

多参数动态气体校准仪的设计与实现

傅东旭¹, 施会华², 朱 峰¹, 王 伟², 王 健^{1,2*}

(1. 杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江 杭州 310018; 2. 聚光科技(杭州)股份有限公司, 浙江 杭州 310052)

摘要:为产生 ppb ~ ppm 级微量浓度的高精度校准气体, 设计了 MFC-2000 多参数动态气体校准仪, 采用了具有强大功能模块的嵌入式微处理器 MC9S12XDT512, 完成了气体校准仪的结构及软硬件设计, 提出了将臭氧发生器及光度计嵌入在仪器内部, 实现了高精度的各种浓度校准气体的产生。试验结果表明, 该仪器运行稳定, 可靠性好, 可以产生 100 ppb ~ 6 ppm 级的臭氧、二氧化硫等标准气体, 并可将产生的臭氧标气直接与 NO 零气反应产生特定浓度的 NO₂ 标气, 为监测仪器的校准提供了更为简便的手段。

关键词:动态气体校准仪; 标气; 零气

中图分类号: TH86; TP6

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)10-0043-05

Design and realization of multi-parameter dynamic gas calibrator

FU Dong-xu¹, SHI Hui-hua², ZHU Feng¹, WANG Wei², WANG Jian^{1,2}

(1. Electronic Information College, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. Focused Photonics(Hangzhou). Inc., Hangzhou 310052, China)

Abstract: Aiming at producing standard gas with trace concentration in ppb ~ ppm level, using the embedded microprocessor MC9S12XDT512 with powerful functional nodules, the hardware and software of dynamic gas calibrator were developed. The design was improved for the ozone transmitter and photometer. Producing multiple kinds of regulating gases with high precise concentration was realized. The test results indicate that the instrument is stable, reliable. It can produce 100 ppb ~ 6 ppm level standard ozone gas, and the gas can produce a certain NO₂ concentration when mixes with Nitric oxide. It provides a more convenient way to calibration of monitoring equipment.

Key words: dynamic gas calibrator; standard gas; zero gas

0 引 言

为了监测空气污染的程度, 需要让各种环境监测设备高准确度的工作, 因此首先需要用高精度的气体对这些监测设备进行校准^[1]。动态气体校准仪就是生产这种高精度标准的设备^[2-3]。在这方面, 国外已经达到了非常先进的水平, 而国内目前尚无成熟的生产厂家^[4], 因而对监测设备的校准主要依靠手动或进口设备进行^[5-7], 维护成本很高, 严重阻碍了我国空气质量在线监测的发展进程^[8]。

本研究鉴于这种情况, 结合聚光科技(杭州)有限公司的研发力量, 自行研制具有自主知识产权的 MFC-2000 动态气体校准仪。该仪器利用微处理器控制系

统的各个部分, 完成各种微量浓度标气的生成。

1 系统结构

MFC-2000 动态气体校准仪的结构如图 1 所示, 包含基本单元、臭氧发生器、臭氧光度计、GPT 模块 4 个部件。基本单元基于质量流量计^[9-10], 能够精确控制标气和稀释气(零气)流量配比, 产生 ppb ~ ppm 级的标气。臭氧发生器基于紫外光化学法, 可产生 100 ppb ~ 6 ppm 的臭氧标气, 精度好、稳定性高。光度计基于 Beer-Lambert 关系式, 根据 O₃ 吸收与 O₃ 浓度的关系来测量获得浓度^[11]。GPT 模块基于一个玻璃器皿, 便于臭氧和 NO 充分反应。

