

利用 NOAA-AVHRR 观测数据反演 云辐射特性的一种迭代方法*

赵凤生^① 丁强 孙同明

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥, 230031) (郑州工程学院, 郑州, 450052)

孔庆欣 胡雯 荀尚培 邵鸿飞

(安徽省气象科学研究所, 合肥, 230061)

摘要

在可见光谱区, 云的反射函数主要依赖于云的光学厚度; 在近红外和中红外光谱区, 云的反射函数主要依赖于云滴有效半径。根据上述原理, 我们开发了一个利用 NOAA-AVHRR 观测资料同时反演云的光学厚度和云滴有效半径的迭代方案。将该方案用于分析中国东海上空冬季层积云的辐射特性, 取得了较为合理的结果。

关键词: 云的光学厚度, 云滴有效半径, 卫星遥感。

1 引言

众所周知, 云在地气系统辐射收支平衡和全球气候变化研究中起着非常重要的作用。云和辐射的相互作用不仅严重地影响着长期气候变化, 而且也影响着中尺度气象过程。Cess 等人^[1,2]对不同大气环流模式(GCM)进行了比较, 指出采用现有的环流模式模拟温室气体的气候效应, 其结果存在着很大的不确定性, 而产生这种不确定性的主要原因之一是人们对云辐射特性及其如何随气候变化而变化缺乏足够的了解。

云的光学厚度和云滴有效半径是决定云辐射特性的两个重要参数。几十年来, 人们对这两个参数进行了不少地面和飞机观测。但是, 由于这两个参数具有较强的空间和时间变化特性, 在某个地区或某个季节观测的云的光学厚度和云滴有效半径对其他地区或其他季节可能不具有代表性。因此, 对于了解云辐射特性的时空分布而言, 仅仅依赖于实地观测是不够的。

由于卫星观测资料包含了较为丰富的云辐射特性空间和时间变化信息, 利用卫星观测资料反演云

的光学厚度和云滴有效半径的研究日益受到人们的重视。近年来已有不少有关利用卫星观测资料反演云的光学厚度和云滴有效半径的方法和应用结果的文章发表(如 Arking 和 Childs^[3], Han 等人^[4]; Plattnick 和 Valero^[5], 刘健、许健民和方宗义^[6])。卫星遥感云的光学厚度和云滴有效半径的基本原理是在可见光波段, 云的反射函数主要依赖于云的光学厚度; 在近红外或中红外波段, 云的反射函数主要依赖于云滴有效半径^[3]。根据上述原理, 本文建立了一种利用 AVHRR 0.64 μm 和 3.75 μm 通道测量的辐射率同时反演云的光学厚度和云滴有效半径的迭代方法并将其应用于分析中国东海上空冬季层积云的辐射特性。

2 辐射传输计算简介

由于 AVHRR 各通道测量的辐射率同时依赖于大气散射和吸收, 本文将 LOWTRAN-7^[7]中计算分子吸收的 K-分布方法和用于计算散射大气辐射传输的离散纵标法^[8]结合起来, 建立了一个在散射、分子吸收和热辐射过程同时存在条件下的辐射传输计算程序。计算中各通道的波长积分采用梯形

* 初稿时间: 2001 年 8 月 9 日; 修改稿时间: 2002 年 7 月 19 日。

资助课题: 国家 863-308-14-05(1) 课题: 利用 NOAA-K 数据做云与降水的分析研究。

① 现在工作单位: 国家卫星气象中心。

积分公式。将每个通道按波长等分为 10 个间隔, 每个分点上的辐射强度为

$$I(\mu, \phi) = \sum_{i=1}^3 f(k_i) I_i(\mu, \phi), \quad (1)$$

式中 $f(k_i)$ 为取自 LOWTRAN-7 中的 K-分布函数, μ 是观测天顶角的余弦, ϕ 是方位角, $I_i(\mu, \phi)$ 是与吸收系数 k_i 对应的辐射强度, 可以通过求解如下辐射传输方程得到:

$$\frac{dI_i(\mu, \phi)}{d\tau_k} = -I_i(\mu, \phi) + \frac{\omega_k}{4\pi} \int_{\Omega} P(\mu, \phi, \mu', \phi') \cdot I_i(\mu', \phi') d\Omega + \frac{\omega_k}{4\pi} P(\mu, \phi, \mu_0, \phi_0) \cdot \pi F e^{-\tau_k/\mu_0} + (1 - \bar{\omega}_k) B(\tau_k) \quad (2)$$

式中 μ_0 和 ϕ_0 是太阳天顶角的余弦和方位角, $B(\tau_k)$ 是普朗克函数(为书写方便, 省去了 k_i 中 i 下标), πF 是太阳入射在大气层顶的辐射强度, τ_k 是大气光学厚度, 可以表达为云光学厚度 τ_c 、气溶胶光学厚度 τ_p 、分子散射光学厚度 τ_m 和分子吸收光学厚度 τ_{ak} 之和:

$$\tau_k = \tau_c + \tau_p + \tau_m + \tau_{ak} \quad (3)$$

单次散射反照率 $\bar{\omega}_k$ 可以表达为

$$\bar{\omega}_k = \frac{\tau_c \bar{\omega}_c + \tau_p \bar{\omega}_p + \tau_m}{\tau_k} \quad (4)$$

