

权继梅, 丁蕾, 郑向东, 等. 总辐射表两种现场校准方法的比较[J]. 气象, 2010, 36(9): 116-119.

# 总辐射表两种现场校准方法的比较<sup>\*</sup>

权继梅<sup>1</sup> 丁蕾<sup>2</sup> 郑向东<sup>1</sup> 杨云<sup>2</sup> 王冬<sup>2</sup>

1 中国气象科学研究院, 北京 100081

2 中国气象局气象探测中心, 北京 100081

**提 要:** 分析一次在北京上甸子区域大气本底站的总辐射表的两种校准方法的比较。结果表明: 以工作级标准的 CM22 总辐射表所确定的各类总辐射表灵敏度系数接近以 H-F 腔体直接辐射表的校准结果, 两者之间的差别没有超过  $\pm 0.1 \mu\text{V} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2$ , 辐照度值的差别基本上在  $\pm 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  以内。携带和操作比较方便的 CM22 表用于校准大气本底站的总辐射表, 测量精度达到现有 BSRN 站对辐射表的要求。

**关键词:** 校准, 总辐射表, 方法比较

## Comparison Between Two Field Calibration Methods of Pyranometer

QUAN Jimei<sup>1</sup> DING Lei<sup>2</sup> ZHENG Xiangdong<sup>1</sup> YANG Yun<sup>2</sup> WANG Dong<sup>2</sup>

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 China Meteorological Administration Meteorological Observation Center, Beijing 100081

**Abstract:** Calibration measurements of pyranometers at the Shang Dianzi Regional GAW (Global Atmospheric Watch) Station are presented in this manuscript. The results show that the sensitivity of pyranometer determined by the CM22 is very agreeable to those determined by HF cavity radiometer which is used as a standard for pyranometers. The difference of the sensitivities determined by two standards is no more than  $\pm 0.1 \mu\text{V} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2$ , and the difference of their induced solar shortwave irradiances is generally within  $\pm 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . In summary, the portable CM22 pyranometer can be used as the reference of pyranometer in GAW field calibration, and their calibration sensitivities satisfy with accuracy requirement of the BSRN (Baseline Surface Radiation Network) operations.

**Key words:** calibration, pyranometer, comparison of methods

## 引 言

长期、精确和可靠的辐射观测是研究气候与环境变化的基本资料之一。随着气候变化研究的深入, 对辐射观测精度要求越来越高。世界气象组织对地面辐射基准站网 (Baseline Surface Radiation Network; BSRN) 中总辐射表观测精度要求从 4% 提高到 2% 或  $5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ <sup>[1]</sup>。这些技术指标的提高对辐射仪器的选型及校准技术提出了新的要求。中

国气象部门自 1957 年建立太阳辐射观测站网以来, 就开始配套建立太阳辐射的标准与量值传递系统<sup>[2]</sup>, 保证了业务观测的运行。

太阳能辐射观测也是大气本底站基本业务, 与常规辐射站不同之处是中国大气本底站所用的仪器是全部进口。本文分析 2007 年 8 月 16—19 日在北京上甸子区域大气本底站 ( $40^{\circ} 39' \text{N}$ ,  $117^{\circ} 07' \text{E}$ , 293.3 m), 对总辐射表的现场校准工作。通过本文对辐射表校准观测数据分析以了解对总辐射表校准的业务流程以及以 CM22 表和腔体直接辐射表校

\* 中国气象局城市气象研究所 2005 年度开放项目 (UMRF200508) 资助

2008 年 7 月 28 日收稿; 2010 年 3 月 20 日收修定稿

第一作者: 权继梅, 主要从事太阳与地球辐射方面的研究。Email: quanjm@cma.gov.cn

准总辐射表的精度状况。

## 1 仪器及观测

在校准观测中,总辐射表标准是中国气象局国家气象计量站一级标准的 H-F 腔体直接辐射表和工作级标准 CM22 (#060016 和 #060017) 总辐射表。被校准的仪器主要是上甸子区域大气本底站的业务观测以及备份的总辐射表,它们均为美国 Eppley 实验室生产。此外,中国气象局锡林浩特地面基准辐射站备份的总辐射表以及国家气象计量站的工作级标准总辐射表也参与了这次的比对校准观测实验。

