

湖北省一次罕见寒潮天气过程气温陡降分析

王 丽 韦惠红 金 琪 湛 伟

(武汉中心气象台, 430074)

提 要: 利用常规地面资料以及 T213、自动站资料, 对 2005 年 3 月 10—11 日发生在湖北省的一次罕见寒潮过程中两次气温陡降进行了成因和湿位涡诊断分析。分析表明, 第一次气温陡降是由于地面强冷空气侵入暖槽, 第二次气温陡降主要是高空冷平流下传和地面自西向东发展的降水导致; 湿位涡湿斜压项 MPV2 的时空演变和强冷空气的发展、移动、气温陡降有很好的对应关系。

关键词: 强寒潮 冷平流 湿位涡 气温陡降

Analysis of Temperature Sudden Drop in a Rare Cold Wave Event over Hubei Province

Wang Li Wei Huihong Jin Qi Shen Wei

(Wuhan Central Observatory, Hubei Province 430074)

Abstract: Using routine ground observation data, T213 and automatic observation station data, diagnostic analyses are made on the causes and moist potential vorticity for the twice sudden drop temperature in a rare cold wave event from 10 to 11 march 2005 in Hubei Province. The results show that the strong cold air flowing into a warm trough induced the first temperature sudden drop, but the second was resulted in the upper cold advection passing downward and the surface precipitation band moving from west to east. The spatial-temporal evolvment of mpv2 being the horizontal component of moist potential vorticity (MPV) has a good relationship with the development, moving and the temperature sudden drop in the severe cold air.

Key Words: severe cold wave cold advection moist potential vorticity temperature sudden drop

引言

长期以来,气象工作者从不同角度对寒潮天气过程的形成、移动和影响做过许多研究。樊明^[1]、黄木松^[2]等着重对寒潮天气形势进行了分析。惠小英、罗四维等^[3]利用数值模式研究了地形对两次寒潮过程的影响,发现地形的动力作用对寒潮冷空气的移动路径有重要影响。

位势涡度能综合反映大气动力和热力特征,是一个重要的诊断工具。20世纪80年代初 Hoskins 等^[4]探讨了位涡理论的应用价值。1993年吴国雄等^[5]从严格的原始方程出发,导出湿位涡(MPV)方程,研究了等压面坐标中湿位涡的特性及相应的发展理论。陆尔^[6]、董安祥^[7]等利用位涡、湿位涡理论分析了冷空气的活动。徐晶等^[8]利用等熵位涡理论对江淮梅雨期淮河流域特大暴雨进行了诊断分析。赵宇等^[9]应用湿位涡理论对台风和台风减弱的低压引起的两场暴雨过程进行了诊断。

在前人的工作中,对寒潮天气造成的气温陡降研究的比较少,文中详细地分析了两次气温陡降的原因及过程,并利用湿位涡理论对两次气温陡降进行了诊断分析。

1 两次气温陡降过程

2005年3月10—12日,受北方强冷空气影响,湖北出现大范围的大风、降温、暴雪天气,过程降温幅度大、速度快,是湖北历史同期少见的春季寒潮过程。24小时大部地区日平均气温下降 $11\sim 13^{\circ}\text{C}$,48小时大部地区日平均气温下降 $12\sim 16^{\circ}\text{C}$,局部达 18°C ;12日大部地区最低气温达 $-3\sim -1^{\circ}\text{C}$ 。达到寒潮标准。

采用自动站逐小时气温资料,统计逐站

逐小时降温幅度。定义单站1小时降温幅度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$,为一次气温陡降。3月10—11日,湖北省共经历了两次气温陡降过程。分别为3月10日16—24时、3月11日14—22时。图1为2005年3月10日15时—11日01时逐时降温幅度演变图,气温陡降开始于鄂西北老河口站,然后自西北向东向南扩展。广水10日18时1小时降温 5.2°C ,为最大降温幅度。图2为2005年3月11日13—23时逐时降温幅度演变图,气温陡降开始于鄂西南(恩施站),然后自西向东移至鄂东南。最大降温幅度11日18时出现在鄂西南的长阳,1小时降温 3.5°C 。

