

# 一次东北冷涡暴雪过程分析

国世友, 吴岩, 关铭, 孙庆丰 (黑龙江省气象台, 黑龙江哈尔滨 150030)

**摘要** 利用 NCEP 再分析资料和实况资料, 对 2013 年 11 月 16—20 日东北冷涡暴雪过程进行分析。结果表明, 暴雪发生在对流层低层辐合线附近, 对流层低层有暖脊, 中层有冷槽。暴雪区水汽主要来源于东北地区东部海上, 对流层低层水汽通量在  $2 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$  以上。东北冷涡发展期, 斜压性特征明显, 有利于降雪增强; 冷涡成熟期、减弱期, 显示出正压的特征, 降雪减弱。等  $\theta_{se}$  线陡立密集区对流层稳定度小, 有利于特大暴雪发生。

**关键词** 东北冷涡; 暴雪; 系统配置; 物理量

**中图分类号** S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)06-0205-04

## Analysis on an Snowstorm Event Caused by Northeast Cold Vortex

GUO Shi-you, WU Yan, GUAN Ming et al (Heilongjiang Meteorological Observatory, Harbin, Heilongjiang 150030)

**Abstract** The routine surface observational data and NCEP reanalysis data are used to analyze a persistent snowstorm process of a northeast cold vortex in the Northeast China during 16-19 November, 2013. The results show snowstorm appears near convergence line of the low troposphere, and there is warm ridge in the low troposphere and cold trough in the middle troposphere. The source of water vapor is the seas off northeast China's eastern coastline, and water vapor flux at lower troposphere is above  $2 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ . At the initial stage, its baroclinic characteristic is obvious, which provides advantageous condition for the occurrence of snowstorm. At the stage of maturity and decay, snow tends to weaken. Snowstorm often occur in the stiff and dense zone of the  $\theta_{se}$  contour line, where the convective stability is small.

**Key words** Northeast cold vortex; Snowstorm; System configuration; Physical quantity

东北冷涡是在 500 hPa 天气图上  $35^\circ \sim 60^\circ \text{N}$ 、 $115^\circ \sim 145^\circ \text{E}$  范围内出现的闭合等高线, 并有冷中心或冷槽相配合, 持续 3 d 及以上的低压天气尺度系统, 是东亚阻塞形势下在东北地区发生、发展较为深厚的冷性涡旋, 能维持 3~4 d 或更长时间, 一年四季均有出现<sup>[1-2]</sup>。东北冷涡所控制的地区, 冬季可出现很强的降雪, 夏季可产生暴雨、雷暴、冰雹及低温冷害等灾害性天气<sup>[3-6]</sup>。笔者利用东北地区 202 站日降水量资料、NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  逐 6 h 全球再分析资料, 对 2013 年 11 月 16—19 日东北冷涡暴雪的系统配置、物理量场与暴雪落区演变过程进行分析, 得出对此类持续性东北冷涡暴雪预报中有指示意义的信息。

## 1 天气系统配置与暴雪落区

11 月 16 日 08:00, 500 hPa 欧亚中高纬地区为“两槽两脊”形势, 里海以北、大兴安岭西部各有 1 个高空槽, 巴尔喀什湖以北、鄂霍次克海为高压脊, 贝加尔湖东部  $-40^\circ \text{C}$  冷中心与大兴安岭西部高度槽配合(图 1a);  $\geq 20 \text{ m/s}$  中空急流轴从中西伯利亚高原伸展至长江下游, 然后折向太平洋。700 hPa 吉林西部至山东半岛西部为一切变线, 与之对应的是 850 hPa 辽宁至渤海湾切变线, 江苏至吉林为暖脊控制。地面上辽宁至渤海为低压控制, 东北地区降雪逐渐开始。

16 日 20:00 850 hPa 出现 1 400 gpm 闭合等值线, 17 日 02:00 700 hPa 出现 2 880 gpm 闭合等值线, 08:00 500 hPa 高空槽分为南北两支, 南支从吉林延伸至日本海, 温度槽落后于高度槽; 700、850 hPa 切变线移至吉林。地面低压中心移至日本海(中心  $< 1\ 005 \text{ hPa}$ ), 从地面低压伸出地面辐合线到达伊春南部, 850 hPa 暖温度脊位置与地面辐合线接近。16

日 08:00—17 日 08:00  $\geq 10.0 \text{ mm}$  的暴雪区主要位于 700 hPa 切变线、850 hPa 切变线与地面辐合线北侧、850 hPa 温度脊与 500 hPa 温度槽之间(图 1b)。

