

# 夏季西北太平洋热带对流层 上部冷涡的分析\*

许健民 王友恒

(中央气象台)

## 提 要

本文提供了夏季西北太平洋上空热带对流层上部冷涡出现的频率和典型云型。冷涡云型的特征是：冷涡中心附近是少云区，外部是大范围云带。对冷涡结构的分析表明：冷涡中心附近的少云区，在对流层里是干和冷的，它对应着天气尺度的下沉运动；冷涡外围的多云带是一条湿舌，从对流层下部向上直伸到 400—300 毫巴，并对应着天气尺度的上升运动。冷涡的特定结构，为台风初期发展，提供了一种可能的有利背景条件：1. 在其外部云带里提供了穿过对流层中部的高  $\theta_e$  通道。这条通道有利于维持强烈的上升运动，有利于扰动的存在。2. 在其中心附近的少云区里，提供了补偿的下沉运动。这也是扰动能够存在所必需的。

## 一、引 言

夏季，在西北太平洋热带对流层上部，高空气旋出现得非常频繁。它们在 200 毫巴以下是冷心的，所以通常被称为高空冷涡或简称冷涡。冷涡与台风发生有密切的关系。Sadler<sup>[1]</sup>分析了 1964 年 8 月 10 日—19 日的天气过程后指出：在这十天中，从高空冷涡诱发了四个台风。他假定高空冷涡诱发台风的机制是：冷中心的上层气旋向下伸及地面，造成地面气旋性环流。地面环流再通过对流凝结，发展成暖心系统，最后加强为台风。他称高空冷涡为台风的第二个来源。以后，Sadler<sup>[2]</sup>又分析了 1971 年 6 月形成的三个台风，认为这三个台风是在高空冷涡以南的副赤道高压下面发展起来的。副赤道高压在台风发展中起三个作用：1. 减弱了垂直切变；2. 加强了上层的抽气作用；3. 建立了多方向的外流通道，以便把发展低压上空的剩余热量带走。Sadler 认为，前一种机制适用于信风区内扰动的发展，后一种机制适用于季风槽里扰动的发展。

但是，我们在实际工作中注意到，Sadler 的第一种机制出现的频数，远不如他自己所说的那么频繁。高空冷涡的结构究竟如何呢？它与台风发生有怎么样的关系呢？这两个问题是值得讨论的。

本文根据卫星云图和天气图，对 1978 年 6—9 月期间的高空冷涡进行了分析。首先，从大量个例中，总结出高空冷涡的两类典型云型；其次，对资料条件较好的一个冷涡，进行了个例分析，解剖了它的三度空间结构；最后，用很多个例证实：发展中的扰动，往往位于高空冷涡的外部云带里。从这个意义上说，高空冷涡与台风的初期发展，关系十分密切。因为冷涡的外部云带，在对流层上部对应着高压脊，所以本文所述的过程，

