

舟山市2025年4月9~12日一次持续性海雾事件分析

冀蕊¹, 何执政^{2*}, 陈梅汀¹, 陈晔峰³

¹舟山市气象局气象台, 浙江 舟山

²舟山市气象局气象服务中心, 浙江 舟山

³浙江省气象科学研究所, 浙江 杭州

收稿日期: 2025年6月15日; 录用日期: 2025年7月14日; 发布日期: 2025年7月21日

摘要

本文基于自动站资料和ERA5再分析资料, 对2025年4月9~12日舟山一次持续性海雾事件进行了综合分析。研究发现, 该事件呈现多次生成、消散、再生成的复杂过程, 其中第三次过程影响最大, 低能见度站点占比达75%, 能见度多在200米以下。环流背景复杂, 弱波动、均压场、倒槽及低压系统等先后影响, 导致地面偏南风 and 东南风盛行, 利于海上水汽输送。四次过程均存在深厚逆温层, 利于水汽在近地层积累, 促使海雾过程反复发生。

关键词

海雾, 水汽输送, 逆温

A Study on a Persistent Sea Fog Event in Zhoushan from April 9 to 12, 2025

Rui Ji¹, Zhizheng He^{2*}, Meiting Chen¹, Yefeng Chen³

¹Meteorological Observatory, Zhoushan Meteorological Bureau, Zhoushan Zhejiang

²Meteorological Service Center, Zhoushan Meteorological Bureau, Zhoushan Zhejiang

³Zhejiang Institute of Meteorological Sciences, Hangzhou Zhejiang

Received: Jun. 15th, 2025; accepted: Jul. 14th, 2025; published: Jul. 21st, 2025

Abstract

Based on automatic weather station data and ERA5 reanalysis data, this study conducts a

*通讯作者。

文章引用: 冀蕊, 何执政, 陈梅汀, 陈晔峰. 舟山市 2025 年 4 月 9~12 日一次持续性海雾事件分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(4): 735-742. DOI: 10.12677/ccrl.2025.144073

comprehensive analysis of a persistent sea fog event in Zhoushan from April 9 to 12, 2025. The results show that the event exhibited a complex process of multiple occurrences, dissipation, and re-occurrences. The third process had the most significant impact, with 75% of the stations experiencing low visibility and most visibilities below 200 meters. The circulation background was complex, with weak troughs in the westerly airflow, quasi-stationary pressure fields, inverted troughs, and low-pressure systems successively affecting the region. These conditions led to prevailing southerly and southeast winds, which facilitated the transport of abundant water vapor from the sea. All four processes featured a deep inversion layer, which facilitated the accumulation of water vapor in the near-surface layer and contributed to the persistence of dense fog.

Keywords

Sea Fog, Water Vapor Transport, Inversion

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

海雾发生在海上大气边界层内,其内部悬浮的小液滴或小冰晶对可见光进行吸收和散射,导致大气水平能见度减小[1]。海雾可以深入几十公里或更远的陆地,相较于离岸较远的宽阔海域发生的海雾,沿海大陆和近岸海域发生的海雾的特征以及成因更为复杂。与此同时,沿海大陆和近岸海域交通密集、作业丰富,海雾可对其产生严重的影响,需引起重视。舟山市位于长江口南侧、杭州湾外缘的东海海域,是我国重要的群岛型城市,其天气气候和海洋有着密切的联系。海雾是舟山发生频率较高的灾害性天气之一,海雾可对渔业、旅游业、船舶运输业等造成严重的影响,而这些紧密联系着舟山的经济和民生。

因舟山海雾频发,且地理位置特殊,有许多学者对舟山的海雾天气进行研究。在陈梅汀等[2]的关于舟山海雾特征及其对数值模式的初步订正的研究中,发现舟山的海雾事件的发生往往伴随着类似的大尺度天气条件。这些海雾事件可以根据地面气象形势被归类为低槽(低压)型、高压后部型、高压底部型以及两高间均压型。在这些类型中,倒槽型是最常见的,占据了超过半数的案例;而高压后部和底部型则相对较少;两高间均压型则是最为罕见的。徐燕峰等[3]对舟山海域春季海雾发生规律和成因分析的研究中指出,舟山海域 3~6 月是海雾多发期,海雾一般在下半夜到早晨或傍晚生成;舟山海雾的形成需要适宜的风向、风速、湿度和海气温差等条件;此外,也有一些学者针对于浙江沿海、长江口等包括舟山在内的更大范围的区域进行了研究,结果表明,稳定的偏南风或偏北风进行水汽输送、逆温层的存在等条件,有利于水汽一直聚积在大气低层,进而有利于海雾的维持和加强[4] [5]。

