

陆芊芊,郑凤琴,毕瑞迪,等. 涠洲岛海雾外场观测数据分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(3):20-25.

Lu Qianqian,Zheng Fengqin,Bi Ruidi,et al. Analysis of four outfield observation data of sea fog on Weizhou Island in 2021[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2022,43(3):20-25.

2021 年涠洲岛 4 次海雾外场观测数据分析

陆芊芊¹, 郑凤琴^{*1}, 毕瑞迪², 陆雪婷²

(1.广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022; 2.涠洲岛气象站, 北海 536004)

摘要: 利用 2021 年 2—4 月广西涠洲岛雾滴谱仪得到的海雾综合观测资料,对涠洲岛海雾的总体特征及典型个例进行了分析。结果表明:(1)涠洲岛海雾持续时间较短,平均为 1.1h,海雾过程中地表维持较高湿度,平均风速不大于 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,地面以偏北、偏东风为主;涠洲岛海雾的平均雾滴数浓度为 79.5cm^{-3} ,平均液态含水量为 $0.01\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均直径为 $4.3\mu\text{m}$ 。(2)2021 年 2 月 28 日涠洲岛海雾微结构特征:能见度与雾滴数浓度和液态含水量的变化趋势相反,海雾发展越旺盛,能见度越低,微物理参量越大;海雾的雾滴谱分布呈单调递减特征,符合 Junge 分布。

关键词: 涠洲岛;海雾;微物理特征;气象要素;雾滴谱

中图分类号: P732

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.3.04

引言

海雾是指发生在洋面上或者海域附近上空,由于边界层中的水汽大量凝结造成的大气能见度低于 1km 的天气现象^[1]。海雾对航海交通、海洋渔业及军事活动都有不利影响^[2]。开展海雾外场观测有助于加深对海雾微物理特征的认识,进而提高海雾预报的准确性^[3],有效预防或减轻海雾对海上生命财产安全带来的威胁。

中国对海雾的外场观测研究始于 20 世纪 80 年代,杨中秋等^[4]对舟山地区海雾进行了外场观测,初步分析了微物理量的时间演变特征和雾滴谱分布特征。近年来,我国学者在华东、华南、福建等沿海地区开展海雾外场观测,取得了较大的成果。徐静琦等^[5]基于观测得到的微物理特征,建立了青岛海雾能见度与消光系数的线性关系。吕晶晶等^[6-7]发现,湛江地区海雾的雾滴谱分布呈单调递减特征,多数时段雾滴数浓度与平均直径呈正相关关系(海雾成熟阶段除外)。张悦等^[8]探讨了厦门地区海雾微物理结构与气象要素之间的关系,海雾爆发性增长时,风速风

向会发生明显变化,而微结构的起伏则与风速无关。

涠洲岛位于北部湾海域中部,每年冬、春季海雾频发^[9],对客运、海上捕捞等造成了不利影响。然而到目前为止,鲜有关于北部湾海雾外场综合观测研究的相关文献记载,缺乏对北部湾海雾过程中微物理特征的研究。因此,本文根据 2021 年 2 月—4 月项目组在涠洲岛进行外场观测得到的海雾雾滴谱及相关的气象资料,总结分析 4 次海雾过程中气象要素及微物理量的基本特征,并对一次海雾过程的微物理结构进行重点分析,给出雾滴谱分布特征,以期在海雾预报提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 观测地点及时间

观测地点设在涠洲岛国家基准气候站内,地处涠洲岛西南角,南侧为北部湾海域,观测仪器架设于站内一栋 2 层小楼楼顶,采样点正对大海,距离海边 200m 左右,海拔高度 55m,无障碍物遮挡。

外场观测于 2021 年 2 月 1 日开始,2021 年 4 月 30 日结束。为确保试验期间采样通道不受海气污

收稿日期: 2022-07-03

基金项目: 广西重点研发计划(桂科 AB20159013)、中国气象局创新发展专项(CXFZ2022J029)

