

碳中和趋势下的船舶替代燃料前景展望

研究院 能源化工组

研究员

潘翔

☎ 0755-82767160

✉ panxiang@htfc.com

从业资格号: F3023104

投资咨询号: Z0013188

康远宁

☎ 0755-23991175

✉ kangyuanning@htfc.com

从业资格号: F3049404

投资咨询号: Z0015842

投资咨询业务资格:

证监许可【2011】1289号

内容摘要

■ 强制性法规重塑航运业，能源转型成必选项

在全球航运业从环保自觉转向强制合规的时代，国际海事组织（IMO）确立了2050年前后净零排放的宏伟目标。基于“从油井到尾迹”（Well-to-Wake, WtW）的全生命周期评估框架，传统化石燃料及作为过渡选项的LNG均难以满足最终的净零要求，这从根本上推动了行业向绿色替代燃料的深刻变革。

■ 甲醇领跑商业化应用

在众多替代方案中，甲醇因其常温常压下的液体形态、成熟的发动机技术及对现有基础设施的兼容性，正迅速成为商业化应用的领跑者。而氨因其分子不含碳的零排放特性，被视为远洋航运最具潜力的长期解决方案。但两者均面临绿色生产成本高昂、能量密度低于传统燃料等关键制约。

■ 生物燃料为现存船队提供过渡，氢与电聚焦短途市场

可再生柴油（HVO）等生物燃料凭借其“直接可用”的特性，为庞大的现有船队提供了满足近期减排法规的关键过渡方案，但其发展受限于原料供应不足与跨行业竞争。电池电力和氢燃料因能量密度低、基础设施匮乏等瓶颈，当前应用主要集中在渡轮、内河等短途运输的细分市场。

目录

内容摘要	1
船舶替代燃料的政策背景.....	4
IMO《2023年船舶温室气体减排战略》	4
欧盟碳排放交易体系 (EU ETS)	4
美国《通胀削减法案》	5
中国“双碳”目标战略	5
主流船舶燃料现状与局限性.....	6
化石燃料占绝对主导地位	6
化石燃料的政策适应性	7
新兴燃料 LNG 发展迅速，但难以满足碳中和目标.....	7
未来替代燃料方案	9
甲醇	9
氨	12
生物燃料：可再生柴油	13
电力推动	14
氢	15
未来船舶替代燃料发展趋势展望.....	17
政策与市场驱动的燃料格局	17
新造船订单释放行业路径选择的信号	18

图表

图 1: 2025Q2 鹿特丹船舶燃料销量 单位：无	6
图 2: 2025Q2 新加坡船舶燃料销量 单位：无	6
图 3: 2025Q2 安特卫普港口船舶燃料销量 单位：无.....	7
图 4: 2025Q2 巴拿马港口船舶燃料销量 单位：无	7
图 5: LNG 动力船舶数量 单位：艘	8
图 6: 替代燃料动力船舶数量及预测 单位：艘	9
图 7: 甲醇动力船舶数量 单位：艘	11
图 8: 预测 2050 年绿色甲醇的船东总成本 单位：百万美	11
图 9: 氨动力船舶数量 单位：艘	12
图 10: 液体生物燃料行业消费占比 单位：无	14
图 11: 不同类型电动船舶数量 单位：艘	15
图 12: 氢内燃机船舶数量 单位：艘	16
图 13: 氢燃料电池船舶数量 单位：艘	16
图 14: 不同燃料船舶现有订单量 单位：艘	18
图 15: 氨燃料船舶船型订单量 单位：艘	19

表 1: IMO 两次战略目标的内容对比	4
表 2: 甲醇、氨、氢燃料的物化性质	10
表 3: 主要氨燃料发动机排放性能	13
表 4: 替代燃料总结	17

船舶替代燃料的政策背景

过去，全球海运业的脱碳进程更多依赖企业的环保自觉与相对宽松的国际愿景；如今，它正迅速转向一个由强制性法规、清晰而刚性的碳定价以及巨大的经济奖惩措施共同驱动的合规时代。对于所有市场参与者而言，脱碳已不再是可选项，而是必选项。

IMO 《2023 年船舶温室气体减排战略》

2023 年，国际海事组织（IMO）在 MEPC80 会议上用全新的《2023 年船舶温室气体减排战略》取代了 2018 年的初步战略，大幅上调了目标要求，力度和决心远超市场预期。

表 1：IMO 两次战略目标的内容对比

实现年份	2018 年初步战略	2023 年修订战略
2030 年	国际航运单位运输工作的二氧化碳排放量平均至少降低 40%。	国际航运单位运输工作的二氧化碳排放量平均至少降低 40%。 零或接近零温室气体排放的技术、燃料或能源在国际航运所使用的能源中占比至少达到 5%，并努力争取达到 10%。 国际航运的年度温室气体总排放量至少减少 20%，并努力争取减少 30%。
2040 年		国际航运的年度温室气体总排放量至少减少 70%，并努力争取减少 80%。
2050 年	2050 年国际航运温室气体至少减少 50%。	在考虑到不同国情的基础上，力争到 2050 年前后实现国际航运温室气体净零排放。

资料来源：IMO 华泰期货研究院

从 2050 年“减排 50%”跨越到“净零排放”，意味着以液化天然气为核心的中长期减排路线失效，其残留的碳排放在新标准下成为不可接受项。任何燃料投资必须满足“油井到尾迹”全生命周期零碳的刚性约束，绿色甲醇、绿氨等替代燃料成为未来的优先选项。

欧盟碳排放交易体系（EU ETS）

作为欧盟气候政策的一部分，EU ETS 是全球首个也是最大的国际碳市场。它遵循“总量管制与交易”原则，为主要行业的温室气体排放设定了总量上限。企业需要获取并上缴与其排放量相当的排放配额。配额可以在市场上交易，从而形成碳价，通过市场机制激励企业减排和投资清洁技术。

自 2024 年 1 月 1 日起，航运业被正式纳入 EU ETS 的管辖。根据规定，所有总吨位超过 5000 的普通货物运输船与客船，需就其在欧盟或欧洲经济区（EEA）内部港口间的

全部排放，以及进出欧盟的国际航程所产生的 50% 排放，履行碳配额清缴义务。

鉴于欧洲在全球海运贸易中的核心枢纽地位，航运业纳入 EU ETS 的决定对全球航运业产生深远影响。对于所有涉欧航线的公司，该政策意味着碳排放已成为一项可量化的财务支出。这种排放的金融化不仅构成了行业从“倡议”到“合规”转变的强大驱动力，更从根本上改变了替代燃料的需求逻辑。

