

航运业降低碳排放，势在必行！

——船机减碳专家圆桌访谈

编者按：国际海事组织（IMO）发布的海运温室气体减排战略对航运业是一个巨大的冲击与挑战，由此引发业内对低/零碳燃料、碳排放监测与管理等一系列问题的激烈讨论。2021年4月21~24日，第二届世界内燃机大会在山东省济南市成功举行。本届大会上，与会专家们对航运业的碳排放问题亦非常关注，多位专家的报告更是直接聚焦碳减排技术。本刊有幸邀请了部分资深专家参加本次圆桌访谈，希望能多角度、多维度地将最新的碳减排信息带给《柴油机》的读者。在此也特别感谢以下专家接受本刊的邀请，并参与本次访谈（按受访人姓氏字母排序）。



Kjeld Aabo
MAN Energy Solutions
二冲程部新技术销售与
推广负责人



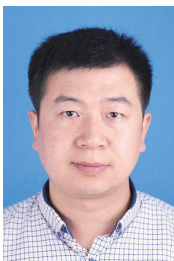
陈实
(Chen Shi)
中国船级社上海规范
研究所所长



刘龙
(Liu Long)
哈尔滨工程大学动力装
置电控技术研究所副所
长，内燃机专业负责人



Christoph Rofka
ABB 涡轮增压系统
高级副总裁
CIMAC 副主席



沈飞翔
(Shen Feixiang)
七一一研究所环保装备
部总经理
船舶与海洋工程动力系
统国家工程实验室船舶
排放分实验室主任



姚春德
(Yao Chunde)
天津大学内燃机燃烧学
国家重点实验室副主任

柴油机：非常感谢各位专家接受本刊的采访。我们知道，在降低NO_x、SO_x、颗粒物排放等一系列减排举措之后，航运业近年来最热门的环保主题无疑是“低碳”，甚至“零碳”。2020年11月17日，IMO MEPC 75正式批准了关于航运减排短期措施的MARPOL附则VI修正案草案（以下简称“草案”），成为IMO航运温室气体减排初步战略（以下简称“战略”）发布后的第一项强制性要求。可否请您谈谈对上述“战略”及“草案”的理解或看法。

Kjeld Aabo：EEDI船舶能效设计指数从2013年开始实施，并在不同阶段针对不同类型的船舶和应用强化要求，以确保新船建造时的二氧化碳和温室气体排放量较低。在即将到来的MEPC第76次

会议上，代表们将决定是否在2023年~2024年执行针对现有船舶EEXI的拟议法规。EEXI与EEDI基于相同的概念和计算方程，但在达到不同阶段时会有不同的步骤。同样，EEXI也基于克CO₂/DWT/NM。同时，CII也将在MEPC76次会议决定。CII代表碳强度指标，是表示总燃料消耗/总航行距离的一个数值。CII指标须记录报告，如超出限定的级别，相应的管理部门将对相关船舶方进行处理。总而言之，这是朝着减少二氧化碳和温室气体排放的方向迈出的一大步。我们预计将有超过10 000多艘使用MAN B&W二冲程发动机的船舶受到影响，总计约23 000台发动机。在这些规定之外，国际海事组织还在研究如何使不同绿色燃料的应用成为良好的商业案例。另外，在此阶段化石燃料预计仍将是占主导地位的海运燃料。

陈实：IMO MEPC 75 批准了关于强制实施目标型技术和营运措施以减少国际航运碳强度的 MARPOL 附则 VI 修正案草案，拟在 MEPC 76 会议正式通过。该修正案草案对前期讨论的技术能效和营运能效两个不同方案进行了融合，即船舶既要满足技术能效（EEXI）要求，还要满足营运能效（CII）要求，同时船舶还须按照年度营运能效进行分级（A~E 级）。

技术能效 EEXI 类似新造船 EEDI，是根据船舶固有技术参数并考虑主机限定后功率进行评估得到的能效指数。对各船型的 Required EEXI 的设置基本等同于 2022 年 4 月 1 日生效的对新造船的 Required EEDI 值，但对滚装船、滚装客船和三大船型中的部分吨位段船型有所放宽。

营运能效 CII 即船舶碳排放强度指标，用以表征船舶实际的营运能效水平。在每年对船舶 CII 进行验证后，还将对船舶 CII 进行年度评级，表现不佳的船舶暂时不会直接导致惩罚性后果，但须要制定改正计划并纳入船舶能效管理计划（SEEMP）。

