

2008 年 12 月 2—6 日寒潮天气过程分析

牛若芸 乔 林 陈 涛 孔 期 张亚妮

(国家气象中心,北京 100081)

提 要: 利用常规天气观测资料、美国 NCEP/NCAR $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 网格点逐 6h 再分析资料,采用天气学原理和天气动力学诊断分析方法,对 2008 年 12 月 2—6 日寒潮天气过程进行分析和总结。结果表明:此次寒潮天气过程出现在欧洲脊强烈发展并缓慢东移、北半球中高纬环流形势由纬向型向经向型转换过程中。西脊前强偏北风带南移、横槽涡度西部大于东部、横槽前东南方的负变高和横槽后部的暖平流正变高等促使横槽转竖;南掉极涡与转竖低槽合并后,低槽明显向南加深,冷空气势力显著加强并开始向南爆发;自西脊西北部入侵小槽压迫高脊向东南方向移动并逐渐崩溃,脊前偏北气流逆转为西北气流,引导冷空气大举向南爆发,造成了此次寒潮天气过程。强盛的冷平流是造成气温骤降的主要原因。强风的形成除与冷平流侵入有关外,还与高空动量下传的增加密切相关。山东半岛降雨和强降雪的环境成因和物理量特征存在明显差异,降雨为冷暖空气交汇所致;强降雪则是冷平流、海陆分布差异和地形抬升共同影响的结果。T639、ECMWF 和日本等 3 种数值模式均对这次亚欧中高纬大气环流的演变和调整均做出了较准确的预报,尤以 ECMWF 模式预报性能最好。

关键词: 寒潮 环流形势 强冷平流 暴雪 成因分析

Analysis of the Cold Wave During 2—6 December 2008

Niu Ruoyun Qiao Lin Chen Tao Kong Qi Zhang Yani

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: Based on the conventional surface and upper data, NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ reanalysis data of every 6-h, in terms of the synoptic principle and the dynamic diagnosis, the cold wave during 2-6 December 2008 has been analyzed. The results are as follows: The cold wave occurred when the European ridge developed intensely and moved eastwards, and the zonal circulation changed into the meridional one in the middle-high latitude in the Northern Hemisphere. The northerly wind in front of the ridge moved southwards. The vorticity of the transverse trough in the west was larger than that in the east. Both the negative variation of the height

located in the southeast part in front of the trough and the positive variation of height behind the trough were favorable to the revising of the transverse trough. The polar vortex and the revising transverse trough get together causing the deepening of the trough. Meanwhile, the cold air strengthened and invaded to the south. The ridge impulsed by the trough moved southeastwards and broke down gradually. Afterwards, the northerly wind changed into the northwesterly wind, which led to this cold-wave process. The main reason for the rapid air temperature decrease was the intense cold advection. The formation of the strong wind was correlated with not only the cold advection but also the upper disseminated momentum. There were obvious differences of the circulation and characteristics of the physical quantities between the rainfall and the heavy snowfall in the Shandong Peninsula. The rainfall is induced by cold-warm air converging, the heavy snowfall is caused by cold flow and difference of sea-land distribution and orographic uplift. T639 model and ECMWF and Japan models, especially for ECMWF model, have good performances for the evolvement and adjustment of atmospheric circulation situation in the Asia middle and high latitude area.

Key Words: cold wave circulation pattern strong cold advection snowstorm causation analysis

引 言

寒潮是我国冬春季严重的灾害性天气之一,是一种大规模的强冷空气活动过程。寒潮天气的主要特点是剧烈降温和大风,有时还伴有雨、雪、雨淞和霜冻等,会给工农业生产、交通运输、电力、人类健康等造成不利影响^[1]。学者们对于寒潮过程的冷空气源地和路径、寒潮关键区、寒潮中短期环流演变形势特征及影响系统等已得出诸多有益结论^[1],研究成果在寒潮实际预警业务中发挥了积极作用。诸如:文献[1]指出影响我国的冷空气源地分别位于新地岛附近洋面和冰岛以南洋面,冷空气多经关键区——西伯利亚中部(43°~65°N、70°~90°E)堆积加强后,取道西北路、东路、西路、东路加西路侵入我国。许爱华等^[2]对 2005 年 3 月的寒潮天气过程进行了诊断分析,认为其主要成因是西欧上空 500hPa 强暖平流致使在西伯利亚地区形成阻塞高压,建立横槽,横槽北侧的东北气流引导超极地冷空气和西路冷空气合并加强;形成了异常强的冷高压、锋区、冷温度中心和冷

