

宁夏一次大暴雪天气过程的物理成因

贾宏元^{1,2,3}, 赵光平^{2,3}, 沈跃琴³, 纪晓玲^{2,3}

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002;
3. 宁夏气象台, 宁夏 银川 750002)

摘要: 在分析大气环流及其诸层物理量场特征基础上, 结合逐时卫星云图资料对 2002 年 10 月 17 ~ 18 日宁夏南部山区一次大暴雪天气过程成因进行了探讨, 发现此次暴雪中低层存在着较明显的 3 股气流的共同作用, 指出低涡及暖式切变线是本次过程重要的天气影响系统, 降水水汽主要来自于低层输入, 同时分析还表明宁夏强降雪也具有中小尺度特征。

关键词: 暴雪; 成因; 宁夏

中图分类号: P458.1⁺1

文献标识码: A

引言

强降雪在增加土壤墒情的同时, 由其形成的积雪或结冰等给交通、航空、电力等行业及群众生活带来了很大负面影响。近年来随着国民经济的快速发展, 灾害受到了越来越多关注, 但对暴雪的研究远较暴雨要少。国外主要针对强大的暴风雪研究, 如 1979 年美国总统一日暴雪^[1]和 1987 年俄克拉荷马州的雪暴^[2]。我国的王迎春、宫德吉、陈佩君、贾宏元等^[3-7]从大气环流、影响系统、低空急流、天气学诊断等角度对暴雪成因做过分析研究。2002 年 10 月 17 日夜到 18 日白天, 宁夏出现了一次区域性寒潮天气, 与此相伴南部山区降了历年同期较为罕见的大暴雪, 日最强降水 35.6 mm。此次暴雪过程, 由于伴随着强寒潮天气, 山区温度降到了 -5℃, 积雪厚度达到 10~30 cm, 造成了交通阻塞、输电线路压断、树木折断等灾害。因此, 有必要对这次暴雪过程成因及其影响天气系统发生发展的物理机制做分析探讨。

1 天气背景及影响系统

1.1 高空环流形势

综观降水前期大气环流形势(图略), 从西伯利

亚到蒙古国维持一宽广的低压区, 底部沿新疆北部不断有冷空气东移南下, 青藏高原(以下简称高原)上为较弱的西北风, 中亚维持一浅槽。其后, 北方冷空气明显南压, 中亚槽底部也不断有小槽分裂东移上高原; 至 17 日 08 时, 有一宽广的锋区南压到我国与蒙古国边境附近, 中亚槽也不断加强, 并分股东移, 高原高度场明显降低, 其北部从祁连山到宁夏北部已转为西南气流; 之后, 大的低压槽底部分裂出一小槽东移南下, 随着中亚槽底部冷空气不断地分股东移, 高原高度场进一步下降, 并在其南部逐渐形成较为明显的西南急流带, 将孟加拉湾暖湿气流向宁夏南部输送, 至此影响宁夏强降雪高空环流形势基本形成, 宁夏南部山区的降水也开始出现。

1.2 主要天气影响系统

1.2.1 500 hPa 的影响系统

东高西低和平直气流是宁夏强降雪天气过程产生的关键区主要高空环流形势, 但强降水出现与高空影响系统如低涡、切变线、辐合区等配合密切相关*。此次暴雪过程, 南北天气影响系统配置较好, 从 16 日 20 时开始, 新疆就有小槽分裂东移沿蒙古国东南压宁夏, 此时高原上也有低涡形成并发展, 17 日 20 时东南向移出高原, 位置在兰州南部, 其后随着高原西南气流的形成与发展, 其沿西南路径向宁夏南部移来,

