调节风速风量，满足煤矿安全生产的需要。该系统准确度高、灵敏度高、运行稳定可靠、维护简单，提高了煤矿安全保障能力；该系统实现了全数字化传输，具有风速风量自诊断和风向异变报警功能，实现了通风系统的稳定性、合理性和经济性。

## 矿井智能通风系统组成与原理

### 系统组成

智能通风系统由4部分组成：①监控计算机、网络及软件；②传输接口及传输电缆；③煤矿用风速仪及供电电源；④自动风门风窗、各种传感器、执行器和控制装置。矿井智能通风系统架构如图1所示。

### 系统原理

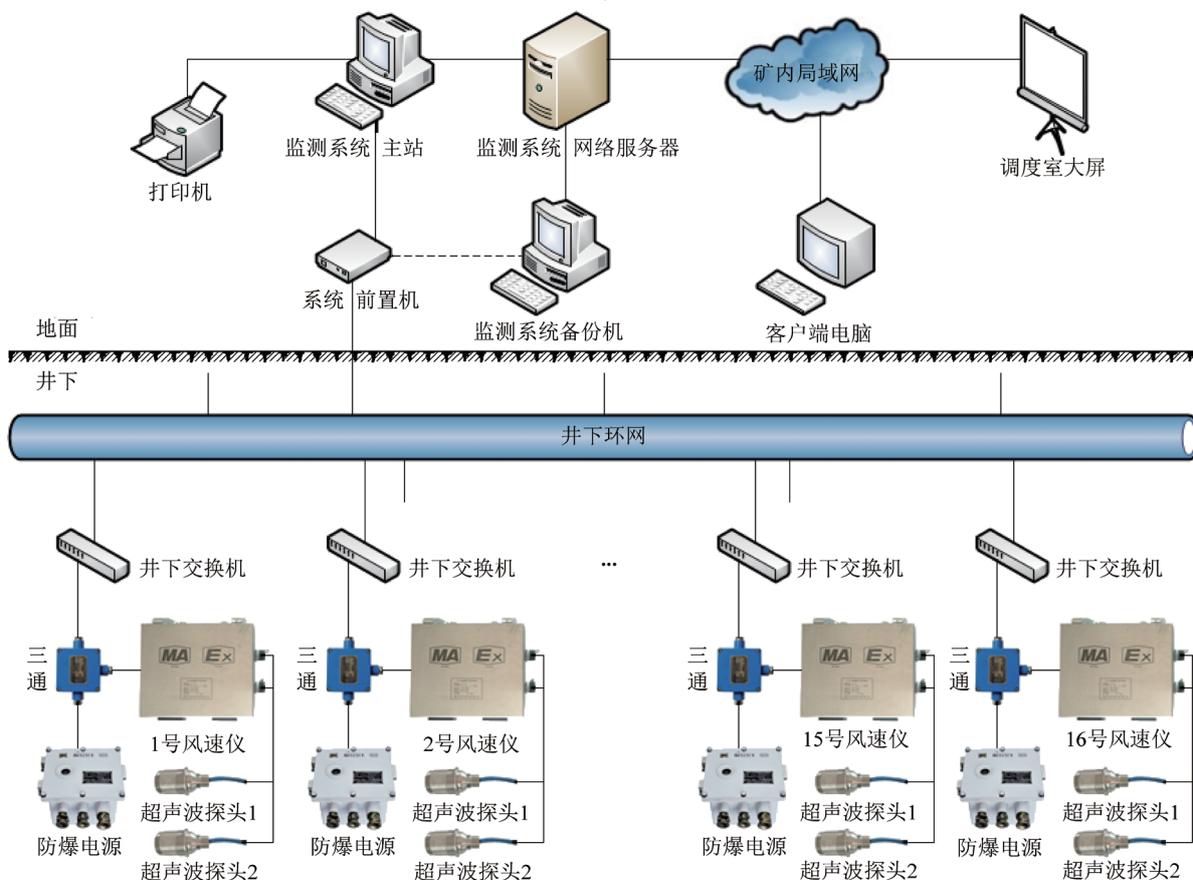
矿井智能通风系统是利用矿井监测监控系统、

井下人员定位系统、井下高速环网系统等采集的参数，通过系统通风工程技术、人工智能算法、运筹统计算法、流体力学理论等手段在井下通风网络实时解算的基础上对风门、风窗和风机功率动态进行实时调整，以达到所需风量自动按照最优方式分配的目的，同时保证井下通风系统的稳定性、可靠性、经济性。智能通风系统可以通过算法确定最优的风门和风窗开闭位置，自动调整主通风机功率及叶片角度、风窗的风阻大小、风门的开闭角度等。智能通风系统具有RS485通信接口，可以融入煤矿智能管控平台，为建设智能矿山奠定基础 and 方向。

