

侵入青藏高原冷空气过程的等熵位涡分析

赵其庚

(气象科学研究院)

提 要

用等熵位涡 (IPV) 图分析了1983年1月8—10日侵入青藏高原的一次较强冷空气过程。过程中, 冷空气自乌拉尔山东侧的平流层, 经巴尔喀什湖地区 and 新疆, 进入青藏高原。天气系统在巴尔喀什湖地区强烈发展。文中讨论了其发展的动力学特征, 揭示了冷空气的性质和结构及高原的影响。同时表明IPV图对大尺度天气过程的分析 and 预报具有很大潜力。

一、引 言

1983年1月8—10日有一次侵入我国西部的较强冷空气过程。强冷锋由西北边境进入我国, 横扫天山南北, 然后自西北向东南通过高原。关于影响我国西部和青藏高原地区的冷空气过程已有许多天气学研究^{[1], [2]}。本文将采用等熵面位涡图作为主要工具分析这次冷空气过程, 以揭示寒潮冷空气发展演变特征、结构及高原对冷空气的影响。

近几年来, 由于发现等熵位涡 (IPV) 分析易于与现代大尺度动力学理论相结合, 能够比较形象直观地显示出大尺度运动的动力学性质, 给等熵分析注入了新的活力。关于IPV图的意义和应用, Hoskins等^[3]已有比较全面的论述。作者也曾根据IPV的两个基本性质 (在绝热无摩擦大气运动中的守恒性, 位涡与运动场和质量场间关系的可逆性), 对Ertel形式的等熵位涡应用中的几个定性规则作过介绍, 并应用于一次东亚东路寒潮的分析^[4]。为了下文分析叙述方便, 这里简要指出IPV图在应用上的几个定性特征。

(1) 等熵面上的IPV分布对应着一定的气流结构。高IPV区对应气旋性环流, 低IPV区对应反气旋性环流。相应的等压面高

度图好象是IPV图经过平滑处理后的结果。IPV的空间分布, 一般是自极地向赤道减小, 自高空向地面减小。在平流层一般大于40单位 ($10^{-7} \text{s}^{-1} \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

(2) 高、低IPV区引起的气流结构的深度与其水平尺度成正比, 与大气稳定度成反比。

(3) 高层移动的高IPV区对垂直运动和地面天气系统发展的影响, 可由熟知的正涡度平流原则来判断。即用高层等熵面的正位涡平流, 代替高空等压面的正涡度平流, 则平流原则照样适用。

二、资料来源和计算方法

本文的IPV计算, 使用欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 的分析资料, 垂直分辨率7层, 水平分辨率为 2.5×2.5 经纬度。要素包括各等压面高度、温度和水平风速。范围是 $15-70^\circ \text{N}$ 、 $50-130^\circ \text{E}$ 。位涡取Ertel形式^[3]

$$P = -g(f + \xi_\theta) / \frac{\partial p}{\partial \theta}$$

其中 g 为重力加速度, f 为地转参数, ξ_θ 为等熵面相对涡度, p 为气压, θ 为位温。

首先计算各格点各等压面之位温和涡度, 然后内插出各等熵面 (本文取350, 330,

315,300和285K)的位势高度和气压。如遇某层出现超绝热情况,即下界位温高于上界,则采用保持该层平均位温不变的方法,先予以消除。再据等熵面位势高度内插出风速和涡度,最后计算出各等熵面的IPV。单位取为 $10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$ (以下简称单位)。此外还用平滑地形,计算了地面位温和气压,以便分析大地形的影响。IPV图上还附有风矢和气压等值线,以便考虑平流过程和等熵面的起伏变化。

