0577-6619/2011/69(6)-0990-00 *Acta Meteorologica Sinica* 气象学报

季风槽内热带气旋生成的基本特征分析*

吕心艳[1,2] 端义宏[1]
LU Xinyan[1,2] DUAN Yihong[1]

1. 国家气象中心，北京，100081
2. 中国气象科学研究院，北京，100081
1. *National Meteorological Centre*, *Beijing* 100081, *China*
2. *Chinese Academy of Meteorological Sciences*, *Beijing* 100081, *China*

2009-10-27 收稿，2011-03-17 改回.

Lu Xinyan, Duan Yihong. 2011. Characteristics of the tropical cyclogenesis in the summer monsoon trough. *Acta Meteorologica Sinica*, 69(6):990-1000

Abstract By using the tropical cyclone (TC) data from the Joint Typhoon Warning Center (JTWC), the tropical disturbance (DB) alert messages from University of Illinois, the Geostationary Meteorological Satellite TBB data, the QuikSCAT oceanic wind data and the NCEP final reanalysis wind data, the statistics of TCs that form in the summer monsoon trough (MTC for short) is made, and the chief patterns of the monsoon trough associated with the tropical cyclogenesis are discussed. The paper further analyzes the characteristics of the tropical cyclogenesis within every pattern of the monsoon troughs and the features of the mesoscale convective systems (MCS) which occur 48 hours prior to the MTC formation. The main conclusions are as follows: (1) The percentage of the MTCs to all the TCs is about 71% and the MTC can easily further develop into the tropical storm or typhoon. The probability of the DB in the monsoon trough that can develop into the tropical depression is much higher than that in the non-monsoon trough. (2) There are five chief monsoon trough patterns that are associated with the tropical cyclogenesis and they are the SCS-NWP pattern, NWP pattern, Reverse-Oriented (RO) pattern, Late-Season (LS) pattern and SCS pattern, respectively. The TCs that effect China come mainly from the SCS-NWP pattern, NWP pattern and SCS pattern. The developmental probability of the DB in the RO pattern is the highest, but it is the lowest in the LS pattern. (3) The cluster of MTCs is the main way of the MTC formation. The SCS-NWP pattern is the most important pattern for the cluster of MTCs, while the cluster of MTCs can very easily occur in the RO pattern. (4) During the process of MTC formation, there are usually more than two MCSs near the MTC formation position during 48 hours prior to the MTC formation. The large-scale cloud clusters of the monsoon trough can organize MCSs frequently; the period during which the MCSs are active is just the process that the DB transfers into the tropical depression. Especially when the monsoon trough is very strong, the MCSs are so active that the cluster of MTC can easily occur.

Key words Tropical cyclongenesis, Monsoon trough, Group-occurring, Tropical disturbance, MCS

摘 要 利用美国关岛联合台风警报中心(JTWC)所提供的热带气旋(TC)、热带扰动、TBB、QuikSCAT 观测风场和 NCEP 再分析风场等资料，统计了生成于季风槽内的 TC(MTC)，归纳了与 MTC 生成有关的季风槽主要模态，并进一步分析了不同季风槽模态下 MTC 生成的基本规律及其生成过程中中尺度对流系统(MCS)活动的时空特征。结果表明：(1)MTC 占总 TC 数量的 71%，且 MTC 生成后易加强为热带风暴或台风；季风槽内热带扰动的发展概率远高于非季风槽内热带扰动。(2)与 MTC 生成有关的季风槽主要存在中国南海-西北太平洋型、西北太平洋型、反向型、夏末型和中国南海型 5 个主要模态；其中，影响中国的 TC 主要生成于中国南海-西北太平洋型、中国南海型和西北太平洋型模态。反向型模态中热带扰动发展为 MTC

* 资助课题：973 项目(2009CB421506)、国家自然科学基金(40905028、40975035)。
作者简介：吕心艳，主要从事台风和季风方面的研究。E-mail: lvxy@cam.gov.cn

的概率最大,而夏末型最小。(3)季风槽内 TC 群发是 MTC 生成的重要形式,其中,中国南海-西北太平洋型季风槽是 MTC 群发的主要模态,反向季风槽模态下最易出现高频次 MTC 群发。(4)MTC 的生成常伴随 2—4 个 MCS 同时或相继出现。季风槽大尺度对流云团组织 MCS 频繁出现,MCS 的活跃阶段正是季风槽内热带扰动向热带低压演变的阶段,特别当季风槽显著时,MCS 异常活跃,易造成 MTC 的群发。

关键词 热带气旋生成,季风槽,群发,热带扰动,中尺度对流系统

中图法分类号 P457.8

1 引 言

热带西北太平洋地区是全球台风活动最为频繁的区域,约占全球总数的 33%(Gray,1968;陈联寿等,1979);夏季季风爆发后,西南暖湿季风气流与副热带高压南侧的偏东气流辐合所产生的季风槽恰好位于该地区;季风槽与热带气旋(TC)的形成有密切联系(McBride,1995;Harr, et al,1995;Ritchie, et al, 1999;Chen, et al,1998;王慧等,2006;张庆红等,2008)。陈联寿等(1979)指出 TC 主要是由 4 种前期扰动发展起来的,即(1)热带辐合区(ITCZ)中的扰动,(2)东风波,(3)高空冷涡在对流层低层诱生出的低压,(4)斜压扰动。而 80%以上 TC 是由热带辐合区中的扰动发展起来的,只有小部分是由其他 3 种类型的扰动发展起来的,夏季热带辐合区主要表现为季风槽。季风槽区具有典型的低层正涡度气旋式环流、高层负涡度反气旋式环流和垂直方向上深厚的暖湿空气的特征,且垂直风切变的零值区恰好经过季风槽区,使得暖湿空气释放的热量容易集中在该区域;另外,季风槽内部存在着气流的动力不稳定机制(Ferreira,et al, 1997),在适当条件下,扰动即可得到发展,这是导致该地区约 75%的 TC 生成于季风槽内(McBride,1995;Ritchie, et al, 1999;Chen, et al, 2004)的重要原因,且生成于季风槽的 TC 很容易登陆中国(王蔚等,2008;高建芸等,2008,2010)。

