

1980~2010年青藏高原柴达木盆地太阳辐射变化特征研究

祁栋林¹, 李晓东¹, 郭彩萍², 王力¹, 肖宏斌¹, 肖建设¹ (1. 青海省气象科学研究所, 青海西宁 810001; 2. 青海省气候中心, 青海西宁 810001)

摘要 利用1980~2010年格尔木辐射观测站的太阳总辐射、日照时数、水汽压、能见度和云量等月气象资料,建立了适用于柴达木盆地太阳总辐射的多元回归方程,利用方程计算了柴达木盆地的太阳总辐射,进而分析了柴达木盆地太阳能资源变化特征和分布状况。结果表明,柴达木盆地太阳总辐射年变化曲线呈双峰态,从1月份开始增加,2~4月增长最快,至5月出现最大,5~7月变化平缓,8月份以后开始下降,最小值出现在12月份;柴达木地区年太阳总辐射呈明显下降趋势,平均减幅为78.5 MJ/(m²·10a),平均下降幅度为11.3%/10a;夏秋季太阳辐射均呈显著下降趋势,春冬季变化不明显;年太阳总辐射的减少主要是由于夏季太阳总辐射的减少造成的。区域内各气象站年和四季的太阳总辐射变化趋势与整个区域的气候变化趋势不完全同步;柴达木盆地是我国辐射资源最为丰富的地区,开发利用潜力大;空间分布趋势是西北高东南低。春、夏、秋和冬季分别占全年太阳总辐射的30.0、32.4、22.0和15.6%。

关键词 太阳总辐射;柴达木盆地;变化特征

中图分类号 S161.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)10-04484-05

Variation Characteristic Analysis of Solar Radiation from 1980 to 2010 over Qaidam Basin of the Tibetan Plateau

QI Dong-lin et al (Institute of Qinghai Meteorological Science, Xining, Qinghai 810001)

Abstract The characteristics and distribution of solar radiation over Qaidam Basin were analyzed by multiple regression equation of solar radiation based on the data of mean solar radiation, sunshine hours, vapor pressure, visibility and cloud amount from 1980-2010 at Golmud. The results showed that the annual change of solar radiation over Qaidam Basin showed double peaks. It increased from January and reached the maximum in May and decreased from August and reached the minimum in December. The inter-annual change of solar radiation showed obviously decreasing trend over Qaidam Basin, with the average reduction amplitude 78.5 MJ/(m²·10a), 11.3% 10a. The decreasing change of solar radiation was mainly affected by decreased in summer, because of the decreasing trend in autumn and winter are slowly, summer was obviously. The trend of solar radiation and climate change was not synchronous completely in four seasons in weather station over Qaidam Basin. The Qaidam Basin is the richest areas of radiation resources that have great potential for development and utilization. The spatial distribution is higher in the northwest than in the southwest. The percentage of solar radiation in spring, summer, autumn and winter in total solar radiation was 30.0%, 32.4%, 22.0% and 15.6% respectively.

Key words Solar radiation; Qaidam Basin; Variation characteristics

太阳辐射是地球上最基本、最重要的能源。它在地表上能量分配的变化会改变温度、湿度、降水和大气环流特征,是天气和气候形成及变化的基础,其分布决定了区域气候特点和农业生产布局,对维持粮食稳产、增产有重要的作用,因此,太阳辐射研究在国内外一些重大的研究计划中一直备受重视^[1-3]。以往的研究工作大多集中在探讨温度、降水等气象要素的气候变化规律上,而对于太阳辐射的气候变化研究相对较少。到达地面的太阳辐射与云量、大气中水汽含量、大气气溶胶含量密切相关。在全球气候变化的背景条件下,研究到达地表太阳总辐射量的变化特征趋势,不仅有助于了解区域气候变化的规律,还可以通过辐射的变化状况间接推断该地区大气中气溶胶的变化特点,为生态环境保护提供依据。太阳辐射量的计算方法已较为成熟,通过对太阳辐射量的计算,基本可以确定其不同地区的时间和空间分布及特点。陈志华等分别从年际波动角度对新疆及广东地区太阳辐射量进行了探讨,指出了年太阳辐射总量逐年下降的现象^[4-5];周晋等对北京地区太阳辐射量变化的影响因子进行了研究,指出近43年日照时数、散射辐射的变化与太阳总辐射量下降的相关性明显^[6]。吕宁等研究表明我国太阳辐射

分布不均,季节变化显著^[7-8];西北地区总辐射的长期变化经历了“维持”、“变暗”、“变亮”和“回落”4个阶段,各个季节总辐射的长期变化均表现出“变暗”和“变亮”2个明显特征,其中冬季的“变暗”过程持续时间最长,“变亮”过程持续时间最短^[9]。

