

# 提高微量气体分析仪的测量精度\*

王雅琴, 韩立发

(南京工业大学 材料科学与工程学院, 江苏 南京 210009)

施亿平

(南京航空航天大学 电子工程系, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 碳酸钙和磷石膏的分解过程都有微量的水蒸汽和二氧化碳气体放出, 需要对它们进行在线分析, 对激光干涉式微量气体分析仪进行了光强补偿电路设计, 通过分析和试验, 肯定了该电路的可行性, 提高了仪器的测量精度。

**关键词:** 测量精度; 光强补偿; 放大器

**中图分类号:** TQ 016.54    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-7537(2002)02-0100-04

碳酸钙以及磷石膏的分解过程中有微量的水蒸气和二氧化碳气体放出, 需要对它们进行在线分析。本文设计的激光干涉微量气体分析仪, 较好地解决了微量气体分析仪中的光强补偿问题, 达到了提高测量精度, 提高测量灵敏度的要求。激光干涉仪的光源采用 He-Ne 气体激光管, 发出的光输出波长范围宽, 光学均匀性好。而且, 在单色性、相干性及稳定性等方面都比固体和半导体激光管优越。但是, 最大的弱点是 He-Ne 激光管由于谐振腔的损耗波动, 以及放电电流的波动等因素, 引起激光管输出功率的瞬时波动, 直接影响了测量的精度。本文专门讨论激光干涉微量气体分析仪的光强补偿问题, 主要考虑在光电转换之后, 加上一级光强补偿电路, 使其既能实现光-电的线性变换, 又能自动补偿光强的瞬时变动, 提高测量的精度。

## 1 基本原理

由激光光源发出的两束光, 分别经光电管 1 和

光电管 2 转变成电信号后, 分别送到一补偿电路再经放大后输出, 见图 1。

这一电路既可完成光-电的线性变换, 同时又能补偿光源波动给测量带来的影响, 从而提高了测量的精度, 它是一个比较理想的自稳定系统, 为激光干涉气体分析仪的应用开辟了前景。

