

冀兰芝,全志伟,宋琳琳,等. 甘肃东部一次暴雪过程的诊断分析和数值模拟[J]. 干旱气象, 2014, 32(5): 845-850, [JI Lanzhi, QUAN Zhiwei, SONG Linlin, et al. Numerical Simulation and Analysis of a Snowstorm Event in East Gansu Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(5): 845-850], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-05-0845

甘肃东部一次暴雪过程的诊断分析和数值模拟

冀兰芝,全志伟,宋琳琳,孔祥伟,张 静

(兰州中心气象台,甘肃 兰州 730020)

摘 要:应用 NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的 6 h 再分析资料和常规气象观测资料以及 RUC 模式高分辨资料,对 2013 年 2 月 17 日甘肃河东暴雪天气从天气实况、环流特征、水汽条件、动力条件及西北区域 RUC 模式输出的模拟结论进行了诊断分析。结果表明:高空冷槽、700 hPa 低涡、地面冷锋是这次暴雪的主要影响系统;降雪前期,低层正涡度增强,低层辐合、高层辐散是暴雪发生的动力机制;降雪前期,由于低涡辐合作用,700 hPa 高度以下,湿度猛增,为降雪提供了充沛的水汽条件;降雪中心和政上空有 θ_{se} 密集强能量锋区;西北区域 RUC 模式模拟的 24 h 内降水量范围、落区、量级与实况一致,模拟的地面风速偏大。

关键词:暴雪;低涡;水汽通量散度;涡度;数值模拟

文章编号:1006-7639(2014)-05-0845-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-05-0845

中图分类号:P458.3

文献标识码:A

引 言

暴雪是冬季的主要气象灾害之一,雪灾、结冰对西北农、牧业及交通运输、人民生命财产安全带来不利影响。气象工作者对暴雪天气做了大量的分析研究,如梁军等^[1]对大连的区域暴雪天气进行了诊断分析,并应用中尺度非静力模式 MM5 对暴雪进行了数值模拟,模式较好地模拟了降雪中心强度、位置及强降雪的变化时间;马秀玲等^[2]对华北暴雪天气的大尺度背景、水汽条件、动力条件分析指出,850 hPa 低空急流为暴雪提供了充沛的水汽条件,散度场、垂直速度场和 K-螺旋度的高低空配置,提供了动力条件;雷达回波分析得出,“零”速度线形成一“S”型正负速度中心对称的牛眼结构,即有明显的急流存在,此时降雪达到最大;刘耀文等^[3]对山西特大暴雪进行云图分析,大暴雪主要受 3 个中尺度对流云团影响,云团形成和消亡时间大致相隔 8~10 h,对流云团不断发展是降雪长时间持续的主要原因;王清川等^[4]应用多种常规资料分析暴雪天气成因,在多普勒天气雷达上 0℃ 层亮度带高度迅速下降后 1~2 h 内,即可以推断降水相态由雨转雪;黄海波等^[5]对新疆秋季暴雪分析,下层干冷空气的侵入有

利于干层的形成和堆积,干层的存在使水汽和不稳定能量得以累积,增加了降水过程的对流性不稳定。

张广周等^[6-7]对各地暴雪的物理成因及影响系统进行分析认为:高、低空急流稳定维持,使高低空产生 2 个独立的次级环流,在急流出口区,间接环流北部形成复合上升气流,有利于降水;暴雪落区在 700 hPa 湿位涡正压项正值密集区和湿位涡斜压项负值区中;中尺度短波槽、西南急流、700 hPa 中尺度辐合带、850 hPa“人”字形切变线、地面冷锋都是暴雪天气的中尺度影响系统。甘肃地处内陆高原,远离海洋,地形复杂,空气中水汽含量小^[8],暴雪预报难度大。本文通过对 2013 年 2 月 17~18 日甘肃中部暴雪过程,从环流特征、物理量等方面进行了诊断分析和数值模拟,研究暴雪形成的物理机制,为天气预报、预警及决策气象服务提供参考依据。

1 天气实况

2013 年 2 月 17~18 日,甘肃河东出现大范围的中到大雪天气,陇中地区出现暴雪,降雪量在 10.3~14.9 mm 之间,最大中心在临夏州和政县,降雪量为 14.9 mm,降雪主要集中在 17 日 20 时至 18 日 08 时。根据甘肃省 30 a (1981~2010 年) 整编资

