

山西省秋季罕见大暴雪天气过程诊断

刘耀文¹, 张红英¹, 史云飞², 尹振保¹, 马子平³

(1. 山西省长治市气象局, 山西 长治 046000; 2. 山西省清徐县气象局,
山西 清徐 030404; 3. 山西省忻州市气象局, 山西 忻州 034000)

摘要:对2009年11月10~12日山西省出现的特大暴雪的环流背景、前期高空环流形势、地面影响系统、水汽条件、动力条件及云图演变等方面进行了诊断分析。结果表明:①这次极端天气事件发生在10月下旬到11月上旬北半球环流呈现明显高指数特征,全国大部分地区异常偏暖的背景下,暴雪伴随剧烈降温天气;②300 hPa辐散使得对流层上层具备强烈抽吸条件是造成强降水的重要环境因素。这种低层辐合和高层辐散配置导致的强垂直上升运动是暴雪形成的动力机制;③500 hPa河套小槽引导西路冷空气东移与极涡尾部的东路冷空气叠加,低层及地面的倒槽区有辐合上升气流,与锋面和高空槽、切变线配合,为降雪区提供有利的抬升条件,是造成此次暴雪的主要原因;④1500 m高空有2支低空急流存在,一支是较强的东风湿急流,一支是偏南风急流,低空南风和东风急流向暴雪区提供了丰沛的水汽,低层850 hPa强的水汽辐合、强的上升运动为这次暴雪天气提供了水汽和动力条件;⑤FY-2C卫星红外云图分析,这次强降水山西受到3个对流云团的影响,3个中尺度对流云团形成和消亡的时间大致间隔8~10 h,对流云团的不断生成和发展是这次强降雪天气得以长时间持续。

关键词:特大暴雪;影响系统;诊断分析

中图分类号:P458.1⁺1

文献标识码:A

引言

近年来,随着气温的升高,由极端天气与气候事件引发的自然灾害在许多国家和地区频繁出现^[1-2],特大暴雪便是其中之一。暴雪是我国冬季主要灾害性天气,一直为气象学者关注和研究。廉毅^[3]分析研究了我国大雪、暴雪概况及气候背景和成因;陈爱玉等^[4]对比分析了春、冬季暴雪成因;杨柳等^[5]利用中尺度数值模式(MM5)对2003年江淮地区暴雪过程进行了数值模拟和诊断分析;张广周等^[6]在分析2006年河南省一次暴雪过程中指出,干侵入的发生发展对暴雪过程具有重要作用。以上研究工作不仅系统分析了暴雪的天气气候特征,还通过运用中尺度数值模式模拟,对暴雪成因和机理进行了更深层次的探究。2009年11月9~12日,山西省大部分地区出现罕见特大暴雪极端天气事件,损失重大。目前暴雪研究虽然较多^[7-15],但对特大暴雪特别是秋季形成的特大暴雪这样小概率

极端天气事件进行分析研究的还比较少。本文应用常规观测资料、T213物理量产品、风云二号红外云图资料,对山西省这次极端天气事件进行了全面的天气学诊断分析,以期探索事件发生的原因,为极端天气事件的预报和今后进一步研究提供依据。

1 特大暴雪实况

2009年11月10~12日山西省出现特大暴雪过程,11月9日08时至12日08时3d过程降水量全省在4.7~66.0 mm之间,天镇最少,阳泉最多(图1)。除天镇、右玉、保德3个县市不足10 mm外,其余县市均在10 mm以上,其中,有15个县市在20~30 mm之间,42个县市为30~40 mm,23个县市在40~50 mm之间,5个县市为50~60 mm,降雪量最大的阳泉为66.0 mm,其次平定为60.8 mm。平定、孟县、阳泉积雪深度分别达48 cm、45 cm、42 cm,忻府区、太原、寿阳等12个县市在30~40 cm之间,37个县市为20~30 cm,37个县市在10~20 cm

收稿日期:2010-04-10;改回日期:2010-07-14

作者简介:刘耀文(1966-),男,汉族,工程师,现从事短期预报工作。E-mail:sxlyw1966@foxmail.com

之间,其余均不足 10 cm。大范围雨雪、降温 and 雾造成了积雪、道路结冰和能见度降低等现象,对山西工农业生产和道路交通造成严重影响。降雪造成不少树木被压断、压折,许多地方农作物受灾,特别是给畜牧业、蔬菜大棚、大白菜等造成了较大的损失。

