

# 高空急流与中纬度系统影响下 台风暴雨的研究现状

张兴强<sup>1</sup> 丁治英<sup>2</sup> 王 焱<sup>1</sup>

(1 山东省泰安市气象局, 271000) (2 南京气象学院)

## 提 要

我国暴雨天气中,台风是最强的暴雨天气系统。当台风外围系统与西风槽相互作用时往往发生暴雨突然增幅现象,造成严重灾害。以往大量的研究表明:台风和中纬度系统相互作用引起的远离台风的北段暴雨大多发生在西南风高空急流区的右后方,高空急流有明显的非纬向特征,而且暴雨增幅与高空急流的非纬向增强有关。对有关高空急流与中纬度系统影响下台风暴雨的研究进行了综述,并且对进一步深入研究提出了建议。

**关键词:** 高空急流 台风暴雨 中纬度系统

## 引 言

我国位于世界上著名季风区,特定的气候条件和地形特征,使我国成为多暴雨国家。随着经济迅速发展,暴雨带来的灾害损失呈上升趋势。因此,国家对暴雨的科研、预报一直非常重视,几十年来,在暴雨方面取得了大量科研成果,提高了暴雨预报水平,取得了明显社会和经济效益。陶诗言<sup>[1]</sup>指出暴雨是各种天气尺度相互作用的产物,其中中尺度系统是直接造成暴雨的天气系统,抓住中尺度系统演变规律对了解这种相互作用和暴雨发生有重要意义。目前大气科学的前沿研究正向两个方向发展:一是气候变化和气候预测研究,一是中小尺度气象的研究。通过后者的研究可以发展和改进现有的超短时预报系统(0~12小时)。同时,暴雨又常是低纬和中高纬系统相互作用的产物。谢义炳<sup>[2]</sup>强调暴雨与中高低纬系统之间相互作用的观点。在我国暴雨天气中,台风是最强的暴雨天气系统,当外围系统与西风槽相互作用时往往发生暴雨突然增幅现象,造成严重灾害,而此时台风暴雨区往往处在西南风高空急流区的右后方。本文拟主要研究与高空急流有关的台风

与中纬度西风槽结合或高空槽与台风倒槽叠加引起的暴雨。

## 1 台风和中纬度系统相互作用产生的暴雨

台风暴雨是台风最重要的天气现象之一,但是,各个台风降水情况十分复杂,雨量强弱、雨区大小、分布情况等差别很大,它涉及到不同尺度大气运动的相互作用和复杂的大气物理过程。根据卫星云图分析,可以把台风暴雨归纳为以下三种类型:①台风环流本身暴雨;②台风云系和其它系统相结合产生的暴雨(包含台风倒槽暴雨,与西风槽结合产生的暴雨,及与台风相联系的热带云团降水);③台风眼外围螺旋云带暴雨。其中台风倒槽暴雨指受出现在对流层下部台风倒槽影响,引起远离台风暴雨。暴雨一般出现在倒槽附近,而最大暴雨又往往出现在倒槽与西风槽相结合处。李玉兰<sup>[3]</sup>在7907号台风分析中发现:最强降水出现在倒槽与西风槽结合处东侧(北段雨区),而非出现在倒槽西侧(南段雨区)。台风云系与其它云系相结合的情况下,中纬度西风带有明显冷锋云带向南移动,且冷锋云系与台风相距小于10个纬距时应考虑台风北侧降水增强,最强雨区位于两者

