

# 商丘地区太阳能资源分布和气候分析

陈巧, 农国傲, 熊坤, 张涛, 闫研 (河南省商丘市气象局, 河南商丘 476000)

**摘要** 根据商丘地区 1965~2007 年的逐日日照时数, 通过日天文辐射总量、月太阳能辐射经验系数等公式, 计算出商丘地区近 43 年来平均太阳总辐射量, 分析了商丘地区太阳能资源的分布和特点, 利用总辐射量、气温和天气状况等气候资料探讨了太阳能的利用可行性。研究发现, 商丘地区太阳辐射量多, 太阳能资源丰富, 气温环境良好。因此, 太阳能资源的利用具有很大的发展前途和空间。

**关键词** 太阳能资源; 太阳能利用; 气候分析

**中图分类号** S214 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)27-13173-02

## Solar Energy Resources Distribution in Shangqiu and Its Climate Analysis

CHEN Qiao et al (Shangqiu Meteorological Bureau of Henan Province, Shangqiu, Henan 476000)

**Abstract** According to the sunshine hours day after day in Shangqiu area during 1965-2007, through the daily astronomy radiation total quantity, formulae such as month solar energy radiation empirical coefficient, the mean sun total yield of radiation in Shangqiu area during recent 43 years was calculated. The distribution and characteristics of solar energy resources in Shangqiu area were analyzed. Using total climatic data such as the yield of radiation, temperature and weather conditions, the solar energy use feasibility was discussed. The research found that sun yield of radiation in Shangqiu area was many, the solar energy resources were fruitful and the temperature environment was good. Therefore, the solar energy resources' use has the great career development potential and space.

**Key words** Solar energy resources; Use of solar energy; Climate analysis

太阳能是太阳内部连续不断的核聚变反应过程产生的能量, 作为 21 世纪最具有发展潜力的绿色再生能源, 太阳能的综合利用就成了人类发展过程中的一个重大科学命题。目前, 国内外对城市和区域的太阳能资源的变化进行了许多研究, 其中赵媛等分析了太阳能的优势及我国太阳能的资源特点, 提出了我国太阳能资源开发利用措施<sup>[1]</sup>; 余华深等、刘可群等分别分析了辽宁省和湖北省太阳能资源分布特征并进行了区划研究<sup>[2-3]</sup>; 陈辉对河南省的气候资源进行了分析, 提出了河南省太阳能资源的利用方式<sup>[4]</sup>。

商丘市地处黄淮平原, 四季阳光充足, 太阳能资源丰富, 近年来对该地的日照、温度、降水<sup>[5-7]</sup>等气候资源研究较多, 但是对该地区的太阳能资源评估还没有进行。笔者按照中国气象局新颁布的气象行业标准<sup>[8]</sup>, 利用最新的太阳能资源评估方法, 研究商丘市太阳能资源分布特点及其变化趋势, 分析太阳能资源在商丘市应用的气候条件, 为科学合理地利用当地太阳能资源提供了理论依据。

## 1 研究资料与方法

**1.1 资料** 资料来自商丘市 8 个气象观测站 1965~2007 年逐日日照时数, 先计算日天文总辐射量, 再利用经验公式和日照百分率计算月辐射总量, 最后得出年辐射总量。

### 1.2 方法

**1.2.1 日天文总辐射量。**计算公式如下:

$$Q_n = T I_0 (\omega_0 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_0) / \pi \rho^2 \quad (1)$$

式中,  $Q_n$  为日天文太阳总辐射, 单位为  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;  $T$  为时间周期, 单位为  $24 \times 60 \text{ min}/\text{d}$ ;  $I_0$  为太阳常数, 为  $0.0820$ , 单位  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ;  $\rho$  为日地距离系数;  $\varphi$  为地理纬度, 单位为弧度 (rad);  $\delta$  为太阳赤纬, 单位为弧度 (rad);  $\omega_0$  为日出、日落时角, 单位为弧度 (rad)。

