

目录

- 1、 智能制造技术在造船企业中的应用研究
- 2、《中国制造 2025》对船舶工业的影响浅析
- 3、 2 万吨极地多用途船安全设计
- 4、 30 米级洪泽湖搜救艇设计
- 5、 16300 吨 LNG 燃料动力化学品船能量利用系统的模拟分析与优化
- 6、 LNG 动力船舶应用水浴式汽化器可行性分析
- 7、 LNG 燃料技术在大型汽车运输船上的应用研究
- 8、 船舶建造档案的法规发展和实船履约总结
- 9、 船舶与海洋工程装备产业中国专利技术分析
- 10、 船舶与海洋工程装备制造产业资源配置导向
- 11、 船用锂电池动力船型研发的若干技术问题初探
- 12、 基于 EFSPD 的艏侧推建模及放样探究
- 13、 基于产出效率的江苏船舶工业专利竞争力研究
- 14、 极地救生艇耐低温性能研究及试验方法
- 15、 江苏省船舶与海洋工程装备产业专利情报研究
- 16、 全球船舶与海洋工程装备产业专利分析
- 17、 新型全电力推进车客渡船设计分析
- 18、 液态 LNG 闪急沸腾喷雾过程数值模拟研究
- 19、 智能化与数字化的船舶管系制造装备-合拢管设计制造系统的研发
- 20、 走向深远海， 谋求大发展—优先发展我省大海工装备产业

智能制造技术在造船企业中的应用研究

刘惠宇

(江苏科技大学 船舶产业综合研究所, 江苏 镇江 212003)

摘要: 推进造船企业制造过程智能化是实现造船强国目标的必由之路。本文对当前智能制造应用的新一代信息技术进行了阐述,并探讨了其在船舶制造过程中的应用领域。同时,针对我国造船业智能化发展现状,分别从外部环境和企业内部分析了当前造船企业智能化发展存在的问题并提出建议。

关键词: 船舶制造; 智能制造; 新一代信息技术

引言

当前,“中国制造 2025”已上升为国家战略,提出要以“两化”融合为主线、智能制造为主攻方向,推进制造过程智能化。船舶工业是“中国制造 2025”中提出的十个重点行业之一,是实施海洋强国和“一带一路”倡议的重要支撑^[1]。自 2010 年起,我国造船完工量、新接订单量和手持订单量三大造船指标连续 6 年稳居世界前列,成为名副其实的造船大国^[4]。但是,我们也清醒地看到我国造船业“大而不强”的事实,船舶的技术含量和复杂程度、造船每修正总吨工时消耗、造船周期和全员造船效率等效率效益指标与造船强国的差距仍然较大。

面对世界经济复苏乏力、全球航运市场持续低迷、造船市场竞争激烈的困境,新一代信息技术与先进船舶制造技术的融合,将会给造船企业带来新的历史机遇^[3]。智能制造技术在造船企业的研究和应用,对于造船企业推进信息化、柔性化、智能化,缩短建造周期,提高建造质量,实现绿色制造,提高企业竞争力、加快我国船舶产业升级转型,最终实现建设造船强国的目标具有十分重大的意义。

1 智能制造关键技术

本文中讨论的关键技术,将范围限定在当前热门的人工智能、物联网、大数据、云计算、智能机器人以及虚拟仿真等方面^[2]。

1) 人工智能

人工智能在现代制造业中发挥了重要作用。语音和图像识别、机器人规划、多信息传感与控制、专家系统、智能优化控制等技术,为生产效率的提高做出重要贡献。在船舶产品设计过程中,概念设计和工艺设计是大量专家的创造性思维,需要分析、判断和决策。大量的经验总结、分析,如果仅靠人工来进行,需要很长的时间。

作者简介: 刘惠宇,研究实习员,研究方向为船舶企业创新管理。

2) 物联网、大数据、云计算

物联网实现了现实世界和虚拟环境的无缝链接，大大缩减人与物在空间上的距离，使生产活动变得更加便捷。物联网技术有利于加快船舶产品制造数据的传输和分析，优化生产资源的配置。大数据是由物联网的扩展领域而逐渐形成的海量数据，大数据依托于云计算的分布式数据处理、整合，挖掘其潜在的价值。对从设备、流程、生态链上采集的海量数据进行分析，再转化为有效的服务提供给用户，是制造系统智能化的重要体现。云计算提供安全可靠的数据处理和存储中心，实现不同制造设备间的数据共享，为用户设计、决策等提供有效数据支撑。

3) 智能机器人

智能机器人是拥有精确计算、关节活动、视觉识别等诸多功能为一体并应用于工业领域的机器人。智能机器人通过感知、学习、记忆、思维等活动而产生适当的行为，能够不断积累经验 and 优化，解决各种复杂问题和突发事件，并变得越来越高效，从而模拟、延伸和扩展人类智能。机器人把“人”从生产线上解放出来，并且提升了产品的竞争力。

4) 虚拟仿真技术

运用虚拟仿真技术，在虚拟环境下全链条群组协同工作，从根本上改变了试制、修改、生产的传统制造模式，其借助仿真技术并行地模拟出产品制造的全过程，提前预测、检验、评判产品各项性能，从而更加经济、柔性地组织生产，减少由于前期设计缺陷给生产带来的返工。

2 智能制造技术在造船企业的应用领域

将上述智能制造关键技术与造船生产工艺流程相结合，可以在以下几个领域进行应用。

2.1 船舶设计数字化、集成化

船舶设计是信息密集型工作，不同专业间的信息互相都有不同程度的依赖。数字化船舶设计软件可以解决造船的实际问题，通过其全程参与、灵活实施、可伸缩性以及高度适应性的体系架构，帮助企业满足设计建造需求。在造船的最初设计环节实现协同化、数字化和集成化，可以有效降低造船修正总吨工时，从而大大降低了生产成本，提高了企业的综合竞争力。

1) 计算机辅助设计（CAD）系统是一种辅助船舶设计和建造的计算机软件集成系统，包括船体构造、管系、主要机器设备等在内的所有部件，均在计算机内设计完成。使其与设计及制造体系紧密结合，可以减少大量重复作业和错误作业，有效提高了设计、制造的质量与效率。

2) 计算机辅助工艺设计（CAPP）是将产品设计信息转换为各种加工制造、管理信息的

关键环节，是企业信息化建设中联系设计和生产的纽带，同时也为企业的管理部门提供相关的数据，是企业信息交换的中间环节。

3) 计算机辅助加工 (CAM) 利用基于分布式数控车间的管理模式，将制造过程有关的设备 (如数控切割机等) 与上层控制计算机集成为一个系统，从而实现制造设备与上层计算机之间的信息交换，通过接收 CAD 和 CAPP 系统处理完的数据，并将数据传输至数控切割机和机器人设备，实现了从钢板下料开始到切割成品产出的自动处理。

2.2 造船生产自动化、智能化

生产焊接机器人在船舶制造过程中的应用已经取得明显成效^[5]。例如，南通中远海运川崎不断推进自动化、智能化生产线建设，在建设智能化船厂方面进行了一系列探索和实践。自 2012 年以来，型钢自动生产线、条材机器人生产线、先行小组立机器人生产线、小组立机器人生产线、管加工机器人生产线等自动化、智能化生产线相继投产，大大改进了生产流程，提高了生产效率，并且在船舶性能、造船效率和船舶质量上始终领先于国内主流船厂。

2.3 船舶建造虚拟化

虚拟制造是实际制造过程在信息系统中的映射，即采用计算机仿真与虚拟现实技术 (VR)，利用网络各专业协同工作，实现产品设计、工艺规划、加工制造、性能分析、质量检验等造船业务的管理与控制，以增强制造过程中各环节的决策与控制能力。

通过虚拟制造技术不仅能提前发现和解决实船建造中的问题，还为管理者决策提供了科学依据，从而真正实现船体建造、舾装、涂装一体化和设计、制造、管理一体化。

2.4 建造过程可视化

通过物联网技术连接智能设备和生产管理软件，可以实现生产过程的实时监控并且能够精确定位、实施造船现场管理^[7]。

1) 生产线管控的可视化可以进行实时数据采集、在线传输等，能够对生产线的计划和能力进行预估/实绩管理，快速处理生产异常，为生产计划执行管理智能化提供数据支撑。

2) 电装作业管理可视化能够采集生产数据，并实时传输、分析汇总、自动生成各种报表等，实时了解各区域的加工进度、物量、配员等情况，对生产计划和实绩进行三维可视化

管理。

3) 现场三维作业指示可视化实施基于三维模型的现场作业可视化指导，可实现设计信息到现场的无缝连接与准确传递，减少建造返工。

3 我国造船行业智能制造技术应用面临的问题

当前智能制造技术发展前景较好，但是要大规模应用于我国造船领域仍有一定难度，面临的问题既有外部环境制约因素，也有企业内部自身原因。

3.1 外部环境制约因素

当前,国内智能装备市场处于初级发展阶段,商业环境不够成熟,智能制造技术创新发展的产业环境不够完善,政策支持力度尚不能满足企业智能化发展的需求。同时,国内智能制造产业链不健全,配套能力不足,高端数控系统、传感器等核心部件都依赖进口,关键核心技术受制于人。此外,在我国现有的船舶工业标准体系和国际船舶相关的标准中还没有与智能制造直接相关的标准^[6]。并且高素质人才短板制约了造船企业智能化发展。随着智能化转型升级,高素质人才的重要性进一步凸显,目前高端人才缺口较大,无法满足船企走向智能化的需要。总之,智能制造是网络化、智能化、系统化的新型生产模式,将对过去的传统生产方式造成巨大冲击,以及由此给传统制造模式企业带来的不适应均会限制智能制造技术在造船企业的应用和推广。

3.2 企业内部原因

由于智能化升级项目前期投资大、回报周期长,企业承担的智能化升级的成本及风险高,严重制约了企业智能化升级的需求。同时,造船企业整体应用智能制造技术水平不高,造船技术与信息技术融合度低,信息化程度不高,“信息孤岛”现象严重。企业大多还停留在引进几台智能化加工设备的水平,远没有达到融入研发、设计、制造、服务全过程的程度。造船企业在关键技术的自主创新能力不足,设计、研发各自为政,缺乏资源共享与合作平台^[8]。我国的大多数企业目前的造船模式与现代造船模式还有一定距离,致使信息化难以发挥应有的作用。

4 积极推进我国造船业走向智能制造的建议

针对目前我国造船企业智能制造发展现状,在稳步推进智能化建设的过程中,可从以下几方面展开工作:

4.1 积极营造有利造船业智能化发展的外部环境

1) 资金和人才

① 加快推进企业智能化转型速度。借助国家推出的专项补贴等政策,加大资金投入,针对性地解决好企业智能化改造的成本压力和资金风险,加快企业智能化升级改造速度。

② 提供高端信息化专业人才保障。鼓励企业与科研院所合作建立高端人才的培养和培训服务体系,加大造船行业智能制造的高端人才供给力度。

2) 体系和配套

① 加强对智能化制造体系的规划。大力支持“智慧院所”和“智能工厂”建设,做好配套环境的准备,建立起智能化制造体系及产业配套架构,打造功能全面的产业链体系。

② 多方合作共同破解产业链配套难题。解决产业链配套问题需要各方共同努力,既需

企业自身不断加强技术水平，提高研发能力，也需要政府加强政策激励和引导，另外还需要行业组织作为桥梁增进行业内相互合作。

3) 标准和生态

① 建设智能制造标准体系。依据国家智能制造标准体系建设指南，围绕互联互通和多维度协同等瓶颈，开展行业应用标准研究，探索制定造船行业智能制造标准。

② 培育行业智能制造生态体系。面向船舶企业智能制造发展需求，推动行业内企业紧密合作、协同创新，推动产业链各环节企业分工协作、共同发展，逐步形成符合我国造船模式的智能制造生态体系。

4.2 努力提升造船企业应用智能制造技术水平

1) 两化融合（工业化与信息化融合发展）

① 加快推进造船企业两化融合进程。围绕加快建立现代造船模式，梳理出造船行业两化融合的关键环节，提升信息化集成水平，完善船舶产品大数据管理平台，实现研发、设计数据的共享与应用。

② 搭建基于互联网的制造资源共享平台。推进造船各环节和全价值链的并行组织和协同优化，逐步建成研发、设计、制造、测试、仿真、管理一体化协同平台，实现优势资源的互补与共享。

2) 试点示范与合作模式

① 重点建设几家智能制造试点示范企业。发挥大型造船集团优势，首先重点建设几家智能制造试点示范企业，然后再以点带面，逐步推进造船及配套企业智能化转型升级。

② 搭建现代智能工厂合作模式。构建船舶行业大数据中心以及研发、制造协同管理平台，打通造船与配套企业之间的“信息孤岛”。

3) 技术创新

① 建立智能制造创新中心。紧扣造船行业智能制造的关键技术，在沿海、内地等不同区域建立智能制造基础技术、应用软件、系统集成等创新研究中心。

② 加快研发智能制造支撑软件。依托造船行业优势企业，针对关键技术、智能产品、智能工厂的开发和应用，研发智能制造相关的核心支撑软件，为实现全链条的智能化提供软件支撑。

5 结语

智能制造技术的应用对于我国造船企业既是机遇也是挑战。在我国智能制造水平尚不发达的情况下，推动我国船舶制造业智能化转型的任务是异常艰巨的。但面向未来，造船企业要准确把握时代发展脉搏，抓住智能制造发展历史机遇，立足造船行业实际，逐步实现从智

能分段、智能车间到智能船厂的转变，最终推动我国造船企业走向世界前列。

参考文献：

- [1] 马誉贤. 新一代信息技术在船舶制造中的应用[J]. 中外船舶科技, 2018(2):1-5.
- [2] 张雪峰. 我国船舶行业智能制造的新内涵与应用[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(4):14-18.
- [3] 王光宏, 何光伟, 陈瑾子, 等. 广船国际智能制造应用与展望[C]// 2018 海峡科技专家论坛暨海峡两岸航海技术与海洋工程研讨会论文集. 2018.
- [4] 李晓川. 船舶“智”造的变革与未来[J]. 中国船检, 2017(2):62-65.
- [5] 张玉奎, 张宜群. 船舶智能制造技术顶层研究[J]. 应用科技, 2017, 44(1):5-8.
- [6] 吴笑风, 岳宏, 石瑶, 等. 我国船舶产业智能制造及其标准化现状与趋势[J]. 舰船科学技术, 2016, 38(9):1-6.
- [7] 郭建利. 物联网技术在船舶智能制造中的应用[J]. 舰船科学技术, 2017(18):49-51.
- [8] 燕翔. 问道智能制造, 船舶工业需破釜沉舟[J]. 海运纵览, 2017(9):31-33.

《中国制造 2025》对船舶工业的影响浅析

江苏科技大学 钱伟

摘要：船舶工业是为水上交通、海洋资源开发及国防建设提供技术装备的现代综合性和战略性产业，是国家发展高端装备制造业的重要组成部分，是国家实施海洋强国战略的基础和重要支撑。《中国制造 2025》把海洋工程装备和高技术船舶作为十大重点发展领域之一加快推进，明确了今后 10 年的发展重点和目标，为我国海洋工程装备和高技术船舶发展指明了方向。

关键词：中国制造 2025；船舶工业；影响

1. 我国船舶工业发展总体情况

2008年，我国船舶工业实现跨越式发展，造船完工量达到2881万载重吨，占世界造船完工量的29.5%；新接订单5818万吨，占世界市场份额37.7%；手持船舶订单超过两亿吨，占世界市场份额35.5%。三大指标均跃居世界第二位，标志着我国造船大国地位的真正确立。2009年上半年，中国造船厂新船订单量更是超越韩国，成为全球第一。开创了与韩国、日本“三足鼎立”的世界造船新格局。但自全球金融危机爆发以来，国际船舶市场急转直下，定单急剧减少，我国船舶工业虽然仍与韩国、日本保持三分天下的局面，但自身发展面临诸多困境。

我国造船完工量由 2010 年的 6560 万载重吨下降至 2016 年的 4268 万载重吨，降幅达到 46.16%，2017 年造船完工量有所回升；2017 年新接订单量比 2016 年有所增加，改变了以往负增长的局面，但仍处于较低水平；手持订单量则呈下降趋势（见表 1）。

表 1 2010—2017 年我国造船三大指标

时间/ 指标	造船完工 万载重吨	同比增 %	新接订 万载重	同比增 %	手持订 万载重	同比 %
2010	6560	55	7523	189	19590	4.1
2011	7665	16.8	3622	-51.9	14991	-23.5
2012	6021	-21.4	2041	-43.6	10695	-28.7
2013	4534	-24.7	6984	242	13100	22.5
2014	3905	-13.9	5995	-14.2	14890	13.7
2015	4184	7.1	3126	-47.9	12304	-12.3
2016	3532	-15.6	2107	-32.6	9961	-19
2017	4268	20.9	3373	60.1	8723	-12.4
平均	5083.6	--	4346.4	--	13031.8	--

2. 我国船舶工业发展面临的主要问题

（1）核心竞争力不强

造船业核心竞争力是某一区域造船业在长期发展过程中培育、发展、形成并拥有的显示关键要素和潜在关键因素的组合所形成的竞争能力。我国船舶企业数量众多，造船三大指标也稳居世界前列，是造船大国。但是，我国活跃造船企业仅 100 多家，且产业集中度较低，这些船舶企业无论是从人员、技术水平、管理水平还是产品结构等方面来说，与先进造

船企业相比都具有不少的差距，表现在产业层面就是核心竞争力不强。

（2）低附加值船型多

多年以来，我国低附加值船比例一直较高，虽然自 2010 年以来有所下降，同世界其它相比，高附加值船舶和海洋工程装备的市场占有率较低，总体船舶产品附加值及复杂度较低。

（3）融资渠道较单一

造船产业是资本密集型行业，在运营发展的过程中需要大量的资金。自 2008 年金融危机后，我国造船业面临巨大的资金压力，资金供给普遍不足。目前我国造船业融资需求主要依赖于商业银行贷款、融资渠道单一。由于造船业的投入巨大，回收期长，特别是船市低迷，很多商业银行都对贷款担保抵押等提出了更高要求。此外，持续的船市低迷，致使目前银行界已把船舶产业作为信贷调控的重点行业，即使重点企业，甚至也采取一刀切的态度，只收不贷，融资难程度继续恶化。

（4）成本优势渐消失

我国造船业十多年来的快速发展，与我国造船企业拥有的低劳动力成本关系较大，但近年来由于人均工资呈逐年增长的趋势，随着劳动力成本不断提高，我国造船业的低成本优势相比日韩船企优势渐消。另外，我国船舶企业劳动力素质相对日韩较低，导致同期全员劳动生产率的增加值相对较低，进一步削弱了我国造船业劳动力成本低的优势。

（5）设计船配支撑弱

我国船舶设计能力和水平比较薄弱，新船型开发不足，特别是高新技术船舶，缺乏独立自主设计的能力，如大型液化天然气船、大型液化石油气船、大型客滚船、高档化学品船、科学考察船、大型远洋渔船、豪华游船等。

3. 《中国制造 2025》指明船舶工业发展重点

（1）《中国制造 2025》指明制造业重点发展领域

2015 年 5 月 8 日，国务院印发《中国制造 2025》通知，为我国制造业发展明确了目标、指明了方向。其中明确指出了制造业重点发展的十大领域，具体见表 2。

《中国制造 2025》提出，海洋工程装备及高技术船舶产业要求大力发展深海探测、资源开发利用、海上作业保障装备及其关键系统和专用设备。推动深海空间站、大型浮式结构物的开发和工程化。形成海洋工程装备综合试验、检测与鉴定能力，提高海洋开发利用水平。突破豪华邮轮设计建造技术，全面提升液化天然气船等高技术船舶国际竞争力，掌握重点配套设备集成化、智能化、模块化设计制造核心技术。

表 2 《中国制造 2025》重点领域

十大重点领域
新一代信息技术产业（集成电路及专用装备、信息通信设备以及操作系统及工业软件）、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械。

注：根据《中国制造 2025》整理

（2）海工装备和高技术船舶发展思路与重点方向

《中国制造 2025》提出，根据产业发展阶段、发展基础和条件，未来十年海洋工程装

备和高技术船舶发展方向与重点见表 3。

表 3 未来十年海洋工程装备和高技术船舶发展方向与重点

装备领域	类别	具体要求
海洋资源开发装备	深海探测装备	深海物探船、工程勘察船等水面海洋资源勘探装备；载人深潜器、无人潜水器等水下探测装备；海洋观测网络及技术、海洋传感技术。
	海洋油气资源开发装备	提升自升式钻井平台、半潜式钻井平台、半潜式生产平台、半潜式支持平台、钻井船、浮式生产储卸装置（FPSO）等主流装备技术；发展液化天然气浮式生产储卸装置（LNG-FPSO）、深吃水立柱式平台（SPAR）、张力腿平台（TLP）、浮式钻井生产储卸装置（FDPSO）等新型装备研发水平，形成产业化能力。
	其他海洋资源开发装备	开展海底金属矿产勘探开发装备、天然气水合物等开采装备、波浪能/潮流能等海洋可再生能源开发装备等新型海洋资源开发装备前瞻性研究，形成技术储备。
	海上作业保障装备	开展半潜运输船、起重铺管船、风车安装船、多用途工作船、平台供应船等海上工程辅助及工程施工类装备开发，加快深海水下应急作业装备及系统开发和应用。
海洋空间资源开发装备	深海空间站	突破超大潜深作业与居住型深海空间站关键技术，具备载人自主航行、长周期自给及水下能源中继等基础功能，可集成若干专用模块（海洋资源的探测模块、水下钻井模块、平台水下安装模块、水下检测/维护/维修模块），携带各类水下作业装备，实施深海探测与资源开发作业。
	海洋大型浮式结构物	突破海上大型浮体平台核心关键技术，按照能源供应、物资储存补给、生产生活、资源开发利用、飞机起降等不同功能需要，依托典型岛礁开展浮式平台建设。
综合试验检测平台	数值水池	通过分阶段实施，建立能够实际指导船舶和海工研发、设计的数值水池。
	海洋工程装备海上试验场	建设海洋工程装备海上试验场，实现对各类平台设备及水下设备的耐久性和可靠性试验，加快我国海洋工程装备国产化进程。
高技术船舶	高技术高附加值船舶	速提升 LNG 船、大型 LPG 船等产品的设计建造水平，打造高端品牌；突破豪华游轮设计建造技术；积极开展北极新航道船舶、新能源船舶等的研制。
	超级节能环保船舶	突破船体线型设计技术、结构优化技术、减阻降耗技术、高效推进技术、排放控制技术、能源回收利用技术、清洁能源及可再生能源利用技术等，研制具有领先水平的节能环保船，大幅减低船舶的能耗和排放水平。
智能船舶		突破自动化技术、计算机技术、网络通信技术、物联网技术等信息技术在船舶上的应用关键技术，实现船舶的机舱自动化、航行自动化、机械自动化、装载自动化，并实现航线规划、船舶驾驶、航姿调整、设备监控、装卸管理等，提高船舶的智能化水平。

核心配套设备	动力系统	推进船用低中速柴油机自主研制、船用双燃料/纯气体发动机研制，突破总体设计技术、制造技术、实验验证技术；突破高压共轨燃油喷射系统、智能化电控系统、EGR 系统、SCR 装置等柴油机关键部件和系统，实现集成供应；推进新型推进装置、发电机、电站、电力推进装置等电动及传动装置研制，形成成套供应能力。
	机电控制设备	以智能化、模块化和系统集成为重点突破方向，提高甲板机械、舱室设备、通导设备等配套设备的标准化和通用性，实现设备的智能化控制和维护、自动化操作等。
	海工装备专用设备	提高钻井系统、动力定位系统、单点系泊系统、水下铺管系统等海洋工程专用系统设备研制水平，形成产业化能力。
	水下生产系统及关键设备	重点突破水下采油井口、采油树、管汇、跨接管、海底管线和立管等水下生产系统技术与关键水下产品及控制系统技术，实现产业化应用。

注：根据《中国制造 2025》规划系列解读之推动海洋工程装备及高技术船舶发展》整理

4. 《中国制造 2025》对我国船舶工业发展的影响

（1）引领我国船舶工业由“大”到“强”转变

2010 年起以来，我国已成为制造业第一大国，然而中国制造“大而不强”则是一个不容忽视的事实。与我国制造工业发展的总体情况类似，我国船舶工业同样面临着发展质量不高、创新能力不强、产业结构不合理、核心竞争力偏弱等问题。2008 年国际金融危机爆发后，我国不少骨干船企大力推动工业化与信息化的深度融合，积极转变造船模式，已经为数字化、智能化的发展奠定了一定基础。当前，互联网思维正深深影响着包括造船和海工在内的大型装备制造业，由互联网引入的大数据、云计算、物联网、3D 打印、等技术，将把船企的设计研发、建造和服务等有机地结合起来。充分发挥互联网技术的作用，推动船舶、海工装备制造实现数字化、智能化、集成化和精细化，是船舶、海工行业《中国制造 2025》的发展方向。未来，造船业和海工装备制造业必然是融信息化、自动化、智能化和新科技为一体的新业态。尤其互联网技术对设计方法、手段、工具、流程的改变，应引起高度关注，将促进我国船舶、海工的设计创新。

（2）助推我国船舶工业以实际行动转型升级

“十二五”期间，我国船舶工业保持稳步发展，世界造船大国地位进一步巩固。然而，结构性产能过剩矛盾凸显、自主创新能力不强、船舶配套装船率偏低、生产性服务业发展滞后、市场无序竞争等问题依然严峻。《中国制造 2025》提出的九大任务、五大工程，聚焦创新能力、两化融合、基础能力建设、质量品牌建设、绿色制造、重点领域、结构调整、服务型制造和生产性服务业、制造业国际化。这些内容都能与船舶工业紧密结合，也能够为船舶工业解决当前的突出问题提供良好的指引。

（3）有利于船舶工业加速融合创新进程

造船业是资金、技术、劳力密集型产业。而我国造船业产能建设规模过大，且在新船型自主研发、设备配套、系统集成、海洋工程、豪华邮轮设计建造等领域与世界先进水平还存在一定的差距，低成本优势正在逐步减弱。《中国制造 2025》将海洋工程装备及高技术船舶列入十大重点领域，要求掌握重点配套设备集成化、智能化、模块化和设计制造核心技术。

在船舶节能减排、循环排放、绿色制造、液化天然气（LNG）动力应用、船体与压载技术探索、装卸货信息化等领域也要加入到国际主流行列。它们是做大造船业的标志，也是做强造船业的保障。

参考文献：

[1]国务院：《中国制造 2025》，2015 年 5 月 8 日，

http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm。

[2]中华人民共和国工业和信息化部装备工业司：《<中国制造 2025>解读：船舶与海工篇》，2016 年 5 月 13 日，http://www.eworldship.com/html/2016/ship_inside_and_outside_0513/115201.html。

[3]大连船舶工业工程公司：《中国制造 2025 引领船海产业迈向高端》，2015 年 12 月 10 日，<http://www.dssc.com.cn/index.php/Index/newsshow/id/253>。

2 万吨极地多用途船安全设计

葛沛，刘灿波

南通中远川崎船舶工程有限公司 技术本部，江苏 南通 226005

摘 要：极地环境多变恶劣，运输船舶的安全设计是重要课题。本文针对某 2 万吨极地多用途船，参考芬兰瑞典冰级规则（FSICR）、极地规则和船级社相关规范，分析了极地运输船在船体结构、甲板机械防护、消防救生设备防护、通道防冻措施、居住区安全、航行安全及通信等方面的设计特点。研究发现：极地船舶的舷侧通常采用横骨架式，甲板机械布置在封闭的结构内以防止冻坏，位于暴露区划的消防救生设备需提供保护罩，船上各种用途的通道考虑加热等防冻措施，居住区为了保持室内温度，中央空调的蒸汽消耗量、压缩机及风机马达功率均需增加，暴露的航行设备需要考虑防冻，还需配备冰情接收设备、光纤罗经和铱星通讯系统。通过本文的研究，对极地运输船舶的研发提供借鉴。

关键词：极地船；安全设计；极地规则

中图分类号：U662.1

北极航道潜在的巨大航运、经济等价值使其受到越来越多航运公司的青睐。北极航道比普通航线的通航情况要复杂的多，漂浮的海冰、风、海流、高寒低温、能见度差等恶劣环境条件都给极地航行带来了较大的危险性和不确定性。设计院所和船企对极地航行船舶的设计开展了相关研究，文献[1]探讨了极地船舶的破舱稳性，并计算了极地多用途船的破舱稳性，文献[2]研究了极地船舶的冰带骨架系统规范设计，文献[3]探讨了极地多用途集装箱船液舱及管系防冻设计技术。本文以 2 万吨级极地多用途船为对象，深入研究了船体结构、甲板机械防护、消防救生设备防护、通道防冻措施、居住区安全、航行安全及通信等方面开展的安全措施。

1 船体结构

首先根据冰区船规范确定加强范围。规范通常沿船长方向将船体分为艏部（B），艏部过渡区（BI），舦部（M）和尾部（S）。各区域除舦部以外，按照吃水不同又分为冰带区，冰带以下区以及底部区。从舦部往尾部，以及从冰带区域往底部区域，强度要求逐渐减弱^[4]。

作者简介：葛沛（1986-），男，工程师，硕士，现从事船舶总体设计工作；
通信作者：葛沛，男，E-mail: gepei@nacks.com

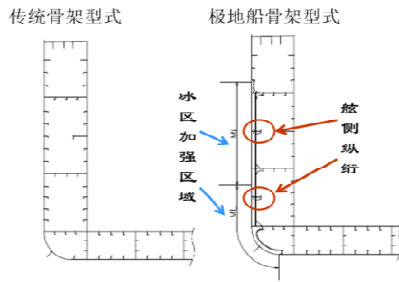


图 1 传统船舶与极地船骨架型式

极地运输船结构强度设计分为两部分，一部分为考虑局部结构承受冰载荷作用时的结构强度，另一部分为考虑冰载荷和静水载荷时船体梁的总纵强度。规范对冰区加强区域的最小板厚、纵骨剪切面积和剖面模数都有要求，设计时须兼顾规范要求和施工性，合理布置纵骨。本文用 DNV 冰区船规范^[4]中计算板厚的公式，比较了横骨和纵骨架式两种骨架型式下的外板板厚。采用横骨架式可以减小外板厚度，从而对减轻船体重量有利，同时减少分段合拢时的纵骨对接，有利于施工。以某 2 万吨级多用途船为例，传统船舶舷侧采用纵骨架式结构，在双舷侧内布置了两道平台，如图 1。极地运输船对于冰区加强区域 M_i 、 M_L ，采用了横骨架式，一直延伸到艏部。为了减小肋骨跨距，在肋骨中间布置了舷侧纵桁，而且减小了肋骨尺寸，降低空船重量。此外，在确定肋骨尺寸时，为了应对海冰的碰撞和挤压，采用大型 T 型材以增加结构强度，尤其是艏部区域。

极地运输船总纵强度设计需要综合考虑冰区航行和非冰区航行两种情形。在非冰区航道，船舶总纵弯矩及剪力需要考虑静水载荷及波浪载荷；而在冰区航行时，波浪较小，则主要考虑静水载荷及冰载荷影响。船体梁的总纵强度校核借助 DNV 船级社开发的 Nauticus Hull 规范计算软件进行。一般船体梁分段缝附近构件尺寸沿船长方向有明显变化，剪力在分段缝处有突变，最有可能出现强度不满足的情况。在进行总纵强度校核时，需要对每个分段缝附近的截面进行计算，以满足规范要求。在软件内输入板厚、材料、纵骨尺寸、弯矩和剪力等信息，对剖面的局部强度，剪切强度和剖面模数进行校核，确保每个剖面拥有足够的抗弯和抗剪切刚度。

极地船营运在低温环境，船体材料必须具有耐低温特性，对于暴露在空气和海水中的船体结构以及与之连接的构件，采用的钢材耐低温等级根据冰区规范中其所在区域来选取。极地船各区域板厚及钢材耐低温等级与传统船舶相比，板厚有明显增加（对于 2 万吨级多用途船，冰带区域平均增加 5mm），而且在冰区加强范围均采用高强钢。

2 甲板机械防护

锚泊设备作为船舶最重要的设备之一，在防冻规则中有明确的要求，在极地低温状态下锚泊设备要能保持稳定的工作状态，要求锚绞机和止链器布置在室内，以保证船员能在冰雪、大风和飞溅的状态下工作。对于锚绞机和止链器，露天的工作环境显然不能满足要求。低温和风雪不仅会将设备冰冻，也会使船员无法工作，因此需要采用遮蔽的结构进行保护，如图 2 所示。用舷窗进行封闭舷边较大的开口，较小的孔则用帆布覆盖防止结冰，使锚绞机和止链器保持在可操作的状态，也使船员有适宜的工作环境。锚泊设备的液压控制系统，可以使用低温用液压油，确保在寒冷气候下，液压油的粘度较低，液压系统能够正常运作。



图 2 锚绞机和止链器保护布置

对于锚和锚链，常规的锚唇设计（图 3.a）显然不能满足极地航行的要求，海浪飞溅会在低温状态下造成对锚和锚链的冻结，使船舶无法进行抛锚操作，而且浮冰也会对凸出船体外的锚造成冲击破坏。因此极地船采用锚穴设计（图 3.b），不仅能保护锚不受到浮冰的冲击，同时便于采用加热设备从内部对内凹的钢壁结构进行加热，利用钢壁的导热性融化冰冻，使锚和锚链一直保持在无冰状态，满足极地航行的要求。

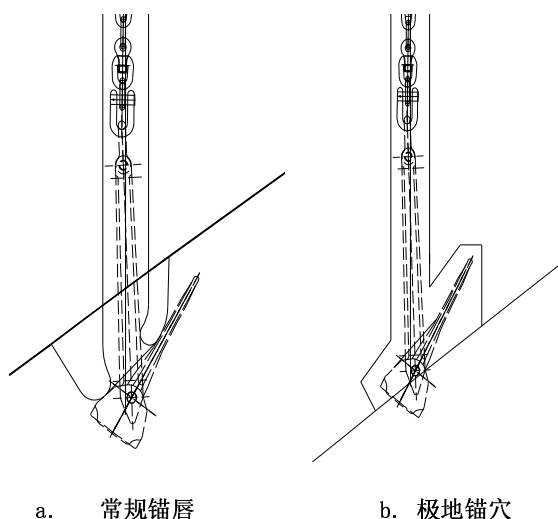


图 3 锚和锚链设计

对于系泊设备，由于船舶锚机和缆机为一台设备，防护结构同图 2。船艏的缆机位于舱盖高度甲板顶部以下，两舷做成半封闭结构。所以尾部缆机可以近似看成布置于半封闭的结构围壁内。当船舶航行于极地环境时，可以使用帆布将两舷的结构封闭，可以确保缆机不会被冰雪冻住。同时人员在操作时也可以免于暴露在冰雪、大风、海水飞溅的环境下，如图 4 所示。

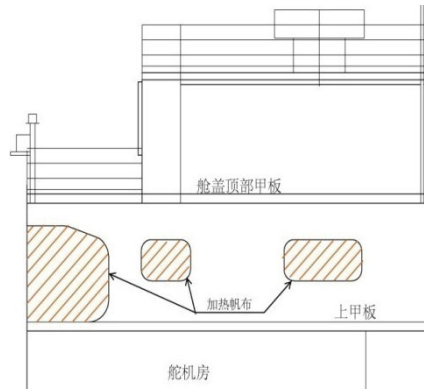


图 4 船舵缆机布置

3 消防设备保护

消防系统是保证船舶安全航行的重要因素之一，对于航行于极地水域的船舶，必须确保船上的消防系统或设备在恶劣极地环境或紧急情况下可用，防止极地环境对消防系统产生破坏性影响，从而危及船舶及船上人员安全，造成不可估量的后果。

船舶配备的主要消防系统或设备有 CO₂ 灭火系统、甲板消防系统、水喷淋系统及便携式灭火器。CO₂ 灭火系统属于气体消防系统。一般气体释放喷嘴布置于货舱内部，气体释放管部分位于寒冷区划，部分位于室内区划。管路内无液体存在，所以不会发生管路内结冰的状况。所以一般 CO₂ 灭火系统无需设置额外的保护措施。甲板消防系统属于液体消防系统，理论上本系统应该设置加热措施来保证管路内的液体不结冰，消防栓不被冰块堵住。但舵机房和机舱的温度高于 5℃，布置其中的管路无需考虑防冻。甲板下通道、水手长室、暴露区划的温度低于 -2℃，但甲板消防系统在贯穿机舱前壁处已设置了隔离阀，而该阀门在航行于寒冷海域时常闭，即甲板下通道、水手长室、暴露区划的消防管内无液体。同时在消防管路最低点设置放残阀门。因此，对于甲板消防系统，仅需提供消防栓的保护罩。水喷淋系统也属于液体消防系统，该系统使用甲板消防系统来供水。控制阀门布置于室外。当船员使用时，仅需打开消防泵、消防管线隔离阀、打开水喷淋控制阀门即可。当使用完毕后，可以利用消防管线的放残管，将管路中的液体放出即可，从而无需设置额外的防冻保护措施。便携式灭火器主要布置于居住区、机舱及其他室内区划。低温并不会对灭火器造成影响，无需额外设置保护措施。

4 救生设备防护

为保证救生设备在低温情况下不被外部环境损坏，船员能够在设计环境温度下释放、操作救生设备并安全撤离，对于救生设备（包括救生艇和救生筏）所在的处所及撤离通道需要采用船体结构进行遮蔽，即将所有的救生设备保护在半遮蔽的室内，而对于救生设备释放所要求的开口，则采用帆布罩进行保护，如图 5 所示。将救生设备所处区域与外部寒冷环境隔

离，一方面能够防止外部海水飞溅和水汽进入而造成结冰，另一方面防止空气流通形成室内低温而对救生设备的功能造成影响。同时通过加热器对整个空间进行加热，使救生设备所处空间一直保持在适宜的温度，保证救生设备的功能和可靠性，也为船员集结和撤离提供安全的环境。



图 5 甲板加热装置

5 通道防冻布置

船上的通道有：从居住区至锚绞机操作区域的通道、逃生通道、登轮点至救生设备的通道、集结站等。对于极地航行船舶，由于外界气温极低，通道表面如不设置防冻对策，极有可能被冰雪覆盖，从而影响人员通行。

锚绞机通常布置于船的艏艉，为确保船员能够安全地到达锚绞机操作区域，需要对通道设备操作区域的通道设置防冻对策。从居住区至操作区域的通道位于室外，需要对通道提供加热对策来保证宽度为 700mm 的无冰通道，加热通道的表面温度为 $+3^{\circ}\text{C}$ ，如图 6。



图 6 通道防冻布置

对于逃生通道，部分位于暴露区划，有可能被冰雪覆盖，需要采取加热等防冻对策，确保通道表面无冰，以便人员能安全并迅速地撤离。

极地船的集结站，需要布置在室内区划。集结站可布置在居住区甲板的两翼，靠近救生

艇，并配备应急照明和广播。提供半封闭的船体结构，开口部分用加热帆布罩封闭，可以看成封闭的结构，这样不必布置额外的防冻措施。

6 居住安全措施

居住区是人员居住的环境，由于船舶航行在极地环境，外界的环境温度极低，保障船员的居住环境温度舒适显得尤为重要。根据 DNV Winterization Cold 船级符号要求，在设计环境温度下，居住区区域需要达到确保船上人员安全健康的温度（至少+18℃）。极地船在考虑居住区室温计算时，设计环境温度为-45℃，室内温度为+18℃，室内外温差达到 63℃。而当航行于普通海域时，室外环境温度为-20℃，室内温度为 22℃，室内外温差为 44℃，采用的是一级蒸汽加热。由于温差太大，如果依照通常的设计，采用一级温度加热，不能达到设计的要求，可考虑采用预加热和再加热两次蒸汽加热的方式。经过比较分析，先通过预加热器将新风温度从-45℃加热到-15℃，与回风混合成-2℃的混合空气，再通过再加热器将-2℃的混合空气加热到 38℃，经过风管供应到各房间，以使各房间的温度达到规范要求的 18℃。根据计算结果，结合厂家标准以及空间布置的限制，与常规船相比，某极地多用途船的中央空调蒸汽消耗量增加 208%，压缩机马达功率增加 14%，风机马达功率增加 62%。而空调吸风口采用了电加热装置，以保证在极地环境下寒冷潮湿的空气无阻碍吸入中央空调。

7 航行安全

极地航行安全主要考虑航行设备的配置、性能满足低温、高纬度的环境。基于以上考虑及 Polar Code^[5]和 DNV WINTERIZATION 规则^[4]中要求，航行设备进行特殊配置及考虑。比如配备冰情信息接收和显示设备，以接收最新的冰情信息；测深仪配置 2 个独立探头；配置手动红色闪光灯，视距至少 2 海里。雷达天线配加热器，以保证天线旋转不受冰雪影响；DGPS/AIS 等圆形（或棒状）天线提供机械保护防止被雪覆盖；室外布置紧急无线示位时考虑除冰措施；配置电笛以代替原汽笛；船舶配置探照灯以搜寻浮冰，驾驶室可对探照灯进行遥控；驾驶室前方窗户玻璃提供加热，以保证雨刮器正常工作且保持不结冰。航行于高纬度环境时，常规的陀螺仪式电罗经无法满足要求，需要配置 2 套光纤罗经。

8 通信

极地航行的通信主要考虑低温环境对无线电、卫星等通讯设备的性能影响。极地属于 SOLAS 公约定义的 A4 海域，因此需要考虑 A4 海域对通讯设备的特殊要求。

为适应极地低温环境，需对通讯设备进行特殊配置如下：气象传真机/无线甚高频电话/海上安全信息播发系统（NAVTEX）天线配置带加热的天线罩；INM-C/INM-FBB 等圆形（或棒状）天线提供机械保护防止被雪覆盖。在 A4 海域航行，需要额外增加 1 套中高频通讯（MF/HF）窄带直接印字电报（NBDP）和 1 套铱星（IRIDIUM）系统，实现船舶远程识别和

跟踪（LRIT）功能。

9 结论

本文从船体结构、甲板机械防护、消防救生设备防护、通道防冻措施、居住区安全、航行安全及通信，介绍了极地航行船的安全设计措施，以应对极区恶劣环境对航行船舶带来的安全隐患，保证极区安全航行。船舶的安全航行还有赖于航海人员的操作能力，除严格遵守冰区航行的相关规定的同时，也要充分吸取极地航行的经验、教训，从而总结出极区船舶操作实践经验。

参考文献:

- [1] 葛沛, 刘灿波等. 极地破舱稳性及其在多功能船上的应用[J]. 船海工程, 2017.
- [2] 徐义刚, 王燕舞等. 极地航行船舶冰带骨架系统规范设计研究[J]. 船舶结构, 2015.
- [3] 阎晓丽. 极地多功能集装箱船液舱及管系防冻设计技术探讨[J]. 广东造船, 2017.
- [4] DNV. Ships for Navigation in Ice [S]. Rules for Classification of Ships, 2013.
- [5] IMO. Resolution MSC.385(94) International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code) [S]. 2015.
- [6] Finnish Maritime Administration. Guidelines for the application of the Finnish — Swedish Ice Class Rules. 2008

30 米级洪泽湖搜救艇设计

李小叶¹ 张燊²

(1. 江苏省船舶设计研究所有限公司, 江苏 镇江 212003;

2. 江苏省新时代船舶有限公司船研所, 江苏 泰州 225300)

摘要: 本文介绍了 30 米级洪泽湖搜救艇的总体布置, 船体结构设计, 各项船舶性能等。抗风浪能力是本船的主要设计要求之一, 本船上层建筑采用铝质结构, 主船体采用钢质结构, 保证船体结构强度的同时, 降低船舶重心, 同时在满足工作和生活需要的前提下, 尽量缩小甲板室, 减少受风面积。经过理论计算和实船应用, 本船各项指标均满足设计要求, 目前已投入正常使用。

关键词: 搜救艇; 结构; 性能

0 引言

洪泽湖为我国五大淡水湖之一, 位于江苏省西部淮河下游, 淮安、宿迁两市境内, 是淮河流域的大型水库、航运枢纽。洪泽湖水域每年都有不同程度的结冰现象, 当北方强冷空气过境时, 湖面会出现封冻, 在寒冷的 1~2 月会发生全湖性封冻。另外, 受气象、水文等诸多条件影响, 湖区易遭遇大风大浪等极端天气。过往船舶遭遇险情时需要得到及时救援, 洪泽湖水域原有的海事救助艇由于自身性能的限制, 不能在恶劣天气下及时出航, 船舶事故中的船员得不到及时救助, 生命和财产安全得不到保障。为此江苏省地方海事局委托江苏省船舶设计研究所有限公司设计一艘能在恶劣天气下出航施救的搜救艇, 要求抗风能力达到蒲氏 10 级, 用于洪泽湖水域恶劣天气条件下的抢险救助。

1. 主要技术参数和总体布置

通过调研, 并认真听取海事部门的意见, 明确了 30 米级洪泽湖搜救艇的设计要求, 确定了本船主要技术参数如下:

总长	30.6m
水线长	29.0m
型宽	6.6m
型深	2.05m
设计吃水	1.30m
主机功率×转速	368kW×1800rpm-2 台
航速	≥25km/h
设计航区	A 级
抗风等级 (平均风压)	蒲氏 10 级
续航力	60 小时

总体布置如图 1 所示

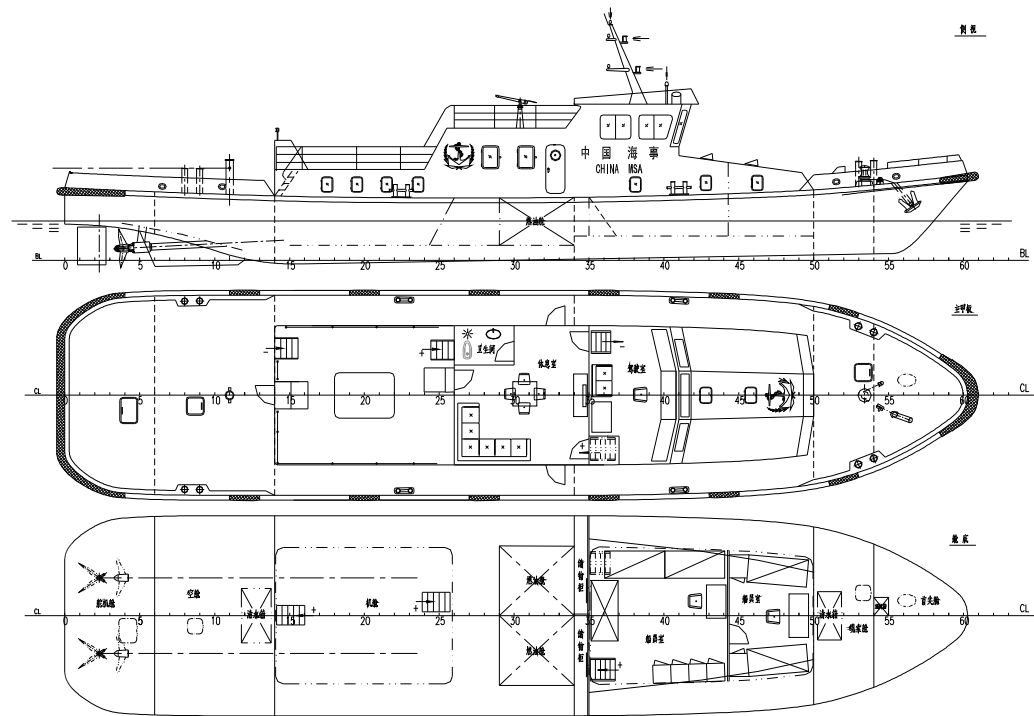


图1 30米级洪泽湖搜救艇总布置图

1.1 主甲板以下布置

本船主甲板以下设置 5 道水密横舱壁，以横舱壁为界共分 6 个区域，从首开始依次为首尖舱、缆索舱、半升高的船员生活区、机舱、空舱、舵机舱。机舱前部设燃油舱，装载燃油~13t，缆索舱和尾空舱内各设 1 个清水箱，总共装载清水~5t。

1.2 甲板室布置

本船主要用于抢险救助，且洪泽湖区水域广阔，常有恶劣气候发生，因此，总体布置上在满足工作和生活需要的前提下，尽可能缩小上层甲板室，以减小受风面积并降低重心高度。

主甲板上为一层半高的岛式甲板室，依次为半升高船员室、休息室、半升高机舱棚。船员室上部为驾驶室，驾驶室设于船体首部，最大限度减少驾驶盲区，保证驾驶人员在恶劣天气驾驶航行时具有良好的驾驶视线，提高船舶驾驶的安全性能。主甲板设有 1m 宽的外走道，通往首尾甲板区域。甲板室外壁设风暴扶手，方便救助人员在风浪航行时在船侧行走，首尾设 0.5m 高的舷墙，保护搜救人员的自身安全。搜救艇要具备一定的甲板操作面积，以便于救助人员在实施救助过程中安全操作，首尾甲板区主要为工作区域，面积分别为 19m²和 44m²。

1.3 护舷设置

本船首部和尾部设 $\phi 300$ 的圆筒型橡胶护舷，中部设 150×150 半圆形钢质护舷，钢质护舷间断各设 6 只 D 型橡胶护舷，代替了常规船舶所采用的在两侧悬挂橡胶轮胎防撞的方法，减少船舶在风浪航行时橡胶轮胎增加航行阻力，保证航速。

2 船体结构设计

2.1 主船体结构

本船结构按《钢质内河船舶建造规范》对 A 级航区船舶的要求设计, 主船体为单底、单甲板、横骨架式钢结构, 肋距为 500mm, 全船在 Fr6、Fr14、Fr34、Fr50、Fr54 设 4 道水密横舱壁, 船底每个肋位处均设置实肋板。

考虑本船恶劣天气条件下抢险、救助等功能需求, 以及洪泽湖水域每年不同程度的结冰现象, 搜救艇船体结构强度除了满足《钢质内河船舶建造规范》对 A 级航区船舶的要求外, 还需参照航行冰区船舶的要求对局部区域特别是首部结构进行加强。

据规范规定, 航行冰区船舶船长范围内, 垂向自满载水线上 250mm 至空载水线下 300mm 的舷侧范围为冰带区, 冰带区域自船首垂线向后 1/4 船长范围内的舷侧设置中间肋骨, 中间肋骨的剖面模数不小于普通肋骨剖面模数的 0.75 倍, 中间肋骨上下端分别超出冰带区的上下缘, 两端用短纵骨固定。根据计算, 本船在首部 Fr41~Fr58 区域设置中间肋骨及短纵骨, 冰带区结构加强如图 2 所示。

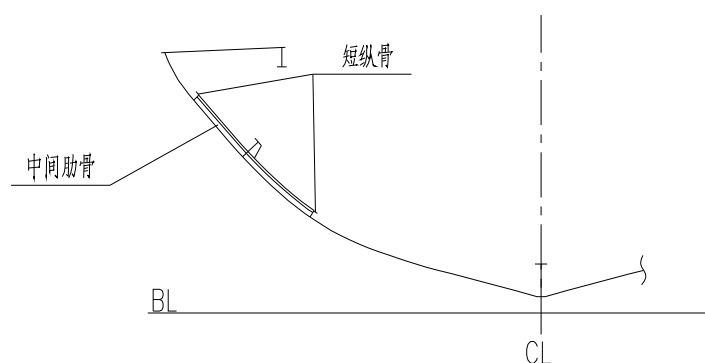


图2

2.2 甲板室结构

为减轻船舶重量, 降低船舶重心, 甲板室选用中国船级社 CCS 认可的铝合金材料, 结构形式为横骨架式。钢质主船体与铝质上层建筑间, 采用经过 CCS 认可的铝-钛-钢复合材料作过渡接头形成焊接结构。本船选用的铝-钛-钢复合材料的材料组合为 3A21+TA2+CCSB, 厚度组合为 (8+2+14)mm, 宽度为 25mm。甲板室甲板及外围壁设纵向加强扁铝, 保证其强度。

甲板室铝合金构件及板厚的选择依据 CCS《钢质内河船舶建造规范》进行计算。板

$$\text{厚: } t_a = t_s \sqrt{K_a} \text{ mm}$$

$$\text{剖面模数: } W_a = W_s K_a \text{ cm}^3$$

式中: t_s ——使用低碳钢规范要求的板厚, mm;

W_s ——使用低碳钢规范要求的剖面模数, cm^3 ;

K_a ——铝合金材料换算系数, $K_a = 235 / R_{p0.2}$;

$R_{p0.2}$ ——铝合金材料在退火状态下的 0.2%规定非比例伸长应力 (165N/mm^2), 但不大于 66%的材料抗拉强度值 (275N/mm^2)

取 $R_{p0.2} = 165\text{N/mm}^2$

铝合金材料换算系数 $K_a = 235 / 165 = 1.424\text{N/mm}^2$

3 船舶性能

3.1 抗风浪能力

本船满载航行状态, 船舶基本平浮, 略带尾倾, 平均吃水约为 1.3m, 排水量约为 116t。抗 10 级大风是本船的主要设计要求之一, 为此主船体采用钢质材料, 上层建筑采用铝合金材料, 在保证船舶结构强度的同时降低船舶重心。另外, 在满足使用要求的前提下尽可能降低甲板室的高度, 减少受风面积。经过详细计算, 船舶稳性衡准、初稳性高度、回航静倾角等各项指标均满足 10 级平均风压 511Pa 条件下的规范相关要求。

3.2 拖带功能

该搜救艇尾部甲板设有约 6t 拖力的拖桩, 便于救援过程中的拖带, 保障船舶事故中的生命和财产安全。拖桩深入甲板以下, 与船底板、实肋板和中内龙骨连接, 最大限度保证拖桩的强度。拖带过程中船舶的稳性指标需满足《内河船舶法定检验技术规则》对拖船的相关要求, 该船完工稳性计算结果显示满载航行状态和空载航行状态拖桩急牵初稳性衡准值分别为 3.474 和 3.214, 满足法规要求。

3.3 冰期航行

洪泽湖水域每年都有不同程度的结冰现象, 为实现流冰期的救援作业, 搜救艇船体结构依据《钢质内河船舶建造规范》对航行冰区船舶的要求, 在规范规定的冰带区域设置中间肋骨和短纵骨, 并对首部外板在常规船板厚的基础上进行加厚, 保证冰期航行时船舶强度。

3.4 消防作业

应船东使用要求, 该搜救艇还兼顾一定的消防救援功能, 休息室顶部甲板设有 1 套固定式高压水枪, 水枪射程达 30m, 最大喷射倾侧反力 0.35kN。消防水枪作业过程中会对船舶的稳性有一定影响, 作业时船舶稳性需满足《内河船舶法定检验技术规则》对消防船的要求。经过计算, 在消防水枪喷射引起的倾侧力矩作用下, 从复原力矩求得的静倾角小于极限静倾角, 作业风压稳性衡准数大于 1, 各项指标均满足规范要求。

4 锚泊系泊设备

锚系设备的配备需满足《钢质内河船舶建造规范》的要求, 根据计算结果和船东使用需求, 本船实配 1 只 C150 短杆霍尔锚, 配 $\phi 14$ 的无档镀锌锚链 55m, 并在首部甲板设置 1 台轻型不锈钢电动锚绞盘。配 1 根 $\phi 22$ 的锦纶绳 60m、2 根 $\phi 40$ 的丙纶绳各 120m 作系船索。船

体尾部甲板设置 1 只拖桩,用于救援中的拖带,并配 1 根 $\phi 50$ 的锦纶绳 120m 作拖索。

5 舱室内装

船舶装潢的总体原则是环保、美观同时又要具有防火、保温、降低噪音的功能。驾驶室、休息室、居住室围壁和天花用铝合金轻钢龙骨作衬料,表面贴塑铝板,中间夹隔热玻璃棉,地面用强化复合地板或甲板敷料上铺塑胶地板。卫生间四周贴瓷砖,地面设防滑地砖。为降低噪音,机舱四周及顶部内衬吸音岩棉,外覆铝质多孔吸音板。

6 实船应用情况

本船目前已交付船东,投入使用后将承担起洪泽湖区水上突发风灾搜救、枯水期防堵保畅等重任,大幅度提升洪泽湖水上搜救能力。

参考文献:

【1】韩海林,等。太湖快速搜救艇研制【J】。江苏船舶,2010,27(5):1-4

作者简介:李小叶(1984-),女,工程师,主要从事船舶设计工作。

邮寄地址:江苏镇江市京口区正东路5号船舶设计研究所有限公司

收件人:李小叶 邮编:212003

张 燊 (1989-),男,助理工程师,主要从事船舶与海洋工程设计工作。

邮寄地址:江苏镇江市京口区正东路5号船舶设计研究所有限公司

收件人:李小叶 邮编:212003

16300吨LNG燃料动力化学品船能量利用系统的模拟分析与优化

姚寿广，孔祥恩，冯国增，许津津，顾丛汇

(江苏科技大学能源与动力学院镇江 212003)

摘要：针对 16300 吨 LNG 燃料动力化学品船 LNG 气化冷能未加以利用的现状，本文在分析及评估原船废气余热及冷却水系统用能水平的基础上，综合考虑 LNG 冷能、主机废气和缸套冷却水的能量梯级利用，针对船舶对发电、海水淡化、冷库及空调等需求，以加装废气动力涡轮、LNG 冷能 ORC 发电、冷冻法海水淡化及设置高低温冷库与空调系统等方式组合提出了四套综合能量利用系统方案。进一步利用 AspenHYSYS 软件对该船原有能量利用系统与新方案进行了模拟分析，并从焓效率及经济性两个方面对各方案进行了评估。结果表明，诸方案中以低温冷库+海水淡化+高温冷库+干燥舱系统方案经济性最好，所形成的新系统经优化后焓效率可提高至 67.16%，每年经济收益可达 595.8 万元。

关键词：LNG 动力船；能量利用系统；LNG 冷能；废气利用；Aspen HYSYS

Simulation Analysis and Optimization of Energy Utilization System for a 16300 Ton LNG Fuel Powered Chemical Tanker

Abstract: On the basis of the analysis and evaluation of the waste heat of the original ship's exhaust gas and the energy level of the cooling water system, the energy cascade utilization of the LNG cold energy, the exhaust gas of the main engine and the cooling water of the cylinder sleeve is considered on the basis of the analysis and evaluation of the energy level of the waste heat of the original ship and the cooling water system of the cooling water system for the 16300 ton LNG fuel power chemical ship. Four sets of integrated energy utilization system are put forward in order to adjust the demand, with the combination of exhaust power turbine, LNG cold energy ORC power generation, freezing method seawater desalination, and setting high and low temperature cold storage and air conditioning system. Further using Aspen HYSYS software, the original energy utilization system and new scheme of the ship are simulated and analyzed, and each scheme is evaluated from two aspects of efficiency and economy. The results show that the scheme with low temperature cold storage, sea water desalination, high temperature cold storage and dry tank system is the best, and the efficiency of the new system can be increased to 67.16%, and the annual economic income can reach

more than 600 yuan.

