

# 一次东亚寒潮过程的等熵位涡分析

赵其庚

(国家气象局气象科学研究所)

## 提 要

本文用等熵位涡 (IPV) 图分析了 1983 年 1 月 3—8 日东亚寒潮过程的动力学特征。在寒潮酝酿阶段, IPV 平流过程 (特别是东北急流的作用), 东北急流与其南面西偏北气流构成的东西向切变线与 IPV 极大值线相配合, 以及西偏北气流沿等熵面的绝热上升冷却, 这三者对于对流层中层横槽形成、加强和南下, 以及中层冷堆和地面冷高压的加强起着重要作用。我们认为, 用 IPV 图分析大尺度天气过程的动力学性质比较实用, 是一种有很大潜力的分析和预报工具。

## 一、引 言

自本世纪四十年代 Rossby (1940)<sup>[1]</sup> 引入最简单的现代位势涡度守恒概念 ( $\zeta_a/h = \text{常数}$ ,  $\zeta_a$  为绝对涡度,  $h$  表示正压模式中流体柱深度) 以来的半个世纪中等熵分析, 等熵位涡 (IPV) 分析经历了曲折的发展道路。四十年代已发现位涡对绝热无摩气流的保守性, 开始用来分析气团的源地和路径。五十年代 Kleinschmidt 用对流层上部的位涡距平来解释气旋生成。他注意到气流从极地平流层高位涡“水库”沿等熵面穿过对流层上部锋区的平流过程, 发现位涡的空间分布不仅可用来表示 Lagrangian 轨迹, 也可用于诊断整个的气流结构, 给后来的位涡的“可逆性原理”的发展以重要启示。但总的来说, 八十年代以前关于 IPV 的研究和应用发展缓慢。近年来, 由于发现 IPV 分析与现代大尺度动力学理论结合能形象直观地表示大气大尺度动力学性质, 特别是 Hoskins 等 (1985)<sup>[2]</sup> 作了许多研究工作, 论证 IPV 图对分析大气大尺度动力学过程的明显优点, 并强调 IPV 图在诊断研究和业务分析预报中的应用价值, IPV 的分析应用才又活跃起来。

现在应用的位涡, 常采用由 Ertel (1942)<sup>[3]</sup> 最先导出的形式

$$P = \frac{1}{\rho} (\hat{\zeta}_a \cdot \nabla \theta) \quad (1)$$

其中,  $\hat{\zeta}_a$  是三维绝对涡度,  $\rho$  为空气密度,  $\theta$  为位温。如取静力近似, 并作气压坐标 ( $p$ ) 和等熵坐标 ( $\theta$ ) 的转换, 可得

$$P = -g(f + \hat{k} \cdot \nabla_\theta \times \vec{v}) / (\partial p / \partial \theta)$$

或

$$P = -g(f + \zeta_a) \cdot \partial \theta / \partial p \quad (2)$$

上式就是 *IPV* 的基本公式。

根据 Hoskins 和 Eliassen(1983)<sup>[4]</sup>等对 *IPV* 基本性质,特别是可逆性原则的研究,可以把 *IPV* 图在使用上的特点归纳为:

(1) *IPV* 分布对应一定的气流结构。

(2) 高、低 *IPV* 区引起的气流结构的垂直深度  $H$  与其水平尺度  $L$  成正比,与 Brunt-väisälä 频率成反比,即  $H \sim fL/N$ 。

(3) 在高层的移动的高 *IPV* 区之下,前方将有大规模上升运动,后方有下沉运动,其垂直运动及其对地面系统发展的贡献,通常可用熟知的正涡度平流原则正确地指出(Bleck等,1984)<sup>[5]</sup>。

(4) 如用一排正负相间的 *IPV* 距平中心表示一系列 Rossby 波,用基本的南北向梯度表示纬向基本气流,则基本气流切变的正压和斜压不稳定的本质,分别是南北和上下两列 Rossby 波引起的速度场产生有意义的迭加。

利用这些特点,我们可以讨论许多大尺度平衡条件下的动力学现象,分析位涡分布对控制大尺度动力过程时间演变的特征。于是 *IPV* 图不仅在研究工作上而且在业务预报中成为很有潜力的工具。正如 McIntyre 和 Palmer(1984)<sup>[6]</sup>所说,*IPV* 图“对于形象地表示大尺度动力过程是最简单和最有效的方法”。本文将用 *IPV* 图具体分析 1983 年 1 月的一次东路东亚寒潮过程。

