

何立,覃丹宇,黄小燕,等. FY2 卫星云图分析系统在热带气旋北冕过程中的应用[J]. 气象, 2010, 36(9): 21-28.

FY2 卫星云图分析系统在热带 气旋北冕过程中的应用^{*1}

何立^{1,2} 覃丹宇³ 黄小燕⁴ 徐建文⁵

1 国家卫星中心遥感应用试验基地, 南宁 530022

2 广西区气象局减灾研究所, 南宁 530022

3 国家卫星中心, 北京 100081

4 广西区气象台, 南宁 530022

5 山西省晋城市气象局, 晋城 048000

提 要: 利用 FY2 卫星云图分析系统的各项分析功能, 结合常规观测资料对热带气旋北冕的天气形势、云图演变以及路径变化、风雨情况等进行了分析。结果表明, 副热带高压摆动, 中纬度西风小槽东移, 低层西南气流加强和减弱是“北冕”出现两次北抬和一次南折的直接原因; 对流云团的发展和减弱对应低层西南气流的加强和减弱; 强降水与云顶亮温的最低值中心及强度密切相关, 而云团面积和云顶亮温与强降水也有很好的对应关系, 其中发展的云系是强降水发生的信号。FY2 卫星云图分析系统较好地分析了“北冕”整个过程的变化特点, 对于短时临近预报有较好的辅助作用。

关键词: 热带气旋北冕, FY2 卫星云图分析系统, 路径, 强降水

The Application of FY2 Satellite Cloud Image Analysis System to the Process of Tropical Cyclone Kammuri

HE Li^{1,2} QIN Danyu³ HUANG Xiaoyan⁴ XU Jianwen⁵

1 Remote Sensing Application Test Base of National Satellite Center, Nanning 530022

2 Disaster Mitigation Institute of the Guangxi Regional Meteorological Bureau, Nanning 530022

3 National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081

4 Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022

5 Jincheng Meteorological Office of Shanxi Province, Jincheng 048000

Abstract: With the conventional observational data and the functions of FY2 satellite cloud image analysis system the tropical cyclone Kammuri is studied including weather situation, cloud evolution, path changes, rainfall and winds, etc. The results showed that the routes of “Kammuri” were twice northward and once southward, all these were closely related to the swing of the subtropical high, the eastward shift of the small westerly trough in the mid-latitude and the strengthening and weakening of low-level southwest flows; while the development and reduction of convective cloud cluster were better corresponding to the strengthening and weakening of low-level southwest airflows. There is a good relationship between the heavy precipitation and the center of cloud top brightness, as well as its lowest intensity, and it is also closely related to the cloud size and cloud top brightness temperature with heavy precipitation, in which the development of cloud systems is a good signal to heavy precipitation. The FY2 satellite image analysis

* 中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2006M03)、国家科技支撑计划项目(2008BAK50B02)和广西自然科学基金项目(桂科自 0832205)联合资助

2008年11月14日收稿; 2010年3月23日收修定稿

第一作者: 何立, 主要从事卫星遥感应用研究等工作. Email: gx_heli@yahoo.com.cn

system is a good supporting tool for the short-term nowcasting due to its better analyzing the characters of “Kammuri”.

Key words: tropical cyclone Kammuri, FY2 satellite cloud image analysis system, route, heavy precipitation

引 言

2008 年第 9 号热带气旋北冕于 8 月 4—8 日的活动期间在华南沿海两次登陆,产生了强降水和雷暴等灾害天气,对华南地区造成了较为严重的洪涝灾害。由于“北冕”移动方向、强度变化复杂,登陆后填塞慢、风大雨强,并在广东、广西两次登陆,是近年来少见的疑难台风,因而对它的预报把握得不太准确,降水落区预报和量级预报均出现一定失误。FY2 卫星云图分析系统是基于 IDL(Interactive Data Language)^[1] 构建并实现的可视化系统,该系统实现了 FY2 数据及产品的读取、投影及显示等功能,并能叠加卫星产品和 MICAPS 系统数据,提高卫星资料和产品可视化效果,便于 FY2 卫星云图的日常解译,充分发挥卫星监测的优势,推动卫星资料和产品在天气预报中的应用。本文尝试通过该系统的分析功能对“北冕”进行特征分析并试图揭示造成其异常路径和降水异常的原因。

