

应用HIRS/2仪器资料计算长波辐射通量

刘全华 董超华 黎光清

(卫星气象中心)

提 要

辐射收支是影响气候演变的基本因素,而长波辐射通量又是辐射收支的重要组成部分。由于地气系统红外辐射过程的复杂性,如何利用NOAA系列气象卫星资料精确快速地估计长波辐射通量,迄今还存在问题。本文从遥感方程出发,建立了卫星测得辐射率值和(HIRS/2测得)长波辐射通量的准解析函数关系。利用这种准解析函数和精选的NOAA-10 HIRS/2五个通道辐射率测值,提出了精确快速计算长波辐射通量的方法,并得到验证。

一、引言

长波辐射通量是指地气系统在大气顶水平面上向外散发的热辐射通量,它与全球环流及气候变迁有强烈的相关性。美国NOAA系列气象卫星对全球作长期观察,它是估测长波辐射通量的有效工具。目前,国外许多学者从事这方面工作,但通常利用AVHRR信息计算射出长波辐射通量,我们认为使用HIRS/2资料,通过辐射模式计算,可以得到比AVHRR更高的长波辐射通量精度。并且从模式计算结果的分析看,我们得到的结果优于国际上现有算法的结果(1)。

二、卫星资料

本文采用的卫星资料,取自美国NOAA-10 TOVS资料中高分辨红外探测器2型(HIRS/2)资料。国家气象局卫星气象中心已能实时接收和处理NOAA气象卫星距地球表面800km以上的资料,它测量的信息即代表大气顶的信息。并且,NOAA气象卫星作全球观察,每天对地球观察两次,它观察的资料是研究长波辐射通量的最好的资料之

一。我们用HIRS/2第3、7、8、10、和12五个通道估计长波辐射通量。这里,第3通道含有卷云和高层大气的信息。第10和第12通道分别含有对流层低层和上层水汽的信息。第7和第8通道则含有低层大气和表面的综合信息。

三、长波辐射通量的表达式

用卫星辐射率值估算长波辐射通量的工作可分为下面两步:

(1) 用卫星测值计算与其相应的窄波段辐射通量(NOLR)。

(2) 用窄波段辐射通量计算长波辐射通量(OLR)。

1. NOLR的导出

NOLR可按Gube(1982)(2)的计算公式计算

$$F_i = a_i(\theta)R_i(\theta) + b_i(\theta) \quad (1)$$

这里, i 表示卫星光谱探测通道序号, $R_i(\theta)$ 为由卫星计数值定标后的辐射率值, θ 为局地天顶角, a 和 b 为回归系数。在Gube(1982)(2)的方法中,回归系数 a 和 b 是在固定的局地天顶角下用回归计算方法确定

的, 该方法不能描述回归系数 a 和 b 随局地天顶角的连续变化。本文应用 Gruber et al. (1985) (3) 经验的临边变暗订正公式,

$$R_i(\theta) = R_i(0) + [\alpha_i + \beta_i R_i(0)] (\sec\theta - 1) + [\gamma_i + \eta_i R_i(0)] (\sec\theta - 1)^2 \quad (2)$$

可得到

$$F_i = a_i(0)R_i(0) + b_i(0) = b_i(0) + a_i(0)[\alpha_i(\sec\theta - 1) + \gamma_i(\sec\theta - 1)^2] + a_i(0)[1 + \beta_i(\sec\theta - 1) + \eta_i(\sec\theta - 1)^2] \times R_i(0) \quad (3)$$

比较 (1) 式和 (3) 式得

$$a_i(\theta) = a_i(0) + \bar{\beta}_i(\sec\theta - 1) + \bar{\eta}_i(\sec\theta - 1)^2 \quad (4)$$

$$b_i(\theta) = b_i(0) + \bar{\alpha}_i(\sec\theta - 1) + \bar{\gamma}_i(\sec\theta - 1)^2 \quad (5)$$

这里 $a_i(0)$, $\bar{\beta}_i$, $\bar{\eta}_i$, $b_i(0)$, $\bar{\alpha}_i$ 和 $\bar{\gamma}_i$ 为回归系数。当这些回归系数确定后, 其公式 (4) 和公式 (5) 即能描述回归系数 $a_i(\theta)$ 和 $b_i(\theta)$ 随局地天顶角 θ 的连续变化。

2. 由NOLR估算OLR

采用多元线性回归公式, OLR表示为

$$OLR = c_0 + \sum_{i=1}^5 c_i F_i \quad (6)$$

这里采用了HIRS/2第3、7、8、10和12五个通道, 其中 c_i 为待定的回归系数。

四、回归系数的确定

1. 回归计算中数值样本的选择

本文从美国收集的1200条大气廓线中按高、中和低三个纬度带随机选择了110条大气廓线。在这110条大气廓线中, 90条大气廓线作为数值计算的独立样本, 另20条大气

