

航运低碳发展展望

2025



前言

国际航运业迈向2050年净零排放的步伐正在提速：技术能效与营运能效措施广泛应用，清洁能源及新能源船舶订单稳步增长。然而，国际海事组织净零框架草案推迟表决，全球统一减排规则未能如期确立，政策不确定性削弱了行业绿色转型的信心与投入。与此同时，区域性减排法规加速实施、绿色燃料供应链瓶颈凸显、新兴技术安全风险叠加、港口基础设施滞后等多重挑战交织，航运脱碳进程面临系统性阻滞。

在此关键节点，业界亟需一份立足全球视野，为船东、港口、能源供应商、金融机构及监管方提供科学决策依据的报告。中国船级社在延续《航运低碳发展展望2021》《航运低碳发展展望2023》研究框架的基础上，编制发布《航运低碳发展展望2025》。本报告聚焦净零框架推迟对产业预期的深远影响，剖析行业面临的系统性挑战，提出规则统一、产业协同、安全治理、数字赋能及企业策略的综合性解决方案。

中国船级社始终秉持“安全、环保，为客户和社会创造价值”的服务宗旨和价值追求，长期深耕船舶减排技术与规范标准研究。我们谨以此报告与全球伙伴共享洞见、共商对策、共筑绿色航运新生态，为如期实现国际海事组织2050净零愿景贡献中国智慧与中国方案。



目录

一、航运减排政策持续演化	2
(一) 国际海事组织净零框架表决推迟	2
(二) 欧盟航运减排政策正式落地实施	4
(三) 中国系列新政促进能源转型发展	5
二、航运减排进程稳步推进	7
(一) 新能源清洁能源船舶市场订单快速增长	7
(二) 新能源清洁能源船舶动力技术取得突破	9
(三) 船舶技术能效与营运能效措施广泛应用	10
(四) 船载碳捕集技术开拓低碳转型创新路径	11
三、航运绿色转型面临挑战	12
(一) 市场机制与经济激励的不确定性	12
(二) 绿色燃料成本和供应的双重瓶颈	13
(三) 新兴技术和装备产生的全新风险	13
(四) 港口配套基础设施建设进度滞后	14
四、航运净零排放破解之道	15
(一) 建立全球统一的国际航运业减排规则	15
(二) 推动产业协同共建绿色燃料供应体系	15
(三) 多方合作保障船舶绿色技术安全应用	16
(四) 应用数字智能技术助力航运低碳转型	16
(五) 增强企业应对政策规则不确定性能力	17
(六) 引领航运业绿色低碳转型的中国实践	18

一、航运减排政策持续演化

在全球气候治理进入关键阶段的背景下，航运业作为国际贸易的核心动脉，正面临前所未有的减排压力与政策牵引。欧盟率先构建碳市场与燃料排放强度双轨机制，形成“先行先试”的区域性减排机制；国际海事组织（IMO）力图通过制定具有法律约束力的全球统一规则，推动航运能源结构根本性转型；中国立足“双碳”战略，密集出台顶层设计、财政激励与产业引导政策，推动绿色船舶制造与清洁能源应用协同发展。作为航运减排的第一推动力，稳定、明确的减排政策是航运低碳发展的核心引擎。

（一）国际海事组织净零框架表决推迟

2023年7月，IMO海上环境保护委员会（MEPC）在第80次会议上正式通过《2023年IMO船舶温室气体

体减排战略》，提出“在2050年以前或左右达到温室气体净零排放”的新目标，将2018年《IMO船舶温室气体减排初步战略》中“本世纪内实现温室气体零排放”的愿景整整提前了约50年。

为实现2050年净零排放的宏伟目标，IMO计划通过制定一揽子中期温室气体减排措施，以刚性规则撬动航运能源转型。各方历经多年谈判、博弈、妥协，最终形成多数成员国可接受的中期措施方案，完成净零框架规则草案。

这份即将写入《防止船舶污染国际公约》（MARPOL）附则VI新增第5章的草案，首次在全球层面为航运业设定燃料排放强度上限并引入温室气体定价机制，把监管焦点从“船舶能效提升”延伸至“船用燃料全生命周期排放管控”，将“2050年前后实现净零排放”的战略目标转化为具有法律约束力的硬指标。IMO将净零框架规则草案作为兑



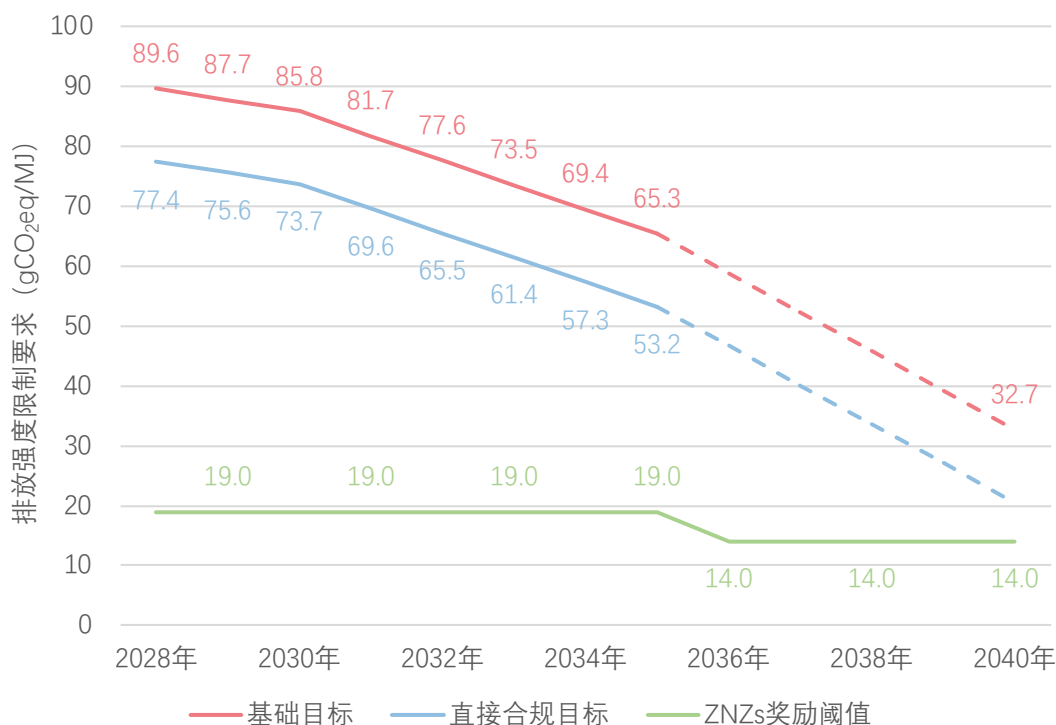


图1 净零框架GFI限制要求及零或近零燃料、能源或技术 (ZNZs) 奖励阈值

现航运净零排放承诺、推进航运绿色化的里程碑，向全球市场发出“航运必达净零”的明确号角，显著提振气候治理信心，并将撬动造船、港口、燃料等全链条加速绿色升级。

草案核心包括技术要素和经济要素。技术要素的核心为基于燃料的年度温室气体强度 (GFI) 目标要求，经济要素则是基于技术要素的船舶灵活履约机制和差异化温室气体排放定价机制，配合GFI目标要求，形成弹性的市场措施。

