

青岛奥帆赛场不同背景条件下的海陆风特征

李庆宝¹ 苗世光² 孙桂平¹ 张苏平³ 刘学刚¹ Liu Xiaochu⁴

(1. 山东省青岛市气象台, 266003; 2. 中国气象局北京城市气象研究所;
3. 中国海洋大学海洋环境学院; 4. Department of Meteorology, University of Reading, UK)

提 要:对青岛奥帆赛竞赛海域不同背景条件下的海陆风进行分析,并用高分辨率数值模式进行了模拟实验。结果发现,不同背景气流,海风的发展状况有很大差异。均压场、西向气流、弱的东向气流都有利于海陆风的发展;南向气流最不利于海风的发展;北向气流虽有利于海陆风发展,但海风强度取决于背景气流强度:气流越弱,海风越强。700~1500m 高空为不太强的北风时有利于海风环流的生成;因与补偿回流反向,较强的南风则会严重抑制海风环流的发展。胶州湾和崂山东侧强南风轴会迫使气流在奥帆赛场附近分支而使风速明显减小;太平山、浮山等的阻滞作用也会使该区域气流减速。有利于奥帆赛场海风发展的条件是:(1)晴天,适当的海陆温差;(2)较小的地面气压梯度;(3)700~1500m 平均经向风为不太强的北风;(4)地面图上的地转风为非南向等。实践表明:以上分析结果,都对奥帆赛场风的预报有重要的参考意义。

关键词:奥帆赛场 背景气流 海陆风环流 补偿回流 气流分支

引 言

第29届奥运会和残奥会中的海上帆船、帆板比赛项目分别于2008年8月和9月在中国山东省青岛市浮山湾至赤岛一带海域举行。“风是动力,水是路”,帆船比赛是在自然风力的推动下进行的。因而,帆船比赛能否正常进行,主要取决于竞赛海域的风向风速。而海岸线附近的风向风速,除受天气系统、地形走向等因素影响外,还受海陆风的影响^[1-3]。截至目前,关于青岛的海陆风,已有不少研究^[2,4-5],这为奥帆赛场海陆风的深入研究提供了大量的参考依据。例如,薛德强等^[3]对山东半岛的海陆风环流进行了研究,发现该地区夏秋季海风多于冬春季,且常在

半岛中部产生海风辐合线;洪光等^[2]对青岛陆地、沿海及海岛等地风的统计发现,8月各站白天海风发生频率都很大;盛春岩等^[6]利用激光雷达和多普勒雷达分析了奥帆赛场附近的海陆风三维结构,发现温差不是决定海陆风的唯一因子;林行^[4]、王玉国^[7]、常志清^[1]等都对青岛地区的海陆风进行了数值模拟研究,发现由于青岛特殊的地形分布,导致该地区有多支海陆风相互作用的情况等等。上述研究都为奥帆赛海域海陆风的继续深入研究打下了基础。李庆宝^[8]在青岛奥帆赛场弱风非弱风的统计分析中发现,在奥运会举办时段内,青岛奥帆赛海域弱风的发生几率达1/3以上。而在弱风条件下,几乎所有的比赛项目都无法进行。由此可见,弱风的预报对奥帆赛的正常进行至关重要。进

一步的分析还发现,奥帆赛海域弱风的形成,除与赛场周边地形及天气系统有关外,相当多的个例与赛场附近海域海风的生、消发展关系密切。例如,有时早晨风力很小,午后甚至上午海风起来后,风力会明显加大,非常有利于帆船比赛;而在另外一些时候却相反,早晨风力本来很大,因海风的加入,午后风力反而变小,甚至减弱为弱风环境,致使比赛无法进行。还有一些情况是:早晨风力虽不大,但其地转风风向却不利于海风的发展,致使全天都处于弱风环境中。也就是说,不同背景气流条件下,发生弱风的几率大不相同。而造成这种差异的原因有两个:一是地形作用影响;二是不同背景气流对海陆风的发展有不同的影响。换句话说,背景气流会影响或制约海风的生、消变化,而海风的发展情况又直接影响竞赛海域实际风场的风速和风向。这就提出一个十分重要的问题:不同方向的背景气流对海风的发展到底有什么样的影响?它的作用机理是什么?可否通过分析研究,找出预报依据来,只要根据早晨的背景场,就可推测和预报午后海风的可能发展状况,进而预报奥帆赛场弱风、非弱风及风向的变化情况,等等。前期的研究,大多只给出了海陆风的统计状况,或对某一两类特定条件下的典型海陆风个例进行模拟研究。本项研究的目的,就是在初步归类分析的基础上,通过对浮标站 c 各种背景气流条件下海陆风发展状况、以及实际风演变过程的研究,寻找其规律性,为赛场风的预报提供参考依据。研究的方法主要是浮标站风随时间演变分析,探空风垂直分布结构研究,以及数值模拟结果对比分析等。

