

LNG 运输及加注型船舶研发现状与进展

李洋钢¹, 应业炬², 郁惠民²

(1. 国营海东造船厂, 浙江 台州 317700; 2. 浙江海洋大学 船舶与海运学院, 浙江 舟山 316022)

摘要: 针对全球化绿色环保运动风起云涌的态势, 有效实施国际海事组织 2020 年 1 月 1 日起全球船用燃油限硫规定, 减少船舶大气污染物排放, 促进绿色航运发展, 推进应用 LNG 等清洁燃料, 国内外研发 LNG 运输及加注型船舶的潮流汹涌澎湃、突出海上加注技术的船型研究逐渐成为航运业关注的焦点。

关键词: LNG; 运输及加注型船舶; 研发现状; 新进展

中图分类号: U674.1

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 08—0100—04

在全球经济一体化新发展格局加速推进背景下, 国际航运市场转型升级与低碳革命的声浪已不再微风荡漾波澜不惊, 百花齐放群雄争锋的局面将势不可挡; 全社会弘扬可持续发展意识理念日益高涨, 绿色环保奏响了人类追求命运共同体净化家园的主旋律。中央经济工作会议中最近指出: 我国二氧化碳排放力争 2030 年前达到峰值, 力争 2060 年前实现碳中和。要加快调整优化产业结构、能源结构, 推动煤炭消费尽早达峰, 大力发展新能源。要继续打好污染防治攻坚战, 实现减污降碳协同效应。时代号角下, 船舶行业清洁能源的开拓应用任重道远, 双燃料主机的研发工作方兴未艾, 解决 LNG (液化天然气) 运输以及加注补给方案已间不容发、迫在眉睫。

1 绿色环保引领国际社会健康发展, 全球航运防污解决方案有序推进

在航运产业链中, 船舶 NO_x 排放占全球 10~20%, SO_x 排放占全球 4~8%, 鉴于运输船舶对环境造成污染日益严重的状况, 国际海事组织 (IMO) 早已颁布了《国际防止船舶造成污染公约》(简称 MARPOL) 附则 VI 中制定的相关排放标准 (NOX TIER III)。为此, 全球海运行业选用清洁绿色能源 (如 LNG 等) 替代重油燃料的紧迫感如影随行, 并随着 LNG 产业链的成熟发展必将成为未来航运船舶首选的主要替代燃料之一。IMO 海上环境保护委员会于 2016 年 10 月在伦敦召开第 70 次会议通过决议, 自 2020 年起强制实行船舶 SO_x 排放限制,

即非控制水域航行的国际船舶须使用含硫量小于等于 0.5% m/m 的船舶燃料油。分析当前船舶所处的技术水平, 海运业可优选的应对方案不外乎以下三种: 安装洗涤塔、使用低硫油 (含硫量 ≤ 0.5% m/m) 或应用 LNG 等清洁能源。研究表明, 船舶使用 LNG 作为动力燃料可减少 CO₂ 排放约 25% 左右, 硫氧化物和颗粒物的排放几乎忽略不计, 氮氧化物的排放可减少 90% 左右。与“安装洗涤塔、使用低硫油”的方式相比较, 选用 LNG 清洁能源致使减排效果和环境效益最大化, 减少温室气体排放效果显著, 降低船舶效能设计指数 (EEDI) 及经济性等方面已显示出更强劲的竞争优势。

伴随 LNG 主机技术的快速发展, 以及 LNG 作为船用燃料的推广应用, 已然涌现出众多类型、众多规模 LNG 为动力的新造船及改装船, 相关联的 LNG 燃料加注技术越来越受到国际社会的重视和关注。

2 发达国家研发 LNG 加注型船舶技术逐步成熟, 清洁能源应用方兴未艾

液化天然气作为船舶燃料最先应用到中型 LNG 运输船上, 2000 年前后在北欧地区开始推广。截至 2018 年 3 月, 运营在北欧沿海水域的客渡船、平台供应船、货运船及包括正在新造的 LNG 动力船舶约有 250 余艘。到 2020 年年初, 全球已有 175 艘远洋 LNG 动力船正在运营, 203 艘远洋 LNG 动力船正在建造, 约有 93 个港口能够为船舶提供 LNG 燃料, 还有 54 个港口正在推进 LNG 供气投资和运营建设。