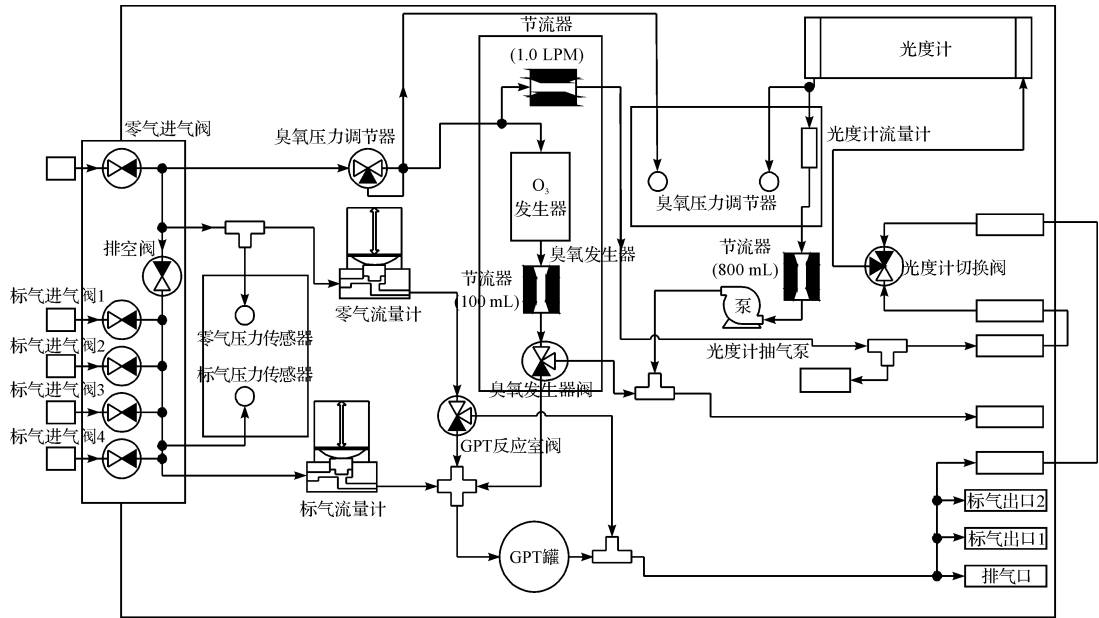


图1 动态校准仪系统总结构图

1.1 基本单元

基本单元主要部件为两个质量流量计：一个控制稀释气流量（零气流量计），量程范围为0~10 PLM；另一个控制标气流量（标气流量计），量程范围为0~100 sccm。两个板载的压力传感器分别监测两个流量计入口的压力，用于压力过低或过高报警。气体入口设置6个电磁阀：零气阀控制空气稀释气的开关；4个标气阀分别控制标气的开关；吹扫阀用于控制整个系统吹扫的开关。

根据标气的浓度和要产生气体的浓度，计算并设置两个质量流量计的驱动电压（流量计是通过设置驱动电压来实现对流量大小的控制），打开相应阀门，从而在气体出口得到所要求的浓度。

1.2 臭氧发生器

臭氧(O₃)由于其极强的氧化性，通常不能使用钢瓶进行罐装和储藏，需要使用臭氧发生器产生。目前，臭氧发生两种主要方法是紫外光化学法和电晕放电法。本系统采用紫外光化学法。

紫外光化学法可以产生高精度、低浓度的O₃，非常适合应用于O₃标定。在臭氧发生器内部安装一个紫外灯，发射包含185 nm波长的紫外光。当空气通入臭氧发生器内，少量的O₂会吸收紫外光而产生O₃。

臭氧发生器结构图如图2所示。在臭氧发生器的零气入口设置一个压力调节器，调节进入臭氧发生器的零气压力，默认设置为20 PSIG。臭氧发生器上还安装了两个流量控制器，分别控制通入臭氧光度计的零气流量和从臭氧发生器输出的臭氧流量。另外还有一

个臭氧发生器阀，分别连接GPT罐和排气口，用于控制臭氧发生器产生的气体是进入GPT罐还是直接从排气口排出。

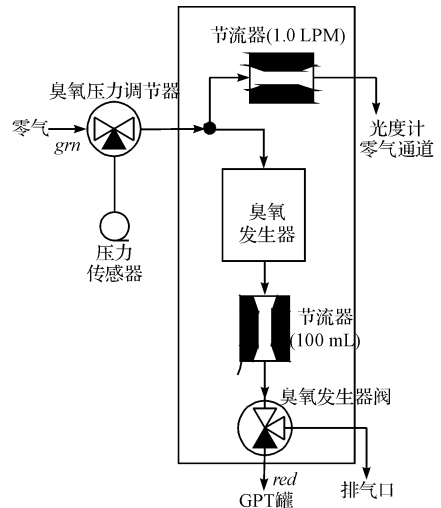


图2 臭氧发生器结构图

1.3 臭氧光度计

臭氧光度计的工作原理是基于Beer-Lambert关系式，即根据没有O₃时和有O₃时的紫外光强得到O₃的浓度，该关系式涉及到吸光度。吸光度是指在一定的温度和压力下，指定波长的光在特定光程被吸收的程度。三者的关系由下式确定：

