

2006年6月10日浙江飊线FY-2C 卫星云图特征

洪 毅¹ 李玉柱² 陈智源² 李新芳³

(1. 浙江丽水市气象局, 323000; 2. 浙江省气象局; 3. 民航飞行学院)

提 要: 利用FY-2C静止气象卫星云图和中尺度加密地面气象监测资料, 采用Weiss-Smith方法、云顶亮温分层、多谱组合等定量分析技术对2006年6月10日发生在浙江中北部地区的一次冰雹和雷雨大风天气的飊线过程进行连续监测和对流云识别分析。FY-2C卫星云图定量分析结果表明这次飊线过程对流最旺盛期TBB低于230K(-44℃); 长波红外分裂窗双谱组合 $T_c \leq -4$ 的低值区与强风暴天气影响区域相对应, $T_c \leq -7$ 低值中心与强雷达回波区相对应; 强对流天气区域与分布在沿对流云团前进方向的TBB梯度最大区域有很好的对应关系, 强风暴天气发生区的移动路径与 T_V 正梯度最大区域的移动路径相似。

关键词: FY-2C卫星云图 飊线 对流云

Analysis of FY-2C Satellite Images of the Thunderstorm 060610 in Zhejiang

Hong Yi¹ Li Yuzhu² Chen Zhiyuan² Li Xinfang³

(1. Lishui Meteorological Office, Zhejiang Province 323000; 2. Zhejiang Meteorological Bureau;
3. Civil Aviation Flight University of China)

Abstract: By using FY-2C geo-stationary weather satellite cloud images, the ground meso-scale weather monitoring data and a series of techniques, such as Weiss-Smith method, layering of brightness temperature of cloud top and combination of multiple channel brightness temperatures, a quantitative analysis was performed for the hail and thunderstorm strong wind weather process that occurred in northern region of Zhejiang on June 10, 2006. The results of cloud image analysis show that the TBB is lower than 230K (-44℃) when the convection grows most prosperously

资助项目:“浙江省小流域致灾强风暴监测预警技术研究”(2006C13025)和“基于网格化的浙江省小流域短时强降水监测预警与服务系统”(CMATG2006Z11)项目联合资助。

收稿日期:2006年12月9日; 修定稿日期:2007年7月9日

and the area with the brightness temperature difference of lower than -4°C corresponds to the place where is most affected by the strong thunderstorm. The center of low value with $T_c \leq -7^{\circ}\text{C}$ corresponds to the strong echo of radar. There is a good correspondence between the strong convective weather and maximum gradient of TBB , which distributes along the moving cloud cluster. The moving path of strong storm is similar to that of the maximum positive gradient of T_V .

Key Words: FY-2C satellite images squall heavy convection cloud

引 言

无缝隙、精细化和三定预报思路要求实现预报服务在时间、空间的一致性和连续性。目前我国气象部门相当普遍地拥有气象卫星观测资料,但是,由于对气象卫星资料的客观解释应用技术开发不足,卫星遥感资料的预报应用缺乏再加工和深加工,预报员不能准确、及时、有效地捕捉和分析到有用信息,应用相当程度上还停留在定性阶段。气象卫星遥感资料如何在短时预报预警精细化预报服务方面发挥作用,亟待进一步研究并开展工作。对飊线等中尺度强风暴天气过程,由于受常规气象观测资料空间分布率较低的限制,难于分析实际过程发展变化与移动路径情况,应用卫星遥感监测资料处理与定量分析技术则可以在一定程度上弥补这一不足。利用 FY-2C 静止气象卫星遥感资料,采用卫星遥感资料处理与量化分析技术,对浙江省小流域强风暴监测预警区域云图资料和中尺度加密气象监测资料进行分辨率为 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 细网格化定量处理,分析了 2006 年 6 月 10 日 08—14 时影响浙江省中北部的飊线过程,试图在利用 FY-2C 静止卫星监测定量资料开展小流域强风暴天气的精细化预报方面进行一些探索。

