

# 甘肃省太阳能资源评估

朱 飙<sup>1,2</sup>, 李春华<sup>3</sup>, 方 锋<sup>1,2</sup>

(1. 西北区域气候中心, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 3. 兰州资源环境职业技术学院, 甘肃 兰州 730021)

**摘 要:**按照太阳能资源评估方法, 利用甘肃省 6 个辐射站的资料, 采用气候学方法计算分析了甘肃省的太阳总辐射, 同时利用实测日照时数资料, 分析评估了甘肃省太阳能资源的其它参数, 并给出了甘肃省太阳能参数的空间分布图。结果表明, 甘肃省西部、中部地区属于太阳能丰富、较丰富区, 南部属于太阳能可利用区。

**关键词:**甘肃省; 太阳能; 评估

**中图分类号:**P468.0<sup>+</sup>27

**文献标识码:**A

## 引 言

近年来, 在能源日渐短缺和环境保护双重压力下, 各国政府都十分重视可再生能源的开发利用, 相继制定了发展规划和支持政策, 中国政府 2005 年公布的《可再生能源法》明确规定将包括太阳能、风能在内的可再生能源列入“国家能源发展的优先领域”<sup>[1]</sup>。太阳能是取之不尽的可再生绿色能源, 被看成是未来可再生能源利用的重要方向之一。世界各国都在大力发展太阳能产业, 如美国、德国、日本等发达国家早在 20 世纪 90 年代就开始实施“百万屋顶光伏计划”, 意大利 1998 年开始实行“全国太阳能屋顶”计划<sup>[2]</sup>。我国太阳能产业起步较晚, 但近几年发展很快。截止 2006 年底, 中国太阳能热水器年产量达 1 800 万 m<sup>2</sup>, 保有量达 9 000 万 m<sup>2</sup>, 据世界首位, 全国已建成多座光伏电站, 光伏发电总装机容量累计 65 MW<sup>[3]</sup>。伴随着技术的进步, 太阳能发电成本的降低, 太阳能的利用将越来越广泛<sup>[4]</sup>。

在我国, 全年日照时数为 2 800 ~ 3 300 h, 且太阳总辐射量为 6 000 ~ 8 000 MJ/m<sup>2</sup> 的区域, 即可称为太阳能资源丰富区, 其开发利用价值很高。该区域包括了西藏、新疆、甘肃、宁夏、青海的绝大部分地区, 以及陕西北部、内蒙古中西部, 占国土面积的 50% 左右<sup>[5]</sup>。

甘肃省是全国可再生能源最富集地区之一, 不

仅风能资源丰富<sup>[6]</sup>, 而且太阳能资源储量巨大, 风能和太阳能在时间上具有很好的互补性。特别是河西地区由于降水稀少, 空气干燥, 晴天多, 光照充足, 太阳能资源丰富, 具有得天独厚的气候资源优势, 这为甘肃省太阳能利用奠定了良好的基础。由于甘肃省只有 6 个太阳辐射观测站(敦煌、酒泉、民勤、兰州、榆中、西峰), 其中有些站具有多年辐射资料, 有些站辐射资料很短(榆中、西峰), 资料缺乏代表性, 因此, 要想科学、合理地反映甘肃省太阳能资源储量, 就必须建立太阳能资源的推算模型, 对无观测地区太阳能进行科学推算, 在此基础上再进行太阳能资源的区划、时空分布规律、开发利用条件和潜力、合理的利用方式和手段进行科学的评价和定量的分析, 为甘肃省开发利用太阳能资源提供科学依据, 同时也为农业生产提供科学依据与参考<sup>[7-8]</sup>。

## 1 资料选取与方法

由于我国太阳总辐射观测站点稀疏, 太阳辐射资料缺乏, 为获得没有太阳观测地区的总辐射资料, 通常是应用统计方法, 建立适合本地区的经验公式来计算太阳总辐射量<sup>[9-13]</sup>。总体说来, 计算太阳辐射的统计公式很多, 常用的有经验公式法、多因子综合法和 Prescoff 公式法, 3 种方法各有利弊。经验公式法计算误差较小, 但系数不易计算; 多因子综合

