

基于气象站资料的中国地区太阳日辐射量算法研究

孙睿¹, 梁璐², 杨玲³

(1. 遥感科学国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;
3. 环境遥感与数字城市北京市重点实验室, 北京 100875)

摘要: 现行计算水平面太阳日辐射主要有两种方式: 一种是利用影响辐射的相关要素建立模型, 另一种是依据实测资料进行空间插值。但后一种方法若要保证精度则需有足够多的样本。针对上述问题, 利用我国不同区域 67 个站点的数据, 在 VP-RAD 模型的基础上, 建立了一个适用于中国地区的逐日太阳辐射算法 CNR, 该算法仅需输入站点基本信息、最高最低温度和降水量。模拟结果与实际观测结果比较吻合。

关键词: 太阳日辐射; 最高最低温度; 降水量; 大气透射率; VP-RAD 模型

中图分类号: P422.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-7148(2007)01-0024-04

引言

太阳辐射是地球—大气系统最重要的能量来源, 也是生态系统过程模型、水文模拟模型和生物物理模型研究中的必要参数^[1-2]。但由于太阳辐射观测装置成本高, 致使辐射观测站点稀少。随着天气、气候及作物生长模拟研究的逐步深入, 太阳日辐射资料的缺乏已成为其他气象资料充分利用的一个限制因素^[3]。因此, 建立一个合理的太阳辐射模型, 揭示我国不同区域太阳辐射量变化特征, 对于研究区域以及全球太阳辐射变化具有重要意义。

目前, 国内外对太阳日辐射量的计算已有一定的研究。计算水平面上太阳辐射有两种方式, 最为普遍的方法是根据某种辐射基数值, 利用影响辐射的相关要素建立模型进行模拟^[4-5], 如气候学上根据日照百分率计算太阳辐射

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

式中, Q_0 为太阳辐射基数值, S 为日照百分率, a 、 b 是经验参数。利用该方式建模需要先得到各测站的辐射基数值。朱志辉、翁笃鸣、Liou 等采用天文辐射^[6-8], 王炳忠等主张采用理想大气总辐射^[5]。另一种方法是依据辐射站点的实测资料采用空间插值方法进行, 这需要有足够多的辐射观测资料。我国自 1957 年开始进行辐射观测, 至今只有 140 多个辐

射站的观测记录(含现已撤消的观测站)^[4], 因此使用这种方法虽然简单, 但因样本量少往往结果并不理想, 不能合理地揭示太阳辐射的空间分布特征。

本文以气象台站常规观测资料(包括最高最低温度和降水量)及基本信息(包括经纬度和海拔高度)作为主要参数, 在 VP-RAD 模型^[9]的基础上, 设计一个简单实用并且对中国地区整体精度较高的日太阳辐射算法。

1 模型建立

1.1 VP-RAD 模型

Bristow 等建立了由日最高最低温度和降水量计算太阳日辐射量的模型, 即 Bristow-Campbell 模型(简称 BC 模型), 基本公式为^[10]

$$R_s = A[1 - \exp(-B\Delta T^C)]Q_0 \quad (1)$$

其中, A 、 B 、 C 为经验参数, ΔT 为日最高最低温差, Q_0 为天文辐射, R_s 为日太阳辐射。

BC 模型参数简单, 并且精度较高, 被广泛运用于全球生态系统模拟中。但模型中 3 个参数由观测值推出, 随地理位置而变化, 不适合全球应用。于是, Winslow 等在 BC 模型的基础上发展了 VP-RAD 模型^[9]。该模型用有限的的数据, 即日降雨量、最低气温和最高气温, 对太阳日辐射进行估计, 且不依赖于长期的气象观测值, 有较强的全球适用性。

收稿日期: 2006-12-29

基金项目: 国家自然科学基金(40501045); 长江学者和创新团队发展计划; 北京师范大学本科生研究基金资助

作者简介: 孙睿(1970-), 男, 甘肃通渭人, 教授, 博士, 主要从事全球变化与遥感应用研究。E-mail: sunrui@bnu.edu.cn

VP-RAD 模型基于以下假设,大气透射率 τ 和日均相对湿度 rh_{ave} 之间存在线性相关关系^[9],即 $\tau \approx 1 - rh_{ave}$ 。而一天之内,从最低温度升到最高温度这段时间接受的总辐射 R^{Tmax} 与最高最低温度对应的相对湿度 rh^{Tmax} 、 rh^{Tmin} 相关:

$$R^{Tmax} \propto rh^{Tmin} - rh^{Tmax} \quad (2)$$

大多数情况下, rh^{Tmin} 接近于 $1.0^{[10]}$,因此,上式可进一步简化为 $R^{Tmax} \propto 1 - rh^{Tmax}$ 。考虑到 R^{Tmax} 不能代表一天中全部的太阳辐射,故引入日长校正因子 D ,使日总辐射 $R_s = DR^{Tmax}$,以避免不同站点日长不一导致误差。

