

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

卢焕珍¹ 赵玉洁¹ 俞小鼎² 冯金湖¹

(1. 天津滨海新区气象预警中心, 300457; 2. 中国气象局培训中心)

提 要: 为了研究渤海西岸海陆风的演变规律,应用天津新一代天气雷达结合地面自动气象站实时资料,统计分析2007年晴空环境下,雷达监测到的由渤海湾海陆风导致的28次边界层辐合线的生消、演变规律,并研究雷达观测的海陆风辐合线与自动站观测的渤海湾海陆风的对应关系。结果表明:(1)雷达探测的沿海岸线形成的边界层辐合线对应的就是渤海湾海陆风辐合线;(2)海陆风辐合线只有在每年的5—9月才能在雷达上观测到,而且主要集中在6—9月;(3)晴空环境下,当较强的一条海陆风辐合线沿海岸线或在海上生成后移过雷达站,或直接生成在雷达站西北侧时,自动站观测显示陆风转为海风;(4)雷达探测的海陆风辐合线强度越强,且其垂直伸展高度越高,对应的自动站观测的海风风速越大。

关键词: 多普勒雷达 渤海湾海陆风辐合线 自动气象站

Comparative Analysis of Sea-land Breeze Convergence Line along Bohai Gulf with Radar CINRAD-SA and Automatic Meteorological Station Data

Lu Huanzhen¹ Zhao Yujie¹ Yu Xiaoding² Feng Jinhu¹

(1. Binhai Meteorological Office, Tianjin 300457; 2. China Meteorological Administration Training Center)

Abstract: For studying the evolution rules of the sea-land breeze, a statistical analysis of appearance and disappearance and evolution rules of PBL convergence line associated with the sea-land breeze along Bohai Gulf is done by using Tianjin weather radar CINRAD-SA and automatic meteorological station data. The correspondences between PBL convergence line and sea-land breeze along Bohai Gulf are researched. The results show that: (1) The PBL convergence line forming along coastline is actually sea-land breeze convergence line. (2) Sea-

资助课题:北京市科技计划课题“北京奥运会国际天气预报示范计划支持技术研究”(Z0006279040191);国家科技攻关计划课题“北京奥运短时临近预报实时业务系统研发”(2005BA904B05);公益性行业(气象)科研专项经费项目“京津冀城市群强对流天气短时临近预报关键技术研究”(GYHY200706004)。

收稿日期:2008年3月3日; 修定稿日期:2008年4月11日

land breeze convergence line can be only monitored by radar from May to September each year, mainly in June to September. (3) On clear days, when a strong sea-land breeze convergence line passes the radar or blows to the northwest of the radar, land breeze turns to sea breeze. (4) The stronger the intensity of sea-land breeze convergence line and the higher sea-land breeze convergence line stretches vertically, the larger the speed of corresponding sea breeze.

Key Words: Doppler radar sea-land breeze convergence line automatic meteorological station

引 言

雷达在晴空情况下探测到的弱窄带回波一般都对应大气边界层内的辐合线。辐合线之所以会以窄带回波的形式呈现在雷达回波上,存在两种可能的机制^[1]。一种机制是辐合线上较强的湍流造成大气折射指数脉动较大而产生回波,即所谓的 Bragg 散射,另外一种机制是昆虫浓度沿着辐合线相对集中而产生一定强度的回波。Wilson 等(1994)^[1]利用多波长和双偏振雷达对上述两种机制的研究表明,第二种机制在边界层晴空窄带回波的形成中占据支配地位。

天津新一代天气雷达地理位置正好位于渤海湾西岸的塘沽站,它能够捕获渤海湾海陆锋中尺度天气系统,并且提供高分辨率,包括空间 $1^\circ \times 1\text{km}$,时间间隔 6 分钟的精细产品。在晴空环境下,天津新一代天气雷达观测到的边界层辐合线的演变、进退与渤海湾西岸海陆风的变化密切相关^[2]。塘沽站全年均可观测到海陆风,但夏季强于冬季,海风强于陆风^[3]。海陆风虽然只是由海陆温差引起的距海岸线几十公里的中尺度现象,但反过来又影响沿海地区的温度场、湿度场和风场的分布^[4],从而影响沿海地区工农业生产的布局,可见开展晴空环境下新一代天气雷达观测的渤海湾海陆风辐合线的研究对提高天气预报(尤其是温度和风的预报)准确率以及对沿海地区的工农业生产具有重大意义。国

