

万山海岛地区太阳能资源变化特征分析及评估

王俊¹, 席芳²

- (1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663;
2. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广州 510230)

摘要: 利用线性回归分析法、距平分析法、5 年滑动平均法和 Mann-Kendall 检验法对万山海岛地区太阳总辐射量和日照时数进行分析, 结果表明: 万山海岛地区太阳总辐射量呈现略微上升趋势, 月太阳总辐射量呈现单峰型分布, 7 月最高, 2 月最低; 年日照时数呈现微弱的下降趋势, 月日照时数呈双峰型分布, 7 月最高, 3 月最低。对万山海岛地区太阳能资源的分析和评估结果表明: 万山海岛地区太阳总辐射量年平均值为 4 996.25 MJ/m², 属于资源丰富地区; 太阳能资源稳定程度指标为 3.7, 属于资源较稳定地区。

关键词: 太阳总辐射; 日照时数; 太阳能资源; 万山海岛

中图分类号: P422

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)S1-0193-05

Variation Characteristics and Assessment of Solar Energy Resources in Wanshan Islands Area

WANG Jun¹, XI Fang²

- (1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;
2. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Linear regression analysis, anomaly value analysis, five-year moving average method and Mann-Kendall method are used to analyze the variation characteristics of global solar irradiance and sunshine duration in Wanshan islands area. Results show that the global solar irradiance has a slightly increasing trend, and monthly global solar irradiance has a unimodal distribution with the highest value in July and lowest value in February. The sunshine duration has a slightly downward trend, and monthly sunshine duration shows a bimodal distribution with the highest value in July and lowest value in March. Analysis and evaluation results of solar energy resource of Wanshan islands show that the average value of global solar irradiance is 4996.25 MJ/m², which is abundant in solar energy resource. The stability of solar energy resources is 3.7, which is fairly stable.

Key words: global solar irradiance; sunshine duration; solar energy resources; Wanshan islands

步入 21 世纪以来, 我国能源体系正在向节约、高效、洁净、多元、安全的现代化能源结构转变, 逐步进入一个保持可持续发展、绿色、低碳能源发展阶段^[1]。太阳能具有无限储量和普遍存在的特性、其利用具有清洁和经济的优点, 是国际公认的最具竞争力的未来能源之一^[2], 同时也是分布式能源重要的组成部分。

目前, 太阳能光伏发电技术已经成熟, 在全球范围内已经得到了广泛应用^[3], 而光伏电站的首要任务是要分析和掌握当地的太阳能资源变化特征。

本文通过分析研究万山海岛地区太阳总辐射量和日照时数的变化规律, 为海岛太阳能资源的开发利用以及相关的科学研究提供参考依据^[4-5]。

1 资料选取与分析方法

万山海岛地区属于亚热带海洋性气候, 冬无严寒, 雨量充沛。本区域内有澳门大潭山气象站进行太阳辐射观测, 该站位于东经 113° 33', 北纬 22° 09', 海拔高度为 110 m。

本文的主要数据资料为大潭山气象站 1986—2011 年逐月太阳总辐射量和 1981—2011 年逐月日照时数(本文的气象资料均来自澳门地球物理及气象局)。

首先利用线性回归分析和距平分析法对本地区

收稿日期: 2015-11-01

作者简介: 王俊(1983), 男, 江苏阜宁人, 工程师, 硕士, 主要从事太阳能资源评估及水文气象勘测工作(e-mail) wangjun@gedi.com.cn。

得太阳总辐射和日照时数的趋势进行分析, 然后通过5年滑动平均法、Mann-Kendall(M-K)秩次相关性检验法验证和分析本地区太阳总辐射和日照时数多年的变化特征, 最后根据太阳能资源评估方法, 对万山海岛地区太阳能资源进行评估^[6]。

