

张昆,王起唤,彭艳青,等. 怀化两次飊线过程对比分析[J]. 陕西气象,2021(3):7-14.

文章编号:1006-4354(2021)03-0007-08

怀化两次飊线过程对比分析

张 昆,王起唤,彭艳青,王 强

(怀化市气象局,湖南怀化 418000)

摘 要:利用地面、高空常规观测资料、怀化 CB 雷达数据以及 NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析数据,采用天气学分析方法,对 2016 年 4 月 2 日和 4 月 15 日影响怀化的两次飊线过程(前者简称“4·2”过程,后者简称“4·15”过程)的特征和差异进行了研究分析。结果表明:(1)两次飊线过程均具有飊中系统的典型特征(出现雷暴高压、尾流低压、飊线前低压和飊锋,飊线过境时气温骤降、气压涌升、相对湿度和风速增大)。(2)“4·2”过程属于低层暖平流强迫类配置形势(暖区飊线)，“4·15”过程属于斜压锋生类配置形势(冷锋型飊线)。“4·2”过程 CAPE 超过 1 000 J/kg,融化层高度较“4·15”过程低,出现大冰雹;“4·15”过程下沉对流有效位能较大,产生雷暴大风的站次多,强度强,K 指数大于 32°C ,整层比湿积分也更大,短时强降水明显。(3)垂直风切变强弱与雷达回波组织形态有密切关系。“4·2”过程为拖尾型(TS 型)，“4·15”属于“平行型”(PS 型)。弓形回波、强中层后侧入流、中层径向速度辐合和低仰角速度大值区等特征是产生雷暴大风的典型雷达回波特征,“V”形缺口、弱回波区等是典型的雹暴特征。

关键词:怀化;飊线;中尺度特征;对比分析

中图分类号:P458

文献标识码:A

飊线又称为不稳定线或气压涌升线,是气压和风的不连续线,由多个雷暴单体或雷暴群所组成的狭窄的强对流天气带^[1]。飊线过程常伴有强降水、雷暴大风和冰雹等强对流天气,对人民群众生命财产安全造成危害,是预报工作的重点。因其发展迅速,生命史短,局地性、突发性强,又是预报工作的难点。因此,飊线至今仍是灾害性天气的重点研究课题。多年来,国内外气象工作者针对飊线的成因和结构等做了较多研究。丁一汇等^[2]在 1980 年代将我国形成飊线的天气背景分四种类型:槽后型、槽前型、高后型、台风倒槽或东风波型;武麦凤等^[3]和牛乐田等^[4]对影响陕西的飊线个例进行了详细分析,高空冷涡是产生飊线的主要影响系统;潘玉洁^[5]、公衍铎^[6]和孟妙志^[7]等通过对风、气压等气象要素以及雷达回波等资料的分析,揭示了飊线系统的中尺度特征;也有不

少湖南气象研究者对本省的一些飊线过程进行了对比分析^[8-10]。但针对影响怀化的飊线过程的天气背景、环境条件特征的研究不多。本文利用地面、高空常规观测资料、怀化 CB 雷达数据以及 NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析数据,采用天气学分析方法,对 2016 年 4 月 2 日和 15 日影响怀化的两次飊线过程进行分析,以期提高对影响怀化的飊线过程的认识,为今后做好飊线天气预报预警工作提供参考依据。

1 过程实况

2016 年 4 月 2 日 20 时至 3 日 08 时(北京时,下同),怀化北部和中部受飊线影响,出现雷暴大风、冰雹和短时强降水等强对流天气(以下简称“4·2”过程)。其中 2 日 22 时至 3 日 01 时怀化北部受贵州中部生成的强回波东移影响,雷达回波表现出一定的弓形回波特征,造成麻阳和辰溪

收稿日期:2020-10-09

作者简介:张昆(1988—),男,汉族,湖南沅陵人,学士,高级工程师,主要从事短中期天气预报及研究。

基金项目:湖南省气象局预报员专项(XQKJ18C002)

先后出现冰雹和雷暴大风天气。麻阳本站观测到的最大冰雹直径约为 20 mm(23:05—23:15),境内黄土溪最大风速达 22.6 m/s。与此同时,3 日 00 时贵州中东部又有一条弓型回波生成东移,并在怀化中部发展成熟形成飏线,在向东北方向移动过程中造成怀化中部和北部出现雷暴大风和短时强降水,洪江市最大风速达 22.1 m/s,洪江区洪高村最大雨强达 41.3 mm/h。3 日 05 时之后飏线减弱消失,北部有孤立的新生单体影响。过程造成 5 站次 8 级以上雷暴大风、2 县冰雹和 14 站次短时强降水。

