

# GMS 卫星资料估算地表旬太阳辐射

刘 文 刘洪鹏

王延平

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

(山东省气象台)

## 提 要

GMS-5 静止气象卫星较宽的可见光波段, 为估算到达地表的太阳辐射提供了极好的信息源。利用 GMS-5 可见光通道资料, 分析估计太阳辐射的可行性, 并给出了相应的卫星资料处理方法。利用逐时卫星观测资料和济南日射观测站太阳总辐射小时辐照总量实测资料, 建立了可见光反照率与小时辐照总量的统计关系, 探讨了旬太阳辐射的估算模型。估算结果与日射站实测结果比较, 旬辐射估计量的均方误差为  $7.7\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , 平均相对误差为 3.4%。

**关键词:** GMS-5 可见光通道资料 太阳辐射 估计

## 引 言

到达地表的太阳辐射是气象科学中的重要物理参量之一, 也是植物生长的主要能源。对于太阳辐射的观测, 在设有地面气象观测站的地方才可以获得日照时数观测, 而对到达地面太阳辐射值的观测仅在极少数气象观测站进行。如山东省仅在济南、莒县、福山三个气象站进行日射观测。由于太阳辐射受云、地形等的影响, 随空间、时间变化很大, 现有的辐射观测资料很难反映太阳辐射的时空分布。各地太阳辐射状况通常根据本地气象站观测的日照时数及常规观测资料, 利用经验公式进行推算。而对于远离气象站点的区域, 太阳辐射状况仍然不能了解。我国 FY-2 及日本 GMS-5 静止气象卫星每隔 1 小时(加密观测半小时)对地连续扫描, 提供了反映地表、云分布等信息的较高空间分辨率(星下点红外通道 5km, 可见光通道 1.25km)的多通道卫星观测资料, 为估算到达地面的太阳辐射提供了有力工具。国外一些气象工作者应用气象卫星资料, 采用统计、物理两种方法估算太阳辐射, 如 Tarply、Pinker 等<sup>[1]</sup>; 国内陈渭民等利用 GMS-4 可见光计数值建立了估

计青藏高原地表总辐射的 7 种模式<sup>[2]</sup>。本文利用济南日射观测资料及日本 GMS-5 卫星资料, 分析了到达地面太阳辐射强度与卫星观测的可见光反照率的关系。采用统计回归方法, 建立了山东地区旬太阳总辐射估计模型并用地面实测资料进行了验证。

## 1 思路与方法

### 1.1 基本思路

文献[2]根据辐射传输理论, 详细讨论了卫星测值与地面太阳辐射的关系, 说明了由卫星资料反演太阳辐射是完全可行的。但物理法涉及大量实际参数, 为方便起见, 一般采用统计回归方法。虽然气象卫星可见光通道是一个较窄的大气窗区波段, 但它位于太阳辐射最大辐射波段附近, 其能量在整个太阳辐射能量中占有较大比重。太阳辐射能总数的 46% 在  $0.40\sim 0.76\mu\text{m}$ <sup>[3]</sup>, GMS-5 的可见光通道波长为  $0.55\sim 0.90\mu\text{m}$ , 其能量约占太阳辐射总能量的 40% 左右。由此可知, 到达地面的 GMS-5 可见光通道波长范围的太阳光能量与整波段的太阳总辐射具有很高的相关性。卫星可见光通道正是利用该波段的太阳短波辐射能量对云、地表等下垫面的反

射率进行观测的,所以卫星可见光通道探测数据是云、地表对太阳辐射反射及大气散射的综合反映。而到达地面的太阳总辐射也主要受云、地表、大气浑浊度、太阳高度等因素影响。因此,GMS-5观测的可见光反照率资料也反映了到达地面太阳辐射能量的信息,可以用来估计太阳辐射状况。