2 太阳总辐射变化特征

2.1 年际变化分析

对万山海岛地区1986—2011年太阳总辐射资料统计分析表明: 近26年来万山海岛地区太阳总辐射平均值为4 996.25 MJ/m², 其中最高值出现在1986年为5 512.70 MJ/m², 最低值出现在1994年为4 526.44 MJ/m²。万山海岛地区太阳总辐射年际变化如图1所示。

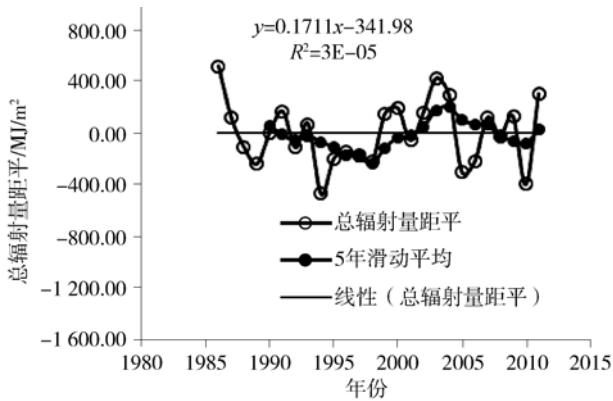


图1 万山海岛地区太阳总辐射年际变化趋势
Fig. 1 Annual Variations of Global Solar Radiation in Wanshan Islands Area

由图1可知: (1)万山海岛地区太阳总辐射处于微弱的上升趋势, 升幅仅为1.711 MJ/m²/10a; (2)从5年滑动平均距平值来看, 20世纪90年代末期之前呈现明显的下降趋势, 90年代末期又有所回升, 这与华南地区太阳总辐射的变化趋势基本一致^[7], 也符合这一时期“全球变暗”到“全球变亮”的气候背景^[8]; 从本世纪开始, 年太阳总辐射量呈现上下波动状态, 但上升的幅度略大于下降的幅度; (3)从不同年代的太阳总辐射量来看, 20世纪80年代末期属于高值区, 高于多年平均值; 与之相对的是上世纪90年代太阳总辐射低于多年平均值; 本世纪以来, 太阳总辐射量有所回升, 略高于多年平均值。

对万山海岛地区年以及各月太阳总辐射量的序列采用M-K法进行检验, 结果如图2所示。由图2

可知: 万山海岛地区近几十年太阳总辐射的M-K检验值大于零, 表明本地区总辐射量呈上升趋势, 但未通过显著性置信检验。1-6-9-10月的M-K检验值小于零, 说明这4个月的总辐射量呈下降趋势。6月份的总辐射量系列通过90%的显著性置信检验, 9月份的总辐射量系列通过95%的显著性置信检验; 其余月份的总辐射量的M-K检验值大于零, 呈现上升趋势, 2月份的总辐射量系列通过90%的显著性置信检验, 其余月份的总辐射量系列未通过显著性检验。

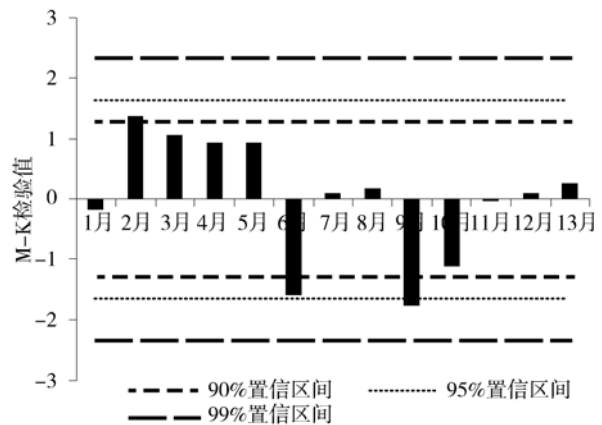


图2 万山海岛地区太阳总辐射量M-K法统计检验值
Fig. 2 M-K Statistics Test Value of Global Solar Irradiance at Different Periods in Wanshan Islands Area