Key words: LNG power boat; energy utilization system; LNG cold energy; exhaust gas utilization; Aspen HYSYS

0 引言

LNG是将天然气经过低温处理形成的液化天然气，目的是为了大幅度的将天然气的体积压缩，以便于运输。在液化天然气的过程中将会消耗大量的外部功，这些功以冷焓形式储存在LNG中。LNG在1个标准大气压下、温度由-167℃升高至0℃的条件下气化，大约释放出 8.46×10^5 kJ/t的冷量^[1]，可见其蕴含的能量十分可观。目前，绝大部分的LNG动力船都是利用海水或缸套冷却水等对LNG进行气化，未对气化过程中释放的冷焓加以合理利用，这导致了LNG冷能的巨大浪费。同时目前船舶主机的热效率虽然最高可达50%左右，但仍有大约一半的能量是以废气余热、冷却水余热等方式流出主机，需加以充分应用^[2]。因此，对于LNG动力船来说，若能高效地整合利用LNG气化冷能与主机余热，将会大大提高船舶运营的环保性和经济性。

本文以16300吨LNG燃料动力化学品船为对象，以整合LNG冷能及全船余热资源高效合理利用为重点，从能量梯级利用角度提出多种适应原型船的能量利用系统设计方案。随后采用序贯模块法，并借助ASPEN HYSYS软件对原船原有能量利用系统以及新设计的所有方案进行模拟及对比分析，并对筛选出的最佳方案进行参数优化，以达到最佳的焓效率和电费经济性。

1 原船能量利用系统

1.1 母型船相关信息

依据 16300 吨 LNG 燃料动力化学品船设计说明书，表 1 给出了本文模拟分析所需的船舶主要参数，表 2 给出了船舶营运环境温度。该船设置一台主机驱动的轴带发电机（1500kW-1800kW）、两台柴油辅助发电机(分别为 1500kW 和 600kW)和一台紧急柴油发电机，正常运行时轴带发电机与两台辅助发电柴油机同时并车运行。船舶运行过程中，LNG 储罐出口压力约为 0.6MPa，温度为-163℃，主机要求燃气进口压力为 535kPa，进气温度为 0~60℃，本文取进口温度为 15℃。LNG 从储罐流出后经汽化器加热变成气态天然气，送入主机作为燃料。船舶的主机废气经过涡轮增压器后进入废气余热锅炉生产蒸汽。

表 1 母型船主要参数表

名称	参数	备注
----	----	----

表 2 船舶环境温度

季节		温度
夏季	外部温度/℃	+35

	149.9			内部温度/℃	+25
型宽/m	22.8			海水温度/℃	+32
载重/t	16300	Max	冬季	外部温度/℃	-25
航速/knot	13			内部温度/℃	+22
主机型号	Wartsila			海水温度/℃	0
主机功率 P/kW	4500	最大连续功率			
烟气温度/℃	381				
烟气流量/(kg/h)	24480				
LNG 消耗率	11.3				
缸套冷却水温度	96				
缸套冷却水流量	85				

海水淡化	60
低温冷库	31
高温冷库	16
干燥舱	10

通过比较发现，LNG 冷能能够满足单个模块和若干模块组合的冷量要求，因此 LNG 冷能利用在该船舶上具有不同功能方案组合优化的可行性。

LNG 冷能用于低温发电的工艺方法主要有直接膨胀法、低温朗肯循环法、布雷顿循环法和联合法等^[6]，综合各方案的优缺点并结合母型船实际情况，最终选择低温朗肯循环法。

LNG 冷能用于海水淡化的工艺方法主要有直接冷冻法、间接冷冻法、膜法和蒸馏法^[7]，综合各方案的优缺点并结合母型船实际情况，最终选择间接冷冻法。

LNG 通过换热器与冷媒进行热交换，将冷能传递给冷媒，再通过换热器将冷能传递给空气，实现使空气温度降低，从而达到冷库制冷和空调的效果^[8]。下面结合该船舶航运中的需求设计综合性的船舶能量利用系统方案。

2.2 新方案设计

对原船能量利用系统的模拟发现，主机排放的高温废气直接通入废气锅炉进行废热回收，并不能高效地回收烟气的可用能量，整个系统焓效率不高。因此，新改进的废气余热利用系统中，先将废气通入废气涡轮做功发电，后再通入废气锅炉生产蒸汽。在此基础上进一步考虑与 LNG 冷能利用相结合，并满足该船航运中的需求设计综合性的船舶能量利用系统方案。

2.2.1 方案 1 的设计

本方案首先采用新改进的废气余热利用系统，并将 LNG 冷能用于低温朗肯循环发电和空调。

图 2 为方案 1 的系统简图。

空调模块的第一级冷却循环使用冷媒 R600，第二级冷却循环使用冷媒 CI2-C1；低温朗肯循环使用工质 R11。

2.2.2 方案 2 的设计

本方案与方案 1 的不同之处在于不利用 LNG 冷能发电，而增加干燥舱流程。同样空调模块的第一级冷却循环使用冷媒 R600，第二级冷却循环使用冷媒 CI2-C1，干燥舱冷却循环也使用工质 CI2-C1，图 3 为方案 2 的系统简图。

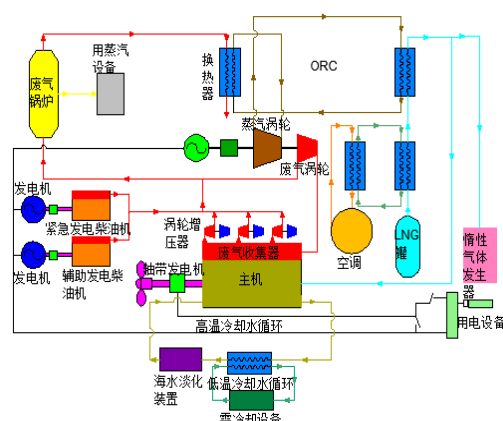


图 2 方案 1 系统简图

2.2.3 方案 3 的设计

本方案则将 LNG 冷能利用于低温朗肯循环发电、低温冷库和干燥舱。图 4 为方案 3 的系统图。低温朗肯循环发电使用的工质是 R11；低温冷库冷却循环使用的冷媒是 R600；干燥舱冷却循环使用的冷媒是 Cl2-C1。

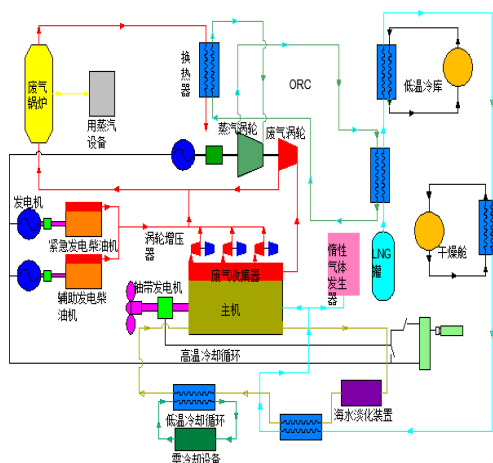


图 4 方案 3 系统图

2.3 各方案的焓分析

2.3.1 分析方法

利用 Aspen HYSYS 对原方案和新方案进行模拟，物性方程选择 P-R 方程，模拟的主要参数为各节点的温度、压力、工质流率和焓流率等。然后根据各节点的焓流率可以求得各关键设备的付出焓、损失焓和焓效率，最后由所

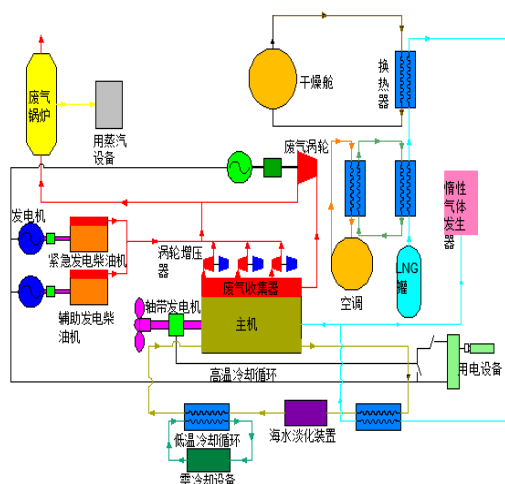
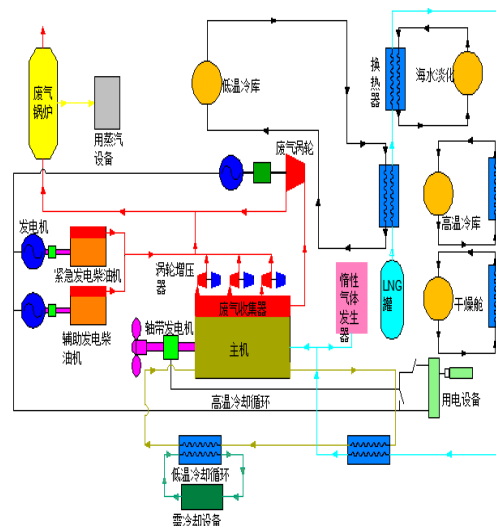


图 3 方案 2 系统图

2.2.4 方案 4 的设计

本方案将 LNG 冷能用于低温冷库、海水淡化、高温冷库和干燥舱，图 5 为方案 4 的系统图。低温冷库循环采用的冷媒是 R600；海水淡化采用的冷媒是 n-Butane；高温冷库采用的冷媒是 Cl2-C1；干燥舱采用的冷媒是 R11。



有设备的付出焓总和和损失焓总和可以计算出整个系统的焓效率并进行评估分析。

图5 方案4 系统图

2.3.2 分析过程与结果

(1) 原方案的过程模拟

图6 为原能量利用方案模拟流程图，主要是对缸套冷却水、废气的利用过程模拟。

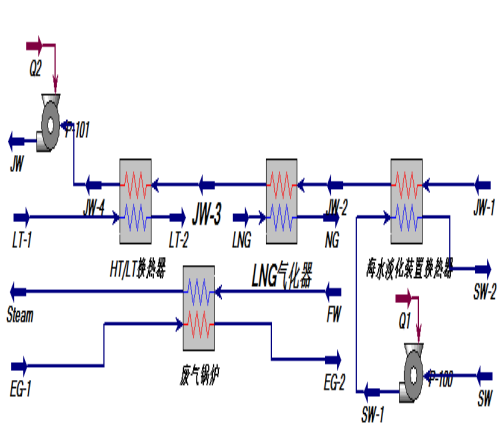


图6 原能量利用方案模拟流程图

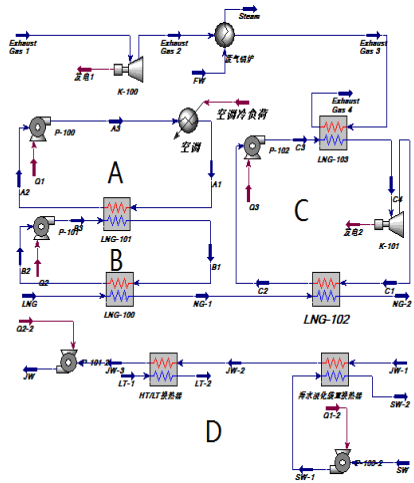


图7 方案1 模拟流程图

(2) 方案1 的过程模拟

图7 为方案1 的能量利用方案模拟流程图，A 区域是空调模块，B 区域是空调模块的第一级冷却循环，C 区域是综合利用低品位废气余热与低品位冷能发电模块。D 区域是利用冷却水模块。

(3) 方案2 的过程模拟

图8 为方案2 的能量利用方案模拟流程图，A 区域与 B 区域的流程与方案1 的相同，不同之处在于 C 区域。方案1 的 C 区域为干燥舱流程。

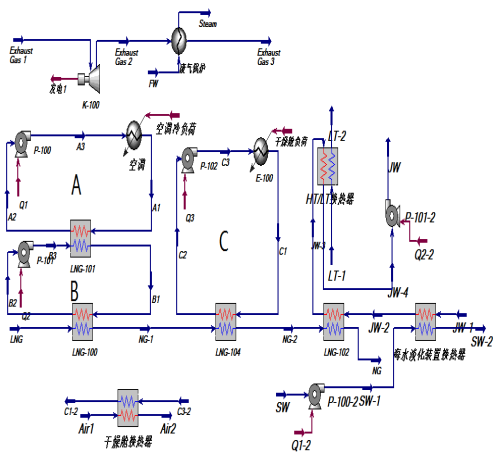
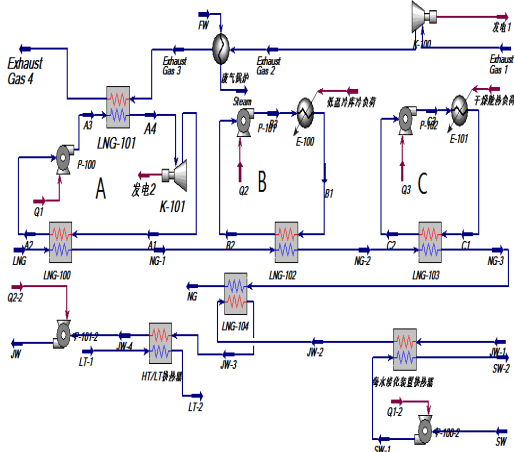


图 8 方案 2 模拟流程图



9 方案 3 模拟流程图

(4) 方案 3 的过程模拟

图 9 为方案 3 的能量利用方案模拟流程图,A 区域表示朗肯循环发电,冷源为 LNG 气化冷能,热源为废气余热。B 区域表示低温冷库, C 区域表示干燥舱。

(5) 方案 4 的过程模拟

图 10 为方案 4 的能量利用方案模拟流程图,方案 4 的 A 区域表示低温冷库系统, B 区域表示海水淡化系统, C 区域表示高温冷库系统, D 区域表示干燥舱系统。

(6) 分析结果

在对各设计方案工艺过程中关键节点采用序贯模块法获得模拟参数基础上,表 4 列出了各方案中每个模块的焓效率与系统总的焓效率。从表 4 中可以看出,四个满足不同需求的新方案在焓效率上较之原方案均有不同程度的提高,其中方案 4 的焓效率最高。

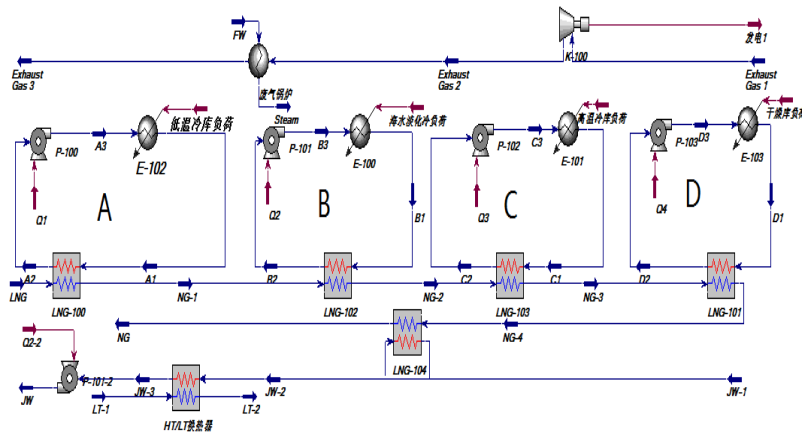


图 10 方案 4 模拟流程图

3 经济性分析

3.1 经济性分析方法

所谓经济性分析就是指包括设备投资、用电费用在内的造船成本和运营成本。考虑到本文新方案的设计原则是在不改变原船舶各功能的前提下尽量地减少设备投资和运营成本，因此下面

表 4 各设计方案模块及系统炯效率^o

方案 ^o	炯效率/% ^o								
	废气利 用模块 ^o	缸套冷 却水利 用模块 ^o	冷冻法 海水淡 化模块 ^o	空调模 块 ^o	低温冷 库模块 ^o	高温冷 库模块 ^o	干燥舱 模块 ^o	低温发 电模块 ^o	系统 ^o
原方案 ^o	64.36 ^o	11.58 ^o	— ^o	— ^o	— ^o	— ^o	— ^o	— ^o	47.45 ^o
方案 1 ^o	68.37 ^o	27.95 ^o	— ^o	21.07 ^o	— ^o	— ^o	— ^o	33.24 ^o	58.82 ^o
方案 2 ^o	68.37 ^o	19.25 ^o	— ^o	21.07 ^o	— ^o	— ^o	48.19 ^o	— ^o	57.91 ^o
方案 3 ^o	72.76 ^o	20.01 ^o	— ^o	— ^o	46.25 ^o	— ^o	31.23 ^o	34.80 ^o	61.36 ^o
方案 4 ^o	68.37 ^o	27.95 ^o	13.90 ^o	— ^o	22.50 ^o	35.48 ^o	55.88 ^o	— ^o	66.25 ^o

为简化经济性分析，暂时忽略设备成本投资的计算。

新方案中通过对能量流的调整出现了发电模块、冷冻法海水淡化模块、直接利用 LNG 冷量的空调和冷库模块。其中发电模块、空调模块与冷库模块都是与电能的使用情况相关的，而海水淡化模块未使用电能，而且海水淡化模块并未产生收益或消耗成本（因为在原方案中海水淡化的能耗来自缸套水余热，而在新方案中海水淡化耗能或来自缸套水余热，或来自 LNG 冷能。若原方案与新方案都采用缸套水余热进行海水淡化，则两者就海水淡化模块的经济性无差别，因此无需进行比较；若新方案采用 LNG 冷能进行海水淡化，则缸套水的余热能源就没有得到充分利用，导致的结果最多体现在系统的炯效率上的差异，对于经济性并无影响，故也无需对其比较），因此不参与经济性分析。

以新废气利用系统蒸汽产量满足船舶航运需求为前提，蒸汽量按折换燃料价格 3000 元/t，船舶电价取每千瓦时 1.5 元计算，若船舶主机每年运行时间 300 天，对各方案系统进行经济性分析。

考虑到船舶空调和冷库是其主要电力消耗单元，因此依据原船原有冷库和空调压缩制冷机组被 LNG 冷能利用系统取代部分或全部后，每年节省的电费来分析方案的经济性。

3.2 经济性分析结果

图 11 为各方案的经济性分析结果，从图中可以看出，各新方案中空调与冷库的耗电费用均远低于原方案的费用，新增发电模块每年能够节省发电成本 650 万元左右，产蒸汽额外

耗油费用约为 155 万元，最终每个新方案的年节省费用均高达 150 多万元。

4 方案优化分析

4.1 最佳方案的选择与优化方法

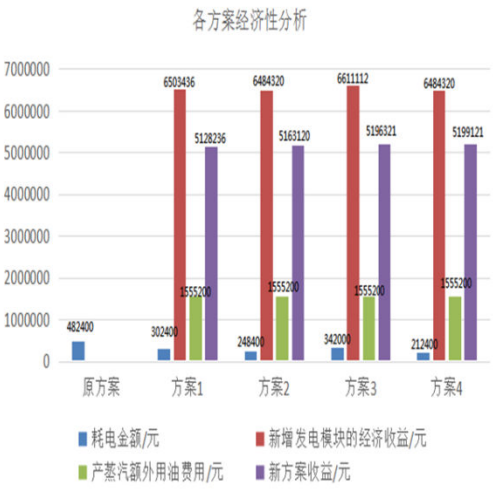
在 4 个新方案中，方案 4 的烟效率与经济收益都是最高的，因此下面选择该方案作为选择的最佳方案进行进一步优化。

对方案进行优化时应选择对系统整体烟效率影

响较大的模块进行优化。在方案 4 中，废气利用模块与低温冷库模块的付出烟占系统

付出烟的绝大多数，而高温冷库与干燥舱的烟效率对系统整体的烟效率影响微乎其微，

图 11 各方案经济性分析



此优化过程只对废气利用模块与低温冷库模块进行优化。

对方案 4 中低温冷库模块和海水淡化模块的优化是通过调整冷媒的进出口温度实现的，最终找出烟效率最高时对应的冷媒进出口温度。

对方案 4 中废气利用模块的优化可通过调节废气涡轮出口压力实现，最终找出烟效率最高时对应的涡轮机压力。

4.2 优化过程与结果

(1) 优化过程

1. 废气利用模块的优化

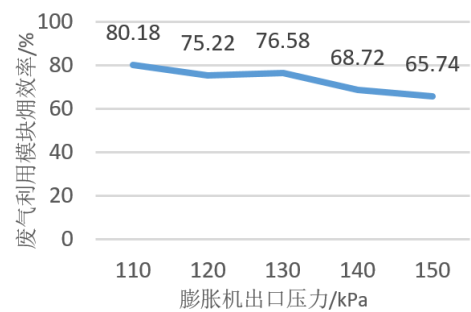


图 12 废气利用模块烟效率与涡轮机出口压力的关系图

从图 12 中可以看出，废气利用模块的烟效率随废气涡轮出口压力增大而减小，这是因为废气涡轮出口压力越小就会使废气利用模块的压力烟得到更大程度的利用，因此在废气涡轮出口压力的合理范围内尽量选择较小的出口压力，在此废气涡轮出口压力选择 110kPa。

2.低温冷库模块的优化

表 5 显示了不同冷媒进出口温度下的模块的焓效率。

表 5 不同冷媒进出口温度下各模块的焓效率



图 13 低温冷库模块焓效率与冷媒进出口温度的关系图

从表 5 与图 13 中可以发现，低温冷库模块的焓效率随着冷媒进出口温度的下降而升高，因此在合理的范围内应使冷媒进出口温度尽量低。优化结果选择冷媒进出口温度分别为-25℃和-33.03℃。

(2) 优化结果

由表 6 可知优化后的系统焓效率达到 67.16%，较优化前提高了 0.91 个百分点。由图 14 可知优化后每年的经济效益达到 5900766 元，较优化前增长了 701645 元。

表 6 优化后的系统焓效率

模块	焓损失/kW	付出焓/kW	焓效率/%
废气利用模块	252.3	1272.8	80.18
低温冷库模块	44.3677	58.4477	24.09
海水淡化模块	54.7533	65.1501	15.96
高温冷库模块	3.8931	6.0331	35.47
干燥舱模块	0.3205	0.7349	56.39
缸套冷却水利用模	175.3954	213.83	17.97
系统	531.03	1617.00	67.16

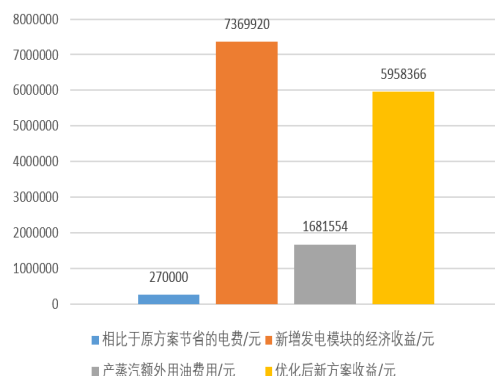


图 14 优化后方案经济性分析

5 结论

本文通过对 16300 吨 LNG 燃料动力化学品船原船能量利用系统进行分析,并结合 LNG 冷能利用,对该船提出了考虑 LNG 汽化冷能利用的全船能量利用系统设计方 案,借助于 ASPEN HYSYS 软件对所有方案进行了模拟和对比分析,得出如下几点结论:

(1) 原船加装废气涡轮发电,然后用来产蒸汽,这种改进相比于原未加装方案在炯效率和经济性上均有很大提高,每年经济收益可达 737 万元。

(2) 将 LNG 冷能依次用于船上低温冷库、海水淡化、高温冷库和干燥舱,替代原有的机械压缩制冷方案,相对于其他用能方案在炯效率和经济性上是该船 LNG 气化冷能利用的最优选择方案。

(3) 针对本文设计的最优系统方案,整体炯效率可达 67.16%,每年经济收益有 595.8 万元。

致谢:本项目得到江苏省科技成果转化项目(BA2016145))资助

参考文献

- [1]李博洋,胡德栋,等.LNG 动力船燃料冷能综合利用研究[J].大连海事大学学报.2017,43(1):45-46
- [2]吴安民,周伟中.船舶柴油机余热利用技术研究[J].柴油机.2012,34(5):46-47
- [3]孙延寿,胡德栋,李博洋,钱德松.LNG 动力船冷能梯级利用方案设计与优化[J].能源化工.2017,38(4):68-73.
- [4]沈清清,林文胜,顾安忠,等.利用 LNG 冷能的间接冷冻法海水淡化流程及其初步分析 [J].低温与超导, 2009, 37(4): 10-13.
- [5]吴小华,等.LNG 冷能利用技术的最新进展[J].油气储运.2017,36(6):624-635.
- [6]易惠芳,洪建安,宋悦,李洋.浅谈利用 LNG 冷能的发电系统[J].广州化工.2014, 3(3):143-146.
- [7]江克忠,等.冷冻法海水淡化技术进展[J].工业水处理.2015,35(5):15-18.
- [8]石庆国,胡以怀.LNG 蒸汽冷能在船舶上的应用探讨[J].船舶工程.2013,35(1):46-47.

LNG 动力船舶应用水浴式汽化器可行性分析

李岳洋¹ 洪海志² 张鸿泰¹

(1. 江苏现代造船技术有限公司, 212003, 江苏镇江)

2. 江苏鸿运绿色能源有限公司, 21000, 江苏南京)

摘要: 本文基于 LNG 动力船舶主机供气需求问题, 通过对水浴式汽化器设计计算、选型及可行性分析, 证实了采用双燃料主机本身外循环冷却水, 满足水浴汽化器换热温度, 得出了气化后的天然气满足双燃料主机用气量, 确保水浴汽化器应用于现有船舶动力系统整体更新技术安全运行, 为能更好地实现气化大运河、气化长江提供技术基础和安全保障。实船应用表明, 水浴汽化器换热温度受发动机负荷波动、换热器结构、材料换热系数、污垢系数等因素有影响。

关键词: LNG 动力船舶 动力系统更新 水浴式汽化器 双燃料主机 冷却水

0. 引言

液化天然气(简称 LNG)作为一种清洁、高效优质的能源, 已成为我国乃至世界能源供应增长速度最快的领域。为了深层次研究、开发、利用液化天然气这种清洁能源, 共同推进“气化水运”项目。江苏省交通运输厅和江苏省地方海事局开展了《京杭运河江苏段水运应用 LNG 综合示范区》项目, 利用现有船舶动力系统整体更新改造技术工程应用, 对内河运输船舶主机进行燃料升级更新, 以洁净的液化天然气替代污染物排放较多的柴油、重油等燃料, 达到节能减排的目的。

LNG 动力船舶主机燃用的天然气是通过热交换, 从而使低温的液态天然气(LNG)转变气态天然气(NG)的一种换热设备, 帮助其完成换热设备称之为热交换器, 也称汽化器。汽化器通常采用两种型式: 空温式(翅片管式)和水浴式(管壳式)。

空温式汽化器由于采用空气自然对流, 结构简单, 无需另外提供热水管路, 在早期的 LNG 燃料改造船舶上经常应用。然而因需要的换热面大, 外形体积大, 在内河运输船舶上布置困难, 特别是受环境温度制约大, 环境温度较低时, 表面因结霜而导致气化量不充分, 发动机供气不畅, 故内河 LNG 动力船舶开始应用水浴汽化器进行研究推广。

水浴式汽化器由于汽化量大, 换热效率高, 并具有结构紧凑、占地面积小、节约空间和制造成本低等优点而被越来越多的应用。水浴式汽化器的主体为换热装置, 所有与介质接触的受压元件均采用不锈钢管制造, 可承受低较低温度和相应的工作压力, 而且可靠性好, 运行范围宽, 温度容易控制, 维修方便, 经济性好。

本文结合《京杭运河江苏段水运应用 LNG 综合示范区》工程应用项目，对水浴式汽化器进行设计计算、选型及可行性分析，证实了采用双燃料主机本身的外循环冷却水，提供的冷却水温度足够进行水浴汽化器的换热温度，可以满足主机供气需求，这将为后续水浴式汽化器应用于 LNG 动力船舶提供技术基础和安全保障。

1. 汽化器加热系统管路设计方案

1.1 汽化器加热系统原理

汽化器加热系统原理：将主机的外循环冷却系统原出水口直接排舷外热水，接至液化天然气储罐处的水浴式汽化器进水口，进行循环水加热，使 LNG 汽化为可以供给双燃料主机直接使用的燃料。

1.2 主机的外循环冷却系统原理

主机的外循环冷却系统原理：海水冷却泵将海水从海底门、通海阀和粗过滤器送至滑油冷却器和淡水冷却器中，并从双燃料主机高温的部件中吸收热量，使淡水冷却器中海水腔的温度上升。

1.3 汽化器加热系统管路设计方案

外循环冷却热水进入水浴汽化器进水口，水浴汽化器出水口连接单向阀，将海水排出舷外。同时液态天然气进入水浴式汽化器，水浴汽化器中的冷却水形成温度差进行传热，使得低温的液化天然气进行汽化，形成气态的燃料，满足双燃料主机的燃料使用要求。图 1 为水浴汽化器，图 2 为水浴汽化器热交换系统图^{〔1〕}。

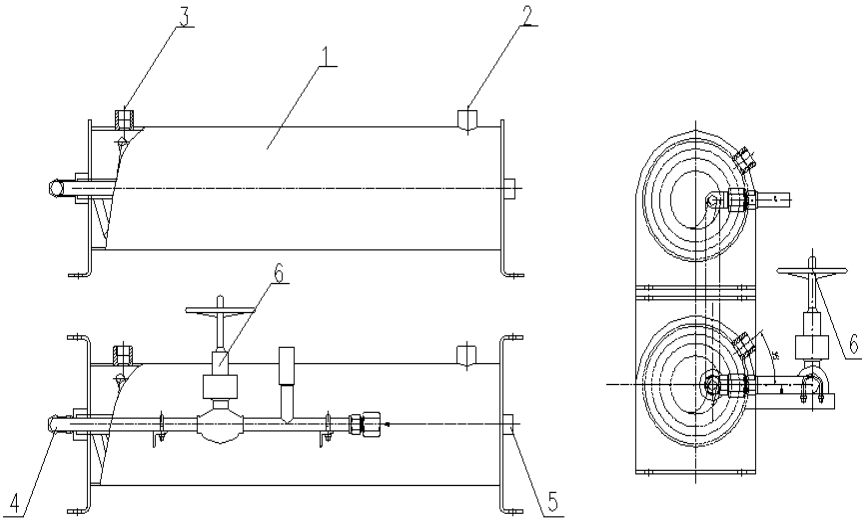


图 1 水浴式汽化器

1 水浴汽化器不锈钢本体 2 外循环冷却水进水口 3 外循环冷却水出水口 4 LNG 出液口
5 LNG 进液口 6 液化天然气管路上截止阀

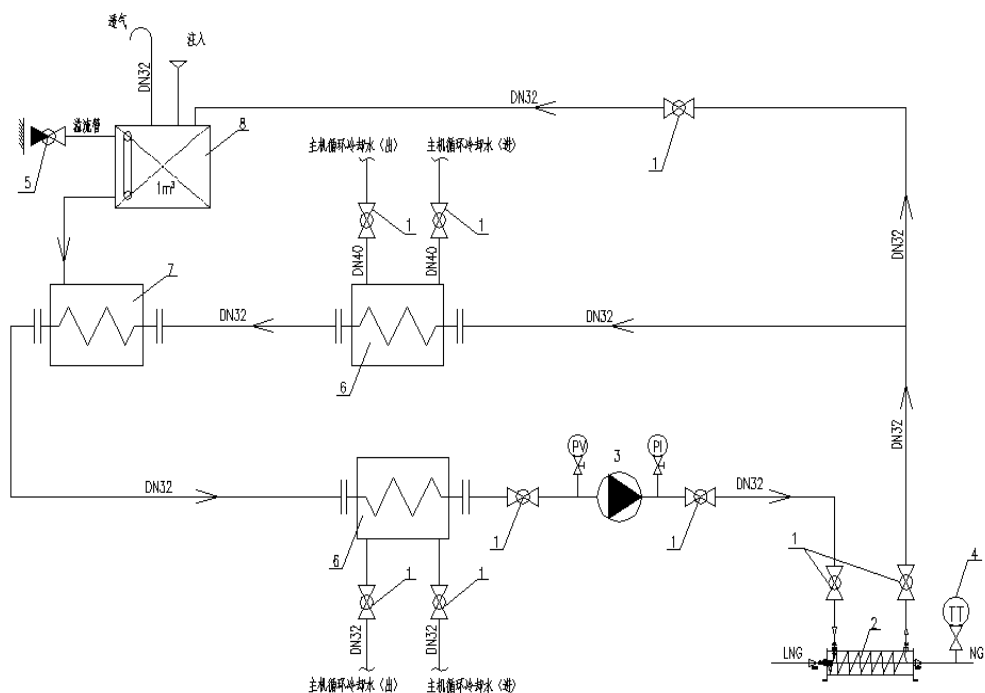


图2 水浴汽化器热交换系统图

1 截止阀 2 水浴汽化器 3 热水循环泵 4 温度传感器及阀 5 截止止回阀 6 主机换热器 7 电加热
 换热器 8 膨胀热水柜

2. 汽化器气化量计算与选型

2.1 已知设计条件:

双燃料主机功率 N_{ez} : $200kW$ (170 系列双燃料主机)

双燃料主机数量 N : 2 台

天然气替代率 S : 70%

燃油消耗率 g_{ez} : $0.2kg / kW \cdot gh$

耗气率 g_{ezgas} : $0.26m^3 / kW \cdot gh$ (170 系列机型台架试验得出数据)

在标准状态下, $1m^3$ 天然气热值相当于 $0.792kg$ 柴油, 折算后每公斤柴油相当于 $1.26m^3$ 天然气。

2.2 气化量计算:

气化量计算方法有两种: 按耗气量计算和燃料热值计算。

(1) 按耗气量计算 Q_{hql} :

$$Q_{hql} = N_{ez} N S g_{ezgas} = 200 \times 2 \times 0.7 \times 0.26 = 72.80 m^3 / h$$

式中: N_{ez} 为主机功率 $200kW$

N 为主机数量 2 台

S 为替代率, 取 70%

g_{ezgas} 为主机耗气率, 取 $0.26m^3 / kW.h$

(2) 按燃料

$$Q_{rlrz} = N_{ez} N g_{ez} S R_{ez} = 200 \times 2 \times 0.20 \times 0.7 \times 1.26 = 70.56 m^3 / h \quad \text{热值 } Q_{rlrz}:$$

式中: N_{ez} 为主机功率 $200kW$

N 为主机数量 2 台

g_{ez} 为主机燃油消耗率, 取 $0.2kg / kW.gh$

S 为替代率, 取 70%

R_{ez} 每公斤柴油燃烧的热当量相当于 1.26 倍天然气的热当量, 取 1.26

对比上述两种方法的计算, 得出按耗气量计算的气化量值大, 因此取 $72.80 m^3 / h$ 作为

依据。考虑增加 25% 的余量, 经取整, 最终汽化器的气化量为 $100 m^3 / h$ 。

2.3 汽化器选型与热负荷计算

2.3.1 汽化器选型参数如下:

1) 型号: JAMTC-100/1.2

2) 气化介质: LNG→NG

3) 工作压力: 1.2MPa

4) 气体进口温度: $-160^{\circ}C$

5) 气体出口温度: $40^{\circ}C$

6) 进口通径: DN25

7) 出口通径: DN25

8) 换热面积: $70m^2$

2.3.2 质量流量 q_m 如下计算:

$$q_m = \rho g V = 100 \times 0.7174 = 71.74 \text{ kg/h}$$

式中： ρ 为标准状态下天然气的密度，取 0.7174 kg/m^3

V 为标准状态下的体积，取 $100 \text{ m}^3/\text{h}$

2.3.3 气化热负荷计算

根据图 3 所示，分三个阶段进行气化热负荷计算（2），如下：

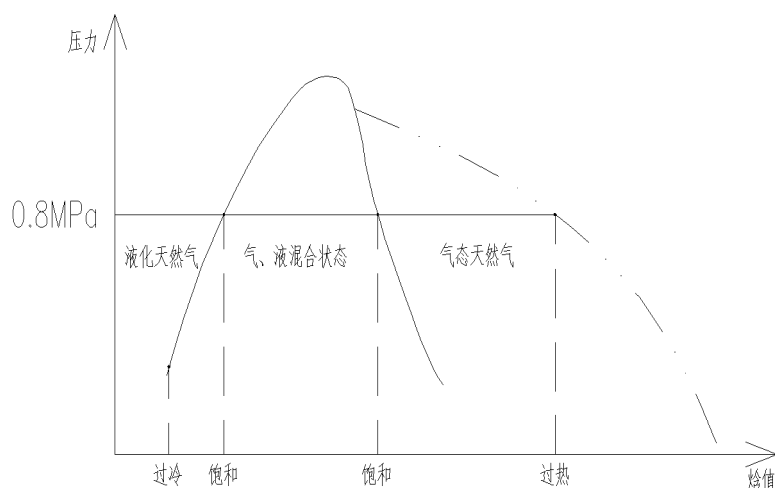


图 3 LNG 气化状态图

(1) 第一阶段过冷至饱和热负荷 Q_1 （液态 LNG）：

$$Q_1 = Ah\Delta t = Ah(t_{bh1} - t_{gl}) = 70 \times 4.5 \times (-147 + 162) = 4725 \text{ W}$$

式中： A 为汽化器换热表面积，取 70 m^2 ；

h 为传热系数，取 $4.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Δt 为液体在工作压力下温度差 K ， t_{bh1} 为 -147°C 、 t_{gl} 为 -162°C

(2) 第二阶段饱和至饱和热负荷 Q_2 （气、液混合状态 LNG、NG）：

$$Q_2 = Ah\Delta t = Ah(t_{bh2} - t_{bh1}) = 70 \times 4.5 \times (-70 + 147) = 24255 \text{ W}$$

式中： A 为汽化器换热表面积，取 70 m^2 ；

h 为传热系数，取 $4.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Δt 为液体在工作压力下温度差 K , t_{bh1} 为 -147°C 、 t_{bh2} 为 -70°C

(3) 第三阶段饱和至升温热负荷 Q_3 (气态 NG):

$$Q_3 = Ah\Delta t = Ah(t_{gr} - t_{bh1}) = 70 \times 4.5 \times (40 + 70) = 34650W$$

式中: A 为汽化器换热表面积, 取 70m^2 ;

h 为传热系数, 取 $4.5W / \text{m}^2 \cdot K$

Δt 为液体在工作压力下温度差 K , t_{gr} 为 40°C 、 t_{bh2} 为 -70°C

总热负荷为: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 4725 + 24255 + 34650 = 63630W$

3. 船舶采用双燃料主机冷却水换热可行性

根据设备厂家提供的技术资料要求, 加热用双燃料主机冷却水进出口温差不大于 10°C 。主机资料显示, 主机在 85% 负荷运行时, 冷却水温度为 65°C , 该机型冷却水量取 $15\text{m}^3/\text{h}$ (资料范围为 $10 \sim 20\text{m}^3/\text{h}$)。考虑接至汽化器进水口温度下降约 2°C (可以采取必要的保温措施), 取进口温度 63°C , 流量 $15\text{m}^3/\text{h}$; 出口温度按 55°C 计算, 忽略少量水蒸发。

(1) 双燃料主机 85% 负荷状态下的传热量计算:

$$Q_s^1 = CM(t_2 - t_1) \times 10^3 KJ / h$$

$$Q_s^1 = 4.2 \times 15 \times 8 \times 10^3 = 504000 KJ / h = 140000W \quad (\text{注: } 3.6 KJ / h = 1W)$$

$$Q_s^1 > Q = 63630W$$

式中: C 为水的比热容, 取值 $4.2 KJ / \text{kg} \cdot K$

M 为每小时的冷却水质量流量, 取值 $15\text{kg} / \text{h}$; 流量体积 $V = 15\text{m}^3 / \text{h}$, 水的密度为 $\rho = 1\text{kg} / \text{m}^3$

$(t_2 - t_1)$ 为进出水温差, 取值 $8K$

即使双燃料主机在较低负荷运行, 冷却水在 $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 间波动, 我们取较低进汽化器水温为 55°C , 按出口水温 50°C 计算:

(2) 双燃料主机低负荷状态下的传热量计算:

$$Q_s^2 = CM(t_2 - t_1) \times 10^3 \text{ KJ/h}$$

$$Q_s^2 = 4.2 \times 15 \times 5 \times 10^3 = 315000 \text{ KJ/h} = 87500 \text{ W}$$

式中: C 为水的比热容, 取值 $4.2 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$

M 为每小时的冷却水质量流量, 取值 15 kg/h , 流量体积 $V = 15 \text{ m}^3/\text{h}$, 水的密度为 $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$

$(t_2 - t_1)$ 为进出水温差, 取值 5°C

设计裕度 $K = \frac{Q_s^2}{Q} = \frac{87500}{63630} = 1.38$, 且双燃料主机冷却水热量满足水浴汽化器气化量换热使用要求, 设计裕度足够, 安全可行。

4. 结论:

内河现有船舶动力系统整体更新采用双燃料主机, 或者为单燃料主机, 对减少污染物的排放, 推进绿色水运, 以及防止温室效应、水上环境污染等方面具有积极意义。而汽化器为双燃料船舶“油改气”工程中必不可少的重要装置。水浴式汽化器应用双燃料主机冷却水加热汽化的可行研究, 及其良好的应用实践, 同时双燃料主机内循环水也可以提供水浴汽化器的热源, 对液化天然气进行气化。本文章的废热水利用和低成本改造, 对内河推广应用清洁能源也起到推动作用。

由于其充分利用了双燃料主机冷却水的余热, 也进一步降低了能耗。实船应用表明, 水浴汽化器换热温度受发动机负荷波动、换热器结构、材料换热系数、污垢系数等因素有影响, 对其精确分析还需要大量的实验数据, 有待进一步研究。但只要充分考虑设计裕度, 可以满足设计选型要求。同时为水浴汽化器在内河 LNG 动力船舶上的应用提供选型参考和可行性分析, 确保 LNG 双燃料动力系统整体更新改造技术安全运行, 能更好地实现气化大运河、气化长江提供技术基础和安全保障。

参考文献

[1] 中国船级社. 天然气燃料动力船舶规范 (2017) [M]. 北京: 人民交通出版社, 2017.

[2] 《船用热交换器通用技术条件》GB/T18816-2014

作者简介: 李岳洋, (1986.5—) 男, 工程师, 从事轮机设计工作及新能源动力装置和研发。

LNG 燃料技术在大型汽车运输船上的应用研究

周兰喜, 马小勇, 李霄

(南通中远海运川崎船舶工程有限公司, 江苏 南通 226005)

摘要: 基于 LNG 双燃料大型汽车运输船项目的开发介绍了以 LNG 作为船舶燃料的规范标准和风险评估流程, 进一步从 ME-GI 双燃料主机、LNG 燃料舱、燃料供给系统等方面阐述了 LNG 双燃料大型汽车运输船设计和建造的关键技术, 为建造经济、环保、安全的 LNG 动力船提供了建设性思路。

关键词: 双燃料主机; LNG 燃料舱; 燃料供给系统; 风险评估

Application Research of LNG Dual Fuel Technology on Large-scale PCTC

Abstract: This paper introduced the standard and risk assessment process for using LNG as ship fuel, further elaborated the key technologies for the design and construction experience of LNG dual-fuel large-scale PCTC based on ME-GI dual-fuel main engine, LNG tank and FGSS. The paper was intended to provide some constructive thoughts in building economical, environmentally friendly and safe LNG powered vessels.