1 奥帆赛海域及周边地形特征

第 29 届奥帆赛和残奥帆赛比赛场地共有 5 个赛区,分别位于青岛市浮山湾至石老人湾以南约 70 余平方千米的海域(图略)。离岸边最远的 D 区,与海岸线的垂直距离也

仅为 10km 左右,其它赛区离海岸线约为 3 ~ 7km。西侧离岸较近的 A、B 二区主要承担帆板等轻量级帆船比赛任务,大量级的重要比赛都在中东侧的其他赛区。穿插于几个赛区之间的是 5 个水文气象浮标观测站。考虑到位置最重要、代表性最好、资料长度也较长,本文重点分析赛场最南边的浮标站 c 资料。浮标站 c 的坐标为:36. 0122°N、120. 4405°E。此外,资料及图表中所用时间均为北京时。

赛场的东、南两个方向为黄海,海面上有一些面积很小的岛屿,其中南侧数千米内的最大岛屿为大公岛,面积仅为 0. 17km²,海拔 120m。赛场的北面为青岛市区及崂山区,海岸线走向略呈东东北—西西南向。赛场的北部自东而西依次分布着崂山(海拔 1133m)、午山(海拔 398m)、浮山(海拔 368m)和太平山(海拔 150m),太平山的西侧 1km 左右是海拔仅 76m 的伏龙山,青岛探空站位于其上。以上山脉的海拔高度,自西而东渐次递增。赛场的西北方向是胶州湾区域,在胶州湾口,即赛场的正西偏南区域有地势不高的凤凰岛、竹岔岛等。

2 分析方法及模式介绍

本文分析采用天气学与模式相结合的方式。所用的背景气流和海陆风考量均采取青岛市气象台业务预报中常用的方法,模式分析也采用奥帆赛期间使用的业务模式进行。具体介绍如下。

2.1 背景气流

背景气流应等于实际风减去海陆风。但因实际风是各种风的合成,分离起来比较繁琐。为方便计,本文中直接用地转风代替背景风。具体方法采用青岛气象局业务平台使用的标准。考虑到崂山等地形对奥帆赛场风的影响,以东西向窄,南北向宽的原则将各向背景气流的分界方位分别取为 70°(北与东)、130°(东与南)、250°(南与西)和 300°

(西与北)。其中均压场条件为:青岛至济南、成山头和连云港三站的等压线根数均不超过1(0.5hPa/根)。

2.2 海陆风

根据大气动力学原理,不考虑科氏力影响时运动方程^[9]有如下形式:

$$\frac{dV}{dt} + KV = (T_a - T_b) \frac{R}{L} \ln \frac{p_0}{p_1} \quad (1)$$

可见,海陆风主要是由海陆温差引起的,海陆风的方向则垂直于海岸线。在海岸线附近,实际风已包括了海陆风的贡献。青岛奥帆赛场附近的海岸线走向近似于东西向,因而在下面的分析中认为南风为海风,北风为陆风。且考虑到分离纯海陆风在实际使用中意义不大,所以不做 u 、 v 分量的分解,分析中直接使用全风速。海陆风的影响程度分如下3种情况:(1)明显的海陆风。即夜间为北风,早晨北风减小,并逐渐转为南风,午后南风最大,傍晚又再次转为北风。(2)有海陆风影响,但不十分明显。例如白天北风减小或南风增大;或风速变化不大,风向虽由偏北转为偏南,但实际转角很小。(3)基本无海陆风影响。即风向风速都变化不大。海陆风的生成原因在于“海陆温差”。表1给出了浮标站c与浮山自动站白天的最大温差值;还计算了白天(逐小时中的)最大风速(南风为正)与夜间(逐3小时中的)最小风速的差值作为“海陆风强度”;考虑到海风强度与海风环流有关^[6],表1还给出了700~1500m的平均经向风分量(南风为正)作为背景“回流强度”。以上各量供分析比较时使用。

2.3 模式方案

为了解决本项分析研究中观测资料在空间分布密度方面的不足、进一步揭示海陆风特征,本文采用WRF(Weather Research and Forecast)模式进行了数值模拟研究。WRF

模式是为业务预报和大气科学研究而设计的新一代中尺度数值天气预报模式^[10]。本项研究中采用五重双向嵌套模拟区域,水平网格距(网格数)分别为:40.5 km (91×91), 13.5 km (91×91), 4.5 km (91×91), 1.5 km (91×91), 0.5 km (151×121)。垂直方向分为38层,模式顶为50hPa,1 km以下有13层以精细模拟边界层结构。采用的物理过程方案有:MYJ边界层方案、WSM6微物理方案、Dudhia短波辐射方案、RRTM长波辐射方案、Noah陆面模式,另外第1、第2区域还选用了KF积云方案。数值模拟初始和边界条件选用NCEP 1°×1°再分析资料。2006—2007年8—9月19个典型个例的检验分析表明:该模式系统可以较好的模拟青岛地区陆地及海上温湿风的变化特征。