目前,全世界仅有一千多个太阳辐射观测站,其中我国约有一百多个,因此,仅依靠观测资料来描述太阳辐射的空间分布是相当困难的^[10-11]。青藏高原太阳辐射状况的研究一直倍受国内外学者关注,在这方面已取得了不少研究成果,然而由于高原独特的自然地理环境条件限制,在高原上所获得的第一手地面辐射观测资料有限,尤其是长周期的观测资料,这就为高原地区辐射状况变化的研究带来了一定的困难。柴达木为气候干旱、封闭式内陆盆地,生态环境极为脆弱^[12-13]。恶劣的自然气候条件、地理经纬度跨度大及复杂的地形使得柴达木盆地太阳辐射差异明显。但柴达木盆地仅有格尔木一个辐射观测站,因此,探讨适用于柴达木盆地太阳总辐射的计算方法十分必要。笔者选用青海省柴达木盆地格尔木气象站1980~2010年太阳总辐射资料和区内9站的日照时数等气象资料,建立适用于计算柴达木盆地的太阳总辐射的经验公式,推算柴达木盆地9个气象站的太阳总辐射,分析柴达木盆地太阳能资源的气候变化规律,揭示全球气候变化背景下柴达木盆地太阳总辐射的变化趋势及变化格局,以便为揭示大气运动规律、研究全球气候变化、评估农业生产潜力及太阳能资源的合理开

基金项目 国家自然科学基金地区科学基金项目(41161009、41065001和41165008);公益性行业(气象)科研专项项目(GYHY-201006053)。

作者简介 祁栋林(1967-),男,青海乐都人,高级工程师,从事大气成分观测和研究,E-mail:qidl007@163.com。

收稿日期 2013-03-07

发利用提供决策依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源 所使用的柴达木盆地日照时数、太阳总辐射和气象数据均来源于中国气象数据科学数据服务共享网。日照时数资料包括 9 站 1980~2010 年月日照时数,能见度、总云量、低云量、本站气压和水汽压等资料包括 9 站 1980~2010 年的月平均值,辐射资料为格尔木站 1980~2010 年的月太阳总辐射。格尔木站是青海省现有 5 个辐射站中唯一的一级站,观测项目有总辐射、直接辐射、散射辐射、反射辐射和净辐射,由于建站以来台站无大的迁移,虽中间有仪器更新、观测方法的变化等影响,但资料质量没有受损,经统计检验,均一性较好。由柴达木盆地气象台站分布图(图 1)可以看出这些站点分布相对比较均匀,基本能够代表整个柴达木盆地区域的特征状况。

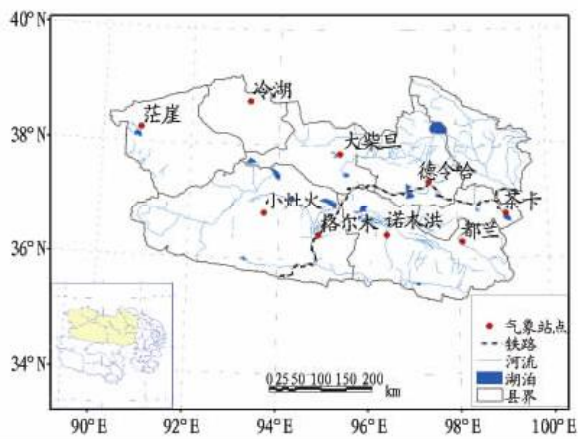


图 1 柴达木盆地气象台站分布

1.2 太阳总辐射计算方法 为体现太阳总辐射影响因子的作用,根据太阳总辐射的气候学计算公式直接利用太阳总辐射观测值与相关气象要素建立回归方程: $Q = (b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i) \times Q_0$,式中, x_i 为第 i 个基本因子; m 为基本因子总数; b_0 和 b_i 为待定系数; Q_0 为天文辐射, $Q_0 = \frac{TS_0}{\pi\rho^2} (\omega_0 \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \sin\omega_0)$,式中, T 为一天的长度(24 h), S_0 为太阳常数(1367.0 W/m^2), ϕ 为当地纬度, δ 为赤纬, $2\omega_0$ 为日照时间, ρ 为日地距离系数。按王炳忠^[14]所建议的计算各月代表日的天文辐射,再乘以每月日数即可得到各月天文辐射值。

1.2.1 影响因子选择。达到地面的太阳总辐射,要受到很多因子的影响,主要有天文因子(太阳常数、日地距离、太阳赤纬、时角)、地理因子(纬度、海拔高度、坡度、坡向、周围地形)和气象因子(天空云量、大气中的水汽、臭氧和气溶胶含量)。根据数据的易得性和有效性,笔者选取了以下四类共 6 个太阳辐射因子:①月日照时数(x_1 , 0.1 h)和月总云量(x_2 , 0.1 成),它们反映天空的遮蔽特征;②月均水汽压(x_3 , hPa),反映空气中的水汽含量;③月本站气压(x_4 , hPa),反映台站的海拔高度;④月均能见度(x_5 , km),反映空气中的气溶

胶含量。

1.2.2 回归方程确定和精度检验。运用 SPSS 统计分析软件进行逐步回归,本站气压(x_4)被剔除,最终建立格尔木太阳总辐射的回归方程:

$$Q = (0.446 + 0.001 \times x_1 - 0.014 \times x_2 - 0.013 \times x_3 + 0.004 \times x_5) \times Q_0 \quad (1)$$

回归方程的复相关系数 $R(0.855)$ 和 $F(249.3 > F_{0.01})$ 值表明回归方程总体效果显著。由公式(1)可以看出格尔木太阳总辐射与总云量和水汽压呈负相关,与日照时数和能见度呈正相关。考虑到利用拟合的回归方程的计算值和实际值之间有偏差,对上式加上一个残差订正项,则(1)式可表示为:

$$Q = (0.446 + 0.001 \times x_1 - 0.014 \times x_2 - 0.013 \times x_3 + 0.004 \times x_5) \times Q_0 + \Delta D \quad (2)$$

