

# 粤东地区太阳能资源及其利用气候分析

丁丽佳<sup>1,2</sup> 林巧美<sup>3</sup>

(1 南京信息工程大学, 南京 210044; 2 广东省潮州市气象局, 潮州 521011; 3 广东省揭阳市气象局, 揭阳 522000)

**摘要** 利用 1971~2000 年广东省汕头站日射观测资料, 计算了粤东地区太阳总辐射, 从太阳总辐射、气温、天空状况等方面分析了粤东地区太阳能资源的时空分布及其特点, 指出粤东地区具有太阳总辐射量大、气候环境温度高、天空状况良好等自然气候条件, 太阳能资源丰富, 热状况优越, 太阳能利用具有极大的发展空间。

**关键词** 太阳能资源 太阳能利用 气候分析

## 引言

太阳能是新能源和可再生能源中最引人注目、开发研究最多、应用最广的清洁能源, 可以说, 未来全球能源的主流就是太阳能。我国自 20 世纪 70 年代以来, 太阳能利用有了较快的发展, 太阳能利用技术的研究列入国家“六五”、“七五”、“八五”科技攻关计划, 获得了一批研究成果并进行了不同程度的推广应用, 太阳能工业已初步形成<sup>[1]</sup>。粤东地区地处低纬, 四季阳光充足, 太阳能资源较丰富, 但太阳能的利用程度较低。本文论述了粤东地区太阳能资源及其时空分布的特点, 并就利用太阳能进行加热、制冷、发电等开发利用在粤东地区的可行性进行了探讨。

## 1 资料来源及计算

本文选取 1971~2000 年的气候资料进行分析, 由于粤东地区只有汕头站有日射观测, 其它各站没有日射观测, 因此采用日天文总辐射量公式计算出日天文总辐射量, 再用太阳总辐射公式计算出粤东地区的太阳总辐射量。

### 1.1 月天文总辐射的计算

由日天文总辐射量公式计算出日天文总辐射量, 然后逐日求和累计出月辐射量。日天文总辐射量的计算公式如下<sup>[2,3]</sup>:

$$Q_0 = \frac{TI_0}{\pi\rho^2} (\omega_0 \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \sin\omega_0) \quad (1)$$

式中:  $Q_0$  为天文总辐射量 ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $T$  为周期 ( $24 \times 60 \times 60 \text{ s}$ ),  $I_0$  为太阳常数<sup>[4]</sup> ( $13.67 \times 10^{-4} \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $\rho$  为日地相对距离,  $\omega_0$  为日落时角,  $\varphi$  为地理纬度,  $\delta$  为太阳赤纬。

日地相对距离  $\rho$  由式(2)计算<sup>[2,3]</sup>:

$$\rho = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.033 \cos(2\pi J/365)}} \quad (2)$$

式中:  $J$  为年内天数。

太阳赤纬由式(3)计算<sup>[2,3]</sup>:

$$\delta = 0.409 \sin(0.0172J - 1.39) \quad (3)$$

日落时角由式(4)计算<sup>[2,3]</sup>:

$$\omega_0 = \arccos(-\tan\varphi \tan\delta) \quad (4)$$

### 1.2 月太阳总辐射的计算

计算出粤东地区各站的月天文总辐射量之后, 再用太阳总辐射量公式计算出粤东地区的太阳总辐射量。计算公式为<sup>[2,3]</sup>:

$$Q = Q_0(a + bS) \quad (5)$$

其中  $Q_0$  为天文总辐射量,  $S$  为日照百分率,  $a$ 、 $b$  为与大气透明度有关的经验系数。根据杜尧东<sup>[2]</sup>等人的研究结果, 粤东各地各月的  $a$ 、 $b$  系数见表 1。

根据公式(5)计算出粤东各地的太阳总辐射量, 计算结果见表 2。

表1 粤东地区各月的大气透明度经验系数

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<i>a</i>	0.1668	0.1518	0.1438	0.1591	0.1444	0.1982	0.1145	0.2145	0.1737	0.2091	0.1991	0.2091
<i>b</i>	0.5791	0.6171	0.6169	0.5887	0.6208	0.4401	0.5959	0.4270	0.5138	0.4807	0.5210	0.5048

