

热导检测器精密恒流源的设计与实现

苏 垒, 靳 斌, 毛秀芬, 陶昨糖

(西华大学 电气信息学院, 四川 成都 610039)

摘要: 介绍了气相色谱仪热导检测器精密恒流源的三种设计方案, 通过对三种方案进行分析、对比、实验, 提出最佳方案。此恒流源由场效应管 IRF640、运放 AD8662 和线性光藕 HCNR201 构成。测试结果表明, 该恒流源的基线噪声达到 $4 \mu\text{V}$, 60 min 基线漂移 $7 \mu\text{V}$, 优于现有热导检测器恒流源的技术指标。

关键词: 恒流源; 热导检测器; AD8662; IRF640; AD8220

中图分类号: TN46

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)14-0016-03

The design and implementation of the thermal conductivity detector's precision current source

Su Lei, Jin Bin, Mao Xiufen, Tao Zuotang

(School of Electrical and Information Engineering of Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: This paper introduces three design schemes of precision constant-current source using in thermal conductivity detector of gas chromatography. Through the analyzing and comparing and experimenting of three kinds of design schemes, the optimum scheme is proposed. The constant-current source is designed with IRF640, AD8662 and linear optical coupler HCNR201. The experiment results show that the baseline noise of constant-current source comes up to $4 \mu\text{V}$, that the baseline drift of constant-current source comes up to $7 \mu\text{V}$ per 60 minutes, which is superior to current technical specification of existing thermal conductivity detector.

Key words: constant-current source; thermal conductivity detector (TCD); AD8662; IRF640; AD8220

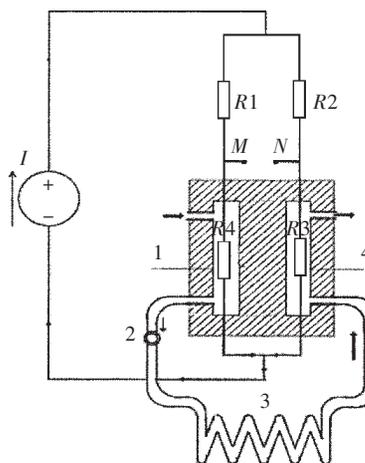
气相色谱仪作为测量仪器, 以其高效、高灵敏度和高选择性的特点而广泛用于石油、化工、环保、临床、制药和食品等领域, 可以对物质成分进行定性和定量分析, 它可以在很短的时间内分离几十种甚至上百种成分的混合物, 这是其他方法无法比拟的。目前, 由于使用了高灵敏度的检测器及微处理器, 使得气相色谱法成为一种分析速度快、灵敏度高、应用范围广泛的分析方法^[2-4]。

气相色谱仪有多种检测器, 其中热导检测器由于对所有物质都有响应, 结构简单、性能可靠、定量准确、价格低廉、经久耐用, 而且是非破坏性检测器, 因此广泛配置在商用气相色谱仪中^[5], 安捷伦便携色谱仪 3000 系列也配置了基于 MEMS 工艺的微型热导检测器^[6], 但是与其他检测器相比, 热导检测器灵敏度低, 这是它的主要缺点, 本文试图通过从恒流源电路上改进, 提高其性能。

1 热导检测器工作原理

热导检测器是利用被测成分和载气的导热系数不同而响应的浓度型检测器, 如图 1 为热导检测器工作原理

图。由图 1 可以看出, 只通入载气时, 惠斯通电桥处于平衡状态, M 、 N 两点电位相等, 电位差 V_{MN} 为零。再通入样气后, 由于参考臂上通入的是纯载气, 而测量臂上通入



1-参考池壁; 2-进样器; 3-色谱柱; 4-测量池壁

图 1 热导检测器工作原理

硬件纵横

Hardware Technique

的是载气和样气的混合气体,其导热系数不同于纯载气,从热丝向四周传导的热量也就不同,从而引起两臂热丝温度不同,进而使两臂热丝阻值不同,电桥平衡破坏。 M 、 N 两点电位不等,即存在电位差 V_{MN} 不为零,通过对 V_{MN} 电压进行检测、分析,从而定性、定量地测出被测物质的成分和含量。

