

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.10.002

# 利用总辐射估算日照时数的方法研究\*

崇伟 吕文华 丁蕾 边泽强  
(中国气象局气象探测中心 北京 100081)

**摘要:**介绍了一种由总辐射估算日照时数的方法,利用云南丽江太阳能资源观测站总辐射表和直接辐射表观测的总辐射和直接辐射资料,以总辐射和地球外总辐射求得晴朗指数,以直接辐射大于  $120 \text{ W/m}^2$  的时间累积作为日照时数参考标准值,分析晴朗指数和日照时数之间的关系,采用分段拟合的方法,得到由总辐射估算日照时数的分段函数关系。通过丽江观测数据验证,由总辐射计算得到的日照时数与直接辐射表观测的日照时数之间的线性相关系数达到 0.992 3,具有良好的相关性,两者之间月累计误差 0.07 h,月内每日误差的均方根误差为 0.5 h,能够较好地由太阳总辐射估算出日照时数。

**关键词:**日照时数;总辐射;晴朗指数;天顶角

**中图分类号:** TN29;P414.5<sup>+2</sup>      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 170.1520

## Study on estimation method for sunshine duration using global radiation

Chong Wei Lv Wenhua Ding Lei Bian Zeqiang

(Meteorological Observation Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract:** A pyranometric method for determination of sunshine duration is proposed. Global solar radiation measured with pyranometer and direct solar radiation measured with pyr heliometer at Solar Energy Resource Observation Station in Lijiang, Yunnan province is used. The clearness index is set as an independent variable which is calculated from the ratio of global solar radiation to extraterrestrial solar radiation, the sum of the time, for which the direct solar irradiance exceeds  $120 \text{ W/m}^2$ , is set as the sunshine duration reference. The relationship between clearness index and sunshine duration is analyzed, and the piecewise function is obtained by segmentation fitting for estimating sunshine duration. Though the verification of the observation date in Lijiang, the sunshine duration reference and sunshine duration estimated by the method have good correlation, the coefficient between the two sunshine durations is up to 0.992 3, the difference of the month summation is 0.07 h, the root mean squared deviation of daily differences in a month is 0.5 h. And the method has a good performance to estimate the sunshine duration.

**Keywords:** sunshine duration; global radiation; clearness index; zenith angle

## 0 引言

日照时数是表征一个地区气候学特征的重要参数,根据世界气象组织(WMO)气象观测仪器和观测方法指南(CIMO-VIII)的建议,日照时数定义为在给定时段内太阳直接辐射照度超过  $120 \text{ W/m}^2$  的各段时间的总和<sup>[1]</sup>。不仅在气候研究方面,日照时数在旅游休养,农业生产,建筑节能

和各种太阳能利用领域具有重要价值,尤其当一个地区缺少太阳辐射数据时,日照时数可以作为替代数据。

长期以来,为获取准确的日照时数资料,世界各国都在研究利用不同的仪器和方法进行测量,以获得日照时数数据,我国地面气象观测规范也将日照时数定为基本观测量之一,在全国 2 400 多个国家级气象观测台站开展日照时数测量。目前,用于日照时数测量的仪器主要有直接辐射表、康培尔—斯托克日照计、双金属片日照

收稿日期:2017-07      Received Date: 2017-07

\* 基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406037)资助

计、暗筒式(乔唐)日照计和光电型日照计等<sup>[2-3]</sup>。我国气象站主要用的还是暗筒式日照计,利用太阳光通过仪器上的小孔射入筒内,使涂有感光剂的日照纸上留下感光迹线,来计算日照时数,其准确性和一致性依赖于人工经验、日照纸药水浓度等。直接辐射表是 CIMO 指南推荐测量日照时数标准值的方法,将直接辐射表安装在太阳跟踪器上连续测量直接辐射,累计直接辐射超过  $120 \text{ W/m}^2$  的时间总和,即得到日照时数,但是由于直接辐射表和太阳跟踪器的成本高和维护难等原因,这种方法往往只在国家级台站应用,难以大范围推广。然而,总辐射表由于维护简单、总辐射数据应用广等原因,部署台站较多,可用于日照时数的分析研究。

