

解以扬, 刘大刚, 吴丹朱, 等. 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, 2014, 29(1): 136 – 143. [Xie Yiyang, Liu Dagang, Wu Danzhu, et al. Risk Prediction Technology of Ship Safety in the Yellow Sea and Bohai Sea during Severe Weathers[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(1): 136 – 143.]

黄、渤海恶劣天气影响船舶安全的 风险预估技术初探^{*}

解以扬¹, 刘大刚², 吴丹朱¹, 曲 平¹, 林 毅¹, 史得道³,
赵金霞⁴, 吴彬贵¹, 何乃光¹, 邱晓滨¹, 曾凡荣¹

(1. 天津市气象科学研究所, 天津 300074; 2. 大连海事大学, 辽宁 大连 116026;
3. 天津市气象台, 天津 300074; 4. 天津市滨海新区气象局, 天津 300457)

摘 要: 在黄渤海船舶类型调查和事故调查的基础上, 将船舶航行作为由人-船-环境组成的多因素复杂系统, 将气象海况条件作为操船环境因素之一, 依据风险决策 ALARP 准则, 调查得到黄海、渤海海区大风浪条件下 5 000 t 以下货船和客滚轮的不同风险等级标准, 具有一定的可操作性。依托精细化的数值预报产品, 建立气象保障支持系统, 并加工不同船舶的风险预估产品。对实际出现的海难事故进行风险预估, 证明了方法的可用性。还需要研究更多船型的风险预估方法和黄海、渤海海区航行船舶的风险区划; 已有方法也有待深化。

关键词: 黄渤海; 大风浪; 船舶安全; 风险预估

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2014)01-0136-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.01.025

近年来, 中国近海水域船舶交通流量和交通密度持续增加, 船舶向大型化、深吃水化、高速化发展, 通航环境复杂。沿海发生船舶交通事故的风险不断增大, 船舶交通安全面临严重的威胁。

黄海、渤海海域是我国海上事故多发的区域之一。1999 年 11 月 24 日“大舜”轮沉没事故是 1949 年 10 月新中国建国以来最严重的特大海难事故, 死亡失踪 284 人, 直接经济损失 9 000 万元; 1999 年 10 月 17 日在大连港南“盛鲁”轮沉没, 2 人失踪, 经济损失 3 500 万元; 2001 年 10 月 28 日“通惠”轮沉没, 死亡 34 人; 2003 年 2 月 27 日“辽旅渡 70”轮沉没, 死亡失踪 4 人; 2004 年 1 月 16 日“辽海轮”沉没, 损失 2 500 万元; 2004 年 11 月 26 日“海鹭 15 号”轮沉没, 失踪 1 人; 2007 年“金玫瑰”轮沉没; 2007 年 10 月 29 日“申海”轮沉没; 2009 年 9 月 6 日“泰和九”轮沉没; 2010 年 5 月 2 日载重 17 t 的香港籍货船“世纪之光”轮沉没; 2010 年天津海事局辖区在前两个季度沉船 3 艘, 山东海事局辖区沉船 7 艘^[1]。这些海难事故都给人民的生命财产造成了巨大损失。在统计的海难事故中, 发生在大风浪条件下的事故居多, 老化的船舶遭遇到大风浪环境, 若操纵不当, 极易使船舶倾覆而酿成

海难^[2]。

海上航运业是高风险的行业, 海运交通安全风险评估一直是重要的研究课题。

国内外对于航行安全的研究主要有两个方向^[3]: ①理论研究方向; ②应用研究方向。理论研究对船舶的倾覆机理研究较多, 主要包括定量分析船舶的装载状况以及风、浪、流程度与船舶稳性的关系。综合应用研究, 把航行安全作为一个系统, 结合在这一领域的理论研究成果并充分考虑专家意见及统计结果, 综合评估其安全性。在这一领域, 很多的不确定性系统理论被广泛应用, 这些理论包括: 模糊数学推理理论、灰色系统理论、粗糙集理论、神经网络评价法等。刘大刚等人对大风浪中船舶安全性的部分评估方法进行了较为全面的介绍和总结, 分析比较了不同方法的优缺点, 为不同评估方法的应用提供了参考^[4]。综合安全评估(Former Safety Assessment, FSA)是近年来的研究热点, 它是一种系统化和结构化的安全评价方法, 得到了国际海事组织 IMO 的大力支持。FSA 的理念是要在事故之前就预估其发生可能性的大小, 并且全面考虑影响安全的各个方面, 从而采取必要的安全措施, 规避风险^[5]。

现代天气、水文预报技术的发展, 为恶劣天

* 收稿日期: 2013-06-27 修回日期: 2013-08-26

基金项目: 科技部公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006034, GYHY201106006); 科技兴海项目(KJXH2012-25); 天津市自然科学基金(13JCYBJC20000)

作者简介: 解以扬(1955-), 女, 天津人, 教授级高级工程师, 主要从事天气预报与海洋气象等方面的研究。

E-mail: tjqxyjs@126.com

气条件下船舶安全的风险预估提供了可能。本文依托数值预报系统和产品, 结合大风浪条件下重点船舶风险评估模型, 建立了北方海区部分船舶安全的气象风险预估系统。

1 黄海、渤海船舶航行环境及船舶类别

1.1 船舶航行环境

船舶的航行环境是指航行水域的地形地貌、影响航行安全的气象水文条件包括风、能见度、流速、海浪、冰情等, 航道的水深、宽度、道弯曲度, 以及交通流量、通航状况等。

黄海、渤海海域属于温带海洋性气候, 季风明显, 是恶劣的海洋天气及衍生的海洋灾害频发的海区。冷空气(冷锋)、温带气旋及北上热带气旋都会引发该海域的大风和巨浪。其中, 冷锋形成的大风约占大风次数的 37%; 冷锋和气旋共同造成的大风, 频率最大, 占 56%; 单独的气旋和北上热带气旋的出现频率约为 3%~4%^[6]。该海区的波浪主要受季风控制, 冬季较大, 夏季较小; 以风浪为主, 涌浪次之, 风浪的波长和周期较短。

