

# 中低层切变线引起的持续性降雪天气分析

方纯纯, 王阳洋

民航东北地区空中交通管理局, 辽宁 沈阳  
Email: 304385543@qq.com

收稿日期: 2020年9月6日; 录用日期: 2020年9月21日; 发布日期: 2020年9月28日

## 摘要

本文利用NCEP再分析数据对一次降雪过程进行诊断分析, 得出高层主要影响系统为低涡, 中低层影响系统为切变线; 此外, 中低层切变线的存在和维持是降雪持续时间较长的主要原因, 切变线维持的主要原因是中层冷空气的补充渗透; 此次天气过程伴随南支槽和副热带高压的活动, 南支槽前部的西南气流和副热带高压西侧的西南气流为降水形成输送了大量暖湿空气, 是降水形成的主要水汽来源; 中低层比湿对降雪强度的预报有很好的指示作用, 而低层相对湿度大值区的分布对降雪起止时间的预报有很好指示意义; 建议预报员服务保障过程中采取持续跟进、递进补给的服务方式, 在发布各类预报预警信息时可以根据提前量逐步细化预报结论, 做到先提醒、再预警。

## 关键词

低涡, 切变线, 比湿, 递进补给

# Analysis of Continuous Snowfall Caused by Shear Line in Middle and Low Layer

Chunchun Fang, Yangyang Wang

Meteorological Center of Air Traffic Control Center of Northeast Regional Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation of China, Shenyang Liaoning  
Email: 304385543@qq.com

Received: Sep. 6<sup>th</sup>, 2020; accepted: Sep. 21<sup>st</sup>, 2020; published: Sep. 28<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

In this paper, NCEP reanalysis data is used to diagnose a snowfall process, and it is concluded that the main influence system of high level is vortex, and the influence system of middle and low level is shear line; in addition, the existence and maintenance of shear line of middle and low level are the main reason for the long duration of snowfall, and the main reason for the maintenance of

shear line is the supplementary infiltration of cold air in the middle level; this weather process is accompanied by the South Branch trough with the activity of subtropical high, the southwest air flow in the front of the South Branch trough and the southwest air flow in the west of the subtropical high transport a lot of warm and wet air for precipitation formation, which is the main water vapor source of precipitation formation; the specific humidity in the middle and lower layers has a good indication for the prediction of snowfall intensity, and the distribution of the high value area of relative humidity in the lower layers has a good indication for the prediction of the starting and ending time of snowfall; suggestions in the process of service support, the forecaster adopts the service mode of continuous follow-up and progressive supply. When releasing all kinds of forecast and early warning information, the forecaster can gradually refine the forecast conclusion according to the advance amount, so as to remind first and then early warning.

## Keywords

Vortex, Shear Line, Specific Humidity, Progressive Supply

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

雪是影响北方机场冬季航空运行的主要天气现象, 尤其是持续性降雪会导致机场跑道积雪, 跑道摩擦系数降低, 进而使飞机在起飞滑跑或着陆滑跑时冲出跑道, 还会导致空中和地面能见度降低, 进而使能见度或跑道视程不够标准而引起航班返航、备降[1]。

2019年2月19日, 沈阳桃仙机场出现小雪天气, 过程降水量 1.6 mm, 降雪期间最低能见度 1000 米, RVR0800 米, 降雪时间为 02:06~22:11 UTC, 22:53~20 日 00:16 UTC (文中所用时间均为世界时, 下同)。

2月18日班组01时进行天气会商, 分析天气形势和气象要素变化, 得出会商结论, 认为19日02时至10时, 沈阳桃仙机场受东移低涡影响有小雪天气, 降雪期间能见度 1~3 公里, 由于地面温度较高, 雪片落地后会融化, 至降雪结束, 地面会出现小于 1 cm 的积雪。10时, 在实况和数值预报资料更新后, 值班预报员再次组织天气会商, 最新的数值预报资料显示, 低涡系统东移速度减慢, 且系统在东移过程中强度加强, 但湿区移入沈阳的时间没有变化, 所以预报员认为降雪开始时间没有变化, 但 700 hPa 槽线移出沈阳时间向后推迟至 12 时, 所以预报降雪结束时间推迟到 19 日 12 时, 预报员对外发布了机场警报短信和微信。19 日值班预报员在 01 时会商分析后, 预报 03 时~07 时桃仙机场有小雪, 降雪期间能见度 1~3 公里, 07 时天气会商时, 将降雪结束时间推迟至 19 日 12 时, 预报最低能见度 700 米, 预报员在 02:21、06:56、12:30 对外发布机场警报短信和微信。从两个班组的预报与实况对比来看, 18 日和 19 日班组预报的降雪开始时间、降雪强度和降雪量级比较准确, 但两个班组对降雪结束时间把握的都不够准确。在此次降雪天气保障过程中, 预报的降雪结束时间向后推迟了三次, 一方面是对自身预报结论的否定, 另一方面也降低了用户对预报结论使用时的信心指数。分析这次降雪天气过程发生时天气系统的发展演变, 分析物理量配置, 找出降雪长时间维持的主要原因, 为提高降雪天气预报准确率和提升气象服务水平, 持续改进服务质量提供参考。

