Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2019, 8(6), 675-687
Published Online November 2019 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2019.86074

Analysis on the Process of Low Temperature and Rain Snow and Freezing Weather in Changsha

Yanni Zhao[1], Lijing Qiu[2], Jiangping Pan[1]

[1]Shaoyang County Meteorological Bureau of Hunan Province, Shaoyang Hunan
[2]Changsha Municipal Meteorological Bureau of Hunan Province, Changsha Hunan
Email: 283569214@qq.com

Received: Sep. 25th, 2019; accepted: Oct. 10th, 2019; published: Oct. 17th, 2019

Abstract

Through February 4 to 18, 2014 in Changsha City, low temperature, rain snow and frozen synoptic process were analyzed. The results show that the main influencing system of the process is North strong cold air mass from Lake Baikal affecting local weather in the middle and lower of the Yangtze River, in high latitude weather situation in Central Asia with two troughs and one ridge. Low latitude south branch system is active, and constantly has short wave trough eastward. Hunan suffers the control of the front southwest airflow in southern branch trough, middle and low level southwest jet stream is located in the southwest region of the eastern South Central, the water vapors from the bay of Bengal delivery in northeastern Hunan Province. High altitude situation and the cold air are matched, forming the persistent and low temperature sleet freezing weather in Changsha city.

Keywords

Changsha, Low Temperature Sleet, Characteristics Analysis, Cause

长沙低温阴雨雪冰冻天气过程分析

赵燕妮[1]，邱丽静[2]，潘江萍[1]

[1]湖南省邵阳县气象局，湖南 邵阳
[2]湖南省长沙市气象局，湖南 长沙
Email: 283569214@qq.com

收稿日期：2019年9月25日；录用日期：2019年10月10日；发布日期：2019年10月17日

摘　要

本文对2014年2月4~18日长沙市低温雨雪冰冻天气过程进行了系统的分析，通过分析得出此次过程的主

文章引用: 赵燕妮, 邱丽静, 潘江萍. 长沙低温阴雨雪冰冻天气过程分析[J]. 气候变化研究快报, 2019, 8(6): 675-687.
DOI: 10.12677/ccrl.2019.86074

要影响系统是北方有强冷空气从贝加尔湖南下影响长江中下游地区，中亚中高纬地区为两槽一脊的天气形势。低纬南支系统活跃，不断有短波槽东移，湖南受南支槽前西南气流控制，中低层西南急流位于西南地区东部至江南中部，持续将孟加拉湾水汽向湖南东北地区输送。高低空形势和地面冷空气相配合，形成了长沙市持续的低温雨雪冰冻天气。

关键词

长沙，低温雨雪，特征分析，成因

1. 引言

低温雨雪冰冻天气是影响长沙市的一个比较重大的灾害性天气，对其进行研究是防灾减灾工作中的一个重要组成部分，也是天气预报工作中的一项重要工作，对其发生发展成因和规律研究也很有必要。杨贵明等[1]对 2008 年初低温雨雪冰冻天气的主要特点和天气环流特征分析中，指出了大气环流形势相对稳定，极涡中心位置偏向东半球，来自极地的冷气团与来自热带洋面的暖气团长时间在长江中下游地区交汇是造成 2008 年初低温雨雪冰冻天气的主要原因。马晓刚[2]提出地面准静止锋有助于雨雪天气的形成，稳定的逆温层，是长时间冻雨的主要原因，西南暖湿气流及北方强冷空气的不断补充是造成南方连续出现冰冻雨雪天气及造成严重灾害的充分必要条件。黄晓兰等[3]对 2005 年 2 月湖南省冰冻天气过程进行分析发现，提出了造成湖南省冰冻天气主要原因是与逆温层底高度和逆温层顶气温等有关。吕胜辉等[4]对天津机场地区 1979~2002 年出现的 3 次冻雨天气进行对比分析，找出了冻雨发生的天气形势特点和大气垂直结构特征是本地地面受低压控制，高空处在槽前，在大气垂直结构特征上随高度的增高有明显的增温现象，槽前西南暖湿气流强盛，存在低空急流。一些学者针对低温雨雪天气系统进行了研究[5]-[10]。本文利用常规地面气象资料、FY-2C、雷达和 ECMWF 等资料对低温阴雨雪天气过程进行成因分析，并利用数值模拟进行中尺度特征分析，揭示低温雨雪天气的成因和特点，为提高雨雪冰冻的预报能力提供参考。

2. 天气实况

长沙市 2014 年 2 月 4~18 日出现了 3 次低温阴雨雪冰冻天气过程，其中 4~10 日为低温连阴雨雪天气，累计降水量 23.6 mm，4~6 日为阴雨天气，受地面冷空气影响，气温明显下降，出现寒潮(长沙站 3~5 日 48 小时气温降幅达 13.1℃，5 日最低气温 2.5℃)，7~8 日出现短时雨夹雪，9~10 日转为低温雨雪冰冻天气，其中 8 日晚~9 日早上有大雪，雪量 6~7 mm (12 小时总降水量 12.3 mm)，最大雪深 3 cm，出现冰冻，9 日白天~10 日白天降水强度明显减弱，有小雨夹雪(10 日白天为小雪)，冰冻维持，12 上午~13 日早上受小槽东移影响出现小雨夹雪，长沙站累计降水量 1.5 mm，14~15 日高空环流平直多波动，多云到阴天；16~19 日长沙市再次转为阴雨雪模式，其中 17 日晚~18 日白天有大到暴雪，雪量 10.3 mm，18 日晚降水停止转阴天。

3. 主要影响系统及其演变

2014 年 2 月 8 日 20 时，500 hPa 中低纬度南支系统比较活跃，不断分裂短波槽东移，湖南省受南支槽前西南气流控制；中低层西南急流位于西南地区东部至江南中部，持续将孟加拉湾及南海的水汽向湘东

北地区输送；850 hPa 切变线位于湘中以南地区(图 1(a))。冷空气分为东西两股，一股在乌拉尔山附近，另一股从贝加尔湖南下到达我国长江中下游地区。位于贝加尔湖以南的地面冷中心向东南方向推进，长沙地区位于冷高压底前部，南下冷空气与暖湿气流交汇产生锋生强迫，暖湿气流在锋区上界辐合爬升(图 1(b))。9 日 08 时，短波槽东移，700 hPa 西南气流略南压至湘中以南地区，700 hPa、850 hPa 切变线分别位于湖北南部及江西、湘南一带，长沙站位于 850 hPa 切变线北侧，冷锋南移出海，动力抬升条件减弱(图 2)。