由公式(1)和公式(2)的统计值(表 1)可以看出,利用拟合式(1)计算月平均太阳总辐射时,3~8 月的绝对偏差较大,最大月绝对偏差在 5 月份,达 79.39 MJ/m^2 ,其余月份的绝对偏差相对较小,11 月份的绝对偏差最小,仅为 18.89 MJ/m^2 ;对回归方程订正后,回归方程(2)计算结果的相对(或绝对)偏差较方程(1)的相对(或绝对)偏差而言,所有月份的绝对误差和相对偏差均相对减小,故采用(2)式计算各站月平均总辐射。

表 1 格尔木月太阳总辐射计算值的月平均偏差

月份	ER1 MJ/m ²	ER2 MJ/m ²	P1 %	P2 %	ΔD MJ/m ²
1	28.5	12.5	8.3	3.5	-27.7
2	19.6	13.0	4.9	3.2	-16.1
3	41.31	15.76	7.2	2.7	-41.1
4	50.82	18.98	7.4	2.6	-46.8
5	79.39	18.05	10.2	2.3	-79.4
6	62.05	19.37	8.5	2.6	-62.1
7	65.57	29.72	8.8	4.0	-65.6
8	52.97	20.14	7.3	2.8	-53.0
9	25.34	14.70	4.2	2.4	-24.4
10	26.35	12.05	5.0	2.3	-25.8
11	18.89	11.02	4.9	2.8	-16.4
12	28.48	10.69	8.9	3.3	-28.4

注:ER1 为用回归方程(1)求出的太阳总辐射值和实测值的绝对偏差,ER2 为用回归方程(2)求出的太阳总辐射值和实测值的绝对偏差,ΔD 为回归方程(2)的残差订正项,是对相同月份误差代数和取平均得到的,P1 为回归方程(1)计算结果的相对偏差,P2 为回归方程(2)计算结果的相对偏差。

拟合的方程能否较好地反映太阳总辐射与各气象因子之间的关系,还需要用实际的观测资料来验证。通过格尔木气象站用回归方程计算值和实测值的相关分析图(图 2)发现,其相关系数达 0.99,在 $\alpha=0.001$ 的显著性水平上相关系数是显著的。经分析,格尔木站与茶卡、都兰、德令哈、大柴旦、茫崖、诺木洪、小灶火、冷湖 8 个气象台站月日照时数的相关系数分别为 0.73、0.87、0.83、0.88、0.78、0.89、0.89、0.83,可见格尔木气象站与其他 8 站月日照时数具有很好的

相关系数,均通过了0.001显著性水平检验。以上分析表明,采用格尔木气象站太阳总辐射与各气象因子拟合回归方程精度较高,用其来计算柴达木盆地其余8站太阳总辐射的

计算是适用可行的。9个站点通过算术平均法求出柴达木盆地太阳辐射的平均值。3~5月代表春季、6~8月代表夏季、9~11月代表秋季、12月~次年2月代表冬季。

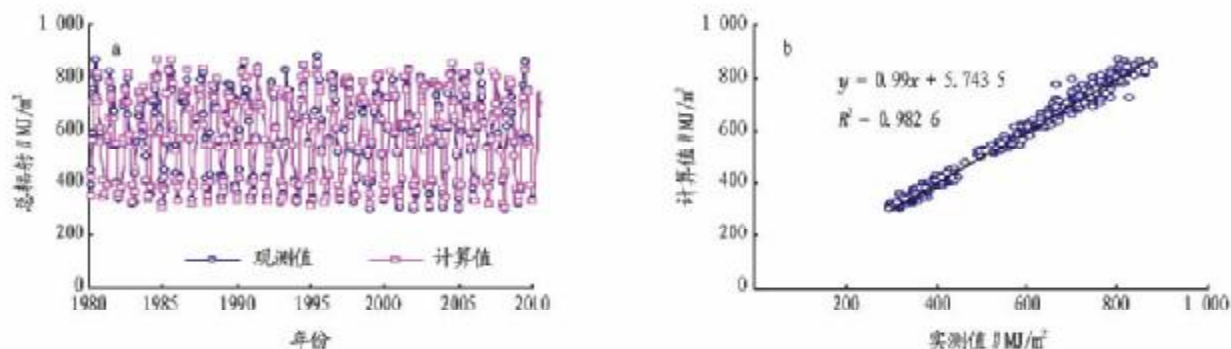


图2 1980~2010年格尔木气象站月太阳总辐射实测值和计算值的变化曲线(a)和相关分析(b)

1.3 太阳总辐射分析方法 利用最小二乘法拟合一元线性方程 $y = ax + b$, 式中 a 、 b 为回归系数, y 为年太阳辐射, x 为时间, 其斜率 a 表示太阳辐射量变化倾向率, $a \times 10$ 为气候倾向率, a 值的符号正或负反映趋势上升或下降, a 值的大小则表示上升或下降的幅度。用 $P = a/A \times 100\% \times 10$ 表示太阳总辐射10年变化百分率, 其中 a 为太阳总辐射平均每年的变化幅度, 由年际变化的线性拟合所得到的斜率表示, 斜率的正负号分别代表变化的增加和减少; A 为太阳总辐射多年平均值。

