

# 2016年1月寒潮与东亚副热带急流关系的研究

李蓉<sup>1</sup>, 肖天贵<sup>1</sup>, 金荣花<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 国家气象中心, 北京 100081)

**摘要:**为分析2016年1月寒潮的酝酿、爆发和结束以及寒潮中长江中下游降温与东亚副热带西风急流之间的关系,利用NCEP/NCAR再分析资料和长江中下游站点温度资料,研究此次寒潮过程及东亚副热带西风急流对长江中下游地区气温的影响,结果得到当急流强度增大时对应的长江中下游地区的平均温度降低,反之当急流强度降低时,长江中下游地区的平均温度则呈现升高状态;而急流位置偏北时长江中下游平均温度升高,急流偏南时对应温度降低。并从波包传播的角度通过波包传播的诊断方法进一步分析本次寒潮中波包的累积和传播,结果得到波包的传播基本能够代表此次寒潮中冷空气的传播方向,能量的蓄积和释放也分别代表着寒潮的酝酿和大幅降温过程。

**关键词:**大气科学;寒潮;波能传播特征;东亚副热带西风急流;急流强度指数;急流位置指数

**中图分类号:**P458.1<sup>+</sup>22

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2017.01.009

## 0 引言

寒潮是一种北方冷空气大规模南下的较为大型的灾害性天气过程,在冷空气向南方入侵期间,沿途会有大范围的气温骤降发生,甚至伴有雨雪和大风天气<sup>[1-2]</sup>。近些年,就中国发生的寒潮天气过程来讲,许多气象学者都对其进行了研究<sup>[3-5]</sup>。长江中下游地区是指湖北宜昌以东的长江中下游沿岸,是人口密集、经济发达的地区,所以气温变化对当地的人民生活 and 经济发展都有着十分重要的影响。2016年1月22日-29日左右爆发了一次较为罕见的寒潮天气过程,中国多地出现大范围降温,部分地区出现雨雪天气,就长江中下游地区而言,其最低大幅降温至零下10℃左右,逼近1月同期历史极值。

东亚副热带西风急流是对中国和整个东亚地区的天气气候都有着重要影响的环流系统<sup>[6-8]</sup>。在之前的学者的相关研究中,陶诗言等<sup>[9]</sup>对寒潮的源地和路径做了相应的分类,国外刊物上则有许多用东亚冬季风描述寒潮的研究,金荣花等<sup>[10]</sup>在对东亚副热带急流进行研究时重点分析了其与长江中下游地区梅雨的关系。但对于东亚副热带急流与寒潮中长江中下游地区的降温之间的关系暂时还没有相关分析,故下文将对此进行研究。

文中利用长江中下游地区的部分站点的气象资料

以及NCEP/NCAR再分析数据等分析了此次寒潮,研究在本次寒潮中长江中下游地区的降温过程与东亚副热带急流的强度和位置之间的关系,并从波能传播的角度给予一定的分析,为寒潮发生发展的预报提供一定的科学依据。

## 1 资料和方法

所用到的资料为2016年1月中国气象数据网提供的长江中下游地区站点温度数据,一天8个时次。2016年1月的NCEP/NCAR再分析日平均风场、高度场和温度资料,分辨率为2.50×2.50,垂直方向为10~1000 hPa,共17层。UCAR提供的fml再分析资料,包括10~1000 hPa的10×10的风场数据。

所使用的方法有相关性的计算和检验以及波包诊断方法(WPD)。具体计算方法如下:(1)对要计算波包的物理量场作标准化处理,并对其进行Butterworth带通滤波,得到窄带信号 $P(x, y, z, t)$ 。(2)对已知窄带信号 $P(x, y, z, t)$ 进行Hilbert变换得: $\hat{P}(x, y, z, t) = A(x, y, z, t) \cdot \sin[kx + ly + mz + \omega_0 t + \varphi(x, y, z, t)]$ 。(3)得到解析信号: $P_c(x, y, z, t) = P(x, y, z, t) + i\hat{P}(x, y, z, t)$ 求其振幅 $A_i(x, y, z, t)$ ,即为窄带信号的波包值: $P_c(x, y, z, t) = A(x, y, z, t) \cdot \cos[kx + ly + mz + \omega_0 t + \varphi(x, y, z, t)] + iA(x, y, z, t) \cdot \sin[kx + ly + mz + \omega_0 t + \varphi(x, y, z, t)] = \tilde{A}(x, y, z, t)e^{i\varphi(x, y, z, t)}$ 其中, $\tilde{A} = A(x, y, z, t)e^{i\varphi(x, y, z, t)}$

