

张新新,赵亮巨,龙景超,等.琼州海峡大雾天气形势特征分析[J].海洋气象学报,2025,45(3):42-50.

ZHANG Xinxin, ZHAO Liangju, LONG Jingchao, et al. Analysis on characteristics of synoptic situations of dense fog in the Qiongzhou Strait[J]. Journal of Marine Meteorology, 2025, 45(3):42-50. DOI:10.19513/j.cnki.hyqxxb.20250228001. (in Chinese)

琼州海峡大雾天气形势特征分析

张新新¹,赵亮巨²,龙景超^{3,4},黄元丰¹,吴德平⁵

(1.徐闻县气象局,广东 徐闻 524100;2.翁源县气象局,广东 翁源 512600;3.广东海洋大学,广东 湛江 524088;4.广东省近海海洋变化与灾害预警实验室,广东 湛江 524088;5.湛江市气象局,广东 湛江 524001)

摘要 利用1990—2023年徐闻国家级气象观测站地面观测资料和NCEP/NCAR再分析资料,对琼州海峡发生大雾的气候变化特征、气象要素特征以及成雾的常见天气形势进行统计分析。结果表明:(1)琼州海峡年均大雾日数为16.6 d,雾日数年际变化总体呈减少趋势。冬季琼州海峡大雾出现频率最高,占全年的51.8%,夏季最少,占7.8%。2月琼州海峡大雾日数最多,平均大雾日数为4.2 d,占全年的25.3%;7月的平均大雾日数最少,仅为0.3 d。琼州海峡大雾主要出现在04—08时,占全天的42.7%,峰值出现在06时,谷值在13时。(2)琼州海峡出现大雾的理想气象条件为,地面盛行偏东风(东东北—东东南风),风速集中在 $[1.0, 5.0) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;气温处于 $[16, 22) ^\circ\text{C}$;温度露点差 $t-t_d \leq 2.0 ^\circ\text{C}$;本站气压为 $[1\ 005.0, 1\ 017.5] \text{ hPa}$;相对湿度大于90%。(3)琼州海峡出现大雾的环流形势可分为低压前型、高压入海型、静止锋型、冷锋前型和均压场型5类,各个分型占有大雾天气过程的比例分别为10.8%、13.5%、21.6%、24.3%、29.8%,其中低压前型和高压入海型主要产生平流雾,静止锋型多出现混合雾,冷锋前型产生锋面雾,均压场型主要产生辐射雾;所分5种天气形势类型及其产生的大雾类型可为实际业务提供参考价值。

关键词 琼州海峡;雾日数;统计特征;天气形势

中图分类号: P426.4;P47 文献标志码: A 文章编号: 2096-3599(2025)03-0042-09

DOI:10.19513/j.cnki.hyqxxb.20250228001

Analysis on characteristics of synoptic situations of dense fog in the Qiongzhou Strait

ZHANG Xinxin¹, ZHAO Liangju², LONG Jingchao^{3,4}, HUANG Yuanfeng¹, WU Deping⁵

(1. Xuwen Meteorological Service, Xuwen 524100, China; 2. Wengyuan Meteorological Service, Wengyuan 512600, China; 3. Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 4. Guangdong Key Laboratory for Coastal Ocean Variation and Disaster Prediction, Zhanjiang 524088, China; 5. Zhanjiang Meteorological Service, Zhanjiang 524001, China)

Abstract Using the ground observation data of Xuwen National Meteorological Observing Station from 1990 to 2023 and the NCEP/NCAR reanalysis data, the characteristics of climate change, meteorological elements and common synoptic situations of the occurrence of dense fog in the Qiongzhou Strait are statistically analyzed. The results are shown below. (1) The annual average number of foggy days in the

收稿日期:2025-02-28;修回日期:2025-04-24

基金项目:湛江市气象局科学技术研究项目(2021A02);广东省气象局科学技术研究项目(GRMC2024M29);广东省科技计划项目(2024B1212040002);广东省教育厅创新团队项目(2023KCXTD015)

第一作者:张新新,327306710@qq.com。

通信作者:吴德平, zjwdp@126.com。

Qiongzhou Strait is 16.6 d, and the interannual change of foggy days presents a decreasing trend. Winter is the season with the highest frequency of dense fog in the Qiongzhou Strait, accounting for 51.8% of the annual total number of dense fog days, while summer sees the lowest frequency, making up only 7.8%. February is the month with the most dense fog days in the Qiongzhou Strait with an average of 4.2 d, accounting for 25.3% of the annual total number of dense fog days, while July has the least average number of dense fog days (only 0.3 d). The dense fog in the Qiongzhou Strait mainly occurs from 04:00 to 08:00, accounting for 42.7% of the whole day; the peak appears at 06:00, and the valley at 13:00. (2) The ideal meteorological conditions for the formation of dense fog in the Qiongzhou Strait are as follows: the easterly wind (ENE-ESE) prevails on the surface with the wind speed concentrated in the range of $[1.0, 5.0) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, the temperature is in the range of $[16, 22) ^\circ\text{C}$, the depression of the dew point ($t-t_d$) does not exceed $2.0 ^\circ\text{C}$, the pressure is in the range of $[1\ 005.0, 1\ 017.5] \text{ hPa}$ at the station, and the relative humidity is higher than 90%. (3) The circulation patterns of the fog in the Qiongzhou Strait can be divided into 5 types: the front low pressure, the high pressure entering the sea, the stationary front, the front of cold front and the equal pressure field, which account for 10.8%, 13.5%, 21.6%, 24.3% and 29.8%, respectively. Among them, the front low pressure type and the high pressure entering the sea type mainly produce advection fog, the stationary front type often produces mixing fog, the front of cold front type produces frontal fog and the equal pressure field type mainly produces radiation fog. The 5 types of weather patterns and the fog types they generate provide reference for practical operations.

