桃仙机场超强暴雪天气分析

朱凯全[1]　王天奎[1]　陶祖钰[2]

(1.民航东北空管局气象中心，辽宁 沈阳 110043；

2.北京大学物理学院，北京 100871)

提　要：利用常规气象资料、数值预报资料，从天气形势、物理量场演变特征分析 2007 年 3 月 4 日发生在整个沈阳地区的暴雪天气过程的成因。结果表明：这次强降雪天气过程是由于蒙古高空锋区与东移加深的黄河气旋共同作用的结果，上冷下暖的热力结构有利于中尺度不稳定能量的释放，冬季暴雪的对流不稳定程度较夏季弱，水汽主要集中在对流层中下层。

关键词： 数值预报 要素 暴雪

1　引　言

近年，多变的天气状况引发了大量的气象灾害性，这不仅给人类的生产造成了极大的损失，而且给人类的生活带来了诸多不便。像暴雪这类灾害性天气一般由生命史短、突发性强、天气变化剧烈等特点的中尺度系统所造成[1]。因此准确预报中尺度灾害性天气的发生，对于满足经济建设、减轻自然灾害的破坏具有现实意义和应用前景。

由中尺度天气系统形成的灾害是不胜枚举的。长期以来，监测、预报和研究中尺度天气系统是气象工作者的重要任务。当前，社会和经济的发展对大气科学提出了更高和更迫切的要求，在过去 30 年中，科学技术的迅猛发展，尤其是气象卫星、电子计算机以及大气遥感技术的兴起，使大气科学研究朝着时间和空间尺度的两个方向发展，即系统研究世界范围的气候异常，了解气候异常的变化规律和形成机制，并预测气候变化的中、长期趋势是大气科学研究的一个前沿课题。另一方面，中尺度气象学的研究已经引起人们的高度重视。目前大范围的天气预报，尤其是气压形势预报已取得显著成绩，但对空间尺度为 2-2000km 的中尺度天气系统及其所造成的强烈天气的预报依然是大气科学中的难题[2]。

而 2007 年 3 月 4 日发生在东北南部地区的特大暴风雪正是这种中尺度天气系统造成的结果。

2 天气概述

受贝加尔湖强冷空气和江淮气旋北上的共同影响，2007 年 3 月 3~5 日辽宁省出现了 56 年一遇的特大暴雪。最大降水量出现在东港，达到 106mm，丹东、鞍山、本溪、辽阳、大连均超过 50mm，沈阳市区降水量为 49mm。各地积雪深度均达到 20cm 以上，部分地区超过 30cm；陆地和各海区出现了平均风力 7～8 级的偏北大风；各地气温明显下降，东部、南部降温幅度达到 10-15℃。沈阳桃仙国际机场(以下简称桃仙机场)降雪从 3 月 4 日凌晨 3 时 40 分一直持续到 5 日早上 5 时 10 分止，累计降水量 15.6mm，积雪深度 22cm，能见度受到降雪影响一度从 4 日 7 时 30 分的 700m 降到 11 时的 200m，维持到 4 日 20 时才达到 1000m 低能见度持续时间超过 12 个小时，当天平均风速为 $14m \cdot s^{-1}$，最大风速达 $25m \cdot s^{-1}$（见图 1、2），东北地区的长春和丹东甚至出现了雷暴。这次暴雪造成辽宁省 11 条高速公路全线封闭、沿海所有客、货运船舶全部停航。受到积雪、低能见度和大风的影响，桃仙机场从 3 月 4

作者简介：朱凯全，男，1973 年生，工程师，主要从事民航气象保障及科研工作，E-mail:zkxjxy89303@163.com　　电话：　024-89392278　13898190773

日 08 时起连续关闭 48 小时，是沈阳桃仙机场于 1989 年开航以来，由于天气原因关闭机场时间最长的一次，受影响航班达 300 多架次,滞留旅客近万人。这次特大暴雪不仅造成了严重的经济损失，而且给人们的生活带来了巨大影响。

