

徐峰,王晶,张羽,等. 粤西沿海海雾天气气候特征及微物理结构研究[J]. 气象,2012,38(8):985-996.

粤西沿海海雾天气气候特征及微物理结构研究^{* 1}

徐 峰¹ 王 晶¹ 张 羽² 张书文¹ 陈苗彬³

1 广东海洋大学,湛江 524088
2 湛江市气象局,湛江 524001
3 中国民航汕头空管站气象台,汕头 515558

提 要: 利用粤西 12 个测站 2000—2010 年常规气象资料及 2010 年 3 月湛江东海岛一次海雾过程观测数据,分析了粤西沿海海雾发生的天气气候特征以及湛江东海岛海雾的微物理特征。结果表明:粤西沿海年均雾日数呈西部($17.8\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)>东部($7.7\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)>中部($3.5\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)的特点;年际变化差异明显,除 2008 年外呈逐步升高趋势;年雾日数冬、春季多,夏、秋季少;一天中海雾大部分出现在 02:00—08:00,这一时段雾生成的平均概率为 50.8%;最多持续时间在 1~3 d 内。海雾生成的综合气象条件主要为:气温 $15.0\sim25.0^{\circ}\text{C}$ 、3 小时变压 $-3.5\sim-2.5\text{ hPa}$ 、温度露点差 $0.0\sim2.0^{\circ}\text{C}$ 、多发风向为 NNE—ESE 或静风,风速 $\leq 7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。成雾的天气形势可以分为高压型、低槽型、冷锋型、静止锋型和鞍型或均压场型 5 类。雾过程中各阶段能见度变化及雾滴谱分布差异较大,平均雾滴谱分布符合指数递减规律,谱型大体上呈“单峰”结构,整个滴谱明显偏向小滴一端,雾滴谱径主要出现在 $2\sim10\text{ }\mu\text{m}$ 。

关键词: 海雾, 天气气候特征, 微物理特征, 雾滴谱分布, 粤西沿海

Analysis on the Climatic and Microphysical Characteristics
of Sea Fog over the Coast of West Guangdong

XU Feng¹ WANG Jing¹ ZHANG Yu² ZHANG Shuwen¹ CHEN Miaobin³

1 Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088
2 Zhanjiang Meteorological Office, Zhanjiang 524001
3 The Meteorological Observatory of Shantou ATC Station, CAAC, Shantou 515558

Abstract: By using the surface observation data at 12 stations in the coast of West Guangdong from 2000 to 2010 and the sea fog observation data on Donghai Island in Zhanjiang during March 2010, the climatic and microphysical characteristics of coastal fog are statistically analyzed. Results show that the fog day number has a variation tendency in West Guangdong, i. e. western ($17.8\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)>eastern ($7.7\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)> central ($3.5\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$). The annual change is significantly different and has a gradually rising trend during 2000—2010 except the 2008. There are more fog days in winter and spring, and less in summer and autumn. Generally most fog events in a certain day occur between 02:00 and 08:00 BT, and have an average probability of 50.8%. The duration of sea fog process is mostly between 1 and 3 days. The comprehensive weather conditions of fog generation mainly are that wind speed is $\leq 7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and wind directions are NNE—ESE and calm wind, and the appropriate air temperature is between 15.0 and 25.0°C , and the 3 h pressure change is in an interval of $-3.5\sim-2.5\text{ hPa}$, and depression of the dew point continuously approaches to $0.0\sim2.0^{\circ}\text{C}$. The synoptic situations favorable for the fog formation and development on the Leizhou Peninsula can be roughly divided into five classes: high pressure system, low trough system, cold front,

^{*} 热带海洋气象科学研究基金(RDJJ201004)、广东海洋大学引进人才科研项目(1112190)、灾害天气国家重点实验室 2011 年度开放课题和中国气象局气候变化专项(CCSF2011-25)共同资助
2012 年 2 月 1 日收稿; 2012 年 3 月 9 日收修定稿
第一作者:徐峰,主要从事大气物理学与大气环境、海洋气象研究. Email:gdouxufeng@126.com

stationary front, saddle type pressure field or isobaric field. The droplet size distribution is quite different during fog process. The average droplet size distribution is generally consistent with exponential distribution, and the type of the average droplet size distribution is similar to the “single peak” structure. Drops significantly bias the small end of the spectrum, and the droplet spectrum diameters mainly appear in 2—10 μm .

Key words: sea fog, climatic characteristics, microphysical characteristics, droplet size distribution, coast of West Guangdong

引言

海雾是发生在海洋上或者海滨大气边界层中的一种可使能见度降低至 1 km 以下的水汽凝结现象^[1]。起雾期间近海海面水汽含量增大,使得海上和沿海地区的水平及垂直能见度下降,对海上渔业、平台作业、航运、军事行动以及沿岸航空和公路交通造成极大的危害^[2]。国内外都很重视对海雾的观测研究。早在 20 世纪 20 年代人们就开始通过基本的观测对海雾的形成机制进行简单的猜测,王彬华^[3] 1948 年发表的研究文章就涉及到青岛海雾发生的天气和水文条件。许多研究揭示了我国海雾的气候特征、环流背景、气象条件及生消机理^[4-14]。周贺玲等^[4]指出我国北方海雾多发生在秋、冬季。陈连友等^[5]表明秦皇岛海雾与内陆雾在发生季节和时间等方面有较大差异。在华南海雾研究方面,伍红雨等^[6]指出华南有 3 个多雾区,分别位于海南中西部和两广西北部地区,两广雾日呈由内陆向沿海递减的趋势。张燕光等^[7-8]表明珠江口持续性海雾春季出现概率最高。郭秀英^[9]对华南沿海春季海雾与天气型关系进行了统计分析及预报。张朝锋^[10]指出粤东海区的海雾主要出现在 1—5 月,其中 4 月为雾出现的旺季,并对海雾生成的气象条件进行了分析总结。何云开等^[11]分析了南海北部近岸春季海雾的年际变化,指出海雾日数偏多年华南沿海 850 hPa 上空存在一个由南向北的暖平流。孔宁谦等^[12-13]指出广西沿海及北部湾的雾多集中在冬春季,尤以春季最多。徐峰等^[14]对雷州半岛雾的气候特征及生消机理也进行了较系统的分析研究。近年来随着观测技术的发展以及先进仪器(如滴谱仪等)的使用,对海雾的宏观及微观特性的研究更加深入了。屈凤秋等^[15]系统地分析了南海北部海雾的大尺度环流背景、边界层结构以及雾的微物理特征。黄辉军等^[16]发现茂名地区海雾滴谱分布符合容格

(Junge)分布并统计出平均数密度和平均直径。徐峰等^[17]研究表明湛江海雾属酸性海雾,其中 Cl^- 和 Na^+ 含量很高。以上研究结果进一步认识了海雾的微观结构,为修正数值模式中的微物理方案,提高模拟精度提供了一定的参考依据。