际上对海陆风的研究可以追溯到 20 世纪初,Jeffreys^[5]奠定了海陆风定量理论研究的基础,Banta 等^[6]应用多普勒天气雷达能够完整而清晰的捕捉海陆风的三维结构特征。国内从 1950 年代开始,有不少学者^[7-12]应用数值模拟或个例分析方法揭示海陆风能够触发强对流天气,王彦等^[2]应用天气雷达和相应的自动气象站资料,统计分析了 4 次雷达监测到的渤海湾海陆风的特点,并研究渤海湾海陆风与强对流天气形成、发展和消散过程演变特征。但是,目前国内很少有学者研究晴空环境下新一代天气雷达观测的渤海湾海陆风辐合线演变特征与自动站观测的渤海湾西岸海陆风变化规律的关系。本文应用天津 CINRAD-SA 雷达观测资料结合自动气象站资料对 2007 年雷达观测到的所有晴空环境下由海陆风导致的边界层辐合线的雷达回波特征和自动站资料进行了对比分析,统计分析了渤海湾海陆风辐合线出现频率、生消、演变的月变化特征及与渤海湾西岸海陆风变化的对应关系,提取有价值的临近预报指标,为准确预报渤海湾海陆风的变化及与之相关的气象要素变化提供重要线索。

1 资料说明

1.1 资料选取

文章分析资料选自 2007 年天津新一代天气雷达监测到的晴空环境下 28 次海陆风辐合线过程资料和同时期的地面自动气象站

每分钟和逐小时实时观测资料。

1.2 海陆风的定义和统计规定

严格讲,海陆风是指没有明显系统流场下,仅以海陆温差引起的局地热力环流。白天由海面吹向陆地的风称“海风”;夜间由陆地吹向海面的风称“陆风”。

由于海陆间温度差而造成的海陆风是垂直于海岸线吹的,所以根据海岸线的走向塘沽气象站的海风主风向应为东南东风,根据海陆风垂直于海岸线的主风向和其左右可能存在的范围规定:塘沽气象站白天的海风风向应为东北东到南风,而夜间的陆风风向应为南南西风到北风,海风要每分钟平均风速不超过 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2 雷达观测的由渤海湾海陆风导致的边界层辐合线的统计特征

2007年天津新一代天气雷达 0.5° 仰角的基本反射率产品完整监测到了28次由渤海湾海陆风导致的边界层辐合线的生消、演变过程。为了更好地分析晴空环境下边界层辐合线与渤海湾海陆风的关系,对雷达探测的28次边界层辐合线的生消、演变与塘沽自动气象站实时资料进行对比,发现这28次边界层辐合线都是最初形成于海岸线附近或海上,并逐渐向内陆推进,推进过程中边界层辐合线的强度先增强后减弱,对应当天塘沽自动气象站观测都有明显的海陆风的转换,且海陆风的转换从时间、强度变化上都与边界层辐合线的生消、演变呈明显的对应关系。表明新一代天气雷达探测的最初形成于海岸线附近或海上,然后缓慢向内陆推进的边界层辐合线对应的就是渤海湾海陆风辐合线。

2.1 雷达探测的海陆风辐合线气候特征

对2006—2007年的雷达资料统计,

结果发现渤海湾海陆风辐合线只有在每年的5—9月才能观测到,而且主要集中在6—9月,这与美国的情况是类似的^[1]。对于晴空(以下全是指晴空)环境下,2007年雷达探测渤海湾海陆风辐合线共28次(如表1所示),6、7、9月最多,8月次之,5月最少,如果加上有降水天气的渤海湾海陆风辐合线统计,则6、7、8、9月持平。新一代天气雷达产品 0.5° 仰角的基本反射率产品上,有时能观测1条,有时能观测到2条或3~4条(以下多于2条的统称为多条)渤海湾海陆风辐合线,而且5—6月、9月多为一条,7—8月多为多条。

