船用氢燃料电池推进技术发展研究

彭元亭，徐增师

（中国船舶重工集团公司第七一二研究所，武汉430064）

摘要：本文介绍了船用氢燃料电池推进技术发展的必要性、国内外现状、问题及技术需求。与国外先进国家相比存在差距：船用氢燃料电池推进装置的战略与目标亟待确立；氢燃料电池船舶领域法规规范研究不足；船用氢燃料电池推进技术工程化的部分关键技术有待突破；船用氢燃料电池配套基础设施建设缺乏。提出了我国船用氢燃料电池推进技术发展思路与建议，分析了船用氢燃料电池推进技术的应用前景。

一、前言

船舶是为航运业、海洋开发及国防建设提供技术装备的综合性产业，对钢铁、石化、纺织、装备制造、电子信息等重点产业发展和扩大出口具有较强的带动作用，是国家实施海洋强国和制造强国战略的重要支撑。《中国制造2025》已将高技术船舶列为十大重点发展领域之一。

船舶的传统动力推进装置，如柴油机、蒸汽轮机、燃气轮机等，通过消耗柴油来产生动力，存在如下主要问题：燃料能量转换效率低（约35%）；柴油机的振动噪声等级高，极大降低了船舶的舒适度；燃料燃烧产生大量温室气体、氮氧化物、硫氧化物和颗粒物，造成严重的生态环境污染；化石能源是非可再生能源，而且现有的化石能源储量有限，不能支撑人类的持久发展[1~5]。因此，研究清洁、高效、可持续发展的新能源动力推进技术已经成为绿色船舶的重要发展方向。

氢燃料电池是21世纪绿色动力能源技术制高点，是一种将自身携带氢燃料与氧化剂中的化学能经电化学反应直接转化为电能的发电装置，具有能量转化效率高、能量密度高、振动噪声低和零排放等优点[6~8]。此外，氢是可再生能源，可通过太阳能、风能、水势能、生物能等绿色能源制氢获得。因此，氢燃料电池推进技术在船舶上应用可实现能源高效、零排放和船舶舒适度提升，是绿色船舶的理想动力推进装置，适应绿色船舶市场需求。

二、国外船用氢燃料电池推进技术的应用现状

（一）规划与标准

北美、日本、韩国等先进国家和地区已将船用氢燃料电池推进技术作为政府重点支持方向，相继颁布一系列规划与标准，引导并支持氢燃料电池船舶产业发展。

北美：对氢能的研发始于1973年的石油危机，当时成立了国际氢能协会，并在美国迈阿密海滩召开了有关该主题的第一界国际会议，美国能源研究开发署（ERDA）对氢能研究计划加以扶持，作为对美国政府能源自给不成功计划部分的一种弥补。2015年，美国能源局向国会提交了《2015年美国燃料电池和氢能技术发展报告》，大力投资发展先进氢燃料电池技术。2016年，美国能源部报告称，正联合制定环境、安全、许可等方面的船用氢燃料电池和加氢站行业规范。

日本：2009年国土交通省制定的《对于船舶行业中长期科研计划》中便提到将燃料电池作为船舶电力推进系统来减少排放。得益于日本燃料电池领域的技术优势，其在船用领域虽起步晚但发展较快。2017年，日本船级社发布液氢运输船安全建造运营导则，填补了目前海事规则规范在氢燃料动力领域的空白。

韩国：知识经济部在2010年制定的《造船产业中长期发展战略规划》中便提到将燃料电池等绿色能源应用到船舶行业中。2015年，政府推出的燃料电池船舶项目共投入160亿韩元，由韩国船级社牵头进行相应的研发。韩国的大型船厂与企业如大宇造船海洋（山东）有限公司、浦项制铁电力公司（POSCOPower）、三星重工有限公司、SystemTechnologyExcellence（STX）造船集团都参加了政府牵头的船用燃料电池研发项目或自主研发。

（二）示范与应用现状

欧盟、德国、美国、挪威、日本等先进国家和地区在船用氢燃料电池推进技术领域处于领先地位，已实现船用氢燃料电池动力推进装置的示范及应用，进入推广应用阶段。国外主要船用燃料电池推进技术示范项目如表1所示。

表1　国外主要船用燃料电池推进技术示范项目

国家 / 地区（项目名称）	电池类型	功率 /kW	船舶类型 / 用途	燃料类型
欧盟（ZEMships）	质子交换膜燃料电池	100	客船 / 推进动力	氢气
德国（e4ships）	质子交换膜燃料电池	240	邮轮 / 辅助动力	甲醇
冰岛（Smart-H2）	质子交换膜燃料电池	10	客船 / 辅助动力	氢气
荷兰（Amsterdam）	质子交换膜燃料电池	60	客船 / 推进动力	氢气
瑞士（EIVD）	质子交换膜燃料电池	3	客船 / 辅助动力	氢气
挪威（Viking Lady）	熔融碳酸盐燃料电池	320	商船 / 推进动力	液化天然气
美国（SF-BREEZE）	质子交换膜燃料电池	120	渡船 / 推进动力	液氢
比利时（Hydrogenesis）	质子交换膜燃料电池	12	客船 / 推进动力	氢气
美国（Hornblower Hybrid）	质子交换膜燃料电池	32	渡船 / 辅助动力	氢气

