尤特台风登陆过程中眼区 结构变化的分析研究

陈子通 闫敬华 丁伟钰 万齐林

(中国气象局广州热带海洋气象研究所,广州 510080)

摘 要 尤特台风在登陆珠江三角洲期间,借助珠江三角比较稠密的观测网对它在登陆 过程中眼区及其附近结构的变化进行分析研究。综合使用时间分辨率为6 min 的多普勒雷 达CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator)回波图、每小时 CAPPI 径向风、高 时空分辨的静止气象卫星云图、SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager)和常规观测等 资料。雷达图上发现眼区及邻近地区多处存在着比较强的最长可达 150 km 左右的直线状 回波,直线回波带上嵌有多个强的回波单体。经过分析研究,认为雷达图上的直线状回波 现象,与台风内区涡旋结构的变异有关。考察静止卫星红外云图上螺旋云带的强烈弯曲和 云带前端低 TBB 值的现象,以及分析探空资料计算出来的相对涡度分布,认为直线回波现 象与台风内区非对称的涡旋结构演变有关,那些直线回波带的形成可能是与眼壁附近存在 的涡度相对高值区的推进相联系的。最后作者就台风登陆过程中内区涡旋结构变异的问题 作一些讨论,认为台风在登陆过程中相对比较容易发生结构变异,从而有可能导致在登陆 过程中移速加快和出现强天气等现象。

关键词: 台风眼; 眼壁; 结构变异

文章编号 1006-9895 (2004) 03-0471-08 中图分类号 P444 文献标识码 A

1 引言

台风眼的外形与台风发展程度有密切的关系,一般认为呈圆或椭圆等光滑形状。 然而有些台风在发展过程中的某一阶段,其内区结构,特别是眼的结构会出现明显的 变异现象。Lewis 和 Hawkins^[1]在地基雷达的 PPI (Plan Position Indicator)图上观测 到了旋转的多边形眼墙,表明飓风眼墙有六边形、五边形、四边形和三角形等多种不 同的形状。Lewis 和 Hawkins 通过用两个不同的地基雷达系统的观测,指出多边形眼 墙并非特定雷达的噪音所致,最后他们指出多边形眼墙也不是地基雷达的地表效应造 成,因为多边形特征从空基雷达也一样观测得到。1980年,当台风 Wynne 经过日本 时,Muramstsu^[2]提供了进一步的证据,说明多边形眼墙是真实的现象,他认为多边形 眼墙存在于发展较好的台风中。Schubert等^[3]在 PV 动力理论^[4,5]框架下,用一个正压 无辐散、无强迫的模式来讨论多边形眼墙的成因,认为多边形眼墙是最大风半径处的 正压不稳定造成的,当不稳定增长到一定值时,眼墙区的涡环变为多区域离散分布的

²⁰⁰³⁻⁰¹⁻¹³ 收到, 2003-05-26 收到修改稿

^{*}科技部社会公益研究专项 2001DIA20026-01 资助

形式,并创建出多边形眼墙的外观,作者认为这些离散分布的正涡度区可能与飓风中的中涡旋相联系。而台风 Herb,是上世纪 90 年代登陆台湾最强的台风,海平面 700 m 高的山上测到 60 m s⁻¹以上的最大风速,Kuo 等^[6]在多普勒雷达回波上却没有观测到 其多边形眼墙结构,台风眼墙维持为长轴 30 km,短轴 20 km,144 min 旋转周期的椭圆结构。作者通过 7 个数值试验,说明维持椭圆眼要求类兰金涡旋结构,当中心为相 对大涡度值区时,144 min 积分后眼区结构维持不变,当考虑中心为相对小涡度值区 时,则眼区的结构变化对涡度的空间分布敏感。Reasor 等^[7]通过空基双多普勒雷达导 出的 30 min 分辨率的 7 个合成风场,分析正在衰弱的风暴 Olivia 的结构变化,指出离 风暴中心 20 km 左右的回波带可能与径向波长为 5~10 km 的涡度带变化有关。

