

吕爱民,杨柳妮,黄彬,等.中国近海大风的天气学分型[J].海洋气象学报,2018,38(1):43-50.
Lü Aimin, Yang Liuni, Huang Bin, et al. Classification of synoptic patterns for China offshore gales [J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(1): 43-50. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.01.006. (in Chinese)

中国近海大风的天气学分型

吕爱民¹, 杨柳妮², 黄彬¹, 木翔翔³

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 北京市突发事件预警信息发布中心, 北京 100089; 3. 民航宁夏空管分局气象台, 宁夏 银川 750009)

摘要: 利用 2010—2014 年地面观测站(包括 288 个海岛站、380 个沿海气象站、28 个浮标站、37 个船舶站、53 个气象观测塔、13 个海上平台站、9 个沿海风廓线仪等)和高空气象观测站资料,采用天气学分型和统计分析方法,对 2010—2014 年 285 次中国近海 6 级及以上大风天气个例进行了分析,将近海的大风天气过程归纳为冷空气型、温带气旋型和热带气旋型 3 种类型。其中冷空气型又分为小槽东移型、小槽发展型和横槽转竖型;温带气旋型又分为东海气旋型、黄渤海气旋型和蒙古气旋型。这些分型可为海上大风预报预警提供天气学背景参考依据。

关键词: 中国近海; 大风; 天气学分型; 冷空气; 温带气旋

中图分类号: P732.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2018)01-0043-08

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.01.006

Classification of synoptic patterns for China offshore gales

LÜ Aimin¹, YANG Liuni², HUANG Bin¹, MU Xiangxiang³

(1. National Meteorological Center, Beijing 100081, China; 2. Beijing Emergent Incident Warning Issue Center, Beijing 100089, China; 3. Meteorological Observatory of Ningxia Civil Aviation ATC, Yinchuan 750009, China)

Abstract By using in situ observation data (from stations including 288 island stations, 380 onshore stations, 28 float buoys, 37 ship-board stations, 53 meteorological observation towers, 13 drilling platforms stations, and 9 wind profilers) and sounding data, gales with wind force of 6 or above in China offshore area from 2010 to 2014 were analyzed by taking use of the method of synoptic meteorology. According to the weather systems on the ground, synoptic patterns of the gales can be divided into 3 classes: cold air, extratropical cyclone, and tropical cyclone. The cold air class can be divided into three types: small trough moving eastward, small trough development, transversal trough changing to the vertical. The extratropical cyclone class can also be divided into three types: the East China Sea cyclone, the Bohai and the Yellow Sea cyclone, Mongolia cyclone. These pattern classifications can provide reference of synoptic meteorology background for forecasting and warning of offshore gales of China.

Key words China offshore; gale; synoptic pattern; cold air; extratropical cyclone

收稿日期: 2017-05-02; 修订日期: 2018-01-05

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206001)

作者简介: 吕爱民, 男, 硕士, 工程师, 主要从事热带气旋监测和预报研究工作, lvaimin0424@126.com。

通信作者: 杨柳妮, 女, 硕士, 工程师, 主要从事自然灾害预警信息发布和研究工作, yliuni@163.com。

引言

海上大风是天气预报中的一项重要内容,其准确率的高低直接影响到海上运输等生产部门的计划调度及安全实施。海上大风由于突发性强、阵性明显、瞬时性突出等特点引发的灾害尤为严重,海上大风是冬、春、秋3季最常见的一种海洋气象灾害性天气,严重威胁渔业生产、海上运输、海上捕捞、石油开发、交通安全等,常给人民的生命和财产带来巨大损失。例如2009年4月15日,受海上大风天气影响,莱州湾有多名渔民遇险,经济损失很大。因此,提升海上大风的预报预警能力成为发展海洋经济、保障海上安全的迫切需要。总结海上大风发生时地面天气形势特征,统计海上大风在不同天气形势特征下的发生规律,对提高预报准确率有重要意义。

目前,国内对海上大风的研究基本都是建立在对观测资料的统计分析和对天气个例的诊断研究基础上,并且主要针对沿海单个或某些海区,但对我国近海所有海区的研究比较少见。本文利用天气学分型和统计分析的方法,对造成中国近海6级及以上海上大风过程的天气形势进行天气学分型,探索海上大风的变化规律,为海上大风预报预警提供天气学背景参考依据。

1 资料 and 标准

本文利用来自国家气象信息中心的2010—2014年地面观测站(包括288个海岛站、380个沿海气象站、28个浮标站、37个船舶站、53个气象观测塔、13个海上平台站、9个沿海风廓线仪等,时间分辨率为3h间隔)和高空气象观测站(时间分辨率为6h)资料对中国近海出现的6级及以上海上大风过程进行普查分析。其具体范围是:10~41°N、105~125°E。

