

辽宁省太阳能资源分布及区划初探

于华深¹ 蔺娜¹ 于杨²

(1. 沈阳区域气候中心, 辽宁 沈阳 110016; 2. 辽宁省气象信息与技术保障中心, 辽宁 沈阳 110015)

摘要:根据1971—2006年沈阳、大连和朝阳太阳辐射观测站历年逐月太阳总辐射和日照百分率实测资料,应用统计方法计算辽宁无辐射观测地区的太阳总辐射量,进而了解辽宁省太阳能资源分布情况。结果表明:辽西和沿海地区及长山群岛太阳能资源较好,辽北次之,东部山区较差;春夏季较好,秋冬季较差,5月最好,12月最差。太阳能资源历年变化相对平稳,各年代呈小幅度波动,其中20世纪80年代偏小、90年代偏大,近几年回落。根据各地太阳总辐射年总量,将太阳能资源定为4级评估指标,并将辽宁省太阳能资源划分为丰富、较丰富、一般和贫乏4个区域。

关键词:太阳能资源;太阳总辐射;分布;区划

中图分类号:P422.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-503X(2008)02-0018-05

1 引言

在能源日渐短缺和环境保护双重压力形势下,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,我国政府于2005年公布的《可再生能源法》明确规定将可再生能源列入“国家能源发展的优先领域”^[1]。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。世界各国都在大力发展太阳能产业,如美国、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”,意大利于1998年开始实行“全国太阳能屋顶”计划^[2]。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1800万 m^2 ,保有量达9000万 m^2 ,居世界首位。中国已建成多座光伏电站,光伏发电总装机容量累计为65 MW。目前,我国太阳能发电主要用于解决无电地区用电问题^[3]。随着太阳能发电技术的逐步成熟,成本不断下降,太阳能发电由补充能源向替代能源过渡成为必然^[4]。

开发利用太阳能资源,首先要了解资源的分布情况。日照时数和太阳总辐射是表征太阳能资源的2个重要指标。然而,我国太阳总辐射观测站点稀疏,太阳总辐射资料缺乏,为获得非太阳总辐射观测地区的总辐射资料,通常应用统计方法,建立适合本地区的经验公式来计算太阳总辐射量^[5-12]。本文利用1971—2006年沈阳、大连和朝阳3个长期太阳辐射观测站历年逐月太阳总辐射和日照百分率实测资料,采用统计方法,拟合适于辽宁省的太阳总辐射经

验公式,计算辽宁省54个气象台站太阳总辐射量,进而了解全省各地太阳能资源的分布情况,为太阳能资源开发利用及相关科学研究提供参考依据。

2 资料与方法

2.1 资料来源

辽宁省有6个太阳总辐射观测站,其中沈阳、大连和朝阳3站分别建于1961年和1963年,宽甸、新民和绥中站建于2003年。此外,凤城站于1961年开始进行太阳总辐射观测,于1991年停止观测。为使用长序列资料进行分析,选用沈阳、大连和朝阳3个长期辐射站的1971—2006年太阳总辐射资料和辽宁省54个气象台站的1971—2006年日照百分率资料,资料来源于沈阳区域气候中心资料室;天文辐射数据取自《应用气候手册》^[13]。

2.2 研究方法

利用3个辐射站36 a实测总辐射数据,分析辽宁省太阳能资源实测状况;然后利用1971—2006年3个辐射站太阳总辐射和日照百分率实测资料,拟合计算辽宁省各地太阳总辐射经验公式;再利用经验公式计算结果分析辽宁省太阳能资源分布特征;最后根据太阳能资源分布情况,给出适合辽宁省的太阳能资源评估指标,并进行太阳能资源区划。

利用拟合经验公式计算太阳总辐射的方法较多,可划分为4类。第1类: $Q = Q_0 \varphi(S)$;第2类: $Q = Q_0 \varphi(\sum S)$;第3类: $Q = Q_0 \varphi(n)$;第4类: $Q = Q_0 \varphi(S, n)$ 。其中, Q 为太阳总辐射, Q_0 为计算太阳总辐射的某种基数(晴天总辐射或天文总辐射