\* 本文于 1979 年 2 月 19 日收到。

相当于 Sadler 的第二种机制。

### 二、高空冷涡的出现频率和云图特征

高空冷涡在云图上有明确的云型。当云图上出现冷涡云型时，200 毫巴图上，几乎总可以根据实测风资料，分析出低涡中心。这说明，这些云型所代表的系统在 200 毫巴

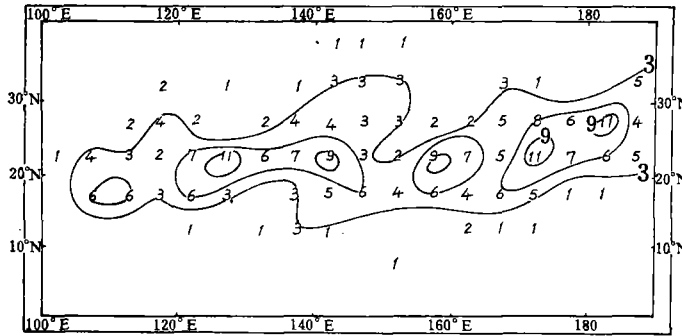


图 1 1978 年 6 月 21 日—9 月 10 日 200 毫巴高空冷涡中心位置，在各五个经纬度方块内出现的频数

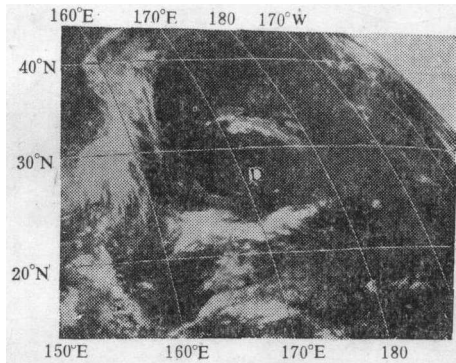


图 2a 1978 年 7 月 2 日 03 Z 红外云图

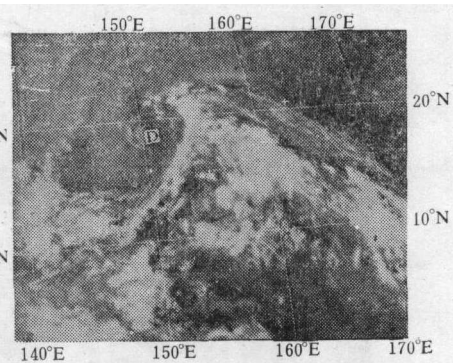


图 2b 1978 年 9 月 16 日 00 Z 红外云图

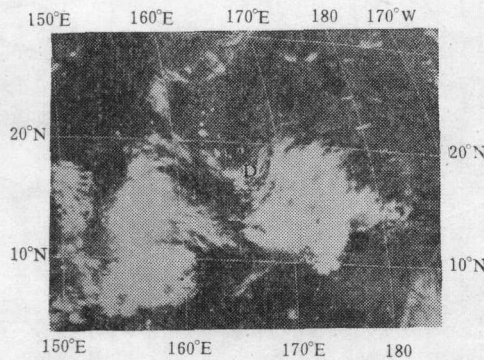


图 2c 1978 年 9 月 7 日 00 Z 红外云图

上是存在的。在 1978 年 6 月 21 日—9 月 10 日期间,我们根据云图和 200 毫巴图,对  $100^{\circ}\text{E}-170^{\circ}\text{W}$ 、 $0^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$  范围内出现的高空冷涡进行了分析。从逐日图上总共分析出 269 次冷涡,图 1 是这 269 次冷涡在各五个经纬度方块内出现的频数。

图 1 指出,高空冷涡集中出现在  $23^{\circ}\text{N}$  附近的一条带状区域内。这也是盛夏季节,热带对流层上部切变线的平均位置。在这 269 次冷涡中,大约有五分之四在天气图和云图上都可分析出来;另外五分之一强度比较弱,只出现在天气图上,没有云型与之配合。有云型的冷涡,在我们分析的范围内,大约每天出现 2.5 个。这与 Sadler<sup>[3]</sup>的分析是一致的。

