

文章编号: 2096-1618(2019)03-0297-05

# 2016年1月中国东部一次极寒天气过程的诊断分析

王亦平, 其美旺珍

(南京大学大气科学学院, 江苏 南京 210023)

**摘要:**2016年1月中国东部出现了一次极寒天气,为了揭示其成因,利用地面、高空常规气象观测资料、NCEP/NCAR  $1^\circ \times 1^\circ$  6 h及ECMWF细网格再分析资料,采用天气学、动力学等方法进行了诊断分析。分析了高空高度及温度场、纬向风及经向风场、位涡及位温的垂直剖面图、济南站位涡垂直剖面时序图。并利用三维后向轨迹模式HYSPLIT和GDAS1气象资料,计算了济南站的气流后向轨迹。研究表明:阻高向东倾斜,有利于横槽后部冷空气的堆积;冷涡北部北风急流加强,有利于冷涡南落;寒潮影响后最低气温出现的时间,与高位涡沿等位温线下滑的最低高度出现的时间,两者具有较好的对应关系;不同高度的冷空气在横槽后堆积、暴发,是这次极寒天气过程出现的主要成因。

**关键词:**气象学;天气分析与预报;极寒天气;急流;位涡;后向轨迹法

**中图分类号:**P458.1<sup>+</sup>22

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2019.03.015

## 0 引言

2016年1月21–25日,中国东部爆发了入冬以来最强的一次寒潮天气过程,造成大范围剧烈降温,多地出现了极端低温天气,强寒潮共造成233个县(市)最低气温跌破当地建站以来1月的历史极值,其中69站日最低气温突破历史纪录。丁一汇等<sup>[1]</sup>指出,在冬季,等熵位涡的守恒时间长,因此可以根据等熵位涡的守恒性来追踪冬季寒潮过程的重要特征。易明建等<sup>[2]</sup>认为,平流层极涡增强并下传提供了有利于对流层高位涡冷空气发展的条件。田秀霞等<sup>[3]</sup>研究发现,寒潮爆发时高位涡向下向南传播,高位涡冷空气的补充使高层冷空气向下输送。NOAA(the national oceanic and atmospheric administration)的ARL(air resources laboratory)开发的轨迹模式HYSPLIT(hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory),能够用于计算空气团的轨迹,以及模拟复杂的扩散和沉降,包括沙尘、对流层臭氧、二氧化硫、苯、火山喷发、森林火灾和汞的扩散模拟。轨迹方法是分析目标地区受何地何方向空气污染源影响、天气形势关系的一种最直接和简单的方法,马玉芬等<sup>[4]</sup>通过近地面和海拔5000 m高度上的气流后向轨迹模拟表明,气流传输路径以西北路径和西方路径为主。

文中使用的资料包括地面、高空常规气象观测资料、NCEP/NCAR  $1^\circ \times 1^\circ$ 及ECMWF细网格再分析资料,运用天气学和动力学方法对这次极寒天气过程进行诊断分析,以期加深对这类寒潮天气过程发生机理

的认识,提高对这类天气的短期预报水平。

## 1 天气实况

由于这次过程的低温情况在文献[5]中已经有所叙述,所以这里不再重复。从分析北京、济南、南京的最低气温的变化开始。

图1为2016年1月6–26日时北京、济南、南京最低气温变化时序图,可以看出3个城市1月份均有4次降温过程(分别为8–9日、10–12日、16–19日、21–24日),且最低气温一次比一次低。其中北京在1月23日出现该时间段气温最低值 $-15.2^\circ\text{C}$ ,最大降温时段出现在21日20时–23日20时,48 h降温幅度达 $10.1^\circ\text{C}$ ;济南在1月24日达到该时段最低气温 $-17.0^\circ\text{C}$ ,21日17时–22日17时降温幅度最大,24 h降温幅度达到 $13.9^\circ\text{C}$ 。南京在2016年1月24日达到该时段气温最低值 $-9.8^\circ\text{C}$ ,22日08时–24日08时,48 h降温幅度达 $10.7^\circ\text{C}$ 。