2016 年 4 月 15 日 20 时至 16 日 08 时飏线自北向南影响怀化,过程中怀化出现雷暴大风、冰雹和短时强降水等强对流天气(以下简称“4·15”过程)。15 日 21 时左右,重庆东南部和贵州东北部有回波单体生成,并向东南方向移动。23 时回波

发展旺盛并开始影响怀化北部,相继出现冰雹、雷暴大风和短时强降水等强对流天气。同时贵州东北部又有一条带状回波形成,并不断发展成熟形成飏线,自北向南影响怀化。06 时回波减弱消失,过程结束。整个过程出现 11 站次 8 级以上雷暴大风、3 县冰雹和 51 站次短时强降水。其中麻阳黄土溪最大风速达 24.3 m/s,溆浦最大冰雹直径约 7 mm,沅陵陈家溪最大雨强达 50.7 mm/h。

对比两次飏线过程(表 1)发现,两次飏线均生成于贵州,而后在怀化境内发展成飏线,影响怀化时间较长,约 7~8 h,均出现雷暴大风、短时强降水以及冰雹等强对流天气。不同的是,“4·2”过程飏线主要由西南向东北影响怀化中部和北部,冰雹较强;“4·15”过程飏线由西北向东南影响怀化全市,雷暴大风和短时强降水均较“4·2”过程强。

表 1 2016 年 4 月 2—3 日和 15—16 日两次影响怀化的飏线过程对比

过程名称	影响时段	影响范围	移动方向	雷暴大风	冰雹	短时强降水
“4·2”过程	22—05 时 (约 7 h)	中部 和北部	自西南 向东北	≥8 级大风 5 站次 (麻阳黄土溪最大 22.6 m/s)	最大直径 20 mm (麻阳)	14 站次(最大为 洪江区洪高村 41.3 mm/h)
“4·15”过程	22—06 时 (约 8 h)	全市	自西北 向东南	≥8 级大风 11 站次 (麻阳黄土溪最大 24.3 m/s)	最大直径 7 mm (溆浦)	51 站次(最大为 沅陵陈家溪 50.7 mm/h)

2 中尺度特征分析

2.1 飏中系统

分析两次飏线过程地面 10 m 风场和海平面气压场,两次飏线过程均表现出较典型的飏中系统特征。“4·2”过程(图略),3 日 03 时飏线前沿线位于辰溪东南部—中方东部—洪江中东部—会同西北部一线,呈弓形弯曲,飏线的长度达 150 km 以上,飏线的宽度约为 20 km,长宽比大于 5:1,飏线后部为宽广的层状云降水回波。海平面气压场上,飏线后方是一东北—西南向狭长的中高压区(雷暴高压),高压中心强度约为 1 010.6 hPa;飏线前方是一个低压区(飏前低压),低压值约为 1 007.9 hPa;雷暴高压的后部为 1 007.4 hPa(新晃站)中低压(尾流低压),尾流低

压是飏线发展成熟的一个标志^[1]。尾流低压与雷暴高压形成一对气压偶,与飏前低压对称。雷暴高压前部和后部均为偏北气流,但前部风速大于后部。雷暴高压内部有一定的气流辐散,飏线前后有风速辐合。飏线位于雷暴高压前沿等压线较密集区以及风速、风向辐合区,实为飏锋;尾流低压要略强于飏前低压。“4·15”过程也有类似特征,但飏线长度明显较“4·2”过程长,达 300 km 以上。

2.2 飏线系统过境时气象要素的剧烈变化

飏线过境时往往表现出气温骤降、气压涌升、相对湿度和风速增大等经典飏线的典型特征,并且多数伴随有短时强降水、雷暴和短时大风(7 级以上的阵风)^[6]。“4·2”过程中,3 日 02:15 左

右,飊线过境前后洪江站温、压、湿、风等气象要素呈显著变化特征(02:00—04:00,图 1a、1b):温度由 24.4 °C(02:16)降到 18.4 °C(02:45);本站气压由 979.9 hPa(02:07)升至 982.0 hPa(02:57)后又下降;风场由南风(3.1 m/s,02:09)迅速转为偏西风(16.3 m/s,02:24);相对湿度明显增大。

另外,飊线过境前(00:00—02:00)本站气压出现下降,气温上升了约 0.7 °C。由此可见,飊线过境前大体上存在降压升温的趋势,有利飊前低压的形成。飊线过境时(02:15 前后),气压迅速上升(形成雷暴高压),过境之后气压下降(形成尾流低压)。“4·15”过程也具有类似变化特征。

