

张萍萍,吴翠红,祁海霞,等. 2015. 2013 年湖北省两次降雪过程对比分析. 气象, 41(4):418-426.

2013 年湖北省两次降雪过程对比分析^{*}

张萍萍¹ 吴翠红¹ 祁海霞¹ 王晓玲¹ 张 宁²

1 武汉中心气象台, 武汉 430074
2 湖北省气象局科技与预报处, 武汉 430074

提 要: 利用常规观测资料、NCEP 再分析资料、微波辐射计及多普勒雷达等资料对 2013 年 2 月 7—8 日干雪过程、2 月 18—19 日湿雪过程,从水汽、不稳定、动力及温湿层结方面进行对比分析,得出如下结论:(1)2 月 7—8 日的干雪过程水汽层次浅薄,水汽输送支仅为 700 hPa 弱西南气流;2 月 18—19 日的湿雪过程水汽充沛,水汽输送支为 700 hPa 强西南急流和 850 hPa 东南气流。(2)干雪过程低层冷平流强,层结稳定。湿雪过程低层暖平流强,冷暖交汇使大气不稳定性增加。(3)干雪过程中弱暖湿气流沿深厚冷空气垫爬升,动力辐合位于中高层,次级环流的形成减弱上升运动。湿雪过程中弱冷空气楔入到强暖湿气流底部,迫使其抬升,形成深厚上升运动区,次级环流的形成增强上升运动。(4)干雪过程整层温度<0℃,700 hPa 出现冷性逆温层,-10℃层位于 925 hPa 附近,水汽密度、液态水含量、整层水汽含量较小;湿雪过程 700 hPa 出现暖性逆温层,-10℃层位于 500 hPa 附近,水汽密度、液态水含量、整层水汽含量较大。在上述研究的基础上给出了干、湿雪形成的三维物理模型,该模型从温湿(风)垂直层结上面体现出了干、湿雪形成的主要环境背景差异,对于干、湿雪预报具有一定的参考价值。

关键词: 干雪, 湿雪, 次级环流, 液态水含量, 物理模型

中图分类号: P458 **文献标志码:** A **doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 04. 004

Contrast Analysis of Two Snowfall Events in Hubei 2013

ZHANG Pingping¹ WU Cuihong¹ QI Haixia¹ WANG Xiaoling¹ ZHANG Ning²

1 Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074
2 Science and Technology Department, Hubei Meteorological Bureau, Wuhan 430074

Abstract: Based on conventional weather chart, NCEP reanalysis data, microwave radiometer products and Doppler radar observations, the water vapor, thermal and dynamic conditions, temperature and humidity stratification during 7—8 (dry snow) and 18—19 (wet snow) February 2013 are comparatively analyzed. The results show that: (1) The vapor transportation branch in dry snow process is weak southwest air current at 700 hPa, but the vapor transportation branch in wet snow process is the strong southwest air current at 700 hPa and the southeast air current at 850 hPa with sufficient moisture. (2) There is strong cold advection and stable atmospheric layer in dry snow process. However, strong warm advection exits in wet snow process in which cold and warm flow intersection makes atmospheric instability enhanced. (3) The southwest current ascends on the cooling cushion in dry snow process with convergence at middle-high levels, and the secondary circulation inhibits ascending motion. In wet snow process, the cold air inserts the bottom of warm flow, making warm flow lifted, and the secondary circulation supplies a continuous and powerful updrafts. (4) The temperature is lower than 0℃ at all levels with cold inversion layer and low vapor density, liquid water content and water vapor content at all levels in dry snow, and the level of

^{*} 湖北省气象局科技支撑项目(2014Y01)资助
2014 年 3 月 3 日收稿; 2015 年 1 月 5 日收修定稿
第一作者:张萍萍,主要从事短期天气预报分析研究. Email:zpp7117@126.com

-10°C is found at 925 hPa. On the contrary, warm inversion layer exists in wet snow with high vapor density, liquid water content and water vapor content at all levels, and the level of -10°C is at 500 hPa. Finally, three-dimensional physical model for the formation of dry snow and wet snow is built based on the above researches. The model reflects the main environmental background difference of temperature and humidity air stratification, which has certain reference significance for dry and wet snow forecasting.

Key words: dry snow, wet snow, secondary circulation, liquid water content, physical model

引言

湖北地处长江中游地区,位于南北气候过渡带,冬季属于冷、暖空气交汇显著的区域,降雪的物理成因非常复杂,降雪的性质也不尽相同,有干、湿雪之分。不同性质的降雪过程引发的灾害不同:干雪过程中由于雪花不易融化,黏性较小,易造成地面积雪,影响交通(Wakahama et al, 1977; Makkonen et al, 2008),湿雪则由于含水量高、雪压大、黏性强(Admirat et al, 1988)容易形成电线积冰及道路结冰等冰雪灾害。因此,对湖北省干、湿雪过程进行对比分析,对于防范冰雪灾害具有重要意义。

关于湖北省降雪机理,国内有很多学者进行了相关研究。如徐双柱等(2009)对湖北省15次大雪过程分析认为,地面冷空气、700 hPa西南急流和500 hPa西风槽是湖北冬季大雪天气的主要影响系统。刘志勇等(2008)对2006年十堰一次区域性暴雪天气过程的诊断分析表明,中低层暖平流沿低层冷空气垫爬升是产生暴雪的重要动力条件。范元月等(2010)对2007年鄂东南一次暴雪过程的诊断与模拟发现,西南急流的减弱和移出,对应降雪的开始和停止。龙利民等(2010)研究了温度平流演变对湖北降雪的影响。上述研究多侧重于湖北降雪强度和落区机理研究,对于引发不同性质降雪的天气系统、环境场特征等目前尚未进行对比分析。