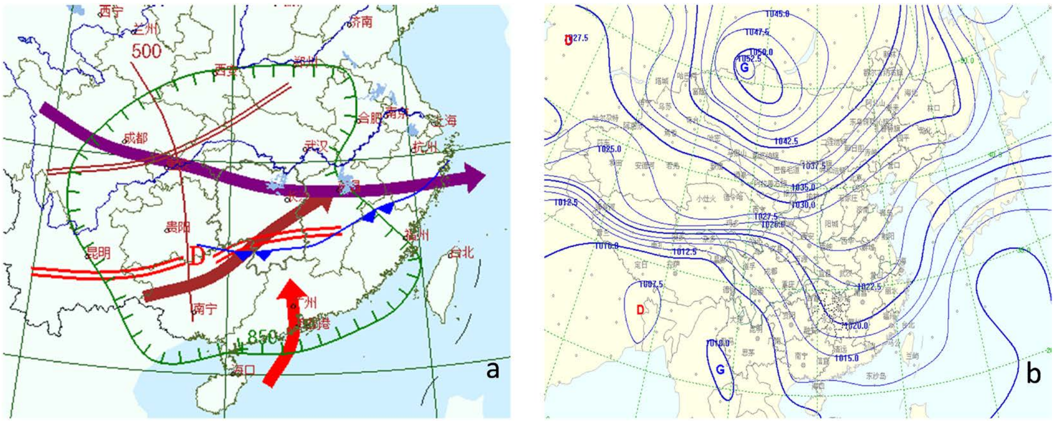

Figure 1. Situation field and mesoscale analysis at 20:00 on 8 February 2014 (a. and surface pressure field, b. Unit: hPa) (500 hPa height field: Blue Solid line; 700 hPa wind field: black wind vector; 850 hPa significant wet zone green short line containing region; : 700 hPa shear line; : 850 hPa shear line; : 200 hPa jet; : 700 hPa jet; : 850 hPa jet)

图 1. 2014 年 2 月 8 日 20 时形势场及中尺度分析(a. 与地面气压场，b. 单位：hPa) (500 hPa 高度场：蓝色实线；700 hPa 风场：黑色风矢量；850 hPa 显著湿区：绿色短线包含区域；: 700 hPa 切变线；: 850 hPa 切变线；: 200 hPa 急流；: 700 hPa 急流；: 850 hPa 急流)

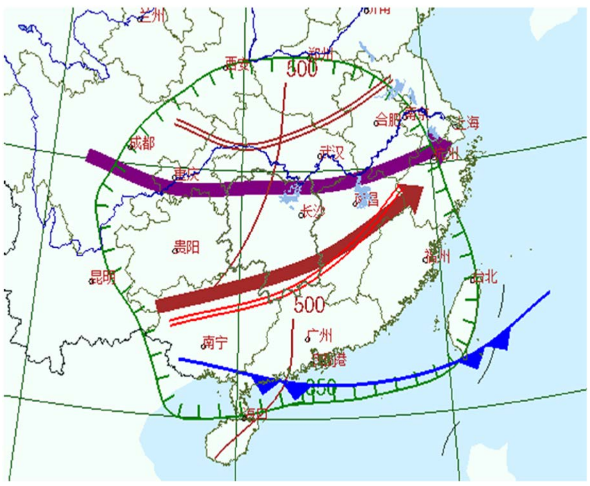

Figure 2. Is the same as **Figure 1** at 08:00 on February 9, 2014

图 2. 同图 1 2014 年 2 月 9 日 08 时

2014 年 2 月 12 日 20 时(图 3)，500 hPa 中低纬度地区南支浅槽位于黄淮地区至西南地区东部，长沙站位于浅槽槽前。700 hPa 低涡切变线西伸至湘北，西南急流位于湘中以南、两广北部，850 hPa 湿区范围覆盖湖南全省，地面冷锋快速过境。13 日 08 时(图 4)，500 hPa 和 700 hPa 短波槽均快速东移，长沙地区位于槽底偏前位置，盛行偏西风；700 hPa 西南急流东移南压，长沙站西南风较 12 日 20 时减小 4 m/s，低层切变线南压至两广南部。

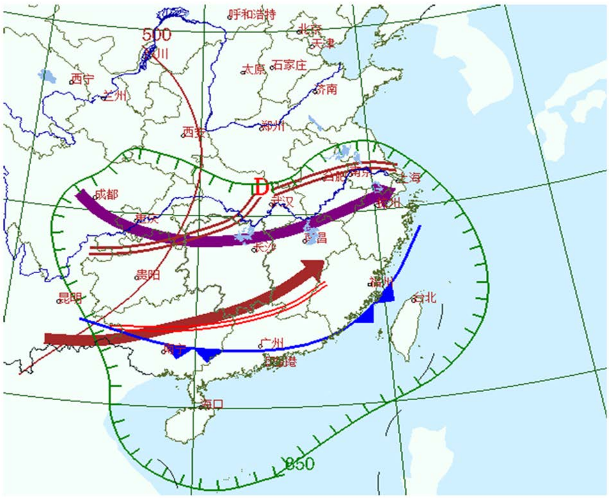

Figure 3. Is the same as **Figure 1** at 20:00 on February 12, 2014
图 3. 同图 1 2014 年 2 月 12 日 20 时

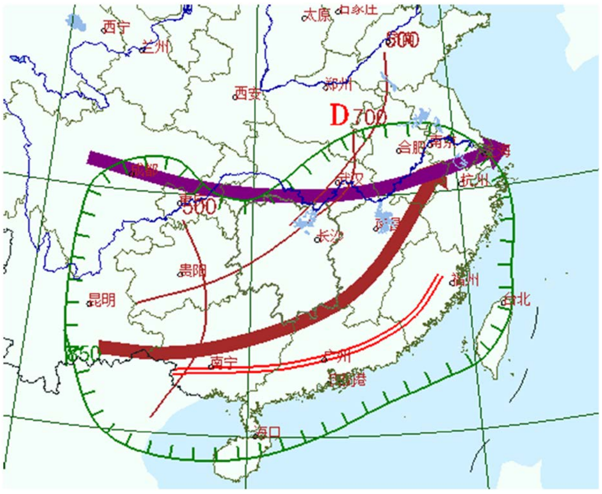

Figure 4. Is the same as **Figure 1** at 8:00 on February 13, 2014
图 4. 同图 1 2014 年 2 月 13 日 08 时

2014 年 2 月 17 日 20 时(图 5)，500 hPa 北支槽从贝加尔湖南伸至新疆东南部。低纬度南支槽呈东北-西南走向位于河套地区、四川盆地北部至西藏东南部，长沙地区受南支槽前西南气流控制。700 hPa 和 850 hPa 均存在风切变，三条切变线分别位于江南地区北部至四川东部、长江中下游地区至西南地区东部、两广北部至湘南，且三支急流于长江中下游地区汇合，有利于低层暖湿空气辐合抬升。700 hPa 西南急流达 30 m/s，持续将南海和孟加拉湾的水汽向湘中以北地区输送，并且配合 200 hPa 的高空急流，形成抽吸作用，有利于次级环流形成，加强降雪形成的动力条件。此外 850 hPa 东北急流将中心位于华北地区的冷高压底前部冷空气向南推进，与位于两广地区的西南暖湿气流汇合形成冷锋，暖湿空气沿锋面强迫抬升，有助于雨雪天气的形成。18 日 08 时(图 6)，高空南支槽稳定少动，中低空北方急流加强，西南急流稍微南压，长沙站处于南北气流的辐合带内，地面冷锋南移入海。

