

# 一种热分析仪器的专用气氛智能控制模块设计

扬 洋

(上海精科天美学仪器有限公司, 上海 201612)

**摘要:** 吹扫气氛控制是热分析仪实验中重要的一环, 气氛的稳定度是影响仪器基线性能的重要因素之一, 除此外, 双路气氛平稳切换是进行某些热分析专业测试的重要条件; 由于国产热分析仪器大多数气氛控制装置为手动, 控制精度差, 操作不便, 为了提高热分析仪器的智能化水平, 提高气氛控制的精度, 设计了一种热分析专用智能化气氛控制模块; 此模块采用 STM32F107VC32 位芯片为核心控制 MCU, 通过合理设计信号采集及控制驱动电路, 配合控制及数据处理软件, 使原来的气氛气路切换控制以及流量控制由手动完全实现微机智能控制, 控制精度、响应速度以及稳定性都大为提高; 此模块已获得国家专利, 并应用于 DSC30 热分析仪, 使用效果理想。

**关键词:** 气氛; 热分析仪器; 流量控制

## Design of a Kind of Specialized Module Applied for Thermal Analysis Instruments

Yang Yang

(Techcomp Jingke Scientific Instruments Co., Ltd., Shanghai 201612, China)

**Abstract:** Gas stability is one of the important factors influencing the performance of thermal analysis instrument's baseline, and besides that, switching gas channel smoothly is also a fundamental condition for professional thermal analysis testing. But currently mostly home-produced instruments with manual controlling system which had short precision, and operated inconveniently. In order to improve intelligentized level and precision of the gas controlling system, a specialized gas control module applied for thermal analysis instruments was designed. The module used STM32F107VC 32bit MCU as the control core, through rational design of hardware and data processing software evidently promotes precision, response time and stability. The module has already won national patent and applied for DSC30 thermal analysis instruments.

**Keywords:** gas; thermal analysis instruments; gas flow control

### 0 引言

在热分析仪器中, 为了提高仪器的抗腐蚀能力, 或者为了观察试样在某种气氛中的反应情况需要在加热炉体中通入保护气氛或反应气氛, 而不同的气氛和气氛流量可以影响试样化学反应和物理变化的平衡温度以及出峰的形状, 所以必须有专门的气氛控制模块实现对气氛流量的精确控制, 以及提供方便的气路切换开关。许多原有的国产热分析仪器气氛控制包括流量控制以及气路切换控制均采用手动方式, 流量控制采用浮子流量计, 流量控制精度低, 两路气氛的切换通过对两只先导电磁阀的手动开关方式进行控制, 此种电磁阀采用交流供电, 电磁干扰大, 响应速度慢, 造成气流的切换不平稳性差。本文介绍的热分析专用气氛控制模块设计了全新的气氛控制模块, 除对原有气路系统结构进行改进, 减少气路组件, 简化整个气路系统外, 气路的流量控制以及气路的切换控制均采用 32 位单片 STM32F107VC 智能控制, 并通过闭环控制, 增量 PID 控制算法, 提高控制精度及稳定性, 使得新的气氛控制模块在流量控制和气路切换的操作上达到方便、快捷以及精确。

### 1 控制模块设计

控制模块结构见图 1, 整个模块由三部分组成:

收稿日期:2014-05-04; 修回日期:2014-06-25。

作者简介:杨 洋(1969-), 女, 上海人, 工程师, 硕士, 主要从事热分析仪器软硬件开发方向的研究。

1) 由气氛切换电磁阀 V1、气体切换驱动电路、减压阀 V2、节流阀 V3, 组成进气气路以及气氛切换部分;

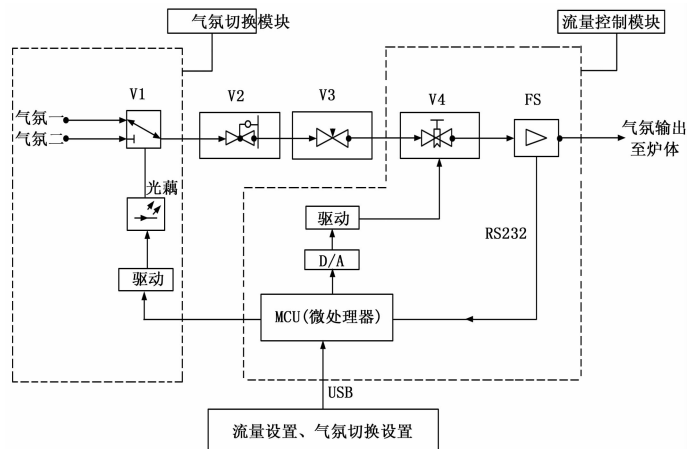


图 1 气氛模块系统结构图

2) 由比例阀 V4、流量传感器 FS、单片微处理器以及 DA 转换和驱动电路组成气氛流量控制部分;

