

# 青藏高原高空流型对西太平洋台风路径影响的诊断分析\*

徐 晶

(国家气象中心, 北京 100081)

陈联寿 徐祥德

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

## 提 要

利用观测研究, 动力诊断分析等手段, 从上下游效应、中低纬相互作用的角度来探讨青藏高原高空天气系统的变化与西太平洋台风运动两者之间的关系。1970~1995年25年间的统计结果表明, 青藏高原高空流型与台风路径有如下关系: 高原高空500 hPa为低值系统控制时, 有利于台风西行; 反之, 高原高空500 hPa为高压时, 近海台风往往转向。动力诊断分析的结果揭示了高原上空系统影响下游系统的物理机制, 即高原上游扰动动能的传递使得下游的槽发展, 并进一步影响台风的引导气流。高原脊的存在, 使得涡动动能的输送通道偏北; 高原上为槽时, 涡动动能的输送通道偏南。高原槽前的南风 and 台风东侧南风将低纬度的低位涡输入副热带高压, 有利于副热带高压的发展, 影响台风运动, 体现了中低纬相互作用对天气系统的影响。

关键词: 青藏高原 高空流型 台风路径 等熵位涡 涡动动能

## 引 言

青藏高原东西长约3000km, 接近大气长波的半波长尺度, 南北宽1000多公里, 相当于大气长波的振幅尺度, 平均海拔在4000m以上, 约达对流层高度的三分之一, 且在此高度上高原夏季为一强大的热源, 因此对东亚以至全球的大气环流都有着很大的影响。50年代以来, 我国的气象学家多从气候的角度考察, 总结了高原的动力作用和热力作用对大气环流的影响, 从气候平均状态来看, 盛夏高原高空的反气旋环流对应着低层强的正涡度热低压环流区。但从天气角度来看, 500 hPa高原夏季天气形势多表现为槽脊交替的形式。朱抱真, 宋正山(1984)<sup>[1]</sup>利用第一次高原考察的资料分析了100 hPa青藏高原与500 hPa环流关系, 发现在夏季为西型的青藏高原(100 hPa上高原高压中心位于90°E以西)时500 hPa高原上多表现为高压环流, 只有很少对应低值系统; 相反, 东型高压时500 hPa

\* 国家自然科学基金项目 49775264 资助。  
1997-12-24 收到, 1999-01-04 收到修改稿。

低值系统占多数, 而且 100 hPa 青藏高压强时, 500 hPa 环流也多为反气旋流型, 低值系统少. 而高层青藏高压较弱时低层低值流型增多.

高原高空环流对下游环流有明显影响, 如西南低涡是高原特殊地形和有利环流共同作用的结果. 青藏高原反气旋的建立与印度季风的暴发有明显的关联, 进而还影响到 ITCZ 的雨带以及印度和华南的降水. Chen & Luo(1995)<sup>[2]</sup>和 Orlanski & Sheldon (1995)<sup>[3]</sup>等都用量分析的方法, 说明上游能量的频散是下游气旋发展的主要原因. 青藏高原通过对其下游的槽脊及副热带高压的影响, 可进一步影响台风的运动, 造成台风路径的差异, 这是中纬度天气系统对低纬环流强迫的一个表现<sup>[4]</sup>. 本文通过分析高原环流变化对其下游环流的影响, 来研究西北太平洋地区热带气旋的运动. 在观测事实的基础上, 用诊断分析的方法, 研究高原高空环流对其下游西太平洋副热带环流改变, 以及相应西北太平洋西部热带气旋运动的影响, 提出了这种影响的机制, 并给出了青藏高原高空流型与台风路径的统计与分析结果, 从位涡和能量的角度对模拟结果进行了动力诊断分析.

## 1 高原高空流型与西太平洋台风路径的统计关系

利用 1970~1995 年 7、8、9 月的实况天气图, 对有台风时的 500 hPa 上青藏高原为槽或脊时的台风路径进行了统计. 转向北上台风定义为 125°E 以西、20°N 以北近海转向和登陆转向北上的台风, 西行台风包括 125°E 以西、20°N 以北近海西行和登陆后西行的台风. 统计结果表明: 当高原低层 500 hPa 为高值系统时, 有利于西太平洋台风的转向; 高原低层 500 hPa 为低值系统时, 有利于西太平洋台风的西行; 青藏高原高空流型对西太平洋台风路径的影响是间接地通过影响西太平洋副热带高压及高原下游槽的引导气流而作用于台风的. 统计结果如表 1.

