

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.

HOU Shumei, YANG Chengfang, WANG Jianlin, et al. Environmental field characteristics of sea fog maintenance and dissipation during the 2018 Shanghai Cooperation Organization Qingdao Summit[J]. Journal of Marine Meteorology, 2019, 39(1): 86-94. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.01.009. (in Chinese)

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

侯淑梅¹, 杨成芳¹, 王建林², 孟宪贵¹, 郭庆利¹, 韩永清¹

(1. 山东省气象台, 山东 济南 250031; 2. 青岛市气象局, 山东 青岛 266003)

摘要: 利用常规观测、地面加密自动站及 NCEP 再分析资料, 针对上合组织青岛峰会的气象服务过程, 对海雾维持和消散两个阶段的气象要素特征进行了分析。结果表明: 1) 当能见度低于 1 000 m 时, 相对湿度为 99%, 能见度介于 1 000~2 000 m 之间时, 相对湿度为 95%~99%。2) 近地面层 30°N 以北黄海海域持续吹东南风, 并在青岛形成水汽辐合中心, 有利于青岛形成海雾; 当东南风转为东北风, 水汽辐合中心减弱或消失时, 海雾趋于消散。3) 在海雾维持阶段, 逆温层最低高度稳定在 980 hPa 以下, 总逆温差逐渐增强, 逆温梯度跃升与海雾强度增强同步; 最大逆温层厚度和逆温层总厚度下降 12 h 后海雾逐渐减弱, 逆温层最低高度上升时能见度也随之上升。4) 白天逆温层之上为下沉运动, 之下为上升运动, 夜间 700 hPa 之下均为上升运动, 且上升运动中心位于逆温层之下, 这种垂直结构有利于逆温层和海雾的维持; 当逆温强度减弱, 垂直运动穿越逆温层贯穿 700 hPa 以下对流层时, 海雾趋于消散。

关键词: 海雾; 逆温强度; 垂直运动; 水汽输送

中图分类号: P458.3; P732.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2019)01-0086-09

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.01.009

Environmental field characteristics of sea fog maintenance and dissipation during the 2018 Shanghai Cooperation Organization Qingdao Summit

HOU Shumei¹, YANG Chengfang¹, WANG Jianlin², MENG Xiangui¹,
GUO Qingli¹, HAN Yongqing¹

(1. Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031, China; 2. Qingdao Meteorological Bureau, Qingdao 266003, China)

Abstract Based on conventional observations, data of intensified automatic weather stations, and NCEP reanalysis data, the meteorological characteristics of the sea fog maintenance and dissipation mechanisms during the 2018 Shanghai Cooperation Organization Qingdao Summit are analyzed. The results are as follows. 1) The visibility lower than 1 000 m corresponds to the relative humidity of 99% and the visibility between 1 000 m and 2 000 m corresponds to the relative humidity between 95% and 99%. 2) When southeasterly winds continuously blow near the surface over the Yellow Sea above 30°N and a water vapor convergence center is formed in Qingdao, it is favorable for the formation of sea fog in Qingdao. The sea fog tends to dissipate when southeasterly winds turn to northeasterly winds and the water vapor convergence center is weakened or disappears. 3) During the sea fog maintenance phase, the lowest inversion layer is stable below 980 hPa, the total temperature inversion difference gradually increases,

收稿日期: 2018-09-27; 修订日期: 2018-11-29

基金项目: 环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM201706); 山东省自然科学基金资助项目(ZR2016DM20); 中国气象局预报员专项(CMAYBY2018-041); 山东省气象局重点科研项目(2016sdqx01)

作者简介: 侯淑梅, 女, 正高级工程师, 研究方向为灾害性天气预报及机理分析, shmh0808@163.com。

and the sharply increasing of temperature inversion gradient synchronizes with the enhancement of the sea fog intensity. The sea fog is gradually weakened 12 hours after the decrease of the maximum and the total thickness of the inversion layers, and the visibility increases with the increase of the lowest inversion layer. 4) Sinking movement happens above the inversion layer and ascending movement below it in the daytime, while ascending movement happens below 700 hPa and the center of ascending movement is below the inversion layer in the nighttime. This vertical structure is favorable for the maintenance of the inversion layer and the sea fog. When the temperature inversion intensity decreases and vertical movement happens throughout the troposphere below 700 hPa, the sea fog tends to dissipate.