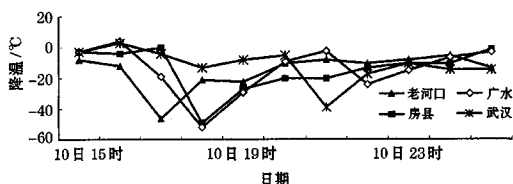


图1 2005年3月10日15时至11日01时逐时降温幅度演变图

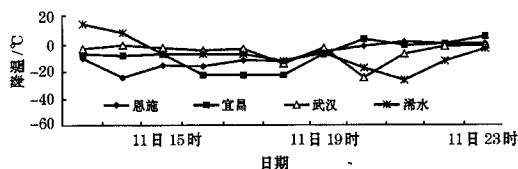


图2 2005年3月11日13—23时逐时降温幅度演变图

第一次气温陡降和第二次存在明显差别,表现在:(1)陡降演变路径不同,第一次陡降是从北向南,第二次陡降是自西向东。(2)陡降强度不同,第二次降温幅度明显弱于第一次。

2 两次气温陡降过程形成机制对比分析

气温陡降与前期空气回暖程度、地面冷

空气强度、高空冷平流强度等因素有密切的关系。本节从地面场和高空冷平流下沉入侵两个角度对两次气温陡降过程的形成机制进行对比分析。

2.1 地面场分析

2.1.1 第一次气温陡降

在第一次气温陡降过程中,冷空气本身强度大,明显锋生使冷空气强度进一步增大,前期回暖明显,强冷空气侵入暖槽是第一次气温陡降的重要原因。

(1) 冷空气强度大

3月10日08时地面高压中心气压达1052.5hPa,历史上湖北春季寒潮冷锋移过汉口前1~3天的地面冷高压中心平均强度在1043.0hPa,因此,相比较而言,此次冷高压本身强度大。

(2) 锋生使冷空气强度进一步增强

分别计算10日08时、14时、20时至11日02时呼和浩特、郑州与武汉温差(表1),10日08—20时,气温水平梯度明显增大,表明在锋区逐渐逼近武汉时有锋生现象,且锋生比较显著。锋生导致冷空气在进入湖北后有所加强,温度梯度增大。

表1 2005年3月10日08时—11日02时武汉、郑州、呼和浩特地面气温及其温差

(单位:℃)

	武汉	郑州	呼和浩特	武汉—郑州	武汉—呼和浩特
10日08时	17	7	-10	10	27
10日14时	24	10	-7	14	31
10日20时	21	4	-10	17	31
11日02时	9	1	-13	8	22

(3) 前期地面回暖明显

冷空气到达前,湖北地面为西南暖倒槽控制(图略),气温迅猛回升。3月9日大部地区日平均气温上升到15~17℃,最高气温达到22~25℃,地面前期回暖显著,

为冷空气到来后温度梯度的增大创造了条件。

强冷空气锋区上本身有较强的温度水平梯度,锋生导致其进一步加强,遭遇前期的强回暖,随着冷空气自北向南入侵,湖北自北向南出现第一次气温陡降。

2.1.2 第二次气温陡降

(1) 地形作用有利于恩施地区的气温陡降

使用中国科学院大气物理研究所宇如聪等设计并经过改进的有限区域暴雨研究模式(AREM)中的精细地面资料(水平分辨率大约30~50km)进行分析,绘制湖北地形曲线(图3)。湖北西部为高山地带,特别是恩施地区,海拔高度达1500m,冷空气不易直接入侵。第一次气温陡降过程中汉江河谷降温明显,恩施地区则还在升温,恩施地区气温相对较高,为第二次从恩施开始的气温陡降打下了基础。

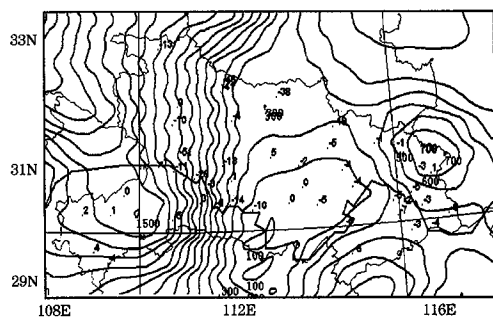


图3 湖北地形曲线与3月10日17时1小时降温幅度叠加图

(曲线为海拔高度线,数值为1小时降温幅度)

(2) 自西向东发展的降水为第二次气温陡降的另一因素

2005年3月11日14时开始,随着高空南支低槽的东移,湖北自西向东有降水发生。11日14时(图略),气温从西向东陡降与降水自西向东发展相对应。由于雨滴在

降水中不断地蒸发,并大量地吸收周围空气的热量,使雨区气温下降,因此,自西向东发展的降水是第二次气温陡降的另一个因素。

2.2 高空强冷平流下沉入侵

两次气温陡降过程中,在850hPa温度平流图上,均有较强冷平流下沉入侵,增大了地面温度梯度,有利于地面气温陡降。

在第一次气温陡降过程中,高空冷平流强度大,且自北向南迅速移动,10日08时(图4a),冷平流中心在河套地区,20时(图略),中心南移至陕南,强度达 $-600 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 。湖北境内自北向南由暖平流转为冷平流,最强达 $-500 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$,

