第7卷第2期

 2013年4月

2010 年 3 月 14 日华北强降雪的模拟和 特征分析

张恒德¹,宗志平¹,安新宇² (1.中国气象局国家气象中心,北京 100081;2.赤峰市气象局,内蒙古 赤峰 024000)

摘 要:主要对 2010 年 3 月 14 日华北强降雪进行了模拟、诊断和特征分析。此次华北降雪 在中、低层主要受西风槽、低涡及切变线影响,蒙古气旋东移加强、地面倒槽发展及东风回流建 立构成了有利地面天气形势,西北涡、强势的西南暖湿气流及稳定的环渤海高压对此次强降雪 至关重要。垂直速度、散度、涡度、螺旋度的分布和演变反映出在此次降雪过程中,强降雪区出现 了很强的辐合上升运动,降雪区上空螺旋度呈"下负上正"的垂直结构,螺旋度大值区对应强降 雪中心;而锋生条件为降雪的形成和维持提供了一定的能量;相对湿度和水汽通量散度的分布 说明强降雪区整层湿度较大,且水汽供应充足。

关键词:暴雪;西南气流;数值模拟;回流;螺旋度

中图分类号:P456 文献标识码:B

强降雪是我国主要灾害性天气之一,对国民经 济和人民生活有破坏性影响,随着经济持续发展,其 影响还会呈上升态势。强降雪也是天气预报的难点 之一,有必要加强分析、总结和研究,从而提高其预 报能力,减少损失。强降雪通常发生在一定的天气背 景条件下,每一次过程都有相应的影响系统和触发 机制。例如,500 hPa 西风槽、700~850 hPa 明显切变 及地面偏东南气流共同引起了 2009 年 2 月 8 日山 西中南部暴雪⁽¹⁾;南北两支高空槽同位相叠加、地面 气压场"北高南低"并有倒槽生成是河北出现强降雪 的有利形势^[2];中低层三股气流的共同作用引起了 宁夏初冬的一次大暴雪¹³;来自东北平原的低层冷 空气在华北强降雪天气中起冷垫作用,降水强度与 高空风速有很好的对应关系^[4]。此外,对一些暴雪过 程的动力15-61、热力17、不稳定条件18及雷达特征19等也 有过诊断分析。

近年来,我国对强降雪的数值模拟和预报非常 重视。例如,秦华锋等^[10]利用 MM5 对暴雪过程进行 文章编号:1002-0799(2013)02-0001-08

了数值模拟研究;陶建红、苗春生等分别利用 WRF 对河西^[11]、山东半岛^[12]等地暴雪作了模拟试验和诊 断;白人海等^[13]利用 GRAPES 成功预报出东北地区 两次暴雪过程的天气尺度环流演变和影响系统移动 路径。

上述工作为强降雪的研究和预报提供了重要的 科学依据和实践基础,然而受各种条件限制或约束, 对强降雪的模拟、诊断分析和预报水平还有提升空 间,有必要继续加强研究。2009年11月-2010年3 月北方遭受多次强降雪袭击,其中,2010年3月 14-15日,华北中北部、内蒙古中东部、东北地区中 南部普降大到暴雪,此次降雪范围大、强度强,给交 通运输、通信和人们的生产生活等方面带来较大影 响。业务中对此次强降雪过程预报范围偏小、强度偏 弱。基于此次降雪天气形势及所需动力、水汽、温度 等条件的复杂性及预报难度,有必要对该过程进行 回顾分析。本文采用 MM5 进行模拟,从环流背景、 影响系统、物理量分布和演变等方面分析此次降雪 成因,从而有助于加强和提高此类降雪的分析和预 报技术。

文中采用的资料有全国加密站实况观测资料、

收稿日期:2012-02-14;修回日期:2012-05-02

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306015)和气象关键技术集成技术项目(CAMGJ2012M60)。