1 2006 年 6 月 10 日浙江飊线影响过程概况

2006 年 6 月 10 日上午 08 时,受高空低槽及弱冷平流南下影响,浙赣交界处的安徽

境内出现 $15 \sim 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的阵风 and $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水,随后飊线自西北向东南方向快速发展移动影响浙江。这次飊线影响过程中,浙江省中北部地区有 278 个站点出现 8 级以上大风,50 个站点风速达到 10 级(最大 $32.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$);42 个站点出现超过 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水,11 个站点超过 $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (最大 $47.8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$);部分地区出现直径 10mm 左右的冰雹(最大的直径约 $16 \sim 17 \text{ mm}$);各地影响时段大多在 1 小时左右,至下午 15 时过程结束。这次飊线过程给受影响地区造成较大人员伤亡和经济损失。飊线影响过程雷达回波见图 1(彩页),过程极大风速分布情况见图 2(彩页)。

2 分析资料、研究范围与时段确定

本次飊线主要影响浙江省中北部地区,选取浙江省小流域强风暴监视预警区域作为分析研究区,区域范围为: $25 \sim 33^{\circ}\text{N}$, $116.0 \sim 124.0^{\circ}\text{E}$, 分析区域的网格分辨率为 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 。

飊线影响时间主要在 2006 年 6 月 10 日 07—14 时之间,因此将分析研究时段确定在 2006 年 6 月 10 日 00—23 时(资料时间均为北京时)。

选取分析研究区范围的 1643 个加密自动气象站(其中浙江省 637 个站),2006 年 6 月 10 日 00—23 时 1 小时间隔的降水量、风向风速、本站气压与地面气温等中尺度加密监测数据为分析资料。

选取 2006 年 6 月 10 日 00—23 时每间隔 30 分钟观测一次,共 48 幅 FY-2C 静止气

象卫星 S-VISSR 展宽数字资料作为研究分析的初始卫星资料。

3 FY-2C 静止气象卫星云图处理

3.1 S-VISSR 展宽数字图像资料预处理

对 FY-2C 静止气象卫星云图 S-VISSR 展宽数字资料预处理主要有:等经纬投影处理、坐标转换、光谱通道分离、卫星数据定标处理等。

通过图像定位等算法实现对卫星观测资料投影处理、VISSR 图像坐标和地理经纬度坐标之间的相互转换、提取区域云图。对分离后的红外通道计数值和可见光通道计数值进行卫星数据的定标处理,得到云顶亮温 TBB 和反照率值。对分通道区域云图进行格点化处理,得到分析研究区的 4 个红外通道的亮温和可见光通道的反照率等细网格数字云图资料。

3.2 卫星云图随机噪点消除

气象卫星数据在接收过程中,由于卫星在观测和信号传输的过程中可能受到各种电波干扰,云图上有时会出现随机性的孤立噪点或漏行,因此在使用卫星云图资料前,需对其进行噪点剔除处理。采用平滑滤波算法可以滤除随机噪点,进行云图去噪处理^[9]:

$$G_x(i, j) = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^3 G(i-2+m, j-2+n) \quad (1)$$

$$G_w(i, j) = |G(i, j) - G_x(i, j)| \quad (2)$$

$$G(i, j) = \begin{cases} G_x(i, j) & G_w(i, j) > G_0 \\ G(i, j) & G_w(i, j) \leq G_0 \end{cases} \quad (3)$$

其中, $G(i, j)$ 是图像点灰度值, i, j 分别为卫星图像行列值, N 为平均的点数, G_0 为阈值。取 $N=9, G_0=35$, 经过以上处理后,基本消除了云图中的随机噪点。

4 对流强度变化及发展演变特点

采用美国常用的方法将云顶 $TBB < 0^\circ\text{C}$ 的值分为 7 层^[1](见表 1), 这种分层方法考虑了云发展中的一些性质和类别变化, 可以此来分析飊线云的对流强度。当云顶 $TBB \leq 240\text{K} (-32^\circ\text{C})$, 第 6 层以上), 通常认为这种云是对流云, 伴随的强对流天气现象较强; 当 $TBB \leq 210\text{K} (-62^\circ\text{C})$, 第 2 层以上), 则认为云已伸过了对流层顶, 称作超顶或穿顶对流, 对流发展非常旺盛, 伴随强对流天气现象比较严重。

