

台风远外围大范围强对流天气成因综合分析

黄忠 张东 蔡安安 方一川 叶爱芬

(广州中心气象台, 510080)

提 要: 为加深对台风外围发生的强对流天气的认识, 提高对华南地区强对流天气潜势预报和预警的能力, 利用广东中尺度天气监测网的多普勒雷达、自动站资料和NCAR/NCEP的再分析资料等对2004年8月发生在台风云娜外围一次强对流天气的天气形势背景、水汽、CAPE、SI、WI、垂直速度和海风辐合等进行了综合分析。结果表明: 华南前期受副热带高压和云娜外围下沉气流作用, 地面连续高温, 使低层大气内能不断积蓄; 台风云娜向西北移动的过程中, 华南上空的副热带高压和下沉气流减弱, 在其外围弱低压槽、海风辐合和干线共同作用下触发了强对流; 台风外围的稳定度具有明显的波动性, 强对流在台风外围螺旋云带末端的高温、不稳定和相对高湿舌发生; 风指数WI用于华南地区雷雨大风预报比其它指数更有效。

关键词: 台风外围 强对流 高温 海风 CAPE WI

Comprehensive Analysis on an Extensive Summer Severe Convection in Outer Periphery of Typhoon

Huang Zhong Zhang Dong Cai Anan Fang Yichuan Ye Aifen

(Guangzhou Central Meteorological Observatory, 510080)

Abstract: In order to further understand the severe weather originating in the periphery of typhoons and improve the capability of severe weather potential forecast and warning, the synoptic background, water vapor, CAPE, WI, vertical velocity and sea breezes are analyzed on a severe convection weather occurring in outer periphery of Typhoon Rananim in August 2004 based on the Doppler radar, automatic weather station and NCAR/NCEP reanalyzed data etc. The continual heat wave in South China resulted from the subsidence from subtropical high and the periphery of Typhoon Rananim, consequently, internal energy is accumulated, and strong instable state is

资助项目: 广州中心气象台科研基金资助

收稿日期: 2006年9月29日; 修定稿日期: 2006年11月28日

established. When the subtropical high weakened and the subsidence disappeared as a result of northwestward moving of Typhoon, the severe convection is triggered by the weak trough and sea breeze and a dry line. The stability outside the typhoon is of fluctuant characteristics. The convection developed on an unstable tongue with higher temperature and higher humidity that joint with the end of an exterior spiral cloud band of Typhoon Ranim. Wind Index is more available in forecasting thunderstorm wind gusts than other indexes in South China.

Key Words: periphery of typhoon severe convection heat wave sea breeze wind index

引 言

热带气旋边缘或外围有时会出现强对流天气,过去已有过不少研究。沈树勤^[1]分析了江苏境内台风前部龙卷萌发的原因;贺忠等^[2]和张小霞^[3]曾先后对热带气旋前的强对流天气作了一些研究分析,张小霞还提出了一些预报思路;温晶^[4]和杨宇声等^[5]分别对 9908 号台风和 0309 号强热带风暴莫拉克外围的强对流活动作过分析;范爱芬^[6]在分析 1993 年 9 月浙江省的一次强对流事件时也提到台风靠近的作用。过去还有台风远距离的倒槽中产生强烈暴雨的研究,如 9909 号热带风暴倒槽中出现的温州特大暴雨^[7]等。但是,台风远外围出现大范围的雷雨大风和强降水比较罕见。2004 年 8 月 11 日午后到傍晚时分,当台风云娜移到琉球群岛附近时,广东省出现了大范围的强对流天气过程,珠江三角洲及其邻近地区的 36 个县市先后出现 8~11 级的雷雨大风和强降水,深圳、广州等地有些站点雨强超过 $60\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$,珠江三角洲局部地区还下了冰雹。8 月 12 日午后,粤西茂名市一带和桂东南地区又出现了雷雨大风、冰雹和暴雨等强对流天气。

中尺度气象监测网的建设为分析这次强对流过程提供了比以往更加有利的条件。本文对这次过程发生前的天气系统、物理条件进行了综合分析,试图找出其发生发展的原因,以便提高对这类强对流天气的潜势预报

和预警的能力。

1 资 料

分析中所用资料主要有:

- (1) 常规天气观测的地面和高空资料;
- (2) 广东和香港、澳门的自动气象站资料;
- (3) 广东多普勒天气雷达回波;
- (4) GOES-9 卫星云图;
- (5) JMA 全球模式 $1.25^\circ \times 1.25^\circ$ 分析资料和 NCAR/NCEP 再分析资料。