表2 粤东各地月太阳总辐射量

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
潮州	330.3	281.1	329.1	384.8	444.7	485.5	597.1	561.3	502.6	473.8	389.1	357.1
饶平	341.7	294.7	345.8	412.0	474.3	511.8	632.8	579.4	518.5	488.0	397.7	364.4
汕头	321.8	274.8	331.7	390.8	451.6	493.1	604.2	562.9	499.8	474.0	384.4	348.4
潮阳	334.7	286.8	341.4	403.6	462.7	497.1	616.2	572.3	516.8	488.1	396.0	361.5
澄海	327.7	290.2	346.3	402.2	470.9	510.0	622.4	583.5	523.1	489.2	397.6	362.1
南澳	347.1	303.1	357.3	413.8	474.7	503.7	612.6	567.8	522.9	497.9	399.9	362.4
揭西	315.8	273.5	309.3	358.8	404.5	452.9	529.9	517.8	461.7	441.8	374.9	345.3
普宁	322.7	275.7	317.8	377.5	432.2	474.8	574.9	541.8	483.9	461.7	384.6	349.8
揭阳	328.1	284.9	329.2	391.3	454.9	496.5	609.6	567.2	507.8	472.8	388.1	352.2
惠来	326.0	283.3	335.5	382.9	443.6	472.3	579.5	538.4	489.6	468.3	389.1	351.4

MJ·m<sup>-2</sup>

## 2 粤东地区太阳能资源分布及其特点

### 2.1 太阳总辐射的月变化

图1为粤东地区平均各月太阳总辐射量的直方图。从图1看粤东地区太阳总辐射的年变化,夏季(5~10月)太阳高度角最大,白天最长,获得太阳辐射量最多,约为每月451~598 MJ·m<sup>-2</sup>,占年总辐射量的60%。由于粤东6月正处于前汛期后期,阴雨天较多,日照较少,虽然6月天文总辐射量最大,但受阴雨天的影响,总辐射受到削弱,而7月正处于夏季风最盛行时期,副热带高压稳定控制广东,多晴好天气,天文总辐射也仅次于6月,因此,太阳总辐射量最大,达597.9 MJ·m<sup>-2</sup>;秋冬季(11月至翌年1月)各月总辐射量在358.4 MJ·m<sup>-2</sup>左右,约占年

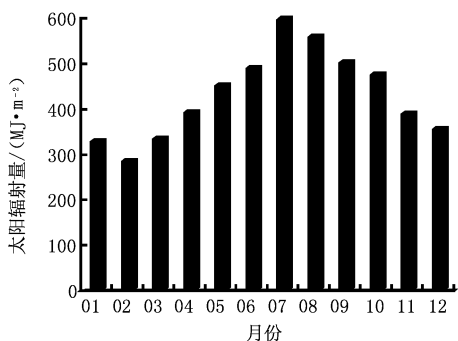


图1 粤东地区各月平均太阳总辐射量

总辐射量的21%。春季(2~4月)最低,共占年总辐射19%。2月粤东处于冬春转换季节,北方冷空气频频南下,而海洋暖湿空气也开始活跃北上,两股气流对峙,使粤东经常出现低温阴雨天气。因此,低谷在春季2月,为284.8 MJ·m<sup>-2</sup>。冬季太阳高度角最小,白天最短,获得太阳辐射量最少,但大气透明度好,太阳能比春季大。

### 2.2 粤东地区太阳总辐射的时空分布特征

粤东地区年均太阳总辐射量为5162.6 MJ·m<sup>-2</sup>,呈沿海多山区少的趋势(图2),最多的南澳年均太阳总辐射量为5363.1 MJ·m<sup>-2</sup>,最少的揭西为4786.0 MJ·m<sup>-2</sup>。春季(2~4月)多阴雨天气,平均太阳总辐射量少。最高值出现在南澳,其间总辐射量为1074.1 MJ·m<sup>-2</sup>,平均日太阳辐射量为12.1 MJ·m<sup>-2</sup>;最低值出现在揭西,为941.5 MJ·m<sup>-2</sup>,平均日太阳辐射量为10.6 MJ·m<sup>-2</sup>。夏季(5~10月)最高值出现在饶平,其间总辐射量为3204.9 MJ·m<sup>-2</sup>,平均日太阳辐射量为17.4 MJ·m<sup>-2</sup>;最低值出现在揭西,为2808.5 MJ·m<sup>-2</sup>,平均日太阳辐射量为15.3 MJ·m<sup>-2</sup>。秋冬季(11月至翌年1月),最高值出现在南澳,其间总辐射量为1109.4 MJ·m<sup>-2</sup>,平均日太阳辐射量为12.1 MJ·m<sup>-2</sup>;最低值出现在揭西,为1036.0 MJ·m<sup>-2</sup>,平均日太阳辐射量为11.3 MJ·m<sup>-2</sup>。由前面的分析可见,夏季