3) 上位机系统控制软件及通讯接口。

两路气体(气氛一、气氛二)通入三通电磁阀 V1, V1 由气氛切换电路控制二选一通道, 控制一路气氛输出, 输出气氛进入减压阀 V2 及节流阀 V3, 气氛经此气路进行降压限流后, 上述 1 部分走完, 进入 2, 即图中流量控制模块, 此模块包含

有气氛检测, 检测量反馈, 控制量计算, 控制量输出至执行器件, 通过不断循环, 完成流量的精确控制。此部分中流量传感器 FS 是气氛检测器件, 流量传感器的检测信号通过 RS232 通讯接口传至 MCU, 微处理器通过将测试值与设置值的比较, 经数字增量 PID 控制算法计算后, 将控制量输出至 DA, 经驱动电路控制比例阀, 也即通过改变比例阀的控制电流来控制阀门, 从而调节比例阀输出至流量传感器的气氛流量。

上位机系统软件主要提供用户交互界面, 气氛切换控制命令和流量设置参数, 通过 USB 串口通讯接口由上位机传输至下位 MCU, 同时接受下位机传输的实时气氛流量数据, 并绘制采样曲线和存贮数据。

### 1.1 控制模块的硬件设计

控制模块选用了 STM32F107VC32 位 ARM 处理器<sup>[1]</sup>, 此芯片集成了各种高性能工业标准接口, 且 STM32 不同型号产品在引脚和软件上具有完美的兼容性, 可以轻松适应更多的应用。MCU 本身包含有标准 RS23, ISP 及 USB 通讯接口, 运行频率高达 72 MHz, 因而使得系统能够以精简的设计, 高速的数据处理速度完成智能控制。STM32 系列单片 GPIO 口多达 51 个, 大部分可复用, 本模块中所配置 GPIO 口包括: RS232 通讯接口 PB10, PB11, 连接图 2 中 Flow\_TXD, Flow\_RXD, 传输流量传感器检测信号; ISP 三线通讯接口 PC9, PC10, PC11, 对应图 3 中 PV\_CS, PV\_SLCK, PV\_DIN 信号; PC8 输出切换信号。

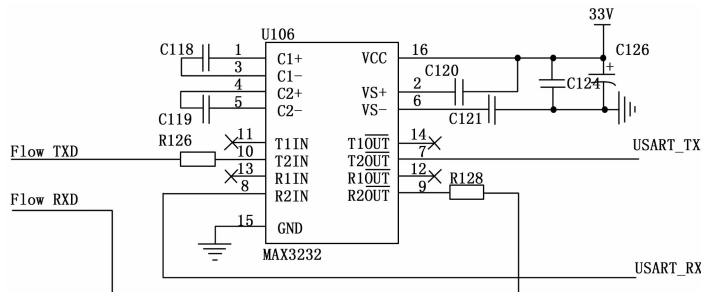


图 2 MCU 与 FS4001 通讯接口电路

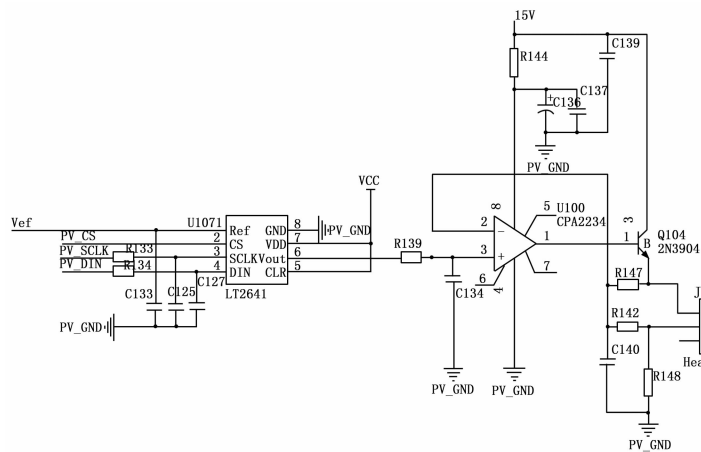


图 3 DA 转换及比例阀驱动电路

控制模块选用的流量传感器为 FS4001 系列小流量气体质量流量传感器。FS4001 是专门为各类小流量气体的测量和过程控制而设计的, 其独特的封装技术使之可用于各类管径, 成