## 2. 天气形势分析

### 2.1. 高空形势场

2019年2月16日00时500 hPa图上(见图1), 欧亚地区为两槽一脊的环流形势, 贝加尔湖西侧

建立起阻塞高压, 阻塞高压前部存在横槽, 东亚大槽位于日本岛附近, 东北地区受东亚大槽后部西北气流控制, 同时可以看到从印度半岛到孟加拉湾附近存在较深的南支槽, 副热带高压呈带状分布, 588线北界位于 N20°附近, 南支槽前的西南气流与副高外围的西南气流为华南及长江中下游输送了大量的暖湿空气。16日 12时 500 hPa 图上(见图 2), 位于贝加尔湖西侧的阻塞高压形态发生明显变化, 预示阻塞高压的崩溃, 同时在其前部形成切断低压, 低压中心位于外蒙古中部, 东北地区仍为西北气流控制, 南支槽从孟加拉国延伸至孟加拉湾, 同时可以看到西南气流到达了华东地区, 华东大部分地区都是暖平流。

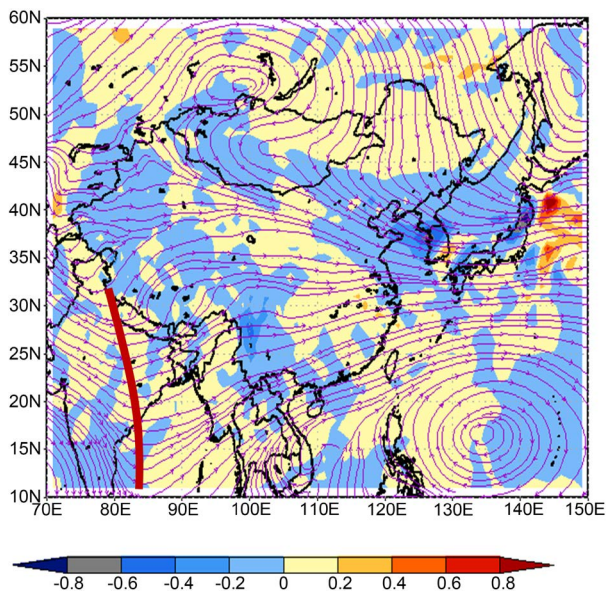


Figure 1. 500 hPa flow field and temperature advection at 00:00 on February 16, 2019  
图 1. 2019 年 2 月 16 日 00 时 500 hPa 流场与温度平流

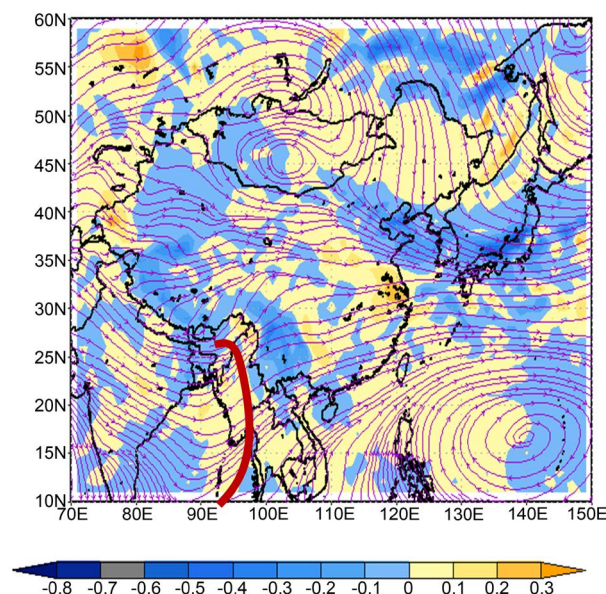


Figure 2. 500 hPa flow field and temperature advection at 12:00 on February 16, 2019  
图 2. 2019 年 2 月 16 日 12 时 500 hPa 流场与温度平流