在 2025 年 4 月 9 日至 12 日期间,舟山经历了一场大规模且持续时间较长的海雾过程。这场海雾呈现出多次生成、消散、再生成的复杂变化特征,给海上交通等诸多方面带来了严重的干扰和不利影响。因此,本文将从环流背景、水汽输送特性以及温湿度的垂直分布等多个角度出发,对此次海雾事件进行深入探讨和分析,旨在揭示其形成机制和发展规律,为今后的海雾监测和预警提供科学依据。

2. 资料与方法

2.1. 资料

本研究使用的观测数据来源于浙江省舟山市全市自动气象站,涵盖 2025 年 4 月 9~12 日的小时最小能见度观测数据,同时使用了欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts,

ECMWF)的 ERA5 再分析资料(水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, 时间分辨率为 1 小时, 垂直方向有 37 层), 包括位势高度、海平面气压、相对湿度、温度、露点和风向风速等要素, 时间范围与观测资料一致。

2.2. 方法

利用 Magnus-Tetens 近似法[6]-[8], 通过 ERA5 数据的 2 m 温度和 2 m 露点计算 2 m 相对湿度, 具体公式为:

$$RH = 100 \cdot \exp \left(\frac{a \cdot T_d}{b + T_d} - \frac{a \cdot T}{b + T} \right) \quad (1)$$

式中为 RH 相对湿度, T 和 T_d 分别为温度和露点温度(单位: K), 常数和分别为 17.27 和 237.7。

为准确刻画大气中水汽的输送和分布变化, 我们常借助水汽通量和水汽通量散度这两个重要物理量来进行分析和研究, 本文中计算了海雾时次 1000 hPa 水汽通量和水汽通量散度, 水汽通量的计算公式为:

$$Q = q \cdot \bar{v} \quad (2)$$

其中, 为 q 比湿, 表示单位质量空气中所含水汽的质量, 单位为 kg/kg; $\bar{v}$ 为风速矢量, 单位为 m/s。

水汽通量散度的计算公式为:

$$\nabla \cdot Q = \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \quad (3)$$

其中, Q_x 和 Q_y 分别为水汽通量的东向和北向分量, 水汽通量散度小于 0 意味着周围的水汽在向该区域汇聚, 水汽通量散度大于 0 意味着该区域的水汽在向周围扩散。

3. 结果与分析

3.1. 时间演变

能见度是海雾过程的最直接表征, 依据国家气象中心制定的分类标准, 若能见度介于 200 米至 500 米, 则被视为大雾; 而当能见度在 50 米至 200 米之间时, 被定义为浓雾; 最为严重的特强浓雾, 其能见度则低于 50 米。气象业务服务上常以 500 米为阈值, 进行相应的预警和服务。因此, 图 1 绘制了海雾过程中能见度小于等于 500 米站点个数随时间的变化。图 1 展示了海雾的 4 次明显的生消变化, 4 次过程中, 能见度小于 500 米的站点个数最大值为 69, 占总站点(92 个)的 75%, 其余几次过程中能见度小于等于 500 米站点个数在 30 至 40 之间。

3.2. 空间分布

在图 1 中, 我们选取了四次能见度生消过程的站点数峰值对应时间作为典型时次, 具体为 4 月 9 日 8 时、4 月 9 日 23 时、4 月 11 日 6 时和 4 月 11 日 22 时。图 2 展示了上述典型时次的能见度空间分布情况。从图 2 中可以观察到, 在第 3 次过程中, 海雾的覆盖范围最为广泛, 几乎笼罩了整个舟山市。而在其它 3 次过程中, 低能见度区域主要集中在舟山东部及东南部沿海地带。就强度而言, 第 3 次过程的力度最为强劲, 能见度低于 200 米的站点数量显著增多。

