

# 基于绿色发展理念的船舶氢燃料动力应用创新研究

程龙, 李娜

(天津海事局 天津300351)

**摘要：**文章基于绿色发展理念，分析了氢燃料动力的必要性，首先介绍氢燃料电池的原理，比较分析了我国和国外对氢燃料应用研究和成果，总结国外关于氢燃料电池研究的特点，分析我国研究的现状，总结了氢燃料动力船舶的发展前景和氢燃料动力船舶的不足，最后提出了我国氢燃料动力船舶发展建议。

## 0引言

绿色发展是在传统发展基础上的创新，是可持续发展的重要支柱，是环境容量与资源承载的协调，是以人与自然界和谐，以绿色低碳循环为主，是生态文明建设的重要抓手。

绿色船舶发展是我国船舶工业“十四五”规划的重要发展方向，“绿色船舶技术研究”成为全球热点，基于新技术、新能源的绿色船舶，必将引起造船、航运业界的变革。

世界人口现已突破70亿，比上世纪末增加了2倍多。据统计，能源消费却增加了16倍之多，随着经济和社会的不断发展，三大化石燃料的使用量也不断增加。由于化石燃料的储量降低以及其使用所带来的环境污染、温室效应等问题的不断凸显，开发利用新能源（或可再生）成为发达国家和发展中国家21世纪能源发展战略的基本选择。船舶，作为全球重要的国际贸易运输工具，是能源消耗的重要一环。2009年7月13日召开的国际海事组织（IMO）59次环保会（MEPC59）上[1]，提出了新船能效设计指数（EEDI）的要求，以降低船舶温室气体的排放。采用新的节能技术不失为一种优化EEDI指数的措施，但相对以风能、太阳能、核能、生物质能和潮汐能等为代表的新能源在节能减排方面所具有的独特优势和产生的环保效益来说，节能技术所耗费人力、物力和财力巨大的劣势进一步凸显。近年来，交通运输行业船舶领域新能源的应用和推广已呈潮涌之势，以期有效实现船舶节能减排这一根本目标。氢燃料电池作为船舶动力，可完全满足国际海事组织制定的船舶污染排放要求。因此，使得绿色能源氢能源的研究开发和利用引起全世界范围内的关注。

## 1氢燃料电池的工作原理概述

燃料电池是一种将储存在燃料（包括氢气、重整气等）和氧化剂（主要为氧气）的化学能通过电化学反应转化为电能的装置。从技术原理上看，只要燃料和氧化剂的供应不断，就能够连续不断地产生电能从而为用电设施提供动力，因此燃料电池兼具电池和热机的特点，具有能量转化效率高、无环境污染物排放、可低温快速启动、振动和噪声等级低等特点[2]。氢燃料电池是采用氢气作为燃料的燃料电池，通常也称作质子交换膜燃料电池（Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC）；除氢燃料电池以外，燃料电池通常还包括磷酸燃料电池（Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC）、固体氧化物燃料电池（Solid Oxide Fuel Cell, SOFC）、碱性燃料电池（Alkaline Fuel Cell, AFC）及熔融碳酸盐燃料电池（Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC）。按照工作温度的不同，一般将AFC、PEMFC归为低温燃料电池，PAFC为中温燃料电池，而MCFC和SOFC则属于高温燃料电池。《中国氢能源及燃料电池产业白皮书（2019版）》指出，氢燃料电池由于工作温度低、启动快、比功率高等优点，非常适合应用于交通和固定式电源领域。当燃料电池以纯氢气为燃料时，其化学反应产物仅为水，从根本上消除了CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、粉尘等大气污染物的排放，可完全实现零排放。同时，由于燃料电池生成水的反应是放热反应，在工作中还会产生大量热水、蒸汽，所以不仅可以供电，还可以供暖，具有清洁、可靠、能移动、寿命长等优点。此外，只有燃料电池本体还不能工作，燃料电池必须有一套相应的辅助系统，包括反应剂供给系统、排热系统、排水系统、电性能控制系统及安全装置等。

