

# 短波辐射研究概述

王延慧<sup>1,2</sup> 史玉光<sup>3</sup> 何清<sup>2</sup> 艾力·买买提明<sup>2</sup>

(1.新疆师范大学地理科学与旅游学院,新疆 乌鲁木齐 830054;2.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;3.山东省气象局,山东 济南 250031)

**摘要:**主要阐述太阳短波辐射研究在陆面过程及陆气相互研究中的重要性,全面回顾了有关短波辐射的研究成果,结合目前在陆面过程领域具有代表性的短波辐射研究方案,指出当前在这一领域研究中有待于解决的问题和发展趋势,为进一步研究太阳短波辐射状况和特征提供科学依据。

**关键词:**短波辐射;研究进展;特征

中图分类号:P422.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2013)02-0068-06

太阳辐射是地表生物、物理和化学过程(融雪、光合作用、蒸散和作物生长)的最主要的能量来源,也是地球大气中各种现象和一切物理过程的基本动力。地表短波辐射作为太阳辐射的一个重要分支,在地表能量平衡中起着重要作用。探讨太阳辐射变量的变化情况是研究地面水热状况、各种自然地理过程、太阳能利用的必要条件。同时,进行太阳辐射测量,对于研究太阳辐射对地球生物的影响和合理有效利用太阳能具有十分重要的意义。研究到达地面的太阳辐射的中长期变化,不仅具有直接的气候意义,如地面(辐射)能量平衡等研究,而且有助于了解某一区域大气组成的变化,并进而探讨造成这种变化的自然或人为原因;研究晴空太阳短波辐射的变化,反演该区域的大气气溶胶的变化,了解颗粒物污染等大气环境的状况,则能对地面上可利用的太阳能资源进行有效的评估。

## 1 太阳短波辐射的特征及时空变化

国内外科学工作者对太阳短波辐射进行了大量的研究。自1980年开始,新西兰、英国、日本、美国相继监测总辐射紫外UV-B辐射的变化以及两者之间的关系。在太阳辐射的变化方面,Wild等<sup>[1]</sup>认为:在

1990年前后有一个由全球太阳辐射变化导致的从暗变亮的转折。Naoto Iwasaka等<sup>[2]</sup>(2000)分析1990—1995年商船观测的西太平洋的海表太阳总辐射认为:海表太阳总辐射在15°N以北和15°S以南的海区都有明显的季节变化。正午时刻的太阳总辐射最大值从3月的10°~15°N海区逐渐移到6月的25°N海区。在北半球观测区,日平均太阳总辐射最大值的范围为270~280 W·m<sup>-2</sup>,在南半球观测区,最大值大约为290 W·m<sup>-2</sup>。

国内学者汪方等<sup>[3]</sup>利用PICC AR4全球气候模式输出结果,重点分析模式对东亚地区地表短波辐射的气候平均、季节变化及年际变化特征。翁笃鸣等<sup>[4]</sup>利用ERBE和ISCCP卫星辐射及总云量资料,研究了青藏高原地表短波吸收辐射和总辐射的气候反演方法,并揭示了二者的基本特征。邹基玲等<sup>[5]</sup>利用绿洲、戈壁和沙漠的辐射资料分析了不同下垫面的太阳辐射特征。金莉莉等<sup>[6]</sup>利用彩南、古尔班通古特沙漠中的沙漠一站、乌鲁木齐实测辐射资料分析了典型天气的辐射特征,指出总辐射和反射辐射日总量晴天最大,阴天次之,雨天最小,沙漠反照率高于绿洲。陈霞等<sup>[7]</sup>分析了塔中沙尘气溶胶对短波辐射的影响。李红军等<sup>[8]</sup>利用肖塘野外加密观测资料分析了沙尘暴期间太阳辐射的变化。何清等<sup>[9]</sup>利用塔克拉玛干沙漠大气环境观测站(塔中站)直接探测的总辐射资料,对流动沙漠区近地层总辐射的变化特征及影响因子进行了分析。范丽军等<sup>[10]</sup>利用2000年5—6月敦煌(戈壁)陆面过程野外观测实验加强期的地表辐射观测资料以及HEIFE中绿洲(张掖)

