

郭冬艳,姜涛,陈有龙,等. 琼州海峡沿岸大风分布规律及影响系统分析[J]. 气象,2011,37(11):1372-1379.

琼州海峡沿岸大风分布规律及影响系统分析^{*}

郭冬艳^{1,2} 姜 涛³ 陈有龙^{1,2} 辛吉武²

1 海南省气象台,海口 570203
2 南海气象防灾减灾重点实验室,海口 570203
3 92830 部队气象处,海口 571122

提 要: 利用琼州海峡南北沿岸自动气象站 2007 年 9 月至 2010 年 8 月风向、风速资料,分析了最大风和极大风两种大风事件标准下的海峡沿岸大风分布规律,并基于大风天气影响系统分析南北沿岸大风的差异。结果表明:琼州海峡南侧沿岸大风事件多于北侧沿岸,其中最大风标准下的大风事件南侧沿岸明显多于北侧沿岸,但极大风标准下的大风事件北侧沿岸则多于南侧沿岸,且极大风风速明显偏大;北侧沿岸两种大风事件及南侧沿岸最大风事件均主要出现在秋冬季节,其中,两侧沿岸最大风事件主要由冷空气影响造成,南侧沿岸极大风事件集中出现在秋季,由冷空气影响造成较少;两岸位于海峡东侧入口沿岸的自动站点出现大风频率最高,风速偏大,西侧入口沿岸站点次之,中间沿岸各站出现大风的频率相对较低;海峡南北沿岸出现的大风风向多为北到东风;东路冷空气比西路冷空气更易造成海峡南北沿岸同步大风,琼州海峡对冷空气湍流强度的削弱作用明显。

关键词: 琼州海峡沿岸, 自动站, 大风规律, 影响系统

Analysis on Distribution Pattern of High Wind Events in Qiongzhou Strait Coastal Zones and Its Weather Systems

GUO Dongyan^{1,2} JIANG Tao³ CHEN Youlong^{1,2} XIN Jiwu²

1 Hainan Meteorological Observatory, Haikou 570203
2 South China Sea Meteorological Disaster Mitigation Key Laboratory, Haikou 570203
3 Meteorological Office, PLA Unit 92830, Haikou 571122

Abstract: Based on the data from automatic weather stations in the Qiongzhou Strait northern and southern coasts, the distribution patterns of high wind events in both coastal zones were analyzed. And the difference between them was also analyzed using weather systems. The high wind events are defined into two kinds: sustained winds and gust winds. The results are as follows: In southern coast, the high wind events are more frequent than in northern coast, but the speeds of gust winds are obviously bigger in northern coast than in southern coast. The high wind events in northern coastal zones and the sustained wind events in southern coastal zones mainly happen in autumn and winter but rare in other seasons, and the sustained wind events in both coastal zones mainly occurred by cold air. But the gust wind events in the southern coastal are quite special, which mainly happen in autumn and rarely occurred by cold air. In both coastal zones of the Qiongzhou Strait, the high wind events happen with more frequency and bigger speed on the east entrance than on the west entrance, and with the least in the middle of coastal zones. There exist pronounced phenomena that the northeast high wind was dominant in both coasts of the strait. The high wind events are more easily occurred by cold air from east than from west. The Qiongzhou Strait can

^{*} 国家自然科学基金课题(40765002)和海南省重点科技项目(070302)共同资助
2010 年 9 月 11 日收稿; 2011 年 2 月 13 日收修定稿
第一作者: 郭冬艳,主要从事中短期天气预报及服务工作. Email: gdy_628@126.com

obviously make the turbulent intensity of cold air turning weak.

Key words: the Qiongzhou Strait, automatic weather stations, high wind events, weather systems