$$A(x, y, z, t) = \sqrt{P^2(x, y, z, t) + \hat{P}^2(x, y, z, t)}$$

收稿日期:2016-06-29

基金项目:国家科技支撑资助项目(2015BAC03B05);国家自然科学基金资助项目(91337215, 41575066);国家重点基础研究发展计划资助项目(2013CB733206, 2012CB417202)

2 寒潮过程简介

2.1 寒潮过程概述

2016年1月22日左右中国出现较大范围的降温,开始进入入冬以来的首次全国大范围寒潮天气,江南东北部、东部、南部以及华北北部等地气温均出现骤降,其降温幅度达到 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,内蒙古、江淮、黄淮、西南、江南等地的气温也出现下降趋势,前后下降达到 $6\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

2016年1月20–24日,江苏、华南北部及四川盆地等地出现降雪或雨夹雪天气,据统计全国范围内,安徽、江苏、上海、广东、云南等地有36个站点跌破1月份最低气温历史极值,28日左右气温回升,寒潮基本结束。

2.2 寒潮发生原因

冷空气的堆积和源地都是密切影响寒潮发展以及爆发的十分重要的因素。一般在冰岛以南、新西岛以东和新西岛以西的洋面上有3个影响中国天气气候的冷空气源<sup>[11]</sup>。如图1所示,通过2015年12月31日850 hPa环流图可以明显地看到,早在2015年12月31日,冰岛的超级气旋开始入侵北极地区,带着北大西洋的热量使得大西洋中纬度的暖湿气流也随之输送到了北极,其入侵及停驻使得北极地区的气温突然异常升高,随之则会影响北半球的天气形势发生十分大的变化。

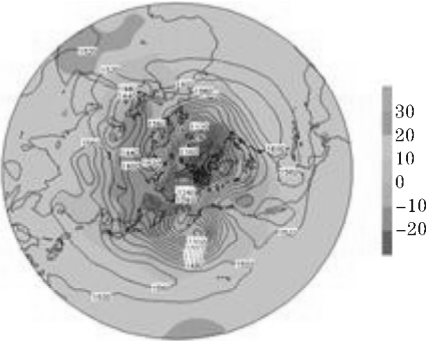


图1 北半球2015年12月31日850 hPa环流图

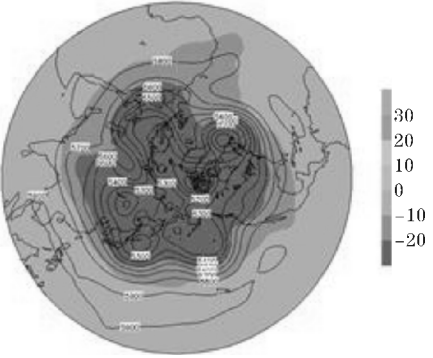


图2 北半球2016年1月20日500 hPa环流图

1月19日晚,北极涡旋位于黑龙江漠河的西北方向,冷空气则处于贝加尔湖畔蓄积着能量,亚洲高纬度地区在1月22日时转为两槽一脊型环流,24日的环流形势基本与之前几天的环流形势相同,极涡横槽仍然在继续东移南下,江南地区的温度由于冷空气的南下大幅降低。上海等地的气温降至历史极值,冷空气的南下和强大的北风相互作用也使多地出现降雪天气。1月26日极涡不再继续南下,而是向北移动收回,冷堆东移入海,中国部分地区也出现短暂的回温,长江中下游地区也开始升温。