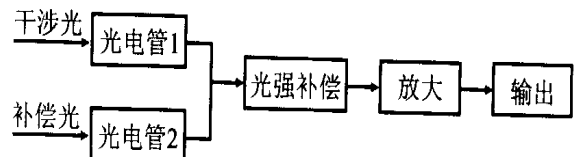


图 1 光强补偿电路的原理方块图

Fig. 1 Block diagram of luminosity-compensation circuit

## 2 基本电路

根据设计要求, 我们选择了由对数-反对数放大器组成的光强补偿电路。其原理线路图如图 2 所示。

\* 收稿日期: 2001-11-11

作者简介: 王雅琴(1968-), 女, 江苏武进人, 学士, 工程师, 主要从事仪表自动化研究。

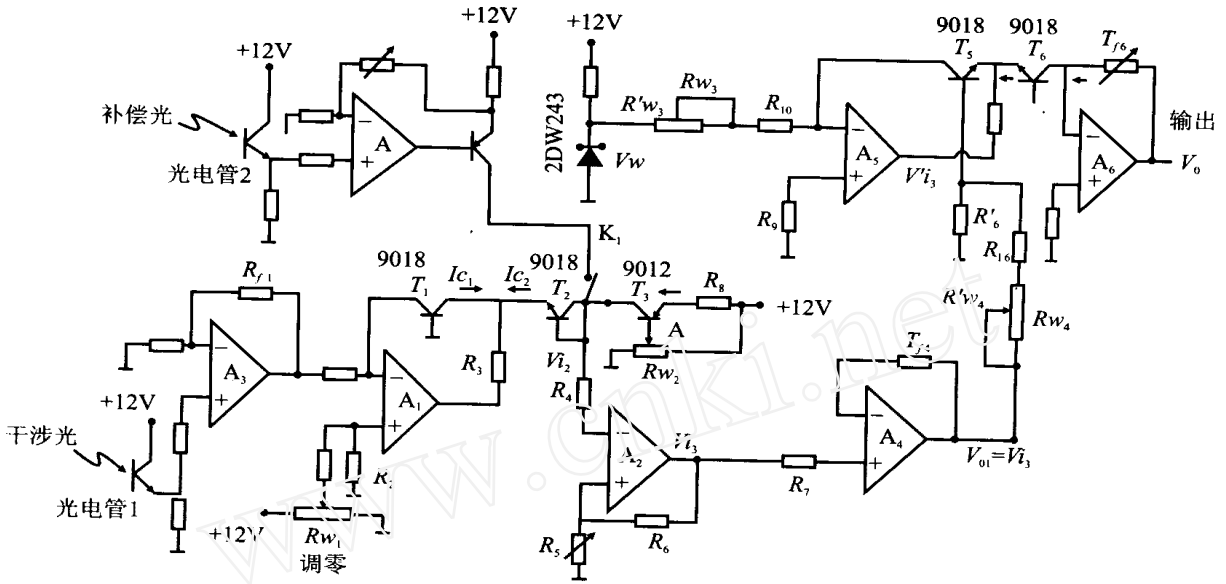


图 2 光强补偿器的原理线路图

Fig. 2 Principal of luminosity compensater

图中  $A_1A_2$  和  $T_1T_2$  组成对数放大电路,  $A_5A_6$  和  $T_5T_6$  组成反对数放大电路,  $T_3R_8R_{w2}$  组成恒流源电路, 提供  $T_2$  管的恒定电流。  $T_1T_2$  是对管, 要求它们的对称性好, 以便更好地克服温度的影响。

由图 2 可知, 干涉光经光电管 1 转换为电信号  $I_{C1}$ , 补偿光经光电管 2 转换为电信号  $I_{C2}$ , 两者分别送到对数放大器的对应位置, 经对数放大器后输出电压是输入信号  $I_{C2}/I_{C1}$  的对数关系, 而  $I_{C2}$  与  $I_{C1}$  之值正比于输入光强  $I$ , 因此, 如果激光器输出光源的光强波动, 由  $I$  变成  $I + \Delta I$ , 经对数放大器后, 输出信号正比于  $\frac{(I + \Delta I) \sin X}{I + I} = \sin X$ , 仅与干涉条纹的移动量  $X$  有关, 与光强  $I$  无关, 这样, 由于光强补偿电路的作用, 大大地削弱了由于激光器光源波动所带来的影响。为了便于后续数据处理, 我们在对数放大器后又设计了一个反对数放大器, 它是对数放大器的逆运算, 这样使整个电路的输出直接反映输入信号的大小, 即反映输入干涉条纹的移动量, 从而可得到气室中气体含量的变化。本电路的输出信号直接送至接口电路, 通过计算机进行数据处理。

通过对电路的分析推导可得到对数放大器的输出为:

$$V_{01} = -A_2 V_T (\ln \frac{V_i}{R_1} - \ln I_{C2})$$

由反对数放大器的输出为:

$$V_0 = K_1 \cdot V_{i1}^{K_2}$$

$$\text{其中: } K_1 = \frac{I_{C5} \cdot R_{f6}}{(I_{C2} \cdot R_1)^{K_2}}$$

$$K_2 = KA_2$$

$$K = \frac{R_i}{R_i + R_6 + R_{w4}}$$

若使  $K_2 = 1$ , 则输出电压  $V_0$  与输入电压  $V_i$  成简单的线性关系, 即  $V_0 = K_1 V_i$ 。

由此可见, 经光强补偿器后, 输出电压  $V_0$  与输入信号成正比, 对于光源谐振腔的瞬时波动, 不影响输出电压, 大大地减弱了光源波动给测量带来的影响。

### 3 元器件及其参数的选择

对于已经设计好的电路, 其元器件及其参数的选择是非常重要的, 它直接影响到调试的可行性和仪器的测量精度。我们对集成运放的选择是要求低漂移、低功耗、开环增益和共模抑制比大, 最好具有过载保护, 以防实际使用中受冲击电压和冲击电流的影响, 此电路选 LM324。

