

用双时次 GMS/IR 通道数据合成动态云图的研究*

张明席 林忠敏 周信偶
刘爱鸣 杨 晖 朱应珍
(福建省气象台,福州 350001)

提 要

数值化动态云图是一种在保留常规云图的基本信息的基础上,增加同窗定量化显示中尺度对流系统(MCS)静态与动态特征功能的新型云图,它比通常的 GMS-IR 云图具有更多的信息荷载,更丰富的信息内含与更好的实用性.文中提出了以双时次 GMS/IR 通道数据合成数值化动态云图的技术原理和技术模式.

关键词:中尺度对流系统 数值化动态云图 云顶温度

引 言

静止气象卫星红外云图(GMS-IR)具有时空分辨率高,覆盖面广,资料来源可靠,信息可利用率高等诸多优点.因此,它在日常的天气预报业务中,尤其是在中尺度强对流天气的实时监测和诊断分析上,具有独到的功效.

通常 GMS-IR 云图只能直接向人们提供 MCS 的中心位置、强度及云顶温度(T_c)的梯度分布等瞬时信息.虽然,在业务中已广泛采用动画技术,但也仅能产生云系迁移的视觉效果,并不能定量描述 MCS 的演化特征.

大量云分析的实践证实,一个 MCS 能否产生中尺度强对流天气,不仅取决于它的瞬时强度特征,更重要的是取决于它的强度演化特征.处于发展加强状态的 MCS 才易于产生强对流天气,而处于减弱消散的 MCS 不利于产生强对流天气.根据通常的 GMS-IR 云图作 MCS 诊断时,人们就有可能将刚开始消散的 MCS 估计过高,而将正在发展的但貌似很弱的 MCS 估计过低,从而导致预报决策上的错误.因此,若能将 MCS 的静态信息(系指云状态参量;中心位置、中心强度、梯度结构等)及动态信息(指中心迁移、强度增减、云体的分合、 T_c 的演化与分布等)合成显示在同一幅画面上,将有助于人们去综观 MCS 的全貌,从而作出正确的判断.

基于这种设想,本文提出了用双时次 GMS/IR 通道数据来合成数值化动态云图的技术原理和技术模式.应用实践表明,这是一项成功且很有意义的尝试.

* 1997-09-10 收到,1997-12-01 收到修改稿.

1 物理构想与分析

在一定的假设条件下,卫星在 IR 通道($10.5\sim 12.5\mu\text{m}$)所接收的来自 θ 方向的辐射为^[1]:

$$L_{\lambda}(\theta) = B_{\lambda}(T_b)$$

这里, B_{λ} 为相应于 λ 波段的普朗克函数.

上式表明, GMS 在 IR 通道所接收的辐射仅与物体的温度有关. 换言之由 GMS/IR 通道数据反演出来的 T_b 值, 在不计大气衰减的影响时, 云覆盖区等价于云顶温度, 晴空区则等价于地表或水面之温度.

由于环境大气温度垂直分布呈 $\partial T/\partial z < 0$ 的特性, 故 T_b 低处对应云顶高处, 而 T_b 高处对应云顶低处, 即

(1) 当云体位置少量移动时, $\partial T_b/\partial t < 0$ 对应云顶高度局地抬升; $\partial T_b/\partial t > 0$ 对应云顶高度局地沉降; $\partial T_b/\partial t = 0$ 对应云顶高度稳定少变.

云顶高度的升、降自然是环境垂直气流所致, 故有关系: $\partial T_b/\partial t \cong \gamma_m \cdot dz/dt$ 存在, γ_m 为绝热垂直递减率. 因此, 由 $\partial T_b/\partial t$ 能很好体现云中对流运动的消、长, 从而亦能体现 MCS 的消、长. (2) 当云层如图 1 所示迁移时, 即: 在云层移出 A 区时, 必有 $(\partial T_b/\partial t)_A \gg 0$; 在云层移入 B 区时, 必有 $(\partial T_b/\partial t)_B \ll 0$; 在 C 区, t_1 、 t_2 时刻均为云顶温度, 故必有 $|(\partial T_b/\partial t)_C| \ll |(\partial T_b/\partial t)_{A,B}|$.