规定实况观测资料中单站日最大10min平均风速达到6级及以上($\geq 10.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)记为1个沿海大风站次,某个海区出现连续12h及以上不少于五个大风站次的作为一次大风过程,并以此为基础进行统计分析。

2 海上大风研究现状

2.1 海上大风特征研究

20世纪80年代以来,对海上大风的研究主要集中在对资料的统计分析和利用大气动力学原理

对个例的诊断研究上。陈信雄和姜得中^[1]认为冬半年我国近海8级及以上大风天气过程可分为以下3种类型:强冷空气影响产生的大风、气旋造成的大风和北上台风造成的大风。张新玲和吴增茂^[2]对1979—1981年春、秋季黄、渤海 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上大风情况下,渤海海上风和沿岸实测风对比发现,海上风、沿岸风和比值都具有明显的日变化和季节变化,而且其比值和日较差随季节和风向而变化。另外,还有一些研究对海上大风的气候特征进行了统计分析^[3-8]。

2.2 海上大风成因研究

辛宝恒^[9]认为黄、渤海的偏北大风与冷锋和气旋(黄河气旋、江淮气旋、渤海气旋和北上热带气旋)有关,偏南大风与蒙古气旋、东北低压和华北地形槽有关。张华芳^[10]认为风暴东侧强大的低空东南急流是造成海上大风的主要原因。阎俊岳等^[11]论述了黄、渤海大风的分布规律、海陆大风对比分析特征、天气过程以及预报方法。刘学萍^[12]、黄少军等^[13]、林曲凤等^[14]认为烟台附近海上大风的原因与强垂直风切变、低空变形场的锋生作用及地面黄河气旋的适度发展有关;寒潮大风产生在高湿、高能、中低层位势不稳定以及高层辐散、低层辐合的深厚上升运动区。尹尽勇等^[15]对一次莱州湾大风过程分析得出温带气旋的爆发性发展是海上大风的主要成因。王雷^[16]发现冷空气南下与东海低压发展造成的气压梯度、高低空较强的冷平流以及中低空辐合辐散差异引起的动力强迫下沉作用所造成的动量下传是东海大风的主要原因,且最大风发生区域和时间既与低层和中层700hPa分别转为辐散和辐合中心对应,又与中低层700hPa以下正好处于下沉速度中心附近对应。吴海英等^[17]发现温度平流与地面风场之间是通过变压场相互关联和促进的,强冷空气所伴随的冷平流增强了地面变压场及变压梯度,是导致江苏近海大风出现的重要原因。董海鹰等^[18]和东高红等^[19]分别指出海风锋对强对流大风的加强作用。盛春岩和杨晓霞^[20]发现冷空气到达渤海湾后,锋前的强暖平流与锋后的强冷平流造成低空锋区进一步增强。冷锋次级环流的下沉运动与地面正变压中心对应,变压梯度风与大尺度气压梯度风共同造成渤海强风过程。徐哲永等^[21]对舟山群岛一次冷空气大风过程诊断分析表明,冷空气南下与东海低压强烈发展造成的强气压梯度以及中低层冷平流的作用是造成强风的重要原因。高低层散度场的耦合以及高空锋区过

境时产生的动力下沉运动造成强烈的动量下传,进一步加大了地面风速。韩永清等^[22]对 2012 年一次黄、渤海强风天气过程进行天气动力学分析表明,较强冷空气与地面气旋相互影响造成大的气压梯度是造成海上强风的直接原因。

综上所述,国内主要利用沿海单个或某些海区的观测资料通过统计分析和个例诊断分析在海上大风研究方面做了一些工作,但对中国近海所有海区的研究比较少见。本文主要对 2010—2014 年造成我国近海 6 级及以上海上大风过程的天气形势进行天气学分型,为研究和探索海上大风预报方法提供参考。

3 2010—2014 年中国近海大风过程统计特征

中国近海海域包括渤海、黄海、东海、南海和台湾海域,介于欧亚大陆与太平洋之间,自南向北略呈弧形分布。由于渤海、黄海、东海、南海与中国大陆紧连,故在地理上又习惯地把上述四海称为“中国海”。其中渤海、黄海和东海位于中国大陆以东,常被称为“东中国海”,而南海位于中国大陆以南,又称为“南中国海”。中国海洋气象近海海域预报区范围及划分如图 1^[23]所示。

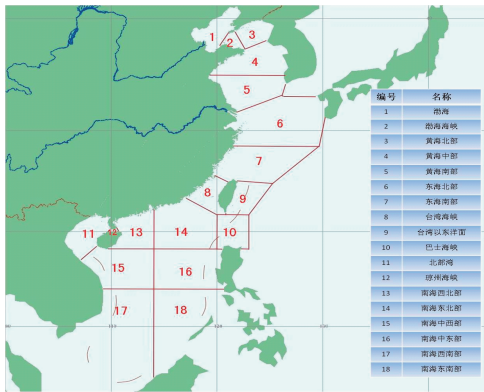


图 1 中国海洋气象近海海域预报区示意图^[23]