表 1 高原高空流型与西太平洋台风路径统计结果

台风路径特征	高原高压		高原低压	
	转向北上	西行	转向北上	西行
个数	37	9	6	29
频率	81%	19%	17%	83%

当高原上 500 hPa 是槽时, 槽体一般位于 80°~105°E, 此时副热带高压西伸, 脊点偏西, 呈纬向型. 在这样的引导气流下台风西行, 而且一般在这种情况下, ITCZ 通常也呈纬向带状, 很少断裂. 这种天气型占统计结果的 83%, 较典型的如 8510 台风, 从 8 月 22 日起高原上的槽建立并加强, 同时副热带高压也西伸增强, 8510 台风位于副热带高压南侧东风引导中西行. 8610 台风也是这样的典型个例. 但也有少数台风不是这样, 当高原上为弱槽控制, 副热带高压西脊点偏西, 强度较弱时, 如果台风自身强度较强或太平洋副热带高压南落, 其共同影响会使台风冲破副热带高压北上, 这种形势占统计结果的 17%.

当伊朗、阿富汗 500 hPa 的高压向东伸展并移至高原, 原高原 500 hPa 上的槽移出高原, 槽体一般位于 100°~120°E, 高原上为脊区控制, 此时长江中游至沿海一带为槽区, 副

热带高压的西脊点偏东,呈经向型.这时台风往往在沿海深槽前的环境引导气流作用下转向或北行.8211台风活动时,高原处于经向度较大的高压脊内,高原上有闭合的高压中心,台风位于西风槽前副热带高压西侧转向北行.其他如8704,8209等台风都属于这种形势,在统计结果中频数占81%.

另有较小概率(频数为19%)的台风是高原上出现高压脊时西移,这时往往副热带高压(含青藏高原和东太平洋高压)很强,而两个高压连接成带状,其间的长波槽向北收缩,台风位于“高压坝”的南侧,ITCZ连续,台风西行.

## 2 诊断分析

### 2.1 等熵位涡的诊断

(1)Ertel 位涡定义为在等熵面上:

$$PV = \rho^{-1} \bar{\zeta}_g \cdot \nabla_s \theta - g \left| \frac{\partial p}{\partial \theta} \right|^{-1} (f + \zeta_g) \quad (1)$$

其中 $\bar{\zeta}_g$ 为旋转流体绝对涡度矢量, $\rho$ 为气体密度, $\theta$ 为位温, $\zeta_g$ 为等熵面上的相对涡度的垂直分量.

(2)8510西行台风的等熵位涡分析 图1是高原低压(8510台风)355K等温层(相当于200hPa)位涡的时间演变图,在初始时刻8月22日12:00(UTC,下同),高原北部位于较平直的高位涡区内,110°~115°E为高纬垂下的较强的高位涡槽,随着台风的临近,到了23日12:00,台风东侧南风对低纬低位涡的输送使得此高位涡区减弱北缩.同时由于上游位涡的输送,高原上高位涡区加深,槽开始加深.24日12:00,115°E的高位涡已完全减弱,随着位涡的向下游输送,130°E以东的高位涡槽发展,台风位于高位涡区后的北风气流里,不利于其转向.8月22~24日PV分布的变化清晰地反映了中纬度大气上层Rossby波传播的位相变化过程,其结果伴随着槽脊的发展与消亡,这种变化对低纬地区热带气旋的运动产生直接的影响,是中纬度系统影响低纬大气的一个表现.从高低空对比中可以看到(图略),从高空到低空PV是个深厚的系统,高层PV向下穿透,有利于高原下层低压的形成与发展.随着涡度通量从上游将PV向下游的输送,高原上空经历了从一个较平直的风系统到深厚的槽建立起来的过程.随着高原上槽的建立,槽前的南风气流在高原东部将低纬的低位涡向北输送,这样有利于副热带高压的西伸发展,同时,台风东侧的南风也输送低纬的低位涡,加强副热带高压.到了24日,强大的副热带高压已建立起来,台风位于从低层到高层深厚的东风引导气流中.在这个个例中,副热带高压的发展是中纬度槽对低纬强迫,造成低纬低位涡向北输送,反过来影响副热带地区的一个表现,这个个例充分体现了中低纬相互作用对天气系统变化的影响.

