

## 日本以南海域一次锋面雾过程分析

李秀镇<sup>1</sup>, 刘飞<sup>2</sup>, 曹宗元<sup>3</sup>, 钟剑<sup>1</sup>

(1.中国卫星海上测控部,江苏 江阴 214431; 2.91199部队气象台,浙江 舟山 316000;  
3.舟山市气象局,浙江 舟山 316000)

**摘要:** 利用4种观测资料及HYSPLIT-4模式对2012年6月17—19日发生在日本以南海域严重影响船舶航行安全的一次海雾过程进行了观测分析及数值模拟。结果表明:(1)此次海雾事件为典型的锋面雾过程,雾区始终处在副热带高压后部、大槽前部。前期雾区范围与锋面的发展移动密切相关,后期台风外围的卷吸作用是海雾消散的主要因素;(2)海雾发生前气海温差值约为2℃,为海雾形成提供了有利条件,近地面逆温层的存在也为海雾的发生提供了助力;(3)HYSPLIT-4模式对气粒的追踪结果表明,此次海雾过程的水汽来自东南方向,水汽向北输送过程中受副热带高压的影响不断下沉,在稳定层结条件下最终凝结成雾。

**关键词:** 海雾; 锋面雾; 日本以南海域; 卫星遥感

**中图分类号:** P732.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)03-0062-09

### 1 引言

海雾是指在海洋的影响下,在海上、岛屿或沿海地区形成的雾<sup>[1]</sup>,是对海上船舶航行、捕捞、港口作业以及沿海地区的公路运输和电力输送等社会生活的方方面面产生重要影响的天气现象<sup>[2]</sup>,海雾可谓海上航行安全的大敌。因此对主要航线海雾形成、发展的机理研究具有十分重要的意义。

国外海雾的研究开始于加利福尼亚沿海海雾<sup>[3]</sup>,Byers<sup>[4]</sup>认为冷海面对近海面层的空气冷却是海雾的主要成因,Telford等的研究表明暖水上方湍流加强可对海雾的消散起到重要作用<sup>[5]</sup>,Lewis等<sup>[6]</sup>利用加利福尼亚沿岸浮标站资料,对美国西海岸海雾进行了系统的研究。国内起步于1983年王彬华先生对中国沿海海雾的研究<sup>[1]</sup>,对于国内研究较多的平流冷却雾,黄东海位于太平洋的暖流黑潮与冷海流亲潮交汇处,季节性南风将东海暖湿空气吹向黄渤海冷海区上成海雾,这是海雾的气候学成因。赵永平等<sup>[7]</sup>将有利于黄、东海海雾生成的天气型划分为5

类,有利的天气系统不仅形成了稳定的大气层结,更为海雾提供了水汽条件。锋面雾的研究多集中于内陆地区<sup>[8-9]</sup>,对海上锋面雾很少涉及,周福等通过宁波地区海雾研究,认为锋面南侧,风速小,水汽含量大,有利于海雾的形成<sup>[10]</sup>。除统计和个例分析外,数值模式已经成为研究海雾过程的重要手段,海雾数值预报模式的发展经历了从一维到三维、从单一大气模式到海气耦合模式的过程<sup>[11]</sup>。张苏平等在一次层云海雾过程中利用HYSPLIT模式对海雾粒子追踪,取得了不错的科研效果<sup>[12]</sup>。

夏季日本东南海域易受海雾外围影响,影响来往船舶安全。以往海雾的基本研究主要基于沿海或岛屿测站,对海雾真实海上观测很少,本文以2012年6月为例,某船在该海域先后遭遇了5次海雾过程,其中能见度低于8 km两次,低于2 km一次,小于1 km两次,低能见度条件给船舶安全航行带来了极大影响。其中,16—19日的海雾过程持续时间较长、影响范围广,而且船舶始终处在海雾边界影响下。本文采用卫星资料、船测资料、天气图

收稿日期: 2016-08-09; 修回日期: 2016-09-10。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(41605075)。

作者简介: 李秀镇(1985-),男,工程师,硕士,主要从事航海气象研究。E-mail:zqlxiuzhen@163.com

及ICOADS数据分析其时空结构,使用HYSPLIT模式对海雾水汽来源等进行数值模拟剖析其演变特征,以期今后相关海域海雾预报积累经验。

## 2 资料来源

(1)韩国气象厅(Korea Meteorological Administration, KMA)提供的地面天气图,时间间隔为3 h;(2)国际综合海洋-大气数据集(International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set, ICOADS),包含海表面观测资料和月平均资料,数据的存储格式为IMMA(The International Maritime Meteorological Archive Formate)。文中使用高空气压、水汽通量及海表温度数据;(3)MTSAT(The Multi-functional Transport Satellite)是日本多用途卫星,包括5个通道,红外有ch1: 10.3~11.3 m; ch2: 11.5~12.5 m; ch3: 6.5~7.0 m; ch4: 3.5~4.0 m。可见光有0.55~0.9 m。文中使用了可见光云图和红外云图用以识别白天海雾,使用红外ch1、ch4通道的卫星资料反演夜间海雾过程;(4)船测数据,包括自动气象站温、湿、压以及探空观测数据。

