

文章编号: 2096-1618(2019)05-0512-13

一次冷涡减弱阶段产生的飑线过程分析

段祥海¹, 谌 芸², 朱克云²

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 国家气象中心, 北京 100081)

摘要:冷涡背景下常常会产生强对流天气,分析发现在冷涡的不同发展阶段均会产生飑线过程,甚至在冷涡的减弱阶段也会产生,给预报带来很大的不确定性。为加深对冷涡减弱阶段产生的飑线过程的认识,提高此类飑线过程的预报能力,应用常规和非常规气象观测资料、雷达和卫星监测资料、NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料、欧洲中心 ERA-Interim 再分析等资料对2009年7月23日冷涡减弱阶段发生在京津冀的一次长生命史飑线过程进行分析。重点分析了过程的大尺度系统配置、不稳定能量积累、中尺度演变特征,并探讨了对流的触发与飑线的组织化等。结果表明:在冷涡的减弱阶段,随着冷涡的南移,冷涡后部西北气流中活跃的短波槽东移引导冷空气侵入京津冀地区,配合低层暖湿舌形成良好的不稳定层结,入侵的冷空气伴随着西北风与西南气流相遇,在河北西北部地区形成地面辐合线,配合低层的高温高湿条件触发初始对流,随着925~500 hPa的垂直风切变的增强,对流逐渐组织化形成飑线。在高空西北气流引导飑线向东南方向移动,配合低层较好的水汽条件和热动力条件。在京津冀地区形成了不同类型的强对流天气。

关键词:大气科学;中尺度气象学;京津冀;冷涡减弱阶段;飑线;地面辐合线;垂直风切变

中图分类号:P458

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2019.05.013

0 引言

冷涡是东亚阻塞形势下中高纬地区形成的较为深厚的冷性低值系统,是导致夏季华北地区雷雨大风、冰雹等强天气的重要影响系统,研究表明成熟阶段的冷涡其南部温压场不对称,有利于降水的发生,冷涡南部斜压性强的锋区更是强对流天气多发区^[1-7]。飑线是线状的中尺度对流系统(MCS),由多个雷暴单体线状排列形成,飑线一般长约几十至几百千米,持续几小时至十几小时,发展快速,能带来雷暴大风、冰雹、短时强降水等强对流天气,夏季常造成中国东部地区的灾害性天气。丁一汇等^[8]将18个飑线个例进行了统计分析,讨论了这些飑线发生前的高、低空天气形势和热力、动力条件等情况,并将其分为4类。Bluestein等^[9]和Parker等^[10]也分别统计归纳出飑线形成和组织方式并加以分类,后来Meng等^[11]又补充了飑线的消散方式。Richard Rotunno等^[12]很早就提出了描述长生命史飑线维持发展机制的“RKW”理论,之后的研究也验证了此理论的正确性。对于飑线数值模拟方面也取得了一些进展^[13-17],模拟表明对流凝结潜热的释放,

水汽含量的空间分布,以及边界层的辐合线等因素对飑线的生成有一定的影响。

随着研究的深入,发现飑线与冷涡存在较为密切的联系^[18-22]。华北地区多数飑线均发生在冷涡背景下,杨姗姗等^[18]对冷涡背景下发生在中国的飑线过程进行了统计分析,得出了冷涡飑线的时空分布、移动情况、天气现象、与冷涡的时空关系等特点,提出处于发展加强阶段的冷涡更容易与飑线相伴。也有学者基于个例的分析深入研究了冷涡背景下飑线的触发机制与组织化过程,发现在冷涡的南部高空冷平流较强,且低层多有锋区存在,大气斜压性强,有利于对流发生发展,这种情况在冷涡的发展加强阶段更为明显。

目前,国内外对冷涡的形成、影响、时空分布、环流结构以及对强降水天气的作用机制等方面取得了很多成果。冷涡背景下的飑线过程大多发生在冷涡的发展增强阶段,相关的研究成果也比较多,但对于发生于冷涡减弱阶段的飑线鲜有人关注。事实上冷涡背景下飑线过程虽然主要集中于冷涡发展阶段,但在冷涡减弱阶段也有出现,并且同样能引发大范围的强对流天气,具有致灾性,也应该引起足够关注与重视。因此应用常规和非常规气象观测资料、雷达和卫星监测资料、NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料、欧洲中心 ERA-Interim 再分析资料等,对2009年7月23日冷涡减弱阶段发生

收稿日期:2019-01-11

基金项目:国家重点研发计划专项资助项目(2017YFC1502501);国家自然科学基金资助项目(41175048)

在京津冀的一次长生命史飑线过程进行分析,就其实况特征、影响系统、中尺度特征、触发与组织化等方面进行分析,以期提高对冷涡减弱阶段产生的飑线的认识,更好地为冷涡减弱阶段的强对流天气的预报提供支撑。

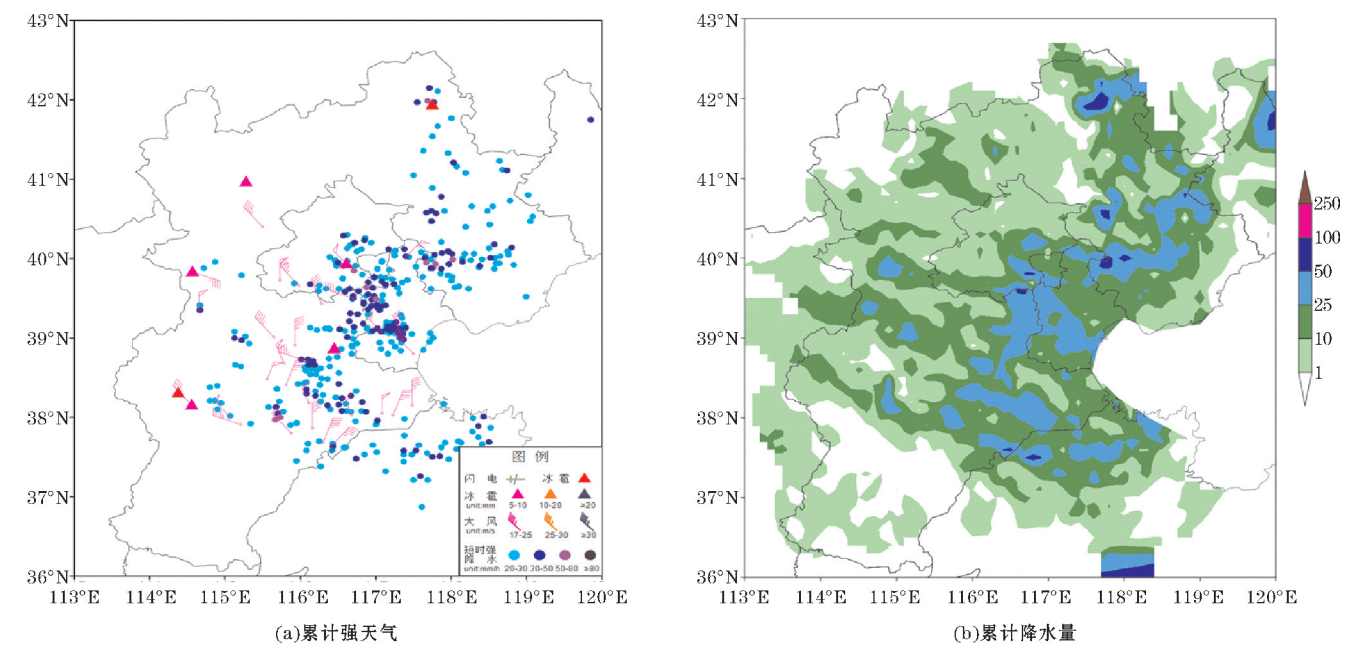
1 灾害天气和降水实况

2009 年 7 月 21 日 02 时,贝湖附近极涡南下进入中国黑龙江发展为东北冷涡;22 日 08 时东北冷涡前部出现横槽,冷空气在此积聚;23 日 02 时开始随着冷涡南移,配合西北气流中的短波槽活动,引导冷空气南下影响京津冀地区 24 日 02 时闭合等高线消失,冷涡演变为冷槽。

2009 年 7 月 23 日 13–22 时在冷涡减弱阶段,京津冀地区出现了一次持续时间较长的飑线过程。23

日 13 时开始在河北西北部生成飑线,向东南方向移动影响京津冀大部分地区。飑线在 23 日 18 时发展最强,其长约 400 km,从河北东北部、横跨北京、天津并延伸到河北中部,23 日 22 时减弱入海,历时 9 h。受此次飑线过程影响,京津冀大部分地区出现了雷雨大风和短时强降水等强对流天气(图 1a),飑线初生、发展阶段以雷暴大风与冰雹为主,极大风风速达 28 m/s(10 级),北京及河北中北部出现局地冰雹,冰雹最大直径 10 mm。过程降水(图 1b)影响范围广,但降水强度不大,以中到大雨为主,暴雨落区分散,局地特征明显,最大过程降水 76.5 mm。然而,短时强降水比较突出,密集地分布在华北地区东部,最大小时降水量达 68 mm。

综合来看,此次属于冷涡减弱阶段的典型中 α 尺度飑线过程,并具有影响范围广、持续时间长、强对流天气类型复杂多样等特点。



2 飑线发生的环流形势背景

2.1 前期冷涡演变与环流调整

2009 年 7 月 11 日 20 时,有冷涡生成于贝加尔湖北方,中心值为 560 dagpm,冷中心为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$;稍后南移(3 个纬度以内),中心强度减弱为 561 dagpm 和 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$;15 日 02 时冷涡向东移动 7 个经度至赤塔北