温度平流。王丽等^[3]对湖北省一次罕见寒潮天气过程气温陡降成因分析得出,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所致。樊明等^[4]对 2001 年 4 月初的一次寒潮天气过程做了剖析,指出西伯利亚大低压发展盘踞造成强冷空气源,它南压至横槽的形成是爆发寒潮的前提条件等。然而我国幅员辽阔,气候条件差异很大,寒潮过程特点各不相同。特别是在气候变暖的大背景下,我国寒潮特征也发生了改变^[5]。因此对于寒潮及寒潮天气的研究仍然是近期乃至今后研究的重点。

本文利用国家气象中心实时预报业务数据库中的常规天气观测资料、美国国家环境预报中心和美国国家大气研究中心(NCEP/NCAR) 1°×1°网格点逐 6h 再分析资料,采用天气学原理和天气动力学诊断分析方法,对 2008 年 12 月 2—6 日寒潮天气过程进行分析和总结,以期进一步提高对寒潮的科学认识,为今后寒潮天气的预警和防御提供参考依据,提升国家防灾减灾能力。

1 天气实况

2008年12月2—6日,我国出现了入冬以来首次全国性寒潮天气过程,新疆北部、西北地区东部、华北、东北、黄淮、江淮、江南地区东部和南部、华南地区中东部日最低气温下降幅度普遍有 $10\sim 16^{\circ}\text{C}$,其中黑龙江西南部和东北部、吉林、辽宁东部等地下降幅度有 $18\sim 24^{\circ}\text{C}$,局部地区达到 26°C 左右;长江中下游及其以北地区出现了4~6级偏北风,东部和南部海区出现了7~9级大风;新疆北部、甘肃中西部、内蒙古东北部、东北地区北部和东部、山东半岛等地出现了小到中雪或雨转雪,其中山东半岛局部地区为大到暴雪。

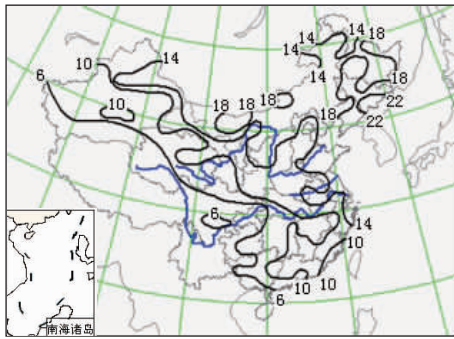


图1 2008年12月2—6日寒潮天气过程日最低气温下降幅度(单位: $^{\circ}\text{C}$)

2 寒潮天气过程分析

2.1 冷空气源地和寒潮酝酿

寒潮能否爆发与冷空气的源地和堆积程度有着密切关系。11月29日08时(图略),500hPa北半球中高纬西风带呈多波动的纬向型环流。之后,大西洋东部低槽斜压不稳定发展,位于低槽前的西欧高压脊受到暖平流动力加压作用迅速发展,脊线由NW—SE向逐渐顺转为S—N向,同时脊点向北伸展,环流经向度明显加大,脊前偏北气流引导极地冷空气不断向南输送,高脊东侧的低槽区扩大、加深。

至12月1日08时(图2),北半球中高纬环流形势已转变为两脊一槽的倒 Ω 流型;原西欧脊发展为振幅约35个纬距、脊点伸至极区的强大东欧高脊(以下称西脊),脊前偏北气流显著加强,并形成中心风速达 $36\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流带,急流核(62°N , 61°E 附近)风速高达 $40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;鄂霍次克海至白令海为高脊区,起到了阻挡冷空气东移、促使冷空气堆积加强的作用;两脊间的西伯利亚内陆为深厚低槽区。自泰梅尔半岛旋转南下的极涡中心(位势高度为488dagpm)位于 67°N 、 100°E 附近,与之配合的冷中心强度为 -44°C ,

