

2014年4月北疆一次寒潮天气过程的诊断分析

马依拉·买合木提, 石继宏, 阿地力·苏拉衣曼, 依巴代提·肉苏力, 巴合提亚尔·木斯来丁
新疆吐鲁番市托克逊县气象局, 新疆 托克逊
Email: 396244870@qq.com

收稿日期: 2020年11月6日; 录用日期: 2020年11月20日; 发布日期: 2020年11月27日

摘要

本文选取2014年4月22日至24日北疆寒潮天气过程, 利用常规和非常规实况观测资料、NCEP/NCAR分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的fml再分析数据集, 对该过程做天气诊断分析。结果发现, 冷空气在西西伯利亚上空堆积增强, 乌拉尔山高压脊强烈发展并缓慢东移南压, 导致西伯利亚低涡不断分裂, 分成南北两支, 北支在 50°N 以北缓慢东移, 南支南压, 将在蒙新高地发展成切断低涡, 低涡槽后偏北气流引导冷空气向南爆发, 造成北疆地区的强寒潮天气。此次过程中的强冷平流是短时间内造成大幅降温的主要原因。

关键词

北疆寒潮, 乌拉尔山高压脊, 西伯利亚长波槽, 强冷平流

Diagnostic Analysis on a Cold Wave Weather Process in Northern Xinjiang in April 2014

Mahira Mahmut, Jihong Shi, Adil Sulayman, Ibadat Rosul, Bahtiyar Musiraydin

Toksun Meteorological Bureau, Toksun Xinjiang
Email: 396244870@qq.com

Received: Nov. 6th, 2020; accepted: Nov. 20th, 2020; published: Nov. 27th, 2020

Abstract

This paper studied the cold wave weather process in northern Xinjiang from April 22 to 24, in 2014. Not only conventional, non-conventional observation data and NCEP resolution which is $1^\circ \times 1^\circ$ FNL reanalysis data sets, but also the weather diagnostic methods are applied and used in this research. By analyzing on actual weather, circulation background and high altitude weather systems, this paper summarized that early at the outbreak of the cold weather, the accumulation of cold air in West Siberia enhanced and the Ural mountain ridge developed strongly to reinforce the

文章引用: 马依拉·买合木提, 石继宏, 阿地力·苏拉衣曼, 依巴代提·肉苏力, 巴合提亚尔·木斯来丁. 2014年4月北疆一次寒潮天气过程的诊断分析[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9(6): 821-832. DOI: 10.12677/ccrl.2020.96088

downstream troughs. After the ridge of high pressure moved to the southeast, the longwave trough was splitting, dividing into two branches of north and south, which extended to their respective directions to guide cold air to outbreak southwardly. Besides, strong cold advection could mainly explain for the sudden drop in temperature.

Keywords

The Cold of Northern Xinjiang, Ural High Ridge, Siberia Wave Trough; Strong Cold Advection, Blizzard

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

早在上世纪,气象工作者们就已经对寒潮天气过程开展了诸多研究。朱乾根、寿绍文等[1]指出寒潮天气过程是在特定的环流形势下发生的大范围的强冷空气活动过程,主要的天气特点为剧烈降温和大风。寒潮爆发时,冷空气所经之处还会带来雨、雪、雨淞或霜冻、大风、沙尘暴等一系列灾害性天气,从而导致受寒潮影响地区的交通中断、停电、停暖、房屋倒塌、农作物受损、牲畜死亡甚至人口伤亡,给农林牧业生产、交通运输业、电力和人民的日常生活等方面带来很大的危害,造成极其严重的损失。因此,开展寒潮天气过程的分析总结工作,研究寒潮形成原因,深入详细地分析寒潮源地、移动路径及发生发展的演变规律,特别是做好暴雪、大风、沙尘暴等天气的预报服务,提升冷空气预报的准确率,减少寒潮天气带来的亏损,是一件非常有意义的防灾减灾工作。

国内外的气象工作者们对于寒潮天气过程及带来的一系列天气现象进行了大量研究,分析了它们发生、发展的物理机制,已取得不少研究成果。50年代末,陶诗言[2]深入地分析了冷源区和冷空气的运动轨迹;仇永炎[3]研究了东亚寒潮冷锋的构造;张山清等[4]指出在寒潮过程中出现暴雪和温度的突然下降是由低空急流和暖湿空气引起;许爱华等[5]提出,当500 hPa上欧洲上空脊后强暖平流存在会有助于西伯利亚地区上空形成阻塞高压和横槽的建立,横槽北部的东北气流引导冷空气旋转南下,使槽合并加强,有助于强冷高压、锋区、冷温度中心和冷温度平流的构成,这些都是造成寒潮的最主要原因;贺程等[6]指出春季近地面层气温异常升高常常是发生寒潮的一个明显先兆。牛若芸等[7]提出高空动量下传的增加和冷平流的侵入与大风的形成密切相关;庄小翠等[8]认为寒潮天气过程中温度突降的原因除了强冷平流以外,还有基于天气现象、下垫面性质的非绝热因子引起的不同程度的影响;宫德吉等[9][10][11][12]则分别对内蒙古、新疆及南极的暴雪天气进行了分析,得到不少有益的成果。美国的气象学者也对寒潮过程中暴雪的形成机理进行了研究。Kevin A. Cooper、Marx R. Hjelmfelt等[13][14][15]研究了热对流结构的转换对暴雪过程的影响,并对此进行了数值模拟,最后在2000年指出了边界层中的低层风速和垂直方向上的风切变对对流结构所引起的重要作用;在2004年,Chen etc.[16]研究了ENSO循环和东亚寒潮发生频次之间的关连。

按照2006年中国气象局的新规定,在北方地区,气温在24小时内降到小于 10°C ,或在48小时内降到小于 12°C ,且最低气温都小于 4°C ,则为一次寒潮天气过程的标准。寒潮一般多发生在秋冬春季,时间为9月至次年5月。本文主要研究2014年4月22日至24日北疆地区寒潮天气过程的环流背景及影响系统的演变规律,分析冷空气的源地、移动路径和物理量特征,探讨短时间内剧烈降温原因、暴雪成因。此次天气过程强度大,影响范围广,造成的灾情较严重,因此具有深刻的研究意义,需总结得出有应用价值的结论,便于以后工作中作为参考。

