

海洋气象学：大气与海洋等相关专业本科生选修课

Marine Meteorology: A undergraduate course majored in oceanography, atmosphere and other related subjects

第五章：海上主要天气系统

Chapter 05: Weather System over the Ocean

杨海军 (YANG Haijun) , 周震强 (ZHOU Zhenqiang)

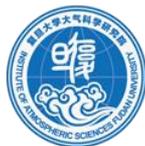
复旦大学大气与海洋科学系

Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Fudan University

Email: yanghj@fudan.edu.cn, zqzhou@fudan.edu.cn



復旦大學 大气与海洋科学系
DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY



復旦大學 大气科学研究院
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY

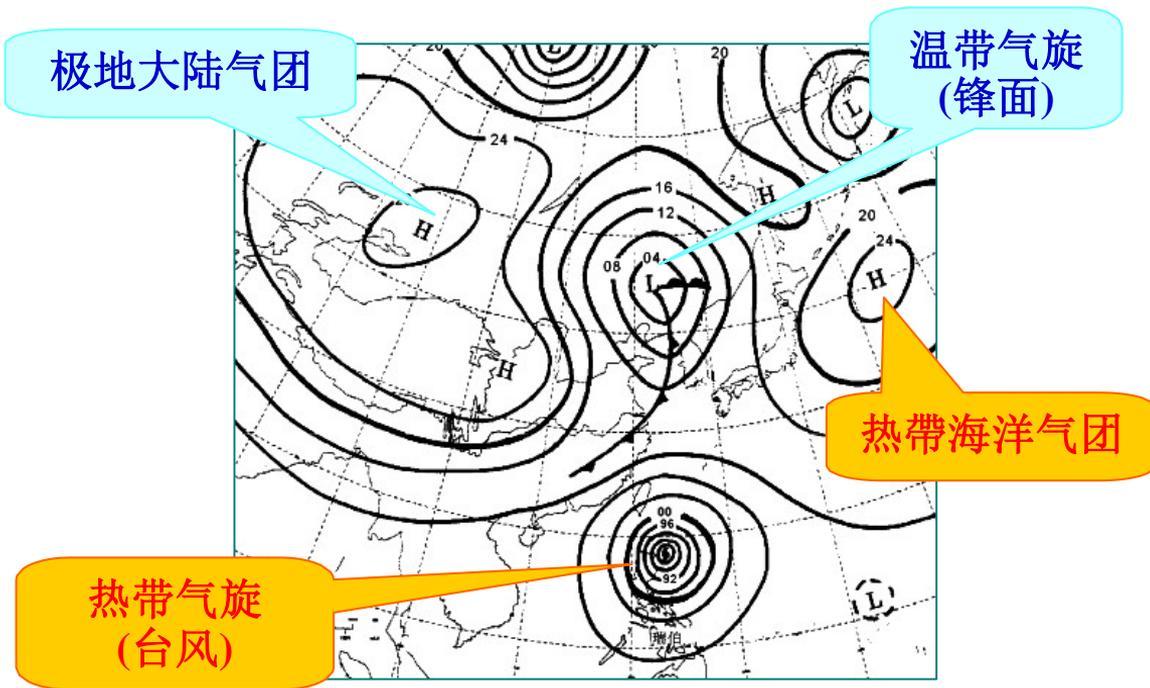
This powerpoint was prepared for purposes of this lecture and course only. It contains graphics from copyrighted books, journals and other products. Please do not use without acknowledgment of these sources.

天气图上的天气系统

第一节 气旋

1. 气旋
2. 温带气旋
3. 热带气旋和台风

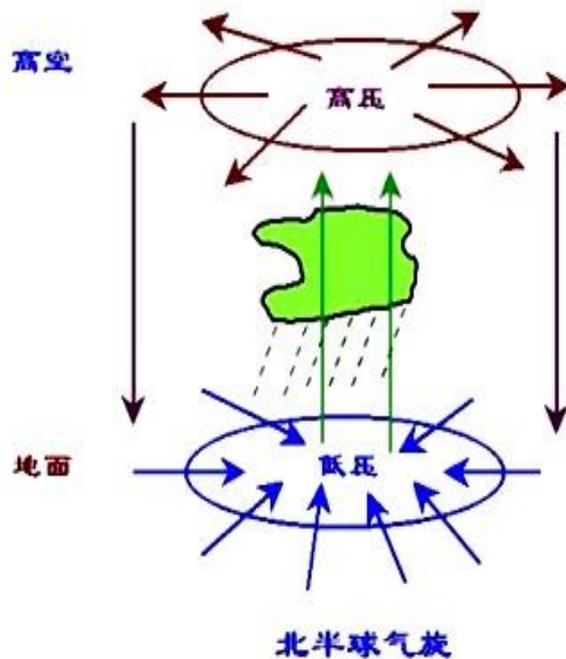
第二节 反气旋



第一节 气旋

- 气旋是指**流动的低气压**，低气压是中心气压比四周为低，因此空气会自四周向中心流入，加上科里奥利力的影响，使得北半球的低气压，风会反时针方向绕入其中心。而且此辐合作用，使中心的空气上升，经常造成坏天气。南半球的低气压，风会顺时针方向绕入其中心。
- 大气中存在着各种大型的旋涡运动，其中水平尺度在几百到几千公里以上的大型空气旋涡称为气旋和反气旋。气旋是常见的天气系统，它们的活动对高低纬度之间的热量交换和各地的天气变化有很大的影响。

气旋



低气压产生辐合气流，因而经常带来坏天气。

气旋的特征

- 在低层大气里，特别是在近地面附近，风向与等压线斜交，所以气旋在**北半球**是一个按**逆时针方向旋转向中心汇集的气流系统**；在南半球是按顺时针方向旋转向中心汇集的气流系统。由于气流从四面八方在气旋中心相汇，必然产生上升运动，气流升至高空又向四周流出，这样才能保证低层大气不断地从四周向中心流入，气旋才能存在和发展。
- **气旋的存在和发展必须有一个由水平运动和垂直运动所组成的环流系统**。气旋中心是垂直上升气流，如果大气中水汽含量较大，就容易产生云雨天气。每当低气压(或气旋)移到本区时，云量就会增多，甚至出现阴天、降雨的天气。
- 气旋、反气旋的直径**一般为1000km**，大的可达2000~3000km，小的只有200~300km或者更小一些。面积大的反气旋可以和最大的大陆和海洋相比(如冬季亚洲的反气旋，往往占据了整个洲大陆面积的3/4)，小的直径也可达数百公里。



气旋的强度

- 气旋的强度可以用其中心附近的**最大风速**和**中心气压**值的大小来度量：最大风速大的表示强，最大风速小的表示弱。在强的气旋中，地面最大风速可达30m/s以上。
- 气旋的中心气压值常用来表示其强度。地面气旋的中心气压值**一般为970~1010hPa**，个别中心值低于930hPa。当气旋中心气压值随时间降低时，称**气旋发展或加深**；反之，当气旋中心气压值随时间升高时，则称**气旋减弱或填塞**。

气旋的分类

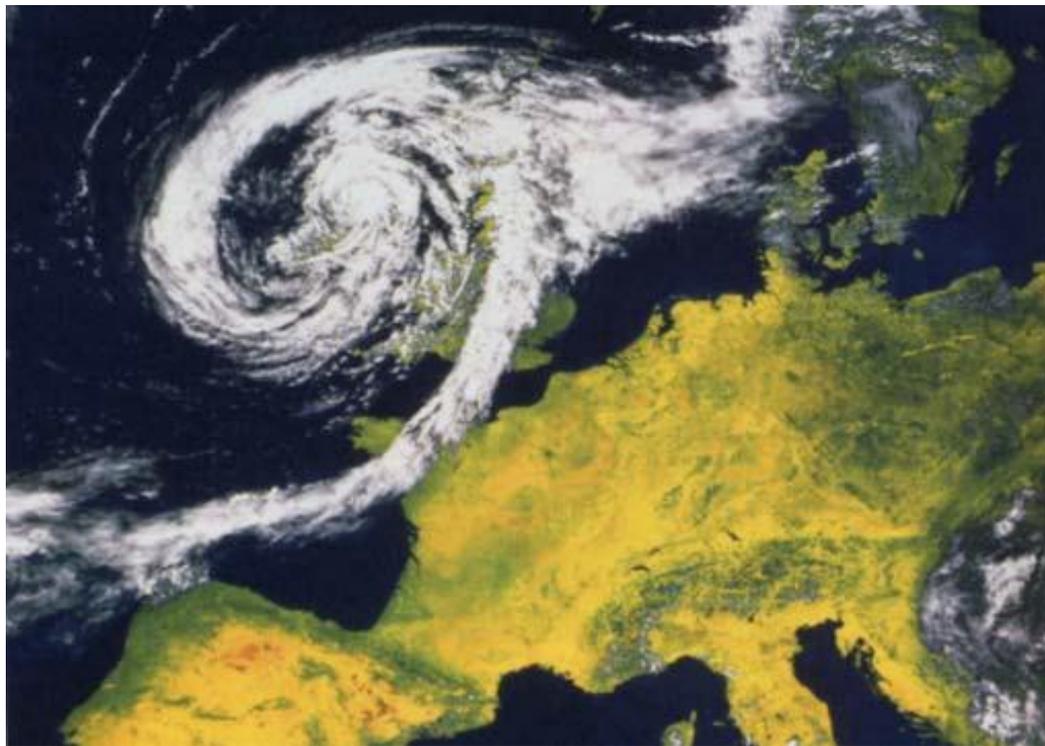
按其生成的地理位置，气旋可分为温带气旋和热带气旋；

按照结构的不同，温带气旋可分为锋面气旋、无锋面气旋。

温带气旋

- 中纬度生成的气旋，称为**温带气旋**。温带气旋发生和活动在热带气团与极地气团交界的温带地区，是经常影响中高纬大洋航线天气的主要锋面天气系统。在发展强盛的锋面气旋中，最大风速可达**32.6m/s (12级)**以上。由于在温带气旋中大多伴有锋面存在，所以又常称为锋面气旋。
- 依流场的观点称低压系统为气旋，带有锋面的气旋称**锋面气旋**。**锋面气旋多产生于温带，亦称温带气旋。**
- 锋面气旋是中纬度的主要天气系统，其直径从数百到数千公里，其中心强度一般在**1000hPa**左右，最强的可达**960hPa**左右，是一种剧烈的天气系统。

