

简析船舶替代燃料的选择与应用

刘 晴

中远海运重工有限公司 上海 200135

摘要: 国际海事组织于2018年通过《IMO船舶温室气体减排初步战略》, 制定了航运业“减碳”、“脱碳”路径与目标。在此背景下, 全球航运企业纷纷加入“脱碳”浪潮, 船舶替代能源选择成为各家热议焦点。本文将就各类型替代能源的现状、特性与前景进行初步分析。

关键词: 脱碳; 船舶; 能源; 替代

Brief Analysis of the Selection and Application of Alternative Fuel for Ships

Liu Qing

COSCO Shipping Heavy Industry Co., Ltd. Shanghai 200135

Abstract: In 2018, the International Maritime Organization adopted the "IMO Preliminary Strategy for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Ships", which established paths and targets for "carbon reduction" and "decarbonization" in the shipping industry. In this context, global shipping companies have joined the wave of "decarbonization", and the choice of alternative energy sources for ships has become a hot topic of discussion among various countries. This article will conduct a preliminary analysis of the current situation, characteristics, and prospects of various types of alternative energy.

Keywords: decarbonization; ship; energy; substitution

近年以来, 我国重视航运业的脱碳减排, 明确提出了航运业高质量发展的措施与要求, 为我国航运业尽早实现碳达峰奠定了基础。目前, 各科研机构、各大船舶修造企业, 均在根据“减碳”目标, 积极开展各类型替代能源的研究与探索, 必将为国际航运减排提供新的经验和方案。

1 LNG 燃料

1.1 LNG燃料的应用现状

LNG是天然气深冷液化后的液体, 是一种清洁优质的燃料, 主要由甲烷组成, 可能含有少量的乙烷、丙烷、氮或其他组分。LNG不易燃、易挥发, 但爆炸极限相对较高¹。

LNG与传统的燃料油相比具有相对明显的清洁优势。LNG可减少99%的二氧化硫, 91%的颗粒物排放和92%的氮氧化物排放, 远远超过了现行法规的要求。在国际海事组织及相关国家对船舶排放的要求日益严格的背景下, LNG在降本、减排、节能等方面体现了其成为未来船型燃料选择方面的主要优势。

2017年11月, 全球集装箱航运巨头法国达飞(CMA CGM)宣布订购9艘LNG燃料22000 TEU超大型集装箱船, 这是航运史上船东首次下单此类船舶, 进一步推动了LNG动力船舶的

快速发展。

1.2 LNG燃料的特性分析

目前, 航运业对于选用LNG动力的看法不一, 其争议核心在于LNG属于低碳燃料, 而非零碳燃料。对于航运业而言, 很难实现从传统的燃油直接跨越到零碳燃料。而LNG的来源多样, 相关基础设施及配套产业也相对齐全, 尽管不能将其定性为终极燃料, 但它显然是目前一个较好的过渡能源选择, 在航运业向零碳过渡过程中必将承担重要角色。

1.3 存在的问题

一是其自身甲烷逃逸问题, 但现代高压主机大大减少了这种泄漏情况。二是对于LNG燃料动力船舶, 虽然在新造和改装方面技术均已发展较为成熟, 但居高不下的成本成为了船东改造的最大瓶颈, 同时并非所有船舶都适合进行改造。

2 LPG 燃料

2.1 LPG燃料的应用现状

LPG是以丙烷和丁烷为主要成份的石油碳氢化合物或两者混合气, 通常伴有少量的丙烯和丁烯。LPG热值高、清洁环保, 但易扩散、爆炸下限较低, 一旦发生泄漏较为危险。与传统合规燃料相比, 使用LPG作为燃料可减少大气排放。

¹ 詹煊宁; 靖佳超; 娄春景《船舶未来新型替代能源》, 船舶, 2018年第1期, 第167-172页

2.2 LPG燃料的特性分析

使用LPG作为燃料易于储存, 燃料补给更快, 具备成本效益。此外, LPG双燃动力船还具有双燃料使用灵活、价格更低的优点。

2.3 LPG燃料的前景分析

放眼未来, 零排放燃料方案为大势所趋, LPG可以作为氨气的过渡燃料, 如果在新船项目前期规划中布置妥当, 后期改为氨气所需的调整将大大缩减。

3 甲醇燃料

3.1 甲醇燃料的特点与现状

甲醇是结构最为简单的饱和一元醇, 其理化性质与汽油类似, 是一种无色、透明、有毒、易挥发的易燃液体²。甲醇与其他几种常见船用燃料的对比如下表。

燃料 ^a	重油 ^a	低硫油 ^a	LNG ^a	甲醇 ^a
物态 ^a	液体 ^a	液体 ^a	低温液体 ^a	液体 ^a
15℃下密度(kg/m ³) (LNG为-162℃下) ^a	989 ^a	最大 900 ^a	448 ^a	796 ^a
沸点(℃) ^a	30-190 ^a	180-360 ^a	-162 ^a	65 ^a
闪点(℃) ^a	>60 ^a	>60 ^a	- ^a	12 ^a
自燃点(℃) ^a	- ^a	250-500 ^a	540 ^a	465 ^a
着火极限(体积百分比) ^a	- ^a	0.3-10 ^a	5-15 ^a	6-36 ^a
低热值(MJ/kg) ^a	40 ^a	43 ^a	50 ^a	29 ^a