2. 寒潮过程概况及资料和方法

2.1. 寒潮过程实况

从4月22日12时到23日10时,冷空气自西向东横跨新疆,推进过程速度非常之快(图1)。在短短的22个小时内冷空气就已经肆虐了新疆,在4月出现了罕见的雨雪、大风、强降温和沙尘暴等天气。乌鲁木齐市及天山山区出现了暴雪,阿勒泰东部、塔城、伊犁、石河子、昌吉和哈密北部等8县市出现大雪,到23日14时天池最高降雪量达19 mm,积雪深度达22.2 cm;在新疆多数地区出现7~9级大风,三十里风区在23日08时瞬时风速为 $40.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,阵风达到13级;有24县市出现沙尘暴,特强沙尘暴出现在淖毛湖,能见度为不足50 m;北疆降温8至 12°C ,最强降温大于 15°C ,乌鲁木齐市从22日16时的 23.5°C 降到23日12时的 -4.1°C ,降温幅度达 27.6°C ,自治区首府创下近30年来4月下旬最低温和最大降温幅度的新记录;北疆大部气温降至 0°C 以下,局地最低气温为 -5°C 至 -10°C (表1)。寒潮天气给全疆14个地(州、市)带来了不同程度的损失。



Figure 1. Live distribution map of cold wave weather in Xinjiang from April 22 to April 24, 2014 [20] (Source: people.cn)

图1. 2014年4月22~24日新疆寒潮天气实况分布图[20] (来源: 人民网)

Table 1. Weather conditions of representative stations in northern Xinjiang from April 22 to 24

表1. 北疆地区代表测站4月22日~24日天气实况

代表测站	最高/最低气温			风向风力			天空状况
	4.22	4.23	4.24	4.22	4.23	4.24	4.23
乌鲁木齐	$22^{\circ}\text{C}/-2^{\circ}\text{C}$	$3^{\circ}\text{C}/-4^{\circ}\text{C}$	$9^{\circ}\text{C}/2^{\circ}\text{C}$	无持续风向3~4级/ 西北风5~6级	西北风4~5级/ 无持续风向 ≤ 3 级	无持续风向 ≤ 3 级/ 东南风4~5级	中雪/ 多云
吐鲁番	$31^{\circ}\text{C}/14^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C}/3^{\circ}\text{C}$	$17^{\circ}\text{C}/5^{\circ}\text{C}$	无持续风向 ≤ 3 级/ 西北风4~5级	西北风6~7级/ 西北风5~6级	无持续风向 ≤ 3 级/ 无持续风向 ≤ 3 级	扬沙/ 多云
阿勒泰	$18^{\circ}\text{C}/-4^{\circ}\text{C}$	$3^{\circ}\text{C}/-7^{\circ}\text{C}$	$7^{\circ}\text{C}/-2^{\circ}\text{C}$	无持续风向 ≤ 3 级/ 西风6~7级	西风6~7级/ 西风4~5级	无持续风向 ≤ 3 级/ 无持续风向 ≤ 3 级	多云/ 晴
塔城	$17^{\circ}\text{C}/-1^{\circ}\text{C}$	$7^{\circ}\text{C}/-4^{\circ}\text{C}$	$14^{\circ}\text{C}/4^{\circ}\text{C}$	西风5~6级/ 西风6~7级	西风3~4级/ 东风3~4级	无持续风向 ≤ 3 级/ 东风4~5级	多云/ 晴
昌吉	$24^{\circ}\text{C}/2^{\circ}\text{C}$	$3^{\circ}\text{C}/-3^{\circ}\text{C}$	$12^{\circ}\text{C}/-1^{\circ}\text{C}$	无持续风向 ≤ 3 级/ 西北风5~6级	西北风3~4级/ 无持续风向 ≤ 3 级	无持续风向 ≤ 3 级/ 无持续风向 ≤ 3 级	小雪/ 多云

2.2. 资料和方法

利用常规和非常规实况观测资料、NCEP/NCAR 分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的 fnl 再分析资料、应用天气学诊断方法,对 2014 年 4 月 22 日至 24 日的一次强寒潮天气过程进行分析。通过对天气实况、大尺度环流背景、高低空主要天气系统和物理量场的分析,总结冷空气堆积和向南爆发的特征及移动路径,探讨强降温和暴雪的天气成因,试图寻找有指示意义的指标,从而为预报业务提供有益的参考价值。

3. 环流背景与影响系统的分析

3.1. 高空环流演变特征

通过高空环流形势演变,可以看出 2014 年 4 月 21 日 20 时,500 hPa (图略)上欧亚大陆环流形势为两脊一槽型,脊区分别位于中高纬度乌拉尔山和中西伯利亚上空,西西伯利亚东部为低压及低压冷槽,冷中心强度为 -38°C ,并且落后于低槽,将有助于低压槽发展加深;中低纬度多波动,黑海一低压中心,里海北部一高压中心,威海以东为低槽活动区;22 日 08 时(图 2(a)),乌拉尔山高压脊发展并缓慢东移,脊前西北风风速开始加大,西北风带在乌拉尔山地区建立,西北气流向槽区不断输送冷空气,引导北方冷空气南下,促使西西伯利亚低压槽和下游威海以东小槽合并加强,形成西西伯利亚至威海的东北~西南向的一个深厚低压槽,冷平流加强,温度槽内冷中心达 -40°C ,冷中心较 21 日明显南掉,温度槽仍落后于高度槽,槽前风速加大至 $44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,低压槽将继续发展加深;23 日 08 时(图 2(b))低压大槽缓慢东移,在中西伯利亚及巴尔喀什湖以东出现两个冷中心,低压大槽开始分裂成南北两支,北支在 50°N 以北缓慢东移北上,南支南压并在巴尔喀什湖附近迅速东移影响北疆;23 日 20 时(图 2(c))北疆受南支低槽控制,未来在下坡地形的作用下,将有切断低涡生成发展趋势;24 日 08 时(图 2(d))低压中心缓慢东移,到 20 时移出新疆,该区处于浅脊控制。