3.3. 环流背景

合理的大气环境配置是持续性海雾事件发生的重要条件, 因此需深入探究此次事件的环流背景场。

图 3 展示了 850 hPa 的环流形势。过程 1 中, 850 hPa 处于西风气流中的弱波动前; 过程 2 中, 弱波动已移至海上, 舟山受均压场控制, 风速较小; 过程 3 中, 台湾地区至舟山一带形成倒槽, 舟山受西南气流影响; 过程 4 中, 安徽 - 江西 - 湖北一带的低压系统使舟山受西南或偏南气流控制, 且风速较大。

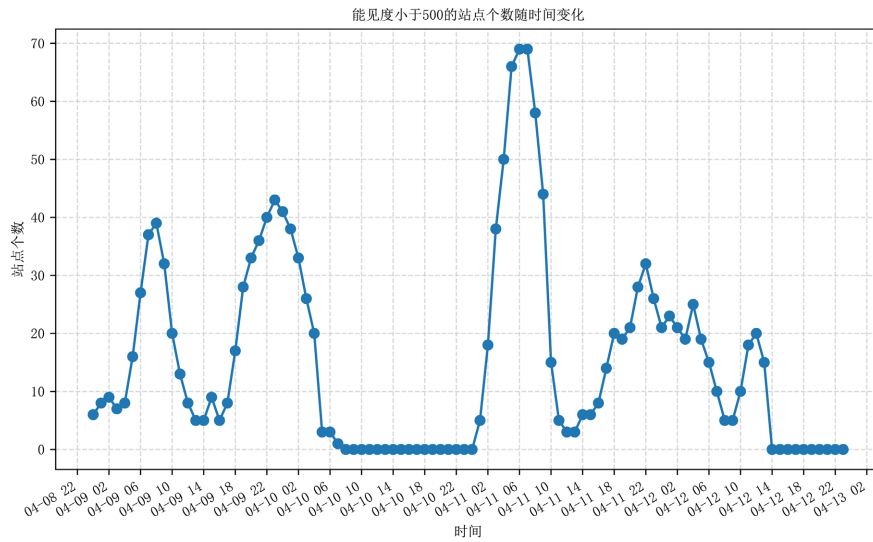


Figure 1. Variation in the number of sites with visibility below 500 meters over time
图 1. 能见度小于 500 米的站点个数随时间变化