比较三次降雪过程的天气形势发现，三次降雪过程中高低空影响系统均包含有南支槽、高低空急流、中低层切变线和地面冷锋。不同的是，12~13 日的降雪过程南支槽分裂短波槽快速东移过境，850 hPa 切变线位置偏南，水汽条件和抬升条件都比较弱，因此降雪强度较弱，为小雪或雨夹雪。17~18 日的降雪

过程中，南支槽在东移过程的发展加深，移速较慢，于 17 日晚到 18 日白天持续影响长沙地区，为降雪提供辐合条件。且高低空急流配置较好，有利于抽吸形成次级环流，并配合有中低层切变线的辐合抬升，17 日晚到 18 日白天长沙中西部地区出现大到暴雪，东部出现中雨夹雪。

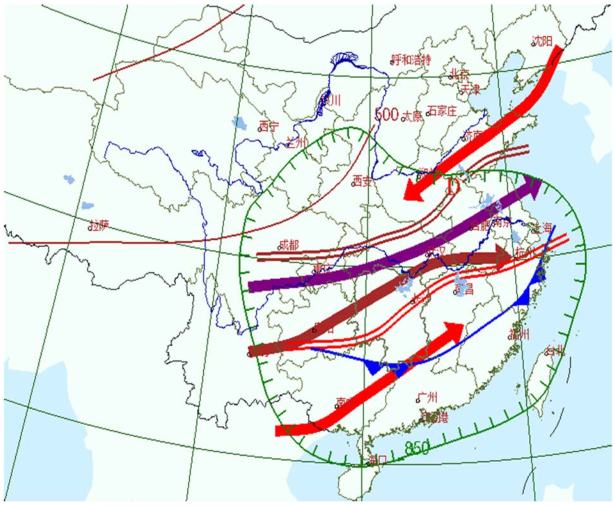

Figure 5. And **Figure 1** at 20:00 on February 17, 2014
图 5. 同图 1 2014 年 2 月 17 日 20 时

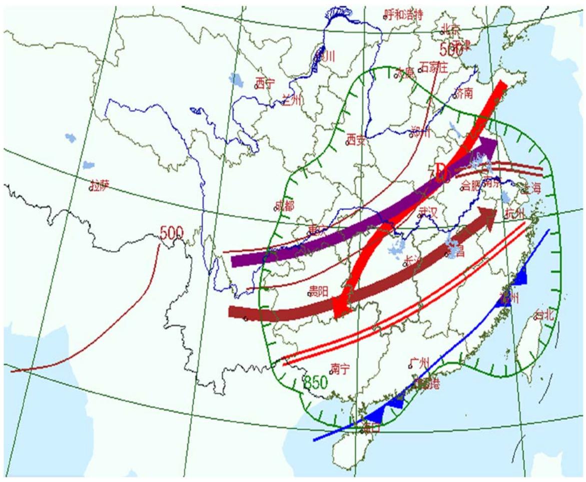

Figure 6. And **Figure 1** at 08:00 on February 18, 2014
图 6. 同图 1 为 2014 年 2 月 18 日 08 时

4. 降水相态演变特征分析

长沙站 7~8 日以小雨天气为主，伴有短时雨夹雪，9 日凌晨 2 时转为降雪天气，9 日白天有大雪，12 小时总降水量 12.3 mm，雪量 6.3 mm，最大积雪深度 3 cm，从图 7 中温压曲线中可看出，受强冷空气影响，降雪时段，地面气压攀升至 1024.8 hPa，气温持续走低，最低气温−1℃左右，出现冰冻；9 日晚~10 日白天降水强度减弱，有小雨夹雪，冰冻维持，10 日晚降水停止转阴天，冰冻减弱；12 日上午~13 日早晨受短波槽东移影响出现小雨夹雪，长沙站累计降水量 1.5 mm，由于此次降雪过程中短波槽东移速度较快，北方冷空气偏弱，过程持续时间短，降雪时段气温 1℃左右(图 8)，降雪即降即化，未出现冰冻现象；16~19 日长沙市再次转为阴雨模式，17 日晚~18 日白天长沙、宁乡有大到暴雪，浏阳为大雨夹雪，其中

宁乡站雪量 5.6 mm，总降水量 12.8 m，长沙站雪量 10.3 mm，总降水量 13.5 m，莲花站雪量 11 mm，总降水量 16.4 m，浏阳站总降水量 27.1 mm。18 日晚降水停止转阴天。18 日早晨强降水时段内，气温陡降至 0.8℃，而气压涌升到 1022.2 hPa，未出现冰冻现象(图 9)。

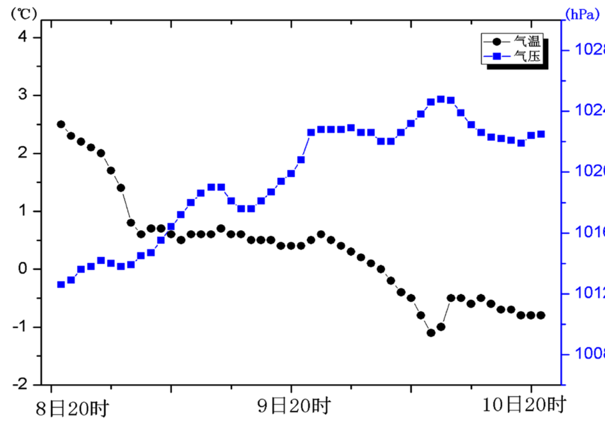

Figure 7. Shows the temperature-pressure curve of Changsha station from 20:00 to 20:00 on February 8, 2014
图 7. 为 2014 年 2 月 8 日 20 时~10 日 20 时长沙站温压曲线

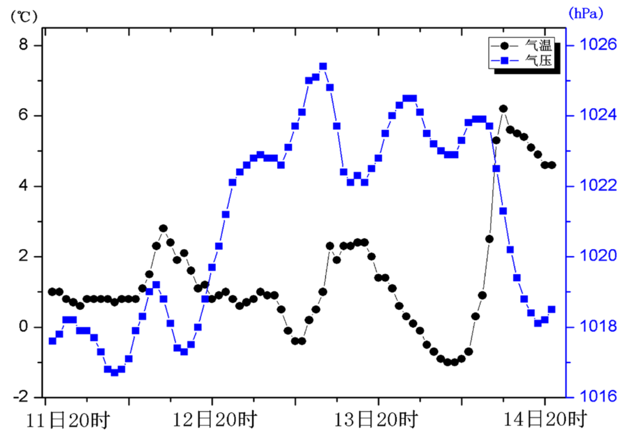

Figure 8. Shows the temperature-pressure curve of Changsha station from 20:00 on February 11 to 20:00 on February 14, 2014
图 8. 为 2014 年 2 月 11 日 20 时~14 日 20 时长沙站温压曲线

