

基于光纤束反射驱动的氢气浓度监测系统 设计解析

阎 玮 陈 静

北京航天试验技术研究所, 中国·北京 100074

【摘 要】电化学传感器是监测氢气浓度的常规手段, 具体操作时容易引爆空气内的氢气。本课题设计了以光纤束反射驱动为基础的氢气传感器, 构建了相配套的数学模型, 为传感器输出的电流规划了低噪、强抗干扰性的调理电路, 在 ARMS3C2410 协助下规划了系统的硬件电路实现了各种拓展功能。通过实验分析发现, 以上设计的系统能在 40s 报警超浓度的氢气, 检测交叉气体的精准度达到 98%。

【关键词】光纤束; 反射驱动; 氢气浓度监测; 系统设计

Design and Analysis of Hydrogen Concentration Monitoring System Driven by Fiber Beam Reflection

Yan Wei, Chen Jing

Beijing Institute of Space Test Technology, Beijing 100074, China

[Abstract] Electrochemical sensor is a conventional means to monitor hydrogen concentration, and it is easy to detonate hydrogen in the air during specific operation. In this paper, a hydrogen sensor based on the reflection drive of optical fiber beam is designed, and the corresponding mathematical model is constructed. A conditioning circuit with low noise and strong anti-interference is planned for the output current of the sensor. With the assistance of ARMS3C2410, the hardware circuit of the system is planned to achieve various expanded functions. Through experimental analysis, it is found that the system designed above can alarm the overconcentration of hydrogen in 40s, and the accuracy of detecting cross gas reaches 98%.

[Key words] optical fiber beam; Reflection drive; Hydrogen concentration monitoring; The system design

引言

为了解决能源危机及全球气候变暖的问题, 世界上很多国家不断探寻清洁高效型的新能源。氢气是一种性质十分优越的新能源, 目前被认定是在所有可燃物质内实际燃烧强度最高的能源类型, 有资料记载, 氢可燃物质热值达到 120MJ/kg, 而天然气、汽油、酒精仅分别为 42.7MJ/kg、44MJ/kg、27MJ/kg。氢气的适用性很强, 这也决定了其用途的多样性, 不仅可以作为燃料, 也可以作为氨水、甲醇、半导体生产等的原材料或反应物。氢气作为新能源具有很多优势, 但其自身的特性也给实际使用中制造了很多麻烦, 氢气无色无味, 着火能量 0.019mJ, 爆炸极限 4.1%~74.1%。氢的扩散性很强, 容易泄露切不易发现, 密度偏低, 聚集猴急遇明火、热源后就可以发生燃烧或爆炸事故^[1]。关于氢气检测技术国内外已经进行了大量研究, 但常规监测设备应用中暴露出功能单一、处理速率缓慢等不足。为改善以上状况, 本文设计了以光纤束反射为基础的监测系统以监测氢气浓度水平。

1 设计光纤氢气传感器

这种传感器设备通常由传送光源、调制元件、接收光纤三大部分组成, 其中接光纤接收到的信号内带有被测物理量, 存在着噪声或振动干扰。光纤的出射光场被认定是影响传感器的光强响应特性曲线走向的一个主要因素, 出射光强的分布样态主要有均匀、圆台、高斯、近高斯分布等。探头的构造情况影响着传感器的现场检测强度, 既往为提升传感器的检测水

平, 常规做法是利用数根光纤构成的差异化排列形式的光纤束组成传感器设备。

在光纤束内, 假定不同光纤之间是不相关的, 运用相同的光纤执行传输和接收过程, 光纤芯径是: $r_T = r_R = r = 50\mu\text{m}$, $r_r = r_{lt} = r = 50\mu\text{m}$, 量值孔径 NA=0.22, 多束光纤束运算过程中可以直接叠加几何, 运用下式表示处于坐标原点处理的单根光纤的输出光强^[2]:

$$I_1(x_i, y_i, d) = \frac{I_0}{\omega^2(d)} \exp\left(\frac{-2(x^2 + y^2)}{\omega^2(d)}\right) \quad (1.1)$$