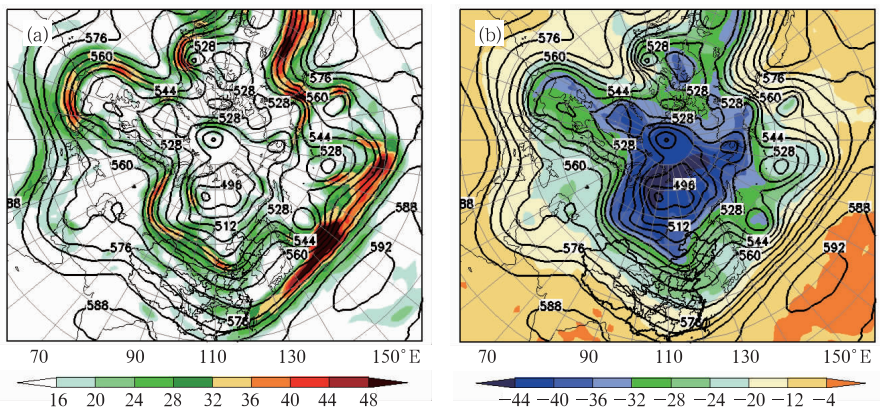


图2 2008年12月1日08时500hPa形势
(a)高度(黑实线,单位:dagpm)和急流(色标,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);
(b)高度(黑实线,单位:dagpm)和温度(色标,单位: $^{\circ}\text{C}$)

700、850hPa 冷中心强度也分别达到了一 36℃和-32℃;自新地岛沿西脊前偏北气流下滑的横槽移至萨彦岭至巴尔喀什湖北侧(60°N、100°E 至 50°N、70°E);高空锋区位于 50°N 附近、呈 WNW—ESE 走向,等温线密集;地面等压面图上,蒙古国西部至新疆北部有冷锋活动,锋后冷高压中心强度达 1045hPa。这些迹象表明冷空气堆已初步形成,具备了寒潮爆发的首要条件。

2.2 寒潮爆发

500hPa 高空西脊缓慢东移。12 月 1 日

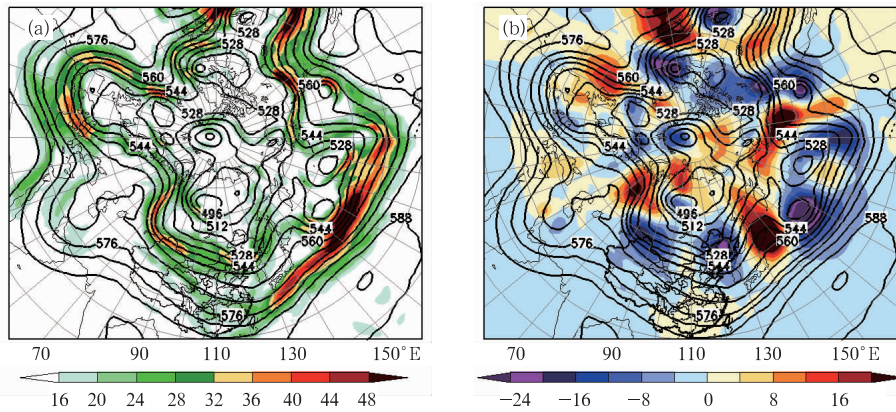


图 3 2008 年 12 月 1 日 20 时 500hPa 形势

(a) 高度(黑实线,单位:dagpm)和急流(色标,单位: $m \cdot s^{-1}$);

(b) 高度(黑实线,单位:dagpm)和 24 小时变高(色标,单位:dagpm)

地区北部至河套西侧,冷高压中心加强到 1057hPa。不过此时,高空锋区走向呈准 E—W 向,地面高压轴向与锋区走向相似,冷空气向南爆发的动力不足,地面主要负变温区也位于 45°N 以北地区。需注意的是,前文提及的极涡及与之相连的低槽已沿西脊前偏北气流旋转南下至贝加尔湖西北侧,与转竖横槽间的距离明显缩小,极涡中心位于 60°N、110°E 附近,冷中心加强至-48℃。