## 二、资料和计算方法

本文的 *IPV* 计算使用欧洲中心(ECMWF)的分析资料,水平分辨率为  $2.5 \times 2.5$  经纬度,垂直方向为 7 层,要素包括高度、温度和水平风速。首先计算各等压面各格点的位温和涡度,然后内插出主要等熵面的高度和气压。如遇某层位温出现超绝热情况,则采用调整方法先予以消除。然后按等熵面高度内插出风速和涡度,最后用(2)式算出 *IPV*。单位取为  $10^{-7} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{k} \cdot \text{kg}$ 。*IPV* 图附有风矢和气压分布,这便于考虑平流过程和等熵面的起伏变化。

## 三、天气过程演变

1983 年 1 月 6—8 日有一次路径偏东的寒潮影响我国。使我国东部地区降温 8—12℃,东北平原降温 16—20℃。由 1 月 3—8 日的 500hPa 高度场和地面天气系统的演变可以看出,在 1 月 3—5 日是寒潮发展酝酿阶段(图 1a),乌拉尔山北部的阻塞高压减弱东移,贝加尔湖北部低槽发展南下成为东西向横槽位于 48°N, 90—105°E;同时地面冷高压迅速南下并急剧加强,中心强度从 1 月 3 日的 1031hPa 升至 1 月 6 日的 1062hPa,位置在蒙古西部(95°E, 50°N)。6 日(图 1b)横槽转竖南下至黄河河套附近,地面冷空气南下,锋达东北平原和黄河流域,8 日达华南沿海。

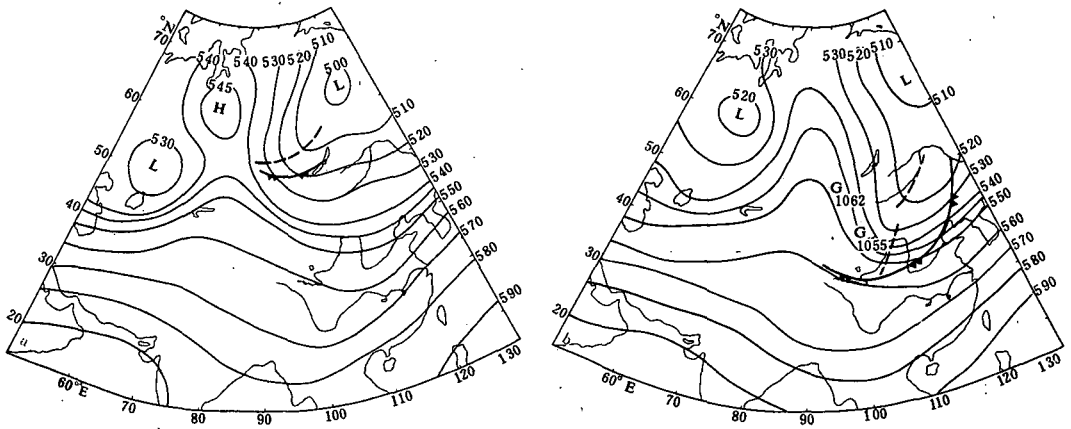


图1 1983年1月4日(a)和6日(b)500hPa高度场及地面高压中心和锋面位置图。

#### 四、用 *IPV* 图分析过程的动力学特征

我们分析了1983年1月3—8日逐日5个等熵面(350, 330, 315, 300和285K)的 *IPV* 图。从等熵面的气压分布看,等熵面一般由北向南倾斜。在40—70°N, 315K及以下的等熵面高度变化较小, 315K面的气压在250—300hPa之间, 接近对流层顶; 300K及以下的等熵面坡度较大, 300K面的气压可相差200hPa。在40—20°N, 315K面从北向南气压从300变到500hPa; 300K面从500变到850hPa, 在青藏高原地区与地面相交。我们选择315K和300K两个等熵面进行分析, 基本可代表整个对流层的情况。把1月4日和6日的300K(图2)和315K(图3)的 *IPV* 图与500hPa高度图(图1)进行比较, 可见500hPa图上的高、低气压系统位置分别与低、高 *IPV* 中心相应, 高度场好像是 *IPV* 场的高度平滑结果。

