

2003 年 7 月 4~7 日淮河流域特大暴雨 等熵位涡分析

徐 晶 王东生 杨克明

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

利用等熵位涡理论对 2003 年江淮梅雨期 7 月 4~7 日淮河流域特大暴雨进行了天气动力诊断分析。发现:等熵面上的西风急流将高位涡向下游输送,强西北气流穿越等压线形成强下沉气流,将高层和高纬的高等熵位涡向南输送,使得强降雨区维持高等熵位涡,是强雨带持续的重要原因。等熵位涡高值区与强暴雨有较好的对应关系,并具有预报指示意义。

关键词: 特大暴雨 等熵位涡分析 垂直结构

引 言

Hoskins 等(1985)深入讨论了位涡的重要性,提出等熵位涡 IPV(isentropic potential vorticity)的概念。这种位涡理论因易于和大尺度动力学理论结合,既能描述气块轨迹,又能有效地显示出大尺度运动的动力学性质,从而被广泛应用在实际天气分析预报中。I.Orlanski 和 J.Sheldon 利用等熵位涡研究

了北美西部一个斜压发展的上下游效应^[1]。徐晶等利用等熵位涡从中低纬度相互作用的角度讨论了青藏高原高空环流与西北太平洋台风运动之间的关系^[2]。李立对青藏高原北侧降水过程,赵其庚对侵入青藏高原冷空气过程分别进行了等熵位涡分析^[3,4]。张绍晴等从等熵面位涡角度分析了阻塞过程的演变特征^[5]。他们的研究结果表明 IPV 图是形

象地表示大尺度动力过程的最简单和最有效方法。IPV与地面位温的时间序列可以给出相当完整和清晰的大气动力学图解,无需垂直运动的复杂知识即可概括出涡度平流、温度平流和垂直运动的联合效应,具有很好的应用价值。因此等熵位涡理论已成为当前诊断天气系统发展的一种前沿理论。

本文利用等熵位涡的方法和原理诊断分析了2003年7月4~7日的淮河流域特大暴雨天气过程。

1 等熵位涡的基本性质与分析

1.1 等熵位涡的定义

Ertel位涡定义在等熵面上为:

$$PV = \frac{1}{\rho} \zeta_a \cdot \nabla_3 \theta \approx -g \left(\frac{\partial \theta}{\partial p} \right) (f + \zeta_\theta)$$

其中 ζ_a 为旋转流体绝对涡度矢量, ρ 为气体密度, θ 为位温, ζ_θ 是等熵面上相对涡度的垂直分量。

Hoskins曾指出:绝热无摩擦大气有沿着等熵面做二维运动的趋势^[6]。IPV不仅在绝热无摩擦大气中是守恒的,而且根据位涡运动场和质量间可逆性原理,即使有如摩擦和动力波拖曳的非守恒效应或非绝热加热存在时,IPV概念依然适用。等熵面上的IPV分布对应着一定的气流结构,高IPV对应着气旋性环流,低IPV对应着反气旋环流,其分布一般是高纬大于低纬,高空大于地面。

1.2 资料与处理方法

本文中IPV分析采用T213的6小时间隔的客观分析资料,垂直分辨率为12层,水平分辨率为 1.125×1.125 经纬度。计算范围在 $0 \sim 59.625^\circ \text{N}$, $59.625 \sim 139.5^\circ \text{E}$, IPV单位取 $10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}$ (以下简称单位)。本文剖面分析和IPV图都采取等熵坐标形式,先计算各格点上的位温和涡度,再线性内插出各等熵面位势高度和气压,然后再由等熵面位势高度内插出等熵面上的水平风矢量,最后计算出等熵面上的IPV。为了便于分析等熵面的起伏变化和平流过程,在分析IPV图同时分析等熵面的流场和气压场,等熵面取275~375K共21层,一般来说,在夏季取高值,在冬季取低值^[3],本文分析中取315和330K等熵面(基本上位于500~