Keywords the Qiongzhou Strait; the number of foggy days; statistical characteristics; synoptic situation

0 引言

大雾是由于近地面气层中的水汽凝结成微小水滴,导致大气水平能见度低于 1 km 的天气现象,当这种现象出现在海上或海滨地区时,便被称为海雾^[1]。海雾会对海洋渔业生产、海洋交通运输和船舶进出港口等活动产生不利影响,甚至造成重大的人员伤亡和经济损失,属于海上及沿海地区的重要气象灾害之一,因此,加强对海雾的研究与分析,提升海雾监测预警预报能力,不仅具有重要的学术价值,还具有广泛的社会现实意义^[2]。近年来,国内众多专家学者对黄渤海海雾^[3-5]、东海海雾^[6-8]、台湾海峡海雾^[9-11]以及南海海雾^[12-13]等进行了广泛研究,涉及海雾发生的天气背景、边界层特征及生消机制等方面,并取得了一系列成果。很多学者针对华南沿海海雾的天气气候学特征开展研究^[14-21],在微物理特征、边界层结构特征、天气分型、年际和年代际尺度变化方面获得很多新见解,为后人研究提供了诸多启示。张苏平等^[22]发现中国沿岸地区的年均雾日数呈自北向南递减趋势,华南地区的海雾相对北方较少。夏天竹^[23]指出位于华南地区的琼州海峡海雾日数明显多于其他临近沿岸地区海雾。因此,进一步加强琼州海峡的海雾研究具有重要的现实意义。

琼州海峡地处广东雷州半岛与海南岛之间,是中國大陸与海南岛之间客货运输的关键通道,同时也是重要的国际航线,在日常业务实践中,琼州海峡的海雾多在冬春两季出现,尤其是在春节交通高峰期,海雾导致的停航和停运,极易引发港口周边交通瘫痪。例如,2018年2月春节期间,琼州海峡发生持续十几天的大雾天气,其中2月18—20日受影响最为严重,导致海峡两岸共停航41次,累计停航时间超过25 h,滞留车辆上万辆,滞留旅客超过10万人,这一事件已上升为公共安全问题,引发了社会的广泛关注^[24-25]。徐闻位于祖国大陆最南端,处于琼州海峡北岸,徐闻站是具有代表性的国家级气象观测站。长期以来,徐闻站的地面观测数据被广东各级业务部门用于近似反映琼州海峡的气象要素特征,不断在监测预警预报业务中发挥重要作用。文中基于徐闻站的常规地面气象观测资料以及对应时间、全球范围的NCEP/NCAR的 $1^\circ\times 1^\circ$ FNL再分析资料,结合近十年琼州海峡停复航记录,对琼州海峡雾的气象要素特征和常见的成雾天气形势进行统计分析,旨在揭示琼州海峡雾的天气气候特征,为预报提供科学依据。

1 资料和方法

在雾的等级划分方面,依据国家标准GB/T 27964—2011《雾的预报等级》^[26]和能见度观测数据,

将雾分为轻雾、大雾、浓雾、强浓雾和特强浓雾5个等级。其中,能见度小于50 m为特强浓雾,能见度在[50,200) m为强浓雾,能见度在[200,500) m为浓雾,能见度在[500,1 000) m为大雾,能见度在[1 000,10 000) m为轻雾。需特别指出的是,文中所统计的大雾指能见度范围在[0,1 000) m的雾。

本研究的大雾日数统计严格遵循观测规范,以观测记录为依据。具体而言,若在20:00—次日20:00(北京时,下同)期间出现大雾,不论其持续时间,均统计为1个雾日。基于1990—2023年徐闻国家级气象观测站(站号59754)的地面气象观测数据,分析琼州海峡大雾在过去34年的年际变化、季节变化以及日变化特征。此外,还对出现大雾时的气压、风向、风速、相对湿度、气温和温度露点差($t-t_d$)等气象要素进行统计分析,总结出出现大雾时的典型气象要素特征。同时,基于近十年琼州海峡停复航记录,结合相应时间、全球范围、网格分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的NCEP/NCAR FNL再分析资料,对琼州海峡出现大雾时的常见天气形势进行分类和归纳。

2 雾日气候统计特征

2.1 年际变化

由图1可见,1990—2023年,琼州海峡共记录到554个雾日,年均大雾日数为16.6 d。虽然整体呈现大雾日数减少的趋势,但这种趋势并不显著(倾向率仅为0.27 d/a,且未通过显著性检验)。琼州海峡大雾日数年际波动较大,其中:大雾日数最多的年份是1995年,共出现54 d,是34年平均大雾日数的3.3倍;而大雾日数最少的年份是2002年,仅有4 d,不足年平均大雾日数的1/4。

2.2 季节变化

统计1990—2023年琼州海峡各季节平均大雾日数(图2)发现,冬季大雾出现频率最高,其大雾日数占全年大雾日数的51.8%;春季次之,占比为27.7%;相比之下,秋季和夏季的大雾日数较少,分别仅占12.7%和7.8%。由各月平均大雾日数(表1)可看出,2月琼州海峡大雾日数最多,平均大雾日数为4.2 d,占全年大雾日数的25.3%;其次为1月和3月,平均大雾日数均为3.0 d,各占18.1%;7月的平均大雾日数最少,仅为0.3 d。在单月大雾日数最多的记录中,2021年2月出现12 d,为最高值。

