

航运碳中和：碳中和政策对航运市场影响（五） ——甲醇还是氨？

投资咨询业务资格：
证监许可【2012】669号

报告要点

本系列专题主要探讨碳中和政策对航运业的影响，分为碳中和政策介绍、航运业碳排放趋势、航运业降碳路径、航运业降碳影响四个方面，本报告聚焦航运碳中和背景下氨和甲醇作为船用燃料的前景。

摘要：

碳中和政策大势所趋，航运业碳减排刻不容缓：船舶能效设计指数(EEXI)于2023年1月1日正式实施，航运业的二氧化碳排放量将每年下降6%，到2050年降至1.2亿吨。国际海事组织(IMO)于2018年4月通过了航运业温室气体减排初步战略，以2008年碳排放为基准，提出到2030年将航运业碳排放强度降低40%，2050年碳排放强度降低70%（碳排放总量降低50%）的明确目标。

绿色甲醇、绿氨是未来航运碳中和主要燃料：二氧化碳排放受船型、速度、大小、船体设计、压舱物、技术以及使用的燃料类型等因素影响。船东将在现有技术条件下根据难易程度选择适合自己的减碳方式，比如短期降速、使用LNG等，中长期随着技术的发展航运减碳必将向替换燃料倾斜，例如甲醇、氨气和氢气等燃料。绿色甲醇、绿氨被视为中长期最有增长潜力的航运碳中和替代船用燃料，本文重点从密度、排放、成本、可用性、产能角度分析对比，现阶段技术条件下甲醇较氨更适合作为碳中和航运燃料，但随着技术发展，零碳燃料氨的优越性将超过甲醇。

化工研究团队

研究员：
胡佳鹏（甲醇、尿素）
021-80401741
hujiapeng@citicsf.com
从业资格号：F3039655
投资咨询号：Z0013196

黄谦（PTA、乙二醇）
021-80401738
huangqian@citicsf.com
从业资格号：F3063512
投资咨询号：Z0014611

杨家明（燃料油、沥青）
021-80401704
yangjiaming@citicsf.com
从业资格号：F3046931
投资咨询号：Z0015448

目 录

摘要:	1
一、 航运业降碳最重要的路径——使用低碳燃料	4
二、 替换燃料船舶发展	9
三、 替换燃料成本对比	23
四、 替换燃料综合评价	25
免责声明	34

图目录

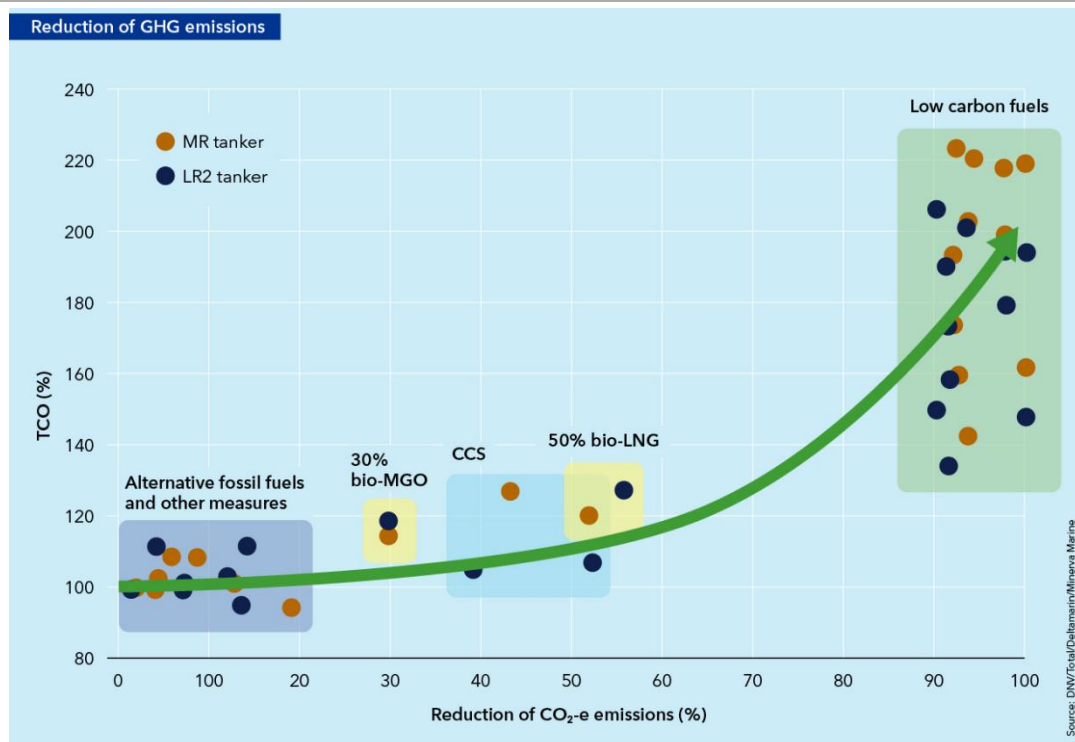
图 1:	船舶燃料变化趋势	4
图 2:	潜在船用替代燃料的典型理化特性	5
图 3:	各燃料二氧化碳排放因子	5
图 4:	各燃料二氧化碳排放 单位: kgCO ₂ /kg 燃料	6
图 5:	井到舱和舱到桨全生命周期排放示意图	6
图 6:	燃料的全球变暖潜值 单位: gCO ₂ /MJ 燃料	7
图 7:	2020 年中国化工产业不同行业碳排放量 单位: 千万吨	8
图 8:	井到桨全生命周期排放 单位: tCO ₂ /t 燃料	8
图 9:	现阶段各主机燃料	14
图 10:	MAN 公司基于柴油机的双燃料引擎	14
图 11:	投入运行的替代燃料船舶类型和数量	17
图 12:	新造订单替代燃料船舶类型和数量	17
图 13:	投入运行的替代船舶燃料占比（数量）	18
图 14:	新造订单替代船舶燃料占比（数量）	18
图 15:	投入运行的替代船舶燃料占比（载重吨）	18
图 16:	新造订单替代船舶燃料占比（载重吨）	18
图 17:	LNG 动力船队及订单比例（载重吨）	18
图 18:	其他替代燃料动力船队及订单比例（载重吨）	18
图 19:	2050 航运燃料占比（design requirements）	19
图 20:	DR 路径下新船订单燃料占比	20
图 21:	OR 路径下新船订单燃料占比	20
图 22:	航运燃料分布预测	20
图 23:	ALPHALINER 船舶订单变化	21
图 24:	海运公司船舶订单 单位: 百万标箱	21
图 25:	不同潜在航运燃料价格 单位: 美元/百万英热	23
图 26:	各燃料全交付成本 单位: 欧元/兆瓦时	24
图 27:	各燃料生产成本 单位: 欧元/兆瓦时	24
图 28:	2019 年替代燃料成本对比	24
图 29:	基于 IMO 船舶燃油消耗数据库的替代燃料消耗情况 单位: 吨	25
图 30:	替代燃料船舶数量 单位: 艘	25

图 31:	MARPOL 氮氧化物排放限制.....	26
图 32:	IMO 氮氧化物排放限制值.....	27
图 33:	氮氧化物减排技术.....	27
图 34:	各燃料氮氧化物排放对比.....	28
图 35:	船用替代燃料的供应能力 单位: %.....	29
图 36:	2050 氨需求展望 单位: 百万吨.....	29
图 37:	2050 氨需求展望 单位: 百万吨.....	29
图 38:	2050 氨产量预估 单位: 百万吨.....	30
图 39:	2050 氨航运燃料需求 单位: 百万吨.....	30
图 40:	现阶段航运燃料发展阶段.....	30
图 41:	各燃料综合评分	31

一、航运业降碳最重要的路径——使用低碳燃料

使用低碳/零碳燃料是航运去碳化的必然选择，潜在的船用替代燃料包括 LNG、LPG、二甲醚、甲醇、乙醇、氢、氨、生物燃料、电制燃料等多种，市场共识是从 LNG 过渡到可再生的氢、氨或甲醇。目前没有一种替代燃料具有全方位、压倒性的优势从而可以完全替代燃油在船用燃料中的中心地位。

图 1：船舶燃料变化趋势



资料来源：DNV 中信期货研究所

自 1897 年第一台使用液体燃料的内燃机问世及 1910 年代柴油机动力装置真正意义上装船应用，“柴油机+燃油”驱动的航运业已逾一个世纪。传统的燃料选择是比较单一的化石基重质燃料油 (HFO)、轻质燃料油 (LFO) 或柴油 (MDO/MGO)。进入 21 世纪，随着《国际防止船舶造成污染公约》(MARPOL 公约) 附则 VI 的生效实施和累次修正，船舶废气排放中的氮氧化物 (NO_x)、硫氧化物 (SO_x)、颗粒物 (PM)、CO₂ 等逐渐被纳入不断严格的监管之中，低硫燃油 (LSHFO)、液化天然气 (LNG)、液化石油气 (LPG) 等替代燃料的应用成为船舶减少排放的选项之一；尤其是随着《IMO 船舶温室气体减排初步战略》的通过及船舶能效、碳强度等方面法规的生效实施，通过应用低碳/零碳燃料同步减少 NO_x、SO_x、PM、CO₂ 排放成为当前的讨论热点。

对于水路运输燃料而言，学术界、工业界研究和讨论的替代燃料包括 LNG（主要成分为甲烷）、LPG（主要成分为丙烷和丁烷）、二甲醚 (DME)、甲醇、乙醇、氢气 (H₂)、氨气 (NH₃)、合成燃料 (Synthetic Fuels)、生物燃料 (Biofuels)、电

制燃料(e-fuels 或 Power-to-X)等。

其中，合成燃料、生物燃料、电制燃料均是比较宽泛的概念，例如：合成燃料可能包括化石基或生物质基的合成甲醇、合成氨、合成汽油、Fischer-Tropsch 柴油等；生物燃料可能包括生物甲烷、生物甲醇、乙醇、生物二甲醚、生物柴油等，而生物柴油又包括脂肪酸甲酯(FAME)、脂肪酸乙酯(FAEE)、纯植物油(SVO)、加氢植物油(HVO 或 HDRD)等；电制燃料是以可再生电能为输入、以电解制氢技术为基础的合成燃料，可能包括电制甲烷、电制甲醇和电制氨等。合成的、生物质的或电制的某种燃料可认为与对应的化石基燃料有近似的理化性能，各种燃料的典型理化特性如图所示：

图 2：潜在船用替代燃料的典型理化特性

燃料	分子式	沸点/°C	空气中的自燃点/°C	空气中的可燃极限/vol%	质量能量密度/(MJ/kg)	体积能量密度/(GJ/m³)	仓储温度/(°C)	储罐体积
柴油	$C_nH_{2n} & C_nH_{2n+2}$ (n=10-15)	180-370	210	0.6-7.5	42.8	36.6	常温	1
LNG	CH ₄	-162	540	5.0-15.0	48.6	20.8	-162	1.59
LPG	C ₃ H ₈ & C ₄ H ₁₀	-42	450	2.1-9.5	46.1	24.8	-42	1.35
甲醇	CH ₃ OH	65	464	6.7-36.0	19.9	15.8	常温	2.33
乙醇	C ₂ H ₅ OH	78	365	3.3-19.0	26.7	21.1	常温	1.75
DME	CH ₃ OCH ₃	-25	350	3.4-27.0	28.8	19.2	常温	1.91
液氢	H ₂	-253	585	4.0-75.0	120	8.5	-253	4.12
液氨	NH ₃	-33	651	15.0-28.0	18.6	12.6	-34	2.76

资料来源：世界海运 中信期货研究所

图 3：各燃料二氧化碳排放因子

燃料	燃料消耗	燃料排放因子 (g/kWh)					
	g/kWh	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO _x	NO _x	PM
LSHF0	179	541	0.01	0.027	3.23	15.8	0.72
LNG	150	412	3	0.026	0.003	1.17	0.027
液氢	57	0	0	0	0	0	0
甲醇	381	522	0	0	0	3.05	0
液氨	381	0	0	N. A.	0	N. A.	0

资料来源：世界海运 中信期货研究所

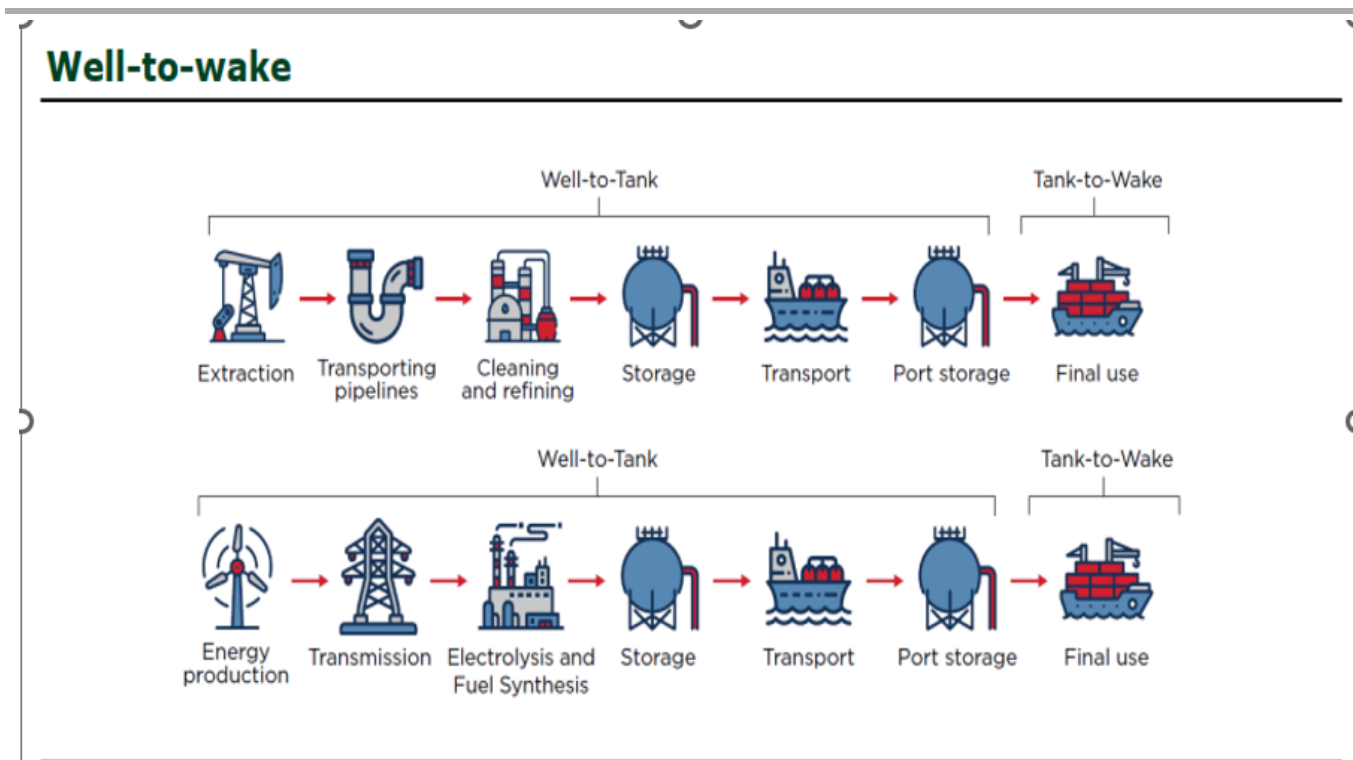
图 4：各燃料二氧化碳排放 单位：kgCO₂/kg 燃料

燃料类型	低热值 (kJ/kg)	碳转换系数	单位碳排放低热值 (kJ/g)	单位低热值碳排放量 (g/kJ)	降碳潜力/%
重/轻柴油	42700	3.206	13.3188	0.1502	3.07
轻燃油 (LFO)	41200	3.151	13.0752	0.153	1.27
重燃油 (HFO)	40200	3.114	12.9094	0.1549	0
丙烷 (LPG)	46300	3	15.4333	0.1296	16.35
丁烷 (LPG)	45700	3.03	15.0825	0.1326	14.41
液化天然气 (LNG)	48000	2.75	17.4545	0.1146	26.04
甲醇	19900	1.375	14.4727	0.1382	10.8
乙醇	26800	1.913	14.0094	0.1428	7.85