料,和政 2 月最大日降水量 10.1 mm,出现日期在 2006 年 2 月 15 日,此次暴雪天气,打破 30 a 和政 2 月最大日降水量记录。18~19 日,甘肃河东大部分地方积雪深度在 5.0~13.0 cm,广河、合作、和政、康乐、渭源积雪深度在 10.0~13.0 cm 之间。由于降雪恰好出现在春节假期结束的返程高峰期,道路积雪结冰,严重影响人民群众出行,汽车停运,高速公路关闭。河东部分地区农作物受灾,兰州市、定西市设施农业受损,84 座大棚损毁,临洮县 18 344 人受灾,497.2 hm² 农作物受灾,直接经济损失 5 832.5 万元,其中农业损失 2 380 万元。

2 环流形势特征

2013 年 2 月 14 日暴雪发生前 3 d,500 hPa 环流形势图上(图略),欧亚中高纬度地区环流形势呈经向型。欧洲、西伯利亚分别为低压槽区,乌拉尔山附近为高压脊控制;印度半岛到孟加拉湾为南支低槽区。

16 日 08 时(北京时,下同)500 hPa(图 1a),乌拉尔山高压脊加强,西西伯利亚低压槽加深,由于温度槽落后于高度槽,低压槽不断向南加深,中心温度达 -40℃ 以下,在脊前偏北气流引导下,17 日 08

时,低压槽东移至新疆北部,锋区在巴尔喀什湖到中国西部 35°N~50°N 范围内,新疆北部到河西走廊有一支 >20 m/s 的西北风急流,即中层的干冷空气。为描述冷空气强度,选新疆的阿勒泰站和甘肃的兰州站计算气温差,阿勒泰位于新疆最北部,温度 -41℃,兰州位于甘肃省中部,温度 -16℃,两站之间相距 2 500 km,温度差达 25℃,表明西西伯利亚冷空气南下,在新疆到甘肃上空维持一支强冷锋锋区。16 日 08 时亚洲区域 700 hPa 上(图 1b),印度到孟加拉湾为低压区,在此低压前部沿着云南、四川盆地有一支西南低空气流北上,在甘肃南部到青海东南部形成一暖湿低涡,合作、兰州、武都站温度露点差 0.3~12℃ 之间,表明甘肃河东地区湿度在逐渐增大。16 日 08 时地面天气图上(图 1c),中亚地区为冷高压控制,高压中心位于巴尔喀什湖北部,中心值达 1 047 hPa。冷锋位于蒙古高原东部到甘肃河西,随后冷空气缓慢东移,于 17 日 20 时(图 1d)到达华北至甘肃省中部一线。从高空到地面环流形势的配置可以看出:700 hPa 低涡区有辐合上升气流与对流层中层干冷空气在甘肃上空交汇,配合地面冷锋辐合上升,为暴雪的发生提供了较有利的环流形势场。