17 日 14:00, 东北地区西部 500 hPa 切断出 5 280 gpm 闭合环流(中心在  $43.5^\circ \text{N}$ 、 $125.0^\circ \text{E}$ ), 以后低涡向东南移, 加强成熟。18 日 08:00, 500 hPa 环流中心位于  $42.5^\circ \text{N}$ 、 $132.2^\circ \text{E}$ , 地面低压中心位于  $44.4^\circ \text{N}$ 、 $133.0^\circ \text{E}$ 。17 日 08:00—18 日 08:00  $\geq 10.0 \text{ mm}$  的暴雪区主要位于 850 hPa 切变线和地面辐合线北侧、850 hPa 温度脊与 500 hPa 温度槽之间(图 1c)。

18 日 08:00—19 日 08:00, 东北冷涡稳定少动, 暴雪区位于 850 hPa 温度脊与 500 hPa 温度槽之间(图 1d), 期间 850 与 500 hPa 温差超过  $28^\circ \text{C}$ , 具备不稳定条件。19 日 08:00 以后, 东北冷涡减弱东移, 主要影响黑龙江省东部地区, 降雪量超过  $10.0 \text{ mm}$  区域减小。20 日 08:00 东北冷涡影响减弱。

11 月 16—20 日东北地区东部降雪量超过  $10 \text{ mm}$ , 30 站大于  $30 \text{ mm}$ , 最长达  $71.7 \text{ mm}$ 。冷涡发展阶段(16 日 08:00—18 日 08:00)降雪最强, 16 日 08:00—17 日 08:00 有 20 站超过  $10 \text{ mm}$ ; 17 日 08:00—18 日 08:00 降雪最强, 32 站超过  $10 \text{ mm}$ , 其中 9 站大于  $30 \text{ mm}$ , 最长达  $50 \text{ mm}$ ; 成熟阶段(18 日 08:00—19 日 08:00)降雪减弱, 21 站超过  $10 \text{ mm}$ ; 冷涡影响减弱阶段(19 日 08:00—20 日 08:00)仅有 4 站超过  $10 \text{ mm}$ 。

## 2 物理量诊断分析

**2.1 水汽输送** 此次暴雪过程水汽来源于渤海、黄海、日本海、鄂霍次克海(图 2)。16 日 08:00(图 2a), 从渤海、黄海至东北地区东部的西南风将水汽输送到东北地区, 850 hPa 东北地区东部为水汽通量大值区, 辽宁东部、吉林东部达  $2 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ , 吉林西南部高于  $4 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ , 水汽通量散度中心值达  $-12 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。冷涡发展过程中, 对流层低层风速增强, 源源不断向东北地区输送水汽, 水汽通量大值区、水汽通量辐合区向东扩展, 降雪加强、范围增

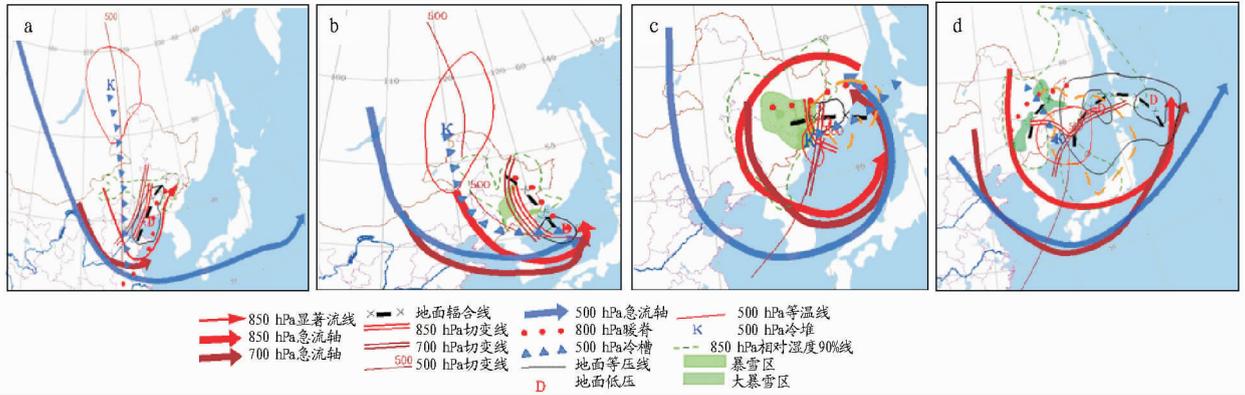
**基金项目** 2016 年中国气象局核心业务发展专项(CMAHX20160206)。