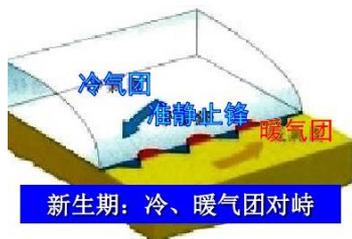
云图上的锋面气旋



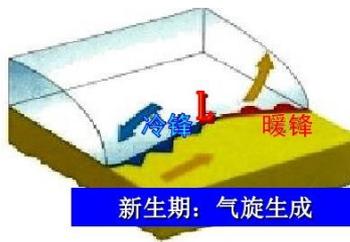
温带气旋

- 在温带气旋中有冷锋和暖锋并存。锋面气旋是在锋面上发生波动发展而成的。有关锋面气旋生成的学说很多。挪威锋面学说首先指出，气旋是在静止锋或冷锋上发生波动而生成的。开始时，在锋上形成一个波动，并在波动顶点附近出现一条闭合等压线，此后逐渐发展，形成一个完整的气旋。锋面气旋的演变过程，大致可分为初生阶段、青年(成熟)阶段、锢囚阶段及消亡阶段(填塞阶段)。

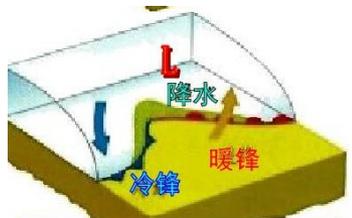
锋面气旋生命史



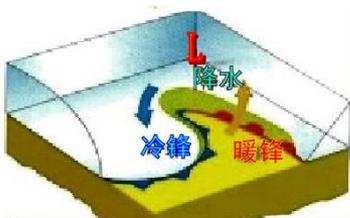
新生儿：冷、暖气团对峙



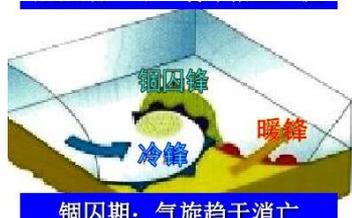
新生儿：气旋生成



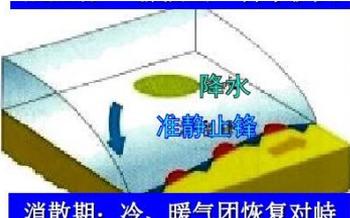
成熟期：冷、暖锋相互入侵



成熟期：气旋加深，降水扩大



锢囚期：气旋趋于消亡



消散期：冷、暖气团恢复对峙

初生阶段：地面有一条准静止锋或缓行冷锋，锋北面是冷空气，锋南面是暖空气。当冷空气向南插入锋下，暖空气向北抬升，地面上波峰附近气压开始下降，出现1~2条闭合等压线。

青年阶段：气压进一步下降，闭合等压线增加，冷空气进一步向南推进，冷锋附近出现阵雨或阵雪，暖锋前也出现降水，降水区域扩大。随着气旋的发展，低层扰动逐渐向高层发展，气流作螺旋式的上升，高空低槽也逐步加深。

锢囚阶段：气旋发展至最盛时期，自地面到500hPa高度均已成为圆形闭合环流。地面冷锋逐渐追上暖锋，气旋开始锢囚。云雨范围最大，强度加强，风力最大，天气变化最剧烈。

消亡阶段：暖空气仅残留在地面东南角，低层整个气旋中心辐合加强，地面加压，已变为冷性涡旋，低压中心部位开始填塞。从地面到500hPa左右的闭合环流减弱，上升运动已消失。气旋减弱，以至消亡。

气旋的再生

趋于消亡的锋面气旋，在一定的条件下又重新发展起来的过程，称为气旋的再生。锋面气旋发展的主要能源是冷空气的位能释放。下垫面或大气中其他方式的加热作用，如大量凝结降水等，也是促使气旋发展的有利因素。气旋的再生主要有三种情况：

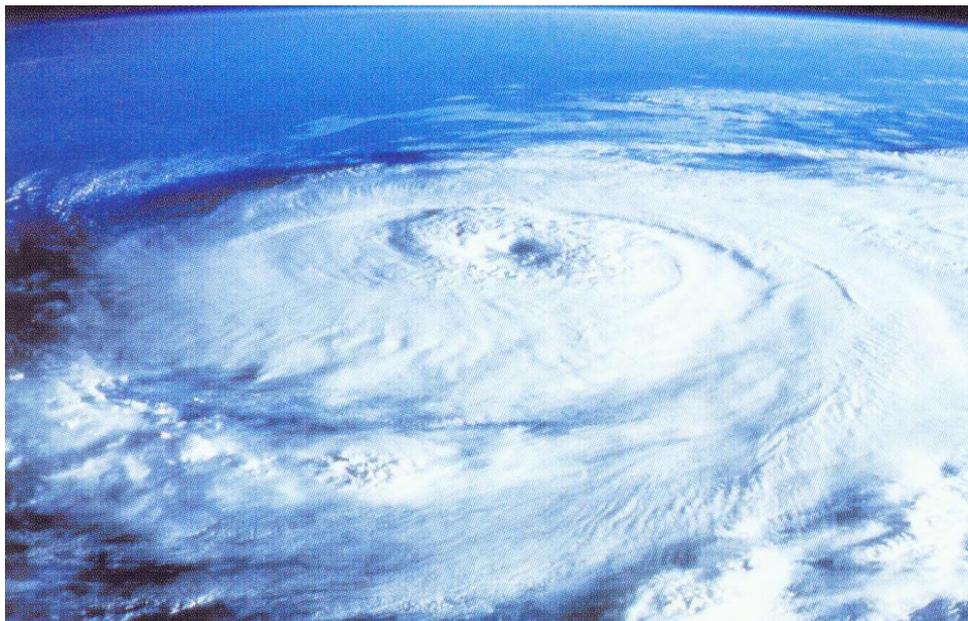
1. 有时气旋已经锢囚，但由于冷空气活动，在锢囚点处新生一个气旋；
2. 有时气旋后部有新鲜冷空气补充，与变性的冷空气之间构成新的温度对比，形成副冷锋，使气旋重新活跃起来；
3. 冬半年气旋入海，由于海面的加热作用而明显加深；如东北低压入海后就可能再度发展；华北及江淮地区有些低压在大陆上本来没有很大发展，但当它们东移进入渤海、黄海或日本海以后，就常能迅速发展，甚至造成海面突然出现大风。



热带气旋和台风

- **热带气旋**是发生在热带洋面上的一种暖性的气旋性涡旋，是大气中极强烈的风暴，被称为“风暴之王”。具有极大的破坏力，严重威胁海上航行安全。
- **台风**：指发展到强烈程度(风力 ≥ 12 级)的热带气旋。
- **范围**：以系统最外围近似圆形等压线的直径表示。平均直径600~800Km，大的1000Km，小的几百Km。
- **强度**：以近中心附近最大风速或中心的最低气压表示。一般中心气压在960hPa左右，最低875hPa，风速一般可达60~70m/s，个别可达110m/s。
- **热带气旋天气**：狂风、暴雨、巨浪、暴潮。

热带气旋和台风



热带气旋等级和名称

西北太平洋地区：我国对出现在西北太平洋和南海的热带气旋，从1989年1月1日开始采用国际标准来划分四个等级，日本也采用这一标准：

- **热带低压TD (tropical depression)：**近中心附近最大风力 <8 级(34Kn)。(我国下限6-7级)
- **热带风暴TS (tropical storm)：**近中心附近最大风力8~9级(34~47Kn)。
- **强热带风暴STS (severe tropic storm)：**近中心附近最大风力10~11级(48~63Kn)。
- **台风T(typhoon)：**近中心最大风力 ≥ 12 级(64Kn)。

热带气旋的等级

东北太平洋和大西洋（包括加勒比海、墨西哥湾）：

热带低压TD (tropical depression)：近中心附近最大风力 <8 级（ 34Kn ）。

热带风暴TS (tropical storm)：近中心附近最大风力 $8\sim 11$ 级($34\sim 63\text{Kn}$)。

飓风H (Hurricane)：近中心最大风力 ≥ 12 级(64Kn)

热带气旋的等级

北印度洋和南半球洋面

阿拉伯海和孟加拉湾（2等级）

- 低气压D (depression): 近中心附近最大风力 <8 级（34Kn）。
- 气旋性风暴CS (cyclonic storm): 近中心附近最大风力 ≥ 8 级（34Kn）。

南半球洋面（2等级）

- 热带扰动TD (tropical disturbance): 近中心附近最大风力 <8 级（34Kn）。
- 热带气旋TC (tropical cyclone): 近中心附近最大风力 ≥ 8 级（34Kn）。

命名方法

目标

1. **台风委员会**命名表将用于通过国际媒体以及向国际航空和航海发布的预报、警报中。也用于台风委员会成员向国际社会发布的公报中。
2. 供各成员用当地语言发布热带气旋警报时使用。这将有助于人们对逐渐接近的热带气旋提高警觉，增加警报的效用。台风委员会仍将继续使用热带气旋编号。

