

The Distribution Characteristics and Preliminary Assessment of Solar Energy Resources in Anxiang County of Hunan Province

Hui Zhao*, Dongsheng Du, Zhigang Su

Hunan Climate Center, Changsha Hunan
Email: 263523721@qq.com

Received: Oct. 8th, 2017; accepted: Oct. 24th, 2017; published: Oct. 31st, 2017

Abstract

According to the solar resource assessment methods released by China Meteorological Administration, many years of the total solar radiation data about Changsha meteorological station, the direct radiation data about Wuhan station and the sunshine hours data about Anxiang station, this study analyzed the distribution and the richness, stability and availability of solar energy resources in Anxiang County of Hunan Province since 1962 to 2015. The results showed that, the overall annual total solar radiation and direct solar radiation in Anxiang tended to decrease since 1962, the diffuse radiation tended to increase. The quantity of radiation is the most in summer, the second in spring and autumn, and the least in winter. The assessment of solar energy resources in this region shows that Anxiang County is a rich area of solar energy resources, and solar energy resources are more stable. The average available days of solar energy resources are 166.3 days in this region.

Keywords

Anxiang County, Solar Energy, Distribution Characteristics, Assessment

湖南安乡县太阳能资源分布特征及初步评估

赵 辉*, 杜东升, 粟志钢

湖南省气候中心, 湖南 长沙
Email: 263523721@qq.com

收稿日期: 2017年10月8日; 录用日期: 2017年10月24日; 发布日期: 2017年10月31日

*第一作者。

摘要

根据中国气象局发布的气象行业标准《太阳能资源评估方法QX/T89-2008》，基于多年长沙气象站的太阳总辐射、武汉气象站的直接辐射以及安乡气象站的日照时数资料，对湖南省安乡县1962~2015年太阳能资源分布特征进行了分析，并对该地区的太阳能资源进行了评估。结果表明：安乡地区年太阳总辐射量和直接辐射量呈减少的趋势，太阳散射辐射量呈增加的趋势，且三者均表现为夏季最多，春秋次之，冬季最少；对该地区太阳能资源的评估表明，安乡县属于太阳能资源丰富地区，且太阳能资源较稳定，其太阳能资源可利用平均天数为166.3天。

关键词

安乡县，太阳能资源，特征分析，评估

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

气候变化是一个复杂的科学问题，人类在对气候变化本身的认识以及影响、适应和缓解气候变化等方面还存在很多亟待解决的问题。太阳辐射不仅是地球表面自然环境中各种物理过程的主要能量来源，也是地面生态系统的能量主要来源，是驱动天气、气候形成和演变的基本动力[1] [2]。同时，太阳辐射也是反映气候变化的一个重要信号[3]。

国内外很多学者在太阳能资源分析和评估方面做了大量研究，Angstrom [4]和 Kimball [5]最早基于日照和云量这两项常规观测指标来推算太阳总辐射。左大康[6]、翁笃鸣[7]根据我国日射站太阳总辐射月总量和日照百分率拟合两者的经验公式。钱永甫[8]讨论了大气散射辐射和辐射变温率的计算方法，研究了气溶胶的概念、辐射特征以及气候效应。2008年中国气象局发布了气象行业标准《太阳能资源评估方法QX/T 89-2008》[9]，明确了月太阳总辐射和直接辐射的经验推算公式，并规范了太阳能资源丰富程度等级及稳定程度等级[9]。此后，马金玉[10]、周扬[11]、李小虹[12]、赵东[13]等人基于行业标准或相关方法对我国以及各地太阳能资源进行了分析评估，为各地太阳能资源的开发利用提供了科学依据。

近年来，湖南省为应对气候变化和可再生资源发展需求，大力推行太阳能光伏发电建筑应用项目，湖南省太阳能产业发展迅速。杜东升[14]等人对湖南省太阳能资源的整体分布特征和可利用状况进行了分析，而针对更小范围地区的太阳能资源评价研究不多，本研究利用长沙站太阳总辐射、武汉站直接辐射以及安乡站日照时数资料，根据中国气象局发布的气象行业标准《太阳能资源评估方法 QX/T89-2008》，对安乡县太阳能资源分布特征进行了分析与初步评估，为合理规划，提高太阳能开发利用回报率提供科学依据，同时在有效缓解和应对气候变化方面具有一定的参考意义。

