

云参数和可降水总量的同步物理 反演方法试验*

董超华 黎光清 张文建

郑波 吴保锁 冉茂农

(国家卫星气象中心, 北京, 100081)

摘要: 利用改进的同步物理反演方法计算东亚地区的云参数和可降水总量, 并用气象卫星短、长波窗区通道亮度温度差对反演结果进行真实性检验. 结果表明: 该反演算法的效果是好的.

关键词: 同步物理反演方法, 云参数, 可降水总量.

引言

卫星遥感不仅可以监测全球的云层, 而且可以探索云的物理性质^[1]. 目前, 国际上用两种方法确定定量的云参数, 其一是利用统计方法确定云参数; 其二是按辐射传输原理, 研究云的参数及其空间分布. 由于后者基于求解有云大气的辐射传输方程, 因而具有更大的发展潜力.

本文在以前工作^[2,3]基础上, 选择改进的同步物理方法^[4](以下简称 ISPRM), 利用 NOAA-10 TOVS 辐射率测值进行云参数计算试验, 得到东亚地区云顶气压(云高)、云顶温度和云量的二维分布图. 同时应用 HIRS/2 窗区通道亮度温度云图和亮温差对上列反演结果进行真实性检验, 结果表明, 此反演算法的效果是好的.

1 改进的同步物理反演方法

从反演的角度讲, Smith 同步物理法^[5](简称 SPRM)的最大特点是通过求解多参数亮温泛函积分方程, 可直接同时反演出与通道亮温有关的地表和天气气候参数. 它和传统的反演方法相比, 具有视边界层地球物理参数为变量直接求解的能力, 也可在它的基础上构造包括反演云参数的同步物理反演方法.

所谓 ISPRM 就是对 SPRM^[3,5]的改进, 它包括将非自治的同步物理反演模式转化成

本文 1991 年 8 月 24 日收到, 修改稿 1992 年 3 月 16 日收到.

* 国家气象局云物理项目基金资助课题.

自洽的同步反演模式；使用近实时的探空观测分析场代替 SPRM 的气候初估值；并从减小系统误差角度，对正演亮温作了统计修正；还根据大陆遥感反演特征，实现了对流层的中、低层的温、湿反演通道的最佳组合等的重要改进^[4]。试验中使用的自洽同步反演模式为

$$\delta R = \delta B(P_s)\tau^\circ(P_s) - \int_0^{P_s} \delta B(P) \frac{\partial \tau^\circ(P)}{\partial P} dP + \int_0^{P_s} \delta \tau(P) \frac{\partial B^\circ(P)}{\partial P} dP, \quad (1)$$

式(1)中 $\delta R = R - R^\circ$ ， $\delta B = B - B^\circ$ ， $\delta \tau = \tau - \tau^\circ$ ， R 是卫星观测的辐射率， R° 由正演遥感方程算得的辐射率， B 是普朗克函数， τ 是大气透过率， τ° 和 B° 表示试验前估计值， P 和 P_s 分别表示大气和地面气压。所作的数值试验^[4]结果表明：ISPRM 比 SPRM 的反演精度有明显提高，尤其在地表和对流层的低层。这为云参数反演提供了可靠的必要条件。

2 云参数的多光谱反演算法

2.1 云参数反演原理和计算

本文采用多谱法计算云参数。它是将 HIRS/2 冷性窗区通道和 CO_2 $15\mu\text{m}$ 吸收带三个对高、中和低云最敏感通道，以最佳组合方式确定云高的方法，从而克服了单光谱或双光谱方法的一些假定条件或限制。

