

渤海湾海风锋雷达回波特征分析

王彦^{1,2} 李胜山¹ 郭立¹ 冯金湖³ 王庆元¹ 东高红¹

(1. 天津市气象台, 300074; 2. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室;
3. 天津滨海新区预警中心)

提 要: 应用天津新一代天气雷达和相应的自动气象站资料, 统计分析雷达监测到的4次渤海湾海风锋的特点, 并研究渤海湾海风锋与强对流天气形成、发展和消散过程演变特征。结果表明: 渤海湾海风锋在低仰角(0.5° 或 1.5°)基本反射率产品中表现为平行于渤海湾的窄带弱回波, 强度一般仅维持在 $15\sim 25\text{dBz}$, 长度约为 $100\sim 300\text{km}$, 宽度随着季节、天气背景场的变化而变化; 并且移动速度非常缓慢, 基本维持在 $10\sim 15\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。低仰角(0.5° 或 1.5°)的基本速度产品上, 海风锋几乎呈准静止的零速度窄带回波。当海风锋与弱冷锋相遇时, 相遇交叉处能够产生强对流天气; 而单一海风锋不能产生强对流天气, 仅能改变气温和风向等气象要素特征。

关键词: 新一代天气雷达产品 渤海湾海风锋 强对流天气

Doppler Radar Echo Features of Sea Breeze Front in Bohai Bay

Wang Yan^{1,2} Li Shengshan¹ Guo Li¹

Feng Jinhu³ Wang Qingyuan¹ Dong Gaohong¹

(1. Tianjin Meteorological Observatory, 300742; 2. Chinese Academy of Meteorology Sciences, Beijing;
3. Binhai Meteorological Office, Tianjin)

Abstract: With Tianjin Doppler radar and auto-weather station data, the features and evolutions of 4 sea-breeze fronts are analyzed in Bohai Bay. It is shown that the echoes of sea breeze fronts of Bohai Bay belong to narrow and weak echoes and run parallel to Bohai Bay.

资助项目: 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室和国家自然科学基金(40475017)共同资助

收稿日期: 2006年8月18日; 修定稿日期: 2006年9月19日

Reflectivity intensity only remains 15—25dBz, its length about 100—300km, and its width changes with the weather and seasons. And its moving speed is very slow, just 10—15km·h⁻¹. It is proved that when a sea-breeze front meets a cold front, it can bring about severe weather. But only a sea-breeze front cannot cause severe weather such as shower, just making some changes in temperature, humidity, and wind direction.

Key Words: sea-breeze front severe weather Doppler radar data

引 言

国际上对海风锋的研究可以追溯到 20 世纪初,随着测风气球观测技术的发展,海陆风的观测研究才真正开始。Jeffreys^[1]奠定了海陆风定量理论研究的基础。Estoque^[2]应用海陆风模式,模拟海岸线的变化对海风锋的作用。Banta 等^[3]应用多普勒天气雷达能够完整而清晰地捕捉海风锋的三维结构特征。国内对海风锋的观测研究是从 20 世纪 50 年代开始,首先是朱抱真^[4]对台湾海陆风的气候特征进行研究。陶诗言^[5]曾原则地提出海陆风可能对沿海暴雨有触发作用。杨国祥^[6],依国外文献对海风锋的物理特征进行第一次介绍。还有若干学者^[7-10]应用数值模拟方式揭示海风锋能够触发强对流天气。也有少数学者^[11],应用自动气象站和雷达回波资料分析珠江三角洲地区由海风锋触发形成强对流天气过程的演变规律等,还有学者^[12]应用雷达资料分析北京地区的强对流天气的演变规律。但是,目前国内很少有学者应用新一代天气雷达资料研究渤海湾海风锋与强对流天气的演变规律。

天津地处渤海湾西部,受海风锋影响很大。于恩洪等^[13-15]应用 5 次野外观测实验对渤海湾海风锋进行研究,结果表明:渤海湾海风锋对强对流天气有触发作用。但是,由于受资料的分辨率的限制,只停留在研究阶段,还不能满足业务发展的需求。

天津新一代天气雷达地理位置特殊,它

能够捕获渤海湾海风锋中尺度天气系统,并且提供高分辨率,包括空间 1°×1km、时间间隔 6 分钟的精细产品,能有效提高由渤海湾海风锋造成强对流天气的预警时效。本文应用天津新一代天气雷达观测到的 4 次渤海湾海风锋天气过程的产品,分析渤海湾海风锋与强对流天气发生、发展的演变关系,提取有价值的临近预报指标,对准确预警渤海湾强对流天气,及早发布灾害性天气警报具有重要意义。