$$I = I_0 e^{-\alpha LC} \quad (1)$$

式中 I_0 —初始的光强； I —气体吸收后的光强； L —光在吸收气体中经历的光程； C —吸收气体的浓度； α —光在吸收气体中的吸收系数。

臭氧光度计结构图如图 3 所示,光度计前端设置一个三通阀,用于控制进入臭氧光度计的气体是零气还是臭氧。光度计的输出气路有一个流量计,控制进入光度计的气体流量。光度计的泵用于抽取光度计测量室内的气体。

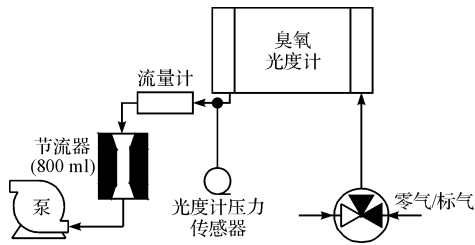


图 3 臭氧光度计结构图

1.4 GPT 模块

GPT 模块主要由 1 个三通阀和 1 个 GPT 罐构成,如图 4 所示。三通阀用于选择零气是否通过 GPT 罐 (GPT 反应时,不允许气体通过 GPT 罐;无反应时,允许通过);GPT 罐提供气相滴定法产生 NO_2 的场所。

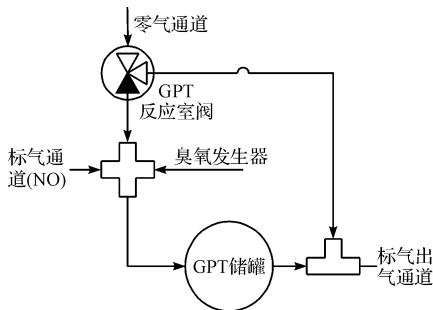
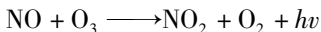


图 4 GPT 结构图

气相滴定法产生 NO_2 的原理是基于 NO 和 O_3 的快速气相反应,两者反应的化学方程式如下:



该方法可精确产生量级为 ppb 级的 NO_2 浓度,且所产生的浓度与 O_3 浓度成 1:1 的比例。在总结构图中,GPT 反应室阀的两个可选出口分别连接 GPT 罐和稀释气体出口气路,用于控制零气是否进入 GPT 罐中;臭氧发生器阀的两个可选口分别连接 GPT 罐和排气口,用于控制臭氧发生器产生的气体是进入 GPT 罐还是直接从排气口排出;光度计切换阀的两个可选口分别连接光度计零气进气通道和光度计臭氧进气通道,用于控制进入光度计测量室的气体类型。

2 动态校准仪工作流程

上述 4 个主要结构是架构 MFC-2000 气路的基本控制单元。动态校准的过程是对控制单元有顺序、依次的操作。仪器包括生成气体、GPT、GPTPS、排空、待

机模式、诊断模式共 6 种模式控制。模式控制是系统的基本控制,它依次按模式对应的步骤,对控制单元进行操作,使系统形成特定的气路结构。

流程控制可由用户编辑,实现自动标定。它也是一个顺序的过程,是基于模式控制和其他一些基本命令,即流程可以由多个顺序的模式控制和一些配套命令组成。命令如表 1 所示。

表 1 流程命令表

命令	描述
GENERATE	使仪器进入产生气体模式。
GPT	使仪器进入 GPT 模式:打开 NO 进气阀、臭氧发生器阀、GPT 反应室阀、零气流量计、标气流量计和臭氧发生器(REF)
GPTPS	使仪器进入 GPTPS 模式,执行步骤分两部分。第一部分通过调整臭氧光度计驱动电压的方式产生臭氧;第二部分进入 GPT 命令
PURGE	使仪器进入排空模式。
EXECSEQ	使仪器进入执行子流程。
STANDBY	使仪器进入待机模式。
DURATON	使仪器进入延迟模式,即等待设定时间

