

闫加海,张冬峰,安 炜,等.山西省太阳能资源时空分布特征及利用潜力评估[J].干旱气象,2014,32(5):712-718, [YAN Jiahai, ZHANG Dongfeng, AN Wei, et al. Distribution Characteristics and Assessment of Solar Energy Resource in Shanxi[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(5):712-718], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-05-0712

山西省太阳能资源时空分布特征及利用潜力评估

闫加海^{1,2},张冬峰¹,安 炜¹,刘月丽¹,武 捷³,杨培芬³

(1. 山西省气候中心,山西 太原 030006;2. 成都信息工程学院,四川 成都 610225;

3. 山西省气象信息中心,山西 太原 030006)

摘 要:按照中国气象局发布的太阳能资源评估方法,利用山西省近 30 a 3 个辐射观测站的太阳总辐射资料和 105 个站的日照资料,采用气候学方法计算了山西省的太阳总辐射,在分析山西省太阳总辐射的空间分布和时间演变特征的基础上,计算了山西省太阳能资源的各种参数,对区域太阳能资源潜力进行了客观评估。结果表明山西省太阳能资源储备丰富、稳定、可开发利用日数较多,特别是山西北部地区,尤其适合进行太阳能资源开发利用。

关键词:太阳总辐射;区域特征;太阳能评估

文章编号:1006-7639(2014)-05-0712-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-05-0712

中图分类号:P422

文献标识码:A

引 言

当今世界的经济发展,正面临能源紧张、环境污染等多重矛盾^[1],而加快开发利用新能源无疑是缓解能源危机的必然路径。太阳能是永久的可再生能源,我国陆地每年接受的太阳辐射能相当于 2.4 万亿 t 标准煤^[2],是我国未来发展必然会选择的持续能源和战略能源之一。要开发和利用太阳能,最基础和最关键的是对太阳能资源进行分析和评估,这不仅是宏观战略决策上的需要,对于光伏电站微观选址也具有十分重要的指导意义。由于我国设有太阳总辐射观测的气象台站较少,因此对于无观测资料区域的太阳能资源的评估往往需要根据气候学方法进行空间拟合推算,为此很多学者如左大康^[3]、翁笃鸣^[4]、祝昌汉^[5]、王炳忠^[6]等根据气候学原理给出了很多太阳总辐射的空间拟合算法,同时根据各自的方法给出了不同区域的计算参数。为了更好地进行太阳能资源评估,2008 年我国发布了中华人民共和国气象行业标准 QX/T 89-2008《太阳能资源评估方法》^[7],此后朱飙^[8]、韩世涛^[9]、刘佳^[10]、司福意^[11]等分别利用上述标准或相关方法对甘肃、宁夏、新疆和焦作等省市的太阳能资源进行了评估,为当地太阳能资源的开发利用提供了科学依据和参数。山西省作为能源大省,煤

炭能源正在逐渐耗尽,开发利用新能源势在必行,为此本文将利用上述行业标准,对山西省的太阳能资源进行全面分析和评估,为山西省太阳能资源的开发利用提供基础信息,为山西转型发展在能源布局的宏观决策方面提供科学依据。

1 资料和方法

本文使用山西省近 30 a(1981~2010 年)108 站的逐月日照百分率和 3 个辐射观测站(大同、太原、侯马)的太阳总辐射资料,根据 QX/T 89-2008《太阳能资源评估方法》^[7](以下简称标准)中给定的无辐射观测站太阳总辐射计算方法,拟合创建了山西省除上述 3 个辐射观测站外其余 105 个台站所在区县的太阳总辐射;利用山西省 108 站逐日日照时数资料计算了各站各月日照时数 >6 h 的天数并用于计算全省各台站所代表区县的太阳能资源的稳定度;利用山西省 108 站 09~10 时、11~13 时、14~15 时的逐小时日照资料计算了全省各台站所代表区县的太阳能资源的日最佳利用时段。

2 山西省月太阳总辐射经验公式系数的计算、检验及选择

无太阳总辐射观测点的月太阳总辐射计算经验

公式为:

$$Q_m = Q_0(a + bS)$$

其中, Q_m 为计算地点月太阳总辐射量, 单位为 $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; Q_0 为月天文太阳总辐射量, 单位为 $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; a 、 b 为经验系数, 无量纲数^[7], S 是计算地

