

2011年3月宁夏一次寒潮天气过程诊断

陈豫英^{1,2}, 陈楠^{1,2}, 聂金鑫², 穆建华¹, 辛尧胜²

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象台, 宁夏 银川 750002)

摘要:利用常规气象观测资料、NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料等,采用天气动力学诊断方法,对2011年3月13~15日宁夏寒潮天气过程的影响系统配置、冷空气移动路径及高低空环流形势演变等进行诊断分析,并结合宁夏寒潮和大风沙尘预报指标,分析了强降温和大风沙尘的主要成因。结果表明:过程前期宁夏各地升温强烈,有强冷空气在西西伯利亚堆积并向南爆发造成此次寒潮天气;过程出现在乌拉尔山高压脊强烈发展东移过程中,影响系统为新疆快速东移短波槽与强锋区,促使寒潮爆发的流场为“低槽东移型”,地面冷高压进入关键区,中心强度达1 062.7 hPa,以分裂南下方式影响;气温剧降的主要原因是850 hPa有强盛的冷平流自北向南控制宁夏;大风沙尘产生在强风区、辐合区、上升运动区及涡度梯度带上,并有“低层辐合中层辐散高层辐合”的垂直结构;由于系统浅薄、强度不强、宁夏及上游为平直西风气流、没有高空急流区配合是未出现沙尘暴的主要原因。在此基础上,提出宁夏春季寒潮预报概念模型和预报着眼点。

关键词:寒潮;诊断;预报着眼点

中图分类号:P456.7

文献标识码:A

引言

寒潮是宁夏冬半年主要灾害性天气之一。宁夏全区性寒潮过程以春季最为频繁,约占总发生次数的53%。寒潮的主要天气特征是剧烈降温和大风,有时伴有沙尘(暴)、雨(雪)等天气,给生活、生产、交通等带来不利影响^[1-2]。

国内许多气象工作者如丁一汇、刘传凤、许爱华等^[3-15]对寒潮发生的影响系统演变、冷空气移动路径等做了大量研究工作,得出许多在业务中有实际应用价值的预报指标,为提高寒潮预报预警业务提供了关键性技术支撑。宁夏气象工作者陈豫英、沈跃琴、邵建等^[16-21]也对本区的寒潮个例进行了分析,总结出了一些客观量化指标。2011年3月13~15日(以下简称“3.13”),受新疆强冷空气东移南下影响,我国自北向南大部地区先后出现6~10℃降温,西北地区大部、华北北部等地降温幅度超过12℃。冷空气影响期间,上述地区还出现5级左右偏北风,并伴有沙尘、雨雪天气。此次过程影响范围广、降温幅度强、大风沙尘天气明显。本文对这次春

季典型寒潮过程的环流形势演变、主要影响系统、降温和大风、沙尘形成原因等进行诊断分析,归纳出宁夏春季寒潮预报概念模型,为今后进一步提高宁夏寒潮天气的预报预警和防御能力提供科学依据。

1 寒潮天气事实

1.1 寒潮实况

2011年3月13~15日,受2011年春季最强的一次冷空气活动影响,宁夏出现了全区性寒潮。如图1所示,3月12~14日48 h日平均气温普遍下降12℃,有5站降温幅度超过14℃;13日全区大部最大瞬时风力超过7级,部分地区还伴有扬沙和零星小雪;15、16日清晨川区大部日最低气温降至-10℃~-8℃,山区达-12℃以下。受剧烈降温和强风影响,宁夏部分县市设施农业受损,直接经济损失约245.2万元。