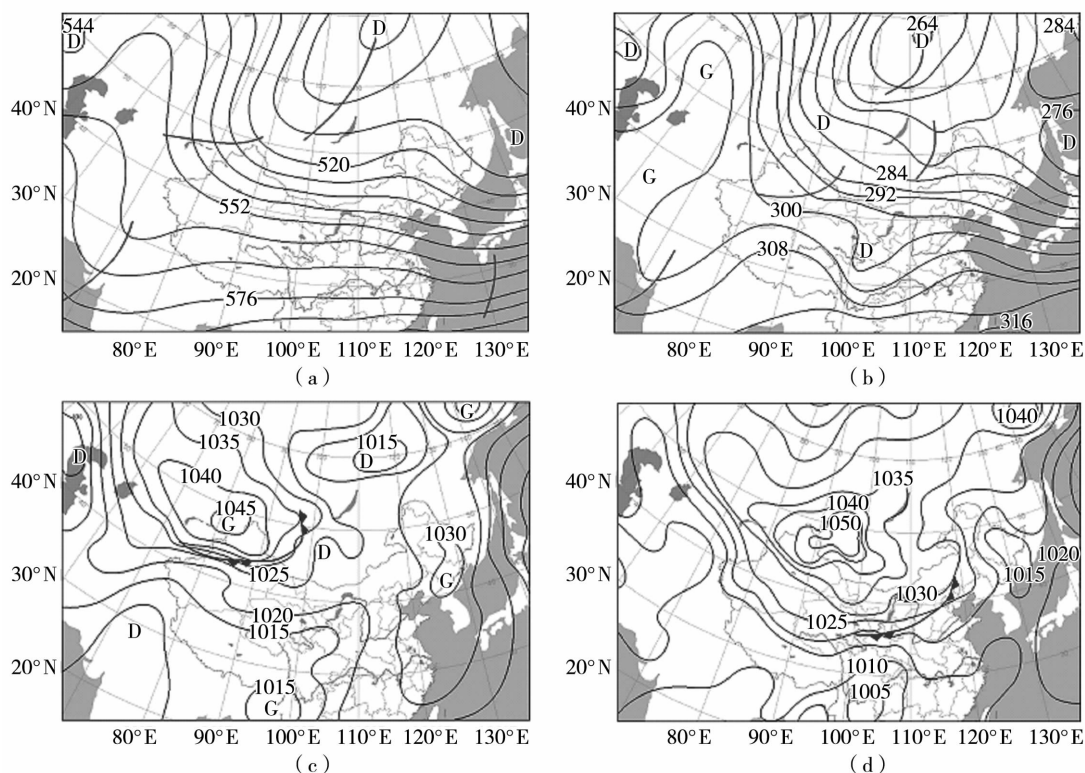


图 1 2013 年 2 月 16 日 08 时 500 hPa(a)、700 hPa(b)天气图
及 16 日 08 时(c)、17 日 20 时(d)地面天气图

Fig. 1 The 500 hPa (a) and 700 hPa (b) upper-air situation at 08:00 February 16, 2013
and ground situation at 08:00 February 16 (c) and 20:00 February 17 (d), 2013

3 水汽条件

水汽是冬季降雪的必要条件,此次冬季降雪的水汽通道主要是沿青藏高原东侧的低层西南暖湿气流的远距离输送。西南暖湿气流温度较高、水汽充足,在冬季容易产生大降雪天气。

图2是17日08时至19日20时沿35.3°N, 103.2°E(暴雪中心和政)的比湿和水汽通量散度的高度—时间剖面。17日08时,低层比湿开始增加,700 hPa比湿为3~3.5 g/kg,500 hPa高度以上比湿较小。17日20时至18日08时,500~600 hPa之间形成2.0~2.5 g/kg的比湿大值中心,700 hPa比湿相对较小,为1.0~2.0 g/kg。形成高湿度区原因是,降雪前期700 hPa甘肃南部到青海东南低涡前的西南气流,将孟加拉湾大量水汽输送到该地区,暖湿空气在低涡附近辐合,所以近地层形成一比湿高值区,酝酿一次降雪天气。降雪期间,500 hPa新疆槽东移,其前部锋区位于低涡上空,形成下暖上冷的不稳定形势,低涡附近暖湿气流辐合上升,在上升过程中气团绝热膨胀冷却凝结形成云,云层高度在对流层中部,在比湿上反映该层为湿度大值区。

17日08时,地面至500 hPa水汽辐合,700 hPa水汽通量散度为 $-2.0 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,表明降雪过程前水汽的酝酿过程;17日20时,水汽辐合高度到600 hPa附近,并出现闭合,水汽通量散度为 $-1.5 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;18日08时降雪天气结束,水汽通量散度为0。

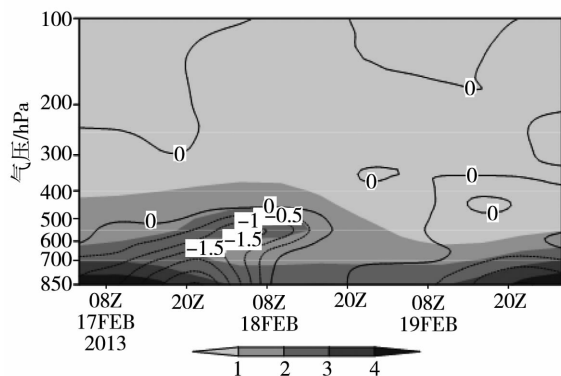


图2 2013年2月17日08时至19日20时和政站上空的比湿(阴影,单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)和水汽通量散度(实线,单位: $10^{-8} \text{ g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$)的垂直剖面图