普通光纤传感器的参考光路运行期间需配合耦合器以完善光信号的分路操作, 这样才能获得信号光和参考光, 耦合器的本体的耦合效率影响着耦合系数大小, 系统制作流程繁琐, 投资较高。而基于反射式光纤束设计的氢气传感器输出信号不仅囊括了氢气浓度的改变值, 还输出了反射膜反射率 δ , 光源的实际输出功率 I_0 , 后接电路的转换增益 G 等指标, 以上因素均影响传感器最后的测定结果。

为了解除各种因素给传感器测量带来的影响, 传感器设计时不为其安装光纤耦合器、分

路器, 针对其内的玻璃光纤部执行繁杂的工艺处理过程, 运用多组分玻璃光纤构成光纤束探头装置。单光源 S 能规避发光二级管的光源参差不齐带来的骨面影响利影响, 从宏观上光纤束内的玻璃光纤被细分成三组, 第一组的某单端连接光源 S, 并且该组的玻璃光纤均等分成两部分, 均进到两同轴探头用作

传送光纤, 其他两组光纤束单侧端分别连接探测器 D_1 、 D_2 。另一端进到同轴探头以用于接收外围光纤信号。

2 系统设计

2.1 硬件设计

硬件电路的功能主要是收集传感器感知的氢气浓度信号, 以微弱的电流信号, 需要运用调理电路把这些信号处置成符合硬件接口要求的数字电压信号。本系统内设计的硬件电路信号整体进行模数转换以后导入微处理器进行再处置, 微处理器内可靠加载了完善粒子群的信号矫正流程。

传感器收集到的信号基本上是微弱信号, 为了由噪声中复原被测信号要执行一系列操作: 先运用放大电路放大信号, 一般要把微弱信号放大到能符合 A/D 转换条件的 V 级信号, 放大倍数高达 10 万倍, 运用电压电流转换级的二级放大电路去完成^[3]。

放大电路图运用了 ICL7650 和 AD620 构成的低噪、强抗干扰的放大电路, 输出电压和输入电流呈正比关系, 具体是把其放大到一万倍, 于放大器的 ICL7650 反向端接入输入电流, 为了防控发生高频振荡情况, 将电容 C_1 并联在电阻 R_2 上, R_1 是 ICL7650 的限流保护电阻, 转换所得的电压和 R_5 以上的分压共同输入 AD620, 结合 R_6 设定放大倍数, AD620 输出电压内含有一些基底电压和被测信号, 滤波电路处理后能获得真实的被测信号。接收信号内噪声与杂波干扰情况不能完全消除, 设计并应用一种带通滤波器进行除噪, 选择 MAX275 芯片作为 MAXIM 滤波器的芯片。滤波电路的外接元件数目偏少, 能便捷的调整部分运行参数, 中心的频率达到了 300 kHz, 允许运用双电源进行供电。在设计监测系统的拓展功能是添加了数据存储单元, 具体是添置了 SD 卡这一存储模式, 便于存取信息^[4]。

SD 卡内部运用了 T-FLASH 存储技术, 对 SPI、1 位 SD、4 位 SD 模式运作过程均能起到支撑作用, 本监测系统运用了 SPI 接口的传输形式, 其数量和 FLASH 芯片的接口一致。

2.2 软件设计

关于请其浓度监测系统的软件设计问题, 主要是依托于嵌入式开发平台设计相关的应用程序, 配合运用驱动装置的驱动程序使应用程序与系统内核之间达到有效交互。

应用程序主要为用户运用调用编程接口 API 函数去调用系统, 执行应用程序的研发过程, 为系统通电并启用以后, 对主控芯片进行初始化处理, 设定总线时钟、串口参数等指标, 扫描键盘值, 锁定前期按下的键值, 如果不存在按键则改用为中断关闭, 为收集数据加 1, 折返到恢复现场和主应用程序。如果能确认系统采样频次抵达设计值以后呈现最终的处置结果, 对显示值做出判定分析。软件设计时还基于粒子群优化算法矫正了传感器的输出情况, 验证发现以上这种方法所得的传感器精准度更高, 数据偏差更小。粒子群算法为设定在解空间内探寻解的一群粒子, 各个粒子对应的空间维度坐标均是一个解, 假定第 i 个粒子的方位是 $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in})$, 飞行速度 $V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in})$ 。