**作者简介** 国世友(1976—), 男, 山东莱芜人, 高级工程师, 从事天气预报研究。

**收稿日期** 2016-12-06

大。17日08:00(图2b),850 hPa东南风急流将日本海水汽输送到东北地区,东北地区东部水汽通量达 $2\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ ,水汽通量辐合最强区域位于吉林东部,达 $-4\times 10^{-6}\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ 。18日08:00(图2c),对流层低层转为偏东风急流,黑龙江东部水汽通量达 $4\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ ,

水汽通量辐合区位于吉林东部、黑龙江东部,辐合较前期减弱,大部分区域不足 $-4\times 10^{-6}\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ 。19日08:00以后(图2d),对流层低层的偏东风水汽输送减弱,水汽通量 $2\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ 范围减小,主要位于黑龙江东部,水汽辐合减弱,降雪减弱。

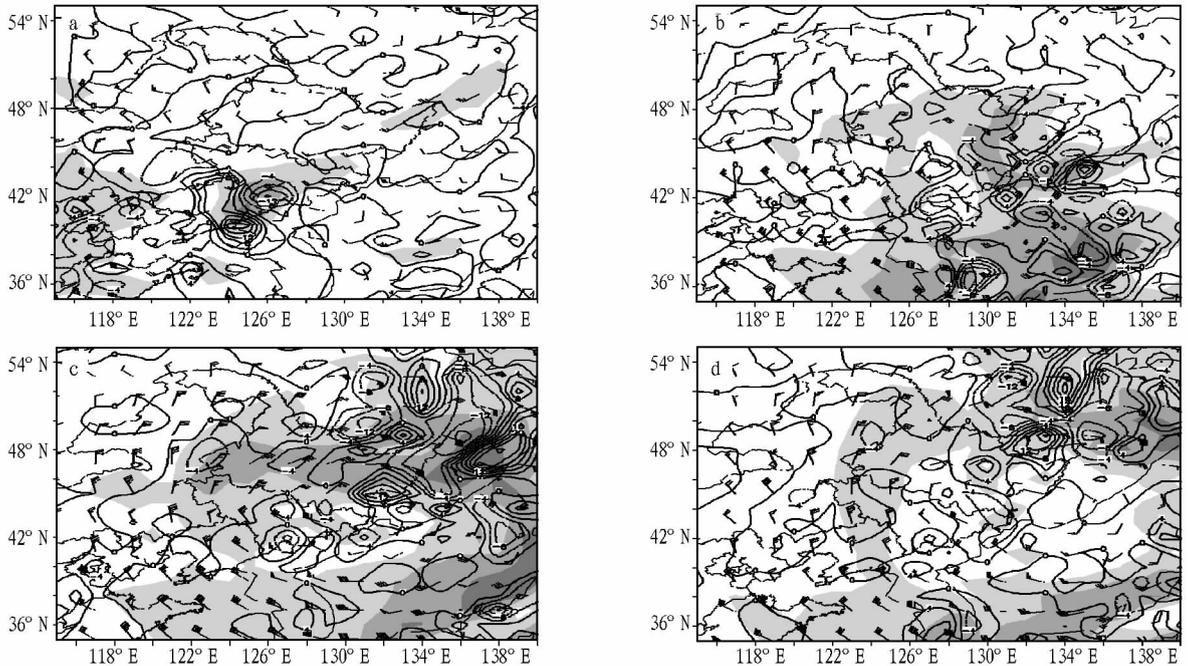


注:a. 16日08:00; b. 17日08:00; c. 18日08:00; d. 19日08:00

Note: a. Nov. 16 08:00; b. Nov. 17 08:00; c. Nov. 18 08:00; d. Nov. 19 08:00

图1 2013年11月16—20日天气系统配置与过去24 h暴雪落区

Fig. 1 Weather system configuration and snowstorm area in past 24 h during Nov. 16–20, 2013



注:a. 16日08:00; b. 17日08:00; c. 18日08:00; d. 19日08:00。阴影代表水汽通量 $>2\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ ;等值线代表水汽通量散度,单位为 $10^{-6}\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ ;风速羽代表风场

Note: a. Nov. 16 08:00; b. Nov. 17 08:00; c. Nov. 18 08:00; d. Nov. 19 08:00. Shadow represents water vapor flux  $>2\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ ; Contour represents water vapor flux divergence, unit is  $10^{-6}\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ ; barb represents wind field

