

# 利用 NOAA 卫星 AVHRR 资料分析云的性质\*

刘 健 许健民 方宗义

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

## 提 要

文章利用 NOAA 卫星 AVHRR 的通道 3 ( $3.55\sim 3.93\mu\text{m}$ )、通道 4 ( $10.3\sim 11.3\mu\text{m}$ ) 和通道 5 ( $11.5\sim 12.5\mu\text{m}$ ) 所在波长上的亮温 ( $BT_3, BT_4, BT_5$ ) 以及它们之间的亮温差 ( $BT_4 - BT_3, BT_5 - BT_4$ ), 分析云的性质. 分析表明: 对于密蔽的云和无云区, 通道间亮温差有极小值, 在密实的云区  $BT_4 - BT_3$  可出现负值; 当存在半透明云时, 通道间亮温差大; 云与背景地面之间温差点聚图的振幅越大, 通道间亮温差越大.

关键词: 亮温 亮温差 点聚图 云性质

## 引 言

云系在全球大气环流和各种尺度的天气气候系统中起着重要的作用, 与云相伴的热力学过程和辐射过程都与云的性质有关系, 因此对云性质的研究有十分重要的意义.

目前对于云的分析方法主要有阈值法、空间相关法及用垂直探测资料分析云等几种. 阈值法最早由 Koffler<sup>[1]</sup>等提出, 用于云分析的基本假定是一个象元点内, 或者全部有云, 或者全部是地面. 对于象元点内有半透明云或者部分有云的情况, 难以用明确单一的阈值将不同的云和地物一一区分. 为了解决部分有云象元的分析问题, Coakley 等<sup>[2~4]</sup>引入了空间相关法. 他们不是以单个象元而是以多个象元组成的区域为基本的单元进行分析, 以牺牲一些空间分辨率作为代价, 求出基本分析区内明确的云量和地物亮温. 用垂直探测资料分析云, 最早是由 Smith 等<sup>[5]</sup>提出的, 这种方法同时利用窗区通道和一个(或多个)探测区通道的数据来分析云. 这种方法不能分析出云的性质, 而只能分析出某些层次间的云量和云高.

本文试图从目前 NOAA 卫星几个探测通道数据之间的相互关系来分析云. 从地面发射或反射的辐射通过大气向上传播. 具有不同成分、不同温度的非均匀大气对电磁辐射的不同波段有着不同程度的吸收、透射和散射. 不同波长的辐射与云相互作用时, 发生的物理过程是不同的, 因此, 从卫星不同通道所接收的辐射量及其差别中可得到有关云性质的信息. 这使卫星遥测云的性质有了可能. 而取邻近区域内的卫星测值进行直方图或点聚图(二维直方图)分析是一种简便有效的分析方法.

## 1 云的亮温-亮温差点聚图分析

NOAA 卫星的 AVHRR 有 5 个探测通道(以下简写成 CH). 其中 CH1 和 CH2 是太阳反射光探测通道, CH4 ( $10.3\sim 11.3\mu\text{m}$ ) 和 CH5 ( $11.5\sim 12.5\mu\text{m}$ ) 位于地物红外光辐射区, CH3 ( $3.55\sim 3.93\mu\text{m}$ ) 的测值中既有太阳反射光, 又有地物辐射的贡献. 选用 NOAA 卫星的夜间 AVHRR CH3、CH4 和 CH5 资料, 对卫星数据进行等距经纬度投影处理, 形成  $512\times 512$  象素点的图像数据块, 进行点聚图分析. 利用夜间的资料是为了略去 CH3 中太阳反射光. 点聚图的横坐标是 NOAA 卫星 CH4 的亮温, 纵坐标是 CH4 与其它两个红外通道之间的亮温差. CH3、CH4 和 CH5 的亮温分别记为  $BT3$ ,  $BT4$  和  $BT5$ , CH3 与 CH4 和 CH4 与 CH5 的亮温差分别记为  $BTD34$  和  $BTD45$ . 以此生成的点聚图分别记为  $BT4-BTD34$  和  $BT4-BTD45$ .

