

滕华超,陈艳春,杨蕾,等. 大气环流客观分型在渤海海峡大风气候特征分析中的应用[J].海洋气象学报,2018,38(3): 119-127.

Teng Huachao, Chen Yanchun, Yang Lei, et al. Application of objective type classification of atmospheric circulation in analyzing climatic characteristics of gale processes over Bohai Strait [J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(3): 119-127. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.03.014. (in Chinese)

大气环流客观分型在渤海海峡大风气候特征分析中的应用

滕华超¹,陈艳春¹,杨蕾²,刘焕彬¹,伯忠凯¹

(1. 山东省气候中心,山东 济南 250031;2. 青岛市专业气象台,山东 青岛 266003)

摘要:应用 Lamb-Jenkinson 大气环流分型法对渤海海峡 1979—2013 年逐日海平面气压场进行大气环流客观分型,分析了渤海海峡大风天气与大气环流型的关系;以长岛气象站在渤海海峡大风天气中的指示作用为基础,分析了主要环流型下大风天气的气候特征。结果表明:渤海海峡大风天气以平直环流型为主,偏北型明显多于偏南型;春(夏)季是发生大风天气最多(少)的季节,以西南(SW)型出现频率最高,秋、冬季大风天气的环流型频率分布基本相同,均以偏北型为主;不同环流型下出现大风天气的概率及大风天气的气候特征也有明显不同。

关键词: Lamb-Jenkinson 环流分型;渤海海峡;大风

中图分类号: P732.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2018)03-0119-09

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.03.014

Application of objective type classification of atmospheric circulation in analyzing climatic characteristics of gale processes over Bohai Strait

TENG Huachao¹, CHEN Yanchun¹, YANG Lei², LIU Huanbin¹, BO Zhongkai¹

(1. Shandong Climate Center, Jinan 250031, China; 2. Qingdao Professional Meteorological Observatory, Qingdao 266003, China)

Abstract The Lamb-Jenkinson circulation type classification is adopted to conduct an objective circulation type classification of the daily sea level pressure field over Bohai Strait from 1979 to 2013 and the relationship between the gale processes and circulation types is analyzed. Also, the climatic features of gale processes under major circulation types are analyzed based on the indicative function performed by Changdao Meteorological Station for the gale processes over Bohai Strait. The results show that the gale processes over Bohai Strait are dominated by straight circulation type with more northern type than the southern type. Spring/summer identifies the most/least gale events, dominated by SW type, while the frequency distribution of circulation types in autumn and winter is basically consistent, dominated by the northern type. The probability and the climatic characteristics of gale processes are obviously different under different circulation types.

Key words Lamb-Jenkinson circulation type classification; Bohai Strait; gale

收稿日期:2018-05-02; 修订日期:2018-06-29

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306034);环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM201611);山东省气象局青年科研基金项目(2014SDQN05)

作者简介:滕华超,男,硕士,工程师,主要从事气候变化服务与研究工作,the_sdqx@163.com。

通信作者:陈艳春,女,硕士,高级工程师,主要从事气候变化服务与研究工作,ycchen@126.com。

引言

渤海地区是我国海洋经济最发达的地区,沿岸良港众多、航运繁忙、渔业发达,2016年,环渤海地区海洋生产总值为24 323亿元,占全国海洋生产总值的比重为34.5%,为三个海洋经济圈之首^[1]。渤海区域属东亚季风气候区,冬、夏季风差异显著,是大风及其衍生灾害(风暴潮、风浪等)的频发区域。2010—2016年,大风天气引发的风暴潮灾害给山东省造成的直接经济损失达42.59亿元,受损船只1 067艘,水产养殖受灾面积24.25万 hm^2 ^[2]。渤海海峡是我国北方海域最繁忙的海上航道,烟台—大连航线更是连接我国东北和华东的海上交通枢纽,同时也是我国海上交通事故多发的区域之一。1999年11月24日,受冷空气影响,渤海地区出现大风天气,海上浪高超5 m,烟大航线“大舜号”客货混装船在海面失火后,被巨浪推翻沉没,造成282人死亡,直接经济损失约9 000万元人民币。有关研究表明,1975—2005年渤海海峡年大风(6级以上)日数平均为73.3 d^[3],对海上交通安全、海港工程建设、海产养殖等构成极大威胁。

国内很多学者从天气学角度研究了渤海海上大风的生消机制,建立相关概念模型,如高瑞华^[4]根据实际工作经验和普查历史天气图等资料,将渤海区域产生大风的天气形势归纳为冷锋后部的偏北大风、北(西)高南(东)低形势下的偏北大风、气旋大风、南(东)高北(西)低形势下的偏南大风、华北地形槽形势下的偏南大风、台风大风和强对流系统产生的短时大风。不同环流形势产生的大风天气强度也不同,如西北路冷空气风力最大,持续时间最长,风向多为北到东北,而西路冷空气风力最小,风向多为西北。因此,在分析大风天气气候特征时有必要对天气形势进行分类处理,但是如果仅依靠人工普查天气图等相关资料进行分型处理,工作量巨大,可操作性差,而大气环流客观分型技术则可以有效解决这一问题。

