

## 渤海中西部近海与沿岸海雾的特征分析

郑怡<sup>1</sup>, 李冉<sup>2</sup>, 史得道<sup>3</sup>, 王亚男<sup>3</sup>, 孙蜜娜<sup>3</sup>

(1. 山东省气象台, 山东 济南 250000; 2. 中国气象局, 北京 100081; 3. 天津市气象台, 天津 300074)

**摘要:** 利用2004—2012年渤海湾埕北油田A平台的气象水文观测资料以及塘沽、秦皇岛、兴城和龙口4个环渤海沿岸观测站的常规观测资料进行统计分析, 得出渤海中西部海雾的气候特征及影响因子, 归纳了天气系统模型, 并给出了相关气象要素的定量化指标。结果表明: 渤海海雾年际变化明显, 其中2005年出现频次最少, 2007年最多, 不同海区海雾月际变化特征有所差异, 但都存在冬季高发期, 且海雾高发期受到温度空间分布的影响, 08时海雾出现频次最多, 其日变化特征受太阳辐射和海陆差异影响; 依据高低空环流形势和地面主要影响系统, 将渤海海雾发生时的天气形势分为均压场型, 倒槽冷锋型, 低压场型和高压场型4种并分别给出概念模型, 各海区均压场型出现概率最高, 渤海湾和莱州湾海区倒槽冷锋型次之, 辽东湾海区低压场型占比第二; 渤海海雾在海气温差正负时皆可出现且差值多在2℃以内, 总体盛行风向特征不显著, 这些特征与黄海海雾预报差异较大; 此外, 沿岸相对湿度达到90%以上, 近海相对湿度达到80%以上, 风速在0—3级之间, 低层大气存在逆温层时, 有利于渤海海雾的生成和发展。

**关键词:** 渤海中西部; 海雾; 统计特征; 天气系统模型

**中图分类号:** P732.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2016)06-0074-07

### 1 引言

海雾是指受海洋的影响发生在海上或沿海地区低层大气中的凝结现象, 是悬浮在大气边界层内大量水滴或冰晶使大气水平能见度小于1 km的天气现象<sup>[1]</sup>。其发生严重危害近海港口作业、电力输送和海上交通运输等, 尤其给船舶航行带来巨大安全隐患。据舟山海事局统计, 在近200次海上船舶碰撞、触礁等海难事故中, 有70%左右主要是由海雾引起的<sup>[2]</sup>。

我国毗邻的4个海区皆有海雾发生, 以黄海最为多发<sup>[3]</sup>, 目前已有的研究也多针对该海区, 学者们利用各种先进的观测手段和数值模拟、数据同化等技术方法在黄海海雾的气候特征、天气背景、边界层结构及微物理特征等方面进行了大量研究<sup>[4-11]</sup>。渤海海雾因其发生频次相对较低且雾区面积较小,

往往不被作为我国近海海雾特征的代表<sup>[3]</sup>, 相关研究也相对较少。郭正明<sup>[12]</sup>曾利用船舶航海日志和地面天气图进行统计, 发现渤海及其口外的海雾雾日主要集中于3—7月, 尤以7月为多, 8月顿少, 9—11月为贫雾季节。吴晓京等<sup>[13]</sup>利用20 a卫星遥感资料对黄、渤海海雾分布的季节特征进行了分析, 发现黄、渤海海域存在冬季海雾多发时段。曲平等<sup>[14]</sup>利用埕北油田A平台数据对渤海湾海雾进行了统计分析, 发现A平台雾日数在春、夏和秋季具有明显的海洋性特征, 冬季受陆地影响较大, 平流蒸发雾多于平流冷却雾, 且在平流冷却雾中海面蒸发作用仍存在。另有一些预报工作者对辽东湾、渤海湾等局地海雾特征及生消机理进行了分析, 任志军等<sup>[15]</sup>利用A平台及塘沽站数据对天津港区雾发生的时间变化规则进行了分析, 王玉国等<sup>[16]</sup>利用辽东湾西岸海岛气象站观测资料统计分析了海雾的季节和日