收稿日期: 2006 - 12 - 28; 改回日期: 2007 - 09 - 29

基金项目: 宁夏科技攻关项目“宁夏新一代灾害性天气事件联防联报监测预警体系研究”资助

作者简介: 贾宏元(1968 -), 男, 高级工程师, 主要从事短期天气预报及灾害性天气预报方法研究。E-mail: jhy806@163.com

通讯作者: 赵光平。E-mail: zgpnet@sina.com

* 宁夏气象局, 宁夏短期天气预报员手册, 1987, 96 - 105

18日基本维持在宁夏南部山区;而北部小槽分裂东移后,后部不断有冷空气补充加强,于17日08时移入宁夏,但无南支系统配合,因而未有较明显降水,其维持在宁夏并缓慢南压,于18日08时与南支系统在宁夏固原地区相交汇,降水明显加强。

1.2.2 700 hPa天气影响系统

研究认为^[6]中低层(700 hPa,以下同)天气系统对宁夏强降雪的影响常常占主导地位。低涡及切变线是本次过程主要影响系统(图1)。降水前期16日,

高原北侧有低涡生成,其后随北方冷空气扩散不断得到加强,但一直在高原上活动;17日白天逐渐东南下移出高原,20时随南部偏南暖湿气流不断北抬,与偏北气流在甘肃东南部交汇,低涡得到明显加强,并沿西南路径快速向东北方向移动,于18日08时位于宁夏固原南部,同时在其南部形成一明显的切变,且维持少动,20时缓慢东南移,宁夏暴雪正是在这个维持阶段产生的。

2 暴雪的物理量场空间结构

以37°N, 105°E为中心,采用40 km格距,在X、Y方向上分别取格点数41、31,计算2002年10月17日20时、18日08时,垂直高度从1000~100 hPa共11层的物理量参数。

2.1 散度场、垂直速度场空间分布特征

图2中可以较清楚地看到,到17日20时200 hPa高度宁夏上空整层均为较明显辐散区,中心散度值 $28 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,东西2侧为很强的辐合区;对应于中低空700~500 hPa为辐合区,500 hPa出现了 $-64 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 强辐合中心,两侧为较强的辐散区,高空辐散抽吸、低层辐合上升,这是有利于上升运动发展的垂直环流形势。而在其两侧情形则相反,为较明显的下沉气流,同时也说明在降水前宁夏附近已形成了2个较清楚的垂直闭合环流。随着北方冷空气的不断南压,这种运动从宁夏北部沿偏北气流向宁夏南部山区移动,再迭加上南部的地形作用,上升运动得到进一步加强。

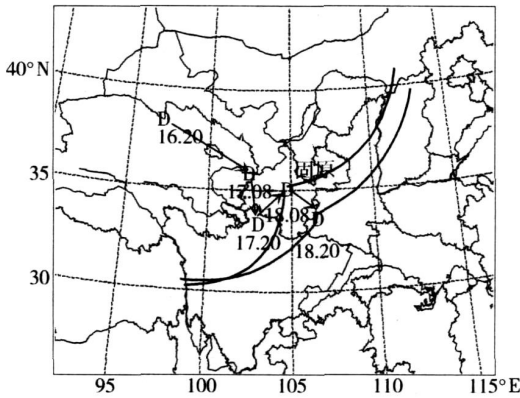


图1 2002年10月16~18日700 hPa影响系统演变图(D为低涡,实线为切变线)

Fig 1 Influencing system evolution at 700 hPa from October 16 to October 18, 2002 (D for low vortex, solid line for wind shear)

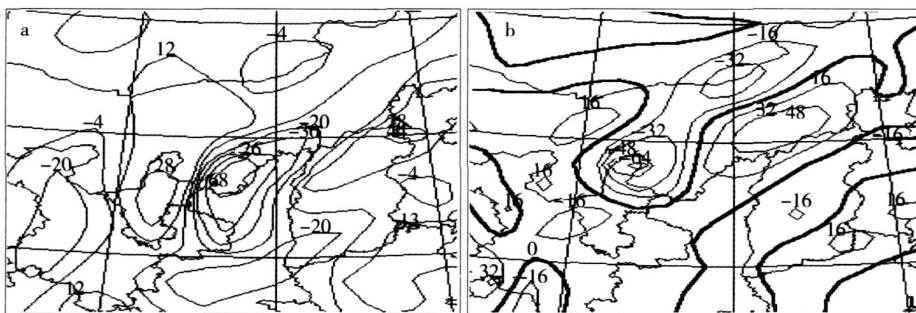


图2 2002年10月17日20时200 hPa (a), 500 hPa (b)散度场(单位: $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig 2 Divergence field at 200 hPa (a) and 500 hPa (b) at 20:00 October 17, 2002 (Unit $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$)