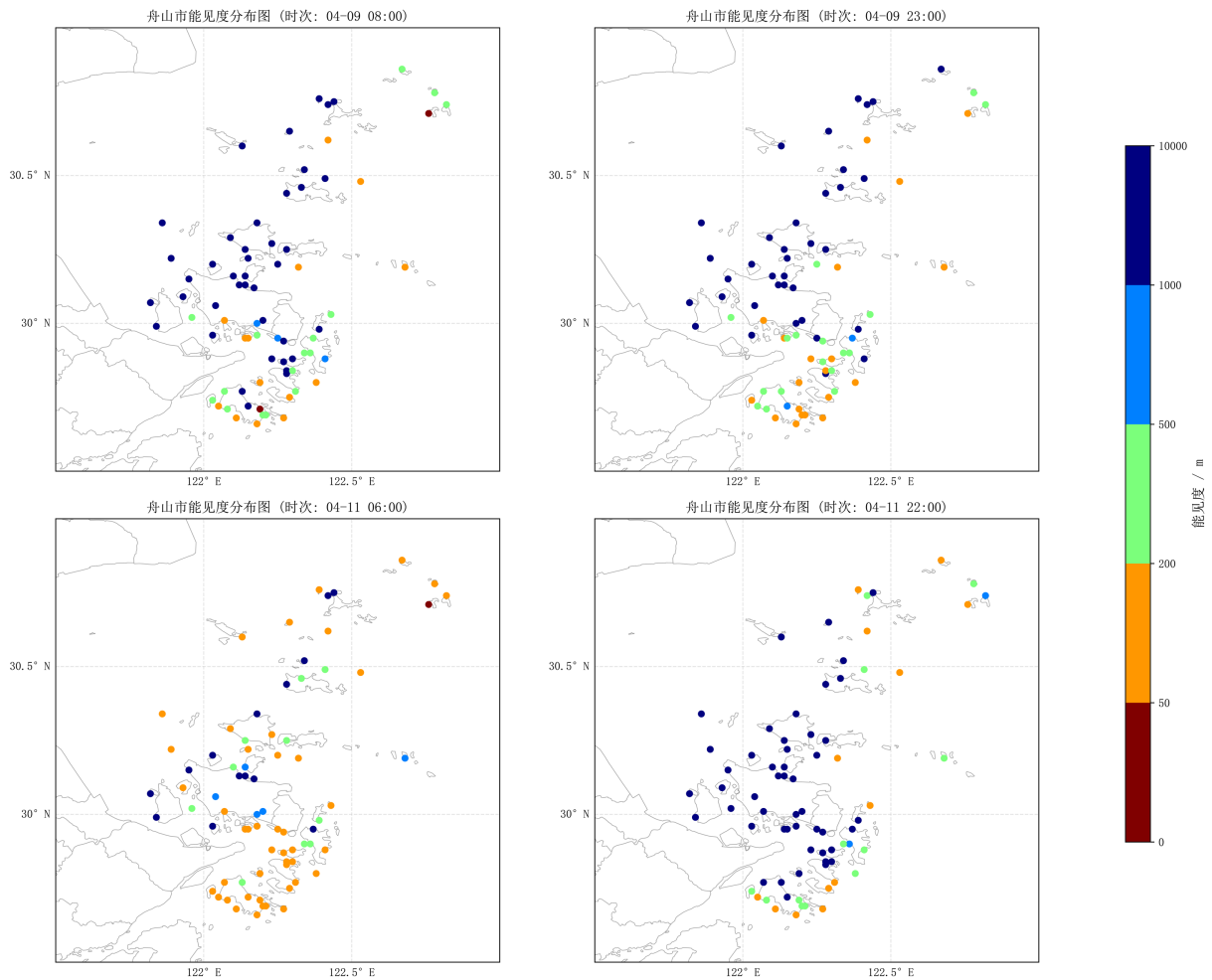


Figure 2. Spatial distribution of visibility at typical time steps
图 2. 典型时次能见度的空间分布