关于干、湿雪特征对比,国内外一些学者进行了相关研究。国外学者们对于干、湿雪的定义等进行了相关研究,如Huang等(2008)提出用雪雨比值(积雪深度增量/雨雪量)对干、湿雪进行定义和区分。Paterson(1981)和Goodison(1981)指出,新降干雪的平均密度约为 $100\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,新降湿雪的平均密度约为 $100\sim 200\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,而对于干、湿雪形成的天气形势以及环境场的区别研究较少;国内马丽娟等(2012)通过分析得出中国年平均积雪深度、雪水当量和积雪密度分别为 0.49 cm 、 0.7 mm 和

$0.14\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。杨琨等(2013)对我国不同地区的雪深增量和雨雪量比值进行了分析,指出雪雨比值平均值在 $0.79\text{ cm}\cdot\text{mm}^{-1}$ 左右,具有明显的地域差异,北方地区比值波动较小,在 $1\sim 1.15\text{ cm}\cdot\text{mm}^{-1}$,以干雪为主,南方地区比值波动较大,大多 $<1\text{ cm}\cdot\text{mm}^{-1}$,以湿雪为主。上述研究多局限于干、湿雪的物理特征等,对于干、湿雪天气过程特点及预报要点目前研究较少。

本文利用常规观测资料、NCEP再分析资料、微波辐射计及多普勒雷达等资料对2013年2月7—8日干雪过程(简称0208过程)与2月18—19日湿雪过程(简称0218过程)进行对比分析,旨在找出两类降雪过程的天气形势和环境场特征的区别,建立相应物理模型,提高预报员对两类降雪的机理认识,为今后做好降雪预报和预警服务提供参考。其中,根据湖北本地降雪特征,规定若雪雨比值 $\geq 1\text{ cm}\cdot\text{mm}^{-1}$ 则为干雪,若雪雨比值 $<1\text{ cm}\cdot\text{mm}^{-1}$ 则为湿雪。

1 两次降雪过程概况

0208过程从2月7日08时一直持续到8日20时,降雪开始于鄂北,逐渐南压,最强降雪出现在8日08时前后,鄂东普降中到大雪,大部地区积雪深度为 $3\sim 5\text{ cm}$,雪量为 $1\sim 4\text{ mm}$,雪雨比值 $>1\text{ cm}\cdot\text{mm}^{-1}$ (图1a),其中武汉站雪雨比值高达 $3.44\text{ cm}\cdot\text{mm}^{-1}$ (表1)。降雪过程发生在除夕前夜,持续时间长,积雪深度较大,对于春节期间人们出行产生极大影响;0218过程从18日08时开始到19日凌晨结束。降雪开始于鄂西北,随后雪区逐渐东移南压,23时江汉平原至鄂东北一线出现一条雷暴带,其北侧为雪,南侧为雨,湖北省内出现罕见雪、雨、雷电共存现象。最强降雪出现在18日20时前后,江汉平原至鄂东出现中到大雪,大部地区积雪深度为 $1\sim 3\text{ cm}$,雪量为 $10\sim 20\text{ mm}$,雪雨比值 $<1\text{ cm}\cdot\text{mm}^{-1}$ (如图1b),武汉站雪雨比值只有 $0.14\text{ cm}\cdot\text{mm}^{-1}$ (见表1)。此次降雪过程持续时间短,出现罕见冬

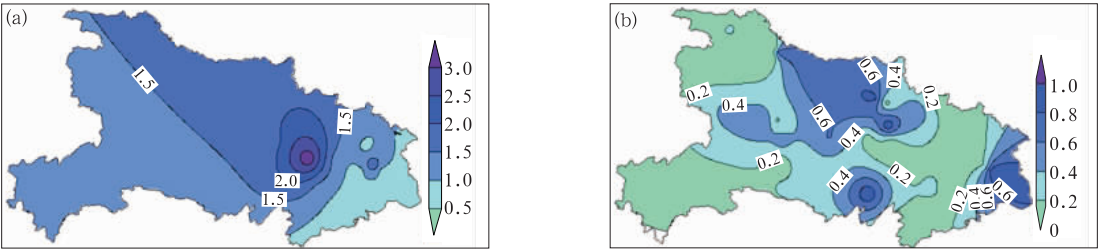


图 1 2013 年 2 月 8 日(a)和 18 日(b)雪雨比值(单位:cm · mm⁻¹)

Fig. 1 Snow and rain ratio (unit: cm · mm⁻¹) on 8 (a) and 18 (b) February 2013

表 1 武汉站两次过程雪量、雪深、雪雨比值

Table 1 Snowfall, snow depth, snow and rain ratio at Wuhan Station in two snowfall events

日期	雪深增量 /cm	雪量/mm	雪雨比值 /cm · mm ⁻¹
2013 年 2 月 8 日	3.1	0.9	3.44
2013 年 2 月 18 日	1.2	8.7	0.14

