

应明,余晖. 2009 年西北太平洋热带气旋活动的若干特点分析[J]. 气象,2011,37(4):454-461.

2009 年西北太平洋热带气旋活动的若干特点分析^{*}

应 明 余 晖

中国气象局上海台风研究所,中国气象局上海台风预报技术重点实验室,上海 200030

提 要: 2009 年西北太平洋及南海海域共生成 23 个风暴以上等级的热带气旋(TC),比常年偏少,但登陆我国的频数(10 个)多于常年,台风以上等级 TC 的活动强于常年。TC 源地较常年偏西,并且季节性纬向迁移特征明显,而经向位移并无显著异常,在南海海域生成的 TC 比例(26.1%)远高于气候均值;路径以西行和西北行为主,登陆华南 TC 较多。登陆台风在我国造成强烈的降水影响。进一步的分析表明:2009 年 TC 源地随季节东移的趋势主要与热带太平洋的海气耦合变化即 Walker 环流上升支和对流层高低空扰动动能增强区以及低层南风涌逐渐东移有关;TC 偏西路径为主、登陆华南较多主要由西北太平洋局地环流特征尤其是 TC 活动期副热带高压呈带状的形势所决定;TC 个体平均强度偏强与西北太平洋局地扰动动能和高层辐散增强相联系。

关键词: 热带气旋活动, 西北太平洋, 局地环流, 动力条件

Analysis on the Characteristics of Tropical Cyclone Activities over the Western North Pacific in 2009

YING Ming YU Hui

Laboratory of Typhoon Forecast Technique, Shanghai Typhoon Institute, CMA, Shanghai 200030

Abstract: Only 23 tropical storms occurred over the western North Pacific and the South China Sea during the tropical cyclone (TC) season 2009. Although the frequency of TCs is less than normal years, there are more TCs, ten out of twenty three, making landfall in China, typhoons are also more active than normal. The region of TC formation seems to be further west to the normal and shifts eastward from the beginning to the end of season. More TCs, about 26.1%, were formed in the South China Sea. Most of these TCs moved westward or northwestward, and the primary area attached by the landfall TCs is the South China. Landfall TCs bring extreme heavy rains. Further analysis shows that the TC genesis area and its migration are closely related to the evolution of the coupled air-sea system of the tropics, that is, the updraft leg of Walker circulation shifts eastward together with the area of enhanced turbulent kinetic energy in both lower and upper troposphere and southerly surge. The primary tendency of TC tracks, as well as the high frequency of TCs' making landfall on South China, is dominated by the local pattern of general circulation, especially the dominant belt-like subtropical high. Meanwhile, the intense activity of individual storm is closely related to the enhanced regional turbulent kinetic energy in low levels and divergence in 200 hPa.

Key words: tropical cyclone activity, the western North Pacific, local circulation, dynamic condition

引 言

带风暴(TS)级以上强度的热带气旋(简称 TC),较气候均值(27 个,1971—2000 年平均)偏少。登陆我国的 TC 有 10 个,较气候均值(7 个,1971—2000 年平均)偏多,且多数登陆华南,对我国南部地区造成

2009 年西北太平洋及南海海域共生成 23 个热

^{*} 2010 年度公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006008)和自然科学基金项目(41075071)共同资助

2010 年 4 月 24 日收稿; 2010 年 12 月 27 日收修定稿

第一作者:应明,主要从事热带气旋和气候动力学研究工作. Email:yingm@mail.typhoon.gov.cn

严重的影响。本文在分析 2009 年西北太平洋及南海海域 TC 活动总体特征的基础上,对造成 2009 年 TC 活动异常的海洋状况和大气环流背景进行了初步分析。

1 资料和方法

TC 资料取自中国气象局最佳路径数据集^[1],采用美国 NCEP/NCAR 大气环流再分析资料^[2]、NOAA OI SST V2^[3]资料分析 TC 活动异常的海洋和大尺度环流背景条件,文中所涉及的海洋和大气环流指数的计算同文献^[4],候平均以每 5 天计算(1 年 73 候)。

TC 活动的总体强度用标准化台风活动指数 NTA ^[5]来描述, NTA 由最佳路径数据集中的 TC 近中心最大风速来计算。为使物理意义更加清晰,将文献^[5]中的公式(1)表述为:

$$NTA = \sum_{i=1}^{N_{TC}} \sum_{p=1}^{N_{TCi} N_p} \frac{1}{4} \frac{V_{max}}{V_{TY}} \tag{1}$$

式中, V_{max} 是近中心最大风速, $V_{TY}=32.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $i=1,2,\cdots,N_{TC}$ 为 TC 的数目, $p=1,2,\cdots,N_p$ 为每个 TC 达到热带风暴以上强度的次数(每 6 h 计 1 次),乘 1/4 表示时间上以天为单位。式(1)与原文含义相同,由此可知 NTA 兼有强度和生命史的信息。

