

绿色燃料甲醇——

未来能源的潜在“领跑者”

■赵玉伟 杨正中 史季龙

高技术前沿

2月14日,江苏启东,一声汽笛划破江面——国内首艘以甲醇为单一燃料的江海直达船“创新19”轮成功首航,驶向宁波舟山港。

据悉,这艘万吨巨轮搭载我国自主研发的甲醇发动机,动力源甲醇对传统能源替代率超90%、综合减排超90%,填补了国内技术空白,标志着内河航运绿色转型进入新阶段。

十四届全国人大四次会议上,政府工作报告首次将“绿色燃料”写入其中,明确提出培育发展未来能源。全国政协委员李书福在两会算了一笔账:甲醇电动车燃料成本比柴油低32%至52%,续航可达1500公里以上。

从万里江海的实践探索到两会会场的政策共识,甲醇正以其高效、清洁、易储运的独特优势,悄然站上全球能源转型的舞台。

那么,甲醇这种看似普通的液体究竟有何独特之处?它是如何从一种成熟的化工原料,转变为备受瞩目的未来能源选项?其发展又将如何影响我们的能源未来?请看本期解读。



图①:3月2日,山东港口青岛港,甲醇加注船“建航利达”轮为一艘货轮进行绿色甲醇“船对船”加注作业。

图②:2025年上海国际碳中和博览会上,参观者在一个甲醇双燃料动力集装箱船模型前驻足观看。

图③:2月14日,江苏启东,国内首艘以甲醇为单一燃料的江海直达船“创新19”轮成功首航。

作者供图
版式设计:吴淮江

能源领域的“老兵新传”

甲醇是一种简单的有机化合物。作为醇类家族中结构最简单的成员,它在常温下呈现为清澈如水、略带酒香的液体状态。

早在17世纪,科学家便从干馏木材的产物中发现了它的存在,因此它最初被称为“木精”或“木醇”。在漫长的工业发展史上,甲醇主要扮演着基础化工原料的角色,是生产甲醛、塑料、涂料等众多产品的重要来源。

在能源领域,甲醇也是一名“老兵”。二战期间,向进气管喷射甲醇水溶液,是当时战斗机发动机提升动力的关键技术。

20世纪70年代,全球石油危机的爆发,成为甲醇规模化应用的一个关键转折点。

当时,各国特别是石油资源匮乏的国家,开始急切地寻找汽、柴油的替代品。凭借能够从煤炭、天然气等多种原料中大规模提取的优势,甲醇展现出成为替代燃料的巨大潜力,受到业界重视。

美国、德国、瑞典等发达国家曾投入大量资源,系统性研究甲醇应用技术:从低比例掺混的甲醇汽油,到高比例掺混乃至纯甲醇燃料,均在轻型乘用车和重型铁路机车上试运行,相关技术已得到了充分验证。到了20世纪90年代中期,仅美国就有超过两万辆甲醇燃料汽车在加州地区运行。

由此看来,甲醇并非能源领域的“新兵”,而是一位经历过严格技术检验和市场试练的“老兵”。

后来,随着国际油价回落和产业政策重心转移,甲醇燃料汽车商业化发展逐渐退潮。甲醇燃料汽车的技术积累与实践经验被留存下来,为今日甲醇汽车的发展奠定了基础。

中国对于甲醇燃料的探索与应用,植根于我国“贫油、少气、相对富煤”的能源禀赋。将我国丰富的煤炭资源高效、清洁地转化为便于运输的液体燃料,是国家能源战略的重要考量,而甲醇正是这一构想下的关键答案。

从20世纪80年代起,我国率先在山西等煤炭资源丰富的地区,对低比例甲醇汽油开展了研究与区域性示范。这一探索,在2012年升级为全国范围内的试点工程——工业和信息化部在山西、上海、陕西、贵州、甘肃5省市的10个城市,组织开展为期多年的甲醇汽车试点工作。

这场大规模试点工作涵盖了公交车、重型卡车等多种车型,累计运行里程超过6500万公里,消耗甲醇燃料逾万吨,系统全面地验证了甲醇燃料在经济性、适应性、安全性和环保性等方面的综合表现。

2021年,甲醇汽车被正式纳入国家汽车产业公告管理体系,标志着甲醇汽车从区域性试点示范,迈入市场化推广的新阶段。如今,我国已建立起涵盖甲醇动力车辆生产、燃料加注、运营维护全流程的标准与规范体系,一条清晰的甲醇燃料应用路径已然呈现。

甲醇燃料的“绿色基因”

甲醇之所以能在全球能源转型中扮演越来越关键的角色,源于其自身一系列出色的特质,这些特质构成了它成为理想替代燃料的重要条件。

甲醇的环保优势,源于其分子内自带氧原子,且不含“碳-碳”键的独特分子结构。这一特点使其能燃烧得更充分、彻底,显著减少一氧化碳和未燃尽的碳氢化合物排放,并且几乎不产生形成雾霾的细颗粒物。