美国《通胀削减法案》

2022 年 8 月 16 日，美国总统拜登签署《通胀削减法案》（IRA），该法案是美国历史上在气候与能源领域最大规模的投资法案，其核心在于为在美国境内生产的合格清洁氢能设立了与碳强度直接挂钩每公斤最高 3 美元的生产税收抵免。在此基础上，法案还以技术中立的原则为各类低碳交通燃料提供了生产补贴。为确保这些新兴燃料的落地和应用，该法案进一步配套拨款 30 亿美元，专项资助港口部署零排放设备及关键基础设施，从而形成从生产到应用的完整政策支持链条。

根据美国清洁能源协会等的追踪报告，该法案自通过以来取得良好成效，两年内吸引了超过 1200 亿美元的私人资本，催生了数百个大型清洁能源与制造项目。在清洁燃料领域，税收抵免政策已导致清洁氢能项目呈爆炸式增长，这从根本上降低了绿色甲醇与绿氨等未来船用燃料的生产成本。与欧盟的碳定价规制路径不同，美国通过立法的形式为减排提供巨额财政补贴，从供给侧改变替代燃料的经济格局。

值得关注的是，特朗普第二次当选美国总统后，迅速推行以传统能源为核心的“美国优先”政策，对《通胀削减法案》持明确否定立场。其在就职首日即签署行政命令，要求联邦机构立即冻结 IRA 的未拨付资金，并启动对清洁能源补贴项目的审查。此后，国会通过的“大而美”法案进一步对 IRA 条款作出实质性修改，废除了包括“全民太阳能”基金、温室气体减排基金在内的多项清洁能源补贴，并撤销相关未承付余额。这一系列政策转向显著削弱了船舶绿色替代燃料发展的财政支持基础，导致零排放燃料研发与应用的关键补贴面临削减，加剧行业成本压力与技术推广的不确定性。

中国“双碳”目标战略

在国家“双碳”目标的顶层设计下，中国正从供给端和需求端双向发力，推动航运业的绿色转型。

在供给侧，中国依托其全球第一的造船工业实力，将产业政策作为核心抓手。2023 年 12 月，五部委联合印发的《船舶制造业绿色发展行动纲要（2024—2030 年）》量化了到 2025 年，以 LNG 与甲醇为代表的绿色动力船舶国际市场份额超过 50%，骨干船企万元产值综合能耗较 2020 年下降 13.5%，同时明确了在优化提升 LNG 动力船型的同时，加快甲醇动力船型的研发应用，并前瞻性探索开发氨燃料、氢燃料等新一代零碳燃料

动力船型。

在需求侧，交通运输部正加速构建应用激励与基础设施配套体系，坚持“基建先行”与“制度保障”并举。一是通过精准的经济激励引导市场，例如宣布自 2025 年 8 月起免除江淮运河新能源船舶的过闸费；二是加快布局沿海及长江经济带等重点水域的 LNG 加注网络，为燃料转型奠定物理基础；三是着手构建全国性的绿色燃料核算、评价与认证体系，旨在完善顶层制度设计并主动衔接国际标准。

通过供给与需求的战略联动，中国正将其庞大的产业优势转化为满足全球航运绿色转型需求的确定性力量。优先建造和交付绿色燃料动力船舶，为本土创造了巨大的内生市场需求，这反过来又强力牵引了国内绿色燃料加注基础设施和生产产能的投资，形成了一个自我强化的良性循环。