## 2氢燃料电池技术的发展现状

早在20世纪60年代燃料电池就因其体积小、容量大的特点而成功应用于航天领域。进入70年代后，随着技术的不断进步，氢燃料电池也逐步被运用于发电和汽车。如今伴随各类电子智能设备的崛起以及新能源汽车的风靡，氢燃料电池主要应用于固定领域、运输领域、便携式领域等三大领域。从市场的观点来看，燃料电池因其稳定性和无污染的特性，既适宜用于集中发电，建造大、中型电站和区域性分散电站，也可用作各种规格的分散电源、电动车、不依赖空气推进的潜艇动力源和各种可移动电源，同时也可作为手机、笔记本电脑等供电的优选小型便携式电源。

### 2.1国外现状及特点

1) 日本和美国是当前燃料电池市场的主要统治者。自上世纪90年代以来，在政府支持下，日本开展了燃料电池汽车所需的共用新技术、设备的研究。目前，日本在燃料电池各主要技术领域处于绝对的领先地位，而且技术最为全面。美国政府将氢能和燃料电池确定为，维系经济繁荣和国家安全的、至关重要的、必须发展的技术之一[2]。美国能源部当前的特定目标主要有3个，即从现有的和未来的资源中获取氢能、自由汽车计划、燃料电池研究。美国国防部的研究则主要集中于氢能和燃料电池在军事方面的应用，研究的重点是质子交换膜燃料电池和固体氧化物燃料电池；

2) 全球超过70%的氢能和燃料电池示范项目落户欧洲。其中，德国在这项技术的商业化方面处于领先地位。活跃在这一领域的德国公司与科研机构超过350家。从燃料电池专利申请数量来看，德国排名第三。从技术细节来看，德国重点关注燃料电堆、燃料制备与存储。从技术分类来看，德国和美国一样比较关注固体氧化物燃料电池技术。从技术应用方面来看，德国更为关注燃料电池在车辆上的应用；

3) 氢能研发是韩国政府“21世纪前沿科学计划”的主攻技术领域之一。韩国政府成立了“氢能研发中心”，该中心针对韩国10年内氢能的发展，将目标分解为3个阶段，每个阶段均涉及氢能生产、氢能贮藏和氢能利用三方面的内容，目前已经进入推广执行阶段。燃料电池研究则在“能源技术研发的10年计划”框架下展开。韩国的专利申请数量排名第四。从专利技术细节来看，韩国关注膜电组件；从技术分类来看，韩国更为关注直接甲醇与熔融碳酸盐燃料电池技术；在应用方面韩国更为关注燃料电池便携式应用。

## 2.2国内方面

1) 国内的技术现状。我国的燃料电池技术专利数量全球排名第五。从技术细节方面来看，我国则更为关注电极和催化剂。从技术分类来看，我国关注质子交换膜燃料电池技术[3]。我国的专利申请主要集中在研究院所和高校，企业专利申请数量较少；

2) 我国与国际的技术对比。我国氢燃料电池技术水平与先进国家相比差距较大，主要体现在氢燃料电池总体尚处于工程化开发阶段，功率特性、冷启动、可靠性等主要技术性指标与世界标杆产品相比还有很大差距。关键技术领域所拥有的专利数目不少，但核心技术无几。技术标准还未形成体系，成本居高不下。催化剂、双极板等关键材料和高压储氢罐、空压机、氢循环泵等关键零部件基本不具备产业化能力。相比国际氢燃料电池汽车开始商业化起步，我国氢燃料电池汽车大体落后5~10年；

3) 国内的发展规划。我国始终把发展氢燃料电池作为新能源发展战略中重要的组成部分。早在“十五”期间，就基本形成了以纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车为三大技术路线的新能源发展布局。“十五”至“十三五”期间，“氢能与燃料电池”作为能源科技创新战略方向，国家不断加大对制氢、储氢和加氢技术、燃料电池及其部件和原材料技术研发的政策支持和经费投入。2019年9月，中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》，提出加强充电、加氢、加气和公交站点等设施建设和。随着国家对发展氢能产业的政策支持，地方政府也对发展氢能日益重视。多个省市出台了氢能发展规划和扶持政策，民间资本也积极参与，2019年开始氢能投资爆发，截至当年8月，全国各地共规划了31个氢能产业园区（氢能源小镇、氢谷、氢能产业园、氢能示范城市）。2020年5月，财政部等四部委就《关于开展燃料电池汽车示范推广的通知》（征求意见稿）提出将采用“以奖代补”方式取代原有的购置补贴，选择一部分城市开展氢燃料电池汽车产业化应用示范，并集中资金对示范城市给予更大力度的奖励，该政策进一步激发了各地开展氢燃料电池汽车规模化应用的积极性。