在白天,GMS-5卫星可以提供1小时1次的可见光反照率资料,逐时太阳辐照总量可由日射观测站实测资料获得。根据这些资料,可以确定卫星可见光反照率与小时辐照总量的关系,继而利用卫星观测资料对小时辐照总量进行估算。逐时估计的太阳辐照总量进行日、旬累计,即可得出日或旬太阳总辐射的分布。

### 1.2 反照率的订正

卫星观测记录的是计数值,其可见光编码等级为6bit。所反映的是云、地表对太阳辐射反射的信息,卫星观测计数值越大,下垫面的反射就越强,到达地面的太阳辐射就越弱。但由于可见光的双向反射特性,卫星可见光通道的观测值随太阳高度角的变化而变化。太阳高度越低,卫星观测计数值也越小,而此时太阳辐射却较弱,使卫星观测计数值与太阳辐射的关系变得较为复杂。这是由于卫星观测计数值不能代表真实反照率的缘故。为了消去观测时次、象元地理位置不同带来的影响,首先由可见光通道计数值(0~63)与反照率的一一对应关系推算出 $ref$ ,再进行太阳高度订正得到真实的反照率 $vis'$ 。

在晴空条件下,卫星观测的反照率信息主要来自地表,同时也受大气浑浊度的影响。一般来说,大气浑浊度大,反照率也略大一些。可以认为各旬中最小反照率时大气透明度较高,此时到达地面的太阳总辐射最强。假定大气完全透明时到达地表的垂直太阳光线平面上的太阳辐射状况是相同的,此时卫星观测的反照率也应是各象元地表的实际反

照率 $V$ 。然而不同季节或不同象元的地表特征不同,卫星观测的无大气影响的地表反照率 $V$ 也不同。为此,用 $vis = vis' + (V_0 - V)$ 将各象元反照率的最小值统一订正到 $V_0$ ,以消除不同地表 $V$ 的差异。某旬中逐时象元反照率(不包括暗影)的最小值(实际应用时可取几个较小反照率的平均值)即为该象元地表实际反照率 $V$ 。

### 1.3 卫星象元的确定

要估算某一地理位置 $(\phi_0, \lambda_0)$ 的地面太阳辐射,必须确定卫星观测资料中对其有影响的象元。卫星观测的反照率是某象元地理坐标对应地表、云、大气状况的综合反映。在无云情况下,可以认为该处地面太阳辐射主要受该象元可见光反照率影响。在有云时,地面太阳辐射主要受位于太阳方向的云影响,而不是位于天顶的云。也就是说,卫星观测象元上云的信息并不一定对其地面太阳辐射有影响,还取决于太阳方位及高度角。设卫星观测时刻的太阳方位角为 $A$ ,高度角为 $h$ ,则影响 $(\phi_0, \lambda_0)$ 处地面太阳辐射的云对应地理坐标可简单表示为:

$$\begin{aligned}\phi &= \phi_0 + H \cdot \text{ctg } h \cdot \cos A / K_{\text{lat}} \\ \lambda &= \lambda_0 + H \cdot \text{ctg } h \cdot \sin A / K_{\text{lon}}\end{aligned}\quad (1)$$

$K_{\text{lat}}$ 为标准纬距, $K_{\text{lon}}$ 为 $\phi_0$ 处经距, $H$ 为云体平均高度。因此,若 $(\phi, \lambda)$ 处有云,其对应象元即为影响 $(\phi_0, \lambda_0)$ 处地面太阳辐射的卫星象元,否则直接取 $(\phi_0, \lambda_0)$ 对应象元。为简单起见,云体平均高度可统一取4km。

### 1.4 卫星有效观测时段确定

由于早晨及傍晚的太阳高度角很低,卫星观测值与实际值差别较大,可见光资料订正也会有较大误差。此时到达地面的太阳辐射较弱,在日总量中占的比重也很小。为保证数据的可靠性,将太阳高度角 $h \geq 15^\circ$ 的卫星观测时次定为可见光有效观测时段,仅使用这些时次资料。