“战略”包含了排放强度和排放总量两个方面，EEDI 要求的不断升级，是通过持续提高新造船排放要求，实现排放强度的战略目标；而这次通过的修正案草案，是通过对于营运船舶能效持续提升的要求，实现排放总量战略目标。

刘龙：“战略”对海运行业应对气候变化行动做出了总体安排，包括愿景、减排力度、指导原则、短期/中期/长期减排措施和影响等七个方面内容。IMO 将致力于在 21 世纪尽快逐步消除海运温室气体排放。这将加快低碳甚至零碳燃料的使用，从而推动新燃料生产、储运、供给、船舶发动机、后处理等相关技术、装备以及基础设施的变化，形成新的经济产业链条。我国船舶行业要尽早布局，突破技术瓶颈，力争在变革期实现超越、引领。

“战略”在减排力度方面指出：“到 2030 年，全球海运每单位运输活动的平均二氧化碳排放与 2008 年相比至少降低 40%，并努力争取到 2050 年降低 70%”。“草案”作为“战略”发布后的第一项强制性要求，规定了规则生效后，现有营运船既要满足技术能效（EEXI）要求，还要满足营运能效

（CII）要求，同时船舶还须按照年度营运能效进行分级。CII 作为船舶的营运碳强度指标，将用于航运温室气体排放是否满足“战略”减排力度要求的衡量。同时，CII 与 EEXI 又不是孤立的，采用降速、降功率来满足 EEXI 也要充分考虑对航线和营运的影响，否则就有可能无法满足 CII 的要求。因此，在完全实现低碳燃料技术路线之前，须要紧密结合天气环境、航线、营运能效智能优化船舶发动机运行能效，技术复杂度和难度都比较高。对于当前仍然存在的大量以柴油为燃料的船舶是较大的技术挑战。短期内，提高船舶发动机能效仍然是温室气体减排的主要措施。

Christoph Rofka：IMO MEPC75 关注的主要是现有的船队，他们引入了一个类似于新造船的能效设计指数（EEDI）的新指数，即现有船舶的能效指数 EEXI。这一步骤本身只是正式地为现有运营中的船队设定一个起点，并没有引发改进或创新。如果须要做什么，那么就有可能对发动机功率进行限制，这样可以达到更好的级别，即更好的指标，但对于许多船东来说，这几乎不会对实际运营产生任何影响。所以，这个正式的步骤必须做一次，然后我们就有了一个参考点。

我认为更重要的是 IMO 宣布即将推出碳排放强度指数，该指数侧重于船舶运行改进。这一举措无疑将引发大多数船舶运营商和船东的优化（主要是船舶运行优化）。例如，他们将找到最佳航速、最佳装载量以及最佳船体清洁和维护程序。随着时间的推移，硬件升级也将有助于提高性能。

最有可能的是，运营指数也将引入新造船中。运营指数和 EEDI 双管齐下，似乎是 IMO 确保对所有正在运行和新建的船舶进行持续优化和改进的前进方向。这是一个很好的举措，但它更多地着眼于短期目标，还不能使如何实现 2050 年温室气体排放减少 50%，并在此后实现零碳排放的目标足够清晰。因此，在 MEPC 76 之后，这方面须要 IMO 大力关注。我们还需要时间来明确投资相关事宜，并建立适当的技术和供应链。

沈飞翔：航运业是全球温室气体排放的重要来

源之一，据统计，近年来航运业温室气体排放量逐年增长，若不采取相应的控制措施，预计到 2050 年将占全球温室气体排放量的 18%，因此实现航运业温室气体排放控制对于全球海洋大气环境具有重要意义。IMO 温室气体减排初步战略及相关草案的执行，标志着航运业碳减排将成为未来船舶排放治理及发展的重要方向。