式中 $\bar{\omega}_c$ 和 $\bar{\omega}_p$ 分别是云和气溶胶的单次散射反照率, 散射相函数 $p(\mu, \phi, \mu', \phi')$ 由云散射相函数 $p_c(\mu, \phi, \mu', \phi')$ 、气溶胶散射相函数 $p_p(\mu, \phi, \mu', \phi')$ 和分子散射相函数 $p_m(\mu, \phi, \mu', \phi')$ 加权平均得到:

$$P(\mu, \phi, \mu', \phi') = [p_p(\mu, \phi, \mu', \phi') \tau_p \bar{\omega}_p +$$

$$p_c(\mu, \phi, \mu', \phi') \tau_c \bar{\omega}_c + p_m(\mu, \phi, \mu', \phi') / \tau_c \bar{\omega}_c + \tau_p \bar{\omega}_p + \tau_m] \quad (5)$$

求解方程(2)的方法为离散纵标法。计算中大气分为 17 层, 大气微量气体浓度、温度递减率和相对湿度廓线(云层内部除外)与美国标准大气^[9]相同。由于气溶胶光学厚度远小于云的光学厚度, 本文忽略了气溶胶散射辐射。考虑单层云的情况。在云层内部, 相对湿度假定为 102%。云滴谱为单模分布:

$$n(r) = \frac{C}{(2\pi)^{1/2} r \ln^2 \sigma} \exp\left[-\frac{(\ln r - \ln r_0)^2}{2 \ln^2 \sigma}\right] \quad (6)$$

式中, r 是云滴半径, $n(r)$ 是半径在 r 和 $r + dr$ 范围内的云滴数密度, C 是云滴总数密度, r_0 是模式半径, $\sigma (= 1.48)$ 是几何标准偏差。在通常情况下水云的散射相函数、单次散射反照率和消光、散射截面主要取决于如下定义云滴有效半径^[10]:

$$r_e = \frac{\int \pi r^2 r n(r) dr}{\int \pi r^2 n(r) dr} \quad (7)$$

由式(6)和(7), 可以得到云滴有效半径与模式半径和几何标准偏差的关系:

$$r_e = r_0 \exp\left(\frac{5}{2} \ln^2 \sigma\right) \quad (8)$$

3 原理和方法

利用 AVHRR 0.64 μm (channel 1) 和 3.75 μm (channel 3) 通道辐射率反演云光学厚度和云滴有效半径的原理如图 1 所示。由图 1a 可以看出, 当 r_e 位于 5~10 μm 之间时, 0.64 μm 通道辐射率随 r_e

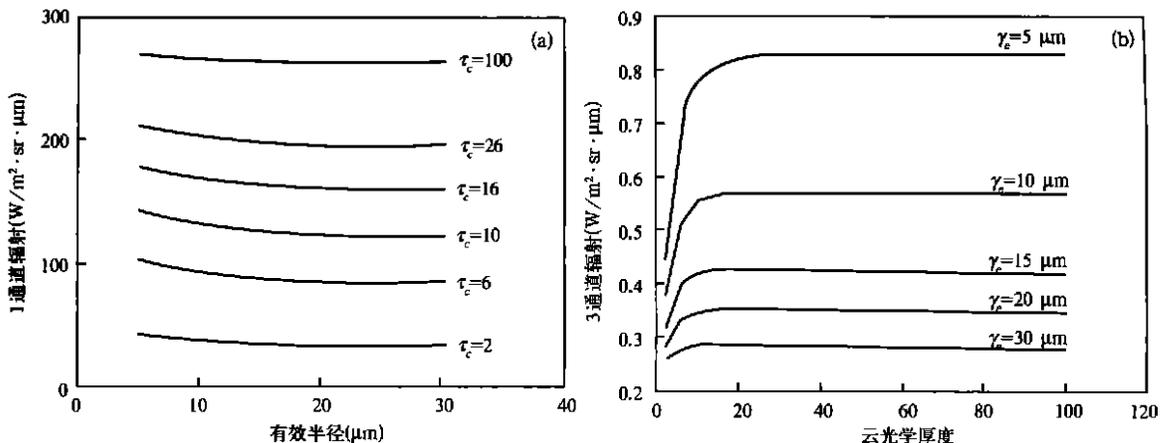


图 1 辐射率随云光学厚度和云滴有效半径变化关系的数值计算

(a. AVHRR0.64 μm 通道, b. AVHRR3.75 μm 通道; μ_0, μ 和 ϕ 分别为

0.64, 0.94 和 45° 。地表和云顶温度分别为 293.5 和 287.2 K)