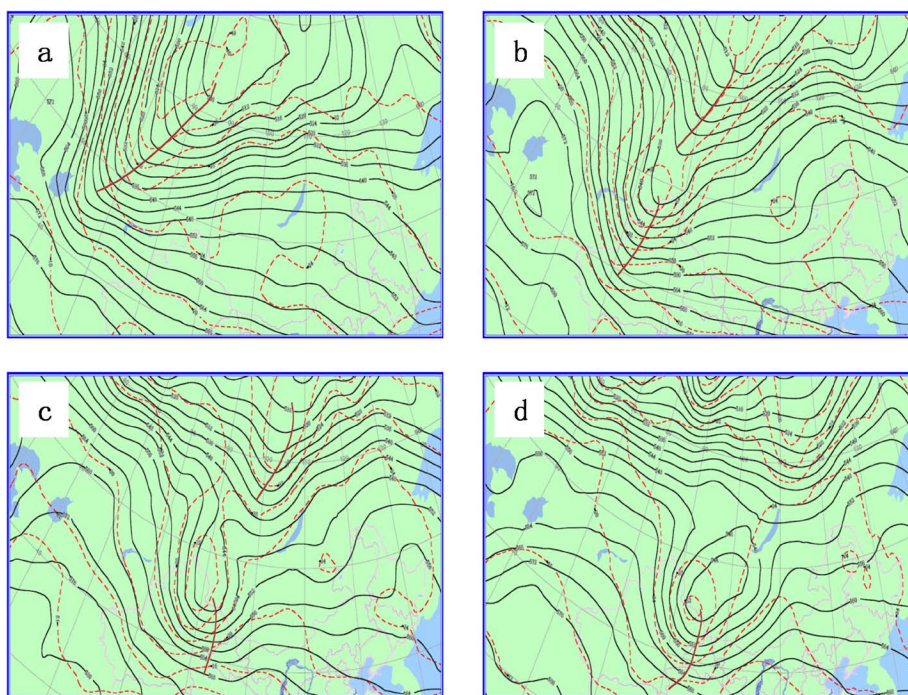


Figure 2. Evolution of circulation situation at 500 hPa. (a) 08:00 on the 22nd; (b) 08:00 on the 23rd; (c) 20:00 on the 23rd; (d) 08:00 on the 24th

图 2. 500hPa 环流形势演变。(a) 22 日 08 时; (b) 23 日 08 时; (c) 23 日 20 时; (d) 24 日 08 时

4月22日08时700 hPa图上(图略)西西伯利亚低压槽延伸至咸海,槽内冷中心强度达 -24°C ,且落后于高度槽,槽将会继续发展加深,北疆位于槽前部位;23日08时,北疆上空为强锋区,等高线和等温线几乎垂直,北疆受强冷平流影响,槽线东移,位置相比500 hPa高空槽偏东,随着大气斜压性的增强,到23日20时,在蒙新高地生成低涡;24日08时,低涡移至贝加尔湖南部,蒙新高地冷中心达 -20°C ,依然落后于高度槽,槽将继续发展东移出新疆。

这次寒潮天气过程主要影响系统为乌拉尔山高压脊和巴湖低槽。前期乌拉尔山高压脊强烈发展,环流径向度发展明显加大,使其下游小槽合并加强,之后随着乌拉尔山高压脊向东南移动并衰退,西伯利亚低涡不断分裂出短波槽并携带强冷空气向南移动。

3.2. 寒潮冷锋及冷高压演变特征

在此次寒潮天气过程中,地面冷高压在22日20时处于邻近波罗的海区域,然而渐渐地向东南边移动,到20时,经过乌拉尔山南端折向东移,中心强度达1030 hPa;23日08时,再经巴尔喀什湖北部东移南下,中心强度达1040 hPa。强冷平流呈现在高压前部,后部则呈现暖平流,中心区温度平流趋于零,即冷锋之后地面高压属于热力不对称系统。

有较强冷锋呈现在高压前部(图3),并且随高度向冷空气一侧倾斜,在22日08时从西西伯利亚延伸至巴尔喀什湖,对应的500 hPa高空有西伯利亚冷槽;23日08时,冷锋向东南移动并分裂,北支从贝加尔湖南端延伸至北疆地区,南支位于南疆地区,对应高空槽线分裂,在700 hPa有明显的锋区;24日08时,冷锋彻底移出新疆。

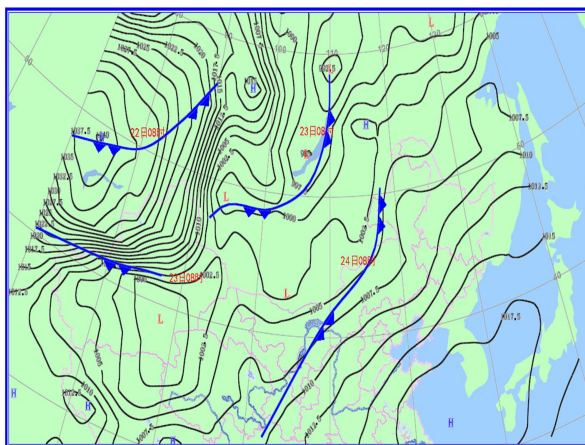


Figure 3. Ground situation map at 08:00 on the 23rd and cold front dynamic map at 08:00 on the 22nd to 24th
图3. 23日08时地面形势图及22~24日08时冷锋动态图

3.3. 冷空气的堆积

从上述环流背景分析中可以看出,本次寒潮天气冷空气源地为新地岛以东洋面。4月22日08时,在500 hPa中高纬度环流发展经向度明显加大,乌拉尔山脊发展振幅加大,脊点延伸至极区,乌拉尔山脊强烈发展并缓慢东移,西伯利亚低压槽延伸至巴尔喀什湖北部,槽后西北气流将冷空气输送到槽区,促使低压槽有较大发展加深,与槽相配合的冷槽中心强度达 -40°C ,冷空气在西伯利亚地区堆积增强。地面图上寒潮冷高压首现于巴尔喀什湖西北部,在向东移动过程中不断加强;22日20时,冷空气主体继续向东南方向移动,高压中心强度达1030 hPa,寒潮冷锋位于巴尔喀什湖东北部;23日08时,冷高压中心移到巴尔喀什湖以北,中心最强大到1040 hPa。

3.4. 冷空气的爆发

分析发现，此次寒潮强冷空气的向南爆发与小槽发展型寒潮的爆发类同。寒潮爆发的前两天，地面气旋位于贝加尔湖以西，不断发展，中心强度达 997.5 hPa。与之相应的在高空乌拉尔山地区建立长波脊，从欧洲长波脊分裂出来的高压中心位于里海北部，不断向东北移动并与乌拉尔山高压脊合并，促使高压脊发展加强，脊点延伸至极区，径向环流加强，脊前西北偏北气流引导极区冷空气大举南下。西西伯利亚不稳定小槽属于疏散槽，正好出现在发展的高压脊前，有较强的锋区形成于槽后，温度槽明显落后于高度槽，有较强的冷平流，则不稳定小槽发展为从西西伯利亚延伸至咸海的一个东北~西南向稳定的长波槽。当乌拉尔山高压脊迁移到西西伯利亚，温度脊与高压脊重合，暖平流出现在脊前，冷平流和负变温出现在脊后，因此致使长波脊减弱东移南压，下游长波槽也随之东移南压，最终导致堆积在西伯利亚寒潮强冷空气随着长波槽向南爆发。至此，西西伯利亚低槽、完整的寒潮冷高压、地面冷锋、冷空气强烈堆积的程度，均已具备了寒潮爆发的首要条件。