引 言

琼州海峡位于广东省雷州半岛和海南岛之间,西接北部湾,东连南海北部,呈东西向延伸,长约 80 km,宽 20~40 km,最窄处 18 km,两岸的海岸曲折,呈锯齿状。琼州海峡连通北部湾和珠江口外海域,是海南省和广东省的自然分界,也是连接海南岛与我国大陆地区的海上交通枢纽。大风天气是对琼州海峡通航影响最大的灾害性天气。由于大风造成的停航、减航不但使乘客出行不便,更为瓜果、蔬菜等运输业带来巨大经济损失。对海峡及两岸大风开展相关研究意义重大,国内学者已经做了不少这方面的工作,如杜尧东等^[1]对比分析了位于琼州海峡北岸和中部的 3 个观测点 5 年风塔观测资料与海峡北岸徐闻气象站风速之间的关系;辛吉武等^[2]根据最大风、极大风两种大风事件标准,利用琼州海峡南北沿岸 10 km 内的 4 个国家基本气象站(北岸 1 个、南岸 3 个)1977—2006 年共 30 年的地面观测资料,分析了琼州海峡南北海岸带大风的天气气候特征,并对大风形成的可能机制进行了探讨,得出两岸大风均以夏季出现频率最高,冬季最少,与我国大部分地区大风的季节特征不同的结论。

一些学者对渤海海峡大风开展了系列研究,包括对渤海海峡大风形成机理及气候统计特征的系列研究^[3-6]及张新玲等^[7]对渤海海上测风与沿岸实测风进行的对比分析。还有部分学者针对大风过程进行天气诊断分析、大风与天气系统之间的关系等方面的研究,如项素清等^[8]对浙北沿海一次阵风达 10~12 级的西北大风过程进行分析,认为冷空气强度高、海上有低压发展和沿海原有的梯度堆积,是出现 10~12 级大风的原因;郭进修等^[9]分析了东南极的普里兹湾实测大风对应的天气系统、天气形势和卫星云图特征,指出普里兹湾沿海存在气旋、锋面以及锋面云和气旋先后相继的影响,普里兹湾不仅有单一气旋影响产生的大风,也有由单一锋面以及锋面和气旋先后相继影响而产生的大风;黄容等^[10]利用青岛自动站及近海浮标站等资料,建立预报青岛夏季近岸海风的统计分型方法。此外,尹尽勇等^[11]对冬季黄渤海大风天气与渔船风损进行统计分析,

结果表明,风灾事故占渔船全损事故的 51.85%,冬半年突发性的冷空气大风是导致木质渔船出现风灾事故的主要原因。

本文主要利用分布在琼州海峡南北沿岸的自动气象观测站测得的大风资料,研究海峡两侧沿岸大风的时空分布规律及不同天气影响系统下的差异,为琼州海峡沿岸防风、抗风及通航保障等工作提供有利依据。

1 资料来源与方法

1.1 资料选取

大风资料取自 2007 年 9 月至 2010 年 8 月共 3 年琼州海峡南北两岸沿海自动站(图 1)测得的最大风、极大风数据。根据自动站位置及能够获取的资料密度,北岸共取 7 个自动站的逐时最大风、极大风资料;南岸共取 10 个自动站的逐时最大风、极大风资料;主要影响天气系统分类采用海南省气象台整编的海南省逐日影响天气系统资料。

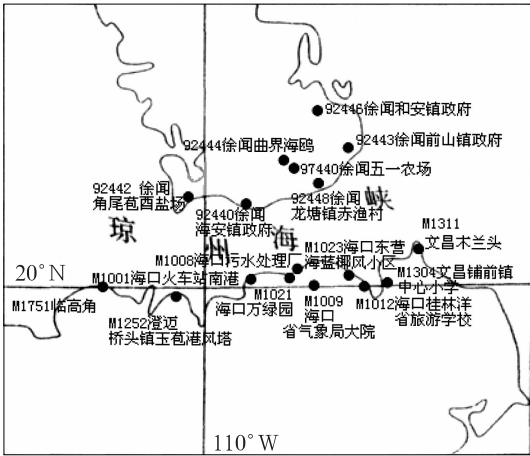


图 1 琼州海峡南北沿岸自动站分布
Fig.1 Layout of the automatic weather stations on northern and southern coastal zones of Qiongzhou Strait

1.2 大风标准的确定

大风标准采用国内外普遍采用的最大风和极大风两种界定指标。极大风、最大风的定义采用地面

观测规范行业标准(2007 年),即极大风速指某个时段内出现的 3 s 平均风速最大值。最大风指某个时段内出现的 10 min 平均最大风速值。本文中的大风标准分最大风和极大风两种。根据琼州海峡大风课题研究和预警业务,定义最大风速 $\geq 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和极大风速 $\geq 17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 为大风事件^[2]。各自动站最大风、极大风日数指出现最大风、极大风事件的天数;南北沿岸(表中简称南岸、北岸)最大风、极大风日数指两岸各自动站中任一自动站出现最大风、极大风事件的天数;两侧沿岸(表中简称两岸)大风总日数指两岸任一自动站出现以上任何一种标准的大风事件的天数(1 天中两种标准都出现时,只计一个大风日)。