粒子的最优方位与全局的最优方位分别用 $P_i = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{in})$, $G_i = (G_{i1}, G_{i2}, \dots, G_{in})$ 表示, 粒子基于如下公式更新速度^[5]:

$$V_{id}^{k+1} = \omega V_{id}^k + c_1 r_1 (pb_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 r_2 (gb_d^k - x_{id}^k)$$

$$V_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (2.1)$$

上式内第一部分呈现出速度给粒子带来可的影响, 第一部分阐释的是粒子本体的认知水平, 规避这种优化过程陷入局部最小的情景内, 第三部分显现出的不同粒子群之间昌盛的相互协作能力。各个粒子均代表着被监测区内传感器设备采集到的氢气浓度输出值, 在客观环境及噪声的影响下部分数据可能和氢气的浓度监测模型发生偏离, 这是形成较多非线性数值的主要原因, 对输出值进行粒子的飞行维度编码处理后, 基于 (2.1) 式进行矫正。结合传感器的真实应用情况, 矫正处理后设备能更精准的采集数据。

2.3 系统测试

通过试验检测验证以上设计系统额定稳定性与精准度, 测试分析试验主要有: 检测不同浓度的氢气试样; 测定不同掺杂气体工况下系统运行稳定性及最后结果的准确度。光纤传感器与探头, 芯片组建的硬件电路, USB 采集卡 (型号分别是 1%、2.55%、3.06%) 等是主要的实验工具, 经国家标准检验通过的 4.2% 氢气, 型号是 0.514% 的一氧化碳, 100% 的氧气与二氧化碳^[6]。

在不同的实验分析环境条件下, 比较手工检测数据和系统检测到的氢气浓度值。统计并分析实验结果, 认定在差异化的氢气浓度及交叉气体工况下, 氢气样品检测的精准度均处于系统可接受的最小范畴中, 满足系统在精准度方面提出的要求, 预示本文设计的系统有较高的实用性。

3 结束语

为弥补传统氢气检测设备应用中暴露出的不足, 本课题设计了光纤束传感器系统, 构建了相配套的氢气检测属数学模型, 为处理传感器输出的微弱电流而建立了低噪、强干扰性能的调理电路, 基于 ARMS3C2410 设计了系统的硬件电路并实现了各种拓展功能。通过实验分析发现, 以上设计的系统对超浓度氢气的报警时间短于 40s, 检测交叉气体的精准度达到 98%, 可见系统的实用性较高, 值得推广。

参考文献:

- [1] 唐敏, 王宏庆, 马韦刚, 等. 耐高温、耐辐照和抗振动测氢电极组的制备及性能测试[J]. 化学工程与装备, 2020(01): 237-239.
- [2] 张志辉, 贾春虎, 秦昀亮, 等. 一种定子冷却水箱氢气泄漏量监测系统[J]. 自动化应用, 2019(11): 85-87+95.
- [3] 王宏庆, 唐敏, 唐月明, 等. 核电厂严重事故工况下氢气浓度监测装置研制[J]. 核动力工程, 2019, 40(04): 149-152.
- [4] 刘德懿, 胡梦莹, 罗安满, 等. 安全壳氢浓度监测仪概述和应用[J]. 科技视界, 2018(35): 231-233+239.
- [5] 谢贵久, 刘又清, 曹勇全, 等. 油浸式变压器单氢健康监测系统[J]. 电子工业专用设备, 2018, 47(03): 67-72.
- [6] 肖博, 周科. GRV 系统增设氢气浓度探测系统改造[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2017(09): 300.