欧盟：在2007年资助世界上第一个商业客轮ZEMships项目，该船采用混合动力推进方式，整合了两个峰值功率48kW的氢燃料电池和560V的铅蓄电池，可运送100名乘客。

德国：在2008年研制出100客“ Alsterwasser ”号氢燃料电池游船，其采用氢燃料电池动力推进装置作为主推进动力，功率达到100kW，最高航速可达到14km/h，目前实现载客共14000余名。

法国：在2017年建成氢 – 风 – 光动力船“ Energy Observer ”号，该船长30m，重20t，采用氢燃料电池系统22kW。

荷兰：在2009年建成100客“ Fuel Cell Boat Amsterdam ”用于运河旅游事业，该船配备60~70kW氢燃料电池系统，采用高压氢气提供氢燃料，能够以7节（1节=1nmile/h）航速航行9h。

美国：在2018年6月25日宣布，将在海湾地区建造第一艘氢燃料电池渡轮。该渡轮载客84名，电力推进动力功率是2×300kW，长21m，铝质船体，航速为22节。

挪威：在2009年与瓦锡兰集团、MTU船级社合作研制出著名的氢燃料电池海面补给船“ VikingLady ”号，该氢燃料电池系统功率为320kW，燃料为液化天然气，是全球第一艘投入运营的氢燃料电池工程船舶。

日本：在2015年下水试航首款氢燃料电池渔船，该渔船全长12.5m，可乘坐12人，可搭载450L氢燃料，最高速度可达37km/h。

三、我国船用氢燃料电池推进技术的应用现状

氢燃料电池推进技术可作为推进动力和辅助动力装置，应用于内河、内湖和近海的游船和游艇，满足该类型船舶对节能减排、绿色环保和提升船舶舒适度的需求；作为推进动力和辅助动力装置，应用于科考船，满足该类型船舶对噪声振动及废气排放的需求；作为辅助动力装置，应用于频繁进出港口的散货船和客船，满足该类型船舶对降低港口环境保护的需求。

近年来，车用氢燃料电池技术及其配套设施投入不断加大，上海汽车集团股份有限公司、上汽大通汽车有限公司、郑州宇通集团有限公等国内知名车企先后推出各型号燃料电池作为发动机的新能源汽车。中国船舶重工集团第七一二研究所通过承担科学技术部新能源汽车重点专项“ 快速动态响应燃料电池发动机研发 ”，已攻克30kW级物流车用燃料电池发动机的工程化核心技术。总体而言，在车用领域，氢燃料电池系统的开发和应用已具备较好的技术基础与投资环境。相比而言，国内船用氢燃料电池推进技术研究工作刚起步。

国内对船用氢燃料电池推进技术的规范研究工作主要集中在中国船级社（CCS）。2017年12月，CCS的《船舶应用替代燃料指南》第2篇燃料电池推进系统中规定了燃料电池船舶的各项设计与检验要求。国内对船用氢燃料电池推进技术的工程化研究工作主要集中在中国船舶重工集团第七一二研究所，通过承担国家政府科研项目，在舰船和水下装备领域的氢燃料电池动力系统的技术攻关工作中积累了丰富的研制经验，在氢燃料电池电堆、氢源技术、控制与能量管理、系统集成等方面取得关键技术突破，在船用氢燃料电池推进技术领域处于国内领先地位，具备较好的技术基础储备。

此外，中国船舶重工集团第七一二研究所在电力推进系统方面，承担了工业和信息化部“ 船舶综合电力推进技术 ”

和“船舶综合电力推进系统工程化技术研究”项目、科学技术部“船用电力推进系统”项目等。完成了救援船、液化天然气（LNG）船、散货船、水声测量船、太阳能游船、苏州环城河游船、三亚环岛游船、新疆天池游船、武汉轮渡、挖泥船、海上风电安装船等船舶的电力推进系统集成工作。目前，正在承担国内首艘300客位全电动客船研制项目，采用高性能锂电池作为全船动力推进装置，后续将采用氢燃料电池替换锂电池作为全船动力装置，是国内率先推出的“零排放”“环境友好”绿色动力客船。

虽然，近年来我国船用氢燃料电池推进技术取得了长足的进步，但与国外先进国家相比仍存在差距：①船用氢燃料电池推进装置的战略与目标亟待确立；②氢燃料电池船舶领域法规规范研究不足；③船用氢燃料电池推进技术工程化的部分关键技术（氢燃料电池电堆船用化技术，船用高安全、高储氢密度氢源技术，船用氢燃料电池系统集成技术）有待突破；④船用氢燃料电池配套基础设施建设缺乏。