在 $R_s \propto D(1 - rh^{Tmax})$ 线性化过程中,又进行了如下处理:

①一些台站的数据拟合表明, R_s 与 rh^{Tmax} 函数的斜率并不总是 -1 ,于是引入经验参数 β ,使 $R_s \propto D(1 - \beta rh^{Tmax})$;

② rh^{Tmax} 近似等于日最高温度 T_{max} 与最低温度 T_{min} 所对应的饱和水汽压的比值 $e_s(T_{min})/e_s(T_{max})^{[11-12]}$;

③加入晴天无云条件下的大气透过率 τ_{cf} ,使 R_s 的最大值不超过 $\tau_{cf}Q_0$ 。

这样,VP-RAD 的最终模型为

$$R_s = \tau_{cf}D[1 - \beta e_s(T_{min})/e_s(T_{max})]Q_0 \quad (3)$$

大气透过率主要影响因素有气溶胶、臭氧和水汽。VP-RAD 给出一个计算大气透过率的基本形式^[9]

$$\tau_{cf} = (\tau_0 \tau_a \tau_v)^{p/p_0} \quad (4)$$

其中, τ_0 是干洁大气透过率, τ_v 代表受水汽影响的成分, τ_a 代表受气溶胶和臭氧影响的部分, p/p_0 为大气压修正系数。

1.2 大气透过率的改进

大气透过率是影响模型精度的主要因子,我们的改进主要在于这一部分。

VP-RAD 模型中,干洁大气透过率 τ_0 简单地利用纬度来计算;气溶胶和臭氧影响的部分(τ_a),由于数据有限,属于不可测部分,设为 $1.0^{[9]}$ 。Kreith 提出了一个在晴朗无云条件下的计算大气透明度系数的经验方程,该方程不但考虑了由于高程的不同引起的大气量的变化,同时考虑了影响大气透明度的其他因素,包括分子散射、臭氧吸收和其他气体(如 CO_2 、 O_2 、 N_2 等)的选择性吸收,其拟合晴朗无云条件下大气透过率的误差范围在 3% 之内^[2,13],因此我们利用该模型替换 VP-RAD 模型中的 τ_0 和 τ_a 。项,公式为

$$\tau_d = 0.56(e^{0.56M_h} + e^{-0.095M_h}) \quad (5)$$

M_h 为一定地形高度下的大气量,用下式计算^[13]:

$$M_h = M_0 \times p/p_0 \quad (6)$$

M_0 为海平面上的大气量^[13]:

$$M_0 = [1229 + (614 \sin \alpha)^2]^{1/2} - 614 \sin \alpha \quad (7)$$

α 是太阳高度角,在计算时取正午时的太阳高度角, M_0 为海平面上的大气量。

在考虑大气透射率时还应着重考虑受水汽影响部分。一般来说,越温暖的地区水汽含量也越多,VP-RAD 模型用下式估算水汽的影响^[9]:

$$\tau_v = 0.9636 - 9.092 \times 10^{-5} \times [T_{mean} + 30]^{1.8232} \quad (8)$$

T_{mean} 是年平均温度。我们用多个站点对该式进行验证后发现,透过率的结果受雨天影响较大。在某些实测值很低的情况下估算值很高(图 1),经分析这些误差较大的天数多为阴雨天。于是我们取均方根误差 RMSE 和相关系数作为评判标准,对 τ_v 进行步长迭代,得出各站点的最佳步长。同时考虑到方程的通用性,对每次迭代后各站点的误差求平均,选出平均误差最小时的那个步长。青藏高原由于地势特殊,且站点分布较少,为避免其影响整体精度,将其单独处理。计算后得出,当降水量 $> 1 \text{ mm}$ 时, τ_v 需减去 0.16,青藏区则要减去 0.42。

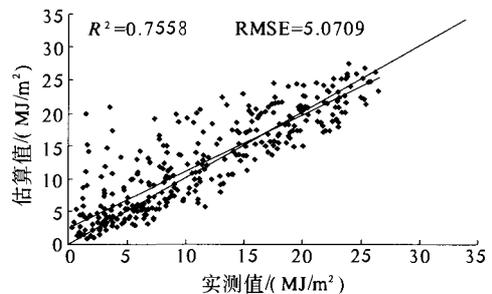


图 1 安康站实测值与 VP-RAD 模型预测值散点分布图

1.3 CNR 模型

至此,在得出大气透射率模型之后,则可得出 CNR (China Radiation) 模型为

$$R_s = (\tau_d \times \tau_v^{p/p_0}) \times D \times [1 - \beta \times e_s(T_{min})/e_s(T_{max})] \times Q_0 \quad (9)$$