## 3 观测分析

### 3.1 卫星云图分析

本文选用日本气象厅MTSAT卫星数据中的红

外1、4通道数据进行夜间海雾反演,数值介于-2.5~-5.5的区域认定为低云/雾区(取值范围可以根据不同季节和海区微调整)。2012年6月16日23时(北京时,下同)红外4-1通道反演结果见图1,在日本以南广阔海域内(26°~32°N, 135°~147°E)存在大片白亮区域(低云/雾区)<sup>[13]</sup>,呈现东北西南向、零散分布的特点。2012年6月17日08时可见光云图(见图2a)表明,我国江淮流域至日本一线存在广阔的梅雨锋云系。梅雨锋南部云区呈现乳白色、表面均一、纹理光滑和边界清晰的特点,符合海雾或低云特征,该区域与图1低云/雾区位置一致。根据17日08时地面天气图(见图3a),锋面南部(30°N附近)有一测站已经观测到雾的存在,由此可以确定梅雨锋南部边缘有海雾分布。图1所示雾区的零散分布与以往研究中提到的纹理均匀的特点有所不同,分析可能的主要原因有:海雾本身比较零散;部分雾区被云层覆盖导致反演缺失;-2.5~-5.5这个取值范围并不能完全覆盖雾区。

17日14时锋面云系南压(见图2b),其南部雾区范围变窄,此时船舶位于雾区南部(28.5°N, 140.7°E),船舶观测到的能见度约为15 km左右(见图4)。16时开始,船舶向北航行驶入雾区,能见度逐渐降至1 km以下。18日08时锋面云系进一步消散,由西南东北向转为东西走向。此时台湾以东洋面有台风向北移动,其外围云系尚未与锋面接壤。船舶航

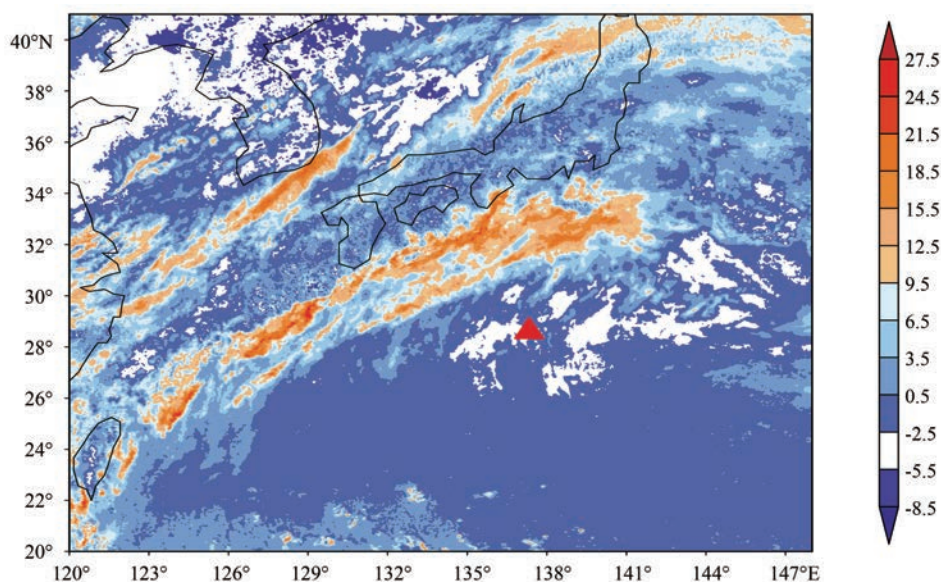


图1 2012年6月16日23时红外4-1通道反演海雾(阴影:红外4通道-红外1通道亮温,三角:船位)