1.2 银川站地面气象要素

冷空气影响前后气温、气压、风速、风向、能见度、相对湿度等地面气象要素都发生了明显变化。下面以银川为例进行详细分析。

收稿日期:2011-01-11;改回日期:2012-02-06

基金项目:国家自然科学基金项目(40965008和41075069)资助

作者简介:陈豫英(1972-),女,汉族,福建福清人,高级工程师,硕士,现从事天气预报及其方法研究。E-mail:chenyuy@sina.com

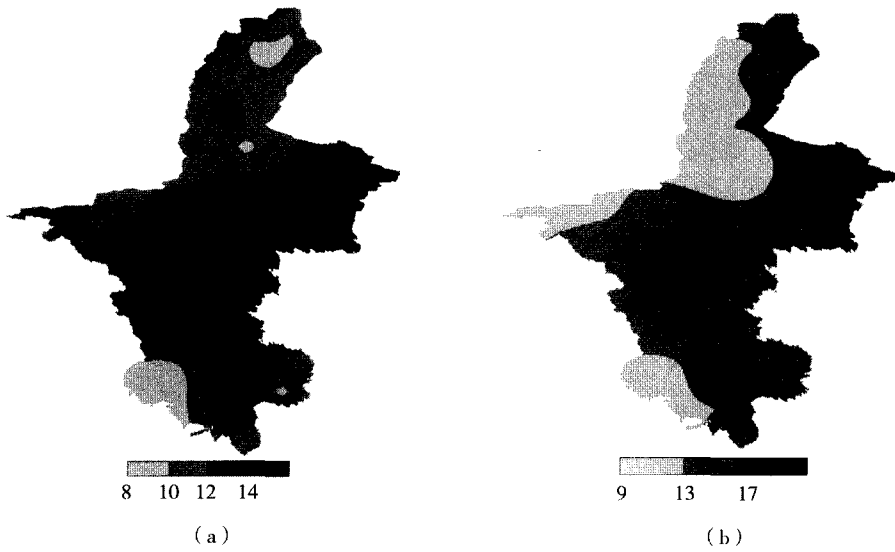


图1 2011年3月12~14日气温降幅(a,℃)及13日最大瞬时风速(b,m·s⁻¹)

Fig.1 The temperature drop on March 12 to 14(a) and maximum instantaneous wind on March 13(b) in Ningxia in 2011

3月12日为蒙古热低压覆盖的宁夏升温明显,银川站较历史同期偏高6.7℃。分析13日00:00~23:00逐时各要素变化(图2):05:00之前,宁夏仍处于河套低压,气温依然较高,与前一日同时刻相比偏高1.6~4.4℃;05:00冷锋过境,气压升高、气温降低、风速增大、风向由东北偏东转为东北偏北,而能见度没有明显变化,仍在10 km以上;冷锋过境后,锋区在南压过程中经历了先弱后强、先慢后快的变化,各气象要素也经历了同样的变化:14:00之前,锋区不强,南压缓慢,云系逐渐增多,气压以0.5 hPa/h升高,气温和风速

变化不大,虽然经历了先下降后升高再下降的变化,但最高最低差值仅有2.4℃(3.7 m/s),而能见度降到10 km以下、风速在6~8 m/s时,银川出现浮尘;14:00之后,锋区加强,南下移速加快,气压增幅至2 hPa/h,气温以1℃/h降低,风速增大到10 m/s以上、能见度降低至5 km以下时,银川上空由浮尘转为扬沙,沙尘增强,并持续到22:20。14日随着1 040 hPa以上的冷高压控制宁夏,云系逐渐较少,气温降至0℃以下,并持续较低,风速在4~6 m/s之间。冷空气影响期间相对湿度总体较小,在40%以下,没有降水。

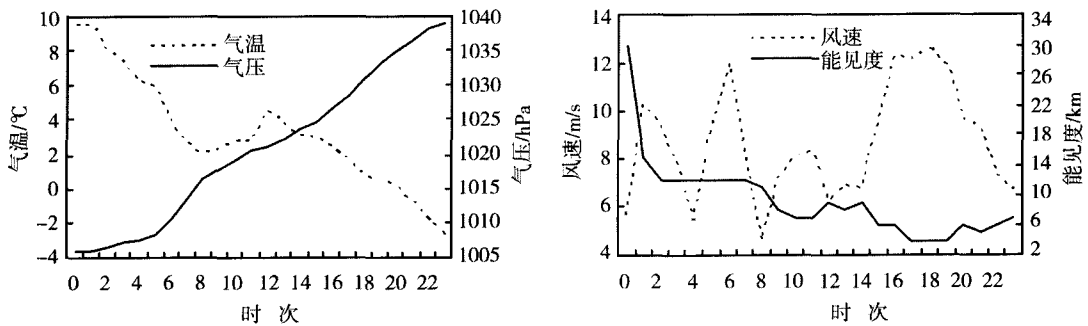


图2 2011年3月13日银川站逐时气温、气压、风速、能见度变化

Fig.2 Variations of hourly temperature, pressure, wind speed and visibility at Yinchuan station on March 13, 2011

