

杨云, 丁蕾, 王冬. 总辐射表夜间零点偏移试验与分析[J]. 气象, 2010, 36(11): 100-103.

# 总辐射表夜间零点偏移试验与分析

杨 云 丁 蕾 王 冬

中国气象局气象探测中心, 北京 100081

**提 要:** 总辐射表夜间零点偏移试验在夜间晴天条件下, 采用室外平行对比法对不同型号的总辐射表的零点进行测试。通过分析, 分别比较了黑白型和全黑型总辐射表、国产与进口总辐射表夜间零点偏移的大小, 并分析了形成零点偏移的原因。试验结果表明, 在夜间晴天条件下国产总辐射表的零点偏移小于  $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。通过总辐射表感应面向下水平安装和加盖试验也验证了零点偏移确实是由“冷天空”所致。

**关键词:** 总辐射表, 零点偏移, 散射辐射

## Experiments and Analysis of Pyranometers on Nighttime Zero Offset

YANG Yun DING Lei WANG Dong

Meteorological Observation Center, CMA, Beijing 100081

**Abstract:** The zero offset experiments for pyranometers were done outside in the night of clear day using the comparison method. On the basis of the experiments, the zero offsets of different pyranometers (the black-white pyranometers and all-black pyranometers, the homemade and imported pyranometers) were compared respectively. The causes for zero offset were analyzed. By analysis of the experimental data, it was shown that the zero offset of the homemade pyranometers was less than  $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  in the night of clear day. The experiments, in which the sensing surface of pyranometers was installed downwards and a lid was put on the pyranometers, all demonstrated that the zero offset was caused by the cold sky effect indeed.

**Key words:** pyranometer, zero offset, diffuse radiation

## 引 言

太阳总辐射是指水平面上, 天空  $2\pi$  立体角内所接收到的太阳直接辐射和散射辐射之和。它是辐射观测的最基本项目, 可用总辐射表直接测量<sup>[1]</sup>。热电堆式总辐射表可分为黑白型和全黑型。从 20 世纪 50 年代开始, 我国气象观测台站就把总辐射作为重要的观测要素之一, 所用仪器为黑白型天空辐射表, 它是由前苏联进口或仿制品。20 世纪 90 年代初期, 气象台站的辐射仪器全部换型, 启用我国自行研制的遥测太阳辐射测量仪器即全黑型总辐射表。太阳辐射测量一直采用热电堆式传感器, 但热电堆式传感器存在

着零点偏移。国外大量试验研究得出总辐射表的零点偏移由“冷天空”所形成, 日间也存在, 而且比夜间还要大, 且为负值, 直接导致了对短波辐射的低估<sup>[2]</sup>。但在测量中通常零点偏移并没有进行修正, 这样就引起了测量误差。为了减小这一误差, 常用的方法就是对仪器强制加热、强迫通风<sup>[3]</sup>。

在总辐射测量中零点偏移误差所占比例不大, 不予考虑不会造成太大的相对误差, 但在散射辐射测量中, 因散射辐射用总辐射表加遮光来测量, 特别是晴天时散射辐射只占总辐射的百分之几至百分之十几, 如果忽略, 会造成较大的相对误差<sup>[4]</sup>。目前我国气象辐射站常规观测中对零点偏移的大小没有考虑, 但随着太阳辐射测量准确度的提高, 大气本底站和基准辐

射站都使用零点偏移相对小的辐射仪器并对其强制加热和通风以减少零点偏移对测量结果的影响。

目前国内还没有对总辐射表的零点偏移进行系统的研究和测量。为了解国产总辐射表与进口总辐射表零点偏移的大小,2007 年以来,在夜间晴天条件下,对黑白型和全黑型总辐射表的夜间零点进行了多次测试,并对试验结果进行比较和分析。

### 1 试验方法

试验方法采用室外平行对比法<sup>[5]</sup>。为使测量结果准确并具有可比性,试验前依据《总辐射表检定规程》<sup>[6]</sup>对参加试验的总辐射表的灵敏度进行了校准,避免因灵敏度本身的不准确而造成的影响。