1 FY2 卫星云图分析系统简介

目前 FY2 系列卫星为业务天气预报提供了大量的卫星云图和产品,特别是在海洋和观测资料稀少的地区,卫星资料发挥着不可替代的作用^[2],然而当前业务台站对卫星资料的应用水平偏低,卫星云图仅仅是常规天气分析和预报方法的辅助资料,甚至往往被忽略。尽管我国在卫星资料应用于天气分析研究方面已取得大量的成果,但围绕卫星资料和产品来进行天气分析和研究的工作平台还是非常缺乏,而 MICAPS 系统作为预报业务的通用分析平台,在卫星资料分析方面针对性还不够,因此针对卫星资料和产品在天气预报中的应用需求和特点,系统提供有力的工具来分析和研究 FY2 卫星云图和产品,力图推动卫星资料和产品进一步在天气预报中应用,充分发挥卫星监测的优势。

FY2 卫星云图分析系统是基于 IDL 交互式数据语言开发的,系统功能模块包括数据和产品的获取和输入、卫星产品叠加、MICAPS 系统数据叠加

和通道合成等功能模块。系统的数据源包括 FY2 卫星数据和部分产品,其中卫星数据包括可见光、红外和水汽图像,卫星产品包括黑体亮度温度、降水估计、射出长波辐射、总云量、云迹风等。分析系统由 FY2 卫星数据获取、数据预处理及云分析平台三个部分构成。根据参数文件,系统自动获取指定目录下的原始数据,并对数据进行预处理,处理结果存放在产品目录下;在运行云图分析平台时,主界面显示最新时次的云图,同时系统还提供文件列表选择功能;系统可以实现在云图上叠加卫星产品和 MICAPS 系统数据,并根据需要制作指定时次的云图动画;制作云变率产品,分析指定时段云的变化情况等;系统主程序提供多通道切换、模式切换、MICAPS 系统数据和卫星产品数据叠加等功能。基于上述功能,本文尝试运用 FY2 云分析平台对“北冕”进行应用分析。

2 “北冕”过程的 FY2 卫星云图系统分析

“北冕”于 2008 年 8 月 4 日上午 8 时在南海东北部海面生成,在整个移动过程中,可以看到,“北冕”于 8 月 6 日 08 时和 8 月 7 日 08 时分别有两次北抬过程,而在 8 月 6 日 22 时转为南折,路径复杂多变。在两次北抬过程前,存在移速减慢和原地打转的现象,强度也有变化,且南折前后的移动速度要比北抬前后的速度快。过程的转折点较难把握,特别是出现南折,给业务预报带来了较大困难。

2.1 “北冕”过程的高空形势场分析

副高是影响热带气旋路径的重要系统,“北冕”路径复杂与副热带高压位置的变动有很大关系。副高摆动造成的引导气流改变会直接导致热带气旋路径发生变化,同时,中纬度的西风低槽东移对副高的短期变化也有影响。

利用 FY2 云分析平台的叠加功能对 FY2C 红外云图与 500 hPa 高空填图和等高线进行叠加分析“北冕”影响过程,可以看到副高始终处于加强西伸中,中心在东海摆动,脊线维持在 30°N 附近。8 月

5日08时,副高为近东西向的带状分布,在东海和高原上分别有高压中心,在 30°N 附近的高度值均 ≥ 585 dagpm,这种分布类型,不利于“北冕”北行,以偏西方向移动为主。6日08时(图1a)高原西风小槽的东移和小低压环流的影响,使副高的形状发生改变,584 dagpm线退至 104°E 附近,形成一个大范围鞍形场,“北冕”从副高南侧的偏东气流转受到副高西南侧的东南气流影响,向北移动分量加大,其移向由偏西行转为西北行,实现第一次北抬。在第一次小槽东移减弱到第二次小槽东移影响期间,副高得以加强西伸,到6日20时,584 dagpm线继续西伸至 100°E 以西,引导气流由东南转为偏西,并有向南的分量,使“北冕”在22时由偏西移转向西南移,出现路径南折现象。随着小槽东移,584 dagpm线再次减弱东退到 100°E 以东,从而使引导气流又发生改变,“北冕”再次有向北移动的分量,导致其第二次北抬。

低层850 hPa主要以偏东气流为主,“北冕”北

面的偏东气流风速达到 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,而南面的偏西气流风速最大只有 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,“北冕”处于偏东气流与偏西气流之间的切变气流中。随着西南气流的加强,到6日08时(图1b),“北冕”南面的西南气流风速加大到 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,而北面的偏东气流强度减弱,西南气流的加强,既加强了环境对热带气旋的水汽通量输送,使热带气旋强度得以加强,同时也加大热带气旋向北移动的分量,使“北冕”移向发生北抬。在“北冕”登陆后,西南气流和偏东气流都稍有减弱,最大风速减弱为 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,使热带气旋强度亦相应减弱,风速最大值位于“北冕”的西北方,为东北气流,迫使“北冕”移向南折。随着“北冕”的西南移,西南气流再次加强,使“北冕”的西南移速减慢并发生移向转变,到7日08时,西南气流的风速加大到 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,这使“北冕”的强度得以维持较长时间,移向也发生改变,使“北冕”再次北抬。