2 500 hPa 环流形势演变和影响系统

从图 3 可以看出:促使此次寒潮爆发的流场为“低槽东移型”,主要影响系统为新疆东移短波槽和强锋区,地面冷高压以分裂方式南下,冷空气以西北路径影响宁夏。

宁夏寒潮天气影响系统的关键区为 $40^{\circ} \sim 55^{\circ} \text{N}$, $90^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{E}$, 3 月达到寒潮天气的冷高压中心强度为 $1\ 045\ \text{hPa}$ [21]。

下面通过详细分析 500 hPa 低槽的形成、发展东移和南下 3 个阶段,分析此次过程的冷空气源地、移动路径及影响系统等变化与强降温和大风沙尘的形成原因。

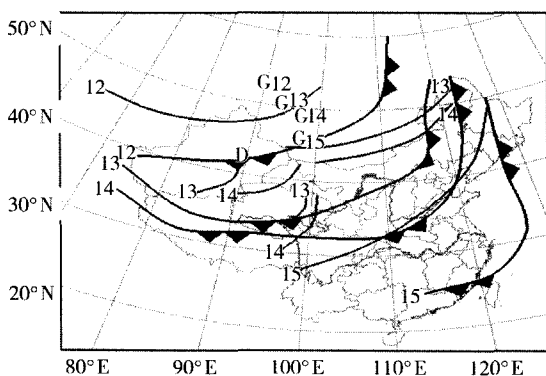


图 3 2011 年 3 月寒潮过程综合动态图
Fig. 3 The comprehensive dynamic figures of the cold wave occurred in March of 2011

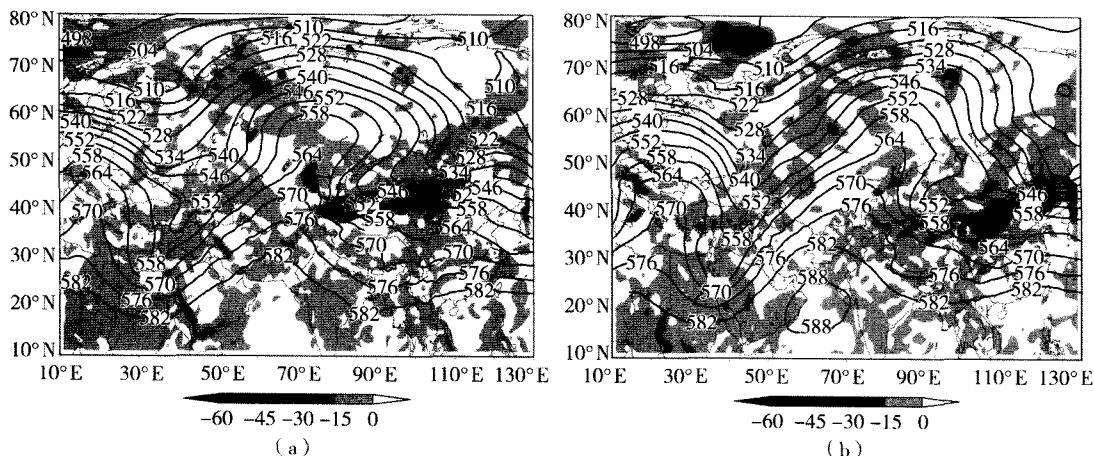


图 4 2011 年 3 月 12 日 20:00(a) 及 13 日 14:00(b) 500 hPa 高度场(实线)和 850 hPa 温度平流(阴影)分布
(高度:gpdm, 温度平流: $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$)

Fig. 4 The 500 hPa height field(the real line) and 850 hPa temperature advection (the shadow areas) at 20:00 March 12(a) and 14:00 March 13(b) of 2011
(Units: gpdm, $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$)

2.1 低槽形成阶段

2011 年 3 月中旬前期,欧亚中高纬维持“2 槽 1 脊”的 Ω 流型,脊位于乌拉尔山西侧 65°E 附近,低槽分别在贝加尔湖(简称“贝湖”)北侧及欧洲。乌拉尔山高压脊(简称“乌山脊”)在东移过程中发展强烈,环流经向度显著增加,极地冷空气沿脊前东北气流不断补充到贝湖北侧的低槽区,在贝湖和巴尔喀什湖(简称“巴湖”)之间形成横槽,冷空气中心强度为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$,位置在 100°E 附近。根据陈楠等 [22-23] 总结出的宁夏大风沙尘概念模型“乌山脊强烈发展,贝湖附近有横槽,宁夏可能有区域性大风、沙尘”,对比此次过程与概念模型基本一致。

