

刘彬贤,王彦,刘一玮.2015.渤海湾海风锋与阵风锋碰撞形成雷暴天气的诊断特征[J].大气科学学报,38(1):132-136.doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20121010005.

Liu Bing-xian, Wang Yan, Liu Yi-wei. 2015. Diagnostic features of thunderstorm events triggered by collision between sea breeze front and gust front over Bohai Bay[J]. Trans Atmos Sci, 38(1): 132-136. (in Chinese)

## 渤海湾海风锋与阵风锋碰撞形成雷暴天气的诊断特征

刘彬贤<sup>1</sup>, 王彦<sup>2,3</sup>, 刘一玮<sup>1</sup>

(1.天津市气象台,天津 300074;2.天津市人工影响天气办公室,天津 300074;3.中国气象科学研究院 灾害天气国家重点实验室,北京 100081)

**摘要:**对 2007 年 8 月 13 日天津多普勒天气雷达(CIN RAD WSR/98D)探测的雷暴天气个例进行分析,结果表明:此次雷暴天气是由渤海湾海风锋与阵风锋碰撞形成的;碰撞后,在海风锋前端、阵风锋前部有新的雷暴单体形成;阵风锋后部的对流回波主体加强,对流回波主体由椭圆状加强为典型的弓状。应用天津 36 个自动气象站的地面六要素资料和北京 850 hPa 以上探空资料,组成新的诊断资料,对该个例进行诊断分析,结果表明:雷达探测的海风锋前端具有较强的低层垂直风切变梯度和露点温度梯度大值区,海风锋前沿与 0~3 km 垂直风切变梯度密集区相对应,且与露点温度梯度变化较快的区域基本吻合;海风锋与阵风锋相互碰撞时,0~3 km 垂直风切变在 2 h 内变化较快,且有明显的增加趋势,CAPE(convective available potential energy,对流有效位能)值在雷暴形成前有较明显增加;随着雷暴天气结束,上述特征随之消失。

**关键词:**海风锋;阵风锋;雷暴天气的形;成诊断特征

文章编号:1674-7097(2015)01-0132-05 中图分类号:P441 文献标志码:A

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20121010005

## Diagnostic features of thunderstorm events triggered by collision between sea breeze front and gust front over Bohai Bay

LIU Bing-xian<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>2,3</sup>, LIU Yi-wei<sup>1</sup>

(1.Tianjin Municipal Meteorological Observatory, Tianjin 300074, China; 2.Tianjin Modification Weather Office, Tianjin 300074, China; 3.State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 10081, China)

**Abstract:** This paper studies a thunderstorm event detected by Doppler Weather Radar (CIN RAD WSR/98D) in Tianjin on 13 August 2007, showing that the thunderstorm event is triggered by collision between sea breeze front and gust front over Bohai Bay. After the collided, new thunderstorm cells formed in the front of sea breeze front and gust front. The convection echo body intensifies in the back of gust front, and changes from the ellipse echo to the typical bow echo. This paper applies the ground data of six factors at 36 automatic weather stations in Tianjin and the sounding data above 850 hPa in Beijing, forming new diagnostic data. Diagnostic analysis shows that there are strong low-level vertical wind shear and dew point temperature gradients in the front of sea breeze front detected by the Radar. The front edge of sea breeze front corresponds with the dense area of 0—3 km vertical wind shear gradient, and basically tallies with the rapid change zone of dew point temperature gradient. When the sea breeze front and the gust front collide, the 0—3 km vertical wind shear changes rapidly within 2 h with an obvious increasing trend, and CAPE (convective available potential energy) has significantly in-

收稿日期:2012-10-10;改回日期:2013-02-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40975026);中国气象局关键技术集成与应用(CMAGJ2013M03);中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室资助项目(2009LASW-B04);公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206031)

通信作者:刘彬贤,高级工程师,研究方向为多普勒天气雷达在短时预报中的应用,binxian1@sina.com.

creased before the formation of thunderstorm. With the end of thunderstorm, above features will disappear.

