



前沿产业 发展现状、 挑战及机遇

系列报告之一

可持续燃料篇

目录

要点	01
现状	03
➤ 可持续燃料技术路线及发展现状	04
➤ 可持续燃料国内外政策	06
挑战	11
➤ 可持续燃料成本较高，需求不足	11
➤ 亟需加快制定可持续燃料的国家标准，并推动与国际标准接轨	11
➤ 制备技术研发能力有待强化	12
➤ 可持续燃料的原料来源可能成为未来的潜在风险	12
机遇及建议	13
➤ 加强对可持续燃料的政策支持	13
➤ 建立可持续燃料标准体系	13
➤ 建立试点示范，推动技术创新	13
参考文献	15

要点

现状

- 可持续燃料主要包括生物燃料、绿氢和基于绿氢的燃料（由绿氢和二氧化碳生成的氨和碳氢化合物）。可持续燃料对于补充未来的能源结构以及实现净零排放至关重要。
- 中国长期以来都十分支持可持续燃料的发展，双碳目标提出以来的一系列政策也提到对于可持续燃料的支持，例如，大力发展非粮生物质液体燃料；利用可再生能源制氢，优化煤化工、合成氨、甲醇等原料结构；研发推广生物航空煤油、生物柴油、纤维素乙醇、生物天然气、生物质热解等生物燃料制备技术；研究利用电力合成燃料和化学品技术等。
- 美国 2023 年修订了《可再生燃料标准（RFS）》，规定了汽油或柴油的供应商在运输燃料掺入可再生能源的数量目标。欧盟在 2023 年 3 月分别通过了《替代燃料基础设施部署条例（AFIR）》和《可持续燃料航运减排条例》，支持可持续燃料技术发展。2023 年 10 月，欧洲理事会通过了新的《可再生能源指令》，提出到 2030 年，先进生物燃料和非生物来源可再生燃料（主要是可再生氢和氢基合成燃料）占交通部门可再生能源供应份额的 5.5%，其中非生物源可再生燃料占比的最低要求为 1%。

挑战

- 可持续燃料成本较高，与传统燃料相比不具备竞争力，并且市场上缺乏对可持续燃料明确的需求信号，制约了其大规模发展
- 中国目前可持续燃料相关标准仍不完善中，现存标准的边界和阈值与国际标准有所差距。
- 制备技术研发能力有待强化，研发投入不足，阻碍了技术突破；技术创新和成果转化方面还需更多努力。
- 未来，随着可持续燃料的大规模应用，其原料的来源可能存在不确定性。中国目前对于生物质废弃物尚未形成有效的收运体系，这些原料来源分散、收集困难，且价格不稳定。

机遇及建议

为了实现全球的净零目标，可持续燃料将在替代传统化石燃料方面做出巨大贡献。

- 政府需要加大对可持续燃料的政策支持，如为企业设定激励机制、对可持续燃料掺混比例设定要求、提供补贴政策等。
- 完善可持续燃料标准体系，为可持续燃料设立明确的标准和指南，集多方参与，制定行业标准。
- 开展试点示范项目，推动可持续燃料多元化、产业化发展，突破技术瓶颈，提升技术的经济性。



报告作者：

李蕴洁

liyunjie@cet.net.cn

孙阔

Sunkuo@cet.net.cn

冉泽

ranze@cet.net.cn



现状

为了应对气候变化，全球能源亟需向绿色低碳化转型，太阳能、风能等可再生能源正在快速发展，支撑着未来以新能源为主体的能源体系。然而，并不是所有的能源过程都可以实现电气化，如工业和交通等领域仍然需要使用燃料，因此，可持续燃料对于补充未来的能源结构以及实现净零排放至关重要。

本报告中可持续燃料主要包括生物燃料、绿氢和基于绿氢的燃料（由绿氢和二氧化碳生成的氨和碳氢化合物）。

生物燃料

是指由动植物等生物质转化而成的气体、液体或固体燃料，具有可再生、清洁低碳、原料丰富等优点，生物质能是继煤炭、石油、天然气后的第四大能源，目前在世界一次能源消费中比重约为 10%，是最为广泛的可再生资源。