3 日 20 时(图 4a),南掉极涡与转竖低槽携带的冷空气合并,低槽明显向南加深,环流经向度进一步加大,西脊振幅增加到约 45 个

20 时(图 3),脊线移至乌拉尔山东侧,西脊前横槽后的偏北急流风带也随之东移并出现南压,急流核位于 55°N、70°E 附近,这为横槽转竖提供了有利的动力条件。横槽西段涡度明显大于东段,说明横槽西段加深得比东段快,有利于横槽转竖;槽前正涡度平流使横槽前东南方产生负变高,横槽后部是暖平流正变高,正负变高走向呈 NW—SE 向、中心差值超过 36dagpm、梯度为 30dagpm/9 个纬距(3.3dagpm/100km),这也预示了横槽即将转竖。

2 日 20 时(图略),500hPa 高空横槽转竖,并东移至蒙古国中部;地面锋面位于华北

纬距;锋区南压至 40°N 附近,并转为 ENE—WSW 走向,梯度为 16℃/5 个纬距(3.2℃/100km),锋区增强,平流交角增大,冷平流增强;地面冷高压中心增强到 1074hPa,冷空气势力明显加强并开始向南爆发。此时,西北地区东部偏北地区和华北地区北部 24h 气温下降幅度达到 8~12℃。加之,西脊西北部有东移小槽侵入,压迫高脊向东南方向移动并逐渐崩溃,脊前偏北气流逆转为西北气流(图 4b),引导冷空气大举向南爆发,使得中东部大部分地区气温骤降并达到了寒潮标准。

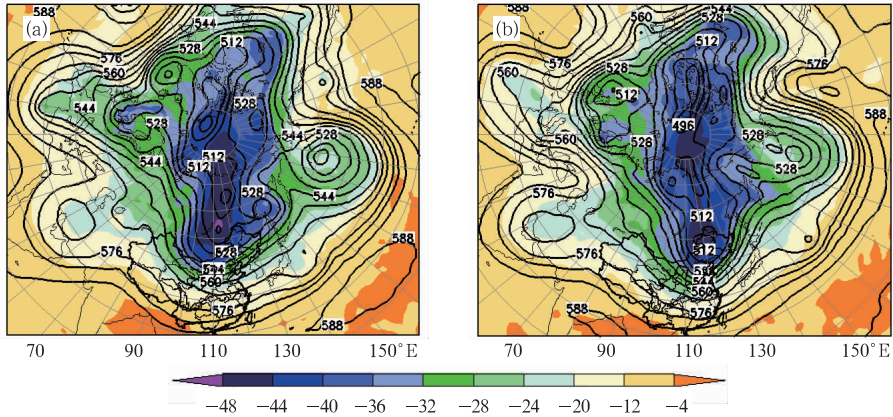


图 4 2008 年 12 月 3 日 20 时(a)和 4 日 20 时(b)500hPa 高度(黑实线,单位:dagpm)和温度(色标,单位:℃)

综上所述,此次寒潮天气过程是出现在欧洲脊强烈发展并缓慢东移、北半球中高纬环流形势由纬向型向经向型转换过程中。西脊前强偏北风带南移、横槽涡度西部大于东部、横槽前东南方的负变高和横槽后部的暖平流正变高等促使横槽转竖;南掉极涡与转竖低槽合并后,低槽明显向南加深,冷空气势力显著加强并开始向南爆发;自西脊西北部入侵小槽压迫高脊向东南方向移动并逐渐崩溃,脊前偏北气流逆转为西北气流,引导冷空气大举向南爆发,造成了此次寒潮天气过程。

3 强降温和强风成因

3.1 强降温成因

此次寒潮天气过程中,强盛的冷平流是造成气温骤降的主要原因。850hPa 温度平流演变显示(图 5):1 日 20 时,冷平流进入新疆北部,冷平流中心值为 $-20 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$,表明冷空气很强。2 日 20 时,横槽虽然转竖,但由于此时锋区呈准 W—E 向,冷平流亦呈水平带状分布,前沿位于 40°N 附近,有两个冷平流中心,分别位于新疆吐鲁番附近地区和内蒙古西部,冷平流中心值分别为