资料来源：世界海运 中信期货研究所

考察各种燃料的理化性能，其在内燃机、燃料电池等终端设备中使用在技术上是完全可行的。燃料电池虽然没有热化学反应且效率较高，但其功率容量、经济性、可靠性、耐久性还面临诸多挑战，对于大型商船而言应用前景尚不明朗，可以预期内燃机仍是主流选择。而就内燃机燃用各种燃料的环境表现而言，SO_x、PM 排放均可忽略不计；只要存在燃烧反应，NO_x 排放就不可避免，但生物柴油、氨气作为燃料时的 NO_x 排放甚至高于传统的柴油/燃料油；就 CO₂ 排放而言，单纯地讨论燃烧排放没有意义，同步考虑上游的井到舱 (Well-to-Tank, WtT) 和下游的舱到桨 (Tank-to-Wake, TtW) 全生命周期排放。

图 5：井到舱和舱到桨全生命周期排放示意图



资料来源：Longspur Research 中信期货研究所

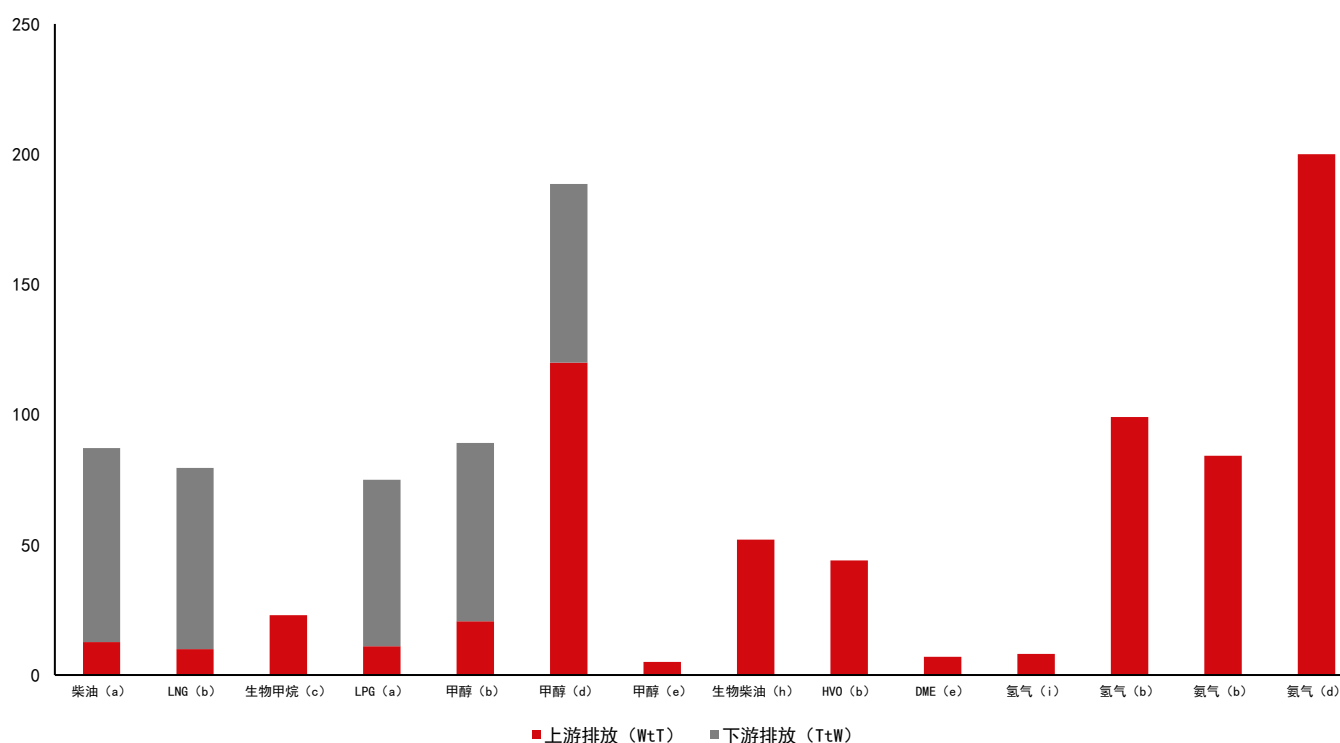
目前还需等待 IMO 的 LCA 导则的生效实施才能具备强制性的、科学的方法指导。各种燃料的全球变暖潜值 (Global Warming Potential, GWP)，燃料的原料、生产过程显著影响其生命周期温室气体排放。同时，基于生命周期评价赋予各种替代燃料生命周期标签 (Fuels Lifecycle Label, FLL)，也能有效避免直接将氢、氨简单认可为零碳燃料或忽视了生物柴油、可再生甲醇等的零碳属性。

比较航运燃料时考虑四个问题：密度、排放、成本和可用性。

目前的分歧主要在于供应安全是否有保障及经济上是否可行。各种燃料有其具有优势的船型、航线和地域，**但就海洋运输而言，短期以 LNG 作为过渡燃料，中长期重点发展可再生氨气和甲醇，对未来以氢能或核能驱动航运业保持审慎乐观，这应该算是现阶段业界的共识。**生物质燃料始终存在与粮食、农作物、耕地、淡水资源等的竞争，以及地理分布不均衡、显著受到气候条件的影响等挑战，但并不排除其在局部、细分市场的应用潜力。此外，生物质也是生产可再生氢、氨、甲烷、甲醇、柴油的原料之一，因此可作为可再生燃料生产原料的重要补充。

图 6：燃料的全球变暖潜值

单位：gCO₂/MJ 燃料



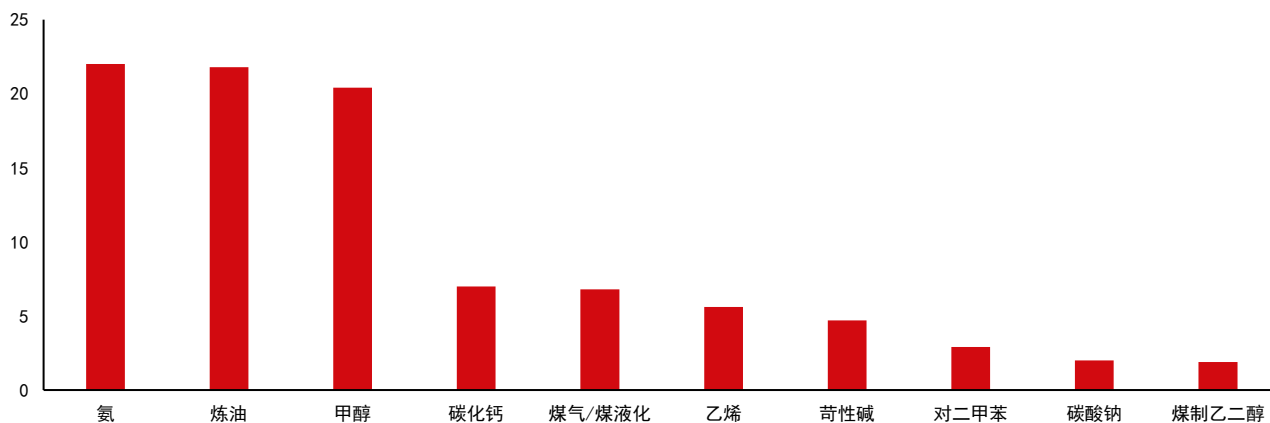
资料来源：世界海运 中信期货研究所

生产原料：(a) 石油；(b) 天然气；(c) 市政固体垃圾；(d) 煤；(e) 森林残渣；(f) 甜菜；(g) 农业残渣；(h) 油菜籽；(i) 基于风电的水电解

现阶段，柴油井到舱 (Well-to-Tank, WtT) 远小于下游的舱到桨 (Tank-to-Propeller, TtP)

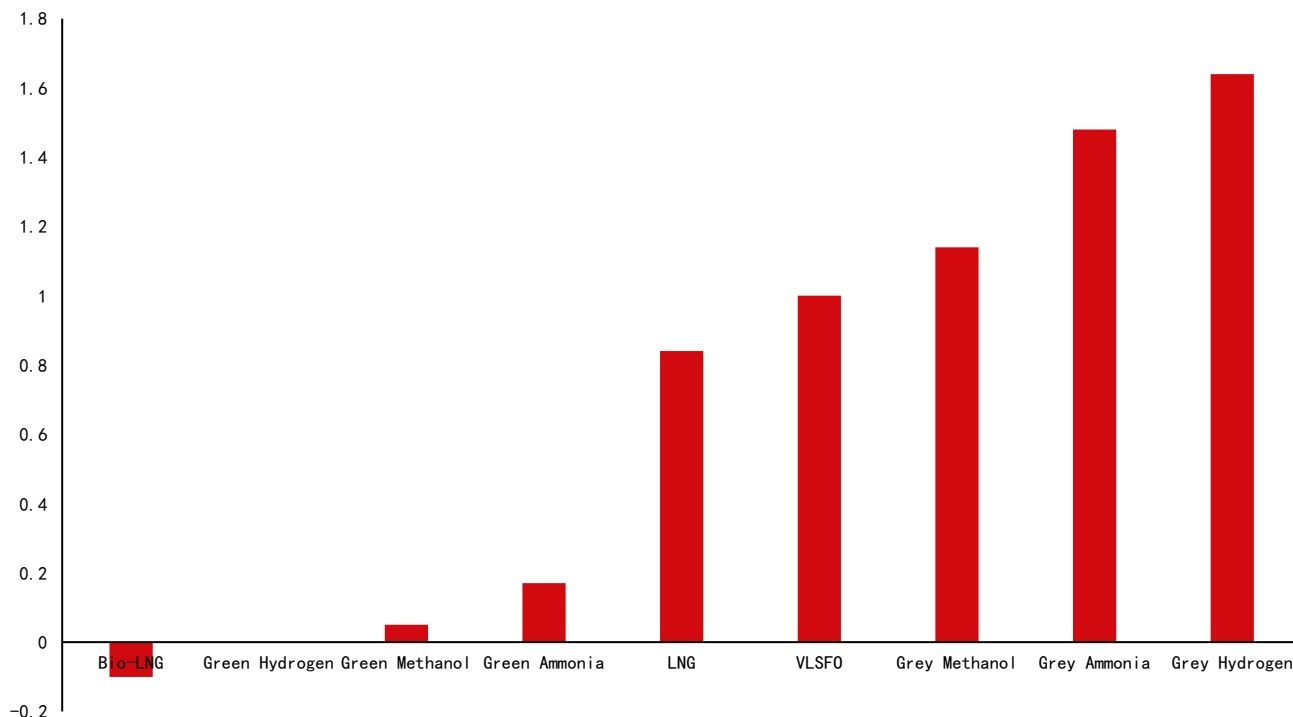
Wake, TtW) 排放, 全生命周期排放水平远小于甲醇, 尽管氨气 TtW 排放为零, 但 WtT 排放较高, 全生命周期排放水平高于甲醇居所有燃料之首。意味着现阶段甲醇、氨全生命周期排放高于柴油和燃料油, 甲醇、氨的生产降碳刻不容缓, 绿色甲醇、绿氨燃料减碳效果显著。

图 7：2020 年中国化工产业不同行业碳排放量 单位：千万吨



资料来源：Statista 中信期货研究所

图 8：并到浆全生命周期排放 单位：tCO2/t 燃料



资料来源：ABS 中信期货研究所

二、替换燃料船舶发展

LNG/LPG 动力船舶

自 2003 年世界首艘 LNG 动力的平台供应船“Stril Pioneer”交付运行，到 2022 年底，世界 LNG 动力船舶已达 355 艘，另有 515 艘 LNG 动力新造船订单，LNG 是中短期主流的船用替代燃料选择。同为化石基替代燃料，LPG 动力的现有船 48 艘，新造船订单也达到 79 艘，但 LPG 动力船舶目前仅限于 LPG 运输船、气体运输船和乙烷运输船三种船型。

MARPOL 公约附则 VI 的生效实施对船舶 SO_x、NO_x、PM、挥发性有机物（VOCs）等的排放作出了限制，而发动机燃用 LNG 基本不存在 SO_x、PM 排放，NO_x 排放最多可降低 90%，对 LNG 运输船还解决了货舱蒸发气排放或再液化的难题，尤其是化石基 LNG 与船用燃油在经济性上具有竞争力，一时之间，LNG 作为船用燃料受到追捧。LNG 来源包括天然气、生物质及基于可再生电力的 H₂ 和 CO₂ 的合成。为便于储运，天然气通常在常压、-163℃条件下液化为 LNG，此时体积将变为气态时的 1/600，理论上，发动机燃用 LNG 相比燃油可减少 20%~25%的碳足迹，但由于燃烧效率、甲烷逃逸等原因，温室气体减排量通常低于 20%。即便如此，对于零碳航运而言，化石基 LNG 也只能作为一种过渡燃料，生物质甲烷或电制甲烷均可作为替代，但目前其燃料成本分别为化石基 LNG 的 1.5~3 倍和 3~10 倍，而且产量相对有限。化石基 LPG 同样作为一种过渡燃料，目前在部分 LPG 运输船、乙烷运输船上作为燃料应用，但预期并不会扩展应用到更广泛的船舶类型中且不会有更长远的应用前景。在所有替代燃料方案中，LNG 燃料压倒性的领先其他各种替代燃料。LNG 作为一种替代燃料，其碳排放量较传统燃料减少约 20%，考虑到其技术成熟度、燃料可得性、加注网络完善性等特点，一直被认为是实现 2050 减排大目标的首选转型燃料。但欧盟碳配额交易等法规的预期使得船东对传统 LNG 燃料的碳排放量更为敏感，同时当前 LNG 价格高企也意味着实际船东很少对 LNG 动力船舶进行加注使用。

