

我国海洋气象数值预报业务发展与思考

黄彬¹ 阎丽凤² 杨超¹ 徐晶¹

(1 国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081; 2 山东省气象局, 济南 250000)

摘要: 近年来, 我国海洋气象数值预报业务有了一定的进展, 国家级和沿海省台建立了海雾、海浪、风暴潮等一些海洋气象数值预报模式。通过对我国沿海省台业务应用中的海洋气象数值预报模式的调查, 概述了我国现行海洋气象数值预报业务模式的发展现状, 分析了海洋气象数值预报目前存在的问题和面临的挑战, 并探讨了未来的发展方向。

关键词: 海洋气象, 数值预报, 业务发展

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2014.03.010

Development of Marine Meteorological Numerical Prediction in China

Huang Bin¹, Yan Lifeng², Yang Chao¹, Xu Jing¹

(1 National Meteorological Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 Shandong Province Meteorological Bureau, Jinan 250000)

Abstract: In recent years, China's marine meteorological numerical prediction has achieved some progress. National-level cities and coastal provinces have established a number of sea-fog, wave, storm-tide-ranging marine meteorological numerical prediction models. Through the investigation of marine meteorological numerical prediction models in China's coastal provinces and their application, this paper summarizes the development status of the Chinese marine meteorological numerical prediction model, analyses the existing marine meteorological numerical prediction problems and challenges, and discusses the future development and suggestion of marine meteorological numerical prediction.

Keywords: marine meteorological, numerical forecasting, professional development

1 引言

我国海洋气象预报业务经过近几年的发展, 取得了长足进步, 已经初步建立了国家级、海洋区域中心级、省级共3级的海洋气象预报预警服务业务体系^[1-4]。海洋气象的技术支撑体系——海洋气象数值预报模式也得到发展和应用^[5]。除大气数值预报模式外, 还有海雾、海浪、风暴潮、海洋污染物扩散等海洋气象数值模式应用于国家气象中心和沿海各省级海洋气象预报服务业务中, 为海洋服务提供技术支持和客观产品。本文旨在分析目前我国的海洋气象数值预报业务产品研发和使用现状, 为我国海洋气象数值模式高效、集约发展和未来长远规划提供思路。

2 海洋气象数值预报的业务进展

2.1 国外海洋气象数值预报发展

从20世纪70年代开始, 美国有专职的研究机构

Marine Modeling and Analysis Branch (MMAB) 和 Meteorological Development Laboratory (MDL) 发展专业化的海洋气象数值预报, 并负责把模式产品转化应用到业务中, 业务单位负责评估和检验并反馈给研究机构改进模式, 形成研发→业务转化应用→评估→再研发的循环机制。

2.1.1 海雾数值预报模式

美国于1989年初步建立了能见度数值预报系统, 为预报员提供客观指导产品。系统提供4—9月的北太平洋和北大西洋的雾和能见度12h间隔的72h预报, 当时的预报产品还不适用于沿岸地区。1998年, 新的预报系统在全球预报模式(GFS)里嵌入了云模式, 并使用了Stolinga和Warner提出的一个能见度计算公式^[6]。目前版本的预报系统(NCEP MMAB Global Visibility System, 2006年)是建立在GFS模式基础上的, 输出结果为能见度, 范围为0~20000m, 预报时效为168h, 预报间隔3h, 每天起报4次。

2.1.2 海浪数值预报模式

海浪的预报方法分为人工预报方法和数值预报方法。人工预报方法包含由风资料计算海浪要素的预

收稿日期: 2013年5月13日; 修回日期: 2013年12月12日
第一作者: 黄彬(1971—), Email: hbzbj199928@163.com
资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206001)

报方法、海浪经验统计预报方法和半经验半理论预报方法。20世纪50年代至今，海浪数值预报模式得到了迅速发展。目前的主要计算模型可以分为3类：第1类是基于Boussinesq方程的计算模型，是直接描述海浪波动过程水质点运动的模型；第2类是基于缓波方程的计算模型，它是基于海浪要素在海浪周期和波长的时空尺度上缓变的事实；第3类是基于能量平衡方程的计算模型，主要用于深海和陆架海的海浪计算，但是对于近岸较大范围波浪计算也有很大优势。1983—1986年，德国、荷兰、英国、法国、挪威等国的40多名海洋专家研究发展了适用于全球深水和浅水的海浪数值计算模式。它采用当今各种海浪理论研究和海浪观测新成果，应用了物理上较合理、计算上较精确的源函数，在计算时对算法进行优化，使它成为代表当今海浪预报技术世界水平的海浪数值计算模式。第3代海浪模式的特征是直接计算波波非线性相互作用，将海浪模拟归结为各源函数的计算。目前应用较为广泛的第3代海浪模式主要有WAM模式、SWAN模式和WAVEWATCH模式等。

