

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.

Wu Liqun,Zheng Fengqin,Qin Hao,et al. Analysis of generation and dissipation characteristics of a sea fog process in Beibu Gulf in December 2020[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2022,43(1):90–95.

## 2020 年 12 月一次北部湾海雾过程的生消特征分析

伍丽泉<sup>1,3</sup>, 郑凤琴<sup>1\*</sup>, 覃皓<sup>2</sup>, 郭晓薇<sup>3</sup>

(1.广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022; 2.广西壮族自治区气象台, 南宁 530022;

3.广西壮族自治区气象灾害防御技术中心, 南宁 530022)

**摘要:** 2020 年 12 月 26—28 日,北部湾出现了持续性大雾,其中炮台角站连续 35h 出现大雾。利用北部湾沿岸海岛站、浮标站等观测资料和 ERA5 再分析资料,对此次典型海雾过程的生消特征进行分析。结果表明,此次海雾过程主要受入海高压后部偏东暖湿气流影响。海雾期间,北部湾上空有逆温层,大气层结稳定,湿层深厚且维持时间长,近地层有 0~1.5℃气海温差和水汽通量辐合存在,降温增湿使得平流冷却雾生成维持。随着高压主体逐渐东移,北部湾水汽输送条件转差,近地层相对湿度也急剧下降,海雾消散。

**关键词:** 北部湾海雾;平流冷却雾;生消过程;水汽输送;气海温差

**中图分类号:** P426.4

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.1.16

### 引言

海雾是出现在海上、海岛和沿岸的大气水平能见度小于 1km 的一种天气现象<sup>[1]</sup>,受海洋下垫面的影响较大。广西北部湾沿海地区是海雾灾害性天气多发地区之一。海雾的出现对北部湾沿岸交通、渔业生产、船舶航行和石油天然气平台作业等都有较大影响。因此,研究北部湾海雾过程的生消特征,为北部湾海雾预报预警、海洋经济活动体的防灾减灾提供重要参考具有积极的意义。

近年来学者利用沿海、近海台站观测资料研究了中国沿海大雾,指出天气形势、平流、辐射、大气稳定度、水汽等因子主要影响海雾的发生、发展和消散<sup>[2-3]</sup>。此外,黄彬<sup>[4]</sup>通过气候统计分析指出,黄海海雾与海温、海气温差密切相关。数值模拟试验也证实海温变化明显影响着黄海雾区的范围和频次<sup>[5-6]</sup>。还有学者利用海上监测资料,研究黄、渤海海雾个例。杨伟波<sup>[7]</sup>利用青岛浮标站等观测资料,指出在冬季一次黄海海雾过程中冷海面对平流冷却雾有着关键的作

用。史得道<sup>[8]</sup>利用黄渤海浮标站等观测资料,进一步分析了一次渤海海雾过程的成因,着重研究了海雾过程中的边界层特征和海气相互作用,加深了对海雾形成机理的认知。

广西北部湾沿海地区的年雾日频数为 20~30d,大多发生在冬、春季节(12 月—次年 4 月),雾生成时间多集中在 02—05 时<sup>[2]</sup>,且大多是平流冷却雾<sup>[9]</sup>。过去研究北部湾海雾过程大多是利用陆地上观测站点的有限数据。古明悦等<sup>[10]</sup>、叶庚姣等<sup>[11]</sup>研究了北部湾沿海雾的特征、天气形势背景以及气象要素的变化等。郑凤琴等<sup>[12]</sup>对 2011—2016 年间北部湾海雾过程的地面天气形势进行了初步分析,总结了海雾过程 6 类天气学概念模型,分析了各类海雾的出现时段、持续时长和稳定度特点。

然而广西陆上测站多位于海雾边缘,这些数据较难真实反映海岛、海上雾的特征。近年来北部湾海洋监测网不断完善,本文利用 14 个海岛站和 1 个浮标站海洋监测资料,以求更好地了解 2020 年 12 月 26—28 日北部湾持续性海雾的生消特征。北部湾三