利用总辐射估算日照时数不仅为获取日照时数提供了一种选择,为没有日照观测仪器的地区取得日照资料,用于气候研究和生活生产,而且能够验证总辐射与日照时数之间的相关关系,为辐射数据质量控制和融合应用提供方法。目前,研究用日照时数估算总辐射的文献已经很多,像 Das 等人<sup>[4]</sup>和 Liu 等人<sup>[5]</sup>就分别给出了利用日照时数估算韩国和中国大城市总辐射的研究方法;毛洋洋等人<sup>[6]</sup>对比了5种常见太阳总辐射模型在华北地区的有效性;El-Metwally<sup>[7]</sup>分析研究了埃及不同站点日照时数和总辐射的估计值;周晋等<sup>[8]</sup>运用国内69个气象台站太阳辐射和日照资料对 Ångström 估算公式进行了修正研究。诸多研究都是立足于日照时数,求取太阳总辐射,但是基于总辐射数据,研究估算日照时数的方法还相对较少,Vivar 等人<sup>[9]</sup>提出了用光电池测量的总辐照度估算日照时数的方法;Elagib 等人<sup>[10]</sup>对苏丹境内晴朗指数和日照时数的相关性做了研究;Slob 等人<sup>[11]</sup>提出了利用10 min 内太阳总辐射最大、最小、平均值来估计该间隔内日照时数的方法,Hinssen 等人<sup>[12]</sup>比较了利用直接辐射和总辐射分别计算日照时数的效果。

本文利用云南丽江太阳能资源观测站总辐射表和直接辐射表观测的总辐射和直接辐射资料,以总辐射和地球外总辐射求得晴朗指数,以直接辐射大于  $120 \text{ W/m}^2$  的时间累积作为日照时数标准值,分析晴朗指数和日照时数之间的关系,通过概率分布选择合适的分割点,采用分段拟合的方法,得到由总辐射估算日照时数的分段函数关系,通过比较日照时数计算值与标准值发现,该方法计算出的日照时数与标准值误差较小。

## 1 数据资料

本文选用云南省丽江市太阳能资源观测站2012年4月份观测的10 min 水平面总辐射和法向直接辐射资料进行研究,总辐射由 FS-S6 型总辐射表测得,作为日照时数应变量,直接辐射由 FS-D1 型直接辐射表测得,其值大

于  $120 \text{ W/m}^2$  的累积时间作为日照时数标准值。太阳能资源观测站站点位于  $26.51^\circ \text{ N}$ ,  $100.12^\circ \text{ E}$ , 海拔  $2380.9 \text{ m}$ , 这里常年太阳辐射充裕,空气干燥,气溶胶光学厚度较低,而且遮挡物少,被用于全国辐射仪器比对外场,举行过多次全国直接辐射表比对活动<sup>[13-15]</sup>。站内建设有全面的气象辐射观测设备,涵盖水平面、纬度面和垂直面观测的总辐射、直接辐射、散射辐射、长波辐射、紫外辐射等多种辐射要素,同时配套有温、湿、压等环境要素观测传感器,采集环境要素,观测数据可靠,被广泛用于仪器性能评估和学术研究。

为保证数据资料的质量,数据在使用之前需要进行质量控制。首先,舍弃数据采集器、供电或太阳跟踪器出现故障前后采集的数据;其次,舍弃散射辐射大于1.1倍总辐射时对应的数据;舍弃总日射大于1.2倍太阳常数和散射辐射大于0.8倍太阳常数对应的数据,太阳常数取  $1367 \text{ W/m}^2$ ;舍弃太阳高度角大于  $85^\circ$  时的辐射数据;最终获得2169组数据用于方法研究和验证。

## 2 方法研究

根据 CIMO 指南关于日照时数与其他气象要素相关性的介绍,日照时间和太阳总辐射  $G$  之间的相关性由所谓的 Ångström 公式来描述<sup>[1]</sup>:

$$G/G_0 = a + b \cdot (SD/SD_0) \quad (1)$$

式中: $G$  为地面观测的水平面太阳总辐射, $G_0$  为地球大气层外太阳总辐射, $SD$  为地面观测的日照时数, $SD_0$  为地球大气层外日照时数, $a$  和  $b$  是常数,须每月确定, $G/G_0$  即为晴朗指数。