三、天气过程

本次过程(图略),冷锋于1983年1月8日8时进入我国新疆,9日20时已扫过天山南北,达青藏高原北侧,10日20时已过拉萨。地面高压中心位置和强度变化表明,7日20时到8日20时巴尔喀什湖附近的高压突然发展扩大,强度从1035增至1046hPa。9日20时向东移至蒙古西部,强度升至1056hPa。10日8时有一分裂中心南下到青藏高原北侧,位于南疆的高压中心强度为1050hPa。可见这次冷空气是在1月7日到9日加强南下,在9日到10日影响高原地区的。

图1是由位于 90°E 附近的拉萨等5站的探空记录绘制的9日20时到10日20时的24小时变温垂直剖面图。由图可见冷锋过后高原地面降温 $3-7^\circ \text{C}$,而最大降温层在400—500hPa,达 $8-10^\circ \text{C}$ 。因此也可以说,这也是一次对流层中层锋区南侵过程。

由1月7—10日500hPa高度图(图略)看,7日亚洲中高纬度为两槽一脊形势,上游低压中心位于 67°N 、 70°E ,大槽向西南伸向咸海附近。8日此槽在东移过程中,中段(在巴尔喀什湖附近)突然发展,同时在其上游咸海以西长出一暖脊。这正是地面高压在巴湖附近加强之时。9日,前述暖脊迅速发展东移,其东面的槽移至新疆西部并向南加深,在高原西部上空形成一横槽。10日系统东移,横槽东摆减弱,冷空气扫过高原。

整个高空形势发展表明,这次冷空气南下、加强的关键,是7到9日巴尔喀什湖高空槽的突然加深南下,继而在我国新疆形成横槽。

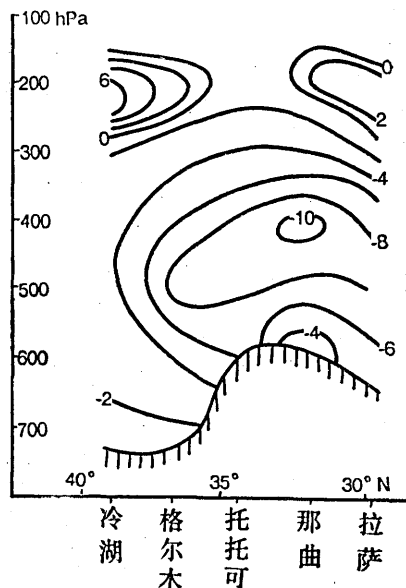


图1 根据拉萨等5站资料绘制的1983年1月9日20时至10日20时降温($^\circ \text{C}$)垂直剖面

四、IPV图分析

根据天气过程的分析,我们用IPV图重点分析7—9日巴尔喀什湖高空槽发展南下的原因和9—10日冷空气影响高原时气流的三维结构,进而讨论高原对冷空气的影响。

1. 巴尔喀什湖高空槽的发展和横槽的建立

图2是1983年1月7日和9日的315K等熵面的IPV图。由315K等熵面的气压分布来看,在 $40-70^\circ \text{N}$ 为220—300hPa,大部处于对流层顶以上,等熵面坡度较小;在 $20-40^\circ \text{N}$ 为300—680hPa,处于对流层的中部和上部,等熵面坡度变化较大。由图2可见,在亚洲中高纬度有两个主要高IPV区和一个低IPV区,恰与500hPa的二槽一脊相对应。在上游,与从乌拉山东侧伸向咸海附近的大槽相应的是一狭长的高IPV区,这里清楚