表 1 2007 年 9 月至 2010 年 8 月琼州海峡南北沿岸大风日数
Table 1 The high wind days in northern and southern coastal zones
of the Qiongzhou Strait from September 2007 to August 2010

	极大风日数/d			最大风日数/d			大风事件总日数/d		
	总	年均	年百分比/%	总	年均	年百分比/%	总	年均	年百分比/%
北岸	145	48	13.2	114	38	10.4	172	57	15.7
南岸	66	22	6.0	266	89	24.2	275	92	25.1
两岸同时出现	39	13	3.6	73	24	6.7	89	30	8.1

的是,南岸极大风日数明显少于北岸,为北岸极大风日数的 1/2 左右。另外,北岸最大风和极大风两种事件年均出现日数均在 10% 以上,极大风略多于最大风,表明相对于平均风速大于 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的最大风而言,北岸更容易出现达到 $17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的瞬时极大风,而南岸年均最大风事件(89 天)远多于极大风事件(22 天),表明南岸的平均风速容易达到 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,瞬时风速则不易达到 $17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的标准。两岸比较可见,大风事件期间,南岸的平均风速常大于北岸,而瞬时风速则小于北岸。

2.2 大风日数月分布

由图 2 可见,一年中,北侧沿岸极大风和最大风天气过程均在秋冬季节,即 9—12 月份达到最多;上半年中,4 月和 6 月相对较易出现大风天气,其他月份大风天气很少。南侧沿岸最大风天气季节分布与北岸大风事件分布相似,秋冬季节出现日数多于春夏季节,但极大风天气则呈现出不同的特点,集中出现在秋季(9—10 月),剩余月份中仅 7 月和 4 月略多,其他月份则很少出现。

以上分析中琼州海峡南北两侧沿岸,特别是南侧沿岸的最大、极大风的季节分布特征与辛吉武

2 大风规律

2.1 两岸大风概况

表 1 为 2007 年 9 月至 2010 年 8 月共 3 年琼州海峡南北沿岸出现大风的日数,结果表明:南岸大风总日数为 275 天,明显多于北岸的 172 天,但两者年均日数都达到全年日数的 15% 以上,两岸同时出现大风的日数为 89 天,达到了全年日数的 8.1%;南岸大风总日数明显多于北岸主要是由于南岸的最大风事件显著偏多,达到 266 天,比北岸多出 152 天,为北岸最大风日数的 2 倍以上;与最大风事件相反

等^[2]得出的琼州海峡南北海岸带大风均以夏季出现频率最高,冬季最少的结论不一致,体现了海峡地形对中小尺度风场分布有较大影响。辛吉武等研究的海岸带大风事件时空分布规律选用的自动站标准为距离海岸线 10 km 以内,实际选用的 4 个自动站距离海岸线约 5~6 km,而本文研究所选用的大多是距离海岸线 1 km 以内的海峡两侧沿岸自动站。两者分析结果的差异表明:海峡沿岸 10 km 以内是地形风场变化相当敏感的区域。随着海岸线距离的增大,陆地摩擦对大风的衰减作用更加明显,这直接导致了两个区域大风事件的季节特征的明显不同。海岸带大风事件以热带气旋影响为主,其原因是热带气旋直接影响造成的大风平均风速较大,海岸带对其的衰减作用不足以降到大风标准以下。而秋冬季节的冷空气大风,最大风速绝大部分在 $10\sim 13\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间(具体见 3.4 节),当距海岸线达到 5 km 以上时,风速往往已衰减到最大风事件标准的 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,难以形成大风事件,因此海岸带大风夏季出现频率较高;海峡沿岸 1 km 以内,陆地对大风的衰减作用远远小于海岸带,冷空气和热带气旋均可造成大风事件,但冷空气影响日数多于热带气旋影响日数,故海峡沿岸大风以秋冬季节较多。海