另外,系统本身要对自身的设备进行校正,如流量计的校正、光度计的校正、臭氧发生器的校正。这些校正需要手动的对外部设备作调整,因此会对其他设备有顺序的控制,所以系统还有诊断模式。

这些模式或流程的启动是人机界面或通讯触发,同时需提供相应的浓度或流量参数。笔者通过这些参数可以得到流量计或臭氧发生器的驱动电压,从而产生不同浓度的标准气体。

3 系统的软硬件设计

3.1 硬件的载体与资源

主板负责系统的控制和接口,控制芯片采用 Freescale 公司的 16 位处理器 MC9S12XDT512,其电路接口原理如图 5 所示。DAC 用于产生质量流量计、臭氧发生器和臭氧光度计的控制信号;LTC1867 和单片机的 A/D 用于外部压力、温度、流量和光强的读取;通讯接口包括 RS232、RS485、CAN 以及以太网接口,以太网接口和 RS232 接口二选一,以实现远程通讯。通过 I²C 实现对继电器板和扩展数字 I/O 板、RTC 的控制。两路 PWM 实现对温度加热器的控制。

3.2 系统软件设计

程序总体结构如图 6 所示,主要由以下 3 部分组成:

(1) 主控层:主要由系统初始化、系统自检及流程控制和模式控制模块组成;

(2) 组件层:主要是各个子模块组成,它们都是一

个独立的功能模块；

(3) 驱动层:主要提供一些底层驱动的 API 接口函数,供组件层的各个模块调用。包含 EEPROM 驱动、LTC1867 驱动、DAC12S04 驱动、DAC12S01 驱动、数字 I/O 板驱动、继电器板驱动,以及光度计控制模块驱动、臭氧发生器模块驱动、阀控制驱动、流量计控制驱动及数字 I/O 的输入/输出驱动。

发生器模块也处于主控大循环中,其他驱动由组件层的模块来直接调用,这样可以快速高效的执行。

组件层的流程控制模块主要用于流程的解析和启动。流程的操作比较复杂,除了考虑流程解析外,还需考虑到通讯流程的影响,因为系统支持对流程的编辑、删除和增加。流程的数据结构如下:

```

Struct {
INT8U uc_Process_num; //流程序号
INT8U uc_Process_Enable; //流程使能
INT8U uc_Process_Total_step; //流程总步数,最多只允许 100
个步骤
INT8U uc_Process_Total_runTime; //总执行时间
INT8U uc_Process_IO_In; //数字输入
INT8U uc_Process_IO_out; //数字输出
INT8U uc_Process_autoMode; //定时自动启动模式;周期和定点
SYS_TIME uc_Process_Point_Time; //定点时间,5 个字节
INT16U ui_Period_Time; //周期时间
INT8U uc_Report_Mode; //报告模式:显示流程名称和当前
步骤,百分比,已执行的时间,剩余时间
}st_Process_Para;

```

上述为流程的属性数据结构,在流程编辑时,存放在外部的 eeprom。在上电初始化时,从外部 eeprom 读取 10 个流程属性数据。分配和格式如下:

从 0x000010 ~ 0x0000a6,存放 10 个流程的属性数据,数据结构如上;从 0x000100 ~ 0x0640a6,存放流程的步骤数据。每个流程有 4 KB 空间,每个步骤命令给予 30 Bytes 的空间。

4 仪器性能

笔者设计的 MFC-2000 动态气体校准仪通过高精度质量流量计控制标气配比,再通过气相滴定法来产生不同浓度的多种高精度度标气,完成对空气自动监测分析仪器的零点、量程、精密度及多点校准。经检验,其技术指标和性能如表 2 所示,均符合行业标准。

表 2 MFC-2000 各项性能指标

准确性	±1% F.S
重复性	±0.2% F.S
线性度	±0.25% F.S
预热时间	≤30 min
臭氧发生器	100 ppb ~ 6 ppm
量程范围	0 ~ 10 PLM

