

# 利用卫星资料研究云对地面净辐射的影响<sup>①</sup>

宋庆利<sup>1,2</sup> 陈渭民<sup>1</sup> 周学军<sup>2</sup> 宋玉霞<sup>2</sup>

(1. 南京气象学院, 南京 210044; 2. 黑龙江省大兴安岭地区气象局)

## 提 要

采用 2002 年 1 月、2 月、7 月、8 月每日 8~16 时(北京时间)的 GMS-5 卫星云图资料以及相同时次的漠河和郑州两个辐射站的地面净辐射资料,通过读取红外 1、红外 2、水汽和可见光云图上的卫星计数值,并将卫星计数值按照 GMS-5 定标表转换成亮度温度和反射率,最终形成一套利用卫星资料研究云对地面净辐射影响的数据集。采用统计的方法将地面净辐射与影响地面净辐射的各因子:太阳天顶角、地面及云面反射率等有关因子进行拟合,发现地面净辐射与这些因子之间有很好的相关性,特别在引入卫星红外通道亮温值减水汽通道亮温值这一因子后,在有云状况下,拟合的相关系数有较明显的提高,原因可能是这一因子包含了云分类的信息,这一方法的提出为利用卫星资料研究云对地面净辐射的影响提出了一个新的思路。

**关键词:** 云 卫星资料 地面净辐射 统计

## 引 言

多年来的研究表明,云在地球辐射收支平衡中发挥着重要作用。在地球表面大约有 50% 的地区为云所覆盖,云对辐射的透射、吸收和自身发射的红外辐射对入射至地球的太阳辐射和由地球大气发射的红外辐射具有重要的控制作用,云的光学特性对气候系统产生的反馈对气候变化有着决定性的影响,是地球上各种天气和气候变化的重要因子之一,同时它也决定着地面的辐射收支、地表的增温或冷却、地面能量平衡等<sup>[1]</sup>。因此,研究云与辐射之间的关系具有重要的意义。

目前已有很多模式被运用到地球大气辐射的研究中,主要的研究方法可以分为两个类型:物理法和统计法。物理法主要是依据辐射传输模式,通过求解辐射传输方程来推算地面辐射。统计法寻求用卫星观测值去拟合地面辐射站实测辐射资料<sup>[2-6]</sup>,统计法一般都能得到效果很好的解析表达式。但以上这两种方法多以研究晴空为主。

## 1 基本原理

根据定义,地面净辐射

$$R_n = (1 - r_s)E_s + F_A^\downarrow - F_G \quad (1)$$

其中  $r_s$  为地面反射率,  $E_s$  为到达地面的太阳辐照度,  $(1 - r_s)E_s$  为地面吸收的太阳辐射能,  $F_A^\downarrow$  为大气向下的红外辐射,  $F_G$  为地面发射的红外辐射。经过一系列推导<sup>[4]</sup>,由式(1)可以得到

$$R_n = (1 - r_s)(r_s\gamma(\mu))^{-1}\pi L_{\text{sat}}^{\text{vis}}(\mu) - \Gamma_s^{-1}L_{\text{sat}}^{\text{IR}} - (1 - r_s)r_s^{-1}\gamma(\mu)^{-1}F_R + F_A^\downarrow + F_A^\uparrow(\mu)\Gamma_s^{-1} \quad (2)$$

令

$$a(r_s, \mu, \tau) = (1 - r_s)r_s^{-1}\gamma(\mu),$$

$$b(\tau_1, \mu) = -\Gamma_s^{-1},$$

$$c(r_s, \mu, \mu_0, \tau_1, \phi) = -(1 - r_s)r_s^{-1} \cdot \gamma(\mu)^{-1}F_R + F_A^\downarrow + F_A^\uparrow(\mu)\Gamma_s^{-1}$$

则式(2)写为

$$R_n = aL_{\text{sat}}^{\text{vis}} + bL_{\text{sat}}^{\text{IR}} + c \quad (3)$$

