

滤光器恒温控制电路

侯芳惠

明长荣

(南京天文仪器厂)

(北京天文台)

(一)

双折射滤光器的工作温度暂定在 42°C 附近,在调到某一谱线(4861 \AA 5324 \AA)的合适温度时,则要求恒温调节误差处在 $\pm\frac{1}{200}^{\circ}\text{C}$,即 $\pm 0.005^{\circ}\text{C}$ 范围内。如此高的要求,用传统的方法是难以实现的。因为在传统的温度控制器中,测温元件和加热元件是分开的,测温元件通过传热介质来检测加热器的温度,加热器内温度的任何变化要经一定的延迟后才被测温元件所感受,由调节理论可知^[1],高精度的温度调节器需要高增益的放大器,但如果有延迟时间存在时,则增益就不能够太高,否则系统会成为不稳定。为了消除检测的滞迟,可以把测温元件和加热元件做成一体,这儿选用金属电阻丝来兼此两职,因为金属丝不仅有电阻值,加上电压后能发热,而且有它的固有电阻温度系数,随着温度的变化,金属丝上电阻值会作相应的变化,把金属丝做成电桥,能反映加热系统的温度。它的控制方案大体的可分为两类:一类是将加热电阻丝作为惠斯顿电桥的一个桥臂,电桥的激励电流对于检测和加热采用时间划分^[2],在交流电源过零小区间内,把直流电压送到电桥作激励电源,在被控对象温度偏低时,电桥的输出信号能点火双向可控硅管,将交流电馈电于加热桥臂上,用过零检测器在交流电过零的一个小区间内断开加热电源,而将低压直流电激励电桥,电桥输出信号经直流放大后再经逻辑电路去控制双向可控硅管的控制极,以决定某些电源周波的通断来达到控制电加热功率的目的。在电桥接近平衡时的微小信号要放大到能足以控制加热电路,需要很高的放大倍数,而高增益的直流放大器会有零点漂移^[3],为了避免零点漂移,我们设计了另一类控制方案,由环境温度扰动及误差反馈信号的复合控制系统。并使用了交流放大器及配以无电感的交流电桥。

所谓无电感交流电桥,就是把每一桥臂的加热电阻丝先对折后再绕在滤光器圆筒上,使这个交流电桥每个桥臂的阻抗呈现纯电阻性,以确切反映电阻丝的温度变化。电桥的四个桥臂由两种材料组成,用电阻温度系数为 $0.00002\text{ 欧}/^{\circ}\text{C}$ /欧漆包锰铜丝作为电阻值比较稳定的两个桥臂($\text{Cu}82.85$, $\text{Mn}12.21$, 直径为 $0.45/0.46$, 电阻率为 $2.73\text{ 欧}/\text{米}$, 在 $0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内,其温度电阻变化率小于 0.00002)。用电阻温度系数为 $0.0039\text{ 欧}/^{\circ}\text{C}$ /欧的高强度漆包线作为电桥的测温两臂,漆包线直径为 0.44 毫米 ,在 20°C 时,电阻率为 $0.168\text{ 欧}/\text{米}$,虽然漆包线的电阻温度系数比镍丝的电阻温度系数要低,但在取材,绝缘及绕制工艺性方面以高强度漆包线较为合适。这种方案比之文献2介绍的方案只用一个桥臂来反映温度的变化,其灵敏度要提高一倍。

(二)

电桥的桥臂参数选择和绕制：就加热功率而言，应能在较低环境温度时，在半小时内可升温到整定值。由于滤光器采取了较好的保温措施，如果粗略地不计半小时内的散热量，则在此时间内，使滤光器获得的热量为：

