

矿井主风机故障监控系统的设计

展淑丽（晋能控股煤业集团晋城煤炭事业部机电处，山西 晋城 048000）

摘要：主风机是煤矿安全生产中最为重要的一个组成部分，然而煤矿环境复杂，通风机长期工作在恶劣的环境中，极易发生故障，对煤矿的安全生产造成威胁，现有的矿井主通风机状态检测与故障预警系统对于状态的检测及故障的判断都存在缺陷，难以将采集到的通风机的数据信息进行分析处理，无法准确帮助煤矿对通风机故障预警及判断。为了保障煤矿的安全生产、提升通风机的安全性，对矿井主通风机的状态进行检测与故障预警具有重要的意义。加强对矿井主通风机状态监测与故障预警技术的研究，顺应智慧矿山发展的大背景趋势，有助于保障矿井安全生产和提高企业效益，具有重要的实际意义与工程价值。

关键词：煤矿；主风机；故障；监控系统；设计

煤矿井下开采在获取煤炭资源的同时会释放大量的甲烷等有害气体，矿井通风机是挥发、稀释井下有害气体的重要设备，风机的有效运行是维持井下工作人员的重要保障。然而，风机设备在长时间、满负荷工作的情况下，其电机、机壳、转子、叶轮都有可能受到不同程度的腐蚀，通过人工手段来排查风机故障虽然具有较高的准确性，但难以保证实时性。因此，越来越多的煤矿生产单位开始将计算机、传感器以及各种信息技术应用于矿井通风机设备的故障工作。为了进一步提升故障排查系统对于矿井通风机故障的敏感性，需要科学运用煤矿主风机故障监控系统，实现对故障的及时掌握和处理，保证开采过程的安全性。

1 煤矿主风机故障监测的意义

我国现有自然资源的基本特征是煤炭丰富，石油贫乏，天然气低等，这决定了煤炭在我国能源消费中的重要地位。在我国很大一部分煤矿是手工开采的，超过半成的煤矿都属于高浓度瓦斯矿，这也是煤矿事故发生的主要原因，也是煤矿生产中的巨大危险，而煤矿的安全性也不容乐观。主通风机是煤矿通风系统中最重要的设备，是“一通风三防”系统的重中之重，被誉为煤矿的“灵魂”。持续向地下工作面和腔室提供足够的氧气，与此同时将废气以及粉尘排除，保证地下工作人员进行安全生产。所以主通风机的安全性与可靠程度是保证矿产通道空气质量的巨大必要条件。主通风中的主风扇结构相当复杂，工作环境在地下，条件恶劣，所以主通风机的故障原因很多，并且每种故障之间也有相应的关系，各种故障和症状之间也没有明显的线性对应关系，所以实时监控主风机的工作状态，也是便于对主风机故障及时发现以及做出相应的判断的最主要的方式。

我国煤矿对于通风机监测主要使用的基于振动信号的状态检测技术，该技术的原理是对通风机的震动进行监测，根据震动幅度分析通风机的状态。但是矿井通风机的运行状态复杂，对通风的振动进行监控具有局限性，只能检测到简单的故障，现代技术对信号分析的技术越来越成熟，所以采用新的方式对通风机振动幅值进行监测分析能够提升矿井主通风机状态监测与故障预警系统

的安全性及可靠性。采用小波包联合阶次分析的方法对提取到的信息进行处理，提升了故障诊断效率，对煤矿的安全生产有重要价值。

2 煤矿主风机故障分析

2.1 风机故障分析

矿井中的主通风机是一种输送空气进入到井道的设备，其组成主要有导轮与叶轮以及其他机械零件等。在实际矿井中，主通风机的功率往往很大，所以在通风机运行过程中会产生很大的振动，并有很大的噪音、过热以及其他的问题，这些问题产生的根源都是因为风机的振动。这种振动是由风机的导叶轮引起的，并由装配精度直接影响。噪音现象是由振动以及主风扇转子引起的。过热现象是由于机械摩擦产生，比如轴承、主轴以及相应的松动部分摩擦产生。