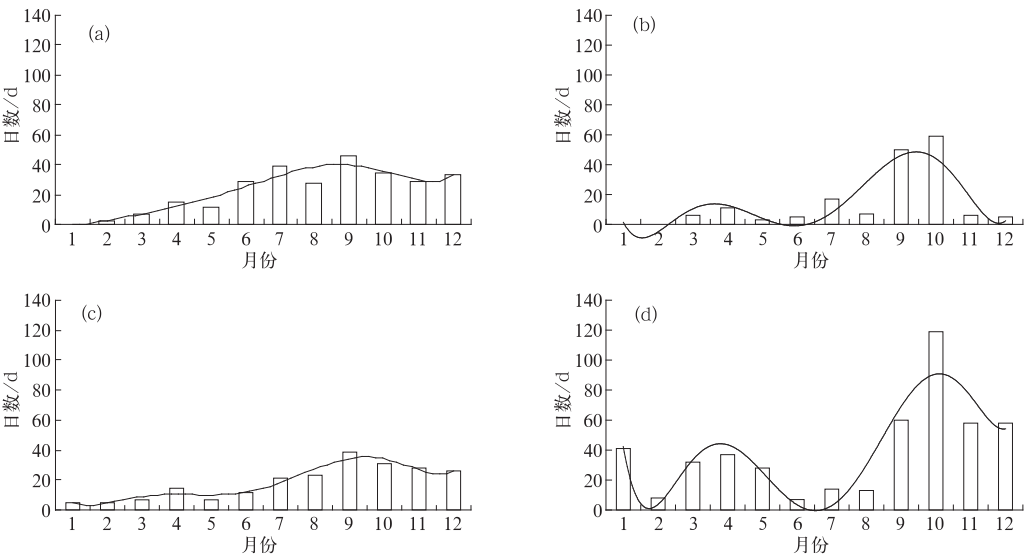


图 2 琼州海峡南北沿岸大风天气过程月分布(图中曲线为 6 阶多项式趋势线)

(a) 北岸极大风, (b) 南岸极大风, (c) 北岸最大风, (d) 南岸最大风

Fig. 2 Monthly variations of high wind events in northern and southern coastal zones of Qiongzhou Strait (the curve stands for a 6-order polynomial trend)

(a) extreme gust winds in northern, (b) extreme gust winds in southern, (c) maximum sustatined winds in northern, and (d) maximum sustatined winds in southern

峡地形风场的复杂性也进一步验证了 Carins 等^[12]认为分辨率小于 5 km 是模拟复杂地形风场的必要条件之一的结论。沿岸 10 km 内风场的衰减规律仍值得进一步深入研究。