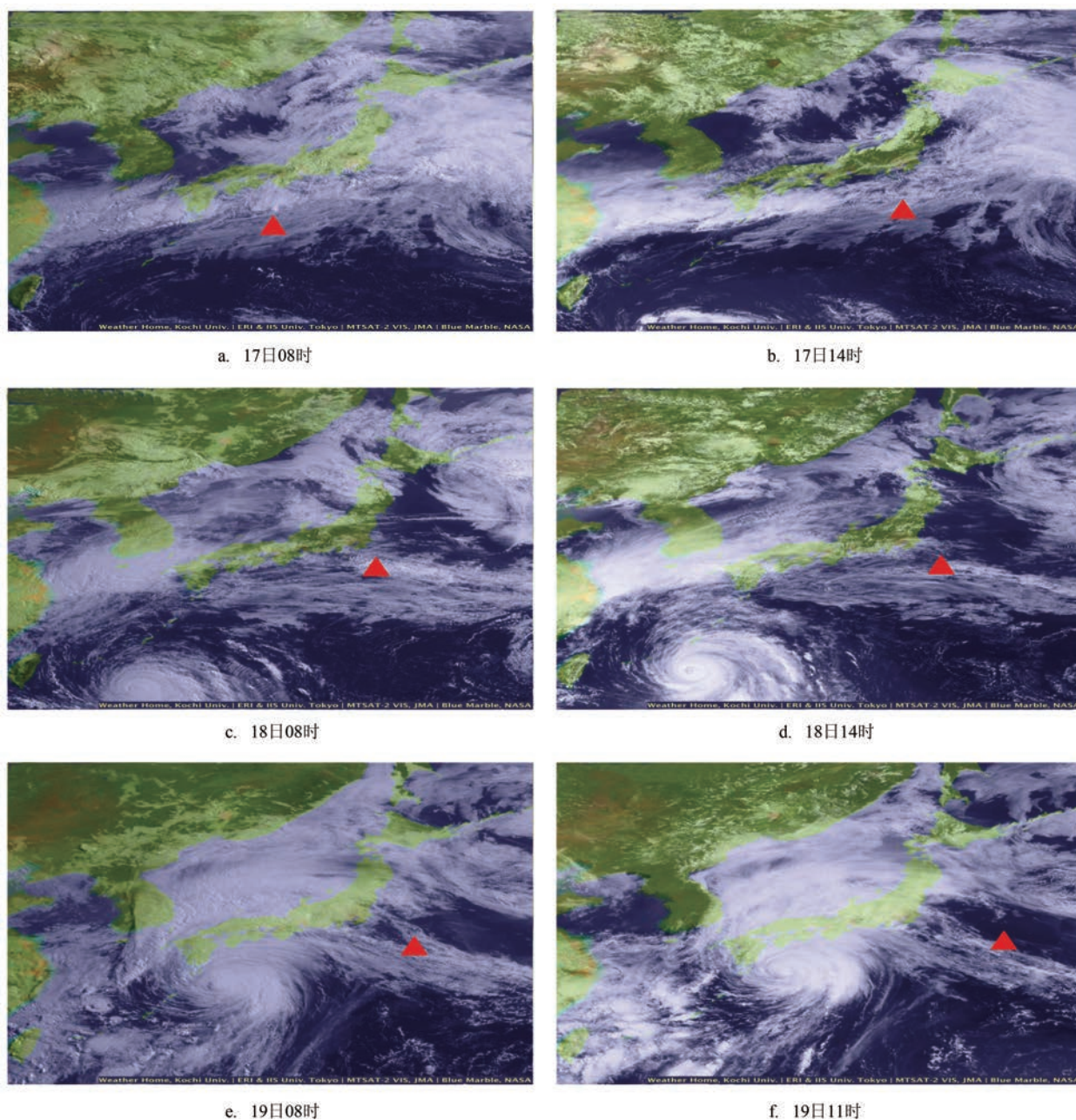


图2 2012年6月17日08时—19日11时可见光云图(三角:船位)

行至(30.5°N, 141.3°E)附近,接近雾区中部,观测能见度约为0.3 km。19日08时锋面与雾混合在一起,其西部与台风北部云系相接,乳白色特征已不明显。此时船舶(31°N, 144.5°E)观测到的能见度增至2 km左右。11时云图上已无显著的雾区特征。至12时,船测(31°N, 145.1°E)能见度已超过10 km,此次海雾过程结束。

此次海雾演变过程中伴随有梅雨锋,是典型的

海洋锋面雾。17日夜间—19日遭遇过程中船舶始终位于雾区南边界以北,海雾浓厚。由于船舶位置不断变化,穿越雾区间隙时也存在能见度超过10 km的时刻。前期可见光云图上雾区的乳白色特征明显,其范围随锋面的发展而有所变化。后期海雾的消散与锋面的减弱相关,云图上表现为乳白色特征消失。此外台风发展北上,其外围云系的卷吸作用也是影响海雾消散的重要因素。