Jenkinson and Collison^[5]通过定义指数及量化分型标准将Lamb主观分型法客观化,发展成Lamb-Jenkinson分型法(以下简称L-J法),该方法仅需海平面气压场资料,计算量小,且具有明确的天气学含义。朱艳峰等^[6]将该方法引入国内,分析了中国16个区域不同季节各种环流类型出现的频率及变化特征,其他学者陆续将其成功应用在气候预测^[7-9]及气候特征分析^[10-14]等研究中。本文将该方

法应用于海上大风天气气候特征分析,旨在通过对渤海海峡大风天气进行大气环流客观分型,了解不同大气环流型下大风天气的气候特点和统计特征,为预报业务提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料

再分析资料同化了大量地面观测数据和卫星遥感资料,具有时空分辨率高、时间跨度长等优点,在很多研究中被作为真实观测数据,Kistler et al.^[15]根据可信度将再分析资料的变量分为4类,其中气压场、温度场和风场等主要受站点观测资料影响,属可信度最高的A类变量。ERA-Interim再分析资料(以下简称“ERA-I资料”)采用四维变分同化技术,结合改进的卫星数据误差校正等技术,相对于前两代(ERA-15, ERA-40)实现了质量的提升,许多学者对该资料的适用性进行了分析^[16-22],普遍认为该资料是目前可信度最高的再分析资料之一。由于海上观测资料匮乏,本文利用ERA-I逐日海平面气压场对大气环流进行客观分型,利用10 m风速场分析渤海海峡平均风速的气候特征,时间跨度为1979年1月1日—2013年12月31日,空间分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$,时间分辨率为4次/d,将4个时次的算术平均作为日平均值。为分析渤海海峡大风天气平均风速的气候特征,在 $34 \sim 40^\circ \text{N}$ 、 $114 \sim 125^\circ \text{E}$ 区域内每隔 0.5° 取一个格点,共计299个格点,用渤海海峡区域内格点(A-G)的再分析资料平均值来代表该海区的风速值(图1a)。

大风天气过程资料取自山东省海洋气象预报业务平台海上大风天气个例库(2001—2008年),筛选出渤海海峡出现6级以上大风天气共904个样本,定义为“实况样本”;长岛站逐日风速观测资料由山东省气象信息中心提供,1979—2013年长岛气象站日最大风速观测值 $\geq 10.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的样本数为3 616,定义为“分析样本”。

1.2 方法

选取以渤海海峡区域为中心的 $115 \sim 127^\circ \text{E}$ 、 $34 \sim 42^\circ \text{N}$ 为研究区域,在所选区域内每隔4个经度和2个纬度的网格点上取16个点(图1b),覆盖整个渤海海峡区域,对该范围日平均海平面气压场进行L-J环流分型计算^[6]。

利用所选格点的海平面气压值,通过中央差分计算,算出中心点C(38°N , 121°E)的地转风(u , v)和地转涡度(ξ_u , ξ_v):

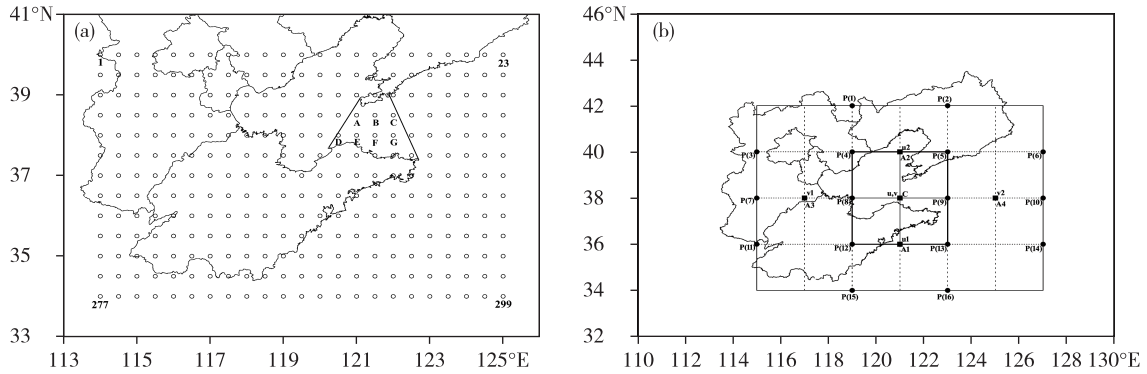


图1 计算格点分布(a)及环流分型区域(b)
Fig.1 Distribution of the grid points in calculation (a) and the domain of circulation type classification (b)

$$u = \frac{1}{2} [P(12) + P(13) - P(4) - P(5)] \quad (1)$$

$$v = \frac{1}{\cos \alpha} \times \frac{1}{8} [P(5) + 2P(9) + P(13) - P(4) - 2P(8) - P(12)] \quad (2)$$

$$V = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (3)$$

$$\xi_u = -\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_1} \times \frac{1}{2} [P(15) + P(16) - P(8) - P(9)] - \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_2} \times \frac{1}{2} [P(8) + P(9) - P(1) - P(2)] \quad (4)$$

