

渤海湾西岸海风时空演变特征观测分析

许启慧¹, 苗峻峰¹, 刘月琨², 黄利萍³, 高佳琦¹

(1. 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 江苏 210044; 2. 天津市气象局, 天津 300074;
3. 安徽省亳州市气象局, 亳州 安徽 236806)

摘 要:应用2008年全年天津地区14个气象站的逐小时资料和6 h一次的地面常规资料,对渤海湾西岸(天津)海风时空演变特征进行了统计分析,结果表明:2008年全年渤海湾西岸的海风盛行于春夏季的14—17时,海风发生频率的最大值出现在夏季,近海站的海风风速主要集中在2—4 m/s,且春季的海风强度最大,秋季最弱,风向主要以东和南-东南方向为主;海岸带附近建立的海风一半以上都可向内陆传播至30 km远,最大可向内陆传播70 km以远,海风强度的空间分布则呈现出近海站高于远海站,近郊站大于城市站的特点。

关键词:天津;海风;时空变化

中图分类号:P732 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-0239(2013)01-0009-11

1 引言

海陆风环流是沿海地区一种重要的中尺度天气系统,它的发生、发展直接影响着沿海地区温度场、湿度场和风场的分布,并引起低层大气层结状况的变化,与沿海地区的空气污染及积云对流系统有着密切的关系,是决定沿海地区气候变化的关键性因素^[1-5]。国内外在对海陆风环流的科学研究方面曾进行过大量工作,例如对海风日的识别,其中比较具有代表性的是Born等的滤波技术,他们利用地面自动观测站的逐时风向风速资料,以及探空风资料对瑞典西海岸群岛的海风日进行了评估性分析^[6],之后国外许多有关海风日的研究都采用了类似的识别方法^[7-8]。我国在这方面的研究相对落后,大部分海风日数据集的建立都是在某一固定的时间段内进行统计^[9-10],因此往往会低估海风的发生频率,并直接影响海风的后期研究效果。为了准确地建立渤海湾西岸(天津)海风日数据集,从而使分析海风时空变化特征的结果更具可靠性,本文根据

2008年天津地区13个地面气象观测站和1个海上(渤海A平台)观测站的逐时风向、风速、气温和相对湿度等资料,以及天津市地面常规气象观测站6 h一次的云量和降水资料,总结出一种识别渤海湾西岸(天津)海风日的方法,并对筛选出的海风日进行分析,获得了渤海西岸(天津)海风的时空演变特征。

2 资料和方法

2.1 站点分布

本文使用2008年全年天津地区14个气象观测站(见图1)逐小时资料分析渤海湾西岸海风的时空演变特征。根据不同站点到达海岸线的距离,将其分为4组,即:海上站(渤海A平台),近海站(塘沽、大港、汉沽),内陆站(宁河、津南、东丽、天津、西青、北辰、静海、武清、宝坻)和远海站(蓟县)。其中海上的A平台站距西部海岸线的最近距离约为80.7 km,近海站距海岸线的距离在5—10 km间;3区各站到海岸线的距离较为复杂,平均大于

收稿日期:2012-03-28

基金项目:公益性行业(气象)科研专项经费项目(GYHY201306009);教育部留学回国人员科研启动基金项目(教外司留[2009]1590号)

作者简介:许启慧(1985-),女,硕士研究生,研究方向为边界层气候学;苗峻峰(通讯作者),E-mail: miaoj@nuist.edu.cn.

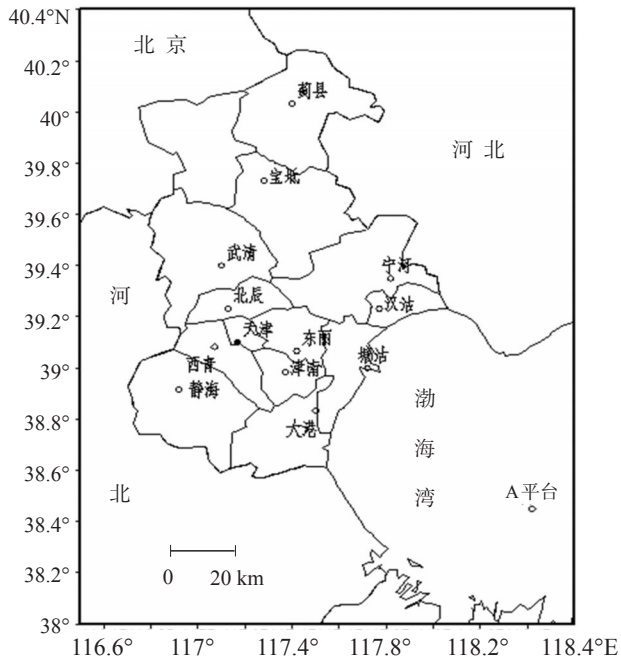


图1 渤海西岸(天津)自动气象站分布

20 km;远海蓟县站深居内陆,离开海岸线的距离超过 100 km。

2.2 海风日的定义

2.2.1 海风风向的确定

本文选取塘沽、大港和汉沽3个近海站作为陆上标准站,由于海陆间温度差而造成的海陆风是垂直于海岸线吹的^[11-12],所以根据三个标准站附近海岸线的走向,以垂直于海岸线的风向为海风建立时的标准海风风向,考虑风向左右摆动可能存在的范围,将三站具体海风风向的范围定义为:塘沽站,东北至南向(NE-S);大港站,东北至南-东南向(NE-SSE);汉沽站,东-东南至南-东南向(ESE-SSE)。

2.2.2 海风日的确定标准

本文基于 Azorin-Molina 等^[13]研究海陆风的定义标准,并参照高佳琦等^[14]对海风日筛选方法的分析结果,通过如下标准建立 2008 年渤海湾西岸(天津)海风日数据集:

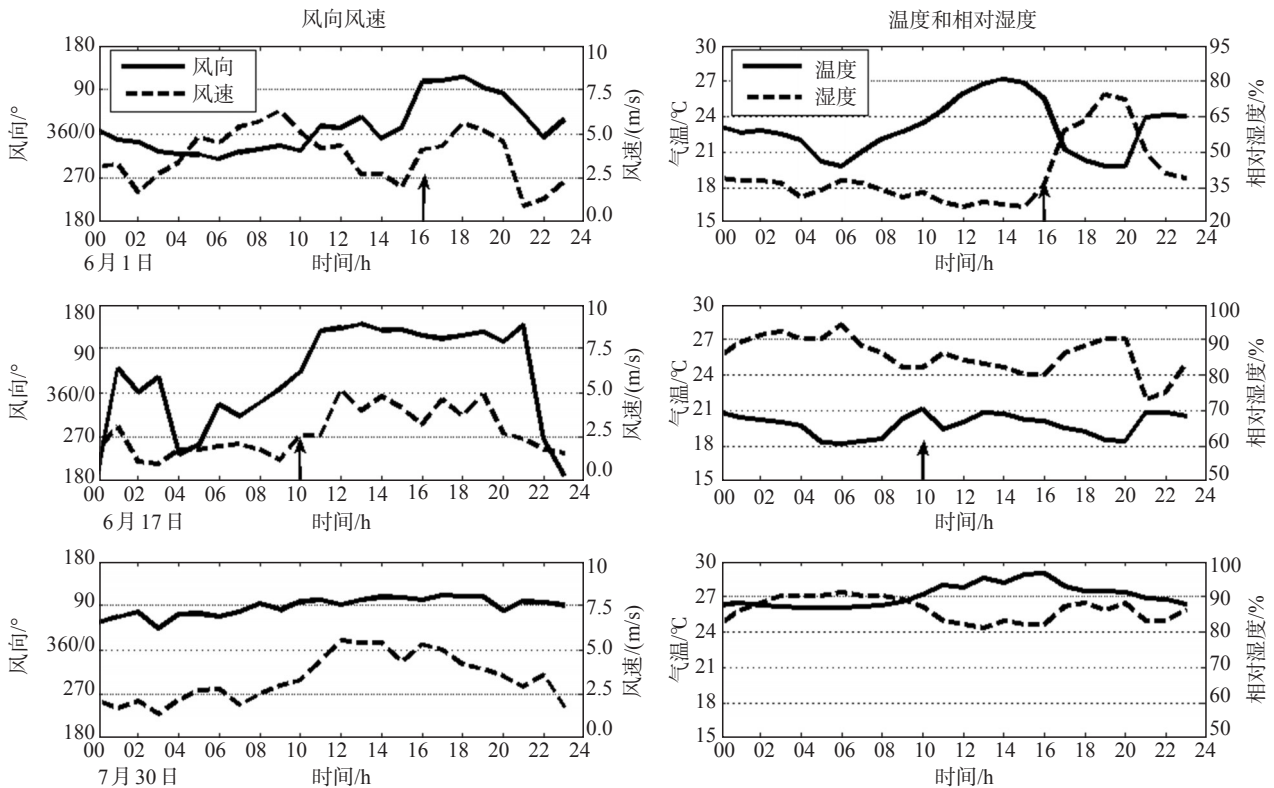


图2 塘沽站典型海风日里风向(°),风速(m/s),气温(°C)和相对湿度(%)的日变化

(1)从日出到日落,有向岸气流出现,并且持续时间达到3 h(含3 h)以上^[15];

(2)日出以后,风向和风速存在明显的改变,风向突变角度大于40°,海风建立以后风向趋于稳定的向岸风方向;

(3)分别以大港、塘沽和汉沽站的逐时气温代表陆温,海上渤海A平台站的逐时温度代表海温,要求日最大陆海温差大于0℃,即 ΔT_{\max} 大于0℃;

(4)为了消除较强背景风场的影响,要求在海风开始前10 m处风速小于1.5 m/s,即静风或弱风状态,而最大风速小于10 m/s;

(5)若海风开始前风速较大,未满足(4)中规定的界值,但风向由离岸转为向岸时突变角度大于90°,也可被定义为海风日;

(6)海风建立前无明显降水现象出现,之后存在气温明显减小,相对湿度明显增加的现象。

当同时满足上述6个条件,方可被定义为海风日。另外,因夏季夜晚渤海湾西部陆地冷却效果较弱,导致陆海温差通常不会满足陆风建立的要求,出现全天24 h都吹向岸风的现象,这种情况下海风的建立主要表现在风速的变化上,所以当全天风向都是海风方向时,若存在风速明显增强,并且持续时间超过3 h(含3 h),同样被定义为海风日。

根据上述选取海风日的标准,图2给出了塘沽站3种典型海风日的风向、风速、气温和相对湿度的日变化情况,其中箭头表示海风的开始时间。6月1日为海风开始前风速大于1.5 m/s的海风日,该日海风开始时,风向突变大于90°,风速突增,气温和相对湿度在海风开始时刻分别出现明显的下降及上升变化;6月17日,海风开始前风速小于1.5 m/s,自上午10时起风向发生偏转,风速明显增大,1 h后气温和相对湿度发生显著改变;7月30日是全天24 h都为向岸风的日子,这种情况下海风的

建立主要表现在风速的增强上,由图可知:11时塘沽站的风速突然增大,并持续至午后18时,该日全天24 h都符合海风发生的标准,在海风发展的成熟阶段也是风速日变化最大的时期,而该日气温和相对湿度分别随时间呈现出逐渐升高和降低的走势,两者日变化的波动振幅较小,这可能与全天都吹向岸风有关。吴增茂曾在早期的海陆风研究中指出:当大尺度风为向岸风或具有向岸风分量时,由于背景风及它引起的平流的影响,使海风出现时风向及气温变化不明显,但向岸风分量会明显加强及相对湿度亦有上升,并将这种背景条件下出现的中尺度海风环流,定义为向岸风加强型^[15]。

3 海风的时间变化特征

3.1 2008年各季海风的演变特征

本文将2008年的1月、2月和12月定义为该年的冬季,3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季。下文将对不同季节里渤海湾西岸(天津)海风演变特征进行分析。