部,中心强度为 559 dagpm 和 $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$;15 日 20 时冷涡向东南方向移动至黑龙江东北方,并与减弱的冷槽合并,强度加强至 558 dagpm 和 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$;16 日 08 时到 18 日 02 时,冷涡旋转带动外围冷空气出现了第一次南下过程,影响吉林,随后冷涡强度减弱为 557 dagpm 和 $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。20 日 02 时开始,冷涡外围冷空气开始第二次南下过程,影响辽宁北部,21 日 02 时,冷空气分裂南下至黑龙江中部,形成东北冷涡,强度减弱为 562 dagpm 和 $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$,其后部有横槽发展。23 日 02 时

冷涡中心稍许南移至黑龙江南部,强度继续减弱为563 dagpm和-14 ℃,冷涡外围冷空气开始南下,第三次南下过程开始,此次过程影响京津冀地区,冷涡减弱为一冷槽,闭合中心消失。飑线过程就发生在冷涡减弱,冷涡外围冷空气南下的过程中。

总体来看,冷涡从生成直到减弱为冷槽的过程中,冷涡主体经历了3次大幅度位移和2次小幅度位移,期间有1次冷槽合并补充加强过程,冷涡的外围冷空气经历了3次南下过程,伴随着冷涡中心强度的减弱,冷空气的南侵致使京津冀上空出现强冷平流和西北风,有利于增强大气层结的不稳定和垂直风切变,有利于飑线的触发与组织化发展。

2.2 冷涡减弱背景下有利的天气尺度条件

2009年7月23日08时高低空天气形势如图2(b),500 hPa东亚中高纬呈两槽一脊型,东亚大槽位于中国东部沿岸,东北冷涡中心位于黑龙江,冷中心

为-14 ℃,横槽位于黑龙江至蒙古一带,京津冀地区受冷涡西南部强西北气流(蓝色箭头)控制,西北风速12~18 m/s,西北气流中有短波槽(棕色曲线)活动,引导冷槽(蓝色点线)南伸,风向穿越等温线有强冷平流。850 hPa在京津冀的西北方向为低压(黑色等值线),对应风场的气旋环流,低压后部有西北风和冷平流(红色箭头),此处等温线密集具有冷锋锋区的特点,京津冀东南方向有显著的西南气流(红色箭头)与暖平流,在低压与西南气流之间有湿舌覆盖京津冀中部。200 hPa有高空急流活动(紫色箭头),京津冀北部位于急流出口区左侧,此处高空辐散有上升运动。地面上湿舌和干区的对峙,在京津冀西北部造成干线,低压区和显著气流与850 hPa一致。

此次飑线过程的热力条件良好,高层有强冷平流活动造成上冷下暖的不稳定层结,低层有湿舌和低压分别提供了水汽条件与低层辐合条件,高空急流的位置也有利于上升运动。

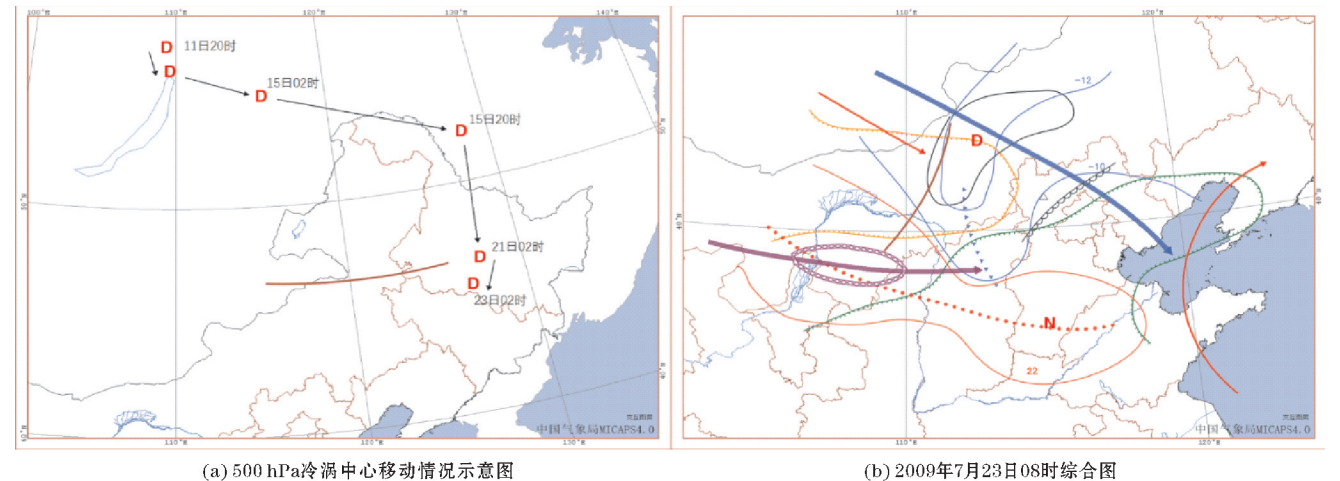


图2 500 hPa冷涡中心移动情况示意图(棕色为槽线)和2009年7月23日08时综合图(紫色箭头为200 hPa急流核,蓝色箭头为500 hPa显著气流,蓝色实线为500 hPa等温线,蓝色点线为500 hPa温度槽线,棕色曲线为500 hPa槽线,黑色等值线为850 hPa等高线,红色箭头为850 hPa显著气流,红色实线为850 hPa等温线,红色点线为850 hPa温度脊线,绿色锯齿线表示850 hPa湿区,橙色锯齿线表示850 hPa干区,黑色波浪线为850 hPa干线)

3 飑线产生的中尺度环境条件

3.1 低层湿舌的发展与湿度锋区的形成

飑线的发生发展过程需要适当的水汽条件配合,其造成持续性降雨不仅要有局地水汽配合,还需要有源源不断的水汽输送机制(如低空急流等)提供持续的水汽。

分析逐6 h的低层水汽通量发现,在飑线发生前

(23日08时),有水汽通量高值舌北伸,高值中心从华北南部逐渐扩展到京津冀地区(图3a,b),说明在飑线发生之前,低层有湿舌形成,为飑线发生提供了较好的高湿环境。从低层比湿(图3c,d)也可发现,飑线发生前后(23日08时)比湿大于8 g/kg的湿区控制京津冀大部分地区,京津冀西北部有很强的干湿度梯度,表现为干湿空气呈对峙状态,14时干空气势力加强,显著的西北风携带着干空气侵入京津冀西北部,形成了东北西南向的湿度锋区,而此时初生的飑线正位于此湿度锋区处且同样为东北西南向,之后飑线发展加强并

向东南移动,离开湿度锋区进入湿区。

过程发生前后均有低层湿舌配合,湿区位置稳定少动,飑线生成在低层舌的西北边界处,生成之后向湿区内移动发展。

3.2 大气不稳定能量的显著增强

强对流天气往往发生在不稳定的大气层结中,中高空大气相对干冷,低层大气相对暖湿,对大气的稳定程度进行分析有利于理解对流的触发,飑线的发展,以及强对流天气的落区和强度。

假相当位温是一个同时能体现干湿与冷暖的物理量,所以高低空的假相当位温差值对于大气稳定度的分析很有意义。分析850 hPa与500 hPa的假相当位温差(图 4a)可以看出,飑线生成前(23 日 08 时)有假相当位温差高值舌从西南伸向东北,覆盖京津冀,中心值大于15 ℃位于北京,河北西北部即飑线未来生成位置的高低空假相当位温差为10 ℃左右,K 指数方面,整

个京津冀地区的 K 指数都在25 ℃以上。对流有效位能(CAPE)和抬升指数(LI,负值代表不稳定)同样可以反映大气层结的稳定度,23 日 08 时京津冀有东北西南向的 CAPE 大值区(图 4c),中心值达1000 J/kg位于河北中部,河北西北部 CAPE 较小,LI 指数为0 ~ -2 有较弱的不稳定;23 日 14 时 CAPE 和 LI 的强度和范围均显著增大(图 4d),基本覆盖整个京津冀,飑线此时已经初生在河北西北部,此处 CAPE 约为800 J/kg,LI 为-2 ~ -4,说明在过程中,对流不稳定能量是在飑线发生前较短的时间内急剧增强的,并且飑线生成时的形态为东北西南向,正好与 CAPE 锋区的走向一致,说明 CAPE 的分布可能对飑线的组织化有影响。

总体来说,此次飑线过程发生在显著的不稳定区中,低层暖湿高层干冷,飑线生成于不稳定区的西北部靠近其边界处,生成之后向不稳定区内发展移动,不稳定区的边界的形态与飑线初生的形态具有一致性。