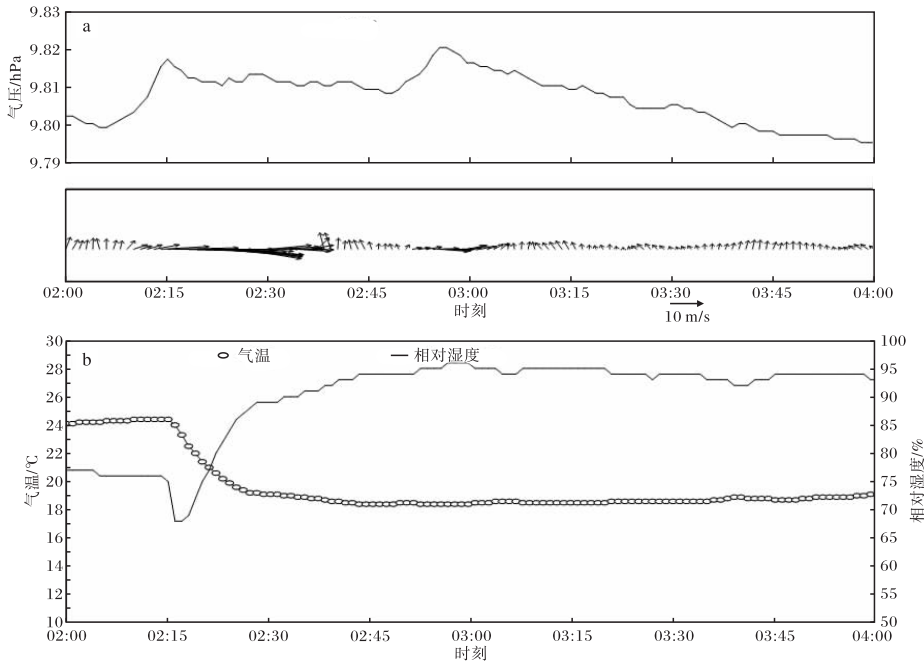


图 1 2016 年 4 月 3—4 日洪江站气压和风矢(a)、气温和相对湿度(b)逐分钟变化

以上分析可见,两次飊线过程均具有飊中系统的典型特征:都出现雷暴高压、尾流低压、飊线前低压和飊锋等中系统;飊线空间尺度 150~300 km 以上,时间尺度约 5~6 h 左右(典型的中 β 尺度特征);飊线过境时气温骤降、气压涌升、相对湿度和风速增大,伴有雷暴大风和短时强降雨等强对流天气。

3 影响系统和环境条件分析

3.1 主要影响系统

对比两次飊线过程影响系统发现,“4·2”过程(图 2a)主要影响系统为高空槽、切变线、低空急流和地面辐合线,属于低层暖平流强迫类配置形势^[12](暖区飊线);“4·15”过程(图 2b)主要影响系统为高空槽、切变线、低空急流和地面冷锋,属于斜压锋生类配置形势(冷锋型飊线)。按照丁一汇等^[2]对飊线的分类,两次飊线过程均属于槽前型。“4·2”过程主要在地面辐合线附近触发,

飊线的产生与急流有很大关系,在 700 hPa 低空急流轴上,特别是急流轴风速辐合区产生飊线。“4·15”过程飊线发生发展以及移动主要和 850 hPa 切变线关系密切,飊线位于地面冷锋之后。

3.2 探空分析

由于两次飊线均生成于贵州东部,离怀化探空站最近,因此分别选取两次过程发生前怀化站探空资料进行分析。“4·2”过程(图 3a)发生前怀化站 850~804 hPa 之间为浅薄湿层,804~567 hPa 之间为相对湿度在 60% 以下的干层,具有“上干下湿”特征,表明怀化上空有明显的对流不稳定层结,这是产生雷暴大风的典型层结。对流有效位能(CAPE)所代表的红色区域面积较大,为 1 382.5 J/kg,有较强的对流有效位能存在。SI 指数为 -4.55 °C(表 2),有利于强对流天气的发生。“4·15”过程(图 3b),中低层大气“上干冷、下暖湿”的特征非常明显,下沉对流有效位能