3 各种背景气流下的海陆风特征

本节根据2.1节中介绍的方法,从5种背景气流中各选1~4例共11例,其中2例阴天,9例晴天,将各例浮标站c的风速及其他特征资料列于表1。表中数据为全风速值,有南风分量为正,反之为负。表中的N、S、E、W、C分别代表北、南、东、西风及均压场各类。资料时间间隔为:昼间1小时,夜间3小时。表中个例日期6918代表2006年9月18日,余类推。“平均”为08—20时共13个时次的风速平均值。“地转风向”和“气压梯度”均从该日08时地面天气图上读得,后者单位为:hPa/100km。

3.1 北向背景气流下的海陆风特征

3个个例的共同特点是都处于地面冷高压前部的辐散环境中,天气晴好。由表1可见,3个北风个例的海陆风强度相当(6.1~7.0m·s⁻¹),但海风强度却相差甚远。

表 1 各向背景气流条件下浮标站 c 风速变化表(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

序号	N1	N2	N3	S1	S2	S3	S4	E1	E2	W1	C1
时刻\日期	6918	7904	6929	7808	7809	6811	7815	7822	6824	6910	6912
2	4.9	3.9	1.5	-7.2	-3.5	1.2	-4.3	4.5	0.8	0.8	0.5
5	6.9	4.5	0	-4.2	-1.8	2.1	1.2	3.7	2.2	1.9	
8	8.6	空	1.9	-3.1	-3	2	1.5	6.9	1.4	2.5	1.9
9	4.6	5.3	3	-2.1	-1.6	1.4	0.7	6.6	1.1	2.7	-4.2
10	7.3	4.1	1.8	-0.7	-2.5	1.3	-0.6	8.9	-2.8		-4.8
11	6	4.5	-2.1	-1	-2.6	0.6	-1.3	8.9	2.2	-2.2	-5
12	6	4.9	-3.8	-0.9	-2.6	0.5	-1.3	8.9	-3.8	-3.2	-5.9
13	5.2	2.6	-4.2	-2.2	-4.8	1.1	-1.2	8.8	4.8	-3.8	-6.2
14	5.2	-2.5	-4	-2.7	-3.3	1.9	-1.8	-9.2	4.5	-5.9	-4.2
15	4.1	-2	-3.2	-1.7	-3.7	-0.9	-2.1	-9.2	-4.1	-5.5	-4.7
16	4.1	-1.2	-3.3	-0.6		-1.9	-1.8	-7.9	-4.6	-5.2	-6.8
17	2.7	-1.4	-2.5	-0		0	-1.7	-6.9	-4.6	-5.5	-5.5
18	3.8	-2.4	-2.1	-1.6	-2.6	-0.7	-1	-6.5	-4.2	-5.5	-5.4
19	3.3	0.5	-1.1	-0.8	-3.5	-1.4	-1.2		-3.5	-6.2	-4.8
20	1.9	3.8	-0.2	-1.6	-4.1	-1.3	-1.1	-6.5	2.3	-5.6	-2.3
23	5.6		0.7		-4.2	0	-0.9		5.5	-6	2.8
平均	4.8	2.9	2.6	1.5	3.1	1.1	1.5	7.9	3.4	4	4.8
地转风向	350	40	50	250	230	190	140	95	130	270	110
海陆温差	2.3	4.6	2.8	1.6	1.7	4.4	1.7	3.5	3.1	2.5	2.6
气压梯度	0.8	0.7	0.4	0.9	0.7	0.4	0.3	1	0.4	0.7	0.2
海陆风强度	6.7	7	6.1	1.1	3	4	3.6	16.5	10.1	8.7	9.6
回流强度	-9.1	-7.2	-5.5	5.2	5.2	5.1	-3.2	-2.9	0.6	-3.4	-2.1
天气状况	晴	晴	晴	晴	阴	晴	阴	晴	晴	晴	晴

N1 无海风,只是白天北风逐渐减小。

N2 在下午有短时弱海风,帆船比赛无法进行。N2 虽与 N1 的气压梯度相当,但 N2 吹东北风,因位于崂山下游的“死水区”中,结果奥帆赛场的实际背景风速很小,所以下午才有弱的海风发展(图 1a)。这说明,海风发展还与背景气流方向和地形关系密切。由图 1a 还可看出,崂山西南侧的海风区域太小,以致模式计算结果对此体现不明显。说明该模式对此类小尺度事件的模拟能力有限。

N3 是一次典型的海陆风过程。12 时左右先从海上转为南风,尔后逐渐向北推进到陆地(图 1b),19 时达最北部的胶州湾一线,夜间又快速南撤,22 时海陆上空已均被陆风所占据。