廓线作为检验用。在计算中, 除用上述的晴空大气廓线外, 我们还分别在850hPa, 700hPa, 500hPa, 400hPa和300hPa五个标准气压层预定了黑体云以考虑有云情况。同时, 还考虑15种局地天顶角的情况, 从而使参与回归计算的样本为8100个。如此巨大的样本库, 包括了几乎各种大气状况。从而, 由此导出的回归系数能适用于各种大气。在考虑局地天顶角、云影响后, 作为检验用的样本数也扩充为360个。

2. 回归系数 $a_i(0)$, $\bar{\beta}_i$, $\bar{\eta}_i$, $b_i(0)$, $\bar{\alpha}_i$ 和 $\bar{\gamma}_i$ 的确定

从基本的遥感方程出发, 利用辐射模式(4)可直接计算公式 (1) 中的 F_i 和辐射率值 $R_i(\theta)$, 从而由回归算法(5)即能得到回归系数 $a_i(\theta)$ 和 $b_i(\theta)$ 。再通过公式 (4)

和公式 (5) 可确定回归系数 $\bar{\beta}_i$, $\bar{\eta}_i$, $\bar{\alpha}_i$ 和 $\bar{\gamma}_i$ 。本文采用的解析函数得到的回归系数 a_i , 与公式 (1) 直接计算的回归系数 a_i 比较, 精度约为千分之一。通常百分之一的精度就被认为是足够精确的了。由此可见, 我们采用的解析函数法十分成功, 它能方便地得到在任何局地天顶角下的系数 $a_i(\theta)$ 。回归系数 $b_i(\theta)$ 的值极小, 由它产生的计算误差对OLR的精度影响不足千分之一。图1绘出了由公式 (1) 和公式 (4) 计算的第3、7、8和10四个通道的回归系数 $a_i(\theta)$ 。因第12通道的回归系数 $a_i(\theta)$ 值很大, 不便于和其它4个通道的 $a_i(\theta)$ 在一张图上画出, 所以在图1中未绘出第12通道的 $a_i(\theta)$ 。从图1中可看出, 第7、8、10三个通道的系数 $a_i(\theta)$ 随局地天顶角的增大而增加, 这是常识中的临边变暗效应。但第3通道的回归系数 $a_i(\theta)$ 随局地天顶角的增大而减小。我们认为, 这种现象是由于卫星测得的第3通道的能量主要来自于对流层顶和平流层, 而平流层的温度常常高于对流层顶的温度。从而, 当局地天顶角增大时, 第3通道的权重函数上移, 卫星测得

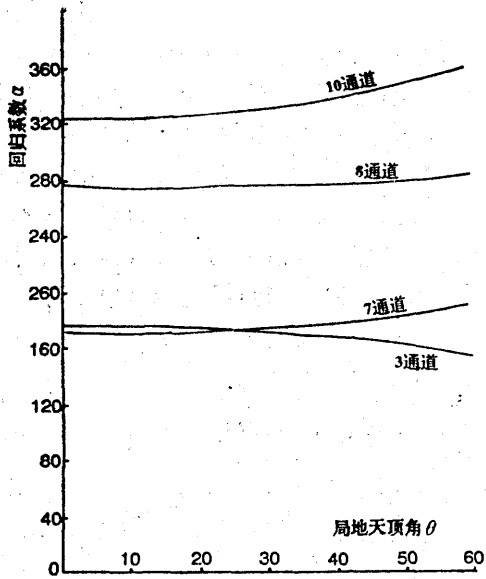


图 1 HIRS/2四个通道的回归系数

的辐射率值增大。表1给出了参与计算OLR的五个通道NOLR的直接计算结果与采用解析函数计算的结果的误差分析。如果用 E_i 表示表1中各通道的最大误差的绝对值,则

由公式(6)可估算出计算OLR的最大误差 E_{max} ,

$$E_{max} = \sum_{i=1}^5 |c_i| E_i = 5.2W \cdot m^{-2} \quad (7)$$

表 1 采用解析函数方法计算NOLR的误差分析

通道号	最大误差(取绝对值)	RMS
3	0.50	0.24
7	0.64	0.22
8	0.34	0.09
10	0.31	0.13
12	0.16	0.05

3. 回归系数 c_i 的确定

根据辐射模式计算的NOLR和OLR,利用公式(6)即可确定回归系数 c_i 。表2和表3分别列出了系数 $a_i(0)$, $\bar{\beta}_i$, $\bar{\eta}_i$, $b_i(0)$, $\bar{\alpha}_i$, $\bar{\gamma}_i$ 和 c_i 。