## 智能通风软件设计

矿井智能通风系统包含一套数据分析及逻辑控制软件，软件分为数据层、服务层、网络应用层。数据层和服务层将业务数据、专题数据等多种类型和格式的数据进行业务交互，实现静态风网解算分析、风量逻辑分析、风量数据报警、漏风分析、通风设备关停及设施参数调整分析等功能；网络应用层负责数据传输和服务发布，同时为通风系统与其他专业化应用系统集成提供接口。

智能通风软件能够建立可编辑的矿井真三维通风系统模型，井下巷道、调节风门及风窗、其他主要机电设备设施均可实现数字空间的三维建模，快速生成三维通风立体图、二维通风网络图、二/三维风速流量图；采集包括地理信息数据（测量类空间数据）、井巷工程属性数据、通风设备设施数据、瓦斯监控等各类业务数据，实现全矿井通风智能解算和通风系统动态模拟；建立矿井通风数据库，进行风网实时解算，通过基础数据采集和处理



1  
2

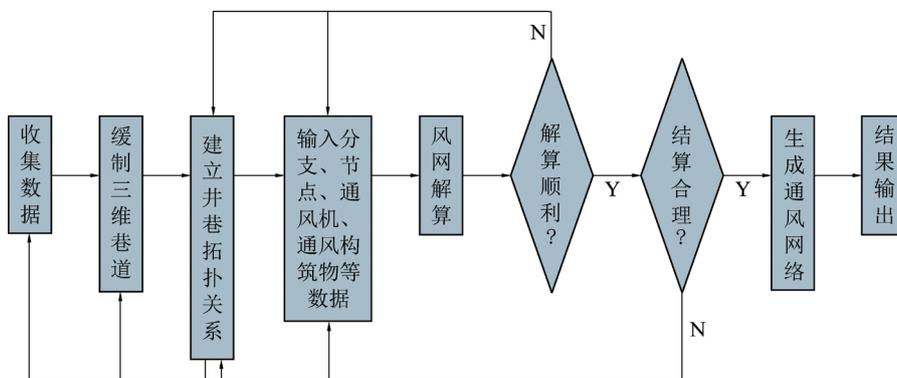


图1 矿井智能通风系统架构

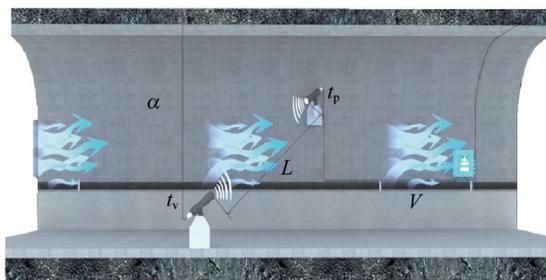
图2 静态风网解算流程

实现自然分风、按需分风、调阻分析、风网优化、逃生模拟、风门开关模拟、贯通模拟等功能（图2）；实时测量井下风量、风速、风压等数据，分析通风网络中的阻力分布情况，分析影响矿井通风效率的主要因素，第一时间发现异常并报警；通过建立通风动力装置数据库模型，进行选型与运行工况点分析，实现调速、反风计算，对矿井通风系统进行优化和测风分析。