点的月日照百分率。本文利用山西省大同、太原和侯马 3 个辐射观测站 1980 ~ 2010 年的总辐射资料 Q_m 和日照百分率资料 S , 分别按月计算了 3 套共计 36 组逐月太阳总辐射经验公式系数 a 、 b 和 Q_m 与 S 的相关系数 r (见表 1), 并对 Q_m 与 S 的相关性进行了检验^[12]。

表 1 山西省 3 个辐射观测站拟合计算的太阳总辐射计算参数及 Q_m 与 S 的相关系数

Tab. 1 Parameters of total solar radiation calculation from 3 radiation stations and correlation coefficients between Q_m and S

台站	参数	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
大同	b	0.1265	0.0461	0.337	0.4656	0.4237	0.5357	0.6546	0.3367	0.5408	0.3329	0.1298	-0.0533
	a	0.4443	0.5088	0.343	0.2564	0.2784	0.2023	0.1323	0.3085	0.1844	0.3171	0.4458	0.5341
	r	0.175	0.0919	0.5134	0.4855	0.571	0.7125	0.7139	0.6126	0.7175	0.5275	0.1871	-0.0893
太原	b	0.4541	0.3399	0.4166	0.3017	0.4667	0.6251	0.4891	0.5744	0.5224	0.4716	0.4672	0.4694
	a	0.2302	0.2885	0.2467	0.3136	0.2083	0.1157	0.1949	0.146	0.1611	0.1896	0.1934	0.2094
	r	0.7556	0.5997	0.7577	0.3992	0.6102	0.7598	0.7316	0.8434	0.7875	0.689	0.7384	0.7551
侯马	b	0.5693	0.4784	0.4164	0.3864	0.4851	0.4542	0.4034	0.4162	0.4406	0.4787	0.5443	0.5289
	a	0.1698	0.2051	0.2267	0.2538	0.2044	0.2201	0.2504	0.2416	0.2109	0.1835	0.1583	0.1752
	r	0.8771	0.8345	0.8575	0.7192	0.8615	0.7632	0.8174	0.823	0.889	0.8183	0.8956	0.8408

采用 t 检验对上述相关系数进行检验。侯马站 12 个月的相关系数均通过了信度为 99.9% 的显著性检验;太原站除 4 月通过信度为 99% 的显著性检验外,其余 11 个月的相关系数也通过了信度为 99.9% 的显著性检验;大同站 5 ~ 9 月通过信度为 99.9% 的显著性检验,3 月、4 月和 10 月通过信度为 99% 的显著性检验,而 1 月、2 月、11 月和 12 月则未能通过 95% 的信度检验。大同站 Q_m 与 S 散点图显示(图略),在未能通过 95% 信度检验的 4 个月中, Q_m 与 S 并不符合简单的线性关系。从各种数据拟合结果来看,幂函数给出的方差解释率最大,但数值与线性拟合的方差解释率相近。总体而言,使用太原站和侯马站辐射资料计算的的经验公式系数可以满足无辐射观测站点辐射计算的需求。大同站 11 月和冬季未能通过 95% 的信度检验,其原因可能是和采暖期市区周边多家电厂污染排放有关,如燃煤电厂二氧化硫排放占全市排放总量的 60%^[13],另外秋、冬季气温较低,近地层易形成逆温层致使污染物不易扩散,导致能见度减小^[14],进而也影响到太阳辐射。

为了减少大同站上述 4 个月 a 、 b 系数用于无辐射观测点辐射计算的误差,本文对大同站 30 a 逐月辐射数据做整体处理,即采用分站不分月的方式计算 a 、 b 系数和 Q_m 与 S 的相关系数。处理后的 a 、 b 系数分别为 0.3462、0.2926, Q_m 与 S 的相关系数达

到 0.4414,通过了信度为 99.9% 的显著性检验,方差解释率大约为 20%,较分站分月情形下 4 个月平均 2% 的方差解释率有了很大的提高。本文进行大同附近无辐射观测点太阳辐射计算时,11 月至次年 2 月采用整体处理后计算的 a 、 b 系数,其它月份则依然采用表 1 中的 a 、 b 系数。

3 山西省太阳总辐射时空分布特征

3.1 山西省太阳总辐射的时间变化

利用上述计算好的 a 、 b 系数,根据距离最近原则计算除大同、太原和侯马 3 个辐射观测站外其余 105 站 1981 ~ 2010 年的逐月太阳总辐射,利用逐月数据分别计算各站各季节和全年的太阳总辐射,连同 3 个辐射观测站的实测资料形成山西省近 30 a 逐月太阳总辐射数据集。