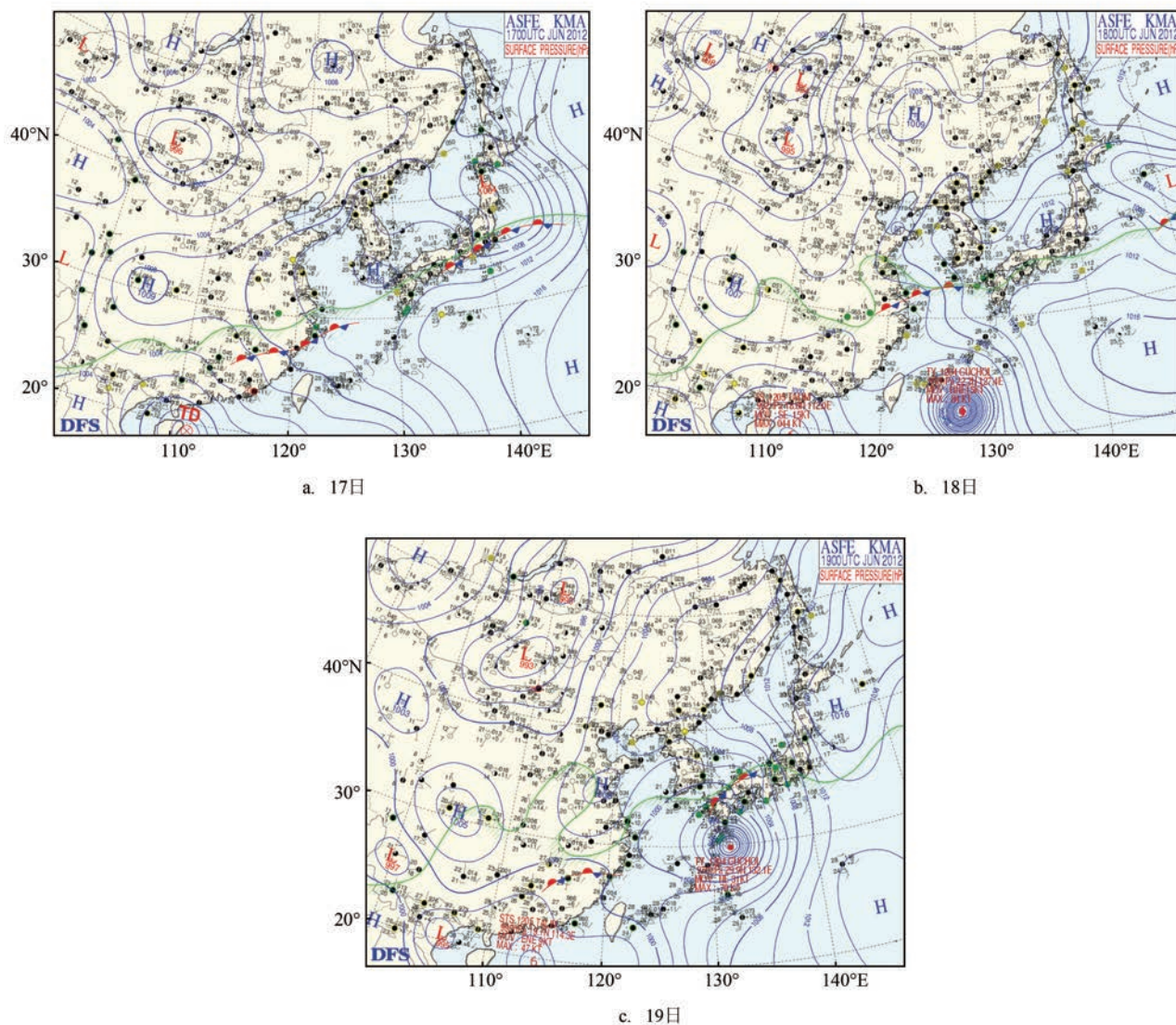


图3 2012年6月17—19日08时地面形势图(蓝色:等压线,绿色:雨带,以及天气现象)

### 3.2 天气形势分析

500 hPa形势场(见图5)表明,海雾生成及维持期间雾区均处在副热带高压北部、高空大槽底部,北部冷气团与南部暖湿空气在槽底交汇,形势场相对稳定。海雾消散期间,受台风影响日本南部南高北槽形势破坏,北部冷气团被台风流场所取代。

根据2012年6月17日08时的地面天气图(见图3a),江淮流域到日本一线为梅雨锋控制,日本东南部受西太平洋副热带高压控制。日本以南海域盛行偏南风,源源不断地向锋面南部输送暖湿水

汽。暖湿气团与北部冷气团混合,在锋面南部形成海雾。18日副热带高压增强西伸,使雾区处于高压控制之下,为海雾的维持提供了稳定的天气形势场。19日08时台风北移至日本附近(外围影响至140°E),在其东北、东南部各有一高压中心。船舶位于两个高压中间的均压区。此时在台风的影响下,海雾趋于消散。

6月17日850 hPa与地面形势基本一致,雾区受偏南气流影响。值得关注的是,雾区附近有暖舌存在。与之相对应,在925 hPa有大范围湿区,为海雾的形成提供了有力的水汽条件。偏南向的引导气流更加有利于水汽向北方冷海面输送。此外,

925 hPa 温度明显高于 850 hPa, 表明有暖区的存在, 且温度高于地面, 有逆温层存在。水汽供应和逆温

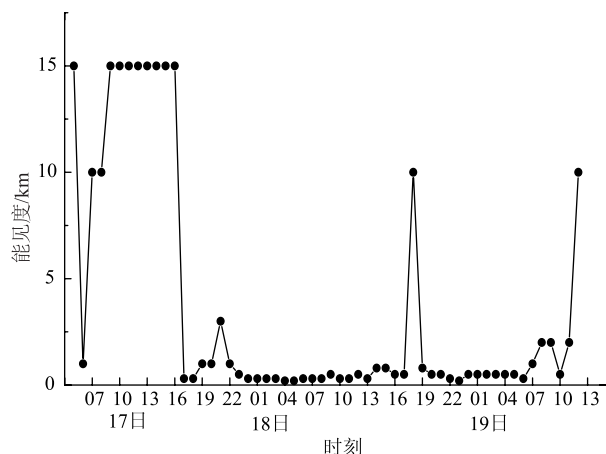


图4 2012年6月17—19日船测能见度

层的存在均有利于海雾的形成。

图7是水汽通量及950 hPa下沉运动分布, 紧贴日本南部陆地的海区为上升气流控制, 与卫星云图上广阔的梅雨锋云系相对应。在梅雨锋云系上升区的南侧存在东西走向的较大范围下沉区(25°~28°N, 东经124°~140°E)。来自热带西太平洋的水汽向北输送过程中, 在25°N分成两条主要的输送带: 一条沿西北偏西方向, 流向台湾岛; 另一条沿正北方向, 在输送过程中逐渐转向东北。暖湿水汽受下沉运动的影响逐渐下沉, 并被限制在较低的层面上, 如遇冷海面, 极易凝结成雾。