命名方法

1. 在西北太平洋和南海地区采用一套热带气旋命名表。
2. 邀请台风委员会所有成员以及该区域WMO的有关成员贡献热带气旋名字。
3. 每个有关的成员贡献等量的热带气旋名字；**命名表按顺序、循环使用**；命名表共有五列，每列分两组，每组里的名字按每个成员的字母顺序依次排列。

命名方法

名字的选择

1. 命名原则：每个名字不超过9个字母；容易发音；在各成员语言中没有不好的意义；不会给各成员带来任何困难；不是商业机构的名字
2. 选取的名字应得到全体成员的认可（一票否决）。

命名表

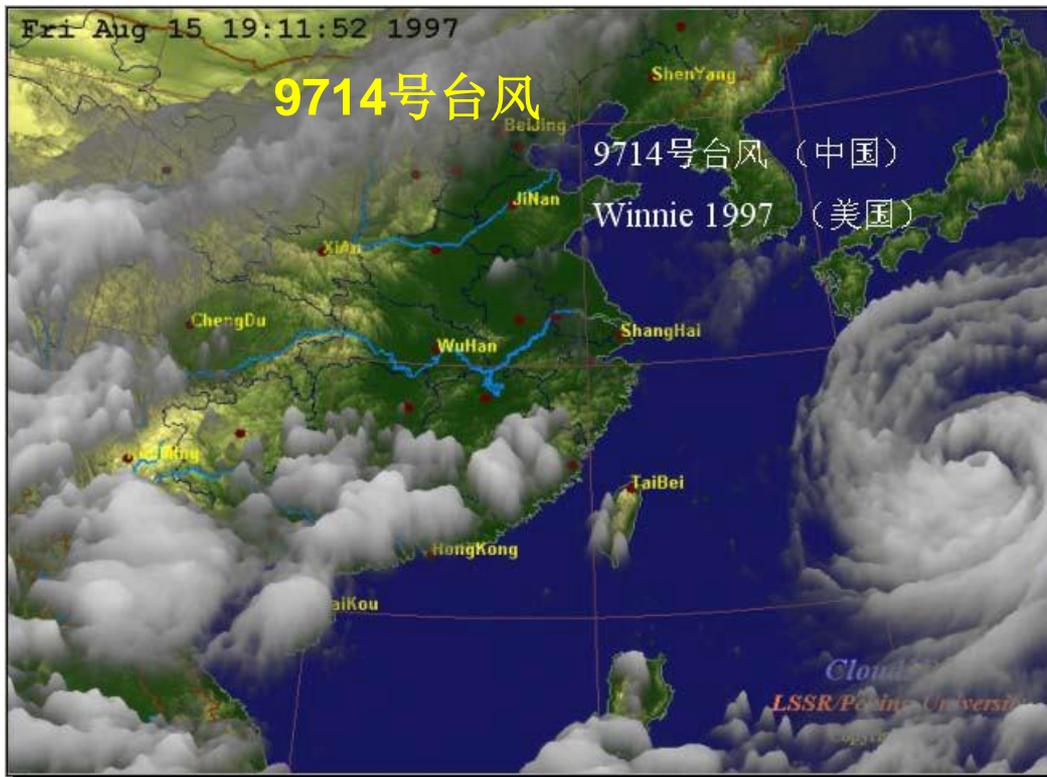
1. 第31届台风委员会通过的西北太平洋和南海热带气旋命名表共有140个名字，分别来自柬埔寨、中国、朝鲜、中国香港、中国澳门、日本、老挝、马来西亚、密克罗尼西亚联邦、菲律宾、韩国、泰国、美国和越南（各贡献10个）。
2. 各成员可以根据发音或意义将命名表翻译成当地语言。

热带气旋命名表及其相关的业务程序从2000年1月1日开始执行。

命名方法

我国一直采用热带气旋编号办法，对发生在经度180度以西、赤道以北的西北太平洋和南海海面上的中心附近最大平均风力达到8级或以上的热带气旋，按其生成的先后顺序进行编号。如9608号热带风暴即是1996年在上述海域生成的第8个热带气旋，当它发展成为强热带风暴时，就称为9608号强热带风暴，继续发展成为台风时，就称为9608号台风。当然，当它又衰减成热带风暴时，它又称为9608号热带风暴了。当热带气旋衰减为热带低压或变性为温带气旋时，则停止对其编号。

命名方法



台风强度分类

我国依台风中心附近最大风速加以分类：

1. 热带低气压：中心附近风速每小时33里（每秒17.1公尺）以下。
2. 轻度台风：中心附近风速每小时34-63里（每秒17.2-32.6公尺）。
3. 中度台风：中心附近风速每小时64-100里（每秒32.7-50.9公尺）。
4. 强烈台风：中心附近风速每小时100里（每秒51.0公尺）以上。

依每小时34里风速的暴风圈大小加以分类：

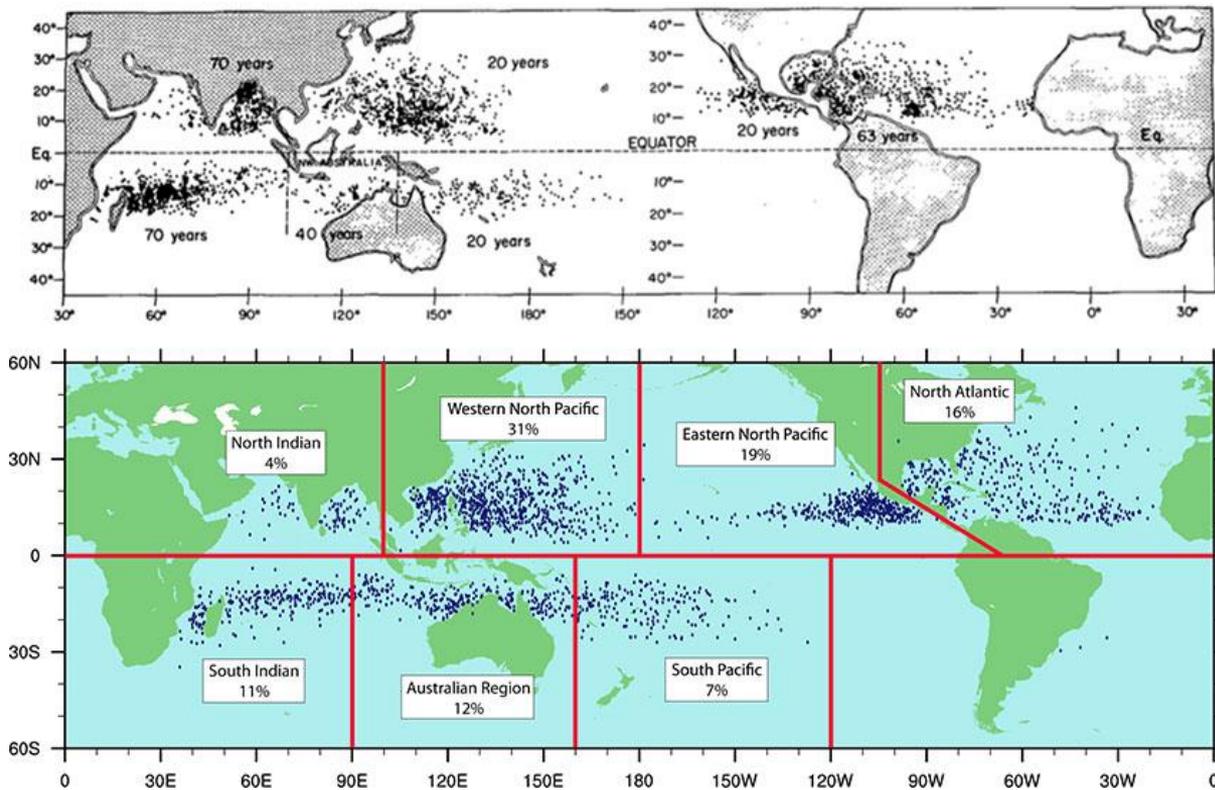
1. 小型台风：指暴风半径不足100里。
2. 中型台风：指暴风半径超过100里，但不足200里。
3. 大型台风：指暴风半径超过200里。

台风的源地

台风分布于热带洋面，主要有以下8个地区：

- ① 北大西洋南部、包括加勒比海和墨西哥湾一带。
- ② 北太平洋东部，墨西哥西方海域。
- ③ 北太平洋西部，包括南海一带。
- ④ 北印度洋的孟加拉国湾。
- ⑤ 北印度洋的阿拉伯海。
- ⑥ 南印度洋西部，以马达加斯加岛以东为主。
- ⑦ 南印度洋东部，以印度尼西亚与澳洲西北部海域为主。
- ⑧ 南太平洋西部，即澳洲东北部海域

台风的源地



台风的源地

热带气旋产生的海区	占总数的百分比	热带气旋产生的季节
北太平洋西部	38%	主要在7-10月
北太平洋东部	17%	主要在7-10月
北大西洋东西部	12%	其中9月最多
孟加拉湾	5%	主要在春秋季节
阿拉伯海	1%	主要在春秋季节
南印度洋西部	10%	主要在1-3月
南印度洋东部	9%	主要在1-3月
南太平洋西部	8%	主要在1-3月



台风的发生时间

发生时节有明显**季节变化**特征，晚夏到初秋形成频率最大。

西北太平洋：7-10月，“台风季节”，**9月最高**。西北太平洋是全球惟一全年可观测到热带气旋活动的地区，也是特强台风（ $V_m \geq 50\text{m/s}$ ）和超级台风（ $V_m \geq 65\text{m/s}$ ）最易产生的地区。