该设计的动态校准仪不仅操作简单,且可以通过面板或 PC 终端完成系统参数的设置和输出,还可以实现仪器的远程控制,即支持由外部通讯启动模式和流程。将臭氧发生器嵌入在系统中,提高了系统的稳定性及精准性。该仪器可以独立使用,也可与 API M400、M200 等气体浓度监测仪配套使用。

(下转第 50 页)

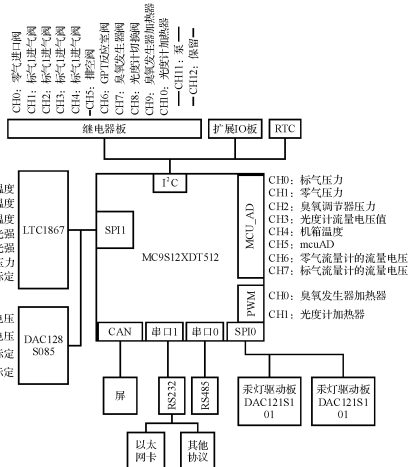


图 5 电路接口原理图

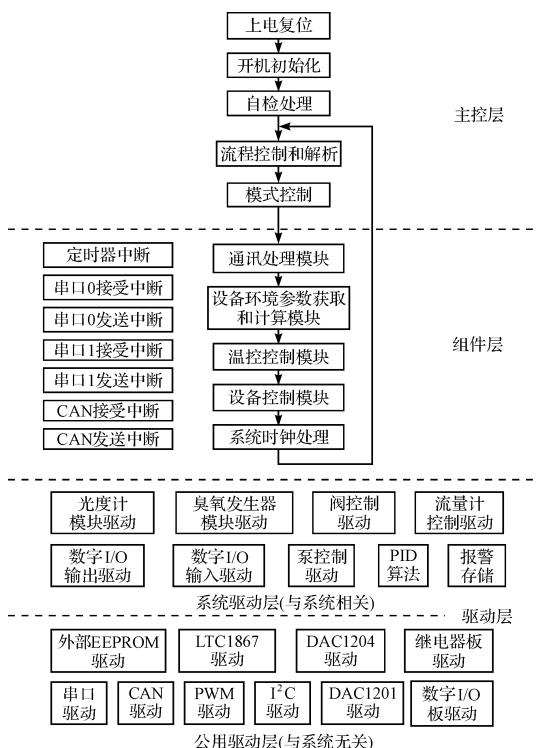


图 6 软件架构图

系统上电后,进行系统初始化及系统自检后,进入主控大循环。除了组件层全部处于主控大循环中外,流程控制模块和模式控制模块也处于主控大循环中,它负责整个流程的过程控制和模式的控制操作,这是至关重要的一步。驱动层上的光度计控制模块和臭氧

参考文献 (References) :

[1] LIM B S, KIM B J. Influence of hold time on creep-fatigue life and metallurgical degradation at high temperature [J]. **Fracture and Strength of Solids Vi, Pts 1 and 2**, 2006 (306 - 308) :1013 - 1018.

[2] PARK Y B, MONIG R, VOLKERT C A. The mal fatigue as a possible failure mechanism in copper interconnects [J]. **Thin Solid Films**, 2006, 504 (1 - 2) :321 - 324.

[3] QUISPITUPA A, SHAFIQ B, SUAREZ O M, et al. Corrosion fatigue of highstrength aircraft structural alloys [J]. **Journal of Aircraft**, 2006, 43(3) :787 - 792.

[4] 结构疲劳强度设计. 中国机械工程手册 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 1996.

[5] 李舜酌. 机械疲劳与可靠性设计 [M]. 1 版. 北京: 科学出版社, 2006.

[6] 周华俊, 周 龙, 栾振辉. 基于 Solidworks Cosmos 的同步齿轮泵轴疲劳分析 [J]. **煤矿机械**, 2007(11) :73 - 75.

[7] 汲方林, 王有杰, 李 渊, 等. 基于 Solidworks Simulation 对

高压容器的静态及疲劳分析 [J]. **制造业信息化**, 2009 (5) :128 - 129.

[8] 张小明, 瞿金平, 赵良知. 注射机定模板的疲劳失效研究 [J]. **现代制造工程**, 2007(5) :24 - 27.

[9] 张小明, 赵良知. 基于 ANSYS 的疲劳分析在注塑机定模板中的应用 [J]. **塑料工业**, 2006, 34(1) :12 - 14.