综上所述,此次的寒潮过程主要是由于来自冰岛的风暴进驻北极地区,使得北极温度升高,北极涡旋一路南下,引导冷空气大举向南爆发,最终造成此次寒潮天气过程。

3 东亚副热带急流与长江中下游地区降温的关系

此次寒潮对中国的影响十分强烈,尤其地处南方的长江中下游地区降温降雪更为显著,图3为2016年1月23日长江中下游地区30个气象站点的最低温度分布图,可以看出伴随着寒潮来袭全国大范围的降温,长江中下游地区在23日也出现了极低气温的现象,23日最低气温均在 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,其中江苏省和安徽省的北部地区最低气温低至 $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

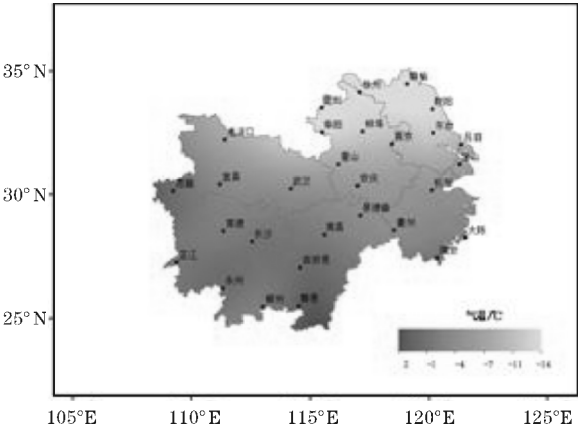


图3 长江中下游地区2016年1月23日最低温度分布图

此次寒潮的爆发起因于北极涡旋南下,与冷空气活动变化相关的东亚副热带急流处在极涡的外围<sup>[12]</sup>,并且冬季是急流强度最强的季节,其结构的空间差异也最为明显,所以研究探讨冬季寒潮中东亚副热带急流和降温之间的关系就显得十分有意义。

3.1 急流强度与温度间的关系

东亚副热带急流是一支在副热带地区对流层上部的窄而强的气流带,主要位于200 hPa高空等压面上,

具有强的垂直和侧边界风切边<sup>[13]</sup>。

急流强度指数是用来客观表示东亚副热带急流急流强度大小的物理量,在前人的研究中也频繁使用。区域风速法和中心强度法是主要用来计算急流强度指数的两种方法。中心强度法中包含有急流中心绝对强度和急流相对强度两种;区域风速法则是首先定义一个区域,计算该区域中的平均西风,结果则会急流强度指数,此指数表示这一局部地区西风强度的大小。

文中采用的就是区域风速法,即计算区域内(110 °E ~ 130 °E, 30 °N ~ 37.5 °N) 纬向风平均值。此方法的优点是能够定量表征区域内西风强度大小,简单易行。图 4 给出 2016 年 1 月 10–31 日的长江中下游平均温度和急流强度指数变化图。20 日前强度指数较小,平均在 55 m/s 左右浮动,但是大约在 20 日左右时强度指数陡增,达到了将近 80 m/s,在随后的几天里,也一直都保持较高的数值,直到 29 日左右强度指数才有所降低。同时期长江中下游地区平均气温的变化曲线,可以看出当急流强度指数比较高的时候,对应的长江中下游地区的平均气温较低,反之当急流强度指数降低的时候,所对应同时间的长江中下游的平均气温较高。

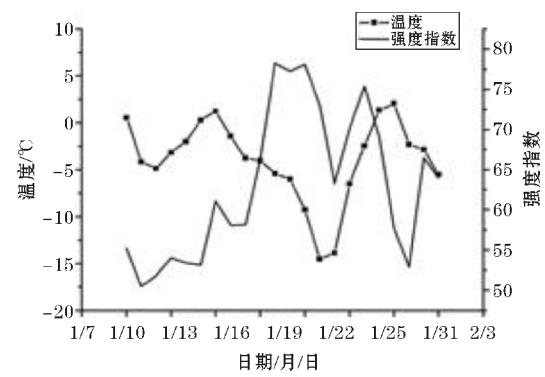


图 4 2016 年 1 月 10–31 日平均温度和急流强度指数逐日演变折线图

为解此次超级寒潮中东亚副热带急流的强度和长江中下游地区得到气温之间的关系,对强度指数和平均温度进行了相关性分析。通过计算得到  $r = -0.42902$ ,且通过了  $\alpha = 0.05$  的显著性检验。所以二者呈现显著的负相关,这说明随着急流强度的增大,长江中下游地区的平均气温会降低,反之急流强度减小也对应着平均气温的升高。

