

2006 年 8 月青岛一次强海风过程 “人”字形结构分析

盛春岩 陈优宽

(山东省气象台, 济南 250031)

提 要: 利用 2006 年 8 月青岛奥帆测试赛期间的地面中尺度自动气象站、海岛站、浮标站、多普勒雷达以及风云 2C 卫星资料, 对发生在 2006 年 8 月 23 日的一次强海风过程进行了分析。结果发现, 青岛沿海有多支海风。东部沿海的海风锋为东北—西南向, 胶州湾附近的海风锋为圆弧形。青岛东部沿海的海风锋向西推进, 与胶州湾周围的海风锋叠加, 使海风加强, 在多普勒雷达上表现为特有的“人”字形结构: 北段为东北—西南向的边界, 南段为圆弧形。发展强盛的东南海风环流在垂直方向比较浅薄, 主要位于 1.5km 高度以下。由于受高空云系的影响, 海风锋在风云 2C 静止卫星云图上的结构较难分辨。

关键词: 海风锋 海风“人”字形结构 卫星云图

Analysis of the Special“人”Character Structure of a Strong Sea-Breeze Event near Qingdao Coast

Sheng Chunyan Chen Youkuan

(Shandong Provincial Meteorological Observatory, Jinan 250031)

Abstract: Using the automatic weather stations, island stations, buoys, Doppler radar data and FY-2C satellite image around Qingdao Olympic sailing spots, a strong sea-breeze event during 2006 sailing test period is analyzed. Results show that there are several sea breezes near Qingdao. The sea breeze front in the eastern part is from NE to SE, while the sea breeze front near the Jiaozhou Bay in the west is circle. The strong sea-breeze front in the eastern part pushes inland and meets the sea-breeze near the Jiaozhou Bay, where the sea-breeze develops significantly and has a special structure like “人” character as displayed in Doppler radar image. The northern part is the boundary from NE to SW and the southern part is half-circle. The sea-breeze is very shal-

low in the vertical direction below the height of 1.5 km. It is difficult to identify the sea-breeze front from the FY2C cloud image due to the obstacle of altostratus fractus.

Key Words: sea-breeze front sea-breeze “人” character structure satellite image

引 言

国外对海风的研究开始的较早,早期的研究主要是基于简单的二维数值模式^[1-2]。1990年代以来,随着观测手段的增加和数值模式的发展,利用卫星和雷达资料对海风结构的研究^[3-4]以及三维数值模拟工作^[5-6]也增多,尤其是承办过奥运会的国家,如美国、澳大利亚等国,总结出了关于海风的较为详细的概念模型^[7-8]。

国内自二十世纪八九十年代开始就有关于海风方面的研究,薛德强等^[9]分析了龙口海风的特征,吴增茂等^[10]根据青岛沿海站的观测资料,研究了青岛海风的气候特征。于恩洪等^[11]通过加强观测,分析了渤海湾西部的海陆风特征和垂直结构。仲伟民^[12]分析了长岛站与其相邻站温度的日变化差异与烟台地区海陆风的关系。庄子善等^[13]分析了日照地区沿海海陆风的气候特征及对当地天气的影响。刘正奇等^[14]利用中尺度地面观测资料,分析了海陆风对局地性降水的作用。金皓等^[15]使用地形坐标,建立了一个模拟用的三维海陆风模式,验证了海陆风主要受海陆温差影响。常志清等^[16]利用一个陡地形修正的三维中尺度流体静力的气象学模式,对发生在1988年5月27日的一次海风个例进行了数值模拟,揭示了青岛海风形成和崩溃的过程。以上研究在一定程度上为我们理解海风的特征提供了依据。但是,国内结合多普勒雷达和加密观测站资料,对海风锋结构进入深入分析的还较少。

本文将根据2006年8月青岛奥帆测试赛期间的各种沿海加密观测资料,结合黄岛多普

勒雷达和风云2C卫星资料,对8月23日一次强海风过程及海风锋的特殊结构进行分析。

1 过程概述

好运北京—2006青岛国际帆船赛于8月18—31日在青岛的浮山湾举行,共设A、B、C三个赛场,三个赛场均有浮标站,周围有自动气象站和多普勒雷达等,赛场附近的站点布设见图1。比赛期间,在没有降水、台风等强天气影响的情况下,青岛奥帆赛场大都是弱风天气(风速小于 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),海风的发生频率近乎100%^[17]。然而,由于海风的垂直高度非常浅薄,大部分海风锋的边界在黄岛多普勒雷达上是看不到的。2006年8月23日这次海风过程,是测试赛期间发展得最为强盛、惟一能够在黄岛多普勒雷达上看到海风锋边界的一次。从当日08时(北京时,下同)的高空和地面天气图来看,山东处于500hPa西太平洋副热带高压北部边缘,环流较平直,地面气压场较弱,等压线稀疏。青岛本站早8时为西北风。到中午前后,海风开始发展、逐渐强盛并向内陆推进。