Key words sea fog; temperature inversion intensity; vertical movement; transfer of water vapor

引言

海雾是海岸、岛屿或海上低层大气凝结出大量水滴或冰晶,使大气水平能见度小于 1 000 m 的天气现象^[1],通常被认为是着海的云^[2]。由于海上缺少直接观测资料,许多学者开展了基于卫星数据的海雾观测技术的研究^[3-7],为海雾的监测和预报提供了可靠的客观依据。海雾是在海洋影响下出现在低层大气中的天气现象,海洋大气边界层的温、湿、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^[8-11]。因此,影响海雾生消的不仅有气象因素,也有水文因素。在水文因素中,海流和表层海水温度的作用最显著,气象因素中气温、湿度和稳定度起着关键性作用^[12]。在有利的环流形势下,海气相互作用形成海雾^[13-14]。

黄海是我国近海海雾出现最频繁的海区^[15,12],黄海水雾生成范围广,雾的浓度大,影响区域大,甚至延伸到内陆地区,能见度小于 500 m 的大雾占 78%^[16-17]。海雾有不同的类型,如平流雾、混合雾、辐射雾、地形雾等^[1],最常见的是平流雾,即暖湿空气流经冷海面上空发生凝结产生的雾,在海雾生成条件研究中,一般都是针对平流雾而言^[1,18-19],70% 以上的黄海水雾都是平流雾^[12]。

青岛位于黄海北岸,每年 6—7 月是海雾发生频率最高的时期,海雾易于在凌晨 03—06 时和傍晚 17—19 时两个时间段出现^[20]。海雾登陆时,能够深入内陆几十、甚至几百公里,当天气形势稳定少变时,大雾可能持续数日,给青岛沿海地区的海、陆、空及人类的各项活动带来了直接和间接的影响^[21]。上合组织青岛峰会(以下简称峰会)于 2018 年 6 月 9—10 日在青岛召开,代表峰会主会场青岛国际会议中心的自动站为奥帆基地。6 月是青岛海雾高发期,9—10 日出现大雾的概率较高。近 10 a 的气象资料统计表明,6 月 9 日青岛站和奥帆基地

出现大雾的概率分别为 70% 和 80%。峰会当天晚上 20:00—22:00 有灯光焰火晚会,要求能见度至少达到 2 km 以上才具有观赏性。实况 6 月 5—7 日青岛的海雾逐渐增强,因此峰会期间,海雾的预报成为整个气象服务的关键所在。

预报业务中大雾的标准是 1 km,故预报员平时的关注重点是能否出现能见度低于 1 km 的大雾现象。此次服务的能见度阈值是 2 km,这是平时预报中没有关注到的现象,对于 1 km 和 2 km 的能见度预报差异也没有相应的预报经验。各种客观预报方法和数值模式的能见度产品均是基于平时的业务标准而设计,对于能否达到 2 km 的能见度,可参考的数据非常有限。因此,针对此次重大气象服务中遇到的预报难点,总结预报经验,可以为以后类似的气象服务提供客观依据。

文中所用资料为欧亚地区高空图,地面加密自动站资料,分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 、间隔为 6 h 的 NCEP 再分析资料^[22]。用最低能见度及能见度低于 1 km 的持续时间作为衡量海雾强度的标准。

1 天气概况

6 月 9 日 20 时,500 hPa(图 1a)华北冷涡位于京津冀交界处,低纬度地区 4 号台风“艾云尼”已减弱为低压环流位于广东省,5 号台风“马力斯”位于台湾以东的洋面上。700 hPa(图 1b)和 850 hPa(图 1c)冷涡位置与 500 hPa 相同,江淮切变线位于长江下游地区。由于前期两个台风与中纬度天气系统相互作用,导致江淮切变线和华北冷涡的动向摇摆不定,峰会期间青岛天气非常复杂,不利于灯光焰火晚会的风、雨和雾三种天气现象都可能出现。

7 日开始,4 号台风“艾云尼”从海南岛东北侧海域转向东北朝广东省方向移动,江淮切变线随之北抬。由于华北冷涡后部的西北气流较强,江淮切变线在北上的同时向东移动,于 9 日下午进入黄海

