

韦晶晶, 钟利华, 郑凤琴, 等. 北部湾海雾冷暖空气输送特征[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(3): 14–19.

Wei Jingjing, Zhong Lihua, Zheng Fengqin, et al. Characteristics of cold and warm air transport of sea fog in Beibu Gulf [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(3): 14–19.

## 北部湾海雾冷暖空气输送特征

韦晶晶<sup>1,2</sup>, 钟利华<sup>2\*</sup>, 郑凤琴<sup>3</sup>, 韦美闹<sup>4</sup>, 古明悦<sup>5</sup>

(1.广西壮族自治区气象台, 南宁 530022; 2.广西壮族自治区气象灾害防御技术中心, 南宁 530022; 3.广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022; 4.钦州市气象局, 广西 钦州 535000; 5.隆安县气象局, 广西 隆安 532799)

**摘要:**利用常规观测资料和 ERA5 再分析资料, 采用合成分析方法对 2015—2020 年北部湾地区不同类型海雾过程的海平面气压场和 850hPa 风场进行分析, 并通过计算海雾出现前后北部湾及其附近区域海平面气压差及西南急流指数, 分析了北部湾海雾冷暖空气输送特征。结果表明: 入海高压后部型、西南倒槽型和静止锋型海雾发生前 5d, 广西至北部湾地区有冷空气堆积, 形成冷垫; 冷锋前部型海雾发生前 3d, 广西有冷空气堆积, 海雾发生时有弱冷空气影响北部湾地区; 海雾发生前北部湾地区层结较为稳定, 在出雾前两天西南急流指数迅速增大, 暖湿空气不断向华南地区输送, 推动冷空气减弱北移, 出雾前一天和出雾当天西南急流指数有所减小, 有利于冷暖空气在北部湾地区对峙从而形成海雾。

**关键词:** 北部湾; 海雾过程; 西南急流指数; 气压差; 合成分析

**中图分类号:** P458

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.3.03

## 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<sup>[1]</sup>。北部湾位于中国南海的西北部, 东临中国的雷州半岛和海南岛, 北临广西壮族自治区, 西临越南, 与琼州海峡和中国南海相连, 被中越两国陆地与中国海南岛所环抱。海雾是北部湾地区主要的灾害之一, 其对沿海城市及海上的交通运输、渔业以及平台作业等会造成不利影响。提高海雾预报水平对北部湾地区经济发展具有重要的现实意义。

针对海雾天气的研究取得了不少成果。王彬华<sup>[1]</sup>指出, 冷却和增湿是海雾生成的两大机制。王锐等<sup>[2]</sup>指出, 弱冷空气过程对下垫面温度的降低有利于低层水汽凝结, 使渤海海雾得以发展。张苏平等<sup>[3]</sup>指出, 黄海春季的海雾发生在冬季风环流背景下, 大气

环流提供了暖湿空气的输送条件。周发琇等<sup>[4]</sup>指出, 黄海春季海雾形成的水汽由热带大气提供, 海面条件相对不重要。

对于北部湾海雾也展开过一些研究。郑凤琴等<sup>[5-7]</sup>对北部湾海雾的季节变化、生消特征和持续时间进行了统计分析。曾国光<sup>[8]</sup>分析了防城港区海雾的气候规律及生成的天气形势背景。古明悦等<sup>[9]</sup>对比分析了 3 次北部湾典型大雾过程的环流背景和气象要素特征。叶庚姣等<sup>[10]</sup>分析了一次北部湾海雾天气过程的大气边界层特征。这些研究多是着眼于北部湾海雾的气候特征或个例的研究, 针对海雾过程冷暖空气输送特征的研究则少见。本文采用合成分析方法, 对 2015—2020 年北部湾地区不同类型的海雾过程的海平面气压场和 850hPa 风场进行分析, 并通过计算海雾出现前后北部湾及其附近区域海平面气压差及西南急流指数, 分析北部湾海雾冷暖空气输送特征, 以期为北部湾海雾预报提供参考依据。

收稿日期: 2022-03-15

基金项目: 广西重点研发计划项目(桂科 AB20159013)

