

国家级海洋气象业务现状及发展趋势

黄彬 赵伟

(国家气象中心, 北京 100081)

摘要: 近几年, 我国海洋气象预报业务有了长足的发展, 建成了国家级、区域中心、省、地(市)四级, 集监测、分析、预报、预警、服务为一体较完整的海洋气象监测预报预警业务体系。对海洋气象预报业务的现状及其发展进行了简要回顾, 结合《海洋气象发展规划(2016—2025年)》中海洋气象业务面临的挑战和需求, 探讨了当前海洋气象业务存在的不足及未来的发展方向。

关键词: 海洋气象, 海雾, 数值模式, 精细化, 业务现状, 发展规划

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.04.006

Current Status and Development Trend of National Marine Meteorological Service

Huang Bin, Zhao Wei

(National Meteorological Centre, Beijing 100081)

Abstract: In recent years, operational marine weather forecasting in China has developed considerably, an integrated marine weather monitoring, analysis, forecasting and early warning system has been built, which includes national, regional, provincial and city (4-level) centers. This paper briefly reviews the current status and future development of China's operational marine meteorological forecasting services, and discusses the challenges, needs as well as future directions based on the Marine Meteorology Development Plan (2016-2025).

Keywords: marine meteorology, sea fog, numerical model, refinement, current status, development plan

0 引言

我国海洋气象水文预报业务主要由中国气象局和国家海洋局承担, 中国气象局主要负责海洋气象预报, 国家海洋局负责海洋水文预报, 通俗地讲, 在分工上气象部门承担水面以上的业务, 海洋部门负责水面及以下的业务。2007年3月, 中国气象局台风与海洋气象预报中心成立, 作为专设机构从事海洋气象预报业务, 现已初步建成了国家级、区域中心(天津、上海和广州)、省、地(市)四级, 集监测、分析、预报、预警、服务为一体的较完整的海洋气象监测预报预警业务体系, 预报范围涵盖了我国近海海域和全球海上遇险安全系统(GMDSS)公海责任区的XI海区(印度洋海域)。2012年, 尹尽勇等^[1]对海洋气象预报业务的现状及其发展进行了简要回顾, 阐述了当时海洋气象监测技术手段, 以及国内外在海雾、海上大风、海浪和风暴潮等海洋气象灾害预报技术方面的发展, 本文再对国家级海洋气象业务的开展情况进行

梳理和总结, 并结合2016年国家发展和改革委员会、中国气象局、国家海洋局联合印发《海洋气象发展规划(2016—2025年)》中海洋气象业务面临的挑战和需求, 阐述国家级海洋气象发展趋势。

1 国家级海洋气象业务和技术进展

1.1 国家级海洋气象业务体系建设

海洋气象综合观测体系建设初具规模。中国气象局建立以沿岸海域为主的海洋气象观测系统, 已经建设了304个海岛(海上平台)自动气象站、200个强风观测站、39个船载自动气象站、33个锚系浮标气象站、26个天气雷达站、10个探空站、17个风廓线雷达站、75个全球卫星导航定位水汽观测(GNSS/MET)站、37个雷电监测站、6个地波雷达站, 并建立了监控运行及保障天气雷达、自动气象站、探空雷达、GNSS/MET等气象装备的信息化业务应用系统(ASOM)。

海洋气象监测预报业务系统基本建成。近年来, 建立了基于静止气象卫星、极轨气象卫星、多普勒天气雷达、地面常规观测、沿海地面自动站加密观测、海岛自动站观测、海上石油平台观测以及海上浮

收稿日期: 2017年1月22日; 修回日期: 2017年7月11日
第一作者: 黄彬(1971—), Email: hbzj199928@163.com

标观测等多源观测资料的海上大风和海雾实时监测系统；建立了以MICAPS或CIMISS等为系统框架的国家级和省级海洋气象实时监测及预报业务平台。预警类产品涵盖海上大风预警、海雾预报及世界气象组织（WMO）责任海区海事天气公报，精细化网格预报产品开展了近海及沿岸5~10 km和XI责任海区25 km分辨率风、浪、天气现象和能见度等海洋气象要素预报。

海洋气象专业数值预报模式日臻完善，构建了海洋气象专业数值预报模式体系框架，不断完善和优化海洋专业模式参数化方案，形成了0~15天“无缝隙”海洋气象预报预警的全方位技术支撑保障，现有的海洋气象专业数值预报模式主要包括全球和区域海面风场数值模式、中国近海海雾数值预报模式、全球海浪预报模式、西北太平洋区域海浪模式、黄渤海精细化风浪数值预报模式，以及中国近海风暴潮数值模式等。