位于粤西沿海的雷州半岛及琼州海峡区域是中国沿海 5 个海雾多发区之一^[18-19]。每年冬、春季冷空气和海上西南暖湿空气常对峙形成大雾天气,对琼州海峡火车轮渡、粤西沿海众多大港及在湛江建设的特大型钢铁、石化项目等均有较大影响。因此,从经济建设、社会公益服务角度考虑,对粤西沿海的海雾微物理特征、活动规律、生消机理及预警模式进行研究是十分必要的。本文利用粤西沿海 12 个测站 2000—2010 年的常规气象资料,研究了粤西沿海海雾的天气气候特征,包括对其空间分布,年际、季节和日变化,成雾天气背景及气象条件的统计和分析;并利用 2010 年 3 月在湛江东海岛的一次海雾观测数据,研究了粤西沿海海雾的微物理结构特征。

1 粤西海雾天气气候特征

1.1 资料来源

粤西海岸带包括湛江、茂名、阳江和江门市,涉及 12 个气象站点,本文选用了 2000—2010 年粤西海岸带 12 个气象站点(湛江、徐闻、雷州、遂溪、廉江、吴川、茂名、电白、阳江、台山、新会和上川岛)的常规气象资料,包括年雾日数、成雾及持续时间、风向风速、温度、露点及温度露点差、3 小时变压等。资料均取自“气象信息综合分析处理系统”(MICAPS)的第一类数据文件格式,即地面全要素填图数据中 02、08、14 和 20 时 4 个时次的实况观测资料。

1.2 空间分布特征

根据所选气象测站的地理位置及粤西沿海地形

特点,本文将湛江、雷州、徐闻和遂溪划归到粤西西部;廉江、茂名、吴川及电白划归到粤西中部;阳江、台山、新会、上川岛划归到粤西东部。粤西沿海近 11 年平均雾日数分布如图 1 所示。分析可知粤西沿海雾日数空间分布存在明显差异,西部年平均雾日数明显高于粤西中、东部地区,且湛江和雷州最为突出,最多的湛江站平均年雾日数达 22 d。总体而言,粤西海岸带雾日数呈现两边高、中间低的特点,即西部地区($17.8\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)>东部地区($7.7\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)>中部地区($3.5\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$),其原因有待进一步深入研究。

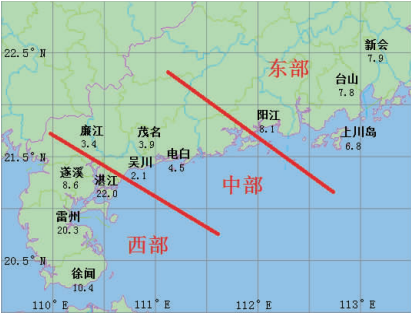


图 1 粤西沿海近 11 年年均海雾日数分布
(单位: $\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$)

Fig.1 Distribution of average annual fog days near 11 a along the coast of West Guangdong (unit: $\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$)

1.3 时间分布特征

1.3.1 年际变化

粤西沿海 12 个测站近 11 年年雾日数的年际变化如图 2 所示。由图可见,粤西海岸带雾日年际变化差异较为明显,总体呈逐步升高的趋势,但 12 个测站中有半数均在 2008 年出现了雾日最少情况,分别是湛江(7 d)、徐闻(4 d)、雷州(10 d)、遂溪(4 d)、阳江(3 d)和新会(2 d)。这与 2008 年华南西部遭遇 50 年罕见的低温雨雪冰冻天气事件相关,高安宁等^[20-21]研究表明 2008 年度极涡位置和强度发生明显变化,华南地面冷空气堆积明显,冷高压中心异常偏强,在 850 hPa 华南上空形成一支稳定的锋区,大气层出现近地面冷、中层暖、高层冷的结构,加剧了雨雪冻雨的形成。根据本文的成雾气象条件分析表明,近地面较低的气温不利于沿海海雾的生成,因此导致了 2008 年粤西沿海海雾日数的明显减少。除 2008 年外,11 年中雾日最少年大多数都集中在

2000—2002 年,其中有些测站甚至出现了零雾日的情况。2005 年多数测站雾日数为最大。

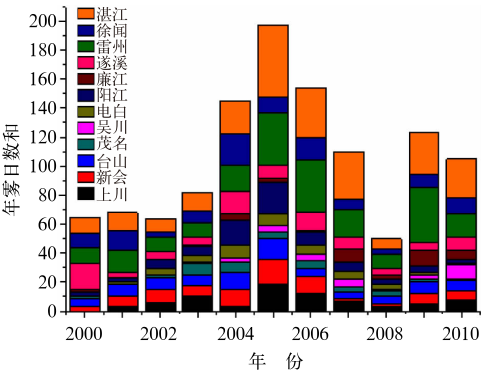


图 2 粤西沿海 12 个测站雾日数的年际变化
Fig.2 Interannual variation of fog days at 12 stations along the coast of West Guangdong

1.3.2 季节变化

将粤西沿海 12 个测站近 11 年中每月的成雾日数求平均可得出每个测站的雾日数的月变化趋势,如图 3 所示。为了说明海雾的季节变化特点,根据广东的天气气候特点,本文将 3—5 月划分为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12 月至次年 2 月为冬季。从图 3 可以看出:粤西海岸带雾日数存在明显的季节变化,呈冬、春季多,夏、秋季少的分布特点。分析观测数据表明,粤西沿海 12 个站中有 8 个站冬、春季雾日数约占全年的 90% 以上,仅遂溪、廉江、台山较少,约占 70%,而根据图 1 可以看出这三站均比较靠近内陆,这表明靠近南海西北部海岸带的测站雾日数更加趋于集中在冬、春季,其中湛江、徐闻、吴川、阳江和上川岛更是高达 95% 以上。各测站月平均雾日数曲线变化均呈现单峰型,3 月是雾日高发月份,12 站平均雾发频率为 26.6%,其中湛江、阳江和上川岛三个粤西沿海有代表性的站(粤西西、中、东)更是高达 31% 以上。月均最高值出现在 3 月的有 8 个站,加之出现在 2 月的 3 站(徐闻、廉江和电白),表明 12 个站中有 11 个雾日高发值出现在 2—3 月。粤西海岸带海雾季节分布与曹治强等^[22]的研究结果“10、11、12 月是中国出现大雾较多的 3 个月,其中 11 月最多”不同,也与我国北方沿海地区明显不同,如河北省雾日主要集中在秋、冬季,11 月雾发生频率最高,但也仅占全年的 15.7%^[4]。结论与粤东、广西沿海海雾特征比较相似^[10,12-13]。

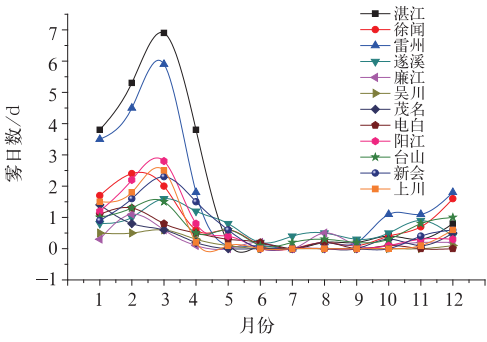


图 3 粤西沿海 12 个测站
平均雾日数的月变化
Fig. 3 The variations of average
monthly fog days at 12 stations
along the coast of West Guangdong