作者简介: 韦晶晶(1990—), 女, 广西南宁市人, 助理工程师, 主要从事专业气象服务工作。E-mail: 30799321@qq.com

\* 通讯作者: 钟利华(1962—), 女, 广西恭城人, 正研级高级工程师, 主要从事天气预报研究与服务。E-mail: 1427962612@qq.com

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

本文所用资料有常规观测资料, 包括北部湾地区 13 个海岛自动气象站逐时观测资料, 主要有能见度、风向、风速、气温、露点及相对湿度, 以及欧洲中期天气预报中心第五套再分析数据(ERA5, 时间分辨率为 1h, 空间分辨率为  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ), 主要有 850hPa 风场、海平面气压场资料。

### 1.2 海雾过程统计及分型规则

将北部湾海域分成北部湾西部海岸(包括防城港双墩岛、白须公礁、万欧灯架岭)、北部湾东部海岸(包括北海市北海港、铁山港石头埠)、北部湾中部海岸(包括钦州市大庙墩岛、黄姜山岛、炮台角岛)、钦州湾海域(防城港市茅墩岛)、涠洲岛及邻海海域(包括北海市涠洲岛站、盛塘站、岛竹蔗寮站、斜阳岛站)。海雾的统计规则为: 当该时次的最低能见度  $\leq 1\text{km}$ , 且该时次的整点 1min 平均能见度  $\leq 1\text{km}$ , 则该时次出现雾, 一天中 2 个时次出现雾且间隔不超过 2h, 则这一天有雾。当北部湾 5 个海域有  $\geq 3$  个海域出现连续  $\geq 2\text{d}$  的海雾天气, 计为一次海雾天气过程, 若 2 次过程间隔中有 2 个海域出现雾日, 计为同一次海雾天气过程。根据上述统计规则, 2015 年 1 月—2020 年 12 月期间北部湾海雾过程共有 43 个。参考孔宁谦<sup>[1]</sup>对海雾天气过程的分类划分方法, 主要对北部湾地区 43 次海雾天气过程出现前 12h—24h 海平面气压场进行统计分析, 归纳得到 5 种天气类型, 即: 入海高压后部型、西南倒槽型、静止锋型、冷锋前部型和入海高压后部型+西南倒槽组合型(简称高后倒槽组合型)。统计 2015—2020 年, 入海高压后部型和西南倒槽型分别出现 10 次, 静止锋和冷锋前部型分别出现 4 次, 高后倒槽组合型出现 15 次。本文仅对入海高压后部型、西南倒槽型、静止锋型、冷锋前部型进行分析。

### 1.3 研究方法

计算出雾前和出雾时一定区域内的海平面气压差, 可了解海雾过程出雾前和出雾时冷暖空气输送情况; 公式为:

$$\Delta p = \sum_{n=105}^{110} (p_{22.5,n} - p_{17.5,n}) \quad (1)$$

式中  $\Delta p$  为一天的海平面气压差,  $p_{22.5,n}$  为  $22.5^{\circ}\text{N}$ ,  $105^{\circ}\text{E}$  至  $110^{\circ}\text{E}$  的气压值,  $p_{17.5,n}$  为  $17.5^{\circ}\text{N}$ ,  $105^{\circ}\text{E}$  至  $110^{\circ}\text{E}$  的气压值, 气压差越大, 则气压梯度越大。

采用西南急流指数来表征西南气流的强弱, 计算 850hPa 西南急流(风速  $> 12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 在关注区域( $20^{\circ} \sim 25^{\circ}\text{N}$ ,  $105^{\circ} \sim 110^{\circ}\text{E}$ , 含广西、北部湾的关键区域)所占百分比; 定义西南急流区域指数为:

$$W = A1/A2 \quad (2)$$

其中  $W$  代表西南急流在选定区域中所占的百分比,  $A1$  为选定区域中出现强西南急流格点个数,  $A2$  为选定区域中的总格点个数。

## 2 结果与分析

### 2.1 海雾天气过程冷垫和冷空气输送特征

#### 2.1.1 海平面气压场特征

图 1 给出 2015—2020 年各类型海雾发生当天海平面气压场合成图。高压后部型海雾发生前 5d, 在蒙古高原有冷高压中心, 冷空气不断从东路补充南下影响华南地区, 在云南、贵州、广西西部存在静止锋, 1018hPa 线到达广西沿海一带, 冷空气在此堆积, 北部湾地区受到弱冷空气影响, 出雾当天(图 1a), 冷空气减弱东退, 1018hPa 线退至黄淮地区, 地面冷高压减弱东移出海, 北部湾地区位于高压后部, 等压线稀疏, 转受东南暖湿气流影响。西南倒槽型海雾发生前 5d, 贝加尔湖南部有冷高中心, 冷空气从东路南下, 1018hPa 线到达广西沿海一带, 北部湾地区受到弱冷空气影响, 出雾当天(图 1b), 1018hPa 线退至长江中下游地区, 云贵高原有一向西南开口的倒槽, 等压线稀疏, 北部湾地区处于倒槽的边缘, 转受西南暖湿气流影响。静止锋型海雾发生前 5d, 贝加尔湖西侧有冷高压中心, 冷空气从东路南下, 等压线密集带主要在湘桂交界处, 冷空气主力到达桂北一带, 而在北部湾地区有冷空气渗透侵入, 锋面进入北部湾南部海面时静止少动或摆动, 形成静止锋, 出雾当天(图 1c), 冷空气在广西地区的势力已经减弱, 受暖湿气流加强影响, 静止锋北退至广西沿海地区, 北部湾地区转受偏南暖湿气流影响。冷锋前部型海雾发生前 3d, 贝加尔湖西侧有冷高压中心, 冷空气从西路南下, 在贵州、湖南有等压线密集带, 出雾当天(图 1d), 湘桂一带等压线变得更加密集, 锋区南压至桂北, 1018hPa 线到达广西沿海, 有弱冷空气入侵影响北部湾地区。

可见, 入海高压后部型、西南倒槽型和静止锋型海雾发生前 5d 有冷空气从东路南下, 冷空气主体到达广西地区, 北部湾主要受到弱冷空气的影响形成冷垫, 出雾当天, 北部湾地区转受偏南暖湿气流影