四、我国船用氢燃料电池推进技术的发展思路与建议

（一）基本思路

按照《中国制造2025》对高技术船舶在2025年实现船舶工业制造强国的要求，围绕氢燃料电池推进技术在节能、环保、安全、高效船舶推进装置领域的市场需求和发展趋势，以突破具有自主知识产权的船用氢燃料电池推进技术工程化为目标，通过政策引导、关键技术攻关和绿色环保技术应用，实现船用氢燃料电池推进装置自主化和工程化，加快推进船舶工业转型升级，以适应高性能绿色船舶在内河、近海、远洋船舶领域的市场需求。

（二）发展建议

1.加强统筹规划，建立国家推动机制

明确氢燃料电池船舶的发展思路和技术路线，制定国家发展氢燃料电池推进装置的战略与目标。根据战略定位与发展目标制定船用氢燃料电池推进技术发展政策与统筹规划，建立国家推动机制。引导行业、企业，科研院所、高校及各地方政府的发展方向，加强组织管理，实现资源共享，减少资源、投资的浪费。

2.加大对关键核心技术的研发力度，提高自主创新能力

加大国家及各级地方政府科研投入，重点加强对船用氢燃料电池推进技术工程化的关键核心技术研发：高效率、高可靠和长寿命的氢燃料电池电堆船用化技术；高安全性、高储氢密度、高存储释放可逆、补给便捷的船用氢源技术；高紧凑、智能化的大功率氢燃料电池系统集成技术。此外，在以企业自主创新为核心的基础上，强化产学研合作，整合行业的优势技术资源和产业链资源，打造技术一流的研发团队和技术领军人才，提高自主创新能力。

3.开展法规规范的符合性研究，建立燃料电池船舶法规规范

以国家相关规定为准绳，联合国家海事局相关部门，重点开展储氢设备上船的合规性分析研究、船用氢源及氢燃料电池推进技术的安全性分析研究和氢燃料电池船舶风险评估规范研究，逐步建立和完善氢燃料电池船舶法规规范。

4.开展示范运行，推广市场应用进程

以生态优先绿色发展为引领，实现内河－近海－远洋的逐步示范推广。在示范运行中，对装置可靠性、安全性、环境适应性等进行系统考核，推广自主研发的装置，加快氢燃料存储、补给配套设施建设。为在全国范围的示范积累经验，尽快推动船用氢燃料电池推进技术向产业化方向迈进。

5.开展国际合作，推进我国技术核心竞争力

围绕船用氢燃料电池推进装置技术战略定位与发展目标，积极开展和各相关国际机构、组织、企业的合作，积极开展双边或多边国家政府间的合作。全面提升国际科技合作的质量，增强我国在船用氢燃料电池推进装置的科技创新能力和核心竞争力。

参考文献

[1]吴桂涛，孙培廷，袁金良.燃料电池技术在船舶领域的应用研究[C].武汉：全国船舶机电维修技术学术会议，2006

.Wu G T，Sun P T，Yuan J L.Research on the application of fuel cell technology in the field of ship[C].Wuhan：Academic Conference on Ship Mechanical and Electrical Maintenance Technology，2006.

[2]毛宗强，刘志华.中国氢能发展战略思考[J].电池，2002，32(3)：28－30.Mao Z Q，Liu Z H.Hydrogen strategy for China[J].Battery Bimonthly，2002，32(3)：28－30.

[3]李斌.燃料电池技术及其船舶应用现状[J].科技能源，2011，34(10)：30－33.Li B.Fuel cell technology and its applications on board ship[J].World Shipping，2011，34(10)：30－33.

[4]程一步.氢燃料电池技术应用现状及发展趋势分析[J].石油石 化绿色低碳，2018，3(2)：5－13.Cheng Y B.Application status and development trend analysis of hydrogen fuel cell technology[J].Green Petroleum & Petrochemicals，2018，3(2)：5－13.

[5]陈璐，林丞丰.燃料电池及其在船舶上的应用研究[J].科技创 新与应用，2017 (6)：84.Chen L，Lin C F.Fuel cell and its application in ships[J].Technology Innovation and Application，2017 (6)：84.

[6]潘其永，朱子文，郑青榕，等.典型船舶燃料电池推进系统研究[J].船舶工程，2016，38(4)：35－38.Pan Q Y，Zhu Z W，Zheng Q R，et al.Research of typical marine propulsion system powered by PEMFC[J].Ship Engineering，2016，38(4)：35－38.

[7]王赓，郑津洋，蒋利军，等.中国氢能发展的思考[J].科技导报，2017，35(22)：105－110.Wang G，Zheng J Y，Jiang L J，et al.The development of hydrogen energy in China[J].Science & Technology Review，2017，35(22)：105－110.

[8]岳蕾，张志国，彭娅玲.燃料电池作为船舶动力装置的可行性分析和研究[J].舰船科学技术，2009，31(2)：63－66.Yue L，Zhang Z G，Peng Y L.The analysis and research of fuel cell ’s feasibility as the power device of ships[J].Ship Science and Technology，2009，31(2)：63－66.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/170832.html