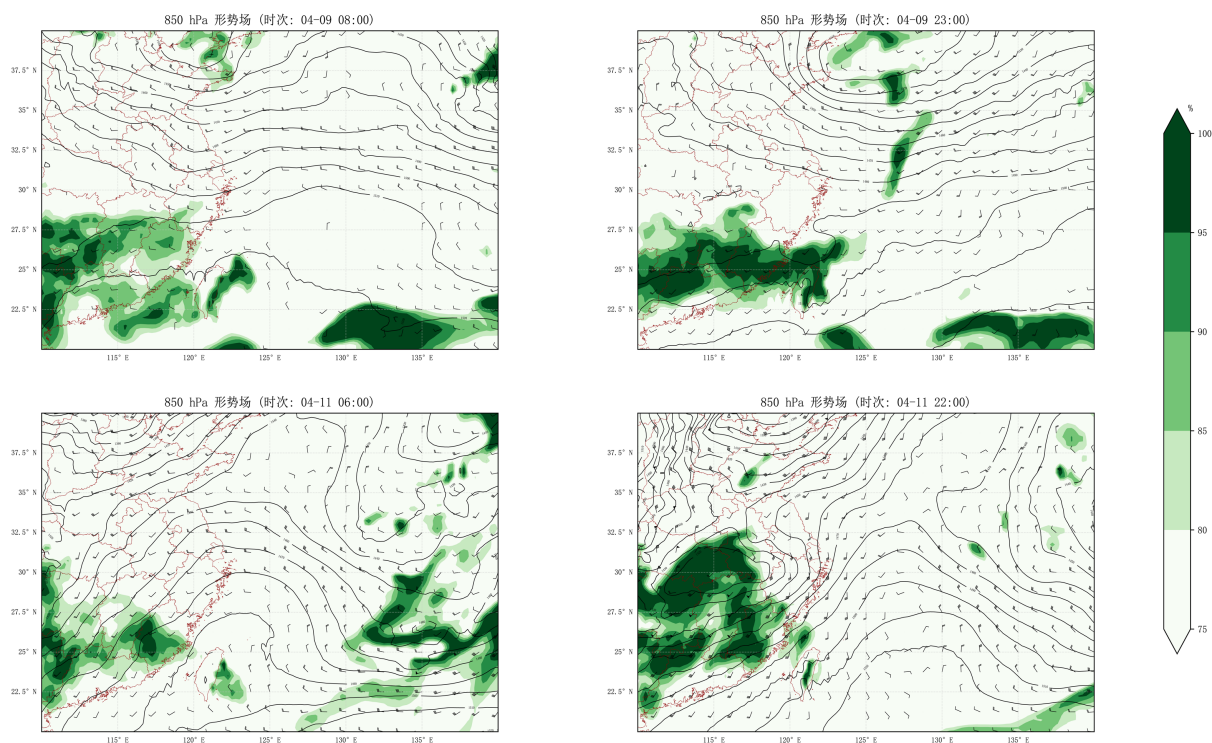


Figure 3. 850 hPa circulation, with contour lines representing geopotential height, color shading indicating relative humidity, and wind barbs showing wind direction and speed

图 3. 850 hPa 环流形势场，等值线代表位势高度，色斑代表相对湿度，风向杆代表风向风速

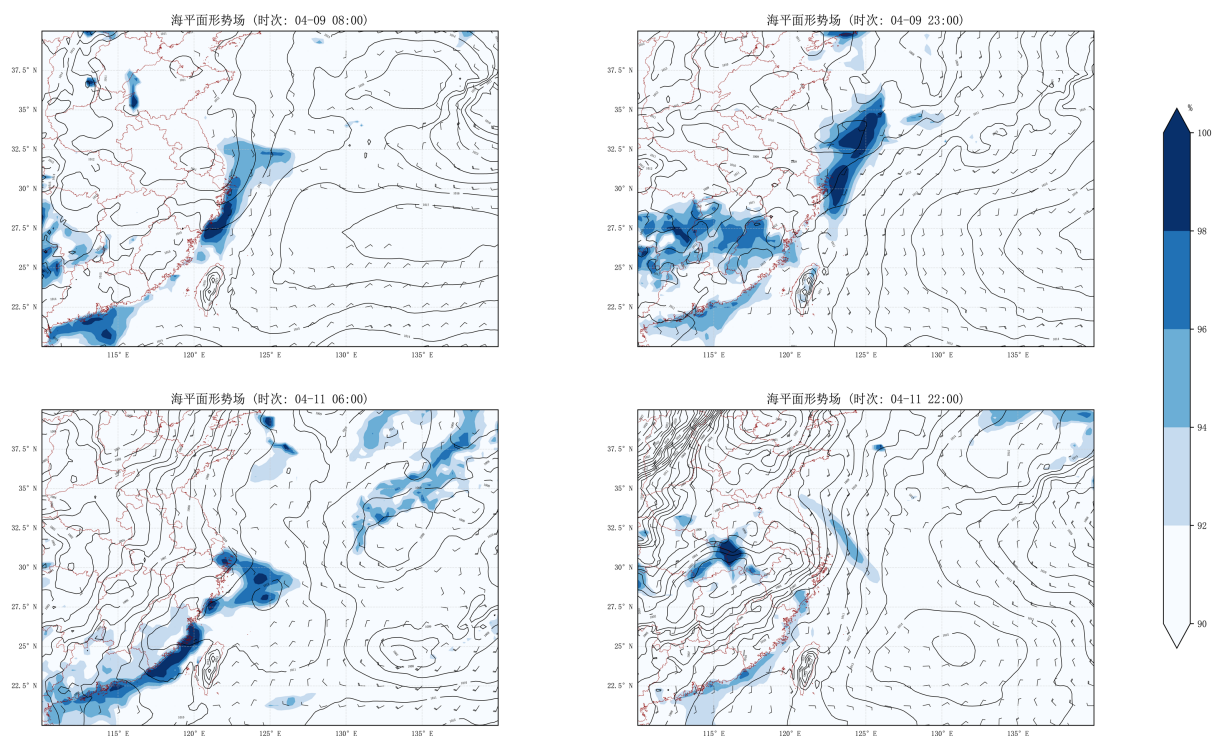


Figure 4. Sea surface circulation, with contour lines indicating pressure, color shading representing relative humidity, and wind barbs denoting wind direction and speed