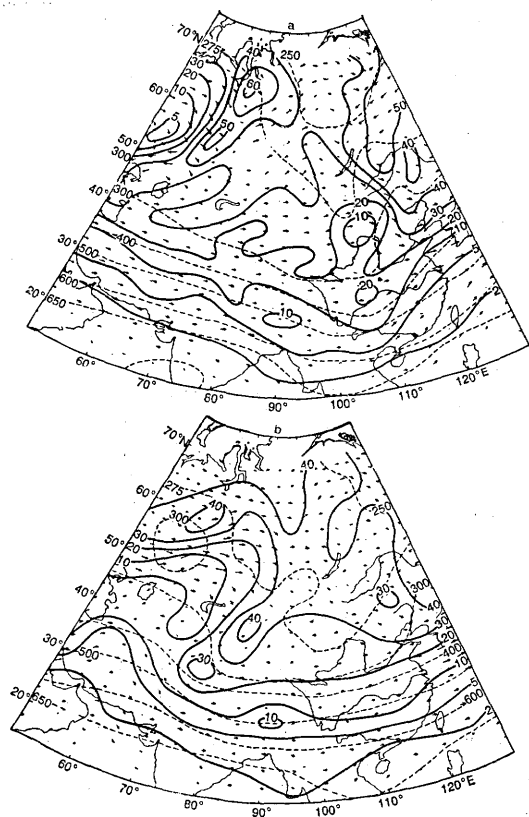


图 2 1983年1月7日(a)和9日(b)20时315K等熵面IPV(实线,单位: $10^{-7} \text{ s}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{kg}$)、风矢和气压(虚线,单位:hPa)分布图

地出现两个中心。北面的大于60单位,位于 65°N 、 75°E 。南面的大于50单位,位于 56°N 、 69°E ,是从北面主体切断下来的。它们代表源自平流层的冷空气。在南面的高IPV中心的上游是小于5单位的低中心(位于 55°N 、 55°E),两者之间IPV梯度极大,而且对应着一片强西北风。由沿 55°N 的垂直剖面图(图3)知,这片西北气流很深厚,从500直至200hPa层以上,最大风速达 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,出现在300hPa附近,从而造成了向东南方向的强IPV平流。可以认为,这是上述西亚大槽在中段(巴尔喀什湖附近)猛烈发展的一个重要原因。另外,由这片西北风区的等熵面看,315K面及以上起伏不大,而300K面自西向东明显升高,从

西边低IPV中心附近(50°E)的570hPa变到东面高IPV中心附近(67.5°E)的400hPa。因而这片西北气流在绝热无摩擦条件下,会在向东南移动中沿等熵面上升而绝热冷却,这是造成对流层中层冷空气在南下中加强,使高空槽加深的一个因素。

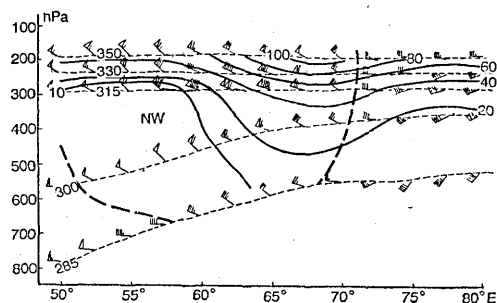


图 3 1983年1月7日20时沿 55°N 垂直剖面图
实线为IPV线;虚线为等熵面;粗虚线区为西北风范围

1月8日(IPV图略),沿前述的强西北气流方向,前一天位于 55°N 附近的低和高IPV中心及其最大IPV梯度带,已移到 45°N 一线。低中心在 60°E (威海附近),高中心在 77°E ,北面高纬的高中心已减弱东移。但这时在 45°N 附近的最大IPV梯度区已不再是强西北气流了,高IPV中心的西部已转为东北风,西北气流的平流作用已不重要。可是在西边的低IPV中心北部($55-58^\circ\text{N}$)出现较强的西风急流,把低位涡暖空气向东输送,它阻挡了北面高纬冷空气的南下,使威海暖脊向东发展,也与我国新疆地区的横槽形成有密切关系。

1月9日(图2b),上述西风急流迅速向东扩展加强,急流轴南压至 53°N ,其东端已达 80°E 。从我国新疆北部到高原西缘为一东北西南向的高IPV带所控制,主要中心在新疆北部(43°N 、 85°E),强度达42单位。表示7日在乌拉尔山东的强冷空气已南下控制我国西北,逼近青藏高原。这与500hPa新疆横槽形成相对应,但比高度图更清楚地显示出冷空气的源地和气流结构。