格式化: 縮排: 第一行: 0 字元

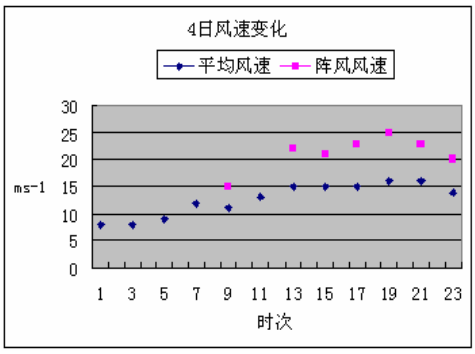


图 1　3 月 4 日风速变化

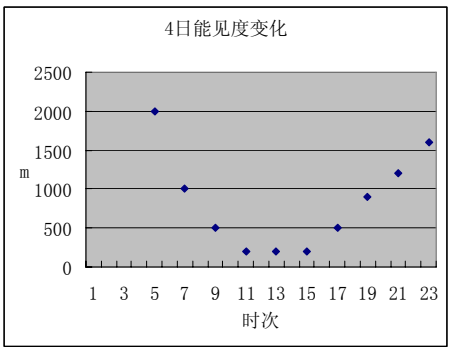
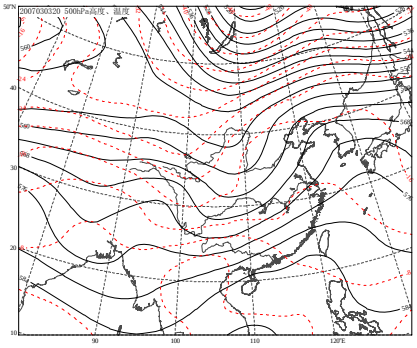


图 2　3 月 4 日能见度变化

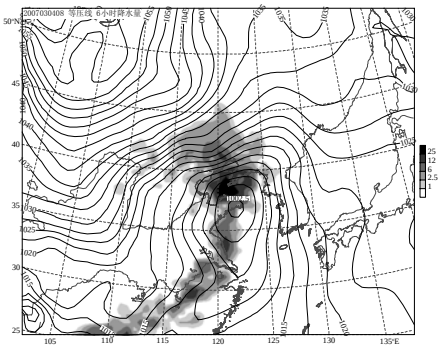
3　环流背景和主要影响系统

造成强降水的中-α 尺度系统都是在一定的天气尺度背景下产生的[3]。从 3 日 20 时 500hPa 形势分析来看，产生此次罕见暴雪天气过程的系统，主要是由位于贝加尔湖东部至蒙古国中部的北支槽和位于我国河套地区的南支槽共同影响。500hPa 的北半球中高纬度基本为纬向环流，在纬向基本环流中不断有小槽携带冷空气东移，冷空气主体则在贝加尔湖至蒙古国中西部地区堆积，3 日 20 时北支槽后△T_{24} 为－9℃，较强的冷平流使温度梯度加大，一条东北西南向的锋区在槽前形成。4 日 08 时该锋区东移南压至 43° N 附近。同时，南支槽波动也较活跃，地面形成了明显的黄河气旋，这主要是因为南支槽前的偏南暖湿气流造成了黄河气旋的发生。从 3 日午夜开始，南北槽在东移过程中位相叠加，叠加使黄河气旋北上并强烈发展，槽脊振幅加大，高空槽得以加深发展，北支槽引导的冷空气与南支槽前输送的暖湿空气在 45° N，115° E 附近交汇，为暴雪的发生提供了有利的环流条件。同时，黄河气旋迅速东移入渤海加深，为长时间维持降雪补充了大量的水汽。从 4 日 08 时 500hPa 涡度变化来看，涡度加深但是涡度平流散乱，使得系统维持却少动，提供了长时间降雪的必要条件。从降雪开始，桃仙机场本场气压在 15 个小时内降了 12hPa，相对湿度 2 个小时由 68% 陡升 25 个百分点达到 93%。



实线为等高线　虚线为等温线

图 3　3 月 3 日 20 时 500hPa 形势



实线为等压线 阴影为 6 小时降水量

图 4　3 月 4 日 08 时地面形势

4　降雪的物理条件分析

4.1 水汽条件

4．1．1 比湿

水汽是形成降水的一个必要条件，特别是大到暴雨的形成不仅需要大气中含有大量水汽，还需要源源不断的水汽输送。比湿场直接表示湿空气中所夹带水汽的多少,水汽通量可以反映出水汽输送情况或水汽来源，水汽通量散度则反映水汽向降水区内集中的强度[4]。通过分析 3 月 3 日 20-4 日 08 时各层比湿 (图略)发现：等比湿线高值区从低层一直延伸到 500hPa 高度，暴雪区南侧有明显的湿度脊，湿区自南向北推进，水汽大值区在中低层，水汽随高度降低迅速增加，而垂直速度的大值区也正处于长春以南的东北南部地区，使这次暴雪具备了充沛的水汽条件的同时，也具备了很强的上升条件，这不仅使得降水变强，也是部分地区产生雷暴的诱因。

4．1．2 相对湿度

从 3 日 20 时的相对湿度(如图 5),可以明显看出,在整个华中,华北以及内蒙的东南方向水汽饱和程度比率相当高，说明雨区覆盖范围很大，同时在 850hPa 也存在一个贯穿东北以及华北大范围地区的湿舌。而且湿舌是自西南向东北移动，降雪最强时转为南北向，之后东移。最大降雪区与湿舌前部等值线最密集区相对应。降雪区上空水汽充足，且主要集中在 500hPa 以下低空。降雪结束时，湿舌东移入日本海。