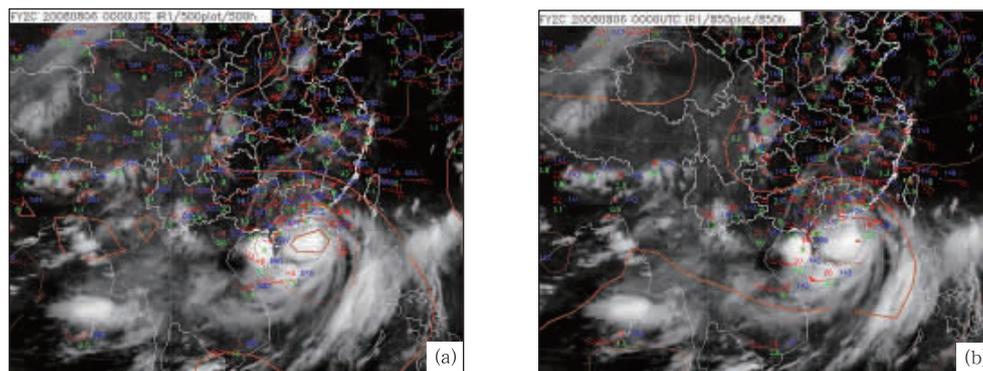


图1 2008年8月6日08时FY2C红外云图与高空填图和等高线叠加图

(a) 500 hPa; (b) 850 hPa

Fig. 1 The overlay map of FY2C infrared satellite image and the high-altitude mapping and contour at 08:00 BT August 6, 2008

(a) 500 hPa, (b) 850 hPa

2.2 “北冕”过程的对流云团分析

在对流云团分析过程中, MICAPS系统支持10 km分辨率的卫星数据显示和分析功能,而FY2云分析平台支持5 km分辨率的卫星数据处理,且平台能够直接获取云团亮温,有利于对流云团的统计分析。

“北冕”在8月4日形成初期只是一个涡旋云系,缓慢向西北偏西方向移动,云团范围缩小,旋转程度增加,次日加强为热带风暴。在红外云图上

(图2a),云系的结构松散,无明显的眼区,但围绕中心的螺旋云带已经十分清晰,主要的螺旋云系集中在气旋中心的南面,呈现出明显的南北不对称结构,随着西南气流向“北冕”输送的水汽加大,“北冕”强度也逐渐加强,风暴云系也逐渐变得密实。5日16时起(图2b),在风暴的西北部有对流云团发展,云顶最低亮温达到 -88°C ,东南部的云系减弱而西南部的云系加强。20时后(图2c),西北部的对流云团减弱,而位于气旋西南的云团继续加强,云团加强的同时,却逐渐分裂为两个强对流云团,至6日08时

(图 2d), 热带风暴升级为强热带风暴, 云顶最低亮温为 $-92.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 此时热带气旋中心主体已十分密实, 直径达到 300 km , 而气旋中心旋转输送水汽的螺旋云带位于风暴南部的海面上, 北部湾地区也有强对流云团在生成发展。20 时后(图 2e), 对流云团再次减弱, 范围也逐渐加大, 云系又变得松散起来。22 时起, 热带气旋开始减弱为热带风暴, 但西南侧的对流云团再次加强, 又逐渐密实起来, 到 7 日 06 时(图 2f), 云团发展到最强, 云顶最低亮温达到一

$93\text{ }^{\circ}\text{C}$, 以后又逐渐减弱。7 日 8 时气旋中心进入北部湾地区, 于 7 日 14:30 在广西防城港第 2 次登陆, 此时云系主要集中在北部湾地区, 造成该地区的强降水和局地强对流天气。在整个过程中, 云系始终处于不对称的状态, 主要强的对流云团位于气旋的西南和东南侧, 而云团的发展和减弱与低层西南气流的加强和减弱有较好的对应关系。当云团发展到一定程度时, 气旋移动路径的北移分量加大, 而云团减弱到一定程度时, 气旋移动路径的北移分量减小。

