

# 贵州省太阳总辐射计算及其分布规律

胡家敏<sup>1</sup> 吴战平<sup>1,2</sup> 陈中云<sup>1</sup> 徐永灵<sup>1</sup>

(1 贵州省山地气候与资源重点实验室, 2 贵州省气候中心, 贵阳 550002)

**摘要** 利用贵州省仅有的 3 个辐射观测站资料, 比较了用日照百分率拟合与全国通用公式两种方法计算的总辐射的误差, 结果表明: 用日照百分率的计算方法, 其月值和年值的平均相对误差的绝对值都小于 10%, 其效果明显优于用全国通用公式。在贵州省, 太阳总辐射是随着海拔高度的增加而增加, 故选择日照百分率按照海拔高度来分别拟合月总辐射的方法, 利用 1971~2000 年的有关资料, 计算了贵州省各地的总辐射, 并分析了其空间分布特征。

**关键词** 贵州 太阳总辐射 分布特征 计算误差

## 引言

目前, 太阳辐射的计算方法可分为 2 类: 一是统计模式方法, 利用有限的地面辐射观测站资料与影响太阳辐射的各类因子建立统计模型来计算; 二是利用卫星测值反演推算。由于受观测资料的限制, 国内一般都采用统计方法, 且基本上都是利用气候学方法, 可归纳为以下 3 种:  $Q = Q_0 f(s, n)$ ,  $Q = Q_1 f(s, n)$ ,  $Q = Q_2 f(s, n)$ 。 $Q$  为地表接收到的太阳总辐射,  $f(s, n)$  是以日照百分率和总云量表示的天空遮蔽度函数,  $Q_0$ 、 $Q_1$ 、 $Q_2$  分别为天文总辐射、晴天大气总辐射、理想大气总辐射, 这 3 种基数值从 3 个不同的方面反映了太阳辐射在受到云削弱前的状态, 天文总辐射  $Q_0$  表征了太阳辐射在受到大气削弱前的状态, 可按天文公式比较精确地直接计算。理想大气总辐射  $Q_1$  考虑了干洁大气中分子对辐射的影响, 但理想大气总辐射没有包含大气中削弱太阳辐射的主要因子——水汽和气溶胶的影响。晴天大气总辐射  $Q_2$  包含了实际大气中水汽和气溶胶对辐射削弱的影响, 从而使系数能比较单纯地依赖于云的光学性质。从理论说, 天文辐射是实际总辐射的第 1 近似, 理想大气总辐射是第 2 近似, 晴天总辐射是第 3 近似, 晴天总辐射应最接近于实际总辐射。祝昌汉<sup>[2]</sup>等利用全国日射资料站的实测辐射资料和日照百分率, 分别用 3 种基数来拟合系数  $a$ 、 $b$  和相

对误差, 并统计它们的平均值和变异系数, 得出  $a$ 、 $b$  系数的变异系数均以晴天总辐射为基数计算的最小, 并且拟合的相对误差也最小<sup>[1]</sup>。

## 1 计算方法与资料

由于贵州省的辐射观测站很少, 以前有 3 个辐射站点, 分别是贵阳站、威宁站和遵义站, 而目前只有贵阳一个辐射站点了, 其他地区的辐射状况要依靠间接计算来获得, 故而计算方法的选取显得十分重要。考虑到天文辐射可直接用公式计算得到和日照百分率资料的可取性, 本文确定的公式为:

$$Q = Q_0(a + bs)$$

式中:  $Q_0$  为天文辐射,  $s$  为日照百分率。

贵州省的地形起伏很大, 东西海拔高度相差最大的达 2700 m 以上, 而海拔高度越高空气越稀薄, 对太阳辐射的削弱和阻挡作用越小, 而且由于贵州省多阴雨天气, 空气中的水汽含量较大, 对太阳辐射的削弱更多, 海拔高度对太阳辐射的影响不可忽略。但是由于贵州省辐射站点稀少, 历史上只有 3 个不同海拔高度的辐射资料, 不可能建立太阳辐射与海拔高度的相关方程, 再加上南北纬距相差不大, 最大约为  $4^\circ$  (最北的气象站道真纬度为  $28^\circ 53'$ , 最南的册亨站纬度为  $24^\circ 59'$ )。从这个角度上考虑用海拔高度的不同来分区建模(柯晓新<sup>[3]</sup>以降雨量来分区建模以提高经验公式的精度), 具体是: 海拔小于 900 m 的站点, 用遵义

站建立的方程来计算太阳辐射;海拔大于 900 m 而小于 1500 m 的站点,用贵阳站点资料建立的方程来计算太阳辐射;海拔大于 1500 m 的所有站点用威宁站点资料建立的方程来计算太阳辐射。