**1.2.1.1 日出日落时角计算。**公式如下:

$$\omega_0 = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (2)$$

**1.2.1.2 太阳赤纬的计算。**太阳赤纬由下式计算, 单位为弧度 (rad):

$$\delta = 0.3723 + 23.2567 \sin x + 0.1149 \sin 2x - 0.1712 \sin 3x - 0.7580 \cos x + 0.3656 \cos 2x + 0.0201 \cos 3x \quad (3)$$

$$x = 2\pi \times (N - N_0) / 365.2422 \quad (4)$$

式中,  $x$  为计算参数,  $N$  为日序, 取值范围为  $1 \sim 365$  或  $366$ , 1 月 1 日取日序为 1;

$N_0$  由(5)计算:

$$N_0 = 79.6764 + 0.2422(y - 1985) - \text{INT}[0.25 \times (y - 1985)] \quad (5)$$

式中,  $y$  为计算年份,  $\text{INT}()$  为取整数的标准函数。

**1.2.1.3 日地距离系数的计算。**日地距离系数是计算日天文总辐射时使用的参数, 用(6)式计算:

$$\rho^2 = 1.000423 + 0.032359 \sin x + 0.000086 \sin 2x - 0.008349 \cos x + 0.000115 \cos 2x \quad (6)$$

式中,  $x$  为计算参数, 由(4)式计算。

**1.2.2 月太阳总辐射量。**根据逐日太阳天文总辐射和每月的天数, 可以计算出逐月的天文太阳总辐射, 然后再利用经验公式可以得出商丘市各站逐月太阳总辐射。公式形式如下:

$$Q_M = Q_0(a + bS) \quad (7)$$

式中,  $S$  为月日照百分率,  $a, b$  为经验系数,  $Q_0$  为月天文太阳总辐射量, 单位为  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

商丘市各季节的  $a, b$  系数选取如下: 春季  $a = 0.138, b = 0.530$ ; 夏季  $a = 0.122, b = 0.528$ ; 秋季  $a = 0.151, b = 0.490$ ; 冬季  $a = 0.129, b = 0.583$ 。

**1.2.3 年平均总辐射量。**年平均总辐射量计算公式如下:

$$Q_y = \sum_{M=1}^{12} Q_n \quad (8)$$

式中,  $Q_y$  为计算地点年太阳能辐射,  $Q_n$  为计算地点逐月太阳总辐射量。计算结果见表 1。

## 2 商丘市太阳能资源分布和特点

**2.1 商丘太阳总辐射月变化** 从图 1 可看出商丘太阳总辐射的月变化, 春季(3~5 月)和夏季(6~8 月)太阳高度角大,

白天时间长,获得的太阳辐射较多,约为 358 ~ 499 MJ/(m<sup>2</sup>·年),占年辐射量的 61.60%,5 月份出现了峰值,为 499.72 MJ/(m<sup>2</sup>·年);而秋季(9 ~ 11 月)占年辐射量的 21.70%;由于冬季太阳高度角最小,白天最短,获得的辐射量较少,因此在 12 月出现了谷值,为 200.74 MJ/(m<sup>2</sup>·年)。但从年分布来看,商丘的太阳能资源是丰富的。

表 1 商丘各站 1965 ~ 2007 年太阳能总辐射平均值

Table 1 The average annual solar radiation at various stations of Shangqiu during 1965 - 2007

站名 Name of stations	年平均总量//MJ/(m <sup>2</sup> ·年) Average annual total amount	站名 Name of stations	年平均总量//MJ/(m <sup>2</sup> ·年) Average annual total amount
商丘	4 388.59	宁陵	4 146.84
睢县	4 430.59	夏邑	4 271.03
虞城	4 539.39	永城	4 419.48
柘城	4 341.56	民权	4 362.24