HIRS/2 探测器在 $3.9\sim 15\mu\text{m}$ 之间，选用 18 个通道探测来自地-气系统的红外热辐射。星下点分辨率为 17.4km 。因为 $15\mu\text{mCO}_2$ 吸收带对大气相对冷区(如云层)温度有敏感反映，且不同光谱通道对不同大气层有不同程度的传感效应。自然地在每个通道感应到的云和它的权重函数峰值区的高度有密切关系，即低云不会对高层通道有反映或大的反映，高云使得低层光谱通道权重函数峰值高度升高，而几乎对 HIRS/2 所有通道有影响。通常，可将有云视场的辐射传递方程写成^[6]：

$$R_{ob}(v_i) = R_{cl}(v_i) + N\varepsilon(v_i) \int_{P_s}^{P_{cd}} \tau(v_i, P) \frac{dB[v_i, T(P)]}{dP} dP, \quad (2)$$

式(2)中 v_i 表示拟选的探测通道， $R_{ob}(v_i)$ 为卫星观测的辐射率， $R_{cl}(v_i)$ 表示晴空辐射率， P_s 和 P_{cd} 分别表示表面和云顶气压， N 为仪器视场云量分数 ($0 < N \leq 1$)， $\varepsilon(v_i)$ 为云顶的发射率。通常定义 $N\varepsilon(v_i)$ 为有效云量。选用两个对云敏感的通道 (v_1 和 v_2)，且频率相当接近，对同一视场进行观测，则 $\varepsilon(v_1) \approx \varepsilon(v_2)$ ，可求得下列方程：

$$\frac{R_{ob}(v_1) - R_{cl}(v_1)}{R_{ob}(v_2) - R_{cl}(v_2)} = \frac{\int_{P_s}^{P_{cd}} \tau(v_1, P) \frac{dB[v_1, T(P)]}{dP} dP}{\int_{P_s}^{P_{cd}} \tau(v_2, P) \frac{dB[v_2, T(P)]}{dP} dP}, \quad (3)$$

由式(3)可求出视场中云顶的气压 ($C_p = C_{cd}$)。式中的 R_{cl} 、 B 和 τ 均可由初估廓线计算得到。

云顶高度确定后, 便可根据红外窗区通道 ($11.1 \mu\text{m}$) 测值, 按下式计算有效云量:

$$N\varepsilon = \frac{R_{ob}(v_w) - R_{cl}(v_w)}{B[v_w, T(P_{cd})] - R_{cl}(v_w)}, \quad (4)$$

式 (4) 中 v_w 表示窗区通道, $B[v_w, T(P_{cd})]$ 是云顶的黑体辐射率.

在 SPRM 中仅使用两个通道 (5 和 7) 确定云高. 实际上, 云顶高度变化很大, 用两个通道显然不够. 在本次试验中, 我们选用中心频率分别为 14.0 、 13.7 和 $13.4 \mu\text{m}$ 的 HIRS/2 三个通道, 组成三组对同一视场分别计算云顶高度, 获得三组云参数 (高度和云量). 然后按下式确定其中一组最佳值:

$$R_{ob}(v_i) - R_{cl}(v_i) - N_{K\varepsilon_i} \int_{P_{SK}}^{P_{cdK}} \tau(v_i, P) \frac{dB[v_i, T(P)]}{dP} dP = M_{iK}, \quad (5)$$

式 (5) 中 v_i 为所选频率, $K=1, 2, 3$ (对应于三个云顶高度), 当 $\sum_{i=1}^3 M_{iK}^2$ 为最小值时, 反演的云参数最佳.

2.2 有云视场的反演处理

当云参数确定后, 对其它参数须作适当调整.

2.2.1 调整水汽混合比

云顶所在高度的混合比可根据云量和云层饱和混合比以及初估场计算得到. 云以下各气压层的水汽混合比按下式计算:

$$q(P_j) = q_s + \frac{q(P_{cd}) - q_s}{P_{cd} - P_s} \times (P_j - P_s), \quad (6)$$

式 (6) 中 q_s 和 $q(P_{cd})$ 分别是地表面和云顶的混合比, P_j 是第 j 层气压.