GFI目标要求包含宽松的**基础目标** (Base target annual GFI) 和严格的**直接合规目标** (Direct compliance target annual GFI)，均以2008年船用燃料的平均全生命周期温室气体排放强度参考值93.3 gCO₂eq/MJ为基准逐年收紧。从2028年开始，基础目标较2008年船用燃料的平均全生命周

期温室气体排放强度降低4%，直接合规目标降低17%；到2035年两个目标分别提高至降低30%和43%；到2040年基础目标降低65%。

当船舶实际年度GFI高于基础目标时，超出基础目标的部分计为**二级合规赤字**，介于基础目标与直接合规目标之间的部分计为**一级合规赤字**；若实际年度GFI低于基础目标但高于直接合规目标，则仅就超出直接合规目标的部分计为**一级合规赤字**，不产生**二级合规赤字**；若实际年度GFI低于直接合规目标，其低于直接合规目标的部分生成**盈余单位 (SU)**，既不产生**一级合规赤字**，也不产生**二级合规赤字**。

对于**一级合规赤字**，必须通过购买**一级补救单位 (Tier 1 RU)** 合规；对于**二级合规赤字**，可通过从其他船舶转移**盈余单位**、使用以前报告期储存的

SU或购买二级补救单位（Tier 2 RU）等3种途径合规；对于SU，可选择平衡其他船舶的二级合规赤字、储存供后续报告期使用或作为捐款自愿取消。对于补救单位的定价，2028年至2030年，Tier 1 RU的初始价格为100美元/tCO₂eq；Tier 2 RU的初始价格为380美元/tCO₂eq。

草案原定于2025年4月MEPC 83次会议获批、10月特别会议正式通过。但各国在MEPC 83次会议就已出现明显裂痕，美国提前离会，沙特阿拉伯王国牵头15国发表联合声明反对草案，IMO只得罕见地动用投票程序，以63票赞成、16票反对、25票弃权的结果批准草案。而在10月的MEPC特别会议上，美国和沙特阿拉伯王国在主要产油国的支持下，以“投票程序争议”继续阻击草案通过。谈判瞬间陷入僵局，部分国家立场松动，会场内分裂情绪迅速升温。欧盟追求规则主导，美国坚持本国优先，产油国维护产业利益，新兴经济体呼吁发展空间，小岛国争取气候赔偿，船东期望成本可控。各方在MEPC 83次会议达成的脆弱共识，因美国与沙特等国联手反对而迅速破裂。新加坡顺势提出“搁置投票、续议一年”的折中方案，得到多数国家同意。至此，净零框架规则草案的表决被推迟一年，MEPC特别会议将在一年后重启。但净零框架的核心内容和减排方向并未动摇，各成员国仍将在在此基础上续力寻求对IMO净零框架的共识。

未来一年，净零框架规则草案的命运将取决于三大变量：美国气候立场和政策方向是否再次反转；主要产油国能否能为化石燃料争取到足够的过渡缓冲；欧盟是否再度加码单边减排措施，以区域规则倒逼全球航运加速脱碳。在区域先行、全球滞后的过渡期内，船东、燃料供应商与港口面临投资节奏失序、成本多重支出、技术路线押注等多重风

险。命途多舛的净零框架规则草案再次表明国际航运业的绿色转型不仅是技术与资本竞赛，更是一场仍在拉锯的国际政治博弈。

（二）欧盟航运减排政策正式落地实施

2021年，欧盟委员会（EC）发布一揽子立法与政策“Fit for 55”，以2030年至少减排55%为目标，为多个行业制定明确的减排政策。其中，《欧盟排放交易体系指令（EU ETS）》与《欧盟海运燃料条例（FuelEU Maritime）》与航运业密切相关。

成立于2005年的EU ETS是全球首个跨国碳市场，被EC誉为“欧盟气候战略的基石”。2024年1月1日，该体系正式覆盖航运业：所有进出欧盟及欧洲经济区（EEA）港口的5000总吨以上船舶，必须监测、报告温室气体排放，并清缴配额。其中，欧盟内部航程的排放按100%计入，欧盟—非欧盟港口间的排放按50%计入。2024年和2025年为过渡期，航运公司分别只需清缴核实CO₂排放量的40%和70%；自2026年1月1日起，须按100%比例全额清缴配额，且温室气体覆盖范围延伸至CH₄和N₂O。

2024年是航运业纳入EU ETS后的首个履约年度，航运公司须于2025年9月30日前完成该年度的配额清缴。目前，已有约1.3万艘船舶在欧盟CO₂监测、报告与核查（MRV）平台提交2024年排放数据，纳入EU ETS的CO₂排放总量约达9000万吨。2025年3月，EC发布的航运业纳入EU ETS首份评估报告指出，航运业在首个履约年度预计将为配额支出约22亿欧元，平均推高航运成本3.7%；船公司通过1%–5%的集装箱运价附加费和3%–11%的渡轮票价上涨将成本传导给货主与乘客。EC认为，ETS成本已顺利传导，市场尚未出现大规模规避行为，转运转移、绕港跳线、小船换大船、船对船转

运等手段均未形成趋势，港口投资与航线布局仍保持同步增长。然而，2026年起航运业将面临100%配额要求，且与FuelEU Maritime法规叠加实施，成本将显著上升，可能诱发系统性规避行为，EC将持续监测市场动态，并视情况追加防范措施。

FuelEU Maritime政策旨在用强制的手段逐步降低航运业使用化石燃料的比例，主要针对船用能源全生命周期的CO₂、CH₄和N₂O排放，适用于5000总吨以上从事货运或客运的船舶，停靠欧盟港口以及欧盟内部航段的能源用量按100%统计，欧盟港口与非欧盟港口之间航段的能源用量按50%统计。该政策要求船舶所用燃料的温室气体强度须比2020年基准值（91.16gCO₂eq/MJ）下降2%，此后每五年递减，至2050年累计削减80%。若未满足限制要求，超出的部分需按“每超出1吨等量船用油缴纳2400欧元”计算罚款，若连续多年不