与LNG相比, 甲醇不需要低温储存和绝热保护。从安全性角度看, 甲醇不会随着温度的升高而沸腾。从实船项目应用看, 全球第一艘使用甲醇作为船用燃料的船舶“Stena Germanica”号渡轮已于2015年成功下水。2021年7月, 马士基集团正式敲定首艘2100TEU甲醇双燃料集装箱船订单, 这

是世界上第一艘以甲醇作为燃料的集装箱船, 也反映出业界对船用甲醇燃料的信心。

3.2 未来甲醇燃料的来源与经济性

从来源看, 欧洲多以天然气为原料制造甲醇, 而中国则以煤炭为原料居多, 二者的市场价格差别不大。当需求增加时, 可通过提高天然气的供给来提高甲醇产量, 甲醇在全球范围内都比较容易获得。

对船东而言, 选择何种燃料必然需要考虑投资回报, 它取决于使用甲醇燃料产生的附加投资, 以及潜在节省的燃料成本。由于甲醇相对重油(HFO)没有价格优势, 由此, 使用甲醇仅在SO_x排放控制区内才能节省燃料成本, 并且在排放控制区内航行的时间越长, 节约燃料成本的可能性才越大。

3.3 甲醇燃料的未来预期

甲醇燃料以环保、清洁、可再生、较强获取性等特点, 已成为航运界关注的替代燃料。目前, 甲醇面临的主要挑战是其能否用作可持续燃料, 以帮助航运业满足IMO2050年全行业温室气体排放减少50%的要求。要实现甲醇燃料在更大范围内的推广, 有待于绿色甲醇供给上实现新的突破³。

4 氨燃料

4.1 氨燃料的特性分析

氨(NH₃)是一种很有前途的无碳燃料, 氨燃烧时不会产生二氧化碳, 并能够有效地降低硫氧化物, 可在不涉及碳的情况下生产, 实现真正意义上的“零”排放。相比氢和天然气, 氨更易液化, 是未来航运业脱碳最有希望的燃料之一。

Energy storage type/chemical structure	Energy content, LHV	Energy density	Fuel tank size relative to MGO	Supply pressure	Emission reduction compared to HFO Tier II [%]			
	[MJ/kg]	[MJ/L]	[m ³] ¹	[bar]	SO _x	NO _x	CO ₂	PM
Ammonia (NH ₃) (liquid, -33°C)	18.6	12.7 (-33°C) 10.6 (45°C)	2.8 (-33°C) ¹ 3.3 (45°C) ¹	80	100	Compliant with regulation	~90%	~90%
Methanol (CH ₃ OH) (65°C)	19.9	14.9	2.4	10	90-97	30-50	5-7	90
LPG (including propane/butane) (liquid, -42.4°C)	46.4	26	-	50	90-100	10-15	13-18	90
LNG (liquid, -162°C)	50	22.5	-	Methane: 300 Ethane: 380	90-99	20-30	24	90
LNG (liquid, -162°C)	50	22.5	-	7-8	90-97	30-50	15	90
MGO	42.7	35.0	1.0	-	-	-	-	-
Hydrogen (H ₂) (liquid, -253°C)	120	8.5	4.1	-	-	-	-	-

¹ The relative fuel tank size for ammonia has been provided for both cooled (-33°C) and pressurised tanks (45°C)

在比较航运燃料时, 体积能量密度是一个关键指标。与液氢相比, 氨能拥有巨大的优势, 但在生产成本上又相近, 因此实现了体积能量密度和生产成本之间的良好平衡。

4.2 氨燃料主机和氨动力船舶应用前景

目前, 针对氨燃料主机的开发正在进行中, 有望在几年内实现突破。日本已对氨燃料进行了涵盖船舶建造、设备研究、燃料加注的全产业链布局。韩国船级社(KR)联合韩国EMEC公司、MAN公司、NAVIG8集团首次尝试建造8000立方