2 结果与分析

2.1 柴达木盆地太阳总辐射的时间变化

2.1.1 月变化。由1980~2010年柴达木盆地太阳总辐射的月变化(图3)可以看出,柴大木盆地太阳总辐射曲线呈双峰态,从1月份开始增加,2~4月增长最快,至5月出现最大,为795.2 MJ/m²,为全年最高值,5~7月变化平缓,8月份以后开始下降,最小值出现在12月份,为320.6 MJ/m²;5~7月是柴达木盆地全年太阳能资源最丰富的3个月,总辐射在此期间均维持在一个较高的水平。5月出现最大值,主要由于该月太阳高度角较高,日照时间较长,云雨天气少所致;6月出现相对的低谷,这主要是该月云雨天气增多所致。总辐射在1~5月平均的增幅为20.4%/月,尤其2~3月的增幅高达41.7%/月,在8~12月平均的减幅为15.6%/月,特别是10~11月减幅达26.9%/月,与纬度偏北的内蒙古鄂尔多斯地区锦旗旗站相比^[15],柴达木盆地总辐射在1~5月(或5~12月)平均的增幅(或减幅)偏小5%/月,这样的月变化指标对于该地区太阳能资源的利用具有重要的参考价值。比较1980~1990和1991~2010年柴达木盆地总辐射的多年变化曲线(图4)发现,1991~2010年辐射量的平均值在夏半年(7~9月)比过去31年及1980~1990年的平均值偏低,数值大小的差异较明显,但在其他月份期间,2条曲线在数值大小上相一致。

2.1.2 年代际变化。由图5和表2~3可以看出,近31年来柴达木地区总辐射年太阳总辐射呈显著下降趋势,减幅为78.5 MJ/(m²·10a),平均下降幅度为11.3%/10a,年太阳辐

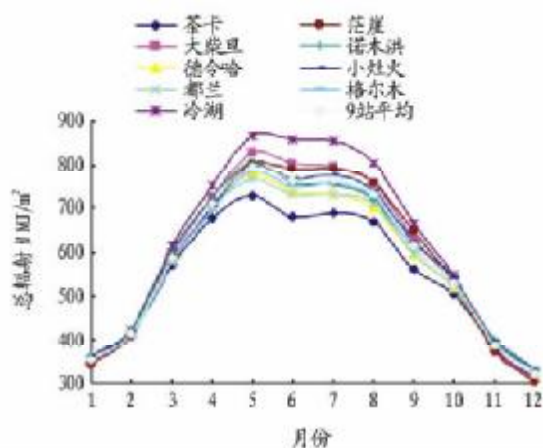


图3 1980~2010年柴达木盆地太阳总辐射的月变化

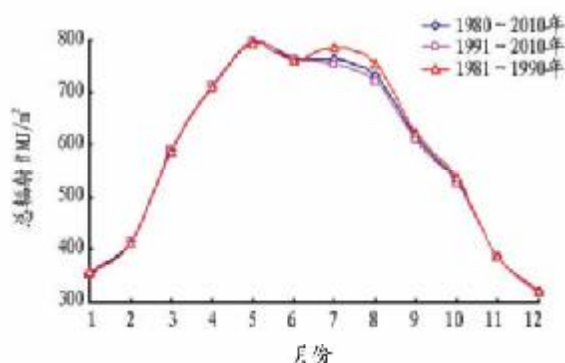
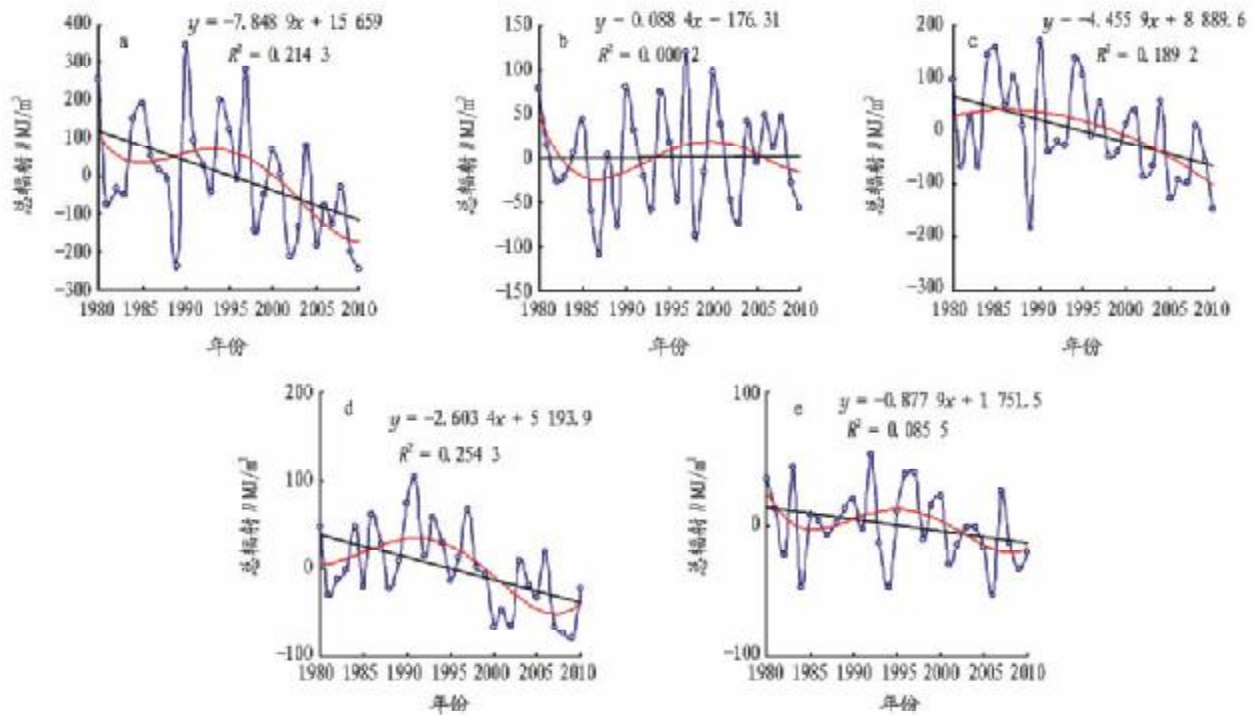