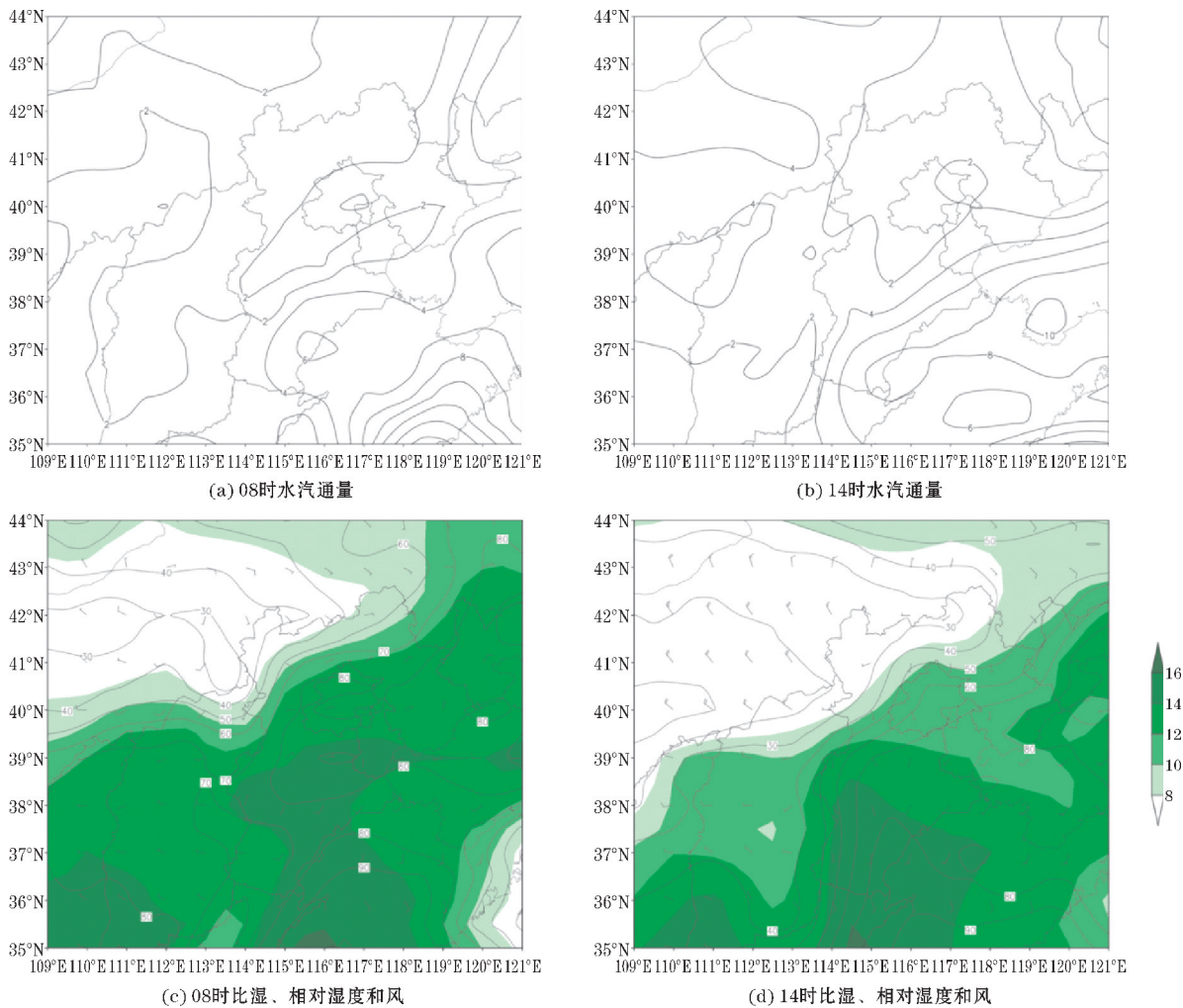


图3 2009年7月23日08时和14时925 hPa水汽通量(等值线、比湿(阴影)、相对湿度等值线)和风电场

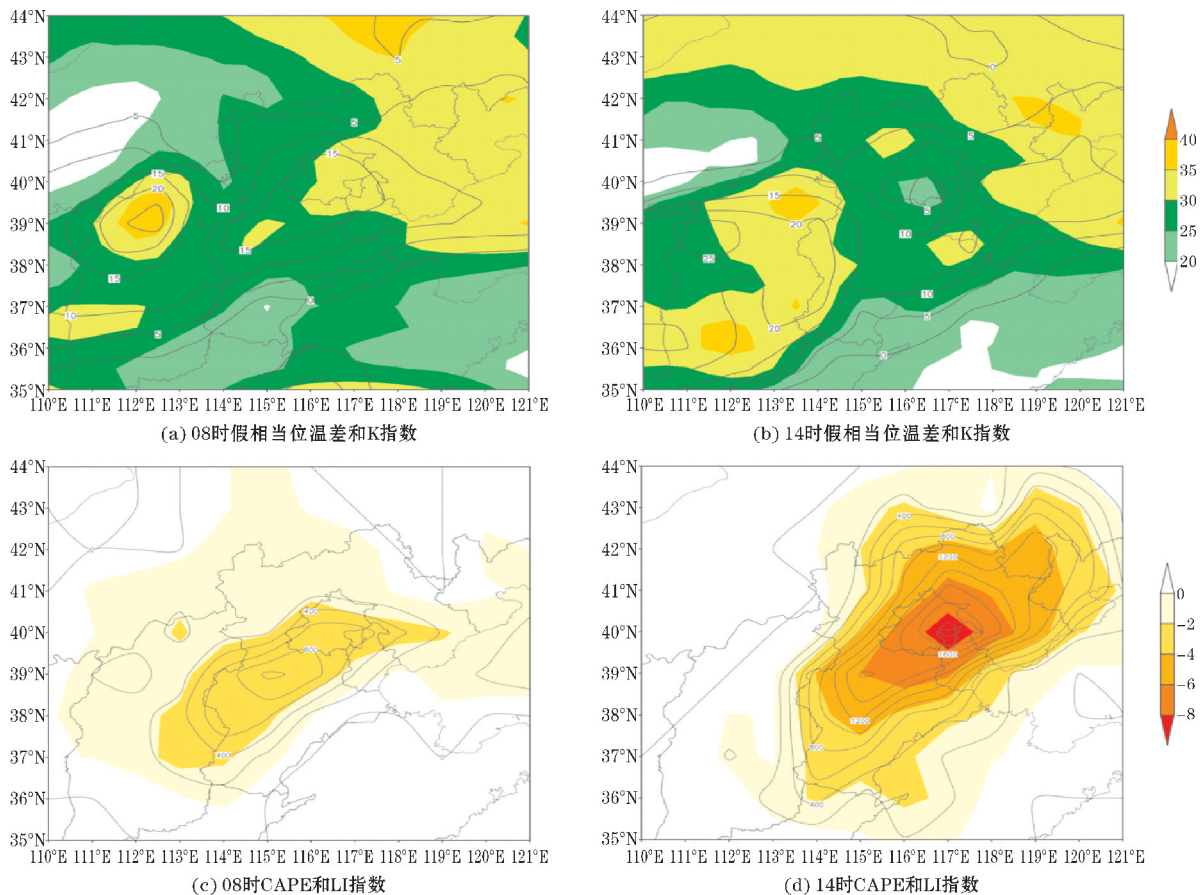


图 4 2009 年 7 月 23 日 08 时和 14 时 850 hPa 与 500 hPa 假相当位温差(等值线)、K 指数(阴影)、CAPE(等值线)和 LI 指数(阴影)