1 资料选取

本文分析资料选自天津新一代天气雷达监测到的 4 次海风锋天气过程资料,和同时期的地面自动气象站实况观测资料,4 次天气过程如表 1 所示。

表 1 海风锋天气过程概况

日期	有无降水	降水代表站地点
20020715	有	宁河
20020816	有	宝坻
20040618	有	塘沽
20040808	无	无

2 新一代天气雷达探测渤海湾海风锋的基本特征

由于渤海湾海风锋属于大气边界层中尺度天气系统,它的垂直分布随着湿度、气压、气温的变化而变化。雷达发射的电磁波

遇到海风锋后,由于折射而形成平行于渤海湾的窄带弱回波,它在雷达不同产品中表现出不同的特征。天津新一代天气雷达分辨率和灵敏度较高,特别是地理位置特殊,因此能够识别渤海湾海风锋。

根据新一代天气雷达获取气象目标物的分析,并结合国外多普勒雷达识别海风锋的典型特征^[16],同时总结分析天津新一代天气雷达探测到的渤海湾海风锋特征,归纳出识别渤海湾海风锋在雷达2种产品中的表现特征:

低仰角(0.5° 或 1.5°)的基本反射率产品上,渤海湾海风锋表现为强度弱、平行于渤海湾、移动缓慢的窄带回波。强度一般仅维持在 $15\sim 25\text{dBz}$,长度约为 $100\sim 300\text{km}$,宽度随着季节、天气背景场的变化而变化,抬高仰角,窄带回波则减弱消失(这是由于海风锋是边界层的中尺度天气系统)。

低仰角(0.5° 或 1.5°)的基本速度产品上,海风锋几乎呈准静止的零速度窄带回波。这是由于海风锋形成后,向内陆推进缓慢的缘故。

一般条件下,满足上述2个特征则认为是渤海湾海风锋。

3 渤海湾海风锋与强对流天气

3.1 单一海风锋不能产生强对流天气,仅能改变气温、风向等气象要素特征

新一代天气雷达产品完整监测到了2004年8月8日渤海湾海风锋形成演变过程的特点(如图1所示,见彩页)。 0.5° 仰角的基本反射率产品上,12时沿渤海湾形成平行于海岸线的窄带弱回波,回波强度仅有 $15\sim 20\text{dBz}$ (如图1a中箭头所示,见彩

页);形成后回波缓慢向内陆推进,至16时窄带回波移到宝坻经北辰至东丽一线,回波强度保持不变,继续维持在 $15\sim 20\text{dBz}$ (如图1b中箭头所示,见彩页),宽度约为 10km ,长度加强到约 150km ,高度在 1km 以内;17时海风锋移到了(如图1c中箭头所示,见彩页)武清至西青一线,强度降至 $5\sim 10\text{dBz}$,以后逐渐消失了。渤海湾海风锋消失可能有两个原因造成:海风锋真实的减弱消失;还有可能是雷达波束随距离增加而增高导致低层海风锋信息探测不到了。参阅文献[13]渤海湾海风锋向内陆伸展最大距离为 70km ,而此时海风锋与渤海有约 70km 的距离。整个过程海风锋移动速度非常缓慢,基本维持在 $10\sim 15\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

0.5° 仰角的基本速度产品中表现为准静止的零速度窄带回波,回波带宽 $10\sim 15\text{km}$,缓慢向内陆推进。

应用自动气象站资料分析海风锋演变特征,海风锋经过后有气温下降和风向的转变。如东丽气象站观测资料自14时至15时气温从 34.2°C 降至 33.3°C ,同时由西南风转为东南风。其它气象站在海风锋经过后也有同样的特点。另外,这天天气始终保持晴朗。

这表明天津新一代天气雷达能够探测渤海湾海风锋,并且单一海风锋不能产生强对流天气,这与于恩洪的研究结果^[13]是吻合的。由于雷达有实时监测功能,并且有较高分辨率,同时配合自动气象站资料,能够探测渤海湾海风锋经过时气象要素特征的变化,包括气温的降低和风向的转变,一般由西南风转为东南风,这也是提供预报气温变化和风向转变的临近预报依据,更有利于提高临近预报的准确性。