姚春德：在该草案中明确规定低闪点燃料可以为船舶动力使用，如醇类等。事实上，低闪点燃料天然气早已在船舶动力得到应用，如国际上已有天然气运输船投入运营，我国早年也推行过“气化长江”计划。该草案的重要意义是醇类燃料可以上船，这里主要是指甲醇可以上船。我们知道，柴油的闪点是 55℃，而甲醇的闪点为 12℃。按照过去规定，低闪点燃料上船除了作为厨房燃料使用，不能作为主、辅机燃料，原因是低闪点燃料会影响船舶的安全性。但是天然气作为燃料上船已经多年，只要按照规范使用是很安全的。在当前的大环境下，低硫燃料和低碳燃料应用是大势所趋，IMO 的草案出台也是对大背景要求的一个重要响应。我国政府领导人已经分别于 2020 年 9 月和 12 月在联合国和全球环保大会上庄严承诺，我国在 2030 年要达到碳达峰、2060 年要实现碳中和。我国船舶动力每年消耗柴油超过 1 000 万吨，年排放 CO₂ 超过 3 000 万吨，推广应用低碳燃料更是我国船舶的重要选择。甲醇的化学式中只有一个碳，已有的试验结果表明，使用甲醇船用燃料至少可以减少 CO₂ 排放 10% 以上。另外，按照现有的技术，甲醇可以用 CO₂+ 氢气合成生产，不但在使用中减少碳排放，而且在生产中可以吸纳 CO₂，对于未来我国船舶动力减碳，实现我国政府的庄严承诺都具有重要意义。

柴油机：在航运减排的各项措施中，船用燃料的选择至关重要。从整个生命周期来看，您最看好哪种低/零碳燃料？可否请您谈谈对氨燃料、生物燃料、氢燃料等新燃料的看法，以及这些新燃料的发展所面临的最关键的瓶颈是什么？

Kjeld Aabo：这很难说，但作为发动机技术供

应商，我们希望向世界展示利用不同燃料的可能性。因此，我们今天的双燃料发动机系列可燃烧甲烷、甲醇、液化石油气及乙烷。目前我们正在研发和设计燃用氨燃料的二冲程发动机。

因此，我们不认为发动机将成为一个瓶颈，绿色燃料的生产和物流是一个全世界必须协作面对的巨大挑战。在 MAN Energy Solutions 公司，我们也着眼于绿色燃料的发展，并已经参与了不同的项目，如电解原理生产 eLNG。

陈实：任何一种新的燃料是否具有应用前景，取决于它的可获得性、产业链的技术可实现性和经济性。从这三个方面综合考量，氨燃料可能更有前景。氨燃料具有一定的技术难度，生物燃料的可获得性较为欠缺，氢燃料在三个方面都有一定难度，但最主要的是经济性。

刘龙：氨是较为成熟的化工产品，其制备和储运技术基础较好，来源较为简单，可以做到全生命周期无碳化，是较为理想的船用燃料。

应该说氨燃料、生物燃料、氢燃料都不是内燃机的新燃料，特别是针对生物燃料和氢燃料，内燃机已经开展了大量的研究。生物燃料在船舶发动机上的应用并不存在严重的技术瓶颈，主要的问题是生物燃料的来源，成分的多样性和颗粒物排放，其中生物燃料的大量生产依靠相关经济作物的种植，将会抢占粮食种植用地，是制约生物燃料大规模使用的瓶颈。

氢燃料在船舶发动机上应用的主要瓶颈是安全问题。氢燃料点火能量低、着火界限宽，容易引燃并且燃烧速度快。同时，氢气的密度低、易泄漏、储存困难，氢燃料的储运技术尚不成熟。氢燃料的着火燃烧和易泄漏的特性，使其在使用上存在非常大的安全问题。另外，氢气燃烧的产物是水蒸气，水和机油的混合会降低后者的润滑能力，加速发动机的磨损。

氨燃料抗爆性好、能量密度高、易存储和制备。但是，氨燃料的燃点高、点火能量较高，不易点燃；燃烧速度慢，燃烧温度低。应用于船舶发动机时着火困难，功率输出低，难以保证船舶发动机的功率

密度。另外，氨燃料本身具有腐蚀性，并且燃烧后产生水蒸气，会影响润滑。

Christoph Rofka：目前，对于净碳足迹较低的燃料，唯一可行的解决方案是生物燃料。这是因为具有低或零净碳足迹的氨或氢气根本还不可用。或者，即使可用，也只是非常少量的。生物燃料可以产生立竿见影的影响，然而，它确实存在可扩展性问题，根本不足以在很大程度上满足航运需求。此外，还存在可持续性問題，例如，生物燃料可能来源不明，从而造成危害。