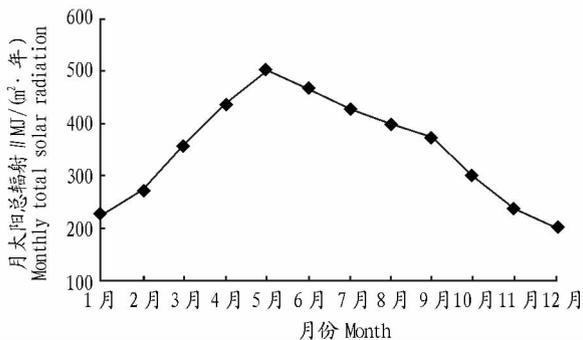


图 1 商丘地区平均各月太阳总辐射量

Fig. 1 The average total solar radiation of each month in Shangqiu area

2.2 太阳能资源的变化趋势 由图 2 可以看出,1965 ~ 2007 年商丘的年总太阳辐射量发生了较明显的变化,呈现明显逐年下降的趋势。从距平上来看,1982 年以前主要以正距平为主,1982 年以后主要以负距平为主,而且波动的幅度较明显。这与全球总辐射量下降的研究结论相一致<sup>[9]</sup>。

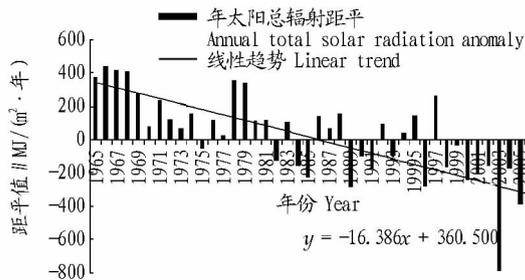


图 2 商丘总太阳辐射距平年际变化

Fig. 2 The interannual changes of total solar radiation anomaly in Shangqiu

3 太阳能资源评估

3.1 太阳能利用与总辐射量 太阳能总辐射量的大小直接影响到太阳能的利用,通常辐射量越大,太阳能的可利用率越高,商丘市太阳总辐射年总量介于 3 780 ~ 5 040 MJ/(m<sup>2</sup>·年),按照太阳能资源丰富程度评估标准,商丘地区太阳能属于资源丰富地区。

表 2 太阳能资源丰富程度等级

Table 2 The richness level of solar energy resource

等级	太阳总辐射年总量//MJ/(m <sup>2</sup> ·年) Total solar radiation of a year	资源丰富程度 Richness
1	> 6 300	资源丰富
2	5 040 ~ 6 300	资源很丰富
3	3 780 ~ 5 040	资源丰富
4	< 3 780	资源一般

3.2 太阳能资源稳定度评估 太阳能资源稳定度用各月的日照时数大于 6 h 天数的最大值与最小值的比值表示,计算方法如下:

$$K = \frac{\max(Day_1, Day_2, \dots, Day_{12})}{\min(Day_1, Day_2, \dots, Day_{12})} \quad (9)$$

式中, K 表示太阳能稳定程度指标, < 2 表示稳定, 2 ~ 4 表示较稳定, > 4 表示不稳定; Day<sub>1</sub>, Day<sub>2</sub>, ..., Day<sub>12</sub> 表示 1 ~ 12 月日照时数大于 6 h 天数; 太阳能资源稳定度取用 1965 ~ 2007 年商丘资料, 依据此方法计算 K = 3.2, 介于 2 ~ 4, 表明商丘太阳能资源较稳定。

4 太阳能利用的气候条件及利用方式分析

4.1 太阳能利用和气温的关系 环境温度是影响太阳能利用的因子之一, 当环境温度较低时不利于太阳能的利用, 商丘地区年的平均气温是 14.6 °C, 最冷月(1 月)的平均气温是 -3.4 °C, 最热月(7 月)的平均气温是 27.2 °C, 11 月到次年 3 月气温是 2.1 °C。因此, 商丘太阳能利用的最有利的季节是春夏季, 最不利的季节是冬季。

4.2 太阳能利用与天空状况的关系 天空状况(总云量和低云量表征)直接影响日照时数的多少, 从而影响到达地面的太阳能总辐射的多少。日照时数大于 6 h 年平均为 231 d, 平均月日照时数 169 h, 月日照百分率 46%。可见, 商丘地区虽然多云天气为主, 但是大气透明度比较好, 有利于太阳直接辐射。

