文章编号：2095-4980(2023)08-1043-06

基于VB的泄漏在线监测系统设计

刘　胜[a,b]，侯钰龙[a,b]，张会新[a,b]，郭小烨[a,b]，康丁未[a,b]

(中北大学 a.电子测试技术国家重点实验室；b.仪器科学与动态测试教育部重点实验室，山西 太原 030051)

摘　要：由于不规则复杂狭小空间微小渗漏难以测量，急需一种便于安装、痕量级测量、快速应答、精准定位的在线监测系统。本文设计了一种基于Visual Basic(VB)的泄漏在线监测系统，总节点以XC6SLX16-3CSG324I为主控芯片，子节点以STM32F103C8T6为硬件电路的主控芯片，微系统(MEMS)金属氧化物传感器Ccs811、Bmp180、Si7021构成数据采集电路。采集电路采用柔性电路技术，以适应狭小空间贴装，便于监测；被测泄露工质可以是纯粹的气体或含有某些挥发性物质的液态。实验结果表明，该系统可实现非接触式测量、快速传感、精确定位，并可测量到挥发性有机化合物(VOC)气体浓度为ppb量级，实现痕量级渗漏测量。

关键词：传感器；现场可编程门阵列；挥发性有机化合物气体；泄漏监测

中图分类号：TN919.6　　**文献标志码：**A　　**doi：**10.11805/TKYDA2021069

Design of leakage online monitoring system based on VB

LIU Sheng[a,b]，HOU Yulong[a,b]，ZHANG Huixin[a,b]，GUO Xiaoye[a,b]，KANG Dingwei[a,b]

(a.National Key Laboratory of Electronic Measurement Technology；b.Key Laboratory of Instrumentation Science and Dynamic Measurement，Ministry of Education，North University of China，Taiyuan Shanxi 030051，China)

Abstract：There is an urgent need for an online monitoring system that is of trace-level measurement, fast response, precise positioning and being easy to install, because it is difficult to measure small leaks in irregular, complex and narrow spaces. An online monitoring system is designed in this paper. The total node uses XC6SLX16-3CSG324I as the main control chip, and the child nodes use STM32F103C8T6 as the main control chip in the hardware circuit. Microelectro Mechanical Systems (MEMS) metal oxide sensors Ccs811, Bmp180, and Si7021 constitute the data acquisition circuit which adopts flexible circuits technology to adapt to small space placement and easy monitoring. The tested leaking working fluid can be pure gas or liquid working fluid containing some volatile substances. Experimental results show that the system can achieve non-contact measurement, fast sensing, and precise positioning. And the gas concentration of Volatile Organic Compounds(VOC) can be measured below 100 ppb, realizing the trace level measurement.

Keywords：sensor；Field Programmable Gate Array(FPGA)；Volatile Organic Compounds gas；leakage monitoring

气体或者含有某些挥发性物质的液态工质储存和运输已经普遍运用在当下生产生活中，如煤气、储气罐、输气管道、飞机和航天器冷却液等。它们在生产、运输和储存过程中，一旦出现人为疏忽或设备老化的情况，则极有可能出现泄漏；若没有及时发现，会造成巨大的经济损失。如果泄漏的是化工气体等有毒有害气体，可能会对周围环境及其生态平衡造成严重的破坏或影响，甚至危害人民的生命财产安全[1-2]。传统监测方式需要人员进入泄漏区域，监测人员生命安全得不到有效保障[3]。此外还有巡检机器车、视频监控等方式，但巡检机器车造价昂贵、气体辨识度低等[4]，不能准确监测到痕量级泄漏。尤其是在一些不规则的复杂狭小空间内，以上监测方式受到了限制，达不到理想的监测效果。因此，监测方案急需多元化发展[5]。本文基于Visual Basic(VB)，设计出一种便于安装、痕量级测量、快速应答、精准定位的在线监测系统。

收稿日期：2021-02-09；**修回日期：**2021-05-08

基金项目：装备预研领域基金资助项目(61400030601)