我们确信，未来所有的净零碳燃料都将以氢为基础，至少是作为中间产品。氢气将通过电解从可再生能源 / 电力中产生，或者这一点很重要，至少是暂时可以采用碳捕获和碳储存技术从化石燃料中产生。

氢气是一种非常好的燃料，它燃烧得非常干净，唯一须要处理的排放物就是氮氧化物，我们知道如何应对氮氧化物排放。当然，它在功率密度方面也有局限性：在压缩气体形式下，它只能用于短途海上航行，及内河或沿海运输，在这些地方我们已经看到了示范性的应用。当使用液化氢时，它必须储存在极低的温度下，所以航程会受到限制。

然后我们谈到氨，它很容易处理，而且是液态的，功率密度很高。不幸的是，氨是有毒的，但我相信这是可控的，因为人们已经把它作为货物进行运输，并知道如何装卸它；下一步是把它作为燃料。不幸的是，它不像纯氢燃烧得那么干净，会产生氮氧化物和笑气，而笑气是一种很强的温室气体，必须加以控制。所以，氨有点复杂，但没有什么是不能解决的。

目前最大的障碍是使用这些燃料的进度缓慢，并且缺乏进行规模化生产的重大投资。例如，在制氢方面，就存在上述问题，无论是用可再生能源生产的绿氢，还是用天然气通过碳捕获和储存技术生产的蓝氢。对氢生产的投资须加快，否则就会制约氢燃料的推广，同时也会推迟对氢燃料的发动机技术和航运的投资。

沈飞翔：目前最看好氨燃料。氨燃料由于自燃温度与点火能量较高，在运输、存储和使用过程中

安全性系数较高，且氨燃料易于获取，排放物只有 NO_x ，可通过搭配 SCR 后处理系统实现零污染排放。目前发展所面临的最关键的瓶颈在于与氨燃料相匹配的发动机燃烧系统与动力系统的开发。

生物燃料安全性高，相关研究起步早，在汽车发动机领域已形成了一定的应用基础，但也存在运行稳定性差、发动机启动困难、功率受限等问题。目前发展所面临的最关键的问题在于与生物燃料相匹配的发动机燃烧系统和控制系统的开发。

氢燃料虽然可以实现零碳排放，但仍存在安全性以及氢燃料供应链等瓶颈问题。

姚春德：不看好以上燃料。生物燃料由于资源问题，很难形成规模化应用，只会在个别资源丰富的地区有一定运用。虽然氨和氢燃料属于无碳排放的燃料，但是都是二次能源。与欧洲不同，我国是农业大国，氨的消耗量很大。我国目前施行的是统一管理政策，氨作为燃料使用在市场化和管理上会存在很大困难。氢气的密度是自然界最低的，如果液化，须要达到 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，消耗的能量理论上是其自身提供能量的 28%。而天然气液化，仅需自身能量的 6% 左右。压缩状态的密度依然很低。据计算，一辆 40 t 载重的卡车，单车可运载柴油 30 t，单车运载氢气仅为 530 kg。和运输同样能量的天然气相比，管道运输每 150 km，加压用压缩机的功率要增加 1.4%。更不用说氢气对管道的材料有特殊要求。

柴油机：发动机须要做哪些调整或改进，以适应低 / 零碳燃料的应用？

Kjeld Aabo：基于狄塞尔循环 IC 原理的设计，双燃料喷射系统位于气缸顶部。MAN 设计一种新型燃料的二冲程发动机，须开展大量的研发工作，特别是在我们的研究中心进行试验，以获得最佳的喷射效果，确保发动机的排放尽可能低，并符合相关规范。举个例子，对未来的氨燃料发动机，我们须确保最低至零的氨逃逸，没有笑气 N_2O 产生，因为这对温室气体效应有负面影响，且氮氧化物排放水平应满足相应的 Tier II 及 Tier III 要求。除此之外，在所有负荷下都要求发动机高效率运行。