季风槽与天气尺度扰动具有紧密的联系,天气尺度扰动的分布与季风槽的东伸或西退有很好的一致性(Chen, et al, 1998),而且天气尺度扰动的振幅越大,产生于季风槽的 TC 越多(Chang, et al , 1996)。另外,近赤道扰动常在季风槽东边界转为热带低压扰动(Holland, 1995;Briegle, et al, 1997),特别是东北—西南向季风槽东边界低层辐合加强,有利于扰动向热带气旋的转变(Lander,1996;Kuo, et al, 2001;Aiyyer, et al, 2003)。中尺度对流系统(MCS)主要发生在天气尺度扰动的槽中或低压区(Gray,1998;Ritchie, et al, 1999),近年来的观测事实和模拟研究皆证实了 MCS 对 TC 生成有着重要的作用(Harr, et al, 1996;Zhang, et al, 1996a, 1996b; Simpson, et al, 1997;Ritchie, et al, 1999; Cheung, et al, 2004; Lee, et al, 2008;张文龙等,2008),MCS 被认为是 TC 生成的“前兆”。早在 TCM-93 外场观测试验中即发现 MCS 的层状云降水区常有对流层中层中尺度涡旋出现(Zehr, 1992; Reasor, et al, 2005; Montgomery, et al, 2006),而中尺度涡旋是热带地区 TC 生成的“胚胎”。季风槽辐合区有利于 MCS 的频繁出现(Harr, et al, 1996;Ritchie, et al, 1999;朱晓金等,2007;Lee, et al, 2008)。可见,季风槽为 TC 的生成提供了初始扰动所需的环境场,且季风槽深对流组织 MCS 频繁出现,提高了涡旋的合并强度,有利于热带扰动的发展与 TC 的生成。

但是,由于受观测资料的限制,以往研究主要从气候统计上揭示季风槽对 TC 生成的影响;另外,不同的大尺度环流背景下 TC 生成机理可能不同,以往研究多在未区分 TC 生成背景下进行,尚不能明确揭示季风槽内 TC 生成的主要规律。与 TC 生成有关的季风槽的主要模态以及每种模态下 TC 生成的特点仍不清楚。在季风槽活跃时,常有双台风甚至多台风同时或相继出现(陈联寿等,1979,本文称之为 TC 群发),季风槽内 TC 群发有哪些特点?季风槽内 TC 生成过程中 MCS 的活动有何特点?针对以上问题,本文利用卫星资料及热带扰动警报信息等可靠观测资料,从天气学意义上分析、揭示不同季风槽形态下 TC 生成的基本规律,并归纳热带扰动向热带低压演变过程中 MCS 活动的时空特征,这将有利于加深对季风槽内热带气旋生成的认识,为进一步深入研究和探讨季风槽内 TC 生成的机理

奠定基础。

2 资料与方法

2.1 主要资料

(1) 1995—2004 年美国关岛联合台风警报中心(JTWC)所提供的热带气旋每 6 h 的中心经纬度位置和最大风速等资料;(2)1995—2004 年美国国家环境预报中心(NCEP)全球预报系统(GFS)每6 h 的最后分析风场资料(分辨率为 1°×1°);(3)2000—2004 年热带扰动统计资料(来自伊利诺伊大学发布的热带扰动警报信息 http://listserv.uiuc.edu/archives/wx-tropl.html,警报信息主要由 JTWC、日本气象厅(JMA)、香港天文台(HKO)和美国国家飓风中心(NHC)提供),包括热带扰动的时间、位置、强度估计等信息;(4)2000—2004 年由日本高知大学提供的逐时静止气象卫星(GMS-5、GOES-9)红外通道 1(IR1)反演的云顶黑体辐射温度(TBB)资料(分辨率为 0.05°×0.05°)以及逐时红外卫星影像图;(5)2000—2004 年 NASA 发射的 QuikSCAT 卫星上 SeaWind 散射计观测的海面风场资料(分辨率为 0.25°×0.25°)。

2.2 定义与方法

本文利用了王蔚等(2008)整理的 1995—2004 年 TC 生成大尺度背景资料,该资料主要依据天气学概念对 TC 生成的大尺度背景进行了分类,而不像有些研究用数学方法来处理,造成天气学概念不清楚。因此,该分类较为合理。但在普查中发现,由于季风槽本身也属于热带辐合区的一种形式,该统计在热带辐合区和季风槽分类中不是很明确。因此,对该统计结果进行了逐一订正,作为本文研究的基础资料。与 TC 生成有关的季风槽模态主要从 1995—2004 年 10 a 资料分析、归纳获得;由于近年来卫星观测资料相对丰富,其他内容(热带扰动、MCS 活动等)以 2000—2004 年为主,每年的研究时段为 5—10 月。

由于 JTWC 所提供的 TC 资料中,起始记录 TC 的风速不同,为了统一,本文定义 TC 的强度第一次达到热带低压强度即最大风速达到 12.9 m/s 的时间为 TC 的生成时间。如果一个热带扰动能够加强并发展为热带低压(JTWC 编号,且最大风速达到 12.9 m/s),称该热带扰动为发展的热带扰动;如果一个热带扰动没有加强或消散,则称此扰动为不发展的热带扰动。

3 季风槽与 TC 的生成

3.1 季风槽内 TC 生成的统计特征

1995—2004 年 5—10 月热带西北太平洋地区共有 254 个 TC 生成,其中生成于季风槽内的 TC 为 178 个,占总 TC 数量的 71%。从 1995—2004 年每年总 TC 的数量、MTC 数量以及 MTC 所占的百分比(图 1)可以看出,平均每年有 17.8 个 TC 生成于季风槽内,MTC 均占 64%以上(1998 年除外),2004 年 MTC 占该年总 TC 的比例高达 84%。可见,热带西北太平洋地区的 TC 主要生成于季风槽内,如果掌握了 MTC 的活动特征,就抓住了 TC 生成的主要规律,亦是本文研究目的所在。

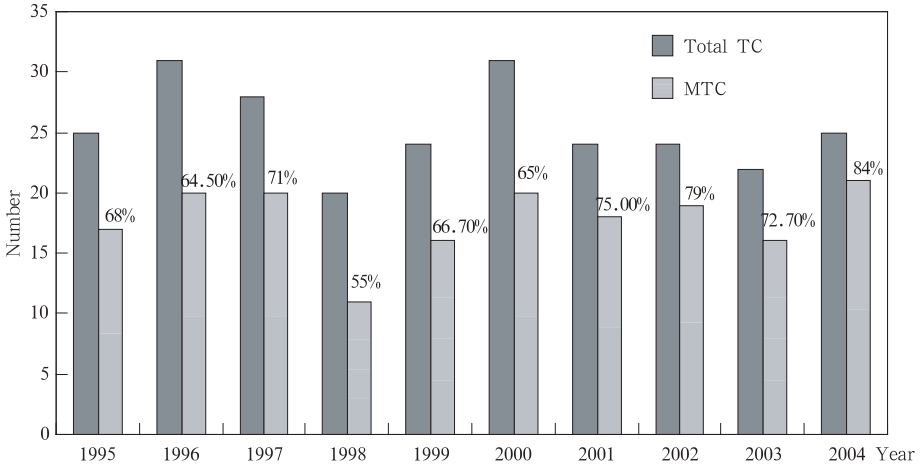

图 1 1995—2004 年总 TC 和 MTC 数量分布

Fig. 1 Total TC numbers and the MTC numbers during the 1995－2004

2000—2004 年每年 5—10 月平均有 66.4 个热带扰动出现(表 1),其中 37.6%的热带扰动可发展为热带低压,非季风槽热带扰动的发展概率仅为 23.7%;而季风槽内平均每年有 40.2 个热带扰动出现,占总热带扰动的 60.8%,其发展概率为 47.3%,高于平均发展概率,特别是远高于非季风槽热带扰动的发展概率。季风槽内生成的热带低压有 86%可以加强为热带风暴(TS),而 TS 中有 71.2%可进一步发展为台风(TY)。其中,26.3%的台风可再加强为超强台风(STY)。可见,季风槽内热带扰动发展为 MTC 的概率之高,MTC 占总 TC 数量的比例之大,且易进一步加强为热带风暴或台风。