$$Q = \sum_{i=1}^n M_i C_i (T_2 - T_1) = 0.24pt = 0.24 \frac{U^2}{R} t$$

式中：Q为加热热量单位为卡；

M_i分别为铝筒、硅油、冰洲石、水晶的质量，近似认为是一个实芯铝筒，则

$M = \delta \cdot V = \text{铝的比重} \times \text{铝筒体积单位为克；}$

C_i为对应材料的比热，其中铝的比热为0.21卡/克·度；

T₂为工作温度42℃；

T₁为较低的环境温度这里取为0℃计算；

P以瓦为单位的电加热功率；

U为选定的加热电源电压，一般不超过交流100伏以策安全，这里选用72伏；

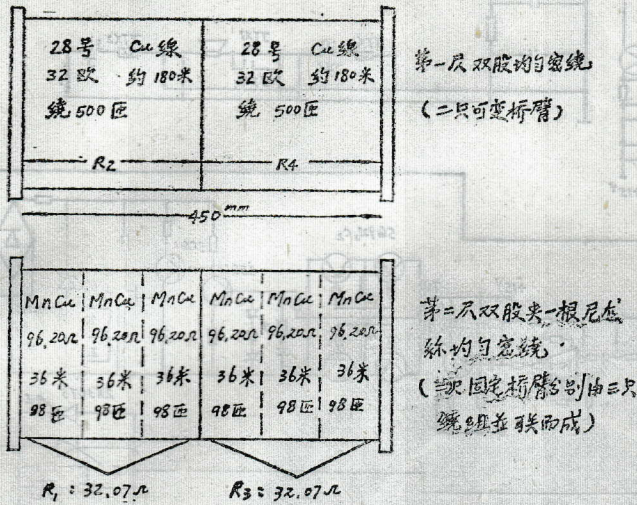
t为加热升温时间，这里取半小时即1800秒；

按上述各参数能估算出电桥的最大加热功率约需180瓦，由此求出每一桥臂的电阻值约为30欧，在42℃±1℃的恒温烘箱内按上述电阻值量取28号直径为0.44毫米的高强度漆色线和0.45毫米直径漆色锰铜丝相应的长度，分别对折后均匀密绕于经氧化绝缘处理过的加热铝筒上，见图1。紧贴铝筒壁用高强度漆包铜线双股均匀密绕二只可变桥臂，在它的外面敷一层很薄的聚脂薄膜，然后在它的上面用锰铜丝均匀密绕二个固定桥臂，为了使第二层也是双股均匀密绕，每一桥臂又分成三段绕制，具体参数见图1注明。滤光器圆筒上绕好四个桥臂后，应加保护套。必须强调指出：一个高精度的温度控制系统，除需要灵敏度高的调节器外，还应配以热损耗尽可能小的保温材料^[3]，滤光器内因其轴向要透光，另外还有传动装置要转动其内的波片，因此无法使用内壁涂银的真空玻璃杜瓦瓶，不过空气的热传导系数也不算大，约为0.027仟卡·米/米²·小时·度，可是空气有热对流，为了使对流损耗降底到最小值，选用一种热传导损失小的保温材料，例如选用热传导系数为0.035仟卡·米/米²·小时·度的2毫米厚羊毛毡包在电桥外面，再选用热传导系数为0.029仟卡·米/米²·小时·度的30毫米厚的发泡塑料作为外层的保温之用。选用30毫米厚的发泡塑料来保温并非最佳值，只是受到机械外形尺寸的限止而折衷选取的。筒子是1978年11月2日绕好的，而后在烘箱内加温到42℃±1℃，用惠斯顿电桥测量四个桥臂电阻值分别为：R₁32.07Ω，R₃32.09Ω，R₂32.17Ω，R₄32.19Ω。四个桥臂的联接见图二所示。它们既作加热又作测温用，电桥不平衡输出电压送入放大器，并由可控硅管来控制电桥的加热电压。

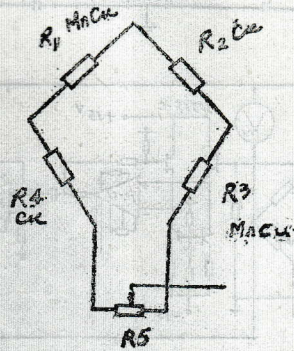
为了能调节恒温值，在电桥的相邻二臂之间串入一只用直径为1.25毫米镍铬丝绕的总电阻为0.8欧拾圈电位器，计算和实测都表明该电位器能将滤光器工作温度在37℃~45℃之间调节，电位器的每卷分辨格值为 $\frac{1}{100}$ 圈，对应每小格刻值的温度调节量为：

$$(45^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C}) / \frac{1}{10} \times \frac{1}{100} = 0.008^{\circ}\text{C}$$