陈实：每一种燃料的特性都不相同，发动机都要进行针对性的改进。

刘龙：考虑到成本和技术成熟度，当前船舶发动机过渡到低 / 零碳燃料船舶发动机需要一个逐步发展的过程，这个过程中会有多种低 / 零碳燃料共存的时期。因此，船舶发动机须适应多种低 / 零碳燃料，需要灵活的燃料喷射系统和燃烧系统。燃烧室、润滑油及其系统、排气系统要能够适应腐蚀性燃料和大量的水的产生，并要考虑热负荷的问题。同时，为适应不同燃料，需要更为智能的控制方法和系统，能够根据燃料的改变调整燃烧策略，优化船舶发动机经济性和动力性。另外，个人认为采用低 / 零碳燃料船舶发动机实现混动系统是未来提升船舶能效的一个有效技术途径。因此，船舶发动机在考虑适应低 / 零碳燃料的同时，也须要考虑混动系统方案。

Christoph Rofka：当谈到发动机的调整时，我们可以利用合成燃料的经验，因此使用氨和氢燃料发动机几乎不须要任何修改。

氨和氢有一个共同点：它们不容易压燃。我们一定要继续使用引燃燃料。氢气一旦点燃，就很难控制，必须采取措施调节燃烧和放热，EGR 是一种可能的措施。但我认为，这是一个行业和技术供应商必须发展的学科。这不是现成的，但他们知道怎么做。氨既不容易点燃也不容易燃烧，所以必须保持燃烧，达到一个合适的放热量，以及采用很多必须的喷射和燃烧技术。但我也确信，这个行业知道如何解决这一问题，他们拥有实现这一目标的正确的技能和工具。接着须要在后处理中努力处理质量分数较高的氮氧化物和笑气。如果你和该行业的技术领导者或后处理设备供应商交流，会发现他们非常有信心可以实现这一切。

沈飞翔：发动机的供气系统、点火方式、控制系统、燃烧系统均须进行调整来适应低 / 零碳燃料的应用。

姚春德：根据国内外的技术发展，目前甲醇燃料在船舶发动机上应用主要有以下几种类型。对于

功率较小的发动机，如低于 200 kW，可以采用纯甲醇点燃式，类似于在吉利汽车重卡上的应用形式，也可以采用甲醇由进气管导入的柴油 / 甲醇二元燃料燃烧方式。对于高功率的低速机，则可以采用缸内直喷的双燃料模式。点燃式须要更换发动机或在新船上应用，采用柴油 / 甲醇二元燃料燃烧方式可以直接在现有船上加装。在用船加装时，受到原机标定结构的限制，甲醇对柴油的替代率可能相对较低，平均为 30% 左右；如果是新船配新发动机，那么甲醇对柴油的替代率可超过 50%，部分负荷时可达 70%。

目前氢气燃料一般是氢燃料电池，功率比较小，仅应用于游船。氨燃料发动机尚未见到有船用试验运行，具体应用技术还不太明确。

柴油机：排放后处理是现有船舶满足低碳排放的潜在路径之一。请谈谈您对船舶 CO₂ 捕集、利用和储存的理解。

Kjeld Aabo：我们了解到了对于二氧化碳捕捉设计的不同思路，但还没有积极参与。我们已经与丹麦的 DecarbonICE 项目组取得了联系。DecarbonICE 是以冰态二氧化碳为基础，将其传送到至少 200 m 深的海面以下，并储存在海底。

陈实：船舶 CO₂ 排放的后处理目前有三种不同的方式：捕集和存储、捕集和利用、海水洗涤。

任何一种方式是否具有推广价值取决于它的经济性。捕集和存储不具有经济性；社会上正在开展捕集和利用研究，最终要看 CO₂ 再利用的经济性，至少成本是可以承受的；海水洗涤在陆上已有成功的案例，如果在船上可以低成本实现，特别是如果能和脱硫同步实施，将会受到欢迎。

刘龙：在中短期内，零碳燃料尚未成熟之前，船舶 CO₂ 捕集、利用和储存是温室气体减排的有效技术途径。虽然 CO₂ 捕集、利用和储存不是前沿科技，但是相关技术还不成熟。CO₂ 的利用，船上和陆上并没有太大的分别；CO₂ 捕集和储存是船舶应用上最为关注的问题。事实上，目前船舶 CO₂

捕集和储存技术主要脱胎于陆用技术，应用于船舶上首先要考虑如何缩减布置空间和重量；其次，针对船舶上有限的可用能量，须进一步优化船舶 CO₂ 捕集和储存系统的能效；捕集和储存过程中的安全问题也是船舶应用中必须要考虑的关键。