合规，自第2年起罚款每年上升10%。除此之外，FuelEU Maritime还要求船舶从2034年开始至少使用2%的非生物质来源可再生燃料（RFNBO）。

FuelEU Maritime已于2025年1月1日正式生效。随着EU ETS、FuelEU Maritime的逐步实施，航运公司面临碳配额与燃料强度双重要求，遵守欧盟航运减排合规要求的成本预计将大幅上升。

（三）中国系列新政促进能源转型发展

在国际航运减排规则和国内碳达峰碳中和目标的双重驱动下，中国近年来密集出台了一系列政策，以能源转型、船队更新、交能融合为导向，全面推动国内船舶制造业和航运业向绿色低碳发展，通过顶层设计、财政补贴和技术创新支持，有效促进了船舶运力结构的优化和绿色燃料产业的培育，

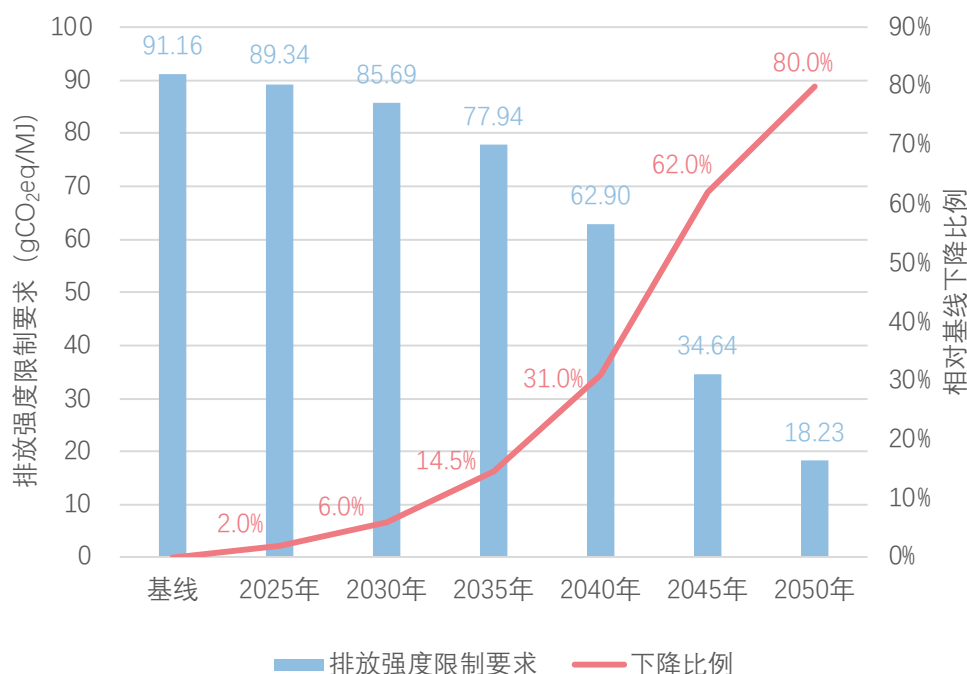


图2 FuelEU Maritime船用燃料排放强度限制要求



为航运低碳发展奠定了坚实基础。

在船舶能源转型层面，我国通过构建以《绿色造船评价指标体系及评价方法》为代表的技术标准体系，为船舶制造业绿色低碳转型奠定了基础。在此背景下，2023年12月，工信部等五部门联合发布《船舶制造业绿色发展行动纲要（2024—2030年）》，明确提出到2025年初步构建绿色发展体系，LNG、甲醇等绿色动力船舶国际市场份额超过50%；到2030年基本建成绿色船舶产业生态，绿色船舶技术达到国际先进水平。同时，商务部于2025年10月发布的《关于拓展绿色贸易的实施意见》进一步将航运业绿色发展视为关键环节，明确提出支持清洁能源在国际航运船舶中的应用，包括鼓励开展生物柴油混兑调和以及国际航行船舶保税LNG、生物柴油、绿醇、绿氨等加注业务，并重点推动建立与国际接轨的航运绿色燃料认证体系。

在船舶以旧换新层面，国家部委通过先后出台《交通运输大规模设备更新行动方案》与《交通运输老旧营运船舶报废更新补贴实施细则》，构建了从顶层设计到具体激励的政策体系，明确了船舶运

力结构优化和绿色低碳转型的总体方向，设定了到2028年的发展目标，并将“老旧营运船舶报废更新”列为关键行动。强力引导和激励船东淘汰高能耗老旧船舶，优先选择绿色动力船舶，系统性推动船舶运力结构向绿色化升级。

在交能融合发展方面，2025年3月交通运输部等出台了《关于推动交通运输与能源融合发展的指导意见》，构建了清晰的顶层设计与实施路径，系统推动交通运输与能源深度融合。该政策设定了明确的量化目标：到2027年，交通运输行业电能占终端能源消费比例达到10%；到2035年建立以清洁低碳能源为主的交通运输用能体系。

在相关政策推动下，我国船舶绿色化进程显著加快。截至2025年，全国已建和在建的新能源与清洁能源船舶总数已超过1000艘，覆盖多种船型及水域场景。配套基础设施同步开展建设，已建成加注、充电设施约80余座，为船舶绿色运营提供了基础保障。与此同时，绿色甲醇等可持续燃料的全链条体系建设取得实质性进展，有效促进了航运能源结构向低碳化转型。

二、航运减排进程稳步推进

在政策驱动下，航运业绿色转型已从理念走向实践、从试点走向规模。新能源与清洁能源船舶订单快速增长，清洁动力技术加速成熟，节能装置应用广泛，航运减排正呈现出多措并举、多方协同的稳步推进态势。尽管绿色燃料成本高昂、技术标准尚未统一、基础设施仍显薄弱，但行业已普遍形成“绿色转型势在必行”的共识，并通过市场机制、产业协同与技术迭代稳步推进航运减排进程。

（一）新能源清洁能源船舶市场订单快速增长

尽管净零框架正式生效时间尚不确定，但在IMO政策进程持续推进、区域性排放限制不断收紧的压力下，国际航运业加快向新能源与清洁能源迈进。

对于国际航行船舶，使用LNG、甲醇、氨等燃料的新能源与清洁能源船舶正从试点示范阶段迈向规模化订单阶段，目前手持订单中新能源与清洁能源船舶按总吨位计占比已达51.6%。