### 3.3 船舶观测分析

6月16—20日的气温、相对湿度演变情况表明(见图8), 在海雾发生期间气温与相对湿度近似呈

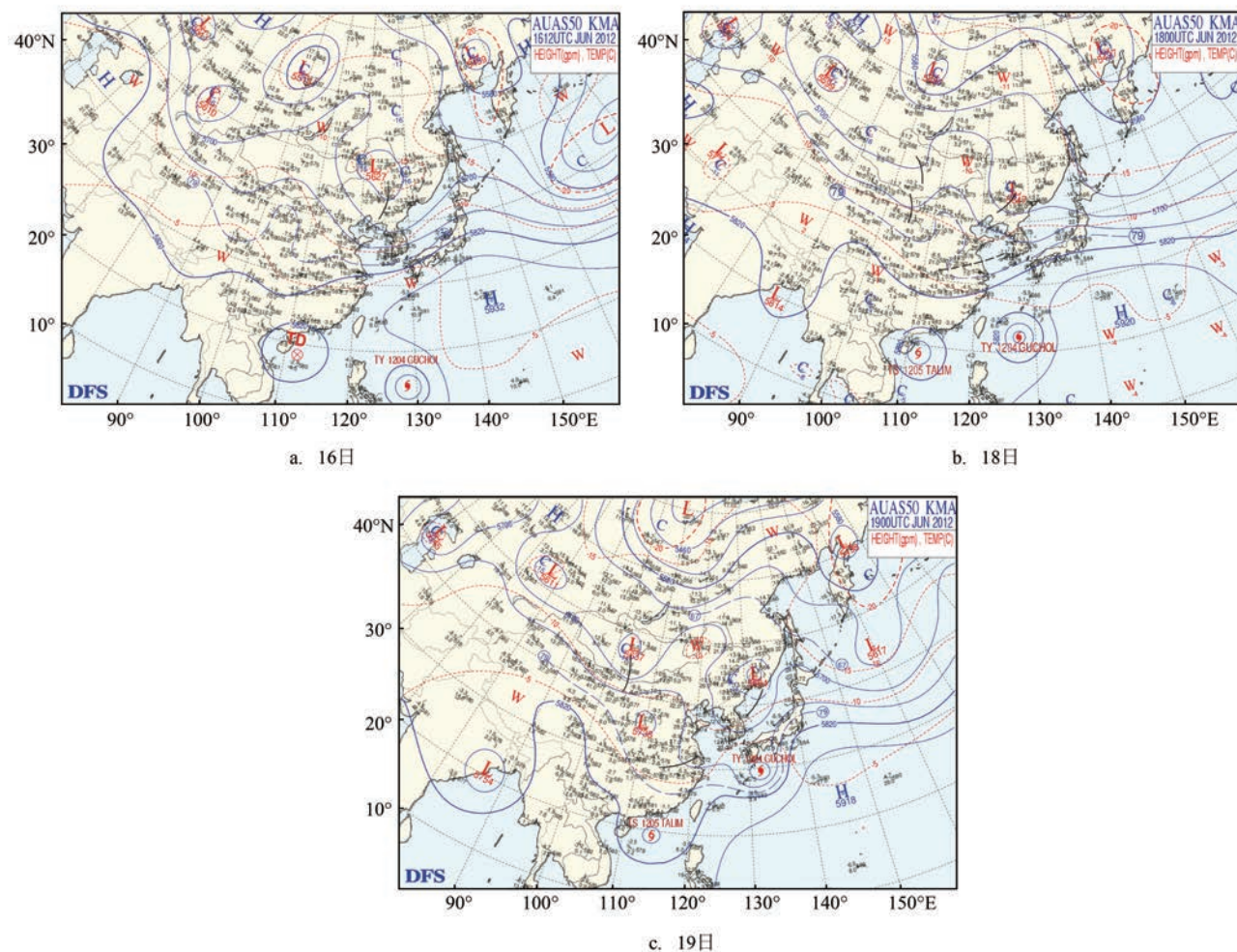


图5 2012年6月16—19日500 hPa天气形势(蓝色:等高线)