作者简介:张恒德(1977-),男,高级工程师,主要从事大气动力学和 灾害天气研究。E-mail:zhanghengde1977@163.com

¹ 资料与说明

沙漠与绿洲气象	第73	影第2期
Desert and Oasis Meteorology	201	3年4月

NCEP/NCAR 1°×1°再分析格点资料,以及中尺度模式 MM5(以下简称模式)输出的每 3 h 一次的预报 产品。

本中尺度模式选取非静力平衡作为动力框架, 其中心点为 36.0°N,103.0°E,其水平分辨率为 27 km,垂直分辨率 37 层,主要物理过程为:张弛逼近 侧边界条件,显式水汽方案-混合冰相,MRF 高分辨 行星边界层方案,积云对流参数化采用 Kain-Fritsch,积分步长 81 s,预报时效 72 h,每 3 h 输出 一次结果,文中模式的起报时间为 3 月 13 日 08 时 (如无说明,则均为北京时,下同)。

2 降雪实况及模拟

14 日凌晨起,华北中北部、内蒙古中东部陆续 出现大范围降雪(图 1),截至 20 时,山西东北部、河 北北部和北京等地降雪量达 10~15 mm,而随着系 统快速东移强降雪中心快速东移,14 日夜间强降雪 中心已东移至辽宁;北京市降雪时段为 14 日凌晨至 17 时左右,最强时段在 08—14 时,全市平均降雪量 为 11.7 mm,北安河达 19.0 mm。14 日 20 时,北京大 部积雪深度 5~12 cm,天津南部、河北中部偏东地区 积雪 2~5 cm。对比 3 月 13 日 08 时起报的 13 日 20 时至 14 日 20 时 24 h 降水预报场可见,模式预报的 降水范围及强度与实况基本一致,预报效果非常好, 但在内蒙古中东部偏南地区预报略偏大。

进一步检验逐 6 h 预报效果,14 日 08—14 时, 河北、北京、辽宁、吉林等地有降水,其中,强降水主 要集中于河北北部及北京,其降雪量已达到暴雪标 准,模式预报的降水区范围与实况基本吻合,但降雪 强度预报略偏大、中心稍偏东。

3 主要影响系统

在 500 hPa 上,降雪发生前(13 日 20 时),亚洲 中高纬主要受两槽两脊控制(图 2a),影响华北强降 雪的主槽位于蒙古国西部到新疆东部一带,内蒙古 中东部及东北地区处于鄂霍茨克海高空槽后弱高压 脊下的西北气流控制;此外,在青藏高原有高原槽东 移,到了 14 日 08 时,随着西风槽和高原槽进一步东 移加强,华北及内蒙古中东部基本处于槽前西南气 流控制,降雪全面开始。

历史资料统计表明,700 hPa 上西北涡东移配 合槽前强盛的西南气流,尤其是低空西南急流,通常



图 1 2010 年 3 月 13 日 20 时—14 日 20 时降水实况(a)及模拟降水量(b)、14 日 08 时—14 时降水实况(c) 及模拟降水量(d)(单位:mm)

会造成华北夏季强降水和冬季强降雪。3月13日, 西北地区东南部有低涡存在并东移,而从西南地区、 华南经江南西部、黄淮西部到华北、内蒙古中东部等 地有明显的西南气流,20时上述大部地区风速超过 12 m/s(达到急流标准),同时,江南、江汉、黄淮西 部、西北地区东部、华北中西部、内蒙古中西部等地 的相对湿度均在 60%以上, 部分地区超过 85%, 中 低层处于高湿区,水汽相对充裕,并且随着系统东 移,西南风风速及相对湿度大值区不断东扩,到了 14日(图 2b、2c),华北、内蒙古中东部的大部地区相 对湿度达到 95%,贵阳--宜昌--郑州--保定--北 京一承德一线存在急流,部分地区风速达到 16 m/s 以上,低空急流把水汽和能量不断向北输送,并在华 北形成气旋性风切变和气流辐合区,强降雪区恰位 于急流轴左侧。到了14日20时,随着华北大部地区 基本转为西北气流控制,该地区降水基本结束,而山 东半岛、东北地区依然处于强盛的西南气流下,这些 地区降水继续发展。此外,在850 hPa上,西北涡、切 变线也很明显,并且随着该系统的东移,降水落区也

逐步东移,强降雪主要集中在低涡前部及切变线南侧,在13日08时至14日08华北一直处于偏东南到偏南气流控制,江南及华南的西南气流不断加强, 有利于低层水汽输送到华北。