(3)8211转向北上台风的等熵位涡分析 8211台风期间,高原上的高压已维持了相当长的时间,从8月6日~11日345K层(相当于300hPa)上的位涡演变图上(图略),可以看到6日12:00位涡通量不断地将上游30°E左右的高位涡向高原下游槽内输送,此高位涡的输送有利于高原下层低压的形成与发展.同时,高原低位涡的存在使得高位涡输送的通道偏北.9日12:00,上游30°E的高位涡中心已消失,到了11日高原上空低位涡

区范围增大, 一直扩展到较高纬度. 高原高压的发展进一步加强了北风气流, 高原高压脊前北风气流对高纬高位涡的输送, 亦加强了其下游槽的发展. 从 8 日 12: 00 和 11 日

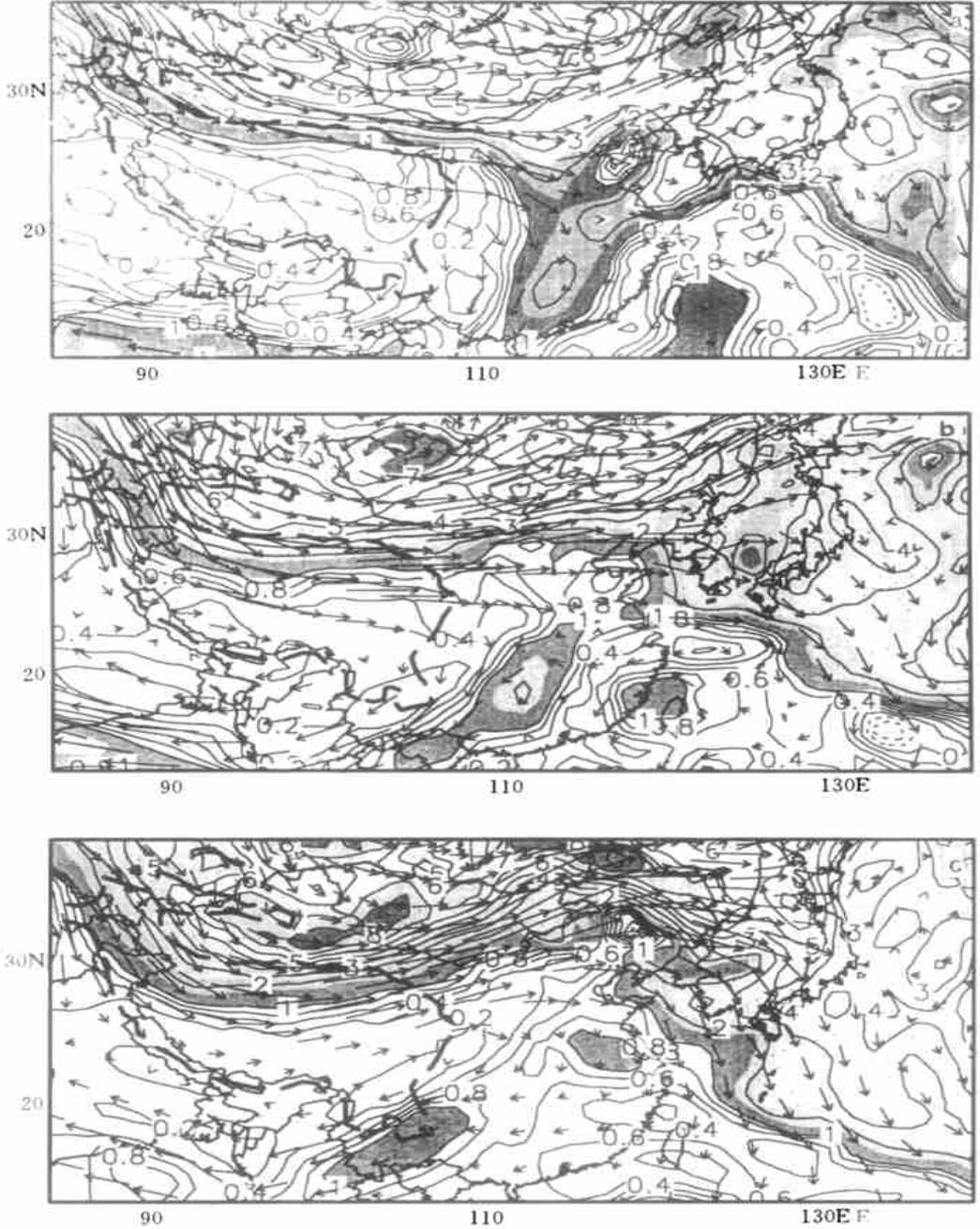


图 1 8510 台风期间 355K 层上等熵位涡及等熵面上的风矢量演变

(a)8 月 22 日 12: 00 (b)8 月 23 日 12: 00 (c)8 月 24 日 12: 00

(单位: PVU( $10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), 阴影区  $\geq 0.8$  位涡单位)

12:00位涡对比中可以看到,在初始时刻高原下游从高层到低层位涡场较平直,11日12:00高原下游深厚的高位涡区建立,从高层到低层台风都位于槽前的南风气流里,台风只有北行.