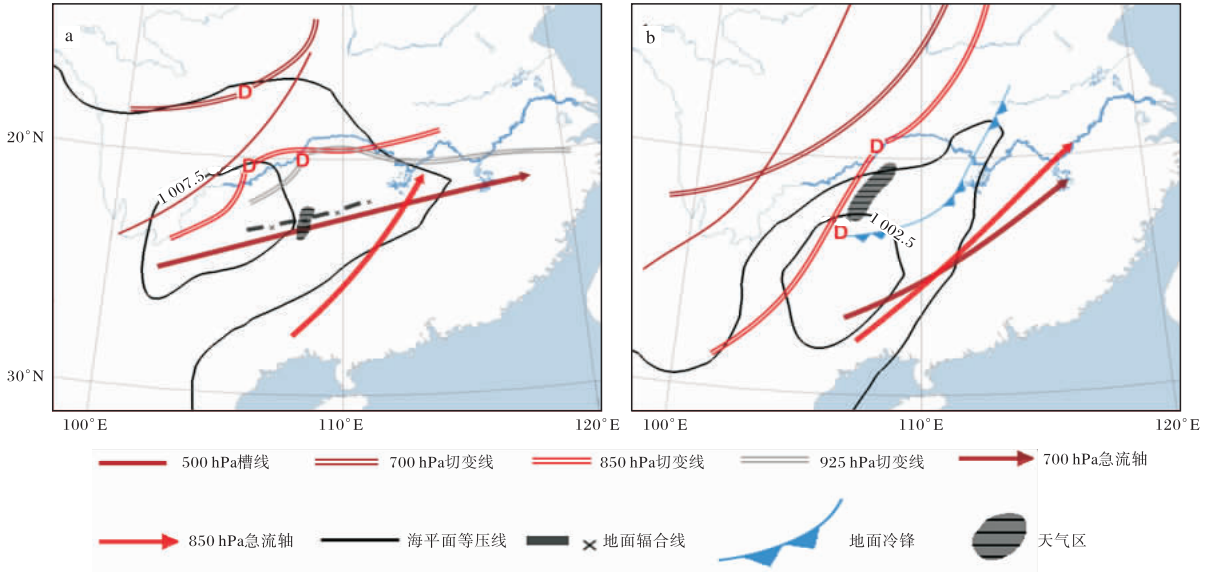


图2 2016年4月2日20时(a)和15日20时(b)主要影响系统

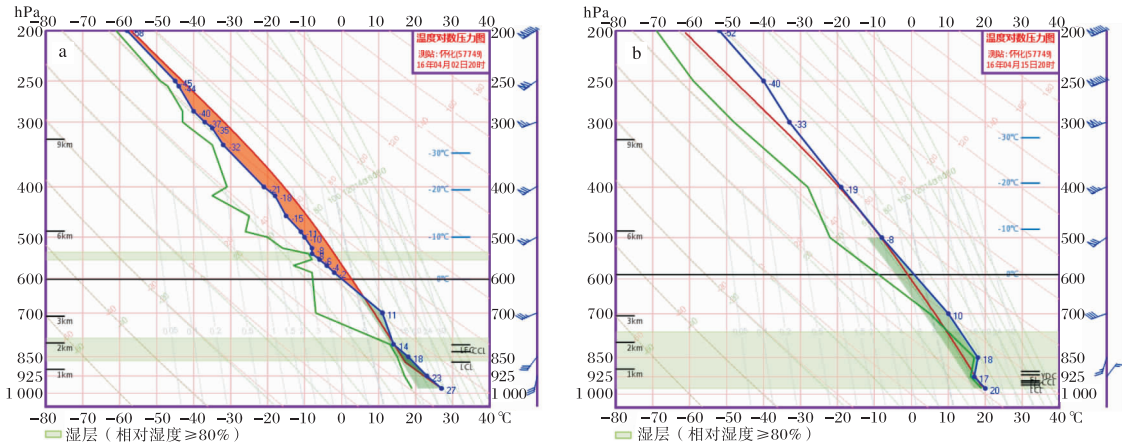


图3 2016年4月2日20时(a)和15日20时(b)怀化站探空图

表2 2016年4月2日20时和15日20时两次飊线过程发展前怀化探空站对流参数

日期	CAPE/ (J/kg)	DCAPE/ (J/kg)	SI 指数 /°C	K 指数 /°C	$T_{850-500}$ /°C	0~3 km	0~6 km	0 °C层	-20 °C层	整层比湿 积分 /(g/kg)
						垂直风切 变/ (m/s)	垂直风切 变/ (m/s)	高度 /(km)	高度 /(km)	
2	1 379	0.5	-4.55	25	28	12	24	4.5	7.3	3 629
15	1.4(954.9)	998.2	-4.31	38	26	14	26	4.6	7.6	4 238