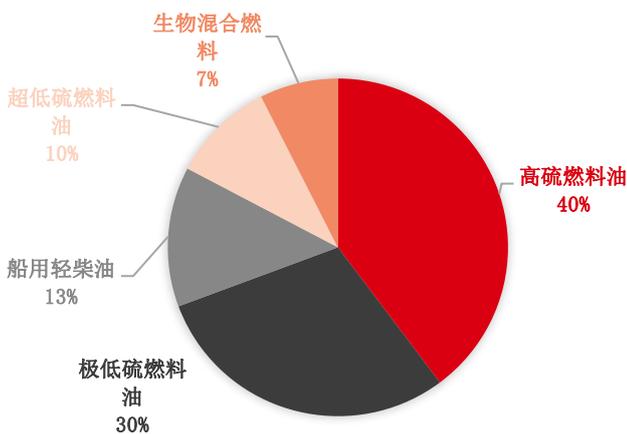
主流船舶燃料现状与局限性

在 IMO 提出 2050 年净零排放的目标以及世界主要国家日益严格的减排要求下，目前主流化石燃料已显示出其固有的局限性与不可持续性。

当前化石燃料仍占绝对主导地位

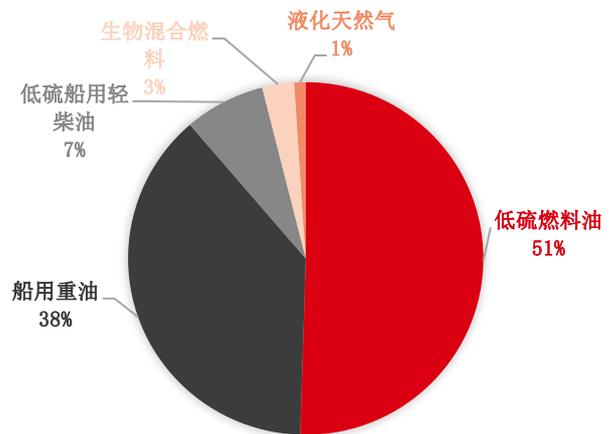
当前全球航运业的能源结构呈现出对化石燃料的极度依赖，这是一个不容忽视的现实。

图 1：2025Q2 鹿特丹船舶燃料销量 | 单位：无



资料来源：Port of Rotterdam 华泰期货研究院

图 2：2025Q2 新加坡船舶燃料销量 | 单位：无



资料来源：MPA 华泰期货研究院

图 3：2025Q2 安特卫普港口船舶燃料销量 | 单位：无

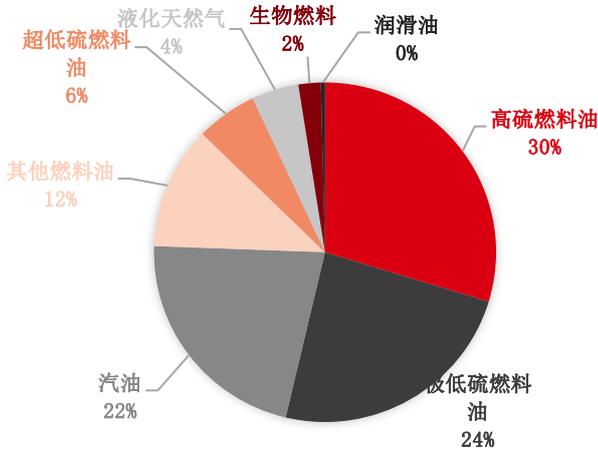
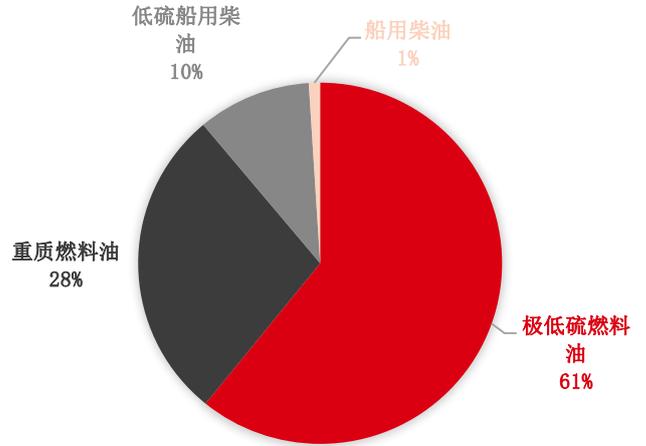


图 4：2025Q2 巴拿马港口船舶燃料销量 | 单位：无



资料来源：Port of Antwerp-Bruges 华泰期货研究院

资料来源：Port of Panama 华泰期货研究院

分析全球燃料油主要销售市场的数据，化石燃料在船舶燃料销售中占比高达 90% 以上。尽管面临日益严格的环保法规，其作为行业主动脉燃料的地位依然稳固。

当前化石燃料的压倒性依赖并不仅仅是一个市场份额的统计数据，其背后是根深蒂固的全球性基础设施网络，包括炼油厂、仓储设施、加油港口和运输船队。对于甲醇、氨等新兴替代燃料而言，它们面临的挑战不仅是实现与传统燃料相当的成本竞争力，更艰巨的任务是克服现有化石燃料基础设施所带来的路径依赖。

化石燃料的政策适应性

回顾过往环保法规的实施过程，可以清晰地看到航运业在面对明确且强制性的法规时的适应能力。以 IMO 2020 限硫令为例，船运业为遵守硫含量上限从 3.5% 降至 0.5% 的规定，行业大规模转向使用低硫燃料油 (VLSFO) 和船用柴油 (MGO)。这一转变重塑了市场格局，合规船舶使用 VLSFO 或 MGO，而安装了废气洗涤塔的船舶继续使用高硫燃料油 (HSFO)。

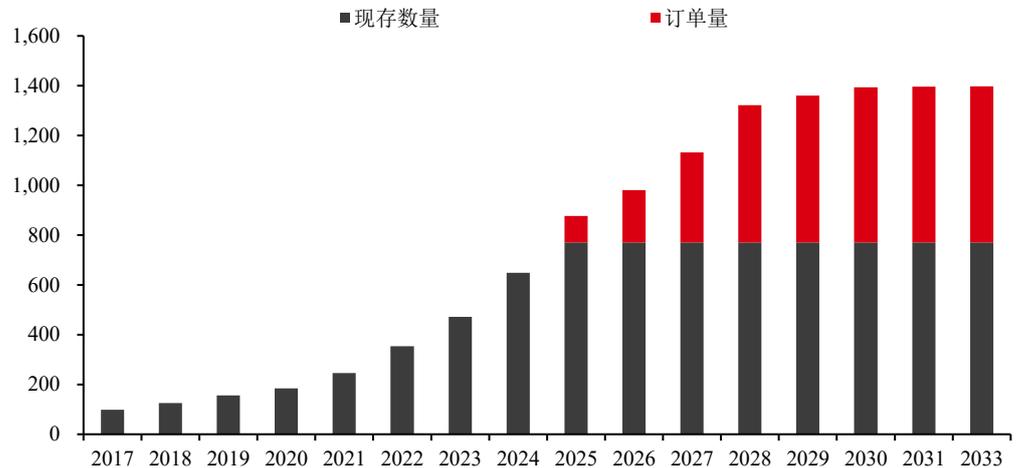
但这种转型本质上只是解决了硫氧化物等特定污染物的排后治理，并非根本性的能源转型。面对前文提到的 IMO 净零排放要求以及“从油井到尾迹”全生命周期评估框架下，这种依赖化石燃料的内部切换无法改变碳元素排放的事实，化石燃料的适应能力已经达到了极限。

新兴燃料 LNG 发展迅速，但难以满足碳中和目标

迄今为止，液化天然气 (LNG) 是航运业采用最广泛的替代燃料。根据 DNV 的报告，

截至 2024 年，全球已有 648 艘以 LNG 为动力的船舶在运营。行业预测显示，到 2028 年底，全球 LNG 动力船队规模将增长近一倍，超过 1200 艘。

图 5: LNG 动力船舶数量 | 单位: 艘



资料来源: DNV 华泰期货研究院

LNG 的快速增长主要得益于其能够满足现行的硫氧化物和氮氧化物排放法规，同时在早期被认为具有一定的温室气体减排潜力。其订单高度集中于特定船型，尤其是集装箱船、汽车运输船以及 LNG 运输船。与之相应，全球 LNG 加注网络也在迅速扩张，目前已有近 200 个港口能够提供 LNG 加注服务。

但是，在 IMO 2050 年净零排放要求以“从油井到尾迹”全生命周期视角评估燃料环境效益的背景下，LNG 的主要组分甲烷成为其根本缺陷。根据国际清洁运输委员会 (ICCT) 的研究报告，甲烷在 20 年尺度内的增温潜势约为二氧化碳 86 倍，发动机不完全燃烧会导致“甲烷逃逸”现象，使得某些类型的 LNG 动力船舶对气候的实际影响甚至比使用传统燃料的船舶更为严重，显著削弱了 LNG 在温室气体减排上的潜在优势，使其难以满足净零排放目标。

监管层面已正视 LNG 的“甲烷逃逸”。2025 年 4 月，MEPC 83 通过 MEPC.402(83)决议，首次为船上甲烷逃逸测量确立官方指南；DNV 相应推出配套检测服务。随着真实的温室气体排放逐步明确，LNG 与净零排放目标的差距将被进一步放大。

综上所述，当前全球船用燃料仍以化石能源为主，但该范式已难以为继。首先，高硫燃料油、低硫燃料油及船用柴油等主流油品的高碳强度与 IMO 设定的温室气体减排目标之间存在着不可调和的矛盾。其次，被行业寄予厚望并已获得大量资本投入的 LNG，

作为主要的过渡选项，其前景充满了不确定性。在更严格的全生命周期评估框架下，甲烷逃逸使得 LNG 的减排效果大打折扣。面对日益严格的减排要求，航运脱碳无法继续依赖传统油品的渐进式改良，市场亟需转向真正零碳或近零碳的新一代燃料。