Fig.1 The forecast areas of China's offshore^[23]

对 2010—2014 年中国近海 6 级及以上海上大风过程的统计结果表明,2010—2014 年共出现了 285 次大风过程,并且可划分为冷空气型、温带气旋型和热带气旋型 3 种类型。其中根据冷空气活动的天气形势,冷空气型又可以分为小槽东移型、小槽发展型和横槽转型型 3 类;温带气旋型又可分为东海气旋型、蒙古气旋型和黄渤海气旋型 3 类。

2010—2014 年冷空气型、温带气旋型和热带气

旋型年平均发生次数分别为 27.6 次、15.0 次和 14.4 次,分别占总数的 48.4%、26.3% 和 25.3%。冷空气型海上大风主要发生在秋、冬、春季(分别占 50.7%、30.1% 和 19.2%),影响我国的冷空气从寒潮关键区(西伯利亚中部;70~90°E,43~65°N)入侵我国主要有 3 条路径:西路、西北路和东路。2010—2014 年 138 次冷空气型海上大风天气过程中,西北路冷空气型分别占 78.8%、80.0%、80.6%、73.7% 和 60.0%,5 年平均为 75.4%,可见海上大风主要由冷空气引发,且冷空气路径绝大多数为西北路(表 1)。

表 1 2010—2014 年 3 种类型海上大风过程发生次数分布

Table 1 Occurrence numbers of the three types of gale processes from 2010 to 2014 次

	冷空气型(冷空气路径)			温带气旋型	热带气旋型	总计
	西北路	西路	东路			
2010 年	26	4	3	22	11	66
2011 年	24	3	3	11	13	54
2012 年	25	4	2	13	16	60
2013 年	14	2	3	8	21	48
2014 年	15	6	4	21	11	57
平均	20.8	3.8	3	15	14.4	57

对 2010—2014 年中国近海 6 级及以上海上大风过程按渤海、黄海、东海和南海 4 个海区分别进行统计,结果表明,渤海、黄海、东海、南海,4 个海区的冷空气型海上大风过程分别占各海区总次数的 86%、80%、73% 和 67%,因此对每个海区来说冷空气型都是最主要的,而且西北路、西路和东路 3 种不同冷空气路径类型中,西北路冷空气过程占绝大多数。渤海和黄海第二多的是温带气旋型海上大风过程,东海和南海第二多的是热带气旋型海上大风过程。温带气旋型海上大风过程主要出现在渤海、黄海和东海,热带气旋型海上大风过程主要出现在东海和南海。另外,渤海在 2010—2014 年中未出现热带气旋型海上大风过程,南海未出现温带气旋型海上大风过程(表 2)。

对 2010—2014 年中国近海 6 级及以上海上大风过程按照春季、夏季、秋季和冬季分别进行统计,结果表明,冷空气型海上大风过程主要发生在春、秋、冬 3 季,分别占春、秋、冬 3 个季节总数的 28%、25% 和 47%,其中近一半过程发生在冬季,且西北

路、西路和东路3种不同冷空气路径类型之中,西北路冷空气过程占绝大多数。温带气旋型海上大风过程主要发生在春季和夏季,分别占60%和27%。而热带气旋型海上大风过程主要发生在夏季和秋季,分别占56%和28%。总体而言,春季发生3种类型海上大风过程的总数最多,其次为冬季,夏季和秋季最少(表3)。

表2 2010—2014年4个海区海上大风过程发生次数分布

Table 2 Occurrence numbers of gale processes in the four sea areas from 2010 to 2014 次

海区	冷空气型(冷空气路径)			温带气旋型	热带气旋型	总计
	西北路	西路	东路			
渤海	76	11	4	15	0	106
黄海	88	11	5	19	7	130
东海	95	17	10	18	27	167
南海	77	10	4	0	44	135

表3 2010—2014年四个季节海上大风过程发生次数分布

Table 3 Occurrence numbers of gale processes during four seasons from 2010 to 2014 次

季节	冷空气型(冷空气路径)			温带气旋型	热带气旋型	总计
	西北路	西路	东路			
春季	29	2	8	45	4	88
夏季	0	0	0	20	40	60
秋季	25	8	1	3	23	60
冬季	50	9	6	7	5	77