收稿日期:2012-06-18;修回日期:2012-10-22

基金项目:国家自然科学基金(41175140、41175017),中国沙漠气象科学研究基金(SQJ2010007),新疆维吾尔自治区绿洲生态重点实验室开放课题(XJDX0206-2010-02)联合资助。

作者简介:王延慧(1987-),女,硕士研究生,主要从事干旱区环境灾害与防治研究。E-mail:wyhwyc2085@sina.com

和沙漠站 1991 年同期的地表辐射观测资料,给出了绿洲区和沙漠区总辐射略高于敦煌戈壁区、地表反射率沙漠区和敦煌区明显高于绿洲区的结论。卞林根等<sup>[11]</sup>根据极地考察和青藏高原考察,对特殊地域辐射规律进行分析总结,青藏高原自西向东出现总辐射大于太阳常数的现象十分频繁,最大总辐射达到  $1\ 655\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,西部总辐射、反射率均大于东部。钱泽雨等<sup>[12]</sup>利用中日合作“全球能量与水分平衡试验—青藏高原季风试验(GAME-Tibet)”和中日合作“黑河地区地—气相互作用野外观测实验研究(HEIFE)”TOP、FOP 资料,计算分析了藏北高原典型草甸下垫面安多站和黑河沙漠站的辐射平衡各相关特征量时频变化的气候学特征。结果表明,无论是高原安多站还是黑河沙漠站,夏季均出现超太阳常数现象。

在太阳短波辐射的时空变化方面,有关研究表明,从国际地球物理年(1957 年)建立地面太阳辐射观测网,到 20 世纪 80 年代末,全球范围内观测到的到达地面的太阳辐射普遍呈现出下降的趋势<sup>[12]</sup>。

Gilgenetal(1998)利用 GEBA 中 1 500 个站的数据分析了地面总辐射的区域变化,分析结果表明,在亚洲、非洲、欧洲和北美的大部分地区都出现了总辐射减少的趋势,平均的减少趋势达  $2\%/10\ \text{a}$ 。从前苏联地面总辐射 1960—1987 年的变化情况的研究来看,94%的台站的地面总辐射出现了下降的趋势(Zhitorchuketal 和 Abakumovaetal)。在波罗的海、欧洲大西洋海岸、德国和中国香港地区(Russak, 1990; Ohmura and Gilgen, 1991; Liepertetal, 1994; Stanhill and Kalma, 1995)也发现了地面总辐射呈下降的趋势。此外,在两极地区,对  $65^{\circ}\sim 81^{\circ}\text{N}$  内 22 个站 1950—1994 年的资料的研究表明,总辐射平均减少幅度为  $3.7\%/10\ \text{a}$ (Stanhill, 1995)。对  $65^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{S}$  内 12 个站 1956—1994 年的资料的研究表明,总辐射平均减少幅度  $2.3\%/10\ \text{a}$ (stanhill and ceohen, 1997)<sup>[14]</sup>。

近 50 a,中国大部分地区的太阳总辐射和直接辐射均呈减少趋势,大气中悬浮粒子浓度的增加可能是造成这种减少趋势的主要原因之一。20 世纪 90 年代与 40 年代相比,西北地区 and 东北地区辐射减少幅度小于西南、华南、华北和华东,其中华东减少幅度最大,平均约为 6%。许潇锋<sup>[15]</sup>对我国 50 多个台站的近 40 a 的太阳辐射观测资料进行了统计分析,结果表明,1961—1990 年全国平均总辐射、直接辐射年总量呈显著下降趋势,年下降值分别为  $24.81\ \text{MJ}\cdot$

$\text{m}^{-2}$ 、 $21.67\ \text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ; 散射辐射总体变化趋势不明显。总辐射和直接辐射在东部下降较西部明显,东北和西南地区下降不明显;而散射辐射在东部站点呈增加趋势的多,西部站点呈下降趋势的偏多。1990 年以来,总辐射年总量又有增加的趋势,全国平均增加  $105.6\ \text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