中部。9日夜间青岛刚好处于切变线与冷涡之间的空档区(图1b、c),没有出现降水。由于没有降水,

峰会前青岛出现了能见度低于200 m的强浓雾,因此能见度预报成为峰会气象服务的难点。

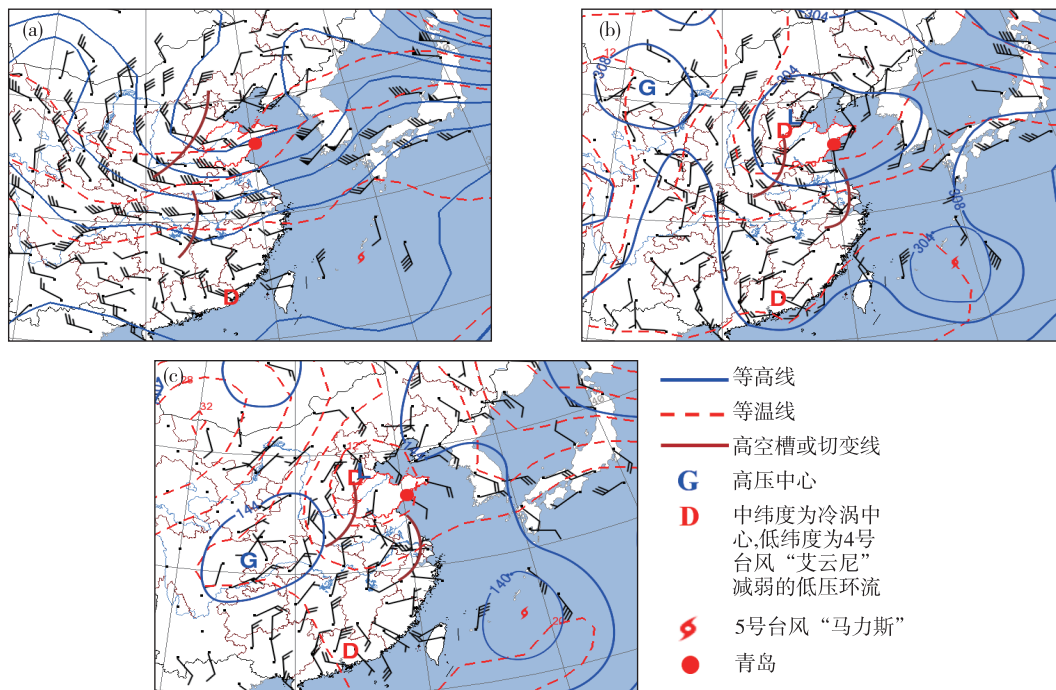


图1 2018年6月9日20时500 hPa(a)、700 hPa(b)和850 hPa(c)高空实况

Fig.1 Synoptic chart at 500 hPa (a), 700 hPa (b), and 850 hPa (c) at 20:00 BST on 9 June 2018

从奥帆基地能见度随时间的演变(图2)可见,能见度有明显的日变化:白天能见度上升,夜间能见度下降。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。4日和5日夜间出现了短时间能见度小于1 000 m的大雾。6日白天全天为轻雾,白天最高能见度在14时为6 388 m,之后能见度迅速下降。7日早晨06时到上午10时能见度一直维持500 m以下,最低能见度为209 m。7日白天能见度短暂上升

后,于下午16时快速降到1 000 m以下并一直持续到8日00时,直到8日上午09时,能见度一直在1 000 m上下波动,仅仅在10—11时能见度好转两个小时,13时又迅速下降到2 000 m以下。8日开始,能见度转好,虽然8日下午能见度又开始下降,但并没有像7日那样一直下降,8日夜间能见度一直维持在2 000~5 000 m。9日白天能见度上升后,9日20—23时能见度在4 000 m上下波动,没有再出现能见度低于1 000 m的大雾。

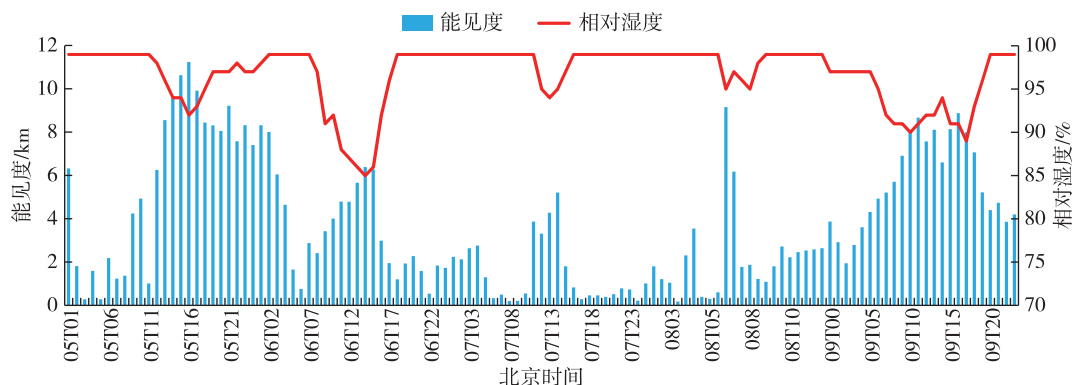


图2 2018年6月5日01时—9日23时青岛奥帆基地能见度(柱状,单位:km)与相对湿度(曲线,单位:%)随时间演变图

Fig.2 Evolution of the visibility (blue bar, units: km) and relative humidity (red curve, units: %) at Olympic Sailing Center from 01:00 BST on 5 to 23:00 BST on 9 June 2018

可见,4日夜間—7日是青岛海雾的维持阶段,7日雾的强度达到最强,最低能见度和海雾持续时间均出现在7日,8—9日海雾处于减弱阶段,9日夜間没有出现海雾。

从相对湿度与能见度的对比发现,当能见度小于1 000 m时,相对湿度均为99%,当能见度介于1 000~2 000 m之间时,相对湿度为95%~99%。

下面分别根据此次海雾维持和减弱两个阶段的气象要素特征,分析促使海雾维持和消散的因子,为海雾预报提供参考。

2 海雾维持阶段的特征

2.1 气海温差

研究表明,海面温度介于5~20℃之间,同时气海温差在1~4℃时黄海海雾生成机会最多^[12],其中1~2℃最为有利^[16,23]。6月7—9日黄海中部海温为19℃,2 m气温为19~20℃(图3a),满足形成海雾的气海温差条件。