参加试验的总辐射表分别水平安装在楼顶的特制仪器支架上,个别表感应面向下水平安装,与美国 KEITHLEY 2000 型 40 路高精度数据采集器连接。在夜间晴天条件下进行,有时加盖。仪器四周空旷,感应面以上没有任何障碍物,空气温度  $20 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , 风速  $< 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 相对湿度  $\leq 80\%$ 。数据采样间隔为 1~3 分钟,测试时间为 18:00 至次日 07:00。

为便于分析比较,选取 20:00 至次日 04:00 的数据。参加试验的总辐射表类型见表 1。

表 1 参加试验总辐射表类型

Table 1 Types of pyranometers in experiments

型号	类型	厂家	国家
CMP22	全黑型	Kipp&Zonen	荷兰
CM21	全黑型	Kipp&Zonen	荷兰
CM6B	全黑型	Kipp&Zonen	荷兰
CMP3	全黑型	Kipp&Zonen	荷兰
PSP	全黑型	Eppley	美国
SR11	全黑型	Hukseflux	荷兰
TBQ-1	黑白型	锦州 322 所	中国
DFY2	黑白型	长春气象仪器厂	中国
TBQ-2	全黑型	锦州 322 所	中国
TBQ-2-B	全黑型	北京华创升达公司	中国
TBQ-2-B-I	全黑型	北京华创维想公司	中国
DFY4	全黑型	长春气象仪器厂	中国
DFY4-1	全黑型	长春气象仪器厂	中国

总辐射表辐照度  $E$  计算公式如下:

$$E = V/K \tag{1}$$

式中: $V$  为总辐射表的电压输出值, $K$  为总辐射表的灵敏度。

根据瞬时同步测量的方法,按公式(1)计算每台总辐射表夜间的辐照度值。

每次参加试验的总辐射表表号均不同。为使图

形清晰,多台同一型号的表选一台变化最大者。

### 2 结果分析

#### 2.1 国内与国外总辐射表试验结果比较

2007 年 8 月 30 日夜间,参加试验的总辐射表有 5 种不同型号,结果如图 1 所示。图中 CMP22(d)是特意使其感应面向下水平安置,意在验证零点偏移确实是由“冷天空”所形成。从图中可以看出,CMP22(d)的零点偏移几乎为零。CMP22、CM11 一直较平稳。PSP、TBQ-2 和 TBQ-2-B 因底座材料为铜,自身的热容量大,日落后,辐照度快速到达负的最大,之后随时间呈锯齿状逐渐减少,00:15 时绝对值到达最小后又逐渐增大并相对趋于平稳。PSP 的零点偏移从开始到 00:45 是所有表中最大的,之后与国产表较一致。5 种不同型号辐射表的零点偏移以由小到大排列,依次为 CMP22,CM11,TBQ-2, TBQ-2-B 和 PSP。

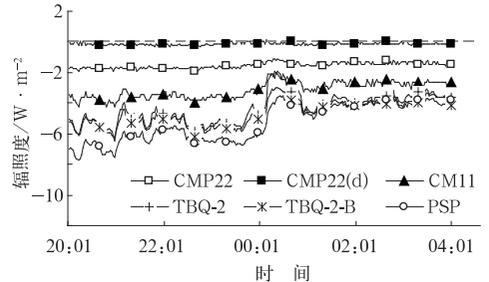


图 1 2007 年 8 月 30 日总辐射表夜间零点偏移 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Fig. 1 Nighttime zero offset of pyranometers on August 30, 2007 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

2008 年 5 月 22 日夜间,参加试验的总辐射表有 6 种不同型号,结果如图 2 所示。6 种不同型号总辐射表的零点偏移以由小到大排列,依次为 CMP21、CM6B、PSP、TBQ-2-B-I、TBQ-2-B、和 DFY4。

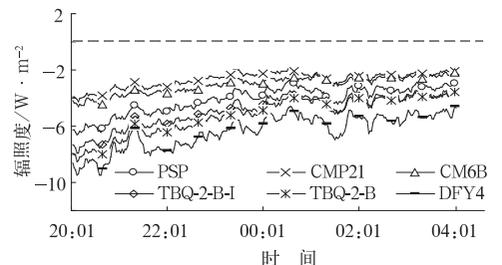


图 2 2008 年 5 月 22 日总辐射表夜间零点偏移 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Fig. 2 Nighttime zero offset of pyranometers on May 22, 2008 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

