

利用美国NOAA卫星遥测云顶高度的数值试验

董超华 刘玉洁 张凤英 许熙 黎光清

(卫星气象中心)

提 要

无论从气象角度还是气候角度讲,对卫星云辐射测值进行反演判释研究,从而提取诸如云顶高度、云顶温度、云的放射率、云厚以及云的含水量等参数都十分必要。本文主要介绍用NOAA卫星红外和微波通道测值,按其辐射率差比方法,定量判释两层云高的初步数值试验结果。经与地面实况对照分析表明:适当选择两组探测通道组合可以遥感两层云高,但还不能判释出中云和低云并存时各自的高度。

一、引 言

从气象角度讲,天气的具体特征是通过云系表现出来的,所有灾害性天气系统都伴随云的发生和发展。从气候角度讲,近年来,利用气象卫星遥感云参数日益受到重视。由于中长期天气预报(包括数值天气预报)和全球气候演变的研究迫切需要全球的云参数和三维结构的云气候资料。1983年以来,国际卫星云气候计划(ISCCP)就开始收集卫星遥感的均匀分布的辐射率,从而定量判释云参数,大力开展云参数对地球辐射收支影响的研究^[1]。

前些年,有些学者探索使用几个红外通道遥测云参数的可能性。Smith和Woolf(1976)提出,用统计协方差从HIRS辐射率判释云高和云量。Liou(1977)应用辐射传递方程参数化技术,从红外长波窗光谱通道估计卷云云量和它的厚度。还有McCleese和Wilson(1976),以及Chahine等(1977)建议使用 $15\mu\text{m}$ 或 $4.3\mu\text{m}$ 吸收带通道辐射测值反演云高和云量。

近来,Weilicki和Coakley(1981),以及Yeh(1984)等使用红外通道与窗区辐射率反演云参数。但是,由于系统云系的多层结构,各类云层在红外遥感波段在很大程度上实际不透明,而在微波光谱区大多数云层是透明的。这样,存在着适当选择组合红外和微波通道遥感多层云高的可能性。本文主要介绍利用红外和微波通道组合,按其辐射率差比方法,定量判释两层云顶高度的初步试验结果。

二、云高的遥感模式

1. 红外

假定卫星扫描辐射仪的瞬时视场(IFOV)部分有云,如果不考虑云的反射辐射,则卫星测得的辐射率 $I(\nu_i)$ (i 表示选用的探测通道序号),应包含两部分贡献:一部分是晴空辐射率 $I_{e1}(\nu_i)$;另一部分是云辐射率 $I_{cd}(\nu_i)$ 。

对于IFOV中有云的情况,在通道波数为 ν 时,由卫星所测得的云顶表面的辐射率 $I_{cd}(\nu)$,由下列遥感方程确定

$$I_{cd}(\nu) = B[\nu, T(p_{cd})] \tau(\nu, p_{cd})$$

$$- \int_0^{p_{cd}} B[\nu, T(p)] \frac{d\tau(\nu, p)}{d \ln p} d \ln p \quad (1)$$

式中, p_{cd} 是云顶气压; $B[\nu, T(p_{cd})]$ 是在通道波数为 ν 和温度为 $T(p_{cd})$ 的Planck辐射率; $\tau(\nu, p_{cd})$ 表示通道波数为 ν ,由云顶气压 p_{cd} 到卫星高度($p=0$)之间的大气透过率。

在方程(1)中,假定云层表面的放射率 $\epsilon(\nu)$ 为1,这个假定意指黑体云。按前述,如果非黑体云的反射率可以不计,则放射率 $\epsilon(\nu)$ 和透射率 $\tau(\nu)$ 满足下列关系。

$$\epsilon(\nu) + \tau(\nu) = 1 \quad (2)$$

据此,在IFOV中,由非黑体云所占的云覆盖数(简称云量)和黑体云所占的云覆盖数 $\epsilon(\nu) A_{cd}$ 等效。称 $\epsilon(\nu) A_{cd}$ 为有效云量。因此,当IFOV部分有云时,由卫星观测的辐射率由下式确定

$$I(\nu) = I_{cl}(\nu) + \epsilon(\nu) A_{ca} [I_{ca}(\nu) - I_{cl}(\nu)] \quad (3)$$

式中, A_{ca} 表示实际的云量, 并定义 $\alpha(\nu) = \epsilon(\nu) A_{ca}$.