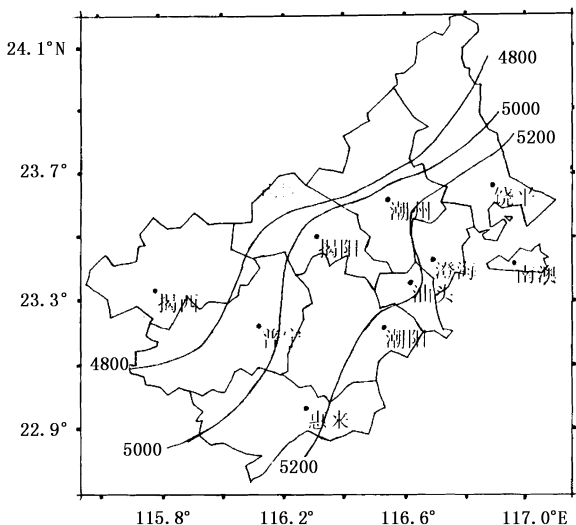


图2 粤东地区年太阳总辐射( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )分布

高值区与低值区的日平均太阳总辐射量相差较大,达 $2.1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ,这是由于夏季粤东地区盛行东南风,粤东地区地势西部高,东部低,由于迎风坡作用,处于西部山区的揭西降水天气多,日照少,因此太阳总辐射量也明显偏少。秋冬季相差较小,每日仅为 $0.8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,这是因为秋冬季粤东地区受东北季风影响,晴朗干燥的天气较多,因此山区与沿海的差距不大。

### 3 太阳能利用的气候分析

#### 3.1 太阳能利用与太阳总辐射的关系

太阳总辐射量的大小直接影响太阳能的利用,一般辐射量越大,太阳能的可利用率越高<sup>[5]</sup>。粤东地区太阳辐射量较大,平均年太阳总辐射量为 $5162.6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,相当于 $1434 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ 。以太阳总辐射量最少的揭西县为例,春季日平均太阳总辐射量仍有 $10.6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,相当于 $2.9 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ ,因此,仍然有利于太阳能的利用。

#### 3.2 太阳能利用与气温变化的关系

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<sup>[5]</sup>。粤东地区年平均气温为 $21.7 \text{ }^\circ\text{C}$ ,最冷月(1月)平均气温为 $13.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,最热月(7月)平均气温 $28.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,年较差 $14.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ;各月平均气温日较差 $6\sim 8 \text{ }^\circ\text{C}$ ,温差较小。秋冬春季月平均气温 $17\sim 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ,平均最高气温为 $21.5\sim 22.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ,极端最高温度在 $29 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上,其冷季的气

候环境温度在全省处于较高水平,热状况较为优越,太阳能利用效率也较高。

#### 3.3 太阳能利用与天空状况的关系

天空状况(用总云量和低云量表征)直接影响日照时数的多寡,从而影响到达地面的太阳总辐射能的多少。粤东地区阴晴天数四季不同,年天空状况以多云为主。尽管云量较多,但日照时数大于 $6 \text{ h}$ 的天数年平均为 $187 \text{ d}$ ,月平均日照时数为 $167 \text{ h}$ ,日平均为 $5.5 \text{ h}$ ,日照百分率为 $45.3\%$ ,可见粤东地区虽然以低云居多,但大气透明度较好,有利于太阳直接辐射,太阳能利用效率较高。

#### 3.4 太阳能利用分析

太阳能利用主要可归结为太阳能的光热利用和光电利用,我国的太阳能利用有太阳能集热器、太阳能制冷、太阳能发电等<sup>[1,5-7]</sup>。

##### 3.4.1 太阳能热水器

太阳能热水器是目前应用最为普遍的太阳能光热利用。按集热管及热水装置效率为 $80\%$ 计<sup>[6]</sup>,每平方米集热器每年可节约用电 $1147 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 左右。粤东地区人口超过 $1300 \text{ 万}$ ,按 $130 \text{ 万户}$ 算,如果粤东地区 $50\%$ 户家庭安装太阳能热水器,每户使用 $4 \text{ m}^2$ 集热器,每年至少可节约 $2.98\times 10^9 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 的电量。