注:()中的数据为订正后的探空数据。

(DCAPE)也达到 998.2 J/kg,有利于雷暴大风产生。对流有效位能(CAPE)的计算值对抬升起始高度以及抬升起始高度处的温度、湿度均很敏感。此次过程地面有弱冷空气扩散南下,低层有浅薄的逆温层,订正前探空图上计算的 CAPE 值为 0 J/kg,对流层结也呈现出虚假的稳定层结。经

过将起始高度订正到逆温层以上后,怀化上空有明显的对流不稳定层结,CAPE 为 954.9 J/Kg,说明有较强的对流有效位能存在。一些常用的热力不稳定参数(表2)中,K 指数达 38 °C,SI 指数为-4.31 °C,有利于强对流天气的发生。强对流发生后,对流有效位能得到释放,16日08时怀化

站 CAPE 值为 0 J/Kg。

两次过程均具有上干下湿的特征,有利于雷暴大风的产生,其中“4·15”过程 DCAPE 较大,产生雷暴大风的站次多,强度强;“4·15”过程 K 指数大于 32°C ,整层比湿积分较“4·2”过程大,短时强降雨更明显。而“4·2”过程 CAPE 超过 1 000 J/kg,融化层高度较“4·15”过程低,更有利于大冰雹出现。

4 垂直风切变分析

垂直风切变与强对流天气类型及回波组织形态有密切关系^[13]。业务上常用地面到 500 hPa (0~6 km) 风矢量的矢量差的绝对值来表示垂直

风切变^[14],再分析资料分析时常用 1 000 hPa 代替地面。分析两次过程 1 000~500 hPa 垂直风切变(图 4)发现,飊线过程开始前期,“4·2”过程(图 4a)和“4·15”过程(图 4d)怀化上空垂直风切变较大,均大于 22 m/s,属于强垂直风切变,“4·2”过程前期和“4·15”过程出现较明显冰雹天气。飊线成熟阶段,“4·15”过程(图 4e)维持强垂直风切变 30 m/s,而“4·2”过程(图 4b)垂直风切变减弱到 16~18 m/s。因此,“4·2”过程飊线组织结构为拖尾型(TS 型),即飊线后有明显宽广的尾随层状云区;而“4·15”过程为“平行型”(PS 型),飊线后部无明显尾随层状云^[15]。

