

## 2018年6月上合组织青岛峰会期间海雾大气边界层特征及能见度分析

黄彬<sup>1</sup>, 侯淑梅<sup>2</sup>, 吴振玲<sup>3</sup>, 渠鸿宇<sup>1</sup>

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 山东省气象台, 山东 济南 250031; 3. 天津市气象科学研究所, 天津 300000)

**摘要:** 利用常规观测、地面加密自动站及NCEP再分析资料,对2018年6月9—10日上合组织青岛峰会期间海雾发展和消散过程进行了分析,总结了大气能见度预报的着眼点。结果表明:低纬暖湿气流在向岸风的作用下,在青岛沿海附近形成风速辐合和水汽辐合生成海雾,水汽辐合散度增大,海雾处于发展阶段;当切断来自低纬暖湿的水汽输送,水汽辐合减弱或消失,海雾减弱消散。逆温差和最低逆温层高度能更好地体现逆温的强度的变化,最低逆温层高度越低,逆温差越大,则逆温强度越强,海雾厚度增加,逆温开始减弱时,海雾达到最强阶段。

**关键词:** 大气边界层;海雾;水汽输送;最低逆温层高度

**中图分类号:** P732.1 P458 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2021)06-0073-09

### 1 引言

海雾是在海洋影响下出现在低层大气中大气水平能见度小于1 km的天气现象<sup>[1]</sup>。在一定的环流形势下,海气相互作用形成海雾。影响海雾生消的不仅有气象因素,也有水文因素<sup>[2]</sup>。气象因素中气温、湿度和稳定度起着关键性作用,水文因素中海流和表层海水温度的作用最为显著。学者分析认为海洋上大气边界层的温、湿和风的垂直结构对于海雾的形成、发展和消散起着重要的作用<sup>[3-7]</sup>。张苏平等<sup>[8-10]</sup>通过对海雾低空气象水文条件的分析,认为黄海夏季海雾是西风带系统与副热带系统的相互作用,并指出了逆温层在海雾形成过程中的重要作用。春季逆温层是非常明显的季节性逆温,属于强稳定的层结,而夏季温度层结近于等温或者较弱逆温,静力稳定度较春季下降,利于湍流发展,海雾向上发展,因此夏季海雾的厚度一般大于春季。海雾主要发生在常规观测资料稀少的海上,许多学者<sup>[11-16]</sup>基于卫星数据的海雾观测技术开展研究,例如吴晓京等<sup>[15]</sup>用卫星遥感资料分析了黄渤海海雾季

节变化的特征,得出黄海海雾的多发期和罕见期分别在4—6月和8—11月。

青岛位于山东半岛东南沿海,紧邻黄海。国际综合海气数据集(International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set, ICOADS)分析指出<sup>[17]</sup>,4—7月是黄海以及东海和渤海部分海域海雾频发的季节。雾季中海雾频率逐渐增大,6月山东半岛以南海域海雾最大频率达到20%。6月也是青岛附近海域海雾发生频率最高的时期,年平均10 d。统计分析指出<sup>[18-23]</sup>,傍晚17—19时(北京时,下同)和凌晨23—08时两个时间段海雾生成频率最高。2018年6月9—10日上海合作组织青岛峰会(以下简称“峰会”)在青岛召开,9日晚上20—22时有灯光焰火晚会,大气能见度至少达到2 000 m以上烟火表演才有较好的观赏性。作为峰会主会场的青岛国际会议中心在奥帆基地,近10 a的气象资料统计表明,6月9日青岛奥帆基地出现大雾的概率分别为70%和80%。实况监测表明:6月4日开始青岛附近海域出现海雾;6—7日青岛海雾逐渐增强,大气能见度最低值为170 m;8日23时后能见度突然好转,能见度最低

收稿日期: 2020-09-29; 修回日期: 2021-01-21。

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFC1510102)。

作者简介: 黄彬(1971-),女,研究员,硕士,主要从事海洋气象预报技术研究。E-mail: hzbj199928@163.com

值大于2 000 m;9日白天轻雾,能见度在8 000 m左右,傍晚19时后大气能见度开始降低,焰火表演期间大气能见度大于2 000 m,虽然有波动,但在焰火表演期间(9日19—22时),大气能见度维持在3 900~4 400 m,精准的海雾预报是整个气象服务的关键点。

本文针对此次重大气象保障服务,分析了海雾生消变化大气边界层特征,探讨海雾演变的原因,并初步分析能见度阈值的预报。

## 2 资料

(1)本文依据卫星监测海雾形状范围的演变过程,根据 Himawari-8 可见光云图(可见光分辨率0.5 km,红外分辨率1.6 km),采用风云卫星红外双通道量温差技术反演海雾,时间间隔为1 h;(2)欧亚地区高空图,地面加密自动站资料,分辨率为 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ ,美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)提供的FNL再分析资料(Final operational global analysis)水平分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ ,时间间隔为6 h;(3)东北亚区域全球海洋观测系统(NorthEast Asia Region-Global Ocean Observation System, NEARGOOS)的海表温度数据,美国国家环境信息中心(National Centers for Environmental Information, NCEI)的高分辨率海温日值数据(daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature, OISST),日均海温资料分辨率为 $0.25^{\circ}$ ,月均海温资料分辨率为 $1^{\circ}$ 。