凭借技术成熟、加注基础设施完善等优势，LNG燃料船目前在新能源与清洁能源船舶中仍占主导地位。截至2025年10月，LNG燃料船手持订单数量已达1000艘。尽管业界普遍将化石LNG视为无法满足长期减排目标的“过渡燃料”，预期其未来将面临甲醇、氨等燃料的竞争，但受化石LNG价格回落影响，2024年和2025年LNG燃料船订单再度迎来爆发，分别占当年新能源与清洁能源船舶新船订单的73%和69%。

甲醇燃料船订单在2023年快速增长，甲醇集装箱船订单数量甚至一度超过LNG，成为最具竞争力的替代燃料选项。然而，由于绿色甲醇在成本和供应方面仍面临较大挑战，与化石LNG相比尚不



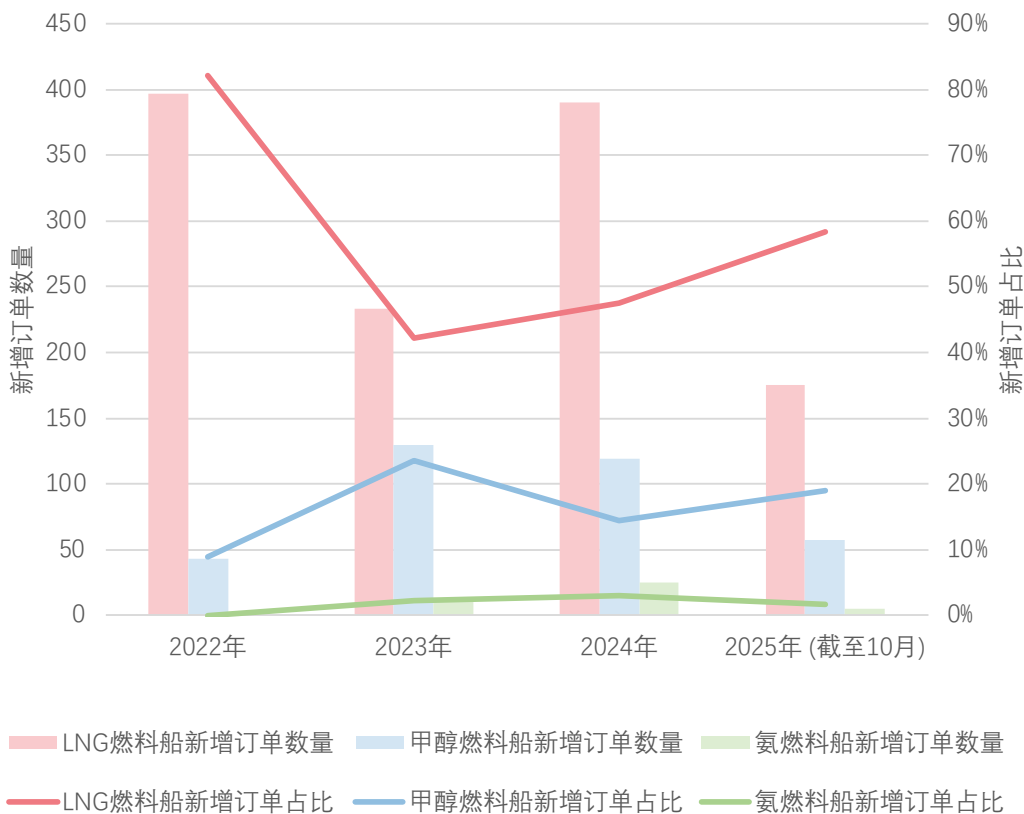


图3 新能源与清洁能源船舶订单数量

具备经济优势，特别是随着净零框架规则草案推进受阻，2024年和2025年甲醇燃料船订单增长放缓，仅占当年新能源与清洁能源船舶新船订单的22%和26%。

氨燃料船目前仍处于技术验证和试点阶段，订单数量缓慢增长，主要集中在可兼营氨的气体运输船和散货船。受制于氨的毒性、发动机可靠性、N₂O排放控制等因素，船东普遍持观望态度。若关键技术实现突破并有完善的法规支持，氨燃料船订单有望迎来拐点。

对于沿海内河航行船舶，以电池、LNG、氢燃料等为代表的新能源与清洁能源船舶也在快速发展，已呈现出多元技术路径并行、应用规模持续扩大的显著趋势。以中国沿海内河船舶为例，

新能源和清洁能源船舶在过去近十年间呈现出清晰的阶段性发展脉络：2015年至2020年为初期阶段，LNG动力船舶技术相对成熟且减排效果明显，是新能源和清洁能源船舶发展的主力；2020年前后进入规模化发展阶段，随着电池技术提升和成本下降，纯电动船舶在内河渡轮、观光船等固定航线场景快速崛起；2020年之后，技术路径进一步多元化，甲醇、氢燃料船舶取得示范性突破。基于不同船型和场景的需求，行业逐步形成了“客运与中小型货船以电为主，大型船舶以甲醇/LNG为主”的多元技术路径共识。

整体而言，新能源与清洁能源船舶已从试点示范迈向规模化应用。LNG燃料船在当前全球替新能源与清洁能源船队订单中占据主导地位。甲醇

燃料船订单曾快速攀升，但近期增长势头有所波动。氨燃料船仍处技术验证早期，是面向未来的重要战略选项，当前尚未形成批量订单。纯电池动力和燃料电池动力在当前阶段更适用于沿海和内河的中短途航行场景，其发展正在政策引导和市场示范下稳步推进。

（二）新能源清洁能源船舶动力技术取得突破

动力技术的进步是新能源与清洁能源船队快速发展的基础。当前新能源与清洁能源船舶的动力技术研发正呈现加速态势，在LNG、甲醇、氨、氢和电池等路径上均取得了显著进展，共同推动航运业向低碳化目标迈进。除氢以外，储供技术设备研发难度相对较低，技术突破的重点主要聚焦于动力装置本身。

LNG燃料发动机在船舶领域的应用起步较早，目前已实现规模化应用，其技术优势体现在高压共轨、微喷引燃等系统可实现硫氧化物近零排放、氮氧化物减排85%。甲烷逃逸是当前LNG燃料发动机在国际航运业应用面临的主要技术问题，特别是在奥托循环发动机上尤其明显，严重影响LNG的减排效果。

甲醇燃料发动机技术已步入成熟发展阶段，形成以EVERLLENCE和WinGD为主导的二冲程机市场格局。EVERLLENCE自2012年推出ME-LGI低速机后持续迭代，其最新机型最大设计功率达64000kW，甲醇替代率约93%。WinGD于2025年2月交付的10X92DF-M-1.0发动机，最大功率为64500kW，甲醇替代率超过95%。四冲程发动机领域，瓦锡兰、淄柴、中船动力、潍柴动力等企业的机型已具备商业化能力，EVERLLENCE、Rolls-