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

安乡县地面气象站 1962~2015 年逐日日照时数资料，1987~2014 年长沙站地面气象站逐月太阳总辐射以及同期武汉站直接辐射资料。

2.2. 天文辐射量的计算

根据 2008 年中国气象局发布的气象行业标准《太阳能资源评估方法 QX/T 89-2008》[9] (以下简称《评估方法》), 天文辐射大小由太阳对地球的天文位置和各地纬度决定, 其计算式如下:

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

式中 $Q_{\text{日}}$ 为日天文辐射总量, T 为一天的长度(24*3600 s), I_0 为太阳常数(1367 W/ m²), φ 为当地纬度角, δ 为太阳赤纬, $2\omega_0$ 为可照时间, ρ 为日地距离系数, 由上式可求得每日天文辐射总量。逐日天文辐射量累加可得到月天文辐射量。

2.3. 辐射资料推算方程的建立

根据《评估方法》, 对于无太阳辐射观测的地点, 选择最近的有太阳辐射观测的站点作参考总辐射和直接辐射气候学计算公式如下:

$$Q = Q_0 (a + bs) \quad (2)$$

$$Q' = Q_0 (as + bs^2) \quad (3)$$

其中, Q 为太阳总辐射量(MJ/m²), Q' 为直接辐射量(MJ/m²), Q_0 为天文辐射量(MJ/m²), s 为日照百分率(%), a 、 b 为经验系数。(1)式为中华人民共和国气象行业标准 QX/T89-2008《太阳能资源评估方法》中太阳总辐射推算方法。

本研究中, 利用相对较近的多年长沙站太阳总辐射观测资料和武汉站直接辐射资料推算出安乡县逐月太阳总辐射、直接辐射、散射辐射的历史数据, 作为本研究分析和评价的依据。表 1、表 2 分别为逐月太阳总辐射量和直接辐射量的推算方程经验系数及相关系数。由表 1、表 2 可知, 各月的相关系数均通过置信度 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。

2.4. 太阳能资源稳定度的计算

《评估方法中》规定, 太阳能资源稳定程度用各月的日照时数大于 6h 天数的最大值与最小值的比值表示, 公式如下:

Table 1. Empirical equation and correlation coefficient of total solar radiation equation

表 1. 太阳总辐射推算方程经验系数与相关系数

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
a	0.1080	0.0850	0.1172	0.1518	0.1606	0.2137	0.2623	0.1814	0.1393	0.1879	0.1261	0.0809
b	0.6001	0.7377	0.5416	0.4730	0.5115	0.3855	0.3396	0.4767	0.5690	0.4140	0.5569	0.6967
R	0.9121	0.9027	0.8818	0.8309	0.8434	0.7153	0.7150	0.7778	0.7925	0.8609	0.8443	0.9452

Table 2. Empirical equation and correlation coefficient of direct solar radiation equation

表 2. 太阳直接辐射推算方程经验系数与相关系数

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
a	0.0619	0.0321	0.0172	0.04	0.0206	0.0601	0.1102	0.1374	0.1025	0.0284	0.0008	0.0202
b	0.5599	0.4585	0.4038	0.4518	0.4118	0.5093	0.6292	0.6352	0.6155	0.4699	0.4169	0.4542
R	0.9335	0.8827	0.8255	0.7660	0.7228	0.8541	0.8779	0.8282	0.8626	0.7567	0.7972	0.8677

$$K = \frac{\max(Day_1, Day_2, \dots, Day_{12})}{\min(Day_1, Day_2, \dots, Day_{12})} \quad (4)$$

式中:

K ——太阳能资源稳定程度指标, 无量纲数;

$Day_1, Day_2, \dots, Day_{12}$: 1至12月各月日照时数大于6 h天数, 单位为天(d);