## 2 可见光反照率与太阳辐照度的关系

为了探求卫星观测的可见光反照率与到达地面辐照强度的关系,利用1999年5月中旬、10月上中旬及2001年5月各旬共61日逐时日本GMS-5卫星可见光资料及济南日射站逐时太阳总辐射辐照总量观测资料进行统计分析。考虑到卫星观测的瞬时性及云对太阳辐射的影响,取象素附近5个象素点的平均值作为济南日射站反照率值。为了消去太阳高度变化对地面太阳辐射的影响,将小时太阳辐照总量除以太阳高度角的正弦得到垂直太阳光线平面上的辐照量  $H'$ 。可见光反照率  $vis$  与  $H'$  的关系见图1。从图1中可以看出,小时辐照量  $H'$  随可见光反照率的增大而减弱,当反照率大于75%时,  $H'$  急剧下降,基本等于零。

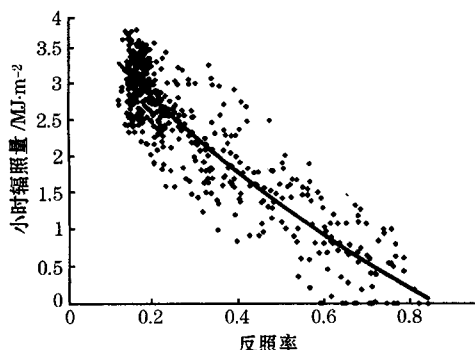


图1 可见光反照率  $vis$  与小时辐照量  $H'$  关系的点聚图

根据样本资料,建立了地面垂直太阳光线平面上的小时辐照量  $H'$  ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 与可见光反照率  $vis$  的统计回归方程为:

$$H' = -1.3877vis^3 + 4.0064vis^2 - 7.1142vis + 4.0568 \quad (2)$$

样本数  $N=626$ ,复相关系数  $R=0.88$ ,相关性检验信度达0.001以上显著水平。

## 3 旬太阳辐射估算

### 3.1 方法

根据以上方程,利用卫星可见光有效观测时段的反照率可以逐时估计  $H'$ ,乘以太阳

高度角的正弦后即为到达地面的小时辐照总量  $H$ ,逐日逐时对每个象元进行估算并进行累加,就可得到各地日、旬太阳辐射的估计值。

对太阳高度角小于  $15^\circ$  时的辐射量,由于其量值较小,可利用首、末次观测估计值对日出、日落时刻进行插补得到。设某日卫星首、末次有效观测 ( $h \geq 15^\circ$ ) 时数为  $h_1, h_2$ ,以时为单位的日出、日落时间为  $t_1, t_2$ ,日辐射量  $Q$  (单位为  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 由下式估算:

$$Q = \sum_{i=k_1}^{k_2} H_i + \frac{0.5H_{k_1}(h_1 - t_1)^2}{h_1 - t_1 + 0.5} + \frac{0.5H_{k_2}(t_2 - h_2)^2}{t_2 - h_2 + 0.5} \quad (3)$$

$H_i$  为卫星资料估计的该日观测时数为  $i$  时的辐照总量,卫星资料缺测时次可由最近两时次进行插补获得。

### 3.2 实例验证

使用同时段卫星资料,对山东省的福山、莒县两个日射站的太阳辐射进行了估算,以验证旬辐射总量的估算精度。图2给出了2001年5月福山站卫星估计日辐射总量与实际测值的对比曲线。卫星资料估算辐射量的每日变化与实测结果有很好的—致性。各旬的太阳辐射总量估计值和实测值的比较见表1,旬辐射总量的估计误差在  $-14.8 \sim 7.5\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  之间,均方误差为  $7.7\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ; 平均相对误差为3.4%,最大可达6.6%。证明此方法是完全可行的。