## 2 短波辐射的影响因子

到达地球表面的太阳辐射,除了受太阳常数以及平均日地距离等天文因子影响外,还受到地球大气的强烈影响,其中包括:太阳高度角、大气透明度、云、地形、大气气溶胶、海冰、纬度、水汽等。

### 2.1 地形的影响

受地形因素影响的太阳辐射研究始于 20 世纪 50 年代。傅抱璞<sup>[16]</sup>对任意地形条件下太阳辐射进行了研究,其计算坡地临界时角公式和日照时段判断方法简化了山区太阳辐射计算,使得数值积分可以改用解析公式计算。李怀瑾等<sup>[17]</sup>则提出了一种图解方法确定坡面上辐射总量的方法。翁笃鸣等<sup>[18]</sup>关于坡地太阳辐射的理论研究和区域性实验,为坡地太阳辐射计算奠定了理论基础。李占清等<sup>[19]</sup>采用从地形图中直接读取  $100\ \text{m}\times 100\ \text{m}$  分辨率网格点高程的方法,描绘了  $3\ \text{km}\times 3.5\ \text{km}$  范围内山区太阳总辐射的分布,尝试解决地形对辐射的遮蔽影响问题。郝成元等<sup>[20]</sup>通过两个有多年太阳总辐射数据的站点实测数据检验,模拟结果良好,各月太阳总辐射平均误差率均小于 10%,平均为 3.69%;同时,也提供了一个可以借鉴到其它山地丘陵区太阳总辐射空间化模式。黄丹青等<sup>[21]</sup>运用坡地坡向短波辐射效应(SLOPE)的非静力中尺度模式 GRAPES(全球/区域同化和预报系统)模拟和讨论坡地坡向的短波辐射效应。曾燕等<sup>[22]</sup>利用 DEM 数据和常规气象观测资料实现山区太阳散射辐射分布式模拟的研究。

国外学者对于地形因素的影响也做了相关的研究, Garnier 等<sup>[23]</sup>等讨论坡面直接辐射和总辐射的计算方法, Revfeim<sup>[24]</sup>在此基础上做了进一步研究。一些具有普遍性的坡面太阳辐射计算模式<sup>[25]</sup>得到了广泛应用。根据 Garnier 等<sup>[23]</sup>的坡面辐射计算方法, williams 等<sup>[26]</sup>开发了计算山地辐射的计算机模式。Javier<sup>[27]</sup>基于 DEM 研究了法国南部山区地形对辐射的影响。

### 2.2 云的影响

在地气系统热量平衡的概念模型中,传统上一般认为云只吸收 3%~4% 的太阳短波辐射,这一结论

一直用于气候模式的模拟中。然而近两年来,以 Cess、Ramanathan 及 Pileskie 等<sup>[28-29]</sup>为代表,认为云对太阳辐射的吸收远远超过 3%~4%,可能达到百分之十几甚至二十。

来自于 GFDL 实验室的 Eta Geophysical Fluid Dynamics Laboratory(GFDL)短波辐射方案考虑了大气水汽、臭氧和二氧化碳效应,云层是随机覆盖的。短波辐射的计算是由白天平均余弦太阳高度角计算得出。来自于 MM5 的短波辐射方案,对太阳辐射通量进行向下积分,考虑晴空散射,水汽吸收及云的反照率和吸收作用,采用 Stephens 的云表。基于 Chou and Suarez 而提出的 Goddard 方案,一个包含有大气、气溶胶、云的复杂的短波辐射效应谱方案,该方案包括由云、气溶胶、臭氧、二氧化碳、水汽、氧气的吸收,还包括云、气溶胶以及各种气体散射产生的辐射通量<sup>[30]</sup>。