2.2 雷达探测到渤海湾海陆风辐合线的生消、演变和塘沽自动站观测的海陆风的月变化规律

对2007年雷达探测的渤海湾海陆风辐合线28次从形成时间、强度、和向内陆推进方向上与塘沽气象站海陆风统计分析发现(如表1所示):各月海陆风辐合线的形成演变在强度、时间、和向内陆推进方向上有明显的不同。5月只有1次,海陆风辐合线从14:26开始形成于海岸线附近然后缓慢向西推进,19:09距雷达80~90km处由于雷达最低仰角探测不到(因为雷达最低仰角波束中心距离地面的高度随着距离的增加而不断增大,而边界层辐合线只局限于大气低层)而从雷达屏幕上消失,雷达可以观测到的时间维持了5个小时,海陆风辐合线的回波强度较强,达到30~35dBz,对应的塘沽站所测海陆风是西南转东南风,海风强度比较大,每分钟最大为 $7.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,海风持续时间长达14小时。6月海陆风辐合线的强度明显偏弱,大都维持15~20dBz,9次过程中有8次是向西或西北推进的,其余的一次也是因为雷达西北方向150~200km处有降水回波东移影响才向东南退的。海陆风辐合线一般是从12:00—13:00开始形成于海岸线附近,然后

缓慢向西或西北推进,对应塘沽气象站观测的海风也一般从 12:00 左右开始,但结束时间要比雷达屏幕上海陆风辐合线消失得晚,一般在次日凌晨 03 时左右结束,海风持续一般 15 小时左右。塘沽气象站观测的海陆风一般是西南转东南风,海风强度比较大,每分钟最大为 $7.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大平均为 $5.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。7 月雷达观测海陆风辐合线的回波强度明显要比 6 月强一些,大都在 $25 \sim 30\text{dBz}$ 之间,有 3 次达到了 30dBz 以上,形成时间早了 2 个小时,一般在 10:30 时左右开始生成,最晚 18—19 时从雷达屏幕上消失,雷达观测的海陆风辐合线维持时间一般 7~8 个小时,海陆风辐合线基本上也是向西或西北推进的,对应的塘沽气象站观测的海陆风一般从 10—11 时开始,22—23 时结束,海风一般持续 12 个小时左右,地面风 4 次是西南转东南风,3 次北转东南风,海风强度比较小,每分钟最大为 $6.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大平均 $4.9\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。8 月雷达探测的海陆风辐合线的回波强度比 7 月稍强,大都在 30dBz 以上,一般在 11—12 时开始生成,17—18 时从雷达屏幕上消失,海陆风辐合线维持 6~7 个小时,移动方向 4 次过程中有两次是向北推进的,对应的塘沽气象站观测的海陆风一般 11—12 时开始,21 时左右结束,持续时间一般 8~9 小时,一

般是北转东南风,海风强度与 7 月一致,每分钟最大为 $6.6\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大平均为 $5.7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。9 月雷达探测海陆风辐合线的回波强度与 7 月基本一致,大都维持在 $25 \sim 30\text{dBz}$,超过 30dBz 以上的较少,仅 1 次,但海陆风辐合线的生消演变具有明显的不同,主要表现在:海陆风辐合线一般 13 时左右开始在雷达站的北侧出现,先稳定少动后缓慢向北或西北推进并逐渐加强,然后又逐渐减弱,16—17 时从雷达屏幕上消失。雷达探测的海陆风辐合线维持时间短,一般仅 4~5 个小时,对应的塘沽气象站观测的海陆风都是北转东南风,海风持续时间也较短,一般 13—14 时开始,19—20 时结束。海风强度比较小,每分钟最大为 $5.7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大平均为 $4.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

以上的分析表明雷达探测的海陆风辐合线的推进方向不同,对应的塘沽气象站观测的海陆风也有明显的不同:5—7 月基本上西南风转东南风,8—9 月则是北转东南风;5—6 月海风最强,持续时间最长,7—8 月次之,9 月海风最小,持续时间也最短;7 月海风起始最早,5 月海风起始最晚。雷达探测的海陆风辐合线 8 月强度最强,大多在 $30 \sim 35\text{dBz}$,7、9 月次之,大多在 $25 \sim 30\text{dBz}$ 左右,6 月最

表 1 2007 年雷达探测到海陆风辐合线和海陆风转换的月变化特征

	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
总数	1	9	7	4	7
1 条	1	4	1	2	5
2 条		5	1	1	2
3~4 条			5	1	
推进方向	西西或西北	西或西北	西北或北	西北或北	
最大回波强度/dBz	30~35	15~20	25~30	30~35	25~30
雷达上存在时间	14:26—19:15	12:30—19:00	10:30—18:30	11:30—17:30	3:00—16:30
自动站确定的海风起时	14:56—次日 04:36	12:30—次日 03:00	10:30—22:30	11:30—21:00	13:30—19:30
陆、海风向	西南转东南	西南转东南	西南转东南或北转东南	北转东南	北转东南
自动站测得的最大海风/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	7.9	7.4(5.5)	6.5(4.9)	6.6(5.6)	5.7(4.4)