受限于技术的成熟度和船舶捕捉 CO₂ 的体量，当前船舶应用 CO₂ 捕集和储存的成本远高于碳交易市场的碳价，应用动力主要来源于法规的要求。因此，船舶 CO₂ 捕集、利用和储存技术与零碳燃料技术存在技术竞争期，如果零碳燃料技术快速成熟，船舶 CO₂ 捕集、利用和储存技术将不具备竞争优势。

Christoph Rofka：当然，船上的碳捕集是一个有趣的选项，但须要额外地消耗大量的发动机功率——我看到的数字为 30%~40% 的额外功率，意味着需要额外的燃料。该船的附加减排量也有类似的增幅。因此，我的结论是，此选项不太可行。要想大幅降低这些额外的排量和额外的发动机功率需求，需要一个重大的技术突破。

沈飞翔：CO₂ 捕集、利用和储存是未来实现船舶大规模 CO₂ 减排的重要潜在手段。不同于面向新造船的低碳/零碳技术，CO₂ 捕集、利用和储存技术属于排气后处理技术，相应的系统产品不仅适用于新造船，也适用于现有以柴油或 LNG 为动力的在航船的改造安装，因此具有广阔的应用及市场前景。

CO₂ 捕集、利用和储存是现阶段，在船舶新能源技术成熟之前，能够实现“碳中和”目标的最可行的方式，预期在未来十年内都将会作为船舶低碳排放的主要技术手段。目前 CO₂ 捕集、利用和封存技术在陆用领域的应用较为成熟，取得了可观的减排效果；但要实现其在船载领域的大规模应用，还须综合考虑船舶应用环境，开展必要的技术攻关和创新工作，在现有技术基础上解决能耗高、体积大、存储难等问题，在实船示范应用后加快推动相关技术标准和 IMO 提案的制定工作，为 CO₂ 捕集、利用和储存技术的工程化应用奠定基础。

CO₂ 捕集、利用和储存技术是一项通用技术，

在船舶领域实现大规模应用后，还可进一步拓展应用到其他领域，同时带动 CO₂ 高效转化等相关技术的发展，完善能源碳循环技术链，对推动我国“碳中和”战略的实施具有重要意义。

姚春德：采用后处理技术是当前使用重油和柴油的船舶动力满足排放法规的必要技术。重油中硫含量较高，燃烧后会有 SO_x 排放，这是酸雨形成的重要成分。为了满足法规的要求，须要在船舶动力的排气管上加装除硫设备。另外，无论重油还是柴油燃烧后都有大量 NO_x 排出，现在一般都是通过在排气管上加装选择性还原装置，即 SCR 系统来消除 NO_x。当然，船舶动力只要采用碳氢类燃料都会有 CO₂ 排放，但采用氨和氢气作为燃料除外。

采用低碳燃料是简化后处理的重要途径。一是低碳燃料一般不含硫，所以不用加装除硫装置；二是低碳燃料如甲醇的燃烧速度快、温度低，可以减少 NO_x 排放，甚至不用加装 SCR 系统；另外，在船舶动力上碳氢类燃料的 CO₂ 排放浓度是比较高的，采用吸收技术不太困难。目前 CO₂ 吸收相关技术比较成熟。按照国际上碳交易和国内对于减碳的要求，吸收的 CO₂ 可以参与交易。目前 CO₂+H₂ 合成甲醇技术已经很成熟，可以作为原料提供给甲醇生产方，生产出的甲醇可以再次进入燃料市场，有利于实现真正的碳中和。

柴油机：针对“碳达峰”与“碳中和”，航运业应该如何制定可行的中长期技术发展路线图？

Kjeld Aabo：最大的问题仍然是什么将是新的碳中和或无碳燃料。在发动机方面，我们还没有能同时使用所有不同新型低碳燃料运行的多燃料发动机。发动机的双燃料喷射设备是为特定的低碳燃料量身定制的。

我们发现市场对氨燃料发动机的兴趣大增。一些运营商现在就想要订购氨燃料发动机，即使绿色的氨尚无规模化供应。其与化石燃料相比花费更多，但许多运营商相信这是未来的燃料，并希望他们的船舶为未来使用氨燃料做好准备。

我们也看到市场对甲醇的兴趣有所增加。最新

的 APM Mærsk 宣布，2021 年他们将订购（1+1）2 200TEU 集装箱船，采用甲醇发动机。一开始，他们或将使用灰色或黑色甲醇，适时再加入绿色甲醇，并在可行时转变为 100% 绿色甲醇。