收稿日期:2009-11-25; 改回日期:2010-02-05

基金项目:兰州区域气候中心创新基金资助

作者简介:朱飙(1972-), 男, 高级工程师, 现主要从事气候资源应用开发工作. E-mail: zhubiao@sohu.com

法易于计算,可以用于了解太阳总辐射大致分布,但误差相对较大;Prescoff 公式法在某些地区计算结果误差很大,适用性较差<sup>[14]</sup>。

本文评估利用甘肃省 80 个气象站 1971~2008 年的实测日照资料,以及敦煌、酒泉、民勤、兰州、榆中、西峰 6 个辐射站多年辐射资料(表 1),采用精度相对较高的经验公式法为计算模式,公式为<sup>[15]</sup>:

$$Q/Q_0 = a + bS_1 \quad (1)$$

其中  $Q_0$  为大气上界的太阳辐射量, $Q$  为实际观测的辐射量, $Q/Q_0$  为辐射百分率, $S_1$  为日照百分率,即实际的日照时数与天文可照时数的比值, $a, b$  为经验系数。

利用已有实测资料的 6 站(敦煌、酒泉、民勤、兰州、榆中、西峰)的逐月辐射百分率(等于实际测量辐射值除以天文理论辐射值),以及这 6 站的实际日照百分率得到回归方程。由于辐射站资料时间长短不一,榆中与西峰 2 站辐射资料太短,回归出的方程系数与其它站差异显著,经验证计算无误,依据祝昌汉研究的结论<sup>[16]</sup>,若以累年回归方程各系数的变率  $< 0.01$  作为方程稳定的条件,那么平原地区平均至少需要 6 a 以上的辐射资料,而其它地区则需要 10 a 左右,其原因主要是由于大气中水汽或气溶胶的显著变化而使总辐射与日照百分率之间的相关改变。显然这 2 个回归方程的系数不利于推广,所以暂时未予采用。对于甘肃 80 个站的实际辐射值,依据其气候特征<sup>[17]</sup>,不同地区采用不同的回归方程进行计算。

表 1 甘肃省辐射站资料情况

Tab. 1 The solar radiation data situation of Gansu Province

站名	辐射资料时段	系数 $a$	系数 $b$
敦煌	1957~2007	0.5371	0.1016
酒泉	1993~2007	0.4770	0.1592
民勤	1961~2007	0.2652	0.4402
兰州	1959~2003	0.3048	0.3157
榆中	2005~2007	0.3025	0.3623
西峰	2005 和 2007	-0.4210	1.6876

为了全面了解甘肃太阳能资源的分布情况,资源的分类标准,按照太阳能评估方法的气象行业标准<sup>[18]</sup>,对甘肃省的太阳总辐射、日照时数、日照百分率、太阳能资源的稳定程度、年日照时数  $> 6$  h 的天

数都进行了计算或统计分析。

## 2 太阳能参数的计算结果

### 2.1 太阳总辐射的分布

太阳能资源通常用年太阳总辐射量表示,甘肃省各地年太阳总辐射值在 4 700~6 350 MJ/m<sup>2</sup>(图 1),其地理分布有自西北向东南递减的规律。河西走廊大部分地区年太阳总辐射  $> 6 000$  MJ/m<sup>2</sup>,这里降水稀少,空气干燥,晴天多,非常有利于太阳能的利用;另外民勤武威一带也是太阳总辐射高的地区。甘肃南部地区则是年总辐射量的低值区,在 4 700~5 200 MJ/m<sup>2</sup>,这是由于该地区降水和云量多造成的;甘南州西南部略高于周围地区。

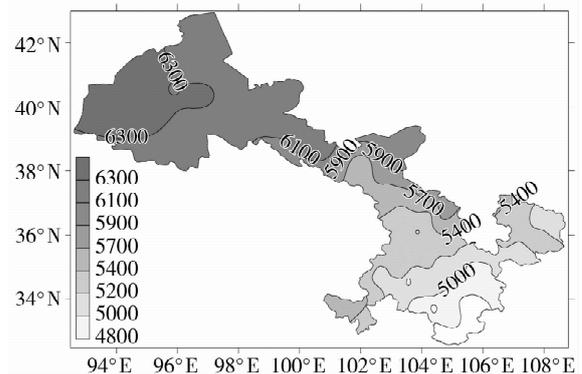


图 1 甘肃省年太阳总辐射量分布(单位: MJ/m<sup>2</sup>)

Fig. 1 The spatial distribution of total solar radiation in Gansu Province

### 2.2 日照时数的分布

甘肃省各地年太阳日照时数在 1 631~3 319 h,分布趋势亦由西北向东南逐渐减少(图 2)。河西走

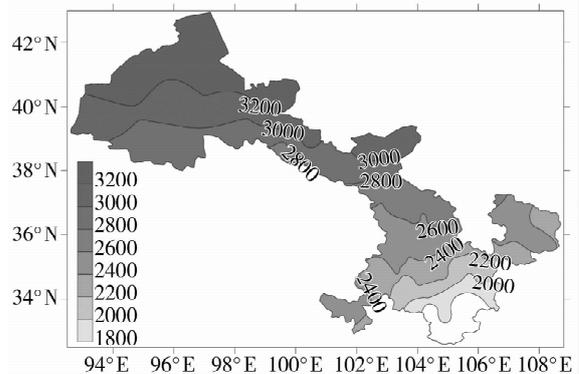


图 2 甘肃省年日照时数分布(单位: h)

