

不同分布温度光强单位的分光光度法检查

李 同 保 孙 虹

(中国计量科学研究院)

一、前 言

我国光度基准,是按国际计量委员会 1948 年和 1967 年的坎德拉定义建立起来的,与铂凝固点黑体比对,得到 2045K 副基准灯组后,借助兰玻璃(CC-10)作目视异色测光,从而建立了 2356K 副基准灯组和 2859K 工作基准灯组。在目视异色测光中借助于兰玻璃达到的色匹配,实际上并不可能使光源的分光分布相等,所以,测光值就依赖于观察者的光谱光效函数和眼睛状态。在用客观光度头进行异色测光时,需要对接受器的相对光谱灵敏度作精密测量,并对由于接收器相对光谱灵敏度偏离标准光谱光效函数而产生的偏差作一修正,这就限制了该种异色测光法所能达到的准确度。与此相反,用分光光度法作异色测光时,可以完全不考虑接受器光谱灵敏度的影响,即先对两个光源作分光比较,然后考虑标准光谱光效函数,再对光强比、光通量比等进行评价。但是在被比较的两个灯的型状、大小、灯丝均匀性、配光特性等存在差异时,准确测量分光辐射强度比(或分光辐射通量比)通常是很困难的。J. Terrien 以分光测光法和同色测光法相结合,在异色测光时是改变同一个灯的点燃电压(电流)作分光测光。在不同的灯之间则是作同色测光,从而成功地解决了这一问题。

国际计量局和一些国家的标准实验室曾用此种方法检查光度单位和建立高分布温度的光度标准。我们进行这一工作的直接目的,是检查我国现在保存的不同分布温度光强副基准灯组体现的坎德拉之间的关系,而更重要的原因则是考虑到国际上光度基本单位的重新定义和测光由宽带测量向分光测量的过渡,使我国在确定最大光谱光效率(K_m 值)时,有较高的准确度。

二、用 Terrien 法作光强过渡的原理

设有分布温度不同的两组光强标准灯,其分布温度分别为 T_1K 和 $T_2K(T_2 > T_1)$,且分布温度为 T_1K 的灯组,其光强值是已知的,现在试用 Terrien 法来得到分布温度为 T_2K 的标准灯组的光强值。我们取一个媒介灯 L ,先让其在分布温度 T_1K 下点燃,与分布温度为 T_1K 的光强标准灯组作同色测光,确定灯 L 在分布温度为 T_1K 时的光强值,然后,通过分光测光求出灯 L 在分布温度为 T_2K , T_1K 时的分光辐射强度比值,并计算出两种分布温度下的光强比,于是灯 L 在分布温度 T_2 时的光强值也就确定了。最后,通过灯 L 与分布温度为 T_2 的标准灯组作同色测光,也就确定了该标准灯组的光强值。

这样就完成了不同分布温度下的光强过渡。显然,如果分布温度为 T_2 的光强标准灯组,其光强值是由其它方法(如目视法)建立的,则这就可以检查其光强单位的准确性。

用灯 L 在分布温度 T_2K 和 T_1K 的分光辐射强度比,来计算光强比的方法如下:

设在分布温度 T_2K 点燃时观测方向上波长为 λ 的分光辐射通量为 $E_{2\lambda}$,在分布温度 T_1K 点燃时,分光辐射通量为 $E_{1\lambda}$,在波长 λ 处的标准光谱光效函数为 V_λ ,那么光强比 R 就可表示为

$$R = \frac{\int_{400\text{nm}}^{750\text{nm}} E_{2\lambda} V_\lambda d\lambda}{\int_{400\text{nm}}^{750\text{nm}} E_{1\lambda} V_\lambda d\lambda}, \quad (1)$$

或近似地考虑为

$$R = \frac{\sum_{400\text{nm}}^{750\text{nm}} E_{2\lambda} V_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{400\text{nm}}^{750\text{nm}} E_{1\lambda} V_\lambda \Delta\lambda}. \quad (2)$$

在此设波长为 λ 时的分光辐射通量比(这时也就是灯 L 观测方向上的分光辐射强度比)为 R_λ , 即:

$$E_{2\lambda} = R_\lambda \cdot E_{1\lambda}, \quad (3)$$

将(3)代入(2)式中就有

$$R = \frac{\sum_{400\text{nm}}^{750\text{nm}} R_\lambda E_{1\lambda} V_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{400\text{nm}}^{750\text{nm}} E_{1\lambda} V_\lambda \Delta\lambda}. \quad (4)$$

在式(4)中 R_λ 是分光光度法测得的值, V_λ 是已知的, $E_{1\lambda}$ 的准确值虽然不知道,但因为分布温度 T_1K 的白炽灯的分光分布与温度为 T_1K 的黑体的分光分布有极好的近似,在此就可以用黑体的分光分布代入。实际上对 T_1 的值,并不要求很准确。目前分布温度的确定精度是非常宽裕的。