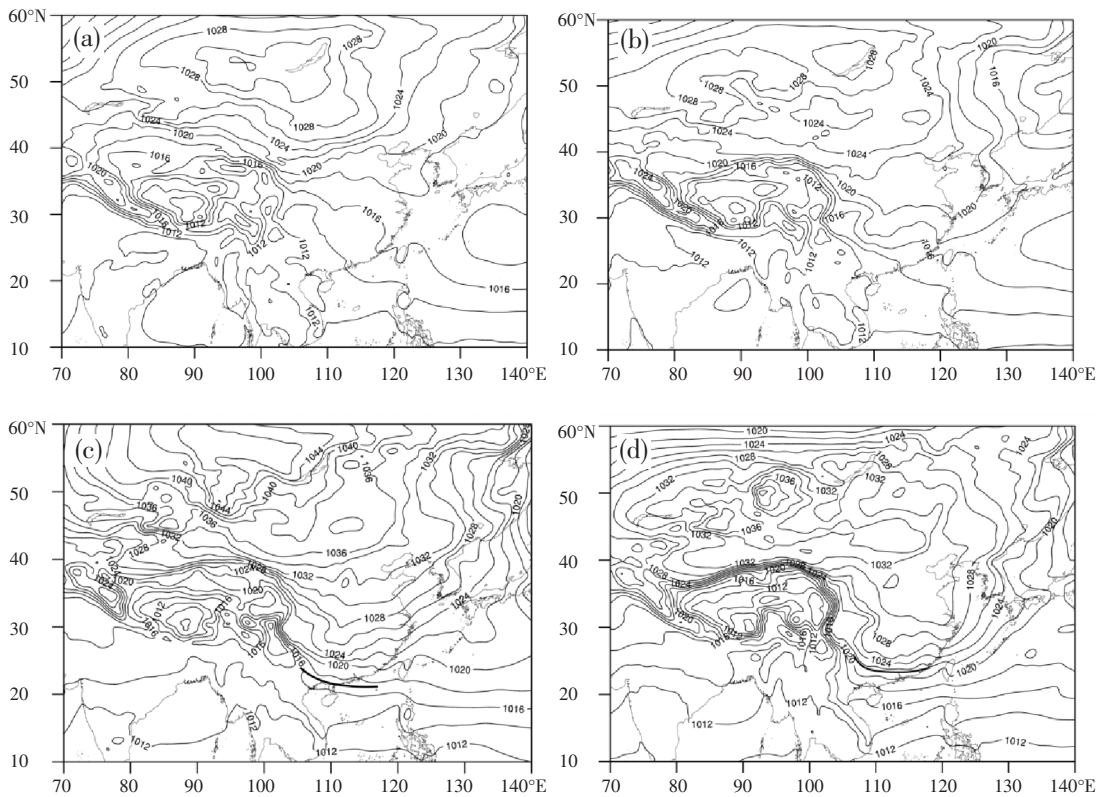


图 1 出雾当天 20 时海平面气压场(单位:hPa)  
(a)入海高压后部型;(b)西南倒槽型;(c)静止锋型;(d)冷锋前部型

响，偏南风带来的暖湿空气平流到降温后的近岸冷海面上，凝结成雾；而冷锋前部型海雾发生时，有北方冷空气从东路南下，冷空气偏强，北部湾地区受锋前冷空气入侵影响，此时，北部湾海面温度、湿度较大，弱冷暖空气交汇使湿空气冷却凝结成雾。

2.1.2 出雾前后海平面气压差

一般在冷空气影响时，在影响区域就会形成等压线密集带，当冷空气减弱，而暖空气输送增强时，等压线转为稀疏，气压梯度减小。表 1 给出北部湾海雾过程关注区域出雾前 5d 平均海平面气压差和出雾时的海平面气压差。

表 1 各类型海雾出雾前 5d 和出雾时海平面气压差(单位:hPa)

时间	海雾类型			
	入海高压后部型	西南倒槽型	静止锋型	冷锋前部型
出雾前	23.3	22.1	35.75	26.9
出雾时	12.63	16.46	24.5	32.15
出雾前后气压差	-10.67	-5.64	-11.25	5.25

从表 1 可以看出，入海高压后部型出雾时相比出雾前气压差有明显的减小，由于出雾前期广西及北部湾地区为冷高压控制，冷高压出海后转为暖空气控制，其气压差迅速减小。西南倒槽型则由于从高压出海到西南风加强至形成倒槽所用的时间较长，出雾时较出雾前的气压差有所减小，但不如入海高压后部型明显。静止锋型由于出雾前期已有较强冷

空气南下，气压梯度较大，出雾时转为暖空气影响，所以气压差减小较多。冷锋前部型由于出雾时广西及北部湾地区有冷空气的渗透，所以气压差较出雾前有所增大。

可见，除冷锋前部型海雾出雾时相比出雾前气压差有所增大外，其他型海雾的气压差都较出雾前不同程度的减小。



## 2.2 海雾天气过程暖湿空气输送特征

### 2.2.1 850hPa 风场特征

图 2 给出各类型海雾发生前一天 20 时的 850hPa 风场合成图。入海高压后部型(图 2a)、西南倒槽型(图 2b)和静止锋型(图 2c)海雾发生前,西南风在北部湾地区迅速加大,在华南地区存在着东北-西南向的西南大风区。入海高压后部型最大风速位于桂中地区,风速达到  $11\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,西南大风的存在利于冷高压东移出海;西南倒槽型在桂中、桂北地区存在大于  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的西南风急流,最大风速区位于桂中地区,达到  $13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,急流的存在利于西南倒

槽的形成;静止锋型在桂中、桂北地区也存在着西南风急流,最大风速位于桂中地区呈东西向带状分布,达到  $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,急流与南下冷空气形成对峙,利于形成静止锋;冷锋前部型海雾发生前,偏南风也在北部湾地区迅速加大,大风区比前三者的区域小,仅在广西地区存在西南大风,最大风速同样位于桂中地区,达到  $13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。各类型海雾在北部湾地区存在  $6\sim 9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的西南或偏南风,风速较小,北部湾地区位于西南大风的右侧,存在着风速的反气旋式切变,容易形成负涡度场,层结较为稳定,有利雾的生成。