收稿日期:2007-11-21;修订日期:2008-01-09。

基金项目:辽宁省气象局2005年度科学技术研究项目“辽宁省风能、太阳能资源数据库及评估系统研制”资助。

作者简介:于华深,男,1954年生,高级工程师,主要从事辽宁省风能、太阳能资源普查与评估工作, E-mail: yuhuashen828@sina.com。

或理想大气总辐射), S 为日照百分率, $\sum S$ 为日照时数, n 为云量。刘绍民和李银芳^[14]、王炳忠等^[15]对上述4类方法进行对比分析,认为第1类方法最佳,第4类次之,第3类最差,第2类与第1类计算结果相差不大,此外,第1类方法还具有计算简便的优点。目前,采用第1类方法计算太阳总辐射的最为多见。本文采用第1类方法,此类方法常用基本公式:

$$Q = Q_0(a + bs) \tag{1}$$

式(1)中, Q 为太阳总辐射; Q_0 为天文总辐射; s 为日照百分率; a 和 b 为经验系数。

选用1971—2006年的沈阳等3个辐射站历年逐月太阳总辐射和日照百分率实测资料,通过线性回

表1 1971—2006年3站太阳总辐射累年月平均值和年平均值

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
沈阳	213	289	433	511	592	556	517	499	440	340	220	182	4 794
大连	226	278	418	542	635	600	548	519	471	367	227	196	5 054
朝阳	239	305	450	532	617	588	578	543	463	372	250	208	5 146

图1给出太阳总辐射的逐月变化曲线。分析可知,太阳总辐射最高值出现在5月,最低值出现在12月。从季节上看,春夏季辐射量较大,秋冬季辐射量较小。春夏秋冬4季总辐射量分别占年总辐射量的31.4%、32.7%、21.3%和14.5%。

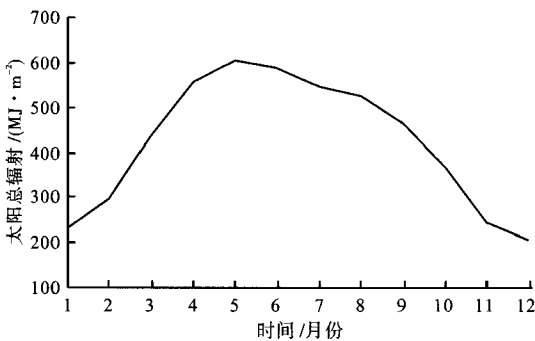


图1 1971—2006年太阳总辐射累年逐月变化曲线

太阳总辐射的日变化与太阳日出至日落的运动非常一致。由年平均状况可知,太阳总辐射的日变化呈11:00—12:00为中心的正态分布,04:00—05:00具有微弱的辐射量,11:00—12:00达到最大,然后逐时减少,至20:00以后辐射消失(图2)。

1971—2006年,沈阳站1989年太阳总辐射量最小,为4 060 MJ/m²。大连站有4个年份太阳总辐射值异常大,其中1972年太阳总辐射量为6 004 MJ/m²,1989年为5 985 MJ/m²,1991年为6 634 MJ/m²,1997年为6 893 MJ/m²。朝阳站2001年太阳总辐射量最小,仅为3 829 MJ/m²。值得质疑的是,3站6个异常值年份不同步,现已查明朝阳辐射站

归确定出经验系数 a 、 b 值,得到辽宁省太阳总辐射经验公式:

$$Q = Q_0(0.2260 + 0.0044s) \tag{2}$$

式(2)中, Q 为太阳总辐射月总量; Q_0 为天文总辐射月总量; s 为月日照百分率。

3 结果分析

3.1 太阳能资源实测值分析

通过分析可知,辽宁省年太阳总辐射平均值约为5 000 MJ/m²。其中,朝阳地区的总辐射量最大,沈阳地区最少。表1列出3个辐射站太阳总辐射累年月平均值和年平均值。