$$\xi_v = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{2\cos^2 \alpha} \times \frac{1}{8} \left[\begin{aligned} &P(6) + 2P(10) + P(14) - P(5) - 2P(9) - P(13) \\ &+ P(3) + 2P(7) + P(11) - P(4) - 2P(8) - P(12) \end{aligned} \right] \quad (5)$$

$$\xi = \xi_u + \xi_v \quad (6)$$

公式中 $P(n)$ ($n = 1, 2, 3, \dots, 16$) 是格点 n 上的海平面气压值。 $\alpha, \alpha_1, \alpha_2$ 分别为 $C, A1, A2$ 的纬度值。 V 是地转风, u, v 分别为其纬向分量和经向分量, ξ 是地转涡度, ξ_u 是 u 的经向梯度, ξ_v 是 v 的纬向梯度。

根据地转风速、风向及涡度值将环流型划分为

平直气流型、旋转型和混合型,共 27 种不同的环流类型(表 1)。若环流型为 C 型,说明受气旋控制;N 型表示受偏北气流控制;CN 型表示受气旋控制的偏北气流控制,依此类推。

表 1 Lamb-Jenkinson 环流分型表

Table 1 Lamb-Jenkinson circulation type classification

$ \xi \leq V$ (平直气流型)	$ \xi \geq 2V$ (旋转型)	$V < \xi < 2V$ (混合型)	$V < 6$ 且 $ \xi < 6$
N:北, NE:东北, E:东, SE:东南, S:南, SW:西南, W:西, NW:西北	A:反气旋, C:气旋	CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW, ANW	UD:无定义型

2 渤海海峡大风天气与环流型的关系

大风是渤海区域最常见的灾害性天气之一,冬季受冷空气影响盛行偏北大风,春季盛行西南大风,秋季冷暖空气交换加剧,偏北大风与偏南大风交替出现,夏季主要受台风及温带气旋影响出现偏东、偏北大风天气。对 2001—2008 年海上大风天气个例库中渤海海峡出现 6 级以上大风天气的 904 个样本与逐日环流分型结果进行统计分析,可以看

到:除 UD 型外,其他环流型下均有大风天气出现,以平直气流型为主,占 69.4%,混合型和旋转型相对较少,分别占 20.0%和 10.6%(图 2)。大风天气中 SW 型、NE 型、NW 型和 W 型是出现频率较高的主要环流型,均超过 10%,四者之和达 55.4%;偏北环流型占 46.5%,偏南环流型占 27.0%,说明渤海海峡受偏北大风影响较多,这是因为处于季风区,大风风向有明显季节性转换特征,冬半年大风风向较为集中,80%以上为偏北大风,夏半年大风风向以

偏南为主,但对流性天气引起的其他风向也较多^[23]。

2001—2008年大风天气个例库的904个大风天气样本中,发生在春季的样本数最多(360个),其中SW型的出现频率最高(22.5%),NW型和W型出现频率相当,分别为12.2%和11.9%(图3a),春季是大气环流型由冬到夏的转换季节,蒙古气旋、东北气旋、黄河气旋和黄海气旋频发,由于大陆比海面回暖快,大陆变性冷高压入海后往往会加强,当与蒙古气旋(东北气旋)相遇时,形成南(东)高北(西)低的偏南大风形势,如蒙古气旋东移发展时,会造成西南大风;春季冷锋活动依然活跃,影响渤海海峡的各类冷锋大风中,西北路冷锋最多,北路冷锋次之,西路冷锋最少,在其影响下会出现西北到东北等偏北大风。夏季是渤海海峡出现大风天气最少的季节,产生大风的天气系统主要有黄河气旋、黄海气旋和台风,127个大风样本中SW型占三

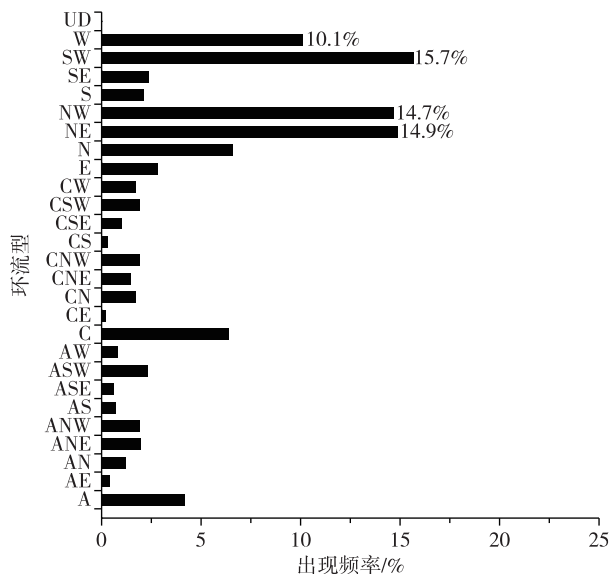


图2 2001—2008年渤海海峡大风天气大气环流类型频率分布

Fig.2 Frequency distribution of circulation types for gale processes over Bohai Strait from 2001 to 2008