输入端电阻的选择, 通常考虑, 当输入信号达到极限值时, 即等于电源电压  $\pm 12V$  时, 等效输入电流不能超过运放的额定值, 也就是输入端电阻  $R \geq \frac{12V}{20 \times 10^{-3}} = 600 \Omega$ 。

一般情况, 常取几十 ~ 几百千欧姆均可。本电

路中,  $A_1$  反相输入端电阻选取  $R_1 = 6.8 \text{ k}$ , 则输入电流为  $I = \frac{12 \text{ V}}{6.8 \text{ k}} = 1.76 \text{ mA} < \text{额定值}$ 。

其余电阻的选取, 以此类推。

对  $T_1$  与  $T_2$  的选择, 比较重要。因为对数放大器受温度的影响比较大。  $T_2$  起温度补偿作用。因此, 要求  $T_1 T_2$  对称性好, 最好是封装在一起的对管。本电路选择 9018NPN 硅管。对于  $T_5 T_6$  管同理要考虑温度补偿问题。调零电位器  $R_{w1}$  要求受温度影响小, 最好选择绕线电位器, 并经老化处理。

## 4 调试方法

由上述可知, 输出与输入的关系为:  $V_o = KV_i^{K_2}$

如果使  $K=1$ ,  $K_2=1$ , 则  $V_o = V_i$ , 输出与输入成一一对应关系。为了得到如此关系, 具体调试的方法是: 输入 1 V 电压, 测得对数放大器输出  $V_{o1} = 0$ , 否则调节  $R_{w2}$ , 使  $V_{o1} = 0$ , 而反对数放大器的输出  $V_o = 1 \text{ V}$ , 否则, 调节  $R_{w3}$  或  $R_{f6}$ , 使  $V_o = 1 \text{ V}$ 。以上是零点调试, 零点调好后, 再进行量程的调试。当  $V_i = 10 \text{ V}$  时,  $V_{o1} = -1 \text{ V}$ , 否则, 调节  $R_5$ , 使  $V_{o1} = -1 \text{ V}$ , 而  $V_o = 10 \text{ V}$ , 否则调  $R_{w4}$ , 使  $V_o = 10 \text{ V}$ 。零点和量程必须反复调试, 越准越好。

## 5 误差分析与结论

数据处理和误差分析中使用最广的数学工具是一元线性拟合。本电路由微型计算机处理, 只是将输入数据送给计算机接口电路, 由计算机运行后即得拟合直线, 由计算机拟合得到的电路拟合方程为:

$$Y = -1.28369X - 5.03528$$

取一个实际测量中最大的误差点  $(X_i, Y_i) = (1.125, -6.474)$ , 则对数放大器的相对误差为:

$$= \left| \frac{y - y_i}{y} \right| = \left| \frac{-6.4795 + 6.474}{-6.4795} \right| = 0.085\% < 0.1\%$$

而光强补偿电路的误差为:

$$= \left| \frac{10 - 9.992}{10} \right| = 0.08\%$$

可见, 最大误差点的误差为:  $< 0.1\%$

通过以上分析、设计、安装、调试及误差分析, 由对数—反对数放大器组成的光强补偿电路, 精度高, 线性度好, 实施简便, 补偿效果好, 大大地减弱了激光光源波动的影响, 使干涉式微量气体分析仪的输出与光源波动无关, 仅与干涉条纹的移动量有关, 即

$V_o \sin X$ ,  $X$  为移动量。

## 6 实验结果

根据以上设计的光强补偿电路, 我们进行了测试。对于不同的输入信号  $V_i$ , 测出其相应的输出  $V_o$  值, 得到一组输入-输出数据, 见下表 1。