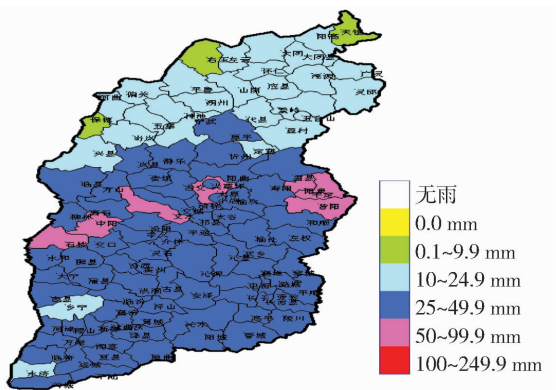


图1 山西省 2009 年 11 月 9~12 日降水实况分布
Fig.1 The observed rainfall distribution of Shanxi Province on November 9-12, 2009

2 前期天气特点和环流背景

山西省 10 月气温偏高,降水偏少,光照充足。北半球 500 hPa 平均高度场上,中高纬环流呈 5 波型,脊区位置与常年同期相当。极涡形势与常年 10 月相近,呈单极型,使得影响全国的冷空气过程较少,强度也偏弱^[7]。从 10 月中旬到 11 月上旬的西风环流指数的逐日变化图(图 2)可以看出,华北地区 2 次强降雪过程前期,逐日西风指数变化都呈现高指数环流特征。10 月份山西出现 1951 年以来同期平均气温次高值,这与龚道溢、王绍武等^[8]研究的“高指数环流盛行年份我国气温偏高,低指数年份气温偏低”的结果相吻合。

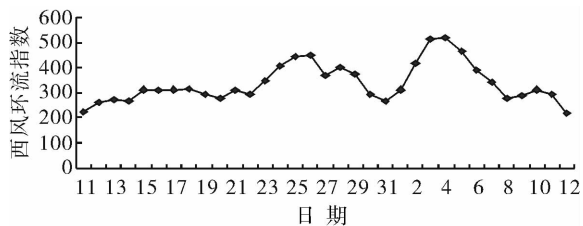


图2 2009 年 10 月 11 日至 11 月 12 日
西风环流指数变化曲线
Fig.2 The daily series of the westerly circulation index from 11 October to 12 November 2009

10 月 30 日到 11 月 2 日,西风环流指数变化曲线处于低值区域。高空 500 hPa 图上西伯利亚地区为一高压脊,鄂霍次克海地区为低涡区并与南掉的极涡打通,鄂海低压横槽转竖,东亚大槽建立,冷空气沿槽后脊前偏北气流大举南下形成入秋以来最强冷空气入侵中国北方地区,京津地区提前一个月出现降雪天气^[7]。

3 暴雪成因诊断

3.1 高空环流形势及地面形势演变

在 2009 年 11 月 8 日 20 时 500 hPa 图(图略)上,暴雪出现前,东亚维持一宽广的横槽,巴尔喀什湖北部和东西伯利亚存在 2 个低涡中心,45°N 以南大部地区受横槽底部西风带影响,山西受中纬度较平直的西风环流影响,四川盆地南部存在一南支槽。到 9 日 08 时 500 hPa 图(图略)上,东西伯利亚低涡中心南掉,低槽底部西伸,南支槽东移,在山西省中南部有一浅槽发展,9 日 20 时,巴尔喀什湖北部西伯利亚形成闭合的低涡中心,东西伯利亚低涡中心东移,10 日 08 时高空形势发生大日调整,东风回流加强,造成了 10 日 08 时至 11 日 08 时时段回流型强降雪。10 日 20 时(图 3)高空形势演变为 2 槽 1 脊型,经向度加大,西风槽加深,槽前西南气流加强,11 日 20 时温度槽落后高度场,槽前正的涡度加大,为 11 日 08 时至 12 日 08 时强降雪提供了动力条件。对应温度场上,8 日 20 时至 10 日 08 时山西一直处于温度锋区底部。10 日 08 时槽前西南气流强盛,河套地区湿度明显增大,从 9 日 20 时至 12 日

