青岛奥帆赛期间海风锋触发的对流性降水特征

董海鹰[1] 邵玲玲[2] 李德萍[1] 杨 凡[1] 凌 艺[1] 郭丽娜[1] 李 斌[1]

(1. 山东省青岛市气象局, 266003; 2. 上海中心气象台)

提 要: 根据自动气象站、多普勒雷达、卫星云图、风廓线、NCEP资料和MODIS卫星遥感反演结果等多种资料,对2008年青岛奥帆赛期间(8月12—14日),在不同环流形势下海风锋触发的对流性降水特征进行分析。结果表明:海风锋与中低空切变线叠加易使局地辐合加强,出现对流天气;当同时有地面静止锋南压时,海风锋则缓慢向内陆推进,在交汇地区产生对流天气;当有大尺度天气系统过境时,前期海风锋触发对流,北推发展与系统性天气相结合,后期若高空槽发展较强则是一次典型的系统过境过程,易出现强对流天气。

关键词: 海风锋 雷达 风廓线 卫星遥感 对流性降水

引 言

在海陆风过程中,白天随着海风势力的不断增强,使得在近海岸的陆区一般出现一条平行海岸线的狭窄辐合区或辐合线,这种由海面向陆地推进的海风前缘,具有类似锋面的温度场和流场特征,并伴有一定的天气,因而称之为"海风锋"[1]。海风锋的尺度(长度)要比锋小得多,海风锋的坡度平均为1/100,它的前缘部分为1/20或更大,在海风锋前强的上升气流与下沉气流形成大的切变,容易造成局地性对流气流,形成强降水[2]。

国际上对海风锋的研究可以追溯到20世纪初,Jeffreys[3]奠定了海陆风定量理论研究的基础;Banta[4]等应用多普勒天气雷达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,陶诗言[5]提出海陆风可能对沿海暴雨有触发作用;王彦[6]等利用多普勒雷达分析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;刘运策[7]分析了珠江三角洲地区由海风锋触发形成的强对流天气过程;盛春岩[8]分析了2006年8月青岛国际帆船赛期间海陆风特征及三维结构;若干学者[9-11]应用数值模拟方式揭示海风锋能够触发强对流天气。

青岛位于山东半岛南岸,东侧为崂山湾,南面直接濒临黄海,西面有胶州湾,处于三面环海的位置,受海陆风影响很大。2008年奥帆赛期间的8月12—14日,在不同的环流形势下,青岛地区出现了3天由海风锋触发的对流性降水,这3次降水均是由中小尺度系统造成的。目前中小尺度系统的预报能力还较差,对于局地强降水来说,预报人员可以利用的资料非常有限。本文即是在常规资料的基础上,结合卫星、雷达、风廓线仪及自动站的资料对这3次过程进行分析,为今后预报这类海风锋触发的对流性降水提供一些参考,以期对沿海地区对流天气预报的准确率提高有所帮助。

1 实况概述

2008年奥运帆船比赛于8月9—23日在青岛的浮山湾举行，浮山湾背靠浮山，南面黄海，海陆风发生频率很高。8月12—14日在不同的环流形势下，青岛地区连续出现了3天由海风锋触发的对流性降水，降水分布不均(图1)，但这三天都在即墨、城阳、胶州和胶南一带出现了较强降水，呈东北—西南向，与青岛东南海岸线走向一致。

2 环流背景及地面形势特征分析

2.1 高空环流形势特征

2008年8月12—14日高空环流形势图上(图略)，500hPa中高纬度为两槽一脊型，中纬度地区环流相对平直；前期11日受副热带高空冷涡影响，青岛出现阵雨；12日高空冷涡移出，青岛仍受西风带控制，08时(北京时，下同)河套西部形成切断低压，500、700、850hPa在半岛地区均有弱切变线。13日08时，500hPa副高逐渐增强西伸北抬，588线北侧达32°N，与中支西风带的弱脊在华东沿海同位相叠加，切断低压东移略有加深移至河套地区，半岛处在弱脊后部控制下，中低空切变线依然维持。而14日则是明显的大尺度系统性过程，08时副高明显减弱东撤，在副高东退过程中，冷空气南下于20时在山东半岛形成闭合低涡。