锋面气旋的发展和移动及环渤海冷高压的维持 对这次降雪也非常重要。强降水发生在气旋冷锋前 部,随着蒙古气旋缓慢东移,降水落区也东移发展, 到了14日20时,降水区基本上位于东北地区和内 蒙古东部。具体来看锋面气旋和冷高压的变化,从3 月12日14时开始,蒙古国东部到内蒙古中部及环 渤海一带处于高压控制,高压中心位于蒙古国东部, 而在此高压后部的蒙古国西部到新疆北部有气旋发 展,此后,高压中心缓慢东移南压,维持稳定,而气旋 东移发展,移速明显快于高压,到了13日20时(图 2d),锋面气旋东移至蒙古国中部到西北地区东部一 带,在蒙古国南部到西北地区东北部有明显闭合低 压环流,并有地面倒槽发展东移,这为降雪发生提供 了较好的动力条件,环渤海区仍被冷高压控制,在冷 高压后部、锋面气旋前部有明显的东风回流,为这次



图 2 2010 年 3 月 13 日 20 时 500 hPa 高度(a)、14 日 02 时 700 hPa 流线和等风速线(b)(填色图,单位:m/s,阴影区风速≥12 m/s)、14 日 08 时 700 hPa 风场(矢量)及相对湿度(c)(填色≥60%)、13 日 20 时地面气压场(实线,单位: hPa)及 850 hPa 温度(d)(填色,单位:℃)

降雪进一步提供水汽。3月13日到14日08时,环 渤海高压脊长时间维持阻挡(一般超过12h),导致 地面锋区相对稳定,有利于偏南暖湿气流沿着低层 冷垫爬升,产生稳定性降水;随着冷空气及锋面气旋 东移,到了14日夜间,锋面气旋移过华北,进入内蒙 古东部及东北地区,这些地区继续降雪,华北地区处 于气旋后部高压控制,降雪基本结束。

总体来说,此次华北降雪在中、低层主要受 500 hPa 高空槽及850~700 hPa 低涡的共同影响,蒙古 气旋东移、地面倒槽发展及东风回流构成了有利 的地面天气形势,中低层强势的西南暖湿气流及 稳定的环渤海高压在此次强降雪中也发挥了重要 作用。

4 物理量诊断

强降雪通常发生在有利的环流形势和天气背景下,但它的触发还需要动力抬升、水汽供应、温度等条件。由于 MM5 模式模拟降水效果较好,且输出资料的分辨率更高,因此可采用模式输出资料和 NCEP 资料相结合进行物理量诊断。

4.1 动力条件

此次强降雪发生在较显著的动力条件下。在垂 直速度场上,从 13 日 08 时开始,西北地区东部及内 蒙古西部出现明显上升运动,此后上升区逐渐东扩 加强,到了 14 日 08 时,上升运动大值中心位于华 北,图 3a 为沿北京站所在纬度(39.8°N)的垂直速度 纬向一垂直剖面图,在 114°~118°E 的强降雪区上 空,从低层到高层,垂直速度均为正,部分地区最大 上升速度超过 0.15 ms⁻¹,气流上升运动强烈。

在散度场上,13 日 08 时,西北地区东部和内蒙 古西部中低层散度值均为负,但数值不大,这些地区 中低层辐合,此后,散度负值区系统东移,数值加大, 到了 13 日 20 时,散度负值区东移至华北地区中西 部,西北地区东部、华北西部降雪随后发生,此后,华 北和内蒙古中部的中低层出现明显辐合,降雪全面 发生,华北中低层较强的辐合运动一直持续到 14 日 20 时,尤其在 14 日 14 时,华北地区 700 hPa 上存 在一个明显的东北一西南走向的散度负值带(图 3b),辐合中心位于北京,最大值达到-5×10⁻⁵ s⁻¹,14 时前后也是降雪最集中时段,到了 14 日夜间,华北



