

WMO II、V区域第一次标准日射表的比对

吕文华

(气象科学研究所)

提要 本文较全面地介绍了1989年1月23日至2月4日在WMO第II区域辐射中心——日本的筑波举行的WMO II、V区域第一次标准日射表比对的方法、采用的标准及比对结果等。并详细列出了我国参加比对的两台标准直接日射表和一台总日射表的比对结果。

一、前言

由国家气象局计量检定所保持的我国标准日射表参加了WMO II、V区域第一次标准日射表的比对。这次比对工作是在于1989年1月23日至2月4日在WMO的第II区域辐射中心——日本的筑波举行的。来自WMO II、V区域的10个国家、地区及世界辐射中心(WRC/DaVos)的23位专家、共计17台标准直接日射表和8台总日射表参加了比对。在比对期间共进行了41组比较测量,最后挑选了13组数据作为比对结果,从比对结

果中可看出这次比对是成功的。

二、比对的方法和程序

比对地点设在日本东京北约70公里的筑波山半腰之上的京成旅馆楼顶上(纬度 $36^{\circ}12.9'N$, 经度 $140^{\circ}7.5'E$, 海拔560 m)。参加比对的直接日射表和总日射表分别安装在旅馆楼顶的铁桌上,为了防止阳光直射及风的影响,直接日射表的记录器放在铁桌内的遮蔽处。使用了一些可移动的风屏,以增大防风面积。参加比对的国家和地区,仪器型号及编号等列于表1。

表 1 参加 WMO II、V 区域第一次标准日射表比对的 国家、地区及仪器

参加比对的 国家或地区	直接日射表		总日射表	
	仪器型号及生产国别	仪器编号	仪器型号及生产国别	仪器编号
澳大利亚	Ångström 瑞典	578		
中 国	H-F 美国	19743	PSP 美国	20463 F3
	H-F 美国	20294		
香 港	Ångström 美国	17864	CM5 荷兰	784530
印 度	PACRAD 美国	13219		
伊 朗	Ångström 美国	12579	CM5 荷兰	752820
日 本	PMO-6 瑞士	811107	MS801 本日	F 83006
	H-F 美国	23738	MS801 日本	F 85035
	Ångström 美国	26043	PSP 美国	25918 F3
	Ångström 美国	26044		
	NIP 美国	10816 E6		
	NIP 美国	25677 E6		
马来西亚	Ångström 美国	23628	CM5 荷兰	881454
新 西 兰	Ångström 美国	13591		
南 朝 鲜	Ångström 瑞典	703	SCP 美国	23208
苏 联	Ångström 瑞典	212		
世界辐射中心(DAVOS)	PMO-5 瑞士			
合 计		17		8

1. 同步测量

各种标准直接日射表都对准太阳,以瞬间同步测量的方法进行比较。测量一组数据为 18 分钟,在这期间分成以 90 秒为一间隔的 12 个间隔。参加比对的仪器,由于型号不同,观测操作有异,在这 18 分钟内可分别获得 6、10 和 12 个数据,其具体情况如图 1 所示。同步测量是根据计算机系统控制的每 90 秒钟的声音通告和电声信号进行的。采取倒计时的方法,在测量前的 5、3、1 分钟和 15 秒钟时,由喇叭中发出通告,然后在测量前的 5、4、3 和 2 秒(包括采集数据的 3 秒钟)时由喇叭发出短脉冲的嘟嘟声。同步测量的时间顺序详见图 2。

2. 仪器的操作

(1) PMO 绝对辐射表

在开始测量时,首先读取快门关闭时的零点值,然后快门交替地打开和关闭进行测量。对于 PMO-6 绝对辐射表(日本),每 45 秒交替进行一次,而 PMO-5 绝对辐射表(WRC/WSG)每 90 秒交替进行一次。这样在每一组测量中可分别获得 12 个和 6 个数据。PMO 绝对辐射表读取电流与电压值。

(2) PACRAD/H-F 绝对辐射表

在每一组测量之前,要进行自校和零点调整。自校时,读取零点、加热电流、电压和热电堆的输出值。自校后,关掉加热器,将仪器对准太阳,然后每隔 90 秒读取一次热电堆的输出电压值。