收稿日期: 2021-01-28

基金项目: 广西重点研发计划项目(桂科 AB20159013)

作者简介: 伍丽泉(1994—),女,硕士,助理工程师,主要从事气候应用与灾害影响研究。E-mail: lq\_wu@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

面均为陆地,海岸线复杂,曲率较大,海雾的发生具有较强的局地性。本工作将北部湾海域划分为 6 个海区进行相关的分析,有利于进一步认识海雾的局地性。前人针对北部湾海雾过程中海洋下垫面的影响的研究较少。因此,本文采用常规地面观测资料和 ERA5 逐小时再分析资料,对海雾过程的环流型、大气层结条件、水汽条件和海洋下垫面条件等方面进行分析,以期对北部湾海雾的认识和预报提供参考依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

所用资料包括:北部湾沿岸 14 个海岛站和 1 个浮标站逐小时风向、风速、能见度和相对湿度等资料。另外,采用广西壮族自治区气象信息中心提供的常规地面观测资料、欧洲中心提供的 ERA5 逐小时比湿、相对湿度、风场、温度场、2m 气温、海温和逐月海温等再分析资料,格点分辨率为  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 。

### 1.2 海雾监测分区

根据北部湾海域的地理分布以及自动气象站的地理位置,将北部湾海域分成北部湾西部海岸(代表站为防城港双墩岛、白须公礁、万欧灯架岭)、北部湾东部海岸(代表站为北海市北海港、铁山港石头埠)、北部湾中部海岸(代表站为钦州市大庙墩岛、青菜头岛、炮台角岛)、钦州湾(代表站为钦州市黄姜山岛、钦南大番坡和防城港市茅墩岛)、涠洲岛及邻海海域(代表站为北海市涠洲岛盛塘、涠洲岛竹蔗寮、斜阳岛)、涠洲岛近海海域(代表站为北部湾一号浮标站)。北部湾海域 6 个海区、沿岸 14 个海岛站和 1 个浮标站地理位置分布如图 1 所示。

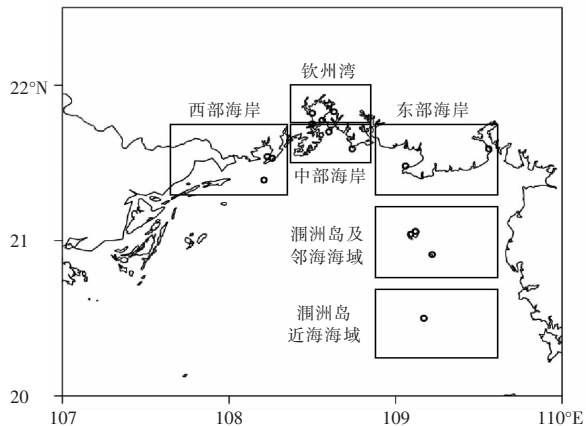


图 1 北部湾海域 6 个海区(方框)、沿岸海岛站和浮标站(空心圆)地理位置

按照能见度的大小将雾划分为大雾(能见度  $\leq 1000\text{m}$ )、浓雾(能见度  $\leq 500\text{m}$ )和重雾(能见度  $\leq 50\text{m}$ )三个等级<sup>[13]</sup>。海雾过程统计规定如下:当北部湾 6 个海区中 3 个海区及以上出现连续 2d 及以上的大雾天气,计为一次大雾天气过程,若过程中  $\leq 1\text{d}$  有 2 个海区大雾,计为同一次大雾天气过程。

