

[故障预警]

基于Arduino的CEMS采样隐患监测预警装置设计与实现

文/赵庆云
国能江苏电力工程技术有限公司

针对火电厂烟气排放连续监测系统采样环节中的探头堵塞、管阻上升、采样泵故障以及设备环境温度失控等隐患，设计了一种基于Arduino的隐患监测预警装置，使用特殊组装的温度压力一体传感器采集泵前压力及环境温度，监视实时参数，辨识多种隐患，通过就地显示及云报警的方式向相关工作负责人报警。

火力发电厂烟气排放连续监测系统（Continuous Emission Monitoring System, CEMS）是火电厂实现烟气脱硫、脱硝达到超低排放工作的重要设备。随着我国环保事业的发展，业界对火电厂烟气CEMS可靠性的要求越来越高，一旦发生CEMS故障，将面临脱硫、脱硝自动控制跳闸及环保考核，还可能影响机组的上网电价。另外，及时辨识相关隐患并采取防范措施，还可以防止设备故障缺陷的发生，因此，隐患辨识及预警具有安全、环保和经济等多方面的意义。

业内广泛使用的各类CEMS设备本身带有一定的故障报警能力，但是对于采样探头堵塞、采样管线管阻升高、冷凝器散热不良、冬季管路凝水冻结以及采样泵意外停转等各类隐患及故障问题尚没有可行的检测方法，成为CEMS故障的重灾区。本文通过对CEMS采样压力、环境温度信号的采集与处理，结合现场实验数据分析，设计了基于Arduino单片机的CEMS采样隐患监测预警装置，利用单片机采集处理压力、温度信号，辨识相关隐患对于数值区间，通过显示屏及灯光发出警示，并将重要超限报警通过云服务以发送短信息、拨打电话的形式通知设备维护负责人。

隐患辨识方法

隐患的发展从本质上反映的是物理参数的变化，在本文中选取CEMS机柜设备工作环境和采样泵入口压力作为合理的辨识参数并实时检测，当数值范围突破辨识值或经验临界值时，即视为隐患已经形成。另外，通过实时压力检测，也可为优化采样工况、辅助检测、排查故障隐患提供辅助，降低泄漏等隐患概率，缩短故障处置时间。

1. 环境温度隐患

当CEMS小室环境温度升高时，样气除湿设备冷凝器发生故障的概率随着温度和时间持续上升，样气在环境温度持续超过40℃、时间30 min内发生起雾现象的概率超过85%。当室内温度低于0℃时，蠕动泵排水管道也将发生冻结、堵塞现象。根据生产经验和缓冲时间需求，把38℃、5℃分别作为样气除湿失效和机柜管道冻结隐患辨识限值。温度隐患原因及辨识原理如图1所示。

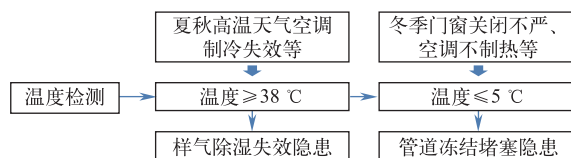


图1 温度隐患原因及辨识原理图

2. 采样阻力异常隐患

CEMS采样流量下降的主要原因：高温采样探头的二级滤网及采样探杆发生积灰；高温采样管线弯折处污渍沉积、挤压变形等，这些影响采样流量的因素都比较隐蔽。通过试验获取CEMS正常工况下的泵前压力范围，模拟探头堵塞，获取不同流量对应的泵前压力，科学合理地判断采样阻力大隐患对应的压力范围，获取对应隐患的压力辨识值。当采样泵因电源故障等意外停机时，系统接通大气压，泵前压力升高，或当泵前负压段管路接头松脱泄露时，这种情况也会使采样工作丧失有效负荷，并表征在压力参数上。采样阻力异常隐患原因及辨识原理如图2所示。