## 3 天气概况

### 3.1 形势场分析

2018年6月4日08时500 hPa(图略)冷涡中心位于( $118^{\circ}\text{E}$ ,  $51^{\circ}\text{N}$ )附近,其南部中纬度高空槽位于京津、冀鲁交界和河南省中部一带。700 hPa(图略)槽比500 hPa略偏东。850 hPa(图略)在晋冀鲁豫一带是一个 $16^{\circ}\text{C}$ 的暖中心,925 hPa在同位置也是一个暖中心,有利于形成逆温层。受500 hPa高空槽影响,4日白天山东半岛南部沿海地区及黄海海域出现弱降水,大气边界层内湿度增大。地面图上

(图略),气旋中心也位于( $118^{\circ}\text{E}$ ,  $51^{\circ}\text{N}$ )附近,其南部向南伸到河北和山东交界处形成一个低压槽,黄海以东到日本一带是海上高压,山东处于高压后部,黄海沿岸地区为南到东南风,4日夜间黄海中部开始出现海雾。

6月5日,500 hPa中纬度高空槽东移入海,冷涡缓慢东移,其北侧冷空气旋转南下在冷涡西侧形成横槽。6日08时,500 hPa冷涡底部小股冷空气分裂南下,在河北省东北部到山东半岛形成一个切变,同时中纬度短波槽移入黄海。850 hPa华北地区暖脊发展旺盛,在冀鲁交界处形成一个 $24^{\circ}\text{C}$ 的暖中心,地面图上河北省形成低压中心,山东处于低压前部,受西南气流控制。4号台风“艾云尼”位于海南、广东和广西交界处,受其影响,陆上高压减弱。20时,我国东部地区受东北—西南向的低压带控制,中低纬度地区形成东高西低的形势,黄海沿岸处于高压西部,盛行东南风,边界层再次显著增湿。7日白天,黄淮一带的倒槽减弱,但东高西低的形势不变。6日夜间到7日黄海中部持续出现海雾。

6月8日08时500 hPa冷涡中心已东移入海,高空槽位于内蒙古中部、宁夏、甘肃南部到四川一带,槽前西南气流增强,中纬度环流经向度增大,山东处于槽前的弱高压脊控制。850 hPa冀鲁一带的暖中心减弱为弱的暖脊,同时,随着冷涡东移,朝鲜半岛到黄海为低槽区,山东半岛的风向由南风转为北风。此时地面图上,海上高压东退到日本以东地区,地面倒槽南撤到湖北,地面高压从蒙古国中部向东南一直伸到山东半岛和黄海海域,山东省内大部地区转为偏北风。此时黄海中部虽然仍然有海雾,但强度和范围明显小于7日。随着500 hPa高空槽东移,8日20时环流的经向度继续增大,850 hPa暖脊消失,在山陕交界处部形成一个 $12^{\circ}\text{C}$ 的冷中心,虽然地面上山东受倒槽影响,黄海沿岸仍然是东南风,但仅在8日前半夜短暂出现能见度低于1 km的大雾,后半夜能见度逐渐上升。9日夜间青岛刚好处于切变线和冷涡之间的空档区,既没有出现降水,也没有出现大雾<sup>[24]</sup>。

### 3.2 卫星云图分析

从 Himawari-8 卫星可见光云图上可以看出,6月5日09时黄海北部和山东半岛东南部海域有成



片的海雾,形态类似“公鸡型”,从图1a中可以清晰辨识出青岛附近海域有海雾,此时奥帆基地的能见度只有500 m;14时(见图1b),海雾受日变化影响断裂成片状,青岛附近海雾明显减小,几乎消散,此时奥帆基地能见度接近10 km,到了夜间海雾又开

始发展。6日09时可见光上可见(见图1c),海雾范围明显扩展,大片海雾布满整个黄海,山东半岛东南沿海也有大片的海雾,海雾的形态类似“凸型”,但是卫星反演图上可以看出此时青岛附近海域没有海雾,奥帆基地监测显示能见度大于2 000 m,接