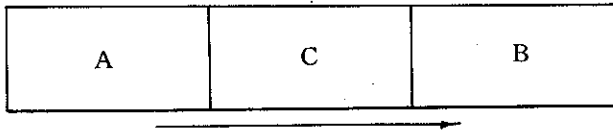


图 1 云层迁移示意图

(A+C 为 t_1 时云层位置, C+B 为 t_2 时云层位置, \rightarrow 为云移向)

显然, A、B 区范围的大小与云迁移速度呈正相关, 故此时 3 个区 $\partial T_b/\partial t$ 的分布特征能直观体现出云团的基本移向和移速.

(3) 当云团在本地新生时, 则在新生云覆盖区上, 必有一致的 $\partial T_b/\partial t \ll 0$ 的现象产生.

从成云的物理机理上, $\partial T_b/\partial t$ 可反映气块绝热抬升的冷凝速率, 而 T_b 的分布特征(中心值和梯度结构)则可标识出新生云团的中心位置、强度和扩展趋势.

从上述 3 种最基本的云变化分析可知, 要确切诊断 MCS 的演化特征, 就必须充分了解 MCS 中 T_b 的演化特征, 即 $\partial T_b/\partial t$ 的值、属性和分布.

2 数值化动态云图的技术模式

2.1 信息构成与显示设计

由前面分析可知,要同窗并举体现出 MCS 的静态与动态特征,则在期望的新云图上,必须具备 3 个基本的显式信息:一是 t_1 时的 T_b 分布,二是 t_2 时的 T_b 分布,三是 $t_1 \rightarrow t_2$ 间的 $\partial T_b / \partial t$ 分布。

3 种信息同窗显示的模式是:以值化字符表示 t_1 时 T_b 分布,以等值线表示 t_2 时的 T_b 分布,以量化的颜色表示 $\partial T_b / \partial t$ 分布。

(1) 技术处理

① 将 $\partial T_b / \partial t$ 的值域依序分成 $m+1$ 个区间,即是 $(-\infty, dT_1], (dT_1, dT_2], \dots, (dT_{m-1}, dT_m], (dT_m, \infty)$. 这里, $dT_1 < dT_2 < \dots < dT_m$, 为给定的区间界定值, m 为界定点数;② 给上述各区间匹配一种不重复的颜色;③ 将 T_b 的值域依序分割成 $n+1$ 个区间,即是 $(-\infty, T_1], (T_1, T_2], \dots, (T_{n-1}, T_n], (T_n, \infty)$. 这里 $T_i = T_c + (i-1) \cdot \Delta T$, $i=1, 2, \dots, n$; n 为区间界定点数; T_c 为给定的最低界值温度; $\Delta T > 0$ 为分割步长; T_i 为界定值;④ 给上述各区间匹配一个不重复的字符;

(2) 显示处理

① 据给定空间点 (x, y) 上 t_1 时的 T_b 值所在区间取定对应字符;以该点上 $\partial T_b / \partial t$ 值所在区间取定对应的颜色;以该颜色将字符显示在该空间点上;② 在给定区域上进行以 ΔT 为间隔的 t_2 时的 T_b 等值线分析。

2.2 模式设计的效果分析

(1) 当 $\Delta T \rightarrow 1^\circ\text{C}$ 且 $n+1$ 个字符设计得有序易记时,字符的分布即是 t_1 时 T_b 的直观量化分布,从而可将此时 MCS 的中心位置、中心强度、冷盖范围等静态特征客观地展现出来,而同幅画面上的等值线分析则可将 t_2 时的 MCS 中心强度、位置、冷盖区、梯度结构诸特征直观定量地刻画出来. 两者相辅,便可将 MCS 在 $t_1 \rightarrow t_2$ 间的中心位移、强度变化、冷盖扩缩、对流体分合等特征一目了然地显现出来。

(2) 当 $\partial T_b / \partial t$ 的区间划分合适时,字符的颜色就可量化反映出所在点 T_b 的局地变化量值与属性,从而可将 MCS 中对流活动的生消分布以及 MCS 的迁移态势鲜明地揭示出来。