3 月 12 日(图 4a),冷空气在东移过程中分裂为 2 股,一股在贝湖南侧缓慢东移,另一股沿乌山脊前东北气流在新疆北侧不断堆积形成 $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的切断低涡,从低涡底部有分股扩散冷空气沿祁连山南下至青海湖附近,地面冷高压位于蒙古西部 95°E 、 50°N 附近、中心强度为 $1\ 052.5\ \text{hPa}$,其前部冷锋东移至乌鲁木齐附近(图 5a);此时河西到河套地区有热低压发展,升温明显,银川与乌鲁木齐气压差为 $29.1\ \text{hPa}$,温差 $24.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,锋面附近温压梯度加大不仅有利于寒潮冷锋南下速度加快 [22-23],也为大风沙尘天气提供有利的动力和热力条件;对应地面上东北西南向的锋区,850 hPa 上带状冷平流区亦呈东北西南向,前沿位于 30°N 附近,宁夏处在弱冷平流里(图 4a)。

上述分析表明:低槽形成阶段,冷空气已进入关键区,强度也已达到宁夏寒潮标准^[19-21],所以这股冷空气以何种路径移动、能否南下是造成宁夏寒潮天气的关键。

2.2 低槽发展和东移阶段

由于新疆切断低涡与冷中心重合,冷平流不明显,等高线上没有辐散,所以切断低涡没有明显发展,而是减弱蜕变为一个个快速东移的短波槽,形成

“赶槽”^[22],并与乌山脊前南下的冷空气合并加强(图4b),对应地面冷高压中心虽然稳定少动,但强度加强到1 060 hPa(图5b);13日随着寒潮冷锋和短波槽过境,气压梯度增大,锋区加强南下,冷平流区向南扩张,宁夏大部地区风力达6~7级,部分地区伴有浮尘、扬沙和弱降雪。13日14:00与12日20:00相比,850 hPa温度平流下降了 $20 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$ 以上,宁夏气温平均下降了8℃左右。

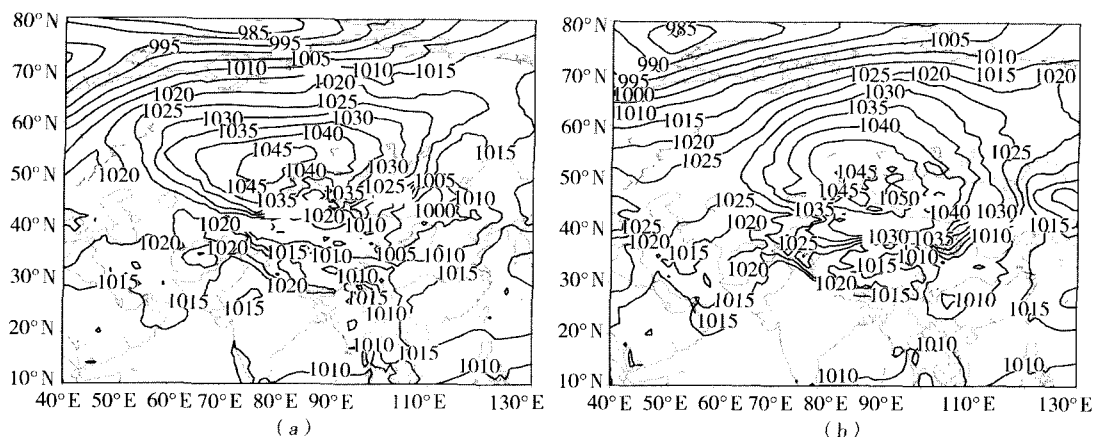


图5 2011年3月12日14:00(a)及13日14:00(b)地面气压(hPa)场分布

Fig. 5 The pressure field on the surface(hPa) at 14:00 March 12(a) and 14:00 March 13(b) in 2011

13日宁夏出现大范围大风、浮尘、扬沙天气,却没有出现沙尘暴,原因有3个。一是从南疆到西北地区都处于平直西风气流里,虽然有强风速带,但没有形成高空急流区(图4b,图6),而且宁夏上空风