2. 冷空气侵入高原地区时,315和300K

等熵面的气流结构

图4给出1983年1月10日20时315K(a)和300K(b)等熵面IPV风矢和气压分布。由图4a可见,1月10日315K面上的西风急流已向东发展达贝加尔湖附近;南面的高位涡带压向东南。原位于新疆北部的高IPV中心向东南移至 40°N 、 88°E ,中心强度为38单位。冷空气在高IPV中心西部呈气旋性环流,由西北向东南侵入高原上空。等熵面气压分布显示,此地区等熵面自北向南倾斜很大,高原北侧气压在300hPa左右,南侧已降至500hPa层。西北气流沿等熵面下沉会产生绝热升温,这可能是高原表面气层降温较小(见图1)的一个原因。

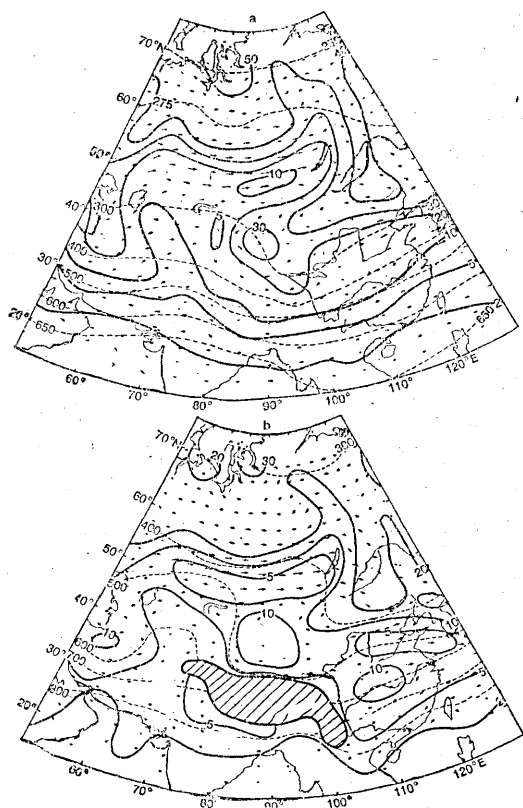


图4 1983年1月10日20时315K(a)和300K(b)等熵面IPV、风矢和气压分布图

图b阴影区为地形,外圈线是等熵面与地形交线;

其它说明同图2

300K面IPV分布(图4b),在高原以

北基本与315K相同,位于高原北面的高IPV中心强度为19单位。在高原地区等熵面倾斜更大,在高原南北两侧分别与地形相交于750和500hPa。气流分成两支绕过高原,南支气流在 100°E 以东折向东北,并有沿等熵面爬升的趋势,北支在高原东北部呈反气旋性绕流,易造成冷空气堆积。在长江中游,有大于10单位的高IPV中心出现,气压在600hPa左右,显示出低涡的出现,它造成了10—12日江南大范围的雨雪冰凌天气。

3. 冷空气的垂直结构及高原对其影响

图5是1月10日20时沿 40°N 、 90°E 和 32.5°N 的三个垂直剖面图。沿 40°N 的垂直剖面图(图5a)通过高原北面的高IPV中心,代表冷空气主体的结构。IPV的垂直分布显示,高IPV中心轴线在对流层略向东倾斜,在对流层顶以上向东明显倾斜。500hPa中心位于 85°E ,200和100hPa中心分别位于 90°E 和 100°E 。高IPV中心附近,对流层顶之上的等熵面(如350和330K)向下凹,对流层的等熵面(如300和285K)向上凸。这正是深厚冷性系统的典型结构。在对流层中层以上它与欧洲的切断冷低系统相似(参见Peltonen[5]),不同的是在地面上不是气旋而是冷高压。等熵面分布的另一特点是,对流层中层东西方向上是不对称的,中心西部的等熵面向东上升的坡度很大,会造成偏西气流的强烈上升绝热冷却,使中层冷空气在高原北侧进一步降温。