## 2.2 涡动能诊断

从位涡分析可以看出,高原下游槽脊或副热带高压的变化与其上游系统的发展有密切的关系,即存在着明显的上下游效应.在一定的波长范围内,两个尺度相近的波不易同时发展,这与Rossby波能的输送及波谱变换有关.因此,上游系统的扰能制造及其对下游的输送,对下游系统的发展维持有着重要作用.本节将用局地涡动能收支的诊断来考察影响台风运动的槽脊系统的能量源和输送过程以及高原天气系统对此能量源和输送通道有何影响.

(1) 涡动能定义 据Orlanski & Sheldon (1993)<sup>[5]</sup>采用的涡旋动能倾向方程:

$$\frac{\partial ke}{\partial t} = -(\bar{u} \cdot \nabla \phi) - [\nabla \cdot (\bar{V}ke)] - \frac{\partial(\omega ke)}{\partial p} + Residue \quad (2)$$

其中  $ke = (1/2)|\bar{V}|^2$ , 涡旋动能的收支被分为纬向平均部分和扰动部分:

$$\begin{aligned} \bar{V} &= \bar{V}_m + \bar{u} \\ \bar{Q} &= \bar{Q}_m + \bar{q} \end{aligned} \quad (3)$$

式(2)左端表示涡动动能的倾向,右端第一项为:

$$-\bar{u} \cdot \nabla \phi = -\nabla \cdot (\bar{u}_{ao} \phi) - \omega \alpha - \frac{\partial(\omega \phi)}{\partial p} \quad (4)$$

$$\bar{u}_{ao} \phi = \bar{u} \phi - \frac{\bar{k}}{f_0} \times \frac{\nabla \phi}{2} \quad (5)$$

其中  $-\bar{u} \cdot \nabla \phi$  具有强烈的非对称性,表现为涡动动能的局地生成项,代表由非地转运动引起的绝热动能制造,这种动能来自于有效位能的储藏和转化,  $-\bar{u} \cdot \nabla \phi < 0$  表示涡动动能转化为有效位能,反之涡旋有效位能将转化为涡旋动能.  $-\nabla \cdot (\bar{V}ke)$  为涡动动能的水平通量散度项,表现为上游涡动动能的辐散和下游的涡动动能辐合,当  $-\nabla \cdot (\bar{V}ke) > 0$  为涡动动能聚积辐合,反之为涡动动能辐散(丁一汇,1989)<sup>[6]</sup>.

Orlanski(1993)<sup>[5]</sup>定义  $\bar{u}_a \cdot \nabla \phi + \bar{V}ke$  为能量流,反映了系统之间涡动动能输送的过程. Residue 项包括了几部分作用,其中有大气内部和地表的摩擦消耗和通过非线性相互作用,网格尺度(大尺度)与次网格尺度之间的动能交换.在本研究中,由于分析尺度较大,该项量级较小,作用不大.一般来讲,槽区经向度较大,为扰动动能大值区.上下游效应就是上游槽区高扰能向下游槽的输送过程,这种输送的位相差别与能量通道的位置有关.

(2) 8211北行台风能量诊断 8211台风北行期间,高原上一直维持着一个脊,为了详细考察这个脊及高原下游槽维持的原因,绘制了显示8211台风北行期间涡动动能演变图(图2).从8日12:00的图上可以清楚地看到(图2a),中高纬涡动动能呈带状分布,高原上游有一强的涡动动能中心,能量流将高涡动动能向高原下游槽输送,高原为脊区控制,表现为低涡动动能区,高原下游有涡动动能辐合(图2b),高涡动动能区开始加强,即高原下游槽加深,10日12:00(图2c)高原西北部涡动动能达到最大值,其涡动动能一面向高

纬输送, 一面向高原下游传输, 高原下游高涡动动能中心建立, 并开始向下游输送涡动动能, 高原下游槽发展到最强, 相应地其下游副热带高压东退, 到了 11 日 12: 00(图 2d), 高原高压增强, 高压脊强大, 切断了涡动动能向下游传输的通道, 使得  $35^{\circ}\text{N}$  左右的能量流将涡动动能向更高纬度输送. 高原下游的槽开始向下游频散涡动动能, 涡动动能中心开始