4. 气温骤降和大风的成因分析

由热流量方程可知，某地温度的局地变化主要取决于温度平流和非绝热因子，这里着重分析此次寒潮过程中温度平流的变化。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\bar{V} \cdot \nabla T - w \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\omega}{\rho c_p} + \frac{Q}{c_p}$$

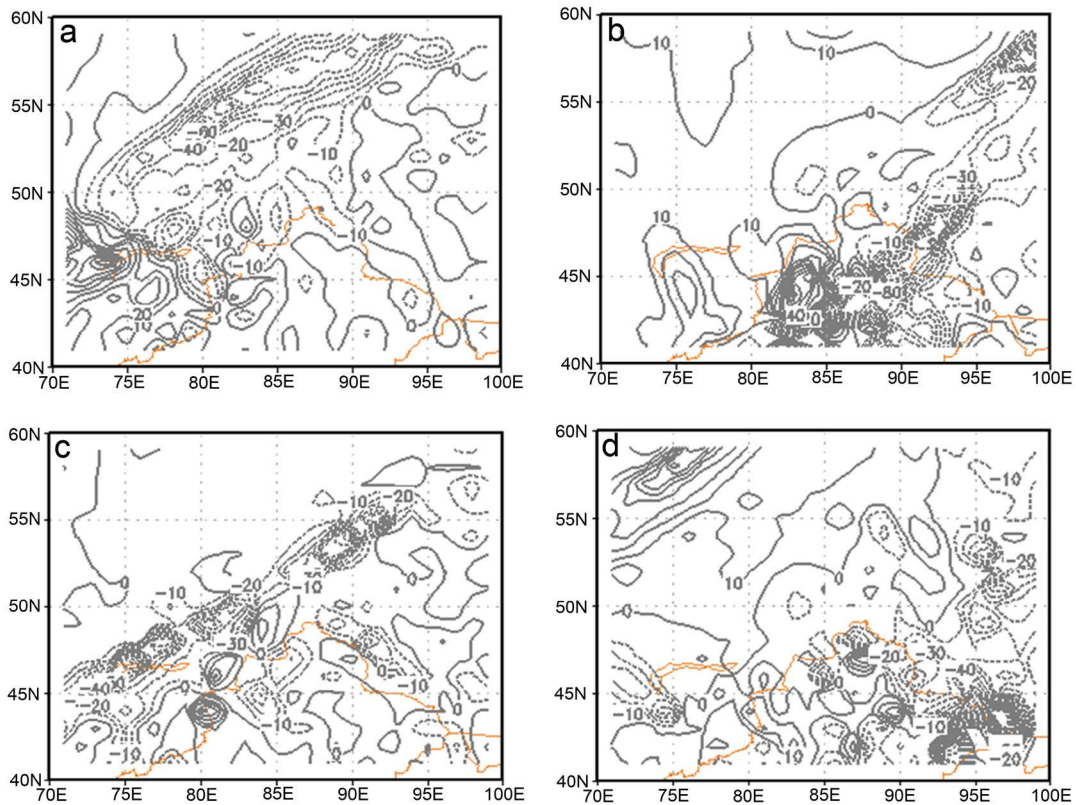


Figure 4. Temperature advection distribution map ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$). (a) 14:00 on the 22nd at 500 hPa; (b) 14:00 on the 23rd at 500 hPa; (c) 14:00 on the 22nd at 850 hPa; (d) 14:00 on the 23rd at 850 hPa

图 4. 温度平流分布图($^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)。 (a) 22 日 14 时 500 hPa; (b) 23 日 14 时 500 hPa; (c) 22 日 14 时 850 hPa; (d) 23 日 14 时 850 hPa

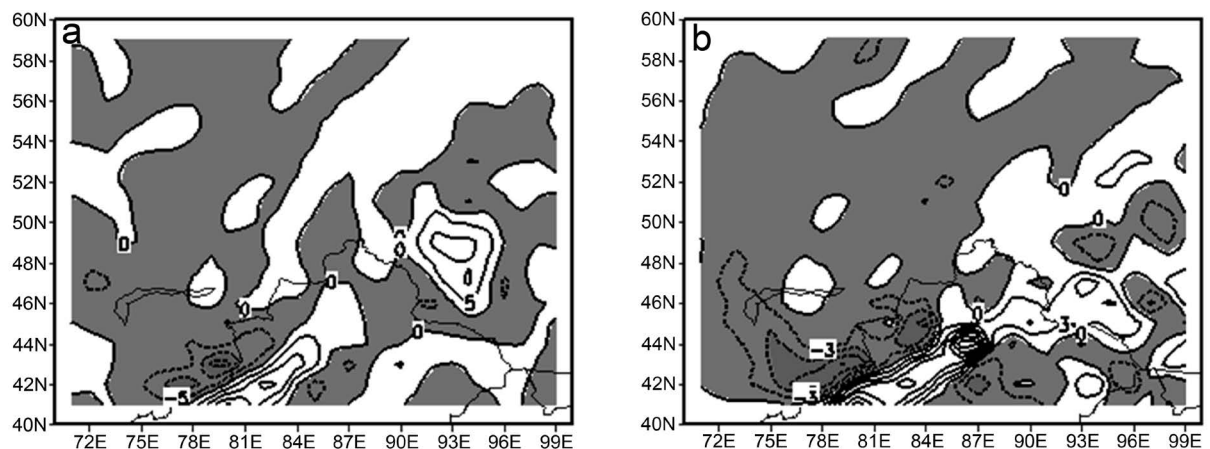
分析 22 日 14 时~24 日 14 时高空冷平流演变特征(图 4)可以发现: 22 日 14 时, 850 hPa (图 4(c))上与高空长波槽相对应存在一个东北西南向的冷平流区, 从西西伯利亚延伸至巴尔喀什湖南端, 冷平流中心达到 $-45 \times 10^{-5} \text{C} \cdot \text{s}^{-1}$, 说明有较强的冷空气; 500 hPa (图 4(a))上配合长波槽也存在冷平流区, 位于西西伯利亚至巴尔喀什湖以北, 冷平流中心 $-65 \times 10^{-5} \text{C} \cdot \text{s}^{-1}$, 高空冷平流区落后于 850 hPa, 冷平流随高度后倾, 说明低层冷空气先行侵入, 高层冷空气不断有所补充, 使得地面冷高压在移动过程中迅速加强, 并且冷高压前部等压线密集, 明显突出降温加压区, 形成寒潮冷锋, 促使原先冷锋加强迅速东移, 高空槽未来处于加强发展的过程; 23 日 14 时, 850 hPa (图 4(d))上伴随高空槽东移南下, 在高空引导气流的作用下, 冷平流区向东南方向移动到蒙新高地, 中心强度都为 $-50 \times 10^{-5} \text{C} \cdot \text{s}^{-1}$, 说明冷平流强大; 500 hPa (图 4(b))上冷平流区也向东南方向移动中在北疆盆地上空出现三个中心, 中心强度都达到 $-80 \times 10^{-5} \text{C} \cdot \text{s}^{-1}$, 位于北疆盆地中部的冷平流中心已经开始侵入北疆地区, 而位于西西伯利亚附近的冷平流中心不断有冷空气向南补充, 促使北疆盆地气温急剧下降。天山南侧出现强的翻山大风、扬沙和强烈的降温天气。24 日 14 时, 850 hPa (图略)上冷平流区继续东移至河套地区上空, 中心强度为 $-25 \times 10^{-5} \text{C} \cdot \text{s}^{-1}$; 500 hPa (图略)上冷平流区也将继续东移到蒙古国上空, 中心强度达到 $-115 \times 10^{-5} \text{C} \cdot \text{s}^{-1}$, 形成极强的冷中心。