(3) Ångström 直接日射表

每组测量之前要进行零点调整。开始测量时先遮住右片,然后每隔 90 秒交替遮挡



图 1 同步测量图

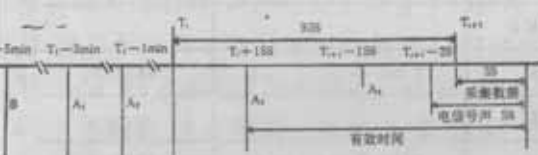


图 2 同步测量的时间顺序

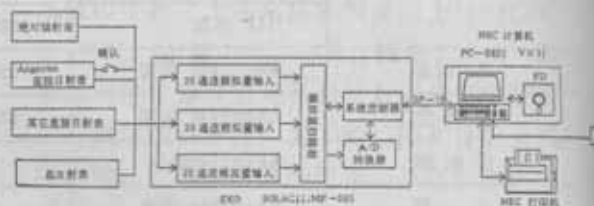


图 3 数据采集与处理系统框图

左、右片,于是在一组测量中可获得 12 个数据。Ångström 直接日射表读取电流或电压值。

(4) 热电式直接日射表

这种仪器为相对直接日射表,每 90 秒可自动由计算机系统采集仪器输出的电压值。

3. 数据采集

在比对期间,所有参加人员都操作自己的仪器,并记录下仪器输出信号。同时,仪器的输出信号也由数据采集器自动收集。使用的数据采集及处理系统框图如图 3 所示。

三、比对的标准

1. 标准组的组成

这次比对建立了区域标准组(RSG),这个标准组由世界辐射中心标准组(WSG)中的一台仪器 PMO-5 和两台第 II 区域辐射中

心的标准仪器 PMO-6(日本)No. 811107、PACRAD No. 13219(印度)组成。PMO-6 No.811107 绝对辐射表作为本次比对的工作标准,用于初步计算每天的比对结果。

2. 基准值的确定

由于在每一组测量中 PMO-5 绝对辐射表只获得 6 个数据,而 PMO-6 和 PACRAD 这两台仪器可提供 12 个数据,故本次比对的直接辐射度基准值,由如下方法确定:

序号	标准 1	标准 2	标准 3	基准值
	(工作标准)			
1	PMO-6(1)	PMO-5(1)	PACRAD(1)	REF(1)
2	PMO-6(2)	—	PACRAD(2)	REF(2)
3	PMO-6(3)	PMO-5(2)	PACRAD(3)	REF(3)
·	·	·	·	·
·	·	·	·	·
11	PMO-6(11)	PMO-5(6)	PACRAD(11)	REF(11)
12	PMO-6(12)	—	PACRAD(12)	REF(12)

$$\text{REF}(1) = 1/3 \times [\text{PMO}-6(1) + \text{PMO}-5(1) + \text{PACRAD}(1)]$$

$$\begin{aligned} \text{REF}(2) &= C_1 \times \text{PMO}-6(2); \\ C_1 &= 1/2 \times [\text{REF}(1)/\text{PMO}-6(1) + \text{REF}(3) / \text{PMO}-6(3)] \end{aligned}$$

$$\text{REF}(3) = 1/3 \times [\text{PMO}-6(3) + \text{PMO}-5(2) + \text{PACRAD}(3)]$$

$$\begin{aligned} \text{REF}(11) &= 1/3 \times [\text{PMO}-6(11) + \text{PMO}-5(6) + \text{PACRAD}(11)] \\ \text{REF}(12) &= C_0 \times \text{PMO}-6(12); \\ C_0 &= \text{REF}(11)/\text{PMO}-6(11) \end{aligned}$$

13组有效数据中每组测量的平均直接太阳辐照度基准值列于表2。

表2 WMO II、V区域第一次标准日射表比对时的直接辐照度基准值

日期	开始时间	每组测量的平均辐照度	标准偏差	测量次数
1.27	10:59:45	768.69(W·m ⁻²)	11.41(W·m ⁻²)	12
1.27	11:32:45	806.14	15.34	11
1.29	9:47:45	950.44	5.42	12
1.30	10:00:45	969.42	4.70	12
1.30	10:30:45	981.02	4.48	12
1.30	11:00:45	978.57	4.22	12
1.30	12:00:45	940.43	3.26	12
1.30	12:30:45	921.66	17.86	12
1.30	13:00:45	888.96	27.69	12
1.30	13:30:45	849.94	8.35	12
1.31	10:00:45	820.11	8.41	12
1.31	10:30:45	850.76	7.05	12
1.31	11:00:45	851.91	6.92	12