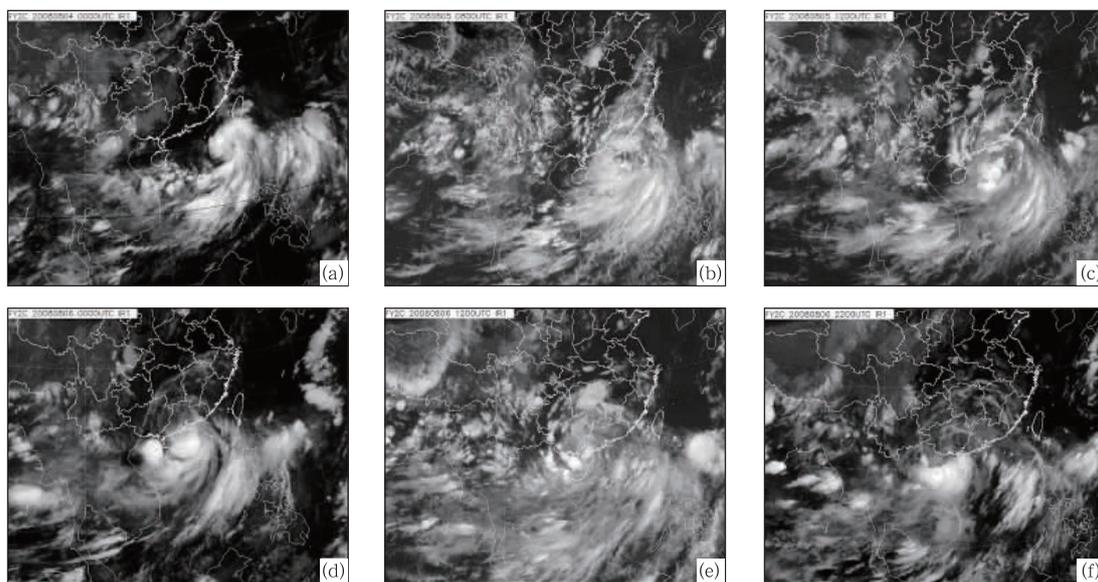


图 2 “北冕”过程对流云团分析

(a) 2008 年 8 月 4 日 08 时; (b) 2008 年 8 月 5 日 16 时; (c) 2008 年 8 月 5 日 20 时;
(d) 2008 年 8 月 6 日 08 时; (e) 2008 年 8 月 6 日 20 时; (f) 2008 年 8 月 7 日 06 时

Fig. 2 The convective clouds of “Kammuri”

(a) at 0800 BT 4 August 2008, (b) at 1600 BT 5 August 2008, (c) at 2000 BT 5 August 2008,
(d) at 0800 BT 6 August 2008, (e) at 2000 BT 6 August 2008, (f) at 0600 BT 7 August 2008

2.3 “北冕”过程的云变化图分析

为了更好地反映云系变化趋势, 依据红外一一亮温, 系统还提供了指定时间段的云变化图制作功能, 可以分别对 3 小时和 6 小时的云系变化进行分析。云变化图中绿色和蓝色部分表示云趋于消亡(云顶亮温升高, 变暖), 红色部分表示云趋于发展(云顶亮温降低, 变冷)。云系的平行移入以及云系的发展都可以造成红外云图亮温降低(图中红色系), 在应用分析时, 应使用云图动画来帮助判断哪些降温是由于云系平移造成的, 哪些又是由于云系的发展造成的, 对于发展的云系要特别警惕, 往往这是强降水发生的信号。

根据系统提供的云变化图分析功能, 对“北冕”的云系变化进行分析。图 3 反映了 8 月 4 日到 5 日“北冕”形成初期 3 小时的云系变化情况, 从图中的颜色变化情况可以清楚地了解“北冕”中心附近的云系发展及变化情况。8 月 4 日 18 时, “北冕”的环流还比较弱, 整体结构松散, 但其西北侧有一强的云系在发展(图 3a), 至 21 时, 西北红色云系部分随着螺旋云系有所西南移动, 而位于气旋中心的周围也有些云系开始发展起来, 说明此时“北冕”正在进一步发展加强。4 日 23 时至 5 日 02 时, 云系进一步加强, 可以看到, 气旋西南方海面上的云系也在发展, 这给气旋带来了较多的水汽, 促使气旋加强为热带风暴。图中红色对应着发展的云系, 通过与实况对

比,这些地方一般都有强对流天气发生,而绿色和蓝色部分所对应的地方,云系趋于消亡,强对流天气也逐渐减弱。根据资料统计,4日傍晚到夜间随着风暴中心的进一步北移,强云系所对应的汕头及其东部的风速由 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 增加到 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,形成了偏东风的低空急流,加速了水汽的输送,使得华南中部

和东部沿海的相对湿度值由 70% 上升到了 80%~90%,出现了强对流天气。广州白云机场附近 4 日 20 时到 5 日的零时 30 分出现了近 3 小时的雷暴天气,其中 4 日的 21 时出现强雷暴并伴有大风,瞬时最大风速达到了 $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