从 3 个个例 07 时的边界层探空风资料(表 2)可见,N1 风随高度逆转,有冷平流;N2 有浅层弱暖平流;N3 有较厚、较强的暖平流。说明暖平流利于海风发展。N 3 最大风层高度 13 时最高,与海风环流生、消发展演变有关^[3,6]。

表 2 3 个北风日的边界层探空风资料

海拔	18 日 07 时	18 日 19 时	29 日 07 时	29 日 19 时	4 日 01 时	4 日 07 时	4 日 13 时	4 日 19 时	5 日 01 时
km	风向 风速	风向 风速	风向 风速	风向 风速	风向 风速	风向 风速	风向 风速	风向 风速	风向 风速
3.0	19 9	36 8	310 5	349 6	30 4	4 8	47 5	61 5	42 8
2.0	5 8	26 6	359 6	34 5	358 5	31 5	17 5	39 5	56 2
1.5	338 8	32 5	19 7	31 8	11 4	18 6	37 7	66 5	330 4
1.0	338 10	27 8	39 10	6 7	23 3	40 6	18 7	48 6	360 4
0.98	340 10	27 8	41 11	4 6	23 3	39 6	18 7	48 6	360 4
0.68	347 11	17 9	44 10	327 4	33 4	29 7	5 7	32 7	22 5
0.5	347 10	11 9	42 9	284 2	35 5	25 8	356 6	22 7	26 5
0.38	344 8	6 8	37 8	249 2	33 6	24 8	346 6	15 7	21 5
0.08	360 5	360 4	360 4	C 0	360 5	360 5	315 5	360 5	360 3

风向单位:度,风速单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

沿 120.43°E , 穿过浮标站 c、b、浮山 (368m)、老虎山 (208m) 做南北向剖面, 可看出海风环流的发展演变过程有如下几个特点。

一是海风环流中心抬高又降低。10 时

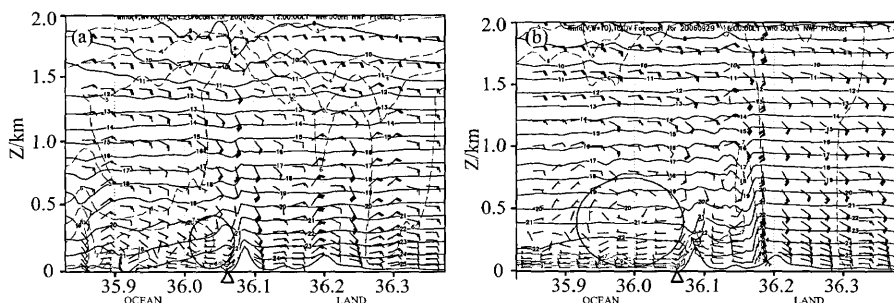


图1 北风个例模拟风场剖面及实况图

(a) 2006年9月29日12时, (b) 2006年9月29日16时

实线为等温线, 虚线为等比湿线。Δ左边为海洋, 右边为陆地, 圆圈区域表明海风环流位置。以下类似)

二是边界层大风轴亦随海风环流中心上下波动, 与表 2 一致。而 N2 白天大风轴一直贴近海面, N1 则于下午逐渐降低到海面, 均与 N3 低、高、低的变化不同(图略)。

三是环流从海岸线向两侧先扩展后收缩。10 时环流形成后, 先向海洋快速推进, 14 时即到达模拟区域的南界。向北推进较慢, 14 时才开始翻过浮山, 21 时最远到达老虎山(图 1a 中次高山), 22 时突然消失。向北推进缓慢的原因, 可能是浮山的天然屏障作用。

四是海风前沿处等温线发生褶皱。海风推进处气温下降, 与陆风占领区域形成较大温差, 使等温线突然(由南而北)向上弯折, 折弯处两侧风向对吹(图 1)。折弯处向北推进中亦在浮山附近停滞近 4 小时。以上均说明山脉对海风推进有相当大的影响。

由上面的分析可见, 北向背景气流、天气晴好时, 风的昼夜变化较大。只是气流方向接近正北或略偏西时流速较大, 白天风向很难反转成南风。而当北风较小, 特别是盛行东北风时, 由于地形作用等的影响, 使得实际背景风更弱, 最有利于海风的发展。弱的东北风, 天气又晴好时, 可在奥帆赛场附近发展

环流先在岸线海洋一侧紧贴海面初生(图 1a), 之后抬高, 15—16 时达 600m(图 1b), 尔后逐渐降低, 直至 22 时消失。夜间又有弱的陆风环流产生(图略)。