700hPa和270~500hPa之间)。在剖面分析中,为了避免等熵面和地面交割,故取大于305K。

2 强降水影响天气系统和概况

淮河流域这场特大暴雨发生在欧亚中高纬度为稳定两槽一脊的阻塞经向环流条件下,乌拉尔山到西西伯利亚是强大的阻塞高压,2003年6月27日阻高中心在西西伯利亚平原北部,强度为5790gpm。它的上下游在欧洲有一长波槽,西伯利亚中东部是另一长波槽。过程开始前一周,从欧洲大槽中分裂短波槽沿阻高底部经西西伯利亚南部和巴尔喀什湖逐日东移,7月2日抵达蒙古国西部到我国新疆北部,是本次强暴雨的主要影响系统。在中低纬度上,带状副热带高压分布在日本南部的西北太平洋至我国江南东部到华南东部以南地区,脊线位于 22°N 附近,副高西北侧盛行一支西南风低空急流,把低纬海洋上的水汽源源不断向淮河暴雨区输送。

短波槽继续沿中纬锋区东移,3日20时,当移至山西到秦岭时,与四川东部原低涡切变线相连接,重建低涡切变线形势。此后由于东段切变线移速北快南慢,逐步在淮河流域到长江流域中上游形成一条东西向横切变线,4~5日,其上同时有两个低涡活动,强暴雨出现在切变线南侧和低涡中心附近地区。6日从阻高底部又移来一个短波槽,当抵达黄河中游到青海东部时,小槽后部偏北气流加强,致使淮河流域的低涡切变线逐步转成东北—西南向。并在7日快速南退减弱,而后消失,伴随的强降雨过程结束。受高空槽和低涡切变线的影响,4~7日,安徽中北部、江苏中南部、湖北东部、湖南北部和江西北部等地出现了暴雨和大暴雨,局部地区特大暴雨。过程总降雨量有80~120mm,其中,安徽中部偏东地区,江苏中部的部分地区达130~250mm,江苏丹阳最大317mm,扬州次大255mm。其雨量之大居于2003年淮河流域7次强降雨过程之首,使得淮河流域出现严重的洪水灾害。

3 计算结果与讨论

3.1 等熵位涡分析

图1是7月3~6日08时(北京时,下同)315K(约位于500~700hPa之间)等熵面上的等位涡场、风矢量和气压分布。由图可见,7月3日08时有一大于0.6单位高位涡区(图1a)在蒙古国中部到我国东北地区中南部,另一高位涡区在贝加尔湖西部到蒙古国西部。由于受青藏高原的阻挡,西风急流沿高原北侧向东移动,并把该处的高位涡向东输送到日本海一带高位涡中心区,该区在700hPa上是一个强大的低涡。另外,在33°N附近的淮河流域大于0.6单位的高IPV区呈带状分布,和大到暴雨区位置相一致,但这一带气压场变化却不大,大约在650~700hPa之间。在风场上34°N以北是偏北风下沉气流,南侧为西南暖湿气流,在淮河流域形成明显的风向风速辐合区,暴雨区出现在辐合区右侧。24小时之后(图1b),35°N以北正的IPV平流加强,在110~120°E的中高纬下沉气流亦加强,400~600hPa层是较

强的下沉气流区。是较高层干冷空气往下流动在此堆积所致,40~45°N是等压线的高梯度区,偏北气流与西南气流交汇在淮河流域到黄河下游一带,该处出现暴雨和大暴雨,对应着纬向高IPV区。7月5日08时(图1c),伴随着北方和高层冷空气的东移南下,淮河流域的高IPV区加强并略有南压,位于苏皖的强中心区达到1个单位。对应着风场上的气旋扰动,大暴雨和特大暴雨出现在皖东和苏中南,与IPV高值中心区吻合。6日08时(图1d),在等熵面上北方的北风显著加强,江淮低涡切变线西段南移呈NE—SW向,大于0.6单位的高IPV高值区也演变呈NE—SW走向。配合高IPV区,淮河流域雨带南压与其对应,暴雨和大暴雨发生在高位涡中心区内,即江苏南部。到了7日20时(图略),一直维持在淮河流域的高IPV区移出我国,本次强降雨过程告结束。从7月3~7日115~121°E平均315K IPV经向时间剖