收稿日期: 2015-10-16

基金项目: 中国气象局气象关键技术集成与应用(重点)项目(CMAGJ2013Z02); 山东省气象局气象科学技术研究项目(2010sdqx01)。

作者简介: 郑怡(1988-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事天气预报技术和方法研究工作。Email: zhengyi\_316@163.com

变化特征及影响海雾的水文气象因子。

渤海三面环陆,是我国重要的经济开发区,毗邻多港口,海上交通运输繁忙,海雾的预报准确率直接与社会经济活动及航运安全联系在一起,因此对渤海海雾的研究具有重要意义。作为半封闭的内陆浅海,其地理位置和水文特征使该海域海雾类型、成因更为复杂<sup>[4]</sup>,预报难度也更大。目前渤海海雾的研究多针对渤海海峡区域或选择单一站点进行分析,代表性不强且对渤海中西部海区关注较少。因此,本文希望通过对渤海中西部海区海雾的气候特征、天气形势及边界层特征等进行分析,期为渤海海雾预报提供一些有益参考。

## 2 资料和方法

对于样本的选取涉及到海雾的界定,目前对于海雾的界定有两种:海上生成的雾和海上出现的雾。对于海雾形成的微物理过程而言,选取海上生成的雾更能反映出下垫面条件的作用,而对于预报工作而言,所有海上出现的低能见度现象都会对生产交通造成影响。因此,针对本文研究目的,本文选取能见度小于1 km的站次作为样本标准,时间范

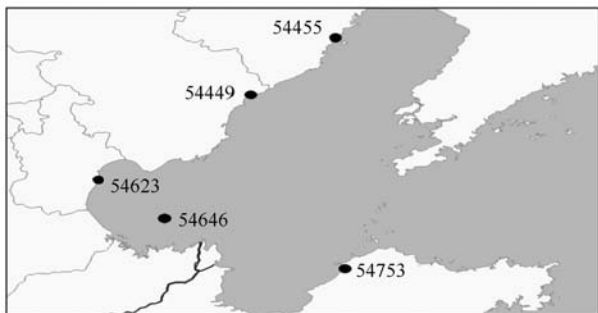


图1 站点地理位置示意图

表1 分析站点信息

站点	站号	纬度/N	经度/E	海拔高度/m
石油平台	54646 每天3次	38°27'	118°25'	19.8
塘沽区	54623 每天8次	39°00'	117°43'	10.8
秦皇岛	54449 每天8次	39°56'	119°36'	3.3
兴城	54455 每天8次	40°35'	120°42'	9.8
龙口	54753 每天8次	37°37'	120°19'	4.8

围为2004年1月1日—2012年6月31日,选取环渤海的5个站点,各站点经纬度信息及地理位置分布见表1和图1,其中54646石油平台站为海上观测站,其它4个站均为沿岸观测站。

经统计,此时段内共有160次海雾过程,651站次出现海雾。其中一次海雾过程的定义为12 h内有两个或以上测站出现能见度小于1 km的现象。将能见度低于50 m定义为强浓雾;50—500 m定义为浓雾;500—1000 m定义为雾进行统计。可发现出现雾和浓雾的概率都达到45%以上(见表2),说明渤海中西部近海及沿岸受海雾影响较为严重,对该海域海雾进行研究具有必要性。

## 3 渤海中西部海雾的气候变化特征

根据发生的频率及变化规律对海雾的气候特征进行分析。从海雾的年际变化(见图2)中可以看到,A平台和沿岸站次的变化趋势一致,8 a间以2005年雾日数最少,2007年雾日数最多,年际变化较大。这种现象的原因周发琇等做了专门的研究,