雷及路面结冰现象,雨雪转换预报难度较大,对春运交通带来较大影响。

2 环流形势对比分析

0208 过程主要影响系统为 500 hPa 短波槽、东北冷涡以及 700 hPa 弱切变线(图 2a)。2 月 7 日 08 时,500 hPa 中高纬为两槽一脊,东北地区受冷涡控制,其东移过程中后部偏北气流引导冷空气南下,850 hPa 上,8 日 08 时,河南南部至湖北一带形成东北回流,北风分量偏大,东北气流与温度线几乎成垂直交角,冷平流向南输送十分显著,0℃线已压至湖南南部,低层形成深厚冷垫。地面图上(图略)气压梯度较大,湖北大部地区为东北风,北风分量较大,最大风速达 10 m · s⁻¹;与此同时,中低纬地区南支系统十分活跃,不断分裂短波槽东移,700 hPa 形成弱冷式切变线,贵州至湖南中部一带形成西南急流,为降雪区输送水汽,西南暖湿气流在深厚冷垫上爬升,为降雪形成提供有利的动力条件。由于 500 hPa 不断有短波槽东移,东北路冷空气侵入较早且持续时间较长,西南暖湿气流较偏南,因此降雪持续时间长,为稳定性降雪,雨雪量不大。

0218 过程主要影响系统为 500 hPa 长波槽、700 hPa 切变线及西南急流、850 hPa 切变线(图 2b)。2 月 18 日 08 时,500 hPa 东北—川西地区为宽广的长波槽,700 hPa 湖北西部有冷式切变线形成。其南侧贵州至湖北南部一带形成显著西南

急流,最大风速达 20 m · s⁻¹。对应 850 hPa 湖北中北部形成东北回流,东风分量偏大,东北气流与温度线几乎成平行交角,冷平流较弱,0℃线位置偏北,湖北与湖南北部一带形成暖式切变线,切变线南侧南风气流与温度线交角接近垂直,表明暖平流输送显著。地面大部地区吹东北风,东风分量较大;18 日 20 时(图略),500 hPa 高空槽进一步东移,700 hPa 湖北南部急流出现爆发性增强,从 20 m · s⁻¹ 增强至 28 m · s⁻¹,随着弱冷空气的进一步南下,低层形成浅薄冷垫,冷暖空气交汇于江汉平原至鄂东一带,促使不稳定能量增强,出现冬雷现象。由于暖湿气流发展非常旺盛,冷暖空气交绥显著,不稳定性强,因而雨雪量大,但降雪持续时间并不长。

3 水汽条件对比分析

0208 过程水汽主要来源于 700 hPa 西南暖湿气流。降雪期间,700 hPa 贵州—湖南—鄂东一带受西南气流控制,贵州西部—湖南中部为一高比湿带,水汽随着西南气流北上至鄂东地区,形成一条水汽输送带,位置略偏南(图 3a)。850 hPa 来源于东北冷涡后部的东风回流,途经华北地区南下至湖北,从 8 日 08 时 850 hPa 水汽通量和流场图(图 3b)可看出,华北地区为一相对干区,水汽通量值 < 0.02 g · cm⁻¹ · hPa⁻¹ · s⁻¹,无明显水汽向南输送,该东风回流为干冷回流。从武汉站微波辐射计资料可看出(图 3e),8 日武汉液态水含量、水汽密度大值区主要位于 3 km 附近,最大值分别为 0.03 和 4 g · m⁻³,大气水汽总含量约 22 mm。该过程中,水汽输送通道单一,水汽垂直厚度浅薄,整层大气水汽含量及液态水含量较少。

0218 过程水汽来源于 700 hPa 西南气流和 850 hPa 东南气流。18 日 08 时 700 hPa 有 ≥ 0.16

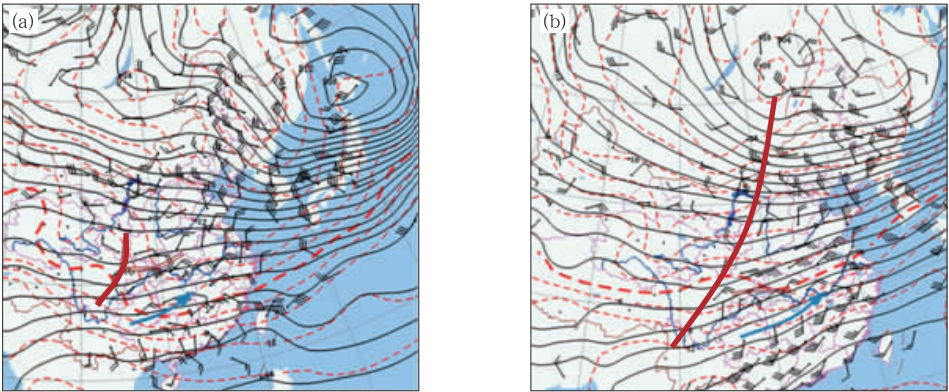


图 2 2013 年 2 月 8 日 08 时(a)和 18 日 08 时(b)500 hPa 高度场(黑色实线)、850 hPa 温度场(红色虚线)及风场、700 hPa 急流(蓝色箭头)、700 hPa 切变(棕色双实线)及 500 hPa 槽线(棕色实线)

Fig. 2 500 hPa height (black solid line), 850 hPa temperature (red dotted line) and wind, 700 hPa jet stream (blue arrow), 700 hPa shear (brown double solid line), 500 hPa trough-line (brown solid line) at 08:00 BT 8 (a) and 08:00 BT 18 (b) February 2013