据 International Energy Agency 统计数据，2020 年全球 LNG 年产量 155 EJ（1 EJ=10¹⁸ J=23.88 Mtoe 百万吨油当量），约 31 亿 t，均为化石基，年消费量 73.5 EJ，其中运输行业消费量为 5.2 EJ。据 DNV 的 Energy Transition Outlook 2022，2020 年海运行业 LNG 消费量在其整个能源消费中占比约 5%，到 2050 年这一比例有望达到 19%。全球 LNG 供应是充足的，经过十余年的发展，LNG 作为船用燃料其基础设施发展也取得了长足的进步。据 DNV Alternative Fuels Insight 平台统计，全球投入运行的 LNG 加注终端已达 142 个，包括加注驳船、加注罐车、加注储罐、本地储罐等；大规模的 LNG 储存基础设施超过 180 个；拟建设或正在讨论中的加注终端和大规模储存基础设施也超过 170 个。

氢动力船舶

氢是地球上最简单、最丰富的元素，且在所有燃料中具有最高的质量能量密

度。但氢通常是以化合物的形式存在，也就意味着氢的提取需要消耗能量。氢的生产原料包括天然气、煤、生物质和水，且具有多种不同的工艺流程。氢的运输、储存和配送显著受到其体积能量密度的影响。对于 20MPa、70MPa 的压缩氢气和常压低温（-253℃）下的液化氢而言，体积能量密度分别为柴油的 5.0%、12.3% 和 23.2%。对于同样的能量释放，其体积需求分别是柴油的 20.1、8.1 和 4.3 倍，考虑加压或制冷条件下燃料围护系统更大和更规整的空间需求，船舶的有效载货容积将在一定程度上被削减。就终端使用而言，氢内燃机的有害排放仅有 NO_x，但其功率容量、燃烧、运转平顺性方面在技术上仍然存在较大的挑战。也就是说，氢的储运和终端使用具有比 LNG 更严苛的要求。

当前，氢动力船舶主要以氢燃料电池作为（混合）动力系统的小型船舶或以氢燃料电池作为辅助发电装置应用为主，全球范围内的应用示范船舶有数十艘，其中比较典型的应用包括德国渡轮 Alsterwasser、荷兰渡轮 Nemo H2、挪威液氢动力轮渡 MF Hydra、法国 Energy Observer、美国 Sea Change、中国“蠡湖”号等。而以氢内燃机作为动力的船舶目前仅见 2022 年 10 月交付的比利时拖轮 Hydrotug 1，配置的 2 台 BeH2ydro 12DZD-DF 四冲程内燃机可燃用氢气和柴油，总功率达 4 000kW。氢气可使用 SMR 加上 CCS 或者电解生产，可以认为在生产角度，氢气是最便宜的燃料，但从运输和储存角度氢气较昂贵。液氢可以击败氨、甲烷但是甲醇的运输成本最低。

据 BP 的 Energy Outlook 2022，当前全球氢气年产量约 7000 万 t，但来源主要为天然气、煤和石油。2030 年全球氢气年产量有望达到 1 亿 t，2050 年达到 3 亿~4 亿 t；且随着全球化石基能源向水能、风能、太阳能、核能等清洁能源转型，氢气供应将以低碳蓝氢和绿氢为主。据 DNV 的 Energy Transition Outlook 2022，到 2050 年，全球能源构成当中的化石能源有望从当前的超过 80% 下降到略高于 50%。只有当全球能源结构实现低碳转型，可再生甲醇、氨等绿氢衍生物的可靠供应才能成为现实。全球各港口氢加注和接驳基础设施基本处于空白状态，且其建设难度和成本预期高于 LNG 基础设施，因此其发展还有很长的一段路要走。预计氢的储运主要以其衍生物氨的形式进行，且 LNG 基础设施转换为氨基础设施是完全可行的。

氨动力船舶

受限于氨燃料发动机目前还未商用，在氨动力船舶的开发方面，目前多家船舶设计公司、造船厂、航运企业的氨动力或氨预留船舶设计已经获得船级社的原理性认可（Approval in Principle, AiP）证书，也有多家船东公司宣布了开展氨动力船舶的开发，包括 VLCC、拖轮、驳船、平台供应船等。据不完全统计，近三年来，全球氨动力船舶开发项目超过 60 个，其中已获得船级社 AiP 证书的船型设计已超过 42 项。基于所统计的氨动力船舶开发项目，就船舶类型而言，排在前几位的是油轮、气体运输船、散货船和氨燃料加注船；就项目分布的国家而言，排在前几位的分别是日本、挪威、中国、韩国和新加坡；就授予 AiP 证书数量而言，

排在前几位的船级社分别是 LR、ClassNK、DNV 和 ABS。

对于远洋运输而言，相比于可再生甲烷、氨和甲醇等氢的衍生物，使用氢作为船用燃料目前来看还缺少竞争力。当然，如果液氢/压缩氢运输船队能得到一定的发展，这类船舶使用氢作为船用燃料具有天然的优势，但目前来看，以氨作为载体来运输氢似乎更有竞争力。

氨是一种重要的全球性商品，据 IRENA 的 Innovation Outlook:Ammonia 2022，全球氨的年产量达到 1.83 亿 t，其中 85%用于氮肥生产；2020 年全球 45%的氢消费——3 300 万 t，用于氨生产。碳中和背景下，氨将用于海运和陆地电厂的零碳燃料，预计到 2050 年，全球氨需求将达到 7 亿 t，其中船用替代燃料需求将达到 2 亿 t。然而，目前的氨生产主要基于化石原料，其中 72%来自天然气，22%来自煤，其余来自石脑油和重质燃料油。2021 年，全球可再生氨产量还不到 2 万 t；到 2030 年，可再生氨产能有望达到 1 500 万 t；按《巴黎协定》设定的 1.5℃温控目标，到 2050 年可再生氨产能要达到 5.7 亿 t 才能满足需求。基于可再生氢和清洁能源进行绿氨生产，将是未来的努力方向。此外，据 DNV Alternative Fuels Insight 平台统计，**全球投入运行的氨接驳终端已达 215 个，具备较好的氨储存和加注基础设施建设基础**。氨是全球范围内产量最大的合成化学品，但目前主要用作化肥生产。氨的生产原料是氢气和氮气，通常基于 Haber-Bosch 过程，在铁基催化剂、300~500 °C 的高温和 20~35 MPa 的高压条件下反应而成；其他的氨合成工艺包括电化学过程和光催化过程。氢气的生产如前所述，而氮气通常采用变压吸附 (PSA) 或膜过滤技术从空气中分离得来。虽然氨本身是无碳燃料，但绿氨的获得还是取决于所使用的生产原料和生产过程中可再生能源的使用。

由于氢气是氨的主要生产原料，因此根据制氢过程中碳排放量的不同，也可以将氨进行颜色分类：

灰氨：使用传统化石能源（天然气和煤）制成。

蓝氨：生产原料氢由化石燃料提炼而来，但在提炼过程采用碳捕捉和封存技术 (CCS)。

蓝绿氨：甲烷热解过程将甲烷分解成氢和碳，使用绿电将该过程中回收到的氢气作为原料制氨。

绿氨：通过风能、太阳能等可再生能源发电所产生的绿电电解水产生氢气，再由空气中的氮气和氢气合成氨。

大规模的氨通常在常压和-33℃条件下液化储存，而少量的氨则采用与 LPG 类似的储运方式——常温加压至 8bar 存放于不锈钢压力容器中。液氨具有较高的爆炸风险和毒性，储运安全考量尤其重要。就终端使用而言，较高的自燃温度、较低的火焰传播速度、较窄的可燃极限、较高的 NO_x 排放都是氨燃料发动机开发中所面临的挑战。

灰氨主要由天然气蒸汽重整氢气及空气分离的氮气再通过传统哈伯法（Haber-Bosch）进行合成，传统的 Haber-Bosch 合成 NH_3 工艺包括使用蒸汽甲烷重整（SMR）生产 H_2 ，其占全球年能耗的 1-2%，导致每年约 2.35 亿吨 CO_2 排放，这些 CO_2 排放中约 80% 源自 H_2 的生产（通过能源密集型 SMR 工艺与空气中的 N_2 反应生成形成 NH_3 ）。由于作为 SMR 直接排放 CO_2 ，因此该工艺难以脱碳。传统的 Haber-Bosch 工艺已经沿用上百年来，对环境造成了较大的影响；蓝氨工艺与灰氨基本相似，但会对工艺流程进行碳捕集与封存（CCS）。绿色制氨（可再生氨）工艺主要指全程以可再生能源为动力开展的电解水制氢及空气分离制氮再通过 Haber-Bosch 法制氨的过程，即通过绿氢制备绿氨。使用水电解制备 H_2 为通过低碳电源进行水的电解，制备后仅产生 H_2 和 O_2 （即 $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}_2$ ），因此，用可再生能源驱动的水电解代替 SMR 工艺以获得用于 Haber-Bosch 工艺的绿色 H_2 可以实现 NH_3 合成的大量脱碳。此外，绿色 H_2 的使用可以促进小规模、模块化的 NH_3 合成，这也将更有利于可再生能源进行能源的整合并提高肥料的获取和分配平衡。蓝氨（Blue Ammonia）是制造蓝氢（Blue hydrogen）的原料。蓝氢是一种从化石燃料中提炼出来的燃料，其提炼过程可以捕获和储存二氧化碳的排放。因此，作为无碳排放可再生能源的氢被称为绿色氢。复杂些说，液氨能够溶解某些金属生成一种呈现蓝色溶液，这种蓝色的金属液氨溶液能够导电，并且缓慢分解释放出氢气，具有较强的还原性。金属钠溶解在液氨中时失去它的价电子生成正离子：当溶解有金属钠的液氨被加热至 $800 \sim 850^\circ\text{C}$ ，在镍基催化剂的催化作用下，将氨分解为 H_2 和 N_2 ，可以得到含 75% H_2 、25% N_2 的混合气体。

挪威独立研究机构 Sintef Ocean 的研究人员指出，如果要生产足够的绿色氨来供航运业使用，那就需要大量的可再生能源。这意味着世界上几乎所有的风能、太阳能和水利发电都将仅用于生产足够的氨。挪威媒体 Finansavisen 对 Sintef Ocean 的观点表示赞同。如果所有的远洋航运都将氨作为无碳燃料，那么每年将需要约 500 至 600 万吨的氨，是当今全球生产量的三至四倍。而要达到氨生产量目标，将需要 1 亿吨的氢气以及大约 6000 太瓦时（terawatt-hours）的可再生能源。

在工艺成本方面，由于 NH_3 的价格很大程度上取决于 H_2 的价格，具有成本竞争力的绿色 H_2 生产将是加速绿色 NH_3 经济所必备路径。根据所使用的每种水电解器的绿色 H_2 价格的变化来评估绿色 NH_3 生产可行性的进行技术经济分析（TEA）必不可少。在经济性方面，耶鲁大学 Boreum Lee 等建立了研究模型进行使用主要电解技术（即 AWE、PEM WE 和 SOE）生产绿色 NH_3 的经济预测和环境影响评估。据其预测，在 2050 年前，碱性水电解（AWE）、聚合物电解质膜水电解（PEM WE）和固体氧化物水电解（SOE）三种中的任何一种绿色 NH_3 合成工艺都将与传统 Haber-Bosch 工艺相竞争。由于绿色氨合成工艺相关的 CO_2 排放量较低，因此 CO_2 税对绿色 NH_3 生产的成本影响相对较小。此外，鉴于对与 CO_2 排放相关的全球环境问题日益凸显，由于对传统 NH_3 生产产生的 CO_2 排放罚款、未来 CO_2 税的采用、货币膨胀等因素将导致绿色 NH_3 合成的平价年提前，考虑到碳

的价格与没有碳定价政策的情况相比，绿色 NH₃ 的经济平价可以提前十多年实现。

总体来看，根据科学家预测，未来在碱性水电解（AWE）、聚合物电解质膜水电解（PEM WE）和固体氧化物水电解（SOE）三种类型中，固体氧化物水电解（SOE）与 Haber-Bosch 工艺相结合可能成为未来大规模绿色 NH₃ 生产最有潜力的工艺类型。近年来，全球能源巨头争相布局并争夺绿氨市场，其中使用电解水供应绿氢的绿色 NH₃ 合成项目近两年已经被 Air Products、Siemens、OCP、Thyssen Krupp 和 Fertiberia 等大型公司商业化。国内方面，我国国家能源集团、国电投、京能集团等也已布局多个绿氨示范项目。根据亚化咨询《中国绿氨产业链年度报告 2022》数据显示，目前全球已布局超过 40 个绿氨项目，如美国能源部 REFUEL 计划、丹麦商业化绿氨工厂、中东 Neom 项目、澳大利亚 AREH 项目等，全球绿氨规划总产能超过 1500 万吨/年。

尽管氨作为燃料在船上的实际应用尚未真正开始，却是航运业实现零排放最具潜力的燃料。首先，氨是氮与氢的化合物，由于不含碳，因此在用作船用燃料时不会排放任何 CO₂，这创造了零碳推进的可能性。其次，从能量密度来看，氨的体积能量密度与甲醇相似，约为传统化石燃料的 1/3，从而使得氨燃料在船上存储具有相对经济可行性。第三，氨的液化需要较少的冷却，在常压下-33° C 左右，或者常温在 1MPa 左右即可成为液态，便于存储和运输。但不可忽视的是，氨是一种有毒物质，并且对某些金属材料存在腐蚀性，这较传统船用燃料而言更加危险。此外，氨燃烧时会排出具有刺鼻恶臭的一氧化二氮，该物质也是较强的温室气体，这也是在技术上需要解决的问题。与此同时，与甲醇当前的生产状况类似，氨绝大部分是通过工业生产合成的，在此过程中不可避免要产生 CO₂，这种氨只能称为‘灰’氨。如果在源头生产过程中捕捉 CO₂，将可获得‘蓝’氨。生产‘绿’氨则需要利用绿色电能电解水等方式获取氢，再将氢与空气中的氮气合成。

氨燃料发动机目前还未见商用，但 Wartsila、MAN Energy Solutions、WinGD 等主要的船用发动机生产商均在积极推进氨燃料发动机的研发。2022 年 9 月，Wartsila 四冲程中速多燃料发动机 W25 型发动机成功发布，该发动机可燃用柴油和 LNG，预期到 2023 年可燃用氨燃料。二冲程低速发动机生产商 MAN Energy Solutions、WinGD 均计划在 2024—2025 年推出自己的氨燃料发动机。挪威海工船船东 Eidesvik 和瓦锡兰将对一艘海工辅助船（OSV）进行改装。改装后，这艘船舶将使用氨燃料发动机，并配有所需的燃料供应和安全系统。该船初步计划将会在 2023 年底完工，使用 70%氨混合燃料发动机。另外，日本航运公司饭野海运下单订造日本首艘氨燃料预留 LPG 动力氨气运输船。这艘新船将由韩国现代尾浦造船建造，计划在 2023 年 12 月交付运营。所以，全球首艘氨燃料动力船舶将会在 2023 年实现突破，未来氨燃料船舶工业将会有十分广阔的空间 2022 年 3 月，上海船院研发的中国首创首款氨双燃料动力 7000 车位 PCTC 获得 DNV 颁发的原则性认可（AiP）证书；2022 年 10 月，该院研发的 5 万吨氨双燃料动力 MR 型油船/化学品船获颁意大利船级社（RINA）授予的 AiP 证书；今年 2 月，该院研发的全球首创 8.5 万载重吨氨双燃料动力散货船又摘得中国船级社（CCS）AiP 证书。