1.2 海雾监测及预报技术发展

2012年，尹尽勇等^[1]对海洋气象业务技术发展做了介绍，重复的不再赘述。由于地面监测资料的匮乏，以及海洋监测资料如浮标等建设和维护的高成本，近几年着力挖掘开发卫星监测资料在海洋气象预报技术的应用，这里对卫星在海雾监测应用最新进展和海雾预报技术的进展做简要介绍，卫星监测资料在洋面风的应用进展已另成文介绍。

1.2.1 海雾监测应用技术取得进展

岸基监测对于海雾的代表有局限性和不确定性，具有良好空间和时间数据分辨率的卫星影像数据是填补这个差距的较为理想的数据源。卫星观测数据受

日夜变化辐射特征影响明显，夜间和白天的雾监测具有完全不同的方法。20世纪90年代以来，通过卫星观测定量反演雾形态以及水平能见度的工作逐步开展，Minnis等^[2]提出了使用光学厚度定量反演雾顶高度的经验方法。Heidinger等^[3]对此方法进行了修正。Bendix^[4]和Bendix等^[5]使用可见光反照率资料建立了反演光学厚度的方法。朱小祥等^[6]采用F1-D多通道综合判别海雾，能够确定图像上每个像素点上是否有雾，监测产品的空间分辨率可达 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 。白天有可见光辅助以判断，根据海雾的监测特征识别标准容易判别，而夜间缺失了可见光通道的监测，难以分析海雾，夜间雾（含低层云）监测的方法是根据在中波、长波红外波段中小粒子不透明水云发射率不同的理论^[7]建立的检测夜间雾（含低层云）的双通道差值法（BTD）^[8]，该方法目前仍是夜间雾监测的基础。Wu等^[9]建立了卫星夜间海雾监测技术，实现了海雾自动判别业务，采用极轨和静止卫星5种数据源的海雾业务产品（表1）监测，形成了全天候海雾卫星监测和反演产品（图1），并于2014年利用卫星垂直探测技术反演海雾垂直厚度。

表1 5种数据源的海雾业务产品
Table 1 The sea fog products from five data sources

卫星/仪器	时间频次	空间分辨率	覆盖范围	数据格式	图像格式
FY-3B/VIRR	2次/日	1.1 km	中国海域	AWX	BMP
TERRA/MODIS	2次/日	1.25 km	中国海域	AWX	JPG
NOAA-18/AVHRR	2次/日	1.25 km	中国海域及部分印度洋	AWX	JPG
FY-2E/VSSR	24次/日	1.25 km	中国周边海域	AWX	PNG
葵花-8号/JAMI	48次/日	1.25 km	中国周边海域	AWX	PNG

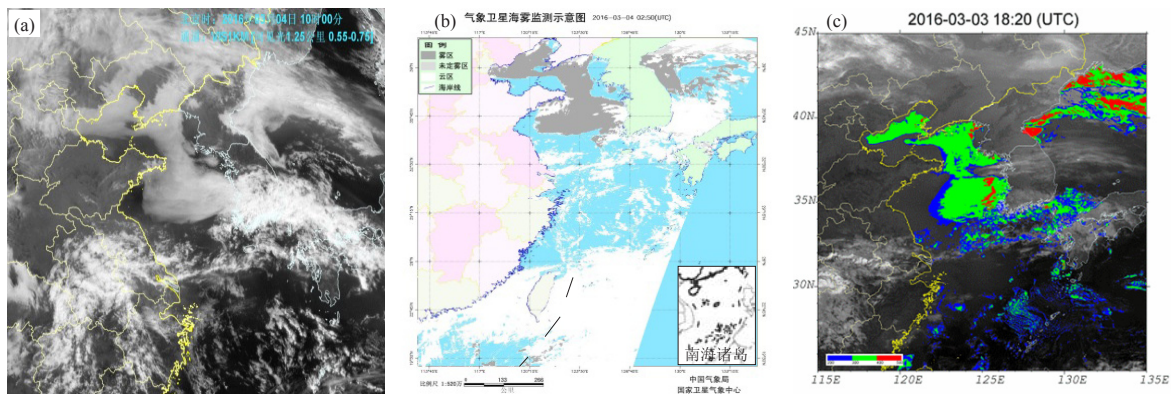


图1 2016年3月4日海雾卫星监测及反演产品

(a) 2016年3月4日10时（北京时）风云可见光卫星监测；(b) 2016年3月4日02:50（世界时）卫星反演产品；(c) 2016年3月3日18:20（世界时）海雾垂直厚度监测