图1 青岛奥帆赛场附近观测站点分布图
x为黄岛雷达位置

2 赛场附近海风的形成过程分析

由图2可以发现,早上7时以前,除了赛场A外,赛场B、C的风速均很小,近乎静风,3个浮标站的风向基本以西北风为主。7—11时,随着陆地升温,赛场B、C的气温也开始升高。10时,海陆温差达最大(图略),11时,赛场C首先转为东南风,海风开始。可以发现,11—13时,浮标A的风速首先开始下降,浮标B、C的风速先减小,然后又增加,3个浮标站的风速逐渐转为一致的东南风。13—17时为海风强盛时期,3个浮标站的风速均逐渐增加到最大,风向和风速趋向一致。17—21时,海风迅速消亡,3个浮标站的风速均迅速下降。21时,3个浮标站的风速达到一天中的最小,此后,3个浮标站的风向均转变为系统风向,海风结束。

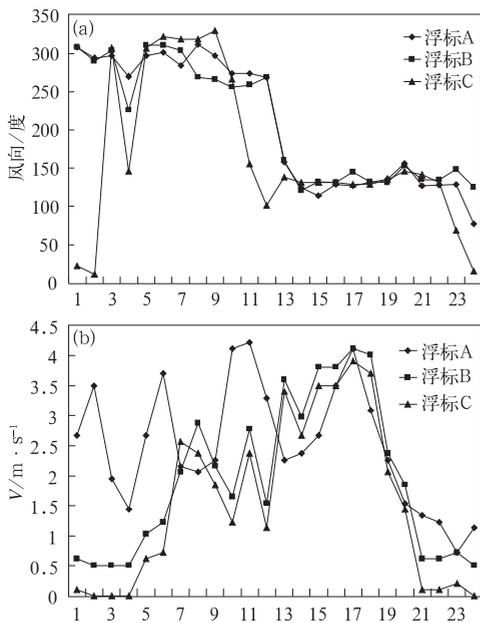


图2 2006年8月23日3个浮标站风速演变曲线(横坐标为时间)
(a)风向(b)风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

3 多普勒雷达和卫星云图分析

3.1 多普勒雷达回波特征分析

分析青岛黄岛多普勒雷达反射率因子可

以发现,8月23日13时左右,在 0.5° 仰角的多普勒雷达回波图上,在青岛东北部有一条模糊的边界刚刚形成,与中尺度站显示的海风形成时间一致。13时30分,雷达上的海风锋边界变得清晰,范围扩大,边界北端伸至莱西的李权庄镇,南端伸至黄岛区西南部的柳花泊街道办事处,边界回波强度在 $20 \sim 25 \text{dBz}$ 左右。海风锋随时间向西北内陆方向推进,范围逐渐扩大。16时20分前后,海风锋在雷达上表现为一条清晰的“人”字形回波带,呈三边结构,北段为东北北-西南南的直线形,南段为弧形。其前沿的水平范围更加宽广。17时前后海风锋几乎达最强,向内陆推进得也最远,其东北部到达栖霞的唐家泊镇,西南部到达诸城的程戈庄镇,垂直高度达 3km 左右(图3a,见彩页)。由于海风湿度较大,从多普勒雷达径向速度图上也可以清楚地看出海风的边界(图3b,见彩页):“人”字形边界的南段为一致的红色径向速度区,反映出胶州湾对海风“人”字形结构的作用。

17时后,海风锋继续向内陆推进,强度逐渐减弱。从雷达回波看,首先是东北段的海风锋边界减弱消失,然后是西南内陆段边界逐渐减弱,至19时后,海风锋边界从雷达上消失。图3c(见彩页)给出了23日20时地面加密自动观测站分析的海风锋位置,可以发现,虽然此时的多普勒雷达上海风锋已经消失了,但地面上仍可以清楚地发现海风和陆风的切变。此时海风锋已向内陆推进了大约 100km 左右,锋前为北—东北风,锋后为东南风,但海风锋前后的温差已经不存在了,表明海风锋已经崩溃,这也正是此时赛场风速明显减小的原因。