## 2 结果与分析

### 2.1 海雾过程概况

由北部湾沿岸 14 个海岛站、1 个浮标站逐小时能见度资料统计可知,2020 年 12 月 26—28 日北部湾连续 3d 出现 3 个海区的大雾,主要分布在西部海岸、钦州湾、中部海岸。多数站点连续 3d 都有大雾且维持时间长,中部海岸的炮台角站大雾持续最长,连续 35h 能见度低于  $1000\text{m}$ ,并且能见度最低( $59\text{m}$ )。能见度的下降造成船舶瞭望、陆标定位困难,阻滞了船舶航行。大雾在 26 日 02 时先从钦州湾和中部海岸生成,08—09 时西部海岸站点能见度也降到  $1000\text{m}$  以下。大部站点大雾持续到 27 日中午,之后能见度有一定回升,27 日晚上能见度再次降到  $1000\text{m}$  以下,持续到 28 日 11 时左右,大雾过程结束。

考虑各站点出现大雾的持续时间和低能见度,进一步选择炮台角岛、茅墩岛、双墩岛分别作为中部海岸、钦州湾、西部海岸代表站点。海雾发生期间,炮台角站和茅墩站的大雾维持时间明显比双墩站的长(图 2)。钦州站在 26 日 04—11 时和 27 日凌晨都有大雾,防城港站和防城站只在 26 日上午出现了大雾。3 个代表站点和 3 个国家站存在明显的东到东北风,风速在  $1\sim 4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  之间,有利于平流雾的维持。总的来说,北部湾中部海岸和钦州湾的雾要比西部

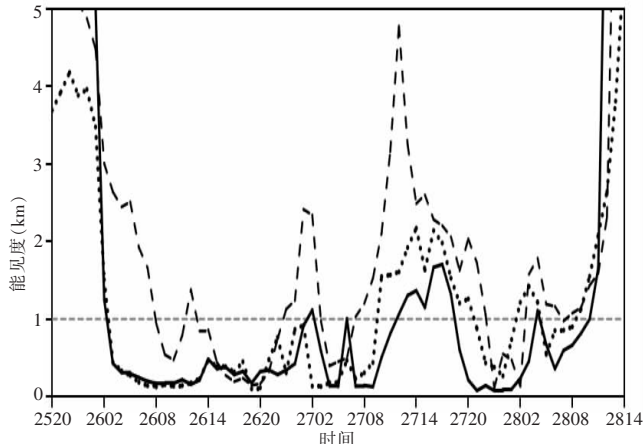


图 2 2020 年 12 月 25 日 20 时—28 日 14 时炮台角岛(实线)、茅墩岛(点线)和双墩岛(虚线)能见度(灰色虚线为  $1\text{km}$  值参考线)

海岸的严重,东部海岸没有大雾出现。

## 2.2 环流形势

天气系统的变化直接影响海雾发生、发展和消散<sup>[14]</sup>。此次海雾的持续时间与变性高压维持时间密切相关。12月25日20时至26日08时,华东、华南地区地面主要受冷高压控制,高压中心在长江口以东的海面上。广西沿海处于入海高压后部,气压梯度力较小的区域,等压线呈现西北-东南向分布,因此受到高压后部偏东或东南气流影响。在偏东气流作用下,来自南海、西太平洋的水汽向广西和北部湾不断输送。26日20时地面变性高压东移至日本南部附近。25日20时850hPa上弱的西南气流影响北部湾,26日08时西南气流明显加强,为海雾发展提供了有利条件。25日20时和26日20时500hPa上北部湾主要受南支槽前西南气流影响。27日08时之后850hPa西南急流有所减弱,地面变性高压东移远去,对北部湾的影响逐渐减弱。因此27日白天北部湾西北部能见度有所回升。但27日20时,地面第二个弱的冷高压补充并东移入海,北部湾又受高压后部东南气流影响,500hPa南支槽东移,广西受槽底偏西气流影响。28日08时海上变性高压东移消散,不再影响北部湾,本次海雾过程趋于结束。

## 2.3 大气层结特征

从图3a相对湿度、温度和风场沿108.5°E剖面

可以看出,25日20时21°N以南800hPa以下高度湿度基本大于80%,局部超过95%,但21°N以北近地面湿度基本小于80%。随着低层偏南风加强,26日02时北部湾和广西沿海地区上空湿度有所增大,最大湿度达到100%,并且超过95%的大湿区从800hPa向下延伸至925hPa,湿区增厚(图3b)。近地面湿区也逐渐向北延伸,北部湾西部海岸、钦州湾、中部海岸3个海区的海雾逐渐形成。