单一海风锋不能产生降水的原因可能是由于水平范围小,垂直厚度较低,海风锋能量也较小的缘故,这留待以后做进一步的研

究。

3.2 渤海湾海风锋与弱冷锋相遇能够产生强对流天气

共探测到3次渤海湾海风锋与弱冷锋碰撞产生强对流天气。下面以2002年7月15日强对流天气演变过程为例说明。

3.2.1 新一代天气雷达产品

(1) 基本反射率产品演变过程

形成阶段。0.5°仰角的基本反射率产品上:11:00沿渤海湾形成一条带状回波基本与渤海湾海岸线平行,带状回波宽度大约有50km,这条回波带沿着海岸线几乎呈准静止状态(图2a绿色箭头所示,见彩页);至13:00带状回波宽度减小到10km,长度约200km,距渤海约50km,此时回波如图2b所示(图2b绿色箭头所示,见彩页),回波高度始终在1km以下的边界层内,强度维持在20dBz左右。

发展成熟阶段。渤海湾海风锋继续向内陆缓慢推进,同时在东北方向有一条弱冷锋(图2b红色箭头所示,见彩页)也在缓慢向东南方向移动,15时这条弱冷锋与海风锋在玉田(图2b圈处,见彩页)基本呈90°的交角相遇,在两条锋面的交叉处立即发展为强度达40dBz的回波,并继续向东南方向移动,强度继续加强,至15:40东移至宁河(图2c圈处,见彩页)发展为成熟阶段。此时,1.5°、2.4°两个仰角强度产品上均探测到65dBz的强回波,强回波中心基本呈椭圆形,悬浮于中空。这说明前侧有很强的上升气流,支撑着冰雹的继续碰并增长。

消散阶段。16:20以后回波继续向东南方向移动并逐渐减弱消亡。

这表明新一代天气雷达能够监测渤海湾海风锋与弱锋面相互作用发展演变为强对流天气的整个过程,并且在两条锋面的交叉处有强对流天气产生。

(2) 基本速度产品演变过程

形成阶段:与基本反射率同步的,渤海湾海风锋基本速度产品中表现为窄的零速度回波带,这是由于移动速度缓慢造成的。同时弱冷锋表现为几乎静止的窄带回波。

发展成熟阶段:当两条不连续面相遇后强度加强,形成中尺度辐合线并继续向东南方向移动,并在中尺度辐合线上有中尺度气旋存在(图略)。15:40,0.5°仰角产品上20°、67km处,核区直径为2.3km,最大平均转动速度为 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;同时1.5°仰角产品上12°、65km处,核区直径为4.5km,最大平均转动速度为 $9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;2.4°仰角产品上12°、65km处,核区直径为4.5km,最大平均转动速度为 $11.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,持续时间长达30分钟。

消散阶段。16:20中尺度辐合线减弱,辐合高度降低,辐合厚度也在减弱,随之强对流天气也结束了。

上述表明基本速度产品能够判断强对流天气的发展和减弱特征。

应用雷达基本反射率产品分析渤海湾海风锋与弱冷锋的相遇过程,在两者交叉处有强对流天气产生。同时应用基本速度产品能够分析辐合的演变趋势,若将新一代天气雷达的这两种产品相互结合分析,能够更好地分析海风锋与冷锋相遇过程的演变趋势,并且能更好的判断它的演变规律。

3.2.2 自动气象站资料

海风锋形成后气象要素的变化特征,主要包括气温下降和风向转变(如图3所示)。如东丽气象站观测资料自12至13时的气温由34.3℃降至32.9℃(天气晴朗)。风向逐渐转为东南风,同时相对湿度也逐渐增加。另外,海风锋移动速度非常缓慢,塘沽至武清约80km的距离海风锋行程用了近7小时,平均速度仅 $10\sim15\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