$\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽通量大值中心,从贵州中部向湖南东北部及鄂东地区输送(如图 3c),强劲的西南暖湿气流是该过程水汽输送的重要来源。850 hPa 鄂东两支东风气流汇合,北方为东北干冷回流,有利于地面形成冷垫,湖南—江西一带存在一支西南暖湿气流,携带水汽北上至鄂东地区转为东南气流(图 3d),该气流所经之处形成一条明显的水汽输送带,此东南暖湿气流与东北回流交汇于江汉平原至鄂东北一带,不稳定能量增强,随着能量释放,导致发生雷电现象,700 和 850 hPa 两支水汽输送通道为降雪发生提供了充足的水汽。从武汉微波辐射计资料可看出(图 3f),18 日武汉液态水含量主要位于 2~6 km,最大值达 $0.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,水汽密度大值区主要位于 0~5 km 附近,最大值达 $14 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,大气水汽总含量最大值达 60 mm,数值远远大于 0208 过程。

4 不稳定条件对比分析

图 4a 为 2 月 8 日 08 时武汉站 $T\text{-log}p$ 图,700 hPa 为风速 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的弱西南暖湿气流,由于南风分量较小,暖湿气流输送弱,导致该层附近出现冷性逆温层(温度 $< 0^\circ\text{C}$;陈红专等,2012;杜小玲等,2014)。850 hPa 以下为干冷东北风,抑制低层暖湿条件增加,低层温度平流以干冷平流为主(图 4c)。在强冷平流作用下,整层温度 $< 0^\circ\text{C}$, -10°C 层高度

位于 925 hPa 附近,云中相态以雪晶、冰晶等固态粒子为主,液态水含量较少。低层干冷、中层略暖湿的温湿垂直结构使该过程为稳定性降雪。从 8 日 08 时湖北雷达回波拼图及组合反射率垂直剖面看(图 4e),降雪地区雷达回波强度在 20 dBz 左右,分布较均匀,回波高度约 8 km,是一次稳定性冷云降雪过程。

图 4b 为 2 月 18 日 20 时武汉站 $T\text{-log}p$ 图。与 0208 过程相比有以下不同:700 hPa 西南风速达 $28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,强西南暖湿气流使得该层温度突破 0°C ,形成暖性逆温层(温度 $> 0^\circ\text{C}$,陈红专等,2012)。850 hPa 附近东北风、东南风共存,低层形成冷湿层结(董林等,2012),850 hPa 江汉平原一带出现冷暖平流交汇区,促使大气不稳定性增加(图 4d)。在强暖湿气流作用下, -10°C 层高度较高,位于 500 hPa 附近,云中液态水含量增加。低层湿冷、中层暖湿的温湿垂直结构使得该过程中具有一定不稳定能量积累,925~1000 hPa 出现弱的 CAPE 正值区,随着冷空气的进一步入侵,锋面抬升作用触发不稳定能量释放(姚蓉等,2012;孟雪峰等,2012;王东海等,2013;叶晨等,2011;杨晓亮等,2014;于晓晶等,2013),产生雷电天气。从 18 日 20 时湖北雷达回波拼图看(图 4f),江汉平原至鄂东北西部一线出现较强回波,最大回波强度达 40 dBz,回波分布不均匀,回波高度位于 10 km 左右,为不稳定性冷云、暖云混合型降雪过程。