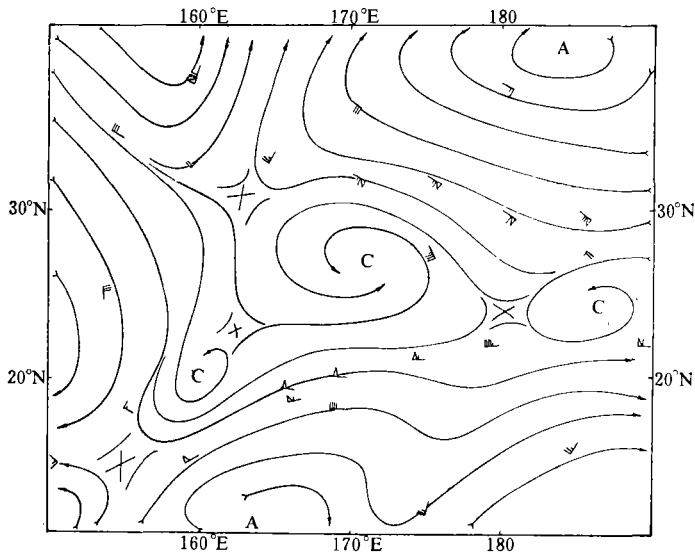


图 3a 1978 年 7 月 2 日 00 Z 200 毫巴图

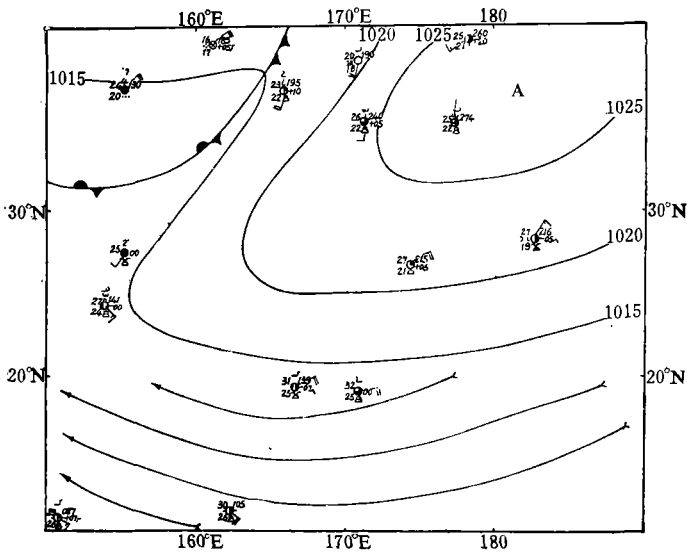


图 3b 1978 年 7 月 2 日 00 Z 地面图  
( $20^{\circ}\text{N}$  以南是流线)

高空冷涡的云型大致可归纳为两类：

第一类云型(图 2 a)，在冷涡以南和以北，各有一条弧形的卷云带，冷涡中心是晴空区。第二类云型，冷涡中心附近云量也非常少，但在冷涡以东和以南，有大范围的对流云团。这些对流云团的北部边界，有时候构成人字形(图 2 b)，其北端呈螺旋状卷向冷涡中心；有时候构成一个弧形(图 2 c)，没有卷向冷涡中心的螺旋线。

冷涡外围云量的多寡，与冷涡所处的环境有关。在对流层上部，第一类云型冷涡外围的卷云带，其南北各对应着一支高速气流(图 3 a)；第二类云型冷涡外围的大范围云

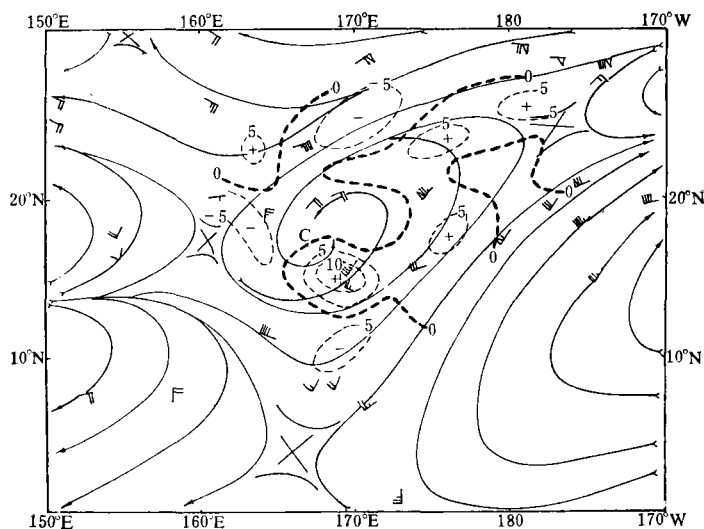


图 4a 1978年9月7日00 Z 200毫巴流线、散度图  
(实线为流线, 虚线为等散度线。单位 $1 \times 10^{-5}$ 秒 $^{-1}$ )。