Fig. 2 The spatial distribution of annual sunshine duration in Gansu Province

廊及祁连山中西部北坡浅山区,大部分在 2 900 h 以上;兰州、武威、白银、会宁、靖远、环县以北超过 2 600 h;陇南山区在 2 000 h 以下。可见年日照时数高、低值区位置和年太阳总辐射高、低值区相一致。

### 2.3 日照百分率的分布

日照百分率是实际观测的日照时数与理论天文日照时数的比值,该值越大说明该地区日照越稳定,受天气变化影响越小,太阳能资源越稳定,越有利于太阳能资源的开发利用。甘肃省各地年太阳日照百分率在 37% ~ 75% 之间,分布趋势亦由西北向东南逐渐减小(图 3)。

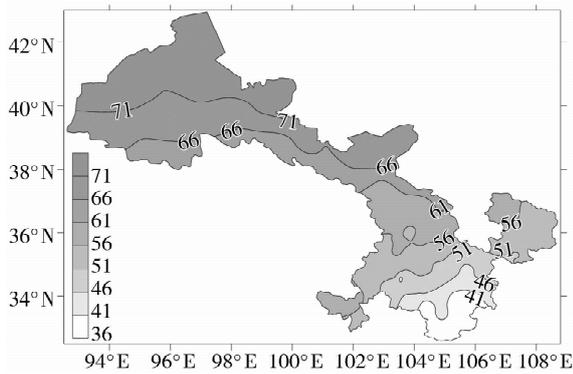


图 3 甘肃省年日照百分率分布

Fig. 3 The spatial distribution of annual sunshine duration percentage in Gansu Province

### 2.4 各地每年日照时数 > 6 h 天数分布

该项指标是太阳能评估的重要指标之一,该值越大说明该地区日照越充裕,越稳定,受天气变化影响越小,越有利于太阳能资源的开发利用。由甘肃省 80 站 1971 ~ 2008 年实测的日照时数资料得到各地每年太阳日照时数 > 6 h 的天数在 150 ~ 320 d 之间,尤其河西走廊的酒泉、张掖、嘉峪关,每年日照时数 > 6 h 的天数在 290 d 以上,非常有利于太阳能的开发(图 4)。

### 2.5 各地日照稳定度分布

太阳能资源评估方法<sup>[18]</sup>中太阳能资源稳定程度用各月的日照时数 > 6 h 天数的最大值与最小值的比值表示:

$$K = \frac{\max(day_1, day_2, \dots, day_{12})}{\min(day_1, day_2, \dots, day_{12})} \quad (2)$$

根据公式(2),由实测资料计算各站 1971 ~ 2008 年每年表征太阳能资源稳定程度的 K 值,然后

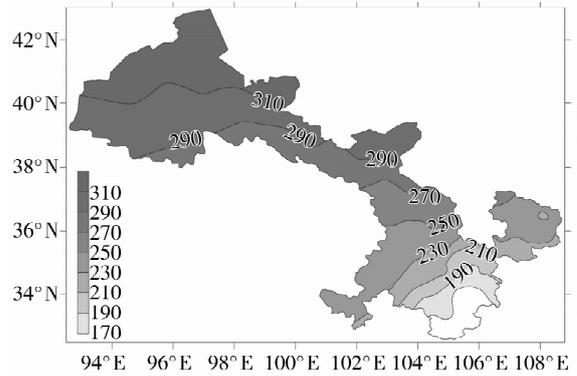


图 4 甘肃省每年日照时数 > 6 h 天数分布(单位:d)

Fig. 4 The geographical distribution of the sunshine duration more than 6 hours per day in Gansu Province

再对结果进行平均,得出甘肃省各站 K 值的多年平均值。按照标准,K < 2 的站有 25 个,占 31.6%;K 在 2 ~ 4 的站有 50 个,占 63.3%;K > 4 的站只有 4 个,占 5.1%,分别是康县、文县、成县、徽县。表 2 是太阳能资源稳定程度等级。由图 5 说明甘肃省大部分地区的太阳能资源属于稳定和较稳定,个别地区属于不稳定。