### 3.2 急流位置与温度间的关系

之前的学者定义了急流位置指数来描述急流的位置变化,主要能够通过急流位置指数来说明急流位置偏南偏北移动的情况。在之前的研究中主要有 3 种方法来计算位置指数:轴线法、EOF 分解法和西风切变线法。轴线法是指在东亚大陆(70 °E ~ 120 °E, 30 °N

~ 50 °N) 区域对流层上层中,找到处于不同经度的西风最大西风值,通过计算求出所有最大西风所在纬度的平均值,此平均值即为急流位置指数;EOF 分解法是首先对 200 hPa 纬向风场做经验正交函数分解,急流位置指数即为第一模态对应的标准化时间系数;西风切变法则是以月为单位,首先计算出东亚地区急流月平均的方差,然后分析其方差的分布状况,按照其分布在南北各选两个中心,将这两个活动中心所对应的 200 hPa 纬向风做差,所得即为当月的急流位置指数。

金荣花等<sup>[10]</sup>对比这 3 种计算位置指数的方法发现,轴线法的优点在于利用关键区内各经度上最大西风的位置平均表征急流轴位置,代数运算比较简单,而且时间单位可以精确到逐日,这样客观表征的方法就显得比较简单易行,且需要分析的物理量从时间尺度的角度上来讲更为精确,演变特征也一目了然,便于天气业务监测;EOF 分解法的虽然着重参考了急流分布的时间变化,从而表示出急流位置偏南偏北的状况,但这种监测方法不能够满足逐日分析的需求;西风切变法则能较好地表征东亚副热带西风急流风速大值区绕中心轴南北变动的情况,较适用于月、季节气候诊断和监测。

综上所述,由于文中讨论的是逐日的温度变化和急流位置之间的关系,故采用轴线法计算东亚副热带急流的位置指数。

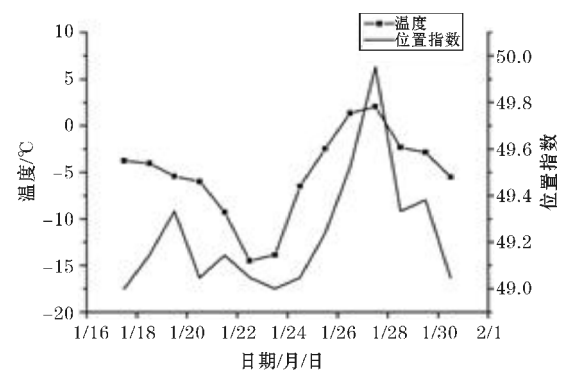


图 5 2016 年 1 月 18–31 日急流位置指数逐日演变折线图

如图 5 为 2016 年 1 月 18–31 日急流位置指数逐日演变折线图,由图 5 可以看出在寒潮开始时,也就是 1 月 22 日左右位置指数降低,对应着长江中下游地区平均温度的降低,而在 28 号左右长江中下游地区普遍回暖,对应着的急流位置指数的增大,也就是东亚副热带急流越往北移动,长江中下游地区平均温度会出现升高的情况。

于是将计算得到的 18 日到 31 日的急流位置指数和长江中下游地区的平均温度进行相关性计算。由于样本数为 14,当样本量小于 30 时要计算其无偏相关系数,计算得到两者的无偏相关系数  $r \approx 0.7358$ ,则  $t =$