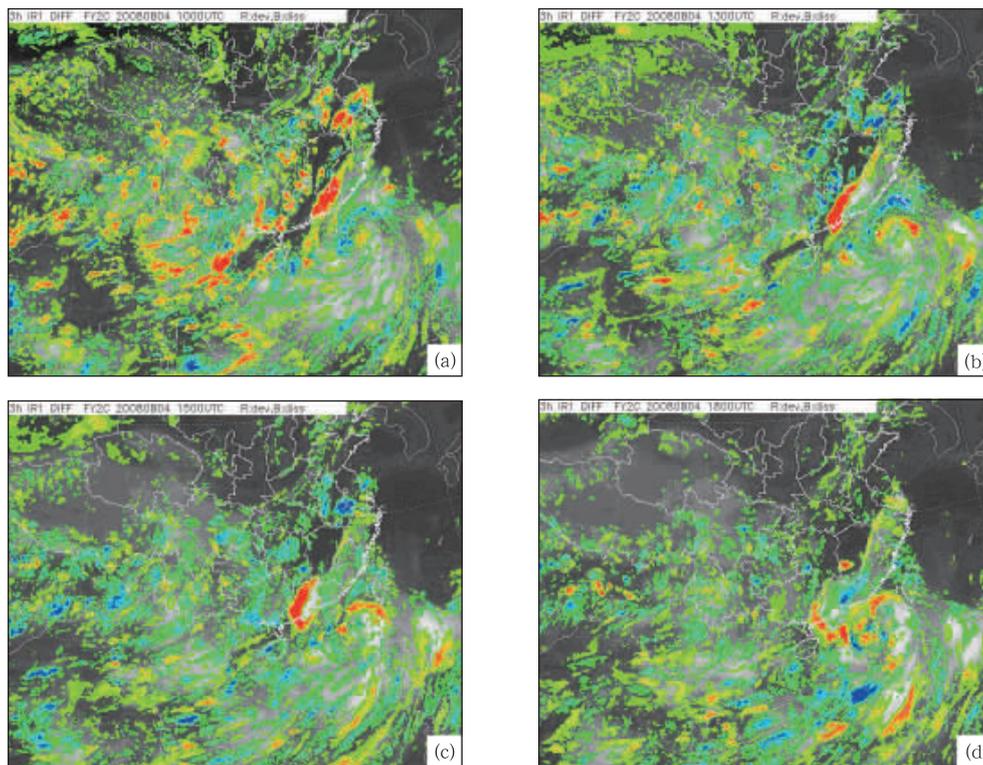


图3 “北冕”3小时云变化图

(a)2008年8月4日18时; (b)2008年8月4日21时;
(c)2008年8月4日23时; (d)2008年8月5日02时

Fig. 3 Cloud variation of “Kammuri” at every three hours

(a) at 1800 BT 4 August 2008, (b) at 2100 BT 4 August 2008,
(c) at 2300 BT 4 August 2008, (d) at 0200 BT 5 August 2008

2.4 “北冕”过程的多通道云图对比分析

针对对流云团的特性,在系统对流尺度模块中实现了红外一、红外三、水汽和可见光四个通道数据并列显示功能,以便对云团进行对比分析。多通道图像并列显示,可方便判识低云和高云,并通过云图动画了解高、低层大气的相对运动情况。同时,也可以了解对流云团所处的生命史阶段。

图 4a、b 分别为“北冕”8月4日开始生成发展以及8月7日减弱消失的多通道图像情况,图中排放的顺序按从左到右以及从上到下分别为是红外一云图,红外三云图,水汽图和可见光云图。在“北冕”发展的初始阶段(图 4a),气旋的螺旋云系开始形

成,各个通道云系的情况都表明云系处于强烈发展状态。8月7日,螺旋云系已经消散,气旋主体云系削弱,只在北部湾海面还残留有一些气旋后部的对流云团,这些云团随着气旋进一步北移,造成广西南部地区的强降水。

2.5 “北冕”过程的云顶参数特征分析

研究表明气象卫星云图为短时降水估计提供了非常有用的资料^[3]。20世纪70年代以来,国际上提出了“云指数法”和“生命史法”两类基本降水估计法。Scofield^[4]“生命史法”认为云顶亮温和云团面积的增长与降水量有直接联系,Adler等^[5]提出利用一维云模式,建立对流核心的云顶亮温与降水率