相交处,形成北大南小暴雨带。励申申等<sup>[4]</sup>利用合成分析方法讨论了中纬度台风倒槽结构及倒槽暴雨形成的动力学特征得出:台风倒槽暴雨既有热带系统丰富水汽又有中纬系统的斜压性,因而能产生比台风环流本身大得多的降水。综上所述,我们称由台风和中纬度系统相互作用引起的远离台风的北段暴雨为远离台风暴雨。远离台风暴雨对北方产生严重灾害,许多人对它从不同角度进行了讨论。朱良富等<sup>[5]</sup>分析了台风环流中次天气尺度暴雨过程的湿斜压过程,对台风倒槽与西风槽作用下北方存在的 $\Omega$ 型次天气尺度暴雨系统和台风本身 $O$ 型次天气尺度暴雨系统进行了分析总结。蒋尚城<sup>[6]</sup>分析了北上减弱的7805号台风在华北产生暴雨的过程,提出“半热带系统”的概念。励申申、寿绍文<sup>[7~9]</sup>从能量角度对台风外围暴雨进行了研究。

## 2 非纬向高空急流的提出

### 2.1 高低空急流与暴雨

暴雨是一深对流系统,不少暴雨个例中高低空急流同时出现,因此它与高低空环流形势有密切关系,在暴雨研究中,研究高低空急流的相互作用是一个重要的内容。对流层高低空急流相互作用对强对流风暴形成的重要性,Fawbush 和 Miller<sup>[10,11]</sup>早已注意到,Newton<sup>[12]</sup>等人归纳高低空急流在引起强天气事件中的协调作用,并给出了天气学模型。朱乾根<sup>[13]</sup>指出,我国暴雨往往产生于高空急流右后方。陶诗言<sup>[1]</sup>指出:东南风低空急流一般为暴雨北界,西南风低空急流为暴雨南界,因此把低空急流左前方作为暴雨落区的一个重要依据。70年代,人们已注意到低空急流与暴雨有很好的相关性以及在暴雨过程中的动力和热力作用。孙淑清<sup>[14]</sup>、朱乾根<sup>[15]</sup>等分别研究过低空急流与暴雨的关系。Namias<sup>[16]</sup>、Smith 和 Maddox 分别研究了高空急流与降水的关系。陶诗言<sup>[1]</sup>、罗亚丽<sup>[17]</sup>、翟国庆<sup>[18]</sup>都强调了低空急流在暴雨中的动力和热力作用。关于低空急流的成因有各种说法(孙淑清<sup>[14]</sup>),在此不一一详述,其中高守亭、孙淑清<sup>[19]</sup>提出:与暴雨关系最密切的

是次天气尺度低空急流,下面所提到的都是指次天气尺度低空急流。Reiter(1969)提出,在某些情况下,低空急流不是独立存在的,而是看起来要与高空急流进行耦合。Uccellini<sup>[20]</sup>揭示了高低空急流耦合的动力机制及在强对流天气发展中的作用。指出:高空急流出口区由于质量和动量调整,产生变压风辐合,激发垂直于急流轴的横向反环流,急流出口区左侧上升,右侧下沉,导致出口区低层西南风急流的形成。可以说 Uccellini 的文章是高低空急流耦合与暴雨相互作用研究的基础文献。此后斯公望<sup>[21]</sup>指出,高空急流入口区高空辐散同样可以导致对流层下部低空急流发展。高守亭、孙淑清<sup>[19]</sup>、俞樟孝<sup>[22]</sup>等也从高低空耦合的角度进行了研究,都认为高空辐散引起上下层质量调整,形成变压风叠加在低空气流上,形成低空急流。孙淑清、杜长萱<sup>[23]</sup>在考察江淮流域梅雨期高低空急流位置时发现,青藏高原东侧偏北风与西风急流之间在 $30^{\circ}\text{N}$ 以北处构成一个气流强辐散区,正好位于低空急流轴前端和低层切变线上方,由此构成高层东北风和低层西南风之间东北-西南向次级环流。与 Uccellini 和斯公望的高空急流出入口区耦合不同,是另一类型的高低空环流耦合。另外,黄安丽和高坤<sup>[24]</sup>作了对流层高低空急流耦合作用的统计和动力学分析,证实了高低空急流之间确实存在耦合关系。蒋尚城<sup>[25]</sup>指出在远距离台风影响下西风带特大暴雨过程模式中,台风东侧所伴随的低空急流和西风槽前所伴随的高空急流是中低纬系统相互作用产生暴雨的条件,高空急流加强,一方面增加高空辐散,一方面把暴雨区上空凝结热迅速带走,使暴雨区不稳定得以重建。总之,暴雨与高低空急流之间有显著联系,其详细物理机制值得进一步研究。

