

刘娜,任芝花,余予. 2015. 直接辐射表与日照计观测日照时数的差异评估. 气象, 41(1):68-75.

# 直接辐射表与日照计观测日照时数的差异评估<sup>\*</sup>

刘 娜 任芝花 余 予

国家气象信息中心, 北京 100081

**提 要:** 随着自动化气象资料业务的发展, 直接辐射表自动跟踪太阳位置观测日照时数逐渐在业务中使用, 那么直接辐射表与传统日照计观测资料的差异如何, 需要对两种资料定量评估。文章选取我国 15 个气象辐射一级站的直接辐射表与日照计平行观测日照时数资料, 探讨了两种观测日照时数在不同区域、不同季节、不同时间尺度和不同天气条件下的差异分布特征, 结果表明: (1) 直接辐射表比日照计观测记录平均偏低  $0.51 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  (8.30%), 两种资料差异具有明显的季节变化规律和区域变异, 在夏季和春季较大, 冬季最小, 在西北及海南地区较大, 东北、黄淮地区及四川盆地最小; (2) 日出时段直接辐射表较日照计观测记录低  $0 \sim 0.3 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$ , 日落时段直接辐射表较日照计观测记录高  $0 \sim 0.3 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$ , 其他时段直接辐射表与日照计观测差值在  $\pm 0.2 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$ ; (3) 受观测仪器和天气条件影响, 在晴空、多云和阴天条件下, 直接辐射表较日照计观测记录分别平均偏低  $0.17 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  (1.88%)、 $0.64 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  (9.08%) 和  $0.62 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  (26.73%); (4) 两种观测日照时数的相关系数在 0.88 以上。

**关键词:** 直接辐射表, 日照计, 日照时数, 差异分析

**中图分类号:** P414

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.01.008

## Comparative Evaluation of Sunshine Duration Observations by Pyrheliometer and Operational Sunshine Recorders

LIU Na REN Zhihua YU Yu

National Meteorological Information Centre, Beijing 100081

**Abstract:** With the development of automation of meteorological data, pyrheliometer which can automatically track solar position to observe sunshine duration has been gradually used in meteorological operations. It is necessary to quantitatively evaluate the difference between pyrheliometer and sunshine recorder observations. This paper discusses the differences between pyrheliometer and sunshine recorder observations over different regions, seasons and time scales. The results are as follows: (1) The sunshine duration observed by pyrheliometer is  $0.51 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  (8.30%) less than that by sunshine recorder. The difference has obvious seasonal and regional variations, which are larger in summer and spring, but the minimum in winter, and also larger in Northwest and Hainan, but the least in Northeast, Huang-Huai and Sichuan Basin. (2) Pyrheliometer observation is about  $0 \sim 0.3 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$  less than sunshine recorder observation at sunrise, and  $0 \sim 0.3 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$  larger than sunshine recorder observation at sunset while the difference is between  $\pm 0.2 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$  in other hours. (3) Affected by observing instruments and weather conditions, the difference between two kinds of sunshine durations are  $-0.17 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  (-1.88%) under clear sky conditions,  $-0.64 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  (-9.08%) under cloudy conditions, and  $-0.62 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  (-26.73%) under overcast conditions. (4) The correlation coefficient between the two kinds of sunshine durations is above 0.88.

**Key words:** pyrheliometer, sunshine recorder, sunshine duration, difference evaluation

\* 中国气象局气候变化专项(CCSF201339)资助

2014 年 4 月 16 日收稿; 2014 年 9 月 2 日收修定稿

第一作者: 刘娜, 主要从事气象数据处理分析及资料质量控制工作. Email: liuna@cma.gov.cn

## 引 言

日照时数是地面观测的基本项目之一,是指太阳在一地实际照射的时间,WMO 第八届仪器和观测委员会(CIMO-Ⅷ)提议以  $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  为阈值辐照度,日照时数是在给定时间内太阳直接辐照度达到或超过  $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  的各段时间总和(WMO, 1981)。日照时数作为太阳辐射的重要表征因子,对研究天气过程和气候变化具有重要意义,同时直接影响农、林业生产及人类日常生活,因此日照时数观测的准确性和合理利用十分重要。

我国传统用来测量日照的仪器主要是暗筒式日照计(Jordan)和聚焦式日照计(Compbell-Stokes)(中国气象局,2003),随着自动化气象资料业务的发展,自 2001 年 7 月以来共有 15 个气象辐射观测一级站进行直接辐射表同步观测,那么直接辐射表与传统日照计观测资料的差异如何,差异是否具有显著性,影响差异分布的可能因素是什么,以及是否可以通过订正数据合理利用两种观测方式的日照时数观测资料,这些问题必须通过对两种观测资料差异的定量评估来回答。

