

9012 号台风暴雨过程的位涡分析

侯定臣 庄小兰 黄燕波

(南京气象学院气象学系, 南京 210044)

摘要 通过 9012 号台风登陆前后等熵面位涡图和位涡剖面图的分析, 研究了台风的位涡场结构以及它在登陆后与中纬度天气系统相互作用过程中的演变特征。结果表明: 台风的位涡结构为一深厚的高位涡“柱”, 对流层的高低层各有一个高位涡中心; 中层高位涡平流或正位涡平流随高度增加以及等熵面上的切变线可作为定性判断台风和外围暴雨落区的一个指标; 中纬度系统对 9012 号台风的作用, 主要在于冷空气进入台风环流导致台风迅速减弱消亡; 等熵面分析, 尤其是等熵位涡图的分析是诊断预报台风活动及暴雨落区的一个重要手段。

关键词 台风, 等熵位涡图, 高位涡柱, 位涡平流

分类号 P458.124

我国是受台风影响最严重的国家之一。由于台风暴雨对人民生命财产危害极大, 因而台风暴雨的研究是一个重要的课题。台风登陆后出现的大范围暴雨往往是台风与其他天气系统相互作用的结果, 实践证明: 当有冷空气侵入台风环流时, 可引起暴雨加强。台风暴雨的危害主要发生在大陆地区, 由于台风登陆我国大陆时一般纬度较高, 所以用位涡分析的方法研究台风与中纬度环流的相互作用是可行的。本文试图通过等熵面位涡图和位涡剖面图的分析, 研究台风的位涡场结构以及它在登陆后与中纬度天气系统相互作用过程中的演变特征, 为台风暴雨的预报提供一些有益的思路。

1 9012 号台风概况

9012 号热带风暴于 1990 年 8 月 13 日晚在关岛以北的太平洋上生成后向偏北方向移动, 15 日加强为强热带风暴, 17 日发展成台风并向西北方向移动, 19 日上午台风中心突然折向西行, 在台湾基隆登陆, 随后进入台湾海峡, 速度减慢强度减弱, 20 日上午减弱为热带风暴并在福建省福清沿海第一次登陆之后旋转入海, 21 日在莆田沿海第二次登陆, 22 日中午在晋江沿海第三次登陆后消亡。

9012 号台风在福建沿海回旋打转期间, 暴雨区主要出现在福建、浙江两省。从 20 日 08 ~ 20 时和 20 日 20 时 ~ 21 日 08 时两个时段的雨量分布图(图 1a, b) 可以看出, 前一时段有两个 120mm 的暴雨中心分别出现在台风北侧的闽浙交界地区和台风中心附近的福建沿海地区。后一时段, 尽管台风位置较前一时段偏南, 浙江北部 30°N 附近却出现了一个强度超过 70mm 的

暴雨区, 而浙江南部的雨区几乎趋于消失。

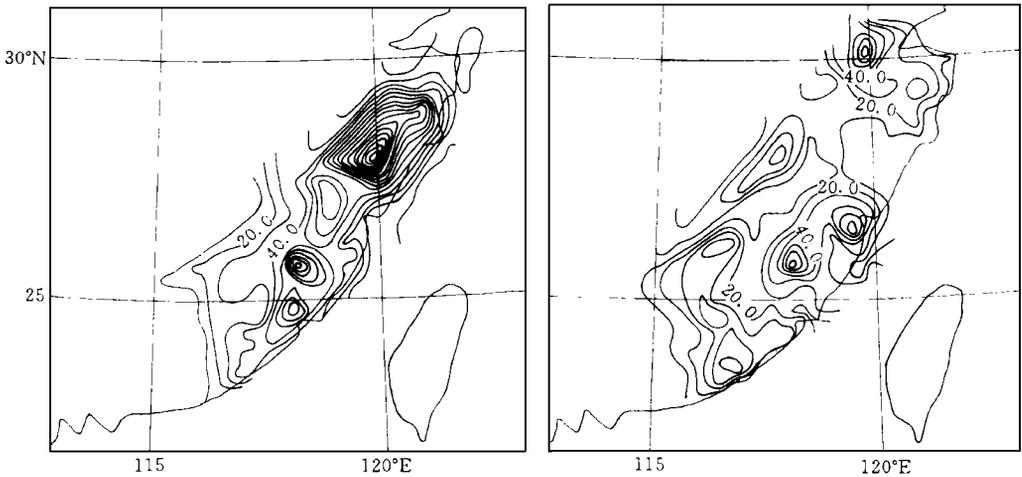


图 1 12 小时雨量图

a. 8 月 20 日 08 ~ 20 时; b. 8 月 20 日 20 时 ~ 21 日 08 时

Fig. 1 12 h rainfall for 08 ~ 20h, August 20, 1990

(a) and 20h, August 20 ~ 08h, 21 (b)