出经典而完整的海陆风环流。

3.2 南向背景气流下的海陆风特征

几个南风个例的海陆风强度也大致相当, 但其数值却只是北风个例一半 ($1.1 \sim 4.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 也是各背景风向中强度最小的几例。其中 S2 和 S4 为阴天条件, 海陆温差过小(均为 1.7°C), 实况和模拟均无海风产生。不过, S2 地面气压梯度大, 风速始终维持在 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 比赛可正常进行; S4 白天最大风速仅为 $2.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 无法比赛。S1 和 S3 为晴好天气条件, 其中 S3 的海陆温差高达 4.4°C , 但此 2 例的海陆风强度同样很弱。分析其原因可能有二: 一是回流强度为较大的正值, 分别为 $5.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $5.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这与海风回流方向相反, 因而会强烈抑制该区域海风发展。二是胶州湾西北部有较强的海风发展, 并使胶州湾中部产生一支较强的东南或偏南向大风轴, 而周围气流则存在向大风轴汇聚的趋向, 这迫使奥帆赛场附近的风向逆转为东南或偏东风(图 2a、b)。崂山东部海区存在另一支偏南向大风轴。两侧大风轴的存在, 迫使奥帆赛场附近产生气流分支现象, 气流因此而减弱, 太平山的阻滞作用也

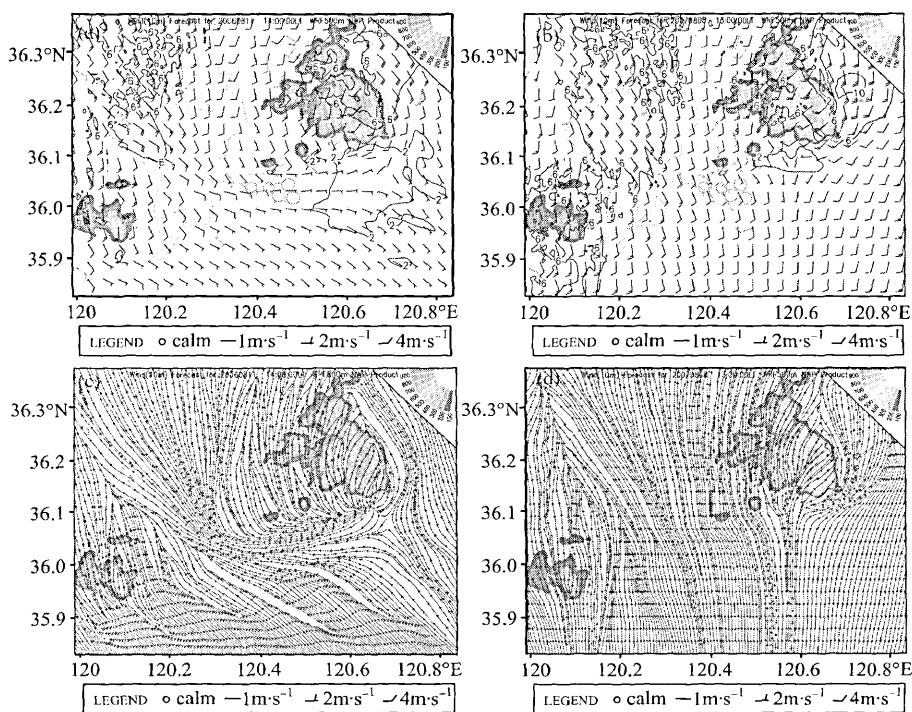


图2 南风个例模拟图

(a)2006年8月11日14时, (b)2007年8月8日13时,

(c)2006年8月11日14时流线, (d)2007年8月8日13时流线

图a,b为水平风场, 阴影区表示地形高度, 等值线代表地面风速, 灰色风矢表示自动站观测值, 小圈表示赛场位置。图c,d为风场流线, 其他说明见图1

使气流速度减小,这使奥帆赛海域风速趋于减小。由表1可见,S1的气压梯度比S3大一倍多,但该2例的实际风速却相差不大。其原因是:S1的实际气流为东南向,地形造成的气流分支点在崂山东南侧海上,离奥帆赛场较远(图2c);而S3的实际气流为正南向,气流分支点位于浮山与崂山之间,离奥帆赛场较近(图2d)。由于分支点附近的风速最小,离其越近,风速越小。S1分支点离奥帆赛场的距离远较S3为近,所以,尽管前者的气压梯度较后者大很多,但其白天的实际风速仍很小。

由上可见,由于回流反向等影响,南向背景流场非常不利于海风的发展。此外,胶州湾和崂山东侧海域两个大风轴造成的气流分支,也会使奥帆赛场风速减小。南风最有利于比赛的天气条件是较大的气压梯度加阴天。因为阴天时胶州湾和崂山东侧不易产生