## 2 月天文辐射计算方法的确定

### 2.1 日出日落时角的计算方法

不考虑坡度坡向的平地的可照时数可由平地太阳日出日落的时角( $\omega_0$ )公式:

$$\omega_0 = \arccos[-\tan\delta \cdot \tan\varphi] \quad (1)$$

其中: $\varphi$ 为纬度; $\delta$ 为赤纬,可利用以下公式:

$$\begin{aligned} \delta = & 0.006894 - 0.399512\cos\theta + 0.072057\sin\theta - \\ & 0.006799\cos2\theta + 0.00089\sin2\theta - 0.002697\cos3\theta + \\ & 0.001480\sin3\theta \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $\theta$ 为日角, $\theta = 2\pi(n-1)/365$ , $n$ 为日序,从 1~365,1月1日为1,以次类推。

### 2.2 月天文总辐射的计算

由日天文辐射总量公式计算出日天文总辐射,然后逐日累加求出月天文总辐射。日天文辐射总量的计算公式<sup>[4]</sup>:

$$Q_0 = \frac{I_0 T}{\pi \rho^2} (\omega_0 \sin\varphi \sin\delta + \sin\omega_0 \cos\varphi \cos\delta) \quad (3)$$

表1 贵阳、遵义、威宁站月太阳辐射计算公式中各月经验系数和统计检验值<sup>[5]</sup>

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
贵 阳	$a$	0.114	0.133	0.123	0.171	0.159	0.153	0.104	0.106	0.153	0.130	0.116	0.139
	$b$	0.770	0.651	0.554	0.441	0.438	0.445	0.557	0.567	0.497	0.575	0.691	0.639
	$R$	0.932	0.798	0.890	0.674	0.840	0.819	0.893	0.865	0.766	0.880	0.900	0.859
	$F$	184.9	49.148	102.65	23.35	67.31	56.85	110.72	83.07	39.68	92.95	114.52	75.84
遵 义	$a$	0.098	0.111	0.114	0.130	0.128	0.134	0.168	0.149	0.128	0.126	0.109	0.127
	$b$	0.858	0.776	0.746	0.593	0.567	0.556	0.425	0.474	0.545	0.628	0.780	0.648
	$R$	0.860	0.910	0.916	0.840	0.878	0.921	0.854	0.880	0.891	0.893	0.934	0.922
	$F$	79.22	134.46	146.71	66.86	93.97	155.92	75.50	96.16	107.72	109.65	190.53	158.95
威 宁	$a$	0.122	0.169	0.136	0.177	0.163	0.179	0.176	0.152	0.154	0.108	0.143	0.174
	$b$	0.724	0.607	0.634	0.518	0.526	0.461	0.472	0.543	0.551	0.724	0.659	0.600
	$R$	0.945	0.917	0.928	0.877	0.890	0.864	0.860	0.918	0.906	0.902	0.948	0.906
	$F$	227.03	142.01	166.96	89.73	102.36	79.16	76.71	144.37	124.21	117.36	238.62	124.15

采用表1各月拟合公式进行贵州省各个站点的月辐射总量的拟合,即用多年平均日照百分率(1971~2000年日照百分率资料)拟合多年平均月辐射值,计算拟合值与实测值的多年平均相对误差(表2)。由表2可以看出各站拟合的相对误差大都在±10%之内,只有个别月份(贵阳3月,遵义8月)超过

了10%。相对误差基本上都是负值,这可能是贵州的阴天较多,用天文辐射作为基数,在大气中的水汽和气溶胶对太阳辐射的削弱上考虑不够,但是总体拟合的效果还是相当好的,这说明用日照百分率建立的回归方程具有一定的代表性,可以用来推算全省的太阳总辐射。

$$\begin{aligned} \rho^2 = (r/r_0)^2 = & 1.000110 + 0.03221\cos\theta + \\ & 0.001280\sin\theta + 0.000719\cos2\theta + \\ & 0.000077\sin2\theta \end{aligned}$$

由太阳赤纬 $\delta$ 、日落时角 $\omega_0$ 、日地相对距离 $\rho$ 、纬度 $\varphi$ 等数据,利用VB编程计算出每日的天文辐射,再逐日累加求得每月的天文辐射,得到贵州省全省各地的每月天文辐射。

### 2.3 用日照百分率计算月总辐射及检验

根据贵阳、遵义、威宁历年各月的实测太阳总辐射和相应的日照百分率,用SPSS软件和线性回归方法,对逐月太阳辐射进行拟合,结果见表1。从表1可以看出各月的相关系数都在0.60以上,大部分在0.9以上, $F$ 值都远远大于 $F_{0.01}$ ,回归方程有意义。