因此,它是一种可比常规 IR 云图具有更多信息荷载,更丰富的信息内含的数值化动态云图。

3 数值化动态云图应用实例分析

3.1 技术参数

不同季节,技术参数的选择有所不同. 在夏季,取 $m=13$; $n=21$; $\Delta T=3^\circ\text{C}$; $T_c=-81^\circ\text{C}$. 表 1 给出 T_b 区间划分与显示字符对应表,表 2 给出 $\partial T_b / \partial t$ 区间划分与显示颜色代码对应表。

表1 T_b 区间划分与显示字符对应表($T/^\circ\text{C}$)

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
T_i	-81	-78	-75	-72	-69	-66	-63	-60	-57	-54	-51	-48	-45	-42	-39	-36	-33	-30	-27	-24	-21	∞
字符	A	B	C	4	E	F	7	H	I	J	K	L	M	>	+	P	<	/	V	T	X	II

注:II表示空字符.

表2 $\partial T_b/\partial t$ 区间划分与显示颜色代码对应表($dT/(\text{C}\cdot\text{h}^{-1})$)

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
dT_i	-16.0	-13.0	-10.0	-7.0	-4.0	-1.0	1.0	4.0	7.0	9.0	11.0	13.0	16.0	∞
颜色代码	13	11	4	14	5	12	3	6	10	2	7	9	8	1

3.2 夏季强降水诊断分析应用实例

1997年6月9日02:32和12:33UTC各有一个MCS移入福建宁化、清流县一带.由图2可见,两者的外在形态很相近, $\leq -65.0^\circ\text{C}$ 的覆盖范围基本相同;由图3数值化GMS-IR云图可见,其冷中心位置相近,前者位于 26.10°N 、 116.75°E ,后者位于 26.10°N 、 116.55°E .两者之差别仅在于后者 $\leq -70.0^\circ\text{C}$ 的面积要比前者大得多,后者冷中心强度达 -81.2°C ,比前者(-73.3°C)更强.所以,就静态特征而言,后者是一个更强盛的MCS.显然,如果只从常规IR云图上的信息来诊断,那么,很自然会认为后者会产生更大的降水.实际上则是貌似较弱的前者产生了强降雨,而后者只出现了小阵雨(见表3).

表3 两个MCS的降水强度对比表($R/(\text{mm}\cdot\text{h}^{-1})$)

MCS	02:32 UTC		12:33 UTC	
	02:00~03:00	02:30~03:30	12:00~13:00	12:30~13:30
宁化	30.8	23.3	1.5	1.9
清流	36.5	30.5	3.1	1.5

这种现象产生的原因,可在相应的GMS-IR数值化动态云图上(图4)得到合理的解释.由图4的对比可见:

(1)02:32 UTC的MCS合并,12:33 UTC的MCS分裂.

从图4a上的字符分布,即 t_1 时 T_b 的分布可见,02:32 UTC的MCS在 26.10°N 116.65°E , 26.20°N 116.80°E , 26.30°N 116.70°E 及 26.40°N 116.75°E 各有一个中心强度为 -69.3°C 的小闭合体(对流单体),而画面上的等值线分布,即 t_2 时 T_b 分布表明,在 t_1 时的4个彼此接近的单体已合并成一个组织完好的“超级单体”,中心位置在 26.10°N 116.75°E ,中心强度增强到 -73.3°C , $\leq -69.0^\circ\text{C}$ 的面积比原各单体的总和还大.

12:33 UTC的MCS的情形正好相逆.从图4b上的字符分布可见,在 t_1 时,MCS只有一个中心强度为 -81.2°C 的闭合体,中心位置在 26.40°N 116.40°E ,而图上的等值线分析则清楚地显示出了3个小闭合体,其中心位置分别为 26.10°N 116.55°E , 26.30°N 116.85°E 和 26.45°N 116.75°E ,相应中心强度为 -81.2°C , -79.2°C 和 -79.2°C .可见,该MCS在东移中,发生了对流体分裂的过程.

文献[2]在总结云模拟实验和云分析实践的大量结果时指出:MCS中对流单体的合

并是对流云系向大尺度增长的基本特点,也是 MCS 从积云阶段转入成熟阶段的标志之一,强降水主要产生于成熟阶段;对流云(单体)合并可使对流性降水增加 10~20 倍.相反,对流体的分裂常是 MCS 走向消散的特征.表 3 记录的对比关系正反映了以上描述的特征.