1.3.3 日变化

对粤西沿海 12 个测站的雾次频数日变化按季节变化进行统计如图 4 所示。可以看出：粤西沿海一日中任何时次都有可能发生海雾，午夜开始逐渐增大、日出后逐渐减少的特点显著，各站海雾大部分出现在 02:00—08:00，成雾概率平均值高达 50.8%，但相对近海的测站（湛江、吴川、电白、阳江和上川岛）为 43.5%，远低于相对远海的测站（平均约 58%），表明海洋对夜间成雾是有一定影响的。从季节分布上看，春、冬季出现海雾的频次明显高于夏、秋季。另外，夏季海雾出现较少但时次集中度最高，各地基本都集中在夜间至清晨时段，冬季海雾出现时段较其他 3 个季节都宽，基本出现在 02:00—14:00，高发时次

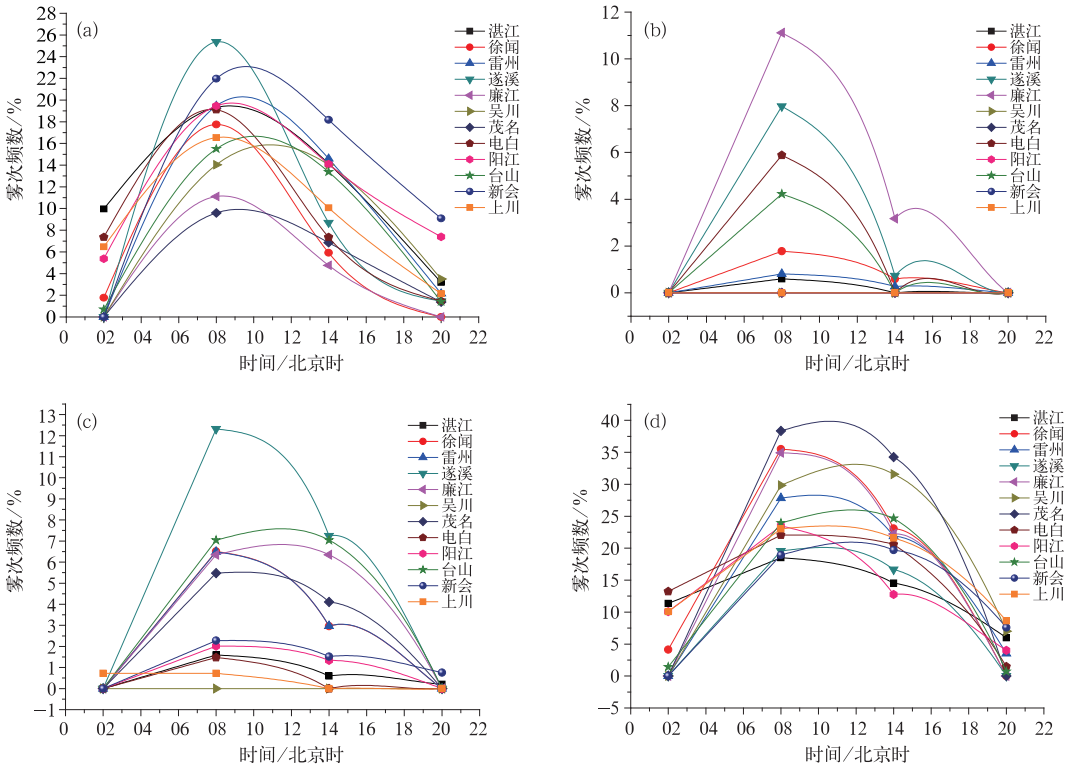


图 4 粤西海岸带 12 个测站不同季节海雾的日变化
(a) 春季, (b) 夏季, (c) 秋季, (d) 冬季
Fig. 4 Diurnal variations of sea fog frequency at 12 stations
along the coast of West Guangdong in different seasons
(a) spring, (b) summer, (c) autumn and (d) winter

有所延后。总体来说，在一日中，午夜至上午时段各地海雾次数较多，而午后至傍晚前时段相对较少。

1.3.4 持续时间

不同持续时间（雾程）海雾的发生频次如表 1 所示。由表 1 可知，各地区海雾过程出现的频次随着

持续时间的增加而减少。其中出现频次最多的持续时间在 1~3 d 内，除湛江和雷州分别占到 86.1% 和 88.8% 外，其余各地区均占到 96.5% 以上；且最集中于 1~2 d 内，除湛江（73.8%）外，其他各地区都占到 80.0% 以上；各地区雾程在 1 d 以内的频次均

表 1 粤西沿海各测站各级雾程频数及最长雾程日数

持续时间/d	1	2	3	4	5	6	≥7	最长连续雾日/d
湛江/%	57.4	16.4	12.3	5.7	1.6	5.7	0.8	12
徐闻/%	71.8	16.7	9.0	0.0	1.3	0.0	1.3	7
雷州/%	53.4	26.7	8.6	6.0	0.0	4.3	0.9	7
遂溪/%	87.7	9.9	1.2	0.0	1.2	0.0	0.0	5
廉江/%	82.4	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
吴川/%	92.9	3.6	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3
茂名/%	80.6	12.9	3.2	3.2	0.0	0.0	0.0	4
电白/%	87.8	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
阳江/%	74.6	13.6	8.5	1.7	1.7	0.0	0.0	5
台山/%	75.8	19.7	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3
新会/%	68.3	23.3	6.7	1.7	0.0	0.0	0.0	4
上川/%	72.7	18.2	7.3	1.8	0.0	0.0	0.0	4

在 50.0%以上,其中吴川更是高达 92.9%。而雾程在 5 d 及以上的频次各地区都不超过 9.0%,其中发生频次最高的为湛江,达 8.2%,最长连续雾日为 12 d。

2 成雾气象条件

2.1 气温

海雾成雾频次与气温的关系如图 5 所示。可以看出,各站成雾频次在气温为 15.0~25.0℃时最多,达 61.9%~92.8%;当气温超过 25.0℃或低于 15.0℃时,雾次数逐渐减少;绝大多数雾次出现在气温低于 30.0℃的条件下;而出现在气温低于 10.0℃,或气温高于 30.0℃的情况下的海雾只占少数,基本上不超过 9%。