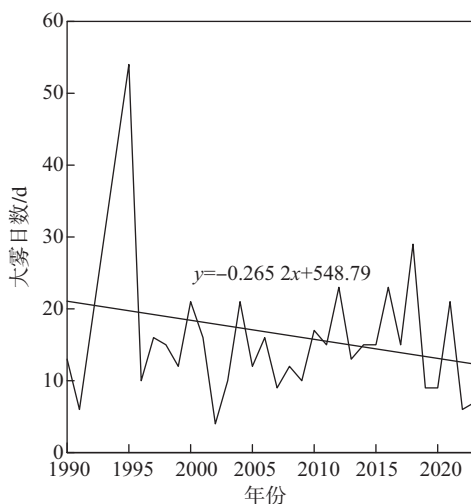


图1 1990—2023年琼州海峡大雾日数年际变化
Fig.1 Interannual variation of the number of dense fog days in the Qiongzhou Strait from 1990 to 2023

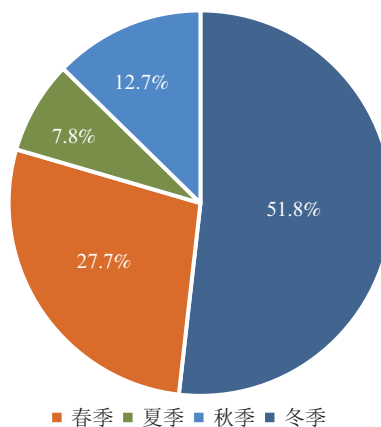


图2 1990—2023年琼州海峡4个季节大雾日数分布百分比
Fig.2 Percentage of the number of dense fog days in the 4 seasons in the Qiongzhou Strait from 1990 to 2023

表1 1990—2023年琼州海峡各月平均大雾日数

Table 1 Monthly average number of dense fog days in the Qiongzhou Strait from 1990 to 2023 单位:d

月份	大雾日数	月份	大雾日数
1	3.0	7	0.3
2	4.2	8	0.6
3	3.0	9	0.4
4	1.0	10	0.8
5	0.6	11	0.9
6	0.4	12	1.4

2.3 日变化

琼州海峡1 d中均可观测到雾,表现为单峰型的日变化特征(图3),大雾从01时开始出现的频次比例明显增大,到06时达到峰值,07时次之,大雾主要集中在04—08时,这5 h出现大雾的频次

占全天的 42.7%;10 时开始大雾出现的频次比例迅速减少,13 时出现频次比例最低。

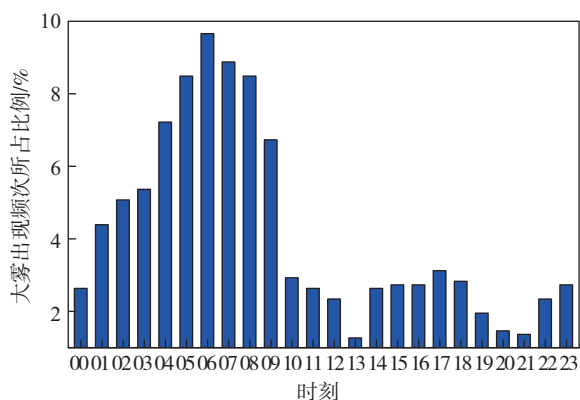


图3 琼州海峡大雾日变化特征
Fig.3 Diurnal variation characteristics of dense fog in the Qiongzhou Strait

3 成雾时的气象要素分析

琼州海峡大雾的生成与多种气象要素密切相关,包括风向、风速、气温、气压以及相对湿度等。通过对徐闻国家级气象观测站逐小时历史数据的统计分析,计算各气象要素在出现大雾时的频率及其占比(表2),进而归纳出琼州海峡出现大雾时的典型气象要素特征指标。

3.1 风向风速

雾的形成与维持需要合适的风向和风速条件。通过对出现大雾时的逐小时 10 min 平均风向和风速数据进行统计分析,发现琼州海峡出现大雾时,偏东风(东东北—东东南风)占 16 方位风向的 75.3%。统计还显示,各风向的平均风速均小于 $5.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。进一步分析琼州海峡出现大雾时的极大风速频数比例,发现风速小于或等于 $7.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的情况占 98.0%,其中静风、 $[0.1, 1.0) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $[1.0, 3.0) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $[3.0, 5.0) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $[5.0, 7.0] \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风出现频数比例分别为 1.3%、3.2%、47.4%、30.5% 和 15.6%。风速在 $[1.0, 5.0) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内的出现频数比例最大,达 77.9%。这一区间风速既能促进冷却作用在适当气层内的扩散,又不会破坏下层空气的冷却和水汽的积累,从而有利于大雾的形成^[27]。在此次统计中,风速超过 $7.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的频数比例约为 2.0%,而静风的频数比例约为 1.3%。这表明,风速过大时,湍流增强,会阻碍近地面层的冷却,不利于大雾的形成;而

静风时,湍流不足,成雾厚度较薄,同样不利于大雾的形成^[28]。

3.2 气温

通过对气温与大雾出现频数关系的分析,发现琼州海峡大雾出现时的气温集中在 $[16, 22) ^\circ\text{C}$,这一温度区间内的大雾频数占总频数的 87.7%。当气温小于 $14 ^\circ\text{C}$ 或大于 $22 ^\circ\text{C}$ 时,大雾发生的频数显著减少。此外,气温小于 $12 ^\circ\text{C}$ 或大于 $26 ^\circ\text{C}$ 时,大雾的出现频数合计仅为 1.4%,表明当气温小于 $12 ^\circ\text{C}$ 或大于 $26 ^\circ\text{C}$ 时,琼州海峡大雾较为罕见。

