

一种气体检测仪的设计与研制

■ 王玲玉 郭晋川 肖海龙

大气中氮氧、硫氧、碳氧等有毒化合物含量比较低且不易被察觉,当这些有害气体超过一定浓度值时,就会对人体造成不可逆转的伤害。传统气体检测设备对低浓度气体检测不够准确,无法及时规避有害气体对人体的伤害。设计的气体检测仪以STM32F103为主控,以四电极高精度电化学传感器为采集探头,采用24位AD转换芯片,通过4G/NB-IOT模块将数据传输到服务器(上位机)。用户可远程监控有害气体浓度。该设备具备精度高、反应快、多气体检测、易操作等特点。

如何快速、精准探测气体(特别是对人体有害的气体)在空气中的含量显得尤为重要。传统的探测仪器对气体的探测比较单一且灵敏度不高、精度低,而且气体低浓度下测量误差大、设备校准复杂。因此,高精度、高灵敏度、低浓度气体测量、易校准的多种气体检测仪在工业、环境保护和应急事故预测等领域显得格外重要。市场上的气体检测仪多采用三电极的电化学传感器。传统的电化学传感器在气体浓度比较低时,不能准确地反映环境的气体浓度。本文采用基于四电极的高精度电化学传感器,具有精度高、误差小等特点,在气体低浓度下能及时反映环境中的气体浓度。

1 系统整体设计概要

本系统是基于STM32F103为主控,通过对各个传感器通道的数据进行校准及数据处理,最终实现高精度的采集数据并上传服务器(上位机)。传感器模块将探测的气体转换成微弱的电流信号后,系统通过AD采集电路及运放电路,将电流信号转换成可采集的电压信号,并以数字信号的方式传递给主控。主控芯片对数据进行滑动平均滤波处理,并完成与服务器(上位机)交互。由于传感器参数各不相同,主控除了要完成模拟量采集,还需要能够对各通道传感器进行校准。系统通过检测传感器探头温湿度,控制风扇及加热丝,保证传感器探头的工作温度始终在 0°C 以上,减少环境温度对传感器灵敏度的影响。系统供电方式主要是通过电池供电太阳能充电板充电的方式,保证设备在户外的使用及安装。整体设计如图1所示。

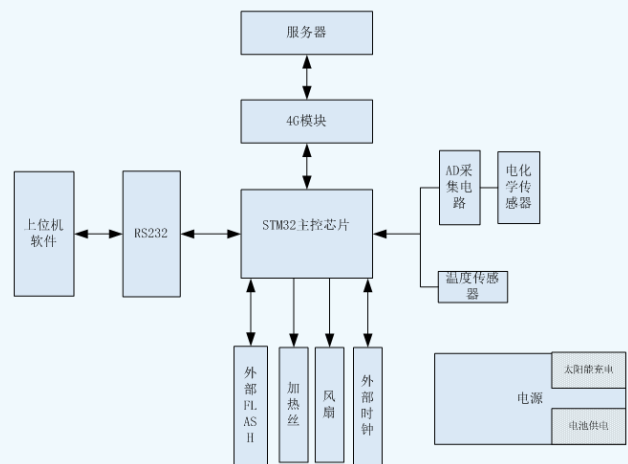


图1 整体设计

2 电化学传感器工作原理

传统电化学传感器主要由感应电极(S)、参考电极(R)、对电极(C)构成。通过气体与传感器中的物质发生氧化(还原)反应,引起电极上电动势的改变。而气体浓度不同,电极上电动势的变化也不同。在一定温度下,气体的浓度与电极上电动势的变化成正比。但是随着传感器的使用会产生背景电流,在低气体浓度环境下,背景电流会导致测量值误差较大。因此,四电极电化学传感器在传统电化学传感器的基础上增加了辅助电极(AE)。辅助电极(AE)与感应电极(S)在内部工作原理相同,由于工作电极端的氧气还原会频繁增加背景电流,封装在传感器电解质中的辅助电极(AE)会用电解质中氧气的溶解度和扩散率来限制通往工作电极的氧气,从而减少工作电极所产生的背景电流,降低在低浓度气体环境下背景电流导致的测量误差。

三电极或四电极电化学传感器中都包含对电极(C)与参考电极(R),由于电化学传感器需要稳定的参考电压,通过控制感应电极(S)与参考电极(R)之间的电位保持一致,故感应电极(S)与对电极(C)之间的电位保持一致。图2为恒电位电路,其中, U_{ref} 与 U_{basi} 之间的电位差由传感器工作电压决定。