当天气条件变得有利于降水时, 按下式确定的水汽总含量 u 能够给出可降雨量的近似估计为

$$u = -\frac{1}{g} \int_0^P W dP, \quad (7)$$

式 (7) 中 W 为水汽混合比, g 为重力加速度.

2.2.2 调整仪器通道辐射率的计算值

物理反演法的基本原理是依据卫星仪器通道辐射率测值与由初估廓线计算的辐射率之差所建立的遥感方程 (1), 通过同步反演, 最后达到对初估廓线进行修正的目的. 因此, 仪器通道辐射率的正演计算值的准确程度直接影响反演结果的精度. 本试验按下式对通道辐射率计算值进行调整:

$$R_{cal}(v_i) = R_{cl}(v_i) + N\varepsilon[R_{cd}(v_i) - R_{cl}(v_i)], \quad (8)$$

式 (8) 中 $R_{cal}(v_i)$ 为有云视场通道 v_i 的辐射率计算值, $R_{cl}(v_i)$ 为黑体云辐射率, 按普朗克函数算得.

2.2.3 按式 (1) 做云条件下的其它物理量反演

3 云参数反演真实性的检验

本试验选定 80°E 和 20°N 的东亚地区, 作为反演结果分析区, 并以 1988 年 10 月 5 日 08 时前后 NOAA-10 卫星三条轨道 TOVS 资料反演的云参数作为真实性检验的例证进行讨论.

3.1 云参数的真实性

(1) 在图 1~3 中分别出示了卫星反演的云顶气压 (C_p)、云顶温度 (C_t) 和云量 (C_f) 的空间分布. 对这三个云参数的几何分布分析比较可见: C_p 、 C_t 和 C_f 的极值所在地理位置和几何形状是互相一致的. 例如, 在我国东南沿海的台风区 (见图 4), 由于云层太厚, 只能从 TOVS 的辐射率测值反演出 200 hPa 的高云, 而在图 2 相应的温度场出现 -48°C 的低温区, 并且在图 3 所对应地区出现部分云区, 以及较大的云层可降水水汽总含量 (见图 5).

(2) 利用红外长波窗区通道 ($11.1\ \mu\text{m}$) 对大气冷性边界层表面特别敏感, 红外短波窗区通道 ($3.8\ \mu\text{m}$) 对地-气系统的暖性边界层表面特别敏感的原理, 特作出两个窗区亮温差分布 (BTD) 图 (见图 6). 它清楚地揭示了台风高层云系的冷性涡旋结构和中低云系的暖性结构, 与图 4 相比, 它给出了定量化的相对概念.

(3) 分析东北及我国中西部地区云层 (见图 1、4) 可知, 用多光谱红外方法, 当云层不太厚及单一时, 可以反演出中、低云层. 就一般而言, 此法可以反演出台风边缘地区不太深厚的云系结构.