未来替代燃料方案

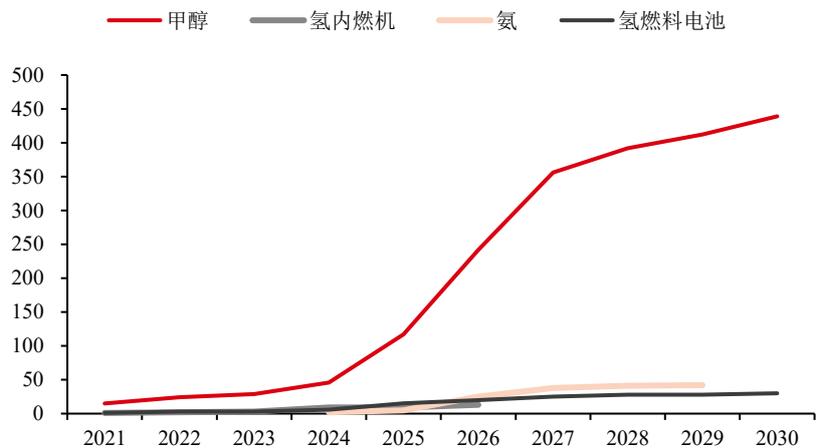
在 IMO 2023 温室气体减排战略的新监管框架中，一个关键要素是向“从油井到尾迹”的全生命周期排放评估方法转变。这意味着候选替代燃料不仅需实现船上燃烧（“从油箱到航迹”，Tank-to-Wake）近零排放，更必须在燃料生产（“从油井到油箱”，Well-to-Tank）环节同步完成绿色制取与低碳物流。

在这一理念下，DNV 等主要船级社曾在研究报告中明确指出，航运业的脱碳不存在单一的解决方案，未来的燃料格局将呈现出多样化的特点，不同的燃料方案将适用于不同类型的船舶、航线和运营模式。因此，本章将对当前最有潜力的几类替代燃料——甲醇、氨、生物燃料、电力和氢——进行深入剖析，评估它们各自的优势、挑战及在未来不同航运场景下的适用性。

甲醇

在众多船用替代燃料中，甲醇是当前商业化进程最快、关注度最高的选择之一。其最大的优势在于易于储存的物理性质、较高的技术成熟度与现有基础设施的兼容性。然而，其固有的物理短板与绿色生产的高昂成本，也构成了其未来发展的关键制约。

图 6：替代燃料动力船舶数量及预测 | 单位：艘



资料来源：DNV 华泰期货研究院

物化性质方面，甲醇（ CH_3OH ）在常温常压下呈液态，相较于液化天然气或液氢等深冷燃料有着显著的物流优势，这也为其兼容传统船用燃料的储存基础设施提供了便利。但甲醇也存在着天然的不足，根据甲醇研究所（Methanol Institute）的报告，甲醇的体积能量密度约为 15.8 兆焦/升（MJ/L），这意味着，若要获得相同的续航能力，甲醇燃料舱的体积需要是传统船用柴油（MGO）燃料舱的约 2.56 倍。这一特性对船舶设计，特别是对货物运载能力有直接影响，是船东在选择燃料时必须考虑的关键经济因素。其次，甲醇具有毒性、高腐蚀性和高度易燃性，且其火焰近乎无色，难以察觉。这些特性要求船舶配备专门的安全系统，如双壁管道、隔离舱以及先进的火焰探测和消防系统。

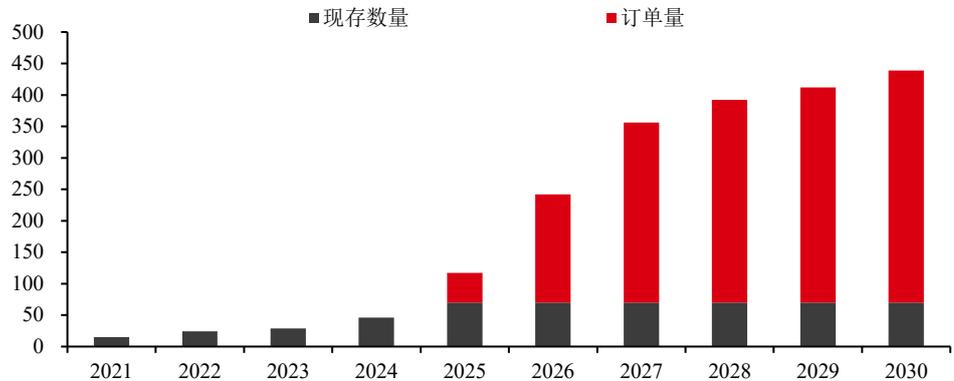
表 2：甲醇、氨、氢燃料的物化性质

燃料品种	体积能量密度 单位：GJ/m ³	体积能量密度相对于 MGO 的倍数	储存温度与压强 (注：20°C 1 bar 为常温常压)
MGO	40.4	1.00	20°C 1 bar
甲醇	15.8	2.56	20°C 1 bar
液氨	12.7	3.18	-34°C 1bar 或 20°C 10 bar
液态氢	8.5	4.75	-253°C 1bar
压缩气态氢	7.5	5.39	20°C 700bar

资料来源：Methanol Institute 华泰期货研究院

技术成熟度方面，甲醇船舶发动机的核心技术路线是双燃料发动机，它允许船舶在甲醇和传统燃油之间灵活切换，有效降低了燃料可获得性风险。目前 MAN 和 Wärtsilä 等主流发动机制造商已经推出了成熟的甲醇双燃料发动机产品系列，并获得了大量订单。值得注意的是，全球首艘甲醇动力船舶自 2015 年起便已成功运营，至今已有近十年的安全记录，充分证明了该技术路线的低风险和高可靠性。