Key word: Dual fuel engine; LNG tank; FGSS; Risk assessment

0 引言

随着全球海事界对硫排放要求的日益严格,越来越多的地区被划定或即将被划定为排放控制区。2015 年 1 月 1 日起,硫排放控制区实施 0.1%硫含量的排放限制,2020 年全球一般海域也将实施 0.5%硫含量的排放限制。船东必须采用各种措施应对全球、区域和当地法规的要求。

目前,降低硫排放的主要途径有:使用低硫燃料(MGO)、安装废气处理装置(SO_x scrubber)、使用 LNG 燃料。使用价格昂贵的 MGO 或者安装和使用成本较高的 SO_x scrubber 装置都会增加船舶运营成本,而使用价格低的清洁能源 LNG 作为燃料,不仅基本实现硫化物和颗粒物的零排放,而且温室气体和氮化物排放也有明显的降低。因此,LNG 作为燃料无疑是一个很好的解决方案,极具市场前景和发展空间。

1 项目简介

本项目是南通中远海运川崎自主研发并建造的一款新型绿色 LNG 双燃料大型汽车运输

船，主要服务北海和波罗的海海域，该区域为法规严苛的 SO_x 排放控制区。船舶采用 MAN B&W（ME-GI）二冲程双燃料主机，发电机、辅助锅炉也采用双燃料型式，船东可以根据需要灵活切换燃料。

船上设有 10 层甲板，第 4、6 层为可提升甲板，汽车总装载量达 3,985 车位。LNG 燃料储存采用 C 型独立燃料舱，布置在机舱的前部。船舶总体布置及主要参数如图 1 和表 1 所示。

表 1 汽车滚装船主要参数

总长 L _{OA} /m	181.0
吃水/m	8.4/9.6
型宽 B/m	30.0
型深 D/m	27.8
服务航速 /knot	19.1
载货量/辆	3985
主机	LNG 双燃料主机 8S50ME-C8.2-GI(TierII)
发电机	LNG 双燃料发电机 x 3sets

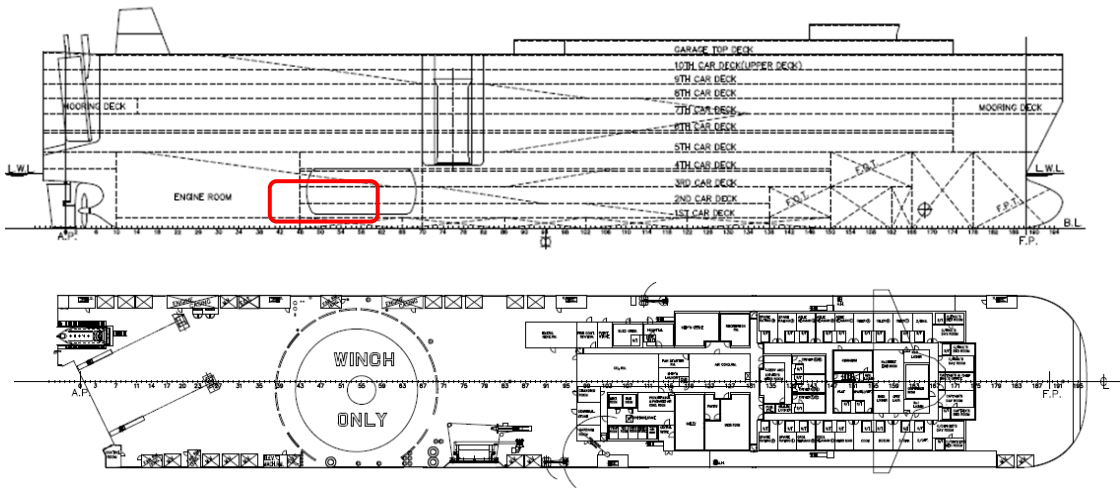


图 1 汽车滚装船总体布置图

2 规范、标准及风险评估

2.1 规范及标准

在本船设计建造阶段，针对 LNG 作为燃料的船舶（非 LNG 运输船）的相关公约、规范以及标准尚未成熟和完善。国际上也没有成熟的设计与产品可以借鉴，双燃料系统相关设

计及配套设备尚处于研发试验阶段。在此情况下，船厂多次主动组织船级社和各设备厂家面对面的技术交流，共同探讨和研究论证技术方案，最终与各方通力合作将技术难关一一攻克。本船设计阶段相应公约、规范及标准见表 2。

表 2 公约、规范及标准

机构	LNG 燃料船舶主要相关的法规
IMO 公 约	-MSC.285(86)（船舶天然气燃料发动机装置安全临时性准则） -IGF 规范草案（使用气体或其他低闪点燃料的国际船舶安全规范）
ISO 标 准	液化天然气作为船舶燃料的系统和装置指南
Class	LR 船级规范

2.2 风险评估

LNG 供气具有极大的危险性，为将 LNG 燃料对船舶人员、环境、结构强度和船舶完整性的影响控制在安全范围内，本船采用了基于 Class LR 的 ARBD（风险评估设计）流程进行设计，循环进行风险评估。

风险评估由船东、船厂、FGSS 厂家、LR 船级社等组成专家小组，对整体布置、FGSS 系统以及关联系统的各个风险点进行识别确认。对加注站、燃气设备间、LNG 液舱间、LNG 液舱连接处所、高压燃气供应系统、低压燃气供给系统、自然蒸发气处理、通风系统、氮气吹扫系统、乙二醇水循环系统等分别进行了 Pre-Hazid, Haizd, Hazop 的三次风险识别评估工作。

根据图 2 所示的 LR 的风险排名矩阵原则，评估专家小组识别指出了可能存在的风险项目，将其分为“高”风险，“中”风险，“低”风险。通过 LR，船厂，FGSS 厂家以及船东一起讨论并根据所识别风险的危害程度，最终对 Hazid 风险项目和 Hazop 风险项目制定风险降低对策及预防措施。船厂根据风险评估结果提出了风险项目的消除或降低风险危害性的对策，并制定了实施计划标准流程。最终顺利完成所有项目的实施计划，并获得了 LR 的认可。

伤害等级	多人死亡 C						
	单人死亡或者多人 重伤 B						
	重伤 A						
		L1 不可能 10 ⁰ /y	L2 极不可能 10 ¹ /y	L3 非常不可能 10 ² /y	L4 不太可能 10 ³ /y	L5 可能 10 ⁴ /y	
		每年发生伤亡的可能性					

高

中

低

图2 风险评估排名矩阵

3 设计要点及关键技术

3.1 ME-GI 高压双燃料主机

目前两大专利厂家 MAN ME-GI 和 WinGD X-DF 的低速二冲程双燃料主机分别代表着高压双燃料主机和低压双燃料主机，主要区别见图3所示。

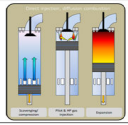
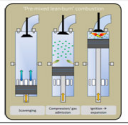
	MAN ME-GI	WinGD X-DF
工作原理	Diesel循环	Otto循环
燃烧模式	 只压缩空气，活塞到达上止点附件再喷射燃气	 燃气和空气一起压缩
燃气系统	高压 (300 bar)	低压 (< 16 bar)
SOx排放	降低95%以上	降低95%以上
NOx排放	降低abt.30%	降低abt.85%
CO ₂ 排放	降低abt.25%	降低abt.15%(考虑CH ₄ 逃逸)
单位能耗	低	高
甲烷逃逸	几乎没有	2-3g/kWh

图3 ME-GI 与 X-DF 对比

本船在开发初期，针对 ME-GI 和 X-DF 两种方案进行了研究论证，考虑到当时市场双燃料主机机型的成熟度，燃烧特性以及甲烷逃逸等综合因素，最终选择了高压 ME-GI 主机。

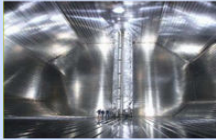
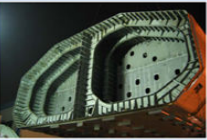
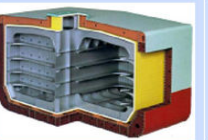
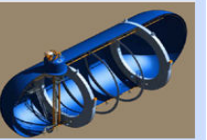
ME-GI 和 ME-C 在技术上区别很少，具有相同的效率、输出功率和尺寸。新增部件主要是燃气双层管、燃气阀控制模块、燃气喷射阀；修改部件主要是气缸盖和扫气集管。系统构成主要增加：燃气喷射系统，燃气供应系统，惰性气体系统，通风系统，密封油系统。

3.2 LNG 燃料舱的选型与布置

3.2.1 LNG 燃料舱的选型

传统的 LNG 燃料舱通常采用薄膜型和球舱型 (MOSS 型)，广泛应用于大型 LNG 船，建造工艺复杂，造价昂贵。LNG 燃料船一般采用独立液货舱 (A、B、C 型)，他们均非船体的构成部分，呈自持式。A、B、C 型液货舱及薄膜型液货舱对比如表3所示。

表3 LNG 燃料舱对比

类型	薄膜型	A 型	B 型	C 型
燃料舱形状				
最大压力	≤ 0.25 bar	≤ 0.7 bar	≤ 0.7 bar	≤ 10 bar
二次屏蔽	完全	完全	部分	不需要
船体空间利用率	高	高	高于Type C	低
蒸发气 BOG处理	需要	需要	需要	不需要

本项目采用 C 型独立 LNG 燃料舱,具有舱内耐压能力高,设计制造技术成熟,装置简单,造价低等优点,虽然其空间利用率相对较低,会占有较大的布置空间,但其是最适合本船的 LNG 燃料存储的舱室。考虑燃气消耗量、最大装载限制和最小剩余限制等因素,舱容选定约为 800m³,在燃料舱的顶部设置了气密连接处所,其中布置了与 LNG 燃料舱连接的相关各种阀门、监测及报警装置等。LNG 燃料舱采用单层镍钢材料外加 PU 保温层,BOG 蒸发率控制在 $\leq 1.0\%/天$ 。

3.2.2 LNG 燃料舱的布置

C 型独立 LNG 燃料舱布置是该船的设计难点之一,由于 LNG 燃料舱及其双燃料系统结构复杂,安全要求高,一般布置在上甲板敞开空间,但是汽车滚装船对重心比较敏感,如果重达 400 吨的 LNG 燃料舱布置在甲板上,对稳性极为不利。经过多个方案详细研讨对比,本船将 LNG 燃料舱布置在 5 层甲板以下、机舱前部(艏部型线收缩处)的密闭空间,该方案显著降低了船舶稳性,减少对载车面积的影响。工程上着重考虑了该狭小密闭空间的防火、安全、布置、液罐支撑鞍座等技术难题。

在 LNG 燃料舱支撑鞍座设计方面,需要综合考虑鞍座受力、燃料舱变形、低温等因素影响。本项目设计了一个固定鞍座和一个滑动鞍座,并将鞍座布置在船体结构框架位置,与船体结构有机结合、融为一体,提高了船舶稳性与强度。

3.3 LNG 燃料供气系统

3.3.1 LNG 供气系统构成

LNG 燃料供气系统基本组成包括 LNG 加注、燃料存储系统、燃气处理系统和辅助系统。本项目燃料供气系统采用高压、低压共用系统,可同时满足 MAN 的 ME-GI 双燃料主机 300bar 的进机压力和 Wartsila 的 DF 双燃料发电机及锅炉的 6bar 的进机压力,LNG 燃料供气系统构成如图 4 所示。

正常航行时,主机以强制蒸发天然气为燃料,发电机和锅炉以强制蒸发天然气和自然蒸发天然气为燃料。通过 C 型 LNG 燃料舱内的潜液式泵(出口压力 6bar 左右)抽出的 LNG 分成两路,一路经过高压泵加压至 300bar,然后再通过高压 LNG 蒸发器转换成高压的气态天然气供主机使用,另外一路直接通过低压蒸发器和低压加热器转换成适用发电机和锅炉使用的气态天然气,同时自然蒸发的天然气经过 BOG 压缩机增压到 6bar,再经过冷却器使增压过的天然气冷却至发电机、锅炉需要的进机温度。

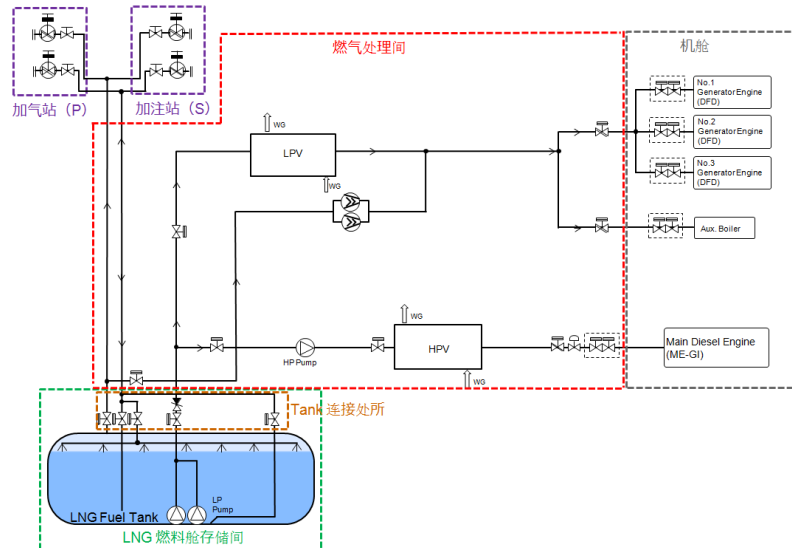


图 4 LNG 燃料供气系统构成

根据上述双燃料供气系统构成,本船根据系统功能结合规范及风险评估结果要求的危险区域划分将双燃料相关的设备按照以下区域进行了布置:

(1) 加气站: 该区域为半封闭场所,属于危险区域,主要布置了 LNG 加注系统相关的设备及系统。

(2) 双燃料供气系统及设备间: 该区域为全封闭场所,主要布置了燃气处理相关的设备、管路以及相应监测和报警系统,属于危险区域。

(3) LNG 燃料舱存储间: 该区域为全封闭场所,主要布置了 LNG 燃料舱和气密连接处所,属于安全区域,其中的气密连接处所需按照危险区域设计。

(4) 机舱: 该区域为 A 类机器处所布置了双燃料主机、发电机、锅炉及其他辅助设备(如 N2 发生器、双燃料设备阀组单元等),属于安全区域。

3.3.2 LNG 加注系统

在全球 LNG 加注站布局尚不完善的情况下,设计时需要充分考虑多种加注方式来满足船东的营运需求,本船除了岸基加注以外,船东还订造了加注船,因此本船开发了船-船及船-岸 LNG 燃料加注技术。

本船两侧加注站均可以使用船-岸加注方式,其中左舷还可以使用船-船加注方式。加注站需要综合考虑 LNG 泄漏、火灾等相关解决方案。设计时两舷各配置一个液相管和气相管接口法兰,接口法兰出口设置了锚定支座,并提供了氮气管和海水管接口。本船设置了舷外水帘保护以及在接口法兰连接处配置耐低温材质围板,以防止液体燃料泄漏对船体造成的低温损伤;同时在 LNG 加注站配置了气体报警监测系统及和加注船之间的通讯连接系统(ESD LINK),以监测该区域 LNG 加注的整个过程;此外,在结构防火方面,与加注站相邻的汽车

装载甲板及设备间的舱壁设置有 A-60 级防火材,以便在上述高危易燃区域发生火灾时,对加注站实施隔离保护,提高加注系统运行安全。

3.3.3 LNG 燃料处理系统

本船在 LNG 燃料舱的右侧设置了专用双燃料系统设备间。双燃料处理系统及辅助系统的相关管路、设备都采用集中布置的方式。设备间分上下两层,上层为气相 LNG 相关设备,下层为液相 LNG 相关设备,通过上述优化区域布置对液相 LNG 的防泄漏对策进行合理的集中实施。

燃料处理系统作用是为双燃料设备提供满足进机温度和压力的天然气,基本组成如下:

(1) LNG 燃料供给泵:满足所有主机、发电机以及锅炉的最大 LNG 使用量,变频控制。

(2) 高压泵:为 ME-GI 主机提供高压燃料,出口压力和容量要满足主机要求,采用变频控制。

(3) 蒸发器以及加热器:蒸发器实现液态 LNG 转换成气态天然气,为主机、发电机以及锅炉提供强制蒸发天然气。通过加热器控制天然气温度。

(4) BOG 压缩机:作用主要为压缩自然蒸发天然气和暖舱。BOG 压缩机采用的是油润滑方式,进口设置燃气管和温度控制阀,出口设置燃气管和冷却器。

为了双燃料处理系统的功能实现,需要提供以下的辅助系统:

(1) 加热介质循环系统

为加热低温 LNG 至燃气设备所需要的进口温度,本船采用独立的乙二醇水加热循环系统,主要由循环泵,膨胀水箱,乙二醇水加热器以及温度控制阀组成,加热源是船内主机缸套水,蒸汽作为备用加热源。

(2) 通风系统

本船采用抽吸式机械通风系统,对容易存在燃气积聚的封闭区间或半封闭区间进行强制通风。

(3) 消防系统

本船 LNG 加注站提供干粉灭火系统,燃气供应设备间提供 CO₂ 灭火系统,LNG 燃料舱提供水喷淋系统。同时对高危发火区域与 LNG 燃料舱相邻的舱壁,在采用 A-60 绝缘的基础上增加了水喷淋系统。

3.4 试验与建造

如前文所述,本船的双燃料供气系统的相关设备及控制的研发均无成熟的产品,相应的各配套厂家也是在本项目对应中不断地发现问题、解决问题。在本船的各种试验与建造过程中,针对高压双层管支架的安装要求,ME-GI 主机试车过程中液压油系统压力波动导致点

火油不稳定，LNG 燃气供给系统模拟试验中的逻辑控制丢失，以及 LNG 燃料加注方案的安全实施等技术难题，逐一攻破，保证了本项目的各项建造按计划得以实施，先后按期进行了燃油试航，LNG 燃料加注及燃气试航，并如期顺利完成了本船的交付。

4 结语

大型船舶使用 LNG 的双燃料技术，成为当前各国船舶企业重点研究的技术难题，南通中远海运川崎始终把握市场及动向，研究船舶技术热点与难点。2016 年 9 月，成功交付国际首艘 LNG 双燃料大型汽车运输船，标志着在大型船舶 LNG 双燃料技术达到世界先进水平，对承接 LNG 运输船奠定了基础并积累了丰富经验。

参考文献：

- [1] 陈皓等. 1200TEU 双燃料集装箱船设计(J). 上海船舶运输科学研究所学报, 2015.
- [2] 江川平. 双燃料低速船用柴油机在支线集装箱船上的应用分析(J). 中国水运, 2014.
- [3] 薛云. 电控气体双燃料发动机的研究(D). 浙江: 浙江大学, 2006.
- [4] 刘叶红. LNG 双燃料公务艇设计(J). 船海工程, 2016.
- [5] 刘秀丽等. LNG 燃料推进散货船的开发技术(J). 船舶标准化工程师, 2014.
- [6] 潘耘. 船舶 LNG 双燃料技术应用(J). 中国船检, 2012.
- [7] 李岳洋等. 柴油-LNG 双燃料动力船舶气体燃料系统设计(J). 江苏船舶, 2013.
- [8] 李永鹏. 新型 LNG 船舶采用双燃料电力推进的优势分析(J). 青岛远洋船员学院学报, 2005.
- [9] 段长晓. LNG 船主推进装置的选择和双燃料发动机的经济型研究(D). 上海: 上海海事大学, 2007.
- [10] 袁银南. 全电控 LPG—柴油双燃料发动机系统开发和性能研究(J). 江苏大学内燃机学报, 2009.

作者简介：周兰喜（1975-），男，高级工程师，主要从事船舶基本设计工作。

船舶建造档案的法规发展和实船履约总结

南通中远海运川崎船舶工程有限公司 陈柳

摘要： 为了船舶的安全营运，国际海事组织制定了船舶建造档案的规范，要求将船舶设计与建造、维护保养等信息保存在船上或岸上档案中心，使得船舶有需求时能快速有效获得相关信息，保障船舶安全。本文论述了船舶建造档案的由来和发展，结合实船应用经验说明了档案中心的工作流程和规范实施时的注意事项，为船舶建造档案的履约提供参考意义。

关键词： 目标型船舶建造标准；船舶建造档案；工业标准；档案中心

中图分类号： U66

Regulation Development and Implementation Summary of Ship Construction File

Nantong COSCO KHI Ship Engineering Co., Ltd. CHEN Liu

Abstract: For the sake of safe operation of ship, IMO approved the Ship Construction File (SCF), required information of ship design, construction and maintenance, etc. to be kept onboard or shore archive center, which enables quick acquisition of related information if needed, and ensure safety of ship. This article introduces the statutory development of SCF, and explains working procedure of Archive Center and key points of regulation application through practice on actual ship, which provides valuable reference for implementation of SCF.

Keywords: Goal-Based Ship Construction Standards (GBS); Ship Construction File (SCF);

Industry Standard; Archive Center

0 引言

船舶建造档案（Ship Construction File，SCF）是指关于船舶设计与建造、维护保养的信息，其对船舶在交付后的营运是非常基本和重要的信息。船舶建造档案并不是一个全新的规范或概念，在航运界逐渐意识到其对船舶整个生命周期的安全营运的重要性后，伴随着业界

各方之间的不断协商和讨论，或者说争议和博弈，经过十几年的发展，船舶建造档案目前已经强制生效，在法规层面它的要求更加系统和全面，以期为船舶的安全营运和维护保养提供强有力的支持和保障。

作者简介：陈柳（1981—），男，高级工程师，现从事船舶总体设计，联系方式 chenliu@nacks.com
作者简介：陈柳（1981—），男，高级工程师，现从事船舶总体设计，联系方式 chenliu@nacks.com

随着规范生效，业界对规范的要求和实施进行了初步探索。郑高中探讨了规范的实施，提出了建造合同签订、船舶建造过程和船舶营运中的注意事项^[1]。王晓明等人通过对船舶建造档案信息系统的架构和流程的分析，说明了如何在实现设计透明度的同时保护知识产权^[2]。陶力义论述了船舶建造档案在知识产权保护方面的要求和实现的办法^[3]。

本文回顾了船舶建造档案的由来和发展概况，分析了档案中心的功能和基本工作流程，结合我司首船实施的经验，归纳了档案中心的工作流程，总结了在履约全过程中的注意事项。

1 规范的由来和发展

船舶建造档案规范经过发展以纳入 SOLAS 的形式生效，并通过工业标准细化了要求。法规发展过程中的重要规范简述如下。

1.1 通函 MSC.1/Circ.1135

2004 年 12 月 15 日国际海事组织通过通函 MSC.1/Circ.1135《船上和岸上保留建造完工图纸》，建议在船上和岸上保存船舶建造完工图纸，以显示船舶关于建造、维修、检验和检查的信息。MSC.1/Circ.1135 确定了以下图纸清单：总布置图、舱容图、静水力曲线图、装载手册（需要时）、中横剖面图、基本结构图、甲板图、外板展开图、横舱壁图、舵及舵杆图、货舱舱口盖图（适用时）、舱底水压载和货物管系图。

1.2 IACS UR Z23

国际船级社联合协会在 IACS 统一要求 UR Z23《新造船的船体检验》中通过第 10 条提出了船舶建造档案的要求，明确了必须保存在船上的图纸，要求包含船舶检查、检验、修理、维护保养的图纸。包含但不限于如下：

- 1) 结构完工图纸，包括结构细节、材料细节、腐蚀余量、接头和接缝位置、横剖面细节、部分焊透和全焊透的焊接位置、需要特别关注的区域和舵；
- 2) 船级和法定要求的手册，包括装载手册，稳性资料，首门、内部门、侧门和尾门的操作和维护保养手册；
- 3) 结构检验通道（适用时）；
- 4) 焊接于船体的铸锻件证书；
- 5) 构成船舶完整性的水密和风雨密的设备细节，如舷外排出口、空气管、通风筒；

- 6) 舱室试验图, 包括试验细节;
- 7) 腐蚀防护特性;
- 8) 水下检验细节(适用时), 包括潜水员信息、间隙测量指导, 舱柜边界;
- 9) 进坞图, 包括干坞需要检验的细节;
- 10) 涂装技术文件, 说明在 IACS CSR 规范下如何满足 IMO PSPC 的要求。

IACS UR Z23 改版时也将下文中提及的 SOLAS Chap.II-1/Reg.3-10 条单独作为附件纳入, 提出了利用岸上档案中心存放船舶建造档案的要求。

1.3 GBS-SCF

国际海事组织批准了散货船和油船的目标型船舶建造标准(Goal-Based Ship Construction Standards, GBS), 其适用于船长为 150 m 及以上的下列油船和在货物处所内建有单层甲板、顶边舱和底边舱的船长为 150 m 及以上的下列散货船, 不包括矿砂船和兼装船:

- 2016 年 7 月 1 日或以后签订建造合同;
- 无建造合同, 2017 年 7 月 1 日或以后安放龙骨或处于类似建造阶段; 或
- 2020 年 7 月 1 日或以后交船。

GBS 的功能性要求之一为设计透明度, 要求船厂应当向船东提供必要且重要的信息, 比如船体结构图纸等, 以便于船舶的安全营运, 而船东应当在船舶的整个寿命周期内将此类信息保存在船上。为履行 GBS 的该要求, 通过决议 Resolution MSC.290(87), SOLAS 新增了 Chapter II-1/Regulation 3-10 条, 要求在船舶的整个寿命周期内, 船上必须保存有船舶设计和建造的专用资料 and 文件, 即船舶建造档案。具体内容如下:

“应在新船交船时提供一份关于如何在船舶设计和建造中应用《散货船和油船目标型船舶建造标准》功能要求的具体资料的船舶建造档案, 将其保存在船上和/或岸上, 并在该船的整个营运期内予以适时更新。船舶建造档案的内容应至少符合本组织制定的指南(MSC.1/Circ.1343《船舶建造档案应包含信息的导则》)。”

MSC.1/Circ.1343 是一份指南性文件, 从设计、建造、维护和检查、回收四个层面, 明确了船舶建造档案应包含的信息。与通函 MSC.1/Circ.1135 相比较, 总体上通函 MSC.1/Circ.1343 的内容更为广泛和全面, 要求更加具体和细化, 但不再要求压载管路和货物管路系统图。

1.4 SCF 行业标准

MSC.1/Circ.1343 规定了 SCF 的内容范围, 为实施 SOLAS 第 II-1/3-10 条要求, 由船东、船厂和船级社组成的跨行业小组制定了《船舶建造档案暂行行业标准(SCF Interim Industry Standard, 简称 SCF IS)》和《船舶建造档案暂行行业标准补充指南(Interim Supplementary

Guidance of the SCF Interim Industry Standard，简称 SCF SG)》，细化了对 SCF 的详细要求。

跨行业小组由以下行业组织组成：CANSI (中国船舶工业协会)、CESA (欧洲造船协会)、KOSHIPA (韩国海洋与造船协会)、SAJ (日本造船厂协会)、SCA (美国造船厂理事会)、BIMCO (波罗的海国际海运理事会)、ICS (国际航运公会)、INTERCARGO (国际干货船东协会)、INTERTANKO (国际独立油轮船东协会)、OCIMF (石油公司国际海事论坛)、IACS (国际船级社协会)，囊括了国际层面的各相关方。

SCF IS 和 SCF SG 要求船舶建造档案要提供船舶设计与建造、维护保养的信息，档案里包含的参数要保证新造船的安全性能，还要考虑知识产权问题。总体上讲，SCF IS 与 MSC.1/Circ.1343 的要求大体相同，但要求更加清晰和明确，SCF IS 明确了 SCF 图纸的标准图名和内容，并给出了部分图纸的模型和示例，增加了必要的附加部分和解释。而 SCF SG 对 SCF IS 的实际执行给予了更详细的指导。

行业标准明确 SCF 图纸分为船载 SCF 部分和 SCF 岸上补充部分，参照下图 1。船载 SCF 任何时候必须保存在船上，以保证随时可用，高知识产权的图纸可以作为 SCF 岸上补充，仅保存在岸上的档案中心，档案中心保存一套完整的 SCF。

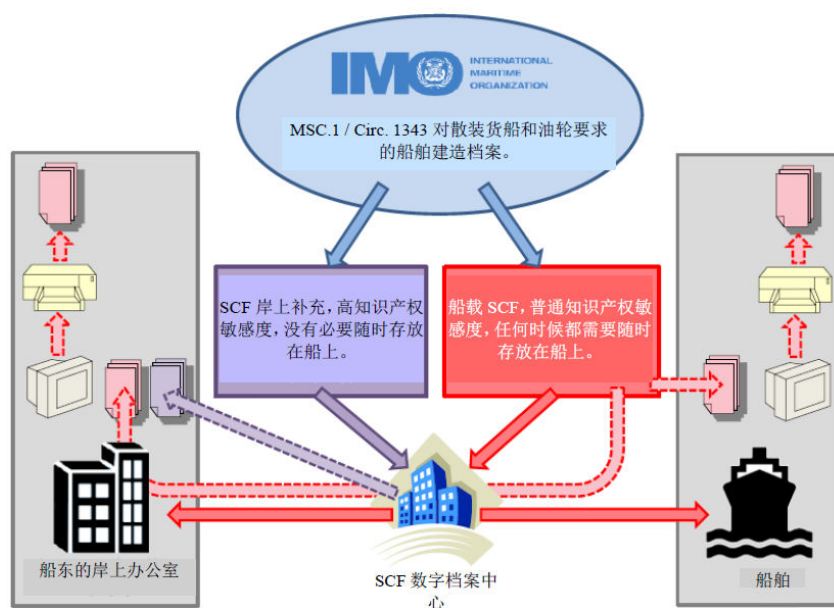


图 1 SCF 图纸分类

以下高知识产权图纸包含如下：

- 详细的全面强度计算
- 详细的全面疲劳寿命计算
- 工艺图（船舶结构件尺寸图，含尺寸、厚度、钢级和结构连续性及焊接特性）
- 型线图

2 档案中心

船东和船厂对于船舶建造档案的出发点和诉求不同,通过跨行业工作小组的讨论就 SCF 图纸内容达成了一致,形成了 SCF 行业标准。船厂的知识产权得到重视和保护,船东也有渠道获得必要的高敏感信息,同时必须承担保密的法定义务。

为平衡双方的诉求,岸上档案中心作为保存高知识产权信息的机构,需要严守作为独立第三方的地位,严格并安全保管各类图纸资料,提供给经授权人员的使用,并提供安全可靠的信息传递途径,严格控制图纸资料的扩散,严格遵守双方或三方协议要求。

档案中心的基本工作流程参见下图 2。船厂通过注册开设账户,经过身份鉴定后向档案中心上传 SCF 图纸。船东需要使用时,船载 SCF 除在船上可查外,也可以通过访问档案中心获得加密文档,并在终端经身份鉴定以确保经授权人员使用。而 SCF 岸上补充因涉及高知识产权,船东使用前需要首先征得船厂的同意,主要流程如下:

- 船东通过身份鉴定,向档案中心提出申请,必要时可能要附上证据;
- 档案中心通知船厂并征得同意;
- 档案中心与船东签署保密协议;
- 档案中心向船东提供相关信息;
- 船东使用完毕后归还档案中心。

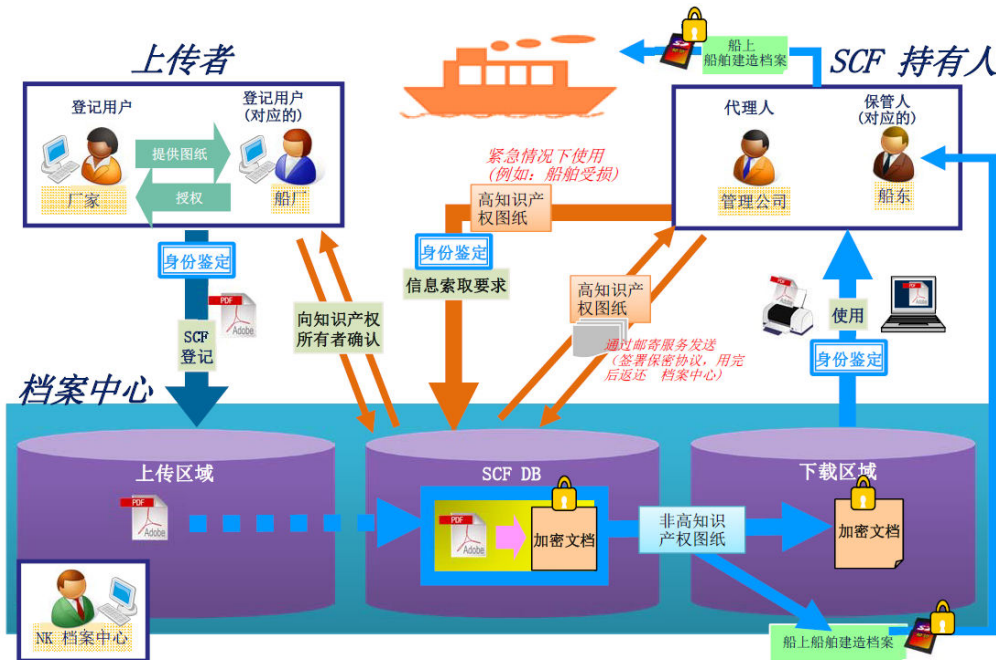


图2 档案中心的基本工作流程

目前三家亚洲船级社（中国 CCS，日本 ClasNK，韩国 KR）的档案中心已开业。CCS 档案中心是应中国船舶工业行业协会和中国船东协会邀请,经交通部与工业和信息化部同意,

由中国船级社承建的独立服务机构。日本船级社为了满足日本国内大量船东的迫切需求，与互联网巨头 IBM 公司合作建立了档案中心，简称 NKAC（ClassNK Archive Center），基于云服务向客户提供 SCF 服务。NKAC 于 2016 年 7 月 1 日率先正式投入使用。

3 实船实施流程

我司某船首次实施了 GBS-SCF，档案中心选择的是 NKAC，通过图纸做成和 NKAC 使用的经验，将实施的主要流程说明如下：

1) 档案中心申请

船厂和船东需要向档案中心提交申请书，申请本船使用 NKAC 作为档案中心。船厂申请书由船厂直接提交档案中心，船东申请书可以通过船厂或者船东直接提交档案中心。

2) 注册

在 NKAC 网站注册，注册分为船厂注册和项目注册，首先船厂注册开设账户，一个船厂对应一个账户，再注册单船项目，单船项目可视为船厂账户的子账户。

3) SCF 图纸做成

按照 SCF 的标准图名和内容做成相应的图纸，确保每份图纸对应到相应的科室。部分图纸可以直接使用送审图或者船厂内部图，少部分图纸需要新做成。

4) SCF 图纸上传和上船

根据 SCF 标准图名上传船厂的对应图纸，一个标准图名可能对应船厂的一份或多份图纸。为简化上传操作，NKAC 可以批量上传，按标准图名选择对应图纸后可一键上传。

上船的船载 SCF，行业标准允许采用纸质或电子文件，后者需确保船上便于浏览和打印。

5) 船级社确认

作为已经生效的强制规范，交船前船级社需要确认船载 SCF 已经上船，以及一套完整的 SCF（包含船载 SCF 和 SCF 岸上补充）已经上传到档案中心。

4 履约注意事项

根据对规范内容的理解，结合我司首船的实施情况，归纳和总结履约船舶建造档案的注意事项如下：

1) 档案中心选择

SCF 行业标准指出，船厂作为知识产权的所有人，应由船厂指定档案中心，但同时必须得到船东的同意。实际选择时可能是船厂和船东双方博弈的结果。考虑到船东可能有特定要求，船厂需要考虑选择不同档案中心的可能性。

2) 费用

档案中心作为服务提供方需要收取费用，费用包含项目注册费和维护年费。一般前者由船厂负担，而后者由船东负担。建议在船厂和船东约定档案中心时同时说明各自负担的费用，避免产生不必要的争议。

3) SCF 图纸做成

理论上在交船前完成图纸的制作和上传即可，为确保不影响交船，建议可以适当提前制作图纸，涉及 SCF 内容的图纸保持随时更新，避免后期发现与实际不符。但某些图纸如装载手册、稳性资料，需要在船舶称重试验后更新并提交船级社认可，宜在试验完成后立即更新并送审，同时密切跟踪进度。

型船首制船实施时重点关注，为后续船实施打下坚实的基础。仔细研读规范要求，如有不明时提前与船级社进行沟通确认。

4) 知识产权保护

为保护船厂的知识产权，宜与船东和档案中心视情况签署保密协议，以约束档案中心严格管理船舶建造档案，船东合理地使用船舶建造档案。

要求船东在船舶被买卖时，及时通知船厂，使得作为知识产权人的船厂，即时了解船舶所有人的变更信息，便于处理后期相关的事务。

在规范的约束下，船厂不能以知识产权为由拒绝船东的合理要求。如果船东申请使用 SCF 岸上补充，船厂应理性评估船东要求的合理性，提供给船东的 SCF 内容限于最小必要范围。

5) 标准工作流程

从 GBS-SCF 的适用时间看，对于以散货船和油船为主要船型的船厂，船舶建造档案从今往后将成为一项常规工作。为尽量压缩工时以节约人工，同时为保障顺利交船，船厂应该结合自身实际，逐步完善和形成一套关于船舶建造档案的标准工作流程，制定计划节点，确定图纸清单和内容，以更好地更经济地履约。

5 总结

船舶建造档案如何平衡设计透明度和知识产权保护一直都是个难题，目前船舶建造档案以纳入 SOLAS 要求，附加行业标准的形式予以实施，以满足 GBS 功能性要求，整体框架比较完善，其要求较以往更加全面和系统，更为明确和清晰，船舶有需求时可以快速有效地获得相关信息，船厂的知识产权也得到了有效的保护。

目前还没有足够多的船舶建造档案的实施案例，随着实施情况的增多，用户的使用反馈，

规范需要进一步更新和完善以更好地实施。GBS-SCF 适用于散货船和油船，而船舶的安全营运和维护保养不应该局限于船舶类型，但通过散货船和油船两大船型的实施具有典型性，可以有效地积累经验，笔者认为 SCF 的要求很有可能以后会扩展到其它类型船舶。

本文简述了船舶建造档案的规范由来和发展，说明了档案中心的功能和工作流程，结合我司首船实施船舶建造档案的实践经验，归纳并总结了实施流程和注意事项，为更好地履行规范要求，提供了参考意义。

参考文献

- [1] 郑高中. 船舶建造档案标准实施探讨[J]. 中国船检, 2016,196(9):94-97.
- [2] 王晓明, 罗海东, 陈有芳, 等. 船舶建造档案信息系统设计分析[J]. 船海工程, 2017,46(2):78-80.
- [3] 陶力义. 船舶档案管理的发展和知识产权的保护[J]. 船舶标准化工程师, 2017(2):74-78.

船舶与海洋工程装备产业中国专利技术分析*

胡俊¹，盛永祥^{1,2}，吴洁¹，刘智洁¹，徐雷¹

(1. 江苏科技大学 经济管理学院，江苏 镇江 212003；
2. 江苏科技大学 服务制造模式与信息化研究中心，江苏 镇江 212003)

摘要：本文立足于我国船舶与海洋工程装备产业发展现状[1]，将船舶产业划分为一般用途船舶领域、特殊用途船舶领域与海洋工程装备产业三类，利用 Patsnap 专利检索平台分析了我国三类船舶产业的重点省市专利趋势、重点技术分支分布、重点申请人情况等，并根据分析结果提出相应的政策策略，对企业精准把握未来发展方向，规避专利风险提供参考与借鉴。

关键词：船舶；海洋工程装备；专利；

中图法分类号：F273 **文献标识码：**A

引言

认真贯彻中央经济工作会议精神，抓紧落实“三去一降一补”五大任务。实现产业集中度不断提高、科技创新能力逐步提升、过剩产能有效化解、行业发展短板有所弥补、降本增效扎实推进、国际产能合作稳步开展，进一步巩固造船大国地位[2]。但受国际船舶市场持续深度调整的影响[3]，我国骨干船舶企业竞争更加激烈，船舶产业面临的形势更为严峻[4-5]。因此，分析船舶与海洋工程领域专利目前发展状态，对企业把握未来发展方向尤为重要。

本文将船舶与海洋工程装备产业分为一般用途船舶领域、特殊用途船舶领域以及海洋

工程产业三类，并基于 Patsnap 专利检索平台，分析我国船舶与海洋工程领域专利情况，重点分析了三类船舶领域的重点省市专利申请趋势、重点技术分支、重点申请人等情况，指出我国船舶领域发展的优势与弱点，并针对弱点提出了相应的政策建议，有利于企业把握未来发展方向，促进我国船舶与海洋工程装备领域可持续发展。

1. 重点省份专利申请量分析

1.1 一般用途船舶领域

对国内重点省份在一般用途船舶领域的专利申请量进行统计，明晰各主要省市的专利申请情况和发明专利授权情况。

表 1 一般用途船舶领域重点省份专利申请量

序号	申请人省市	专利数量（件）
1	江苏省	49728

序号	申请人省市	专利数量（件）
2	广东省	35701
3	浙江省	28819
4	山东省	22057
5	上海市	20513
6	辽宁省	11148
7	湖北省	9820
8	天津市	9614
9	福建省	8339

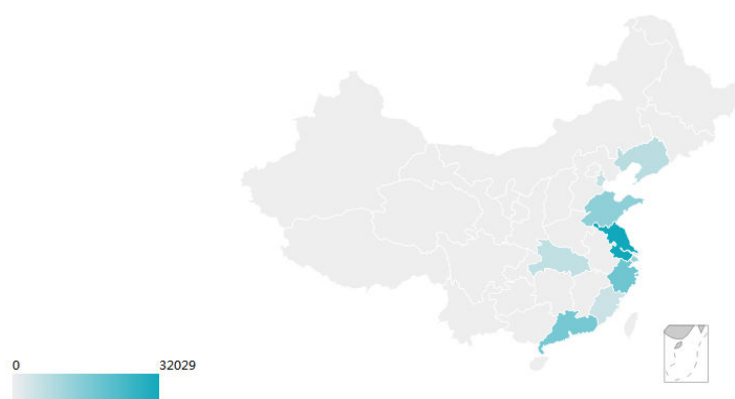


图1 一般用途船舶领域重点省份专利申请量

由表1和图1可知，江苏省、浙江省、广东省、上海市等国内经济科技较发达省市在一般用途船舶领域的专利申请情况。在一般用途船舶领域，江苏省、广东省、浙江省的专利申请量位居前三，申请量分别为49728件、35701件、28819件，分别占全国申请量的23.83%、17.11%、13.81%。山东省、上海市、辽宁省专利申请量分别为22057件、20513件、11148件，分别占全国申请量的10.57%、9.83%、5.34%。江苏省的专利申请量位居全国第一，其申请数量几乎与浙江省、和山东省两省专利申请量之和持平。

总体上来看，专利申请情况与国内省市经济科技发展情况相一致，且往往与各省市在造船业的历史发展状况有一定的传承关系。江苏地区在中国历史上具有传统的船舶行业发展经验，目前省内从事船舶产业的企业数量也相对领先国内其他省市。

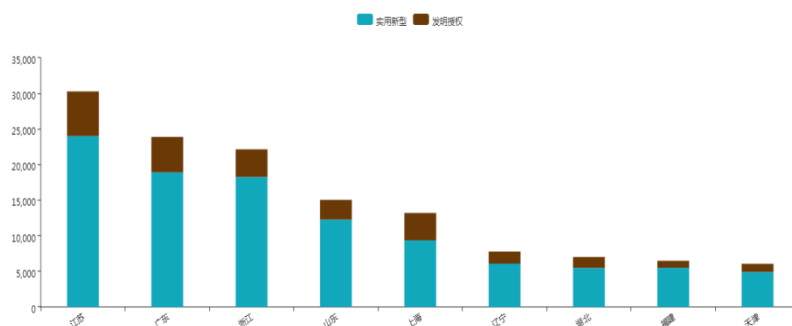


图2 一般用途船舶领域重点省份专利授权量

由图2可知，在一般用途船舶领域，江苏省的发明授权量和实用新型授权量与其他省市相比具有明显的优势，处于国内领先水平。近几年江苏省的专利申请（授权）量增长较为迅猛，在今后较长的一段时间内，与其他省市的差距将进一步拉大。从专利授权结构来看，上海市的发明授权量占本市专利授权量的40.9%，江苏省、广东省、浙江省、山东省发明授权量占本省专利授权量的26.1%、26.3%、21.24%、22.51%，上海市的授权专利构成合理，专利创造性较高，而江苏省、广东省等省份发明专利授权量比实用新型专利授权量都较小，专利技术的创造性程度有待提高。

1.2 特殊用途船舶领域

对国内重点省份在特殊用途船舶领域的专利申请量进行统计，明晰各主要省市的专利申请情况和发明专利授权情况。

表2 特殊用途船舶领域重点省市专利申请量

序号	申请人省市	专利数量（件）
1	江苏省	4029
2	浙江省	2759
3	上海市	2308
4	广东省	2107
5	山东省	1524
6	湖北省	1210
7	辽宁省	1188
8	福建省	612
9	天津市	585

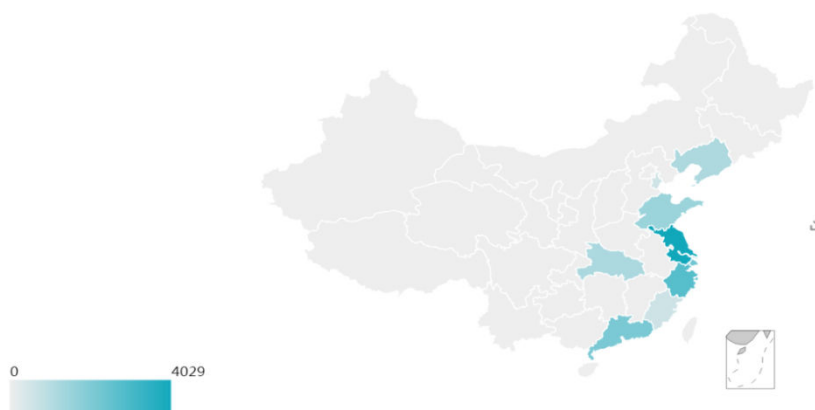


图3 特殊用途船舶领域重点省份专利申请量

由表 2 和图 3 可知，江苏省、浙江省、广东省、上海市等国内经济科技较发达省市在特殊用途船舶领域专利申请情况。在特殊用途船舶领域，江苏省、浙江省、上海市的专利申请量位居前三，申请量分别为 4029 件、2759 件、2308 件，分别占全国申请量的 16.9%、11.6%、9.7%。广东省、山东省、湖北省的专利申请量分别为 2107 件、1524 件、1210 件，占全国申请量的 8.8%、6.4%、5.1%。江苏省、浙江省和上海市的专利申请量居全国前三，其申请数量之和占全国申请量的 38%。

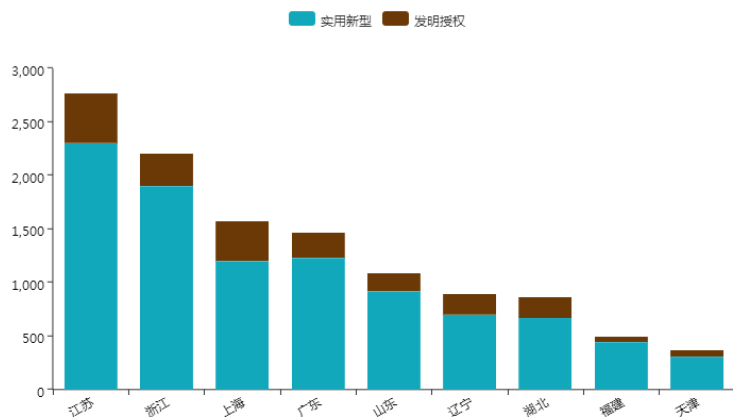


图4 特殊用途船舶领域重点省份专利授权量

由图 4 可知，在特殊用途船舶领域，江苏省的发明授权量和实用新型授权量都位居前列，处于国内领先水平，但江苏省的发明专利授权量与实用新型专利授权量相比较小，专利技术的创造性程度有待提高。上海市和湖北省的发明授权量占各自省市专利授权量的 23.9%和 22.7%，授权专利构成较为合理，专利创造性较高。浙江省、山东省、福建省发明授权量占各省专利授权量的 14.0%、15.7%、11.1%。江苏省、浙江省和上海市的发明专利授权量与其余 6 个省市的发明专利授权量几乎持平，产业发展聚集特征明显，产业集中程度比较高。

1.3 海洋工程装备产业

对国内重点省份在海洋工程装备产业的专利申请量进行统计，明晰各主要省市的专利申请情况和发明专利授权情况。

表 3 海洋工程装备产业重点省市专利申请量

序号	申请人省市	专利数量（件）
1	江苏省	37224
2	山东省	24729
3	浙江省	21468
4	广东省	20852
5	上海市	15333
6	辽宁省	10726
7	天津市	10698
8	湖北省	9386
9	福建省	6545

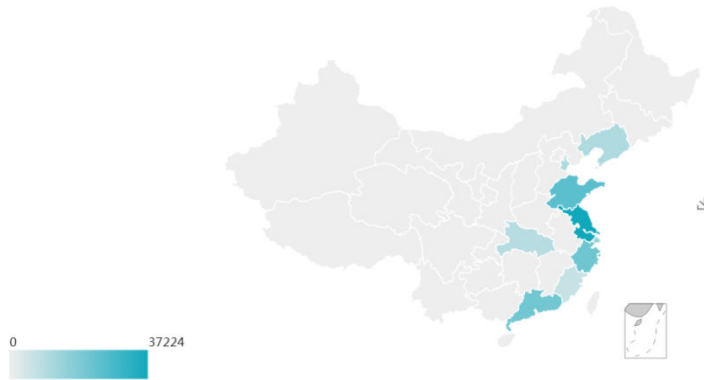


图 5 海洋工程装备产业重点省市专利申请量

由表 3 及图 5 可知，在海洋工程装备产业，江苏省、山东省、浙江省的专利申请量位居前列，申请量分别为 37224 件、24729 件、21468 件，分别占全国申请量的 12.8%、8.5%、7.4%。广东省、上海市、辽宁省三省市专利申请量分别为 20852 件、15333 件、10726 件，分别占全国申请量的 7.1%、5.3%、3.7%。江苏省的专利申请量位居榜首，其专利申请量是山东省的 1.5 倍，是浙江省的 1.7 倍，专利数量上以较大幅度领先其他省市。

从重点省市的分布情况可以看出，海洋工程装备产业的核心区域在沿海、沿江地区，主要原因是这些区域内的船舶产业较发达，并且重工业、能源等产业也相对比较先进，较强的

经济实力和工业基础，为海工装备领域在这些地区的发展提供了有利的条件。

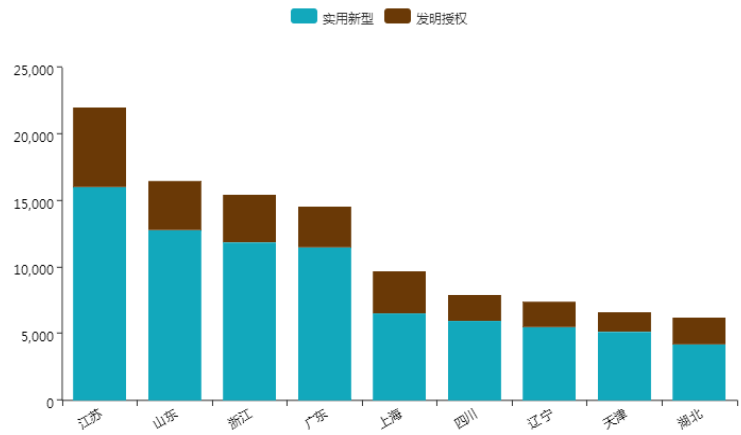


图6 海洋工程装备产业重点省份专利授权量

由图6可知，在海洋工程装备产业，江苏省的发明授权量和实用新型授权量都位居第一。江苏省、辽宁省、山东省、浙江省、广东省、上海市、天津市、湖北省发明授权量占本省市专利授权量的27.2%、25.5%、22.2%、23.3%、21.1%、48.9%、29.4%、48.5%、26.3%，其中天津市、上海市的发明授权量占比达授权专利量的一半左右，授权专利质量较高。

2. 重点省份的专利申请量年度变化态势

2.1 一般用途船舶领域

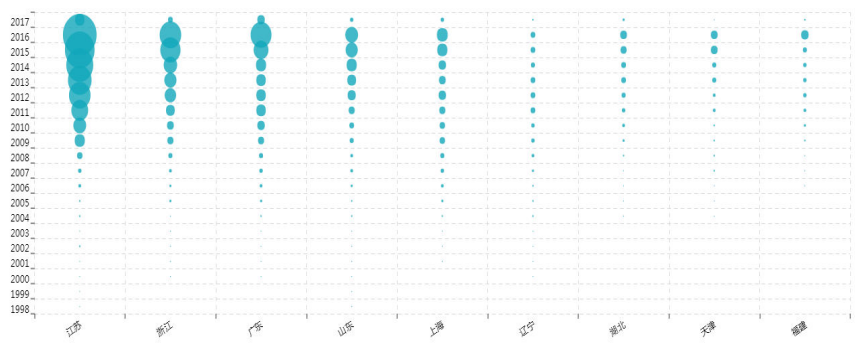


图7 一般用途船舶领域重点省份专利申请量年度变化态势

由图7可知，近20年内国内重点省份在一般用途船舶领域专利申请量都呈现逐年上升趋势，2003年以前各省专利申请量增速并不明显，2003-2011年间各省专利申请量明显递增，2012年至今，各省专利申请量总体上呈现爆发式增长。江苏省专利申请量增长最为剧烈，增幅较大，浙江省、广东省、山东省三省较其余省市增幅较为明显，而辽宁省、湖北省的专利申请量增幅较为平缓，年度申请量变化并不明显。