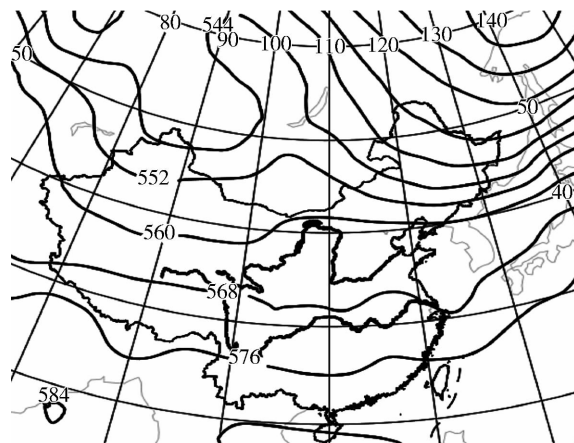


图3 2009 年 11 月 10 日 20 时 500 hPa 环流实况
Fig.3 The 500 hPa height field at 20:00 on 10 November 2009

08时,大部分站点 $T - T_d \leq 1.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ (700 hPa),山西大部分地区出现暴雪,中南部部分地区出现大暴雪。12日20时,山西上空被西北气流控制,降雪结束。

11月10日08~20时700 hPa图上存在有人字型切变线(图4),一支为西北风和东南风,一支为西北风和西南风。10日20时演变为东北风和西南风切变线,切变线南侧的偏南风 $> 10 \text{ m/s}$ (图5)。切变线稳定少动,11日08时切变线北侧北风加大,到11日20时偏南气流加强为急流,风速 $> 16 \text{ m/s}$,12日08时切变线位于山西省中部并转为南北向,西部地区降雪结束,东部地区还有微量降雪存在。12日20时全省高空受槽后西北气流控制,冷平流影响山西全省,13日早晨温度明显下降。

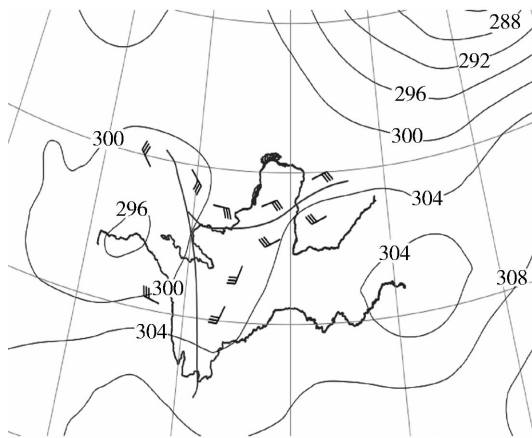


图4 2009年11月10日08时700 hPa环流实况
Fig. 4 The 700 hPa height field observed at 08:00 on 10 November 2009

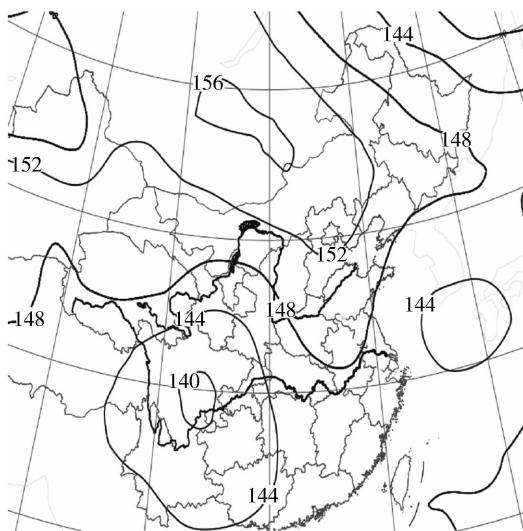


图5 2009年11月10日20时850 hPa实况
Fig. 5 The 850 hPa height field at 20:00 on 10 November 2009

2009年11月8日20时至11日20时850 hPa高空山西一直处在东风气流之中。10日14时至11日08时东风加大,气压梯度也加大。11日08时至12日08时在1500 m高空有2支低空急流存在,一支是较强的东风湿急流,一支是偏南风急流,2支急流相互配合,把海上的水汽源源不断地输送到长江以北河套以东大部分地区上空,山西大部水汽充沛,再配合850 hPa上空有冷平流;地面有倒槽冷锋,就形成了此次强降水和降温。