2 模型检验

2.1 研究数据及建模方法

本研究所采用数据为由中国气象局气候资料中心提供的 2000 年中国地区 67 个站点的日气象资料及日辐射量数据。模型所需的气象资料主要有最

高、最低气温,日温和降水量,另外还有各站点的经纬度及海拔高度。各站点资料在输入前均已经过处理,并将缺测值剔除。检验时将筛选的 67 个样本按照各地区平均的原则分成 2 组,其中 33 个作为建模样本,34 个作为检验样本。

2.2 模型误差分析

在对模型进行误差分析中,我们选用相关系数和均方根误差 RMSE 这两个误差评定因子。34 个

检验台站模拟辐射值与实测辐射值的比较表明(附表),多数观测点拟合较好,相关系数达到 0.8,平均相对误差 17%,最大相对误差 32%,平均 RMSE 4.86 MJ/m^2 ,少数站点偏差较大,特别是降雨偏多且频繁地区,如图 2 中福山站点。图 2 为 4 个站点的实测值与预测值的比较情况,与图 1 比较可发现,安康站点的估算结果相对于 VP-RAD 模型有很大改进, RMSE 由 5.07 MJ/m^2 降到 3.72 MJ/m^2 。

附表 34 个台站 2000 年日太阳辐射量估算误差

模型	平均绝对误差/(MJ/m^2)	平均相对误差/%	最大绝对误差/(MJ/m^2)	最大相对误差/%	平均 RMSE/(MJ/m^2)
CNR 模型	2.51	17.0	5.26	32.0	4.86
VP-RAD 模型	4.69	32.0	8.23	51.0	7.12

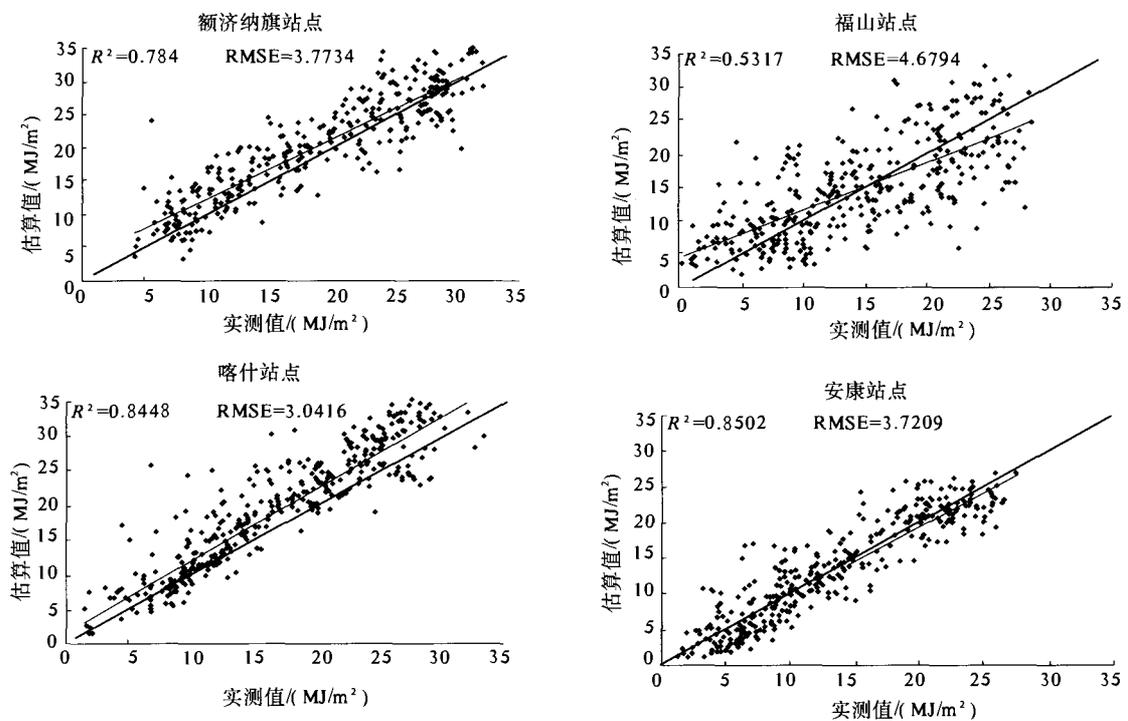


图 2 喀什、额济纳旗、安康、福山站点实测值、预测值散点图

2.3 不同模型结果比较

用同样的数据,同时利用 BC 模型和 VP-RAD 模型估算每日辐射,并计算每个台站的估算误差 RMSE。

图 3 是 3 个模型 RMSE 误差的比较。从图 3 和附表可以看出, CNR 模型较 BC 模型和 VP-RAD 模型误差明显减小, CNR 模型估算误差比 VP-RAD 模型降低了 15%,适用于我国不同地区水平面上日辐射量的估算。

