

GX—2 测 汞 仪

广西冶金地质勘探公司274队 陆宏津

为开展壤中汞气测量的地球化学探矿工作,我们对以往试制的GX—1测汞仪又作了改进,于去年试制成GX—2型仪器,并已小批量制作。

GX—2 测汞仪是借助于原子吸收原理工作的,但在电路设计上,比一般原子吸收类型仪器具有操作简便、灵敏度和稳定性较高的优点。本文重点介绍仪器的电路原理。

一 整机方框图和主要技术指标

图1是整机方框图。汞灯由方波脉冲点燃,发出2537Å的紫外光,经反光镜通过吸收池投影到光电倍增管作光电转换,并产生一近似于方波的电压信号。该信号由阻抗变换、对数放大后,经全波同步检出的直流作电平转移进入跟随—保持器。跟随—保持器的工作状态由继电器J₁触点J₁₋₃控制,并与抽气马达联动。当开启仪器未作测量前,J₁₋₃闭合,成为一跟随电路。一旦往吸收池内抽入待测气体,J₁₋₃同时断开,于是电路便由跟随器转为保持抽气前的信号电压值,此值与抽气后由于吸收池中产生汞原子吸收效应而减少了的电压值一起进入差动放大器作比较放大,最后经峰值保持电路及倍率电阻直接在微安表上读出被测气体的含汞量。

仪器主要技术指标如下:

灵敏度: 0.002ng汞(表头直读)

重现性: 相对误差≤5%

零点: 连续工作无零漂

二 各级电路原理(图2)

1. 汞灯电源及光电倍增管负高压 三级管BG₁₀、BG₂₀及脉冲变压器B₁组成振荡器,产生频率约1千赫的振荡并导致600V、900V的方波输出。其一经D₁₀半波整流,以正方波点燃汞灯;其二由D₁₄—D₁₇作桥式整流,以负高压供给光电倍增管。振荡器由两级稳压电源供电。

2. 阻抗变换 光电倍增管输出阻抗高,有内放大能力。内放大的优点是噪声低,应充分利用。本仪器由于设计光电倍增管输出交流信号V_{pp}≥5V,所以前置级需满足大的输入动态范围。由N沟道结型场效应管BG₁和PNP硅管BG₂组成两级负反馈电路,这种电路形式有深度的直流负反馈,工作点较稳定,且允许输入电压幅度不受BG₁夹断电压的限制。此电路的开环增益,一般可有:
 $K_o > 1000$

于是反馈系数: $\beta \approx \frac{R_o}{R_o + R_s}$

闭环电路电压增益:

工具化,而且仅仅是其常用部分内容的工具化。上述所举关于角度换算器应用的数例,也仅仅是工具本身应用中的部分内容。凡能在工具上解决的有关角度换算方面的问题,均可在纸网(透明纸和投影网)上得到解决,仅不过使用条件上不及在工具上应用方便。