显而易见,Ångström 公式首先考虑的是从日照时数推算太阳总辐射,而且对云量的影响难以符合日照时数的实际观测结果,计算结果也只是在统计意义上效果较好,其从太阳总辐射反推日照时数的效果尚不清楚。本文从 Ångström 公式入手,考虑由10 min 间隔内太阳总辐射  $G$  与地外太阳总辐射  $G_0$  之比(10 min 间隔内的晴朗指数)作为自变量,以10 min 间隔内直接辐射大于  $120 \text{ W/m}^2$  的累积时间占10 min 时间间隔之比作为因变量,通过拟合数据,取得两者之间的数学关系,这其中只有  $G_0$  是计算量,其余都是观测值,如此,知道了太阳总辐射观测值即可估算出对应的日照时数。

$G_0$  作为地球大气层外太阳总辐射,可通过式(2)计算<sup>[12]</sup>。

$$G_0 = I_0 \cos \alpha \left( \frac{R}{AU} \right)^2 \quad (2)$$

式中: $I_0$  是太阳常数,取  $1367 \text{ W/m}^2$ ;  $\alpha$  是太阳天顶角; $R$  是日地距离; $AU$  是日地平均距离,即1个天文单位,  $149\,597\,870\,700 \text{ m}$ 。

天顶角余弦  $\cos\alpha$  和日地距离  $R$  由式(3)~(10)计算<sup>[1]</sup>。

$$JD = 2\,432\,917.5 + (y - 1949) \times 365 + INT[(y - 1949)/4] + d + h/24 \quad (3)$$

$$\tan(ra) = \cos(ep) \cdot \sin l / \cos l \quad (4)$$

$$\sin(dec) = \sin(ep) \cdot \sin l \quad (5)$$

$$GMST = 6.697\,375 + 0.065\,709\,824\,2n + h \quad (6)$$

$$LMST = GMST + elong / (15^\circ h^{-1}) \quad (7)$$

$$ha = 15 \times LMST - ra \quad (8)$$

$$\cos\alpha = \sin(dec) \cdot \sin(lat) + \cos(dec) \cdot \cos(lat) \cdot \cos(ha) \quad (9)$$

$$R = 1.000\,14 - 0.016\,71 \cdot \cos g - 0.000\,14 \cdot \cos(2g) \quad (10)$$

式中:  $JD$  为儒略日序号;  $y$  是年份;  $d$  是一一年中的第几天(如2月1日为第32天);  $h$  是世界时时间;  $INT[\ ]$  是取整函数;  $ra$  是赤经;  $dec$  是赤纬;  $ep$  是黄道倾角, 等于  $23.439 - 0.000\,000\,4 \cdot n$  ( $^\circ$ ),  $n = JD - 245\,154\,5$ ;  $l$  是黄道经度, 等于  $L + 1.915 \cdot \sin(g) + 0.020 \cdot \sin(2g)$ , ( $0 \leq l < 360^\circ$ );  $g$  是平均近点角, 等于  $357.528 + 0.985\,600\,3 \cdot n$ , ( $0 \leq g < 360^\circ$ );  $L$  是平均经度, 等于  $280.460 + 0.985\,647 \cdot n$ , ( $0 \leq L < 360^\circ$ );  $GMST$  是格林威治平均恒星时, ( $0 \leq GMST < 24\text{ h}$ );  $LMST$  是地方平均恒星时;  $elong$  是东经, 东经为正;  $lat$  是纬度, 北纬为正。

利用上述公式, 计算4月份数据资料, 以每10 min 总辐射  $G$  计算晴朗指数  $G/G_0$  为自变量, 以每10 min 间隔内直接辐射大于  $120\text{ W/m}^2$  的累计时间与这10 min 时间间隔之比  $f$  作为因变量, 两者分布如图1所示。