以 0905 号热带风暴 Soudelor(苏迪罗)、0914 号超强台风 Choi-wan(彩云)和 0917 号超强台风 Parma(芭玛)为例来说明 NTA 指数的特性。如表 1 所示,Soudelor 生命史期间达到 TS 强度的仅 1.5 天, NTA 指数为 0.5;相比之下,超强台风 Choi-wan 和 Parma 达到 TS 强度时间分别为 8 天和 15 天,相应的 NTA 指数均超过 10。比较两个超强台风可以发现,Choi-wan 达到 TS 强度的时间比 Parma 短,但达到台风(TY)以上强度的时间(累计 6.25 天)比 Parma(5.25 天)长,Choi-wan 的 NTA 指数为 17.2,远大于 Parma(13.7)。可见,在较强强度上维持的时间越长, NTA 指数越大。这表明 NTA 指数在表示 TC 活动强弱时,更为偏重强度的差异,生命史的长度则在其次。

表 1 2009 年 3 个 TC 的 NTA 指数比较

Table 1 Comparison on NTA index of three TC cases in 2009				
TC 编号 和名称	最强强度等级	$\geq$ TS 天数/d	$\geq$ TY 天数/d	NTA 指数
0905 Soudelor	TS	1.5	—	0.5
0914 Choi-wan	Super TY	8.0	6.25	17.2
0917 Parma	Super TY	15.0	5.25	13.7

若假定 $V_{max}=V_{TY}$,即假定 TC 在其生命史的所有时次均为台风强度,将其值记为 $NTAB$,则 $NTA-NTAB$ 的正负可表示台风以上等级 TC 活动的强弱。换言之,对单个例而言,热带风暴和强热带风暴 $V_{max}/V_{TY}<1,NTA_{(1)}<NTAB_{(1)}$;台风以上等级 TC 则 $V_{max}/V_{TY}>1,NTA_{(1)}>NTAB_{(1)}$ 。对于整个年度, $NTA-NTAB$ 的正负表示台风以上等级 TC 的活动是否占主导。另由于 $V_{max}/V_{TY}=1$ 时的式(1)等同于计数器,因而 $NTAB$ 也可以代表 TC 的生命史长度,其单位为天。

2 2009 年 TC 活动特征

2.1 频数、强度和生命史

2009 年生成 TC 频数比 30 年(1971—2000 年,下同)气候均值 27 个偏少(图 1a),是 2005 年以来持续偏少的第 5 年;从季节分布看,2009 年 TC 发生的高峰期出现于 9 月,较 30 年气候均值偏晚约 1 个月(图 1b),且有 2 个偏多的时段,一个是 5—6 月,另一个是 9 月,其余月份的生成频数偏少。

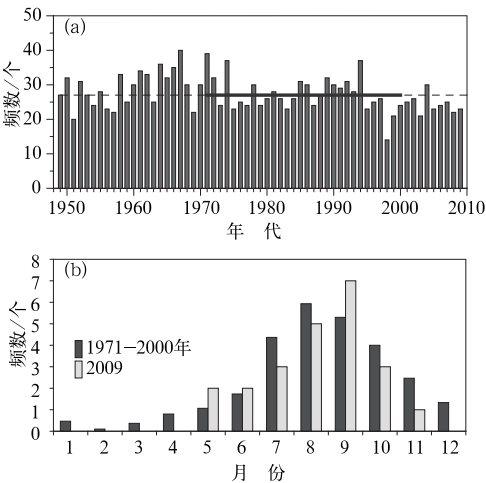


图 1 (a) TC 年频数(直方图)及 1971—2000 年均值(横线),(b) 2009 年逐月 TC 频数与 1971—2001 年气候均值

Fig. 1 (a) Annual TC frequency (histogram) and climate mean (horizontal line) over 1971—2000; (b) Monthly TC frequency (histogram) in 2009 and corresponding climate mean (shaded histogram)

根据式(1)所计算的 2009 年 NTA 指数为 145,接近 30 年气候均值(147.2),表明 TC 活动的总体强度接近常年; $NTAB$ 值(137)也接近气候均值

(139.2),即 2009 年 TC 总的生命史长度接近正常。图 2 表明 2009 年 $NTA-NTAB$ 为正值,反映出台风以上等级 TC 的活动较强。事实上,2009 年共出现 6 个台风,1 个强台风,6 个超强台风,占了 TC 的多半;而热带风暴和强热带风暴各为 5 个;台风以上强度的频数比例(57%)并没有比气候均值(59%)^[4]高,但全年 TC 维持在台风以上强度的时间累计达到 53 天,占总数 137 天的 39%,高于气候均值(36%)^[4]。

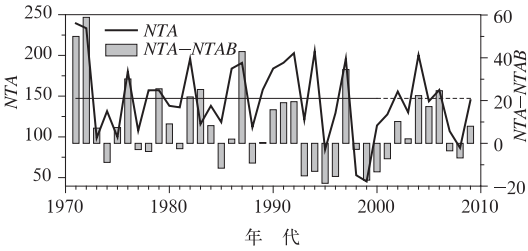


图 2 1971—2009 年标准化台风活动指数
 NTA 序列(折线)及 $NTA-NTAB$
序列(直方图)
横线为 1971—2000 年 NTA 指数的均值
Fig. 2 The Normalized Typhoon Active
Index (NTA , winding line) and the difference
between NTA and $NTAB$ ($NTA-NTAB$,
histogram) from 1970 to 2009.
The horizontal line indicates mean NTA over 1971—2000