由上述分析可见, 冷平流随高度后倾, 低层冷空气的先行侵入, 带来大风、扬沙和降温天气, 然后高层冷空气再渗入, 使降水中持续降温, 导致强降温天气的出现。得出强冷平流是导致强降温的最主要原因。

5. 降雪成因分析

5.1. 散度场、涡度场特征分析

经过对 4 月 23 日 08 时~20 时的逐 6 小时 700 hPa 到 200 hPa 散度场分析发现(图 5), 700 hPa 冷暖空气强烈的辐合和 200 hPa 强烈辐散是北疆 4 月份形成罕见中到大雪的有利动力条件。23 日 08 时, 在 700 hPa (图 5(c))上天山以北乌鲁木齐市沿石河子一带、塔城地区为辐合区, 辐合中心强度为 $-6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 而新疆西南部沿喀什、阿克苏一带出现辐散区, 辐散中心强度为 $6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$; 200 hPa (图 5(a))上存在与 700 hPa 辐合区相对应的辐散区, 位于克拉玛依至伊犁河谷一带, 中心强度达 $10 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。23 日 14 时, 700 hPa (图 5(d))上辐合区位于哈密地区, 中心强度为 $-6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 辐合区东移加强; 200 hPa (图 5(b))上跨过新疆, 形成东北西南向的大范围辐散区, 中心强度为 $6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 在辐散区西北边缘存在辐合区, 中心强度为 $-6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。23 日 20 时, 700 hPa (图略)上辐合中心位于乌鲁木齐, 中心强度都为 $-6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 在辐合中心东西两边都存在辐散区; 200 hPa (图略)上辐散区无太大变化, 辐散区东南部形成的辐合区, 中心强度达 $-12 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。



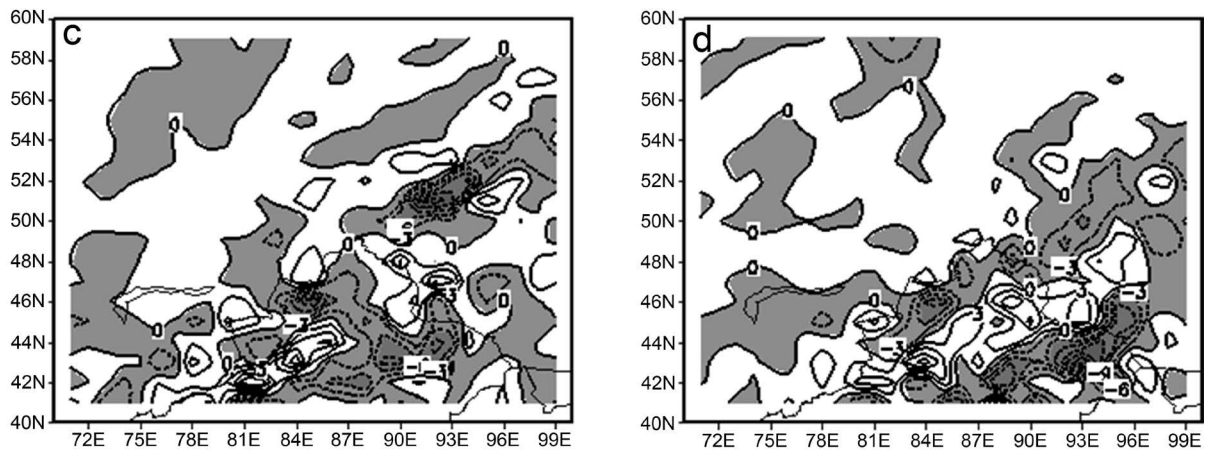


Figure 5. April 23rd divergence field ($10^{-5} \cdot s^{-1}$). (a) 08:00 on the 23rd at 200 hPa; (b) 14:00 on 23rd at 200 hPa; (c) 08:00 on the 23rd at 700 hPa; (d) 14:00 on the 23rd at 700 hPa

图 5. 4月23日散度场(单位: $10^{-5} \cdot s^{-1}$)。 (a) 23日08时200 hPa; (b) 23日14时200 hPa; (c) 23日08时700 hPa; (d) 23日14时700 hPa

综上所述,此次寒潮过程刚开始时,北疆地区地面受低压控制,降雪区上空维持中低层辐合上升、高层辐散下沉的结构,这种高低空配置使上升运动得到发展,造成大雪。23日08时~14时,200 hPa辐散和700 hPa辐合呈加强趋势,到20时,高空辐合区加强,辐散区高度下移,降雪开始减弱。