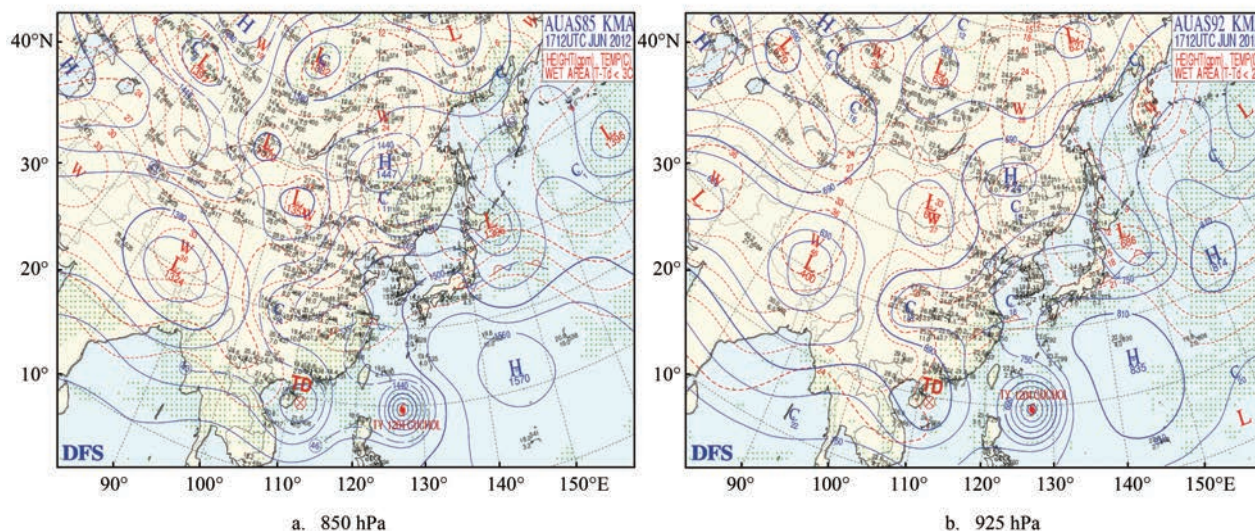


图6 2012年6月17—19日08时地面形势图(蓝色:等压线,点状:湿区)

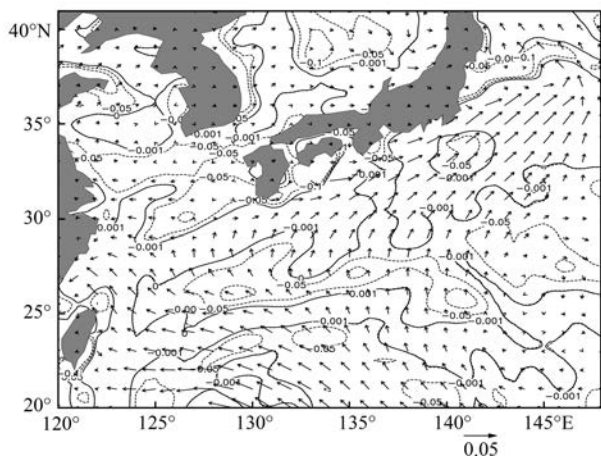


图7 2012年7月17日08时水汽通量和950 hPa下沉运动(箭头:水汽通量,等值线:下沉运动)

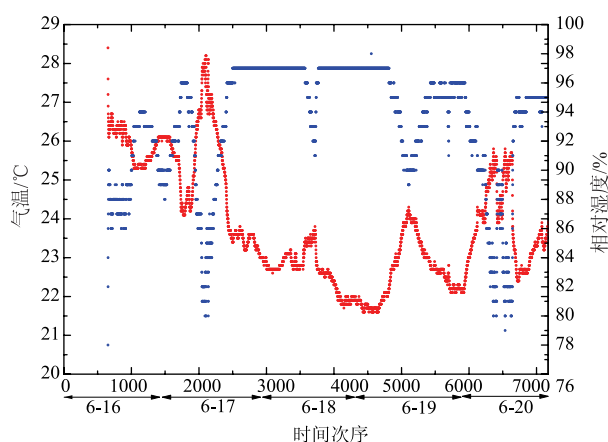


图8 海平面气温、相对湿度变化  
(红色表示气温,蓝色表示相对湿度)

负相关。二者均呈现较明显的日变化特征(气温在午后达极值而相对湿度达谷值)。相对湿度的降低可能是气温升高引起雾滴蒸发所致。6月16—17日下午,相对湿度数值较低。在海雾来临前相对湿度达最小值,气温达到极高值。随着海雾的接近,相对湿度逐渐增加,最高达97%。17日晚—19日海雾影响期间,气温普遍低于16日,当日极值也仅与16日的最低值相当( $<24^{\circ}\text{C}$ )。19日相对湿度开始降低,平均水平低于17—18日,中午气温超过 $24^{\circ}\text{C}$ 时,海雾趋于消散。至20日,气温已恢复到较高的数值,相对湿度骤然降低。

根据海表水温分布(见图9),在日本以南海域( $30^{\circ}\text{N}$ 附近)存在东西分布的低温中心。该中心位于锋面南侧,温度值约 $26^{\circ}\text{C}$ 左右,海雾发生前后气温值在 $28^{\circ}\text{C}$ 左右,气海温差约为 $2^{\circ}\text{C}$ 。相关研究已表明气海温差值介于 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ 是西太平洋海雾形成的最适宜条件<sup>[4]</sup>。

船舶所在位置气温的探空曲线表明(见图10),975 hPa以下有逆温层存在。逆温层将水汽限制在狭小的层结内,使其在内部充分混合,混合后的水汽在底层较低的海表温度条件下整体降温凝结成雾。