图4 1980~2010年柴达木盆地总辐射多年平均的月变化

射随时间的趋势相关系数为-0.46,通过了0.01显著性水平检验。这与全球太阳总辐射下降的结论相一致^[16-17],但平均下降幅度是全国的5倍左右^[18]。1980~2010年柴达木盆地平均的年太阳辐射为6976.1 MJ/m²,1990年出现最大值,为7320.9 MJ/m²,2010年出现最小值,为6728.7 MJ/m²;柴达木盆地年总辐射在20世纪90年代和21世纪前10年比20世纪80年代分别增长和下降了19.2和148.2 MJ/m²,增长和下降幅度分别为0.3%和2.1%。

2.1.3 季变化。从各季节来看,太阳辐射变化除春季外均呈减少趋势,但冬季下降趋势较弱,夏季减少最为明显,秋季



注: a. 全年; b. 春季; c. 夏季; d. 秋季; e. 冬季。

图 5 1980~2010 年柴达木盆地太阳总辐射的距平变化

也较显著(图 5)。春季太阳辐射变化趋势不明显,夏季平均减幅为 44.6 MJ/(m²·10a),平均下降幅度为 19.7%/10a,通过了 0.05 显著性水平检验;秋季和冬季平均减幅为分别约 26.0 和 8.8 MJ/(m²·10a),平均下降幅度分别为 17.0 和 8.1%/10a,秋季通过了 0.01 的显著性检验,冬季没有通过显著性检验(表 2)。春季多年平均太阳辐射为 2 094.9 MJ/m²,最高年为 1997 年的 2 214.7 MJ/m²,最低年为 1989 年的 2 017.2 MJ/m²;夏季多年平均值为 2 259.8 MJ/m²,最高年 1990 年达 2 430.3 MJ/m²,最低年 1989 年达 2 076.2 MJ/m²;秋季多年平均为 1 532.0 MJ/m²,1991 年达最大值,为 1 635.5 MJ/m²,2009 年达最小值,为 1 452.5 MJ/m²;冬季多年平均为 1 089.3 MJ/m²,最高年为 1992 年的 1 142.2 MJ/m²,最低年为 1984 年的 1 042.0 MJ/m²(图 5)。就各季节的年代际变化特点来看,20 世纪 90 年代比 80 年代春秋冬季太阳总辐射增长 8.0~26.0 MJ/m²,而夏季下降 21.3 MJ/m²;夏秋冬季太阳总辐射 21 世纪前 10 年比 80 年代下降 18.0~92.0 MJ/m²,春季上升 12.6 MJ/m²(表 3)。

表 2 1980~2010 年柴达木盆地太阳总辐射气候倾向率、变化幅度和相关系数

季节	气候倾向率//MJ/(m ² ·10a)	变化幅度//%/10a	相关系数
春季	0.9	0.43	0.01
夏季	-44.6	-19.7	-0.43*
秋季	-26.0	-17.0	-0.50**
冬季	-8.8	-8.1	-0.29
全年	-78.5	-11.3	-0.46**

注: * 表示通过 $\alpha=0.05$ 水平显著检验, ** 表示通过 $\alpha=0.01$ 水平显著检验。

表 3 1980~2010 年柴达木盆地太阳总辐射各年代际变化 MJ/m²

年代	全年	春季	夏季	秋季	冬季
1981~1990	34.4	-15.5	34.2	13.5	2.3
1991~2000	53.6	10.6	12.9	19.8	10.3
2001~2010	-113.8	-2.9	-56.9	-37.9	-16.0

上述分析可见,全年、夏、秋季太阳总辐射的降幅大于冬季,但就太阳辐射减少的显著性水平而言,秋季和全年均达到了 0.01 的信度,而夏季仅达到了 0.05 的信度,春季和冬季未通过显著性检验,说明年太阳总辐射的减少主要是由于夏季太阳总辐射的减少造成的。1980~1991 年有 4 次强火山爆发(1980 年北美圣·海伦斯火山、1982 年墨西哥厄尔·奇冲火山爆发、1988 年印尼克拉托托火山、1991 年菲律宾的皮纳图博火山爆发),其中 80 年代有 3 次,分析表明,火山爆发次年柴达木盆地全年、春季、夏季和秋季太阳总辐射平均分别减少 2.3%、2.3%、4.7% 和 1.9%,年平均减少与陈芳等的研究结果大致相同^[19];但冬季却出现增加(约 2.6%),对于冬季这一增加现象原因还需进一步分析。可见,20 世纪 80~90 年代 4 次火山相继爆发使柴达木盆地太阳总辐射受到不同程度的影响。