图2 2013年11月16—19日850 hPa水汽通量、水汽通量散度和风场分布

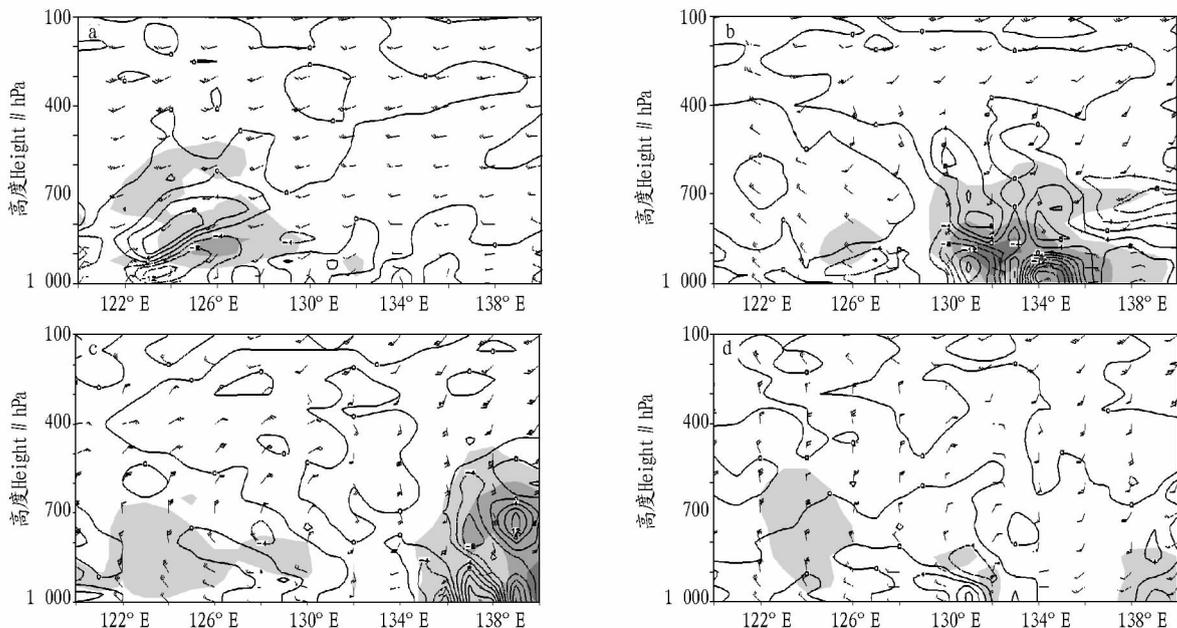
Fig. 2 Water vapor flux, water vapor flux divergence and wind field at 850 hPa during Nov. 16–19, 2013

降雪量最大区域位于吉林东南部( $130^{\circ}\text{E}$ ,  $43^{\circ}\text{N}$ )附近,从沿 $43^{\circ}\text{N}$ 水汽通量、水汽通量散度、风场的纬向剖面(图3)来看,特大暴雪区上空,16日08:00对流层低层为南风,对流层中层为西南风,风随高度顺转,表明对流层低层有比较强的暖湿平流输送,同时在 $122^{\circ}\sim 126^{\circ}\text{E}$ 对流层低层有风向辐

合,有利于暖湿气流的聚集。17日08:00水汽通量 $2\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ 区域伸展至 $600\text{ hPa}$ ,  $131^{\circ}\text{E}$ 、 $950\text{ hPa}$ 有 $-20\times 10^{-6}\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ 的强水汽通量辐合中心,水汽辐合主要位于 $850\text{ hPa}$ 以下,  $850\text{ hPa}$ 以上为强水汽辐散,对流层低层风向辐合区移至 $128^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ 。17日20:00,水汽辐

合、水汽辐散范围进一步增大、强度增强,最大达  $-32 \times 10^{-6}$ 、 $24 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,但辐合、辐散中心较 17 日 08:00 东移,在  $130^\circ \text{E}$  对流层低层转为西北风,中层为偏东风,表明对流层低层转为冷空气影响,对流层低层风向辐合

区移至  $130^\circ \sim 132^\circ \text{E}$ 。18 日 08:00,对流层低层  $130^\circ \sim 132^\circ \text{E}$  仍为风向辐合区,但逐渐转为冷空气控制,降雪减弱。19 日 08:00 以后,对流层低层风向辐合区移至  $132^\circ \text{E}$  以东,暴雪区上空的对流层低层为西北风控制,降雪迅速减弱。