四、比对结果

1. 辐照度的计算

对于参加比对的各种型号直接日射表，分别使用如下公式，并利用图3所示的数据处理系统进行计算。

(1) PMO绝对辐射表

这种仪器以主动方式工作，也就是由电加热腔体，使得在热敏电阻两边的温度差维持一常数。在快门打开时，因腔体吸收辐射功率 $P_{(c)}$ ，使得电功率减小。辐照度的计算公式如下：

$$I = K[P_{(c)} - P_{(o)}] \quad (1)$$

$$\text{其中：} P = U_H \cdot i_H \quad (2)$$

$$P = U_H \cdot \frac{U_R}{R_N} \quad (3)$$

$P_{(c)}$ 值是快门打开前、后的关闭值对于快门打开期间的线性内插。

(2) PACRAD/H-F绝对辐射表

辐照度测量是由热电堆输出的读数(在阳光照射下) V_{ih} 所确定。自校期间，遮住腔体进行电加热，测量加热器两端的电压 U_H ，标准电阻 R_N 两端的电压 U_R 和相应的热电堆输出 $V_{ih(cal)}$ 。然后，在不加热时，测量热电堆的零点 $V_{ih(zero)}$ 。辐照度的计算公式如下：

$$I = \frac{V_{ih} - V_{ih(zero)}}{V_{ih(cal)} - V_{ih(zero)}} \cdot \frac{U_R}{R_N} \cdot \left(U_H - \frac{U_R}{R_N} \cdot R_L \right) \quad (4)$$

(3) Ångström直接日射表

通过Ångström直接日射表左片或右片的补偿电流是对标准电阻两边的电压降进行测量得到的。计算公式为：

$$I = K \frac{U_R(R) \cdot U_R(L)}{R_N^2} \quad (5)$$

若直接读取电流值，则辐照度由下式计算：

$$I = K \cdot i_{(R)} \cdot i_{(L)} \quad (6)$$

利用(5)、(6)式计算出的辐照度分别是左右片两种辐照度的几何平均，对于同标准辐照度计算比值，要使用相对应的标准辐照度的几何平均值。每一组的第一个数据不参加计算。

(4) 热电式直接日射表

在测量开始时记下零点值，根据热电堆的输出，可计算出辐照度：

$$I = K[V_{ih} - V_{ih(zero)}] \quad (7)$$

公式(1)–(7)中各符号分别表示： I —直接太阳辐照度， V_{ih} —热电堆的输出， U_H —加热器两端电压， U_R —标准电阻 R_N 两端电压， i_H —通过加热器的电流， $i_{(R)}$ 、 $i_{(L)}$ —通过左、右片的加热电流， R_L —加热器导线

的电阻, K—仪器的校准常数。

2. 比对结果

在整个比对期间共进行了 41 组比较测量。根据 TECIMO-IV 给出的方法(1985, Ottawa, KEYNOTE PAPERS 仪器与观测方法报告 No.23, pp 76—77), 从中选出 9 组有效数据。在比对后举行的国际会议上, 委员们对比对数据进行了认真分析, 最后采取对各组平均值 0.25% 的判断准则代替在 TE-CIMO-IV 给出的 0.20%, 这样从 41 组数据中选出了 13 组作为比对结果。对测量数据组的选择详见表 3。

表 3 测量数据组的选择

日期	1月	1月	1月	1月	1月	1月
	25日	27日	28日	29日	30日	31日
(测量数据组)	(试测)					
总计	5	7	4	11	9	5
0.2%判断		1	0	0	7	1
0.25%判断		2	0	1	7	3
最后采用的数据组		2	0	1	7	3

我国参加比对的两台 H-F 型标准直接日射表 (No.19743, No.20294), 在 13 组测量中每组与基准辐照度的比值列于表 4。参加 WMO II、V 区域第一次标准直接日射表的比对结果列于表 5。在离比对场地 20 公

表 4 我国标准直接日射表比对结果

日期	开始时间	No.20294			No.19743		
		R	σ	n	R	σ	n
1.27	10:59	1.0015	0.0069	12	1.0023	0.0150	12
1.27	11:32	1.0055	0.0064	11	1.0019	0.0028	11
1.29	9:47	0.9971	0.0039	12	1.0011	0.0035	12
1.30	10:00	1.0012	0.0027	12	1.0018	0.0012	12
1.30	10:30	1.0030	0.0023	12	1.0001	0.0012	12
1.30	11:00	0.9998	0.0015	12	1.0005	0.0007	12
1.30	12:00	0.9973	0.0014	12	0.9991	0.0015	12
1.30	12:30	1.0003	0.0024	12	1.0006	0.0015	12
1.30	13:00	1.0009	0.0021	12	1.0004	0.0013	12
1.30	13:30	1.0001	0.0028	12	0.9996	0.0013	12
1.31	10:00	1.0015	0.0039	12	1.0015	0.0040	12
1.31	10:30	0.9999	0.0049	12	0.9999	0.0042	12
1.31	11:00	1.0025	0.0042	12	1.0032	0.0035	12
最后结果		1.00079	0.00427	155	1.00092	0.00476	155