Fig. 2 The vertical cross-section of specific humidity (shadow area, Unit: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) and moisture flux divergence (solid lines, Unit: $10^{-8} \text{ g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$) over Hezheng from 08:00 February 17 to 20:00 February 19, 2013

4 动力条件

4.1 涡度场、散度场

图3是17日08时至19日20时沿35.3°N, 103.2°E(暴雪中心和政)涡度、散度的高度—时间剖面图。从涡度场上看出,17日白天,700~500 hPa有正涡度发展,中心值 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。17日20至18日08时(降雪期间),地面至400 hPa为正涡度,最大闭合中心在500 hPa附近,达 $14 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,而400~200 hPa为正涡度,闭合中心在250 hPa附近,中心值 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。18日08时至19日20时,700~150 hPa转为负涡度,中心值 $-12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。说明在降雪前12 h,中低层正涡度,有利水汽、能量辐合上升;降雪期间,中低层正涡度大,高层正涡度小;降雪结束,各层转为负涡度。

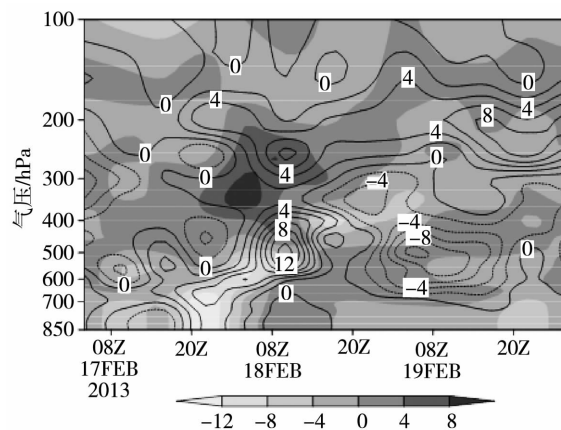


图3 2013年2月17日08时至19日20时和政站上空涡度(实线,单位: $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$)和散度(阴影,单位: $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$)的垂直剖面图
Fig. 3 The vertical cross-section of vorticity (solid lines, Unit: $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$) and divergence (shadow area, Unit: $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$) over Hezheng from 08:00 February 17 to 20:00 February 19, 2013

从散度场上看出,17日白天,地面至500 hPa为辐合,中心值为 $-8 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,500~350 hPa为辐散,最大辐散中心值为 $4 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。17日20时至18日08时,近地层至500 hPa为辐合,中心值为 $-12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,500~200 hPa为辐散,中心值为 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。18日08时后地面到500 hPa为辐散。表明在过程前中低层有辐合上升运动,高层有辐散下沉运动,开始降雪后,辐合、辐散值达到最大,强烈的抽吸作用有利上升运动发展,为暴雪天气提供了动力条件。

4.2 垂直速度场

从垂直速度场看出(图4),17日白天,650~

400 hPa 开始有弱上升运动,上升速度为 $-0.3 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。17 日 20 时至 18 日 08 时,550~300 hPa 为上升运动区间,最大上升速度在 450 hPa 附近,上升速度为 $-1.5 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,地面到 500 hPa 为下沉气流。18 日 08 时至 19 日 20 时,整层转为下沉运动,降雪天气结束。表明降雪前 12 h 开始有上升运动,开始降雪后,上升速度达到最大。

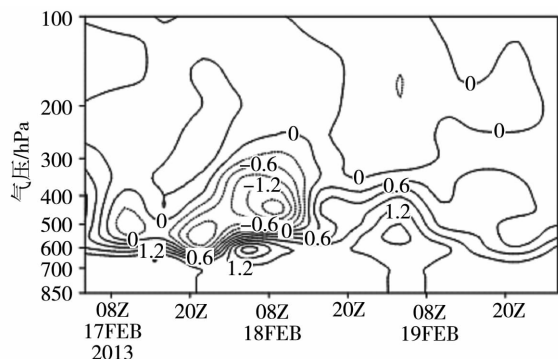


图4 2013年2月17日08时至19日20时和政站上空的垂直速度(单位: $10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)垂直剖面图

Fig. 4 The vertical cross-section of vertical velocity (Unit: $10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$) over Hezheng from 08:00 February 17 to 20:00 February 19, 2013