## 3氢燃料动力船舶的发展现状

面对日益增长的环保压力以及碳达峰、碳中和的愿景，造船业不断加快探索船用替代燃料应用的步伐。根据美国船级社（ABS）近日发布的可持续发展系列白皮书，目前，液化天然气（LNG）作为相对成熟的低碳燃料，已在船舶领域实现推广应用；甲醇、氢气、氨气等清洁能源也开始以“船用燃料”的身份亮相[4]，以其为主要动力的船舶应用正逐渐成为船舶实现零碳目标的重要途径。一场有关船舶零碳燃料及技术的混战已经打响。氢燃料动力船舶即以氢燃料电池产生的电能为驱动动力的船舶。氢燃料动力船舶使用氢气和氧气产生电力，副产品为无环境污染的水，是真正的零排放动力，并且没有运动部件，与内燃机相比运行时非常安静。这些卓越的性能使其在未来航运界的应用具有显著的优势。在车用领域，氢燃料电池系统历经10年左右的研发应用，已具备较好技术基础与投资环境。相比而言，氢燃料电池在船舶上的应用，国内、国外均处于研究测试阶段。

### 3.1国外氢燃料动力船舶

自2003年以来，德国、美国、挪威、日本、韩国等国家先后开展了部分船用氢燃料电池系统研究测试项目，积累了一定的船舶应用经验，如挪威平台供应船、125t观鲸船等国外船舶主要使用燃料电池系统作为船舶辅助动力（而非船

船主动力源)；ABB集团、金门零排放海洋公司、韩国船级社等机构都宣称正在研制氢燃料动力船舶，但尚未有实船交付。在1998年意大利Lago Maggiore的试验船采用40kW燃料电池与100Ah铅酸电池混合动力系统，载客量90人，可航行300km。其后，欧盟、美国、日本、韩国等科研机构与航运企业进行了多项燃料电池船舶的示范运营，示范主要集中在小型船舶上，燃料电池系统功率大多小于100kW，船型主要是渡轮或游艇。其中挪威在该领域投入较大，积累了较多的研究成果。从2009年到2015年，艾德斯维克公司的“维京夫人”号船使用液化天然气燃料电池稳定运行了20000多小时，创下燃料电池动力船运行时间最长的世界纪录。该船采用的是320kW燃料电池系统，也是目前已知的实船应用的最大燃料电池系统。

### 3.2 氢燃料动力船舶国内研究

国内的燃料动力船舶研究起步较晚。最早见到报道的是北京富原燃料电池公司于2002年9月研发的富原1号燃料电池游艇，功率为0.4kW。此外，还有上海海事大学于2005年研制“天翔一号”艇，功率为2kW。上述两个试验小艇仅仅是燃料电池应用于船舶动力上的原理性尝试，不具备实用价值。国内目前有两个正在推动的氢燃料动力船舶的示范与研究项目。一是中国船舶工业集团有限公司的2000t内河自卸燃料电池动力货船。2019年4月24日，中船集团向交通运输部呈送《关于恳请支持中船集团研制氢燃料动力示范船的建议》，同年9月10日，部海事局回复《关于推进氢燃料动力船研究相关意见的函》，函中指出氢燃料动力示范船试点工作必须建立在安全基础上，建议在实船验证之前先进行安全专项研究，等研究工作形成具体结论并通过技术论证后，海事局将启动相关法规编制工作。2020年6月23日，由中船下属几个研究所以及中国船级社等参与的“氢燃料动力船舶专项研究验证”项目通过开题评审，进入正式研究阶段，并于当年11月6日，完成相关7个课题项目的结题评审，目前相关的船舶初步设计已完成，但未进行建造和改装的实船验证；二是大连海事大学燃料动力试验船。该船为13.9m游艇，在原有110.25kW汽油机基础上，搭载了75kW的燃料电池系统。在汽油机关机情况下，燃料电池系统匹配50kW环形推进器作为动力，设计船速大于10kn，续航里程大于100n mile。该船于2020年9月22日进行了下水试航(采用的汽油机)，并已完成氢燃料电池部分的安装和测试。拟将其作为一个试验平台，与中国船级社等组织合作，在燃料电池的动力匹配、船用氢气系统安全性等进行试验与研究[5]。