Royce和Caterpillar等公司也在积极推进相关研发。整体来看，甲醇燃料发动机正通过功率提升和替代率优化，逐步形成完整的发动机谱系。

氨燃料发动机技术正从船舶验证向商业化应用推进，在降低引燃油消耗和控制有害排放方面已取得关键突破。WinGD X-DF-A氨燃料发动机在测试中实现了5%引燃油稳定运行，氨排放量低于10ppm，N₂O排放低于3ppm，该系列中的X52-DF-A和X72-DF-A等型号已获得近30台订单。EVERLLENCE已正式推出其新型ME-LGIA氨燃料发动机，当前也有多批订单。四冲程发动机的研发同样活跃，瓦锡兰、日本IHI、中船动力院、中船711等均有机型在研，功率多在2000kW左右，其中日本IHI的首台氨发动机已在拖船“魁”号上应用，瓦锡兰W25机型已研制完成，还有待于进一步实船验证。

电池动力技术已进入规模化发展阶段，形成了以磷酸铁锂电池为主流、应用场景持续拓展的技术格局。电池企业正持续推进技术迭代，其中宁德时代的船用磷酸铁锂电池能量密度已提升至180Wh/kg，并通过电芯直接成组（CTP）等设计进一步优化了系统体积利用率。在系统架构上，直流组网技术已成为主流选择。相比之下，氢燃料电池动力技术当前仍处于试点应用阶段，在功率水平、储氢技术方面面临挑战。单组燃料电池的功率通常在百千瓦级别，为满足船舶更高的功率需求，普遍采用多组模块级联方案，如中国船舶集团第七一二研究所研制的500千瓦级和200千瓦级船用氢燃料电池系统在船上应用时均采用多组模块级联方案。

总体而言，新能源与清洁能源船舶的动力技术正沿着“LNG成熟应用、电池和甲醇快速商业化、氨技术试点应用、氢技术有待突破”的路径

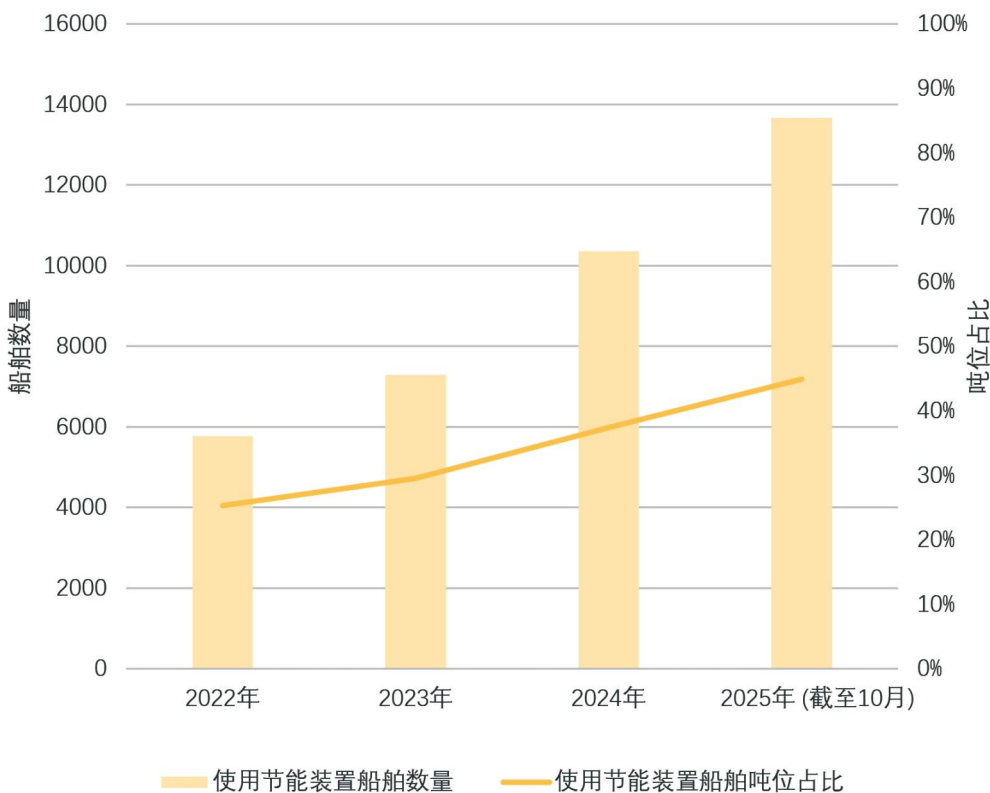


图4 节能装置应用情况

并行发展。不同技术路线根据船型、航线和市场条件在不同细分领域找到定位，共同推动航运业构建多元化的低碳能源解决方案。

（三）船舶技术能效与营运能效措施广泛应用

使用排放极低的新能源与清洁能源是实现净零排放目标的根本途径，但国际航运业转向新能源与清洁能源是一项漫长且艰巨的任务。在短期内，特别是在国际减排政策尚不明朗的当下，通过一系列能效措施提升能源利用效率、减少燃料消耗、降低温室气体排放，是航运脱碳“花小钱、省大钱、见效快、风险低”的第一步，也是

燃料全面转型前最稳妥、最经济、最可控的优先选项。放眼未来，提升能效也可大幅节省价格高昂的新能源与清洁能源成本。目前，使用螺旋桨导流罩、舵球等技术能效措施的船舶数量已接近50%，还有超过半数的国际航行船舶采取降速航行、航线优化等营运能效措施。

在实际应用方面，能效措施应用呈现“低成本措施全面普及、高投入方案仍在观望”的两极分化格局。舵球、桨毂消涡鳍、预旋定子等节能附体，以及高性能防污漆、船体和螺旋桨定期清洁等船舶表面处理手段是应用最广泛的技术能效措施。这些措施技术成熟可靠、船队渗透率高，平均投资回报期短，节能效果已在数千艘船舶上得到验证。再辅以降速航行与航线优化等营运能



◎ 图5 “长顶”轮在洋山港完成全球首例船对船液态二氧化碳卸载作业（洋山港海事局）

效措施，已成为全球主流船东的标准配置。

然而，空气润滑、风力助推、废热回收等技术受高昂的投资成本影响，渗透率仍不足5%。截至2025年8月，使用风力助推的船舶仅81艘，使用空气润滑的船舶仅324艘。除经济障碍外，节能效果难以量化验证、“船东投入、租家受益”的机制也严重阻碍能效措施的推广和应用，导致高投入能效方案仍停留在“好技术、难算账、不敢投”阶段，阻碍其从示范走向规模化应用。

