

青岛近海夏季海风分型及预报

黄容¹ 漆梁波² 李庆宝¹ 凌艺¹

(1. 山东省青岛市气象台, 266003; 2. 上海中心气象台)

提 要: 利用2005年7月上旬至2007年9月中旬青岛自动站以及近海浮标站逐小时的观测数据以及3小时海平面气压形势场, 根据大尺度背景地转风将海风分为7个类型, 建立预报青岛夏季近岸海风的统计分型方法。分析表明当大尺度地转风为偏东风时, 青岛近岸海风较强(海风风速大于 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), 海风风向向东南。当大尺度地转风为北风时, 青岛近岸海风风速大于 $3.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 海风环流建立后风向逐渐向右偏转。当大尺度地转风为偏南风, 且地转风向岸风分量较强时, 青岛近岸海风起风时间较早, 但海风环流较弱; 当向岸风分量较弱时, 海风环流发展较强。海风环流建立以后, 海风风向的偏转受科氏力、气压梯度力、地形、摩擦力等因素的共同影响。从2008年8月的预报检验来看, 该方法能较准确地预报青岛近岸海风的风向偏转趋势以及午后海风的风速, 为近海风力专项预报提供了一种简单实用的预报方法。

关键词: 海风 分型统计 风矢端图

引 言

海风是由白天海陆热力导致的气压梯度差而引发的向岸风^[1-2]。海风对沿海的天气、气候、空气质量等有重要的影响, 海风锋的推进可触发内陆热对流, 在海风环流内的热力内边界层使得地表污染物不易排出从而影响当地的空气质量^[2-3]。天气尺度背景风对海风的发展有重要的影响。Estoque^[4]指出, 背景离岸风通过增加水平温度梯度而使海风环流加强。Arritt^[5]用二维的非线性数值模式研究了不同强度的离岸与向岸背景风对海风发展的影响, 模拟结果表明大于 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的向岸风会抑制海风环流的发展(地表热量通量也受到抑制), 而当背景风为离岸风时, 即使风速大于 $11\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 海风环流也可发展, 但海风环流仅存在于海上且强度较弱。Bechtold等^[6]用二维中尺度模式研究了不同背景风

速情况下海风环流的强度, 模拟结果表明在大尺度背景风为离岸风 $5\sim 6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 情况下, 当海风锋传播速度与离岸风风速抵消时, 海风环流最强。海风环流建立以后, 海风风向的偏转是科氏力、热力差异导致的气压梯度力、地形、摩擦力的共同结果, 海风方向的转变与气压梯度力方向的转变有关, 地形的作用也可使海风方向逆转^[7-8]。

青岛是2008年29届北京奥运会帆船以及帆板项目的比赛场地, 帆船运动以风力为驱动力, 对风速风向要求较高, 但青岛以前缺乏近岸风的观测, 也没有针对近岸风的预报方法。青岛夏季受海风影响较为明显, 因此有必要建立预报青岛近岸海风的方法, 为奥运会帆船赛以及未来类似比赛提供风的预报依据。本文利用2005—2007年7月上旬到9月中旬青岛、浮山、石老人自动站以及沿海浮标站(图1)逐小时的风向、风速、气温以及逐3小时海平面气压形势场资料, 对不同天气