图 7: 甲醇动力船舶数量 | 单位: 艘

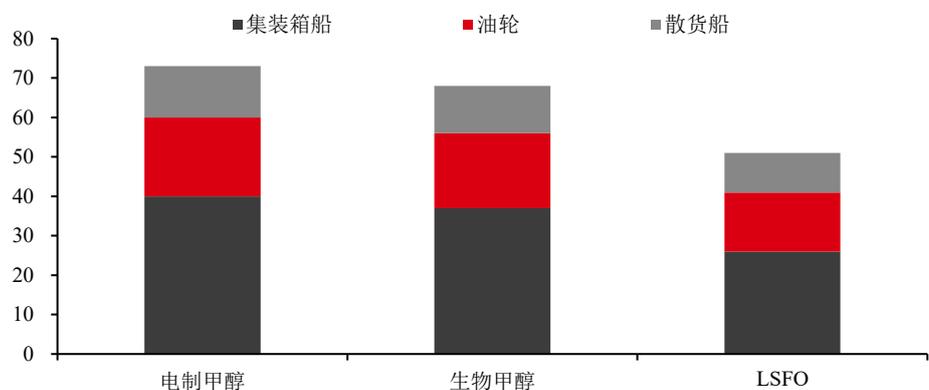


资料来源: DNV 华泰期货研究院

基础设施方面，作为一种常温液体燃料，甲醇可以最大程度地利用港口现有的储罐、管道和加注设施，只需进行适度安全改造。目前，全球超过 125 个主要港口已具备甲醇储存能力，船对船的加注作业也已成功实施并得到验证。

尽管技术和基建路径通畅，但甲醇方案的致命缺陷在于其绿色生产路径。在“从油井到尾迹”的全生命周期评估下，由化石燃料制取的传统甲醇不具备减排价值，其排放强度甚至会高于传统燃油。而真正能实现净零排放的绿色甲醇是用可持续的生物质原料制成的生物甲醇（Bio-methanol）以及由可再生能源电解产生的氢与捕获的二氧化碳合成的电制甲醇（E-methanol）。当前，绿色甲醇的高昂成本和有限产能是其规模化应用的最大障碍。根据麦肯锡公司的预测，到 2050 年，生物甲醇和电制甲醇在集装箱船、油轮、散货船三大船型的总成本仍然高于传统燃料 LSFO。

图 8: 预测 2050 年绿色甲醇的船东总成本 | 单位: 百万美元



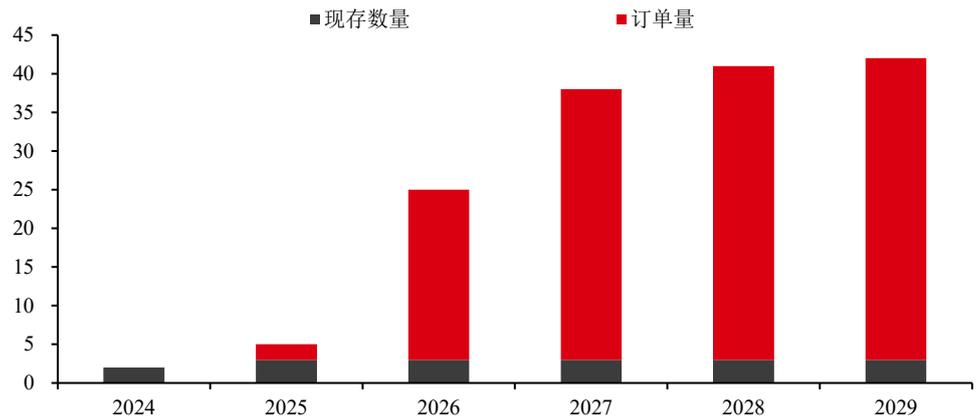
资料来源：麦肯锡 华泰期货研究院

氨

作为一种完全不含碳元素的燃料，氨为实现航运业 2050 年净零排放目标提供了最彻底的解决方案，然而其固有的毒性、复杂的燃烧特性和副产品排放问题也构成了严峻的技术和安全挑战。

氨作为脱碳燃料的核心优势在于零碳属性和已有的全球工业基础。由于分子中不含碳，氨在燃烧过程中不产生任何二氧化碳或一氧化碳，从根本上解决了碳排放问题。同时，氨是全球产量第二大的化工品，已拥有成熟的氨生产、储存和运输网络，为氨作为船用燃料的规模化应用提供了坚实基础。

图 9：氨动力船舶数量 | 单位：艘



资料来源：DNV 华泰期货研究院

但氨面临的挑战远比甲醇更为严峻和复杂。为了在船上以液态形式储存，氨需要在常压下被冷却至 -33°C 或在常温下加压至 10 bar。与甲醇类似，氨同样面临体积能量密度低的问题，为达到同等续航里程，氨燃料舱的体积需要是 MGO 燃料舱的三倍左右。

氨应用的最大挑战在于其毒性，氨对人类和水生生物都具有剧毒且高度易挥发，如何在一个封闭动态的船舶环境中，尤其是在人员密集的港口和客运场景下，百分之百地管理氨泄漏的风险，成为一个巨大的技术、法规和公众接受度挑战。此外，氨的燃烧过程会产生氨逸散和一氧化二氮 (N_2O) 两种有害排放物。氨逸散指未完全燃烧而直接排放的氨气。氨逸散不仅本身有毒，还会间接导致环境问题，而一氧化二氮是一种强效温室气体，其百年尺度下的全球变暖潜能值 (GWP) 约为二氧化碳的 273 倍。若不

能有效控制，一氧化二氮的排放将完全抵消甚至超越因不产生碳排放带来的气候效益，使氨燃料的环保价值荡然无存。

表 3：主要氨燃料发动机排放性能

发动机制造商	N ₂ O 排放水平	N ₂ O 排放的二氧化碳当量 (与传统燃料相比)	氨逸散水平
MAN Energy Solutions	小于 5 ppm	小于 2%	未报告
WinGD	小于 3 ppm	小于 2%	小于 10 ppm
Wärtsilä	小于 1 ppm	接近零	小于 10 ppm

资料来源：氨能源协会 Wärtsilä 华泰期货研究院

各大发动机制造商已将控制一氧化二氮排放作为研发的重中之重。MAN 能源方案公司报告称，其测试发动机的一氧化二氮排放“可以忽略不计”，通常远低于 5 ppm，相当于传统燃油发动机二氧化碳当量排放的不到 2%。WinGD 也报告了低于 3 ppm 的相似结果。这些初步数据表明，通过优化燃烧过程和尾气后处理技术一氧化二氮的排放有望被控制在可接受的极低水平。

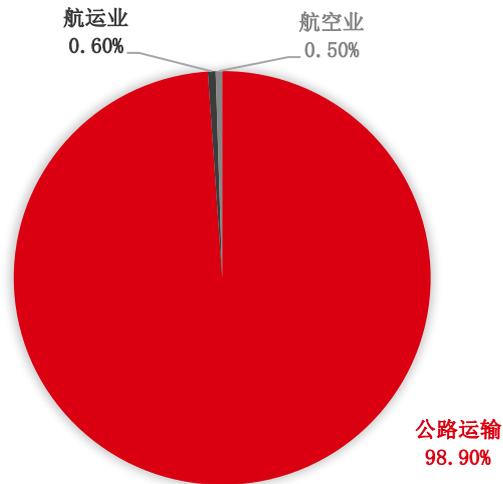
生物燃料：可再生柴油

船用生物燃料主要分为脂肪酸甲酯（FAME）和加氢处理植物油（HVO）两种。其中，作为第二代生物燃料的 HVO（又称可再生柴油）因其能够与现有船用柴油机和燃料基础设施兼容，被视为航运业短期内实现减排目标的最直接的路径之一。