由图3可见(阴影区为地形,以下同),500 hPa以下基本为辐合区,35°~37°N在700~500 hPa高度有 $-16 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 强辐合区,对应200 hPa高空有中心

$32 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 强辐散中心。同时在垂直速度场上(图4)沿36°N的垂直剖面图,可以看到此时在106°E上空为一较狭窄的强上升气流区,最大垂直速度达 -10

$\times 10^{-3}$ hPa/s,中心位于 600 ~ 300 hPa上空。

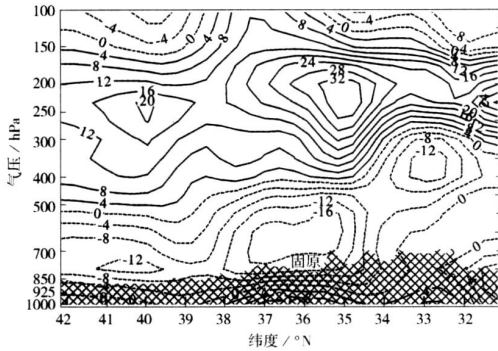


图3 18日08时沿106°E散度垂直剖面图(单位: 10^{-5} s $^{-1}$)

Fig.3 Vertical section of divergence along 106°E at 08:00 October 18

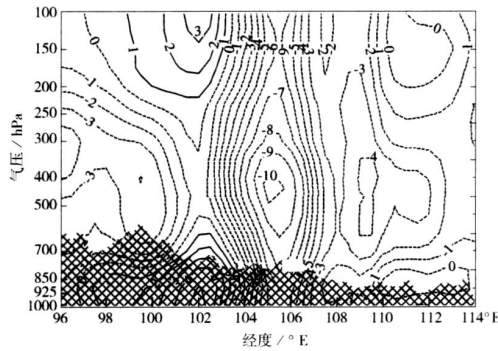


图4 18日08时沿36°N垂直速度垂直剖面图(单位: 10^{-3} hPa/s)

Fig.4 Vertical section of ω along 36°N at 08:00 October 18

综上所述,这种有利于上升运动形成和发展的垂直环流形势,为宁夏固原南部山区的这次暴雪天气提供了良好的动力条件。

2.2 空间流场结构

2.2.1 近地面层水平流场

图5为近地面层(850 hPa)河套附近的水平流场结构图,可看到近地面层上有2股气流影响宁夏,1是从蒙古吹来的干冷东北风,华北一带冬半年有时会维持一冷高压,这种冷高压常造成河套东部吹东风或东北风(称之为东风高压);2是华北高压后部所带来的南方上空温暖空气的偏南风。这2股气流在宁夏南部交汇,于36°N附近形成一明显的气旋式辐合线(暖式切变线),风向几近对吹,说明辐合强度很大。以前的研究发现^[6],这种切变线的形成、维持与发展是造成宁夏强降雪的一种重要天气

系统。另外在700 hPa(图略)低空还能分析出来自孟加拉湾的西南暖湿气流,这也是强降雪水汽输送的重要来源之一,由此说明在宁夏强降雪的强降水水中存在3股气流的共同影响,尤其是宁夏东部的冷空气对宁夏天气的影响,不单纯造成回流天气,它还阻挡宁夏西来水汽的东移,同时还为南部暖湿空气起冷垫作用,迫使其爬升,产生较强上升运动,造成宁夏强降雪。同时,700 hPa宁夏南部也存在较强的气旋式辐合区,涡旋流场较为明显,北部干冷的空气与南部较为暖湿的气流交汇于宁夏,形成了较强辐合区,再加高层辐散区,在固原上空造成了明显的上升运动。