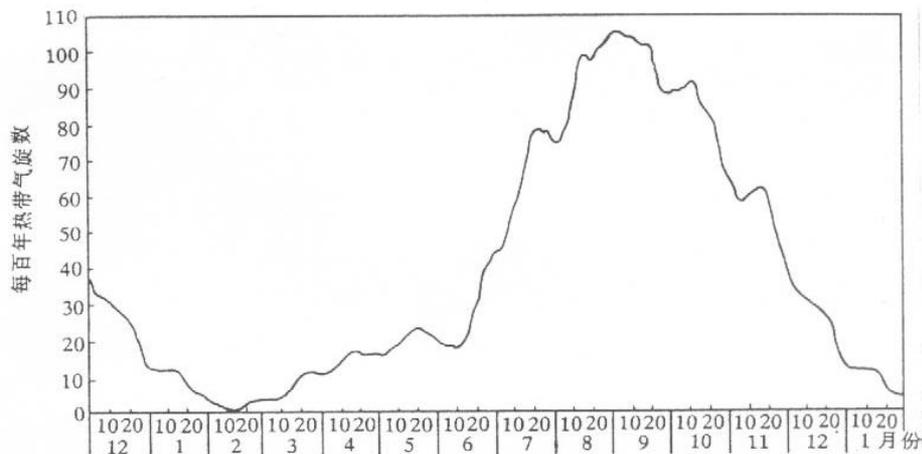


图 5.1 西北太平洋热带气旋($\geq 17.2\text{ m/s}$)发生的月频数(取自 WMO 技术文件, 1995)

台风的构造与天气

台风是一种天气尺度、暖中心的强气旋性涡旋，在北半球呈逆时针旋转，在南半球呈顺时针旋转。

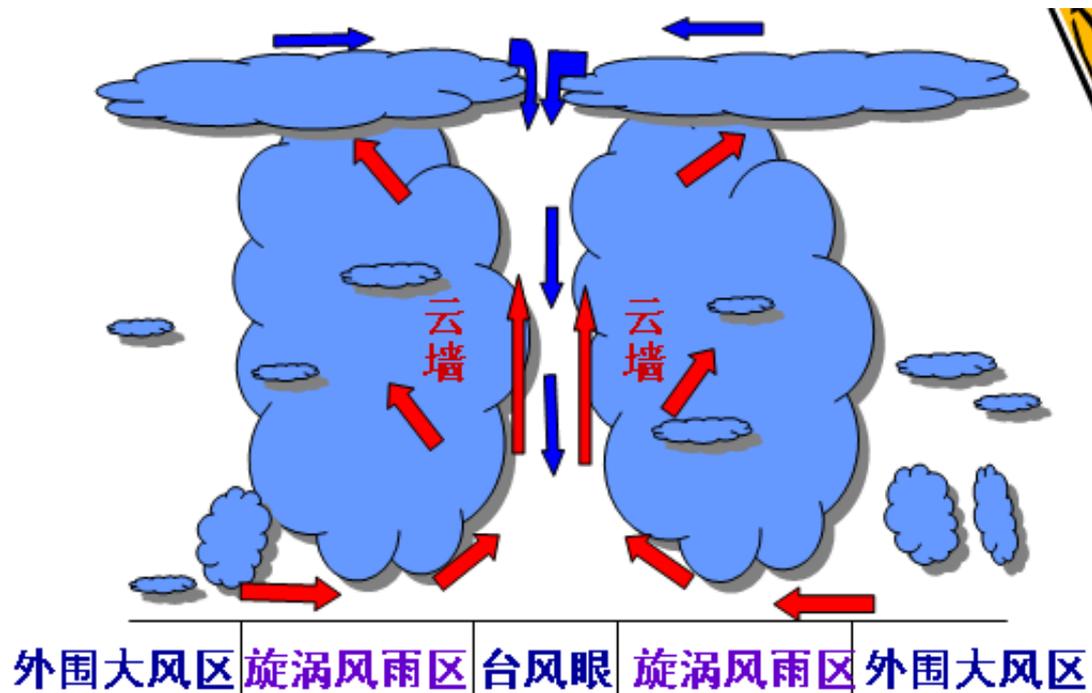
台风表现为强烈的气旋性环流，低层有强烈的流入，高层有强烈的流出，并有极强烈的上升运动。地面是气旋式辐合流场，气流从四周以螺旋曲线的形式流向台风中心区。台风天气表现为大风、暴雨、狂浪和风暴潮。

台风的构造与天气

发展成熟的台风其要素值多呈圆形对称分布，台风涡旋半径一般为500~1000km，铅直范围一般到对流层顶。台风中心气压值(即风暴强度)一般在960hPa以下，在地面天气图上等压线表现为一个圆形(或椭圆形)对称的、气压梯度极大的闭合低气压系统，水平气压梯度能达5~10hPa/10km，台风过境时，测站气压自记曲线出现明显的漏斗状气压深谷。

- 1) 发展成熟的台风往往有**台风眼**，即在深厚云区的中间有一个直径为几十千米近似圆形的晴空少云区，眼区为微风或静风，气压最低，平均直径为30~40km。
- 2) 台风眼区外围的圆环状云区称为**台风云墙或眼壁**，云墙区主要是由一些高大对流云组成，其高度通常在15km以上，宽度为20~30km，在云墙区域有强烈的上升运动，其值可达5~13m/s，云墙附近是风雨最剧烈的地区，摧毁性的大风暴雨常常发生在这里。
- 3) 台风云墙到台风外缘是台风的**螺旋云雨带**，它也是台风的重要特征之一，是由一条或几条螺旋云带旋向台风中心眼壁的，云带区对流活动旺盛，有显著的上升运动。

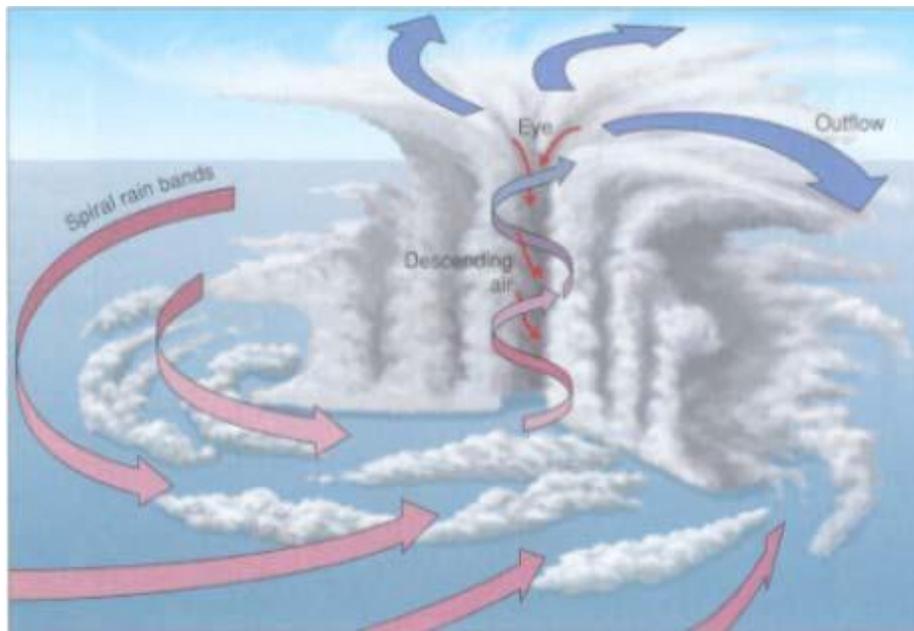
台风的结构



台风的结构

成熟台风的三维结构模式：

台风顶部流场特征，空气从台风中心向四周流出，从眼壁至200km处呈气旋性辐散流出，之外则呈反气旋性流出。在台风低层由于边界层的摩擦作用，外围空气气旋式旋转着流向中心区，到达眼壁附近，内流急剧减小，相应地辐合最强，形成高耸的云墙。台风顶部空气辐散外流，在台风外部开始下沉，形成台风的**铅直环流圈**。