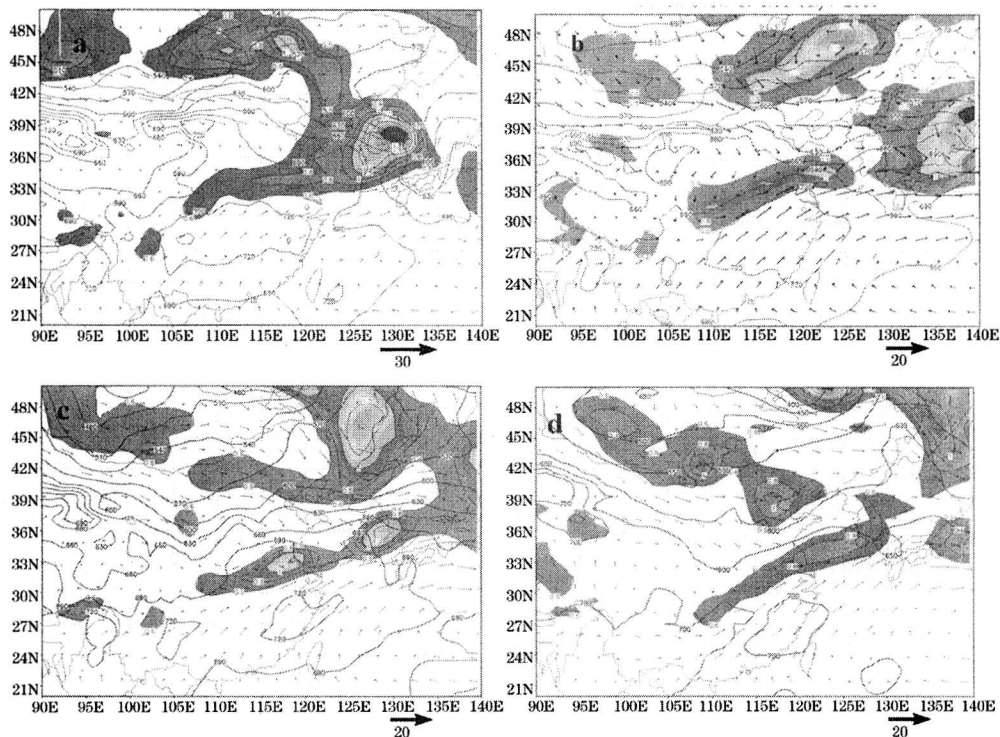


图1 2003年7月3~6日315K等熵位涡、气压场(实线)和风场

a. 7月3日08时, b. 7月4日08时, c. 7月5日08时, d. 7月6日08时

阴影区 ≥ 0.6 单位, 位涡单位: $1\text{PVU} = 10^{-6}\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$

面(图略)上可以看到,3日,大于0.8单位的高IPV带位于 34°N 附近,然后增强并范围扩大;5日,其强度最强,1个单位的强IPV中心出现在 33°N 附近,与之对应的江苏丹阳日雨量188mm、靖江183mm。6日,高IPV区维持且略有所减弱;7日08时,0.6单位的高IPV区明显南退减弱,伴随的强降雨也减弱。由此可见,24小时的大到暴雨区与大于0.6单位、大暴雨和特大暴雨区与1个单位IPV区有很好的对应关系,对暴雨落区和落时预报有指示意义。

从330K上(约在270~500hPa)的IPV、风矢量和气压场分布图(图略)上可见,3日08时,等熵面南北倾斜度很大,在 45°N 附近是270hPa,在淮河流域上空达到500hPa,此区间西风急流将中高纬高IPV向东传送,24小时后便输送到黄河下游至淮河流域。同时高纬的西北气流也将高IPV不断地向淮河