2.2 水汽输送

王鑫等^[24]指出,海雾形成的水汽不是由局地提供的,而是靠低空急流从热带大气输送过来。影响

青岛的雾主要为平流雾,海雾发生时多为南—东南风^[12]。由6日20时2 m相对湿度与10 m风场(图3a)可见,在125°E以西宽广的洋面上,从30°N到青岛之间的海域维持一致的南—东南风,有利于将低纬地区暖湿空气输送到青岛沿海地区。同时刻1 000 hPa水汽通量散度(图3b)在奥帆基地是一个中心为 $-8 \times 10^{-7} \sim -10 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽辐合中心,在临近江苏和山东的35°N附近的黄海海面上,东南风速达 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而在奥帆基地附近沿岸的东南风只有 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,向岸风在奥帆基地附近形成强烈的风速辐合,10 m风场也表现出类似的特征。水汽不断在青岛沿海地区聚集,青岛附近海域及其上游黄海中部相对湿度达90%,甚至95%以上。

上述这种特征从4日持续到7日,连续的东南风不断将低纬度的暖湿空气输送到青岛沿海地区,造成青岛连续四天夜间均出现海雾。4—7日青岛持续出现海雾,不仅雾的强度逐渐增强,而且持续时间逐渐延长,7日海雾的强度达到最强,白天仅有短暂的4个小时能见度在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。

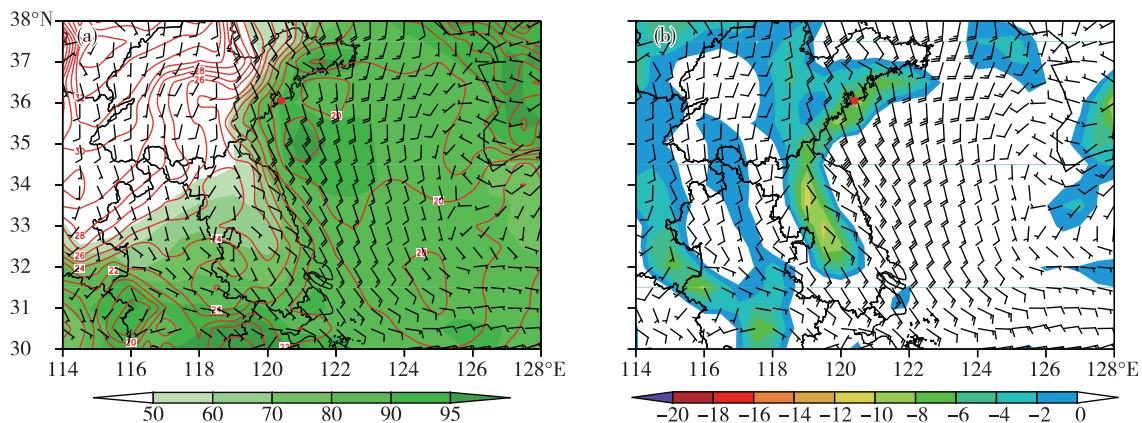


图3 2018年6月6日20时2 m气温(红线等值线,单位:℃)、相对湿度(填色,单位:%)、10 m风场(风矢,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (a)和1 000 hPa水汽通量散度(填色,单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)、风场(风矢,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (b) (红色圆点为奥帆基地)

Fig.3 Temperature (red isoline, units: $^{\circ}\text{C}$) and relative humidity (colored, units: %) at 2 m and wind field (wind barb, units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 10 m (a) & water vapor flux divergence (colored, units: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and wind field (wind barb, units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 1 000 hPa (b) at 20:00 BST on 6 June 2018 (red dot for location of Olympic Sailing Center)

2.3 逆温

大量的研究^[25-27]指出,黄海海雾形成和维持过程中,低层大气中总有逆温或等温层存在。从青岛站的 $t-\ln p$ 图可见,5日20时(图4a)青岛近地面层938 hPa与1 000 hPa之间温差高达6.4℃,之后逆温差逐渐增大,6日20时(图4b)逆温差高达

8.8℃,并且逆温层的厚度增加到1 000 hPa至908 hPa,此后直到7日20时(图4c)一直维持着比较强的逆温。5—7日,850 hPa以下风随高度顺转,有暖平流,有利于逆温层的维持和增强。