海雾维持期间,北部湾北部和广西上空近地面层相对湿度都大于95%,并且北部湾中部海岸和钦州湾上空湿层最为深厚,深厚湿层维持时间长,其中26日08时超过95%的大湿度区最高可以扩展到825hPa(图3c)。低层风场随高度顺时针旋转,说明北部湾北部和广西上空有暖平流。低层偏南风增强,输送暖湿气流,因此暖平流不断增强,有利于逆温层的形成。结合温度层结的分布可知,26日北部湾和广西上空存在明显逆温层,其高度维持在800hPa附近,阻碍了热量交换。逆温层以下高湿区和以上的低湿区形成稳定状态。低层大气层结较稳定,有利于3个海区海雾形成和维持所需要的低层水汽不断积聚。27日08时之后,低层偏南风减弱,暖平流随之变化,因此27日白天能见度有明显的回升。27日夜间低层南风和暖平流又再次加强,能见度降低。

如图3d所示,28日14时900hPa以下是一致

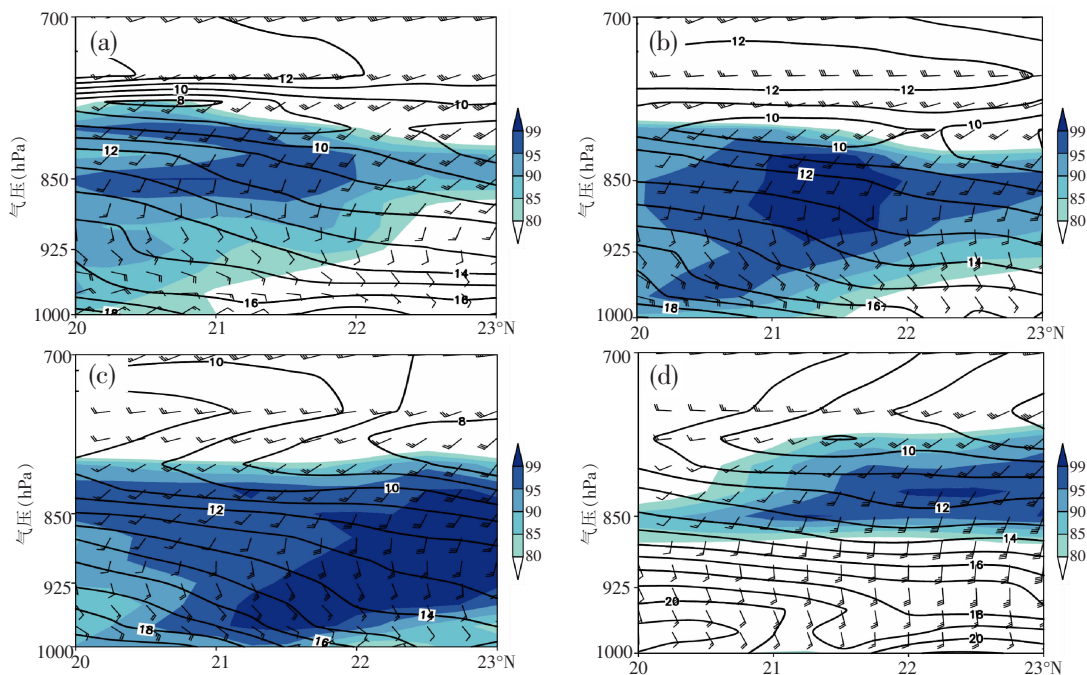


图3 2020年12月25日20时(a)、26日02时(b)、26日08时(c)、28日14时(d)相对湿度(阴影, >80%)、温度(等值线, 单位: °C)和风场沿108.5°E剖面