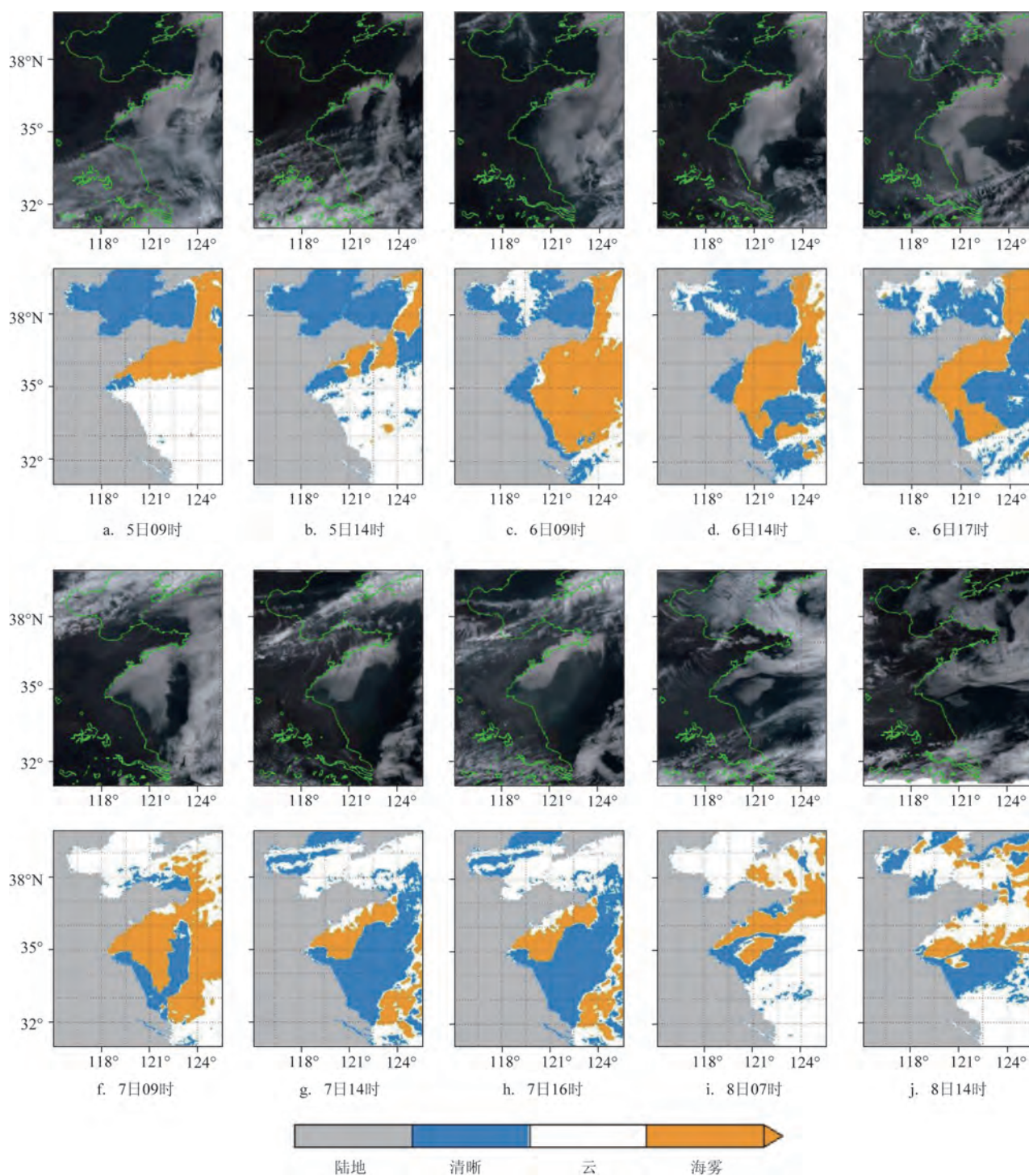


图1 2018年6月5—9日海雾卫星监测(上一行)及反演(下一行)(色标代表反演海雾)

近4 000 m; 14时(见图1d),海雾的形态演变成“品字型”,此时卫星监测仍可以清晰地看出青岛附近没有海雾,奥帆基地的能见度观测大于6 000 m;傍晚17时(见图1e),海雾的形态略有变化,青岛附近海域开始有海雾影响,此时奥帆基地监测的能见度下降,低于2 000 m,到了夜间海雾再次发展延伸。7日09时(见图1f),海雾铺满黄海,海雾形态与6日相比发生明显变化,青岛附近海域有海雾,能见度降低到1 000 m以下;14时(见图1g),海上大范围的海雾消散,只在山东半岛东南沿海有海雾,但是青岛近岸处卫星反演显示是低云非海雾,奥帆基地能见度大于6 000 m(见图1g);16时(见图1h),卫星监测山东半岛东南沿海的“低云”边界光滑且色调柔和,海雾特征逐渐明显,相比14时的低云,16时卫星反演判识为海雾(见图1h),此时奥帆基地监测能见度低于1 000 m,夜间海雾范围扩展。8日06时,渤海、黄海和山东半岛东南沿海有大范围的海雾,卫星反演监测青岛附近海域有海雾(见图1i),7日16时—8日10时能见度监测低于1 000 m。从卫星监测可以清晰地看到,8日的雾与6日和7日不同,呈“丝缕状”,部分透过海雾可见海面。8日11时,海雾范围缩小,此时海雾变得单薄,部分镂空可以看到下垫面海洋,青岛附近是低云,能见度大于2 000 m;14时海雾变得更加稀薄(见图1j),而且有碎片的趋势,青岛附近受海雾和低云共同影响,能见度降低到2 000 m左右;至17时,海上低云增多,且上游山

东半岛有云影响青岛,云层变厚,卫星无法辨识底层是否有海雾。

从卫星监测和反演可以看出,5—9日海雾有明显的演变,形态也有不同的变化,海雾基本在夜间发展扩展,白天影响范围有所减小,5日海雾形成,6—7日是海雾发展阶段,7日海雾最为严重,8日和9日海雾处于减弱阶段。单站点奥帆基地能见度监测分析表明,有海雾时能见度小于2 000 m。

### 3.3 奥帆基地大气能见度实况分析

从奥帆基地能见度随时间的演变可见(见图2),能见度受海雾影响有明显的变化。5—9日最低能见度为170 m,出现在8日05时,最高能见度为11 251 m,出现在5日16时。从奥帆基地能见度时间演变可以看出,5日白天受海雾影响,奥帆基地能见度只有500 m,到了15时青岛附近海雾几乎消散,能见度陡升,16时最高能见度达到11 251 m,只是5日夜间出现了短时间能见度小于1 000 m的大雾,其余时间能见度均大于5 000 m。从卫星监测和反演可以看出,6日白天没有海雾影响青岛附近海域,能见度均大于2 000 m,白天最高能见度出现在14时,为6 388 m,16时海雾向青岛附近海域靠近,能见度从6 284 m陡降到2 991 m,17时青岛附近海域有海雾影响,能见度降至1 955 m,17时—7日05时,能见度平稳维持在2 000 m左右。7日06时卫星监测显示山东半岛东南沿海有大范围的海雾,青岛