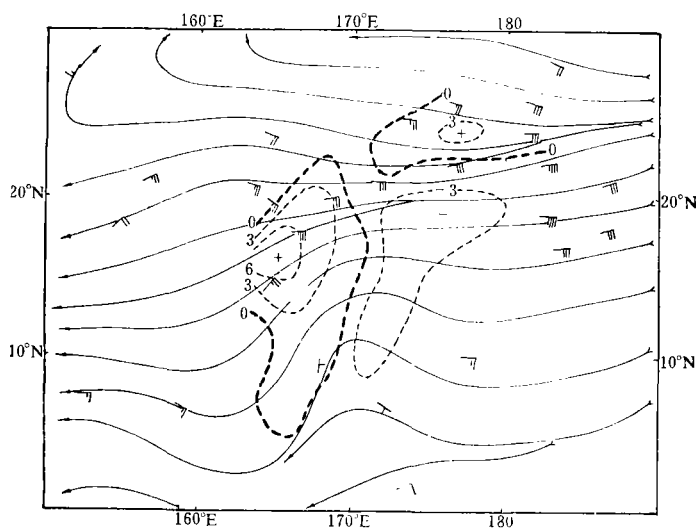


图 4b 1978年9月7日00 Z 700毫巴流线、散度图(说明同4a)。

团, 对应着副赤道高压脊(图 4a)。在对流层下部, 第一类云型冷涡, 位于副高脊线附近, 没有气旋性环流系统与它配合(图 3b); 第二类云型冷涡, 位于副高脊与季风槽之间的东风气流内部, 冷涡东南象限有一个槽系与它配合(图 4b)。

### 三、高空冷涡的三度空间结构

具有第一类云型的冷涡, 有些类似于丁一汇和范惠君<sup>[4]</sup>所分析的大陆上的冷涡, 这里不再分析。本节所分析的是 1978 年 9 月 5 日—10 日通过威克岛附近的一个具有第二类云型的冷涡。图 5 为威克岛 1978 年 9 月 5 日 00 Z—10 日 00 Z 的时间剖面图。这张图的水平坐标已根据 200 毫巴冷涡与威克岛的相对位置, 进行过时空转换, 因此可看作是冷涡的东西向空间剖面图。此外, 在 7 日 00 Z, 根据飞机报告, 由卫星云图推导的风以及探空测风纪录对高空冷涡附近 150、200、300、500、700、850 毫巴和地面, 共七个层次进行了水平流场等分析, 部分分析结果列在图 4 中。根据这些资料, 首先就流场, 其次是散度和垂直运动分布, 最后对温度和湿度场等三个方面, 剖析这个冷涡的三度空间结构。

#### 1. 流场

在对流层上部(150—300 毫巴), 冷涡有完整的环流中心(图 4a)。可是在 500 和 700 毫巴(图 4b)上, 只能在东风气流中分析出一个槽。在剖面图(图 5a)上, 冷涡东西两侧'风的南北分量最大值出现在 200 毫巴上, 从 300 毫巴向下逐渐减小, 到 500 毫巴减至最小(都小于 8 米/秒)。所以, 冷涡在 200 毫巴最强, 向下似乎不是一个完整的涡管伸及对流层中部。

把各个层次上环流中心或槽的位置描在一张图上(图 4c), 再与图 2c 相比较可以看出, 在对流层上部(150—300 毫巴), 冷涡位于云图上的晴空区内; 在对流层中部(500—700 毫巴), 冷涡蜕变为低槽, 并向下向东南方延伸; 而在对流层下部(700 毫巴—地面), 槽的位置与外部云带相配合。

#### 2. 散度和垂直运动分布

利用 200 毫巴和 700 毫巴上较稠密的测风报告, 计算了高空冷涡附近的散度(图 4a、4b)。结果表明: 冷涡以东 200 毫巴上为辐散, 700 毫巴上为辐合; 冷涡中心附近及其以西 200 毫巴上为辐合, 700 毫巴上为辐散。假定对流层上部和下部存在相互补偿, 在 200 毫巴上辐散(辐合)、700 毫巴辐合(辐散)的地方, 对流层中盛行上升(下沉)运动, 那么高空冷涡附近的垂直运动分布如图 4c 所示。在这张图上, 上升运动区恰好勾划出了云团的轮廓, 并位于对流层下部槽的位置上。而下沉运动区正好跟晴空区相重合, 并位于对流层上部冷涡中心附近及其以西地区。