9日08时地面图上,40°N以北贝加尔湖以南被一庞大的大陆闭合高压盘踞,高压中心强度为1047.5 hPa,并且不断的加强南压,印度低压发展强盛,从9日08时一直到11日17时山西省地面一直处在高压底前部的偏东气流里受偏东气流控制,有利于本区回流天气形成,如图6所示。10日08时高压中心强度达到1052.5 hPa。同时有西南倒槽形成且不断加强,全省位于倒槽内部,水汽充沛,并且该种形势维持至11日14时,有利于全省大范围暴雪天气的形成。11日14时高压中心明显东移南压,20时地面倒槽开始崩溃,12日08时全市转为高压控制,降水天气全面结束。这种回流形势、西风槽与倒槽同时强烈发展的形势并不多见,是造成这次暴雪范围大、持续时间长的重要原因。

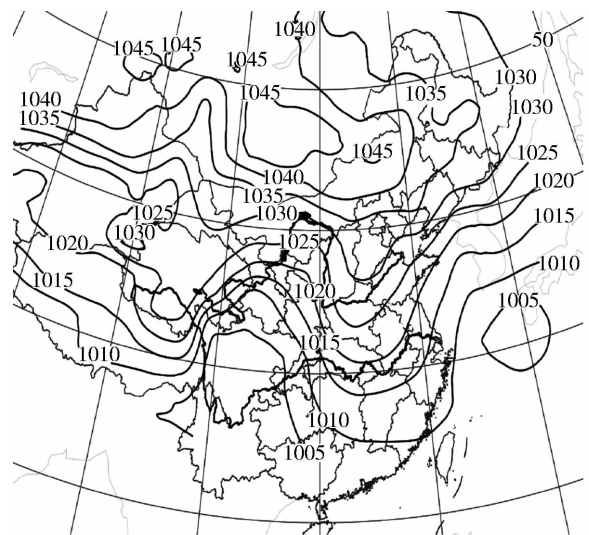


图6 2009年11月10日20时地面实况
Fig. 6 The surface synoptic chart at 20:00 on 10 November 2009

3.2 高低空形势演变和有利配置

从图7,图8中可以看出造成本省暴雪的影响系统:500 hPa高空有2个低值系统活动,第一是北

支锋区上的西风槽;第二是高原东侧的高原槽;700 hPa 上 9 日为冷切,10 日、11 日为河套低压、暖式切变线及低空急流;850 hPa 以下低层为东风回流形势,形成河套倒槽向北强烈发展;地面为倒槽区并有锋面配合并于 11 日形成锢囚。低层及地面的倒槽区有辐合上升气流,与锋面和高空槽、切变线配合,为降雪区提供了有利的抬升条件^[9]。

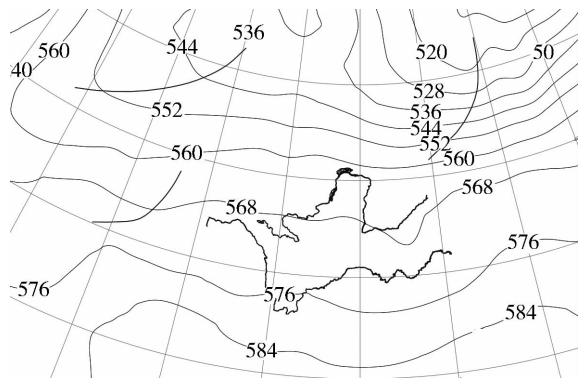


图7 2009年11月9日20时500 hPa 高度场
Fig. 7 The 500 hPa height field at 20:00 on 9 November 2009

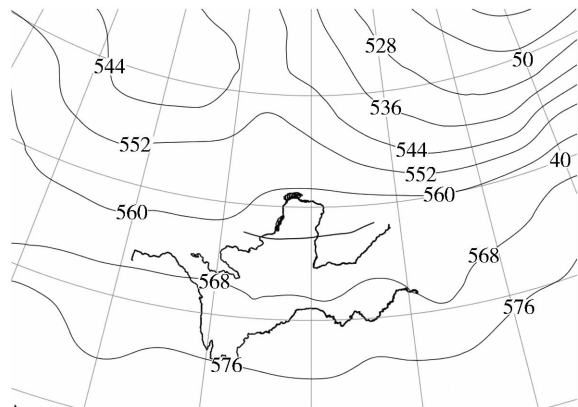


图8 2009年11月10日20时500 hPa 高度场
Fig. 8 The 500 hPa height field at 20:00 on 11 November 2009