大风轴,不存在气流分支现象,或分支减弱力度小,奥帆赛仍可正常进行。

3.3 东向背景气流下的海陆风特征

由表1可见,东风的海陆风强度最大。但因E1风向北转南过程中风速并未减小,风向的变化实际很小,海陆风强度存在较大的虚假成分,分析参考时须注意。当然,东风时实际风速都较大却是事实。形成原因是,东风时海面摩擦力小,再加上崂山阻挡和地形形成的准狭管效应所致(图3a,b)。因而东风时最有利于奥帆赛场帆船比赛的正常进行。

从剖面图上看,E1和E2都有强度不大的海风环流存在(图略)。环流不强的原因是东风分量远大于经向风分量造成的。

由上可见,东向背景风,在晴天时无论风速大小,都有海风影响,风速完全满足比赛条件。

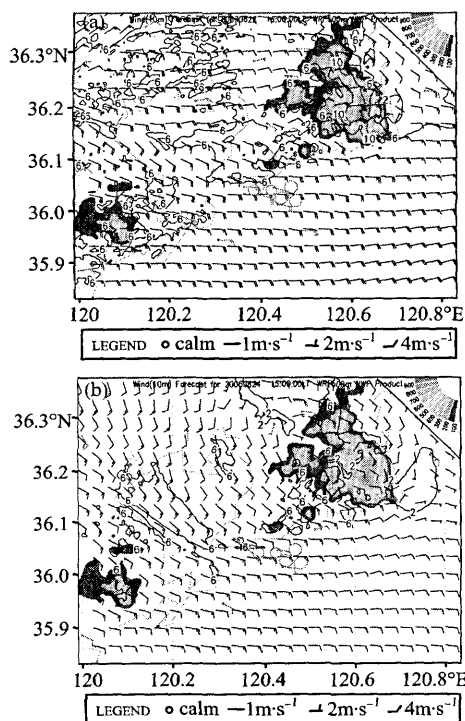


图3 东风个例模拟风场图

(a)2007年8月22日16时,

(b)2006年8月24日15时

(其他说明见图2)

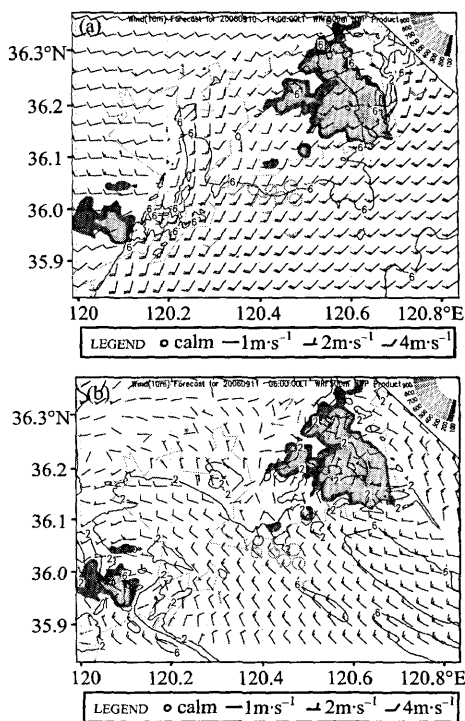


图4 西风个例模拟风场图

(a)2006年9月10日14时,

(b)2006年9月11日06时

(其他说明见图2)

3.4 西向背景气流下的海陆风特征

西向背景气流个例较少, W1 呈现明显的海陆风特征:夜间风向偏北,白天偏南风逐渐增强,14 时($5.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)和 19 时($6.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)为极大值。8—10 时海陆均为正西风,11 时起从凤凰岛到奥帆赛场附近的沿岸海域风向首先逆时针旋转为西南向,很快扩展到胶州湾以东的整个区域(图 4a),海区风速 $6\sim 8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,是比较理想的竞赛条件;陆域风速稍小($2\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),后半夜模拟和实况均转为西北风(图 4b)。边界层回流强度达 $-3.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,整个白天都有较强的海风环流(图略),海、陆风发展过程完整。

由上可见,西向背景风同样有利于奥帆赛场海风发展,对比赛非常有利。

3.5 均压场环境下的海陆风特征

纯粹的均压场条件并不存在,表 1 给出了一个气压梯度较小($0.2\text{ hPa}/100\text{ km}$),风向偏东且晴天的个例。可见该个例为典型的海陆风过程:夜间为弱北风,白天南风加强,中午 13 时和下午 16 时(均为 $6.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)有两个风速极大值。模拟起始时刻,整个模拟区域为东风。9 时起风向即顺转,13 时起,模拟和实况均为东南风。但模拟的 10m 高度风速在 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,而实况却达 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (12 时),最高 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 5a,表 1 为 2m 高度风速,图中 10m 风为订正值)。20 时后,模拟(21 时)和实况(03 时)先后转为东北风。

分析 07 时和 19 时的探空资料可见(表略),边界层盛行东偏北风,有很弱的冷平流。从剖面图看,9 时起即有海风环流,17 时海风环流达最强(图 5b),有多个时次存在两