（四）船载碳捕集技术开拓低碳转型创新路径

船载碳捕集（OCCS）技术是传统燃料船舶满足减排要求的可行路径之一，备受行业关注，具备广阔的应用前景，正处于快速发展阶段。当前，OCCS最主流的技术路线为化学吸收法，该技术凭借成熟度高、商业化案例丰富，已成为现阶段

示范应用最广泛的解决方案。中国船舶集团第七一一研究所自主研发的全球首套全流程船用碳捕集系统，已成功在1艘14000TEU集装箱船上实现了改造应用。该系统CO₂综合捕集率超过80%，纯度达99.9%，改造后每年可捕集并减排CO₂超4.4万吨。此外，该项目通过成功的船对船液态CO₂接卸作业，在全球范围内首次打通了从船上CO₂捕集、液化存储、安全转运到岸上再利用的完整技术链和商业闭环。韩国企业如Panasia也与HMM、三星重工等合作完成了OCCS技术的实证项目，捕集的高纯度CO₂已被用作生产绿色甲醇的原料。

尽管技术应用前景广阔，但OCCS大规模推广仍面临挑战，核心在于港口接收、处理捕集CO₂的基础设施、监管流程、排放核算方法尚不完善。随着技术持续进步、政策法规支持以及完整碳价值链的构建，OCCS有望与新能源与清洁能源、能效技术等方案形成互补，共同推动航运业迈向净零排放。

三、航运绿色转型面临挑战

IMO净零框架推迟审议，全球航运脱碳进程受阻。政策机制、经济成本、技术装备和基础设施四大挑战相互嵌套，直接影响国际航运业绿色转型。绿色燃料价格高企抑制需求，需求不足又阻碍基础设施建设、燃料产业发展和技术装备进步；不成熟的技术装备抬高投入资本和保险门槛；区域性政策和贸易壁垒削弱减排激励，进一步削弱行业绿色转型的投资信心。任何单点突破都难以触发系统性变革，唯有船东、港口、燃料供应商、装备制造、金融机构与监管机构在协同发力，才能破解“有船舶无燃料、有燃料无认证、有认证无奖励”的碎片化困局，实现航运绿色转型的整体跃迁。

（一）市场机制与经济激励的不确定性

IMO框架下的减排机制悬而未决，国际航运业绿色转型路径面临不确定性。MEPC 特别会议决定

休会一年，净零框架规则草案是否通过已经成为左右国际航运业绿色转型节奏的最大变量。除此之外，当前净零框架也不完善，2035年后的GFI目标要求、2030年后的补救单位价格、ZNZs认定标准和奖励机制等关键细则和核心参数均未确定。国际航运业在面临高达数百亿美元排放成本的同时，却无法据此锁定绿色燃料的边际收益，船队转型技术路线、绿色燃料长期采购协议仍停留在可行性论证阶段，资本支出决策被迫继续搁置。

碎片化区域机制蠢蠢欲动，国际航运业面临重复计费与政策割裂风险。EU ETS和FuelEU Maritime已落地实施，部分非洲国家正在酝酿把国际航运纳入各自规划的“非洲碳市场”。一艘集装箱船从上海出发，经新加坡绕好望角前往鹿特丹，单航次就可能触发EU ETS、FuelEU Maritime、潜在非洲碳市场等多项并行的合规义务。由于各机制对排放边界、基准排放强度、数据格式、罚金梯度的定义各



自为政、互不打通，导致船舶出现一次排放、多次计费的重重复约问题。更棘手的问题在于，不同体系对排放计算方法和绿色燃料认定标准也存在差异，若贸然锁定一种燃料，可能出现在一个区域享受奖励、在另一个区域却面临罚款的矛盾局面，令船东在燃料选择与合规履约两端同时陷入困境。航运企业不得不在不同机制之间反复权衡，技术路线与燃料选择随之左右摇摆，绿色转型陷入持续观望的循环。在高昂的履约成本、高度不确定的技术路径之间，全球航运绿色转型积极性被政策不确定性持续消耗。

（二）绿色燃料成本和供应的双重瓶颈

绿色燃料的成本鸿沟，是国际航运业能源转型的“拦路虎”。标普全球最新报价显示，绿色甲醇到船价已升至1300至1600美元/吨当量燃油，相当于低硫重油的2.5倍、化石LNG的3倍。在IMO净零框架尚未落地的“真空期”，绿色燃料的溢价无法被量化的ZNSs激励对冲，使用绿色燃料的边际减排成本依旧高于直接购买排放额度。在此情况下，绝大多数航运企业自然选择付费排放，而非燃料转型。

需求不振的寒意迅速传导至供应端，供需失衡已呈数量级缺口。没有确定的需求，燃料供应商不敢轻易敲下最终投资决定，导致“高成本、弱需求、小产能、更高成本”的恶性循环，需求缺口越来越大。当前全球船用绿色燃料产能仅约1万吨燃油当量，对比IMO制定的国际航运业温室气体减排战略目标，2030年国际航运业至少需要2700万吨燃油当量的绿色燃料，供需缺口高达25倍以上。

跨行业竞购进一步压缩国际航运业可获取的绿色燃料，使“鸡与蛋”悖论更加尖锐。航运业并非

绿色燃料的唯一买家，航空、钢铁、化肥、石化等行业均对绿氢、绿氨、生物质资源有较高需求。欧盟强制规定自2025年起欧盟机场所用燃油必须混掺2%的可持续航空燃料（SAF），2030年达到6%，2050年达到70%；美国农业部、能源部和运输部发布《SAF Grand Challenge Roadmap》，到2030年实现国内SAF年产量30亿加仑、2050年实现SAF年产量350亿加仑。钢铁行业考虑通过绿氢直接还原技术、化肥行业需使用绿氨作为化肥原料以实现减排。在跨行业竞购中，国际航运业在采购优先级、长期协议、价格谈判中处于劣势，可获取的绿色燃料被进一步压缩。

（三）新兴技术和装备产生的全新风险

船舶应用新能源与清洁能源技术仍不成熟。

在航运业，使用LNG与甲醇作为船用燃料虽已进入商业化阶段，但“成熟”仅相对于实验室指标而言。LNG动力系统存在甲烷逃逸问题；甲醇发动机特别是中高速发动机技术成熟度仍有待实船验证。氨燃料船舶处于技术验证向商业化应用过渡的阶段，氨蒸汽排放控制和毒性防护等核心技术仍需进一步优化。生物质甲醇和生物燃油等生物质燃料因原料来源多样，易造成关键部件异常磨损或堵塞，影响设备可靠性。