表 1 输入-输出关系  
Table 1 Relationship of input-output

$V_i / \text{V}$	9.992	5.645	2.498	1.006
$V_{o1} / \text{V}$	-1.012	-0.758	-0.401	-4.667
$V_o / \text{V}$	10.114	5.731	2.553	1.004

作图即得光强补偿电路的输入-输出特性, 见图 3。

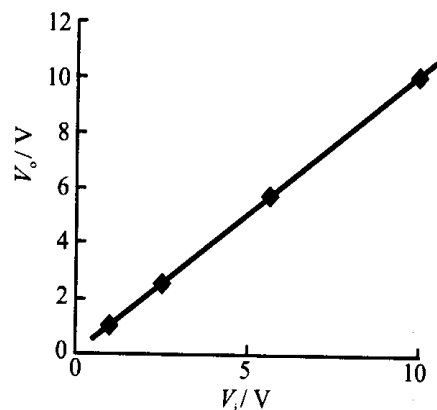


图 3 光强补偿电路的输入-输出特性

Fig. 3 The input and output characteristic of luminosity-compensation circuit

## 7 结论

通过以上对干涉式微量气体分析仪的光强补偿电路的设计, 并经计算机一元化线性拟合, 最大误差为  $0.1\%$ , 精度高, 线性度好。对于  $10\%$  以内的光强信号波动, 具有较好的补偿效果, 与一般的气体分析仪相比, 精度提高  $10\% \sim 20\%$ , 大大地克服了激光光源波动对测量精度的影响, 提高了测量的可靠性。同时, 该电路的补偿范围也较宽, 可以达到 4 个量程, 从  $0.01 \sim 10$  范围内, 补偿器都可工作在线性区, 误差不超过  $2\%$ 。

## 参考文献:

- [1] 清华大学. 晶体管电路. 第一册[M]. 北京: 科学出版社, 1973.

- [2] 肖明耀. 实验误差估计与数据处理[M]. 北京:科学出版社, 1980.
- [3] 清华大学. 电子技术[M]. 北京:人民教育出版社, 1976.

## How to promote the precision of gas micro-analyzer

WANG Ya-qin<sup>1</sup>, HAN Li-fa<sup>1</sup>, SHI Yi-ping<sup>2</sup>

- (1. College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;  
2. Department of Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** Carbon dioxide and micro-water vapor are released in the decomposition processes of calcium carbonate and ardealite. It is necessary to analyze them on-line. The problem of the accuracy of measurement of gas micro-analyzer was studied. To the laser-interferential gas micro-analyzer, a circuit of luminosity-compensation was designed. Through analysis and experiments, the feasibility of the circuit was affirmed, resulting in promoting the precision of the analyzer.

**Key words:** Accuracy of measurement; Luminosity-compensation; Amplifier

### 简 讯

## “低共熔体系酶促反应技术及其应用研究”通过鉴定

“低共熔体系酶促反应技术及其应用研究”项目为江苏省自然科学基金项目,由南京工业大学沈树宝教授主持的课题组经过两年的研究而完成。

该项目运用低共熔酶促反应技术合成二肽 ZAPM,其各项技术指标均达到了国内外先进水平,并提供了 ZAPM 高效清洁生产的新技术;将低共熔酶促反应技术应用于手性化合物的酶法拆分上,具体研究了圆柱状假丝酵母脂肪酶在拟低共熔体系中拆分奈普生甲酯,获得了 S-型奈普生药物,各项技术指标明显优于水相和有机相体系的国内外结果;发展了低共熔酶促反应体系,提出了拟低共熔体系新概念,扩大了这一技术的应用范围,并提出了低共熔体系中助熔剂的分类及其相互作用,为解决助熔剂的筛选及作用机理这一技术关键提供了理论基础。该项目于 2002 年 2 月 24 日通过了江苏省科技厅组织的函审鉴定,鉴定委员会一致认为:该项目总体研究水平已达到了国际先进水平。

(科技处 袁正英)