$\max()$: 求最大值的标准函数; $\min()$: 求最小值的标准函数。

3. 结果分析

3.1. 太阳辐射的分布特征

3.1.1. 总辐射

采用式(2)和表1的拟合参数计算了安乡站的各月和逐年的总辐射量。1959~1961以及1964年由于资料缺测, 不能推算太阳总辐射量, 以下类同。分析如下:

由图1可知, 安乡县的年总辐射量在3533.3(2014年)~4614.8 MJ/m²(1986年)之间。近50年, 从线性趋势变化来看, 安乡县年总辐射量呈减少的趋势(通过 $\alpha = 0.05$ 的信度检验), 减少幅度为-47.2 MJ/m²(每10年); 从年际变化情况来看, 安乡站年总辐射量年际变化基本呈波动特征, 上世纪80年代中期、90年代中期至本世纪初, 总辐射量有上升的趋势, 而近年来年总辐射量明显下降, 可能与雾霾等空气污染加重、观测场周边遮挡等有关。

图2给出了安乡县各月太阳总辐射的气候值(1981~2010年平均, 下同)。从图可以看出, 安乡县总辐射值夏季最大, 其次是春季和秋季, 冬季最小, 5~8月为总辐射高值期, 其中7月的总辐射量最大, 为559.5 MJ/m²; 1月推算值最小, 为189.6 MJ/m²。

3.1.2. 直接辐射

采用式(3)和表2的拟合参数计算了安乡站各月和逐年的直接辐射量。由图3可知, 安乡县年直接辐射量在731.4(2014年)~2089.6 MJ/m²(1990年)之间。近50年来安乡县年直接辐射量呈线性减少的趋势(通过 $\alpha = 0.05$ 的信度检验), 减少幅度为-67.9 MJ/m²(每10年); 年际变化特征上, 直接辐射年总量呈波动下降趋势。