的增大缓慢减小;当 r_e 大于 $10 \mu\text{m}$ 时, $0.64 \mu\text{m}$ 通道辐射率对 r_e 的变化不敏感。另一方面, $0.64 \mu\text{m}$ 通道辐射率对 τ_c 的变化比较敏感。随着光学厚度的增加, $0.64 \mu\text{m}$ 通道辐射率增大。因此, $0.64 \mu\text{m}$ 通道测量的辐射率适用于反演云的 τ_c 。图 1b 给出了 AVHRR $3.75 \mu\text{m}$ 通道辐射率随 τ_c 和 r_e 的变化关系。当 τ_c 较小时(如 $(\tau_c < 6)$), 辐射率随 τ_c 的增大而增大, 但其对 τ_c 变化的灵敏度远小于 $0.64 \mu\text{m}$ 通道辐射率对 τ_c 变化的灵敏度。由于云滴对 $3.75 \mu\text{m}$ 辐射具有较大的吸收系数且云滴吸收系数随 r_e 的增大而增大, 当光学厚度达到一定的值时(大约 $\tau_c > 6$), $3.75 \mu\text{m}$ 通道辐射率对 τ_c 的变化不太敏感。由于在 $3.75 \mu\text{m}$ 处云滴吸收系数和不对称因子都随 r_e 的增大而增大, 因此云的反射函数随 r_e 的增大而减小, 从而导致 $3.75 \mu\text{m}$ 通道辐射率随 r_e 的增大而减小。比较图 1a 和图 1b 可以看出, $3.75 \mu\text{m}$ 通道辐射率对 r_e 变化的灵敏度远大于 $0.64 \mu\text{m}$ 通道辐射率对 r_e 变化的灵敏度, 因此可以采用 $3.75 \mu\text{m}$ 通道测量的辐射率反演云滴有效半径。应该指出的是, $3.75 \mu\text{m}$ 通道辐射率不仅依赖于云的反射函数, 同时也依赖于热辐射。图 2 给出了考虑和不考虑热辐射情况下 $3.75 \mu\text{m}$ 通道辐射率的对比。可以看出, 热辐射和散射辐射占总辐射的比率随 r_e 的变化而改变。在图 2 所示的云顶温

度和散射几何条件下, 当 $r_e = 5 \mu\text{m}$ 时, 热辐射大约为散射辐射的 $20\% \sim 34\%$ 。当 $r_e = 20 \mu\text{m}$ 时, 热辐射和散射辐射的大小基本相当。热辐射的大小主要取决于云顶温度。由于 AVHRR 具有 $11 \mu\text{m}$ 的大气窗口通道, 云顶温度可以通过比较计算和观测的 $11 \mu\text{m}$ 通道的辐射率得到。

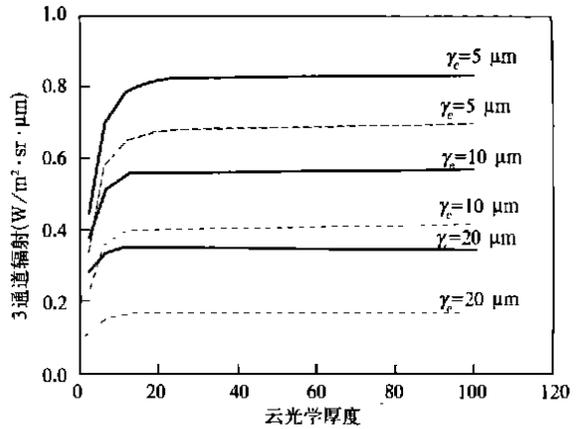


图 2 $3.75 \mu\text{m}$ 通道辐射率
(实线: 热辐射+ 散射辐射; 虚线: 散射辐射;
温度和散射几何参数与图 1 相同)

根据上述 AVHRR 0.64 和 $3.75 \mu\text{m}$ 通道辐射率对云的光学厚度和云滴有效半径的敏感性分析, 建立了一个利用 AVHRR 观测资料反演海洋上空水云光学特性的迭代方案。图 3 给出了反演方法的