(2)02:32 UTC 的 MCS 发展,12:33 UTC 的 MCS 消散.

由图 4a 上字符颜色所织成的色谱,即 $\partial T_b/\partial t$ 的分布表明,在 02:32 UTC 的主体区里,出现了一致的适度变暖.由图 5a 上可见,在冷中心的两侧,即自 115.80°~117.55°E 之间的 36 个像素点上, T_b 局地变化值只在 0°C/h 线附近波动,其绝对值均值 $(|\partial T_b/\partial t|)_{36}$ 仅 2.4°C/h,而平均值 $(\partial T_b/\partial t)_{36}$ 为 -2.0°C/h,且最大增温值仅为 1.6°C/h, $\partial T_b/\partial t > 0$ 者只有 5 点;在此波动区里, T_b 的分布曲线呈准对称的宽体缓峰型.图 4a 和 5a 的这些特征清楚表明,此时的 MCS 主体位置稳定少动,云柱垂直性好,中心强度处于稳定增强之中,有利于维持对流的发展.图 4b 上的情形则不同,此时的 MCS 中已出现大范围的强升温,即使在 $\leq -72.0^\circ\text{C}$ 的主体区里, $\partial T_b/\partial t > 5.0^\circ\text{C}/\text{h}$ 的升温区也已系统性地侵入进来.从图 5b 上可见,在自 116.25°E(离冷中心仅 30km)往西至 114.80°E 之间的 30 个像素点上,表现出一一致的强升温: $(|\partial T_b/\partial t|)_{30} = (\partial T_b/\partial t)_{30} = 11.2^\circ\text{C}/\text{h}$;而自冷中心起,往东 95 km 的宽度里(19 个像素点)则表现为一致的强烈降温: $(|\partial T_b/\partial t|)_{19} = (\partial T_b/\partial t)_{19} = -27.5^\circ\text{C}/\text{h}$,在冷中心的两侧, $\partial T_b/\partial t$ 的分布不象前者有一个小波动带,而是呈跳跃式的转折,相应的 T_b 分布曲线则呈现出偏态的陡峰型.这些特征表明,此时的 MCS 整体在快速东移,冷中心因而前倾到流出云砧区(这里盛行下沉气流),云中对流处于减弱消散.

由上可知,这两个相隔仅 10h 同一天同一地出现的 MCS 在动态特征上则是截然不同的.所以,其结果也有很大的差异.

该典型实例的剖析说明,数值化动态云图在 MCS 的客观诊断上确实有明显优于一般 GMS-IR 云图之处.在实用中,若能深刻理解、充分利用动态云图所体现出来的丰富信息,就有可能据此而作出较准确的预报决策来.

4 结束语

数值化动态云图是一种在保留常规 GMS-IR 云图的基本信息的基础上加同窗量化显示 MCS 静态与动态特征功能的新型云图.在近一年的准业务应用中,无论是在无眼台风定位上,还是在短时强降水的诊断预报上,它都具有比常规 GMS-IR 云图更佳效果,显示出良好的应用前景.

然而,这毕竟是一种新的尝试,要取得好的业务效果,尚须进行许多求是的探索.

致谢:宁化、清流县气象局提供雨量资料,在此表示衷心的感谢.

参考文献

- 1 陈渭民,夏浣清,陈光宇. 卫星气象学. 北京:气象出版社,1989. 105~122.
- 2 Cotton W R, Authes R A. 风暴和云动力学. 叶家东,范蓓芬,程麟生,杨长新译. 北京:气象出版社,1993. 470~492.

SYNTHESIZING DYNAMIC CLOUD PICTURES WITH DOUBLE TIME LEVEL GMS/IR DATA

Zhang Mingxi Lin Zhongmin Zhou Xinyu
Liu Aiming Yang Hui Zhu Yingzhen
(*Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001*)

Abstract

The technical principle and model for synthesizing numerical dynamic cloud picture with double time level GMS/IR data are given. Numerical dynamic cloud picture is a new kind of cloud picture which has the function of displaying both the static and dynamic features of Mesoscale Convective System (MCS) quantitatively, and it has richer messages than the conventional GMS/IR cloud picture, therefore, it is much more valuable in practice.

Key words: Mesoscale Convective System (MCS) Numerical dynamic cloud picture
Cloud top temperature