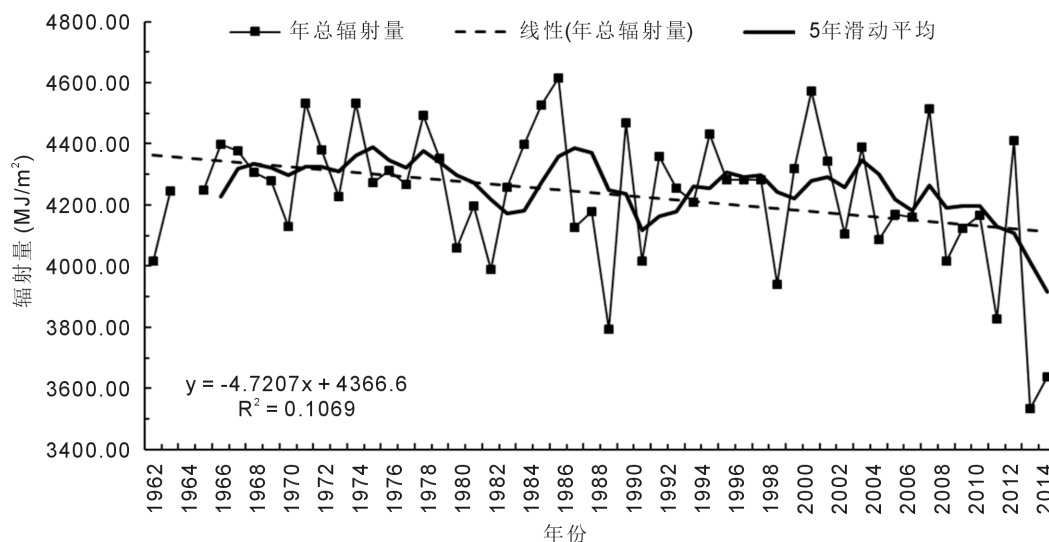


Figure 1. Interannual variation trend of total solar radiation in Anxiang County

图1. 安乡县太阳总辐射年际变化趋势

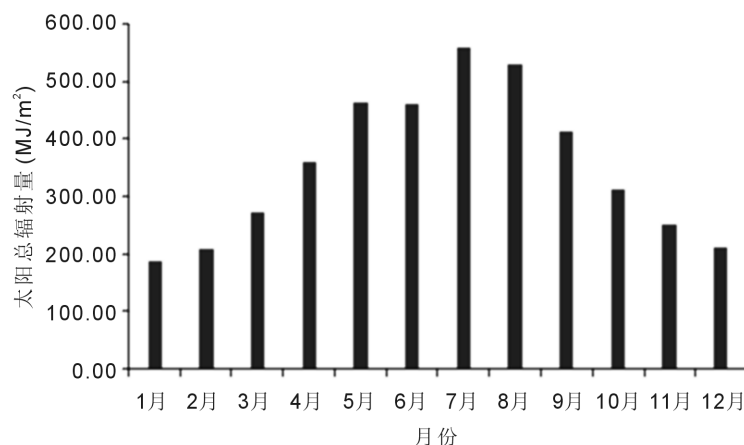


Figure 2. Monthly total solar radiation in Anxiang county
图 2. 安乡县各月太阳总辐射

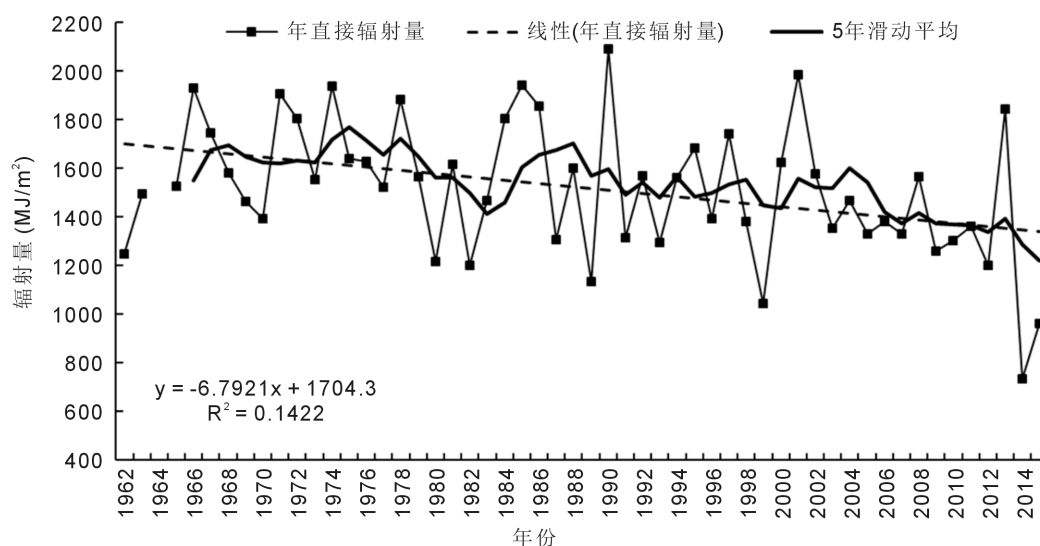


Figure 3. Interannual variation trend of direct solar radiation in Anxiang County
图 3. 安乡县太阳直接辐射年际变化趋势

月季分布情况来看(图 4), 安乡县直接辐射值夏季最大, 春秋季次之, 冬季最小; 7~8 月辐射值明显大于其他月份。

3.1.3. 散射辐射

散射辐射由推算的总辐射量减去直接辐射量而得到。安乡县的年散射辐射量在 2380.4 (1990 年)~2960.5 MJ/m² (1993 年)之间。近 50 年来, 散射辐射量整体在波动中上升, 其年际变化较小。但要注意到散射辐射值要大于直接辐射多, 而且两者差值越来越大, 这也可能与利用武汉站资料推算出来直接辐射量值较小有关(图 5)。