3.3 充沛的水汽条件和高湿能量通道的建立

造成这次大范围强降雪天气的水汽来源有 2 个通道,一个是南部海区,另一个是东部海区。在本次降雪天气过程中,在暴雪区南侧水汽含量丰富,且暴雪区及其上游地区湿层深厚,从低层到 700 hPa 以上均维持一大范围的深厚湿层;南支槽和副高前西南气流叠加加强了低空急流,700 hPa 低空急流为暴雪区提供了持续的水汽供应;低层东路冷空气高压底部气流形成东风急流,也为降雪区提供了水汽来

源。暴雪区位于 700 hPa 暖切变线南侧,和 700 hPa 水汽辐合区有很好的对应关系,说明 700 hPa 水汽的输送对暴雪的形成有重要作用,这从水汽通量散度分析可以得到更充分的验证,10 日 20 时至 11 日 2 时,山西大部有 $(-10 \sim -30) \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot (\text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ 的水汽辐合中心,同时刻 850 hPa 水汽通量散度图上,山西省为 $(-5 \sim -10) \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot (\text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ 的水汽辐合中心^[9]。

在有利的上升条件和水汽条件下,北支锋区稳定,地面冷锋移动缓慢,降雪持续时间长,产生了山西省历史同期罕见的暴雪天气过程。

3.4 低层辐合和高层辐散导致强垂直上升运动

分析 10 日 20 时 300 hPa 急流可以看出:山西省中南部处于辐散区中,对流层上层 300 hPa 具备了强烈抽吸条件,从图 9 中还可以看出,山西省北部处于辐合区中,因而降水量明显偏小。300 hPa 辐散是造成强降水的重要环境条件。850 hPa 高空有 2 支低空急流存在,一支是较强的东风湿急流,一支是偏南风急流,2 支急流相互配合,造成低层强烈的辐合,这种低层辐合和高层辐散导致强垂直上升运动,造成本省强降水。

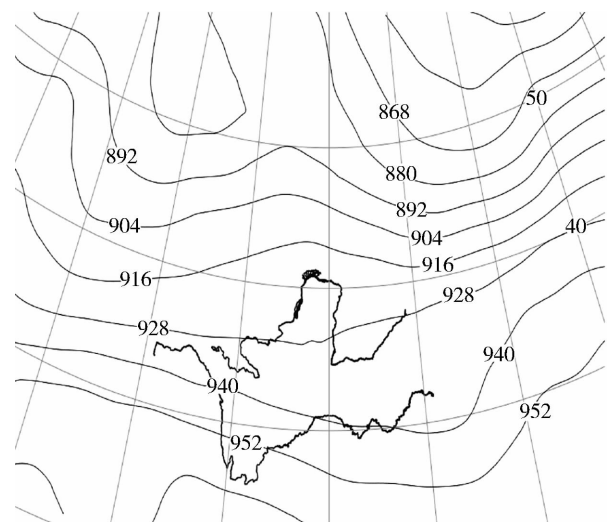


图9 2009年11月10日20时300 hPa 实况
Fig. 9 The 300 hPa height field at 20:00 on 10 November 2009

3.5 FY-2C 红外云图分析

从 2009 年 11 月 10 日 02 ~ 08 时 FY-2C 红外云图(图 10)上可以清楚地看到,忻州市的南部、阳泉、吕梁、太原和晋中存在有一个结构密实的中尺度对流复合云团,以上地区出现了冬季罕

见的雷暴天气,并伴随有雨雪。10日15时以后山西省东南部地区降雪天气是由第2个降水云团造成,这个云团的云顶温度比第1个云团云顶温度高。21~23时第2个降水云系处于减弱,直到11日05时东部降雪结束。至此对流天气造成的降雪结束。与此同时,河套西部的西风槽云

系开始生成发展并东移,11日09时开始影响本省,到13时全部覆盖山西并持续到15时,15~19时山西省处在无云区。19时第3个降雪云团开始,11日22时到12日02时最强,12日04时开始减弱东移,08时移出山西。至此山西连续性降雪天气结束。