Fig. 1 Marine fog satellite monitoring and inversion products on March 4, 2016

(a) the visible satellite monitoring at 10 BT March 4, 2016; (b) satellite inversion products at 02:50 UTC March 4, 2016; (c) sea fog vertical thickness monitoring at 18:20 UTC March 3, 2016

1.2.2 海雾预报技术不断完善

海雾的预报一直是海洋气象预报工作的难点，对其预报方法一直没有得到很好的解决。海雾数值预报在近几年取得较快发展，并且随着集合预报的发展，海雾模式未来在集合预报的应用将有更大的进展空间。傅刚等^[10]对近30年来我国海雾的微物理学特征、海雾与层云的关系、北太平洋与大西洋上海雾发生频率的气候学特征、海雾的数值模拟、海雾的数据同化和集合预报的重要进展进行了回顾。章国材^[11]回顾了我国雾业务预报发展的三个阶段（经验预报、主客观相结合的雾预报和精细雾监测预报）的情况及进展，指出雾预报的发展方向是建立包含先进资料同化系统的高分辨率区域模式系统，在近期仍然需要发展数值预报产品解释应用技术，预报员的经验在提高对大雾这种灾害性天气的预报准确率方面仍然有用武之地。史得道等^[12]认为，同化更好的卫星资料弥补海上观测缺少的不足，选择最合适的边界层与微物理参数化方

案，进行高分辨率三维数值模式集合预报，将使海雾预报的准确率明显提高。近两年，国家气象中心研发了海雾客观预报技术方法。目前在业务预报中比较常用的预报方法包括气候统计法、天气学方法、数值预报方法以及MOS方法。在这几个方向的海雾预报中，气候统计和天气学方法只能给业务预报提供参考，可以定性使用而不能做定量预报，动力统计方法是指在数值预报的输出产品当中筛选预报因子，对有雾和无雾时影响该区域雾生成的各要素进行统计对比分析，并结合海雾的天气气候学研究结果，分析各要素的敏感性和代表性，选取适用于该区域的海雾预报变量因子（表2），并将预报因子量化，最后给出该海区各季节的出雾判别条件与因子阈值。利用统计方法建立海雾的预报方程，从而做出海雾的预报（图2），这种方法的优点是既考虑了数值模式本身和计算的误差，同时也将局地的特定气候特点考虑进去。

表2 各季节与海雾出现显著相关的因子

Table 2 Significant factors correlated to sea fog in 4 seasons

	渤海、渤海海峡、 黄海北部	黄海中部和南部	东海	台湾海峡、台湾以东	北部湾、南海
春	925 hPa相对湿度、 1000 hPa相对湿度、 $T-T_d$	10 m风向、925 hPa风向、 1000 hPa风向、925 hPa相对 湿度、850 hPa相对湿度、 1000 hPa相对湿度、 925~1000 hPa相对湿度变 化、 $T-T_d$	1000 hPa相对湿度、 925~1000 hPa温差、 850 hPa相对湿度、 925 hPa相对湿度、 925~1000 hPa相对湿度变 化、 $T-T_d$	850 hPa风向、925~1000 hPa温差、 1000 hPa相对湿度、925~1000 hPa相 对湿度变化、925 hPa风速、1000 hPa 风速、 $T-T_d$ 、700~850 hPa风切变	10 m风向、850 hPa风向、 925 hPa风向、1000 hPa相 对湿度、925~1000 hPa 温差、 $T-T_d$
夏	1000 hPa相对湿度、 $T-T_d$	10 m风向、925 hPa风向、 1000 hPa相对湿度、 $T-T_d$	1000 hPa相对湿度、 $T-T_d$	$T-T_d$	$T-T_d$
秋	850~925 hPa温差、 925~1000 hPa温差、 1000 hPa相对湿度、 925~1000 hPa相对湿度 变化、 $T-T_d$	850~925 hPa温差、 925~1000 hPa温差、 1000 hPa相对湿度、 925~1000 hPa相对湿度变 化、 $T-T_d$	850~925 hPa温差、 925~1000 hPa温差、 1000 hPa相对湿度、 925~1000 hPa相对湿度变 化、 $T-T_d$	850 hPa风向、850~925 hPa温差、 925~1000 hPa温差、925~1000 hPa 相对湿度变化、1000 hPa相对湿度、 10 m风速、925 hPa风速、1000 hPa风 速、 $T-T_d$ 、700~850 hPa风切变	$T-T_d$
冬	850~925 hPa温差、 925~1000 hPa温差、 1000 hPa相对湿度、 $T-T_d$	850~925 hPa温差、 925~1000 hPa温差、 1000 hPa相对湿度、 $T-T_d$	1000 hPa相对湿度、 925~1000 hPa温差、 850~925 hPa温差、 $T-T_d$	850~925 hPa温差、925~1000 hPa温 差、925~1000 hPa相对湿度变化、 10 m风速、925 hPa风速、1000 hPa风 速、700~850 hPa风切变、 850~925 hPa风切变	10 m风向、850 hPa风向、 925 hPa风向、 925~1000 hPa温差、 1000 hPa相对湿度、 $T-T_d$