2 天气形势分析

2004 年 8 月 9—10 日,台风云娜在西太平洋活动,呈块状的大陆副热带高压控制华南和江南地区,高压中心位于闽西南和湖南中北部,华南大部分地区天气晴热。11 日 8 时(北京时,下同),500hPa 东亚地区西风带撤到 40°N 以北,贝加尔湖到大兴安岭地区是一个长波脊,台风云娜位于琉球群岛附近海面,与台风相联系的大范围的低压区呈东北—西南向控制着东海、琉球群岛、台湾海峡和南海的大部分海域。西太平洋副热带高压东撤南落,原来控制长江流域和华南大部的大陆副热带高压向北跳,退出华南地区,江南和华南大部高度下降了 $20 \sim 50\text{gpm}$ (图 1)。其结果,将使华南上空下沉运动减弱。

此时虽然台风云娜的密蔽云区和主要螺旋云带只影响到台湾以东洋面,但在低空 850hPa 和 925hPa 上,其气旋性环流已覆盖

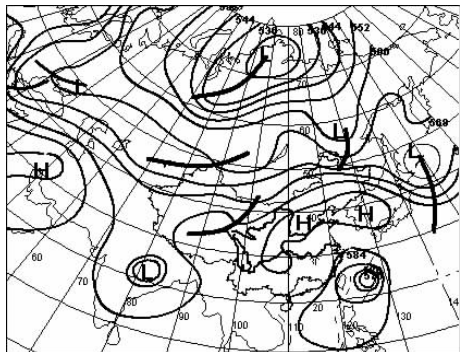


图1 2004年8月11日8时500hPa高度场

东南沿海和华南东部地区,广东省位于云娜西部外围,吹较弱的北风(图2)。在地面图上,8月9—10日,与台风云娜有关的低压槽伸到南海东部,华南受弱高压脊控制,11日8时,台风云娜移到琉球群岛附近,低压槽向西伸展控制华南地区。

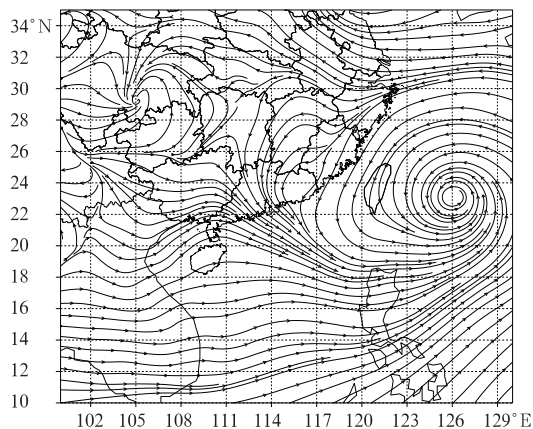


图2 2004年8月11日8时925hPa流线图

3 对流发展的物理条件分析

3.1 水汽条件

强对流对水汽条件的要求虽然没有暴雨那么高,但较充沛的水汽条件(特别是低层)也是必不可少的。在这次过程中,由于8月9—10日广东中西部地区无降水,且随着云娜逐渐靠近台湾省,其西部边缘的偏北气流

逐渐影响华南东部,所以上空的湿度有所减小。然而,在副热带高压南部边缘有一支来自东海的东到东北气流,起到输送水汽的作用。在11日8时的925hPa上,从江西到广东北部存在着一个相对高湿度区,水汽随着东北气流输送到粤北和珠江三角洲一带,广西和闽南湿度较小(图3)。在700hPa上,广西和闽南的小湿度区表现得更加突出,以致梧州与清远之间每100km露点差达9℃以上,具有明显的干线特征。

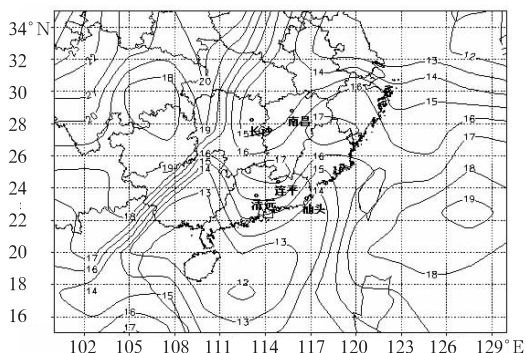


图3 2004年8月11日8时925hPa比湿分析图(单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