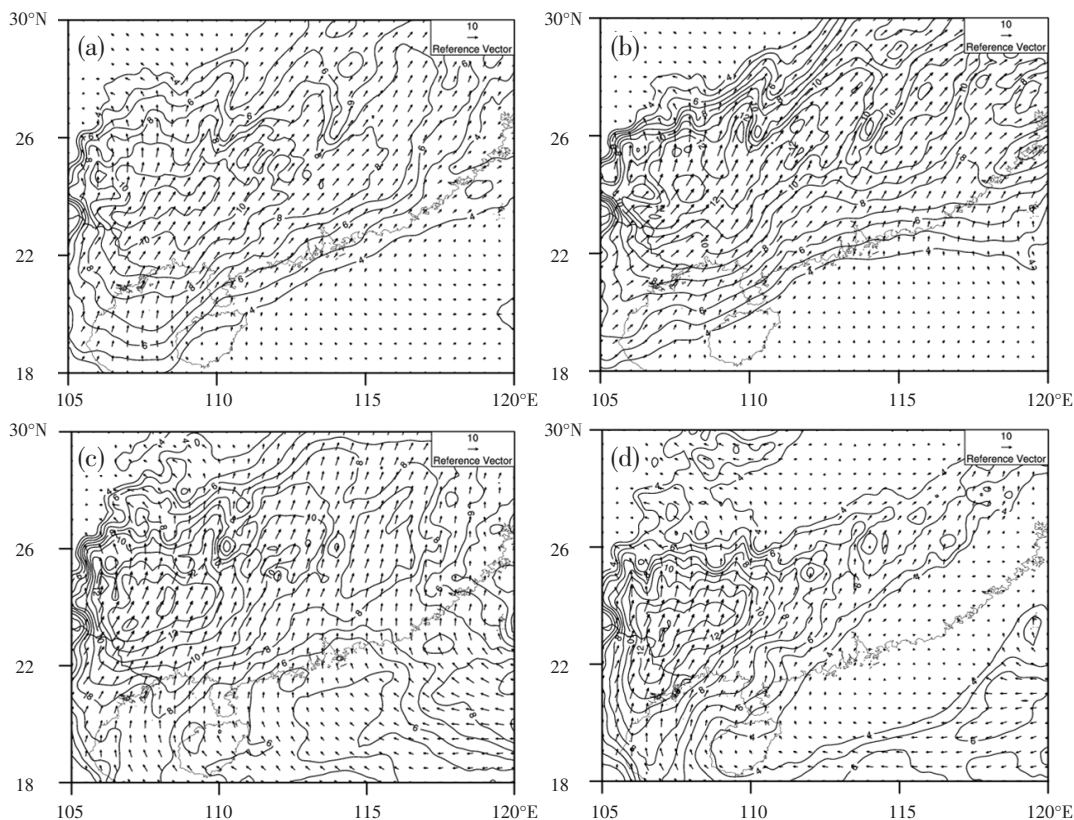


图 2 出雾前一天 20 时 850hPa 风场(单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

(a)入海高压后部型;(b)西南倒槽型;(c)静止锋型;(d)冷锋前部型

### 2.2.2 低空西南急流与海雾的关系

在对黄海海雾形成的气候特征研究中发现,海雾的增湿过程来源于低空西南急流的输送<sup>[12]</sup>,王婷等<sup>[13]</sup>在珠江口沿岸海雾的研究中也发现,多数海雾发生期间,850hPa 风场有西南低空急流的存在。而具体到北部湾地区,海雾发生前也存在西南急流。

通过计算得到四种类型海雾在出雾前和出雾当天的西南急流指数(如表 2)。

入海高压后部型海雾发生前期北部湾地区为冷

高压控制,从表 2 可见,出雾前三天西南急流指数仅为 0.05,在出雾前两天暖湿气流迅速增强,冷高压逐渐东移出海,西南急流指数增大到 0.18,出雾当天回落到 0.14。低层较强的西南风的存在才利于形成倒槽,所以西南倒槽型海雾的西南急流指数在出雾前三天就达到 0.19,出雾前两天西南急流指数增大到 0.23,而出雾当天又降至 0.12。静止锋型在出雾前三天西南气流指数仅为 0.07,出雾前两天增大至 0.20,而在出雾前两天有所减小,在出雾当天减小至 0.02,

表 2 各类型海雾的西南急流指数

海雾类型	时间			
	出雾前 3d	出雾前 2d	出雾前 1d	出雾当天
入海高压后部型	0.05	0.18	0.13	0.14
西南倒槽型	0.19	0.23	0.14	0.12
静止锋型	0.07	0.20	0.14	0.02
冷锋前部型	0.00	0.14	0.11	0.14
四种型平均	0.08	0.19	0.13	0.10

说明冷暖空气都较弱，利于锋面在广西沿海地区少动维持。冷锋前部型的暖湿气流输送在出雾前期较其他型偏弱，在出雾前三天关注区域没有出现西南急流，而在出雾前两天西南急流指数达到 0.14，出雾当天西南急流指数也达到 0.14。