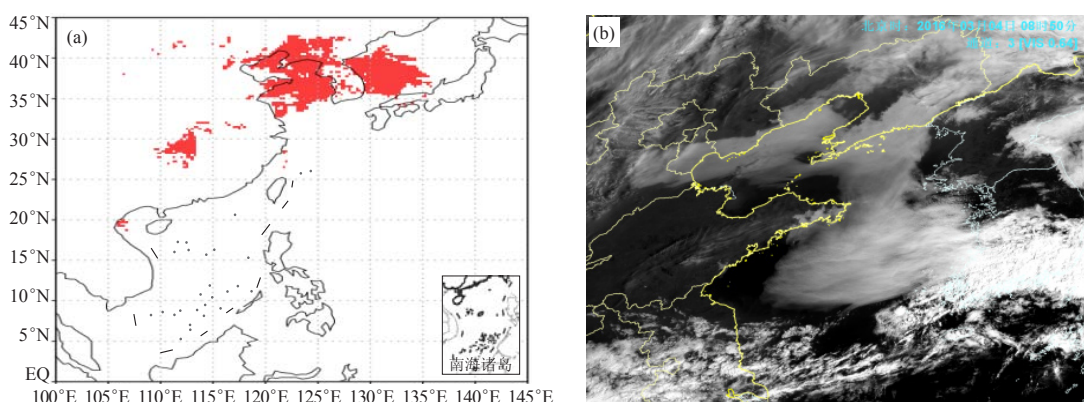


图2 2016年3月4日08时海雾客观预报产品 (a) 和卫星监测海雾雾区 (b)

Fig. 2 Objective forecast product of sea fog(a), and satellite monitoring sea fog area at 08 BT March 4, 2016

3 海洋气象服务需求分析

3.1 进一步提升我国履行国际气象保障义务能力的需求

我国作为WMO的创始国和执行理事会成员之一，加强国际气象合作、承担履行相应的国际责任和义务是我国的长期宗旨。国家气象中心承担制作和发布WMO/IMO（国际海事组织）全球海上遇险安全系统（GMDSS）XI责任海区（印度洋海域）海洋气象预报信息的责任和义务。

随着我国海洋强国战略的实施，特别是“21世纪海上丝绸之路”国家战略的实施和开展，不仅近海，对远海甚至全球海洋气象保障服务提出了迫切需求。

3.2 经济全球化亟须提高我国全球海洋专业气象精细化水平

我国沿海地区南北纵跨热带、亚热带和温带，影响海上大风的天气系统有冷空气大风、温带气旋大风、热带气旋大风，而且海上大风出现的季节和区域有所不同。在中国近海从12月至次年2月的南海盛雾期，到4—6月东海、黄海的雾季期，雾季变化有从冬春季到春夏季向北方海域推送的特征，我国海域灾害天气呈现多样化、复杂化的特点，对海上灾害性天气发生发展的机理认知还不足。海上搜救、港口及跨洋航运、海上石油开发、海上风能开发、渔业养殖、海上捕捞、海洋旅游等需要海洋精细化专业服务产品，远洋航运的经济全球化需要以数值预报释用技术为基础的海洋气象要素客观预报产品的多样化和精细化。建立和完善我国全球海洋气象监测预报预警系统和相关业务平台及配套设施建设，逐步开展全球海洋灾害性天气和全球海洋气象要素的精细化监测预报预警业务，提升我国全球海洋气象的精细化监测预报能力，无疑对保障我国参与全球政治、经济、军事活动，维护国家安全具有十分重大的意义。