2.2 特殊用途船舶领域

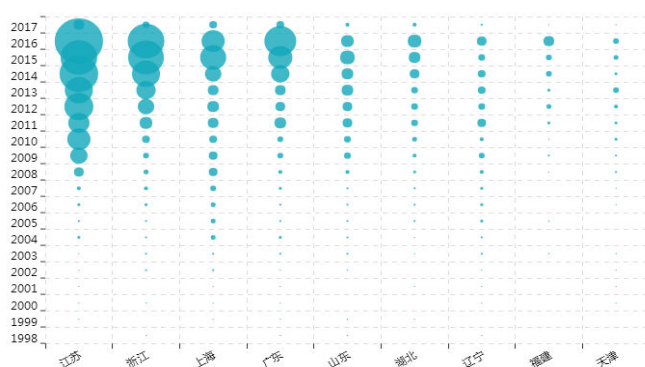


图8 特殊用途船舶领域重点省份的专利申请量年度变化态势

由图8可知,9个重点省份的专利申请量逐年增加,2008年以前各省专利申请量增速并不明显,2008-2016年间各省专利申请量明显递增。其中,江苏省的专利申请量增长最快,增幅较大。浙江省和上海市的专利申请量增幅也较为明显。根据年度申请量变化态势可以看出,江苏省、浙江省和上海市对该领域技术的重视程度较高。天津市、福建省和辽宁省的专利申请量增幅较低,这些省市对该领域技术的重视程度有待提高。

2.3 海洋工程装备产业

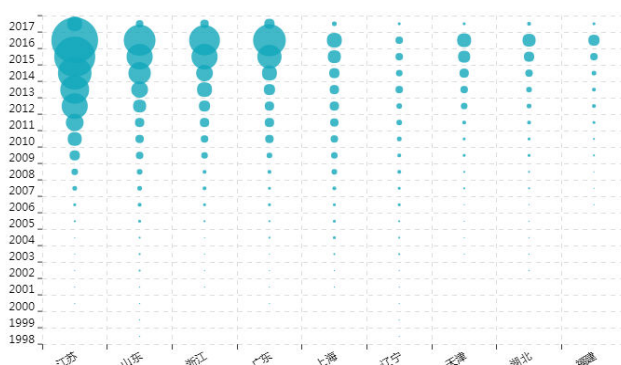


图9 海洋工程装备产业重点省份专利申请量年度变化态势

由图9可知,近20年国内重点省份在海洋工程装备产业专利申请量的申请趋势与一般用途船舶和特殊用途船舶的专利申请趋势相似,2010年以前各省专利申请量增速并不明显,2011-2013年间各省专利申请量开始明显递增,2013年至今,各省专利申请量总体上呈现爆发式增长。从图中可以清晰的看出,江苏省的专利申请增长量较其他省市最为明显,2013年正式进入发展期,并且呈现快速发展的势头,江苏省申请量的增速幅度领先国内其他省市。

3. 国内重点技术类别分布

3.1 一般用途船舶领域

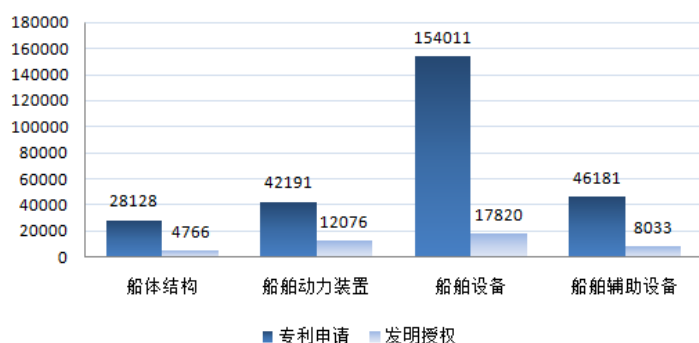


图 10 一般用途船舶领域国内重点技术类别分布

由图 10 可知，一般用途船舶领域重点技术主要分为船体结构、船舶动力装置、船舶设备和船舶辅助设备四大类，船舶设备类的专利量最为集中，占比专利申请量的 56.93%，其次是船舶辅助设备和船舶动力装置，分别占 17.1%和 15.6%，分析表明近年来由于船体结构、主动力装置、辅助动力设备分支的技术已经较为成熟，关注度减弱，而其他辅机和设备是近年来的研究热点，虽然在一般用途船舶领域的发展相对较晚，但发展较快。

3.2 特殊用途船舶领域

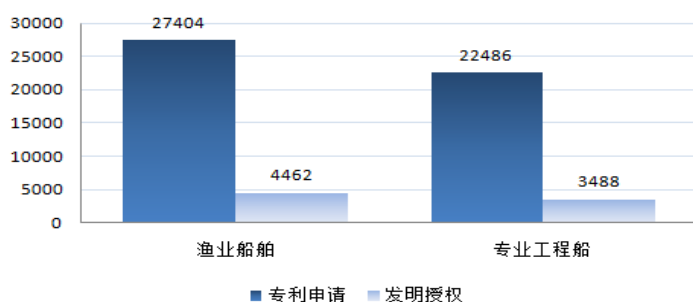


图 11 特殊用途船舶领域国内重点技术类别分布

由图 11 可知，特殊用途船舶领域重点技术主要分为渔业船舶和专业工程船两大类，渔业船舶在国内的专利申请量要稍高于专业工程船舶，二者的占比分别为 55%和 45%。

传统渔船和渔业辅助船舶在特殊船舶领域仍然保持较大的申请基数，但近几年其专利申请趋势在逐年趋缓，其相关技术已经处于较完善的阶段。专业工程船技术近几年专利申请量迅速递增，表明专业工程船舶迎来了广阔的发展机遇，其在航道保证、港口服务、抢险救助、水域施工、水底开发、产品加工、船舶维修、疏浚挖泥等多种水面水下工程作业中发挥着不可替代的作用，而且在可预见的未来发展中，随着世界大量海洋开发、港口工程、水利工程、水域环保、桥梁建设等工程的纷纷上马，这些工程所急需的技术性能先进、功能齐全的专用工程船舶技术将会获得更多的发展空间。

3.3 海洋工程装备产业

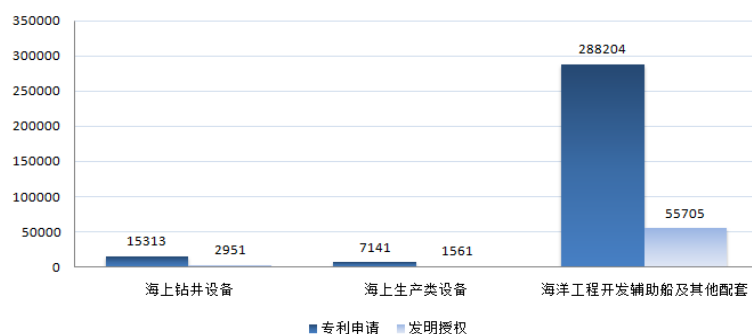


图 12 海洋工程装备产业国内重点技术类别分布

由图 12 可知，海洋工程装备产业重点技术主要分为海上钻井设备、海上生产类设备和海洋工程开发辅助船及其他配套三大类，其中海洋工程开发辅助船及其他配套的专利量最为集中，占比专利申请量的 90%以上，海上钻井设备和海上生产类设备的占比都较小。

4. 国内主要申请人分析

4.1 一般用途船舶领域

对一般用途船舶领域国内主要申请人进行统计，明晰主要申请人类型、发明专利占比情况和有效专利数量，并分析主要申请人关注度较高且专利较为集中的技术类别。

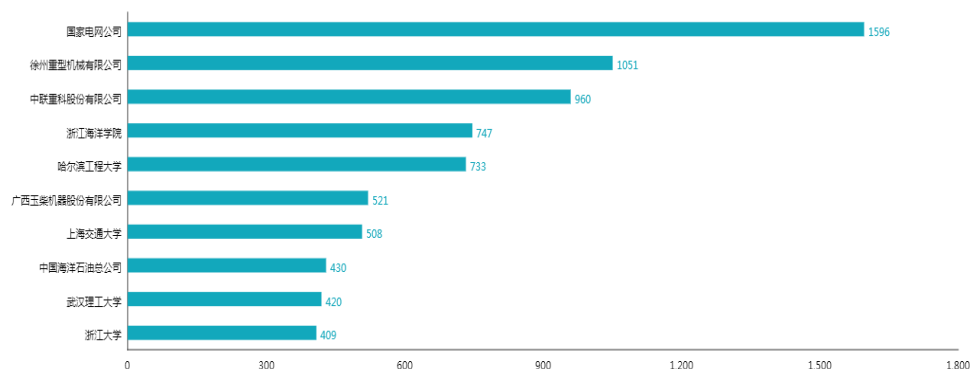


图 13 一般用途船舶领域国内前 10 位专利申请人

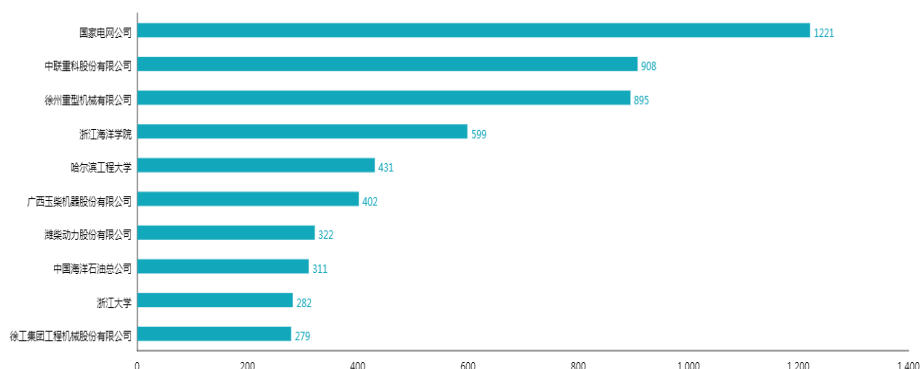


图 14 一般用途船舶领域国内前 10 位专利权人

由图 13 和图 14 可知，在一般用途船舶领域排名前 10 位的申请人和专利权人都由高校和企业组成，且企业在该领域的专利申请（授权量）领先于高校。其中国家电网公司、徐州

重型机械有限公司和中联重科股份有限公司的专利申请（授权）量都处于国内前三位。

4.2 特殊用途船舶领域

对特殊用途船舶领域国内主要申请人进行统计，明晰主要申请人类型，并分析主要申请人关注度较高且专利较为集中的技术类别。

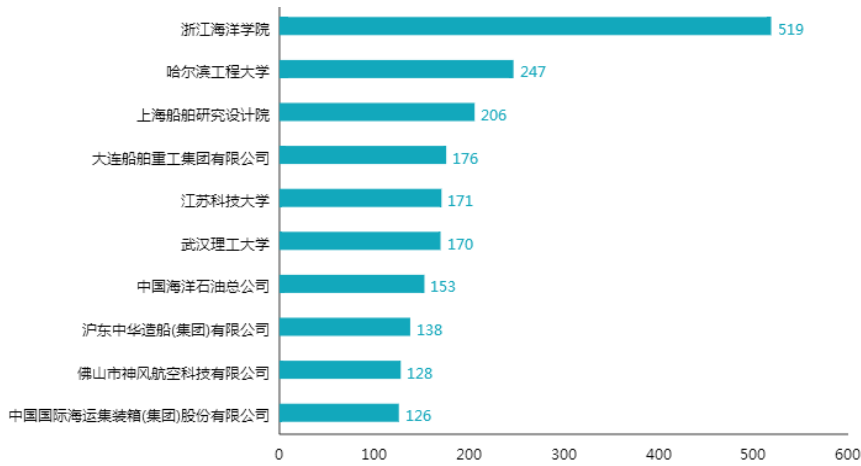


图 15 特殊用途船舶领域国内前 10 位专利申请人

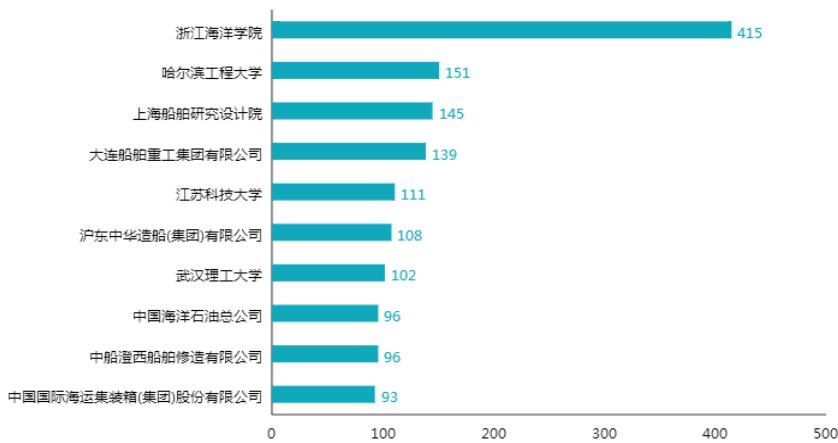


图 16 一般用途船舶领域国内前 10 位专利权人

由图 15 和图 16 可知，在特殊用途船舶领域排名前 10 位的申请人和专利权人都由高校和企业组成，且高校在该领域的专利申请（授权）量领先于企业。可以看出研究型的申请人在我国特殊用途船舶技术上具有突出地位；另外，在前十名的申请人中还包括了五家企业，其中中海油作为中国最大的海上油气生产厂商，其产业一体化程度相对较高，在国内特殊用途船舶领域的综合竞争实力十分强大。

4.3 海洋工程装备产业

对海洋工程装备产业国内主要申请人进行统计，明晰主要申请人类型、发明专利占比情况和有效专利数量，并分析主要申请人关注度较高且专利较为集中的技术类别。

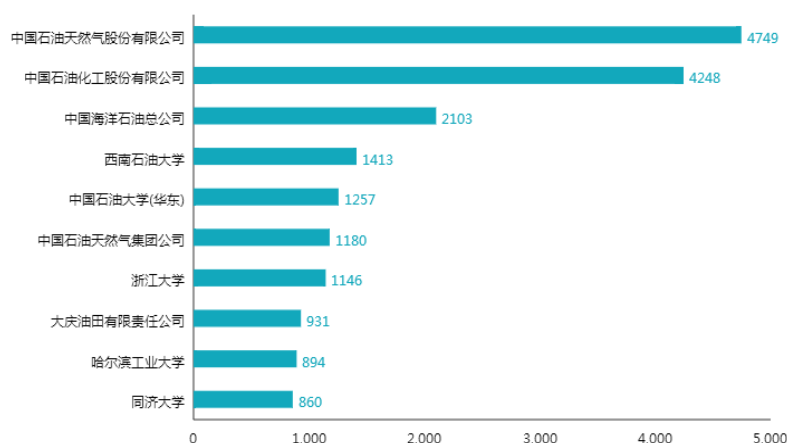


图 17 海洋工程装备产业国内前 10 位专利申请人

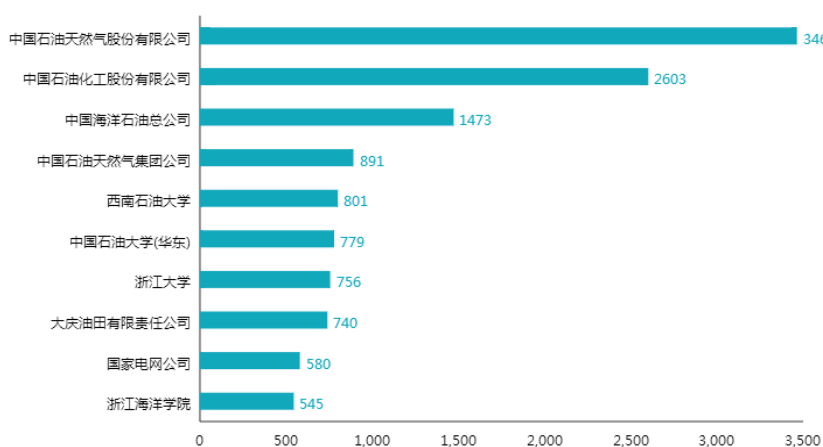


图 18 海洋工程装备产业国内前 10 位专利权人

由图 17 和图 18 可知，在海洋工程装备产业排名前 10 位的申请人和专利权人都由高校和企业组成，且企业在该领域的专利申请（授权）量领先于高校。其中中国石油天然气股份有限公司、中国石油化工股份有限公司和中国海洋石油总公司的专利申请（授权）量都处于国内前三位。

5. 结论

本文通过 patsnap 专利数据库检索船舶与海洋工程装备领域专利数据，并对重点省份申请量、重点省份年度变化、重点技术分布、重点申请人进行分析，得出如下结论与建议：

（1）在一般用途船舶领域，专利申请情况与国内省市经济科技发展情况相一致，且往往与各省市在造船业的历史发展状况有一定的传承关系，但江苏省、广东省等省份发明专利授权量比实用新型专利授权量都较小，专利技术的创造性程度有待提高；在特殊用途船舶领域，江苏省、浙江省、上海市的专利申请数量较多，与其余 6 个省市几乎持平，产业发展聚集特征明显，产业集中程度比较高；在海洋工程装备产业，海洋工程装备产业的核心区域在沿海、沿江地区，较强的经济实力和工业基础，为海工装备领域在这些地区的发展提供了有

利的条件，并且授权专利质量较高。

因此，我国应保持省市造船业传承，努力突破新兴技术研发创新；加快江苏省、广东省等专利发明创造，培育高价值专利；重点打造船舶海工配套产业集群，大力推进船舶产品高端化，通过“以商引商”提升船舶配套发展水平，延伸发展海洋工程装备产业，大力发展现代船舶生产性服务业，加快突破共性关键技术水平。

（2）在一般用途船舶领域，江苏省专利申请量增长最为剧烈，增幅较大，浙江省、广东省、山东省三省较其余省市增幅较为明显，而辽宁省、湖北省的专利申请量增幅较为平缓，年度申请量变化并不明显；在特殊用途船舶领域，天津市、福建省和辽宁省的专利申请量增幅较低，这些省市对该领域技术的重视程度有待提高；在海洋工程装备产业，江苏省的专利申请增长量较其他省市最为明显，领先国内其他省市。

因此，江苏省应保持其增长趋势，并在专利增长的同时，提高专利质量，积极研发创新高价值专利；其他省市应促进产学研合作，加快本土相关科研机构建设，促进本土企业与科研机构合作创新，并积极引进国外领先团队，学习交流经验，促进本土专利数量与质量跨越式增长。

（3）在一般用途船舶领域，近年来由于船体结构、主动力装置、辅助动力设备分支的技术已经较为成熟，关注度减弱，而其他辅机和设备是近年来的研究热点，虽然在一般用途船舶领域的发展相对较晚，但发展较快；在特殊用途船舶领域，近几年其专利申请趋势在逐年趋缓，其相关技术已经处于较完善的阶段；在海洋工程装备产业，海洋工程开发辅助船及其他配套的专利量最为集中，海上钻井设备和海上生产类设备的占比都较小。

因此，我国应继续保持船体结构、主动力装置等技术的优势，积极研发新技术，领先国际水平；加快其他船舶技术的研发创造，努力拉近与国际尖端水平差距；抓住机遇，随着世界大量海洋开发、港口工程、水利工程、水域环保、桥梁建设等工程的上马，积极研发技术性能先进、功能齐全的专用工程船舶技术。

（4）在一般用途船舶领域，国家电网公司、徐州重型机械有限公司和中联重科股份有限公司的专利申请（授权）量都处于国内前三位；在特殊用途船舶领域，研究型的申请人在我国特殊用途船舶技术上具有突出地位；在海洋工程装备产业，企业在该领域的专利申请（授权）量领先于高校。

因此，从主要申请人来看，高校与企业是船舶与海洋工程装备领域专利申请的重点申请人，我国应建立专利合作平台，促进高校与企业的双向合作，建立合作共赢机制；政府应合理进行资源分配，促进船舶与海洋工程装备产业资源和专利资源良性发展。

参考文献

- [1] 李慧. “船舶与海工配套设备技术”专场:创新引领未来数值水池、北斗导航系统、智能船舶等主题引关注[J]. 船舶工程, 2017(11).
- [2] 吴秀霞. 江苏召开 2017 年船舶与海工装备产业发展推进会[J]. 中外船舶科技, 2017(2):41-41.
- [3] 李源. 2013 年上半年世界船舶与海工市场评述[J]. 船舶与配套, 2013(8):34-40.
- [4] 王平, 杨军. 工业基础雄厚, 发展潜力巨大——津秦地区船舶与海工配套业的现状及发展浅析[J]. 船舶经济贸易, 2010(5):47-48.
- [5] 郑贺. 中国船舶工业企业开展海洋工程装备业务的风险[J]. 机电设备, 2017, 34(4):48-52.

船舶与海洋工程装备制造产业资源配置导向*

盛永祥¹, 刘智洁¹

(江苏科技大学 经济管理学院, 江苏 镇江 212003)

摘要: 江苏省船舶与海洋工程装备产业“十二五”期间实现了跨越式发展, 成为我国第一造船大省和世界重要的产业基地, 建立了研发、设计、造船、海洋工程装备、修船、拆船、配套及服务门类齐全的船舶产业体系, 产业国际地位和市场影响力不断增强。文章针对船舶与海洋工程装备制造领域的产业发展、区域布局、创新建设、知识产权资源配置等方面提出发展导向。

关键词: 船舶; 海洋工程装备; 资源配置; 导向

中图法分类号: F273 文献标识码: A

1 产业发展导向

江苏省船舶与海洋工程装备产业已经建立了造船、海洋工程装备、配套等门类齐全的船舶产业体系, 正处于船舶工业大省向强省跨越阶段, 在发展目标上要保持集装箱船、散货船、油船三大主流船型尤其是超大型船舶的市场份额; 在大型液化天然气(LNG)船、大型液化气体运输船(VLGC)、大型汽车滚装船等领域进一步取得突破; 形成以特种海洋工程船、自升式钻井平台、半潜式平台、天然气装备为引领的海工产品结构; 船舶配套继续保持全国第一, 掌握船舶动力、甲板机械、舱室设备、通导与智能系统和设备的核心技术。

基金项目: 江苏省高校哲学社会科学重点研究基地重大项目“船舶产业转型升级的方法、路径和对策研究”

(2015JDXM025)。

作者简介: 盛永祥(1969-), 男, 江苏省大丰人, 博士, 教授, 主要研究方向: 复杂网络, E-mail: syx1969@163.com; 胡俊(1994-), 男, 江苏省淮安人, 硕士研究生, 主要研究方向: 知识管理, E-mail: 1434120126@qq.com; 刘智洁(1993-), 女, 山东东营人, 研究生, 主要研究方向: 知识管理, E-mail: 494843509@qq.com; 徐雷(1993-), 男, 江苏宿迁人, 研究生, 主要研究方向: 知识管理, E-mail: 546019357@qq.com。

通讯作者: 吴洁(1968-), 女, 江苏省滨海人, 博士, 教授, 主要研究方向: 知识管理, E-mail: 0511wujie@163.com。

表 1 船舶与海洋工程装备产业发展导向

产 业 领 域	目前主要产品	发展重点产品
船舶制造业	1、集装箱船、超大型散货、超级油轮、散货自卸船、多用途干货船等一般用途船舶。 2、多功能全回转工作船、多用途海洋工程船、挖泥船、多用途干货船等特种用途船舶。 3、双燃料船、液化气船等绿色节能船。	重点发展超大集装箱船、超大型散货船、双燃料船、汽车滚装船、多功能全回转工作船等高技术、高附加值、绿色节能船舶。
船舶配套业	1、船用柴油机、螺旋桨、船舶辅机等动力设备。 2、甲板机械、舱室机械、起重机械等机械设备。 3、多功能的舱室焊接机器人、船用电器控制设备、探测系统和电子信息系统等自动化设备。 4、船用锚链和海洋系泊链等船舶附件； 5、船舶制造业 CAPP/PDM/ERP 软件、船舶控制系统和系统集成软件。	重点发展船用低速柴油机、甲板机械、起重机械、船用锚链、船用电器控制设备、探测系统以及舱室焊接机器人。
海洋工程装备业	1、圆筒型超深水海洋钻探储油平台、圆筒型 FPSO、半潜式海洋钻井平台、自升式海洋工作平台、八角型钻井平台、半潜式石油钻井平台等平台。 2、潜水支持船、大型自航半潜船、海上起重船、大型铺管船、风电安装船等海工船。	重点发展圆筒型超深水海洋钻探储油平台、圆筒型 FPSO、自升自航式平台、高端的海洋工程辅助船和风电安装船等。

1.1 船舶制造业的重点发展导向

重点打造大型散货船、超级油轮、超大型集装箱船、矿砂船、汽车滚装船、多用途船和双燃料船等主力船型的品牌；拓展已有的大洋“皇冠”系列散货船和金陵“白鬃豚”系列品牌，形成品牌效应系列船型；以“专、精、特”为方向建造大型液化石油气船、大型化学品船、3 万吨以下高标准不锈钢化学品船、液化石油气（天然气）船、液货船和游船（艇）等高技术、高附加值、绿色节能船舶。

1.2 船舶配套业的重点发展导向

重点发展中小缸径低速柴油机、中速柴油机及其配件，在高压共轨燃油喷射系统、智能化电控系统、尾气脱硝脱硫装置等柴油机关键部件和系统等方面取得突破，推进新型推进装置、高端船用发电机、中高压船舶电站、电力推进装置等装备的研制，形成成套供应能力，推广高压岸电运用；开展配套机电装备的轻量化、智能化、大型化、系统集成、减振降噪、可靠性等方面的技术升级，提高配套机电设备的标准化和通用性，实现设备的智能化控制和维护、自动化操作等，提供系统的解决方案，实现集成化配套。

1.3 海洋工程装备业的重点发展导向

重点发展半潜式钻井（生产）平台、支持平台、海上服务及居住平台、钻井船、自升式钻井平台、自升式海上多功能服务平台、张力腿平台（TLP）、深水立柱式平台（SPAR）、浮式生产储卸装置（FPSO、FLNG）、铺管船等海工装备，逐步形成具有自主知识产权的品牌产品；海洋浮体结构物。加强海上大型浮式结构物（VLFS）、超大型浮式保障基地、深海工作站、海上浮动电站的设计建造关键技术研发，加快实施工程化研究。

2 区域布局导向

目前，江苏已经形成了南通、泰州、扬州、镇江四大船舶与海工装备产业集群，但是江苏船舶企业内部竞争激烈，没有整体优势，尚未形成规模经济效应。因此，江苏在发展船舶和海工装备产业的区域布局上要聚集优质资源，优化产业布局，做强做优远洋造船基地、打造海洋工程装备制造基地、打造特色鲜明的配套产业基地。

表 2 船舶与海洋工程装备产业区域布局导向

基地	区域	目前企业数量	区域布局导向
造船基地	南通、泰州、扬州。	40	做强做优三大远洋造船基地，重点支持南通、泰州、扬州三个地区产业集聚区。
船舶配套基地	南京、泰州、镇江、南通。	198	打造特色鲜明的配套产业基地，重点发展南京、泰州、镇江、南通四大船舶配套基地。
海洋工程装备基地	南通	7	打造海洋工程装备制造基地，重点发展南通为主的苏中地区。

2.1 做强做优三大远洋造船基地

做强做优三大远洋造船基地，重点支持南通、泰州、扬州三个“产业集聚、企业集群、主业突出、特色鲜明、带动性强”的远洋造船基地，严格控制新的造船能力建设，淘汰低端落后产能。引导优势造船企业以内部挖潜方式实现产能最优化。南通地区造船产业总体定位在超大型集装箱船、大型滚装船、超大型矿砂船等产品，打造高端品牌；力争在大型液化天然气（LNG）船、大型液化气体运输船（VLGC）、大型汽车滚装船等领域进一步取得突破，开展大（中）型 LNG 运输船和突破 4000 车位以上汽车滚装船和客滚船的关键技术；泰州和扬州地区造船产业总体定位在大中型远洋运输船舶，主要包括集装箱船、超大型油轮、散货船、多用途干货船等，积极发展大型液化石油气船（LPG 船）、大型低温运输液化气专用船舶（LNG 船）、万箱以上集装箱船、化学品船、豪华游艇、豪华邮轮、汽车滚装船等高技术船舶。

2.2 打造特色鲜明的配套产业基地

重点发展南京、泰州、镇江、南通四大船舶配套基地，引导专中小型船舶配套企业向船舶配套园区集聚，促进船舶与海洋工程装备企业与配套企业战略合作。南京重点发展船用起重機、锚绞机、救生艇吊放装、分离机、焚烧炉、生活污水处理装置、油水分离器和海水淡化装置、海洋工程特种绞车、拖缆机等；镇江定位在柴油机及动力集成系统、发电机及电气集成系统、电气与自动控制集成系统、船用柴油机配套系统等高速→中速→低速船用柴油机全产业链的形成；泰州和南通地区加快发展船用动力系统、发电机组、通讯导航等配套设备，加快钢铁集配、物流服务等先进生产性服务体系建设。

2.3 打造海洋工程装备制造基地

打造海洋工程装备制造基地，在以南通为主的苏中地区，建设集研发设计、高端制造为一体的千亿级海洋工程装备制造基地。以南通中远船务工程有限公司、招商局重工（江苏）有限公司、江苏龙源振华海洋工程有限公司、宏华海洋油气装备（江苏）有限公司、江苏太平洋造船集团股份有限公司为依托，重点发展圆筒型超深水海洋钻探储油平台、圆筒型 FPSO、半潜式海洋钻井平台、自升式海洋工作平台，以及海上风电安装船、穿梭油轮、钻井辅助船和海上起重船、大型铺管船等。

3 创新建设导向

江苏省船舶与海洋工程装备产业科研机构主要分布在南京、镇江、无锡、扬州和连云港等地，数量有 12 家，但是，江苏省的船舶与海工装备产业核心技术储备少，设计研发能力弱，与我省船舶与海工产业规模不相适应。因此，需要充分利用高校和军工科研机构的创新能力，大力支持船舶与海洋工程装备相关单位与国内外科研院所联办工程技术研究中心等研发机构，加快军民转民技术推广和应用；加快产业产学研基地建设步伐，加强基础技术能力建

设，充实技术储备。

表 3 船舶与海洋工程装备创新建设导向

产业领域	目前主要科研机构	创新建设导向
船舶制造业	江苏科技大学、江苏省船舶设计研究所、江苏现代造船技术有限公司、南通航运职业技术学院、江苏海事职业技术学院和江苏海事职业技术学院。	1、推进中国重工集团内研究机构与江苏地方的产学研合作； 2、发挥江苏科技大学优势学科和涉船类职业学院人才培养作用； 3、增强江苏省属船舶与海洋工程研究机构的支撑引领作用。
船舶配套业	江苏科技大学、镇江金舟软件公司、镇江市亿华系统集成有限公司、中船重工第七〇二研究所、中船重工第七一六所、中船重工第七二三所、中船重工第七二四所。	
海洋工程装备业	江苏科技大学海洋装备研究院、中船重工第七〇二研究所、南通中远船务工程有限公司的工程技术研究中心。	

3.1 推进中国重工集团内研究机构与江苏地方的产学研合作

推进中国船舶重工集团内中国船舶重工集团公司第七〇二研究所、中船重工第七一六所、中船重工第七二三所和中船重工第七二四所等驻苏的研究机构与江苏船舶与海工装备企业携手共谋军民融合新发展模式，加大资源整合的力度，形成船用柴油机“大、中、小”的产品系列，实现军、民动力装备“全系列”产品在“产、研、服”三大领域的“全覆盖”；不断推进智能制造、电子信息、深海开发、风电产业、基础设施以及桥梁钢结构等深化合作，特别是深海空间站、国家级实验验证中心等重大项目建设，合作开发具有市场竞争力的船舶与海工装备新产品。

3.2 发挥江苏科技大学优势学科和涉船类职业学院人才培养作用

充分发挥江苏科技大学船舶与海洋工程学科、船舶与海洋工程流体力学、船舶与海洋工程结构力学、船舶先进制造技术、自动化、焊接技术与工程、管理科学与工程、先进材料及加工技术、轮机工程等等学科优势，开展技术攻关和创建研发平台，重点提升江苏省船舶初步设计产品研发能力，积极培育和招引高水平船舶研发机构和团队，为中小船舶海工企业提供产品设计、技术咨询等服务，构建基于利益共同体的校企合作模式。积极利用南通航运职

业技术学院、江苏海事职业技术学院和江苏海事职业技术学院的涉船类造航海技术、轮机工程技术、船舶工程技术、船舶电气工程技术、船舶工程技术、焊接技术及港口技术等实用性专业人才培养优势，为船舶与海洋工程产业培养大批高素质的技术技能人才。

3.3 增强江苏省属船舶与海洋工程研究机构的支撑引领作用

增强江苏科技大学的海洋装备工程研究院在海洋结构物设计技术、先进制造技术及装备、船舶与海工配套系统、新型航行器设计开发、海上特种材料技术及应用、海洋绿色能源技术及装备等方面的技术支撑引领作用；积极发挥江苏省船舶设计研究所在各类民用运输船舶、工程船舶、军辅船舶、特种船舶和大型钢结构的设计优势；提高江苏现代造船技术有限公司在各类船舶设计和总装类产品三维建模设计能力，为造船企业开展远程船舶生产设计技术服务，承担造船厂现代造船工程管理规范化、标准化实施，转换生产模式和现代化改造方案设计，开展现代集成制造系统体系结构的开发与应用研究，提供船舶高校焊接材料、工艺及其质量控制技术，铝合金船建造关键技术，特种焊接装置及技术等。

4 知识产权资源配置导向

在船舶制造业上瞄准产品绿色化、智能化、高端化方向，在高技术、高附加值、绿色、节能的船型研制、高效制造、智能制造形成关键技术的专利布局，打造一批技术先进、建造高效国际知名品牌企业；在船舶配套业上推动优势配套产品集成化、智能化、模块化发展，掌握船舶装备关键系统配套技术，在低速柴油机、多功能的舱室焊接机器人、探测系统及DP3 动力定位系统形成关键技术的专利布局，形成自主化品牌研制企业；在海洋工程装备技术上进行最新一代绿色环保经济型海工产品的自主研发、总装建造及关键建造工法工艺技术，精度控制技术的研发，在圆筒型超深水海洋钻探储油平台、自升自航式平台和海上单点系泊系统核心设备形成关键技术的专利布局，逐步形成具有自主知识产权的品牌产品。面向船舶制造业、船舶配套业和海洋工程装备产业开展核心、关键技术的高价值专利培育工作，依托中国船舶与海洋工程产业知识产权联盟、知识产权公共服务平台等载体，建设江苏科技大学船舶与海洋工程产业高价值专利培育中心，将关键技术和知识产权服务、产业需求结合，完成船舶与海洋工程装备领域亟需各项关键技术的高价值专利产出和专利布局，形成技术含量高、法律稳定性高、预期实现效益高的高价值专利群，服务和带动江苏船舶与海洋工程装备产业快速发展。

表 4 船舶与海洋工程装备知识产权资源配置导向

产业领域	有效专利	关键专利布局	知识产权运营体系	品牌建设
船舶制造业	1、一般用途船舶江苏省有效专利	高技术、高附加值、绿色、节能	以江苏科技大学中-乌（江苏）船舶与海洋	打造一批技术先进、建造高效、

产业领域	有效专利	关键专利布局	知识产权运营体系	品牌建设
	29465 件。 2、特殊用途船舶江苏省有效专利 3472 件。 3、绿色节能船舶江苏省有效专利 706 件。	的船型研制、高效制造、智能制造形成关键技术的专利布局。	工程产业跨国技术转移中心国家级科技服务平台和中国船舶与海洋工程产业知识产权联盟为载体，构建高技术、高附加值、绿色节能的船舶专利池。	质量优良、有较高信誉度的国际知名品牌。
船舶配套业	1、船用动力设备江苏省有效专利 5152 件。 2、船用机械设 备江苏省有效专利 1413 件。 3、船用自动化设备江苏省有效专利 4618 件。 4、船舶附件江苏省有效专利 1779 件。	在低速柴油机、多功能的舱室焊接机器人、探测系统及 DP3 动力定位系统形成关键技术的专利布局。	以中国船舶重工集团在江苏的各研究所和江苏省船舶工业学会为载体，构建高价值的船舶配套产品专利池。	推进船用中速柴油机自主研发，整合全国动力设备企业、高校和用户，研制关键部件及节能减排装置的自主化研制。
海洋工程装备	1、海洋钻井、生产类设备江苏省有效专利 1250 件。 2、海洋开发辅助船舶江苏省有效专利 21247 件。	在圆筒型超深水海洋钻探储油平台、自升自航式平台、海洋工程船及海上单点系泊系统核心设备形成关键技术的专利布局。	以江苏科技大学海洋装备研究院和南通中远船务工程有限公司的海洋工程技术研发中心为载体，构建具有自主知识产权的大型海工装备产品。	加强圆筒型超深水海洋钻探储油平台、圆筒型 FPSO、八角型钻井平台，以及海上风电安装船、钻井辅助船等海工装备制造领域，打响国际品牌。

4.1 船舶制造业的知识产权资源配置导向

(1) 实施关键技术专利布局。江苏省在一般船舶和特殊用途船舶的专利发明授权量和

实用新型授权量与其他省市相比具有明显的优势，处于国内领先水平；一般船舶的技术领域主要集中在船体结构，特殊用途船舶的技术领域主要集中造渔业船舶和专业工程船两大类；企业的专利技术侧重应用研究、高校的专利技术主要集中在基础研究领域、个人的专利技术覆盖面较为宽泛；随着国际船舶市场持续深度调整的影响，江苏骨干船舶企业在承接订单方面竞争更加激烈，同时世界港口工程、水利工程、水域环保、桥梁建设等工程的纷纷上马，高技术、高附加值的大型集装箱船、散货船的船型研制、高效制造、智能制造以及技术性能先进、功能齐全的专用工程船舶技术将会获得更多的发展空间。

(2) 产业知识产权运营体系建设。中-乌（江苏）船舶与海洋工程产业跨国技术转移中心，是由江苏科技大学与乌克兰马卡洛夫国立造船大学联合设立的国际技术转移载体，中心主要职能是在船舶与海洋工程领域从事跨国技术转移运营，立足江苏船舶产业，从乌克兰引进、消化和吸收高技术船舶在省内推广应用；引进乌克兰国立造船大学及乌克兰其他科研单位技术研发团队常驻江苏，与江苏科技大学及省内企业联合开展协同创新；积极为省内企业解决技术难题，提供技术咨询和服务。中国船舶与海洋工程产业知识产权联盟不仅包括船舶与海洋工程装备产业的企业、高校、科研机构 and 行业组织，还吸引了国内一流的知识产权服务机构和专利产业化投融资机构的加入；联盟重点推进高价值专利的培育、关键核心技术的专利布局，推进产学研合作的专利技术转移，实施技术标准中的专利战略，帮助实施企业知识产权管理的标准化建设，建设面向行业的知识产权协同服务平台。

(3) 提升品牌形象。企业应培育和弘扬精益求精的工匠精神，全面推进船舶产品品质升级，提升自身产品品牌形象，拓展已有的大洋“皇冠”系列散货船和金陵“白鬃豚”系列品牌，形成品牌效应系列船型，打造一批技术先进、成本经济、建造高效、质量优良、有较高信誉度的国际知名品牌。

4.2 船舶配套业的知识产权资源配置导向

(1) 实施关键技术专利布局。江苏省船舶配套业的专利技术的技术类别为船舶的推进装置或操舵装置、水下作业设备、起重装置等载荷吊挂元件、照明装置和其他结构组合物、一般装载用的卷扬机及提升机分别国内总量占比 17.39%、5.49%、23.17%、11.64%和 10.4%，专利数量表现为快速增长态势，年申请（授权）量快速递增，在船舶的推进装置或操舵装置、液化或固化的气体容器、舱室焊接机器人、探测系统及 DP3 动力定位具有技术优势。

(2) 产业知识产权运营体系建设。中国船舶重工集团公司第七〇二研究所、中船重工第七一六所、中船重工第七二三所、中船重工第七二三所等拥有船舶动力推进器、控制系统、通讯电子、先进制造装备系统集成等方面的先进技术和产品，部分技术和产品已经形成了一定的科技产业规模。江苏省船舶工业行业协会是由江苏省辖区内的造船、修船、拆船、船舶主辅机制造、航海仪器仪表制造及其它船舶配套设备制造等企业、船舶工业贸易公司、科研院所、设计院所、大专院校及与船舶工业相关联的企事业单位，按平等自愿组成的地方性、行业性、非盈利性的社会团体，现有团体会员 109 家，主要组织技术开发、技术协作、业务培训活动，接受行业企事业单位的委托，组织协助其技术改造、技术改进和重大建设项目等方面的咨询服务工作，汇编和印发行业性资料，编发会刊。

(3) 推进船用中速柴油机自主研制，中船集团中船动力有限公司的技术中心，是远洋船用中速柴油机领域首个国家级企业技术中心，在动力及动力集成系统、电气系统、机械成套设备及海工系统研制开发具有优势，可以整合全国船舶动力设备企业、高校和用户，研制关键部件及节能减排装置。

4.3 海工装备业的知识产权资源配置导向

(1) 实施关键技术专利布局。江苏省的海洋工程装备产业主要授权专利集中水处理、分离技术、土层钻进、船舶, 分别占国内的 57.77%、6.57%、6.35%、5.28%; 高校占比达到 70%、企业占比约 30%; 自升自航式平台研发、400 英尺自升式大桩靴钻井平台、高端海洋工程辅助船具有技术优势。

(2) 产业知识产权运营体系建设。江苏科技大学的海洋装备工程研究院拥有中乌技术转移中心江苏省海洋装备军民融合研发中心、中国船舶与海洋工程产业知识产权联盟秘书处、江苏省船舶工业行业协会秘书处等多个功能平台, 拥有稳定海洋工程装备的研发和产业化队伍。南通中远船务工程有限公司的工程技术研究中心, 是国家级的技术研发中心, 先后设计建造了圆筒型超深水海洋钻探储油平台、圆筒型 FPSO、半潜式海洋钻井平台、自升式海洋工作平台、八角型钻井平台, 以及海上风电安装船、穿梭油轮、海洋生活服务平台、钻井辅助船等一系列海工产品, 多个高端海工产品成功交付, 覆盖了从浅海到深海、从油气平台到海洋工程船舶的各种类型, 在世界海洋工程装备制造领域打响了品牌, 并已成为中国海洋工程装备制造领域的领跑者。

(3) 推进海洋钻探平台和海工船建设, 适应低油价的经济型自升式钻井平台开发取得成果、首个圆筒型 FPSO 关键技术取得阶段性进展、高端的海洋工程辅助船具有世界先进水平, 加强圆筒型超深水海洋钻探储油平台、圆筒型 FPSO、八角型钻井平台, 以及海上风电安装船、钻井辅助船等海工装备制造领域, 打响国际自主品牌。

参考文献

- [1] 夏纪福. 江海联动 转型升级 江苏船舶和海洋装备产业现状及未来发展前景[J]. 中外船舶科技, 2016(1):1-4.
- [2] 宋余庆, 李艳, 陆介平, 等. 镇江船舶与海洋工程装备产业专利分析——基于生态位理论[J]. 情报杂志, 2016, 35(4):105-111.
- [3] 吕龙德. 江苏造船“双管化剩”成绩斐然[J]. 广东造船, 2016, 35(6):8-9.
- [4] 周文魁. 江苏海洋工程装备产业发展研究[J]. 当代经济, 2015(26):12-14.
- [5] 陆金铭. 船舶与海洋工程学科的核心竞争力及其培育路径探析[J]. 高教论坛, 2018(07):86-89+120.
- [6] 程梦玮. 江苏高起点打造海洋工程装备基地[J]. 中外船舶科技, 2010(3):39-39.
- [7] 福建省造船工程学会. 福建省船舶与海洋工程学科发展报告[J]. 海峡科学, 2015(1):42-47.

船用锂电池动力船型研发的若干技术问题初探

李岳洋 刘波涛 张鸿泰

(江苏现代造船技术有限公司, 江苏镇江, 212003)

摘要: 本文简要介绍了电动船舶的市场需求, 阐述了国内外电动船舶的发展现状, 并对该船型研发设计中锂电池大规模成组的安全控制技术、电池组结构设计及轻量化技术、锂电池特性的新型推进系统匹配技术、船舶电池动力管理系统等技术问题作了初步探讨, 为我国未来建造纯电池系统内河船舶提供很好的示范效应, 提升了我国纯电池系统内河船舶制造业的水平, 同时也提高了我国纯电池系统船舶的核心竞争力, 推动我国内河“绿色船舶”的发展。

关键词: 电动船舶; 锂电池; 推进系统匹配; 电池管理系统

0、 引言

随着国际海事组织在船舶排放方面制定的标准越来越严格, 柴油机将逐步退出历史舞台, 绿色环保的电力推进系统将成为未来船舶动力发展的方向。

与传统的柴油机推进相比, 纯电动船舶推进系统具有调速范围广、效率高、正反转易操作、空间安装方便、布置简单、低噪音及低振动等优点。纯电动船舶作为船舶的新型推进动力, 国内外都在进行探索研究^[1]。

由于纯电动船舶在世界范围内都处于研究与开发初期, 相应动力电池包及其管理系统的开发多是基于电动汽车或是储能用锂电池系统, 后两者的应用已较为成熟。同时, 与电动汽车及储能用锂电池相比, 船用动力锂电池具有其自身特点, 相应电池系统也要与之匹配。因此, 有必要针对船舶用锂电池开发匹配的电池管理系统进行研究, 以实现纯电动船舶电池系统安全可靠运行, 进而保证船舶供电的持续性、安全性和环保性。

1、电动船舶市场需求

传统柴油机船舶在航行过程中造成的大气污染及水污染都十分惊人, 特别是内河流域水利资源丰富、航运交通繁忙、人口居住密集, 对节能减排的要求更高也更为迫切。在绿色低碳、节能减排的大趋势下, 如何运用新能源、新技术和新船型, 来减少船舶对环境的污染, 实现真正意义上的绿色船舶, 成为当前亟待解决的问题。

磷酸铁锂电池应用于内河小型船舶上已经被证实, 在不降低船舶总功率的情况下, 与柴油机动力船舶相比, 二氧化碳减排 100%、一氧化碳减排 100%、碳氢化合物减排 100%及 PM 颗粒物减排 100%, 真正意义实现了零排放^[2]。目前, 我国内河船舶多以燃油驱动为主, 采用磷酸铁锂电池驱动的船舶几乎没有。随着减排标准的逐渐严格, 国内电动船舶市场将进一

步被刺激，产生巨大的市场需求。

2、电动船舶国内外发展现状

2.1 国外发展现状

目前国外对锂电池的研究主要集中在如何改善单体锂电池本身性能方面，如提高能量密度，充放电倍率、温度等对电池性能的影响方面，缺乏对电池系统整体结构设计、热设计和电化学性能的研究，对电池热失控及其控制机制研究的公开报道较少，美国和欧洲是研究此项技术较早的国家，但其国外都是针对火灾模型及应用场景均不是应用于船舶。

日本东京海洋大学在 2010 年 5 月开发的电池推进船“雷鸟 I”号（见图 1-1）采用了目前世界锂电池作为动力包，该技术首次应用于船舶领域，具备较好的适应性、安全性和便利性，满足当前对低碳环保的要求。由于使用了大功率锂电池，增加了本船的动力电池容量，使其可在恶劣的海况下安全航行。



图 1-1 日本雷鸟 I 号锂电池船的照片

2013 年 5 月，在“雷鸟 I”号成功交付后，日本又建造了 3 艘锂电池动力船。其中 2 艘采用了民用锂电池，属于低压型，无法进行高速充电。第三艘则是试验性地引入了独立开发的高速充电系统。继成功开发“雷鸟 I”号之后，东京海洋大学在又开发建成了第二艘高速充电型锂电池推进船“雷鸟 S”号（见图 1-2）。该船是世界首艘“电动机驱动的喷水推进船”。



图 1-2 日本雷鸟 S 号锂电池船的照片

德国建造世界最大的太阳能游艇“Turanor”号，该船动力包采用大容量蓄电池，利用太阳能发电来给蓄电池充电（见图 1-3）。



图 1-3 太阳能游艇“Turanor”号

2.2 国内发展现状

采用锂电池动力电池作为船舶动力源，国内主要应用在航行时间短、短距离之前的内河小型船舶上⁽¹⁾。

中国对锂电池动力的研究，处于与世界领先水平并跑的地位，特别是在磷酸铁锂电池方面更是建立了中国特色，成为中国独有领跑世界的锂电池品种。

2014 年，上海瑞华集团有限公司新研发的 65 客位的“电池+电容”的“双电型”船（见图 1-4）。动力总成系统的专利技术应用于船舶的动力推动系统。首先在苏州河试航，从而实现船舶动力的“油改电”。



图 1-4 65 客位苏州河纯电力观光游船

2017 年 1 月，国内首艘纯电力推进改造货船“浙湖州货 1625”（见图 1-5）顺利通过了浙江省交通厅组织的技术鉴定。这艘纯电动货船由一艘旧货船改造而来，全长 38 米，宽 7.5 米，采用“电池+电容”组合型式作为动力源。



图 1-5 浙湖州货 1625

2017 年 11 月，由广州瑞华新能源电动船有限公司建造的世界首艘 2000t 级新能源电动船在广州龙穴造船基地吊装下水（见图 1-6）。该船以双电（锂电池+超级电容）为动力，载重吨为 2000 吨的内河新能源电动自卸钢质货船，货舱为斗式结构，装载货品为电煤，主要航行于珠江内河水域等。



图 1-6 2000t 级新能源电动船

3、船用锂电池动力船型设计的若干关键技术问题

3.1 锂电池大规模成组的安全控制技术

对于总能量达到 3MWh 的大容量锂电池系统，目前国内外都还属于空白，因其单体数量大、组合结构负责、监测和控制电路庞大、船舶电池舱的空间和防火等级限制等原因^[3]，造成有关安全技术成为大容量船用锂电池系统的关键瓶颈技术。

3.1.1 隔离/分区的模块化

对于大容量电池系统，为了简化管理程序、减轻结构复杂性，同时也为了提升安全性、维修性和互换性，我们采取的主要方法是将电池系统进行模块化、标准化设计，实现便利组合，这样既有利于安装组合、也有利于电池在电池舱中的隔离和分区，增强安全性。

3.1.2 热/电均衡设计

深入分析大型电动旅游客船的运行特点，依据其能量特性和功率特性，分析大容量电池系统电力输出过程中产热和发热的平衡关键，建立热/电耦合模型，实现最佳的热/电匹配。

解决这一关键技术，主要采用的措施包括导热灌封技术、相变材料复合技术、金属导热骨架以及导热流体媒介（例如水或乙二醇）的热均衡技术等。

3.1.3 电池状态的监测、控制、管理、预警、应急

对大容量电池系统进行分级份层管理和监控，主要的监控指标包括电压、电流、直流和交流内阻、温度等，并建立智能识别模型，以判断电池的荷电状态 SOC、健康状态 SOH 以及安全级别，实现对外通讯和显示。

根据监控信息的智能判断，实现对大容量电池系统的安全控制，其控制手段包括软件（软开关）和硬件（DC 开关等）。

在安全信息出现时，根据分级策略，实现安全预警，指导电动船操作人员进行紧急应对。实现预警、报警和应急的程序化和智能化。

3.2 电池组结构设计及轻量化技术

3.2.1 比能量提升技术

实现电池系统 120Wh/kg 的比能量，主要依靠两个方面的突破。一是开发安全可靠、比能量达到 170Wh/kg 的单体锂电池，二是采用轻量化材料和轻量化结构设计，从而使得非电化学活性的结构件占比下降到 30%以下。

3.2.2 结构一体化优化技术

在深入研究船内电池舱结构基础上，采用一体化设计，将电池系统、管理系统和电控系统、电力推进和电网布局进行整体考虑，实现紧凑设计，一体化布局，从而实现轻量化和电-热拓扑优化的双重效果^[4]。

3.3 基于锂电池特性的新型推进系统匹配技术

3.3.1 直流框架断路器高分断保护技术

为满足大容量船用锂电池动力系统的要求,可以采用三极断路器将三组触头串联,以增加断路器的触头开距;重新设计断路器的引弧板形状,以加快电弧进入灭弧室的速度,确保在小电流时能将电弧引入灭弧室;通过合理设计灭弧栅片的形状,在电弧引入灭弧室后进一步拉长电弧,提高电弧电压,加快电弧熄灭,减少触头磨损。

3.3.2 充放电装置

目前一般采用浮冲,一般电压在 540V-803V 之间时,电网可正常工作,且当电压不均时,很容易烧坏设备,此时应由电池管理系统切断并网断路器。如果想要电网一直并网,需要在可充电器中用 DC-DC。

3.4 船舶电池动力管理系统研究

3.4.1 系统基本参数精确采集技术

采用凌特最新的专用模拟前端芯片,对电池组的单体电压和温度进行持续监测。LTC6811 是一个多串的电池组监控芯片,可监控 12 支电池单体,最大测量误差小于 1.2mV。测量范围可达 0 到 5V,而且 LTC6811 可以监控不同类型的化学电池。所有 12 支电池的电压采集可在 290 μ s 内完成,可以选择更低的采样频率来减少噪声。多个 LTC6811 可级联实现高电压电池组的监控。采用 ISO SPI 接口,可实现高速、低 RF 发射和长距离传输。LTC6811 可从电池组直接取电也可通过隔离电源供电。自带被动均衡控制功能,可实现独立的均衡控制。系统电流检测使用 LEM 高精度霍尔传感器实现对系统电流的电气隔离和精准测量。

3.4.2 电池组单体主动均衡

采用双向隔离 DC-DC 的方案实现对每支电池单体的主动均衡。可以采用每支电池单体对外部 12V 或 24V 蓄电池充放电的方式。此方案不受电池组成组形式的限制,理论上可以对在同一时间可以对任意一支电池进行充电或放电均衡。进一步的,在较大的 BMS 系统当中,由于 BMS 本身功耗足够大,可以不设蓄电池,在进行放电均衡时,可使用放出的电流对系统进行供电,从而降低系统的复杂程度,提高能量的利用效率^[5]。

3.4.3 双层 BMS 通信与管理技术

整个系统比较庞大,通信与管理分为两级,第一级为 EMS(上位机)与每一个电池簇的 BMS 形成的网络,底层的数据通过 BMS 的处理和压缩后传递到 EMS,EMS 的部分命令通过 BMS 来执行。第一级网络使用 CAN 通信或 Modbus TCP 通信,视数据量而定。第二级为电池簇内部网络,与常见 BMS 系统相同,主机和从机直接通过 CAN 总线进行通信。

4、结束语

我国在纯电池船舶应用领域研究则刚刚起步，应加速对相关技术的研究和开发应用，积极参与到这一领域的国际竞争，在市场上占有一席之地。

通过对我国电动船舶的锂电池大规模成组的安全控制技术、电池组结构设计及轻量化技术、锂电池特性的新型推进系统匹配技术、船舶纯电池动力管理系统等技术的探究，可以为我国未来建造纯电池系统内河船舶提供很好的示范效应，不仅提升我国纯电池系统内河船舶制造业的水平，也大大提高了我国纯电池系统船舶的核心竞争力，推动我国纯电池系统“绿色船舶”的发展，符合国家“绿水青山”环保发展理念，为智能船舶的发展奠定了基础。

参考文献

- [1] 瞿小豪，袁裕鹏，严新平. 发展电池动力船舶技术 助推长江经济带绿色航运发展 [J]. 中国水运, 2018(9) 14-16.
- [2] 李兴宇，杜庆森. 新型铁电池电量推进系统在船舶中的应用前景分析[J]. 广东造船, 2014(5) 77-79.
- [3] 太阳能光伏系统及磷酸铁锂电池系统检验指南 [M]. 人民交通出版社 . 2014.
- [4] 燃料电池系统应用指南[M]. 人民交通出版社. 2014.
- [5] 童佳俊. 岛际小型电动船舶的锂电池管理系统研究与设计[D]. 浙江海洋大学硕士论文. 2017.