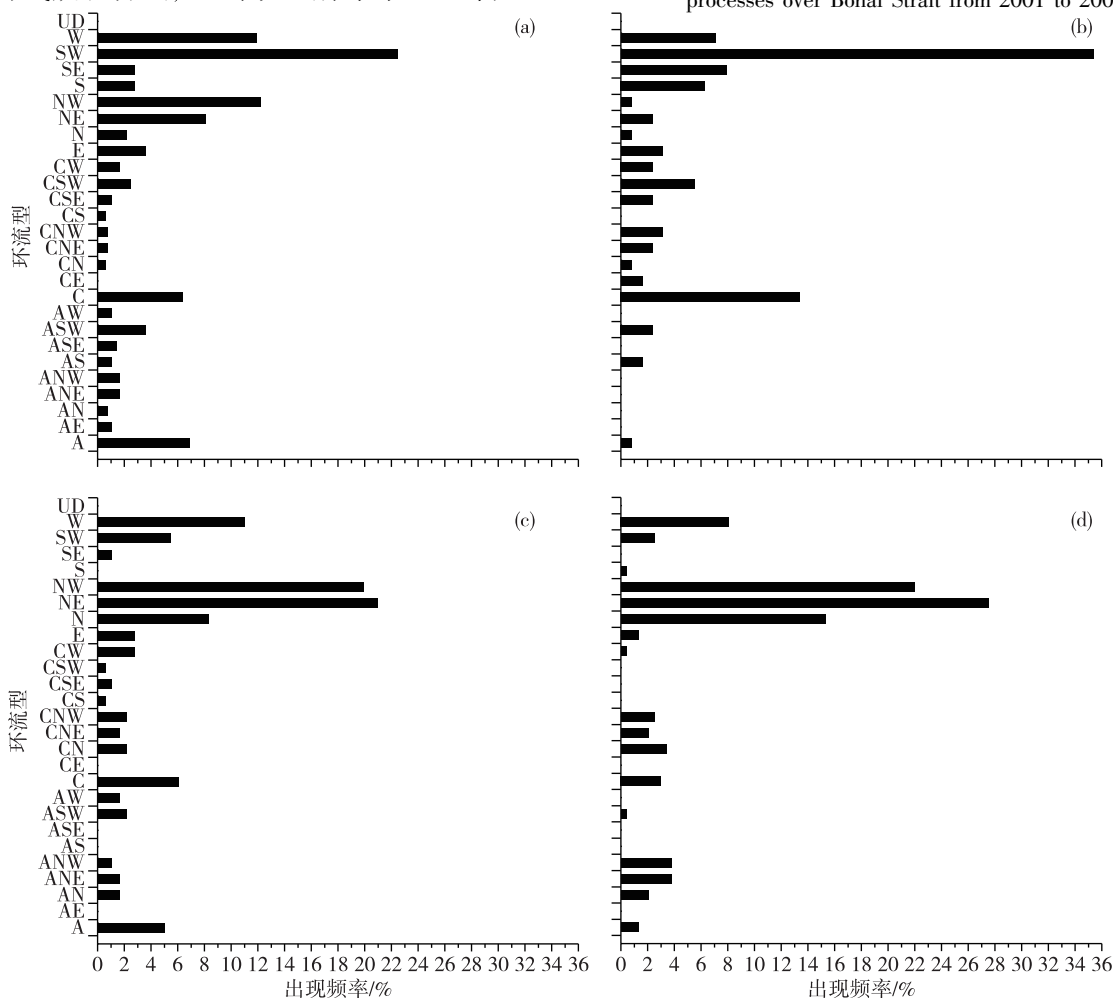


图3 2001—2008年春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)渤海海峡大风天气环流类型频率季节分布

Fig.3 Seasonal frequency distribution of circulation types for gale processes over Bohai Strait from 2001 to 2008 (a. spring, b. summer, c. autumn, d. winter)

分之一以上(35.4%),其次为C型(13.4%)(图3b),黄河气旋移动过程中会给渤海区域带来西南大风,影响渤海区域的台风多为登陆北上型,此时渤海海峡也多为偏南大风。秋、冬季渤海海峡位于蒙古冷高压的东南部,盛行偏北风,大风天气环流型的频率分布基本一致,样本数分别为181个和236个,以NE型、NW型和N型等偏北环流型为主(图3c-d)。

上文给出了渤海海峡出现大风天气时不同环流型的频率分布特征,那么不同环流型影响下出现大风天气的概率如何?由2001—2008年2922个逐日环流分型结果中不同环流型出现的频数及该环流型下渤海海峡出现大风天气的概率(表2)可以看出,影响渤海海峡的主导环流型为SW型、NE型、W型和NW型。408个SW型样本中有34.8%的样本出现大风天气,主要发生在春、夏季,春季发生大风天气的概率高达57.9%;NE型367个样本中有36.8%的样本出现大风天气,春、夏季样本数相当,但发生大风天气的概率却截然不同,春季的46个样本中有29个为大风天气,约占63.0%,而夏季的54个样本中仅有3个出现大风天气,约占5.6%,春季的NE型更易出现大风天气,而夏季可能性非常小。值得注意的是,有些环流型虽然出现次数较少,但发生大风天气的概率非常大,如CN型、CNE型环流在春季仅出现2次和4次,但渤海海峡出现大风天气的概率分别为100%和75%,CS型在2001—2008年之间仅出现4次,其中3次为大风天气;有些环流型出现次数较多,但发生大风天气的概率相对较低,如A型环流型共出现359次,出现大风天气的概率仅为10.6%,在冬、夏季不足5%;气旋控制类环流型(Cxx型)出现大风天气的概率明显高于反气旋控制类(Axx型)。