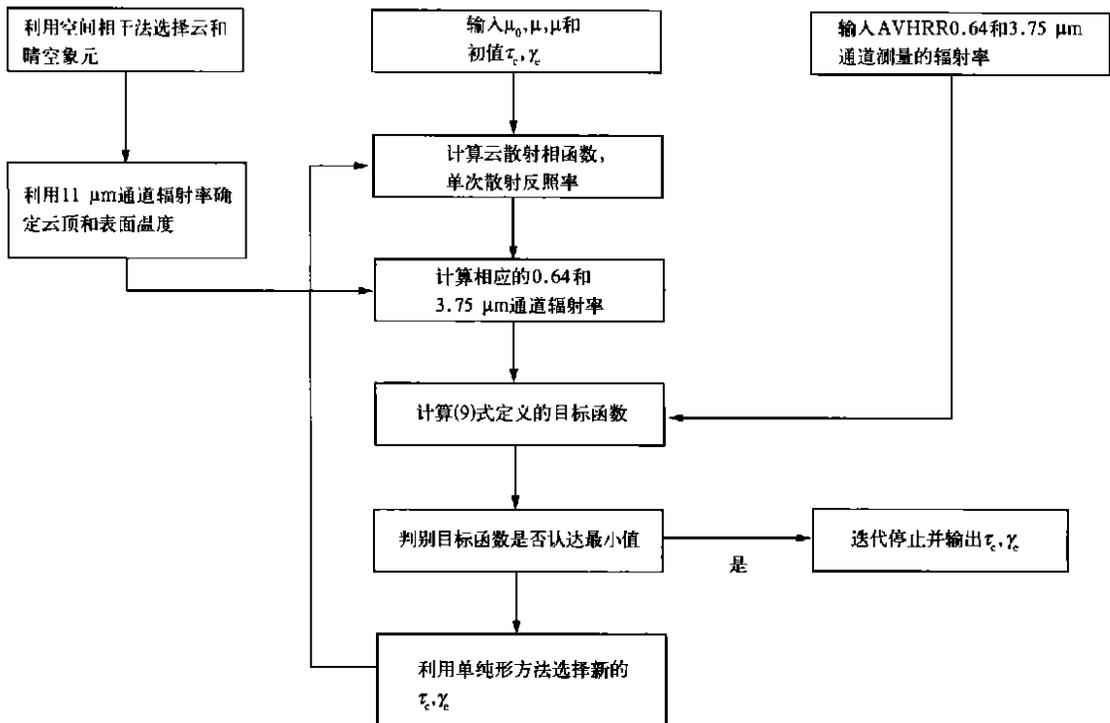


图 3 反演方法示意

示意。反演从选择云象元开始。云识别方法为空间相干方法^[11]。采用 11 μm 通道的辐射率做局地标准偏差, 然后绘出局地标准偏差随云顶辐射亮温变化的离散图。离散图一般呈拱形。位于低温和高温拱角处的象元分别对应于完全被云覆盖和晴空象元。在选取象元以后, 通过比较 11 μm 通道辐射率的观测和理论计算值确定云顶温度和地表温度。选取 0.64 和 3.75 μm 通道辐射率的观测和计算值的标准偏差作为目标函数:

$$\delta = \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left(1 - \frac{I_i^c(\tau_c, r_e, \theta, \Phi)}{I_i^m} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

式中 $I_i^c(i=1, 2)$ 和 $I_i^m(i=1, 2)$ 分别表示 0.64 和 3.75 μm 通道辐射率的计算和观测值, 云光学厚度 τ_c 和云滴有效半径 r_e 通过最小化目标函数求得。为了最小化方程(9)定义的目标函数, 我们采用了单纯形迭代算法^[12]。将云顶温度、地表温度、散射几何参数和 τ_c 、 r_e 的初始值代入辐射传输方程, 计算云滴的散射相函数和单次散射反照率。通过求解辐射传输方程得到 0.64 和 3.75 μm 通道辐射率。由方程(9)计算目标函数。判断目标函数是否达到一个给定的极小值。如果不满足判据, 利用单纯形方法求出一组新的 τ_c 和 r_e 。重复上述步骤直到收敛判据得到满足。对应于目标函数最小值的 τ_c 和 r_e 即为利用辐射率 $I_i^m(i=1, 2)$ 反演得到的云光学厚度和云滴有效半径。在实际反演中为了节省计算时间, 建立了不同散射几何、不同云光学厚度和云滴有效半径、不同地表温度和云顶温度条件下的 0.64 和 3.75 μm 通道辐射率计算值数据库。在反演过程中 0.64 和 3.75 μm 通道辐射率的计算值由内插得到。

4 误差分析

云光学厚度的反演误差主要来源于仪器测量误差、云滴有效半径不确定性和表面反射率的不确定性。仪器测量误差对光学厚度反演精度的影响取决于测量误差的大小和 0.64 μm 通道辐射率对光学厚度的敏感程度。图 4 给出了 0.64 μm 通道辐射率随光学厚度的变化曲线。根据对图 4 所示变化曲线的分析, 对于较小或适中的光学厚度, 如 $\tau_c \leq 20$, 5% 的仪器测量误差引起的 τ_c 反演误差小于 10%。随着 τ_c 的增大, 辐射率对 τ_c 的敏感性逐渐降低。因此在同样的测量误差条件下 τ_c 的反演误差随 τ_c 的增大而增大。当 $\tau_c = 30$ 时, 5% 的测量误差会引

起大约 15% 的光学厚度反演误差。当 τ_c 很大时, 如 $\tau_c > 40$, 反演误差可达 20% 以上。由图 4 还可以看出, 当 r_e 为 10 μm 时, 如果采用 r_e 为 15 μm 的云滴谱反演云光学厚度, 反演误差大约在 5% ~ 10% 之间。由于实际大气中云滴有效半径的变化范围大于 5 μm , 这一结果说明同时反演云光学厚度和云滴有效半径将有助于提高光学厚度的反演精度。在海洋上空, 海水表面反射率不确定性主要来自于风速的不确定性。海水表面反射的大小与反射方向和太阳入射方向之间的夹角密切相关。在镜反射角区域, 表面反射对 0.64 μm 通道辐射率的影响很大。而在远离镜反射的角区域, 有云情况下表面反射对 0.64 μm 通道辐射率的贡献很小, 风速不确定性的影响可以忽略。因此在反演云光学特性时, 避开了海水表面镜反射区。