2.2 地面形势特征

海风锋是一种边界层中尺度触发系统，夏季海面上海风活跃且处于弱气压场时，由于海陆气象要素日变化的差异，边界层偏南海风与近地面层弱偏北陆风交绥而形成的中尺度锋区，多形成和徘徊于海岸线附近，如果有有利天气形势配置，在白天可向内陆推进和发展，触发造成强对流天气过程。8月

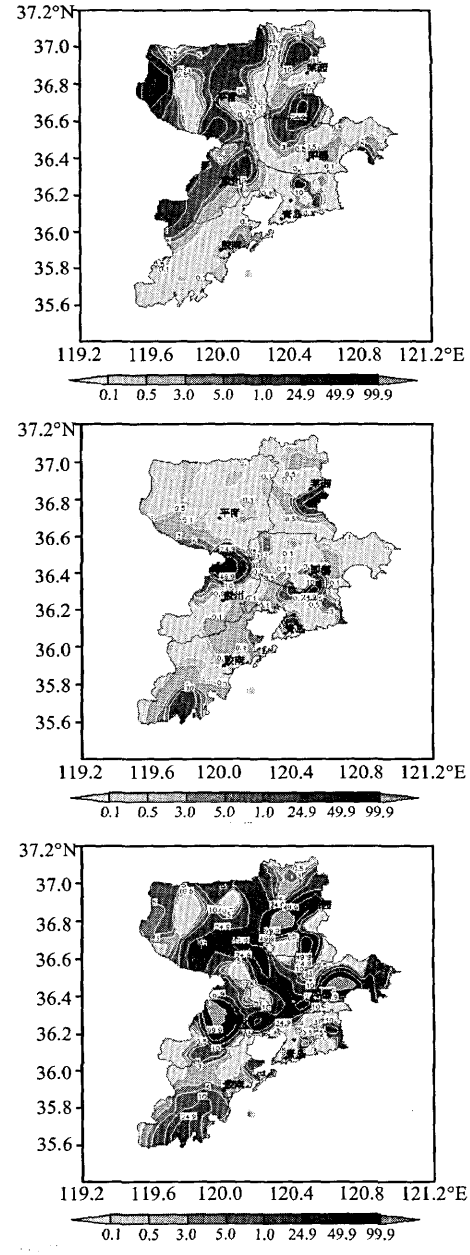


图1 2008年8月12—14日青岛地区降水量分布

12—14日青岛地区地面是弱气压场，夜间吹弱偏北陆风，白天海陆温差大于3°，利于海陆风发展。12日山东半岛东北—西南向的静止锋南压，青岛处在变性冷高压控制下，系统性风为偏北风，容易出现因海风锋活动造成的天气，同时12、13日在中低空还存在着与静止锋对应的切变线，海风锋与中低空切

变线叠加易使局地辐合加强,出现对流天气;而14日则是明显的大尺度系统性过程,08时青岛位于蒙古高压南部,14—15时冷锋抵达时开始出现阵雨和雷雨,由于700hPa槽移速较慢致使系统性降水一直持续到半夜。

3　探测资料对比分析

3.1　地面自动气象站资料分析

海风锋形成后气象要素的变化,主要是其右侧的气温下降和风向转变。如大石村自动气象站观测资料8月12日09—10时的气温由29.2℃降至26.6℃,风向逐渐转为偏南风,同时相对湿度也逐渐增加。8月12日08时沿海自动站渐转为偏南风,海风缓慢向内陆推进,于10时左右(图2a)与偏北陆风在青岛、崂山和胶州湾沿线相遇产生海风锋;12—14时(图2b、图2c)海风锋缓慢北推至胶州附近,发展加强触发对流性天气,造成短时强降水;16时左右(图2d)地面静止锋南压抵达胶州,气温骤降,出现强对流天气。13日海风锋在青岛、崂山、胶南一带几乎维持不动,造成14—15时的短时强降水,后渐转为南风,海风锋消失。

而14日青岛位于蒙古高压南部,08时前青岛北部地区站点为偏南风,南部地区站点为偏北风,08时起北部地区由西北向东南陆续转为偏北风,并有弱的风切变伴随,这表明自西北方向下来一股冷空气开始影响北部地区。11时左右海风锋形成发展,14—15时冷锋抵达时开始出现阵雨和雷雨,强降水主要集中在16—19时,此后内陆站点由偏西风逐渐转为东北风,沿岸站点则一直维持东南风。