2. 微波

在上段中讨论了一层云的遥感方程, 对方程(2)作了近似简化。就红外探测通道而论, 在中低云情况下, 由于云的不透明性, 云层或云层下的向上热辐射通常不能穿透云层, 卫星观测到的只是发自最高一层云顶表面的射出辐射, 因而自然可以利用方程(3)测得一层云的高度。但是在两层以上的云系条件下, 要用红外技术测两层云高就十分困难。我们认为合理利用微波穿云的有限特性, 有可能通过反演, 从红外和微波探测通道的适当组合信息中判释出两层云高。为此, 我们假定低层云底均接近地表面, 因此云顶高度也就接近云层厚度, 按 Liou(1980) [2] 可将低层云的微波辐射传递方程写成

$$T_B(\nu) = T(\nu, p_s) \tau(\nu, p_s) - \int_0^{p_{cd}} T(\nu, T(p)) \frac{d\tau(\nu, p)}{d \ln p} d \ln p \quad (4)$$

式中, $T_B(\nu)$ 是微波的亮度温度测量。

三、数值试验

在数值试验中, 我们所用资料包括1984年2月17日北京HRPT站接收的NOAA-7卫星的辐射率测量; 美国国家地球卫星局(NESDIS) TOVS透射率和晴空辐射率资料。NOAA-7是TIROS-N系列中第三颗卫星, TIROS-N卫星系列在遥感设计上的最大改进, 是克服云对红外测温的干扰。在探测器设计上采取了两项措施: 其一, 可将一系列连续瞬时视场红外信号, 处理成单个有代表性的扫描点信号, 改善提取晴空辐射率算法精度, 以及缩小IFOV增加透过碎云隙的可能性。其二选择微波通道减轻水滴对微波热辐射的影响。因此, 在有云条件下, 还可以通过微波通道测得发自高云之下的中低云层的热辐射。设计上的这些改进, 有利于发展云参数的遥感反演理论和判释算法。表1列出与云参数有关的HIRS/2和MSU探测器通道性能。

如上所述, 为了确定两层云高, 我们选择了红外和微波通道组合。图1表示HIRS/2和MSU两相邻轨道扫描点的几何图形。

表 1

TOVS测云通道特性

仪 器	通道	中心波数	主要吸收成分	峰值能量贡献层	观 测 目 的
HIRS/2	4	704cm ⁻¹	CO ₂	400hPa	感应大气冷区比4.3μ通道灵敏, 能计算
	6	732cm ⁻¹	CO ₂ /H ₂ O	800hPa	视场内云高和云量
MSU	3	54.96GHz	O ₂	300hPa	对云有穿透能力
	2	53.73GHz	O ₂	700hPa	

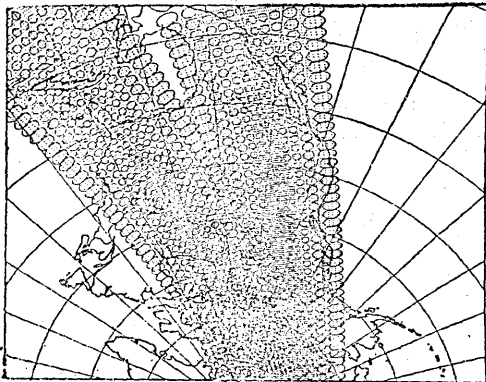


图 1 HIRS/2和MSU两相邻轨道扫描的几何图形

其中, 小黑点表示HIRS/2的扫描点, 在星下点, 它的分辨单元是以17.4km为直径的圆面积; MSU在星下点的分辨单元是以109km为直径的圆面积。由于微波的IFOV比红外大得多, 因此, 反演前, 必须将MSU扫描点信息合理地插值到相应的红外扫描点上, 以便将二者统一起来。

1. 通道选择

在上述所用的模式中, 为了遥感多层云高, 我们选择了如下的两组不同的探测通道组合。

a. 利用HIRS/2的第4通道(704cm⁻¹)和第6通道(732cm⁻¹), 以及相应的通道晴空辐射率, 测量高云云高。

b. 利用 HIRS/2 的第 4 通道和第 6 通道, 以及微波辐射计 MSU 的第 2 通道 (53.73GHz) 和第 3 通道 (54.96GHz) 遥感低层云高。