2016年以后全球航线推广LNG燃料应用的热潮逐步拉开帷幕。在亚欧航线，法国达飞海运集团(CMA-CCM)计划投资9艘LNG动力集装箱船开展运营；2019年德国大众汽车向挪威西姆汽车船公司租赁2艘LNG动力滚装船往返于欧洲和北美之间的航线；EU早期已设想其所属沿海及内河港口实现零排放“气化”方案，预期到2020年时，所有进出欧盟沿海各港口的船舶全部转型LNG燃料化，以期达到净化目的。到2025年，航行到欧盟内河港口的船舶要实现百分百的LNG燃料化。

为此，需要解决越来越多LNG动力船燃料添加与补给的问题，目前对船舶进行LNG加注的方式主要有4种方式：槽车对船(TTS)、岸站对船(PTS)、便携式液罐传输、船对船(STS)。相比较而言，船对船加注是指燃料从加注船向另一艘船舶加注LNG燃料，LNG加注型船舶本身兼备自航、运输、装卸特征于一体必然成为水上LNG移动加注技术未来重点发展的方向。

2013年，由瑞典的Cryo AB公司兴建的全球首艘“SEAGASLNG”加注船正式投入到芬兰维京邮轮公司运输船队工作，该船型每小时燃料加注量达到4000 gal(约15.14m³)。之后，瑞典的FKAB公司新开发了总长L_{0A}为67.6m，装运LNG和燃油二合一的“FKAB L1”号LNG加注型船舶；2014年底，壳牌能源公司向韩国STX造船订购的6500m³LNG加注船也于2017年完成交付。至2020年末，全球LNG加注船在港数量已达18艘，但实际运营的LNG加注船不到14艘，最大舱容为18600m³，屈指可数的现状难以满足未来LNG燃料船舶对LNG加注的需求。

3 国内深入推进水运业构建LNG规划体系与加注网络初步形成

低碳革命、绿色航行成为全球海运业可持续发展的风向标，LNG燃料作为清洁能源的推广使用前景愈发利好，LNG双燃料动力及加注业务这一新产业的兴起将是历史的必然。我国交通运输部早在2018年8月发布了《关于深入推进水运行业应用液化天然气的意见(征求意见稿)》，明确提出促进水运绿色发展和推进水运行业应用LNG清洁能源总体布局的构想。根据文件部

署，到2025年，基本形成覆盖全面、技术先进的水运装备LNG清洁能源应用体系，初步建成集约高效、功能完备的LNG水路运输系统，基本建成完善的加注服务网络，为国家能源结构调整和水运绿色发展提供重要支撑。

为大力推广液化天然气这一清洁能源，坚持不懈走绿色发展道路，我国早已规划和布局了22个沿海港口大型LNG接收站，但仅沿海地区布局的这些接收站不足以满足国内水上LNG船舶需求市场的渴望。因此，通过LNG运输及加注船向大型LNG动力船舶无法抵达的沿海和沿江地区转运LNG，保障LNG资源合理调度，扩大LNG市场覆盖面，破解LNG供应难题，不失为优化能源结构的重要举措。纵观经济发达珠三角和长三角地区，水网密布且能源需求大，在成功铺设天然气管道体现特定供应优势的方式之前，通过船舶从事LNG专业输送比公路、铁路运输显示出更强劲的灵活性与经济性。以此为契机，国内能源企业和重要船企以前瞻视野研判国内大型LNG接收站分布、能源需求和国外发展的趋势，紧锣密鼓迈开了研发各种LNG运输及加注型船舶的步伐。

按照“先内河后沿海再远洋”的推广路径，我国率先在内河开展水运业推广应用LNG试点工作。截至2018年3月，全国已有LNG动力船舶约280艘，内河船舶小型LNG加注站19座。沿海仅有7艘LNG动力试点船舶，真正LNG水上加注型船舶尚未建成；另缺乏完善的加注设施建设标准和配套政策，沿海船舶LNG加注站鲜有投产运营。相比于国外，本国出台的海上应用LNG政策法令、标准规范等相对滞后。至2020年年末，沿海22个LNG接收站(包括3个小型接收站)已投入营运。2020年6月3日上午，在深圳盐田，隆重举行了海上国际LNG加注中心建设项目的签约仪式，这标志着国内首个海上国际LNG加注中心正式落户深圳，盐田港将成为世界LNG加注中心建设先行者之一。