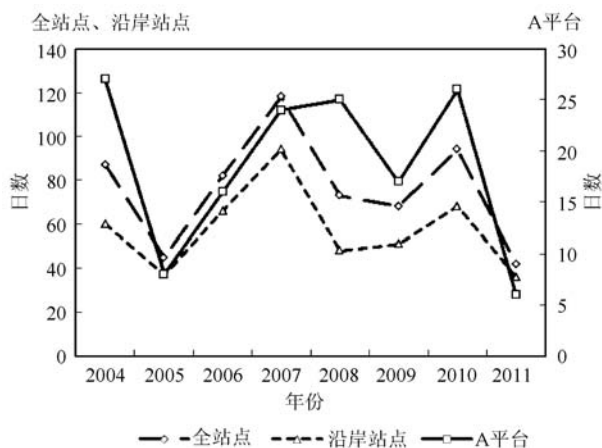


图2 海雾日数的年际变化

表2 出雾站次的统计

程度	雾	浓雾	强浓雾
站次	299	293	59
百分比	45.93%	45.01%	9.06%
A平台	95	68	2
沿岸站点	204	225	57

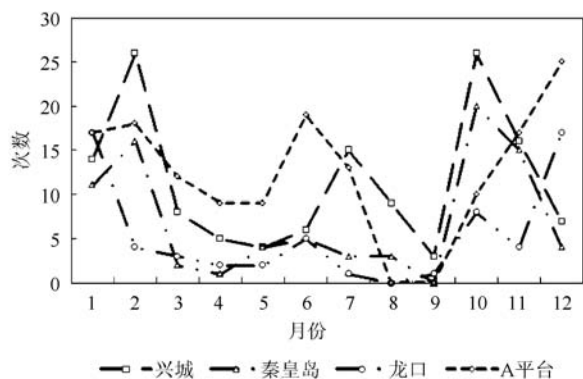


图3 海雾次数的月际变化

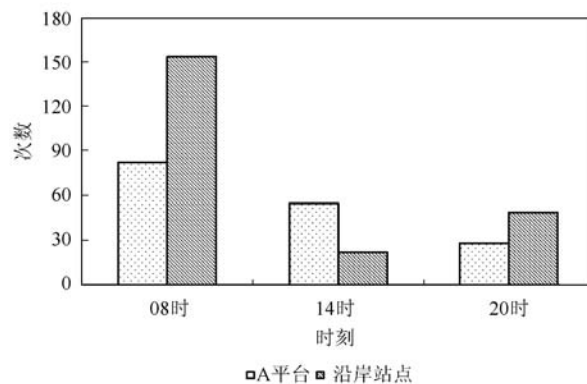


图4 海雾的日变化

指出这与东亚大槽的位置有关,雾日多的年份东亚大槽位置偏西,雾日少的年份东亚大槽偏东<sup>[17]</sup>。

分析海雾的月际变化(见图3),兴城和A平台两站都存在3个海雾多发期,分别为2月、6—7月和10月,且其他两站在12—2月间也都存在海雾多发期,这与吴晓京等<sup>[13]</sup>通过卫星遥感分析得到的渤海海雾在冬季存在高发期结论一致。此外,6—7月间A平台先出现海雾高发期,而秋冬季节兴城站先出现海雾高发期,这与温度月际变化的空间规律相一致,兴城站地理位置偏北,夏季升温较晚冬季降温较早。秦皇岛站海雾频发于2月和10月,时间与兴城一样;而龙口站较其他各站雾日数整体偏少,雾日数最多的月份为12月,与A平台一致。

从海雾的日变化(见图4)中可以看出08时是雾生成概率最大的时次,这与太阳辐射有关,夜间气温降低利于水汽凝结成雾。且图中也可看出沿岸站点的日变化幅度远大于A平台日变化幅度,这是由于海雾的日变化还受到当地海陆分布和局地环流影响,越靠近海岸处陆地特征越明显,因此沿岸站点日变化特征更为显著。