9012 号台风前期的西行阶段, 东亚上空西风带、副高和 ITCZ 都较稳定, 台风一直受北侧副高的偏东气流引导向西北方向移动。20 日环流开始发生明显变化, 由于华北低槽与台风的共同作用, 副高断成两环, 9012 号台风东侧还有 9014 号台风活动, 环流从纬向转为经向, 20 日 20 时以后出现在浙江北部的雨区与中纬环流调整有明显对应关系。

我们选取了中纬环流调整前后 8 月 19 ~ 22 日进行了详细分析。其中, 前两天为台风独立活动阶段, 后两天为与中低纬系统相互作用阶段。

2 资料和分析方法

采用国家气象中心中期预报模式 T_{42} 的每日 08 时、20 时的分析场格点资料, 计算范围为 $80 \sim 140 \text{ E}$, $10 \sim 60 \text{ N}$, 格距为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$; 垂直方向从 $1000 \sim 50 \text{ hPa}$ 共用了 12 层标准等压面上的温度、湿度和风场资料。

等熵面图的制作需要把上述标准气压层的资料内插到选定的等熵面上, 剖面图的制作则要把资料内插到 $1000 \sim 100 \text{ hPa}$ 之间 10 个间隔为 100 hPa 的等压面上。由于用拉格朗日和三次样条插值方法得出的位温廓线常含有绝对不稳定的层结, 致使位涡场上出现虚假的负值, 故本文使用了简单的线性插值方法。另外, 文中所用的粗网格资料主要用于揭示系统的天气尺度特征, 垂直方向的线性插值法可满足这一要求。

制作位涡剖面图时, 采用 p 坐标, 位涡按 Ertel 的定义计算, 即

$$p = - \frac{1}{3}$$

等熵位涡图是在指定的等熵面上采用

$$p = - \frac{g(f + \dots)}{p} \quad (1)$$

计算分析而得的, (1) 式中下标 p 是指涡度在等熵面上计算, $\bar{\omega}$ 是在插值过程中计算得到的。

在绝热、无摩擦运动中位涡 $\bar{\omega}_p$ 是一个保守量, 等熵面上的位涡变化可由沿等熵面的位涡平流来确定, 在分析台风这类伴有强降水的天气过程时, 必须考虑潜热加热的作用。侯定臣在文献 [1] 中曾提出, 只要注意最大加热层以下位涡增加、最大加热层以上的位涡减小这一点, 位涡分析的主要方法就可以定性地用于分析伴有较强降水的天气系统。

等熵位涡图的分析方法主要有: (1) 位涡的数值可用于气块源地的分析, 高位涡气块源于较高纬度或平流层, 对流层位涡一般小于 1.5 位涡单位 (1 位涡单位 = $10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$, 简称单位), 平流层则超过 4.0 单位。(2) 在没有考虑潜热加热的情况下, 位涡平流随高度的变化可用于判断垂直运动, 即正位涡平流随高度增加处有上升运动。对江淮气旋的研究 [1] 也表明垂直运动的符号主要由绝热因子决定。(3) 气旋的发展, 通常发生在高层高位涡平流与低层斜压区叠加的地方。这对登陆台风的强度预报很有意义, 因为台风登陆后水汽供应切断, 绝热因子就成为主要发展因子。

3 等熵位涡图的分析

我们重点分析了 310K 和 330K 两个等熵面。在台风中心附近, 它们分别位于 750hPa 和 500hPa 附近, 代表了大气低层和中层的情况。从 19~21 日 3 天 20 时等熵面可看到在这两个等熵面上, 都有一个高位涡中心与台风环流相对应, 且强度逐渐趋于减弱。图 2 为 3 天的 20 时 330K 位涡分布。根据台风高位涡区与中纬高位涡区的配置关系, 可以把台风活动分为两个阶段。19 日两个高位涡区之间有一宽广低位涡区从西南地区伸向黄海, 强度为 0.416 单位的中心位于苏皖一带。20 日, 随着中纬高位涡区的向南扩展, 这一低位涡中心已显著减弱, 但中低纬高位涡区仍然相互分离。21 日, 低位涡中心已消失, 0.8 单位等值线所围的高位涡区已连成一片, 从 21 日 20 时~22 日 20 时, 台风高位涡中心强度从 1.6 单位迅速降到 1.1 单位。因此前面提到的台风两个阶段的划分, 从等熵面上也得到了证实。