### 2.2 高空急流对低空急流的强迫

在高低空急流相互作用对暴雨影响研究中,大部分都强调了高空急流的重要性。如 Uccellini、斯公望、高守亭等都认为高空辐散引起上下层质量调整,形成变压风叠加在低

空气流上形成低空急流。陈秋士<sup>[26]</sup>用惯性波不稳定理论讨论了高低空急流耦合过程,也认为高空急流强迫了低空急流。陈久康、丁治英<sup>[27]</sup>对 9216 号台风登陆后进入 200hPa 西南风高空急流入口处右侧,引起远离台风的中尺度暴雨突然发生发展进行了分析,研究了高低空急流与台风环流耦合和中尺度暴雨增幅的相互促进正反馈机制,指出:低空急流北段可能与 200hPa 高空急流有关。

### 2.3 高空急流的非纬向特征

以往研究高空急流大都将基本气流理想化为纬向西风,如 Uccellini 等。但在实际大气中虽然纬向西风是重要特征,但一般来说大气的基本气流并非纯纬向,有时(如低指数环流期)经向基本气流可以很强。黄安利、高坤<sup>[24]</sup>将高空急流轴型分为槽前气旋弯曲线型(65%)、槽后气旋弯曲线型(26%)、平直线型(9%)。由此可见高空急流非纬向特征的普遍存在性。李崇银<sup>[28]</sup>用两层分层模式研究了在一般非纬向基流情况下的斜压不稳定,给出基流对斜压不稳定的影响,结果表明,非纬向急流情况下,更有利于斜压不稳定。陆维松<sup>[29]</sup>研究了非纬向基流非线性斜压不稳定判据。丁一汇等<sup>[30]</sup>研究了非纬向非平行基流中的对称不稳定,得到了新的不稳定判据。周伟灿等<sup>[31]</sup>用  $f$  平面非静力平衡滤声波模式,研究了非平直基流中尺度扰动对称发展。

### 2.4 远离台风暴雨中高空急流的非纬向性

丁治英<sup>[32]</sup>在不同雨强诊断对比与数值实验研究中发现:两次台风造成北部强降水的高空急流均为 NE-SW 向,而当高空为平直西风急流时,即使台风较强,造成的降水大部分在 25°N 以南,且强度明显偏弱。通过对 1965~1992 年出现的北移过程中造成较大暴雨的台风普查(台风年鉴)发现,这类台风大都处于西南风高空急流右后方。罗亚丽<sup>[17]</sup>在登陆台风形势下的暴雨研究中也指出 200hPa 高空有明显的 NE-SW 向高空急流。励申申等<sup>[4]</sup>通过合成分析发现台风倒槽引起的暴雨上空 300hPa 为一致的西南风。