4.3 太阳能的利用方式 商丘地区太阳总辐射量多, 天空状态良好, 环境温度高等气候条件, 都显示商丘地区的太阳能资源丰富, 具有极大的开发空间。

太阳能热水器是目前最普遍太阳能光热利用, 由于太阳能环保、经济、可再生, 因此受到大多数人们的青睐, 太阳能热水按集热管及热水装置效率为 80% 计算, 每平方米可节约 1 147 kw·h 左右, 商丘地区居住人口为 775 万, 260 万户, 如果商丘地区有 50% 的家庭使用太阳能热水器, 每户使用 4 m<sup>2</sup> 的热水器, 每年可以节约十分可观的电量。

太阳能空调是利用太阳能转化的热能驱动吸收式冷机进行制冷。种制冷方式技术要求高, 但成本低、无噪音、无污染。商丘地区高温持续时间长, 一年中有 4 个月需要空调制冷。天气越热, 常规的空调耗电量越大, 但是利用太阳能作为空调的资源, 天气越热, 太阳能辐射越强时, 人们越需要空调制冷, 而此时太阳能空调制冷越强, 制冷效果越好。使用太阳能空调, 既可以创造人的室内温度, 有能降低大气环境温度, 减弱城市中的热岛效应, 即节能又环保。

参考文献

[1] 赵媛, 赵慧. 我国太阳能资源及其开发利用[J]. 经济地理, 1998, 18(1): 56 - 61.

模型和 Gardner-Russo 模型则在含水率接近饱和状态时不适用或在进气值处存在不连续。

Genuchten 模型算法之间差别较小,差别仅出现在含水率接近饱和状态时。Brooks-Corey 模型和 Gardner-Russo 模型在不同算法之间差别较大,然而由于该两种模型表达含水率 -

图 6 ~ 8 为不同算法相同模型之间的比较。发现 Van

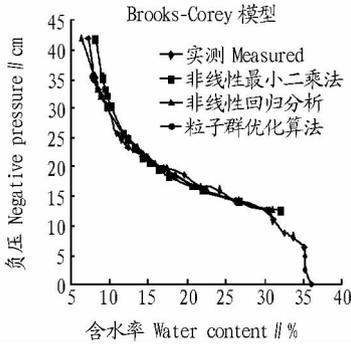


图 6 Brooks-Corey 模型不同算法之间比较  
Fig. 6 Comparison of different algorithms for Brooks-Corey model

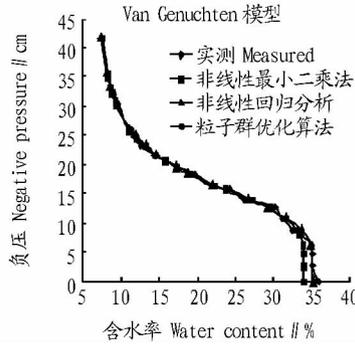


图 7 Van Genuchten 模型不同算法之间比较  
Fig. 7 Comparison of different algorithms for Van Genuchten's model

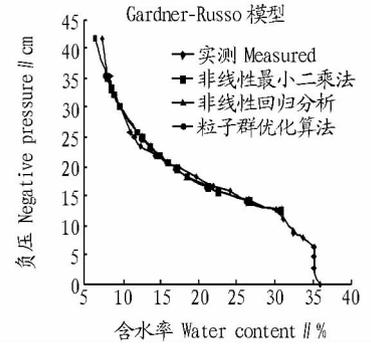


图 8 Gardner 模型不同算法之间比较  
Fig. 8 Comparison of different algorithms for Gardner's model