作者简介: 陆芊芊(1994—),女,助理工程师,主要从事气候研究与应用工作。E-mail:luqianqian_1026@163.com

* 通讯作者: 郑凤琴(1978—),女,硕士,正研级高级工程师,主要从事气候监测与灾害影响研究。E-mail:zhengfengq@sohu.com

染,观测人员在每次海雾过程前启动仪器,过程结束立即停止采样,其它时间处于待机状态。

1.2 观测仪器

FM-100 型雾滴谱仪由美国 DMT 公司研发,可实现雾粒子尺度及数浓度的连续测量,雾滴谱仪主要由真空腔、光具座、电子信号处理器及数据处理系统 4 部分组成^[10],其中,真空腔可控制气流速度,计算粒子数浓度,光具座可接收雾滴粒子的前向散射光,电子信号处理器将收集到的光信号转化为电压差并传输,数据处理系统对光信号进行处理,打包成数据文件存储起来。本次观测中设置采样频率为 1Hz,测量的直径范围(1~50 μm)分为 20 档。

1.3 数据处理

本次观测获得 4 个数据文件,共计 210 余万条数据,观测数据的处理流程为:首先剔除异常值,剔除后采用缺省值代替;根据公式(1—3)^[10]计算各微物理参量,计算时舍弃第一档(1~2 μm)数据;根据能见度数据,筛选海雾过程时段,在该时段内,求出所有物理参量的 1min 去尾平均值。

$$N=\sum n(r) \tag{1}$$

$$LWC=1\times10^{-6}\times\rho\times\sum\frac{4\pi}{3}r^3n(r) \tag{2}$$

$$\overline{D}=\frac{1}{N}rn(r) \tag{3}$$

其中,N 为总数浓度 (单位: cm^{-3}),LWC 为液态水含量 (单位: $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), \overline{D} 是平均直径 (单位: μm), $n(r)$ 是每档粒子的数浓度(单位: cm^{-3}), r 是雾滴半径 (单位: μm), ρ 为液水密度(取 $1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)。

1.4 辅助资料

本文使用的资料还有广西壮族自治区气象信息中心提供的涠洲岛国家基准气候站的水平能见度(下简称“能见度”,Vis)及地面气象要素(风速、风向、相对湿度、气温等)数据,时间分辨率为 1min。

本文规定海雾过程的判断依据^[11]是:(1)起雾:Vis<1km 且持续 10min 以上,同时满足上述条件定为起始时间;(2)消散:能见度大于 10km 时,最后一个 Vis \leq 1km 的时刻记为结束时间。

2 结果与分析

2.1 海雾过程总体特征

2021 年 2—4 月,涠洲岛共观测到 4 次海雾过程(表 1)。4 次海雾的起雾时间均在凌晨,早晨八点之前消散,有 3 次过程发生在凌晨 03:00—05:00,与叶庚姣等^[12]统计的北部湾海雾最易出现海雾的时段一致。涠洲岛海雾持续时间较短,4 次过程中有 3 次持续时间小于 1h,平均持续时间为 1.1h,远小于我国福建沿海^[13]及广东沿海^[14]海雾的持续时间,可能是雾团尺度较小。

表 1 2021 年涠洲岛 4 次海雾过程概况

个例	日期	起止时间	持续时间/h	最小能见度/km	数浓度 N/ cm^{-3}	液态水含量 LWC/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	平均直径 $\overline{D}/\mu\text{m}$
1	2 月 2 日	04:23—07:04	0.6	332	/	/	/
2	2 月 7 日	04:29—05:02	0.25	228	102.7(3.8~405.0)	0.04 (0.0003~0.2)	5.3(3.9~6.9)
3	2 月 28 日	01:28—05:57	4.5	464	76.7(10.6~454.9)	0.006 (0.0009~0.03)	4.0(3.8~4.4)
4	3 月 6 日	07:08—07:58	0.5	793	78.8(52.2~109.4)	0.01 (0.006~0.03)	5.0(4.6~5.2)

注: / 表示缺失。

此次观测期间,海雾过程平均气温为 20 $^{\circ}\text{C}$,与较低的海面温度之间形成温度差,水汽冷却凝结,易形成海雾,平均相对湿度均大于 90%,平均风速基本在 3 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下(表 2),与古明悦等^[15]统计结果基本一致,适当的风速有利于海雾的生成和维持;风速过大,湍流交换强,不利于海雾的形成;风速过小,不利于水汽和雾滴的垂直输送及暖湿空气的水平输送^[16]。这 4 次海雾过程中,主要风向为东北风,占全部过程的 83%,这是涠洲岛海雾与其他地区较显著的区别。