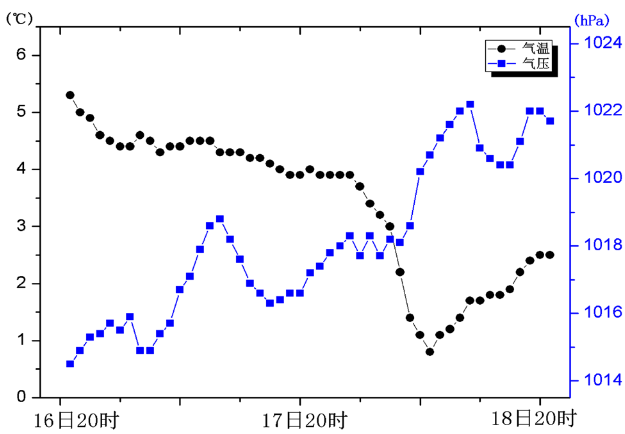

Figure 9. Is the temperature-pressure curve of Changsha station from 20:00 on February 16 to 20:00 on February 18, 2014
图 9. 为 2014 年 2 月 16 日 20 时~18 日 20 时长沙站温压曲线

5. 卫星云图特征分析

2 月 8 日 20 时~9 日 08 时，30°N 附近南支系统比较活跃，不断分裂短波槽东移，湖南省湘西北地区有云系发展并逐渐向东移动影响长沙地区。图 10 给出 FY-2E 相当黑体亮温(TBB)图，TBB ≤ 0℃的区域表示有云系活动，TBB ≤ −30℃的区域表示有较长生命史的云团活动。8 日 22 时(图 10(a))，川渝交界处有小块云团生成，云顶亮温约−25℃，湘中以北地区上空为大片云层覆盖，云顶亮温介于−10℃~0℃之间。随着短波槽的东移，云系向东移动并发展加强，9 日 00 时(图 10(b))，位于川渝交界处的小块云团面积扩大并东移至长沙地区上空，此时长沙站地面出现降雨，两小时累积雨量 2.6 mm。9 日 03 时(图 10(c))，云团进一步发展，云顶亮温达−30℃，根据记录，9 日 02 时，长沙站由雨夹雪转雪，9 日 06 时(图 10(d))，带状云系东移过境，长沙站上空云层亮温在−10℃~−5℃之间，降雪强度逐渐减弱，08 时转为雨夹雪。因此，降雪时段主要集中 9 日 02 时~08 时，长沙站降雪量 6.3 mm，量级为大雪。

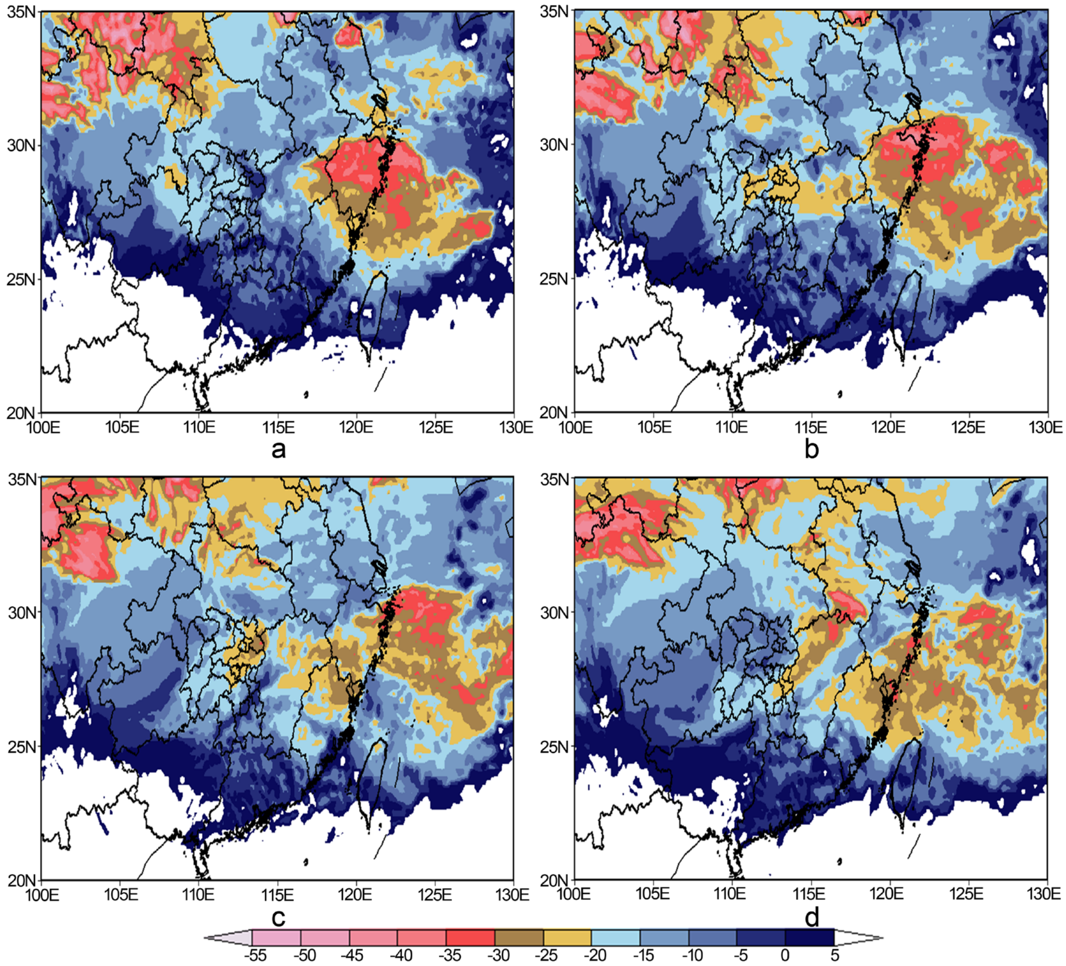

Figure 10. FY2E is equivalent to blackbody temperature (TBB, unit: a. 22:00 on day 8, b. 00:00 on day 9, c.03:00 on day 9, d. 06:00 on day 9)

图 10. FY2E 相当黑体温度(TBB，单位：℃，a. 8 日 22 时，b. 9 日 00 时，c. 9 日 03 时，d. 9 日 06 时)

2 月 12 日 08 时~13 日 08 时，受南支浅槽东移及地面冷空气快速补充南下影响，12 日 11 时开始长沙站出现阵性、零星雨夹雪，云层逐渐增厚，云顶亮温降低，12 日 17 时(图 11(a))，云顶亮温−10℃~−5℃。12 日 20 时(图 11(b))，云团发展加强，云顶亮温最低值−25℃，低值中心位于长沙地区南部，此时对应地

