

# 天津港航气象业务进展

■ 史得道 刘彬贤

天津气象部门近年来不断加强港航气象业务能力建设，建立天津市海洋气象重点实验室，完善海上气象观测站网，开展基于多源数据融合的海洋气象监测分析技术研究，发展海气浪耦合数值预报模式和海洋气象专业数值模式，加强海上大风、海雾、强对流以及海洋气象影响预报技术研究，建设海洋气象一体化业务平台，实现最高分辨率1 km、1 h的精细化海洋气象智能网格预报；组建天津港航气象服务中心，开展面向港口作业生产的融入式、精细化气象服务，积极拓展近海及远洋航线气象服务，提升海洋气象应急保障服务能力。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2024.02.006

天津地处渤海湾西端，背靠雄安新区，辐射东北、华北、西北等内陆腹地，是京津冀及“三北”地区的海上门户、雄安新区主要出海口，是“一带一路”的重要节点，拥有集装箱航线130条，每月航班550余班，同世界上200多个国家和地区的800多个港口保持贸易往来。近些年来，天津致力于建设北方国际航运核心区，积极发挥港口核心战略资源优势，更好地推进京津冀协同发展，参与“一带一路”建设。

海上交通运输是现代交通运输的最主要方式之一。据统计海上货物运输量占全部国际货物运输量的80%以上，然而由于海运业具有高风险特点，容易发生海上交通事故，在给世界经济带来繁荣的同时，也给社会稳定和船上人员生命财产安全带来风险。我国黄渤海沿岸港口众多，养殖业发达，海中有多个石油平台作业区，是中国海上交通网络最为密集、海洋工程作业最为繁忙的区域之一，也是恶劣的海洋天气及其衍生的海洋灾害多发海区。频发的海洋气象灾害成为影响港口运营、海上航运、海洋经济发展的重大问题，海洋气象防灾减灾工作越来越受到政府和社会的关注。天津气象部门积极发挥自身在港航气象预报服务方面的优势力量，不断加强港航气象关键技术研发，积极拓宽港航气象服务广度和深度，以实际行动为北方国际航运核心区建设提供优质服务。本文主要对近些年来天津气象部门开展的我国北方海域港航气

象业务进行梳理和总结，并提出存在的问题及下一步措施。

## 1 天津港航气象业务基本情况

我国海洋气象预报业务主要由中国气象局负责。2010年11月中国气象局成立3个海洋中心气象台，天津作为其中之一，主要负责牵头开展35°N以北黄渤海海域的海洋气象监测预报预警业务及科研工作，为全球海上遇险安全系统(GMDSS)提供国际海事责任区海洋气象情报信息等。2019年天津市气象局印发《天津海洋气象业务发展行动计划(2019—2022年)》，对如何发展海洋气象业务提供了行动指南。同年成立天津市海洋气象重点实验室，以海洋气象监测与数据挖掘、海洋高影响天气机理与预报、海洋气象灾害防御、沿海大城市气象服务技术为重点研究方向开展技术攻关。2020年8月18日，天津市气象局、天津港集团有限公司、中远海运(天津)有限公司三方签署合作协议，共建天津港航气象服务中心，致力于整合优势资源，创新服务体制，立足环渤海、面向东北亚，辐射全球海域开展港航气象服务。

近年来，天津市气象局加强海洋气象灾害监测预报预警技术研发，发展港口、航线气象预报服务，提升北极航道气象服务能力，开展全球远洋气象导航服务等，积极推进天津港航气象业务向前发展。

收稿日期: 2023年3月2日; 修回日期: 2023年12月14日

第一作者: 史得道(1985—), Email: sdd0928@163.com

通信作者: 刘彬贤(1974—), Email: binxain\_1@163.com

资助信息: 国家重点研发计划(2019YFC1510105); 中国气象局水文气象重点开放实验室开放研究课题(23SWQXM006); 天津市海洋气象重点实验室2022年度开放基金项目(2022TKL0M03)

## 2 天津港航气象监测预报业务进展

天津市气象局紧紧依托天津市海洋气象重点实验室和海洋气象创新团队，开展港航气象关键技术研发：一是海洋气象灾害监测分析技术研究；二是海洋气象数值预报模式研发；三是海洋气象灾害预报技术研究；同时搭建海洋气象一体化业务平台，强化港航气象预报服务平台支撑。