1995 年 5—12 月张纬敏等(2000)在北京对聚焦式日照计、暗筒式日照计与直接辐射表三种仪器进行了对比观测试验,结果表明以聚焦式日照计为“暂定标准日照计”(IRSR),暗筒式日照计资料偏少 5%左右,直接辐射表资料偏少 10%左右,直接辐射表与台站日照计观测资料具有显著差异。本文旨在探讨不同区域、不同季节、不同时间尺度及不同天气条件下直接辐射表与台站日照计两种观测日照时数的差异分布特征,为合理改进直接辐射表性能、改善观测环境和改进观测方案,以及合理利用直接辐射表观测日照时数及相关应用分析提供参考依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 观测原理

直接辐射表自动跟踪太阳位置,主要通过导热感应面和温差电堆测定太阳辐照度进而计算日照时数,感光阈值辐照度为  $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。暗筒式日照计主要通过涂有感光剂日照纸的感光迹线计算日照时数,感光阈值辐照度在  $130 \sim 300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  变化。

聚焦式日照计,主要利用太阳经玻璃球聚焦后烧灼日照纸留下焦痕记录日照时数,感光阈值辐照度在  $120 \sim 160 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  范围变化(张纬敏等,2000)。三种仪器的观测精度受温度、湿度和天气条件影响较大(中国气象局,2003)。

### 1.2 数据及处理

本文的分析资料来源于 2002—2012 年全国 15 个太阳辐射观测一级站直接辐射表和日照计平行观测的日照时数资料,其中漠河站为直接辐射表与聚焦式日照计对比观测资料,其他 14 个站均为直接辐射表与暗筒式日照计对比观测资料(图 1)。

为确保两种日照时数具有可对比性,首先对两种观测日照时数进行了基本的质量检查,包括物理阈值检查、时间一致性检查以及结合云量、能见度的要素相关性检查(Muneer et al, 2002; Feng et al, 2004),剔除了错误数据。本次分析中,缺测日照日(两种仪器观测日照时数至少有一个为缺测,共 204 d)、无日照日(两种仪器观测日照时数均为 0,共 7933 d)的对比观测资料,不参与对比分析,有效对比分析次数共 59062 次,其中与聚焦式日照计有效对比分析次数为 3677 次。

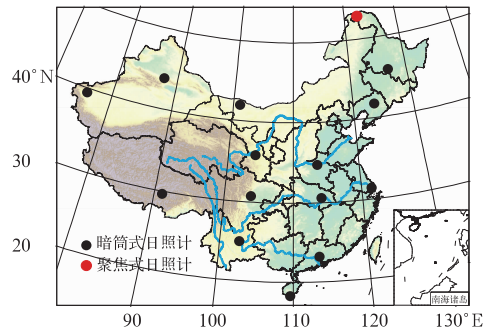


图 1 直接辐射表与台站日照计平行观测台站分布图

Fig. 1 Distribution of sunshine duration stations with pyrliometer and sunshine recorder

本文以差值和相对差值作为评估指标,用来分析直接辐射表与日照计观测日照时数的差异,评估中涉及到的公式如下:

$$X_{ai} = U_i - A_i \quad (1)$$

$$X_{ri} = \frac{(U_i - A_i)}{A_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $X_{ai}$ 为第  $i$  次日照观测的差值, $U_i$ 为第  $i$  次直接辐射表观测值, $A_i$ 为第  $i$  次日照计观测值, $X_{ri}$ 为

第  $i$  次日照观测的相对差值; 仅当  $A_i \geq 2$  时, 计算  $X_{ri}$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 直接辐射表与日照计日照时数的日值差异

直接辐射表与日照计观测日照时数日值的平均差值(相对差值)为  $-0.51 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-8.30\%$ ), 其中与暗筒式日照计的平均差值为  $-0.53 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-8.65\%$ ), 与聚焦式日照计的平均差值为  $-0.26 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-3.86\%$ ) (表 1), 表明直接辐射表观测低于日照计观测日照时数。两种观测日照时数日值除 1 和 12 月外, 其他月均存在显著差异, 且差异呈明显的季节变化规律, 在冬季差异最小, 秋季次之, 夏季和春季较大。

由图 2 可见, 直接辐射表与两种日照计日照时数差值均呈偏态分布, 与聚焦式日照计对比样本中, 直接辐射表低于聚焦式日照计观测记录的频率为  $51.5\%$ ,  $81.7\%$  的差值分布于  $\pm 1 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  之间, 其中  $47.9\%$  分布于  $\pm 0.2 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  之间,  $84.4\%$  的相对差值分布于  $\pm 20\%$  之间, 其中  $48.1\%$  分布于  $\pm 5\%$  之间。与暗筒式日照计对比样本中, 直接辐射表低于暗筒式日照计观测记录的频率为  $52.8\%$ ,  $70.0\%$  的差值分布于  $\pm 1 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  之间, 其中  $35.6\%$  分布于  $\pm 0.2 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  之间,  $73.7\%$  的相对差值分布于  $\pm 20\%$  之间, 其中  $36.7\%$  分布于  $\pm 5\%$  之间。此外统计了直接辐射表与两种日照计的总体差异,

$71.5\%$  的差值分布于  $\pm 1 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  之间, 其中  $38.7\%$  分布于  $\pm 0.2 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  之间,  $73.8\%$  的相对差值分布于  $\pm 20\%$  之间, 其中  $37.2\%$  分布于  $\pm 5\%$  之间。