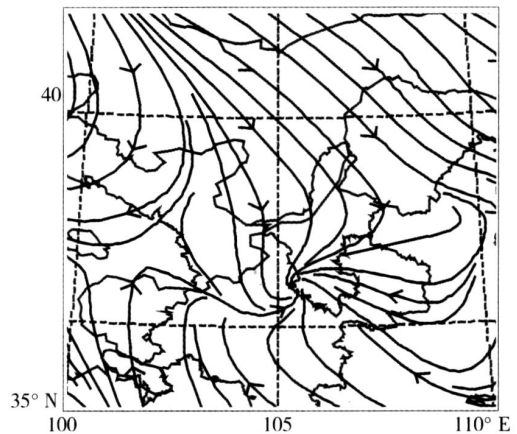


图5 17日20时850 hPa UV场

Fig.5 Wind field at the level of 850 hPa at 20:00 October 17

2.2.2 流场垂直变化特征

图6为18日08时的水平风矢量场沿106°E的垂直剖面图,200 hPa以上有一西风急流带,下层均为偏南气流,在高空急流的耦合作用下,35~36°N风速明显强于四周,为一急流区,在此区域700 hPa低空有12 m/s左右的弱低空急流(图略),相关研究认为^[7],低空急流不但为形成暴雪提供了暖湿水汽,而且还造成了上升运动和不稳定条件。这种配置下,高空急流的右侧为动力辐散流场,低空急流的左侧为动力辐合场,高层辐散、低层辐合相互垂直叠置,引起较强的上升运动,对流活动发展,同时,低空急流带来了强降水必须的水汽。此外,700 hPa宁夏南部(35°~36°N)可见一较清楚的暖式风向切变,这种切变在暴雪过程中850~700 hPa都存在的事实,反映了暖式切变线在宁夏强降雪中扮演了重要角色。

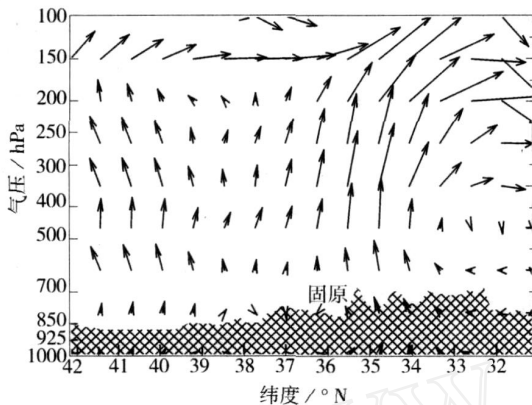


图 6 18日 08时沿 106°E 风矢量场垂直剖面图
Fig 6 Vertical section of wind vector field along 106°E at 08:00 on October 18

2.3 水汽通量散度场

水汽通量散度是一个与垂直运动密切相关的物理量,水汽通量辐合区与垂直上升运动区往往是一致的^[8]。17日 08时,水汽通量散度负值区主要在高原东侧,宁夏南部附近较小。18日 08时(图 7),500 hPa以下基本转为水汽辐合区,700 hPa上 105~107°E 宁夏南部山区维持一个 $-1.2 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm}^2)$ 的高值中心区,揭示充沛水汽输送主要来自于中低层,西南气流正好穿越这一高值区域将水汽向强降水区输送,但量级较夏季强降水为低。进一步做沿 106°E 水汽通量散度垂直剖面图(图略),可以发现 37°N 以北各层均为正值区,无水汽向宁夏北部输送,这也就是为何北部无降水的主要原因。