尤特台风于 2001 年 7 月 6 日凌晨在深圳市宝安区附近登陆,登陆时台风仍处于最 强盛的发展阶段(最大风速 35 m s⁻¹,中心最低气压 965 hPa),在台风登陆过程当中 香港多普勒雷达获得了非常好的观测视角。本文参考了时间分辨为 6 min 的 CAPPI 雷 达回波、每小时 CAPPI 径向风、高时空分辨率的静止卫星云图、SSM/I 微波观测、自 动站和常规观测等资料。在登陆过程中的一段时间里, 雷达回波图上有多边形眼墙 (或者不规则眼墙)的现象存在,更突出的是发现眼及邻近地区多处存在着比较强的直 线状回波,并且每条回波带上均嵌有较强的回波单体。通过仔细分析时间分辨为 6 min 的 CAPPI 回波图,发现从临近登陆到刚刚登陆这段时间,即从5日21:00~6日00: 00(世界时,下同),在风暴眼壁及其附近区域,多处出现强的直线回波带,与之相关 的有多边形眼墙或不规则眼墙的现象,经过初步的分析研究,认为这些现象是与台风 内区的非对称涡旋结构演变有关,对其进行深入地研究将有助于改进登陆预报。现在 有许多成果表明,涡旋结构的变化将直接影响到登陆台风的路径和天气,如罗哲贤题 用数值模拟的方法研究了热带气旋结构对其移动路径的影响,田永祥题进一步阐述小 尺度涡旋的形成对热带气旋移动的影响,认为线性 β 效应产生大尺度涡旋,而大尺度 涡旋为小涡旋提供背景条件。本文主要是从多种观测资料上进行了一些初步的分析研 究,分析雷达图上的直线回波、卫星云图上螺旋云带前端的低 TBB 值和云带的强烈弯 曲等现象,并通过配合常规观测资料的涡度计算,认为直线状回波现象(以及多边形 眼墙等现象)与台风内区非对称的涡旋结构演变有关,分析表明眼壁附近存在的涡度 大值区的推进与直线回波带的形成有很好的对应关系。

2 观测资料分析

主要参考的观测资料包括:(1)香港S波段多普勒天气雷达的3km等高的平面回 波反射率场(CAPPI)和3km等高的多普勒径向风资料。资料的时间分辨为6min, 最大观测范围256km。尤特台风在2001年7月6日凌晨在深圳宝安登陆,多普勒雷达 在台风登陆过程中获得了良好的观测视角,特别是获得了整个登陆过程高时空分辨率 的眼区回波图。(2)常规观测和自动气象站资料。(3)GMS5的0.05°×0.05°红外云图 和SSM/I的85H微波图等。

图 1 (见图版 I) 是台风刚登陆时的回波,图中十字是北京公布的 6 日 00:00 的中心位置,可以看到中心附近有一半径约 15 km 左右的无降水或弱降水 (小于 0.1 mm)

区呈明显的五边形结构,更值得注意地是中心附近南北两个区域各有多条直线状的强回波带,南虚线框中的两条强回波带有较长的直线长度,最长的段约有150 km,与水平方向的夹角约50°,回波带中有多个强的回波单体。北虚框中有三条明显直线回波带,中间的一条已经变形,回波带平行分布,与水平方向的夹角大约130°。仔细分析整个登陆过程(5日08:00到6日12:54)每6 min的回波图,发现从5日21:00到6日00:00这3个小时左右的时段里,在台风眼壁及其附近区域,多处出现了强的直线回波带,以及与之相关的多边形眼墙(或不规则眼墙)的现象,6 min的动态图清楚地反映这些现象的动态变化情况,图2(见图版 II)是选出的比较有代表性的一些雷达回波图,下面将主要对南虚框中的直线回波进行一些跟踪分析。

图 1 南虚线框所示的强直线回波带,它是由一个小的对流雨团演变而来的。如图 2a,5日 20:18 在广东沿海,深圳市南侧有一对流雨团发展,这时的对流雨团紧靠台风中心(北京公布的5日 21:00 的中心位置)北侧,而后这个对流团逐渐演变成强的直线回波带,演变过程中可以见到多个方向均有直线回波的现象。整个的演变过程大致可以分为三个阶段来进行描述。