4 中国近海大风天气学分型

从各类大风中选取典型天气过程,分析其环流形势及大风特征。

4.1 冷空气型

由前面统计结果可知,冷空气型海上大风过程

主要发生在冬季,因此所选的冷空气型过程个例全在冬季。

4.1.1 横槽转竖型

2011年12月7—13日为一次典型的横槽转竖型冷空气大风天气过程,冷空气由西北路径影响我国并造成近海大风。由12月7日08时(北京时,下同)500 hPa形势场可以看出,从日本北部到我国东北内蒙古地区有一明显的横槽(图2a),欧亚中高纬度在贝加尔湖东北部有一个阻塞高压,8日20时,贝加尔湖东北部的阻塞高压西退至新疆西北部(图2b),同时位于东亚的横槽已经转竖,槽后西北气流引导冷空气南下影响我国东部近海。地面冷锋后部冷高压前沿气压梯度增大,为2.0~2.5 hPa/(100 km)。强的气压梯度导致渤海、渤海海峡、黄海、东海和台湾海峡等海域出现以6~7级为主的大风过程,其中黄海东部和东海北部出现了9级大风(图2c)。

4.1.2 小槽东移型

2012年2月23—27日为一次典型的小槽东移型冷空气大风过程,冷空气由西北路径影响我国并造成渤海、黄海、东海和台湾海峡产生大风。由2月23日08时500 hPa形势场(图3a)可以发现,欧亚中高纬度在东亚有一个大槽,西亚有一个低涡,在两个低值系统之间从蒙古国中部到我国西南地区东部自北向南有3个阶梯槽。24日,原来位于蒙古中部的小槽,已东移至我国北方并且有所发展加强,东亚大槽有所东退,到25日08时,已经替代原来的东亚大槽,槽后西北气流引导冷空气南下影响我国(图3b)。之后东亚大槽继续发展加强。地面冷锋后部冷高压前沿气压梯度增大至2.0 hPa/(100 km)。强的气压梯度导致了渤海、黄海、东海、台湾海峡出现了6~7级大风,其中渤海海峡和东海西北部海域风力最大达8级(图3c、d)。

4.1.3 小槽发展型

小槽发展型也称脊前不稳定小槽东移发展型。

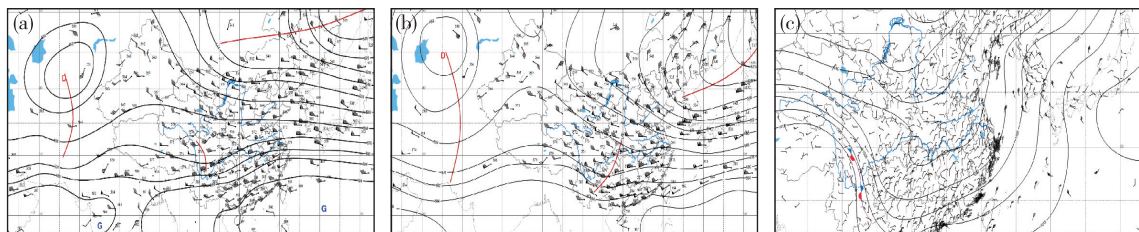


图2 2011年12月500 hPa与地面天气图(a.7日08时500 hPa天气图,b.8日20时500 hPa天气图,c.8日20时地面天气图)

Fig.2 Synoptic charts of 500 hPa at 08:00 BST 7 (a), 20:00 BST 8 (b) Dec. 2011, and surface weather chart at 20:00 BST 8 Dec. 2011 (c)

2014 年 12 月 1—3 日为一次典型过程,冷空气由西北路径影响中国近海并造成渤海、渤海海峡、黄海、东海和台湾海峡都产生了大风。由 11 月 30 日 08 时 500 hPa 形势场(图 4a)可以看出,蒙古国中部—我国河套地区有一槽,我国南方还有另外一个槽。随着蒙古国中部—我国河套地区的槽东移至内蒙古东部,我国南方的槽也东移发展。到 12 月 1 日

08 时(图 4b),形成东北低涡,南北两槽同位相叠加形成一个大槽。槽后强西北气流引导冷空气南下影响我国。地面冷锋后部冷高压前沿气压梯度增大至 $3.0\sim 3.5\text{ hPa}/(100\text{ km})$ 。强的气压梯度导致了渤海、渤海海峡、黄海、东海和台湾海峡出现了 7~8 级大风(图 4c)。