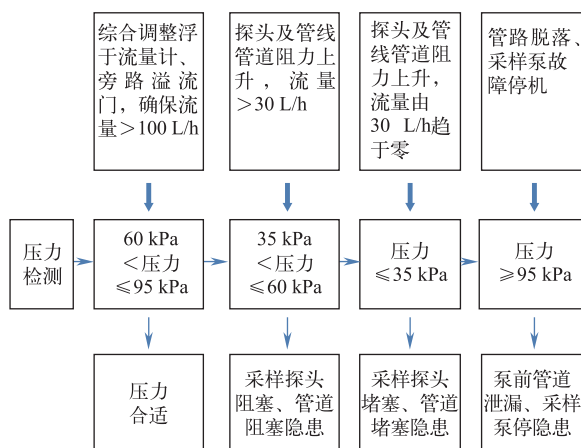


图2 采样阻力异常隐患原因及辨识原理图

硬件系统设计

1. 设备构成

采样隐患监测预警装置由Arduino nanoV3.0开发板、BMP180传感器、0.96寸OLED显示屏、5 V电源模块、LED指示灯、按钮、光耦隔离继电器、云报警芯片组件等主要器件及承载它们的设备外壳等构成，如图3所示。

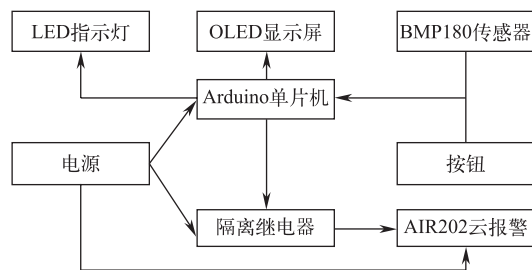


图3 隐患监测报警装置硬件系统结构图

Arduino nanoV3.0开发板采用ATMEGA328P-AU主控芯片，自带CH340串口芯片，方便代码烧录、程序调试和串口监视，本装置使用其中的6个数字输入/输出端口作为按钮输入及警示、报警输出，可使用A4/A5作为I2C通信的数据传输及时钟接口，用于探头OLED显示屏的通信。

BMP180是德国博世公司（BOSCH）推出的一款高精度数字气压传感器，具有体积小、功耗低等优点。BMP180具有较强的气压和温度系数校准能力，其温度测量范围为 $-40\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，绝对气压测量范围是 $30\sim 110\text{ kPa}$ ，经试验，其温度及压力在该范围外仍有较高精确度，满足本装置的检测要求。

0.96寸OLED显示屏采用SSD1306驱动芯片，比数码管具有功耗低、分辨率高的显著优点，可由单片机直接供电，大大简化了设计方案。

2. 信号滤波与探头组装

由于CEMS采样泵为膜片式交流脉冲泵，其压力具有典型的脉冲特点，直接采集不利于后期数据处理，设计中为节约单片机算力，降低数据处理难度，采取探头前端阻尼滤波的物理方法，经试验检验，数据响应和稳定性都具有很好的效果。为提高探头抗腐蚀能力，保障BMP180芯片工作使用寿命，组装中采用柔性膜隔离设计，即先将芯片用充氮柔性膜隔离，再组装进探头结构中，如图4所示。

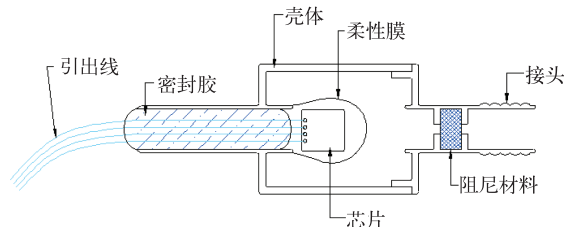


图4 带有阻尼滤波设计的探头组装原理图

3. 交互功能设计

在人机交互方面，采样OLED显示屏实时显示温度、压力参数及报警提示信息，在没有报警时，显示各报警设定值用以提醒。操作方面，复位按钮用于复位单片机及挂载其上的显示器，测试按钮用于测试装置报警功能，投入按钮设计在控制器输出至隔离继电器的控制回路中，用于（设备检查等情况下）切除报警对外输出。灯光指示方面，扫描灯在控制器每个扫描周期闪烁一次，阻塞灯用于表示管路阻力上升，但还没有完全堵塞的提醒，超限灯用于警示温度

和压力超限对外报警，同步远程报警功能。

4. 报警的实现途径

装置通过屏显、LED灯光、蜂鸣器和云报警实现隐患的警示，人员巡检到就地，可以通过OLED显示屏获知系统运行的温度和压力参数实时数值，检查评估系统工况，当参数到达报警限值时，也会给出屏显提示和灯光警示，对于探头堵塞、采样泵停转、温度超限等达到超限报警条件的经光耦隔离继电器送至云报警芯片组件，按照预订设置给绑定的手机拨打电话、发送短消息，实现远程云报警功能，根据用户需求，也可使用备用的干触头信号送到机组DCS供运行人员监盘使用。