4.3 θ_{se} 的分布

假相当位温是反映大气温压湿的综合特征量,等密集区域^[8]代表锋生。从剖面图(图5)上,清晰看出和政站地面到600 hPa,等值线密集,窄而陡,表明冷锋内水平梯度较大,斜压性增强,利于垂直环流的发展。与17日20时地面天气图分析一致,内蒙古中部到甘肃省中部存在一冷锋,冷锋经过甘肃中部引发暴雪天气,所以地面冷锋是暴雪的触发机制。

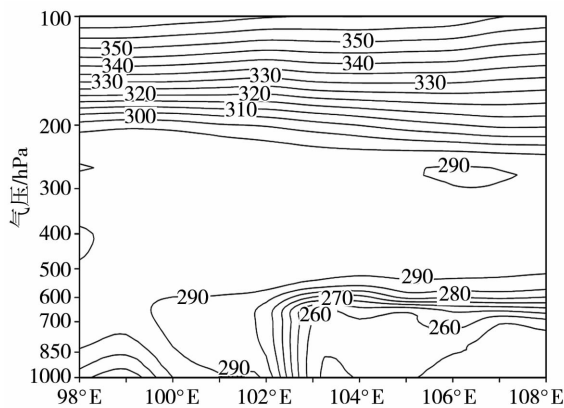


图5 2013年2月17日20时 θ_{se} 沿35.3°N的经向垂直剖面图(单位:K)

Fig. 5 The longitude vertical cross-section of θ_{se} (Unit: K) along 35.3°N at 20:00 February 17, 2013

5 西北区域 RUC 模式模拟预报

5.1 模式简介

西北区域 RUC 模式,是基于 WRF 模式搭建的,采用 T639 数值模式作为区域 RUC 系统的初值场和边界场,建立了包括 GTS 资料、本地的常规加密观测资料及非常规观测资料的实时收集系统,建立变分同化系统并选择适合本地的物理方案配置。

模式中心点为 100.5°E 、 38.8°N ,网格区域格距为 9 km,格点数为 259×196 ;垂直方向为 38 层。循环时间间隔 6 h,每天共计 4 次循环。

5.2 模拟预报

RUC 模式能模拟 72 h 内累计降水量及 72 h 内逐 3 h 降水量。本文以 2 月 17 日 08 时为初始场,模拟 24 h 内累计降水量。选降雪开始时间(17 日 20 时)、降雪开始后 3 h(17 日 23 时)、降雪开始后 12 h(18 日 08 时)累计降水量模拟结果与实况进行对比分析。

从 2 月 17 日 20 时的模拟结果(图 6a)看出,甘肃省基本无降水,定西、陇南有零星降雪,同时时间的地面天气图(图 6c)上,陇南、祁连山等地有零星降雪,有少量降水说明降雪开始时间为 17 日 20 时,模式模拟出降雪开始时间,但降雪的地点有差异。2 月 17 日 23 时模拟的降雪量图上(图略),甘肃中部、甘南、天水有小到中雪,实况甘肃中部普遍降小雪,模拟的降雪范围偏大、量级偏强。2 月 18 日 08 时模拟结果(图 6b)显示,最大降雪中心在甘肃中部,降雪量在 12.0~17.0 mm 之间,实况(图 6d)暴雪落区在临夏、兰州、定西、甘南,降雪量在 10.0~15.0 mm 之间;模拟中到大雪范围,在甘肃祁连山区东部到黄河以东地区,降雪量 2.5~9.9 mm,实况降雪量为 2.0~9.5 mm。

从图 6a 模拟的风场看出,在青海湖附近、甘肃省甘南州分别有一低压环流;西藏东部至四川西部、青海东南部为宽广西南风速带;而蒙古高原到宁夏、甘肃东部为一致的西风、偏北风速带。与 2 月 17 日 20 时地面天气图(图 6e)实况对比,模拟的环流中心与实况相符,但风速值模拟的普遍偏大,特别是四川西部、青海东南部西南风速普遍偏大 10 m/s。

从图 6b 模拟的风场看出,在甘肃酒泉北部附近有一高压环流;青海湖附近、甘肃省玛曲附近分别有一低压;四川西部为西、西南风速带;蒙古高原到宁夏、陕西、甘肃东部、四川东部为一致的西风、偏北风速带。与 2 月 18 日 00 时天气图(图 6f)对比,模拟的环流中心与实况相符,但风速值模拟的普遍偏