2) 设计网盘直径为10厘米的角度换算器,目的是为了自制和野外携带的方便,因

为精度上也已可满足日常地质工作的要求。自制本工具时,各种线条是用钢针和圆规刻绘,读数一般是先在照相废底片上刻出0~9个数字的字模,然后逐个套于有机玻璃板上刻写。

本工具在制作和试用过程中,曾得到陈国达教授、何绍助教授以及何作霖教授(生前)的热情支持和指导,特此致谢。

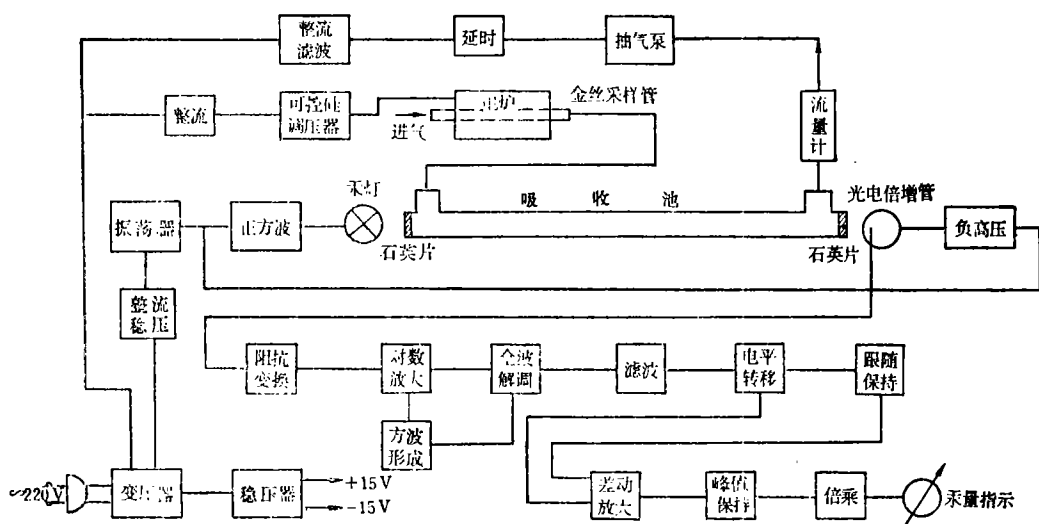


图1 GX-2型测汞仪原理图

$$G_v \approx \frac{1}{\beta} = -\frac{R_o + R_s}{R_o}$$

电路输入阻抗:

$$R_i \approx R_s$$

3. 对数放大 据比耳定律, 基态原子对其特征波长产生吸收效应时, 其吸收程度与该原子浓度呈对数关系。

即:

$$C = \frac{1}{KL} \ln \frac{I_0}{I}$$

式中, I_0 —入射光强度; I —透射光强度; K —吸收系数; L —吸收池长度; C —原子浓度。

为使仪器获得对应于原子浓度的线性输出, 以便由表头直读汞含量, 必须将与 I_0 、 I 相对应的信号电压值作对数运算。

在一些原子吸收类型测汞仪和原子吸收光谱中, 多是在信号整流后, 利用运算放大器以及接在其反馈回路中的对数二极管作单向对数转换。虽然信号值在转换前可达数伏以上, 但转换后的输出, 恒低于或等于一个硅PN结的结压降 ($\leq 0.6V$)。有用信号值被缩小了, 在其后的电路中, 为使仪器有高的灵敏度, 就得引入高倍数的直流放大器。于是随之而来的直流放大器本身的漂移, 便限制了仪器灵敏度和稳定性的进一步提高。为了克服这些缺点, GX-2测汞仪采用双向

对数转换的反馈放大器。

三级管 BG_3 、 BG_4 ($S3DG_6$) 作对数二极管反向并联于运算放大器 A_1 的反馈回路, 设放大器输入为 V_i , 在不计信号源内阻情况下, A_1 输出:

$$V_o = - \left[\frac{KT}{q} \ln \frac{V_i}{R_o I_s} + \right.$$

$$\left. + \frac{KT}{q} \ln \frac{V_i}{R_o I_s} \cdot \frac{R_{14}}{R_{13}} + \frac{R_{14}}{R_o} V_i \right]$$

式中: q —电子电荷量, 等于 1.602×10^{-19} 库; T —绝对温度; K —常数, 等于 1.38×10^{-23} 焦耳/K; I_s —二极管反向饱和电流。

在一般温度下, 可以近似地认为它们是常数。整理得:

$$V_o = - \left[\frac{KT}{q} \ln \frac{V_i}{R_o I_s} \cdot \left(1 + \frac{R_{14}}{R_{13}} \right) + \frac{R_{14}}{R_o} V_i \right]$$

选择 R_o 、 R_{13} 、 R_{14} , 使 $R_o \gg R_{14} \gg R_{13}$, 可得:

$$\frac{KT}{q} \ln \frac{V_i}{R_o I_s} \cdot \left(1 + \frac{R_{14}}{R_{13}} \right) \gg \frac{R_{14}}{R_{13}} V_i$$