2.3 空间分布

图 3 为琼州海峡南北沿岸各自动站出现大风日数, 站点从左至右排列顺序为顺着海峡沿岸自西向东

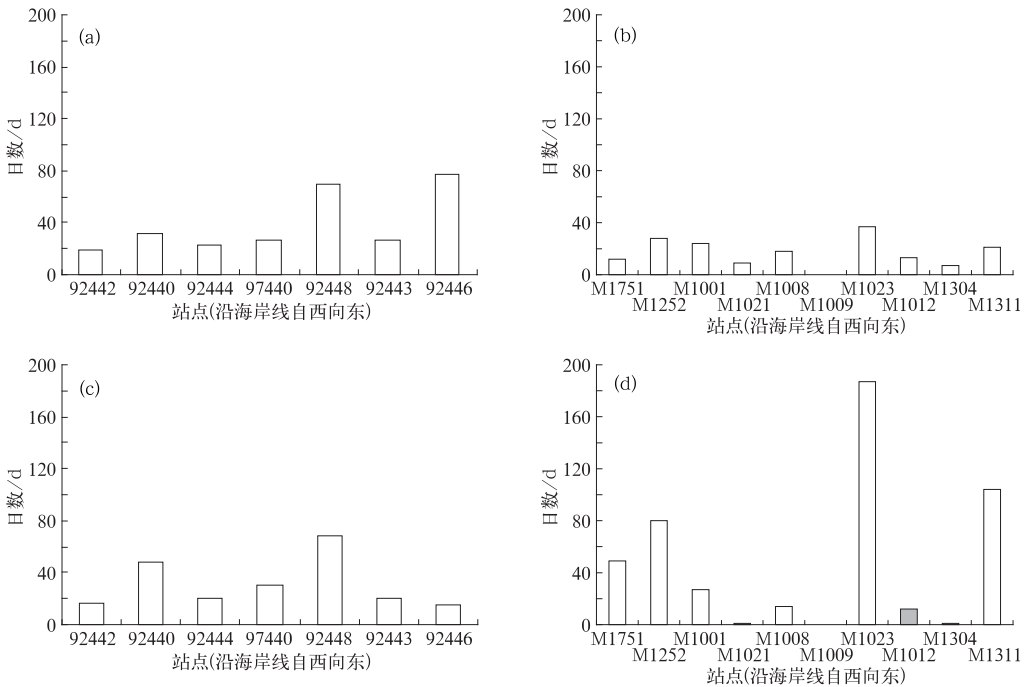


图 3 琼州海峡南北沿岸自动站大风空间分布

(a) 北岸极大风, (b) 南岸极大风, (c) 北岸最大风, (d) 南岸最大风

Fig. 3 As in Fig. 2, but for the spatial distributions of high wind days

东方向。从站点大风日数差异来看,琼州海峡南北两岸位于海峡东侧入口沿岸的自动站点(92446、92448、M1023 和 M1311)出现大风频率最高,西侧入口沿岸站点次之,海峡中间南北沿岸各站出现大风频率相对较低。北岸东西两侧远离海峡向北延伸的站点出现大风次数逐渐减少,南岸向内陆凹进的沿岸站点(M1009、M1304 和 M1021)出现大风次数很少。

2.4 风向风速

从风向分布(图 4)来看,琼州海峡南北两侧沿岸大风风向均集中分布在 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 内,其中又以 $45^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 为最多,即大风事件主要表现为偏东风向,其中北岸又以东北(NE)和东北偏北(NNE)大风为最多;值得注意的是,在两岸极大风和最大风事件中,除了海峡东侧南岸入口处不易出现西偏南极大风事件外,位于海峡两侧入口的沿岸自动站也会出现西偏南大风($180^{\circ}\sim 270^{\circ}$),位于海峡中间两侧沿岸自动站很少出现偏东风向以外的大风。以上分析表明海峡的狭管效应对大风有一定影响,当风向为与海峡方向一致的偏东风时,海峡两侧沿岸最易产生大风事件,且通常会在整个沿岸范围产生,而当风向为与海峡方向垂直的偏北大风及西南风时则不易产生大风事件,且发生范围常限于海峡东西两侧入口处,

海峡中间两侧沿岸极少发生。

从风速分布(图 5)来看,琼州海峡北侧沿岸极大风风速集中分布在 $17\sim 25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,最大达 $52.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,最大风风速集中在 $10\sim 15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,最大 $17.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;其中位于海峡东侧入口沿岸的站点出现大风次数明显偏多,风速也偏大,特别是极大风事件中东侧入口的风速明显偏大,西侧入口沿岸站点次之,中间各站出现大风频率相对偏低,风速也相对偏小。南侧沿岸极大风风速较北岸明显偏小,集中在 $17\sim 20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,最大值为 $29.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,比北岸显著偏小,最大风风速与北岸基本相当,集中在 $10\sim 15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,最大值比北岸略偏大,为 $21.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;同样,位于琼州海峡东侧入口沿岸的站点出现大风频率最高,风速偏大,特别是位于东侧入口的 M1311(文昌木兰头自动站)和 M1023(海口东营海蓝椰风小区自动站)最易出现大风,两站大风样本占南岸所有大风样本总数的一半以上。以上分析表明,海峡地形对风速也有较大影响。海峡北岸的雷州半岛地形相对“陡峭”,从高点 120 m 左右快速降到海峡海面,梯度相对较大。南岸的海南岛地势较为平坦,离南岸较近的地形高点在 60 m 左右,仅为北岸的一半,这易造成北岸大风湍流性强,极大风事件较南岸偏多。