2.2 温度露点差

海雾成雾频次与温度露点差 $T-T_d$ 的关系如

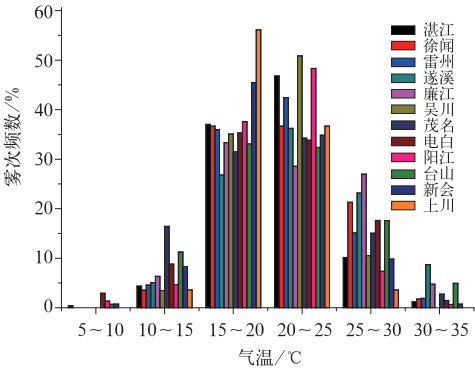


图 5 粤西沿海海雾雾次频数与气温的关系
Fig. 5 Relation between the fog frequency and air temperature along the coast of West Guangdong

图 6 所示。海雾发生时 $T-T_d\leq 0.0^\circ\text{C}$ 的频次各个地区有所差异,分别占到 0.0%~30.2%不等,其中廉江和湛江相对较高,分别占到 30.2%和 27.9%,而台山和茂名等地则相对较少,其中吴川更是低至 0.0%。海雾发生频次峰值落在 $T-T_d$ 为 0.0~2.0℃的范围内,除茂名和台山分别占 57.5%和 59.2%外,其他地区均占至 60.0%以上。而 $T-T_d\leq 6.0^\circ\text{C}$ 的海雾发生频次 12 站平均为 86.2%,除茂名站外(67%),其余各地均占到 75.0%以上,其中上川岛更是高达 97.8%。由此可见,一般情况下, $T-T_d$ 越小,湿度越大,海雾发生频次也越多。值得注意的是,12 站的 $T-T_d$ 在 6.0~19.1℃范围(2000—2010 年)海雾发生频次有 13.8%,而 $>10^\circ\text{C}$ 总次数为 45 次,仅占总数的 2.3%,这里不排除将霾误记为雾的可能。图 6 曲线的尾部上抬是多个温度段(6.0~20.0℃)叠加后造成的虚假表象。

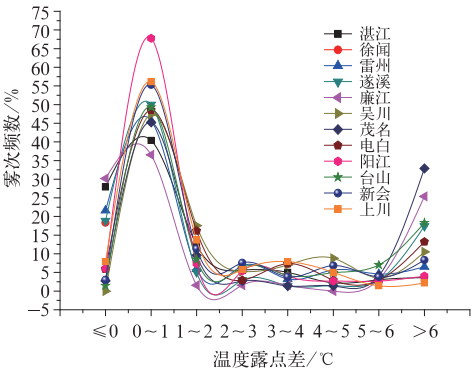


图 6 粤西海岸带海雾雾次频数与 $T-T_d$ 的关系

Fig. 6 Relation between the fog frequency and depression of the dew point along the coast of West Guangdong

2.3 3 小时变压

对成雾时的 3 小时变压 Δp_3 进行统计分析, 获得成雾频次与 Δp_3 的关系, 如图 7 所示。分析表明成雾后的 3 小时变压基本集中在 $-4.0 \sim 3.5$ hPa 之间, 成雾后短时间内气压变化较小, 即以静止锋型、均压场型和鞍型场的天气系统成雾为主, 但在正负变压区内分别各有一个不大的峰值区, 除湛江、电白、阳江和上川呈准 3 峰型外, 其余各站均呈现双峰型, 其峰值分别落在 $-3.5 \sim -2.0$ 和 $1.5 \sim 2.5$ hPa 之间, 负变压区峰值所在区间比正变压区峰值所在区间宽, 但正变压区峰值明显高于负变压区峰值, 平均约高出 10.0%。这两个峰值区分别对应于冷高压型(正变压)天气系统和低槽型(负变压)天气系

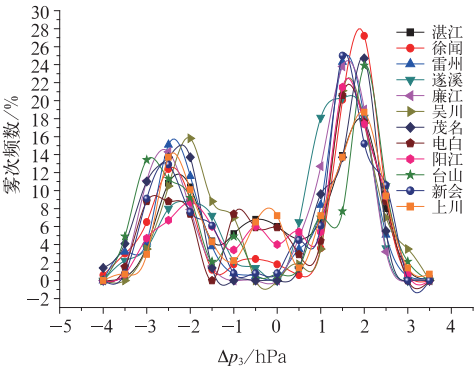


图 7 粤西沿海 12 个测站 Δp_3 与成雾次数的频次分布

Fig. 7 Frequency distribution about 3 h pressure changes and fog generation at 12 stations along the coast of West Guangdong

统, 而成雾后冷高压型的天气环流背景略多于低压型天气环流背景。

2.4 风向风速

对粤西沿海 12 个测站 10 年每日 4 次的填图资料进行统计, 获得成雾时各风向、风速的分布特征, 如图 8 和表 2 所示。

从风向分布图 8 可以看出, 海雾多发生在 NNE—ESE 以及静风的情况下, 地面上以 NNE—ESE 风向频次出现最大, 该风向的雾次占雾次总数均达到 39.7%~78.6%。从粤西海岸带的地理走向, 尤其是雷州半岛沿海岸线的位置分布来看, 偏东风有利于将海上的暖湿气流输送到下垫面较冷的沿岸地区, 为海雾的生成和维持提供充足的水汽, 同时加速水汽的冷却凝结。具体而言, 各地区又有所差异。

从表 2 可以看出: 海雾绝大多数发生在风速 $\leq 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的情况下, 各地区均达到 96.5% 以上; 且最集中于 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以内, 各地区在 $1 \sim 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速段的频次最稳定; 风速超过 $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的基本不足 0.4%。

3 成雾天气条件

根据天气图资料及地面观测雾日数, 对粤西沿海雾日发生的天气环流形势进行归类分析, 可将成雾的天气形势大致分为高压型、低槽型、冷锋型、静止锋型、鞍型及均压场型 5 类。

表 2 粤西沿海 12 个测站在海雾天气下各风速段的频次分布 (单位: %)

Table 2 Frequency distributions of wind speed in foggy weather at 12 stations along the coast of West Guangdong (unit: %)

站点	风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$					
	≤ 1	1~3	3~5	5~7	7~9	> 9
湛江	9.6	49.4	29.9	9.2	1.8	0.2
徐闻	37.9	49.1	11.2	1.8	0.0	0.0
雷州	18.6	42.4	27.0	10.5	1.1	0.3
遂溪	44.2	44.9	9.4	1.4	0.0	0.0
廉江	49.2	46.0	4.8	0.0	0.0	0.0
吴川	8.8	61.4	28.1	1.8	0.0	0.0
茂名	41.1	41.1	17.8	0.0	0.0	0.0
电白	45.6	47.1	7.4	0.0	0.0	0.0
阳江	20.1	47.0	21.5	8.1	2.7	0.7
台山	57.0	38.0	4.2	0.7	0.0	0.0
新会	50.8	44.7	3.8	0.8	0.0	0.0
上川	26.6	47.5	18.0	5.0	2.2	0.7