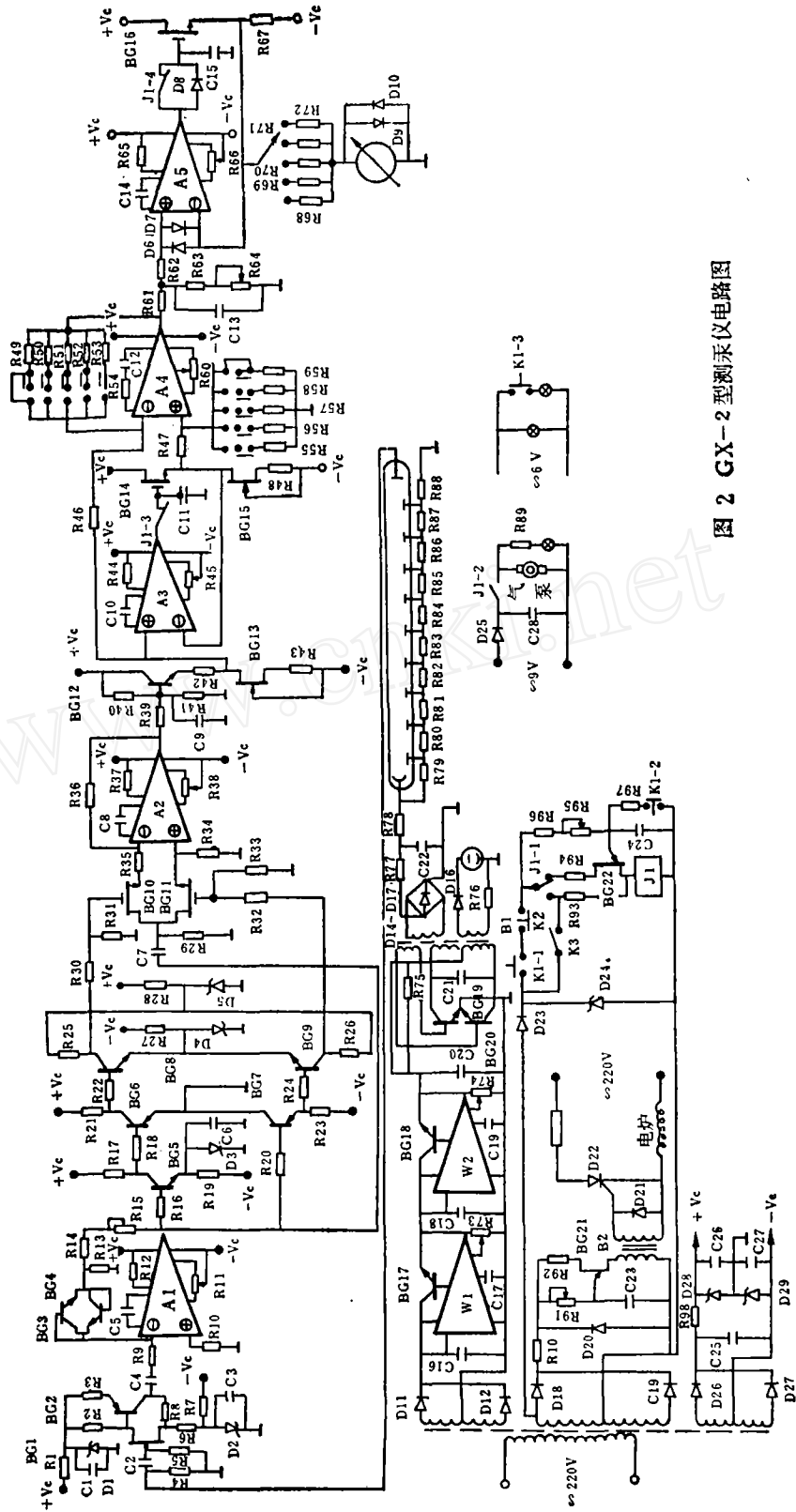


图 2 GX-2 型测采仪电路图

于是:

$$V_o \approx -\frac{KT}{q} \ln \frac{V_i}{R_s I_s} \cdot \left(1 + \frac{R_{14}}{R_{13}}\right)$$