图 1 是 1994 年 6 月 14 日夜间的 NOAA/AVHRR CH4 的图像, 所选区域位于  $20^{\circ}\sim 25.11^{\circ}\text{N}$ ,  $107^{\circ}\sim 112.11^{\circ}\text{E}$ . 图 2 是 1993 年 8 月 3 日夜间的 NOAA/AVHRR CH4 的图像, 所选区域位于  $38^{\circ}\sim 43.11^{\circ}\text{N}$ ,  $114^{\circ}\sim 119.11^{\circ}\text{E}$ . 两张图像均以 0~255 个灰度等级表示反相后的卫星测值. 色调越白表示亮温越低, 色调越黑表示亮温越高. 图 1 中有白亮的积雨云, 在积雨云的周围有半透明的卷云. 图 2 上没有白亮的高云出现, 色调比图 1 暗灰得多, 为对流层下部的层状云. 在图 1 上取 3 个小的子区域 A、B 和 C, 在图 2 上取 3 个小区 D、E 和 F, 进行  $BT4-BTD34$  和  $BT4-BTD45$  的点聚图分析.

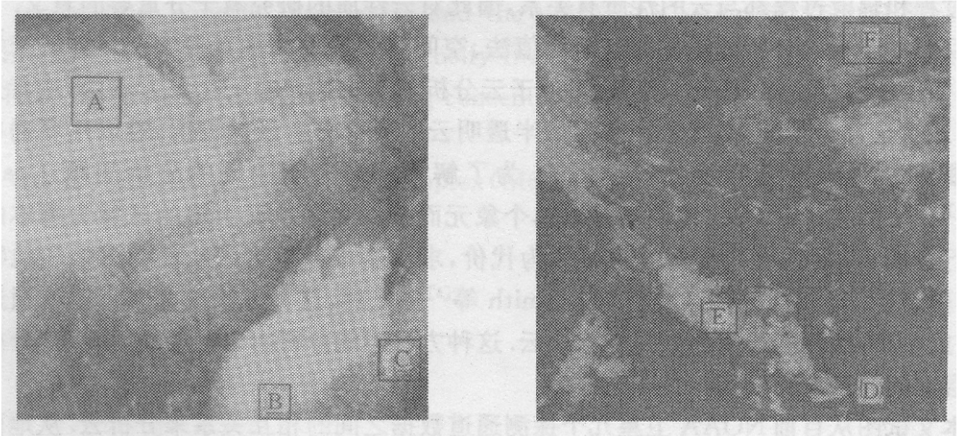


图 1 1994 年 6 月 14 日  $20^{\circ}\sim 25.11^{\circ}\text{N}$ ,  $107^{\circ}\sim 112.11^{\circ}\text{E}$  NOAA 卫星的 AVHRR CH4 图像

图 2 1993 年 8 月 3 日  $38^{\circ}\sim 43.11^{\circ}\text{N}$ ,  $114^{\circ}\sim 119.11^{\circ}\text{E}$  的 NOAA 卫星 AVHRR CH4 图像

A 区 ( $23.7^{\circ}\sim 24.3^{\circ}\text{N}$ ,  $107.7^{\circ}\sim 108.3^{\circ}\text{E}$ ) 位于图 1 的上部, 是一个深厚、密蔽的积雨云云团的中心区域. 区域中云的色调白亮, 象素点的红外亮温很低. 在  $BT4-BTD45$  点聚图上(图 3b), 测值集中在红外温度很低的横坐标左端. 在  $BT4-BTD34$  的点聚图(图 3a)上, 测值不仅占据了点聚图的左端点, 而且占据了拱形的左侧的一部分. 这个例子说明密

蔽的云区在点聚图上占据了拱形曲线中红外亮温低端的底部。

D 区(38.2°~38.5°N, 118.0°~118.3°E)位于图 2 的右下方。区域中的色调为暗黑色, 像素点的红外亮温很高, 是晴空区。从此区域的点聚图 BT4-BTD34(图 4a)和 BT4-BTD45(图 4b)中可见, 测值都很集中, 呈团形, 且 BTD34 或 BTD45 的值都很小。这个例子说明暖的地面在点聚图上占据了红外亮温高温端的底部。