## 4 氢燃料动力船舶的发展前景和主要问题

### 4.1 发展前景

近年来，国内燃料电池产业得到了长足发展，已形成包括明天氢能、新源动力、武汉理工新能源、弗尔赛等在内的一批具有自主知识产权的燃料电池电堆生产厂家，在电堆上游配套方面，MEA、碳纸、质子膜、石墨双极板等均已实现国产化。2019年12月3日，在第20届上海国际海事会展上，中国船舶重工集团第七一二研究所发布了拥有自主知识产权的全国首台100kW级船用燃料电池系统。总的来说，燃料电池产业目前正处于“陆热水冷”的阶段，下一步科研机构与厂家还需要在船用安全、船用动力匹配、水路运输适用性等方面进行研究，以开发出更多适用于水路运输并能够通过船级社认证的船用燃料电池系统。根据交通运输部水科院的数据和专家预计，在世界范围内，船舶用燃料电池的市场容量大约有160GW。2025年氢燃料电池系统改造船数量和新建氢燃料电池船舶数量分别约400艘和200艘，氢燃料电池系统市场规模将达到200亿元。

### 4.2 主要问题

国际海事组织(IMO)2050年温室气体减排目标以及中国“3060”碳达峰碳中和发展目标的提出，让船舶低碳前景愈加清晰。我国船舶工业必须利用船用替代燃料发展的新风口，积极加强动力技术创新，分类布局低碳或零碳燃料的研究应用，抢占船舶工业国际竞争的新高地，助推航运业和造船业向“零碳排放”目标迈进。船用替代燃料应用技术已成为船舶去碳化的一个关键点。由于特性各异，不同燃料被用作船舶动力时，其生产、储存、运输条件和应用瓶颈都会有所不同，以其作为船舶燃料的动力技术创新也会面临不同的问题。目前，氢燃料电池在船舶上应用还存在以下主要问题。

1) 氢燃料动力船舶的应用技术不成熟。氢燃料电池车用技术标准与工程经验日趋完善，船舶应用可有所借鉴，但船用环境条件与车用环境条件存在较大差异，且氢燃料电池动力系统改变了传统船舶内燃机推进理念，其可行性、可靠性和安全性仍有待评估。目前国内外暂无氢燃料电池作为主动力的营运船舶，适用于船舶主动力源的大功率燃料电池技术还有待验证，国内暂无相关船用产品；

2) 氢燃料动力船舶的风险控制研究不充分。氢燃料电池在船舶上应用的主要风险包括：泄漏风险、氢脆风险、快速升温风险和火灾爆炸风险等。氢燃料电池在船上应用会对船舶布置、消防、救生、航行、加注等船舶安全以及船员人身安全造成影响，目前各类风险控制技术和相关产品未经充分的实验验证，氢燃料电池在船上应用的风险识别和控

制手段研究不够充分；

3) 氢燃料动力船舶的配套政策和设施不完善。氢燃料电池成本高，寿命较短（工作时间5000~10000h），氢气系二次能源，目前市场价格居高不下，氢燃料电池在船舶上应用的相关扶持政策也暂未出台，氢燃料上船的经济前景不明朗，供船用的加氢站等基础配套设施建设也不完善。氢燃料上船会给船舶安全管理、船员特殊培训，应急防护处理和危险品监管等海事业务带来较大影响。目前与之相关的船员培训要求、操作规程、应急预案等配套管理办法都暂未出台。