2001年异常值是由仪器故障所造成,其他2站异常

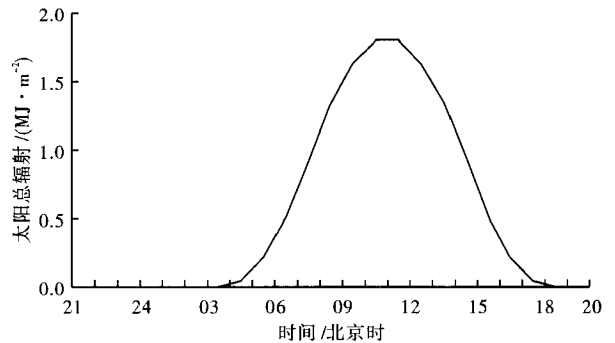


图2 太阳总辐射的日变化曲线

值原因不详。如不考虑异常值年份,辽宁省历年太阳总辐射变化相对平稳,波动不大(图3)。

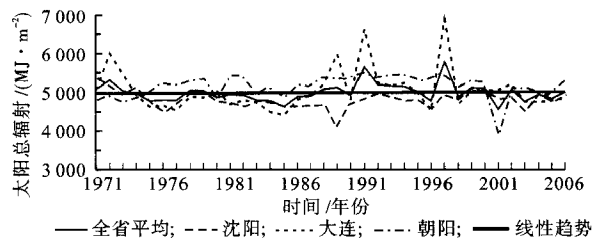


图3 1971—2006年3个辐射站历年太阳总辐射变化曲线

表2 1971—2006年辽宁省太阳总辐射的年代变化 MJ/m²

项目	1971—1980年	1981—1990年	1991—2000年	2001—2006年
总辐射	4 941	4 906	5 054	4 931

年代变化。从表2可见,就全省平均而言,20世纪

80年代太阳总辐射量偏小,为4 906 MJ/m²;90年代太阳总辐射量偏大,为5 054 MJ/m²;70年代和本世纪初太阳总辐射量基本相当;本世纪初稍有回落。总体来讲,辽宁省太阳总辐射年代变化呈小幅度波动趋势。

表3 3站太阳总辐射月总量和年总量计算值与实测值相对误差 %

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
沈阳	-4.48	-6.01	-5.56	-2.21	-1.08	3.62	5.57	4.07	0.89	2.15	1.04	-2.25	0.17
大连	10.25	10.75	6.58	-0.54	-2.05	0.68	3.26	5.73	2.41	4.90	14.60	13.36	3.52
朝阳	-3.91	-4.21	-4.49	-3.08	-2.78	-1.32	-0.56	-1.14	-0.04	-1.77	-1.04	-2.95	-2.11

值和实测值相对误差均较小,沈阳太阳总辐射月总量只有2—3月和7月的相对误差超过5%;朝阳太阳总辐射月总量各月的相对误差均小于5%。大连太阳总辐射月总量的相对误差较大,其中有6个月的相对误差超过5%,1—2月和11—12月的相对误差均超过10%。相对误差偏大月份多出现在低辐射月,对年总辐射量的影响较小。沈阳年太阳总辐射量计算值较实测值基本相当(仅增加0.17%),朝阳年太阳总辐射量计算值较实测值略低2.11%,大连年太阳总辐射量计算值比实测值增加3.52%。利用式(2)计算总辐射时采用天文辐射,而大连地理纬度低,天文辐射大,这可能是大连站计算值偏大的主要原因。