作者简介：李岳洋，（1986.5—）男，工程师，毕业于江苏科技大学，从事船舶轮机设计及新能源动力装置和研发工作。

基于 EFSPD 的艏侧推建模及放样探究

魏斌

(江苏联合职业技术学院无锡交通分院, 江苏无锡, 214151)

作者: 魏斌, 男, (1987-), 讲师, 研究方向: 船舶设计与制造; 电话: 18262289030; E-mail:

luoye@vip.qq.com

邮寄地址: 江苏省无锡市钱荣路 98 号 江苏省无锡交通高等职业技术学校 船舶工程学院办公室

邮编: 214151

摘要: 笔者在使用 EFSPD 过程中, 对部分建模较难的部位进行了研究, 从中得到了一些方法、技巧, 前期研究了球鼻艏的建模、舵叶的建模方法, 都取得了良好的效果, 也与部分同行进行了交流, 为更好的交流学习 EFSPD, 笔者通过进一步的研究, 再次利用 EFSPD 软件解决船体建模过程中的一个较难部位的建模, 即对某船的艏侧推进行了探讨研究, 给出了该船艏侧推的建模过程及方法, 并且对该艏侧推的外板及侧推结构进行展开, 从而得到放样图。

关键词: EFSPD; 艏侧推; 建模; 三维

EFSPD based bow thruster modeling and lofting exploration

WEI Bin

(Wuxi Traffic School of Jiangsu Union Technical Institut, Wuxi, 214151, China)

Abstract: In the process of using EFSPD, the part of the part of the model is difficult to be modeled. Some methods and techniques are obtained. The modeling method of the head of the ball nose and the modeling method of the rudder leaf have been studied. All the results have achieved good results. The research of EFSPD software is used to solve a difficult position modeling in the process of hull modeling, that is to study the bow thrust of a ship, and give the modeling process and method of the ship's bow push.

Key words: EFSPD; bow thruster; modeling; 3D

0 前言

数字化技术贯穿了目前造船工程中的每一个过程, 对于大型船舶的生产设计来说, 数字化技术尤为重要, 我们可以根据实际的建造要求, 利用计算机通过图形交互的方式, 选择一个合适的三维软件在计算机中先对这个造船过程进行一次模型, 对船体的所有结构都进行一次三维建模, 在计算机中先把这艘船造出来, 从而在模拟的过程中提前发现实际建造过程可

能出现的问题，并且能为实际建造提供所需的所有生产信息，例如：钢材的使用量、焊条的使用量、各构件的拼装顺序等。

目前有很多三维建模软件，但是针对与船舶制造的软件开发不够，导致很多企业无法很好地进行计算机辅助生产设计，而上海东欣软件工程有限公司开发的 EFSPD，很好地解决了这个问题。但是由于船体是一个非常不规则的空间结构，特别是船艏、船艉处的线型突变，导致了生产设计人员对这些结构中的，诸如舵叶、球鼻艏、艏侧推等复杂结构无法准确地进行建模。笔者在学习、使用过程中，主要是利用 EFSPD 中的船体建模模块做生产设计工作，通过实际建模经验，并结合船体放样的思路，利用投影关系，求出艏侧推结构中的喇叭板和筒状结构的剖面结构以及与船体外板的交线，从而顺利解决了以上复杂结构的建模。以下是笔者对某船的艏侧推进行的建模及放样研究，为满足现代精度造船的要求，需要能够准确求取展开后的外板及相贯线，才能有效做到零件切割的无余量，从而避免在艏侧推分段装配时进行二次修正。探讨研究给出了如何进行该艏侧推的建模及该艏侧推外板和侧推结构的展开过程，从而得到各构件的放样图。

1 实例选取

下图为某船艏侧推结构的俯视图，从图中，可以看出：建模的主要难点在于侧推筒状结构与外板的相贯之处，即喇叭板的建模。同时，无法通过手工放样的手段有效的、准确的求取外板与侧推结构相贯线，从而无法准确得到该艏侧推外板的展开图、也无法通过手工放样的手段制作出准确的样箱。因此，通过研究该艏侧推的建模与放样就显得非常重要，为后续的生产喇叭板和筒状结构，同时为制作该分段的样箱打下基础。

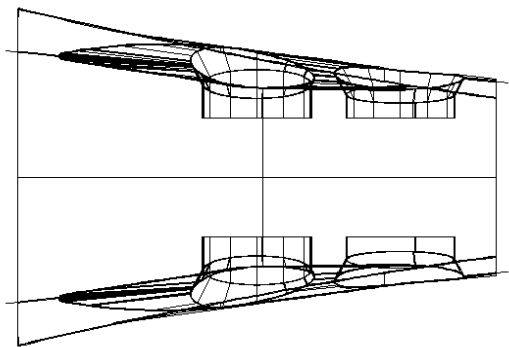


图 1 艏侧推结构图

2 舵叶的三维建模及外板展开

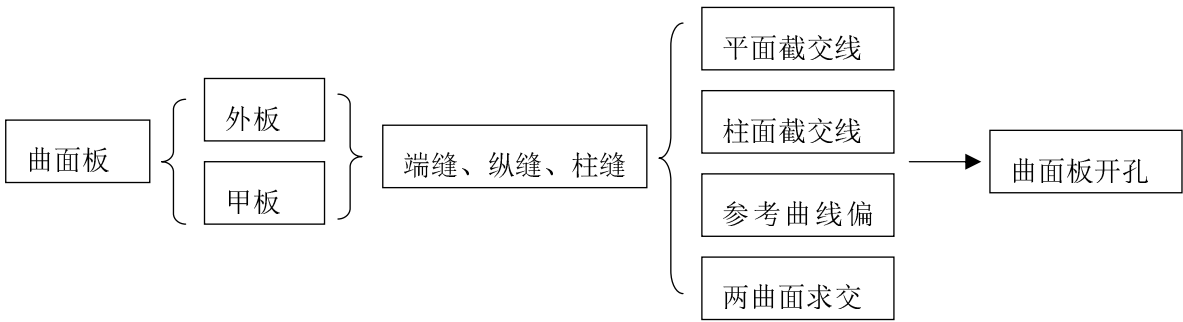
根据该船的艏侧推结构特点可知，艏侧推建模的难点在于：艏侧推与船体外板贯穿，由于船体外板呈三维不规则曲面状，因此很难通过人工放样的手段求取该外板中艏侧推的投影形状，而通过 EFSPD 建模，能很好的解决这个问题。在建模过程中，难点在于两个曲面相贯

穿，无法采用一般的曲面建模方法来完成，需要通过给定空间中一系列的离散点列，对这些点列进行光顺拟合形成我们所需要的空间曲线，然后通过两根空间曲线拉伸出该艏侧推的筒体结构，同时拉伸出筒体结构与外板的过渡结构——喇叭板。在完成艏侧推的建模后，与该艏侧推的外板、喇叭板、筒体等一系列不规则曲面板即可通过软件进行展开，从而解决了该部位外板无法通过手工放样的手段准确地进行快速展开。

在整个建模过程可以先进行船体外板的建模，之后采用通过“曲面建模”功能，创建好筒状侧推内部结构，由于筒状侧推的半径与船体表面开孔的半径不同，船体表面开孔的半径大于筒状侧推的半径，且上下口所在平面不平行，即近似圆台结构，则可通过“两边界曲面”创建船体表面开孔与筒状侧推之间的过渡结构。其中的船体外板与筒状侧推的建模都较为简单，因此不再详细讲解，笔者着重讲解“两边界曲面”的方式进行喇叭板的建模。最后得到外板的展开图。

2.1 船体外板与筒状侧推建模

由于船体外板和筒状侧推由常见的曲面板架结构，因此直接利用“曲面板架”建模的功能即可，创建的过程如下，笔者不再详细介绍：



2.2 喇叭板的创建

通过分析喇叭板的结构特点，可以发现，该结构是一个外大内小近似圆台结构，因此我们无法通过常用的“曲面板”的定义方式来建模。

为解决遇到的困难，笔者根据船体放样的思路，尝试通过“两边界曲面”定义的方法来对喇叭板进行创建，以完成喇叭板的创建。具体步骤如下：

- ①在“直纹面定义”二级菜单中，选择“两边界曲面”；
- ②在“两边界曲面”定义窗口中，“节点表”中填写喇叭板的不规则边界线节点的样条点，如图 2 所示；

序号	边界线1节点	序号	边界线2节点
1	FR133+89, 1328, 1293	1	FR133+89, 1000, 1293
2	FR133+451, 1359, 1408	2	FR133+451, 1000, 1408
3	FR134+182, 1448, 1739	3	FR134+182, 1000, 1739
4	FR134+303, 1570, 2190	4	FR134+303, 1000, 2190
5	FR134+182, 1692, 2641	5	FR134+182, 1000, 2641
6	FR133+451, 1781, 2972	6	FR133+451, 1000, 2972
7	FR133, 1814, 3093	7	FR133, 1000, 3093
8	FR132+149, 1781, 2972	8	FR132+149, 1000, 2972
9	FR131+418, 1692, 2641	9	FR131+418, 1000, 2641
10	FR131+298, 1570, 2190	10	FR131+298, 1000, 2190
11	FR131+418, 1448, 1739	11	FR131+418, 1000, 1739

图2 “边界线节点”参数

③在“曲面形式”中选择“等分弧长”，“内侧参考点”中填写“FR133, 0, 1570”，“节点对应表”中将上下边界分成14分，如下图3所示；

节点对应表		
序号	边界1节点序号	边界2节点序号
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14

图3 “两边界曲线”参数

④通过以上各参数的填写后，即可生成喇叭板的结构，完工效果图如图4所示：

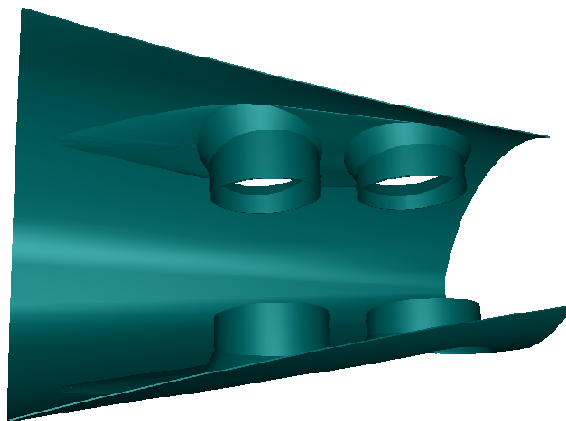


图4 完工效果图

2.3 外板及构件的展开

通过上述建模过程，已得到完工图后，利用“外板展开图”及“零件展开”功能，可以迅速得到外板的展开图、喇叭板的展开图以及侧推筒状结构等零件的展开图，从而解决了手

工放样手段无法得到准确展开图的弊端，图 5 和图 6 展示的是外板展开图和两侧推间连接结构展开图。

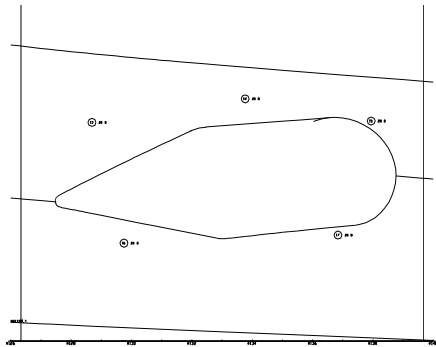


图 5 外板展开图

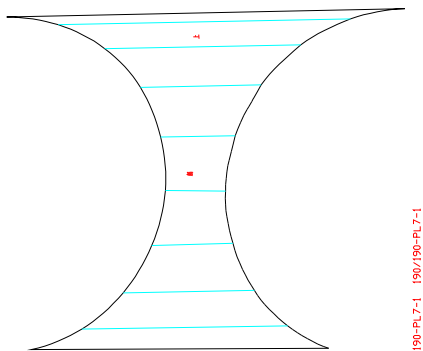


图 6 两侧推间连接结构展开图

3 总结

本文笔者通过一条具体的实船中的艏侧推为例，通过东欣软件 EFSPD 中的船体建模模块，利用艏侧推二维基本结构图，如何对艏侧推各个结构进行三维建模的过程进行了详细的描述和举例，特别是对船体外板与艏侧推筒状结构的连接处——喇叭板进行了详细描述，解决了一般船舶艏侧推建模过程中的难点，从而东欣软件快速地完成艏侧推生产设计的第一步工作——艏侧推的三维建模，同时得到了手工放样手段无法得到的该结构的外板展开图、喇叭板的展开图以及侧推筒状结构零件的展开图，从而为后续的出图、实际生产奠定了基础。通过 EFSPD 中的各个模块的组合，结合船体放样的思路，可以有效解决船体三维建模中复杂结构的建模及计算机放样。

本文的通过利用 EFSPD 船体建模、放样模块进行了艏侧推的三维建模及放样，对同类结构的建模具有实际的指导意义。

参考文献

[1] 彭辉. 船体 CAD / CAM [M]. 北京：人民交通出版社，2007.

- [2]魏斌,马娟.基于 EFSPD 的船首建模研究[J].船舶与海洋工程,2014,第3期:21-23.
- [3]魏斌.基于 EFSPD 的舵叶建模探究[J].广东造船,2016,第2期:40-41.
- [4]孟书荣,秦佳俊,傅静雯.浅议东欣船舶设计系统 SPD 在船体侧推复杂结构上的应用:2015 年 CAD/CAM 学术交流会议[C].南京:中国造船工程学会,2015.
- [5]周煜.基于东欣 SPD 的船体球鼻首分段建模研究[J].电子技术与软件工程,2013,第16期,86.
- [6]丘秉焱,伍蓉晖,杨岩,王如川.SP D 软件在船舶生产设计中的应用[J].广东造船,2014,第03期,59-61.
- [7]赵洁,张伟.基于 CAXA 与 CATIA 的船体三维建模技术比较分析[J].武汉交通职业学院学报,2017,第3期,84-87.
- [8]赵唯丞,黄雪忠,万雁翔.三维建模在计算机辅助船舶设计中的两种思路和应用[J].造船技术.2018,第1期,77-82.
- [9]黄永生,刘俊梅.船体三维建模技术研究[J].船海工程.2006,第4期,70-73.
- [10]李庆宁.TRIBON 软件在船舶设计中的应用[J].武汉船舶职业技术学院学报.2013,第3期,69-71.
- [11]张磊,吴小平,刘洋浩.船用螺旋桨三维建模方法研究[J].船舶与海洋工程.2014,第2期,40-42+52.
- [12]周春凯,董枫,罗亮,陈顺怀,廖显庭.基于三维 CAD 模型的复杂艏、艉船型曲面快速光顺方法及实现[J].中国舰船研究.2016,第4期,7-13.
- [13]俞峰,王晓东,钱春俊.船用舵系三维建模及应用研究[J].机电设备,2012,第4期,54-60.

基于产出效率的江苏船舶工业专利竞争力研究

李惠敏

(江苏科技大学 经济管理学院, 江苏 镇江 212000)

摘要:从专利产出效率的角度对江苏船舶工业专利竞争力进行研究。运用仅有产出的 DEA 模型测算出整个江苏 13 个城市船舶工业专利产出效率, 基于 TOPSIS 方法将 6 个产出有效城市的船舶工业专利竞争力进行排名; 研究结果表明, 江苏船舶工业专利竞争力两极分化严重, 整体产出效率不高, 苏南专利实力较强, 苏中最缺乏专利质量, 苏北最缺少专利数量。最后根据结果提出了相应建议。

关键词: 江苏船舶工业; 专利竞争力; 产出效率; DEA-TOPSIS

0、引言

江苏是世界重要的船舶工业基地, 加快产业结构调整, 提高技术创新水平是目前亟待解决的问题。专利是技术创新的重要成果形式。一个地区的专利竞争力可以从某种程度上衡量该地区科技创新能力。船舶工业如今正处于大调整阶段, 江苏船舶工业需要通过增强各市专利竞争力来提高整体的科技创新能力。因此, 深入评价江苏各市船舶工业专利竞争力, 从提高整体江苏专利竞争力的角度衡量各市专利竞争力的改进力度, 对于完善江苏船舶工业科技创新工作具有重要的现实意义。

当前, 国内有关专利竞争力的研究主要集中在如下几个方面: (1) 专利竞争力的对象范围研究。根据文献可知, 学者们对专利竞争力的研究对象主要有国家、区域、产业、企业和高校, 其中对区域专利竞争力的研究最多。吴玉桐 (2008) 等人分析了区域专利竞争力的构成要素和影响因素^[1]; 于丽艳 (2009) 和向征 (2014) 是将各省的专利竞争力进行了比较^{[2]-[3]}; 赖光松 (2010)、孙海荣 (2016)、邢梦盈 (2016) 则是分别对江西、陕西、广西单个省的专利竞争力进行分析^{[4]-[6]}。在国家层面上, 唐春 (2010) 和蒋佳妮 (2017) 着重探讨了专利国际竞争力。在产业层面上, 专利竞争力研究涉及到的对象有: 海洋工程装备、电池行业、IC 产业、银行和石油产业等^{[7]-[8]}。

(2) 专利竞争力的指标体系研究。黎薇 (2007) 从数量类、质量类和价值类三方面指标建立了企业专利竞争力指标体系^[9]; 卞志昕 (2010) 将企业专利竞争力分为专利活动、专利质量、技术覆盖和研发力量四个一级指标^[10]; 李鹏 (2014) 通过分析前人文献探讨出了适合以电力企业为代表的大型国有企业的“四个能力”专利评价体系^[11]; 雒园园 (2017) 在基于效能区域专利竞争力评价指标体系中将“四个能力”中的管理能力改为创造潜力^[12]。

由此可见, 现有的专利竞争力研究理论成果相对丰富, 而针对船舶工业领域的却凤毛菱

角，且评价方法较为单一，主观性较强。因此，本文将结合船舶工业专利竞争力指标特点和数据的可获取性原则，把专利产出效率作为专利竞争力进行研究。选用仅有产出的 DEA 模型与 TOPSIS 模型相组合，客观地对江苏各市船舶工业专利竞争力进行排名。

1、仅有产出的江苏船舶工业专利竞争力 DEA 模型构建

1.1 仅有产出的 DEA 模型适用性分析

由于本文将专利产出效率作为专利竞争力进行研究，因此方法的选择和模型的建立都是针对评价效率的。专利产出属于多输出的复杂系统，一般解决一果多因的数理统计方法不可行^[13]。因此，本文考虑使用最多用于效率评价的 DEA 方法。

DEA 是一种能有效处理多投入多产出复杂系统并进行相对有效性综合评价的方法。但经典 DEA 模型用于评价决策单元相对效率时，需要提供输入输出两组指标，同时为了模型和计算还需要进行指标取舍和简化。本文的船舶工业专利竞争力只涉及到产出指标，而仅有产出的多目标 DEA 模型正好符合这一点，它不考虑投入指标的数据。因此，采用仅有产出的 DEA 模型不但能够处理复杂系统相对效率问题，而且无需事先设定指标权重和预先估计参数，避免了人为主观因素。

1.2 仅有产出的 DEA 模型构建^[14]

本文目的是对江苏各市船舶工业专利产出效率进行排名并根据各市专利产出效率与有效值的差距选择提高江苏整体专利产出效率的方案。所以论文参照的仅有产出的多目标 DEA 模型来自文献[14]，此模型考虑了各分量松弛量的大小，符合所要求。

设有 n 个决策单元 $DMU_j (j = 1, 2, L, n)$ ，仅知其产出为

$$Y_j = (Y_{1j}, Y_{2j}, L, Y_{rj}, L, Y_{sj}), j = 1, 2, L, n; r = 1, 2, L, s$$

其中， Y_{rj} 表示第 j 个决策单元 DMU_j 的第 r 种产出，则基于如下生产可能集

$$T = \{Y \mid \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \geq Y, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, L, n\}$$

建立的仅有产出的多目标 DEA 模型为：

$$\begin{aligned}
\max \delta' &= (\delta_1, L, \delta_s)^T \\
s.t. \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} &= \delta_r Y_{r0}, r = 1, 2, L, s \\
\delta_r &\geq 1 \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\
\forall \lambda_j &\geq 0, j = 1, 2, L, n
\end{aligned} \tag{1}$$

模型（1）有效解可通过求解规划（2）得到。

$$\begin{aligned}
\max \bar{\delta} &= \frac{\sum_{r=1}^s \delta_r}{s} \\
s.t. \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} &= \delta_r Y_{r0}, r = 1, 2, L, s \\
\delta_r &\geq 1 \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\
\forall \lambda_j &\geq 0, j = 1, 2, L, n
\end{aligned} \tag{2}$$

若规划（2）的最优解为 $\bar{\delta}^*, \delta_r^*, \lambda_j^*$ ，则有^[15]

1) 仅有产出的多目标 DEA 相对效率为 $V_m = 1 / \bar{\delta}^*$ 。

2) 若规划（2）的最优解满足 $\delta_r^*=1, r=1, L, s$ ，显然 $\bar{\delta}^*=1$ ，则称决策单元 DMU_0 为仅有产出的多目标 DEA 相对有效。

3) 若 $\delta_r^* > 1$ ，则说明该决策单元的没有达到相对有效，产出水平还可以进一步提高。

模型（2）不要求产出同比扩大，而是以不同比率 δ_r 进行扩大，且 δ_r 中已包含了有关松弛变量，比较符合实际。根据文献可知，此模型也就是基于产出的 Russell 测度 BBC-DEA 模型，而 Russell 测度 BBC-DEA 模型^[18]与 SBM 模型具有等价性。SBM 模型是一种测量松弛变量的 DEA 模型^{[16]-[17]}，则仅有产出的 SBM 模型如下

$$\begin{aligned}
\max \theta &= 1 + \frac{1}{S} \sum_{r=1}^s S_r^+ / y_{r0} \\
s.t. \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - S_r^+ &= y_{r0}, r = 1, 2, \dots, s \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\
\lambda_j, S_r^+ &\geq 0, j = 1, 2, \dots, n
\end{aligned} \tag{3}$$

由模型（2）和模型（3）可得松弛变量 $S_r^+ = (\delta_r - 1) y_{r0}$ 。

2、基于 DEA-TOPSIS 法的江苏船舶工业专利竞争力评价模型构建

2.1 基于 DEA-TOPSIS 法的多有效决策单元排序模型

仅有产出的 DEA 模型结果会存在多个有效的决策单元，而 TOPSIS 法能很好地区分有效决策单元，它的原理在于可将多目标虚拟决策单元的理想解和负理想解排序，高效率决策单元离理想解最近，同时离负理想解最远。多有效决策单元排序的具体步骤如下^[19]—错误！未找到引用源。：

（1）构造最优决策单元 DMU_{n+1} 和最劣决策单元 DMU_{n+2} ， DMU_{n+1} 产出向量为

$Y_{n+1} = (y_{1,n+1}, y_{2,n+1}, \dots, y_{r,n+1}, \dots, y_{s,n+1})$ ， DMU_{n+2} 产出向量为

$Y_{n+2} = (y_{1,n+2}, y_{2,n+2}, \dots, y_{r,n+2}, \dots, y_{s,n+2})$ 。最优决策单元 DMU_{n+1} 的产出值取 n 个实际决

策单元相应指标值的最大值，即 $y_{r,n+1} = \max(y_{r,1}, y_{r,2}, \dots, y_{r,n})$ ；最劣决策单元 DMU_{n+2} 产

出值取 n 个实际决策单元相应指标值的最小值，即 $y_{r,n+2} = \min(y_{r,1}, y_{r,2}, \dots, y_{r,n})$ 。以

DMU_{n+1} 为正理想点，以 DMU_{n+2} 为负理想点。

（2）对有效决策单元的指标进行无量纲化处理，作为产出指标，无量纲化公式为：

$$Y_{ij} = \frac{y_{ij} - \min y_j}{\max y_j - \min y_j} \tag{4}$$

利用（4）计算各决策单元与 DMU_{n+1} 和 DMU_{n+2} 的距离，分别用 d_j^+ 和 d_j^- 表示，计算公式如下：

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^s (y_{ij} - y_i^+)^2} \quad (5)$$

$$d_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^s (y_{ij} - y_i^-)^2} \quad (6)$$

利用 (7) 计算决策单元与理想解和负理想解的贴近度 d_j ， d_j 越大表示决策单元越优，即产出竞争力越强，计算公式为：

$$d_j = \frac{d_j^-}{d_j^+ + d_j^-} \quad (7)$$

3、实证分析

3.1 决策单元、指标和数据的选定

江苏省一共有 13 个市，每个市都会为船舶工业专利的产出作出贡献。现将江苏 13 个市作为决策单元，并运用本文提出的仅有产出的 DEA 与 TOPSIS 组合方法对其进行研究。

本文根据专利竞争力评价、专利效率评价相关文献及研究目的，建立了基于产出效率的江苏船舶工业专利竞争力指标体系。指标体系从专利数量、质量和效益 3 个角度选取了 6 种产出指标，具体如表 1。

表 1 江苏船舶工业专利竞争力指标体系

江苏船舶工业专利产出	具体指标	单位
专利数量	船舶工业专利申请量	件
	船舶工业专利授权量	件
专利质量	船舶工业专利授权率	%
	船舶工业发明专利授权比例	%
专利效益	船舶工业专利转让量	件
	船舶工业专利许可量	件

在研究过程中，选取的观察量是截止到 2017 年的数量总和，即收集了江苏 13 个市船舶工业 2008~2017 年 10 年的专利产出指标数据，并对其进行统计得到文章所需指标数据。样本数据均来源于 *incopat* 数据库。

3.2 运用仅有产出的 DEA 模型测算效率

运用仅有产出的 DEA 方法可测算出江苏各市船舶工业专利产出相对效率值 V_m 和指标的

松弛系数 δ_r 。当 $V_m=1$ 时, 说明该市是有效的决策单元; 当 $V_m < 1$ 时, 表明该市是无效的决策单元, 且 V_m 数值越小说明该市产出水平越低。各无效决策单元专利竞争力的排名也是依据 V_m 的大小, 因此 V_m 也称为决策指数。有效决策单元的松弛系数 δ_r 等于 1, 无效决策单元的松弛系数 δ_r 大于 1, δ_r 值越大说明该市该项指标产出水平越低。本文运用 Matlab 软件对模型 (2) 进行求解, 所得结果见表 2。

表 2 仅有产出的 DEA 模型评价结果

	V_m	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6	排名
南京	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
无锡	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
苏州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
常州	0.582	1.747	1.895	1.085	1.564	2.111	1.890	2
南通	0.396	2.028	2.065	1.018	1.674	5.937	2.422	3
徐州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
镇江	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
扬州	0.244	3.899	4.020	1.031	2.480	5.277	7.857	5
盐城	0.176	4.855	4.996	1.029	2.538	11.17	9.322	7
泰州	0.241	3.802	4.242	1.115	3.137	3.800	8.730	6
淮安	0.256	7.083	6.890	1.000	1.450	3.659	3.324	4
连云港	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
宿迁	0.135	10.92	10.89	1.000	2.914	5.548	12.97	8

由表 2 可得, 南京、无锡、苏州、徐州、镇江和连云港 6 个市的相对效率 V_m 的值和各松弛系数的值均等于 1, 表明这 6 个市是相对有效的决策单元, 而其他 7 个市的 V_m 的值均小于 1, 表明这 7 个市是相对无效的决策单元。有效决策单元无法再次排序, 而无效决策单元

可根据 V_{μ} 的大小依次排名，排名结果为：常州>南通>淮安>扬州>泰州>盐城>宿迁。根据松弛系数可得，在无效决策单元中专利数量产出效率最低的是宿迁市，专利质量产出效率最低的是泰州市，专利效益产出效率最低的是盐城和宿迁 2 个市。

3.3 运用 TOPSIS 法对有效决策单元排序

在 3.2 仅有产出的 DEA 模型得出的结果中，南京、无锡等 6 个市的船舶工业专利产出相对效率均为 1，无法进行进一步区分和更深层次分析存在的效率差异，故采用 TOPSIS 法来评价有效决策单元并进行排序。通过 2.1 所述模型计算，得出 6 个决策单元与理想解和负理想的贴近度，并据此进行排序，如表 3 所示。

表 3 DEA-TOPSIS 模型的有效决策单元效率排序

决策单元	南京	无锡	苏州	徐州	镇江	连云港
d_j (贴近度)	0.798 7375	0.623 6641	0.484 9547	0.375 204	0.340 757	0.322 861
DEA-TOPSIS 排序	1	2	3	4	5	6

3.5 实证结果分析

从 3.2 中的仅有产出的 DEA 模型效率测算结果可知，13 个市船舶工业专利产出效率达到有效的有 6 个，剩余 7 个市的产出效率是无效的，占总数的 53.38%，且它们产出效率均低于平均效率的值 0.618，这表明整体上江苏船舶工业专利产出竞争力偏低。6 个产出有效的市中 4 个市处于苏南，说明苏南的船舶工业专利产出竞争力较强于苏北。根据 7 个无效决策单元相对效率排序和松弛系数大小的关系，得出专利数量对产出竞争力排序影响最大。6 个有效的决策单元专利竞争力排序结果为南京、无锡、苏州、徐州、镇江和连云港。

4、结论与建议

本文根据江苏船舶工业专利产出的特点，首先基于仅有产出的 DEA 方法测算出江苏各市船舶专利产出效率，以及各产出指标的松弛系数，对效率无效的城市进行专利产出竞争力排名。接着提出 DEA-TOPSIS 组合方法对效率有效的城市进行专利产出竞争力排名。通过实证分析结果得出如下结论。

江苏船舶工业专利竞争力整体不高，出现两极分化的情况。产出效率达到有效的 6 个城市和效率无效的 7 个城市产出效率差距很大，而苏南地区船舶工业专利竞争力都普遍高于苏

中和苏北地区,这说明船舶工业科技创新区域化明显,协助和联动机制不够。

江苏产出效率有效城市排序中,南京、无锡等苏南地区专利竞争力排在最前,说明经济发达地区具有良好的科技创新能力,该类城市应该充分发挥船舶工业专利优势,保持产出效率。而排名靠后的城市不仅要通过提高经济水平来增强科技创新能力,还要努力提高专利产出的运转速度。

为了促进江苏船舶工业科技创新领域良性发展,提高江苏船舶工业专利竞争力,本文针对上述研究提出以下建议。政府应该积极营造船舶工业领域科技创新良好氛围,完善专利制度政策,提高专利意识,平衡区域间船舶企业专利发展,以便让船舶工业的知识和科技充分扩散和流通。船舶工业专利产出与经济基础是密不可分的。苏北地区应该提高经济发展,为专利产出提供条件,着重提高船舶专利产出数量,从而增强船舶工业专利竞争力。苏南经济较发达地区要继续保证船舶专利产出的数量和质量,并进一步实现专利的价值。苏中地区最主要的是需要提高船舶工业专利质量,将产学研充分结合,使得产出专利更具创造力。

参考文献:

- [1] 吴玉桐,梁静国.我国区域专利竞争力比较研究[J].经济纵横,2008(8):59-61.
- [2] 于丽艳.我国34省市专利竞争力评价研究[J].科学与科学技术管理,2009,30(1):26-30.
- [3] 向征.基于聚类分析的区域专利竞争力研究[J].长江论坛,2014(1):38-42.
- [4] 赖光松,陈婧.江西专利竞争力分析[J].科技广场,2010(10):39-42.
- [5] 孙海荣,赵军仓.陕西科技专利竞争力比较分析[J].开发研究,2016(1):48-53.
- [6] 邢梦盈.广西专利竞争力评价研究[D].广西大学,2016.
- [7] 唐春.专利制度国际化对专利国际竞争力的影响与评价研究[J].科学学研究,2010,28(4):523-529.
- [8] 蒋佳妮,王灿,翟欢欢.中国核电技术专利国际竞争力研究[J].中国科技论坛,2017,5(6):92-100.
- [9] 黎薇,金泳锋,陈媛.层次分析法在评价企业专利竞争力中的应用[J].科技进步与对策,2007,24(2):103-105.
- [10] 卞志昕,顾震宇,路炜,等.基于模糊分析法的专利竞争力模型初探与应用[J].科技进步与对策,2010,27(1):115-118.
- [11] 李鹏.大型国有企业专利竞争力研究[J].技术经济与管理研究,2014(3):30-35.
- [12] 雒园园.我国区域专利竞争力分析与评价[J].领导科学论坛,2017(15):31-33.

- [13] 赵镇, 傅毓维. 仅有产出 DEA 模型在科技资源配置质量评价中的应用[J]. 科技管理研究, 2008, 28(12):126-128.
- [14] 李光金, 黄韬, 岳琳. 仅有产出的多目标 DEA 及其应用[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2001, 33(1):113-115.
- [15] 杨国梁, 刘文斌, 郑海军. 数据包络分析方法(DEA)综述[J]. 系统工程学报, 2013, 28(6):840-860.
- [16] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3):498-509.
- [17] Tone K. Tone, K.: A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. Eur. J. Oper. Res. 130, 498-509[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3):498-509.
- [18] Färe R, Lovell C A K, Färe R, et al. Measuring the technical efficiency of production ☆[J]. Journal of Economic Theory, 1978, 19(1):150-162.
- [19] 陈伟, 康鑫, 冯志军. 区域高技术产业知识产权运营效率研究——基于 DEA 和 TOPSIS 模型的实证分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2011, 32(11):125-130.
- [20] 杜涛, 冉伦, 李金林, 等. 基于效率的组织多属性决策及实证研究:DEA-TOPSIS 组合方法[J]. 中国管理科学, 2017, 25(7):153-162.
- [21] 郭明磊, 李光金. 仅有产出的多目标 DEA 在高校排名中的应用[J]. 西华大学学报(哲学社会科学版), 2005, 24(5):67-70.

极地救生艇耐低温性能研究及试验方法

陈智同^{1,2} 张祎³ 管义锋³

(1. 江苏科技大学海洋装备研究院, 江苏镇江 212003; 2. 江苏中智海洋工程装备有限公司, 江苏镇江 212003; 3. 江苏科技大学, 江苏镇江 212003)

摘要: 设计制造了极地救生艇, 研究其耐低温性能, 包括发动机的低温启动、艇钩装置的低温释放、门和舱盖的开启等, 进行了必要的试验研究, 为同类产品的开发提供借鉴。

关键词: 极地救生艇; 低温性能; 试验研究

中图分类号: 文献标识码: A

Study on Low Temperature Resistance of The Polar Lifeboat and Its Test Method

CHEN Zhi-tong^{1,2} Zhangyi³ GUAN Yifeng³

(1. Marine Equipment And Technology Institute, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, 212003, China; 2. Jiangsu Zhongzhi Marine Engineering Equipment Co., Ltd., Jiangsu Zhenjiang 212003, China; 3. Jiangsu University of Science and Technology, Jiangsu Zhenjiang 212003, China)

Abstract: A polar lifeboat is designed and made. Its low temperature resistance is studied, including low temperature startup of engine, low temperature release of boat hook device, opening of door and hatch, etc., and necessary experimental research is carried out. It is expected to provide reference for the development of similar products.

Keywords: polar lifeboat; low temperature performance; experimental research

1. 引言

近年来, 随着海洋经济及极地能源开发和北极航道的不断发展, 海洋能源开发对海洋工程装备的需求也日益增加, 深水和极端寒冷海域的石油开采及运输已成为可能。极地科学考察船、北极穿梭油船、极地钻井船等极地船舶常年穿行于地球最寒冷的区域, 必须能适应及其恶劣的海域气候, 如巴伦支海的最低温度可低至 -45°C , 一年中有 210~290 天海面上覆盖着 1.5m 厚的冰层^[1], 冰层上还有 20cm 厚的积雪。

极地水域地理位置独特, 环境条件特殊, 因冰和寒冷气候, 以及船舶稳性减弱、管路冰冻、航行设备失效和船员执行力下降等其他不可低估的条件, 会降低船舶的安全航行。在船舶遇险时, 救生艇能使船上人员安全迅速撤离并在水上维持生命, 是船舶法定安全设备, 其性能和状况一直以来受到高度关注^[2], 研制极地低温救生艇尤为重要。

我国工业和信息化部于 2014 年 11 月批复成立了《国际极地水域船舶安全规则应用研究》课题, IMO 颁布了《国际极地水域操作船舶规则》, CCS 颁布了《极地船舶指南》, 这些规范对极地船舶的航行、设计、操作提供了一定的指导, 但涉及到极地船舶救生设备的试验要求, 没有具体明确。本文在调研同类产品生产厂商的基础上, 设计和制造了极地救生艇和吊艇架,

进行低温性能分析和试验研究,为极地低温救生艇的设计、建造和试验提供参考,提升我国极地船舶设备建造的先进性。

2. 极地救生艇关键技术研究

2.1 极地救生艇的关键技术

面对极地区域恶劣复杂的环境,极地救生艇的应用遇到了许多困难^[3],如:救生艇的艇体材料受力可能发生脆性开裂影响表面美观也会影响玻璃钢表面的防水作用;门和舱盖由于冰雪覆盖而造成其开启困难,导致人员无法及时进入救生艇内从而延误了救生艇的逃离母船的时间;驾驶窗由于内外温差太大,表面容易结露,影响驾驶室视线,致使驾驶员无法正常驾驶;等等。

在极地救生艇的附件方面,低温环境下,蓄电池达不到使用温度,导致电器无法工作,影响救生时间;高压空气瓶在极地温度下,压力会随之减小,气量相应变小,无法满足发动机和人员呼吸的要求;橡胶件在低温下会变硬变脆,导致门和舱盖不水密、机械装置失效;玻璃钢船体及龙骨在极地碰到浮冰,造成艇体损伤等;发动机使用的润滑油在低温时凝固造成其无法启动;等等。

在极地救生艇的降放装置方面,艇钩装置的活动部件由于外露在艇甲板外,在被冰雪覆盖冻住时无法顺利打开;降放装置液压系统及润滑油受极地低温影响,液体产生冻结而且粘度增大,导致液压系统失效,影响整个降放装置的动作;降放装置运动部件内部连接部位在低温环境由于热胀冷缩,严重情况下导致运动部位卡死,外部表面结冰会使运动部件功能失效;降放装置的机械限位开关等部件由于都是外露在环境中,容易表面结冰,影响使用性能;等等。

极地低温救生艇的关键技术还有很多,本文不一一列举^[4]。本文旨在设计和建造极地低温救生艇,进行必要的试验,研究其中几项关键技术,为同类产品的开发和研究提供借鉴。本文根据国内外该系列产品的技术标准,利用绘图软件对该产品进行参数化设计,开发该产品主要零部件的参数数据库,通过试验对产品进行低温性能分析,进而优化产品低温性能,提高产品质量及可靠性。完成极地低温救生艇及吊架装置概念图,根据设计产品的参数化设计数据。调研国内同类救生艇及吊架生产厂家,考察生产工艺,确定由江苏俊燕船舶设备有限公司设计和制造极地救生艇样船,完成样机生产。

2.2 极地救生艇发动机的低温启动性能

极地低温条件下,发动机启动困难^[5]是极地低温救生艇研发的一个关键技术。主要原因是因为发动机所使用的润滑油在低温时会凝固,造成发动机曲轴转动扭矩力增大,致使现有启动马达无法带动发动机曲轴运转,造成发动机无法启动。

改善发动机低温启动性能的一种办法是给曲轴箱内机油加热,即设置加热器。加热器的功率可通过试验来确定,但通过机油加热的方法在一定程度上仅加热了曲轴箱。如有更低温度时,在冷却水系统内设置加热器,会使整个发动机得到升温,这样对发动机的启动更加顺利。

改善发动机低温启动性能的另一种办法是采用发动机低温起动力能。但低温起动力能适用在-15℃左右较为有效,极地低温环境不很适合。另外,一般情况下低温起动力能为乙醚,对人体和环境都有害。并且,低温起动力能容易产生爆燃爆振,不能与发电机电阻预热的方法同时使用。因此,一般不建议使用发动机低温起动力能。

影响发动机低温工作性能的因素还有冷却系统、燃油系统、蓄电池等几个方面。在发动机冷却系统方面,为了防止淡水在低温下冰冻,现有的解决方案为使用低温冷却液及淡水加

热器。为了防止艇外的龙骨冷却器与冰块接触破损，可在龙骨冷却器周围加装保护栏。

在发动机燃油系统方面，选择合理的相应使用温度下的燃油牌号，当然也可通过保温的措施，使用相应温度下的燃油较为合理，现在市场有供应。

在选择蓄电池容量的时候应考虑其放电能力随温度降低而下降的因素，根据厂商提供的放点特性曲线，适当放大电池的容量。另外，尽量选用低温的蓄电池，例如西恩迪公司的 LBTY 12V 蓄电池，能适应 -40°C 的低温。

2.3 艇钩装置在极地低温情况下的释放能力研究

艇钩系统作为救生艇使用中的关键机械装置，并且该装置是一直暴露在空气中，必须考虑到极地低温天气对整个释放功能的影响。例如：机械装置应考虑：a. 积冰和/或积雪；b. 从海水吸入冰；c. 液体冻结和增大粘度；d. 海水进口温度；e. 雪吸入等在预期环境工况的工作能力。艇外操作系统中的推拉软轴也应适应低温环境下的使用工况，否则达不到救生艇释放要求。

为了保证艇钩系统的低温工作性能，可以采取以下措施：

1) 在外露的吊钩及转轴加保护罩，但此方法必须密封水密，要做到很复杂，而且操作繁琐。

2) 在吊钩转轴增设加热器让冰雪及时融化，以保证低温下艇体顺利脱钩。此方法须通过试验验证。在 -50°C 环境条件下存放 24 小时并在期间多次淋水让其表面凝结成 30mm 的冰层，然后在此条件下进行艇钩释放试验，艇钩能顺利打开为符合要求。

3) 在吊钩、转轴、吊架板上涂上耐低温的油脂。耐低温油脂使冰雪与上述部件间有一定的隔离层，可采用破冰锤将冰层除去，然后顺利脱钩操作。

本文进行了相应的试验验证：对试验样艇设置两个艇钩(艏艉各一个)，通过推拉软轴连接同一个艇钩释放装置。一个设置转轴加热器且表面涂有耐低温油脂，另一个仅表面涂有耐低温油脂。将该装置存放于 -50°C 库房内 24 小时，并在期间多次淋水至艇钩外露冰层达 30mm。用破冰锤除去冰层，并验证除冰的难易程度，操作释放装置，两个吊钩能同时释放即为符合要求。

另外，试验时应考虑低温冰雪情况下，吊环与艇吊钩连接时是否有咬死或粘结的情况，如有咬死现象，应另行措施。根据前后吊钩转动轴设置加热器的方法来防止低温时的结冰，从而防止吊钩咬死不易打开的情况，可以配置破冰锤，用机械方式除冰。

2.4 艇门、舱盖、驾驶窗等除冰与去霜性能

在极端低温环境下，冰雪极易覆盖门和舱盖，从而造成其开启困难，导致人员无法及时进入救生艇内从而延误了救生艇的逃离母船的时间。门及门框周边存在一定的间隙，低温下该间隙将会被冰雪填充，也将导致门盖无法开启。

本文采用以下试验方法来研究低温条件下救生艇门和舱盖的开启性能：

1) 针对门及舱盖的特性，在活动开启部位设加热器，以使门及舱盖在低温情况在能顺利打开。为防止电加热过载必须设有温控保护。

2) 加工大小合适的密闭的玻璃钢箱体，在其上安装救生艇的门及舱盖，进行低温试验模拟验证。

首先验证破冰锤地除冰能力。将装有舱盖的试验箱放入 -50°C 库房中 24 小时，期间多次淋冷水致使舱盖上的冰层为 30mm。在不除冰的情况下进行开启操作，观测把手能否操作。如无法操作，用破冰锤将冰除去进行开启操作，观测把手能否操作及开启程度。

然后验证加热器的效果。采用上述同样的条件，将舱盖放入 -50°C 的库房中 24 小时，同

时打开门框加热器，期间应多次淋水，观测表面的冰层情况，及把手的开启程度。

由于极地低温的影响，驾驶窗表面会有冰雪覆盖，且由于内外温差太大，驾驶窗表面会结露，从而导致驾驶室窗视线模糊，致使驾驶员无法正常驾驶。为了改善驾驶窗在低温情况下表面结露及易冰雪覆盖，采用加热玻璃的方法。将带有电加热的窗安装于模拟的驾驶室上，也可安装在密闭的玻璃钢箱体上，将其存放于-50℃的库房内 24 小时，其间应多淋水，观察窗上是否有结冰、结露现象。

2.5 极地救生艇附件的低温性能

1) 电器低温性能。救生艇的启动，目前主要的操作方式有手动启动、蓄电池启动、蓄能启动等。其中，蓄电池启动作为最为方便的启动方式，在目前艇上广泛应用，如何考虑极地气温对蓄电池的影响，在极地低温环境下也能正常工作。可用加温的方式让电池处于良好的使用环境下或者使用低温电池，目前市场上有-45℃环境使用下的低温蓄电池。

2) 高压空气瓶的低温性能。高压空气瓶中的压力会随着环境温度的变化出现波动，在常温在充好的高压空气瓶，有可能到了极地温度下，压力会随之减小，气量相应变小，在极地温度下，是否还能满足发动机和人员呼吸的要求。在实际的使用过程中，高压气瓶仅在耐火救生艇上使用，在设计上，可以采用加热或救生艇内部供暖的方法，使高压气瓶在平时不处于低位条件下。另外空气瓶的选用的材料也应能适用于低温的要求。

3) 橡胶件低温性能。橡胶材料对温度敏感性很高，平时我们在日常生活中就可以看出：温度高时，橡胶材料变软；温度低时，橡胶材料就会变硬变脆。橡胶材料广泛地应用于密封材料，如门和舱盖的密封条，机械设备等的密封圈等。在低温环境中，如橡胶材料失效，对门和舱盖而已，就会出现不水密的情况，对机械装置，则会使机械失效。

3 极地救生艇低温环境试验

为进行极地救生艇必要的低温试验，需针对极地设备的特点，进行对比分析各产品的危险因素，提出适应极地环境的技术和管理措施，其中的关键要素经研究后形成技术报告，编制试验大纲，进行必要的试验验证，并形成试验报告。

由于各产品的外观尺寸和试验要求的差异，对试验室的要求也不一致。救生艇和降放装置的尺寸较大，如按照比例制作模型进行试验，将不能充分体现客观的自然使用过程。降放装置的材料、部件等，可以在生产厂家或是外部试验中来完成检验工作，对组装后的成套装置的功能试验，就必须做出实物原型来研究低温对结构和材料的影响，考虑尺寸因素对实验室的要求；绞车可以做成套产品进行实验室试验；液压系统组装后，不安装在钢结构上进行实验室进行测试；做成一个全尺寸的活动部件进试验室进行降放装置的功能试验。

3.1 释放装置的除冰试验

将艇吊系统存放于-50℃的环境条件下 24 小时，并用水喷（见图 1a），让艇吊钩外露艇体部分结冰 30mm 以上，用破冰锤除冰，操纵释放手柄，确认两钩能脱钩。

在吊钩转轴处设置加热装置，同样将艇吊系统存放-50℃的环境条件下 24 小时，并用水喷，让艇吊钩外露部分部分结冰 30mm 以上。由于加热装置的作用，转轴部分不结冰（见图 1b），用破冰锤除去其他部位的结冰，操纵释放手柄，确认两钩能顺利脱钩。

按产品尺寸 1:1 的比例，加工制造了降放装置活动部位的局部模型，转动轴部位和滑轮放于-50℃的环境条件下 24 小时，并用水喷，让外露部分结冰 30mm。在实验室中结冰后来验证低温使用性能，试验结果表明利用破冰锤除冰，滑轮能正常转动，使用无影响（见图 2）。



a) 结冰后释放装置

b) 电加热对释放装置的影响

图 1 释放装置的除冰试验

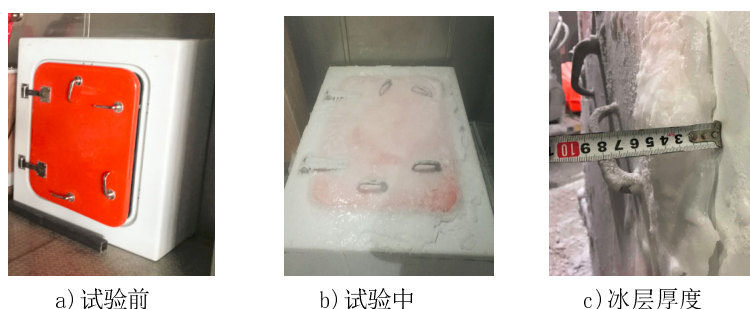


图 2 滑轮除冰试验

3.2 门和舱盖的开启能力试验

为了研究没有任何防护的情况下，门和舱盖在结冰的情况下是否会打开。在 -50°C 的环境下存放 24 小时（见图 3），结冰厚度到 30mm，利用破冰锤除冰。试验结果：破冰锤能顺利除冰，门上无任何损伤，但在开始过程中，需要将门周围的冰层彻底清除后，门才可以打开。

为了验证门和舱盖上加设加热器的情况，在门窗的密封橡胶条下加设加热器，并设置了温控器。同样在 -60°C 的环境下存放 24 小时，结冰厚度到 30mm。试验结果：侧门通过加热，能轻松开启，密封橡胶条没有被冻结现象（见图 4）。



a) 试验前

b) 试验中

c) 冰层厚度

图 3 门及舱盖结冰前、结冰后、冰层



图 4 门及舱盖能加热轻松打开

3.3 驾驶窗的去冰霜能力试验

将装有加热器的玻璃驾驶窗，通电后温度升到 38°C 就自动切断，降温到 30°C ，再次工作升温到 38°C ，如此循环。存放在 -50°C 的环境条件下 24 小时，在 -50°C 的环境下（见图 5），进行淋水试验。确认视野玻璃通过加热，淋水后玻璃表面无结霜、无模糊的情况。



图 5 驾驶窗结冰图

4 结论

本文以极地救生艇能够在 -50°C 环境温度下保持正常的救生能力为目标, 研究分析了极地低温对极地救生艇发动机启动性能、艇钩装置释放能力、门和舱盖开启以及驾驶窗视野的影响, 给出了相应的解决措施, 并采用低温环境试验的方法, 验证了救生艇的发动机、艇钩装置、门和舱盖以及驾驶窗在极地环境温度下能够正常工作, 为同类产品的开发和研究提供借鉴。

参考文献

- [1] 解国强. 北极东北航道航行环境及安全航行研究[J]. 大连海事大学, 2014:19-20.
- [2] 王德岭, 郑剑. 《极地规则》生效下的船舶设备配备和履约[J]. 航海技术, 2017:76-78.
- [3] 朱英富, 刘祖源等. 极地船舶核心关键技术现状及我国发展对策[J]. 中国科学基金, 2015:182-184.
- [4] 陈卫宝. 极地航行船舶电气设计和设备配置特殊性研究[J]. 舰船科学技术, 2017:144-146.
- [5] 冯波. 浅谈发动机机油的低温启动性能[J]. 化学工程与装备, 2017:151-152.