弱,在 15~20dBz;7 月辐合线维持时间是最长的,6 和 8 月次之,9 月最短。8 月辐合线的雷达回波最强,而从高分辨率可见光云图上看不到降雨云系,说明 8 月湿度较大使得 8 月份活跃的昆虫数量最多,从而在辐合线上昆虫浓度会更加集中,因而造成较强的回波。

3 雷达探测海陆风辐合线的生消、演变与自动站观测海陆风变化特征的对比分析

为了更好地分析海陆风辐合线的生消、演变与渤海湾海陆风的对应关系,选取了 5 月 26 日、7 月 17 日、8 月 1 日、9 月 7 日 4 次出现当月最大海风的过程,进行了海陆风辐合线的回波强度包括垂直伸展高度与塘沽自

动气象站每分钟平均风向风速的对比分析,如表 2 所示。

比较海陆风辐合线的回波强度发现:这 4 次过程中心最大强度都达到了 30~35dBz,只是 5 月 26 日、7 月 17 日、9 月 7 日 3 次更强一些,达到 30~35dBz 且维持时间较长,达 1~2 个小时。从表 2 看出,5 月 26 日的垂直伸展高度要比其余三次的高,30~35dBz 的回波伸展到 1km,对应的 5 月 26 日的最大海风风速也最强,为 $7.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,其余三次过程垂直伸展高度接近,其中 7 月 17 日、8 月 1 日过程出现了 3~4 条边界层辐合线,并且 8 月 1 日比 9 月 7 日的回波强度弱但对应海风还是比 9 月 7 日的强,9 月 7 日的最大海风风速最小。

表 2 4 次过程海陆风辐合线的生消演变与海陆风变化

	5 月 26 日	7 月 17 日	8 月 1 日	9 月 7 日
条数	1	3	4	1
雷达上存在时间	14:26—19:15	10:36—19:06 12:36 移近雷达站	11:12—18:24	11:36—18:30
自动站确定的海风起止时间	14:56—次日 04:36	13:25—22:01	11:31—22:20	12:54—20:13
辐合线中心最大回波强度/dBz	30~35	30~35.3	0~35	30~35
30~35dBz 回波垂直伸展高度/km	1	0.5	0.5	1 但离地 0.5
5~10dBz 垂直伸展高度/km	3	3	3.5	3
自动站测量的最大海风风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	7.9	6.5	6.6	5.1

为进一步分析一条和多条海陆风辐合线的生消演变与海陆风转换的对应关系,选取 5 月 26 日、8 月 1 日两次过程(分别代表一条和多条海陆风辐合线的过程)作了海陆风辐合线演变与塘沽自动气象站每分钟平均风向风速的对比分析。

5 月 26 日海陆风辐合线演变如图 1a(见彩页)所示:14:26 时一条海陆风辐合线最初形成于海岸线附近,并逐渐向西推进,14:52 开始加强为 25~30dBz,14:58 时扫过雷达站,之后继续向西推进并逐渐加强,16:17—16:48 时最强,中心最大回波强度达 30~35dBz,之

后逐渐减弱,推进速度开始慢后快(这和地形坡度有关,海岸线附近地形坡度要比内陆大),18:26 时辐合线的北段最远推进至顺义—平谷—兴隆(距雷达站 144km 处)减弱消失,19:15 时南段在静海—霸州—永清和廊坊交界处减弱消失。对应塘沽气象站的每分钟平均风如图 2a 所示:14:56 由西南(陆风)转为南风(海风),风速开始快速加大,15:07 出现一峰值 $7.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,之后一直在 $7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右震荡,16:12、16:45、17:42 时出现多个峰值,最大达 $7.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (17:42 时),之后逐渐减小,海风一直持续至次日的 04:36。