3.1.1 各季海风的开始和结束时间

本文参考Miao等^[7]定义的海风开始和结束时刻,对三个标准站不同季节里海风的开始和结束的平均时间总结见表1,由表可知:夏季海风的开始时间最早,持续时间最长,冬季则相反,这是由于夏季日出时间早,太阳辐射强,启动海风环流所需要的海陆温差可以提前达到,而进入秋冬季,中纬度地区的日照时间明显缩短,同时随着大陆冷高压的建立陆地温度急剧下降,而海洋具有热惰性,升温慢降温亦慢,因此秋冬季海陆之间的温度梯度减小,结果导致海风的持续时间明显缩短。

3.1.2 各季海风风速分布

早期曾有研究指出,在中纬度地区如果近地层

表1 海风开始和结束的平均时间(单位/h)

季节	塘 沽		大 港		汉 沽	
	τ_s	τ_e	τ_s	τ_e	τ_s	τ_e
春	11.6	20.8	11.1	19.0	12.2	18.3
夏	10.8	21.0	11.0	19.6	12.2	19.7
秋	11.3	17.6	11.5	17.9	13.5	18.3
冬	12.0	18.6	12.3	17.9	13.8	18.6

注: τ_s :海风开始时刻; τ_e :海风结束时刻

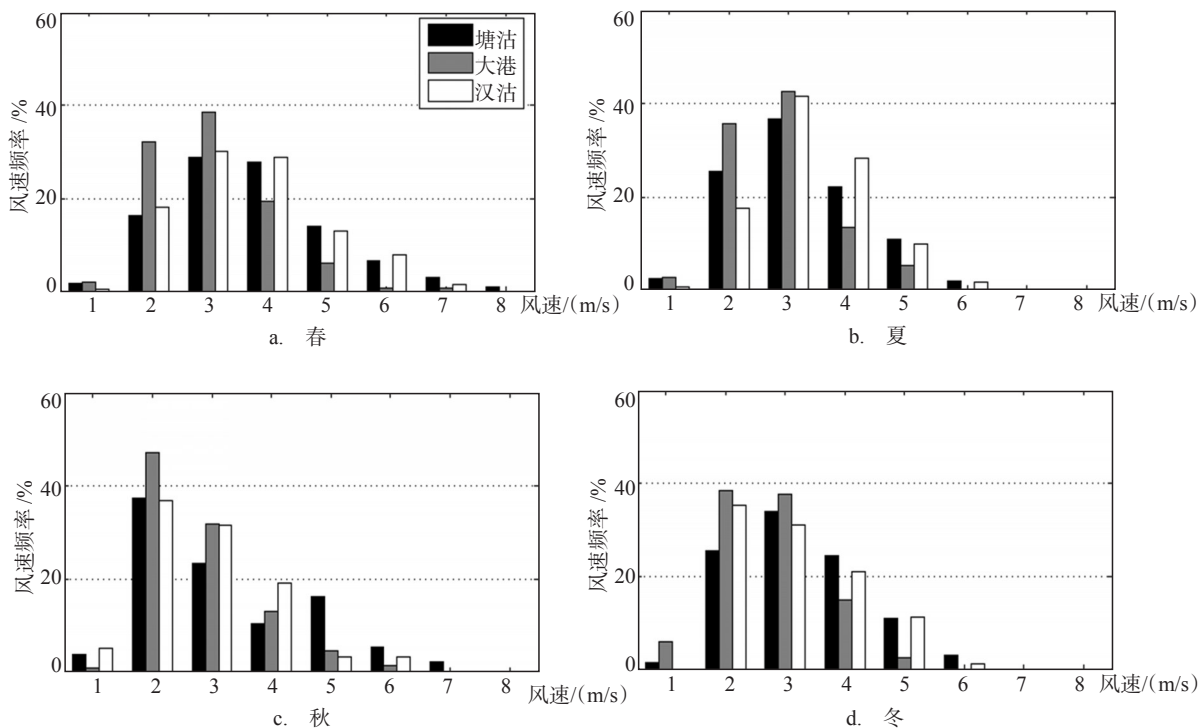


图3 各季海风风速的频率分布

风速大于 10 m/s, 则难以生成海风^[16-17], 这是因为过大、过强的风速会破坏触发海风形成的温度梯度, 因此当有海风发生时, 近地面风速不会太大。

本文对 2008 年 3 个标准站海风日里海风发生时间段内的风速进行了统计, 得到四季海风风速的频率分布情况, 见图 3: 各站海风的风速主要集中在 2—4 m/s, 其中塘沽站春季最大海风风速可达 8 m/s, 春、夏、冬三季的风速频率最高值都出现在 3 m/s, 秋季则是 2 m/s 的风速出现频率最高; 大港站全年的最大海风风速可达 7 m/s, 出现在春季, 春夏季海风风速频率最高值同样为 3 m/s, 而秋冬季则是 2 m/s; 对于汉沽站, 其春季的海风风速频率分布较为均匀, 并且四季风速频率的极大值分布情况与大港站一致。