绿氢

是指用可再生能源电解水制取的氢气。

氢基燃料

是指基于绿氢的一系列燃料，如绿色甲醇、绿氨等，由于其在制备中用到了可再生电力，通常也被称为电合成燃料（e-fuels）。

EDF 发布的《通往净零的路径：创新势在必行》^[1] 报告中指出，可持续燃料是可再生能源电力的必要补充，在不易实现电气化的领域具有良好的应用前景，可再生电力、电网连通性与储能、可持续燃料这三大能源技术是气候技术的基础^[1]。根据 IEA 的数据，2022 年可持续燃料仅占全球终端能源消耗的 1% 左右，主要来自液体生物燃料，而在 2050 年净零排放情景下，到 2030 年可持续燃料的占比将接近 5%。因此，需要更快地推广可持续燃料的生产和使用，以达到净零排放所要求的水平。

► 可持续燃料技术路线及发展现状

可持续燃料技术路线众多，常见的包括生物柴油、生物航空煤油、绿色甲醇、绿氨等，具体介绍如下：

► 生物柴油

生物柴油是指以植物油脂和动物油脂等为原料，通过酯交换工艺制成的再生性柴油燃料，具有十六烷值高、低硫、无芳烃等特点，可作为车用柴油调和组分，是国际公认的可再生清洁燃料。



生物柴油的原料来源丰富，可取自棉籽、油菜籽、大豆、米糠以及动物油脂。此外，榨油废渣和餐饮废油（即所谓的地沟油）也可利用。生物柴油可广泛用于交通领域的绿色低碳转型，可单独应用于柴油发动机，也可掺入普通柴油中混合使用。生物柴油中不含硫与芳香烃，与普通柴油相比，其燃烧尾气中不含硫的氧化物，有助于减少大气污染物和温室气体排放，是一种环境友好的绿色能源。

《生物质能发展“十三五”规划》

2020 年中国生物柴油的利用量目标是 200 万吨，市场利用规模约 118.68 亿元。

而 2021 年中国生物柴油市场规模远低于这一水平，可见国内生物柴油市场的利用潜力还未被有效开发。

▶ 生物航空煤油

生物航煤是以可再生资源为原料生产的航空煤油，原料主要包括餐饮废油、动植物油脂、农林废弃物等。与传统石油基航空煤油相比，全生命周期二氧化碳排放最高可减排 **50%** 以上。生物航空煤油被公认是世界航空运输业碳减排的可行解决方案，但不具备价格优势，约是普通航空燃料的 **2-4** 倍，必须通过政策激励措施才能够推动。到 2030 年，可持续航空燃料的年产量有望从 2021 年的 **1.25 亿** 升增加到 **300 亿升**^[2]，达到生产和利用的转折点。



现阶段SAF的主要技术路线



这四类技术路线是目前航空业普遍认为未来具有较大发展前景的路线，也是全球主要燃料提供商在重点关注的领域。脂类和脂肪酸类加氢处理的技术路线（HEFA）是将动植物油、废油或脂肪通过使用氢气（氢化）加工提炼成 SAF，该技术路线已处于成熟水平，目前绝大部分 SAF 的生产是采用该技术路线^[3]。

目前，国内外都十分重视可持续航空燃料的发展，为航空业减碳提供解决方案。中国石化镇海炼化是亚洲第一家获得全球 RSB（Roundtable on Sustainable Biomaterials）可持续生物航空燃料认证的企业，2022 年 12 月，加注中石化镇海炼化生物航煤的中国国际货运航空的商业货运航班完成国际首飞。2023 年底，英国维珍航空的一架波音 787 客机从伦敦希思罗机场飞往纽约，成为全球首架搭载 **100%** 的可持续航空燃料的洲际航班。

▶ 绿色甲醇

绿色甲醇主要包括生物甲醇和电合成甲醇。生物甲醇是以生物质为原料，通过热解气化，产生含有一氧化碳、二氧化碳、氢气的合成气，再经过催化剂合成生物甲醇，或者将生物质厌氧发酵产生的甲烷加氢重整，从而合成生物甲醇；电合成甲醇是以可再生能源电解水制取的氢气和可再生二氧化碳（空气中捕集的二氧化碳或来自生物质的二氧化碳）为原料，通过化学过程合成的甲醇。