表 1 还统计了 2021 年 3 次海雾过程的微物理特征,包括数浓度、液态水含量和平均直径的变化范围和平均值,个例 1 发生时仪器启动不及时导致数据不全,故未统计。3 次过程平均雾滴数浓度为 79.5 cm^{-3} ,变化范围为 3.8~454.9 cm^{-3} ;平均液态水含量为 0.01 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,最大含水量为 0.18 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;粒子尺度的平均值为 4.3 μm ,变化范围为 3.8~6.9 μm ,对比国内其他地区海雾,涠洲岛海雾的液态水含量和平均直径均略小。

表 2 4 次海雾过程气象要素变化范围和平均值

个例	T/℃	RH/%	风速/m·s ⁻¹	风向/°
1	16.4~17.4(16.8)	97(97)	0.2~2.3(0.8)	9~211(100.2)
2	17.8~17.9(17.8)	97(97)	1.7~2.1(1.8)	17~34(23.6)
3	17.0~18.4(17.6)	97~98(97.6)	1.1~4.8(3.3)	2~358(32.9)
4	21.2~21.4(21.3)	97~98(97.9)	1.8~3.0(2.4)	2~360(158.6)

2.2 典型个例分析

2.2.1 宏观特征分析

2021 年 2 月 28 日凌晨, 北部湾地区出现了严重的海雾天气, 最低能见度为 464m, 此次雾过程在 28 日 05:57 消散, 凌晨有两次短时间的间歇, 过程持续了 4.5h。27 日 20:00 500hPa 涠洲岛位于副高西侧的西南气流中, 同时低槽东移, 带来充分的水汽。850hPa 切变线南压, 涠洲岛主要受切变线南侧的西南暖湿气流影响。地面场上, 涠洲岛位于低压前部, 偏北偏东风向。地面与高空流场配合, 不断给北部湾补充水汽和热量, 促成本次雾过程。

图 1 显示了 2021 年 2 月 27—28 日能见度和气象要素随时间的变化。海雾发生前, 能见度波动下降, 与此同时, 相对湿度呈阶梯式上升, 风速也有明显的下降趋势, 01:00 之后能见度维持在 1200m 左右, 01:28 能见度降到 1km 以下, 开始起雾。海雾过程中气温维持在一个相对较低的状态, 在 17~19℃ 的范围内变化, 04:00 气温上升, 海雾进入间歇阶段,

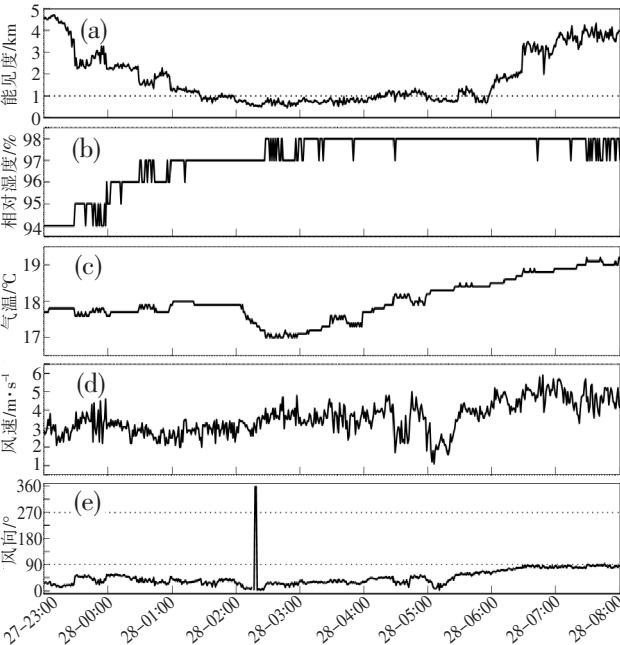


图 1 2021 年 2 月 28 日地面气象要素随时间的变化
(a)能见度; (b)相对湿度; (c)气温; (d)风速; (e)风向

05:00 能见度降低, 持续半小时后能见度再次大于 1km, 随后温度逐渐上升, 海雾逐渐消散。海雾过程风向为稳定的东北偏北风, 06:00 风向逐渐转为偏东风, 能见度好转, 海雾消散, 风速基本在 3~4m·s⁻¹ 之间, 相对湿度一直维持在 97%~98%, 除气温之外的气象要素状态相对稳定。