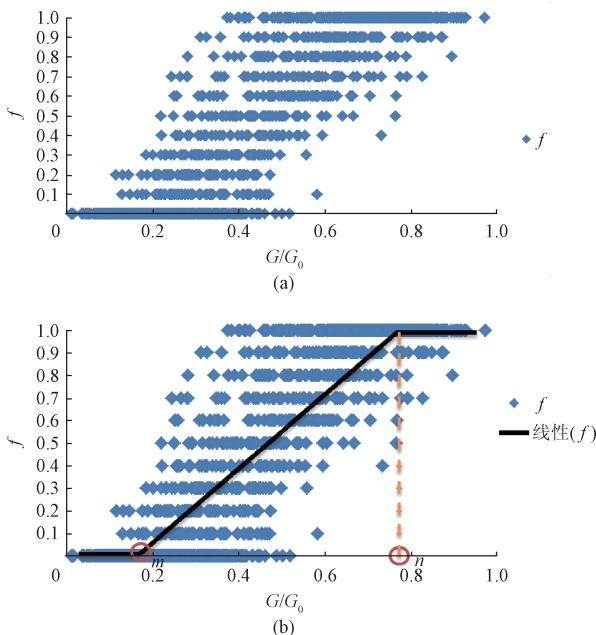


图1  $G/G_0$  与直接辐射累计日照占比分布关系  
Fig. 1 Pyrheliometric sunshine duration  $f$  vs  $G/G_0$

由于直接辐射表以分钟数据输出, 对应的就是该分钟有无日照, 累计每个10 min 的日照时间占这10 min 的比例就是0.1的倍数, 所以图1(a)中  $f$  呈直线分布在0.1的倍数线上。图1(b)中黑色线段是对  $f$  的分段线性拟合, 其与  $x$  轴的交点为  $m, y = 1$  时,  $x = n$ , 因此, 得到  $f$  的函数关系:

$$f = \begin{cases} 0, & G/G_0 \leq m \\ (x - m)/(n - m), & m \leq G/G_0 \leq n \\ 1, & G/G_0 \geq n \end{cases} \quad (11)$$

如此一来,  $G/G_0$  不难计算, 关键在于根据数据确定分割点  $m$  和  $n$  的值, 这样就可以得到  $f$  值, 当  $G/G_0 \leq m$  时,  $f = 0$ , 则该10 min 日照时间等于  $10 \times 0$ , 即0 min; 当  $m \leq G/G_0 \leq n$ ,  $f = (x - m)/(m - n)$ , 该10 min 日照时间等于  $10 \times (x - m)/(m - n)$ ; 当  $G/G_0 \geq n$  时,  $f = 1$ , 该10 min 日照时间等于  $10 \times 1$ , 即10 min。通过将每10 min 内的日照时数累计, 即可得到小时累计日照时数、日累计日照时数和更大时间尺度的日照时数。

统计得到  $f$  在  $0, 0.1, \dots, 0.9, 1$  上出现的频次如图2所示, 可以发现,  $f$  主要集中在0和1, 分别为795和780, 两者数据量相差不多, 其余均匀分布与  $0.1 \sim 0.9$ , 分别在60个数据量左右。为结合图1中  $f$  与  $G/G_0$  之间的分布关系, 为保持分段数据之间的平衡, 经过分析,  $m$  取0.3,  $n$  取0.6。需要指出的是, 本文的  $m, n$  值并不能通用, 因为其根据丽江地区4月份的数据分析而来, 如果计算其他地方的日照时数, 需根据数据再做分析确定。

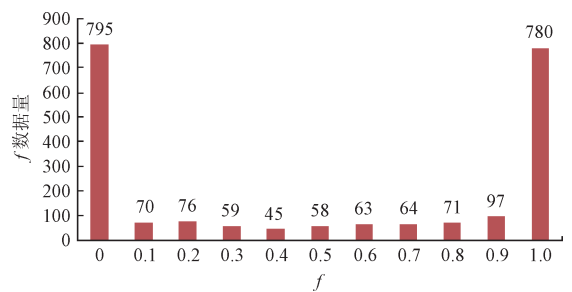


图2  $f$  分布频次

Fig. 2 The distribution frequency of  $f$

将  $m = 0.3, n = 0.6$  代入式(11), 式(11)转换为式(12)。

$$f = \begin{cases} 0, & G/G_0 \leq 0.3 \\ 10 \cdot (x - 0.3)/3, & 0.3 \leq G/G_0 \leq 0.6 \\ 1, & G/G_0 \geq 0.6 \end{cases} \quad (12)$$

日照时数可由式(13)计算。

$$SD = 10 \cdot f \quad (13)$$

### 3 结果分析

根据式(12)和(13),重新计算数据资料,重新拟合分段函数,如图2所示,当 $G/G_0 \leq 0.3$ 时,该10 min做无日照处理,日照时间等于0 min;当 $0.3 \leq G/G_0 \leq 0.6$ ,该10 min日照时间等于 $100 \cdot (x - 0.3)/3$ ;当 $G/G_0 \geq 0.6$ 时,该10 min内全有日照,日照时间等于10 min。将分钟数据累加,得到4月份每日日照时数数据,列于表1,并以直接辐射表测得直接辐射 $> 120 \text{ W/m}^2$ 的累计时间为标准,作为衡量本文给出方法有效性的标准。