3 长岛气象站在渤海海峡大风天气监测中的指示作用

由于海上大风天气个例库样本较少且海上观测资料匮乏,因此尝试利用再分析资料进行渤海海峡大风天气气候特征分析,而在此之前要解决两个问题:一是如何获取足够多的大风天气样本,二是用来代替海上风速观测值的再分析资料是否有足够的可信度。山东省海洋气象预报业务平台海上大风天气个例库建库时以长岛站观测数据为主,周边若干自动站数据为辅,进行大风天气过程识别,数据时间跨度仅为2001—2008年,此后个例库数据

再无更新,大风天气样本数不足以进行气候特征分析。从地理位置、观测环境及数据质量和数据的时间长度等方面综合考虑,长岛气象站在渤海海峡大风天气监测中具有较好的代表性。长岛气象站2001—2008年日最大风速 $\geq 10.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的样本645个,其中598个样本包含在个例库中,约占92.7%,若将个例库中的样本作为“实况值”,长岛气象站日最大风速 $\geq 10.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的样本作为“预报值”,参考《中短期天气预报质量检验方法》中灾害性天气落区预报检验方法,则TS评分为66.2%,漏报率为30.2%,空报率为7.3%,漏报样本中环流型出现频率分布与实况样本基本一致,漏报率最高的前四位环流型依次为SW型、NE型、NW型和W型,因此本文认为将长岛气象站日最大风速观测值 $\geq 10.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 作为渤海海峡出现大风天气的判据进行气候特征初步分析是可行的,据此挑出1979—2013年共3616个大风天气样本(分析样本)。滕华超等^[20]此前对ERA-I风速再分析资料在山东省的适用性进行了评估,结果表明:该资料在山东省具有较高可信度,半岛地区可信度最高,月尺度相关系数在0.7左右,均方根误差多在 $1.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下。图4a为1979—2013年3616个大风天气样本时段内长岛站日平均风速ERA-I再分析资料与观测资料对比,可以看到:两者均符合正态分布,期望分别为 $7.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $7.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,标准差分别为 $2.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;图4b为二者差值的谱分布,符合正态分布,标准差为 $1.72 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,误差值在 $\pm\sigma$ 之间的样本数约占65.3%,误差值在 $\pm 2\sigma$ 之间的样本数约占94.4%。因此,本文认为ERA-I风速再分析资料能够在一定程度上反映出渤海海峡大风天气平均风速的气候特征。

4 主要环流型大风天气气候特征

以冬半年大风天气最多的NE型和夏半年大风天气最多的SW型为例,对渤海海峡大风天气出现频数及平均风速的气候特征进行分析。由1979—2013年大风天气频数距平及平均风速逐年变化可以看到,NE型大风日数整体呈先增多后减少的变化趋势,20世纪90年代中期开始由正距平向负距平转变(图5a),用Mann-Kendall法对其进行突变检验,1985—1995年UF值大于0,序列呈增多趋势,1995年之后UF值小于0,序列呈减少趋势,2002年UF值超出临界值线(-1.96),说明NE型大风日数开始呈显著减少趋势,且超过0.05显著性水平,

UF、UB 相交于 2000 年,且交点在临界线(± 1.96)之间,此时开始产生突变(图 5b);1979—2013 年渤海海峡 NE 型年平均大风日数为 19.9 d,日平均风速为 $9.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而同时段其他各型大风的平均值为 $6.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,在大风日数增多和减少的两个时段内,风速均保持增大趋势。SW 型年平均大风日数为 12.1 d,整体呈减少趋势,但 1997—2006 年有显著增多的变化趋势,1979—1991 年均为正距平,此时

段内平均风速变化幅度较小,均值为 $6.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,呈略减小趋势,随后由正距平转为负距平(图 5c),1992 年之后 UF 值超出临界值线,减少趋势显著,超过 0.05 显著性水平,UF、UB 相交于 1991 年,且交点在临界线(± 1.96)之间,说明此时开始产生突变,此时段内平均风速均值为 $7.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,但其变化幅度明显增大,呈显著减小趋势(图 5d)。

表 2 2001—2008 年渤海海峡不同环流型出现频数及其发生大风天气的概率

Table 2 Frequency of different circulation types and the probability of occurring gale events over Bohai Strait from 2001 to 2008