由于出现多层逆温,为了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

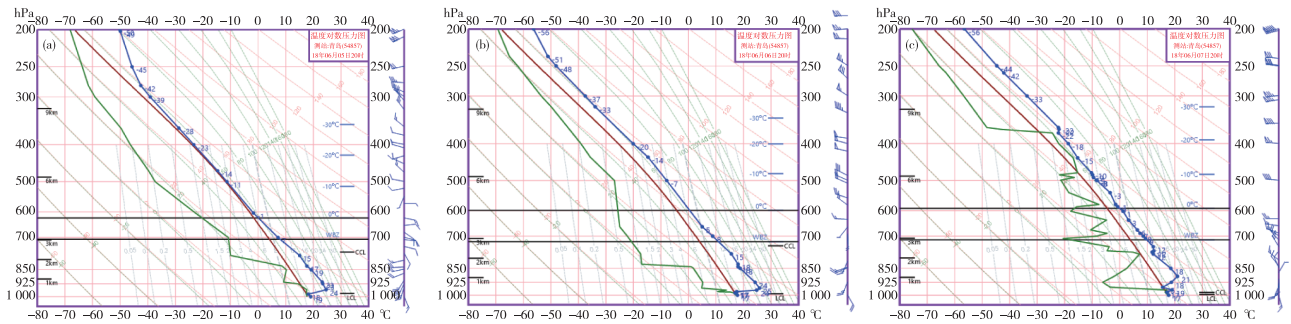


图 4 2018 年 6 月 5 日 20 时(a)、6 日 20 时(b)和 7 日 20 时(c)青岛站 t - $\ln p$ 实况图

Fig.4 The t - $\ln p$ diagram at Qingdao Station at 20:00 BST on 5 (a), 20:00 BST on 6 (b), and 20:00 BST on 7 (c) June 2018

数称为逆温次数,将每个逆温层内上下层温差称为逆温差,将其最大值称为最大逆温差,将多个逆温层的逆温差之和称为总逆温差;逆温层上下层之间的厚度称为逆温层厚度,将其最大值称为最大逆温层厚度,所有逆温层的厚度之和为逆温层总厚度;所有逆温层最低层的高度称为逆温层最低高度;总逆温差除以逆温层总厚度为逆温梯度。由于每日探空的时间是 08 时和 20 时两个时次,将每日 08—19 时和 20 时一次日 08 时之间能见度小于等于 1 km 的时间作为该时段雾持续时间,并挑选出该时段最低能见度数值作为此时间段雾的强度。

4 日 20 时—6 日 20 时,最大逆温差和总逆温差是逐渐增强的。7 日 08 时最大逆温差虽然比 6 日 20 时小,但因为存在多个逆温层,因此总逆温差与 6 日 20 时持平,均达到 8.6 °C。最大逆温层厚度和逆温层总厚度处于波动状态,与海雾的强度没有明显

的对应关系。5 日 08 时—6 日 08 时逆温梯度是逐渐增强的,6 日 20 时逆温梯度从 08 时的 0.1 158 °C · hPa⁻¹ 跃升为 0.3 143 °C · hPa⁻¹,达到此次海雾持续阶段的最强强度,与海雾持续时间的上升趋势一致。逆温层最低高度在海雾的持续阶段一直在 980 hPa 以下处于波动状态。在 6 日 20 时—7 日 20 时海雾强度最强时段内,总逆温差维持在 6 °C 以上,最大逆温层厚度和逆温层总厚度呈上升趋势,7 日 20 时逆温层总厚度达到整个海雾过程的最大值 74 hPa。

可见,在海雾的维持阶段,总逆温差是逐渐增强的,在海雾最强阶段稳定在 6 °C 以上,逆温层最低高度稳定在 980 hPa 以下波动。逆温梯度跃升时,海雾的强度也增强。最大逆温层厚度、逆温层总厚度和最大逆温差与海雾的强度没有明显的对应关系。

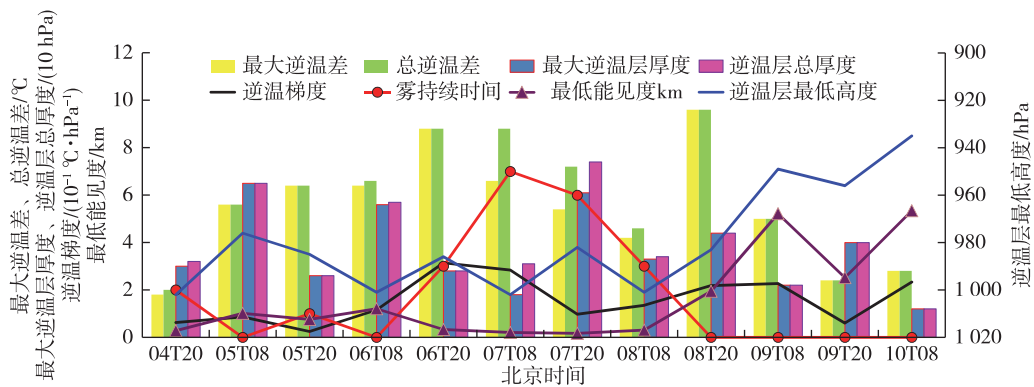


图 5 2018 年 6 月 4 日 20 时—10 日 08 时青岛站逆温与海雾时序图

Fig.5 Evolution of temperature inversion and sea fog at Qingdao Station from 20:00 BST on 4 to 08:00 BST on 10 June 2018

2.4 垂直运动

从奥帆基地上空的时间-高度剖面图(图 6)可见,4 日夜间—7 日夜间,850 hPa 以下的垂直运动有明显的日变化:14 时逆温层以上为弱下沉、逆温

层以下为弱上升运动,20 时—08 时 700 hPa 以下均为弱上升运动,上升运动中心位于逆温层以下。下沉运动主要集中在 850 ~ 900 hPa,下边界以下 950 hPa 是 24 °C 的暖中心,说明白天空气的下沉增