的南风, 暖平流已经消失, 低层大湿区范围明显缩减, 近地层相对湿度急剧下降, 导致北部湾 3 个海区

#### 2.4 水汽输送条件

海雾的形成机制主要是降温和增湿<sup>[1,15]</sup>。25 日 20 时和 26 日 08 时 1000hPa 水汽通量和水汽通量散度空间分布情况如图 4 所示, 其他时次图略。随着长江口附近的入海高压不断东移, 北部湾北部 1000hPa 水汽输送从 25 日 20 时到 26 日 02 时发生了明显转折。25 日 20 时, 水汽通量辐散区分布在北部湾大部海域(图 4a)。26 日 02 时北部湾有明显的东到东南向的水汽平流, 且在北部湾钦州湾、中部海

岸有一定的水汽通量辐合, 边界层增湿作用有利于海雾在此 2 个海区生成。

26 日 08 时, 来自南海的水汽在偏东风作用下不断输送至北部湾, 水汽通量强度可观, 绝对值达  $10\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , 水汽通量辐合范围扩大, 强度增强(图 4b)。因此有利于海雾发展, 并扩散至北部湾西部海岸。在海雾生成、发展的过程中, 北部湾一直存在着东至东南向的水汽输送和水汽通量辐合。27 日白天北部湾水汽输送条件明显不佳, 水汽通量辐散, 对应能见度转好。27 日夜间水汽输送又有所加强, 水汽辐合, 大雾形成。直到 28 日 14 时, 北部湾北部转为水汽辐散, 本次海雾过程结束。

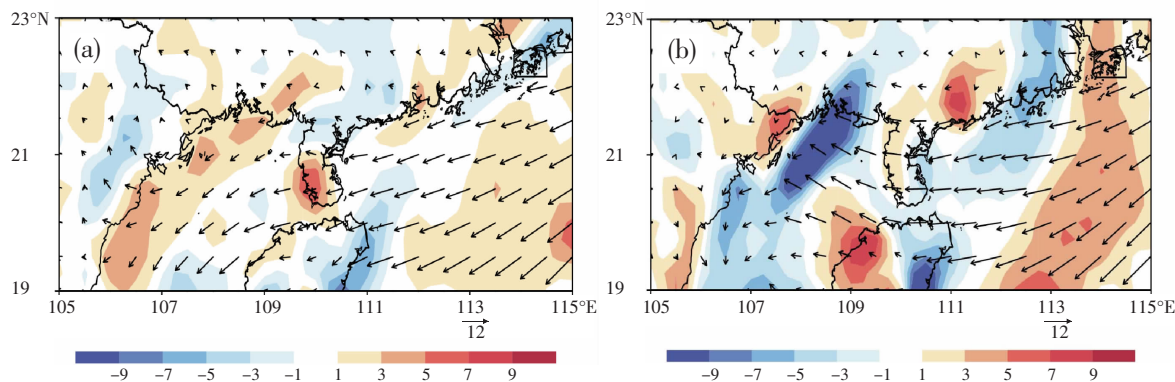


图 4 2020 年 12 月 25 日 20 时(a)和 26 日 08 时(b)1000hPa 水汽通量(箭头, 单位:  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )和水汽通量散度(填色, 单位:  $10^{-5}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )空间分布

#### 2.5 海洋下垫面条件

研究表明, 当海温  $19\sim 21^\circ\text{C}$  时, 2016—2017 年北部湾海雾出现频率最高达 35.5%, 当海温  $17\sim 19^\circ\text{C}$  时, 海雾出现频率次高达 33.2%<sup>[16]</sup>。2020 年 12 月 25—27 日北部湾北部的海表层温度 ( $18\sim 21^\circ\text{C}$ ) 适宜, 在广西沿岸海域有东西向的狭长海温低值区域, 28 日海温低值区略有缩减。

