环境及其效应

环境气象因素监测分析在太阳能热发电站 选址快速评估中的应用

何德洪,高正,彭京川,封先河,杨晓然

(西南技术工程研究所,重庆 400039)

摘要:目的 对凉山州某地太阳能热发电站拟选场址的太阳能资源进行评估。方法 利用环境气象因素监测设备监测太阳直接辐射、总辐射和温湿度等环境气象因素,采用经验公式估算凉山州某地全年太阳直接辐射和总辐射量,并利用实测值进行验证。结果 某地在秋冬之交,直接辐射强度的平均值为 5.7 kW·h/(m²·d), 总辐射强度的平均值为 5.1 kW·h/(m²·d)。结论 某地为太阳能资源很丰富地区,全年太阳直接辐射量大于 5000 MJ/m², 全年太阳总辐射量大于 6000 MJ/m², 2月、3月、4月和5月为太阳能热发电最佳经济运行的月份。在秋冬之交,有利因素为 70%以上的天数直接辐射强度都大于经济性运行的直接辐射强度指标,利于太阳能热发电,是潜在的太阳能热发电站候选地区;不利因素为多云天气和阴天占总天数的百分比接近 50%,会极大地影响太阳能热发电的发电量和发电效率。

关键词:太阳能;太阳能热发电;气象因素;太阳总辐射;直接辐射

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.01.000

中图分类号: P49; TM615 文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)01-0045-06

Application of Environmental Meteorological Monitoring and Analysis in Rapid Evaluation of Solar Thermal Power Plant Site Selection

HE De-hong, GAO Zheng, PENG Jing-chuan, FENG Xian-he, YANG Xiao-ran (Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate solar energy resource for site selection of solar thermal power plant in somewhere of Liangshan Prefecture. Methods Environmental and meteorological factors such as direct radiation and total radiation, temperature, humidity, etc. were monitored according to monitoring equipment. The direct radiation and total radiation in the whole year in somewhere of Liangshan Prefecture were calculated with empirical formula and verified with measured values. Results The average solar direct radiation was 5.7 kW·h/(m²·d) and the average total radiation was 5.1 kW·h/(m²·d) when autumn turned into winter. Conclusion Solar energy resource in the region is rich. The direct radiation in the whole year exceeds 5000 MJ/m², and the annual total radiation is larger than 6000 MJ/m². Its optimum and economic operating mouths last from February to May. When autumn turns into winter, direct radiation strength of above 70% of days is higher than the index for direct radiation strength of economic operation. It is favorable for solar thermal power generation. It is a candidate area for potential solar thermal power plant. The unfavorable factor is that it has nearly 50% of cloudy days, which reduces capacity and efficiency of solar thermal power generation.

KEY WORDS: solar energy; solar thermal power plant; meteorological factor; total solar radiation; direct radiation

收稿日期: 2016-07-04; 修订日期: 2016-08-07

随着石油、煤碳、天然气等石化燃料资源的逐渐 耗竭和生态环境的目益恶化,太阳能已被公认为是未 来最有竞争性的能源之一,其开发利用对于缓解全球 气候变化有着重要的意义[1]。太阳能热发电是利用聚 光器和吸热器将太阳辐射能转换成热能并最终转换 成电能的一种发电形式。太阳直接辐射(DNI)是太阳 能热发电潜力和电站选址布局的基本依据[2],而太阳 总辐射是评价一个地区太阳能资源丰富程度的重要 指标。太阳能热发电站应选择太阳辐射强度高、日照 时数时间长、地理地质条件稳定的场址,同时,应尽 量靠近合适电压等级的变电站或电网等[3]。由于凉山 州某地附近的气象台站离该地较远, 缺乏太阳辐射监 测数据,不能满足太阳能热发电站选址的需要。2009 年,西南技术工程研究所受某集团公司的委托,首次 开展对某地太阳直接辐射、总辐射和温湿度等主要环 境气象因素的监测,利用经验公式估算某地全年太阳 直接辐射量和总辐射量,并利用实测值进行验证,快 速评估某地的太阳能资源,为太阳能热发电站场址的 设计和工程设计提供科学依据。

1 环境气象因素监测

1.1 监测地点及气候特征

凉山州某地位于青藏高原东南缘,平均海拔为2700 m,年平均温度为12.3 °C,年平均降雨855.2 mm,年平均相对湿度58%,年平均风速为2.6 m/s,属于亚热带季风型立体气候类型。从太阳能资源区划图中可看出^[4],某地为太阳能资源很丰富地带。