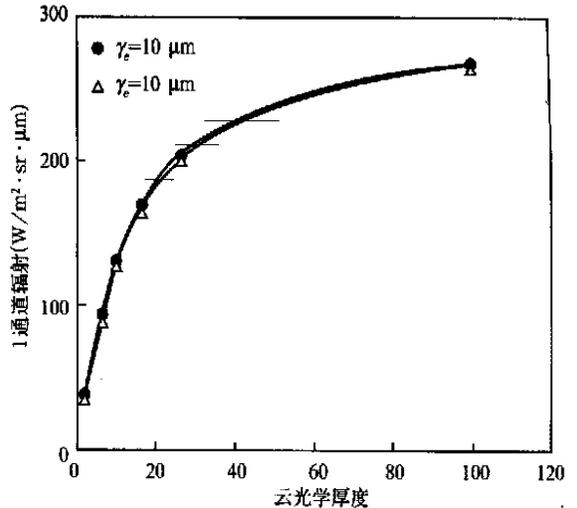


图 4 0.64 μm 通道辐射率随光学厚度的变化曲线 (图中短横线表示 $\tau_c = 20, 30$ 和 40 时, $\pm 5\%$ 的测量误差对应的光学厚度反演误差; 计算中散射几何参数与图 1 相同)

云滴有效半径的反演误差主要来自于 3.75 μm 通道辐射率的测量误差以及云顶温度和水汽吸收的不确定性。图 5 显示的是 3.75 μm 通道辐射率随云滴有效半径的变化曲线。由图 5 可以看出, 随着 r_e 的增大, 辐射率对 r_e 的敏感性逐渐降低。因此在同样的测量误差条件下反演误差随 r_e 的增大略有增大。由变化曲线可以估计出当 $r_e \leq 20 \mu\text{m}$ 时, 5% 的辐射率测量误差引起的有效半径反演误差小于 1~2 μm 。图 6a 和 6b 分别给出了不考虑和考虑热辐射时 3.75 μm 通道辐射率随云顶温度的变化关系。在图 6a 中, 虽然扣除了热辐射的贡献, 但由于云中

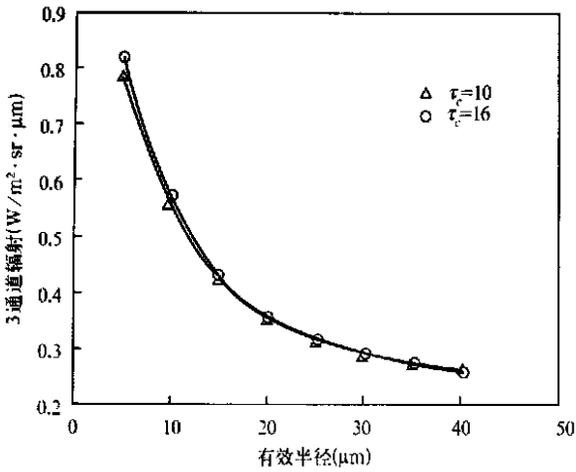


图 5 3.75 μm 通道辐射率随云滴有效半径的变化曲线 (图中短横线表示 $r_e = 20 \mu\text{m}$ 时, $\pm 5\%$ 的测量误差对应的 r_e 的反演误差; 计算中散射几何参数与图 1 相同)

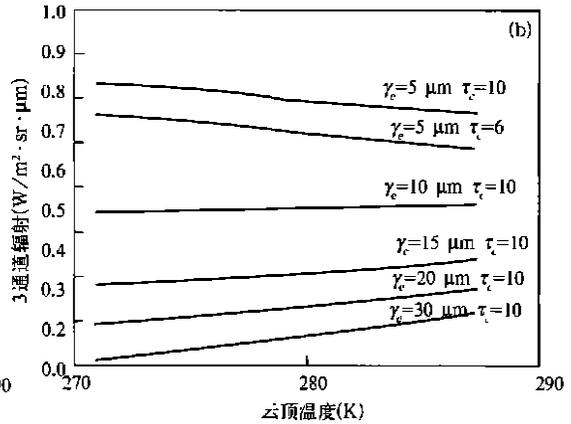
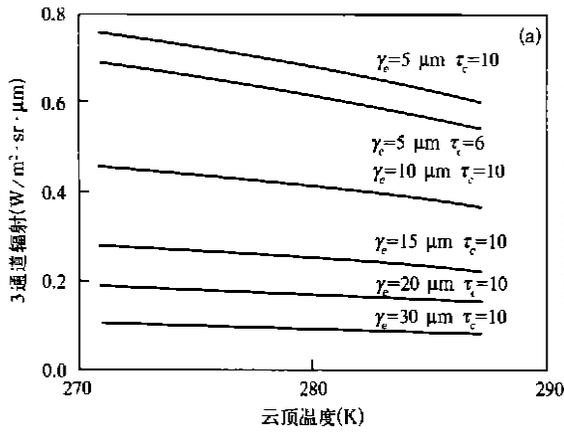