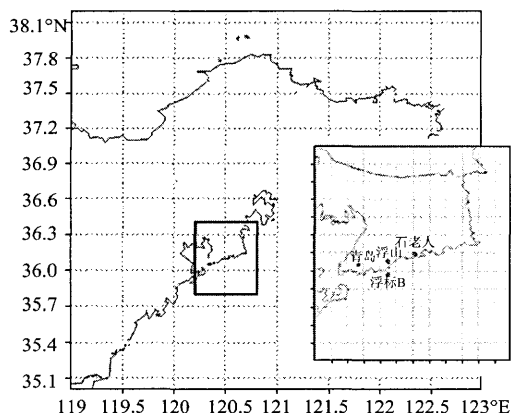


图1 青岛地理位置及自动站、浮标站分布

尺度背景风条件下的海风进行了统计分析,并给出了不同背景风条件下海风随时间发展的特征,为预报青岛沿岸海风的发生及强度提供了一种可参考的方法。

1 统计方法的建立及分析

利用浮标 B 站的资料来确定海风发生日。当某日观测资料满足:(1)青岛测站 08 时、11 时两个时次观测的天空低云量 < 6 (高云量对陆地升温影响较小);(2)青岛 (或浮山、石老人) 与浮标站气温之差 $> 2.5^{\circ}\text{C}$;(3)白天浮标站风向转到 $95^{\circ} \sim 245^{\circ}$;(4)海风环流消失后浮标站风向转回大尺度背景风的方向 (背景风为向岸风时浮标风向逆转);(5)海风起风前没有明显降水 (排除浮标站风向的转变由快速移动的系统导致的情况) 时确定为海风发生日。共确定 68 个海风日。

根据大尺度地转风的方向将已确定的海风日分为 7 个类型,分析了各个类型下海风发展的特征 (起风时刻、维持时间、风向偏转趋势、风速大小),并对浮标站逐时的风向、风速进行平均并给出了 08—20 时平均风的风矢端图 (或风矢量图),作为预报青岛沿岸海风的依据。以下给出了各个天气背景风型下海风的统计结果。

1.1 北风型

地转风为北风时海风日 6 天,但 2007 年 8 月 29 日由于温差相对较小 (青岛与浮标 C 气温差 16 时最大为 1.2°C ,青岛沿海石老人自动气象站与浮标站温差 13 时最大 2.7°C),转风时间晚 (15 时),维持时间短 (15—16 时 SE-S),17 时石老人温差 0.1°C ,18 时后温差为负,浮标站 17 时转回 WNW-NW,因此作统计平均时没有计算。图 2 给出了统计平均后的逐小时风矢端图。由图 2 可以看出,地转风风向为北风时,浮标站风向由西北风逐渐顺转,14 时转为东南风,后受科氏力的影响^[1,9]风向继续顺转至西南风,17 时后风向开始逆转;浮标站海风到达后平均风速随时间变化不大 (14—17 时 $3.6 \sim 4.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),但 17 时风向逆转后风速减小的趋势较明显。

从该型下每个海风日浮标站资料分析,地转风为北风时浮标站风向偏转的趋势与平均结果一致,但是 6 个海风日有 5 天 (83%) 浮标站风向在很短的时间内从北风跳转为东南风,从统计平均后 13—14 时风向变化 66° 有所体现。

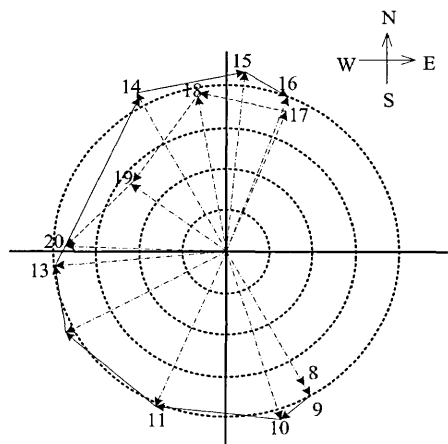


图2 大尺度背景风为北风时平均风矢端图
(横轴标志:风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);虚线箭头:逐小时风矢量;
实线箭头:风矢端,以下各图同)

当本站与浮标站气温差 $> 2.5^{\circ}\text{C}$ 时为海风起风时刻,但当内陆升温较快,石老人气温

与浮标气温差达到 3°C 且维持两个小时以上,即使本站与浮标站气温差 $<2.5^{\circ}\text{C}$,海风环流也可到达浮标站。海风环流形成后继续向内陆推进,当青岛站与浮标站气温差持续 2 小时 $>4^{\circ}\text{C}$,有 2 天海风环流在到达浮标站以后 3~4 小时后推到青岛站,青岛站气温 1 小时内下降 $1\sim2^{\circ}\text{C}$,海风到青岛站时的风速略小于浮标站海风风速,说明海风环流在海上较强;另外 3 天由于青岛站与浮标站气温差较小,海风环流没有推到青岛站。傍晚青岛与浮标气温差 $<0^{\circ}\text{C}$ 后浮标站迅速转回大尺度地转风方向,且海风环流先在海上消失。