黄海、渤海是中国对外贸易往来的重要通道之一, 拥有我国最大的港口群, 有 6 个吞吐量超亿吨的港口(天津、青岛、大连、烟台、秦皇岛、丹东), 万吨级码头泊位占全国总数的约 40%, 上百条航线通向世界各地, 港口货物吞吐量约占全国的 40%, 是航运最繁忙的海域^[7]。在渤海海域, 曹妃甸附近、长山水道、老铁山水道附近水域的交通流密度大, 交通繁忙, 危险程度高; 天津港与曹妃甸附近、老铁山水道附近、长山水道的交通流交汇明显, 存在许多交叉和对遇的交通流, 各交通流之间分隔不明显, 船舶会遇率较高; 渤海水域内海上油田较多, 给商船航行带来不利影响; 存在渔业捕捞、养殖业与商船航行的矛盾^[3]。

1.2 船舶分类

由船讯网^[8]获取了 2013 年 4 月 22 日 22:00 至 2013 年 4 月 23 日 2:00 共 4 h 内位于黄、渤海海域(34°N 以北)的船舶资料, 并进行分类统计, 得到表 1。

由表 1 可以看出, 在黄、渤海海域货船最多, 占有船舶数量的 34.3%; 其次是捕捞船, 占 28%; 油轮和拖轮也占有一定比例, 分别是 8.3% 和 6.3%; 客船占比为 2.1%; 作业船占 1%。船的吨位可以反映船的大小, 按船的吨位进行统计可以看到, 3 000 t 以下的船占 9%, 3 000~4 000 t 的船占 2%, 4 000~5 000 t 的船占 2%, 吨位在 5 000 t 以上的占 33%, 半数以上的船吨位无法确定。船的长度也可以反映船的大小, 按船长进行统计可以看到, 船长在 30 m 以下的占 26%, 其中绝大部分是捕鱼船, 约占此类船型的 78%, 其次是没有船型编号的船, 约占此类船型的 14%; 船长在 30~50 m 之间的占 13%, 也是捕鱼船最多, 其次是拖船和没有船型编号的船; 船长在 50~100 m 之间的占 22%, 此类船型中货船最多, 其次是油轮, 没有船型编号的船也较多; 船长在 100~120 m 之间的占 5%, 这类船大约与 3 000~5 000 t 吨位的船相当, 其中货船和油轮较多; 船长大于 120 m 的约占 23%, 这类船以货船为主, 其次是油轮。另外, 长度不明的船约占 12%, 其中多半为没有船型编号的船, 捕鱼船也较多。

2 大风浪条件下船舶的风险分析及风险等级

2.1 事故调查

吴金龙和刘大刚调查了渤海近年来的重大船舶事故, 本文补充了渤海 A 平台的观测记录(表 2)^[9]。由表 2 可以看出, 大风浪引起重大事故的船舶类型主要为散货船, 占 80% 以上, 其吨位 90% 以上在 5 000 t 以下。因此, 这类船舶应为重

表 1 黄海、渤海海域的船舶分类																		
船舶分类	捕捞船	客船	货船	油轮	拖船	作业船	高速船	搜救船	引航船	执法船	港口供应船	防污船	地效翼船	娱乐船	帆船	备用mob	没有船型编号	合计
总数量	1 751	134	2 150	522	395	63	12	16	31	38	17	7	31	26	11	4	1 056	6 264
占比/%	28	2.1	34.3	8.3	6.3	1.0	0.2	0.3	0.5	0.6	0.3	0.1	0.5	0.4	0.2	0.1	16.9	
吨位/t	<3 000	36	44	68	72	207	5	4	1	10	22	5	3	3	4	1	0	65 550
	3 000~4 000	4	2	63	18	14	4	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	9 117
	4 000~5 000	5	1	79	32	11	4	0	1	0	1	0	0	0	0	0	10	144
	>5 000	22	45	1 565	304	31	23	1	8	1	2	1	0	0	2	3	0	50 2 058
	不明	1 684	42	375	96	132	27	7	5	20	13	11	4	27	19	7	4	922 3 395
船长/m	<30	1 263	11	9	3	52	0	1	0	13	13	5	0	0	11	4	0	225 1 610
	30~50	271	34	40	42	205	8	5	0	9	10	5	3	6	4	2	3	196 843
	50~100	53	20	738	234	88	27	4	9	3	13	5	2	17	2	2	0	137 1 354
	100~120	8	2	148	102	0	9	0	3	1	1	0	0	0	0	1	0	30 305
	>120	25	43	1 167	125	3	13	0	0	2	0	1	0	1	3	1	0	29 1 413
	不明	131	24	48	16	47	6	2	4	3	1	1	2	7	6	1	1	439 739