利用式(2)计算出的3站太阳总辐射月总量值与实测值的剩余标准差为15.5024 MJ/m²,复相关系数为0.8497。通过显著性检验可知,该公式的回归效果显著。

3.2.2 太阳总辐射年总量及分布

利用式(2)计算可得到辽宁省54个台站36 a太阳总辐射累年月平均值和年平均值。分析表明,全省各地太阳总辐射年平均值为4 195 MJ/m²,其中最大值出现在大连,为5 232 MJ/m²;最小值出现在本溪的草河口,为4 538 MJ/m²。年总辐射量超过5 000 MJ/m²的有23个台站,超过4 800 MJ/m²的有46个台站,低于4 800 MJ/m²的有8个台站。太阳总辐射的分布主要受气候和地形影响,分布形势为由西至东减弱,与降水量分布相反,与日照分布相一致。辽西和渤海湾东岸沿海地区太阳辐射量最大,辽北次之,东部山区为最小,即表现为西多东寡、南北高于中部的特征(图4)。

表4给出了辽宁省54个气象台站太阳总辐射年总量。

3.2.3 太阳能资源季节分布

由式(2)计算出辽宁省54个台站太阳总辐射累年月平均值(图5),分析得到太阳总辐射的逐月分布特征为5月最强,12月最弱。季节分布为夏季最大,

3.2 太阳能资源统计

3.2.1 误差分析

由式(2)计算出3站的太阳总辐射月总量和年总量,其计算值与实测值的相对误差见表3。

从表3可以看出,除大连站外,其他2站的计算

春季次之,冬季最小,春夏秋冬4季太阳总辐射量分

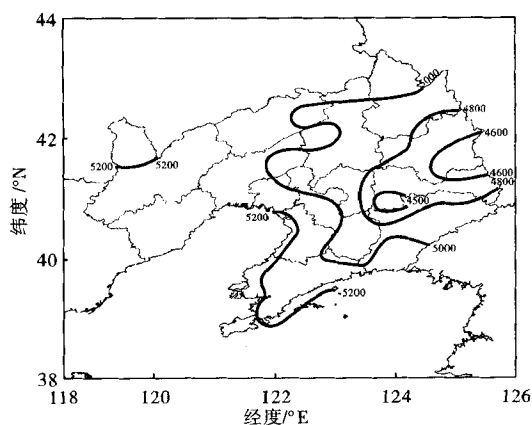


图4 1971—2006年辽宁省各地累年平均太阳总辐射年总量分布

别占全年总辐射量的31.0%、33.4%、21.3%和14.1%。通过分析表明,太阳总辐射的统计计算值与3站实测值分布特征相一致,这说明利用式(2)计算辽宁省各地太阳总辐射较为适用。

表4 辽宁省54个气象台站太阳总辐射年总量 MJ/m²

站名	年总量	站名	年总量	站名	年总量
沈阳	4 802	北宁	5 015	建昌	5 066
辽中	4 899	义县	5 009	绥中	5 042
新民	4 984	黑山	4 916	兴城	5 079
法库	4 923	盘锦	5 018	营口	5 206
康平	4 975	大洼	5 066	盖州	4 995
阜新	5 034	鞍山	4 910	大石桥	4 954
彰武	4 949	台安	4 856	熊岳	5 115
铁岭	4 923	海城	4 970	丹东	4 871
西丰	4 887	岫岩	4 696	宽甸	4 766
开原	4 818	本溪市	4 762	凤城	4 801
昌图	5 008	本溪县	4 748	东港	4 858
朝阳	5 037	桓仁	4 667	大连	5 232
叶柏寿	5 137	草河口	4 538	瓦房店	5 132
凌源	5 109	辽阳	4 824	金州	4 989
建平	5 206	抚顺	4 860	普兰店	5 029
北票	5 118	新宾	4 583	长海	5 221
喀左	5 115	清原	4 735	庄河	4 885
锦州	5 019	葫芦岛	4 966	旅顺	5 087