从1月3—5日寒潮酝酿过程的 *IPV* 图看, 在3日的300和315K图(略)上, 出现一个东北—西南向的 *IPV* 线密集区, 位于70°N100°E, 到60°N85°E, 配合着强东北风, 其西侧为低 *IPV* 中心, 东侧为高 *IPV* 中心, 它们分别与500hPa的阻高和冷低相应。在62°N附近高 *IPV* 中心向西伸出一高值区, 其北以东北气流为主, 其南为西北气流, 两者构成强气旋性切变。从3日到5日这支东北急流和强切变发展并南下, 4日至53°N, 5日达48°N, 它与横槽建立和冷堆加强有密切联系。下面我们以1月4日为代表作较细致的分析。

在1月4日的315°K面 *IPV* 图(图3a)上, 在120°E67°N有个大于60单位的高 *IPV* 中心, 代表来自极地平流层和对流层顶部的冷空气, 其上游在62°N80°E附近是小于10单位的低 *IPV* 中心, 代表来自副热带的暖空气。从风场看, 高 *IPV* 中心区为东北气流, 正在把高 *IPV* 向西南平流, 而低 *IPV* 中心区为弱的西北气流。在高 *IPV* 区西部, 从68°N到55°N有一条宽约10个经度的东北风急流(最大风速达40ms<sup>-1</sup>以上), 它与南面的西偏北气流(位于52.5°N)构成强切变。在4日的300K图(图2a)上, 高低 *IPV* 系统的配置, 东北急流、切变

线和平流特征与 315K 基本相同，不同的是高低位涡中心区的等熵面高度相差非常大，高 IPV 中心气压约为 300hPa，而低 IPV 中心约为 500hPa，等熵面自东向西倾斜，东北急流正处在坡度最大地带，急流东西两侧气压差高达 100hPa。

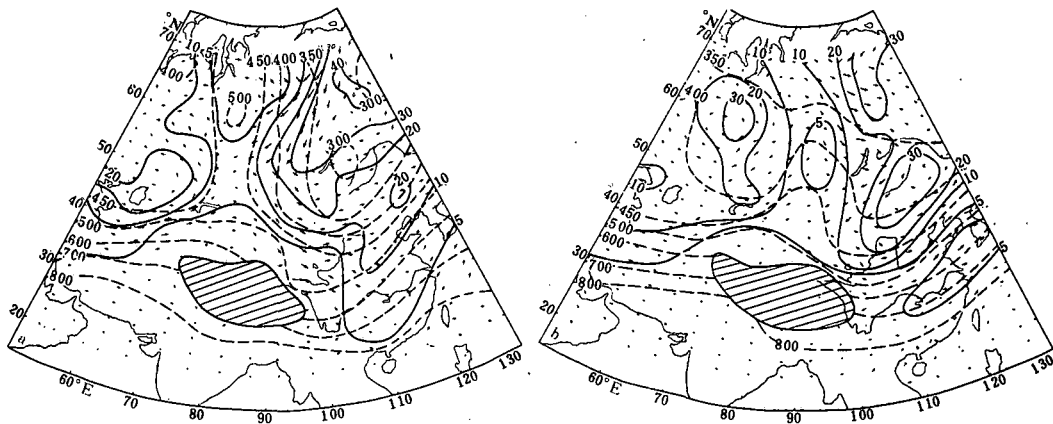


图 2 1983 年 1 月 4 日(a)和 6 日(b)300K IPV (实线,单位  $10^7 s^{-1} m^2 kg$ )、风矢和气压 (虚线,单位 hPa)分布图。(阴影区为地形,其外围线是等熵面与地形的交线。)