2.1.3 风暴潮数值预报模式

风暴潮的预报方法很多，总体分为两大类：经验统计预报方法和数值预报方法。

经验统计预报方法主要是基于长期的历史资料，用数理统计的方法建立气象要素与特定地点的风暴潮之间的经验函数关系。该方法主要包含相似型预报法和单站经验统计方法。随着计算机技术的不断进步，数值预报方法已经成为世界各国进行风暴潮预报采用的主要方法，风暴潮的数值计算始于20世纪50年代，70年代达到昌盛时期。进入21世纪，风暴潮模式的研究主要集中于近岸浪—风暴潮—潮汐和洪水的多向耦合数值预报研究、风暴潮漫堤漫滩风险预报研究，以及应用这些模式进行沿海重要区域和城市的风暴潮灾害风险评估和区划工作。在美国，Jelesnianski^[7]进行了不考虑和考虑底摩擦的风暴潮数值计算，并于1972年建立了著名的SPLASH模式。进入20世纪80年代，美国在SPLASH模式的基础上又进行了SLOSH模式的研究，这个模式能预报海上、陆地以及大湖区的台风风暴潮，在风暴潮防灾减灾中发挥了较大作用，该模式在全世界广泛使用，并于20世纪80年代末由国家海洋环境预报中心引入中国。英国的自动化温带风暴潮预报模式“海模式”（Sea Model）于20世纪70年代问世，“海模式”是Bidston海洋研究所在Heaps的二维线性模式的基础上发展起来的。日本气象厅于1998年开始业务化运行台风风暴潮数值预报，并在风暴增水中

耦合了天文潮预报。近几年，日本气象厅发展了基于多台风路径的风暴潮集合预报系统并投入业务化运行。

2.2 国内海洋气象数值预报发展

国家气象中心、海洋区域气象中心（天津、上海、广东）和沿海省市气象部门建立了基于全球或区域大气模式的海洋数值预报系统，开发的海洋气象数值模式主要有海雾、海浪、风暴潮。

海洋气象数值模式在海洋气象服务方面发挥了显著效益。海洋气象数值预报不仅为精细化的海洋保障服务提供了技术支持，如2008年奥运青岛奥帆赛气象保障服务中5km分辨率黄渤海海浪模式、黄渤海海雾模式提供了大量精细化客观产品；而且，海洋气象数值预报为海洋灾害（海上大风、海雾、风暴潮）的预警提供技术支撑，模式可以提前对海洋灾害天气的发生给予警示作用；同时，模式为满足快速增长的专业化服务需要提供客观产品，海洋专业化服务需求中长期预报时效产品，目前海洋气象对外发布72h时效主观预报产品，海洋气象数值预报弥补了主观预报的不足，如海上大风、海浪模式可以提供240h长时效的全球客观数值预报产品。模式也为亚丁湾海军护航、利比亚海上撤侨、日本核泄漏海洋污染扩散等远海海域预报服务产品提供了客观技术保障。

尽管国家级、海洋区域中心、沿海省台开发了海洋气象数值预报模式，但是海洋气象数值预报模式的种类和数量不等，且采用的基础模式的版本各家不一，模式的预报区域重叠，模式产品互相不共享，没有形成高效节约的海洋气象模式发展框架结构体系。下面具体阐述每类海洋气象模式的开发状况。

2.2.1 海雾数值模式

海雾模式（表1）基本是对WRF模式加以优化，在海雾生消变化规律的基础研究上，综合考虑大气边界层、云辐射等方案，结合地表能量收支、海盐粒子、液态水重力沉降等物理因素，对海雾进行数值模拟和预报。运行海雾模式的有国家气象中心、河北省气象局、山东省气象局、上海市气象局、浙江省气象局、福建省气象局，模式分辨率从15km到30km不等，预报时效从24h到168h不等，气象背景场有T639、GFS模式输出、T213模式输出等几种背景场资料，开发单位有中国气象局台风海洋预报中心和数值预报中心、中国海洋大学、上海台风所、上海海洋气象台、浙江省气象局、福建省气象局6家单位，其中，中国海洋大学开发的同一版本海雾RAM模式在河北省气象局和山东省气象局运行。