2007年8月17日和8月18日进行总辐射表的校准观测。上甸子业务总辐射表与 Campbell Scientific 公司的 CR10X-TD 采集器连接,电压测量误差在 25 mV 满量程下为  $\pm 0.2\%$ 。其余表与美国的 KEITHLEY2000-20 型六位半数据采集器连接。辐射数据的采样频率为 1 Hz,存贮 1 分钟的数据的平均值、最大值、最小值和标准偏差。对总辐射表校准位于上甸子本底站的楼顶,且在天空晴朗,太阳高度角大于  $30^\circ$ ,温度在  $20 \pm 10^\circ\text{C}$ 、风速小于  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、相对湿度小于 80% 的条件下进行的<sup>[3]</sup>。

## 2 校准方法

总辐射表的两种校准方法:一是将 H-F 型腔体

直接辐射表与被校准的总辐射表同置于太阳辐射条件下。将被校准的总辐射表的电压输出值与 H-F 型绝对腔体辐射表测量的太阳直接辐照度的垂直分量加上带遮光装置的标准总辐射表的测量值(散射辐射)相比较,即可计算出被校准总辐射表的灵敏度。二是将工作级标准总辐射表与被校准的总辐射表同置于太阳辐射条件下,被校准的总辐射表的电压与标准总辐射表的电压相比较,即可得出被校准表的灵敏度。具体方法参照杨云等直接辐射和总辐射的量值传递校准方法<sup>[4-5]</sup>。

## 3 校准结果分析

校准观测中分别采用两种标准,即 H-F 型绝对腔体直接辐射表加总辐射表(CM22 表观测散射,人工遮挡太阳)和工作级标准 CM22 总辐射表作为标准。表 1 给出的是利用迭代法计算<sup>[6]</sup>的各总辐射表在两个标准下的灵敏度系数及其与原灵敏度系数的相对误差。

从表中我们不难看出:在两种校准下,计算出的各总辐射表的灵敏度系数值比较接近,但不同类型的总辐射表的校准结果各不相同。PSP 表灵敏度系数均小于原值,而 CM22 和 CM21 的则大于原值。其中 CM22 或 CM21 的灵敏度系数偏离原值最小,仅为 1%。8-48 型辐射表的误差略大,为 5% 左右。总体来说,以腔体直接辐射表和 CM22 表为标准所校准的总辐射表的灵敏度系数值非常接近,大部分

表 1 各总辐射表灵敏度系数的校准结果  
Table 1 Calibration results of pyranometer sensitivity

表号	原灵敏度值	2007年8月16日				2007年8月17日				新灵敏度均值	灵敏度变化/%
		腔体		CM22(060017)		腔体		CM22(060016)			
		K 值	标准偏差	K 值	标准偏差	K 值	标准偏差	K 值	标准偏差		
PSP(20461)	9.88	9.65	0.0246	9.64	0.0444	9.7	0.0499	9.68	0.0333	9.68	-2.07
PSP(2.0462)	10.46	10.38	0.026	10.31	0.0477	未检	未检	未检	未检	10.38	-0.76
PSP(2.0463)	9.89	9.77	0.0253	9.76	0.0508	9.79	0.0493	9.86	0.0372	9.78	-0.11
PSP(33734F3)	8.22	未检	未检	未检	未检	8.15	0.0416	8.22	0.0325	8.15	-0.85
PSP(33735F3)	7.78	7.32	0.0658	7.33	0.0575	7.33	0.0653	7.31	0.5586	7.32	-5.91
CM22(060013)	9.13	9.22	0.0191	9.22	0.211	9.33	0.0463	9.32	0.007	9.28	1.59
CM22(060016)	8.88	散表	散表	散表	散表	8.96	0.0547	标准	标准	8.96	0.90
CM22(060017)	9.24	9.34	0.0274	标准	标准	散表	散表	散表	散表	9.34	1.08
CM22(060018)	9.31	9.38	0.0275	9.36	0.0141	9.28	0.0458	9.36	0.0246	9.33	0.21
CM22(060047)	9.74	9.73	0.0265	9.72	0.0362	9.73	0.0472	9.73	0.0238	9.73	-0.10
CM21(050107)	9.01	9.08	0.0237	9.09	0.0138	9.11	0.0454	9.1	0.0089	9.1	0.94
CM21(051469)	10	10.18	0.0289	10.16	0.0467	10.2	0.0523	10.2	0.012	10.2	
8-48(051469)	7.82			8.2	0.1009	未完全遮光				8.2	4.86
8-48(33779)	8.54	8.21	0.0283	8.23	0.1471	8.2	0.0421	8.27	0.0862	8.2	-3.98
TBQ-B(153)	12.29	11.92	0.0347	11.92	0.0385	未检	未检	未检	未检	11.92	-3.01