流域传递。5日08时,有一股冷空气沿中纬度锋区东移,使得在等熵面上中纬度向南伸展成一个高IPV舌,6日明显加强,说明西北气流将高纬的高IPV向南输送,同时穿越等压线产生下沉运动。在 40°N 以南等熵面倾斜不明显,淮河流域基本上处于500hPa,低纬北上的西南气流和中高纬的偏北气流在这一带汇合并形成气旋扰动,即低涡切变线,产生高IPV区,强降雨出现在低涡切变线的南侧。7日08时,淮河流域的IPV明显减弱,7日20时,高IPV区和伴随的降雨区一并移出我国。图2给出了330K上3~7日淮河流域 $115^{\circ}\sim 121^{\circ}\text{E}$ 之间平均IPV和降雨量的经向时间演变情况。从图中可见,大于0.8单位IPV区基本与大到暴雨区范围和轴向一致,并随着IPV高值区向南移动,强降水也逐步南压,暴雨中心位于IPV高值中心略偏南位置。

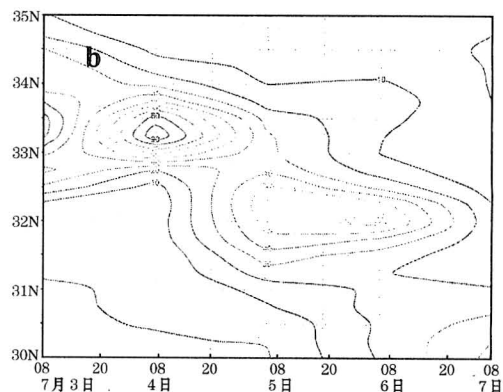
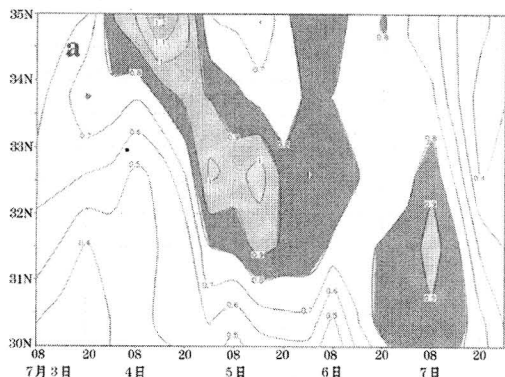


图2 2003年7月3~7日淮河流域($115^{\circ}\sim 121^{\circ}\text{E}$)平均等熵位涡(a)和平均雨量(b)经向时间演变

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

3.2 大气动力过程的垂直结构

7月4~5日,鄂东、皖北、苏中南连降暴雨和大暴雨,局地降雨量超过200mm。为了解大气动力的垂直运动过程,探讨强降雨的IPV垂直结构,图3分别给出了7月4日08时沿 32°N 和 119°E IPV和气压场的纬向和经向垂直分布。如图3a所示,在等熵面上等压线起伏并不很大,在 $99^{\circ}\sim 103^{\circ}\text{E}$ 、 $108^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 上空各有一个大于0.6单位高IPV区,与强降雨区对应的高IPV区,大约位于500~650hPa对流层中层,由低层到600hPa,IPV值逐步增大并向西倾斜,在305K上,110~

118°E 之间接近地面层的IPV大值区是当天较强的降雨区。从4日的IPV时间演变图(图略)上可以看到,大于0.8单位高IPV区02时开始缓慢东移,并向底层传递,逐渐影响降雨。从图3b上可看到,在 33°N 以北基本上IPV都大于0.5单位,高层的高IPV区向中低层伸展,形成一个舌。4日02时下伸到600hPa。在 $33^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$,400~600hPa分裂出IPV为1个单位的高值区,到了08时在我国内蒙古东北部上空出现高IPV闭合中心,同时,强偏北风穿越等压线下沉将高层及高纬的高IPV向南输送,使得暴雨区上空的