2.2 源地和路径

以 TC 达到 TS 等级的位置作为其生成位置,将其网格化到 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬网格,并取 1971—2000 年平均(图 3a);与此 30 年的气候平均比较,2009 年热带气旋源地在早期较为偏西,但后期较为偏东(图 3a,3b),23 个 TC 中有 6 个生成于南海,多数位置较为偏北(图 3a);另外 17 个的源地在西北太平洋海域上,大部分位于 TC 多发的纬带上(图 3a)。在南海海域生成的 TC 比例(26.1%)远高于 30 年气候均值(19.8%)。

2009 年 TC 源地最显著的季节特征是纬向的迁移,其经向季节性位移并无显著异常。图 3b 显示,超过半数的 TC 生成于气候平均的源地以西,源地最东也仍在 $160^{\circ}E$ 以西。源地的位置变化大致可分 3 个阶段:首先是季节初期 5 月到 8 月初,这一时期生成的第 1~8 个 TC 源地均异常偏西,基本上位于南海和菲律宾群岛附近;其次是 8 月中旬至 9 月底,此间生成的第 9~19 个 TC,源地散布于南海至

$160^{\circ}E$ 之间;而其后 TC 不再生成于 $138^{\circ}E$ 以西;即从季节初期到临近结束,源地有从西到东的迁移。

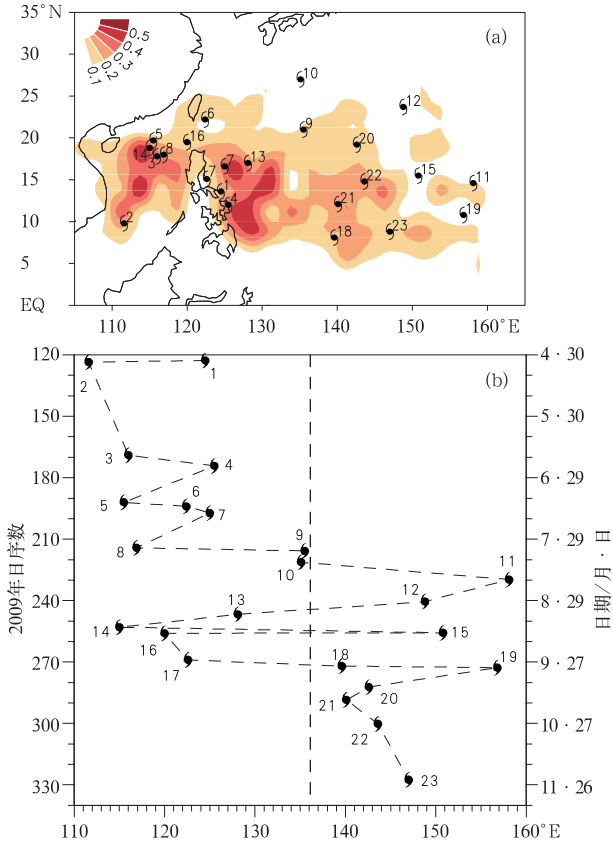


图3 (a) 2009年TC达到TS等级的位置(“●”表示)及
1971—2000年平均的生成频数分布(阴影), (b) 2009
年各TC源地的经度变化,垂线表示1971—2000年平均的
TC源地经度值。数字表示生成的序号
Fig.3 (a) TC genesis locations (indicated by “●”) and
mean genesis frequency (shaded) over 1971-2000;
(b) Variation of the genesis longitudes of TCs in 2009.
The vertical line indicates the mean genesis longitude over
1971-2000. The numerals 1-23 are serial numbers of TCs.

2009 年的 TC 路径以西行和西北行为主。23 个 TC 中西行和西北行路径的有 11 个,转向 6 个,东北行的 4 个,其余 2 个为北行路径。这 11 个西行或西北行路径的 TC 主要发生在 3 个时段:6 月下旬至 8 月上旬有 5 个,9 月中旬至 10 月中旬有 4 个,10 月末至 11 月底有 2 个。

共有 10 个 TC 登陆我国,较 30 年气候均值(7 个)偏多。这 10 个登陆 TC 中,也以西行和西北行路径占多数(8 个),因而多数登陆点偏南,给我国南部造成严重的影响。以首次登陆计,登陆广东省的有 4 个,其次是海南 3 个,台湾 2 个,福建 1 个。二次登陆的有 2 个,其中 1 个登陆台湾后再次登陆福

建,另一个登陆海南后再次登陆广东。

2.3 对我国的影响

2009年对我国有明显影响(标准参见文献[6])的TC有14个。最令人印象深刻的TC是0908号Morakot(莫拉克)和0907号Goni(天鹅)。Goni和Morakot以及稍后形成的0909号热带风暴Etau(艾涛)共存。在Etau尚未达到TS等级时,其初始环流与Morakot十分接近,两者相互影响造成Morakot路径预报的困难。