环流型	全年		冬季		春季		夏季		秋季	
	频数/次	概率/%	频数/次	概率/%	频数/次	概率/%	频数/次	概率/%	频数/次	概率/%
A	359	10.6	64	4.7	92	27.2	85	1.2	118	7.6
AE	31	12.9	9	0.0	7	57.1	7	0.0	8	0.0
AN	32	34.4	9	55.6	9	33.3	1	0.0	13	23.1
ANE	69	26.1	25	36.0	17	35.3	7	0.0	20	15.0
ANW	38	44.7	15	60.0	9	66.7	5	0.0	9	22.2
AS	28	21.4	2	0.0	11	36.4	13	15.4	2	0.0
ASE	36	13.9	4	0.0	15	33.3	14	0.0	3	0.0
ASW	129	16.3	11	9.1	39	33.3	50	6.0	29	13.8
AW	50	14.0	9	0.0	18	22.2	4	0.0	19	15.8
C	170	34.1	29	24.1	34	67.6	54	31.5	53	20.8
CE	21	9.5	2	0.0	0	0.0	11	18.2	8	0.0
CN	27	55.6	16	50.0	2	100.0	2	50.0	7	57.1
CNE	44	31.8	14	35.7	4	75.0	14	21.4	12	25.0
CNW	39	43.6	15	40.0	6	50.0	8	50.0	10	40.0
CS	4	75.0	0	0.0	2	100.0	1	0.0	1	100.0
CSE	32	28.1	2	0.0	7	57.1	16	18.8	7	28.6
CSW	50	34.0	5	0.0	17	52.9	22	31.8	6	16.7
CW	35	42.9	5	20.0	10	60.0	10	30.0	10	50.0
E	191	13.1	57	5.3	37	35.1	45	8.9	52	9.6
N	111	54.1	63	57.1	17	47.1	6	16.7	25	60.0
NE	367	36.8	144	45.1	46	63.0	54	5.6	123	30.9
NW	231	57.6	91	57.1	67	65.7	15	6.7	58	62.1
S	47	40.4	2	50.0	15	66.7	28	28.6	2	0.0
SE	110	20.0	10	0.0	22	45.5	59	16.9	19	10.5
SW	408	34.8	46	13.0	140	57.9	163	27.6	59	16.9
W	263	34.6	73	26.0	93	46.2	42	21.4	55	36.4
UD	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

由渤海海峡 NE 型和 SW 型大风天气出现频数及日平均风速逐月变化(图 6)可以看到,两种环流型大风天气的出现频数均有明显月变化,NE 型大风天气主要出现在 10 月—次年 3 月(图 6a),且第(i)月与第($13-i$)月基本对称,呈“V”型分布,其中 12 月出现频数最高,共出现 126 次,约占 18.1%;

SW 型大风天气主要出现在 4—7 月(图 6b),其中 4 月出现频数最高,共出现 101 次,约占 23.6%。用箱线图描述平均风速分布,可以看到:NE 型大风天气的日平均风速整体高于 SW 型,各月的最大值多在 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,而 SW 型则均在 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下。

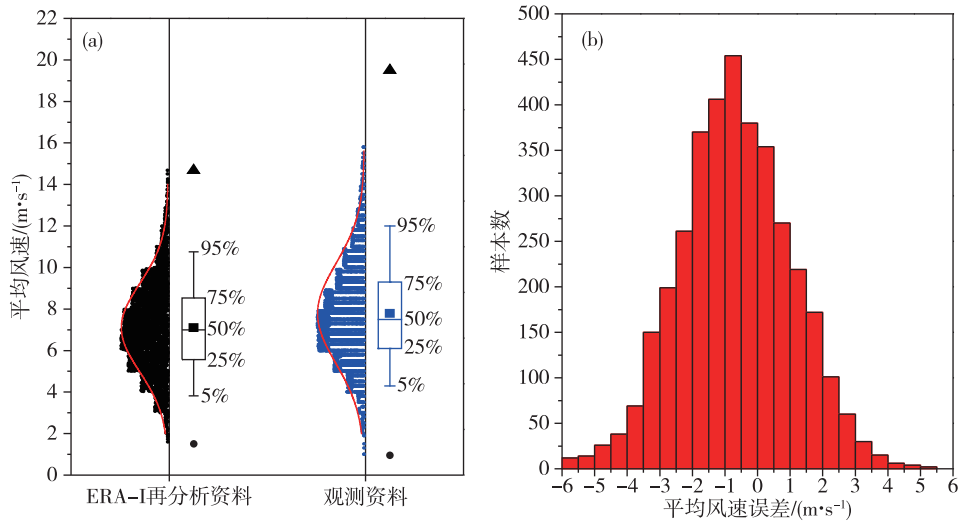


图4 长岛气象站日平均风速 ERA-I 再分析资料与观测资料对比(a)及二者差值分布(b)(▲为最大样本值、●为最小样本值、■为所有样本平均值、须状线分别代表第5%和95%百分位数、方框上下限由第25%和75%百分位数确定)

Fig.4 Comparison of daily mean wind speed (a) between ERA-I reanalysis data and observed data from Changdao Meteorological Station and the difference (b) between them (▲: maximum sample value, ●: minimum sample value, ■: mean value of all samples, the whisker lines are respectively the 5th and 95th percentile, the bounds of the block diagram are determined by the 25th and 75th percentile)