影响台风活动的中纬度系统, 在 330K 等熵面上表现为一高位涡中心。19 日该中心位于新疆一带, 24 小时后移到河西走廊以北, 21 日 20 时移过内蒙东胜一带。该系统的快速东移造成了 110°E 以东高位涡区的向南扩展, 这可从图 2 上的高位涡平流预报出来, 图 2a 上, 有一组密集的等位涡线和西风急流位于 40~45°N 间, 并有高低位涡中心相间分布。这些位涡中心附近是一致的强西风, 预示着它们将因平流而快速东移。而台风高位涡区的等值线与风向大致平行, 所以回旋少动。值得注意的是, 图上华北到华东地区强的高位涡平流 (等位涡线与风向近于垂直), 对于预报苏皖地区低位涡区的消失和中低纬高位涡区的连通, 有着十分重要的指示意义。

330K 高位涡平流的分布还与台风外围暴雨区的位置有密切关系, 这是因为低层 (310K 图略) 位涡平流很弱。虽然台风附近大部范围等位涡线与风向近乎平行, 但其西北象限却有明显的正位涡平流 (图 2a、b), 并正好对应 20 日 20 时以前的暴雨区。而浙江北部始终处于台风环流之外, 但 20 日 20 时以后降了大暴雨, 这与东移的中纬高位涡中心前方正位涡平流所激发的强上升运动有关 (图 2b、c)。另外, 图 2c 显示了 330K 等熵面上浙江西北部有一明显的南北向“切变线”, 反映了冷暖空气在此相遇有利于形成降水。

等熵位涡图还有助于解释台风强度和位置变化。从位涡的观点来看 [6], 气旋性涡旋的发展有正压发展和斜压发展两种情况。前者是指较高纬度有高位涡区东移时, 在同一等熵面上较低

纬度诱发出气旋式扰动: 后者是指高层等熵面上有高位涡区东移时在低层等熵面上诱发出气旋。就 9012 号台风过程而言, 21 日、22 日在黄海海面的低空有一气旋发展。310K 等熵面流场(图 3)可以看出, 20 日 20 时台风环流近于圆形, 黄海上空为东~东南风。21 日华东北部的北风和黄海东部的南风显著增大, 形成了从山东半岛到台湾海峡的南北狭长的气旋式环流区。这说明该气旋发展区位于台风中心北侧有 1 000km 处。气旋发展的原因, 显然不是正压发展, 因为 310K 等熵面上中纬度并无明显气旋式环流和高位涡区东移。图 2b、c 显示 300K 黄海上空正位涡平流很强, 因此可以认为斜压发展是气旋主要发展的因子。但 330K 等熵面上的台风环流却受到了正压发展的影响。20~21 日中纬高位涡区位于台风西北方, 正压发展有利于台风环流的加强。不过由于台风位置偏南, 又未进入西风带, 正压发展只起了延缓台风减弱的效果, 随着中纬扰动东移, 正压发展的作用也消失, 21 日以后台风迅速减弱。

4 等熵面气压场的分析

等熵面气压分布图表示了等熵面在三维空间的分布。由于等熵面上的等压线就是等温线。所以等熵气压图表示了天气系统的温度场。与风场配合, 还能显示冷暖空气的活动和绝热条件下的垂直运动。从图 3 中可以看出: (1) 台风环流区气压场较为均匀, 台风中心呈弱冷性结构; 中纬度锋区位于 35~50°N 之间。(2) 台风活动第一阶段未受冷空气影响, 图 3a 中近似圆形的台风环流与中纬西风区被华北的一个弱风速区隔开。台风活动的第二阶段, 由于华东地区北风(冷平流)的作用使得冷空气扩散进入台风外围, 但冷空气主体并未大规模南下, 750hPa 等压线仅南压 2~3 个纬距(图 3b)。(3) 引导冷空气扩散南下的较强北风是由黄海地区的气旋发展引起