表 1 2000—2004 年热带扰动的活动统计

Table 1 The statistics of the tropical disturbances during the period of 2000 - 2004

年份	总热带扰动			非季风槽			季风槽		
	热带扰动	发展热带扰动	概率	热带扰动	发展热带扰动	概率	热带扰动	发展热带扰动	概率
2000	73	31	42.5%	30	11	36.7%	43	20	46.5%
2001	78	24	29.5%	34	6	14.78%	45	18	42.2%
2002	70	24	34.3%	27	5	18.5%	43	19	44.2%
2003	66	22	33.3%	29	6	20.7%	37	16	43.2%
2004	44	25	55.5%	11	4	36.4%	34	21	61.8%
平均	66.4	25	37.6%	26.2	6	23.7%	40.2	19	47.3%

注:概率为热带扰动的发展概率。

3.2 季风槽主要模态以及 TC 生成的特点

根据 178 个 MTC 生成前 48 h 850 hPa 季风槽槽线($U=0$)的位置、走向以及环流场特征,归纳发现与 MTC 生成有关的季风槽存在 5 个主要模态(图 2),分别为中国南海-西北太平洋型(SCS-NWP)、西北太平洋型(NWP)、反向型(RO)、夏末型(LS)和中国南海型(SCS)。

3.2.1 中国南海-西北太平洋型季风槽

南海季风槽发展并东伸与西太平洋季风槽连通,形成了一条东西向、大范围的辐合带(图 2a),季风槽最远可东伸到 175°E,该模态下季风槽的共同特点是南海及其以东地区越赤道气流显著,副热带高压南侧的偏东气流较强,副热带高压西伸脊点偏西,季风槽上空形成一条显著的深对流带(图略),常常同一时间或相继有 2 个以上的 TC 生成,如 2002 年 8 月 10—14 日,仅 5 d 有 3 个 TC 生成。该季风槽模态下 TC 生成位置和季风槽范围基本一致(图 3a),即南海和西北太平洋地区都有 TC 生成的可能性。该模态下在南海和菲律宾附近生成的 TC 以向西北方向移动为主,常在中国海南、广东登陆,菲律宾以东生成的 TC 以向西北偏北方向移动为主。1995—2004 年共有 69 个 TC 生成于该季风槽模态下,占总 MTC 的 38.5%。其中,2000—2004 年有 73 个热带扰动出现在该模态下,热带扰动的发展概率为 50.7%,比平均季风槽内热带扰动的发展概率稍大。

3.2.2 西北太平洋型季风槽

南海地区没有明显的季风槽控制,而热带西北太平洋地区越赤道气流显著,副热带高压西脊点偏东,在西北太平洋地区形成了显著的季风槽(图 2b)。该模态季风槽一般发生于西北太平洋夏季风活跃期,而南海季风槽处于间歇期或减弱期。MTC 生成主要集中在菲律宾及其以东地区,且以向西北转向东北移动路径为主(图 3b),有些 TC 向西北移动登陆中国。1995—2004 年共有 39 个 MTC 形成于该季风槽模态下,占总 MTC 的 21.8%;2000—2004 年,该模态下有 39 个热带扰动出现,其中 59%的热带扰动可发展为 TC,热带扰动发展概率大。

3.2.3 反向型季风槽

与一般的季风槽走向(东南—西北向)不同,该模态季风槽的切变线为西南—东北向(图 2c),副热带高压西脊点异常偏东,中国大陆也存在一个高压中心,季风槽位于两个高压之间。MTC 主要生成于季风槽槽底,生成后沿着槽线向东北方向移动(图 3c),常在日本登陆。1995—2004 年该季风槽模态下有 33 个 TC 生成,占总 MTC 的 18.4%;2000—2004 年共有 28 个热带扰动出现在该模态下,其中有 60.7%的热带扰动发展为 MTC,是热带扰动发展概率最大的季风槽模态。