3.3 应对全球气候变化和保护海洋生态环境需求增大

海洋是全球气候系统的重要组成部分，我国南海及周边地区是影响北半球天气气候的关键区域之一。完善海洋气候监测和全球海域气候影响分析业务，提高海洋气候预测能力，将有助于我国在应对和评估全球气候变化影响时，准确把握海洋天气气候演变规律，提高我国海洋和海岸带生态系统的监管能力，以进一步提升我国沿海地区抵御海洋灾害的能力，并为我国海洋气候资源开发利用、涉海重大工程等海洋经济建设需要气候条件评估、气候可行性论证等气象服务为科学决策提供参考依据。

4 海洋气象业务发展目标及重点工作

4.1 海洋气象监测与分析能力建设

基于卫星、沿海雷达、海洋浮标、海岛自动站、船舶自动站、风廓线仪、飞机观测等多种不同时空分辨率的海洋气象探测资料，发展多源资料快速客观分析技术，实现海上大风、海雾、强对流、海冰等灾害的多资料融合实时分析，特别是强化卫星资料在海洋气象灾害监测中的分析应用，形成高时空分辨率的海洋气象要素格点数据，为预报预警业务开展提供基础支撑。

1) 洋面风

利用已有及新建沿海自动站、浮标站、船舶站、海上平台站、海岛站、沿岸风廓线仪、沿海雷达等海洋气象观测资料、极轨卫星反演风场和风场快速同化资料，进行多源资料的融合分析。在多源卫星资料偏差订正的基础上，实现基于卫星产品的我国海区温带气旋、强冷空气等造成的海上大风的监测和预警；研究多种海上气象观测资料的数据融合技术，实现多源观测数据的优势互补，初步形成覆盖我国责任海区高时空分辨率的风场融合产品（图3）。

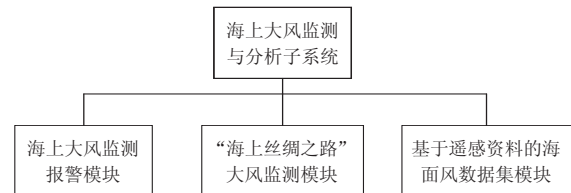


图3 海上大风监测与分析结构示意图

Fig. 3 Structure scheme of offshore wind monitoring and analysis

2) 海雾

基于极轨、静止气象卫星按照夜间和白天不同的光学辐射条件分别开发的全天候海雾自动监测技术以及海雾定量反演产品，结合沿岸站点、海岛、船舶、浮标等地面观测数据实现高时空分辨率的海雾监测产品（图4）。

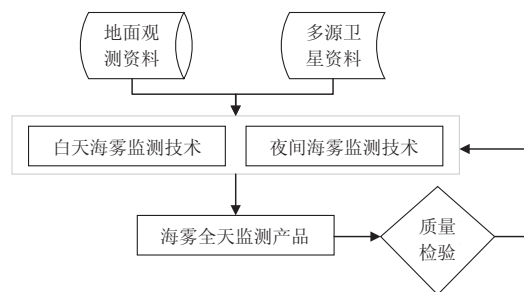


图4 海雾监测与分析流程示意图

Fig. 4 Schematic diagram of marine fog monitoring and analysis

3) 海上强对流

基于沿海天气雷达探测的基本反射率因子、组合反射率因子、垂直液态含水量等物理量场，实现强对流天气系统及其属性监测；基于气象卫星探测的云顶亮温、亮温梯度等辐射特征和随时空演变特征，监测中尺度对流系统的云型分布、移动、生消合并等特征；实现闪电分布特征的监测；基于常规和自动站等观测，实现近海雷暴大风和短时强降水天气的监测（图5）。