月季分布情况来看(图略), 同总辐射和直接辐射类似, 安乡县散射辐射值夏季最大, 春秋季次之, 冬季最小; 4~8 月为高值期, 12 月最少。

3.1.4. 直射比

直射比是指直接辐射曝辐量在总辐射曝辐量中所占的比例, 用百分比或小数表示, 实际大气中, 其

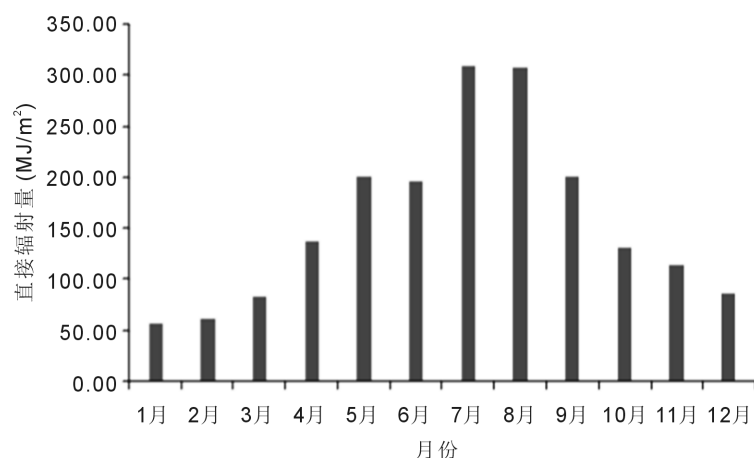


Figure 4. Monthly direct solar radiation in Anxiang county

图 4. 安乡县各月太阳直接辐射

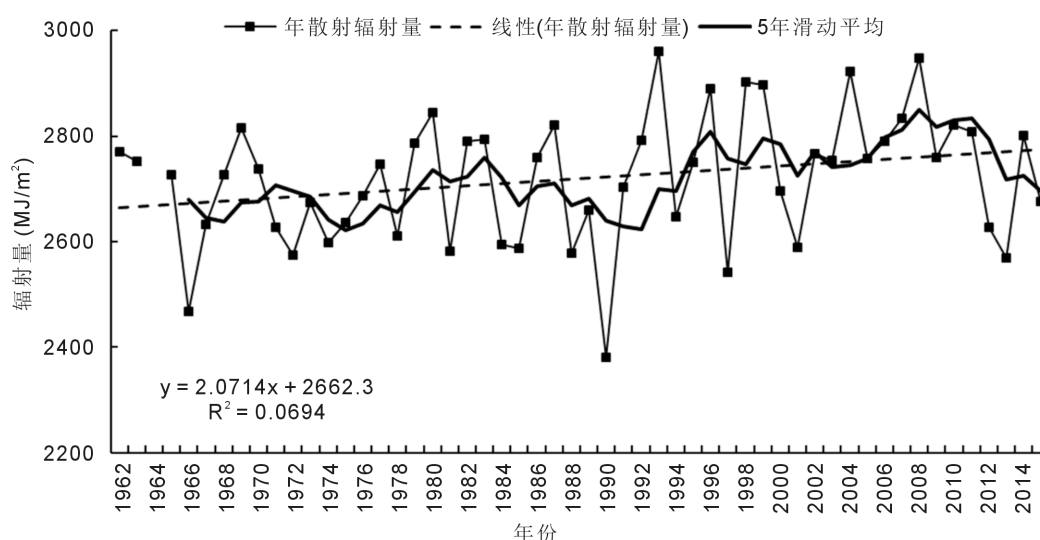


Figure 5. Interannual variation trend of diffuse solar radiation in Anxiang County

图 5. 安乡县太阳散射辐射年际变化趋势

数值在[0,1)区间变化。

图 6 给出了安乡县直射比的年际变化趋势。可以看出，安乡县直射比呈波动中下降的趋势；安乡县本世纪以来直射比约为 0.29 左右，根据中华人民共和国国家标准《太阳能资源等级总辐射》(GB/T 31155-2014)中辐射形式等级的规定，当比值小于 0.35 时，辐射形式处于散射辐射占主导。

从年变化来看(图略)，8 月直射比最高，3 月直射比最低。整体来看，下半年(7~12 月)的直射比要大于上半年(1~6 月)。

3.1.5. 日照时数

图 7 为安乡日照时数的年际变化趋势，可以看出日照时数的线性趋势变化不显著；年际变化上，上世纪 60 年代后期至 70 年代日照时数相对偏多，本世纪初开始，日照时数呈逐渐偏少的趋势。月的分布情况(图略)，安乡县日照时数最大值出现在 7~8 月，最小值均出现在 2 月；下半年日照时数要多于上半年。