## 4 沿岸与近海海雾的天气形势及气象要素特征

### 4.1 天气形势的分类及概念模型

海雾的发生离不开大尺度环流形势,作为一种静稳天气背景下的天气过程,海雾主要发生于边界层内,与地面天气系统联系紧密。因此,对所选时

段内海雾过程对应的天气形势进行了细致分析,并依据其地面影响系统,将其分为以下4种:均压场型,倒槽冷锋型,低压场型和高压场型。

接下来分别给出4种天气形势的概念模型(见图5,包括地面形势及高空形势)。其中:均压场型的地面气压场较弱,无确定风向,配合高空西北或西北偏西气流,天空状况良好,利于辐射降温成雾;倒槽冷锋型地面多为偏东风控制,海区位于东北气旋前面,有弱的辐合上升运动,但冷锋伴随的冷空气不利于此种形势下雾区维持;高压场型位于地面变形高压系统内,高压深厚,利于冷空气辐射到暖洋面上使水汽凝结成雾;低压场型位于地面低压系统底部,925 hPa多伴随弱脊,低层的暖平流有利于逆温的形成,为成雾和雾区维持提供有利条件。

根据以上概念模型对海雾过程进行统计(见表3)可以看出:渤海湾海区海雾以均压场型和倒槽冷锋型为主;辽东湾海区均压场型概率最高,其次为低压场型;莱州湾同样以均压场型为主,倒槽冷锋型次之。对比黄彬等提出的黄海海雾的环流类型:冷锋型、均压场型和高压后部型,其中冷锋型占比最高达50%,而均压场型占比最少<sup>[5]</sup>。渤海海雾却以均压场型占比最高,这应该与黄、渤海海雾的成雾机理有关,黄海海雾以平流冷却雾为主,各类天气形势多有利于暖湿空气向北方冷海面输送。而渤海作为我国海域最北方的三面环陆的内海,海雾类型以平流蒸发雾为主,其次为平流冷却雾<sup>[14]</sup>,且受陆地影响更为显著,因此其均压场类型占比较高。