上述结果只是近似的对数放大,但它已能满足在仪器测程范围内相对被量测汞量有线性输出的要求。

本仪器中, $V_o \geq 12V$ (峰峰值)。高于一般单向对数转换的十倍以上。在以后的电路中,只需有数十倍的直流放大便可满足高灵敏度的要求。减小了放大器本身的零漂对仪器性能的影响。

4. 同步信号检出电路 同步解调信号,通常是从脉冲变压器 B_1 增加一副绕组取得,但由于汞空心阴极灯的发光特性不能跟随激励电压的变化,故直接从 B_1 取得同步信号,实际上并不与光电倍增管输出信号同步,无论相位和脉冲宽度都有较大的差值。所以,本仪器不从 B_1 取同步信号,而利用即使在大量汞气进入吸收池(超过仪器测程)时,光电倍增管仍有一定幅度的方波输出的特点,设计了由晶体管 BG_8 — BG_9 组成的同步信号检出电路。 BG_8 — BG_9 均工作在饱和或截止状态,由 A_1 输出信号激励,各元件参数选择保证 A_1 输出信号幅度在仪器整个测程范围内变化时, BG_8 — BG_9 各管工作在开关状态不变,于是从 BG_8 、 BG_9 集电极取得不含输入信号噪声,幅度恒定的同步信号,用以控制 BG_{10} 、 BG_{11} 在输入信号正负半周时各轮流导通与截止。

5. 同步解调 为提高信噪比,采用全波同步检出。场效应管 BG_{10} 在信号负半周时导通,正半周时截止, BG_{11} 则相反。于是运算放大器 A_2 在输入信号正半周时作跟随器,负半周时则成为反相器。输入方波交流信号便检出成直流。

6. 滤波及电平转移 同步解调后,直流信号可达 $6V$ 以上,在经 R_{10} 、 C_9 滤波后,由 BG_{12} 接成射极输出器,并由 BG_{13} 作恒流源,信号即可取得良好的滤波效果,实现其电平转移,避免了后级电路输入幅度过大的现象。

7. 跟随—保持电路及差动放大 原子吸收原理的仪器,是要测出吸收前和吸收后光电倍增管输出信号的差值。故一般都是设置

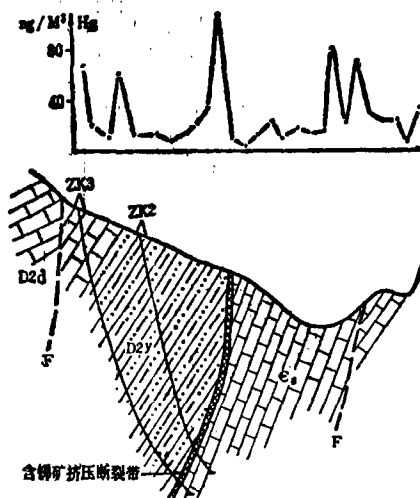


图3 广西隆林马垌铅矿0号线剖面图

一基准电压,用以平衡吸收前的信号。当吸收池中进入待测气体,产生吸收效应,光电倍增管输出信号减小,平衡受到破坏,信号减小值经放大后由微安表直读出被测原子的浓度。这种常用的方法有以下缺点:①在高灵敏度时,仪器因总放大倍数高,致使调零困难,操作不便。②由于一些外界因素的影响以及元件、汞灯参数的变化所导致的零点漂移,需不断地校正零点,使操作繁杂,也限制了仪器灵敏度的提高。

GX—2 测汞仪不设置基准电压,而设计了跟随—保持电路和差动放大器,让吸收前和吸收后的信号电平直接加在差动放大器上,得出所需要的差值并加以放大。

场效应管 BG_{14} 的 G、S 极通过继电器 J_1 的常用触点 J_{1-3} 接在运算放大器的反馈回路,组成跟随—保持器。它有两个工作状态,当开启仪器,未作量测时,由于 J_{1-3} 的闭合,它是跟随电路,其输出与输入相等。送到 A_4 两个输入端的信号基本是同一信号, A_4 输出为零,即是仪器的零点。当欲量测一个样品,启动 J_1 ,接通抽气泵电源往吸收池中抽入待测气体时,尽管由于吸收作用,光电倍增管输出信号减小,但由于触点 J_{1-3} 断开, A_3 成为开环,电容 C_{11} 失去放电通路, BG_{14} 将保持原有电平输出不变,于是得到吸收前和吸收后的信号值。信号的差值 A_4 放大后,便是我们所需要的测定结果。 A_4 的