张凤<sup>[31]</sup>在 IAP AGCM 短波辐射方案中引入了 Fu-Liou 短波辐射方案,就是对冰云和水云分别采用了不同的参数化方案,云的短波辐射性质直接由云的物理性质来确定,使得 Fu-Liou code 在云的处理方面物理意义更清晰且很合理。在此基础上,张凤等<sup>[32]</sup>又对短波辐射方案进行了进一步的改进,引入了新增非灰体气体吸收效应、冰晶粒子形状效应和尺度效应以及云的不均匀效应(称为 version 3),为进一步研究云—辐射相互作用提供了很好的模式基础。赵进平等<sup>[33]</sup>基于在 2008 年 8 月 21—27 日北极加拿大海盆中部为期 8 d 的冰站考察中海冰光学观测数据,研究了北冰洋中央密集冰区海冰吸收的太阳辐射能,得出海冰对太阳短波辐射的吸收率大约为到达冰面太阳辐射的 16%,大部分被冰雪表面反射。

### 3 短波辐射的估算、预报方法和数值模拟

#### 3.1 短波辐射的估算

目前对短波辐射的估算采用较多的是经验公式和定量及数值模拟研究,近年来晴空条件下的宽带短波辐射模拟也受到了相当的重视。

估算地表辐射已经有许多模拟方法,这些方法大致可以分为基于云、基于日照和基于温度的模拟。Iziomon and Mayer<sup>[34]</sup>认为,一个精确标校过的基于日照的模拟方法比基于云或者基于温度的方法能提供更准确的太阳辐射估算。Bird<sup>[35]</sup>部署一个阻尼谱,计算出晴空中的地表太阳辐射。他们的模型考虑物理过程的细节,因此纬度、海拔和其他因素的影响都自动纳入。C.A.Guevmar<sup>[36]</sup>在大量的文献回顾之后,确

定有 19 个基本模型,用宽带方案预测直接辐射(DNI)。但是前面分析过的一些模型,并没有达到很好的模拟效果,为了获得最好的可能模拟结果,特别研发了两种新模型。Bosch 等<sup>[37]</sup>用 ANN 估算海拔在 1 000~1 700 m 之间山区平均每日的向下短波辐射。

我国学者也对短波辐射进行了许多估算研究。K.Yang 等<sup>[38]</sup>研发了一种用日照时数来估算太阳辐射的 Artificial neural networks(ANNs)模型,这个模型能清楚地解释辐射在大气中消失的过程。W.Tang 等<sup>[39]</sup>利用中国气象局维护的 97 个辐射站资料,针对已经质量控制过的太阳辐射测量值,评估了混合模型。左大康等<sup>[40]</sup>根据我国 26 个日射站(1957—1960 年)的资料,得出了实测总辐射和月总辐射的比值与日照百分率的线性关系,又在 1985 年利用黄淮海地区 10 站(1961—1965 年)月总辐射资料和相同时期的日照百分率资料,按线性回归模式,分季求得月总辐射的经验公式。林文贤等<sup>[41]</sup>利用经验公式计算了云南的太阳总辐射,并给出了云南省太阳能的分布。杨勤<sup>[42]</sup>利用银川站 1981—1985 年的太阳辐射观测资料与大气外太阳辐射、日照时数、日照长度间的相关关系,推算出 1986、1987 年太阳日辐射通量。沈志宝<sup>[43]</sup>利用日照百分率和卫星云图云量与地面总辐射的关系,建立了经验计算公式,研究了 1982 年 8 月—1983 年 7 月青藏高原地面总辐射旬、月总量分布特征。朱飙等<sup>[44]</sup>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。曹丽青等<sup>[45]</sup>在 Ick—ner, Brine and Iqbal 及 Richard E.Bird 等人工作基础上设计了一个太阳短波辐射分光谱计算模式,计算了中国地区的总辐射、大气吸收的太阳辐射及其加热率,为无辐射观测的高原、沙漠、海洋等地区提供了一种较好的计算方法。

#### 3.2 短波辐射的预报方法和数值模拟

从 80 年代开始,辐射传输模式研究进展迅速,著名的 LOWTRAN 6 和 7 就是这个时期发展起来的,由 Chandrasekhar 提出的离散坐标方法经过 Liou 的发展,又经过 Stamnes 等的发展,已经趋于成熟。现在 Stamnes 等发展的 DISORT 程序广泛流传。汪方等<sup>[3]</sup>对利用 IPCC AR4 全球气候模式输出结果的研究,揭示模拟中存在的主要问题,为进一步改进气候模式在东亚地区的模拟提供科学支持。

