

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.  
FU Fangqi, DU Xueting, WANG Jianjie, et al. Characteristics and causes of a persistent sea fog process over Zhejiang in spring 2022[J]. Journal of Marine Meteorology, 2024, 44(3): 78-86. DOI: 10.19513/j.cnki.hyqxxb.20230131001. (in Chinese)

## 2022年春季浙江一次持续性海雾过程的特征及成因

傅方奇<sup>1</sup>,杜雪婷<sup>1</sup>,王健捷<sup>2</sup>,钱艳珍<sup>3</sup>,俞燎霓<sup>1</sup>

(1.浙江省气象台,浙江 杭州 310017;2.宁波市鄞州区气象局,浙江 宁波 315194;3.宁波市气象台,浙江 宁波 315012)

**摘要** 2022年4月10—14日浙江沿海海面出现一次持续时间长、范围广、浓度大的海雾过程。利用卫星资料、欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)发布的ERA-Interim(ECMWF Reanalysis-Interim)资料和浙江沿海自动气象观测站资料,分析此次过程的特征和成因。结果表明,低层逆温层使得低层水汽不易扩散到高空,有利于大雾的生成和维持。成雾阶段,有明显的水汽辐合,同时气温高于海面温度且差值为0~2.0℃。海雾维持且浓度较大时,水汽辐合逐渐减弱;气海温差(2 m气温减海面温度)则在0℃左右。消散阶段,有明显的水汽辐散;气海温差大于2.0℃或小于0℃。

**关键词** 海雾;逆温层;水汽输送;气海温差

中图分类号: P47 文献标志码: A 文章编号: 2096-3599(2024)03-0078-09

DOI:10.19513/j.cnki.hyqxxb.20230131001

## Characteristics and causes of a persistent sea fog process over Zhejiang in spring 2022

FU Fangqi<sup>1</sup>, DU Xueting<sup>1</sup>, WANG Jianjie<sup>2</sup>, QIAN Yanzhen<sup>3</sup>, YU Liaoni<sup>1</sup>

(1. Zhejiang Meteorological Observatory, Hangzhou 310017, China; 2. Yinzhou Meteorological Bureau of Ningbo, Ningbo 315194, China; 3. Ningbo Meteorological Observatory, Ningbo 315012, China)

**Abstract** From 10 to 14 April 2022, a long-duration, wide-range and high-concentration sea fog event occurred in the coastal waters of Zhejiang. The characteristics and causes are analyzed by using satellite data, ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Reanalysis-Interim (ERA-Interim) data and data of coastal automatic meteorological observing stations in Zhejiang. The results show that the inversion layer makes it difficult for the low-level water vapor to spread to the upper air, which is conducive to the generation and maintenance of fog. In the fog formation stage, there is obvious water vapor convergence, and at the same time, the air temperature is higher than SST (sea surface temperature) and the difference is between 0 and 2.0℃. When the sea fog maintains and the concentration is high, the water vapor convergence gradually weakens, and the air-sea temperature difference ( $\Delta t = t_a - t_s$ ) is around 0℃. In the dissipation stage, there is obvious water vapor divergence; the air-sea temperature difference is greater than 2.0℃ or less than 0℃.

**Keywords** sea fog; inversion layer; transfer of water vapor; air-sea temperature difference

收稿日期:2023-01-31;修回日期:2023-11-16

基金项目:浙江省气象局科研项目(2023ZD02,2021YBY01);国家自然科学基金项目(42105135);宁波市公益性科技计划重点项目(2022S181)

第一作者简介:傅方奇,女,硕士,工程师,主要从事海洋天气预报和技术研究,447054106@qq.com。

通信作者简介:杜雪婷,女,硕士,工程师,主要从事人工影响天气和数值预报相关研究,dudu2557@126.com。

## 引言

海雾是发生在海上、岸滨和岛屿上空低层大气中,由于水汽凝结而产生大量水滴或冰晶使得水平能见度小于1 km的危险性天气现象<sup>[1]</sup>。根据物理机制主要可以划分为4类,分别是平流雾、混合雾、辐射雾和地形雾,其中平流冷却雾是中国沿海海雾的主要类型<sup>[1]</sup>。海雾形成、发展和消散的机理复杂,包含从大尺度到微物理的多尺度共同作用<sup>[2]</sup>。

张苏平等<sup>[3]</sup>利用船载观测数据分析了亲潮延伸体水域的一次海雾过程,发现海雾生成和维持阶段气象要素呈“增温增湿”特点,且增湿效应大于增温效应。Huang等<sup>[4]</sup>分析了华南沿海2类主要海雾(冷平流雾和暖平流雾)的形成机制,发现雾顶长波辐射主导冷平流雾的发生发展,暖湿平流输送主导暖平流雾的发生发展,同时2种海雾都需要低层稳定层结。史得道等<sup>[5]</sup>对发生在2015年4月28—29日的渤海海雾成因进行分析,着重探讨了海雾形成过程中的海气相互作用,结果表明,近海面处大气低层逆温层抬升,大于90%的大湿度区向上、向西扩展,对海雾形成非常有利。黄彬等<sup>[6]</sup>通过分析2018年春节琼州海峡持续性大雾过程,指出异常偏高的海面温度(sea surface temperature, SST;以下简称“海温”)为持续性大雾提供暖湿气流,同时“上(925 hPa)干下(近地面)湿”的湿度层结有利于海雾维持和向上发展形成一定厚度的海雾。