**Key words:** sea breeze front; gust front; formation of thunderstorm; diagnostic feature

## 0 引言

应用多普勒天气雷达资料研究边界层辐合线触发形成雷暴天气的机制,已取得一系列的进展。Wilson and Schreiber(1986)、Wilson and Megenhardt(1997)提出雷暴天气的形成与边界层辐合线密切相关,研究表明边界层辐合线的监测和特征识别是雷暴形成、发展和消亡的关键所在,如果大气垂直层结有利于对流的发展,在两条边界层辐合线的碰撞相交处,一般会触发形成雷暴,如果边界层辐合线相交处本来就有雷暴,则该雷暴会迅速发展。国内关于雷暴天气形成的新型观测资料特征及其触发强对流天气的边界层结构特征开展了许多相关的研究。王楠和刘黎平(2007)给出了应用多普勒天气雷达资料识别边界层辐合线的方法。高留喜等(2011)、李庆宝等(2010)应用多种观测资料,分析了边界层结构特征触发强对流的演变机制。俞小鼎(2005)应用多普勒天气雷达资料对雷暴天气形成的环境条件和结构特征做了大量的研究工作。卢焕珍等(2007)、吴息等(2014)、尹东屏等(2010)应用新型探测资料分析海陆风辐合线特征及其触发典型强对流天气的规律。王彦等(2006a, 2006b)研究渤海湾典型海风锋触发形成强对流天气的作用,提出雷暴大风的强弱与海风锋与其他边界层碰撞有关,碰撞的交叉处一般使雷暴加强,也应用多普勒天气雷达和气象铁塔资料分析了雷暴大风的中尺度结构特征,并分类分析了雷暴大风天气的多普勒雷达特征。王彦等(2011a, 2011b)应用多普勒天气雷达并结合气象铁塔资料进一步分析渤海湾海风锋的天气气候特征以及它与雷暴形成并加强的演变关系,同时也分析了边界层辐合线对强对流天气触发和形成的作用。黄利萍等(2012, 2013)、苗峻峰(2014)、董良鹏等(2014)应用常规资料分析了城市热岛效应的时空分布特征,以及天津地区夏季海陆风对城市热岛日变化特征的影响,针对城市热岛环流和海风环流的耦合效应,提出需要深入解决这种耦合效应触发强对流天气的演变机制。

但是,目前国内很少有学者分析海风锋与阵风锋碰撞形成雷暴天气的诊断特征。随着渤海湾海风锋触发形成雷暴天气个例的增多,针对渤海湾海风

锋与阵风锋碰撞形成的雷暴天气,应用天津地面自动气象站资料结合 850 hPa 以上的北京探空资料,组合成新的探空资料,对这类雷暴天气的形成做诊断分析。

## 1 资料

本文资料选自 2007 年 8 月 13 日天津多普勒天气雷达(CIN RAD WSR/98D)探测到的渤海湾海风锋与阵风锋碰撞形成雷暴的天气个例,以及相关典型的海风锋与阵风锋碰撞形成雷暴的天气个例。这些资料主要是来自天津多普勒天气雷达。

同时选取同期天津 36 个 6 要素的自动气象站逐时观测资料,采用气温、风向和风速、气压和降水等要素的变化特征,并结合北京 850 hPa 以上探空资料组合称为新的诊断资料。另外还使用 Micaps3 系统中的 500 hPa、700 hPa、850 hPa 和地面常规探测资料。

## 2 个例分析

2007 年 8 月 13 日 11—18 时(北京时间,下同)天津地区自东北向西南陆续出现雷暴天气。这次雷暴天气是海风锋和阵风锋之间相互碰撞,在碰撞周围约 20 km 处,形成了雷暴天气。