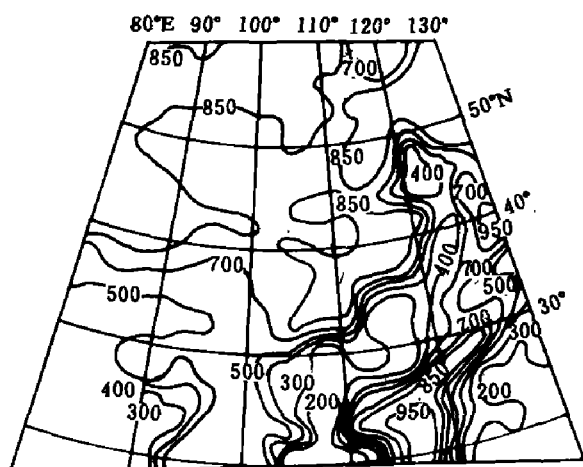


图 1 NOAA 卫星 TOVS 云顶气压分布
Fig. 1 TOVS retrieved cloud top pressure

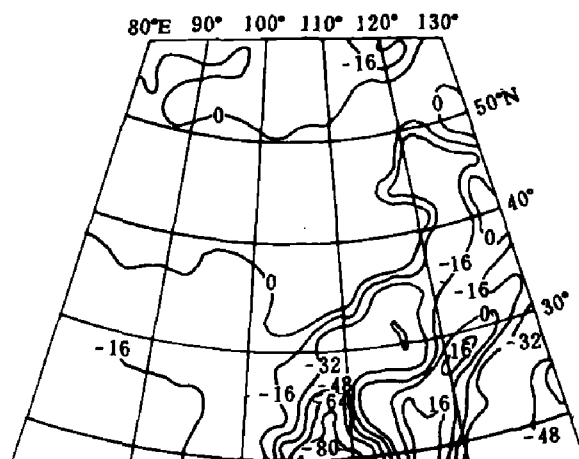


图 2 NOAA 卫星 TOVS 云顶温度分布
Fig. 2 TOVS retrieved cloud top temperature

3.2 云层可降水总含量的真实性

从遥感云参数所选用的三个通道和相应的核函数可知, 云顶的水汽含量和 BTD 的强烈对比均可视作云层可降水含量的强函数关系, 而且它较弱地依赖于水汽的水平分布. 比较分析图 3 和图 5 可知, 在台风云层稀薄大气区反演出的可降水总含量的最大值为 $6\ \text{g}/\text{cm}^2$. 图 4 的台风云层结构浓度也可证实这一点.