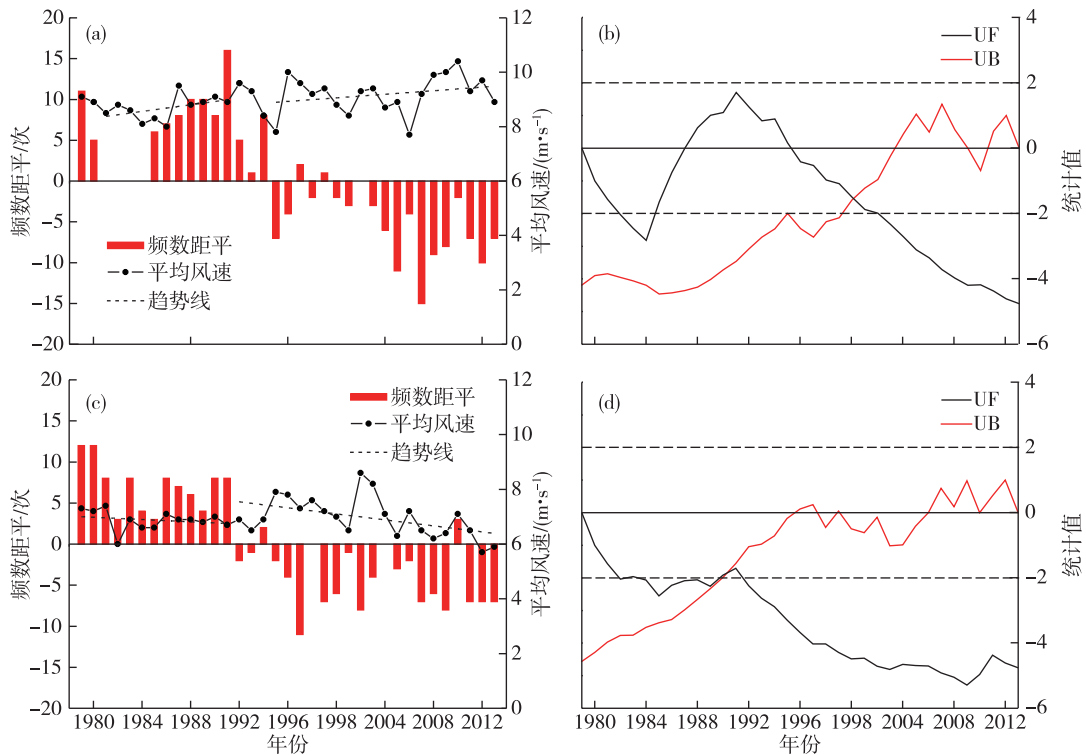


图5 NE型(a,b)和SW型(c,d)大风天气频数距平及平均风速年变化

Fig.5 Frequency anomaly of NE type gale processes (a, c) and SW type gale processes (b, d) and annual variation of average wind speed (positive anomaly in red and negative anomaly in blue in the bar graph; straight line; piecewise trend line)

5 结论

1) 渤海海峡大风天气大气环流型以平直气流

型为主,SW型、NE型、NW型和W型是四种主导环流型,偏北环流型明显多于偏南环流型;春(夏)季是发生大风天气最多(少)的季节,以SW型出现频

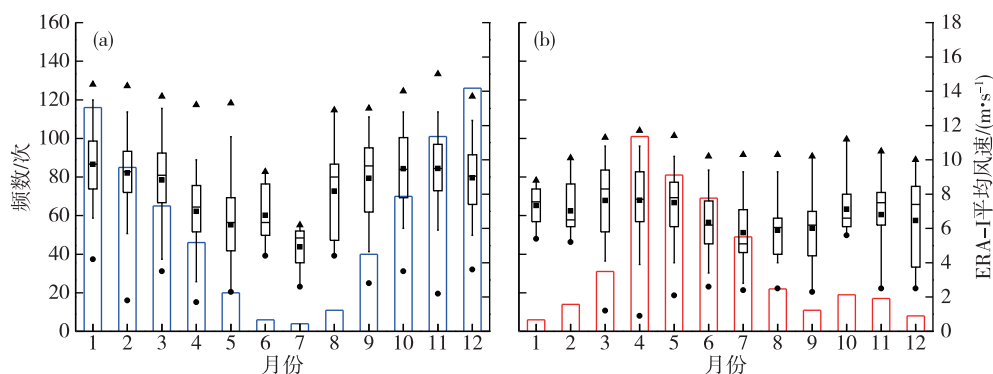


图6 NE型(a)和SW型(b)大风天气出现频数及平均风速逐月变化(▲为最大样本值、●为最小样本值、■为所有样本平均值、须状线分别代表第5%和95%百分位数、方框上下限由第25%和75%百分位数确定)

Fig.6 Frequency of NE type gale processes (a) and SW type gale processes (b) and monthly variation of average wind speed (▲: maximum sample value, ●: minimum sample value, ■: mean value of all samples, the whisker lines are respectively the 5th and 95th percentile, the bounds of the block diagram are determined by the 25th and 75th percentile)