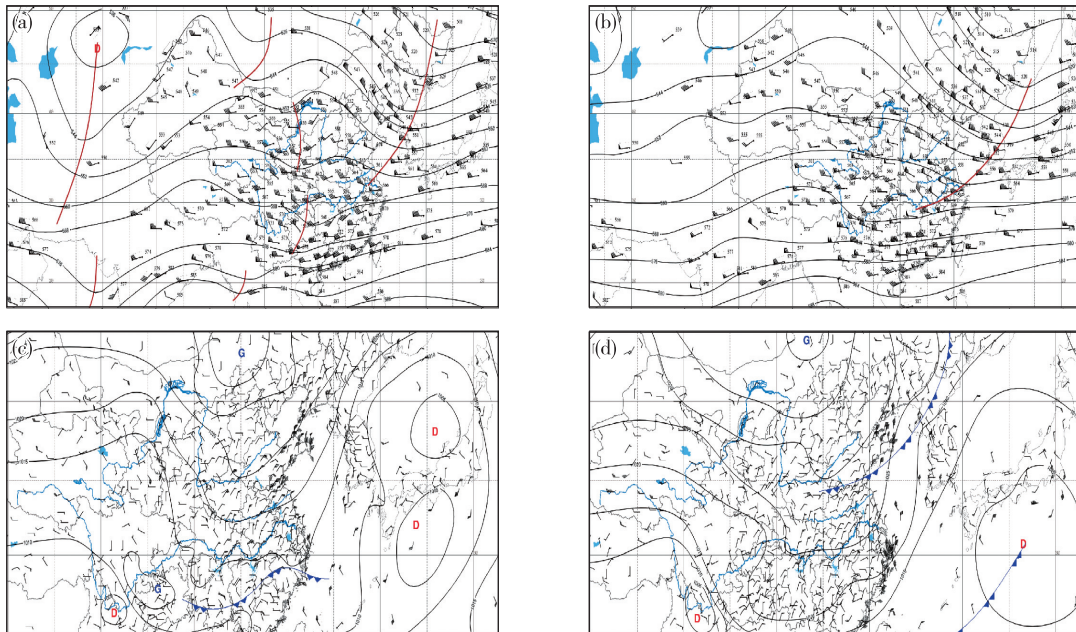


图 3 2012 年 2 月 500 hPa 形势场和 500 hPa 形势场(a.23 日 08 时地面天气图,b.25 日 08 时 500 hPa 形势场,c. 23 日 08 时地面天气图,d.25 日 08 时地面天气图)

Fig.3 Synoptic charts of 500 hPa at 08:00 BST 23 (a), 08:00 BST 25 (b) Feb. 2012; surface weather charts at 08:00 BST 23 (c), 08:00 BST 25 (d) Feb. 2012

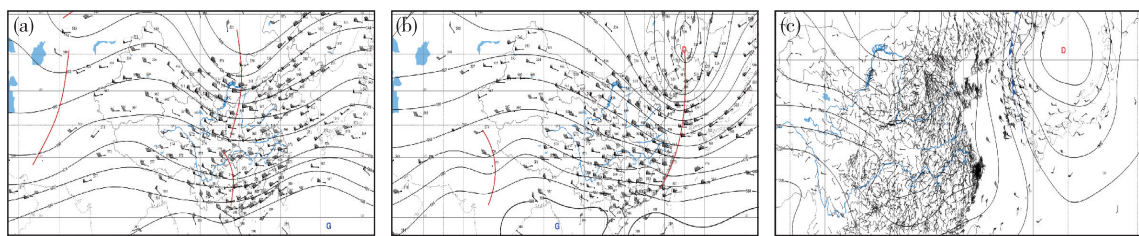


图 4 2014 年 500 hPa 形势场和地面天气图(a.11 月 30 日 08 时 500 hPa 形势场,b.12 月 1 日 08 时 500 hPa 形势场,c. 12 月 1 日 08 时地面天气图)

Fig.4 Synoptic charts of 500 hPa at 08:00 BST 30 Nov. 2014 (a), 08:00 BST 1 Dec. 2014 (b), and surface weather chart at 08:00 BST 1 Dec 2014 (c)

4.2 温带气旋型

我国温带气旋分为南方气旋和北方气旋,南方气旋活动在淮河以南地区和东海、日本海南部海面上,有江淮气旋及东海气旋(本文研究海上大风,移至东海上的气旋统称为东海气旋)。北方气旋有蒙古气旋、东北气旋、黄河气旋(移至黄海或渤海上又称黄渤海气旋)。温带气旋型海上大风过程主要指温带气旋移到海上后加深发展,气压梯度加大造成

海上大风天气。由第 3 节统计结果可知,温带气旋型海上大风过程主要发生在春季和夏季,主要出现的海区为渤海、黄海和东海,所以挑选的个例都发生在春季和夏季。以下为各类温带气旋型大风特征。