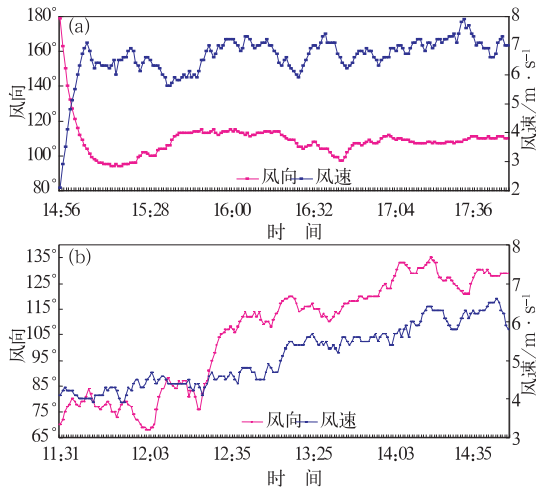


图 2 2007 年 5 月 26 日(a)、8 月 1 日(b)
塘沽站每分钟平均风的变化

8 月 1 日海陆风辐合线演变如图 1b(见彩页)所示:11:12 时沿海岸线和海上形成 4~5 条平行的回波强度相同(20~25dBz)的海陆风辐合线并向西北推进,推进过程中逐渐加强,11:30 时第 1 条扫过雷达站,12:30、13:24、13:48 时分别有 3 条海陆风辐合线移近并扫过雷达站,之后逐渐演变成 3 条,14:18 时临近雷达站的一条回波强度最强,中心最大强度达 30~35dBz,14:30 时之后逐渐演变为 2 条,一条继续向西北,一条向北推进,强度也逐渐减弱。16:16 时西北方向的一条在武清—香河—宝坻(距雷达站 86km 处)减弱消失,17:24 东北方向的一条在玉田—丰南—滦南(距雷达站 78km 处)减弱消失。塘沽站的风 11:31 开始由东北(陆风)转为东北东(海风),风向风速突变不明显,12:31 以后风向突变为东风,13:54、14:05 也分别对应了风向的突变(突变为东南东—东南风),风速与风向表现了同步变化的特征,先维持小幅震荡,然后逐渐加大,12:48、13:17、14:07、14:36 出现多个峰值,最大达 $6.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (14:36 时)然后逐渐减小。海风一直持续至 22:20。

5 月 26 日、8 月 1 日两次过程雷达探测海陆风辐合线存在期间,从可见光云图上天津地区看不到降雨云系,说明 30~35dBz 强度的辐合线不是降雨云系造成的,晴空环境下海陆风辐合线的强度最大能达 30~35dBz。

上述两个个例从高空 500hPa 环流和地面形势(图略)看:雷达探测海陆风辐合线存在期间,天津高空均受脊前弱西北气流控制,地面也均受弱气压场控制,因文章所选个例全是指雷达探测范围内晴空,而海陆风本身就是指没有明显系统流场下,仅以海陆温差引起的局地热力环流。

从以上的对比分析来看:对于雷达观测到一条边界层辐合线的,塘沽站所测海风一般在雷达探测的海陆风辐合线在海岸线附近或海上生成后移过雷达站,或直接生成在雷达站西北侧时,陆风转为海风,随着雷达探测海陆风辐合线的回波增强,气象站观测的海风也逐渐加大;对于雷达探测到多条(2 条以上)海陆风辐合线的,当较强的一条从海上或海岸线附近移过雷达站,或直接生成在陆上雷达站西北侧时,塘沽气象站观测的陆风转为海风,每有一条海陆风辐合线从海上移过雷达站都有一次海风继续向主风向(ESE 方向)的突变,海风风速随之也有一次增大。所以,海陆风辐合线的回波强度越强,且其垂直伸展高度越高,对应的海风风速越大,在强度和垂直伸展高度相同情况下,移过并维持在雷达站附近的海陆风辐合线条数越多,海风风速也会越大,海风风速最大不超过 $7.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。一般海陆风辐合线的雷达回波强度达 30~35dBz,且 30~35dBz 回波垂直伸展高度达 1km 时,对应海风风速一般能达 $7.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。

分析 5 月 26 日(图 3)、8 月 1 日(图略)两次过程逐小时的雷达探测的海陆风辐合线附近自动站所测温度、露点温度和风的分布不难看出:随着海陆风辐合线向内陆的逐渐