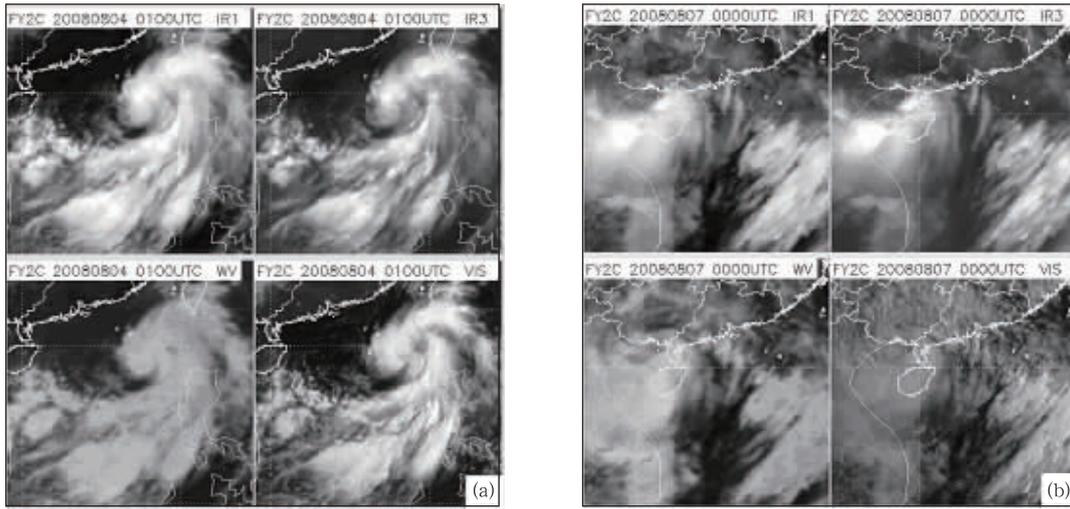


图 4 “北冕”多通道云图对比分析

(a) 2008 年 8 月 4 日; (b) 2008 年 8 月 7 日

Fig. 4 Comparative analysis of multi-channel cloud images of “Kammuri”

(a) on 4 August 2008, (b) on 7 August 2008

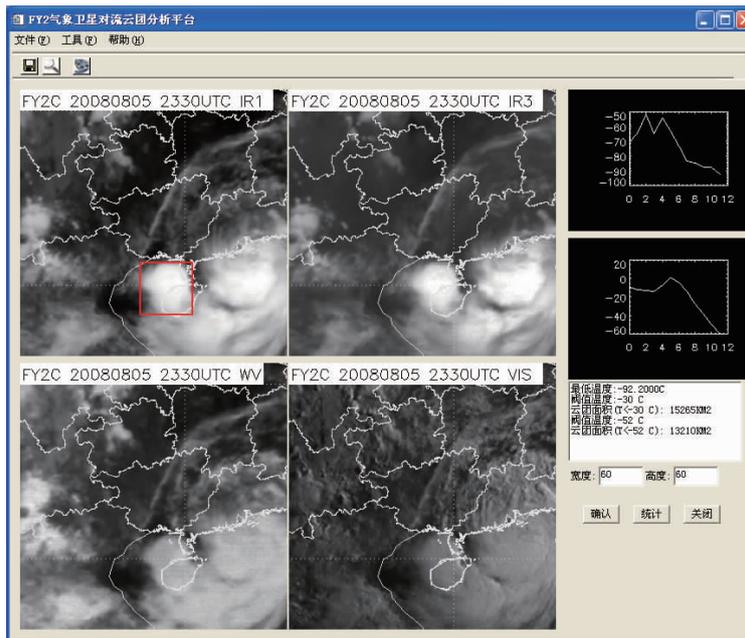


图 5 云团参数统计界面

Fig. 5 The statistical interface of cloud parameters

和降水面积之间的关系。国内根据这两类降水估计法的主要理论,进行了许多本地化研究^[6-7]以期提高定点定量预报能力。

为了实现对流云团的精细化分析,系统提供了交互式统计云团特征参数分析功能。对流云团分析功能提供了红外一、红外三、水汽和可见光四个通道的并列显示功能,以实现多层次的云团变化分析。图 5 中右上角的统计图为默认时间段(12 h)内所选

择区域的最低云顶亮温曲线,其下图则为平均云顶亮温曲线。文本框中显示信息包括选区云团的最低温度, -30 °C 和 -52 °C 阈值温度下的云团面积等。云团面积和云顶亮温随时间的演变反映了对流云团生命史的情况,结合天气尺度云系和环境条件分析,可帮助判断云团的状况,有助于进行短时临近预报。对流云团分析模式下,在 IR1 显示区域内通过点击鼠标同步进行 4 个通道图像漫游,确定关注区域,然