表 1 云顶亮温分层

层次	$TBB(\text{K})$
第 1 层	< 190
第 2 层	191~210
第 3 层	211~215
第 4 层	216~220
第 5 层	221~230
第 6 层	231~240
第 7 层	241~273

应用云顶亮温的分层特点和 Weiss-Smith 方法^[2]可以很好地识别强降水(如大于 $10\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)^[6]的特点, 分析云顶亮温、分层云阈值参数与飊线对流强度、对流活动旺盛期、对流云减弱消亡之间的关系^[1]。通过 Weiss-Smith 方法对分析区域内各时次红外通道云图资料进行 $15\text{km} \times 15\text{km}$ 网格计算, 得到平均云顶亮温 TBB 场、对流云最冷云顶亮温以及平均云顶亮温随时间的变化等结果。

由图 3 可知, 6 月 10 日凌晨 02 时左右对流云团开始发展, 03 时 30 分左右云顶最低亮温降低到 239K, 云团发展达到对流高度, 到达第 6 层的云顶面积^[5]为 100km^2 左右(4 个网格); 此后, 对流继续发展, 云顶最低亮温快速降低, 超过对流层的云顶面积也迅速增加。到 05 时 30 分左右云顶最低亮温

降低到 229K,即对流发展达到第 5 层,达到对流层高度的云区面积约 19570km²(783 个网格)。

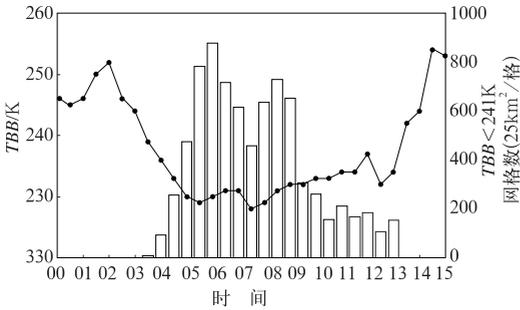


图 3 2006 年 6 月 10 日飊线对流强度变化
曲线为最低云顶亮温,直方图为 $TBB < 241K$ 的云区面积

05—09 时之间是飊线对流发展旺盛期,云顶最低亮温在 07—08 时 30 分左右达到过程的最低值(228K),对流发展高度达到第 5 层。此间,在第 6 层之上的云区面积因对流发展较迅猛使云顶向上拉伸而减少,达到第 5 层的云顶面积迅速增多,从 0km² 快速增大到约 1850km²(74 个网格),08 时左右达到最大,这时到达第 5 层的飊线对流云团面积约 1925km²(77 个网格),可以认为此时飊线对流强度达到最旺盛期(图 4,见彩页),宁波雷达也同时观测到强度达 60dBz 的强对流回波(图 1,见彩页)。此后,随着飊线影响时的强风暴天气发生,飊线因能量释放对流强度逐渐减弱,09 时开始对流云顶高度回落到第 6 层(TBB 为 232K);13 时 30 分左右最低云顶亮温升高到 242K 以上,云顶高度降低到第 6 层以下。在以后的 1 小时内最低云顶亮温迅速升高,对流强度明显减弱,这时候飊线影响发生的强风暴天气也随之结束。