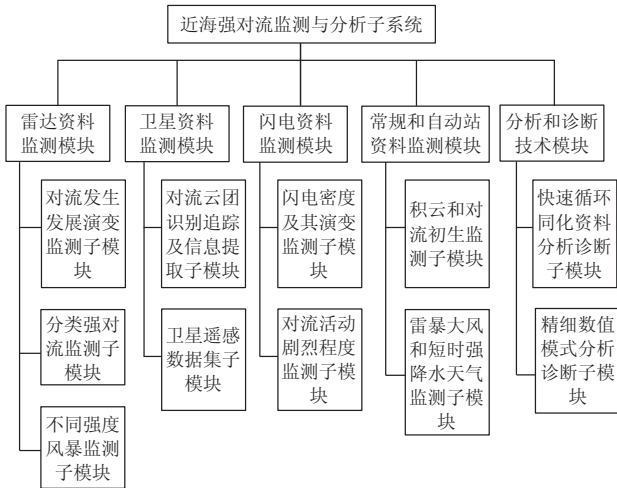


图5 近海强对流监测与分析结构图

Fig. 5 Schematics of offshore strong convection monitoring and analysis

4.2 区域快速循环同化建设

建立沿海区域高时空分辨率的快速循环同化系统，提供精细化海上大风、强对流天气监测产品，建立更适应沿海区域预报的高分辨率数值模式模块，提供更为精细的分析预报结果，是对现有模式系统的物理过程和参数化方案进行优化完善，使得物理过程和参数化方案更适应模式系统模块的分辨率，从而获得更好的分析和预报效果（图6）。

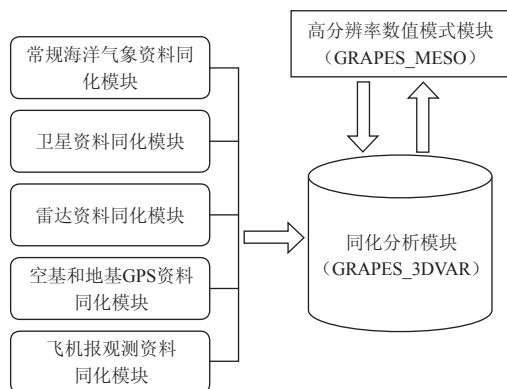


图6 区域快速循环同化系统结构图

Fig. 6 Structure chart of regional rapid cycling assimilation system

4.3 海洋气象精细化要素预报

以高分辨率海洋气象数值模式产品为核心，以资料融合分析技术、数值模式评估和解释应用技术为基础，建立和改进适用于精细化网格的海洋气象要素客观预报方法，利用格点精细化编辑平台实现海洋气象要素的格点精细化预报，实现预报产品的智能化生成、一键式分发等功能。并对重点岛屿（包括钓鱼岛、南海诸岛等）、关键海洋区域（包括近海、责任海区、西北太平洋以及“21世纪海上丝绸之路”沿线等海域）等开展精细化的海洋气象要素预报（包括天气现象、洋面风、能见度等天气要素）（图7）。

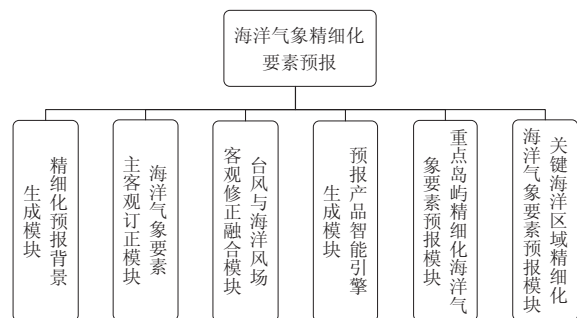


图7 海洋气象精细化要素预报结构图

Fig. 7 Forecast structure of marine meteorology for precise elements

4.4 海洋气象目标观测指导业务平台建设

目标观测平台是指国际上提出的目标观测方法，用于观测系统和可预报性之间对应研究的平台，改进海洋气象数值模式的预报质量。对某一特定时间和区域的预报对象，通过数值模拟方法，找到其上游敏感区，对所需种类的资料适时加强观测，将新的大气观测“敏感”信息通过资料同化方案应用于海洋气象数值预报模式的初值，提高模式的初值质量，进而提高模式的预报准确率。将奇异向量方法应用于海洋气象目标观测，建立基于GRAPES全球SVS奇异向量方法的目标观测敏感区诊断（或估计）算法和敏感区产品算法，针对目标观测指导业务平台核心技术需要，集成GRAPES全球集合预报扰动方法，改进SVS奇异向量计算方案，提高计算效率，集成全球集合概率预报产品和检验程序，建立目标观测业务平台核心全球集合预报模式，集合预报模式水平分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ，垂直方向60层，集合成员20~30个，目标观测敏感区奇异向量计算分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。集成集合预报模式和敏感区计算模式成果，建立海洋气象目标观测指导业务平台（图8）。