17日00时, 阻塞高压继续减弱, 从切断低压中心延伸出的槽线呈东西向, 经内蒙古西部延伸至北疆北部。低压系统在东移过程中长轴方向发生改变, 由东西向逐渐转为南北向。17日18时(见图3), 阻塞高压崩溃, 其前部的切断低压发展成低涡系统并东移至外蒙古东南部, 此时南支槽移至泰国境内, 其前部的西南气流已经到达我国辽宁地区北部, 暖平流控制了我国中东部大部分地区。18日18时500 hPa从低涡延伸出来的槽线转为南北向, 伴随冷空气东移南下, 辽宁地区将出现大范围降雪天气。19日00时500 hPa(见图4)东北地区中南部受低涡前部西南气流控制, 低涡中心位于内蒙古中部, 温度场冷中心与高度场低中心基本重合, 冷中心数值为 $-32^{\circ}\text{C}$ , 沈阳受低涡前部西南气流和暖脊控制。此时700 hPa环流形势与500 hPa基本相同, 沈阳受槽前部西南气流控制, 槽后冷中心位于内蒙古中部, 沈阳地区有弱暖平流输送。850 hPa切变线从辽宁西部延伸至华北东部, 沈阳受切变线前部西南气流和暖脊控制。

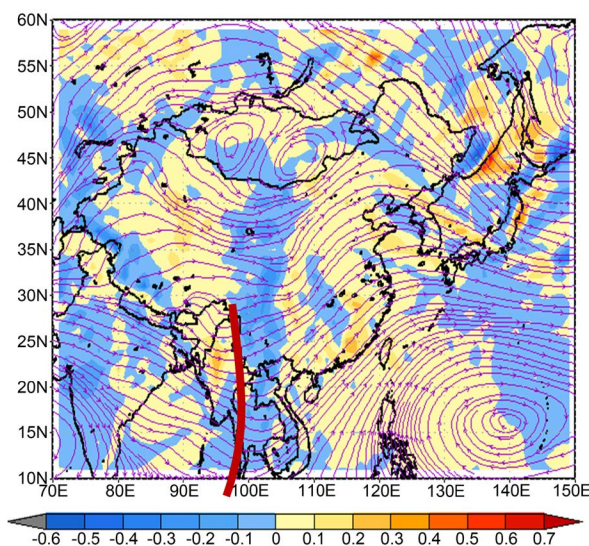


Figure 3. 500 hPa flow field and temperature advection at 18:00 on February 17, 2019  
图3. 2019年2月17日18时500 hPa流场与温度平流

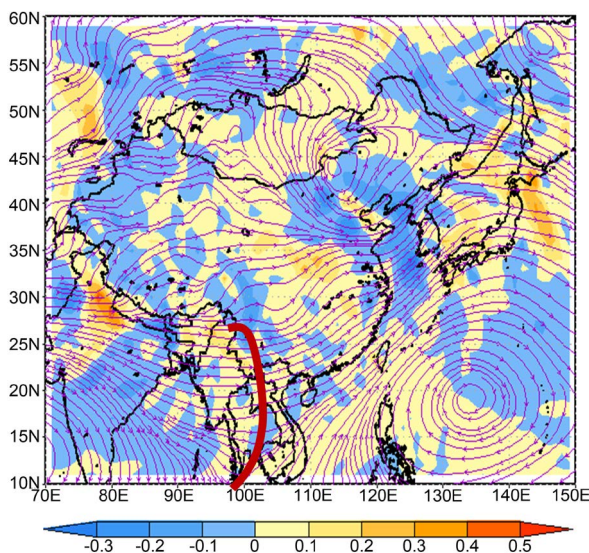


Figure 4. 500 hPa flow field and temperature advection at 00:00 on February 19, 2019  
图4. 2019年2月19日00时500 hPa流场与温度平流

19日06时500 hPa图上(见图5), 低涡位于华北东北部, 槽线从辽宁西部延伸至渤海湾, 温度场冷中心和高度场低中心基本重合。700 hPa(见图6)槽线已经移至辽宁东部丹东一带, 850 hPa风场较弱, 切变线移至朝鲜东北部。以上分析表明, 虽然高层500 hPa系统仍然存在, 但700 hPa和850 hPa系统已经移过沈阳, 说明前一股冷空气已经结束对沈阳地区的影响。