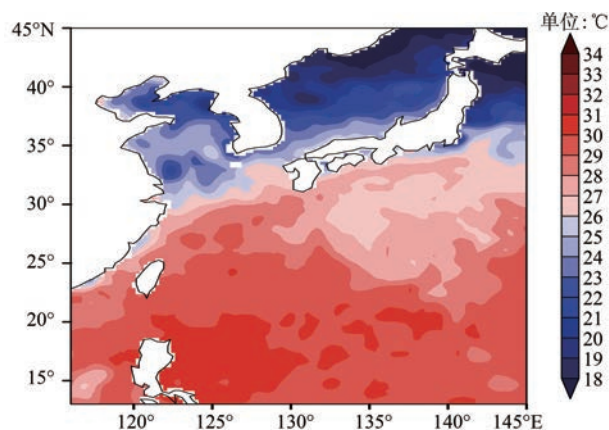
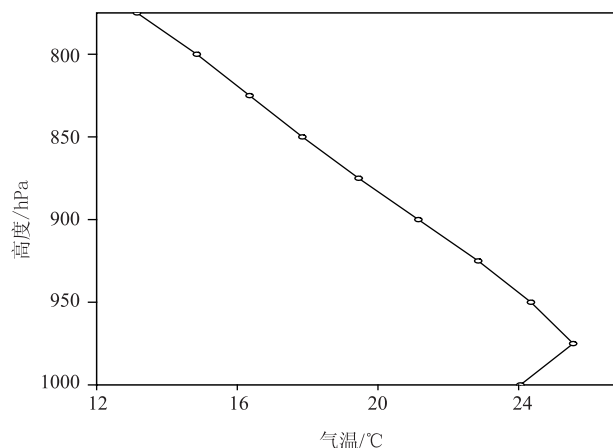


图9 2012年6月17日海表面温度

图10 2012年6月17日08时船舶位置  
温度探空曲线

## 4 数值模拟

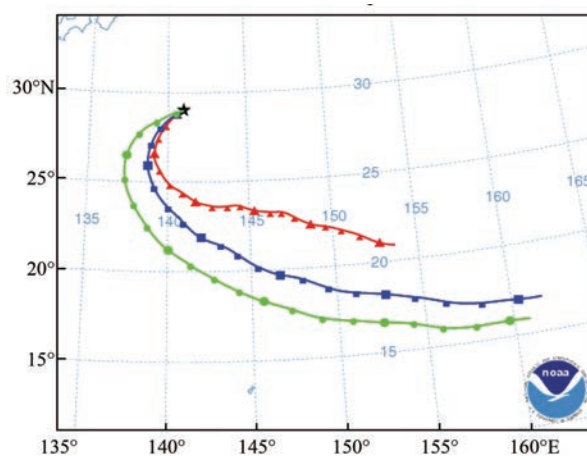
HYSPLIT-4是NOAA和澳大利亚气象局在过去20 a间联合研发的一种用于计算和分析大气污染物输送、扩散轨迹的模式,它能较好的后向追踪空气质点的来源。本文利用该模式对此次雾区不同高度进行后向追踪,模拟水汽输送过程中水平、垂向输送及相对湿度变化。

以2012年7月17日20时为初始时刻,对船舶所在位置进行10 m、300 m和1 000 m高度进行后向120 h追踪。结果表明,三层粒子均来自其东南侧。这是因为在西太平洋副热带高压反气旋环流的作用下,粒子向西北向移动,粒子的输送方向与前文水汽通量的输送是一致的。

垂向粒子在向北输送的过程中高度逐渐下降(见图12a),这是由于水汽粒子在向北输送过程中受高压下沉运动影响逐渐接近冷海面所致。位温(见图12b)在输送过程中略有降低,温度的降低更有力于水汽凝结成雾。三层混合层高度(见图12c)由800 m以上降至239 m,稳定层结顶部的降低不仅有利于将水汽限制在低层,并且有利于水汽混合均匀凝结成雾。相对湿度的逐渐增大(见图12d)也表明,粒子在北上过程中不断向水汽饱和凝结的方向发展。

## 5 结论

利用观测资料及模式模拟结果对2012年6月

图11 2012年7月17日HYSPLIT模式气流后向  
轨迹追踪(绿线:1 000 m质点,蓝线:300 m质点,红线:10 m  
质点,★位于29°N,141°E)

17—19日严重影响船舶航行的海雾过程进行了细致分析,结论如下:

(1)利用MTSAT可见光云图及红外4-1通道反演结果对此次海雾的发生范围及演变过程进行了分析,结合天气图对其背景场进行了讨论。此次海雾事件为典型的锋面雾过程,雾区始终处在副热带高压后部、大槽前部。前期雾区范围与锋面的发展移动密切相关,后期台风外围的卷吸作用是海雾消散的主要因素;