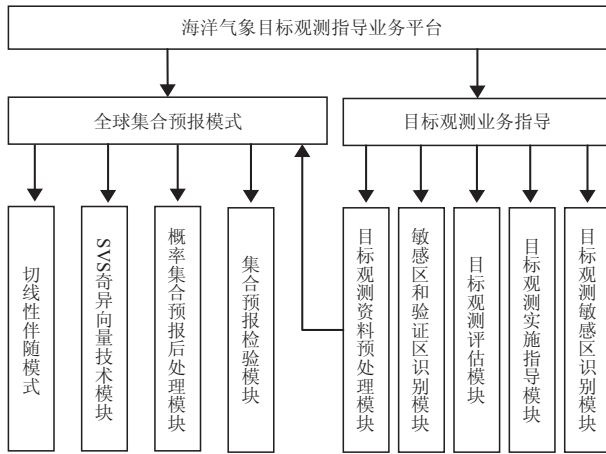


图8 海洋气象目标观测指导业务平台结构图

Fig. 8 Structure chart of guide business platform for marine meteorological target observation

4.5 海上污染物扩散数值预报模式研发

为了更好地支撑海洋气象污染预报服务的需求，以全球模式和高时空分辨率中尺度数值模式数据为基础，以HYSPLIT污染扩散模式、数值预报产品释用和预报员经验为依托，在原有系统上开发海洋气象污染数值模式预报系统，通过运用源项评估和剂量评估技术等提升并完善海洋气象污染扩散预报业务能力，满足响应时效性要求。全球扩散预报提供分辨率为 $25\text{ km}\times 25\text{ km}$ 、时效为7天的预报产品，我国境内扩散预报提供分辨率为 $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ 、时效为3天的预报产品，局部沿海地区达到分辨率为 $3\text{ km}\times 3\text{ km}$ 、时效为3天的预报产品（图9）。

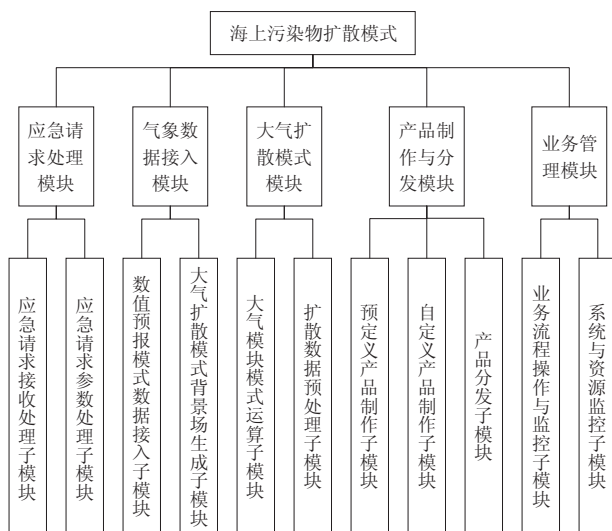


图9 海洋气象目标观测指导业务平台结构图

Fig. 9 The structure chart of the business platform for ocean meteorological observation guidance

4.6 海洋气候监测预测系统建设

1) 全球海气系统监测

利用多源海洋观测及同化资料，进一步丰富海洋事件监测指标产品，实现对多时间尺度海洋事件的指标监测，重点开展太平洋关键海区海表温度、次表层海温监测等；基于再分析大气环流数据实现对多时间尺度的海气系统的实时监测；通过对ENSO事件发展有重要影响的关键区域海温和大气环流异常的监测，实现对ENSO事件异常演变的监测。

2) 全球海温主模态诊断预测

针对各主要关注海区（如热带太平洋、印度洋、北太平洋、北大西洋），开展面向全球海洋主要气候现象（海洋变率主要模态，如IOD、NAO、PDO）的预测系统建设，形成包含主要指数和变量场的海洋诊断和预测业务产品，形成全球海洋主要海温模态诊断预测模块。拓展全球海洋主要气候现象预测，建立基本涵盖全球海洋变率模态的预测系统。开展针对全球海洋主要模态的多模式集合预测系统建设。

3) 海洋模式模块

基于全球洋流模式背景场数据进行区域洋流模式水深、模式格点等基础数据处理；对全球大气模式GFS预报场数据进行解压、通量场校正和插值处理，生成区域洋流模式所需的大气驱动场数据；对全球洋流模式分析场数据进行预处理，生成区域洋流模式温、盐、流初始场；对全球洋流模式分析场和预报场进行预处理，生成区域洋流模式所需开边界条件数据。

使用法国CERFACS中心研发的OASIS（Ocean Atmosphere Sea Ice Soil）耦合器，来实现GRAPES_TYM和区域洋流模式的耦合，其技术主要是通过分别在大气模式和洋流模式中完成对耦合器库的调用来实现不同模式之间的数据传递。