图 3 MM5 输出的 2010 年 3 月 14 日 08 时沿 39.8°N 的垂直速度纬向—垂直剖面 (a)(单位:10⁻² m/s)及 NCEP 资料计算出的 14 日 14 时 700 hPa 散度(b)(单位:10⁻⁵ s⁻¹)、700 hPa 涡度(c)(单位:10⁻⁵ s⁻¹)、14 日 08 时螺旋度沿 39.8°N 纬向垂直剖面(d)(单位:10⁻⁵ Pa·s⁻²)

地区中低层转为辐散区,降雪随之停止。散度场的演 变与降雪随时间的变化步调一致,表明中低层气流 的辐合是导致此次降雪发生的动力因子之一。

涡度的分布和演变也与此次降雪配合较好,13 日 08 时,西北地区东部处于正涡度中心,华北仍为 负涡度,随着系统东移发展,正涡度区东移,且强度 逐渐加大,如在 700 hPa 涡度场上(图 3c),内蒙古 东部到华北形成一条明显的东北一西南向正涡度 带,其走向与槽线一致,正涡度中心位于华北中部, 中心最大值为 10×10⁻⁵ s⁻¹,在整个低槽前部,垂直正 涡度一直较强,且正涡度的空间分布与强降雪落区 基本一致。随着系统进一步东移,正涡度中心区东移 至东北地区,华北降雪逐渐减弱停止,东北降雪逐渐 加大,在辽宁降雪最强时段,该地区同样处于 700 hPa 负散度及正涡度中心,辐合上升运动非常显著。

垂直速度、散度、涡度等物理量的分布表明,降 雪大值区与负散度、正涡度和垂直上升运动大值区 配合很好,且步调一致。

螺旋度是将风矢量和涡度有效地结合起来的物 理量,常用于诊断强降水的有旋系统⁶⁶,其大小反映 了旋转及沿旋转方向运动的强弱程度。螺旋度可定 义为

$$\mathbf{H} = \mathbf{V} \cdot (\nabla \times \mathbf{V}) = \mathbf{u} \zeta_{i} + \mathbf{v} \zeta_{j} + \mathbf{w} \zeta_{k}, \qquad (1)$$

其中 H 为螺旋度, V 为速度, u、v、w 分别为纬 向、经向及垂直速度分量, ζ₁、ζ₁、ζ₁、ζ_k 依次为 x、y、z 方向 涡度分量。式中右端三项分别为 h_x、h_y、h_z, 对应 x、y、 z 方向的风速与涡度的合成, 研究表明, 第一项与强 降水无明显对应关系, 第二项强度弱, 第三项对强降 水有较好指示意义^[14-15], 因此文中只分析该项螺旋 度作用(计算时采用 p 坐标系, w 的单位为 Pas⁻¹, 负 值表示上升运动)。

由 3 月 14 日 08 时沿北京站的螺旋度纬向一垂 直剖面(图 3d)可见,108°~118°E 上空 400 hPa 以下 有显著的负螺旋度区,以上基本是正值区,负值区跨 越了约10个经度范围的降雪区上空,两个大值位于 112°~117°E 附近强降雪区,垂直方向上正值中心出 现在 850~500 hPa,达到 4×10-5 Pa·s-2,正值中心位 于 300 hPa 附近,超过 3×10-5 Pa·s-2。在强降雪区上 空的对流层中下层和上层螺旋度均呈"下负上正"的 垂直结构,反映了整层上升运动 w<0, U_{ζ_k} 下正上 负,故 $h_{r}=w\zeta_{k}$ 下负上正,再根据大气抽吸效应,说明 这次强降雪发生在中下层正涡度辐合、高层负涡度 辐散的强上升旋转气流区中。沿北京站螺旋度特征 和降雪量的演变来看,13日20时,螺旋度"下负上 正"的结构开始建立,14日02时,螺旋度负值区及 正值区均向上扩展,中心值增大,14日08—14时, 继续伸展,对应的北京站 6 h 降雪达 6 mm,北京中 北部地区超过10 mm,此后这种螺旋度结构特征趋 于不明显,北京降雪显著减弱。此次降雪过程中,强 降雪区上空螺旋度中低层为负中心,高层为正中心, 螺旋度负的大值区对应着降雪中心,两者之间配合 较好。