2.2.2 微物理特征分析

如图 2 所示, 能见度与液态水含量 LWC 和数浓度 N 的变化趋势相反, 2 月 28 日 01:57 能见度下降, 海雾迅速发展, 数浓度迅速增大, 液态水含量也处于上升阶段, 此时平均直径在下降; 01:57 至 04:12 时段为海雾成熟阶段, 液态水含量和数浓度均处于高值状态, 无明显的峰值; 04:21 能见度回升, 进入约 0.5h 的间歇期, 这一阶段液态水含量、数浓度及平均直径均维持在一个较低的水平; 05:00 能见度降到 1km 以下, 液态含水量、数浓度及平均直径均波动上升, 并且在 05:30 左右达到峰值, 05:28 雾开始消散, 液态含水量、数浓度及平均直径开始下降, 到 05:57

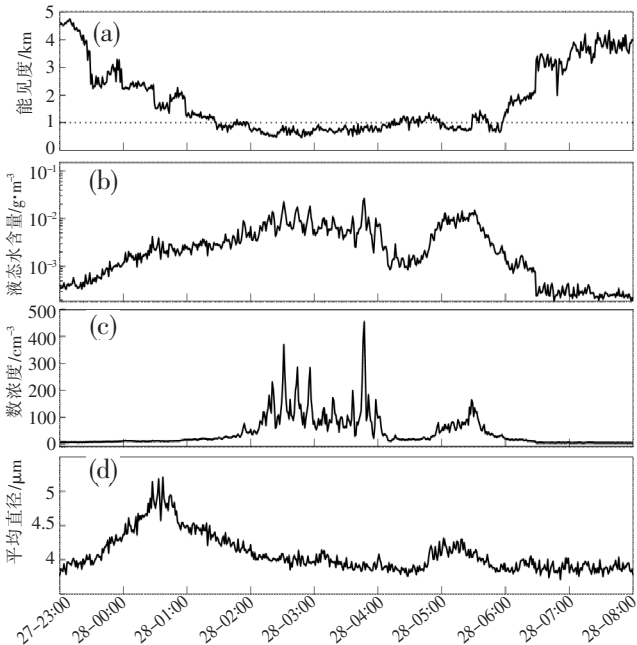


图 2 2021 年 2 月 28 日海雾过程中能见度及各微物理参量的 1min 平均值随时间的演变
(a)能见度; (b)液态含水量; (c)雾滴数浓度; (d)雾滴平均直径

此次海雾过程结束。

表 3 统计了本次海雾过程与国内其他地区海雾的特征参量, 此次海雾过程最大粒子数浓度达到 454.9cm^{-3} , 与南海西北部^[17]、厦门^[18]的观测值相当, 高于华东^[4-5](舟山、青岛)与华南沿海^[6](湛江、茂名)部分区域, 雾过程中平均粒子数浓度为 76.7cm^{-3} , 明显低于华南沿海区域多次试验的观测值, 主要是因为涠洲岛孤立于海洋中, 与城市距离较远, 城市可吸

入颗粒物的影响小。此次过程, 液态水含量最高值及平均值分别仅有 $0.03\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $0.006\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 均低于国内目前开展的外场试验观测值, 可能的原因是相比于国内其他观测, 此次海雾过程持续时间短、且未有达到浓雾等级的时段、最低能见度偏高, 导致液态含水量较小。平均直径为 $4.0\mu\text{m}$, 与国内其他典型海雾过程相比虽偏小但差异不大, 表明海雾以小粒子为主, 直径较大的颗粒物含量少。

表 3 涠洲岛海雾与国内典型海雾过程微物理特征比较

观测地点	观测时间	数浓度 N/cm^{-3}	液态水含量 LWC/gm^{-3}	平均直径 $\bar{D}/\mu\text{m}$
		平均值(范围)	平均值(范围)	平均值(范围)
广西涠洲岛	2021 年 2 月 28 日	76.7(10.6~454.9)	0.006 (0.0009~0.03)	4.0(3.8~4.4)
福建厦门	2019 年 4 月 7 日	100(/~468)	0.17(/~468)	/
	2013 年 4 月 17—18 日	35.5(0.2~377.8)	0.016(0.01~1.18)	4.5(2.8~23)
南海西北部	2017 年 3 月 10—11 日	198(42~445)	0.116(0.012~0.484)	5.6(3.8~12.8)
广东湛江	2011 年 2 月 23—24 日	248 (3~354)	0.102 (0.001~0.257)	5.2(3.1~7.8)
	2010 年 3 月 22—23 日	39.6 (1.0~219.5)	0.013 (0.001~0.155)	4.2 (/~17.0)
广东茂名	2008 年 3 月 18—19 日	261 (33~396)	0.144 (0.011~0.335)	4.6 (2.8~6.8)
浙江舟山	1985 年 4 月 21—22 日	43.1(22.1~72.5)	0.151(/~1.62)	24.1(3.8~35.7)
山东青岛	1993 年 7 月 2 日	/(36.8~248.9)	/(0.0003~0.083)	/(4.2~4.8)