船舶使用新能源与清洁能源产生全新安全风险。除技术尚不完全成熟外，LNG、甲醇、氨等燃料把传统燃油的“火灾、爆炸”风险升级为“火灾、爆炸、毒性、低温、高压”等多重风险。LNG可能导致人员冻伤；氨具有毒性，致人中毒的阈值较低；甲醇火焰无色，传统感光探头无法识别。国际航运业对多重风险叠加的应对经验不足，事故场景、应急响应、医疗急救均依靠陆上经验，风险模

型不确定性高。

船员培训和安全管理体系滞后于技术迭代。目前《海员培训、发证和值班国际公约》（《STCW公约》）尚未完成甲醇/乙醇、氨、液化石油气（LPG）、氢、电池等动力船舶的通用培训导则编制，缺乏系统层面的实操标准，现有培训能力相对不足，船员培训缺口正在快速放大。安全管理体系缺口同样突出，IMO仅完成了针对甲醇、氨等燃料的临时导则，各个船级社的规范指南的标准也未完全统一，航运企业缺乏对燃料泄漏、船员中毒、低温灼伤等可预见的常见场景的操作指南和实际演练。新技术与旧安全体系之间的规则真空，使新能源与清洁能源船舶的安全风险被显著放大。

（四）港口配套基础设施建设进度滞后

LNG加注体系基本成熟，绿色甲醇加注网络分布失衡，绿氨加注仍在起跑线。历经十年布局，全球已有200余个港口具备LNG加注能力，另有70余个港口在建或规划提供LNG加注服务，于西北欧、地中海和东北亚形成“一小时加注圈”，基本覆盖

班轮与汽车运输船的常规运营需求。绿色甲醇加注网络分布失衡，部分主航道仍无固定加注点，绿色甲醇港口供应链的更新节奏已明显落后于甲醇燃料船舶订单的“井喷式”扩张，由此倒生出“船等燃料、燃料等码头”的逆向僵局。绿氨加注仅有少量试点示范，尚未形成常态化加注能力。绿色燃料加注站点的稀缺成为制约新船投入绿色航线的瓶颈。截至2025年10月，全球投入商业运营的甲醇加注船仅10艘，其中8艘集中在“鹿特丹—安特卫普—新加坡—上海”航线上的港口，剩余2艘只能在北欧支线短驳。亚欧航线中段、太平洋主航道以及南美西岸至今仍无固定绿色甲醇加注点，全球可常态化提供甲醇加注的港口仅17个。

监管链模型的不确定影响港口燃料储供项目发展。分离模式（Segregated）、质量平衡（Mass Balance）与记账核销（Book & Claim）三种不同的监管链模型在国际航运业的绿色燃料认证中尚未明确。港口在设计阶段就必须预留隔离罐区、混兑管线和区块链证书平台，以同时满足多套计量与溯源标准，导致项目在环评、保险和融资环节面临额外不确定性。



四、航运净零排放破解之道

当政策碎片化、燃料高成本、技术不确定与基础设施滞后相互交织，国际航运业的绿色转型已非单一瓶颈，而是系统性困局。破解之道，不在某一环节的孤军突围，而是需要在同一时间窗口内，让规则、资本、技术、供应链与安全体系协同发展。

（一）建立全球统一的国际航运业减排规则

在国际航运业迈向脱碳的关键十字路口，欧盟、非洲等相继实施或酝酿区域性碳价与燃料标准，若IMO不能立即牵头制定统一且具有法律约束力的全球框架，监管套利、重复执法和航线扭曲将愈演愈烈，最终削弱行业信心并抬升全球供应链成本。

规则碎片化正在削弱全球减排合力，IMO需尽快形成统一框架。建立全球统一、具有法律约束力的国际航运减排规则，是引领行业迈向净零排放的基石。当前，IMO框架下的净零框架规则草案因各国分歧推进受阻，区域性机制先行导致规则碎片化风险上升。唯有在IMO层面尽快达成并实施强制性国际规则，统一减排责任、定价与监管标准，才能消除政策不确定性，避免多重履约成本，为航运业释放清晰、稳定的市场信号，确保公平、透明、可执行的全球低碳转型。

政策不确定性助长行业观望情绪，亟需以科学、分阶段的目标勾勒可预期的长期路径。当前净零框架草案尚处雏形，难以指导行业形成明确、可预期的长期减排路径，亟须尽快完善和细化。减排目标应兼顾科学性与可行性，结合行业发展实际与环境保护需求，设定分阶段、递进式的实施路线，

并与《巴黎协定》温控目标及《2023年IMO船舶温室气体减排战略》精准对接。

排放定价需建立动态调整机制，既防止“付费排放”惰性，又避免过度冲击行业。应依据绿色燃料产业发展情况，科学设定补救单元动态价格曲线，下限应覆盖绿色燃料溢价，避免“付费排放”的发展惰性，上限则需考虑行业可承受区间，防止高昂的转型成本对行业发展造成影响。特别要为中小航运企业留出缓冲空间，通过灵活履约机制提供更多履约手段，避免被高转型成本和高技术门槛双双挡在绿色发展道路外，最终把转型异化为“绿色垄断”。

收入回流机制必须公开透明，合理安排资金支出。应构建公开、公平、透明的资金回流机制，将资金用于支持绿色技术研发、基础设施建设和行业能力建设，兼顾发展中国家利益，推动形成“排放有成本、减排有收益”的良性循环。

（二）推动产业协同共建绿色燃料供应体系

产业协同共建绿色燃料供应链已成为破解净零排放难题的关键路径，建议通过形成明确的绿色燃料生产规划，深化产业链合作，积极构建绿色甲醇、绿氨等绿色燃料供应链体系，产业联合支持航运业脱碳转型。

绿色燃料生产规划为供应链提供坚实基础。坚持“近中远期有序衔接、多技术路线协同并进”的原则，制定分阶段、梯度化的产业布局图景，引导行业资源向技术路径明晰、经济适用性强、推广条件具备的燃料路线战略集中，形成差异化、互补性的

发展格局。统筹生产、储运、加注全链条协同，支持重点港口绿色燃料补给能力建设，构建覆盖主要航道的国际绿色燃料补给网络体系。加快推进《船用燃料全生命周期温室气体强度导则》等基础性标准制定工作，为产业提供科学性、权威性的技术依据。构建多层次资金激励框架，将加注站、输运管道等关键基础设施纳入基础设施支持目录，鼓励相关行业和社会资本参与航运绿色转型。