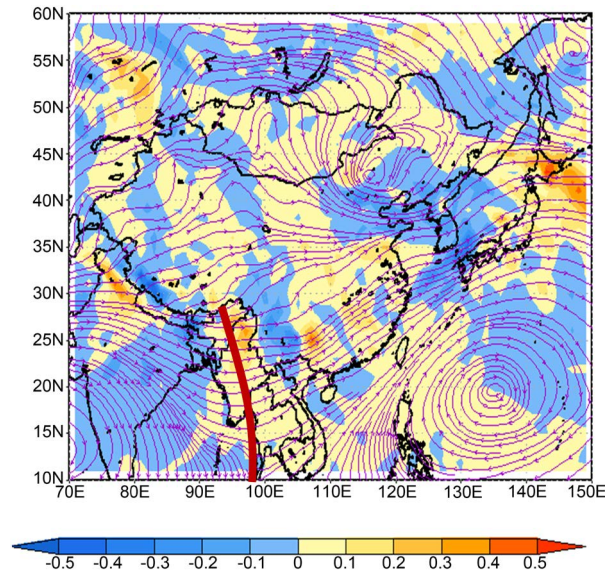


Figure 5. 500 hPa flow field and temperature advection at 06:00 on February 19, 2019

图5. 2019年2月19日06时500 hPa流场与温度平流

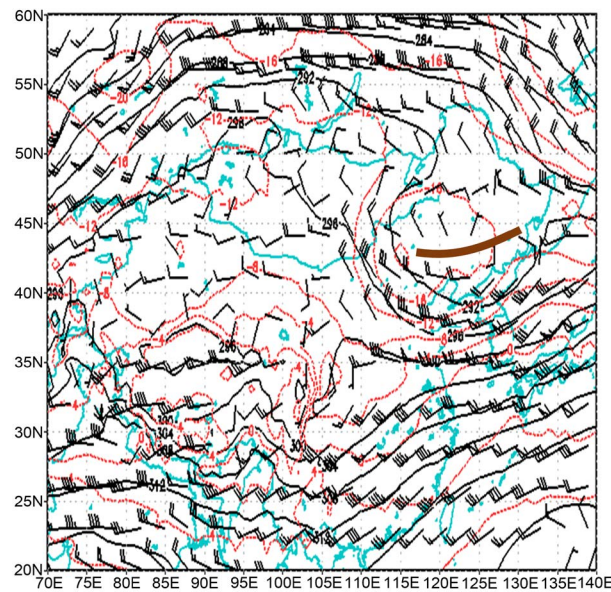


Figure 6. 700 hPa wind field and temperature field at 06:00 on February 19, 2019

图6. 2019年2月19日06时700 hPa风场与温度场

2019年2月19日12时500 hPa图上(见图7), 低涡中心位于华北与辽宁交界处, 沈阳受低涡前部偏西南气流控制, 同时, N37°~N38°之间存在西风急流, 急流中心最大风速为48 m/s, 沈阳位于急流中心左侧。而此时700 hPa图上(见图8), 在吉林与辽宁之间存在一横槽, 与横槽配合有-16°C温度场冷中心存在。850 hPa

图上在吉林与辽宁之间存在一条东西向切变线, 沈阳位于切变线附近。说明又有新的小股冷空气补充南下, 低层的切变线和槽线为降雪提供了辐合上升机制。19日18时500 hPa图上, 低涡位于辽宁中部, 槽线已经压过沈阳, 700 hPa图上, 在辽宁中部与吉林南部存在一条东西向切变线, 有温度场冷中心与切变线配合。850 hPa图上风场较弱, 找不出明显的切变线或辐合线。20日00时500 hPa低涡中心已经移出沈阳, 此时700 hPa和850 hPa切变线有所减弱, 但仍然存在, 说明虽然高层系统已经移出, 但是中低层仍然存在辐合上升成云致雨的机制, 因此降雪仍然没有结束, 直至系统全部移出, 降雪才停止。

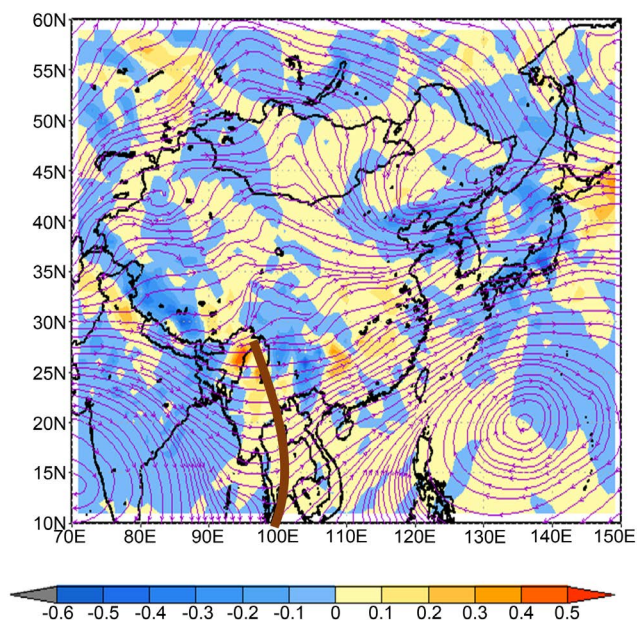


Figure 7. 500 hPa flow field and temperature advection at 12:00 on February 19, 2019