#### 3. 温度场和湿度场

在剖面图(图 5a)中, 还表示了温度离多年 9 月平均值的偏差, 冷涡的主要温度偏

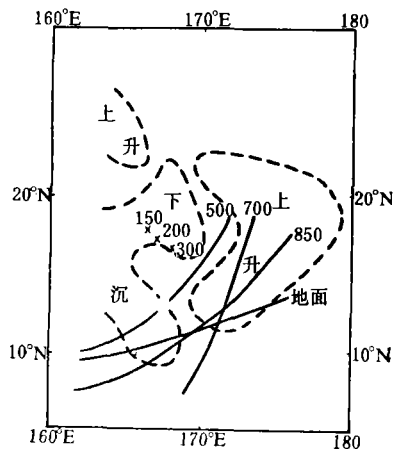


图 4c 1978 年 9 月 7 日 00 Z 冷涡垂直伸展和垂直运动分布图

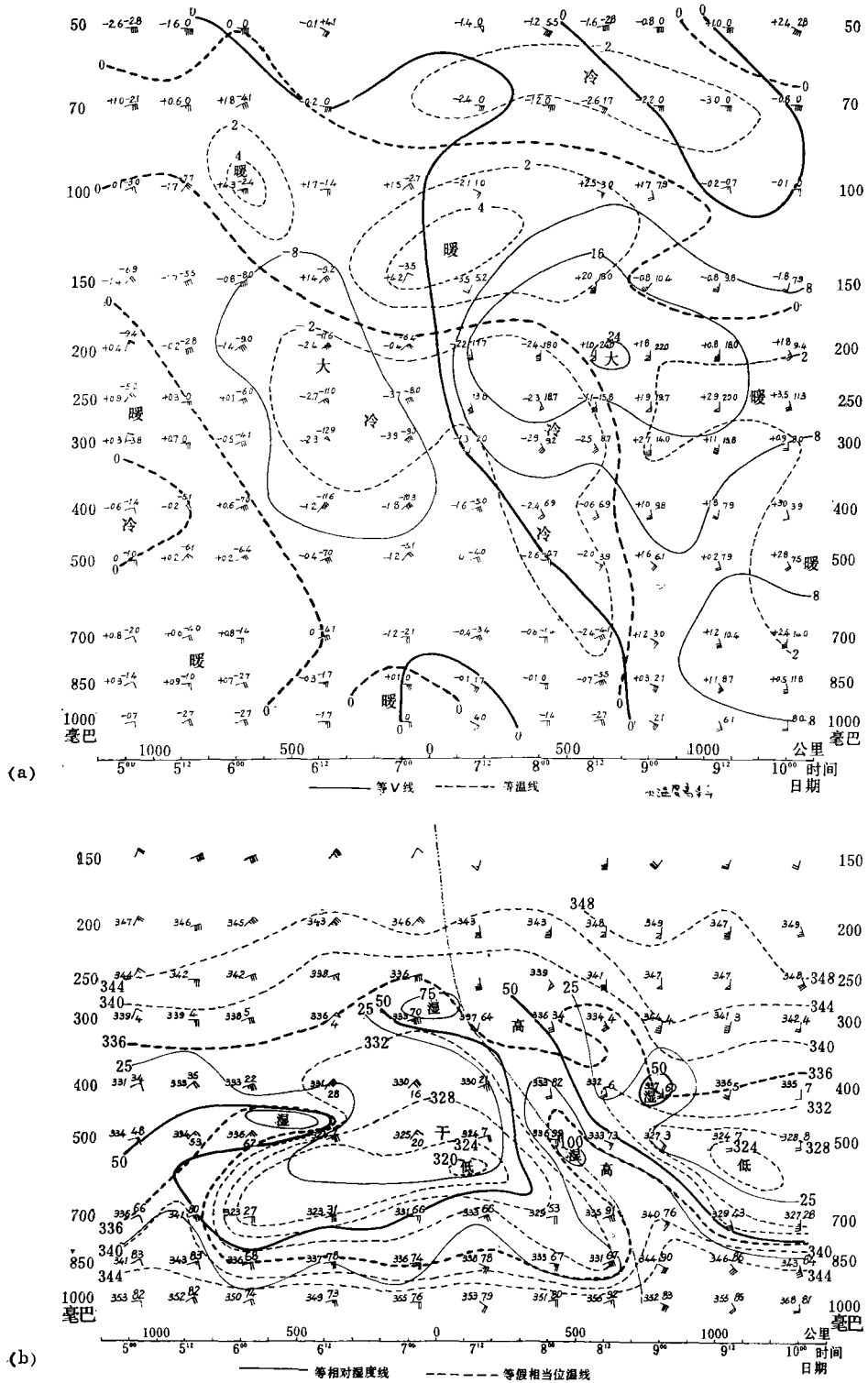


图 5 威克岛(91245)1978年9月5日00Z—10日00Z时间剖面图 (图注见28页)