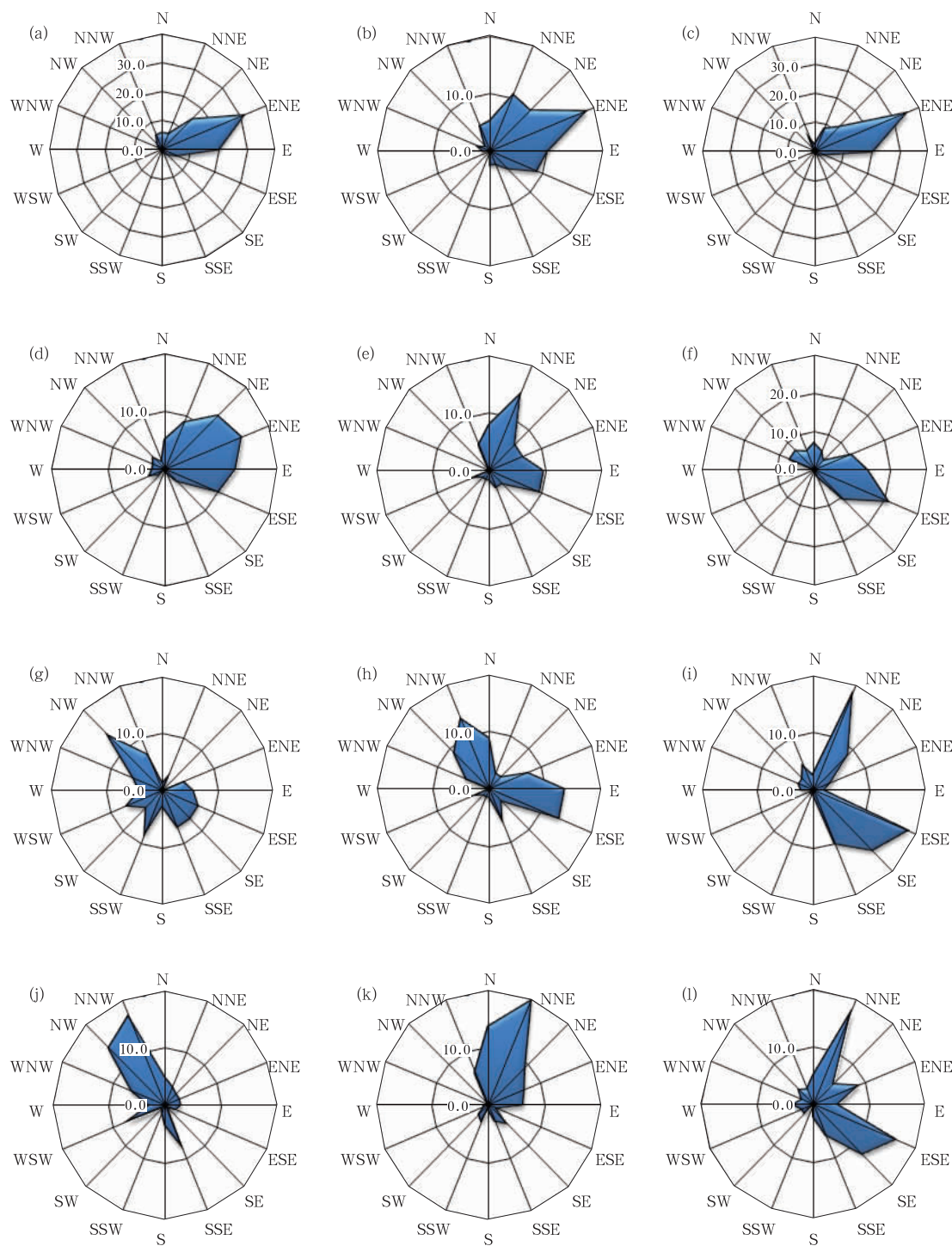


图 8 粤西沿海 12 个测站有雾时的风向分布(单位: %)

(a) 湛江($C=2.6\%$), (b) 徐闻($C=17.2\%$), (c) 雷州($C=7.8\%$), (d) 遂溪($C=19.6\%$),
(e) 廉江($C=25.4\%$), (f) 吴川($C=7.0\%$), (g) 茂名($C=13.7\%$), (h) 电白($C=8.8\%$),
(i) 阳江($C=8.1\%$), (j) 台山($C=19.7\%$), (k) 新会($C=22.0\%$), (l) 上川($C=7.2\%$)

Fig. 8 Distributions of wind direction when fog occurs at 12 stations along the coast of West Guangdong (unit: %)

(a) Zhanjiang ($C=2.6\%$), (b) Xuwen ($C=17.2\%$), (c) Leizhou ($C=7.8\%$); (d) Suixi ($C=19.6\%$),
(e) Lianjiang ($C=25.4\%$), (f) Wuchuan ($C=7.0\%$), (g) Maoming ($C=13.7\%$), (h) Dianbai ($C=8.8\%$)
(i) Yangjiang ($C=8.1\%$), (j) Taishan ($C=19.7\%$), (k) Xinhui ($C=22.0\%$), (l) Shangchuan ($C=7.2\%$)

3.1 高压型

冷高压从长江入海口或者胶东半岛以南入海后东移,粤西沿海处于其后部的均压场或气压梯度较小的区域,地面吹偏南风或偏东风,风力较弱,一般为 $2\sim4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。南海沿岸存在着表层水温较低的冷水区域,这样的风场将外海的暖湿空气输送到华南沿岸的冷海面,在这一过程中暖湿空气冷却达到饱和而形成平流雾。

图 9 为一次典型高压东移出海回流型平流雾的生消过程。2009 年 2 月 9 日 23 时高压位于长江入海口,中心偏弱。2 月 10 日 17 时高压已经出海,粤西沿海处于高压后部的偏东流场中,风速 $2\sim4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。由于随冷高压平流到海上的干冷空气经过暖海区后湿度、温度均提高,回流到华南沿岸时遇冷海面就形成平流雾。2 月 10 日夜间至 11 日上午,湛江、徐闻、雷州均有出现雾的记录。到 2 月 11 日 17 时,冷高压已经东移至 130°E 附近,该过程结束。

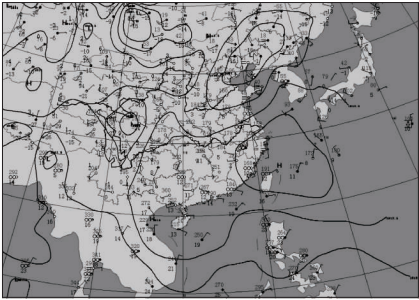


图 9 2009 年 2 月 10 日 17 时
华南地面天气图
Fig. 9 The surface weather
map of South China at
17:00 BT 10 February 2009

3.2 低槽型

我国西南地区或中南半岛有一低压,低压前部的偏南、偏东流场有利于来自海上的暖湿空气平流到华南沿岸较冷的海面上冷却而形成海雾。粤西沿海处于低压的东南或东侧,地面吹东南或南风,风速约为 $2\sim6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,高空通常受西太平洋高压脊、南支槽或西南低压槽影响,基本为一致的西南风,带来海上大量的暖湿气流。图 10 为 2010 年 2 月 28 日晚粤西沿海在此种天气条件下出现雾的情形。贵州上空一直有低压发展维持,使得粤西沿海处于西南