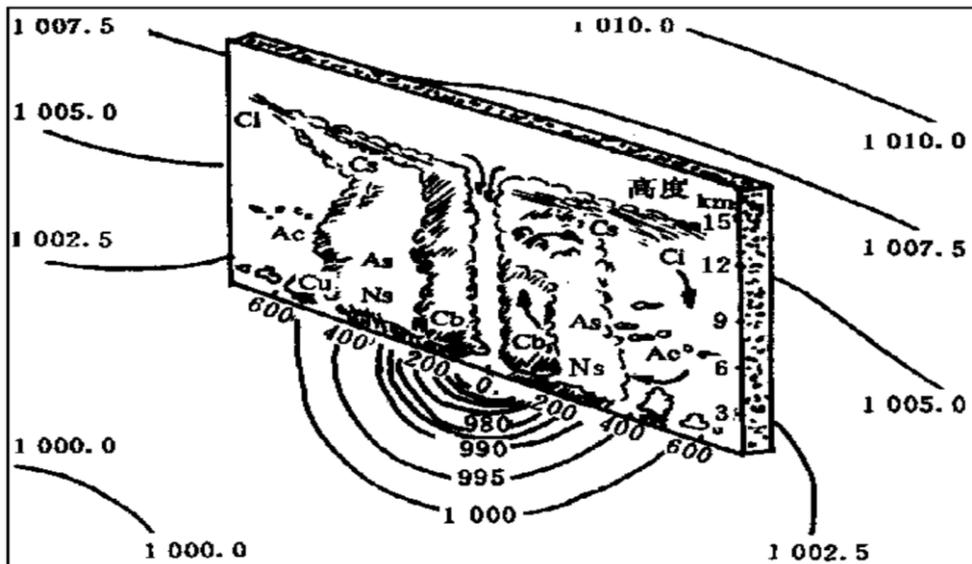


台风的结构

外围区：指从热带气旋边缘到最大风速外缘，平均宽200-300Km。

涡旋区：自最大风速区外缘到台风眼壁，平均宽度10-20Km。

眼区：热带气旋中心区，平均半径10-50Km。



台风的气象要素

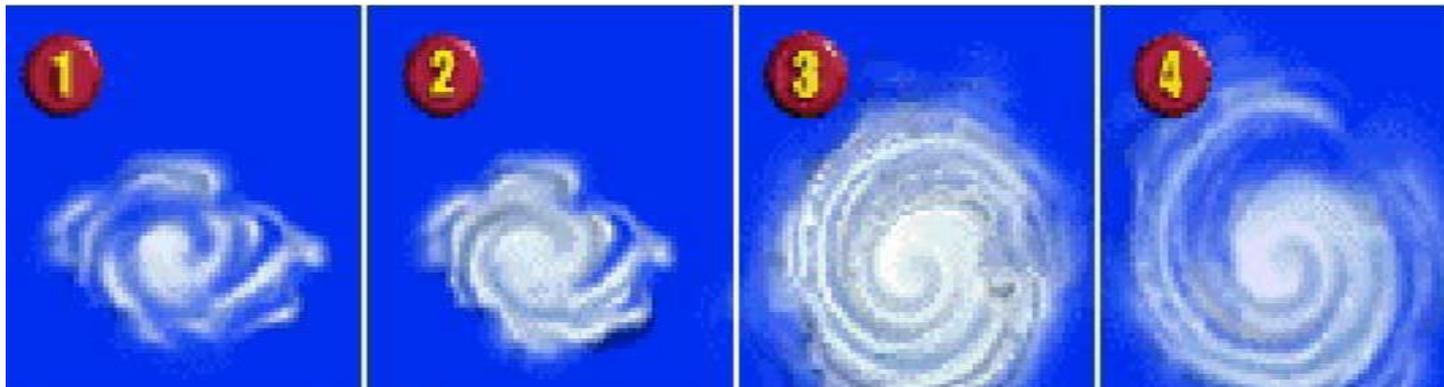
气象海况要素	外围区	涡旋区	眼区
气温	向中心升高呈闷热	温度向中心逐渐升高	达最高，形成暖中心
气压	向中心逐渐下降	急速下降，呈漏斗状 梯度大，等压线特别密集	降至最低
风速	向中心急增	达到最大，最大风速在眼壁附近强台风可达60-70m/s以上。	突降至4级以下
云系	中低云为主的螺旋云带	组成庞大的云墙	晴天少云，
降水	阵性，向中心强度增大	暴雨倾盆，雷鸣电闪，右侧雨量达100-200mm/d个别1000mm/d	降水突然停止
能见度	向中心逐渐变坏	极恶劣，昏天黑地	相对较好
海况	自台风中心传出的涌浪，风浪逐渐增大	高达十几米的浪柱，到沿海引起风暴潮，最大风浪在右后，恶浪滔天，狂风骤雨，恶浪暴潮	三角浪或金子塔式浪，十分恶劣



台风的生命史

大致可以分成下列四个阶段：

初生阶段：形成期——由低压环流出现时开始到发展成TD为止。地面扰动开始形成，中心气压降到1000hpa左右。近似圆形等压线范围很小，半径仅100KM左右。风力较小，一般6-7级。



台风的生命史

发展阶段：从TD到TS、STS或T这一整个过程。**中心气压达最低**，等压线成近似圆形。台风眼形成，原不规则的云雨区象一堵云墙包围着台风眼。风力达最大(12级以上)并收缩到中心附近，且分布对称。台风的暖中心结构建立。云系组织完善，显示一种螺旋结构，并且产生风暴「眼」。

成熟阶段：中心气压停止下降，最大的风不再增强，但风暴的范围却向水平扩张，对称性逐渐消失。从最盛期到开始衰亡。中心气压保持最低值，风力最大，12级以上大风圈范围逐渐扩大。台风眼相当明显，直径一般10--60KM。台风渐向高纬移动，恶劣天气区逐渐扩大并集中在台风进路之右半圆，因此台风范围内天气变为不对称。台风的暖中心结构十分明显。

消灭阶段：从开始衰亡到变成低气压而消亡。中心气压开始上升。风力减弱，雨量减小。台风眼消失。

台风的衰亡：

- 1) 台风登陆后减弱消亡：首先，水汽供应减少，能量枯竭；其次，地面摩擦，消耗能量。
- 2) 台风移入中高纬度，由于冷空气的入侵而使之变成纬带锋面气旋，最后锢囚消亡。

注意：登陆后减弱了的台风重新入海后，会再度加强。

热带气旋与温带气旋的比较

不同点

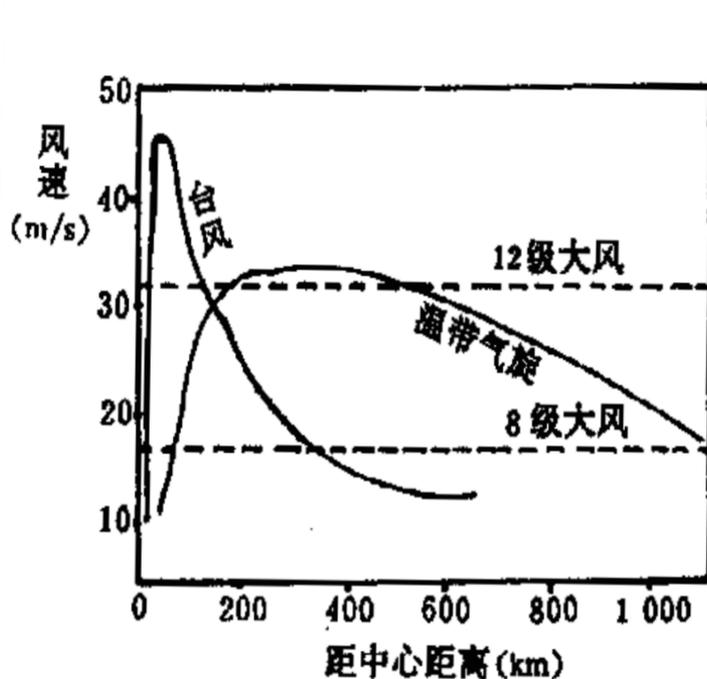
	热带气旋	温带气旋
能量来源	下垫面暖洋面及潜热释放	水平温度梯度 (斜压能)
垂直结构	暖心结构, 台风强度随高度递减, 地面的低压到高空(12KM)变为高压	强度随高度加强, 中纬度气旋上空西侧往往对应冷的高空低压或槽
中心	往往有眼区, 且气流下沉	一般无眼区, 且中心气流上升
强风	最大的风在近地面	最强风出现在高空急流处
天气图上	等压线更近环形, 风更强, 梯度更大, 尺寸较小	等压线非规则环形, 风较小, 梯度较小, 但水平尺度较大
性质	无锋面	有锋面

相同点

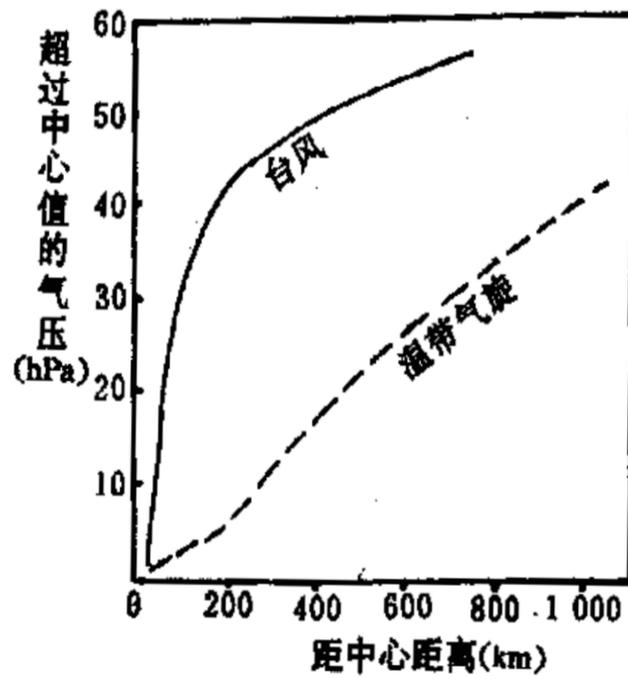
- ❖ 均为天气尺度系统
- ❖ 均为地面低压系统
- ❖ 风均绕其中心逆时针方向旋转
- ❖ 都产生大风、降水天气