注:a. 16 日 08:00;b. 17 日 08:00;c. 18 日 08:00;d. 19 日 08:00。阴影代表水汽通量  $> 2 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ;等值线代表水汽通量散度,单位为  $10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ;风速羽代表风场

Note:a. Nov. 16 08:00; b. Nov. 17 08:00; c. Nov. 18 08:00; d. Nov. 19 08:00. Shadow represents water vapor flux  $> 2 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ; contour represents water vapor flux divergence, unit is  $10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ; barb represents wind field

图 3 2013 年 11 月 16—19 日沿  $43^\circ \text{N}$  的水汽通量、水汽通量散度、风场纬向垂直剖面

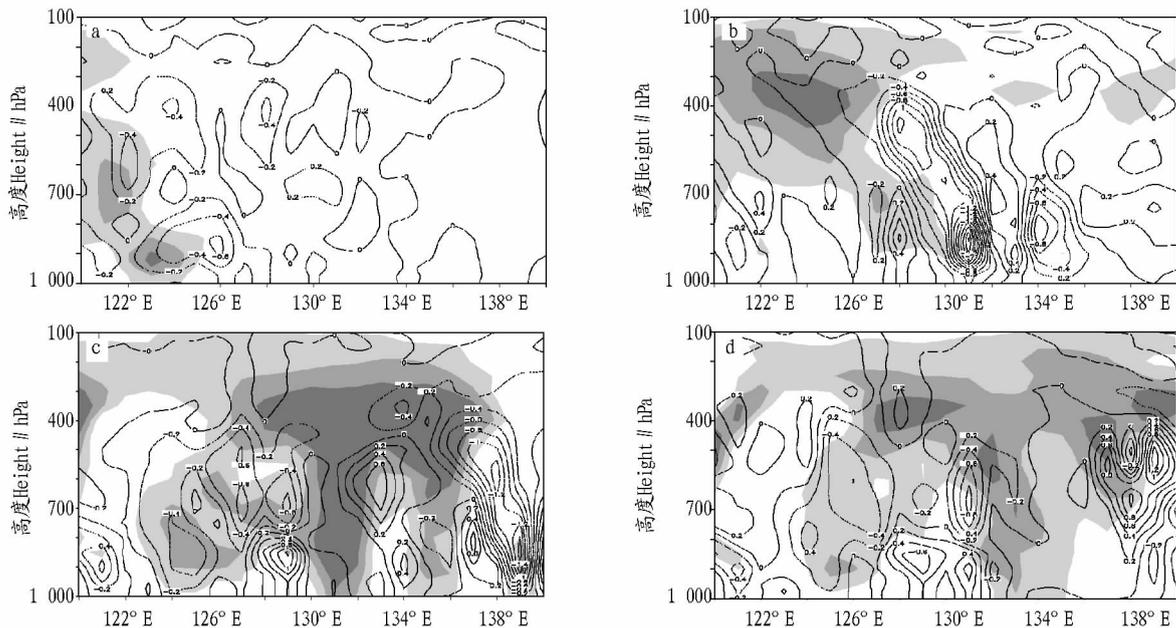
Fig. 3 Latitudinal vertical section of water vapor flux, water vapor flux divergence, wind field along  $43^\circ \text{N}$  during Nov. 16–19, 2013

**2.2 上升运动的维持** 从  $43^\circ \text{N}$  涡度、垂直速度的纬向垂直剖面(图 4)来看,16 日 08:00,  $122^\circ \sim 128^\circ \text{E}$  强度为  $-0.2 \times 10^{-2} \text{ hPa/s}$  的上升运动区达到 300 hPa,  $-0.6 \times 10^{-2} \text{ hPa/s}$  中心位于 850 hPa 附近,其西部有约落后 2 个经度的强度为  $2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  的正涡度区,强上升运动有利于暖湿水汽持续向上输送。17 日 08:00,上升区、下沉区同时出现,  $130^\circ \sim 132^\circ \text{E}$  上升运动加强,  $131^\circ \text{E}$ 、850 hPa 附近上升速度达  $2.0 \times 10^{-2} \text{ hPa/s}$ ,上升运动区西侧强涡度区范围扩大,对流层中层出现大范围  $12 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  的强涡度区。17 日 20:00,上升运动达最强,并且强上升运动位于强涡度区内,  $-0.4 \times 10^{-2} \text{ hPa/s}$  上升区和  $12 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  涡度区向上伸展至 400 hPa。18 日 08:00 以后,暴雪区上空为垂直强正涡度区,对流层低层为下沉运动,对流层中层为上升运动,降雪强度开始减弱。16 日 20:00—17 日 20:00,上升运动区、正涡度区均随高度向西倾斜,强涡度区落后强上升运动区,表明系统斜压性较强,东北冷涡处于发展阶段,有助于上升运动加强,从而降雪强度增强。17 日 20:00,强涡度区与强上升运动区重合,大气斜压性逐渐减弱,暴雪区上升运动减弱,由垂直的强涡度控制,降雪减弱。