由于日照时数及日照时数的影响因素存在空间差异(曹琦萍等, 2014; 王晓梅等, 2013), 两种仪器观测日照时数的对比差值也存在空间变异, 在西北地区西部、西藏地区及海南地区差异较大, 差值在  $-1.4 \sim -1.0 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ , 江淮、江汉、西南地区南部以及华南地区差异次之, 差值在  $-0.8 \sim -0.2 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ , 东北地区、黄淮地区和四川盆地差异最小, 差值在  $\pm 0.2 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  之间(图 3a), 除郑州和哈尔滨在冬季差异较大外, 其他各区域两种日照时数差异均在春季和夏季较大, 秋季次之, 冬季最小(图 3b)。

### 2.2 差异的日变化

统计 2008—2012 年直接辐射表和日照计逐小时(地方太阳时)日照时数的差异表明(图 4), 各季节两种仪器逐小时观测值差异的变化规律较为接近, 在日出时段(日落时段)随着日照时数的快速升高(快速降低), 两种观测资料的差值逐渐变大, 当日照时数变化率达到最高时, 两者差异也达到最大。日出时段直接辐射表与日照计观测记录的差值在  $-0.3 \sim 0 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$ , 日落时段直接辐射表与日照计观测记录的差值在  $0 \sim 0.3 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$ , 在其他时段, 随着日照强度的增加, 两种观测资料的差异逐渐减小, 差异在  $-0.2 \sim 0 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

按照气象辐射观测方法规定(中国气象局, 1996), 直接辐射表每天上下午至少各检查一次仪器

表 1 直接辐射表与日照计日照时数的日值平均差异

Table 1 Difference of daily sunshine duration between pyrheliometer and sunshine recorder

	直接辐射表与暗筒式日照计		直接辐射表与聚焦式日照计		直接辐射表与两种日照计差值	
	差值/ $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$	相对差值/%	差值/ $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$	相对差值/%	差值/ $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$	相对差值/%
1 月	-0.11	-2.43	-0.07	-1.54	-0.11	-2.36
2 月	-0.32 *	-6.21	-0.02	-0.38	-0.30 *	-5.72
3 月	-0.59 *	-9.91	-0.12	-1.51	-0.56 *	-9.14
4 月	-0.77 *	-11.32	-0.40 *	-4.92	-0.75 *	-10.81
5 月	-0.78 *	-10.86	-0.43 *	-5.58	-0.76 *	-10.47
6 月	-0.79 *	-11.09	-0.52 *	-5.67	-0.77 *	-10.66
7 月	-0.85 *	-12.33	-0.51 *	-6.59	-0.83 *	-11.92
8 月	-0.81 *	-11.70	-0.56 *	-7.57	-0.79 *	-11.40
9 月	-0.65 *	-10.13	-0.45 *	-6.64	-0.63 *	-9.88
10 月	-0.38 *	-6.15	-0.20 *	-3.58	-0.36 *	-6.00
11 月	-0.22 *	-4.03	-0.01	-0.16	-0.20 *	-3.80
12 月	-0.08	-1.68	0.17	4.56	-0.06	-1.33
年	-0.53	-8.65	-0.26	-3.86	-0.51	-8.30