率最高,秋、冬季大风天气的环流型频率分布基本相同,以偏北型为主。

2)不同环流型发生大风天气的概率有显著不同,SW型大风天气主要发生在春、夏季;NE型环流型在春、夏季的样本数相当,但发生大风天气的概率却截然不同;某些环流型虽然出现次数较少,但发生大风天气的概率非常大,而有些环流型虽然出现次数较多,但发生大风天气的概率相对较低;气旋控制类环流型(Cxx型)出现大风天气的概率明显高于反气旋控制类(Axx型)。

3)由于海上观测资料匮乏,利用ERA-I再分析资料进行大风天气气候特征分析时,可以将长岛站日最大风速观测值 $\geq 10.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 作为渤海海峡出现大风天气的判据;将ERA-I风速再分析资料用于渤海海峡大风天气风速气候特征初步分析是可行的。

4)1979—2013年,NE型大风日数呈先增多后减少的变化趋势,20世纪90年代中期开始由正距平向负距平转变,2000年左右发生突变;在大风日数增多和减少的两个时段内,平均风速均保持增大趋势。SW型大风日数整体呈减少趋势,但1997—2006年有显著增多的变化趋势,1979—1991年均为正距平,风速变化幅度较小,呈略减小趋势,1991年左右发生突变,由正距平转为负距平,风速变化幅度明显增大,呈显著减小趋势。

5)NE型大风天气主要出现在10月—次年3月,第*(i)*月与第*(13-i)*月基本对称,呈“V”型分布,SW型大风天气主要出现在4—7月;NE型大风天气的日平均风速整体高于SW型。

参考文献:

- [1] 国家海洋局.2016年中国海洋经济统计公报[EB/OL].(2017-03-16)[2018-05-02].http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyjjtjgh/201703/t20170322_55289.html.
- [2] 国家海洋局.中国海洋灾害公报[EB/OL].(2017-03-22)[2018-05-02].<http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/>.
- [3] 高瑞华,王式功,张孝峰,等.渤海海峡大风的气候特征分析[J].海洋预报,2008,25(3):7-15.
- [4] 高瑞华.渤海海峡大风气候特征的初步分析[D].兰州:兰州大学,2007.
- [5] Jenkinson A F, Collison F P.An initial climatology of gales over the North Sea [C]//Synoptic Climatology Branch Memorandum. Bracknell: Meteorological Office, 1977(62):18.
- [6] 朱艳峰,陈德亮,李维京,等. Lamb-Jenkinson 环流客观分型方法及其在中国的应用[J].南京气象学院学报, 2007,30(3):289-297.
- [7] 邓伟涛,段雯瑜,何冬燕,等.夏季淮河流域大气环流型在降水趋势预测中的应用[J].大气科学学报,2015,38(3):333-341.
- [8] 段雯瑜,邓伟涛.淮河流域大气环流型在冬季气温预测中的应用[J].气象与减灾研究,2014,37(1):6-12.
- [9] 覃志年,李维京,何慧,等.广西6月区域性暴雨过程的延伸预测试验[J].高原气象,2009,28(3):688-693.
- [10] 钟利华,曾鹏,史彩霞,等.西江流域面雨量与区域大气环流型关系[J].应用气象学报,2017,28(4):470-480.
- [11] 贾丽伟,李维京,陈德亮,等.东北地区月平均大气环流型与哈尔滨气候关系的初步研究[J].气象学报,2006,64(2):236-245.
- [12] 滕华超.山东省夏季降水与大气环流型关系分析[J].

- 干旱气象,2016,34(5):789-795.
- [13] 马占良.青海省大气环流分型及特点分析[J].青海气象,2008(2):6-10.
- [14] 周荣卫,何晓凤,苗世光,等.北京地区大气环流型及气候特征[J].气候变化研究进展,2010,6(5):338-343.
- [15] Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation[J].Bull Amer Meteor Soc,2001,82(2):247-268.
- [16] Mooney P A, Mulligan F J, Fealy R. Comparison of ERA-40, ERA-Interim and NCEP/NCAR reanalysis data with observed surface air temperatures over Ireland[J].Int J Climatol, 2011,31(4):545-557.
- [17] Decker M, Brunke M A, Wang Z, et al. Evaluation of the reanalysis products from GSFC, NCEP, and ECMWF using flux tower observations[J].J Climate,2012,25(6):1916-1944.
- [18] 胡增运,倪勇勇,邵华,等. CFSR、ERA-Interim 和 MERRA 降水资料在中亚地区的适用性[J].干旱区地理,2013,36(4):700-708.
- [19] 施晓晖,徐祥德,谢立安. NCEP/NCAR 再分析风速、表面气温距平在中国区域气候变化研究中的可信度分析[J].气象学报,2006,64(6):709-722.
- [20] 滕华超,陈艳春,汤子东.ERA-Interim 风速再分析数据在山东省的适用性评估[J].山东气象,2016,36(1):27-31.
- [21] 陈艳春,王娜,顾伟宗,等.环渤海区域再分析资料地面风速场的适用性对比分析[J].海洋气象学报,2017,37(1):67-72.
- [22] 高志刚,骆敬新,刘克修,等.ERA-Interim 再分析数据在中国沿海的质量评估[J].海洋科学,2015,39(5):92-105.
- [23] 井传才.山东地区大风的气候特征[J].山东气象,1986,6(2):41-43,50.