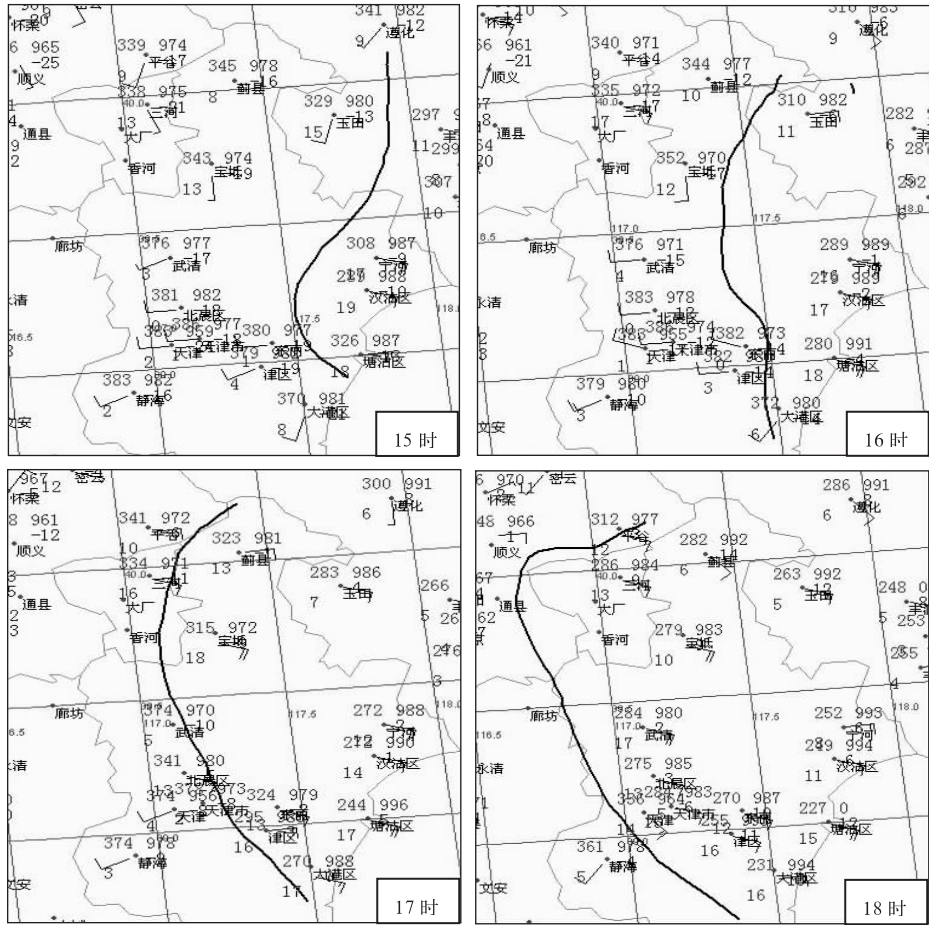


图 3 2007 年 5 月 26 日 15—18 时逐小时的海陆风辐合线附近自动站所测温度、露点温度和风的分布
黑粗曲线代表雷达探测的同时刻海陆风辐合线

推进,辐合线扫过的站点风向都由西南转为了东—东南风,气温明显下降,露点温度上升,海陆风辐合线附近表现出明显的风向辐合,温度和露点温度梯度较大的特征。这也进一步证实在晴空环境下,雷达探测的边界层辐合线对应的就是渤海湾海陆风辐合线。

4 小 结

(1) 天津新一代天气雷达探测的沿海岸线形成的边界层辐合线对应的就是渤海湾海陆风辐合线,海陆风辐合线只有在每年的

5—9 月才能在雷达上观测到,而且主要集中在 6—9 月。晴空环境下,雷达探测到海陆风辐合线 5—6 月、9 月多为一条,7—8 月多为多条;海陆风辐合线的雷达回波强度 8 月最强,大多在 30~35dBz,7、9 月次之,大多在 25~30dBz,6 月最弱,大多在 15~20dBz;7 月维持时间是最长的,6 月和 8 月次之,9 月最短。

(2) 塘沽站 5—7 月海陆风基本上是西南风转东南风,8—9 月则是北转东南风;5—6 月海风最强,持续时间最长,7—8 月次之,9 月海风最小,持续时间最短;7 月海风起始

最早,5月海风起始最晚。

(3) 海陆风辐合线的回波强度越强,且其垂直伸展高度越高,对应的海风风速越大,在强度和垂直伸展高度相同情况下,移过并维持在雷达站附近的海陆风辐合线条数越多,海风风速也会越大,海风风速最大不超过 $7.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(4) 海陆风辐合线一般可以推进到距海岸线 $70\sim 80\text{km}$ 的地方,甚至可以推进到远离海岸线 120km 以上的地方,辐合线附近表现出明显的风向辐合,温度和露点温度梯度较大的特征,构成一个浅薄的锋面。