2021 年，一些新造船订单采纳一种便于在今后改装成可增加氨驱动（Ammonia-ready）的设计。在这一年的新订单中，有 34 艘船舶选用这种设计。但是，氨燃料双动力主机现在仍在研发阶段，还没有成型的产品推出。根据主机厂商的信息，首台可燃烧氨的主机要到 2023 或 2024 年才会正式面世。

据《Hydrocarbon Processing》杂志当地时间 2 月 20 日报道，西班牙石油公司（CEPSA）与三家荷兰公司签署了一项协议，向鹿特丹港的码头供应绿氨，这是对欧洲降低排放新兴技术的最新举措。以可再生能源中提取的氢为原料，通过制取得到绿氨，而绿氨也可以在运输绿氢方面发挥作用，两者相辅相成。鹿特丹港表示，通过此次合作，预期到 2023 年将有能力向西北欧每年供应 460 万吨氢气，提高欧洲的能源独立性。合作一方的三家荷兰公司分别是 HES International、Gasunie Waterstof Holding 以及 Vopak LNG，他们正在鹿特丹开发 ACE 终端，ACE 将是欧洲最大的绿氨终端。与使用化石燃料制造的氨不同，绿氨可以通过电解水中的氢和从空气中分离出的氮来制造，并广泛用于化肥生产。荷兰正在大力投资氢基础设施以取代天然气，西班牙也渴望成为能源领域的主要参与者，向荷兰提供补给以补充其产量。Cepsa 的目标是在 2027 年开始从西班牙出口第一批绿色氢，应用范围将涵盖可持续海洋燃料和氢作为最终产品，并计划向西班牙南部的绿氢项目投资 30 亿欧元。

图 9：现阶段各主机燃料

Fuel types	ME-C	ME-GI	ME-GA	ME-GIE	ME-LGIM	ME-LGIP
Fuel oil	√	√	√	√	√	√
LNG	Retrofit	√	√	Retrofit	Retrofit	Retrofit
LEG(Ethane)	Retrofit	Retrofit		√	Retrofit	Retrofit
Methanol	Retrofit	Retrofit		Retrofit	√	Retrofit
LPG	Retrofit	Retrofit		Retrofit	Retrofit	√
Ammonia	Retrofit	Retrofit		Retrofit	Retrofit	Retrofit

资料来源：ABS 中信期货研究所

图 10：MAN 公司基于柴油机的双燃料引擎



资料来源：ABS 中信期货研究所

氨可作为氢的载体：绿氨作为储运氢的载体，可实现氢的低成本远洋运输。到 2030 年绿氢的产量将增长至 770 万吨，氨作为氢的载体达 100 万吨。氨的特性适合储运氢。氨比氢气更容易液化，常压下氨气在-33° C 可以液化，而氢气需要低于-253° C，且同体积的液氨比液氢多至少 60%的氢；氨的储运基础设施完善。氨有管道、船舶等多种运输方式，其中通过液氨运输一千克氢的远洋运输的成本为 0.1-0.2 美元，低于通过管道和轮船的氢运输渠道。氨可以作为无碳燃料：绿氨是未来航运业脱碳的主力燃料之一。在目前关注度较高的零碳能源中，绿氨动力船舶能量密度大大高于氢气，且可利用现有氨供应链和基础设施，在集装箱船等大型船舶远航领域具有较好的推广应用前景。航运业内普遍认为，绿氨是未来

航运业脱碳的主力燃料之一。据英国劳氏船级社预测，在 2030-2050 年间，氢能作为航运燃料的占比将从 7% 上升为 20%，取代液化天然气等成为最主要的航运燃料；其次为氢能，占比从 2030 年的 8% 上升为 19%，与氢能的重要性相当。

氨可以掺混发电：实现全球可持续发展愿景下，推进火电机组掺烧氨或纯氨等低碳燃料是发电领域碳减排的重要技术方向。掺混燃烧发电能够为煤电厂提供减碳方案，弥补可再生能源发电的不稳定性、保障电力安全，以及为可再生能源生产条件不利的国家提供减碳的替代方案。由于日本能源结构等因素影响，日本在氢能的开发利用上走在前沿。日本在 2021 年制定了“2021-2050 日本氨燃料路线图”，到 2040 年左右，建设纯氨发电厂。中国燃煤锅炉混氨实现 35% 掺烧比例，对于氨燃烧的反应动力学机理仍处于不断验证改进阶段，掺氨发电技术在燃煤发电厂的商业化进程中仍面临挑战。

甲醇动力船舶

截至 2022 年底，甲醇动力的现有船 24 艘，其中新造船 21 艘，均为 50 000 载重吨级的化学品油轮，另有 3 艘改装船分别为滚装客船、拖轮或引航船，现阶段均以化石甲醇作为燃料。2022 年，甲醇动力新造船订单增长迅猛，目前已达 58 艘，其中 Maersk 公司宣布订造的 12 艘 16000 TEU（标箱）和 6 艘 17000TEU 甲醇燃料集装箱船、CMACGM 公司宣布订造的 6 艘 15000TEU 甲醇燃料集装箱船、中国远洋海运集团宣布订造的 12 艘 24000TEU 甲醇双燃料动力集装箱船、招商轮船宣布订造的 2（实船）+4 艘（选择权船）9000TEU（标准车位）甲醇双燃料汽车滚装运输船等系列订单尤其受到业界关注。与此同时，2022 年，Maersk 与 CIMC ENRIC、European Energy、Green Technology Bank、Orsted、Proman、Waste Fuel、德博能源、Carbon Sink、SunGas Renewables 等 9 家单位达成了绿色甲醇合作伙伴关系，锁定了年均超过 140 万 t 绿色甲醇供应。

据 IRENA 的 Innovation Outlook: Renewable Methanol 2021，当前全球甲醇年产量约 1 亿 t，几乎全部来自天然气、煤等化石燃料；可再生甲醇的年产量不到 20 万 t，主要为生物甲醇。据 Methanol Institute 统计，目前全球范围内可再生甲醇生产基础设施建设项目超过 80 个，预计到 2027 年可实现 800 万 t 的年产量。当前的可再生甲醇生产基础设施建设项目主要分布在中国、丹麦、德国、美国等国家，虽然通过供应链网络构建和甲醇的海上运输，可再生甲醇生产基础设施的分布不是主要障碍，但基于供应链网络优化的视角，推动在主要贸易航线和关键节点港口布局可再生甲醇生产基础设施，仍然十分重要。据 DNVA Alternative Fuels Insight 平台统计，当前全球范围内投入运行的甲醇接驳终端已达 130 个，接驳终端数量排在前几位的中国、欧洲、北美和中东分别达到 38、29、19 和 16 个。未来甲醇的应用主要还是基于生物质甲醇，尤其是利用风能、太阳能、水能、核能等清洁能源和捕集 CO₂ 合成电制甲醇的发展，CO₂ 来源和生产成本是甲醇动力航运发展的主要障碍。

甲醇是一种关键基础化学品，主要用于生产甲醛、乙酸和塑料等其他化学品；同时，甲醇也是一种用于车辆、船舶、工业锅炉的低闪点液体酒精燃料。与传统燃料相比，可再生甲醇可减少高达 95% 的 CO₂ 排放和 80% 的 NO_x 排放，且完全没有 SO_x 和 PM 排放。甲醇有一定的毒性，吸入、暴露和皮肤接触均会造成人员的中毒反应；由于较强的挥发性和生物可降解性，其对人类健康、海洋和大气环境的威胁要低于燃油和氨。甲醇的生产原料主要是天然气和煤，但生物质、森林残渣、市政固体废弃物、捕集的 CO₂ 等都可以作为甲醇的生产原料，其主要的生产路径为 H₂ 和一氧化碳 (CO) 或 H₂ 与 CO₂ 的合成，合成气 (H₂+CO)、H₂、CO₂ 和生产用能的来源就决定了甲醇的碳足迹和成本。化石甲醇与船用燃油具有可比的燃料成本，绿色甲醇的燃料成本却高出 8~10 倍，但未来有望降至 2~3 倍。**甲醇引擎 TtW 排放相较油可削减 CO₂ 排放 10%，当考虑到天然气产甲醇完整周期 WtW 时，CO₂ 排放可能较油更多，甲醇的 NO_x 排放比高硫燃油低 30%。甲醇常温液体，安装甲醇系统的花费约为 LNG 系统的 1/3，这是因为不需要低温材料压力储罐。**

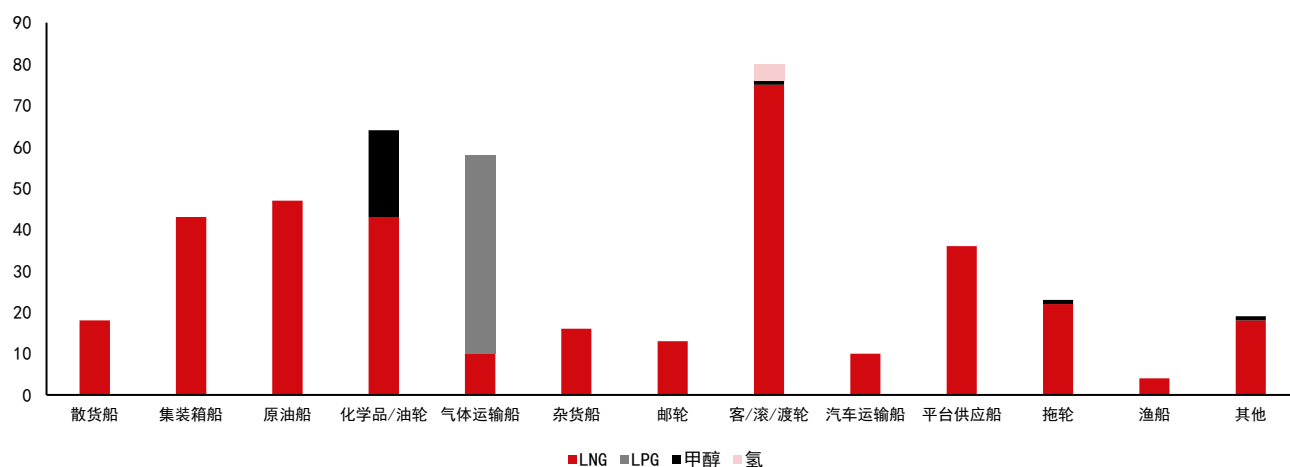
相较于其他气体燃料，甲醇属低闪点液体燃料，相对易于运输、储存和配送，对现有船用燃料储运设施稍作改造即可建立完整供应链。甲醇燃料内燃机技术相对成熟，在车辆、船舶上均有多年的应用经验。MAN Energy Solutions、WinGD、Wartsila、Rolls-Royce、Caterpillar 等主要的船用发动机生产商均开展了甲醇发动机的研发或生产；国内淄柴动力、中船动力等甲醇发动机也在研发中。值得一提的是，MAN ME-LGIM 是目前市场主流应用的机型，缸径有 50、80、95 三个系列，缸数可为 6~12 缸，功率范围 5~82 MW，基本可以覆盖各种类型、各种大小远洋船舶的功率需求。全球超过 120 个港口供应甲醇，作为燃料供应超过 20 艘船只，成为全球第四大船用燃料，原因之一是甲醇可以在常温常压下以液体形态使用现有基础设施储存和运输，船舶燃料加注也可以实现。对于国内的船厂和船东，甲醇是一种兼具短期和长期效益的理性选择。通过使用甲醇，船东可以在现有船舶和新造船舶上使用目前市场上商业化可供的最清洁的燃料。随着越来越多的再生在甲醇项目投产，船东可以混合使用更低碳排放的甲醇燃料并最终切换为完全碳中和的甲醇燃料。

在法规上，国际海事组织已经批准了甲醇燃料的船舶的安全导则；包括中国船级社在内的国际船级社、船旗国、港口国家和航运公司已经接纳甲醇作为一种安全、合规和高效的船舶燃料。在造船经验和作为替代燃料的应用上，甲醇已经获得 3-5 年的关键领先期，使得船舶运营商使用甲醇在达到减排目的的同时在不同的阶段实现低运行成本和资本成本投入。最近高涨的兴趣反映出甲醇在燃料就绪程度、法规建立、船舶设计和发动机可供性方面的进步。这同样证明了船东对于采取降低污染物排放行动的意愿，许多船东已经开始行动而非对其他长期选项进行观望。克拉克森统计今年前两个月报出的 45 艘新船订单中，24 艘为甲醇燃料动力。其优势在于甲醇为常温常压状态下为液态，燃料储存和处理简单；通过可再生方式制取可实现”绿色“甲醇，碳排放量近乎为零；此外在不考虑燃料成本的前提下，甲醇燃料的船舶建造安装成本比 LNG 燃料更低。但甲醇燃料的商业

化推广需要解决大范围量产（包括原材料来源）的问题，目前来看“绿色”甲醇的生产成本较高。

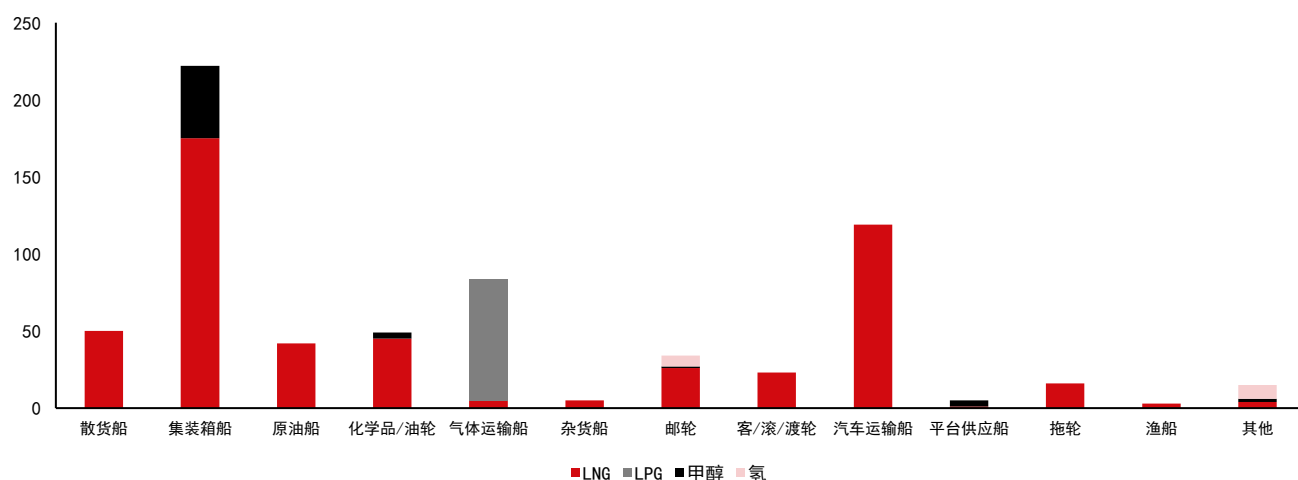
据 DNV Alternative Fuels Insight 平台统计，替代燃料船舶数量在现有世界船队中占比为 0.47%，所应用的替代燃料包括 LNG、LPG、甲醇和氢气四种类型；但从新造船订单来看，这四种类型的替代燃料船舶数量占比达到 13.05%。世界船队中，已投入运行的替代燃料船舶的类型和数量、新造船订单中替代燃料船舶的类型和数量如图所示：