3.1.3 各季海风风向分布

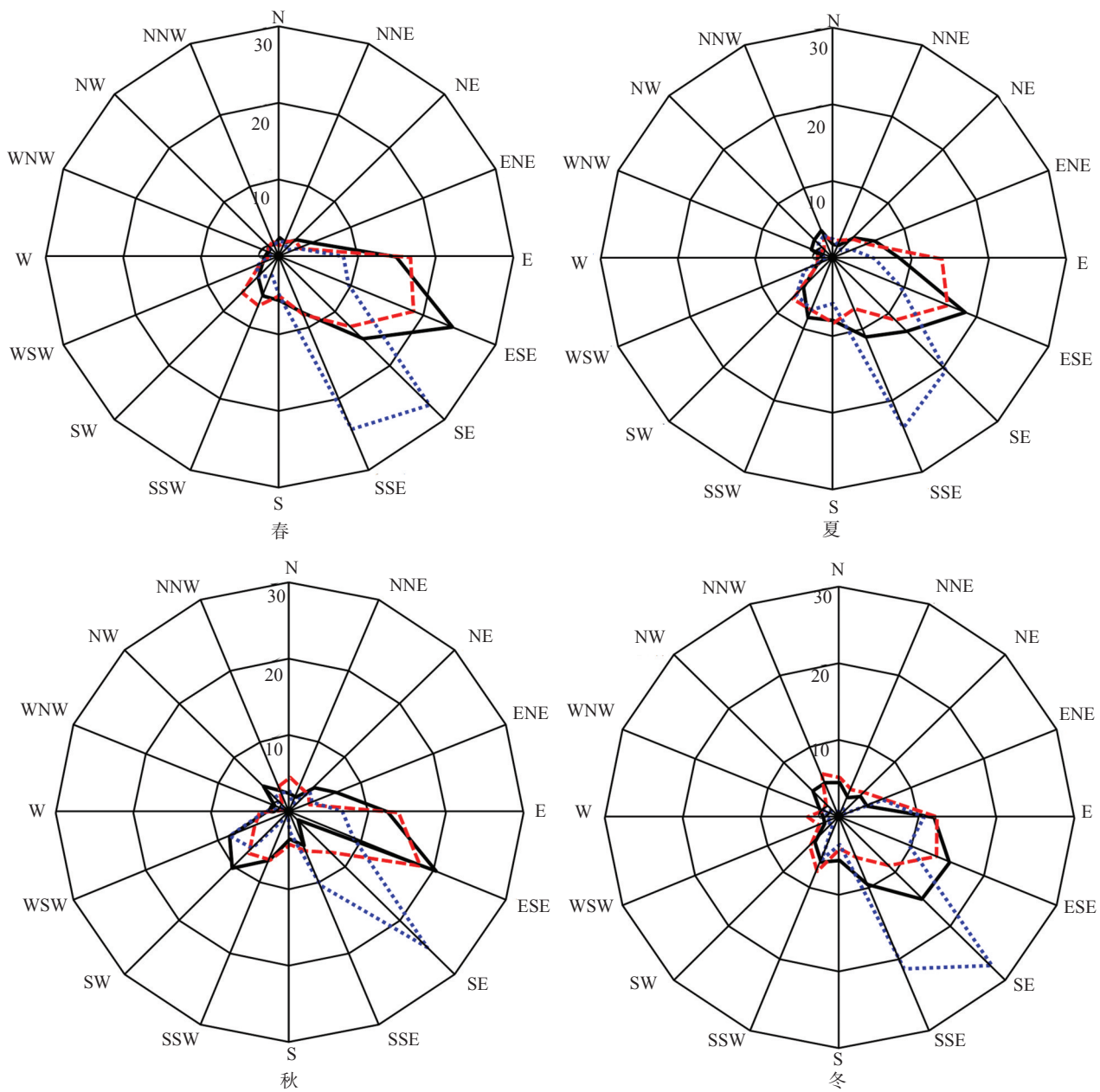
图 4 为 2008 年 3 个标准站四季海风日里风向频率的分布情况, 其中不包括各个季节的静风频次。图中显示: 各站四季海风日里, 垂直于海岸线方向的向岸风频率明显高于离岸风频率, 并且夏季的发生频率最高, 冬季最低。其中塘沽站的风向多以 E-ESE 方向为主, 该站夏季来自 ESE 方向的风向频

率最高, 其值约为 24.1%; 大港站的向岸风方向与塘沽站相同, 该站除秋季外, 其他季节来自 E 和 ESE 两个方向的风向频率近似相等; 对于处在东部地区的汉沽站, 由于该站附近的海岸线呈 ENE-SSW 走向, 因此导致汉沽站四季海风日里的风向与前两站有着明显的不同, 汉沽站的风向多以 SE-SSE 两个方向为主, 特别是在夏季, 东南风的发生频率高达 27.3%, 而春季出现频率最高的风向则是 SSE 方向, 并且与前两个测站相比, 汉沽站的风向分布最不均匀。

3.2 2008 年各月海风的演变特征

3.2.1 海风日的发生频率

根据 2.2 中海风日的定义, 表 2 列出了 2008 年 3 个标准站各月海风的发生日数, 由表可知: 全年大港站的海风发生日数最多, 其发生频率达 31.0%, 塘沽站次之, 汉沽站最低, 这主要是因汉沽站距离海岸线最远, 受内陆气候影响较大, 并且海岸线向内凹陷, 曲折度大, 海域面积较小, 使得该站向岸风的方向角范围明显比其他两站小。从各月海风的发生日数可知, 各站出现海风频率最高的月份均集中在夏季, 而冬季月份则是出现海风日数最少的时候。



实线:塘沽站;虚线:大港站;点线:汉沽站;单位: %
图4 四季海风日里风向频率的分布

期,其中塘沽站在6月份的海风发生频率高达70.0 %。

3.2.2 日最高温和最大海风风速的发生时间

本研究在对2008年全年3个标准站的海风风速进行统计时发现,在午后的14—15时为海风发展

最旺盛时期,此时海风的风速达到最大,我们将海风风速的最大值定义为海风强度,表3为3个标准站各月日最高温和海风强度出现的平均时间分布情况。

由表可得:距离海岸线最近的塘沽站,在3—8

表2 标准站逐月海风日的统计结果(单位:d)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总计
塘沽	4	7	10	9	13	21	13	11	8	5	1	1	103
大港	4	7	13	8	13	17	12	17	12	6	2	2	113
汉沽	1	5	7	11	7	12	13	11	7	1	0	1	76

表3 日最高温和海风强度出现的平均时间(单位/h)

月 份	塘 沽		大 港		汉 沽	
	T_{\max}	τ_{\max}	T_{\max}	τ_{\max}	T_{\max}	τ_{\max}
1	14.0	14.7	15.4	12.8	15.0	16.0
2	16.5	14.9	14.2	12.2	13.6	17.0
3	15.0	17.3	14.3	14.4	12.9	14.4
4	15.2	15.4	15.6	13.8	13.8	14.8
5	14.8	15.2	13.5	14.9	14.0	16.9
6	14.1	16.9	15.3	14.5	14.9	15.4
7	13.2	16.3	13.9	16.0	12.8	16.3
8	14.5	14.7	14.1	15.9	13.5	16.1
9	15.9	15.9	14.6	15.7	13.4	15.6
10	15.0	12.5	14.3	14.4	13.0	15.0
11	14.0	12.0	12.0	10.0	-	-
12	13.0	12.0	14.5	20.3	14.0	11.0