图 6 3.75 μm 通道辐射率随云顶温度的变化曲线

(a. 散射辐射; b. 热辐射+ 散射辐射; 计算中地表温度和散射几何参数与图 1 相同)

通道辐射率随云顶温度的变化关系。在利用实际卫星资料确定云顶温度时, 我们取 $r_e = 10 \mu\text{m}$, $\tau_c = 10$ 。比较图 6b 和图 7 可以看出, 11 μm 通道辐射率对云顶温度的敏感性远大于 3.75 μm 通道辐射率对云顶温度的敏感性。虽然云光学厚度和云滴有效半径的变化对 11 μm 通道辐射率有一定的影响, 但根据图 7 所示的计算结果, 除了在光学厚度和云滴有效半径都比较小的情况下, 光学厚度和有效半径不确定性引起的云顶温度估计误差一般小于 2 K。由图 6b 可以看出, 当 $r_e = 10\text{--}15 \mu\text{m}$ 时, 云顶温度误差为 2 K 的总辐射率变化大约小于 2%, 相应的云滴有效半径反演误差基本上可以忽略。当 r_e 从

水汽含量随云顶温度增加而增加, 从而导致云的散射辐射随云顶温度的增加而减小。在图 6b 中, 云顶温度的变化不仅造成云中水汽含量的变化, 同时也引起热辐射的改变。由于水汽含量的增加会导致散射辐射的减小, 如图 6a 所示, 因此云顶温度变化引起的水汽含量变化和热辐射变化部分抵消。当 r_e 较小时(如 $r_e = 5 \mu\text{m}$), 云的散射辐射对 3.75 μm 通道总辐射率的贡献大于热辐射的贡献, 总辐射率随着云顶温度的增加逐渐减小。随着 r_e 的增大, 散射辐射的贡献减小。当 r_e 大约为 10 μm 时, 水汽含量变化引起的云散射辐射的变化和热辐射的变化基本抵消, 总辐射率对云顶温度变化不太敏感。当 r_e 继续增大时, 散射辐射进一步减小, 云顶温度变化引起的热辐射变化大于水汽含量变化引起的散射辐射变化, 因此总辐射率随云顶温度的升高而增大。图 7 给出了不同光学厚度和云滴有效半径对应的 11 μm

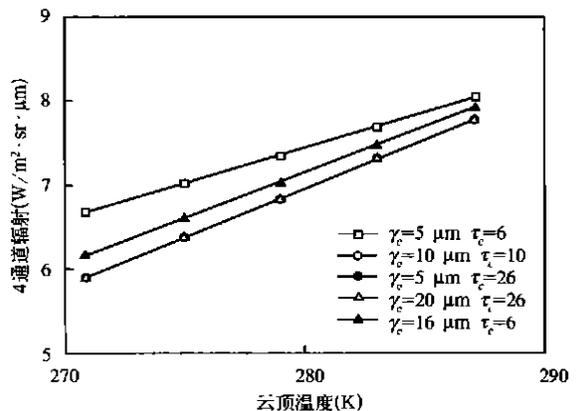


图 7 11 μm 通道辐射率随云顶温度的变化关系 (计算中采用的温度和散射几何参数与图 1 相同)

20 μm 增加到 30 μm 时, 云顶温度误差为 2 K 时引起的总辐射率变化大约从 3% 增大到 5%, 相应的云滴有效半径反演误差大约为 0.9 μm 至 3.5 μm 。对于光学厚度和云滴有效半径都比较小的情况(如 $r_e = 5 \mu\text{m}$, $\tau_c = 6$), 由于云光学厚度和云滴有效半径的不确定性引起的云顶温度的最大反演误差可达 6.5 K。由图 6b 中相应的 3.75 μm 通道辐射率随云顶温度的变化曲线可以看出, 6.5 K 的云顶温度不确定性将导致小于 5% 的 3.75 μm 辐射率的计算误差, 由此产生的 r_e 反演误差小于 1 μm 。

5 初步应用结果和讨论

为了考察上述反演方法的可行性, 我们将该方法应用于反演中国东海上空层积云的辐射特性。图 8 给出了 2 幅在中国东海上空观测的 NOAA-11

AVHRR 0.64 μm 通道反射率图象。大约 20 万象元辐射观测数据被选择用于反演云的光学厚度和云滴有效半径。图 9a 和 b 分别给出了相应的云滴有效半径和云光学厚度反演结果的统计。最大概率对应的云滴有效半径和云光学厚度分别为 9 μm 和 21.5。图 10a 显示的是 Platnick 和 Valero^[5] 给出的 ASTEX 区域层积云有效半径的卫星遥感和实地观测结果。从 Platnick 和 Valero 的结果可以看出, 利用 AVHRR 观测资料反演得到的云滴有效半径位于 Gerber 探测器(PVM-100A)和 FSSP 探测结果之间, 最大概率对应的云滴有效半径为 11 μm 。比较图 9a 和 10a 可以看出, 文中给出的东海上空层积云有效半径比 Platnick 和 Valero 在 ASTEX 区域利用 AVHRR 观测资料反演得到的层积云有效半径约小 2 μm 。反演得到的云光学厚度(图 9b)大于 Platnick