注: \* 表示通过  $\alpha=0.05$  显著性水平检验。

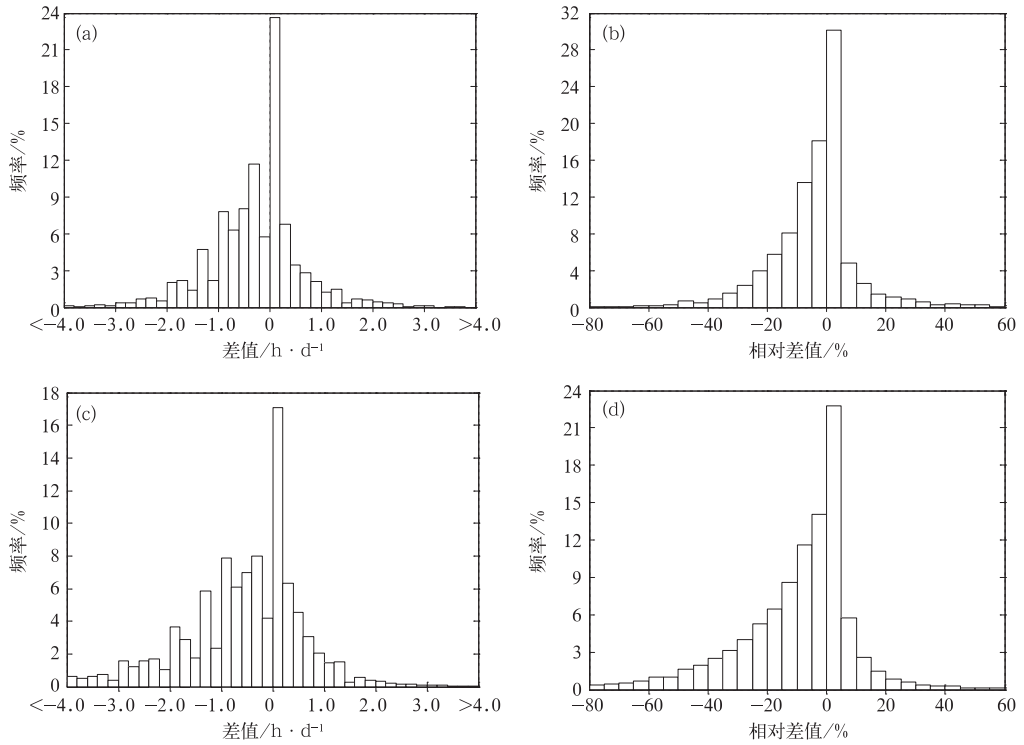


图 2 直接辐射表与日照计观测日照时数日值的差值频率分布图

(a,b)直接辐射表与聚焦式日照计对比差值,(c,d)直接辐射表与暗筒式日照计对比差值

Fig. 2 Distribution of frequency of differences between pyrheliometer and sunshine recorder observations

(a,b) differences between pyrheliometer and Campbell-Stokes,

(c,d) differences between pyrheliometer and Jordan

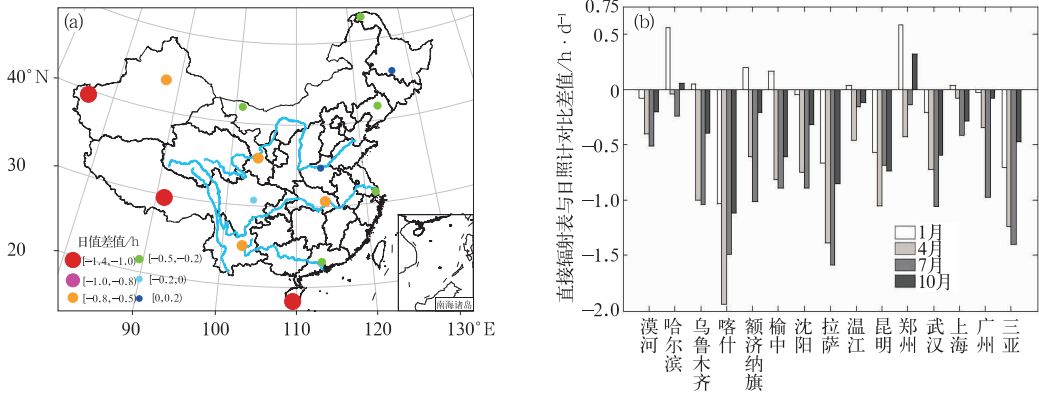


图 3 各站直接辐射表与日照计观测日照时数差异分布

Fig. 3 Distribution of difference of stations between pyrheliometer and sunshine recorder observations

跟踪状况(对光点是否对准),一般而言在 09:00—15:00,因此在日出时段(09:00 之前),可能会因为直接辐射表对光点没有迅速调好,直接辐射表低于日照计观测记录,其他时段(09:00—16:00),直接辐射表对光点已校准,直接辐射表和日照计观测记录

差异变小,在日落时段(16:00 以后),直接辐射表对光点较准确,直接辐射表高于日照计观测记录。

此外,日照计主要通过涂有感光药品的日照纸感光产生的感光迹线或日照纸焦痕计算日照时数,而直接辐射表为热电型,主要通过感应面吸收太阳

热量产生的温差电势计算太阳辐照度进而计算日照时数,其工作原理如式(3)(中国气象局,1996):

$$E = (1 - \epsilon)E + H_2(T_1 - T_2) + L(T_1 - T_3) + f(V) \quad (3)$$

式中, $E$ 为太阳入射强度; $\epsilon$ 为感应面吸收率; $H_2$ 为感应面传导到冷端的热传导系数; $L$ 为感应面传导到空气的热传导系数; $T_1$ 为感应面的温度; $T_2$ 为冷端温度; $T_3$ 为空气温度; $f(V)$ 为感应面与空气之间对流损失的热量,一般感应面加玻璃罩, $f(V) \approx 0$ 。

在日出时段,受夜间辐射冷却效应的影响,环境

温度较低,感应面吸收热量后的温度 $T_1$ 高于空气温度 $T_3$ ,为达到热平衡,热量由感应面向空气传导,降低了单位太阳入射强度产生的温差电动势,直接辐射表观测的日照时数偏少,随着日照强度的增大,环境温度升高,仪器感应面和环境之间的热量传导减少,两种观测资料的差异变小,在日落时段,由于白天接收太阳辐射,环境温度较高,热量由空气向感应面传导,增加了单位太阳入射强度产生的温差电动势,直接辐射表观测的日照时数增加,从而日落时段直接辐射表高于日照计观测日照时数。