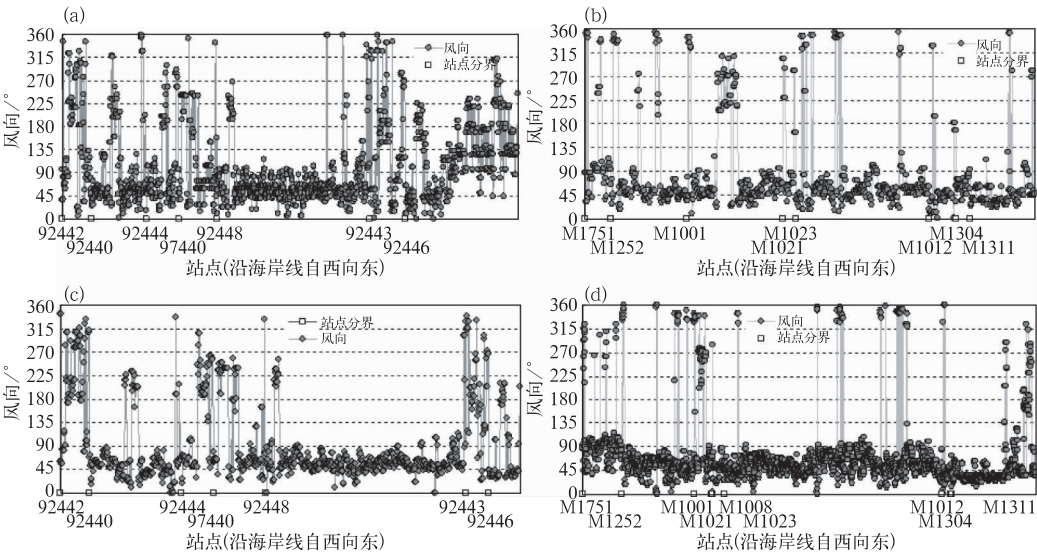


图 4 琼州海峡南北沿岸风向分布

(a) 北岸极大风, (b) 南岸极大风, (c) 北岸最大风, (d) 南岸最大风

Fig. 4 As in Fig. 2, but for the spatial distributions of high wind directions

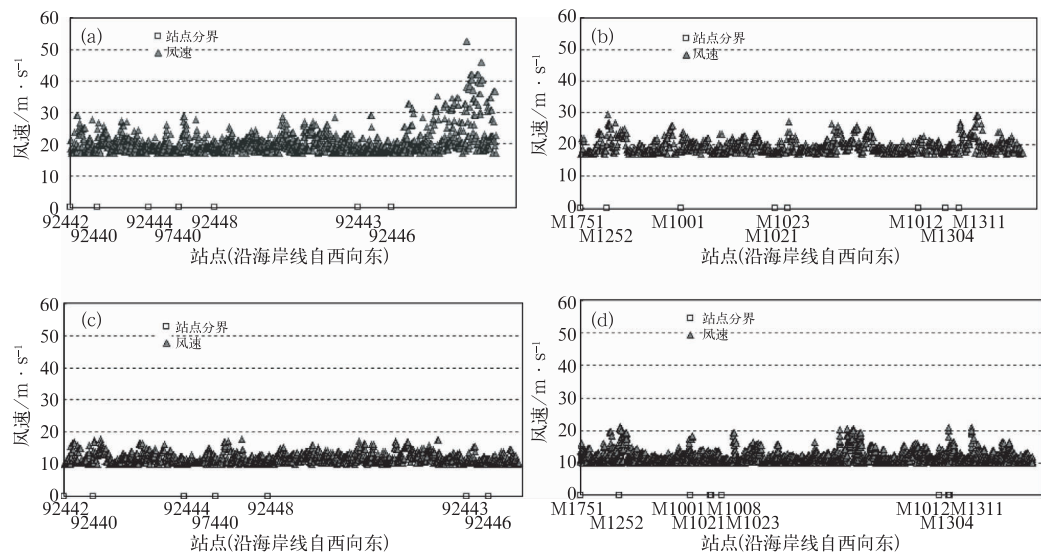


图 5 琼州海峡南北沿岸风速分布
(a) 北岸极大风, (b) 南岸极大风, (c) 北岸最大风, (d) 南岸最大风
Fig. 5 As in Fig. 2, but for the distributions of high wind speeds

3 产生大风的主要影响系统

表 2 为海峡南北沿岸出现大风天气的主要影响系统分布,可见冷空气是造成两岸最大风事件(南岸、北岸及两岸均出现)的主要影响天气系统,其次为热带气旋和低槽系统,高压控制时则最不易出现。两岸受冷空气影响出现的最大风日数比例分别高达 49.1%(北岸)和 59.4%(南岸)。极大风事件中,两

岸相同点是低槽系统影响时出现最多,高压控制时出现最少,不同的是冷空气影响时北岸比南岸更易出现极大风,而热带气旋影响时南岸比北岸更易出现极大风。表明琼州海峡对经过的冷空气的湍流性有减弱作用。而雷州半岛的地形对移经的热带气旋强度有较明显的减弱作用^[13]。总体来说,冷空气、低槽系统和热带气旋是在琼州海峡南北沿岸造成的大风事件的最主要影响天气系统,以下我们主要探讨这 3 种天气系统下海峡南北沿岸大风差异。