热带气旋与温带气旋的比较

热带气旋与温带气旋的大风和气压分布



(a) 平均风速分布



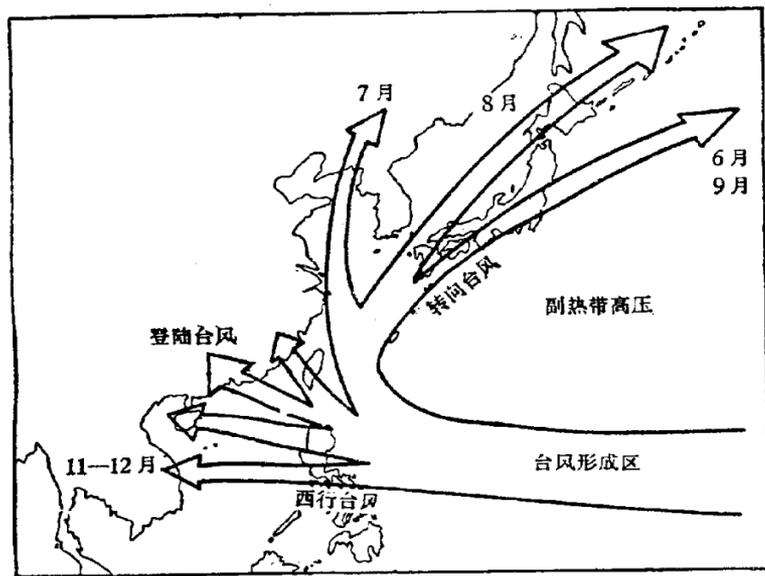
(b) 平均气压分布

台风的移动

- 台风形成后，向哪里移动是台风预报中最关键的问题。西太平洋台风和南海台风生成后，主要移动路径有西行、西北行、转向型等几种情况。但也出现异常路径，如打转、突然转向、蛇行路径等。
- 台风移动除受自身旋转的影响外，最重要的是受环境流场的影响。副热带高压对台风移动的影响是最直接、最主要的大型天气系统。这不仅是因为副热带高压离台风近，而且由于其时间持久、空间尺度大。当副热带高压呈东西向带状、且较强时，位于其南侧的台风将稳定西行。当台风东侧有副热带高压脊南伸，台风移向具有明显的北分量。当台风位于副热带高压西南侧时，将转向北上。当台风进入西风带，处于副高北侧时，将在副高和西风带系统共同作用下，向东—东北方向移动。
- 此外，台风的移动还受西风带天气系统和热带天气系统等的影响。

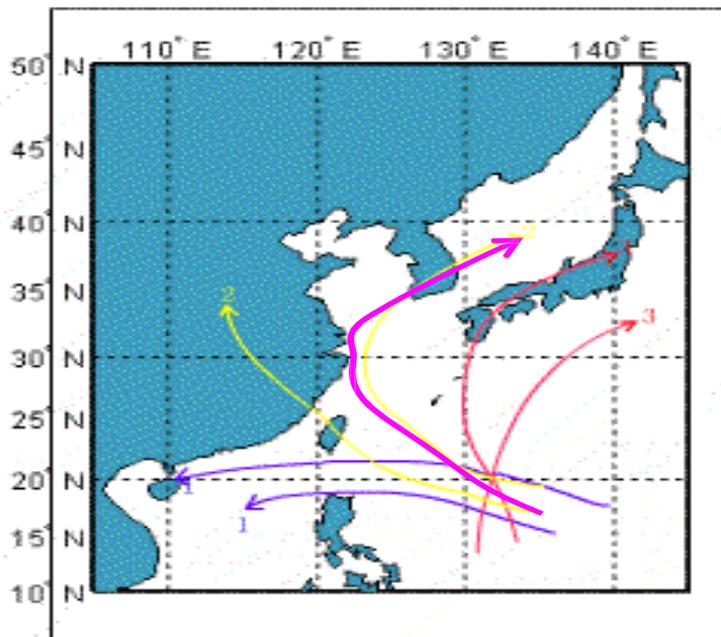


西北太平洋热带气旋主要路径



西北太平洋热带气旋主要路径

正常路径：西行、西北行、转向



异常路径：打转、突然转向、蛇行等

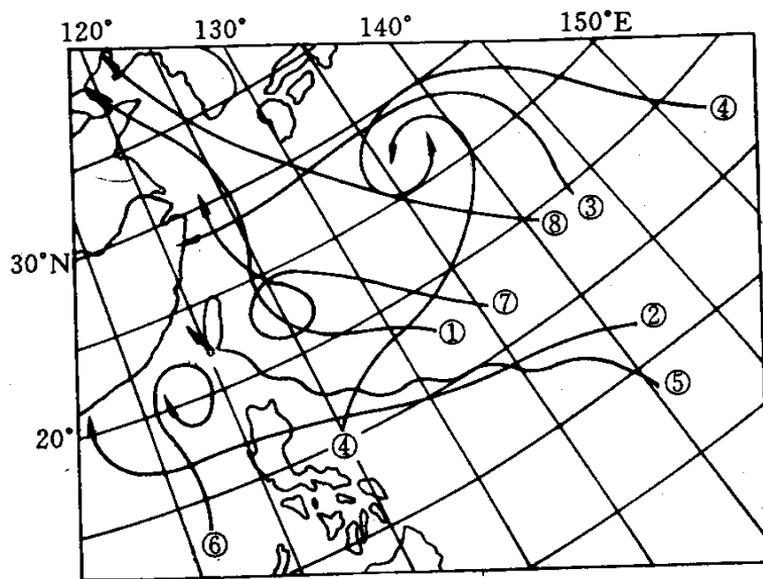


图 7.29 台风异常路径的几种类型

西北太平洋台风主要路径

西北太平洋台风的主要移动路径：

1. 自源地起径向西行，经菲律宾东方海域，向西或西北进行，经南海而于华南或中南半岛登陆减弱消失。
2. 自源地起成抛物线，先向西北到北纬20度至25度左右，再转东北。

台风若登陆时，会很快的消灭，其原因为：

1. 地面的摩擦力破坏了理想的气流场，不仅风力减弱，而且部分空气流入中心。
2. 水汽来源断绝，大量的水汽凝结所释出潜热，是维持台风的主要因素。

台风若停止不进，近似滞留时，其发展不外乎两个情况，一为增强，另一则为转向，因此需特别注意。

$$\frac{du_0}{dt} - fv_0 = - \int_{\tau} \frac{\partial \Phi}{\partial x} d\tau + I_x$$

$$\frac{dv_0}{dt} + fu_0 = - \int_{\tau} \frac{\partial \Phi}{\partial y} d\tau + I_y$$

内力公式

内力是台风涡旋本身的流场结构在地转偏向力作用下产生的。

$$I_x = -2\Omega M \cos\phi_0 \left(\bar{w} - \frac{r_0}{3R} \bar{v}_r \right)$$

$$I_y = 2\Omega M \cos\phi_0 \frac{r_0}{3R} \bar{v}_\theta$$

- 台风范围越大(r_0)，纬度越低($\cos\phi_0$)，则所受内力越大。
- 台风气旋式涡旋 $v_\theta > 0$ 有一向北的内力 $I_y > 0$
- 台风中为上升运动 $w > 0$ ，低空辐合强（大于高空辐散） $v_r < 0$ ，有一向西的内力
- 总之，内力的作用产生净的向西北方运动



台风警报发布分两个阶段：

1. **海上台风警报**：凡预测台风在未来24小时内有侵袭近海可能时，发布「海上警报」。所谓「侵袭」是指台风周围的暴风圈（每小时34里）；所谓「近海」是指海岸线外100里之内。
2. **海上及陆上台风警报**：凡预测台风的暴风圈在未来18小时内有侵袭陆地的可能时，即发布海上及陆上警报。

台风来临前的征兆

1. **涌浪**：无风来涌浪，则其来向上可能有台风。（解释：涌浪的传播速度约为台风移速的3倍以上，甚至高达2200--3600海里/天，因此，台风来临前一、二天，涌浪首先到达。）
2. **海水发臭或发光**：（解释：有些地方由于台风引起的涌浪或风海流使海水发生翻动，在海底的腐烂物质因此上浮而发出腥臭味。海水发光是指海水发出一点点或一片片的亮光，这是由于台风到来前一、二天，往往海水温度升高很多，给某些能在海上发光的浮游生物创造了有利的繁殖条件，因而群集在海面而发光。）
3. **海响**：（解释：在台风来临前一、二天，有时可以听到海响，象远处吹号角一样。海响发生的原因很复杂，至今尚未弄清，根据推测可能是由于：a、涌浪对海岸的冲击而发出响声；b、台风区内狂风暴雨的声音传到海岸时受到反射而引起的。c、台风区内空气猛烈扰动而产生的超声波，进入岩洞发生共振而引起的）

台风中心位置

- 台风中心的位置，可以用白贝罗定律来察觉，白贝罗定律：在北半球，背风而立，高压恒在右方，低压恒在左方，南半球正好相反。
- 台风既为低压，因此也适用此一定律，只不过是因为台风风速较大，因此在北半球背风而立，台风中心的位置在左方45-90度的方位内。若风力较小，则接近45度，若风力较大，则接近90度。通常风在6级以下时，台风中心取左方45度方位，8级风时，台风中心取左方67.5度方位，10级风以上时，台风中心取左方90度方位。

台风与船舶操纵

- 在北半球，台风路径的右半圆，称为危险半圆，其左半圆，称为可航半圆（如下图）。而危险与可航是相对的，南半球恰好相反。



北半球台风的右半圆为危险半圆的原因有：

1. 北半球，台风右边半圆与副高相邻，使右半圆气压梯度力较左半圆大，因此风力大于左半圆。
2. 右半圆的风向与台风移动方向近似一致，叠加作用使右半圆风速比左半圆要大，浪也比较高。尤其是右半圆中心附近的后部，由于风时较长，波高最大，为台风“**危险象限**”。台风区中最大风力和最大浪高都出现在右后象限大约距中心20—50海里的地方。
3. 北半球的台风大多向右转向，当船舶处于右半圆时，很容易在台风转向时被卷入台风中心。在可航半圆的前后两部位相比较，其前半部的风力比后半部分要小。因此，**台风区**中风力最小的象限是左前象限。

台风发生与发展的基本条件

- 要有一个初始扰动
- 暖性洋面, $SST > 26.5^{\circ}\text{C}$
- 生成位置一般距赤道5个纬距之外
- 整个对流层风的垂直切变要小



台风形成的条件：初始扰动

先存在一个热带低层扰动，是热带气旋发生的重要条件，国家气象局根据1970-1973年西太平洋和南海热带气旋发生的调查，发现热带气旋主要起源于四种初始扰动：

- 热带辐合带中的扰动，占80%--85%；辐合带云带振动发展型；云团旋转型
- 东风波，约占10%
- 中高纬长波槽中的切断低压或高空冷涡，约占5%
- 斜压性扰动，约占5%以下；由西南涡发展而成；切变线上冷涡发展成台风