表 绿色甲醇主要制备路线比较

对比项	生物质气化	生物质发酵	可再生二氧化碳加绿氢	生物质和绿氢耦合
原材料可获得性	秸秆等农作物容易获得，但受季节影响，以及我国的垃圾分类是弱项。		依赖可再生能源和二氧化碳捕集	依赖生物质、可再生能源
技术可获得性	已有技术并逐步完善	尚无明确技术进展	技术相对成熟并持续进步	已有技术，处于早期阶段
设备可获得性	市场上有供应商	尚不明确	设备价格较高，但有下降趋势	集成各类技术
规模化成熟度	有谋划中的商业规模化项目	不成熟	尚处于早期试验示范阶段，有谋划中的项目	尚处于早期示范阶段
未来降本潜力	技术优化、原材料	不适用	依托大量可再生能源和电解水技术进步	依托生物质、大量可再生能源和电解水技术进步
地域限制	中等(农林资源富集地区)		中等(绿电富集)	高等(农林、绿电均需富集)
适合场景	适合农村地区		适合绿电富集	
当前挑战	<ul style="list-style-type: none"> • 生物质收集 • 生物质预处理 • 根据生物质特性调整气化炉工艺 • 大规模投资以实现规模效应降本 	经济性过差	<ul style="list-style-type: none"> • 绿电(绿氢)成本 • 需要储氢罐和储能系统，将导致额外增加 20%–30% 固定资产投资 • 需要智能化系统整合调配综合能源 • 国内难以找到符合欧盟要求的二氧化碳来源 	结合生物质气化加绿氢的挑战
进步方向	<ul style="list-style-type: none"> • 建立稳定的、大规模的生物质收购渠道 • 改进生物质预处理技术以增加后续工艺流程效率 • 气化炉大型化仍是进步方向，以应对大规模投资生产降本 • 为扩大生物质来源，应加大对能源植物研发和种植 		<ul style="list-style-type: none"> • 光伏风电降本增效 • 电解槽降本增效 • 关键催化剂进步 • 储能降本增效 • 储氢技术进步 • 智慧能源系统 • 碳捕集降本增效 	结合生物质制及电制的进步方向

来源：上海元鳧能源科技有限公司

甲醇作为燃料，广泛用于道路交通和航运交通，作为原料，可以为化工行业提供充足后备。甲醇产业的下游体系较为健全，可以作为基础的化工原料用于生产各类化工产品，也可以作为燃料广泛应用于汽车、船舶、锅炉、供暖等领域。



道路交通方面

国内车企很早就涉足甲醇燃料和甲醇汽车产业。2005 年吉利开启甲醇燃料和甲醇汽车的研究，目前已掌握了甲醇汽车核心专利技术，具备了甲醇汽车整车研发、制造、销售的全链条体系能力。甲醇相比柴油能直接减少二氧化碳排放，并有效降低氮氧化物及颗粒物等污染物，是清洁的绿色能源。作为车用燃料，国家已将其纳入国家标准体系管理，2023 年 9 月，国家标准《M100 车用甲醇燃料》正式实施。



航运交通方面

COSCO, 马士基 (Maersk) 等大型航运公司都在积极推动绿色甲醇在船用替代燃料领域的应用。随着“双碳”政策的落地，目前全球范围内远洋航运企业对于甲醇等低碳燃料需求开始增长，但传统的燃料供应企业还未进行相关产能的布局。这就为新兴企业进入远洋航运领域的燃料供应体系带来了千载难逢的机会，通过科技攻关和积极布局，有可能实现在远洋航运领域能源供应的突破，重塑航运领域的能源供应体系。

2022 年 6 月，中国自主研发的首艘 4.99 万吨甲醇双燃料化学品 / 成品油船正式交付，同年 9 月，中国石化燃料油公司为该船首航加注 90 吨甲醇燃料，成为国内第一个开展甲醇燃料加注作业的船燃供应企业。