表 2		渤海近年大风浪引起的船舶重大事故一览表					
年份	船名	船舶类型	地点	损失情况		船舶大小(或 当时的载货量)	天气情况 (A 平台观测)
				人员 伤亡	经济损失/ 万元		
2003	辽旅渡 7 号	客轮	渤海	4	1 000	2 667 t	阵风 8 级以上
	华源胜 18	散货船	海峡	15	2 000	砂载 3 000 t	东北风阵风 34 m/s 以上， 海面浪高十几米，中到大 雨，能见度不良
	顺达 2	散货船	渤海	29	3 000	煤载 15 000 t	
2004	海鹭 15	散货船	中部	1	1 500	4 600 t	西南西风 19.3 m/s
2005	铭扬少洲 178	散货船	龙口港	13	1 000	4 496 t	北风 23.5 m/s
	渚扬 3 号	集装箱船	锚地	1	1 500	4 000 t	东北风 21.4 m/s
2006	龙月山	散货轮	老铁	17	2 000	2 568 t	东北东风 17.7 m/s
2007	申通 1 号	散货船	山水道	16	4 272	4 750 t	北北东风 24.3 m/s
	君山	散货船	烟台至 威海之间	3	2 551	3 380 t	东北东风 24.3 m/s
2008	信诚 9	货船		无	船体破损 机舱淹没	2 121 t	
2009	富翔	货船	普兰店	1	沉没	2 569 t	西南西风 17.4 m/s
	JISONG5	散货船	湾以西	5	沉没	铁砂载 2 023 t	北北西风 19 m/s

点关注的船舶。

此外，由于客滚船上旅客众多，一旦发生翻沉事故必然造成重大人员伤亡，其社会影响巨大，因此，各级海事部门和船舶公司都不敢掉以轻心，必然对其安全等级加倍关注，故在此将其列为重点关注的船舶。

2.2 重点关注船舶的风险等级——致灾临界气象水文条件

危害船舶航行安全的致灾因子是大风和大浪。风不仅直接影响船舶的运动，而且还会通过海浪和海流间接的表现出来。一方面风压差使船舶向下风漂移，另一方面使船舶产生偏转，而风舷角和风级决定了风对船舶的影响程度和损害程度。海浪对船舶有纵向、横向、垂向的影响。纵向来浪使得船首上浪、尾淹、船底拍浪，还可能损坏螺旋桨，或使船舶出现垂荡，较重时会造成货物移位和仪器损坏；横向浪造成船舶摇摆并使货物移位、仪器受损、甲板上浪；风浪大时致使船舶直接倾覆^[3]。

在广袤的海洋，观测环境恶劣，气象、水文观测站稀少。黄海、渤海地形复杂，不同海湾及海峡风浪情况差异较大。多年来，渤海只有位于渤海湾的 A 平台一个测站，其观测值很难准确反映海峡、普兰店湾的风力，且海浪观测资料更少。人们也常用沿海陆地站的风代替海上的风，但伴随着沿海城市的高速发展，海陆风力的差异更为显著，不能用陆地风取代海风。以上分析表明，利用历史灾损资料和气象资料建立船舶致灾临界气象水文条件，可靠性不高。

为了提高海上交通运输安全，人们一直在进行各种努力，可是各种交通事故如碰撞、搁浅、触礁、油品泄漏、人员损失等并没有随着人们的努力而减少。产生这些事故的原因是多方面的，海上的恶劣环境以及船舶数量增加造成的通航环

境变差是其中的一些原因，但是这并不是主要原因。据统计，在所有海上交通安全事故中，人的因素占了绝大多数，达到了全部事故的 80% 以上，产生这种情况的原因除了大风浪等自然原因外，还有船舶的老旧程度、船员和船舶的管理水平、船员的敬业精神和技能等^[10]。

根据风险分析理论，从考虑承载体的易损性出发，建立可用于大风浪条件下的船舶风险评估模型。由于船舶航行系统可作为由人－船－环境组成的多因素复杂系统，其中气象海况条件是操船环境的一个因素，因此可以不去考虑风浪等因素对船舶具体的影响机制，而是通过走访多位具有多年丰富航行经验的船长和海事局船舶安全管理人员，调查得到黄海渤海海区大风浪条件下重点关注船舶不同风险等级的标准^[11]。

调查方法依据风险决策 ALARP (As Low As Reasonably Practically) 准则设定。ALARP 准则将风险分为 3 个区域，即不可容忍区、可接受区 (ALARP 区) 和可忽略区，如图 1 所示。风险评价的 ALARP 准则就是拒绝不可容忍的风险，接受可忽略的风险，对于可容忍的风险，在采取了安全性与经济性相统一的具体安全管理或安全技术措施的基础上，允许风险的存在^[12]。ALARP 准则在船舶航行安全中应用的关键是如何确定可忽略线与不可容忍线。为此，设计的调查表考虑以下几种情况：①无风险情况；②有可忽略的风险 (黄色风险)，即在此条件下船舶可以航行，但必须严格遵守大风浪航行的有关规定，就基本不会出事故；③在可忽略线与不可容忍线之间 (橙色风险，ALARP 区)，即在此条件下对船舶安全威胁较大，船舶应尽可能避免较长时间在此状态下航行；④不可容忍风险 (红色风险)，即在此条件下，严重威胁船舶安全，船舶应完全避免在此状态下航行。