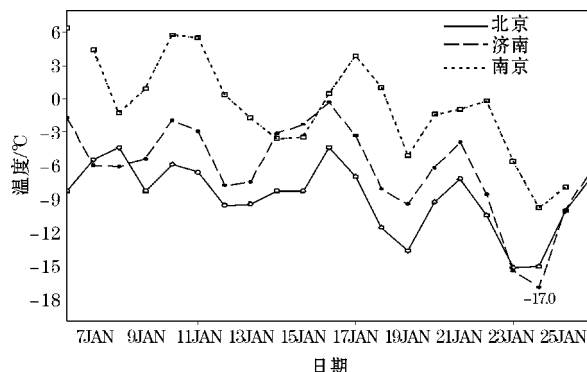


图1 2016年1月6–26日北京、济南、南京最低气温时序图

收稿日期:2018-11-12

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFC1507300);国家自然科学基金青年基金资助项目(41705023)

利用2016年1月ECMWF细网格2 T资料,制作了21–24日24 h气温变化图(图2),可见22日24 h  $-8\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -10\text{ }^{\circ}\text{C}$  的降温中心在华北地区,23日24 h  $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -12\text{ }^{\circ}\text{C}$  的降温中心在山东,24日24 h  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  的降温中心到达江苏东部沿海,3日24 h降温中心成NW-SE走向,说明此次过程低层冷空气是从NW方向来的。

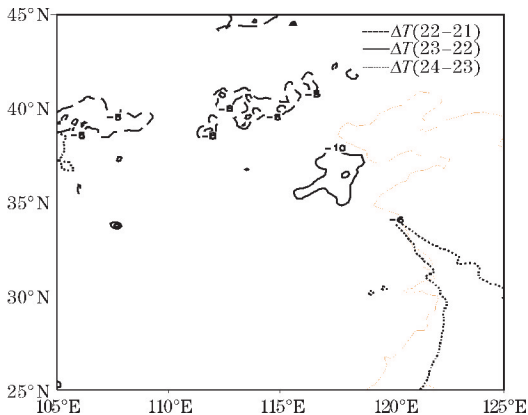
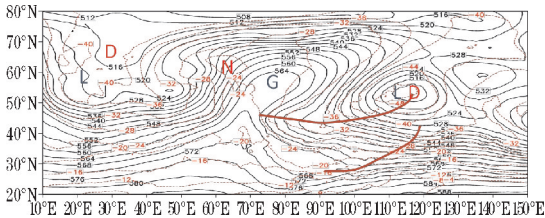


图2 2016年1月08时气温24 h变化图

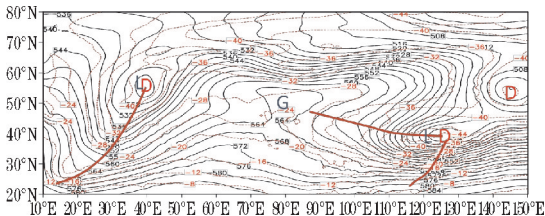
2 环流形势及其演变分析

此次极寒天气过程主要是由于东北冷涡南压,并且其横槽转竖,引导北方强冷空气南下造成的。

2016年1月21日08时500 hPa欧亚中高纬天气形势呈两冷涡一脊型(图3a),东冷涡位于贝加尔湖(以下简称贝湖)东鄂嫩河附近,高度为512 dagpm,冷中心为 $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,西冷涡位于欧洲北部,50°N~80°N,10°E~50°E,516 dagpm, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,高压脊位于两个冷涡之间,南至巴尔喀什湖(以下简称巴湖),北至乌拉尔山。



(a) 2016年1月21日08时



(b) 2016年1月23日20时

图3 500 hPa 高空天气图(实线为等高线,虚线为等温线,粗棕色线为槽线)