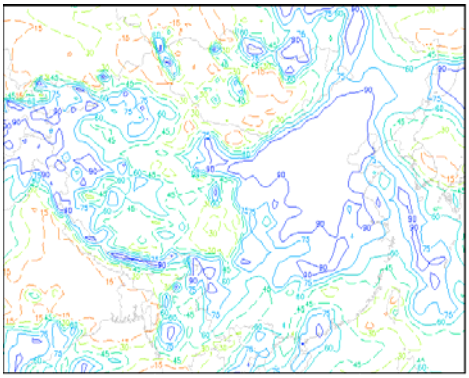


图 3　3 日 20 时 700hPa 相对湿度

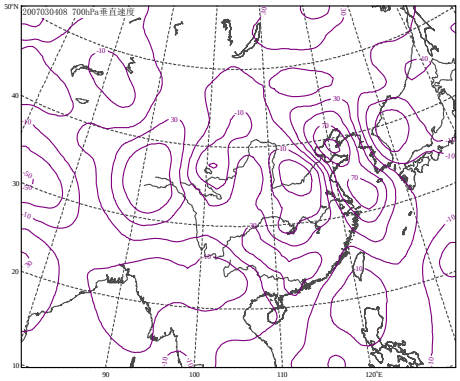
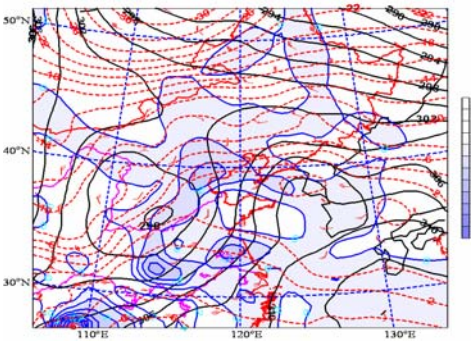
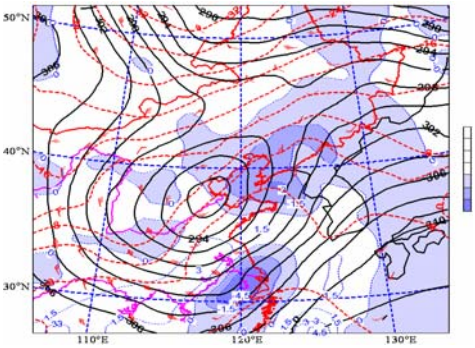


图 4　4 日 08 时 700hPa 垂直速度（m/s）

4．1．3 水汽通量散度

从 3 日 20 时到 4 日 08 时间隔 12 小时的 700hPa（图 5、6）及以下各层次的水汽通量散度场（图略）可见，暴雪产生在水汽通量辐合区内，当时的辐合区正集中在辽宁西部及西南部地区，并且辐合区在 12 小时以内范围明显变大,强度加深。与各个时次的瞬时水汽通量散度对照来看，暴雪中心并不与水汽通量散度辐合中心重合，而是在水汽通量散度等值线密集带上。





实线为等高线，虚线为等温线

阴影区为水汽通量散度/g.s^{-1}.hPa.cm^{2}

图 5　3 日 20 时 700hPa 形势

实线为等高线，虚线为等温线

阴影区为水汽通量散度/ g.s^{-1}.hPa.cm^{2}

图 6 4 日 08 时 700hPa 形势

4.2 涡度场

本次过程高层和低层配置相似，斜压性明显，这一点可以从各个层次的温度场和锋区看出来。从 3 日 20 时到 4 日 08 时 12 小时间隔的 500hPa 涡度图（图略）上可以看出正涡度区自西南向东北方向移动，且正涡度中心叠加在中尺度切变线上，利于中-α 尺度气旋和切变线的发展[5]，对暴雪的加强作用明显。暴雪最强时，正涡度值最大。且降雪最强时段，由地面至 5600hpa 存在一涡度柱，这一正涡度柱与地面斜交，最强正涡度位于 700hpa，正涡度范围很大，周围皆为负涡度区，显示此次过程是一个由中高纬西风带脱离出来的完整系统，从另一个侧面表明这次降雪不具有锋面降水的特点，而是气团内部降水。