作为发动机供应商，我们听取市场的意见。基于此，我们预计未来的船用燃料将不仅仅是一种，而是更多。当谈到使用氢作为远洋运输船舶燃料时，相比氨这种即将到来的燃料，业内的兴趣尚非常有限。在德国，我们也正在考虑将氢作为四冲程发动机的燃料。

我们预计未来海运业将呈现类似调色板的多种燃料并存的状态。

陈实：中长期技术发展路线图应考虑“碳达峰”与“碳中和”的目标，可用技术方案与经济性协调。结合我国的具体情况，我的观点如下：1. 短期内国内船舶与国际航行船舶应分别考虑。因我国电池产业比较成熟，LNG 供应不足，价格较高，短期内国内航行性船舶应以电池动力为主；国际上 LNG 价格较为便宜，LNG 动力在大型船舶上应用也比较成熟，国际航行船舶应以 LNG 动力为主。2. 短期减排措施与长期技术研发同步实施。应发挥我国的体制优势，加大研发投入。长期技术研发应采取多条技术路线同时研究的策略，争取早日突破，获得先机。

刘龙：从实现碳中和的长期目标来看，采用零碳燃料船舶是必然的发展方向。但是，采用零碳燃料须要考虑制备、储运、加注、船舶上的存储供给、零碳燃料发动机以及必要的后处理等相关技术和装备，须要经历一个较长的时期。由当前柴油动力船舶过渡到零碳燃料动力船舶，须要根据法规的要求开发过渡性技术路线。因此，应当同时启动过渡性技术路线和零碳燃料技术路线。

根据燃料技术的成熟度，面向碳中和的长期技术路线，建议布局氨燃料船舶发动机技术及相关混合动力技术。同时，作为过渡性技术路线，针对现有船舶开展能效智能优化技术、灵活燃料发动机技术，并结合船舶 CO₂ 捕集、利用和储存技术，综合平衡运营成本、安全和法规要求。

Christoph Rofka：航运需要净零碳燃料，毫无疑问，这些燃料将基于绿氢或蓝氢。我认为，该行业至少应该允许甚至推动一个中间阶段，接受由基于化石燃料制成的蓝氢，并进行碳捕集。这种方法将使航运业能更快地应用这种燃料。由于可再生能源在全球范围内的发展，有太多其他行业可以更好地利用这些能源，航运业须要等待很久才有可能实现或接近实现 IMO 的目标。航运业必须公开表示，我们的最终目标是燃用净碳足迹为零的氢基燃料，但在中间阶段，我们可以接受化石燃料，并进行碳捕集和储存，通过这种方法，我们可以让事情进展顺利！

沈飞翔：针对在航船，未来实现“碳达峰”与“碳中和”须要发展的技术为碳捕集和封存技术。

针对新造船，未来短期内（2020 年~2030 年）实现“碳达峰”与“碳中和”须要发展的技术主要为碳捕集和封存技术；长期（2030 年以后）而言，实现“碳达峰”与“碳中和”须要发展的碳捕集封存技术、氨燃料/生物燃料/氢燃料技术等多种技术。

姚春德：2030 年碳达峰和 2060 年碳中和是我国领导人对全球的庄严承诺，任务和指标是刚性的。船舶动力是消耗燃料的重要领域，减碳运行是航运业的责任和义务。我国是商运大国，同时拥有大量的内河航运资源，尽快实施低碳燃料运输刻不容缓。

目前，以欧洲为先导开发的甲醇船舶，有近 20 艘，其中最长的运行时间已经超过 5 年。甲醇作为船用燃料安全、可靠、环保。在原农业部的支持下，我国一些机构也在中高速船用柴油机上开展了甲醇燃料的应用研究。开发了高速船用甲醇发动机并装船试验。我国内河船舶资源丰富，研究工作开展的也较全面，但是由于甲醇等低碳燃料上船的相关政策不完整，甲醇的储运、加注等相关政策也不明确，目前国内尚未见到正式合法、合规使用甲醇燃料的船舶动力。希望主管部门抓紧制定相关政策，为甲醇作为船舶动力燃料的合规化使用铺平的道路，为早日实现 2030 年碳达峰目标尽一份力量。

（高荃 供稿）