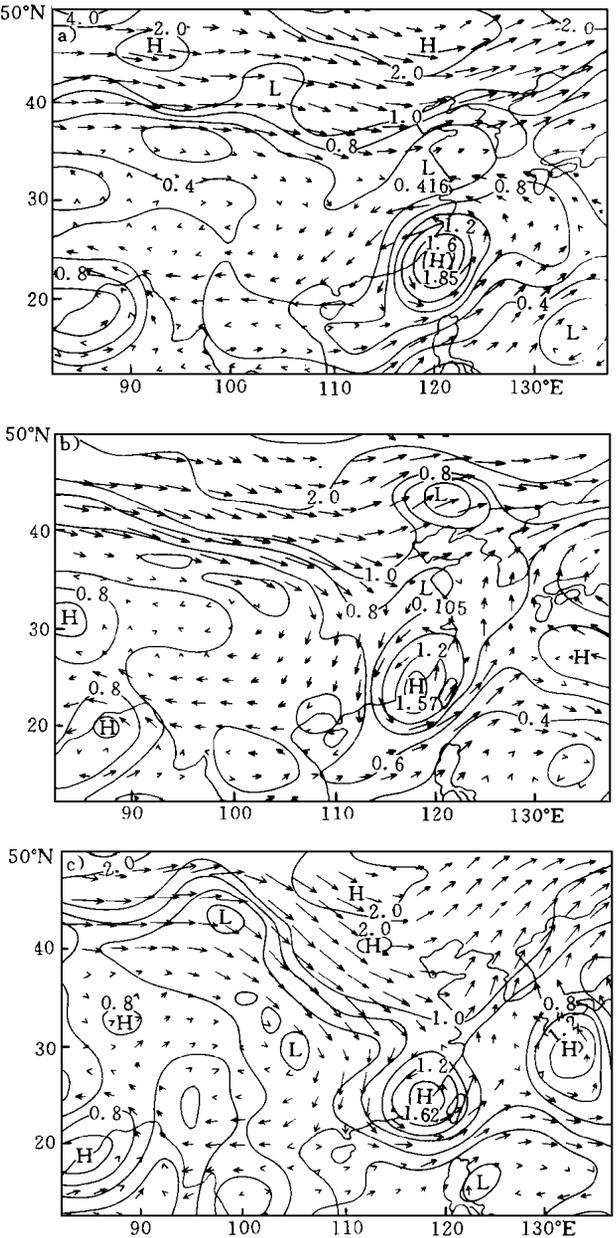


图 2 330K 等熵面位涡场和流场

a. 8 月 19 日 20 时; b. 8 月 20 日 20 时;
c. 8 月 21 日 20 时; H 和 L 分别为高、低位涡中心

Fig. 2 Potential vorticity and flow patterns at 330K isentropic surface for 20h, August 19 (a), 20h, 20(b) and 20h, 21, 1990 (c). H and L denote the high and low PV center, respectively

的。所以,从温度场角度看,中纬系统对 50°N 9012 号台风的作用主要表现为中纬较深厚的冷空气东移时在黄海诱发气旋发展,华北和华东北风加强,引导冷空气扩散南下进入外围,结果在台风北侧外围出现暴雨,台风迅速减弱消亡。

5 位温和位涡剖面图的分析

等熵面图的分析,为台风演变和暴雨落区的预报提供了一定的思路。为了进一步揭示台风的热力和动力结构,制作了沿 120°E 的位温、位涡垂直剖面图。图 4a 是台风活动第一阶段的情况,在边界层以上的对流层中,台风区域为一深厚的垂直走向的高位涡区,700hPa 和 400hPa 高度上各有一个高位涡中心,强度超过 1.5 单位。从图中可见这一高位涡区显然与高纬或平流层空气无关,应是热带海洋上空潜热释放的结果。台风北侧为一同样深厚的低位涡区,中心位于 300hPa 左右。20 日的特征与 19 日基本相同。21 日,台风的位涡结构发生了明显变化,一是台风低层高位涡中心明显减弱,二是 35°N 附近 700hPa 上下位涡明显增大,有与从中纬平流层低层向南向下伸展的高位涡舌相接的趋势,这是有利于气旋斜压发展的形势。22 日,台风高位涡“柱”整层迅速减弱,低压中心消失,35°N 附近则形成了新的中心。这又从另一侧面说明,中纬系统的作用加速了台风的消亡。