3.2 风云2C卫星云图分析

分析23日风云2C静止卫星产品发现,13时30分,在风云2C高分辨率的可见光云图上,有一条白色的边界刚刚形成,此边界即为海风锋的边界。14时,海风锋边界正好到达胶州湾西部(图略),呈东北—西南走向,与

雷达观测一致。红外云图上也可以看到类似的一条边界,呈浅白色。此后的几个时次,由于自西向东移动的高空槽尾部的高空云系的阻挡,在卫星云图上无法分辨出海风锋的边界,更没有看到海风锋的“人”字形结构。

4 海风锋“人”字形结构形成过程分析

4.1 多普勒雷达产品分析

从黄岛多普勒雷达上看,在下午 13 时以前,雷达回波上无明显特征,可以推断此时海风刚刚形成,海风环流较弱,垂直高度较浅。13 时,在雷达反射率因子图上可以发现一条绿色的直线状的海风锋边界刚刚形成,呈东北—西南走向,东北部边界大约位于惜福镇、夏庄附近、世纪公园以东,南端自黄岛雷达站附近向青岛方向伸展。此时,多普勒雷达反射率因子图上看不出胶州湾附近的海风锋边界。

海风锋向西北方向移动时,其南段移速较快,13 时 30 分,一条清楚的边界位于胶州湾中央(图 4a,见彩页),呈东北—西南走向,该边界即为东南海风锋的位置。同一时刻的多普勒雷达径向速度图上可以看见一条圆弧状的远离雷达的红色区(图 4b,见彩页),即东南风(海风)的位置。从多普勒雷达径向速度图上可以发现,整个胶州湾内都是红色的远离雷达的东南风,在东北部海风的前沿位置已达世纪公园,西部到达里岔镇,西北部位于胶州营海和胶州站之间,显然,此时径向速度场上显示的既有胶州湾造成的海风,又有向西移动的东部沿海的海风锋。在 14 时的多普勒雷达反射率因子图上可以发现(图 4c,见彩页),沿胶州湾周围的绿色弧形边界刚刚形成,使得东北—西南走向的海风锋的南段伴有半圆形的边界,是“人”字形结构的开始。

4.2 地面自动气象站资料分析

与赛场附近相比,青岛西部胶州湾附近的地面观测资料较少,只有胶州营海站离胶

州湾较近。8 月 23 日上午 10 时,在浮山站和石老人站风向发生偏转的同时,位于胶州湾西北部的胶州营海站也转成东南风。此时,赛场 A、B 刚刚转为偏西风,青岛本站仍为西北风。13 时,赛场附近完全转为东南风,世纪公园、北宅、青峰顶等均转为东南海风的方向,表示东部沿海的海风开始(图 5a)。此时海风锋东北部正好位于惜福镇、夏庄附近,但世纪公园已经转为东南风。由于此时东北—西南走向的海风锋边界还位于偏东的位置,因此,世纪公园和胶州营海风向的转变就是胶州湾附近的海风造成的。

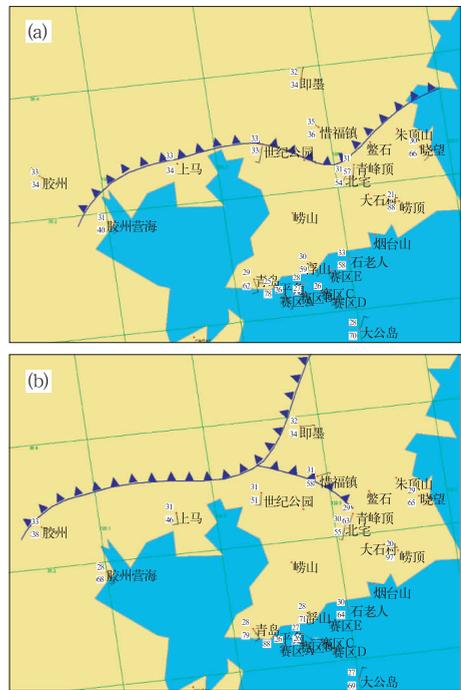


图 5 地面自动站显示的不同时刻海风锋位置
(a)13 时 (b)15 时

随着海风的不断发展和向西部内陆地区推进,胶州湾周围的弧形海风锋边界也一起向西北移动。23 日 15 时,从地面加密自动站资料可以清楚地分析出“人”字形结构的海风锋前沿的位置(图 5b),与多普勒雷达上显示的海风锋的边界位置是一致的。17 时海风锋强盛时期,其前沿已经向内陆推进到移风店镇、南村镇、胶河农场一带,“人”字形结