(2)利用船测资料对低层气象要素场的分析发现,海雾发生前气海温差值约为2℃,为海雾形成提供了有利条件。此外,近地面逆温层的存在也为海



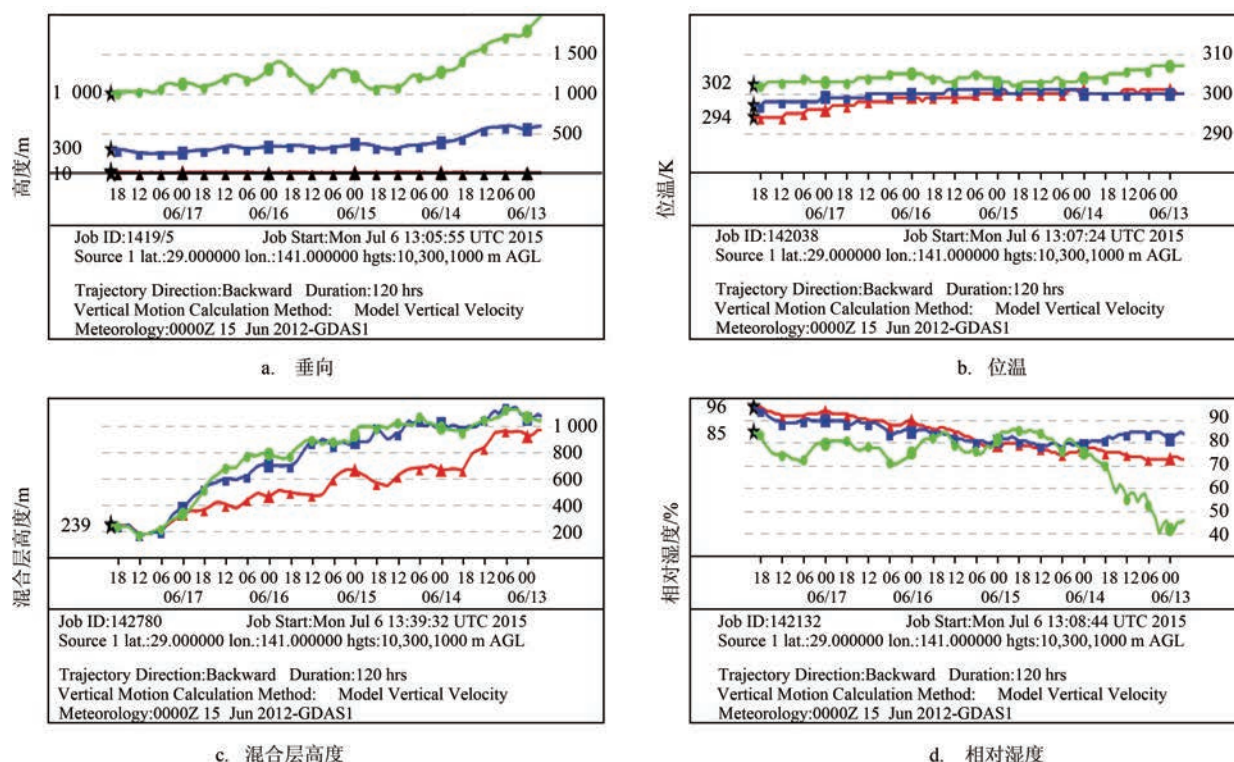


图 12 追踪粒子变化(绿线:1 000 m 质点, 蓝线:300 m 质点, 红线:10 m 质点, ★位于 29°N, 141°E)

雾的发生提供了助力;

(3) HYSPLIT-4 模式对气粒的追踪结果表明, 此次海雾过程的水汽来自东南方向。水汽输送过程中在副热带高压的影响下不断下沉, 在稳定层结条件下发生凝结, 最终成雾。

#### 参考文献:

- [1] 王彬华. 海雾[M]. 北京: 海洋出版社, 1983.
- [2] 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.
- [3] Palmer A K. Fog along the California coast[J]. Monthly Weather Review, 1917, 45(10): 496.
- [4] Byers H R. Summer sea fogs of the central California coast[M]. Berkeley, California: University of California Press, 1930.
- [5] Telford J W, Chai S. Marine fog and its dissipation over warm water [J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1993, 50(19): 3336-3349.
- [6] Lewis J, Koracin D, Rabin R, et al. Sea fog off the California coast:

Viewed in the context of transient weather systems[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2003, 108(D15): 4457.

- [7] 赵永平, 陈永利, 王丕浩, 黄. 东海海雾过程及其大气和海洋环境背景场的分析[J]. 海洋科学集刊, 1997, 38(1): 69-79.
- [8] 杨静, 汪超, 彭芳, 等. 低纬山区一次持续锋面雾特征探讨[J]. 气象科技, 2011, 39(4): 445-452.
- [9] 崔庭, 吴古会, 赵玉金, 等. 滇黔准静止锋锋面雾的结构及成因分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 114-118.
- [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] 史得道, 吴振玲, 高山红, 等. 海雾预报研究综述[J]. 气象科技进展, 2016, 6(2): 49-55.
- [12] 张苏平, 刘飞, 孔扬. 一次春季黄海海雾和东海层云关系的研究 [J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(2): 341-352.
- [13] Fu G, Guo J T, Xie S P, et al. Analysis and high-resolution modeling of a dense sea fog event over the Yellow Sea[J]. Atmospheric Research, 2016, 81(4): 293-303.



## An observation of a frontal fog event over the south Japanese sea

LI Xiu-zhen<sup>1</sup>, LIU Fei<sup>2</sup>, CAO Zong-yuan<sup>1</sup>, ZHONG Jian<sup>1</sup>

(1. China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin 214431 China; 2. Meteorological Observatory, No.91199 Army of PLA, Zhoushan 316000 China; 3. Zhoushan Meteorological Bureau, Zhoushan 316000 China )

**Abstract:** Using 4 kinds of observational data and HYSPLIT-4 model, a dense sea fog event happened in the south of Japanese sea from 17 to 19 June 2012 is investigated. The results show that: (1) It's a frontal fog occurred between trough and subtropical high. The area of the fog changes with the moving of frontal surface. The entrainment of typhoon is a main factor for fog dissipation; (2) Temperature difference between the air and sea surface is about 2°C, which provide a favorable condition for the sea fog formation.; (3) The simulated results from HYSPLIT-4 indicates that the water vapor come from the south east area and dropped under the influence of subtropical high when moving to the north, and the sea fog is formed under the stable stratification condition.

**Key words:** sea fog; frontal fog; south Japanese sea; satellite remote sensing