1.2 东北风型

海风日 11 天。图 3 为东北风型下的平均风矢端图。由图 3 可知,东北风型下浮标站风向由西北风向东南风逆转,12—16 时风向在东南风到南南东风之间摆动,17 时以后风向继续逆转,20 时转回东北风。浮标站平均风速 08 时(北风)最大,为 $3.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,海风环流建立以后 13—16 时风速稍大,为 $3\sim3.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

分析该型下每个海风日的资料可知,每个海风日浮标站风向偏转的趋势较符合图 3 风向偏转的趋势,但当傍晚海风环流趋于消散时,海风风向的偏转受当时地转风方向、科氏力、摩擦力的共同影响^[2,7],因此出现既有逆转也有顺转的情况。当青岛站和浮标站气温差 $>2^{\circ}\text{C}$,或者浮山站(石老人站)与浮标站气温差 $>3^{\circ}\text{C}$,海风环流到达浮标站。

各海风日风速的分布较离散,2005 年 9 月 4 日和 5 日海风风速最大,分别为 $6.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (维持 4 小时 $>6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)和 $5.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (维持 4 小时 $>5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);而 2005 年 8 月 21 日由于当日云量较多海风风速最大仅为 $0.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (海风维持时段 14—17 时 $0.5\sim0.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。当早晨浮标站偏北风风速 $>4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 且维持超过 3 小时无明显减小的趋势时,当日海风风速弱($<3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);当青岛站与浮标站气温差 $>3^{\circ}\text{C}$ 且气压梯度风较弱时,浮标站观测的海

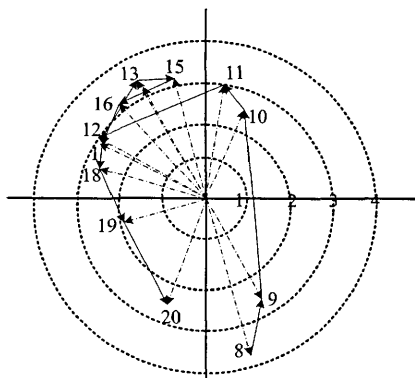


图3 大尺度背景风为东北风时平均风矢端图

风风速可 $>3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;当海风风向维持在 $95\sim110^{\circ}$ 时,因受地形因素的影响海风风速 $>5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。因此该型下海风风速的大小应考虑当日气压梯度力、海陆温差、地形影响等因素。

1.3 东风型

大尺度梯度风为东风时海风日 5 天。图 4 为东风型下的平均风矢量图。由图 4 可以看出,东风型下浮标站风向先是由东北风逐渐向东南东风顺转(2006 年 7 月 22 日浮标站 09 时风速较小,为 $0.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,风向 188° ,导致风向平均后 09 时风向东南),18 时以后风向则呈逆转趋势;11 时以后风向的分布较集中,12—16 时风向 $100\sim105^{\circ}$;浮标站风速先增加,11—16 时风速较大且较集中,为 $6.3\sim7.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,17 时以后风速呈减小趋势。