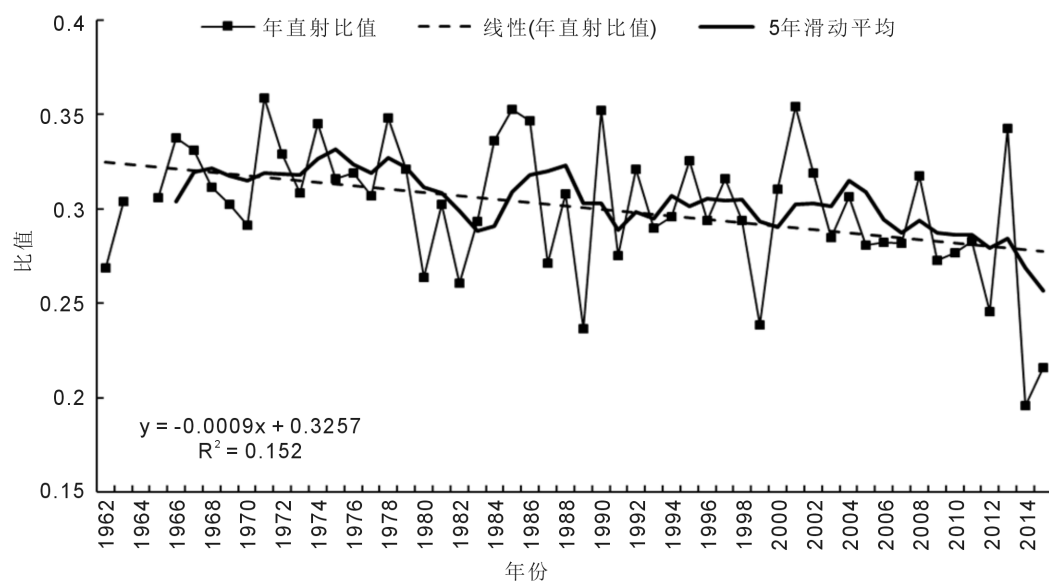


Figure 6. Interannual variation trend of direct solar ratio in Anxiang County

图 6. 安乡县太阳直射比的年际变化趋势

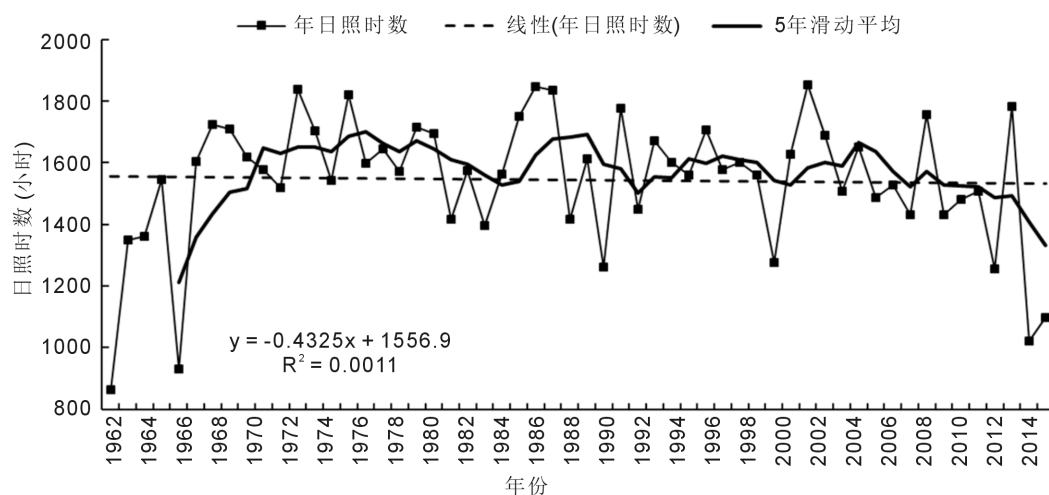


Figure 7. Interannual variation trend of sunshine duration in Anxiang County

图 7. 安乡县日照时数的年际变化趋势

3.2. 太阳能资源初步评估

3.2.1. 太阳能资源丰富程度评估

根据《评估方法》标准,年太阳总辐射小于 $3780 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,为资源一般区,在 $3780 \sim 5040 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 之间,为资源丰富区。安乡县年总辐射量气候值为 $4247.4 \text{ MJ}/\text{m}^2$,属于太阳能资源丰富地区(表 3)。