表 2 太阳能资源稳定程度等级

Tab. 2 The grade of solar energy stability

太阳能资源稳定程度指标 K	稳定程度
< 2	稳定
2 ~ 4	较稳定
> 4	不稳定

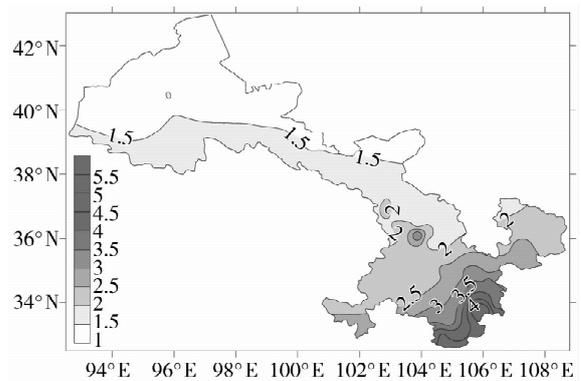


图 5 甘肃省日照稳定度分布图

Fig. 5 The spatial distribution of sunshine stability degree in Gansu Province

### 3 甘肃太阳能资源初步划分

按照国家标准<sup>[15]</sup>,将甘肃省太阳能回归计算结果划分如下(图6):

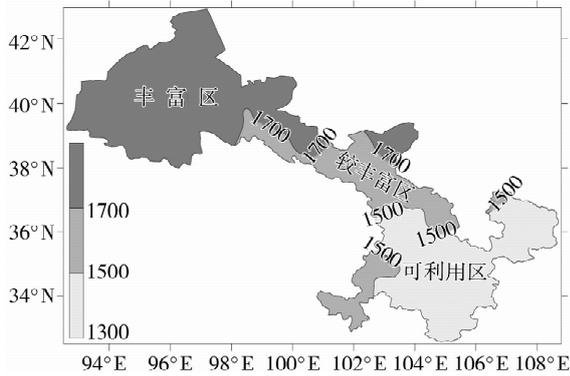


图6 甘肃省太阳能资源区划图

Fig. 6 The regionalization map of solar energy in Gansu Province

(1) 太阳能资源丰富区。包括河西走廊的酒泉、张掖、嘉峪关全部。本区年太阳总辐射量  $> 6 100 \text{ MJ/m}^2$ , 年日照时数  $2 900 \sim 3 319 \text{ h}$ , 日照百分率  $> 64\%$ , 每年太阳日照时数  $> 6 \text{ h}$  的天数在 290 d 以上, 太阳能资源稳定。

(2) 太阳能资源较丰富区。包括金昌、武威、民勤的全部, 古浪、天祝、靖远、景泰的大部, 定西、兰州市、临夏部分地区, 环县部分地区及甘南州玛曲的部分地区。本区年太阳总辐射量在  $5 400 \sim 6 100 \text{ MJ/m}^2$  之间, 年日照时数 2 600 h 以上, 日照百分率  $> 58\%$ , 每年太阳日照时数  $> 6 \text{ h}$  的天数在 260 d 以上, 本区大部分地区太阳能资源稳定, 个别地区属于资源较稳定区。

(3) 太阳能资源可利用区。包括天水、陇南、甘南地区大部。本区年太阳总辐射量在  $4 700 \sim 5 400 \text{ MJ/m}^2$  之间, 年日照时数  $< 2 600 \text{ h}$ , 日照百分率  $< 58\%$ , 每年太阳日照时数  $> 6 \text{ h}$  的天数在 150 d 以上, 本区大部分地区太阳能资源属于较稳定, 个别地区属于资源不稳定。

### 4 结论与讨论

(1) 通过计算得出, 甘肃的年太阳总辐射值在  $4 700 \sim 6 350 \text{ MJ/m}^2$  之间, 其地理分布有自西北向东南递减的规律, 河西走廊大部分地区年太阳总辐射为  $> 6 000 \text{ MJ/m}^2$  的高值区。全省太阳总辐射四季

变化明显, 各个季节太阳总辐射值的分布同样有自西北向东南递减的规律, 其中春夏季辐射高, 秋冬季辐射低。

(2) 甘肃省各地年太阳日照时数在  $1 631 \sim 3 319 \text{ h}$ , 日照时数高、低值区位置和年太阳总辐射高、低值区相一致, 春夏季节日照时数高, 秋冬季节日照时数低, 日照时数亦有从西北向东南递减的趋势。

(3) 由甘肃省各地每年太阳日照时数  $> 6 \text{ h}$  的天数在  $150 \sim 320 \text{ d}$  之间, 尤其河西走廊的酒泉、张掖、嘉峪关, 每年日照时数  $> 6 \text{ h}$  的天数在 290 d 以上。