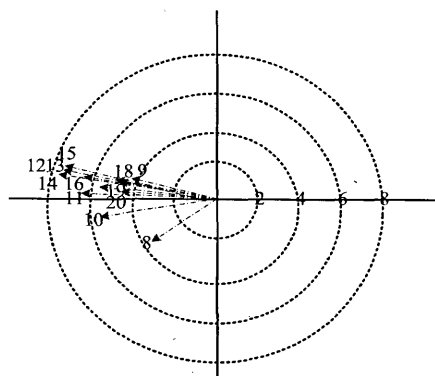


图4 大尺度背景风为东风时平均风矢量图

从每个海风日浮标站的资料来看,当青

岛站与浮标站气温差 $>2^{\circ}\text{C}$ 时,浮标站风向顺转,标志海风环流到达浮标站;当沿岸石老人自动站与浮标站气温差大于 5°C 时,浮标站风向可转至 120° ;傍晚当青岛站与浮标站气温差 $<0^{\circ}\text{C}$ 时,浮标站风向开始逆转。

当浮标站风向偏东北时浮标站风速较小 ($<3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);当浮标站风向偏东时,浮标站风速较大,傍晚风向开始逆转前 $>5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,这是青岛特殊的地形导致。

1.4 东南风型

海风日 5 天。图 5 为东南地转风型下浮标站的平均风矢量图。由图 5 可知,该型下浮标站风向从东北风向东南风顺转,12—19 时风向在 $102^{\circ}\sim 124^{\circ}$ 之间摆动,20 时转回偏东风 95° 。浮标站平均风速白天均小于 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,风速最大时刻 16—17 时为温差减小海风趋于减弱的时刻,说明该型下海风环流的发展使得浮标站的风速较弱。

分析该型下每个海风日的资料可知,海风日浮标站风向偏转的趋势与图 5 所示的一致;有 4 个海风日 (80%) 浮标站的风速白天小于 $2.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,1 个海风日 (2006 年 8 月 24 日) 风速偏大 (12—18 时 $4\sim 5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),而该日白天高云量较多,且浮标站的风向偏东 (13 时以后风向 $90^{\circ}\sim 107^{\circ}$),因此该日风速偏大。每个海风日浮标站的风速均小于青岛站的风速,这同样说明该型下海风环流的发展使得浮标站的风速较青岛站弱。

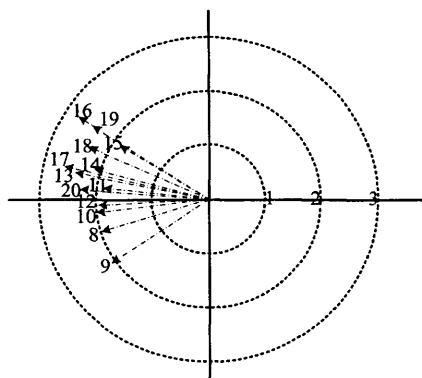


图5 大尺度背景风为东南风时平均风矢量图

1.5 大尺度地转风为南风类

海风日 18 天,根据海平面气压梯度强度分为两类。

(1) 海平面气压梯度较强 ($35^{\circ}\sim 38^{\circ}\text{N}$ 、 $118^{\circ}\sim 122^{\circ}\text{E}$, 范围内 1hPa 间隔等压线数 ≥ 3 , 下同) 的,海风日 10 天。由平均风矢量图 (图 6a) 可以看出,该型下浮标站风向偏转趋势为由东北东风逐渐顺转,午后 17 时以前为东南东风到东南风,17 时以后风向开始逆转,至 20 时转回偏东风。浮标站平均风速 13 时以后 $\leq 2.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,早晨风速略大于下午海风维持时段,说明该型下海风的发展使得近岸浮标站的风速减小。

(2) 海平面气压梯度较弱 ($35^{\circ}\sim 38^{\circ}\text{N}$ 、 $118^{\circ}\sim 122^{\circ}\text{E}$ 范围内 1hPa 间隔等压线数 ≤ 2 , 下同) 的,海风日 8 天。由该型下平均风矢量图 (图 6b) 可以看出,浮标站风向偏转趋势