伴随交通部谋划“气化长江”计策及农业部推进“渔船油改气”进程宏伟蓝图的实施，为加速LNG运输与加注型船舶的研发和推广应用描绘出了一幅前景绚丽多姿的精彩画卷。也必将为浙江率先开发成功LNG运输及加注船型及抢占关键技术前沿高地带来了难得的机遇

和挑战。

4 国内建造 LNG 加注型船舶条件具备，但研发关键技术相对滞后

自 2011 年开始，中国海油发展采油公司、上海佳豪有限公司、大连理工大学等单位联合开展了小型 LNG 加注船的船型和建造技术研发等工作，相继开发过 1000m³、2500m³、3000m³、5000m³ 的 LNG 加注船船型。2018 年 2 月，沪东中华造船集团与日本商船三井签署了 1 艘 18600m³ 液化天然气（LNG）加注船建造合同。该船是当时全球最大 LNG 加注船，计划布置在欧洲港口，主要为达飞轮船的 9 艘全球最大 22000TEU LNG 动力集装箱船及其他航行于亚欧航线的船舶提供 LNG 燃料加注服务。

作为世界头号造船大国，中国始于 2008 年引进技术建造 LNG 船，目前在大型 LNG 船设计和关键建造技术上还处于跟踪和模拟国外先进技术阶段，核心装备国产化率极低；主要缺乏与其相关基础理论研究和实验研究、关键技术研发等方面的工作深度和成效。《中国制造 2025》将海洋工程装备和高技术船舶列为十大重点发展领域之一，其中重点提出了“建立 LNG 运输船和 LNG 动力船高端品牌”的宏伟发展目标，弥补液化天然气装备发展的短板，引领 LNG 海工装备自主设计建造技术研究指明了方向。鉴于大型船用双燃料主机自主研发、LNG 燃料供给系统、LNG 船货物围护系统等相关技术研究起步较晚，设计和建造严重依赖现有的研究成果和专利技术的状况，在某种程度上形成了制约 LNG 加注船进一步发展的瓶颈现象。

诚然，伴随全球航运市场 LNG 动力船舶数量的逐渐增长，为其加注 LNG 燃料的技术、设施和装备业已成为造船业和航运业急盼解决的一个突出问题。LNG 运输及加注型船舶因具备自主航行能力、调度灵活、操纵便捷安全、占用码头资源少、加注速率快、船舶燃料自身装卸与其加气操作双重作业无干涉等诸多优势，为加注对象实施高效的、适时的 LNG 燃料补给解决方案提供了全天候服务的可能。LNG 运输及加注型船舶的设计开发，又将进一步推动 LNG 动力船舶的设计和改造进程，必然带动整个 LNG 产业链的迅猛发展，市场价值

潜力巨大。

5 LNG 运输及加注型船舶研发新动向与进展

国际海事组织自 2020 年强制实施“限硫令”以来，海运业进入了低硫低碳的新时代。LNG 作为船舶燃料清洁能源替代者的应用前景灿烂辉煌，LNG 加注基础设施建设的投资热潮空前高涨。当前世界主要港口、重要通道跟踪市场抓紧布设 LNG 加注设施，LNG 加注型新船的订单量也逐步攀升。

近期，新加坡 Pavilion 能源公司负责亚洲事务的总经理艾伦·恒格在天然气技术 (Gastech) 虚拟峰会上表示，全球液化天然气加注需求预计到 2025 年前将增加 900 万吨以及到 2030 年前预计将增加大约 3000 万吨，而全球 LNG 加注船队的数目到 2030 年前将从现有 556 支增加到 8000 多支。

2019 年 9 月，由新奥能源公司投资的 8500m³LNG 燃料加注船由大连船舶重工开工承建，是首艘由国内船厂总包建造的全球最大的 C 型罐式专用 LNG 燃料加注船，预计今年交付。届时将很有可能为法国达飞在中国建造的 9 条 22000 箱双燃料超大型集装箱船提供首次加注。

日前，全球首制最大 18600 m³LNG 加注船“Gas Agility”号由沪东中华造船集团建成交付并顺利抵达荷兰鹿特丹港。船东是日本商船三井株式会社，由道达尔的关联公司 TMFGS 租用。这艘 18600 m³ 的 LNG 加注船将为包括达飞超大型 LNG 动力集装箱船在内的许多大型船舶供应 LNG 燃料。

