

日射仪器的温度特性

吕文华 石恒志

(国家气象局气科院计量所)

提 要

本文主要叙述广泛使用于气象、农业、能源、科研等部门测量太阳辐射的 DFY-1型直接辐射表和 DFY-2型天空辐射表的温度特性。

一、引 言

随着业务工作和科研工作的发展,对日射仪器测量准确度的要求日益提高。为此,世界气象组织仪器与观测方法委员会在相应的指导性文件中明确指出,对直接辐射表和天空辐射表应采取温度补偿措施或进行温度修正。在这种情况下,我们选择了目前广泛使用的 DFY-1型和 DFY-2型日射仪器,进行了较全面的温度特性测试与研究。结果表明,要达到世界气象组织对这类日射仪器提出的准确度要求,必须对它们进行温度补偿或温度修正。

二、测试设备与测试方法

测试设备由人工光源和控温箱等组成,如图1所示。

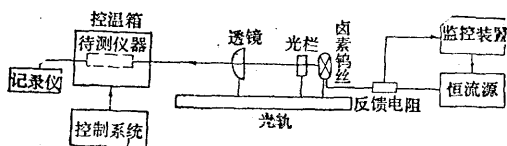


图1 温度特性测试装置示意图

我们采用了高稳定度的恒流源来供给光源以恒定电流,同时还通过反馈信号进行监控。

控温箱在 -50°C — $+50^{\circ}\text{C}$ 范围内,可实现在整度数点上的定点温度控制,精度为 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 。试验区在控温箱内部,辐照光束通过箱门上的双层石英玻璃窗口进入试验区。在试验区内放置无腐蚀性的干燥剂,以防止低温时在石英玻璃窗口结霜。用来固定被测仪器的支架采用热胀系数较小、具有足够强度的材料制成,以保证负载或温度变化时,不致因变形影响到测试精度。

整个测试工作均在暗室中进行,测试温度分别选在 $+45^{\circ}\text{C}$ 、 $+30^{\circ}\text{C}$ 、 $+15^{\circ}\text{C}$ 、 0°C 、 -15°C 、 -30°C 、 -40°C 。测试顺序采取由高温到低温逐点进行。在每一温度点上,均

采用两种辐照度进行测试,以确定合理的辐照度参数。在各试验点上的稳定时间都在30分钟以上。被测仪器的输出采用精度优于0.1%、分辨率为 $1\mu\text{V}$ 的数字电压表作测量记录。为了读数的准确,各测试点连续10次读数,然后取其算术平均值为该点的测试数据。

三、测试结果

根据各温度点上的测试结果,利用下式分别计算出各相邻两点间的平均温度系数:

$$\alpha(t) = \frac{N(t) - N(t-\Delta t)}{\Delta t \cdot N(t)} \quad (1)$$

式中, $N(t)$ 、 $N(t-\Delta t)$ 分别为相邻两温度点 t 、 $t-\Delta t$ 上测试读数的平均值; Δt 为相邻两测试点的实测温度差。

利用公式(1)将经过整理后的测试结果列于表1和表2。

从上述结果可以看出:①直接辐射表的温度系数基本上为负值,且不为常数,是温度的函数,其平均值在 $(-5-10) \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 之间;②天空辐射表的温度系数也是温度的函数,其平均值在 $(-5+5) \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 之间;③日射仪器的温度特性与测试时所采用的辐照度大小基本无关。

为了避免温度变化引起仪器灵敏度的改变,一般控制温度在 20°C 左右进行灵敏度检定。这样,利用下式也可以求出在不同温度时的仪器灵敏度的温度订正系数:

$$F(t) = \frac{N(t)}{N(20)} \quad (2)$$

式中, $N(t)$ 为温度 t 时测试数据的平均值, $N(20)$ 为 20°C 时测试数据的平均值。

根据测试数据,利用公式(2),可描绘出仪器灵敏度的温度订正曲线。查出灵敏度的温度订正系数 $F(t)$ 值,乘以检定证上给出的灵敏度值,即为温度订正后的仪器灵敏度。