图 1 给出了山西省近 30 a 来 3 个辐射观测站年太阳总辐射的逐年演变,可以看出:大同站近 30 a 来年太阳总辐射总量基本维持不变,其线性趋势为 $-0.6385 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,基本上是围绕平均线上下波动;而太原站和侯马站则呈现明显的减小趋势,其线性趋势分别为 $-18.5518 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 和 $-17.5458 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。山西北部辐射变化的原因可能和区域内大气污染治理有关,大同市长期以来煤炭工业的粗放发展造成了严重的大气污染,2005 年各

燃煤电厂完成了烟气脱硫设施建设^[13], PM_{10} 平均质量浓度由 2006 年的 $163.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降到 2011 年的 $86.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 下降了近一半^[14]。有研究表明空气中气溶胶粒子的消光作用可达总体消光系数的 70%^[15], 能大幅度散射掉照射到地面的太阳辐射, 大同市 2005 年以前辐射总体减少而此后辐射逐步增加的现象, 可能和区域内气溶胶粒子减少密切相关; 山西中部和南部的辐射变化可能与区域内空气污染和云量的增加均有关系, 如郭媛媛等^[16] 对山西中部太原市 47 a 的灰霾天气研究表明, 太原 1960 ~ 2006 年期间年太阳总辐射及年日照时数的减少与灰霾日数的增加呈现反相关, 同样近 10 a 后期辐射有所增加同当地大力开展空气污染治理有关, 而贾海燕等^[17] 对于山西南部临汾市 48 a 日照时数变化及其影响因子的研究表明, 年日照时数的减少不仅与雾霾天的多少有显著的负相关关系, 更与区域内总云量的增加有关, 研究表明, 云量增加时大气透明度减小, 云、水汽粒子等对太阳辐射发生吸收、反射、散射等, 使到达地面的太阳辐射相对减少, 进而导致日照时数相应减少。

各辐射观测站近 30 a 逐月平均太阳辐射详见表 2。近 30 a 来, 山西省 3 个辐射观测站逐月平均太阳辐射均以 5 月为最大, 12 月为最小, 呈现单峰

形态; 从各站所在的空间位置来看, 各月辐射从北到南依次减小, 大同站最大、太原站次之、侯马站最小。

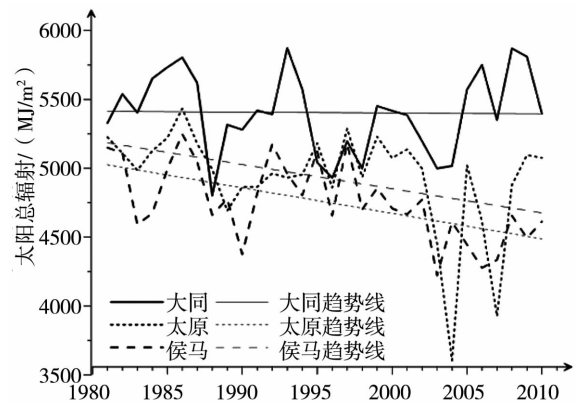


图 1 山西省近 30 a 实测太阳总辐射变化

Fig. 1 The observed total solar radiation from radiation stations in Shanxi during 1981 - 2010

近 30 a 来山西省全省平均年太阳总辐射总体呈现出波动下降趋势(图 2a), 尤其是 20 世纪 90 年代中期以后, 减小趋势更加明显, 年太阳总辐射 30 a 减小约 $240 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 这一结果同众多太阳辐射研究中提到的全球变暗或太阳变暗的说法一致^[18]。山西省近 30 a 来平均年太阳总辐射大约为 $5060 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 2000 年以后全省年太阳总辐射基本在 $5000 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 以下。

表 2 山西省 3 个辐射观测站 30 a 平均逐月太阳能资源(单位: $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)

Tab. 2 Monthly mean solar energy resource from 3 radiation stations in Shanxi during 1981 - 2010

台站	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
大同	246.1	312.4	472.3	571.3	657.8	635.7	620.6	559.7	468.1	380.8	265	214.5
太原	243.8	295.2	423	522.4	594.9	568.7	556.2	506.2	410.1	345.3	250.7	214.8
侯马	239.8	284.4	395.7	498.9	575.4	558.2	552.9	502.5	383.6	314.8	238.8	212.1