1.2 环境气象因素监测项目及参数

环境气象因素监测项目及参数详见表 1。

表 1 环境气象因素监测项目及参数

类别	项目	检测参数	监测方式	监测依据			
		平均温度	24 h连续监测				
	温度	最高温度	24 h连续监测				
		最低温度	24 h连续监测				
气象参数	相对	平均相对湿度	24 h连续监测	_			
		最大相对湿度	24 h连续监测	WJ			
	湿度	最小相对湿度	24 h连续监测	2360—1995			
	太阳	总辐射	24 h连续监测	-			
	辐射	直接辐射	24 h连续监测				
	天气	晴、雨、雾、	24 h连续监测				
	现象	露、霜等	24 Ⅱ迁续监侧				

1.3 环境气象因素监测设备

温度和相对湿度由 PR-Ⅲ型多路温湿度测量仪自动监测,温度测量精度为±0.2 ℃,相对湿度测量精度为±2%,数据采集存储的频率为 10 min 一次。太阳辐射强度采用 LF2000 型太阳辐射数据记录仪及其配套的 TBQ-2-B总辐射表和 TBS-2-B直接辐射表自动监测,

总辐射表测量光谱范围为 300~3000 nm,测试范围为 0~2000 W/m²,灵敏度年稳定性≤±2%,余弦响应≤5%;直接辐射表测量光谱范围为 300~3000 nm,测试范围为 0~2000 W/m²,灵敏度年稳定性≤±1%,跟踪精度小于±1°/(24 h),数据采集存储频率为 1 次/min。天气现象依据 WJ 2360—1995《兵器产品自然环境试验方法环境因素监测》标准,采用人工观测统计。太阳总辐射与直接辐射瞬时值实时采集图像如图 1 所示,太阳总辐射与直接辐射累计值采集图像如图 2 所示。



图 1 太阳总辐射与直接辐射瞬时值实时采集图像



图 2 太阳总辐射与直接辐射累计值采集图像

1.4 监测时间

本次环境气象因素监测时间为 2 个月, 从 2009 年 10 月 16 日至 2009 年 12 月 16 日。

2 结果与讨论

2.1 环境气象因素监测结果

2.1.1 天气现象统计

阴晴天气按照天空中云量的多少和高低划分。 在该地区的秋冬交汇季节,晴天占总天数的 30.6%;晴转多云天气占总天数 8.1%;多云天气占总天数的 40.3%;阴天占总天数的 8.1%;其他如雨、雪等天气占总天数的 12.9%。出现有露的天气占总天数的 48.4%;出现有霜的天气占总天数的 29.0%。由于监测时间较短,只能作为判定该地区该时间段内环境气候特征的依据。

2.1.2 秋冬交汇季节温湿度变化特性及影响

该地区秋冬交汇季节某天整点温湿度变化情况如图 3 所示。在秋冬交汇季节,夜晚和早晨空气温度低,

相对湿度大,中午空气温度高,相对湿度较小,相对湿度在昼夜内产生相当大的变化,形成一个与温度波动的近似反向图像。由于相对湿度与水的蒸汽压有直接关系,一般情况下,在高温潮湿地区,早晨的气温最容易达到露点温度,从而易发生凝露现象[5-8]。这与在监测期间出现较多有露的天气现象十分吻合。由于太阳能热发电需要通过聚光器反射太阳直接辐射来传递能量,这就要求聚光器的反射材料对太阳光的反射率应非常高,而较多有露的天气现象会在反射材料上形成一层水膜,从而降低了反射材料的反射率,最终影响太阳能热发电的发电量。

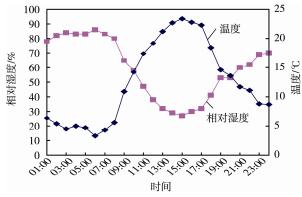


图 3 典型秋冬交汇季节温湿度变化情况

2.1.3 直接辐射与总辐射变化特性

该地区秋冬交汇季节直接辐射与总辐射变化情况如图 4 所示,在 70%以上的日期内直接辐射强度都大于总辐射强度。通过分析,由于测量总辐射强度的总辐射表采用水平安装方式,总辐射表的感应元件法线方向与太阳实际位置存在一个夹角 θ ,这个夹角 θ 在一天中不同时刻是变化的,总辐射表的输出与这个夹角 θ 的余弦成正比。测量直接辐射强度的直接辐射表安装在一个自动跟踪太阳的装置上,直接辐射表的感应元件在一天中一直正对着太阳,直接辐射表的输出相当于总辐射表 θ =0 时的最大值。另此次监测在某地的秋冬交汇季节,时间已接近冬至,此时间段内太阳的高度角较小(夏至时最大,冬至时最小)。由于太阳光的强弱与太阳高度角的正弦成正比,