### 2.1 天气背景形势分析

2007 年 8 月 10 日 08 时 500 hPa 上有一东北冷涡,其中心位于 126.61°E、48.58°N,天津处于东北冷涡底部的平直西风气流里,此时西风风速 8 m/s,气温为 -10℃,但是温度平流明显落后于高度平流,11 日形成了深厚的高空槽,受其影响,天津出现了一次明显的强降水。环流背景形势仍旧在调整过程中,8 月 12 日 08 时 500 hPa 东北冷涡主要影响系统已减弱移出影响天津地区的关键区域,天津还继续维持着 10 m/s 的风速,气温基本维持 -11℃,但是 850 hPa 气温回暖速度非常快,由 11 日的 4℃增至 12 日的 14℃;配合地面形势天津处于弱气压场形势中,同时伴有轻雾出现。但是,500 hPa 与 850 hPa 的气温差由 11 日 08 时的 -25℃增加到了 12 日的 -39℃。

事实上,由于时间分辨率和空间分辨率的限制,应用这种常规资料很难准确地预报这种局地形成的

雷暴天气。但是,应用新型的探测资料弥补了常规资料的不足,能够清晰的捕获这种中小尺度雷暴天气的发生发展。

## 2.2 海风锋和阵风锋碰撞形成雷暴天气的多普勒天气雷达和自动气象站资料演变特征

多普勒天气雷达产品演变特征(图 1)。12 时海风锋已形成并向西北方向推进;至 15 时,海风锋已移到图 1a 红色箭头所示位置,此时海风锋的强度约为 25 dBZ,宽度不足 10 km,高度不足 2 km。它继续向西北方向推进。同时,自东北方向有对流回波形成的阵风锋(图 1b,黑色箭头所示),阵风锋的强度约为 25 dBZ,宽度也不足 8 km,正向西南方向移动。16 时,向西北方向移动的海风锋和向西南移动的阵风锋相互碰撞,碰撞后(图 1b 中红色方框内所示),在海风锋前端,阵风锋的前方有新的雷暴单体形成;同时阵风锋后部对流回波加强。这个新的回波单体 6 min 内强度由 30 dBZ 迅速增至 50 dBZ,回波最强达到了 55 dBZ,回波高度约为 8 km,回波面积也快速增大。对于阵风锋后部的对流回波单体,回波形态发生了显著变化,由椭圆形变为显著的弓型回波,最强回波达到了 55 dBZ,同时高度在 8 km 的面积范围显著增大。它在继续向西南方向移动,回波单体逐渐合并减弱后维持 2 h 后消散了。

自动气象站资料的演变特征(图略)。12 时海风锋已经形成,并逐渐向西北方向推进,至 14 时,海风锋向西北方向推至东丽,此时,东丽显示气温为 30 ℃,风向转为东南风 4 m/s,湿度明显增加。15 时,海风锋已到达天津市区,并继续向西北方向推进。16 时,海风锋在向西北方向移动的过程中,自

东北方向也有对流云团活动,其中对流云团前部形成了阵风锋,阵风锋先后自东北向西南依次经过宝坻、武清等,当阵风锋通过宝坻时,气象要素变化最为剧烈,气温降低的幅度最大,为 8 ℃。以后阵风锋逐渐远离主体回波,阵风锋也在减弱,降温幅度也依次在减小。阵风锋继续向前移动,与海风锋在宝坻武清相遇后,在相互碰撞的地方形成了雷暴天气。自动气象站资料和多普勒天气雷达探测的信息相互吻合。

## 2.3 海风锋和阵风锋碰撞形成雷暴天气的诊断特征

利用天津 36 个自动气象站逐时观测资料,使用气温、风向和风速、气压和降水等要素的变化特征,结合北京 850 hPa 以上探空资料组合成新的诊断资料,对 2007 年 8 月 13 日渤海湾海风锋的形成演变特征做诊断分析(图 2)。

这次过程根据海风锋特征分为三阶段:形成阶段、发展成熟阶段和消散阶段。

形成阶段,海风锋形成之前,天津无明显的垂直风切变特征。11 时(图 2a),近渤海沿海形成了弱垂直风切变梯度,垂直风切变总体呈现为东部高西边低的形势,垂直风切变梯度在向西缓慢移动过程中逐渐加强。垂直风切变密集区与海风锋前沿的移动路径基本重合,11 时垂直风切变值由前期的 2.0 m/s 增大到 2.5 m/s。同时温度梯度也已形成。不稳定能量正在积累,CAPE(convective available potential energy,对流有效位能)值也有明显变化,从 08 时 1 510 J/kg 到 11 时增加到了 2 015 J/kg。