流场中。同时高空 850 hPa 上西太平洋副高脊西伸北进,500 hPa 上南支槽强烈发展,粤西沿海上空含有丰富水汽的西南气流较为强盛。地面与高空流场的综合作用,使得海上的暖湿气流不断地输入到华南沿海地区,出现了本次平流雾过程。

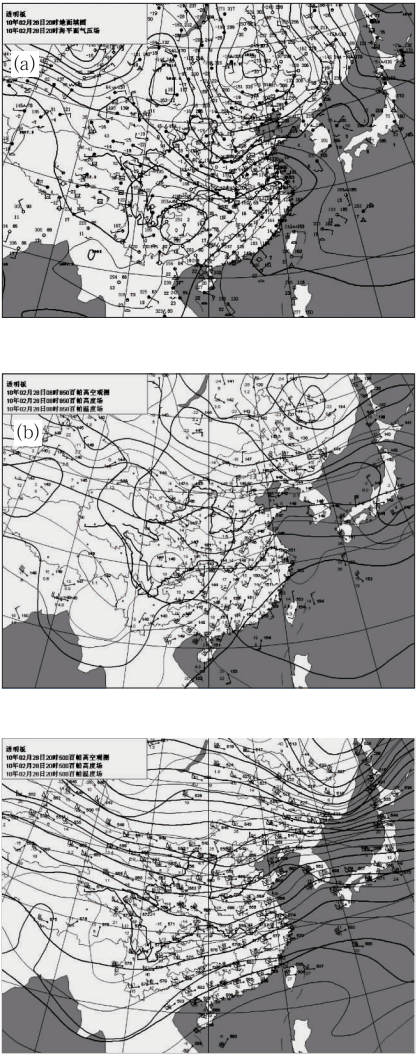


图 10 2010 年 2 月 28 日 20 时
东亚天气形势
(a)地面天气图,(b)850 hPa 天气图,
(c)500 hPa 天气图
Fig. 10 The East Asia weather situations
at 20:00 BT 28 February 2008 at
(a) the surface, (b) 850 hPa, and (c) 500 hPa

3.3 冷锋型

来自西伯利亚的冷空气不断向南侵袭,与华南暖湿气流交汇混合而形成锋面雾,随着冷锋推进到海上,大雾过程结束。图 11 反映了一次冷锋过境在

粤西沿海形成锋面雾的过程。2001 年 2 月 6 日冷锋还未推进到华南沿岸。2 月 7 日已经南推至华南沿岸,冷锋后的冷空气迫使锋前的暖湿空气适当降温,降低了暖空气的饱和水汽压,从而冷却凝结形成雾滴,造成了粤西沿海锋面雾的出现。2 月 8 日冷锋已移出海面,地面一致是偏北风,粤西海雾消散。

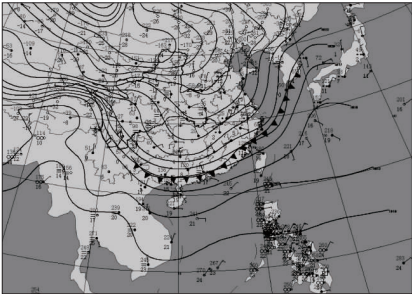


图 11 2001 年 2 月 7 日 08 时华南地面天气图

Fig. 11 The surface weather map of South China at 08:00 BT 7 February 2001

3.4 静止锋型

冷空气南下经过下垫面的加热和摩擦作用,到达华南沿海地区时已大大减弱,与海上热带天气系统对峙,就会在沿海地区形成静止锋,造成冷暖空气混合而形成锋面雾,时常会出现雾、毛毛雨、小雨交错的天气。

图 12 显示了 2005 年 2 月 24 日粤西沿海一次静止锋型大雾过程。由于南下的冷空气势力已较弱,受到海上暖湿空气的阻挡后,在华南沿海一带形成了坡度不大的静止锋。粤西沿海地面风力微弱,为雾的形成与维持提供了有利的风场条件。从 850 hPa 可以看到,南岭一带存在切变线,粤西沿海处于切变线南侧的偏西气流中,有从海面输送而来的充沛水汽。华南静止锋上下层的冷暖空气发生混合,致使了锋面雾的出现,粤西沿海 4 个站点均有雾的记录。

3.5 鞍型和均压场型

地面为均压场或鞍形场,近地层湿度较大,天气晴朗,风速较小或静风。大雾多出现在夜间或清晨,属于辐射雾,持续时间不长,通常白天即消散。如图 13 所示,2009 年 2 月 12 日 23 时南海处于鞍形场

中,华南沿岸的广大地区则位于低压南部的大范围均压场中,其中粤西沿海天气晴朗无云,风力微弱,利于夜间辐射降温。高空 700 hPa 上南支槽的东移使得华南低层沿海一带吹较强劲的西南风(图略),带来了海上大量的暖湿空气。这些因素共同导致了雷州站 2 月 13 日凌晨出现辐射雾。据记录该站在大雾期间天空无云,地面风速小于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,日出后不久雾即消散。

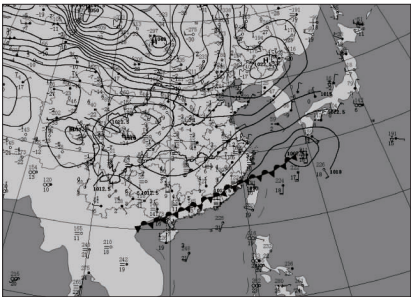


图 12 2005 年 2 月 24 日 02 时华南地面天气图

Fig. 12 The ground weather map of the South China at 02:00 BT 24 February 2005

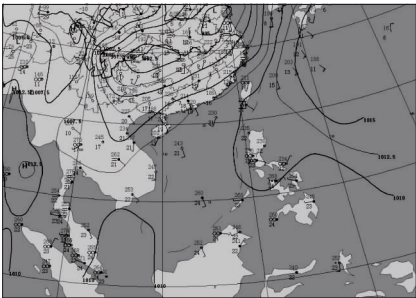


图 13 2009 年 2 月 12 日 23 时华南地面天气图

Fig. 13 The ground weather map of the South China at 23:00 BT 12 February 2005

4 海雾微物理特征

4.1 资料来源

海雾微物理观测采样点设在湛江市东海岛(21.28°N、110.20°E),东面临海,四周空旷。采样点正对南海,往东约 200 m 即到南海海边,往西直线距离约 300 m 为湛江市气象局雷达站,雷达站内装备有新一代天气雷达 CINRAD、自动气象站、风

廓线雷达、100 m 边界层气象要素梯度观测铁塔和散射光能见度观测仪等观测设备。本文选取 2010 年 3 月 22—23 日在湛江东海岛进行的一次完整海雾过程的观测数据,分析海雾过程中能见度的变化以及雾滴的微物理结构特征。