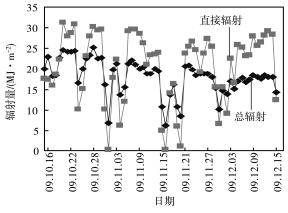


图 4 直接辐射与总辐射变化情况

在太阳的高度角较小时,等量的太阳辐射散布的面积就越大,单位面积上所得的太阳辐射量就越小,因此监测到的总辐射强度较低。直接辐射始终正对着太阳进行监测,在晴天,大气透明度较好,无云层影响的情况下,通常直接辐射的强度大于总辐射的强度^[9-11]。

2.1.4 直接辐射与总辐射统计

依据图 4 的数据和《太阳能资源评估方法》标准中 1 kW·h=3.6 MJ 的换算关系,分段统计出该地区在秋冬交汇季节实测直接辐射(DNI)的分布情况,见表 2。计算出直接辐射强度的平均值为 5.7 kW·h/(m²·d),总辐射强度的平均值为 5.1 kW·h/(m²·d)。按太阳能电站直接辐射强度每天大于 4.66 kW·h/(m²·d)作为经济性运行的分界线^[12],在统计的时间段内,直接辐射强度占总天数 71%的时间段内都大于 4.6 kW·h/(m²·d),初步可判断该地区是潜在的太阳能热发电站候选地区。

表 2 直接辐射(DNI)的分段统计

项目	天数/d	占总天数的百分比/%
直接辐射≥8.0 kW·h/(m²·d)	10	16.1
直接辐射≥7.5 kW·h/(m²·d)	17	27.4
直接辐射≥7.0 kW·h/(m²·d)	25	40.3
直接辐射≥6.5 kW·h/(m²·d)	32	51.6
直接辐射≥6.0 kW·h/(m²·d)	37	59.7
直接辐射≥5.5 kW·h/(m²·d)	38	61.3
直接辐射≥5.0 kW·h/(m²·d)	40	64.5
直接辐射≥4.6 kW·h/(m²·d)	44	71.0
直接辐射≥4.0 kW·h/(m²·d)	49	79.0
直接辐射<4.0 kW·h/(m²·d)	13	21.0

2.1.5 典型晴天天气直接辐射与总辐射变化趋势

该地区典型晴天天气直接辐射与总辐射变化趋势如图 5 所示,在晴好天气,从 8:00 点左右到 18:00 点左右,直接辐射的强度都大于总辐射的强度。全天直接辐照强度大于 700 W/m²的时间持续 8 h左右,太阳能热发电最佳经济性运行可利用的日照时数占总日照时数的百分比为 70%左右。

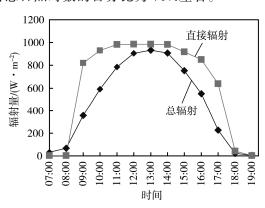


图 5 典型晴天天气直接辐射与总辐射变化趋势

2.1.6 典型晴转多云天气直接辐射与总辐射变化趋势

该地区典型晴转多云天气直接辐射与总辐射变化趋势如图 6 所示,晴转多云天气,在有云层影响的情况下,全天直接辐照强度大于 700 W/m²的时间持续 6 h 左右,可利用的日照时数占总日照时数的百分比为 55%左右。

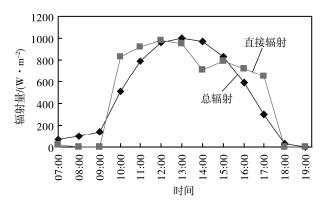


图 6 典型晴转多云天气直接辐射与总辐射变化趋势

2.1.7 典型多云天气直接辐射与总辐射变化趋势

该地区典型多云天气直接辐射与总辐射变化趋势如图 7 所示,在多云天气,全天直接辐照强度大于 700 W/m²的时间持续 3 h 左右,可利用的日照时数占总日照时数的百分比为 27%左右。