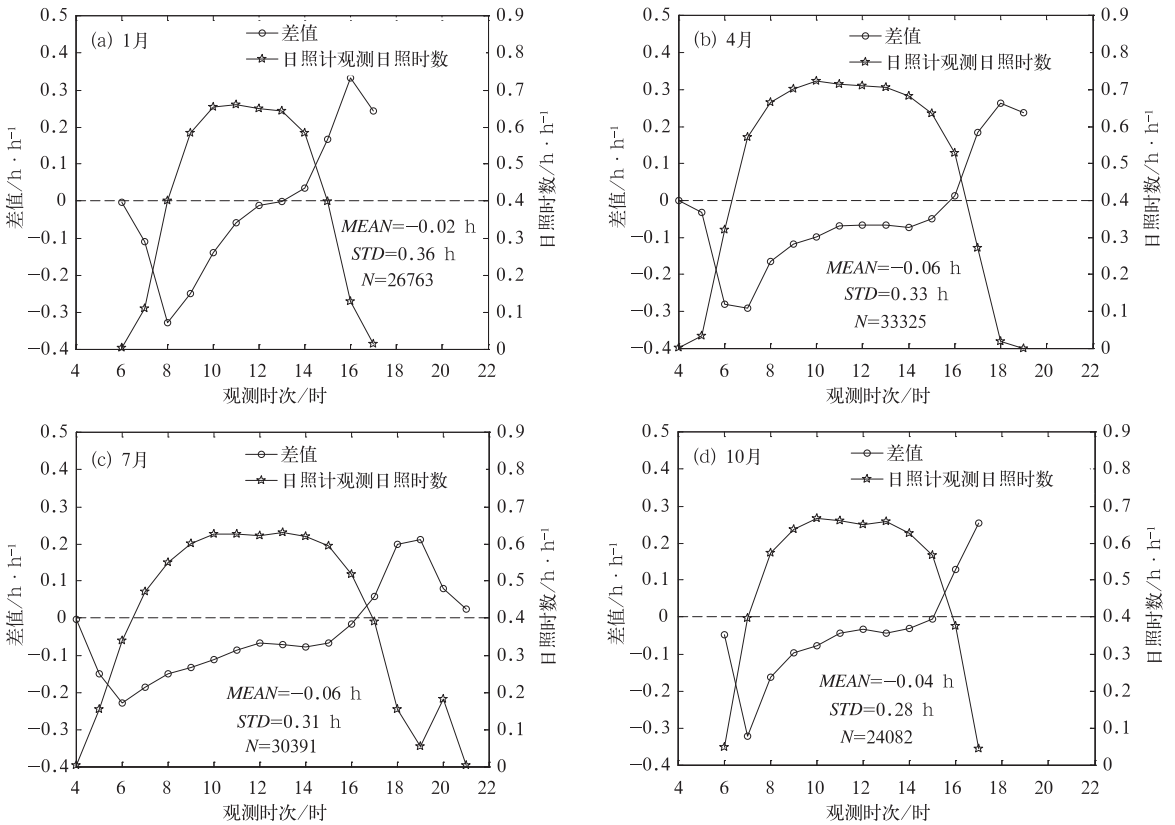


图4 直接辐射表与日照计观测日照时数差值日变化规律(时制为地方太阳时)

Fig. 4 Diurnal variation of difference between pyrheliometer and sunshine recorder observations

(a) January, (b) April, (c) July, (d) October

(the time is local solar time)

### 2.3 不同天气条件下日值差异分析

日照变化是云量、水汽、大气浑浊度等多种因子共同作用于太阳辐射的结果,日照计和直接辐射表的观测灵敏度也受环境温、湿度条件的影响(中国气象局,2003;白建辉等,2013),图5分析了两种日照时数差异随天气条件的变化规律,结合变化规律和

天气条件分类(余君等,2007;2008),表2分析了不同天气条件分类下两种观测日照时数在日尺度的差异,结果表明:

(1) 两种观测资料的差异随云量的增加逐渐增大,在晴空条件下( $TCC \leq 2$ 成),两种观测资料的平均差值(相对差值)为 $-0.17 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ( $-1.88\%$ ),在多云条件下( $TCC > 2$ 成耳  $TCC \leq 9$ 成),太阳或蔽

或露,往往导致日照计观测的感光迹线比实际日照时数多,两种观测资料的平均差值为 $-0.64 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-9.08\%$ ),在阴天条件下( $\text{TCC}>9$ 成),由于云量对太阳辐射强度的削弱,两种观测资料的绝对差异变小但相对差异增大,平均差值为 $-0.62 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-26.73\%$ )。

(2) 两种日照时数的差异随气温条件的变化规律表现为气温低于 $-10^\circ\text{C}$ 条件下,直接辐射表高于日照计观测记录,平均差值为 $0.14 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $2.66\%$ ),当气温高于 $-10^\circ\text{C}$ 时,直接辐射表低于日

照计观测记录,且随温度升高差异增大,气温在 $25 \sim 30^\circ\text{C}$ 条件下两种资料差异达到最大,当气温高于 $30^\circ\text{C}$ 时,两种资料的差异随温度的升高呈减小趋势。