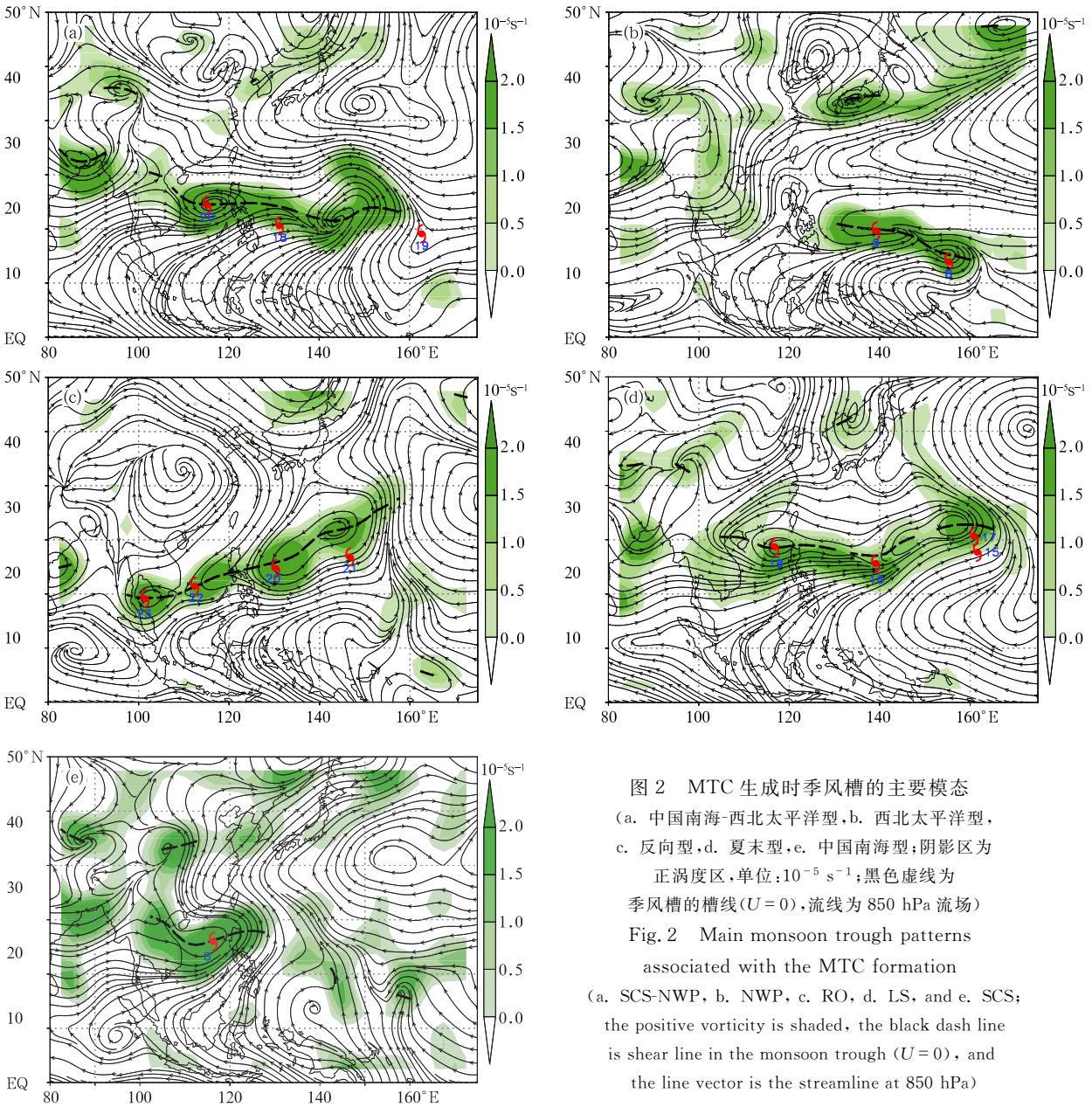

图 2 MTC 生成时季风槽的主要模态
(a. 中国南海-西北太平洋型,b. 西北太平洋型,
c. 反向型,d. 夏末型,e. 中国南海型;阴影区为
正涡度区,单位:10^{-5} s^{-1};黑色虚线为
季风槽的槽线($U=0$),流线为 850 hPa 流场)

Fig. 2 Main monsoon trough patterns
associated with the MTC formation
(a. SCS-NWP, b. NWP, c. RO, d. LS, and e. SCS;
the positive vorticity is shaded, the black dash line
is shear line in the monsoon trough ($U=0$), and
the line vector is the streamline at 850 hPa)

3.2.4 夏末型季风槽

该模态季风槽主要发生在 9 月中下旬和 10 月东亚夏季风减弱过程中,大陆高压开始发展(图 2d),其南面的东北气流到达南海附近,与副热带高压西南侧的偏东气流、来自印度洋的偏西风以及西太平洋地区的西南越赤道气流汇合而形成。季风槽多呈东西向,该模态季风槽常伴随 2—3 个显著季风涡旋或季风低压存在,MTC 主要生成于西北太平洋地区,其移动以转向路径为主(图 3d)。1995—2004 年共有 23 个 TC 生成于该季风槽模态下,占总 MTC 的 12.8%。其中,2000—2004 年有 37 个热带扰动出现在该模态季风槽,但仅有 30%的热带扰动发展为 MTC,是季风槽内热带扰动发展概率最小的模态。

3.2.5 中国南海型季风槽

季风槽仅控制在中国南海地区(图 2e)。多见于南海夏季风爆发初期或西北太平洋季风间歇期,MTC 集中生成于南海地区。TC 以向西北方向移动为主(图 3e),特别生成位置稍偏北的 MTC 很容易登陆中国华南沿海地区。1995—2004年共有8

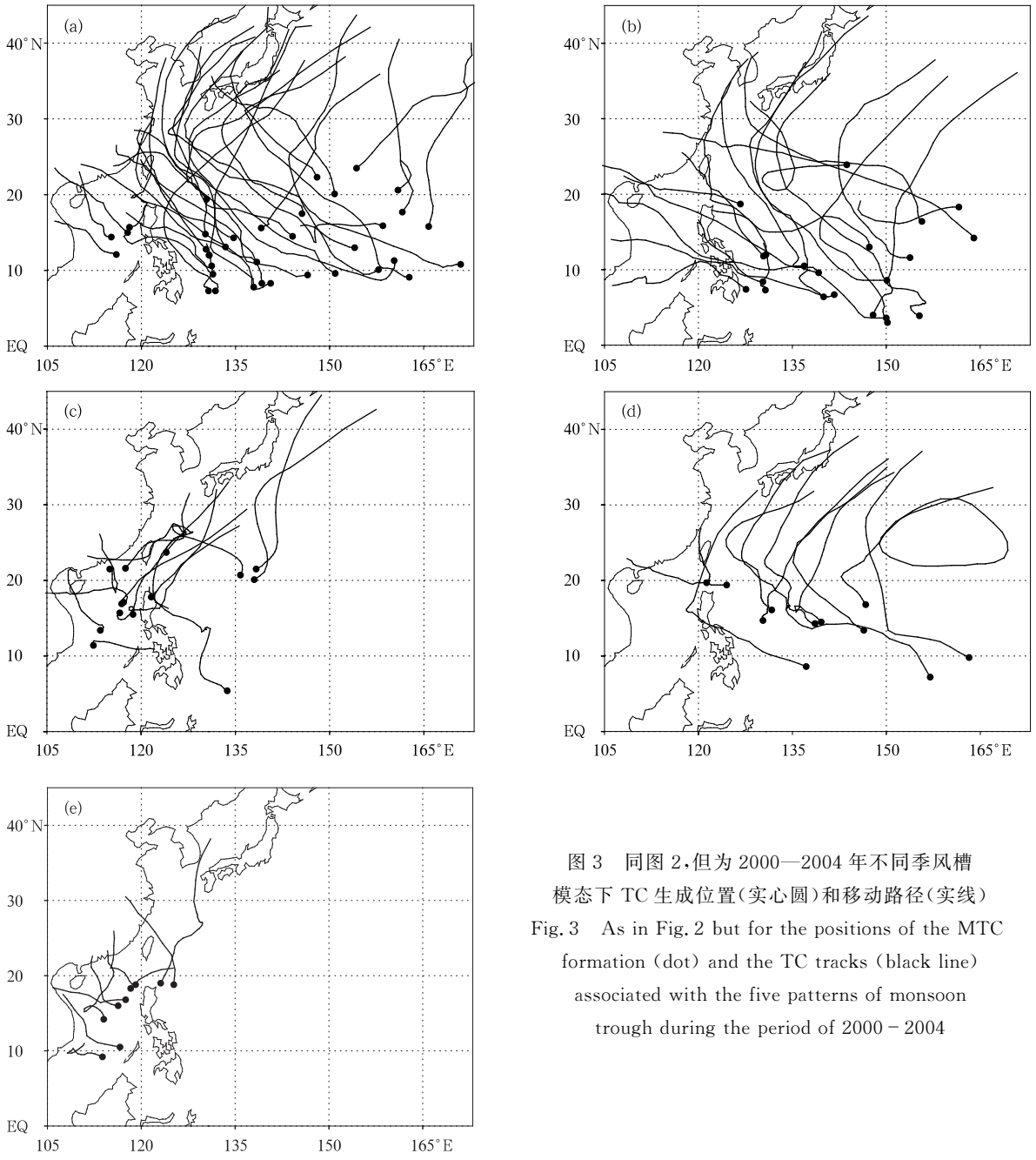

图 3 同图 2,但为 2000—2004 年不同季风槽模态下 TC 生成位置(实心圆)和移动路径(实线)