面最强降雨(雪)时段。12 日 22 时(图 11(c))，云团减弱东移，云顶亮温升高，13 日 00 时(图 11(d))，云顶亮温为−5℃～0℃。12 上午~13 日长沙站累积降水量 1.5 mm。

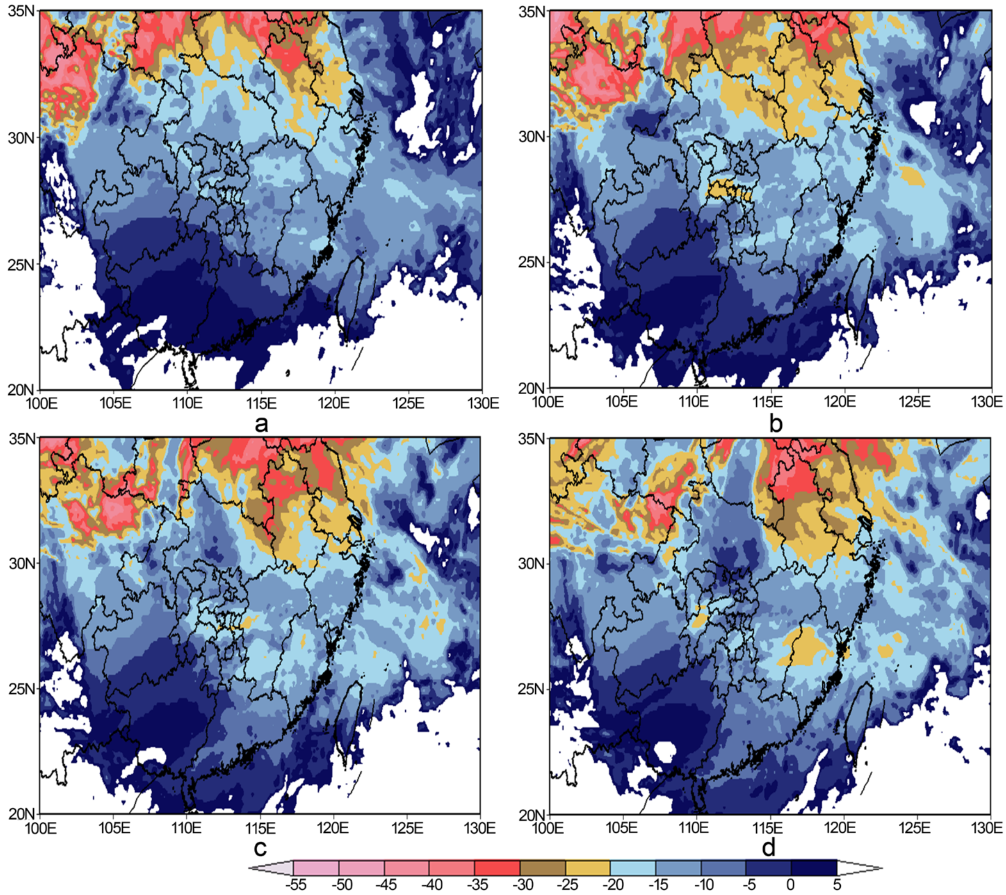

Figure 11. FY2E is equivalent to blackbody temperature (TBB, unit: temperature, a. 17:00 on day 12, b. 20:00 on day 12, c. 22:00 on day12, d. 00:00 on day 13)
图 11. FY2E 相当黑体温度(TBB，单位：℃，a. 12 日 17 时，b. 12 日 20 时，c. 12 日 22 时，d. 13 日 00 时)

2 月 17 日 20 时~18 日 08 时，30˚N 附近南支槽经向度加大，发展东移，18 日 03 时(图 12(a))，槽前带状云系呈东北－西南走向，分布于江苏、安徽、湖北、湘西北及贵州北部地区，云顶亮温最低值低于−55℃，长沙地区处于云系南侧，云顶高度较低，温度介于−10℃~−5℃之间。18 日 08 时(图 12(b))，云带向东北方向移动，08~12 时(图 12(a)、图 12(b))该云带自西向东、自南向北持续影响长沙地区，云顶亮温维持−30℃左右，这一时间段为长沙站最强降雪时段，据长沙站记录，截至 14 时，长沙站降雪量 9.8 mm，莲花站降雪量 10.5 mm，为大到暴雪。18 日 19 时(图 12(d))，伴随着低槽过境，带状降水云系发展减弱，长沙地区上空云系云顶亮温升高，为低云覆盖，降雪停止转阴天。

三次降雪过程都是由于南支槽过境时配合低层良好的水汽及动力、热力条件，在中低层有降水云系生成，并且由于云内温度较低，过冷却水通过冰相过程形成固态降水降落至地面。不同的是，前两次过程中南支槽分裂短波槽东移影响本地，降水云系在长沙上游湘西地区生成，并在短时间内东移影响长沙形成降雨(雪)后云系消散，而后一次降雪过程中，南支槽经向度较大，且移速比较缓慢，在 12 小时内持续影响本地，槽前带状云系伴随着南支槽的东移自西向东、自北向南持续影响长沙地区，云带宽可达 10 个纬距，长约上千公里，云顶亮温最低值可达−55℃。