台风形成的条件：广阔的暖洋面

- 平均海温分布与热带气旋发生频率关系：

高海温轴线与热带气旋发生频数最大轴线几乎重合，与夏季热带辐合带的平均位置相接近

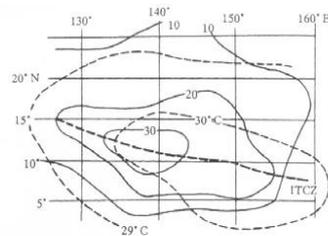


图 5.9 西北太平洋 8 月 SST 与热带气旋发生频率关系(取自林元弼等, 1989)
实线: 热带气旋发生频率; 细虚线: SST; 粗虚线: ITCZ

- 高海温的热带洋面，通过海气交换作用，使得低层大气成为高温高湿的气层，而气层的位势不稳定程度，又取决于低层大气的温度和湿度。因而高海温的热带海面，蕴藏着大量不稳定能量，这种不稳定能量在一定条件下，通过水汽凝结而释放出来，能使空气块沿湿绝热上升一直到十几公里高度始终都比四周为暖，即有足够能量以维持热带气旋的暖心结构和垂直环流。
- 感热和潜热的海气交换和动量交换对于热带气旋的维持和发展起着重要作用。
- 热带气旋的发生发展不仅与海表温度（SST）有关，也与海面以下水温的垂直结构有关。

台风形成的条件：地转参数f大于一定值

- 地转参数的作用有利于气旋性涡旋的生成。
 - 在不考虑摩擦作用并忽略倾斜项的等压面坐标系中的**涡度方程**如下：

$$\frac{d(\zeta + f)}{dt} = -(\zeta + f)\nabla_h \cdot \vec{V}$$

- **涡度随时间的变化正比于绝对涡度的大小**。在赤道上 $f=0$ ，热带气旋发生初期，扰动的相对涡度为零（ $\zeta=0$ ），则无论辐合有多大，扰动的涡度也不会增加；在离开赤道一定纬度的地区 $f \neq 0$ ，辐合能引起涡度的增大，并且对相同的辐合，离开赤道越远涡度的产生率越高。
- 一般热带气旋生成在距赤道5个纬距以外的热带洋面上，只有西北太平洋有个别的形成于3N附近，但在赤道附近3个纬距以内从未发现有热带气旋生成。

台风形成的条件：对流层风的垂直切变小

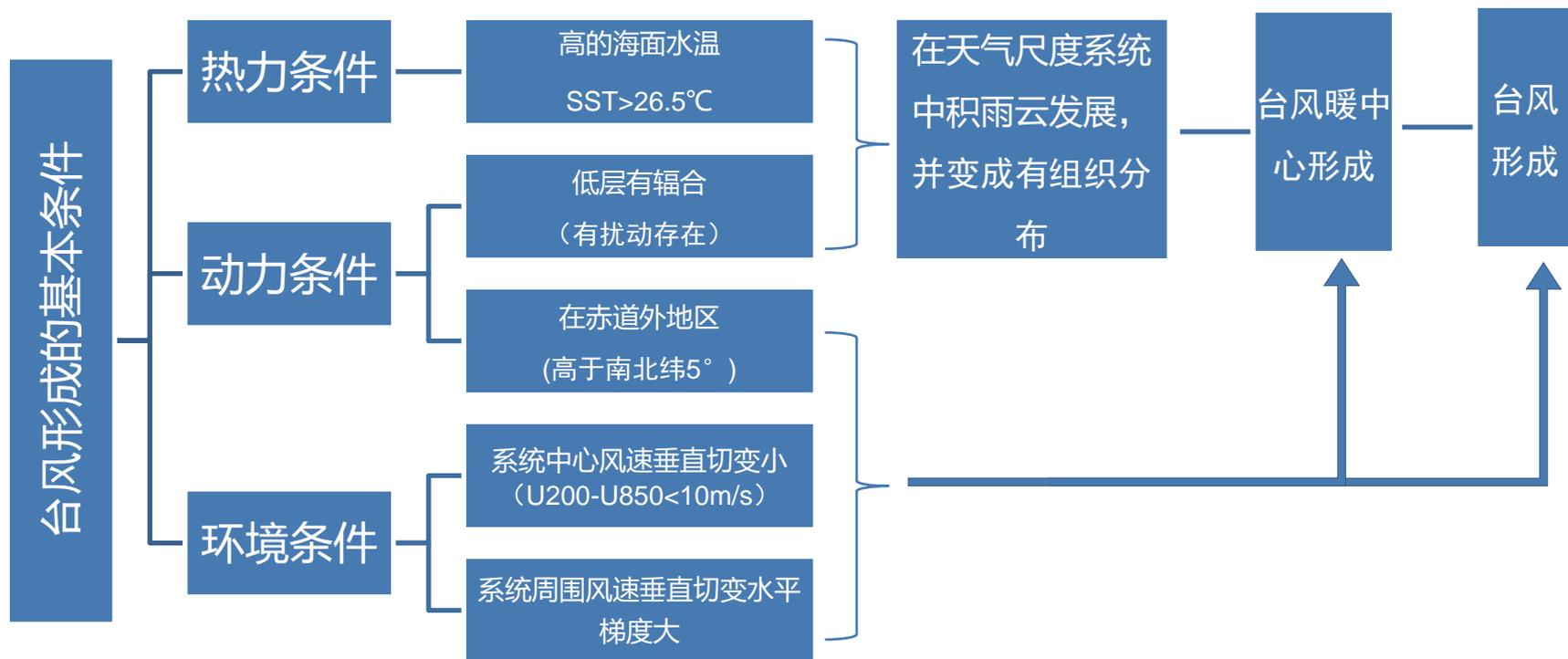
对流层风速垂直切变的大小，决定着一个初始热带扰动中分散的对流释放的潜热，能否集中在一个有限的空间之内。如果垂直切变小，上下层空气相对运动很小，则凝结释放的潜热始终加热一个有限范围内的同一些气柱，而使之很快增暖形成暖中心结构，初始扰动能迅速发展形成热带气旋，反之，如果上下切变大，潜热将被很快输送出扰动区的上空，不能形成暖性结构，也不可能形成热带气旋。

台风形成的条件：对流层风的垂直切变小

低层具备易产生扰动的辐合气流；高空（即对流层高层，也就是300hpa或200hpa以上）有辐散流场，而且高层辐散要大于低层辐合。高层辐散流场起到“抽气作用”，使对流层中、下层强大的上升运动持续不断，地面气压不断降低，促使台风的形成。低空象这样的流场有：赤道辐合带、东风波等。

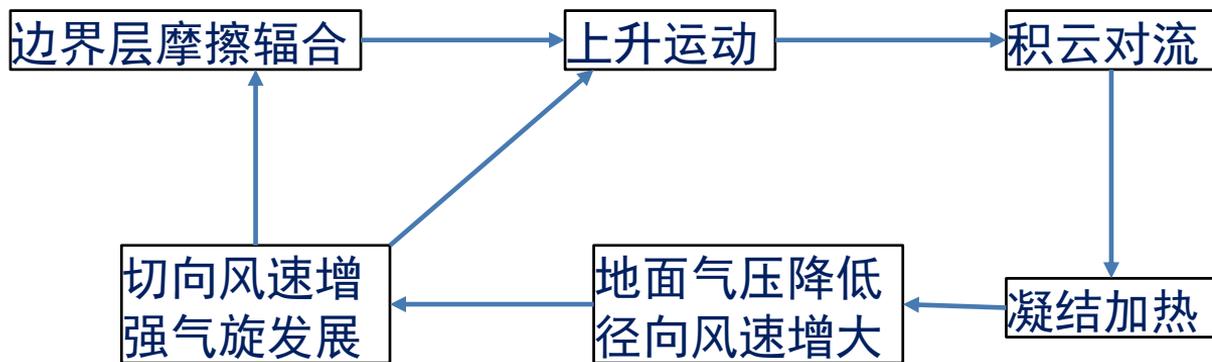
- a) 赤道辐合带中台风的形成：当南半球的寒潮爆发，冷空气北上，则SE信风越过赤道，在地转作用下，变成强劲的SW风，则会在辐合最强的部位产生涡旋，形成台风。85%的台风形成于赤道辐合带中。
- b) 东风波中台风的形成：如果东风波逐渐加深，终于在波顶附近形成闭合环流，这时如果其他条件具备就会发展成台风。15%的台风生成于东风波中。