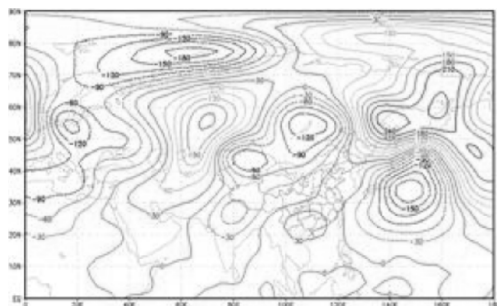
3.7635,说明二者呈现较为显著的正相关。当  $\alpha = 0.05$  时,  $t\alpha = 2.179$ ,  $t > t\alpha$ , 所以通过了  $\alpha = 0.05$  的显著性检验; 当  $\alpha = 0.01$  时,  $t\alpha = 3.055$ ,  $t > t\alpha$ , 所以它也通过了  $\alpha = 0.01$  的显著性检验。说明在此次的寒潮过程中, 东亚副热带急流的位置也和长江中下游地区的温度变化有着十分密切的关系, 东亚副热带急流偏南对应着该地区气温偏低, 而当东亚副热带急流偏北时, 长江中下游的平均温度则出现升高的情况。

为进一步分析急流位置和寒潮之间的关系, 这里对寒潮过程中低温的一天(1月20日)和回温的一天(1月28日)作对比分析。

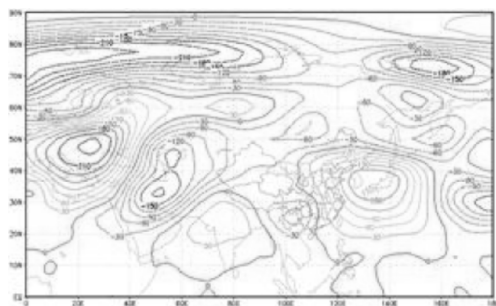
如图6分别为2016年1月20日和28日500 hPa高度距平图, 从图6(a)可以看出, 当东亚副热带急流偏南时, 在切尔基山脉及周围地区的上空有一强度很大的正距平中心; 在俄罗斯与哈萨克斯坦交界处也有一正距平存在, 强度较小; 同时在中国的南部地区有一强度很小的正距平中心; 另外, 在西太平洋附近还有一负距平中心。在急流位置偏南时, 高度距平场基本处于+--的形态, 欧洲处于负距平区, 也有明显的负距平出现在蒙古高原, 这种分布使得亚洲中纬度地区大气环流经向度增加, 促进了西北气流移向中国大陆, 其南下导致长江中下游地区的气温大幅下降。

温度回升时的距平分布如图6(b)所示, 它与图(a)呈现不同的形势。欧洲地区有强度很大的正距平, 日本附近也有强度相比来说较小的正距平存在, 伊朗附近为负距平中心, 同时北美洲东北部也错在强度很强的负距平。所以在东亚副热带急流位置比较偏北时, 西北气流强度较弱, 这样的环流配置型使得长江中下游的温度出现回升的现象。

从分析东亚副热带急流强度和位置与此次寒潮中长江中下游地区降温的关系中得到相关系数较大且位置指数与温度的关系十分密切。Hoskins 等<sup>[14]</sup>研究指出 Rossby 波传播的重要区域位于副热带和热带地区的对流层顶, 副热带急流起着波导作用, 所以为进一步了解其中的关系, 下文中将从波能传播的角度对此次寒潮中200 hPa风场的波包传播进行分析。



(a) 1月20日



(b) 1月28日

图6 2016年1月20日与1月28日500 hPa高度距平图

## 4 寒潮中的波能传播及影响

沿着波动包络可以将波动中的能量进行传播, 波包的移动体现在各个振幅的最大值的移动上, 因此, 为了解波能的传播和波包的移动, 则需要计算出各波的振幅随着空间和时间的变化。为定量研究这一问题, 通过采用 WPD 方法<sup>[15]</sup>计算此次寒潮中的波包的传播和能量的蓄积释放, 分析其对长江中下游地区降温的影响。