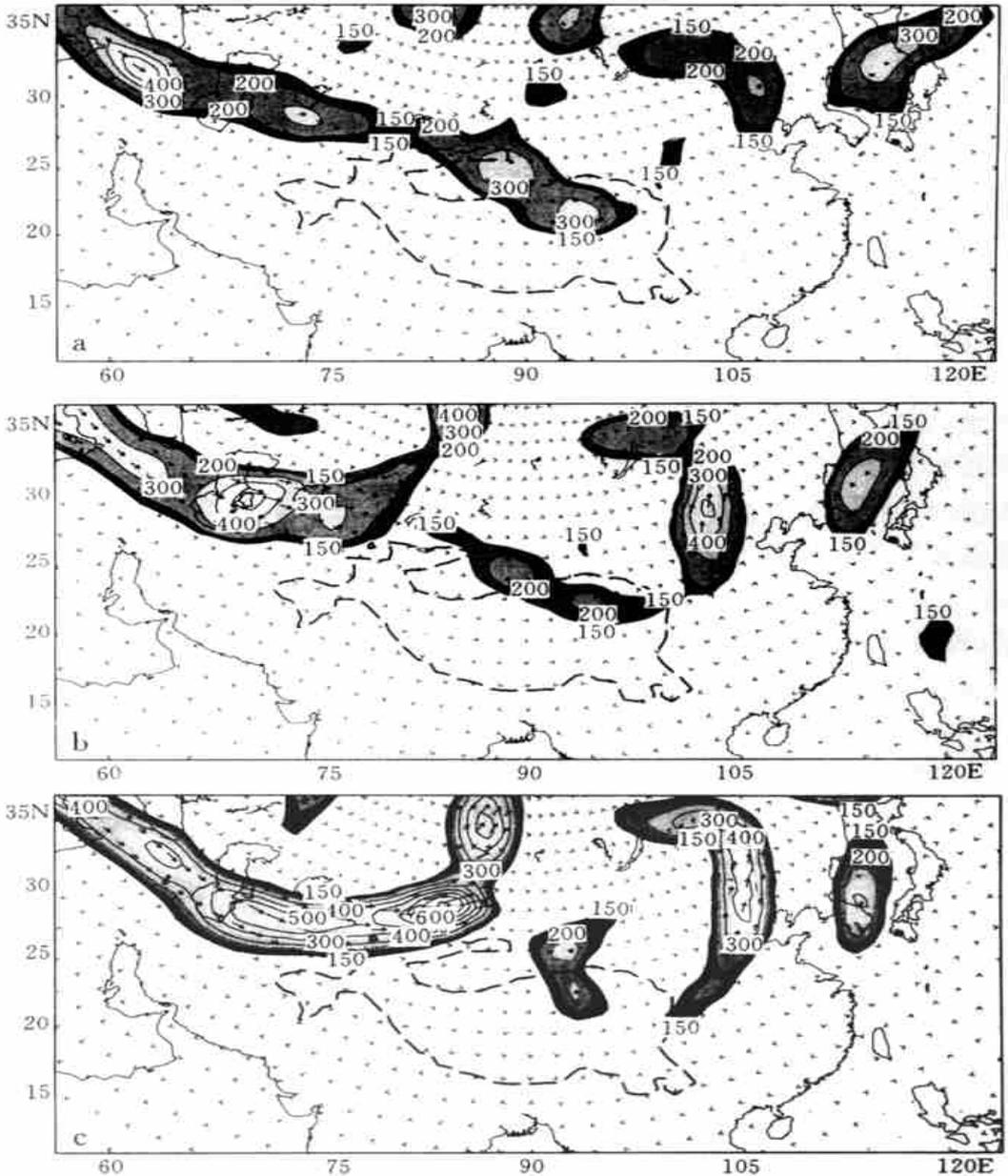
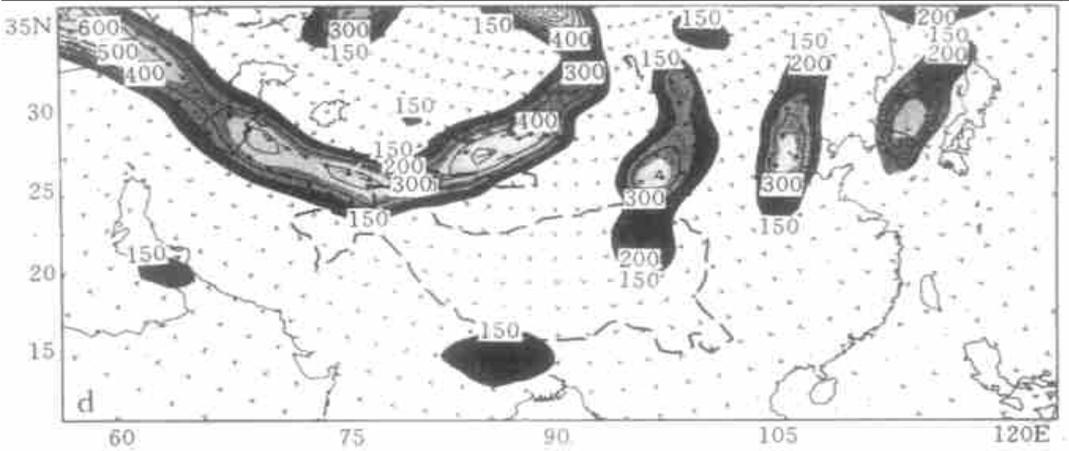