▶ 绿氨

绿氨主要是以可再生能源电解水制取的氢气以及空气中的氮气为原料，再通过一定的合成工艺生产的氨气。氨目前是世界上生产及应用最广泛的化学品之一，主要用于工业、农业等领域，制作硝酸、化肥等产品，未来，随着可再生能源的广泛应用，绿氨可以向能源和交通等领域拓展，用于船舶航运燃料、发电等场景。绿氨的能源密度高于氢气，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^[4]。



根据国际可再生能源署的估算，为了满足《巴黎协定》中全球气温上升控制在 **1.5** 摄氏度以内的目标，到 2050 年全球将新产生亿吨级的绿氨需求量。据英国劳氏船级社预测，在 2030-2050 年间，氨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。

绿氨制备方面

中国、中东、日韩等可再生能源体系发达、氨需求大的国家及地区均已布局了绿氨的示范工程，中国最大的绿氨合成绿氨示范项目——大安风光制绿氨合成氨一体化示范项目正在建设中。

绿氨应用方面

日本、韩国和欧盟在绿氨船舶燃料方面的技术研发、产研结合和商业化试点走在世界前列，中国、韩国、日本和欧洲等国都十分重视航运业的氨燃料动力船舶的研究和开发，中国船舶、川崎、现代重工等企业陆续宣布了氨动力船舶的研发和交付计划。

然而，目前绿氨的主要技术工艺尚未完全成型，绿氨制备工艺主要是基于传统的哈伯法进行改良，绿氨合成的变革性技术电催化合成氨仍处于实验室研发阶段，由于催化剂活性有限、阴极析氢反应竞争激烈等原因，现有大多数研究所能实现的产氨速率和法拉第效率仍然十分有限，需要通过进一步的创新突破技术瓶颈。

► 可持续燃料国内外政策

► 国内政策

随着“双碳”目标的提出，中国一直在推动可再生能源的发展，出台了一系列的政策支持，也为可持续燃料发展提供了更多清洁能源保障。

► 《“十四五”可再生能源发展规划》

2022年，国家发改委等部委印发并提出，要大力发展非粮生物质液体燃料。积极发展纤维素等非粮燃料乙醇，鼓励开展醇、电、气、肥等多联产示范。支持生物柴油、生物航空煤油等领域先进技术装备研发和推广使用。

► 《工业领域碳达峰实施方案》

2022年，工信部等部委印发并提出，鼓励有条件的地区利用可再生能源制氢，优化煤化工、合成氨、甲醇等原料结构。

► 《科技支撑碳达峰碳中和实施方案》

2022年，科技部等部委印发并提出，研发推广生物航空煤油、生物柴油、纤维素乙醇、生物天然气、生物质热解等生物燃料制备技术；研究将电力转换成热能、光能，以及利用电力合成燃料和化学品技术，实现可再生能源电力的转化储存和多元化高效利用。

在道路交通方面：

► 《在部分地区推广应用甲醇汽车的指导意见》

2019年3月，工信部等八部委联合发布并提出重点在山西、陕西、贵州、甘肃等资源禀赋条件较好且具有甲醇汽车运营经验的地区推广应用甲醇汽车。2021年9月，甲醇汽车被纳入国家汽车工业统一管理范畴。

► 《“十四五”工业绿色发展规划》

2019年11月份，工信部提出，推进二氧化碳耦合制甲醇等降碳技术的推广应用，将甲醇汽车纳入绿色产品，促进甲醇汽车等替代燃料汽车推广。

> 《M100车用甲醇燃料》

2023年9月，国家标准《M100 车用甲醇燃料》正式实施。至此，中国甲醇汽车推广应用完成了发展政策、行政管理、技术标准、市场准入规范和组织推广应用规范化闭环管理体系。

民航方面：

> 《绿色航空制造业发展纲要(2023—2035年)》

2023年10月，国家提出要在“十四五”期间推动可持续航空燃料商业应用并取得突破，工信部等四部门联合发布并提出到2035年，新能源航空器成为发展主流。其中，可持续航空燃料、电动飞机、氢能航空将成为发展绿色航空的重点方向。