表1 海雾（能见度）数值预报模式

模式运行单位	基础模式	区域范围	预报时效	分辨率	气象背景场	开发单位	产品
国家气象中心	WRF (WRF预报场诊断)	中国近海	72h	16.5km	WRF	中国气象局台风海洋中心与数值中心	能见度
河北省气象局	RAMS模式	渤海	48h	30km	T639	中国海洋大学	云雾要素场
山东省气象局	RAMS模式	黄渤海	72h	15km	T639	中国海洋大学	水平能见度场
上海市气象局	模式输出统计	黄海、东海	48h	9km	STI-WRF输出	上海台风所	浓雾、雾、轻雾等级预报
	WRF	华东沿海	48h	20km	GFS模式输出	上海海洋台	能见度
浙江省气象局	WRF	中国近海	168h	5km 15km 45km	GFS	浙江省气象台	能见度
福建省气象局	基于FJ-MM5的模式释用	福建及福建沿海	24h	11km	FJ-MM5分析场及预报场	福建省气象台引进	雾出现概率、雾落区
	FJ-MM5-EPS	台湾海峡及周边海域	48h	11km	探空、地面常规、T213分析场及预报场	福建省气象台引进	雾、浓雾、强浓雾概率预报

2.2.2 海浪模式

参加海浪模式（表2）研发的有中国气象局数值预报中心、中国气象局台风海洋预报中心、中国海洋大学、解放军理工大学、上海台风所、福建省气象台、广东热带所、天津气科所，海浪模式所有开发单位均采用目前应用较为广泛的WAVEWATCH III海浪模式。从运行的海浪模式范围来看，全球范围的海浪模式有3套，国家气象中心运行分别基于T213、T639两套全球海浪模式，上海海洋气象台运行一套全球海浪模式；西北太平洋区域海浪模式有4套，分别在国家气象中心、天津市气象局、上海市气象局、江苏省气象局应用；对于近海，各家海浪模式预报区域重叠较多，如国家气象中心、辽宁省气象局、天津市气象局、山东省气象局均运行黄渤海海浪模式，国家气象中心、福建省气象局、广东省气象局运行模式分辨率不等的东海和南海海域海浪模式。

2.2.3 风暴潮模式

风暴潮模式（表3）主要包含台风和温带风暴潮模式，采用三角网格，在沿岸风暴潮敏感区域的分辨率可达几百米，模式采用干湿网格判别方法，可以模拟风暴潮漫滩过程。从调查表格中可以看出有国家气象中心、辽宁省气象局、河北省气象局、天津市气象局、山东省气象局、上海市气象局、广东省气象局七家单位运行风暴潮模式，但是采用的基础模式也有7种之多，各个模式之间没有开展模式性能的比较。参加风暴潮模式研发的有中国气象局数值预报中心、中国气象局台风海洋预报中心、中国海洋大学、上海台风所、广州热带所、天津气科所。仅黄渤海风暴潮模式有国家气象中心、辽宁省气象局、河北省气象局、天津市气象局、山东省气象局、上海市气象局6家单位运行，且模式的核心版本、分辨率、气象背景场不同。