注: T_{\max} :日最高气温出现时刻; τ_{\max} :海风强度出现时刻

月间海风强度出现的时间明显滞后日最高气温出现的时间,秋冬季月份则相反,这可能是因海风的出现引起局地气温降低、湿度升高,随其强度的不断增大,来自海洋上空的冷湿空气有效地抑制了局地最高温度的升高;而在秋冬季,陆上空气干而冷,海洋上气温相对较高,一旦有海风建立,海岸附近的温度反而会升高,这种效应在沿海地区的冬季最为明显,这也是沿海地区具有“冬暖夏凉”气候特征的原因之一。这种现象在距离海岸线稍远一些的大港站表现得不是很明显,但总体趋势基本一致。对于处在东部地区的汉沽站,除12月以外,海风强度出现的时刻在全年中其他月都滞后日最高气温出现的时刻,这是因为汉沽站距离海岸线最远,受大陆空气影响较大,加之海风传播到此也需一定的时间,所以该站日最高气温出现的时刻明显提前。

3.2.3 海风强度和最大陆海温差的月变化

图5为各站海风强度(V_{\max})和最大陆海温差(ΔT_{\max})的月变化,由图可知:在2—9月间塘沽站的

海风强度最大,汉沽站次之,大港站最弱,其中塘沽、汉沽两站5—6月的海风强度相等,塘沽站海风强度的最大值出现在3月,大港和汉沽站则在6月。夏季月份各站海风强度总体呈递减趋势,9月三站的海风强度均存在一个次高值,并且是塘沽站>汉沽站>大港站,这是因为在春转夏和秋转冬的月份里,冷暖空气交替频繁,大气层结稳定度降低,从而增强了海风的扰动,使其强度增大。从图5b中可以看到:塘沽、大港和汉沽三站 ΔT_{\max} 的极大值都出现在5月,迟于塘沽站海风强度最大值出现的时间,但比另外两站提前,6—8月各站 V_{\max} 和 ΔT_{\max} 的变化均呈递减走势, ΔT_{\max} 的谷值出现在冬季月份,而峰值则发生在春季,这表明海陆之间的热力差异不但是海风建立的必备条件之一,也直接影响着海风强度的大小。

3.3 2008年典型海风日的变化特征

由于海风是以日变化为周期的地方性风系,所

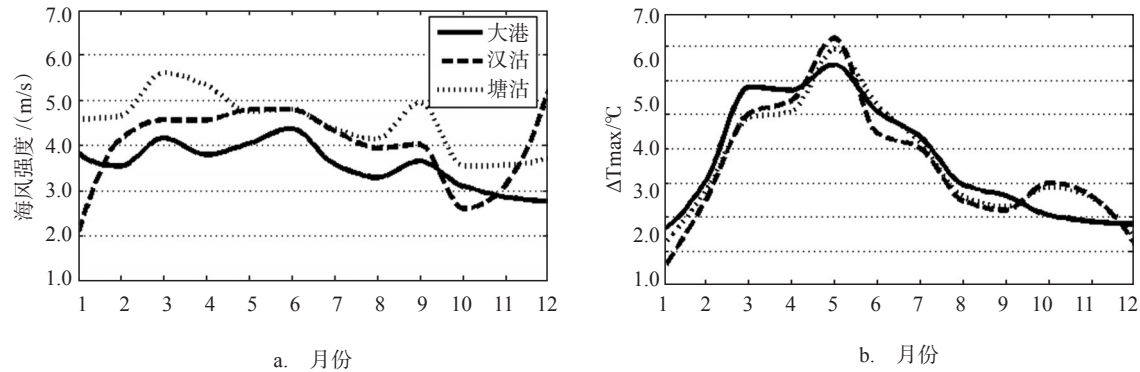


图5 2008年海风日里 (a) 海风强度(m/s);(b) 最大陆海温差(°C)的月变化

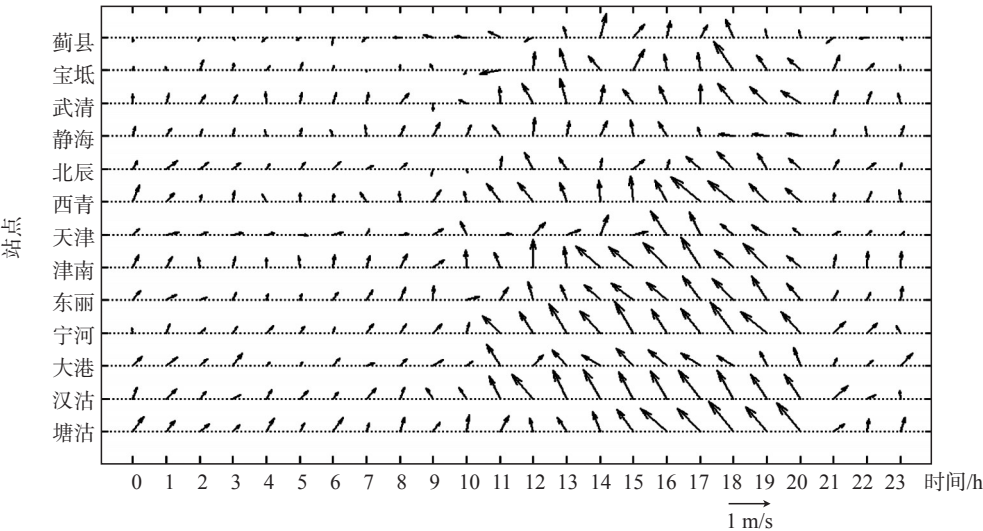


图6 2008年6月20日13个测站风矢量图

以分析海风发生前后各主要气象要素的变化,对预测海风的建立具有十分重要的意义。本文选取2008年6月20日这一典型海风日进行分析。图6为2008年6月20日13个测站的风矢量图,从图中可以看到各站在00—09时都以西或西南风为主,并且风速较小,到09时汉沽站的风向首先发生突变,由西南风转为南-东南向的向岸气流,之后风速逐渐增大,风向基本稳定在海风方向;宁河和大港站几乎与汉沽站同时出现海风,风向角度突变明显,风速显著增强,塘沽站自10时起风向开始发生逆时针旋转,12时开始出现南-东南方向的海风,随其发展,风速不断增强,风向基本稳定在向岸风方向;津南