速也不强,500 hPa风速为16~18 m/s,700 hPa风速为8~12 m/s,这与宁夏沙尘暴概念模型^[22-23]“当宁夏处于强西北气流里,上游(新疆或蒙古、内蒙古)有高空急流形成,可能有沙尘暴”不符;二是

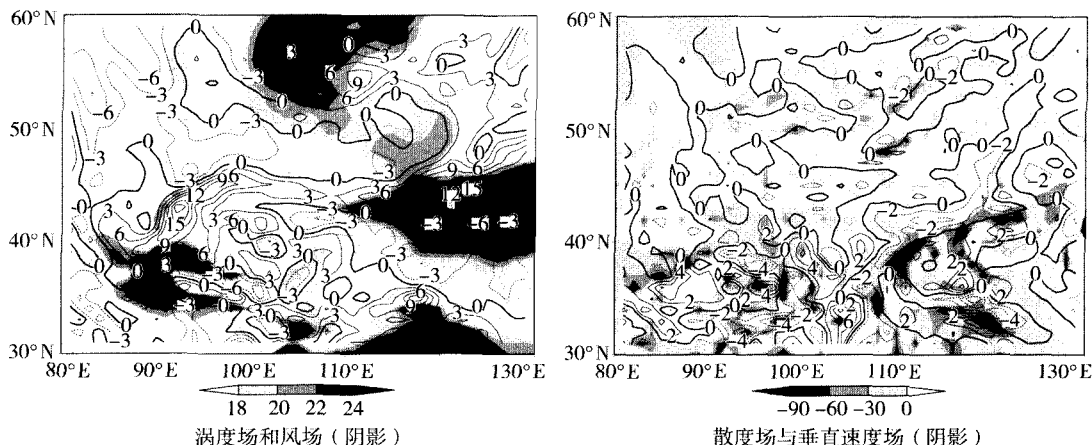


图6 2011年3月13日20:00 500 hPa动力结构场分布

(单位:涡度/ 10^{-5} s^{-1} ,散度/ 10^{-5} s^{-1} ,垂直速度/ $\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 6 Distribution of the 500 hPa dynamical structure field at 20:00 March 13 2011

(Units: Vorticity/ 10^{-5} s^{-1} , Divergence/ 10^{-5} s^{-1} ,

Vertical speed/ $\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, wind speed/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

地面冷锋 13 日 05:00 过境,时间偏早,地面气温相对较低,产生沙尘暴的热力条件不足;三是从 13 日 20:00 的环流动力结构配置看(图 6):甘肃到河套北部为正涡度区,青藏高原南部到宁夏为负涡度区,其间形成东北—西南向涡度梯度带,正负涡度中心为 $\pm 3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,同时宁夏上空存在“低层辐合、中层辐散、高层辐合”的多个次级环流,周围则相反,且 18 m/s 以上的强风区、辐合区、上升运动区与涡度梯度带分布一致,这种动力结构配置易于发生近地面大风,形成沙尘^[24-28],但与王可丽等^[28]对中国北方春季沙尘暴的研究结果相比,该过程辐合(散)中心、正(负)涡度中心弱,涡度梯度区不强,系统浅薄,不具备沙尘暴发生的动力结构。

2.3 寒潮大举南下阶段

3 月 14~15 日 2 股冷空气在东移过程中合并加强为东亚大槽,槽南部等高线疏散,槽前正涡度平流和负变高加大,锋区和冷平流增强,有利于低槽向南加深,引导冷空气深入南方;15 日 08:00 850 hPa 冷平流中心东移至黄海,宁夏处于 $> -5 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$ 的弱冷平流里,最低气温达到最低值,大部地区降至 -10°C 以下,但白天暖平流已开始慢慢入侵宁夏,最高气温回升至 5°C 左右,冷平流对宁夏的影响减弱结束。

3 宁夏春季寒潮预报概念模型

根据对 2011 年春季寒潮过程分析及有关预报经验和指标^[1-2,20-21],乌拉尔地区有高脊发展,巴湖到贝湖为低值区并伴有横槽,冷空气在乌山脊前东北气流引导下在新疆形成切断低涡,随着低涡减弱退变为快速东移的短波槽,锋区南压;对应地面有 1 040 hPa 以上的地面冷高压,并随着短波槽快速东移到宁夏寒潮天气影响关键区且强度加强为 1 060 hPa,此时地面冷锋前后压温梯度大、锋区强、冷平流强,表明宁夏寒潮天气的发生条件已具备。