米氨燃料动力船。而国内主要设计院所和船厂也已针对氨燃料船舶进行了研究, SDARI的18万吨氨燃料散货船已获得船级社原则性认可。

4.3 氨燃料的机遇和挑战

氨气作为无碳燃料, 同时也是优良的氢载体。利用可再生能源可从水的电解中产生氢, 然后合成氨, 这样的氨在生产或使用过程中碳强度为零。通过电化学方法合成氨气, 可以实现可再生能源的大规模储存, 氨气液化后可通过天然气

² 詹慢宁; 靖佳超; 娄春景《船舶未来新型替代能源》, 船舶, 2018年第1期, 第167-172页

³ 李娜; 张卓缘《绿色甲醇燃料的船用分析与展望》, 中国水运, 2023年第5期, 第61-63页

管道或远洋船舶实现全球运输,而常规的内燃机燃用氢燃料仅需进行很小的改动。

5 氢燃料

5.1 氢燃料的应用现状

使用氢作为燃料,排放的CO₂为零,这对航运业为达成GHG零排放目标非常有吸引力。氢与甲烷同为低沸点、无毒的物质,无需做大幅改造即可成为氢燃料船舶。不过氢属低燃点能源,火焰的可视性差,渗透性高⁴。

5.2 氢燃料的新来源

目前,制氢方式主要有四种:化石燃料制氢、工业副产物制氢、电解水制氢、生物质制氢。电解水制氢具有产品纯度高、无污染的优点,只是因为耗电量大,导致竞争力不强。与此同时,大规模风电的消纳长久以来都是全球业界难题,我国在这方面的问题尤为突出。风电制氢、储氢及综合利用的研究为风电消纳提出了一种新模式。采用电网用电低谷时被限掉的风电制氢,是解决风能限电问题、提高风能供给的连续性和稳定性的重要技术途径。

5.3 氢燃料应用的主要问题

氢气单位体积的热能效率不高,且液化温度极低,对大型远洋船舶氢燃料维护系统设计是一个巨大挑战⁵。运营氢燃料船舶,必须要确定的是氢燃料补给地点,目前的基础设

施尚不完善,对氢的安全装卸、储存和加注方面存在的知识空白。

5.4 氢燃料的应用前景

日本政府2017年出台的氢能基本战略,国际液化氢供应链将于2030年开始实现商用化,如果这一预期实现的话,那么到2050年,氢气将极有可能作为船舶燃料实现应用。因此,作为有效降低地球环境负荷、具备技术竞争力的氢燃料船舶的开发是必不可少的。

目前,氢燃料成本高和基础设施配套不完备,国内外均处于研究测试阶段,距离在船上应用还有较长的一段路要走⁶。

6 生物燃料的发展现状和应用前景

6.1 生物燃料的范畴与来源

生物燃料(biofuel)泛指由生物质组成或萃取的固体、液体或气体燃料,是可再生能源开发利用的重要方向,具有良好的储存性、可运输性、多样性、可循环性、环保性,以及对原油价格的抑制性等特质。生物燃料的范围十分广泛,包括生物LNG、生物甲醇、生物乙醇、生物柴油等,主要以能源作物、农业废弃物、林业产品及其废弃物等为原料,可采取化学转化、厌氧消化、气化等工艺制取。

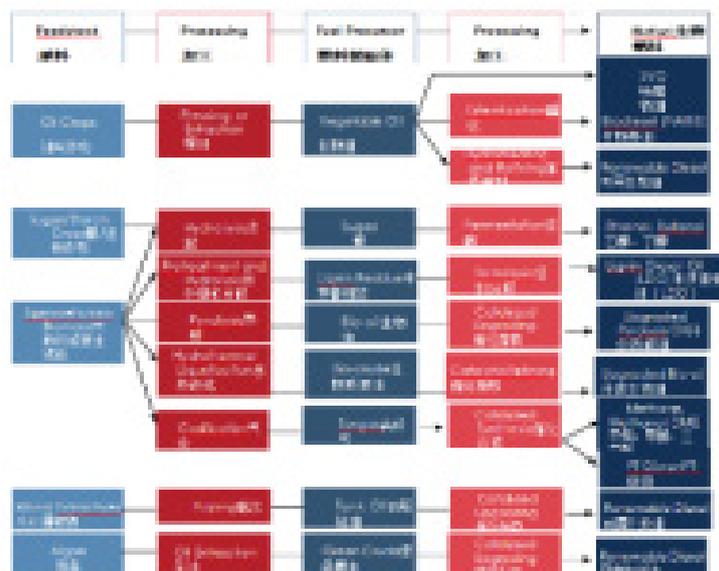


图7 不同类型的生物燃料

6.2 生物燃料的使用现状

当前,生物燃料主要作为替代化石燃油应用于运输燃料,如替代汽油的燃料乙醇、替代石油基柴油的生物柴油。在化石燃料储量逐步下降、环境保护日益严峻的背景下,生物燃料越来越受到各国政府的高度重视。