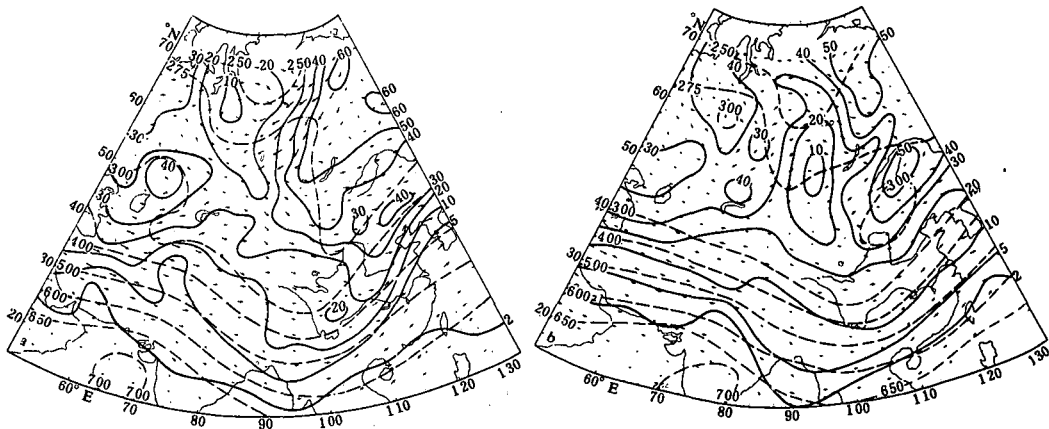


图 3 1983 年 1 月 4 日(a)和 6 日(b)315K IPV、风矢和气压分布图。(说明同图 2。)

图 4 是 1 月 4 日沿东北急流轴线(50°N90°E—70°N110°E)的垂直剖面图。可见这支急流不但水平方向较宽,垂直方向也很深厚,从对流层中层直到平流层下部,最大风速层在 300hPa 左右。另外,急流从东北向西南的流动过程中沿等熵面下滑,在 315—350K 面下滑坡度较小,而在 300K 面(400hPa)下滑很明显。

图 5 是沿由东北急流和西北气流构成的东西向切变线两侧的垂直剖面图。由图 5a 可见,沿切变线北侧(55°N),从 80°E 到 102.5°E,除位于 200hPa 以上的 350K 面已转为西北风外,几乎全是东北气流,风速大于  $30ms^{-1}$  的区域在 90—97.5°E,250—400hPa。而在沿切变线南侧的 52.5°N 线上(图 5b),上述东北风区大部为西偏北气流所取代,在 90—95°E 已

是大于  $30\text{ms}^{-1}$  的西北气流。两剖面对比可见,此切变极深厚(200—700hPa),最强在 300hPa,  $90\text{--}97.5^\circ\text{E}$ 。由图 5 还可见 300 和 315K 面在切变线区域是明显由东向西倾斜的,因此北面的东北气流是沿等熵面下滑的,而南面的西北气流是沿等熵面上升的。这一点由 4 日 300K 面上风矢与等压线的配置看得更清楚,尤其在  $52.5^\circ\text{N}, 95^\circ\text{E}$  附近,西北风速最大,与等压线交角也最大,故上升运动最强烈。正是在这个地区,24 小时后(1 月 5 日 20 时)形成 1055hPa 的高压中心,中心气压较前日增加 12hPa。陆光明,姚竞生和陶祖钰(1983)<sup>(7)</sup>在对寒潮冷堆增强的动力原因分析中,通过对寒潮过程中 300hPa 偏北急流出口区两侧垂直速度的计算曾发现,急流出口区左前的上升运动对寒潮冷堆增强起了重要作用。对于我们讨论的过程,则可以认为切变线南侧的深厚(350—700hPa)西北气流的绝热上升冷却会对冷堆增强起很大作用,使地面高压中心迅速加强。

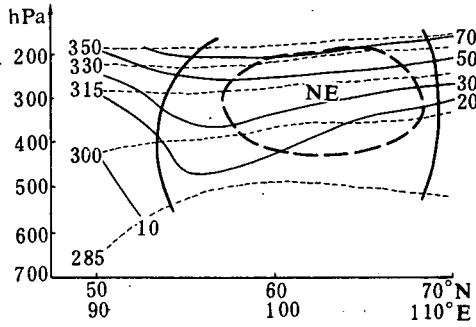


图 4 1983 年 1 月 4 日 20 时沿东北急流轴线垂直剖面图  
(实线:  $IPV$  (单位:  $10^{-7}\text{s}^{-1}\text{m}^2\text{k kg}$ ), 虚线: 等位温线(K), 粗实线: 东西风分界线, 粗虚线内为东北风速大于  $40\text{ms}^{-1}$  区域)