温对逆温层的维持和增强起到一定的积极作用。上升运动主要集中在 925~1 000 hPa 之间,处于逆温层之下,有利于将地面的水汽在逆温层内抬升凝结形成雾。5—7 日,一直维持着这种垂直运动的结构,且垂直运动逐渐增强,对应着 7 日雾的持续时间最长、强度也最强。

7 日 14 时 775~975 hPa 均为下沉运动,下沉运动伸入到逆温层内部,且下沉运动强度由 5—6 日的 $-1 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 增强到 $-4 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。从风场变化发现,此时 875~775 hPa 为西北风,而之前一直都是西南风,说明此时有弱冷空气入侵。弱冷空气入侵虽然导致 950 hPa 的暖中心强度减弱,同时也造成近地面层气温下降,因此,近地面层的相对湿度仍保持在 95%。7 日 20 时继续受弱冷空气影响,辐射降温加之冷空气降温,地面气温降到 19.1 °C,相对湿度高达 99%,能见度降至 390 m。

可见,白天逆温层上面是下沉运动,下面是上升运动,夜间 700 hPa 以下均为上升运动,且上升运动中心位于逆温层之下,既有利于逆温的维持,也有利于雾的形成和持续;弱冷空气入侵初期,地面气温下降,雾的强度增强。

3 海雾减弱阶段的特征

3.1 水汽输送

由 8 日 20 时 10 m 风场可见(图 7a),由于 5 号台风“马力斯”北上,受其北侧环流影响,34°N 以南的黄海海域转为东—东北风,34°N 以北到青岛之间仅仅 122°E 以西为东南风,122°E 以东已转为偏北风。9 日 20 时(图 7b),这种情况更加严重,仅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,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,但是形成平流雾最重要东南风水汽输送这个首要条件不存在了。由同时刻的 1 000 hPa 水汽通量散度(图略)可见,8 日夜间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。因此,9 日夜间,既没有来自低纬度地区的水汽输送,更没有在青岛沿海地区的水汽辐合,因此没有出现大雾。

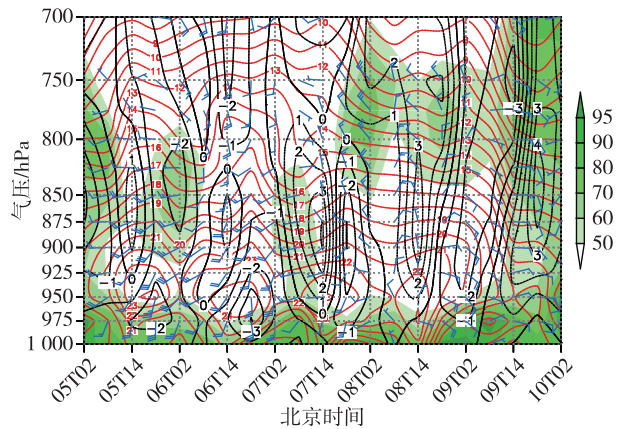


图 6 2018 年 6 月 5 日 02 时—10 日 02 时奥帆基地时间-高度剖面图(红色等值线为气温,单位:°C;黑色等值线为垂直速度,实线上升、虚线下沉,单位: $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$;填色为相对湿度,单位:%;风矢为水平风,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig.6 Time-height cross section at Olympic Sailing Center from 02:00 BST on 5 to 02:00 BST on 10 June 2018 (red isoline for temperature, units: °C, black isoline for vertical velocity, solid line for ascending movement, dashed line for sinking movement, units: $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$; colored area for relative humidity, units: %; wind barb for horizontal wind, units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

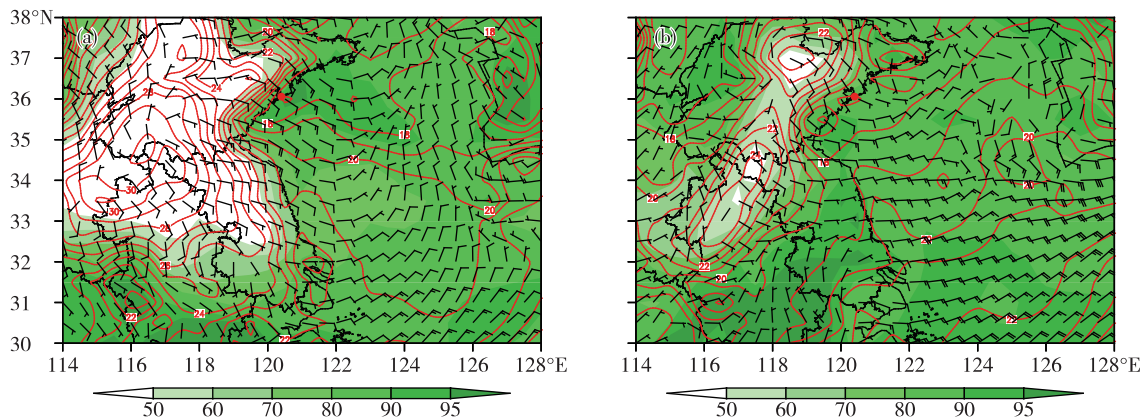


图 7 2018 年 6 月 8 日 20 时(a)、9 日 20 时(b) 2 m 气象要素(图例与图 3a 相同)

