

台风译文选

1983

1

上海台风研究所

1983·2

56.4453

目 录

热带气旋形成过程的实况分析

第 I 部分 资料集的基本描述	1
第 II 部分 不发展系统与发展系统的比较	31
第 III 部分 热量、动能和角动量的收支分析	65

热带气旋形成过程的实况分析

第 I 部分：资料集的基本描述

John L. McBride

摘 要

根据西北太平洋热带地区和西北大西洋热带地区的无线电探空测风资料，制作了 12 套合成资料集。每套资料集是 80 个左右单独扰动资料的一个合成平均。对不发展的海洋热带扰动的四种不同类型进行了合成。为了便于比较，分别对两个洋面上的扰动，按飓风和台风发展的四个阶段进行了合成。总计对 912 个不同的热带天气系统进行了合成，并应用了大约 40,000 个无线电探空测风观测数据。

详细介绍了每个合成系统的资料密度，用来进行平均的单个天气系统的个数和平均位置。除了讨论太平洋和大西洋合成系统之间的地区差异以外，还讨论了它们的基本热力和动力特性。本文的分析为第 II 部分和后续各篇打下了基础，它们将应用这些合成资料集来研究热带气旋的发生和发展。

两个洋面上的合成系统都出现在对流层下层和中层的东风带中。太平洋系统有西风紧靠在南边，而大西洋系统则完全嵌入在东风信风带中。在 200mb 上，两个洋面上的系统都处在副热带高压脊附近，其南部有东风带，其北部有西风带。

两个洋面上的云团和热带气旋有同一个特点，即有高层暖心和局地正的水汽距平。它们都有一种两层风场结构——地面和 350mb 之间为辐合和气旋涡度，350mb 以上为辐散和反气旋涡度。入流的大部发生在摩擦边界层之上，因此被认为是吹向低压区的气流。

利用 Gray 的季节性发生参数，讨论了两个洋面上系统之间的地区差异。可以看出太平洋背景场的洋面蒸发率比大西洋上的要大

得多。

1. 引言

本文是研究热带风暴发展的一系列文章的第一篇。方法是实况分析。选择了西北太平洋和西北大西洋的两个热带地区进行研究。对每个地区中以后将发展成热带风暴的天气系统、不发展的天气系统和各种不同发展阶段的热带气旋都制作了合成资料集。分析了每个资料集的动力学和物理学场，以便区分出对于风暴发展具有重要意义特征。

Gray (1968, 1979) 对于出现热带气旋的气候条件作了详尽论证。Charney 和 Eliassen (1964) 以及 Ooyama (1964) 提出了 CISK 理论。多数人认为这个理论已阐明了，为什么一旦对流层深厚涡旋得到初始发展，热带风暴便会得到加强。

然而，目前却没有一种理论能够描述出：前期云团怎样会导致热带气旋的初始发展的。在提出这种理论之前，必须描述这些天气现象。Riehl (1948), Fett (1968) 和 Yanai (1961, 1968) 已对这个问题作了一些初步的研究。这些研究都是单个气旋形成实例的个例研究。他们提供了许多有关初始扰动结构的有用资料和有关气旋发展时所发生的变化变化的有用资料。然而，个例研究方法，作为热带气旋发生理论的实况基础，其所能起到的作用受到了两个因子的严重限制。

第一，热带气旋总是在热带暖洋面上形成，在这个地区，传统的资料来源稀少。在任一时段，在单个风暴或云团周围简直不可能获得足够的无线电探空资料或地面观测资料，来进行结构方面的、动力学的或能量学的定量分析。

第二，有各种各样的热带扰动。热带风暴可以在不同的大气条件下形成：例如，由 ITCZ 扰动，由深厚信风带中的云团，由东风波或由与停滞的中纬冷锋相联系的云团转变而成。应用个例分析方法，很难区分出对风暴发展起重要作用的特征。

本研究工作应用合成资料作补充研究。把许多不同时段中的，许多天气系统周围的大量无线电探空测风资料合在一起进行平均而

得出一个合成的天气系统。

把所有以后将发展成热带气旋的天气系统进行平均而得出一个合成的台风前的扰动。把这个系统与所有不发展的天气系统，即合成的不发展扰动进行了比较。

应用多年众多不同风暴的资料就能克服上述的第一种困难，使合成系统周围的资料密度变大。当平均过程抹掉了不同系统之间的差异并且增强了共同的特征，第二种困难也就得到克服。对于以后将发展成台风或飓风的云团来说，分辨出这些共同的特征，对于了解热带风暴的发展过程和原因，具有关键性意义。