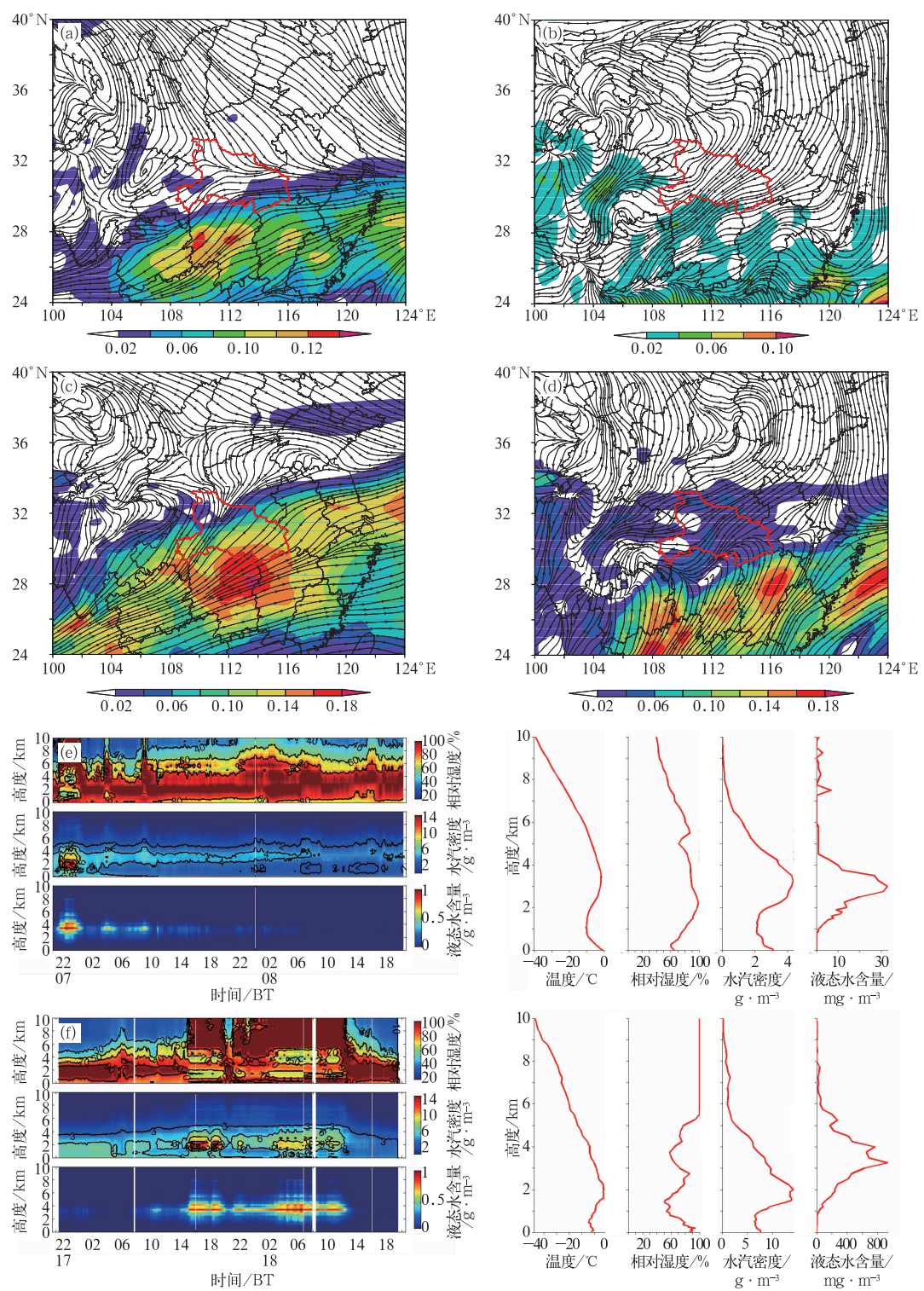


图 3 2013 年 2 月 8 日 08 时 700 hPa(a)和 850 hPa(b)、18 日 08 时 700 hPa(c)和 850 hPa(d)水汽通量及流场,以及 8 日 09 时(e)和 18 日 09 时(f)武汉微波湿度计产品

Fig. 3 Vapor flux and wind flow at 700 hPa (a) and 850 hPa (b) 08:00 BT 8 February 2013, 700 hPa (c) and 850 hPa (d) 08:00 BT 18 February 2013; microwave radiometer products at 09:00 BT 8 (e) and 09:00 BT 18 (f) February 2013