图5b是沿 90°E 通过高原的垂直剖面。可见除了前述位于高原北侧 40°N 附近的高IPV冷空气主体外,在高原上空,对流层顶之上,还有一个分裂出来的高IPV中心。这说明低层冷空气受高原阻挡,高空冷空气却分裂南下。由等熵面形势看,在高IPV中心附近,也具有“在对流层顶之上向下凹,在对流层向上凸”的特征。但在高原上空,这个特征已为等熵面向南急剧降低的特征所掩盖。另外,如用类似Hoskins的方法,采用

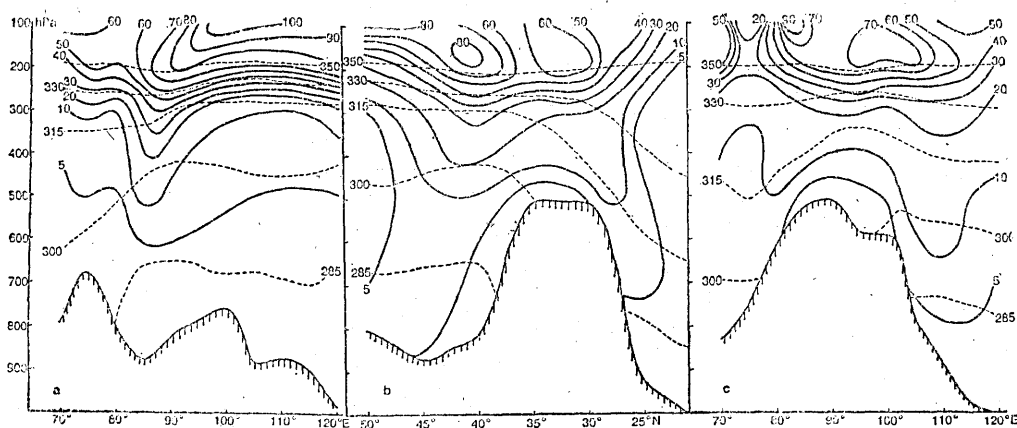


图5 1983年1月10日20时沿40°N(a), 90°E(b)和32.5°N(c)的垂直剖面图
实线为等IPV线、虚线为等熵线,下面实线为地形。

IPV等于5单位的等值线表示冷空气的范围,则由图5b可见,此冷空气自平流层而下,冷舌在高原北侧直伸至地面,在高原南侧,达到700hPa层。这与常规天气图分析的冷锋扫过高原的实况基本一致。另外,在高原表面附近气层(500—400hPa左右)的IPV值较高原南北部小,也表现出高原对气流的影响。

图5c是沿32.5°N的垂直剖面图,可代表高原主体之上冷空气沿纬向的特征。与高原北侧(图5a)的情况相比,可见高原上空的高IPV中心位置偏东,除了由“等熵面在平流层下凹,在对流层上部上凸”表示出的冷性系统特征外,突出的特点是,在400hPa以下,高原地表之上,存在一个低IPV区,它清楚地表示出近高原地表层冷高压控制的反气旋环流的范围。在高原东侧,IPV为高值,冷空气舌伸向低层,在对流层中下层形成冷涡。高原西侧75°E附近为低IPV所控制,具有暖性系统特征,它与冬季对流层中上部平均脊的位置相近。

五、总结和讨论

1. 由代表冷空气的高IPV中心的移动路径,可以看出这次冷空气是来自乌拉尔山

东侧的高纬平流层。在冷空气南下的过程中,在巴尔喀什湖附近的对流层上层出现的强西北风,造成的正IPV平流和中层西北气流沿等熵面的绝热上升冷却,对分裂南下的冷空气在巴湖地区迅速加强(高空槽突然发展,地面气压猛升)有重要贡献。而冷空气进一步进入新疆,并影响青藏高原,又与1月8日在乌拉尔山南部(55—58°N)出现的强西风急流,把低IPV暖空气向东平流,使威海附近暖脊迅速向东发展关系密切,这与王为德^[1]指出的影响新疆寒潮的“里海、乌拉尔山长脊过程”的高空形势相类似,导致在新疆形成横槽。