4.2.1 东海气旋型

2014 年 6 月 1—4 日为一次典型的东海气旋型海上大风天气过程,6 月 1 日 08 时地面图可见,在

江淮地区有一中心强度为 1 002 hPa 的气旋,随后江淮气旋开始东移(图 5a),到 1 日 20 时(图 5b)开始进入东海北部,并且中心气压下降至 1 000 hPa,黄海和东海出现了 6~7 级东南或偏东风。之后气旋继续东移,到 2 日 08 时气旋大部分位于东海上(图 5c),并且继续发展加强。到 2 日 14 时气旋已经完全位于东海上。随着东海气旋发展加深,在黄海南部产生的气压梯度最大达 4.0~4.5 hPa/(100 km),黄海中部出现 6~7 级东北风,黄海南部和东海北部出现 6~7 级西北风,最强可达 9 级(图 5d)。

4.2.2 蒙古气旋型

2010 年 4 月 7—8 日为一典型的蒙古气旋型海

上大风天气过程,4 月 7 日中心强度为 1 002.5 hPa 的蒙古低压位于贝加尔湖附近,中心强度为 1 025 hPa 的大陆高压位于华北地区,到 7 日 20 时,蒙古低压东移至蒙古国东部,大陆高压东移进入黄海(图 6a)。到 8 日 08 时,蒙古低压东移到我国东北部地区,而海上高压东移至日本海,两者之间在渤海到黄海北部形成一条东南—西北向大的气压梯度带,气压梯度最强达 3.0~3.5 hPa/(100 km),黄海、渤海出现 6~7 级偏南大风,最强达 8 级(图 6b)。

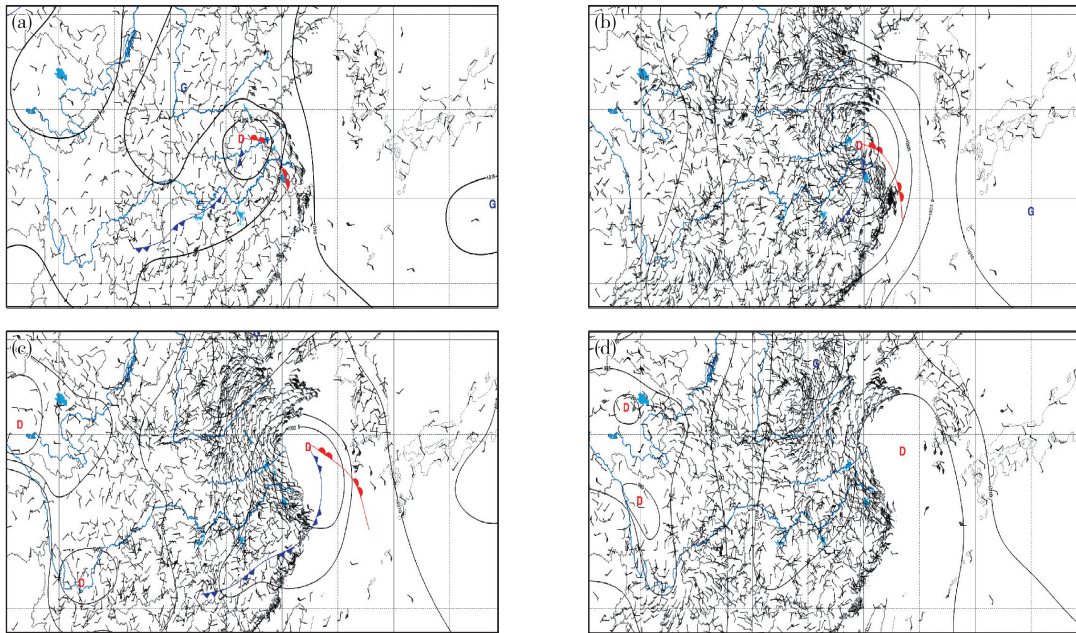


图 5 2014 年 6 月 1 日 08 时(a)、1 日 20 时(b)、2 日 08 时(c)、2 日 14 时(d)地面天气图

Fig.5 Surface weather charts at 08:00 BST 1 Jun. (a), 20:00 BST 1 Jun. (b), 08:00 BST 2 Jun. (c), and 14:00 BST 2 Jun. (d) 2014

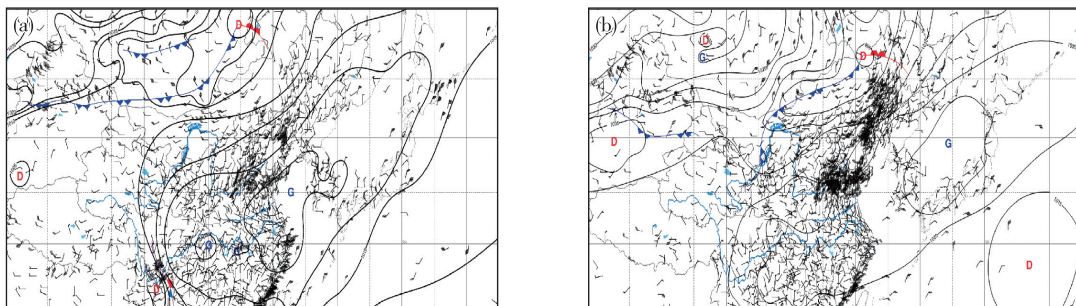


图 6 2010 年 4 月 7 日 20 时(a)、8 日 08 时(b)地面天气图

Fig.6 Surface weather charts at 20:00 BST 7 Apr. (a), and 08:00 BST 8 Apr. (b) 2010