大 $5 \sim 10 \text{ m/s}$ 。

从西北区域 RUC 模式模拟的降雪及地面风场看出,模式模拟出了降雪的开始时间;对降雪开始后 3 h 的累计降雪量,模拟的范围略大、降雪量偏强;对降雪开始后 12 h 的累计降雪量,模拟结果与实况

大致相同,特别是模拟出的甘肃中部暴雪中心,量级在 $12.0 \sim 17.0 \text{ mm}$ 与实况一致。表明该模式对中到大雪、暴雪的范围、落区及量级模拟较准确。模式对地面环流中心的模拟与实况符合,但模拟的地面风速值偏大。

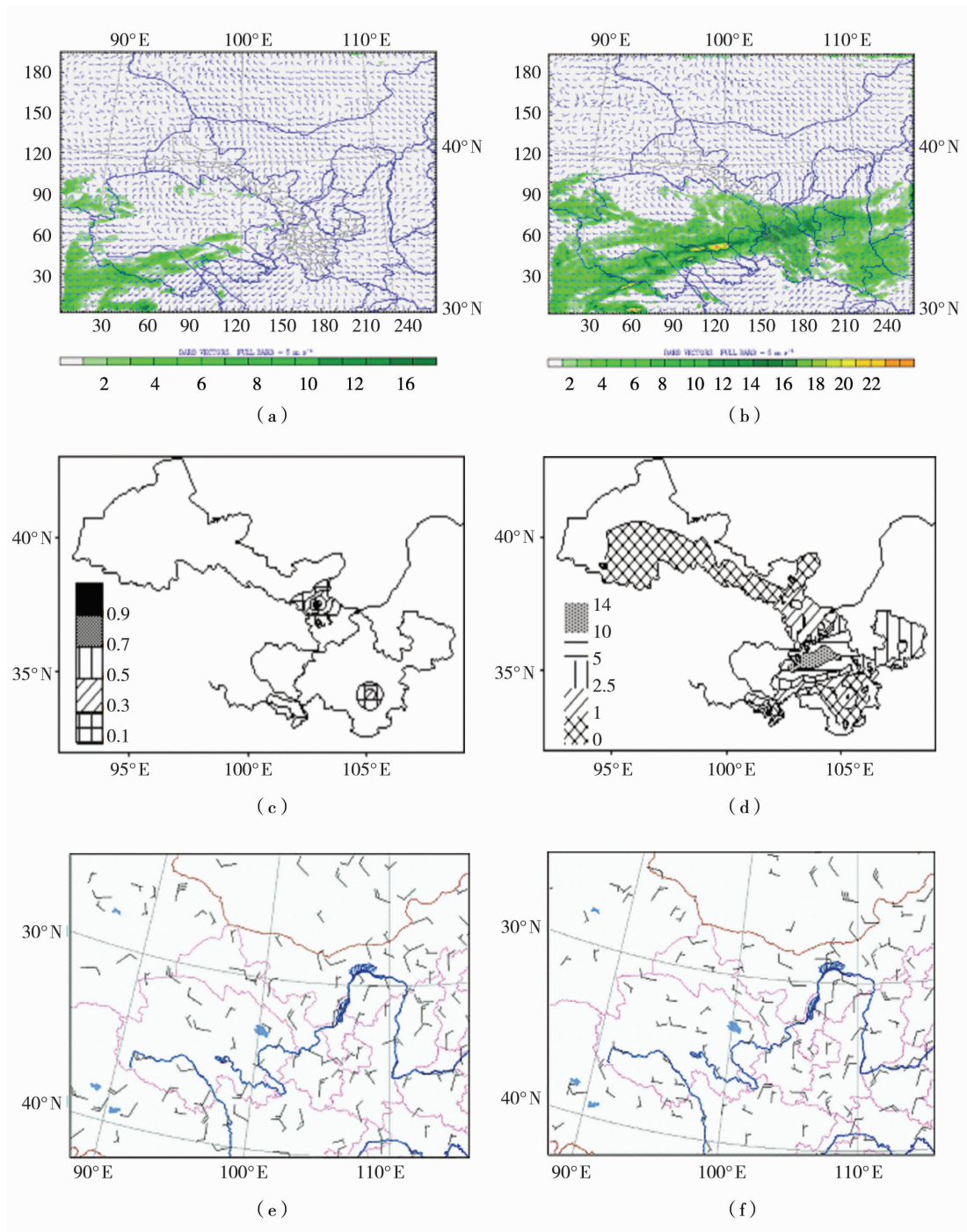


图6 2013年2月17日08时模拟的12 h(a),24 h(b)累计降水(阴影,单位:mm)及风场,2月17日20时6 h降水(c)及18日08时24 h降水(单位:mm),2月17日20时(e)及18日08时(f)地面风场