3 结论

本文采用合成分析方法对 2015—2020 年北部湾地区不同类型的海雾过程海平面气压场和 850hPa 风场进行分析,并通过计算海雾出现前后北部湾及其附近区域海平面气压差及西南急流指数,分析了北部湾海雾冷暖空气输送特征,得到以下结论:

(1)各类型海雾均有冷空气南下影响,入海高压后部型、西南倒槽型和静止锋型海雾发生前 5d,广西至北部湾地区有冷空气堆积,形成冷垫,出雾时气压差较出雾前减小;冷锋前部型海雾发生前 3d,广西有冷空气堆积,海雾发生时冷空气补充南下,有弱冷空气影响北部湾地区,出雾时气压差较出雾前增大。

(2)海雾发生前在华南地区存在大范围东北-西南向的西南大风区,北部湾地区位于大风区右侧,层结较为稳定;出雾前两天西南急流指数迅速增大并达到峰值,说明出雾前两天西南气流已经开始增强,暖湿空气不断向华南地区输送,推动冷空气减弱北移,出雾前一天和出雾当天西南急流指数有所减小,有利于冷暖空气在北部湾地区对峙,形成海雾天气过程。

本文仅初步分析了北部湾海雾过程的冷暖空气输送特征,对于海雾形成的机制还需要深入探讨,这些方面的研究将在今后继续开展。

参考文献:

[ 1 ] 王彬华. 海雾[M].北京:海洋出版社, 1983:1-352.

[ 2 ] 王锐,刘彬贤.一次弱冷空气对渤海海雾影响的数值模拟研究[J].海洋预报,2021,38(6):82-92.

[ 3 ] 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.

[ 4 ] 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(中文版),2004(3):28-37.

[ 5 ] 郑凤琴,罗小莉,钟利华,等.北部湾地区海雾特点的初步分析[J].应用海洋学学报,2021,40(2):324-331.

[ 6 ] 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.

[ 7 ] 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.

[ 8 ] 曾国光.浅谈防城港区的海雾[J].广西气象,1993(4):54-57.

[ 9 ] 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.

[10] 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.

[11] 孔宁谦.广西沿海雾的特征分析[J].广西气象,1997(2):41-45.

[12] 王鑫,黄菲,周琇.黄海沿海夏季海雾形成的气候特征[J].海洋学报(中文版),2006(1):26-34.

[13] 王婷,潘蔚娟,刘云香.珠江口海雾生消的环流形势及物理机制分析[C]//中国气象学会 2007 年年会天气预报预警和影响评估技术分会场论文集,2007:689-700.

## Characteristics of cold and warm air transport of sea fog in Beibu Gulf

Wei Jingjing<sup>1,2</sup>, Zhong Lihua<sup>2\*</sup>, Zheng Fengqin<sup>3</sup>, Wei Meinao<sup>4</sup>, Gu Mingyue<sup>5</sup>

(1.Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China; 2.Guangxi Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanning 530022, China; 3.Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China; 4.Qinzhou Meteorological Bureau, Guangxi Qinzhou 535000, China; 5.Long'an Meteorological Service, Guangxi Long'an 532799, China)

**Abstract:** Using conventional observation data and ERA5 reanalysis data, the sea level pressure field and 850hPa wind field characteristics of different types of sea fog were synthesized and analyzed in the Beibu Gulf from 2015 to 2020. The sea level pressure difference and southwest jet index in the Beibu Gulf and its surrounding areas before and after the occurrence of sea fog were also calculated to analyze the characteristics of cold and warm air transport of sea fog in Beibu Gulf. The results show that: Five days before the occurrence of the sea fog of the high pressure rear entering the sea type, the southwest inverted trough type and the stationary front type, cold air accumulated from Guangxi to the Beibu Gulf, forming a cold cushion. Three days before the occurrence of cold front type of sea fog, there is cold air accumulation in Guangxi, and weak cold air affects the Beibu Gulf area when the sea fog occurs. Before the occurrence of the sea fog, the stratification in the Beibu Gulf is relatively stable; The southwest jet index increases rapidly two days before the fog appeared, and the warmer and more humid air is continuously transported to southern China, which pushes the cold air to weaken and move northward. The southwest rapids index decreases on the day before and on the day of the fog, which is conducive to the confrontation between cold and warm air in the Beibu Gulf area, forming a sea fog weather process.

**Key words:** Beibu Gulf; sea fog; southerly air index; air pressure difference; composite analysis