对于以上四种条件，分别与大风等级、海浪

表 3 大风浪条件下重点关注船舶不同风险等级的标准

船舶种类	无风险	风险等级		
		黄色风险	橙色风险	红色风险
		船舶可在此状态下航行, 但必须严格遵守大风浪航行的有关规定	对船舶安全存在较大威胁, 船舶应尽可能避免较长时间在此状态下航行	对船舶安全存在严重威胁, 船舶应完全避免在此状态下航行
4 000 ~ 5 000 t 散杂货船	风力 ≤ 5 级 或海浪高度 < 2 m	风力达到 6 级 或海浪高度 2 ~ 3 m	风力达到 7 级 或海浪高度 3 ~ 4 m	风力 ≥ 8 级 或海浪高度 ≥ 4 m
大型客滚船				
4 000 t 以下散杂货船	风力 ≤ 4 级 或海浪高度 < 1.5 m	风力达到 5 级 或海浪高度 1.5 ~ 2 m	风力达到 6 级 或海浪高度 2 ~ 3 m	风力 ≥ 7 级 或海浪高度 ≥ 3 m
一般客滚船				

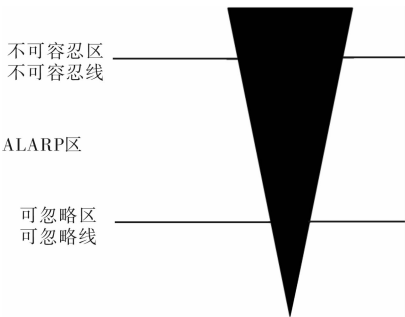


图 1 风险评价的 ALARP 准则

等级形成列联表, 其中风的等级按蒲福风力表分级, 浪的等级按浪高取 1 ~ 6 m 以上(间隔为 1 m)。将列联表交由有经验的船长按 0/1 打分, 当大多数(80% 以上)的船长认为某种风浪条件对应某种风险等级, 则确认该条件对应的风险等级成立。

调查得到的大风浪条件下重点关注船舶的风险等级标准见表 3^[9]。

表 3 表明, 对于 4 000 ~ 5 000 t 的散货船来说, 基本认为 8 级以上大风或 4 m 以上浪高将对船舶造成极大威胁, 若气象部门预报未来航线上将出现这样的风浪状况, 就认为达到红色风险标准, 应绕航或停航; 相应的, 风力将达到 7 级或海浪高度将达到 3 ~ 4 m, 则认为达到橙色风险标准, 船舶应尽可能避免较长时间在此状态下航行; 而对于 6 级及以下风力或 3 m 以下浪高的情况, 则认为属于黄色风险标准, 这时, 只要严格遵守大风浪航行的有关规定即可有效保证船舶航行安全。对客滚船的风险等级, 基本上是参照当前实际执行的航行/停航标准, 即几艘大型的“岛字号”客滚船执行“逢 8 不开”的标准, 即当气象部门预报航经海区将出现 8 级及以上大风时, 就暂停航行; 其它客滚船执行“逢 7 不开”的标准。

3 气象保障支持系统

航行船舶气象保障服务是将天气海浪预报产品与海上安全生产流程结合, 进行切合海洋作业用户需求的专业性气象保障服务。不同于人们日常接触到的公益性气象服务, 海事气象保障服务的特点是针对性强, 即所提供的某种服务产品仅

针对特定的船舶或海上作业项目。不同类型船舶航行安全的风险预测实际上是致灾临界气象水文条件的预测, 需要依托精细化的数值预报系统。

3.1 风、浪预测及可用性分析

本文用于大风预报和海浪预报的数值模式分别是 TJ-WRF 模式和 WAVEWATCH III 模式。

TJ-WRF 是 WRF 模式耦合了 ADAS 同化系统的中尺度数值预报业务系统。自 2008 年以来, 作为天津市气象局的中尺度数值预报模式系统, 每日 09 时和 21 时在 IBM 高性能计算机启动, 进行 2 次业务化运行。

模式区域的水平分辨率为 5 km, 水平格点数 441 × 369, 覆盖黄渤海及海河流域, 垂直分层 51 层, 预报时效 72 h, 产品输出间隔为 1 h。模式的主要的物理方案为: 显式降水方案(不用积云参数化)、WSM6 类微物理过程方案、YSU 边界层方案、Monin-Obukhov 近地层方案、Noah 路面过程方案、RRTM 长波辐射方案以及 Duhia 短波辐射方案。

利用黄、渤海海上自动气象站及船舶站(约 45 个站)资料对 2011 年 8 月至 2012 年 3 月期间 TJ-WRF 模式的逐小时海面大风的预报结果进行检验, 风向预报总体较好, 在预报和实况偏差在 ± 22.5° 之内的占 40% ~ 50%; 其余大部分偏差在 ± 45° 以内, 超出这个范围的不足 6.5%。表明 TJ-WRF 模式对天气系统的预报基本准确, 风向预报基本可用。

统计了上述期间 24 h、48 h、72 h 内风的逐小时分级预报的实况出现频率, 仅将 24 h 内逐小时分级预报的实况出现频率列于表 4。可以看出, 海面逐小时风力预报总体偏大(1 级以下风除外), 预报比实况大 1 级的较多, 空报率高。

TJ-WRF 在不同测站的风力预报能力存在差异(表 5)。对 A 平台而言, 风力预报总体偏小。按大风过程分析, 主要是西北风预报偏小, 6 ~ 7 级风偏小 2 m/s, 8 级风偏小 4 m/s, 9 级风偏小 6 m/s; 偏东风预报偏大, 6 ~ 7 级以上大风约偏大 2 ~ 2.5 m/s; 逐小时检验的漏报率和空报率均较高, 表明预报的最大风速出现时间与实况存在偏差, 有时提前, 有时迟后, 不同大风过程的时间偏差也不相同, 平均的时间偏差约为 2 h, 中值为 1.5 h。曹