气候统计<sup>[7]</sup>表明,浙江沿海大雾在春季和初夏出现次数最多;23时—次日06时是大雾生成的主要时段;大部分在南风条件下发生,一般风速小于 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。浙江沿海海雾的有利环流形势主要有4种:入海变性冷高压西部、气旋或低压槽东部、太平洋副热带高压西部和静止锋或冷锋前部<sup>[8]</sup>。陈梅汀等<sup>[9]</sup>统计分析舟山海雾特征,发现当2 m相对湿度大于或等于95%、气海温差(2 m气温减海面温度,下同)为 $-3.7\sim 3.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、风向为东南风和偏南风之间及平均风力一般在1~5级时,舟山海域易出现浓雾。周福等<sup>[10]</sup>通过宁波地区海雾研究,发现海雾的强度与暖平流有较大关系。

以上为海雾生消成因的研究和相关统计分析提供了可以借鉴的思路和方法。一直以来,针对黄海和海南沿海海雾的研究比较多,相对而言,关于东海

海雾的研究较少,且常用业务数值预报模式对东海海雾的空报率较高,能见度预报偏低。此文通过诊断分析2022年4月10—14日发生在浙江沿海海区一次持续性海雾过程,探讨其发生发展原因,进一步了解东海海雾发生发展机理和海洋下垫面对海雾的影响,以期业务预报工作提供参考依据。

## 1 资料介绍

所用资料的时间段为2022年4月,包括葵花8号卫星资料、欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)发布的ERA-Interim(ECMWF Reanalysis-Interim) $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 资料、中国气象局气象信息综合分析处理系统(Meteorological Information Combine Analysis and Process System, MICAPS)4.0高空观测资料、自动气象观测站(以下简称“自动站”)资料。选择嵊山站(站号为58473)、大陈站(站号为58666)和南麂站(站号为58764)分别代表浙北、浙中和浙南沿海,站点分布见图1。另外,选取离海岸线0.5纬距的196个自动站,主要包括嘉兴、舟山、宁波、台州和温州地区符合条件的自动站,用以统计能见度实况。自动站资料来自浙江省自动气象探测信息业务系统,通过人为质控,可用性较好。

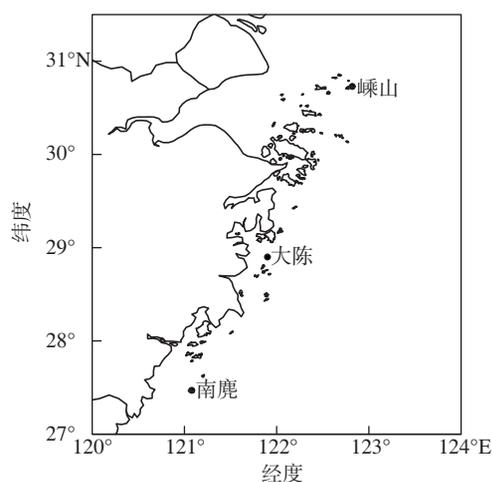


图1 嵊山站、大陈站、南麂站所在位置示意图

Fig.1 Location of Shengshan, Dachen and Nanji stations

根据国家气象中心 GB/T 27964—2011《雾的预报等级》<sup>[11]</sup>,基于能见度( $V$ )可将雾划分为:轻雾( $1\text{ km}\leq V<10\text{ km}$ )、大雾( $500\text{ m}\leq V<1\text{ 000 m}$ )、浓雾( $200\text{ m}\leq V<500\text{ m}$ )、强浓雾( $50\text{ m}\leq V<200\text{ m}$ )、特强浓雾( $V<50\text{ m}$ )。该标准对海雾也适用。

## 2 海雾实况

地面观测资料能得到站点具体的能见度数值,但仅限于沿海有布设站点的地区;卫星监测资料覆盖范围广,能较好反映海雾形状、范围的变化。因此,2种资料在判断分析海雾时可配合使用。

### 2.1 自动站能见度监测

此次海雾过程发生在4月10日夜间—14日上午,具有明显的日变化特征,夜晚雾的浓度增强、范围增大,白天则明显减弱,但仍有部分站点始终维持雾的特征。其中12日04—06时是整个过程中海雾最严重的时段。统计离海岸线0.5纬距的196个自动站资料发现,93%以上站点达到浓雾标准,77%以上达到强浓雾标准。14日凌晨,随着冷空气南下,海雾自北往南彻底消散。由图2可以看出,此次海雾过程中,浙江沿海站点基本都出现了浓雾或强浓雾,个别特强浓雾,站点数量之多和海雾浓度之大都是比较罕见的。

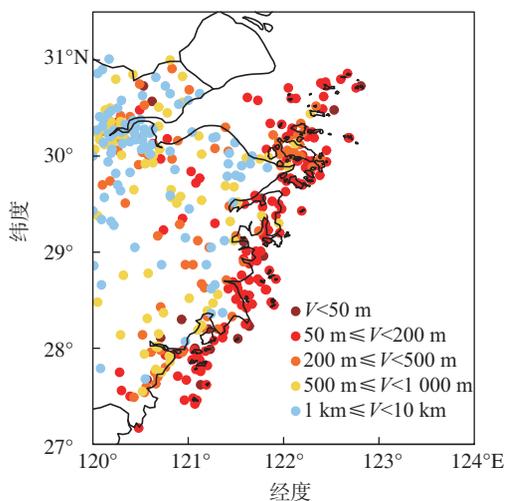


图2 浙江沿海自动站整个海雾过程中的最小能见度  
Fig.2 The minimum visibility of coastal automatic meteorological observing stations in Zhejiang during the entire sea fog