作者简介: 陈智同 (1987-), 江苏东台人, 男, 工程师, 主要从事船舶与海工装备总体设计及性能研究工作。

联系方式: czt2015@163.com

基金项目: 江苏高校高技术船舶协同创新中心项目 (HZ20170010)

江苏省船舶与海洋工程装备产业专利情报研究*

徐雷, 盛永祥^{1,2}, 姚潇¹

(1. 江苏科技大学 经济管理学院, 江苏 镇江 212003;

2. 江苏科技大学 服务制造模式与信息化研究中心, 江苏 镇江 212003)

摘要: 本文从我省船舶和海洋工程装备两个产业入手, 分析其发展现状。利用 incopat 专利检索平台分析其申请趋势、主要专利权人、技术分布、法律状态和各区市专利分布情况。了解我省船舶与海洋工程装备产业的专利发展情况, 进而提出江苏省加快技术创新和产业升级, 提升船舶与海洋工程装备产业竞争力的政策建议。

关键词: 船舶; 海洋工程装备; 专利;

中图法分类号: F273 **文献标识码:** A

引言

船舶与海洋工程装备产业是我省现代综合性产业, 随着国内外海洋装备需求的增长, 我国海洋工程装备制造业抓住市场高峰期的战略机遇, 承接了一批具有较大影响力的订单, 实现了快速发展, 能力也明显提升。2017 年江苏船舶与海洋工程装备产业发展推进会指出, 江苏船舶工业将把握国家发展战略方面的政策机遇、实体产业与金融产业融合发展的行业机遇、科技创新发展的技术机遇, 围绕“一个引领、四个驱动”, 提升抵御危机能力, 在科技创新、智能制造、军民融合发展以及人才培育方面取得突破。江苏省作为我国第一造船大省, 同时也是世界重要的船舶产业基地。但我们也应该清醒地认识到, 我省船舶产业的知识产权虽然资源丰富, 但仍存在质量不高和结构不合理等问题。因此, 深入分析船舶与海洋工程领域专利发展的态势, 对企业把握未来发展方向和进一步技术研发投入具有重要意义。

本文基于 incopat 专利检索平台, 分别从船舶领域和海洋工程装备领域两个产业进行分析。船舶领域重点分析江苏省船舶领域的申请趋势、主要专利权人、技术分布和法律状态; 海洋工程装备领域重点分析江苏省各地级市专利申请情况、专利授权量年变化趋势、申请人类型等。针对存在的问题提出相关政策建议, 有利于优化产业结构, 促进我省船舶与海洋工程装备领域协调可持续发展。

基金项目: 江苏省高校哲学社会科学重点研究基地重大项目“船舶产业转型升级的方法、路径和对策研究”

(2015JDXM025)。

作者简介: 盛永祥 (1969-), 男, 汉, 江苏大丰人, 博士, 教授, 主要研究方向: 复杂网络, E-mail: syx1969@163.com; 刘智洁 (1993-), 女, 汉, 山东东营人, 硕士研究生, 主要研究方向: 知识管理, E-mail: 494843509@qq.com。

1 船舶与海洋工程装备产业专利分析方法框架及数据检索策略

本文通过检索江苏省船舶与海洋工程装备产业的专利文献,利用专利定量分析方法分别从江苏省船舶领域和海洋工程装备产业层面进行研究(如图 1-1 所示)。首先从专利发展趋势、专利权人的分布、专利技术的分布和专利法律状态四个方面对江苏省船舶领域专利技术进行专项分析,揭示出江苏省船舶领域技术发展趋势。其次从专利申请(授权)量、专利申请(授权)量年度变化态势、专利申请人(专利权人)类型和专利申请(授权)技术构成四个方面对江苏省海洋工程装备产业进行专项分析,揭示出江苏省海洋工程装备产业专利技术的发展情况。根据江苏省船舶与海洋工程产业专利技术发展概况,对江苏省船舶与海洋工程装备产业重点企业及其专利进行分析,揭示出江苏省船舶与海洋工程产业技术发展态势和未来发展潜力。

本文研究分析所采集的专利信息数据,以 Incopat 数据库专利数据库作为数据来源,以智慧牙数据库作为补充,辅以对应行业报告和专家意见,对产业技术领域进行整理和归类,结合关键词、分类号开展检索和分析。为保证查全查准,采用模糊检索,并辅助手工方式对杂质数据项进行剔除,检索日期为 2017 年 10 月 31 日。

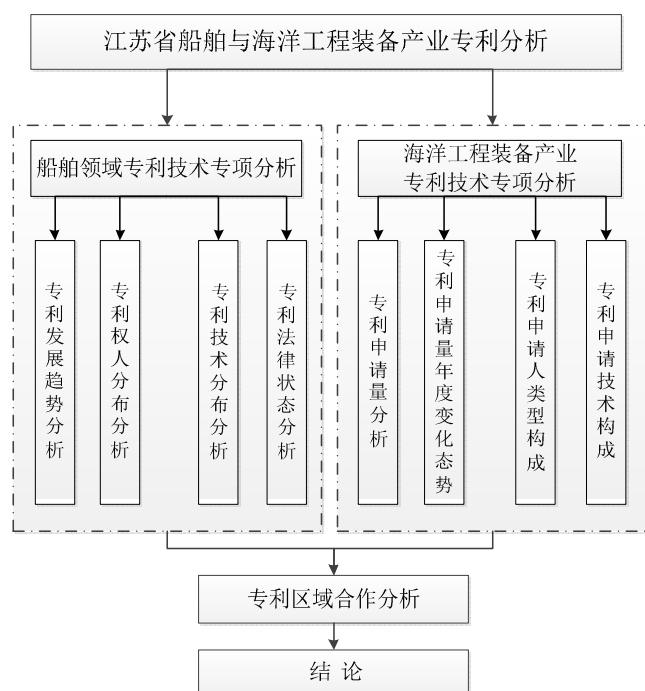


图 1 江苏省船舶与海洋工程产业专利分析框架

2 江苏省船舶领域专利技术专项分析

2.1 船舶领域专利发展趋势分析

江苏省内涉及船舶领域的专利申请累计共 52948 件,1998-2017 年间专利申请(授权)趋势如图 2 和 3 所示。

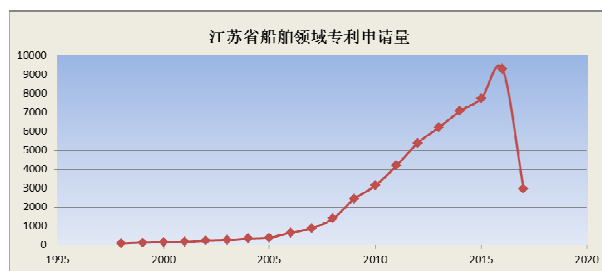


图2 江苏省船舶领域专利申请趋势

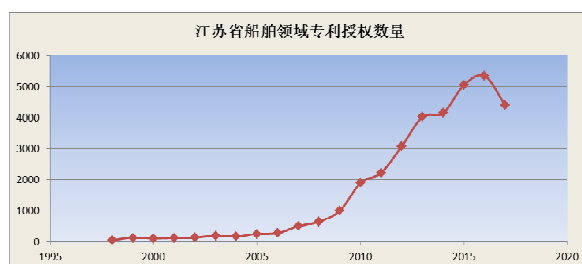


图3 江苏省船舶领域专利授权趋势

由图2和图3可知，从年增长量来看，江苏省船舶技术领域的专利申请（授权）态势大致可以分为两个阶段：第一阶段是1998-2007年，该阶段的专利申请（授权）量处于低速增长期，增长幅度较为平缓；第二阶段是2008-2016年，该阶段的专利申请（授权）量处于高速增长期，年申请（授权）量增长幅度较大。

2.2 江苏省内主要专利权人分布分析

江苏省内的专利权人主要集中在企业、个人和大专院校三类，在创新主体的构成中，企业占比76.1%，个人占比13.2%，高校占比8.6%，另外，机关团体、科研单位占有较小的比例。企业的专利技术主要集中在B66C（起重机，用于起重机、绞盘、绞车或滑车的载荷吊挂元件或装置）、B63B（船舶或其他水上船只）、B66B（升降机）、F21V（照明装置或其系统的功能特征或零部件）等技术类别，其研发力量更为侧重于应用研究；个人的专利技术主要集中在F21V（照明装置或其系统的功能特征或零部件）、B63B（船舶或其他水上船只）、B66C（起重机，用于起重机、绞盘、绞车或滑车的载荷吊挂元件或装置）、F21S（非便携式照明装置或其系统）等技术类别，其专利技术覆盖面较为广泛；高校的专利技术主要集中在B63B、C02F（水、废水、污水或污泥的处理）、B66B（升降机）、B66C（起重机，用于起重机、绞盘、绞车或滑车的载荷吊挂元件或装置）、F21V（照明装置或其系统的功能特征或零部件）等技术类别。

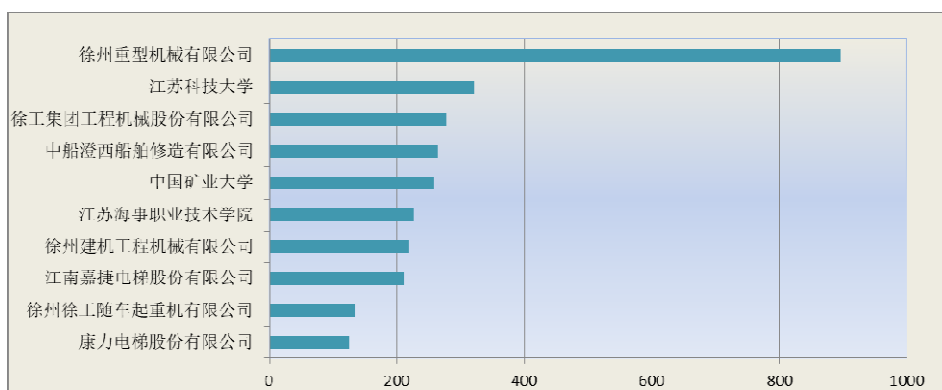


图 4 江苏省船舶领域前 10 位专利权人

由图 4 可知，江苏省内一般用途船舶领域前 10 位的专利申请人中企业占 7 位。值得注意的是，企业的占比无论从个体量还是专利总量都领先于高校，说明江苏船舶产业专利技术实施率较高，企业在应用技术领域有较强的实力。

2.3 专利技术分析

对江苏省船舶领域专利技术分布分别从两个方面进行数据统计，明确江苏省内在一般用途船舶领域和特殊用途船舶领域主要发展的技术类别。

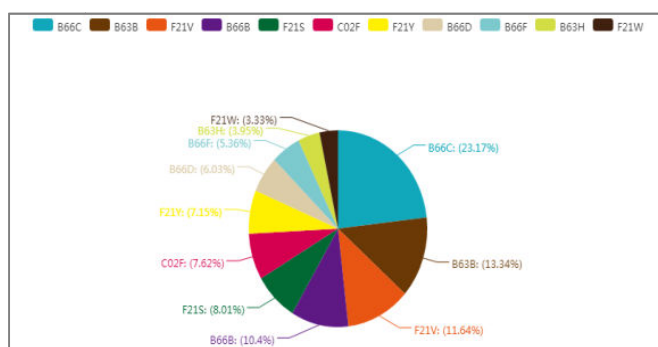


图 5 一般用途船舶领域专利技术分布分析

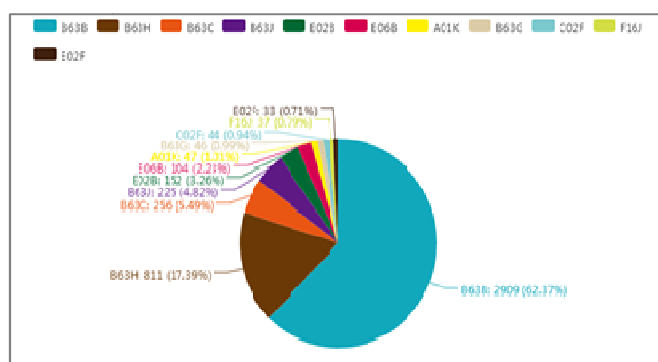


图 6 特殊用途船舶领域专利技术分布分析

由图 5 可知，江苏省在一般用途船舶领域专利技术主要集中在 B66C（起重机，用于起重机、绞盘、绞车或滑车的载荷吊挂元件或装置）、B63B（船舶或其他水上船只）、F21V（照

明装置或其系统的功能特征或零部件)、B66B(升降机)四个技术类别,分别占比 23.17%、13.34%、11.64%、10.4%。由图 6 可知,江苏省在特殊用途船舶领域的专利技术主要集中在 B63B(船舶或其他水上船只)、B63H(船舶的推进装置或操舵装置)和 B63C(船只下水、拖出或进干船坞,水中救生,用于水下居住或作业的设备,用于打捞或搜索水下目标的装置)三个技术类别,分别占比 62.37%、17.39%、5.49%,其中 B63B 和 B63H 两个节点最突出。

2.4 专利法律状态分析

对江苏省船舶领域专利法律状态进行数据分析,明晰江苏省内一般用途船舶领域和特殊用途船舶领域专利有效量、授权量和失效专利量。

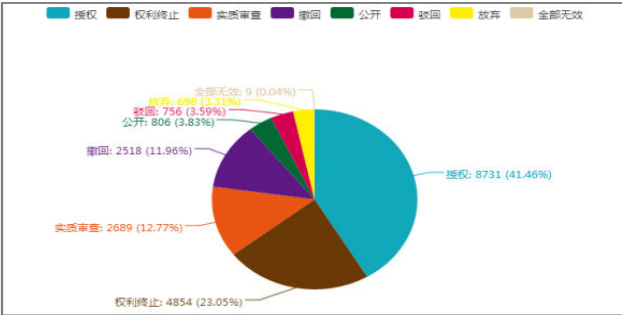


图 7 一般用途船舶领域专利法律状态

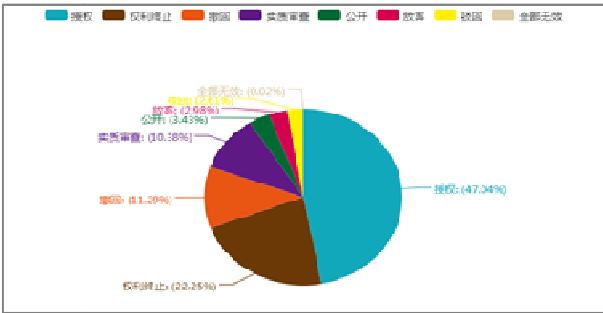


图 8 特殊用途船舶领域专利法律状态

由图 7 可知,江苏省专利申请法律状态分授权状态、权利终止状态、实质审查状态和撤回状态四种类型,占比分别为 41.46%、23.05%、12.77%、11.96%,大约占江苏省专利的 90%,剩下 10%的专利法律状态或是公开、放弃、驳回,或是全部无效。由图 8 可知,江苏省专利申请法律状态主要分为授权状态、权利终止状态、撤回状态和实质审查状态四种类型,占比分别为 47.04%、22.25%、11.29%、10.38%,约占江苏省专利申请总量的 90%,剩下 10%专利的法律状态或是公开、放弃、驳回,或是全部无效。

3 江苏省海洋工程装备产业专利技术专项分析

3.1 海洋工程装备产业设区市专利申请量分析

对江苏省内 13 个设区市在海洋工程装备产业专利申请(授权)量进行统计,明晰各设区市的专利申请(授权)情况,如表 1 所示。

表 1 海洋工程装备产业设区市专利申请量

序号	申请人(专利权)	申请专利数量	申请量	授权专利数量	授权量
1	南京市	7740	21.21%	4829	22.37%
2	无锡市	6769	18.55%	4145	19.20%
3	苏州市	6102	16.72%	3270	15.15%
4	常州市	3596	9.85%	1859	8.61%
5	南通市	2650	7.26%	1594	7.38%
6	徐州市	2033	5.57%	1407	6.52%
7	镇江市	1885	5.16%	1047	4.85%
8	扬州市	1708	4.68%	951	4.40%
9	盐城市	1368	3.75%	875	4.05%
10	泰州市	1235	3.38%	656	3.04%
11	淮安市	661	1.81%	422	1.95%
12	连云港市	590	1.62%	412	1.91%
13	宿迁市	160	0.44%	123	0.57%

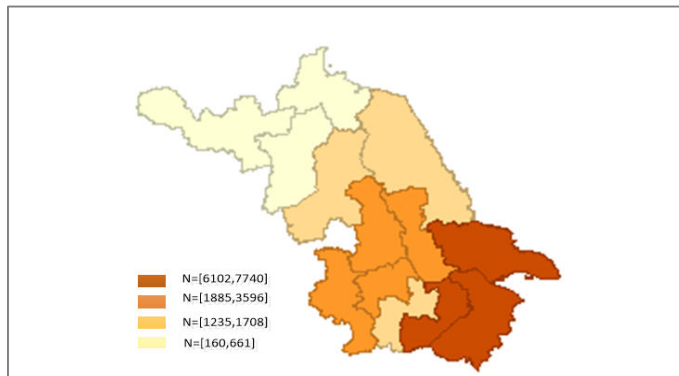


图 9 海洋工程装备产业专利申请量地区分布

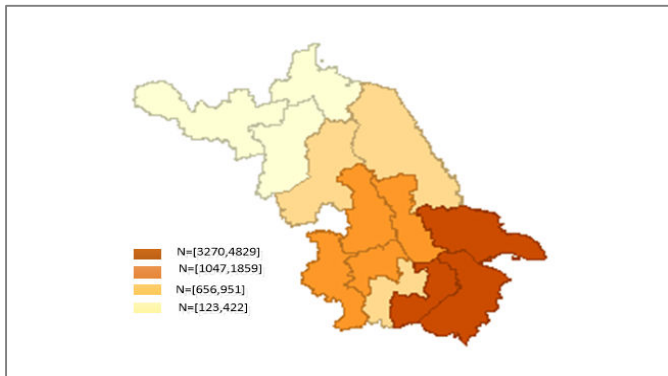


图 10 海洋工程装备产业专利授权量地区分布

由表 1 及图 9 可知,江苏省 13 个设区市海洋工程装备的专利申请量差异很大。南京市、

无锡市、苏州市专利申请量情况位居前三，数量分别为 7740 件、6769 件、6102 件，分别占江苏省申请量的 21.21%、18.55%、16.72%；申请量排名后三位的是淮安市、连云港市和宿迁市，数量分别为 661 件、590 件、160 件，分别占江苏省总申请量的 1.81%、0.62%和 0.44%。由图 10 可知，在海洋工程装备产业，南京、无锡、苏州等市的专利授权量位居全省前列，数量分别为 4829 件、4145 件、3270 件，分别占全省总授权量的 22.37%、19.20%、15.15%。排名最后的连云港、淮安、宿迁等市专利授权量分别为 422 件、412 件、123 件，分别占全省申请量的 1.95%、1.91%、0.57%。南京、无锡、苏州等市专利授权量较大的主要原因是这些区域的船舶产业较为发达，且具有较强的经济实力和工业基础，这些都为海工装备领域的发展提供了更加有利的条件。

3.2 海洋工程装备产业设区市专利申请（授权）量年度变化态势

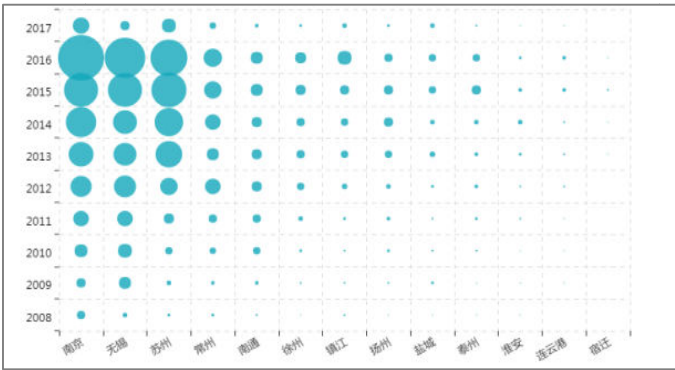


图 11 海洋工程装备产业专利申请量年度变化态势

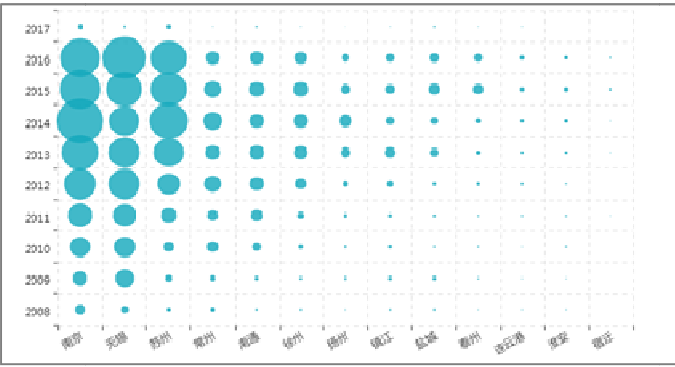


图 12 海洋工程装备产业专利授权量年度变化态势

由图 11 可知，近 10 年内江苏省 13 个设区市涉及海洋工程装备产业的专利申请量大多呈现逐年上升趋势，2011 年以前各市专利申请量增速不大，2011-2016 年间各市专利申请量明显增加。南京市专利申请量增长最为快速，增幅较大，无锡、苏州两市相比其余设区市增幅更为明显；常州、南通、徐州等市的专利申请量增幅较为平缓，而淮安、连云港和宿迁等市的专利申请量一直处于较低水平，且年度申请量变化并不明显。由图 12 可知，各设区市的专利授权量呈逐年递增的发展态势，2011 年之后，各设区市增长速度不断加快。其中，

南京市的年专利申请量从2011年开始一直处于全省领先地位,2014年的专利授权量达到719件。无锡市和苏州市的专利授权量分别排在全省第二位和第三位。从年度授权量变化态势可以看出,南京市、无锡市和苏州市对该领域技术研发的重视程度较高。连云港、淮安和宿迁等市的专利授权量一直较低,这些设区市对该领域技术研发的重视程度有待进一步提高。

3.3 海洋工程装备产业设区市专利申请人类类型构成

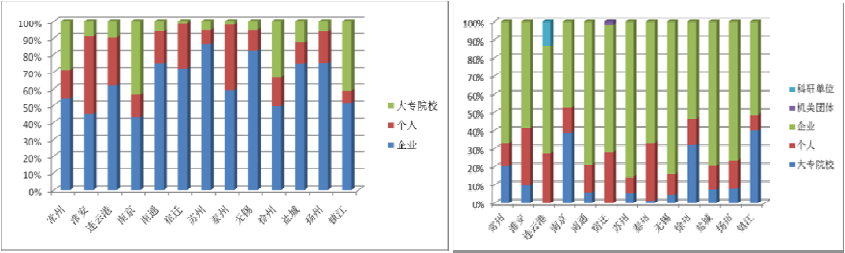


图 13 海洋工程装备产业专利申请人类类型 图 14 海洋工程装备产业专利权人类类型

由图 13 可知,从海洋工程装备产业江苏省 13 个设区市专利申请人类类型构成来看,创新主体主要由企业、个人和大专院校组成,企业占比较大,苏州市专利申请人中,企业占比达到 86.49%、大专院校占比 5.15%、个人占比 8.36%,相比于江苏省内其他设区市,苏州市的创新主体类型更加均衡合理。南京市、徐州市的创新主体类型相对丰富、结构相对合理,专利权人以企业为主,企业与大专院校的占比相对接近,个人的占比较小。由图 14 可知,从专利权人类类型构成来看,创新主体主要由科研单位、机关团体、企业、个人和大专院校组成,企业和个人占比较大,南京市企业占比 47.15%、个人占比 13.88%、大专院校占比 38.97%,相比于江苏省内其他设区市,南京的创新主体类型更加均衡合理。徐州市、镇江市的创新主体类型相对丰富、结构相对均衡合理,专利权人以企业与大专院校为主。

3.4 海洋工程装备产业设区市专利申请技术构成



图 15 海洋工程装备产业专利申请技术构成 图 16 海洋工程装备产业授权专利技术构成

由图 15 可知,江苏省海洋工程装备产业专利申请主要集中在 C02F(水、废水、污水或污泥的处理)、B01D(分离)、E21B(土层或岩石的钻进)等废水处理、分离固体、开凿立井、船用设备。其中, C02F 的总申请量最多,南京、无锡、苏州、常州等市专利申请都是以 C02F 为主。由图 16 可知,江苏省在海洋工程装备产业的授权专利主要集中在 C02F(水、废水、

污水或污泥的处理)、E21B(土层或岩石的钻进)、B63B(船舶或其他水上船只)、B01D(分离)等废水处理、开凿立井、船用设备、分离技术。其中,C02F 专利授权量最多,南京、无锡、苏州等市授权专利均以 C02F 为主,其余地市授权专利集中在 E21B、B63B 和 B01D。

4 江苏省船舶与海洋工程装备产业专利区域合作分析

将江苏省船舶与海洋工程装备产业重点企业及其专利合作涉及到的所有组织单位作为网络中的各个节点,其合作关系作为网络中的边,其两个节点之间的专利的合作数量作为边的权重,利用 Gephi 软件绘制出江苏省专利区域合作网络图谱。表 4-1 是江苏省船舶与海洋工程装备产业的专利区域合作网络测度指标,图 17 中各个节点的大小代表了该节点与其他节点的联系数量,边的粗细代表了各个节点间的专利合作次数。

表 2 专利区域合作网络测度指标

序 号	地区	度	权 重 度	接 近 中 心 性	中 介 中 心 性
1	泰州市	5	9	0.52	47.67
2	南京市	6	42	0.52	27
3	上海市	3	9	0.48	15
4	南通市	7	267	0.45	23.67
5	镇江市	6	58	0.43	12.67
6	无锡市	2	23	0.39	22
7	北京市	1	3	0.35	0
8	天津市	1	1	0.35	0
9	嘉兴市	1	1	0.35	0
10	深圳市	1	70	0.32	0
11	常州市	1	6	0.32	0
12	淮安市	1	1	0.31	0
13	武汉市	2	23	0.30	12
14	扬州市	1	1	0.24	0
15	盐城市	2	23	0	0
16	苏州市	2	12	0	0

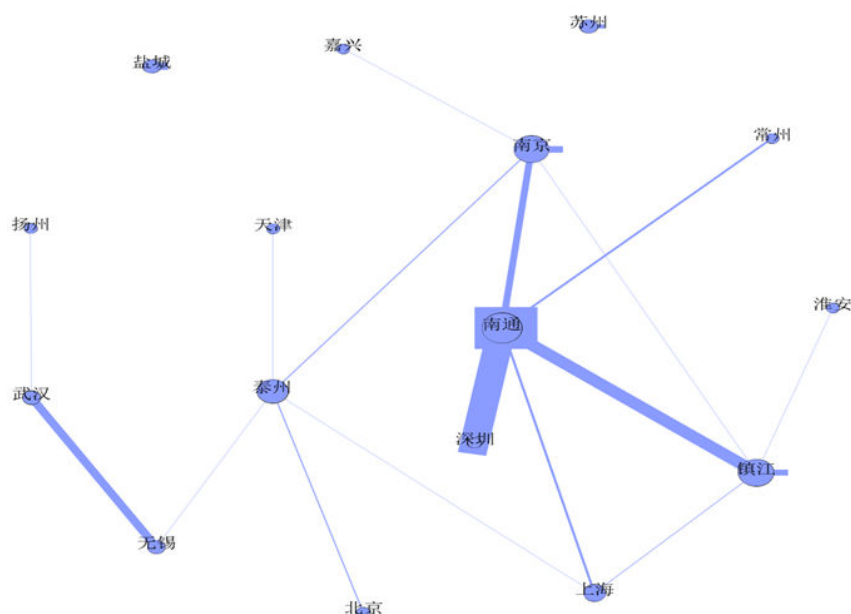


图 17 江苏省船舶与海洋工程装备产业专利区域合作

从图 17 可以看出，南通市连接的边最多，其度与权重都是最大的，即与南通市合作的企业数以及合作的次数最多，说明南通市是区域合作中最重要的节点；泰州市、南京市与镇江市连接的边也较多。从接近中心性的排序可以看出，泰州市、南京市的接近中心性最高，说明泰州市与南京市传播信息的独立性较好，不受其他地区的控制；泰州、南京、南通、无锡、镇江等市的中介中心性较高，说明这几个地区在船舶与海洋工程装备产业的专利区域合作中较为重要；而盐城市、苏州市在网络中处于孤立的状态，只在本区域内进行合作，未与整个网络连通。

5 结论

本文利用专利数据对江苏省船舶与海洋工程装备产业专利技术进行了分析。在研究过程中，分别从江苏省船舶领域和海洋工程装备产业层面进行分析，具体包括专利发展趋势、专利权利人的分布、专利技术的分布、专利法律状态、专利申请（授权）量、专利申请（授权）量年度变化态势、专利申请人（专利权人）类型和专利申请（授权）技术构成等方面的分析。通过这些分析对江苏省船舶与海洋工程装备产业的技术发展得出以下结论：

（1）专利整体处于领先水平。江苏省依托传统船舶行业发展基础和经验，在专利申请（授权）量方面，江苏省船舶与海洋工程装备产业明显高于其他重点省份，处于国内领先地位。在专利技术方面，江苏省船舶与海洋工程专利技术主要集中在船舶起重装置、污水处理和其他船用附属设备等方面，技术优势明显。因此，我省应继续保持领先优势，发扬船舶传承精神，打造船舶领域尖端链条。

（2）专利资源呈现良性发展。从专利资源来看，船舶领域专利申请量和授权量均呈现逐年上升趋势；海洋工程装备产业专利授权量分布情况与各市经济科技发展情况相一致。因

此,我省应继续维持专利申请势头,在注重数量的同时,努力保证专利质量,高度关注船舶领域的研发创造,积极创新船舶技术,领先全国,努力达到国际水平。

(3) 重点企业专利区域合作趋向两极化。从专利区域合作方面,泰州、南京、南通、无锡、镇江等地区在船舶与海洋工程装备产业的专利区域合作中处于重要地位,而盐城市、苏州市在网络中处于相对孤立状态。因此,政府应牵头建立船舶领域合作联盟,强市带动弱市,强企带动弱企,打造船舶强省。

(4) 生产经营和经济运行均面临挑战。江苏省作为我国第一造船大省和世界重要的造船产业基地,通过各种方式主动减压和化解产能过剩,努力保持船舶产业平稳发展,并依据自身特点,大力推进智能制造,积极主动与有关部门对接,稳步推进船舶行业智能制造试点示范,为船舶与海洋工程装备产业企业间交流提供平台。因此,政府应以优惠的扶持政策,甚至直接进行资金支持,推动我省船舶产业走出江苏,走向全国,甚至走向海外;企业应积极扩张省内市场,抓住全球发展机遇,进军国外市场。

参考文献:

- [1] 刘志军. 我国船舶工业协同创新平台研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2017.
- [2] 吴秀霞. 推动创新发展 实现转型升级[N]. 中国船舶报, 2017-04-19(002).
- [3] 张相木. 抓住战略机遇 促进船舶工业持续快速发展[J]. 国防科技工业, 2005(7):32-34.
- [4] 徐佳宾. 中国船舶工业发展的战略思考[J]. 中国工业经济, 2002(12):48-56.
- [5] 张信学, 赵峰, 王传荣, 等. 绿色船舶技术发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2016, 18(2):66-71.
- [6] 王世明. 绿色船舶的现状和发展前景分析[J]. 中国造船, 2008, 49(s1):48-57.
- [7] 刘家国. 我国船舶配套业发展现状及障碍分析[J]. 科技进步与对策, 2009, 26(17):58-61.
- [8] 王锦连. 船舶工业实施方案和海洋工程装备[J]. 科技信息:石油与装备, 2013(5):57-58.

全球船舶与海洋工程装备产业专利分析*

刘智洁¹, 盛永祥^{1,2}, 姚潇¹

(1. 江苏科技大学 经济管理学院, 江苏 镇江 212003;

2. 江苏科技大学 服务制造模式与信息化研究中心, 江苏 镇江 212003)

摘要: 以船舶与海洋工程装备产业为主要研究对象, 分析船舶与海洋工程装备产业的专利技术。阐述全球专利申请趋势、中国专利申请技术发展趋势、全球原创专利申请区域分布等, 并针对我国船舶与海洋工程装备产业发展动向提出建议。

关键词: 船舶; 海洋工程装备; 专利; 发展趋势

中图法分类号: F273 文献标识码: A

1 全球专利申请趋势分析

1.1 一般用途船舶领域

截止到 2017 年 10 月, 不考虑外观设计, 全球涉及一般用途船舶技术产业的专利申请共 1296538 件, 1998-2017 年间专利申请趋势如图 2-1 所示。

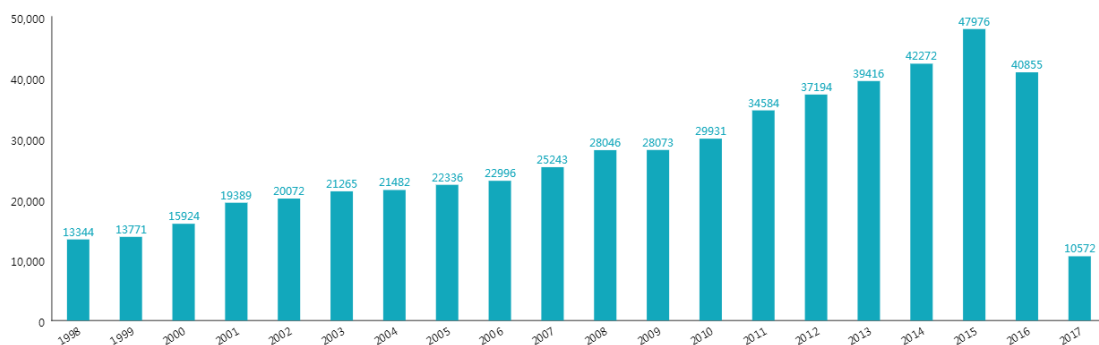


图 1 一般用途船舶领域全球专利申请趋势

由图 1 可知, 1998-2017 年间, 一般用途船舶领域在全球专利申请量为 534741 件, 占全球专利申请量的 41.24%。从年增长值来看, 2001-2010 年间专利申请量增长幅度较为平稳, 年增长幅度在 3%-7% 区间变化, 2010-2015 年间专利申请量快速增长, 年增长幅度在 10% 左右。2015 年专利申请量为 47976 件, 达到了历史最高, 是 1998 年的专利申请量的 3.5 倍。

1.2 特殊用途船舶领域

基金项目: 江苏省高校哲学社会科学重点研究基地重大项目“船舶产业转型升级的方法、路径和对策研究”(2015JDXM025)。

作者简介: 徐雷(1993-), 男, 江苏宿迁人, 研究生, 主要研究方向: 知识管理, E-mail: 546019357@qq.com;
盛永祥(1969-), 男, 汉, 江苏大丰人, 博士, 教授, 主要研究方向: 复杂网络, E-mail: syx1969@163.com;
姚潇(1989-), 男, 江苏南通人, 研究实习员, 研究方向: 知识产权。

截止到 2017 年 10 月，不考虑外观设计，全球涉及特殊用途船舶领域的专利申请共 95857 件，1998-2017 年间专利申请趋势如图 2 所示。

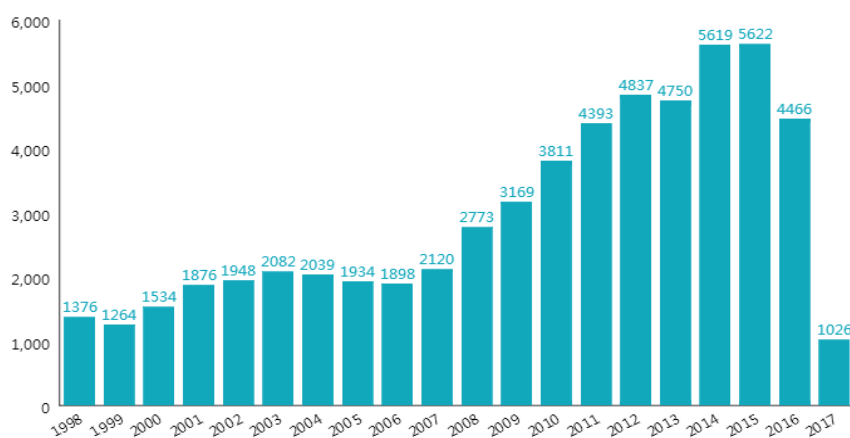


图 2 特殊用途船舶领域全球专利申请趋势

由图 2 可知，1998-2017 年间，特殊用途船舶领域在全球的专利申请量为 58627 件，占全球专利申请量的 61.16%。从年增长值来看，1999-2003 年间专利申请量增长幅度较为平稳，年增长幅度在 5%左右；2004-2006 年间的专利申请量略有下降；2006 年后，专利申请量快速增长，特殊用途船舶技术在全球的发展又迎来了一次新的高峰；2015 年专利申请量跃升至 5622 件，达到历史最高，是 1998 年专利申请量的 4.1 倍。

1.3 海洋工程装备产业

截止到 2017 年 10 月，不考虑外观设计，全球范围内涉及海洋工程装备产业的申请专利共 783241 件，1998-2017 年间专利申请趋势如图 2-37 所示。

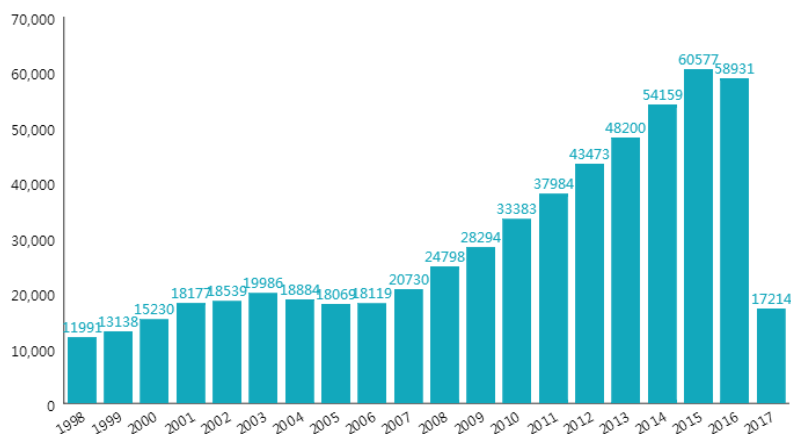


图 3 海洋工程装备产业全球专利申请趋势

由图 3 可知，1998-2017 年间，海洋工程装备产业在全球范围内的专利申请量为 580870 件，占全球专利申请量的 74%。从年增长值来看，2001-2007 年间专利申请量变化幅度较小，2008-2015 年间专利申请量快速平稳增长，年增长幅度在 11%-17%之间，2016 年出现负增长，

全球专利申请下降了 2.7%。

2 中国专利申请技术发展趋势

2.1 一般用途船舶领域

截止到 2017 年 10 月，不考虑外观设计，中国国内涉及一般用途船舶的专利申请共 208628 件。国内专利申请技术发展趋势如图 2-2 所示。

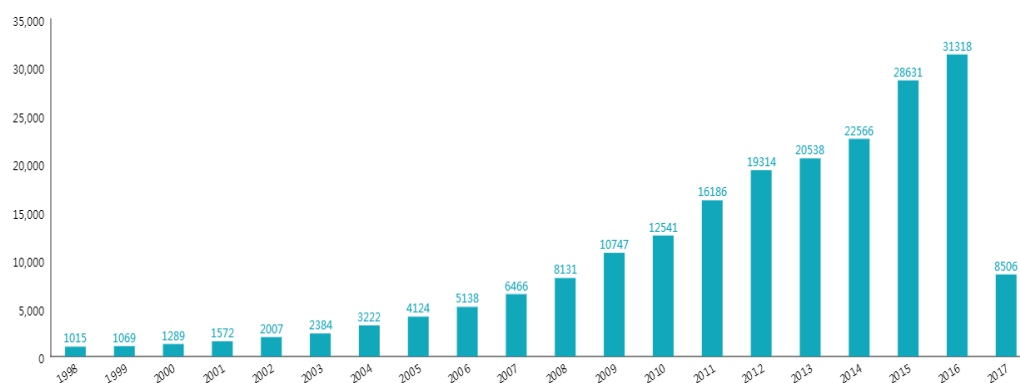


图 4 一般用途船舶领域中国专利申请趋势

由图 4 可知，国内近 20 年专利申请量呈现逐年上升趋势，1998-2007 年间专利申请年增长率在 30%左右，2008-2016 年间专利申请增速明显加快，2016 年一般用途船舶领域国内专利申请数量是 1998 年 30 倍，增速迅猛。

一般用途船舶领域发展态势良好与国家大力推动制造业的转型发展，对企业进行专利创造和运用的引导，鼓励企业走创新的新型发展道路有关，但一般用途船舶制造领域属于传统制造业，依靠资源要素的投入和规模体量扩展的传统发展模式已经难以为继，急需向创新驱动发展转型。

2.2 特殊用途船舶领域

截止到 2017 年 10 月，不考虑外观设计，中国国内涉及特殊用途船舶的专利申请共 23061 件。国内专利申请发展趋势如图 5 所示。

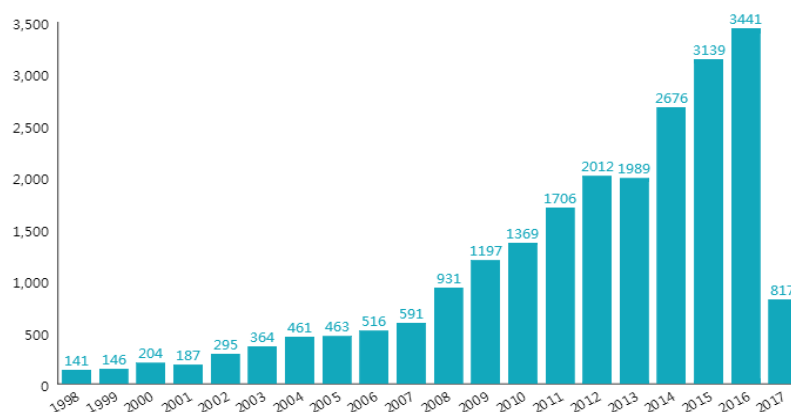


图 5 特殊用途船舶领域中国专利申请趋势

由图 6 可知，国内近 20 年专利申请量呈现逐年上升趋势，1998-2007 年间专利申请年增长量不超过 100 件；而 2008 年至 2012 年则步入了一个快速增长期，平均增长率基本保持在 22%以上；在 2013 年申请量小幅下降以后，2014-2016 年专利申请量迅速回升，2016 年专利申请量增长到 3441 件，是 1998 年专利申请量的 24 倍。

2.3 海洋工程装备产业

截止到 2017 年 10 月，不考虑外观设计，中国国内涉及海洋工程装备产业的专利申请共公开 291888 件。中国专利申请趋势如图 7 所示。

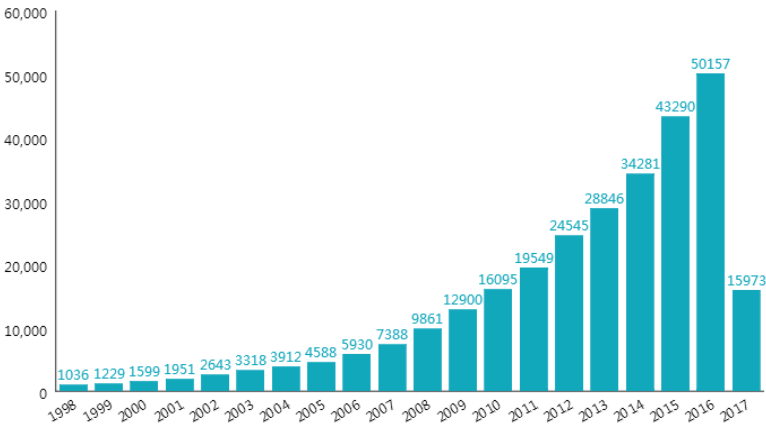


图 7 海洋工程装备产业中国专利申请趋势

由图 7 可知，国内近 20 年专利申请量呈现逐年上升趋势，从 1998-2005 年间专利申请年增长率在 20%左右，2006 年到 2012 年间专利申请年增长率在 20%-35%之间，从 2006-2016 年间专利申请增速明显加快，2016 年海洋工程装备产业中国专利申请数量是 1998 年 48 倍，增速迅猛。

3 全球原创专利申请排名前 10 位的区域

3.1 一般用途船舶领域

一般用途船舶领域全球原创专利申请排名前 10 位的区域如图 8 所示。

表 1 一般用途船舶领域全球原创专利申请量前 10 位区域

序号	国别	专利数量（件）
1	中国	208628
2	日本	194586
3	德国	64047
4	美国	44415
5	韩国	40505

序号	国别	专利数量（件）
6	法国	24126
7	英国	18625
8	苏联	18305
9	澳大利亚	13757
10	加拿大	13757

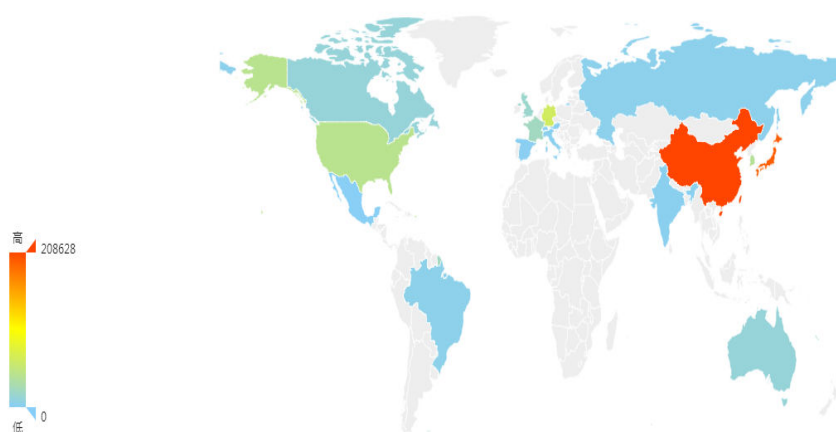


图8 一般用途船舶领域全球原创专利申请前10位区域

由表1和图8可知，不考虑世界知识产权组织（WO）和欧洲专利局（EP）专利申请，原创专利申请数量上中国、日本和德国排在前3位。其中，中国是一般用途船舶领域原创专利申请量最大的国家，原创专利申请量达208628件，占全球一般用途船舶领域专利申请量的17%左右，排名第2、3位的日本和德国占全球申请量的15%和5%左右。美国、韩国、法国分别位于4-6位，原创专利申请量为2万到5万多件。中国原创专利申请量是德国原创专利申请量的三倍，可见中国在一般用途船舶技术领域的科研投入较大，掌握了大量的相关专利，是原创专利申请量增长最快的国家。

3.2 特殊用途船舶领域

特殊用途船舶领域全球原创专利申请排名前10位的区域如图9所示。

表2 特殊用途船舶领域全球原创专利申请量前10位的区域

序号	国别	专利数量（件）
1	中国	23061
2	日本	16905
3	韩国	11050

序号	国别	专利数量（件）
4	德国	6694
5	苏联	5161
6	美国	5044
7	英国	4093
8	法国	4051
9	澳大利亚	2562
10	加拿大	2376