$-30 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $-20 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 。3 日 20 时,南掉极涡与转竖低槽合并后,低槽明显向南加深,锋区和冷平流区均转为 ENE—WSW 走向,冷平流范围亦明显加大,强度加强,前沿扩展到长江中下游沿江,有 3 个冷平流中心,分别位于山西南部($-20 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)、甘肃南部($-30 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)、内蒙古东南部($-40 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)。4—5 日,冷平流区覆盖了我国中东部大部分地区,内蒙古东部、山西南部、山东南部、辽宁、吉林东北部、广西北部、浙江东部等地先后出现了 $-40 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 的冷平流中心。6 日 20 时,此次冷空气活动对我国的影响基本结束,仅江南和华南地区的东部还处于弱的冷平流区中。

纵观此次寒潮过程中 850hPa 冷平流变化还发现,冷平流强度低于 $-10 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 的区域(图略)与日最低气温下降幅度在 10°C 以上的区域大体一致,冷平流区向南扩展的速度比地面气温 24h 负变温区向南扩展速度超前 12h 左右。

3.2 强风成因

温度平流与地面风场之间是通过变压场相互关联和促进的。强冷平流不仅会造成气

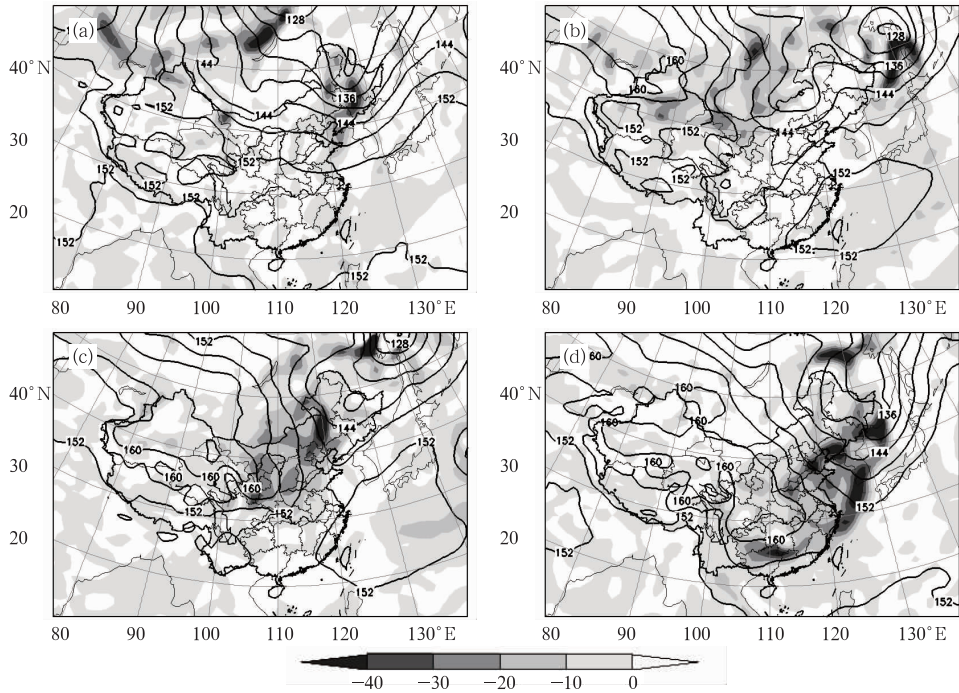


图 5 2008 年 12 月 1—4 日 850hPa 高度(黑实线,单位:dagpm)和冷平流(阴影区,单位: $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)
(a)1 日 20 时;(b)2 日 20 时;(c)3 日 20 时;(d)4 日 20 时