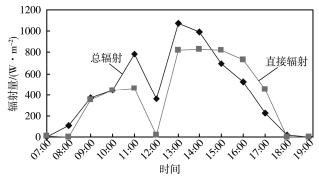


图 7 典型多云天气直接辐射与总辐射变化趋势

2.1.8 典型阴天直接辐射与总辐射变化趋势

该地区典型阴天直接辐射与总辐射变化趋势如图 8 所示,在阴天,偶尔从云缝中可见到太阳光,大多数 时间直接辐照强度非常小,可利用的日照时数非常少。

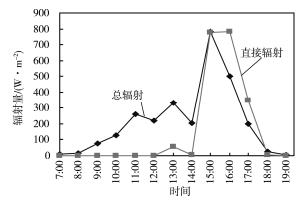


图 8 典型阴天直接辐射与总辐射变化趋势

2.1.9 典型降雨天气直接辐射与总辐射变化趋势

该地区典型降雨天气直接辐射与总辐射变化趋势如图 9 所示,在降雨天,直接辐照强度极小,无可利用的日照时数。

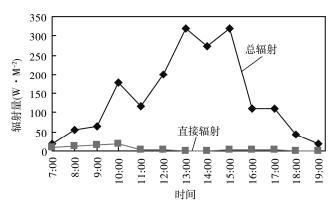


图 9 典型降雨天气直接辐射与总辐射变化趋势

2.2 快速评估方法

2.2.1 快速评估的概述

要准确地评估某地的太阳能资源丰富程度和稳定程度,最可靠的方法是利用就近的太阳辐射观测站点的数据或实地开展长期的太阳辐射相关数据的监测。在进行评估时,所用的数据应采用具有气候意义的 30 年气候平均值^[1]。由于我国幅员辽阔,长期开展太阳辐射观测的站点较少,且空间分布不均匀,直接利用太阳辐射实际观测数据远不能满足对太阳能资源的评估需求,因此在实际应用中一般根据气象资料采用经验公式计算结果进行评估^[4]。

2.2.2 太阳总辐射量的评估方法

影响太阳总辐射的主要因素有天文辐射、大气透明度和云量云状等,由于某地没有建立太阳辐射观测站,太阳总辐射量采用《中华人民共和国气候图集》中的经验公式(1)计算^[13-14]:

$$Q = Q_0[a + (0.55 + 1.11 / E_n)S]$$
 (1)

式中: Q 为太阳总辐射量, MJ/m^2 ; Q_0 为理想大气太阳总辐射量, MJ/m^2 ; a 为常数,取值 0.18; E_n 为平均水汽压,hPa; S 为平均日照百分率,%。

理想大气太阳总辐射量根据平均气压及所在纬度可线性内插表获得。依据式(1)计算拟选场址逐 月太阳总辐射量见表 3。

另采用翁笃鸣利用太阳总辐射和天文辐射之比值与日照百分率的散点图,计算太阳总辐射,其经验公式为^[10,15—17]:

$$Q = Q_A \left(a + bs \right) \tag{2}$$

式中: Q 为太阳总辐射量, MJ/m^2 ; Q_A 为天文辐射量, 可利用平均气压及所在纬度查表获得,

 MJ/m^2 ; s 为日照百分率,%; a, b 为经验系数,a=0.344,b=0.390。

依据式(2)计算拟选场址逐月太阳总辐射量见表3。

由于实测的 10 月和 12 月只有半个月的数据,无法统计出月总辐射量。完整统计出 11 月份的太阳总辐射量为 511.6 MJ/m²。在 11 月份,式(1)计算值与实测值的相对误差为 9.9%,式(2)计算值与实测

值的相对误差为 22.5%,式(1)计算值与实测值比较接近,实测值比两种方法的计算值都要偏高。两种方法计算出来的全年辐射量都大于 6000 MJ/m²,根据《太阳能资源评估方法》,以太阳总辐射的年总量为指标,进行太阳能资源丰富程度评估,其等级见表 4。从表 4 的数据可得出,某地为太阳能资源很丰富地区。

表 3 逐月太阳总辐射量

 MJ/m^2

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
式(1)计算的总辐射量	477.9	481.7	616.8	625.4	624.3	485.1	504.6	500.7	413.6	463.9	460.9	441.6	6096.5
式(2)计算的总辐射量	414.7	445.9	573.8	605.1	639.0	564.7	551.8	549.1	458.6	455.5	396.7	380.7	6035.6

表 4 太阳能资源丰富程度等级

太阳总辐射年总量/(MJ·m ⁻² ·a ⁻¹)	资源丰富程度				
≥6300	资源最丰富				
5040 ~ 6300	资源很丰富				
3780 ~ 5040	资源丰富				
<3780	资源一般				