2.2 电机故障分析

主风机的主要动力源就是电动机，电动机的工作原理主要在于转子与定子，而电机故障大部分出现在电机内部轴承、转定子以及缠绕线圈上，根本原因往往在于电动机本身运行，而传动设备装配的匹配度不高，主风扇的负载过大，但电机的振动往往不大，不仅不会产生噪音也不会给电动机带来过多的负载。

2.3 励磁装置故障分析

励磁装置是电动机的主要核心部件，励磁的可靠程度直接决定主通风机的寿命。励磁装置的结构一般为，整流变压器、同步变压器、脉冲板、保险机构、闸管以及相应的控制电路等。

3 智能监测及故障诊断系统

根据矿井通风系统的实际运行状态及监测控制需求，本文所提出的智能监测和故障诊断系统，以通风机运行时的振动情况作为基本监测基准，通过高精度振动传感器获取通风机运行时的振动状态信息，将其传输到监测控制中心内对振动信号进行分析，获取通风机的实时振动频谱信号，完成对其运行情况的在线监测和故障诊断。

为了保证对通风机运行状态监测的准确性，对振动传感器放置位置的要求很高，以对旋式轴流风机为例，

经过多次试验验证, 当将振动传感器设置在通风机连接部位中间处时具有最佳的振动监测效果, 振动传感器选择 AMV-70420 型振动加速度传感器, 其监测的范围是 $-70 \sim +70 \text{ gn}$, 灵敏度高、稳定性好, 安装时在通风机中部安装两组振动传感器, 每组传感器的数量为三个, 分别用于对水平方向、轴向方向和垂直方向的振动变化情况进行测量, 每个方向上的数据取两个振动传感器监测结果的平均值, 以确保系统监测结果的准确性。

同时为了避免单因素判定导致的判断不准确, 监测系统同步对通风机电流、转速、电压、噪声等进行监测, 只有满足两种以上的故障因素后系统才会判断通风机运行状态偏离正常值, 然后发出故障预警信息。

4 故障判断装置

通风机智能监测及故障诊断需要对多种监测数据进行逐级判断, 因此故障判别逻辑相对复杂, 一旦出现偏差, 将导致整个监测及故障诊断系统的运行紊乱。

该故障综合判别系统中, 系统判别软件采用了 TCP/IP 协议, 系统硬件所定义的协议是依靠 16 组数据传感器进行同步采集和数据传输, 最终根据监测数据需求选择对应的通道进行数据信息传输。根据数据异常情况, 对故障原因进行预判和分类, 以模型树的方式逐层对故障现象进行匹配, 最终获取正确的诊断结果并输出预警信息和故障诊断报告。

由于通风机在运转过程中具有较大的振动和噪声, 再加上通风通道内紊乱气流的影响, 会对各类传感器的监测结果产生一定的干扰, 因此在对监测数据进行分析前需要对其进行滤波处理, 以提高数据分析的准确性。在故障判别模块内具有故障预判和故障分类两个部分, 若故障现象和系统数据库能够完成匹配, 则直接以故障分类的形式完成故障的判断和定位; 若故障现象无法和数据库内已有的故障类别相匹配, 则系统进入故障预判模式, 采用相似对比的逻辑进行预判, 将预判结构传输到控制终端, 由对应的专家完成故障最终的确认, 从而实现故障判断速度和判断准确性的统一。

5 煤矿主风机故障监控系统的设计

为了提升系统对故障判断的智能化程度, 在系统内加入了数据自动处理和存储功能, 能够自主对每个类别的故障现象、故障原因、受影响系统、故障处理方案等进行分类存储, 不断地扩充存储库的范围。系统具有自动巡检功能, 能够将每天的监测结果进行自主分析、汇总, 输出每日监测分析报告, 技术人员可以根据监测分析报告对通风机的运行状态进行预判, 同时可以将该报告作为通风机定期维护保养的指引手册, 增加对通风机维护的针对性, 提升通风机维护效率和有效性。

5.1 系统开发思路

①建立矿井主通风机智能变频控制与故障诊断决策支持系统, 实现对通风系统的远程监控、故障诊断、决策支持、综合管理等功能;

②根据风机运行状态、矿井通风要求, 产生控制命

令, 采用高压变频调速系统迅速响应控制命令, 实现对风机的闭环控制;