第一阶段(5日20:18~21:54):从开始时的对流雨团演变为一个较短的弧线状 回波带(如5日21:00),弧线向南侧开口,总体与水平方向(东西向)夹角约为30° (为了论述方便,下文称其为回波带A)。接着回波带A的西邻又有一新弧线回波生成, 称为回波带B,回波带A和B的东南邻侧有一较短回波,称为回波带C(图2a 21:54)。这个阶段的主要特点是:弧线回波(回波带A)开口向南一侧,这个时段台 风中心紧靠在回波带A的南侧,并逐渐向北推进,回波带B生成,并准备开始与A回 波带合并,弧线对流逐渐变直。参考多普勒雷达3km的径向风场[图3(见图版I)的 20:54和21:54],可以从这个等高度面上的径风场,结合6min雷达回波的演变规律, 可以推测出眼区附近的环流情况。从图3可见,20:54,对应于回波带A的径向风是 向内的(即有东风分量),且风速较大,图中所示大小两个线框均为包围台风中心的气 旋性涡旋环流,而在21:54的图上,回波带A处的径向风虽然仍指向内,但风速已经 明显减小,且内线框的零值径风和切变带已较上一时次略为向北推进,但仍在回波带 A的南侧,所以可知台风中心仍在回波带A的南侧,回波带B北小段与回波带A西小 段呈开口向北侧的V型交接,交接处有多处零值径向风。

第二阶段(5日22:00~22:54):5日22:00,回波带B的北段与回波带A合并 成新的回波带A,这时A回波带有3个较强的回波单体。新的回波带逐渐加长,慢慢 伸直,并变为西侧粗东侧细的直线状回波带,到了22:54,回波带A已经变为开口向 北且略有弧型弯曲的弧状回波带。这个阶段可以认为是个过渡阶段,环流形势有明显 的转变,如图3的22:54,回波带A已经变为向外的径向风(即有西风分量),配合开 口向北的弧状回波,可以得知回波带A的北侧已是新的涡旋中心所在(如图线框所 示),图中可见零值径风和切变带已在紧靠回波带A的北侧,与上一时次相比已有明显 的不同了。这个阶段,零值径风和切变带从紧靠回波带A的南侧向紧靠回波带A的北 侧推进,回波带A也从开口向南转变为开口向北,直线状回波在这个过渡时期表现最 为明显。

第三阶段(5日23:00~23:54):回波带已经有较长的伸展,回波带B减弱,回

波带 C 加强,并与回波带 A 一起作逆时针旋转(计算回波段 A 的旋转角速度,大约为 每分钟 0.2°),23:48,回波带 A 迅速减弱,变为明显的弧状回波(参考图 2b、c)。 回波带 A 北侧的涡旋继续加强(参考图 3 的 23:54),并成为围绕台风中心的主涡旋, 回波带 A 和 C 有明显向中心开口的弧状回波带。另外,径向风切变带比上一时次又继 续向西北方向推进,这时的切变带已经在风暴中心(如图中十字,为6 日 00:00 公布 的中心位置)的西北侧了。第二阶段与第三阶段明显不同的是,第二阶段回波带 A 没 有明显绕中心的旋转运动,且回波带 A 南侧径向风不象第三阶段基本向外的分布,而 是多处有向内的径向风。从 23:54 的径向风图(第三阶段)上则可看出 A 回波带南侧 的径向风基本向外,而且 A 回波带北切变带已经推进到了风暴中心的西北侧了。

从上面的分析可知,眼区附近直线回波是与这个区域环流形势的变化有关的。回 波带 A 从开始的对流团演变为开口向南的弧线回波,这时与之配合的是向里的径向风, 而后随着径向风切变带的推进,回波带 A 转为向外的径向风分布,向南开口的弧线回 波转变为直线回波带,随之变为开口向北的弧线回波带。台风中心在演变过程中也从 回波带 A 的南侧进入回波带 A 的北侧。

随着回波带 A 西北侧径向风切变带的推进,图 1 所示的北虚线框中的直线回波也 开始变形(如图 2b、c),逐渐变为环状分布,如 6 日 00:00 台风中心西北侧的环状回 波(图 2c 00:00,图中虚框所示)可以清楚看到,虚框中大部分回波带已经变为环形 分布了,虚框中西南方的直线回波虽然总体仍为东南一西北向,且开口向西南,但其 北段已经开始变为开口向东北的弧状回波了,到了 6 日 00:24,整条回波带也变为开 口向东北向了,且弧状更为明显,整个环状回波非常清楚了,说明台风中心的西北侧 已经有一个明显涡旋环流存在了,这与上文所述的径向风切变带向这里推进就很好对 应了。图 4 (见图版 III)是 SSMI 85H 和地面风的合成图,进一步证明这一新涡旋环流 的真实存在。这一新涡旋逐渐加强,最后涡旋成为新台风中心区,如图 2c 的 6 日 03:00。