图 4. 海平面形势场，等值线代表气压，色斑代表相对湿度，风向杆代表风向风速

海雾作为近地层天气现象,中低层环流仅提供背景条件,而海平面形势场则对大气有直接影响。图 4 进一步分析了典型时次的海平面形势场。过程 1 中,在 850 hPa 短波槽前对应的地面江浙交界处存在闭合小低压,西北太平洋则为稳定高压,二者作用下,舟山受偏南风或南到西南风控制,南侧海面水汽持续输送至舟山东部和南部,引发海雾。过程 2 中,低压移至江苏以东洋面并加深,导致舟山东部再次受偏南暖湿气流影响,水汽累积,海雾二次生成。过程 3 受倒槽影响,舟山受弱低压系统控制,虽未闭合但曲率明显,东南风将暖湿气流从开阔海面大量输送到群岛,弱低压中心的弱抬升作用加强水汽凝结,形成全市性海雾。过程 4 中,低压前部的强偏南风将暖海水面水汽输送到沿岸岛屿,岛屿地形抬升作用进一步促进凝结。

3.4. 水汽输送

进一步分析本次海雾事件的 1000 hPa 水汽输送特征(图 5),发现四个过程均有源自海洋的水汽输送至舟山地区,这为海雾的形成提供了必要的湿度条件。尤其是在第 4 个过程中,这种水汽输送现象表现得尤为显著。进一步分析指出,舟山附近的区域呈现出水汽通量散度为负值的特征,表明该区域正处于水汽的汇聚地带,这种水汽的持续汇聚,有效增加了近地面气的湿度,从而为持续性海雾的发生创造了有利的环境条件。