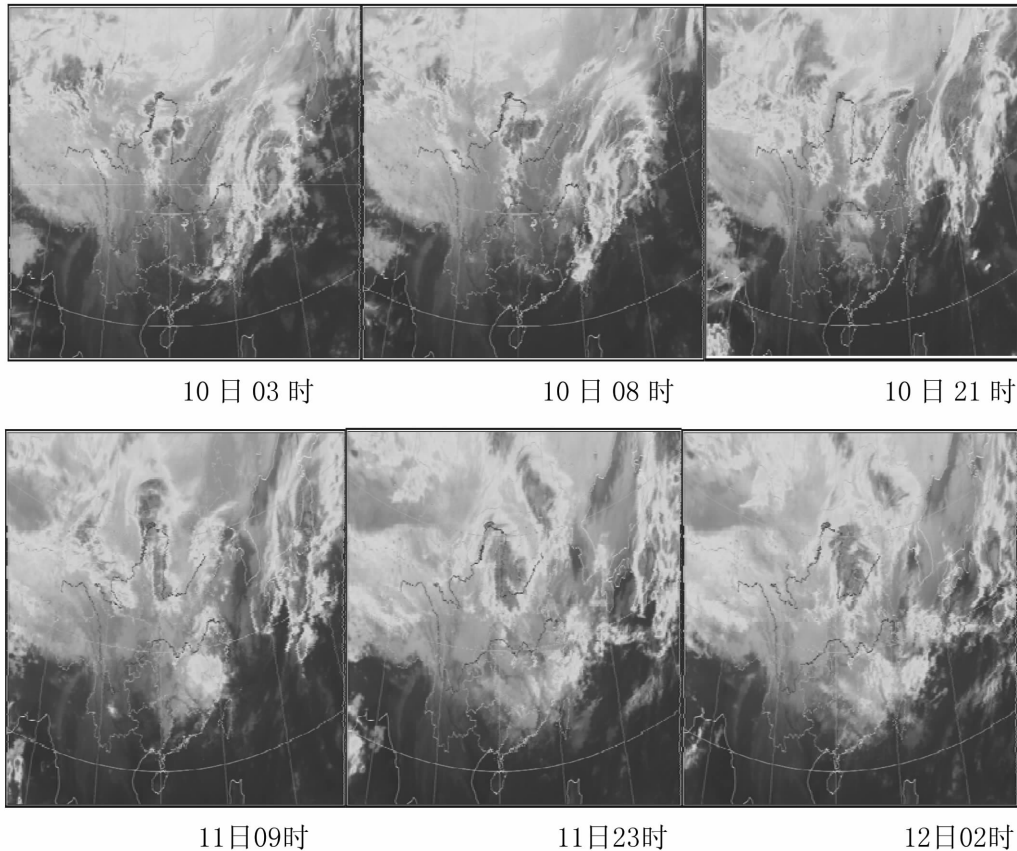


图10 2009年11月10日03时至12日02时FY-2C红外云图的动态变化

Fig. 10 The evolution of FY-2C satellite images from 03:00 November 10 to 02:00 November 12, 2009

4 结论

(1)2009年11月9~12日山西省特大暴雪极端天气事件发生在前期10月下旬到11月上旬北半球环流呈现高指数特征,全国大部分地区偏暖的背景下。

(2)对流层上层300 hPa辐散具备了强烈抽吸条件,山西省中南部位于辐散区中,是造成强降水的重要环境条件。山西省北部处于辐合区中,因而降水量明显偏小。

(3)500 hPa河套小槽引导西路冷空气东移与极涡尾部的东路冷空气叠加,低层及地面的倒槽区

有辐合上升气流,与锋面和高空槽、切变线配合,为降雪区提供有利的抬升条件,是造成此次暴雪的主要原因。

(4)1500 m高空有2支低空急流存在,一支是较强的东风湿急流,一支是偏南风急流,低空南风和东风急流向暴雪区提供了丰沛的水汽,低层850 hPa强的水汽辐合、强的上升运动为这次暴雪天气提供了水汽和动力条件。这种低层辐合和高层辐散配置导致的强垂直上升运动是暴雪形成的动力机制。