发展成熟阶段,诊断分析表明垂直风切变梯度

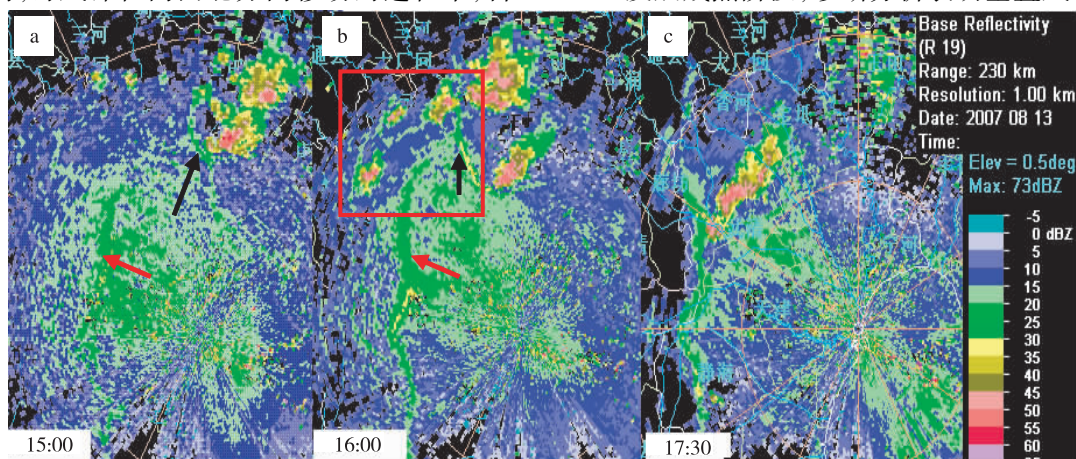


图 1 2007 年 8 月 13 日 0.5°仰角雷达基本反射率因子(每圈 50 km) a.15:00;b.16:00;c.17:30

Fig.1 The 0.5° PPI reflectivity image on a thunderstorm triggered by collision between sea breeze front and gust front on 13 August 2007(50 km per ring) a.15:00 BST;b.16:00 BST;c.17:30 BST