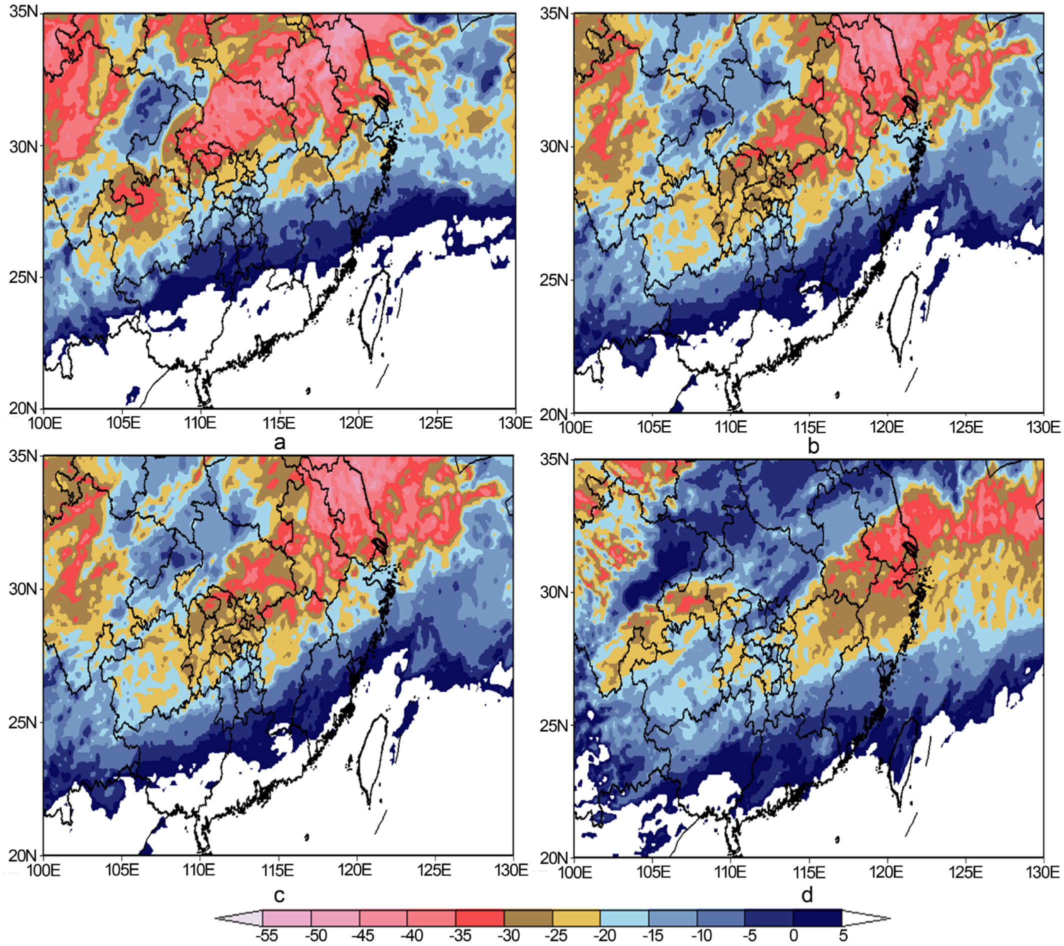

Figure 12. FY2E is equivalent to blackbody temperature (TBB, unit: temperature, a. 03:00 on day 18, b. 08:00 on day 18, c. 12:00 on day 18, d. 19:00 on day 18)
图 12. FY2E 相当黑体温度(TBB，单位：℃，a. 18 日 03 时，b. 18 日 08 时，c. 18 日 12 时，d. 18 日 19 时)

6. 黑麋峰雷达站雷达回波特征分析

由黑麋峰雷达站雷达反射率因子图可知，降雪回波呈片状且具有明显层状云回波特征，大片回波中伴有强度不同、形状各异的回波中心，强回波强度 30 dBz 以上，降雪量多少与强回波持续时间有关，中等强度以上降雪有一定范围的 35 dBz 以上的强回波中心。2 月 8 日夜间到 9 日白天，长沙站出现大雪，2 月 18 日早晨到白天，长沙站出现暴雪，在 0.5˚仰角反射率因子图上有一大片带状或块状的强度在 40 dBz 以上的强回波，最大值 51 dBz，回波带成东北—西南走向，自西向东分别影响宁乡县、长沙市区、浏阳市(图 13(a)、图 13(c))。降雪出现在槽前西南气流中，风场结构比较简单，零速度线接近一条直线，成西北—东南走向或东西走向，并随时间呈现逆时针旋转，雷达中心附近的最大径向速度达到 10 m/s (图 13(b)、图 13(d))。第二次过程雷达图略。

7. 降雨(雪)成因分析

7.1. 动力、热力条件分析

分析降雨(雪)发生最强的时段，沿 112.55˚E 处作假相当位温、相对湿度和垂直速度的垂直剖面。假相当位温在绝热等压蒸发过程中具有保守性，因此可以用假相当位温来分析冷暖气团的性质，而低层假

相当位温线密集带代表锋区，同时将锋区下界定位 290 K，上界定位 310 K。降雨(雪)发生时段，对流层中低层 500 hPa 以下相对湿度接近 100%，925 hPa 以上假相当位温线陡峭密集，随高度向北倾斜，且水平梯度增大，加强了暖湿气流的爬升作用。降雨(雪)时段，从华南至长江流域维持一个倾斜的强上升运动区，上升气流将低层的相对干冷的空气向上输送，并与低空急流向北输送的强暖湿空气相遇，冷暖空气交汇持续在湘中附近，是这三次大范围降雪产生的动力、热力条件。其中，18 日 08 时(图 14(c))，低层锋区下界为来自极地的变性干冷气团，下沉速度 0.4 Pa/s，冷气团自北向南推进直到 24˚N 湖南以南的南岭附近，锋区上界为来自热带海洋的暖湿气团，上升速度达到 1.2 Pa/s，此次过程，暖湿气团抬升速度较前两次强，低层假相当位温较高，达到 324 K，中低层湿度深厚，动力条件、热力条件均较前两次过程有利，降雨(雪)强度也比前两次过程大。

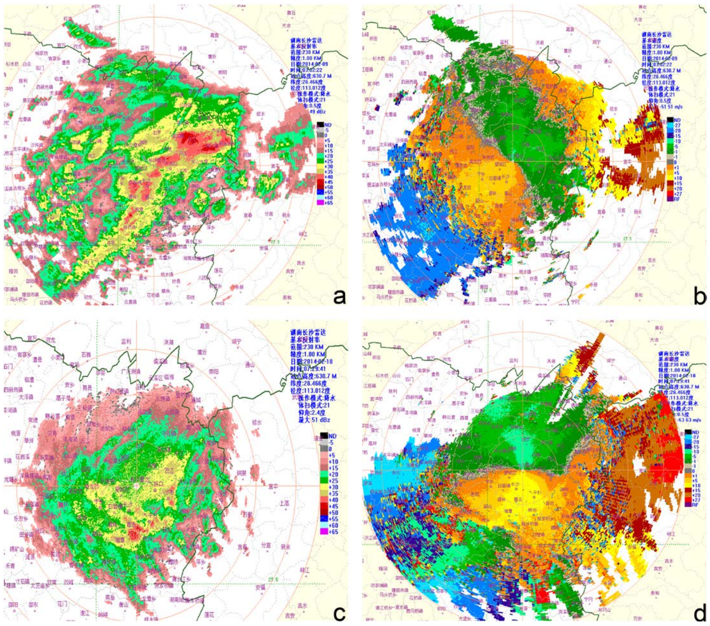

Figure 13. Radar reflectivity factor and radial velocity chart (unit: dBZ, a & b. 03:02 on day 9, c. 07:29 on day 18)

图 13. 雷达反射率因子及径向速度图(单位：dBZ，a、b. 9 日 03 时 02 分，c、d. 18 日 7 时 29 分)