3.3 高空冷平流入侵强迫不稳定层结建立

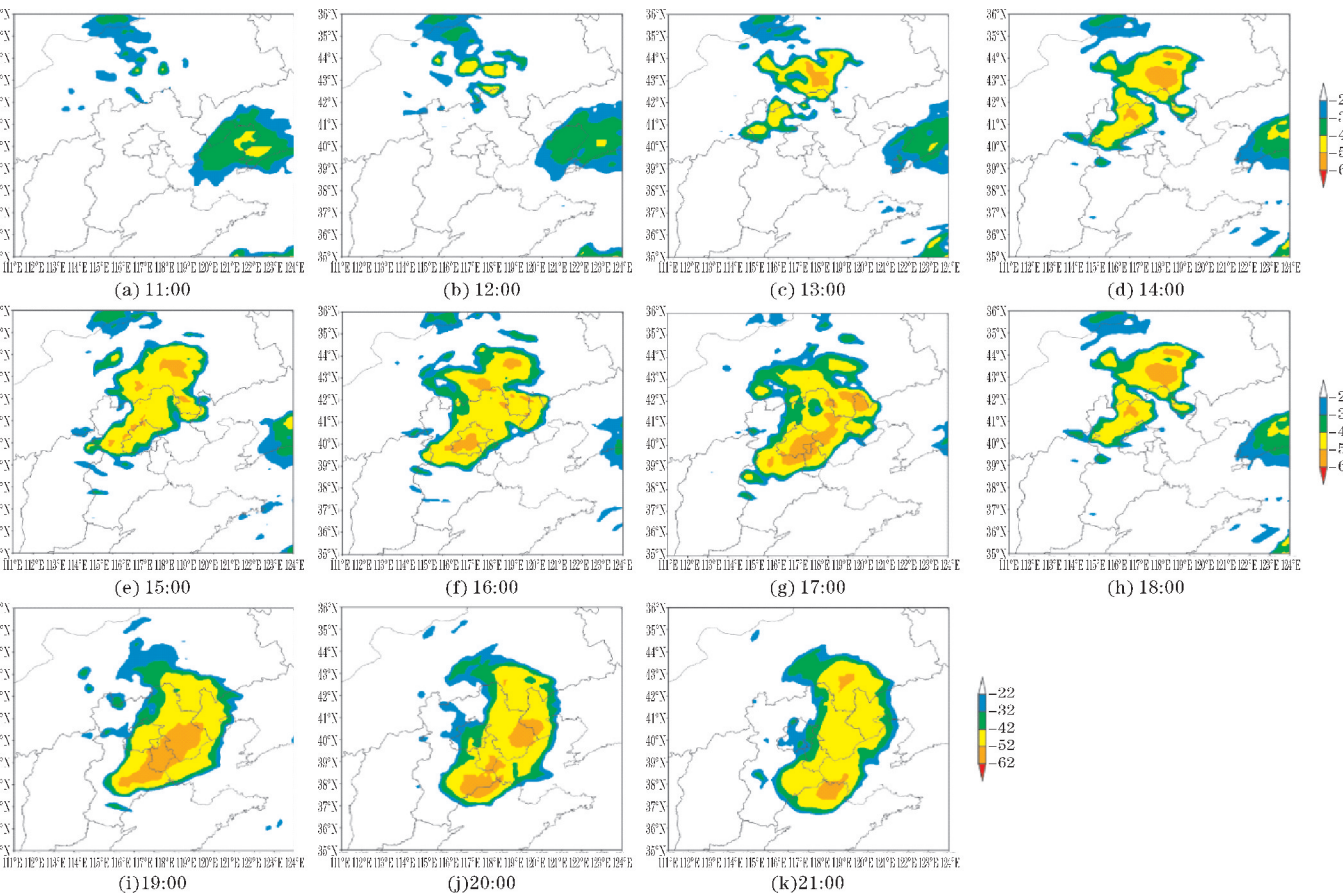
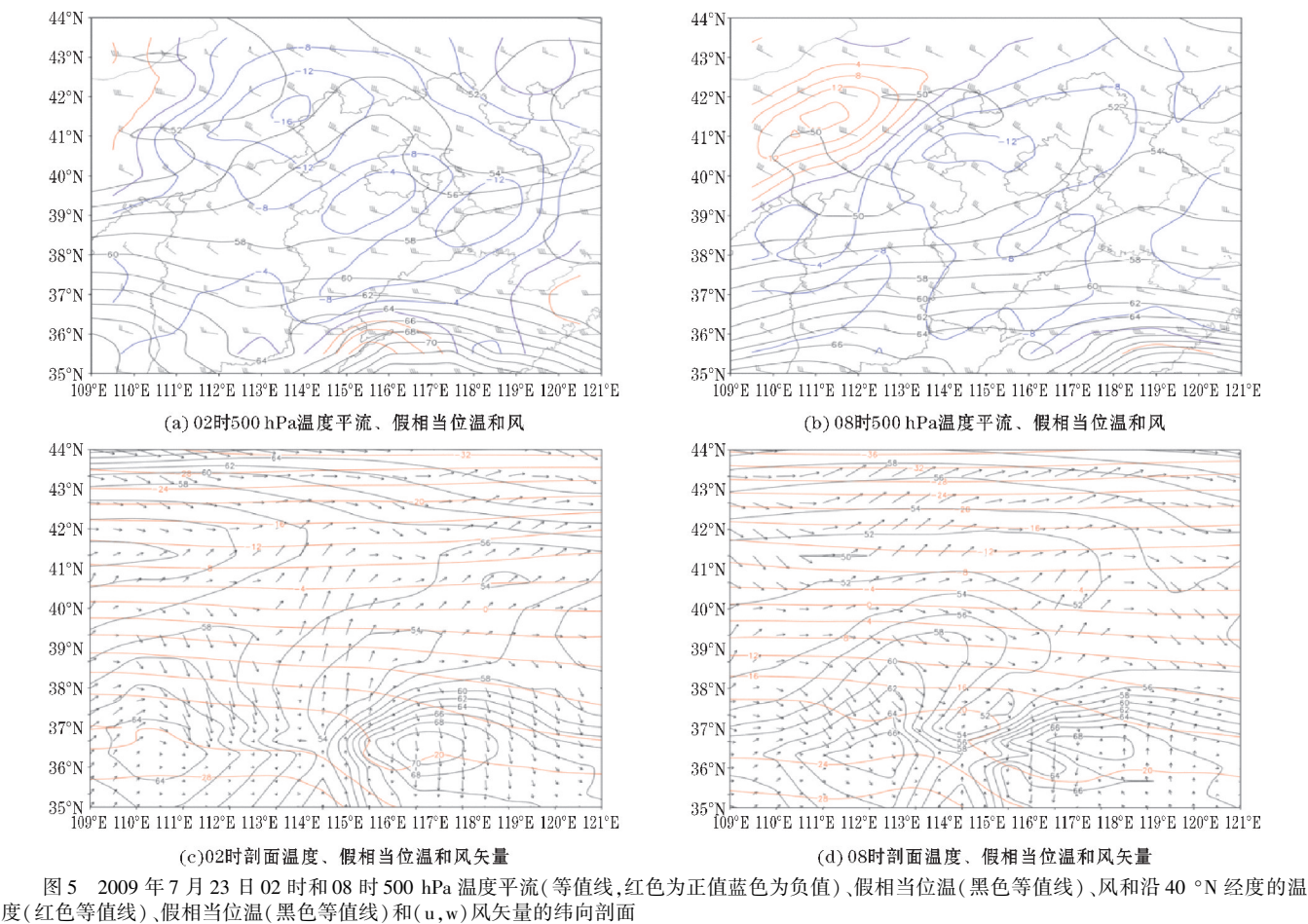
分析飊线发生前 500 hPa 温度平流和假相当位温的情况可知,23 日 02 时,京津冀上空由 20 m/s 左右的西北风和强烈的冷平流控制(图 5a),假相当位温为 54℃~58℃;23 日 08 时京津冀西北部上空假相当位温降低于 52℃,风场维持强西北风,冷平流依然显著(图 5b)。从剖面图(图 5c、d)来看也能看到明显的高空干冷侵入和向下入侵的现象,受此影响低空温度和假相当位温都显著降低,也是高空动量下传的迹象。而低层(850 hPa 及以下)一直有 65℃ 以上的假相当位温高值区维持,从而导致在高空干冷空气入侵的时候高低层的假相当位温差增大,低层暖湿与高层干冷的对比增强,大气不稳定增强,与此同时受白天地面辐射增温的影响进一步加大了高低空的温差,又使大气不稳定进一步增强。

所以过程中,不稳定层结的建立和加强是受中高层干冷空气活动主导的,并存在中高空干冷和动量下传现象,这有利于飊线的发展成熟阶段地面出现对流性大风。

4 冷涡减弱阶段飊线的中尺度特征

4.1 零散破碎对流单体组织为块状 MCS

FY2C 的 TBB 演变情况如图 6,从 23 日 11 时开始在河北西北部边界附近出现零散 $TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ 的零散单体;随后向东南方向移动,范围扩大为块状,13 时已经发展为南北 2 个块状 $TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ 区,整体呈东北西南向线状排列,北部块状回波出现 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 的中心;随后线状 $TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ 区继续发展缓慢向东南移动,15 时两块状区域合并为一个 $TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ 整体且内有多于 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 单体呈线状排列, $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 单体位于北京西北界,此时 $TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ 区域已达到 MCS 等级,但 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 区域面积偏小;随后系统继续向东南移动且移速加快,其内部 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 区范围增大,17 时 $TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ 区域已覆盖京津冀大部分地区, $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 区域范围增大且连成线状,其前锋位于天津北部至河北东北部一带,呈弓形,标志着飊线的加强,此时系统的 $TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ 和 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 区域面积均达到 MCS 等级,系统发展为线状 MCS;18 时线状 MCS 发展最强盛, $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 区范围最大;随后系统继续东南移动,强度开始减弱,21 时 $TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ 区已基本入海,其中的 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 区减弱为很小的 2 块,已不满足 MCC 的定义,飊线对京津冀的影响基本结束。



4.2 典型的弓状飢线结构特征

飢线生成阶段:2009 年 7 月 23 日 12:30 开始(图 7)在京津冀西北边界处出现零散回波单体,并以很快的速度(半小时之内)组织为线状排列的单体群,接着单体群强度增加,于 13:30 发展为东北西南向的带状回波,接着带状回波继续发展加强,14:30 达到飢线等级(40 dBZ连续回波带长度达到100 km以上),接着飢线向东南方向移入北京并缓慢加强,但未出现代表强飢线的弓状回波,属于弱飢线阶段。从雷达回波 40 dBZ区域的演变来看,飢线过程的形成方式为断续

线型(broken line,BL)^[9]。
飢线加强阶段:16:30 开始(图 8)飢线强度显著增强,回波强度增强且范围增大,出现了细长的弓状回波,表明弱飢线发展为强飢线,同时飢线继续向东南方向移动扫过天津。
飢线减弱阶段:19:00 开始(图 9)代表着强飢线的弓形回波不再维持,飢线整体开始减弱,移动方向维持东南,飢线逐渐减弱,移出内陆进入渤海。从雷达回波 40 dBZ区域的演变来看,飢线过程的消散方式为倒虚线型(reversed broken line,RBL)^[11]。