表 2 各类天气系统下琼州海峡两岸大风事件日数
Table 2 The high wind days of Qiongzhou Strait under various weather systems

	冷空气	高压控制	低槽系统	热带气旋	热带气旋和冷空气	热带气旋和低压系统
北岸极大风	47	11	60	23	1	3
北岸最大风	56	11	22	19	1	5
南岸极大风	12	3	25	19	3	4
南岸最大风	158	21	49	27	6	5
两岸均出现大风 (任一标准大风)	39	3	20	23	1	3

3.1 冷空气

琼州海峡呈东西走向,当冷空气取偏东路径或冷高压东移出海时,常常造成雷州半岛东部和琼州海峡一带的偏东强风^[14]。受冷空气影响,琼州海峡南北沿岸同时出现大风的天数为 39 天(表 2)。其中有 26 天为冷锋锋面在海南岛过境的天气过程,达

到样本数的 66.7%,说明南岸大风常在冷锋靠近并扫过时出现;有 12 天冷锋到达海南岛时已减弱为锋消;仅 1 天锋面在海南岛静止。根据海南省系统天气过程影响分类标准,两岸都出现大风的 39 天中有 28 天(71.8%)为偏东路径下的冷空气,其余 11 天为偏西路径下的冷空气。
两岸在冷空气影响下出现的大风日数差异显

著,南岸最大风日数比北岸明显偏多,具体为南岸出现 158 天,北岸仅出现 56 天;而极大风日数却是北岸比南岸明显偏多,分别为北岸出现 47 天,南岸出现 12 天。分析南岸最大风过程比北岸明显偏多的原因与地形关系密切,海峡南侧海岸线为有多处喇叭口的锯齿形,北岸的海岸线相对较平缓。冷空气自北向南影响时,海岸线伸出的尖端和喇叭口入口处的测站风速明显较平缓海岸线和向内凹进的测站风速大。例如位于海峡东部喇叭口处的 M1023 自动站和位于海峡西部伸出海岸临高角自动站(M1751),出现最大风的概率明显比其他测站高。南岸极大风过程比北岸明显偏少的原因,则可能是由于冷空气在南下过程中,冷气团经过海峡水面产生变性,到达南岸后,大风的湍流性有所减弱,加上南岸地形较北岸平坦,已经极少能够达到 3 s 平均风速 $\geq 17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的极大风事件。

总体来说,从冷空气南下路径来看,东路冷空气比西路冷空气更易造成海峡两侧沿岸同步大风;同时,琼州海峡对冷空气强度和性质都有一定程度的改变,南岸短时极大风速显著小于北岸。

3.2 低槽系统

低槽系统影响时,有 20 天海峡两岸出现同步大风。其中有西南低压槽 7 天,海南典型风向为西南风;华南沿海槽 7 天,海南典型风向为偏西风;南海低压槽 6 天,海南典型风向为偏东。

另外,低槽系统造成南岸出现极大风 25 天,占南岸极大风总日数的 37.9%,是南岸产生极大风的主要影响系统,而低槽系统最常出现的季节是夏季^[13],部分低槽风向以偏西到西南为主,与 2.4 节风向风速的分析中得出南岸位于海峡西侧入口的沿岸站点也较易出现西偏南大风的结论相符合,故综合来看南岸极大风多产生于夏季低槽系统影响期间,但次数不多。

3.3 热带气旋

2007 年 9 月至 2010 年 8 月,共有 12 个热带气旋造成琼州海峡两侧沿岸同步大风,其中,有 7 个热带气旋强度达到台风及以上级别,其余为 2 个强热带风暴及 3 个热带风暴;从移动路径来看,共有 3 个在我国境内先后登陆海南岛和广东省沿海陆地,4

个仅登陆海南,3 个仅登陆广东,其中 1 个登陆广东后南掉至北部湾海面,然后在海面绕海南岛超过半周,至海南岛东南部近海后减弱消失,2 个从海南岛南部海面经过偏西行,热带气旋中心没有向北移过海南岛。综合来看,热带气旋的移动路径和强度是造成琼州海峡两岸同步大风天气的关键,登陆的沿海地区附近最易出现大风。热带气旋属于热带系统,经过琼州海峡时不存在气团变性问题,自南向北移经琼州海峡时强度逐渐减弱,因此热带气旋大风过程极大风往往南岸多于北岸。