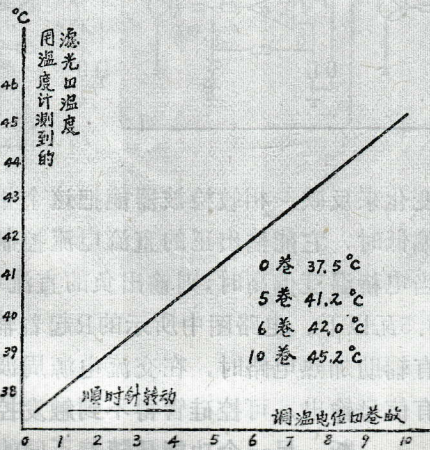
此电位器调节旋钮装在望远镜筒上，为了方便使用者，此处列出卷数与整定温度的线性关系曲线见图三。



图一 滤光器电桥四臂绕制



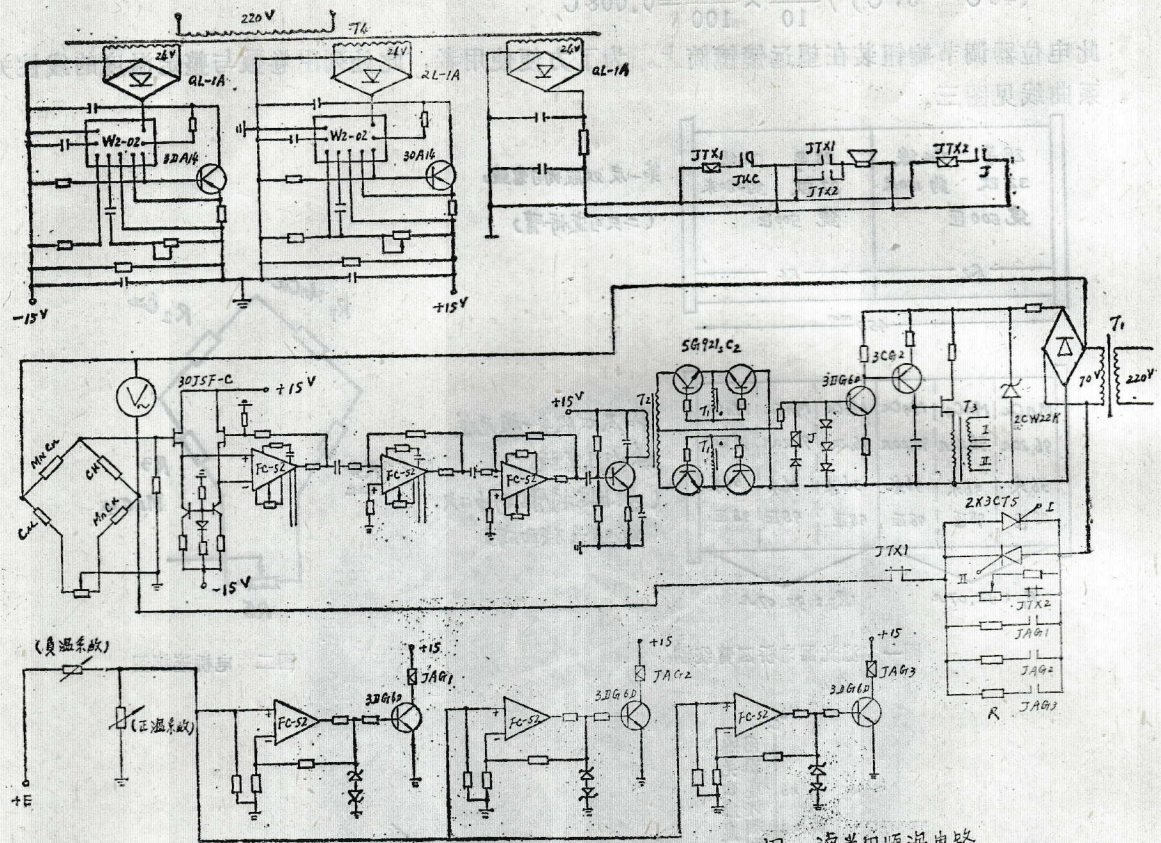
图二 电桥连接图



图三 调温电位器卷数与整定温度关系曲线

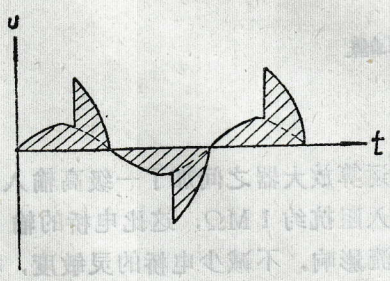
(三)

图四是温度控制系统的整个电路图，图中电桥输出与运算放大器之间加了一级高输入阻抗运算放大器，这一级选用场效应管作差分输入级，其输入阻抗约 $1\text{M}\Omega$ ，这比电桥的输出阻抗大得多，因此可以不计放大器接入电桥后对电桥的分流影响，不减少电桥的灵敏度，根据电桥公式⁽⁴⁾ $K = \frac{U}{\Delta U} = \frac{2(1 + \alpha T)}{\alpha \Delta T}$ ，很容易计算出偏离平衡点 $\frac{1}{200}^{\circ}\text{C}$ 时正个系统的放大倍数。运算放大器与可控硅移相控制电路之间匹配了相敏检波器。这是因为交流电桥对平



图四 滤光器恒温电路