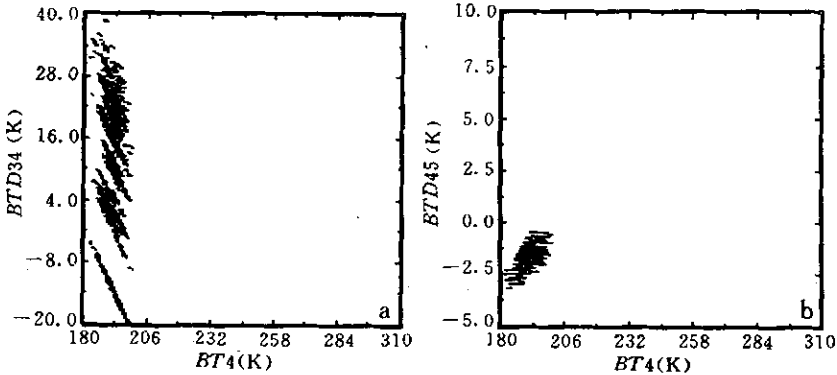


图 3 图 1 中 A 区像素点亮温-亮温差点聚图  
(a)BT4-BTD34 (b)BT4-BTD45

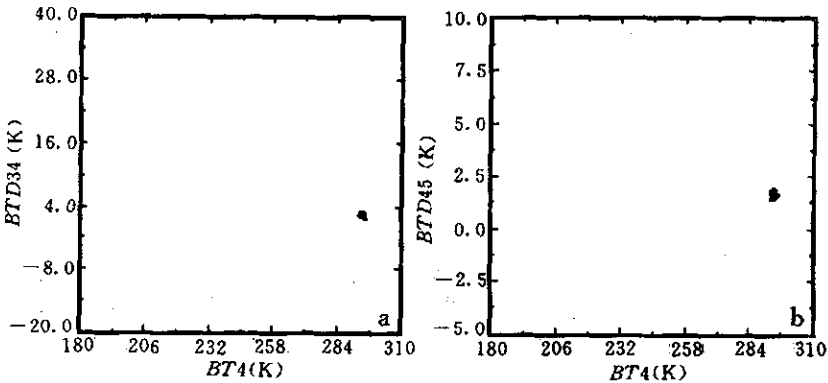


图 4 图 2 中 D 区像素点亮温-亮温差点聚图  
(a)BT4-BTD34 (b)BT4-BTD45

B 区和 C 区是半透明的高云区。其中 B 区(20.0°~20.4°N, 110.0°~110.4°E)位于图 1 的下边缘。目视分析明显地看出 B 区中云的色调不如 A 区白亮, 是积雨云云砧的边缘部分。在此区域的亮温差点聚图 BT4-BTD34(图 5a)和 BT4-BTD45(图 5b)上, 测值组成了拱形的左半部。C 区(20.5°~21.0°N, 111.5°~112.0°E)位于图 1 的右下方。区域中云的色调比 A、B 两个子区更灰暗。目视分析表明, 这里的云有明显的波状纹理结构, 它是从积雨云延伸出来的半透明卷云。此区域的点聚图如图 6a 和图 6b 所示, 测值分布也组成明显的拱形, 且多数集中在拱形曲线的右半部。这两个例子说明较密实的半透明卷云在点聚图上占据了拱形曲线的左侧, 较薄的半透明卷云在点聚图上占据了拱形曲线的右侧。比较图 5a 与图 6a 以及图 5b 和图 6b, 我们还注意到 BT4-BTD34 点聚图的分布比 BT4-

*BT*D45 更加不对称,其拱形右半侧的斜率与左半侧的斜率有明显的不同,右半侧要平缓得多.对于这种不对称性,我们将在下面讨论.