3 结论

本研究借鉴国内外太阳辐射计算的公式,以全国 67 个气象站点为主要数据源,只使用气象站日最高最低温度及日降水量等相对容易获得的观测资料作为参数,建立了日太阳辐射的模型——CNR 模型,经与气象站实测资料及其他模型比较, CNR 模型精度更高,适用于中国地区的水平面上太阳辐射量的估算。

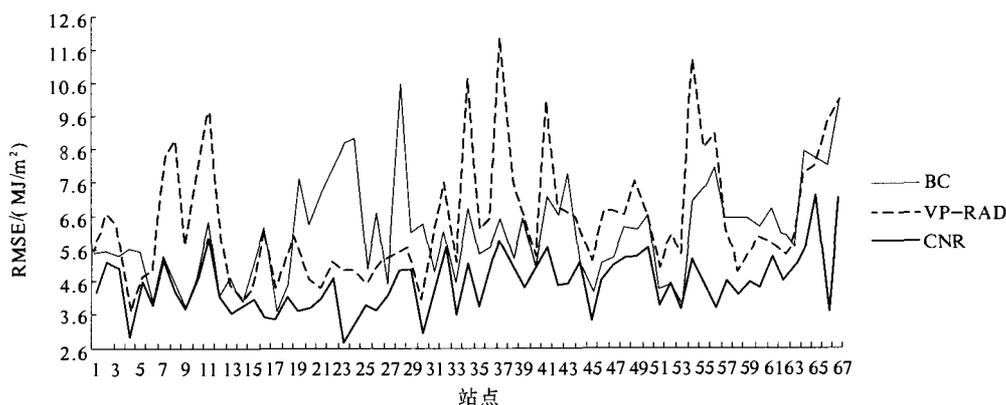


图 3 BC、VP-RAD 与 CNR 模型 RMSE 误差比较

参考文献

- [1] 翁笃鸣. 中国辐射气候研究[M]. 北京:气象出版社,1997.
- [2] 何洪林,于贵瑞,牛栋. 复杂地形条件下的太阳资源辐射计算方法研究[J]. 资源科学,2003,25(1):78-85.
- [3] 许吟隆, Richard J. 利用 ECMWF 再分析数据验证 PRECIS 对中国区域气候的模拟能力[J]. 中国农业气象,2004,25(1):5-9.
- [4] 田永中,朱莉芬,岳天祥. 水平面上太阳辐射空间模拟对比研究[J]. 地球信息科学,2005,7(4):95-100.
- [5] 左大康,周允华,项月琴,等. 地球表层辐射研究[M]. 北京:科学出版社,1991.
- [6] 朱志辉. 太阳辐射时空分布的多因子计算[J]. 地理学报,1982,37(1):27-33.
- [7] 翁笃鸣. 试论总辐射的气候学计算方法[J]. 气象学报,1964,34(3):304-314.
- [8] Liou K N, An Introduction to Atmospheric Radiation[M]. New York: Academic Press,2002.
- [9] Winslow J C, Hunt E R, Piper S C. A globally applicable model of daily solar irradiance estimated from air temperature and precipitation data[J]. Ecological Modelling, 2001, 143: 227-243.
- [10] Bristow K L, Campbell G S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature[J]. Agric For Meteorol, 1984, 31: 159-166.
- [11] Glassy J M, Running S W. Validating diurnal climatology logic of the MT-CLIM model across a climatic gradient in Oregon[J]. 1994, (4):248-257.
- [12] Kimball J S, Running S W, Nemani R. An improved method for estimating surface humidity from daily minimum temperature[J]. Agric For Meteorol, 1997, (85): 87-98.
- [13] Kreith F, Kreider J F. Principles of Solar Engineering[M]. Washington DC: Hemisphere Publishing Corporation, 1978.

Estimation of Daily Solar Radiation in China Based on Weather Station Data

SUN Rui¹, LIANG Lu², YANG Ling³

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science Jointly Sponsored by Beijing Normal University and IRSA, Beijing 100875, China;

2. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. Beijing Key Laboratory of Environmental Remote Sensing and City Digitalization, Beijing 100875, China)

Abstract: Currently, there are two methods to calculate daily solar radiation on horizontal level, one utilizes the relative element that influence the solar radiance to establish the model, another uses spatial interpolation method that relied on the observed data. However, the latter one needs enough samples to keep high accuracy. In this paper, we developed a new model for China's daily solar radiation calculation based on VP-RAD model. The model inputs include basic station information (latitude and elevation), daily temperature range and precipitation. The model was developed and validated by the data observed from 67 meteorology stations in different regions of China. The result indicates that this model is reasonable and applicable.

Key Words: Solar radiation; Daily temperature range; Daily precipitation; Atmospheric transmittance; VP-RAD model