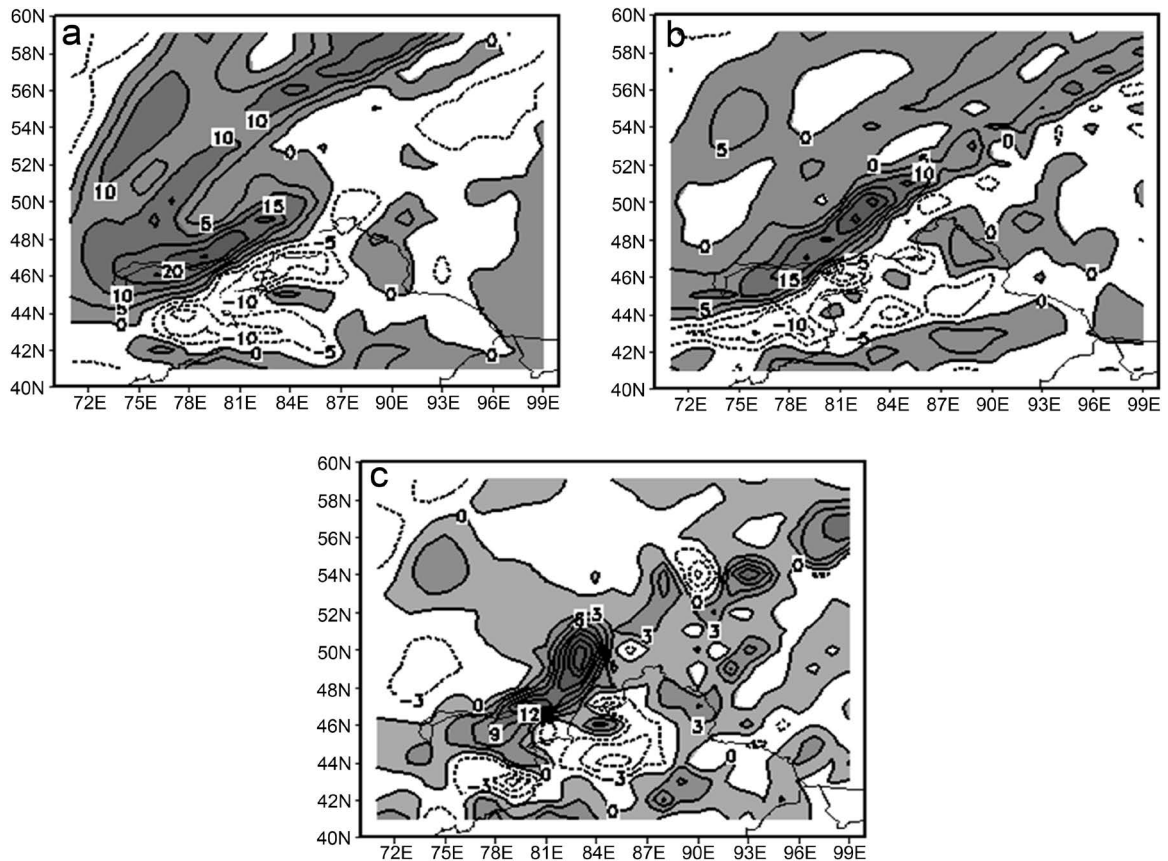


Figure 6. Vorticity field at 20:00 on April 22 ($10^{-5} \cdot s^{-1}$). (a) 500 hPa; (b) 700 hPa; (c) 850 hPa

图 6. 4月22日20时涡度场(单位: $10^{-5} \cdot s^{-1}$)。 (a) 500 hPa; (b) 700 hPa; (c) 850 hPa

分析4月22日20时500 hPa、700 hPa和850 hPa涡度场(图6)可以发现,三层均出现正涡度中心,位于巴尔喀什湖附近,强度分别达 $20 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 、 $18 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 、 $12 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$,这与北疆降雪时间基本吻合,表明天气系统进入新疆;23日08时,500 hPa上正涡度中心移到阿勒泰,强度维持,700 hPa上正涡度中心在乌鲁木齐,强度为 $14 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$,850 hPa上分别在阿勒泰和乌鲁木齐上空出现正涡度中心;23日20时,500 hPa上正涡度中心已移到蒙新高地,中心减弱,700 hPa上留在北疆地区的正涡度中心强度也跟着减弱,850 hPa上北疆地区为负涡度,强度不大,降雪趋于停止。

5.2. 垂直速度场、相对湿度场分析

从垂直速度场分析,这次降雪过程中有非常迅速发展的垂直运动,南北疆大部地区在700 hPa层上有较大的垂直速度负值区,呈现在降雪前期和降雪过程中(图7(a)、图7(b)),中心带及范围由北向南、自西向东发展得较明显的上升运动出现在伊犁、天山山区和昌吉州东部等地区上空,且最强达到 $-1.5 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot s^{-1}$ 。4月22日08时(图略),降雪区上空垂直速度为 $-1 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot s^{-1}$,到22日20时垂直速度为 $-1.3 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot s^{-1}$,为暴雪发生提供有力的抬升条件,存在明显的下沉运动区位于上升运动区东南侧,说明暖湿空气上升运动区东南侧的干冷下沉气流对不稳定能量释放的作用是极为重要的,非常有利于降雪形成;4月23日14时(图7(b)),除了南疆部分地区有上升运动以外,北疆无明显垂直运动,降雪趋于停止。24日14时(图7(c)),北疆出现下沉运动,降雪完全停止,天气开始转好。