图7. 2019年2月19日12时500 hPa流场与温度平流

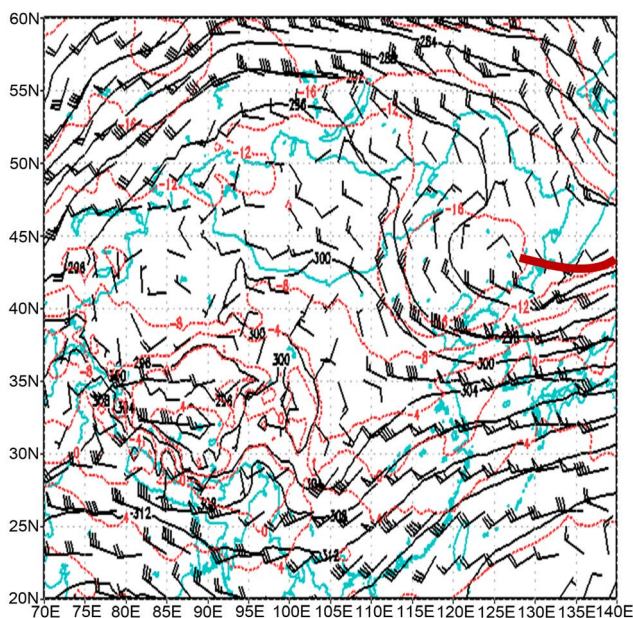


Figure 8. 700 hPa wind field and temperature field at 12:00 on February 19, 2019

图8. 2019年2月19日12时700 hPa风场与温度场

综上所述, 此次天气过程是贝加尔湖西侧阻塞高压前部的切断低压东移发展形成低涡后, 低涡东移影响东北地区所致, 因此可以将低涡称为主要影响系统; 此次天气过程伴随南支槽和副热带高压的活动, 南支槽前部的西南气流和副热带高压西侧的西南气流为降水形成输送了大量的暖湿空气, 是降水得以形成的一个主要原因[2]; 此外, 中低层切变线得以长时间维持的主要原因是冷空气的补充渗透, 中低层切变线的存在和维持是降雪维持时间较长的主要原因, 中低层切变线的维持时间对降雪持续时间有很好的预示作用[3]。

## 2.2. 地面形势场

19日00时地面图上(图略), 蒙古高压位于蒙古和我国中部地区, 高压前部的偏北气流与其前部的西南气流在东北地区西部形成一条明显的地面辐合线。06时, 蒙古高压主体南压, 东北地区西部的辐合线发展为地形槽, 即地面存在上升运动。结合前面的分析可知, 从地面、低层到中层都存在明显的上升运动, 有利于降雪的维持。

## 3. 物理量场分析

### 3.1. 水汽条件分析

从850 hPa比湿分布情况可以看出, 前期东北地区低层大气较干燥, 并不存在比湿大值区, 18日12时, 比湿0线开始由南向北扩展, 覆盖辽宁地区, 比湿最大值出现在19日00时~20日00时之间(见图9, 图10), 数值在2~3 g/kg之间, 根据辽宁省气象台的经验指标, 比湿在4 g/kg以下时, 降雪量为小雪。700 hPa比湿分布与此类似, 辽宁地区比湿在1~2 g/kg之间。

从850 hPa相对湿度变化来看, 19日00时, 相对湿度大值区开始覆盖辽宁地区, 辽宁地区相对湿度达到90%以上, 20日00时, 相对湿度大值区逐渐东移(见图11, 图12), 20日06时, 相对湿度大值区移出沈阳, 位于吉林和辽宁东部山区。相对湿度大值区的移动能很好的反映降水起止时间, 而比湿大小能很好的反映出降水强度。