图 11：投入运行的替代燃料船舶类型和数量



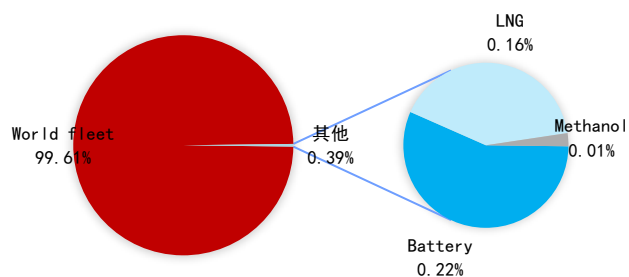
资料来源：DNV 中信期货研究所

图 12：新造船订单替代燃料船舶类型和数量



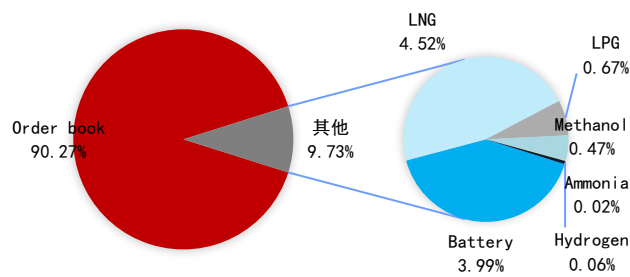
资料来源：DNV 中信期货研究所

图 13： 投入运行的替代船舶燃料占比（数量）



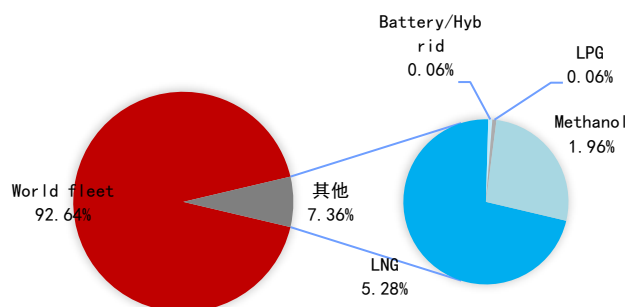
资料来源：DNV 中信期货研究所

图 14： 新造订单替代船舶燃料占比（数量）



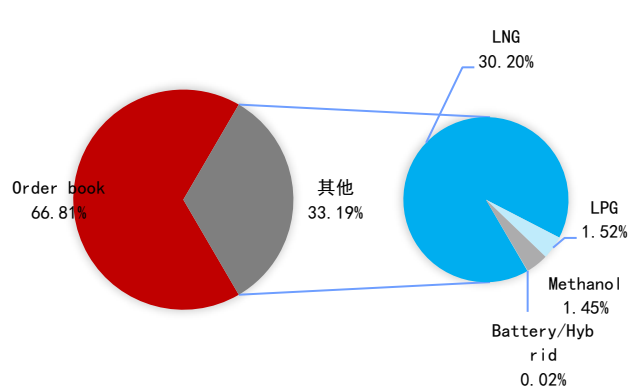
资料来源：DNV 中信期货研究所

图 15： 投入运行的替代船舶燃料占比（载重吨）



资料来源：DNV 中信期货研究所

图 16： 新造订单替代船舶燃料占比（载重吨）



资料来源：DNV 中信期货研究所

图 17： LNG 动力船队及订单比例（载重吨）



资料来源：克拉克森 中信期货研究所

图 18： 其他替代燃料动力船队及订单比例（载重吨）

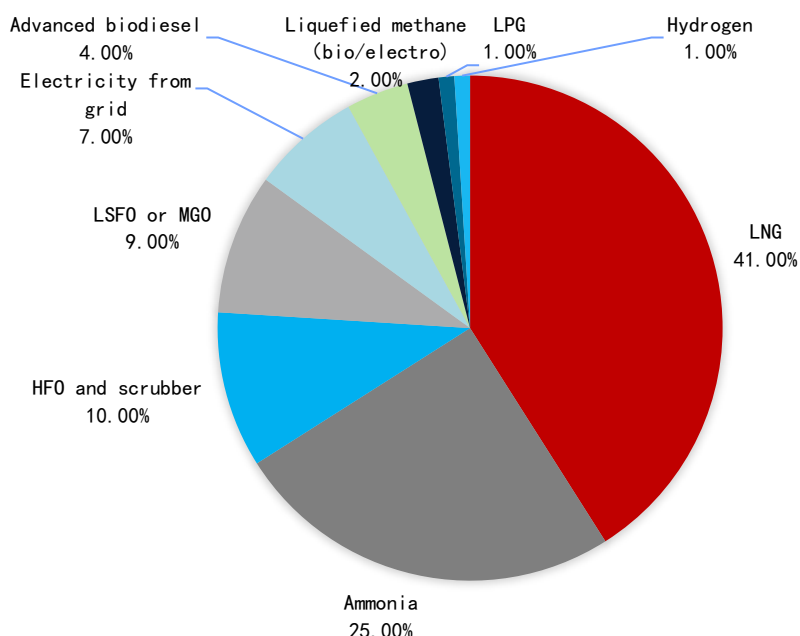


资料来源：DNV 中信期货研究所

截止 2023 年 3 月初，克拉克森对不同燃料类型的统计中：LNG 燃料以数量计共 1733 艘，而如果除去使用 LNG 作为燃料的 LNG 船，共计 905 艘船；甲醇燃料共 109 艘；其他替代燃料类型总计 869 艘船（包括同样作为运输货物的 LPG 和乙烷燃料）。氨、氢等燃料被广泛认为是未来零碳燃料的选择，但应用仍存在技术门槛。目前仅少数船舶为氢燃料动力；氨动力船舶尚无新造船订单，但有燃料预留。

2019 年后 LNG 动力船舶订单、其他类型替代燃料动力船舶订单持续高速增长。投入运行和新造订单替代船舶燃料中，LNG 占比最大，LPG、甲醇燃料船只订单也逐渐增多；载重吨占比中，LNG 占比达到 30.2%，证明 LNG 作为过渡燃料被市场认可的地位，LPG、甲醇燃料也开始走入市场。DNV 预计 2050 年 DR 路径下 LNG 作为航运燃料的占比能达到 41%，其次是氨 25%、高硫燃油 10%、低硫燃油和柴油 9%等。

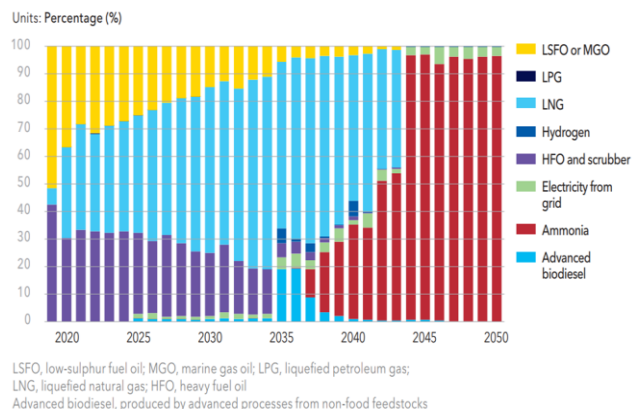
图 19： 2050 航运燃料占比（design requirements）



资料来源：DNV 中信期货研究所

图 20： DR 路径下新船订单燃料占比

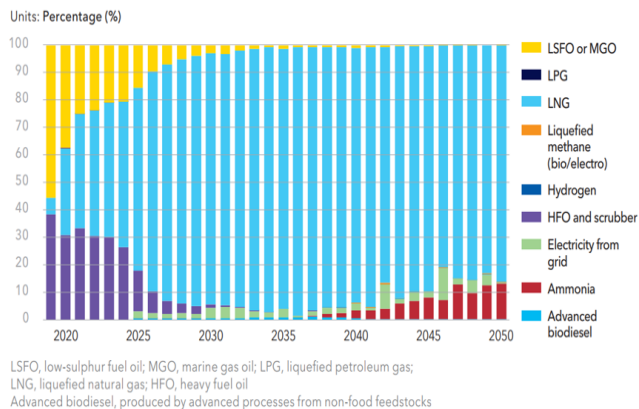
Share of fuels (% of energy bunkered) for newbuildings for the IMO ambitions DR pathway (2018-2050) with main focus on design requirements



资料来源：DNV 中信期货研究所

图 21： OR 路径下新船订单燃料占比

Share of fuels (% of energy bunkered) for newbuildings for the IMO ambitions OR pathway (2018-2050) with main focus on operational requirements



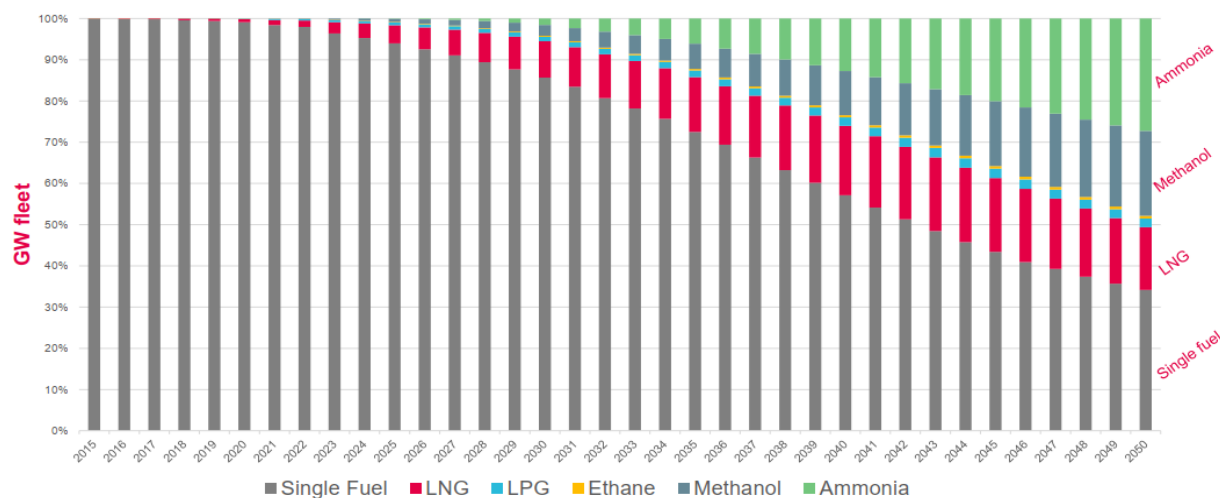
资料来源：DNV 中信期货研究所

但其他机构预测 2030 年后甲醇、氨气的船用燃料占比将持续提升，2050 年 LNG 将与甲醇、氨成为占比超过 60%的航运燃料。为实现 2050 年航运业碳排放总量降低 50%的目标，克拉克森模型显示：随着技术突破，2030 年后其它替代燃料（如氨、氢，其他绿色低碳燃料）将会快速发展。而到 2050 年新签订单将全部使用替代燃料订单才能达成目标。这也意味着到 2030 年全球船队中 26%的船舶吨位需要使用替代燃料，这一比例在 2050 年将上升至 85%。克拉克森模型显示：传统燃料及 LNG 燃料动力船舶将在 2030 年左右加速淘汰，到 2050 年传统燃油动力船舶将基本退出运营。

图 22： 航运燃料分布预测

Two-stroke fuel mix forecast towards 2050

Distribution of 34% single fuel, 27% Ammonia, 21% Methanol, and 15% LNG expected in 2050

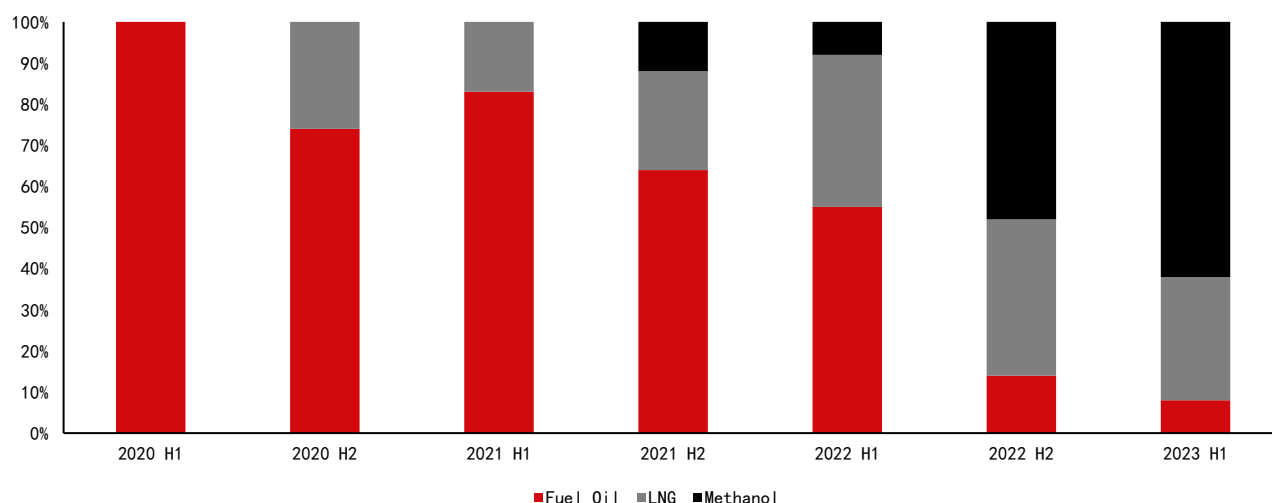


Assumptions: Scenario is based on known factors such as world trade growth, EEDI, EEXI, expected CO2 regulation (currently unspecified), etc.