3.3 气压

琼州海峡出现大雾时的气压通常处于 $[1\ 005.0, 1\ 017.5] \text{ hPa}$,这一气压范围内的大雾频数占比高达 98.2%。相比之下,当气压低于 $1\ 005.0 \text{ hPa}$ 或高于 $1\ 017.5 \text{ hPa}$ 时,出现大雾的频率极低。这可能是当气压过高时,通常由于琼州海峡地表面受到强大的冷高压控制,此时强冷空气过境时风力较大,不利于大雾的形成,另外,当气压过高时,琼州海峡一般受地面冷高压控制,强冷空气引起大气下沉并向外扩散,导致近地面湿度降低,不利于雾的形成;而当气压过低时,天气形势多表现为受暖低压影响,同样不利于大雾的生成,这与国内有关城市的研究结论^[29-30]一致。

3.4 温度露点差和相对湿度

分析温度露点差($t-t_d$)与大雾出现频数的关系,结果显示,大雾出现时, $t-t_d \leq 2.0 ^\circ\text{C}$ 的频次比例达到 96.8%,其中 $t-t_d \leq 1.0 ^\circ\text{C}$ 的频次比例达到 81.8%。而 $t-t_d > 2.0 ^\circ\text{C}$ 的情况仅占 3.2%。由此可见,琼州海峡出现大雾通常在 $t-t_d \leq 2.0 ^\circ\text{C}$ 的条件下。

通过对相对湿度数据的统计分析发现,当出现大雾时,相对湿度通常超过 90%,占大雾日数的 95.9%。其中,相对湿度为 $[96\%, 100\%]$ 的雾日最为常见,占大雾日数的 55.9%。南海北部有大量海洋暖水面蒸发的水汽不断向空气中扩散凝结,近地面的空气中湿度较大。由表 1 统计发现,接近 80% 的大雾出现在冬春季,冬春季陆地相对海洋而言为较冷的下垫面,当饱和的暖湿空气随偏东风(东东北—东东南风)吹向琼州海峡附近时,遇到较冷的陆地表面,容易在琼州海峡形成大雾。

3.5 成雾时气象要素特征汇总

综合以上分析,琼州海峡大雾形成的理想气象

条件如下:地面盛行偏东风(东东北—东东南风), 本站气压为[1 005.0,1 017.5] hPa;通常情况下, 风速集中在[1.0,5.0) m·s⁻¹;气温处于[16,22) °C; $t-t_d\leq 2.0$ °C;相对湿度则普遍大于 90%。

表 2 琼州海峡成雾时不同区间气象要素出现频率
Table 2 Frequency statistics of meteorological elements in different ranges when the fog forms in the Qiongzhou Strait

不同区间气象要素出现频率									
风速/(m·s ⁻¹)	频率/%	气温/°C	频率/%	温度露点差/°C	频率/%	气压/hPa	频率/%	相对湿度/%	频率/%
[0,1.0)	4.5	<12	0.9	0	4.5	<1 005.0	0.9	<90	4.1
[1.0,3.0)	47.4	[12,16)	6.4	[0.1,0.5)	45.9	[1 005.0,1 010.0)	38.2	[90,93)	7.3
[3.0,5.0)	30.5	[16,22)	87.7	[0.5,1.0)	31.4	[1 010.0,1 015.0)	45.9	[93,96)	32.7
[5.0,7.0]	15.6	[22,26)	4.5	[1.0,2.0]	15.0	[1 015.0,1 017.5]	14.1	[96,99)	44.5
>7.0	2.0	>26	0.5	>2.0	3.2	>1 017.5	0.9	[99,100]	11.4

4 天气系统

以地面气压场为主、500 hPa 和 850 hPa 环流形势为辅,普查徐闻国家级气象观测站地面观测资料,同时结合近十年的海事停复航记录,将琼州海峡出现大雾时的天气形势分为低压前型、高压入海型、静止锋型、冷锋前型和均压场型 5 类,并将这 5 类天气环流形势所对应个例日期的 FNL 资料进行合成分析,从而得出各天气系统型的普遍特征,同时对 5 类天气形势下出现大雾时的气象要素特征进行分析(图 4、5),旨在为实际业务工作提供参考。

4.1 低压前型

低压前型占有大雾过程的 10.8%,其天气形势配置是,500 hPa(图 4a)西太平洋副热带高压偏东偏弱,其西侧脊线位于 15°N,江南和华南地区主要受西南气流影响,云贵川渝一带有高空槽维持。槽前的上升气流使 850 hPa 云贵川渝一带形成西南涡并发展加强,华南地区受西南涡前侧的西南低空急流控制。地面图上云贵川渝一带有低压形成(图 5a),其中琼州海峡到南海北部位于地面低压前部的偏南—东东南风场中,不断引导海上暖湿气流至较冷下垫面的琼州海峡,从而形成平流雾。低压前型大雾出现时气象要素特征是:地面盛行东—东东南风,风速集中在[1.0,3.5) m·s⁻¹;气温处于[14,21) °C;通常 $t-t_d\leq 2.0$ °C;本站气压为[1 005.0,1 012.5) hPa;相对湿度大于 90%。

4.2 高压入海型

高压入海型占有大雾过程的 13.5%,其天气形势配置是,500 hPa(图 4b)东北和华北地区受较强的西北风影响,川渝贵地区和华东地区多高原小槽东移影响,华南地区处于西南气流中,南支槽位于