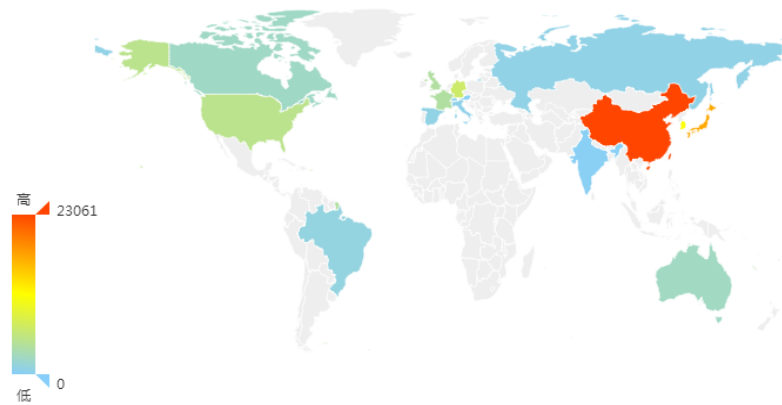


图9 特殊用途船舶领域全球原创专利申请前 10 位区域

由表 2 和图 9 可知，不考虑世界知识产权组织（WO）和欧洲专利局（EP）专利申请，原创专利申请数量上中国、日本和韩国排在前 3 位。其中，中国是特殊用途船舶领域原创专利申请量最大的国家，专利申请量达 23061 件，占全球特殊用途船舶领域专利申请量的 12.3% 左右，排名第 2、3 位的日本和韩国占全球申请量的 9% 和 5.9% 左右。德国、苏联、美国分别位于 4-6 位，原创专利申请量分别为 6694 件、5161 件、5044 件。中国原创专利申请量是韩国原创专利申请量的两倍，可见中国在特殊用途船舶领域的科技投入较大，申请了大量的相关专利，在该领域处于专利领先的地位。

3.3 海洋工程装备产业

海洋工程装备产业全球原创专利申请排名前 10 位的区域如图 2-39 所示。

表 3 海洋工程装备产业全球原创专利前 10 位区域申请量

序号	国别	专利数量（件）
1	中国	291888

序号	国别	专利数量（件）
2	日本	144044
3	美国	45125
4	韩国	37134
5	德国	29089
6	加拿大	27711
7	英国	23315
8	澳大利亚	22575
9	法国	16132
10	巴西	9840

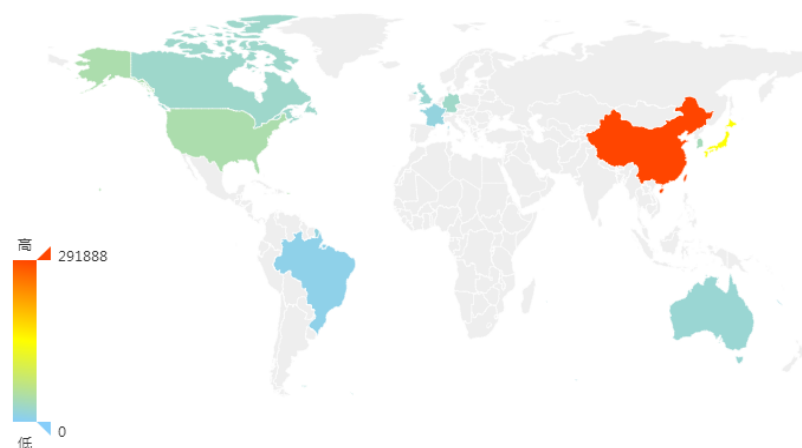


图 10 海洋工程装备产业全球原创专利申请前 10 位原创区域

由表 3 和图 10 可知，不考虑世界知识产权组织（W0）和欧洲专利局（EP）专利申请，原创专利数量上中国、日本和美国排在前 3 位。其中，中国是海洋工程装备产业专利原创申请量最大的国家，专利申请量达 29188 件，占全球海洋工程装备产业专利申请量的 37.27%，排名第 2、3 位的日本和美国占全球申请量的 18%和 5%左右，中国原创专利申请量较大，这与中国专利申请的特点有关，日本和美国在海洋工程装备产业具有较强的实力。韩国、德国、加拿大分别位于 4-6 位，专利申请量为 2 万至 3 万件左右。因此中国、日本、美国、韩国是主要的专利产出国，来自这五个国家的原创专利申请量占据全球该技术产出量约 70%。

4 国外来华专利申请量前 10 位的区域分布

4.1 一般用途船舶领域

国外来华专利申请量前 10 位的区域分布如图 11 所示。

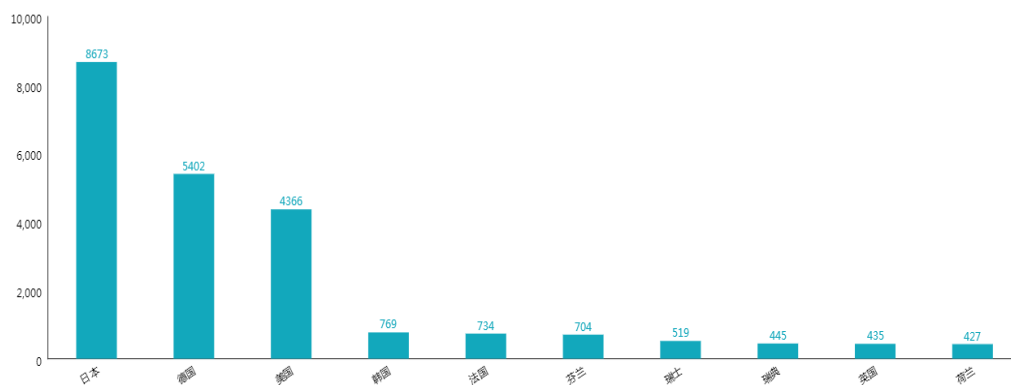


图 11 国外来华专利申请量前 10 位的区域分布

由图 11 可知，在一般用途船舶领域，日本、德国、美国是国外来华专利申请量居前 3 位的国家，分别以 8673 件、5402 件、4366 件占中国专利申请总量的 4.09%、2.54%、2.06%，基本上都为发明专利。韩国、法国、芬兰来华专利申请量分别为 769 件、734 件、704 件，共占中国专利申请总量的 0.3% 左右。瑞士、瑞典、英国和荷兰的来华专利申请量为 400 件左右，占中国专利申请总量的 0.2% 左右。综合分析可以得出，除国际上的造船大国来华开展专利布局外，传统历史上造船业比较发达的北欧和西欧国家也倾向于来华布局，且布局专利几乎都为发明专利。

4.2 特殊用途船舶领域

国外来华专利申请量前 10 位的区域分布如图 12 所示。

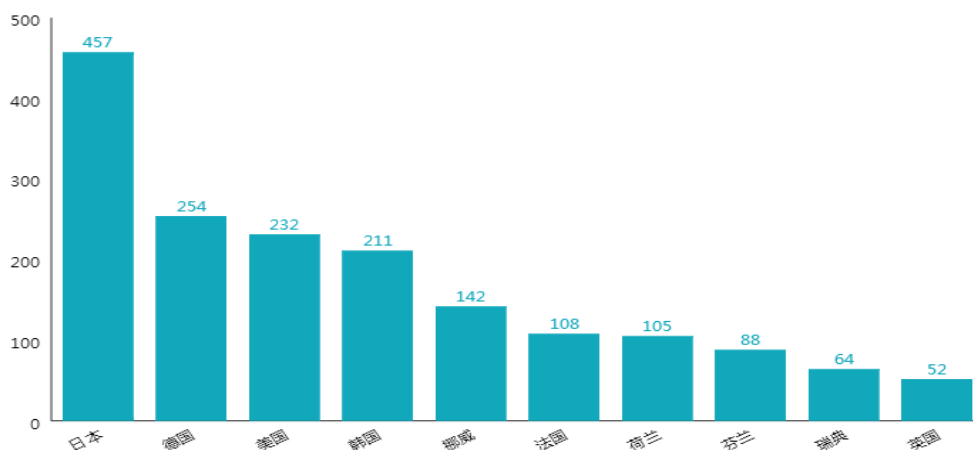


图 12 国外来华专利申请量前 10 位的区域分布

由图 12 可知，在特殊用途船舶领域，日本、德国、美国是国外来华专利申请量居前 3 位的国家，分别以 457 件、254 件、232 件占中国在该领域专利申请总量的 2.0%、1.1%、1.0%，基本上都为发明专利。韩国、挪威、法国来华专利申请量分别为 211 件、142 件、108 件，占中国专利申请总量的 0.9%、0.6%、0.4%。荷兰、芬兰、瑞典和英国的来华专利申请量都在 100 件左右，共占中国专利申请总量的 1.0% 左右。从国外来华专利申请量的区域分布上

可以看出，来自日本和德国的专利申请明显领先于其他国家或地区的来华申请，其表明了代表世界较强经济体国家在我国特殊用途船舶领域已经形成了一定的专利布局。

4.3 海洋工程装备产业

国外来华专利申请量前 10 位的区域分布如图 13 所示。

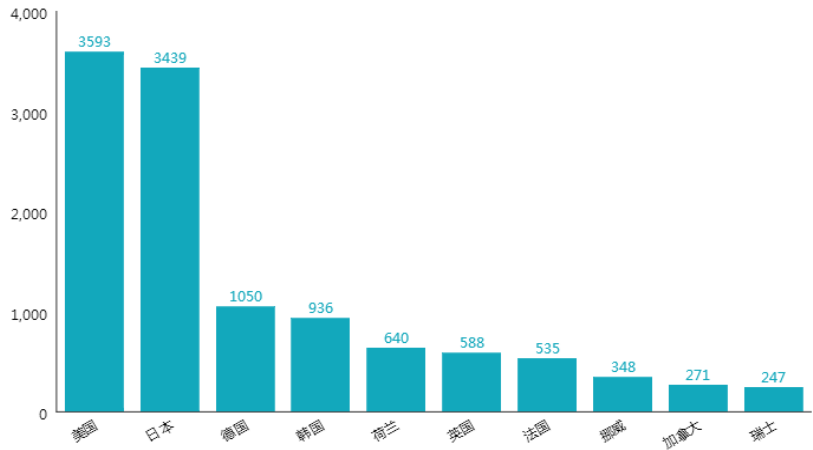


图 13 国外来华专利申请量前 10 位的区域分布

由图 13 可知，在海洋工程装备产业，美国、日本、德国是国外来华专利家族申请量居前 3 位的国家，分别以 3593 件、3439 件、1050 件占中国专利申请总量的 1.23%、1.18%、0.04%，来华专利中发明专利占比较大。韩国、荷兰、英国来华专利申请公开量分别为 936 件、640 件、588 件，共占中国专利申请总量的 0.7%左右。法国、挪威、加拿大和瑞士的来华专利申请量在 200-600 件之间。

美国在海洋工程技术设备及研发方面长期处于全球领先地位，全球海洋石油装备市场 50%为美国的跨国公司所拥有，技术优势非常明显，此外美国非常注重知识产权保护，在专利申请中占有一定的优势。日本的专利申请保持力度较为明显，每年都在海洋装备领域开展多项专利布局工作。从各国来华专利的申请数量来看，来华企业在国内的实力并没有形成垄断形式，进入国内的来华企业的技术也没有明显的优势，虽然来华的企业大多仍然是国际化集团型企业，但是其技术却没有完全用专利布局的形式凸现出来，所以国内企业具有很好的发展空间。

5 全球排名前 10 位专利权人

5.1 一般用途船舶领域

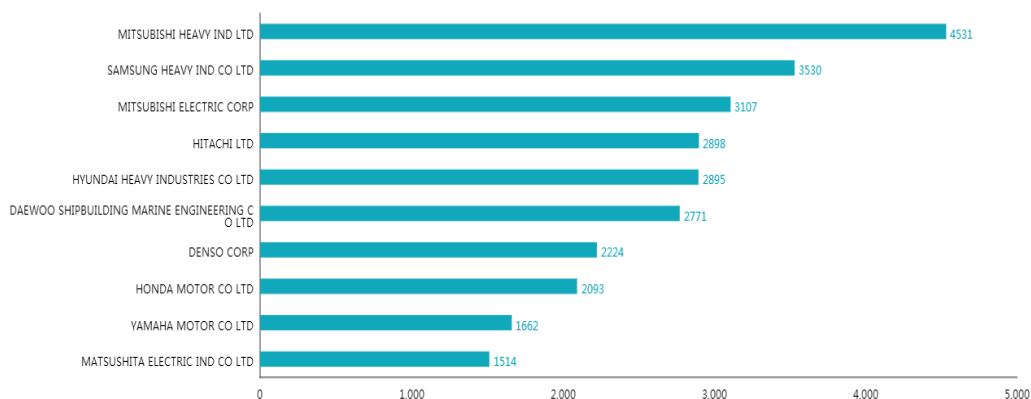


图 14 一般用途船舶领域全球前 10 位专利权人排名

由图 14 可知，排名前 10 位的基本都是日本公司，说明日本在一般用途船舶领域拥有很强的实力，其中日本三菱重工的专利申请量最多，达到 4531 件。

进一步对一般用途船舶领域全球排名前 10 的专利权人的技术构成进行统计，以期望更加客观的认识强势专利权人的技术构成，统计后得到图 15。

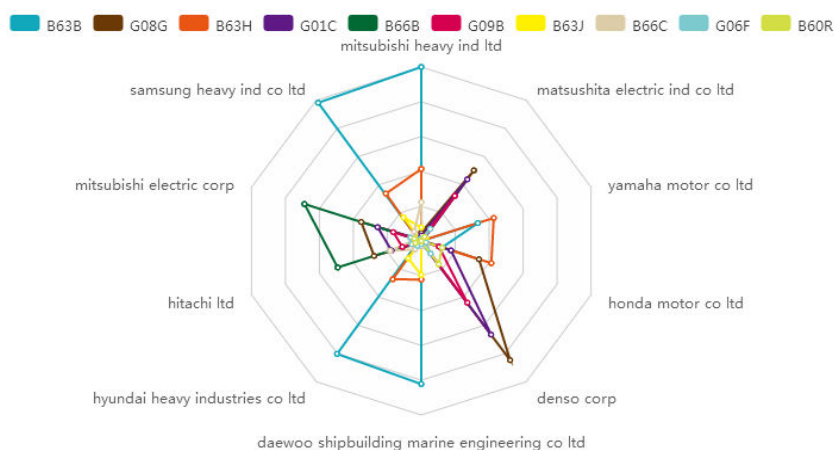


图 15 一般用途船舶领域主要专利权人技术构成

由图 15 可知，排名前 10 位的专利权利人的技术构成主要集中 B63B（船舶或其他水上船只；船用设备）、G09B（天象仪；地球仪；地图；图表）、G01C（测量距离、水准或者方位；勘测；导航；陀螺仪）、G08G（交通控制系统）、B63H（船舶的推进装置或操舵装置）、B66B（升降机；轨道系统）等技术领域，其中 B63B、G09B、G01C、G08G、B66B 节点最为突出。

5.2 特殊用途船舶领域

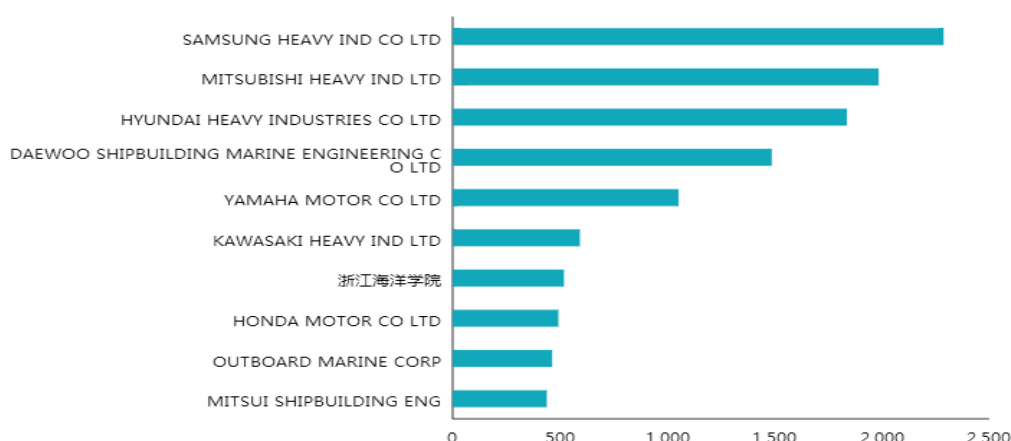


图 16 特殊用途船舶领域全球前 10 位专利权人排名

由图 16 可知，全球排名前 10 位的专利权人中有五家日本企业和三家韩国企业，显示出日本和韩国在特殊用途船舶技术领域的实力相对较强，其中排名第一的韩国公司的专利申请量为 2497 件。

进一步对特殊用途船舶领域全球排名前 10 的专利权人的技术构成进行统计，以期望更加客观的认识强势专利权人的技术构成，统计后得到图 17。

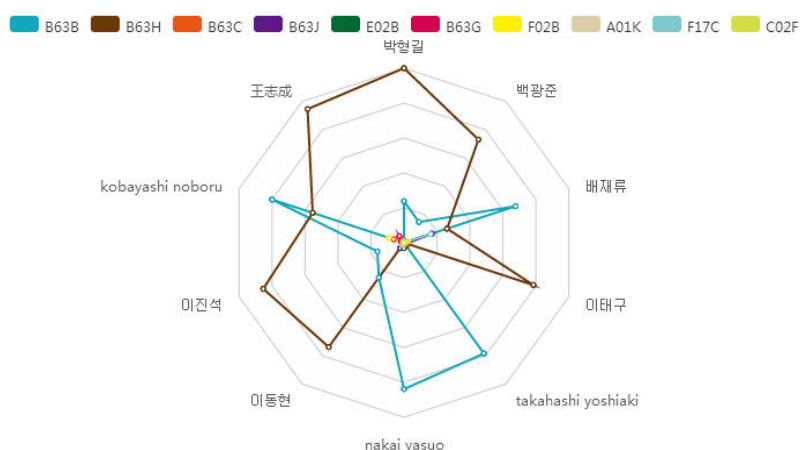


图 17 特殊用途船舶领域主要专利权人技术构成分析

由图 17 可知，全球特殊用途船舶领域主要专利权人的技术构成主要集中在 B63H（船舶的推进装置或操舵装置）、F17C（盛装或贮存压缩的、液化的或固化的气体容器；固定容量的贮气罐；将压缩的、液化的或固化的气体灌入容器内，或从容器内排出）、B63G（舰艇上的攻击或防御装置）、B63B（船舶或其他水上船只；船用设备）等技术类别，其中 B63H 和 F17C 节点最为突出。

5.3 海洋工程装备产业

由图 18 可知，全球主要申请人大多涉及的是石油产业领域的相关企业，这也和本文章的技术分解中包括石油开采方法等石油领域相关。海洋工程装备产业全球范围专利权人第 1

名是来自阿联酋的公司，其专利授权量为 3670 件；第 2、3 名为中国企业，排名前 10 位中有五家是中国企业或高校，分别为中国石油天然气股份有限公司、中国石油化工股份有限公司、中国海洋石油总公司、中国石油天然气集团公司和西南石油大学，国内企业在该技术领域具有一定的实力。

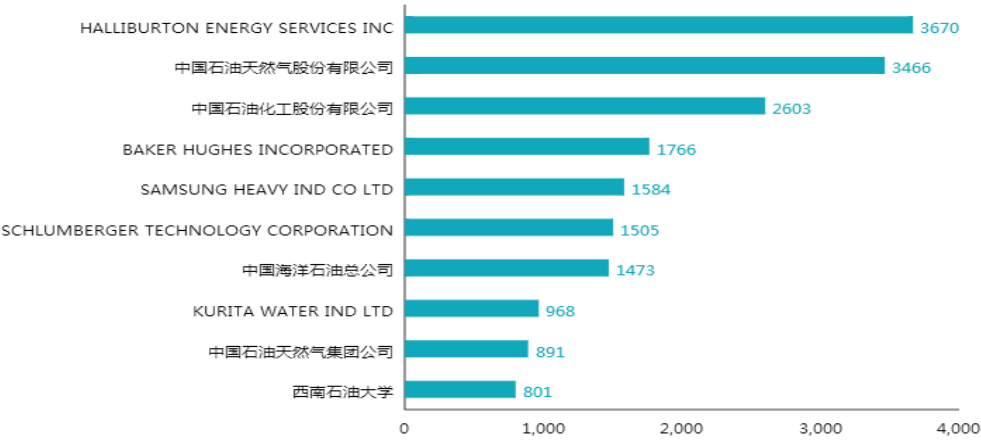


图 18 海洋工程装备产业全球前 10 位专利权人排名

由图 18 可知，日本和美国在该技术领域具有相当强的实力，涉及的企业大多都是国际化非常强的企业，可以为海洋工程石油开发领域的客户提供全方位的服务，并且其专利布局策略非常的完善，在各个领域都有专利布局。

进一步对海洋工程装备产业全球排名前 10 位专利权人的技术构成进行统计，以期望更加客观的认识强势专利权人的技术构成，统计后得到图 19。

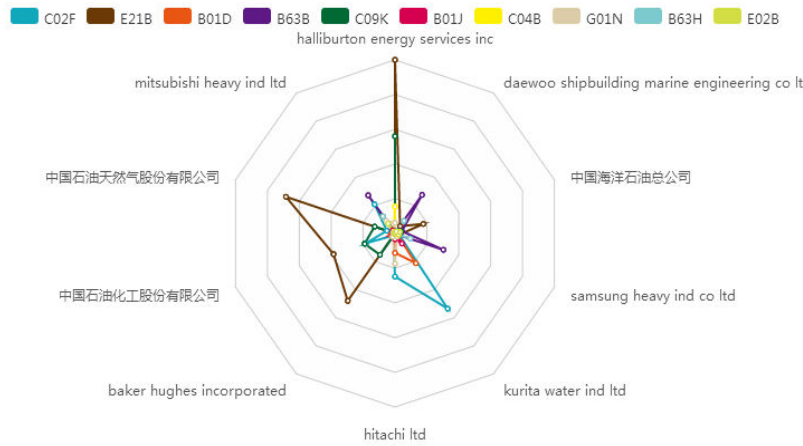


图 19 海洋工程装备产业主要专利权人技术构成分析

由图 19 可知，排名前 10 的专利权人的技术构成主要集中在 C02F（水、废水、污水或污泥的处理）、E21B（土层或岩石的钻进）、B01D（分离技术或者设备）等技术类别，主要技术力量都聚集在海底采油设备或者装置这一关键技术点。

6 结语

本文通过 patSnap 专利数据库检索船舶与海洋工程装备领域专利数据,并对全球专利申请趋势、中国专利申请技术发展趋势、全球专利申请排名前 10 位的原创区域、国外来华专利申请量前 10 位的区域分布、全球排名前 10 位专利权人进行分析,提出以下建议:

(1) 鼓励船舶企业向创新驱动发展转型。我国应增加各省在船舶和海洋工程装备领域专利技术研发所需的资源投入;组织船舶相关企业与科研机构合作共同提升我国船舶和海洋工程装备的发展水平,加快突破性技术发展,提高我国船舶与海洋工程装备产业在全球的影响力。

(2) 加强船舶领域产业发展。我国应稳定在船舶与海洋工程装备产业中的专利技术发展,保持我国在全球领域内的原创专利优势,同时,加强在一般用途船舶领域的专利研发,提高其专利质量,加强各国之间船舶与海洋工程装备技术的学习交流,促进我国产学研合作以推进一般用途船舶领域产业的原创专利技术的增长。

(3) 及时追踪各国专利发展趋向。我国应监控在船舶与海洋工程装备产业的各国技术专利,追踪技术发展态势,缩小我国与国际领先水平的差距,提高我国在船舶与海洋工程装备领域的竞争力,提高专利产出,提升专利质量,加大专利技术创新,提升我国国际竞争力。

参考文献:

- [1] 刘家国. 我国船舶配套业发展现状及障碍分析[J]. 科技进步与对策, 2009, 26(17):58-61.
- [2] 赵英. 中国船舶工业发展[J]. 西部论丛, 2010(9):62-64.
- [3] 刘绍满, 王宁, 吴兆麟. 船舶领域研究综述[J]. 大连海事大学学报, 2011, 37(1):51-54.
- [4] 黄金, 李杰, 王爱军. 绿色船舶的现状及其发展趋势探索[J]. 科技风, 2014(20):222-222.
- [5] 邵天骏, 施爱中. 全球船舶市场的发展趋势[J]. 世界海运, 1994(4).
- [6] 阴晴, 谢予. 2017 年全球船舶市场形势与未来展望[J]. 世界海运, 2018(4).
- [7] 张相木. 我国船舶工业的机遇与挑战[J]. 港口经济, 2008(1):60-60.
- [8] 周文魁. 江苏海洋工程装备产业发展研究[J]. 当代经济, 2015(26):12-14.
- [9] 陆金铭. 船舶与海洋工程学科的核心竞争力及其培育路径探析[J]. 高教论坛, 2018(07):86-89+120.

新型全电力推进车客渡船设计分析

于全虎 李镇宇 谭惠娟

(江苏省船舶设计研究所有限公司, 江苏 镇江 212003)

摘要: 为满足长江车客渡运业对安全、环保、节能减排、车辆重载及经济性的发展需求, 通过主尺度、船型、阻力推进、操纵性、船体结构等方面的数值分析与性能优化, 结合全电力推进系统的系统特性、系统架构、储能装置、变速发电等关键技术分析, 研发了综合经济技术优良的新型全电力推进车客渡船, 实现了船舶重载能力和载重量提高而空载重量降低, 操纵性能优化, 营运安全性更高, 节能减排效果明显。新型全电力推进车客渡船设计与优化分析可为全电力推进内河车客渡船的设计提供一定参考。

关键词: 电力推进; 车客渡船; 设计; 分析

中图分类号: U662.2 **文献标志码:** A

作者简介: 于全虎 (1974年—), 男, 高级工程师, 主要从事船舶设计与科研。

0 引言

1991 我国第一艘对转桨全回转车客渡船正式营运于江苏省长江驳运公司江阴黄田港渡口, 极大地提高了长江渡运的安全性和营运经济性。随着船舶设计和设备研发水平不断提高, 长江车客渡船总体技术水平持续提升, 但主推进模式还是柴油机通过超长轴系机械推进。目前, 电力推进在国际上被列为船舶主要节能技术之一, 这也符合国内内河船舶推进能源及动力方式多样化、绿色动力及节能减排的发展趋势, 因此, 非常有必要将电力推进与现有车客渡船技术结合进行新型全电力推进车客渡船 (简称新电推船) 研发。新电推船的研发涉及船舶主尺度参数、船型、阻力推进、操纵性、结构优化等船舶总体性能优化分析, 并在此基础上确定电力推进系统架构体系, 进行电力推进系统的设备选型及设计。

1 主参数及船型确定

基于新电推船的各项性能预期要求, 参考同类成熟船型设计经验和应用情况分析, 对新电推船的主参数及船型进行分析、优化。

(1) 船长: 一般单重型货车长 8~12m, 半挂车约 15.8~18.8m。新电推船考虑 4 列车辆组合, 船长选择 63m, 甲板长可满足一次渡运 16 辆重载车辆的需求;

(2) 型宽: 一般重型货车宽度 2.5 m, 现有 60 m 车客渡船甲板最大装载宽度为 12.7 m, 车辆之间的通道间距要满足中国船级社相关规范 (简称规范) 要求^[1], 只能装载 3 排车辆; 新电推船型宽加宽到 15.4 m, 增加主桥架结构宽度以提供更为宽敞的散客处所, 同时缩小副桥架结构宽度, 装载宽度达 13.35m, 满足 4 排车辆停放, 提高了渡船的装载效率和单航次

渡运量，缩短了单车装卸时间，经济效益显著提高；

（3）型深与吃水：车客渡船型深高会导致车辆上下船角度大，爬坡吃力，存在安全隐患；由于规范对该类船稳性要求不断提高，降低型深则不能满足要求，结合码头条件、排水量等综合考虑设计型深为 3.5m；

（4）载重量：车客渡船的载重量一般按客、货车混装考虑，而新电推船需满足一次渡运 16 辆重载货车，载重量达到 720t，比普通车客渡船增加 50%以上；

（5）船型：载重量增加使船体方形系数变大，航行阻力增加，船速降低，甚至导致船舶操纵性能下降，对频繁横越长江主航道的渡船非常不利。新电推船在首尾各增加 1.5m 延伸结构，以增加甲板面积并强化舵桨装置保护，结合梭形线型优化，降低船首兴波阻力。

2 阻力推进计算分析

新电推船与阻力推进有关的主要参数选取见表 1，满载状态下无限水深船体（包括附体）有效功率通过理论计算获得，伴流、推力减额及旋转效率依据经验选取，通过建立 CFD 理论模型（图 1），对车客渡船在某航速下的波形图进行分析，可以看出前后延伸结构具有明显的压浪作用（图 2），明显改善船舶阻力性能。在设计航速附近阻力下降约 12%，速度较高时阻力降低效果更加明显。

表 1 新电推船与阻力推进有关的主要参数

船长（型长）L'（m）	60.0
甲板长（含前后延伸结构）L（m）	63.0
型宽 B（m）	15.4
设计吃水（A/B级）d（m）	2.35/2.60
排水量Δ	1400
片体方形系数C _b ：	0.607
推进电机功率（数量*kW）	2*350
推进电机转速（r/min）	1500
Z型推进器传动效率	0.9458
设计时主机温度修正引起的效率	0.95
考虑轴系传动与温度修正系数	0.92

3 操纵性能分析

通过模拟船舶18km/h航速时不同舵桨间距的操纵性（图3），可以看出两种间距下船舶初转期的无量纲时间都约为1.158，与现有49m全回转车客渡船操纵性试验的正常航速初转

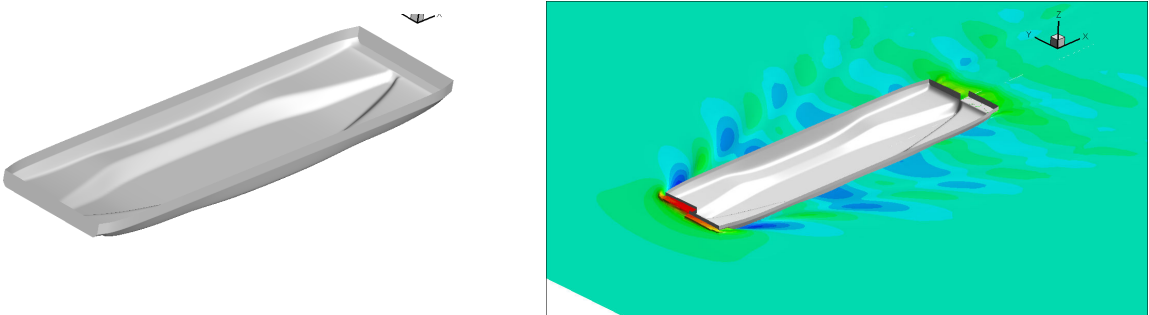
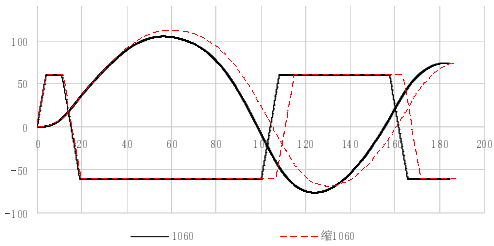


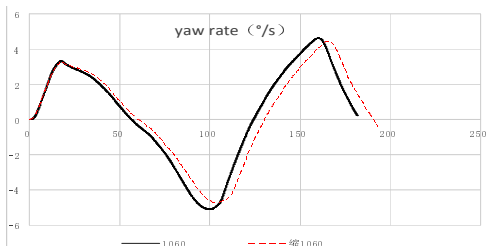
图 1 CFD 理论模型

图 2 有无延伸结构的波形对比

期1.19相当（图4）。在船舶尺度增大、装载量大幅增加的情况下，操纵性相关指标（船舶初转期、第一超越角）与49m全回转车客渡船基本相当，表明新电推船操纵性能不低于尺度和载重量更小的现有49m全回转车客渡船。



(a) 不同间距下操纵首向角和舵角时历曲线



(b) 不同间距下操纵自回用转回速率时历曲线

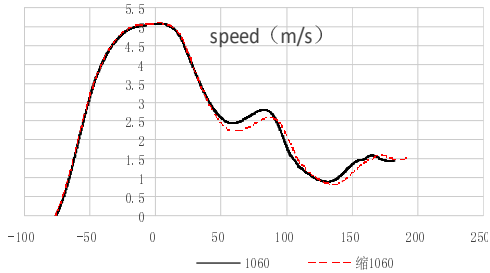
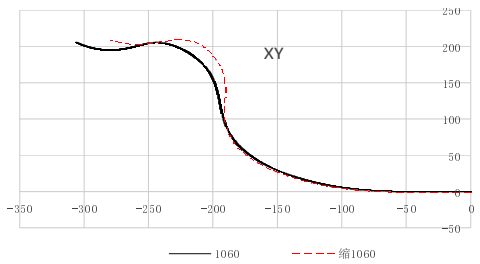


图 3 操纵性模拟分析

4 船体结构优化

4.1 主船体结构优化

随着车辆载重量增加，轮轴负荷不断加大，车客渡船船体强度必须加强。新电推船主甲板和跳板结构用钢由常用的AH36改为E550，在重量减小约25t情况下结构强度满足载重要求；同时衍架结构改为拱梁结构，不仅能提高机舱内工作区域舒适度，而且减少了用钢量。

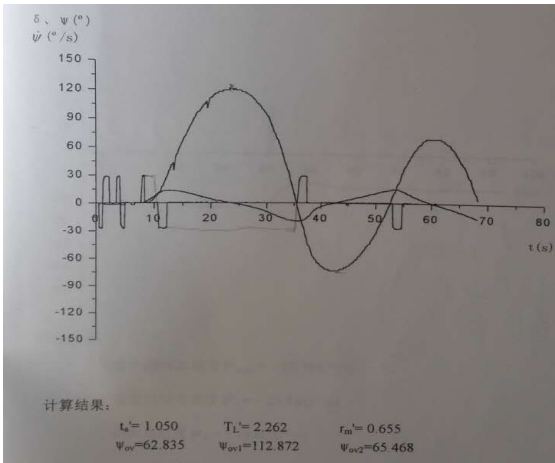


图 4 49m 车客渡船操纵性试验结果

采用MSC公司开发的MSC/PATRAN、MSC/NASTRAN软件全船建模（图5），甲板、船底板、纵横舱壁等平板结构，以及肋板、船底桁材、甲板纵桁、强横梁、舷侧纵桁、舷侧强肋骨、舱壁水平桁、舱壁垂直桁等强构件腹板用板单元模拟；面板用梁单元模拟；其他普通构件及支柱用梁单元模拟，进行有限元强度校核。

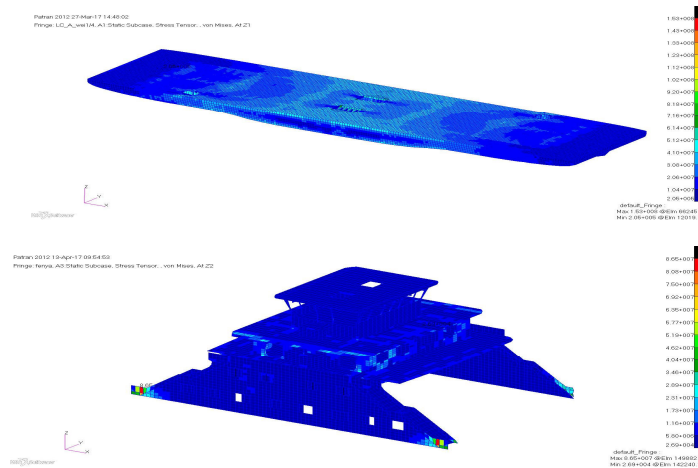


图 5 全船有限元模型

（1）全船主要结构有限元强度校核结果见表2，均满足规范要求。甲板及其结构用钢由AH36（材料系数 $K=0.72$ ）改为E550（材料系数 $K=0.615$ ），实际增加了结构强度，满足船舶重载需求；

表 2 全船主要结构有限元强度校核结果

结构分类	许用应力 σ_e (N/mm ²)	满载出港/满载 到港/空载到港
甲板板	192/K	64.7/66.4/73.4
强横梁	192/K	75.9/76.3/55.3
强横梁面板	176/K	52.6/53/53.3
甲板纵桁	192/K	66.7/69/64.9
甲板纵桁面板	181/K	74.3/75.5/62.4
船体外板	192	73.9/75.9/88.5
舷侧强肋骨、纵桁	192	86.2 /85.5/82.9
船底龙骨	192	95.6/95.9/94.6
船底实肋板	192	41.3/40.4/38.6

横舱壁	192	87.8/95.9/91.1
舱壁垂直桁	192	41.2/78.4/81.4
全船骨材	176	93.9/95.1/92.1

(2)车客渡船的船型属于宽深比较大的“扁宽型”，且主船体布置需要横舱壁间距较大，因而横向强度也需重视。甲板采用纵骨架式，船底及舷侧采用横骨架式，在保证船体总纵强度的基础上，确保船舶横向强度。全船总纵强度及屈曲强度的有限元建模（图6）及计算结果（表3）满足规范要求：最大总纵弯曲应力约 95.9N/mm^2 ，小于许用值 192N/mm^2 ；

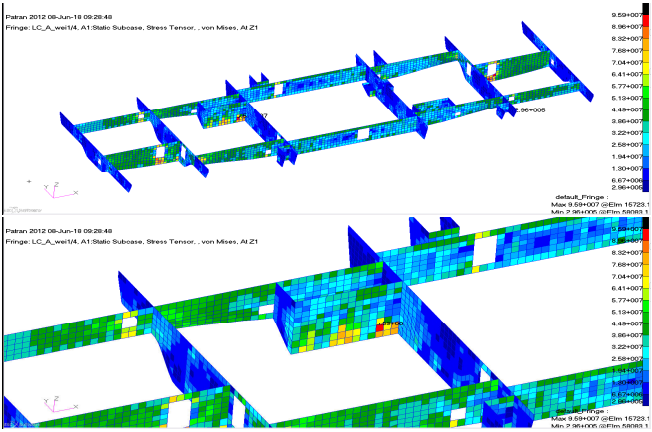


图 6 横舱壁、纵舱壁有限元相当应力计算建模

屈曲安全因子 $\lambda > 1$ 。

表 3 板格屈曲校核结果

结构分类	σ_x (N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	τ_{xy} (N/mm ²)	K_1	K_2	λ
甲板最大板格	82.4	46.2	37.7	0.742	0.751	1.782
船底最大板格	53.5	31.2	45.4	1.226	1.235	1.644
舷侧最大板格	24.8	16	24.8	4.603	1.084	1.098

4.2 跳板结构优化

(1) 新电推船的梭形线型两端瘦削，造成空载时船舶的纵倾角和横倾角相应增大，重载车辆上船时会对舵桨或船体造成损坏，设计时适当增加了大跳板长度，使船舶远离码头以保护舵桨和船体结构。跳板加长会使跨距变大，结构尺寸要相应加大才能满足强度要求，而结构尺寸加大会增加自身重量且增加船舶转动惯量；

(2) 为避免重型车辆快速上船造成的重量载荷和冲击载荷对曲面跳板损坏的加剧，需改变曲面跳板反面强纵桁的几何形状，利用渡船由于重型车辆上下时受到的冲击载荷产生纵倾，船端和主跳板一同下沉，使主跳板纵桁的“T”型材面板与斜坡码头接触部位向船侧后移，使其负载跨距缩短（即作用在简支梁上的载荷不变，随着跨距减小，该梁最大应力相应减小）；

(3) 跳板材料由E550代替之前常用的AH36低合金高强度钢，跳板重量不增加而强度增大，确保跳板长期承受车辆冲击不发生局部疲劳损坏。图7为跳板有限元应力计算建模，表4为相应的计算结果。

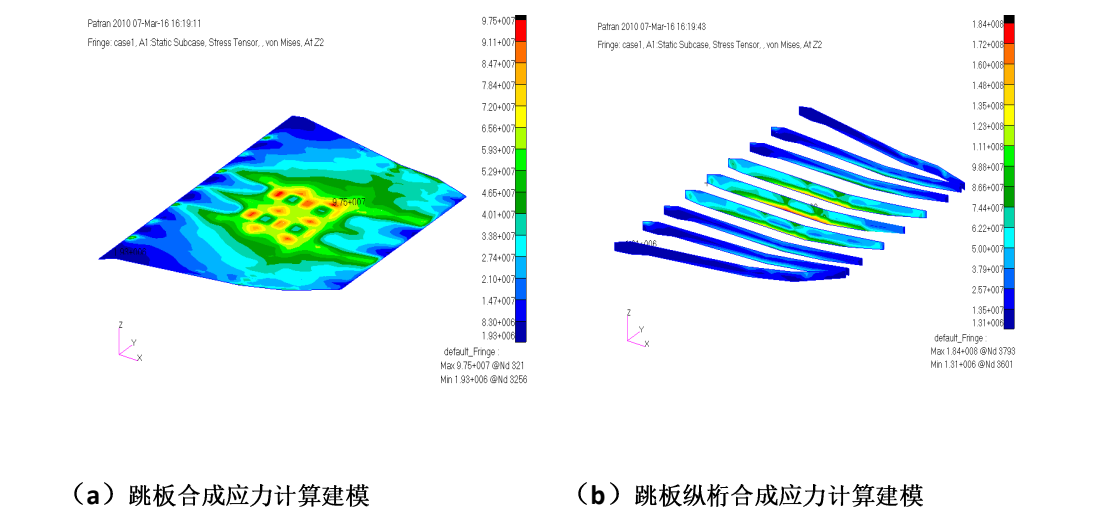


图 7 跳板有限元应力计算建模

表 4 跳板结构许用应力及计算结果

结构分类	应力种类	AH36			E550		
		许用值 (N/mm ²)	实际最大值 (N/mm ²)	安全余度	许用值 (N/mm ²)	实际最大值 (N/mm ²)	安全余度
跳板甲板	σ_e	215	74.8	140.2	252	97.5	154.5
跳板纵桁腹板	σ_e	187	160	27	219	184	35
跳板纵桁面板	σ_z	177	164	13	208	189	19

跳板横梁	σ_z	177	137	40	208	165	43
------	------------	-----	-----	----	-----	-----	----

综上所述，新电推船在载重量、船宽、方形系数均增加的情况下，降低了空船重量，装载能力增强，单位装载量主机功率偏低，航速没有降低，阻力性能、操纵性能不低于现有车客渡船，整体性能得到优化，节能和经济性获得提升。新电推船与现有长江车客渡船的主要参数对比见表5。

表5 新电推船与现有长江车客渡船主要参数对比

参数 船型	甲 板长 L (m)	型宽 B (m)	型深 D (m)	设计吃水 d (m)	载重量 (t)	主机 功率 (kW)	航速 (km/h)
	含前后 延伸结 构	无 前 后 延 伸 结 构					
60m 车客 渡船	63.0 /	14.8	3.5	2.40 (A 级)	500 (A 级)	2×351	18.5
49m 车 客渡船	54.0	/	14.4	3.3 2.20/2.40 (A/B 级)	310/450 (A/B 级)	2×220	17.5
45m 车 客渡船	/	45.0	13.8	3.1 2.10/2.25 (A/B 级)	240/330 (A/B 级)	2×220	18.0
新电 推船	63.0	/	15.4	3.5 2.35/2.60 (A/B 级)	470/700 (A/B 级)	2×350*	18.5
备注：(*) 350 kW 为推进电机功率							

5 全电力推进系统分析

5.1 电力推进系统特性

根据新电推船的设计优化分析，以及对新一代节能型车客渡船的研制要求，全电力推进系统需具备如下基本特点：

(1) 起动加速性好，制动快，正、反车速度切换快，推进器正反转各种转速下都能提供恒定转矩；

(2) 可根据推进工况要求确定在网发电机组输出负荷，使发电机组工作在较为理想的负荷空间，柴油机燃烧效率较高，废气排放少，船舶运行更加绿色环保；

(3) 推进系统负载突变时，需要对发电机组输出负荷调整的滞后性运用补偿机制，以提高电网供电的稳定性，向推进电机提供足够的电力，而且能将推进负荷突降时电网短时过剩电力储存，提高全电力推进系统的节能水平。

5.2 电力推进系统架构

电力推进系统采用直流网络方案，交流发电机组作为主电源经整流装置后直流组网，通

过直流母排将直流电能逆变输送给推进电机和其他交流负载，中船重工711所提供了该船电力推进系统总成，电力推进系统拓扑框图见图8^[2]。发电机组发出400V/AC，经整流装置整流为750V/DC，750V/DC经日用电逆变器逆变为400V/50Hz /AC供船上的辅机、生活和照明等设备用电；推进逆变器将750V/DC逆变后供推进电动力电。双向直流整流装置(DC/DC)和超级电容(Ultra-caps)组成储能系统，可以补偿船舶航行中推进负荷与发电机组发电功率间的动态差异。

(G1 / G2 -交流发电机； M1/M2-推进电机； REC1 /REC2 -整流装置；
INV1-日用电逆变器； INV2 / INV3-推进逆变器； ESD-储能装置)

图 8 电力推进系统拓扑框图

5.3 储能装置

发电机组和储能装置根据各自的有差控制特性调整对电力系统的输出功率^[2]，在推进负载突加时，储能装置分担了大部分突加负荷，以保证变速发电机组逐渐提升转速，柴油机运行在最佳油耗曲线，以节能优化的方式提升输出功率，同时储能装置逐渐降低自身输出功率至 0，变速发电机组提供系统所需的全部功率。在推进负载突降时，储能装置又能作为负载吸收推进系统的制动能量，充分发挥变速发电的优势，进一步提升系统的节能优势。

储能装置不仅起到削峰填谷平抑电网一般波动，补偿变速发电机组功率短时动态不足，保证电网稳定的作用，特别在船舶突然加大推进动力，推进负荷急剧升高，发电机组增大输出的时间滞后阶段，储能装置快速填补这一短暂时间内的电力负荷空缺，保证船舶突然加速时总供电负荷能达到要求，进一步保证船舶航行安全^[3]。

5.4 变速发电技术

新电推船采用的变速发电机组主要由柴油机、发电机、变频器和节能控制单元构成(图 9)^[4]。变速发电机组主要工作原理是：发电机发出的变频变压的电通过变频器转换成恒频恒压电能，发电机负载变化导致变频器负载变化，节能控制单元从变频器采集负载变化信号，根据实验数据拟合出的最佳转速曲线计算柴油机最佳转速，控制调节柴油机转速至最佳转速，实现较恒速运行模式更好的燃油经济性^[5]。

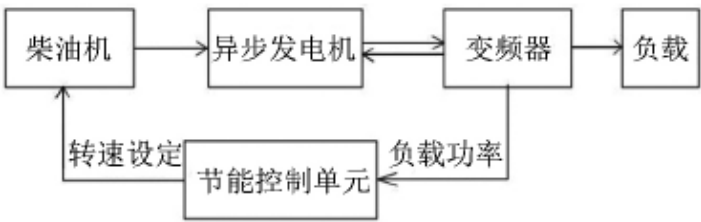


图9 变速发电机组系统架构

6 结语

通过船型、主尺度参数及结构优化设计,新电推船船体减重 4.2%,且实现了大载重量和车辆重载渡运;操纵性等船舶主要性能与尺度更小的现有 49m 全回转车客渡船相当。采用储能单元及变速发电技术的全电力推进方式,节能预计达 10%,更节能环保,且操纵性能与同等机械推进车客渡船相比有所提高。现有成熟船型在传统船舶技术水平方面很难大幅提高,运用电力电子技术和信息化技术是提高船舶综合技术水平的重要方向。

参考文献:

- 【1】 中国船级社.钢质内河船舶建造规范【M】.北京:人民交通出版社,2016.
- 【2】 庄伟,孙坚,王春杰等.超级电容储能装置在混合动力型直流电推系统中应用与实践【J】.船电技术,2017,38(7):17-20,27.
- 【3】 陈刚,张思全.超级电容和锂电池技术在船舶电力推进系统中的应用研究概述【J】.工业控制计算机,2015,28(8):157-158.
- 【4】 杨峰,曾宪友,刘佳彬等.变速柴油发电机组最佳运行转速研究【J】.柴油机,2017,39(2):15-19.
- 【5】 杨峰.变速柴油发电机组转速控制策略和性能优化研究【D】.北京:中国舰船研究院,2017.

液态 LNG 闪急沸腾喷雾过程数值模拟研究

肖民¹, 傅宇¹

(1. 江苏科技大学 能源与动力工程学院 江苏镇江 212003)

摘要: 由于闪急沸腾喷雾可以改善燃油雾化质量, 对缸内混合气的形成十分有利, 所以研究液态 LNG 的闪急沸腾喷雾具有非常重要的意义。本文首先解析了纯液态 LNG 在喷嘴内部的流动过程, 利用其计算结果作为 LNG 喷雾计算的初始条件和边界条件, 在此基础上, 使用 AVL Fire 软件, 激活了初始破碎模型及 Flash Boiling 模型, 对纯液态 LNG 闪急沸腾喷雾过程进行了数值模拟计算, 分别研究液态 LNG 温度、喷射压力以及缸内环境压力对 LNG 闪急沸腾喷雾的影响规律。计算研究表明: 随着喷射压力的提高, LNG 闪急沸腾喷雾贯穿距越来越大, 索特平均直径减小, 闪急沸腾喷雾锥角逐渐增大, 燃油蒸发表面积增大; 保证其他条件不变, 升高液态 LNG 温度, 减小缸内环境压力, 闪急沸腾现象更加剧烈, 提高了雾化质量。

关键词: 闪急沸腾; LNG; 数值模拟

中图分类号: U661.43 **文献标识码:** A

Numerical Simulation Research on the Liquid LNG Flash

Boiling Spray

XIAO Min¹, FU Yu¹

(1.Jiangsu University of Science and Technology, Jiangsu Zhenjiang 212003, China)

Abstract: The quality of fuel atomization can be improved by flash boiling spray, which is very beneficial to the formation of air-fuel mixture in the cylinder, so it is very important to study the flash boiling spray of LNG. First of all, the flow process of LNG inside the nozzle was analyzed, and the calculated results were taken as initial and boundary conditions of LNG spray calculation. On this basis, a numerical simulation model of pure liquid LNG flash boiling spray was created to investigate the development of the spray process. The temperature of LNG, the injection pressure and the ambient pressure are studied by the method of AVL-FIRE software. All results obtained by the numerical model of LNG flash boiling spray were consistent with the exact solutions given in the literatures. The results show that, with the increase of the injection pressure, the spray penetration and spray angle is increased and the sauter mean diameter (SMD) is diminished distinctly; with the increase of the injection pressure, the spray penetration and spray angle is

increased and the sauter mean diameter (SMD) is diminished distinctly; Ensure that the other conditions unchanged, rising LNG temperature and reducing the ambient pressure, which make the flash boiling phenomenon more acute and improve the atomization quality.