表2 海浪数值预报模式

模式运行单位	基础模式	区域范围	预报时效	分辨率	气象背景场	开发单位	主要产品
国家气象中心	WAVEWATCH III	全球	240h	55km	T213	中国气象局数值预报中心	
		全球	120h	30km	T639		
		西北太平洋	72h	11km	WRF		
		黄渤海	72h	5km	WRF	中国气象局台风海洋中心	
		东海	72h	5km	WRF		
南海	72h	5km	WRF				
辽宁省气象局	WAVEWATCH III	黄、渤海	84h	11km	WRF模式输出	德国汉堡大学 中国海洋大学	
天津市气象局	WAVEWATCH III	黄、渤海	72h	11km	WRF模式输出	天津市气科所	有效浪高 平均浪向 浪周期
	SWAN 二代新型混合型海浪模式	黄、渤海 西北太平洋	72h 168h	10km 1km 海浪11km 风场111km	WRF模式输出 GFS	天津市气科所 天津市气象台与上海台风研究所	
山东省气象局	WAVEWATCH III	黄渤海	48h	10km	MM5模式输出	中国海洋大学	
江苏省气象局	WAVEWATCH III	西北太平洋、我国近海	168h	55km 18.3km	GFS风场预报	解放军理工大学	
上海市气象局	WAVEWATCH III	全球	168h	55km	AVN	上海台风所	
		西北太平洋及我国近海	168h	11km	AVN+台风模型	上海台风所	
	SWAN	华东沿海	72h	11km	STI-WRF输出	上海海洋气象台	
福建省气象局	WAVEWATCH III	东海、南海	72h	18.3km	NCEP风场资料	福建省气象台引进	
广东省气象局	WAVEWATCH III	东海、南海	72h	25km	广州中尺度模式	广州热带所	
		东海、南海	72h	20km	广州台风模式	广州热带所	

表3 风暴潮数值模式

模式运行单位	基础模式	区域范围	预报时效	分辨率	气象背景场	开发单位	主要产品要素
国家气象中心	FVCOM	黄渤海及东海	72h	几百米	T213	中国气象局数值预报中心	风暴潮增水 表层海流分布 验潮站点增水序 列图
		黄渤海及东海	72h	几百米	ECMWF细网格	中国气象局台风海洋预报中心	
		南海区域	72h	几百米	ECMWF细网格		
辽宁省气象局	HAMOSM	渤海	84h	7.3km 1.8km	WRF模式输出	中国海洋大学	
河北省气象局	WRF模式	渤海	48h	10km	MM5	天津海洋气象台	
天津市气象局	ADI	黄、渤海	72h	10km 1km	WRF模式输出	天津市气科所	
	ECOM	黄渤海区域	72h	黄渤海7.4km×4.6km 渤海4.6km渤海湾 0.9km天津0.2km	WRF模式输出	天津市气科所	
山东省气象局	HAMOSM	渤海	48h	11km	MM5模式输出	天津气象台与中国海洋大学	
	HAMOSM	黄渤海	48h	7.5km	T639模式输出	中国海洋大学	
上海市气象局	POM	南海、东海、黄海 和渤海；长三角和 上海黄浦江	48h	20km, 50m~3km	AVN+STI-WRF	上海台风所	
广东省气象局	JMA	中国近海	48h	3.3km	广州台风模式及主 观预报	广州热带所	

我国的海洋气象数值模式总体来看技术辐射能力没有建立，国家级和海洋区域中心均没有下发海洋数值预报产品。模式研发主要以科研院所为主，同一个科研单位参与开发多种海洋气象数值预报产品。海浪模式基础模式一致，但气象背景场多，重复开发。风暴潮核心模式版本多，但是各种版本的模式没有比较。

3 问题与挑战

从海洋气象专业模式现状分析上可以看出，海洋数值模式对海洋气象业务的支撑能力有了初步体现，形成了一定的技术支撑作用。但是也可看到，海洋气象数值预报建设水平参差不齐、研究力量分散且低水平重复；海洋气象数值预报集约化程度不高、技术辐射能力低，还没有形成高效共享的海洋气象科技支撑体系。主要表现在以下方面：

(1) 海洋气象数值预报开发种类和数量不等

国家级、海洋区域气象中心和省市级海洋气象预报开发的海洋气象数值预报产品数量不等。国家级开发了海雾、海浪、风暴潮、海洋污染物扩散4种海洋气象数值预报产品，海洋区域气象中心和沿海省台运行海洋气象数值预报的数量不等，浙江、广西只有能见度模式，江苏只有海浪模式，辽宁、河北有海浪和风暴潮两种海洋气象数值预报，海南没有海洋气象数值预报。

(2) 海洋气象数值预报研究力量分散且技术辐射能力不足

省市级气象部门海洋气象数值预报基本是依托科研院所，开发海洋气象数值预报的天津气科所、上海台风所、中国海洋大学、广州热带所参与所有种类海洋气象数值预报的开发，而不是发挥自身的特长，集中力量开发一种或两种海洋气象数值预报，这样势必

造成研究力量分散。而且，海洋气象数值预报产品并没有有效地辐射到沿海省台或市级海洋气象台，国家级和海洋区域气象中心的海洋气象数值预报产品基本上是内部使用，包括国家级在内的部分海洋气象数值预报产品并没有下发。