Fig.7 Meteorological elements at 2 m at 20:00 BST on 8 (a) and 20:00 BST on 9 (b) June 2018 (graphic symbols are the same as in Fig.3a)

3.2 逆温

由青岛站8日20时—9日08时 t - $\ln p$ 图(图8)可知,逆温虽然一直存在,但强度是逐渐减弱的。从图5可见,8日08时开始雾的持续时间呈下降趋势,最低能见度呈上升趋势,雾的强度逐渐减弱,此时逆温层最低高度与最低能见度的变化趋势一致。

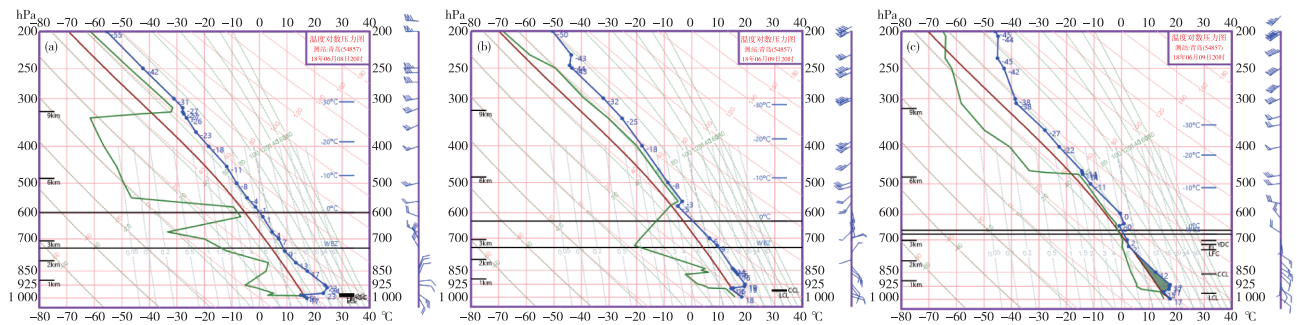


图8 2018年6月8日20时(a)、9日08时(b)和9日20时(c)青岛站 t - $\ln p$ 实况图

Fig.8 The t - $\ln p$ diagram at Qingdao Station at 20:00 BST on 8 (a), 08:00 BST on 9 (b), and 20:00 BST on 9 (c) June 2018

因此,最大逆温层厚度和总逆温层厚度陡降,且最低逆温层高度上升,说明逆温层一方面被抬升,另一方面厚度变薄,能较好地代表逆温强度减弱,对海雾的消散预报有较好的指示意义。有研究表明,出现平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^[12]。此次海雾过程虽然逆温层没有完全破坏,但逆温的强度明显减弱,不利于水汽在近地面层聚集,因此9日白天能见度转好后晚上没有出现大雾。

3.3 垂直运动

从2.4节的分析可知,7日14时对流层中下层弱冷空气入侵的初期有利于逆温层下雾的强度增强。随着冷空气持续入侵,8日08时下沉运动穿越逆温层,700 hPa以下是一致的下沉运动,并且下沉运动一直持续到8日20时。此时虽然仍有逆温,但受冷空气影响,逆温的强度减弱。8日20时925 hPa以下转为东南风,下沉运动减弱,垂直运动为 $0 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。9日02时,850 hPa以下均转为东南风,垂直运动也转为弱上升运动,但是此时的逆温层已明显减弱,950 hPa的暖中心消失,上升运动向上一一直贯穿700 hPa以上,虽然近地面有水汽凝结,相对湿度增大到97%,但是由于逆温层减弱,上升运动穿越逆温层,水汽无法在近地面层聚集,因此最低能见度只降到1.9 km,且只出现1 h后能见度开始上升。

9日白天,奥帆中心处于江淮切变线前部,整个对流层均是偏南风,因此在850~700 hPa出现上升

最大逆温层厚度和总逆温层厚度从7日20时开始迅速下降,12 h下降幅度分别为28 hPa和40 hPa,比雾的强度减弱时间提前12 h,而最大逆温差和总逆温差在8日20时上升后,9日08时才开始下降,明显滞后于海雾强度减弱时刻,对海雾减弱没有指示意义。

运动(图6),将低层水汽抬升形成云,逆温进一步减弱,水汽无法在近地面聚集。9日夜间500 hPa冷空气入侵导致整个对流层均处于下沉运动,同时逆温层破坏,因此没有再形成雾。

可见,弱冷空气持续入侵后,深厚的下沉气流深入逆温层,逆温强度逐渐减弱,无论是下沉运动,还是上升运动,均突破逆温层,不利于水汽在逆温层内聚集,导致雾的消散。

4 本次海雾过程的预报思路

预报业务中大雾的标准是1 km,因此平时的关注重点是能否出现低于1 km的大雾现象。9日晚上20—22时的灯光焰火晚会要求能见度需达到2 km以上才具有观赏效果,否则演出不能正常进行。这是平时预报中没有关注到的现象,对于1 km和2 km的能见度预报差异也没有相应的预报经验。各种客观预报方法和数值模式的能见度产品均是基于平时的业务标准而设计,对于能否达到2 km的能见度,可参考的数据非常有限。