大韩造船代表理事、社长郑大成今年 1 月 28 日表示，该公司近日与美国船级社（ABS）签订了 12500m³LNG 加注船技术开发意向协议（MOU）。大韩造船将以此合作为契机，在 ABS 的专业技术支援下开展研发设计工作，并计划在该项技术获得 ABS 原则性认可（AIP）后，加快经营接单的步伐。2020 年，大韩造船已分别与 ABS 以及英国劳氏船级社（LR）签订了 7500 m³ LNG 加注船技术开发意向协议。

今年 1 月 27 日，南通中集太平洋海洋工程有限公司为 Avenir LNG 公司建造的全球最大 20000m³LNG 运输加注船在舟山长宏国际船舶修造有限公司顺利下水。

这是继 12 月 26 日公司首艘 7500 m³ 液化天然气加注船 S1049 船顺利下水后的又一杰作。该 20000 m³ LNG 运输加注船总长达 159.9m、为目前世界上最大的 LNG 燃料加注船。该船由中集太平洋海工负责建造,船体部分在长宏国际施工建造,该船主货罐为 C 型双瓣罐,由中集太平洋海工自主设计,具有安全、节能和环保等特点,该船在兼顾 LNG 运输功能的同时又能为其他船舶及终端加注 LNG。

2020 年 5 月 26 日,世界最大船用双燃料低速主机(WinGD X92DF)由中国船舶旗下温特图尔发动机有限公司自主研发,上海中船三井造船柴油机有限公司建造成功并顺利下线。它是集超大功率、智能控制、绿色环保三位一体,以优异的性能和排放指标引领目前世界同类型发动机。该型低速机在燃气模式下,采用奥拓循环原理,低压燃气进气技术,满足 IMO TIER III 条款严苛的排放标准。

该机型研制成功是我国在船舶动力领域取得的非凡成就,标志着中国“船舶智造”步入新时代、跃上新台阶;冲破了国内大型海洋工程装备研发技术卡脖子瓶颈的重围,彰显自主创新、开拓中国船舶 LNG 动力事业、为推进研制高端 LNG 加注型船舶铺就了一条归途如虹的阳光大道。

参考文献:

- [1] 黎翔,吴军,关海波. LNG 船对船输送系统简介[J]. 中国水运,2019,19(4);1-3.
- [2] 郭旭,罗晓钟,王荣华,王苏淮,徐周凯,王芳云,苗娜. 国内 LNG 运输技术与设备的发展现状[J]. 低温与特气,2016,34(2);11-14.
- [3] 付海泉,屈晟,尹丹霓. 利用中小型船舶运输 LNG 的可行性[J]. 油气储运,2012,31(11):845-849.
- [4] 王华北. 我国 LNG 工业发展及应用研究[D]. 工程硕士学位论文,大庆石油学院,2009/5/15.
- [5] 何继强. 小型 LNG 运输船在中国的发展前景[J]. 船舶工程,2012,34(4);4-6.
- [6] 严孝钦,陈晓莹. 5000 立方米级 LNG 加注船线型开发研究[J]. 江苏船舶,2018,35(6);5-8.
- [7] 沈嘉祺. LNG 加注船方案设计关键技术研究[D]. 专业学位硕士学位论文,大连理工大学,2018/4/26.

[8] 陈晓莹,宋炜,龙潺. 某大型 LNG 加注船船型总体设计研究[J]. 江苏船舶,2019,36(2);1-3,8.

[9] 柳梦源,杨隽豪,王璐璐,吕烈彪. 小型 LNG 加注船方案设计研究[J]. 船舶工程,2018,40(S1);4-7,92.

[10] 于嘉懿. 浅谈推进船舶液化天然气加注站建设[J]. 上海煤气,2019,3;1-3.

[11] 王利明,纪永波. LNG 动力船最新发展动向[J]. 中国船检,2018/07/15;82-83.

[12] 袁瑞强. LNG 航运业的新动向[J]. 中国远洋海运,2018/09/01;34-35.

[13] 新闻. LNG 运输加注船. 国际能源网 [DB/OL]. <https://www.in-en.com>.2021.

[14] 新闻. 世界最大船用双燃料低速机今天正式推出. 中国水运网 [DB/OL]. <http://www.zgsyb.com/news.html?aid=554158>.

基金项目:浙江省重点研发计划项目:首制大型 LNG 运输及加注船关键建造技术研究及应用示范(2021C03184)资助;浙江省舟山市科技计划项目:大型 LNG 运输及加注两用船建造关键技术研究(2020C12005)资助。