个以上海风环流,这可能与地形作用有关。

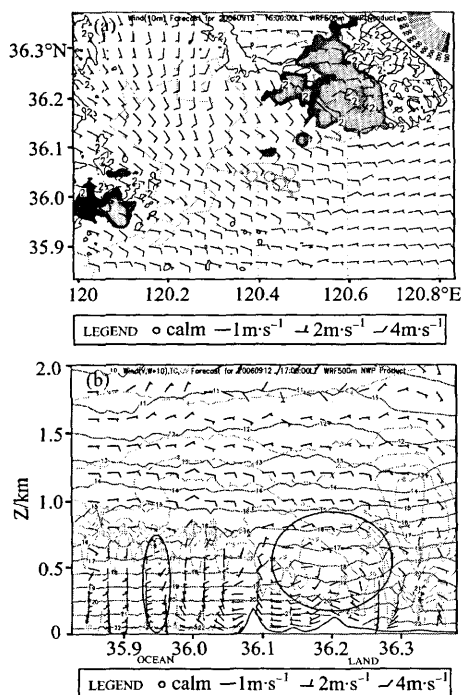


图5 静风个例模拟风场平面(a)及剖面(b)
(a)2006年9月12日16时,
(b)2006年9月12日17时
(其他说明如图1)

3.6 各背景气流条件下海陆风的综合分析

结合前面的分析,下面将 11 个个例分为如下 3 组加以讨论(图 6)。

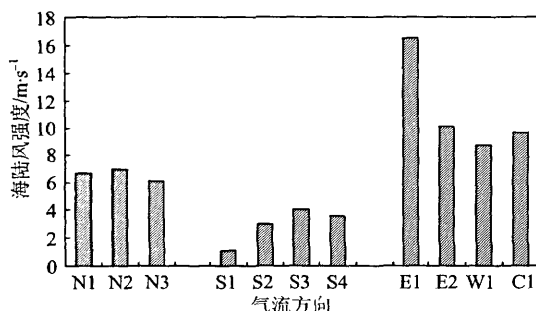


图6 气流方向与海陆风强度分组显示

(1)北风组(N1、N2、N3)。北风组晴天时海陆风强度较强,组内强度相差不大。但由于气压梯度差异造成的背景气流强弱不一,所以海风强度相差很大:N1 背景风太强,

白天只是风速减小,风向未变,因而无海风;N2 在地形影响下实际背景风风速稍小,海风也较小;N3 气压梯度小,再加上地形作用,实际背景风风速更小,因而海风最强。

(2)南风组(S1、S2、S3、S4)。南风组海陆风强度最小。在该组内,无论气压梯度强弱,无论天气晴阴,无论海陆温差大小,奥帆赛场的海风均很小,或基本无海风。所以,大多数情况下无法比赛,除非大气压梯度加阴天(S2)。当然,南风组情况下奥帆赛场周边部分区域有时会有较强的海陆风发展,例如像胶州湾西侧和崂山湾西侧等。但该二区域海陆风的发展有时反而会使得奥帆赛场风速减小,致使比赛无法进行。

(3)混合组(E1、E2、C1、W1)。该组包括了东风、西风 and 静风 3 种背景情况。由表 1 和图 6 可见,晴天时该组海陆风强度和实际风速均均为各组中最大,对比赛最为有利。

4 海陆风强度与其他背景场要素的关系

海陆风强度等于白天最大南风与夜间最大北风之差,它虽不能说明海风的大小,但却反映了因海陆温差造成风向风速日夜变化的特征。将海陆风强度与气压梯度、最大海陆温差和回流强度组合而得到图 7,下面逐一分析。

4.1 海陆风强度与地面气压梯度的关系

由图 7a 可见,二者呈反相关关系。即气压梯度越小,海陆风强度越大;反之,则海陆风强度越小。偏离趋势线最远的点是 E1,这是因东风时背景风速大造成的。左下方另一偏离趋势线较远的点是 S4,而该日是因地面倒槽影响阴天造成的。该图说明,均压场、晴好天气最有利于海陆风的发展。

4.2 海陆风强度与最大海陆温差的关系

由图 7b 可见,海陆风强度与日最大温差存在正比例关系。但有两个点明显偏离了关

系曲线。这两个点分别是 N2 和 S3,是本文所选个例中温差最大的两天,海陆风强度偏弱的原因:N2 是因“死水区”作用区域有限且处于摆动中,升温区范围小且不能持续,海陆风亦不能持续发展加强;S3 则是因为南风气流在山前受阻滞变小,以及 700 ~ 1500m

为很强的南风($5.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),与海风环流方向相反,抑制海风发展造成的,当然,3.2 节中介绍的两侧大风轴的分支减弱作用也不可忽视。可见,除某些极特殊的因素外,海陆风强度与最大温差间确实存在正比例关系。