2. 由冷空气影响高原时的IPV场分析,比较清楚和直观地显示出冷空气系统在高原之上及高原四周的三维气流结构特征、性质和影响范围,并反映出高原对冬季东亚大气环流的重要影响。叶笃正等^[6]指出,冬季青藏高原对大气环流产生的影响主要在于动力方面,并认为海陆产生的冷热源分布决定西伯利亚高压的存在,高原的有无,影响着西伯利亚高压的位置和强度。Manabe和Terpestra^[7]进行的有无地形对比数值实验结果表明,无地形比有地形的西伯利亚高压偏南15个纬度。实验还显示出地形的作用

可以透过对流层顶影响到平流层环流,使绕极涡旋变形,在北美到亚洲方向拉长。本文上面分析给出的冷空气影响高原时气流结构和性质,可以认为是高原地形与冷空气系统的环流相互作用的结果。冷空气在高原北面的加强,在高原上空的平流层出现与北方冷空气主体分裂的高IPV中心,高原地形对低层冷空气南下的阻挡,低层气流的分支和绕流,高原地面层附近的冷高压,高原上游对流层中上层的暖脊和高原下游对流层中下层的冷涡等一系列特征,都表现出高原地形对寒潮冷空气和东亚大气环流的重要影响。

3. 与常规等压面图比较,IPV图有一定优点和特点。由于IPV在绝热无摩擦运动中的守恒性,以及在一定边界条件和平衡条件下与运动场和质量场关系中的可逆性,我们既可用其守恒性去追溯气流的源地,判断气流的性质;又可据其可逆性,去讨论大尺度平衡条件下过程的动力学性质和时间演变特征。本文采用的等熵位涡图配合有风矢和等压线,这种形式能在一定程度上看出气流运动的空间结构,即不但有水平运动而且有

沿等熵面起伏的垂直运动,配合风矢则又可看出IPV平流的特征。这种图可为天气分析和预报提供比等压面图更多的信息,而且制作并不复杂,故便于业务应用。因此可以认为,IPV图对大尺度天气动力学分析和预报应用是一种有潜力的工具。

参 考 文 献

- (1) 王为德,寒潮过程天气预报,气象,1981.2.
- (2) 鲍玉章,西藏冬季降雪的卫星云图分析,气象,1980.2.
- (3) B. J. Hoskins, 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.
- (4) 赵其庚,一次东亚寒潮过程的等熵位涡分析,应用气象学报,1990年4期.
- (5) T. Peltonen, A case study of an intense upper cyclone over eastern and northern Europe in November 1959, Geophysica (Helsinki), 8, 225—251, 1963.
- (6) 叶笃正,高由禧等,青藏高原气象学,第十六和第十七章,科学出版社,1979.
- (7) S. Manabe and Terpstra, The effects of mountains on the general circulation of the atmosphere as identified by numerical experiments, J. of Atmos. Sci., 31, 3—42, 1974.

An analysis with isentropic potential vorticity on a cold wave entering the Qinghai-Xizang Plateau

Zhao Qigeng

(Academy of Meteorological Science)

Abstract

A strong cold wave entering Qinghai-Xizang Plateau during 8—10 January of 1983 is analysed by the isentropic potential vorticity (IPV) maps. In this process, the cold air from the stratosphere over the eastern side of the Urals entered its appearance into the Qinghai-Xizang Plateau through the area of Balkhash Lake and Xinjiang. The weather system developed strongly in the Balkhash Lake area. Its dynamic characteristics for the development is discussed. The feature and structure of the cold currents and the effects of the plateau are discovered. Therefore it shows that IPV maps are potentially reasonable for the analysis and forecasting of the large scale weather systems.