试验数据采集及限值整定

获取准确的数据以及各种工况下的数值分布是实现隐患辨识的关键因素，其中压力信号采集方面采取物理阻尼滤波试验和变送器对比试验的方法，数值分布采取流量调整和管阻模拟的方法。

在CEMS采样泵前接入三通分别连接传感器和变送器，试验结果显示，没有采取滤波措施的情况下，BMP180传感器及罗斯蒙特3051变送器都不能获得稳定的压力数值；在加入使用脱脂棉、聚丙烯纤维材料制作的阻尼环节后，可采集到稳定的数值，数值稳定时间还与阻尼环节后管道腔室的大小有一定的关系，如图5所示。

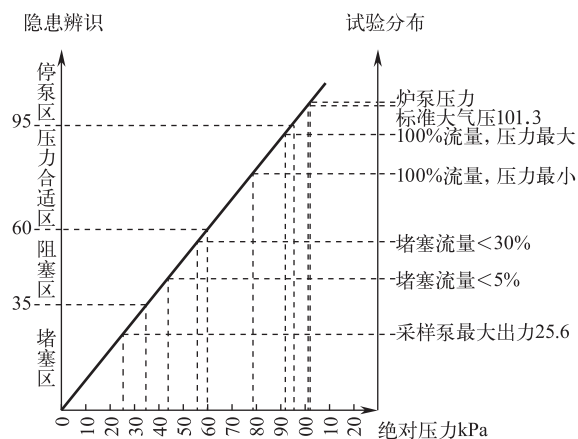


图5 试验数据极值及隐患辨识限值

根据现场试验数据采集，结合大气压变动和量宽考虑等情况，最终整定：停泵95 kPa，阻塞60 kPa，堵塞35 kPa，作为压力相关隐患辨识限值。依据经验和有关要求，温度相关隐患辨识限值

定为38℃和5℃。

软件系统设计

系统代码功能要实现周期读取温度和压力数值，循环判断是否接收到测试指令，参数是否到达定值并将结果输出至相应通道，当参数恢复后，复位相应通道。同时，把实时参数和限值提醒、限值触发情况送往OLED屏显示出来。为方便人员观察，系统扫描周期及屏显更新设定为2 s（可根据需求更改设置）。

考虑到每台CEMS工况差异，报警限值、延时间等参数都应符合试验或用户需求，因此这些个性化参数设定为全局变量，并将初始值放在setup函数中进行初始化。为方便用户后期优化和更广泛的代码共享，减少非官方库文件，本方案还放弃了BMP180库文件的使用，通过自定义函数读取、处理相关参数。这都有利于用户限值设置个性化需求和后期功能维护和方案分享。主程序流程如图6所示。