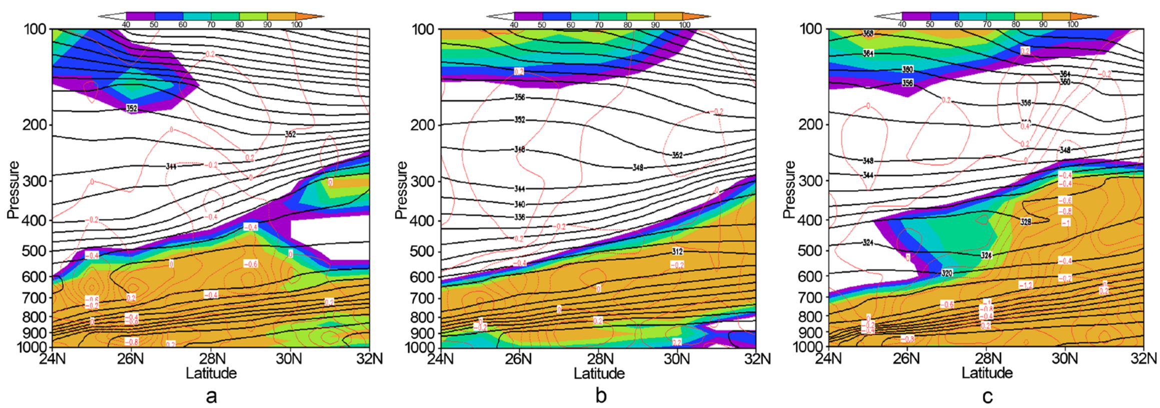

Figure 14. Vertical profiles of PSEUDO-EQUIVALENT potential temperature, relative humidity and vertical velocity along 112.55 degrees E (pseudo-equivalent potential temperature: black solid line, unit: K; relative humidity: color shadow, unit: %; vertical velocity: red solid line, unit: Pa/s, a. 9, 02:00, b. 12, 20:00, c. 18, 08:00)

图 14. 沿 112.55˚E 处假相当位温、相对湿度、垂直速度垂直剖面(假相当位温：黑色实线，单位：K；相对湿度：彩色阴影，单位：%；垂直速度：红色实线，单位：Pa/s，a. 9 日 02 时，b. 12 日 20 时，c. 18 日 08 时)

7.2. 水汽条件分析

水汽是降水形成的一个重要条件，而水汽输送机制的建立对持续性降雪至关重要。分析三次降雪过程中 850 hPa 水汽通量场(图略)可知，雨雪过程发生期间西南气流将对流层低层大部分水汽从孟加拉湾、南海经西南地区向华南北部及江南地区输送，水汽输送带与低空急流位置相对应。分析长沙站水汽通量时序图(图 15)发现，三次降雪过程中，对流层中低层均存在水汽通量大值区，12 日 20 时水汽通量高值中心位于 700 hPa 以上，最大值 5×10^{-5} $g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$，8 日 20 时和 17 日 20 时水汽通量高值中心位置在 700 hPa 以下，最大值达到 12.5×10^{-5} $g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$。由水汽通量散度场时空分布(图 15)特征发现，水汽在低层向高层输送时加强辐合北抬，其中 8 日 08~20 时、15 日 20 时~18 日 08 时，近地面层到对流层中低层均存在明显的水汽辐合(最大值达到 12×10^{-5} $g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)，而 500 hPa 以上层为持续的水汽辐散。对流层内水汽通量场的上下层配置，在高低空急流相互配合的抽吸作用下，低层水汽辐合抬升，在抬升过程中经历凝结、碰冻等一系列微物理过程后形成冰晶、雪花、雨滴等固液态降水后在斜升气流作用下从主上升气流斜前方降落到地面。8 日 08~20 时、15 日 20 时~18 日 08 时中低层水汽辐合作用强烈而上层大气中水汽辐散，8 日晚到 9 日白天以及 18 日早晨，长沙站出现大到暴雪；相反，12 日 20 时~13 日 08 时，850 hPa 以下为弱的水汽辐散，500~850 hPa 的中低层存在水汽辐合，与垂直速度的配置较差，因此降雪强度较小，为小雪。

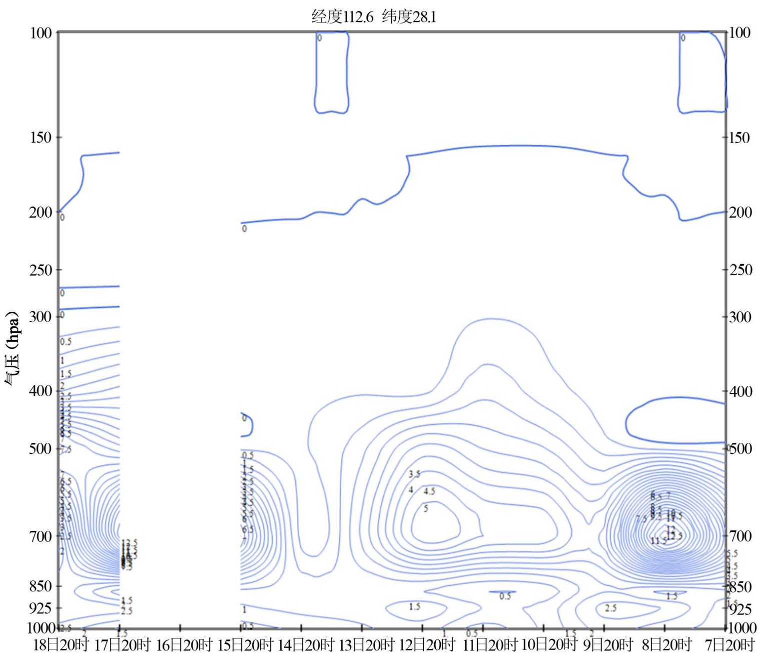

Figure 15. Time series diagram of water vapor flux field at Changsha station from 8 to 18 February 2014 (unit: 10^{-5} $g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)

图 15. 2014 年 2 月 8~18 日长沙站水汽通量场时序图(单位：10^{-5} $g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)

7.3. 层结特征分析

由三次降雪过程中强降雪时段的 T-logP 图可知，同样处于有利雨雪产生的大尺度环流背景下，层结特征也不尽相同。08 日 20 时(图 17(a))层结特征表现出明显的上干下湿的特征，湿层位于 600 hPa 高度以下，700 hPa 西南急流达到 24 m/s，850 hPa 以下风向随高度逆时针旋转，存在弱冷平流。700~850 hPa 之间存在一个融化层，融化层下是逆温层，逆温层底在 2 km 高度，逆温层厚度较小，逆温强度较大，逆温层顶底之间的温差在 10℃左右。12 日 20 时(图 17(b))层结曲线也表现为上干下湿的喇叭口形状，湿层较

第一次过程深厚，700~850 hPa 之间的逆温层厚度在 1 km 左右，逆温强度较弱，从地面到高空整层大气温度均在 0℃以下，700 hPa 西南气流 14 m/s，近地面层存在明显的冷平流，950 hPa 以下对流有效位能 14.5 J/kg，有利于低层暖湿空气沿冷空气爬升。18 日 08 时(图 17(c))，T-logP 图显示 300 hPa 以下整层大气温度露点差小于 3℃，逆温层底高度较高，位于 800 hPa 左右，厚度也较前两次过程大，达到 1.5 km 左右。700 hPa 高度以上存在一个薄的融化层，最高温度 4℃左右，融化层以下冻结层(温度小于等于 0℃)深厚，冷平流很强。高层过冷却水通过凝结、碰冻、淞附、冻结等微物理过程形成雪花或冰晶后在下落过程因融化层浅薄而冻结层深厚不易融化成液态，而是更有利于碰并、粘连形成尺度较大的雪花或冰晶下落到地面，形成强降雪。综上，雨雪过程中，地面不断有冷空气补充南下，700 hPa 维持强盛的西南风，形成了“冷垫”与“暖盖”稳定重叠降雪机制，配合南支槽分裂东移，使得长沙地区出现多次降雪过程。此外，水汽饱和区(湿层)的存在，是冰晶、雪晶淞附、粘连增长所需的环境场条件，云层发展越深厚，云中过冷却水含量越大，冰晶、雪花增长的环境条件越有利，造成的降雪强度也越大。