3.3 太阳能资源评估指标与区划

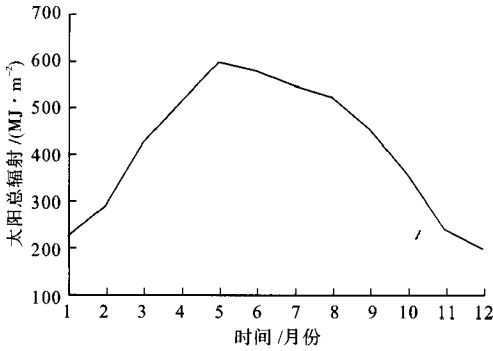


图 5 辽宁省太阳总辐射逐月分布曲线

3.3.1 评估指标

受多种因素影响,太阳能资源空间分布是不均匀的,太阳能资源优劣通常是根据各地区单位面积上年平均接受太阳总辐射量的多少来划分。目前,我国有多种太阳能资源评估指标且指标不统一。其中,有气象部门制定的指标,也有太阳能产品生产或设计等非气象部门根据设计需要制定的指标。

对于非气象部门制定的指标大致可分为 2 类。一类是利用太阳总辐射年总量制定的,另一类是利用太阳总辐射年总量并结合年日照时数制定的;有划为 4 个级别的,也有划为 5 个级别的。

气象部门目前对太阳能资源的划分没有统一明确的指标。由气象出版社出版的《应用气候手册》中利用太阳总辐射年总量将太阳能资源划分为 4 个级别,可以定为评估指标。

《应用气候手册》定义的指标是针对全国定义而言,中国地域广阔,太阳辐射空间差异较大,既有辐射强烈的青藏高原也有辐射较弱的四川盆地,各级评估指标跨度较大。为此,根据辽宁省各地太阳总辐射年总量分布情况,综合上述评估指标和各地太阳总辐射年总量和年日照时数,将辽宁省太阳能资源划分为 4 个级别(表 5)。

表 5 辽宁省太阳能资源评估指标

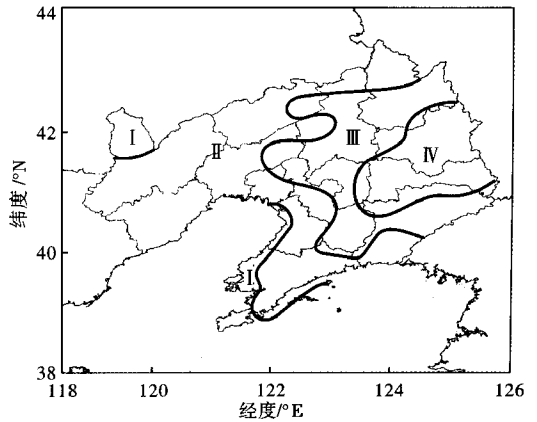
名称	级别	年日照时数/h	年总辐射量/(MJ·m ⁻²)
丰富区	I	$H \geq 2\ 700$	$Q \geq 5\ 200$
较丰富区	II	$2\ 600 \leq H < 2\ 700$	$5\ 000 \leq Q < 5\ 200$
一般区	III	$2\ 500 \leq H < 2\ 600$	$4\ 800 \leq Q < 5\ 000$
贫乏区	IV	$H < 2\ 500$	$Q < 4\ 800$

注: H 为日照时数; Q 为总辐射量。

3.3.2 太阳能资源区划

根据辽宁省各地太阳总辐射年总量,按照表 5 中评估指标,将辽宁省太阳能资源划分为丰富区、较丰富区、一般区和贫乏区 4 个区域(图 6)。从图 6 分析可知:

(1)太阳能资源丰富区。包括辽东湾东部沿海、



I 为丰富区; II 为较丰富区; III 为一般区; IV 为贫乏区

图 6 辽宁省太阳能资源区划

大连和长山群岛以及建平县。这些地区的年平均太阳总辐射量大于 5 200 MJ/m²,年日照时数均超过 2 700 h。(2)太阳能资源较丰富区。主要包括辽西、辽西南、辽南地区以及辽北一带。该地区年平均太阳总辐射量为 5 000—5 200 MJ/m²,年日照时数均超过 2 600 h。(3)太阳能资源一般区。主要分布在辽宁中东部地区。这些地区的年平均太阳总辐射量为 4 800—5 000 MJ/m²,年日照时数一般为 2 500—2 600 h。(4)太阳能资源贫乏区。位于辽宁东部山区,包括抚顺东部和本溪地区。该地区年平均总辐射量均小于 4 800 MJ/m²,年日照时数均少于 2 500 h。