4.2 水汽条件

强降水发生还需要充足的水汽条件。以北京站 为例,温度露点差实况显示,13 日从地面到 700 hPa,温度露点差均在 8 ℃以上,地面则超过 12 ℃以 上,说明整层湿度不大,到了 13 日夜间,温度露点差 迅速减小,14 日 08 时基本在 1~3 ℃之间,相对湿度 也达到高值,强降雪也随之发生,14 日 20 时,随着 中低层露点温度差加大,相对湿度减小,北京降雪也



图 4 北京站(116.47°E、39.8°N)上空相对湿度时间—高度剖面(a, 阴影区≥60%, 横坐标为世界时)及 MM5 输出的 3 月 14 日 08 时 700 hPa 水汽通量散度(b, 单位: 10⁻⁷ g·s⁻¹·cm⁻²·hPa⁻¹; 阴影区为负值区)

沙漠与绿洲气象 Desert and Oasis Meteorology

第7卷 第2期 2013年4月

结束。这一特征在华北地区的相对湿度垂直剖面上 有进一步反映,仍以北京站为例(图 4a),13 日 20 时 之前,700~300 hPa 及低层相对湿度基本在 50%以 下,到了 14 日 02 时相对湿度迅速增大,且湿层深 厚,08—14 时 200 hPa 以下整层相对湿度达 80%, 14 日 20 时之后,北京上空整层相对湿度迅速减小。 上述特征在北京站探空曲线上也有表现。13 日 20 时,北京站整层相对湿度均不大,到了 14 日 08 时 (图 5a),湿度明显加大,且湿层非常厚,一直向上伸 展到 300 hPa 以上,强降雪开始,到了 14 日 20 时该 深厚湿层消失。

相对湿度仅能表示现存水汽含量大小,但大气 柱现存水汽通常还不足以形成强降雪,还需源源不 断的水汽供应,水汽通量散度很好地反映了水汽输 送特征,14 日 08 时(图 4b),700 hPa 上华北水汽通 量散度几乎全为负,极值中心位于华北中北部和内 蒙古中部一带,水汽辐合明显,水汽持续向这些地区 输送,强降雪发生。

4.3 降雪连续性及锋生条件

关于降雪的连续性(稳定性)问题也是预报的重 点之一。阵雪一般发生在对流不稳定条件下,暖区 (低层暖脊)降雪一般为阵雪;持续性降雪一般是热 力稳定的或条件性不稳定的,与回流相关的降雪一 般是稳定性的。从探空曲线(图 5a)可以发现在中低 层有一定的逆温,且大气没有不稳定能量,大气热力 稳定,从地面及 850 hPa 天气图上可看到低层有明 显的东风回流,表明此次降雪属于稳定性的连续降 水。

锋区的发展和维持对于强降雪有重要影响,为

此需引入是表征锋区发展的物理量一锋生函数。按照 Ogrua 和 Portis 的方案^[16],锋生函数计算公式为:

$$\mathbf{F}_{g} = \frac{\mathbf{d} \left[\nabla \theta_{se} \right]}{\mathbf{d}t} = \frac{\left[\nabla \theta_{se} \right]}{2} \cdot (\mathbf{A}^{2} + \mathbf{B}^{2})^{1/2} \cos 2\beta - \frac{\left[\nabla \theta_{se} \right]}{2}$$
$$\cdot \mathbf{D} - \frac{1}{\left[\nabla \theta_{se} \right]} \cdot \left(\frac{\partial \theta_{se}}{\partial \mathbf{x}} - \frac{\partial \theta_{se}}{\partial \mathbf{p}} - \frac{\partial \omega}{\partial \mathbf{x}} + \frac{\partial \theta_{se}}{\partial \mathbf{y}} - \frac{\partial \theta_{se}}{\partial \mathbf{p}} - \frac{\partial \omega}{\partial \mathbf{y}} \right)_{\circ}$$
(2)

其中 $A=\partial u/\partial x - \partial v/\partial y$ 、 $B=\partial u/\partial y - \partial v/\partial x$ 分别为伸长 变形和切变变形, β 为变形向量伸长轴至 θ_{se} 线的交 角,D 为散度。(2)式中右侧三项分别为变形项、散度 项和倾斜项。倾斜项与垂直速度的导数有关,不易算 准,且量级相对较小,故本文不讨论此项,仅讨论前 两项。