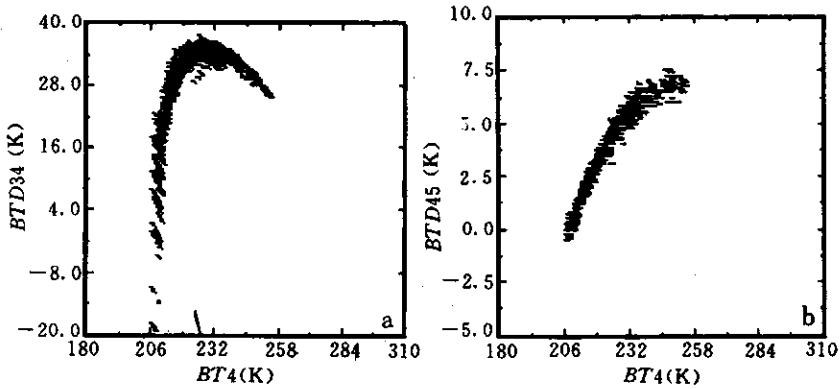


图5 图1中B区象素点亮温-亮温差点聚图

(a)*BT*4-*BT*D34 (b)*BT*4-*BT*D45

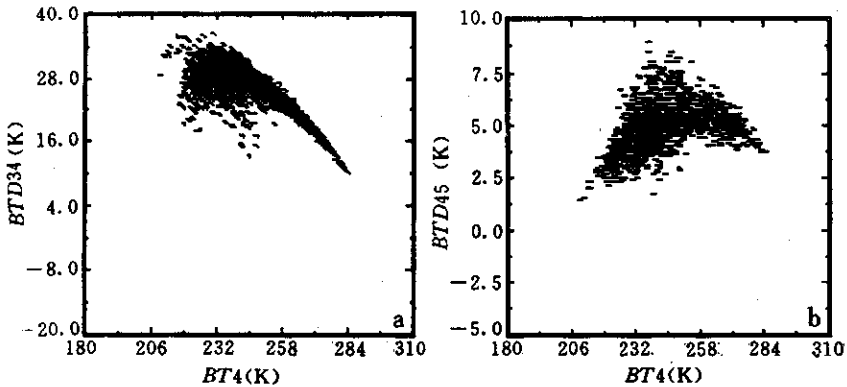


图6 图1中C区象素点亮温-亮温差点聚图

(a)*BT*4-*BT*D34 (b)*BT*4-*BT*D45

E区和F区是部分有云的低云区. E区( $39.1^{\circ}\sim 39.5^{\circ}\text{N}$ ,  $116.1^{\circ}\sim 116.5^{\circ}\text{E}$ )位于图2的中下部, F区( $42.5^{\circ}\sim 43.0^{\circ}\text{N}$ ,  $117.8^{\circ}\sim 118.5^{\circ}\text{E}$ )位于图2的右上方. 从目视分析和探空资料中得知E区中的云是中云,其红外最低亮温为 $-14^{\circ}\text{C}$ 左右. F区中云的色调比E区更暗,其最低红外亮温比E区更高,为 $-3^{\circ}\text{C}$ 左右. 这两个区域象素点的点聚图 *BT*4-*BT*D34 (图7a, 8a)和 *BT*4-*BT*D45 (图7b, 8b)都表现为较完整的拱形. 这说明在E区和F区中既含有位于点聚图左侧底端的全部有云的象元,又含有位于点聚图右侧底端的全部为晴空地面的象元,其中还含有位于点聚图中部的部分有云的象元,它们组成了完整的“拱”. 进一步比较图7a与图8a以及图7b与图8b,我们注意到E区点聚图“拱”的振幅比F区的点聚图大,这显然与E区的云比F区的云更高有关. B区和C区的云最高,这使得B区和C区相应点聚图的拱形振幅最大.