1 系统总体方案设计

本系统共分为子节点、总节点、智能高速总线、上位机4部分。子节点由传感单元、微控制单元(Micro Control Unit，MCU)主控、485总线3部分组成；总节点由主控单元、485总线、智能高速总线接口3部分组成。每个总节点单元可挂载24个子节点单元，可扩到48个子节点单元。总节点和子节点之间通过RS-485总线实现数据传输，上位机和总结点之间通过智能高速总线实现数据通信。系统总体框图如图1所示。

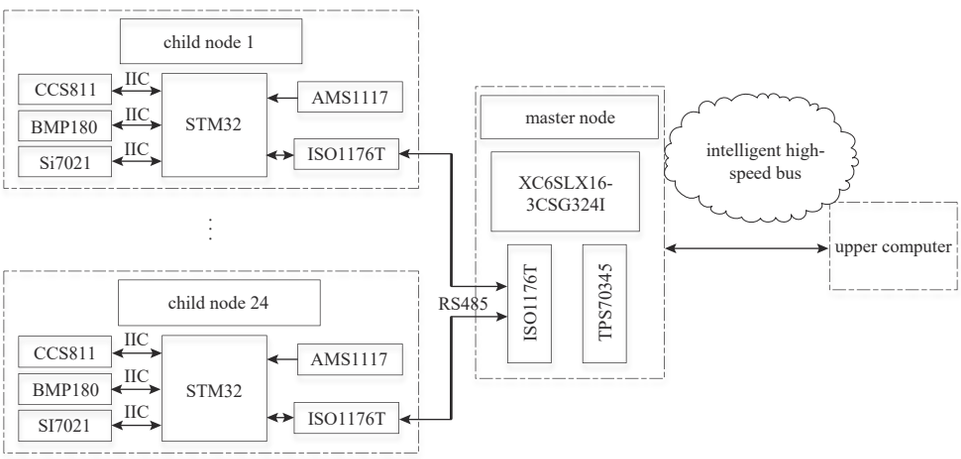

Fig.1 Overall block diagram of the system
图1 系统总体框图

现场可编程门阵列(FPGA)具有体积小，集成度高和接口资源丰富的特点，有利于实现电路小型化设计[6]。本文总节点单元选用XC6SLX16-3CSG324I为主控芯片，该芯片内核电压为1.2 V，外部端口电压为3.3 V，共有232个可用的I/O口，能够满足24路传感器的通信需求；同时内部资源丰富，有14 579个系统门，可以满足各个功能模块逻辑设计使用。ISO1176T为RS-485总线芯片，该芯片通信速率可达40 Mbps[7]，可挂载128个节点，供电电压3.3 V。子节点单元MCU选用意法半导体的STM32F103C8T6处理器，该处理器优势在于低功耗、低成本、高性能[8]，具有32位微控制器，程序存储器容量为64 kB，电压2~3.6 V，工作温度-40~85 ℃。其总线宽度为32位，数据转换器为A/D10x12b，封装/外壳为48-LQFP。

系统监测的关键在于传感器和数据传输技术[9]。本系统气体传感器选用金属氧化物半导体气体传感器Ccs811，压力传感器选用高精确度数字压力传感器Bmp180，温湿度传感器选用Si7021。三者均通过IIC总线将测量结果的数字信号发送给微控芯片STM32F103[10]。由于泄漏会使漏点附近的总有机挥发物含量增加，同时该测量值也受到空间内部的温度、湿度和气压变化影响，因此本文针对上述4个参数同时进行测量，提高监测准确度。最终，通过对传感器检测到的多参数数据进行动态分析，从而实现泄漏或渗漏的监测。

上述选用的传感器体积均很小，满足狭小空间内使用和贴装要求。子节点采用柔性电路技术，尺寸为4.5 cm×3 cm，便于贴装固定在不规则复杂狭小空间内。子节点传感单元实物图如图2所示。