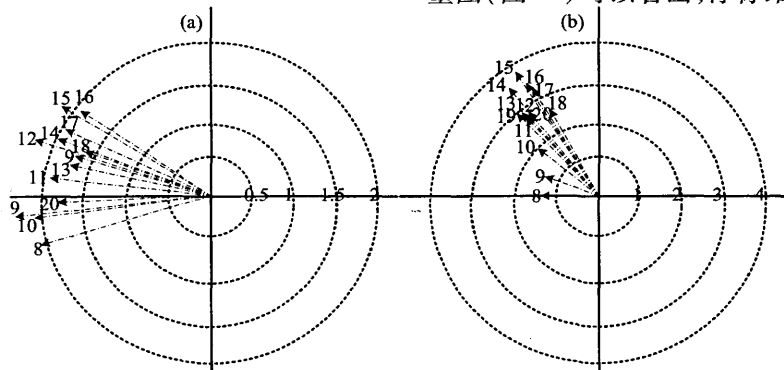


图6 大尺度背景风为南风时风矢量图
(a.海平面气压梯度较强时 b.海平面气压梯度较弱时)

为由偏东风顺转,10 时以后转为东南风并维持至 20 时,但 18 时以后风向略有逆转的趋势,说明地转风为南风时,当海平面气压梯度较弱(向岸风速较弱)时,海风起风的时间比气压梯度较强时要早 2 小时,并且海风持续时间也较长。浮标站平均风速先增加后减小,午后 14—17 时风速 $\geq 3.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

1.6 大尺度地转风为西南风型

海风日 11 天。根据海平面气压梯度强度将该型下海风分为 2 类。该类型浮标站早晨风向离散度较大,而午后到傍晚前风向则较集中,因此没有给出平均风矢量图,而只对该型下海风特征进行了分析。

(1)海平面气压梯度较强的,海风环流的发展使得浮标站风速较弱。该类海风日 7 天。该类下海风的发展特征与地转风为南风时海风的特征类似,浮标站早晨的风向与当日夜間是否有陆风以及地形有关,如果当日有明显陆风,则浮标站风向早晨为偏东到东北风,否则浮标站风向与大尺度梯度风方向一致为西南风,海风环流发展后转为南东南风($< 180^\circ$),傍晚海风环流减弱消失时转为东到东北东风;浮标站海风风速较青岛风速弱,午后平均风速 $\leq 2.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,尤其当 500hPa 为副热带高压控制时,即使海陆温差相对较大,风速也很弱。

(2)海平面气压梯度较弱的,海风环流的发展则使浮标站风速较强。该类海风日 4 天。浮标站早晨的风向特征与前一类一致,为东到东北东风或者西南风,海风环流发展后浮标风向为南西南风或南风,海风维持至 20 时,但海陆温差 $< 0^\circ\text{C}$ 后风向略有逆转;平均风速 12—17 时 $> 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

1.7 大尺度地转风转风型

海风日 12 天。根据大尺度地转风偏转的方向,该型又分为 3 个小型。

(1)地转风西北风转西到西南风(南)。该类下海风日 12 天。由平均风矢端图(图

7)可知,该类型浮标站风向自西北向南西南顺转,午后 14—16 时浮标站风向稳定在 $204 \sim 217^\circ$,浮标站转风时间较青岛站要早 2~3 小时;浮标站风速呈先增加后减小的趋势,8—11 时风速 $< 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,13—19 时 $> 3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

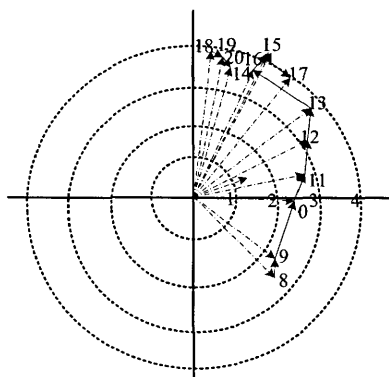


图7 大尺度背景风西北风转西南(南)风时平均风矢端图

分析该型下每个海风日的资料来看,有 9 个海风日浮标站风向偏转的趋势与图 7 类似;有 2 个海风日浮标站自西北逆转为南东南风,然后稳定在东南风,而这 2 日地面气压梯度均非常弱($35 \sim 38^\circ\text{N}$ 、 $118 \sim 122^\circ\text{E}$ 范围内 1hPa 间隔等压线数 ≤ 1),且等压线的走向偏南;另 2006 年 7 月 20 日浮标站 10—13 时先转东南风,然后再向西南方向顺转,15 时以后转为西南风。而该日风向先转东南风可能与当日早晨低云量较多以及气压梯度较弱有关^[7]。