本低、易安装、不需要温度压力补偿, 可替代容积式或压差式的传统流量传感器, 其精度达到  $\pm(1.5+0.5FS)\%$ , 重复性达到  $\pm 0.25\%$ , 1 mm 通径传感器, 最大流量达到 200SCMM。FS4001 与 MCU 通过 RS232 接口进行通讯, 经过 MAX3232 实现电平转换后, 按照专用通讯协议, 可完成 FS4001 自校准以及流量读取。接口电路见图 2。

STM32F107VC 对测得流量和设置流量之差进行比较以及控制算法的计算后, 将控制数字量输出至 DA 芯片 LTC2641, DAC 将数字量转换成模拟控制量, 经低功耗、精密单电源运算放大器 OPA2234 及放大管 2N3904 将信号放大后驱动比例阀, 完成流量的控制。

控制模块中的 DAC 为单极性 LTC2641, 此芯片仅消耗 120  $\mu$ A 电源电流, 就满标度阶跃而言, 仅用 1  $\mu$ s 就能稳定在 0.5 LSB 以内。DAC 通过 3 线 SP 兼容串行接口, 以高达 50 MHz 的时钟速率通信, 其 6 位 INL 误差最大值在整个温度范围内为  $\pm 2$ LSB。DA 转换及比例阀驱动电路见图 3。

控制模块中比例阀选用 VSO<sup>®</sup> 系列热补偿型微型比例电磁阀<sup>[2]</sup>, 通过 VSO 技术 (voltage sensitive orifice), 即电压敏感性通路技术, 比例阀可以根据输入电流的大小, 精确的控制气体流量比例。比例阀通过直流电流驱动或脉冲调幅驱动, 并使用闭环反馈控制, 能够获得优化的系统性能。本模块中的比例阀线圈最小工作电压 20 VDC, 控制电流范围在 0~91 mA, 电流与流量的关系如图 4。

模块中气氛切换的功能实现是通过 MCU 发送切换信号, 控制管子 2N3904 的导通与关闭, 来驱动 VZ100 电磁阀两通道的转换来完成。切换功能电路见图 5。

### 1.2 模块的软件设计

模块软件分为两部分: 控制软件及交互软件。控制软件包括数据采集, 与比例阀, 流量传感器及上位计算机的通讯, 数据滤波, PID 控制算法等, 采用 C 语言; 交互软件则主要用于计算机操作, 便于用户进行流量设置与气氛切换的操作, 同时可实时显示气氛流量曲线以及数据储存, 采用 VB 语言编写。

控制软件主要包含 5 个模块:

Main: 主程序模块, 初始化时钟, GPIO 初始化, 通讯接口初始化, 各控制状态量初始化;

Tp\_read\_flow: 初始化数据通讯总线, 发送数据, 向流量传感器器件读取三字节瞬时流量数据函数读取流量数据;

Tp\_da\_control: 初始化 DA, 初始化总线, 发送 16 位数字控制量;

Tp\_rs232: 初始化 RS232 通讯口, 通讯中断程序;

Tp\_pid: 增量数字 PID 控制量计算, 返回控制输出数据。

交互软件: 包括有参数设置、通讯传输及可靠性检测、实时数据采集、数据显示以及数据存储模块。主要参数设定及采样数据的结构体如下:

```
Public Type SysProp
    CKFIflD As String * 50
    COutDtFIflD As String * 50
    CCurvPropFIflD As String * 50
    CSvflD As String * 50
```