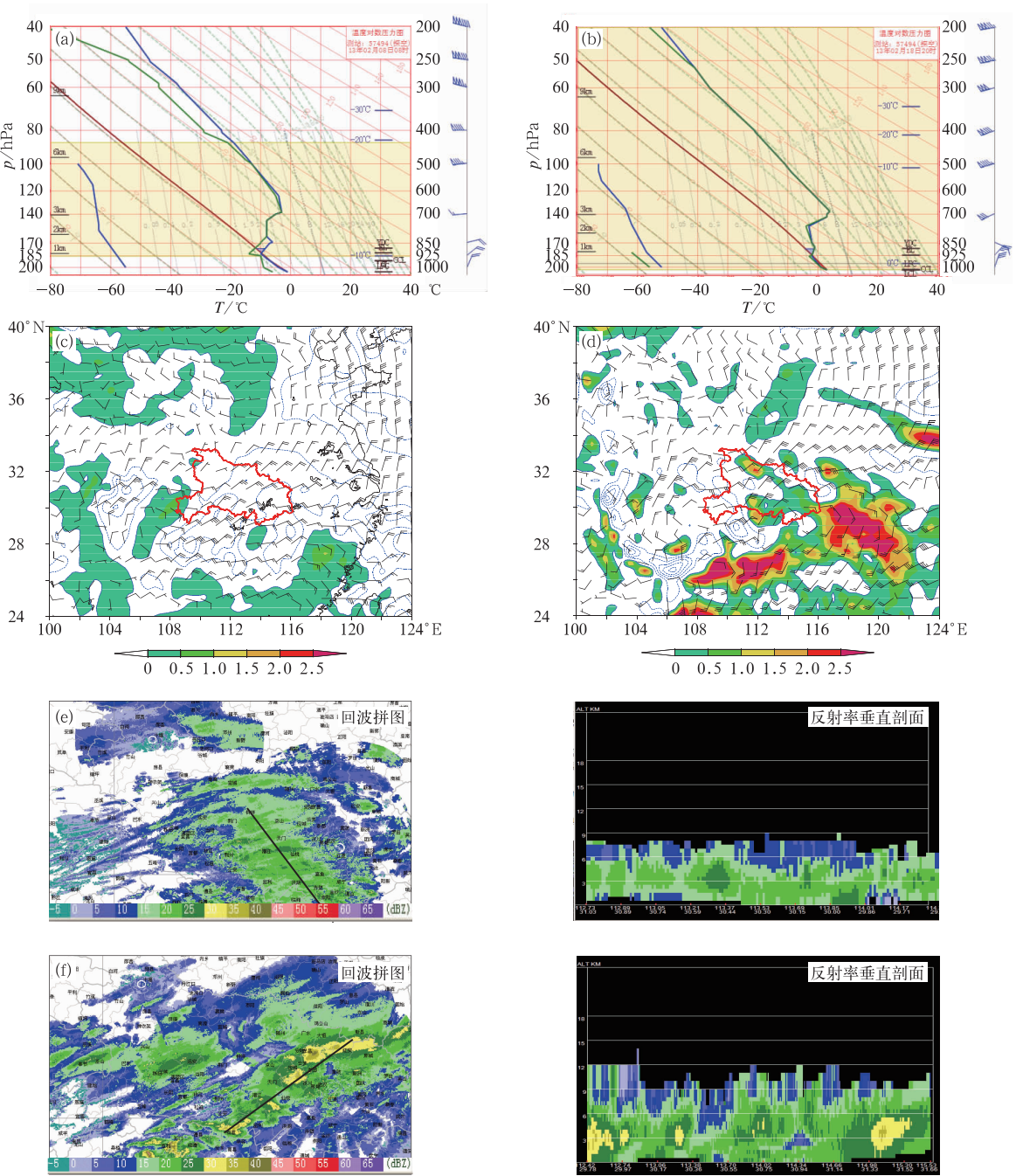


图 4 2013 年 2 月 8 日 08 时(a)和 18 日 20 时(b)武汉 T -log p 图,8 日 08 时(c)和 18 日 20 时(d) 850 hPa 温度平流(等值线为冷平流区,阴影区为暖平流区),8 日 08 时(e)和 18 日 20 时(f) 湖北雷达回波拼图及组合反射率垂直剖面图(黑色实线为剖面区域)

Fig. 4 T -log p diagram at 08:00 BT 8 (a) and 20:00 BT 18 (b) February 2013, temperature advection (contour line; cold advection, shadow; warm advection) at 08:00 BT 8 (c) and 20:00 BT 18 (d) February 2013, radar reflectivity mosaic and vertical reflection (black solid line; cross sectional area) at 08:00 BT 8 (e) and 20:00 BT 18 (f) February 2013

5 动力条件对比分析

图 5a 为 2 月 8 日 08 时沿 114.03°E 的径向 v

风和相对湿度的垂直剖面图,武汉上空存在随高度向北倾斜、相对湿度 $\geq 80\%$ 的楔形结构高湿区。高湿区北侧 800 hPa 以下为相对湿度 $< 70\%$ 的干区,低层形成深厚干冷垫。高湿区南侧 700 hPa 有浅薄

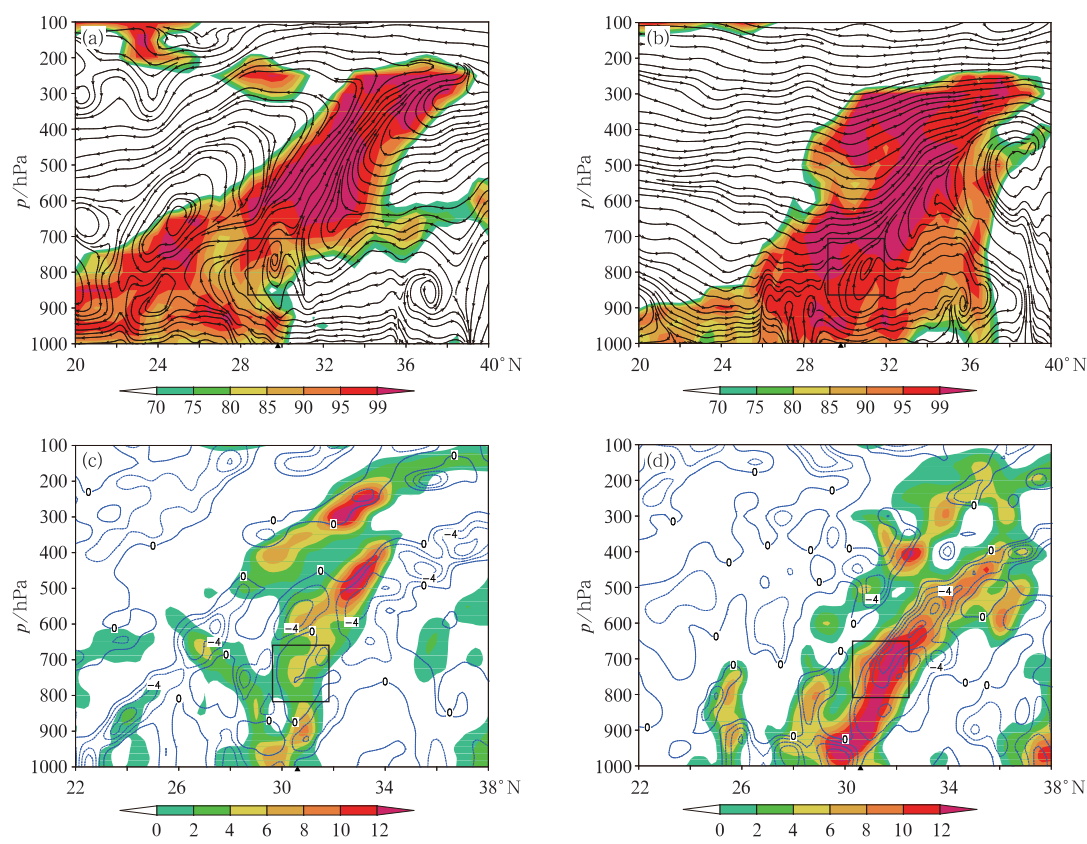


图 5 2013 年 2 月 8 日 08 时(a) 和 18 日 20 时(b)沿 114.03°E 径向 v 风与相对湿度(阴影)垂直剖面, 8 日 08 时(c)和 18 日 20 时(d)沿 114.03°E 涡度、散度垂直剖面

(等值线为散度, 阴影为涡度, 黑三角标注武汉所在纬度, 黑框标注次级环流所在位置)