热导检测器在测量仪器中不能得到广泛普及的一个重要原因是其灵敏度不是很高,因此提高检测器的灵敏度对热导检测器非常必要。由式(1)可知影响热导检测器灵敏度的主要因素是热导电阻、桥路电流、载气导热系数、热导池体积、热丝温度及池体温度。

热导检测器灵敏度可用式(1)表示^[7]:

$$S=K^2R \frac{\lambda_c - \lambda_s}{\lambda_c} (T_f - T_b) \quad (1)$$

式(1)中 K 为热导池常数,取决于几何参数; I 为桥路电流; R 为热丝电阻; λ_c 为载气导热系数; λ_s 为样气导热系数; T_f 为热丝温度; T_b 为池体温度。

一般情况下,热导电阻的选择对提高灵敏度来说很重要,一个性能优异的热导检测器,对电阻的要求主要考虑四点:①电阻率高,以便可以在相同长度内得到高阻值;②电阻温度系数大,以便有微小的散热就有大的阻值变化;③强度高;④耐腐蚀。

除了电阻的选择,由式(1)可以看出灵敏度和桥流3次方成正比,桥流对灵敏度和基线噪音影响很大,实践证明:桥流每增加10%,灵敏度增加1倍,基线噪音也增加1倍^[7],因此本文通过研制高稳定性的热导恒流源来提高热导检测器的灵敏度。

2 恒流源设计方案

2.1 桥流电路

如图2所示为恒流源的电路图。输出信号为 M 、 N ,即通过测量 M 、 N 两点间的电位差,就能测出物质的成分和含量。图2中 R_5 是采样电阻,阻值 $10\ \Omega$,当电流为上限 $250\ \text{mA}$ 时,采样电压为 $2.5\ \text{V}$,采样电压输入到AD8662的2脚,AD8662的3脚接电位器 R_w , R_w 的一端接地,另一端接 $+2.5\ \text{V}$ 电压基准,此 $+2.5\ \text{V}$ 是通过稳压芯片ADR431输出,温度稳定 $1\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。设定好电位器的电压后,当AD8662的2脚、3脚电压不相等时,其差压经运放AD8662开环放大(开环放大倍数 2.2×10^5)驱动AD8662的5脚,U1B和线性光耦HCNR201构成光耦隔离的放大电路,放大比为 $500\ \text{K}/75\ \text{K}=6.7$ 倍。AD8662和HCNR201构成放大比 1.47×10^6 的差压放大电路,并且起到稳流作用。当桥流有 $0.1\ \mu\text{A}$ 的波动时,施加到IRF640栅极的电压变化达 $1.47\ \text{V}$,使IRF640增加或减小电流,从而消除电流波动。