(3) 海洋气象数值预报以引进为主，缺少后续的改进和更新

沿海省台海洋气象数值预报主要是引进科研院所的模式，或者是引入本地化运行的模式，对模式的性能没有深入的了解，伴随后期业务和服务的需求不断扩展，但却缺少对模式长远研发规划的支持和连贯性，科研院所由于没有后续科研项目的支撑也没有改进和跟踪服务的动力，因此海洋气象数值预报引进后改进和更新很少，几乎处于维持不动的状态。

(4) 缺乏对海洋气象数值预报的检验

由于海洋观测资料匮乏和科研院所资料获取的局限性，海洋气象数值预报在投放业务单位运行前，都没有做过长时间序列的检验和评估，对模式预报产品质量的好坏也没有细致地分析。

4 海洋气象数值预报发展思考和建议

(1) 加强总体设计和筹划，合理布局

为有效推进海洋气象精细化预报业务建设，应切实加强海洋气象专业模式的发展。在海洋气象数值预报发展中，应加强顶层设计和谋划，做到海洋气象数值预报业务的合理布局。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3级海洋气象数值预报的框架体系。3个区域中心拼接成覆盖中国沿岸及整个沿海的海洋数值预报产品，

拼接的中国沿海海域数值预报产品一方面下发,另一方面上传到共享平台。无论是国家级还是区域级运行的海洋气象数值预报对产品的种类和表现形式协调统一,分辨率和时效也要做统一规划。

(2) 集中研发力量,发挥科研院所在某一领域专长

目前在海洋气象方面还没有形成成熟完善的海洋气象科技支撑体系,从国外海洋气象的发展趋势来看,海洋气象数值预报以发展高分辨率海陆气耦合的海洋气象数值模式为基础,同化海洋资料再发展不同的海洋气象数值模式。国内海洋气象数值预报应集中几个重要的海洋气象研究方向,发挥科研院所对某一领域的专长,集中优势深入研究该方向的海洋气象数值模式。

(3) 积极推进模式检验和数值预报释用工作

海洋气象数值预报应用单位应联合模式研发的科研院所共同开展模式检验工作。业务单位在模式本地化运行后,应不断加强模式的检验和应用效果评估工作,并集中反馈给科研单位,为后续的模式改进和深入研发提供一手的资料。

海洋气象精细化预报业务应以数值预报(大气、海洋模式)发展为基础,积极开展模式产品解释应用工作。开展基于数值预报基础的海雾、海上大风等灾害等级使用产品,海上强对流、近岸强风等突发灾害应结合数值预报和当地预报经验,开展动力统计等解释应

用工作。结合预报员预报经验的数值预报释用方法是沿岸、沿海开展海洋气象防灾减灾的有效途径之一。

(4) 推进海洋集合预报研究和应用,丰富产品的种类和表现形式

海洋服务和陆地还是有所区别,陆地局限于固定区域,海洋服务的范围更广泛,涉及到远海乃至3大洋领域,因此发展海洋至远海的长时效海洋气象数值预报产品,可以弥补主观预报的不足。为了更好地提高海洋气象数值预报的准确率,应着力推进发展海洋集合预报,开展多模式的海上大风、海雾、海浪、海上强对流等的集合预报技术,同时不断丰富海洋气象数值预报产品的表现形式和海洋气象数值预报产品的种类。

参考文献

- [1] 崔玉玺,陆家琏,方维模,等译. 海洋气象服务手册与指南. 北京:气象出版社,1990.
- [2] 中国气象局. 中国气象现代化60年. 北京:气象出版社,2009.
- [3] 矫梅燕,章国材,曲晓波. 现代天气业务(上册). 北京:气象出版社,2010.
- [4] 矫梅燕. 关于提供天气预报准确率的几个问题. 气象, 2007, 33(11): 3-8.
- [5] 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): 17-26.
- [6] Stoelinga M T, Warner T T. Nonhydrostatic, mesobeta-scale model simulations of cloud ceiling and visibility for an east coast winter precipitation event. *Journal of Applied Meteorology*, 1999, 38(4): 385-404.
- [7] Jelensnianski CP. SPLASH (Special program to list amplitudes of surges from hurricanes) I. Landfall Storms. NOAA Technical Memorandum. NWS TDL-46, 1972.