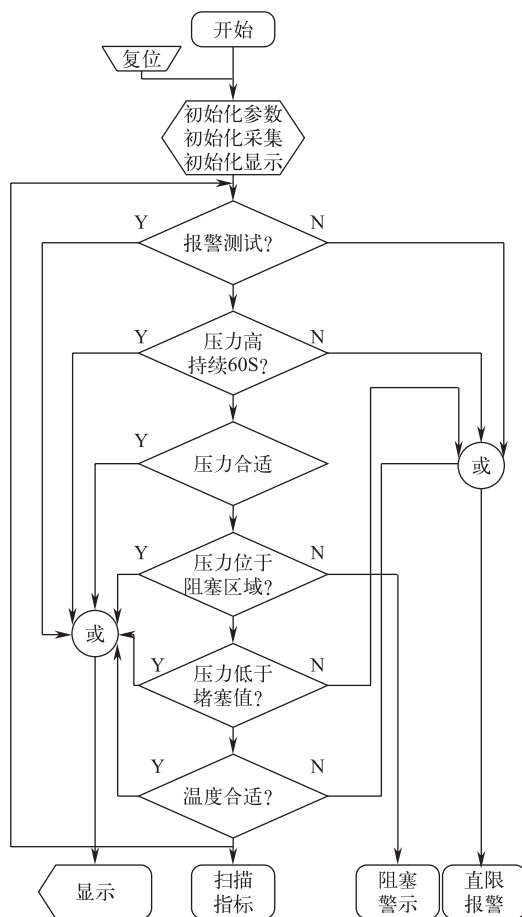


图6 主程序流程图

作为CEMS辅助检测设备，考虑到CEMS自带的探头反吹工艺，需在检测到压力高时做相应延迟，以防误报。这里没有简单的使用delay或其他时间函数，而是定义了一个全局计时变量phhcount，压力高时计时，连续计时达到所需延迟时间后触发压力高报警，同时也确保在反吹期间的正常扫描，以便持续采集、验证压力数值。

装置的应用

该预警平台具备样气除湿失效隐患报警、机柜管道冻结隐患报警、采样泵停泵或管路泄漏故障隐患报警、探头及管路堵塞故障隐患报警、探头及管路阻塞隐患警示、采样泵出力实时监视、管路密封性检测及渗漏部位诊断、流量调节与工况优化等八大功能。

经过试验和实践检验，CEMS采样隐患监测预警装置能够起到很好的隐患报警和工况监视作用，为降低环保设备故障率、提高设备可靠性提供保障。

当CEMS环境温度失控、采样管道压力异常时，装置能够及时送出远程报警，对降低隐患危害、预防设备故障及其扩大化都具有积极意义。作为将采样泵负荷量化的实时监测设备，还可辅助用户做工况监视及优化、流量调整、故障诊断、管路

密封性测试及采样泵性能检测等维护检修工作。EA

(收稿日期：2023-04-19)

参考文献

- [1] 李伟. 火电机组脱硫CEMS升级改造的策略与应用[J]. 应用能源技术, 2021(10): 13-16.
- [2] 王金雷. 火电厂在线监测系统日常运维中常见故障及解决方法[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(4): 232.
- [3] 张鹏, 窦鹏冲, 付闯闯. 火力发电厂烟气排放连续监测系统优化措施分析[J]. 山西电力, 2021(6): 37-40.
- [4] 赵全中. 烟气在线连续监测系统运行问题及解决方法[J]. 电力科技与环保, 2013, 29(2): 43-44.
- [5] 杨晓鹏, 汪鑫成. 基于Arduino Nano音乐喷泉控制系统的设计[J]. 自动化应用, 2021(2): 65-68.
- [6] 李佳, 李万军, 李泓锦, 等. 基于BMP180气压传感器的微正压控制装置研制[J]. 信息记录材料, 2017, 18(6): 52-53.
- [7] 王建设, 李奎, 印伟, 等. 基于大数据分析的智慧电厂设备状态监测研究[J]. 电气应用, 2022, 41(3): 28-33.

(上接第87页)

实践，通过设计一套集成视频监控、声音监控、人员定位和设备状态监测等功能的系统，并结合智能算法进行处理和应用，能够更好地保障带电作业人员的人身安全和设备的正常运行，提高带电作业的效率 and 安全性。

面向未来有关系统功能拓展与实践应用进行分析，随着人工智能技术的不断发展，带电作业安全监控系统还有很大的拓展和升级空间，可以对更多的数据进行监测和处理，并通过深度学习等技术实现自主化控制和优化。EA

(收稿日期：2023-10-26)

参考文献

- [1] 邹德华, 严宇, 王伟, 等. 基于ToF技术的高

压输电线路带电作业安全监测方法[J]. 高电压技术, 2020, 46(7): 2570-2577.

- [2] 李稳, 顾苏, 汪志刚, 等. 基于ToF技术的带电作业安全监测与预警系统[J]. 中国电力, 2020, 53(2): 63-68.
- [3] 罗日成, 方梦鸽, 李志前, 等. 基于传感器信息综合的带电作业安全防护系统[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(10): 73-78.
- [4] 邓鹤鸣, 蔡伟, 于鑫, 等. 66 kV输电线路绝缘斗臂车带电作业方式及安全防护[J]. 高电压技术, 2015, 41(9): 3091-3096.
- [5] 戚立峰, 瞿业明, 李洪兵. 带电跨越施工作业安全距离检测方法及应用研究[J]. 电气应用, 2021, 40(2): 51-56.