由于西冷涡纬度高且向东移动,巴湖有明显的暖平流在高压脊上向北发展,该高压脊东侧南部由于受东冷涡的阻挡,稳定少动,造成脊的北端向东的移速快,于是高压脊逐渐形成NE-SW走向。乌山极地不断有小槽东移越过脊并入东北冷涡中,脊前东北气流与东北冷涡后部的西北气流构成一横槽,位于蒙古中东部,横槽后有一 $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷中心,高空横槽缓慢南压,极地南下的冷空气不断在横槽后部堆积加强,对应地面图上在贝湖以西有一个1060 hPa的高压中心。21:08高压脊上有很强的暖平流,暖脊很强,顶端伸展到78°N,60°E~100°E,75°N~80°N锋区很强。

1月22日08时500 hPa  $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷涡中心东移南压,到达蒙古东部,贝湖南边,横槽南压到中蒙边境。对应地面图上1060 hPa的冷高压中心范围扩大并东移。22:08 500 hPa上暖脊范围扩大, $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 暖舌东伸到135°E。23:08乌山地区高空槽东移南下,从而挤压脊向东压,东北冷涡后部北风急流加强,冷涡南落,30°N~40°N有7根等温线,温差达到28°℃,锋区极强。

23日20时500 hPa上(图3b),高压脊上有明显的暖平流,使得脊向东发展,同时横槽后部出现10~21 hPa的24 h正变高,有助于脊前偏北气流的增强,以上征兆均预示横槽将要转竖,槽后脊前的偏北风与等温线呈90°夹角,有极强的冷平流向南输送,引导强冷空气迅速南下,地面冷高压也加强为1085 hPa,且中心南移,引发大范围寒潮。

24:08 东北冷涡东移,华北–山东一带变成偏北风急流,横槽南压至江淮、江南地区。

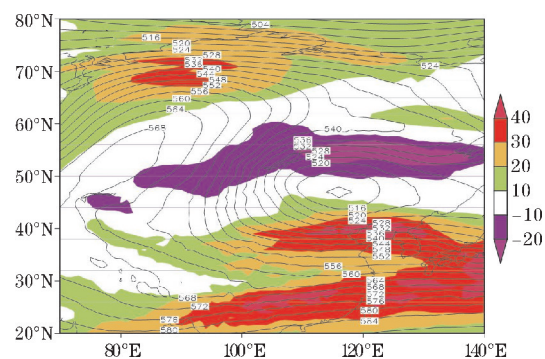
通过以上分析可以看到,此次寒潮,500 hPa上,极地冷空气越过高压脊,进入东北冷涡中,在横槽后部华北一带堆积,23–24日,随着该横槽转竖,引导强冷空气南下。

3 物理量诊断分析

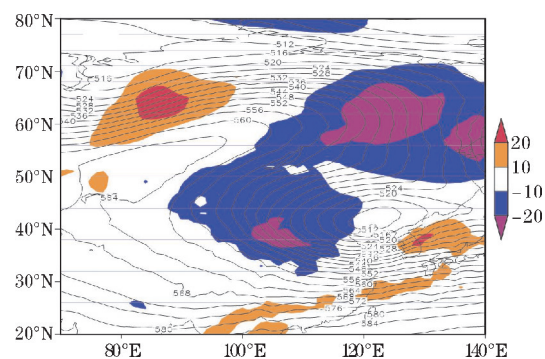
3.1 高空急流

利用NCEP NCAR  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料,制作了2016年1月21–25日各时次的500 hPa高空纬向风、经向风场,可以发现,21:08东北冷涡西、北侧东风增强,从北海道一直伸展到天山,与高压脊之间出现20 m/s的东风急流;高压脊北端出现40 m/s的西风急流,从而造成高压脊向东北倾斜,成NE-SW走向。22:08东北冷涡北部出现20 m/s的东风急流,高压脊北端出现30 m/s