### 2.1 海洋气象灾害监测分析技术研究

天津市气象局积极融入国家级海洋气象综合观测体系建设，在20世纪80年代，依托中海油渤海埕北A平台建设了有人值守的国家基本气象监测站（站号54646），距离天津港约74 n mile（1 n mile≈1.852 km），海拔30.3 m。台站至今积累了35年的观测资料，并联合中国科学院大气物理研究所、中国海洋大学、南开大学等开展了一系列渤海气象、海洋观测试验。2009年建设了大沽灯塔自动气象站。为科学设计海上观测站网，天津市气象局利用数值模拟试验和误差分析方法，评估渤海不同建站方案对边界层风、温、湿等气象要素预报误差的影响，并根据试验结果以及不同石油平台基础设施条件，2014—2017年又连续建设了17套海上石油平台自动气象观测站（图1），观测频次达到逐10 min，观测要素包括降水、气温、气压、相对湿度、风向、风力、能见度等，大大拓宽了渤海海洋气象要素监测的覆盖范围。

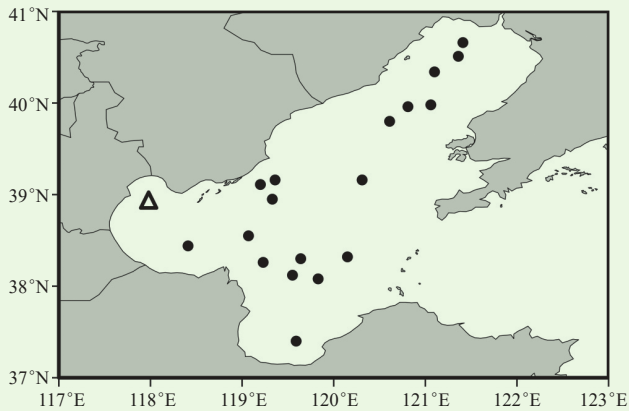


图1 渤海海上18个石油平台站（黑色圆点）和1个灯塔站（黑色三角形）分布

天津市气象局为提高天津沿岸低能见度天气监测能力，利用能见度激光雷达在天津港开展低能见度监测预警技术研究试验，结合自动站能见度仪观测数据对能见度激光雷达数据进行概率密度匹配订正，可使大雾天气空报率降低15%左右；同时加强卫星资料应用技术研究，利用渤海海上观测站数据和变分方法，对ASCAT（Advanced Scatterometer）散射计反演海面

风数据进行订正，订正后风速平均偏差减小3 m/s；利用国家卫星气象中心、美国国家冰雪数据中心、欧洲气象卫星应用组织等多种来源卫星观测资料和模式资料，建立融合多源数据的海冰密集度实况分析技术，生成高分辨率的黄渤海、日本海及北极地区海冰密集度逐日实况监测产品；基于风云静止卫星多通道数据及能见度融合分析法、双通道差值法等，建立黄渤海海域白天、夜间全天候海雾实况监测业务流程；联合天津港集团开展基于物联网和人工智能技术的能见度智能识别技术研究，通过天津港视频监控图像的实时采集处理，建立港区能见度智能识别模型，进行全天候能见度自动监测识别。这些技术成果的研发和应用进一步强化了环渤海沿岸及海上灾害天气监测预警能力。

### 2.2 海洋气象数值预报模式研发

目前海洋气象要素预报越来越依赖于数值模式技术的发展，因为海洋与大气相互作用的存在，海气耦合模式系统的研发是海洋气象数值预报技术重要的发展方向之一。天津市气象科学研究所依托天河高性能计算平台，建立海气浪耦合数值预报模式（图2），利用MCT（the Model Coupling Toolkit）耦合器，实现WRF（the Weather Research and Forecasting Model）大气模式、ROMS（Regional Ocean Model System）海洋模式、WW3（WaveWatch3）海浪模式的在线耦合，同时引入风云四号卫星资料云分析技术、闪电资料同化技术、海洋资料同化技术及海洋飞沫参数化方案，提升模式预报能力，进行未来3 d黄渤海及日本海时间分辨率为1 h、空间分辨率为3 km的大气、海洋多要素精细化预报。

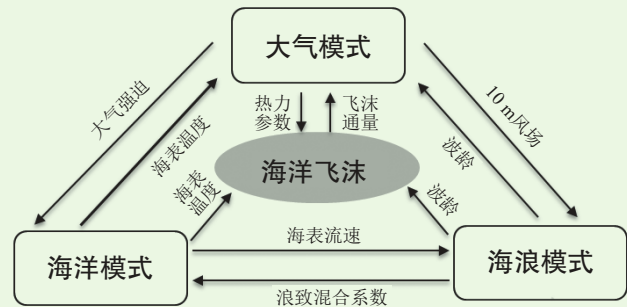


图2 天津市气象科学研究所研发的海气浪耦合数值预报模式

天津海洋中心气象台也进行海洋气象专业数值预报模式开发，对耦合数值预报模式形成有力补充。天津海洋中心气象台基于美国国家地球物理数据中心开发的高分辨率（1'×1'）地形高程数据，以逐小时的海上10 m风多模式融合预报数据为驱动场，搭建了西北太平洋SWAN（Simulating Waves Nearshore）海浪