构的海风锋的南段为规则的圆弧形,北段为直线型(图 3a,见彩页),显然,这种特殊的“人”字形结构是由胶州湾和青岛东部沿海的海风锋共同造成的。但由于此时离海岸较远的内陆地区观测资料较稀疏,因此,此时海风锋的结构从地图上难以分辨出。

5 海风垂直结构分析

为了分析海风在垂直方向的结构,自 13 时起,每半小时沿平行和垂直于海风锋的方向分别作一次垂直剖面,对海风锋的垂直结构进行了分析。分析结果表明,在海风锋的初始阶段,海风在多普勒雷达速度场上非常浅薄,直到 17 时前后海风锋最强盛时,海风在垂直方向也发展得最强。由图 6a(见彩页)可以发现,雷达反射率因子的垂直高度最高可达 3km 以上。在径向风剖面图上(图 6b,见彩页),径向速度区也高达 3km 以上,但红色区域却主要在 1.5km 以下,表明东南方向的海风环流依然比较浅薄,与雷达风廓线产品揭示的风垂直高度结果一致。

6 小 结

利用地面自动站、海岛站、浮标站、多普勒雷达和风云 2C 卫星资料,对 2006 年 8 月 23 日青岛奥帆赛测试赛期间的一次强海风的特征进行了分析,可以得出以下结论:

(1) 青岛沿海有多支海风。东部沿海的海风锋为东北—西南向,胶州湾附近的海风锋为圆弧形。

(2) 青岛东部沿海的海风锋向西推进,与胶州湾周围的海风锋叠加加强,使海风锋在多普勒雷达上具有特有的“人”字形结构。

(3) 发展强盛的东南海风环流在垂直方向比较浅薄,主要位于 1.5km 高度以下。

(4) 由于受高空云系的影响,海风锋在风云 2C 静止卫星云图上的结构较难分辨。

参 考 文 献

- [1] Haurwitz B. Comments on “The sea-breeze circulation” [J]. *J. Meteor.*, 1947, 4: 1-8.
- [2] Defant, A. Local winds [J]. *Compendium of Meteorology*, T. F. Malone, Ed., Amer. Meteor. Soc., 1951, 658-672.
- [3] Wakimoto R. M., Atkins N. T.. Observations of the Sea-Breeze Front during CaPE [J]. Part I: Single-Doppler, Satellite, and Cloud Photogrammetry Analysis. *Mon. Wea. Rev.*, 1994, 122: 1092-1114.
- [4] Atkins N. T., Wakimoto R. M.. Observations of the Sea-Breeze Front during CaPE [J]. Part II: Dual-Doppler and Aircraft Analysis. *Mon. Wea. Rev.*, 1995, 122: 944-969.
- [5] Frank P. Colby JR. Simulation of the New England Sea Breeze: The Effect of Grid Spacing [J]. *Weather and Forecasting*, 2004, 19: 277-285.
- [6] Zhang Y. X., Chen Y. L., Schroeder T. A.. Numerical Simulations of Sea-Breeze Circulations over Northwest Hawaii [J]. *Weather and Forecasting*, 2005, 20: 827-846.
- [7] Bethwaite F. High performance sailing [M]. Printed in Great Britain. 1993. PP414.
- [8] Houghton D., Campbell F.. Wind Strategy [M]. Printed in China through World Print. 2005 PP128.
- [9] 薛德强,郑全岭,钱喜镇,等. 龙口的海风及其影响 [J]. *海洋湖沼通报*, 1995, 2: 1-9.
- [10] 吴增茂,龙宝森. 青岛局地风特征的分析 [J]. *海洋湖沼通报*, 1993, 1: 16-21.
- [11] 于恩洪,陈彬,白玉荣. 渤海湾西部海陆风的空间结构 [J]. *气象学报*, 1987, 45(3): 379-381.
- [12] 仲伟民. 烟台地区海陆风特点 [J]. *海洋通报*, 1993, 12(3): 26-29.
- [13] 庄子善,郑美琴,王继秀,等. 日照沿海海陆风的气候特点及其对天气的影响 [J]. *气象*, 2005, 31(9): 66-70.
- [14] 刘正奇,谢巨伦. 东西向海岸线对局地性降水的作用 [J]. *气象*, 2003, 29(12): 41-44.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 盛春岩,王建林,刁秀广. 2006 年 8 月青岛国际帆船赛期间海陆风特征及三维结构分析 [J]. *中国海洋大学学报*, 待刊.