从式(3)看出,地面净辐射与卫星的可见光波

<sup>①</sup> 本文由国家自然科学基金项目(40175007)资助

段接收的辐射值  $L_{sat}^{vis}$  和红外波段接收的辐射值  $L_{sat}^{IR}$  有明显物理关系。若  $L_{sat}^{vis}$  和  $L_{sat}^{IR}$  已知,  $a, b, c$  一定, 则  $R_n$  也就可以求得。

### 2 资料和方法

GMS-5 定位于地球赤道上空 35800km 的同步轨道上, 星下点为 140°E。卫星有一个可见光通道(用 VIS 表示)和 3 个红外通道(分别用 IR1、IR2 和 IR3 表示), 其中 IR3 对水汽敏感故称水汽通道。VIS 通道的光谱带宽为 0.55~0.9 $\mu$ m; IR1 通道为 10.5~11.5 $\mu$ m; IR2 为 11.5~12.5 $\mu$ m; IR3 为 6.5~7.5 $\mu$ m。GMS-5 每小时发送一次云图资料。其可见光数据有效值为 6 比特, 64 级灰度, 红外数据为 8 比特, 256 级灰度。本文采用了 2002 年 1 月、2 月、7 月、8 月每日 8~16 时(北京时间)的卫星云图, 每个时次的卫星云图包括红外 1、红外 2、水汽和可见光共四个通道各一张, 云图的时间间隔为 30 分钟或 60 分钟。地面净辐射资料使用的是漠河和郑州两个辐射站的资料, 该资料的年月日与使用的卫星资料的年月日相同, 资料为每日 8~16 时(北京时间)的每小时累计值, 为与卫星观测值进行比较, 本文采用样条插值的方法将其变为卫星观测时刻的地面净辐射值。

为了将由卫星资料计算出的地面净辐射值与地面的实测净辐射值进行比较, 本文采用 1996 年中国气象局编发的《气象辐射观测方法》中辐射度量定义及其单位。

根据式(3), 选取相关因子通过统计的方法, 建立卫星资料与地面净辐射之间的关系。卫星资料的数据是通过读取卫星云图上地面辐射观测站所在的像素点上的计数值。两站共选用了 1930 个样本。

### 3 反演模式及其比较

根据式(3), 地面净辐射与卫星的可见光通道和红外通道的测值以及太阳天顶角等因子有关, 选用表 1 中拟合关系, 复相关系数如表 1 所示。 $a_0, a_1, a_2 \dots, b_0$  为回归系数,  $X_{zenith}$  为太阳天顶角,  $X_{VIS}, X_{IR1}, X_{IR2}, X_{IR1-VAP}$  分别为卫星在可见光、红外 1、红外 2 以及红外 1 减水汽通道观测的辐射值。

从表 1 可以看出, 模式 6 为最佳拟合模式, 拟合效果见图 1 至图 2。在拟合过程中

表 1 拟合方程及其复相关系数

模式	拟合方程	复相关系数
1	$R_n = a_0 X_{zenith} + b_0$	0.6014
2	$R_n = a_0 X_{VIS} + a_1 X_{zenith} + b_0$	0.7997
3	$R_n = a_0 X_{IR1} + a_1 X_{IR2} + a_2 X_{zenith} + b_0$	0.7570
4	$R_n = a_0 X_{IR1} + a_1 X_{VIS} + a_2 X_{zenith} + b_0$	0.8116
5	$R_n = a_0 X_{IR1} + a_1 X_{VIS} + a_2 X_{zenith} + a_3 X_{IR1-VAP} + b_0$	0.8212
6	$R_n = a_0 X_{IR1-VAP} + a_1 X_{VIS} + a_2 X_{IR1} + a_3 X_{zenith} + a_4 X_{IR1-VAP}^2 + a_5 X_{VIS}^2 + a_6 X_{IR1}^2 + a_7 X_{zenith}^2 + b_0$	0.8259