4.3 对流性不稳定参数分析

不稳定层结是为对流发展提供位能转化为动能的基本条件。在位势不稳定区孕育的中尺度系统，一旦得到中高层大尺度上升运动的配合，就会立即变为深厚的对流运动而形成强对流天气。沿降水最强的鞍山，沈阳，丹东作高度等值线垂直剖面图，可以看到 850hPa 以下上凸，且 $\partial\theta_e/\partial p$ ＞0，表明这里是对流不稳定区，在这里只要有天气尺度或中尺度上升运动的存在，就可触发对流不稳定，产生对流上升运动，但抬升凝结高度较低，到 4 日 20 时，降至 900hPa，且明显东移。而 850hPa 以上的高层则转为稳定层，湿空气在稳定层中上升时绝热冷却，上升运动受到抑制，直到停止。这与夏季产生暴雨的强对流上升运动有所不同，因为夏季产生暴雨的多为发展旺盛的积雨云，其高度可达 8000 米以上，但冬季在下沉气流占主导之时，多为 1000 米以下的层云降雪，所以虽然对流不及夏季旺盛，但仍能达到 1500 米。

当气层中的 θe 随高度降低，则该气层空气上升到凝结高度以上时，温度的垂直递减率大于湿绝热递减率，此时为对流不稳定，可能发生较强的对流而形强烈天气状况。如果 θe= θe700- θe 850<0（如图），则表示本场上空位势不稳定。通过对 3 日 20 时的 θe 分析，可以清晰的看到，在强暴雪到来之前，沈阳上空明显处于负值区，此时本场上空处于对流不稳定状态。已经具备了产生暴雪的有利条件。

相当位温 θe 是代表大气中温、压、湿的综合特征值。 θse 的分布反映了能量的分布，当低层的图中 θe 水平梯度足够大时，说明有强的水平能量锋区存在，有利于强对流天气的发生和发展。通过计算∑ θe = θe 500+ θe 700+ θe 850 表明：∑ θe 是三层之和，它的分布反映了 500～850hpa 总能量的分布，等值线密集区为能量锋区，而对流天气易发生在能量锋区的南缘或靠近能量锋区处。当天东北地区南部的大范围暴风雪正说明了这一点。

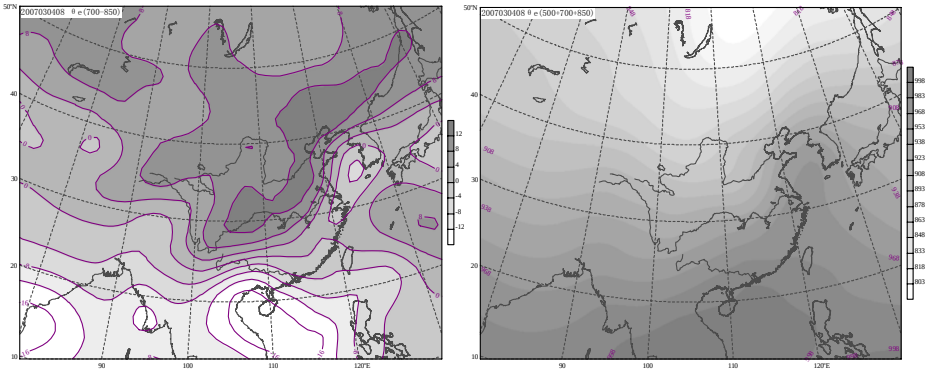


图 7　4 日 08 时 θe（700-850）　　图 8　4 日 08 时∑θe（500+700+850）

5　结语

通过上述分析,对于本次降雪可以得出以下几点结论：

1　北支槽和南方气旋共同作用东北区暴雪的有利大尺度环境背景场。

2　上冷下暖的热力结构利于中尺度不稳定能量的聚集。

3　东北区暴雪的对流不稳定一般产生在 900-800hpa 的高度，低于夏季暴雨的对流不稳定高度，说明冬季暴雪的对流不稳定程度较夏季弱。对流对降雪的贡献不大，这次暴雪主要是因为大尺度动力强迫造成的系统性强上升运动造成的。

4　产生东北区暴雪的水汽集中在对流层中下层，水汽源地是南面的渤海，而更主要的水汽则是源于长江以南。

5　充分的水汽条件和上升运动以及气旋的强烈发展导致的充分降水条件是本次暴风雪的形成的根本原因

参考文献

[1]　陆汉城，漾国祥，中尺度天气原理和预报．北京：气象出版社，2004.

[2]　赵思雄，贝耐芳，孙建华，陈红，张凤，Lixin Qi，B. Archevarahuprok，Ghulam Rasul，亚澳地区暴雨灾害天气系统研究．北京：气象出版社， 2001.

[3]　施望芝等．湖北一次冰雹天气过程的落区诊断分析和预报．热带气象学报，2004，4.

[4]　张建海，诸晓明，数值预报产品和客观预报方法预报能力检验．气象，2006，2.

[5]　孙建华，赵思雄，引发暴雨的中尺度对流系统的数值模拟研究．大气科学，2002.