Key words: flash boiling; LNG; numerical research

0 概述

能源枯竭和环境污染问题已越来越受世界各国的重视,柴油机行业发展的方向和节能措施转向了研究柴油机合适的替代燃料。继煤炭、石油之后,天然气被认为是世界第三大能源,天然气燃烧比石油、煤炭等燃料燃烧更加清洁、热值较高、使用更安全,发展前景极其广阔^[1]。

在一定条件下,当液态 LNG 喷入到大气环境中,会发生剧烈的闪急沸腾现象,这是由于 LNG 的饱和蒸气压较高,沸点比较低。闪急沸腾雾化与常规喷雾原理有着本质的区别,有助于燃烧室内混合气的形成以及后续的燃烧与排放过程,所以研究 LNG 的闪急沸腾喷雾特性具有非常重要的意义^[2]。在国内外已经开展了很多关于液态燃料喷射时闪急沸腾现象的研究,但尚不深入。目前为止,高精度的预测液态 LNG 喷雾的发展过程以及研究 LNG 闪急沸腾发生的条件还很少,而研究液态 LNG 的闪急沸腾现象时必须考虑其在喷嘴内部流动过程中出现的气穴现象对喷雾过程的影响^[3]。

本文研究纯液态 LNG 喷雾过程中的闪急沸腾现象,首先解析了纯液态 LNG 在喷嘴内部的流动过程,利用其计算结果作为 LNG 喷雾计算所必须的初始条件和边界条件,在此基础上,利用 AVL Fire 软件对 LNG 液态喷射的闪急沸腾喷雾过程进行了模拟,分别研究液态 LNG 温度、喷射压力以及缸内环境压力对 LNG 闪急沸腾喷雾的影响规律,为提高柴油 LNG 双燃料发动机喷雾质量提供理论指导。

1 计算模型及其解析方法

液态 LNG 液滴在经过喷嘴内的流动后进入燃烧室,要经历蒸发、破碎、湍流扰动、变形、碰撞聚合等一系列物理变化过程,整个一系列过程构成了 LNG 的喷雾发展,所以要想准确模拟 LNG 喷雾发展状况,一个技术关键在于如何进行喷雾模型选择。

在描述液态 LNG 闪急沸腾喷雾过程中除了需要质量守恒方程、动量守恒方程、能量守恒方程、连续性方程等基本控制方程外,还需要选取描述 LNG 液滴破碎、蒸发、与空气相互作用的湍流扩散模型、破碎模型、蒸发模型。其中,湍流扩散模型选用了 $k-\epsilon$ 模型,破碎模型与蒸发模型在下文中介绍。

1.1 初次破碎模型

液态 LNG 被喷入燃烧室内，经历了初次破碎与二次破碎过程，初次破碎与蒸发雾化有着紧密的联系。本文中，初次破碎模型选用的是 Blob Injection 模型。其基于喷嘴内的流动计算结果，认为液滴的破碎是受喷孔内的湍流强度影响的湍流破碎和流场中的气动破碎相互竞争的结果，这种竞争一直持续到由气动破碎占主导地位（二次破碎）的喷射下游。使用产生子液滴的方法使初始的液滴尺寸减小。可见，其能很好的模拟喷嘴内的气穴流动所带来的气动破碎对于燃油初始破碎的影响。

1.2 二次破碎模型

LNG 缸内液喷的过程中，LNG 喷雾由于闪急沸腾特性，跟传统燃料的射流雾化过程有着较大的区别。马宗正等^[4]分别用 TAB 和 KH-RT 破碎模型模拟计算液态 LPG 喷雾贯穿距和 SMD 随时间的变化，结果表明，KH-RT 液滴破碎模型计算所得的喷雾贯穿距和 SMD 与实验值吻合较好。KH-RT 模型所表征的液滴破碎过程是沿流动方向扰动波的不稳定增长形成的破碎与液滴在迎风面方向速度很快降低时，会在其驻点位置形成扰动波，形成不稳定增长的破碎两种现象持续竞争的结果。本文为了更好的模拟 LNG 缸内液喷时产生的闪急沸腾现象，所以选用了 KH-RT 破碎模型。

1.3 蒸发模型

在喷嘴外部喷雾过程中，液态 LNG 的饱和温度要远远高于缸内环境压力下的沸点温度，形成了很高的过热度，这会使得液态 LNG 发生闪急沸腾，它对液滴的蒸发起着关键性的作用，不能忽略不计。所以液态 LNG 蒸发过程的方程中需要包括环境与液滴间的热传递和过热度这两项引起的蒸发量变化的表达式^[5]。

在本文中，使用 Fire 中 User defined parameter，激活 Flash Boiling Model，该模型在标准蒸发模型的基础上加入了由于过热度引起的蒸发量的变化，考虑了过热度对蒸发雾化的影响。在计算过程中，软件会自动判断燃料是否处于过热状态，只有符合闪急沸腾发生条件时，才会激活该模型进行计算，如果液滴温度下降到沸点温度以下，将会使用预先定义的 Fire 中标准模型进行计算，本文中选用的标准模型为 Dukowicz 模型。

1.4 Nozzle file 的激活

液态 LNG 在喷嘴内部的流动，会产生气穴现象，气穴现象使得出口的有效流通面积减小，同时会影响喷孔出口的速度分布和湍动能分布等，从而会影响后续喷雾的破碎和发展，因此，在模拟计算喷嘴外部的喷雾发展过程时，为了提高计算精度，把喷嘴内部的计算结果输出，将获得的喷孔出口的计算结果作为解析喷嘴外部的液滴粒子运动轨迹的初始边界条件

^[6]。Nozzle file 文件即为喷嘴内流动计算的结果文件，其中就储存了喷孔出口的详细流动信息，包括液滴密度、出口处的速度分布、湍动能分布以及有效的流通面积等相关的信息，本文利用 Fire 中 Nozzle interface 直接将储存有喷孔出口详细流动信息的 Nozzle file 文件与喷雾计算耦合，大大提高喷雾过程的预测精度。

2 网格模型和初始条件与边界条件

2.1 计算域的确定

由于本文研究的是液态 LNG 的自由喷雾，重点在于喷雾的发展过程，不考虑液滴撞壁的情况，所以在网格模型建立的过程中，使网格模型足够大，保证周围的壁面对 LNG 喷雾不会产生干扰和影响，不能发生撞壁现象。为了节省计算时间同时保证此网格模型不影响数值模拟结果的可靠性，对网格模型进行了适当的简化。因此，本文所建网格模型如图 1 所示。

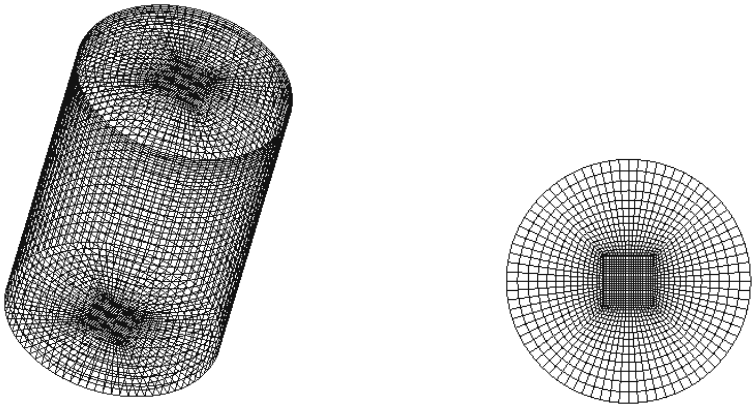


图 1 网格模型

该模型为直径 100mm，高 150mm 的圆柱体，喷嘴设置在圆柱体顶部的中心位置，喷孔直径为 0.8mm。由于喷雾发展过程主要集中于实体模型中心部位，所以对圆柱体中心和喷嘴所在的上半部分网格进行了适当加密，以便能更准确的模拟喷雾发展过程。计算网格总数为 64000 个，网格质量良好，没有坏网格。

2.1 初始条件与边界条件的设定

由于计算为自由喷雾，所以壁面对喷雾没有任何影响，可设置所有壁面为固定、绝热壁面，壁面上速度无滑移。其他基本初始条件与边界条件设置如表 1 所示：

表 1 基本初始及边界条件

项目	参数
----	----

燃油类型	LNG
燃油温度/K	140
喷射压力/MPa	2
喷射量/mg	2.5
喷射持续期/ms	3
环境气体	空气
环境温度/K	293.15
环境压力/MPa	0.1

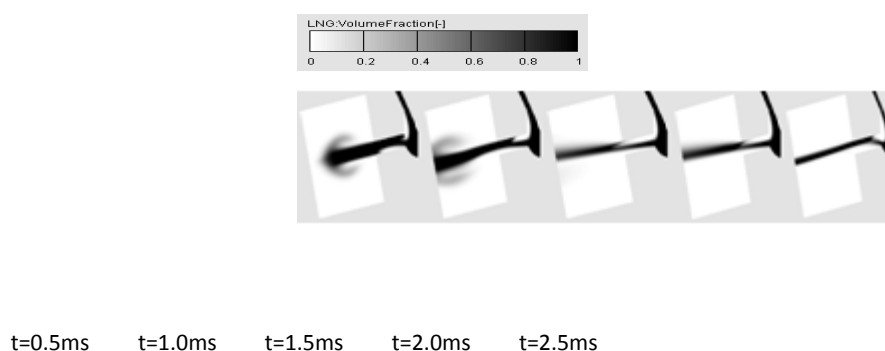


图 2 不同时刻喷嘴内流动计算结果

前文已提到喷嘴内的流动会影响喷雾的发展，所以进行了喷嘴内液态 LNG 流动三维计算，图 2 为计算结果。从图中可以看到喷嘴内部的气穴发生的位置，以及气穴的产生和发展的过程。把喷嘴内的流动解析结果作为喷雾计算喷孔出口处的边界条件，使解析结果更确切地反应上述的气穴现象以及闪急沸腾现象发生时对 LNG 喷雾过程的影响。

3 数值模拟及结果分析

3.1 喷射压力对 LNG 闪急沸腾喷雾特性的影响

本小节中在保证发生闪急沸腾现象的前提下，通过改变喷射压力并保持其他参数不变，研究了喷射压力对 LNG 闪急沸腾喷雾特性的影响，分别取喷射压力为 1MPa、2MPa、3MPa、4MPa 进行模拟计算，分析结果。

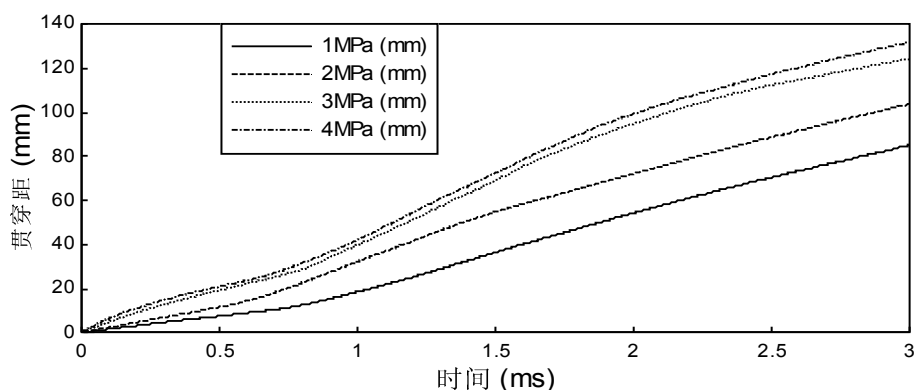


图 3 不同喷射压力下贯穿距随时间的变化曲线

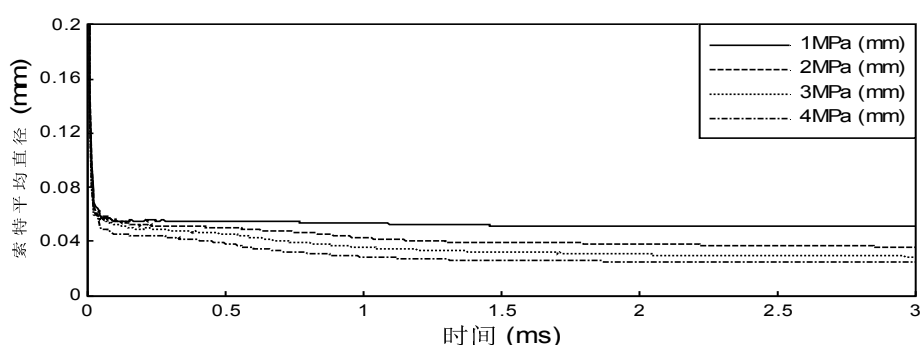


图 4 不同喷射压力下索特平均直径随时间的变化曲线

不同喷射压力下，贯穿距随时间的变化曲线如图 3 所示。从图 3 中可以看出，在保持其他参数不变，喷射压力为 1MPa、2MPa、3MPa、4MPa 时，曲线整体走势基本相同，喷雾贯穿距都随时间的增加而增大，最终喷雾贯穿距分别为 85.08mm、103.83mm、124.33mm、131.82mm。通过以上分析得出，随着喷射压力的提高闪急沸腾喷雾贯穿距越来越大。图 4 为不同喷射压力下索特平均直径随时间的变化曲线。通过对曲线的分析，可知不同喷射压力下索特平均直径曲线走势大体一致，均在较短的时间内迅速减小，最后保持在相对稳定的状态，并且随着喷射压力的升高，索特平均直径减小。

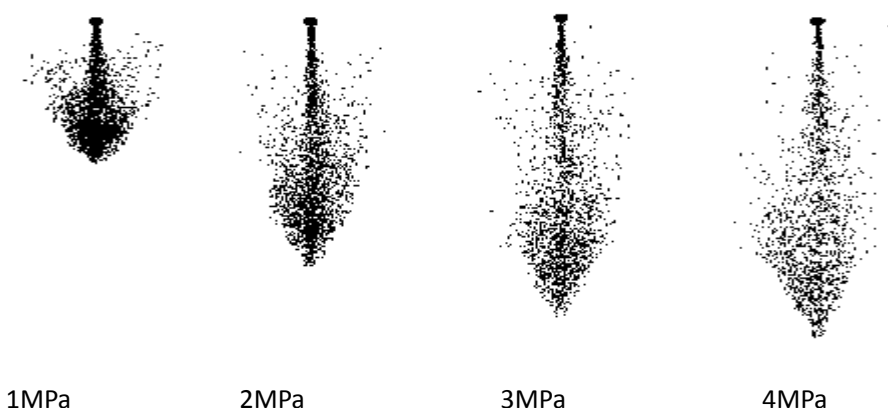


图 5 不同喷射压力下 LNG 闪急沸腾喷雾粒子整体分布图 ($t=1\text{ms}$)

图 5 为 LNG 喷射 1ms 的时候,在不同喷射压力下 LNG 闪急沸腾喷雾粒子整体分布图。由图中可知,在不同喷射压力下,喷雾发展结构类似,并且随着喷射压力的增大,闪急沸腾喷雾锥角逐渐增大,燃油蒸发表面积增大。这是由于随着喷射压力的增大,喷嘴内外压力差增大,导致 LNG 液滴出口速度增大,在缸内与空气发生了更为激烈的动量交换,所以喷雾贯穿距增大,粒子索特平均直径变小,燃油蒸发表面积增大,这使得 LNG 液滴与空气的混合大大加快,提高了雾化质量。

通过以上分析可知,LNG 闪急沸腾喷雾在喷射压力不高的情况下就可以实现高压喷射下的雾化质量,所以在双燃料发动机上实现较低压力下液态 LNG 的闪急沸腾喷雾,可以大大减小对喷射系统的要求,降低成本。

3.2 液态 LNG 温度对闪急沸腾喷雾特性的影响

图 6、图 7 分别为当喷射压力为 5MPa,液态 LNG 温度在 120K、140K、160K、180K 时,喷雾贯穿距和粒子索特平均直径随时间的变化曲线。

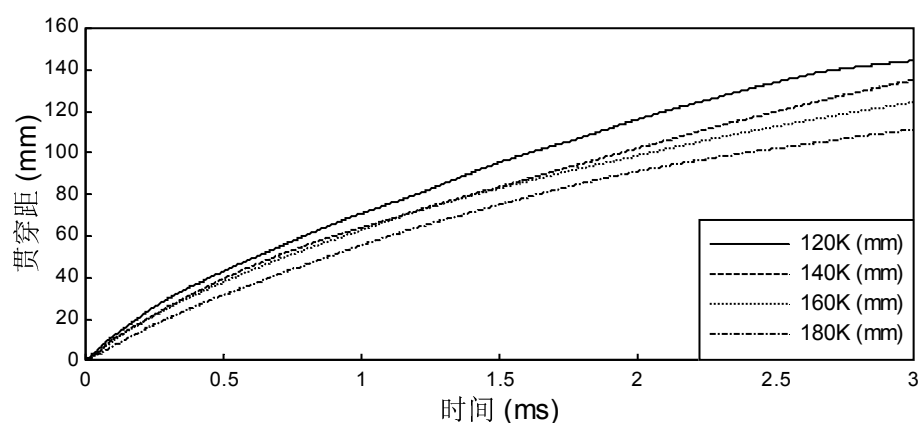


图 6 不同 LNG 温度下贯穿距随时间的变化曲线

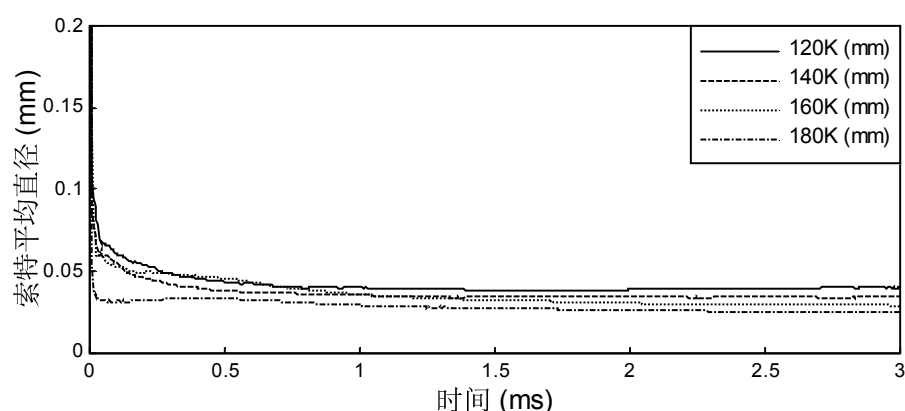


图 7 不同 LNG 温度下索特平均直径随时间的变化曲线

由图 6 可以看出, LNG 温度变化时,喷雾贯穿距随时间的变化趋势大体一致。喷雾贯穿距都随时间的增加而增大。不同 LNG 温度下,最终喷雾贯穿距分别为 144.14mm、135.13mm、124.19mm、111.39mm.,由此可得,随着 LNG 温度的升高,喷雾贯穿距逐渐减小。通过对

图 7 的分析, 可知不同 LNG 温度下索特平均直径曲线走势大体一致, 均在较短的时间内迅速减小, 最后保持在相对稳定的状态, 并且粒子索特平均直径随着 LNG 温度的升高而减小。

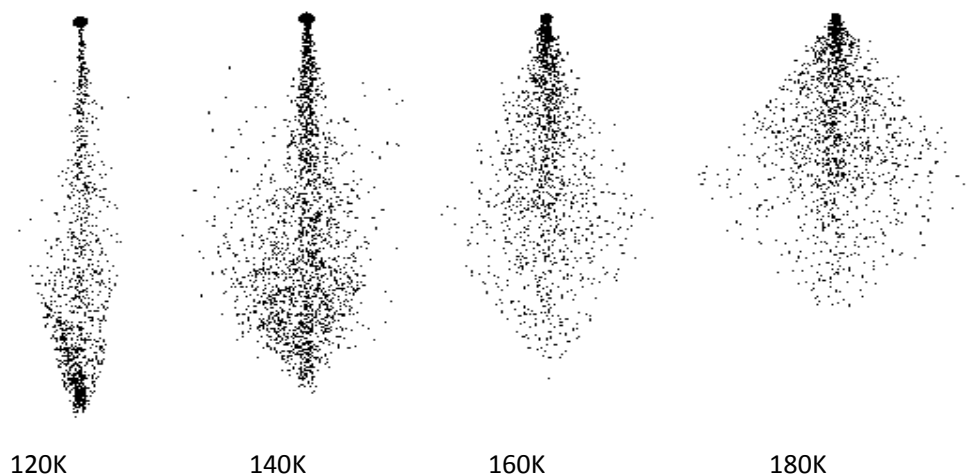


图 8 不同 LNG 温度下闪急沸腾喷雾粒子整体分布图 ($t=1\text{ms}$)

图 8 为 LNG 喷射 1ms 的时候, 在不同 LNG 温度下闪急沸腾喷雾粒子整体分布图。分析上图可得, 在不同 LNG 温度下, 喷雾发展结构类似, 均已发生剧烈的闪急沸腾现象, 并且随着 LNG 温度的提高, 闪急沸腾喷雾锥角明显逐渐增大, 燃油蒸发表面积增大。这是由于饱和蒸气压 P_s 与环境压力 P_a 的相对大小反应了 LNG 燃料的过热程度, LNG 温度为 120K 、 140K 、 160K 、 180K 时, 对应的饱和蒸气压分别是 0.191MPa 、 0.641MPa 、 1.592MPa 、 3.289MPa , 环境压力为 0.1MPa , 所以随着液态 LNG 温度的升高, 对应饱和蒸气压与环境压力的相对大小逐渐增大, 即过热程度增大。由于过热度的逐渐增大, 液体内部气泡生成量的增加, 所以气泡的生成及生长加速了喷雾的破碎过程, 加强了喷雾液滴与环境空气的相互作用, 导致粒子索特平均直径迅速减小, 喷雾锥角增大, 形成了更多的小液滴, LNG 喷射之后液滴速率迅速减小, 从而导致了喷雾贯穿距的减小。

由此可得, 过热度对闪急沸腾的程度影响很大, 在同一环境压力下, 升高液态 LNG 温度, 可以增大过热度, 闪急沸腾现象更加剧烈, 优化了喷雾结构, 提高了雾化质量, 利于混合气的形成。

3.3 缸内环境压力对 LNG 闪急沸腾喷雾特性的影响

图 9、图 10 分别为不同环境压力下, 喷雾贯穿距和粒子索特平均直径随时间的变化曲线。

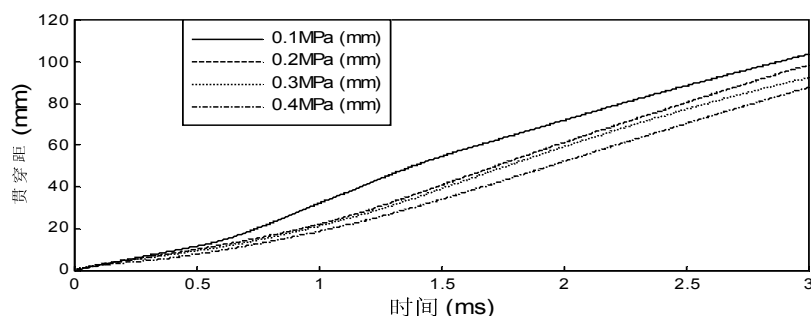


图 9 不同环境压力下贯穿距随时间的变化曲线

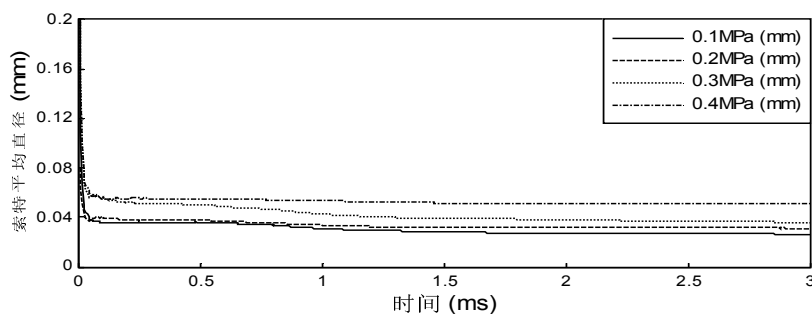


图 10 不同环境压力下索特平均直径随时间的变化曲线

由图 9 可知，环境压力变化时，模拟所得喷雾贯穿距曲线趋势一致，喷雾贯穿距都随时间的增加而增大。环境压力 0.1MPa 时，最终喷雾贯穿距为 103.83mm；环境压力 0.2MPa 时，最终喷雾贯穿距为 98.72mm；环境压力 0.3MPa 时，最终喷雾贯穿距为 92.57mm；环境压力 0.4MPa 时，最终喷雾贯穿距为 87.85mm，由此可得，喷雾贯穿距随着环境压力的升高逐渐减小。通过对图 10 的分析，可知不同环境压力下索特平均直径曲线走势大体一致，均在较短的时间内迅速减小，最后保持在相对稳定的状态，并且粒子索特平均直径随着环境压力的升高而增大。

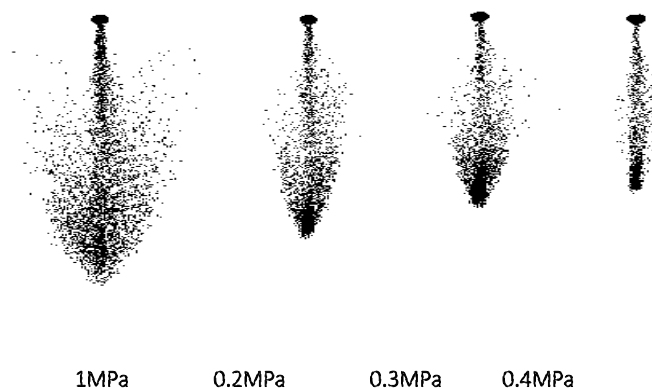


图 11 不同环境压力下闪急沸腾喷雾粒子整体分布图 ($t=1\text{ms}$)

图 11 为 LNG 喷射 1ms 的时候，在不同环境压力下闪急沸腾喷雾粒子整体分布图。分析上图可得，在不同环境压力下，喷雾发展结构类似，均已发生剧烈的闪急沸腾现象，并且随着环境压力的提高，闪急沸腾喷雾锥角明显逐渐减小，燃油蒸发表面积减小。这是由于饱和

蒸气压 P_s 与环境压力 P_a 的相对大小反应了 LNG 燃料的过热程度, LNG 温度为 140K 时, 对应的饱和蒸气压分别是 0.641MPa, 环境压力为 0.1MPa、0.2MPa、0.3MPa、0.4MPa, 所以随着环境压力的减小, 与对应饱和蒸气压的相对大小逐渐增大, 即过热程度增大。由于过热度的逐渐增大, 液体内部气泡生成量的增加, 所以气泡的生成及生长加速了喷雾的破碎过程, 加强了喷雾液滴与环境空气的相互作用, 闪急沸腾现象越剧烈, 导致粒子索特平均直径减小, 喷雾锥角增大, 形成了更多的小液滴。在喷射压力不变的情况下, 随着环境压力的升高, 喷孔内外压差变小, 液滴喷射速率随之减小, 缸内环境阻力加大, 使得液滴运动受阻, 导致喷雾贯穿距减小。

由此可得, 在同一喷射压力下喷射同一温度的液态 LNG, 减小缸内环境压力, 可以增大过热度, 闪急沸腾现象更加剧烈, 提高了雾化质量。

4 结论

(1) 在保持其他参数不变, 随着喷射压力的提高 LNG 闪急沸腾喷雾贯穿距越来越大, 索特平均直径减小, 闪急沸腾喷雾锥角逐渐增大, 燃油蒸发表面积增大;

(2) 在保持其他参数不变, 随着 LNG 温度的升高闪急沸腾喷雾贯穿距越来越小, 索特平均直径减小, 闪急沸腾喷雾锥角逐渐增大, 燃油蒸发表面积增大;

(3) 在保持其他参数不变, 随着环境压力的增大 LNG 闪急沸腾喷雾贯穿距越来越小, 索特平均直径增大, 闪急沸腾喷雾锥角逐渐减小, 燃油蒸发表面积减小。

参考文献

- [1] 汪佳丽. LNG 缸内液喷对混合气形成影响的仿真研究[D]. 吉林大学, 2011.
- [2] Xu M, Zhang Y, Zeng W, et al. Flash boiling: easy and better way to generate ideal sprays than the high injection pressure[J]. SAE International Journal of Fuels and Lubricants, 2013, 6(1): 137-148.
- [3] Serras-Pereira J, Van Romunde Z, Aleiferis P G, et al. Cavitation, primary break-up and flash boiling of gasoline, iso-octane and n-pentane with a real-size optical direct-injection nozzle[J]. Fuel, 2010, 89(9): 2592-2607.
- [4] 马宗正, 齐运亮, 许伯彦. 液态 LPG 发动机燃料喷射过程的研究[J]. 山东建筑大学学报, 2007, 22(2): 131-135.
- [5] Zeng Y, Lee C F F. An atomization model for flash boiling sprays[J]. Combustion science and technology, 2001, 169(1): 45-67.
- [6] 许伯彦, 耿德强, 齐运亮, 等. 液态 LPG 燃料喷射过程的数值解析及可视化试验[J]. 内燃机学报, 2009, 27(2): 146-152.
- [7] Zeng W, Xu M, Zhang G, et al. Atomization and vaporization for flash-boiling multi-hole sprays with alcohol fuels[J]. Fuel, 2012, 95: 287-297.

该装备与技术属于国际领先, 在国内市场
占有率达到 100%。

智能化与数字化的船舶管系制造装备-合拢管设计制造系统的研发

施志强，叶友利

（江苏阳明船舶装备制造技术有限公司，江苏 镇江 212003）

摘要：船舶管系由于分段制造以及累计的制造误差，必然存在大量的无法按设计的尺寸进行安装的管段，这些管段需要在现场进行适配和靠模取样，存在着物资运输、等待吊车、现场动火焊割等生产效率低下和安全隐患。现场取样结束以后还要在内场进行人工计算和制作，又存在需要大量有经验的操作人员以及出现由于放样精度问题造成的大量管段无法安装的问题。本文利用智能化与数字化技术研发了合拢管设计制造系统，用传感器技术测量现场管件的实际情况，用智能化软件代替人工进行管件的放样和出图，用数字化的再现设备在车间里完成现场管的定位与焊接。其结果大大降低了现场的劳动强度，降低了操作工的技能要求，提高了生产效率，大幅度提高了现场合拢管的安装精度，是管系生产的一次革命性工艺改革。

关键词：合拢管、智能化、数字化

中图分类号：U671.99 文献标准码：A

引言

在船舶制造过程中，船舶管系由于分段制造以及累计的制造误差，必然存在大量的无法按设计的尺寸进行建造和安装的管段，以及由于设备和管段的连接事先无法准确确定管子位置的管段，该类管段需要根据现场的实际情况进行合拢安装，故称-“合拢管”，有的厂家称为-“现校管”。而船舶合拢管的制造一直是船舶管系制造的瓶颈之一。耗费大量的人力和物力，并且效率低下，在当前智能化和数字化的趋势下，必须采用新的技术，打破原有的造船流程，用设备代人，把外场工作内场制作，后道工序前道制作，手工放样自动化制作。为此江苏阳明船舶装备制造技术有限公司研发了智能化与数字化的船舶管系制造装备-合拢管设计制造系统。

1 合拢管设计制造系统技术原理及特点^[1]

传统的合拢管制造方法是依靠人工进行现场靠模取样、取样后在车间平台上进行放样，根据放样制造合拢的管段，最后进行法兰的点固焊。现场靠模取样，需要用待装配法兰先用螺栓固定在需要合拢的管段法兰上面，将角钢和待装配法兰焊接在一起进行法兰空间位置的

固定，然后拆掉固定螺栓，把待装配法兰和角钢形成的靠模取下来，如图 1 所示。运输到管子制造车间，进行下一步的工作。



图 1 现场靠模取样

靠模工艺需要将角钢、法兰、焊枪等物资吊运送到指定位置，然后进行现场的切割和焊接，结束后还要拆卸运送到管子制造车间。该工艺带来了物资的消耗（如角钢的浪费）、物资的运输、等待吊车、待装配法兰由于焊接角钢造成损伤引起的报废和补焊修磨，以及现场动火的安全问题。现场取样结束以后要在车间的平台上进行人工的放样和制作，如图 2 所示。



图 2 现场人工放样制作

由于现场人工计算和放样的不准确就会造成误差，在现场安装时就需要强行装配，如果强行装配也还有误差，就只能报废处理。故这样制作出来的合拢管质量隐患非常大，现在许多船东为了防止这个现象都要求松开螺栓进行报验。大量的已经制作完成的合拢管面临着报废，有的在现场进行大量的焊割修补工作，浪费了大量的人工和材料，如图 3 所示。传统的制造方法造成大量辅助材料和动力能源的消耗，并且常常由于精度超差造成返工，是发展绿色造船、精艺造船的巨大瓶颈。



图3 传统方法制造合拢管浪费情况

江苏阳明船舶装备制造技术有限公司为了解决困扰造船企业的技术瓶颈，研发了智能化、数字化的合拢管设计制造系统，以期解决传统合拢管制造遇到的诸多问题，提高合拢管制造的质量，实现了合拢管管系智能化与数字化制造。其技术原理：

合拢管设计制造系统主要由拉绳传感器为主要测量元件的测量设备、手持式移动数据终端、采用数字化运动控制技术的七自由度合拢管再现设备等硬件组成，并通过基于设计规则与工艺知识库的自主研发的《阳明合拢管测量系统软件》及智能化数据处理系统软件，自主计算出合拢的管段的角度、长度和转角等关键参数，利用数据驱动数控再现设备模拟现场的空间位置，实现了实际现场合拢管空间位置的精确测量定位、拟合设计和再现制作。其工作流程可以概括为：测量→设计→再现。

该系统以方便准确的现场测量仪取代了合拢管的现场取样，以计算机软件取代了人工计算弯管，并以数控设备再现法兰位置以方便装配。

技术特点：

(1) 使用由拉绳传感器组成的测量仪，测量实际工作现场待安装法兰盘的空间位置关系，测量数据经过软件处理，转换成两个法兰空间位置 7 个自由度的坐标点，并且记录在手持移动数据终端。该手持移动数据终端具有体积小、重量轻、数字化、智能化、便于操作等特点。

(2) 在管子制造车间将移动数据终端记录并预处理的数据导入《阳明合拢管测量系统软件》，计算拟合出组成合拢管的各种弯头、直管的形状和尺寸，并输出设计草图，操作人员认可后，存储并打印合拢短管的设计图纸，按图纸上的要求制造出没有法兰的合拢管段（包括直管和弯头）。合拢管的合适路径以及合适的弯头角度（尽量使用标准弯头）都由软件自动生成，生成的路径等参数可以人工根据经验进行干预，软件支持柔性调整方式。最终结果可以自动输出三维图像和二维制作图（俗称小票图）。该软件不仅能取代传统合拢管放样，而且大大降低现场施工人员的劳动强度和技能要求，大幅度提高合拢管制作的质量和效率。

(3) 阳明合拢管测量系统软件与合拢管测量仪器及合拢管再现机组成合拢管设计制造

系统，其中根据工厂实际情况自主开发的测量系统软件是该系统的核心。软件系统可以对测量仪器测量出的法兰的位置参数自动读取，根据选定的法兰标准自动查找相应的法兰型号，自动拟合出弯管的各种参数（并且可以人工干预），输出弯管及整个合拢管的零件图，计算出再现机的控制参数，用软件计算的数据驱动数控再现设备。目前，该软件支持各种标准的圆法兰、定型弯头、弯管、异径等零件。管段两法兰可以是相同标准和规格，也可以是不同标准，不同规格。软件在显示二维管子零件图纸的同时还能够显示三维管段形状，图纸中给出零件表和安装尺寸图，非常便于操作工对整个管件装配的理解。和国外相关软件最大的区别是该软件标准是开放的，用户可自由输入各种圆法兰、定型弯头、弯管、异径管的标准，允许用户对标准进行修改，不存在用户碰到新的法兰标准而需要收费的现象。而国外相关的标准如果超出软件里的标准范围，都是要收费的，并且非常贵的。

（4）采用数字化的 7 轴再现设备，利用软件计算的数据驱动，在车间内完成船舶实际法兰空间位置的模拟。并且可以在该设备上完成法兰与管子的装配和点固焊。

（5）配合阳明公司开发的数控管子斜切设备，利用软件数据驱动，可以一次完成管子的斜切，满足管子和法兰非 90° 安装的需求。

2 合拢管设计制造系统工艺流程

合拢管设计制造系统其工作流程可以分为三步，第一步是携带由拉绳传感器组成的测量仪以及手持式数据终端到需要进行合拢的管段现场进行测量，如图 4 所示，把合拢管的空间位置记录到手持式数据终端。



图 4 合拢管现场测量

第二步是回到管子制造车间，将手持式数据终端中的数据导入合拢管生产管理软件，进行合拢管的设计，如图 5 所示。

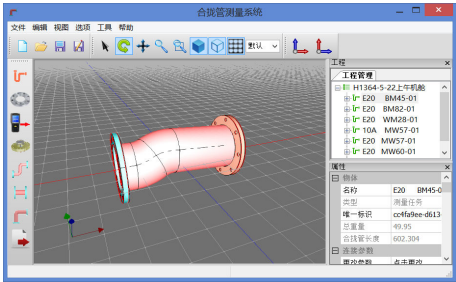


图5 合拢管设计

设计后的数据分为两部分，第一部分产生制造不带法兰的合拢管的管段的图纸，其中包括直管、弯头或弯管以及各种位置尺寸和转角尺寸。第二部分是产生驱动再现设备的数据。

第三步用产生的驱动再现设备的数据驱动数控再现设备，将计算出的法兰空间位置用数控设备模拟出来，在再现设备上装上法兰以及合拢的管段，经点固焊后完成是合拢管再现制作，如图6所示。



图6 合拢管再现制作

3 使用合拢管设计制造系统的必要性:

(1) 改变了原有的造船流程，用设备代替人，把外场的工作改为内场制作，把后道工序在前道制作，变手工放样为自动化出图。提高了合拢管制造的精度，在降低生产成本的同时，提高了管系的安全可靠性。

(2) 降低了工人工作的强度、提高了安全性。如在泵舱和双层底这种空间狭小，管道纵横的地方将法兰、角钢、焊机等以及做好的靠模运进运出其劳动强度非常高，还非常的危险，生产效率很低。如采用合拢管设计制造系统，只需要将测量仪带到现场，就可以完成对合拢法兰的空间位置的测量。原双层底合拢管靠模时 2-3 个人 1 天最多制作 3-4 根样板，劳动强度大。并且还要等待吊车在空闲时进行吊运，时间根本不可控。靠模吊出后使用铲车运至模块进行等待排队制作，期间很容易发生安全事故，有时在吊运过程中靠模发生碰撞，所有的空间位置都已经不准了。

(3) 减少制造工序。船底层接 2 台海水泵的异径管都是按预装管来设计制作的，但由于海水泵的安装位置移动以及后续管段的加工误差，该管段每次都需要现场改样，并且是在船底位置，操作难度非常大，现场环境也很恶劣。如采用合拢管设计制造系统将其按合拢管制作，省去预装管的制作，进行现场测量，软件设计拟合，车间再现，这样一次就完成该管段的制作，省去了 2 次制作造成的损失，降本增效的效果非常明显。

(4) 节约成本。采用了合拢管设计制造系统后，对原有的工序流程进行了变更。省略

了许多的工序，包括耗材的领取，吊装，靠模，拆卸，运输，打磨等很多道工序。节省了大量的耗材，如角钢、打磨砂轮片、焊条、能源等。

4 合拢管设计制造系统应用情况与经济与社会效益

合拢管设计制造系统从 2011 年开始已在船舶建造中逐步扩大使用，该系统已成功应用于上海外高桥造船有限公司、大连船舶重工集团、江苏新时代造船有限公司、南通中远川崎船舶工程有限公司、江南长兴造船有限责任公司、中海工业（江苏）有限公司、广州中船龙穴造船有限公司、广州黄船海洋工程有限公司、上海江南长兴重工有限责任公司等一大批造船企业，合拢管制造合格率达到 100%，得到了船厂、船检、船东以及一线工人的一致认可和好评，为船厂降本增效做出了很大贡献。

使用合拢管设计制造系统不需要使用角钢靠模，单根合拢管节约角钢约 3.5 米，计 150 元。使用合拢管设计制造系统平均可以节约 5 个工时（含法兰领用、从车间到船上的来回运输、吊车等待、割焊角钢靠模、拆卸、打磨、放样、出图等），单位工时价格按 75 元计算，计 375 元，合计 525 元（上海外高桥造船有限公司综合节约成本为平均每根管子 514 元），以上还没有计算废管的成本和焊条、砂轮片、能源动力、返修、改样等消耗和增加产量产生的新增利润、固定资产折旧等因素。每条船按 750 根合拢管计算，约 40 万元，每年按 25 条船计算，使用合拢管设计制造系统可以节约成本 1000 万元，降本增效成果显著^[2]。

合拢管设计制造系统在船舶建造企业开拓了智能化数字化的应用领域，将智能化和数字化和传统工序相结合，克服了传统工序的缺点，发挥了智能化数字化的优点。在目前劳动力短缺，尤其是高水平的技术人员的短缺一时难以解决现状下，用智能化和数字化的设备代替人，用轻便的测量仪器代替笨重的材料及设备的搬运。在降低人员的劳动强度，降低操作人员的技能水平要求，改善现场的安全环境，降本增效方面有着很好的经济效益和社会效益。并且该技术还可以应用到海洋工程、化工、电力、储运等其他需要管段合拢的行业和企业。

5 结语

（1）按照智能化数字化思想设计的合拢管设计制造系统，填补了我国合拢管先进设计制造技术和装备的空白，总体技术达到国际先进水平，对中国造船工业的管系安装和生产带来革命性的变革。

（2）根据国内造船企业的实际情况、生产流程和工作特点量身定制的合拢管设计制造系统，能做到和造船企业的设计、加工、安装等部门的无缝连接，具有鲜明的中国船舶特色。

（3）合拢管设计制造系统可以满足船舶制造行业对管系生产效率和质量日益提高的迫切需求，缓解了船厂降本增效的压力，对提升我国船舶制造的国际竞争力、推动我国船舶工

业的发展起到具有十分重要的意义。

（4）合拢管设计制造系统还可以扩展应用于海洋工程、化工、电力、储运等各种需要合拢管制造的行业和企业，具有很好的推广应用前景。

走向深远海，谋求大发展

——优先发展我省大海工装备产业

陶永宏 钱伟

(江苏科技大学深蓝研究院, 江苏镇江 212003)

摘要: 随着江苏“1+3”功能区战略的深入推进, 现代海洋经济将成为我省“十三五”乃至未来若干年江苏经济最重要的增长极。本文阐述了江苏海洋经济与浙江、广东、山东、福建等海洋经济大省的差距, 论述了江苏走向深远海, 谋求大发展, 优先发展大海工装备产业的战略选择与发展条件, 并针对性的提出了加快江苏大海洋工程装备产业发展的建议。

关键词: 深远海; 现代海洋经济; 大海工装备; 发展战略

中图分类号: F427

江苏作为“一带一路”建设与长江经济带发展战略的交汇区域, 作为东部海洋经济圈的重要组成部分, 特别是随着江苏“1+3”功能区战略的深入推进, 江苏沿海区域协同发展优势将进一步显现, 现代海洋经济将成为我省“十三五”乃至未来若干年江苏经济最重要的增长极。

但是, 江苏海洋经济涉及的区域小、人口少、海洋经济基础相对落后; 与浙江、广东、山东、福建等海洋经济大省相比海洋生产总值占地区生产总值的比重低(2017年, 海洋生产总值占地区生产总值的比重福建为28.5%, 广东为19.8%、山东为20.3%、浙江为14.7%, 江苏仅为8.4%), 海洋资源禀赋差(深水岸线少、滩涂纵深长、地质条件差等)。因此, 必须克服不利因素, 落实省委省政府“1+3”功能区的战略构想, 推进江苏现代海洋经济的发展。

就全球而言, 走向深远海^[1], 优先获取地球留给人类最大最后的资源宝库, 是各国现代海洋经济发展战略的主线; 就全国而言, 江苏率先走向深远海, 就能克服江苏海洋资源禀赋差的制约, 获得开发深远海资源宝库的先手和优先权; 就现代海洋经济本身而言, 对传统的海洋资源禀赋的依赖度越来越小, 更多的依赖于先进的海洋装备和海洋科技技术。

因此, 走向深远海, 谋求大发展, 优先发展大海工装备产业, 应该成为我省发展现代海

基金项目:

作者简介: 陶永宏(1963—), 男, 江苏阜宁人, 教授, 博士, 研究方向为船舶经济与管理, 邮箱 zgjstyh@163.com;

洋经济的首选发展战略之一。

一、大海洋装备产业

大海洋装备产业包括传统海洋工程装备^[2]产业和新兴海洋工程装备产业。

传统海洋工程装备产业是指用于海洋油气资源勘探、开采、加工、储运、安装、维护、后勤保障服务等方面的大型工程装备和辅助性工程装备及其配套产业。

新兴海洋工程装备产业，是指除了上述海洋油气资源开采相关装备之外，还包括海上风电装备及其配套设备、海上核电装备及其配套设备、大型深远海养殖装备及其配套设备、深远海捕捞装备及其配套设备，海洋新能源装备（如波浪能发电装备、潮汐能发电装备），新型海洋资源（如可燃冰、海底矿资源）开发装备及其配套设备等。

随着人类进一步向海洋拓展，海上大型浮式结构物（可发展成为海上居住区甚至海上城市）、深海空间站（开发深海的必要装备设施）、岛礁建设和开发应用也将产生新兴的海工装备。

二、现代海洋经济装备先行

海洋工程装备^[3]产业是探索、开发海洋的利器，也是发展现代海洋经济的基础性、先导性产业。在《中国制造 2025》规划中，海洋工程装备和高科技船舶制造被明确列为十大重点领域之一，是我国和我省加快培育和发展的战略性新兴产业。

走向深远海，谋求海洋经济大发展，才能突破我省海洋资源禀赋差的制约，才能加快发展我省现代海洋经济；走向深远海，谋求海洋经济大发展，大海工装备产业必须先行发展。

三、江苏是海洋装备制造大省

江苏是我国重要的海洋工程装备产业基地之一^[4]，具有良好的产业发展基础并形成优先发展的优良业态。

1、产业布局基本形成。通过市场调节和政府引导相结合，经过“十二五”产业结构调整，我省已基本建成了以南通为主的苏中海洋工程装备制造基地，并逐步培育形成中国一流、世界知名的海洋工程装备制造集聚区；形成了无锡和镇江为主的海洋工程产品研发、科技创新、技术服务产业体系；以镇江、泰州、南京、南通为主的海洋工程配套产业基地也得到稳步发展。

2、海工产业发展加速。目前江苏涉足海工产品的企业已经超过 20 多家，海洋工程装备产值占全国海工产业份额 1/3 强。已初步具备了海洋工程装备产业大规模生产的能力，大型结构加工车间、管系加工中心、重型水压试验平台、重型总装平台、大型吊车以及专用码头等均已配套齐全。

3、骨干企业支撑显现。“十二五”以来，江苏海洋工程装备项目建设步伐加快，大型海

工项目陆续建成投产，形成了以南通中远船务公司、江苏招商重工等一批骨干企业，已有 5 家企业进入海工平台总装领域，规模优势具备，集聚度高，发展潜力大，并逐步形成生产设施优势、技术研发优势、人才培养优势、产学研合作优势。

4、海工配套稳步发展。近年来，依靠雄厚的船舶配套产业基础，江苏一批船舶设备骨干生产企业正在加快向海工配套领域拓展，已经形成中低速柴油机及发电机组、海洋石油平台救生装置、海洋石油平台系泊链、海工电器、钻井包模块、钻井平台模块、大型海工起吊设备、石油平台艇架等一批科技含量较高的海工配套产品，推动了江苏海洋工程装备产业的发展。

5、产品逐步走向高端。经过“十二五”的发展，江苏海洋工程装备产品逐步走向高端，产品基本涵盖了海洋工程装备的主要种类。“深海高稳性圆筒型钻探储油平台的关键设计与制造技术”荣获国家科技进步一等奖和“蛟龙号”7000 米载人潜水器成功海试，表明我省在深海产品和主流产品的优势正逐步形成。

四、加快江苏大海洋工程装备产业发展的建议

近几年来，全球经济疲软依旧，国际原油价格低位徘徊，各类海工装备需求量持续走低，全球油气海洋工程装备建造市场陷入低迷，但新兴海洋工程装备市场不断拓展，海上风电装备及其配套设备、海上核电装备及其配套设备、大型深远海养殖装备及其配套设备保持稳定发展。

另一方面，低迷的市场既是挑战也是机遇，全球经济逐步回暖，中国经济率先反弹，江苏拥有良好的船舶与海工产业基础，科技、人才优势明显，在产业困难时期，如果政府通过引导鼓励支持优秀海洋工程装备企业苦练内功，找准定位，稳住油气海工装备，拓展新兴海工装备，力争在弱市中保持我省优秀海工装备企业不跨不退，就能在全球及全国这一轮海洋工程装备产业洗牌中脱颖而出，做精做大做强，就能有力的支撑和推动我省现代海洋经济的发展。

1、江苏大海洋工程装备产业发展战略

稳定油气海洋工程装备产业，拓展新兴海洋工程装备产业，做大海洋工程配套产业，推动海洋工程装备科技创新和技术服务，谋划布局涉海高等教育学科专业，实现对江苏现代海洋经济发展的助推和保障。

2、稳定油气海洋工程装备产业

发展重点为“一平台二工程船三储油装置四海工配套五海工模块”，即江苏油气海洋工程装备发展的重点为：做大海洋石油平台，做强海洋工程船，做优海上浮式生产储油装置，做精海工模块。

做大海洋工程平台。海洋工程平台是海洋工程装备的核心产品，体大价高技术要求高，应重点发展，努力做强。

做强海洋工程船舶。在海洋工程船方向，江苏省有核心竞争优势，有龙头企业带动，有品牌产品，既可以做大，也可以做强。

做优浮式储油装置。海上浮式生产储油装置是海洋石油开发的战略性产品，其中，FPSO 又是主导产品，尽管从经济性考虑，FPSO 大型化是一个趋势，但随着海上浮式生产储存装置数量需求的增多，具有种类多样化、规格多样化的需求。造船企业可优选合适的海上浮式生产储油装置型号作为发展的重点。

做专做精海工模块。海工模块中，结构类模块相对技术含量要低，生产类、工艺加工类模块则复杂的多，海工模块的设计则是核心技术。因此，江苏应做专做精海工模块，逐步由结构类模块向生产工艺加工类模块发展，最终实现海工模块的设计。

3、拓展新兴海洋工程装备产业

保持海上风电装备及其配套设备的领先发展地位；积极参与海上核电装备及其配套设备的预研；支持发展大型深远海养殖装备及其配套设备，培育江苏深远海养殖产业；鼓励高校和研究所参与新型海洋资源（如可燃冰、海底矿资源）开发装备及其配套设备、海上大型浮式结构物、深海空间站的研发等。

4、做大海洋工程配套产业

尽管江苏海工配套产业走在全国的前列，但发展总体上尚处于起步加速阶段，绝大多数海工配套产品依靠国外进口，而江苏船舶配套企业多，产品广，在国内有明显的比较优势。海工配套产品与船舶配套产品相通性强，相似性大，海工配套同样面广量大，产业链长。因此，江苏有条件发展海工配套产业，做大海洋工程配套产业，做长海洋工程配套产业链。

5、推动海洋工程装备科技创新和技术服务

强化创新基础，完善创新体系，充分利用高校、科研机构和企业等社会力量，大力扶持海洋工程研发与技术服务企业建设，形成以骨干企业为主体、服务全省、辐射全国的江苏海洋工程装备研发体系。大力推进海洋工程装备技术公共服务平台建设，加快形成海工技术创新服务联盟，构筑海工技术服务共享新载体。

6、谋划布局涉海高等教育学科专业

以江苏科技大学和淮海工学院为重点，充分发挥“江苏船舶与海洋类高校协同发展联盟”作用，发挥现有学科专业优势，避免重复建设投资，实现资源共建共享，谋划布局好涉海高等教育学科专业。

具体包括：海洋科学类：海洋科学、海洋技术与海洋资源与环境；水利类：港口航道与

海岸工程, 通运输类: 航海技术、轮机工程; 海洋工程类: 船舶与海洋工程, 海洋资源开发技术; 水产类: 水产养殖学、海洋渔业科学与技术。形成完整的我省涉海高等教育学科专业教育体系。

参考文献

- [3]陶永宏. 加快发展大海工装备产业, 新华日报(智库专栏), 2017. 10. 11.
- [2]杜钱伟、陶永宏. 江苏海洋经济发展战略[J]. 中外船舶科技, 2016, 3--4 连载.
- [1]张占海. 走向深远海[M]. 海洋出版社, 2013.
- [4]周文魁. 江苏海洋工程装备产业发展研究[J]. 当代经济, 2015(26): 12-14.
- [4]陶永宏. 我国沿海邮轮始发港生态位适宜度评价模型与实证研究[J]. 江苏科技大学学报(社会科学版), 2017(1): 81-86.