该方法的一个方便之处还在于实测 R_λ 时并不需要在各个波长上进行,只要在可见区的几个波长上测量就够了,其理由是下述经验公式在很高的精度内成立:

$$\ln R_\lambda = \frac{a}{\lambda} + b, \quad (5)$$

这里 a 、 b 是常数。

三、2045K、2356K 以及 2859K 光强单位的 Terrien 法检查

在实际应用 Terrien 法作光强单位检查的实验中,特别注意了以下三个环节: 媒介灯的选择,媒介灯光强值的标定,以及分光辐射强度比值的测量。从测光标准灯 BZ 系列中选取了 4 个灯作为媒介灯。对于 2045K-2356K 是用两个 BZ₂ 型灯,该种灯是真空型,具有斜倒锥型的玻壳、直丝单平面排列的灯丝、优良的电气、机械和光学特性;对于 2356K-2859K 是用两个 BZ₃ 型灯,该种灯为充气型,具有斜倒锥型的玻壳、卷丝单平面排列的灯丝、优良的电气、机械和光学特性。作为媒介灯、不仅需要像测光标准灯那样,具有良好的发光稳定性,而且还要

求在不同分布温度下反复点燃时,具有良好的发光复现性,这一点是测量光强比时所必需的。我们所选取的灯在达到发光稳定状态后,发光复现性为 0.03%。

媒介灯的光强值,是用一个数字式光电光度计在测光光具座上相对光强副基准灯组或工作基准灯组标定的。标定时光电光度计读数精度为 0.02%,其直线性经过检查,非线性的影响可以忽略不计。标定基本上是等距离进行,这样,就避免了由于距离测量、背景杂光等不同可能引入的误差,总计光强值标定精度优于 $\pm 0.1\%$ 。

媒介灯的分光光强比测量,是用一个双单色仪进行,装置配置如图 1 所示。

灯 L 发的光,直接照明双单色仪 $D330/D331$ 的入射狭缝 S_1 ,从出射狭缝 S_2 出来的光,经过毛玻璃 M 均匀照明光电倍增管 P 。这种情况下,测得 S_1 处的分光辐射照度比也就等于测得了灯 L 在测量方向上的分光辐射强度比。使灯 L 直接照明入射狭缝可能产生如下三个问题:

1. 光束在单色仪内不是均匀的分布,在第一个准直镜上,由于小孔成像原理,形成灯丝的像,如果该象过大,灯丝上下两端和左右两边有可能被准直镜限制光栏所挡掉,这就会造成测量误差。

2. 光束在单色仪内并不充满准直镜等,这就可能由于单色仪准直镜、光栏等光学部件的光学非均匀性,引入测量误差。

3. 虽然在出射狭缝 S_2 处得到入射狭缝 S_1 的像,但光束一离开 S_2 ,就又是非均匀分布的落到光电倍增管上,这样,由于光电倍增管阴极面的灵敏度非均匀性,也要引入误差。

我们的情况,对于 2045K-2356K,灯 L 到 S_1 的距离为 1.1M 左右,对于 2356K-2859K,距离为 1.5M 左右(距离的选定,大致等于光强值标定时的距离)。在准直镜上,不会出现灯丝像被挡掉的情况。对于第二个问题,由于光学部件非均匀性可能引入的误差,我们改变光束在光学部件上的位置分布,在测量精度以内,没有发现它对测量有什么影响。对于第三个问题,可以用两种方法加以克服。一是在狭缝后用一透镜,将出射狭缝 S_2 的像成在光电倍增管的阴极面上。二是在光电倍增管阴极面前一定距离上,加一毛玻璃,使光电倍增管阴极面得到均匀照明。我们采用了后一种方法。灯 L 前的档屏 ϕ 是随灯一起使用的,以消除灯的背景杂光,档光板 G 在测量时用作光开关。

灯 L 用直流可控硅调压稳压电源供电点燃,用电位差计测量串联在回路中标准电阻上的电压降来控制灯的点燃电流。在测量中,点灯电流的稳定性保持在 0.005%,这时灯的稳定性为 0.03%。

所用的接收器,是从端窗式具有多硷光电阴极面的 GDB-23 型光电倍增管中挑选出来的。其输出光电流经 $I-F$ 转换,直接作数字显示。光电倍增管及其光电流读数系统的直线性,用双光栏法进行了试验,在光电流小于 $1\mu A$ 变化 10 倍的情况下,非直线性因子小于 0.03%。双单色仪的波长分度经过校准,偏差小于 0.7Å。

分光辐射强度比的测量,在 0.45、0.50、0.53、0.55、0.57、0.60、0.65、0.70 μm 等 8 个波长上进行。在调定波长以后,使灯交替在两个不同的分布温度点燃,等发光稳定后,测出光电流值。读数时,采取等时间间隔,取周期平均值的方法,以提高读数的精度。将测到的分光辐射