## 3 对称不稳定与斜压不稳定

### 3.1 对称不稳定

近二三十年来,中尺度气象学无论在观测事实、理论研究和实际预报方面迅速发展,许多国家组织了各种中尺度气象学实验,取得了许多成果,揭示了不少有意义的事实。研究表明:由大气内部过程产生的中尺度环流系统,都受大气动力不稳定制约。因此,中尺度不稳定越来越受重视,其中对称不稳定就很引人注目,人们认为这一概念可能是中尺度动力学理论中一个有希望的突破点。对称不稳定,从物理上看,就是在垂直方向上为对流稳定和水平方向上为惯性稳定的大气中空气作倾斜上升运动时可能出现的一种不稳定。它是重力、气压梯度力和科氏力不平衡的结果。所以对称不稳定呈现为斜升流现象。对称不稳定作为一种中尺度不稳定,首先由 Bennetts 和 Hoskins 用到锋面雨带中来。他们把潜热释放模式引入对称不稳定理论中,引出了“条件性对称不稳定”的概念。随后对称不稳定广泛应用到雪暴、飚线、雷暴、爆发性气旋等不同天气形势中。Hobbs<sup>[33]</sup>对中纬度气旋中几种类型雨带形成机制作了比较,发现条件性对称不稳定理论能解释许多暖区雨带和宽冷锋雨带观测特征。Jascourt<sup>[34]</sup>等研究了 5 条对流云带同时在已经存在的自由对流区迅速发展的个例,认为这是条件性对流-对称不稳定作用所致。Reed 等<sup>[35]</sup>用对称不稳定理论解释了爆发性气旋的发生。Emanuel<sup>[36]</sup>对 1982 年 12 月 3 日发生在美国南部的一次对流性降水进行分析,得出对称不稳定判据的空间分布特征。由于对称不稳定的独特地位,国内也进行了大量研究。刘子臣<sup>[37]</sup>讨论了黄土高原上暴雨的对称不稳定特征判据分布,得出与 Emmanuel 个例分析相似分布特征,并指出对称不稳定判据可能是中尺度天气过程发生的综合性判据。王建中等<sup>[38]</sup>对华北降雪过程的湿对称不稳定进行了研究。陈久康、丁治英<sup>[27]</sup>考虑了 Wave-Cisk 过程和斜压基流对称不稳定对低空急流及台风倒槽形成和发展的贡献。丁一

汇、沈新勇<sup>[39]</sup>详细回顾了对称不稳定理论的发展现状,王建中、丁一汇<sup>[40]</sup>讨论了实际大气中对称不稳定的存在特征。陈久康、周伟灿<sup>[41]</sup>在 Hoskins、Emanuel、张可苏<sup>[42]</sup>等许多学者研究地转平直基流对称不稳定及对称发展的基础上,研究了更切合实际的非平直基流中尺度扰动波包发展问题以及非热成风平衡基流对称不稳定。丁一汇<sup>[30]</sup>讨论了非纬向非平行基流中的对称不稳定。

### 3.2 斜压不稳定

实际大气是斜压的,中纬度对流层内基本气温场具有在等压面上气温随高度的增加而降低这样一种斜压特性。气象学中一般用斜压不稳定理论解释中纬度西风带天气系统发生发展。谢义炳<sup>[43]</sup>提出了“湿斜压性”天气动力学理论,并指出“湿斜压不稳定”是导致大面积暴雨天气系统发生的一种机制。唐章敏等<sup>[44]</sup>指出:西风系统与台风共同作用暴雨区内具有明显的斜压性,而台风环流本身暴雨一般不具备斜压特性。文献<sup>[45]</sup>中指出:华北地区的天气学特征可以用“湿斜压性”一词表示。蒋尚城、张谭等<sup>[6]</sup>指出,台风倒槽北段具有向暖区一侧倾斜的特殊结构的强湿压锋区。励申申等<sup>[4]</sup>指出:强暴雨区位于台风倒槽切变线北段强烈的湿斜压锋区中。蔡义勇<sup>[46]</sup>在台风暴雨相当位涡诊断分析中指出:暴雨位于网格尺度扭转项大值区,而网格尺度扭转反映斜压作用,表明暴雨过程有很强斜压性。

### 3.3 对称不稳定与斜压不稳定的相关

张可苏<sup>[42]</sup>讨论了斜压气流的对称不稳定。指出与垂直运动成正比的潜热加热相当于减小层结稳定度或理查逊数,有利于对称不稳定发生。湿低空急流既有水汽输送,又有强水平切变,因而低空急流附近可望得到对称不稳定。而文献<sup>[45]</sup>指出:湿斜压理论指出:湿斜压大气中潜热释放使气块动能增加,形成低空急流。因此,可以说对称不稳定与斜压不稳定是密切相关的的一个问题的两个方面。