Morakot最强达到TY等级,但其强风半径大(最大7级风圈500 km,10级风圈120 km),登陆台湾花莲时近中心最大风速 $40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,登陆我国福建霞浦时近中心最大风速也达 $33\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。Morakot空心结构明显,其降水范围广、强度大,在我国台湾省阿里山连续两日造成超过1000 mm的降水,其1623.5 mm/24 h的日雨量在我国居第三位^[7]。强降水是引发地质灾害的重要因素^[8],受Morakot台风的影响,台湾发生了惨重的泥石流,小林村全村毁于一旦。Morakot在大陆地区造成的过程总降水量也超过 $1.9\times 10^5\text{ mm}$,成为2009年带来最多降水的TC,其在闽、浙、皖、赣4省所造成的过程降水量也均超过50年一遇值。

Goni虽然最强仅达到STS等级,但其活动怪异,登陆广东省后,一度减弱,复又进入南海加强,绕海南岛逆时针而行,同样造成了严重的影响,其带来的总降水超过 $1.1\times 10^5\text{ mm}$,居第二位。Morakot和Goni是2009年降水影响最强烈的两个TC。而大风影响则以Morakot、Molave(0906,莫拉菲)和Koppu(0915,巨爵)三个台风最强,它们登陆时的强度均为TY等级;除Morakot以外,Molave和Koppu均登陆广东省。

3 TC异常活动特征的成因分析

根据上节的分析,2009年西北太平洋及南海海域TC生成频数偏少,源地位置偏西,而TC活动的强度接近常年,其中TY以上强度TC活动较强;TC路径以西行和西北行为主,登陆我国的TC偏多,登陆点偏南。本节针对2009年TC源地纬向迁移、个体偏强、路径以西行和西北行为主等特点,分析相应的海洋和大气环流的变化特征,以探讨TC活动异常与海气系统变化的关系。

3.1 影响TC源地分布的主要因子

对TC源地的纬向迁移而言,低纬地区的ENSO循环有着重要的作用^[7]。2009年发生了一次El Nino事件^[9](图4a)。当年5月,热带太平洋的海温异常(SSTA)很弱,从南海至东太平洋均以正异常为主,赤道西太平洋中部 160°E 附近有正SSTA中心,此异常区一直维持并随季节东移到中太平洋,而 160°W 以东的赤道东太平洋自6月开始出现大片正SSTA。这两大SST正异常区自8月开始逐渐融合;至10月时主要的正SSTA覆盖赤道太平洋 $160^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{W}$ 区域,西太平洋负SSTA范围扩大并增强。

研究指出,ENSO循环对西北太平洋TC活动的影响主要不是通过海温的变化,而是海气耦合所引起的大尺度大气环流的改变^[10-11]。西太平洋暖池区常年海温较高,满足TC生成所需的条件;而赤道西太平洋中部的正SSTA与西太平洋暖池区相叠,其效果是使得暖池区出现次一尺度的海温梯度(图略),与其耦合的大尺度环流在西太平洋也表现出次一尺度的局地性特征。

热带Walker环流指数的分布(图4b)表明,对应于热带海洋SSTA的变化,从5月初到11月末,主要的上升运动区由 $120^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$ 一带逐渐移至 $140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$ 一带;其西侧为狭窄的下沉,位于菲律宾群岛附近,且中心也有向东偏移的趋势。而在上升运动区的东侧,虽然中东太平洋也有正SSTA,但较之西太平洋暖池的SST仍然偏低,其上空也是下沉。此外,对应于 120°E 西侧始终维持的正SSTA(图4a),中南半岛至我国南海一带也有上升运动区(图4b)。

显然,2009年热带海气系统所呈现的特征与El Nino Modoki^[12]的形态相似,Walker环流在中西太平洋上升, 120°E 附近和东太平洋下沉。西太平洋局地的大尺度上升和下沉随季节有逐渐东移的趋势。

由图4b不难看出,TC并非总是生成于大尺度上升运动的中心。这是由于TC的生成既需要适宜的大尺度背景,也需要有天气尺度扰动的触发机制^[13];低层风涌^[14]和高层中纬度南侵的高位涡异常均有利TC发展。从TC主要生成纬带($5^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$)上扰动动能(TKE)的演变(图4c)可见:TC的生成基本上都伴随着区域内扰动动能的正异常。其中高低空TKE异常相配合的最多,占1/2强;其次,仅存在低层TKE异常的约占1/4;而仅存在高层TKE异