和东丽站的海风开始时间是在下午的14时,而位于更远的天津和西青站海风的建立时间则更晚,海风传播到宝坻站已经是18时,并且持续时间很短。

图7为2008年6月20日温湿度的日变化图,其中近海站选取塘沽站为代表。图中显示:各站温湿度的日变化呈很好的反位相波动,均表现出“一峰一谷”的变化形势。对于靠近海岸的塘沽站,其温湿度的日变化振幅明显小于其他内陆站,这是因为该站受海洋空气影响较大,来自海洋上空湿而冷的气流有效地抑制了近海站日最高温度的上升,而到了夜晚海洋辐射降温弱,导致沿海附近的气温不会降的过低。日出以后,随着太阳辐射的增强,各站

表4 内陆站逐月海风日的统计结果(单位/d)

	宁河	津南	东丽	天津	西青	北辰	静海	武清	宝坻
距海岸线 距离/km	>15	>20	>25	>40	>50	>55	>55	>60	>70
风向角度	135—170	67.5—150	80—156	90—145	90—140	100—148	84—125	112.5—150	133—164
1月	0	3	2	1	1	1	2	1	0
2月	1	7	4	1	1	1	2	1	1
3月	3	7	3	4	3	2	3	1	1
4月	5	8	7	4	4	3	4	2	0
5月	2	13	10	3	3	3	2	3	1
6月	5	19	17	10	7	7	8	5	4
7月	8	13	9	3	3	2	4	0	0
8月	7	11	3	0	0	0	3	0	0
9月	3	8	4	4	3	2	5	2	0
10月	1	5	2	2	2	1	2	0	0
11月	0	1	0	0	0	0	0	0	0
12月	1	1	0	0	0	0	0	0	0
总计	36	96	61	32	27	22	35	15	7

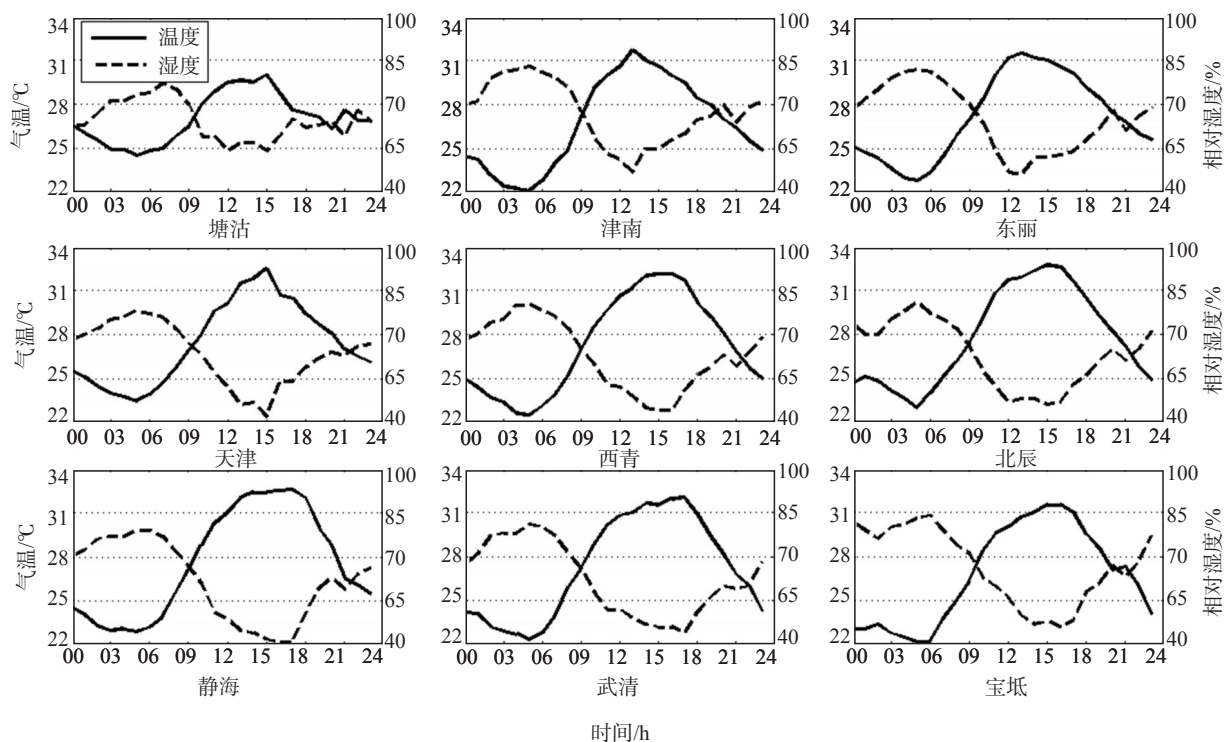


图7 2008年6月20日9个测站气温(°C)和相对湿度(%)的日变化图

气温开始稳步上升,湿度逐渐下降,大约在午后15时塘沽站的气温骤降,相对湿度突增,这比局地海风开始的时间滞后3 h;津南和东丽站的温湿度变化几乎与海风的建立时间相同;天津站温湿度的变化发生在15时,温度减小1.8℃,相对湿度增加12.0%,是所有站中温湿度变化最显著的;再向内陆的西青和北辰站,温湿度的变化发生在16时,静海、武清和宝坻站则出现在17时,均与各站海风的开始时间一致。

4 2008年渤海湾西岸海风的空间演变特征

4.1 海风向内陆的传播距离

为了分析海风发生后向内陆的传播情况,本文根据9个内陆站和1个远海站所处的具体地理位置,统计得出各站向岸风的角度范围。表4为9个内陆站2008年各月的海风出现日数,其中远海的蓟县站全年未观测到海风的出现。