3.2 稳定度

3.2.1 地面连日出现高温使低层大气内能不断积蓄

有研究^[8]指出,台湾或巴士海峡附近有热带气旋活动,副热带高压控制江南和华南时,广州最容易出现酷热天气。这次也不例外,受副热带高压和台风云娜外围共同影响,8月8—11日,华南地区连日出现高温,尤其是粤北和珠江三角洲地区腹地更为突出,8月10日广东西北部的阳山最高气温达39.5℃。代表广东西北部的阳山、代表珠江三角洲腹地的广州和佛山以及代表珠江三角洲南部的中山8—10日的逐日最高气温,均呈逐日上升的趋势(见表1),即使11日午后出现了强对流,此前气温仍然相当高,广州最高气温还逼近38℃。连续高温的结果,使低层大气内能不断积蓄。

表 1 2004 年 8 月 8—11 日广东 4 站最高气温(℃)

日期	8 日	9 日	10 日	11 日
阳山	37.6	38.0	39.5	35.3
广州	36.0	37.2	38.3	37.8
佛山	35.9	37.3	38.4	37.5
中山	35.3	36.3	37.5	36.2

3.2.2 连日低层升温和中层降温使层结稳定度减小

连日的高温使低层大气增暖。清远探空资料显示,8 月 11 日 8 时 925 和 850hPa 温

度分别比 10 日 8 时上升了 1.4 和 1.2℃。而在 700~600hPa 恰恰相反,700 和 600hPa 温度分别比 10 日 8 时下降了 0.7℃和 2.2℃。在连平,11 日 8 时同样出现了中层降温的现象,600hPa 温度下降了 2.4℃,500hPa 温度下降 1.1℃。探空资料还显示,11 日 8 时两地 0℃层位势高度 24h 分别下降了 301 和 425gpm(表 2),表明中层出现降温。可以想见,低层升温和中层降温的结果,将使层结稳定度减小。

表 2 清远、连平 0℃层高度 h (gpm)和露点 T_d (℃)的变化

	10 日 8 时		10 日 20 时		11 日 8 时		11 日 20 时	
	h	T_d	h	T_d	h	T_d	h	T_d
清远	5205	-15.9	5580	-25.9	4904	-7.7	4989	-2.2
连平	5454	-27.9	5376	-11.7	5029	-3.7	4790	-1.9

3.2.3 稳定度指数

表 3 是 2004 年 8 月 10 日 8 时和 11 日 8 时厦门、连平、清远和梧州 4 站的对流有效位能^[9] CAPE、沙氏指数 SI 和 850hPa 与 500hPa 假相当位温之差 $\Delta\theta_{se(850-500)}$ 。这 4 站自东向西依次排列,可见珠江三角洲东西两侧都是一个稳定区,而珠江三角洲附近是相对不稳定区,特别是 11 日 8 时,珠江三角洲东侧的厦门和西侧的梧州 CAPE 均为 0 (在 $T-\log P$ 上为负面积),连平和清远的 CAPE 分别达到 1361.6 和 860.9J·kg⁻¹。

连平和清远的 SI 指数也为负值,表明二地的大气层结的对流性不稳定特征都十分明显,尤其是处于珠江三角洲上风方的连平更加强烈。与 11 日 14 时的 GOES-9 卫星云图(图 4,见彩页)对比,对流云在相对潮湿不稳定区发展,且与云娜的螺旋云带连接,而干燥稳定区为晴空区。12 日 8 时 CAPE 高值区在粤西和桂东的梧州一带,其中梧州从 0 突升到 1507.4 J·kg⁻¹,而其西南侧的海口和东北侧的赣州是分别是 0。

表 3 2004 年 8 月 10 日和 11 日 8 时连平和清远稳定度指数

	10 日			11 日		
	CAPE/(J·kg ⁻¹)	SI/℃	$\Delta\theta_{se(850-500)}/℃$	CAPE/(J·kg ⁻¹)	SI/℃	$\Delta\theta_{se(850-500)}/℃$
厦门	24.7	3.0	2.7	0	1.5	-1.6
连平	1210.8	-2.6	23.1	1361.6	-4.3	15.4
清远	757.8	-1.8	16.1	860.9	-1.7	12.7
梧州	43.0	3.0	8.9	0	3.5	6.7

华南地区的不稳定区是逐日西移的。8 月 10 日午后,先在粤东发生雷阵雨和局部雷雨天大风或飑,11 日大范围强对流在珠江三角洲附近爆发,12 日午后强对流发生在粤西和桂东南地区,说明台风云娜向西北移动引起