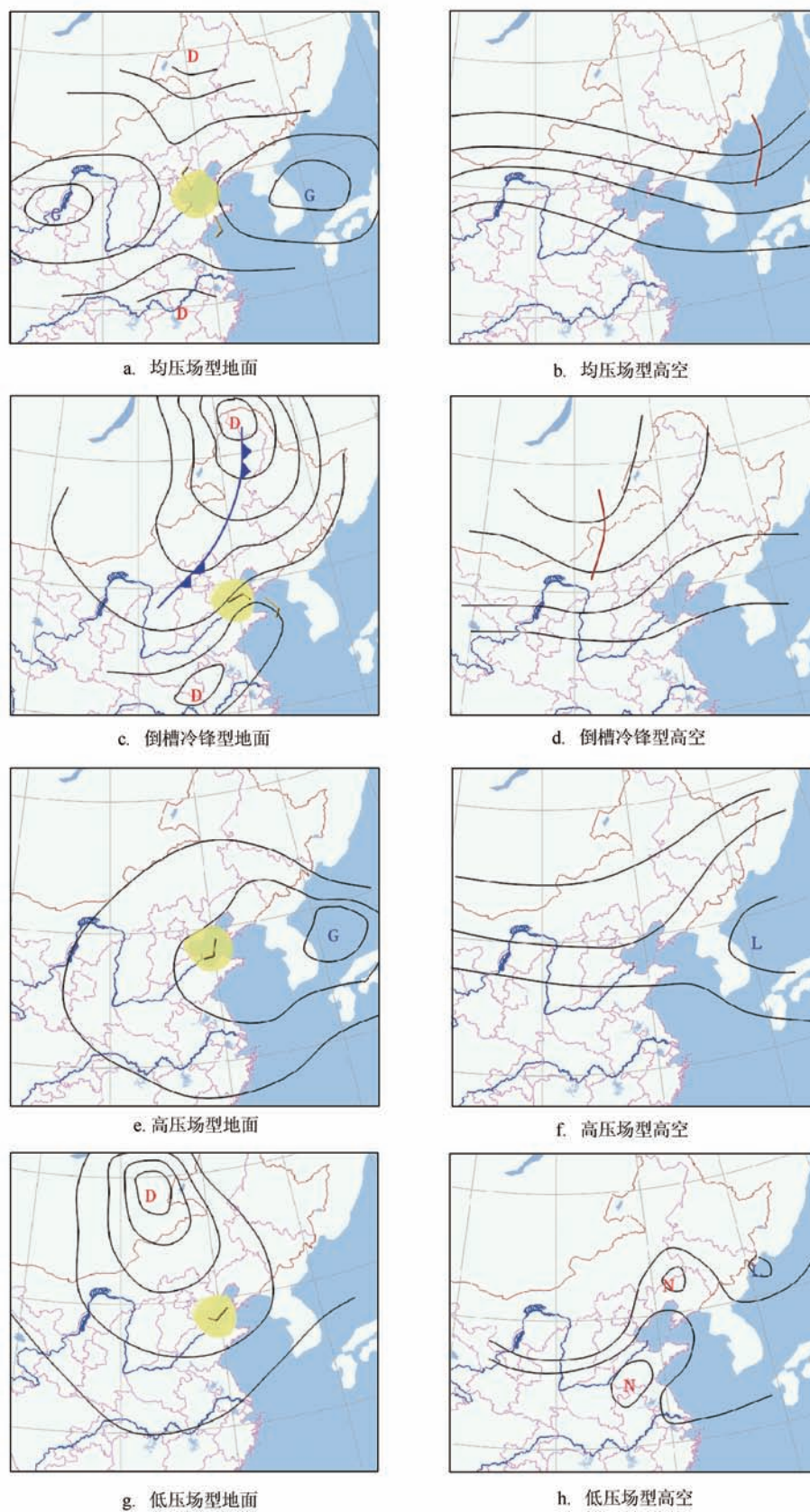


图5 不同气压场型天气形势

表3 渤海分区域地面形势所占比例

区域	所占比例/%				总样本数
	均压场	倒槽冷锋	低压场	高压场	
渤海湾	24.1	24.1	15.7	18.1	83
辽东湾	37.9	10.3	27.6	17.2	29
莱州湾	33.3	22.2	16.7	11.1	18

表4 出雾时的分区风向统计

区域	概率/%							
	东南	南	西南	西	西北	北	东北	东
兴城	12.0	37.3	5.6	3.5	5.6	26.8	3.5	5.6
塘沽	5.5	7.7	3.3	10.9	10.9	28.4	8.7	24.6
秦皇岛	3.7	6.1	3.7	34.1	18.3	22.0	2.4	14.6
龙口	5.3	16.0	9.3	29.3	0	20.0	4.0	16.0

## 4.2 风向风速条件

特定的风向和适度的风速是海雾生成和维持的重要因素。从表4中可以看到:兴城站在海雾发生期间出现南风概率最高,为37.3%,塘沽站以北风和东风概率最高,分别为28.4%和24.6%,秦皇岛站出现西风-北风最多,合计74.4%,而龙口站各风向差异不明显。对比黄海海域,黄海北部成雾风向以东-东南风为主,比例达57.9%,西部成雾东南-南风比率达64.9%,东部成雾风向多为南-西南风,比率为74.2%<sup>[5]</sup>。可以看出渤海中西部各海区海雾发生时盛行风向与黄海水雾有较大区别,渤海各海区海雾多发生于均压场内,风向不确定性较强,偏南风高概率在渤海海区表现并不明显,仅塘沽站对应的辽东湾海区南风概率较高,这可能与该海区海雾发生时低压场形势占比较高有关。

表5对比了A平台和沿岸站出雾时风速,可以看出沿岸站风速集中在0—3 m/s,占92.6%。A平台风速集中于2—6 m/s,占77.1%。两者风速都在0—3级范围内,这与已有的研究结论是相一致的<sup>[14]</sup>,沿岸站点的风速小于A平台,也符合实际观测。

## 4.3 温湿条件

分析出雾时湿度(见表6)可以看到:A平台出雾时相对湿度在80%—95%之间占93%,而沿岸站

表5 出雾时近海与沿岸的风速范围

风速/(m/s)	次数(概率)	
	A平台	沿岸站点
0	0	45(9.3%)
1	8	210(43.2%)
2	26(16.0%)	144(29.6%)
3	27(16.7%)	51(10.5%)
4	30(18.5%)	29
5	19(11.7%)	6
6	23(14.2%)	1
7	12	0
8	12	0
9	2	0
10	2	0
>10	1	0