2.2.3 雾滴谱分布特征

图 3 为此次海雾过程的平均谱分布及拟合曲线, 根据实测资料, 利用最小二乘法拟合了平均雾滴谱公式。结果表明, 平均谱满足 Junge 分布, 即: $N(D)=984.12D^{-2.67}$, 拟合优度确定系数 $R^2=0.97$ 。其中 $7.25\mu\text{m}$ 以下的实测值大于理论值, 其他区间的实测

值均小于或等于理论值, 实测值与拟合曲线十分接近, 表明该分布函数能很好反映本次海雾的平均状况。雾过程的平均谱分布呈单调递减变化, 雾滴主要集中在 $4\sim12\mu\text{m}$, 整个谱分布偏向小粒子一端, 这是华南沿海海雾典型的谱分布特征^[7,10], 但区别于舟山地区^[4]及厦门地区^[18]的海雾雾滴谱分布, 这两个地区的谱分布呈双峰变化, 更符合 Deirmendjian 分布。由此可知, 海雾的谱分布具有鲜明的局地特征, 是由各个因子复杂的影响形成的, 需要具体分析。

3 结论

利用 2021 年 2—4 月在涠洲岛观测获得的微物理参量、能见度等资料, 总结分析 4 次海雾过程的整体特征, 并对个例 3 的宏微观特征进行重点分析, 得到以下结论。

(1) 涠洲岛海雾的形成不具备明显的日变化, 多出现在凌晨 03:00—05:00, 海雾持续时间较短, 平均为 1.1h。海雾期间的综合气象条件为: 平均气温为 20°C , 平均相对湿度为 97%, 平均风速为 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 地

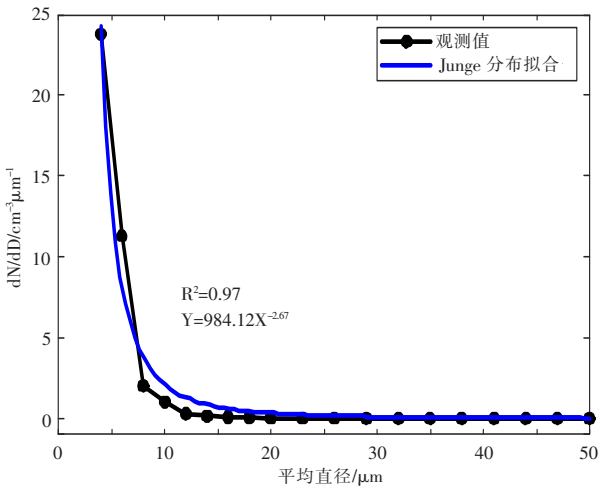


图 3 平均谱分布

面以偏北、偏东风为主。2021 年涠洲岛冬春季的 4 次海雾过程,数浓度的变化范围为 $3.8\sim 454.9\text{cm}^{-3}$,液态水含量为 $0.00009\sim 0.18\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均直径为 $3.8\sim 6.9\mu\text{m}$ 。

(2)西南气流为海雾发展提供了充沛的水汽条件和热量。海雾过程中温度、风速保持相对低的水准,地表相对湿度较高,地面以偏北风为主。能见度与液态含水量及雾滴数浓度的变化趋势相反,能见度下降,雾滴数浓度及液态水含量随之增加,海雾过程中最大粒子数浓度达到 454.9cm^{-3} ,平均粒子数浓度为 76.7cm^{-3} ,平均液态水含量为 $0.006\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均直径为 $4.0\mu\text{m}$,与国内其他区域的海雾相比,涠洲岛海雾的雾滴数浓度、液态含水量均较小,雾滴尺度与其他地区相当。