**2.3 不稳定条件** 假相当位温是表征大气温度、压力、湿度的综合特征量,表示了大气的湿温特征和垂直运动,也反映

了大气中能量的分布。16 日 08:00(图 5a),伴随西南风的水汽、能量输送,850 hPa 有  $\theta_{se} \geq 292 \text{ K}$  高能舌从渤海、黄海伸向东北地区,在东北地区西部形成  $\theta_{se}$  等值线密集带,表明这里处在西北方干冷空气与西南方暖湿气流交界的不稳定斜压锋区内。16 日 20:00—18 日 08:00(图 5b),850 hPa  $\theta_{se}$  高能舌从日本海伸向吉林、黑龙江,吉林东南部、黑龙江东南部的  $\theta_{se}$  锋区加强,出现特大暴雪天气。18 日 08:00 以后(图 5c、d),高能舌位于黑龙江,并作逆时针旋转,等  $\theta_{se}$  线梯度减小,降雪减弱。从 16 日开始的暴雪天气位于  $\theta_{se}$  锋区内。

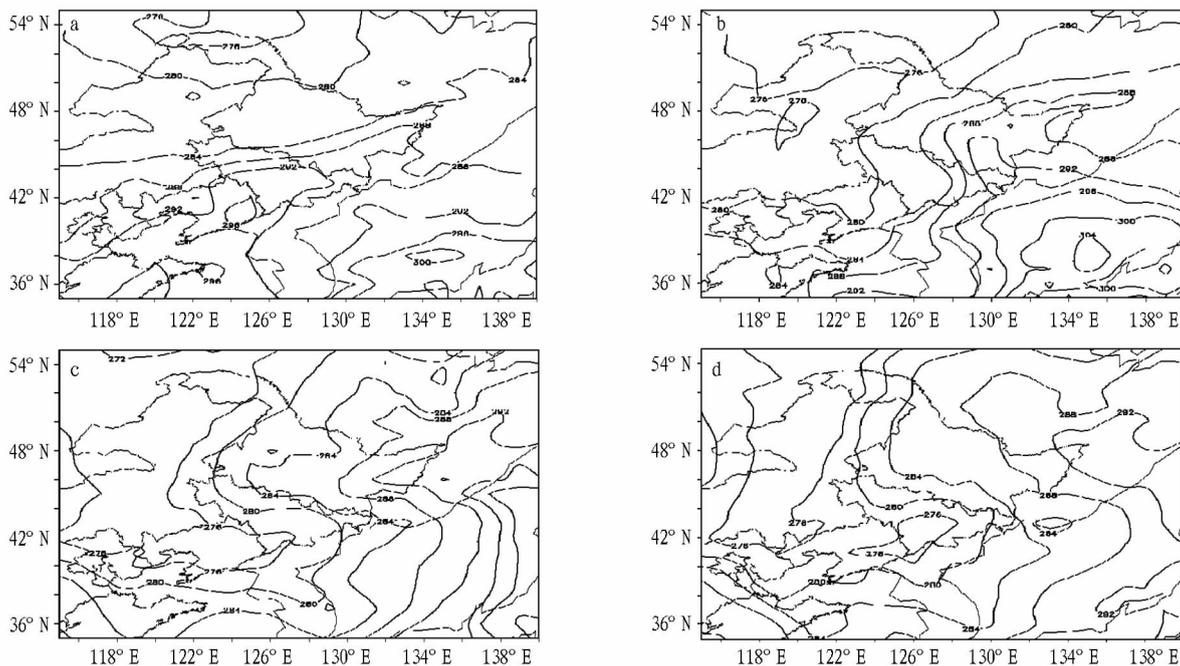
从沿  $43^\circ \text{N}$  的  $\theta_{se}$  纬向垂直剖面(图 6)来看,由于冷暖空气的交汇使得  $\theta_{se}$  等值线倾斜加强,逐渐变得异常陡立、密集,  $\theta_{se}$  的垂直梯度很小 ( $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} \approx 0$ ),大气湿斜压性增加,导致垂直涡度显著发展,  $\theta_{se}$  倾斜性越强,气旋性涡度增长越剧烈,一直持续到 18 日 08:00。16 日 20:00 对流层低层  $125^\circ \sim 126^\circ \text{E}$ 、17 日 08:00 的  $128^\circ \sim 130^\circ \text{E}$ 、17 日 20:00 和 18 日 08:00 的  $130^\circ \sim 132^\circ \text{E}$   $\theta_{se}$  等值线密集带几乎与等压面垂直,同时西部有冷空气入侵,使不稳定能量释放,在等  $\theta_{se}$  线陡立密集区内出现特大暴雪。18 日 08:00 以后,等  $\theta_{se}$  线水平梯度减小,降雪较前期减弱。