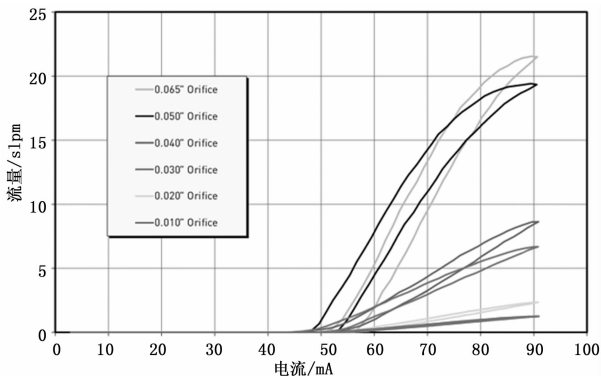


图 4 比例阀控制电流与流量的关系曲线

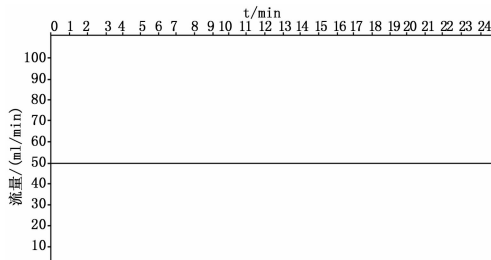


图 6 气氛流量采样曲线

DSC30 共有两路气氛输入，在实验过程中设置气路一气氛（氮气）流量为 50 mL/min，气路二气氛（氧气）流量 60 mL/min。开始测试时，缺省通入气氛一，实验 5 min 后，按气路切换键，切换为气氛二通入，可观察到软件窗口中气氛一和气氛二数值的变化，气路二采样数据（以秒为时间单位）见表一。根据测试数据可以看出，模块的气氛控制精度误差 <math>\pm 0.1 \text{ mL/min}</math>，切换稳定时间 <math>< 16 \text{ s}</math>。

表 1 采样数据

时间/s	流量/(ml/s)	时间/s	流量/(ml/s)
1	51.2	9	59.7
2	52.8	10	58.8
3	55.3	11	59.4
4	57.2	12	59.9
5	59.0	13	60.2
6	60.6	14	59.9
7	61.3	15	59.9
8	60.5	16	59.9

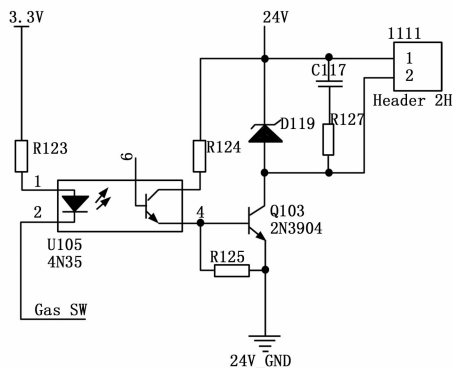


图 5 气氛切换电路

```

ISensorType As String * 30
CGas1 As String * 50
CGas1Flow As Integer
CGas2 As String * 50
CGas2Flow As Integer
CGas3 As String * 50
CGas3Flow As Integer
fSmpInterval As Single
IGasPar As Integer
CComments As String * 300
End Type
Public Type smpdata
fsmptime As Single
fsmptGas1Flow As Single
fsmptGas2Flow As Single
fsmptGas3Flow As Single
fsmptPar0 As Single
fsmptPar1 As Single
fsmptPar2 As Single
End Type

```

### 2 测试结果

目前模块样机配置于 DSC30 热分析仪上，通过此模块控制通入仪器炉体的吹扫气氛，测试时，模块的气路一，通入氮气，配合控制软件，设置气氛流量为 50 ml/min，观察仪器 DSC 基线数据约 25 min，采样图谱见图 6 所示。图谱显示基线平直度完美。

### 3 结束语

本文介绍的气氛智能控制模块控制灵活，控制精度高，相应速度快，稳定性高，能很好的满足热分析仪器对扫描气氛及保护气氛的控制需求，目前已经应用于 DSC30 差示扫描热分析仪器，并获得实用新型专利<sup>[3]</sup>。本模块可通过进一步的改进，更广泛地应用于其它类似需要进行气氛控制的分析仪器，市场前景广阔。

#### 参考文献：

[1] STM32F107VC 数据手册 [Z]. 2007 STMicroelectronics.  
 [2] Miniature Proportional Valves [Z]. Parker, 2011.  
 [3] 杨 洋，吴亚峰，倪东华. 一种基于 DTA/DSC 热分析仪器的专用气氛切换及流量智能控制模块 [P]. 中国专利，ZL201020652722.2, 2012-12-10.

#### 更正

2014 年 11 期文章《基于改进量子粒子群和主动 PI 模型的自适应无线传感器网络拥塞控制算法设计》，作者李晓玲，楚志刚，第一作者单位为“中原工学院信息商务学院 计算机科学系”，于此更正。