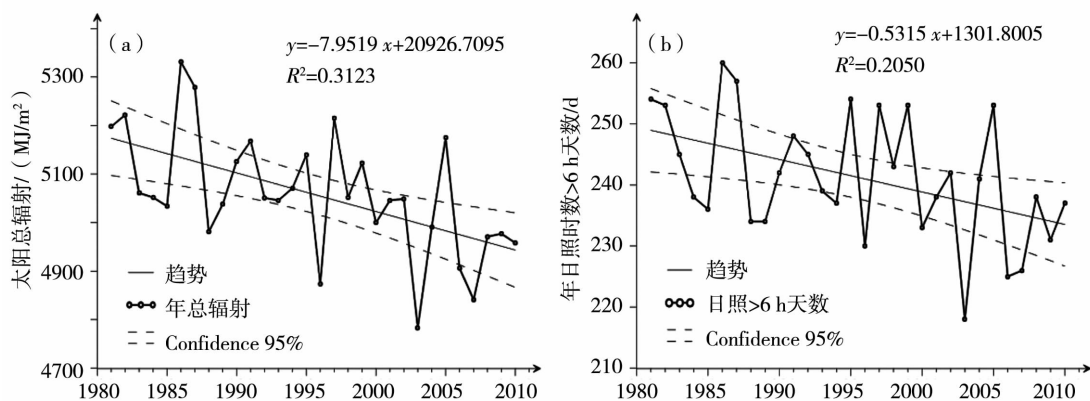


图 2 山西省区域平均逐年(1981 ~ 2010)太阳能资源变化

(a) 总辐射, (b) 可利用天数

Fig. 2 Annual variation of area mean solar energy resource in Shanxi during 1981 - 2010

(a) total solar radiation, (b) utilization days

近30 a来山西省全省平均月太阳总辐射呈现单峰型(表3),5月太阳总辐射最大,数值超过600 MJ/m²,12月份最小,仅233.8 MJ/m²,4~8月太阳总辐射均在500 MJ/m²以上。夏季太阳总辐射最大,春季次之,均在1 500 MJ/m²以上;秋季和冬季

太阳辐射较小,其中秋季约1 000 MJ/m²,而冬季则不到800 MJ/m²。综合上述分析可以看出,春季和夏季是开发利用太阳能的较好季节,其中4~8月为最佳时期;秋、冬季较差,其中11月到次年1月为最差时期。

表3 山西省区域平均逐月(1981~2010)太阳能资源

Tab.3 Monthly area mean solar energy resource in Shanxi during 1981-2010

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
太阳总辐射/(MJ/m ²)	262.2	301.9	427.8	528.4	606.5	582.5	568.4	515.7	415.8	349.6	266.9	233.8

3.2 山西省太阳总辐射的空间分布

图3a给出山西省近30 a来平均年太阳总辐射的空间分布情况。可以看出,山西省年太阳总辐射自北向南递减,全省年太阳总辐射介于4 600~5 800 MJ/(m²·a)之间,南北辐射差异超过1 100 MJ/(m²·a);山西省北部为年太阳总辐

射分布的高值区,该区域全年太阳总辐射基本在5 300 MJ/(m²·a)以上,中心区域接近5 800 MJ/(m²·a),而中南部的年太阳总辐射基本在5 200 MJ/(m²·a)以下。总体而言年辐射量除随纬度降低而递减外,还呈现出山地辐射较盆地辐射大的特点。