场效应管IRF640放在电桥的上方有利于减小 M 、 N 点的共模电压从而保护差压检测电路。如果将IRF640

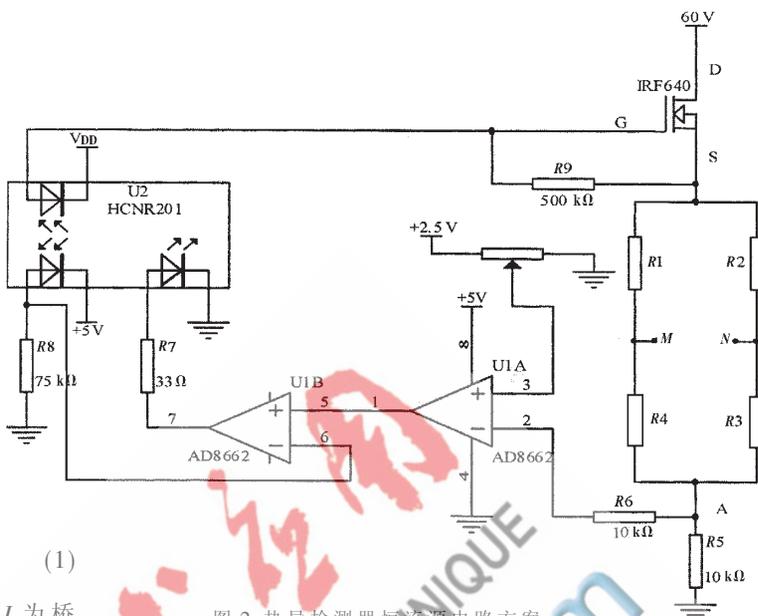


图2 热导检测器恒流源电路方案一

放在电桥的下方,如图3所示,当场效应管IRF640截止,则电源电压 $60\ \text{V}$ 全部加到了 M 、 N 上面,则差压检测电路的共模电压过高。

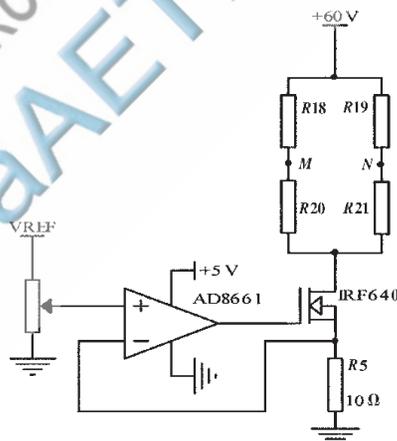


图3 热导检测器恒流源电路方案二

如果只是单纯地将IRF640放在电桥的上方,而不加线性光耦HCNR201。如图4所示,当场效应管IRF640截止,则 M 、 N 上的共模电压为零,这样虽然可以避免图3方案的问题,但是当桥流较大时($200\ \text{mA}$,桥电阻为 $100\ \Omega$),则场效应管IRF640的栅极电压达到 20 多伏,超过了AD8661的电源电压范围($\pm 18\ \text{V}$)。因此图3、图4方案都不可行。

2.2 差压采集电路

图5为电压输出采集电路, M 、 N 两点间的电压接运放AD8220,再经运放OP1177处理后,得到输出电压 V_{outA} 、 V_{outB} ,此电压最后接色谱工作站或接AD转换器和单片机进行处理,可检测物质的成分和含量。

图6为运放AD8220内部结构等效电路。对图5进

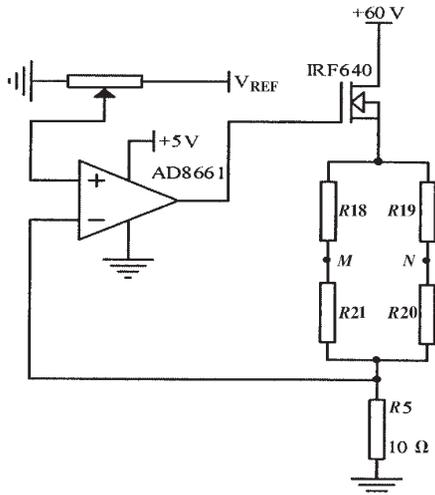


图4 热导检测器恒流源电路方案三

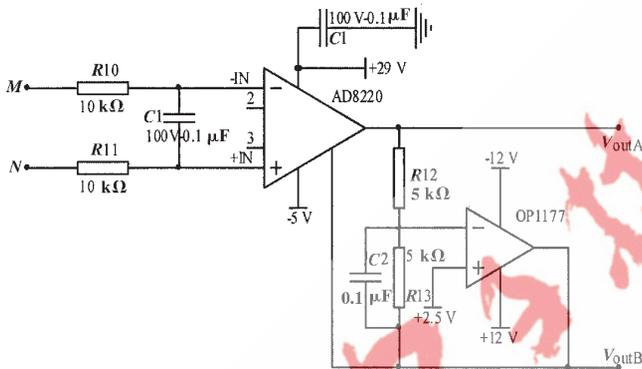


图5 热导检测器桥路差模电压输出采集电路

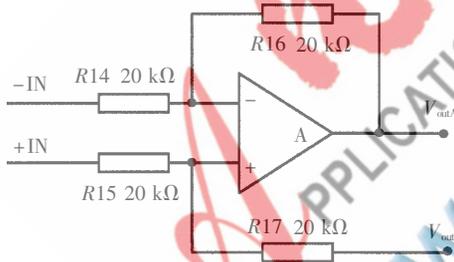


图6 运放 AD8220 内部结构近似等效电路

进行分析,可得 $\frac{V_{outA}-V_{outB}}{5\text{ k}\Omega+5\text{ k}\Omega} \times 5\text{ k}\Omega+2.5\text{ V}=V_{outA}$ 对此公式进行化简可得:

$$V_{outA}+V_{outB}=5\text{ V} \quad (2)$$

对图6进行分析,可得 $\frac{V_{-IN}-V_{outA}}{20\text{ k}\Omega+20\text{ k}\Omega} \times 20\text{ k}\Omega+V_{outB} =$

$$\frac{V_{+IN}-V_B}{20\text{ k}\Omega+20\text{ k}\Omega} \times 20\text{ k}\Omega+V_{outB}$$