## 4 位涡诊断

位势涡度(简称位涡)是一个能综合表征大气动力和热力特征的物理量,是一个重要的诊断工具,国内外许多气象学者都曾成功地用它分析过天气问题。早在1942年 Ertel 就提出无摩擦绝热位涡理论。1981年杨大升等用等压位涡方程对阿拉伯海和印度洋季风低空急流进行过诊断分析。采用位涡的形式各异,有干位涡,湿位涡,相当位涡和相对涡度。考虑暴雨过程有大量凝结潜热释放,为克服干位涡的局限性,李国平等<sup>[47]</sup>用湿位涡诊断分析西南低涡暴雨,指出:湿位涡与暴雨发展有很好的对应,暴雨发展趋势与位涡变率变化趋势一致。蔡义勇<sup>[46]</sup>应用相当位涡诊断了台风暴雨,指出:相当位涡与台风暴雨有较好的对应关系。80年代中期, Hoskins<sup>[48]</sup>提出:等熵面位涡(IPV)是研究天气过程的一种有效工具。侯定臣<sup>[49,50]</sup>使用等熵面位涡诊断了夏季江淮气旋及9012号台风暴雨,指出等熵面位涡分析是诊断预报台风活动及暴雨落区的一个重要手段。吴国雄<sup>[51]</sup>从完整的原始方程出发,在导出精确形式湿位涡方程基础上,证明了绝热无摩擦饱和湿空气具有位涡守恒特性,并由此去研究湿斜压过程中涡旋垂直涡度的发展。结果表明:湿等熵坐标中,涡旋发展与对流稳定度减少等熵面上辐合和潜热释放有关。由于等熵位涡分析受等熵面倾斜限制,又进而发展了Z坐标及P坐标中倾斜涡度发展理论。Hoskins<sup>[52]</sup>提出了位涡在对称不稳定中的作用理论。就象涡度在正压大气中的作用一样,位涡对研究大气实际现象来讲,是一个十分有用的工具。

考虑到位涡诊断的作用和现状,在远离台风的暴雨中进行位涡诊断的相关研究是必要和有意义的。

## 5 结论

综上所述,可以得出,①利用前面提到的非纬向非平直基流理论,结合台风个例进行远离台风暴雨与非纬向(西南风)高空急流相关理论研究及进一步的数值试验具有特别重要的意义。②由于高空急流区为强斜压区,因而与高空急流有关的远离台风暴雨中具有有很

强的湿斜压性,易产生斜压不稳定,它与对称不稳定是不可分割的,讨论非纬向高空急流与远离台风暴雨过程中对称不稳定、湿斜压不稳定将是有意义的。

综上所述,未来应着重进行以下几方面的工作:①研究非纬向(西南风)高空急流与远离台风暴雨的统计特征。②研究非纬向(西南风)高空急流与远离台风暴雨的耦合机制及对称不稳定及湿斜压不稳定特征以及暴雨的形成机制。③进行远离台风暴雨的数值模拟研究及诊断分析。