表1 直接辐射表测得日照时数与方法估算日照时数  
Table 1 Pyrheliometric and calculated sunshine duration

日期	直接辐射时数/h	估算日照时数/h
2012/4/1	10.93	10.60
2012/4/2	10.33	10.32
2012/4/3	9.10	8.43
2012/4/4	9.50	8.97
2012/4/5	4.02	4.18
2012/4/6	4.78	4.88
2012/4/7	4.62	4.59
2012/4/8	1.22	1.45
2012/4/9	3.90	4.61
2012/4/10	7.08	7.16
2012/4/11	7.80	7.99
2012/4/12	5.25	5.84
2012/4/13	6.50	6.57
2012/4/14	8.32	7.72
2012/4/15	8.30	8.34
2012/4/16	5.42	5.45
2012/4/17	6.17	6.06
2012/4/18	6.62	6.40
2012/4/19	2.60	2.99
2012/4/20	7.60	7.53
2012/4/21	7.72	7.31
2012/4/22	1.50	1.49
2012/4/23	11.17	11.06
2012/4/24	5.67	5.51
2012/4/25	2.95	2.65
2012/4/26	3.80	4.50
2012/4/27	4.33	4.48
2012/4/28	4.13	4.06
2012/4/29	5.85	5.50
2012/4/30	5.27	5.87
月累计日照时数	182.43	182.50

从表1可见,由直接辐射测量得到4月份日照时数累计182.43 h,由本文提出的方法估算的日照时数为182.50 h,两者相差0.07 h,从日照时数月总量这一指标来看,本文提出的估算方法与直接辐射表实际测得的日

照时数非常接近,误差小于WMO关于日照时数测量不确定度小于 $\pm 0.1 \text{ h}$ 的要求。

以月日照时数总量来评价估算模型的优劣存在一定的局限性,因为月日照时数总量的差存在正负抵消的情况,如此一来,单日误差可能仍然很大,因此,需要以更小的时间尺度来衡量估算模型的性能,每日日照时数的误差如图3所示。

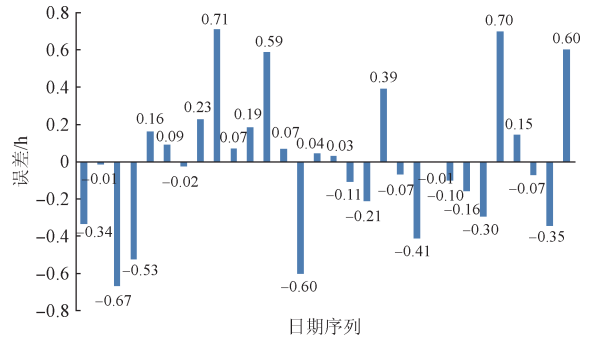


图3 直接辐射日照时数与计算日照时数日误差  
Fig. 3 Difference between pyrheliometric and calculated sunshine duration

从图3可见,直接辐射表测得的日照时数与方法估算日照时数日误差之间误差均值并不明显,但是,日误差波动比较大,日误差较大值不仅出现在低日照时数的天气,也出现在高日照时数的天气,造成这种波动的原因可能在于,云量的不均匀分布和天气的变化。

为进一步量化分析估算模型日误差指标,本文采用日误差的均方根误差 $R^2$ ,评价日误差的波动性,如式(14)。

$$R^2 = \left( \frac{\sum_i^n (SD_{ei} - SD_{pi})^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

式中: $i$ 为样本序号, $n$ 为样本总量, $SD_{ei}$ 为第 $i$ 天估算模型估算出的日照时数, $SD_{pi}$ 为第 $i$ 天直接辐射表测得的日照时数。

$R^2$ 可用作模型随机误差的指标,通过比较直接辐射表测得的日照时数与方法估算日照时数之间的实际偏差,可以给出方法估算日照时数的离散度信息。 $R^2$ 值越小,估算模型的精密度越高。将表1中的数据代入式(14),日误差的均方根误差为0.5 h,即本文方法估算的日照时数在1 d与直接辐射表测得的日照时数之间有0.5 h的离散波动,这个量值的误差在太阳能资源利用和农业生产中可以接受。