3.2.2. 太阳能资源利用价值评估

根据《评估方法》标准,某地区太阳能资源的可利用价值通常以月日照时数大于 6 h 的天数作参考,当某一天日照时数大于 6 h 时,可以认为这一天是以晴到多云为主的天气,光照充足,适合太阳能光伏组件的发电出力。由图 8 可知,安乡县年日照时数 > 6 h 天数最大值为 191 天(1985 年),最少值为 124 天(2014 年),气候平均值 166.3 天,表明安乡地区全年近一半时间可以利用太阳能资源。

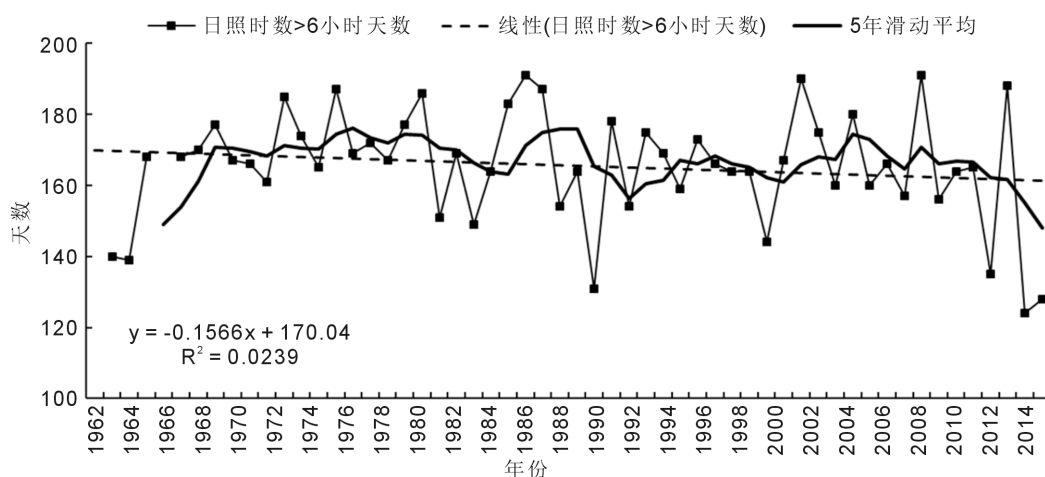


Figure 8. Interannual variation trend of sunshine duration greater than 6 hours in Anxiang County

图 8. 安乡县日照时数大于 6 小时天数的年际变化趋势

Table 3. Solar energy division index

表 3. 太阳能资源区划指标

太阳总辐射年总量(MJ/(m ² ·a))	≥6300	5040~6300	3780~5040	<3780
资源丰富程度	最丰富	很丰富	丰富	一般

3.2.2. 太阳能资源稳定度评估

根据《评估方法》中的标准定义,当稳定度 $K < 2$ 为稳定, $K > 4$ 为不稳定, K 介于 2~4 之间为较稳定。由公式(4),安乡县太阳能资源稳定度的气候值为 2.61,表明安乡县太阳能资源较稳定。

4. 结论与讨论

本研究基于长沙站太阳总辐射、武汉站直接辐射以及安乡站日照时数资料,根据中国气象局发布的气象行业标准《太阳能资源评估方法 QX/T89-2008》,对安乡县太阳能资源分布特征进行了分析,并初步评估了该地区的太阳能资源丰富程度、稳定程度以及可利用状况,得到以下结论:

1) 近 50 年,安乡县年总辐射量在 3533.3~4614.8 MJ/m² 之间,整体呈线性减少的趋势。年际变化上基本呈波动特征,上世纪 80 年代中期、90 年代中期至本世纪初,总辐射量有上升的趋势,而近年来年总辐射量明显下降;从年内分布上,总辐射值夏季最大,其次是春季和秋季,冬季最小,5~8 月为总辐射高值期。