资料来源：ABS 中信期货研究所

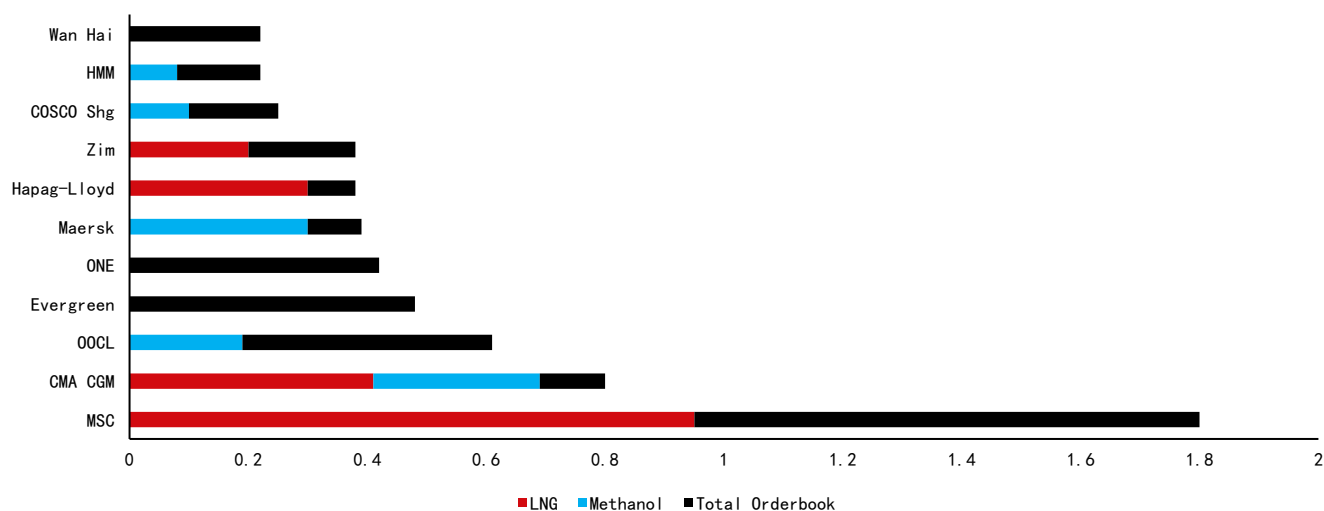
货主公司、上市公司等有较大社会责任压力的公司最先引领替代燃料动力船舶的投资，但是随着环保法规进程愈发清晰，非上市的头部船东成为替代燃料订单主要推动力。克拉克森数据显示，排名前三的班轮公司，最初旗帜鲜明的选择立场，而目前他们的态度也产生些许变化：**地中海航运有很大比例的 LNG 燃料订单；马士基坚持不做 LNG 燃料订单；达飞在最初 LNG 燃料订单基础上，增加了甲醇燃料订单。**其它船东公司的分布也非常具有船型特色。未来值得关注是否会有更多头部船东以外的公司会采取替代燃料订单投资。

图 23： ALPHALINER 船舶订单变化



资料来源：ALPHALINER 中信期货研究所

图 24： 海运公司船舶订单 单位：百万标箱



资料来源：DNV 中信期货研究所

达飞集团（CMA CGM）是第一家选择使用 LNG 的双燃料船舶以减少其碳足迹的班轮公司。截至今年年底，该公司运营的 LNG 动力集装箱船预计超过 20 艘。该集团表示，最新订单符合其扩大能源结构的战略，符合其到 2050 年实现净零排放的目标。目前，**该集团正通过大规模投资天然气和甲醇燃料**，加速其脱碳进程，该公司认为，这两个行业将对航运业的脱碳起到互补作用。达飞集团日前与大连船舶重工集团有限公司（DSIC）签订了 6 艘 15000TEU 的甲醇双燃料集装箱船，总价值约为 10 亿美元。值得注意的是，如果订单敲定，这将是达飞第一批甲醇动力集装箱船，预计于 2025 年下半年交付，达飞集团是继马士基之后第二家选择甲醇动力集装箱船的班轮公司，此前该集团一直专注于投资 LNG 动力集装箱船。

2021 年 11 月，马士基成功筹集欧盟 10 年 5 亿美元绿色基金用来制造 8 艘绿色甲醇燃料集装箱订单，2023-2024 年交付，这些船只由现代重工建造，花费为 1.75 亿美元，较化石燃料船只的建造成本提高 10%-15%，燃料为绿色甲醇，由丹麦 Reintegrate 公司提供，可再生电力电解水生产氢气，与 CCS 回收二氧化碳生产绿色甲醇，马士基新船如果不能获得绿色甲醇也可使用 HFO。2022 年 1 月，他们将订单增至 12 艘，值得注意的是投资者展现出极大的积极性，订单出现超额认购价值为 37 亿美元，发行绿色债券是实现碳中和的重要途径。马士基已订购近 300000TEU 的甲醇双燃料订单，相当于其建造新船吨位的 80%。2023 年 2 月，韩新海运（HMM）在现代重工订购了 10 艘 9,000TEU 的甲醇双燃料船，将于 2025 年和 2026 年陆续交付；达飞轮船（CMA CGM）也与现代签订了 12 艘 13000TEU 甲醇双燃料船的建造合同，同样将于 2025 年至 2026 年间交付。此外，传闻中有更多订单正在路上。为推动绿色甲醇在全球的生产，马士基在全球同六个领先企业达成伙伴关系，在 2025 年底前意向性采购至少 73 万吨绿色甲醇。这项合作包括两个中国公司，分别是中集安瑞科和上海绿色技术银行。作为同马士基公司合作超过 20 年的中国公司，中集安瑞科将为马士基在中国开发生物质甲醇项目。项目首期包括年产 5 万吨的绿色甲醇项目，2024 年投产。二期包括 20 万吨每年产能的项目。

上海绿色技术银行是 2016 年中国政府响应 2030 可持续发展议程而成立。它将为中国的生物质甲醇项目提供支持，预计首个年产 5 万吨项目在 2024 年投产。第二个项目计划产能为 30 万吨每年。

从趋势上看，清洁能源混合动力新造船正呈逐步增加之势。船用主机巨头 MAN 认为：“双燃料主机订单规模正在扩大，当前其约占总体订单的 1/3，传统主机占 2/3。我们预计到 2025 年两种主机的订单比例将达到 1:1。” MAN 双冲程引擎采用 LGI（Liquid Gas Injection）甲醇，该引擎不需要安装 SCR 技术去除氮氧化物，因为在燃烧过程中甲醇和水混合，可使甲醇满足 IMO Tier III 排放标准，MAN 还开发了双燃料引擎，满足甲醇和甲醇 HFO 混合燃料，使得船东有能力在绿色甲醇价格下降时选择，给投资人在燃料短缺时灵活转换的能力。

Proman 世界最大的甲醇生产商之一，与 Stena（私人船企，拥有 140 艘船只）

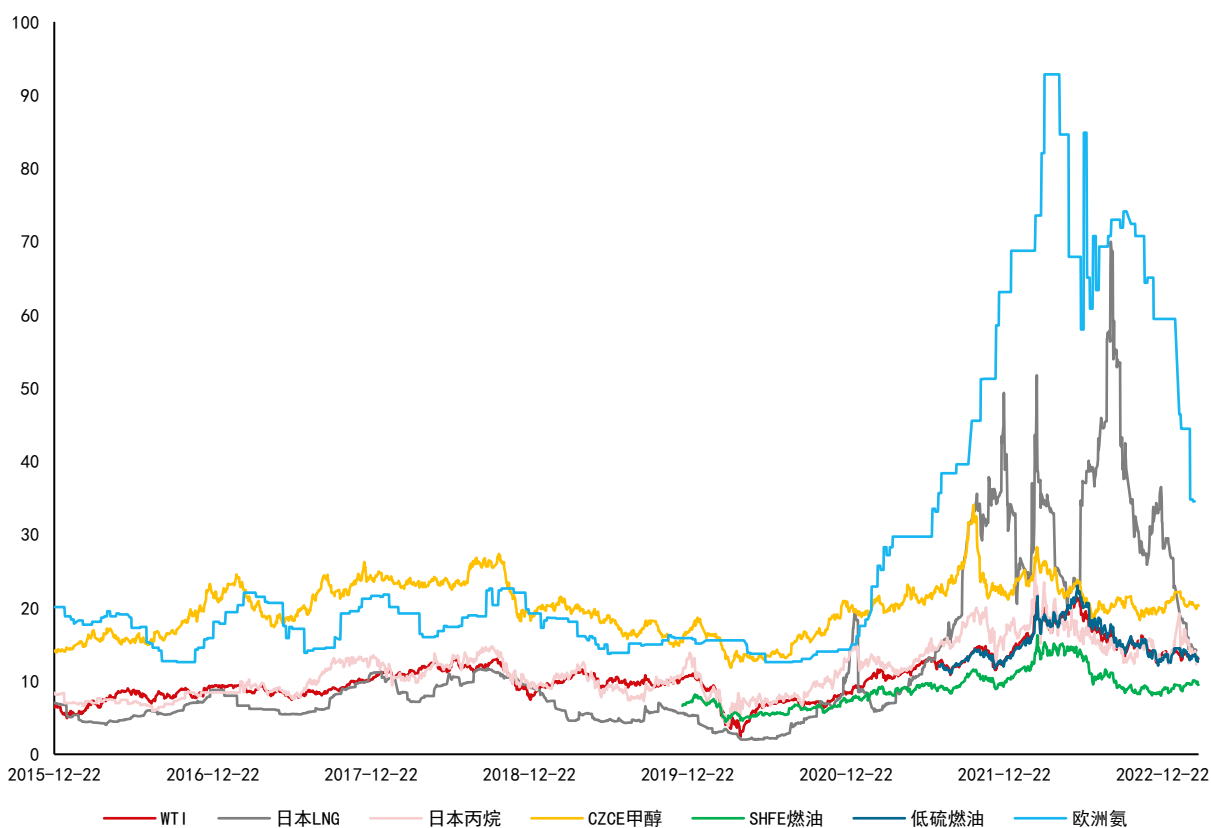
合作，成立合资公司 Proman Stena Bulk，成功下水 Stena Pro Patria，这是 4.99 万吨的甲醇双燃料 MR 油轮，另外五艘甲醇驱动的新船将于 2023 年交付。