衡点的偏离信号只能以相位的变化来反映，相敏检波器能把这个相位变化转换成具有正、负极性的直流电压，当电桥温度偏低时，它能输出正的直流电压控制可控硅管的移相电路，给电桥馈入相应的加热功率；当电桥温度偏高时，则输出负的直流电压，不但关掉可控硅管，而且能把辅助加热功率限止在0.5瓦以下。电路图中所示的R起着辅助加热作用，它的第一个功能是使电路能自启动，当没有辅助加热电路时，在交流电源周波过零时，可控硅管关断，电桥没有激励电源，自然不会有信号输出，可控硅管得不到触发控制信号，会使正个系统开断；另一个功能是随着不同的环境温度，能将部份加热功率自动补偿到电桥上去。



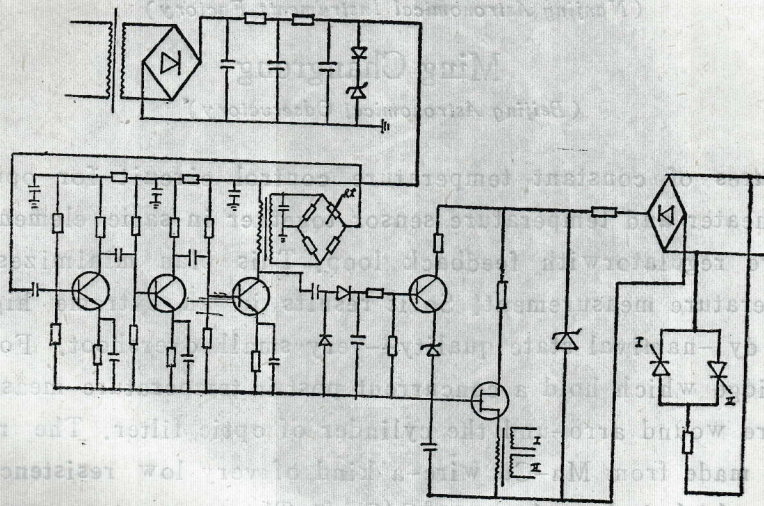
图五 输出电压波形

将反映环境温度的负温及正温热敏电阻串联后接到稳压电源上，取出其分压，把它送入具有不同触发电平的施密特触发器，后者经相应继电器把辅助加热功率按环境温度的要求馈到电桥上去，辅助加热量应低于滤光器的散热量，其差值则由误差反馈信号来控制，这就是按环境温度扰动及误差反馈的复合控制系统，这种系统能提高恒温调节的精度。用示波器来观测馈于电桥上的电压波形如图五所示。由波形图可见，有二个电压相叠加，一个是小幅值的正弦波，此幅值随环境温度而变，环境温度下