HVO 在脱碳替代燃料上的最大优势在于其“直接可用”，通过加氢处理工艺，HVO 在化学成分上与化石柴油几乎完全相同，因此它可以在现有的船用柴油机和燃料加注设施中直接使用，或与传统燃料以任意比例混合，无需对船舶进行大规模的昂贵改造。船东无需等待新船交付，即可通过加注 HVO 立即降低船队的碳排放。当使用废弃物等可持原料时，其全生命周期温室气体减排潜力高达 80-90%。

生物燃料长期大规模发展的可行性同样受到存在制约，其中最大的瓶颈在于其原料的供应。全球范围内，符合可持续标准的生物质原料，特别是废弃油脂、农业残渣等，其总供应量远不足以满足整个航运业的需求。与此同时，航运业还面临来自公路运输和航空业的激烈竞争，特别是公路运输消耗了全球 98.9% 的液体生物燃料（主要是乙醇、FAME 和 HVO），而航运业仅占 0.6%。这一悬殊的比例清晰地表明，航运业目前并非生物燃料市场的主导者，其供应保障面临巨大不确定性。

图 10: 液体生物燃料行业消费占比|单位: 无



资料来源: IEA 华泰期货研究院

从战略角度看, 生物燃料并不能为整个航运业提供一个长期、可无限扩展的脱碳终局方案。其核心价值在于为庞大的现有化石燃料船队提供一个“合规缓冲”, 目前全球绝大多数船舶仍由传统柴油机驱动, 在未来数十年内完全替换这些船舶是不现实的, 耗资将达数万亿美元, 而 EU ETS 等减排制度已经生效, 对低能效船舶的运营构成了直接的经济惩罚。在这种背景下, 船东通过生物燃料迅速改善船舶的碳强度评级, 从而避免罚款或被市场淘汰。但生物燃料受到供应量与行业竞争的影响, 仅能提供减排的过渡方案, 而非最终方案。

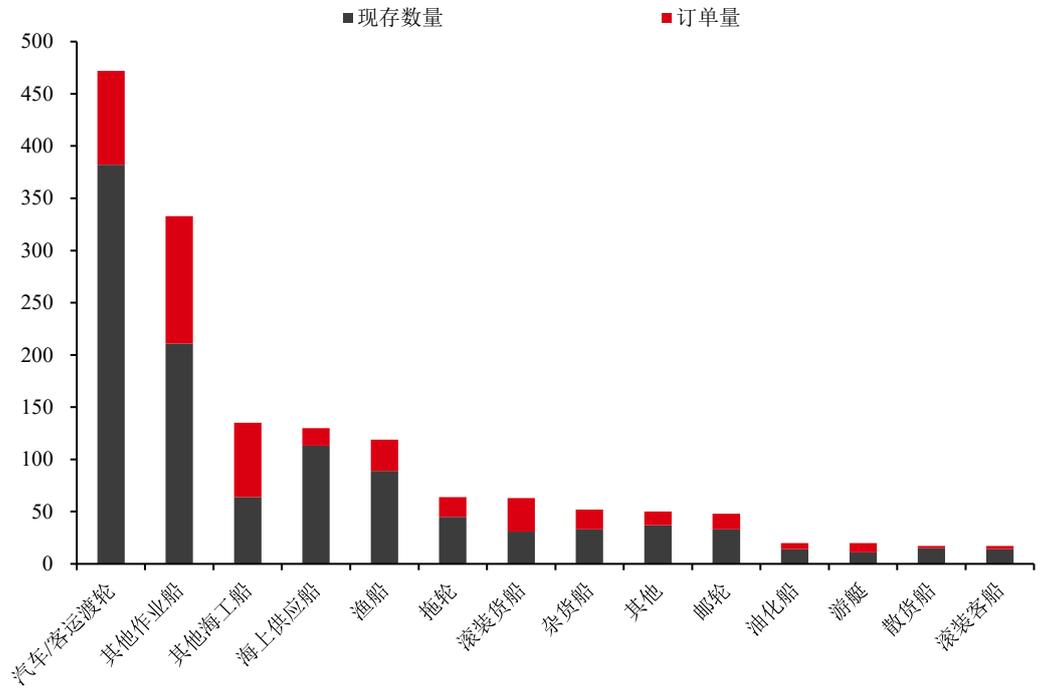
电力推动

电力为船舶提供动力主要依赖船用电池储能系统 (BESS)。目前, 锂离子电池因其相对成熟的技术和较高的能量密度, 是船用 BESS 的主流技术路线, 其应用模式包括纯电动和混合动力。

电池电力推进系统为航运业提供了一条实现船上零排放的直接路径, 纯电动船舶在运营过程中不产生任何温室气体或大气污染物且能量转换效率远高于内燃机, 能够将更多的输入能量转化为有效的推进力。

尽管优势明确, 但电池技术的根本性限制决定了电力推进的应用场景极为有限, 主要集中在特定的短途运输市场, 如渡轮、渔船等。

图 11: 不同类型电动船舶数量|单位: 艘



资料来源: DNV 华泰期货研究院

最根本的限制因素在于目前船用锂离子电池系统的能量密度极低, 与液体燃料相比, 存在数量级的差距。对于需要进行长距离航行的远洋货船而言, 若要搭载满足其续航需求的电池, 其重量和体积将侵占大部分有效载荷, 这在商业上是完全不可行的。因此, 纯电力推进目前仅适用于航程短、航线固定的特定场景。

与其他替代燃料相同, 电力推动面临着基础设施匮乏和成本高昂的问题, 建设和普及岸电基础设施需要巨额投资且涉及电网升级改造。同时, 船用电池系统的初始投资成本高昂且使用寿命通常在 10 年左右明显低于船舶 20-25 年的设计寿命, 这意味着船舶在其生命周期内至少需要进行一次昂贵的全套电池更换, 显著增加了全生命周期成本。