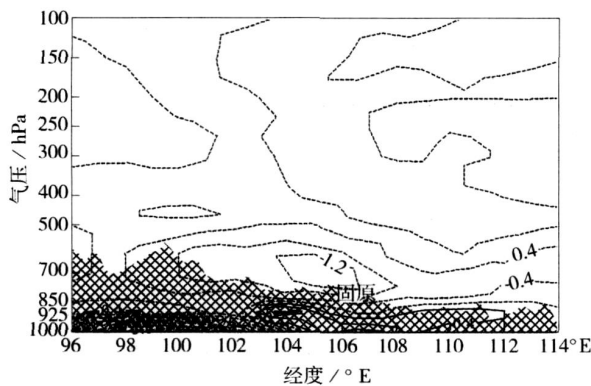


图 7 18日 08时沿 36°N 水汽通量散度垂直剖面图
Fig 7 Vertical section of moisture flux divergence along 36°N at 08:00 October 18 (Unit $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$)

3 暴雪过程的中尺度云图特征

通过逐时数字化卫星云图分析发现,此次暴雪发生与中小尺度系统的活动密切相关,过程前后共有 3 个较强的中小尺度云团影响了宁夏,造成了宁夏南部山区的强降水。

数字化卫星云图(图略)中,有 3 条较为明显的云系,40°N 以北为呈东西向带状分布,较为宽广的高空槽云系,以中高云为主;青藏高原上为中低云系为主的西南气流;东部是与低涡相对应的涡旋云系,此涡旋云系 17日 20时逐渐开始从高原沿西南气流移动,于 18日 01时向东北扩散移入宁夏固原地区,并在宁夏加强,中心强度及范围明显加大,中心位置在宁夏西南部的西吉,最强云顶亮温 $T_{\text{BB}} = -60$ 。这块云团首先造成了西吉本站的强降水,此后,随着云团的发展,固原全市均出现了降水,04时中心位置北移到海原附近(海原 08时前降水量达 14 mm),此中心在海原附近维持了近 2 h 后才缓慢向东南移,前后又影响了固原及彭阳 2 站,08时后,云团东移出宁夏。此后宁夏西部又有 1 块强降水云团(中心值 $T_{\text{BB}} = -49.1$)形成并发展,10时主体移入宁夏境内,中心值位于彭阳附近, $T_{\text{BB}} = -52$;在维持了近 2 h 后,12时又有一块云团东移进入固原地区,并与前一云团相互迭加,在宁夏范围强度值明显加强,14~15时最强 $T_{\text{BB}} = -57.12$,此云团强度虽不及第 1 块,但维持时间较长,17时固原站仍见连续性大雪,可见,此云团在固原地区长时间发展与维持是造成本次局地强降水天气的主要原因之一。

4 高空回暖及地形对暴雪的影响

4.1 强降水前高空回暖现象

图 8 可见,暴雪前 24~48 h,500 hPa 高空河套

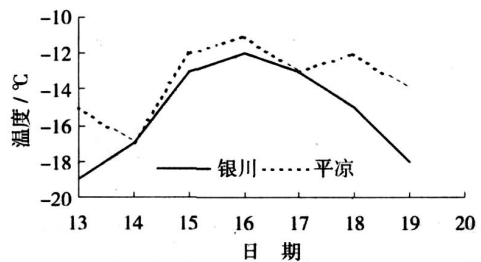


图 8 2002年 10月 13~19日 08时 500 hPa 温度变化
Fig 8 The temperature change from 08:00 October 13 to 08:00 October 19, 2002 at Yingchuan and Pingliang station

附近有较明显增温现象,增幅多在4~8℃之间,以银川、平凉站为例,16日前的48 h内增温达8℃以上;降水的前期回暖、东部冷空气的楔入及西来锋区的交绥,加大了宁夏的大气不稳定性,易形成较强降水。