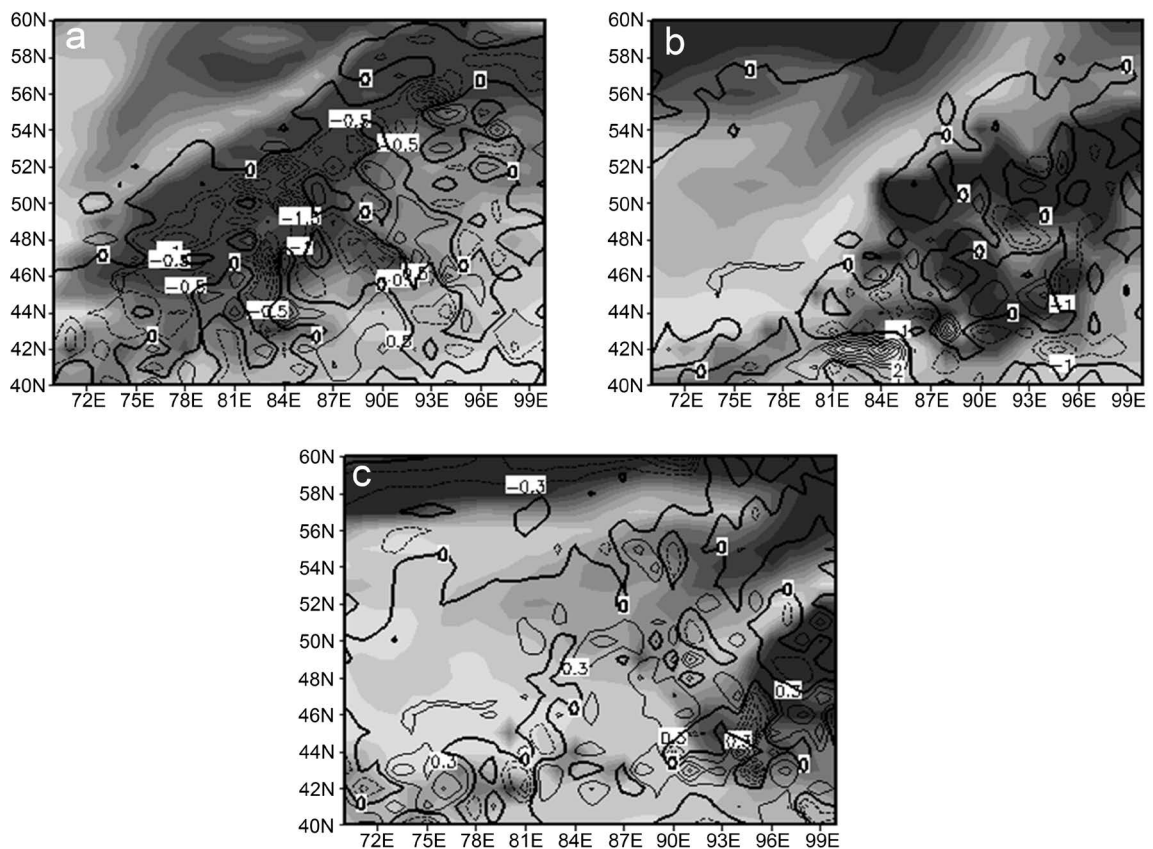


Figure 7. Vertical velocity (isogram, $10^{-5} \text{ hPa} \cdot s^{-1}$) and relative humidity (Shadow, %) at 700 hPa. (a) 14:00 on the 22nd; (b) 14:00 on the 23rd; (c) 14:00 on the 24th

图 7. 700 hPa 垂直速度(等值线, 单位: $10^{-5} \text{ hPa} \cdot s^{-1}$)和相对湿度(阴影, 单位: %)。 (a) 22 日 14 时; (b) 23 日 14 时; (c) 24 日 14 时

从4月22日14时700 hPa的相对湿度场上可以清楚的看到,以巴尔喀什湖东北侧至阿勒泰北侧和南疆部分地区显示大片相对湿度大于80%的湿区(图7(a)中阴影区域),这跟上升运动较强区域基本吻合,有利于低层水汽往上抬升,在高空形成深厚的湿层,为暴雪提供了必要的水汽条件;23日14时(图7(b)),随着高空南北两支锋区分裂,湿区又分成两片,北疆地区上空湿区缓慢向东移,而南疆高湿带向西南方向移动并减弱,这时有较好的水汽条件,但无明显上升运动,因此降雪减弱并趋于停止;24日14时(图7(c)),高湿区已经移到蒙古国,降雪完全停止。另外,从700 hPa的相对湿度场上湿区的面积和移速方面看都与垂直运动场、涡度散度场是一致的,这为我们的暴雪预报提供了可靠的依据。

5.3. 高低空急流分析

通过分析降雪天气的高低空急流发现,4月22日20时(图8(a)),在700 hPa上有明显的急流中心,位于北疆西部边缘,急流核中心强度达 $35\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,将有利于动量输送和巴尔喀什湖附近水汽的输送,正好急流左侧对应有较强的上升运动触发了暴雪生成,在200 hPa上位于巴尔喀什湖上空存在来自新地岛沿乌拉尔山高压脊前南下的西北急流,使北疆地区上空的急流增强,最强风速区达 $56\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;23日08时(图8(b)),低空急流明显减弱,高空急流中心已经侵入北疆,位于伊犁河谷上空,由于地转偏差的作用,高空急流入口区的右侧有质量辐散、左侧有质量辐合,由质量连续原理得,在垂直于高空急流入口区的垂直剖面上,高空急流入口区的左侧伴有下沉运动、右侧伴有上升运动,从而形成一个正热力次级环流,由于次级环流上升支的作用,使得乌鲁木齐等8个县市发生了降雪天气;24日08时,急流带移至蒙新高地,北疆降雪停止。