表中的新灵敏度均值是以绝对腔体直接辐射表作标准得出的灵敏度的均值,灵敏度变化值是与原灵敏度系数的相对误差。

的差别没有超过  $\pm 0.1 \mu\text{V} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2$ 。以腔体直接辐射表为标准校准各总辐射表的灵敏度的误差结果相近,以 CM22 工作级标准校准 CM22 型总辐射表的灵敏度相对校准其他类型的总辐射表的误差更小些。

表 2 给出的是各总辐射表进行校准后计算的辐照度值的绝对误差。从表 2 中发现:两种标准校准

下,CM22 和 CM21 表的辐照度误差均不大,而以 CM22 为标准校准的 PSP 表的辐照度误差稍稍高于以腔体直接辐射表为标准时的误差值。18 日的辐照度误差要大于 17 日的,其原因可能主要是由于 18 日有霾出现。导致腔体直接日射表观测时间较短、被统计的样本数少于 17 日,因此测量误差信息相对被放大。

表 2 经两种标准校准后各总辐射表的辐照度的绝对误差

Table 2 Absolute errors of radiation after calibration of pyranometers

表号 标准	8月17日				8月18日			
	腔体		CM22(060017)		腔体		CM22(060016)	
	绝对误差 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	相对误差 /%	绝对误差 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	相对误差 /%	绝对误差 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	相对误差 /%	绝对误差 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	相对误差 /%
CM22(060013)	1	0.1	-4.5	0.5	3.5	0.4	-6.1	0.7
CM22(050107)	1	0.1	-0.6	0.07	1.7	0.2	-6.4	0.8
CM22(060047)	0.6	0.07	0.3	0.04	-0.8	0.1	-7.1	0.9
CM22(060018)	-0.5	0.07	1.4	0.2	-9.7	1.2	-13.4	1.6
CM22(060017)	0.9	0.1	标准	标准	/	/	/	/
CM22(060016)	/	/	/	/	5.5	0.7	标准	标准
CM21(051469)	0.5	0.07	0.7	0.07	2.6	0.7	-6.8	0.9
PSP(20463)	-0.7	0.08	1.6	0.3	-0.5	0.09	-12.6	1.5
PSP(20462)	0.7	0.08	5.8	0.7	/	/	/	/
PSP(20463)	3.5	0.4	1.5	0.3	5.1	0.6	-5.4	0.7
PSP(33734F3)	/	/	/	/	-8.3	1	-14.8	1.5
8-48(33779)	-7.4	0.8	-8.3	1	1.8	0.2	-13.6	1.6
Tbq-2-B(153)	0	0	0.2	0.03	/	/	/	/