2. 计算过程

如果用两个相邻且对云敏感的通道观测同一视场, 则由方程 (3) 得到

$$\frac{\alpha(\nu_2)[I(\nu_1) - I_{cl}(\nu_1)]}{\alpha(\nu_1)[I(\nu_2) - I_{cl}(\nu_2)]} = \frac{\int_{p_{cd}}^{p_a} \tau(\nu_1, p) \frac{dB[\nu_1, T(p)]}{dp} dp}{\int_{p_{cd}}^{p_a} \tau(\nu_2, p) \frac{d[\nu_2, T(p)]}{dp} dp} \quad (5)$$

并令 (5) 式 = C_h 。

式中符号意义同前。对于红外和微波而言, 由于选用的通道彼此邻近, 因此 $\alpha(\nu_1) \approx \alpha(\nu_2)$ 。消去 (5) 式中的 α , 并令

$$F = \frac{I(\nu_1) - I_{cl}(\nu_1)}{\int_{p_{cd}}^{p_a} I(\nu_2) - I_{cl}(\nu_2)} \quad (6)$$

计算云顶高度 (p_{cd}) 的步骤如下:

(1) 利用卫星资料反演大气温度廓线, 并内插到 85 个气压层上 (1000hPa—0.1hPa)

(2) 计算通道的大气透过率, 并内插到 85 个气压层上, 然后构造相应的权重函数矩阵。

(3) 取反演温度为初估值, 按普通辐射传递方程计算晴空辐射 I_{cl} (对于微波, 我们直接取通道测值作为 I_{cl}), 同时给出 p_{cd} 的初估值。

(4) 计算 F 和 C_h 。

(5) 判断 F 和 C_h 之差的绝对值是否满足给定的允许误差 δ , 即

$$|F - C_h| \leq \delta \quad (7)$$

如果 (7) 式不满足, 则

(6) 调整⁽³⁾ I_{cl} 和 p_{cd} (对于微波只调整 p_{cd} 值), 重复 (4) — (6) 的步骤, 直至 (7) 式满足, 便找到了所求的云顶高度值。在数值试验中, 我们取 $\delta = 0.2 \text{ mW}/(\text{sr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-1})$ 。

3. 计算结果

为了检验用红外和微波通道组合遥感云

高的可信度。我们在图 2 中的华南锋面云系地区任意取 4 个样本点, 在华北低压区任取

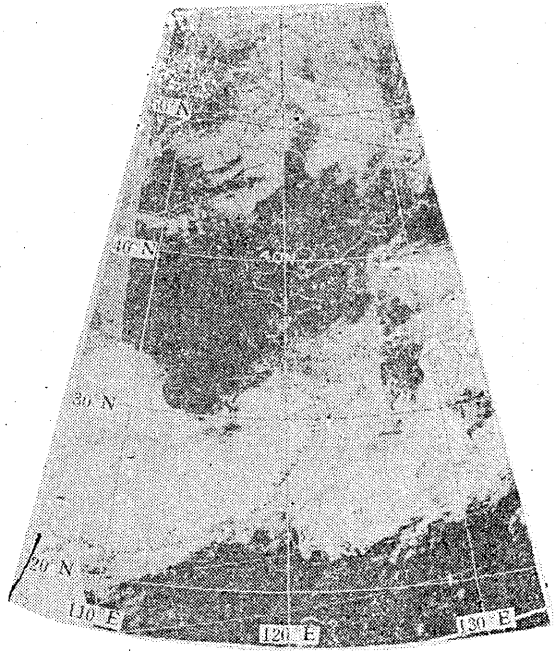


图 2 AVHRR 可见光通道极地投影云图 (1984 年 2 月 17 日 07Z)

2 个样本点, 它们所在的地理位置分别用序号和经纬度表示: 1 (23.77°N, 120.74°E)、2 (24.99°N, 125.66°E)、3 (27.34°N, 125.85°E)、4 (27.94°N, 116.13°E)、5 (47.71°N, 128.94°E) 和 6 (50.7°N, 127.04°E)。之后根据选定的 a 和 b 两组通道, 按上节所述的计算过程算出云高。为了对云高计算结果进行地面真实性检验, 我们把 1984 年 2 月 17 日 07Z 卫星反演结果, 和 1984 年 2 月 17 日 06Z 地面观测天气实况列在表 2 中。从表 2 直接看出, 利用 A 组通道可以遥测高云云高; 同时使用 B 组通道一般可以遥测较低层云 (包括中低云层) 系的云顶高度。除此之处, 还有:

(1) 在华北偏北地区, 第 5 号样本点所在测站附近, 为中云 (高层云或雨层云) 并出现一小片雪区, 因此, 在中云之上是否还有高云, 地面目测受到限制, 而用卫星 a、b 两组通道组合方法与上述资料, 通过方程 (5) 分别算出高云云高为 250hPa、中云云高为

表 2

卫星反演的云顶高度和地面观测实况的比较

样本点序号	样本点地理位置		卫星反演点云层高度 (hPa)		测站点近似地理位置		测站点云层类型 (高、中、低)
	纬度(°N)	经度(°E)	A	B	纬度(°N)	经度(°E)	
1	23.77	120.74	250	660	23.9	119.2	低云 (不同高度的积云和层积云), 全天云
2	24.99	125.66	250	620	25.0	125.0	中、低二层云 (高层云, 浓积云), 全天云
3	27.34	125.85	250	610	28.3	128.3	低云 (积雨云, 阵性降水), 全天云
4	27.94	116.16	250	610	28.7 27.3	116.2 117.1	中、低二层云 (复高积云, 层积云), 全天云
5	47.71	128.94	250	620	48.0 46.0	128.0 126.5	中云 (高层云, 有雪), 全天云
6	50.7	127.04	250	320	50.5	126.6	中云 (透光高积云), 全天云

620hPa。同时用相同算法和资料算出第 6 号样本点为两层较高云层, 其云高分别为 250 hPa 和 320hPa, 这与地面观测的透光高积云以及在此云层以上可能存在的高云一致。

(2) 地面天气图上华南地区四个样本点所在测站, 其中第 1 和第 3 号样本点所在地附近只有低云, 由于全天有云, 所以难于从地面观测到高云, 另一方面也说明, 由于受当前遥感技术水平限制, 使用红外和微波通道组合技术, 仍难于遥测中低云并存条件下各自不同的云高。

天气图上所示云状和云高, 一般是目测结果, 目测是地对空观测云层, 通常只能观测到云底高度, 而卫星是空对地观测云系, 一般只能测出云顶高度, 由于视向不同, 因此使用天气图实况检验卫星遥感云高, 自然带有局限性。例如我们分析卫星云图(图 2),

清楚看出华南锋面云系是多层云系结构。这与计算结果大致相符。

四、初步结论

1. 将卫星遥测云高和地面实况 (包括卫星云图) 对照, 大体可以认为, 使用所选择的两组探测通道组合可以遥感两层云高。但还不能判释出中云和低云并存时各自的高度。

2. 用卫星 TOVS 资料算出的高云云高存在偏高的问题, 这可能与选择的通道有关, 拟对此进一步试验, 探索多层云高及其它云参数的遥感模式和反演算法。

参考文献

- (1) Schiffer, R. A., & W. B. Rossow, Bull. Amer. Meteor. Soc., 64, 779-784, 1983.
- (2) Liou, K. N., J. Appl. Meteor., 16, 91-99, 1977.
- (3) Weilicki, B. A., & J. A. Coakley, Jr., J. Appl. Meteor. 20, 157-169, 1981.

Numerical study on cloud top heights with the NOAA satellite radiance measurements

Dong Chaohua, Liu Yujie

Zhang Fengying, Xu Xi, Li Guangqing

(Satellite Meteorological Center)

Abstract

It is necessary to study cloud parameter retrievals from cloud radiance measurements in order to obtain cloud-top height and temperature, cloud emissivity and thickness, and perhaps cloud water content etc.. This paper presents the preliminary results of the numerical test for retrieving two-level cloud height from a radiance ra-

tioning method using NOAA satellite radiance measurements in the $15\mu\text{m}$ carbondioxide band and $5.5\mu\text{m}$ oxygen band (i. e. infrared and microwave channels). The comparison between the calculated and ground-thuth data shows that two-level cloud height can be obtained using a proper combination of two sets of channel measurements, but if middle and low level clouds simultaneously occur these cloud heights can not be classified.