世界最大的船东中远海控和中船集团大连造船厂最近合作完成了甲醇燃料超大型油轮（VLCC）的设计，这是此类船型的全球首创并且获得了船级社的原则上批准（AiP）。

另外一个全球最大的独立集装箱船东，Danaos Corporation 宣布了包括 6 艘 7000TEU 的造船订单，采用甲醇预设方案。

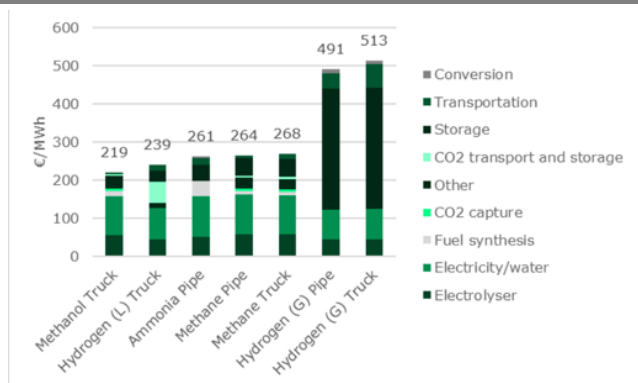
三、替换燃料成本对比

图 25： 不同潜在航运燃料价格 单位：美元/百万英热



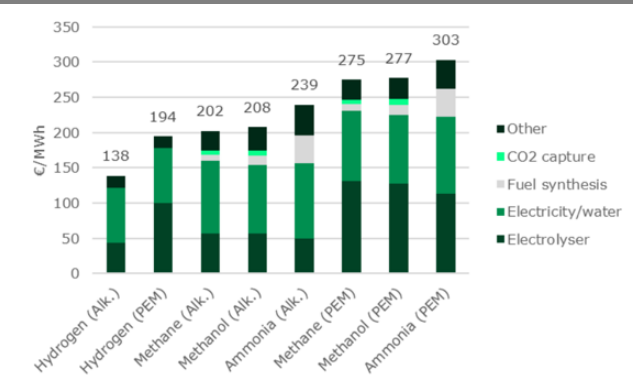
资料来源：彭博 中信期货研究所

图 26： 各燃料全交付成本 单位：欧元/兆瓦时



资料来源：Dias et al 中信期货研究所

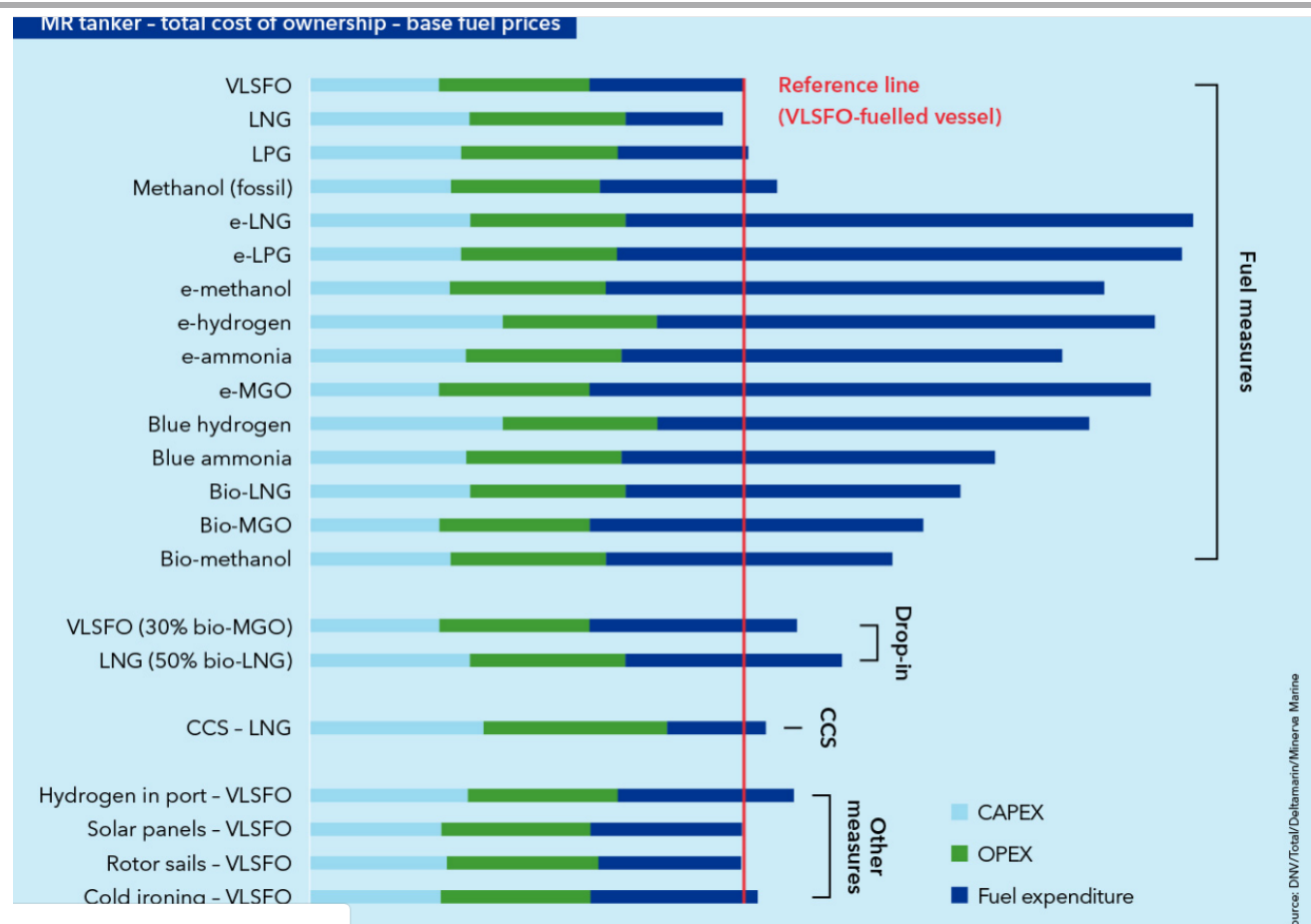
图 27： 各燃料生产成本 单位：欧元/兆瓦时



资料来源：Dias et al 中信期货研究所

全交付成本角度看，甲醇目前是价格最低的航运燃料；生产成本角度看，氢气成本最低，但其运输、储存成本较高，技术突破前将持续限制氢气的大规模应用。

图 28： 2019 年替代燃料成本对比



资料来源：DNV 中信期货研究所

四、替换燃料综合评价

燃料消耗

2016 年 10 月，IMOMEPC. 278(70) 号决议通过了 MARPOL 公约附则 VI 关于船舶燃油消耗数据收集系统 (Data Collection System, DCS) 的强制性要求，从 2019 年 1 月 1 日起，5000 总吨及以上的船舶需要收集其使用的每种燃料的消耗数据，并在每个日历年结束后报告给船旗国，船旗国在确定数据已按照要求报告后，将向船舶发出符合声明，随后将此数据传输到 IMO 船舶燃油消耗数据库。目前，IMO 已通过 MEPC 76/6/1、MEPC 77/6/1、MEPC 79/6/1 发布了 2019、2020、2021 三年的燃油消耗数据汇总报告。按公约要求，纳入统计的船舶应有约 3.2 万余艘和 13 亿总吨，但目前数据仍有缺失，数据完整率按船舶数量计约 85%，按总吨计约 94%。基于这些报告，可以得到所统计船舶的燃料消耗情况，2019—2021 年燃料消耗总量分别为 2.13 亿 t、2.03 亿 t 和 2.12 亿 t，各年份 HFO、LFO 和 MDO/MGO 三种传统燃料累计消耗占比分别为 95.03%、94.01%和 93.95%，而替代燃料占比略有增加。目前所报告的替代燃料包括 LNG、LPG、乙烷、甲醇、乙醇、生物燃料等，替代燃料消耗总量情况为：

图 29： 基于 IMO 船舶燃油消耗数据库的替代燃料消耗情况 单位：吨

	LNG	LPG	乙烷	甲醇	乙醇	生物燃料	替代燃料总占比
2019	10482742	7384	48177	29551	149	2978	4.96%
2020	11974761	18184	62345	77631	0	30462	5.99%
2021	12623121	37001	102921	13031	4849	67580	6.05%

资料来源：世界海运 中信期货研究所

图 30： 替代燃料船舶数量 单位：艘

签单情况（艘数）		全年 / 年初至今										7月*
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
替代燃料船舶类型	散货船	0	2	0	2	1	0	2	6	9	36	4
	油轮	0	8	6	13	6	22	11	34	34	52	7
	集装箱船	2	6	5	2	7	11	8	18	14	90	92
	气体船	39	47	76	38	9	21	78	84	84	158	117
	海工装置	5	6	0	3	1	1	13	0	3	1	3
	其他船型	3	4	20	11	10	21	30	46	11	76	39
总数		49	73	107	69	34	76	142	188	155	413	262
替代燃料类型	LNG	49	60	99	59	32	69	133	159	116	321	244
	LPG	0	0	0	0	0	2	1	16	24	68	4
	甲醇	0	6	1	0	0	4	0	4	8	19	9
	乙烷	0	0	3	5	0	0	1	8	6	2	4
	氢	0	0	0	1	0	0	0	4	0	2	0
	生物燃料	0	7	4	5	2	1	7	1	3	1	3
总数		49	73	107	69	34	76	142	188	155	413	262

资料来源：CCS 中信期货研究所

甲醇和氨的氮氧化物排放

国际海事组织(IMO)于1997年9月在《国际防止船舶造成污染公约》(MARPOL)议定书中审议并通过了附则VI《防止船舶造成大气污染规则》，并于2005年5月生效。2008年10月，《国际防止船舶造成污染公约》附则VI的修正案正式获得批准。2010年国际海事组织(IMO)对《国际防止船舶造成污染公约》附则VI氮氧化物(NO_x)的排放规则进行了修正，并划定了排放控制区，更加系统化规范化的给出了氮氧化物(NO_x)的排放标准，即第一阶段排放标准(Tier I)、第二阶段排放标准(Tier II)和第三阶段排放标准(Tier III)。目前正在施行的第三阶段排放标准(Tier III)要求：

2016年及以后建造的船舶在氮氧化物(NO_x)排放控制区内，低速柴油机的氮氧化物(NO_x)排放量必须小于3.4 g/(kW·h)，高速柴油机的氮氧化物(NO_x)排放量必须小于2.0 g/(kW·h)。

该标准对氮氧化物(NO_x)的排放量限制比2011年实施的第二阶段排放标准(Tier II)标准更加严格。第二阶段排放标准(Tier II)要求的氮氧化物(NO_x)排放量比第一阶段排放标准(Tier I)降低约20%，而第三阶段排放标准(Tier III)要求的氮氧化物(NO_x)排放量比第一阶段排放标准(Tier I)降低约80%。

图 31： MARPOL 氮氧化物排放限制

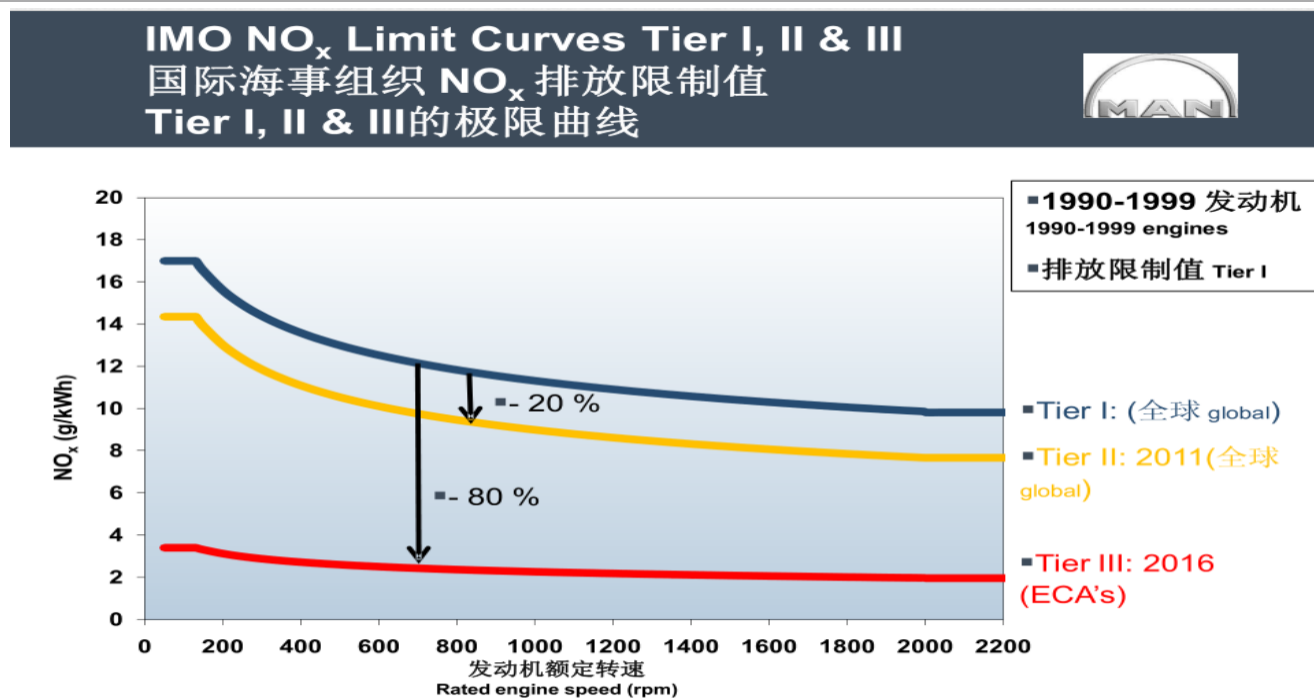
NO _x limits under MARPOL				
Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit (g/kWh)		
		n = engine's rated speed (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	01-Jan-00	17	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm - 12.1	9.8
II	01-Jan-11	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ e.g., 720 rpm - 9.7	7.7
III	01-Jan-16	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm - 2.4	2

Source: IMO

资料来源：IMO 中信期货研究所

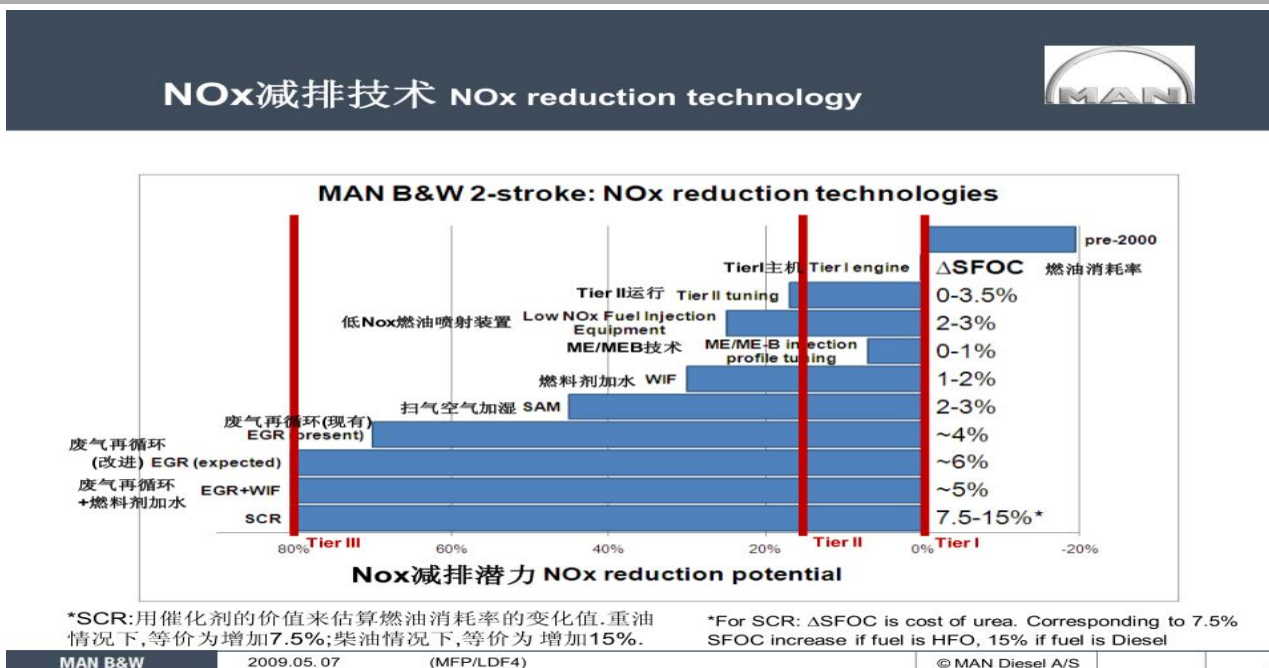
通过观察发现，一般VLCC微速转数在22~27转之间，速度在4~6.5节之间，意味着大型船只氮氧化物排放小于3.4g/kwh即可。

图 32： IMO 氮氧化物排放限制值



资料来源：MAN 中信期货研究所

图 33： 氮氧化物减排技术



资料来源：MAN 中信期货研究所

废气再循环 (Exhaust Gas Recirculation) 和选择性催化还原 (Selective

Catalytic Reduction) 系统大幅降低氮氧化物排放量并优化效率。废气再循环 (EGR) 系统通过控制燃烧过程防止生成氮氧化物 (NO_x)，而选择性催化还原 (SCR) 系统是通过催化剂和添加剂去除燃烧过程已经生成的氮氧化物，所以属于后处理工艺。随着国际海事组织 (IMO) Tier III 标准的出台，船舶柴油机尾气中的 NO_x 治理显得十分紧迫，船舶用脱硝催化剂等船舶排放治理业务的市场规模逐渐扩大。保守预测国内 SCR 脱硝市场需求总量为 430.57-469.71 亿元/年，国际市场需求总量为 1344.41-1466.63 亿元/年。

MAN Energy Solutions 新技术部门总监 Kjeld Aabo 阐述了以甲醇为燃料的 MAN B&W LGIM 发动机所拥有的特性：“通过在甲醇中使用水乳，我们得以在甲醇燃料模式达到 Tier III 排放标准，由此完全无需使用专门的 NO_x 降低技术。我们为 G50-LGIM 发动机引入了这一技术，因此获得了极为宝贵的服务经验，尤其是在甲醇运输船领域。而同时我们也看到一个明确的需求，即：这个领域之外的所有类型燃料都需要借助 EGR 系统才能完全满足 Tier III 排放标准。

图 34： 各燃料氮氧化物排放对比

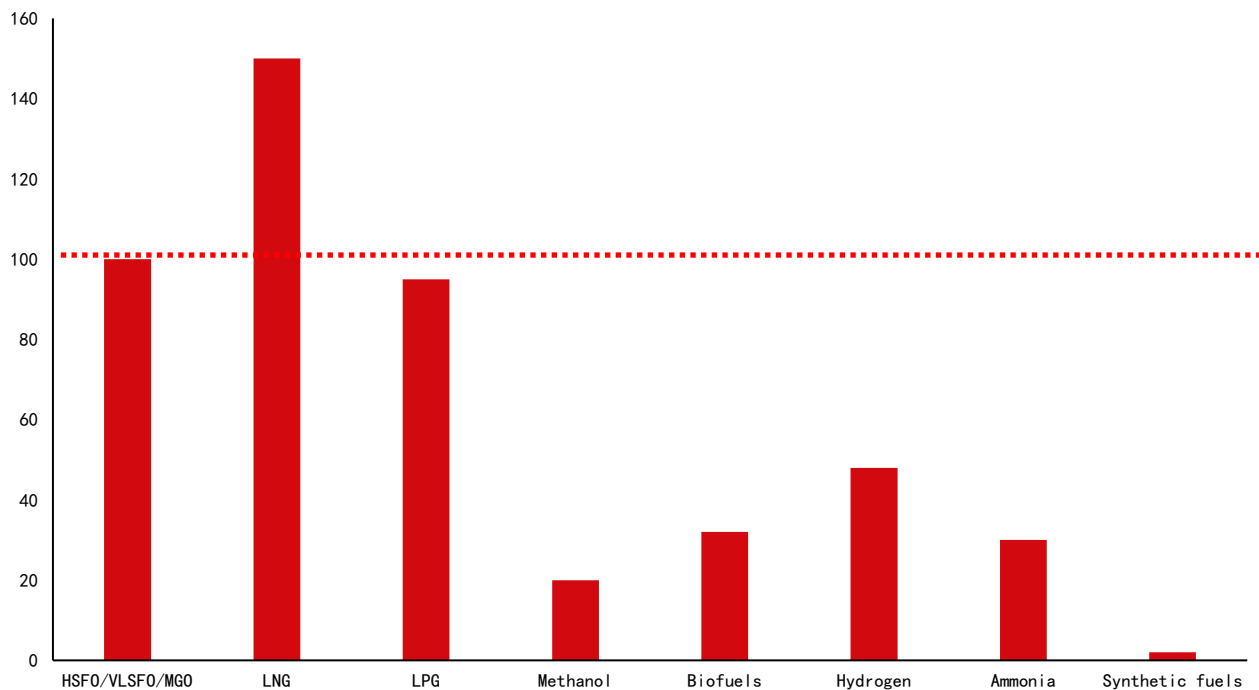


资料来源：DNV 中信期货研究所

LSHFO 燃烧产生的氮氧化物为 15.8g/kwh，甲醇燃烧产生的氮氧化物为 3.05g/kwh，IMO 要求低转速船只的氮氧化物排放为小于 3.4g/kwh，高转速船只的排放为小于 2g/kwh，甲醇作为大型船只的燃料可满足 IMO 规定的氮氧化物排放标准；氨气燃烧也可产生氮氧化物，但 EGR 和 SCR 技术或能实现碳氧化物的减排。