### 参考文献

- 1 陶诗言等. 中国之暴雨,北京:科学出版社,1980.
- 2 谢义炳等. 暴雨分析工作中的一些基本观点和看法. 暴雨文集,长春:吉林人民出版社,1978.
- 3 李玉兰. 利用卫星云图分析台风暴雨. 台风会议文集,北京:气象出版社,1981.
- 4 励申申等. 台风倒槽暴雨的动力结构. 台风会议文集,北京:气象出版社,1985.
- 5 朱良富等. 台风环流中几种动力类型的暴雨分析和预报. 台风会议文集,北京:气象出版社,1985.
- 6 蒋尚城、张镔等. 登陆北上减弱台风所导致的暴雨——半热带系统暴雨. 气象学报,1981,39(1):18~27.
- 7 励申申、寿绍文等. 登陆台风与外围暴雨的相互作用. 气象学报,1992,50(1):33~40.
- 8 励申申、寿绍文. 登陆台风维持和暴雨增幅实例的能量学分析. 南京气象学院学报,1995,18(3):383~388.
- 9 励申申、寿绍文等. 台风和外围暴雨区的旋转风散度风动能收支. 南京气象学院学报,1992,20(1):109-113.
- 10 Fawbush E. J., Miller R. C., The tornado situation of 17 March 1951, Bull. Amer. Meteor. Soc; 1953, 34: 139-145.
- 11 Fawbush E. J., Miller R. C. The types of air masses in which North American tornadoes form, Bull. Amer. Meteor. Soc; 1954, 35: 154-165.
- 12 Newton C. W. Severe convective storms, Advances in Geophysics, Academic Press, 1967, (12): 257-303.
- 13 朱乾根. 暴雨维持和传播的机制分析. 南京气象学院学报, 1979, 21(1): 1~7.
- 14 孙淑清. 低空急流及其与暴雨的关系. 暴雨文集, 长春: 吉林人民出版社, 1978.
- 15 朱乾根. 低空急流与暴雨. 气象科技资料, 1975, (8): 12~18.
- 16 Namis, J and P F, Clapp. Confluence theory of the high tropospheric jet stream. J. Meteor., 1949, 6: 330-336.
- 17 罗亚丽等. 登陆台风形势下的暴雨过程. 中尺度天气和动力学研究(丁一汇主编), 北京: 气象出版社, 1996.
- 18 翟国庆等. 与低空急流相伴的强天气诊断模式. 中尺度天气和动力学研究(丁一汇主编), 北京: 气象出版社, 1996.
- 19 高守亭, 孙淑清. 次天气尺度低空急流的形成. 大气科学, 1984, 8(2): 179~188.
- 20 Uccellini L. W., Jhonson D. R., The coupling of upper and lower tropospheric jet stream and implication for the development of severe convective storm, Mon. Wea. Rev., 1979, 107(6): 682-703.
- 21 斯戈望等. 一次梅雨锋低空急流形成的分析. 大气科学, 1982, 6(2): 165~170.
- 22 俞樟孝等. 一次高空急流中心引起的梅雨锋暴雨. 杭州大学学报, 1981, 8(1): 104~113.
- 23 孙淑清, 杜长萱. 江淮流域梅雨锋的维持与锋上扰动的发展特征. 中尺度天气和动力学研究(丁一汇主编), 北京: 气象出版社, 1996.
- 24 黄安丽, 高坤. 对流层高低空耦合作用的动力学分析. 杭州大学学报, 1982, 9(3): 356~364.
- 25 蒋尚城. 远距离台风影响西风带特大暴雨的过程模式. 气象学报, 1983, 41(2): 147~158.
- 26 Chen Qiushi (陈秋士). the instability of the gravity-inertia wave and its relation to low level jet and heavy rainfall. J. Met Soc of Japan, 1982, 60(5): 1041-1057.
- 27 陈久康, 丁治英. 高低空急流与台风环流耦合下的中尺度暴雨系统. 中尺度天气和动力学研究(丁一汇主编), 北京: 气象出版社, 1996.
- 28 李崇银. 非纬向基流的斜压不稳定. 气象学报, 1984, 42(2): 148~155.
- 29 陆维松等. 非纬向基流的非线性斜压不稳定. 气象学报, 1992, 50(1): 1~11.
- 30 丁一汇等. 非纬向非平行基流中的对称不稳定. 中尺度天气和动力学研究(丁一汇主编), 北京: 气象出版社, 1996.
- 31 周伟灿等. 非平直基流中尺度扰动的对称发展. 中尺度天气和动力学研究(丁一汇主编), 北京: 气象出版社, 1996.
- 32 丁治英等. 不同雨强台风的诊断对比与数值试验研究. 南京气象学院学报, 1995, 18(2): 234~241.
- 33 Hobbs P V, Organization and structure of Clouds and precipitation on the Mesoscale in Cyclonic Storms. Rev geophys Space Phys, 1978, 16(4): 741-755.
- 34 Jascourt S D, Lindstorm S S, Seaman C J, Houghton D D. An observation of banded convective development