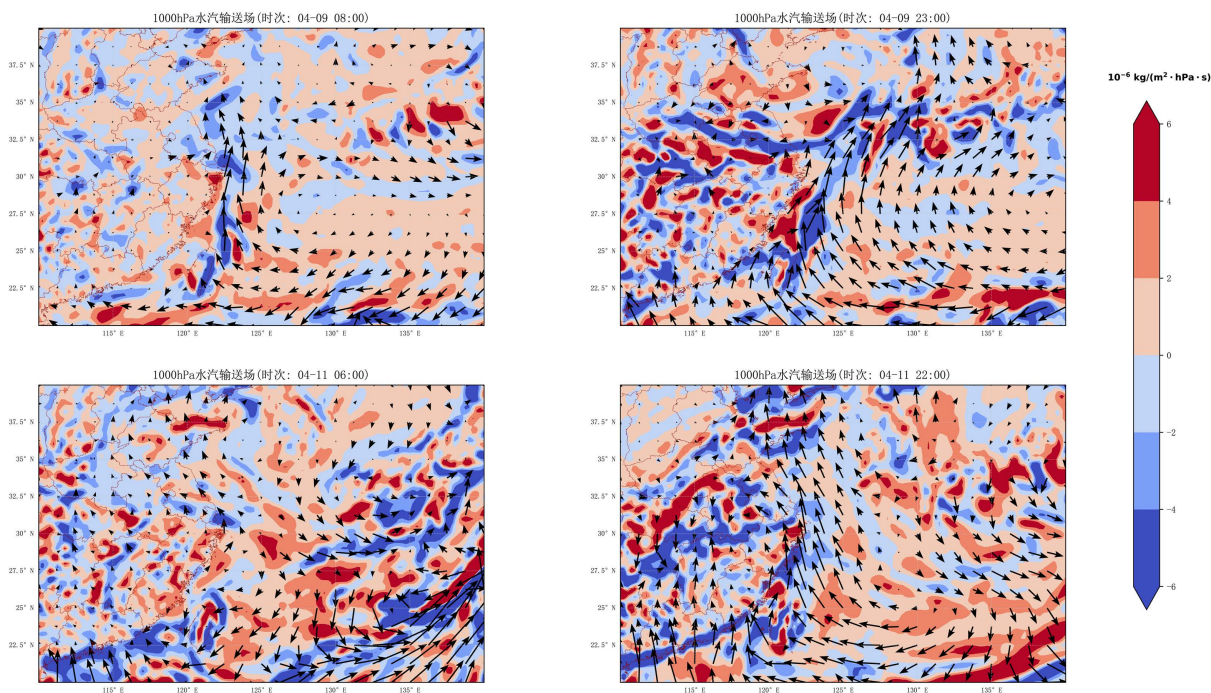


Figure 5. The 1000 hPa water vapor transport field, with the color shading representing the water vapor flux divergence, and the arrows representing the water vapor flux

图 5. 1000 hPa 水汽输送场,色斑代表水汽通量散度,箭头代表水汽通量

3.5. 垂直特征

稳定性层结和深厚的湿层是形成海雾的重要条件,图 6 对 4 个典型时次舟山区域(121.5~123.0°E, 29.0~31.0°N)温度和相对湿度随高度变化进行了平均,结果表明,四次过程都存在较明显的逆温层结,逆温层可延伸至 950 hPa 左右,促进水汽在近地层的堆积,进而有利于海雾的维持。相对湿度上看,4 次过程湿度层都较薄,仅 1000 hPa 附近相对湿度仍维持在 90%左右,随后向上快速递减,这是因为舟山群岛地形,存在良好的水汽输送,因而对湿层厚度的要求较小。