[10] REESE G M, FIELD R V, SEGALMAN D J. A tutorial on design analysis using vonMises stress in random vibration environments [J]. **The Shock and Vibration Digest**, 2000, 32(6) :466 - 474.

[11] 郭志刚, 高东强. 新型陶瓷快速成型机的仿真设计 [J]. **轻工机械**, 2009(6) :16 - 19.

[12] 高红俐, 陈育萌, 姚兴威, 等. 基于虚拟仪器的高频疲劳试验数据采集及处理系统 [J]. **轻工机械**, 2009(6) :69 - 72.

[13] 张一心, 徐必勇. 基于 SolidWorks Simulation 的液压破碎锤钎杆优化及疲劳分析 [J]. **CAE 仿真**, 2009(12) :66 - 67.

[编辑: 罗向阳]

(上接第 46 页)

5 结束语

本研究针对在对气体浓度监测仪器进行校准时需要多种不同浓度值标准气体的需求^[12], 设计实现了一台多参数动态气体校准仪。通过将臭氧发生器及光度计嵌入在仪器内部, 组织不同模块按照预定的不同类型的工作流程来进行工作。另外, 本研究所设计的采用两个不同量程的质量流量计, 最大可以实现 1 : 10 000 的样气配比, 实现 4 路标气输入分时进行配比, 配置的标气浓度可达 10⁻⁹ 级。系统不受环境温度与压力变化的影响, 对高配置、低浓度的标气都适合, 具有很好的应用价值。该校准仪大大减轻了操作人员的劳动强度, 减少了人工校准过程中的失误, 增强了环境监测设备的准确性, 加快了气体校准的自动化进程。

本研究下一步将在迁安空气质量在线监测系统中进行试用, 根据现场试用情况和需求对产品进行改进、升级, 以达到产业化的目的, 同时, 打破国外动态校准仪形成的技术和市场垄断, 为客户提供更为宽广的选择。

参考文献 (References) :

[1] 陈向辉, 刘教民. 动态气体校准仪的研究和应用 [J]. **天津理工学院学报**, 2002, 18(1) :54 - 56.

[2] 崔九斯, 忘欣源, 王汉平. 大气污染监测方法 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1995.

[3] SAVADKOUHI J. Reliability considerations for gas delivery components [C] // **Advanced Semiconductor Manufacturing**

Conference and WoAshop. **IEEE/SEMI, USA**, 2003 :255 - 261.

[4] 徐锦昌, 吴汉冲. 大气自动监测校准中气体流量对仪器示值误差的影响及控制 [J]. **中国环境监测**, 2008, 24(4) :42 - 45.

[5] 刘献辉, 周兵利, 崔芳云. 环境空气自动监测子站的日常维护和管理 [J]. **安全与环境工程**, 2009, 16(1) :31 - 33.

[6] US EPA. **Quality assurance handbook for air pollution measurement systems volume II : Part I Ambient air quality monitoring program quality system development** [M] // Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park. Washington D C : NC 27711, 1998 :3 - 7.

[7] 赵建华, 兰华永, 陈滋健, 等. 基于质量流量控制器的多组分动态配气系统研究 [J]. **自动化仪表**, 2008, 29(2) :44 - 48.

[8] 黄一祥, 曾周末, 靳世久, 等. 多元气体配气仪设计及精度分析 [J]. **现代科学仪器**, 2009(3) :19 - 22.

[9] DE V A, VAN C O, GOOSSENA A. Calibration of a multi-point sampling system connected to a photoacoustic detector [J]. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, 2000(10) :115 - 133.

[10] 赵 澜, 张涤新, 冯 焱, 等. 气体质量流量计的校准研究 [J]. **液压与气动**, 2009(11) :66 - 68.

[11] KRUPA S U, LEGGE A H. Passive sampling of ambient gaseous air pollutants: an assessment from an ecological perspective [J]. **Environmental Pollution**, 2000, 107(31) :31 - 45.

[12] 华陈权, 张朝晖, 郑金吾, 等. 气体流量计自动检定装置 [J]. **工业仪表与自动化装置**, 2002(3) :58 - 60.

[编辑: 柴福莉]