(5)这次强降水山西省受到3个对流云团的影响。3个中尺度对流云团形成和消亡的时间大致间

隔8~10 h,对流云团的不断生成和发展使这次强降雪天气得以长时间持续。

参考文献:

- [1] 章国材. 气候变化条件下的极端天气与气候事件[A]. 中国气象学会第25次全国会员代表大会暨学术年会论文集[C]. 2002:470-479.
- [2] 余卫东,黄玉超,康绍钧. 商丘市极端天气气候事件变化趋势[J]. 气象科技,2005,33(增刊):127-130.
- [3] 廉毅. 我国大雪预报研究概况[J]. 气象科技,1986(3):35-37.
- [4] 陈爱玉,李存龙,陈新育. 春、冬季暴雪成因分析[J]. 气象,1999,25(11):37-39.
- [5] 杨柳,苗春生,寿绍文,等. 2003年春季江淮一次暴雪过程的模拟研究[J]. 南京气象学院学报,2006,29(3):379-384.
- [6] 张广周,沈桐立,李戈,等. 干空气侵入对河南省2006年1月18—19日暴雪形成的作用[J]. 气象与环境科学,2007,30(2):44-47.
- [7] 王文东. “芭玛”登陆海南 京津出现降雪[J]. 气象,2010,36(1):119-123.
- [8] 龚道溢,王绍武. 北半球冬季纬向平均环流的结构及对我国气候的影响[J]. 地理科学,2001,21(2):108-112.
- [9] 张金艳,蒋军. 全国大部气温偏低 中东部地区出现暴雪[J]. 气象,2010,36(2):144-146.
- [10] 马新荣,任余龙,丁治英. 青藏高原东北侧一次暴雪过程的湿位涡分析[J]. 干旱气象,2008,26(1):18-21.
- [11] 马秀玲,彭九慧,杨雷斌,等. 华北地区一次局地暴雪天气过程的诊断分析[J]. 干旱气象,2008,26(1):64-68.
- [12] 马鸿青,丁治英. 2009年河北中南部大暴雨两个例的成因诊断[J]. 干旱气象,2009,27(3):254-262.
- [13] 丁永红,马金仁,纪晓玲. 一场大范围强对流天气的成因分析[J]. 干旱气象,2006,24(1):28-33.
- [14] 钱莉,杨晓玲,丁文魁. 一次区域性冻害天气的成因分析[J]. 干旱气象,2005,23(2):40-43.
- [15] 王锡稳,孙兰东,张新荣. 甘肃春季一场罕见强霜冻、冻害天气的分析[J]. 干旱气象,2005,23(4):7-10.

Diagnostic Analysis of a Rare Autumn Snowstorm in Shanxi

LIU Yaowen¹, ZHANG Hongying¹, SHI Yunfei², YIN Zhenbao¹, MA Ziping³

(1. Changzhi Meteorological Bureau of Shanxi Province, Changzhi 046000, China; 2. Qingxu Meteorological Station of Shanxi Province, Qingxu 030400, China; 3. Xinzhou Meteorological Bureau of Shanxi Province, xinzhou 034000, China)

Abstract: Taking the snowstorm occurred in Shanxi Province from November 10 to 12, 2009 for example, this paper made a diagnostic analysis on causes of such extreme weather events from the circulation background, vapor condition, dynamic condition and cloud images change. The results are as follows: (1) The snowstorm occurred when north hemisphere circulation presented high index characteristics, and in most parts of China it was warmer; (2) The configuring of convergence at the lower-layer and divergence at the level of 300 hPa caused vertical rise of airflow and formed dynamic condition for the snowstorm; (3) The trough at the level of 500 hPa over Hetao area leading the cold air moving from west to east and overlaying with the cold air from east at the bottom of polar vortex, rising airflow from lower layer together with the frontal surface, upper trough and shear line, these all were main causes of this heavy snowstorm; (4) There were two lower-level jets at 1500 meters, a strong east-wind wet jet and a south-wind which provided plentiful water vapor for the snowstorm area; (5) According to the cloud images of FY-2C satellite, this heavy snowfall had close correlation with three cloud clusters in the troposphere, the continuous formation and development of convective cloud clusters resulted in the strong snowfall lasting a long time.

Key words: snowstorm; influencing system; diagnostic analysis