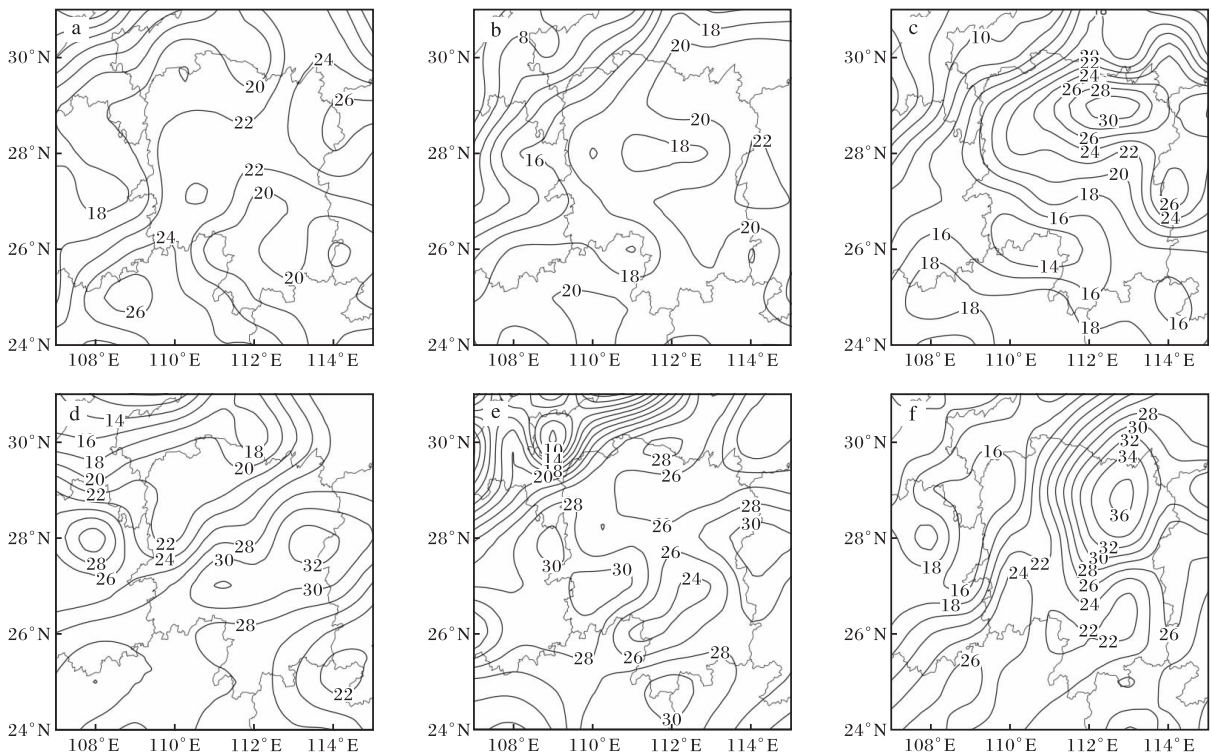


图 4 2016 年 4 月 2—3 日和 15—16 日 1 000~500 hPa 垂直风切变

(单位为 m/s; a 2 日 20 时, b 3 日 02 时, c 3 日 08 时, d 15 日 20 时, e 16 日 02 时, f 16 日 08 时)

5 雷达特征分析

5.1 大风回波特征

“4·2”过程,01:24(图 5a)新晃境内回波表现弓形回波特征,而低仰角速度图(图 5b)上有速度大值区,即 0.5° 速度图上新晃境内有超过 27 m/s 的速度大值区(1.5 km 附近),表明有中层后侧强入流,这有利于地面大风的形成,新晃境内也确实出现了 12 m/s 左右的极大风速。随着回波东移发

展,03:19 表现出典型的飊线结构(图 5c),即雷达东南向有带状强回波分布,且具有明显的反射率因子梯度;速度图(图 5d)上具有明显的后侧强入流、低仰角速度大值区、中层径向速度辐合等特征,表明有较强的下沉气流。飊线影响期间洪江市最大风速达 22.1 m/s(洪江站 3 日 02:00—03:00)。同时,后侧强入流以及中层径向辐合导致的强下沉辐散气流是形成飊线的主要原因。

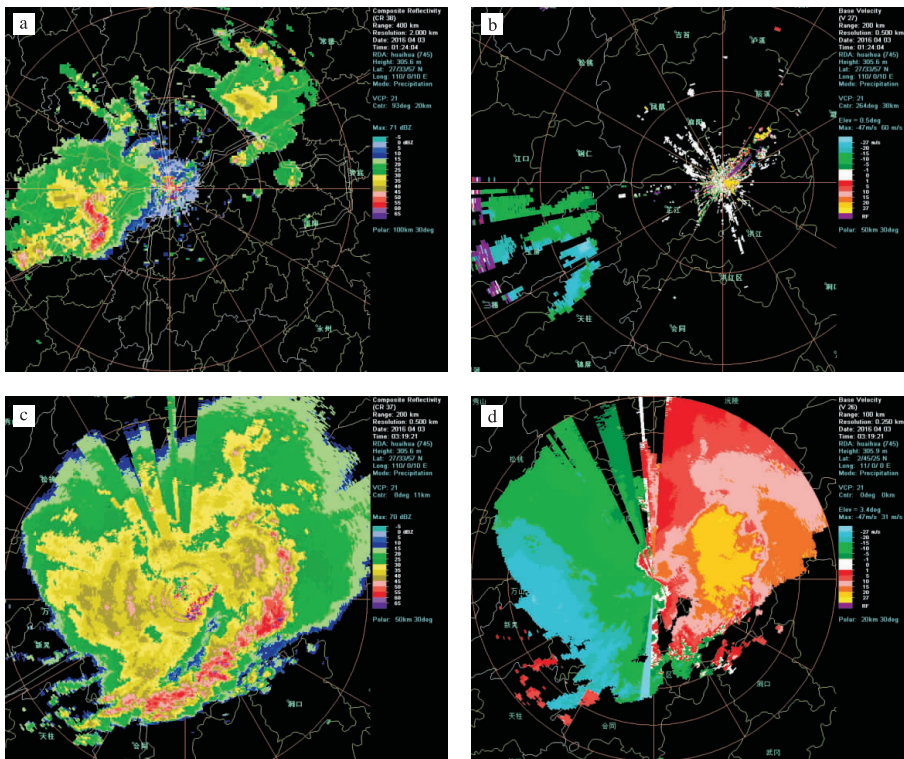


图5 2016年4月3日01:24组合反射率因子(a)、0.5°仰角径向速度(b)、03:19组合反射率因子(c)和3.4°仰角径向速度(d)

“4·15”过程,怀化中部区域出现大风时段(16日01:00—02:00洪江区幸福路风速达22 m/s),组合反射率因子(图6a,由于强降雨正好在怀化雷达站上空,天线罩对降雨回波产生衰减,因此回波强度比实际强度要弱很多)和2.4°仰角基本速度图