数值预报模式，空间分辨率为 $0.1^\circ$ ，时间分辨率为逐3 h；构建三维FVCOM (Finite-Volume Coastal Ocean Model) 风暴潮数值模式，采用三角非均匀网格更好地拟合岸线，采用干湿分离网格技术更好地适应浅水海域，使渤海西岸空间分辨率达到千米级，天津港附近空间分辨率达到百米级；利用CICE (Los Alamos Sea Ice Mode) 海冰模式建立中国北方海域海冰数值预报系统，由WRF、FVCOM模式提供海洋气象要素背景场数据，可进行黄渤海海域1 km、1 h的海冰密集度、厚度的精细化预报；基于Polar-WRF模型框架，以GFS (Global Forecasting System) 数据为大气驱动数据，以全球海冰模拟和同化系统数据集为海冰驱动数据，搭建北极大气数值预报模式，提供未来3 d北极地区高空气象要素以及海面10 m风场、能见度、海冰面积、海冰厚度等格点化预报产品，时间分辨率可达逐小时。

### 2.3 海洋气象灾害预报技术研究

海上大风、海雾、海上强对流等是我国北方海域常发的海洋气象灾害，也是天津海洋气象预报技术攻关的重点内容。

海上大风预报方面，天津市气象局利用最优百分位方法对欧洲中期天气预报中心集合预报模式51个成员预报结果进行订正，提高渤海灾害性大风预报预兆评分(TS)；利用渤海海上观测数据和Cressman插值法构建海上格点风场，基于递减平均法对数值模式10 m风预报进行订正，72 h预报时效内10 m风预报均方根误差能减小 $1.0\sim 1.5$  m/s；利用欧洲中期天气预报中心、中国、美国、加拿大4家集合预报模式产品，建立基于长短期记忆神经网络的海上大风机器学习预报订正方法，相比于多模式集合平均，该方法能使6级以上大风公正预兆评分(ETS)提高0.2左右；根据渤海不同区域地形和下垫面的影响，建立基于分级阵风因子的渤海阵风预报模型，在一定程度上提升了渤海阵风预报准确率。

海雾预报方面，天津市气象局联合中国海洋大学搭建基于WRF模式和循环三维变分数据同化方案的渤海海雾数值预报系统，对海雾过程预报准确率能达到60%；为提高能见度预报能力，加强人工智能技术应用，利用NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 再分析资料和地面观测数据，筛选影响天津港低能见度天气的物理量因子，建立港口能见度神经网络预报模型，对于能见度在1 km以下的大雾过程，预报TS评分相比于天津中尺度数值模式提高了24%；同时建立基于长短期记忆神经网络方法的海上能见度机器学习预报订正技术(图3)，为业务人员提

供黄渤海能见度及不同等级雾区精细化预报产品。

海上强对流预报方面，天津市气象局基于渤海西部7个自动站加密观测资料对雷雨大风特征进行统计分析，建立不同天气背景、不同月份对流参数指标，在此基础上结合中国气象局快速循环更新数值预报模式数据，开发海上强对流大风精细化潜势预报产品；另外联合大连海事大学开展海洋气象影响预报技术研究，利用风险分析理论和技术，对大风浪条件下7种类型船舶在黄渤海7个海区、17条航线航行以及23个锚地锚泊开展风险评估预警(图4)，为海洋气象灾害风险预警提供有力支撑。

### 2.4 海洋气象一体化业务平台

业务平台方面，天津市气象局建设了天津海洋气象一体化业务平台，强化对海洋气象数值预报产品解释应用和客观订正，实现黄渤海及西北太平洋海域( $10^\circ\sim 50^\circ\text{N}$ ,  $105^\circ\sim 145^\circ\text{E}$ )精细化的智能网格预报(图5)，包括天气现象、风向、风力、能见度、浪高、潮位、阵风、气温等8个要素，在黄渤海海域空间分辨率为1 km，时间分辨率在3 d内为1 h、4~10 d为3 h，在西北太平洋海域分辨率为10 km、3 h；并建立多要素预报协同技术(图6)、人机交互的格点预报订正技术、基于不同空间尺度和时间尺度的预报产品自动提取转换技术等，实现港航气象预报服务产品智能化生成、一键式分发；同时搭建天津海洋气象共享平台，实现了海洋气象智能网格预报产品以及东北亚区域35个港口、17条航线、28个海区精细化预报产品在环渤海各省市的共享共用。截至2023年11月底共享平台的共享终端达到209个。