4.2 地形对暴雪的影响

此次暴雪,降水主要集中在宁夏南部山区,北部平原基本无降水。分析认为:宁夏中北部是由黄河冲积的平原,南部矗立着海拔近3 000 m的六盘山脉,夏半年,强大的副热带系统活动频繁,其范围广,系统深厚,一般地形对其影响较小;而强降雪,不断受强冷空气南压影响,副热带高压一般总居于低纬度一带,由于主要来自低层较为浅薄的暖湿气流,受六盘山阻挡,不易北抬影响宁夏北部,从水汽通量散度垂直剖面图中(图略),可清楚地看到此次过程水汽基本阻断在37°N以南。六盘山在阻断北上水汽的同时因地形动力抬升作用,进一步造成山区降水增强。这种典型局地天气,充分说明地形在强降雪中的作用远比夏半年要强。

5 结 语

(1) 此次大暴雪存在3股气流的共同影响,特别是宁夏东部冷空气不单纯造成回流,还阻挡宁夏西来水汽的东移,同时为暖湿空气起冷垫作用,迫使其爬升,产生强烈的上升运动,因而在以后预报中要多加注意宁夏北部偏东风对宁夏降水的影响。

(2) 暴雪过程也存在高低空急流,其相互耦合,可引起较强的上升运动。

(3) 这次大暴雪过程水汽主要来源于中低层输送。

(4) 造成宁夏本次大暴雪的各层因素为:中低层有辐合,在宁夏北部为东北气流,南部为偏南气流,河西东南部有西北气流,构成气旋式辐合,暖式切变线在宁夏强降雪中扮演了重要角色。高层有西南气流与低涡、切变的配合。

(5) 河西、河套的前期高空回暖及东西部冷空气的交绥,有利于不稳定的加大。

(6) 六盘山在阻断北上水汽的同时,因地形动力抬升也加强了大气不稳定性。

(7) 强降雪也存在较为明显的中小尺度特征,利用逐时的数字化卫星云图追踪预报强降水的强度及落区,有较好的业务应用价值。

参考文献:

- [1] Mawitz J D, Toth J. A case study of heavy snowfall Oklahoma[J]. Mon Wea Rev, 1993, 121: 648 - 660.
- [2] Lance F Bosart The President's Day snowstorm of 18 - 19 February 1979: A subsynoptic - scale event[J]. Mon Wea Rev, 1981, 109: 1542 - 1566.
- [3] 王迎春, 钱婷婷, 郑永光. 北京连续降雪过程分析[J]. 应用气象学报, 2004, 15(1): 58 - 65.
- [4] 宫德吉, 李彰俊. 内蒙古暴风雪灾害及其形成过程[J]. 气象, 2001, 27(8): 19 - 23.
- [5] 陈佩君, 徐云. 南通地区暴雪的天气条件对比分析[J]. 气象, 2003, 29(12): 45 - 47.
- [6] 贾宏元, 赵光平. 宁夏大到暴雪成因分析及其预报的初步研究[J]. 宁夏气象, 1999(4): 23 - 25.
- [7] 宫德吉, 李彰俊. 低空急流与内蒙古的大(暴)雪[J]. 气象, 2001, 27(13): 5 - 6.
- [8] 贾宏元, 穆建华, 孔维娜. 2004年宁夏一次区域性大到暴雨的诊断分析[J]. 干旱气象, 2005, 23(2): 25 - 27.

Analysis on Causes of a Heavy Snowstorm in Ningxia

JIA Hongyuan^{1,2,3}, ZHAO Guangping^{2,3}, SHEN Yueqing³, JI Xiaoling^{2,3}

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Ningxia Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002, China; 3. Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China)

Abstract: Based on analysis of characteristics of atmospheric circulation and physical quantity fields on each layer, as well as hourly satellite images, the causes of a heavy snowstorm process in mountainous region of south Ningxia from 17 to 18 October in 2002 was studied. Results show that three air currents on middle and low layers play an important role in this process, and low vortex and warm shear line are key influencing systems, and vapour transport comes primarily from the low layer. The study also reveals the fact that meso - microscale system is active in the heavy snowstorm process.

Key words: heavy snowstorm; cause; Ningxia