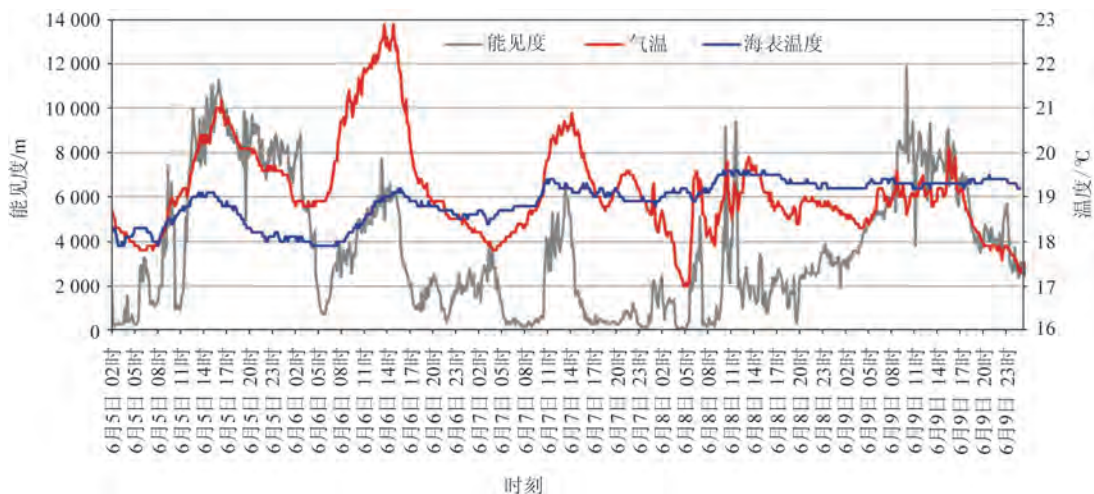


图2 2018年6月5日01时—9日23时青岛奥帆基地能见度、气温和海表温度时间演变图



受其影响,能见度从1 297 m陡降至329 m,至10时能见度一直维持500 m以下,最低能见度为08时的203 m。10时后卫星监测和反演表明青岛近海为低云,奥帆基地能见度转好,能见度迅速上升到3 869 m,14时能见度上升到5 218 m。16时卫星监测分析在山东半岛沿海有海雾,海雾甚至深入内陆,能见度快速降到1 000 m以下,海雾引发的低能见度从7日16时一直持续到8日10时,在这期间能见度保持在500 m以下长达8 h,仅仅在06—07时能见度好转,大于2 000 m,最低能见度出现在8日05时,仅为170 m。11时虽然黄海仍有海雾,但是青岛附近以低云为主,能见度升到9 165 m。13时卫星监测和反演显示青岛附近海域是雾和低云的混合,能见度又迅速下降到2 000 m以下,虽然8日下午能见度开始下降,但并没有像7日那样一直下降,8日13时—9日早晨能见度一直维持在2 000~3 000 m。9日白天能见度上升,大于5 000 m,9日20—23时焰火晚会表演期间能见度在4 000 m上下波动,没有再出现低于2 000 m的大雾,符合焰火晚会表演对能见度的需求。

由上述分析可知,能见度和海雾有很好的一致性。一般来说卫星监测海面上有清晰明辨的海雾,能见度会降低到1 000 m以下,在海雾密实时,能见度只有几百米。海温实况监测表明,海面温度介于5~20℃之间,同时气温温差1~4℃时黄海海雾生成机会最多<sup>[2]</sup>,其中温差1~2℃对海雾生成最为有利<sup>[5-9]</sup>。6月7—9日黄海中部海温17~19℃,2 m气温19~20℃(见图2),满足形成海雾的气海温差条件。从能见度、气温和海温可以看出,海温相对恒定,变化较小,气温和能见度变化曲率保持一致,5—9日当气温升到日最高时,能见度也为当日最好,故能见度有日变化;气温和海温接近时,能见度最低;当气温开始升高时,能见度也随着升高,当气温大于海温2℃时,能见度升高的更快。