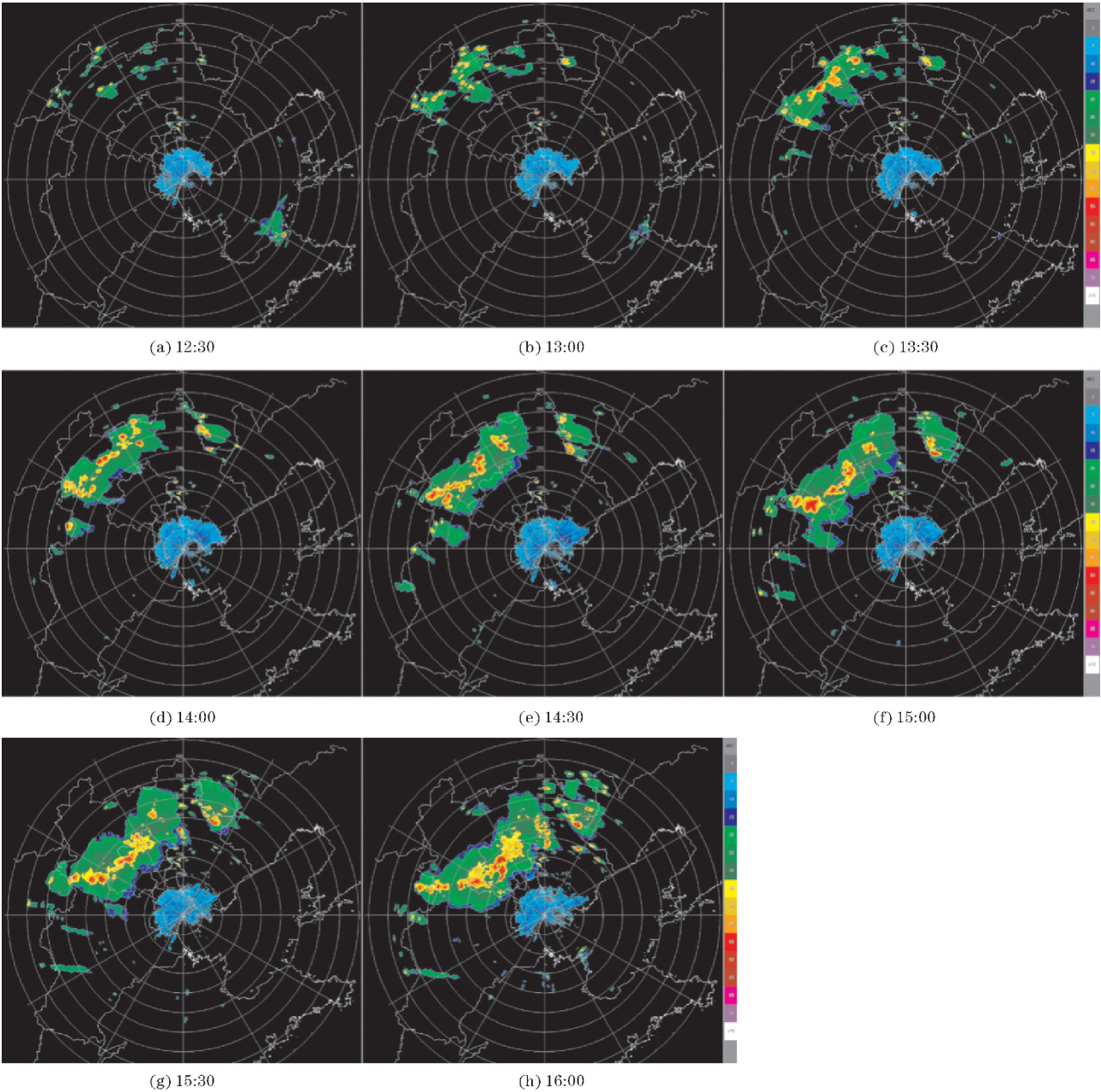


图7 2009 年 7 月 23 日 12:30-16:00 雷达组合反射率

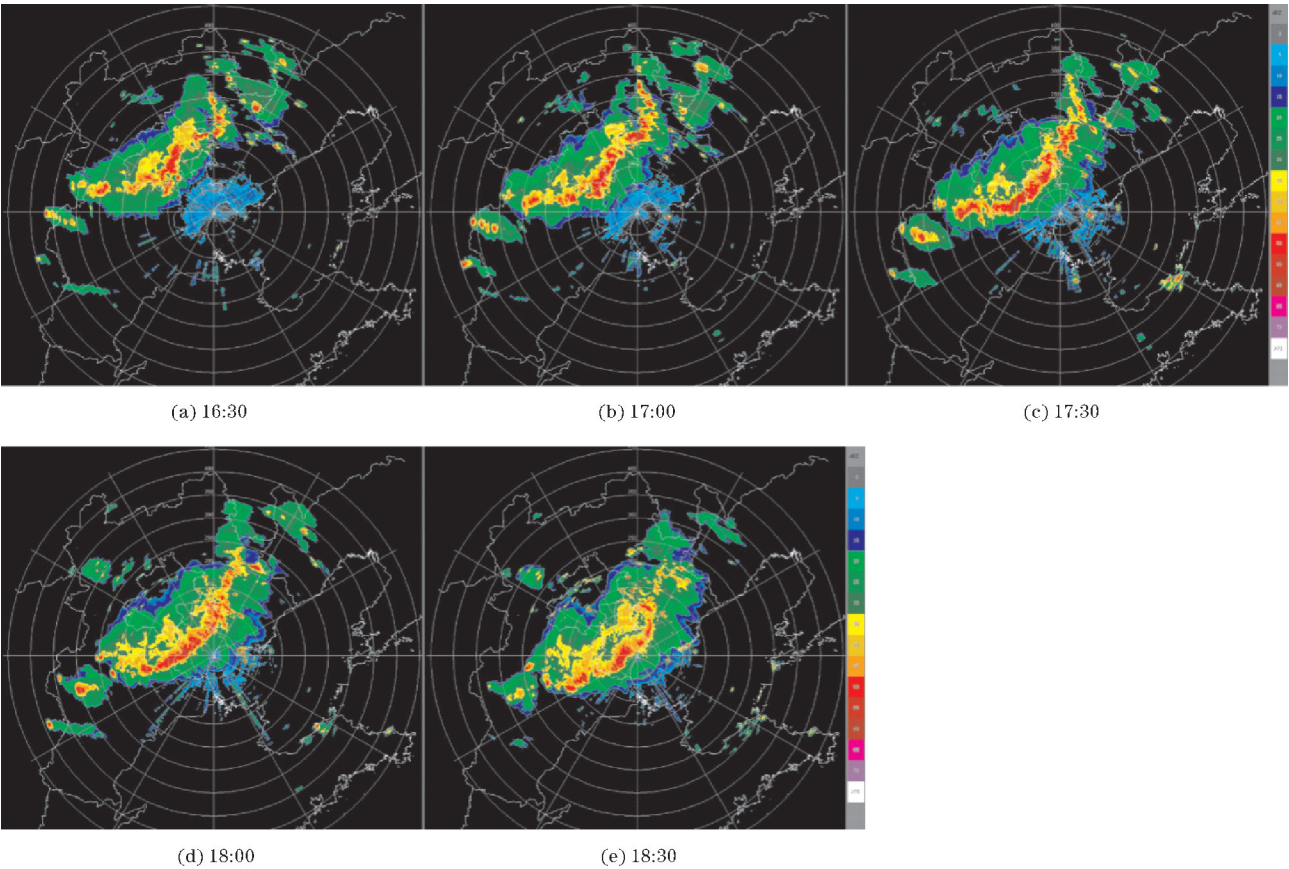


图 8 2009 年 7 月 23 日 16:30–18:30 雷达组合反射率

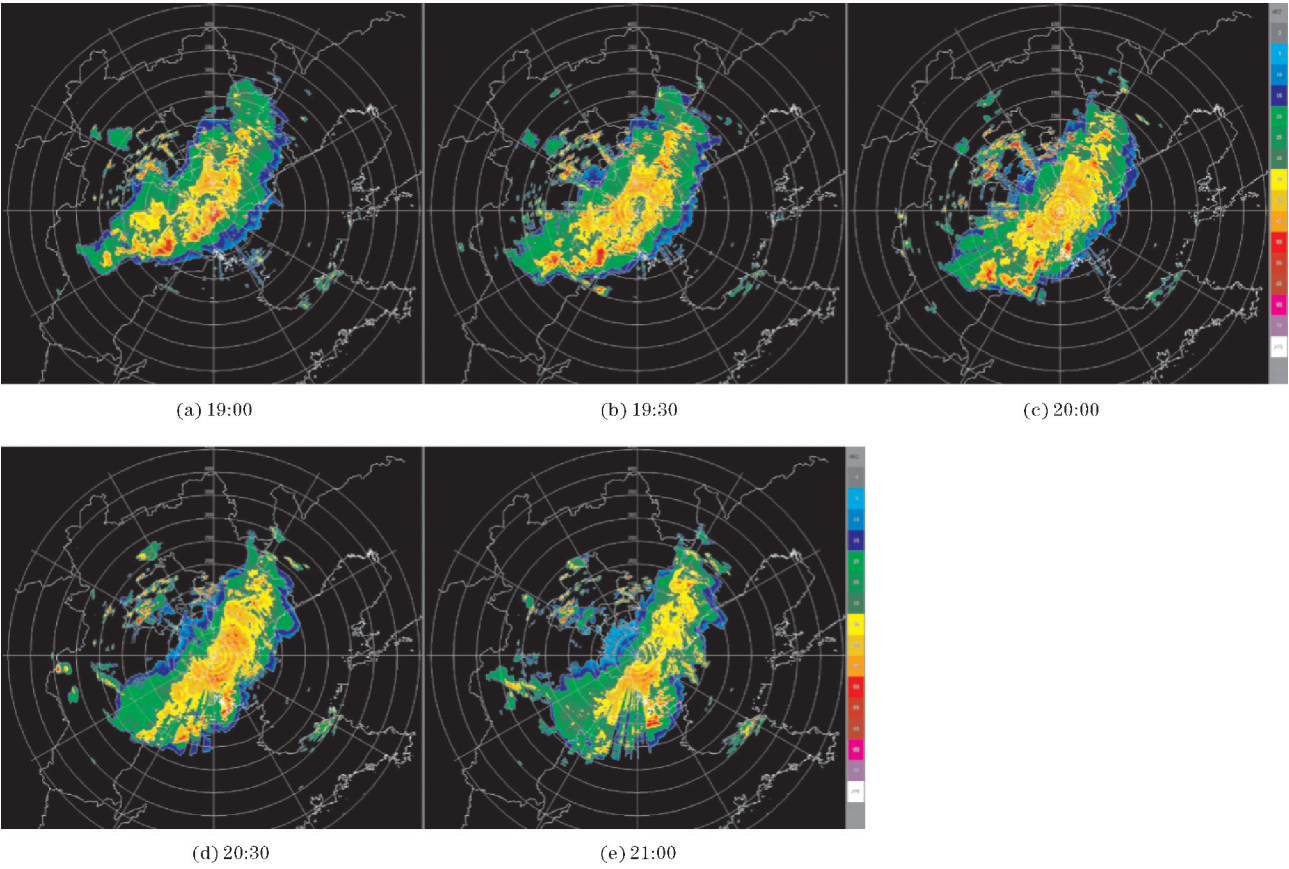


图 9 2009 年 7 月 23 日 19:00–21:00 雷达组合反射率

4.3 飊线上分散、不连续的雨团特征

从小时降水演变(图 10)来看,可以看到雨团的演变与雷达回波位置对应较好,强降水主要发生于飊线发展为弓形结构阶段。对流单体在河北、北京一带已经初步具备飊线特征,但此时未有明显的强降水,随着

时间推移,飊线移至北京与天津交界附近,弓状结构建立,降水明显增强,其落区与弓状飊线的位置吻合。降水区域呈窄带状的弓形,但短时强降水在飊线上不连续特征明显,落区分散,局地降水强度大,虽然影响范围和短时降水强度较大,但雨带移动速度很快,是此次过程总降水量偏少的主要云因。