差出现在对流层上部。300—200 毫巴之间气旋是冷心的，150—100 毫巴之间气旋是暖心的，温度偏差的数值大约为 2—4°C。由冷心转为暖心的层次在 180 毫巴附近，在这个高度上冷涡最强。在对流层中部，主要冷区位于冷涡向下延伸的槽附近，这里温度负偏差约为 2°C。

图 5 b 还给出了冷涡区的相对湿度的分布。在冷涡中心附近及其以西地区，对流层中部非常干燥，如 500 毫巴上的相对湿度最低只有 7%。这个干区就是下沉运动或晴空区。在干区的外围，有一条湿舌从对流层下部向上伸展。在冷涡以东，湿舌向上伸到对流层上部，湿舌内相对湿度一般在 75% 以上，500 毫巴附近甚至可达 100%。这条湿舌就是各相应高度的上升运动和云团的位置。

由图 5 b 可知，冷涡以东的湿舌在对流层中部温度偏低，但相对湿度非常高，所以假相当位温 ( $\theta_{se}$ ) 仍比周围大气高得多 (在 500 毫巴上高 12°K)。  $\theta_{se}$  是大气总位能的一个度量。一般情况下，在热带对流层上部和下部是高位能大气；对流层中部，是低位能大气。所以，冷涡以东的湿舌附近的高  $\theta_{se}$  区，提供了一条连结热带对流层上部和下部的高位能通道 (图 5 b)。Reihl 和 Malkus<sup>[5]</sup> 曾指出：能量的垂直输送，可由高大的积雨云来完成。因为直径大的上升气流，其核心部分可以不受卷入环境空气的影响，而将地面的高能量大气，通过低能量的环境向上输送。Haltiner 的数值试验进一步表明，在存在挟卷的情况下，影响积云强度的最主要的参数，是环境的相对湿度、层结和云底的环境温度<sup>[6]</sup>。换句话说，对流层下部高温高湿，对流层中部低温高湿，特别有利于对流云塔的发展。因此，如图 5 b 所示的冷涡外围的高  $\theta_{se}$  通道，正好符合这些条件。当云块在这条低温高湿的高  $\theta_{se}$  通道里上升时，卷入云块内的是湿度高的环境空气，所以云中的水汽可以不被稀释，而环境温度偏低，又有利于保持云中有较大的位势浮力，从而云块可以一直被抬举到对流层上部。当云块在低  $\theta_{se}$  的环境里上升时，卷入云块的是干燥的环境空气，云中的水汽被稀释了，所以云块不能逾越对流层中部的低能量障碍区，抑止了对流的发展。

#### 四、高空冷涡与台风发生的关系

按照 Sadler 的第一种机制，发展中的扰动位于高空冷涡东南方 200—300 哩 (3—4 纬距)<sup>[1]</sup>。但是在 1976—1978 年三个夏季中，我们从实际工作中发现：很少有台风在 5 个纬距以内的冷涡周围生成，而在多数情况下，台风发生于冷涡外围 10 个纬距附近。以上节所分析的冷涡为例，这个冷涡东南方的云团后来发展成 7816 号台风。从冷涡与台风的路径图 (图 6) 上，我们看到扰动一直保持在冷涡外围，并与冷涡相距 5—10 个纬距。在 1978 年 6 月 21 日—9 月 10 日期间，西北太平洋 (包括南海) 一共出现了 14 个后来发展成台风的扰动，其中的 12 个是从季风槽内发展起来的，2 个是从东风信风区内发展

图 5 注：a. 南北风分量 (米/秒) 和温度离多年 9 月平均值的偏差 (°C) (实线为等 V 线，虚线为等温线)

注：穿过冷涡中心附近的南北风分量零值线在 150—300 毫巴之间是冷涡中心位置 随高度的轴线，在 400 毫巴以下则是东风气流中的槽线。

b. 相对湿度 (百分比) 和假相当位温 (°K)。(实线为等相对湿度线，虚线为等假相当位温线，点虚线为南北风分量零值线)