Fig. 3 As in Fig. 2 but for the positions of the MTC formation (dot) and the TC tracks (black line) associated with the five patterns of monsoon trough during the period of 2000 - 2004

个 TC 生成于该季风槽模态下,仅占总 MTC 的 8.4%,该模态下热带扰动的发展概率仅为 32%。

4 季风槽内 TC 的群发特征

研究中发现当季风槽活跃时,TC 生成具有显著的群发特性,即常常有双台风甚至多台风同时或连续出现,这与季风槽范围大、强而稳定有密切关系。定义同一个季风槽模态下同时或相继有 2 个或 2 个以上 MTC 生成的现象为 MTC 的一次群发过程,且一次群发中的连续 TC 生成时间间隔不能超过 3 d。1995—2004 年共有 38 次 MTC 的群发过程(图 4),平均每年有 3.8 次,共有 101 个 MTC 出现在群发过程中,占总 MTC 的 58.1%。一般一次群发过程有 2—4 个 MTC 生成(图 2a—d),最多一次群发在 1998 年 9 月 10—19 日,有 6 个 MTC 出现在反向季风槽模态中。可见,MTC 群发是季风槽内 TC 生成的重要方式。

表2第4和5列给出了1995—2004年不同季

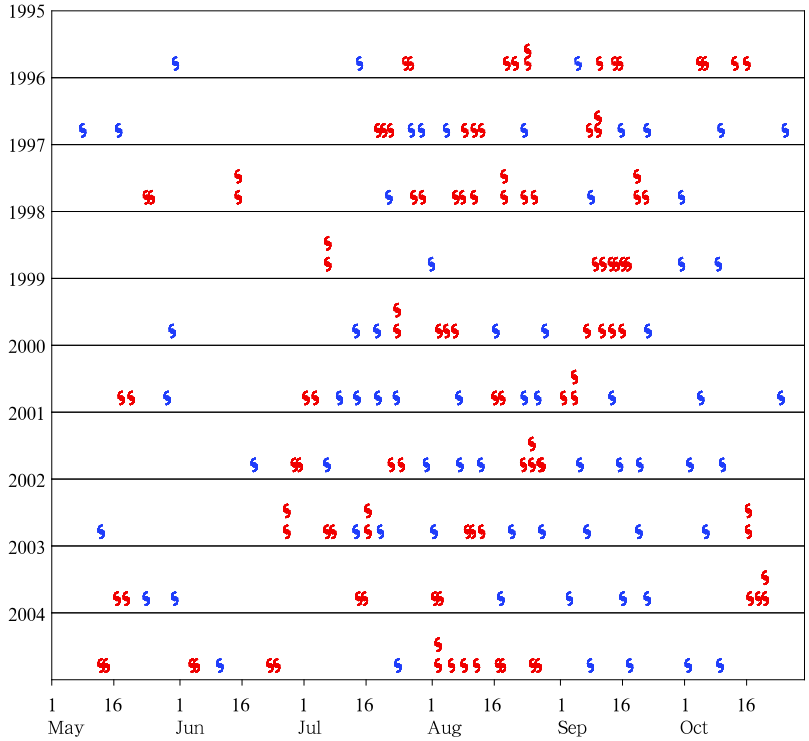

图 4 1995—2004 年 MTC 的生成时间分布
(群发 MTC 用红色的台风符号表示)
Fig. 4 MTCs formation dates during 1995－2004
(red typhoon symbols are for the Group-occurring MTC)

表 2 不同季风槽模态下 TC 生成的统计特征
Table 2 The statistics of the TC formation associated with the five monsoon trough patterns

季风槽模态	TC	所占比率	群发次数	平均群发频数	热带扰动	发展概率
中国南海-西北太平洋	69	38.5%	15	2.5	73	50.7%
西北太平洋	39	21.8%	9	2.2	39	59.0%
反向	33	18.4%	7	3.3	28	60.7%
夏末	23	12.8%	3	2.7	37	30.0%
中国南海	15	8.4%	4	2	25	32.0%

注:2—5 列为 1995—2004 年的统计结果,后 2 列为 2000—2004 年的统计结果。

风槽模态下 MTC 群发的信息。其中,在中国南海-西北太平洋型季风槽模态下出现了 15 次群发过程,是群发次数最多的模态,平均每次群发过程为 2.5 个,如 2002 年 8 月 10—14 日,有 3 个 TC 生成于该季风槽模态下(图 2a)。其次,有 9 次 MTC 群发过程出现在西北太平洋型季风槽模态下,平均每次群发过程为 2.2 个。在反向型季风槽中出现了 7 次群发过程,共有 23 个 MTC 生成,占该模态下 MTC 总数的 69.7%。可见,一旦反向季风槽出现,将容易激发 MTC 的群发,且群发频次高,平均频数为 3.3 个,如 2003 年 10 月 18—21 日有 4 个 TC 生成于反向型季风槽内(图 2c)。出现在夏末型和中国南海型季风槽下的群发过程分别为 3 和 4 次,夏末模态下平均每次群发过程为 2.7 个 MTC,而中国南海型季风槽中群发过程均有 2 个 MTC 生成,即中国南海型模态下 TC 群发过程最多有 2 个 MTC 出现。

5 中尺度对流系统与 MTC 的生成

5.1 MCS 统计分析

已有研究表明,MCS 与 TC 生成有着密切的关系(Simpson, et al, 1997; Ritchie, et al, 1997, 1999; Chen, et al, 2004; Lee, et al, 2008; 张文龙

等,2008)。本文利用2000—2004年静止气象卫星GMS-5和GOES-9的红外通道1反演的逐时高分辨率TBB资料,分析MTC生成过程中MCS活动的时空特征。采用Ritchie等(1999)的MCS定义,当深对流TBB<－56.15℃的面积大于4×10^4 km^2,且偏心率大于0.5时,该对流称为一个MCS。Zehr(1992)和Bessho等(2006)指出平均TC生成前约50 h内出现的对流对TC生成起着重要的作用。因此,本文研究了2000—2004年95个MTC生成前48 h中MCS的活动状况;为了重点研究对TC生成可能有较大影响的MCS活动,对于生命期小于3 h的MCS不予考虑。