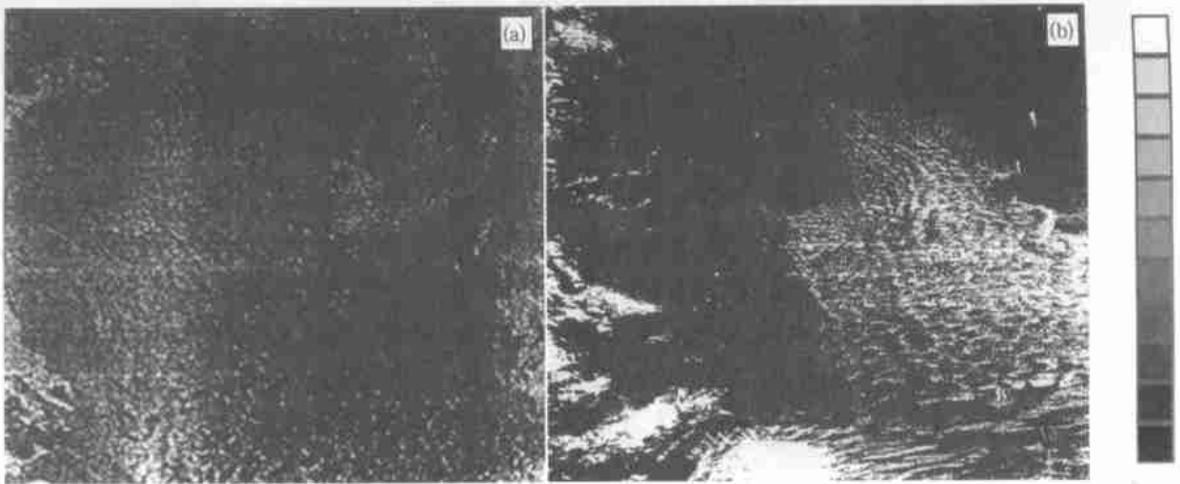


图 8 中国东海上空 NOAA-11 AVHRR 0.64 μm 通道反射率图象
(a. 1990 年 12 月 3 日, b. 1991 年 2 月 2 日)

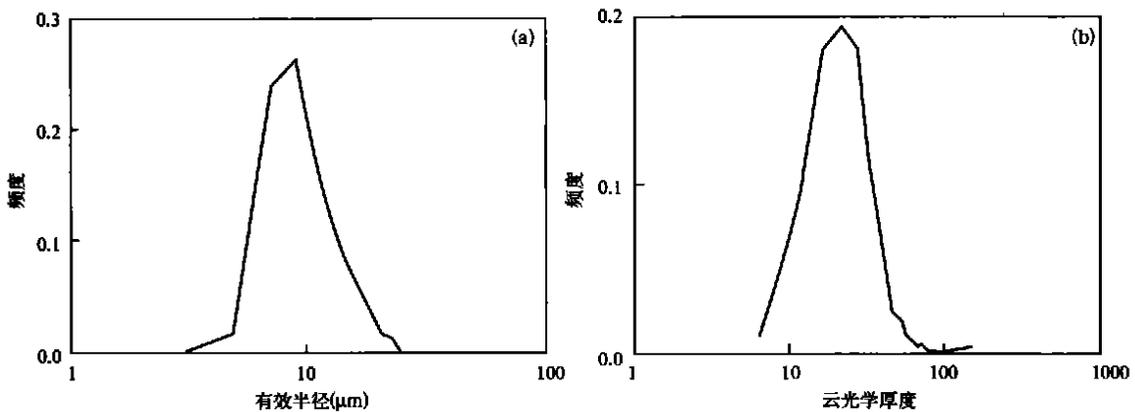


图 9 云辐射特性的统计结果
(a. 云滴有效半径, b. 云光学厚度)

和 Valero 的结果(图 10b)。应该指出,由于云辐射特性具有较大的时空变化特性,不同区域不同时间得到的云光学厚度和云滴有效半径可能具有一定的差别。理论上严格解释这种差别是比较困难的。一

般而言,由于冬季西北气流的影响,大陆气溶胶可能会被输送到中国东海上空,从而造成那里的凝结核数目增加。较大的凝结核浓度能够产生较小的云滴有效半径和较大的云光学厚度^[13]。