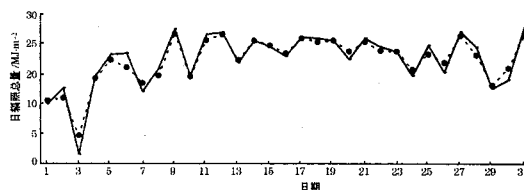


图2 2001年5月福山站卫星估算日辐射总量与实测值的比较

实线为实测太阳辐射总量,虚线为利用卫星资料估算的日辐射总量

表1 福山、莒县两站旬辐射总量估算值与实测值的比较

	1999年5月中旬		1999年10月上旬		1999年10月中旬		2001年5月上旬		2001年5月中旬		2001年5月下旬	
	福山	莒县	福山	莒县	福山	莒县	福山	莒县	福山	莒县	福山	莒县
估算值/ $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$	217.3	198.8	110.8	80.7	139.0	129.5	188.3	193.6	250.3	224.2	256.4	224.8
实际值/ $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$	213.4	201.9	112.8	75.8	135.1	122.0	190.6	207.3	250.0	239.0	257.3	237.8
误差/ $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$	3.9	-3.1	-2.0	4.9	3.9	7.5	-2.3	-13.7	0.3	-14.8	-0.9	-13.0
相对误差/%	1.8	1.5	5.3	6.4	2.9	6.1	1.2	6.6	0.1	6.2	0.3	5.5

#### 4 结 语

(1) 本文给出了适宜太阳辐射估计的卫星资料处理和旬太阳辐射估计方法。卫星观测的可见光反照率与太阳辐照度的统计关系表明,可见光反照率能较好的反映到达地面的太阳辐射状况,说明利用气象卫星资料估计到达地表太阳辐射是完全可行的。

(2) 利用卫星遥感资料估算到达地表的太阳辐射,可以得到卫星观测空间分辨率的辐射分布状况,对拓宽气象卫星服务领域有重要意义。本文提供的方法完全依赖于定量化的卫星数字资料,因此易于研制成自动化、定量化的旬太阳辐射估算系统。

(3) 估算结果与实际观测结果对比表明,卫星资料估算辐射量的每日变化与实测结果有很好的-一致性,旬辐射估计量的均方误差

为  $7.7\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , 平均相对误差为 3.4%。引起误差的主要原因是卫星观测的瞬时性和影响辐射的因素较多,如何减小估计误差还需进一步研究。

#### 参考文献

- 1 P. K. Rao 等编, 许健民等译. 气象卫星-系统资料及其在环境中的应用. 北京: 气象出版社, 1994: 394~399, 448~450.
- 2 陈渭民等. 利用 GMS 静止气象卫星资料估计青藏高原地区地面总辐射. 中国气象局“八五”期间气象科学基金研究论文汇编. 北京: 气象出版社. 1997: 230~240.
- 3 陈渭民等. 卫星气象学. 北京: 气象出版社. 1989: 46.
- 4 国家卫星气象中心. 静止气象卫星中规模资料利用站软件系统用户手册, 1995.
- 5 中国太阳能学会. 太阳辐射测量指南. 1984.

## Estimation of Dekad Solar Radiation with GMS-5 Data

Liu Wen Liu Hongpeng

(Shandong Institute Meteorological Science, Jinan 250031)

Wang Yanping

(Shandong Meteorological Observatory)

#### Abstract

The wider visible frequency range of GMS-5 satellite provides wonderful information for calculating solar radiation to reach the earth surface. First, the feasibility of estimating solar radiation using GMS-5 visible channel data is analysed, and the corresponding method of processing satellite data is given. Then, the statistical relation between the visible albedo and solar irradiance is established, and the estimating model of dekad solar radiation is also discussed. Through the comparison of dekad solar radiation estimating result with actual observation data, the mean square error is  $7.7\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , the mean relative error is 3.4%.

**Key Words:** GMS-5 visible channel data solar radiation estimation