位温剖面显示,9012 号台风在 8 月 19 日(图 4a)、20 日(图略)有明显的高层暖心和低层冷心结构,850hPa 等压面上,台风中心的位温比外围低 5~6K,与典型的台风结构^[1]很不一致。850hPa 天气图上,台风中心附近福州、厦门等站的温度确实显著低于周围测站。其原因可能是:(1)当时台风已穿越台湾,远离暖洋面,其热力结构可与典型模式有较大区别。(2)台风区域由于降水的蒸发冷却,低层有可能降温形成冷中心。该冷中心在 21 日已经消失,但台风南侧仍维持一个弱斜压区。

比较 21 日和 19 日的 306K 等位温线可以发现,冷中心的消失主要是由于台风北侧 30~35°N 之间降温引起的。这里的降温是黄海气旋发展,苏皖地区北风加大引导冷空气扩散南下的结果。由于降温在 850hPa 最明显,这股冷空气通过降低低层稳定性和强迫中层较暖空气抬升而使暴雨增幅,20 日 20 时~21 日 20 时浙江北部大暴雨就是在这股冷空气南下过程中发生

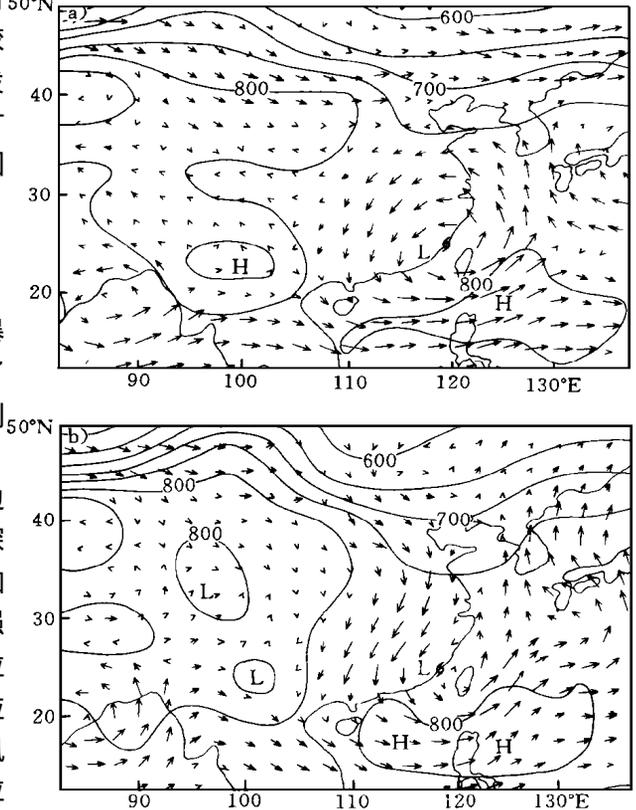


图 3 310K 等熵面气压场和流场

a. 8 月 20 日 20 时; b. 8 月 21 日 20 时

等压线(实线)间隔 50hPa, H、L 为高低压中心

Fig. 3 Pressure and flow configuration at 310 isentropic surface for a) 20h, August 20 and b) 20h, 21, 1990.

Contour spacing (full line) is 50 hPa, and H (L)