##### 3.4.2 太阳能空调

太阳能空调是利用太阳能转换的热能驱动吸收式制冷机进行制冷<sup>[7]</sup>。粤东地区高温天气持续时间长,一年中约有 $5 \text{ 个月}$ 的时间建筑物需利用空调系统制冷。天气越热,常规空调耗电量越大,而利用太阳能作为能源的空调系统,当天气越热、太阳能辐射越强时,人们越需要空调制冷,而此时太阳能空调的制冷能力越强,制冷效果越好。使用太阳能空调,既可创造宜人的室内温度,又能降低大气环境温度,减弱城市中的热岛效应;既可节约常规能源,又不使用破坏大气层的氟里昂等有害物质,达到真正的节能环保。

##### 3.4.3 太阳能发电

太阳能发电即太阳能的光电利用。由于经济的快速发展,目前广东的电力供应相当紧张,特别是夏季用电高峰期供电缺口高达 $20\%$ ,上网电价高,还经常需要实行拉闸限电<sup>[7]</sup>。而粤东地区太阳能资源丰富,利用丰富的太阳能资源进行发电,既缓解用电紧张,又无污染、无噪声,节能环保。

从以上气候资料分析可以看到,粤东地区具有

太阳总辐射量多、环境温度高、天空状况良好等气候条件,显示出太阳能资源和热状况的优越性,具有极大的发展空间。粤东地区应发挥资源优势,积极开发利用优厚的太阳能资源,达到环保和节约能源双丰收。

#### 4 小结

(1)粤东地区的太阳能资源具有明显的月变化,7月太阳辐射量最大,为  $597.9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,2月最小,为  $284.8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

(2)粤东地区太阳总辐射的时空分别为沿海多山区少的特点,海岛南澳县为粤东太阳能最丰富的地区,年平均总辐射量为  $5363.1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,西北山区的揭西县为粤东辐射量最少的地区,年平均总辐射量为  $4786.0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

(3)粤东地区具有太阳总辐射量多、环境温度高、天空状况良好等气候条件,平均年总太阳辐射量

为  $5162.6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,显示出太阳能资源和热状况的优越性,具有发展太阳能光热利用和光电利用的空间。

#### 参考文献

- [1] 徐培富. 国内太阳能热利用简况[J]. 能源工程, 2002, (1): 15-18.
- [2] 杜尧东, 毛慧琴, 刘爱君, 等. 广东省太阳总辐射的气候学计算及其分布特征[J]. 资源科学, 2003, 25(6): 60-70.
- [3] 王建源, 冯建设, 袁爱民. 山东省太阳辐射的计算及其分布[J]. 气象科技, 2006, 34(1): 98-101.
- [4] 王炳忠. 太阳常数测定情况进展[J]. 气象科技, 1993, (3): 23-31.
- [5] 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.
- [6] 梁黎黎. 建筑物屋顶的能源利用[J]. 滁州学院学报, 2005, 7(2): 95-97.
- [7] 谭辉平. 广东可再生资源利用及发展研究[J]. 可再生资源, 2003, (6): 55-57.

## Climatological Analysis of Solar Energy Resources and Their Utilization over Eastern Guangdong Province

Ding Lijia<sup>1,2</sup> Lin Qiaomei<sup>3</sup>

(1 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; 2 Chaozhou Meteorological Bureau, Guangdong Province, Chaozhou 521011; 3 Jieyang Meteorological Bureau, Guangdong Province, Jieyang 522000)

**Abstract:** The solar energy resources of the eastern Guangdong Province and their spatial-temporal distribution characteristics are analyzed in aspects of global solar radiation, temperature, sky state and so on. The results indicate that the eastern Guangdong Province has good natural climatic conditions such as high global solar radiation, high temperature, fine sky, i. e., rich solar energy resources and superior thermal conditions, and solar energy utilization shows great potentials.

**Key words:** solar energy resources, solar energy utilization, climatological analysis