10日22时,嵊山站能见度出现断崖式下降,由5.5 km迅速降至220 m,10日23时—11日08时一直维持强浓雾,11日白天能见度明显好转,超过10 km。11日20时能见度再次下降至1 km以下,且一直持续到14日05时。在该时段,除了13日有若干时次是浓雾,其余时次均为强浓雾。而大陈站和南麂站的能见度则表现出明显的日变化特征,分别在10、11、12和13日夜间至次日早晨出现强浓雾,除12日白天大陈站一直维持浓雾外,其余2个站白天的能见度均超

过1 km。参考3个站点的地理位置,嵊山站靠近东海北部海面,说明白天该海面上的雾并未消散,与2.2节中卫星云图分析结论一致。整个海雾过程中,嵊山站、大陈站和南麂站维持能见度小于500 m的时间分别长达67 h、52 h和49 h,其中嵊山站最小能见度观测记录值为33 m。对应能见度较低时段,这3个站的相对湿度为97%~100%,几乎饱和。

根据气候统计<sup>[7]</sup>,浙江沿海海雾大部分在南风条件下发生,一般风速小于 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。但由图3风的时序图发现,除了大陈站符合这一规律,嵊山站和南麂站并不符合。嵊山站强浓雾时段,存在明显的南—东南风,极大风速基本在 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,最大为 $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这说明偏南风极大风速为6~7级时,嵊山站的强浓雾依然有可能维持。这是因为嵊山站位置偏东,与靠近内陆的沿海站点相比风速容易偏大,这是风速的地域差距。南麂站强浓雾时段,基本以北—东北风为主,极大风速为 $0\sim 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,风速较小。由以上分析可以看出,不同区域大雾生消阶段的极大风速和风向不尽相同。对于位置偏东的海岛站(嵊山站),风速偏大,偏南风极大风速为6~7级时,海雾也有可能持续;对于浙中南沿海站点(南麂站),东北风极大风速小于 $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时海雾仍维持。

### 2.2 卫星反演识别海雾

利用葵花8号卫星资料,白天以红外波段8.50、 $11.00 \mu\text{m}$ 通道亮度温度和SST排除中高云干扰,以可见光( $0.64 \mu\text{m}$ )和短波红外( $1.60 \mu\text{m}$ )通道反射率阈值法为核心,建立归一化指数进行海雾与低云的分离,以实现海雾的自动识别<sup>[12-14]</sup>。在夜间,根据雾区 $3.90 \mu\text{m}$ 通道亮温小于 $11.00 \mu\text{m}$ 通道亮温<sup>[15-16]</sup>的原理,利用双通道量温差法,结合浙江沿海特点,确定海雾的最优阈值,进行海雾识别。选择此次过程中海雾最严重阶段(11日夜间—12日)进行分析。由图4可以看出,11日20时,海雾沿海岸线呈东北—西南向长条形分布,该区域与自动站的低能见度区域相对应。之后,海雾继续发展,范围明显扩大。12日05时,整个浙江沿海地区和东海大部分海面都被雾覆盖。14时,靠近陆地的沿海地区雾逐渐消散,东海海面上尤其是北部海面部分地区仍有雾。可以看出,此次海雾出现在浙江沿海海面 and 东海大部分海域,范围广;尽管白天沿海地区的雾减弱消散,但东海部分海面上的雾依然持续。