的西风急流,冷涡南侧出现40 m/s的西风急流(见图4a),横槽更加明显;23:08东北冷涡南压,北端出现30 m/s的东风急流;冷涡南侧出现60 m/s的西风急流;24:08东北冷涡西侧,减弱成10 m/s的东风,高压脊北出现30 m/s的西风急流,冷涡南侧出现70 m/s的西风急流,中心到达黄海北部-韩国,华北-山东地区东风急流消失,横槽转竖。



(a) 2016年1月22日08时纬向风



(b) 2016年1月23日08时经向风

图4 500 hPa高度场及高空风分量图  
(黑实线为等高线,阴影区为高空风分量)

21:08 东北冷涡后、高压脊前出现 30 m/s 的北风急流;冷涡东侧出现20 m/s的南风急流,22:08高压脊西侧出现的30 m/s南风急流,预示高压脊强,相应的东北冷涡后、高压脊前北风急流加强为40 ms,同时冷涡东侧的南风急流消失,预示冷涡将南落;23:08东北冷涡北部和西侧均出现20 m/s的北风急流(图4b),因此冷涡及横槽将继续南压;24:08 冷涡东移,华北-山东全部变成北风急流,中心值为20 m/s,说明冷涡已东移,横槽已南压。

### 3.2 位涡

位涡与绝对涡度和静力稳定度有关,是大气动力和热力特征的综合表征,位涡的守恒性可用于随空间和时间跟踪重要的天气特征。通过适当的推导<sup>[6]</sup>,可

以得到,在等压面坐标中位势涡度的计算公式为

$$PV_p = -g(f + \zeta_p) \cdot \left( \frac{\partial \theta}{\partial p} \right) + g \left( \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \quad (1)$$

其中  $g$  是重力加速度,  $\theta$  是位温,  $p$  是气压,  $f$  是柯氏参数,  $\zeta_p$  是等压面上相对涡度。

由于在等熵面上大气的位势涡度是守恒的,因此,当极涡向南延伸时,冷空气就会沿着倾斜的等位温面向下运动,将高位涡从高层的极地和 high 纬地区带到较低层的中纬度地区,从而形成向下凹的倾斜的高位涡区。

采用 NCEP NCAR  $1^\circ \times 1^\circ$  再分析资料,利用公式(1)直接计算等压面上的位势涡度,并制作了2016年1月21-25日沿 $117^\circ\text{E}$ ,位温、位涡经向-高度剖面图,可以看出,20日08时 $42^\circ\text{N}$ 附近0.8 PVU ( $1\text{ PVU} = 10^{-6}\text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ )高位涡区从400 hPa沿等位温下滑到950 hPa;22:08高位涡冷空气主要在对流层上层,沿等位温线滑下来,在 $40^\circ\text{N} \sim 50^\circ\text{N}$  1 PVU等值线从500 hPa向下延伸到700 hPa附近;到23:08(图5)高位涡向下延伸,6 PVU从200 hPa处下凹并向下延伸到350 hPa,1 PVU从400 hPa处下凹并向下延伸到750 hPa以下,在 $30^\circ\text{N} \sim 37^\circ\text{N}$ 对流层低层很大的范围,形成一个高位涡区,近地层高位涡区不是从北方推过来的,而是从高空倾斜式下滑造成的。到24:08高位涡区向南推进到 $28^\circ\text{N} \sim 35^\circ\text{N}$ ,说明冷空气向南移动,到达江淮地区,随后高位涡区高度升高,说明冷空气强度减弱了。

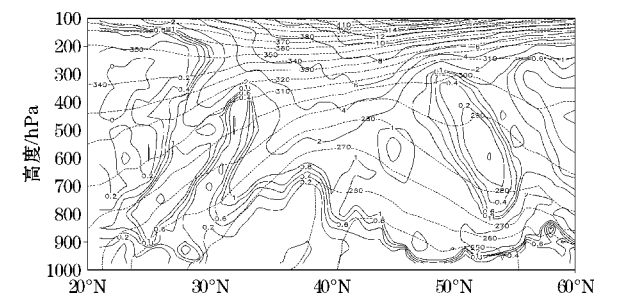


图5 2016年1月23日08时位温和位势涡度沿 $117^\circ\text{E}$ 的经向垂直剖面图(实线为等位温线,虚线为等位涡线)