3 成因的初步分析

3.1 卫星云图分析

卫星探测能给出与地基雷达不同的观测线索,如图 5 的红外 TBB。为了进一步弄 清眼区附近涡旋演变情况,我们同样分析了登陆期间的红外 TBB 变化特征,认为以下 几点值得重视。

(1) 螺旋云带强烈弯曲 如图 5 (见图版 III)的 0519 (表示 5 日 18: 30~19: 00, 下同)、0523 和 0600 等均有强烈弯曲的螺旋云带,如果用对数螺线分别去拟合云带的 前段和后段,则可见云带前段的旋入角要远大于后段。图中主要是显示两条大螺旋云 带的演变过程(参考分图 0519 和 0521 等),近台风中心的螺旋云带称主螺旋云带,其 东侧的螺旋云带称外螺旋云带。分图 0519 的外螺旋云带前段有一向中心的强烈弯曲, 如图虚框所示,且前端的云团已经断开,逐小时追踪,则可以清楚地看到,5 日 21 时 云团已经移到紧靠台风中心西北侧的位置(如分图 0521),而这一云团与前文论述的雷 达回波带 A 是相对应的(参考图 3 的 20: 54)。分图 0523 和 0600 的主螺旋云带前端也 有强烈弯曲(图中虚线框所示)。

(2) 螺旋云带前端为低 TBB 值区 如图 5 的 0521 至 0600 各分图,可见主螺旋云带 前端均为最低 TBB 值区,其值小于-80℃,根据云图纹理及其形变规律,可以断定这 些低 TBB 值区为强对流发生带,雷达回波也表明有较强的降水与之对应。这些低 TBB 区基本处在螺旋云带的最前端(分图 0522 表现有一些不同,如虚框所示,低 TBB 值相 对略为靠后一些,且在云带前端还有一小云团生成,可能与登陆有关,因为这时云带 刚好从海上向陆地推进)。

3.2 可能成因的讨论

根据前文分析可知,直线状回波现象与螺旋云带前端低 TBB 值和云带的强烈弯曲 有很好的对应关系。

前文分析得知,回波带 A 在 5 日 22:00~23:00 是一过渡阶段,在这一阶段回波 带 A 正好表现为最明显的直线状回波现象,这一阶段回波带 A 的所处位置基本不变, 回波带 A 从开口向南、直线回波、到开口向北,是因为径向风切变带从回波带 A 的南 侧向北侧推进,而云图上云带也正好表现为从回波带 A 的南侧向北侧推进,而且云带 前端有强烈弯曲和低 TBB 现象。

5日23:00~6日00:00,图1北虚框所示的直线状回波现象也正好与这个阶段云带从东南向西北推进相对应,在这一时段,直线状回波现象表现最为明显,而表现为前端低 TBB 值及强烈弯曲的云带也正好在这一时段从直线状回波的东侧向西侧推进。

螺旋云带的强烈弯曲,说明该处很可能有一个相对高值的涡度区预先存在,螺旋 云带与之合并后就可能产生强烈弯曲。Guinn 和 Schubert^[10]的数值积分证实了螺旋云 带强烈弯曲的现象是与一个相对高的位势涡度合并有关。螺旋云带前端低 TBB 值现 象,则说明在云带最前端(眼壁附近)容易发生强烈的水汽对流活动,可能因为云带 前端有一涡度大值区(中低层)逆时针向里传播(可能与涡旋罗斯贝波^[5]的传播有 关),引导云带向前推进(另一方面,根据许多研究成果^[11]表明,螺旋云带强烈的对流 发生,将会对眼壁对流产生抑制作用,反过来眼壁的环流也可以通过影响稳定度和垂 直运动来抑制云带的环流),从而表现出前端低 TBB 值的现象。大值涡度区存在有利 于水汽对流的发生,而强烈水汽对流的发生将可导致中低层涡度的增加。因此,我们 认为云带前端强烈弯曲和低 TBB 值现象可能是与眼壁附近存在的涡度大值区相联系的 (如图 6)。