盛春岩等：2006年8月青岛一次强海风过程 “人”字形结构分析

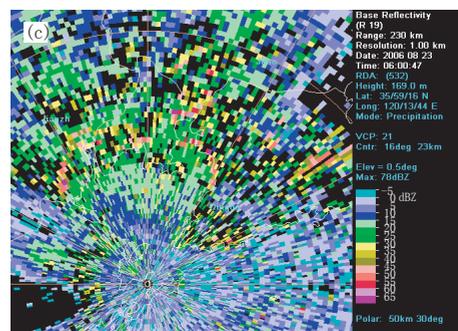
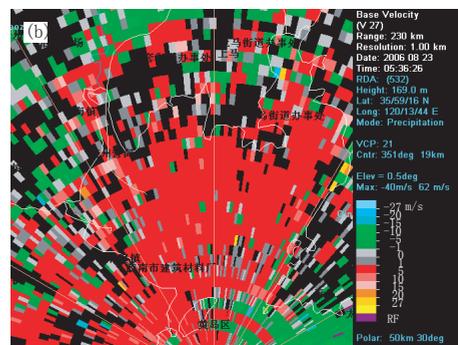
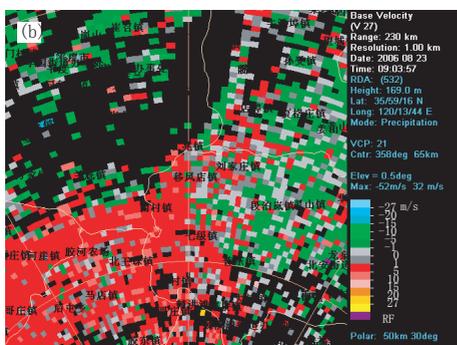
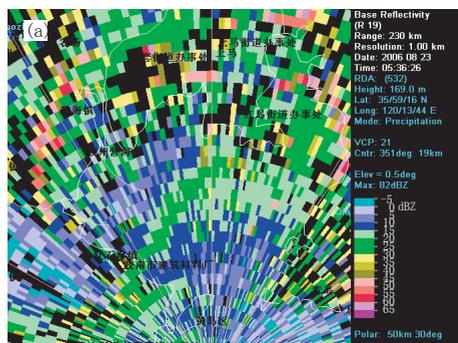
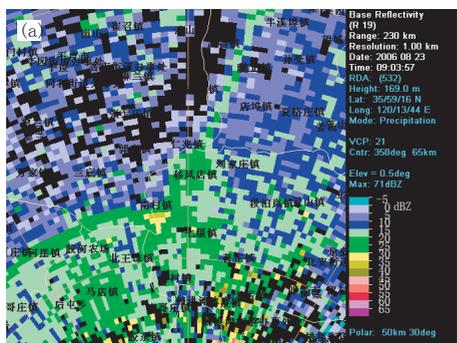


图3 17时海风多普勒雷达特征(a)、(b)以及20时地面海风锋的位置(c)

图4 海风发展过程中的多普勒雷达特征 (a) 13:36时雷达反射率因子; (b) 13:36时雷达径向风; (c) 14:00时雷达反射率因子

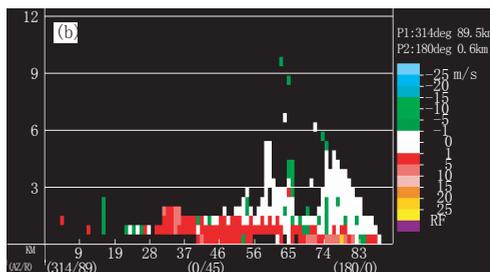
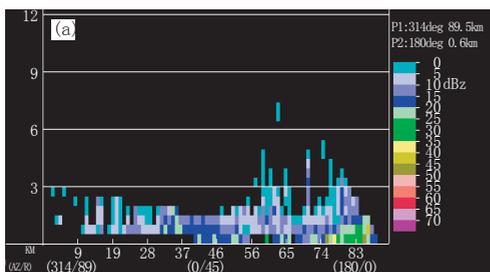


图6 17时垂直于海风锋方向的多普勒雷达反射率因子(a)和径向风垂直剖面(b)