适宜的海气温差是海雾形成的必要条件<sup>[8]</sup>。气温高于海温时, 此时有暖湿空气的输送, 海气界面稳定, 有利于海雾发展。12 月 25 日 20 时, 北部湾北部海域气海温差(气温减海温)为负值 ( $0\sim -1.5^\circ\text{C}$ ), 26 日 02 时开始气海温差逐渐增大为  $-0.5\sim 0^\circ\text{C}$ 。26 日 08 时气海温差转为正值 ( $0\sim 1.5^\circ\text{C}$ )。总的来说, 北部湾海雾影响阶段, 气海温差大多介于  $0\sim 1.5^\circ\text{C}$  之间, 这与王彬华等<sup>[1]</sup>指出的平流冷却雾凝结成雾的温差范围大致一致。气海温差正值区且水汽辐合的区域, 与海雾的影响范围相对应, 即西部海岸、钦州湾、中

部海岸 3 个海区。

为更好地探究海雾过程中温度、气海温差与能见度的对应关系, 图 5 给出了 12 月 24 日 20 时—28 日 20 时  $21.5^\circ\text{N}, 108.5^\circ\text{E}$  (代表钦州湾和中部海岸, 离海区海岛站最近的海上格点) 和  $21.25^\circ\text{N}, 108^\circ\text{E}$  (代表西部海岸, 同上) 气温、海温、气海温差逐小时变化。总的来说, 3 个海区气温变化较大, 海温变化幅度较小, 气海温差变化趋势与气温相似。海雾发生之前(24 日 20 时—25 日 10 时), 北部湾先是受冷空气影响, 气温明显降低, 并且低于海温, 气海温差绝对值增大。冷空气影响趋于结束后, 广西沿海处于地面入海高压后部, 来自南海的偏南暖湿气流到达冷海域。25 日中午之后, 3 个海区气温回升, 气海温差绝对值减小。在海雾形成和维持阶段, 钦州湾海域和中部海岸(26 日 02 时—28 日 08 时)、西部海岸(26 日 08 时—28 日 08 时), 气温高于海温, 气海温差值多在  $0\sim 1.5^\circ\text{C}$  之间, 或者接近于  $0^\circ\text{C}$ 。

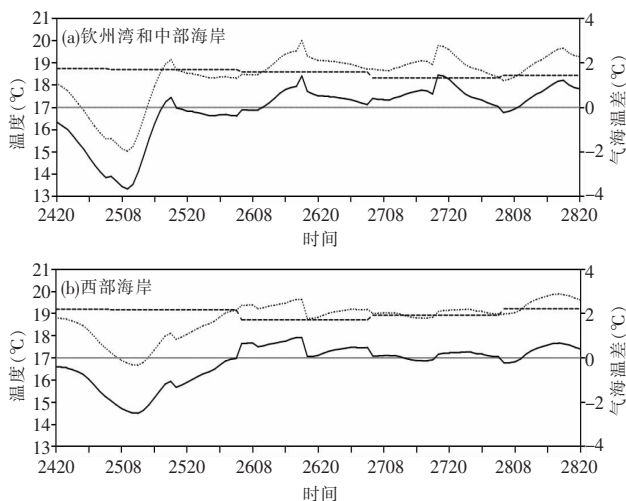


图5 2020年12月25日20时—28日14时21.5°N, 108.5°E(a)和21.25°N, 108°E(b)气温(点线)、海温(虚线)、气海温差(黑色实线)变化(灰色实线为0°C值参考线)

### 3 结论与讨论

本文利用北部湾沿岸14个海岛站、1个浮标站等观测资料和再分析数据,对2020年12月26—28日北部湾3个海区海雾过程的生消特征进行了分析,得到以下结论:

(1)北部湾钦州湾、中部海岸、西部海岸连续3d出现大雾,维持时间长。26日02时海雾先在钦州湾和中部海岸生成,08—09时扩散至西部海岸,27日中午后大部站点能见度回升,27日晚上再次降到1000m以下,海雾持续至28日11时结束。