表 4 大风 24 h 分级预报的实况出现频率

分级 频率/%	实况风力									
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级	9 级	10 级
静风	40.9	45.5	9.1	0	4.5	0	0	0	0	0
1 级	30.3	54.2	12.3	2.3	0.8	0.1	0	0	0	0
2 级	23.1	56.2	16.7	3	0.8	0.2	0	0	0	0
3 级	15.5	49.6	26.0	7.1	1.6	0.2	0	0	0	0
4 级	8.6	35.6	31.5	17.0	6.5	0.7	0.1	0	0	0
5 级	5.1	20.9	26.4	23.7	19.4	4	0.5	0	0	0
6 级	2.5	11.1	17	20.4	29.8	14.8	3.9	0.4	0.1	0
7 级	1.5	7.3	11.4	16.3	26.7	24.1	10.2	1.9	0.6	0.1
8 级	2.5	4.6	7.1	12.3	22.2	23	20.3	5.7	2	0.2
9 级	2.7	9.6	11	17.8	15.1	16.4	12.3	9.6	5.5	0
10 级	0	0	0	0	55.6	27.8	0	16.7	0	0.0

妃甸浮标的风力预报总体偏大，偏差程度与黄渤海海区的相当。曹妃甸浮标的风力预报与 A 平台预报的差异，是测站高度的差异造成的，前者风杆高度是标准的 10 m，后者风杆高度距海面 36 m。这进一步说明 TJ-WRF 预报的 10 m 风力总体偏大，与表 4 的结果一致。而曹妃甸浮标预报最大风出现时间的偏差与 A 平台相当。

TJ-WRF 风力预报偏大可以在一定程度上弥补阵风预报能力的不足。笔者统计了 2005 年 1 月 1 日以来 A 平台最大风速(10 min 平均风速)与极大风速(2 s 瞬时风速)的差异，其平均差值为 1.65 m/s，最大的差值可达 10 m/s 以上，主要出现在夏季，秋季也有，应为强对流天气所致。表 6 所示为不同风向向下平均风与瞬时风的差异，可以看出，随着风速增加，两者的差异也越大，也就是说风

表 5 TJ-WRF 对 6 级以上大风逐小时预报能力的检验

6 级以上大风	黄渤海海区(约 45 个站)			A 平台			曹妃甸浮标		
	24 h	48 h	72 h	24 h	48h	72 h	24 h	48 h	72 h
TS 评分	0.13	0.11	0.11	0.25	0.20	0.17	0.15	0.13	0.14
漏报率	0.55	0.58	0.63	0.67	0.71	0.77	0.41	0.49	0.49
空报率	0.85	0.87	0.87	0.49	0.60	0.62	0.84	0.85	0.84
平均误差	3.80	3.98	3.89	-1.02	-0.65	-1.29	4.08	4.11	4.13
均方根误差	5.89	6.12	6.37	4.00	4.44	4.68	5.74	6.06	6.30

表 6 A 平台极大风速与最大风速的风速差

风速差	偏北风			西南风			偏东风		
	平均差值	最大差值	最小差值	平均差值	最大差值	最小差值	平均差值	最大差值	最小差值
全部数据	2.35	11.90	0.40	1.70	12.80	0.10	2.08	14.70	0.00
6 级以下	1.48	4.10	0.40	1.49	8.60	0.10	1.55	8.00	0.20
6 级以上	2.78	11.90	0.50	2.22	12.80	0.40	2.94	14.70	0.00
8 级以上	3.63	11.90	1.30	6.16	12.80	3.40	4.21	11.40	0.90

表 7 浪高 24 h 分级预报的实况出现频率

分级频率/%	实况浪高/m							
	0.1~0.4	0.5~1.2	1.3~1.9	2.0~2.4	2.5~3.0	3.1~3.9	4.0~4.9	5.0~5.9
预报浪高 m	0.1-0.4	81.9	17.8	0.2	0	0	0	0
	0.5-1.2	37.8	56.7	5	0.3	0.1	0	0
	1.3-1.9	2.3	42.2	38.8	11.7	3.9	1.2	0
	2.0-2.4	0	9.9	22.8	29.8	30.6	6.7	0.3
m	2.5-3.0	0	1.1	3.3	23.1	31.9	40.7	0
	3.1-3.9	0	0	5.3	10.5	31.6	36.8	15.8
	4.0-4.9	0	0	8.3	16.7	16.7	8.3	41.7
								8.3

速越大阵风越强。除了强对流天气外，平均风与瞬时风的偏差基本上在预报误差之内。因此风力预报基本上是可用的。而最大风速的时间偏差，可通过粗化预报的时间尺度来解决，也是可用的。

WAVEWATCH III 海浪模式是基于能量守恒原理的波浪谱模型，考虑了波流与风浪互相作用的物理机制，属于第三代海浪模型，适用于较深海域、较大尺度的波浪计算。目前，天津市气象科研所采用该模式对黄、渤海海浪的有效波高进行日常业务预测。

WAVEWATCH III 模式的格点数取 91×81，间距为 0.1°，由 TJ-WRF 提供风场驱动。日常业务运行两次，约在下午 15：50 和夜间 03：50 启动，预报时效为 72 h，计算时长约 10 min。