2009年3月17—19日夜間,分别采取了加盖和不加盖两种测试方法,对参加全国第八次标准辐射仪器比对的32台中的22台,6种不同型号的总辐射表的零点偏移进行了测试,其中17台TBQ-2-B型总辐射表为工作级标准。这两种不同的测试方法得到的测试结果也不同(见图3和图4)。为便于比较,每种型号的表取一台变化最大者进行分析。

17日夜間,对22台加盖,测试结果见图3。从图中可以看出,零点在 $-2 \sim 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间变化。由于盖子代替了“冷天空”,使辐射表受环境影响较小,所以零点偏移较小且比较平稳。也再次验证了零点偏移确实是由“冷天空”所形成<sup>[2]</sup>。

19日夜間,不加盖。测试结果见图4。从图中可以看出,零点在 $-9 \sim 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间变化。由于天空是个恒定存在的冷源,仪器体的温度受环境影响必然会经由感应面、内罩和外罩向天空散发热量,进而导致罩温比气温低,使得夜間的零点偏移变大,且不稳定。

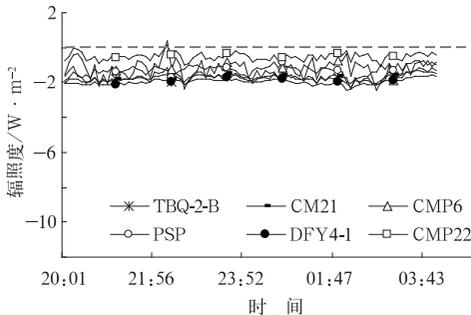


图3 2009年3月17日总辐射表夜间加盖零点偏移( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Fig. 3 Nighttime zero offset of the lidded pyranometers on March 17, 2009 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

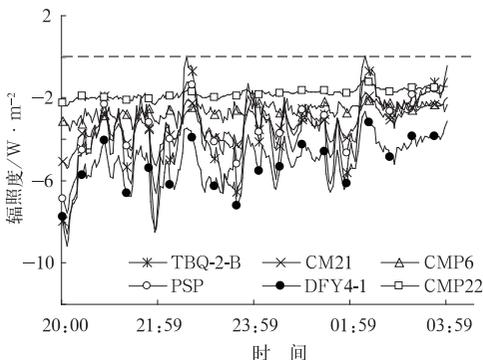


图4 2009年3月19日总辐射表夜间零点偏移( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Fig. 4 Nighttime zero offset of pyranometers on March 19, 2009 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

6种不同型号辐射表的零点偏移以由小到大排列,依次为CMP22、CMP6、CM21、PSP、TBQ-2-B和DFY4-1。国产总辐射表的零点偏移较大。

2009年4月15日夜間, PSP、CM6B和SR11总辐射表测试结果见图5所示。图中SR11零点偏移变化最小,CM6B居中,PSP变化最大。

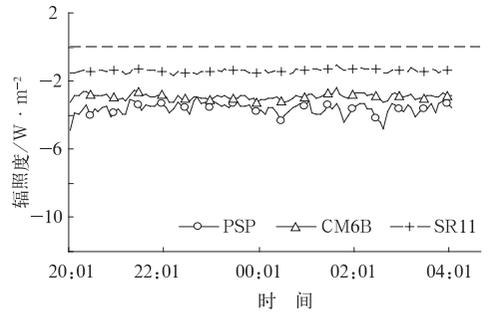


图5 2009年4月15日总辐射表夜间零点偏移( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Fig. 5 Nighttime zero offset of pyranometers on April 15, 2009 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

## 2.2 黑白型和全黑型总辐射表试验结果比较

2007年9月20日夜間,参加试验的总辐射表有5种不同型号。结果如图6所示。图中除DFY2为零外,TBQ-1也较小,在 $1 \sim -2$ 之间变化,平均值为0,这两种仪器均为黑白型。图中零点偏移变化绝对值在00:00时到达最小,00:00时以前CMP3小于TBQ-2,之后正好相反。DFY4变化最大。5种不同型号辐射表的零点偏移以由小到大排列,依次为DFY2、TBQ-1、TBQ-2、CMP3和DFY4。