4.7 国家级和省级海洋气象业务协调发展

国家气象部门已经初步建成了国家级、区域中心、省、地（市）四级上下联动的业务反馈机制。未来为了更好地推进海洋气象精细化预报业务建设目标，应加强总体设计和筹划，发挥各自优势，合理分工。在海洋气象数值预报发展中，加强海洋气象数值预报业务不同重点领域攻关的合理布局。国家级发展高分辨率的近海、远海全海域的海洋气象数值预报，海洋区域中心在国家级海洋气象数值预报的基础上运行或发展近岸沿海更高分辨率的海洋气象模式向市县一级辐射的三级海洋气象数值预报的框架体系。在业务体系中，形成国家级指导产品下发到省级和市级，省级和市级根据局地天气特点订正的反馈机制，最后形成

统一的预报产品开展预报服务。

5 结语

通过对国家级海洋气象业务的回顾和分析,气象部门初步建立了由观测、预报、服务、信息网络等组成的海洋气象业务体系,并初步建成了国家级、区域中心、省、地(市)四级上下联动的业务反馈机制。但是,面对服务需求的快速增长和《海洋气象发展规划(2016—2025年)》纲要,海洋气象预报业务能力在综合监测分析、精细化预报、快速循环同化、海洋气候监测等方面仍存在明显不足,这些也将是未来海洋气象业务发展的重点。重点任务的实施还需加强海洋气象的客观定量监测分析能力、精细化预报预警能力和相应的技术支撑平台和配套设施建设,进而从整体上提升我国在海洋灾害性天气监测预报预警的精细化水平和预报准确率,实现我国海洋气象业务由近海—远海—全球的跨越式发展,为维护我国海洋权益、海洋防灾减灾、发展海洋经济和资源开发、海上交通安全、海上军事行动提供海洋气象综合保障服务。

本文综述的是国内气象部门承担的水面以上的海洋气象业务,有关水面及以下的海洋气象模式与应用详见文献[13]。然而海洋和大气间存在着持续的动量、热量和物质交换,海洋给予大气热量与水汽,为大气运动提供能源;在大气环流的形成、分布和变化上共同影响着全球的气候。因此,海洋气象从理论体系上是不可分割的,把两者结合起来,作为交叉学科共同发展和谋划,会给海洋气象带来更广阔的发展空间。

参考文献

- [1] 尹尽勇,徐晶,曹越男,等.海洋气象预报业务现状与发展.气象科技进展,2012,2(6):17-28.
- [2] Minnis P, Heck P W, Young D F, et al. Stratocumulus cloud properties derived from simultaneous satellite and island-based instrumentation during FIRE. *J Appl Meteor*, 1992, 31(4): 317-339.
- [3] Heidinger A K, Stephens G L. Molecular line absorption in a scattering atmosphere. Part II: Application to remote sensing in the O₂ A band. *J Atmos Sci*, 2000, 57(10): 1615-1634.
- [4] Bendix J. A case study on the determination of fog optical depth and liquid water path using AVHRR data and relations to fog liquid water content and horizontal visibility. *Int J Remote Sens*, 1995, 16(3): 515-530.
- [5] Bendix J, Thies B, Cermak J, et al. Ground fog detection from space based on MODIS daytime data—a feasibility study. *Wea Forecasting*, 2005, 20(6): 989-1005.
- [6] 朱小祥,吴晓京,李三妹.海雾辨识条件.中国气象局海洋气象预报项目技术报告.北京:国家卫星气象中心,2007.
- [7] Hunnt G E. Radiative properties of terrestrial clouds at visible and infra-red thermal window wavelengths. *Quar J Roy Meteor Soc*, 1973, 99(420): 346-69.
- [8] Eyre J, Brownscombe J, Allam R. Detection of fog at night using Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) imagery. *Meteorological Magazine*, 1984, 113(1346): 266-271.
- [9] Wu X, Li S. Automatic sea fog detection over Chinese adjacent oceans using Terra/MODIS data. *Int J Remote Sens*, 2014, 35(21): 7430-7457.
- [10] 傅刚,李鹏远,张苏平,等.中国海雾研究简要回顾.气象科技进展,2016,6(2):20-28.
- [11] 章国材.中国雾的业务预报和应用.气象科技进展,2016,6(2):42-48.
- [12] 史得道,吴振玲,高山红,等.海雾预报研究综述.气象科技进展,2016,6(2):49-55.
- [13] 刘春霞,赵中阔,毕雪岩,等.海洋环流与海浪模式的发展及其应用.气象科技进展,2017,7(4):12-22.