造成冷空气下沉入侵,高空冷平流强度的陡增,湖北自北向南气温出现了陡降。

3月11日08时(图4b),850hPa冷平流中心移至河南,地面冷空气主体东拓的同时,沿桐柏山、大别山西侧倒灌进入鄂西南,在恩施地区出现一冷平流中心,强度为 $-240 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$,至20时(图略),冷平流区被切断成两个中心,位于河南的中心继续东移,恩施地区形成一个冷平流切断中心,且继续加强为 $-380 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$,导致第二次气温陡降。

第二次气温陡降过程中,高空冷平流强度弱于第一次,是陡降幅度较弱的原因之一。

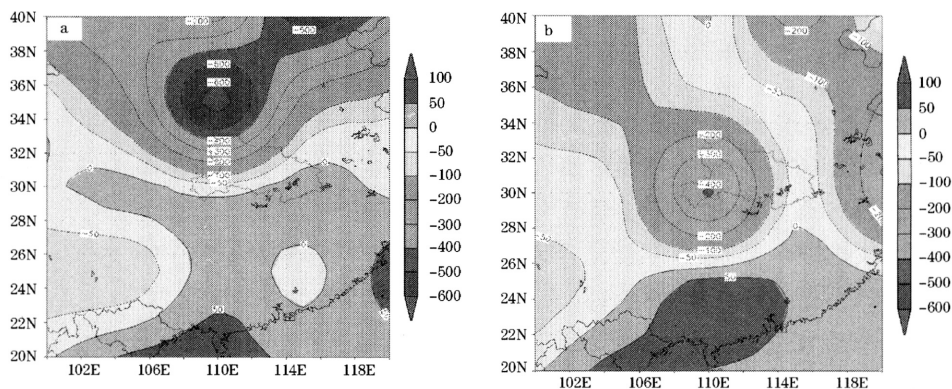


图4 2005年3月10日08时(a)和11日08时(b)850hPa温度平流图(单位: $10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)

3 湿位涡诊断分析

应用湿位涡理论,对这次寒潮过程中的两次气温陡降进行了诊断分析。

3.1 原理和资料

在绝热、无摩擦的大气中,如果引入静力近似,那么 p 坐标系中的湿位涡就可以表示为:

$$MPV = -g(f \cdot k + \nabla_p \times v) \cdot \nabla_p \theta_e = \text{常数} \quad (1)$$

式中 $\nabla_p = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial p} \mathbf{k}$ 为三维梯度算子。

假设垂直速度的水平变化相对较小,可以忽略,则上式变为:

$$MPV = -g(\zeta + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} + g \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \right) \quad (2)$$

其中 $\zeta = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$, 为 p 坐标中的垂直涡度。

将(2)式右端第一项定义为湿位涡的垂直部分, 第二项定义为水平部分, 则有:

$$\begin{cases} MPV_1 = -g(\zeta + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} \\ MPV_2 = g \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \right) \end{cases} \quad (3)$$

由此可见, MPV_1 为湿正压项, 表示惯性稳定性 ($\zeta + f$) 和对流稳定性 ($-g \frac{\partial \theta_e}{\partial p}$), MPV_2 为湿斜压项, 它包含了湿斜压性 ($\nabla_p \theta_e$) 和水平风垂直切变的贡献。

选用2005年3月10—12日的T213分析场资料, 选取网格范围为: $27 \sim 42^\circ \text{N}$ 、 $100 \sim 124^\circ \text{E}$, 格距为 $1^\circ \times 1^\circ$, 应用式(1)~(3), 分别计算出500hPa、700hPa、850hPa的 MPV 、 MPV_1 、 MPV_2 , 单位为0.1PVU ($1\text{PVU} = 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

3.2 湿位涡分析

以低层850hPa为例, 在这次强寒潮过

程中, 湿位涡第二项湿斜压项的时空演变很好地描述了冷空气的发展、移动过程, 与高空冷平流有很好的对应关系。 $MPV_2 < 0$, $|MPV_2|$ 越大, 斜压性越强, 等压面上的等温线越密集 (温度梯度越大), 冷空气锋生越强, 有助于寒潮过程中两次气温陡降。

10日08时, 850hPa在河套南部有一等 MPV_2 线密集带, 零线位于陕南到豫南一线, MPV_2 高值中心整体向南入侵, 中心在河南中部, 强度为 -11PVU 。10日20时, 主体东拓, 强度有所减弱, 其前锋向南移动, -2PVU 等值线到达江汉平原, 在此期间, 地面冷空气经历了自北向南移动过程, 10日20时冷空气前锋到达江汉平原; 850hPa冷平流也自北向南移动, 湖北出现自北向南第一次气温陡降。