2.2.3 太阳直接辐射量的评估方法

太阳直接辐射主要与天文辐射、大气透明度、云况、海拔高度和地理纬度等有关,采用高国栋提出的经验公式(3)计算^[10,18-19]:

$$S = a + bQ_A s \tag{3}$$

式中: S为直接辐射量, MJ/m^2 ; Q_A 为天文辐射量,

可利用平均气压及所在纬度查表获得, MJ/m^2 ; s 为日照百分率,%; a, b 为经验系数,夏半年(4月~8月)a=-2.5,b=0.82,冬半年(9月~3月)a=-2.9,b=0.94。

依据式(3)计算拟选场址逐月太阳直接辐射量见表5。

完整统计出 11 月份的太阳直接辐射量为 559.0 MJ/m², 在 11 月份, 计算值与实测值的相对误差为 25.1%, 实测值比计算值要偏高。按太阳能电站直接 辐射强度每天大于 4.66 kW·h/(m²·d)作为经济性运行的分界线指标,换算成每月的直接辐射量为 503.3 MJ/m²。对照表 5 的数据,某地区 2 月、3 月、4 月和 5 月为太阳能热发电最佳经济运行的月份。由于实测值比计算值要偏高,全年的太阳直接辐射总量应大于 5000 MJ/m²,对照表 4 的评估等级,再次印证某地区为太阳能资源很丰富地区。

表 5 逐月太阳直接辐射量

 MJ/m^2

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
太阳直接辐射量	475.3	504.2	624.7	533.6	522.7	373.3	330.8	367.4	326.5	420.0	418.5	425.6	5322.7

3 结论

- 1)某地为太阳能资源很丰富地区,全年太阳直接辐射量大于5000 MJ/m²,全年太阳总辐射量大于6000 MJ/m²,2月、3月、4月和5月为太阳能热发电最佳经济运行的月份。
- 2)某地在秋冬之交,有利因素为70%以上的天数直接辐射强度都大于经济性运行的直接辐射强度 指标,利于太阳能热发电,是潜在的太阳能热发电站 候选地区。
- 3)某地在秋冬之交,不利因素为多云天气和阴 天占总天数的百分比接近50%,会极大地影响太阳 能热发电的发电量和发电效率。

参考文献:

- [1] QX/T 89—2008, 太阳能资源评估方法[S].
- [2] 王劲峰, 孟斌, 李连发. 中国太阳能热发电站选址模型研究[J]. 地球信息科学, 2007, 9(6): 43—48.
- [3] 李京光,曹淦,陈广娟.基于Fuzzy-AHP的太阳能热发电站选址综合评价[J].电力勘测设计,2008(6):77—80.
- [4] 殷志强,赵玉文,李泽椿,等.中国可再生能源发展战略研究丛书.太阳能卷[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [5] 何德洪,肖敏,周漪,等. 黑箱加速大气暴露试验热强化效应和相关性研究[J]. 装备环境工程,2010,7(2):43-47
- [6] 汪学华. 自然环境试验技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.

- [7] 刘艳琳, 郭赞洪, 唐其环. 敦煌地区温湿度和日温差的极值特性研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(4): 77—81.
- [8] 陈晓晨, 张倩, 吴飒. 一种湿度试验中计算露点温度的方法[J]. 装备环境工程, 2016, 13(2): 88—91.
- [9] 王炳忠,莫月琴,杨云.现代气象辐射测量技术[M]. 北京:气象出版社,2008.
- [10] 谢云,符素华,邱扬,等.自然资源评价教程[M]. 北京: 北京师范大学出版社,2009.
- [11] 王艳艳, 陈亮, 杨万均, 等. 不同地域的阳光光谱分布特性[J]. 装备环境工程, 2015, 12(3): 97—101.
- [12] 曲航, 于晓, 赵军. 槽型抛物面太阳能电站选址要素—太阳辐射的研究和模拟分析[J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 2009, 25(1): 78—84.
- [13] 《中华人民共和国气候图集》编委会. 中华人民共和

- 国气候图集[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [14] 谢运华,杨华,马全涛.西昌太阳能资源评估研究 [J]. 电力勘测设计,2010(6):72—76.
- [15] 苏志,涂方旭.广西太阳总辐射的计算及分布特征 [J].广西气象,2003,24(4):32—34.
- [16] 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.
- [17] 字春霞. 南宁市太阳能日辐射估算方法探讨[J]. 广西气象, 2006, 27(1): 31—33.
- [18] 翁笃鸣. 中国太阳直接辐射的气候计算及其分布特征[J]. 太阳能学报, 1986, 7(2): 121—130.
- [19] 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.