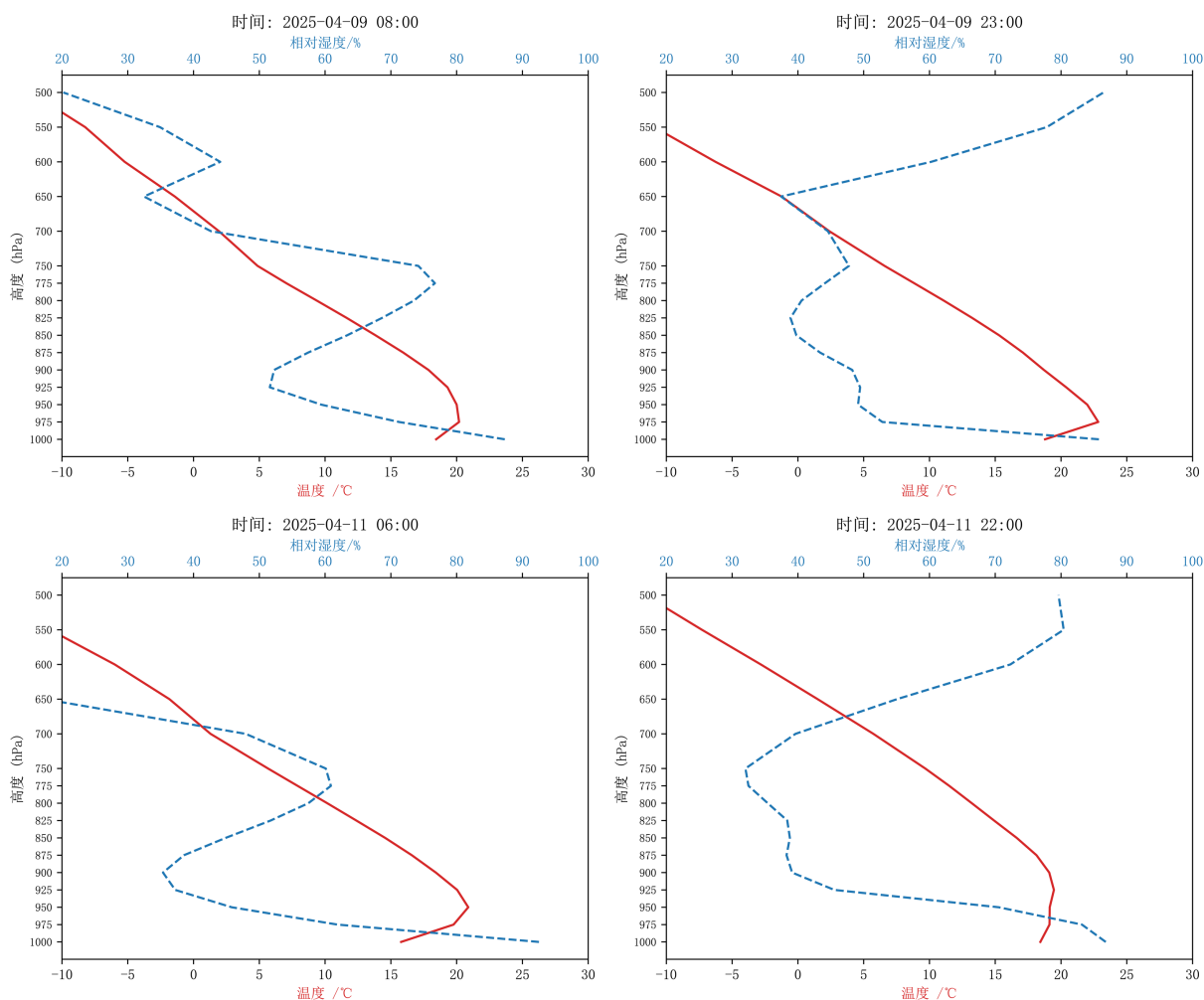


Figure 6. The average variation of temperature and humidity with height in the Zhoushan area

图 6. 舟山地区温湿度随高度的平均变化

4. 结论

本文利用自动站资料和 ERA5 再分析资料对 2025 年 4 月 9~12 日舟山一次持续性海雾事件进行分析, 综合分析了其时空分布、环流特征、水汽输送特征以及温湿度廓线的垂直变化特征, 得到以下结论:

- (1) 本次海雾事件呈现出多次生成、消散、再生成的复杂变化过程, 共经历了四次明显的生消过程。
- (2) 第 3 次过程影响范围最广、强度最大, 其中海雾影响最显著时次能见度小于等于 500 米的低能见度站点占总站点数的 75%, 且大部分站点的能见度在 200 米以下。
- (3) 本次海雾事件的环流背景复杂多样, 包括西风气流中的弱波动、均压场、倒槽以及低压系统等。不同的环流形势先后影响舟山, 导致地面风向主要为偏南风、东南风等, 有利于海上充足的水汽输送至舟山, 为海雾生成和维持提供了必要条件。
- (4) 四次过程中均存在深厚的逆温层, 逆温层的存在有利于水汽在近地层的积累, 进而促使海雾过程反复发生。

基金项目

本研究由浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划项目(2024C03256)和舟山市科技项目(2025C31013)资助。

参考文献

- [1] 王彬华. 海雾[M]. 北京: 海洋出版社, 1983: 1-352.
- [2] 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.
- [3] 徐燕峰, 陈淑琴, 戴群英, 等. 舟山海域春季海雾发生规律和成因分析[J]. 海洋预报, 2002, 19(3): 59-64.
- [4] 韩苗苗, 高雅文, 钟剑, 等. 长江口一次持续性强浓雾过程特征和成因分析[J]. 海洋预报, 2024, 41(1): 74-82.
- [5] 曹宗元, 刘飞, 何晴, 等. 2018年春季浙江沿海一次连续海雾过程分析[J]. 海洋预报, 2022, 39(6): 74-82.
- [6] Alduchov, O.A. and Eskridge, R.E. (1996) Improved Magnus Form Approximation of Saturation Vapor Pressure. *Journal of Applied Meteorology*, **35**, 601-609. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1996\)035<0601:IMFAOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1996)035<0601:IMFAOS>2.0.CO;2)
- [7] Lawrence, M.G. (2005) The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air a Simple Conversion and Applications. *American Meteorological Society*, **86**, 225-232. <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-2-225>
- [8] 戴秋丹, 郭振海, 王龙欢, 等. CLM4.5 模式模拟安徽省淮南山地森林陆气交换过程[J]. 大气科学, 2025, 49(1): 23-37.