Fig. 5 The profile of radial wind v and relative humidity (shadow) at 08:00 BT 8 (a) and 20:00 BT 18 (b) February 2013, the profile of vorticity and divergence at 08:00 BT 8 (c) and 20:00 BT 18 (d) February 2013

(contour line: divergence, shadow: vorticity, the black triangle: position of Wuhan, the black box: position of secondary circulation)

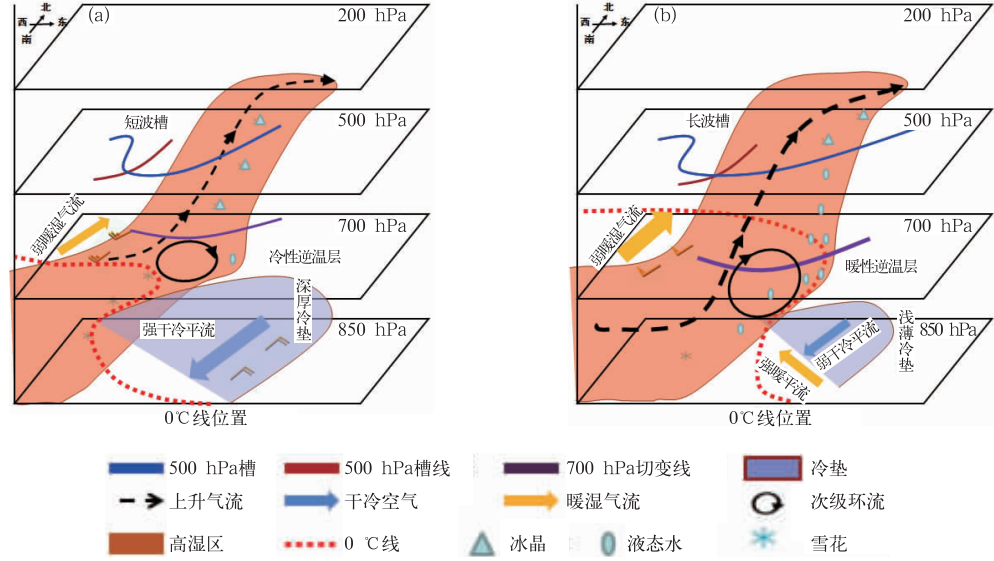


图 6 0208 干雪过程(a)和 0218 湿雪过程(b)三维物理模型图

Fig. 6 Three-dimensional physical model of dry snow on 8 February (a) and wet snow on 18 February (b)

南风气流北上遇南下干冷空气阻挡,沿楔形结构爬升,700 hPa 附近部分干冷空气卷入到南风气流中,形成次级环流,将部分上升气流转变为下沉气流,对上升运动起到一定消弱作用。图 5c 为 8 日 08 时沿 114.03°E 的涡度、散度垂直剖面图,武汉上空出现与楔形结构相对应的正涡度柱,最强涡度为 $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,位于 600 hPa 以上。主要动力辐合区位于 600 hPa 以上,700 hPa 附近次级环流形成处为辐散区,表明次级环流的形成并未增强上升运动。综上,0208 过程干雪过程主要是由于暖湿气流沿干冷空气垫爬升而造成,低层动力条件较弱,主要上升运动区在 600 hPa 以上,干冷空气卷入到暖湿气流中形成的次级环流消弱上升运动。

图 5b 为 2 月 18 日 20 时 114.03°E 的径向 v 风与相对湿度的垂直剖面图。武汉上空同样存在随高度向北倾斜,相对湿度 $\geq 95\%$ 的楔形结构高湿区,倾斜度小于 0208 过程。高湿区南侧 800 hPa 以上有深厚的南风气流北上,其北侧 800 hPa 以下有湿冷北风气流侵入到湿区内,强迫暖湿气流抬升,同时,800~700 hPa 由于湿冷空气卷入到暖湿空气中形成次级环流(余政等,2013),与 0208 过程不同之处在于,该次级环流的形成位置对应较强的动力辐合区(图 5d),次级环流形成进一步增强上升运动(陈涛等,2012)。在楔形结构冷暖交汇处,有一条从地面一直延伸至 400 hPa 的倾斜正涡度柱(图 5d),1000~600 hPa 的最强涡度均达 $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,强涡度厚度远远大于 0208 过程。与深厚正涡度柱相对应,武汉上空 1000~400 hPa 形成深厚动力辐合区,上升运动较强。综上,0218 过程的湿雪过程主要由于冷空气楔入到强暖湿气流底部,迫使暖湿气流抬升(杨晓霞等,2012),自地面至中高层形成深厚的上升运动区,湿冷空气卷入到暖湿气流中形成的次级环流有利于上升运动增强。

根据以上分析,给出 0208 过程(图 6a)与 0218 过程(图 6b)的三维物理模型。在 0208 干雪过程中,东北冷涡后部偏北气流引导冷空气南下,850 hPa 形成强干冷平流,低层形成深厚冷垫,整层温度 $< 0^\circ\text{C}$, -10°C 层位置较低;500 hPa 有短波槽东移,700 hPa 形成弱暖湿气流及冷性逆温层;弱暖湿气流沿深厚冷空气垫爬升,部分干冷气流卷入到上升气流中,形成次级环流,消弱上升运动;由于低层冷平流较强,湿区垂直楔形结构倾斜度大,云中粒子以固态粒子为主,液态水含量少。0218 湿雪过程中,