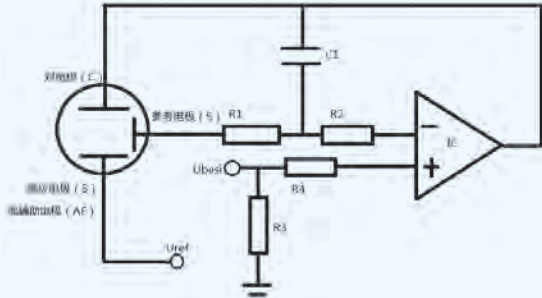


图2 恒电位电路

无偏压的电化学传感器: $U_{offset} = U_{ref} - U_{basi} = 0$, 即 $U_{ref} = U_{basi}$ 。

偏压的电化学传感器: $U_{offset} = U_{ref} - U_{basi}$ 。

电化学传感器工作时,感应电极及辅助电极上会产生微弱的电流信号,通过运放将电流信号转换成电压信号值。

3 系统控制设计

系统控制主要以STM32F103为主控芯片,实现与上位机(服务器)交换、传感器参数校准及浓度计算、相关数据的分析及存储、设备运行状态检测等功能。每一个电化学传感器的参数各不相同,为此系统中设有系统初始值,传感器参数校准后,校准参数会更新到FLASH中,所以系统更换传感器探头或定期维护时,只需发送校准指令无须更新程序。本系统可设置上传数据的时间间隔并将数据根据采集时间先后存放到外部FLASH中防止设备与服务器(上位机)失联时数据的丢失。系统基本流程如图3所示。

1) 与上位机(服务器)交换

系统将采集到的相关数据传送到上位机(服务器)实现设备的远程监控。为保证与服务器通信的稳定与数据的可靠性,每次发送数据前都要检测当前设备电源是否能够保证设备正常工作。数据发送完成后,检测是否与(上位机)服务器建立通信,若通信出现问题,则将数据进行重传或模块的重启。流程如图4所示。

2) 传感器参数校准及浓度计算

电化学传感器在同一温度下,符合 $y = K \times (x+B)$ 的趋势,所以需要确定公式中的 K 与 B 。 K 是气体浓度

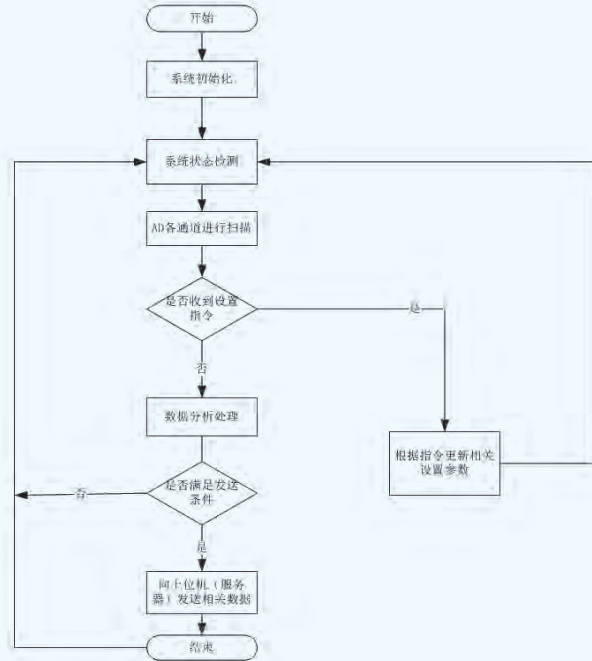


图3 系统流程

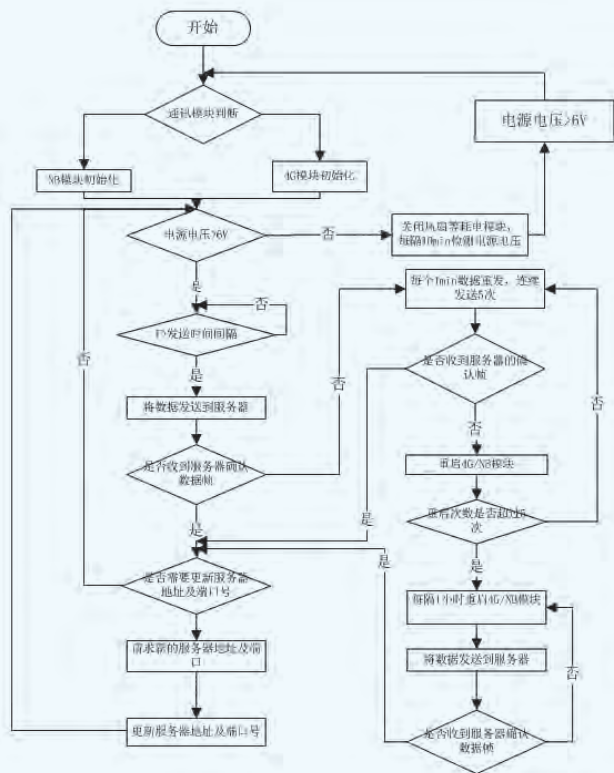


图4 服务器通信流程

实际值/实测值, B 是气体在纯净气体中的偏移。由于每一个电化学传感器的特性各不同,所以需要每一个电化学传感器进行参数校准。主要校准参数包括零点电流校准、灵敏度校准。零点电流校准是在传感器上方提供良好的零位(洁净)空气流,并至