参考文献

- [1] Wilson, J. W., T. M. Weckwerth, J. Vivekanandan, et al. Boundary Layer Clear Air Echoes: Origins of Echoes and Accuracy of Derived Winds[J]. Atmos. Ocean. Tech., 1994, (11):1184-1206.
- [2] 王彦,李胜山,郭立,等. 渤海湾海风锋雷达回波特征分析[J]. 气象,2006,32(12):23-28.
- [3] 陈炎源,魏敏捷. 海陆风研究的进展[J]. 气象科技, 1985,(1):11-15.
- [4] 七口谦. 网走地区の海陆风[J]. 研究时报,1979,(31):353-364.
- [5] Jeffreys, H. On the dynamics of wind. Quart[J]. Roy. Meteor. Soc, 1922,(48):29-46.
- [6] Banta R. M., L. Dollvier and D. H. Leviason, Evolution of the Monterey Sea-Breeze Layer as observed by Pulsed Doppler radar[J]. Atmos. Sci, 1993,(50): 3959-3982.
- [7] 金皓,王彦昌. 三维海陆风的数值模拟[J]. 大气科学,1991,15(5):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] 山义昌,刘桂才,张秀珍,等. 鲁北沿海强对流天气多发的成因及临近预报[J]. 气象,2003,29(11):20-24.
- [12] 于仁成,高瑞华,宋同文,等. 一次中尺度对流系统分析[J]. 气象,1998,24(03):33-37.

卢焕珍等：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

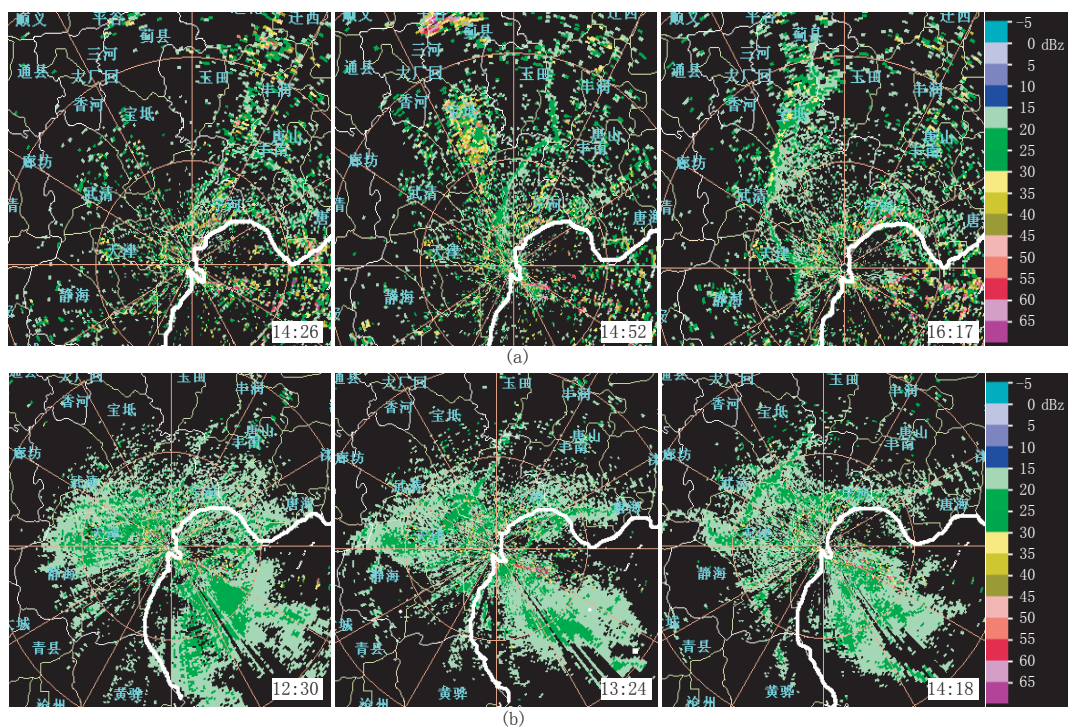


图1 2007年5月26日(a)、8月1日(b)雷达探测到海陆风辐合线的演变 (图中白线代表海岸线)