下面主要分析海雾发展和减弱发展边界层特征,探讨海雾生消演变以及预报着眼点。

## 4 海雾生消过程大气边界层特征

### 4.1 水汽输送特征

黄彬等<sup>[2]</sup>统计分析影响青岛的雾主要为平流

雾,海雾发生时多为S—SE风。4日20时(见图3a),黄海东海维持一致的S—SE风,有利于将低纬地区暖湿空气输送到青岛沿海地区。东海126°E以东有水汽辐合区域,中心值为 $-10 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,S—SE风将大的湿度区向西北推送到山东沿海附近海域,在青岛沿海积聚形成一个弱的水汽辐合区域,中心值为 $-2 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,5日早上在山东沿海形成海雾。5日20时(见图3b),受台风北上影响,126°E以东水汽辐合区域被切断,水汽来源转变为30°N以南低纬,在浙江沿海—山东沿海形成大范围沿着海岸带水汽辐合“S”带状区域,与4日相比,青岛沿海形成的水汽辐合区域中心值增大,中心值为 $-6 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。6日早上黄海形成大范围海雾。6日20时,在临近江苏和山东的35°N附近的黄海海面上,东南风速达12 m/s,而在奥帆基地附近沿岸的东南风只有6 m/s,向岸风在奥帆基地附近形成强烈的风速辐合,水汽不断在青岛沿海地区聚集,1 000 hPa水汽通量散度在奥帆基地是一个中心为 $-9 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 的水汽辐合中心,青岛附近海域及其上游黄海中部的相对湿度达90%,甚至95%以上。7日20时,31°N以北虽为S—SE风,但是30°N以南S—SE暖湿气流被切断,从流场上看出朝鲜海峡的东北气流转为东南气流,因此不是低纬的东南暖湿气流,而是日本海的东北冷气流,与6日相比,黄海的东南风速减小,奥帆基地风速辐合也减小,水汽辐合区域中心值减小为 $-6 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ (见图3d)。4—7日青岛海雾处于发展阶段,并呈现增强的趋势,7日海雾达到最强,白天仅有短暂的4 h能见度在2 000 m以上,其他时间一直维持在2 000 m以下的低能见度状态。8日20时10 m风场可见(见图3e),由于5号台风北上,34°N以南的海域转为东—东北风,34°N以北—青岛仅仅在122°E以西为东南风,122°E以东已转为偏北风,切断了来自低纬度地区的水汽输送。因此,尽管在青岛附近海域的相对湿度仍然达到90%以上,但是形成平流雾的水汽输送这个首要的物质条件不存在了。9日20时(见图3f),仅青岛沿海地区还维持着弱的东南风,其他海域均已转为东—东北风。从1 000 hPa水汽通量散度可见,8日夜間在青岛沿海地区虽然仍有水汽辐合,但辐合强度明显减弱,9日20时已没有水汽辐合,9日夜間,既没有来自低纬度