孟加拉湾,副热带高压偏弱,其中心位于中太平洋上。850 hPa(图 4b)东海上空有反气旋环流维持,此时华中、江南和华南地区位于其西侧的西南风场中。地面上(图 5b),冷高压从华东一带向东移动进入东海,琼州海峡地面处于其底部,此时入海的冷高压中心强度减弱,其内部的干冷空气经过暖海区逐渐变性为暖湿气团,而冷高压底部位于南海北部,气压梯度小,地面吹偏东风,引导变性暖湿气团输送到下垫面较冷的琼州海峡两侧陆地,冷却达到饱和,从而在琼州海峡形成平流雾。高压入海型大雾出现时的气象要素特征是:地面盛行东东北—东东南风,风速集中在[1.0,4.5) m·s⁻¹;气温处于[13,20) °C;通常 $t-t_d\leq 1.0$ °C;本站气压为[1 007.5,1 017.5) hPa;相对湿度大于 98%。

4.3 静止锋型

静止锋型占有大雾过程的 21.6%,其环流形势配置是,500 hPa(图 4c)东北和华北地区受一致强劲的西北风影响,长江中下游主要受强劲西风气流影响,川渝贵地区有短波槽影响,而南支槽并不明显,华南地区处于西南气流影响之下,此时副热带高压呈扁平状,其西脊点位于菲律宾上空,脊线约在 15°N。850 hPa(图 4c)东北到朝鲜半岛有较强西北风控制,华北到华中地区北部以及华南的东部各有弱反气旋影响,导致长江中游存在弱切变线维持,而地处华南中西部的广西到琼州海峡一带存在暖切变线来回摆动。地面上(图 5c),冷空气势力主要影响华北和华中地区,到华南地区强度明显减弱,并出现静止锋,其位置与 850 hPa 暖切变线一样来回摆动,大雾主要出现在静止锋前,并随静止锋的维持而维持,因此以混合雾为主,通常持续的时间较长。静止锋型大雾出现时的气象要素特征是:地面盛行

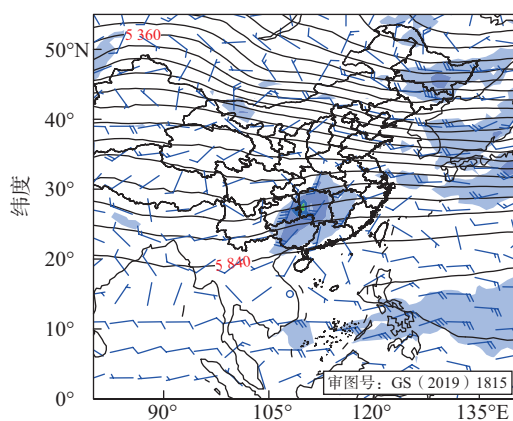
东—东东北风,风速集中在 $[0.5, 3.5) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;气温处于 $[18, 22) ^\circ\text{C}$;通常 $t-t_d \leq 1.0 ^\circ\text{C}$;本站气压为 $[1\ 007.5, 1\ 017.5) \text{ hPa}$;相对湿度大于98%。

4.4 冷锋前型

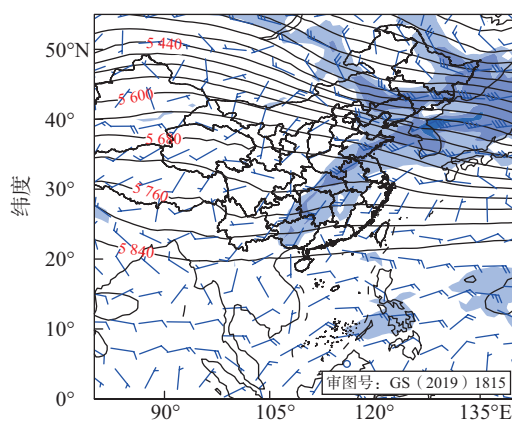
冷锋前型占有大雾过程的24.3%,其环流形势是,500 hPa(图4d)东亚大槽位于东北到华北地区,有利于引导地面西伯利亚冷高压南下,南方则主要受西南气流影响。850 hPa(图4d)华北和东北地区为西北风,华中到江南地区南部转为东北风,与华南北部西南风对峙形成切变线,此时琼州海峡受其后侧的西南风影响。地面上(图5d),强大冷高压主体自蒙古南下,地面冷锋从华南北部不断向南侵袭,逐渐与琼州海峡的暖湿气流交汇维持,形成锋面雾,待冷锋彻底控制并南压至南海,能见度转好。冷锋前型大雾出现时气象要素特征是:地面盛行东东北—东东南风,风速集中在 $[1.0, 5.0) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;气温处于 $[18, 24) ^\circ\text{C}$;通常 $t-t_d \leq 2.0 ^\circ\text{C}$;本站气压为 $[1\ 002.5, 1\ 007.5) \text{ hPa}$;相对湿度大于97%。