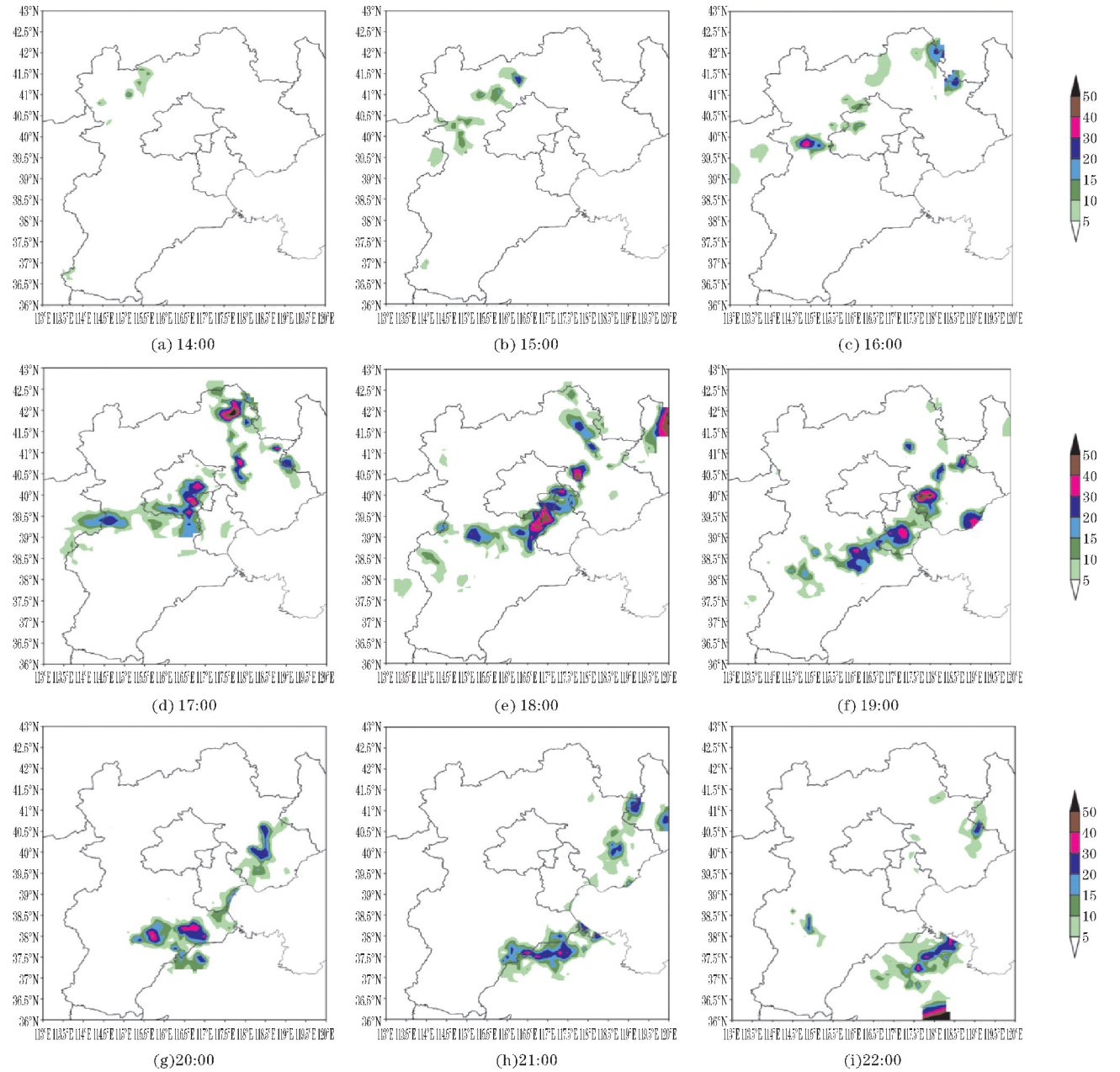


图 10 2009 年 7 月 23 日 14:00–22:00 小时降水演变(阴影)

4.4 飊线过境时单站气象要素变化显著

此次过程降水量最大的 2 个站分别为 663941 站(76.5 mm)和 54717 站(73.7 mm),从 2 个站的小时降水量和累计降水量演变(图 11a)可以看出,其过程雨量几乎全都来自短时强降水的贡献,与前文分析的

特征(短时强降水比较突出)一致,其中 663941 站 19 时小时降水量达到 67.5 mm。

单站气象要素演变(图 11b)显示出明显的飊线过境特点,气压涌升,温度骤降,湿度增大,风速增大,风向急转,以及 20 mm 以上的小时降水。

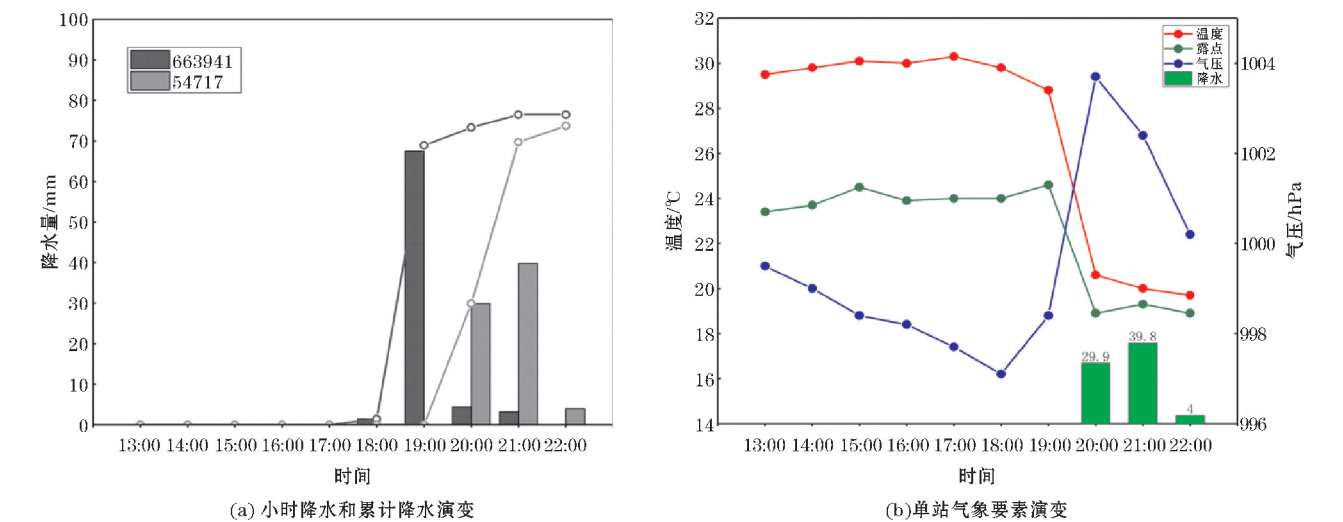


图 11 2009 年 7 月 23 日 13:00–22:00 663941 站和 54717 站小时降水量(灰色柱状)、累计降水量(灰色点线)演变和 54717 站气象要素演变