注:只统计了主要占比区间的百分比

表6 出雾时相对湿度分布情况

相对湿度/%	100	95—100	90—95	80—90	<80
A平台站次	5	44	50	56	6
沿岸站点站次	115	207	152	11	1

表7 A平台海气温差分布情况

海气温差/℃	<-3	-3—-2	-2—-1	-1—0	0—1	1—2	2—3	>3
站次	1	1	19	64	35	17	14	14

点集中在90%—100%,占总数的97%。具体原因可能是因为海洋上的海盐气溶胶数量较多,海盐气溶胶具有很强的吸湿性,导致成雾时海上能见度比陆地低<sup>[14]</sup>。

一定的海气温差是海上形成雾的重要条件之一,利用NCEP/NCAR再分析资料,统计了渤海A平台站点距海面2 m处气温和海表面温度的差值。A平台在该时段内有165时次能见度小于1 km,其中海气温差为正(海温大于2 m气温,蒸发雾)的时次有80次,海气温差为负(2 m气温大于海温,冷却雾)的时次有85次(见表7),两者比较接近。海上A平台出雾时海气温差绝对值主要在0—2 ℃范围内,占到81.8%(0—1 ℃范围内占60%,1—2 ℃占21.8%)。

## 4.4 大气层结条件

雾的形成与当地的层结稳定度关系紧密<sup>[1,18]</sup>,经

过统计,环渤海5个观测站点在08和20时出雾且地面高空资料齐全的309站次中:1 000 hPa和地面之间存在逆温的有201站次(65.1%),925 hPa和1 000 hPa之间存在逆温的有122站次(39.5%),850 hPa和925 hPa之间存在逆温的有24站次。850 hPa以下存在逆温的共有246站次,约占79.6%。因此,存在逆温的稳定大气层结是海雾发生维持的有利因子。

## 5 结论

通过对2004—2012年渤海沿岸及近岸海雾的时空分布特征、环流形势及相关水文气象要素的统计和分析,可以得到以下主要结论:

(1)2004—2012年间,渤海海雾年际变化明显,其中2005年出现频次最少,2007年最多;不同海区海雾月际变化特征有所差异,但都存在冬季高发期,且海雾高发期受到温度空间分布的影响;08时海雾出现频次最多,其日变化特征受太阳辐射和海陆差异影响;

(2)天气系统是气象要素的综合体现,依据高低空环流形势和地面主要影响系统,将渤海海雾天气形势分为均压场型,倒槽冷锋型,低压场型和高压场型4种,并分别给出概念模型。其中各海区均以均压场型占比重最大,渤海湾和莱州湾海区倒槽冷锋型其次,辽东湾海区低压场型占比重第二;

(3)渤海海雾总体风向特征不明显,且在海气温差正负时皆可出现,海气温度差值多在2℃以内,这些特征与黄海海雾预报差异较大;

(4)出雾时风速大都集中在0—3级,近海的风速略高于沿岸;相对湿度多数在80%以上,并且近海的湿度低于沿岸站点;海气温差主要范围为-1—1℃;850 hPa以下存在逆温占到79.6%。

通过以上分析得到了渤海海雾发生的气象要素的量化指标,能够为预报提供有效的参考,同时对比得到了发生海雾时近海和沿岸站点的差异。但因渤海特殊的地理位置和水文要素特征分