## 5结论和展望

氢燃料动力船舶虽然市场需求大，应用前景光明，但大规模推广还面临着不少障碍，成本较高就是其中一个无法回避的问题。电动船舶的制造成本是同类内燃机船舶的2~4倍，建造加氢站还需要大量的前期投入。船东虽然在环保高压下有新建或改造船舶的内在动力，却无力承担高昂成本的外在压力。根据新能源汽车推广经验，随着燃料电池技术的不断进步与应用规模的逐步扩大，未来几年氢燃料电池成本会快速下降，最后达到政府不补贴或是小规模补贴即能满足船舶市场成本核算需求的程度。但是在此之前，国家和政府必须进行合理的布局与规划，再加以必要的政策支持，以促进氢燃料动力船舶产业快速、健康发展。

1) 应加强氢燃料动力船舶推广的战略规划顶层设计。电动船舶即将进入高速发展的关键时期，有必要借鉴参考新能源汽车近年来所积累的经验 and 遇到的问题，提前做好战略规划和顶层设计。积极推动和引导航运院校和科研机构等合作，围绕长江、珠江、大运河、沿海等重点城市区域，做好氢燃料动力船舶的中长期发展规划，并充分考虑国家发改委、工信部、国资委、交通运输部等相关部委以及各级地方政府的作用，积极引导沿海、沿河省市的沟通协作，出台积极有效的扶持政策。此外，注重陆水协同发展建设，加强基础设施通用等具体协同机制，进而降低氢燃料电动船舶技术研发支出，降低交通系统整体成本；

2) 应加快氢燃料动力船舶配套政策法规体系建设工作。近些年，为促进新能源汽车产业的发展，国家、省、市等出台诸多相关扶持政策。水路运输方面，广东省为推进“绿色珠江”建设，对电动船舶等领域也提供了一些政策支持。建议部属科研机构应该对现有支持政策进行梳理分析，在综合考虑发展规划、经济成本等诸多因素的基础上，提出切实可行的政策建议。一是研究相关财政补贴政策。对符合要求的燃料电池船舶给予补贴，国家财政安排资金对燃料电池船舶应用规模较大城市和企业给予奖励，奖励资金用于行业基础建设投入；二是研究税收优惠政策。对符合条件的燃料电池船舶免征车船税，对新能源船舶消费者及企业减免税收的政策；三是研究加氢站等基础设施建设的支持政策。鼓励各地港口利用现有设施推动加氢设施项目建设，在符合规划的前提下，批准加氢设施用地规划；四是研究电动船舶用氢价格补贴政策，对氢燃料动力船舶用氢实施一定比例补贴；

3) 应加强氢燃料动力船舶试点示范研究。一是选择有基础、有积极性、有特色的城市或区域，重点围绕探索陆水协同发展、支持政策是否合理有效等方面开展试点工作。如依托广东省“绿色珠江”建设，安徽省铜陵市“氢动长江”计划，大连市“氢能海岛”规划等。作为交通主管部门，应积极支持此类省市先行先试，从而积累氢燃料动力船舶建造、运营、监管等的试点经验，为下一步推广做好准备；二是加强对氢燃料电池船舶示范的支持。在保障安全前提下，海事局可以划定区域，鼓励小型燃料电池船舶先行先试，积累安全方面数据。在此基础上，加快相关法律法规的制修订工作，以满足氢燃料动力船舶推广的现实需求。

## 参考文献

- [1]黄弈新,胡启坤.船舶现行环保措施应注意事项[J].天津航海,2014(04):66~68
- [2]尚保国,张勇,吴俊.绿色船舶设计的发展与挑战[J].船舶,2021,32(02):1~8
- [3]于志民.基于目标型标准理念的极地船舶环保分析研究[J].天津航海,2018(03):71~73
- [4]姚仁东.船舶检验及其水运安全环保重要性的探讨[J].船舶物资与市场,2020(07):94~95
- [5]江文成,樊志远,李文强.船舶企业的环保问题与治理对策[J].广东造船,2020,39(03):88~90

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/201909.html>