表1 直接辐射表温度特性测试结果

No:7111			No:5345	
温 度 (°C)	$\alpha(t)$		温 度 (°C)	$\alpha(t)$
	350W/m ²	580W/m ²		170W/m ²
45~30	-1×10^{-4}	-1×10^{-4}	50~40	-5×10^{-4}
30~20	-9×10^{-4}	-9.8×10^{-4}	40~30	-7×10^{-4}
20~10	-15×10^{-4}	-12×10^{-4}	30~20	-12×10^{-4}
10~0	-8×10^{-4}	-7.8×10^{-4}	20~10	-7×10^{-4}
0~-15	-6×10^{-4}	-6.9×10^{-4}	10~0	-11×10^{-4}
-15~-30	-7×10^{-4}	-6.7×10^{-4}	0~-10	-9×10^{-4}
-30~-40	-3×10^{-4}	-1.6×10^{-4}	-10~-20	-11×10^{-4}
			-20~-30	-9×10^{-4}
			-30~-45	-6×10^{-4}

表2 天空辐射表温度特性测试结果

No:69055			No:2263		
温 度 (°C)	$\alpha(t)$		温 度 (°C)	$\alpha(t)$	
	420W/m ²	723W/m ²		484W/m ²	821W/m ²
45~30	1×10^{-4}	1.4×10^{-4}	45~30	-2×10^{-4}	-2×10^{-4}
30~15	3.4×10^{-4}	3.6×10^{-4}	30~15	-4×10^{-4}	-4.8×10^{-4}
15~0	4.8×10^{-4}	5×10^{-4}	15~0	-5.7×10^{-4}	-2.2×10^{-4}
0~-15	7.3×10^{-4}	7.4×10^{-4}	0~-15	0	-0.7×10^{-4}
-15~-30	8.5×10^{-4}	8.8×10^{-4}	-15~-30	-1.5×10^{-4}	-1.4×10^{-4}
-30~-40	6.9×10^{-4}	6.2×10^{-4}	-30~-40	-3.6×10^{-4}	-2.3×10^{-4}

注: No.69055为国产DFY-2型天空辐射表, No.2263为苏联雅尼谢夫斯基天空辐射表。

图2为No.5345直接辐射表的灵敏度温度订正系数。

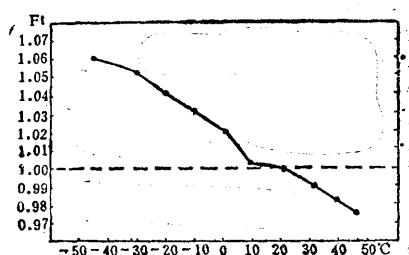


图2 直接辐射表灵敏度的温度订正系数

四、初步分析与验证

为了评价上述测试结果, 现以直接辐射表和天空辐射表在测量过程中的热平衡状态来进行分析、讨论, 并引用一些实际对比观测资料来进行论证。

考虑到温度性能测试时, 直接辐射表和天空辐射表具有近似的热量平衡状态, 可以将它们的热量方程简化为:

$$S = \left(\frac{A_2}{A_1} h_\beta + \frac{A_3}{A_1} h_r + \frac{a}{A_1 \delta} \lambda \right) \times \frac{E}{\beta(1 + \alpha_E t)} \quad (3)$$

式中, S 为辐照度; A_1 为感应部分受辐照面积; A_2 为对流换热面积; A_3 为辐射换热面积; a/δ 为热电堆传热面积与传热厚度之比; h_β 为自由对流换热系数; h_r 为辐射对流换热系数; E 为仪器输出的热电势; β 和 α_E 为与热电堆特性有关的常数; t 为温度; λ 为热电堆的热传导系数。