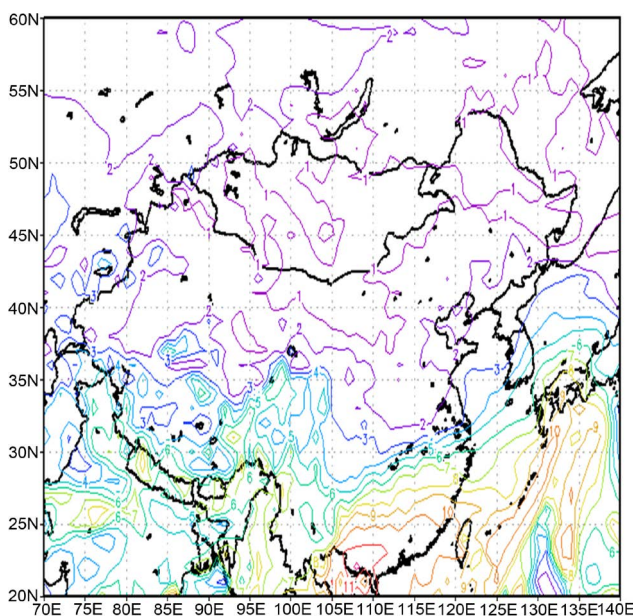
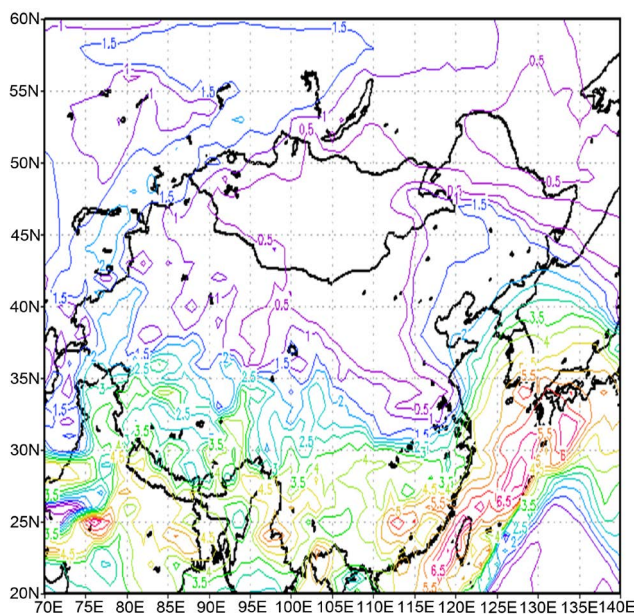


Figure 9. Specific humidity at 850 hPa at 00:00 on February 19, 2019

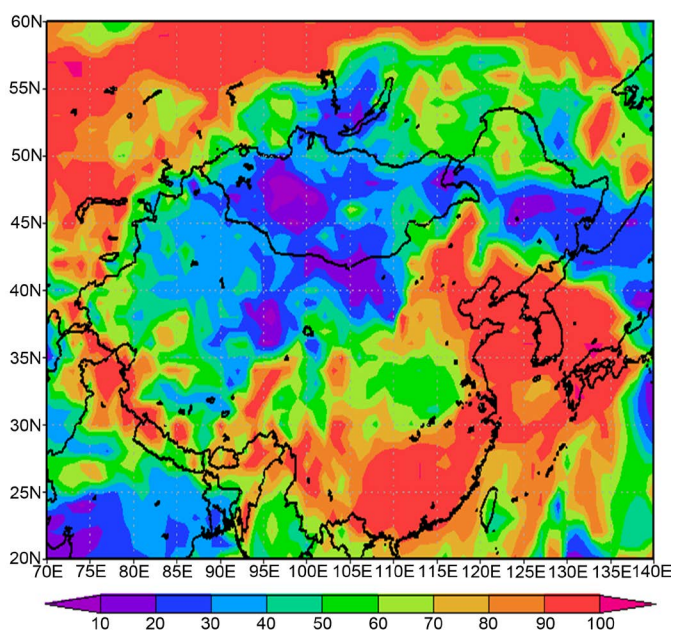
图9. 2019年2月19日00时850 hPa比湿图



**Figure 10.** Specific humidity of 700 hPa at 00:00 on February 19, 2019

**图 10.** 2019 年 2 月 19 日 00 时 700 hPa 比湿图

对此次降雪天气的预报进行总结, 发现预报员分析了主体冷空气的过境时间, 但忽视了中低层新冷空气的补充和渗透。由于新冷空气的补充南下, 在中低层形成横向切变线, 而正是这个横向切变线的形成与维持, 是降雪天气得以长时间维持的主要原因[4]。所以, 在冬季, 尤其是有低涡或冷涡存在的天气形势下, 小股冷空气的补充南下, 一方面能使系统加深或维持, 另一方面会在中低层诱生新的系统, 因此要特别注意低涡或冷涡后部新冷空气的补充。此外中低层比湿对降雪强度的预报有很好的指示作用, 而低层相对湿度大值区的分布对降雪起止时间的预报有很好指示意义。