注: R为世界辐射基准(WRR)值的修正系数; σ 为标准偏差; n为测量次数。

表 5 WMO II、V 区域第一次直接日射表的比对结果

仪器型号及编号	原校准系数	WRR 修正系数	σ_c	N	σ_c/\sqrt{N}	新校准系数
PMO-5	31.638 W·m ⁻² ·V ⁻²	0.99946	0.00224	77	0.00026	
PACRAD 13219	10079 m ⁻²	0.99955	0.00370	155	0.00030	
PMO-6 811107	23.984 W·m ⁻² ·V ⁻²	1.00051	0.00215	155	0.00017	
H-F 19743	20030.0 m ⁻²	1.00092	0.00476	155	0.00038	20012 m ⁻²
H-F 20294	20030.0 m ⁻²	1.00079	0.00427	155	0.00034	20014 m ⁻²
H-F 23738	20040 m ⁻²	1.00235	0.00268	131	0.00023	19993 m ⁻²
A 212	10535 W·m ⁻² ·A ⁻²	1.00303	0.00447	110	0.00043	
A 578	6237.3 W·m ⁻² ·A ⁻²	1.00062	0.00342	130	0.00030	
A 703	5954.3 W·m ⁻² ·A ⁻²	1.00159	0.00661	123	0.00060	5945 W·m ⁻² ·A ⁻²
A 12579	4344.4 W·m ⁻² ·A ⁻²	1.01149	0.00900	112	0.00085	4295 W·m ⁻² ·A ⁻²
A 13591	4200 W·m ⁻² ·A ⁻²	0.99826	0.00311	128	0.00027	4207 W·m ⁻² ·A ⁻²
A 17864	4697 W·m ⁻² ·A ⁻²	0.99291	0.00298	130	0.00026	4731 W·m ⁻² ·A ⁻²
A 23628	4550.5 W·m ⁻² ·A ⁻²	0.99057	0.00245	129	0.00022	4594 W·m ⁻² ·A ⁻²
A 26043	4831.1 W·m ⁻² ·A ⁻²	0.99765	0.00313	123	0.00028	4843 W·m ⁻² ·A ⁻²
A 26044	4870.2 W·m ⁻² ·A ⁻²	0.99430	0.00420	123	0.00038	4898 W·m ⁻² ·A ⁻²
NIP 10816 E6	127.37 W·m ⁻² ·mV ⁻¹	0.99812	0.00356	144	0.00030	127.6 W·m ⁻² ·mV ⁻¹
NIP 25677 E6	127.21 W·m ⁻² ·mV ⁻¹	0.99404	0.00446	132	0.00039	128.0 W·m ⁻² ·mV ⁻¹

注: σ_c 为 WRR 修正系数的标准偏差; N 为测量次数; σ_c/\sqrt{N} 为平均值的标准误差。

表 6 WMO II、V 区域第一次标准日射表比对时的气象参数(平均值)

日期	气温	气压	相对湿度	风速	风向	臭氧总量	气溶胶光学厚度		
							368nm	500nm	675nm
1.25	(°C)	(hPa)	(%)	(m/s)	—	12JST cm(NTP)			
1.27	9.4	938.6	62	1.8	北—西北北	0.306	0.275	0.218	0.170
1.28	-0.3	945.8	66	2.9	北				
1.29	3.1	954.2	44	2.0	北—东北	0.314	0.107	0.076	0.049
1.30	7.2	959.4	38	0.0	—	0.288	0.146	0.108	0.074
1.31	7.4	955.9	57	1.8	北—东北	0.291	0.201	0.146	0.106