(2)地转风为东风转东南风。该类下海风日 1 天。浮标站风的特征与偏东类型下较类似。浮标风向早晨偏东风,12—17 时转为东南东风,18 时青岛站与浮标站起温差小于 0°C 以后,风向转回偏东风;风速则受当日地面气压梯度、地形、海陆温差的共同影响,该日风速呈减小的趋势,但全天风速 $> 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(3)地转风为北风转东南风型。该型下海风日 2 天。浮标站风向转变的特征这两天有差异(与海陆温差有关)。其中 2007 年 9

月17日凌晨至09时浮标站气温高于青岛站、浮山站以及石老人站,受夜间陆风的影响,早晨浮标站的风向为偏东风,而2006年8月20日早晨浮标站风向为西北风。当海陆温差达到一定条件(有季节差异)时转东南风。这两日转风时间均为12时,且下午风向均随时间顺转。浮标站风速随时间先增大,转风后13—15时最大,为 $5 \sim 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,16时以后随着海陆温差减小到 3°C 以下以后开始减小,而18时以后当海陆温差明显 $<0^\circ\text{C}$ 时风速减小到 $<3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,且浮标站海风风速略大于青岛风速。

2 应用检验

根据各型海风的风矢端图(风矢量图)、当日地面气压形势以及天空状况,预报2008年8月青岛近岸海风的发生发展。结果表明,2008年8月青岛近岸海风发生日13天,表1给出了13个海风日的结果。表1可以看出,西北风转西南风型、东风型时利用统计图表预报效果较好。地转风为西南时,当风速气压梯度较大,温差较小时海风风速 $<3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,气压梯度较弱时 $3 \sim 4.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。南风型3天,副高控制时浮标站弱风(1天),气压梯度较强时或者温差较小时 $2.5 \sim 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。北风转南风型1天,浮标站风向自东北逐渐顺转,傍晚转为地转风南西南风;海风起风早,海风环流维持时段风速 $3.2 \sim 5.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,但15时海风环流开始减弱,风速迅速减小。东南型1天,浮标站风向自东风顺转为东南风,傍晚海陆温差 $<1^\circ\text{C}$ 以后风向开始逆转回偏东风;风速海风维持时段 $3 \sim 4.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,大于平均值,该类型下海风特征需要增加样本数再研究。东风转东南型1天,浮标站风向自西北风顺转为东北风,然后迅速转为东南风,海陆温差 $<0^\circ\text{C}$ 后风向继续顺转为南风,浮标站风向东南时风速 $3 \sim 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

由以上分析可知,利用统计平均的风矢端图(风矢量图)可以较准确地预报东风型、

表1 2008年8月海风预报检验

类型	日期	转风时间/时	海风风向(方位)	午后海风风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	减弱时间/时
西南	0804	11	南	$1.8 \sim 2.5$	18
	0824	9	南西南	$3.1 \sim 4.1$	17
	0827	13	南西南	$3.6 \sim 4.7$	19
	0828	8	南	$2.7 \sim 3.3$	19
西北(西)	0803	12	南西南	$2.7 \sim 3.6$	16
转南风	0823	11	南西南	$4 \sim 5.8$	17
南风	0808	9	东南	$1.5 \sim 2.3$	18
	0809	11	东南	$2.9 \sim 4.1$	18
	0829	11	东南	$2.3 \sim 3.4$	20
东	0805	8	东	$3.9 \sim 5.3$	20
东南	0810	10	东南	$3 \sim 4.4$	17
北转东	0816	13	东南—南	$2.6 \sim 4$	18
北转南	0820	10	东南—南	$3.2 \sim 4.6$	15