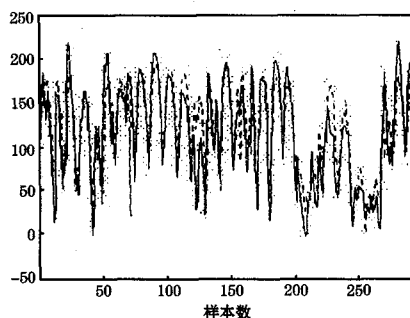


图 1 郑州 7 月份地面净辐射实测值与估测值比较 (单位: 0.01MJ·m<sup>-2</sup>)  
实线为实测值; 虚线为估测值

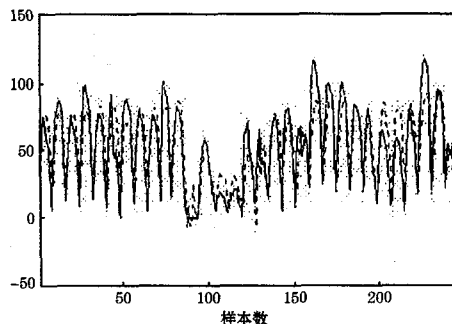


图 2 郑州 1 月份地面净辐射实测值与估测值比较 (单位: 0.01MJ·m<sup>-2</sup>)  
实线为实测值; 虚线为估测值

发现, 在所有模式中, 太阳天顶角均起到主要作用, 原因是: 对于地面净辐射, 太阳天顶角主要代表的是入射到地面的太阳辐射, 而其它因子主要考虑的是云及地面反射率等因素对入射的太阳辐射的影响。通过模式 1 与其它模式之间的对比, 可以看出, 在冬季天气以晴为主的情况下, 模式 1 的相关系数比较高, 而到了夏季, 由于云等因素的影响, 模式 1 的

相关系数显著下降,在增加了反映云等因素的影响后,拟合的相关系数才有较大的提高,在估算有云情况下的地面净辐射,模式6为最佳模式。

从总体的拟合效果可以看出,使用模式6对地面净辐射进行估算可以达到比较准确的效果,不仅在晴天时可以达到满意的精度,特别在有云的情况下也能达到令人满意的拟合效果,可以应用到实际的气象业务中去。

#### 4 误差产生原因分析

(1) 地面净辐射的观测存在一定的误差,部分数据还存在很大程度的错误。如图3所示,15日13时左右至15时左右的零值是为了防止仪器被雨淋湿而人为给仪器加保护盖造成的,但这些数据在本文中均作为正确值予以使用,并没有被删除,从而导致误差的产生。

(2) 由于卫星观测值观测到的数据是瞬时值,而地面净辐射的观测值是1小时的累计值,两者在进行比较时存在一定误差。

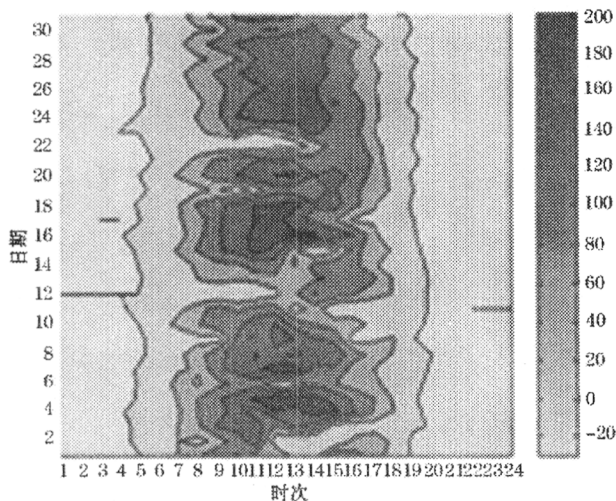


图3 漠河7月份地面净辐射实测值  
(单位: $0.01\text{MJm}^{-2}$ )