温骤降,还会使地面正变压场加强、地面变压梯度和气压梯度增大,促使地面风场发展^[6];冷平流愈强,出现的风力也就越大,本次寒潮天气过程也是如此。强盛的冷平流使得长江中下游以北大部分地区的变压梯度相继达到了 $18 \sim 26 \text{ hPa}/10$ 个经纬距,与之相应出现了 4~6 级偏北风。从逐 6h 地面风场监测情况来看,此次寒潮天气过程我国陆地风力最强的时次(也即 4 级以上各级风力覆盖范围最大的时次)为 12 月 4 日 14 时,然而该时次既不是气压梯度最大($22 \sim 26 \text{ hPa}/10$ 个经纬距)的 12 月 4 日 02 时,也不是正变压中心最强(34 hPa)的 12 月 3 日 08 时。究其成因,除与冷平流侵入有关外,还与高空动量下传的加强密切相关。

低槽与转竖横槽合并后,冷空气势力明显加强,高空低槽在东移过程中不断向南加深,槽前上升运动增强。12 月 4 日 14 时,位

于对流层中低层(850~500hPa)槽前的黑龙江东侧—朝鲜海峡—东海处于上升运动区中,分布有两个上升运动大值中心($-1.2 \sim -1.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$),分别位于黑龙江东侧和朝鲜海峡附近,黑龙江东侧上升运动中心下方有锋面气旋在发展;而淮河以北地区则处于槽后增强的下沉运动区中,从而与前方上升运动区构成的纬向垂直环流圈增强,有利于高空动量向下输送,使得地面风场加强。

极涡低槽与转竖横槽合并还引起了高空锋区增强,高空锋区中的急流带也逐渐增强。至 12 月 4 日 14 时(见图 6),西北地区东部、华北地区南部和西部、黄淮等地处于高空偏北风和偏西风构成的急流带中,500hPa 急流带中心风速达 $36 \sim 46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,700hPa 急流带中心风速达 $18 \sim 36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而高空急流带的增强势必也会引起高空向下传输的动量增加,促使地面风场加强。

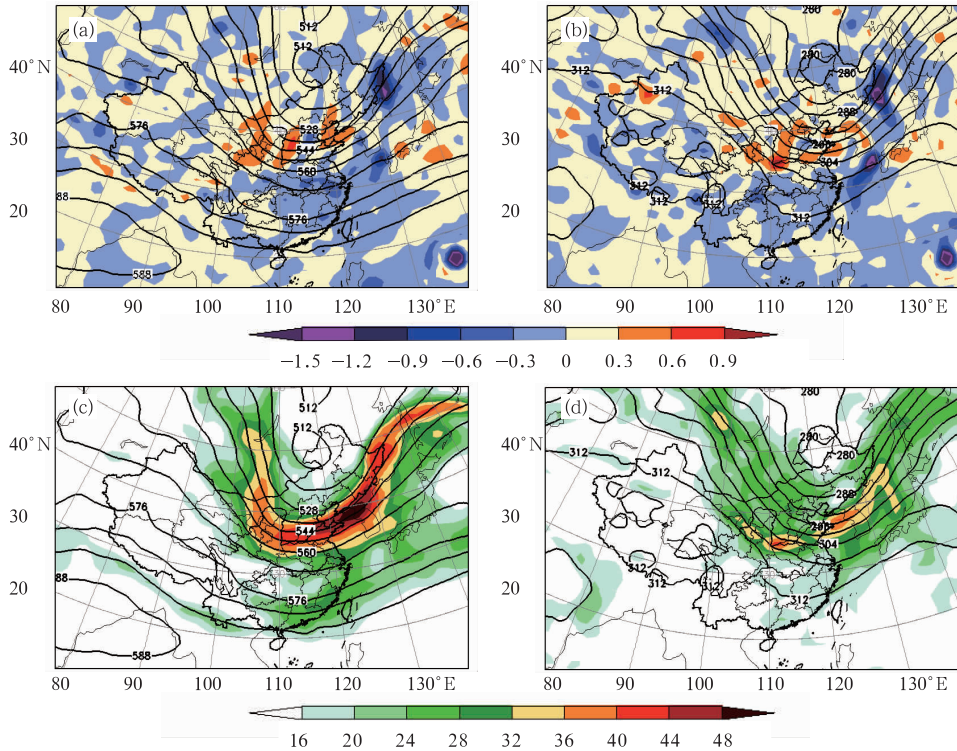


图 6 2008 年 12 月 4 日 14 时 500hPa 和 700 hPa 高度与垂直速度(单位: $10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)和急流(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a)500hPa 高度和垂直速度; (b)700hPa 高度和垂直速度; (c)500hPa 高度和急流; (d)700hPa 高度和急流