后进行对流云团云顶特征分析。IR1 通道图像内的方框大小可调,以适应对流云团的大小,便于进行云顶亮温和云顶面积的计算。

利用系统提供的交互式统计云团特征参数功能,对“北冕”的对流云团进行分析。在对流云团分析模式下,选定合适的对流云团大小,进行云顶亮温和云顶面积的计算。图5左边分别为对应时刻的红外一、红外三、水汽图和可见光云图的情况,通过并列显示,可以更清楚地分析云团的发展状态,而右边的两个曲线图则表示所选择区域的云顶亮温最低温度(上)和云顶亮温平均温度(下)随时间的变化情况,分析最低温的变化可以发现,北部湾对流云团在8月5日的19时到23时之间有一个波动过程,即云顶亮温最低温度在这段时间内有一个升温 and 降温的过程,但是幅度都不大,说明这一时段内云系的发展变化并不是很强烈,23时过后,温度急剧下降,在6日07时达到最低值 -92.2°C ,说明北部湾对流云团此时发展最旺盛,对应云顶亮温平均温度的曲线

图也可看出这一变化过程。这一现象表明“北冕”登陆后,云体结构发生了突变,位于“北冕”西南侧北部湾海面的对流云团强烈发展,气压下降,形成一个次环流中心,可能起到吸引的作用导致“北冕”中心出现左偏折进入北部湾海面。结合云顶亮温与云顶面积对于“北冕”的降水情况进行分析也可以发现,这两者有着比较好的对应关系,一般降水强度大的地区,云顶亮温很低,而云顶面积也很大。根据降水资料统计,6日20时至7日08时,广东五一农场降水量达到528.5 mm,突破历史极值;雷州半岛徐闻雨量为423 mm,仅次于历史极大值。

2.6 “北冕”过程的 TBB 产品分析

TBB 表示黑体亮度温度,是由卫星通过扫描辐射仪观测下垫面物体获取的辐射值经量化后得到,它反映了不同下垫面的亮度温度状况。TBB 资料可以揭示云在演变过程中的一些显著特征,在天气、气候研究中有着较为广泛的应用,如对天气系统分

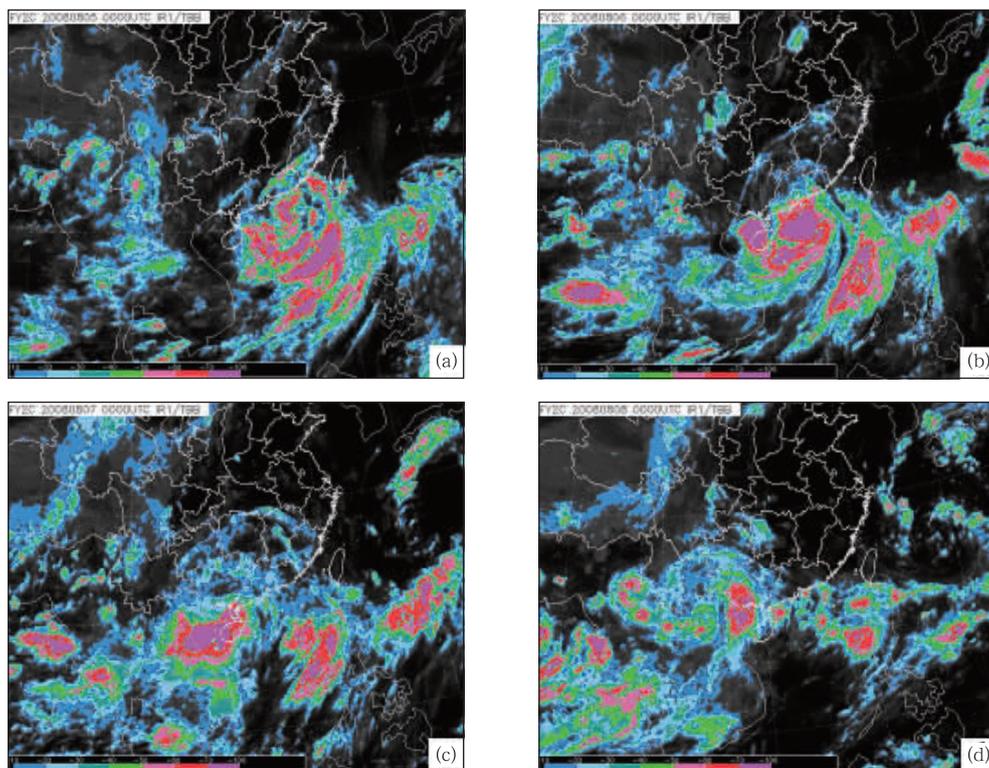


图6 卫星云图叠加 TBB 产品

(a)2008年8月5日08时; (b)2008年8月6日08时;
(c)2008年8月7日08时; (d)2008年8月8日08时

Fig. 6 Satellite cloud image superimposed by TBB Products

(a) at 0800 BT 5 August 2008; (b) at 0800 BT 6 August 2008;
(c) at 0800 BT 7 August 2008 ; (d) at 0800 BT 8 August 2008