2.2 年内变化分析

图3为万山海岛地区1986—2011年的多年平均太阳总辐射年内变化特征图。

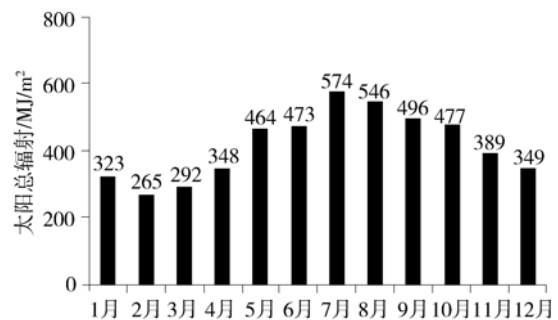


图3 万山海岛地区年内各月太阳总辐射量变化图
Fig. 3 Monthly Variations of Global Solar Irradiance in Wanshan Islands Area

从图3可见, 太阳总辐射量的年内变化呈现为单峰型, 其中7月份最高, 8月份次高; 2月份最低, 3月份次低; 最高值达到574.47 MJ/m², 最低值仅为265.16 MJ/m²。这与万山海岛区的天文辐

射月际差异以及降水特点有关^[7]: 本地区天文总辐射量最大值出现在 6 月, 最小值出现在 12 月; 但由于 6 月阴雨天较多, 使得到达地面的总辐射受到削弱, 而 7 月受副热带高压稳定控制, 雨天日数少于 6 月, 但 7 月的天文总辐射量在全年中也仅次于 6 月, 因而 7 月的太阳总辐射量全年最高; 同理, 尽管 12 月的天文总辐射量少于 2 月, 但由于 2 月处于冬春转换时节, 频频南下的北方冷空气与活跃北上的海洋暖湿气流在本地区对峙, 导致低温阴雨天气出现天数多, 日照时间少, 从而 2 月到达地面的太阳总辐射为全年最低。

3 日照时数变化特征

3.1 年际变化分析

对万山海岛地区 1981—2011 年日照时数资料统计分析表明: 近 31 年来万山海岛地区年平均日照时数长达 1 766.5 h; 年日照时数最大值出现于 1986 年, 为 2 081.4 h, 最小值出现于 2006 年, 为 1 542.8 h。万山海岛地区日照时数年际变化如图 4 所示。

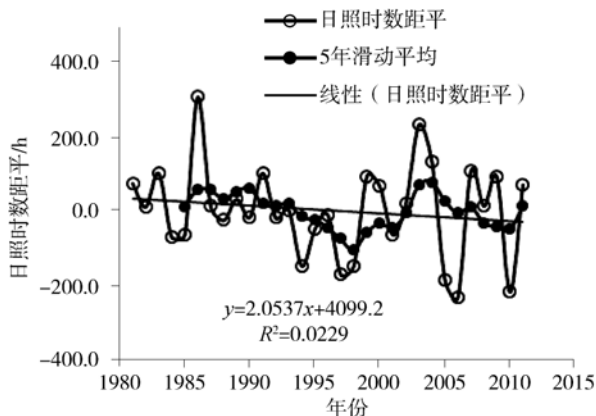


图 4 万山海岛地区日照时数年际变化趋势

Fig. 4 Annual Variations of Sunshine Duration in Wanshan Islands Area

由图可知: (1) 万山海岛地区日照时数变化趋势与总辐射变化趋势相反, 呈现下降趋势, 减幅为 20 h/10 a; (2) 从历年日照时数 5 年滑动平均距平值来看, 上世纪 90 年代末期以前, 万山海岛地区年日照时数总体呈现较大的下降趋势; 90 年代末期以后, 日照时数呈现一个短暂的、较大的上升趋势; 从本世纪初期开始, 年日照时数呈现上下波动状态, 但振幅较大; (3) 从不同年代的日照时数来看, 上世纪 80 年代末期为日照时数高值区, 高于