了10%。相对误差基本上都是负值,这可能是贵州的阴天较多,用天文辐射作为基数,在大气中的水汽和气溶胶对太阳辐射的削弱上考虑不够,但是总体拟合的效果还是相当好的,这说明用日照百分率建立的回归方程具有一定的代表性,可以用来推算全省的太阳总辐射。

表 2 利用日照百分率计算的平均月总辐射与观测值的相对误差

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
遵义	-8	-4	-7	-6	-1	-3	-5	-30	-2	5	3	4	2
贵阳	-3	-5	-18	-6	-6	-2	-8	-6	-2	0	-3	1	-6
威宁	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-6	-4	-1	-4	-1	0	-2

### 2.4 全国通用公式计算月总辐射

利用朱志辉的多因子综合法月值公式(全国通用公式)<sup>[6]</sup>计算月总辐射,其公式为:

$$Q = W(0.160 + 0.612X_1 + 0.0384X_1X_2 - 0.00313X_1X_3 - 0.000469X_2X_3)$$

式中,  $Q$  为月总辐射,  $W$  为天文辐射月总量,  $X_1$  为月平均日照百分率,  $X_2$  为海拔高度(km),  $X_3$  为月平均水汽压(hPa)。

由表 3 可以看出,用通用公式计算的多年平均

月总辐射的相对误差较用日照百分率拟合的结果大。比较得出,在贵州省用日照百分率拟合的公式优于全国通用公式,与刘新安<sup>[6]</sup>等用辽宁省的资料计算的结果是相反的。还可以看出,用通用公式计算的多年平均月总辐射的相对误差是随着海拔高度的增加而增加的,而且基本上都是负值(除遵义的 1 月为 0 外),这可能是通用公式中的海拔订正项系数在贵州是偏大的缘故。

表 3 日照模型和通用公式计算的平均月总辐射与观测值的相对误差

方法	站点	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
日照模型	遵义	-8	-4	-7	-6	-1	-3	-5	-30	-2	5	3	4	2
	贵阳	-3	-5	-18	-6	-6	-2	-8	-6	-2	0	-3	1	-6
	威宁	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-6	-4	-1	-4	-1	0	-2
通用公式	遵义	0	-2	-13	-14	-14	-22	-17	-13	-12	-8	-6	4	-10
	贵阳	-11	-11	-17	-17	-20	-24	-22	-19	-18	-12	-12	-7	-16
	威宁	-9	-10	-8	-11	-23	-38	-40	-34	-33	-28	-17	-9	-22

注:日照模型是指用日照百分率拟合公式计算的月总辐射。

## 3 贵州省太阳总辐射的分布特征

### 3.1 太阳总辐射的年际变化

图 1 给出贵阳、威宁、遵义 3 站 1961~1991 年太阳总辐射的变化曲线。可以看出年太阳总辐射基本上是随着海拔高度的增加而增加,威宁的年太阳辐射为 4262.33~5198.01 MJ·m<sup>-2</sup>,贵阳的年太阳辐射为 2886.47~4351.07 MJ·m<sup>-2</sup>,遵义的年太阳辐射为 2767.7~3816.8 MJ·m<sup>-2</sup>。从变化趋势来看,3 站的年际变化呈现下降趋势,其中贵阳和遵义每年的下降幅度分别达到 30.46 MJ·m<sup>-2</sup>和 28.48 MJ·m<sup>-2</sup>,而威宁的太阳总辐射变化不大,每年的下降幅度仅为 2.69 MJ·m<sup>-2</sup>。威宁和贵阳的地理纬度相差不大(只差 17'),海拔高度相差大(相差 1162.1 m),由此可以看出海拔高度是影响太阳辐射的重要因子,按照海拔高度来分区拟合太阳辐射是可行的。

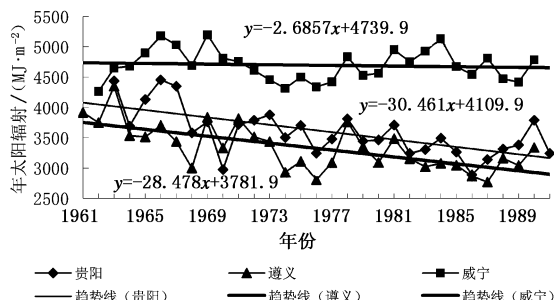


图 1 1961~1991 年贵阳、遵义、威宁太阳辐射变化曲线

### 3.2 太阳总辐射的空间分布

图 2 是贵州省各地年平均太阳总辐射的分布图,可以看出贵州省的年平均太阳总辐射分布特征是西部和西南部高,该区年平均太阳辐射大于 4000 MJ·m<sup>-2</sup>,中部低,年平均太阳辐射小于 3500 MJ·m<sup>-2</sup>。高值区出现在海拔最高的威宁(4594.80 MJ·m<sup>-2</sup>),而威宁的多年平均日照百分率是最高的(40%),最低值区出现在遵义市的桐梓(3149.16