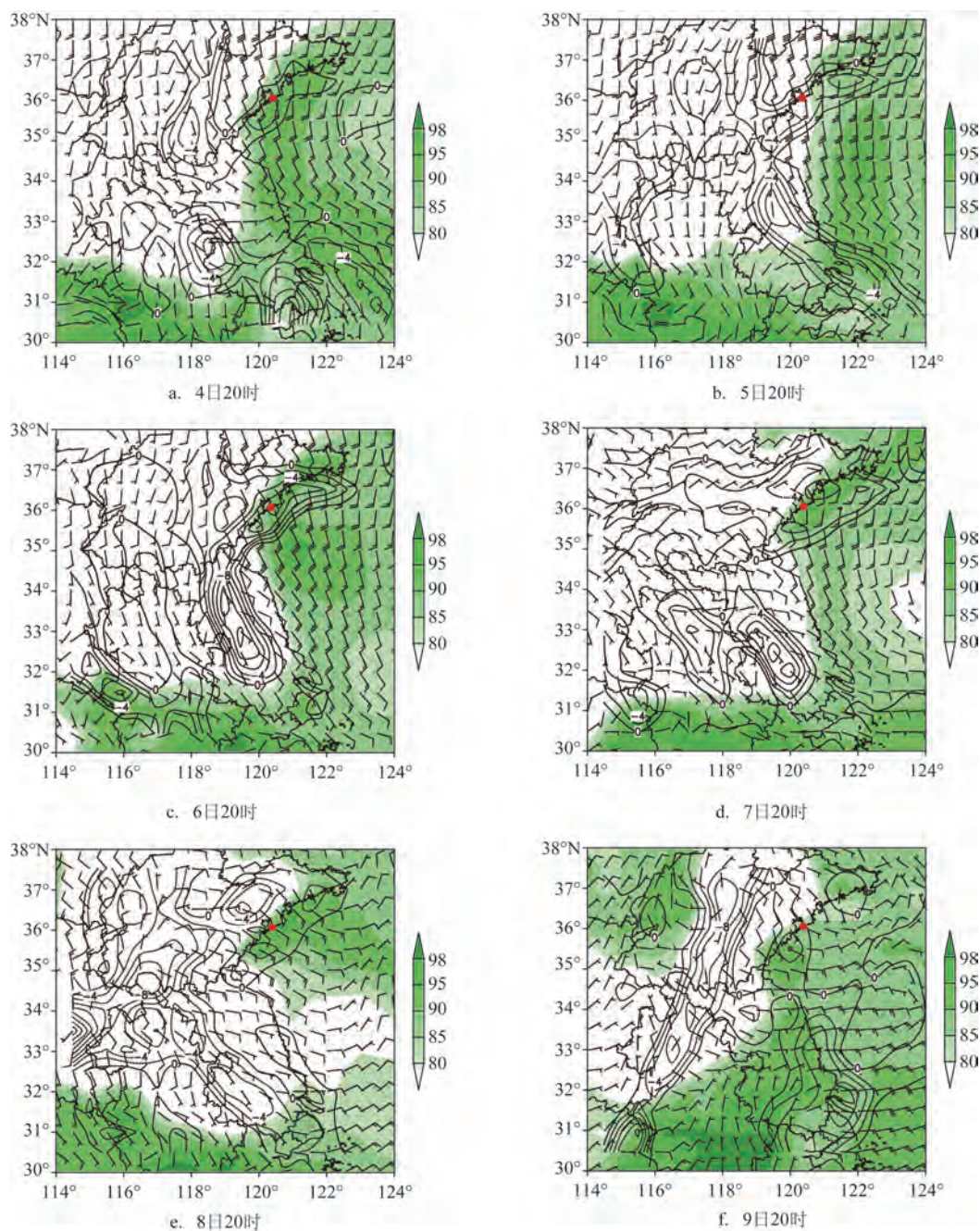


图3 2018年6月4—9日2 m相对湿度(填色,单位:%)、10 m风场(风向杆,单位:m/s)、1 000 hPa水汽通量散度(等值线,单位: $10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ )合成图(红色圆点为奥帆基地)

地区的水汽输送,更没有在青岛沿海地区的水汽辐合,因此没有出现大雾。

#### 4.2 逆温层特征

从探空观测可以看出(见图4),5—8日期间有逆温层,5—7日,850 hPa以下风随高度顺转为暖平

流,有利于逆温层的维持和增强。除了近地面层湿度较大外,整个对流层均为干层,对流层中层的干冷空气产生弱下沉运动,下沉增温也有利于对流层低层逆温层的维持。从7日20时开始,高空冷空气入侵,西北风的高度从前几天的700 hPa向下伸到850 hPa,到8日14时西北风已经基本到达地面,冷



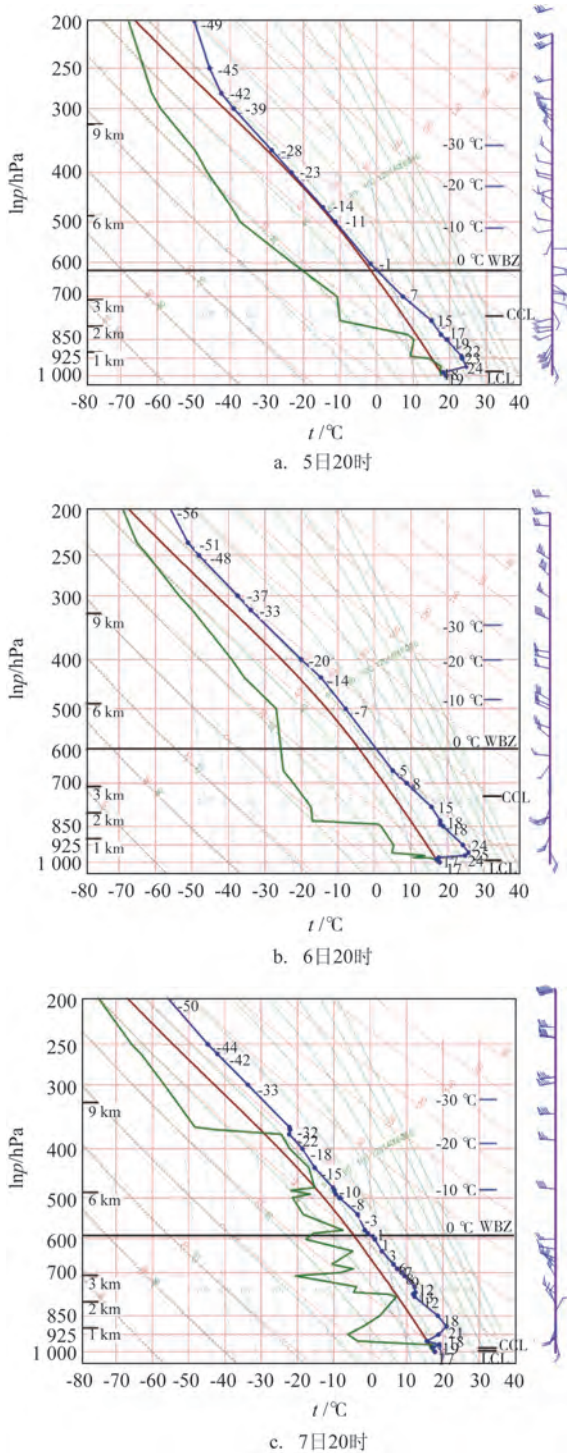


图4 2018年6月5日20时—7日20时青岛站  
 $t$ - $\ln p$ 实况图

空气入侵导致的下沉运动短暂增强了低层的逆温,对应8日20时—9日08时青岛站 $t$ - $\ln p$ 可见,逆温虽然一直存在,但强度是减弱的。研究表明,出现平