析、暴雨研究和降水估计、气候模拟及诊断等都是作为常用资料之一^[8-12]。FY2 云图系统可以很好地在云图上叠加 TBB, 我们设定的等值线共分为 7 级, 颜色有浅到深, 温度越低颜色越红, 产生降水的可能性就越大。

在 FY2 云图上叠加 TBB 产品(图 6), 可以明显地看到“北冕”中心附近强降雨带所处位置主要位于西南和东南侧(红色部分), 从整个过程来看, 对应广东中西部、海南省、广西东部和南部以及北部湾海面等地, 这些区域的云顶亮温一般都在 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。从实际的观测资料发现, 受“北冕”影响, 广东中西部、广西中东部、海南北部等地先后出现 6~8 级、阵风 10~11 级的大风, 广东粤西沿海有 5 个县(市)出现 10 级以上大风, 徐闻还出现龙卷风; 广西涠洲岛瞬间风力达到 12 级。5—9 日, 广东中南部, 海南中北部、广西东部和南部等地先后出现了大到暴雨, 广东沿海、雷州半岛和广西南部、海南北部等部分地区出现了大暴雨或特大暴雨, 上述地区过程累计降水量普遍有 100~220 mm, 局地还出现强雷暴等对流天气。

3 结论与展望

在 FY2 卫星云图上叠加卫星产品和 MICAPS 系统数据进行分析, 有利于揭示天气状况和系统发展趋势, 为卫星遥感资料和产品在天气分析和预报中的应用提供示范和指导。本文利用 FY2 云图系统对“北冕”进行了较为详尽的分析, 可以得出中纬度的西风低槽东移对副高的短期变化有影响, 而副高摆动造成的引导气流改变会直接导致热带气旋路径发生变化; 同时, 低层西南气流的加强与维持不仅加强了“北冕”的强度, 同时也给了气旋向北的移动分量。通过对流云团的分析, 在“北冕”整个移动过程中, 云系始终处于不对称状态, 强对流云团主要集中在气旋西南面和东南面, 当云团发展时, 气旋路径北移分量加大, 反之, 当气旋减弱到一定程度时, 北

移分量减小。云顶参数特征分析是 FY2 云图系统的一个特色, 通过分析云顶亮温平均温度的曲线图, “北冕”在进行第一次北抬时有过温度的剧变过程, 而云顶面积与云顶亮温与强降水之间也有着很好的对应关系。“北冕”的强降水与 TBB 的最低值中心有密切关系, 这些对于进行短时临近预报都有很好的指示作用。

FY2 卫星云图分析系统是最近开发的一个主要用于分析卫星云图的系统, 功能较齐全, 对于短时临近预报有比较好的辅助作用。本文主要用于对热带气旋“北冕”的分析, 效果较好, 这提示我们可以运用该系统对其他气象要素进行分析预报。

参考文献

- [1] 韩培友. 可视化分析与应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006: 166-261.
- [2] 鲍献文, 王鑫, 孙立潭, 等. 卫星遥感全天候监测海雾技术与应用[J]. 高技术通讯, 2005, 15(1): 101-106.
- [3] 胡波, 杜惠良, 滕卫平, 等. 用红外云图估算热带气旋短时雨量[J]. 气象, 2006, 32(1): 74-77.
- [4] Scofield R A. The NESDIS operational convective precipitation technique [J]. Mon Wea Rev, 1987, 115: 1773-1792.
- [5] Adler R F. and A J Negri. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall[J]. Applied Meteorology, 1988, 27: 31-51.
- [6] 杨扬, 戚建国. 数字卫星云图估算面雨量的应用试验[J]. 气象, 1995, 21(3): 35-39.
- [7] 蔡晓云, 伏建国, 朱革. 一种卫星和雷达资料结合的强降水临近预报方法[J]. 气象, 1997, 23(1): 46-49.
- [8] 江吉喜, 范梅珠. TBB 图集及应用[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 16-220.
- [9] 李培军, 郭洪涛, 黄建国, 等. 利用 GMS 卫星资料进行强对流降水估计[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2004, 5(1): 88, 292.
- [10] 尹承美, 卓鸿, 胡鹏, 等. FY-2 产品在济南“7. 18”大暴雨临近预报中的应用[J]. 气象, 2008, 34(1): 27-34.
- [11] 尤红, 肖子牛, 王曼, 等. 2008 年“7. 02”滇中大暴雨的成因诊断与数值模拟[J]. 气象, 2010, 36(1): 7-16.
- [12] 李勋, 李泽椿, 赵声蓉, 等. “浣熊”强度变化的环境背景和卫星观测分析[J]. 气象, 2009, 35(12): 21-29.