反馈电阻和同相输入端接地电阻,由测程选择开关 K_4 换接,以获得不同的测程。本仪器共分: $\times 0.002$ 、 $\times 0.005$ 、 $\times 0.01$ 、 $\times 0.05$ 、 $\times 0.1$ 五挡(单位: ng 汞)。

一个气样量测读数完毕,停止抽气, J_{1-3} 闭合, A_3 、 BG_{11} 仍为跟随器, A_4 输出零值。测另一个样时,重复上述过程。

8. 峰值保持及倍率 A_5 、 BG_{10} 等组成峰值保持电路,其工作方式开始抽气时触点 J_{1-4} 断开,由 D_8 容许正向输出电流通过,当输出电压达到峰值后退回时, D_8 反偏,

C_{10} 失去放电通路, BG_{10} 便维持原有峰值电平输出。该数完毕停止抽气, J_{1-4} 闭合, A_5 、 BG_{10} 便成为跟随器,表针自动回到零点。

9. 延时及炉温控制 管形电炉由 3CT5 直接从 220V 交流整流供电,单结管 BG_{21} 等组成可控硅触发电路,调整 R_{10} 可改变炉温。

单结管 BG_{22} 等组成延时继电器,金丝捕汞管加热时间由 R_{10} 调整。

广西隆林马雄锑矿汞气测量结果见图 3。

提高金膜测汞仪灵敏度的途径

甘肃省冶金地质综合队 王维熙 周剑峰

金膜测汞仪是近年来国外研制成功的一种高灵敏度测汞仪器。与原子吸收型测汞仪相比,它具有结构简单,选择性好,携带方便等优点,为直接现场测定提供了可能性。为了提高该仪器的灵敏度,我们学习了兰州环保所、厦门海洋研究所、上海电工仪器厂的经验,在上海无线电六厂等兄弟单位的协助下,设计出新的金膜测汞仪,改进了金膜镀制方法,增加了电路补偿措施,初步研制成功 JM—金膜测汞仪,灵敏度达到 $n \times 10^{-12}$ 克汞,重量不超过 3 公斤。

一 原理

纯金属中掺入杂质时,杂质原子或代替原来金属原子在晶格中的位置,或填入晶格间隙,引起对电子的附加散射作用,从而产生附加电阻率,宏观上表现为电阻增大。根据这一原理,在很薄(只有几百埃)的金膜表面吸附汞蒸气以后,金膜的电阻值就明显地增高,而且在 $10^{-12} \sim 10^{-7}$ 克量级汞范围内,其阻值变化与吸附汞量呈线状关系,因此,通过测量金膜电阻的变化,就可以测定痕量汞。

在低含量下,阻值变化与吸附汞量的线性关系可由附加电阻率的关系式说明。

$$P = BZ^2 \times (1 - x)$$

式中, B 为常数,因不同金属而异, Z 为杂质原子和基本金属原子的价电子差数,汞是 2 价,金是 1 价,则 Z 为 1。 x 为杂质原子的浓度,通常取

$$x = \frac{\text{杂质原子个数}}{\text{基本金属原子个数}}$$

显然,在 $x \leq 1\%$ 的情况下,用 $P_0 = Bx$ 代替 $P = Bx(1 - x)$ 所带来的相对误差

$$\frac{P_0 - P}{P_0} = \frac{x - x(1 - x)}{x} = x \leq 1\%$$

是允许的,说明在杂质浓度(汞气)很低的情况下,附加电阻率和杂质浓度可看成成正比关系,即 $P_0 = Bx$ 。当杂质浓度增加到一定程度,上式不能成立,即阻值变化呈非线性。这时需将金膜加热再生。测定过程见图 1。

二 提高仪器灵敏度的途径

提高仪器灵敏度的关键,是如何提高金膜对汞的吸附效率以及如何消除干扰,减小