Fig.6 The simulated accumulative precipitation (shadow area, Unit: mm) in 12 hours (a), 24 hours (b) and wind field (Unit: m/s) at 08:00 February 17, 2013, 6 hours precipitation at 20:00 February 17 (c) and 24 hours precipitation at 08:00 February 18, the surface wind field at 20:00 February 17 (e) and 08:00 February 18 (f)

6 结 论

(1) 500 hPa 乌拉尔山高压脊加强, 西西伯利亚冷空气东移南下, 在新疆到甘肃上空形成冷锋锋区, 冷空气东移, 叠加在 700 hPa 暖湿低涡上空, 形成下暖上冷的不稳定结构, 引发上升运动, 为暴雪的发生提供了比较有利的环流形势场。

(2) 暴雪发生前后, 低层正涡度、辐合与高层负涡度、辐散的配置, 加强了上升运动, 形成较强的温度、湿度能量动力抬升。孟加拉湾低槽前西南暖湿气流沿云南、四川北上到达甘肃东部, 是暴雪的重要水汽来源。

(3) 在剖面图上, 清晰看出冷锋立体结构及等值线密集区, 表明冷锋内水平梯度较大, 斜压性增强, 利于垂直环流的发展, 当地面冷锋移至甘肃中部引发暴雪天气, 所以地面冷锋是暴雪的触发机制。

(4) 西北区域 RUC 模式, 能较好地模拟出降雪开始时间、24 h 内中到大雪、暴雪的降雪范围、落区及量级; 能大致模拟出地面环流中心, 但模拟的地面

风速值偏大。表明该模式对暴雪天气预报具有参考价值。

参考文献:

- [1] 梁军, 张月辉, 王树雄, 等. 大连地区一次区域暴雪的特征分析和数值模拟[J]. 高原气象, 2010, 29(3): 744–754.
- [2] 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.
- [3] 刘耀文, 张红英, 史云飞, 等. 山西省秋季罕见大暴雪天气过程诊断[J]. 干旱气象, 2010, 28(3): 332–337.
- [4] 王清川, 寿绍文, 霍东升. 河北省廊坊市一次初冬雨转暴雪天气过程分析[J]. 干旱气象, 2011, 29(1): 62–68.
- [5] 黄海波, 徐海荣. 新疆一次秋季暴雪天气的诊断分析[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 624–629.
- [6] 张广周, 沈桐立. 一次暴雪天气的数值模拟及诊断分析[J]. 气象, 2008, 34(9): 65–72.
- [7] 陶健红, 王宝鉴. 甘肃省短期天气预报员手册[M]. 北京: 气象出版社, 2012.
- [8] 丁一汇. 高等天气学(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2005. 111–116.

Numerical Simulation and Analysis of a Snowstorm Event in East Gansu Province

JI Lanzhi, QUAN Zhiwei, SONG Linlin, KONG Xiangwei, ZHANG Jing

(Lanzhou Center Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The circulation background and affecting system of a snowstorm event that occurred in east Gansu Province on February 17 of 2013 were analyzed firstly by using NCEP 6 hours reanalysis data, conventional observation data and high-resolution data of the RUC Model, and then the simulated result of the RUC Model was compared with the actual observation. The results show that the cold trough on the upper level, the low vortex on 700 hPa and the cold front on the ground were the main influencing system of this snowstorm event. Low-level convergence and high-level divergence resulted in strong upward movement in the middle-level, which provided beneficial dynamic conditions, and the water vapor convergence near the 700 hPa provided water vapour conditions. The intensive belt over Hezheng meant the high temperature and high humidity belt. The simulation results of the RUC Model were identical with the actual situation in snowstorm scope, snowstorm dropzone, but the simulated wind velocity on surface was larger than the actual one.

Key words: snowstorm; low vortex; moisture flux divergence; vorticity; numerical simulation