从3月14日02时地面锋生函数的变形项与散 度项之和的分布(图5b)来看,华北基本处于正值 区,东北中西部及黄淮地区处于负值区,大值区呈东 北一西南走向,华北地区锋生非常明显,京津、河北 中部及山西南部等地锋生函数至可达4×10⁻¹⁰ km⁻¹· s⁻¹,走向与低槽及气旋冷锋非常吻合,且大值区与图 1所示的强降雪位置基本吻合。此外,从14日02时 沿117.46°E的锋生函数经向一垂直剖面来看,自下 而上向北倾斜,说明 θ_s。线有变密趋势;考虑到 θ_s 和 风场分布,可知锋区南侧偏南暖湿气流将 θ_s 高值向 上输送,北侧则相反,从而导致 θ_s 水平梯度不断加 大,有利于锋生,从而为强降雪进一步提供了能量条 件。

4.4 温度条件

降水性质是此次降雪过程预报的难点和重点, 温度条件对于冬季降水相态至关重要。850 hPa 气 温常被用来作为降水性质预报的指标,地面气温也



图 5 3月14日08时北京站探空曲线(a)及02时地面锋生函数(b),变形项与散度项之和 (单位:10⁻¹⁰ km⁻¹s⁻¹)

可作为有效指标。从北京站各层温度变化(表1)来 看,3月13日20时和14日08时850hPa气温是 分别为-5℃和-4℃,从温度指标来看,这是雨夹雪 和雪的有利温度条件,且纯雪可能性较大,但地面气 温在13日20时上升到4℃,对降雪不利,这为降水 性质预报带来难度,也是实际业务中降雪量级预报 偏小的主要原因之一。传统的降水性质业务预报主 要考虑850hPa和地面温度存在不足之处,应注 意温度的变化和垂直分布,例如,即使地面温度相 对较高,如递减率较大,则高于0℃的暖层厚度 较薄,将不足以融化降落的冰晶,还是会以降雪的 形式表现。

表1 北京站(54511)温度条件

								模式预	模式预
时间		700 hPa	850 hPa	925 hPa	surface	报的	报的		
						850 hPa	2 m 温度		
13	日	08	时	-7	-7	-5	0	-6	0
13	日	20	时	-1	-5	0	4	-3	2
14	日	08	时	-2	-4	-4	1	-2	-1
14	日	20	时	-6	0	4	1	2	1

MM5 模式基本上预报出温度的变化趋势,但与 实况稍有偏差,13 日 20 时和 14 日 08 时 850 hPa 温度是分别为-3 ℃和-2 ℃,均比实况略偏高,是出 现雨夹雪的有利温度条件,而 2 m 温度是分别为 2 ℃和-1 ℃,均比实况略偏低,是出现降雪的有利温 度条件,这造成了对降水性质预报难以把握。因此, 冬季降水相态的预报需加强研究。

5 小结

本文采用 MM5 对 2010 年 3 月 14 日强降雪过 程进行了较成功的数值模拟,并从环流背景、影响系 统、物理量分布和演变等方面进行了成因分析,得到 了一些结果。

(1)此次华北降雪在中、低层主要受 500 hPa 高 空槽及 850~700 hPa 低涡的共同影响,蒙古气旋东 移、地面倒槽发展及东风回流构成了有利的地面天 气形势,中低层强势的西南暖湿气流及稳定的环渤 海高压也发挥了重要作用。

(2)降雪大值区与正涡度、负散度及垂直上升运动大值区配合很好,且步调一致,强降雪区出现了强辐合上升运动,降水区上空螺旋度呈"下负上正"的

垂直结构,螺旋度大值区对应强降水中心;锋生条件则为降雪的形成和维持进一步提供了能量。

(3)强降雪区整层相对湿度较大,且有充足的水 汽供应;850 hPa 气温较低构成了此次降雪的有利 温度条件。

(4)大气层结稳定性较好,且低层有东风回流配 合,此次降雪为稳定性连续降水。

此外,冬季降水性质的预报尤其重要,将在后面 的工作中加强研究和分析。

参考文献:

- [1] 王正旺,苗爱梅,庞转棠,等.山西中南部区域性暴雪天气 诊断分析[J].高原气象,2010,29(2):531-538.
- [2] 赵斌,赵萃萍,闫巨盛,等.河北两次大(暴)雪过程对比分 析[J].气象科技,2010,38(3):281-288.
- [3] 贾宏元,赵光平,沈跃琴,等.宁夏初冬一次大暴雪天气过 程成因分析[J].沙漠与绿洲气象,2007,1(4):17-21.
- [4] 张迎新,张守保.华北平原回流天气的结构特征[J].南京 气象学院学报,2006,29(1):107-113.
- [5] 任丽, 新玲玲, 张桂华, 等. 黑龙江省 2009 年 3 次暴雪过 程的螺旋度分布特征分析 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5
 (3): 21-24.
- [6] 张连霞,石磊,刘艳丽,等.2009 年初冬河套地区暴雪天 气过程诊断分析[J].沙漠与绿洲气象,2011,5(1):18-20.
- [7] 李晓霞,王小勇,祖永安,等.兰州市冬季天气气候变化及 降雪形势分析[J].干旱气象,2004,22(1):30-33.
- [8] 盛春岩,杨晓霞.一次罕见的山东暴雪天气的对称不稳定 分析[J].气象,2002,28(3):33-37.
- [9] 东高红,张志茹,李胜山,等.一次大雪天气过程的多普勒 雷达特征分析[J].气象,2007,33(7):77-81.
- [10] 秦华锋,金荣花."0703"东北暴雪成因的数值模拟研究 [J].气象,2008,34(4):30-38.
- [11] 陶健红,张新荣,张铁军,等.WRF 模式对一次河西暴雪 的数值模拟分析[J].高原气象,2008,27(1):68-75.
- [12] 苗春生,谢洁,王坚红,等.一次山东半岛强冷流暴雪过
 程的数值模拟和诊断分析 [J]. 大气科学学报,2010,33
 (3):257-265.
- [13] 白人海,张志秀,高煜中.东北区域暴雪天气分析及数值 模拟[J].气象,2008,34(4):22-29.
- [14] 杨越奎,吴宝俊,沈文海,等."91·7"梅雨锋暴雨的螺旋 度分析[J].气象学报,1994,52(3):379-384.
- [15] 张恒德,宗志平,张友妹.2005年7月一次大暴雨过程的模拟和诊断分析[J].大气科学学报,2011,34(1):85-92.
- [16] 丁一汇.高等天气学[M].北京:气象出版社,2005:117-123.

沙漠与绿洲气象 Desert and Oasis Meteorology

Numerical Simulation and Feature Analysis of the Heavy Snowfall Event of 14 March 2010 over North China

ZHANG Hengde¹, ZONG Zhiping¹, AN Xinyu²

(1.National Meteorological Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 2.Chifeng Meteorological Bureau, Chifeng 024000, China)

Abstract This paper simulated and investigated a heavy snowfall event over North China on 14 March, 2010. The results showed that the heavy rainfall process was well simulated by the meso-scale numerical model MM5. Vortex and trough at mid-low-level had main effect on the snowfall. Mongolia cyclone moving eastward and intensifying, reversed trough developing, and east backflow formation in surface layer are propitious to the heavy snowfall. The northwest vortex, strong southwest warm moist stream and stable high around Bohai Sea played key roles on the snowfall. According to the change of vertical velocity, divergence, vorticity, helicity and frontogenetic function, it was obviously found that the air in heavy snowfall area.converged and ascended .The vertical profile of helicity over heavy snowfall area showed the opposite pattern with negative in the low-middle-level and positive in upper-level in troposphere, and the large negative helicity area corresponded to the center of snowstorm. Moreover, the front generating condition provided energy for snowfall forming and maintaining. Distribution of relative humidity and moisture flux divergence showed that there was high relative humidity and the strong moisture convergence over the heavy snowfall area and water vapor supporting was enough.

Key words heavy snowfall; southwest stream; numerical simulation; backflow; helicity