4 山东半岛降雨与强降雪成因

虽然此次寒潮过程出现的降水范围较小、总体强度也不强,但是山东半岛却出现了强降雪天气,局部地区还出现了暴雪。逐 3h 地面观测记录显示出,山东半岛的降水主要出现在 3—5 日;始于 3 日下午(17 时),为液态降水(雨);4 日上午(11 时)转为固态降水(雪),降雨和强降雪的环流成因和物理量特征存在明显差异。

3 日 20 时(图 7),700hPa 和 850hPa 槽线穿过山东中部,山东半岛处于槽前暖平流控制区,黄海北部有锋面气旋发展,向南伸展出的冷锋穿过山东半岛,冷暖空气交汇使得低层辐合、中高层辐散,促使上升运动强烈发

展,最大值中心位于 850hPa 附近($-6 \times 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$),为出现降水提供了动力条件;槽前西南急流向山东半岛输送水汽,水汽通量迅速增大(最大值为 $6.5 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$),为出现降水提供了必需的水汽条件;同时,低层和近地面层温度较高,850hPa 温度高于 2°C ,925hPa 温度约为 7°C ,地面气温为 11°C 左右,降水相态为液态(雨)。

4 日 08 时起,850~500hPa 高空槽线相继移过山东半岛,半岛地区转为西北气流控制。物理量场也随之发生改变,散度场转为中低层辐散、高层辐合;垂直运动场转为下沉气流,最大值中心位于 600hPa 附近($4 \times 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$);水汽通量也显著减小,超过 $2 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 的顶界迅速下

降;期间伴随着中低层温度下降。强降雪天气是在冷空气造成强降温的同时,高空槽后的强西北气流将渤海湾水汽向山东半岛上空

输送,加之海陆分布差异和地形抬升作用而产生的,属冷流降水。

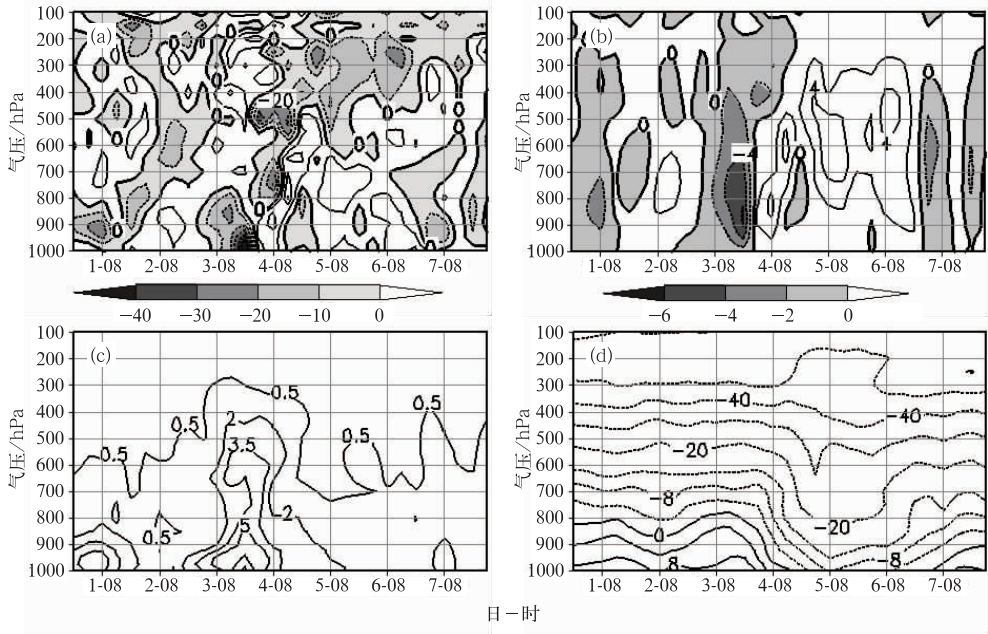


图 7 2008 年 11 月 30 日 20 时至 12 月 8 日 02 时山东半岛 (36°~38°N、120°~123°E) 不同物理量时间-高度剖面(阴影区为负值区)
 (a)散度(单位: $10^{-6} s^{-1}$); (b)垂直速度(单位: $10^{-1} Pa \cdot s^{-1}$);
 (c)水汽通量(单位: $10^{-2} g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1} \cdot hPa^{-1}$); (d)温度(单位: C)