同时,甲醇燃烧时,温度相对较低,有助于抑制氮氧化物的生成,且不生成二氧化硫。这种清洁燃烧的特性,对于改善城市空气质量,具有直接而现实的意义。

在安全性能方面,科学评估和长期实践表明,甲醇的风险可控。甲醇比汽油更难挥发,不易在空气中形成易燃易爆的混合气体;其燃点高于汽油,需要更高的温度才能点燃。即便发生泄漏,甲醇也能被自然环境中的微生物快速分解,不会像石油制品那样造成持久性污染。

此外,在性能和经济效益方面,甲醇同样表现突出。凭借抗爆震能力强的优异特性,甲醇专用发动机可以采用更高的压缩

比,进而大幅提升热效率,提高燃油经济性。虽然一升甲醇燃料蕴含的能量低于汽油,但通过优化发动机设计和适当增加油箱容量,甲醇汽车完全可以弥补与汽油车之间的续航差距。从整体使用成本角度看,在煤炭资源丰富地区,与汽柴油相比,煤制甲醇已展现出明显的经济优势。

目前,绿色甲醇替代柴油和重油燃料,被广泛认为是远洋航运、长途重型卡车最具可行性、最接近商业化的深度脱碳方案之一。据悉,国际大型航运公司已开始批量订购甲醇动力船舶,并着手在全球布局甲醇燃料供应链。

最后,甲醇还具备出色的“桥梁”作用。

一方面,它既能作为主要燃料用于甲醇专用发动机和双燃料发动机,也能以不同比例与汽油、柴油混合使用,直接用于普通的汽柴油发动机。这一特点大大降低了甲醇推广初期的门槛和成本。

另一方面,甲醇还是一种理想的“氢载体”,借助重整制氢技术,液态甲醇可以方便、安全地转化为高纯度氢气,直接供给燃料电池发电。这一技术路径巧妙地绕开了高压储氢成本高、长途运氢难度大的问题,将液体燃料易储运的优势与氢能零排放的优点完美结合,为氢燃料电池汽车的普及提供了更现实、更便捷的路径。

方兴未艾的“液态阳光”

在全球应对气候变化、重塑能源格局的大背景下,甲醇燃料的兴起,让人们看到了一幅更加立体、更具韧性的未来能源画卷。

从实际应用维度观察,甲醇的舞台正在迅速扩大。在交通领域,甲醇应用正从城市出租车、公交车,向长途重卡、内河与远洋船舶领域拓展;在工业领域,作为

清洁热源和原料,甲醇为钢铁、建材、化工等高耗能行业的绿色转型提供了新的可能……大规模推广绿色甲醇,渐渐成为推动交通和工业领域深度减排的有力工具。

如果从宏观能源系统视角看,绿色甲醇能够扮演大型“能量仓库”角色,将西北地区丰富但间歇性的风、光资源,转化为稳定且易于长途运输的液体燃料,从而显著提升整个能源系统的灵活性和可靠性,有效解决可再生能源消纳难题。

进一步来说,这还有利于将可再生能源发电、绿色制氢、碳捕集利用和先进化工制造紧密联系起来。目前,中国在光伏面板制造、高效电解水制氢、甲醇合成催化剂等关键技术环节已走在世界前列,完全有能力在这场转型中把握先机,打造新的产业优势。

此外,绿色甲醇有望成为一种新型国际大宗商品,其形态和运输方式与现有石油产品相似,未来很可能催生基于全球可再生能源禀赋差异的新贸易网络,为全球能源合作开辟新模式。

对于中国而言,大力发展甲醇燃料有着多重深远的战略考量。从能源安全角度出发,在积极发展电动汽车的同时,稳步推进甲醇对传统油品的替代,是发挥我国煤炭资源优势、降低石油对外依赖、增强能源自主保障能力的现实路径。

当然,甲醇燃料的应用前路仍需进一步开拓。例如,绿色甲醇的成本需要进一步降低,全国统一的加注网络需要加快布局,跨行业的技术标准需要协同完善等等。

从远洋巨轮的“首次甲醇之旅”,到内陆工厂将废气转化为甲醇燃料,绿色甲醇作为未来能源的潜在“领跑者”,就像一束由现代科技凝结而成的“液态阳光”,照亮了一条切实可行的绿色转型之路,更预示着一个更安全、更清洁、更具韧性的能源未来。

科学的历程

你或许曾目睹过这样的画面:机场跑道上,一架架战机顺利着陆,尾部绽放出一朵朵绚丽的伞花。很快,这些伞花便将高速滑行的战机“拽”停。这一朵朵伞花,正是帮助战机减少着陆距离的减速伞。

减速伞的出现,可以追溯到1944年。当时,德国推出其第一架喷气式轰炸机Ar-234,并在战机上安装减速伞。

减速伞的减速原理并不复杂:飞机着陆时,存放减速伞的舱门打开,引导伞牵引主伞,借助主伞伞衣与空气作用的巨大面积,形成强大的空气阻力,实现战机减速。

一般来说,减速伞产生的阻力与飞机滑行速度正相关,即飞机的滑行速度越大,减速伞的作用就越明显。

在战机减速过程中,减速伞往往与飞机机轮上的刹车片共同作用。飞机处于高速滑行阶段时,通过释放减速伞降低飞机滑行速度;待飞机速度显著降低时,再通过机轮的刹车片进行有效制动,随后,为避免伞衣被发动机喷气的高温烧灼,飞行员启动抛伞装置,使减速伞与飞机脱离。