总体而言,地表太阳辐射模拟可以分为 3 种方法<sup>[46]</sup>。①复杂的辐射传输模型,将垂直大气视为非均匀的多层组成,并分别计算每层大气对太阳辐射的散射和吸收效应,这类模型以 LOWTRAN、



MODTRAN<sup>[47-48]</sup>为代表,由于实际大气参数数据难以获得以及需要较多的机时,因而该方法在实际应用中受到限制;②经验模型,利用日照时数、气温、降水、相对湿度以及总云量等气象数据与太阳辐射实测值之间建立回归关系式<sup>[49-50]</sup>,由于经验模型取决于当地的气候和地形状况,因而难以推广应用到大的区域和全球尺度;③参数模型由于基于光谱传输的物理原理并对大气透过率函数及其关键影响因子进行了参数化,且独立于特定的气候条件,因而能获得较高的模拟精度,易于推广应用,实现区域或大范围太阳辐射制图<sup>[51]</sup>。目前,利用常规气象资料与卫星遥感数据模拟成为获取地表太阳辐射的有效方法。

国外科学家在此领域进行了很多相关研究,Dozier等<sup>[52]</sup>最早提出了利用DEM模拟太阳辐射的方法。Rangasayi等<sup>[53]</sup>用辐射传输模式MODT-RAN 3.0做了晴空条件下直接垂直辐射的模拟比较,他们发现模拟值与观测值吻合得很好,平均偏差在1%以内。Kato等<sup>[54]</sup>利用北美大平原(SGP)上的辐射观测数据研究发现,直接辐射的模拟与观测一致,但是散射辐射的模式计算值高于观测值,平均偏差约为 $30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。Rangasayi等<sup>[53, 55]</sup>利用SGP站点资料,也得到了与Kato<sup>[54]</sup>等相同的结果。然而,Kato等<sup>[56]</sup>、Rangasayi等<sup>[53, 55]</sup>分别用夏威夷MaunaLoa和南极站点的资料与模式计算相比较,却发现散射辐射的偏差在误差允许范围内。Kato等<sup>[56]</sup>提出大气中可能存在未知的吸收物质,在辐射传输模式中未加以考虑,从而导致模拟的太阳散射辐射值系统偏高于观测值。Philipona<sup>[57]</sup>的观测实验结果表明,晴空下太阳总辐射和散射辐射测值会偏低 $8 \sim 20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

国内也有一些研究者做了相关工作,傅炳珊等<sup>[58]</sup>用MODTRAN 3计算了晴空下太阳直接和散射辐射,与地面观测做了比较;傅炳珊等<sup>[59]</sup>利用TOVS观测资料作为MODTRAN3初始输入,分别计算了晴空和云天气下的直接和散射辐射,与用探空大气温湿度廓线作为输入参数计算出的模式值作了比对,发现晴空下两者基本一致,云天气下存在一定差异。张世强等<sup>[60]</sup>利用大尺度水文模型中对青藏高原冻土中水分和能量平衡过程的模拟研究,结果表明:在冬季,模拟的短波辐射与观测的较为接近,在夏季,模拟值较观测值偏小。模拟计算获得的年辐射平衡值与前人的研究成果相近。

#### 4 结语

目前,我国台站相继开展了对太阳短波辐射的

研究,进展很快,并取得了一定的成效。但由于不同研究者在观测和计算中使用的监测方法、仪器和研究尺度不同,致使结果相差较大。在以后的研究中应完善监测方法,提高观测仪器和预测技术的准确性,加强使用于各类天气条件和影响短波辐射所有因子的模式研究,尤其是适用于沙尘天气的模式研究,以弥补观测上的缺陷。加强各影响因子机制的研究,特别是加强湿度、气温、地面净红外辐射、反射辐射、净辐射、相对湿度、地温等因子对其影响的研究。注重整合近年各气象台的太阳短波辐射观测资料,加强空间化研究和数值模拟的研究。