“政产学研”协同机制强化供应链建设。建议建立“政产学研”协同机制，发挥协同机制作用，进一步加大跨行业、跨领域、跨国际合作力度，突破生物质气化、二氧化碳加氢合成等关键技术瓶颈，完善绿色燃料政策法规和认证体系，打通从资源富集区到航运枢纽的绿色燃料供应链条，促进绿色燃料供应链建设完善，通过全球产业联合推动航运业低碳转型迈向新阶段。

绿色燃料产业合作深化供应链发展。建议绿色燃料上下游合作，共同构建覆盖绿色燃料生产、储运和加注的全产业链生态体系，充分发挥各方优势，实现供应链深度协同发展。燃料生产商、运输、加注港口等各方可联合成立绿色燃料供应链联盟，整合生产制造、物流仓储、港口航运等资源，打造绿色燃料供应链体系，以便快速形成绿色燃料规模化加注能力。

（三）多方合作保障船舶绿色技术安全应用

通过多方协同合作，在技术装备研制、规范标准编制以及安全营运监管三个层面系统推进，扫清绿色技术安全应用的障碍，构建绿色航运技术安全可靠的发展生态。

着力强化核心装备研发。在技术装备研制层面，聚焦甲醇、氨、氢等零碳/低碳船用燃料发动

机及关键辅助设备的研发突破，重点推动双燃料甲醇发动机、氨燃料主机的自主研发与迭代，同时配套发展低温储氢/储氨装置、高效燃料供应系统等关键设备，提升其可靠性并降低成本。

加快构建规范标准体系。在规范标准编制层面，应聚焦于深化技术要求、补齐检验标准、推动标准与实践协同发展三大方向。应针对现有绿色技术规范指南持续开展研究，不断完善技术内容，使其更加精确和可操作。同时，需加快编制针对特定燃料和新兴技术的专项检验标准，以形成覆盖设计、建造、检验全流程的完整标准体系。此外，应积极鼓励在重点港口开展标准化加注流程的试点项目，通过实践反馈不断验证和优化现有操作规程与技术指南。

筑牢绿色燃料应用安全监管防线。建议海事、港口等监管部门，加快构建船舶应用绿色燃料风险管控体系。在已发布的《水上甲醇燃料加注作业安全管理办法》等规程基础上，进一步制定和完善针对甲醇、氨等燃料的加注作业全流程安全监管细则。同时利用数字化手段对燃料供应链和船舶运营状态进行持续监控，确保新技术应用的风险可控。

（四）应用数字智能技术助力航运低碳转型

数字智能技术是当前航运业绿色转型的重要助手，通过数智化赋能，促进航运业数字化转型，可进一步释放航运业节能减排潜力。应用数字化工具和智能化技术，可优化船舶运营管理，降低船舶能耗和温室气体排放。

数字化赋能船舶能效精细化管理。通过数字化能耗监测与排放管理工具，监测不同节能措施在不同类型及尺度船舶、航线、季节、地理、气象环境上的能效提升表现，精准分析不同节能措施的适应

性和效果，通过数字化仿真量化评估不同节能措施之间的相互作用效应，开发船舶节能措施数字化综合评估工具，为目标船舶寻求平衡成本与收益的最佳节能措施组合。结合长时间尺度下船舶运行数据、能效数据和碳排放数据，建立船队能效表现基线，设定能效KPI，制定“一船一策”能效优化措施，包括提高动力系统和推进系统效率、优化船舶配载、使用最优节能技术/系统/装置、提升运营管理、清洁船体和螺旋桨等。

智能化提升船舶能效自主优化能力。建立包含船舶性能、装载、设备运行、海洋和气象环境等多要素耦合的船舶综合能效数据库，应用机器学习算法对长时间尺度数据开展智能诊断分析，精准评估/预测船舶真实能效水平，建立多要素耦合节能优化方法。基于高精度气象数据、航次计划、船舶性能模型，开发精细化的船舶能效动态优化算法，智能调整航次航线规划、航速和设备运行工况，提升

复杂条件下船舶能效自主优化水平，减少燃料消耗和排放。

数智化统筹船队排放合规策略。根据IMO净零框架草案以及欧盟航运减排政策，统筹考虑政策实施时间、惩罚与奖励机制、替代燃料可获得性及成本，以及船队船型、吨位、数量、航线、更新计划等因素，建立基于全局最优的船队排放合规智能化规划模型和智能排放合规工具，平衡短期合规成本与长期减排收益，对接产业链相关方的数据交换、审核、验证等要求，增强船队排放透明度，驱动船队整体绿色转型与运营优化。

（五）增强企业应对政策规则不确定性能力

虽然世界各国对于净零排放的实施方案存在分歧，但最终实现净零排放的目标本质上并未改变，不同燃料的应用周期和时间窗口可能会受到



◎图6 洋山港完成中国首单国际航行船舶绿色甲醇燃料船对船加注业务（新浪新闻）



图7 全国首单绿色甲醇出口新加坡（天津市交通运输委员会）

影响，为此燃料生产制备产业和航运企业应结合最新变化，适时调整，提升应对未来发展不确定性的能力。

燃料生产企业应适应市场变化，并实现长期健康运行。燃料生产企业应密切关注政策变化、行业动态和市场需求，制定项目发展的时间表与路线图，保障生产项目的可持续运营，避免烂尾资产和不良资产。推动技术创新，通过持续开展燃料制备关键技术研究，降低绿色燃料制备成本，提高产品竞争力。促进区域协调、产业协同，避免同质化竞争、恶性竞争，构建韧性与竞争力并存的绿色燃料产业链供应链。积极参与绿色燃料标准和认证机制研究与构建，争取形成既符合燃料生产实际又满足行业减排需求的技术标准和认证方法。

航运企业应从被动合规转向主动布局，分阶段构建应对未来减排规则变化的战略。由于近期国际政策不确定性高，减排路径仍不明朗，建议现阶段

推动能效措施的应用，科学评估能效措施在不同船舶的应用效果，合理规划船队能效提升计划。面向未来减排要求，提前布局双燃料船舶，提升船队在不同燃料之间的转换灵活性，同时积极积累新能源与清洁能源船舶的使用经验，建立面向航运新能源时代的管理体系和人才梯队。

（六）引领航运业绿色低碳转型的中国实践

面对全球航运脱碳的迫切需求，中国正以政策制度为保障、以新能源与清洁能源为核心、以产业链协同为支撑，开展一系列行动推动航运业减排，为全球航运业绿色转型提供了系统化、可复制、可扩展的中国路径参考。

中国正在形成全链路贯通的绿色燃料产业。中国绿色燃料产业从单点突破走向系统贯通，以绿色甲醇为突破口，形成产、运、注一体化布局。政策