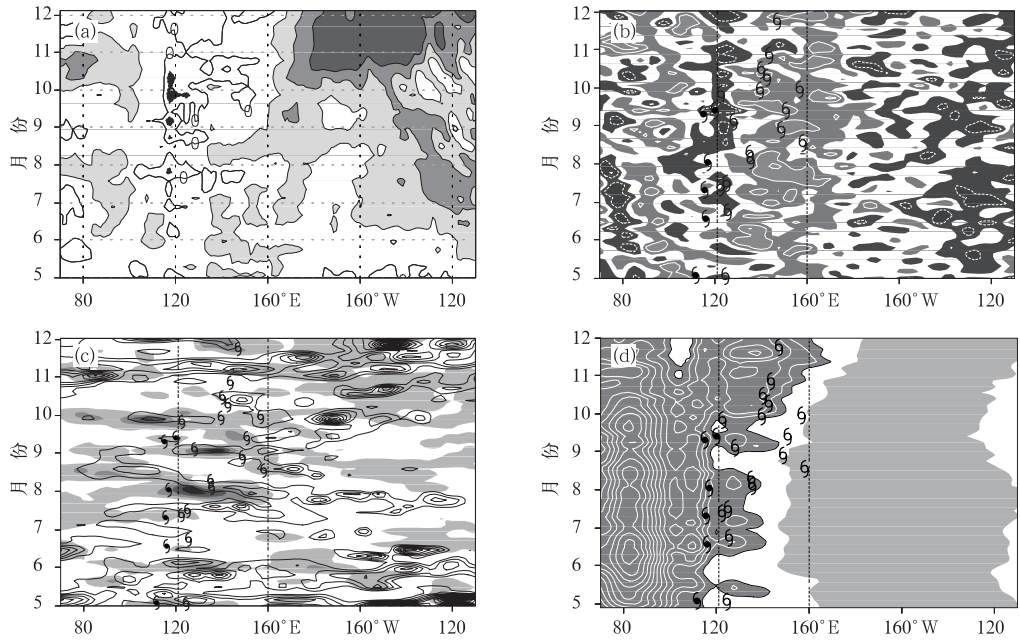


图4 2009年5—11月 (a) 赤道地区(5°S~5°N)逐周SSTA的演变(等值线间隔0.5℃, 阴影为 $\geq 0.5^\circ\text{C}$ 距平区); (b) 5°S~15°N逐候Walker环流指数的演变(阴影, 深色为下沉, 浅色为上升); (c) 5°~25°N纬度带逐候200 hPa(等值线)和850 hPa(阴影)扰动动能正异常的演变; (d) 2.5°~7.5°N纬度带850 hPa候平均南风风涌(深灰色, $\geq 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 间隔 $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 浅灰色为1971—2000年平均态的南风涌。(b~d)标注TC生成的经度 “5”表示生成于南海, “9”表示生成于西北太平洋

Fig.4 Evolution from May to November in 2009 of (a) equatorial (5° S-5° N) weekly SSTA (contour interval is $\geq 0.5^\circ\text{C}$, and SSTA $\geq 0.5^\circ\text{C}$ are shaded); (b) pentad Walker circulation index over 5° S-15° N (dark shaded means subsiding, light shaded means ascending); (c) pentad positive TKE anomalies over 5° -25° N at 200 (contour) and 850 hPa (shaded); (d) pentad southerly surge (dark shaded $\geq 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, contour interval $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) over 2.5° -7.5° N, light shaded indicating 1971-2000 mean southerly surges. The TC genesis longitudes are marked in (b-d), “5” indicates TCs formed in the South China Sea, and “9” indicates TCs formed in western North Pacific

常的很少;说明高低空的扰动相配合最容易触发TC的生成,且低层扰动更为重要。此外,在8月之前,西太平洋扰动动能的正异常中心主要位于120°E附近,8—9月期间则在160°E以西洋面上空均有出现,而后期10—11月扰动动能正异常中心主要偏于160°E西侧,与TC源地变迁的3个阶段相一致,也与热带大尺度上升区的迁移基本一致(图4b)。扰动动能的异常既可反映TC本身的活动,也可说明触发TC的扰动的活跃程度。

低层风涌是TC触发的重要机制之一^[14]。在TC生成区南界(5°N附近),低层强风涌区位于大尺度上升运动区的西侧,并与之同样随季节从120°E以西逐渐东扩到160°E附近;相比之下,气候平均态的南风涌偏于160°E以东(图4d)。这表明对2009年而言,低层南风风涌主要出现在我国南海及菲律宾以东海域可能是TC源地偏西的有利条件;而南

风涌的范围逐步东扩,也可能是TC源地在初期较为偏西而后期较为偏东的原因。

3.2 调控TC路径趋势的局地大气环流型

2009年西行或西北行倾向的TC在6月至8月上旬和10月下旬至11月两个时段占优势,而8月下旬至10月中旬则各类路径均有,时间上与源地变化的三个阶段较为一致。

从500 hPa位势高度的分布来看,第一阶段中纬度的正负距平呈准纬向相间分布并且都很强(图5a),北太平洋中部的负距平说明大洋中部槽比气候平均更强更深,而我国东北的负距平与其北侧的正距平区共同构成南槽北脊的分布说明中纬度的环流以经向型为主;但在副热带地区,位势高度的正距平说明副高强度强、明显西伸,副高单体呈带状(图略)。

第二阶段的位势高度在中纬度仍是正负距平区

呈准纬向相间分布,前一阶段位于我国东北的负距平区均东移南伸,在日本以南有明显的距平槽,而其两侧为正距平区(图 5b),为典型的大陆高压和太平洋副高夹南北向低压通道的分布。这一阶段,副高断裂为东西两个单体(图 6a)和呈带状(图 6b)的候各半。副高东西两个单体间的低压通道有利于 TC 转向或北上,此阶段的这类 TC 多位于低压通道附近(图 6a);而由于我国东部高压单体的阻挡,这类 TC 接近我国的较少。而当该候副高呈带状时,TC 则均为西行和西北行路径。