利用黄、渤海安装在浮标或搜救船的海浪观测资料(约 6 个站)统计了 2011 年 8 月 1 日至 2013 年 5 月 15 日期间 WAVEWATCH III 模式预报的 24 h、48 h、72 h 内有效波高逐小时分级预报的实况波高出现频率，并将 24 h 内逐小时分级预报的实况出现频率列于表 7。可以看出 WAVEWATCH III 预报的海浪总体较好，2 m 以下的浪预报偏大的比例较高；2 m 以上的浪预报偏小的比例较高。对比表 4 和表 7，可以看出海浪预报要好于风力预报，其预报偏差可能与风的预报偏差有关。

尽管模式的预报结果还不能达到很高的准确度，但毕竟可提供较为可信的时空精度较高的风、浪要素预报，可为开发制作具有可视化功能的气象保障服务产品提供重要的参考和依据。

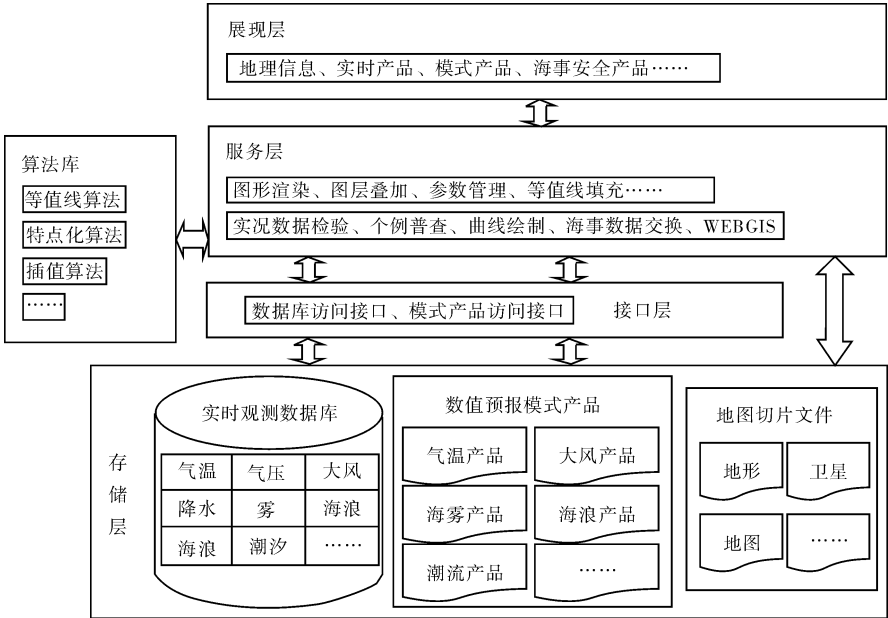


图2 WEBGIS 平台的功能与结构

3.2 监测预测信息动态显示

船舶在海上航行时, 会受到各种水文气象要素的影响, 为了能够直观、方便、快捷地了解未来航线上的大风浪情况, 需要建立基于 WEBGIS 的海洋气象精细化业务平台, 动态显示气象水文信息, 辅助船舶进行安全决策(图2)。

本文的海洋气象精细化业务平台采用基于预生成的金字塔瓦片和算法, 后台程序从矢量或栅格地理信息文件中加载地理信息, 通过地图引擎将地理信息绘制成1~17不同等级分辨率的地图瓦片, 通过一定的算法将地图瓦片组合成当前视图下的完整地图, 构建“气象和海洋环境信息综合处理系统”所需要的基于页面技术的地理信息系统。平台提供地图显示、图层叠加、地图缩放、漫游、测距、空间分析等基本功能。

依托天津北方海洋气象预报中心, 海洋业务平台集成了黄渤海区域的逐小时自动气象站的气象、水文观测信息, 雷达、卫星监测信息, 多家数值预报中心的风、温、湿、降水、潮流、海浪预测信息, 台风实况、预测信息等, 并实现了信息的可视化动态显示。

3.3 风险预估信息的制作与显示

本文应用第二节介绍的方法, 利用风、浪数值预报产品加工重点关注船舶的风险预测产品。大风浪条件下船舶风险预测产品有两种表现形式:

(1) 针对海事管理部门的产品。这类产品展现为针对特定船型的不同等级风险的区域分布及变化。

(2) 针对船舶的航线风险产品。当确定某类船舶的航行路线、开船时间及航行速度后, 可以动态给出该船在航行中可能遇到的风险。

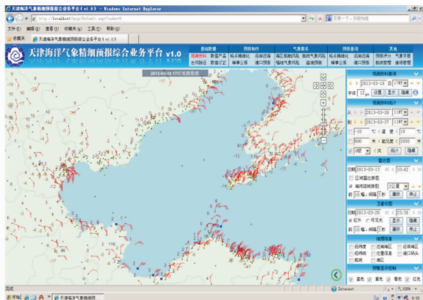
4 应用例证

2013年3月18日17:15, 天津光阳海运有限公司的“光阳新港”轮在山东烟台龙口西北40 n mile 海域处侧翻沉没, 船上14名船员全部遇难。“光阳新港”轮是一艘2 682 t 的中小型集装箱货船, 船身全长95.98 m, 宽13.8 m, 此次船上运输的货物为钢材和石材。“光阳新港”轮沉没的海域, 水深约为20 m^[13]。这次海难事故为我们的风险预估提供了验证。