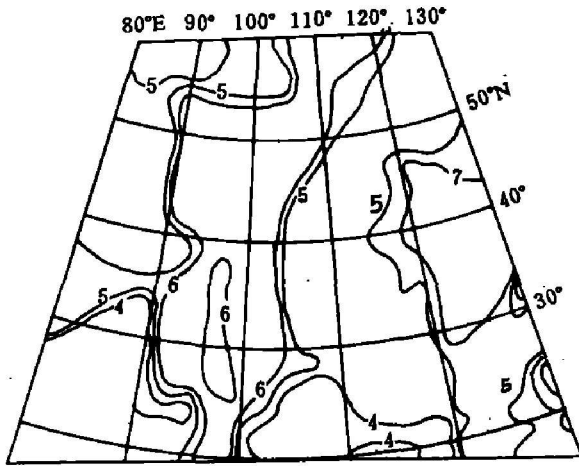


图3 NOAA 卫星 TOVS 云量分布
Fig. 3 TOVS retrieved cloud cover

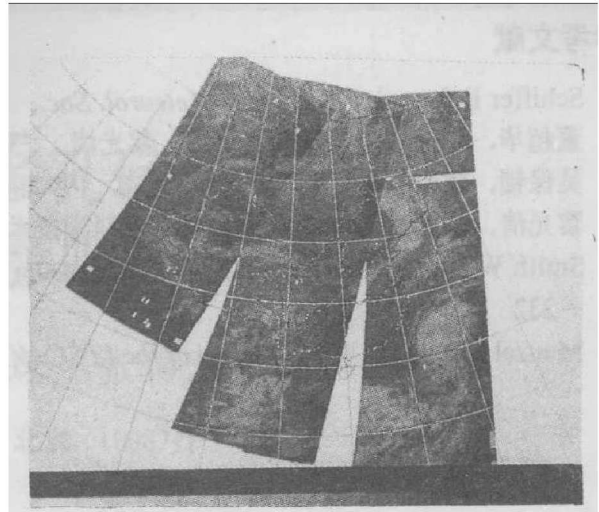


图4 NOAA 卫星 TOVS 长波窗云图
Fig. 4 Cloud picture from TOVS longwave window channel

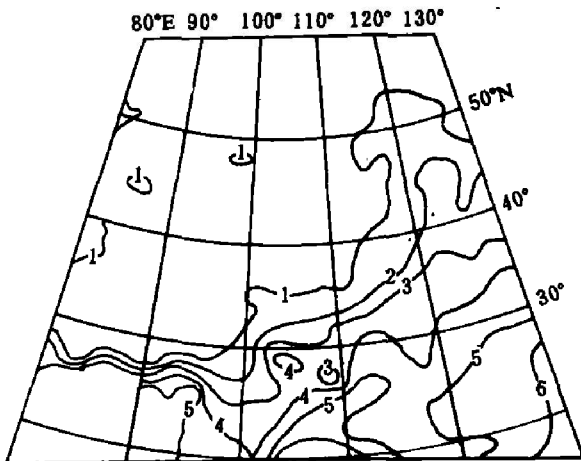


图5 NOAA 卫星 TOVS 可降水总含量分布
Fig. 5 Total precipitation amount from the TOVS data.

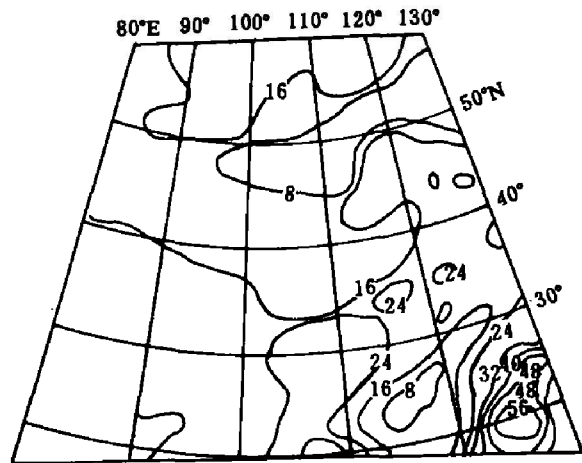


图6 NOAA 卫星 TOVS 短波和长波窗区亮度温度差分布
Fig. 6 Brightness temperature differences between the shortwave and longwave window channels

4 结语

(1) 在 ISPRM 温湿和表面水文气象参数反演的基础上, 结合使用多光谱方法作云参数反演, 经初步的真实性检验证实, 云参数 (C_p , C_t , C_f 和 C_{pr}) 极值区分布相互一致, 反演结果合理, 在一定程度上能定量地反映长波区窗通道亮温云图 (图 4) 的事实. 反演的云量分布 (C_f) 与云图基本符合.

(2) 在真实性检验研究中, 仅限于我们现有的资料和计算条件, 仅对反演结果的真实性作了是否合理的检验, 缺乏同步的独立观测手段和严格的真实性检验资料.

参考文献

- 1 Schiffer R A et al. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 1983,64(7):779
- 2 董超华, 刘玉洁, 张凤英, 许熙, 黎光清. *气象*, 1987,13(10):24
- 3 吴保锁, 黎光清, 董超华. *红外研究*, 1990,9(9):233
- 4 黎光清, 张文建, 董超华. *中国空间科学技术*, 1991,11(6):45
- 5 Smith W L et al. *Advances in Remote Sensing Retrieval Methods*, Ed. by A Deepak et al., 1985, pp221~232
- 6 Menzel W P et al. *Proceedings of the ITSC-V*, Toulouse, France, 1989, p276

TEST OF THE SIMULTANEOUS PHYSICAL RETRIEVAL METHOD FOR CLOUD PARAMETERS AND TOTAL PRECIPITATION AMOUNT*

Dong Chaohua, Li Guangqing, Zhang Wenjian,
Zhen Bo, Wu Baosuo, Ran Maonong

(Satellite Meteorology Center, SMA, Beijing 100081, China)

Abstract: Cloud parameters and total precipitation amount over the East-Asian Continent are calculated by using an improved simultaneous physical retrieval method. The retrieval results are compared with the truth data from the brightness temperature difference of both shortwave and longwave window channels. The preliminary analysis results indicate that the effect of this retrieval algorithm is definite.

Key words: simultaneous physical retrieval method, cloud parameter, total precipitation amount.

* The project supported by the Physical Foundation of the State Meteorological Administration of China.