2.2 柴达木盆地太阳总辐射空间分布 虽然柴达木盆地整体平均太阳辐射呈下降趋势,但区域内各气象站年和四季的太阳总辐射变化趋势与整个区域的气候变化趋势不完全同步(表 4)。各气象站全年、夏季(除格尔木外)和秋季太阳辐射均表现为减少趋势,大部分站点通过不同程度的显著性检验,各站年太阳辐射平均下降幅度在 -0.17~ -21.5%/10a,夏季平均下降幅度在 -9.0~ -40.6%/10a,秋季平均下降幅

度在 $-8.2 \sim -20.6\%/10a$;年下降幅度最大和最小的站点分别为芒崖和诺木洪,夏季分别为芒崖和大柴旦,秋季为冷湖和诺木洪,而在春季大柴旦、德令哈、诺木洪以及冬季大柴旦、诺木洪变化均为增加趋势,春季增加幅度在 $8.5 \sim 14.6\%/10a$,冬季的增加幅度较小,仅诺木洪站春季通过0.05的显著性检验。格尔木站年太阳总辐射气候倾向率为

$-47.8 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot 10a)$,下降幅度为 $6.9\%/10a$,春秋冬季呈下降趋势,夏季呈增加趋势,秋冬季通过0.05的显著性检验,年、春季和夏季变化趋势不明显,这与陈芳等的研究结果一致^[19-20]。区域内各个气象站与柴达木盆地太阳总辐射的年变化特征相一致。

表4 1980~2010年柴达木盆地9个气象站全年和四季太阳辐射气候倾向率和相关系数

站点	气候倾向率//MJ/(m ² ·10a)					相关系数				
	全年	春季	夏季	秋季	冬季	全年	春季	夏季	秋季	冬季
格尔木	-47.8	-4.4	10.3	-30.3	-23.4	-0.23	-0.06	0.11	-0.43*	-0.45*
都兰	-86.7	-9.6	-39.0	-25.9	-12.2	-0.43*	-0.11	-0.33	-0.41*	-0.35
大柴旦	-10.4	28.0	-21.1	-18.2	0.9	-0.05	0.31	-0.33	-0.38*	0.03
茶卡	-141.1	-18.7	-82.6	-30.0	-9.8	-0.53**	-0.24	-0.54**	-0.38*	-0.23
德令哈	-58.8	17.7	-49.4	-24.3	-2.8	-0.34	0.24	-0.46**	-0.43*	-0.09
冷湖	-130.0	-19.6	-60.8	-32.8	-20.9	-0.63***	-0.26	-0.54**	-0.60***	-0.59**
芒崖	-144.7	-13.9	-89.6	-31.4	-9.7	-0.57***	-0.15	-0.58***	-0.59***	-0.32
诺木洪	-1.2	31.1	-21.4	-12.6	1.8	0	0.36*	-0.20	-0.22	0.05
小灶火	-81.7	-2.7	-47.4	-28.7	-2.9	-0.40*	-0.03	-0.43*	-0.50**	-0.07

注:*、**、***分别表示通过 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.01$ 、 $\alpha=0.001$ 水平显著检验。

表5 1980~2010年柴达木盆地9站年和季太阳总辐射 MJ/m²

站点	全年	春季	夏季	秋季	冬季
茶卡	6 569.3	1 977.8	2 036.9	1 456.5	1 098.1
大柴旦	7 107.4	2 147.8	2 356.5	1 538.6	1 064.5
都兰	6 823.3	2 040.9	2 170.3	1 513.4	1 098.7
德令哈	6 823.0	2 071.9	2 170.1	1 495.4	1 085.7
冷湖	7 429.1	2 232.7	2 519.6	1 590.1	1 086.6
芒崖	7 043.2	2 100.7	2 337.4	1 550.8	1 054.3
诺木洪	7 028.6	2 134.5	2 233.4	1 543.1	1 117.7
小灶火	7 042.4	2 089.1	2 281.3	1 563.9	1 108.1
格尔木	6 918.5	2 058.7	2 232.9	1 536.5	1 090.3
柴达木盆地	6 976.1	2 094.9	2 259.8	1 532.0	1 089.3

由柴达木盆地9个气象站、柴达木盆地年和各季节太阳总辐射值(表5)可以看出,柴达木盆地总辐射年总量高,年总值多年平均为 $6 976.1 \text{ MJ}/\text{m}^2$,是我国辐射资源最为丰富的地区之一;总的分布趋势是西北高东南低,与日照百分率分布相一致^[21],与降水量分布相反^[22]。盆地西北部超过 $7 200.0 \text{ MJ}/\text{m}^2$,冷湖和大柴旦2站分别高达 $7 429.1$ 和 $7 107.4 \text{ MJ}/\text{m}^2$,为柴达木盆地也是青海省年总辐射最大的地区,这主要是柴达木盆地西北端云雨天气极少,晴朗天气多,是青海省年降水量最少而日照时数最大的地区,由此向东向南,随着云雨天气的增多,总辐射年总量随之而逐渐减少;低值出现在盆地东部,在 $7 000.0 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 以下,最低值在茶卡站,年太阳总辐射为 $6 569.3 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 。可见,柴达木盆地总辐射年振幅分布特征是由西北向东南减小,年振幅最大出现在柴达木盆地西北部的冷湖站,达 $555.3 \text{ MJ}/\text{m}^2$,年振幅最小出现在柴达木盆地东南部的茶卡站,达 $400.7 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 。