(3)涠洲岛海雾的雾滴谱分布呈单调递减特征,雾滴主要集中在 $4\sim 12\mu\text{m}$,整个谱分布偏向小粒子一端,符合 Junge 分布,与华南沿海和青岛地区的海雾滴谱分布类似。

参考文献:

- [1] 王彬华,海雾[M].北京:海洋出版社,1983:1-352.
- [2] 伍丽泉,郑凤琴,覃皓,等.2020 年 12 月一次北部湾海雾过程的生消特征分析[J].气象研究与应用,2022,43(1):90-95.
- [3] 王帅,傅聘,陈德林,等.2009 年春季一次黄海海雾的观测分析及数值模拟[J].大气科学学报,2012,35(3):282-294.
- [4] 杨中秋,许绍祖,耿骝.舟山地区春季海雾的形成和微物理结构[J].海洋学报,1989,11(4):431-438.
- [5] 徐静琦,张正,魏皓.青岛海雾雾滴谱与含水量观测与分析[J].海洋沼泽通报,1994(2):174-178.
- [6] 吕晶晶,牛生杰,张羽,等.湛江东海岛一次春季海雾的宏微观结构及边界层演变特征[J].气象学报,2014,72(2):350-365.
- [7] 吕晶晶,牛生杰,赵丽娟,等.湛江地区一次冷锋型海雾微物理特征[J].大气科学学报,2014,37(2):208-215.
- [8] 张悦,樊曙先,张舒婷,等.海峡西岸一次雾过程微结构及其起伏特征研究[J].热带气象学报,2015,31(3):385-394.
- [9] 郑凤琴,卢小凤,钟利华,等.广西专业气象服务技术的发展现状与展望[J].气象研究与应用,2020,41(4):107-113.
- [10] 张舒婷,牛生杰,赵丽娟.一次南海海雾微物理结构个例分析[J].大气科学,2013,37(3):552-562.
- [11] 张曦,厦门春季海雾宏微观结构观测分析[D].南京:南京信息工程大学,2015.
- [12] 叶庚姣,郑凤琴,钟利华.一次北部湾海雾天气过程的大气边界层特征分析[J].气象研究与应用,2019,40(2):21-24.
- [13] 张曦,牛生杰,魏锦成,等.厦门春季海雾天气分类及典型个例宏微观结构分析[J].气象科学,2016,36(1):121-127.
- [14] 岳岩裕,牛生杰,赵丽娟,等.湛江地区近海岸雾产生的天气条件及宏微观特征分析[J].大气科学,2013,37(3):609-622.
- [15] 古明悦,韦晶晶,郑凤琴,等.北部湾典型大雾过程环流特征及气象要素对比分析[J].气象研究与应用,2019,40(3):47-51.
- [16] 封洋,张国正,朱彬,等.一次罕见的辐射-平流雾研究(Ⅱ)-雾水化学性质分析[J].气象科学,2009,29(1):17-24.
- [17] 徐峰,韩利国,吕晶晶,等.南海西北部一次海上海雾的微物理及化学特性分析[J].热带气象学报,2019,35(5):596-603.
- [18] 张伟,陈德花,胡雅君,等.闽南沿海一次春季海雾过程微物理特征分析[J].气象,2021,47(2):157-169.

Analysis of four outfield observation data of sea fog on Weizhou Island in 2021

Lu Qianqian¹, Zheng Fengqin^{*1}, Bi Ruidi², Lu Xueting²

(1. Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China;

2. Weizhou Island Weather Station, Guangxi Beihai 536004, China)

Abstract: Using comprehensive observation data of sea fog obtained by fog droplet spectrometer on Weizhou Island in Guangxi from February to April 2021, the general characteristics and typical cases of sea fog on Weizhou Island were studied. Results show that the duration of sea fog on Weizhou Island is short, with an average of 1.1h. During the fog events, the humidity is relatively high, the average wind speed is not greater than $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, and the ground is dominated by northerly and easterly winds. The average number of fog droplets number concentration (N), liquid water content (LWC), and average radius is 79.5cm^{-3} , $0.01\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, and $4.3\mu\text{m}$, respectively. In a typical case on 28 February, 2021, the change trend of visibility was opposite to N and LWC. The more vigorous the development of sea fog, the lower the visibility and the larger the microphysical parameters. The droplet spectral distribution is monotonically decreasing, which conforms to the Junge distribution.

Key words: Weizhou Island; sea fog; microphysical characteristics; meteorological elements; fog droplet spectrum