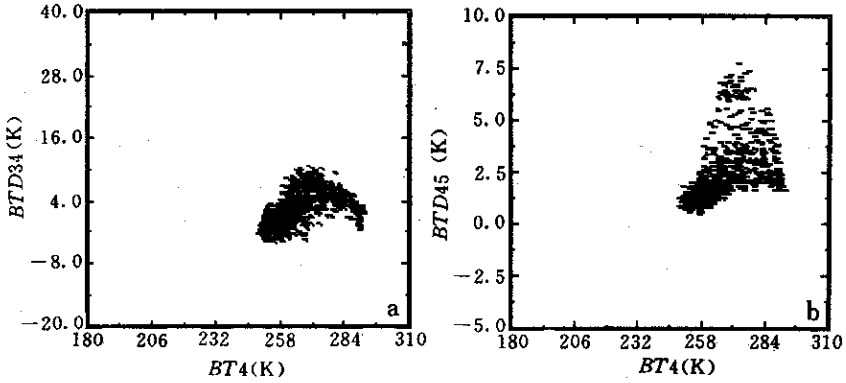


图 7 图 2 中 E 区象素点亮温-亮温差点聚图  
(a)BT4-BTD34 (b)BT4-BTD45

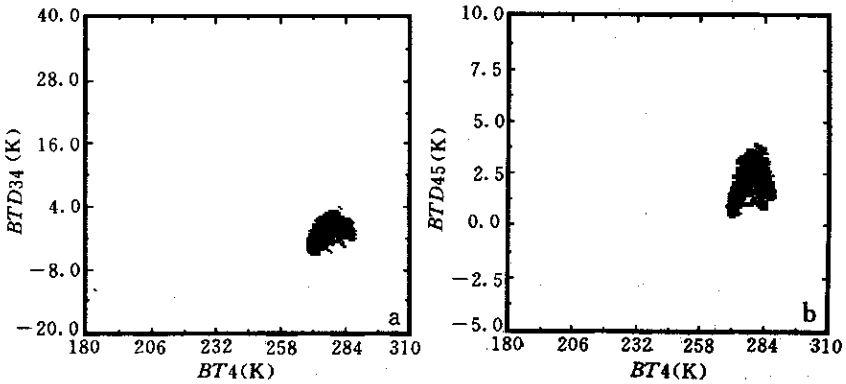


图 8 图 2 中 F 区象素点亮温-亮温差点聚图  
(a)BT4-BTD34 (b)BT4-BTD45

## 2 BT4-BTD34 和 BT4-BTD45 点聚图所表现的云性质

在对众多有云覆盖区的 BT4-BTD34 及 BT4-BTD45 点聚图进行分析后,可以注意到,云区的点聚图均呈现“拱形”结构. “拱”的左端点具有 BT4 最小值和 BTD34 或 BTD45 的最小值. 这里是密蔽云区,从云下的地面向上的辐射很难穿越云层而到达外空,探测器所测得的辐射就是云本身所发出的热辐射. “拱”的中部 BT4 的测值介于两个端点之间,而 BTD34 和 BTD45 的测值均大于两个端点,这里是半透明的云区或者是部分有云的地区. 部分背景辐射可以穿过云,背景向上的辐射作出了一部分贡献. 由于在 3 个通道中 CH3 对辐射的透过率最大,CH4 次之,CH5 最小,因而从背景上来的辐射 CH3 最多 CH5 最少,使得 3 个通道上的亮温测值相比较为  $BT3 > BT4 > BT5$ . 这就造成了半透明云区或部分有云区不同通道之间有亮温差. Inoue<sup>[6]</sup>首先提出,用 BT4-BTD45 的点聚图对云的性质进行分析,并指出了卷云点聚图的模型结构. “拱”的右端点具有 BT4 最大值

和  $BT4-BTD34$  或  $BT4-BTD45$  的最小值,这里是无云的地面.大部分辐射不再受到云粒子的散射和吸收的影响,亮温差会出现第二个极小值,位于晴空区  $CH4$  亮温的最大值处.可见  $BT4-BTD34$  及  $BT4-BTD45$  的点聚图出现拱形结构与云的光学厚度有很直接的关系.

$BT4-BTD34$  和  $BT4-BTD45$  相比,其对称性有明显的不同.  $BT4-BTD45$  曲线有比较好的对称性.这是因为根据 Planck 函数在  $CH3$  所在波长,地物的温度范围内粒子所发射的能量随温度的升高而迅速增大,因而背景地面发射的辐射要比云发射的辐射能量高许多,只要云有一点透明,背景地面发射的辐射能量就会在卫星接收的辐射值中占很大比例,所以当云的光学厚度比密蔽云略有减小时,  $BT4-BTD34$  会很快达到极大值,从而形成了不对称的  $BT4-BTD34$ . A 区的云在图 3a 中不仅占据了拱形的左端点,而且占据了拱形左侧的一部分,就是这个道理.  $CH4$  与  $CH5$  之间透射率的差别不如  $CH3$  与  $CH4$  之间差别大,在  $CH4$  与  $CH5$  所在的波段, Planck 函数随温度的变化非线性度比较小,从而  $BT4-BTD45$  点聚图比较对称.