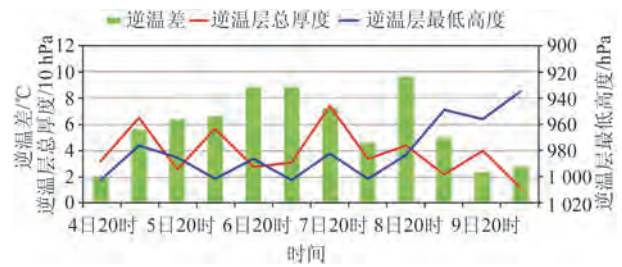


图5 2018年6月4日20时—10日08时青岛站  
逆温时序图

流雾时虽然不一定有逆温,但雾的消散却与逆温层的破坏关系密切<sup>[2]</sup>,因此,9日白天能见度好转后晚上没有出现大雾。

此次海雾过程出现逆温且有多层逆温。为了便于比较逆温强度与海雾的关系,将850 hPa以下出现逆温(或等温)层的次数称为逆温次数,多个逆温层的逆温差之和称为逆温差,逆温层上下层之间的厚度称为逆温层厚度,将多层逆温层厚度之和称为总逆温层厚度,所有逆温层最低层的高度称为逆温层最低高度。由图5可见,逆温层主要特征是白天下降,夜里上升,与太阳辐射的日变化一致。5日20时青岛近地面层出现较强的逆温层,最大逆温差达6.4°C,之后逆温逐渐增强,逆温差不断增强。6日20时逆温增强到最大,最大逆温差高达8.8°C,逆温层高度达到975 hPa。7日08时由于有3层逆温,逆温差仍与6日20时持平,达到8.6°C。最低逆温高度在6日夜间仍然呈下降趋势,说明逆温在6日没有减弱而是增强。7日20时仍然有多层逆温,逆温层高度增加,达到900 hPa,逆温差开始减小。7日08—20时最大逆温层厚度趋势上升,但是逆温差比08时减弱,且最低逆温层高度升高,说明逆温层抬升,且逆温层内温度梯度减小,强度有所减弱。7日20时—8日08时,总逆温差下降,说明逆温强度开始处于下降趋势。8日08—20时,逆温差增大,但逆温层厚度和最低高度也是上升的。8日20时之后,随着冷空气的进一步入侵,逆温差和逆温层厚度均呈下降趋势,且逆温层最低高度上升,逆温整体呈现明显减弱趋势。

综上所述,通过逆温的统计来分析逆温的强度变化趋势,逆温差和最低逆温层高度能更好地体现逆温的强度变化,最低逆温层高度越低,逆温差越

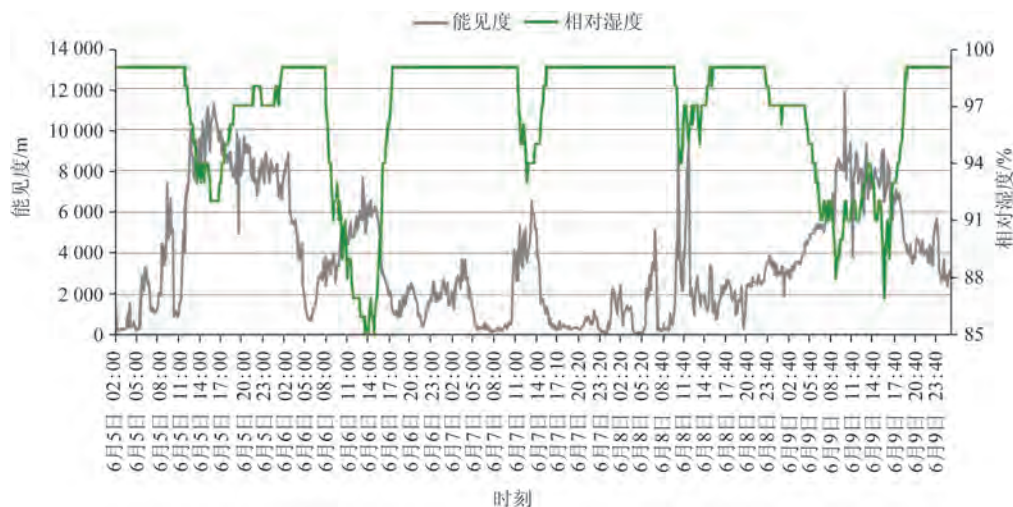


图6 2018年6月5日02时—9日23:40奥帆基地能见度和相对湿度时序图

大,则逆温强度越强。逆温强度增强时,可以理解为海雾内部的湍流运动加强,海雾变厚,海雾处于发展阶段,反之,逆温强度减弱时,逆温层最低高度变高,海雾减弱消散,海雾抬升或转变为低云。

#### 4.3 相对湿度与能见度关系

从能见度和相对湿度的对应关系可以看出(见图6),相对湿度和能见度有一定的对应关系,相对湿度增大时,能见度降低,当相对湿度大于98%时,能见度小于2 000 m,当相对湿度小于94%,能见度大于6 000 m。

## 5 结论与讨论

本文利用卫星监测以及反演、浮标、海岛站、常规观测、地面加密自动站及NCEP再分析资料,针对2018年6月9—10日上合组织青岛峰会海雾发展和消散过程进行了分析,并探讨了单站点海雾(能见度)预报的着眼点。结果表明:

(1)此次青岛峰会期间,4日白天受高空槽影响,山东半岛南部沿海地区及黄海海域出现弱降水,边界层湿度增大,导致4日夜间黄海中部首次出现海雾。5—7日,山东省受500 hPa东北冷涡南部西北气流控制,850 hPa暖温度脊发展,一来形成强劲的逆温层,使得边界层水汽聚积;二来地面减压形成低压,黄海盛行东南风,将中低纬度暖湿空气

源源不断地输送到黄海中部,导致黄海中部持续出现海雾。8—9日,500 hPa中纬度环流经向度增大,850 hPa暖脊减弱,地面东高西低的形势破坏,由东南风转为偏北风,8日雾的强度和范围减小,9日没有出现海雾。