由于东亚副热带急流中心的高度在200 hPa等压面上, 且对流层顶是 Rossby 波传播的重要区域, 所以采用200 hPa纬向风这一物理量来进行波包的计算。

由波能传播理论可以得知, 扰动能量的增强和减弱能够在波包值的大和小上得到体现, 其增大和减小在一定程度上表征了扰动能量的积累和释放。如图7分别为2016年1月21-28日中6个不同时刻的波包分布图。由图7可以看出, 在2016年1月21日18时, 中国西北地区及南方部分地区都被波包大值区所控制, 东亚副热带急流的位置偏南时, 说明来自西伯利亚的冷空气不断向中国入侵南下, 波包值比20日有了明显的增大, 说明21日左右扰动能量一直在不断地累积增强, 湖南、江西等长江中下游地区处在波包大值区控制的地方, 波能在不断增加。到1月22日6时, 处于中国南部的波包值明显变小, 中心强度变弱, 说明扰动能量减弱并释放, 23日12时位于中国的波包值消失, 扰动能量全部释放, 这则会导致22日开始全国性的大幅度降温, 并且长江中下游的大部分地区均达到了入冬以来的最低气温, 部分地区甚至有降雪降雨的天气过程发生。直至25日, 波包大值区主要集中在孟加拉湾和西伯利亚附近, 从21日到25日这一过程中, 东亚副热带急流的强度逐渐变小, 位置逐渐偏北, 波能的扰动能量也逐渐在释放, 所以图中波包值呈现减小状态, 南下的冷空气使中国爆发超级寒潮, 多地发生了雨雪、冰冻和大风等天气, 长江中下游地区也由于冷空气由北而来的南下, 江苏中南部、安徽南部、湖北中南部、浙江、上海等大部分地区出现了雨、雪等天气现象。