评价估算模型性能的另一个方法是计算直接辐射表测量的日照时数与估算日照时数之间的相关性,相关系数 $\rho^2$ 由式(15)计算。

$$\rho^2 = \left( \frac{\sum_i^n (SD_{ei} - \overline{SD_e})(SD_{pi} - \overline{SD_p})}{\sqrt{\sum_i^n (SD_{ei} - \overline{SD_e})^2 \sum_i^n (SD_{pi} - \overline{SD_p})^2}} \right)^2 \quad (15)$$

式(15)中变量的定义与式(14)中一样,  $\overline{SD_e}$  为估算出的日照时数的均值,  $\overline{SD_p}$  为直接辐射表测得的日照时数的均值。

相关系数越接近于1,说明两者之间的相关性越好。利用式(15)计算表1中一个月的日照时数,相关系数达到0.9923,每日日照时数呈现较好的相关性。与相关系数一样,越接近于1的线性同样能够说明实测与估算之间的一致性,将直接辐射表实测日照时数与方法估算的日照时数数据分别作为 $x$ 轴和 $y$ 轴画图,两者之间的线性分布如图4所示,斜率为0.9314,均方根误差为0.9846,斜率接近于1,均方根接近于0,呈现出较好的线性。

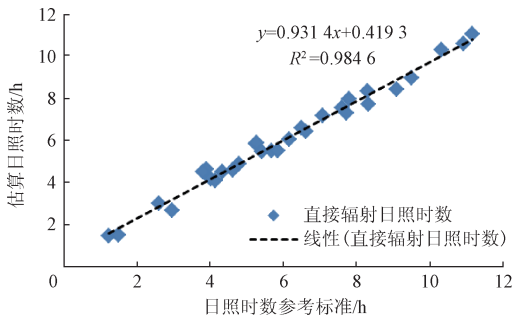


图4 直接辐射表测得日照时数与方法计算日照时数分布  
Fig.4 Distribution of pyrheliometric and calculated sunshine duration

## 4 结论

本文介绍了一种由总辐射估算日照时数的方法,利用观测总辐射数据和地球大气外总辐射之比作为条件变量,以直接辐射表测得直接辐照度大于 $120 \text{ W/m}^2$ 的累计日照时间作为参考标准,通过数据分析,分段线性拟合,得到总辐射和日照时数之间的关系式。对2012年4月份丽江地区观测数据进行分析计算,由本文方法估算的日照时数与参考标准日照时数具有良好的相关性,相关系数达到0.9923,月累计误差0.07h,月每日误差的均方根误差为0.5h,总的来看,该方法能够较好地利用总辐射估算出日照时数,可以为获得日照时数提供一种思路,但是不能否认,日误差的标准偏差还相对较大,分析可能与云量分布或者天气变化有关,方法获得的分割点只适用于丽江地区4月份数据,要想估算其他地方日照时数,还需根据该方法再做推算。

## 参考文献

[1] WMO. Guide to meteorological instruments and methods of observation [R]. WMO-No. 8, 2014.

- [2] 赵世军,刘西川,高太长. 日照计发展现状及前景分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2011, 6(2): 96-99.  
ZHAO SH J, LIU X CH, GAO T CH. Current situation and prospect analysis for sunshine recorder [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2011, 6(2): 96-99.
- [3] 吕文华,崇伟,丁蕾. 光电型自动日照计性能比对试验与分析[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(6): 928-933.  
LV W H, CHONG W, DING L. Analysis and test of photoelectric sunshine duration recorders [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(6): 928-933.
- [4] DAS A, PARK J K, PARK J H. Estimation of available global solar radiation using sunshine duration over South Korea [J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2015, 134(11): 22-29.
- [5] LIU J D, LINDERHOLM H, CHEN D L, et al. Changes in the relationship between solar radiation and sunshine duration in large cities of China [J]. Energy, 2015, 82(3): 589-600.
- [6] 毛洋洋,赵艳霞,张祎,等. 五个常见日太阳总辐射模型在华北地区的有效性验证及分析[J]. 中国农业气象, 2016, 37(5): 520-530.  
MAO Y Y, ZHAO Y X, ZHANG Y, et al. Validation and analysis of five general daily solar radiation estimation models used in northern China [J]. Chinese journal of agrometeorology, 2016, 37(5): 520-530.
- [7] EL-METWALLY M. Sunshine and global solar radiation estimation at different sites in Egypt [J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2005, 67(14): 1331-1342.
- [8] 周晋,吴业正,晏刚. 中国太阳总辐射的日照类估算模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(6): 925-927.  
ZHOU J, WU Y ZH, YAN G. Sunshine-based model for estimating global solar radiation in China [J]. Journal of Harbin institute of technology, 2006, 38(6): 925-927.
- [9] VIVAR M, FUENTES M, NORTON M, et al. Estimation of sunshine duration from the global irradiance measured by a photovoltaic silicon solar cell [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 36(8): 26-33.
- [10] ELAGIB N A, ALVI S H, MANSELL M G. Correlations between clearness index and relative sunshine duration for Sudan [J]. Renewable Energy, 1999, 17(4): 473-498.
- [11] SLOB W H, MONNA W A A. Determination of direct and diffuse irradiance and sunshine duration from 10-