布,其海雾类型及生成机制与黄海海雾有所差异,希望在今后的工作中对渤海海雾进行分类统计,进一步探讨不同种类海雾的生消机理和微物理特征。

## 参考文献:

- [1] 王彬华. 海雾[M]. 北京: 海洋出版社, 1983: 1-352.
- [2] 傅刚, 李鹏远, 张苏平, 等. 中国海雾研究简要回顾[J]. 气象科技进展, 2016, 6(2): 20-28.
- [3] 王彬华. 中国近海海雾的几个特征[J]. 海洋湖沼通报, 1980(3): 9-20.
- [4] 王鑫, 黄菲, 周发琇. 黄海沿海夏季海雾形成的气候特征[J]. 海洋学报, 2006, 28(1): 26-34.
- [5] 黄彬, 毛冬艳, 康志明, 等. 黄海海雾天气气候特征及其成因分析[J]. 热带气象学报, 2011, 27(6): 920-929.
- [6] Zhang S P, Xie S P, Liu Q Y, et al. Seasonal Variations of Yellow Sea fog: Observations and Mechanisms[J]. Journal of Climate, 2009, 22(24): 6758-6772.
- [7] Huang H J, Liu H N, Huang J, et al. Atmospheric boundary layer structure and Turbulence During Sea Fog on the Southern China Coast[J]. Monthly Weather Review, 2015, 143(5): 1907-1923.
- [8] Li Y P, Zheng Y X. Analysis of Atmospheric Turbulence in the Upper Layers of Sea Fog[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2015, 33(3): 809-818.
- [9] Gao S H, Wu W, Zhu L L, et al. Detection of Nighttime Sea Fog/Stratus Over the Huanghai Sea Using MTSAT-1R IR Data[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2009, 28(2): 23-35.
- [10] 闫智超, 李冉, 易笑园, 等. 黄海晚冬一次持续性海雾天气的动力热力特征[J]. 海洋预报, 2013, 30(4): 57-64.
- [11] 张苏平, 鲍献文. 近十年中国海雾研究进展[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2008, 38(3): 359-366.
- [12] 郭正明. 渤海及其口外的海雾[J]. 中国航海, 1965: 42-51.
- [13] 吴晓京, 李三妹, 廖蜜, 等. 基于20年卫星遥感资料的黄海、渤海海雾分布季节特征分析[J]. 海洋学报, 2015, 37(1): 63-72.
- [14] 曲平, 解以扬, 刘丽丽, 等. 1988-2010年渤海湾海雾特征分析[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 285-293.
- [15] 任志军, 卜清军. 渤海湾海雾气候特征与分析[J]. 天津航海, 2007(4): 54-56.
- [16] 王玉国, 章晗, 朱苗苗, 等. 辽东湾西岸海雾特征分析[J]. 海洋预报, 2013, 30(4): 65-69.
- [17] 周发琇, 王鑫, 鲍献文. 黄海春季海雾形成的气候特征[J]. 海洋学报, 2006, 28(3): 28-37.
- [18] 曹钢锋, 张善君, 朱官忠, 等. 山东天气分析与预报[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 310.

## Characteristics of offshore and coastal sea fog in the mid-west Bohai Sea

ZHENG Yi<sup>1</sup>, LI Ran<sup>2</sup>, SHI De-dao<sup>3</sup>, WANG Ya-nan<sup>3</sup>, SUN Mi-na<sup>3</sup>

(1. Shandong Provincial Meteorological Bureau, Jinan 250000 China; 2. China meteorological administration, Beijing 100081 China;

3. Tianjin Provincial Meteorological Observatory, Tianjin 300074 China)

**Abstract:** Based on the conventional observation data at five offshore and coastal observation stations from 2004 to 2012, the climate characteristics and influence factors of the sea fog in the Midwest Bohai Sea are statistically analyzed. The results show the sea fog in the Bohai Sea has an obvious annual variation characteristic, with the lowest frequency in 2005, and highest frequency in 2007. The monthly variation characteristics vary in different sea areas, but has a high-incidence time in winter which was affected by the spatial distribution of temperature. The highest frequency time of sea fog occurrence is at 08:00am, and the daily variation characteristic is affected by the solar radiation. The synoptic situations under the sea fog process can be divided into four patterns, which are uniform pressure field, trough and cold front, low pressure field and high pressure field, and the four kinds of conceptual model are summarized. The uniform pressure field accounted for the largest proportion, the second proportion which in Bohai Bay and Laizhou Bay is the trough cold front, the second proportion which in Liaodong Bay is the low pressure field. The statistics about the meteorological condition suitable for Sea Fog occurrence is given, such as wind direction and speed, temperature and humidity conditions, and the stability of atmospheric stratification, which can provide effective reference for the sea fog forecast.

**Key words:** the mid-west Bohai Sea; sea fog; statistical characteristics; synoptic patterns