柴达木盆地春夏秋冬季节的空间分布与年的空间分布相似,冬季高值区位于诺木洪和小灶火一带,低值区出现在芒崖和大柴旦。春季辐射占全年太阳总辐射的 30.0% ,为 $1 977.8 \sim 2 232.7 \text{ MJ}/\text{m}^2$;夏季辐射占全年太阳总辐射的

32.4% ,为 $2 036.9 \sim 2 519.6 \text{ MJ}/\text{m}^2$;秋季占全年太阳总辐射的 22.0% ,为 $1 456.5 \sim 1 590.1 \text{ MJ}/\text{m}^2$;冬季辐射占全年太阳总辐射的 15.6% ,为 $1 054.3 \sim 1 117.7 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 。表明春夏季太阳总辐射量较大,秋冬季太阳总辐射量较小。

太阳能资源通常是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,受诸多因素影响,太阳能资源空间分布是不均匀的。按照《太阳能资源评估方法》^[23]对太阳能资源丰富程度评估等级,柴达木盆地各地太阳能总辐射量均大于 $6300 \text{ MJ}/\text{m}^2$,属于太阳能资源最丰富区,开发利用潜力大。

3 结论与讨论

(1)柴达木盆地太阳总辐射年变化曲线呈双峰态,从1月份开始增加,2~4月增长最快,至5月出现最大,5~7月变化平缓,8月份以后开始下降,最小值出现在12月份;5~7月份是柴达木盆地全年太阳能资源最丰富的3个月,总辐射在此期间均维持在一个较高的水平总辐射;在1~5月平均的增幅为 $20.4\%/月$,尤其2~3月的增幅高达 $41.7\%/月$,在8~12月平均的减幅为 $15.6\%/月$,10~11月减幅达 $26.9\%/月$ 。

(2)柴达木地区年太阳总辐射呈明显下降趋势,减幅为 $78.5 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot 10a)$,平均下降幅度为 $11.3\%/10a$;夏秋季太阳辐射均呈显著下降趋势,春冬季变化不明显;年太阳总辐射的减少主要是由于夏季太阳总辐射的减少造成的。

(3)盆地内各气象站年和四季的太阳总辐射变化趋势与整个区域的气候变化趋势不完全同步,大部分气象站年、夏和秋季太阳辐射均表现为显著减少趋势。

(4)柴达木盆地年总辐射总量高,多年平均为 $6 976.1 \text{ MJ}/\text{m}^2$,是我国辐射资源最为丰富的地区,开发利用潜力大;总的分布趋势是西北高东南低。春、夏、秋和冬季辐射分别占全年太阳总辐射的 30.0% 、 32.4% 、 22.0% 和 15.6% 。

(下转第4492页)

辐散的抽吸作用有利于水汽的辐合抬升,于是范县的降水强度也有所加大;到 16:34,在 6.0 km 高空已转成西北风,说明高空的冷空气已开始向中底层渗透,降水达到最强,随着冷空气进一步渗透,当冷空气 17:16 到达 3.0 km 高度后,降水强度逐渐减弱,对照降水实况,具有较好的相关性。

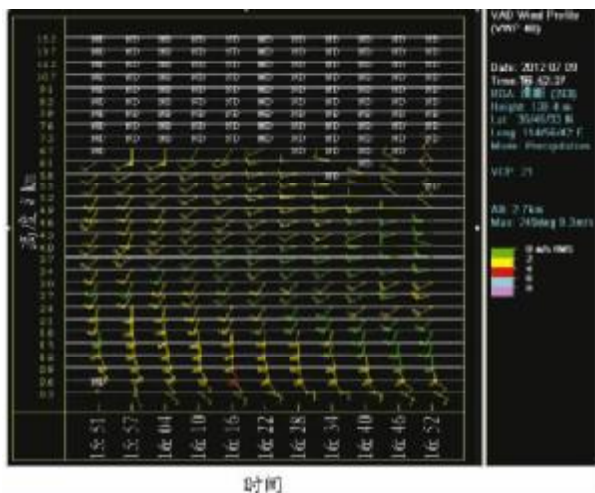


图5 2012年7月9日15:51~16:52濮阳SB雷达风廓线产品

5 结论

(1)此次局地大暴雨天气是在副高稳定,稍有西伸北抬,高空有低槽东移,弱冷空气扩散南下,中低层有低涡、切变线、低空急流、地面倒槽、中尺度低压的相互作用下产生的。

(2)水汽充沛、湿层深厚,925~400 hPa 温度露点差均小于 5℃,700 hPa 比湿 ≥ 8 g/kg、850 hPa 比湿 ≥ 14 g/kg,为产

(上接第 4488 页)

(5)该研究建立了柴达木盆地太阳辐射总量多元逐步回归模型,为模拟广大无辐射观测地区的太阳辐射总量提供确实可行的方法。所构建的模型考虑了气象要素、地理因子等的影响,实现太阳辐射总量空间分布的连续模拟结果,不仅适应于太阳辐射能量的区域分布研究,在模拟数值上也能较好反映实际的太阳辐射总量。影响太阳总辐射变化的因素十分复杂,除了受到天文、地理因子和大气状况等的影响外,还受到局部地形的影响,仅从几个气候要素的变化中很难得到完美答案。今后,在一些地形复杂(起伏大)特殊区域,应当考虑地形复杂度等影响,消除可能造成的较大误差,使太阳总辐射值的模拟效果得到进一步完善。