(图6b)中,可以看到飊线后侧0.8 km高度以上有20 m/s以上的后侧强入流,在更低层0.5 km高度上有10 m/s以上的出流,说明存在倾斜的下沉气流,也对应了地面大风区。同时还可以看到,低层为西北风,低层冷空气已经经过怀化本站。

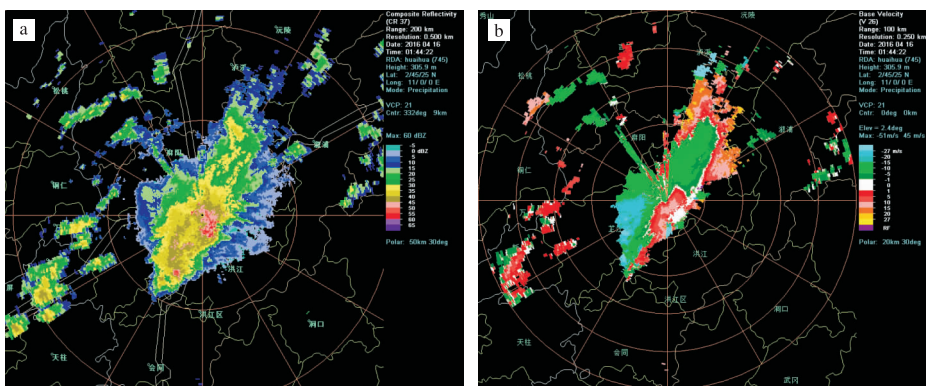
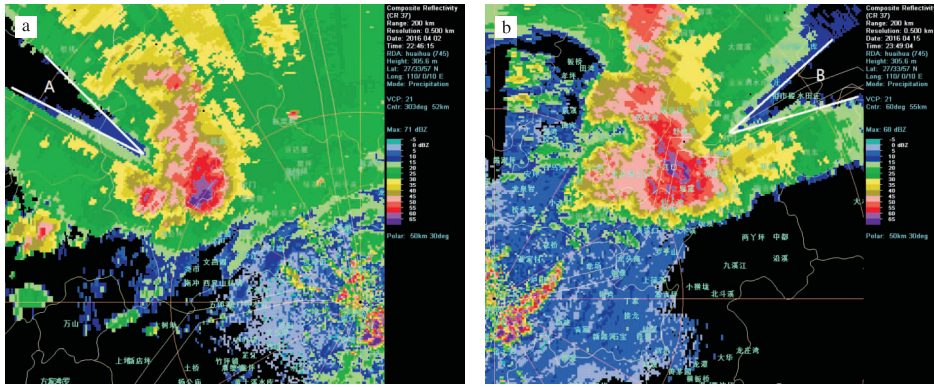


图6 2016年4月16日01:44组合反射率因子(a)和2.4°仰角径向速度(b)

5.2 冰雹回波特征

对于C波段雷达,由于冰雹的强烈衰减作用,强冰雹回波有时候会出现一个顶点指向雷达的“V”形缺口。图7a、7b中A、B区域指示的就

是由于冰雹对雷达回波的衰减造成的“V”形缺口。表明两次强对流天气过程中,均出现了较强的冰雹,雷达电磁波无法穿透,导致其后部出现“V”形缺口。



A、B 指示区域为 V 型缺口。

图 7 2016 年 4 月 2 日 22:46(a)和 15 日 23:49(b)组合反射率因子

分析两次过程降雹时段反射率因子垂直剖面(图 8)发现,“4·2”过程麻阳降雹时,强回波呈竖直形态,50 dBz 的回波伸展到 11 km 左右,超过 -20°C 层高度,60 dBz 的回波也从 2.5 km 左右高度伸展到 8 km 以上,回波最强强度达 65 dBz 以上,同时低层表现出弱回波区特征,说明风暴内

上升气流较强,有利于大冰雹的形成和增长,冰雹直径达 20 mm。“4·15”过程溆浦降雹时,强回波呈竖直形态,但强回波伸展高度明显较“4·2”过程低,50 dBz 强回波高度未伸展至 -20°C 层高度以上,不利于冰雹的增长,因此溆浦只出现 7 mm 左右的小冰雹。