不稳定能量向西传播。

10 日 8 时和 11 日 8 时的探空资料表明,连平在 900hPa 以下都有一个逆温层,两天 8 时的逆温层厚度都在 20hPa 左右,10 日 8 时的逆温达到 3.4℃,而 11 日 8 时只有

1.2℃,表明逆温有所减弱。同时,11日8时清远在1000~955hPa之间也有一个弱逆温层,逆温为0.3℃。低空逆温层的存在,能使风暴发展所需的高静力能量得以积累^[10]。

风指数 WI 是国外1994年引入用于估算潜在的雷雨大风强度的一个参数^[11],其表达式为:

$$WI = 2.5[H_M R_Q (\Gamma^2 - 30 + Q_L - 2Q_M)]^{\frac{1}{2}}$$

其中 H_M 为融化层高度,单位 km; $R_Q = Q_L/12$ 为经验订正系数,规定 $R_Q \leq 1$; Γ 为地面至融化层高度之间的温度递减率,单位 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$; Q_M 是 H_M 处的混合比, Q_L 是近地面 1km 层内的混合比, WI 的单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

用8月11日8时清远和连平的探空资料,分别计算了两地的 WI 指数,结果表明,清远和连平站 WI 分别为 $22.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $13.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。实况是:清远下风方附近的花都实测风速为 $28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,白云区自动站记录超过 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,表明清远站计算结果比实测风速小;连平只出现雷雨,境内没有出现8级以上大风,与计算结果相符。但是,如果假设高空情况不变,用当天最高气温作为地面温度计算 Γ 值,则两地 WI 分别为 $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $31.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,显然计算结果偏大。

比较两地的 WI 和表3中的各项指数,不难发现,连平的 $CAPE$ 、 SI 和 $\Delta\theta_{se}$ 都表现得比清远更不稳定,但清远的 WI 值比连平大。结果清远境内及其附近地区出现了雷雨大风,而连平境内没有出现雷雨大风,说明对于华南地区而言, WI 指数比其他指数更能指示雷雨大风的潜势。

3.3 垂直速度变化

图5是根据NCAR/NCEP的大尺度再分析资料制作的9日8时—11日20时 23°N 、 113°E (即广州市番禺区附近)的垂直速度变化图,可以看出,8月10日8时从1000hPa到高层都是下沉运动,同日午后14时也只有600~800hPa和300hPa有微弱的上升运动,20时又是整层的下沉运动,所以对流难以发展;11日2时起300hPa以下转为上升运动,至午后14时,700hPa以上均转为明显的上升运动,最强上升运动出现在200~300hPa,强对流也在这时爆发;此后,从11日20时到12日14时,在400hPa以下一直维持上升运动。由此可见,由于9—10日受副热带高压控制,以下沉运动为主,阻止了对流的发生,使能量得以积蓄,11日

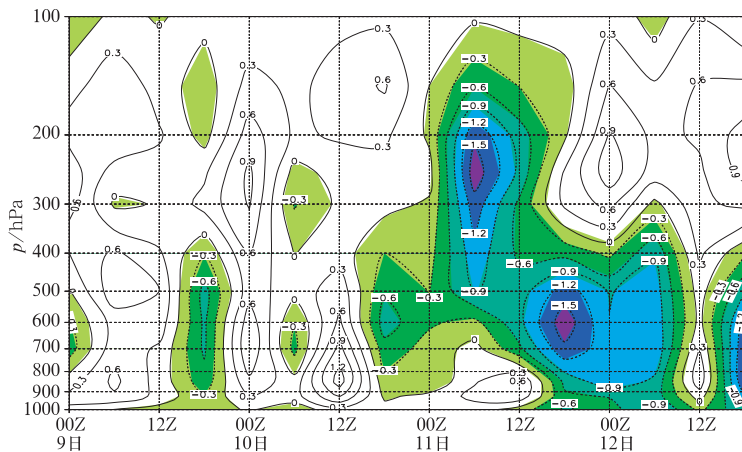


图5 2004年8月9—12日过 23°N 、 113°E 处的垂直速度 ω 高度-时间变化剖面图

单位: $10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$, 阴影区 ≤ 0 , 表示上升运动, 图中时间为世界时