在科罗拉多大学，在Gray指导下的关于热带气旋发生问题所进行的一系列研究，应用了合成方法。本研究工作总结了那些研究中的部分成果。对处理方法只作简要叙述。读者欲知详细情况可参阅原始报告（Zehr, 1976, Erickson, 1977, McBride, 1977, 1979）。

在科罗拉多大学进行气旋研究的过程中，制作了大量的资料集。每一个都是不同类型的热带天气系统的合成平均。本文论述了其中的12个的编制方法。选择这些资料集，目的在于为描述热带气旋的发展，提供一份尽可能完整又不重复的资料。

本文对合成系统的热力结构和风场结构作了描述。本文为下一篇文章（McBride和Zehr, 1981，下文称之为第II部分）打下了基础，在那篇文章中，对不发展的合成天气系统与台风前或飓风前的合成天气系统作了比较。

在第III部分（McBride, 1981），对合成资料集进行了热量、角动量和动能收支的分析。

2. 合成技术

本项研究应用了西北太平洋和西北大西洋标准测站网的，分别为10年（1961-70）和14年（1961-74）的每天两次（0000和1200GMT）的无线电探空测风资料。

在一个半径为15°纬距、垂直方向上从海平面到50mb分为21层的圆柱网络上进行合成。把扰动定在最低层的网格中心。对

于给定的扰动，在给定的时间范围内，一旦有测风点落入网络，就应用平面几何学，把每一个探测点定在相对于风暴中心的圆柱坐标中。根据实测风、实测风暴移动以及假设的气球上升率，对每次探测中，每一层次上的气球和风暴的相对位置进行了订正，并且还假设所有气球都在指定的观测时间前30分钟施放。

圆柱网格包括宽度为45°的8个卦限和11个叠置着的圆环，其范围分别为0-1°，1-2°，1-3°，2-4°，3-5°，4-6°，5-7°，7-9°，9-11°，11-13°和13-15°。网格对准地理经纬度方向。根据每一次探测资料，在测出或计算了所有参数之后，把每个参数值分配给探测所落入的格子的中心点。对于所分析的特殊类型的扰动，把所有落入同一格子的探测资料加以合成。在每一个方向或卦限内，被认为是2°纬距半径上的参数值，实际上是落入距系统中心1°纬距和3°纬距之间的所有探测值的合成平均。

同样，在3°纬距半径上的值是2°和4°之间的平均，依次类推。

在后述的许多分析中给出了特定半径上的参数平均值。例如3°纬距半径上的T是2°和4°之间8个卦限的温度的平均。用线积分方法计算了涡度和散度。0-4°半径圆环上的平均涡度由下式给出：

$$\frac{1}{\text{VORT } 0-4^\circ} = \frac{1}{A} \oint V_T d\ell = \frac{1}{\pi R^2} \sum_{i=1}^8 V_{Ti} \frac{2\pi R}{8}$$

$$\frac{\bar{V}_T}{R} \dots\dots\dots (1)$$

其中 V_T 是圆柱坐标系中风的切向分量，A是面积， \bar{V}_T 是4°纬距半径上的平均切向风，R等于4°纬距。同样，散度由 $2\bar{V}_R/R$ 给出，其中 V_R 是风的径向分量。

研究中所应用的所有测风资料取自Ashewille记录中心和国家大气研究中心的北半球逐日天气资料列表磁带，以及由美国海军环境预报研究室，为科罗拉多大学的W.M. Gray的热带气旋研究计划所制成的关于日本和东亚的高空探测资料的穿孔卡片。

3. 资料集

典型的热带海洋天气系统是云团。这是一种西行的天气系统，是由一群松散的深厚对流云构成，在高层有厚的卷云罩复盖。云团的水平尺度约为500-800公里，其生命期约为1-3天。Williams和Gray(1973), Reprecht和Gray(1976a, 1976b), 以及Martin和Suomi(1972)已论证了云团的结构和平均特性。