注: a. 16日 08:00; b. 17日 08:00; c. 18日 08:00; d. 19日 08:00。阴影代表涡度  $> 2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ; 等值线代表垂直速度, 单位为  $10^{-2} \text{ hPa/s}$   
 Note: a. Nov. 16 08:00; b. Nov. 17 08:00; c. Nov. 18 08:00; d. Nov. 19 08:00. Shadow represents vorticity  $> 2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ; Contour represents vertical velocity, unit is  $10^{-2} \text{ hPa/s}$

图4 2013年11月16—19日沿43°N的涡度和垂直速度纬向垂直剖面

Fig. 4 Latitudinal vertical section of vorticity and vertical velocity along 43°N during Nov. 16 - 19, 2013



注: a. 16日 08:00; b. 17日 08:00; c. 18日 08:00; d. 19日 08:00  
 Note: a. Nov. 16 08:00; b. Nov. 17 08:00; c. Nov. 18 08:00; d. Nov. 19 08:00

图5 2013年11月16—19日850 hPa  $\theta_{se}$ 分布(单位:K)

Fig. 5  $\theta_{se}$  distribution at 850 hPa during Nov. 16 - 19, 2013

### 3 结论

(1) 16日 08:00—18日 08:00, 东北冷涡处于发展期, 先在对流层低层出现闭合中心, 而后中高层逐渐出现闭合环流, 在此期间降雪最强, 吉林东南部、黑龙江东南部出现特大暴雪天气。18日 08:00—20日 08:00, 东北冷涡处于成熟期、

减弱期, 吉林中部、黑龙江东部发生暴雪天气。暴雪主要发生在对流层低层辐合线附近, 同时对流层低层有暖脊、中层有冷槽配合。

(下转第 233 页)

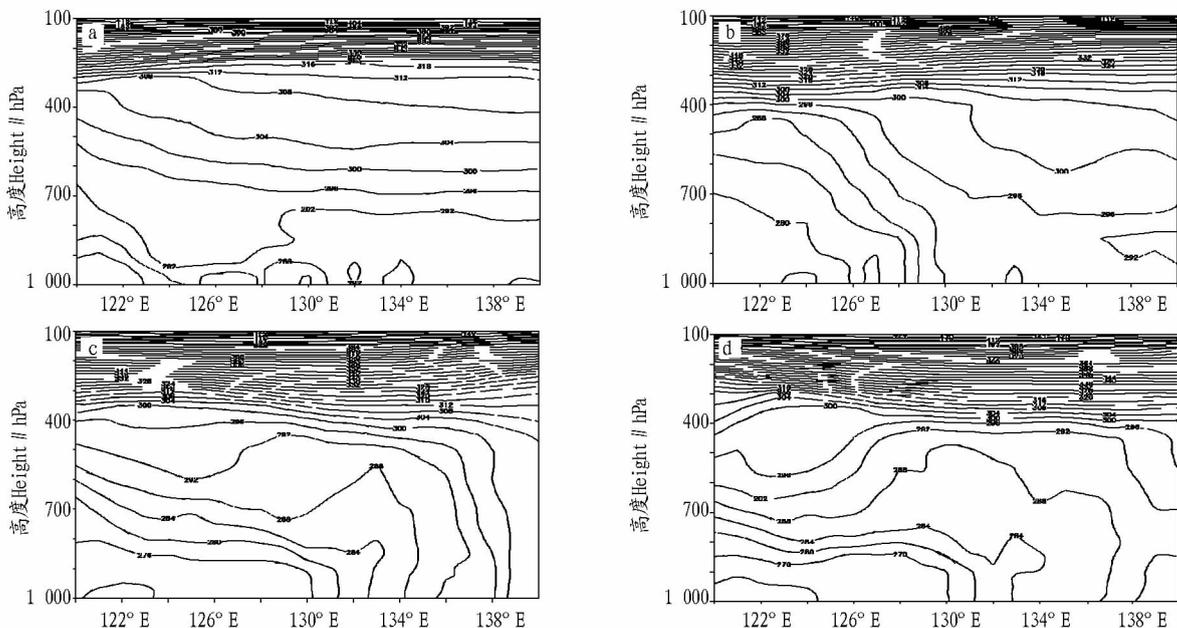
表 6 农民在创业过程中的困难(N=150)