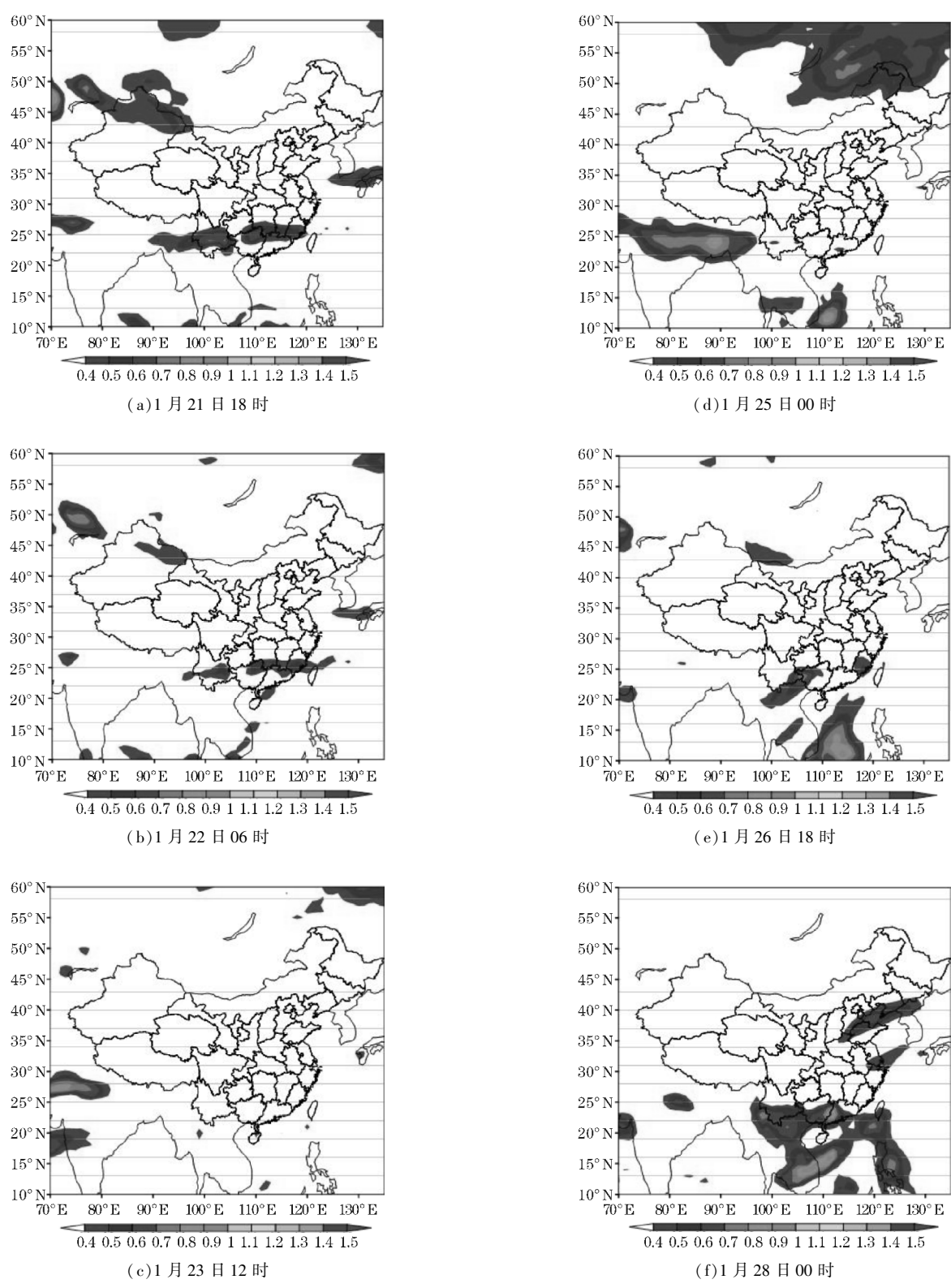


图 7 2016 年 1 月波包分布传播图

1 月 25 日起,由图 7(d)可见,在孟加拉湾附近和西伯利亚地区有波包大值区,到 26 日 18 时,可以清晰地看到孟湾附近的波包大值范围变大,波包向东北方向

和南方移动,对应着极涡北收,冷空气逐渐向东移动入海,降温的范围逐渐变小。由图 7(f)可以看到 28 日 00 时中国南部和孟湾及南海附近受波包大值区控制,25-28 日冷空气南压直逼南海地区,使得江南南部等发生了强降雨,江西等地降水量大幅增加。随着波包的移动和能量的蓄积,冷空气东移,此次寒潮过程基本结束,长江中下游地区的温度也开始逐渐回升。

综上所述,利用 200 hPa 纬向风所计算的波包基本能够反映出此次寒潮中整个降温过程中的波能传播,其中波包的传播和冷空气的移动方向基本一致,扰动能量的蓄积意味着降温的准备和开始,扰动能量的释放则预示着大幅度的降温,甚至会产生降雨或降雪天气。

## 5 结论与讨论

(1)中国大部分地区在 2016 年 1 月 22-29 日爆发了一次强度很大的寒潮天气过程,被称为“超级寒潮”,全国大范围大幅度降温,尤其长江中下游地区的最低气温则下降至零下 10℃左右。

(2)寒潮起始于入侵并进驻北极地区的冰岛风暴,迫使停留在北极的北极涡旋一路南下,冷空气势力显著加强并开始向南推进,导致中国全国范围性气温骤降,寒潮随之爆发。

(3)在此次寒潮期间,东亚副热带急流的强度指数和长江中下游地区的平均温度呈较为负相关,并且通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验,故当东亚副热带急流强度指数升高的同时对应着长江中下游地区的温度降低,反之急流强度降低时温度则会升高。

(4)通过计算得到此次寒潮中的急流位置指数和长江中下游的平均温度呈现极为显著的正相关,通过了  $\alpha=0.01$  的显著性检验。说明当急流位置偏南对应温度降低,偏北则对应气温的升高。通过对高度距平场的分析,从环流特征的角度上分析位置指数和长江中下游平均温度之间影响的机理,验证之前所得的急流位置与长江中下游地区气温之间的关系。

(5)利用 200 hPa 纬向风所计算的波包来分析寒潮中副热带急流的波导作用所产生的影响,波包的偏移基本能够对应此次寒潮中整个降温过程中的波能传播,其中波包的传播和冷空气的移动方向基本一致,扰动能量的蓄积意味着降温的准备和开始,扰动能量的释放代表着大幅的降温,甚至可能产生雨雪天气。