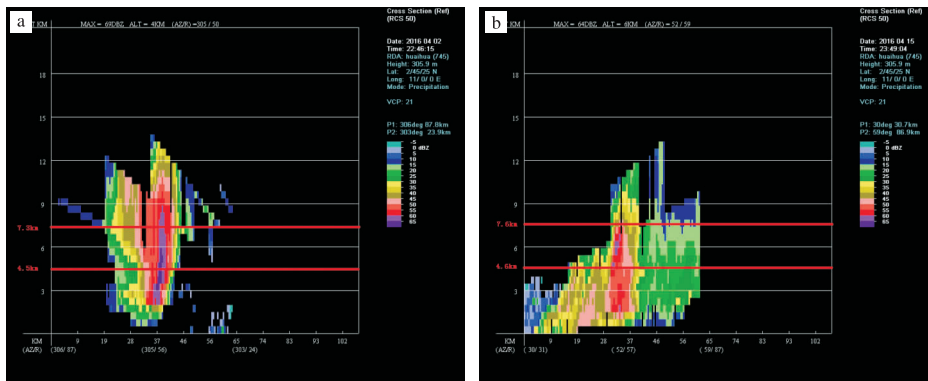


图 8 2016 年 4 月 2 日 22:46(a)和 15 日 23:49(b)反射率因子垂直剖面

6 结论

(1)两次飊线过程均具有飊中系统的典型特征:都出现雷暴高压、尾流低压、飊线前低压和飊锋等中系统;飊线空间尺度 150~300 km 以上,时间尺度约 5~6 h 左右(典型的中 β 尺度特征);飊线过境时气温骤降、气压涌升、相对湿度和风速增大。

(2)对比两次飊线过程的影响系统和环境条件发现,“4·2”过程属于低层暖平流强迫类配置形势(暖区飊线);“4·15”过程属于斜压锋生类配置形势(冷锋型飊线)。“4·2”过程 CAPE 超过 1 000 J/kg,融化层高度较“4·15”过程低,有利

于大冰雹出现;“4·15”过程 DCAPE 较大,产生雷暴大风的站次多,强度强;K 指数大于 32°C ,整层比湿积分较大,有利于短时强降水产生。

(3)垂直风切变强弱与回波组织形态有密切关系。“4·2”过程飊线成熟阶段为弱垂直风切变,回波组织结构为拖尾型(TS 型)。而“4·15”过程在强垂直风切变下,回波组织结构属于“平行型”(PS 型)。弓形回波、成熟阶段显著的中层后侧强入流、中层径向速度辐合和低仰角速度大值区等特征是产生雷暴大风的典型雷达回波特征;“V”形缺口、弱回波区等是典型的雹暴特征。

参考文献:

- [1] 章国材. 强对流天气分析与预报[M]. 北京:气象出版社,2011:170.
- [2] 丁一汇,李鸿洲,章名立,等. 我国飊线发生条件的研究[J]. 大气科学,1982,6(1):18-27.
- [3] 武麦凤,李春娥,王旭仙,等. 陕西 2005-05-30 飊线过程的成因分析[J]. 陕西气象,2006(4):1-5.
- [4] 牛乐田,李春娥,王英,等. 陕西中部一次冷涡飊线天气特征分析[J]. 陕西气象,2014(4):7-10.
- [5] 公衍铎,郑永光,罗琪. 冷涡底部一次弓状强飊线的演变和机理[J]. 气象,2019,45(4):483-495.
- [6] 潘玉洁,赵坤,潘益农,等. 用双多普勒雷达分析华南一次飊线系统的中尺度结构特征[J]. 气象学报,2010,70(4):736-751.
- [7] 孟妙志,卢晔,王仲文,等. 关中秋季飊线天气成因和中尺度特征分析[J]. 陕西气象,2017(2):1-6.
- [8] 唐明晖,王强,徐靖宇,等. 低层暖平流强迫背景下湖南两次飊线过程对比分析[J]. 暴雨灾害,2019,38(2):115-125.
- [9] 王强,唐明晖,王起唤,等. 湖南不同季节飊线过程的对比[J]. 干旱气象,2018,36(5):782-793.
- [10] 唐佳,姚蓉,王晓雷,等. 2015年春季湖南两次混合对流天气过程对比分析[J]. 干旱气象,2017,35(2):250-259.
- [11] 林确略,邓雅倩,陈明璐,等. 广西一次槽前型暖区飊线的中尺度分析[J]. 气象研究与应用,2018,39(1):38-45.
- [12] 许爱华,孙继松,许东蓓,等. 中国中东部强对流天气的天气形势分类和基本要素配置特征[J]. 气象,2014,40(4):400-411.
- [13] 刘鑫华. 两种垂直风切变条件下飊线过程对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2012,6(5):25-29.
- [14] 俞小鼎,姚秀萍,熊延南. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006:129.
- [15] 吴瑞姣. 2013年3月19日黔桂湘赣地区一次槽前型飊线的特征及数值模拟[D]. 北京:中国气象科学研究院,2015,1-14.