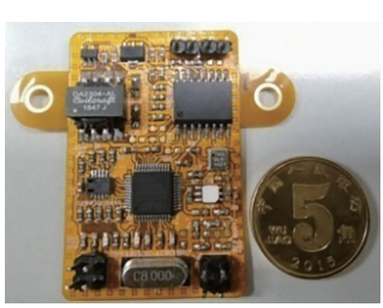

Fig.2 Physical diagram of child nodes
图2 子节点实物图

2 软件设计

2.1 通信协议设计

总节点和子节点的工作方式采用轮询方式。子节点等待总结点发命令，收到命令后判断是否为自己的地址，若是，则把采集的数据传到总节点；若不是，则继续等待，接收命令判断，一直判断到为自己的地址后，上传数据，然后继续开始下一轮。24个子节点传感器的地址采用十六进制分别编号，为了避免子节点上传数据被兄弟节点误判为地址，引起命令与数据的错乱，首先在总节点给子节点发送命令时，在命令前加帧头EB90；其次给传感器编址时，从0xC5开始，每个子节点传感器地址加0x5，到0x138，共24个传感器。总节点和子节点通信程序流程如图3所示。

本系统中，单个测点一次测量的数据信息用16个字节表示。数据帧结构定义如表1和表2所示。

表1 数据帧结构前8个字节定义表

Table1 Data frame structure of the first 8 bytes of the definition table

Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
frame header AA	frame header AF	sensors address high	sensors address low	CO_2 address high	CO_2 address low	VOC address high	VOC address low

表2 数据帧结构后8个字节定义表

Table2 Definition table of last 8 bytes of data frame structure

Byte9	Byte10	Byte11	Byte12	Byte13	Byte14	Byte15	Byte16
temperature address high	temperature address low	humidity address high	humidity address low	barometric address high	barometric address low	frame end FA	frame end FB