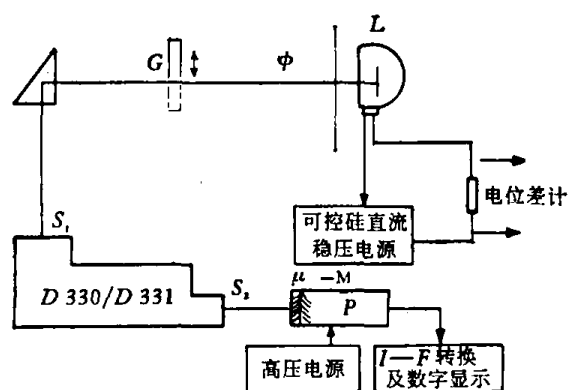


图 1 分光光强比测量时的装置配置

强度比,按最小二乘法,求出式(5)中的常数 a 和 b ,然后再将 a 、 b 值代入式(5)中,求出可见光区每间隔 10nm 的 R_i 值,最后从公式(4),求出两种分布温度下的光强比值 R 。

四、 用 Crova 波长法作光强单位检查

Crova 波长法的原理是很早就提出的。设有两个不同光谱分布的发光体,其光谱能量分布分别为 $E_1(\lambda)$ 和 $E_2(\lambda)$,那么就可以按下式来定义 Crova 波长

$$\frac{E_1(\lambda_c)V(\lambda_c)}{E_2(\lambda_c)V(\lambda_c)} = \frac{\int_{400nm}^{750nm} E_1(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int_{400nm}^{750nm} E_2(\lambda)V(\lambda)d\lambda} \tag{6}$$

λ_c 就称为 Crova 波长,显然两个光源在 Crova 波长的单色强度比,可以通过测量两个光源的光强比来确定。

(6)式还表明,要准确确定 Crova 波长,就需要对被测光源的光谱能量分布进行仔细测量,这样, Crova 波长的优点就失去了意义。但对于白炽钨灯这种特殊情况,由于其分光分布可以用与它相同分布温度下的黑体分布来代替,所以这就使 Crova 波长法有了使用价值。

在白炽灯这种特殊情况下,为了确定 λ_c ,可以引用黑体辐射的数据,按极限 Crova 波长公式进行理论上计算。

但白炽灯的分光分布,毕竟与黑体辐射还有一点差别,为此,用按特伦法得到的白炽灯的实测结果,求出 Crova 波长,并和按黑体辐射计算的结果作了比较,两者是基本一致的。因此对白炽灯的异色测光使用 Crova 波长法时,可以用相同分布温度下的黑体辐射的 Crova 波长值。例如,对于 2045K-2356K 的测量。用 $\lambda = 577.08mm$ 。对于 2356K-2859K 的测量,用 $\lambda = 572.04mm$ 。用 Crova 波长法测量时的装置配置和测量程序都与 Terrien 法大致相同。这里不再重复。

五、 实验 结果

用 Terrien 法和 Crova 波长法试验的结果,示于表 1。两种方法的结果在很高的精度内

表 1 试 验 结 果

标 准 灯	BZ5-907	BZ5-1117	BZ6-1022	BZ6-1256
2045K 光强值	19.257cd	20.196cd		
2356K 光强值	102.13cd	102.33cd	90.63cd	85.04cd
2859K 光强值			600.0cd	578.4cd
光强比 R_V	5.3035	5.0668	6.6203	6.8015
Terrien 法比值 R_T	5.2874	5.0430	6.6146	6.7964
Crova 波长法比值 R_C	5.2843	5.0402	6.6113	6.7949
$R_s = \frac{R_T + R_C}{2}$	5.2858	5.0416	6.6130	6.7957
R_V/R_s	1.0034	1.0050	1.0011	1.0008
R_V/R_s	1.0042		1.0010	

是一致的。分光辐射强度比值测量误差的估计列于表2。

表2 分光光度测量时各项误差的估计

分光辐射强度比值测量的偶然误差	±0.05%
光电倍增管及读数系统非线性影响	±0.02%
波长调整误差	±0.03%
光谱宽度误差	<5×10 ⁻⁵
杂散光误差	<5×10 ⁻⁵
分布温度定点不确定性引入的误差	±0.03%
方、和、根	±0.07%

表2所列各项误差的估计中,着重来说明一下以下各项误差:

(1)波长调整的误差,在波长 λ 上,比值 α_λ 的相对误差与波长的相对误差近似有如下的关系:

$$\frac{d\alpha_\lambda}{\alpha_\lambda} = -\ln\alpha_\lambda \cdot \frac{d\lambda}{\lambda} \quad (7)$$