第三阶段中高纬度环流的经向型依然明显,位于贝加尔湖一带的负距平区和日本海至副热带太平洋地区的正距平表明东亚大槽的位置偏西偏强,并在太平洋中部形成高压脊;而正距平区则在槽区附近,且较为偏南(图 5c)。这一阶段副高以带状为主,且所处的纬度比第一阶段偏南(图略),TC 路径为西行和西北行。

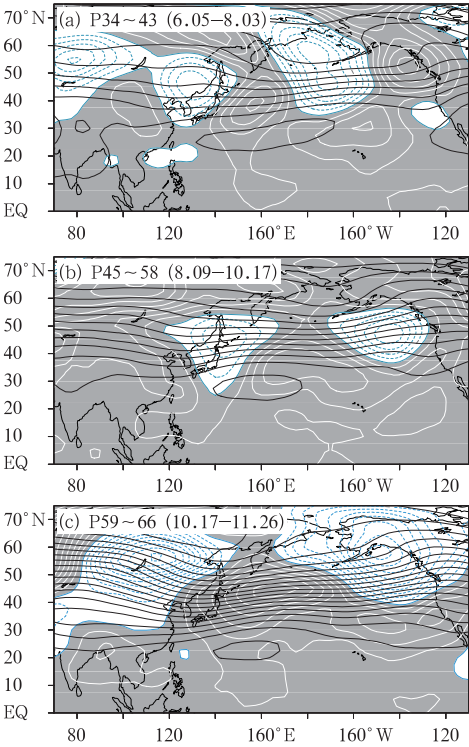


图 5 2009 年 500 hPa 位势高度距平(阴影和白色实线为正距平,虚线负距平,间隔 1 dagpm)和 1971—2000 年气候平均(黑色等值线,间隔 4 dagpm)。(a) 第 34—43 候平均,(b)第 45—58 候,(c)第 59—66 候

Fig. 5 Geopotential height anomaly at 500 hPa in 2009 (white lines and shaded area are positive, dashed lines are negative, contour interval is 1 dagpm), and mean geopotential height at 500 hPa over 1971—2000 (dark line, contour interval is 4 dagpm). (a) Averaged over pentad No. 34 to 43, (b) averaged over pentad No. 45 to 58, (c) averaged over pentad No. 59 to 66

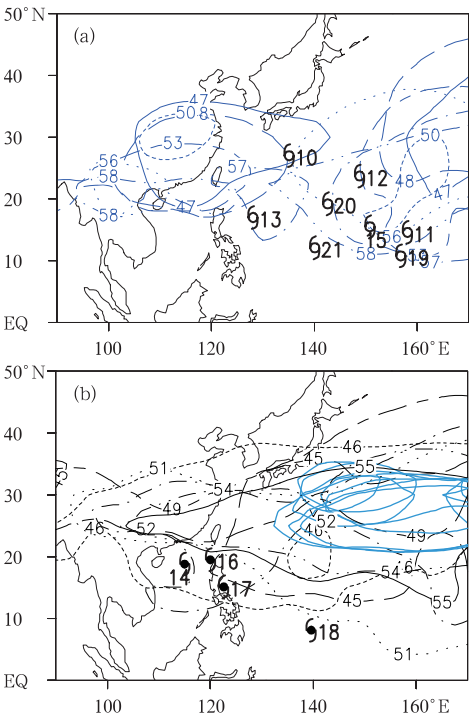


图 6 2009 年第 45~58 候 500 hPa 候平均位势高度 588 dagpm 线。(a)副高分东西两个单体(以不同线型和线上的数字表示 2009 年第 47、48、50、53、56、57 和 58 候), (b)副高呈带状(细线和线上的数字为 2009 年第 45、46、49、51、52、54 和 55 候,无数字标记的粗实线为气候平均)

图中标注 TC 生成位置,“5”表示西行和西北行路径的 TC,“6”表示其他路径 TC,符号边的数字表示序号

Fig. 6 Pentad mean location of 588 dagpm contour line at 500 hPa during pentad No. 45 to 58 in 2009. (a) double-ring pattern of the subtropical high, different lines marked with numbers mean pentads 47, 48, 50, 53, 56, 57, and 58 in 2009, respectively; (b) belt pattern of the subtropical high, thin lines marked with numbers mean pentads 45, 46, 49, 51, 52, 54, and 55 in 2009, respectively, solid thick lines, without numbers, are climate mean.

The TC genesis locations and associated serial numbers are also plotted, “5” with the serial number indicating TCs moving westward and northwestward, while “6” with the serial number indicating other track types

从总体来看,3 个阶段中纬度环流的经向度均很明显,这说明北方的冷空气十分活跃;但在第一、二阶段槽区主要位于朝鲜半岛至日本一带,第三阶段则位于我国东部。而在其南侧,3 个阶段的副高均偏强,不同的是形态:第一、三阶段副高呈带状阻戈于 TC 和中纬度槽之间,槽前气流较难影响 TC, TC 多西行或西北行;而第二阶段带状副高和分裂为两个单体的形势交替,TC 西行的较多,以其他路径行进的也多。显然,TC 的路径趋势与西北太平洋局地的副高形态密切相关。在 TC 源地偏西的情