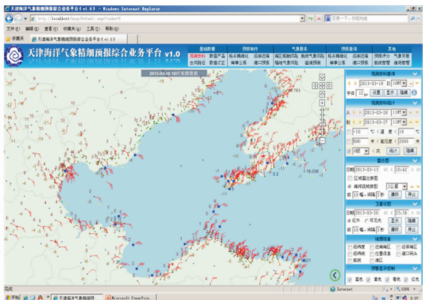
根据气象观测资料, 事发当日05时辽东湾已起风, 08时大风区覆盖了渤海中北部, 曹妃甸浮标和A平台风速达18 m/s, 09时大风区已覆盖整个渤海, 此时风力最大, 1号平台风速达20 m/s; 大风持续到当日下午, 并逐渐减小东移, 至16时渤海湾东部风力为12~14 m/s, 17~18时莱州湾风力减小到12 m/s。

TJ-WRF 对此次大风过程的预报较好, 起风时间、大风覆盖范围及最大风力等级均与实况相符; 不足之处是预报的大风结束早于实况, 预报的16时大风区已在莱州湾东部, 17时大风区已所剩无几(图3b1、b2)。TJ-WRF 预报风场驱动的WAVEWATCH III对海浪的预报效果较好, 预报16时和17时事发海域的浪高达2.5 m(图3c1、c2)。

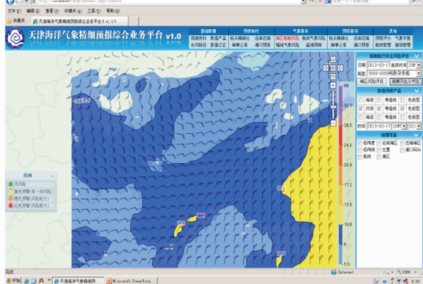
基于 TJ-WRF 的风场预报和 WAVEWATCH III 的海浪预报制作针对不同船型的逐时风险海区。图4a1和a2分别是4 000~5 000 t 货船在18日16时和17时的风险区预报, 显示出对此类船而言, 事发海域有黄色风险。图4b1和b2分别是3 000~4 000 t 货船在18日16时和17时的风险区预报,



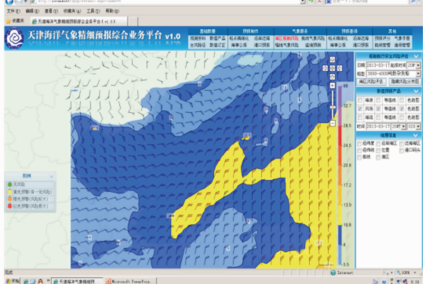
(a1) 是2013年3月18日16时气象要素监测实况 (其中带有蓝点的风杆表示风力达到蓝色预警的量级)



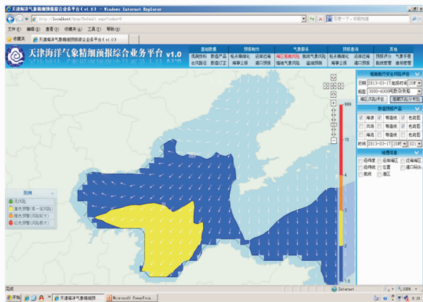
(a2) 是2013年3月18日17时气象要素监测实况 (其中带有蓝点的风杆表示风力达到蓝色预警的量级)



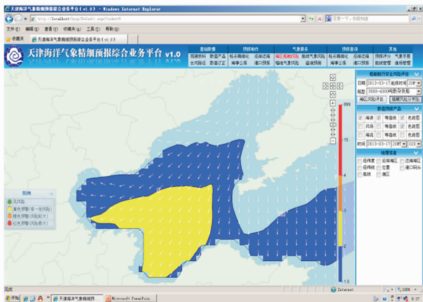
(b1) TJ-WRF模式3月17日20时预报的 3月18日16时的风场



(b2) TJ-WRF模式3月17日20时预报的 3月18日17时的风场

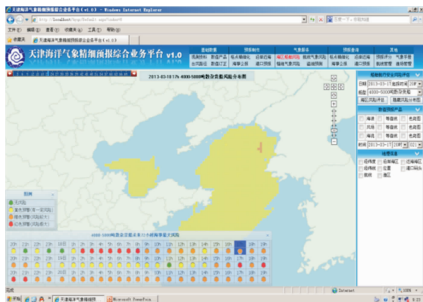


(c1) WAVEWATCHⅢ模式3月17日20时预报的 3月18日16时的海浪场 (白色矢量为浪向)

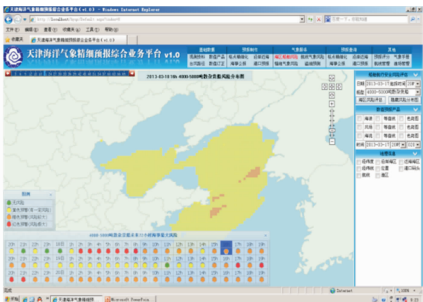


(c2) WAVEWATCHⅢ模式3月17日20时预报的 3月18日17时的海浪场 (白色矢量为浪向)

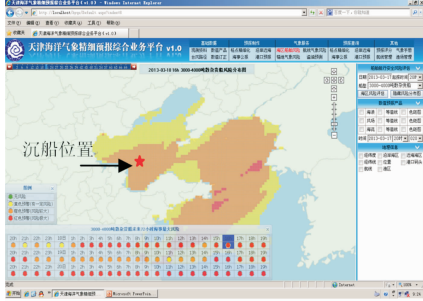
图3 2013年3月18日海难事故的观测与预报



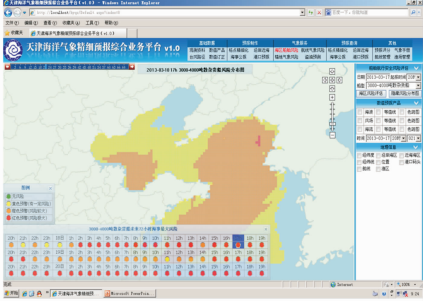
(a1) 3月17日20时预报的3月18日16时的 4000-5000 t货船的风险区