氢

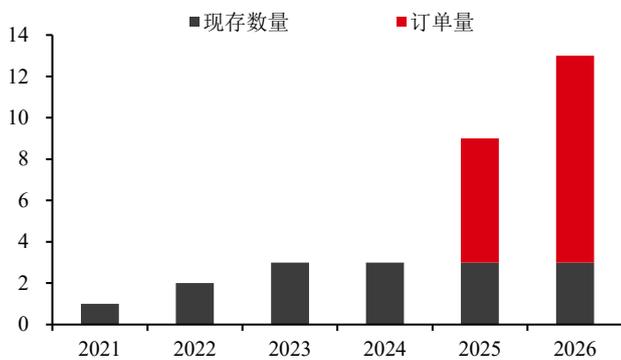
氢的能量特性呈现出鲜明的两面性, 按质量计算, 氢是能量密度最高的燃料, 其热值 (120 MJ/kg) 约为汽油的三倍。然而按体积计算, 其能量密度却是所有候选燃料中最低的, 这使得船上储存成为一个巨大的难题。

目前主要有两种储存方式, 第一种方式是压缩气态氢, 将氢气加压至 350-700 bar 储存在高压气瓶中。这是目前技术最成熟的方式, 但储存系统体积庞大、重量高, 严重

占用空间。第二种方式是液态氢，将氢气冷却至-253°C的深冷液态进行储存。这种方式可以获得更高的储存密度，但液化过程本身就是一个高耗能的过程，会消耗掉自身能量的30%左右。此外，液氢储存需要高度绝热的深冷储罐，技术复杂、成本高昂。

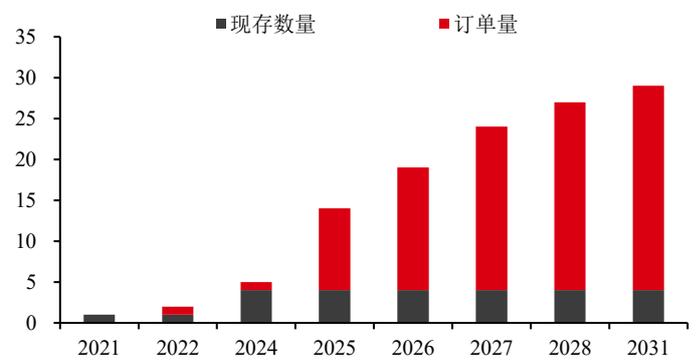
在将储存的氢能转化为动力的技术路径上，业界同样面临着选择。目前主要有氢内燃机和质子交换膜燃料电池两种船用动力技术路线。其中，氢内燃机是对现有成熟的内燃机技术进行适应性改造，技术门槛相对较低，而质子交换膜燃料电池则通过电化学反应直接将氢的化学能转化为电能，驱动电动机，其能量转换效率更高。这两条技术路径的环保表现也有着本质区别。氢在燃料电池中反应，唯一的产物是水，实现了真正意义上的零排放。而在内燃机中进行高温燃烧时，虽然几乎不产生碳排放，但是会不可避免地生成氮氧化物，仍需依赖尾气后处理系统来满足环保法规。

图 12: 氢内燃机船舶数量 | 单位: 艘



资料来源: DNV 华泰期货研究院

图 13: 氢燃料电池船舶数量 | 单位: 艘



资料来源: DNV 华泰期货研究院

综合来看，尽管氢在理论层面因其零碳排放的潜力而成为最理想的终极燃料，但它的实用化仍面临诸多问题。首先就是储存难题，它直接转化为对货船载货能力和盈利能力的压缩。其次，全球当前几乎不存在能够满足国际航运规模化需求的绿氢生产、液化、运输和加注基础设施，构建全新的供应链需要巨额投资和漫长时间。最后，无论是氢内燃机还是大功率燃料电池，其在远洋船舶上的应用至今仍停留在小规模的示范验证阶段，距离成为成熟可靠的商业化产品尚有很长的路要走。

表 4：替代燃料总结

燃料品种	物化性质	基础设施	技术成熟度	制造成本
甲醇	优势：常温常压下为液体，易于储存和运输 劣势：体积能量密度低，有毒性、高腐蚀性、易燃	优势：能够最大程度利用现有港口 劣势：专门的船用燃料加注设施尚在建设初期	优势：双燃料发动机技术成熟可靠，主流厂商已有产品 劣势：技术复杂度和维护要求更高	优势：化石基甲醇成本相对较低 劣势：绿色甲醇生产成本高，化石基甲醇全生命周期排放不具有减排价值
氨	优势：完全不含碳元素，全球第二大化工品，工业基础好 劣势：体积能量密度低，剧毒、易挥发，需加压或深冷储存	优势：全球已拥有成熟的生产、储存和运输网络 劣势：尚无专门船用加注基础设施	劣势：氨逸散和 N ₂ O 副产品，氨燃料发动机技术尚处早期阶段，安全管理技术要求极高	优势：灰色氨生产成本相对可控 劣势：绿色氨生产成本高昂
生物燃料	优势：化学成分与化石柴油几乎相同，能量密度接近	优势：与现有加油机和加注设施完全兼容，无需改造	优势：可与传统燃料任意比例混合直接使用	优势：可立即帮助船队降低碳排放 劣势：原料供应严重不足，无法满足整个行业需求且与其他行业存在激烈原料竞争
电力推动	优势：船上零排放，能量转换效率远高于内燃机 劣势：电池能量密度极低，电池重量和体积巨大，侵占有效载荷	劣势：大功率充电和岸电基础设施普及率极低	优势：锂离子电池技术相对成熟 劣势：当前技术仅适用于短途、固定航线	优势：运营期间的电成本相对较低 劣势：船用电池系统初始投资高，生命周期内至少需要更换一次电池，成本高昂
氢	优势：燃料电池模式下唯一产物是水 劣势：需在超高压或超低温下储存，体积能量密度低	劣势：全球几乎不存在满足航运规模需求的绿氢生产、液化、运输和加注基础设施	劣势：储存技术复杂，液化能耗高，大功率船用动力系统尚未商业化	

资料来源：华泰期货研究院

船舶替代燃料未来发展趋势展望

全球航运业正迎来一场深刻的能源变革。在 IMO“净零排放”的宏伟蓝图下，日趋严格的强制性政策与市场的经济力量正共同推动行业告别传统燃料时代。随着现有燃料在全生命周期评估中的局限性日益凸显，一个多元化的替代燃料新格局正在加速形成。

政策与市场驱动的燃料格局

全球航运业的脱碳已基本告别了依赖企业环保自觉和国际社会宽松倡议的时代，正式进入一个由刚性法规、清晰碳定价和巨大经济奖惩驱动的强制合规新阶段。IMO

《2023 年船舶温室气体减排战略》使得任何无法实现全生命周期净零排放的燃料方案都失去了长期可行性。在这一宏观背景下，区域性政策的差异化实施也在成为塑造未来燃料格局的核心驱动力，例如欧洲 EU ETS 的碳定价模式、美国 IRA 的补贴模式和