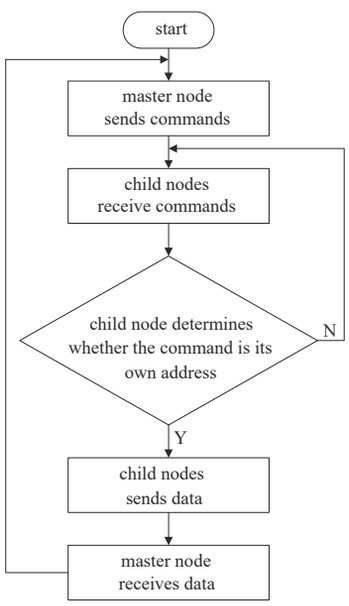

Fig.3 Flow of the communication between total node and sub-node

图3 总节点和子节点通信程序流程

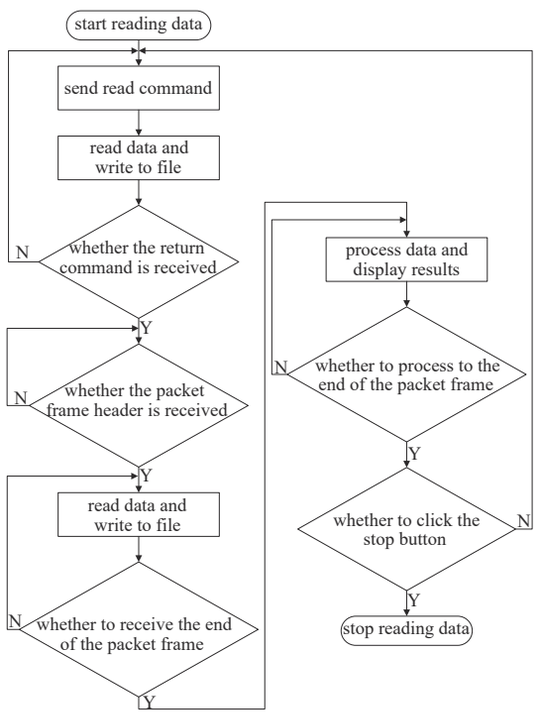

Fig.4 Main program flow of upper computer

图4 上位机主程序流程图

2.2 上位机设计程序流程

上位机主程序由发送命令、读取数据、数据处理、显示报警等流程组成，上位机主程序流程图如图4所示。报警子程序按照判断气体浓度范围，使圆圈显示不同的颜色实现报警功能。

2.3 上位机设计

上位机使用VB编写，根据标定的低位和高位阈值对下位机传回的数据进行比较和计算。上位机软件各行列圆圈为对应传感单元的指示图标，通过图标颜色变化感知环境VOC气体浓度变化，从而实现泄漏点的可视化监测，同时还可以显示当前环境中CO_2气体浓度、温度、湿度与气压状况。

上位机操作界面如图5所示。点击[设置]弹出设置窗口，改写需要变动的数值后点击[确定]按键。其中起始位、数据位、停止位、波特率为定值，无需改写，改写后无记忆功能；串口号、阈值高、阈值低可根据实际需要进行改写，可记忆。图6所示为上位机设置窗口，本文根据实际环境中背景噪声等因素，设置阈值低浓度为150 ppb，阈值高浓度为300 ppb。

Fig. 5 Operation interface of upper computer

图5 上位机操作界面

点击[开始]按键进行实时监测，泄漏点为当前传感器中VOC值高于高阈值的个数，温度、湿度与气压为当前传感器测量值的均值。

圆形矩阵为状态示意图，与传感器一一对应。当鼠标置于指示图标上时，右上方方框显示传感器的位置(行、列)。指示图标颜色设计为：白色表示传感器未开始检测；绿色

表示当前传感器VOC值低于阈值低；黄色表示当前传感器VOC值高于阈值低但低于阈值高；红色表示当前传感器VOC值高于阈值高，即为泄漏点。

Fig.6 Setup window of upper computer
图6 上位机设置窗口

3 系统测试及结果分析

3.1 系统测试

本文用5×5的屉式结构模拟实际情况中的复杂狭小空间，每屉的尺寸为10 cm×10 cm，每屉之间用亚克力板间隔，形成相对密闭的空间。用65号冷却液作为实验溶液，65号冷却液中含有微量乙二醇，用于验证本系统可监测痕量级泄漏，测量系统实物图如图7所示。上位机未开始监测时，圆圈为白色，如图8所示，为上位机主界面(a)。图9为上位机主界面(b)，因VOC气体浓度未超过设置的阈值，圆圈显示绿色。用30 ml注射器取65号冷却液，滴入1–2(表示第1行，第2列)屉内3滴，模拟工质泄漏。图10为上位机主界面(c)，1–2圆圈显示红色，表示该点对应的传感器检测到发生泄漏。

Fig.7 Physical diagram of the test system
图7 测试系统实物图

Fig.8 Main interface of upper computer (a)
图8 上位机主界面(a)

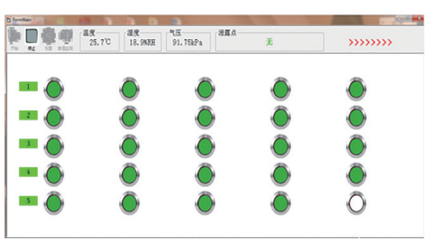

Fig.9 Main interface of upper computer (b)
图9 上位机主界面(b)

Fig.10 Main interface of upper computer (c)
图10 上位机主界面(c)

Fig.11 Data reading–back interface of upper computer
图11 上位机数据回读界面

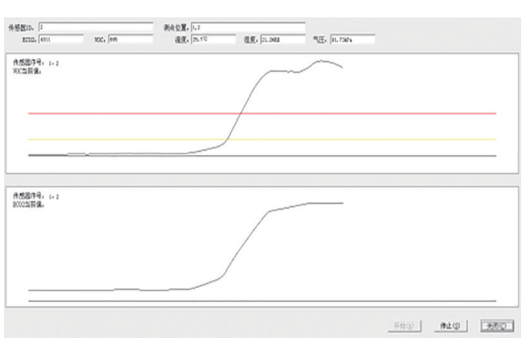

Fig.12 Changes of data points
图12 数据点变化图

图11为上位机数据回读界面，该图可读出所有测点30 s时各测点的VOC气体浓度值和CO_2浓度值。图中方框内红色数值为VOC气体浓度值，黑色数值为CO_2浓度值，鼠标置于某一方框上时，蓝色数字为当前位置(行、列)。从图11中可看到，对应的1–2(表示第1行，第2列)VOC气体浓度值为625 ppb，CO_2浓度值为3 802 ppb，