用 Mie 理论可解释  $BT4-BTD34$  出现负值的原因:在  $CH3$ , 散射的作用不能忽略,并且可以发生多次散射.根据能量守恒定律,在云很厚,忽略透射时,由于存在散射,吸收率等于发射率,且小于 1;  $CH4$  和  $CH5$  可以忽略散射作用,此时,发射率和吸收率近似等于 1,因而  $CH3$  与  $CH4$  相比,在云很厚且云粒子有效半径比较小时,  $CH3$  的发射率小于  $CH4$  的发射率,从而使  $BT4-BTD34$  出现负值.

### 3 结 论

本文利用气象卫星红外探测通道的亮温  $BT4$  及红外探测通道间的亮温差  $BT4-BTD34$  和  $BT4-BTD45$  分析了云的性质,得出以下结论:

- (1) 云的  $BT4-BTD34$  和  $BT4-BTD45$  点聚图均表现为拱形结构;
- (2) 密蔽云区和无云区占据了拱形曲线的两个端点;
- (3) 半透明云区占据了拱的上部,其中拱的左半侧为较厚的云,右半侧为较薄的云;
- (4)  $BT4-BTD34$  点聚图比  $BT4-BTD45$  更加不对称;
- (5) 云越高,云与背景地面之间温差越大,拱的振幅也越大.

从上面的分析可知,卫星资料可以用于云性质的分析.在研究中,对于云性质的分析只研究了夜间的情况.实例的分析还停留在定性阶段,没有达到定量反演的程度.所以对于利用卫星资料分析云的性质方面的工作只是刚刚起步,还有许多工作要做.

**致谢:**在本文完成的过程中,北京大学尹宏老师及中国科学院大气物理研究所石广玉老师给予了热情帮助,在此一并致谢.

### 参 考 文 献

- 1 Koffler R A, DeCotiis A G and Rao P K. A procedure for estimating cloud amount and height from satellite infrared radiation data. *Mon. Wea. Rev.*, 1973, **101**: 240~243.
- 2 Coakley J A Jr and Francis P Bretherton. Cloud cover from high-resolution scanner data detecting and allowing for partially filled fields of view. *J. Geoph. Res.*, 1982, **87**:4917~4932.
- 3 Coakley J A Jr. Properties of multilayered cloud system from satellite imagery. *J. Geoph. Res.*, 1983, **88**:10818~10828.
- 4 Coakley J A Jr and Baldwin D G. Towards the objective analysis of clouds from satellite imagery data. *J. Climate. Appl. Meteor.*, 1984, **23**:1065~1099.
- 5 Smith W L and Woolf H M. An improved method for calculating tropospheric temperature and moisture from satellite radiometer measurements. *Mon. Wea. Rev.*, 1968, **96**: 387~396.
- 6 Inoue T. On the temperature and effective emissivity determination of semitransparent cirrus clouds by bispectral measurements in the  $10\mu\text{m}$  windows region. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1985, **63**:88~98.

## ANALYSIS OF THE CLOUD PROPERTIES USING NOAA/AVHRR DATA

Liu Jian Xu Jianmin Fang Zongyi

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

The brightness temperature ( $BT$ ) of NOAA/AVHRR CH3 ( $3.55\sim 3.93\mu\text{m}$ ), CH4 ( $10.3\sim 11.3\mu\text{m}$ ) and CH5 ( $11.5\sim 12.5\mu\text{m}$ ) and their differences between CH3 and CH4 ( $BTD_{34}$ ) and between CH4 and CH5 ( $BTD_{45}$ ) can be used to analyze the cloud properties. It is shown that in the case of opaque cloud or cloudless,  $BTD$  ( $BTD_{34}$  or  $BTD_{45}$ ) has a minimum value, in the case of dense cloud,  $BTD_{34}$  would be negative, and while cloud is semitransparent,  $BTD$  has bigger value. Moreover, the  $BTD$  between channels would be bigger with increasing amplitude of temperature difference scatter diagram between cloud and background surface.

**Key words:** Brightness Temperature Brightness Temperature Difference ( $BTD$ ) Scatter diagram Cloud property