(4) 甘肃省各地年太阳日照百分率在  $37\% \sim 75\%$  之间, 分布趋势亦由西北向东南逐渐减小。随季节的变化与其它要素有所不同, 冬春季节日照百分率高, 夏秋季节日照百分率低, 这主要受降水集中在夏秋季节的影响。

(5) 甘肃省大部分地区的太阳能资源属于稳定和较稳定, 个别地区属于不稳定。同时, 甘肃省太阳能资源可划分为丰富、较丰富、可利用区。

(6) 经估算, 甘肃省年太阳总辐射达 70.45 万亿 kW。如果利用甘肃省太阳能丰富区的 1% 安装太阳能光伏发电系统, 折算装机约达 1.2 亿 kW, 按平均每年额定功率运行 1 000 h 计算, 相当于 1.5 座三峡电站的年发电量。

对于不同地区太阳辐射的计算有许多方法, 对某一特定地区, 通常建议要确定和验证区域系数。若要进一步提高计算精度, 或许在系数的线性拟合中, 应该考虑剔除阴天雨日的影响, 再将阴天雨日对太阳辐射的贡献率进行评估, 完善计算方法, 此方法有待在今后应用验证。同时, 将在今后采用地理信息系统对甘肃省太阳能资源进行详细研究。

#### 参考文献:

- [1] 杨惜春. 气象资源的法律概念及其属性探讨[J]. 气象与环境学报, 2007, 23(1): 39-44.
- [2] 李建海. 太阳能的开发与我国的可持续开展[J]. 兰州教育学院学报, 2003(3): 45-48.
- [3] 蔡宣三. 太阳能光伏发电发展现状与趋势[J]. 电力电子, 2007, 5(2): 299-344.
- [4] 罗振涛, 霍志臣. 中国 2006 年太阳能热利用产业发展报告[J]. 建筑节能, 2007, 35(8): 53-56.
- [5] 邢为公, 孙宁璋. 宁夏太阳能开发应用的规划[J]. 宁夏工程技术, 2006, 5(4): 441-443.
- [6] 朱飙, 李春华, 陆登荣. 甘肃酒泉区域风能资源评估[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 152-156.
- [7] 李国军, 张胜智, 吉哲君, 等. 玛曲草原气候资源利用与牧草生产

- 力的研究[J]. 干旱气象, 2009, 27(3): 276 - 281.
- [8] 孙兰东, 刘德祥. 西北地区热量资源对气候变化的响应特征[J]. 干旱气象, 2008, 26(1): 8 - 12.
- [9] 杜尧东, 王慧琴, 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): 65 - 70.
- [10] 王钰. 江西省太阳总辐射经验计算公式的探讨[J]. 江西能源, 2006(3): 53 - 56.
- [11] 杨素群, 詹兆渝, 范雄. 四川省太阳能资源分布特征及其开发利用建议[J]. 四川气象, 2007(2): 15 - 17.
- [12] 周晋, 吴业正, 晏刚. 中国太阳总辐射的日照类估算模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(6): 925 - 927.
- [13] 房剑, 彭振林, 高克东. 太阳总辐射的气候学计算及其特征分析[J]. 辽宁气象, 2004(1): 25 - 26.
- [14] 康雯瑛, 焦建丽, 王君. 太阳总辐射计算方法对比分析[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(3): 33 - 37.
- [15] 孙卫国编著. 气候资源学[M]. 北京: 气象出版社, 2008. 34 - 74.
- [16] 中国气象科学研究院风能太阳能资源实验室编. 风能、太阳能资源研究论文集[M]. 北京: 气象出版社, 2008. 248 - 249.
- [17] 李栋梁, 刘德祥, 编著. 甘肃气候[M]. 北京, 气象出版社, 2000. 117 - 149.
- [18] 中国气象局. 太阳能资源评估方法. QX/T 89 - 2008.

## Solar Energy Resource Assessment in Gansu Province

ZHU Biao<sup>1,2</sup>, LI Chunhua<sup>3</sup>, FANG Feng<sup>1,2</sup>

(1. Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China; 2. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 3. Lanzhou Resources and Environment Voc - Tech College, Lanzhou 730021, China)

**Abstract:** In accordance with the standards of the solar energy resource assessment methodology, the geographical distribution of solar energy resource in Gansu province is investigated by means of climatology analysis methods with six radiation stations' observation. Meanwhile, various solar energy parameters are obtained based on sunlight hours observation. Results show that solar energy in the west and the middle areas of Gansu province are abundant and relatively abundant, the south region belongs to solar energy available area.

**Key words:** Gansu province; solar energy; assessment