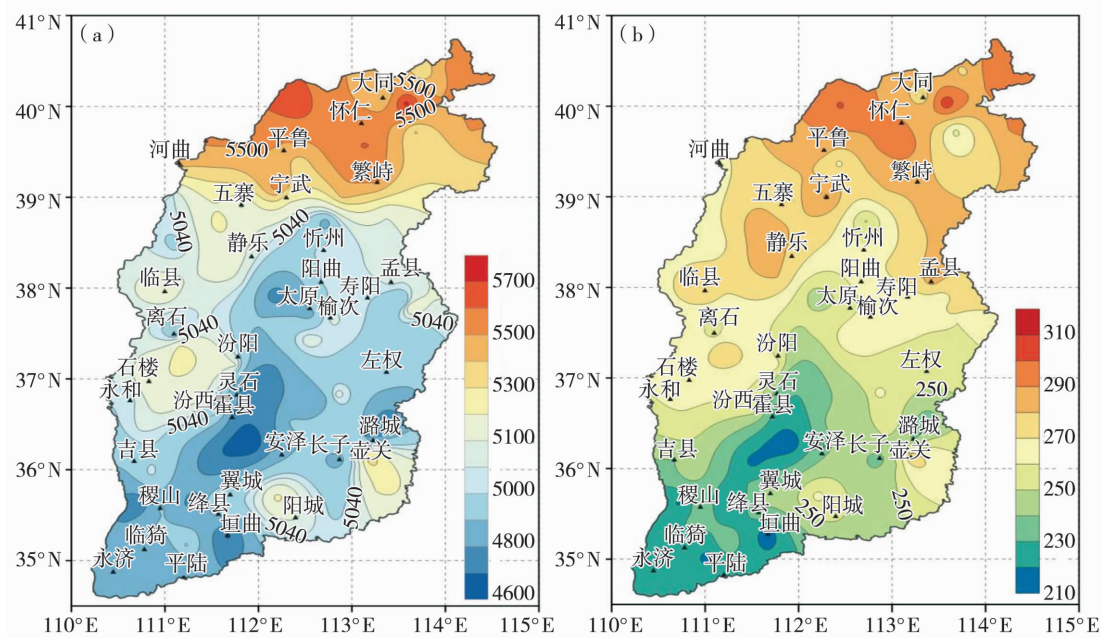


图3 山西省多年平均(1981~2010)太阳能资源空间分布

(a)总辐射(单位: MJ/(m²·a)), (b)可利用天数(单位: d)

Fig.3 The spatial distribution of multi-year mean solar energy resource in Shanxi during 1981-2010

(a)total solar radiation (Unit: MJ/(m²·a)), (b)utilization days (Unit: d)

4 山西省太阳能资源评估

4.1 山西省太阳能资源丰富度评估

参照标准给出的太阳能资源丰富度评估等级表^[7],对山西省108站所代表的区县进行了太阳能丰富度等级评估。从评估结果来看,山西省太阳能资源属于很丰富的区县有47个,即年太阳总辐射量

介于5 040~6 300 MJ/(m²·a)之间,属于丰富的区县有61个,即年太阳总辐射量介于3 780~5 040 MJ/(m²·a)之间。

从图3a中可以看出,山西省大同市、朔州市、忻州市、吕梁市及东南部个别区县太阳能资源属于很丰富地区,其余区县属于资源丰富地区,基本上分布于太原盆地、临汾盆地、长治盆地和南部的运城城市。

从近 30 a 的变化来看,山西省全省年平均太阳总辐射有 18 a 属于很丰富等级,12 a 属于丰富等级。丰富度随时间表现出渐降的趋势,近 10 a(2001~2010 年)中有 7 a 属于丰富等级,只有 3 a 属于很丰富等级。

4.2 山西省太阳能资源可利用价值评估

某个地方太阳能资源的可利用价值通常以月日照时数 >6 h 的天数作参考,如果某一天的日照时数不足 6 h,那么认为这一天的太阳辐射不具有开发利用价值^[19]。

山西省 37°N 以北区域全年可利用天数基本在 250 d 以上, 37°N 以南的大部分区域则少于 250 d (图 3b)。西北的右玉、左云、应县及大同县等部分区县全年可利用天数达到了 300 d 以上,而南部临汾盆地和运城市的大部分区域其可利用天数则不足 220 d;从空间分布状况来看,山西省中部和北部全年的可利用天数较多。

山西省近 30 a 年平均可利用天数约为 240 d。从近 30 a 逐年可利用天数来看(图 2b),山西省太

阳能资源有利用价值的天数呈现出减少的趋势,30 a 减少约 16 d,从年代际来看,1980 年代可利用天数减少更加明显,1990 年代基本维持不变,2000 年代减少幅度较 1990 年代略大,但也基本维持在年代际平均线左右。由于日照时数的多少直接决定了可利用天数的大小,因此图 2b 也从侧面反映出山西省近 30 a 日照时数的变化情况,该结果同李雪等^[20]对中国黑戈壁地区日照时数和赵东等^[21]对 1961~2007 中国日照演变的研究结果基本一致。

从全省近 30 a 逐月平均日照时数 >6 h 的天数来看(表 4),各月可以利用的天数基本均在 20 d 左右,其中 5 月最多为 23 d,2 月和 9 月最少为 18 d,最多月与最小月之间相差 5 d。