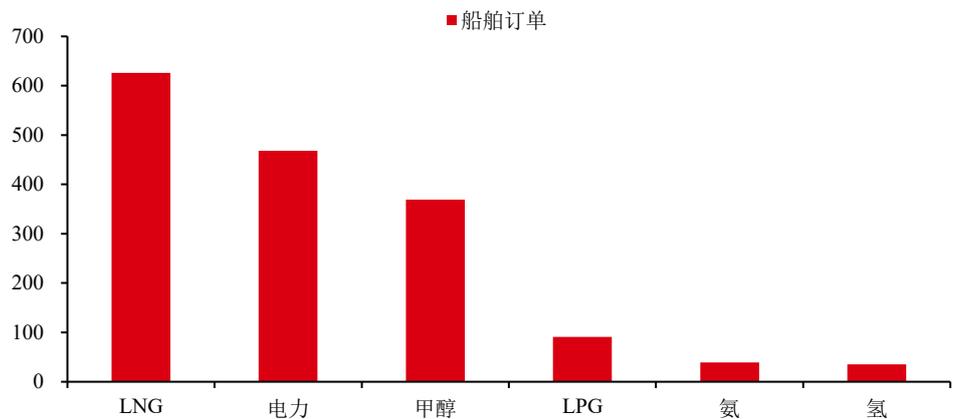
国“双碳”的产业链整合模式都意味着全球航运业的脱碳转型将呈现出显著的区域化特征。

这种区域化特征会直接影响不同地区对替代燃料的选择，一艘主要在欧洲航线运营的船舶，其燃料决策将高度受制于 EU ETS 的碳价，使其更倾向于选择能够立即降低全生命周期排放的燃料，例如生物燃料或绿色甲醇。而一艘未来可能在美国港口加注燃料的船舶，则可能将希望寄托于 IRA 补贴下成本更低的绿色氨。这种区域性政策差异催生了“绿色走廊”（Green Corridors）概念的兴起，即在特定的主要港口之间优先部署特定替代燃料的基础设施，以支持航运的先行先试，例如 2025 年 3 月鹿特丹港口和新加坡港口签署构建绿色走廊的合作协议，燃料方面合作的重点将放在氨、甲醇、甲烷上。

新造船订单释放行业路径选择的市场信号

船舶长达 20-25 年的设计寿命决定了新造船订单是船东对未来二十年法规、技术和燃料市场走向的长期预判与重大资产押注。最新的新造船市场数据显示，行业已经果断地从传统的单一燃料船舶转向，开始对多种替代燃料路径进行战略性布局。

图 14：不同燃料船舶现有订单量 | 单位：艘



资料来源：DNV 华泰期货研究院

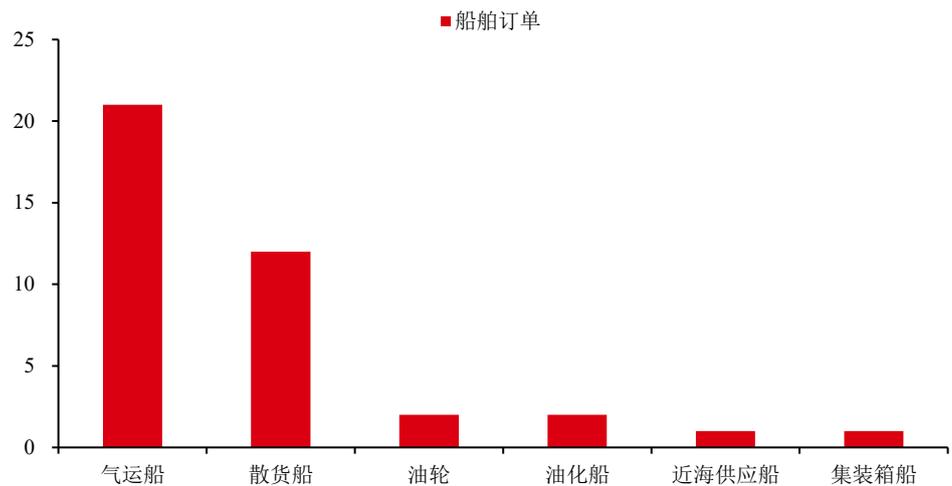
从订单量来看，LNG 凭借其相对成熟的技术和已初步形成的加注网络，仍然是当前替代燃料中的主导力量。2025 年上半年 LNG 的订单总吨位也达到了 1420 万吨，远超其他替代燃料。然而正如前文分析，LNG 的长期地位正面临严峻挑战。其核心问题在于甲烷逃逸，因此尽管订单量依然可观，但其仍然只能作为一种过渡性选择。

甲醇已迅速崛起为最受关注的替代燃料之一，尤其是在对航行计划和燃料加注灵活性要求极高的集装箱船领域。2025 年上半年就有 40 艘甲醇动力船的订单，总计 460 万总吨。以马士基（Maersk）为代表的全球主要班轮公司已将甲醇作为其实现净零排放

的核心路径，其明确的订单信号强力拉动了整个甲醇燃料供应链的建设。

值得注意的是，尽管氨燃料动力船的订单数量尚少，但这些订单主要集中在气运船和散货船等远洋运输领域，这表明行业对氨作为零碳燃料的信心正在逐步建立，并愿意为之投入研发和进行早期布局，以期在技术和安全难题解决后抢占先机。

图 15: 氨燃料船舶船型订单量 | 单位: 艘



资料来源: DNV 华泰期货研究院

展望未来，行业将告别单一燃料时代，迎来一个绿色替代燃料多元化格局，燃料的选择将高度依赖于船型、航线和经济性。在此格局中，绿色甲醇凭借其技术成熟度与储运便利性正领跑商业化应用，而氨因其彻底的零碳属性，被视为远洋航运最具潜力的长期解决方案，但仍需克服严峻的技术与安全挑战。与此同时，生物燃料则以其“直接可用”的特性，为庞大的现有船队提供了未来十年内最为关键的过渡性合规手段，扮演着连接当下与未来的桥梁角色。受限于当前电池的低能量密度和氢燃料的储运挑战，电力和氢动力在短期内仍将主要应用于渡轮、内河等短途的细分市场，距离成为远洋航运的主流选择尚有较长距离。

免责声明

本报告基于本公司认为可靠的、已公开的信息编制，但本公司对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载的意见、结论及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，本公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供参考，投资者并不能依靠本报告以取代行使独立判断。对投资者依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人等任何形式侵犯本公司版权。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华泰期货研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权力。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

华泰期货有限公司版权所有并保留一切权利。

公司总部

广州市天河区临江大道1号之一2101-2106单元 | 邮编：510000

电话：400-6280-888

网址：www.htfc.com