4 小 结

(1) 琼州海峡南北两侧沿岸大风总日数和最大风标准下的大风日数均为南岸多于北岸,其中最大风标准下的大风日数南岸出现频率明显高于北岸;而极大风标准下的大风日数北岸出现频率则高于南岸。

(2) 北侧沿岸两种标准的大风事件和南侧沿岸最大风标准下的大风事件多出现在秋冬季节(9—12 月);南侧沿岸极大风标准下的大风事件,集中出现在秋季(9—10 月)。

(3) 琼州海峡南北两岸位于海峡东侧入口沿岸的站点出现大风频率最高,西侧入口沿岸站点次之,海峡中间南北两侧沿岸各站出现大风频率相对较低;北岸东西两侧远离海峡向北延伸的站点出现大风次数逐渐减少,南岸向内陆凹进的沿岸站点大风出现次数很少。风随距海岸距离增大而减小效应显著,南岸锯齿形地形对大风局地影响显著。

(4) 两侧沿岸大风风向均多为北到东风,位于南岸海峡西侧入口的沿岸站点在夏季也较易出现西偏南大风;两侧沿岸最大风风速基本相当,而南侧沿岸极大风风速较北侧沿岸明显偏小;两岸位于琼州海峡东侧入口沿岸的站点出现大风频率最高,风速偏大。

(5) 冷空气是造成海峡两侧沿岸最大风事件的主要影响天气系统。东路冷空气比西路冷空气更易造成海峡两侧沿岸同步大风;琼州海峡对冷空气大风湍流强度的消弱作用较为显著;南侧沿岸较少出现由冷空气造成的极大风;低槽系统是导致两侧沿岸出现极大风天气的主要影响系统。热带气旋移动

路径及强度与海峡大风分布关系密切。

(6) 由于琼州海峡南北沿岸自动站开始观测时间不长且资料整齐度不一,故可用于研究的连续资料时间序列较短,本文仅针对近几年可用的自动站资料进行分析,有关海峡沿岸大风变化规律等的相关研究工作还有待于进一步开展。

参考文献

[1] 杜尧东,宋丽莉,毛慧琴. 琼州海峡跨海工程风速观测与设计风速计算[J]. 中山大学学报(自然科学版)2005,44(2):98-101.

[2] 辛吉武,翁小芳,许向春,等. 琼州海峡南北海岸带大风的天气气候特征[J]. 气象,2009,35(10):71-77.

[3] 孟昭翰,张爱英,王栋成,等. 渤海海峡长岛风特性研究[J]. 太阳能学报,2001,22(1):64-71.

[4] 袁子鹏,张立祥. 黄渤海登陆热带气旋活动的统计分析[J]. 气象,2005,31(6):39-42.

[5] 胡欣,景华,王福侠,等. 渤海湾风暴潮天气系统及风场结构个例分析[J]. 气象科技,2005,33(3):235-239.

[6] 王月宾. 渤海西岸致灾风暴潮的统计预报模型[J]. 气象,2007,33(9):40-46.

[7] 张新玲,吴增茂. 渤海海上测风与沿岸实测风的对比分析[J]. 海洋预报,1998,15(4):24-31.

[8] 项素清,邱洪芳,林伟. 2004 年末浙北沿海 10~12 级冷空气大风过程诊断分析[J]. 海洋预报,2006,23(增刊):79-83.

[9] 郭进修. 东南极普里兹湾年一月大风过程与气旋和锋面活动分析[J]. 南极研究,1991,3(1):39-46.

[10] 黄容,漆梁波,李庆宝,等. 青岛近海夏季海风分型及预报[J]. 气象,2008,34(专刊):223-229.

[11] 尹尽勇,刘涛,张增海,等. 冬季黄渤海大风天气与渔船风损统计分析[J]. 气象,2009,35(6):90-95.

[12] Cairns M M, Corey J. Mesoscale Model Simulations of High-Wind Events in the Complex Terrain of Western Nevada[J]. Weather and Forecasting,2003,18:249-263.

[13] 林良勋,冯业荣,黄忠,等. 广东省天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社,2006.

[14] 高素华,黄增明,张统钦,等. 海南岛气候[M]. 北京:气象出版社,1988.