太阳辐射是太阳能中最能够为人类直接利用的形式,在当今世界能源被过度开采造成能源紧张,以及由于温室气体的过量排放加剧了气候变暖的形势下,太阳能作为一种清洁能源越来越受到广泛重视。我国有些地区太阳能资源非常丰富,由于观测资料的限制,对太阳能资源的区域分布和季节变化的认识还不够,因此进一步分析这些地区的地表辐射特征,有利于提高对太阳能资源的认识。在向实际应用转化和推广过程中,对于将计算的太阳辐射量转换为太阳能资源实际应用量值的方法、资源评估及应用服务等值得深入研究,以满足太阳能资源大规模开发利用的需求。

#### 参考文献:

- [1] Wild M, Gilgen H, Roesch A. From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at Earth's surface [J]. *Science*, 2005, 308: 847-850.
- [2] Naoto Iwasaka et al. Observational Study on the Downward Solar Radiation at the Sea Surface In the Western Pacific [J]. *Journal of Oceanography*, 2000(56): 717-726.
- [3] 汪方, 丁一汇. 全球气候模式对东亚地区地表短波辐射的模拟检验[J]. *应用气象学报*, 2008, 19(6): 750-759.
- [4] 翁笃鸣, 高庆先, 刘艳. 应用ISCCP云资料反演青藏高原地面总辐射场[J]. *南京气象学院学报*, 1997, 20(1): 41-46.
- [5] 邹基玲, 侯旭宏, 季国良. 黑河地区夏末太阳辐射特征的初步分析[J]. *高原气象*, 1992, 11(4): 381-388.
- [6] 金莉莉, 曹兴, 黄洁. 沙漠和绿洲典型天气辐射特征[J]. *干旱气象*, 2011, 13(3): 306-314.
- [7] 陈霞, 魏文寿, 刘明哲. 塔里木盆地沙尘气溶胶对短波辐射的影响——以塔中为例[J]. *中国沙漠*, 2008, 28(5): 920-926.
- [8] 李红军, 袁玉江. 塔克拉玛干沙漠北缘沙尘暴观测分析[J]. *中国沙漠*, 2005, 25(增刊1): 146-149.
- [9] 何清, 缪启龙, 李帅, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地总辐射变化特征及影响因子分析 [J]. *中国沙漠*, 2008, 28(5): 896-