对2000—2004年所有95个MTC生成过程中MCS的活动进行详细统计(表3)后发现,有多个MCS伴随着热带扰动向热带低压演变,所占比例达91.1%,为季风槽内TC生成过程中非常显著的特点之一。MTC生成前48 h平均有2.7个MCS出现,平均生命周期为14.1 h,MCS的最低TBB温度平均为－85.6℃,有59.4%的MTC生成过程中有2个以上的MCS同时存在。中国南海型季风槽模态下MCS的出现次数最多,平均有3.1个,但其生命期较短,平均为13.5 h;反向型和夏末型季风槽模态下的MCS活动周期最长,为16 h以上;在中国南海型、夏末型和西北太平洋型季风槽模态下,多个MCS同时存在的现象更为常见。根据与95个MTC生成有关MCS的最低TBB位置(简称MCS的位置)分布(图5)可知,MCS一般出现在距离MTC生成位置8个经纬度范围内,特别集中在距离生成位置4个经纬度区域内(占54.3%),且东北象限最多,西北象限最少。

表3 2000—2004年MTC生成过程中MCS的活动统计

Table 3 The statistics of the MCSs' activity during the MTC (2000－2004) formation

季风槽模态	平均MCS个数	平均MCS生命期(h)	平均最低TBB(℃)	多个MCS出现比例	多个MCS同时出现比例
中国南海-西北太平洋	2.7	14.0	－84.4	92.6%	59.3%
西北太平洋	2.9	13.8	－85.7	89.0%	65.0%
反向	2.3	16.3	－83.7	93.3%	46.7%
夏末	2.8	16.4	－87.7	90.0%	70.0%
中国南海	3.1	13.5	－86.4	100%	75.0%
平均	2.7	14.1	－85.6	91.1%	59.4%

5.2 个例分析

以2002年西北太平洋热带风暴18W和2003年台风20W为例,说明TC生成过程中MCS的活动状况。

2002年西北太平洋热带风暴18W于2002年8月10日18时(世界时,下同)生成在中国南海-西北太平洋型季风槽中(图2a),生成前48 h内其附近共有4个MCS出现。如上所述,影响TC生成的MCS主要集中在距离生成位置4个经纬度范围内,简称为TC生成敏感区。TC生成敏感区强对流所占面积百分比的变化曲线(图6)能够大体描述出与TC生成有关的MCS活动状况。8月8日09—20时为第1个MCS活动时段,生命期11 h,对流出现了第1个峰值(图6a);9日03时虽有MCS出现,但仅维持了2 h,忽略不计;紧接着09时出现了第2个MCS,维持10 h;第3个MCS在18时形成(图7a),对流层低层辐合加强(图7c),生成敏感区对流出现了显著峰值(图6a),10日01时减弱消

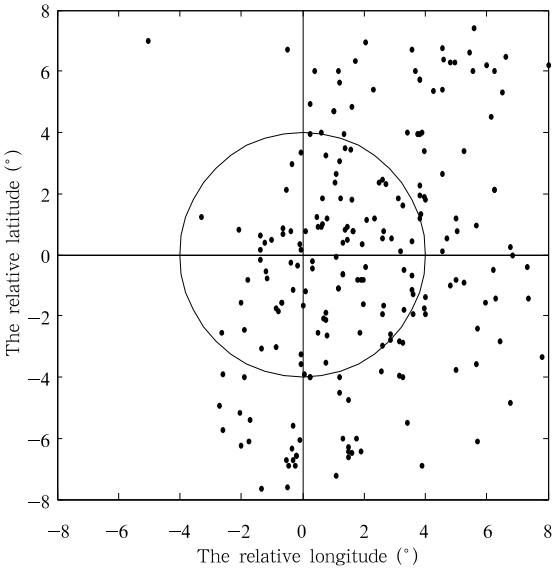

图5 2000—2004年MTC生成前48 h出现的MCSs位置分布

Fig. 5 Locations of the MCSs which occured 48 hours prior to the MTC formation during the period of 2000－2004

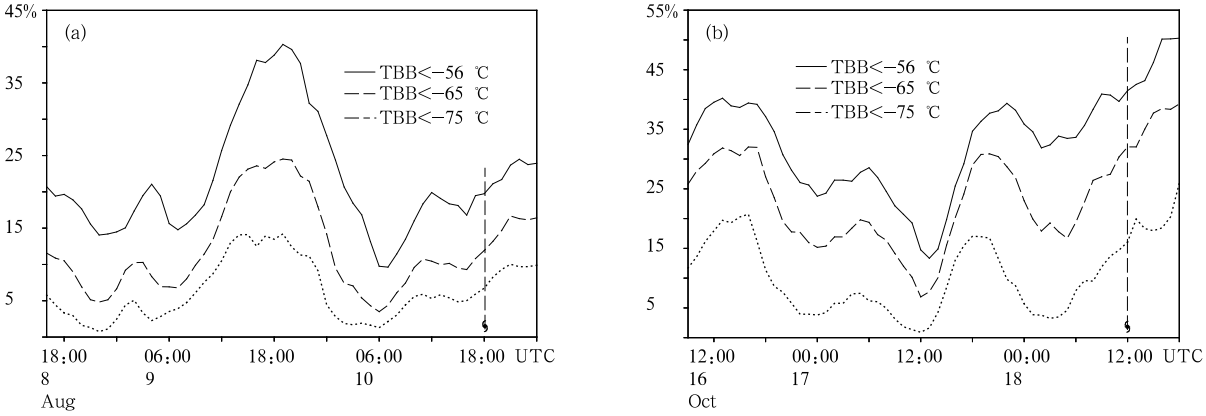

图 6 TC 生成过程中距离 TC 生成位置 4 个经纬度范围内强对流区域所占面积百分比的变化

(a. 2002 年热带西北太平洋热带风暴 18W, b. 2003 年热带西北太平洋台风 20W)

Fig. 6 Time series of the percentage area of the deep convection within the 4°×4° latitudes-longitudes centered at the TC formation position

(a. Tropical Storm 18W (2002), b. Typhoon 20W (2003))

失; 15 时又出现第 4 个 MCS,并不断加强。在连续的 MCS 活动下,对流层低层辐合迅速加强(图略)、气旋性涡度不断增长,对流层低层气旋性辐合发展,最终导致热带扰动向热带低压的演变。