况下,西行和西北行路径的比例高,导致 TC 登陆我国频数偏多且登陆点多集中在我国南部地区。

3.3 TC 个体强度与大尺度热力和动力条件

在频数偏少的情况下,2009 年 TC 活动的总体强度接近常年,说明 TC 个体的活动偏强。研究表明,TC 的最大强度取决于动力和热力因子的协同作用^[14],动力因子包括垂直风切变、低层扰动等^[15],热力因子包括海洋热状况、气柱相对湿度、TC 流入流出层的温差等^[15-16]。

在 TC 活动的主要区域(5°~35°N、100°~170°E),SST 平均为 28.0℃,年际方差仅 0.2℃;因而海洋的热力条件基本上能满足 TC 持续增强需要。在此区域内,计算逐年 25—67 候平均的低层 925~700 hPa 的 TKE、垂直风切变(200~850 hPa)、气柱相对湿度以及 TC 流入流出层(以边界层和对流层顶代表)温差。其中,区域平均的垂直风切变和 TKE 与 TC 个体的平均强度(以 NTA 除以频数表示)有显著的相关(表 2),其显著性水平检验均达到 0.001。

表 2 TC 活动参数与 25—67 候大气因子的相关系数(粗体为显著相关)

Table 2 Correlation between TC activities and circulation factors from pentad No. 25 to 67 (bold font means significant correlation)

	风切变	TKE	气柱相对湿度	流入流出层温差
频数(Freq)	-0.04	0.22	0.22	-0.19
NTA/Freq	0.57	0.59	-0.13	-0.18

正相关说明,区域平均的垂直风切变偏大时 TC 个体平均强度偏强,这似乎与天气尺度上风切变与 TC 强度的关系^[17]相悖。但事实上,实际作用于 TC 的风切变,其空间尺度远比 TC 主要活动区的尺度小。在天气尺度上,风切变的动力作用主要表现在其对于天气尺度 TC 环流高低层耦合的影响,因此我们进一步分析与垂直运动相联系的高低层散度场。图 7a 和 7b 给出了 2009 年 25—67 候 850 和 200 hPa 的散度异常。由图可见,就气候平均而言,西北太平洋 TC 活动的主要区域低层为辐合、高层为辐散,对 TC 活动是有利的。而 2009 年,850 hPa 上仅 20°N 以南和 140°~150°E 一带为辐合加强区域,TC 达到 TY 以上强度时大部分位于此区域内,也有相当一部分位于其北侧辐合减弱区内(图 7a);而 200 hPa 上,155°E 以西的洋面上空大部

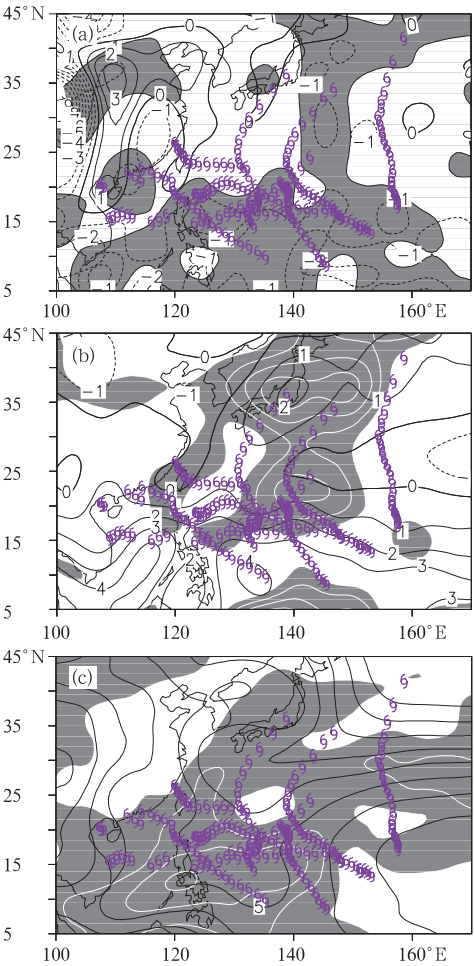


图7 2009年第25—67候平均的西北太平洋局地动力和热力条件的异常分布。(a) 850 hPa散度,黑色等值线为1971—2000年平均;阴影和白色等值线(间隔 $5\times 10^{-7}\text{ s}^{-1}$)为2009年负距平区;(b) 200 hPa散度(黑色等值线为1971—2000年平均;阴影和白色等值线(间隔 $5\times 10^{-7}\text{ s}^{-1}$)为2009年正距平区);(c) 925~700 hPa扰动动能(TKE)(黑色等值线为1971—2000年平均(单位: $10^4\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$)阴影和白色等值线(间隔 $1\times 10^4\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$)为2009年正距平区,区域内TC达到TY强度的时段用“9”标出)

Fig.7 Local anomalous patterns of the dynamical and thermodynamical conditions during pentad No.25 to 67 in 2009. (a) convergence at 850 hPa (white lines and shaded,contour interval $5\times 10^{-7}\text{ s}^{-1}$),black lines are mean over 1971-2000; (b) divergence at 200 hPa (white lines and shaded, contour interval $5\times 10^{-7}\text{ s}^{-1}$), black lines are mean over 1971-2000;(c) mean TKE over 925 to 700 hPa (white lines and shaded, contour interval $1\times 10^4\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$),black lines are mean over 1971-2000. The “9” indicates TC with intensity of TY category