对此公式进行化简可得:

$$V_{outA}-V_{outB}=V_{+IN}-V_{-IN}=V_{MN} \quad (3)$$

联立式(2)、式(3),则:

$$V_A=2.5\text{ V}+\frac{1}{2}V_{MN}, V_B=2.5\text{ V}-\frac{1}{2}V_{MN}$$

由上面的推导过程可知,最后输出电压 V_{AB} 与输入

电压 V_{MN} 相等,如图5中运放 AD8220 的 2、3 脚没有接电阻,由其增益公式 $G=1+\frac{49.4\text{ k}\Omega}{R_C}$ 知,增益 $G=1$ (R_C 为空载, R_C 阻值为无穷大),此运放的作用主要用来抑制 M、N 点高达 20 多伏的共模电压,AD 转换器一般承受不了如此大的共模电压;而电路不放大的原因是:信号放大的同时,噪声也随之放大,信噪比并不能提高。电路如果不接 OP1177,则 V_{outB} 直接接地, V_{outA} 为输出信号接 AD 转换器,似乎也可以,但是输入信号 V_{MN} 本身是 μV 级信号,而地信号也有 μV 级的噪声,会影响 AD 转换的结果,由于 OP1177 的 PSRR(电源噪声抑制比)为 130 dB,其输出端可以抑制电源和地的噪声,因此加上 OP1177 后,将使 AD 的共模电压信号转变为差模电压信号,避免了地线的噪声,可提高测量精度。

3 实验结果

从上面三种方案的分析中可以得出方案一为最佳方案,制作三种热导检测器板,安装在 SC6000 气相色谱仪中,用 SC3000 色谱工作站进行测量,测试条件为氢气纯度 99.999%、氢气流量 40 mL/min、热导检测器温度 150℃、热导桥流 180 mA,检测热导检测器的基线噪声,如图7所示,基线噪声为 $3\mu\text{V}\sim 4\mu\text{V}$,60 min 漂移为 $7\mu\text{V}$,优于现有色谱仪热导检测器的指标。

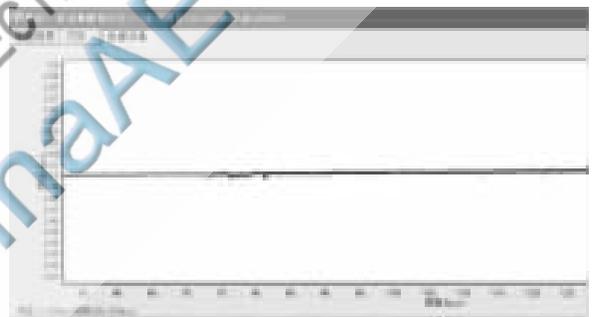


图7 恒流源基线实验结果

本文对三套恒流源进行分析、比较、实验,表明方案一的基线噪声、温度漂移小,优于现有色谱仪热导检测器的指标,而且电桥检测电路承受的共模电压小,有利于保护检测电路。

参考文献

- [1] KOLESAR E S, RESTON R R. Review and summary of a silicon micro machined gas chromatography system[J]. IEEE Trans on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 1998, 41(3): 324-328.
- [2] 中国科学院大连化学研究所[M]. 气相色谱法. 北京: 科学出版社, 1989.
- [3] 孙传经. 气相色谱分析原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1981.
- [4] 冯建国, 冯建兴. 分析仪器电子技术[M]. 北京: 原子能出版社, 1993.

- [5] 景士廉,张云.各种便携式气相色谱仪[J].岩矿测试, 2006,25(4):348-354.
- [6] 刘鸿飞,陈忠.微型气相色谱仪热导检测器放大电路设计[J].色谱,2010,16(1):737-742.
- [7] 尹立明.提高气相色谱仪分析性能探讨[J].特钢技术, 2010,16(1):55-57.

(收稿日期:2011-04-20)

作者简介:

苏垒,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式系统设计。

靳斌,男,1969年生,博士,副教授,主要研究方向:智能仪器。