利用 ECMWF 细网格资料,制作了2016年1月20-26日济南( $36.4^\circ\text{N}, 117^\circ\text{E}$ )位涡垂直剖面时序图(图6)。从22:14开始,高位涡区从对流层上层300 hPa高度开始下沉,北方冷空气开始影响本地,到23:08 200 hPa上6 PVU等值线下沉,23:14 0.8 PVU下探到750 hPa,24:08 875 hPa有一个1 PVU的小中心,济南达到此次过程的最低气温 $-17.0^\circ\text{C}$ ,随后高位涡区明显抬升,气温回升。



当高位涡沿等位温线下滑的最低高度出现时,次日早晨会出现寒潮影响后的最低气温。

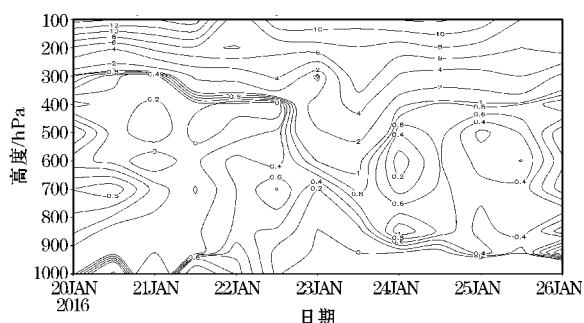


图6 2016年1月20-26日济南位涡垂直剖面时序图

## 4 冷气团的路径分析

为了进一步分析此次极寒天气的冷空气来源,需要运用后向轨迹来分析该冷气团的源地及路径。利用美国 NOAA 开发的 HYSPLIT 三维后向轨迹模式和 GDAS1 气象资料,计算了2016年1月24日02时济南近地层10 m、500 m、1500 m 3个高度气块的72 h气流后向轨迹,起始时间为24日02时,每隔6 h画1条轨迹,共画了3条可能的后向轨迹,结果见图7。可以看出,1500 m高度上的冷气团(绿线)来自中国最北地方,黑龙江漠河地区,21:02-22:00冷气团跟随东北冷涡南压,22:08-23:00由于东北冷涡后东北急流加强,冷气团向西南方向移动;500 m高度上的冷气团(蓝线)来自贝加尔湖以东、雅布洛诺夫山北端,跟随高压前的偏北气流,向南扩散;10 m高度上的冷气团(红线)来自库苏古尔湖地区,从地面冷高压中心逐渐东南方向扩散。23:20 3个高度的冷气团在太行山北侧汇聚在一起,23:20-24:02随着横槽转竖,强冷空气越过太行山后大举南下,从而在24日早晨造成了中国东部的极端低温过程。