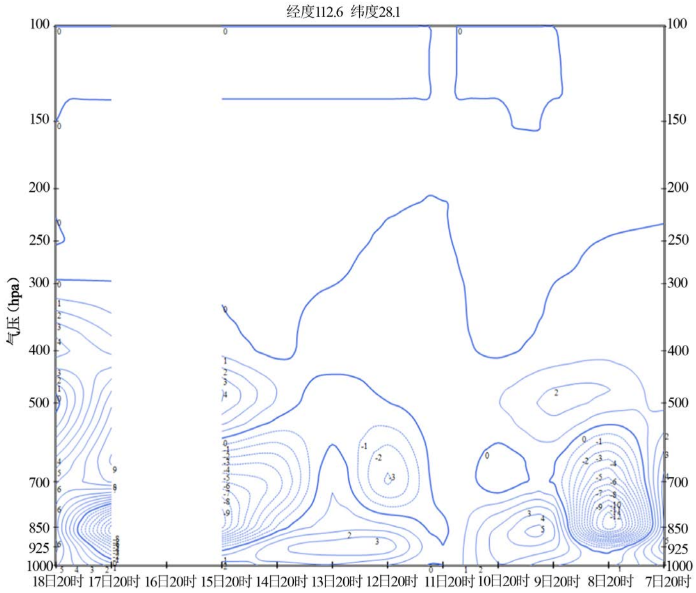

Figure 16. Time series diagram of water vapor flux divergence at Changsha station from February 8 to 18, 2014 (unit: 10^{-5} $g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)
图 16. 2014 年 2 月 8~18 日长沙站水汽通量散度时序图(单位：10^{-5} $g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)

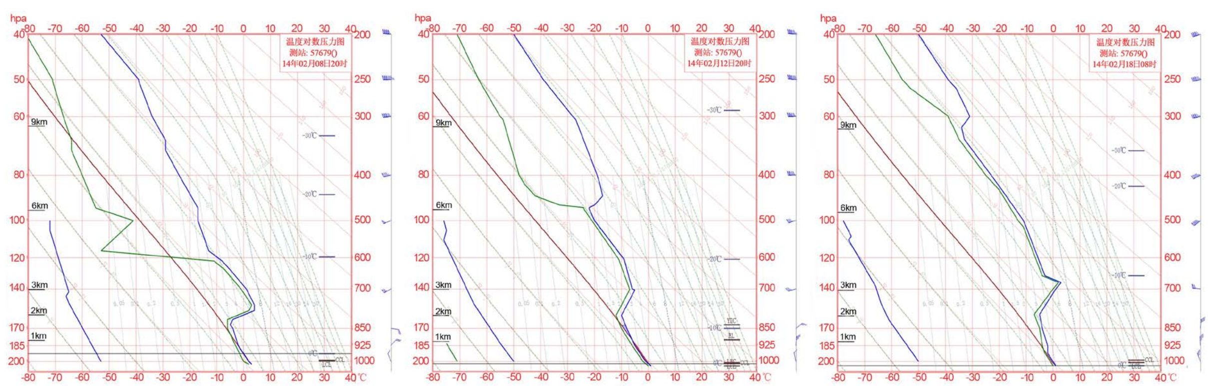

Figure 17. Sounding Curve (a. 8 at 20:00, b. 12 at 20:00, c. 18 at 08:00)
图 17. 探空曲线图(a. 8 日 20 时，b. 12 日 20 时，c. 18 日 08 时)

8. 总结

1 月下旬后期到 2 月上旬前期，长沙市天气晴暖，气温异常偏高，2 月 2 日最高气温达到 26.9℃。2 月 4~18 日为低温阴雨雪冰冻天气过程，持续时间长，气温较前期降幅大且持续偏低，共有 3 次降雪过程发生，其中 9~11 日出现冰冻。一方面主要是由于南支槽比较活跃，不断分裂短波南下，同时中低层在湘中地区存在切变线，具有一定的动力抬升条件；且过程发生前，西南气流强盛，两湖、两广地区为强水汽辐合中心，水汽条件好；另一方面，来自极低的干冷空气不断补充南下，变性干冷气团与来自热带海洋的暖湿气团于江南地区交汇、相互作用，从而触发降水(雪)。

此次低温阴雨雪冰冻天气过程持续时间长，过程开始前气温异常偏高，为降雨(雪)爆发蓄积了不稳定能量，对于天气由好转坏后的降水量级把握带来了困难，但是综合利用常规观测资料、卫星云图和各物理量资料，分析天气系统的发展演变情况，把握降水落区、降水相态转变、降水量级以及过程持续时间，从而做出比较准确、及时、全面的预报，及时、主动进行预警减灾，为春节及春运及时做好气象服务。

参考文献

[1] 杨贵名, 孔期, 毛冬艳, 张芳华, 康志明, 宗志平. 2008 年初“低温雨雪冰冻”灾害天气的持续性原因分析[J]. 气象学报, 2008, 66(5): 836-849.

[2] 马晓刚. 2008 年 1 月我国南方罕见冰冻雨雪灾害性天气诊断分析[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(1): 23-26.

[3] 王晓兰, 李象玉, 黎祖贤, 李耨周, 居晶琳. 2005 年湖南省特大冰冻灾害天气分析[J]. 气象, 2006, 32(2): 87-91.

[4] 吕胜辉, 王积国, 邱菊. 天津机场地区冻雨天气分析[J]. 气象科技, 2004, 32(6): 456-460.

[5] 朱乾根. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 1992.

[6] 章竹青, 范昱, 喻雨知, 等. 长沙地区 2008 年低温雨雪冰冻灾害天气过程分析[J]. 湖南农业科学, 2009(2): 81-83.

[7] 李灿, 张端禹, 冯明, 等. 南方极端低温雨雪冰冻过程天气学特征分析[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(4): 321-327.

[8] 姚蓉, 许霖, 张海, 等. 湖南 2008/2011 年两次低温雨雪冰冻灾害成因与影响对比分析[J]. 灾害学, 2012, 27(4): 75-79.

[9] 周文志, 唐熠. 广西重大低温雨雪冰冻天气过程概念模型和预报研究[C]//中国气象学会. 第 29 届中国气象学会年会论文集, 2012 年卷. 2012: 1-9.

[10] 张录青, 李丽, 饶纲伟. 2008 年初粤北罕见的低温雨雪冰冻天气过程分析[J]. 广东气象, 2008, 30(2): 8-12.