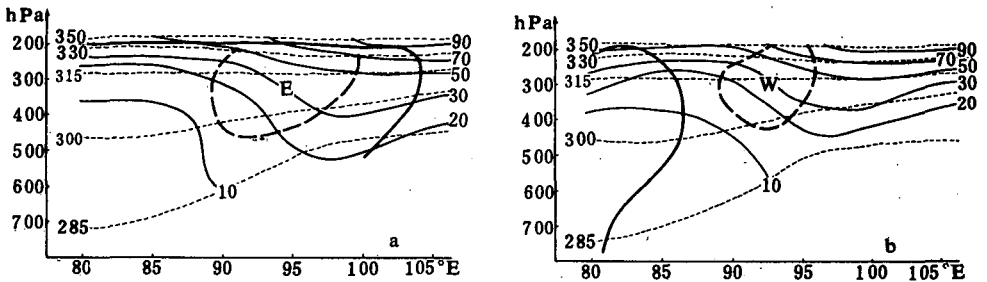


图 5 1983 年 1 月 4 日 20 时(a)切变线北侧( $55^\circ\text{N}$ )和(b)切变线南侧( $52.5^\circ\text{N}$ )的垂直剖面图  
(除最大风速区为风速大于  $30\text{ms}^{-1}$  外,其它说明同图 4)

以上分析表明,这次冷空气在 1 月 4 日前后的南下和酝酿加强与以下过程有密切关系,即位涡沿等熵面的平流过程(特别是东北急流的作用),与 *IPV* 极大值线相配合的东西向气旋性切变线的存在和南下加强,切变线南侧西偏北气流的绝热上升冷却等。

1 月 6 日的 300 和 315K 面 *IPV* 图(图 2b 和 3b)显示出寒潮爆发阶段的特征。这时高低 *IPV* 系统均东移南下。代表阻塞高压崩溃后残余暖空气的低 *IPV* 中心,向东南移至 55°N、95°E 附近。代表冷空气的高 *IPV* 中心,南下到 50°N、115°E 附近,冷空气大举爆发,已影响我国北方大部地区。从 300K 图可看出冷空气的气流结构。代表来自平流层或对流层顶部冷空气的高 *IPV* 中心,强度达 40 单位(47.5°N、115°E),冷空气呈气旋性环流从西部向南爆发,在贝加尔湖以南 50°N 到 45°N 为东北风,再往南则转为西北风或西风,这时地面冷空气已达 35°N(见图 1b)。由等熵面气压看,低 *IPV* 中心西部的东北风在 300K 面有下沉运动,而在 315K 面不明显。在 45°N 以南的西北或西风则无明显沿等熵面的升降运动。1 月 7 日,高 *IPV* 中心已东移至我国东北北部并明显减弱,我国北方大部已为西北气流控制,地面冷空气达长江流域。残余的低 *IPV* 中心移到黄河河套北部。8 日上述高 *IPV* 中心继续东移,低 *IPV* 中心消失,地面冷空气到华南,过程基本结束。

## 五、小 结

由以上分析,可把这次寒潮的酝酿和爆发过程的动力学特征,以 300K 面为主,概括如图 6。

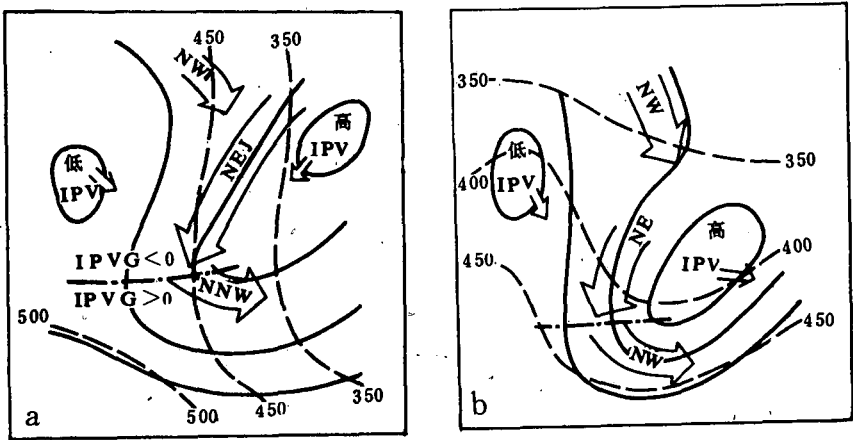


图 6 寒潮酝酿(a)和爆发(b)过程模式图

(实线:等熵线,虚线:300K 面等压线,箭头:主要气流方向,粗点划线: *IPV* 梯度 0 线)