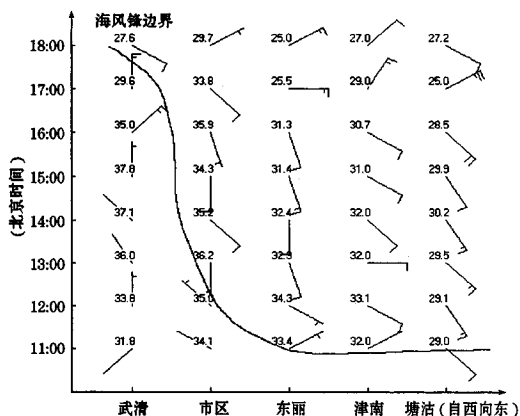


图 3 2002 年 7 月 15 日渤海湾海风锋随时间演变序列

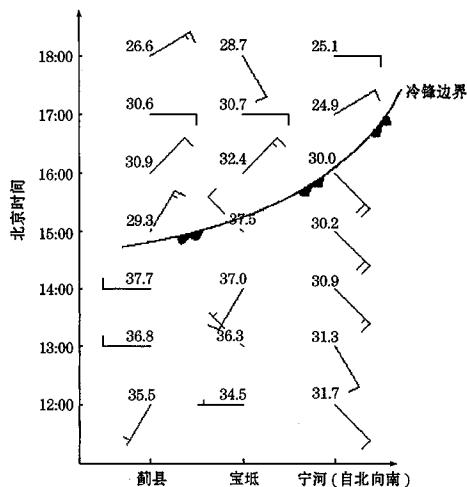


图 4 2002 年 7 月 15 日冷锋随时间演变序列

海风锋与弱冷锋的相遇过程。15 时蓟县由西风转为东北风 (图 4), 16 时宝坻也转为东北风, 以后自北向南陆续转为东北风, 这表明自东北方向下来一股冷空气。这股冷空气在 16:10 到达宁河 (图 2c 圈处, 见彩页)。随着渤海湾海风锋在向内陆推进的同时, 宁河自 11 时开始一直维持东南风, 至 14 时东南风加大, 维持在 $7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 这种情况持续近两个小时。至 16 时与东北方向下来的弱冷锋相遇。宁河在 15:55 实况观测有冰雹, 直径达 30mm, 并有短时大风等强对流天气, 16:20 以后转变为东北风, 东北风的最大风速为 $9.7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。随着冷空气占据主导地位, 强对流天气也随之结束。

应用自动气象站资料分析渤海湾海风锋与弱冷锋相遇发展为强对流天气的过程, 和与雷达探测渤海湾海风锋与弱冷锋相遇形成强对流天气的过程是一致的。雷达探测到 3 次这样的过程, 这表明: 当渤海湾海风锋与冷锋相遇时, 两条锋面的交叉处有强对流天气。

4 小 结

(1) 新一代天气雷达产品能够探测渤海

湾海风锋中尺度天气系统。它在低仰角 (0.5° 或 1.5°) 基本反射率产品中表现为平行于渤海湾的窄带弱回波, 强度一般仅维持在 $15 \sim 25\text{dBz}$, 长度约为 $100 \sim 300\text{km}$, 宽度随着季节、天气背景场的变化而变化; 并且移动速度非常缓慢, 基本维持在 $10 \sim 15\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。低仰角 (0.5° 或 1.5°) 的基本速度产品上, 海风锋几乎呈准静止的零速度窄带回波。

(2) 应用新一代天气雷达探测 4 次渤海湾海风锋天气过程, 分析表明单一海风锋不能产生强对流天气, 仅能使气温降低和风向转变。但是当它与弱冷锋相遇时, 交叉处有强对流天气, 这对短时预警延长预报时效有指示作用。

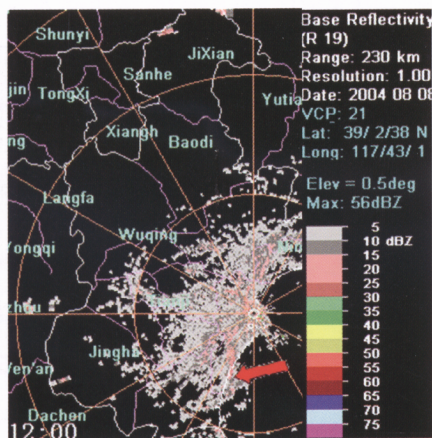
致谢: 感谢姚学祥博士的指导。

参考文献

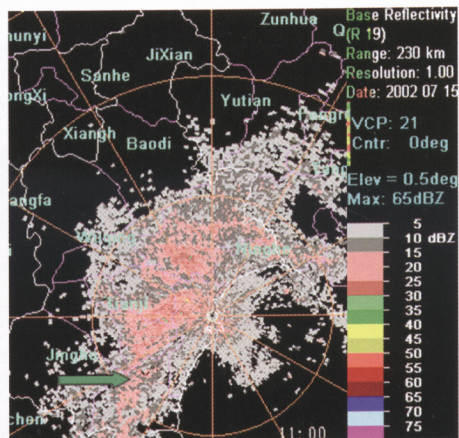
- [1] Jeffreys, H.. On the dynamics of wind [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1922, 48: 29-46.
- [2] Estoque M. A. A Theoretical Investigation of the Sea Breeze [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1961, 87: 136-146.
- [3] Banta R. M., L, Dollvier and D. H. Leviason. Evolution of the Monterey Sea-Breeze Layer as ob-