每年在热带海洋上出现几千个云团，其中只有很小一部分得到加强而演变成热带风暴。发展的不同阶段，一般说来一个紧跟一个出现，从云团开始，经过热带低压，热带风暴，到台风/飓风。表1对这些类别作了规定。

表1 各类热带海洋系统的定义

类别	定义
云团	典型的热带海洋天气系统。它由一群松散的深厚对流云组成，在高层有厚的卷云罩复盖。云团的水平尺度约为500-800公里，其生命期约为1-3天。
热带低压	弱热带气旋，有明显的地面闭合环流，有一条或多条地面闭合等压线，并且其最大持续风速(1分钟或以上的平均)小于34海里/小时(17.5ms^{-1})。
热带风暴	最大持续风速在34-63海里/小时(包括34, 63)具有闭合等压线的热带气旋。
台风/飓风	最大持续风速 > 64 海里/小时的热带气旋。美国国家气象局称经度 180° 以西的这一强度的气旋为台风， 180° 以东的为飓风。

对于西北太平洋和西北大西洋上的每一类系统，都制成了合成资料集。把以后将发展成飓风或台风的显著热带云团或低压称为D。把不发展的天气系统称为F。把每个洋面上的发展系统按其发展的程度分为从D1到D4的四个阶段，D1为最弱的系统而D4则为充分发展的飓风和台风。

所分析的所有合成系统的名称如下：

太平洋资料集

不发展的	发展的
N 1 云团	D 1 台风前早期云团
	D 2 台风前云团
	D 3 加强中气旋
	D 4 台风

大西洋资料集

不发展的	发展的
N 1 云团	D 1 飓风前云团
N 2 波槽云团	D 2 飓风前低压
N 3 不发展低压	D 3 加强中气旋
	D 4 飓风

以下对每个资料集作较详细的描述。

a. 太平洋资料集

1) N 1——太平洋云团：夏季西太平洋云团

Ruprecht和Gray(1976a)通过对1967-68年ESSA卫星云图中的卷云慢质量中心进行追踪，获得了云团位置。他们的研究应用了太平洋西部和中部的所有季节的云团资料。这里为了与台风的前期扰动合理地进行对比，把N 1云团处理成为Ruprecht和Gray所研究的资料的一个子集，云团的位置限于太平洋西部(0-18°N, 125-165°E)，时期为夏季的几个月(6-9月)。这些系统的最大持续风速估计为 10ms^{-1} 或小一些，系统的平均纬度为11°N，平均经度为149°E。

2) D 1——台风前早期云团

这些是以后将发展成为台风的云团。其位置是根据1971-75年DMSP卫星的可见光和红外云图取得的，这是S. Erickson

(1977) 的关于卫星资料研究工作的一部分。每个系统的位置追溯到在云图上无法对云型进行辨认为止。与其他合成资料相比，资料样本是小的，在研究中之所以还是把它包括进去，是因为云团的位置非常精确，并且它们表示了风暴生成的最早阶段，比联合台风警报中心(JTWC)官方记录中最佳风暴路径的开始，还早2-3天。位置的纬度是 11°N ，经度是 146°E ， $V_{\max} \approx 10\text{ms}^{-1}$ 。

3) D2——太平洋台风前云团

这些扰动位于北太平洋的中部和西部，时期是1961-70年。没有包括生成于 125°E 以西(即南海)的风暴。这些风暴在0000和1200GMT观测时间的位置是利用飞机探测资料和卫星云图确定的。在1961-65期间得不到逐日的卫星云图，而飞机确定第一个位置时，常常已处在热带低压正在加强的阶段。在这些个例中，把实测位置在时间上倒退外推了1-2天，以得出较弱云团的近似位置。在外推中，参考应用了JTWC台风年鉴中的分析。本资料集和下一资料集(D3)中的位置数据是从同一资料来源中提取的。对每一个台风前期扰动，从第一次能够辨认出云团开始，到持续风速达到50海里/小时为止，所有位置都包括在内。一般说来，这段时间为5天。飞机第1次观测到的台风前扰动，其海平面中心气压通常约为1000mb，最大持续风速，为30海里/小时。取飞机第一次观测到扰动的前一天为区分前后两阶段的界点，把这一点以前的所有位置包括到台风前云团(D2)资料集里，而把这点以后的所有位置包括到“加强中气旋”(D3)资料集中。在少数个例中，当飞机第1次观测到时已是一个比较强烈的系统，则要追溯1.5天或2天来确定区分前后两阶段的界点。这种资料分段方法，把资料分成基本上同样大小的两部分。前一半(D2——台风前云团)所表示的系统，其外观与不发展云团相似，很少甚至没有任何热带气旋的特征。其平均纬度是 10°N ；平均经度 153°E ， $V_{\max} \approx 10\text{ms}^{-1}$ 或不到。