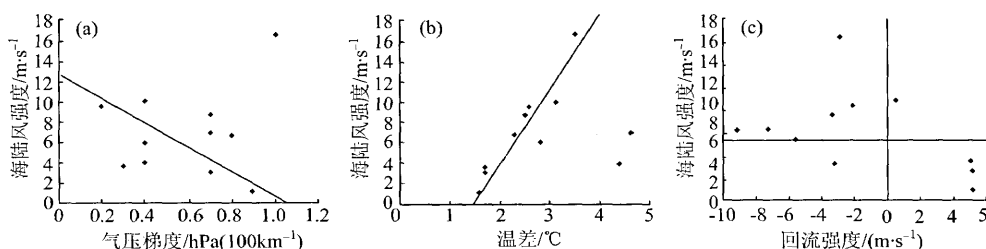


图7 海陆风强度分别与气压梯度(a)、最大海陆温差(b)、回流强度(c)的关系

4.3 海陆风强度与“回流强度”的关系

一般认为,海风“补偿回流”位于 300 ~ 700m 以上。背景风场若与补偿回流方向一致,则海风环流和海风就强;相反则弱。图 7c 给出了 11 个例伏龙山探空站 07 时 700 ~ 1500m 的平均经向风分量(南风为正)与海陆风强度的关系。可见,二者存在一定的反相关关系。如果以海陆风强度 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 作一横轴,将图 7c 分为 4 个象限,则大部分点落在 2、4 象限。第 3 象限 1 个点为 S4,由于阴天,海陆温差仅 1.7°C ,所以尽管回流强度为负,亦无海风产生。第 1 象限 1 个点为 E2,海陆风强度因地形而有所夸大。第 2 象限的 3 个点分别为 S1、S2、S3,可见当地面图与“回流”高度均为南风时,因低层山前阻滞和上层环流抑制共同作用,使海风难以发展。所以,尽管 S3 有很大的海陆温差(4.4°C),奥帆赛场仍无海风产生。相反,在 700 ~ 1500m 有适当北风的个例,即使海陆温差不大,也会有海风发展,从而使海陆风强度较大(例如 N3、W1、E1、C1 均在第 4 象限)。当然,由于日间边界层动量交换强烈,北风太大时午后的强北风动量会下传至地面,并不利于海陆风的继续加强(例如 N1、N2)。

5 结论与讨论

(1) 地面背景气流方向对海陆风发展有明显的影。均压场、西向、东向背景气流均有利于海陆风发展;南向背景气流最不利于海陆风的发展;北向背景气流也有利于海陆风的发展变化,但此时海风强度往往取决于背景气流强度:强背景风时无海风,中背景风时有弱海风,弱背景风时则有强海风。

(2) 胶州湾与崂山湾有强南风同时发展时,气流的分支作用会对奥帆赛场的风速产生严重影响:一是气压梯度再大也可使其减弱成为弱风;二是海陆温差再大也可使该区域不产生海风。

(3) 有利于奥帆赛场海风发展的条件如下:天气晴好,海陆温差适当;地面图上的等压线梯度较小,没有倒槽等低值天气系统的影响;地面图上的地转风向为非南向情况;700 ~ 1500m 有适当强度的北风或南风不大(小于 $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。

参考文献

- [1] 常志清,吴增茂,高山红. 2002. 青岛海陆风三维结构的数值模拟. 青岛海洋大学学报,32(6):877-883.
- [2] 洪光,徐晓亮. 2006. 青岛奥帆赛期间天气气候背景

- 分析. 应用气象学报,17(8):54-59.
- [3] 吴增茂,盛立芳. 1999. 海岸气象学的研究进展. 青岛海洋大学学报,29(4):543-548.
- [4] 林行,吴增茂,高山红. 2004. 青岛近海地区海陆风数值模拟和三维结构研究. 奥运气象保障技术研究2004年度论文汇编. 气象出版社,250-256.
- [5] 薛德强,郑全岭,钱喜镇,等. 1995. 山东半岛的海陆风环流及影响. 南京气象学院学报, 18(2): 293-299.
- [6] 盛春岩,王建林,刁秀广. 2007. 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. 中国海洋大学学报,37(4):609-614.
- [7] 王玉国,吴增茂,常志清. 2004. 辽东湾西岸海陆风特征分析. 海洋预报,21(3):57-63.
- [8] 李庆宝,孙桂平,张苏平,等. 青岛奥帆赛浮标站弱风成因分析[J]. 气象,2008,34(专刊):64-73.
- [9] 陆汉城,杨国祥. 2004. 中尺度天气原理和预报. 气象出版社,92.
- [10] Skamarock W C, Klemp J B, Dudhia J, et al. 2005. A description of the Advanced Research WRF version 2. NCAR Tech. Note TN-468 + STR, 88pp. [Available from NCAR, P. O. Box 3000, Boulder, CO 80307.]