5 飑线初始对流的触发和组织化过程

5.1 低层辐合线的触发初始对流

分析低空(925 hPa)风场和散度场可以发现,23 日 08 时有西北风风速大值区位于京津冀西北方向的

蒙古东南边界附近,在其前方有辐合,东南方向有西南气流(图 12a);23 日 14 时西北风大风区已经到达河北西北边界(图 12b),其前方的辐合区已经演变成辐合线,此时飑线正发生于这个辐合线上。从 1 h 1 次的地面自动站风场则可以更精细地跟踪辐合线的生成,23 日 10:00 京津冀的西北方向,上游的风开始向西北风转向,风速开始增加(图 12c),地面可以分析出风向的

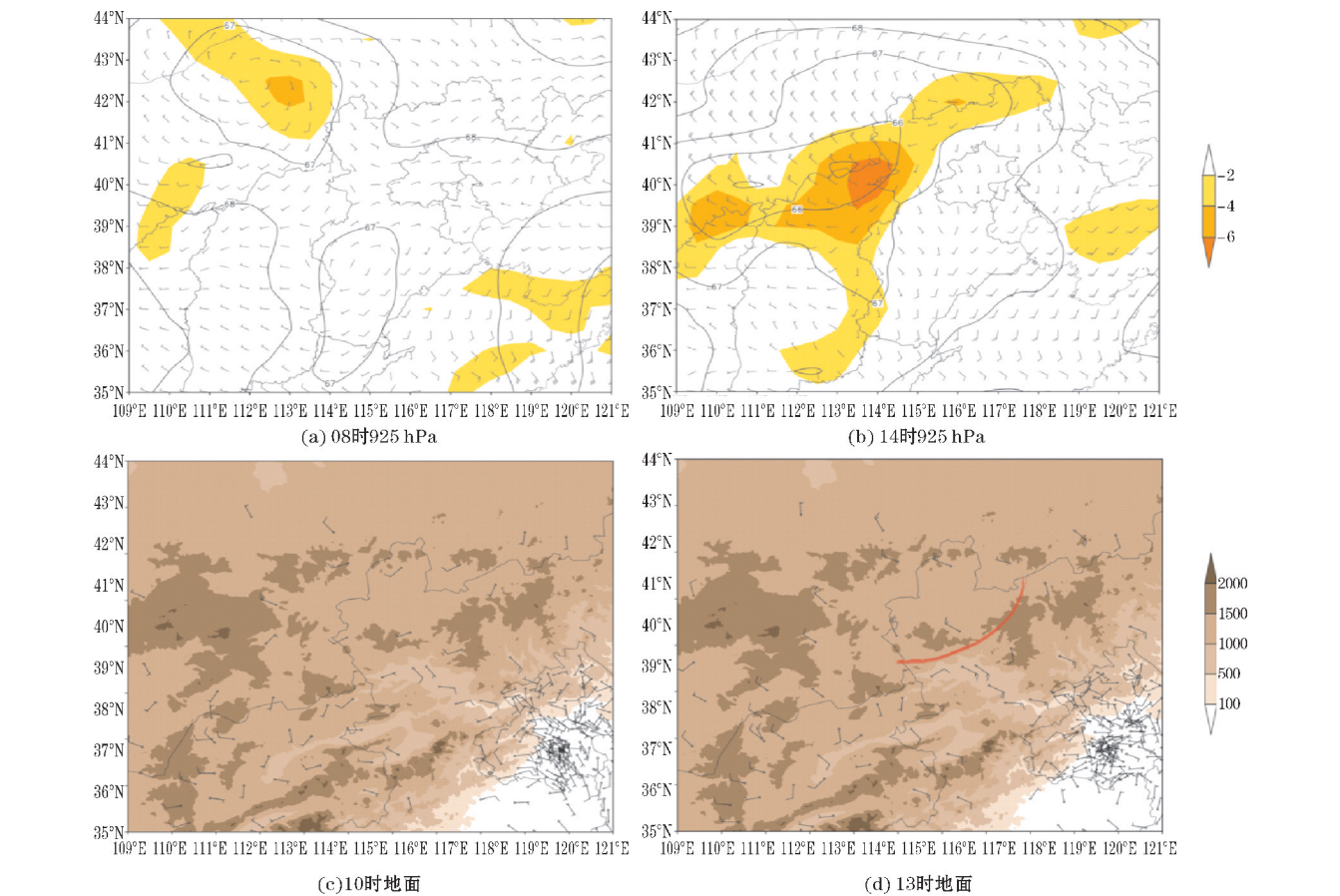


图 12 2009 年 7 月 23 日 08 时和 14 时 925 hPa 高度场(等值线)、风场、散度场(阴影)和 2009 年 7 月 23 日 10 时和 13 时地面站点风(阴影为地形,红色曲线为地面辐合线)

弱辐合出现,但相互辐合的风速对距离偏远,辐合不强烈;11:00 和 12:00 上游的风向继续向着西北风转向,风速进一步增加,影响范围也逐渐向东南扩大;13:00 辐合变强,互相辐合的风速对距离变近且相对辐合的速度变大,辐合区不再零散,可以分析出辐合线(图 12d),此时 TBB-32 ℃ 区域已经出现,说明辐合线触发了对流。结合温度平流(图略)来看,造成辐合线的西北大风速区是冷锋后部的冷空气,即此次过程辐合线的形成是由冷锋入侵造成的。

总结来说,冷锋的逼近带来锋后西北风大风速区,在锋前有辐合,在西南气流的配合下演变为辐合线,低

层的辐合线触发了飚线的初始对流。

5.2 对流沿低层辐合线侧向排列组织形成飚线初始形态

飚线是由线状排列的对流单体形成的,而对流单体如何排列成线状并组织为飚线的过程,通过对各个层次各个变量的分析发现,飚线过程从对流触发到形成初始形态的飚线主要是受低层辐合线的作用,辐合线从形成之初就为东北西南向,与飚线的初始形态一致,在适当的水汽条件和 unstable 条件的配合下,不断有对流单体沿辐合线生成,形成了飚线的初始形态(图 13)。

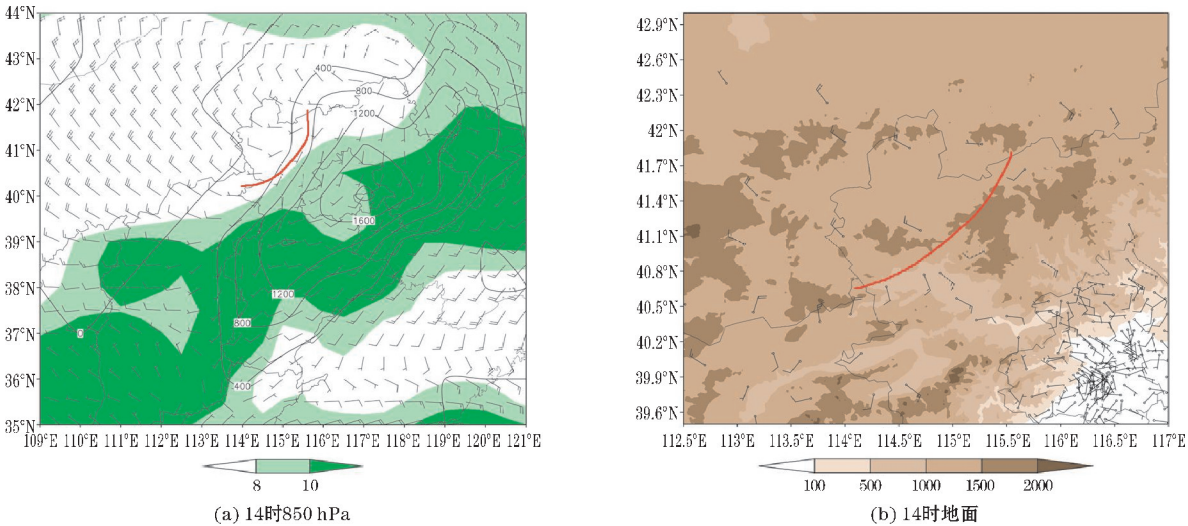


图 13 2009 年 7 月 23 日 14 时 850hPa 风场、比湿(阴影)、CAPE(等值线)和地面站点风(阴影为地形,红色曲线为辐合线)

5.3 垂直风切变强迫飚线发展和高空气流引导飚线移动

飚线是一种强切变风暴,飚线的发生与维持离不开垂直风切变的配合,受高空强西北风影响,925 ~ 500 hPa 垂直风切变增强,受风切变的作用辐合线上生成的对流单体逐渐组织化为飚线,垂直风切变的方向与高空

引导气流的方向共同决定了飚线的移动方向。此次过程的飚线在河北西北部形成之后,保持东北西南向的线状形态,此时高空维持西北气流,与垂直风切变的方向一致,在垂直风切变和高空引导气流的作用下,飚线向东南方向移动,在有利的水汽和 unstable 层结的配合下,发展加强并出现弓形回波,自西北向东南移动扫过京津冀地区。