负压的形式简单,在实际应用中较为广泛。

参数的物理背景来看,该两种算法拟合的参数脱离其物理背景。由此可见,非线性最小二乘法误差既满足精度要求,拟合参数又不脱离参数的物理背景,不失为一种好的算法。

3.3 结果检验分析 综合表 1、2 进行分析可知:从拟合精度来看,非线性回归分析拟合误差最小,优化算法次之。从

表 2 误差分析  
Table 2 Error analysis

算法 Algorithm	Brooks-Corey 模型 Brooks-Corey model			Van Genuchten 模型 Van Genuchten model			Gardne 模型 Gardne model		
	$R^2$	协方差 Covariance	RMSE	$R^2$	协方差 Covariance	RMSE	$R^2$	协方差 Covariance	RMSE
非线性最小二乘法	0.99	0.004 2	0.104 0	0.99	0.010 4	0.006 7	0.99	0.004 4	0.007 1
非线性回归分析	0.99	0.001 6	0.007 0	0.95	0.010 0	0.005 1	0.99	0.001 4	0.007 1
优化算法(粒子群算法)	0.99	0.004 8	0.006 4	0.96	0.010 0	0.005 1	0.99	0.004 8	0.006 4

### 4 结论

通过对试测的试验数据进行不同水分特征曲线模型之间的比较和拟合参数算法之间的比较,得出以下结论:

(1) 利用不同的算法和不同的模型对非饱和带水分特征曲线参数进行拟合的时候,一个非常重要的前提是不能脱离参数的物理背景,单纯的追求拟合精度。可以这么说,拟合程度高的参数不一定符合参数特定的物理背景,拟合程度不好的参数,不一定就不好,关键是不能脱离物理背景,纯粹的追求拟合程度。

(2) 通过参数拟合和误差分析得出,认为非线性最小二乘法不失为一种好的算法,如果该算法与优化算法相结合则既能满足拟合精度,又不脱离该参数物理背景。

(3) 模型的选用,需要根据实际出发。例如 Gardner 模型形式简单,在非饱和和流动随机描述的应用广泛;如果推求土壤水分运移模型,则选用 Brooks-Corey 模型;如果需要描述

整个水分特征曲线则 Van Genuchten 模型成为首选。

### 参考文献

- [1] MILLY P C D. Estimation of the Brooks-Corey parameters from water retention data[J]. Water Resource Research, 1987, 23: 1085 - 1089.
- [2] VAN GENUCHTEN M T H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil[J]. Soil Sci Soc Am J, 1980, 44: 892 - 898.
- [3] GARDNER W R, HILLEL D, BENYAMINI Y. Post irrigation movement of soil water I Redistribution [J]. Water Resource Research, 1970, 6: 851 - 861.
- [4] GARDNER W R, HILLEL D, BENYAMINI Y. post irrigation movement of soil water II Simultaneous redistribution and evaporation [J]. Water Resource Research, 1970, 1148: 1153.
- [5] 王金生, 杨志峰, 陈家军, 等. 包气带土壤水分滞留特征研究[J]. 水利学报, 2000(2): 1 - 6.
- [6] 徐绍辉, 张家宝. 求土壤水力特征的一种迭代方法[J]. 土壤学报, 2000, 37(3): 271 - 274.
- [7] FREDLUND D G, XING A Q. Equations for the soil water characteristic curve[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1994, 31: 521 - 532.

(上接第 13174 页)

- [2] 余华深, 阚娜, 于杨, 等. 辽宁省太阳能资源分布及区划初探[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(2): 18 - 22.
- [3] 刘可群, 陈正洪, 夏智宏. 湖北省太阳能资源时空分布特征及区划研究[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(6): 888 - 893.
- [4] 陈辉. 河南省气候资源特征及其开发利用对策[J]. 河南气象, 1995(4): 32 - 33.
- [5] 赵霞, 余卫东, 范志军. 商丘市近 40 年日照变化特征及突变分析[J]. 河南气象, 2005(4): 16 - 17.

- [6] 庞伟, 庞欣, 熊坤. 商丘近 40 年气温变化特征[J]. 河南气象, 2003(1): 7 - 8.
- [7] 朱世红, 陈爱荣, 庞欣. 商丘降水气候特征分析[J]. 河南气象, 2006(4): 36.
- [8] 中国气象局. QX/T 89-2008. 太阳能资源评估方法[S]. 北京: 中国气象出版社, 2008.
- [9] 杨焱敏, 曹燕, 秋新法, 等. 1960 - 2000 年黄河流域太阳总辐射气候变化规律研究[J]. 应用气象学报, 2005, 6(2): 243 - 248.