少持续20min,同时测量工作电极和辅助电极的电流($I(\text{zero})$),即零点电流值)。灵敏度校准是在传感器上方提供特定浓度的气体,并至少持续20min,测量此时工作电极及辅助电极的电流($I(\text{work})$),并计算出当前测得的浓度值,将算出实际值与测试值之间的浓度关系作为灵敏度系数的倍数。

4 设备的标定校准

传感器的标定校准主要是标定零点及量程范围内的任意气体浓度点,所以要求标定时能够产生纯净的零点气体及一定浓度的测试气体。本设备标定时采用Thermo的零气发生器(111)、多种气体校准仪(146i)、NO-NO₂-NO_x分析仪(42i)。基本连接示意如图5所示,将产生的零点气体(特定浓度气体)通过通气罩流经传感器上端并静止20min观察数据是否正确,流出的尾气经过尾气处理排放。

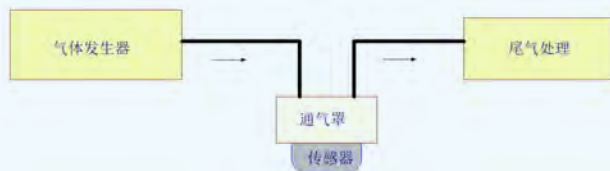


图5 连接示意图

以SO₂、NO₂、NO为例,进行零点校准与灵敏度系数校准后,改变测试气体浓度分别测试在200,500,800ppb(1ppb=10⁻⁹)下的气体浓度曲线(图略),校准后的测试值与真实值之间的最大误差值在40ppb左右。

5 检测数据误差分析

气体检测仪是以Thermo的多种气体校准仪(146i)、NO-NO₂-NO_x分析仪(42i)显示数据作为

真实参考值。气体校准后的设备在零点、100ppb、200ppb等测试点数据时皆比实际数值偏高。造成此现象原因主要有以下两点:

1) 设备采用电化学传感器,环境的温湿度都会影响探头的电化学反应,导致输出的模拟量处于波动状态。因此在校准零点时存在大约20ppb左右的误差。

2) NO、O₃、NO₂等此类气体化学性质不稳定,导致在校准过程中校准气体浓度偏小,而引起校准系数的误差,影响校准后的气体值。

6 结语

本系统是基于四电极高精度电化学传感器,根据电化学传感器特性设计相关系统控制及模拟量采集。所以检测仪使用时无须根据各个气体传感器的参数不同频繁修改控制程序及硬件。只须在出厂(更换探头)时对各个端口的传感器进行校准和偏压调整即可。与传统气体检测仪相比较,硬件电路可通用性较高、程序一致性较高、传感器的校准也比较简单,从而降低了气体检测仪的生产、维护成本。系统采用四电极电化学传感器在低浓度气体测量上精度也比传统气体检测仪稳定,数值更接近真实值。

深入阅读

- 韩贵宾,陈存广,孙媛媛,等,2017.电流型电化学传感器的研究进展.传感器技术,(23):195-196。
- 胡茜,葛思攀,王伊卿,等,2007.电化学气敏传感器的原理及应用.仪表技术与传感器,(5):77-78。
- 郑明,蔚承建,王大将,2009.基于滑动平均值的粒子群优化算法.计算机工程与设计,(14):3386-3388。

(作者单位:华云普达(北京)科技有限公司)

X波段双偏振数字相控阵天气雷达

■ 刘强 苗雷



X波段双偏振数字相控阵天气雷达

X波段双偏振数字相控阵天气雷达专为气象部门、民航部门及其他相关用户设计。该雷达采用了数字TR组件、双偏振裂缝天线阵面和多波束信号处理器等先进技术组件,具有速度快、精度高和稳定性好的特点。该雷达能对周边天气进行有效探测和预警,可获取雷达站周围上空天气目标的位置、强度、平均径向速度和速度谱宽等参数,实时监测150km范围内的强对流天气系统的生成、发展、消散,对中尺度风暴、暴雨、风切变、冰雹、龙卷、大风等灾害性天气能进行有效的监测和预警,为用户气象保障提供及时精确的气象探测资料。

(作者单位:北京敏视达雷达有限公司)