5 数值预报性能检验

数值预报已成为现阶段制作天气预报的重要工具,了解数值预报性能、提高数值预报应用能力对于准确制作天气预报有着极其重要的意义。因此,本文还就 T639、ECMWF 和日本等 3 种在天气预报业务中广泛使用的数值模式性能进行了检验。

此次寒潮天气过程的爆发是以亚欧中高纬大气环流由纬向型向经向型转换为背景的,本文选用了能够反映大气环流经、纬向环流特征的重要指标——西风指数来检验和比较 T639、ECMWF 和日本模式对于亚洲中高

纬度大气环流演变和调整的预报性能。在 2008 年 11—12 月西风指数实况及对应的不同预报时效(24~168 小时)的预报情况逐日演变图上(图略)可以看到,实况监测和预报结果均显示了西风指数由高指数向低指数的显著转变,表明 3 种模式均对这次环流调整做出了较准确的预报。比较而言,以 ECMWF 模式预报性能最好,24~168 小时预报时效的西风指数下降幅度绝对预报误差的平均值为 16.3dagpm,为实际下降幅度(264dagpm)的 6%;T639 和日本模式西风指数下降幅度绝对预报误差的平均值为 30dagpm 左右,约为实际下降幅度的 11%。

6 小结

(1) 2008 年 12 月 2—6 日寒潮天气过程出现在欧洲脊强烈发展并缓慢东移, 北半球中高纬环流形势由纬向型向经向型转换过程中。西脊前强偏北风带南移, 横槽涡度西部大于东部, 横槽前东南方的负变高和横槽后部的暖平流正变高等促使横槽转竖; 南掉极涡与转竖低槽合并后, 低槽明显向南加深, 冷空气势力显著加强并开始向南爆发; 自西脊西北部入侵小槽压迫高脊向东南方向移动并逐渐崩溃, 脊前偏北气流逆转为西北气流, 引导冷空气大举向南爆发, 造成了此次寒潮天气过程。

(2) 强盛的冷平流是造成气温骤降的主要原因, 且 850hPa 冷平流强度低于 $-10 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 的区域与日最低气温下降幅度在 10°C 以上的区域大体一致。

(3) 强风形成除与冷平流侵入有关外, 还与高空动量下传的增加密切相关。

(4) 此次寒潮天气过程, 山东半岛降雨

和强降雪的环境成因和物理量特征存在明显差异。3 日降雨是冷暖空气交汇所致; 4—5 日强降雪则是高空槽后的强西北气流将渤海湾水汽向山东半岛上空输送, 加之海陆分布差异和地形抬升作用而产生的, 属冷流降水。

(5) T639、ECMWF 和日本等 3 种数值模式均对这次环流调整均做出了较准确的预报。比较而言, 以 ECMWF 模式预报性能最好。

参考文献

- [1] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理与方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 10.
- [2] 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.
- [3] 王丽, 韦惠红, 金琪, 等. 湖北省一次罕见寒潮天气过程气温陡降分析[J]. 气象, 2006, 32(9): 71-76.
- [4] 樊明, 冯军, 尚学军. “2001. 4. 19”寒潮天气形成过程分析[J]. 气象, 2002, 28(3): 54-57.
- [5] 王遵娅, 丁一汇. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因[J]. 大气科学, 2006, 30(6): 1068-1076.
- [6] 吴海英, 孙燕, 曾明剑, 等. 冷空气引发江苏近海强风形成和发展的物理过程探讨[J]. 热带气象学报, 2007, 23(4): 388-394.