(1)寒潮能否爆发与冷空气的源地和堆积程度有着密切关系。宁夏寒潮爆发的必要条件是有强冷空气在乌山脊东部的西西伯利亚或贝湖附近堆积,达到宁夏寒潮天气强度并进入关键区^[1,21]。可通过低涡中心温度值(500 hPa 为 $-36^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$)、高空锋区(700 hPa 为 $21^{\circ}\text{C}/5$ 纬距)、地面冷高压中心强度(1 045 hPa)、冷锋前后气压差(20 hPa)、温差(20°C)及 850 hPa 冷平流强度(宁夏上空为 $-15 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1} \sim -20 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$)等判断冷空气强度

是否达到寒潮。

(2)寒潮天气的具体影响时间根据 500 hPa 高空槽和寒潮冷锋的过境时间而定,冷锋过境后气温开始缓慢下降,高空槽过境后气温以 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 快速降低,一般冷锋和高空槽前后过境相差 10 h 左右;寒潮天气的持续时间则依据地面冷高压的南下方式、冷空气的强弱及以何种路径移动而判断。

(3)寒潮过程是否伴有沙尘或出现沙尘暴,主要判断高度场、风场、涡度、散度、垂直速度等物理量场变化是否符合宁夏大风沙尘概念模型^[22-23]和沙尘暴环流动力结构^[28]。

4 结 论

(1)此次过程欧亚中高纬维持“2 槽 1 脊”的流型,寒潮爆发的流场为“低槽东移型”;过程期间乌山脊强烈发展并东移,其东部有横槽形成并缓慢南压,影响系统为新疆快速东移短波槽和强锋区。

(2)强盛的冷平流是造成气温剧降的主要原因。降温时段出现在 500 hPa 高空短波槽和地面寒潮冷锋过境后,锋区南下,宁夏上空被 $< -20 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$ 冷平流区域所覆盖,随着冷平流强度增强,降温加速。

(3)此次大风沙尘天气的环流动力结构表现为:巴湖到贝湖为低值区,乌拉尔地区有高脊,其间的强气压梯度是大风沙尘的动力源;宁夏处于正负涡度间的涡度梯度带,大风区、辐合区和上升运动区与涡度梯度带一致,并伴有“低层辐合、中层辐散、高层辐合”的垂直结构,易于形成大风沙尘;但系统浅薄,强度不强,宁夏及其上游地区为东北气流和平直西风气流,没有高空急流区配合,难以产生沙尘暴。

(4)冷锋过境前后,气象要素变化明显,随着冷锋过境,锋区增强,冷空气南下速度加快,气压明显增大、气温明显降低、风力加大、能见度降低、沙尘增强;随着 1 040 hPa 以上的地面冷高压南下控制宁夏,气温持续较低,风力减弱,沙尘天气减弱结束。

参考文献:

- [1] 宁夏气象局. 短期天气预报指导手册[Z]. 宁夏气象局,1987,96-105.
- [2] 陈豫英,陈楠,马金仁,等. 近 48a 宁夏寒潮的变化特征及可能影响的成因初步分析[J]. 自然资源学报,2010,25(6):939-951.
- [3] 丁一汇,王遵亲,何金海,等. 近 50 年来中国气候变化特征的分析[J]. 气象学报,2004,62(2):228-236.