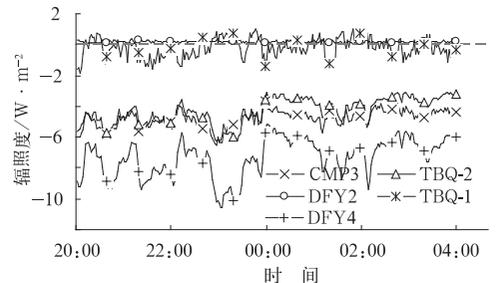


图6 2007年9月20日总辐射表夜间零点偏移( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Fig. 6 Nighttime zero offset of pyranometers on September 20, 2007 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

从上述试验结果比较可看出,CMP系列总辐射表的零点偏移较小,这与其自身结构有关。据厂家介绍,CMP系列二等标准总日射表不存在B类型零

点偏移,因为它有一个不曝光的补偿传感器,类似的零点偏移也会在其中产生,但是由于它与曝光传感器反向相接,故二者相互抵消了。另外,为了增加热传导,它的石英玻璃罩厚度增加到了 4 mm。

PSP 型总辐射表与国产全黑型总辐射表的传感器是电镀热电堆型,冷接点悬于仪器空腔内,仪器体的温度即为冷接点的温度。因此要求仪器体的温度不能轻易变化,所以仪器体均由热容很大的金属铜制作,重量较重。当罩内的温度不同于冷接点时,就会出现零点偏移。

黑白型总日射表不存在类似于全黑型热电堆仪器的零点偏移,因为热接点和冷接点二者均暴露于同样的热状态下。目前黑白型仪器还不具有全黑型热电堆仪器那样的光学特性(光谱和方向性方面的),如响应时间较慢、方向响应较差和黑、白两种涂料随时间的变化不同等一些性能方面的关系,所以不建议用它测量总辐射辐照度<sup>[7]</sup>。但是,由于它在零点偏移方面具有无可替代的优良性能<sup>[8]</sup>,近年来,特别是美国又曾将其作为专门供测量散射辐照度的标准仪器而得到重新启用。

### 3 结 论

(1) 通过总辐射表感应面向下水平安装和加盖试验验证了零点偏移确实是由“冷天空”所形成。

(2) 黑白型总辐射表的零点偏移较小,几乎为零。

(3) CMP22 型总辐射表(CMP 系列二等标准总辐射表)的零点偏移的确很小,但仍然存在。

(4) 国产总辐射表的零点偏移较大。夜间晴天条件下零点偏移小于  $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

(5) PSP 型总辐射表的零点偏移大于 CMP 系

列总辐射表,个别表的零点偏移也大于国产总辐射表。

太阳辐射测量一直采用热电式传感器,热电式传感器存在着零点偏移。总辐射表的零点偏移为负值,直接导致了对短波辐射的低估,散射辐射用总辐射表加遮光来进行测量,因此零点偏移是造成散射辐射测量不准确的另一原因。我国幅员辽阔,大量购买国外辐射仪器用于气象台站日常观测,不符合我国国情,应针对我国目前现状,研究国产总辐射表的零点偏移,消除或减小其对辐射测量的影响,对提高辐射测量的准确性和国产总辐射表的性能有重要意义。

### 参考文献

- [1] 姚文军. 总辐射表灵敏度变化对观测质量的影响[J]. 气象, 1998, 24(2): 52-53.
- [2] Rolf Philipona. Underestimation of solar global and diffuse radiation measured at Earth's surface[J]. Journal of Geophysical Research, 107, D22, 4654, doi:10.1029/2002JD002396, 2002.
- [3] Ellsworth G. Dutton, Joseph J. Michalsky, Thomas Stoffel. Measurement of Broadband Diffuse Solar Irradiance Using Current Commercial Instrumentation with a Correction for Thermal Offset Errors[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic technology 2001, 18.
- [4] 王炳忠, 莫月琴, 杨云. 现代气象辐射测量技术[M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [5] 世界气象组织. 气象仪器和观测方法指南(第 6 版)[S]. WMO-No. 8, 1996.
- [6] 总辐射表检定规程(JJG 458-96)[M]. 北京: 中国计量出版社, 1996.
- [7] L. J. B. McArthur. World Climate Research Programme Baseline Surface Radiation Network[M]. Version 2. 1, 2004.
- [8] 程兴宏, 张小玲, 郑向东, 等. PSP 总日射表热偏移特征及其测量总辐射误差分析[J]. 太阳能学报, 2009, 30(1): 19-26.