多年平均值; 90 年代为日照时数低值区, 低于多年平均值; 本世纪以来, 年日照时数平均值略低于多年平均日照时数。这与国内学者的文献^[9-13] 研究结果基本一致。

万山海岛地区年日照时数和各月日照时数的 M-K 法检验如图 5 所示。由图可知: 万山海岛地区近几十年日照时数的 M-K 检验值小于零, 表明日照时数的趋势是下降的, 但未通过显著性置信检验。但各月的变化趋势是有差异的, 2~5 月以及 8 月的 M-K 检验值均大于零, 表明这 5 个月的日照时数的变化趋势是上升的; 其余月份的 M-K 检验值均小于零, 表明其余 7 个月的日照时数的变化趋势是下降的。显著性置信检验方面, 仅其中 2 月和 6 月通过 95% 的显著性置信检验, 其余 10 个月均未通过显著性检验。

3.2 年内变化分析

图 5 为万山海岛地区 1981—2011 年的多年平均日照时数年内变化特征图。

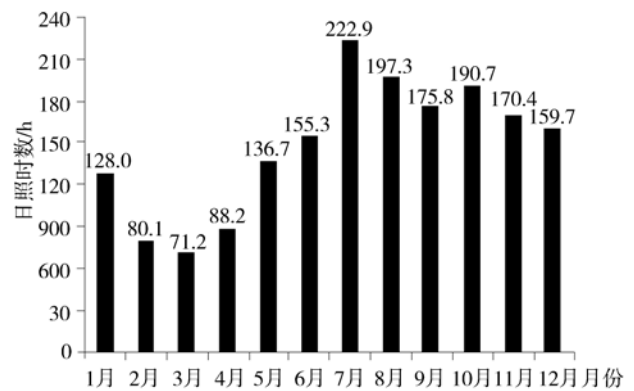


图 5 万山海岛地区年内各月日照时数变化图

Fig. 5 Monthly Variations of Sunshine Duration in Wanshan Islands Area

从图中可见, 万山海岛地区年内日照时数的变化幅度较大, 呈现双峰型分布, 两个峰值分别出现在 7 月和 10 月, 两个谷值分别出现在 3 月和 9 月。日照时数最长的是 7 月份, 日照时数为 222.9 h, 其次是 8 月份, 日照时数为 197.3 h; 日照时数最短的是 3 月份, 日照时数为 71.2 h, 其次是 2 月份, 日照时数为 80.1 h。日照时数最长月份和最短月份相差达 157.1 h。

4 太阳能资源评估

采用太阳能资源丰富程度、稳定程度对太阳能

资源进行分级评估。

4.1 太阳能资源丰富程度评估

太阳能资源丰富程度以年太阳总辐射量为指标^[14]，依据资源情况分为四个等级，见表1。

表1 太阳能资源丰富程度等级

Table 1 Richness Grade of Solar Energy Resources

年太阳总辐射 MJ/m ² /a	丰富程度
TI ≥ 6 300	资源最丰富
5 040 ≤ TI < 6 300	资源很丰富
3 780 ≤ TI < 5 040	资源丰富
TI < 3 780	资源一般

注：TI—年太阳总辐射年量

从万山海岛地区多年太阳总辐射资料统计来看，该地区太阳总辐射年平均值为 4 996.25 MJ/m²，属于资源丰富地区。

4.2 太阳能资源稳定程度评估

太阳能资源稳定程度用各月日照时数大于 6 h 天数的最大值与最小值的比值 K 表示^[14]，其等级见表2。

表2 太阳能资源稳定程度等级

Table 2 Steady Grade of Solar Energy Resources

稳定程度指标	稳定程度
< 2	资源稳定
2 ~ 4	资源较稳定
> 4	资源不稳定

从多年来万山海岛地区各月日照时数大于 6 h 天数的统计资料来看：该地区多年平均日照时数大于 6 h 的天数为 160 d，占比为 43.8%；其中 7 月份最多，达到 19.7 d；3 月份最少，仅 5.5 d；两者差值达到 12.2 d。万山海岛地区多年平均 K 值为 3.6，根据表2的稳定程度等级分类，本地区属于资源较稳定地区。