**Figure 11.** 850 hPa relative humidity at 00:00 on February 19, 2019

**图 11.** 2019 年 2 月 19 日 00 时 850 hPa 相对湿度



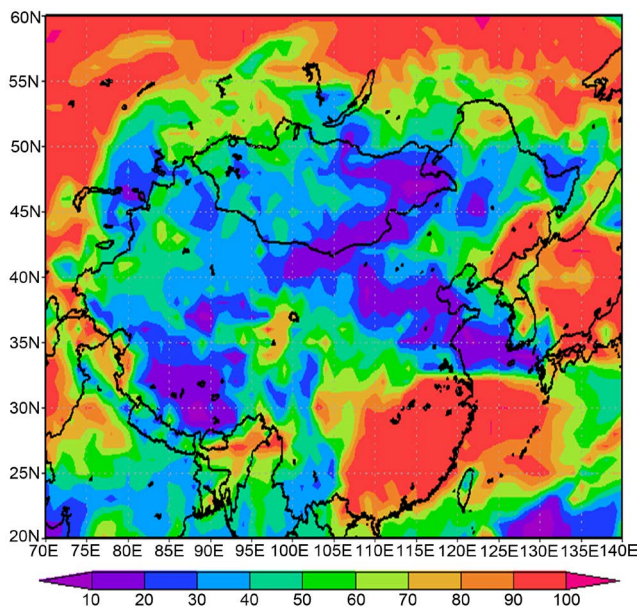


Figure 12. 850 hPa relative humidity at 06:00 on February 20, 2019  
 图 12. 2019 年 2 月 20 日 06 时 850 hPa 相对湿度

### 3.2. 垂直速度分析

19 日 06 时垂直速度剖面图上(见图 13), 122°E 以西为负速度区, 有明显的下沉运动, 122°E~126°E 为正速度区, 有明显的上升运动。沈阳(123°E)处在强上升区内, 上升气流厚度从近地面层到 300 hPa 附近, 表明当时的垂直运动条件非常好, 有利于降雪的发生和维持。19 日 12 时(见图 14), 随着冷空气的补充, 122°E 以西地区的负速度区范围进一步扩大, 数值也明显加大, 表明下沉运动加强。此时, 123°E~125°E(沈阳)附近的正速度区范围减小, 但正速度数值加大, 且大值区向近地面层扩展, 近地面和低层上升运动进一步加强, 这种较好的垂直运动条件有利于降雪的维持。

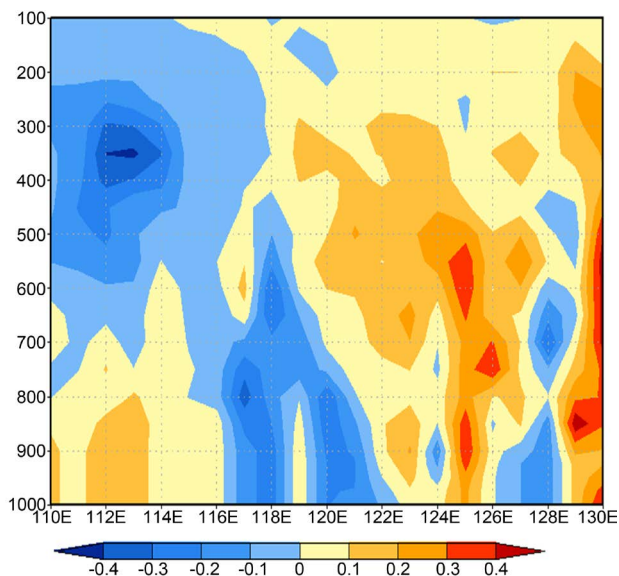


Figure 13. Vertical velocity profile of 42°N at 06:00 on February 19, 2019  
 图 13. 2019 年 2 月 19 日 06 时 42°N 垂直速度剖面图