凭借简单的工作原理,减速伞成了当今大部分战机的“标配”;从大型轰炸机到轻型战机,从早期喷气式战机到第五代战机,减速伞已经成为各国战机的标准装备。

可以这样说,减速伞帮助高速滑行的战机迅速减速,大大缩短其着陆滑行距离。单凭外观进行分类,减速伞可分为圆形伞、十字形伞和环缝伞。

早期减速伞都为“圆形伞”。这种减速伞设计时直接参考空降兵的降落伞,呈圆形或锥形,具有充气快、阻力强的特点,普遍应用于早期喷气式战机,但该伞抗侧风能力弱,不适用于复杂气象条件。

俄罗斯战机偏爱“十字形伞”。这种减速伞由4片伞衣组成“十”字结构,可抵抗湍流、侧风等不利气象条件,在高原、短跑道机场等极端场景表现优异。经测算,采用该型伞的俄“侧卫”战机,最短着陆距离为同类型美军战机最短着陆距离的70%。

超音速战机倾向“环缝伞”。减速伞通过伞衣上的环形缝隙,稳定释放气流,这不仅可以降低冲击力,还能延长减速伞寿命。采用环形缝隙的“环缝伞”广泛应用于超音速战机,大名鼎鼎的SR-71“黑鸟”侦察机便使用“环缝伞”作为减速伞。

除外形的演进外,减速伞还历经了材质方面的“脱胎换骨”史:早期减速伞由尼龙材料制成,虽然成本低但是容易老化开裂;进入20世纪90年代,凯夫拉纤维具有强度高、耐高温等特点,开始成为减速伞的主要材料。

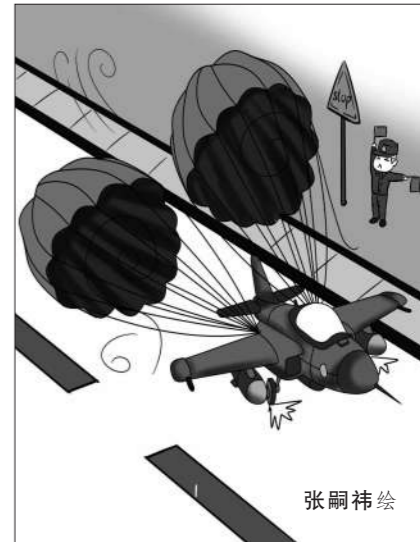
随着第五代战机批量服役,减速伞材质也完成了向超轻聚乙炔纤维的转变。材料的升级,在增加减速伞强度的同时,也减轻不少重量。此外,部分减速伞伞衣表面甚至涂有隐身涂料,成为军事大国第五代战机的标配。

如今,随着智能化设计、隐身优化以及模块化设计等技术的发展,减速伞还

「拽」停战机的减速伞

■李伦 郝泽澳

能同时兼顾自适应开伞、姿态控制等多种性能,成为多型战机不可或缺的组成部分。



张嗣祥绘

俄军组建独立无人系统部队

■孟光



2025年11月,俄国防部宣布组建无人系统部队,并将其列为独立兵种,纳入国家武装力量体系。这标志着俄军以无人化、智能化为核心的新质作战力量加速成型。据悉,该部队整合无人装备研发、试验、作战与保障全流程,旨在以非对称手段重塑军力结构、谋求战略平衡。

俄乌冲突中,无人机、无人艇等深度融入作战全流程,成为影响战局的关键力量。俄军2024年接收超150万架无人机,技术迭代周期缩短至3~4个月,传统分散指挥模式难以适应高强度作战需求。

新组建的无人系统部队,主要承担火力打击、情报侦察、反炮兵作战、工程保障、战场物流、医疗后送等任务,同步承担推进无人装备迭代等任务。

该部队已编成多支精锐单位:第7独立侦察-打击团,装备有“天竺葵”巡飞弹、“海鹰-10”“柳叶刀”无人机;“巴尔斯-萨尔马特”特种作战中心,可在战场上充当“前线需求-后方研制”枢纽,实现装备敏捷改进;等等。

此外,在人才培养方面,俄军筹建了莫斯科州首所“无人装备高等军事学校”,并依托志愿者协会快速培训操作人员,在少年军校、高等教育院校、高级军事指挥院校分阶段培养技术潜质人才、专业理论与指挥人才。

俄军组建独立无人系统部队,旨在提升作战效能,为战术创新与装备快速迭代奠定坚实的制度基础。然而,作为独立兵种,该部队与陆、海、空天军的职责边界尚待法理层面的精细化厘清。

未来,该部队或将面临进一步的体制优化与职能调适,以适应智能化战争形态下多域融合、跨军种联合作战的高强度需求。

左上图:俄军无人系统部队徽章。 阳 明供图

他山之石