(3) 随相对湿度的增加,空气中水汽对太阳辐射度的削弱增强,两种观测日照时数绝对差异呈减小趋势,但相对差异呈增大趋势。相对湿度低于 $80\%$ 时,两种观测资料差值在 $-1.0 \sim -0.5 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-10\% \sim -5\%$ ),相对湿度高于 $80\%$ 时,两种观测资料差值在 $-0.5 \sim -0.1 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-50\% \sim -10\%$ )。

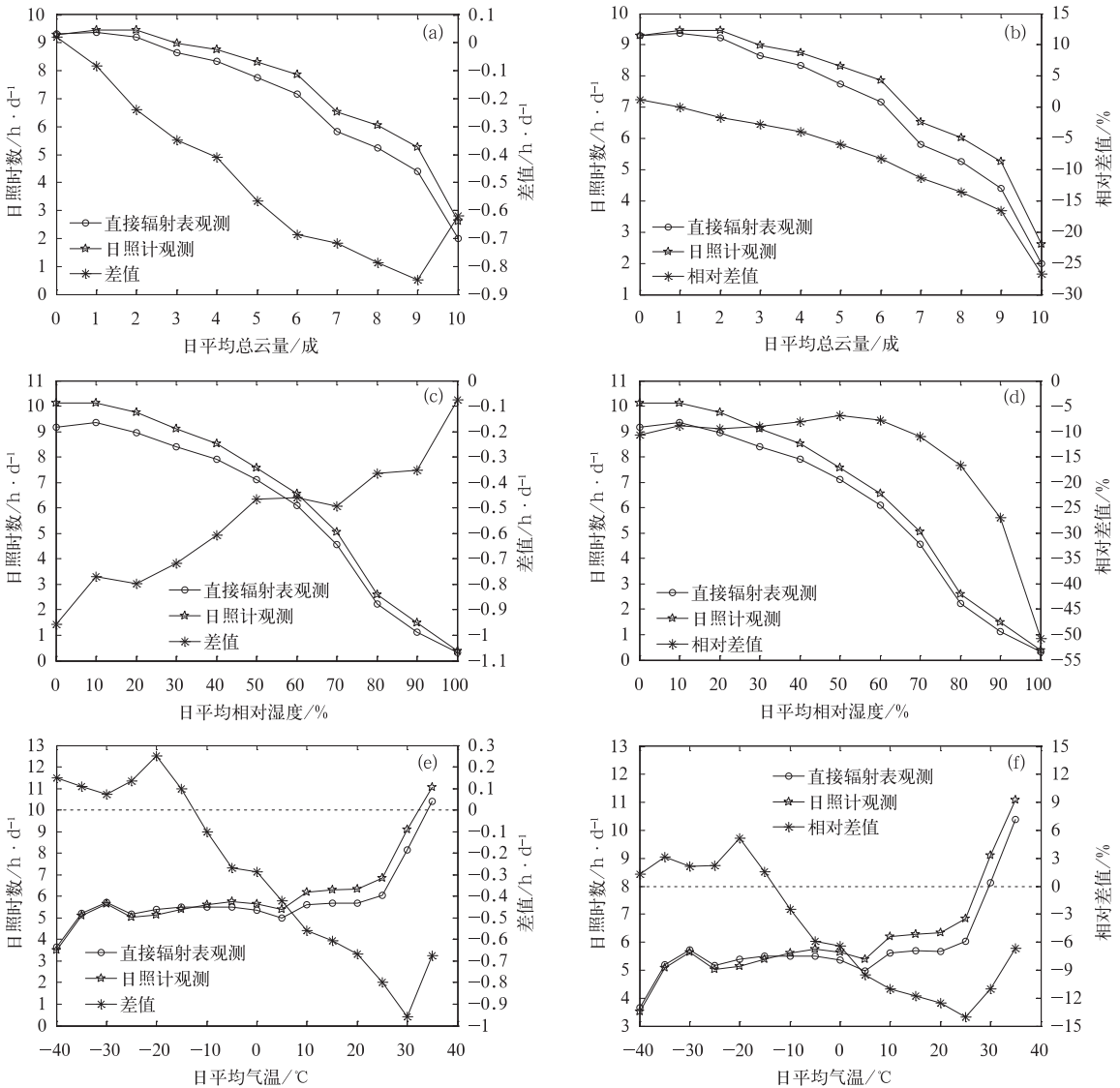


图 5 不同天气条件下直接辐射表与日照计观测日照时数日值差异分布

(相对湿度:0 代表 0~10%,10 代表 10%~20%,……;气温:-40 代表 -40~-35℃,-35 代表 -35~-30℃,……)

Fig. 5 Distribution of difference between two types of daily sunshine duration under different weather conditions

(RH: 0 represents 0%—10%, 10 represents 10%—20%, …; TEM: -40 represents -40—-35℃, -35 represents -35—-30℃, …)

表2 不同天气条件下直接辐射表与日照计观测日照时数日值的差异  
Table 2 Difference of daily sunshine duration between pyrheliometer and sunshine recorder under different conditions