2003 年西北太平洋台风 20W 于 2003 年 10 月 18 日 12 时生成在反向型季风槽中(图 2c),共有 5 个 MCS 出现在其生成过程中。10 月 16 日 08—22 时为第 1 个 MCS 活动时间,生命期 14 h,对流出现了一个峰值(图 6b);紧接着第 2 个 MCS 在 23 时形成,对流再次开始加强,该 MCS 维持了 10 h; 17 日 15 时同时出现了 2 个不断加强的 MCS(图 7b),对流层低层辐合显著增强(图 7d),19 时 2 个 MCS 合并,生成敏感区对流出现明显峰值(图 7b),于 18 日 04 时减弱消失; 18 日 04 时第 5 个 MCS 出现并不断加强,在前面 5 个 MCS 连续出现的情况下,低层的气旋性辐合迅速增强,有利于 TC 的生成。

非季风槽 TC 生成过程中,出现的 MCS 相对较少(Ritchie, et al, 1999; Lee, et al, 2008)。以上说明,季风槽大尺度对流云团能够频繁组织 MCS 的出现,MCS 的活跃阶段,正是 TC 生命史中由热带扰动向热带低压演变的阶段;从卫星云图可见,当季风槽稳定、显著、范围大时,季风槽内的 MCS 则异常活跃,易造成 MTC 的群发。

6 结论与讨论

(1) 热带西北太平洋上的 TC 主要形成于夏季季风槽内,MTC 占总 TC 数量的 71%,且 MTC 生成后易加强为热带风暴或台风(86%)。

(2) 平均每年出现在季风槽内的热带扰动为 40.2 个。其中,47.3% 的热带扰动可发展为 TC,远高于非季风槽热带扰动的发展概率(23.7%)。

(3) 与 TC 生成有关的季风槽主要存在中国南海-西北太平洋型、西北太平洋型、反向型、夏末型和中国南海型 5 个主要模态。影响中国的 TC 主要源自于中国南海-西北太平洋型、中国南海型和西北太平洋型季风槽模态。反向型季风槽模态中热带扰动发展为 TC 的概率最大(60.7%),而夏末型最小(30%)。

(4) 季风槽内 TC 群发是 MTC 生成的重要方式,群发 MTC 占总 MTC 的 58.1%;平均每年有 3.8次群发过程,其中中国南海-西北太平洋型季风槽是 MTC 群发的主要模态,反向型季风槽中最易出现 MTC 的群发,且群发频次高。

(5) 多个 MCS 伴随 MTC 的生成是季风槽内 TC 生成过程中一个非常显著的特点。TC 生成前 48 h,一般有 2—4 个 MCS 同时或连续出现。季风槽大尺度对流云团组织 MCS 频繁出现,MCS 的活跃阶段正是 TC 生成的阶段,即热带扰动向热带低压演变的阶段,特别是当季风槽稳定、显著、范围大时,季风槽内的 MCS 异常活跃,易造成 MTC 的群发。

另外,研究过程中还发现以下问题:为什么季风

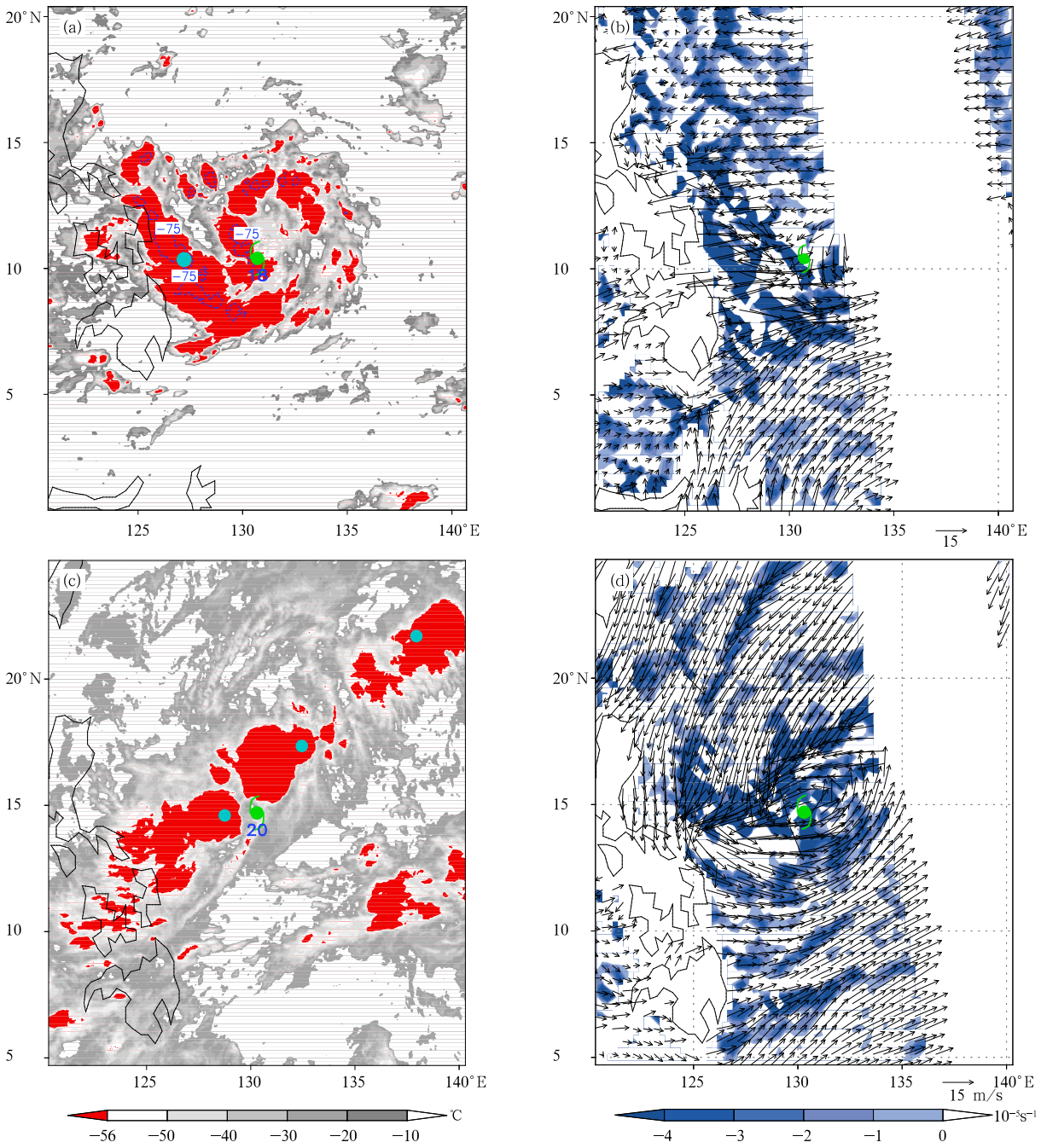

图 7　TBB 分布（a. 2002 年 8 月 9 日 20 时，c. 2003 年 10 月 17 日 18 时；红色区为 TBB＜－56℃强对流区域）及 QuikSCAT 风场和散度分布（b. 2002 年 8 月 9 日 20 时，d. 2003 年 10 月 17 日 18 时；蓝色区为散度＜0 强辐合区域），（台风符号代表台风生成位置，实心圆点为 MCS 的位置）