4.3 山西省太阳能资源稳定度评估

标准给出的太阳能资源稳定度定义为一年中月日照时数 >6 h 的天数的最大值和最小值之比,用 K 表示,当 $K < 2$ 为稳定, $K > 4$ 为不稳定, K 介于 2~4 之间为较稳定。据此定义计算了山西省太阳能资源近 30 a 各站平均稳定度(图 4a)和逐年稳定度(图 5)。

表 4 山西省近 30 a 逐月平均日照时数 >6 h 的天数

Tab. 4 Monthly mean days with sunshine hours more than 6 h in Shanxi during 1981 - 2010

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
>6 h 天数/d	20	18	20	22	23	21	20	19	18	20	20	20

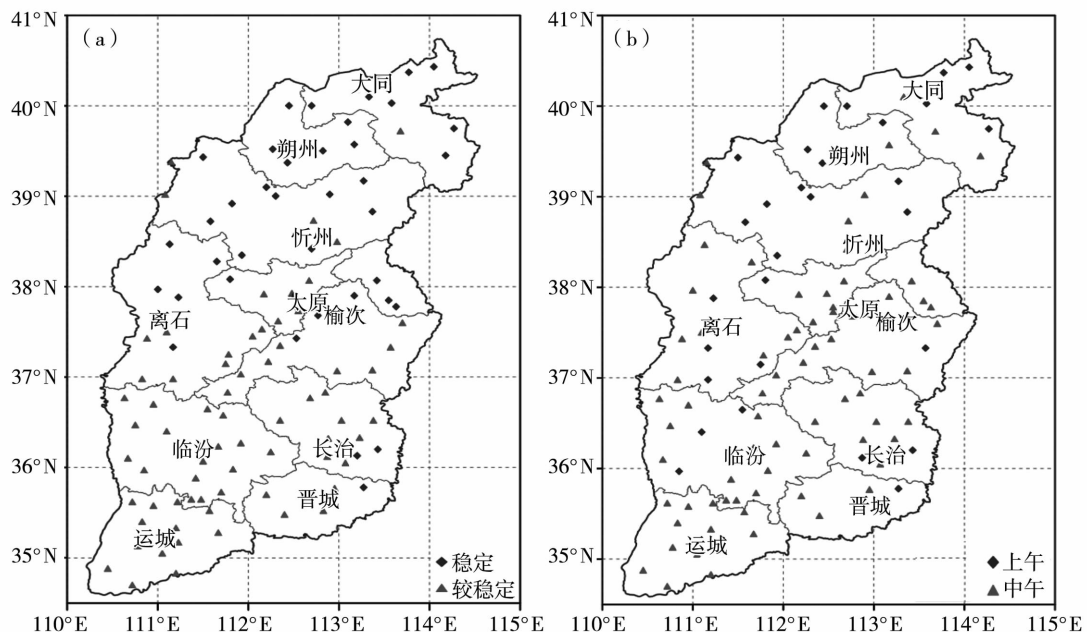


图 4 山西省各台站多年平均(1981~2010)太阳能稳定度(a)和日最佳利用时段(b)分布

Fig. 4 Distribution of multi-year mean solar energy stability (a) and the best useful time (b) in Shanxi during 1981 - 2010

山西省太原市以北基本上属于太阳能资源稳定的区域,太原以南则基本属于较稳定区域,从台站30 a的平均情况来看,没有出现太阳能资源不稳定的区域。

近30 a来山西省太阳能资源有12 a属于稳定,17 a属于较稳定,只有1 a属于不稳定,大部分年份的稳定度均在2左右上下波动(图5)。

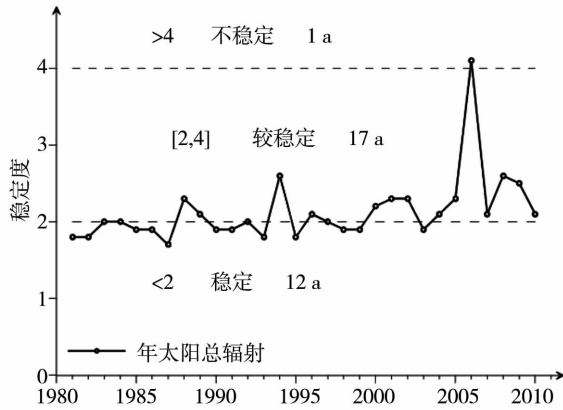


图5 山西省区域平均太阳能资源逐年稳定度
Fig.5 Annual variation of area mean solar energy stability in Shanxi during 1981 - 2010