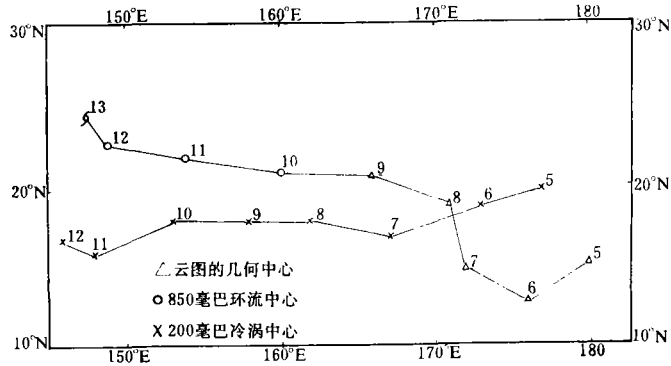


图 6a 1978 年 9 月 5 日 00 Z—13 日 00 Z 高空冷涡与对流层下部扰动的路径图

起来的。这些扰动形成的触发因素是很多的，不能把它们都归因于对流层上部条件的作用。但是，在这 14 个发展扰动中，有 13 个（其中包括 2 个在信风区里发展成台风的扰动）

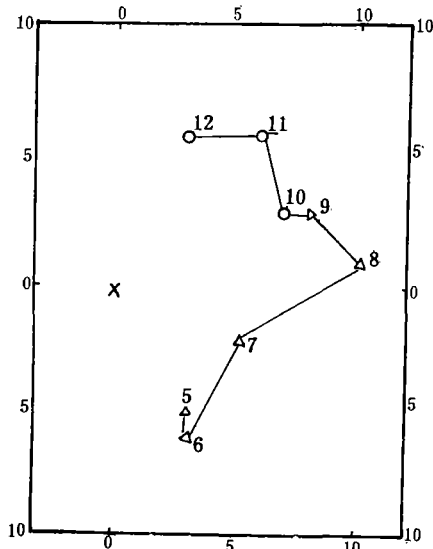


图 6b 1978 年 9 月 5 日 00 Z—13 日 00 Z 的 200 毫巴高空冷涡与对流层下部扰动的相对位置

是从冷涡的外部云带里发展起来的。如果把它们按其对于 200 毫巴冷涡逐日的相对位置点在一张图上（图 7），可以看出，发展中扰动的位置分布点构成了一张第二类高空冷涡云型的轮廓图（图中的虚线）。这张图说明：在西北太平洋盛夏季节，发展中的扰动，不论它们位于信风区里还是季风槽内，大部分与冷涡的外部云带有关系。这表明，冷涡的特定结构，为台风的初期发生发展，提供了一种可能的有利背景条件。在高空冷涡的外部云带里，它提供了有利于扰动存在的天气尺度的上升运动和穿过对流层中部的高  $\theta_{se}$  通道。而在冷涡中心附近的少云区里，它提供了这些扰动能够存在所必需的补偿下沉运动。显然，只有当系统性的上升运动和下沉运动区同时并存时，它们的相互补偿才能使扰动得以维持和发展。台风一旦形成，可以预计，冷涡结构和台风将会相互作用或影响，从而使这两支垂直运动都得到加强。

1978 年 9 月 11 日 00 Z（7816 号台风形成前 48 小时），在对流层上部（150 毫巴），发展扰动上空的辐散 ( $>1 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$ ) 和高空冷涡上空的辐合 ( $>2 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$ )（图略），都比 9 月 7 日 00 Z 时大大加强了，这是这两条垂直运动都得到加强的证据。