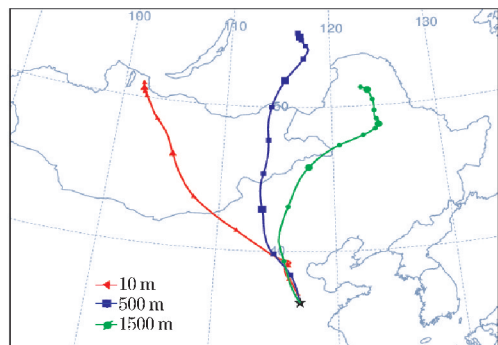


图7 2016年1月24日02时济南  
3个不同高度72 h后向轨迹图

## 5 结束语

阻塞高压脊上的暖平流,以及北部有西风急流、南部有东风急流,使得其发生 NE-SW 向倾斜,有利于其东侧东北冷涡横槽后冷空气的堆积,及加强横槽的强度。

冷涡东部南风急流消失,北部北风急流加强,冷涡将南落;横槽的后部出现很大的24 h正变高,有利于横槽转竖。

寒潮影响后最低气温出现的时间,与高位涡沿等位温线下滑的最低高度出现的时间,两者具有较好的对应关系。

不同高度的冷空气,在华北一带堆积,随着横槽转竖南压,冷空气越过太行山,给中国东部造成了强烈的降温,引发了一次极寒天气过程。

## 参考文献:

- [1] 丁一汇,马晓青. 2004-2005年冬季强寒潮事件的等熵位涡分析[J]. 气象学报,2007,65(5): 695-707.
- [2] 易明建,陈月娟,周任君,等. 2008年中国南方雪灾与平流层极涡[J]. 高原气象,2009,28(4): 880-888.
- [3] 田秀霞,寿绍文. 2008年12月两次强寒潮过程的等熵位涡分析[J]. 气象科学,2013,33(1): 102-108.
- [4] 马玉芬,李曼,琚陈相,等. 干旱区资源与环境[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(7): 198-202.
- [5] 陶亦为,代刊,董全. 2016年1月寒潮天气过程极端性分析及集合预报检验[J]. 气象,2017,43(10): 1176-1184.
- [6] Hoskins B J, M E McIntyre, A W Robertson. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1985, 111(470): 877-946.
- [7] 吴志彦,李宏江,赵海军,等. 等熵位涡揭示的一次强寒潮过程中高层扰动特征[J]. 海洋气象学报,2017,37(1): 84-91.
- [8] 张广兴,崔彩霞,赵元茂,等. 阿克达拉大气本底站气流轨迹模拟研究[J]. 中国沙漠,2008,28(1): 154-160.
- [9] 孙玉莲,任余龙,韦伯龙,等. 甘肃临夏地区2次沙尘寒潮天气成因对比[J]. 干旱气象,2013,31

- (1):150-162.
- [10] 闫小利,余锦华,刘谦,等,河南省一次强寒潮天气诊断分析[J]. 气象与环境科学,2008,31(1),60-65.
- [11] 万瑜,曹兴,窦新英,等,中天山北坡春季寒潮型暴雪致灾成因分析[J]. 干旱区地理,2015,38(3):478-486.
- [12] 牛若芸,乔林,陈涛,等,2008年12月2-6日寒潮天气过程分析[J]. 2009,35(12):74-82.
- [13] 胡文斌,王嘉鑫,李文榜,等,陕西关中地区一次重污染天气的气象条件分析[J]. 环境科学与技术,2018,41(3):72-79.
- [14] 李超,崔春光,蒋兴文,等,特殊地形对鄂东北一次局地强降水过程的作用机制分析[J]. 气象,2018,44(9):1117-1135.
- [15] 郭世昌,宋哲,黎成超,等,中国北方地区寒潮活动对对流层大气臭氧时空分布的影响研究[J]. 云南大学学报(自然科学版),2013,35(6):773-781.

## Diagnostic Analysis of an Extremely Cold Weather Process over East China in January 2016

WANG Yiping, QI Meiwangzhen

(School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** An extremely cold weather occurred over east China in January 2016. In order to reveal the reason of it, with conventional meteorological observations, NCAR NCEP  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  and reanalysis data from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF-thin), synoptic and dynamic methods are used to diagnostic analyse this process. Upper height and temperature fields, zonal and meridional wind fields, vertical profile of potential vorticity and potential temperature, time series chart of potential vorticity vertical profile are analysed. With GDAS1 meteorological data, three-dimensional backward trajectory model HYSPLIT is used to calculate the airflow backward trajectory of Jinan station. The results show that: Tilting eastward of resistance height is beneficial to the accumulation of cold air at back of the transverse trough; Strengthening of the northerly jet at north of the cold eddy is beneficial to the cold eddy falling southward; The time when the lowest temperature appears have a good corresponding relationship with the lowest height appears when the high potential vorticity descends along the isopotential temperature line; The accumulation and outbreak of the cold air at different altitudes behind the transverse trough are the main reason of this extremely cold weather process.

**Keywords:** meteorology; weather analysis and forecast; extremely cold weather; jet; potential vorticity; backward trajectory method