- 902.
- [10] 范丽军, 韦志刚, 董文杰, 等. 西北干旱区地表辐射特性的初步研究[J]. 高原气象, 2002, 21(3): 309-314.
- [11] 卞林根, 陆龙骅, 逯昌贵, 等. 1998年夏季青藏高原辐射平衡分量特征[J]. 大气科学, 2001, 25(5): 577-588.
- [12] 钱泽雨, 胡泽勇, 杜萍, 等. 藏北高原典型草甸下垫面与HEIFE沙漠区辐射平衡气候学特征对比分析[J]. 太阳能学报, 2003, 24(4): 453-460.
- [13] 田磊. 西北干旱半干旱地区地表辐射的观测研究[D]. 兰州大学, 2011: 1-59.
- [14] 陈志华. 1957—2000年中国地面太阳辐射状况的研究[D]. 中国科学院研究生院, 2005: 1-81.
- [15] 许潇锋. 中国地区气溶胶光学特性研究[D]. 南京信息工程大学, 2008: 1-140.
- [16] 傅抱璞. 不同地形下辐射收支各分量的差异与变化[J]. 大气科学, 1998, 22(2): 178-190.
- [17] 李怀瑾, 施永年. 非水平面日照强度和日射总量的计算方法[J]. 地理学报, 1981, 36: 1.
- [18] 翁笃鸣, 罗哲贤. 山区地形气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 5-8.
- [19] 李占清, 翁笃鸣. 丘陵山地总辐射的计算模式[J]. 气象学报, 1988, 46(4): 461-468.
- [20] 郝成元, 许传阳, 吴绍洪. 基于DEM模型和气候学计算的滇南山区太阳总辐射空间化[J]. 资源科学, 2009, 31(6): 1031-1039.
- [21] 黄丹青, 钱永甫. 坡地坡向短波辐射参数化对不同天气过程的影响[J]. 气象学报, 2008, 66(1): 90-100.
- [22] 曾燕, 邱新法, 何永健, 等. 起伏地形下黄河流域太阳散射辐射分布式模拟研究[J]. 地球物理学报, 2008, 51(4): 991-998.
- [23] Garnier B J, Ohmura A. The evaluation of surface variations in solar radiation income [J]. Solar Energy, 1970, 13: 21-34.
- [24] Revfeim K J A. Simplified relationships for estimating solar radiation incident on any flat surface [J]. Solar Energy, 1982, 28(6): 509-517.
- [25] Hay J E, McKay D C. Estimating solar radiance on inclined surfaces: A review and assessment of methodologies [J]. Int J Solar Energy, 1985, 3: 203-240.
- [26] Williams L D, Barry R G, Andrews J T. Application of computed global radiation for areas of high relief [J]. Journal of Applied Meteorology, 1972(11): 526-533.
- [27] Javier G C. Vectorial algebra algorithms for calculating terrain parameters from DEMs and solar radiation modeling in mountainous terrain [J]. Geographical Information Science, 2003, 17: 1-23.
- [28] Ramanathan V et al. Warm pool heat budget and short-wave cloud forcing, A missing physics [J]. Science, 1995, 267: 499-503.
- [29] Pileskie P. Direct observation of excess solar absorption by clouds [J]. Science, 1995, 257: 1626-1629.
- [30] 赵世强. 兰州地区一次沙尘过程的观测与数值模拟研究[D]. 兰州大学, 2011: 1-66.
- [31] 张凤. IAP AGCM中短波辐射方案的改进研究 I·引入Fu-Liou短波辐射方案 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10(3): 543-559.
- [32] 张凤, 曾庆存. IAP AGCM中短波辐射方案的改进研究 II·短波辐射方案的改进[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(3): 560-573.
- [33] 赵进平, 李涛, 张树刚, 等. 北冰洋中央密集冰区海冰对太阳短波辐射能吸收的观测研究 [J]. 地球科学进展, 2009, 24(1): 33-41.
- [34] Iziomon M G, Mayer H. Assessment of some global solar radiation parameterizations [J]. Atmos Solar-Terr Phys, 2002, 64: 1631-1643.
- [35] Bird R E. A simple solar spectral model for direct-normal and diffuse horizontal irradiance [J]. Solar Energy, 1984, 32: 461-471.
- [36] C.A. Guevmard. Direct solar transmittance and irradiance predictions with broadband models. Part I: detailed theoretical performance assessment [J]. Solar Energy, 2003, 74: 355-379.
- [37] Bosch J L, Lopez G, Batlles F J. Daily solar irradiation estimation over a mountainous area using artificial neural networks [J]. Renew Energy, 2008, 33: 1622-1628.
- [38] K. Yang, et al. On downward shortwave and longwave radiations over high altitude regions: Observation and modeling in the Tibetan Plateau [J]. Agricultural and Forest meteorology, 2010, 150: 38-46.
- [39] W. Tang, et al. Quality control and estimation of global solar radiation in China [J]. solar energy, 2010, 84: 466-475.
- [40] 左大康, 周允华, 项月琴. 地球表层辐射研究[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 37-39.
- [41] 林文贤, 吕恩荣. 云南省太阳能辐射资源研究—总辐射[J]. 云南师范大学学报, 1990, 10(1/2): 27-38.
- [42] 杨勤. 宁夏区域太阳日照辐射通量计算方法的研究[J]. 干旱气象, 2007, 9(3): 23-27.
- [43] 沈志宝. 青藏高原地面总辐射的地理分布及其季节变化特征[J]. 高原气象, 1987, 6(4): 326-334.
- [44] 朱斌, 李春华, 方锋. 甘肃省太阳能资源评估[J]. 干旱气象, 2010, 28(2): 217-221.
- [45] 曹丽青, 高国栋. 太阳短波辐射分光谱计算模式[J]. 干旱气象, 2004, 24(2): 185-192.
- [46] 张海龙, 刘高焕, 叶宇, 等. 青藏高原短波辐射分布式模拟及其时空分布[J]. 自然资源学报, 2010, 25(5): 811-821.
- [47] Bird R E, Riordan C. Simple solar spectral model for