图 1a 是 8 月 17 日三种手段所观测的太阳总辐照度的变化。这三种观测手段分别是 H-F 腔体直接辐射表垂直分量加散射(CM22 # 060016, 人工遮挡)、业务观测所用的直接辐射表垂直分量加散射(8-48 表, 自动遮光)和工作级标准的 CM22 表的测值。直接辐射表和 8-48 表测值是用以腔体直接辐射表为标准校准后的灵敏度系数计算的。图 1b 是 CM22 和台站业务观测的直接辐射表辐射的垂直分量加散射分别与 H-F 腔体直接辐射表的辐射值的垂直分量加散表测量的辐照度之间的差值变化。从图中可以发现三种标准下测量的辐照度比较接近。CM22 和直接辐射表加散表测量值与腔体直接辐射表加散表的差值范围大约都在  $\pm 5 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。CM22 观测的总辐射与 H-F 腔体直接辐射表垂直分量加散射为标准的平均差值为  $0.42 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 直接辐射表加散表的总辐射与腔体直接辐射表标准的平均差值为  $-2.01 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。CM22 (#060017) 比直接辐射表加散表测量太阳总辐射的值更加接近腔体直接辐射表加散表的测量结果(见图 1b)。

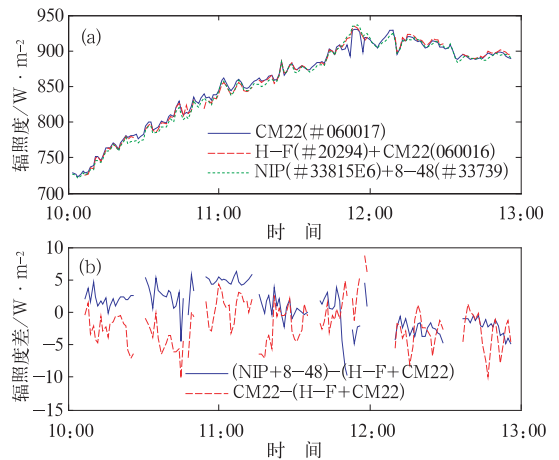


图 1 (a) 2007 年 8 月 17 日三种手段观测的太阳辐照度;(b)CM22 和直接辐射垂直分量加上散射分别与标准值之间的差值的变化(标准值等于腔体垂直分量辐射加上散射)

Fig. 1 (a) The solar radiation measured by three kinds of instruments at 17th August; (b) the variation of differences between CM22 with normalized values and pyr heliometer's vertical component and diffuse radiation with normalized value (the normalized value is equal to cavity absolute radiometer's vertical component and diffuse radiation)

CM22 对各种辐射表校准的灵敏度系数值相当接近以 H-F 腔体直接辐射表校准的结果,其辐照度测量误差(以 8 月 17 日为例)基本上在  $\pm 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  范围内。这是因为一方面 CM22 具有极低的热偏移。另一方面,在实验室对 CM22 表的余弦响应进行测量时,发现 CM22 具有极好的角度响应。在天顶角为  $70^\circ$  时,余弦响应的误差在 2% 左右(图略)。CM22 表的性能足以使之成为传递标准,尤其是在没有腔体直接辐射表做标准的情况下,其校准的准确度亦可以达到 BSRN 的要求。

## 4 结 论

通过本文对各辐射表校准观测数据分析,可得出以下结论:

(1) 以工作级标准的 CM22 辐射表为标准对大气本地站的总辐射表所确定的各种总辐射表灵敏度系数接近以 H-F 型腔体直接辐射表校准结果,两者之差不超过  $\pm 0.1 \mu\text{V} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2$ ,且短波辐照度差

别基本上在  $\pm 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  以内。

(2) 以工作级标准 CM22 辐射表校准同类型的总辐射表,其校准结果等同于以腔体直接辐射表校准的结果。

**致谢:** 本项目得到上甸子区域大气本底站给现场校准比对观测提供帮助。

## 参考文献

- [1] 中国气象局. 地面辐射基准站网操作手册[M]. 北京:气象出版社, 2004.
- [2] 王炳忠. 太阳辐射能的测量与标准[M]. 北京:科学出版社, 1988.
- [3] 气象仪器和观测方法指南(第六版),中国气象局检测网络司编译,2005.
- [4] 杨云,王冬,吕文华,等,我国太阳辐射标准与量值传递[J]. 仪器仪表学报,2007,28(8),增刊 IV.
- [5] WMO Instruments and Observing Methods, Report NO. 74 WMO/TD NO. 1028 2000.
- [6] 王炳忠. 分光总辐射表校准因子的迭代计算法[J]. 太阳能学报,1993,14(4):311-316.