明显高于其他点的浓度值，其他点的数值为背景噪声，从该图中也可以看出该点处发生泄漏。

点击上位机主界面任意圆形示意图，可观察数据点变化，如图12所示，可观测该点VOC气体和CO_2气体浓度数据的变化折线图。该图为1–2圆圈的数据点变化图，上图为VOC值折线图，下图为CO_2值折线图，方框内最下方黑色横线为0 ppb数值线，黄色横线为阈值低150 ppb数值线，红色横线为阈值高300 ppb数值线。

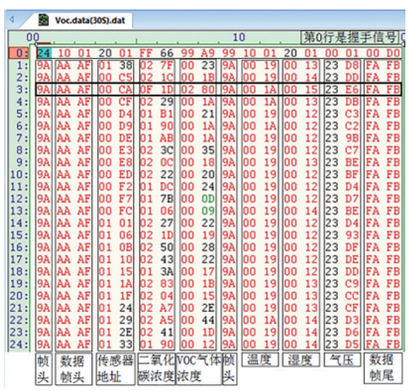

Fig.13 Measured data of the system
图13　系统实测数据图

3.2　结果分析

图13为系统实测数据图，该图为系统测试30 s的数据图，为十六进制显示。从图中可以看出24个测点的传感器地址、CO_2浓度、VOC气体浓度、温度、湿度、气压等数据。将图中数据转化成二进制数，分析图中数据可知，地址为0x00CA传感器的CO_2浓度为3 869 ppb，VOC气体浓度为640 ppb，温度为26.0 ℃，湿度为21.0%RH，气压为91.90 kPa。对比其他传感器数据，可得出该点对应的屉内发生泄漏。

本文用30 ml注射器注射3滴65号冷却液在1–2屉内，模拟工质泄漏。采用Honeywell–PGM7340手持式气体检测仪检测VOC气体，YIOU–DW476–3手持式检测仪检测温湿度、气压值作为第三方检测，检测结果作为标准值，与本系统实际测量结果做对比。表3为标准值，表4为系统实测值。

由于Honeywell–PGM7340手持式气体检测仪工作原理为自吸式，测试得到的VOC气体浓度值相对较高。当时间为0 s时，即未开始测量时的值为背景噪声，不同环境，其对应的上述各项值有所不同。由于表4中的温湿度取值为系统所对应的测量时间的瞬时值，因此小数点后数值为0，上位显示界面会取10次测量值做均值滤波，处理后的数值再显示到上位机前面板上所对应的位置。对比表3和表4的数据可知，本系统可靠性高，传感快速，对泄漏源敏感，可以快速做出应答，实现泄漏、渗漏的在线监测。

表3　标准值

Table 3 Standard values

time/s	VOC concentration value/ppb	temperature/℃	humidity/%RH	barometric value/kPa
0	59	25.4	19.9	91.87
30	710	25.5	22.3	91.95
60	760	25.8	23.7	91.97
90	810	26.1	25.1	91.99
120	870	26.4	25.7	92.05

表4　系统实测值

Table4 Measured values of the system

time /s	VOC concentration value /ppb	CO_2 concentration value /ppb	temperature/℃	humidity/%RH	barometric value /kPa
0	37	400	25.0	19.0	91.80
30	640	3 869	26.0	21.0	91.90
60	681	4 011	26.0	22.0	91.93
90	752	4 356	26.0	23.0	91.95
120	846	4 501	26.0	23.0	91.96