## 3 天津港航气象服务进展

天津市气象局开展海洋专业气象服务已有数十年历史，目前为海事监管、海上搜救、油气勘测、船舶引航、港口运营等30余家单位提供沿岸及海上专业气象服务，服务范围涵盖渤海到南海的中国近海海域，并于2022年联合国家气象中心拓展了全球远洋气象导航业务。

### 3.1 港口精细化服务

天津市气象局深化与天津港集团的合作，使气象服务有效融入港区作业生产，助力“智慧港口、绿色港口”建设，在天津港区建设8套7要素自动气象观测站，进行秒级气象要素实时监测及快速传输，实现对主要港区的全覆盖，大幅提升对天津港区内局地性、突发性、极端性天气的“捕捉”能力；联合打造直面“智慧港口、绿色港口”发展的智慧气象服务平台

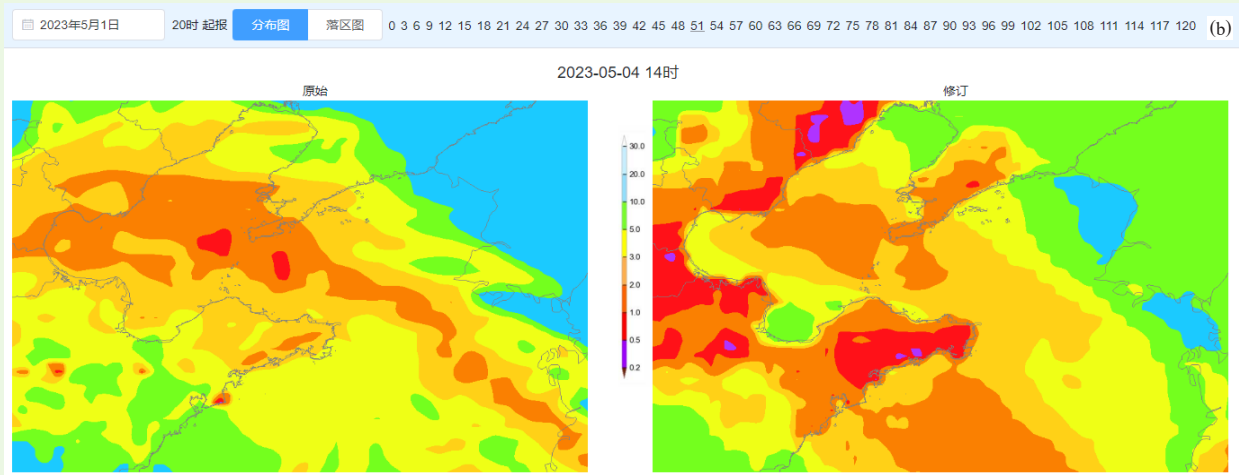
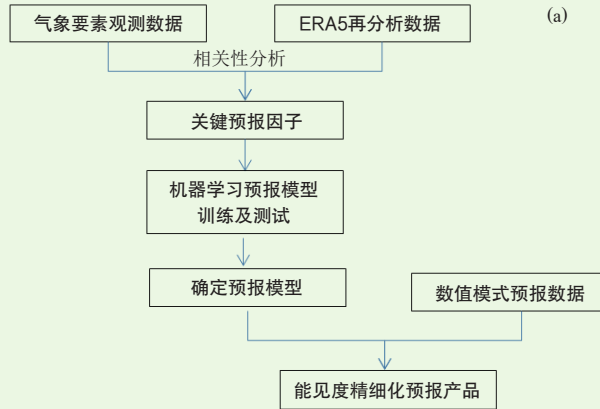


图3 天津市气象局海上能见度机器学习预报订正技术路线 (a) 及预报产品 (b)