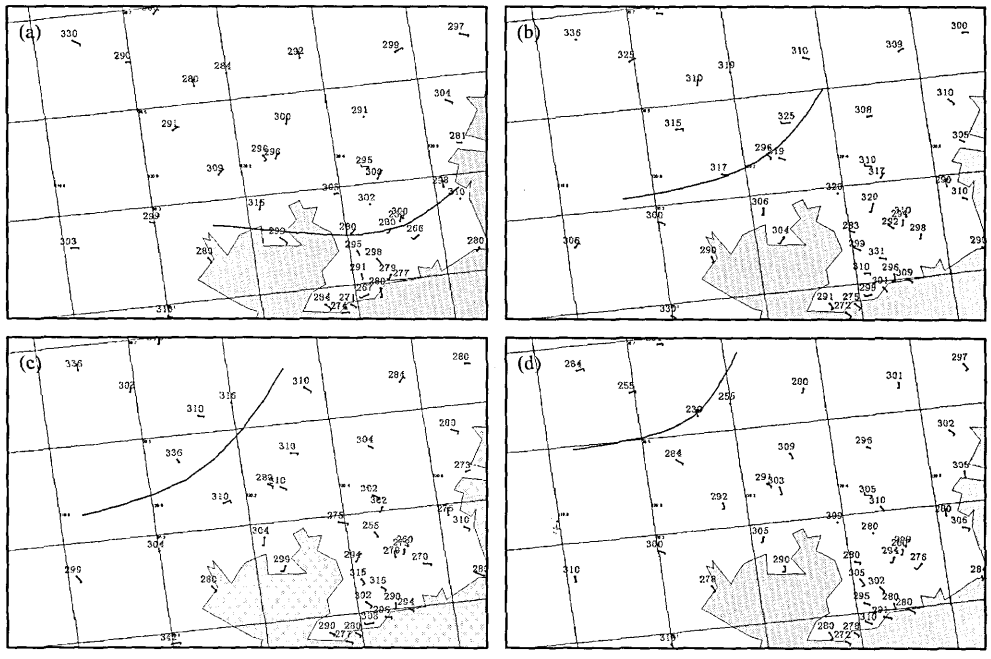


图2　2008年8月12日地面自动气象站资料(风场、温度和切变线)
(a) 10时 (b) 12时 (c) 14时 (d) 16时

3.2　多普勒雷达和卫星云图分析

相对于常规观测资料来说,雷达和卫星云图提供了更为详尽的信息,对于中小尺度系统的分析有着更为直接的作用。由于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、气压和气温的变化而变化。雷达发射的电磁波遇到海风锋后，由于折射而形成平行于海岸线的窄带回波区。

以8月12日青岛黄岛多普勒雷达反射率因子图为例，低仰角(1.5°)的基本反射率产品上，10时前后(图3a，见彩图第3页)即墨北部、青岛、崂山和胶南南部有回波在原地生成发展，海风锋已开始形成，红外云图上也可以看到类似的一条东北—西南向的浅白色边界，与雷达观测一致。11时前后(图3b，见彩图第3页)海风锋北推抵达胶州附近，胶州西部出现较强回波，随着地面静止锋南压影响青岛地区，在平度、莱西一带不断有回波局地生成发展。14时前后(图3c，见彩图第3页)，地面静止锋南移至潍坊一带并发展加强，胶州附近海风锋触发的对流降水回波也发展强盛，回波最高达55dBz左右；随着静止锋继续南压，胶州附近的回波缓慢向西北内陆推进，16时前后(图3d，见彩图第3页)在高密、平度、莱西一带合并加强发展，造成对流性强降水，之后回波缓慢东移南下，最终在东南沿海的海风锋边界处减弱消失。

13日中午前后海风锋形成发展，中低空切变线存在使局地辐合加强，降水回波也只是在海风锋沿线原地生消，几乎没有移动，因此未影响到奥帆赛区。而14日中午前后开始海风锋形成发展触发对流天气，随后高空西风槽东移影响青岛地区，海风锋缓慢向西北内陆方向推进并与系统性天气相结合，在平度、胶州、高密、诸城一带不断有回波生成、汇合、发展。后期高空槽发展较强，是一次典型的系统过境过程，高效率降水回波在胶州维持少动，造成胶州、城阳、莱西暴雨天气。