分为辐散加强的区域(图 7b),TC 达到 TY 以上强度时绝大部分位于此区域内。相关分析表明,区域

尺度的风切变与200 hPa散度的相关系数为0.35,达到0.05的显著性水平检验。事实上,对比高低空风场也可知高层的风速远大于低层,因而风切变的大小主要取决于高层的风速,并与高层散度场有密切联系。

TKE与2009年TC个体平均强度的关系也可由图7c说明。TKE的气候平均分布的主要特征是西北太平洋上自东北向西南的低槽区;而2009年,TKE正距平控制了低槽区的大部,正距平中心位于TC的源区附近,而各TC达到TY以上强度时大部分也位于正距平区中。由此可见,季节平均的TKE与季节内TC个体平均强度的关系十分密切,TKE偏强时,TC的个体平均强度也偏强。

此外,无论何种环境因子的变化并非始终与TC个体的平均强度保持同位相,这说明TC个体强度的年际变化成因十分复杂。就2009年而言,低层扰动动能增强和高层辐散增强均有利于TC个体强度偏强。

4 结 论

2009年TC活动的主要特征可概括为:TC生成频数偏少,季节峰期推迟,TC活动的强度从总体上与常年持平,但TY的活动强于常年;TC源地偏西,并随季节有明显地从西到东移动的趋势;西行和西北行路径占多数,登陆TC偏多,登陆点多位于华南。进一步分析2009年TC活动异常的成因,得到以下初步结论:

(1)在2009年El Nino事件发展过程中,热带西太平洋中部的异常暖SSTA的发展使得大尺度上升区主要位于热带西太平洋中部,低层南风强风涌区和有利于TC涡旋组织的高低空扰动动能增强区均位于大尺度上升区西侧,两者均随季节东移,相应地TC源地也随之东移。

(2)2009年中高纬度环流经向度大,但是副热带地区副高总体上较强而偏西。在不同季节阶段,副高交替呈现带状或断裂为2个单体,且以带状为多,使得TC的移动路径以偏西为主,登陆TC偏多且登陆点多在华南;而副高断裂时,我国东部大陆受高压控制,使得北上和转向的TC难以靠近我国大陆。

(3)对应于西北太平洋局地对流层高层辐散和低层扰动动能增强,2009年TC的个体平均强度偏强。登陆TC在我国造成的影响强烈,台湾出现了

居我国第三位的日降水极值,而闽、浙、皖、赣4省也均出现了超过50年一遇的过程降水量。

参考文献

- [1] 中国气象局上海台风研究所. <http://www.typhoon.gov.cn/en/data/>
- [2] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 402 year reanalysis project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77: 437-470.
- [3] Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al. An improved in situ and satellite SST analysis for climate[J]. J Climate, 2002, 15: 1609-1625.
- [4] 应明, 余晖, 梁旭东, 等. 2007年西北太平洋热带气旋综述[J]. 气象, 2009, 35(2): 94-100.
- [5] Kwon H J, Lee W J, Won S H, et al. Statistical ensemble prediction of the tropical cyclone activity over the western North Pacific[J]. Geophys Res Lett, 2007, 34: L24805, doi:10.1029/2007GL032308.
- [6] 冯泾贤, 杨自植, 邓之瀛. 影响上海市及长江三角洲地区热带气旋气候规律的研究[J]. 大气科学研究与应用, 1998, 14: 36-41.
- [7] 陈联寿. 热带气象灾害及其研究进展[J]. 气象, 2010, 36(7): 101-110.
- [8] 徐晶, 李伟华. 台风强降雨诱发地质灾害的雨量特征分析[J]. 气象, 2009, 35(8): 42-48.
- [9] 艾婉秀, 孙林海, 宋文玲. 2009年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响[J]. 气象, 2010, 36(4): 101-105.
- [10] Wang B, Chan J C L. How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific[J]. J Climate, 2002, 15: 1643-1658.
- [11] Chan J C L, Liu K S. Global warming and western north pacific typhoon activity from an observational perspective[J]. J Climate, 2004, 17: 4590-4602.
- [12] Ashok K, Behera S K, Rao S A, et al. El Nino Modoki and its possible teleconnection[J]. J Geophys Res, 2007, 112: C11007, doi:10.1029/2006JC003798.
- [13] Gray W M. Tropical cyclone formation and intensity change [C]. IGSU/WMO International Symposium on Tropical Cyclone Disasters, 1992, 12-16, Beijing, China.
- [14] Wang Y, Wu C C. Current understanding of tropical cyclone structure and intensity changes-A review[J]. Meteor Atmos Phys, 2004, 87: 257-278.
- [15] Gray W M. Hurricanes: their formation, structure and likely role in the tropical circulation[G]. Meteorology over the Tropical Oceans, UK: R Meteorol Soc, 1979:155-218.
- [16] Emanuel K. An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part I[J]. J Atmos Sci, 1986, 42: 586-604.
- [17] Zeng Z, Wang Y, Wu C C. Environmental dynamical control of tropical cyclone intensity-an observational study[J]. Mon Wea Rev, 2007, 135: 38-59.