## 智能通风系统关键技术

### 超声波风速测量技术

矿井智能通风系统准确风量解算的前提是通风数据采集准确，否则，计算结果再精确也是无用。目前，国内大部分矿井测风探头是安装在巷道弧顶下 20~50 cm 处，传感器测量的数据为“点风速”。由于位置关系，无法以“点风速”来分析判



额定工作电压：DC 12 V  
工作电流：小于500 mA  
工作频率：37 kHz  
风速范围：(0.1~15) m/s  
风速误差：0.1 m/s  
传输方式：RA485、TCP/IP  
最大传输距离：5 km

图3 超声波风速传感器示意

断整个大巷内的平均风速。

曹家滩煤矿智能通风系统改变了“点风速”测风方式，采用大距离超声波测风技术测量大巷中“线风速”，采集经过井下巷道截面的平均风速，由风速数据可知井下巷道的“面风速”，大幅避免了传统测风方法下出现的巷道内风速测量值片面、偏差大等现象，提高了精确性。超声波风速仪采用时差超声波测速原理，利用声波在流体中顺流、逆流的时效性不同，相同时间内声波传输距离和速度的关系，可判断出巷道平均风速。超声波风速传感器（图3）设置上下2个超声波探头用以采集风速信号，再经过主控板处理计算，得出具体风速，利用井下工业环网或者通信总线传输至井下监控通信分站后再传输至地面。

风速计算： $V = 0.5L(t_v^{-1} - t_p^{-1}) / \cos \alpha$

式中： $\alpha$ 为声波方向与风向之夹角； $L$ 为超声波路径，即测量距离； $t_v$ 为超声波顺风时间； $t_p$ 为超声波逆风时间。

曹家滩煤矿设计的矿井智能通风系统正是利用超声波扫描测风方法，通过超声波、遥测感应等技术对所有通风地点风速、压力、温度、相对湿度等参数实时动态精确测定，同时对采煤工作面进回风巷通风断面面积进行实时动态测定，测定结果实时传输至智能通风系统，并在各监测点以数显形式显示测定结果。智能通风系统可自动绘制各监测点风速、风量、压力、温度、相对湿度等参数的变化曲线，监测参数超出预设范围，调度中心自动进行语音报警。

## 风门风窗远程控制系统

目前，国内多数矿井是在井下需要调风的巷道

上安装风门、风窗，人工调整风速、风量。曹家滩煤矿智能通风系统配置了电动风门和电动可调节风窗，风门通过风门控制器连接至风门集中控制器，风窗通过风窗控制器连接至风窗中转控制器，风门集中控制器与风窗中转控制器直接通信；风窗中转控制器实现对风窗和风门运行状态信息、传感器信息的汇集，通过网络上传至系统服务器，并接收系统服务器下发的指令，转发至相应的风窗控制器、风门控制器，实现风窗、风门的自动调节。

曹家滩煤矿地面主通风机和井下局部通风机均配置了变频器，可实现主通风机一键启动、反风自动切换和局部通风机的地面远程控制，并调整风速以达到精准调节风量的目的。通过物联网技术，实时精准采集井下通风数据，调风软件根据测量结果进行计算以及人工设定风速值和所需风量值，结合调配风装置（自动风门、自动风窗）开合状态、主通风机和井下局部通风机频率等因素，编制出调风方案，在得到值班人员确认后自动执行，实现自动配风。