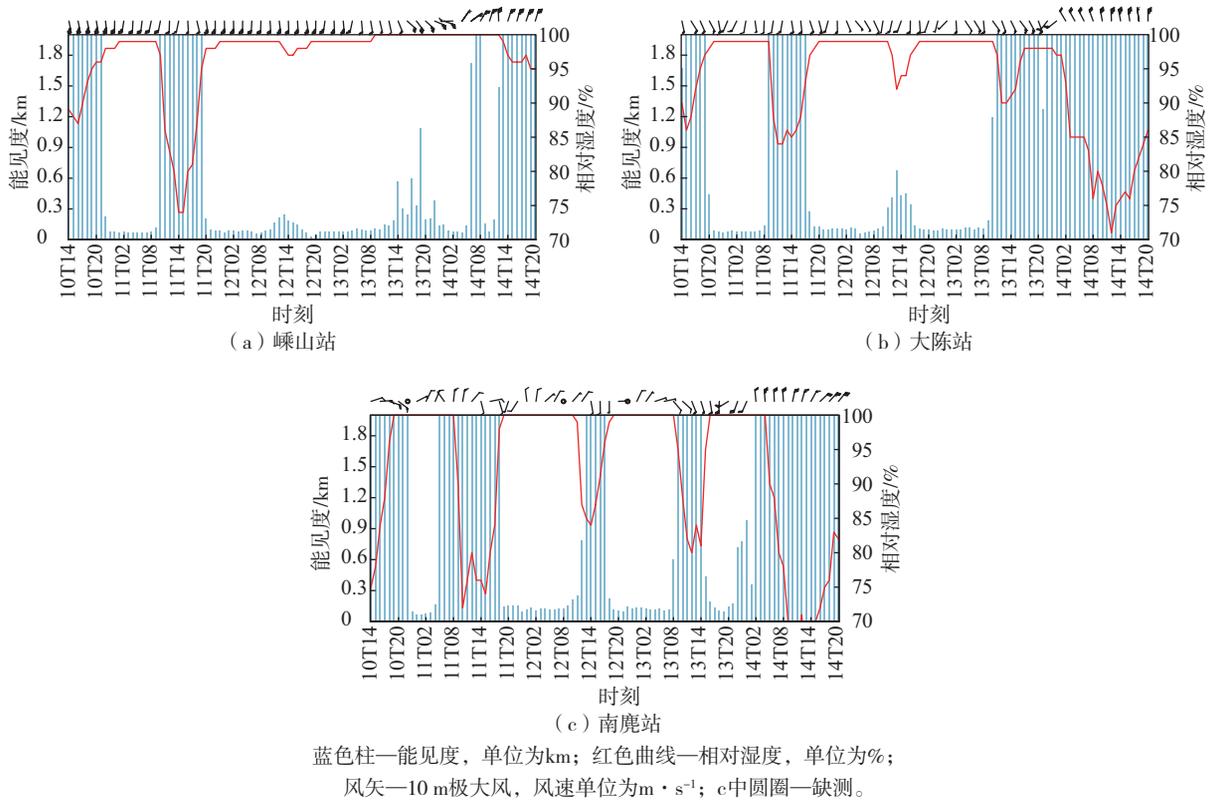


图3 2022年4月10日14时—14日20时嵊山站、大陈站、南麂站能见度、相对湿度与10 m极大风逐小时演变  
 Fig.3 Time series of visibility, relative humidity and 10-m extreme wind at Shengshan, Dachen and Nanji stations from 14:00 BJT 10 to 20:00 BJT 14 April 2022

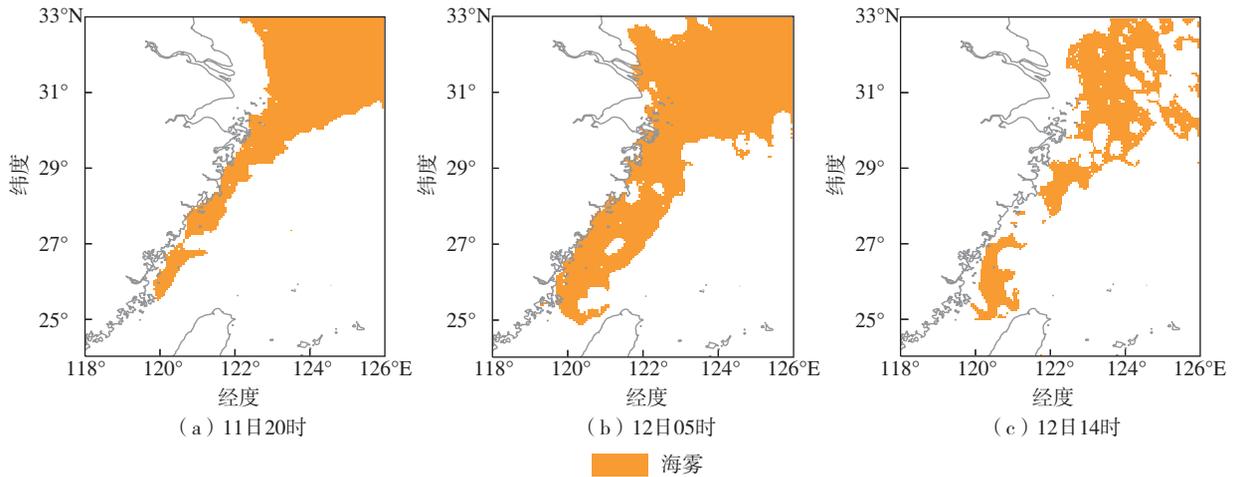


图4 浙江沿海海面 and 东海海域的海雾识别  
 Fig.4 Identification of sea fog in Zhejiang coastal waters and East China Sea

### 3 海雾形成与维持的原因分析

#### 3.1 环流形势特征

天气形势是海雾生成、发展的背景条件<sup>[1]</sup>。10—11日,500 hPa上浙江沿海地区主要处在高空

槽前西南气流中,低层则位于“西低东高”的均压场中,以偏南风为主(图略)。11日夜間,500 hPa(图5a),浅槽东移过境,逐渐转为高压脊控制,大气层结稳定。850 hPa(图5b),受偏南风影响,温度脊明显发展,有利于建立逆温层结。地面图(图5c)上,

随着西南涡东移,浙江位于低涡倒槽顶部,同时冷锋逐渐从华北地区向东南移动。浙江沿海地区受南—东南风影响,海上的暖湿气流不断输入,从而为海雾的形成、发展和加强提供了较好的水汽条件。另外,气压梯度很小,尤其是浙南地区,压差在1 hPa左右,在这种准均压状态下,有利于海雾维持。12日夜间—13日,随着南支槽东移,浙江沿海地区再次受西南气流控制,低涡东移靠近,低层偏南气流增大,大气层结稳定度降低,海雾范围和浓度有所减小(图略)。这几日里,有利于海雾发生的天气背景没有完全改变,仅仅是靠近陆地的沿海地区海雾消失,海上仍然有雾。当合适的天气条件出现,沿海地区的海雾会再次生成发展。尤其是11日夜间—12日凌晨,形势条件最有利于海雾的发展和维持。14日早晨,南支槽东移入海,冷锋过境,海雾彻底消散。

### 3.2 大气层结特征

已有研究<sup>[17-20]</sup>表明,边界层层结稳定是大雾形

成和维持的必要条件。洪家站位于台州沿岸,是浙江沿海唯一一个探空站,图6为不同时次洪家站的 $t-lnp$ 实况图。11日08时,洪家站近地面至850 hPa温差小于3℃,几乎是等温状态。910~850 hPa水汽迅速减少,温度露点差超过10℃,呈现明显的“上干下湿”状态。此时能见度为3.4 km并逐渐减小,雾逐渐形成。12日早晨,洪家站出现浓雾。12日08时,离地500~700 m高度具有明显的逆温,温差为4~5℃。该逆温层以上水汽急剧减少,温度露点差为8~9℃,呈现典型的喇叭形。逆温层以下风速很小,近于静风状态;以上则为西南风,风速也不大( $v \leq 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),因此有利于雾层稳定维持。13日08时,1000 hPa以上偏南风加大( $10 \sim 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),湿度和温度的垂直分布趋于均匀,逆温层和“上干下湿”的结构均消失,洪家站的实时能见度恢复到3~4 km。14日08时,西北风风力增大,平流降温,近地面湿度明显减小,能见度超过10 km。