本次海雾观测试验所采用的微物理特征观测仪器有:(1) FM-100 光学雾粒谱仪(DMT,美国):可分 40 个通道测量粒径为 2~50 μm 的雾滴的数浓度和谱分布,观测中设定采样通道为 20 个(通道 1 的数据受噪声影响,不计入计算和分析结果),通道宽度 2~3 μm 不等,观测期间进行连续采样,采样频率 1 Hz;(2) WPS-1000XP 宽范围粒径谱仪(MSP,美国):可分 120 个通道测量粒径为 10 nm~10 μm 的气溶胶数浓度和谱分布,本次观测中设定采样通道为 72 个,通道宽度 0.74 nm~1 μm 不等,观测期间进行连续采样,每 5 min 可获取一组观测数据;(3) VPF-730 能见度天气现象仪(BIRAL,英国):可实现能见度、降水量和温度的自动测量及天气现象和降水类型的自动识别,能见度测量范围为:10 m~75 km,观测期间进行连续监测,每 30 s 可获取一组观测数据。

4.2 计算方法

4.2.1 采样体积

根据 DMT 公司提供的 FM-100 光学雾粒谱仪使用说明,仪器采样的真实气流速度(True Air Speed,TAS)由下式计算:

$$TAS = 20.06 \times M \times T_a^{0.5}$$

其中, M 是根据动态气压和静态气压计算得到的马赫数; T_a 是实际环境温度,单位:K。每秒钟的采样体积 V 由下式计算:

$$V = TAS \times S$$

其中, $S = 0.264 \text{ mm}^2$,为采样面积。

4.2.2 雾粒数密度谱 $n(r)$

设 r 为每个通道的几何平均半径(单位:μm), Δr 为每个通道的宽度,每个通道的雾滴个数除以 $V \times \Delta r$,即可得到雾粒数密度谱 $n(r)$ (单位:个·cm⁻³·μm⁻¹)。即:

$$dN = n(r)Vdr \text{ 或 } n(r) = \frac{dN}{Vdr}$$

式中, N 为雾粒子数浓度(单位:cm⁻³), $N = \int_0^\infty n(r)dr$ 。

4.2.3 尺度分布特性

雾粒子尺度分布特性参量主要有:平均半径 r_m

(单位:μm)、雾粒子有效半径 r_e (单位:μm)和液态水含量 LWC (单位:g·m⁻³)分别由以下公式进行计算:

$$r_m = \int_0^\infty rn(r)dr / \int_0^\infty n(r)dr = \frac{1}{N} \int_0^\infty rn(r)dr,$$

$$r_e = \frac{\int_0^\infty r^3 n(r)dr}{\int_0^\infty r^2 n(r)dr},$$

$$LWC = 1 \times 10^{-6} \rho \int_0^\infty \frac{4\pi}{3} r^3 n(r)dr$$

式中, $\rho = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,为水的密度。

4.3 雾过程能见度演变

图 14 描述了 2010 年 3 月 22—24 日的海雾过程能见度随时间的变化。此次海雾过程时间长达 30 多个小时。

4.4 滴谱特征演变

根据能见度的变化将海雾过程大致分为 4 个阶段(图 15),分别对各个阶段所获取的观测样本进行平均求得各个阶段对应的雾滴平均谱分布(图 15)。

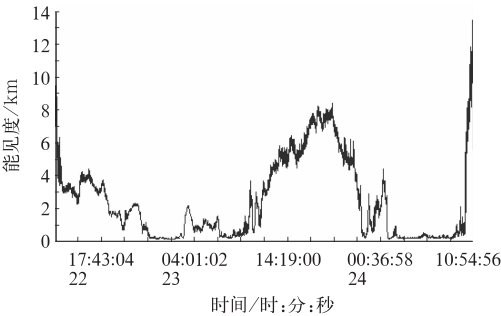


图 14 海雾过程能见度随时间的变化

Fig. 14 The visibility (unit: km) varying with time in the process of sea fog

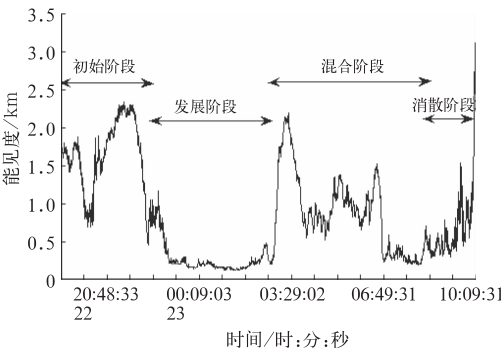


图 15 海雾过程的 4 个演变阶段

Fig. 15 The four evolving stages of the sea fog

从图 16 给出的 22 日 19 时至 23 日 10 时雾滴平均谱分布可见,初始阶段(图 16a),雾滴谱谱宽还相对较窄,仅约 $30\text{ }\mu\text{m}$ 并且明显偏向于小滴一端,雾滴主要集中在 $2\sim 10\text{ }\mu\text{m}$,数密度谱峰值也仅约 $5.3\text{ 个}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 。发展阶段(图 16b)的谱宽超过 $46\text{ }\mu\text{m}$ (因个数太少所以图上难以查找),数密度谱峰值达到 $17.5\text{ 个}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 左右,不仅小滴数目迅速增长,大滴数目也明显增多。混合阶段(图 16c)的谱宽仍然超过 $46\text{ }\mu\text{m}$,但数密度谱峰值相

比于发展阶段减少近一半,仅约为 $9.2\text{ 个}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 小滴和大滴均有所减少。消散阶段(图 16d)雾滴谱谱宽明显缩减,大滴基本消散,小滴也迅速减少,雾滴谱峰值仅为 $4.5\text{ 个}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 左右。由此可见,海雾过程雾滴谱特征演变能很好地反映海雾初生、发展、混合和消散各个阶段。而黄辉军等^[16]在茂名观测结果表明雾滴谱分布符合 Junge 分布,平均数密度为 $57.1\text{ 个}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

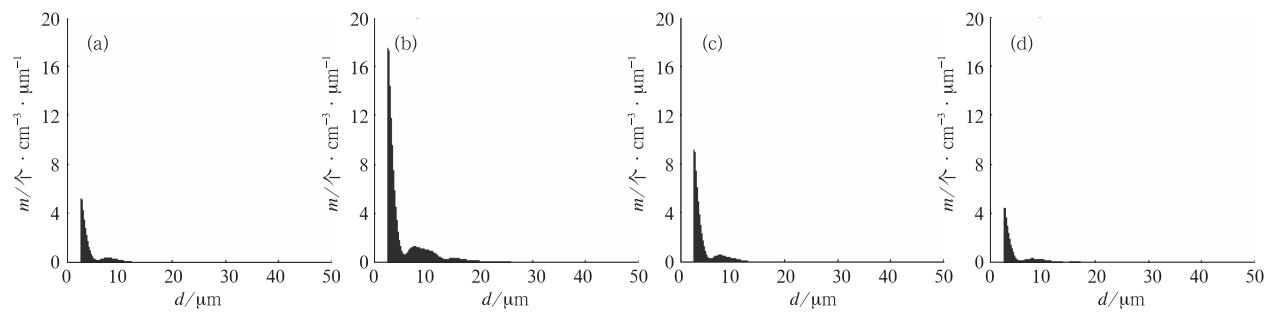


图 16 海雾过程四个阶段的雾滴谱分布
(a) 初始阶段, (b) 发展阶段, (c) 混合阶段, (d) 消散阶段

Fig. 16 The spectrum distribution of fog droplet size in the four stages of sea fog
(a) stage of preliminary, (b) stage of development, (c) stage of mix, (d) stage of dissipation