2) 安乡县年直接辐射量在 731.4~2089.6 MJ/m² 之间,呈线性减少的趋势,减少幅度为-67.9 MJ/m²(每 10 年);月季分布上,直接辐射值夏季最大,春秋季节次之,冬季最小;7~8 月辐射值明显大于其他月份。

3) 安乡县的年散射辐射量在 2380.4~2960.5 MJ/m² 之间。近 50 年来,散射辐射量整体在波动中上升,其年际变化较小;同总辐射和直接辐射类似,安乡县散射辐射值夏季最大,春秋季节次之,冬季最小;4~8 月为高值期,12 月最少。

4) 安乡县直射比呈波动中下降的趋势,平均直射比为 0.29,辐射形式处于散射辐射占主导;各月中,8 月直射比最高,3 月直射比最低;下半年直射比要大于上半年。

5) 安乡县日照时数的线性趋势变化不显著;上世纪 60 年代后期至 70 年代日照时数相对偏多,本世纪初开始,日照时数呈逐渐偏少的趋势;安乡县日照时数最大值出现在 7~8 月,最小值均出现在 2 月。

6) 对安乡县太阳能资源的评估表明,安乡县属于太阳能资源丰富地区,且太阳能资源较稳定,其太

太阳能资源可利用平均天数为 166.3 天。

本研究中安乡县年太阳总辐射量和直接辐射呈递减趋势,这一结果与各地相关研究较为一致[10] [14] [15] [16] [17];造成的原因十分复杂,推测可能与大气中悬浮粒子浓度的增加、气象观测站周边建筑遮挡以及日照时数减少有关,需要在下一步工作中继续探讨。

参考文献 (References)

- [1] 左大康,周允华,项月琴,等. 地球表层辐射研究[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [2] 石玉林,陈传友,何贤杰,等. 资源科学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [3] 陈志华. 1957-2000 年中国地面太阳辐射状况的研究[D]: [硕士学位论文].北京: 中国科学院研究生院大气物理研究所, 2005.
- [4] Angstrom, A. (1924) Solar and terrestrial radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **50**, 121-125.
- [5] Kimball, H.B. (1935) Intensity of Solar Radiation at the Surface of the Earth: Its Variation with Latitude, Attitude, Season and Time of Day. *Monthly Weather Review*, **63**, 1-4.
- [6] 左大康. 中国地区太阳总辐射的空间分布特征[J]. 气象学报, 1963, 33(1): 78-96.
- [7] 翁笃鸣. 试论总辐射的气候学计算方法[J]. 气象学报, 1964, 34(3): 304-315.
- [8] 钱永甫. 散射辐射计算方法和气溶胶的气候效应[J]. 高原气象, 1991, 10(4): 429-441.
- [9] 中国气象局. QX/T 89-2008. 太阳能资源评估方法[S]. 北京: 气象出版社, 2008: 1-7.
- [10] 马金玉,梁宏,罗勇,等. 中国近 50 年太阳直接辐射和散射辐射变化趋势特征[J]. 物理学报, 2011, 60(6): 069601, 14 p.
- [11] 周扬,吴文祥,胡莹,等. 西北地区太阳能资源空间分布特征及资源潜力评估[J]. 自然资源学报, 2010, 25(10): 1737-1749.
- [12] 李小虹,袁淑杰,刘庆宇,等. 河北省太阳散射辐射时空分布特征研究[J]. 成都信息工程学院学报, 2013, 28(5): 543-548.
- [13] 赵东,罗勇,高歌,等. 我国近 50 年来太阳直接辐射资源基本特征及其变化[J]. 太阳能学报, 2009, 30(7): 946-952.
- [14] 杜东升,张剑明,张建军. 湖南省太阳能资源时空分布特征及评估[J]. 中国农学通报, 2015, 31(36): 170-175.
- [15] 李晓文,李维亮,周秀骥. 中国近 30 年太阳辐射状况研究[J], 应用气象学报, 1998, 2(1): 24-31.
- [16] 查良松. 我国地面太阳辐射量的时空变化研究[J]. 地理科学, 1996, 16(3): 232-237.
- [17] 杨羨敏,曾燕,邱新法,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, 16(2): 243-248.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ag@hanspub.org