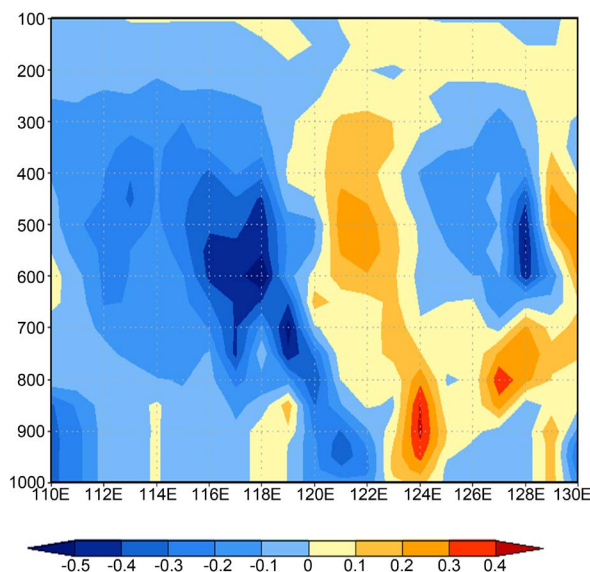


Figure 14. Vertical velocity profile of 42°N at 12:00 on February 19, 2019

图 14. 2019 年 2 月 19 日 12 时 42°N 垂直速度剖面图

### 3.3. 涡度场分析

从 19 日 00 时 700 hPa、850 hPa 高度场分析, 低涡前存在暖平流, 涡后冷空气的持续补充使低涡发展加强, 有利于低涡前正涡度平流的加大。分析 850 hPa 和 700 hPa 涡度平流发现(图略), 19 日 00 时至 18 时 850 hPa 沈阳附近均为正涡度平流, 涡度平流的加大, 促使低层的正涡度加大, 使地面系统快速发展, 整层的抬升运动得以加强。

## 4. 服务保障总结

在此次天气过程的服务保障中, 预报员对降雪开始时间、降雪强度和降雪量级预报的比较准确, 但对降雪结束时间的预报存在失误。同时, 18 日和 19 日值班班组在发布机场警报时先后三次将降雪结束时间向后推迟, 一方面是对自身预报结论的不确定, 对自身预报思路的否定, 另一方面也降低了用户对预报结论的信心指数。所以在气象服务保障中我们应该注意以下几点:

第一, 建议预报员在发布机场警报时可以根据预报提前量逐步细化预报结论, 做到先提醒、再预警, 而不是一味的追求预报准确性, 而忽略了用户对预报产品使用时的用户体验。

第二, 提前 24 小时的天气预报, 建议预报员对天气做范围、强度、量级预报; 提前 6 小时或 4 小时的天气预报, 建议预报员对天气和气象要素做精细化预报, 让用户对天气概况有提前预见性后的精细化预报能更好的让用户接受并合理使用。

第三, 在提前 6 小时或 4 小时天气预报准确性仍然较低的情况下, 要充分考虑此种天气是否影响用户运行, 满足用户飞行标准, 如有影响、不满足, 应及时启动应急预案, 及时发布各类补救预警信息, 做好接下来的气象服务保障工作, 持续跟进、递进式气象服务才是用户真正需要的服务。

## 5. 结论

1) 此次天气过程是中高层低涡配合中低层切变线共同影响的结果。冷涡后部冷空气的补充渗透和中低层切变线的维持是降雪维持时间较长的主要原因, 中低层切变线的维持时间对降雪持续时间有很好的预示作用。

2) 此次天气过程中, 850 hPa 水汽输送通道 18 日建立, 持续到 19 日 12 时被西北气流切断。沈阳地区比湿维持在 1~3 g/kg 之间, 可以据此判断沈阳地区的降雪量级为小雪, 相对湿度达到 90% 以上, 根据相对湿度大值区的移动能很好地预报出降雪起止时间。

3) 垂直运动和涡度平流分析均表明, 近地面层和低层存在明显的上升运动, 良好的垂直运动条件有利于降雪的维持; 低层涡度平流的加大使低层的正涡度加大, 使地面系统快速发展, 整层的抬升运动得以加强, 也是降雪长时间维持的原因之一。

4) 在航空气象服务保障中, 预报员可以根据时间节点逐步细化预报结论, 做到先提醒、再预警, 持续跟进、递进服务的原则。

## 参考文献

- [1] 王斌. 郑州机场一次持续性降雪天气过程分析[J]. 民航管理, 2019(3): 79-82.
- [2] 冯亮. 银川河东机场一次强降雪过程分析[J]. 民航管理, 2017(3): 76-78.
- [3] 王爽. 大连机场地方性冷流降雪特征及成因分析[J]. 中国民航飞行学院学报, 2009(1): 15-19.
- [4] 赵锦瑜. 烟台机场冬季冷流降雪成因浅析及预报方法[J]. 空中交通管理, 2007(10): 45-48.