4.4 山西省太阳能资源日最佳利用时段评估

太阳能日最佳利用时段是以当地09~10时的年平均日照时数作为上午日照情况的代表,以11~13时的年平均逐时日照时数作为中午日照情况的代表,以14~15时的年平均日照时数作为下午日照情况的代表^[20]。哪一段时期的年平均日照时数长,则表示该段时间是一天中最有利的太阳能资源利用时段。

图4b给出了山西省108站30 a平均日最佳利用时段的空间分布情况。太阳能资源储备丰富、稳定和可利用价值较好的山西省北部区域其日最佳利用时段多出现在上午,吕梁山区的个别地方也出现在上午,其余地区基本上出现在中午。出现这一情况的原因可能和山西独特的地形有关,最佳时段出现在上午的地方多数位于山地且其东部为相对较低矮和平坦的区域,地形作用使得上午日出后这些地方最先接受到太阳辐射,而处于盆地的大部分区域由于日出后周边山体阻挡了太阳的直接照射,只有当太阳高度角逐渐增大时才开始大量接受太阳直接辐射,故日最佳利用时段往往出现在太阳高度角较大的中午时段。综合来看,山西省有79个站日最佳利用时段出现在中午,29个站出现在上午;从全省30 a平均情况来看,09~10时的逐时平均日照时

数为0.71 h,11~13时为0.73 h,14~15时为0.69 h,因此由全省平均状态来看山西省太阳能资源的日最佳利用时段为中午,上午次之,下午较差。

图6给出了山西省3个辐射观测站近30 a 09~15时各时次对应的平均日照时数,从中可以看出3个观测站逐时日照时数的变化规律相似,平均日照时数最多的除侯马站外均是上午11时最大,11~13时日照时数逐渐减小,14时日照时数略有上升;侯马站11~14时日照时数同样表现为先降后升,但却是14时日照时数最大;14时以后3个站日照时数均快速下降。3个辐射观测站各时次对应的日照时数均不足0.8 h。

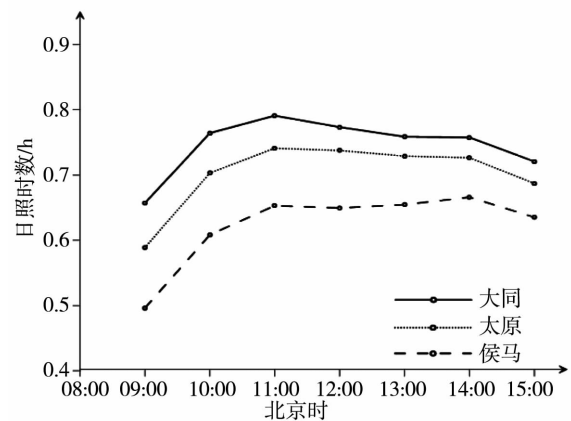


图6 山西省辐射观测站09~15时日照时数
Fig.6 Sunshine hours of 3 radiation stations from 09:00 to 15:00

5 结论

(1)通过辐射观测站点实测辐射数据计算无辐射观测点的太阳总辐射经验公式系数时,通常情况下采用分站分月计算方式较为合适,当分站分月计算系数未能通过统计检验时,采用分站计算系数替代未通过检验月系数,可以大大提高其方差解释率,使得拟合数据更加逼近真实值。

(2)山西省年太阳总辐射介于4 600~5 800 MJ/(m²·a)之间,山西北部为太阳能资源储备的高值区,从储备的丰富程度来看,北部属于很丰富区域,中南部则基本属于丰富区域;从全省近30 a的变化情况来看,大多年份属于很丰富一级,占到60%;从太阳能资源的可利用价值来看,储备丰富的北部区域全年将近有300 d可供开发利用,部分地区在300 d以上,南部相对较差;从资源储备的稳定程度来看,同样北部较中南部稳定,全省平均来看30 a来基本处于稳定到较稳定之间;从太阳能资源日变化来看,日最佳

利用时段大多出现在中午时段,部分地区出现在上午,尤其是太阳能储量较多的北部。

(3) 山西省太阳能资源总体来看无论从储备的数量、丰富程度或者是可利用天数来看均呈现了较为明显的下降趋势,这一结果同学术界讨论的“太阳变暗”相吻合,但造成这一现象的原因很复杂,除气象原因如日照时数的减少外,诸如空气污染等其它方面的原因也值得探究。