5 结论

1) 万山海岛地区太阳总辐射年际呈微弱上升趋势，但未通过显著性置信检验，升幅仅为 1.711 MJ/m²/10 a；太阳总辐射年内呈单峰型变化，7 月份最高，2 月份最低。

2) 万山海岛地区日照时数年际呈现微弱的下降趋势，但未通过显著性置信检验，降幅为 20 h/10 a；日照时数年内呈双峰型变化，7 月份最大，3 月

份最小。

3) 万山海岛地区太阳能资源丰富且较稳定，近年来太阳总辐射有所上升，对本地区开发利用太阳能是有利的。

4) 和前人的研究结果相似，万山海岛地区日照时数的变化趋势是下降的；万山海岛地区太阳总辐射变化趋势是上升的。通常认为影响太阳总辐射和日照时数的因素主要有气象因子(如云量、降水等)和环境因子(如气溶胶等)。特别是进入 21 世纪以来，全国各地的霾现象日益严重，大气透明度持续走低，造成日照时数降低，理应同时影响与之密切相关的太阳总辐射，而本文得出的太阳总辐射研究结果却与之相反^[4]。笔者分析认为此结果与气溶胶颗粒物关系甚密，气溶胶颗粒物可能会减少太阳直接辐射，但同时可能会增加散射辐射，从而导致由上述两部分总和构成的太阳总辐射并未明显减少。但各种因子对太阳总辐射的影响程度和机制，目前尚不十分清楚，有待于在将来的研究中开展相关的分析和计算。

参考文献：

- [1] 黄湘, 王志峰, 李艳红, 等. 太阳能热发电技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
HUANG Xiang, WANG Zhifeng, LI Yanhong, et al. Solar Thermal Electric Generating Technology [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.
- [2] 马全涛, 谢云华, 杨华. 云南省西街口地区太阳能资源评估分析 [J]. 电力勘测设计, 2013(69): 306-308.
MA Quantao, XIE Yunhua, YANG Hua. Characteristics and Assessment of Solar Energy Resources Variation in Yunnan Xijiekou Area [J]. Electric Power Survey & Design, 2013(69): 306-308.
- [3] 蒋华庆, 贺广零, 兰云鹏. 光伏电站设计技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
JIANG Huaqing, HE Guangling, LAN Yunpeng. Photovoltaic Power Station Design Technology [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2014.
- [4] 齐冰, 邵碧嘉, 杜荣光. 杭州太阳能资源变化特征及评估 [J]. 科技通报, 2012, 28(5): 59-61.
QI Bing, SHAO Bijia, DU Rongguang. Characteristics and Assessment of Solar Energy Resources Variation in Hangzhou [J]. Bulletin of Science and Technology, 2012, 28(5): 59-61.
- [5] 杨富程, 孙周, 韩二红. 拉萨地区太阳能资源变化特征分析及评估 [J]. 可再生能源, 2014, 328(12): 1791-1796.
YANG Fucheng, SUN Zhou, HAN Erhong. Variation Charac-