- in the presence of weak symmetric stability. *Mon Wea Rev*, 1988, 116: 175-191.
- 35 Reed R J, Albright M D. A case study of explosive cyclones over the eastern Pacific. *Mon Wea Rev*, 1986, 114: 2297-2319.
- 36 Emanuel, K. On assessing local conditional symmetric instability from atmosphere sounding. *Mon. Wea. Rev.* 1983, 111: 2016-2033.
- 37 刘子臣等. 中尺度对称不稳定的诊断应用. *南京气象学院学报*. 1997, 20(3): 400~404.
- 38 王建中等. 一次华北强降雪过程的湿对称不稳定性研究. *中尺度天气和动力学研究*(丁一汇主编), 北京: 气象出版社, 1996.
- 39 丁一汇, 沈新勇. 对称不稳定理论及其应用问题(一) 线性理论. *应用气象学报*, 1994, 5(3): 361~368.
- 40 王建中, 丁一汇. 实际大气中对称不稳定的存在及特征. *中尺度天气和动力学研究*(丁一汇主编), 北京: 气象出版社, 1996.
- 41 陈久康等. 非热成风平衡基流的对称不稳定. *中尺度天气和动力学研究*(丁一汇主编), 北京: 气象出版社, 1996.
- 42 张可苏. 斜压气流的中尺度稳定性(1)——对称不稳定. *气象学报*, 1988, 46(3): 258~266.
- 43 谢义炳. 湿斜压大气的天气动力学问题. *暴雨文集*, 长春: 吉林人民出版社, 1978.
- 44 唐章敏等. *台风会议文集*, 北京: 气象出版社, 1985.
- 45 华北暴雨. 北京: 气象出版社, 1992.
- 46 蔡义勇. 台风暴雨相当位涡诊断分析. *气象学报*, 1992, 50(1): 118~125.
- 47 李国平等. 西南低涡暴雨的湿位涡诊断分析. *应用气象学报*, 1994, 5(3): 354~360.
- 48 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.
- 49 侯定臣等. 9012号台风暴雨过程的位涡分析. *南京气象学院学报*. 1997, 20(1): 64~70.
- 50 侯定臣等. 夏季江淮气旋的 Ertel 位涡诊断分析. *气象学报*, 1991, 49(2): 141~149.
- 51 吴国雄等. 湿位涡和倾斜位涡的发展. *气象学报*, 1995, 53(4): 387~405.
- 52 Hoskins, B, J. The role of potential vorticity in symmetric stability and instability, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 1974, 100: 480-482.
- 53 寿绍文. *中尺度天气动力学*, 北京: 气象出版社, 1993.

## Actuality of High-Jet and Heavy Rainfall Caused by Interaction between the Mid-latitude Synoptic System and Typhoon

Zhang Xingqiang<sup>1</sup> Ding Zhiying<sup>2</sup> Wang Yan<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Tai'an Meteorological Office, Shandong Province 271000) (<sup>2</sup>Nanjing Meteorological Institute)

### Abstract

Typhoon is the most intensive synoptic system that can result in heavy rainfall in China. The interaction between the westerly trough and synoptic system far from typhoon constantly leads to abrupt reinforcement of rainfall and severe disaster. The north part heavy rainfall is called as heavy rainfall far from typhoon. Researches show that heavy rainfall far from typhoon mostly occurred at the right side behind the south-westerly high-Jet that has distinct non-zonal features, at the same time, reinforcement of heavy rainfall is closely associated with strength of non-zonal features. Researches on heavy rainfall far from typhoon and non-zonal high level Jet streak are reviewed.

**Key Words:** high level jet streak heavy rainfall far from typhoon mid latitude synoptic system