minute values of the global irradiance [ R ]. KNMI Technical Report, TR - 136, 1991.

- [ 12 ] HINSSEN Y B L, KNAP W H. Comparison of pyranometric and pyr heliometric methods for the determination of sunshine duration [ J ]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2007 ( 24 ): 835-846.
- [ 13 ] 崇伟,吕文华,沙奕卓,等. 云南省丽江地区倾斜面太阳总辐射计算模型对比分析[ J ]. 太阳能学报, 2015, 36(12):3041-3047.  
CHONG W, LV W H, SHA Y ZH, et al. Comparison analysis of models for calculating global solar radiation on tilted surface in Lijiang, China [ J ]. Acta Ener giae Solaris Sinica, 2015, 36(12): 3041-3047.
- [ 14 ] 刘娜,任芝花,余予. 直接辐射表与日照计观测日照时数的差异评估[ J ]. 气象, 2015, 41(1):68-75.  
LIU N, REN ZH H, YU Y. Comparative evaluation of sunshine duration observations by pyr heliometer and operational sunshine recorders [ J ]. Meteorological Monthly, 2015, 41(1): 68-75.
- [ 15 ] FU C B, DAN L, CHEN Y L, TANG J X. Trends of the sunshine duration and diffuse radiation percentage on sunny days in urban agglomerations of China during 1960-2005 [ J ]. Journal of Environmental Sciences, 2015, 34(8): 206-211.

作者简介



崇伟, 2009 年于安徽工程大学获得学士学位, 2012 年于南京信息工程大学获得硕士学位, 现为中国气象局气象探测中心工程师, 研究方向是气象辐射测量仪器与方法研究。

E-mail: chongwei@cma.gov.cn

Chong Wei received B. Sc. from Anhui Polytechnic University in 2009, and M. Sc. from Nanjing University of Information Science and Technology in 2012, respectively. He is

currently an engineer in Meteorological Observation Center, China Meteorological Administration ( CMA ). His research interest includes meteorological measurement instrument and technique.



吕文华, 1979 年于清华大学获得学士学位, 现为中国气象局气象探测中心正研级高级工程师和一级注册计量师, 主要研究方向为气象仪器研发和计量测试方法研究。

E-mail: lwhaoc@cma.gov.cn

Lv Wenhua received B. Sc. from Tsinghua University in 1979. Now he is a professor and level 1 certified metrology in Metrological Observation Center, CMA. His main research interests include theory and application of meteorological instruments and test methods.



丁蕾, 2006 年于北方工业大学获得硕士学位, 现为中国气象局气象探测中心高级工程师, 主要研究方向为气象辐射仪器计量测试、校准和数据处理方法研究。

E-mail: dllaoc@cma.gov.cn

Ding Lei received M. Sc. from North China University of Technology in 2006. She is currently a senior engineer in Meteorological Observation Center, CMA. Her research interests include meteorological radiation measurement, instrument calibration and data processing.



边泽强, 2008 年于北京航空航天大学获得博士学位, 现为中国气象局气象探测中心高级工程师, 他的研究方向包括太阳能资源观测仪器和观测方法研究。

E-mail: bianzeqiang@163.com

Bian Zeqiang received Ph. D. from Beihang University in 2008. Now he is an engineer in Meteorological Observation Center, CMA. His research interests include solar energy resources observation instruments and observation methods.