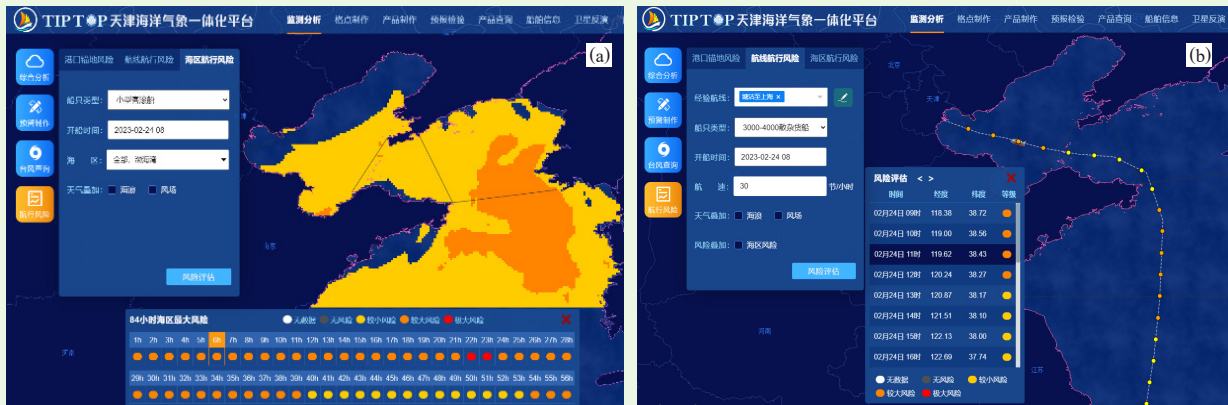


图4 天津市气象局大风浪条件下船舶航行风险评估  
(a) 海区风险评估; (b) 航线风险评估

(图7), 融合气象、港口、地理信息等各类业务数据, 具备港口实况监测、精细化预报预警、短时临近天气预报、决策辅助支持、历史资料查询等多项功能, 实现天津港北疆、东疆、南疆等不同港区以及近海锚地、渤海海区等分区域精细化预报服务, 未来2 h预报产品精细到分钟级, 未来24 h预报产品精细到1 km、1 h; 同时为满足服务用户需求, 提高海上大风预警精细化

水平, 根据渤海中西部地理分布特征、天津港不同港区和锚地作业特点等, 将渤海中西部天津海事责任区划分为4个分区(1分区为天津港海域, 2分区为南港海域, 3分区为天津港锚地海域, 4分区为渤海中部海域), 实行海上大风预警信号的分区发布与解除, 为港口运营和业务调度提供更为精准的气象依据, 为加快提升天津港国际枢纽港功能提供全方位气象保障。