(2)海雾形成的物质基础是低纬暖湿气流,海雾发展阶段,5日东海东部暖湿水汽在S—SE风的推送下在黄海以及青岛沿岸辐合,海雾开始形成;6—7日受台风北上影响,暖湿水汽来源演变为东海以南低纬的暖湿气流,在S—SE风的推送下,青岛沿海附近风速和水汽辐合,且水汽辐合散度增大,海雾处于发展阶段;8—9日江淮切变线东移,黄海东南风转为东北风,奥帆基地附近虽为东南风,却是朝鲜海峡的东北气流在近岸处随着流场顺转形成的东南风,切断了来自低纬暖湿的水汽输送,青岛水汽辐合减弱或消失,海雾减弱消散。

(3)综合应用逆温差、总逆温层厚度和逆温层最低高度的统计分析,能更加细致地刻画逆温层的强度演变趋势。逆温差和最低逆温层高度能更好地体现逆温的强度,最低逆温层高度越低,总逆温差越大,则逆温强度越强,海雾发展。逆温开始减弱时,海雾达到最强阶段;逆温明显减弱,海雾处于减弱消散阶段。

(4)从能见度和相对湿度的对应关系可以看出,相对湿度增大时,能见度降低,当相对湿度大于98%,能见度小于2 000 m,当相对湿度小于94%,能



能见度大于6 000 m。

### 参考文献:

- [1] 王彬华. 海雾[M]. 北京: 海洋出版社, 1983.
- [2] 黄彬, 高山红, 宋煜, 等. 黄海平流海雾的观测分析[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(1): 16-23.
- [3] 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, 2012, 42(6): 16-23.
- [4] 张苏平, 龙景超, 尹跃进, 等. 我国东部沿海一次局地海雾抬升成云过程分析[J]. 中国海洋大学学报, 2014, 44(2): 1-10.
- [5] 黄彬, 王靖, 陆雪, 等. 黄渤海一次持续性大雾过程的边界层特征及生消机理分析[J]. 气象, 2014, 40(11): 1324-1337.
- [6] 王静菊, 高小雨, 高山红. 一次黄海海雾的数据同化试验与形成机制研究[J]. 海洋气象学报, 2017, 37(1): 42-53.
- [7] 王鑫, 黄菲, 周发锈. 黄海沿海夏季海雾形成的气候特征[J]. 海洋学报, 2006, 28(1): 26-34.
- [8] 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.
- [9] 任兆鹏, 张苏平. 黄海夏季海雾的边界层结构特征及其与春季海雾的对比[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(5): 23-30.
- [10] 王凯悦, 张苏平, 薛允传, 等. 夏季低压控制下黄海西北部海域海雾发生气象条件合成分析[J]. 海洋气象学报, 2018, 38(3): 47-56.
- [11] 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.
- [12] 鲍献文, 王鑫, 孙立潭, 等. 卫星遥感全天候监测海雾技术与应用[J]. 高技术通讯, 2005, 15(1): 101-106.
- [13] 钱峻屏, 黄菲, 崔祖强, 等. 基于MODIS数据的海上气象能见度遥感光谱分析与统计反演[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(S1): 58-64.
- [14] 钱峻屏, 黄菲, 王国复, 等. 基于MODIS资料反演海上能见度的经验模型[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(3): 355-360.
- [15] 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.
- [16] 吴晓京, 李三妹, 廖蜜, 等. 基于20年卫星遥感资料的黄海、渤海海雾分布季节特征分析[J]. 海洋学报, 2015, 37(1): 63-72.
- [17] 宋亚娟. 北太平洋海雾发生频率的气候学特征[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [18] 马艳, 郝燕, 王颖. 青岛地区海雾分布特征及风险评估[J]. 中国海洋大学学报, 2014, 44(11): 11-15, 29.
- [19] 江敦双, 张苏平, 陆惟松. 青岛海雾的气候特征和预测研究[J]. 海洋湖沼通报, 2008(3): 7-12.
- [20] 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.
- [21] 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.

## Characteristics of sea fog atmospheric boundary layer and visibility during the Shanghai Cooperation Organization Qingdao Summit in June 2018

HUANG Bin<sup>1</sup>, HOU Shu-mei<sup>2</sup>, WU Zhen-ling<sup>3</sup>, QU Hong-yu<sup>1</sup>

(1. National Meteorological Centre, Beijing 100081 China; 2. Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031 China; 3. Tianjin Institute of Meteorological Sciences, Tianjin 300000 China)

**Abstract:** Based on conventional observations, encryption automatic weather station and NCEP reanalysis data, we analyze the sea fog development and dissipation processes during the Shanghai Cooperation Organization Qingdao summit on 9—10 June 2018, and summarize the key points of the atmospheric visibility forecast. The results show that the sea fog is formed by wind convergence and water vapor convergence along the coast of Qingdao, which is caused by the low-latitude warm and wet airflow under the influence of landward wind. Sea fog develops when the divergence of water vapor convergence increases, and sea fog weakens when water vapor convergence weakens or disappears. Moreover, the inverse temperature difference and the height of the lowest inversion layer reflect the intensity of the temperature inversion. The lower the height of the lowest inversion layer and the greater the inverse temperature difference, the stronger the temperature inversion intensity. When the temperature inversion begins to weaken, the sea fog reaches the strongest stage.

**Key words:** inversion intensity; sea fog; water vapor convergence; height of the lowest inversion layer