图 2 8211 台风期间涡动动能及动能通量演变

(a) 8 月 8 日 12: 00 (b) 8 月 9 日 12: 00 (c) 8 月 10 日 12: 00 (d) 8 月 11 日 12: 00

(阴影区  $\geq 150\text{m}^2\text{s}^{-2}$ , 单位:  $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ )



(续图 2)

减弱. 从分析中可以看出, 高压脊的存在使得涡动动能传输通道偏北, 随着高压脊的发展成熟, 切断了高原上游涡动动能向下游传输的通道, 从而使得高原下游槽趋于减弱. 为了进一步考察涡动动能中心加强的源和汇, 以下将详细考察式(2)中几项的作用, 感兴趣的区域定在高原下游高能量区. 图 3a 为 8 月 9 日 12:00 涡动动能变化倾向, 高原下游槽前为明显正倾向, 图 3b 为平流通量散度  $-\nabla \cdot (\bar{V}ke)$ , 高原上基本为能量通量辐合区, 能量通量的传递表现了上游涡动动能的损耗在下游的积累, 高原下游西风槽前  $110^\circ\text{E}$  为涡动动能辐散区, 其下游为涡动动能辐合区, 矢量场  $ke\bar{V}$  表示了涡动动能的传播方向, 可见在高能量区(长黑虚线区内)的上游为涡动动能辐散下游为辐合, 能量通量将辐散的涡动动能向能量辐合区内输送,  $-\nabla \cdot (\bar{V}ke)$  体现了对能量的重新分配. 而动能制造项  $-\bar{u} \cdot \nabla \phi$  (图 3c),  $110^\circ\text{E}$  高原下游槽前的正值区表示为有效位能向涡动动能的转化, 一方面, 这项使局地扰动增加; 另一方面也补偿了局地涡动动能的辐散, 矢量场  $u_0\phi$  为非地转通量, 其将感兴趣的高能量区下游的涡动动能也向高能量区内输送, 去掉地转成分是为了单纯考虑非地转的作用, 真正体现通量对能量的输送. 可见, 在局地涡动动能收支中, 通量散度项主要起着波能传递的作用, 在波通量的作用下, 将辐散的涡动动能向下游传递, 使下游涡动动能增加. 而动能转化项主要起着“源”的作用, 以补充局地涡动动能的耗散, 并使扰动增强, 上游的输送和局地涡动动能的制造共同作用使得高原下游槽发展, 振幅增大, 副热带高压东退, 有利于经向型副热带高压的形成, 台风介于副热带高压与西风槽之间北行.

(3) 8510 西行台风能量诊断分析 对 8510 台风 8 月 23 日 00:00 和 24 日 00:00 的涡动动能和能量流的考察(图略)可见, 高原上的槽在 24 h 内是发展的, 涡动动能增大, 高原上游不断将高涡动动能向高原上传递, 在能量的收支中, 发现在涡动动能倾向上, 23 日 00:00, 高原和下游涡动动能都是增加的, 高原及涡动动能高值区内都为能量正制造. 这说明整个高原上都是扰动动能制造区, 在槽发展过程中, 上下游效应和有效位能的转化都起着非常重要的作用, 到了 24 日 00:00, 高原上的槽已发展成熟, 能量场表现为高涡动动能中心, 涡动动能倾向为正值, 高原上倾向较小, 在涡动动能散度场上, 高原北部表现

为强大的涡动动能辐散, 并在其下游辐合, 而涡动动能制造形势显示为强的正制造, 并且在高纬有涡动动能向下游汇集, 两者的共同作用使局地涡动动能增加至最大.