4.5 均压场型

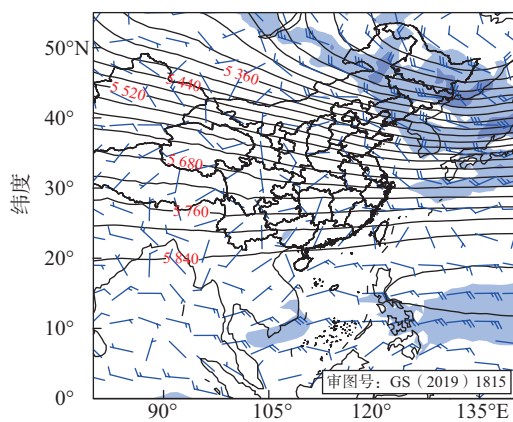
均压场型占有大雾过程的29.8%,其环流形势一般在500 hPa(图4e),华北到东北地区呈多波动形势,而副热带高压较强,5 880 gpm等值线可加强至中南半岛,南支槽位于孟加拉湾,西南和华南地区受较强的西南气流影响。850 hPa(图4e)东北地区为较强的西北风,华北到华中一带受较弱反气旋环流影响,江南和华南地区为弱西南风。地面上(图5e),西伯利亚高压对中国的影响逐渐减弱,西南、江南和华南地区乃至南海北部洋面等区域均处于均压场形势中,气压梯度小,但近地层湿度大,天气晴朗,大气层结稳定,在夜间风速较小或静风条件下,有利于出现晴空辐射降温,容易在夜间到早晨形成辐射雾,白天太阳出现后即消散。均压场型大雾出现时的气象要素特征是:地面盛行东北—东南风,风速集中在 $[0.5, 3.0) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;气温处于 $[16, 21) ^\circ\text{C}$;一般情况下, $t-t_d \leq 2.0 ^\circ\text{C}$;本站气压为 $[1\ 007.5, 1\ 015.0) \text{ hPa}$;相对湿度大于95%。



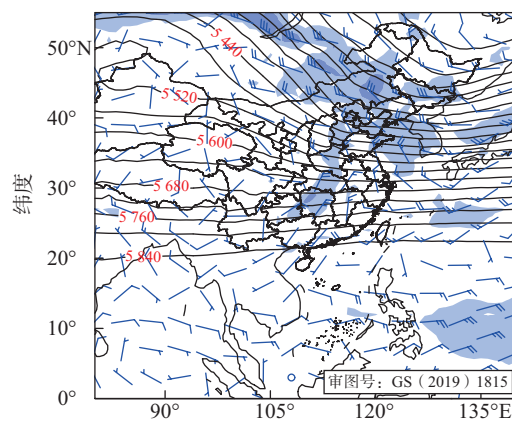
(a) 低压前型



(b) 高压入海型



(c) 静止锋型



(d) 冷锋前型

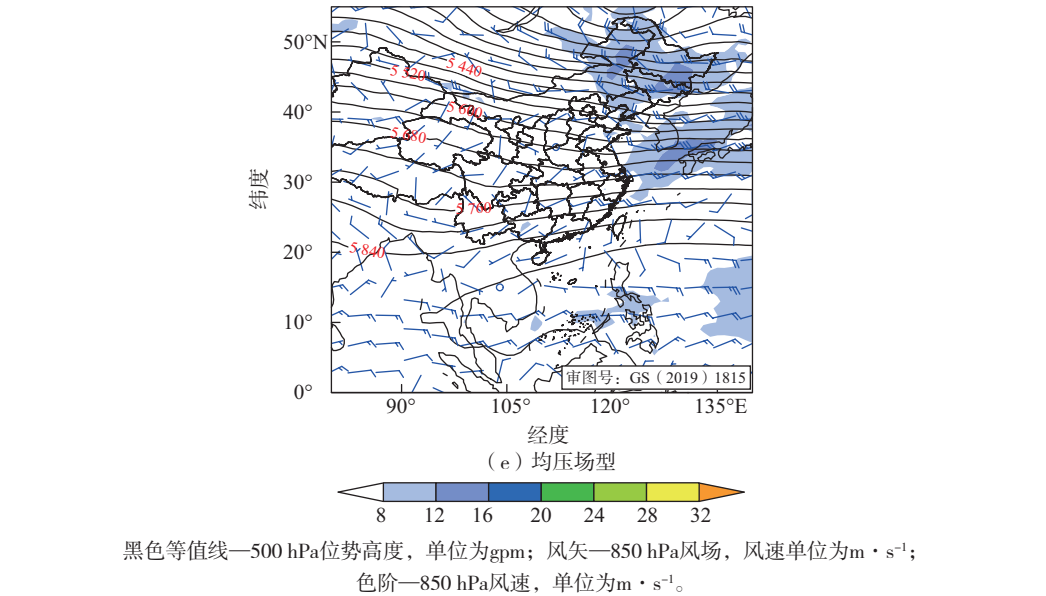
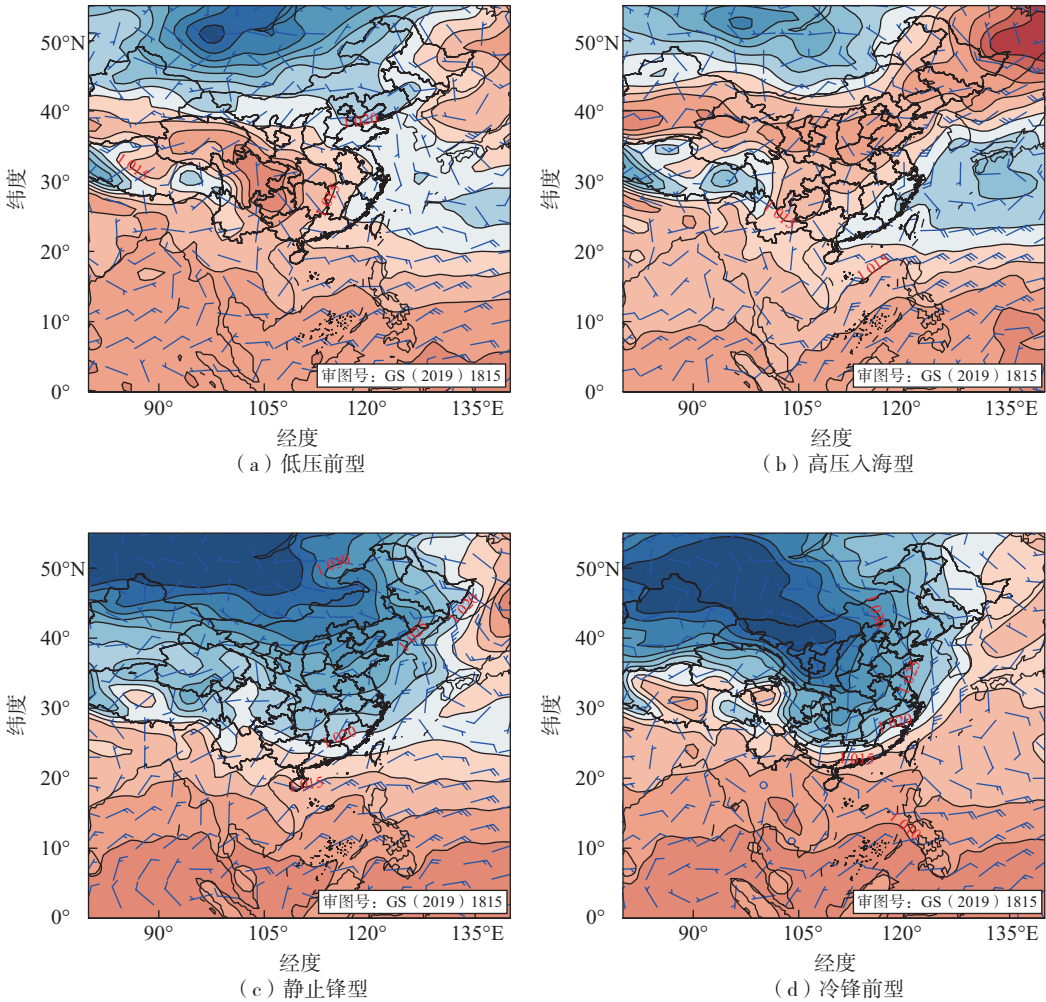