产能

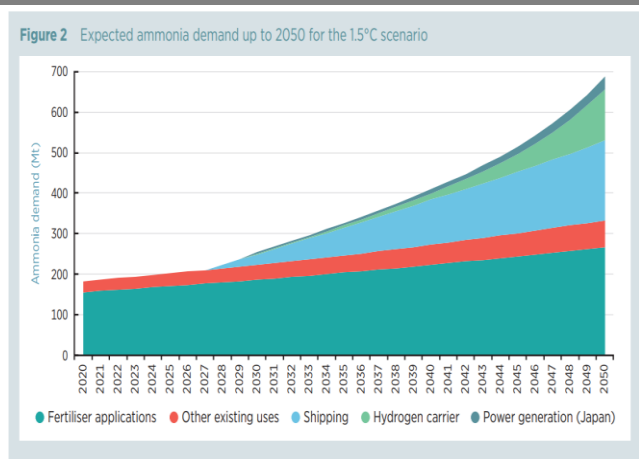
图 35： 船用替代燃料的供应能力 单位：%



资料来源：DNV 中信期货研究所

图 36： 2050 氨需求展望

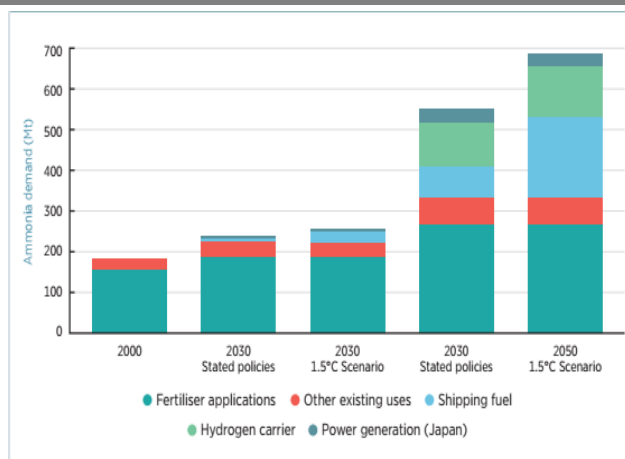
单位：百万吨



资料来源：IRENA 中信期货研究所

图 37： 2050 氨需求展望

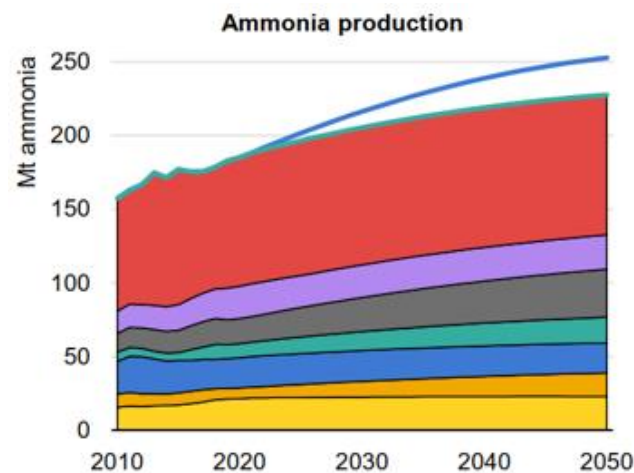
单位：百万吨



资料来源：IRENA 中信期货研究所

图 38： 2050 氨产量预估

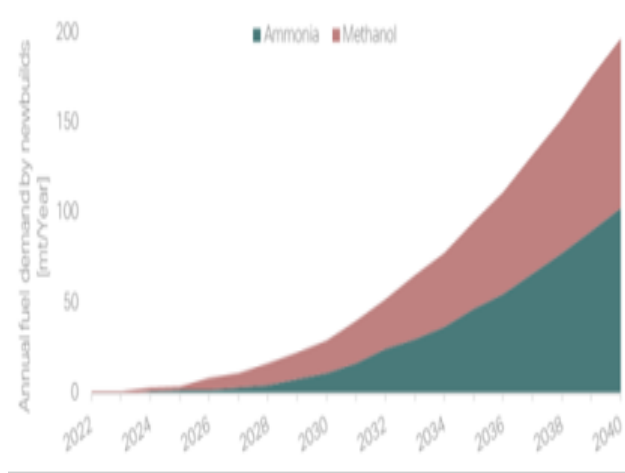
单位：百万吨



资料来源：IEA 中信期货研究所

图 39： 2050 氨航运燃料需求

单位：百万吨

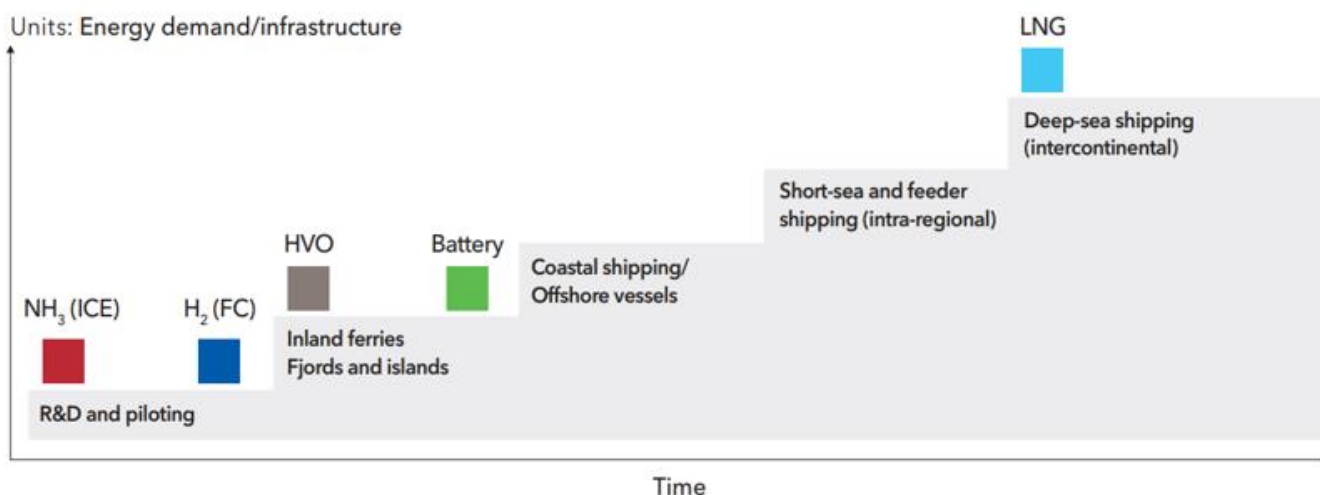


资料来源：MAN 中信期货研究所

2020 年氨产量 1.7 亿吨，需求 1.8 亿吨，供需基本平衡。2050 年氨作为航运燃料需求较 2020 年增加 1-2 亿吨，氢气载体需求增加 1 亿吨，需要氨产能不断释放才能满足该需求；2020 年全球甲醇产能为 1.4 亿吨，需求量为 1.1 亿吨，供需基本平衡，2030 年其产能有望超过 2 亿吨。2050 年甲醇作为航运燃料需求较 2020 年增加 1-2 亿吨，需要甲醇产能不断释放才能满足该需求，因此现阶段产能可满足航运需求的替换燃料是 LNG，随着技术进步，甲醇、氨作为航运燃料的需求不断释放，供应或持续增长。

图 40： 现阶段航运燃料发展阶段

Current development stage for selected alternative fuels



资料来源：DNV 中信期货研究所

图 41： 各燃料综合评分

Sustainable fuel options summarised

Criterion	Hydrogen	Ammonia	Methanol	LNG	Li-ion	HFO
GHG reduction potential	5	4	5	5	5	1
Density	2	3	4	4	1	5
Cost	2	1	3	1	2	5
Useability	4	3	4	3	4	3
Average	3	3	4	3	3	4

Source: Longspur Research based on Oko Institut eV

资料来源：Longspur Research 中信期货研究所

综合各燃料密度、排放、成本和可用性等因素后，Longspur Research 认为甲醇的评分最高，有望在碳中和航运燃料的占比较大，LNG 现阶段是过渡燃料，未来 LNG、甲醇、氨或是航运碳中和的主要燃料。甲醇应用较广具备优势，引擎仅需小幅度的改装，并不需要氨和氢所需要的压力和冷冻装备，其次远距离航运电池和氢气的能量密度受限，液氢和氨可操作性强。生物甲烷、绿氨、绿色甲醇和氢气的碳减排作用最大，但氨气的问题是氮氧化物排放增加全球变暖的可能，可操作性和毒性也是较大的问题，所以甲醇的得分最高。但是现阶段无论是甲醇还是氨因为其井到舱(Well-to-Tank, WtT)碳排放远高于燃料油、LNG，需要技术不断进步，未来的航运燃料将围绕在生物甲烷、绿氨、绿色甲醇和氢气上。

参考文献：

- [1]邢辉, 李想. 船用替代燃料应用进展[EB/OL]. 世界海运, 2023-02-22
- [2]Methanol as a Marine Fuel — Availability and Sea Trial Considerations[EB/OL]. Maritime Energy and Sustainable Development (MESD) Centre of Excellence, January 2021
- [3]Adam Forsyth. ALL AT SEA METHANOL AND SHIPPING INDUSTRY BACKGROUND FROM LONGSPUR RESEARCH [EB/OL]. LONGSPUR RESEARCH, 2022-01-25
- [4]INNOVATION OUTLOOK RENEWABLE AMMONIA [EB/OL]. IRENA, 2019
- [5]Ammonia Technology Roadmap Towards more sustainable nitrogen fertiliser production[EB/OL]. IEA, 2021
- [6]新诚航运 85000 吨氨燃料散货船获颁中国船级社 AIP 证书[EB/OL]. 海运圈聚焦, 2022-02-22
- [7] 240 艘！中国船舶上海船院 2022 年获全球近 20%新订单[EB/OL]. 海运圈聚焦, 2023-03-04
- [8]各国为何都在积极布局“绿氨”产业？[EB/OL]. 化工平头哥, 2022-02-08
- [9]朱研, 绿氨大热并非“虚火”[EB/OL]. 中国能源报, 2023-02-26
- [10]甲醇燃料动力船舶关键技术与应用前景[EB/OL]. 中国船级社 CCS, 2022-09
- [11]固碳、储氢、航运燃料、掺混发电：绿氨行业概览与展望[EB/OL]. 毕马威, 2022-12
- [12]市场分析：替代燃料——航运业“脱碳”的乱纪元时代？[EB/OL]. 克拉克森研究, 2023-03-03
- [13]集装箱船舶订单替代燃料比例已达 40%，甲醇领先 LNG [EB/OL]. 信德海事, 2023-03-02
- [14]绿氨技术的发展现状及前景，目前全球绿氨项目已超 40 个[EB/OL]. 流程工业, 2023-03-01
- [15]全球首个使用生物甲醇的跨大西洋净零航次完成！[EB/OL]. 海运经纪, 2023-03-01
- [16]西班牙石油公司向鹿特丹港供应绿氨[EB/OL]. 世界石油工业, 2023-02-23

[17] 甲醇是当今航运业脱碳的关键解决方案[EB/OL]. 信德海事网, 2022-02-16

[18] 最新研究表明甲醇燃料是航运业当前最佳脱碳方案[EB/OL]. 国际船舶网, 2022-02-07

免责声明

除非另有说明，中信期货有限公司拥有本报告的版权和/或其他相关知识产权。未经中信期货有限公司事先书面许可，任何单位或个人不得以任何方式复制、转载、引用、刊登、发表、发行、修改、翻译此报告的全部或部分材料、内容。除非另有说明，本报告中使用的所有商标、服务标记及标记均为中信期货有限公司所有或经合法授权被许可使用的商标、服务标记及标记。未经中信期货有限公司或商标所有权人的书面许可，任何单位或个人不得使用该商标、服务标记及标记。

如果在任何国家或地区管辖范围内，本报告内容或其适用与任何政府机构、监管机构、自律组织或者清算机构的法律、规则或规定内容相抵触，或者中信期货有限公司未被授权在当地提供这种信息或服务，那么本报告的内容并不意图提供给这些地区的个人或组织，任何个人或组织也不得在当地查看或使用本报告。本报告所载的内容并非适用于所有国家或地区或者适用于所有人。

此报告所载的全部内容仅作参考之用。此报告的内容不构成对任何人的投资建议，且中信期货有限公司不会因接收人收到此报告而视其为客户。

尽管本报告中所包含的信息是我们于发布之时从我们认为可靠的渠道获得，但中信期货有限公司对于本报告所载的信息、观点以及数据的准确性、可靠性、时效性以及完整性不作任何明确或隐含的保证。因此任何人不得对本报告所载的信息、观点以及数据的准确性、可靠性、时效性及完整性产生任何依赖，且中信期货有限公司不对因使用此报告及所载材料而造成的损失承担任何责任。本报告不应取代个人的独立判断。本报告仅反映编写人的不同设想、见解及分析方法。本报告所载的观点并不代表中信期货有限公司或任何其附属或联营公司的立场。

此报告中所指的投资及服务可能不适合阁下。我们建议阁下如有任何疑问应咨询独立投资顾问。此报告不构成任何投资、法律、会计或税务建议，且不担保任何投资及策略适合阁下。此报告并不构成中信期货有限公司给予阁下的任何私人咨询建议。

中信期货有限公司

深圳总部 地址：深圳市福田区中心三路 8 号卓越时代广场（二期）北座 13 层 1301-1305、14 层

邮编：518048

电话：400-990-8826