下沉运动消失,转为上升运动为主以后,能量才能释放,发生了大范围激烈的强对流。

3.4 风的垂直切变

许多文献^[9-10]都强调了环境风的垂直切变对强风暴的重要作用。但是在这次大范围强对流过程中,广东境内既无高空急流,也无低空急流,强对流发生前的8月11日8时和强对流发生后的同日20时清远的低层和高层的风速都很小,所以850~200hPa之间风的垂直切变值分别只有 $4.5 \times 10^{-4} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $5.5 \times 10^{-4} \cdot \text{s}^{-1}$,比文献[9]中给出的风垂直切变值小了一个量级。2003年8月4日当强热带风暴莫拉克在福建沿海登陆时,珠江三角洲地区有14个县市发生了强雷雨大风,当时风的垂直切变值只有 $1.1 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$,也比文献[9]中的垂直切变值小,这也许是热带气旋外围强对流的一个特点。

3.5 海风锋与阵风锋的作用

刘运策^[12]等曾分析了1998年7月由海风锋触发的珠江三角洲地区的强对流天气,指出海风锋常在白天快速向北推进从而触发

产生强对流天气。这次强对流天气发生在台风云娜向西伸展的大尺度低压槽中,从广州多普勒天气雷达回波图发现,对流始发地点主要有4个:一个在广州东北方的从化、新丰一带,大约在12时左右开始;一个在韶关偏西方的乳源、阳山一带,同为12时左右开始;一个在深圳市,开始时间在13时前后;还有一个在广州番禺区北部,开始时间为14时左右。前两个强对流区在南移过程中首先合并,16时左右才在珠江三角洲南部和后两个强对流区完全合并,其中深圳、番禺的强对流与海风锋都有一定关系。对8月11日12时和13时的地面资料分析(图6)可以发现,12时深圳以北的偏北风与来自香港以南海面的偏南风、来自珠江口内河面的偏西风以及来自其东侧大鹏湾的东南风在深圳地区形成一个辐合中心,13时左右即在深、港交界处开始出现对流回波。13时,海风进一步深入内陆,在番禺附近出现了一个辐合中心,13时50分前后番禺区北部也开始出现强对流性回波。也就是说,在对流发生之前,地面都先出现了由海风加强形成的辐合流场。

在香港长洲岛和位于深圳北部的龙华自

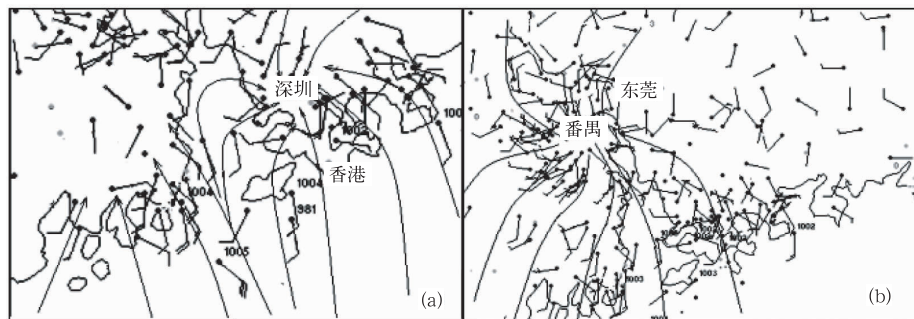


图6 2004年8月11日12时(a)和13时(b)地面流场

动站逐时温度的变化图(图7)中,两地相距50km左右,早晨气温相差只有 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,白天随着陆地加热,龙华气温迅速上升,两地温差越来越大,10—12时两地温差达 6°C 左右。如此大的温度梯度无疑将有利于触发对流的