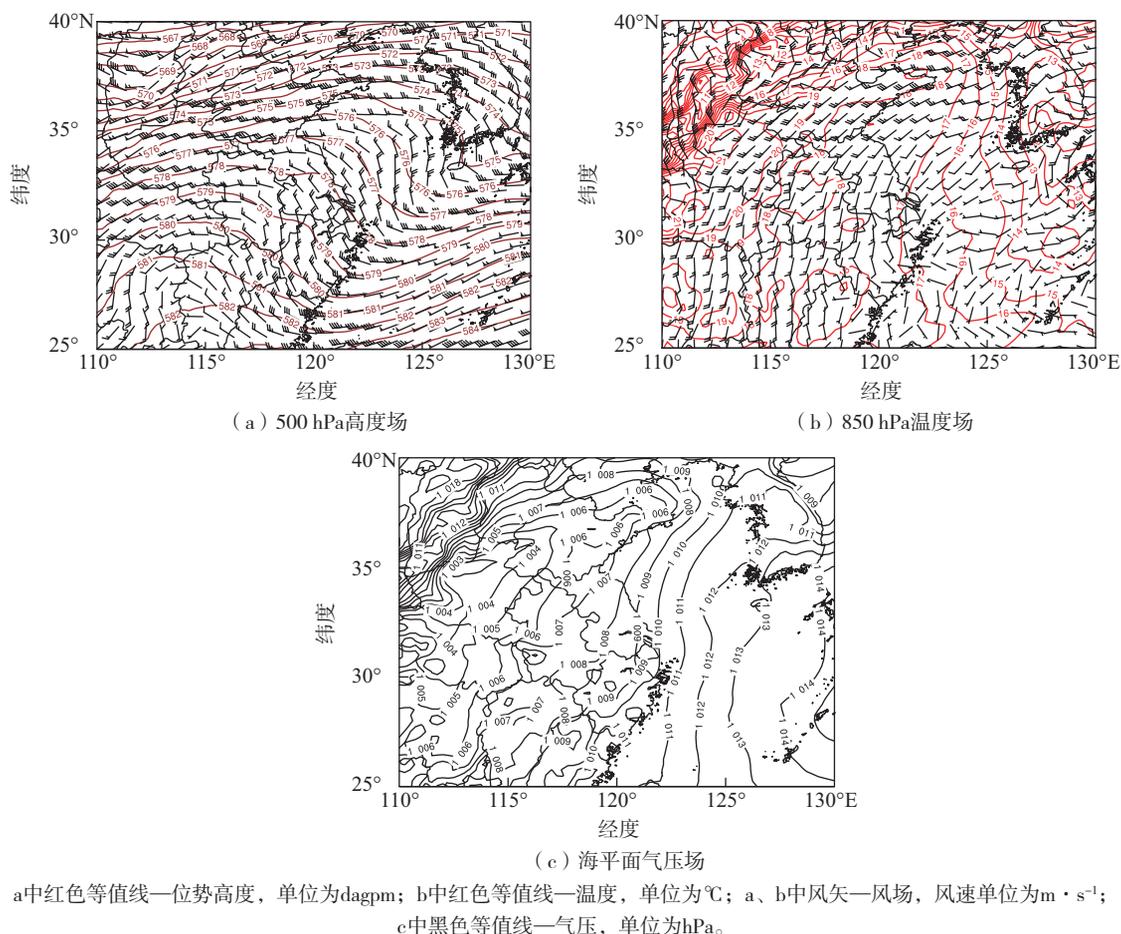


图5 2022年4月11日20时500 hPa高度场、850 hPa温度场和海平面气压场

Fig.5 Geopotential height at 500 hPa, temperature at 850 hPa and sea-level pressure at 20:00 BJT 11 April 2022