(2)此次海雾过程是受地面形势场上入海高压后部东到东南气流和850hPa西南气流影响,来自南海的水汽向广西和北部湾不断输送,且在北部湾钦州湾、中部海岸、西部海岸有明显水汽辐合。北部湾上空暖平流增强,形成逆温层,大气层结稳定,湿层深厚且维持时间长。暖湿气流到达北部湾北部冷海域,北部湾3个海区气海温差大多为0~1.5°C,海气界面稳定。这些都有利于平流冷却雾的生成和发展,对海雾预报也有一定指示意义。

(3)海上变性高压逐渐东移消散,北部湾水汽输送条件明显不足,水汽通量为辐散,暖平流逐渐消失,低层大湿区范围明显缩减,近地层相对湿度也急剧下降,最终导致3个海区海雾消散。

本文对北部湾一次持续时间较长的典型海雾过程的生消特征进行了分析,在一定程度上表征了该地区入海高压后部型海雾的特征,为北部湾平流冷

却雾的认识和预报提供了参考。北部湾海雾的成因复杂,环流形势多样,其他类型如西南倒槽型等的海雾生消特征也值得进一步探讨。

#### 参考文献:

- [1] 王彬华.海雾[M].北京:海洋出版社,1983:1-352.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 张苏平,任兆鹏.下垫面热力作用对黄海春季海雾的影响——观测与数值试验[J].气象学报,2010,68(4):439-449.
- [6] 孟宪贵,张苏平.夏季黄海表面冷水对大气边界层及海雾的影响[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2012,42(6):16-23.
- [7] 杨伟波,张苏平,薛德强.2010年2月一次冬季黄海海雾的成因分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2012,42(S1):24-33.
- [8] 史得道,黄彬,吴振玲.2016年春季一次渤海明显海雾过程的大气海洋特征分析[J].海洋预报,2018,35(5):85-92.
- [9] 黄滢,江源源,郭亮.广西沿海雾的气候特征及形成条件分析[J].安徽农业科学,2012,42(31):15343-15345.
- [10] 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):47-51,67.
- [11] 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):21-24,41.
- [12] 郑凤琴,李生艳,苏志,等.北部湾海雾过程的天气系统分型研究[J].海洋预报,2019,36(4):44-51.
- [13] 周福,钱燕珍,金靓,等.宁波海雾特征和预报着眼点[J].气象,2015,41(4):438-446.
- [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] Gao S H, Lin H, Shen B, et al. A Heavy Sea Fog Event over the Yellow Sea in March 2005: Analysis and Numerical Modeling [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2007, 24(1): 65-81.
- [16] 郑凤琴,周绍毅,韦晶晶,等.北部湾海雾特点及海陆大雾差异分析[J].气象科技,2020,48(5):717-722.
- [17] 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.

## Analysis of generation and dissipation characteristics of a sea fog process in Beibu Gulf in December 2020

Wu Liquan<sup>1,3</sup>, Zheng Fengqin<sup>1\*</sup>, Qin Hao<sup>2</sup>, Guo Xiaowei<sup>3</sup>

(1. Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China; 2. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China; 3. Guangxi Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanning 530022, China)

**Abstract:** From December 26 to 28, 2020, there was continuous heavy fog in Beibu Gulf, including heavy fog at Paojiaotai station for 35h. Based on the observation data of island stations and buoy stations along the coast of Beibu Gulf, and ERA5 reanalysis data, this paper analyzed the generation and dissipation characteristics of this typical sea fog process. The results show that the sea fog process was mainly affected by the eastward warm and humid air flow behind the sea entry high pressure. During the sea fog period, there was a temperature inversion layer over the Beibu Gulf, the atmosphere was stable, the wet layer was deep and lasted for a long time, and there was a 0~1.5°C air-sea temperature difference and water vapor flux in the near-surface layer, generating and maintaining the advective cooling fog. As the main body of the high pressure gradually moved eastward, the water vapor transport conditions in the Beibu Gulf became worse, the relative humidity in the near-surface layer also dropped sharply, and the sea fog dissipated.

**Key words:** Beibu Gulf sea fog; advective cooling fog; generation and dissipation process; water vapor transport; air-sea temperature difference