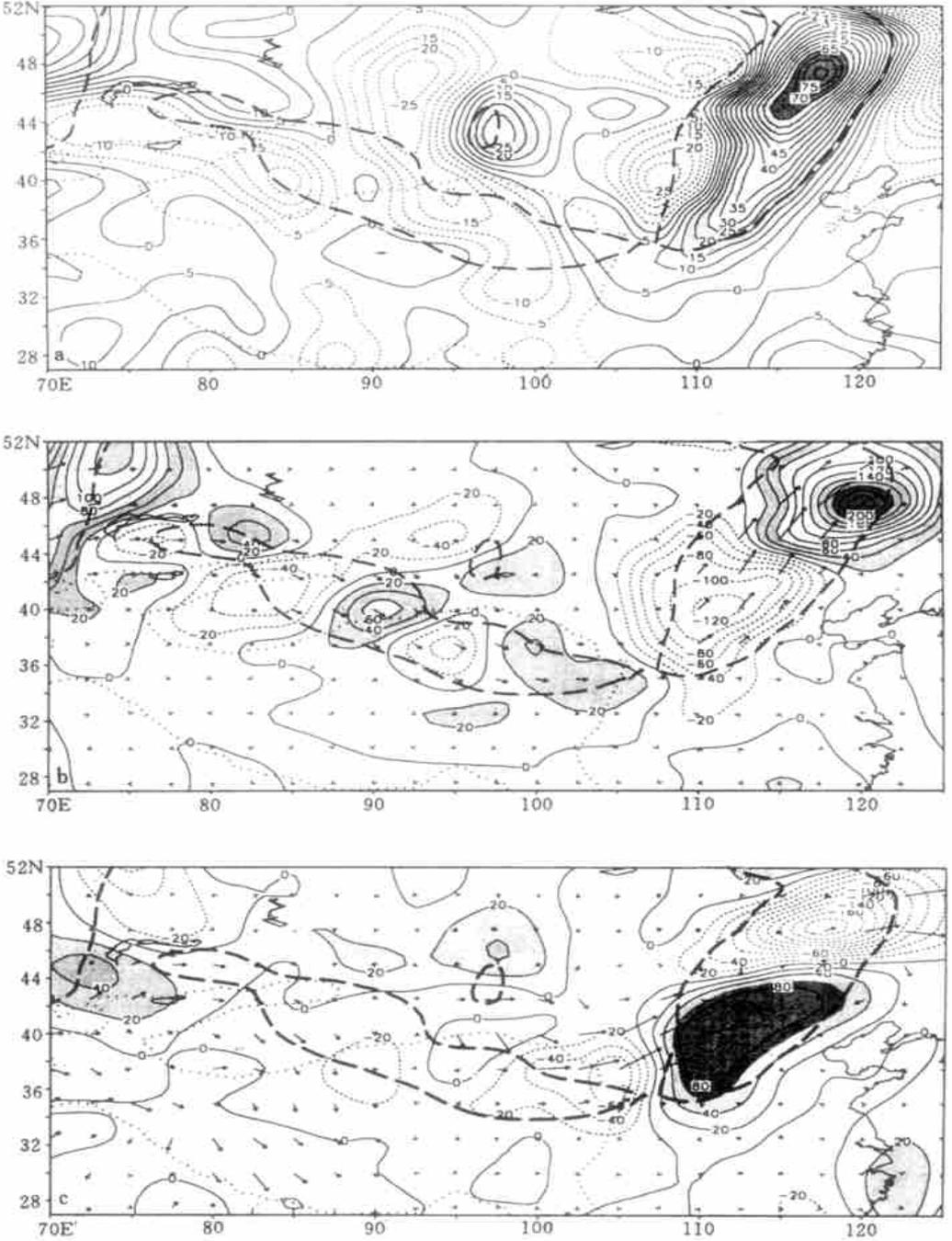


图3 8月9日12:00(a)涡动动能倾向项  $\partial ke/\partial t$  (b)平流通量散度  $-\nabla \cdot (\bar{V}ke)$  (c)动能制造项  $-\bar{v} \cdot \nabla \Phi$  点线区为青藏高原轮廓, 长黑虚线区为高涡动动能区, 单位:  $m^2 \cdot s^{-3}$

从以上两个试验的分析看出,在高原槽的情况下,高原上表现为涡动动能的制造区,涡动动能散度起着对能量重新分配的作用,将局地生成的涡动动能向下游输送.因此,可以得出结论,上游效应和有效位能向动能的转化共同作用使得槽稳定发展,从而也使其下游副热带高压较好地西伸维持,台风在副热带高压的南侧西行.

当高原上为脊时,促使涡动动能通道偏北,上游涡动动能的输送和高原下游局地涡动动能的制造共同作用,使高原下游槽稳定发展,与高原槽的个例相比,副热带高压的西脊点偏东,近海台风介于副热带高压和西风槽之间北行.当高原脊发展到一定程度,就切断了上游涡动动能对下游槽发展的支持,其下游的槽到达成熟阶段,同时槽前涡动动能向其下游的频散,也使槽趋于减弱.这与观测和模拟的结果是一致的.