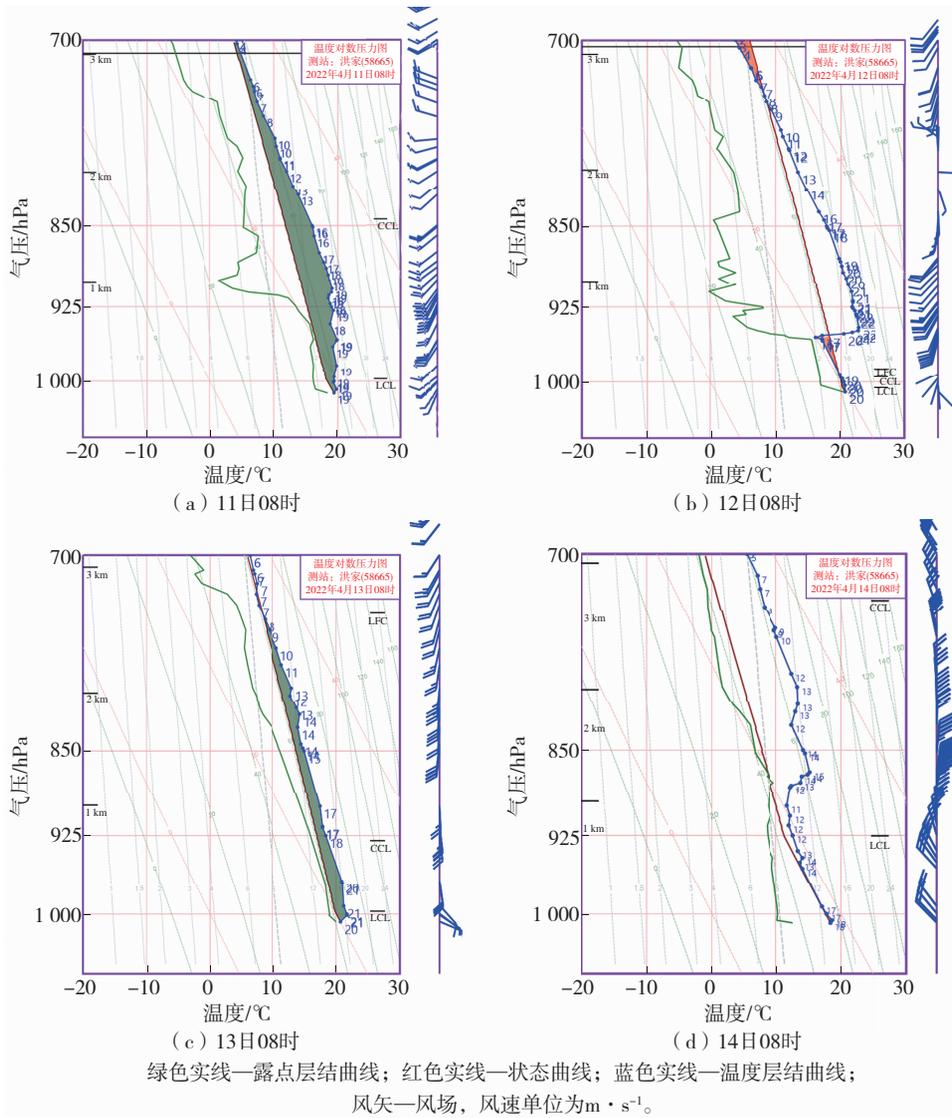


图6 2022年4月洪家站  $t$ - $\ln p$  实况  
Fig.6 The  $t$ - $\ln p$  diagram of Hongjia station in April 2022

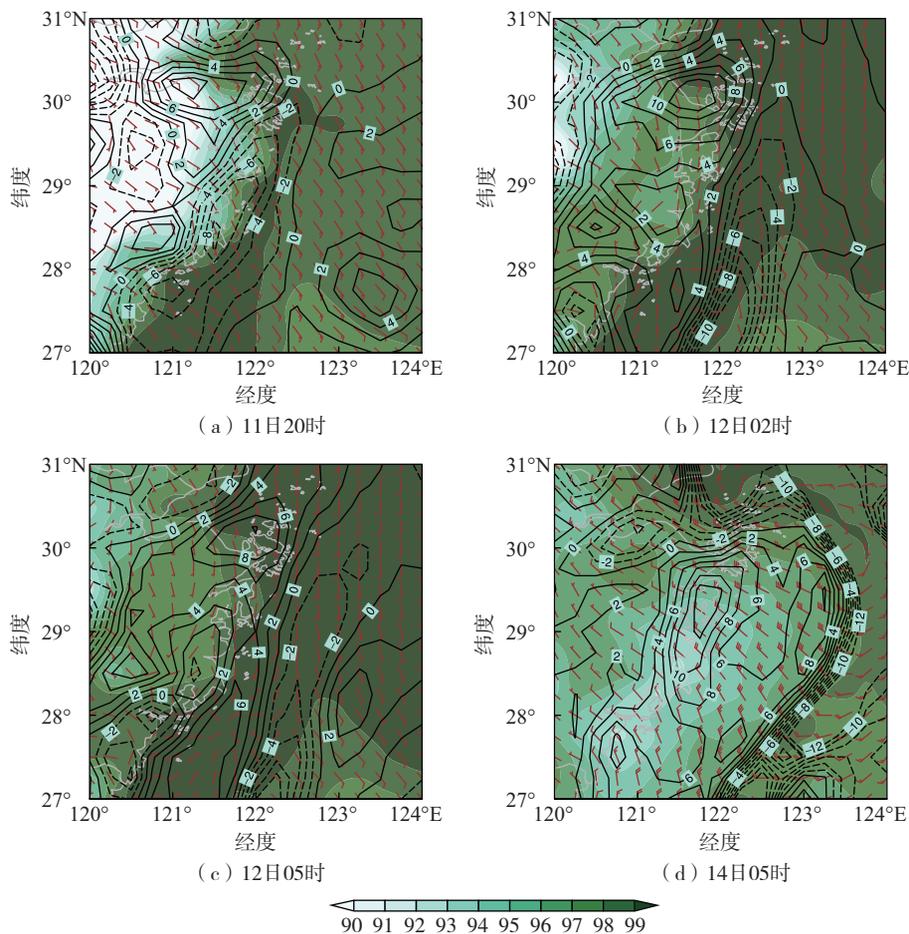
由以上分析可以看出,逆温层的存在是雾形成和维持的重要因素,它使得低层水汽凝结物不易扩散到高空,有利于雾的持续存在。逆温层附近风速小则有利于它的稳定维持。

### 3.3 东海水汽输送

在大气层结稳定的条件下,当低层的暖湿气流流经冷海面时,暖湿气流中充足的水汽会冷却凝结成细微的水滴悬浮于空中,使海面水平能见度下降,从而形成海雾<sup>[21]</sup>。分析 1 000 hPa 水汽通量散度空间分布(图 7)发现,11 日 20 时,海雾开始生成,浙江沿海海面低层维持一致的东南风,有利于将东海上的暖湿空气向西输送,边界层增湿,相对湿度为 90%~96%;浙江沿海及近岸为水汽通量辐合区,与雾区走向一致,强值中心位于东南沿海海面,中心最强值为