因为冷涡的外部云带在对流层上部对应着高压脊，并且是多方向的外流区，所以高空冷涡与台风初始发展的关系实际上与 Sadler 的第二种机制相当。

最后我们给出了热带地区的高空冷涡结构示意图（图 8）作为本文的总结。它表



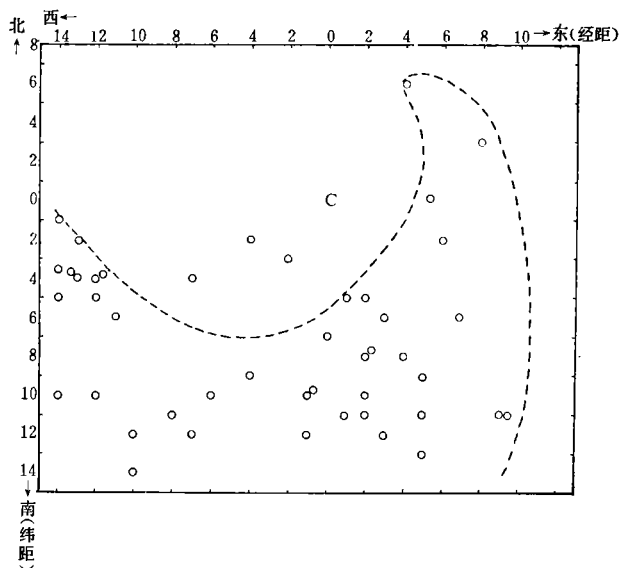


图 7 1978 年 6 月 21 日—9 月 10 日高空冷涡 C 与地面扰动 (0) 的相对位置

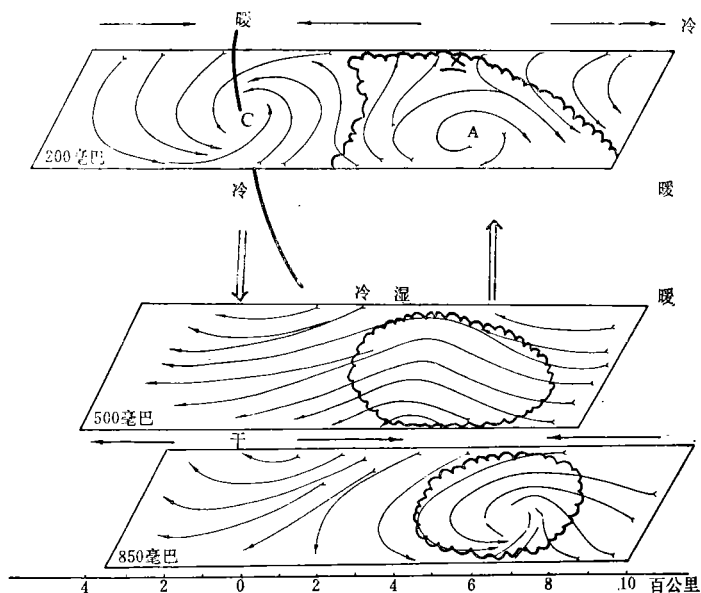


图 8 高空冷涡结构示意图

明：高空冷涡在 200 毫巴上环流最清楚，200 毫巴以上是暖心的，200 毫巴以下是冷心的；冷涡中心附近，在云图上是少云区，这里对流层上部有辐合，下部有辐散；对流层里盛行下沉运动，对流层中部为干燥的低位能大气；冷涡外围是多云带，这里对流层上部有辐散，下部有辐合；对流层里盛行上升运动，对流层中部是一条潮湿的高位能通道。冷涡的这种特定结构，为其外部云带下面扰动的发展提供了一种可能的有利背景条件。

致谢：本文是在陶诗言同志指导下完成的，特此致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 阿特金森, 热带天气预告手册(中译本), 133—135.
- [2] Sadler, A role of the tropical upper tropospheric trough in early season Typhoon development. *M. W. R.* 104 № 10.
- [3] Frank, On the energetics of cold lows, *Proceedings of the Symposium on Tropical Meteorology* June 2—11 1970 University of Hawaii.  
(Sadler 在讨论 Frank 文章时的发言)
- [4] 丁一汇、范惠君, 夏季影响我国低纬度地区几类天气系统的卫星云图分析, 夏季西太平洋热带天气系统的研究.
- [5] Reihl & Malkus, On the heat balance in the equatorial trough zone. *Geophysica* 6 № 4.
- [6] 巢纪平、周晓平、积云动力学, 科学出版社, 1964, 82—86.

## SOME SYNOPTIC ASPECTS OF COLD VORTEXES OF TROPICAL UPPER TROPOSPHERE OVER NORTHWEST PACIFIC IN SUMMER

Xu Jianmin Wang Youheng

(*National Weather Center*)

### Abstract

The frequencies and cloud patterns of cold vortexes of tropical upper troposphere are studied. Near the center of typical cold vortex, there is a cloud less area with a surrounding cloud band

The inner cloud less area is dry and cool with subsiding motion in troposphere and the outer cloud band is wet with ascending motion extending from lower troposphere to 300-400 mb. The cold vortex may provide a favourable environment for initial development of typhoon. The outer cloud band provides a high- $\theta_{se}$  air path through middle troposphere, while the inner cloud-free area has compensative subsiding motion.