天气条件分类	差值平均值/h·d <sup>-1</sup>	差值标准差/h·d <sup>-1</sup>	相对差值/%
TCC≤2成	-0.17	0.96	-1.88
TCC>2成且TCC≤9成	-0.64*	1.23	-9.08
TCC>9成	-0.62*	1.27	-26.73
RH≤30%	-0.79*	1.32	-9.24
RH>30且RH≤80%	-0.51*	1.25	-8.79
RH>80%	-0.36*	1.01	-18.91
TEM≤-10℃	0.14*	1.09	2.66
TEM>-10℃且TEM<0℃	-0.20*	1.11	-4.56
TEM>0℃且TEM≤30℃	-0.59*	1.21	-11.44
TEM>30℃	-0.95*	1.31	-10.86

注：\*表示通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。

## 2.4 观测仪器导致的系统偏差

观测仪器的不同也是直接辐射表和日照计观测有差异的原因之一,主要表现为观测仪器的系统偏差以及其他因素影响造成的仪器观测误差,本节中只讨论仪器的系统偏差,其他因素影响造成的仪器误差将后续研究。就系统偏差而言,日照计主要取决于日照纸感光灵敏度;直接辐射表主要取决于仪器本身和跟踪装置的灵敏度。低云量、低湿度条件下天气条件对日照观测的影响较小,观测的日照时数差异可近似为两种观测仪器系统偏差的影响,本节计算了低云量、低湿度条件下直接辐射表与日照计在日出时段(日照强度快速增强,直接辐射表对光点未调好)、日落时段(日照强度快速降低,直接辐射表对光准确)和其他时段(日照强度变化慢,直接辐射表对光准确)观测日照时数的差异(表3),在日出时段,可能直接辐射表没有迅速调好对光点,直接辐射表较日照计观测低 $0.2\text{ h}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右,在日落时段直接辐射表较日照计高 $0.2\text{ h}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右,在其他时段直接辐射表较日照计低 $0.1\text{ h}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右。

## 2.5 相关模型

参照全国一级气候区划的划分标准(中国气象局预测减灾司等,2006),结合日照时数的空间分布情况(颜宏等,2002),将全国分为7个区域(图6):西北、内蒙古地区(I区)、东北地区(II区)、西藏地区(III区)、华北、黄淮、江汉、江淮、江南地区(IV区)、四川盆地地区(V区)、云贵高原地区(VI)、华南地区(VII区)。采用线性回归方法建立两种观测日照时数的相关模型:

$$Y = A + BX \quad (4)$$

其中, $X$ 为日照计观测日照时数日值, $Y$ 为直接辐射表观测日照时数日值, $A$ 和 $B$ 分别为拟合系数。

全国7个区域的两种观测日照时数日值之间均存在较好的相关关系,拟合系数 $B$ 接近1,相关系数均在0.88以上(表4)。各地区两种观测日照时数

表3 低云量、低湿度条件下两种观测日照时数在日出、日落和其他时段的差值平均值

Table 3 Difference of daily sunshine duration between pyrheliometer and sunshine recorder under low cloud cover and low humidity at sunrise, sunset and other periods in a day

区站号	区站名	直接辐射表与日照计小时日照时数差异/h·h <sup>-1</sup>		
		日出时段	日落时段	其他时段
50953	哈尔滨	-0.1	0.2	0.1
51463	乌鲁木齐	-0.2	0.2	-0.1
51709	喀什	-0.3	0.1	-0.1
52267	额济纳旗	-0.2	0.3	0.0
52983	榆中	-0.2	0.2	-0.1
54342	沈阳	-0.2	0.2	-0.1
55591	拉萨	-0.3	0.2	-0.1
57083	郑州	-0.1	0.2	0.0

注:15个站中其他站数据不符合低云量、低湿度条件,以上站点样本量均>730。

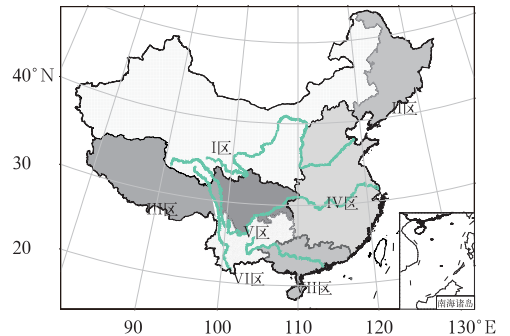


图6 日照时数区划图

Fig. 6 Zoning map of sunshine duration

表 4 直接辐射表与日照计日照时数日值拟合系数和相关系数  
Table 4 Linear fitting coefficients and correlation coefficients between pyrheliometer and sunshine recorder observations over different regions of China

系数	I 区	II 区	III 区	IV 区	V 区	VI 区	VII 区
A	0.51	0.28	1.23	0.09	0.01	0.38	0.16
B	0.97	0.92	1.01	0.93	0.93	0.94	0.90
R	0.96	0.96	0.88	0.96	0.98	0.96	0.95