11日08时, 负 MPV_2 等值线密集带分解成两个中心, 一个入川, 一个从河南进入恩施地区, 在恩施地区形成一个 -7PVU 中心, 对应地面冷空气向恩施地区渗透, 高空冷平流在恩施地区形成一中心, 随着高空冷平流下传, 在地面降水开始时, 湖北出现第二次气温陡降。

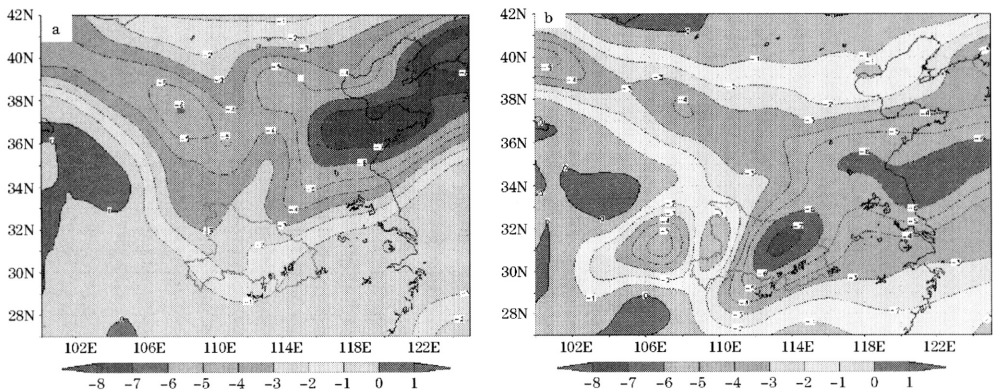


图5 2005年3月10日20时(a)和11日08时(b)850hPa MPV_2 等值线图(单位: 0.1PVU)

4 小 结

(1) 2005 年 3 月湖北强寒潮天气过程中, 先后出现了两次明显的气温陡降, 分别为自北向南和自西向东发展, 第一次气温陡降强度明显强于第二次气温陡降。

(2) 地面强冷空气侵入暖槽以及高空冷平流下传, 导致了第一次气温陡降; 湖北省特殊地形影响, 高空冷平流下传以及湖北南部自西向东发展的降水是湖北第二次气温陡降过程的主要原因。

(3) 湿位涡第二项湿斜压项的时空演变能很好地描述冷空气的发展、移动过程, 与高空冷平流有较好的对应关系。 $MPV_2 < 0$, $|MPV_2|$ 越大, 斜压性越强, 等压面上的等温线越密集 (温度梯度越大), 冷空气锋生越强, 有助于寒潮过程中两次气温陡降。

参考文献

- 1 樊明, 冯军, 尚学军. “2001.4.9” 寒潮天气形成过程分析 [J]. 气象, 2002, 28 (3): 54-56.
- 2 黄木松. “2.17” 寒潮天气过程特征及预报分析 [J]. 广东气象, 1997, 1: 11-13.
- 3 惠小英, 罗四维. 地形对两次寒潮过程影响的数值模拟研究 [J]. 高原气象, 1993, 12 (3): 283-293.
- 4 Hoskins B J, McIntyre M E, Robertson A W. On the Use and Significance of Isentropic Potential Vorticity Maps [J]. Quart J R Meteor Soc., 1985, 111: 877-946.
- 5 吴国雄, 蔡雅萍, 唐晓簪. 湿位涡和倾斜涡度发展 [J]. 气象学报, 1995, 53 (4): 387-405.
- 6 陆尔, 丁一汇, 李月洪. 1991 年江淮特大暴雨的位涡分析与冷空气活动 [J]. 应用气象学报, 1994, 5 (3): 266-274.
- 7 董安祥, 罗琦, 周陆生. 青藏高原东部一次大雪过程的湿位涡分析 [J]. 甘肃科学学报, 2001, 14 (3): 43-46.
- 8 徐晶, 王东生, 杨克明. 2003 年 7 月 4—7 日淮河流域特大暴雨等熵位涡分析 [J]. 气象, 2004, 30 (1): 33-37.
- 9 赵宇, 杨晓霞, 孙兴池. 影响山东的台风暴雨天气的湿位涡诊断分析 [J]. 气象, 2004, 30 (4): 15-20.
- 1 樊明, 冯军, 尚学军. “2001.4.9” 寒潮天气形成过程