台风形成的基本条件



台风形成的物理机制

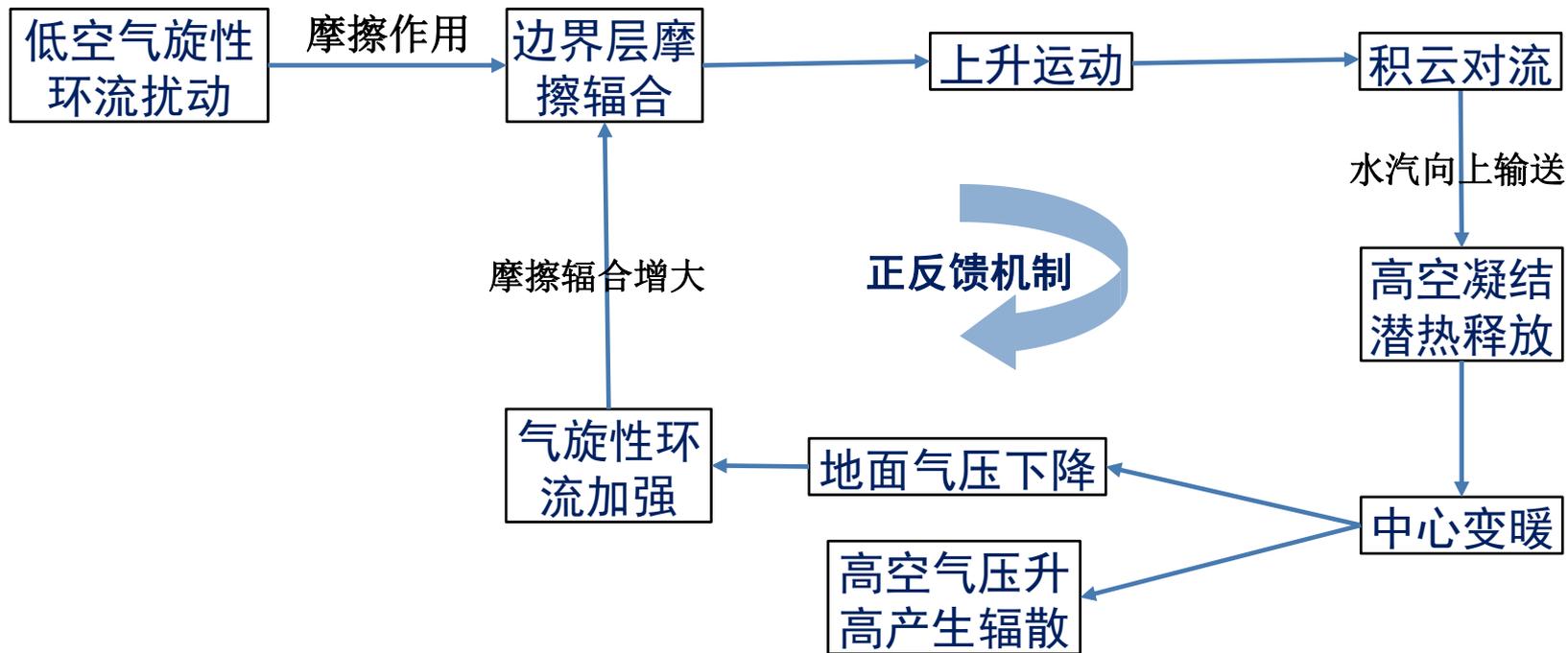
- CISK (Conditional Instability of Second Kind, 第二类条件不稳定) 1964年, Charney, Eliassen, Ooyama



- Ekman-CISK; Wave-CISK; MCC-CISK

台风形成的物理机制

Ekman-CISK机制示意图



台风形成的物理机制

CISK机制的不足之处：

- Ekman-CISK理论**突出了积云对流的作用**，抓住了**水汽凝结释放潜热**是热带气旋发展的**主要能量来源**这一本质，因此它对热带气旋的发展过程作出了较为合理的解释。
- 对于低层原先存在的低压扰动是如何发生的没给出解释：1、扰动的流入气流只有一小部分是边界层辐合驱动的，而大部分辐合发生在边界层以上，因此用Ekman辐合不能给予解释；2、过高地估计了凝结加热所导致的温度增加；3、CISK理论不能解释许多不发展的天气系统也有大量辐合和降水的现象；4、CISK难以说明大量的能量来源，有学者认为台风增暖的能量，主要不是来自对流云中水汽凝结潜热的加热，而是各云块间下沉时的绝热增温作用。

台风的消亡

- 减弱消失
- 变性为温带锋面气旋
- 台风的再生与变性
 - 再生指台风登陆后减弱，转向出海时再次加强，或变性成温带锋面气旋后其强度比原来减弱了的台风还强（由于获得了斜压能）

热带辐合带

- 热带辐合带(ITCZ)又称赤道辐合带，是赤道低压带两侧南北半球信风形成的气流辐合带。它构成Hadley环流的上升支。这是低纬行星尺度天气系统，可以存在于全球热带地区，在某些地区还可看到两个辐合带(双辐合带)同时存在的现象。
- 热带辐合带是热带地区热量、水汽集中最多的地带，也是热带扰动发生的主要源地，热带风暴、台风和飓风多是辐合带上的扰动发展起来的。据统计，太平洋上热带风暴80%以上产生在热带辐合带。在辐合带的控制下，辐合气流可以造成强烈的对流活动，出现剧烈的天气变化，这是低纬重要的天气系统。
- 在辐合带附近，信风边界层的湿空气摩擦辐合以及空气对流上升形成积雨云。在一定条件下，这些积雨云组成对流云团，形成大范围的上升运动。在对流云团里，天气非常活跃，常有雷暴阵雨出现，风力可达8~9级，在强烈发展的对流云中，有猛烈的湍流存在。



热带辐合带的季节移动

热带辐合带的位置随季节而南北移动，但在不同地区，辐合带的进退情况有所不同。北半球，一般在东太平洋至大西洋上，由东北信风和东南信风汇合而构成的辐合带称为信风槽型，全年位置少变，基本在 $5^{\circ} \sim 10^{\circ} \text{N}$ 之间。在大西洋，8月份可移到 $10^{\circ} \sim 15^{\circ} \text{N}$ 。在西太平洋至南亚以至北非的辐合带，其北侧为偏东风或东北风，南侧是偏西风或西南季风(为季风槽型)。这一区域辐合带的位置变化较大，与季风的进退有密切联系。



爆发性气旋

- 在中纬度海洋上常发生一种急速发展的气旋，其中心气压在24小时内下降达24hPa以上，引起海上强风，风速可达20~30m/s，成为海上严重的灾害性天气。当24小时内气旋加深率至少每小时1hPa时，称为气旋的爆发性发展，这种气旋称爆发性气旋。
- 1975年2月4~5日，在大西洋上一个气旋在24小时内竟然由1004hPa降至952hPa，其强度完全象一个强台风。显然这种爆发性气旋对海上航行是一大威胁。1978年大西洋爆发性气旋造成两艘大型轮船倾覆，1980年12月27日~1981年1月3日，**8天中在西北太平洋连续发生7次海难事故，都是由爆发性气旋造成的。**

爆发性气旋

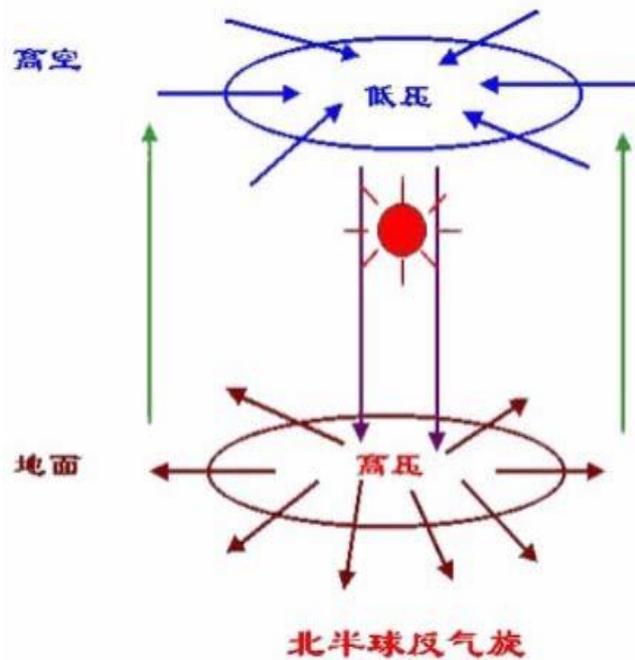
- 爆发性气旋主要发生在大陆东岸，太平洋和大西洋的西部，尤其在黑潮流域和湾流流域。在太平洋上，最多发生在 $30^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$ 之间的冬季风活动区，但在阿留申低压的位置上却极少发生。其发生数有明显的季节变化，多发生在冬半年，以1月份为最频。当冷空气移到暖洋面上，会产生很强的水汽和热量交换，使得气旋获得能量而爆发性发展。爆发性气旋多数沿500hPa行星锋区移动。

第二节 反气旋

- 反气旋是指流动的高气压，因此空气会自中心向四周流出，加上科氏力的影响，使得北半球的高气压，风会自中心顺时针方向绕出。而且此辐散作用，使中心的空气下降，经常造成晴朗的好天气。南半球的高气压，风会自中心反时针方向绕出。
- 高压有暖性高压与冷性高压两种：
 - 暖性高压：高压范围内，中心气柱较周围气柱暖，下面是高压，到上面还是高压，如副热带太平洋高压。
 - 冷性高压：中心气柱下面有一团冷空气，中心较四周为冷，下面是高压，到上面反而变成低压，如冬季西伯利亚高压。



反气旋



高压产生下降气流，带来好天气。

副热带高压

- 在南北半球的副热带地区，存在着副热带高压带，它由若干高压单体组成的，这些单体统称为副热带高压。
- 影响中国的副热带高压是西太平洋热带高压，其次是青藏高原高压。

太平洋副热带高压

- 太平洋副热带高压常年存在，是一个深厚的暖性高压系统。其范围和强度，夏季远超过冬季。在对流层内，高压区与高温区的分布一致，每一高压单体都配合一个暖中心。高压的低层往往存在逆温层，是由下沉运动造成的。
- 由于这是一个暖性高压，其强度随高度增强，所以两侧的风速随高度增大，其北侧在200hPa附近出现西风急流，风速在40m/s以上；南侧为东风急流，中心位于130hPa附近，风速比西风急流小。
- 整个高压区为负涡度，且随高度增大，其散度场在低空以辐散占优势，主要位于南部。

作业（2周后上交）

1. 请简述锋面气旋和台风在流场结构和天气上的异同？
2. 请简述台风形成的基本条件和形成机制。
3. 请分别简述台风和锋面气旋的生命史。
4. 请简述台风移动的路径特征及原因。