4.2.3 黄渤海气旋型

2011 年 7 月 30 日为一典型的渤海气旋型海

上大风天气过程,由 7 月 30 日 08 时地面图(图 7a)可以看出,华北地区一个中心强度为 1 002.5 hPa 的

气旋东移入渤海,到 30 日 14 时,气旋中心位于渤海上,中心气压下降至 997 hPa。之后该气旋逐渐沿东北方向由渤海移至东北地区。这次过程形成的气

压梯度很弱,仅为 $1.5 \sim 2.0 \text{ hPa}/(100 \text{ km})$,影响范围比较小,仅在渤海和渤海海峡产生 6~7 级大风,最强达 8 级(图 7b)。

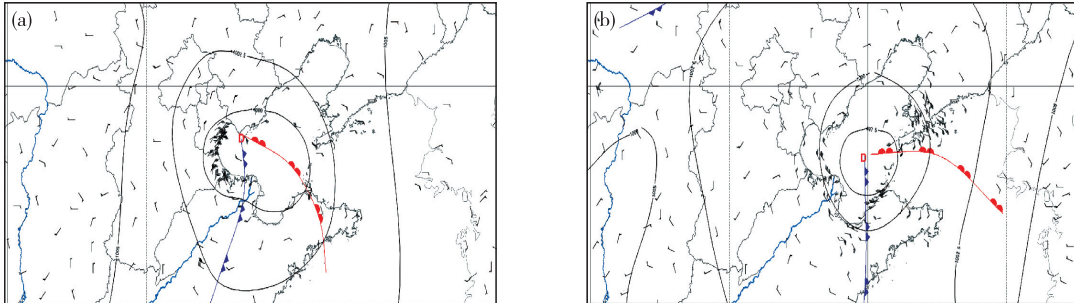


图 7 2011 年 7 月 30 日 08 时(a)、14 时(b)地面天气图

Fig.7 Surface weather charts at 08:00 BST 30 Jul. (a), and 14:00 BST 30 Jul. (b) 2011

4.3 热带气旋型

热带气旋产生的海上大风过程主要包括以下两种情况:热带气旋在中国东部沿海直接登陆或者再次入海后引发海上大风;热带气旋在西进或北上过程中与冷空气相互作用,使得气压梯度加大从而引发海上大风(这种过程发生次数较少)。由于西北太平洋和南海热带气旋活跃期主要在 7—10 月,而且登陆我国的热带气旋也主要发生在 7—10 月,并且根据第 3 部分统计结果也可知,热带气旋型海上大风过程主要发生在夏季和秋季,因此以秋季发生热带气旋型海上大风过程作为个例进行探讨。

2014 年 10 月 12—13 日 1419 号台风“黄蜂”

(Vongfong)北上过程中,在渤海、黄海、东海导致了一次海上大风天气过程。10 月 12 日 20 时(图 8a)地面冷高压中心位于我国与蒙古国中部交界处,中心气压为 1 035 hPa,台风“黄蜂”中心位于东海东部,中心附近最大风力为 10 级($28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。受其影响,东海大部出现 8~10 级大风,最强达 12 级($32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。到 13 日 08 时(图 8b),随着台风“黄蜂”的北上以及冷高压向东南移动,台风西北侧与大陆冷高压之间的气压梯度增大至 $7 \sim 8 \text{ hPa}/(100 \text{ km})$,东海大部仍有 8~9 级大风,同时渤海、渤海海峡、黄海大部的风力增大到 6~7 级,最强达 8 级。

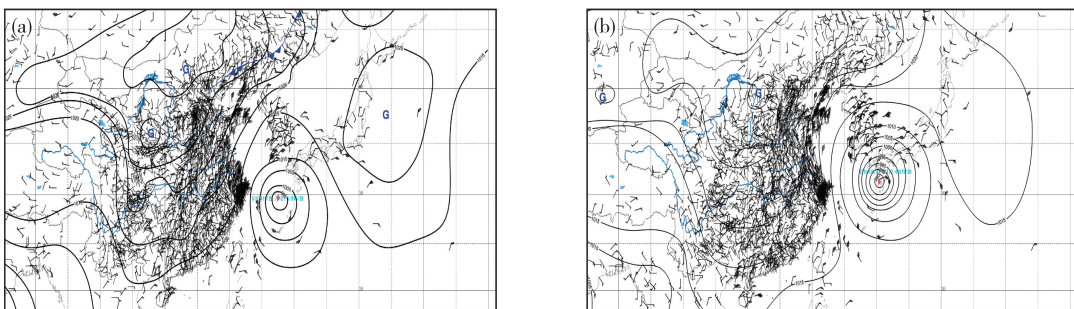


图 8 2014 年 10 月 12 日 20 时(a)、13 日 08 时(b)地面天气图

Fig.8 Surface weather charts at 20:00 BST 12 Oct. (a), and 08:00 BST 13 Oct. (b) 2014