图 6 是 7 月 6 日 00:00 实测探空资料,经过逐步订正客观分析方法分析所得的格 点场,等值线为相对涡度(虽然现有的探空资料密度仍不足以分析台风眼区的细致结 构,但是大致的分布仍然是可信的)。图中大致可以看出台风中心的北侧有一高值涡度 区,中心的西北侧有强烈的气旋性弯曲,高值涡度向这里拐入,如前文所述,图 5 (分 图 0600)所示螺旋云带的强烈弯曲和低 TBB 值,也指示此处为涡度的高值区。

综上所述,我们认为直线状回波现象是与眼壁附近存在的涡度相对大值区的推进 有关的。例如,由于非对称分布的大值涡度区从回波带 A 的南侧向北侧推进,导致回 波带风场突变(在雷达径向风则表现出有一风速切变带推进),从而表现出开口向南弧 线状、直线状和开口向北弧线状回波的变化。



图 6 7月6日00:00700 hPa 探空风(单位:m s⁻¹)与相对涡度(单位:10⁻⁴ s⁻¹)分析场

4 内区环流变异与台风登陆预报

大部分在广东沿海登陆的台风从临近登陆到登陆过程当中这个时段可能会处于它 们最强的发展阶段。在这个时期,摩擦(如 Eliassen 和 Lystad^[12]认为在成熟飓风中摩 擦应力随风速平方变化,导致在紧靠最大切向风半径内侧处边界层顶有最大垂直速度) 和水汽对流的连续作用可能会在眼墙区集中高的位势涡度,而眼中心区则相对较小。 由于水汽对流发生具有强的非对称性,因此容易出现显著的非对称涡旋结构,可表现 出眼壁附近有涡度相对大值区逆时针推进,从而有可能出现直线状回波和多边形眼墙 等现象。另外值得注意的问题是,眼壁附近非对称的大值涡度区推进到某一方位时, 可能会导致台风的加速前进,如上文所述,7月6日00:00,尤特台风刚刚登陆,台 风中心位于(22.8°N,114.9°E),北纬的地方,这时台风中心的西北角有一新的涡旋 环流发展(如图 2c 的 00:00),随着新涡旋的不断发展,最后成为新台风涡旋中心, 到了7月6日03:00,这时新台风中心已经位于(23.2°N,113.9°E),这3个小时, 台风移动将近120 km。图7所示的正是这3小时的移速是最快的。另外,台风在登陆 时往往会给登陆地区带来强烈的天气过程,如果台风在登陆过程又有强烈非对称涡旋 结构,则很可能会在某些地带来更加强烈的天气过程。

5 结论

尤特台风在登陆珠三角过程当中,从5日21:00~6日00:003个小时左右时间 里,多普勒雷达 CAPPI 图有明显的强直线状回波和多边形眼墙现象。通过分析研究, 我们认为这些现象是与台风内区非对称的涡旋结构演变有关,可能是因为眼壁附近存



图 7 2001 年 7 月 5 日 00:00~6 日 12:00 台风中心每 3 小时的移动距离

在的非对称分布的涡度大值区的推进,导致回波带环流形势急剧变化,因而回波带出 现弧线状、直线状到弧线状的变化。多边形眼墙则显然与直线状回波有直接的关系, 虽然雷达观测到常常是不完整的多边形眼墙,但直线的架构是比较明显的,如果眼壁 多个地方有大值涡度区推进,则可能有更加完整的多边形架构,如 Schubert 等^[3]指出 的眼墙区的涡环变为多区域离散分布的形式。由于水汽对流发生具有强的非对称性, 因而有可能导致台风在登陆过程中出现较强的非对称涡旋结构,特别是眼壁附近可能 出现较大的涡度值,而中心较小的情况,这样大值涡度区在逆时针推进过程中,就会 有可能出现内区结构的变异。Kuo 等^[6]的数值试验中也有类似的情况出现。

因为雷达观测的范围较小,虽然雷达观测到强直线回波、多边形眼墙等现象发生 在登陆这段时间,但是我们还不能完全肯定登陆前和完全登陆后没有这些现象,不过 从卫星云图分析上来看,发生螺旋云带强烈弯曲和云带前端低 TBB 值的现象,最明显 正是登陆这段时间。雷达观测到的直线状回波等现象与云图上螺旋云带的强烈弯曲和 低 TBB 值现象有比较好的对应,这些现象对于登陆预报有一定的指示意义,认为内区 出现直线状回波等现象,很可能说明眼壁附近有一非对称分布的涡度大值区的推进与 之对应。推进的大涡度值区有可能发展成为新的台风中心,从而表现出台风加速运动 的现象,本个例看出,当大涡度区推进到与台风移动方向基本一致时开始发展,并最 终成为新台风中心涡旋环流。