降, 正弦波幅值上升, 此即为按扰动调节的辅助加热电压, 在此正弦波上还叠加一个具有前沿可变相位的全波可控硅触发波形, 此即由电桥测温误差信号控制的加热电压。相敏检波输出级还接有极化继电器, 以判别温度是否高出整定值。若高出整定值则极化继电器触点经中间继电器把降压电阻串入辅助加热回路, 使辅助加热功率减到 0.5 瓦以下。另外还有一只温度继电器装在滤光器筒子内, 万一温度超出整定值 3°C , 即能切断加热电源, 上述两项措施起到双重保护的目的。

(四)

由于光学机械结构上的考虑, 滤光器两端不能向外圆柱面那样用泡沫塑料保温, 在环境温度变化时, 不能保证滤光器工作温度的稳定性。为此在二个端面分别加了二套简化的恒温控制电路。用热敏电阻作测温元件, 检测出来的误差信号经放大、检波后去触发可控硅管, 控制加热电阻丝的电加热功率, 线路见图六。端面整定温度应低于 42°C 。



图六 端面恒温电路

(五)

已试制成的滤光器恒温控制电路, 用刻度值为 $\frac{1}{100}^{\circ}\text{C}$ 的水银温度计, 配以读数显微镜读测, 能估读出该滤光器的温度调节精度已达到 $\pm \frac{1}{200}^{\circ}\text{C}$ 。在试测中我们故意将整定温度的拾圈电位器相对平衡点转动半小格, 此值相当于 0.004°C 的分辨率, 当整定值减低 0.004°C 时, 由示波器上看到的可控硅管触发波形消失, 直到新的平衡温度时才又出现, 当整定值升高 0.004°C 时, 可控硅管导通角展宽。由此可见, 系统的调节分辨率已优于 $\pm 0.005^{\circ}\text{C}$ 。在 1982 年 9 月份曾连续测试了一天一夜恒温精度已达到 $\frac{1}{200}^{\circ}\text{C}$ 。此恒温控制电路已被移植到本厂生产的三合色球望远镜上, 自 1979 年 10 月以来连续通电数年未发生任何故障。

参 考 文 献

1. 褚方胜彦 现代控制工程
2. Simplify and improve control by combining temperature sensor and heater
Electronic Design 1979 oct. 25, P. 106
3. Precision temperature-controlled environments for ultrasonic fused-quartz delay lines
Electronic Engineering 1967 NOV, P. 706
4. K. Г. 卡兰捷耶夫著 电桥理论与计算

CONSTANT TEMPERATURE CONTROL CIRCUIT FOR OPTIC FILTER

Hou Huifang

(Nanjing Astronomical Instruments Factory)

Ming Changrong

(Beijing Astronomical Observatory)

The features of constant temperature control circuit for optic filter is holding the heater and temperature sensor together in same elements. It forms a temperature regulator with feedback loop. This plan minimizes the delay time of temperature measurement. So it results in an extreme high accuracy with a good dynamic quality—very small overshoot. Four windings of weston bridge which hold a concurrent post in temperature measuring element and heater are wound around the cylinder of optic filter. The reference bridge arms are made from Mn-Cu wire—a kind of very low resistance-temperature constant which is less than $10^{-6}\Omega/\Omega \cdot ^\circ\text{C}$. The temperature measuring bridge arms are made from copper wire which has the resistance-temperature constant of about $0.004\Omega/\Omega \cdot ^\circ\text{C}$, all four bridge arms are folded into two halves to eliminate the inductance effect. The constant temperature accuracy measured practically is within $1/200^\circ\text{C}$. The circuit operates stably and reliably.