由表4可知:除宁河和静海站外,其他各站随距海岸线距离的增加,海风的发生总日数逐渐减少,其中距离海岸线30 km以内的测站,海风的发生频率超过50.0%,而海风向内陆延伸距离超过

70 km的概率仅为7.0%;对于处在城区的天津站,其全年仅有32天为海风日,海风的发生频率在距海岸线55 km以远的静海站有所增加,这可能是因为该站向岸气流的方位角比较宽阔,当近海岸的塘沽或大港站有海风发生时,都可能传播到此处。从各月海风的发生频率来看,5—6月各站海风的发生总日数显著增加,并且6月是海风发生频率最高的时期,其中津南和东丽两站,6月海风发生总日数分别为近海塘沽站该月海风发生总日数的90.5%和80.0%,表明海岸带附近出现的海风大部分都可向内陆传播至25 km左右处;7—8月,各站海风的发生日数明显减少,特别是在天津站及其周边的西青、北辰和武清站,这可能与城市热岛环流的形成有关。黄利萍等^[18]曾在分析天津地区夏季城市热岛的时空变化特征时,统计得出天津地区白天的热岛强度8月份最大,而由城市热岛效应所产生的较强“城市风”阻碍了海风的西伸,结果导致城市站及其周围测站海风发生频率大大降低。

4.2 内陆站海风的盛行时间

海风向内陆的传播需要一定的时间,并且因内陆下垫面性质的改变使得海风强度有所减弱,所以

不同测站海风的盛行时间也存在很大差异。

图8是对2008年全年各站海风日里海风出现时刻的统计结果。从图中可以明显地看出:各内陆站的海风发生时间在午后时刻出现频率较高,对于距离海岸线最近的津南和东丽站,其海风的盛行时间出现在12—20时,再向内陆的天津、北辰和西青三站,海风发生频率最多的时刻都在17时,各内陆测站中宝坻站的海风盛行时间最短;另外,在23—08时各站的海风发生频率都很低,特别是在凌晨,其出现的时间概率接近0,但是对于一些相对距离海岸较近的内陆站,凌晨或是午夜仍有海风发生,这可能是由于夏季夜晚,近海站出现的短时海风向内陆延伸到此所致。

4.3 海风强度的空间变化特征

当海风深入内陆时,由于下垫面性质的改变,其强度会发生变化。一般来说随着传播距离的增

加风速应减弱,但是在有的测站风速反而会有所增强,例如,当内陆存在较大水体时,产生的湖风与海风的叠加就会使向内陆传播的海风风速增大;也有研究指出,随着沿海城市的发展,所产生的城市热岛效应在白天增大了海陆之间的热力差异,进而增大海风的强度^[19]。

图9为2008年全年各站公共海风日里海风强度的分布情况,分析结果表明:海风强度的总体空间分布形势表现为近海站大于远海站,近郊站强于城市站的特点。海风强度最大值出现在距离海岸线最近的塘沽站,约为5.9 m/s,位于西南部的大港站海风强度较弱,随着海风向内陆的深入,在宁河和津南两站海风的最大风速又有所增强,从津南站起,经由东丽、天津,直到北辰站,海风强度逐站递减,但在天津站西部的西青站和北部的武清站,海风强度又出现了明显的增强,特别是在西青站,最