$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )。贵州省多年平均太阳辐射在  $3149.16 \sim 4594.80 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  之间,据研究太阳总辐射一般大于  $5016 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  才有利用价值,很明显贵州省的太阳辐射值很低不好利用。根据王炳忠等<sup>[7]</sup>的太阳能区划指标和结果:太阳能资源较贫带的总辐射年总量为  $4176 \sim 5040 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ,太阳能资源贫乏带的总辐射年总量不足  $4176 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ,贵州省的太阳总辐射属于贫乏带或较贫乏带。

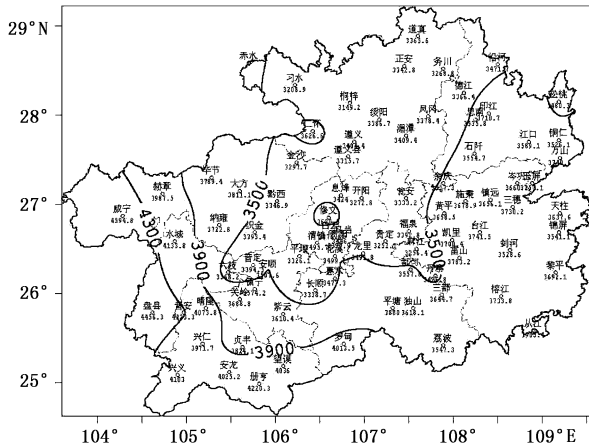


图2 贵州省年平均太阳总辐射( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )分布

## 4 结论

(1)贵州省以天文辐射为基数,以日照百分率为

变量拟合的太阳辐射效果良好,年辐射多年平均相对误差小于10%,拟合结果可靠。

(2)利用全国通用公式计算的月总辐射的效果要比用日照百分率拟合的效果差。

(3)贵州省的地理纬度差异小,年太阳总辐射有随着海拔高度的增加而增加的趋势,威宁的年太阳辐射( $4594.80 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )最高。

(4)贵州省年太阳总辐射在  $3149.16 \sim 4594.80 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  之间,属于贫乏带或较贫乏带。

## 参考文献

- [1] 白建辉,王庚辰.影响太阳总辐射各主要因子的分析[J].高原气象,1994,13(4):485-488.
- [2] 祝昌汉.再论总辐射气候学计算方法(一)[J].南京气象学院学报,1982,5(1):15-24.
- [3] 柯晓新.甘肃省太阳辐射气候学计算[J].甘肃气象,1994,12(1):18-21.
- [4] 王建源,冯建设.山东省太阳辐射的计算及其分布[J].气象科技,2006,34(1):98-100.
- [5] 林正云.福建省太阳能总辐射和地面辐射平衡的分布[J].太阳能学报,1994,15(3):248-256.
- [6] 刘新安,范辽生.辽宁省太阳辐射的计算方法及其分布特征[J].资源科学,2002,24(1):83-87.
- [7] 王炳忠.中国太阳能资源利用区划[J].太阳能学报1983,4(3):221-228.

# Calculation Method and Distributional Characteristics of Solar Global Radiation in Guizhou Province

Hu Jiemin<sup>1</sup> Wu Zhanping<sup>1,2</sup> Chen Zhongyun<sup>1</sup> Xu Yongling<sup>1</sup>

(1 Guizhou Key Laboratory of Mountainous Climate and Resources, 2 Guizhou Provincial Climate Center, Guiyang 550002)

**Abstract:** By using the observation data from only three solar radiation stations in Guizhou Province, comparison is made between the calculation errors from two methods (sunlight percentage and nationwide universal formula). The results indicate that the absolute error values of the monthly and annual mean solar radiation calculated by the sunlight percentage method are less than 10%, and the sunlight percentage model is better than the universal method obviously. Since solar radiation increases with increasing altitude, the model is set up according to the altitude of each station by means of the sunlight percentage method. From the related data from 1971 to 2000, the solar radiation is calculated, and the distributional characteristic are analyzed.

**Key words:** Guizhou, solar global radiation, distributional characteristic, calculation error