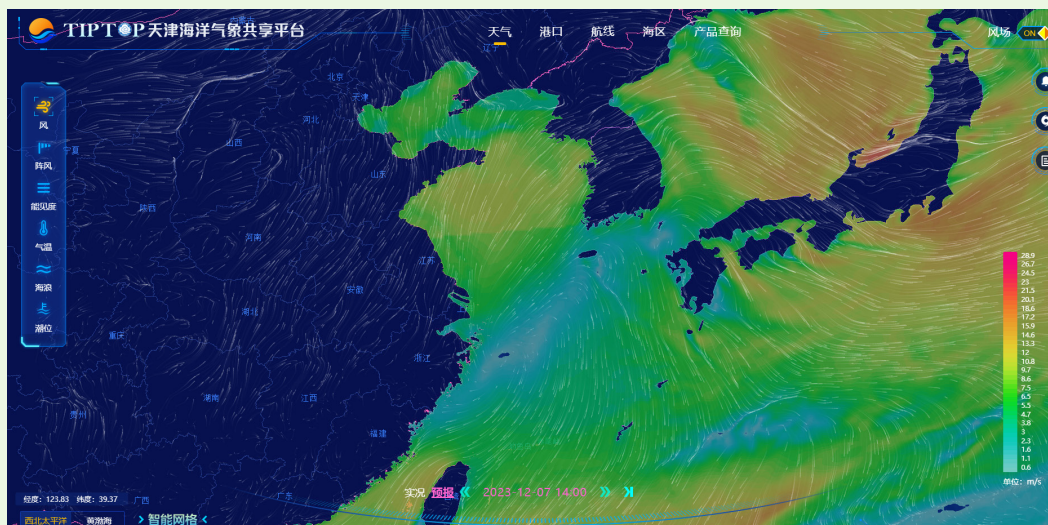


图5 天津海洋气象智能网格预报产品

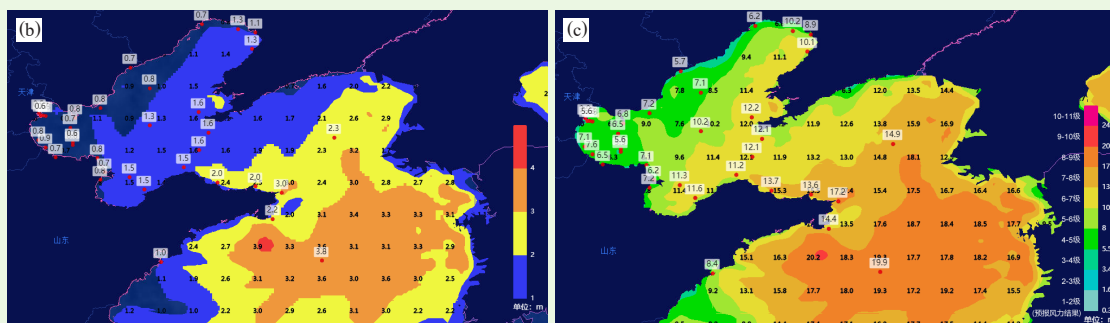
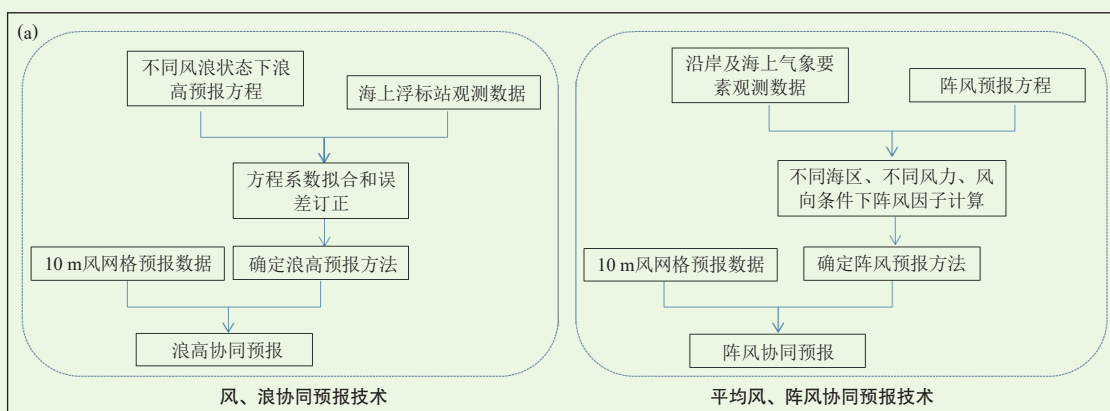


图6 天津海洋气象智能网格预报多要素协同预报技术路线和产品

(a) 风、浪协同预报技术及平均风、阵风协同预报技术；(b) 浪高协同预报产品；(c) 阵风协同预报产品

中国石化集团天津液化天然气有限责任公司在天津港南港建设了液化天然气(LNG)接收站,进行LNG船靠离泊及天然气输送作业。为保障华北地区天然气能源供应,天津海洋中心气象台自2021年起开展LNG船靠离泊气象服务,提供未来7 d的LNG码头风向、风力、阵风和能见度预报产品,遇7级以上大风提供逐小时加密服务,遇重大天气过程在微信群进行递进式跟踪服务。例如,在2021年1月和11月寒潮天气引起的海上大风过程中,为“天鹅座”“南十

字”“巴卡”LNG船安全进港靠泊及作业提供应急气象服务;为2021年12月6日全国首次LNG船舶应急夜航实船试验提供专项服务。

### 3.2 航线气象服务

为提升对船舶海上航行的气象服务能力,天津海洋中心气象台与天津中远海运公司主动对接,根据中国近海南北航线轨迹,在满足业务需求的同时解决数据传输瓶颈,设计小容量服务产品形式和内容;搭建基于人工智能技术的航线预报业务平台,加载底层



图7 天津港智慧气象服务平台示意图

监测与预报数据支撑，构建航线风向风力预报订正模型，滚动制作输出未来7 d航线气象服务产品，为中国近海航线船舶安全航行提供全流程气象服务。

2018年1月国务院新闻办公室发布《中国的北极政策》白皮书，提出“认识北极、保护北极、利用北极和参与治理北极，与各方共建‘冰上丝绸之路’”。2021年6月30日，“人类首次不停靠环航北冰洋”大型公益航海活动从上海启航，天津海洋中心气象台主动与活动主办方对接，先后2次派遣业务人员向此次环航北冰洋帆船船长翟墨先生详细了解海洋气象服务需求，建立服务团队，制定服务方案，针对性研发北极地区海冰多源数据融合实况分析产品（图8），在近4个月服务期内提供海上风浪及海冰服务产品50余期，为船舶顺利通过大风浪区以及海冰密集航段开展针对性服务。