(3) 卫星云图上一个像素平均情况下代表 $10\text{km}\times 10\text{km}$ ,代表的是一块区域的平均状况,而地面观测的净辐射值是单点的观测值,代表的是一种局地状况。将这两种状况进行比较时,自然会产生一定的误差。

(4) 统计分析的精度与样本的数量有很大的关系,虽然本文在所讨论的月份中选用了尽可能多的样本,但样本数仍显较少,可能对多年数据进行逐月统计才可能达到较稳定的统计规律,此部分工作留待以后进一步研究。

#### 5 结论

本文通过大气中太阳辐射传输的一般性方程入手,引入边界条件及简化条件,推导出红外波段和可见光波段的大气辐射传输方程,由此建立起卫星测值与地面净辐射的关系。通过推导出的关系可以看出:地面净辐射与太阳高度角、地面反射率等因子有关。接下来本文采用统计的方法将地面净辐射与太阳高度角、地面反射率等有关因子进行拟合,发现地面净辐射与这些因子之间有很好的相关性。本文引入卫星红外通道观测值减水汽通道观测值这一因子后,在有云情况下,拟合的相关系数有所提高,原因是这一因子包含了云分类的信息,这一方法的提出为利用卫星资料研究云对地面净辐射的影响提出了一个新的思路。

通过本文研究,得出以下结论:

(1) 通过卫星资料以及太阳天顶角估算地面净辐射是可行的。

(2) 在晴空情况下,太阳天顶角与地面净辐射呈很好的负相关,即太阳高度角越大,地面净辐射越小,反之亦然。

(3) 在有云情况下,太阳天顶角的影响力下降,地面净辐射与云的影响密切相关。一般而言,卫星接收到辐射随云量的增加而减少,随云层的透过率的增加而增加,随云的高度的增高而减少。

(4) 地面净辐射的估算精度依赖于地面及云面反射率等反映云的属性和状态的因子。本文引入卫星红外通道测值减水汽通道测值后,使有云情况下的地面净辐射的反演精度有所提高,原因是这一因子包含了云分类的信息。

(5) 本文所使用的资料为GMS-5卫星资料,但本文所使用的原理和方法同样适用于风云2号卫星,在业务应用时可灵活运用。

#### 参考文献

- 1 陈渭民. 卫星气象学. 北京:气象出版社,2003:419~420.
- 2 Tarpley J. D., Schneider S. R., Money R. L., et al. Estimating solar radiation at the surface from geostationary data. *J. App. Meteo.* 1997,18:1172—1181.
- 3 Justus C., Paris M. V., Tarpley, J. D. Satellite-measured insolation in the Unites States, Mexico and South America. *Remote Sensing Environment*, 1986, 20: 57—83.

- 4 陈渭民,高庆先,洪刚.由GMS卫星资料获取我国地面辐射收支.大气科学,1997,21(2):238~246.
- 5 陈渭民,边多,郁凡.由卫星资料估算晴空太阳直接辐射和散射辐射.气象学报,2000,58(4):457~469.
- 6 陈渭民,缪英好,高庆先.由GMS卫星资料估算青藏高原地区总辐射.南京气象学院学报,1997,20(3):326~333.

## A Study of Effect of Cloud on Net Surface Radiation with GMS-5 Data

Song Qingli<sup>1,2</sup> Chen Weimin<sup>1</sup> Zhou Xuejun<sup>2</sup>

(1. Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044;

2. Daxinganling Meteorological Office, Helongjiang Province)

### Abstract

By using the GMS-5 data and surface observations of solar radiation of Mohe county and Zhengzhou city, a regression equation is developed between satellite visual light (VIS), infrared 1 (IR1), infrared 2 (IR2), water vapor (IR3) channel, sun zenith and net surface radiation. The correlation coefficient is up to 0.8259. Especially, in terms of cloud condition, the results are improved when data of IR1 minus IR3 are used, which give a new method to study cloud effect on net surface radiation.

**Key Words:** cloud satellite data net surface radiation statistical model