对于一定的过渡区间(从低分布温度向高分布温度) $\ln\alpha_\lambda$ 随着 λ 的增大而减小,所以同样的波长相对误差,长波长方面引起的 α_λ 值相对误差要比短波长方面小,我们以Crova波长为例,看1Å的波长误差,能引起比值多大的误差。

对于2045K-2356K

$$\frac{d\alpha_\lambda}{\alpha_\lambda} = -\ln 5 \cdot \frac{1}{57710.9} = 0.028\%$$

对于2356K-2859K

$$\frac{d\alpha_\lambda}{\alpha_\lambda} = -\ln 6.6 \cdot \frac{1}{5720.4} = 0.032\%$$

(2)光谱宽度误差。以 $\lambda = 0.55\mu\text{m}$ 波长为例,考查该项误差的大小。使用了两个方法,一个是根据实测的光谱响应数据,计算的修正量为 1×10^{-5} 。另一方法是,改变光谱宽度看对比值测量结果的影响。结果表明,在测量误差范围内看不出影响。

(3)杂散光误差,根据对D330/D331杂散光品质的实测数据,计算表明,该项误差,为 10^{-5} 数量级。

最后对于整个试验工作的不确定度估计如下:

1. 光强值标定不确定度为±0.1%;
2. 分光比值测量的不确定度为±0.07%;
3. 2045K-2356K 光强单位检查,包括了两次光强值标定和一次分光光度法光强过渡,其不确定度为±0.16%;
4. 2045K-2859K 光强单位检查包括了三次光强值标定和二次分光光度法光强过渡,其不确定度为±0.2%。

测量结果表明,我国现在保存的光强单位2356K坎德拉比2045坎德拉小0.4%,2859K坎德拉比2045K坎德拉小0.5%。这说明我国用兰玻璃借助目视方法进行异色测光建立起来的2356K,2859K光强单位没有太大偏离。我国现在保存的2356K、2859K光强单位相对中国光度基准的不确定度为0.20%及0.50%。

如果按分光光度法的结果,建立2356K和2859K光强单位,则可使这每个分布温度下的光强单位不确定度提高到±0.16%和±0.20%,这对提高 K_m 值实验确定的准确度是有重要

意义的。

参 考 文 献

- [1] Terrien, J., *Essais de Photométrie Hétérochrome Sur des Lampes à Incandescence*, Procès-Verbaux C.I.P.M., 23-B (1952), 124.
- [2] 铃木守, 电气试验所研究报告, 第 678 号, 1969.
- [3] 大场信英、铃木守、香取宽二, 电试集报, 23 (1959), 40.
- [4] 铃木守、香取宽二, 电试集报, 26 (1962), 115.

从我国古代极光、地震记录的周期分析 看太阳黑子周期的稳定性

· 罗葆荣 李维宝

(中国科学院云南天文台)

自从1843年 Schwabe 发现太阳活动呈现 11 年左右周期以来,许多学者利用近 300 年来的资料研究了与太阳活动相关的极光、地磁、地震等等地球物理现象的周期,得出它们也存在 11 年左右的周期^[1]。这些地球物理现象 11 年周期的存在,除了证明它们的变化与太阳活动相关外,也为太阳黑子的 11 年周期提供了有力的佐证。

近年来, Eddy^[2] 根据树木年轮中¹⁴C 含量的变化等作依据,对太阳活动 11 年周期提出了异议,认为 11 年周期只不过是近期的一种暂时现象。这里我们且不论 Eddy 所根据的某些资料的弱点(譬如¹⁴C 含量在高层大气中的变化到地球表面的变化需要 10—50 年的时间迟滞,用这样粗糙的时间变化试图对 11 年周期的是否存在得出结论是困难的),仅就我国丰富的太阳黑子记录和与之有关的某些地球物理现象的记录进行分析,就可以对 11 年周期是否长期存在得到进一步证明。

在这方面,文献[3]对我国古代(公元前 43 年——公元 1638 年)的 112 次黑子记录进行了相关统计分析,得出太阳大黑子活动存在着 10.60 ± 0.43 年和 62.2 ± 2.8 年等周期,前者和近代观测所得的 11 年周期相符。最近在文献[4]中,又利用 Eddy 整理的 Maunder “极小期”(公元 1642—1715 年)稀少的黑子记录,用相关统计方法得出在 Maunder “极小期”也存在着 11 年左右周期的结论。

本文拟用我国历史上丰富的极光和地震记录进行自相关统计和频谱分析,试图从地球物理的角度,进一步对近 2000 年来的太阳活动及与之相关的地球物理现象的变化周期得出一个看法。

一、 资料选取和统计方法基础

我们所用的极光资料是根据自然科学史研究所编的我国历史上的极光年表,地震资料是根据我国的地震目录。现将极光和地震资料选取的有关参数列于表 1。

本文 1977 年 9 月 5 日收到。

· 362 ·