5 飊线对流云团双谱组合分析

5.1 长波红外分裂窗双谱组合分析

为便于通道之间的相互匹配比较和组合处理,采用 IR1~IR4 红外通道为 $T \times 1$,可见

光 VIS 通道为 $T \times 4 + 3$ (其中 T 为各通道数据的原始值)的方案进行规一化处理。

计算规一化后的长波红外分裂窗通道 IR1(光谱范围为 10.3~11.3 μm)亮温和 IR2(光谱范围为 11.5~12.5 μm)亮温差,进行长波红外分裂窗双谱组合分析:

$$T_c = TBB_1 - TBB_2 \quad (4)$$

其中 TBB_1 和 TBB_2 分别为红外分裂窗通道 IR1、IR2 亮温, T_c 为长波红外分裂窗双谱组合值。

对比分析 TBB 场、 T_c 场和强对流天气发生区发现,长波红外分裂窗双谱组合 $T_c \leq -4$ 的低值区与强风暴天气发生区有很好的对应关系。 $T_c \leq -4$ 的低值区主要位于飊线对流云团 TBB 低中心的前侧,在整个飊线影响过程中,强风暴天气主要发生在 $T_c \leq -4$ 的低值区范围,其中呈条状分布的 $T_c \leq -7$ 的低值区与强度大于 40dBz 的条状强雷达回波区几乎重合(图 5,见彩页),强雷达回波中心(60dBz)与 T_c 低值中心($T_c = -10$)相对应。由此可见,在本次飊线过程中,长波红外分裂窗双谱组合 $T_c \leq -4$ 的低值区可以有效地指示飊线对流云团的强风暴天气影响区域, $T_c \leq -7$ 低值中心的可以指示强雷达回波区。

5.2 长波红外与可见光双谱组合

可见光(VIS)图像是太阳辐射经地一气系统散射或反射后到达卫星的图像,图像灰度值取决于地表或云的散射或反射系数。反照率反映了云的厚薄和结构疏密,发展深厚的云具有较高的反射率,薄的卷云反射率较低。利用很低的云顶亮温和很高的反照率表明该云团对应着旺盛发展的对流云的特点,进行云团对流发展程度识别^[7]。计算规一化后的长波红外通道 IR1(光谱范围为 10.3~11.3 μm)亮温和可见光通道 VIS(光谱范围为 0.55~0.90 μm)反照率的差值,计算长波

红外与可见光双谱组合值^[8]:

$$T_V = TBB_1 - VIS \quad (5)$$

其中 TBB_1 为长波红外通道亮温, VIS 为可见光通道反照率, T_V 为长波红外与可见光双谱组合值。

对 T_V 场、 T_V 梯度场及强风暴发生区域进行对比分析发现,本次飊线影响时的短时强风暴天气区域不是处在飊线对流云团的 T_V 最强区域,而是主要分布在沿飊线对流云团前进方向的 T_V 梯度最大区域附近(图6,见彩页);强风暴发生区的移动路径与对流云团 T_V 梯度最大区域的移动路径相似。

6 结 语

(1) Weiss-Smith 方法处理云图资料并结合应用云顶亮温的分层方法,可以很好判别飊线对流云团与相应的强风暴天气的发生、发展和演变过程。

(2) 在此次飊线整个活动期间,对流云顶最低亮温 TBB 均低于 240K(第6层),即达到对流云高度,对流最旺盛期 TBB 小于 230K(第5层)。

(3) 长波红外分裂窗双谱组合 $T_c \leq -4K$ 的低值区可以有效地指示飊线对流云团的强风暴天气影响区域, $T_c \leq -7K$ 低值中心的可以指示强雷达回波区。