图 4 5 种天气系统型下 500 hPa 位势高度场和 850 hPa 风场
Fig.4 Geopotential height at 500 hPa and wind field at 850 hPa under 5 types of synoptic systems



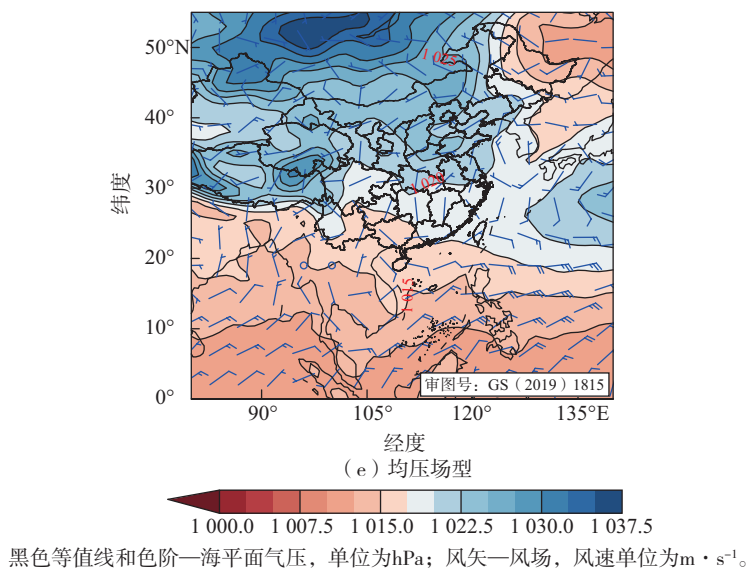


图5 5种天气系统型下海平面气压场和风场

Fig.5 Sea-level pressure and wind field under 5 types of synoptic systems

5 结论与讨论

(1) 气候特征。琼州海峡年均大雾日数为16.6 d,大雾日数年际变化呈减少趋势,但并不显著,且年际变化波动较大,其中大雾日数最多的年份是1995年(54 d),而最少的年份是2002年,仅有4 d。冬季琼州海峡出现大雾频率最高,其大雾日数占全年大雾日数的51.8%;春季次之,占比为27.7%;秋季和夏季的大雾日数较少,分别仅占12.7%和7.8%。在各月中,2月琼州海峡大雾日数最多,平均大雾日数为4.2 d,占全年大雾日数的25.3%;其次为1月和3月,平均大雾日数均为3.0 d,各占18.1%;而7月的平均大雾日数最少,仅为0.3 d。琼州海峡大雾主要集中在04—08时,这5 h出现雾的频次占全天的42.7%,峰值出现在06时,其次是07时,谷值在13时。

(2) 气象条件。琼州海峡大雾形成的理想气象条件为:地面盛行偏东风(东东北—东东南风),风速集中在 $[1.0, 5.0) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;气温处于 $[16, 22) ^\circ \text{C}$ 的范围;本站气压为 $[1\ 005.0, 1\ 017.5] \text{ hPa}$;通常情况下, $t-t_d \leq 2.0 ^\circ \text{C}$;相对湿度则普遍高于90%。

(3) 天气分型。琼州海峡出现大雾时的天气形势大致可分为低压前型、高压入海型、静止锋型、冷锋前型和均压场型等5类,各个分型占有所有大雾天气过程的比例分别为10.8%、13.5%、21.6%、24.3%、

29.8%,其中低压前型和高压入海型主要产生平流雾,静止锋型多出现混合雾,冷锋前型产生锋面雾,均压场型主要产生辐射雾。所分5种天气形势类型及其产生的大雾类型为实际业务提供了较大参考价值。