基于上述困难,本次服务主要从以下两个方面着手,首先从海雾形成的机理进行分析,虽然海温、气海温差、相对湿度以及前期实况均具备9日可能出现大雾的条件,但是逆温强度减弱、黄海东南风转为东北风向以及垂直运动突破逆温层,均预示着海雾将逐渐减弱而不再持续。其次,对临近几天的实况进行精细的对比发现,虽然7日的海雾持续时间长、雾的强度强,但从8日的实况发现,8日夜间

黄海海雾的强度明显比7日弱,说明上述基于海雾形成机理的分析是可信的。以此类推,9日海雾将继续减弱,能见度至少不会低于8日夜间,因此才可以做出9日晚能见度可达2 km、甚至3 km以上的结论。

5 结论与讨论

本次峰会期间青岛海雾维持和消散阶段气象要素的特征如下:

1)气海温差为1~2℃,为海雾形成提供有利的背景条件。

2)当能见度小于1 km时,相对湿度均为99%,当能见度介于1~2 km之间时,相对湿度为95%~99%。

3)近地面层30°N以北黄海海域持续吹东南风,并在青岛形成水汽辐合中心,有利于水汽在青岛沿岸聚集形成海雾。当东南风转为东北风,水汽辐合中心减弱或消失时,海雾趋于消散。

4)在海雾维持阶段,逆温层最低高度稳定在980 hPa以下波动,总逆温差逐渐增强,在海雾最强阶段稳定在6℃以上,逆温梯度跃升与海雾强度增强同步。最大逆温层厚度和逆温层总厚度下降12 h后海雾逐渐减弱,逆温层最低高度上升时能见度也随之上升。

5)最大逆温层厚度、逆温层总厚度和最大逆温差与海雾维持阶段的强度没有明显的对应关系。最大逆温层厚度和逆温层总厚度陡降,且最低逆温层高度上升,能较好地代表逆温强度减弱,对海雾的消散预报有较好的指示意义。最大逆温差和总逆温差对海雾减弱没有指示意义。

6)白天逆温层上面是下沉运动,下面是上升运动,夜间700 hPa以下均为上升运动,且上升运动中心位于逆温层之下,既有利于逆温的维持,也有利于雾的形成和持续。弱冷空气入侵初期,地面气温下降,雾的强度增强。冷空气持续入侵,逆温层强度减弱,垂直运动穿越逆温层,雾将消散。

做好气象服务的前提是掌握服务需求,重大气象服务需求可能与平时业务的关注点不同,这是在重大气象服务中需要特别注意的。此次能见度预报的阈值是2 km,而不是预报业务中雾的标准1 km。模式对于能见度的预报仍然有较大的误差^[28-29],目前业务应用的数值模式,无论是全球模式,还是区域模式,其要素预报的准确率远远低于其形势预报的准确率,精细化的定时、定点、定量预

报仍然非常困难。因此,掌握各种天气现象形成的机理,分析天气形势的演变趋势,提高对影响天气系统演变的关键因素的分析能力,才能做出相对可靠的天气预报。

参考文献:

- [1] 王彬华.海雾[M].北京:海洋出版社,1983:2.
- [2] 傅刚,王菁茜,张美根,等.一次黄海海雾事件的观测与数值模拟研究[J].中国海洋大学学报,2004,34(5):720-726.
- [3] 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.
- [4] 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(B10):58-64.
- [5] 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(自然科学版),2006,36(3):355-360.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 张苏平,任兆鹏.下垫面热力作用对黄海春季海雾的影响——观测与数值实验[J].气象学报,2010,68(4):439-449.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 刁学贤.青岛及近海海雾的统计分析[J].海洋预报,1992,9(3):45-55.
- [17] 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.
- [18] LEIPPER D F. Fog on the U.S. west coast: A review[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1994,75(2):229-240.
- [19] LEWIS J M, KORAĆIN D, REDMOND K T. Sea fog research in the United Kingdom and United States: A historical essay including outlook[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2004,85(3):395-408.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] SAHA S, MOORTHI S, PAN H L, et al. The NCEP climate forecast system reanalysis[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2010,91(8):1015-1057.
- [23] 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.
- [24] 王鑫,黄菲,周发琇.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.
- [25] 盛立芳,梁卫芳,王丹太,等.海洋气象条件变化对青岛平流雾过程的影响分析[J].中国海洋大学学报,2010,40(6):1-10.
- [26] 杨悦,高山红.黄海海雾天气特征与逆温层成因分析[J].中国海洋大学学报,2015,45(6):19-30.
- [27] 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.
- [28] 高荣珍,李欣,时晓曦,等.基于WRF模式的青岛近海能见度算法比较研究[J].海洋气象学报,2018,38(2):28-35.
- [29] 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.