(4) 长波红外通道 IRI 亮温与可见光通道 VIS 反照率的双谱组合方法,可以有效地

识别飊线对流强度。

(5) 强风暴天气区域主要分布在沿飊线前进方向的 T_V 梯度最大区域附近,强风暴发生区的移动路径与 T_V 梯度最大区域的移动路径相似。

参考文献

- [1] NESDIS/NOAA. The GOES Users Guide[M]. 1983, 7-389.
- [2] Weiss, M. and Smith E. A. Precipitation discrimination from satellite infrared temperatures over the CCOPE mesonet region[J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1987, 26, 687-697.
- [3] Negri, A. J. and Adler, R. F., A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall[J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1988, 27, 30-51.
- [4] Scofield, R. A., The NESDIS operational convective precipitation estimation technique[J]. Monthly Weather Review, 1987, 115, 1773-1792.
- [5] 魏建苏, 严明良, 樊永富, 等, 卫星云图和数值产品结合的汛期强降水预警系统[J]. 气象科学, 2001, 3: 355-362.
- [6] 王健康. 用卫星资料估计降水方法的评述[J]. 气象, 1993, 5: 3-8.
- [7] 蔡艳, 傅德胜. 基于卫星遥感图象纹理特征的云类识别方法及软件设计[J]. 南京气象学院学报, 1999, 3: 416-422.
- [8] 郁凡. 多光谱卫星图像降水强度场的分析[J]. 气象学报, 2003, 3: 334-345.
- [9] 杨澄, 袁招洪, 顾松山. 用多谱阈值法进行 GMS-5 卫星云图云型分类的研究[J]. 南京气象学院学报, 2002, 6: 747-754.