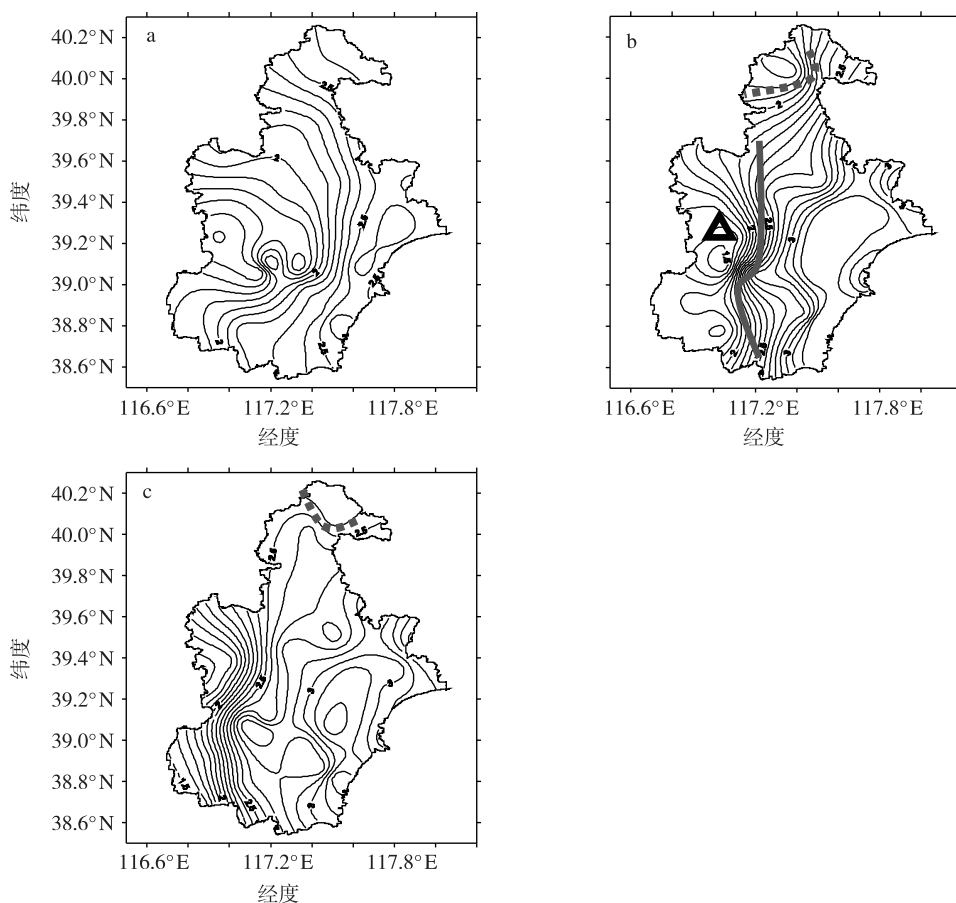


图2 2007年8月13日11时(a)、16时(b)、17时(c)渤海湾海风锋的0~3 km垂直风切变(单位:m/s)

Fig.2 The 0—3 km vertical wind shear of sea breeze front in Bohai Bay at (a) 11:00 BST, (b) 16:00 BST and (c) 17:00 BST 13 August 2007 (units: m/s)

继续向西推进,14时,垂直风切变继续维持东部高,西部低的形势,并加强到3 m/s。16时,垂直风切变密集区向西推进(图2b,粗实线位置),强度维持在3 m/s。垂直风切变密集区始终与雷达探测的海风锋前沿位置基本重合。此时,自北方路径有对流云团前端形成的阵风锋在活动(图2b,粗点线),16时前后海风锋与阵风锋在宝坻(图2b△位置)相互碰撞,宝坻附近有新的雷暴形成。从宝坻观测站垂直风切变逐时演变(图3)来看,自08时开始其值在2 m/s波动,到15时开始增大到2.5 m/s,16时为2.8 m/s,此时雷暴天气形成,垂着风切变继续增加到3.0 m/s。随后,雷暴天气也随之减弱,垂直风切变也在减弱。从CAPE值演变情况来看,从08时其值约为1500 J/kg,在随后5 h内逐步增大,到15时增大到了约2000 J/kg,1 h以后其值快速增加,增加到了2500 J/kg,雷暴天气形成后迅速减小。

消散阶段,随着海风锋逐渐向西移动,海风锋垂直风切变梯度逐渐减弱,与之对应雷暴天气也在

减弱。

上述分析表明,海风锋前沿与0~3 km垂直风切变梯度密集区相互对应,同时也与露点温度梯度变化较快的区域大体吻合。海风锋与阵风锋相互碰撞时,0~3 km垂直风切变在2 h内变化较快,并且有明显增加趋势,CAPE值在雷暴形成前也有较明显的增加。随着雷暴天气的结束,上述特征也随之消失。

应用同样方法随机对天津多普勒天气雷达监测到的8次海风锋天气进行诊断分析,其中有6次海风锋前沿与0~3 km垂直风切变梯度密集区基本对应,但是,垂直风切变强度随着海风锋的强度变化而变化。同时也与露点温度梯度密集区大致吻合。这表明渤海湾海风锋前沿具有垂直风切变变化较快的特点,同时也是露点温度变化较快的区域。