4.5 雾滴谱的平均分布特征

雾滴谱的变化取决于海雾发生和维持的动力和热力环境。海雾过程雾滴平均谱分布如图 17 所示。总体而言海雾过程中雾滴谱分布符合指数递减规律,谱型大体上呈“单峰”结构,只在能见度小于 1.0 km 时出现“双峰”结构,且第二峰值,即较大雾滴所对应的峰值不足第一峰值的 $1/7$ 。整个滴谱明显偏向小滴一端,雾滴谱径主要出现在 $2\sim 10\text{ }\mu\text{m}$,第一峰值位于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 处,最大谱径超过 $46\text{ }\mu\text{m}$,大滴的数密度偏小。这与黄辉军等^[16]在茂名测得的雾滴谱

径算术平均直径 $4.7\text{ }\mu\text{m}$ 、算术峰值直径 $2.9\text{ }\mu\text{m}$ 结论相当。

5 结 论

本文根据 2000—2010 年常规气象观测资料分析了粤西沿海 12 个气象站点近 11 年来海雾的天气气候特征及湛江东海岛一次海雾过程中雾滴谱分布特征,得出以下主要结论。

(1)粤西沿海年平均海雾日数呈西部($17.8\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)>东部($7.7\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)>中部($3.5\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)的特点。海雾日数年际变化差异明显;各地海雾最多年有所差异,但主要集中在 2005 年;各地大多有 $2\sim 3$ 个海雾最少年,且多数包含了 2008 年。海雾日数有明显的季节变化,总体呈冬、春节多,夏、秋季少的分布特点,3 月为雾日高发月。

(2)海雾主要发生在 02:00—08:00,这一时段雾生成的平均概率高达 50.8% ,冬季海雾高发时次延后。各地区海雾过程出现的频次随着持续时间的增加而减少,且雾程以 $1\sim 3\text{ d}$ 居多,并具有较强的局地性。

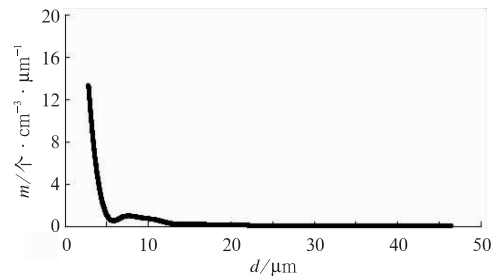


图 17 海雾过程的平均雾滴谱分布
Fig. 17 The average droplet size distribution in the process of sea fog

(3) 粤西沿海海雾雾次频数以气温为 $15 \sim 25^{\circ}\text{C}$, 3 小时变压在 $-3.5 \sim 2.5 \text{ hPa}$ 之间, 温度露点差为 $0.0 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 的范围内最多。雾多发生在 NNE—ESE 以及静风的情况下, 且绝大多数发生时风速 $\leq 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(4) 粤西海雾发生、发展的天气形势可以分为高压型、低槽型、冷锋型、静止锋型、鞍型或均压场型 5 类。

(5) 海雾初始阶段雾滴谱谱宽较窄且偏向于小滴一端; 发展阶段谱宽超过 $46 \mu\text{m}$, 小滴数目迅速增长, 大滴数目明显增多; 混合阶段谱宽变化不大但峰值减少; 消散阶段大滴基本消散。平均雾滴谱分布呈指数递减规律, 谱型大体呈“单峰”结构, 整个滴谱明显偏向小滴一端, 雾滴谱径主要出现在 $2 \sim 10 \mu\text{m}$ 。

参考文献

- [1] 孙安健, 黄朝迎, 张福春. 海雾概论[M]. 北京: 气象出版社, 1985.
- [2] 孙亦敏. 灾害性浓雾[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 40-59.
- [3] 王彬华. 海雾[M]. 北京: 海洋出版社, 1983.
- [4] 周贺玲, 李丽平, 乐章燕, 等. 河北省雾的气候特征及趋势研究[J]. 气象, 2011, 37(4): 462-467.
- [5] 陈连友, 李月英, 曹秀芝, 等. 秦皇岛地区雾天气气候特征及预报[J]. 气象, 2009, 35(12): 126-132.
- [6] 伍红雨, 杜尧东, 何健, 等. 华南霾日和雾日的气候特征及变化[J]. 气象, 2011, 37(5): 607-614.
- [7] 张燕光. 华南沿海春季雾的分析和预报[J]. 气象, 1999, 25(2): 53-55.
- [8] 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, 2011, 36(6): 13-20.
- [9] 郭秀英. 华南沿海春季海雾与天气型关系的统计分析及预报[J]. 广东气象, 1991, (1): 25-27.
- [10] 张朝锋. 粤东海区海雾的气候特征分析[J]. 广东气象, 2002, (2): 20-21.
- [11] 何云开, 黄健, 贺志刚, 等. 南海北部近岸春季海雾的年际变化[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(5): 6-11.
- [12] 孔宁谦. 广西沿海雾的特征分析[J]. 广西气象, 1997, 18(2): 41-45.
- [13] 卢峰本, 黄滢, 覃庆第. 北部湾海雾气候特征分析及预报[J]. 海洋预报, 2006, 23(5): 68-72.
- [14] 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): 108-117.
- [15] 屈凤秋, 刘寿东, 易燕明, 等. 一次华南海雾过程的观测分析[J]. 热带气象学报, 2008, 24(5): 490-496.
- [16] 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.
- [17] 徐峰, 牛生杰, 张羽, 等. 湛江东海岛春季海雾雾水化学特性分析[J]. 中国环境科学, 2011, 31(3): 353-360.
- [18] Niu Shengjie, Lu Chunsong, Yu Huaying, et al. Fog research in China: An overview[J]. Adv Atmos Sci, 2010, 27(3): 639-662.
- [19] 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, 2008, 38(3): 359-366.
- [20] 高安宁, 陈见, 李生艳, 等. 2008 年华南西部罕见低温冷害天气成因分析[J]. 热带气象学报, 2009, 25(1): 110-116.
- [21] 何伟芬, 唐洁, 彭端, 等. 2008 年初珠三角地区罕见持续低温阴雨天气成因初探[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(17): 9064-9066, 9154.
- [22] 曹治强, 吴兑, 吴晓京. 1961—2005 年中国大雾天气气候特征[J]. 气象科技, 2008, 36(5): 556-560.