洪 毅等：2006年6月10日浙江飊线FY-2C卫星云图特征

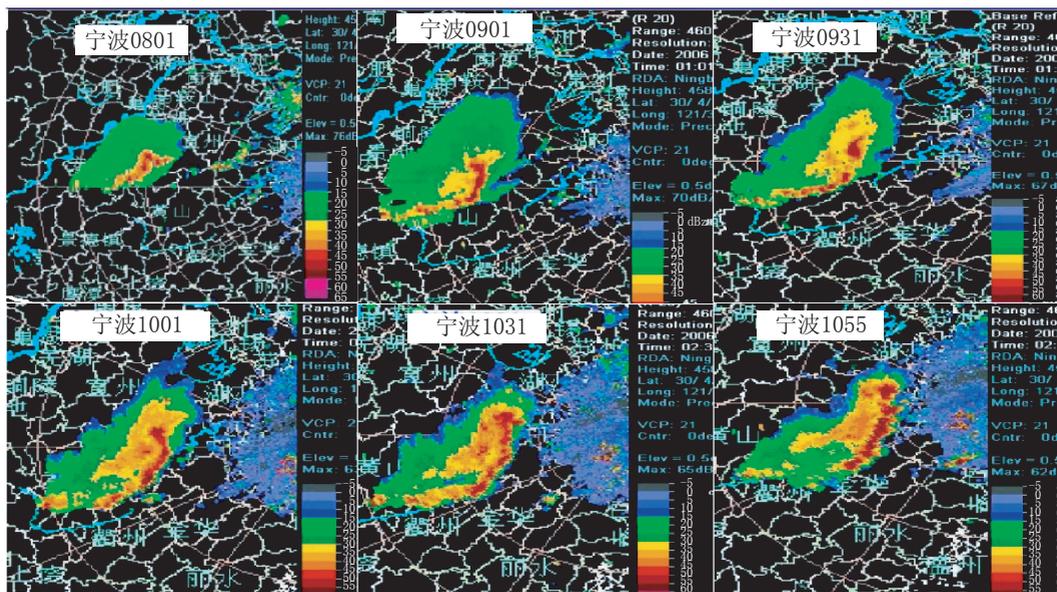


图1 2006年6月10日飊线影响浙江北部时的雷达回波图

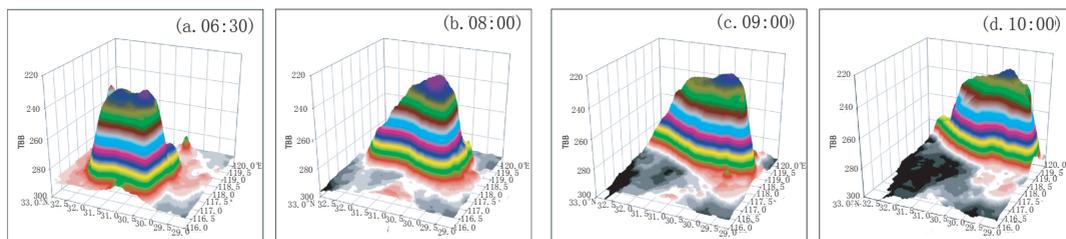


图4 2006年6月10日06—10时飊线对流云团发展演变3D示意图

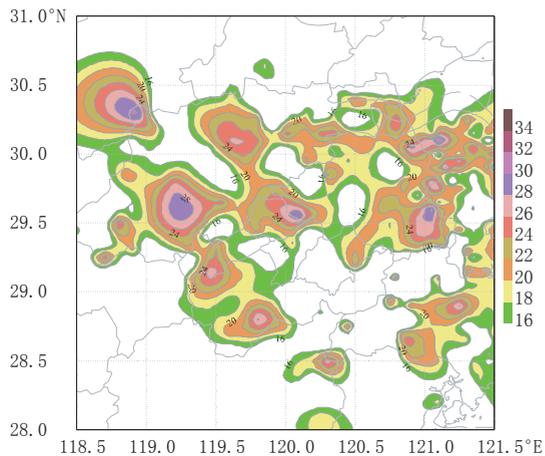


图2 2006年6月9日20时至10日20时极大风速分布图

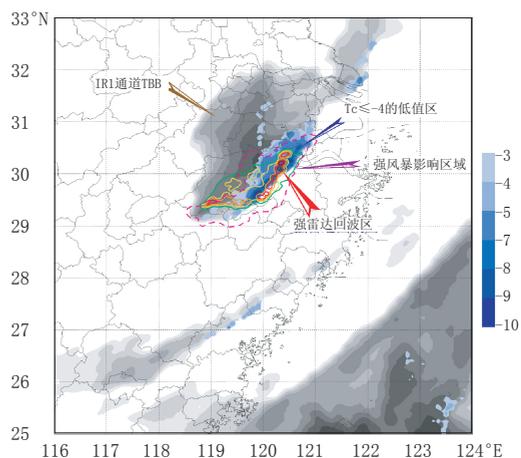


图5 长波红外分裂窗双谱组合与强风暴发生区对比图 10—11h紫虚线范围为强风暴发生区，灰色色块为TBB $\le 260\text{K}$ 的飊线对流云团，蓝色块为长波红外分裂窗双谱组合 $T_c \le -4$ 的低值区，彩色曲线为强雷达回波区

洪 毅等：2006年6月10日浙江飊线FY-2C卫星云图特征

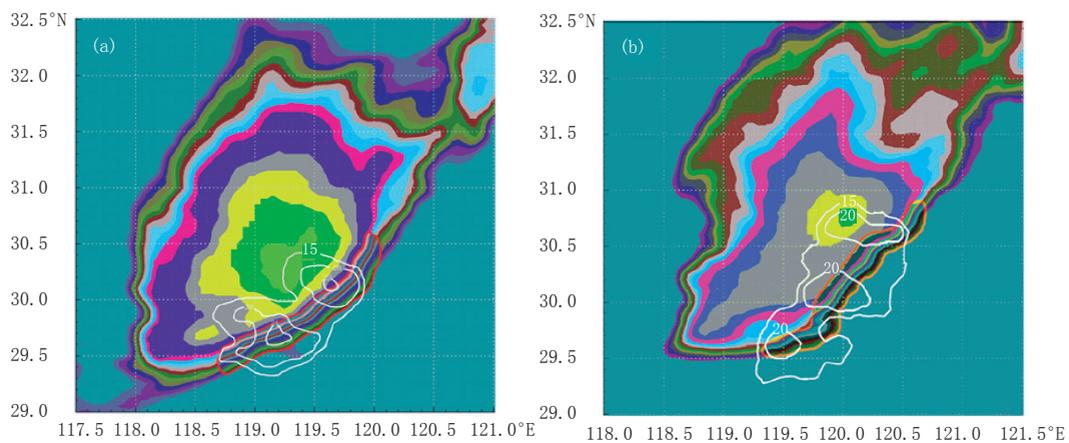


图6 飊线短时强风暴分布区域 (a. 09—10时, b. 10—11时)

白色实线为1小时极大风速 $\geq 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 区, 色块图为 $T_v \leq 100$ 的飊线对流云团, 红色线区域内为 T_v 正梯度最大区