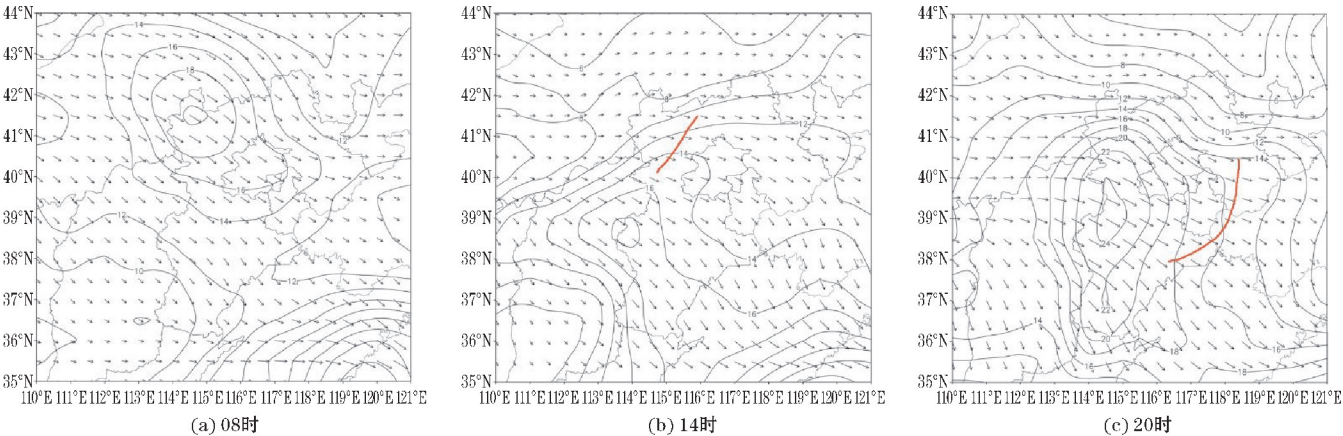


图 14 2009 年 7 月 23 日 08 时、14 时和 20 时 925 ~ 500 hPa 水平风矢量差和矢量差绝对值(等值线),红色曲线为当时的飚线位置

由图14可以发现,在整个飑线的发展过程中始终伴随着较强的垂直风切变,且方向与飑线移动方向一样均为东南,飑线生成前23日08时在河北西北边界处就已经存在有20 m/s的垂直风切变大值中心(图14a),之后飑线也恰好生成在这个大值中心处,23日14时垂直风切变的大值中心有所南移,但飑线此时的位置仍然位于10 m/s以上的大值区(图14b),23日20时飑线也同样在14 m/s以上的垂直风切变区(图14c),强的垂直风切变长时间维持决定了初始对流触发后能逐渐向飑线演变发展,并且有利于延长飑线的生命史。

6 结论与讨论

通过对2009年7月23日冷涡减弱过程中发生在京津冀的一次长生命史飑线过程的分析得到以下结论:

(1)减弱阶段的东北冷涡南移,西北气流中的短波槽引导冷空气南下,使得京津冀上空被显著的西北风和冷平流控制,尽管处在冷涡减弱阶段,但冷涡外围冷空气依然活跃。同时低层有湿舌和暖脊发展,造成高空干冷与低空暖湿的大气结构,有利于对流性天气的发生。高空200 hPa急流出口区左侧位于京津冀北部,高层辐散作用也有利于对流的产生。

(2)低层暖湿舌稳定维持提供了合适的水汽条件,配合高空干冷平流的活动,在京津冀地区形成了良好的位势不稳定层结。

(3)受高空冷涡外围冷空气活动影响,地面冷空气从西北方向接近,西北风与西南气流相遇,形成了辐合线,触发了初始对流。

(4)初始对流沿低层辐合线发展为线状,具备了飑线的初始形态,在垂直风切变的作用下,进一步组织化为飑线。高空引导气流决定了飑线的移动方向,在有利的层结条件和适当的水汽条件下,飑线发展加强。

由于此次飑线生成于冷涡的减弱阶段,属于比较少见的天气形势,在业务预报中容易漏报。今后在实际业务中若冷涡减弱过程中伴随着冷涡外围冷空气的南侵,低层若有暖湿区的配合,就要考虑对流性天气的产生。

参考文献:

- [1] 王宗敏,李江波,王福侠,等. 东北冷涡暴雨的特点及其非对称结构特征[J]. 高原气象,2015,34(6):1721-1731.
- [2] 刘多文. 一次东北冷涡移动过程及其影响分析[J]. 农业灾害研究,2015(12):41-43.
- [3] 刘英. 东北冷涡的结构及其演变特征的个例综合分析[J]. 气象学报,2012,70(3):354-370.
- [4] 郁珍艳. 华北冷涡背景下强对流天气的基本特征分析[J]. 热带气象学报,2011(1):89-94.
- [5] 易笑园. 长生命史冷涡影响下持续对流性天气的环境条件[J]. 气象,2010(1):17-25.
- [6] 何金海. 北半球环状模和东北冷涡与我国东北夏季降水关系分析[J]. 气象与环境学报,2006(1):1-5.
- [7] 孙力,郑秀雅,王琪. 东北冷涡的时空分布特征及其与东亚大型环流系统之间的关系[J]. 应用气象学报,1994(3):297-303.
- [8] 丁一汇. 我国飑线发生条件的研究[J]. 大气科学,1982(1):18-27.
- [9] Bluestein H B, M H Jain. Formation of Mesoscale Lines of Precipitation: Severe Squall Lines in Oklahoma during the Spring[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1985, 42(16):1711-1732.
- [10] Parker M D, R H Johnson. Organizational Modes of Midlatitude Mesoscale Convective Systems[J]. Monthly Weather Review, 2000, 128(10):3413-3436.
- [11] Meng Z, D Yan, Y Zhang. General Features of Squall Lines in East China[J]. Monthly Weather Review, 2013, 141(5):1629-1647.
- [12] Rotunno R, Klemp J B, Weisman M L. A Theory for Strong, Long-Lived Squall Lines[J]. Journal of Atmospheric Sciences, 2004, 45(3):463-485.
- [13] 侯建忠. 黄土高原一次冷涡飑线的综合分析数值模拟[J]. 高原气象, 2007(2):353-362.
- [14] 陈明轩,王迎春. 低层垂直风切变和冷池相互作用影响华北地区一次飑线过程发展维持的数值模拟[J]. 气象学报, 2012(3):371-386.
- [15] 孙建华,郑淋淋,赵思雄. 水汽含量对飑线组织结构和强度影响的数值试验[J]. 大气科学, 2014(4):742-755.
- [16] 张哲,周玉淑,邓国. 2013年7月31日京津冀飑线过程的数值模拟与结构分析模拟与结构分析[J]. 大气科学, 2016(3):528-540.
- [17] 崔强. 一次伴有雷暴大风的飑线天气过程分析及数值模拟研究[J]. 气象科学, 2017(5):673-682.
- [18] 杨珊珊. 冷涡背景下飑线过程统计分析[J]. 气象, 2016(9):1079-1089.
- [19] 杨国祥,舒慈勋. 高空冷涡飑线群的中尺度分

[J]. 气象科学,1984(1):12-19.

[20] 白人海,谢安. 东北冷涡过程中的飚线分析[J]. 气象,1998(4):38-41.

[21] 郑媛媛. 东北冷涡对江淮飚线生成的影响研究[J]. 高原气象,2014(1):261-269.

[22] 孙妍,胡洪泉,朱禹. 东北冷涡背景下一次飚线过程灾害性大风的特征分析[J]. 气象灾害防御,2018(1):5-9.

Analysis of a Squall Line Occurred with a Subdued Cold Vortex

DUAN Xianghai¹, CHEN Yun², ZHU Keyun²

(1. College of Atmosphere Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;2. China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Under the background of cold vortex, severe convection weather often occurs. It is found that the squall line process will occur in different development stages of cold vortex, and even in the weakening stage of cold vortex, which brings great uncertainty to the forecast. In order to deepen the understanding of squall line processes in the cold vortex weakening stage and improve the prediction ability of such squall line processes, based on conventional and unconventional weather observation data, radar and satellite monitoring data, 1 °×1 ° NCEP/NCAR reanalysis data, the European center ERA-Interim reanalysis data, etc. This paper analyzes the data on July 23, 2009 cold eddy weakening stage occurred in Beijing-Tianjin-Hebei process of a long history of squall line. The characteristics of large-scale system configuration, unstable energy accumulation and mesoscale evolution were analyzed, and the triggering of convection and the organization of squall line were discussed. The results show that in the weakening phase of the cold vortex, as the cold vortex moves to the south, the active short-wave trough in the northwest airflow behind the cold vortex moves to the east and leads the cold air to invade the Beijing-Tianjin-Hebei region. The invading cold air meets the southwest airflow with the northwest wind, and forms the surface convergence line in the northwest of Hebei province. With high temperature and humidity conditions, Initial convection has occurred. As the vertical wind shear of 925-500 hpa increased, the convection gradually organized into squall lines. In the upper northwest airstream guided the squall line to move southeast. With the lower level better water vapor conditions and thermodynamic conditions. There are different types of severe convective weather in the Beijing-Tianjin-Hebei region.

Keywords: atmospheric sciences; mesometeorology; Beijing-Tianjin-Hebei; subdued cold vortex; squall line; ground convergence line; vertical wind shear