参考文献

- Lewis, B. M., and H. F. Hawkins, Polygonal eye walls and rainbands in hurricanes, Bull. Amer. Meteor. Soc., 1982, 63, 1294~1300.
- 2 Muramstsu, T., The structure of polygonal eye of a typhoon, J. Meteor. Soc. Japan, 1986, 64, 913~921.
- 3 Schubert, W. H., and M. T. Montgomery, Polygonal eyewalls, Asymmetric eye contraction and potential vorticity mixing in hurricanes, J. Atmos. Sci., 1999, 56, 1197~1223.
- 4 Möller, J. D., and R. K. Smith, The development of potential vorticity in a hurricane-like vortex, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1994, 120, 1255~1265.
- 5 Montgomery, M. T., and R. J. Kallenbach, A theory for vortex Rossby waves and its application to spiral bands and intensity changes in hurricanes, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1997, 123, 435~465.
- 6 Hung-Chi Kuon, R. T. Williams, and Jen-Her Chen, A possible mechanism for the eye rotation of Typhoon Herb, J. Atmos. Sci., 1999, 56, 1659~1673.
- 7 Reasor, P. D., and M. T. Montgomery, Low-wavenumber structure and evolution of the hurricane inner core observed by airborne, *Mon. Wea. Rev.*, 2000, **128**, 1653~1680.

8 罗哲贤, 热带气旋逆时针打转异常路径的可能原因, 中国科学(B辑), 1991, 7, 769~775.

9 田永祥,小尺度涡旋的形成及其对热带气旋移动的影响,应用气象学报,1995,6,108~115.

10 Guinn, T. A., and W. H. Schubert, Hurricane spiral bands, J. Atmos. Sci., 1993, **51**, 3545~3546.

11 Cotton, W. R. 和 R. A. Anthes, 风暴和云动力学, 北京: 气象出版社, 1993, 746~761.

12 Eliassen, A., and M. Lystad, The Ekman layer of a circular vortex and energetics, *Geophys. Norv.*, 1977, 31, 1~16.

Research on Eye Structure Variation of Typhoon Utor During Its Landing

Chen Zitong, Yan Jinghua, Ding Weiyu, and Wan Qilin

(Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080)

Abstract During Typhoon Utor landing the Pearl River area, we analysed the structure variation of typhoon eye and neighborhood by using relatively high density observation net in this area. Doppler radar CAPPI images, the time interval between each image is 6 min, CAPPI wind field, high resolution GMS5 infrared data, SSM/I and conventional data are used. The phenomena of straight line intensity radar echoes in several places near the eyewalls in which embed a few strong echo cells was found. The research work showed that the phenomena of straight line echoes had something to do with the structure aberrance in inner region. Analysed the phenomena of sharp bend in spiral bands and the lowest TBB value in forepart of spiral bands, as well as the relative vorticity distribution from sounding data, suggested the phenomena of straight line echoes might be due to the progress of relatively high value vorticity area existed near the eyewall. At last, something about typhoon landfall and structure aberrance in inner region are discussed. During landing typhoon relatively easily occurred the phenomenon of structure aberrance, i. e. , the movement of typhoon might speedup and occurred strong weather during landing. **Key words**: typhoon eye; eyewall; structure aberrance





图 3 2001 年 7 月 5 日 19:54~22:54 3 km 等高雨强与雷达径向风 每张分图的区域范围为(21.0~23.5°N,113.5~116.0°E)

陈子通等:尤特台风登陆过程中眼区结构变化的分析研究

图版 II



图 2 2001 年 7 月雷达 3 km 高雨强图 (a) 5 日 20: 18~22: 48; (b) 5 日 22: 54~23: 54; (c) 6 日 00: 00~03: 00 每张分图的区域范围为 (20.1~24.6°N, 112.0~116.5°E), 十字: 台风中心; 圆圈: 距中心 150 km 半径圆



图 4 2001 年 7 月 6 日 00:00 地面站风观测和 01:26 SSMI 85H 微波图像



图 5 5 日 18:30~6 日 02:30 GMS5 红外云顶亮温

每张分图的区域范围为6°(经度)×6°(纬度),十字:台风中心;圆圈:距中心150 km半径圆