3.3 风廓线仪资料分析

风廓线仪是新一代的遥感测风系统，可以连续测得测站上空每几分钟、几十米间距高时空分辨率的风场资料，弥补了常规高空风探测中时空密度不够的缺点[12]。实时的风廓线资料能够反映探测高度上气流的结构和变化，可以实时监测水平风的垂直切变及其切变发展的深度，可获得时间分辨率较高的风廓线变化过程，被广泛应用于行星边界层和对流性降水等中小尺度天气的研究中[13]。沿海、沿岸布设风廓线仪可以对较小尺度的局地海陆风环流给予有效监测，通过对海风锋的监测预报，探索为精细化预报建立方法。

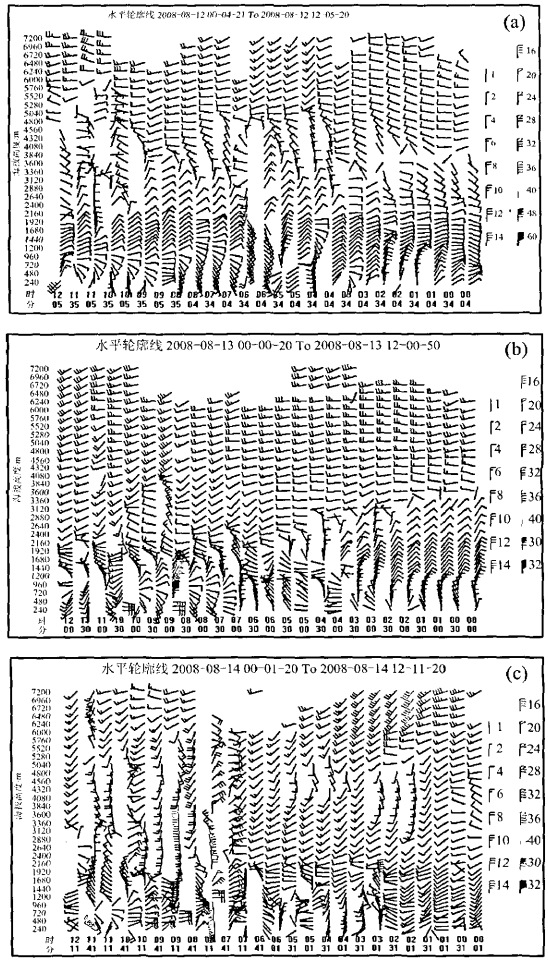


图4 2008年8月12—14日马戈庄风廓线图
(a) 12日，(b) 13日，(c) 14日

从胶州马戈庄风廓线图上可以看出，8月12日(图4a)08时起陆地增温，导致北风流场中低空风随高度由偏北风顺转为东北风，有淡积云。随着陆地温度的进一步升高，11时起地面风向转为偏南风，低空原先的顺转也变得不明显或随高度逆转了。这可以理

解为海风抵达测站位置,一般由转风向开始,两三小时左右会出现弱降水,实况反映 14 时、15 时皆出现阵雨。

13 日(图 4b)的情况有所不同,上午地面和中低空皆为偏北风,但中午随着 700hPa 切变线的北抬,地面开始转偏西风,原本较差的能见度变得更加差,下午 15 时 30 左右海风抵达测站位置,地面转为一致的东南风且近地面层风随高度逆转(这是海风锋特征)。

14 日(图 4c)前期海风锋触发对流,与系统性天气相结合。后期由于高空槽发展较强,是一次典型的系统过境过程,风廓线上整层都是西南风,尤其是低层的暖平流很明显,对流不稳定能量迅速积蓄,14—15 时冷锋过境,能量爆发,出现较强雷阵雨。

4　物理量场比较分析

利用 2008 年 8 月 12—14 日的 NCEP 资料,沿 36.5°N 得到 115 ~ 125°E 范围的风场垂直剖面图,并结合 1000hPa 的温度场和风场分布图进行分析,可以看出:

海风锋在垂直结构上比较浅薄,1000hPa 上表现为:青岛东南沿岸存在风切变,温度梯度明显加大。12 日海风锋与中低空切变线叠加触发对流天气,地面静止锋南压至青岛地区,海风锋缓慢向内陆推进,14 时海风锋前沿到达 119°E 附近。13 日 08 时中低空环流已形成,海风锋与中低空切变线叠加使局地辐合加强,14 时环流前沿到达 115.5°E 附近。而 14 日受高空槽系统性东移影响,14 时冷锋抵达时在 124°E 有较强辐合上升区,后期高空槽发展较强,风场上也主要表现为大尺度环流加强东进过程,是一次典型的系统过境过程(图 5)。

5　卫星遥感反演结果分析

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer,中分辨率成像光谱辐射计)是搭载于美国 EOS 系列卫星之上的一个重要遥感传感器。MODIS 具有 36 个可见光-红外的光谱波段,空间分辨率为 250m、500m 和 1000m。本文利用 2008 年 8 月 12—14 日 10—11 时左右过境的 MODIS/TERRA 数据资料,反演得到山东上空 5×5 像元内的云顶特性和云相态,主要包括云顶气压、云顶温度、云量和云相态产品,其中云相态将云分为冰云、水云和混合相态云 3 种[14]。

从云顶特性和云相态资料分析(图 6,见彩图第 3 页)可得出这 3 天青岛地区的云量都比较多,12 和 14 日上午以中低云为主,13 日上午中高云为主,天空状况相对好些(云顶高度反演图略)。12 和 14 日青岛地区的云顶温度比 13 日的低,说明 12 和 14 日云顶发展高度较高;14 日青岛西侧的云顶温度明显低于 12 日的,也可验证 14 日的对流发展较强。青岛地区上空 12 日上午主要是冰云夹杂少量水云,以西地区则以水云为主;13 日上午云相态不确定,有少量水云,以西地区主要是水云。14 日上午主要是冰云夹杂少量混合相态云,以西地区主要是混合相态云。随着系统自西向东移,可推断 12 和 13 日下午青岛上空主要是水云,而 14 日下午则是混合相态云,这可能也是导致 14 日出现暴雨的原因之一,还有待进一步研究。

6　小结

2008 年 8 月 12—14 日奥帆赛期间,青岛地区出现了 3 天由海风锋触发的在不同环流形势下的对流性降水。本文结合天气形势特征,利用自动气象站、多普勒雷达、卫星云图、NCEP 资料和 MODIS 卫星遥感反演结果等多种资料对这 3 次过程进行了综合分析,得出以下结论:

(1)海风锋是一个边界层中尺度触发系统,在垂直结构上比较浅薄,海风锋形成后气象要素的变化特征,主要是其右侧的气温下降和风向转变。

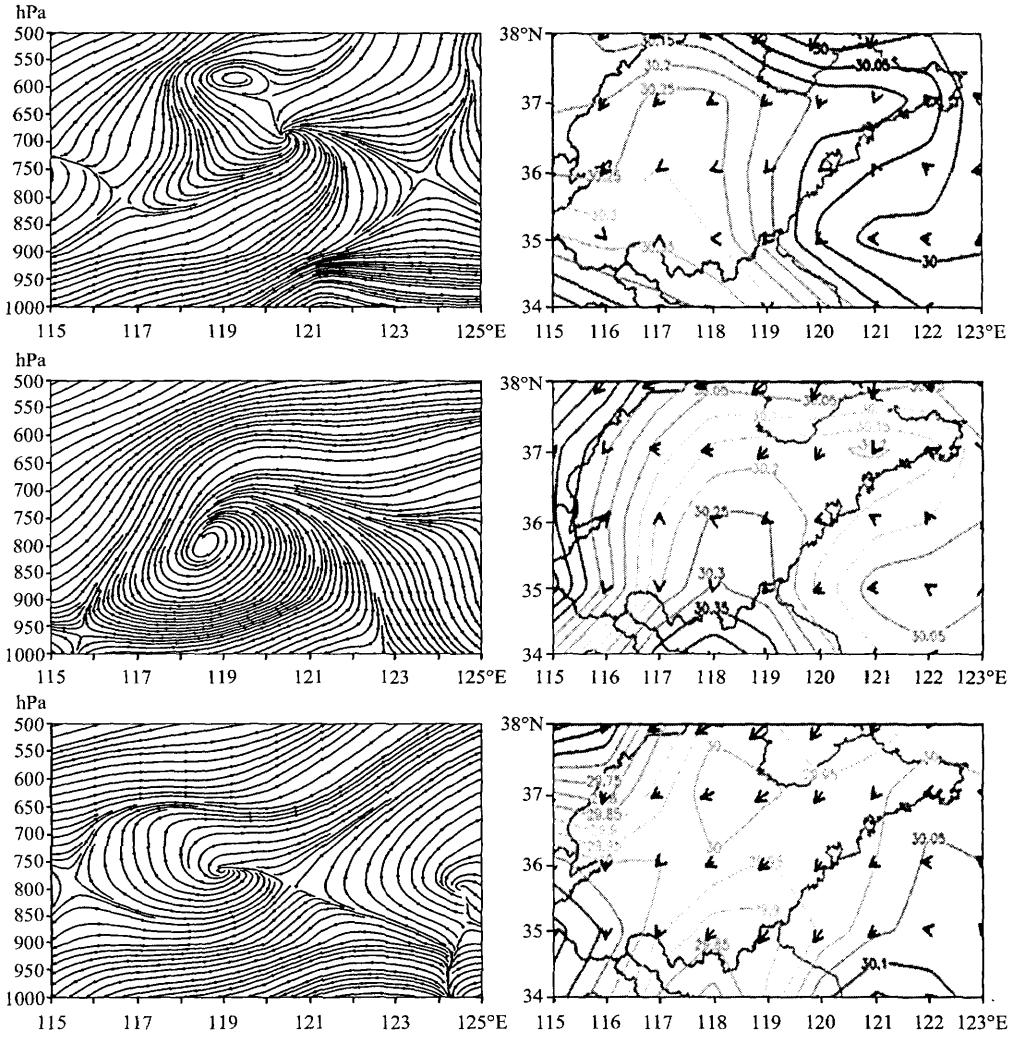


图5 2008年8月12日(a、d)、13日(b、e)、14日(c、f)、的06时(UTC)风场垂直剖面(a、b、c)及1000hPa的风场和温度场(d、e、f)

(2)当青岛受西风带控制,系统性风为偏北风时,易出现因海风锋活动造成的天气,与中低空切变线叠加易使局地辐合加强,出现对流天气。当同时有地面静止锋南压时,海风锋则缓慢向西北内陆推进,往往在交汇地区产生对流天气。

(3)当有大尺度天气系统过境时,前期海风锋触发对流,北推发展与系统性天气相结合,后期若高空槽发展较强则是一次典型的系统过境过程,对流不稳定能量迅速积蓄,冷锋过境时能量爆发,易出现强对流天气。

参考文献

[1] 于希里,闫丽凤. 山东半岛北部沿海强对流云团与局地暴雨[J]. 气象科技,2001,(1):39-41.

[2] 李杰,吴增茂,何敏,等. 奥运青岛帆船赛的有碍天气的基本特征分析[J]. 海岸工程,2002,21(4):26-33.

[3] Jeffreys, H.. On the dynamics of wind[J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc,1922,48:29-46.

[4] Banta R. M., L, Dollvier and D. H. Leviason. Evolution of the Montery Sea-Breeza Layer as Observed by Pulsed Doppler radar[J]. Atmos. Sci, 1993,50:3959-3982.

[5] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980:107-111.

[6] 王彦,李胜山,郭立. 渤海湾海风锋雷达回波特征分析[J]. 气象,2006,32(12):23-29.

[7] 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.

[8] 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,2007,37(4):609-614.

[9] 金浩. 三维海陆风的数值模拟[J]. 大气科学,1991,25-32.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 刘吉,范绍佳,方杏芹. 风廓线仪研究现状与应用初探[J]. 热带气象学报. 2007,23(6):693-697.

[13] 古红萍,马舒庆,王迎春. 边界层风廓线雷达资料在北京夏季强降水天气分析中的应用[J]. 气象科技. 2008,36(3):300-306.

[14] 刘玉洁,杨忠东,等. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京:科学出版社. 2001,74-84.