- served by Pulsed Doppler radar [J]. *Atmos. Sci.*, 1993, 50: 3959-3982.
- [4] 朱抱真. 台湾的海陆风 [J]. *天气月刊* (1955年8月附刊), 1-11.
- [5] 陶诗言. 中国之暴雨 [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 107-111.
- [6] 杨国祥. 中尺度气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 1983: 156-166.
- [7] 金浩. 三维海陆风的数值模拟 [J]. *大气科学*, 1991, 25-32.
- [8] 刘黎平, 邵爱梅, 葛润生等. 一次混合云暴雨过程风场中尺度结构的双多普勒雷达观测研究 [J]. *大气科学*, 2004, 28 (2): 278-283.
- [9] 付秀华, 李兴生, 吕乃平等. 复杂地形条件下三维海陆风数值模拟 [J]. *应用气象学报*, 1991, 2 (2): 113-119.
- [10] 常志清, 吴增茂, 高山红. 青岛海陆风三维结构的数值模拟 [J]. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32 (6): 877-883.
- [11] 刘运策, 庄旭东, 李献洲. 珠江三角洲地区由海风锋触发形成的强对流天气过程分析 [J]. *应用气象学报*, 2001, 12 (4): 433-441.
- [12] 王令, 康玉霞, 焦热光等. 北京地区强对流天气雷达回波特征分析 [J]. *气象*, 2004, 30 (7): 31-35.
- [13] 于恩洪, 陈彬. 渤海湾西部海陆风的空间结构 [J]. *气象学报*, 1987, 45 (3): 379-381.
- [14] 陈彬, 于恩洪. 渤海湾西部海陆风的天气气候特征 [J]. *海洋通报*, 1989, 8 (1): 23-27.
- [15] 于恩洪, 陈彬. 海风中尺度系统及其与天气尺度的叠加 [J]. *天津气象*, 1994 (3): 7-10.
- [16] Kingsmill, D. E. Convection initiation associated with a sea breeze front, a gust front, and their collision [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 1995, 123, 2913-33.

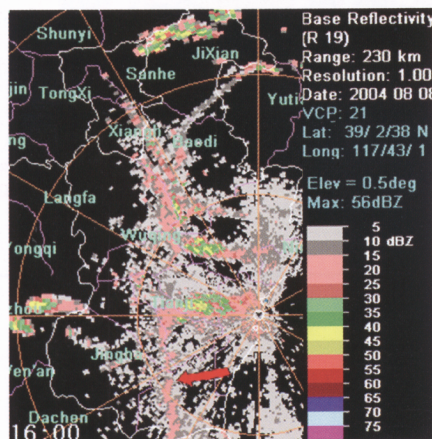
王彦等：渤海湾海风锋雷达回波特征分析



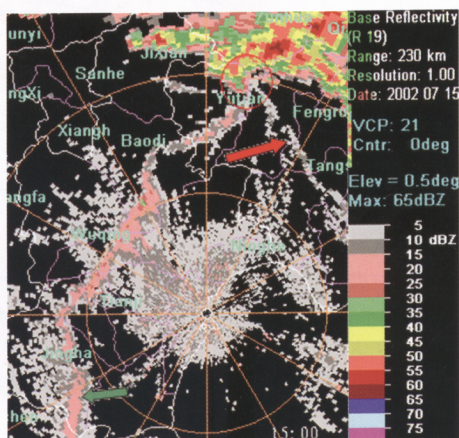
a.12时



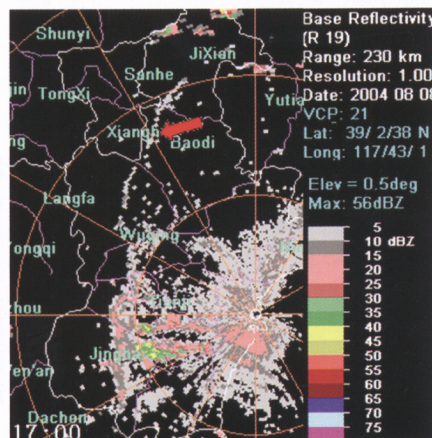
a.11时



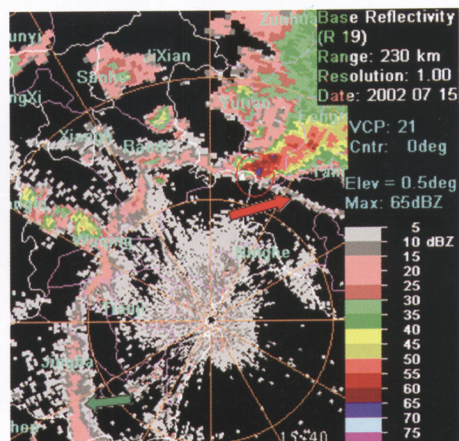
b.16时



b.13时



c.17时



c.15时40分

图1 2004年8月8日0.5°仰角基本反射率产品演变图(圈距50km)

图2 2002年7月15日0.5°仰角基本反射率产品演变图(圈距50km)