6.3 生物燃料的主要问题

目前,制约生物燃料大规模应用的主要因素还是价格与产量,由于生物质原料的来源不稳定且价格高昂,多数生物燃料还处科研和试验阶段,距离商业运营尚存在相当距离。

7 动力电池

⁴ 王传荣《氢能——未来船舶的推进动力?》,船舶物资与市场,2007年第3期,第24-26页

⁵ 王思佳《氢能或成航运业低碳转型重要突破口》,中国船检,2020年第2期,第58-62页

⁶ 王传荣《氢能——未来船舶的推进动力?》,船舶物资与市场,2007年第3期,第24-26页

7.1 动力电池的发展现状

在不考虑供电来源前提下, 蓄电池技术可以作为一种完全零排放解决方案, 并已在海运领域逐步推广、初具市场规模, 是现阶段内河及近海船舶率先实现零排放可行且有效的方式。

据统计, 2022年电池动力船舶总数预计将达到328艘(不包括在建或订单项目), 其中, 混合动力机组船舶占比48%、纯电动船舶占比24%、插电式混合动力船舶占比23%, 其余尚未确定的混合动力船舶类型占比大约为5%。目前, 国外船舶电动化发展主要集中在对系统的稳定性和舒适度要求较高的游轮和渡轮, 以及科考船、工程支援船、远洋渔船、海岸救援船等, 而在运输船舶上尚未有规模化的应用。

7.2 动力电池的应用前景和挑战

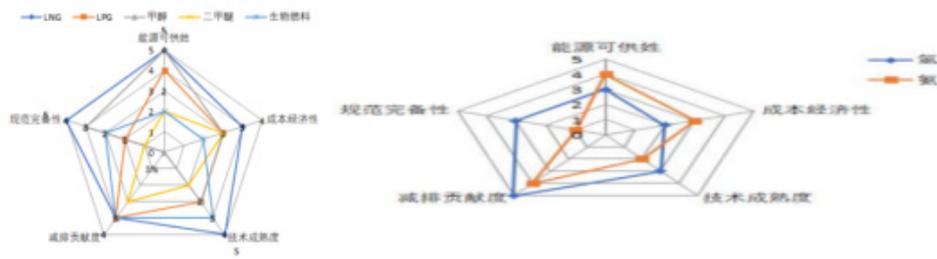
当下, 电池动力船舶能否批量推广应用, 除存在技术成熟度和安全性问题以外, 还取决于行业政策和充电基础设施匹

配程度。尤其是基础设施建设方面, 我国尚无专门针对大容量电动船舶的充电设施。2030年以前, 随着燃料电池技术逐步成熟及配套设施逐渐完善, 未来航运业必将呈现燃料电池和蓄电池动力船舶并存的局面, 为动力电池船舶的发展创造了更为广阔的空间。

8 结语

目前业界主要探讨的燃料大致分为三类: 低碳燃料, 如LNG/LPG等; 零碳燃料, 如氢、氨等; 碳中和燃料, 如生物甲醇、生物柴油等燃料。

低碳燃料中, LNG在产业供需、技术成熟度、规范要求等方面都具备较大优势, 是最佳的船舶过渡燃料。零碳燃料, 目前被认为是实现零碳排放的终极燃料, 但氢和氨在船舶燃料方面的应用都属于起步阶段, 距离商业化还需一定时间。碳中和燃料, 即生产与消耗不增加碳排放, 通过消耗等量的碳来制作燃料, 进而抵消燃料燃烧的碳排放, 实现碳中和。



图表来源: CSDC

笔者认为, 在众多替代能源中, 甲醇最有可能成为当前航运业应对脱碳环保要求的首选。但甲醇燃料能否更大推广, 关键在于绿色甲醇的供给能否实现突破, 比如用太阳能等清洁能源催化二氧化碳和水来制造绿色甲醇。同时, 甲醇发动机亦需要尽快实现规模化应用。

参考文献

[1]詹熯宁; 靖佳超; 娄春景. 船舶未来新型替代能源[J], 船舶, 2018(01): 167-172

[2]全晓波. 甲醇用作船舶替代燃料获认可[J], 中国能源报, 2018: 003

[3]李娜; 张卓缘. 绿色甲醇燃料的船用分析与展望[J], 中国水运, 2023(05): 61-63

[4]王传荣. 氢能——未来船舶的推进动力? [J], 船舶物资与市场, 2007(03): 24-26

[5]王思佳. 氢能或成航运业低碳转型重要突破口[J], 中国船检, 2020(02): 58-62