里处,用 Dobson 分光光度计测量大气臭氧。在比对地点用太阳光度计测量了气溶胶光学厚度及其它气象参数(见表 6)。

五、总日射表的校准

在直接日射表比对的同时,也进行了总日射表的校准。根据 WMO 仪器与观测方法指南(第五版)第 9.4.1.2 节中的方法,利用日本已校准的 MS-801 总日射表,并装有能自动跟踪太阳的遮光装置,进行散射辐射的测量。总辐射的标准值由下式确定:

$$G_{ref} = I \times \cos Z + D \quad (8)$$

I 为标准直接日射表组(RSG)确定的太阳直接辐照度的基准值, Z 为测量时的太阳天顶角, D 为 MS-801 总日射表测量的散射辐射。

被校准的总日射表水平安装在旅馆楼顶的平台上,由数据采集器每 90 秒钟与标准直接日射表同步采集一次仪器的输出信号,并送入计算机进行数据处理(见图 3)。总日射表的校准常数 K 由下式决定:

$$K = G_{ref} / V \quad (9)$$

V 是被校准的总日射表输出的电压值。

我国参加校准的 PSP 型 No.20463 F 3 总日射表的校准结果列于表 7。参加 WMO II、V 区域第一次标准日射表比对的所有总日射表的校准结果列于表 8。

六、结 论

1. 虽然在 41 组数据中挑选了 13 组作

表 7 我国总日射表 No.20463F3 校准结果

日期	开始时间	K	σ	n
1.30	10:01	101.56	0.13	12
1.30	10:31	101.53	0.12	12
1.30	11:01	101.69	0.13	12
1.30	12:01	101.80	0.18	12
1.30	12:31	102.35	0.21	12
1.30	13:01	102.68	0.20	12
1.30	13:31	103.26	0.16	12
1.31	10:01	101.21	0.38	12
1.31	10:31	101.13	0.32	12
1.31	11:01	100.77	0.28	12
最后结果		101.8	0.8	120

注: K 为校准系数($W \cdot m^{-2} \cdot mV^{-1}$), σ 为标准偏差, n 为测量次数。

表 8 总日射表的校准结果

仪器型号及编号	原校准系数	新校准系数	σ_c	σ_c / \sqrt{N}	N
	[$W \cdot m^{-2} \cdot mV^{-1}$]				
PSP 20463F3	95.97	101.8	0.8	0.07	120
*CM 5 784530	87.22	90.6	0.8	0.07	120
*CM 5 752820	84.10	90.1	0.4	0.04	120
*MS-801 F83006	139.99	142.6	0.7	0.07	120
PSP 25918F3	103.32	104.1	0.6	0.06	120
*CM 5 881454	88.89	91.1	0.4	0.04	120
SCP 23208	890.47	927.8	12.1	1.11	120

注: σ_c 为标准偏差, N 为测量次数, σ_c / \sqrt{N} 为平均值的标准误差。

* 校准是在气温约为 $7^\circ C$ 下进行的, 对于没有温度补偿的总日射表(CM5和MS801), 要在温度修正后才能使用此值。

为最后比对结果, 但从表 5 中可看出这次比对是成功的。剔除的大部分数据是在有风或

薄云天气条件下获得的。

2. 从表 4 和表 5 中可知,我国的两台标准直接日射表比对结果良好。我国标准日射仪器的修正系数与区域辐射中心几台仪器的修正系数相当接近,即便在整个比对的 41 组数据中,我国的仪器与工作标准表(PMO-6)比较的结果也非常一致。

3. 我国总日射表的校准结果与原制造厂家给出的系数相差 5.7%。我们在 1985 至 1986 年间,以标准直接日射表为准,对总日射表采用交替地进行照射与遮挡的方法进行了校准,从大量的数据中得出这台仪器的灵敏度为 $9.89 \mu\text{V} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2$ (转换成仪器系数为 $101.1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mV}^{-1}$,已将此值用到新型总辐射表的量值传递业务中),与本次校准的结果 $101.8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mV}^{-1}$ 相差小于 1%。这证实了我们使用的校准方法和 技术是正 确

的,同时也说明本次校准结果是可靠的。

4. 应当指出的是,在开始测试时发现,用手工记录和自动采集的直接日射表数据计算出的结果相差较大,为此,大部分直接日射表的比对结果取自手工记录的数据。

5. 鉴于本次比对中,伊朗的 Å 12579 和日本的 H-F 23738 等国家的标准仪器系数变化较大(见表 5),为了保持国家日射标准和对 WRR 量值传递的准确性,定期参加国际比对是非常必要的。

参 考 文 献

- [1] Sano Y., First WMO regional pyrliometer comparison of RA II/RAV, WMO TECIMO-IV, 1989, pp 53—58.
- [2] Sano Y., First WMO regional pyrliometer comparison of RAI and RAV, WMO TD NO-308, 1989.