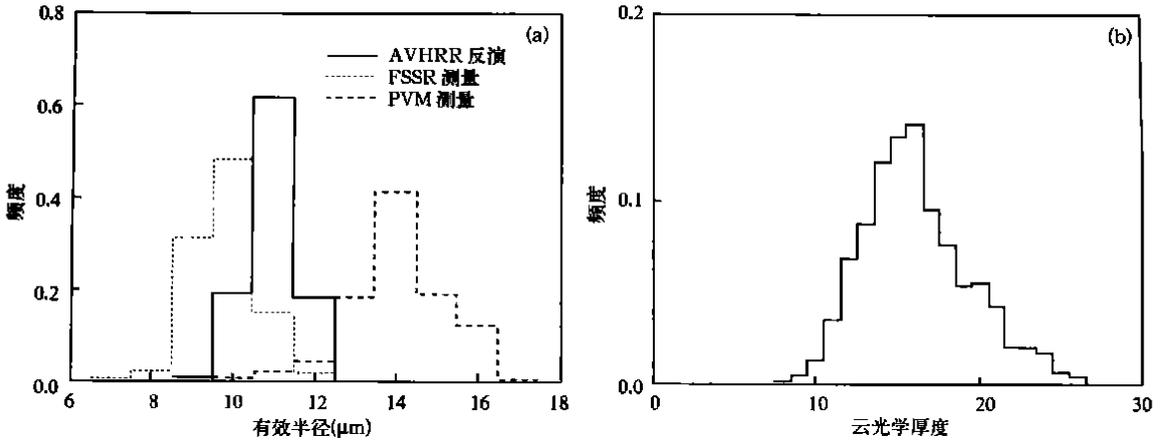


图 10 Platnick 和 Valero^[5]给出的 ASTEX 区域层积云特性
(a. 云滴有效半径的卫星遥感和实地观测结果, b. 云光学厚度的卫星遥感结果)

6 小结

本文描述了一个利用 AVHRR 观测资料反演云辐射特性的迭代方法。对反演误差的数值分析结果表明,反演精度与云光学厚度和云滴有效半径的大小有关。对于 5% 的测量误差而言(估计 AVHRR 的测量误差大约为百分之几),大部分情况下($\tau_c < 30$, $r_e \leq 20 \mu\text{m}$)层积云光学厚度的反演误差小于

10%,云滴有效半径的反演误差大约为 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 。将该方法应用于分析中国东海上空层积云的光学厚度和云滴有效半径,取得了较为合理的初步结果。为了进一步验证卫星遥感云光学特性的可靠性,将在未来的研究工作中开展卫星遥感和实地观测结果的对比研究,进一步确认利用 AVHRR 观测资料反演云光学厚度和云滴有效半径的精度。

参考文献

- 1 Cess R D, et al. Interpretation of cloud-climate feedback as produced by 14 atmospheric general circulation models. *Science*, 1989, 245: 513~ 516
- 2 Cess R D, et al. Intercomparison and interpretation of climate feedback processes in 19 atmospheric general circulation models. *J Geophys Res*, 1990, 16601~ 16615
- 3 Arking A, Childs J D. Retrieval of cloud cover parameters from multispectral satellite images. *J Atmos Sci*, 1985, 29: 937~ 949
- 4 Han Q, Rossow W B, Lacis A A. Near-global survey of effective droplet radii in liquid water clouds using ISCCP data. *J Climate*. 1994, 7: 465 ~ 497
- 5 Platnick S, Valero F P J. A validation of a satellite cloud retrieval during ASTEX. *J Atmos Sci*, 1995, 52: 2985~ 3001
- 6 刘健,许健民,方宗义.利用 NOAA 卫星的 AVHRR 资料试分析云和雾顶部粒子的尺度特征. *应用气象学报*, 1999, 10(1): 28~ 33
- 7 Kneizys F X, Coauthors. User Guide to Lowtran 7. AFGL-TR-88-0177, 1998. 146pp
- 8 Stamnes K, Tsay S, Wiscombe W, et al. Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. *Appl Opt*, 1988, 27: 2502~ 2509
- 9 McClatchey R A, Fenn R W, Selby J E A, et al. *Optical Properties of the Atmosphere*. Environ Res Pap Air Force Cambridge Res Lab, Bedford, Mass 1972, 411: 108pp
- 10 Hansen J E, Travis L D. Light scattering in planetary atmospheres. *Space Sci Rev*, 1974, 16: 527~ 610
- 11 Coakley J A, Bretherton F P. Cloud cover from high resolution scanner data: Detecting and allowing for partially filled fields of view. *J Geophys Res*, 1982, 87: 4917~ 4932

12 Rao S S. Optimization, Theory and Applications. New Delhi: Wiley Eastern Limited, 1978

13 Twomey S, Piepgrass M, Wolfe T L. An assessment of the impact of pollution on the global cloud albedo. *Tellus*, 1984, 36B: 356~ 366

AN ITERATIVE ALGORITHM FOR THE RETRIEVAL OF CLOUD PROPERTIES FROM NOAA-AVHRR IMAGERY

Zhao Fengsheng

(*Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031;*
National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Sun Tongming

Zhengzhou Institute of Technology, Zhengzhou 450052

Ding Qiang

(*Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031*)

Kong Qinxin Hu Wen Xun Shangpei Shao Hongfei

(*Anhui Institute of Meteorology, Hefei 230061*)

Abstract

In the visible spectral region, cloud reflection function depends mainly on the cloud optical thickness. In the near infrared and middle infrared spectral region, the cloud reflection function depends mainly on the cloud particle effective radius. Based on this consideration, we developed an iterative algorithm for the retrieval of cloud properties from NOAA – AVHRR imagery. The algorithm was applied to analyze the radiative properties of stratocumulus over East China Sea. The results indicated that the iterative algorithm has a reasonable accuracy.

Key words: cloud optical thickness, effective radius, satellite remote sensing.