西北转西南型的海风。其他各型下能较准确地预报海风风向,但海风风速仍很大程度上取决于背景风向岸分量的大小。

3 结语

利用青岛近岸逐小时观测资料以及逐3小时海平面气压形势场资料,建立了一种预报青岛夏季近岸海风的方法。统计分析结果表明,当大尺度地转风为风速适宜的北风时对海风环流的发展比较有利;大尺度地转风为东风时,由于青岛特殊的地形特征,海风环流发展较强;大尺度地转风为东南风时,海风环流发展较弱;大尺度地转风为南风或者西南风时,当背景风向岸的风速分量较弱时较有利于海风环流发展,当背景风向岸的风速分量较强时海风环流的发展反而使得近岸浮标站的风速较弱。大尺度地转风为向岸风时分两类,实际上是考虑大尺度气压梯度力对海风环流的影响,同样的情况也存在于地转风为离岸时,如果离岸背景风过大,则海风环流不能发展。说明海风环流的强度随着大尺度背景风风速的改变而变化很大^[10],因此有必要进一步定量研究大尺度地转风风速以及海陆温差的大小对海风环流强度的影响。

海风环流建立以后,受科氏力的影响大

部分海风风向向右偏转,但海风方向的转变与气压梯度力方向的转变也有关系,且地形的作用也可使海风方向逆转。

用该方法对 2008 年 8 月的预报检验来看,利用统计平均的风矢端图(风矢量图)可以较准确地预报东风型、西北转西南型的海风。其他各型下能较准确地预报海风风向,但海风风速的大小仍需积累多的统计样本数,综合考虑垂直于海岸地转风分量以及海陆温差大小对其的影响。

参考文献

- [1] F. H. Schmidt. An elementary theory of the land-and sea-breeze circulation[J]. J. of. Met, 1946,4:9-15.
- [2] ShiYuan zhong, Eugene S. Takle. An Observational Study of Sea-and Land-Breeze Circulation in an Area of Complex Coastal Heating[J]. J. App. Met, 1992, 31: 1426-1438.
- [3] Samule T. K. Miller, Barry D. Keim. Symoptic-Scale controls on the sea breeze of the central new England coast[J]. Weather and forecasting, 2003, 18: 236-248.
- [4] Estoque, M. A. The sea breeze as a function of the prevailing synoptic situation[J]. J. Atmos. Sci., 1962, 19: 244-250.
- [5] R. W. Arritt. Effects of the large-scale flow on characteristic features of the sea breeze[J]. J. App. Met, 1992, 32: 116-125.
- [6] P. Bechtold, Jean-pierre Pinty and Mascart. A numerical investigation of the influence of large-scale winds on sea-breeze-and inland-breeze-type circulations[J]. J. App. Met, 1991, 30: 1268-1279.
- [7] John E. Simpson. Diurnal changes in sea-breeze direction[J]. J. App. Met, 1995, 35: 1166-1169.
- [8] B. Hauwitz. Comments on the sea-breeze circulation[J]. J. of. Met, 1947, 4: 1-8.
- [9] Edwin L. Fisher. An observational study of the sea breeze. J. of. Met, 1960, 17: 645-660.
- [10] ShiYuan zhong, Eugene S. Takle. The effects of large-scale winds on the sea-land-breeze circulations in an area of complex coastal heating[J]. J. App. Met, 1993, 32: 1181-1195.
- [11] 张立凤, 张铭. 珠江口地区海陆风系的研究[J]. 大气科学, 1999, 23(5): 581-589.
- [12] 陈训来, 王安宇. 香港地区海陆风的显式模拟研究[J]. 气象科学, 2007, 27(5): 473-480.
- [13] 王玉国, 吴增茂. 辽东湾西岸海陆风特征分析[J]. 海洋预报, 2004, 21(3): 57-63.