表 6 Difficulties of farmers in the process of entrepreneurship

困难 Difficulty	人数 Number of person//人	百分比 Percentage %
没有先进技术 No advanced technology	107	71.3
市场分析不准确 Market analysis is not accurate	86	57.3
没有竞争优势 No competitive advantage	98	65.3
没有知名度 No visibility	57	38.0
生产力水平低 Low productivity	48	32.0

为了解决相关问题,应通过互联网对农民进行市场信息  
技术普及,建立良好的激励体系激发农民的创业兴趣,对农  
民进行精确定位实现精准帮扶,为农民创业创造良好的外部

(上接第 208 页)



注:a. 16 日 08:00;b. 17 日 08:00;c. 18 日 08:00;d. 19 日 08:00

Note:a. Nov. 16 08:00; b. Nov. 17 08:00; c. Nov. 18 08:00; d. Nov. 19 08:00

图 6 2013 年 11 月 16—19 日沿 43°N 的  $\theta_{se}$  纬向垂直剖面(单位:K)Fig. 6  $\theta_{se}$  vertical profile along 43°N during Nov. 16—19, 2013

(2) 此次暴雪天气的水汽、能量主要源于渤海、黄海、日本海、鄂霍次克海。暴雪区的对流层低层水汽通量在  $2 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$  以上,水汽通量散度达  $-4 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,并且水汽在对流层低层强辐合,对流层中高层辐散。对流层低层  $\theta_{se}$  高能舌从海上伸展到东北地区,等  $\theta_{se}$  线密集带附近发生暴雪天气;等  $\theta_{se}$  线陡立密集区对流稳定度较小,有利于发生特大暴雪。

(3)  $-0.2 \times 10^{-2} \text{ hPa/s}$  上升运动区与  $4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  正涡度区均向西倾斜,正涡度区落后于上升运动区,大气斜压性强,东北冷涡处于发展阶段,降雪强。正涡度区与上升运动区重合时,正涡度区、上升运动区接近垂直状态,东北冷涡达到成

环境。

## 参考文献

- [1] 郭红东,周惠璐. 先前经验、创业警觉与农民创业机会识别:一个中介效应模型及其启示[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版),2013,43(4):17-27.
- [2] 罗明忠,邹佳瑜,卢颖霞. 农民的创业动机、需求及其扶持[J]. 农业经济问题,2012(2):14-19,110.
- [3] 周菁华. 农民创业绩效的影响因素分析:基于 366 个创业农民的调查数据[J]. 江西财经大学学报,2013(3):77-84.
- [4] 朱红根. 金融环境、政策支持与农民创业意愿[J]. 中国农村观察,2013(5):24-33.
- [5] 罗明忠,陈明. 人格特质对农民创业绩效影响的实证分析:兼议人力资本的调节作用[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2015(2):41-48.
- [6] 莫光辉. 农民创业与国家扶贫开发政策有效衔接的路径选择:基于广西天等县的实证分析[J]. 中国发展,2014,14(4):57-64.

熟期,降雪也随之减弱。

## 参考文献

- [1] 张立祥,李泽椿. 东北冷涡研究概述[J]. 气候与环境研究,2009,14(2):218-228.
- [2] 梁红,马福全,李大为,等. 西北太平洋 SST 暖水区·ITCZ 对东北冷涡及副热带高压的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(30):17164-17166.
- [3] 寇思聪,曹雯. 本溪地区一次大到暴雪天气过程分析[J]. 安徽农业科学,2011,39(11):6605-6607.
- [4] 辛艳辉,王宪彬. 辽宁省两次区域性暴雪过程的对比分析[J]. 安徽农业科学,2012,40(32):15812-15815,15887.
- [5] 国世友. 黑龙江省春季两次强降雪天气分析[J]. 安徽农业科学,2013,41(1):210-212,287.
- [6] 郑媛媛,张雪晨,朱红芳,等. 东北冷涡对江淮飑线生成的影响研究[J]. 高原气象,2014,33(1):261-269.