③根据设备实时运行参数与历史数据, 迅速评估设备当前工作状态, 实现故障报警, 提供故障原因分析、故障解决方案等, 并给出相应检修工作计划。

这三个方面层层递进, 全面系统解决了矿井主通风机监控与故障诊断的一系列关键问题, 实现了矿井通风机安全、连续、高效、经济运行。

5.2 系统结构

设计的矿井通风机智能监测及故障诊断系统结构主要是由监测监控系统和视频监控系统两大部分组成。

监测监控系统为上下位机系统。下位机配置有 PLC, 是监测监控系统的核心, 主要完成数据的采集和通讯; 传感器有温湿度传感器、烟雾传感器和风量传感器, 采集这些传感器的数据传输至数据的采集和通讯装置。上位机包括主通风机控制室的控制台监控主机和机电队监控室的监控主机两台工业计算机, 并且上位机采用 MCGS 软件进行组态, 能够将下位机传输过来的数据信息进行显示和存储, 同时还能进行分析处理, 实现预警等功能, 能够与下位机进行通信, 从而可以对现场的通风机等设备进行远程控制。

5.3 系统主要功能

5.3.1 设备运行管理功能

设备状态参数显示: 振动幅值、电机电流、当前负荷、温度等。

主界面显示: 设备运行动画、各个测点的实时数据。

历史参数查询: 可按给定时间段显示上述参数, 支持多种显示形式(列表、曲线等)同时提供报警历史查询和事故追忆。

报警: 一旦参数超限, 提供声光报警。

控制方式切换: 依托矿井综合自动化数据及网络平台, 在通风系统中引入氧气浓度、井下风速、采掘工作面温度等重要参数, 提供参数的趋势图, 为控制方式的选择以及风量的确定提供参考。提供了开环、单回路闭环、串级闭环三种控制方式的选择。其中, 开环控制提供变频器频率设定功能, 直接控制通风量。

5.3.2 设备故障管理功能

①信号分析。信号分析显示对振动信号的多种分析结果, 主要有以下几点。a. 时域分析: 波形、幅值、轴心轨迹、轴心位置、轴系运动仿真; b. 小波变换频域分析: 频谱、相位、瀑布图、滤波分析、细化谱、倒频谱、包络分析; c. 趋势分析和相关趋势分析: 任一个或多个参数相对某一个参数的变化趋势。在每个信号分析波形显示窗口的旁边设立说明, 解释各个图形的含义。如当前的频谱图中有哪些主要的频谱, 该设备的故障频谱有哪些, 当前的频谱图说明设备处于何种状态;

②故障诊断结果及建议。提供唯一确定的设备故障诊断结果, 主要有以下几点: a. 故障诊断结论; b. 当前状态评估; c. 维护建议;

③报警。一旦出现当前状态为“正常”以下,提供报警功能及应急解决方案。

5.3.3 设备检修管理功能

①提供日、星期、月甚至更长时间周期的检修任务单。其中日检修任务单每天在点击本功能菜单时自动跳出。检修任务单分为常规检修任务单和状态检修任务单。常规检修任务单提供通风机的日常维护内容。状态检修任务单根据风机的故障诊断及状态评估结论,安排风机的检修内容,主要包括:待检设备名称、当前状态评估结论、检修项目。检修任务单上还依据设备位置及检修紧迫程度提供检修优化后的路径;

②检修历史查询。可以按照设备、时间、人员等查询历史的检修信息,查询历史检修工单;

③检修工单。提供检修工单,强制检修人员填写,与当天检修任务书结合在一起。维修工单可完成对维修活动的全程跟踪,记录设备维修过程。基于检修工单的维修活动跟踪管理可以解决设备维修历史记录存档不完整、设备维护经验个人化及知识不能转化为企业范围的智力资本等难题;

④检修帮助。针对不同设备提供专业维护知识和案例分析。案例分析主要借助于检修自动生成,可以查到矿井的大型设备经常有哪些故障、都是如何解决的。与历史查询不同,历史查询是流水账式的;而本功能需要数据挖掘技术,对检修工单的其中的一些条目进行分析才能得到。

5.3.4 设备参数管理功能

①设备基本参数。设备基本参数包括编号、型号、额定参数、安装位置、工作状态、生产厂家、供应商、投产日期、检修情况、备件数量等;