高空冷槽引导弱冷空气南下,低层形成浅薄冷垫, -10°C 层位置较高;500 hPa 有长波槽东移,700 hPa 形成强盛西南急流及暖性逆温层,850 hPa 存在东北干冷回流、东南暖湿气流两支东风气流,冷暖交汇促使不稳定能量增强;弱冷空气楔入到强暖湿空气底部,迫使暖湿气流抬升,触发不稳定能量释放,同时部分湿冷空气卷入到上升气流中形成次级环流,增强上升运动。由于暖平流较强,湿区垂直楔形结构倾斜度小,云中固、液两态粒子共存,液态水含量多。

6 结论与讨论

本文通过对 2013 年 2 月 8 日干雪过程和 2 月 18 日湿雪过程的水汽、大气层结稳定度、动力条件三个方面进行对比分析,建立了干、湿雪三维物理模型,揭示了干、湿雪过程的主要区别如下:干雪过程中,低层冷垫深厚、中层出现冷性逆温层,700 hPa 暖湿气流弱、水汽输送通道单一,850 hPa 干冷平流强,上升运动较弱,次级环流形成消弱上升运动,雪深大、雪量小,以纯雪为主;湿雪过程中,低层冷垫浅薄、中层出现暖性逆温层,700 hPa 急流强盛、水汽输送通道多,850 hPa 干冷、暖湿平流交汇,不稳定性强,上升运动显著,次级环流形成增强上升运动,雪量大、雪深小,一般经历由雨转雪过程,预报难度较大。

通过以上分析,在今后的实际预报业务中,可根据不同性质的降雪过程,分析相应的预报着眼点,制定相应的防灾减灾方案。然而本文对于两次降雪过程中的微物理过程并没有进行系统的分析,建立的物理模型仍然需要更多的个例进行验证,以上不足之处将在今后的工作中进一步完善。

参考文献

- 陈红专,叶成志,龙丽华. 2012. 2011 年 1 月湖南罕见持续性暴雪天气成因分析. 暴雨灾害, 31(2): 141-148.
- 陈涛,崔彩霞. 2012. “2010. 1. 6”新疆北部特大暴雪过程中的锋面结构及降水机制. 气象, 38(8): 921-931.
- 董林,符娇兰,宗志平. 2012. 2011 年隆冬北京初雪成因分析. 气象, 38(8): 913-920.
- 杜小玲,高守亭,彭芳. 2014. 2011 年初贵州持续低温雨雪冰冻天气成因研究. 大气科学, 38(1): 61-72.
- 范元月,汤剑平,徐双柱,等. 2010. 一次湖北暴雪天气的诊断与模拟. 气象科学, 30(1): 111-115.
- 刘志勇,陈剑云,徐元顺,等. 2008. 一次区域性暴雪天气过程的诊断

分析. 暴雨灾害, 27(3):248-253.

龙利民, 黄治勇, 苏磊, 等. 2010. 2008 年初湖北省低温雨雪冰冻天气温度平流配置分析. 大气科学学报, 33(6):745-750.

马丽娟, 秦大河. 2012. 1957—2009 年中国台站观测的关键积雪参数时空变化特征. 冰川冻土, 34(1):1-11.

孟雪峰, 孙永刚, 姜艳丰. 2012. 内蒙古东北部一次致灾大到暴雪天气分析. 气象, 38(7):877-883.

王东海, 端义宏, 刘英, 等. 2013. 一次秋季温带气旋的雨雪天气过程分析. 气象学报, 71(4):606-627.

徐双柱, 王晓玲, 王平, 等. 2009. 湖北省冬季大雪成因分析与预报方法研究. 暴雨灾害, 28(2):333-338.

杨琨, 薛建军. 2013. 使用加密降雪资料分析降雪量和积雪深度关系. 应用气象学报, 23(3):349-355.

杨晓亮, 王咏青, 杨敏, 等. 2014. 一次暴雨与特大暴雪并存的华北强降雨过程分析. 气象, 40(12):1446-1454.

杨晓霞, 吴炜, 万明波, 等. 2012. 山东省两次暴雪天气的对比分析. 气象, 38(7):868-876.

姚蓉, 叶成志, 田莹, 等. 2012. 2011 年初湖南暴雪过程的成因和数值模拟分析. 气象, 38(7):848-857.

叶晨, 王建捷, 张文龙. 2011. 2009 年“1101”暴雪的形成机制. 应用气象学报, 22(4):398-410.

于晓晶, 辜旭赞, 李红莉. 2013. 山东半岛一次冷流暴雪过程的中尺度模拟与云微物理特征分析. 气象, 39(8):955-964.

余政, 邹伦硕, 王秀明, 等. 2013. 2011 年 1 月九江地区暴雪过程的流场特征及强回波成因分析. 气象, 39(8):1014-1022.

Admirat P, Sakamoto Y. 1988. Wet Snow on Overhead Lines: State-of-art. Proceedings of the 4th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, 8-13.

Goodison B E. 1981. Handbook of Snow. Toronto: Bergamon Press, 220-235.

Huang Qiang, Hanesiak J, Savelyev S. 2008. Visibility during blowing snow events over Arctic Sea ice. Wea Forecasting, 23:741-751.

Makkonen L, Lozowski E P. 2008. Numerical modeling of icing on power network equipment. Atmospheric Icing of Power Networks. New York: Springer, 83-117.

Paterson W S B. 1981. The Physics of Glaciers. New York: Pergamon Press, 3-13.

Wakahama G, Kuroiwa D. 1977. Snow accretion on electric wires and its prevention. Glaciol, 19(81):479-487.