denotes high level (low level) center

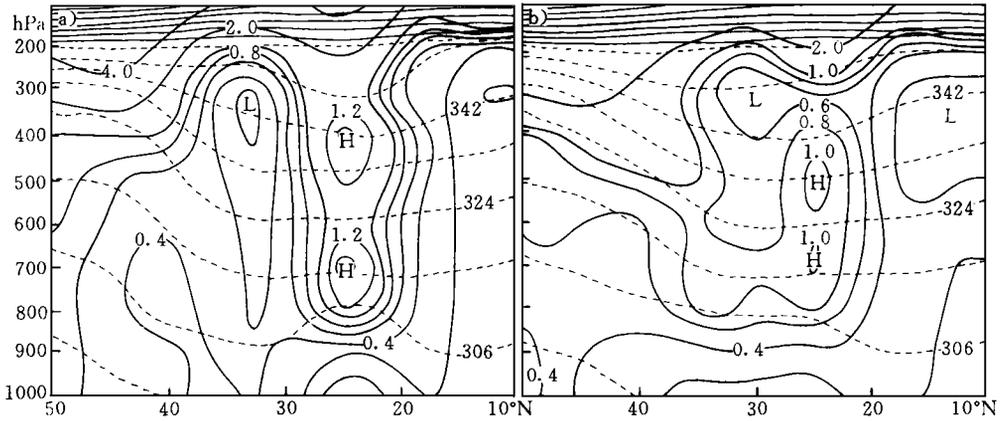


图 4 沿 120 E 的位涡、位温垂直剖面图

-- 为等位温线, —— 为等位涡线, 其他同图 2

a. 8 月 19 日 20 时; b. 8 月 21 日 20 时

Fig. 4 120 E cross-section of potential vorticity and temperature

Dashed (full) lines are potential temperature (vorticity) isopleths

a) 20h, August 19; b) 20h, August 21, 1990. Otherwise as in Fig. 2

的。另外, 低层温度场的这种演变也有利于解释台风强度的变化; 20 日之前冷空气堆的存在, 通过对辐合的较暖空气的抬升, 有利于台风环流的维持。而在 21 日以后, 由于冷空气堆的消失, 这种抬升作用已不复存在, 21 日 20 时以后台风迅速减弱。

6 结 语

综合本文的分析, 可以就中纬度系统对 9012 号台风的作用给出一个综合图象: 中纬度西风带内, 一般较强冷空气在东移过程中, 在于黄海上空低层导致气旋的斜压发展; 气旋西侧北风加强引导冷空气扩散南下, 进入台风外围破坏了台风的原有结构, 加速了台风的消亡。

9012 号台风的位涡结构表现为深厚的高位涡“柱”, 与典型温带气旋中的高层高位涡舌和底层高位涡区的倾斜叠加完全不同, 也与江淮气旋高层低位涡区, 中低层高位涡区的相当正压结构明显不同。

台风中心附近和外围地区的暴雨区, 可由位涡平流做出定性预报。台风中心附近纬度较低, 非绝热因子占主导地位, 但暴雨区仍与中层正位涡平流有较好的对应关系。台风北侧外围的暴雨区, 则与东移的中纬高位涡区前方的强烈正涡度平流有关。等熵面上的南北向切变线, 也对暴雨落区有一定的指示意义。

中纬度系统能否影响台风环流, 是直接影响还是间接影响, 主要取决于中纬高位涡区能否快速移过台风所在经度, 以及两者间的经向距离。前者可从等熵面位涡流场图上做出预报, 后者可结合斜压区位置做出定性判断。

参 考 文 献

- 1 侯定臣. 夏季江淮气旋的 ERTEL 位涡诊断分析. 气象学报, 1991, 49(2): 140 ~ 150
- 2 侯定臣. 夏季江淮气旋的准地转诊断分析. 南京气象学院学报, 1991, 14(4): 524 ~ 531
- 3 曾欣欣, 丛黎强. 9012号台风打转的成因分析. 气象, 1991, 17(8): 29 ~ 32
- 4 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法. 修订版. 北京: 气象出版社, 1992. 726 ~ 728
- 5 Hoskins B J, McIntyre M E, Robertson A W. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. Quart J Roy Meteor Soc, 1985, 11: 877 ~ 946

ANALYSIS OF POTENTIAL VORTICITY IN RAINSTORM RELATED TO TYPHOON 9012

Hou Dingchen Zhuang Xiaolan Huang Yanbo

(Department of Meteorology, NIM, Nanjing 210044)

Abstract Based on analysis of potential vorticity (PV) on isentropic surface and cross section before and after the typhoon landing, study is performed of the PV structure and the evolution of the landing storm interacting with midlatitude weather systems. Evidence suggests that 1) typhoon-related PV is a deep high PV column with a high center both in the upper and low troposphere; 2) mid-level high PV advection growing with height and shears on the isentropic surface can be taken as an index for the fallout area of the rainstorm inside the storm and on its surroundings; 3) midlatitude system has effect on the typhoon by transporting cold air into the circulation, whereby the typhoon gets decayed quickly; 4) analysis of isentropy and, particularly, its PV, is an important means for diagnosing and predicting typhoon activity and rainstorm fallout region.

Keywords typhoon, diagram of isentropic potential vorticity, high potential vorticity column, potential vorticity advection