$-10 \times 10^{-5} g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ , 浙北沿海海面略小,中心值为  $-2 \times 10^{-5} g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ ,这也说明海雾最早生成于浙南沿岸和沿海区域。12 日 02 时,海雾增强,浙江沿海海面转为偏南风,沿海海面相对湿度基本大于 96%;水汽通量散度逐渐减小,没有明显辐合或辐散,辐合中心东移至海上。12 日 05 时,海雾发展到最强,也是由盛转衰的节点,辐合中心进一步东移,沿海海面出现水汽弱辐散。14 日 05 时,随着冷空气南下,沿海水汽通量散度中心最大值超过  $10 \times 10^{-5} g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ ,辐散明显,雾消散。

上述分析表明,浙江沿海地区在成雾前期,水汽辐合明显;海雾形成过程中,水汽辐合逐渐减弱,湿度逐渐增大;当海雾达到最强后,出现弱辐散,海雾开始缓慢消散。



色阶—相对湿度, 单位为%; 风矢—风场, 风速单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 黑色等值线—水汽通量散度, 单位为 $10^{-5} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 实线为正值, 虚线为负值; 白色实线—海岸线。

图7 2022年4月1000 hPa的相对湿度、风场和水汽通量散度

Fig.7 Relative humidity, wind and water vapor flux divergence at 1000 hPa in April 2022

### 3.4 气海温差特征

根据王彬华<sup>[1]</sup>的研究,气海温差为 $0.5 \sim 3.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 范围,且SST不超过 $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时,有利于平流雾的生成。由浙江沿海海面气海温差空间分布(图8)可以看出,11日14时,浙江沿海海区SST为 $14 \sim 16 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,受太阳辐射影响,沿海地区气温较高,气海温差为 $2.0 \sim 6.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,且越靠近内陆温差越大,此时沿海站点的能见度基本大于 $5 \text{ km}$ ;11日20时,SST变化不大,但随着气温下降,气海温差降至 $0 \sim 2.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,此时能见度逐渐下降,雾开始形成。12日08时,海雾已维持一段时间,气海温差进一步减小,沿海大部地区在 $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 线附近。这说明暖空气被充分冷却,且湿度接近饱和,气温无明显变化,接近SST。14日05时,随着冷空气南下,气温下降,低于SST,气海温差小于 $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,海雾自北往南彻底消散。另外,根据SST的南北差异可以发现,嵊山站所在海域SST更低,即冷

下垫面特征更明显,对于同一个暖气团,逆温梯度更大,这也是该站雾能长久维持的原因之一。

综上所述,对于浙江沿海海区,在SST适宜时段,若气温高于SST且差值为 $0 \sim 2.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,暖湿气流经过冷海面,有利于海雾生成发展。海雾维持时,气海温差进一步减小,在 $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 左右。海雾消散有2种情况:一种是白天气温升高,湿度减小,气海温差大于 $2.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,表现出明显的日变化特征;另一种是气温下降,使气海温差小于 $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。需要注意的是,在东海外海,尽管气海温差也为 $0 \sim 2.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,但并没有形成海雾。这说明合适的气海温差是海雾形成的必要不充分条件,还需要考虑其他条件,如湿度、层结条件等。

## 4 结论

利用自动站实况资料、卫星资料和再分析资料,对2022年4月10—14日浙江沿海海面一次持续性

海雾过程的特征和成因进行了分析,得到以下结论:

(1)此次海雾过程从4月10日夜间开始发展,至14日上午结束,持续时间超过3 d。海雾范围包

括浙江沿海和东海大部分海域,范围广;沿海站点基本都出现了浓雾或强浓雾,个别站点出现了特强浓雾,能见度低。

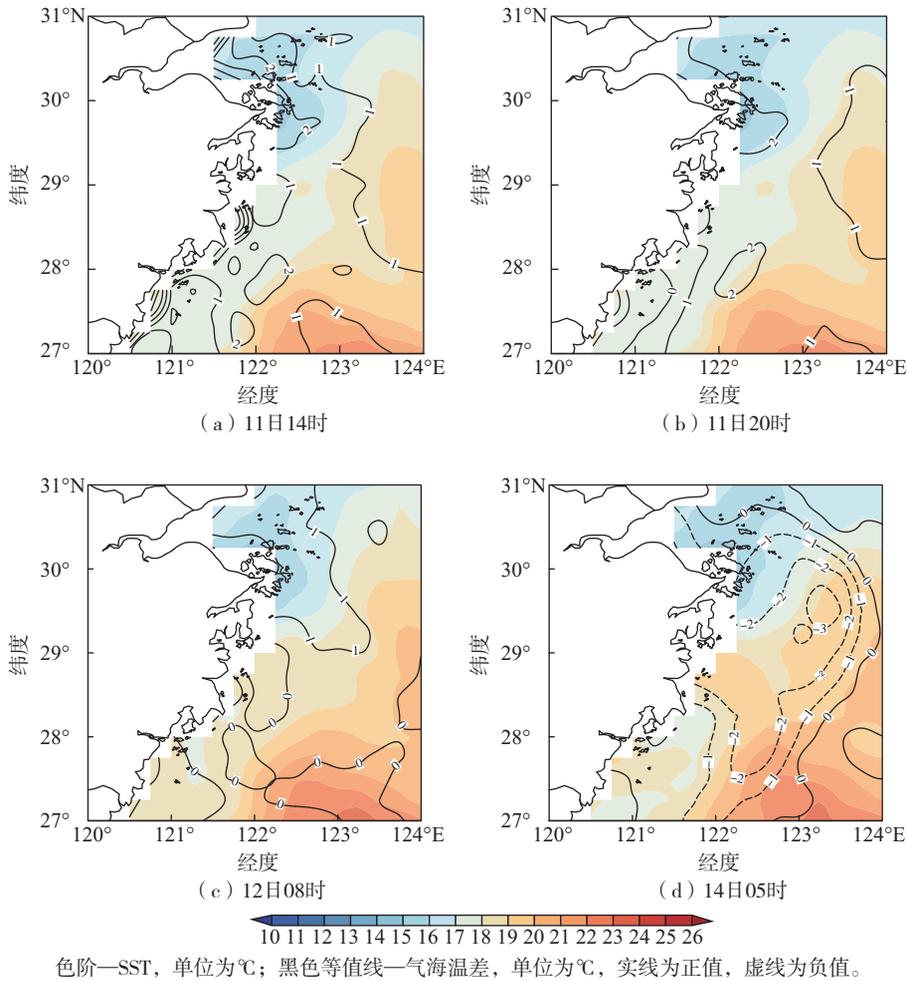


图8 2022年4月海面温度和气海温差空间分布

Fig.8 Spatial distribution of SST and air-sea temperature difference ( $\Delta t = t_a - t_s$ ) in April 2022

(2)此次过程发生在中纬度高空槽前西南气流(11日夜为暖性高压脊)中,850 hPa 温度脊发展明显,地面位于低涡倒槽顶部和冷锋前部,东南风或偏南风带来充沛水汽,低层层结稳定,有利于海雾的形成和持续。

(3)低层逆温层使得低层水汽不易扩散到高空,有利于大雾的生成和维持。逆温层附近较小的风速则有利于它的稳定维持。

(4)海雾形成所需水汽来自东海上空的水汽输送。成雾阶段,有明显的水汽辐合;海雾形成过程中,水汽辐合逐渐减弱,湿度逐渐增大;当海雾达到最强后,出现弱辐散,海雾开始缓慢消散。当有明显

的水汽辐散时,海雾迅速消散。

(5)SST 是一个缓变的物理量,而气温变化则相对较为显著,在海雾的生消、发展中起重要作用。在SST 适宜时段,若气温高于 SST 且差值在0~2.0 °C 时,有利于海雾生成发展;海雾最浓时,气海温差则在0 °C 左右;当气温明显升高,气海温差大于2.0 °C ,或气温下降,使气海温差小于0 °C 时,海雾消散。

(6)不同区域大雾生消阶段的极大风速和风向不尽相同。对于位置偏东的海岛站(嵎山站),风速偏大,偏南风极大风速为6~7 级时海雾也有可能持续;对于浙中南沿海站点(南麂站),东北风极大风速小于4 m·s<sup>-1</sup>时海雾仍维持。

## 参考文献:

- [1] 王彬华.海雾[M].北京:海洋出版社,1983:3-19.
- [2] 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.
- [3] 张苏平,张欣,时晓曦.亲潮延伸体海区一次海雾过程的观测研究[J].海洋气象学报,2022,42(1):1-11.
- [4] 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.
- [5] 史得道,吴振玲,罗凯,等.2015-04-28 渤海海雾形成过程中的海气相互作用分析[J].热带气象学报,2018,34(3):324-331.
- [6] 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.
- [7] 俞燎霓,胡波,黄新晴,等.浙江沿海大雾的时空分布特征及影响因子分析[J].气象科技,2017,45(2):324-330.
- [8] 侯伟芬,王家宏.浙江沿海海雾发生规律和成因浅析[J].东海海洋,2004,22(2):9-12.
- [9] 陈梅汀,王连喜,徐哲永,等.舟山海雾特征及其对数值模式的初步订正[J].气象科学,2018,38(1):130-138.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] CERMAK J, BENDIX J. A novel approach to fog/low stratus detection using Meteosat 8 data [J]. *Atmos Res*, 2008,87(3/4):279-292.
- [13] 刘希,胡秀清.基于 MTSAT 卫星的我国东部沿海雾区的自动识别[J].台湾海峡,2008,27(1):112-117.
- [14] 吴晓京,李云,黄彬,等.利用动态阈值方法改进的风云二号卫星海雾检测技术[J].海洋气象学报,2017,37(2):31-41.
- [15] GULTEPE I, PAGOWSKI M, REID J. A satellite-based fog detection scheme using screen air temperature [J]. *Wea Forecasting*, 2007,22(3):444-456.
- [16] 王宏斌,张志薇,刘端阳,等.基于葵花8号新一代静止气象卫星的夜间雾识别[J].高原气象,2018,37(6):1749-1764.
- [17] 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.
- [18] 梁寒,聂安祺,吴曼丽,等.渤海海峡至黄海北部低压顶部型海雾特征分析[J].环境科学与技术,2015,38(12):158-163.
- [19] 梁军,冯呈呈,王磊,等.黄海北部海域春季一次平流雾特征分析[J].干旱气象,2021,39(3):448-456.
- [20] 侯淑梅,杨成芳,王建林,等.上合组织青岛峰会期间海雾维持和消散阶段的环境场特征[J].海洋气象学报,2019,39(1):86-94.
- [21] 黄彬,许健民,史得道,等.黄渤海一次持续性海雾过程形变特征及其成因分析[J].气象,2018,44(10):1342-1351.