- [4] 刘传凤. 我国寒潮气候评价[J]. 气象, 1990, 16(12): 40-43.
- [5] 白歧凤, 尤莉. 内蒙古寒潮的统计分析[J]. 内蒙古气象, 1993, (2): 4-9.
- [6] 林爱兰, 吴尚森. 近40多年广东省的寒潮活动[J]. 热带气象学报, 1998, 14(4): 337-343.
- [7] 姚正兰. 遵义市寒潮天气过程统计分析[J]. 贵州气象, 2000, 24(1): 10-13.
- [8] 王明洁, 周永吉, 邹立尧. 黑龙江省寒潮天气及预报[J]. 黑龙江气象, 2000, 3: 29-32.
- [9] 李海军, 李云泉. 2005年3月10-12日嘉兴市寒潮大雪成因浅析[J]. 科学通报, 2007, 23(5): 641-645.
- [10] 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): 54-57.
- [11] 陈豫英, 赵光平. 两次典型强沙尘暴过程的对比分析[J]. 气象, 2003, 29(9): 18-22.
- [12] 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.
- [13] 谷秀杰, 李周, 鲁坦, 等. 2006年4月11-12日寒潮天气成因[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(B09): 19-21.
- [14] 张林梅, 庄晓翠, 胡磊. 新疆阿勒泰地区一次强寒潮天气过程分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(1): 71-75.
- [15] 高振荣, 刘晓云, 田庆明, 等. 甘肃河西地区一次强寒潮天气个例诊断分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(1): 34-39.
- [16] 周翠芳, 张广平, 杨海山. 宁夏冬季寒潮天气过程对比分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 142-147.
- [17] 沈跃琴, 纪晓玲, 邵建, 等. T213等数值预报产品在宁夏寒潮预报中的释用[J]. 宁夏工程技术, 2006, 5(2): 110-115.
- [18] 邵建, 陈楠, 孙银川, 等. “2005-03-09”和“2006-04-10”宁夏强寒潮天气对比分析[J]. 宁夏工程技术, 2008, 7(2): 164-170.
- [19] 陈豫英, 陈楠, 邵建, 等. 2008年12月两次寒潮天气对比分析[J]. 气象, 2009, 35(11): 29-38.
- [20] 陈豫英. 宁夏两次典型寒潮天气的对比分析[J]. 陕西气象, 2004(2): 4-6.
- [21] 文润琴. 宁夏寒潮3-6天的客观因子模式预报方法[J]. 宁夏气象, 1994(1): 5-7.
- [22] 陈楠, 赵光平, 陈豫英, 等. 西北地区东部沙尘暴转型对气候和生态环境变化的响应[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 717-723.
- [23] 陈楠, 陈晓光, 赵光平. 宁夏不同强度沙尘暴环流差异特征的对比分析[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 680-686.
- [24] 陈静, 许彦慧, 蔡文玮. 内蒙古中西部地区一次沙尘暴天气的动力诊断[J]. 干旱气象, 2011, 29(3): 330-335.
- [25] 赵俊荣, 刘振新. 准噶尔盆地南缘一次强沙尘暴成因分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(4): 362-366.
- [26] 滕跃, 王万瑞, 贺皓, 等. 陕西一次强沙尘暴过程诊断与分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 770-774.
- [27] 杨先荣, 李正明, 黄成秀, 等. 临夏州“010408”强沙尘暴、寒潮天气过程分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 191-194.
- [28] 王可丽, 江灏, 吴虹. 2001年春季中国北方沙尘暴的环流动力结构分析. 高原气象, 2002, 21(3): 303-308.

Diagnosis of a Cold Wave Weather Event in March 2011 in Ningxia

CHEN Yuying^{1,2}, CHEN Nan^{1,2}, NIE Jingxin², MU Jianhua¹, XIN Yaosheng²

(1. Ningxia Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China)

Abstract: Based on conventional meteorological observation data and NCEP/NCAR reanalysis data, the diagnostic analysis was made about a cold wave weather event occurred from March 13 to 15 in 2011 in Ningxia, and the main reason of strong temperature drop, gale and sanddust weather were analyzed by combining with the cold wave prediction indexes of Ningxia. The results show that in early stage of the weather event, there was an obvious rising of temperature in Ningxia, and strong cold air accumulated in west Siberia and bursting toward south caused this cold wave event. During this cold wave process, the circulation over middle-high latitude Asia presented two troughs and one ridge, the dynamic mechanisms were upper rotating short-wave trough and strong front zone, the stream fields leading to outbreak of the cold wave were low trough moving east, the value of ground cold high pressure center reached to 1 062.7 hPa and it split and influenced Ningxia; After the burst of cold air, strong cold advection appeared over Ningxia, strong wind and dust occurred over the strong wind zone, convergence zone, vertical motion zone and vorticity gradient zone, and there was the vertical structure of convergence in lower level, divergence in middle level and convergence in high level, but there was no sandstorm occurred in Ningxia. Finally, we gave out the prediction conceptual model and forecast points of spring cold wave weather event in Ningxia.

Key words: cold wave; synoptic analysis; diagnostic analysis; forecast point