以上分析结果表明,琼州海峡大雾具有显著的季节性和日变化特征,尤其在冬春季的凌晨到早晨大雾出现的频率较高,这可为琼州海峡航运管理部门制定季节性大雾航运管制措施(如限速、强制引航)提供依据。对琼州海峡大雾形成的气象条件统计和对大雾天气环流形势所进行的合成分析,不仅可用于开发基于实时监测的大雾短临预警模型,还可通过读取未来几天数值模式预报数据识别天气形势,提前发布琼州海峡大雾概率预警和预报产品,辅助琼州海峡航运管理部门调度和管制工作。此研究的统计结果是基于34年的地面气象观测数据,时间跨度相对有限,可能无法完全反映琼州海峡大雾的长期气候变率。此外,大雾发生时的气象要素统计主要基于温度、湿度、风向、风速等常规观测,未来还需研究琼州海峡海面温度梯度、气溶胶浓度等潜在影响因素。同时,文中侧重于统计分析,未来有必要结合数值模式验证琼州海峡大雾形成的物理过程。

参考文献:

- [1] 王彬华.海雾[M].北京:海洋出版社,1983.

- [2] 曹祥村,邵利民,李晓东.黄渤海一次持续性大雾过程特征和成因分析[J].气象科技,2012,40(1):92-99.
- [3] 王凯悦,张苏平,薛允传,等.夏季低压控制下黄海西北部海域海雾发生气象条件合成分析[J].海洋气象学报,2018,38(3):47-56.
- [4] 田云菲,杨悦,高山红.一个黄渤海海雾大气水平能见度算法[J].海洋气象学报,2019,39(2):24-33.
- [5] 姜昊宇,高山红.两种陆面方案对陆雾与海雾模拟效果的对比研究[J].海洋气象学报,2021,41(1):30-44.
- [6] 王亚男,李永平.冷空气影响下的黄东海海雾特征分析[J].热带气象学报,2009,25(2):216-221.
- [7] 傅方奇,杜雪婷,王健捷,等.2022年春季浙江一次持续性海雾过程的特征及成因[J].海洋气象学报,2024,44(3):78-86.
- [8] 胡利军,杨豪,高爱臻,等.宁波北仑港区一次航道海雾地基多源信息观测特征分析[J].气象科技,2021,49(2):192-199.
- [9] 苏鸿明.台湾海峡海雾的气候分析[J].台湾海峡,1998,17(1):25-28.
- [10] 张春桂,蔡义勇,张加春.MODIS 遥感数据在我国台湾海峡海雾监测中的应用[J].应用气象学报,2009,20(1):8-16.
- [11] 韩美,高珊,曾瑾瑜,等.台湾海峡西岸海雾研究现状与未来发展方向[J].气象科技,2016,44(6):928-936.
- [12] 刘少军,吴胜安,李伟光,等.基于 FY-3B 卫星资料的中国南海海区 1—3 月海雾时空分布特征研究[J].海洋气象学报,2017,37(4):85-90.
- [13] 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]. Mon Wea Rev, 2015, 143(5):1907-1923.
- [14] 黄辉军,黄健,刘春霞,等.茂名地区海雾的微物理结构特征[J].海洋学报,2009,31(2):17-23.
- [15] 黄辉军,詹国伟,刘春霞,等.一次华南沿海海雾个例的数值模拟研究[J].热带气象学报,2015,31(5):643-654.
- [16] 何云开,黄健,贺志刚,等.南海北部近岸春季海雾的年内变化[J].热带海洋学报,2008,27(5):6-11.
- [17] 杨彩福,吴阳,张佃波.湛江港雾的统计分析[J].海洋通报,1998,17(5):34-39.
- [18] 王婷,潘蔚娟,湛志刚,等.珠江口持续性雾生消的环流特征和成因分析[J].气象,2010,36(6):13-20.
- [19] 张朝锋.粤东海区海雾的气候特征分析[J].广东气象,2002,24(2):20-21.
- [20] 涂石飞,韩利国,徐峰,等.华南海雾研究进展[J].海洋气象学报,2019,39(4):12-20.
- [21] HAN L G, LONG J C, XU F, et al. Decadal shift in sea fog frequency over the northern South China Sea in spring: interdecadal variation and impact of the Pacific Decadal Oscillation[J]. Atmos Res, 2022, 265:105905.
- [22] 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.
- [23] 夏天竹.华南沿海海雾及南海海气温差气候特征分析与研究[D].湛江:广东海洋大学,2016.
- [24] 朱秋颖,杨薇,冯箫,等.琼州海峡一次持续性海雾过程分析[J].气象科技,2023,51(1):115-123.
- [25] 黄彬,宋晚郊,刘爽,等.2018 年春节期间琼州海峡持续性大雾监测分析[J].海洋气象学报,2020,40(4):52-59.
- [26] 国家气象中心.雾的预报等级:GB/T 27964—2011[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [27] 张天锋,王位泰,李宗葵,等.甘肃庆阳市雾的气候特点及其预报思路初探[J].成都信息工程学院学报,2006,21(4):562-566.
- [28] 徐峰,牛生杰,张羽,等.雷州半岛雾的气候特征及生消机理[J].大气科学学报,2011,34(4):423-432.
- [29] 郑玉萍,李景林.乌鲁木齐近 31 年大雾天气气候特征分析[J].气象,2008,34(8):22-28.
- [30] 兰晓波,刘明春,钱莉,等.武威市乌鞘岭近 55 年大雾天气气候特征分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(4):84-89.