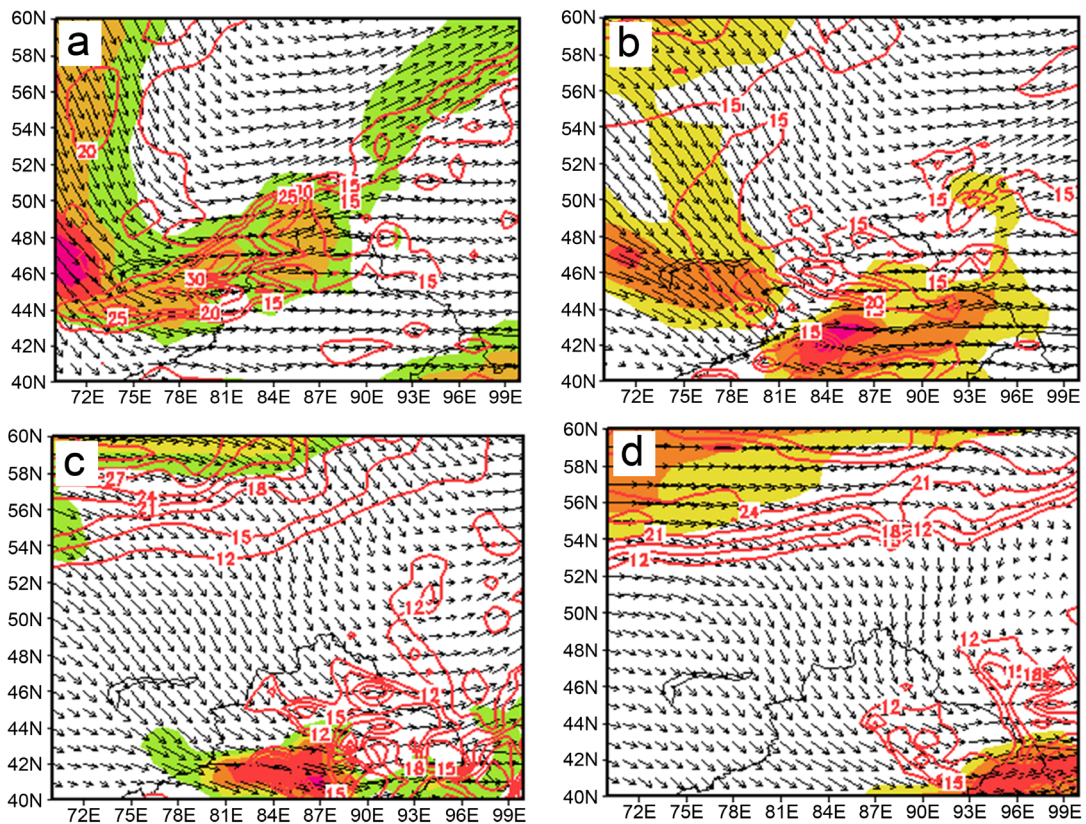


Figure 8. 200 hPa wind field and 700 hPa full wind speed (Isogram, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, The color filled area is the rapids area). (a) 22:00 on the 22nd; (b) 08:00 on the 23rd; (c) 20:00 on the 23rd; (d) 08:00 on the 24th

图 8. 200 hPa 风场和 700 hPa 全风速(等值线, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 彩色填充区域为急流区)。(a) 22 日 20 时; (b) 23 日 08 时; (c) 23 日 20 时; (d) 24 日 08 时

降雪区及降雪强度与高低空急流位置和强度密切相关, 低空急流位置向东移, 垂直上升运动中心位置也向东移, 对应的降雪区也随之移动, 因此改变高低空急流的位置和强度, 实际上就是改变高层辐散区和低层辐合区的位置及强度, 改变了高低空急流耦合的位置, 这就影响了垂直上升运动的位置和强度, 从而影响降雪区及其强度。综上所述, 可以看出高低空急流是形成暴雪天气重要的物理机制之一[17][18][19]。

6. 结论

寒潮是冬半年最主要的灾害性天气之一, 而北疆正是冷空气取西路或西北路径移动时的必经之处。因此, 该区寒潮发生比较频繁。本次寒潮天气过程诊断分析的结果发现:

1) 这次寒潮天气过程发生在中高纬经向环流加强发展、高空强锋区存在及高低空天气系统有利配置天气背景下。500 hPa 乌拉尔山高压脊、西伯利亚强冷涡及冷槽、地面冷锋及强冷高压的发展和演变为强冷空气的堆积及寒潮爆发提供了首要条件。

2) 强冷平流是导致短时间内气温大幅度下降的最主要原因, 可以为寒潮降温预报提供有利的参考依据。

3) 在寒潮过程中, 北疆地区中低层辐合上升、高层辐散下沉的结构维持, 高低空急流耦合产生的次级环流, 上升运动的发展和维持, 加之来自巴尔喀什湖附近的暖湿气流在北疆上空形成的湿区, 最终导致北疆 8 个县市出现大雪天气。

致 谢

本文得到南京信息工程大学陈旭红老师的大力指导和支持, 在此深表谢意!

参考文献

- [1] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 10.
- [2] 陶诗言. 阻塞形势破坏时期东亚的一次寒潮过程[J]. 气象学报, 1957, 28(1): 63-74.
- [3] 仇永炎. 在一次寒潮情况下水平温度场及其冷锋构造[J]. 气象学报, 1957, 28(1): 13-26.
- [4] 张山清, 田惠平. 一次全国性寒潮暴雪天气过程分析[J]. 新疆气象, 2005, 28(4): 7-8.
- [5] 许爱华, 乔林, 詹丰兴. 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] 贺程程, 金琪. 一次春季寒潮暴雨天气过程的诊断分析[J]. 湖北气象, 2006(3): 18-21.
- [7] 牛若芸, 乔林, 陈涛. 2008 年 12 月 2~6 日寒潮天气过程分析[J]. 气象, 2009, 35(12): 74-82.
- [8] 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.
- [9] 宫德吉. 内蒙古的暴风雪灾害及其形成过程的研究[J]. 气象, 2001, 27(8): 19-24.
- [10] 赵俊荣, 李春芳, 汲坤玲. 寒潮暴风雪天气过程中数值预报产品的检验分析[J]. 新疆气象, 2002, 25(4): 12-14.
- [11] 马禹, 包斌, 王旭. 新疆雪暴天气的气候特征[J]. 新疆气象, 2001, 24(6): 16-18.
- [12] 胡胜利. 长城站极地气旋与暴风雪天气[J]. 海洋预报, 2004, 21(4): 35-39.
- [13] Cooper, K.A., Hjelmfelt, M.R., et al. (2000) Numerical Simulation of Transitions in Boundary Layer Convective Structures in a Lake-Effect Snow Event. *Monthly Weather Review*, **128**, 3283-3295. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2000\)128<3283:NSOTIB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2000)128<3283:NSOTIB>2.0.CO;2)
- [14] Marwitz, J.D. and Toth, J. (1993) A Case of Heavy Snowfall in Oklahoma. *Monthly Weather Review*, **121**, 648-661. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1993\)121<0648:ACSOHS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1993)121<0648:ACSOHS>2.0.CO;2)
- [15] Weisman, R.A. (1996) The Fargo Snowstorm of 6-8 January 1989. *Weather Forecasting*, **11**, 198-215. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1996\)011<0198:TFSOJ>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1996)011<0198:TFSOJ>2.0.CO;2)
- [16] Chen, T.-C., Huang, W.-R. and Yoon, J.-H. (2004) Interannual Variation of the East Asian Cold Surge Activity. *Climate*, **17**, 401-413. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0401:IVOTEA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0401:IVOTEA>2.0.CO;2)
- [17] 徐明华. 新疆寒潮中期过程综合预报方法应用实例[J]. 新疆气象, 1986(1): 17-22.

- [18] 牟欢, 赵克明. 2010年春季新疆一次寒潮天气过程分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(4): 35-39.
- [19] 肉孜阿基, 李如琦, 唐冶. 2011年初北疆强寒潮过程诊断分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(3): 7-12.
- [20] 人民网. <http://xj.people.com.cn/n/2014/0424/c188514-21065072-2.html>