- direct and diffuse irradiance on horizontal and tilted planes at the earth's surface for cloudless atmospheres [J]. *Journal of Climate and Applied Meteorology* ,1986 ,25 (1) 87-97.
- [48] Bird R E. A simple solar spectral model for direct - normal and diffuse horizontal irradiance [J]. *Solar Energy* ,1984 ,32(4) :461-471.
- [49] Mubiru J ,Banda E J ,D U F et al. Assessing the performance of global solar radiation empirical formulations in Kampala Uganda [J]. *Theoretical and Applied Climatology* ,2007 ,87(1-4) :179-184.
- [50] Liu D L ,Scott B J. Estimation of solar radiation in Australia from rainfall and temperature observations [J]. *Agricultural and Forest Meteorology* ,2001 ,106 (1) :41-59.
- [51] Ertekin C ,Evrendilek F. Spatio-temporal modeling of global solar radiation dynamics as a function of sunshine duration for Turkey [J]. *Agricultural and Forest Meteorology* ,2007 ,145(1-2) :36-47.
- [52] Dozier J ,Frew J. Rapid calculation of terrain parameters for radiation modeling from digital elevation data [J]. *IEEE Transaction on Geo-science Remote Sensing* , 1990 ,28(5) :963-969.
- [53] Rangasayi N ,Halthore Stephen E et al. Comparison of model estimated and measured directnormal solar irradiance [J]. *J Geophys Res* ,1997 ,102(D25) :29991-30002.
- [54] S Kato ,Thomas P A ,Eugene E C et al. Uncertainties in model and measured clear sky surface shortwave irradiance [J]. *J Geophys Res* ,1997 ,102(D22) :25881-25898.
- [55] Rangasayi N ,Halthore Stephen E ,Schwartz. Comparison of model estimated and measured diffuse downward irradiance at surface in cloud-free skies [J]. *J Geophys Res* ,2000 ,105(D15) :20165-20177.
- [56] S Kato ,Thomas P A ,E G Dutton et al. A comparison of modeled and measured surface shortwave irradiance for a molecular atmosphere [J]. *J Quant Spectrosc Radiat Transfer* ,1999 ,61(4) :493-502.
- [57] Rolf Philipona. Underestimation of solar and diffuse radiation measured at Earth's surface [J]. *J Geophys Res* , 2002 ,107(D22) :4654 doi :10.1029/2002JD002396.
- [58] Fu Bing shan ,Chen Weimin et al. The computations of solar direct and diffuse radiations over China by using MODT-RAN3 [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* ,2001 ,24(1) :51-58.
- [59] 傅炳珊 ,陈渭民 ,张凤英 ,等.利用 TOVS 资料计算我国东南地区的太阳直接辐射和散射辐射[J].*南京气象学院学报* ,2002 ,25(6) :807-815.
- [60] 张世强 ,丁永建 ,卢建 ,等.青藏高原土壤水热过程模拟研究( ) :蒸发量、短波辐射与净辐射通量[J].*冰川冻土* ,2005 ,27(5) :645-648.

## Research Summary on Shortwave Solar Radiation

WANG Yanhui<sup>1,2</sup> ,SHI Yuguang<sup>3</sup> ,HE Qing<sup>2</sup> ,ALI·Mamtimin<sup>2</sup>

(1.College of Geographical Science and Tourism ,Xinjiang Normal University ,Urumqi 830054 ,China ;

2.Institute of Desert Meteorology ,China Meteorological Administration ,Urumqi 830002 ,China ;

3.Shandong Meteorology Bureau ,Jinan 250031 ,China)

**Abstract** The importance of the shortwave solar radiation in land surface process and air-land interaction research is described in this paper and research achievements of shortwave solar radiation are comprehensively reviewed.In combination with the current representative shortwave solar radiation scheme in the research field of land surface process ,the problems and development tendency are pointed out in this field of research ,It provides scientific basis for further study of shortwave solar radiation status and characteristics.

**Key words** shortwave solar radiation ;research progress ;characteristics