4) D3——太平洋加强中的气旋

这是上述资料分段中的后半部分。它所包括的每个风暴的资料从飞机第1次探测到的前一天开始，到最大持续风速第1次达到

50海里/小时为止。这个阶段的扰动仍然较弱，但已形成并在加强中。纬度为 13°N ，经度为 144°E 。 $V_{\max} < 50$ 海里/小时，平均 $\sim 20\text{ms}^{-1}$ 。

5) D4——台风

位置取自JTWC的最佳路径，包括1961-70年的其中心气压低于或等于980mb，同时纬度低于 30°N 的所有风暴。W. Frank (1977a, b)已对这个资料集作了详细分析。纬度为 22°N ，经度为 136°E 。 $V_{\max} \approx 45\text{ms}^{-1}$ 。

B. 大西洋资料集

1) N1——大西洋云团

在NOAA/NESS应用小组的V. Dvorak的合作下，根据卫星云图上主观地看来有可能发展成热带风暴的热带天气系统，来得到这些云团的位置。如果能看出这些扰动的环流中心，就定它为系统的位置；否则就利用云区的质量中心。纬度 $\sim 20^{\circ}\text{N}$ ，经度 $\sim 82^{\circ}\text{W}$ 。 $V_{\max} \approx 10\text{ms}^{-1}$ 或不到。

2) N2——大西洋波槽对流

自1968年以来，迈阿密国家飓风中心(NHC)主任W. Frank，一直在追踪大西洋上东风波的移动。利用W. Frank所作1968-74年间加勒比海上的路径，制作了一个相对于这些扰动中心的合成。用来进行合成的，只是那些具有大量云团性对流的波动系统。每一系统的中心根据下述方式确定：经度取W. Frank的槽线经度，纬度为静止卫星云图所判定的对流活动的中心纬度。纬度 $\sim 16^{\circ}\text{N}$ ；经度 $\sim 72^{\circ}\text{W}$ ； $V_{\max} \sim 10\text{ms}^{-1}$ 或不到。

3) N3 大西洋不发展的低压：不发展成热带风暴的西大西洋 低压

位置取自NHC所作并发表在Monthly Weather Review上的大西洋热带系统年度报告(1967-74)。平均纬度 $\sim 21^{\circ}\text{N}$ ；平均经度 81°W ； $V_{\max} \approx 15\text{ms}^{-1}$ 。

4) D1 飓风前云团

位置取自卫星云图，过去几年的NHC迈阿密业务地面天气图。

以及各年在 Monthly Weather Review 上发表的单个风暴总结和 NHC 人员所写关于 1961-74 年中冬年大西洋飓风总结。这一资料集里的位置是在 D 2 资料集位置之前。纬度是 18°N ；经度 72°W ； $V_{\max} \approx 10\text{ms}^{-1}$ 或不到。

5) D 2 —— 大西洋飓风前低压

本资料集和 D 3 资料集的位置来自 NHC 的官方最佳路径。资料集 D 2 包括资料集 D 3 紧前的所有每 12 小时位置（每个风暴最多可有 6 个位置）。它代表了出现明显加强以前的低压。纬度是 21°N ；经度 75°W ； $V_{\max} \approx 15\text{ms}^{-1}$ 。

6) D 3 —— 大西洋加强中的气旋

这个资料集是由每个风暴路径中下述部分组成：1) 最大持续风速估计值大于 35 海里/小时，并小于或等于 70 海里/小时；2) $V_{\max} < 35$ 海里/小时的最后位置（这样就只考虑 > 35 海里/小时的系统）；3) 每过一时段（12 小时） V_{\max} 都有所增加。这样，这个资料集所代表的是确实加强到热带风暴阶段的系统。平均纬度 $\sim 22^{\circ}\text{N}$ ；经度 $\sim 78^{\circ}\text{W}$ ； $V_{\max} \approx 20\text{ms}^{-1}$ 。