2023年9月，天津海洋中心气象台联合交通运输部北海航海保障中心天津通信中心，实现逐日北极海冰密集度实况分析产品和白令海峡、德米特里拉普捷夫海峡、维利基茨基海峡、喀拉海峡海冰分布文字产品的定时发布，正式开启北极航线常态化海冰气象服务，保障“冰上丝绸之路”。

对船舶航行更为重要的服务就是气象导航，国外气象导航服务起步较早，19世纪就已经开展。国家气象中心在1989年正式开展海洋气象导航业务，在30多年导航实践中积累了丰富的导航技术和经验。2022年起，天津海洋中心气象台依托国家气象中心的技术力量优势，实现导航业务平台本地化部署应用，组建导航业务团队，积极拓展远洋气象导航业务。截至

2023年9月，以“国家局导航船长+天津气象预报员”形式，连续为7艘船舶开展50余次航次导航服务，助力“国船国导”。

### 3.3 应急气象服务

此外，天津市气象局积极开展面向专业用户的应急气象服务及个性化气象服务，例如，2021年为“天津市海上搜救综合演习暨海上石油平台水域通航安全风险防范演习”提供专项服务，2022年为“南疆港区海上油田倒班船舶应急演习”提供气象信息保障；针对北上台风对黄渤海的影响，组建专家团队前往中海油天津分公司开展驻场应急服务，对台风实况信息、未来移动路径及对海上大风的影响进行综合分析研判，为用户作业施工安排部署提供决策依据；建立“普适性+定制化”的专业气象服务模式，结合天津临港经济区海事监管和港口企业服务需求，开发“临港区域天气”微信公众号，面向临港经济区10余家港口企业提供实况超阈值告警、短时临近降水、航运气象风险等服务信息；深化海洋气象服务战略合作，与天津海事局签订战略合作协议，与交通运输部北海航海保障中心、大沽口海事局等签订战略合作备忘录，在海洋气象信息共享、海洋气象灾害监测预警和海洋气象科普宣传等方面全方位开展合作，提高气象信息对海上交通安全和海上突发事件应急处置的综合保障能力。

## 4 结语

近些来天津港航气象业务取得了一定进展，建立了渤海气象综合观测站网，实现了基于多源数据融合的海上大风、海雾、海冰等实况监测分析，搭建了黄

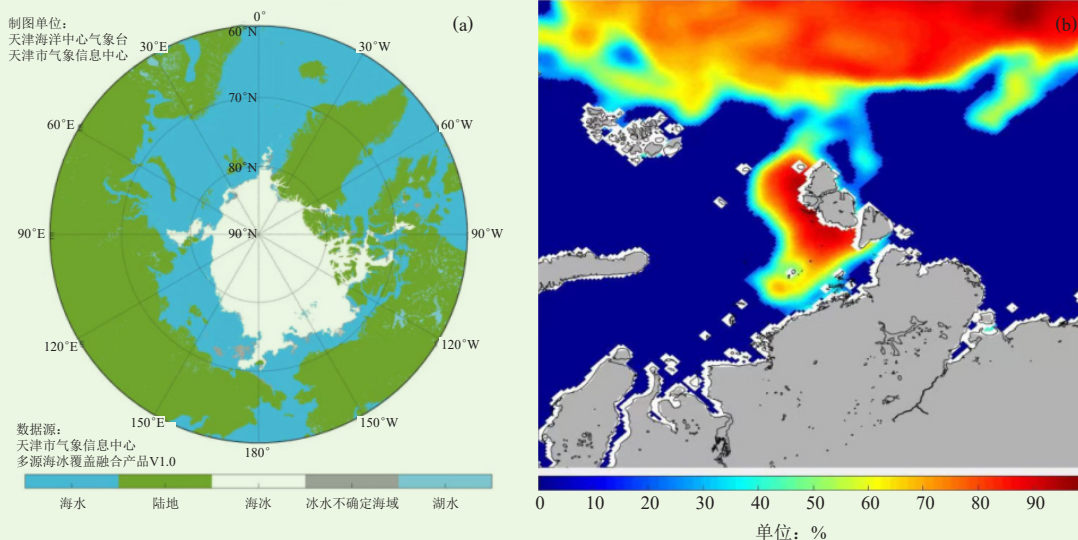


图8 天津市气象局北极海冰服务产品  
(a) 2021年9月11日北极海冰覆盖; (b) 2021年8月8日北地群岛海冰密集度

渤海海气浪耦合数值预报模式和风暴潮、海浪、海冰专业数值模式，研发了基于统计分析和人工智能的海上10 m风、能见度、强对流等客观预报技术，建设了海洋气象一体化业务平台，为30余家用户提供了精细化气象保障服务。但也存在一些不足，主要体现在沿岸港口及近海突发性大风预报预警能力较弱，海雾起止时间、能见度大小等预报准确率不够高，目前港航气象服务产品精细化水平及精准度离用户需求还有差