### 3 结论

1)这次雷暴天气是由渤海湾海风锋与阵风锋



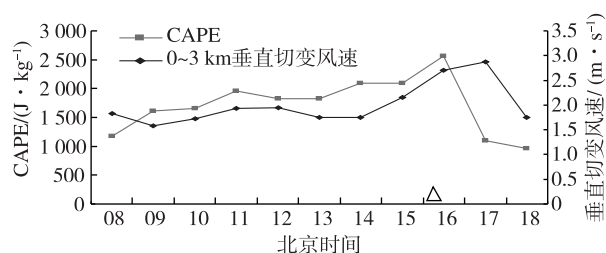


图3 宝坻站 0~3 km 垂直风切变(单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 和 CAPE 值(单位:  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 的逐时变化(△表示海风锋与阵风锋碰撞、有新雷暴形成)

Fig.3 Hourly variations of 0—3 km vertical wind shear (units:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and CAPE (units:  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) at Baodi station (△ indicates formation of a new thunderstorm triggered by collision between sea breeze front and gust front)

碰撞形成雷暴天气的,碰撞后,在海风锋前端,阵风锋的前部有新的雷暴单体形成;阵风锋后部对流回波加强。对流回波主体由椭圆状加强为典型的弓状回波。

2) 诊断分析表明,海风锋前沿与 0~3 km 垂直风切变梯度密集区相互对应,同时也与露点温度梯度密集区大致吻合。海风锋与阵风锋相互碰撞时,0~3 km 垂直风切变在 2 h 内变化较快,并且有明显增加趋势,CAPE 值在雷暴形成前也有较明显的增加。随着雷暴天气的结束,上述特征也随之消失。

## 参考文献:

- 董良鹏,江志红,沈素红.2014.近十年长江三角洲城市热岛变化及其与城市群发展的关系[J].大气科学学报,37(2):146-154.
- 高留喜,王彦,万明波,等.2011.2009-08-17 山东特大暴雨雷达回波及地形作用分析[J].大气科学学报,34(2):239-245.

- 黄利萍,苗峻峰,刘月焜,等.2012.天津城市热岛效应的时空变化特征[J].大气科学学报,35(5):620-632.
- 黄利萍,苗峻峰,刘月焜,等.2013.天津地区夏季海陆风对城市热岛日变化特征影响的观测分析[J].大气科学学报,36(4):417-425.
- 李庆宝,苗世光,刘学刚,等.2010.边界层流场和地形特征对青岛奥帆赛场午后海风影响的研究[J].气象学报,68(6):985-996.
- 卢焕珍,赵玉洁,俞小鼎,等.2007.雷达观测的渤海湾海陆风辐合线与自动站资料的对比分析[J].气象,34(9):57-63.
- 苗峻峰.2014.城市热岛和海风环流相互作用的数值模拟研究进展[J].大气科学学报,37(4):521-528.
- 王楠,刘黎平.2007.利用多普勒雷达资料识别低空风切变和辐合线方法研究[J].应用气象学报,22(18):315-320.
- 王彦,吕江津,王庆元,等.2006a.一次雷暴大风的中尺度结构特征分析[J].气象,32(2):32-36.
- 王彦,李胜山,王庆元,等.2006b.渤海湾海风锋雷达产品特征[J].气象,32(12):46-50.
- 王彦,于莉莉,朱男男,等.2011a.渤海湾海风锋与强对流天气[J].高原气象,30(1):245-251.
- 王彦,于莉莉,李艳伟,等.2011b.边界层辐合线对强对流系统形成和发展的作用[J].应用气象学报,22(6):750-757.
- 吴息,白龙,崔芳,等.2014.海面与海岸陆面风速廓线特征[J].大气科学学报,37(2):138-145.
- 尹东屏,吴海英,张备,等.2010.一次海风锋触发的强对流天气分析[J].高原气象,29(5):1261-1269.
- 俞小鼎.2005.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社.
- Wilson J W, Schreiber W E.1986. Initiation of convective storms at radar-observed boundary-layer convergence lines [J]. Mon Wea Rev, 114:2516-2535.
- Wilson J W, Megenhardt D L.1997. Thunderstorm initiation, organization, and lifetime associated with Florida boundary layer convergence lines [J]. Mon Wea Rev, 125:1507-1525.

(责任编辑:刘菲)