### 3 结 论

(1) 观测事实和统计结果表明,当高原 500 hPa 上为高压时,位于东亚上空,介于高原高压和副热带高压之间的西风槽的加深,往往使西太平洋副热带高压减弱东退,有利于副热带高压西南侧台风转向或北上.当高原上为槽时,原高原高压移出高原与副热带高压合并,使副热带高压增强西伸,台风将在副热带高压南侧的东风引导下西行.高原系统对台风路径的影响是通过影响副热带高压来间接实现的.

(2) 对青藏高原高空低压或槽的诊断表明,涡动动能收支的诊断发现,上游涡动动能的传播和局地涡动动能的制造使高原上的槽稳定发展.等熵位涡的诊断也证明,高原上游高位涡的输送是高原槽得以维持的主要原因,另外高原槽前南风对低纬低位涡的输送和台风东侧南风对低位涡的输送都有利于副热带高压稳定和加强,台风在副热带高压南侧东风引导气流中西行.

(3) 对高原高空高压或高压脊的动力诊断表明,上游效应和有效位能向涡动动能的转换是高原下游槽维持的主要能量来源,高原下游槽的存在使得西太平洋副热带高压维持在近海,同时高原 500 hPa 高压的存在使得涡动动能通道偏北,当高原高压脊发展成成熟时,强大的脊切断了上游涡动动能向下游输送的通道,下游深厚的槽将趋于减弱.

(4) 高原天气系统变化对台风运动的影响是中低纬相互作用的一个表现.等熵位涡的分析表明,中纬度大气中 Rossby 波传播的位相变化伴随着槽脊的发展与消亡,这种变化对低纬地区热带气旋的运动产生了直接影响,而且,高压槽前的南风和台风东侧南风也将低纬度低位涡输入副热带高压,有利于副热带高压的维持和发展,这些充分体现了中低纬度相互作用对天气系统的影响.

### 参 考 文 献

- 1 朱抱真,宋正山.青藏高原的形成过程和准周期振荡——观测事实的分析.见:青藏高原气象科学实验文集编辑组编.青藏高原气象科学实验文集(一),北京:科学出版社,1984.303~313.

- 2 Chen Lianshou, Luo Zhexian. A study on the energy dispersion of large scale vortices in the Tibetan Plateau region. The first session of international workshop on TIPEX ( IWTE-I ). China Meteorological Administration, 1995. 1~ 3.
- 3 Isodoro Orlanski and Sheldon J. Stages in the energetics of baroclinic systems. *Tellus*, 1995, **47A**: 603~ 628.
- 4 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论. 北京: 科学出版社, 1979. 245~ 247.
- 5 Isodoro Orlanski and Sheldon J. A case of downstream baroclinic development over western North America. *Mon. Wea. Rev.*, 1993, **121**: 2929~ 2950.
- 6 丁一汇. 天气动力学中的诊断分析方法. 北京: 科学出版社, 1989. 180~ 186.

## DIAGNOSIS ON THE IMPACT OF MIDDLE TROPOSPHERE CIRCULATION PATTERN OVER THE QINGHAI-XIZANG PLATEAU ON THE TRACK OF TYPHOON OVER WEST PACIFIC

Xu Jing

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Chen Lianshou      Xu Xiangde

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

### Abstract

There is a close relation between the variation of middle troposphere synoptic system over the Qinghai-Xizang Plateau and movement of typhoon over West Pacific, and the relation is studied with the observation study and dynamical diagnosis from the point of view of downstream development and interaction between mid-latitude and low latitude. 25-year statistics results from 1970 to 1995 indicate that the relations between middle troposphere circulation pattern over the Plateau and the track of typhoon over West Pacific are as follows: When low-pressure system on 500 hPa isobaric surface occupies middle troposphere over the Plateau, it is beneficial to typhoon's westward movement; on the contrary, high-pressure system on 500 hPa isobaric surface is always beneficial to typhoon recurvature. The results of dynamical diagnosis show the physical mechanism of impact of synoptic system over the Plateau on downstream synoptic system, that is, the transport of disturbance kinetic energy over the upstream Plateau makes the downstream trough developed. And then it affects the steering flow of typhoon. Because of existence of the ridge over the Plateau, the eddy kinetic energy transport channel moves to the north. On the contrary, the trough exists over the Plateau, so the eddy kinetic energy transport channel moves to the south. The southerly wind in front of the trough over the Plateau together with the southerly wind at the east part of

typhoon transports low potential vorticity of low latitude into subtropical high. That is beneficial to development of subtropical high, and then subtropical high affects typhoon's movement. These results fully reflect the impact of interaction between mid-latitude and low latitude on synoptic system.

**Key words:** The Qinghai-Xizang Plateau Middle troposphere circulation pattern  
Track of typhoon Isentropic eddy Eddy kinetic energy