距等。

下一步，天津市气象部门将积极贯彻落实《气象高质量发展纲要（2022—2035年）》，加强人工智能、大数据等新技术应用，针对港航气象预报服务薄弱环节开展技术攻关，提升沿岸近海突发性大风、海雾预报预警能力及海洋气象智能网格预报产品准确率，不断提升天津港航气象预报服务能力，积极推进天津港航气象事业高质量发展。

### 深入阅读

郭玉娣, 刘彬贤, 梁冬坡, 2019. 变分方法在渤海海域ASCAT风场订正中的应用[J]. 应用气象学报, 30(3): 376-384.  
 胡田田, 易笑园, 吴迪, 等, 2022. 基于降尺度方法的入海中尺度对流过程模拟[J]. 应用气象学报, 33(6): 711-723.  
 黄彬, 赵伟, 2017. 国家级海洋气象业务现状及发展趋势[J]. 气象科技进展, 7(4): 53-59.  
 李永平, 郑运霞, 杨棋, 等, 2017. 上海市气象局海洋气象数值预报技术研究进展[J]. 气象科技进展, 7(6): 75-81.  
 刘彬贤, 陈宏, 左涛, 等, 2018. 基于EC集合预报的渤海灾害性大风风速预报方法研究[J]. 海洋预报, 35(2): 19-26.  
 刘丽丽, 李英华, 王雪莲, 等, 2019. 基于观测系统模拟试验的海表气象观测站点布局方案研究[J]. 气候与环境研究, 24(6): 711-722.  
 刘志杰, 刘彬贤, 王锐, 等, 2022. 基于传统和深度学习技术的黄渤海海域大风预报方法研究[J]. 海洋预报, 39(6): 34-43.  
 曲平, 解以扬, 刘丽丽, 等, 2014. 1988—2010年渤海湾海雾特征分析[J]. 高原气象, 33(1): 285-293.  
 沈岳峰, 殷海涛, 史得道, 等, 2022. 基于机器学习的白天能见度检测方法[J]. 自动化与仪表, 37(8): 74-77.  
 史得道, 吴振玲, 高山红, 等, 2021. 渤海海雾数值预报系统建立及应用[J]. 海洋预报, 38(5): 60-66.

王雪娇, 蔡子颖, 孙玫玲, 等, 2023. 能见度激光雷达在天津港海事交通服务中的应用研究[J]. 海洋预报, 40(2): 110-119.  
 王亚男, 刘一玮, 易笑园, 2020. 渤海西部雷雨大风统计特征及对流参数指标分析[J]. 气象, 46(3): 325-335.  
 王亚男, 苏杭, 胡田田, 等, 2019. ROAD模式渤海10 m风场预报误差订正[J]. 气象科技, 47(6): 934-940.  
 吴彬贵, 张建春, 李英华, 等, 2017. 天津港秋冬季低能见度数值释用预报研究[J]. 气象, 43(7): 863-871.  
 解以扬, 刘大刚, 吴丹朱, 等, 2014. 黄、渤海恶劣天气影响船舶安全的风险预估技术初探[J]. 灾害学, 29(1): 136-143.  
 尹尽勇, 徐晶, 曹越男, 等, 2012. 我国海洋气象预报业务现状与发展[J]. 气象科技进展, 2(6): 17-26.  
 张雷, 徐宾, 廖志宏, 等, 2021. 全球多源海冰密集度融合资料研制试验[J]. 气象学报, 79(4): 703-715.  
 张增海, 刘涛, 曹越男, 等, 2020. 船舶海洋气象导航的业务概况与发展现状[J]. 海洋气象学报, 40(3): 11-16.  
 Wang K, Lyu X Y, Huang J, et al, 2023. Influence of topography and the underlying surface of the Bohai Sea on wind and gust forecasts[J]. Earth and Space Science, 10(1): e2022EA002705.

(作者单位: 天津海洋中心气象台)  
(编辑: 郑秋红)