4　结论

本文基于VB设计了一种微小渗漏在线检测系统，系统总节点以XC6SLX16–3CSG324I为主控芯片，子节点以STM32F103C8T6为硬件电路的主控芯片，采用MEMS金属氧化物传感器Ccs811、Bmp180、Si7021构成数据采集电路，突破了复杂狭窄空间多功能结构异形电路布局技术，可同时在线监测4个参数，提高监测准确度。上位机软件使用Visual Basic编写，用圆圈图标的颜色变化、数据实时回读和数据点变化图等方法，实现非接触分布式监测，实时监测是否泄露，及时测量微量漏质渗漏，最大限度地减少泄漏造成的损失，提高了定位精确度，能够快速故障定位，及时检修。本系统为今后研究其他分布式微小泄漏测量检测技术提供了思路，丰富了测量方式的研究方向。

参考文献：

[1]　PERERA F. Pollution from fossil–fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity:

solutions exist[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018,15(1):16.

[2] OAK J,KAWG Y,HONG M,et al. A study on safety distance of toxic gas leak accident using hazard modeling program[J]. Korean Journal of Hazardous Materials, 2017,5(1):83-89.

[3] 黄振荣,陈渊. 便携式傅里叶变换红外多组分气体分析仪在环境应急监测中的应用研究[J]. 环境科学与管理, 2015,40(12):133-135. (HUANG Zhenrong,CHEN Yuan. Application of portable FTIR in determining multicomponent gas of environmental emergency monitoring[J]. Environmental Science and Management, 2015,40(12):133-135.)

[4] 武士涛. 基于云平台的有毒有害气体监测系统设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2019. (WU Shitao. Toxic and harmful gases monitoring system design based on cloud platforms[D]. Harbin, Helongjiang, China: Harbin University of Science and Technology, 2019.)

[5] GUPTA P, GOYAL A, DAUWELS J, et al. Bayesian detection of leaks in gas distribution networks[C]// IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Florence,Italy:IEEE, 2016:855-860.

[6] 陆长平. 基于FPGA的激光引信信号处理单元设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2015,13(6):913-916. (LU Changping. Design of signal processing unit for laser fuze based on FPGA[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2015,13(6):913-916.)

[7] 卢超. 基于RS485总线网络的高速数字采编系统设计与实验[D]. 太原:中北大学, 2019. (LU Chao. Design and experiment of high-speed digital acquisition and editing system based on RS485 bus network[D]. Taiyuan,Shanxi,China:North University of China, 2019.)

[8] 华国环,张文锋,邱立争. 基于STM32F103的涂镀层测厚仪[J]. 仪表技术与传感器, 2020(8):40-43. (HUA Guohuan,ZHANG Wenfeng,QIU Lizheng. Thickness gauge of coating and plating based on STM32F103[J]. Instrument Technique and Sensor, 2020(8):40-43.)

[9] 张维康,陆际雄. 物联网技术在原水供应中的运用[J]. 信息与电脑(理论版), 2016(20):187-188. (ZHANG Weikang,LU Jixiong. Application of internet of things technology in raw water supply[J]. China Computer & Communication, 2016(20):187-188.)

[10] 张敏敏,肖迪,许健佳. 基于HYT271的SF6微水密度分析系统[J]. 电子器件, 2017,40(2):306-311. (ZHANG Minmin,XIAO Di, XU Jianjia. An analysis system of SF6 gas density and humidity based on HYT271[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2017,40(2):306-311.)

作者简介:

刘 胜(1991-),男,在读硕士研究生,主要研究方向为电子与通信技术、嵌入式技术、FPGA开发. email:779636487@qq.com.

张会新(1980-),男,博士,副教授,主要研究方向为抗过载存储技术及动态测试技术与仪器.

侯钰龙(1984-),男,博士,高级实验师,主要研究方向为光纤传感、仪器仪表工程等.

郭小烨(1995-),男,在读硕士研究生,主要研究方向为仪器仪表工程.

康丁未(1997-),男,在读硕士研究生,主要研究方向为仪器仪表工程.