再将 (3) 式变换成灵敏度的形式:

$$K = \frac{E}{S} = \frac{1 + \alpha_E t}{k(A_2 h_\beta + A_3 h_r + \frac{a}{\delta} \lambda)} \quad (4)$$

式中, K 为仪器灵敏度; $k = (A_1 \beta)^{-1}$ 。

将上式求导并将相应的数值代入, 则可分别算出直接辐射表与天空辐射表在不同温度下的灵敏度温度系数。表3和表4分别给出各整10°C点上的灵敏度温度系数值。

表3 直接辐射表灵敏度温度系数的理论计算值

温度 (°C)	+50	+40	+30	+20	+10	0	-10	-20	-30	-40	-50
$\frac{dK}{Kdt} (\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C})$	-5.7	-6.0	-6.3	-6.5	-6.9	-7.2	-7.6	-8.0	-8.4	-9.0	-9.5

表4 天空辐射表灵敏度温度系数的理论计算值

温度 (°C)	+50	+40	+30	+20	+10	0	-10	-20	-30	-40	-50
$\frac{dK}{Kdt} (\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C})$	3.0	3.1	3.2	3.5	3.5	3.6	3.8	3.5	4.1	4.3	4.5

由理论计算结果可以看出, 与测试结果是基本一致的。

这里需要强调的是, 上述所有分析与计算都是在近似的意义上进行的, 或者作了相似性、等效性或线性假定, 或者在选取参数与实测数据采用了平均值等。这使得某些测试结果与理论计算结果还不完全一致。

五、日射测量中的温度误差估计

太阳辐射的测量是在全国各地的自然条件下进行的。其温度变化范围在 -45°C — $+45^{\circ}\text{C}$ 之间。从以上对日射仪器灵敏度的温度特性测试中, 已经得出了平均温度系数。现利用其结果分别对直接辐射表和天空辐射表在自然条件下与辐射电流表配套使用时, 其测量结果中温度变化引起的误差进行估算。

直接辐射表与辐射电流表配套使用时, 如果仪器常数 a 的平均温度系数为 $2 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$, 并按 $+20^{\circ}\text{C}$ 为基点给出温度修正值, 那么, 测量结果中的最大温度误差 (-45°C 时) 为:

$$\Delta(t)_{\max} = 65 \times 2 \times 10^{-3} = 13\%$$

天空辐射表与辐射电流表配套使用时,

如果天空辐射表的灵敏度的平均温度系数按 $-5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 计算, 其温度修正值也按 $+20^{\circ}\text{C}$ 为基点给出, 那么, 当天空辐射表的内阻按 $R_1 = 40 \Omega$ 计算时, 测量结果中的最大温度误差为:

$$\Delta(t)_{\max} = (-2.6 \times 10^{-4} + \frac{40}{160} \times 43 \times 10^{-4} + 5 \times 10^{-4}) \times 65 \approx 8.5\%$$

由此可见, 目前广泛使用的 DFY-1 型和 DFY-2 型辐射表, 如果不设温度补偿或温度修正, 其测量结果仅温度误差一项最大就可达到 13%。这就造成了观测资料的极大失准, 不能不引起使用单位的高度重视。为此, 建议对现用及新研制的日射仪器采取温度补偿措施, 即在仪器结构上增加温度补偿装置, 或给出温度特性曲线与数据的修正值。

参 考 文 献

- [1] K. Я康德拉捷夫, 太阳辐射能, 科学出版社, 1962 年。
- [2] A. J查普曼, 传热学, 冶金工业出版社, 1984 年。
- [3] 周允华等, 热电式相对日射表温度效应的测量, 气象, 1978 年 2 期。

Temperature characteristics of solar radiation instruments

Lu Wenhua Shi Hengzhi

(Academy of Meteorological Science, S. M. A.)

Abstract

This paper is mainly presented the temperature characteristics of the DFY-1 pyrhemometers and DFY-2 pyranometers which have been widely used to measure the solar radiation in meteorology, agriculture, energysource, research, etc.