4 结论

通过对辽宁省 3 个太阳辐射观测站实测数据统计分析,得到以下主要结论。

(1)从 3 站 1971—2006 年实测数据可知,辽宁省年平均太阳总辐射量为 5 000 MJ/m²,历年总辐射变化相对平稳,春夏季太阳能资源较好,秋冬季较差,5 月最好,12 月最差。

(2)根据 3 站 1971—2006 年太阳总辐射和日照百分率实测资料建立的经验公式,通过误差分析和效果检验表明,对计算辽宁省各地太阳总辐射较为适用。

(3)利用统计计算结果得出了辽宁省太阳能资源的分布特征:分布趋势由西至东减弱,与降水量分布相反,与日照分布相一致。辽西和沿海地区太阳能资源最好,辽北资源次之,东部山区较差。

(4)利用经验公式计算出 54 个台站太阳总辐射量,其中年太阳总辐射量超过 5 000 MJ/m² 的有 23 站,低于 4 800 MJ/m² 的仅有 8 站。结果说明,辽宁省大部分地区太阳能资源较为丰富,开发利用潜力

较大。

(5)根据太阳能资源评估指标,将辽宁省太阳能资源划分为丰富、较丰富、一般和贫乏4个区域,可为相关部门制定太阳能资源开发利用规划提供理论依据。

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] 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.
- [6] 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.
- [7] 徐可文, 李智才, 李红, 等. 太原市太阳总辐射特征及相关要素分析[J]. 山西气象, 2006(3): 18-24.
- [8] 张云海, 杨洪斌, 龚强. 辽宁太阳紫外线辐射特征及强度预报[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(1): 34-37.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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): 25-28.
- [12] 何平, 魏军, 吉奇. 浅析气候资源变化对本溪农业气候生产潜力的影响[J]. 辽宁气象, 2005(1): 15-17.
- [13] 朱瑞兆, 孙立勇, 杨捷, 等. 应用气候手册[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 25-32.
- [14] 刘绍民, 李银芳. 新疆月太阳总辐射气候学计算方法的研究[J]. 干旱区地理, 1997, 20(3): 75-81.
- [15] 王炳忠, 张富国, 李立贤. 我国的太阳能资源及其计算[J]. 太阳能学报, 1980, 1(1): 1-19.

Solar energy resource distribution and regional division in Liaoning province

YU Hua-shen¹ LIN Na¹ YU Yang²

(1. Shenyang Regional Climate Center, Shenyang 110016, China; 2. Liaoning Meteorological Information and Technological Support Center, Shenyang 110015, China)

Abstract: Based on the monthly solar radiation data in Shenyang station, Dalian station and Chaoyang station and sunshine percentage data from 1971 to 2006, as well as statistical method for data interpolation, the solar energy resource distribution was analyzed in Liaoning province. The results indicate the solar energy resources are rich in the west of Liaoning province and coastal areas as well as Changshan islands, followed in the northern of Liaoning province, and poor in the east mountain areas of Liaoning province. The solar energy resources are rich in spring and summer, especially in May, and poor in autumn and winter, especially in December. The inter-annual changes of solar energy resources are relatively stable and inter-decadal changes fluctuate lightly. The fluctuation is smaller in the 1980s and larger in the 1990s. And it becomes smaller during recent years. According to annual total solar radiation in different regions, it is suggested that the assessment indices of solar energy resources could be divided into 4 levels. The solar energy resources in Liaoning province could be divided into rich region, richer region, average region and poor region.

Key words: Solar energy resources; Total solar radiation; Distribution; Regional division