在寒潮酝酿阶段(图 6a)的特征是:

(1)在对流层上部,乌拉尔山北部阻塞高压减弱东移,对应的低 *IPV* 中心向东南平流,而下游的高 *IPV* 中心则向西南平流,使扰动波长缩短并向南发展。

(2)高 *IPV* 中心西部东北风急流(*NEJ*)深厚强大,最大风速层在 300hPa,风速达

$40\text{ms}^{-1}$ 以上。急流本身自东向西倾斜,并在向西南流动中沿等熵面下沉,对位涡平流起了重要作用。

(3)东北急流与其南面的西偏北气流(WNW)构成强的气旋性切变,此切变与东西向的IPV极大值线一致。线北IPV向北的梯度为负( $IPVG < 0$ ),线南 $IPVG > 0$ 。这是横槽发展的重要特征。

(4)切变线南的西偏北气流(350—700hPa)有明显上升运动,其绝热冷却作用对于对流层中层冷堆形成及地面冷高压加强有很大作用。

以上特征展现了通常在500hPa图上见到的横槽形成、发展南下和冷堆增强过程中的几个动力学特征。

在寒潮爆发阶段(图6b),低IPV区东北部的西北风加强,高IPV中心迅速南下(或分裂南下)。低IPV中心区为西北风,高IPV中心为偏西风。上述寒潮酝酿阶段的(2)、(3)和(4)特征都已不明显或消失。高IPV区东南部的西北风加强,范围扩大,具有气旋性曲率的西北气流大举南下。这与500hPa图上横槽转竖、冷空气爆发形势相对应。

用IPV图分析大尺度天气过程时间演变比等压面图形象直观,对深入理解天气过程本质,探索预报思路有一定帮助。

## 参 考 文 献

- [1] Rossby, C. G., Planetary flow patterns in the atmosphere, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **66**, suppl., 68—87, 1940.
- [2] Hoskins, B. J., M. E. McIntyre, and A. W. Robertson, On the use and significance of isentropic potential vorticity maps, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **111**, 877—946, 1985.
- [3] Ertel, H., Ein Neuer hydrodynamischer Wirbelsatz. *Met. Z.*, **59**, 271—281, 1942.
- [4] Eliassen, A., The Charney-Stern theorem on barotropic-baroclinic instability, *Pure Appl. Geophys.*, **121**, 563—572, 1983.
- [5] Bleck, R. and C. Mattocks, A preliminary analysis of the role of potential vorticity in Alpine lee cyclogenesis, *Beitr. Phys. Atmos.*, **57**, 357—368, 1984.
- [6] McIntyre, M. E. and T. N. Palmer, The surf zone in the stratosphere, *J. Atm. Terr. Phys.*, **46**, 825—849, 1984.
- [7] 陆光明、姚竞生、陶祖钰, 寒潮冷堆增强的动力原因, *气象学报*, **41**, 393—403, 1983.

## ANALYSIS WITH ISENTROPIC POTENTIAL VORTICITY ON A COLD WAVE IN SOUTHEASTERN ASIA

Zhao Qigeng

*(Academy of Meteorological Science, SMA)*

### Abstract

The dynamical characteristics of a cold wave in southeastern Asia during 3—8 January 1983 were analysed with isentropic potential vorticity (IPV) charts. In the brewing stage of the cold wave there are following three factors that play important role for the formation, intensification and southward movement of transversal trough in the mid-troposphere, and for the enhancement of mid-troposphere cold dome and surface cold high. They are IPV advective process (specially northeastern jet), coincidence of the shear line between northeastern jet and northwesterly with IPV maximum line, and cooling process of upward northwestern flow. We believe IPV charts to be really effective for dynamic analysis of large scale weather process, and they are shown to be a useful tool for weather analysis and forecasting.