(6)东亚副热带急流是行星尺度的天气系统,单纯利用天气尺度分析结论,即急流轴位置偏差来判断温度的升降在天气分析和预报中还存在着很大的局限性。能够影响寒潮的气象因素有很多,东亚副热带急流在寒潮中的作用还需要更大尺度的研究和分析,这也是今后研究的方向。

## 参考文献:

- [1] Ding Yihui. Build-up, air mass transformation and propagation of Siberian high and its relation to cold surge in East Asia [J]. Meteor. Atmos. Phys., 1990, 44: 281-292.
- [2] Ryoo S B, Kwon W T, Jhun J G. Surface and upper-level features associated with wintertime cold surge outbreaks in South Korea [J]. Adv. Atmos. Sci., 2005, 22(4): 509-524.
- [3] 樊明,冯军,尚学军. “2001.4.9”寒潮天气形成过程分析[J]. 气象, 2004, 30(11): 3-7.
- [4] 刘丽. 低纬高原冬季寒潮个例分析[J]. 气象, 2001, 27(8): 53-55.
- [5] 许爱华,乔林,詹丰兴,等. 2005 年 3 月一次寒潮天气过程的诊断分析[J]. 气象, 2006, 32(3): 49-55.
- [6] 陶诗言,赵煜佳,陈晓敏. 东亚的梅雨期与亚洲上空大气环流季节变化的关系[J]. 气象学报, 1958, 29(2): 119-134.
- [7] 李崇银,王作台,林士哲,等. 东亚夏季风活动与东亚高空西风急流位置北跳关系的研究[J]. 大气科学, 2004, 28(5): 641-658.
- [8] 廖清海,高守亭,王会军,等. 北半球夏季副热带西风急流变异及其对东亚夏季风气候异常影响[J]. 地球物理学报, 2004, 47(1): 10-18.
- [9] 陶诗言. 东亚冬季冷空气活动的研究[Z]. 1957.
- [10] 金荣花,李维京,张博,等. 东亚副热带急流活动与长江中下游梅雨异常关系的研究[J]. 大气科学, 2012, 34(4): 722-732.
- [11] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 2000. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社, 2000.
- [12] Chaudhury A M. 1950. On the vertical distribution of wind and temperature over Indo-Pakistan along the meridian 36°E in winter [J]. Tellus, 1950, (2): 56-62.
- [13] Berggren R, Gibbs W J, Newton C. W. Observational characteristics of the jet stream [J]. A survey of the literature, 1958, (19).
- [14] Hoskins B J, Karoly D J. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing [J]. AtmosSci, 1981, 38(6): 1179-1196.
- [15] 缪锦海,肖天贵,刘志远. 波包传播诊断的理论基础和计算方法[J]. 气象学报, 2002, 60(4): 461-467.

## An Analysis on Relationship between East Asia Subtropical Westerly Jet and Cold Wave Event during January 2016

LI Rong<sup>1</sup>, XIAO Tian-gui<sup>2</sup>, JIN Rong-hua<sup>3</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. National Meteorological Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** To analyze brewing, outbreak and end of the cold wave event and the impact of the East Asia subtropical westerly jet (EASWJ) on Yangtze River region in January 2016, this paper uses daily reanalysis data and daily air temperature data to research process of this cold wave event and influences of the jet stream on air temperature in Yangtze River region. The results show that the average temperature in Yangtze River region when the jet stream intensity increases, while the average temperature decreases when the jet stream intensity reduces. From the perspective of the jet stream location, when the jet stream moves northward, the average temperature rises in Yangtze River region, while the temperature decreases when the jet stream moves southward. Wave packet propagation and accumulation during this cold wave event by using diagnosis method of wave packet propagation (WPD) results show that the direction of wave packet propagation represents the spread of cold wave while the accumulation and release of energy are as a symbol of the brewing of cold wave and significant cooling process.

**Keywords:** atmospheric sciences; cold wave event; wave energy propagation characteristics; East Asia subtropical westerly jet; jet intensity index; jet position index