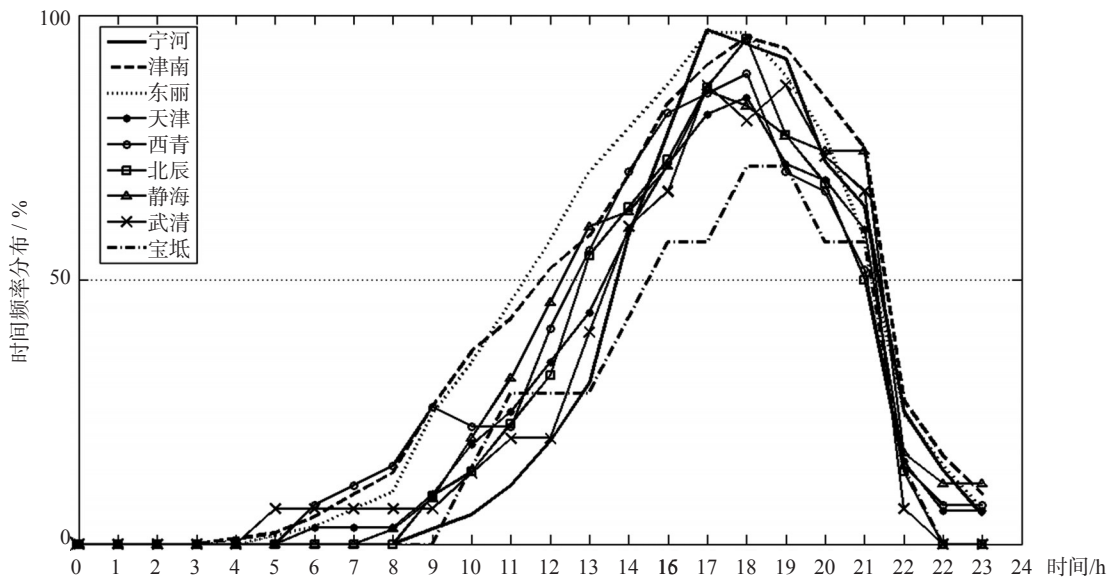


图8 内陆站海风盛行时间的频率分布

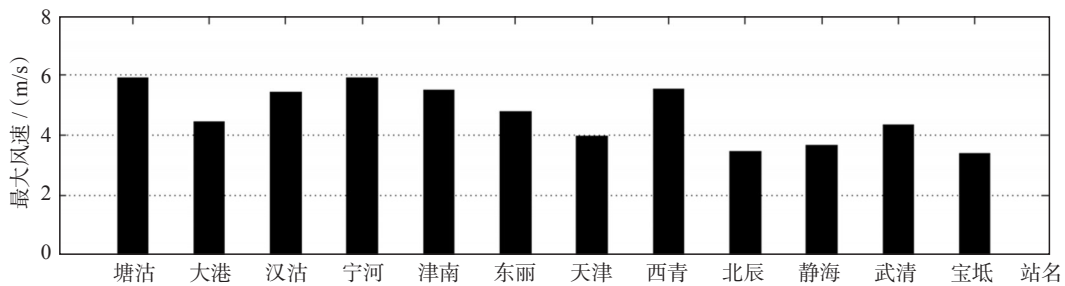


图9 天津地区海风强度/(m/s)的空间分布

大海风风速达 5.5 m/s,这可能与海陆之间的温度差有关。天津地区春夏季白天,气温总体呈现自东部沿海站向西部内陆站递增,秋冬季则呈自东北远郊站向西南近郊站递增的趋势,2008年四季的高温中心均位于西青站附近(图略),使得该处与海洋之间的温度梯度增大,同时由于城市热岛效应所产生的“城市风”在近地面从城市四周向市中心辐合,在城市上空又出现从市中心向四周辐散,低层的辐合气流与来自海洋方向的海风叠加,结果导致城市周围测站的海风强度增强。

5 结论

(1)2008年渤海湾西岸(天津)海风发生频率存在明显的季节差异,各测站春夏季海风的发生频率较高,冬季最少;

(2)各季海风的开始、结束和持续时间不同,夏季海风开始时间最早,持续时间最长,近海三站海风的盛行时间平均集中在12—20时,并且春夏季海风强度出现的时间明显滞后日最高气温出现的时间,而秋冬季则相反;

(3)近海站海风风速的频率分布存在明显的季节差异,全年大港站的海风强度最弱,塘沽站最强,春季各站海风强度最强,秋冬季海风强度较弱;

(5)近海站各季海风日里风向频率的分布差异较小,塘沽和大港站的风向分布以东和东-东南方向为主,汉沽站海风日的风向频率则集中在东南和南-东南两个方向;

(6)内陆站海风发生频率随着测站到海岸线距离的增加而逐渐减小,并且春夏季发生频率较高,秋冬季较低;内陆站海风强度的空间分布呈现出近海站高于远海站,近郊站强于城市站的特点。

另外,本文仅使用了2008年一年的逐时资料对渤海西岸的海风时空演变特征进行研究,存在一定的局限性,但对未来进一步分析渤海西岸海陆风气候特征具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] Simpson J E. Sea breeze and local wind[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, 157-178.
- [2] 朱乾根,周军,王志明,等. 华南沿海五月份海陆风温压场特征与降水[J]. 南京气象学院学报, 1983, 2: 150-158.
- [3] 肖稳安,姚毅. 局地热力对流天气的卫星观测和分析[J]. 南京气

象学院学报, 1986,3: 299-303.

- [4] 薛德强,郑全岭,钱喜镇,等. 山东半岛的海陆风环流及其影响[J]. 南京气象学院学报, 1995, 2: 293-299.
- [5] 何群英,解以扬,东高红,等. 海陆风环流在天津2009年9月26日局地暴雨过程中的作用[J]. 气象, 2011, 37(3): 291-297.
- [6] Borne K, Chen D, Nunez M. A method for finding sea breeze days under stable synoptic conditions and its application to the Swedish west coast[J]. International Journal of Climatology, 1998, 18(8): 901-914.
- [7] Miao J F, Wyser K, Chen D, et al. Impacts of boundary layer turbulence and land surface process parameterizations on simulated sea breeze characteristics[J]. Annales Geophysicae, 2009, 27: 2303-2320.
- [8] Papanastasiou D K, Melas D. Climatology and impact on air quality of sea breeze in an urban coastal environment[J]. International Journal of Climatology, 2009, 29(2): 305-315.
- [9] 于恩洪. 海陆风及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 1997: 1-146.
- [10] 王玉国,吴增茂,常志清. 辽东湾西岸海陆风特征分析[J]. 海洋预报, 2004, 21(3): 57-63.
- [11] 卢焕珍,赵玉洁,俞小鼎,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[J]. 气象, 2008, 34(9): 57-64.
- [12] 孙贞,高荣珍,张进,等. 青岛地区8月一次海风环流实例分析和WRF模拟[J]. 气象, 2009, 35(8): 76-84.
- [13] Azorin- Molina C, Tijm S, Chen D. Development of selection algorithms and databases for sea breeze studies[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2011, 106(3-4): 531-546.
- [14] 高佳琦,苗峻峰,许启慧. 海陆风识别方法研究进展[J]. 气象科技, 2013,41(1): 94-99.
- [15] 周伯生,汪永新,俞健国,等. 广东阳江沿海地区海陆风观测结果及其特征分析[J]. 热带气象学报, 2002, 18(2): 188-192.
- [16] 吴增茂. 渤海南岸海陆风个例分析及判别[J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(1): 87-88.
- [17] 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, 3: 1-9.
- [18] 黄利萍,苗峻峰,刘月琨. 天津城市热岛效应的时空变化特征[J]. 大气科学学报, 2012,35(5): 620-632.
- [19] 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.

Temporal and spatial characteristics of sea breeze over the west coast of Bohai Bay

XU Qi-hui¹, MIAO Jun-feng¹, LIU Yue-kun², HUANG Li-ping³, GAO Jia-qi¹

(1. College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044 China; 2. Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074 China; 3. Bozhou Meteorological Bureau, Bozhou 236806 China)

Abstract: Based on the hourly observational data from 14 automatic weather stations and the data from the 6-hourly general surface meteorological stations in Tianjin, the temporal and spatial characteristics of sea breeze over the Bohai west coast (Tianjin) in 2008 are analyzed. The result shows that sea breeze is prevalent from 14:00 to 17:00 in spring and summer, and the highest frequency of sea breeze is in summer. In Dagang station, the annual frequency of sea breeze is about 31.0 %. The speed of sea breeze in standard stations is about 2 ~ 4 m/s, and the mainly wind direction is easterly and south-southeasterly. Over 50.0 percent of the sea breeze formed along the coast can spread into the inland about 30 km far away. The strength of sea breeze in coastal stations is greater than that in inland stations, and it's stronger in suburban stations than that in urban ones.

Key words: Tianjin; sea breeze; temporal and spatial characteristics