## 矿井通风网络仿真实时解算系统

三维通风仿真与优化系统是矿井智能通风系统的核心部分，根据相关参数实时解算网络系统，使系统优化、通风阻力调节、通风机状态调整有据可依。

改进传统Scott-Hinsley算法的局限性，采用无初值的回路风量法，解决了含有单向回路复杂矿井问题，使其能满足基于真三维通风模型上算法收敛速度快度的要求，提高了风网解算的精度。采用非关系型数据库(nosql)、文档型数据库(MongoDB)存储风网解算的临时数据，避免风网解算过程中传

统关系型数据库（传统的sql语句）频繁调用数据库的问题，不仅提高了风网解算速度，而且实现了图形与数据的结合。在三维通风模型参数固化前，进行现场全矿井通风参数测定，确保绑定的通风参数真实可靠，可解决风网解算结果与矿井实际情况不一致的问题。采用测风分析模块软件，根据实测需风地点的甲烷浓度、二氧化碳浓度、温度、风速、最大工作人数、通风机吸风量等参数自动计算需风量，并同步计算需风量与实测风量的差值，用来辨别风网实时解算结果是否偏离了允许误差范围，当差值超出预设值时，自动调整调节通风机工况及通风设施开口位置，直至计算需风量与实测风量的差值在预设值之内。

## 实践应用效果分析

以AI智能、工业物联网、云数据中心、5G技术为代表的新一代技术正与传统煤炭行业融合创新，推动煤矿迈入“智慧化”阶段，智能通风系统是智能矿山建设的重要组成部分，与传统矿井通风系统相比，在经济效益和生产安全保障上均有重大意义。

从经济角度考虑具有以下3点优势：

1) 实时测风作业过程中提高了矿井的测风精度和频率、减少人工风量监测工作量的同时，大幅减少了测风人员的数量，实现了测风工作的有人巡检、无人值守。

2) 根据《煤矿安全规程》及相关文件要求，每3年需进行1次通风阻力测定，该项工作一般通过外单位委托进行，费用几十万至上百万元。智能通风系统可使复杂的通风阻力测定工作变得简单便捷，矿上技术人员即可完成，无需再委托外单位，节省了大量费用。

3) 智能通风系统的使用，改变了矿井原有通风系统信息化程度不高、阻力解算和绘图方法效率低的问题，为矿井通风安全管理和应急决策提供真实数据，通过远程集中控制井下风门和风窗，实现

合理有效供风，使得矿井通风系统时刻保持最佳的工作状态，减少了矿井通风系统的能耗。

从生产安全角度考虑具有以下2点优势：

1) 智能通风系统配合通风模拟，可匹配最优化的通风设计方案，避免了建设不必要的通风设施和通风巷道，节约矿建工程成本。

2) 智能通风系统可有效减少通风安全事故，减少因通风异常而停工停产导致的损失，保证矿井生产安全有序进行。

## 结语

矿井智能通风系统是智能矿山建设的重要组成部分，智能通风系统的建立与推广能够解决风网调节依赖于图纸标注、表格计算、手工解算和个人经验而导致的通风管理工作难度大、预测不准确等问题。智能通风系统不仅可以实现矿井通风的科学管理和调整，也为后期矿井通风系统的优化和改造提供参考依据。通风安全是矿井安全开采的第一道重要屏障，通风数据的在线监测与获取，以及通风系统的实时健康监测，是保障矿井通风安全的重要日常工作。

矿井智能通风系统在实际应用中，仍然有改进和发展空间，智能化矿山无人开采是未来发展趋势，是煤炭行业升级的关键。由于矿山井下条件复杂不一，影响因素较多，目前风网解算的实时性仍存在局限性，超声波扫描测风传感器在复杂地质条件下不够精确，部分分析功能仍需现场测试与工业试验进一步完善，开发矿井通风三维智能辅助决策平台，可真正实现矿井风流监测预警与应急调控，建设智能通风矿井。

■ 责任编辑：李金松

### 作者简介：

白怡明，高级工程师，从事煤矿工程的供配电、智能化建设、自动化控制的设计工作。

E-mail: 263047093@qq.com

作者单位：中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司