7) D 4 —— 飓风

根据 NHC 官方最大持续风速估计值，将其 1961-74 年官方最佳路径进行分段。 $V_{\max} > 65$ 海里/小时的位置包括进这个资料集。纬度是 23°N ；经度 79°W ； $V_{\max} \approx 45\text{ms}^{-1}$ 。

为了在发展成风暴，和不发展成风暴的系统之间能作出有意义的对比，在不发展的资料集中，不包括那些在未来 24 小时内其中心将处于距陆地 1 个纬距以内的系统。

合成工作是在上述圆柱坐标网格上进行的。

表 2 给出了各资料集中不同半径上进行合成的探空个数。表 3 给出了每个资料集中不同扰动的个数。表 4 列出了不同合成系统的海平面气压与低层风速。

表2 在距合成系统中心 $1-3^{\circ}$ 、 $3-5^{\circ}$ 和 $5-7^{\circ}$ 纬距上进行合成的探空个数

资 料 集	位 置		
	2°	4°	6°
太平洋不发展			
N 1 云团	143	224	282
太平洋发展			
D 1 台风前早期云团	22	45	72
D 2 台风前云团	151	281	352
D 3 加强中气旋	135	272	357
D 4 台风	203	521	787
大西洋不发展			
N 1 云团	170	393	548
N 2 波槽云团	197	364	477
N 3 不发展低压	46	75	137
大西洋发展			
D 1 飓风前云团	49	84	94
D 2 飓风前低压	113	179	267
D 3 加强中气旋	111	227	299
D 4 飓风	206	434	646

表3 每个合成资料集中不同扰动的个数

资 料 集	个 数
太平洋不发展	
N 1 云团	87
太平洋发展	
D 1 台风前早期云团	46
D 2 台风前云团	130
D 3 加强中气旋	130
D 4 台风	147
大西洋不发展	
N 1 云团	46
N 2 波槽云团	66
N 3 不发展低压	22
大西洋发展	
D 1 飓风前云团	23
D 2 飓风前低压	63
D 3 加强中气旋	79
D 4 飓风	73

表4 平均海平面气压和低层风速

资料集	950mb上 0-4°区域 平均的合成 风速(ms^{-1})	950mb上 4°半径上 的切向风 速(ms^{-1})	地面最大持 续风速的估 计值 (ms^{-1})	海平面中心 气压的估计 值 (mb)
太平洋不发展				
E 1 云团	6.5	1.3	10	1008
太平洋发展				
D 1 台风前早 期云团	8.1	4.2	10	1007
D 2 台风前云 团	7.0	4.9	10	1005
D 3 加强中气 旋	10.3	8.2	20	1000
D 4 台风	14.8	11.3	45	960
大西洋不发展				
E 1 云团	7.7	0.2	10	1010
E 2 波槽云团	8.0	0.6	10	1010
E 3 不发展低 压	7.0	3.5	15	1007
大西洋发展				
D 1 飓风前云 团	8.0	3.0	10	1007
D 2 飓风前低 压	7.7	5.0	15	1007
D 3 加强中气 旋	9.9	5.8	20	1000
D 4 飓风	13.9	8.9	45	980

以上12个资料集就热带风暴的发展问题提供了详细描述。资料分别取自两个大洋，因此能够区别出地区性特点。云团阶段和低压阶段中都包括了发展的和不发展的系统。考虑到了发展的所有阶段，包括为比较而列入的充分发展的台风或飓风。

4. 大尺度特征

12个合成资料集代表了西北太平洋和西北大西洋上夏季的平均热带海洋扰动。图1，图2表示了这二个地区夏季的低空（梯度风高度）和高空（200mb）平均风场。合成资料集在每个大洋上的平均位置在图中用“x”号表明。