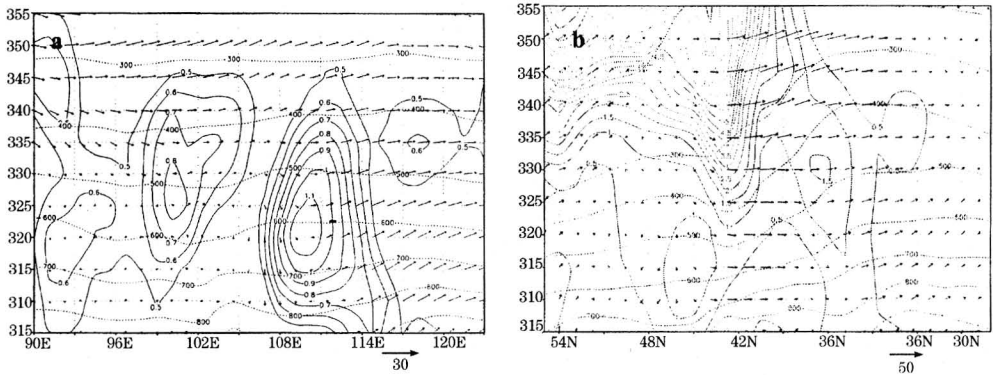


图3 2003年7月4日08时沿32°N(a)和119°E(b)IPV和气压场的垂直剖面
实线为等IPV线,虚线为等压线

高IPV得到维持。这也是淮河流域强降雨得以维持的重要原因。

4 结论

利用等熵位涡理论对2003年梅雨期间7月4~7日淮河流域特大暴雨进行了诊断分析。主要得到以下几点结论:

(1)淮河流域特大暴雨发生在欧亚中高纬度为稳定两槽一脊的阻塞环流条件下,主要影响天气系统是西风槽和低涡切变线。

(2)315K和330K上西风急流将高位涡向下游输送。强西北气流穿越等压线形成强下沉气流将高层和高纬度的高IPV向南输送,使得淮河流域上空维持高IPV区,是淮河流域强降雨带持续的重要原因。34°N以南的西南暖湿气流与北方南下的偏北气流交汇于淮河流域,产生气旋性环流,造成上升运动,也是形成该流域高IPV值的主要原因。

(3)315K等熵面上高IPV区与强降雨

密切相关,大于0.6单位IPV与暴雨区、大于1个单位IPV与大暴雨和特大暴雨区有较好的对应关系,具有预报指示意义。

参考文献

- 1 Isodoro Orlanski, and J. Sheldon. A case of downstream baroclinic development over western North America. Mon. Wea. Rev., 1993, 121: 2929—2950.
- 2 徐晶,陈联寿,徐祥德. 青藏高原高空型对西北太平洋台风路径影响的诊断分析. 应用气象学报, 1999, 10 (4): 410—420.
- 3 李立. 高原北侧降水过程的等熵位涡分析. 高原气象, 1992, (3): 267—274.
- 4 赵其庚. 侵入青藏高原冷空气过程的等熵位涡分析. 气象, 1990, (9): 9—14.
- 5 张绍晴,陈久康,雷兆崇. 等熵面位涡图上阻塞过程的演变特征. 南京气象学院学报, 1993, (2): 221—225.
- 6 Hoskins. B. J., M. E. McIntyre. and A. W. Robertson. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. Quart. J. Roy. Meteor. 1985: 877—918.

Isentropic Potential Vorticity Analysis of Heavy Rain in the Huaihe River Valley during 4—7 July 2003

Xu Jing Wang Dongsheng Yang Keming

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

A synoptic dynamic diagnosis of the heavy rain event in the Huaihe River valley from 4 to 7 July 2003 is carried out with the theory of isentropic potential vorticity (IPV). The results show that the westerly jet on the isentropic surface transported the high potential vorticity to the lower reaches, while the strong NW flow traversing the isobars became a strong sinking flow and transported the high IPV southward from higher layers and higher latitudes. This process kept a high IPV above the rain area and thus counted for the persistency of the heavy rain band. High IPV area is closely associated with heavy rain and thus can be a significant predictor.

Key Words: heavy rain isentropic potential vorticity vertical structure