②设备更新管理。一旦更换设备,提供对新设备进行上述参数输入的窗口。这项工作可在检修工单中选择“更换设备”时自动弹出。

5.4 监测系统数据处理

通风机智能监测及故障诊断系统的实时数据流量大,因此为了确保数据分析结果的准确性和速度,对数据存储和管理系统的要求极高,通过对该系统最大数据流量的分析,最终确定以三通道的方式进行数据存储和分析,系统的数据采样频率定义为 6.12kHz,系统满负荷运行 24h 的数据存储量仅 15MB。与单通道处理模式相比,三通道处理模式既有效地减少了数据信息量,又能够将数据处理速度提升 3 倍以上。

5.5 实践应用及效果分析

矿井通风机智能监测及故障诊断系统完成设计生产后,在煤矿进行了试用,结果表明,采用新的智能监测及故障诊断系统后,系统能够对通风机的运行状态进行不间断监测,同时系统能够自动输出故障原因,实现对通风机故障的快速定位和处理,有效地提升通风系统的运行安全性。

具体应用效果如下:

①构建了功能全面的“矿井主通风机智能变频控制与故障诊断决策支持系统”,将远程监控、故障诊断、决策支持、综合管理有机结合,达到了无人值守,实现了对煤矿通风系统双井、双风机的安全生产、高效节能与科学管理;

②实现了主通风机的变频控制。利用变频器,通过调节电机速度来改变风量,达到了节能降耗的目的;

③解决了通风系统闭环控制的大滞后性和非线性性的问题。设计了包括主、副两个调节器的通风串级控制系统。采用风量、转速作为反馈量,引入井下生产计划作为前馈量,快速响应风量需求的变化,提高了通风控制系统的控制性能;

④实现了基于信息融合技术的通风机故障诊断。采集通风机的振动、电流、温度等信号,利用信息熵技术从通风机运行数据中提取故障特征向量;采用信息融合技术融合多传感器的信息,对通风机进行故障诊断;

⑤提供了通风系统设备的综合管理和决策支持功能。利用专家系统,根据设备历史记录、状态评估及故障诊断结论,提供故障原因分析、故障解决方案等决策支持,实现了设备的状态检修,革新了矿井设备维护管理模式;

⑥研制的风门到位检测控制装置,解决了风道中位置式到位传感器安装调整困难、对环境要求高的缺陷,定位准确且紧闭程度可控,避免了漏风现象,提高了通风系统的效率,达到了节能的目的。

总而言之,煤矿主风机智能监测和故障诊断系统,通过高精度振动传感器获取通风机运行时的振动状态信息,完成对其运行情况的在线监测和故障诊断,具有结构紧凑、监测准确度高、可靠性好的优点。

参考文献:

- [1] 许祥赞. 矿井主通风机振动故障分析及监测系统设计[J]. 机械管理开发, 2020, 35(08): 142-144.
- [2] 郭洪涛, 李路兵, 蒋靖, 郭涛. 风力发电机叶片不平衡监测系统[J]. 科学技术创新, 2020(24): 106-107.
- [3] 耿珊. 油液监测在风机故障诊断中的应用[J]. 甘肃科技, 2020, 36(11): 50-54.
- [4] 倪云峰, 张盼, 刘长岳, 王江华. 基于频谱分析的矿井通风机预警系统设计[J]. 煤炭技术, 2019, 38(07): 162-165.
- [5] 赵晓明, 孙希德. 基于大数据的风电设备远程故障监测与诊断系统研究[J]. 电力大数据, 2019, 22(04): 22-29.
- [6] 柯昭, 钱猛. 一次风机电机轴承电腐蚀故障诊断及解决方案[J]. 冶金与材料, 2019, 39(02): 175-177.
- [7] 高媛, 房利国. 煤矿主通风机故障诊断监控系统的设计[J]. 煤矿机械, 2016, 37(12): 3.
- [8] 王春艳, 樊荔. 煤矿主风机故障监控系统的设计[J]. 煤矿机械, 2013, 34(3): 2.
- [9] 郑瑞, 董万福. 基于单片机的煤矿主通风机监控系统设计[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2013, 32(2): 4.