Fig. 7　Distributions of the TBB ((a. 20:00 UTC 9 August 2002 and c. 18:00 UTC 17 October 2003), red areas are the deep convection (TBB＜－56℃)), and the wind filed and divergence distribution based on the QuikSCAT data ((b. 20:00 UTC 9 August 2002 and d. 18:00 UTC 17 October 2003); the strong convergence (div＜0) is shaded, the typhoon symbol denotes the TC formation position and the solid dot mark is for the location of the MCSs)

槽内一些热带扰动能发展为 MTC，而另一些热带扰动却减弱消失？特别是出现在适宜的大尺度背景和天气条件下的热带扰动，其发展潜力非常大，但最终却消散。另外，TC 形成过程中常伴随多个 MCS 出

现,这些 MCS 在 TC 生成过程中有何贡献? 其物理过程又是怎样? 不同季风槽模态下 MTC 的生成机理是否相同? 下一步将针对以上问题进行深入研究探讨。

参考文献

陈联寿,丁一汇. 1979. 西太平洋台风概论. 北京:科学出版社,109pp

高建芸,张秀芝,江志红等. 2008. 西北太平洋季风槽异常与热带气旋活动. 海洋学报,30(3):35-47

高建芸,吕心艳,鲍瑞娟等. 2010. 南海-西北太平洋季风槽内热带气旋群发的研究 I:热带气旋群发的基本特征. 海洋学报,32(6):64-71

王慧,丁一汇,何金海. 2006. 西北太平洋夏季风的变化对台风生成的影响. 气象学报,64(3):345-356

王蔚,朱伟军,端义宏等. 2008. 大尺度背景下西北太平洋热带气旋的统计分析. 南京气象学报,31(2):277-286

张庆红,郭春蕊. 2008. 热带气旋生成机制的研究进展. 海洋学报,30(4):1-11

张文龙,王昂生,崔晓鹏等. 2008. 对流层中层中尺度涡旋与台风榴莲(2001)生成中心的作用——数值模拟及验证. 大气科学,32(5):1197-1209

朱晓金,张庆红. 2007. 南海台风 LEO1999 的加强机制. 北京大学学报,43(3):325-329

Aiyyer A, Molinari J. 2003. Evolution of mixed Rossby-gravity waves in idealized MJO environments. J Atmos Sci, 60(23): 2837-2855

Bessho K, Tetsuo N, Nishimura S, et al. 2006. Statistical analysis of organized cloud clusters on western North Pacific and their warm core structure // Preprints, 27th Conf on Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, CA, Amer Meteor Soc, 9B.6

Briegel L M, Frank W M. 1997. Large-scale influences on tropical cyclogenesis in the western North Pacific. Mon Wea Rev, 125(7): 1397-1413

Chang C-P, Chen J M, Harr P A, et al. 1996. Northwestward-propagating wave patterns over the tropical western North Pacific during summer. Mon Wea Rev, 124(10): 2245-2266

Chen T C, Weng S P. 1998. Interannual variation of the summer synoptic-scale disturbance activity in the western tropical Pacific. Mon Wea Rev, 126(6): 1725-1733

Chen T-C, Wang S-Y, Yen M-C, et al. 2004. Role of the monsoon gyre in the interannual variation of tropical cyclone formation over the western North Pacific. Wea Forcasting, 19(4): 776-785

Cheung K K W. 2004. Large-scale environmental parameters associated with tropical cyclone formations in western North Pacific. J Climate, 17(3): 466-484

Ferreira R N, Schubert W H. 1997. Barotropical aspects of ITCZ break down. J Atmos Sci, 54(2): 261-285

Gray W M. 1968. Global view of the origin of tropical disturbances and storms. Mon Wea Rev, 96(10): 669-700

Gray W M. 1998. The formation of tropical cyclones. Meteor Atmos Phys, 67(4): 37-69

Harr P A, Elsberry R L. 1995. Large-scale circulation variability over the tropical western North Pacific. Part Ⅰ: Spatial patterns and tropical cyclone characteristics. Mon Wea Rev, 123(5): 1225-1246

Harr P A, Elsberry R L 1996. Structure of a mesoscale convective system embedded in Typhoon Robyn during TCM-93. Mon Wea Rev, 124(4): 634-652

Holland G J. 1995. Scale interaction in the western Pacific monsoon. Meteor Atmos Phys, 56(1): 7-79

Kuo H-C, Chen J-H, Williams R T, et al. 2001. Rossby waves in zonally opposing mean flow: Behavior in Northwest Pacific summer monsoon. J Atmos Sci, 58(9): 1036-1050

Lander M A. 1996. Specific tropical cyclone track and unusual tropical cyclone motions associated with a reverse-oriented monsoon trough in the western North Pacific. Wea Forecasting, 11(2): 170-186

Lee C-S, Cheung K K W, et al. 2008. Mesoscale feathers associated with tropical cyclone formations in western North Pacific. Mon Wea Rev, 136(6): 2006-2022

McBride J L. 1995. Tropical cyclone formation // Elsberry R L. Chapter 3, Global perspectives on tropical cyclones. Tech Doc WMO/TD No. 693, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 63-105

Montgomery M T, Nicholls M E, el al. 2006. A vortical hot tower route to tropical cyclogenesis. J Atmos Sci, 63(1): 355-386

Reasor P D, Montgomery M T, Bosart L E. 2005: Mesoscale observations prior to formation of the genesis of Hurricane Dolly (1996). J Atmos Sci, 62(9): 3151-3171

Ritchie E A, Holland G J. 1997. Scale interaction during the formation of Typhoon Irving. Mon Wea Rev, 125(7): 1377-1396

Ritchie E A, Hollad J G. 1999. Large-scale patterns associated with tropical cyclogenesis in the Western Pacific. Mon Wea Rev, 127(9): 2027-2043

Simpson J, Ritchie E A, Holland G J, el al. 1997. Mesoscale interactions in tropical cyclone genesis. Mon Wea Rev, 125(10): 2643-2661

Zehr R M. 1992. Tropical cyclogenesis in the western North Pacific. NOAA Tech Rep NESDIS 61, 181pp

Zhang D-L, Bao N. 1996a. Oceanic cyclogenesis as induced by a mesoscale convective system moving offshore. Part I: A 90 h real-data simulation. Mon Wea Rev, 124(10):1449-1469

Zhang D-L, Bao N. 1996b. Oceanic cyclogenesis as induced by a mesoscale convective system moving offshore. Part II: Genesis and thermodynamic transformation. Mon Wea Rev, 124(10): 2206-2226