5 结论

1) 2010—2014 年中国近海共出现 285 次 6 级及以上大风过程,并且可划分为冷空气型、温带气旋型和热带气旋型 3 种类型。其中冷空气型又可以分为小槽东移型、小槽发展型和横槽转竖型 3 类;温带气旋型又可分为东海气旋型、蒙古气旋型和黄渤

海气旋型 3 类。

2) 2010—2014 年冷空气型、温带气旋型和热带气旋型海上大风过程年平均发生次数分别为 27.6 次、15.0 次和 14.4 次,分别占总数的 48.4%、26.3%和 25.3%。冷空气型海上大风天气过程中,西北路冷空气型约占 75%,可见海上大风主要由冷空气引发,且冷空气路径绝大多数为西北路。

3)冷空气型近海大风天气过程主要是由于地面冷锋后部、冷高压前沿气压梯度增大导致。温带气旋型近海大风过程主要是由温带气旋移至海上后加深发展,气压梯度加大造成。热带气旋型海上大风天气过程通常在7—10月发生较多。

参考文献:

- [1] 陈信雄,姜得中.中国近海航区大风天气分析及其预报[J].海洋预报,1995,12(1):55-61.
- [2] 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.
- [3] 王日东,姜俊玲,郭卫华,等.渤海海峡海岛站与沿岸站大风对比分析[J].海洋预报,2010,27(2):22-29.
- [4] 张晓慧.渤海大风统计特征及物理机制分析[D].青岛:中国海洋大学,2003.
- [5] 孙湘平,姚静娴,黄易畅,等.中国沿岸海洋水文气象概况[M].北京:科学出版社,1981:112-145.
- [6] 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.
- [7] 吴曼丽,陈宇,王瀛,等.黄渤海北部沿海大风时空变化特征[J].气象与环境学报,2012,28(6):65-71.
- [8] 杨晓霞,盛春岩,沈建国,等.山东沿海偏北大风的天气学模型和物理量特征[J].海洋预报,2014,31(3):45-55.
- [9] 辛宝恒.黄海渤海大风概论[M].北京:气象出版社,1991:34-37.
- [10] 张华芳.9216号强热带风暴及其影响我国东部沿海的偏东大风[J].海洋预报,1996,13(3):70-76.
- [11] 阎俊岳,陈乾金,张秀芝,等.中国近海气候[M].北京:科协出版社,1993:109-280.
- [12] 刘学萍.烟台海域海难事故气象条件分析及预防对策[J].气象,2001,27(3):55-57.
- [13] 黄少军,薛龔波,石磊,等.渤海海峡客滚船海难事故与大风事件关系分析[J].气象与环境学报,2006,22(3):30-32.
- [14] 林曲凤,梁玉梅,李艳.“11·24”寒潮大风成因分析[J].山东气象,2000,20(81):29-31.
- [15] 尹尽勇,曹越男,赵伟.2010年4月27日莱州湾大风过程诊断分析[J].气象,2011,37(7):897-905.
- [16] 王雷.一次冷空气强风的成因分析[J].海洋预报,2005,22(4):96-101.
- [17] 吴海英,孙燕,曾明剑,等.冷空气引发江苏近海强风形成和发展的物理过程探讨[J].热带气象学报,2007,23(4):388-394.
- [18] 董海鹰,邵玲玲,李德萍,等.青岛奥帆赛期间海风锋触发的对流性降水特征[J].气象,2008,34(S1):47-53.
- [19] 东高红,何群英,刘一玮,等.海风锋在渤海西岸局地暴雨过程中的作用[J].气象,2011,37(9):1100-1107.
- [20] 盛春岩,杨晓霞.“09.4.15”渤海和山东强风过程的动力学诊断分析[J].气象,2012,38(3):266-273.
- [21] 徐哲永,王雷,王坚侃.舟山群岛海域一次大风过程的诊断分析[J].海洋预报,2012,29(5):53-58.
- [22] 韩永清,张少林,郭俊建.黄渤海一次强风天气成因分析[J].气象科技,2015,43(2):283-288.
- [23] 中国气象局.海洋气象预报业务规定(试行)[Z].2010-09-09.