发展。

至于珠江三角洲北部的强对流始发点,可能与地形有关。这两个地方都是一些地形十分复杂的地区,其中从化与新丰、龙门交界的地方为东北西南走向的青云山脉中部及其

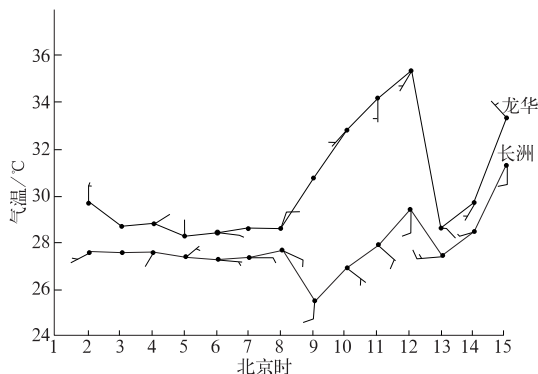


图7 2004年8月11日2—15时香港长洲与深圳龙华的气温和风的变化

东南坡,一些山峰高度在1000m以上,而且这里位于连平与清远之间,大气层结比珠江口附近更加不稳定,有利于深对流的发展。在对流回波缓慢向南偏西方向移动的过程中,云中的干冷下沉气流与其前部的暖湿气流相遇而产生新的雷暴。从广州多普勒天气雷达回波可以看出,从13时以后,在从化东北部和龙门北部出现了一条略呈弧状排列的30dBz以上的狭窄对流带,最强回波一般都在60dBz以上,其中13时45分达68dBz。14时前后,这块回波西侧的佛冈、清远和广宁境内的对流加强,一起向偏南风方向移动,最强的回波始终位于回波前进方向的前沿。8日16时以后,3块主要回波在珠江三角洲南部合并后,对流发展到最强(图8,见彩页)。

4 结 论

(1) 这次大范围强对流天气是在台风云娜外围的低压槽中发展的,控制华南地区多日的副热带高压减弱北跳,下沉运动减弱,是强对流发展的大尺度背景条件。

(2) 台风外围的稳定度分布具有明显的波动性,不稳定区域和相对稳定的区域自台

风中心往西相间出现,存在明显的不连续现象,这是触发强对流的有利条件之一,强对流在与台风外螺旋云带连接的高能舌上发展。

(3) 海风加强造成低层辐合、海陆之间的巨大温度差异(海风锋)、复杂起伏的地形条件以及雷暴前部的阵风锋也是强对流发展的动力因素。

(4) 副热带高压控制及台风外围下沉造成的地面持续高温为强对流积蓄了充足的不稳定能量,11日8时中空的降温加剧了层结不稳定。

(5) 对于华南地区,风指数WI比其他稳定度指数能更有效地预报雷雨大风灾害。

参考文献

- [1] 沈树勤. 台风前部龙卷风的一般特征及其萌发条件的初步分析[J]. 气象, 1990, 16(1): 11-15.
- [2] 贺忠, 林良勋, 廉淑芳. 热带气旋边缘中尺度风暴的初步研究[J]. 热带气象, 1990, 6(2): 97-105.
- [3] 张小霞. 热带气旋活动区与台前强对流[J]. 广东气象, 1994, (3): 23-25.
- [4] 温晶. 台风西北侧强对流天气浅析[J]. 广东气象, 2001, (3): 11-13.
- [5] 杨宇声, 张小霞, 郭媚媚. 佛山8月4日强对流天气过程分析[J]. 广东气象, 2004, (3): 9-10.
- [6] 范爱芬. 一次秋季强对流天气过程分析[J]. 浙江气象科技, 1995, 16(2): 28-30.
- [7] 郑锋. 一次热带风暴外围特大暴雨分析[J]. 气象, 2005, 31(4): 77-80.
- [8] 黄忠, 熊亚丽, 林良勋. 广州市37℃以上酷热天气形势及相关要素分析[J]. 气象, 2005, 31(7): 24-29.
- [9] 李耀东, 刘健文, 刘玉玲, 等. 埃玛图微机制作及对流有效位能的计算[J]. 气象, 2004, 30(5): 23-27.
- [10] 丁一汇. 高等天气学(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 315-323.
- [11] 陆汉城. 中尺度天气原理和预报[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 56-59, 268-270.
- [12] 刘运策, 庄旭东, 李献洲. 珠江三角洲地区由海风锋触发形成的强对流天气过程分析[J]. 应用气象学报, 2001, 12(4): 433-441.

黄忠等：台风远外围大范围强对流天气成因综合分析

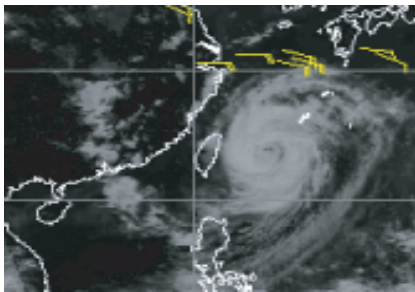


图4 2004年8月11日14时GOES-9卫星云图

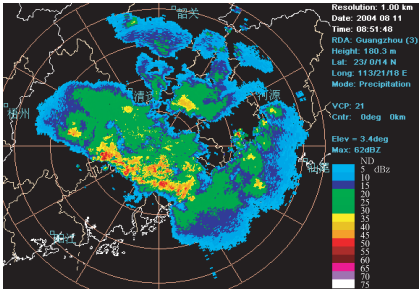


图8 2004年8月11日16时51分广州多普勒天气雷达回波