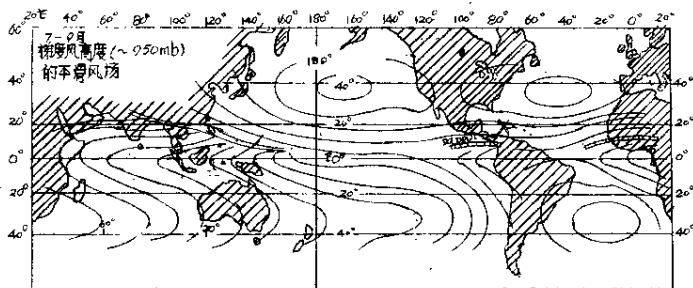


图1 北半球夏季梯度风高度的平均风(根据 Gray, 1979)。在西北太平洋和西北大西洋中的叉号表示各该地区中合成资料集的平均位置。

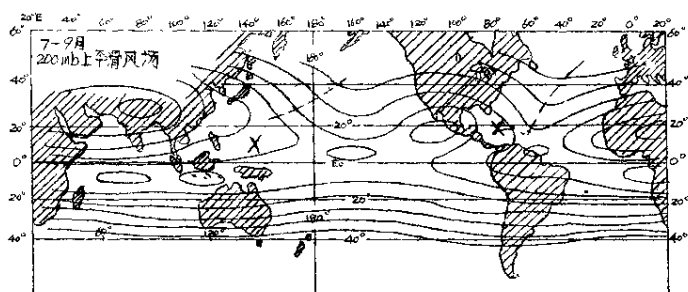


图2 北半球夏季200mb上的平均风(根据 Gray, 1979)。叉号意义同图1, 断线表示热带对流层高层槽的平均位置。

西太平洋的一些系统存在于季风赤道槽紧北侧的低层东风带中。东风气流很厚, 伸展在整个对流层中, 所以在200mb层次上, 太平洋合成系统仍然嵌在东风带之中。

大西洋的一些系统也存在于低层东风带之中, 可是要偏北一些。它们与ITCZ并没有联系, 而是处在信风区中。由于这里的信风东风带靠近ITCZ, 它们并不深厚。因此, 在200mb层次上, 风向已有了转变; 因此在这一层次上西大西洋的一些资料集处在平均西北气流之中。

太平洋系统处在高层东风带中, 而大西洋系统处在高层西风带中; 但两者都处在高层副热带高压脊区; 故在极向一侧有西风带, 在赤道一侧有东风带。同时它们又都恰好处在热带对流层高层槽(TUTT)的西侧(槽的平均位置在图2中用断线表明)。夏季、北半球两大洋西部, 各有一个高层副热带高压脊, 一个向东伸展, 另一个伸向东北。TUTT, 作为这两个高压脊间的低槽, 其强度和位置, 在日与日之间变化很大, 因此它们在每日天气图上比之在平均图上(即图2)更易于辨认。Sadler的一系列论文(Sadler,

1976, 1978) 已表明, 西太平洋台风的发生常常与 TUTT 比平时偏西得多有关。

在下层, 西太平洋系统和西大西洋系统都嵌在东风气流中。西太平洋系统与季风赤道槽有联系, 因而它们所处的环境具有很强低层平均辐合以及正的相对涡度。辐合主要是 $\partial u / \partial x$ 辐合, 它由东风气流在靠近其西部的季风气流时的减速所造成。相对涡度主要是 $-\partial u / \partial y$ 分量, 南方有西风, 其北方有强大的东风。McBride 和 Gray (1980b) 计算了西北太平洋夏季 850mb 上的平均涡度和垂直运动, 得出平均背景场涡度是 $+3 \times 10^{-6} S^{-1}$, 垂直运动是每天朝上 30mb。

而西大西洋系统则处在信风下沉区中, 这里夏季相对涡度的常年平均为负值 (850mb 上 $-1.5 \times 10^{-6} S^{-1}$) 而背景场的垂直运动是朝下的 (850mb 上每天为 10mb)。当天气系统经过这一下沉区时人们常称其处在“滑行”阶段意即减弱阶段。

5. 云团和热带风暴的结构

太平洋合成系统中的 N1, D1, D2 和大西洋合成系统中的 N1, N2 和 D1 是云团资料集。Williams 和 Gray (1973), 以及 Ruprecht 和 Gray (1976a, b) 已对这类天气系统的基本热力动力结构作了论证。这些系统嵌在深厚的对流层东风气流之中, 一般随这一气流朝西移动, 速度约为 $6 m s^{-1}$ 。所有这些合成系统的移向移速列于表 5。由表可见, 随着系统增强, 移速就减低并更进一步北移。当然, 各个系统的移动有很大差异, 参加合成的各个扰动可以向任何方向移动, 其移速可以与合成平均相差很大。