(4) 山西省北部尤其是 39°N 以北区域是最适合进行太阳能资源开发利用的区域,未来对于太阳能的开发利用应优先考虑在这一区域进行。

参考文献:

- [1] 何祚庥. 我国节能减排的压力与对策[J]. 天然气技术, 2010, 4(2): 1-3.
- [2] 温敏, 张人禾, 杨振斌. 气候资源的合理开发利用[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 896-902.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 祝昌汉. 再论总辐射的气候学计算方法(一)[J]. 南京气象学院学报, 1982, 5(1): 15-24.
- [6] 王炳忠, 刘庚山. 日射观测中常用天文参数的再计算[J]. 太阳能学报, 1991, 12(1): 27-32.
- [7] 中国气象局. QX/T 89-2008, 太阳能资源评估方法[S].
- [8] 朱飙, 李春华, 方锋. 甘肃省太阳能资源评估[J]. 干旱气象, 2010, 28(2): 217-222.
- [9] 韩世涛, 刘玉兰, 刘娟. 宁夏太阳能资源评估分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8): 131-135.
- [10] 刘佳, 何清, 刘蕊, 等. 新疆太阳辐射特征及其太阳能资源状况[J]. 干旱气象, 2008, 26(4): 61-66.
- [11] 司福意. 焦作市太阳辐射资源分析评估[J]. 气象与环境科学, 2013, 36(2): 87-91.
- [12] 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.
- [13] 邹殿国. 从山西近十年的环境污染治理及经济学分析看能源经济的转轨[J]. 山东省农业管理干部学院学报, 2010, 27(3): 64-66.
- [14] 陈真, 王丽俊, 王丽莉, 等. 大同市能见度变化特征与空气污染的关系[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2013, 33(5): 458-460.
- [15] 于凤莲, 刘东贤, 胡英. 有关气溶胶细粒子对城市能见度影响的研究[J]. 气象科技, 2002, 30(6): 379-382.
- [16] 郭媛媛, 苗爱梅, 张红雨. 近 47 年太原市灰霾天气的气候特征分析[J]. 科技情报开发与经济, 2008, 18(33): 120-121.
- [17] 贾海燕, 高明, 王惠荣, 等. 临汾市 48 年日照时数变化趋势及影响因子分析[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2011, 25(2): 124-128.
- [18] 申彦波, 赵宗慈, 石广玉, 等. 地面太阳辐射的变化、影响因子及其可能的气候效应最新研究进展[J]. 地球科学进展, 2008, 23(9): 915-923.
- [19] 张洪卫, 张立清, 刘春兰. 东营市太阳能资源评估分析[J]. 浙江农业科学, 2011, 6: 1404-1405.
- [20] 李雪, 郑新江, 咸迪, 等. 中国黑戈壁地区日照时数时空变化及影响因素[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 471-475.
- [21] 赵东, 罗勇, 高歌, 等. 1961 年至 2007 年中国日照的演变及其关键气候特征[J]. 资源科学, 2010, 32(4): 701-711.

Distribution Characteristics and Assessment of Solar Energy Resource in Shanxi

YAN Jiahai^{1,2}, ZHANG Dongfeng¹, AN Wei¹, LIU Yueli¹, WU Jie³, YANG Peifen³

(1. Shanxi Provincial Climate Center, Taiyuan 030006, China; 2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 3. Shanxi Provincial Metrological Information Center, Taiyuan 030006, China)

Abstract: In accordance with the solar energy resource assessment standards issued by China Meteorological Administration, the total solar radiation in Shanxi was calculated by means of climatology analysis methods using the recent 30 years data of total solar radiation from 3 radiation stations and sunshine hours data from 105 meteorological stations. Potential use value of solar energy was evaluated based on the analysis of spatial distribution and temporal evolution of total solar radiation and various solar energy parameters obtained from sunshine observation. Results show that values of total solar radiation were in the range of 4 600-5 800 MJ/(m²·a) in Shanxi, which characterized by higher values in the north areas and lower values in the south areas, meanwhile a decrease trend was found in recent 30 years. The annual variation of total solar radiation was apparent unimodal distribution with the maximum in May and minimum in December. In general, solar energy resources in Shanxi are rich and stable, especially in northern areas, where are suitable for the development and utilization of solar energy. The results from this study can provide a scientific basis for the development and utilization of solar energy resources in Shanxi.

Key words: total solar radiation; regional characteristics; solar energy assessment