表 2 计算NOLR的回归系数

回归系数 通道号	$a(0)$	$\bar{\beta}$	$\bar{\eta}$	$b(0)$	$\bar{\alpha}$	$\bar{\gamma}$
3	176.378	-28.579	11.226	0.299	1.353	-0.598
7	171.976	21.475	-2.351	2.043	-0.960	0.115
8	276.104	8.972	-0.857	0.303	-0.373	0.036
10	324.140	41.800	-5.365	0.602	-0.487	0.071
12	653.234	218.488	-85.160	0.034	-0.416	0.270

表 3 由NOLR计算OLR的回归系数

c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
4.764	2.475	3.540	3.714	-1.146	9.778

五、计算OLR的光谱通道选择和分析

近年来,国外许多学者对用TOVS资料计算OLR抱有极大兴趣。文献[1]中采用NOAA系列气象卫星HIRS/2第3、第7、第10和第12四个通道,指出计算所得的OLR

的RMS可能为 $2W \cdot m^{-2}$,采用AVHRR资料,RMS则达 $7W \cdot m^{-2}$ 。用雨云7号红外窗区估计OLR的RMS则达 $11W \cdot m^{-2}$ (Ohring et al. (1984)) [6]。我们对下列三种情况作了统计分析:

1. 采用HIRS/2第3、7、10、12四个通道
2. 采用HIRS/2第3、7、8、10、12五个通道
3. 仅采用HIRS/2第8通道(红外窗

区通道)

HIRS/2第8通道的辐射率值和AVHRR第4通道的辐射率值具有非常好的线性关系⁽⁷⁾(见图2)。在本文的模式计算中并不涉及卫星观察视角的分辨率。因此,采用HIRS/2第8通道计算OLR的结果和用AVHRR第4通道计算OLR的结果应一样。表4中给出了上述三种情况的统计结果,可看出我们采用的五个通道组合方法最好。

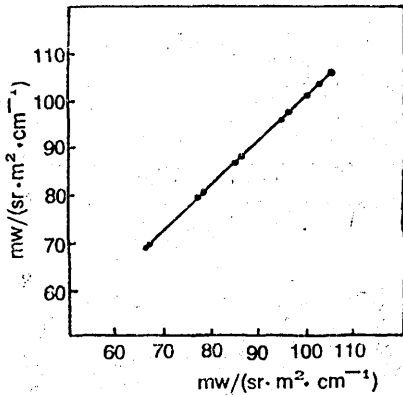


图2 HIRS/2第8通道(纵坐标)和AVHRR第4通道辐射率值(横坐标)的线性关系

表4 由三种通道组合方法得到OLR的误差分析

方法	最大误差(绝对值)	RMS	复相关系数
1	7.9	2.04	0.99945
2	5.2	1.68	0.99985
3	14.3	5.42	0.99035

六、讨论

地气系统的长波辐射能量主要集中在 $8\mu\text{m}$ — $15\mu\text{m}$ 波段内。因此,地气系统的长波辐射通量与红外窗区波段的亮温有强的依赖

关系,它应和红外窗区波段的亮温一样能够反映云系的辐射特性。我们制作了1988年8月7日02Z附近的OLR四轨拼图(图略),可以看出OLR图像既能清楚地反映台风和云系,又能反映台风区域中更细的层次。本文的主要目的是介绍遥测长波辐射通量的新方法。今后,在此基础上还须作月平均分析和研究OLR对云系的动力影响。

参 考 文 献

- (1) World Climate Programme, WCP-137, May 1987.
- (2) Gehe, M: Radiation Budget Parameters at the Top of the Earth's Atmosphere Derived from METEOSAT Data. *J. Appl. Meteor.* 21, 1907—1921(1982).
- (3) Gruber, A. and Jacobowitz: The Longwave Radiation Estimated from NOAA Polar Orbiting Satellite. *Adv. Space Res.*, 5, 111—120 (1985).
- (4) Schmetz, J. and Raschke: An Approximate Computation of Infrared Radiative Fluxes in a Cloudy Atmosphere. *Pure Appl. Geophys.* 119, 248—258 (1981).
- (5) 中国科学院数学研究所数理统计组编:回归分析方法. 科学出版社(1970年).
- (6) Ohring, G., A. Gruber, and R. Ellingson: Satellite Determination of the Relationship between Total Longwave Radiation and Infrared Window Radiance. *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 23, 416—425(1984).
- (7) Tadao Aoki: A Method for Matching the HIRS/2 and AVHRR Pictures of TIROS-N Satellite. *Meteorological Satellite Center Technical Note (Japan)*, Number 2, October 1980.

Calculation of longwave radiation flux
using HIRS/2 instrument measurements

Liu Quanhua Dong Chaohua Li Guangqing

(Satellite Meteorology Center)

Abstract

In this paper, a quasi-analytic function relation of the measurements for radiation measurements made by satellite and longwave radiation flux made by HIRS/2 is given based on a radiative transfer equation. An accurate and fast method of calculating longwave radiation flux is generated and examined using NOAA-10 HIRS/2 five channels measurements.