的相关性均通过了  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验,表明两种资料虽然存在显著差异,但具有较好的相关性。

### 3 结 论

本文利用 15 个气象辐射一级站直接辐射表与日照计平行观测的日照时数资料,对比分析了不同区域、不同季节、不同时间尺度、不同天气条件下两种资料的差异分布特征。主要结论如下:

(1) 直接辐射表与日照计观测日照时数日值资料的差值(相对差值)平均为  $-0.51 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-8.30\%$ ),71.5%的差值分布在  $\pm 1 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  之间,其中 38.7%分布于  $\pm 0.2 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  之间。两种资料差异具有明显的季节变化规律和区域变异,夏季和春季较大,冬季最小,西北地区西部、西藏地区及海南地区差异较大,东北、黄淮及四川盆地差异最小。

(2) 直接辐射表与日照计日照时数差异具有明显的日变化,在日照时数快速升高的日出阶段,直接辐射表较日照计观测低  $0 \sim 0.3 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$ ,在日照时数快速减少的日落阶段直接辐射表较日照计观测高  $0 \sim 0.3 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$ ,其他时段直接辐射表观测与日照计观测记录的差值在  $\pm 0.2 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$  之间。

(3) 受天气条件的影响,两种观测资料的差异随云量增加逐渐增大,在晴空、多云和阴天条件下的平均差值(相对差值)分别为  $-0.17 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-1.88\%$ )、 $-0.64 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-9.08\%$ )和  $-0.62 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-26.73\%$ );气温低于  $-10^\circ\text{C}$  条件下,平均差值为  $0.14 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $2.66\%$ ),当气温高于  $-10^\circ\text{C}$  时,直接辐射表低于日照计观测记录,且随温度升高差异增大,气温在  $25 \sim 30^\circ\text{C}$  条件下两种资料差异达到最大,当气温高于  $30^\circ\text{C}$  时,两种资料的差异随温度升高呈减小趋势;随相对湿度增加,两种观测资料差异减小但相对差异增大,相对湿度低于 80% 时,差异在  $-1.0 \sim -0.5 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-10\% \sim -5\%$ ) 之间,相对湿度高于 80% 时,差异在  $-0.5 \sim -0.1 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $-50\% \sim -10\%$ ) 之间。

(4) 将全国分为 7 个区域,分别建立两种观测

日照时数的相关关系模型,各区两种观测日照时数的相关系数均在 0.88 以上,相关性均通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。

(5) 对比结果表明直接辐射表较暗筒式日照计观测记录平均低  $0.53 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $8.65\%$ ),较聚焦式日照计观测记录平均低  $0.26 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $3.86\%$ ),产生这种结果的可能原因一是观测仪器系统误差导致的差异,约在  $\pm 0.2 \text{ h} \cdot \text{h}^{-1}$ ;二是天气条件变化对直接辐射表跟踪太阳的灵敏度和日照纸感光灵敏度影响导致的差异;三是观测仪器性能稳定性影响导致的差异。因此在日常观测业务中,特别在多云和高湿条件下需要加强对观测仪器的校准和维护。本文只分析了观测仪器系统误差、云量、环境温湿条件因素的影响,观测仪器性能指标等其他影响因素还有待深入研究。

### 参考文献

- 白建辉,王庚辰. 2013. 气温与地表辐射收支的联系:基于禹泰和栾城站点资料的分析. 气象,39(11):1437-1444.
- 曹琦萍,王传辉,周建平,等. 2014. 江淮流域夏半年日照时数气候特征及趋势分析. 气象,40(5):549-554.
- 王晓梅,张山清,普宗朝,等. 2013. 近 50 年乌鲁木齐市太阳能资源时空变化分析. 气象,39(4):443-452.
- 颜宏,沈国权,毛耀顺. 2002. 中华人民共和国气候图集. 北京:气象出版社,69-77.
- 余君,胡玉峰,刘均. 2007. 我国中部地区自动站与人工站气温的差异及原因分析. 气象,33(5):94-99.
- 余君,牟容. 2008. 自动站与人工站相对湿度观测结果的差异及原因分析. 气象,34(12):96-102.
- 中国气象局. 1996. 气象辐射观测方法. 北京:气象出版社,7-8.
- 中国气象局. 2003. 地面气象观测规范. 北京:气象出版社,81-84.
- 中国气象局预测减灾司等. 2006. 中国气象地理区划手册. 北京:气象出版社,10-95.
- 张纬敏,谭月香. 2000. 日照计测量误差探讨. 气象,26(5):17-19.
- Feng Song, Hu Qi, Qian Weihong. 2004. Quality control of daily meteorological data in China, 1951-2000; a new dataset. Inter J Climatol, 24(7):853-870.
- Muneer T, Fairouz F. 2002. Quality control of solar radiation and sunshine measurements-lessons learnt from processing worldwide databases. Build Ser Eng Res Tech, 23(3):151-166.
- WMO. 1981. Commission for Instruments and Method of Observation. Abridged Final Report of the Eighth Session. Mexico City: WMO-NO. 590.