(a2) 3月17日20时预报的3月18日17时的 4000-5000 t货船的风险区



(b1) 3月17日20时预报的3月18日16时的 3000-4000 t货船的风险区



(b2) 3月17日20时预报的3月18日17时的 3000-4000 t货船的风险区

图4 货船的风险区预测图(各图配有色标或图例)

显示出对此类船而言事发海域有橙色风险。出事的“光阳新港”轮的实际吨位为 2 682 t, 对“光阳新港”轮而言, 事发海域的风险应高于橙色。

5 讨论

(1) 本文在黄渤海船舶类型调查和事故调查的基础上, 将船舶航行作为由人-船-环境组成的多因素复杂系统, 将气象海况条件作为操船环境的因素之一, 依据风险决策 ALARP 准则, 调查得到黄海、渤海海区大风浪条件下 5 000 t 以下货船和客滚轮的不同风险等级标准, 具有一定的可操作性。

(2) 本文依托精细化的数值预报产品的气象保障支持系统以及在该系统下风险预估技术的实现方式, 对实际出现的海难事故进行了风险预估, 证明了预估方法的可用性。

(3) 调查表明, 黄海、渤海的船舶类型很多, 由于船舶类型不同, 其抗风险能力的差异很大, 需要研究不同类型船舶的风险预估方法; 针对 5 000 t 以下货船和客滚轮的风险分级方法比较简单, 尚未考虑风浪条件下的船舶失速情况等, 风险分级有待深化; 尚未考虑航线疏密对船舶航行的影响, 有必要根据航线疏密和气候条件研究黄海、渤海的风险区划。

参考文献:

- [1] 山东海事局通航处. 山东海事局辖区 2010 年水上通航安全形势分析报告[R]. 济南: 山东海事局, 2010.
- [2] 杜嘉立, 徐邦祯, 田佰军. 客滚船抗风能力的确定[C]//中国航海学会—2004 年度学术交流会优秀论文集. 北京: 中国航海学会, 2004.
- [3] 张文玲. 渤海海域关键区域船舶航行安全分析[D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
- [4] 刘大刚, 郑中义, 吴兆麟. 大风浪中船舶安全性评估方法综述[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(1): 114-118.
- [5] 宋世俊. 综合安全评估(FSA)方法及在船舶交通管理水域的应用研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
- [6] 阎俊岳, 陈乾金, 张秀芝, 等. 中国近海气候[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [7] 国家海洋局海洋发展战略研究课题组. 中国海洋发展报告(2010)[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- [8] 船讯网[EB/OL]. (2013-04-22) [2013-04-22]. <http://www.shipxy.com/>.
- [9] 吴金龙, 刘大刚, 范中洲, 等. 大风浪条件下渤海海区重点船舶风险评估模型[J]. 中国航海, 2012, 35(2): 89-92.
- [10] 赵学军. FSA 在港口水域通航安全评估中的应用[D]. 大连: 大连海事大学, 2010.
- [11] Kinzo Inoue. Assessment of the correlation of safety between ship handling and environment[J]. The Journal of Japan Institute of Navigation, 1996, 95: 147-153.
- [12] 马争锋, 徐安花. 基于 ALARP 原则的高速公路隧道防灾等级划分和防灾救援设施配置研究[J]. 青海交通科技, 2012(5): 59-61.
- [13] 韩蔓, 余璐, 顾明君. 渤海沉船惨剧 或与大风有关?[EB/OL]. (2013-03-20) [2013-03-20]. <http://roll.sohu.com/20130320/n369508754.shtml>.

Risk Prediction Technology of Ship Safety in the Yellow Sea and Bohai Sea during Severe Weathers

Xie Yiyang¹, Liu Dagang², Wu Danzhu¹, Qu Ping¹, Lin Yi¹, Shi Dedao³, Zao Jinxia⁴,
Wu Bingui¹, He Naiguang¹, Qiu Xiaobin¹ and Zeng Fanrong¹

(1. Tianjin Institute of Meteorological Science, Tianjin 300074, China;
2. Dalian Maritime University, Dalian 116026, China; 3. Tianjin Meteorological Station,
Tianjin 300074, China; 4. Tianjin Binhai New Area Meteorological Bureau,
Tianjin 300457, China)

Abstract: Based on the investigation of the type of ship and accidents in the Yellow Sea and Bohai Sea, the ship navigation is considered as a complicated system which impacted by people, boat and environment, And the meteorological is selected as one of environmental factors of ship handling. On the basis of ALARP standard, the risk grade of cargo ship (bellow 5 000t) and passenger ship in great stormy waves in Yellow Sea and Bohai Sea is investigated. The meteorological support system is developed based on the meticulous numerical forecast products and could provide risk assessment products with different ship types. Risk prediction technology is confirmed by estimating the risk of actual shipwrecks. The risk prediction methods for different ships are necessary. The risk grade regionalization of more ship types in the Yellow Sea and Bohai Sea are given. The existing methods need to be improved.

Key words: Yellow Sea and Bohai Sea; great stormy wave; ship safety; risk prediction