- teristics and Assessment of Solar Energy Resources in Lhasa Area [J]. *Renewable Energy Resources*, 2014, 328(12): 1791-1796.
- [6] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法 [J]. *大气科学*, 1992, 16(4): 482-493.
FU Zongbin, WANG Qiang. The Definition and Detection Of the Abrupt Climatic Change [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1992, 16(4): 482-493.
- [7] 李艳兰, 何如, 杜尧东. 华南区域太阳总辐射的时空变化特征 [J]. *可再生能源*, 2012, 30(1): 13-16.
LI Yanan, HE Ru, DU Yaodong. Spatial and Temporal Variations of Global Solar Irradiance in South China Area [J]. *Renewable Energy Resources*, 2012, 30(1): 13-16.
- [8] WILD M, GILGEN H, ROESCH A, et al. From Dimming To brightening: Decadal Changes in Solar Radiation at Earth's surface [J]. *Science*, 2005(308): 847-850.
- [9] 郭军, 任国玉. 天津地区近 40 年日照时数变化特征及其影响因素 [J]. *气象科技*, 2006, 34(4): 415-420.
GUO Jun, REN Guoyu. Variation Characteristics of Sunshine Duration in Tianjin in Recent 40 Years and Influential Factors [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2006, 34(4): 415-420.
- [10] 杨霞, 蔡梅, 赵逸舟. 近 39 年喀什日照时数变化分析 [J]. *干旱区研究*, 2011, 28(1): 158-162.
YANG Xia, CAI Mei, ZHAO Yizhou. Variation Analysis of Sunshine Duration in Kashgar, In Recent 39 Years [J]. *Arid Zone Research*, 2011, 28(1): 158-162.
- [11] 卢晓霞, 陈胤华. 东阳市 50 年来的日照时数统计与分析 [J]. *安徽农学通报*, 2008, 14(15): 99-101.
LU Xiaoxia, CHEN Yinhua. Statistics and Analysis of of Sunshine Duration in Dongyang in 50 Years [J]. *Anhui Agriculture Bulletin*, 2008, 14(15): 99-101.
- [12] 陈碧辉, 张平, 郝克俊, 等. 近 50 年成都市日照时数变化规律 [J]. *气象科技*, 2008, 26(6): 760-763.
CHEN Bihui, ZHANG Ping, HAO Kejun, et al. Variation Characteristics of Sunshine Duration in Chengdu in Recent 50 Years [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2008, 26(6): 760-763.
- [13] 陈志华. 1957—2000 年中国地面太阳辐射状况的研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005.
CHEN Zhihua. Study on Global Solar Irradiance in China During 1957—2000 [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2005.
- [14] QX/T 89—2008, 太阳能资源评估方法 [S]. 北京: 气象出版社, 2008.
QX/T 89—2008, Assessment Method of Global Solar Irradiance [S]. Beijing: Meteorological Press, 2008.

(责任编辑 黄肇和)

第十届中国核电技术发展高峰论坛简讯

“第十届中国核电技术发展高峰论坛”于 2015 年 11 月 20 日在上海成功召开, 本次论坛由上海市核电办公室主办, 诺本集团承办。来自中国核能行业协会、中广核、中核集团、国核、华能、上海交通大学、上海电气、东方电气、华东电力设计院等单位的专家和学者齐聚一堂, 探讨 2015 年后的中国核电新政策, 关注核电新项目的重启, 如何安全高效发展核电产业以及加速中国核电“走出去”和交流先进的国内外核电装备制造技术和解决方案。会上, 中国核能行业协会副秘书长徐玉明指出“华龙一号”、CAP1400 等第三代核电技术将成为未来国内主流装机机型, 2015 年底中国核电总装机规模将接近 30GW, 超过韩国和俄罗斯, 排名世界第四。中广核集团总经济师兼战略计划部总经理周卫红提醒称, 三代核电技术可能存在技术不成熟问题, 或许会导致工期及造价攀升, 这将成为中国核电未来发展面临的新挑战。国家核电技术公司副总经理郑明光在论坛上表示, CAP1400 目前已经符合了全部技术审查要求, 预计明年该项目具备开工条件。《南方能源建设》编辑部作为本次大会特邀学术顾问机构, 与上海市核电办公室合作整理了中国核能行业协会副秘书长徐玉明、国家核电技术公司副总经理郑明光、华龙一号总设计师戚春宇、上海市核电办公室产业处处长顾祥银、中国原子能科学研究院副院长柳卫平、上海电气核电设备有限公司副总工张茂龙的论坛报告, 并刊登在《南方能源建设》2015 年第 4 期特约评论栏目。

(《南方能源建设》编辑部)