参考文献

- [1] 翁笃鸣. 中国辐射气候[M]. 北京:气象出版社,1997.
- [2] LIU B Y H, JORDAN R C. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation[J]. Solar Energy, 1960, 4(3): 1-19.
- [3] RODERICK M L. Estimating the diffuse component from daily and monthly measurements of global radiation[J]. A gricult uraland Forest Meteorology, 1999, 95: 169-185.
- [4] 陈志华. 近 40a 来新疆地区太阳辐射状况研究[J]. 干旱区地理, 2005, 28(6): 734-739.
- [5] 杜尧东, 毛慧琴, 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): 66-70.
- [6] 周晋, 晏刚, 吴业正. 北京地区的太阳辐射分析[J]. 太阳能学报, 2005, 26(5): 712-716.
- [7] 吕宁, 刘荣高, 刘纪远. 1998-2002 年中国地表太阳辐射的时空变化分

析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(5): 623-630.

(3)暖云层厚度较厚,大于 4 km,厚的暖云层保证了云粒子在降水系统的下沉气流中较少地被蒸发,有利于高降水效率的产生。

(4)低空急流和超低空急流的形成,在水汽输送和聚集过程中发挥了重要作用。

(5)利用多普勒雷达产品可以较好地预报强天气路径、强度及影响范围。

(6)多个中尺度对流雨团先后经过同一地点,而产生的“列车效应”,导致了范县的局地大暴雨天气。

参考文献

- [1] 周雪松, 阎丽凤, 孙兴池, 等. “2007. 8. 17” 山东大暴雨的数值模拟和诊断分析[J]. 气象, 2012, 38(8): 961-963.
- [2] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社, 2005: 398-399.
- [3] 马月枝, 王新红, 宋培玲, 等. 2010 年 8 月豫北一次短时强降水过程分析[J]. 气象与环境科学, 2011, 34(4): 31-36.
- [4] 郑仙照, 寿绍文, 沈新勇, 等. 一次暴雨天气过程的物理量分析[J]. 气象, 2006, 32(1): 102-106.
- [5] 郝莹, 姚叶青, 郑媛媛, 等. 短时强降水的多尺度分析及邻近预警[J]. 气象, 2012, 38(8): 900-908.
- [6] 郑媛媛, 张小玲, 朱红芳, 等. 2007 年 7 月 8 日特大暴雨过程的中尺度特征[J]. 气象, 2009, 35(2): 5-6.
- [7] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊延南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社, 2009: 217.
- [8] WANG Y C, LIANG X Y, LIN B T, et al. Analysis of Large-scale Rainstorm Caused by Typhoon Nesat[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(10): 2180-2185, 2246.
- [9] 王洪丽, 张秀珍. 一次局地暴雨天气的多普勒雷达回波分析[J]. 内蒙古农业科技, 2012(3): 104-106.
- [10] 杨胜朋, 王可丽, 吕世华. 近 40 年来中国大陆总辐射的演变特征[J]. 太阳能学报, 2007, 28(3): 227-232.
- [11] 许建明, 何金海, 阎凤霞. 1961-2007 年西北地区地面太阳辐射长期变化特征研究[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(1): 89-96.
- [12] LOUCHE A, NOTTON G, POGGI P, et al. Correlations for direct normal and global horizontal irradiation on a FrenchMediterranean site[J]. Solar Energy, 1991, 46(4): 261-266.
- [13] REHMAN S, GHORI S G. Spatial estimation of global solar radiation using geostatistics[J]. Renewable Energy, 2000, 21: 583-605.
- [14] 石培华. 柴达木盆地农业水资源开发方案研究[J]. 干旱区资源与环境, 1998, 12(4): 90-97.
- [15] 任朝霞, 杨达源. 近 50a 西北干旱区气候变化趋势及对荒漠化的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 91-95.
- [16] 王炳志. 太阳辐射计算讲座 第三讲 地外水平面辐射量的计算[J]. 太阳能, 1999(4): 12-13.
- [17] 申彦波, 赵东, 祝昌汉, 等. 近 50 年鄂尔多斯地面太阳辐射的变化及与相关气象要素的联系[J]. 高原气象, 2009, 28(4): 786-794.
- [18] 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.
- [19] PINKER R T, ZHANG B, DUTTON E G. Do satellites detect trends in surface solar radiation[J]. Science, 2005, 308: 850-854.
- [20] 申彦波, 赵宗慈, 石广玉. 地面太阳辐射的变化、影响因素及其可能气候效应的最新研究进展[J]. 地球科学进展, 2008, 23(9): 915-923.
- [21] 陈芳, 周陆生, 刘秀兰. 青海高原太阳辐射年际变化特征及若干影响因素分析[J]. 青海气象, 2000(2): 65-68.
- [22] 季国良, 吕兰芝. 格尔木太阳辐射与气温的多年变化[J]. 高原气象, 1997, 16(1): 30-35.
- [23] 刘文花, 汪青春, 王振宇, 等. 1971~2007 年青海省日照时数的时空分布特征[J]. 资源科学, 2011, 33(5): 1010-1016.
- [24] 汪青春, 秦宇生, 张占峰, 等. 青藏高原近 40 年降水变化特征及其对生态环境的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 153-158.
- [25] 中国气象局. 太阳能资源评估方法. QX/T 89-2008[S]. 北京:气象出版社, 2008.