航运方面：

> 《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》

2022年7月，中国船级社（CCS）编制，已于2022年7月生效。该指南对甲醇储存、加注、供应及燃料发动机等方面制定了技术要求，为甲醇在船上的使用提供技术标准。

▶ 国际政策

国际政策上，2023年7月，美国修订了《可再生燃料标准（RFS）》^[5]，该标准由美国环保署（EPA）管理，使用可再生能源证书（RINs）和可再生能源义务（RVOs）作为管理工具，规定了汽油或柴油的炼油商和进口商（义务方）在运输燃料掺入可再生能源的数量目标，此次修订的RFS确立了2023年至2025年纤维素生物燃料、生物质柴油、先进生物燃料和总可再生燃料的适用量和百分比标准。欧盟在2023年3月分别通过了《替代燃料基础设施部署条例（AFIR）》^[6]和《可持续燃料航运减排条例》，为交通领域充电及加氢基础设施、海运和内河港口的岸电供应设定了强制性部署目标，确保为欧盟境内公路、海运及航空提供充足便利的替代燃料基础设施建设，支持可持续燃料技术发展。2023年10月，欧洲理事会通过了新的《可再生能源指令》^[7]，提出到2030年，先进生物燃料和非生物来源可再生燃料（主要是可再生氢和氢基合成燃料）占交通部门可再生能源供应份额的**5.5%**，其中非生物源可再生燃料占比的最低要求为**1%**。同时，欧盟理事会通过了ReFuelEU航空法规，加大对可持续航空燃料（SAF）的支持，规定到2025年可持续航空燃料（SAF）含量必须达到**2%**，2030年达到**6%**，2050年达到**70%**。

挑战

由于全球范围内可持续燃料总量有限，产能地区性差异巨大，不同国家和地区关于可持续航空燃料的规则呈明显的差异化趋势。中国可持续燃料生产技术的不断迭代的同时，在彻底替代化石能源上面临诸多挑战。



▶ 可持续燃料成本较高，需求不足

当前大部分可持续燃料的成本都高于传统化石燃料，在市场上不具备竞争力，制约了其大规模发展。例如，绿色甲醇的生产一方面需要通过绿电制备绿氢，另一方面需要从空气中捕集二氧化碳，其成本会受到产业链各环节的影响，如绿电、电解槽、碳捕集等。生物航空煤油目前的价格约是传统燃料的 2-4 倍，高价的燃料会直接影响航空公司盈利。此外，市场上缺乏对可持续燃料明确的需求信号，没有足够的意愿为燃料的脱碳属性付出额外成本，这都限制了可持续燃料的大规模应用，需要采取政策手段或通过技术突破实现降本增效。



▶ 亟需加快制定可持续燃料的国家标准，并推动与国际标准接轨

中国的可持续燃料中，未发布绿氢及其衍生品国家标准，仅有《低碳氢、清洁氢与可再生能源氢的标准与评价》（已发布）、《绿色合成氨分级标准》（启动编制）和《绿色甲醇分级标准》（启动编制）等团体标准，现存标准的边界和阈值与国际标准有所差距。生物航煤方面，镇海炼化分公司油脂加氢（HEFA）路线生物航煤产品通过可持续生物材料圆桌会议（RSB）认证，该认证是中国生物航煤产品获得的第一张全球可持续性认证证书，表明镇海炼化生物航煤装置原料、生产工艺及产品均符合 RSB 生物燃料可持续发展的基本原则与标准。



➤ 制备技术研发能力有待强化

虽然中国的可持续燃料研发能力上已经取得了一定进展，但仍存在以下挑战：第一，研发投入不足，尽管中国政府一直支持科技创新和可再生能源发展，但在可持续燃料的资金投入上相对较少，一定程度上阻碍了新技术的涌现和应用；第二，技术创新和成果转化方面，虽然有了诸如“液体阳光”等新兴示范项目，但将这些研究成果和试点示范转化为商业化应用还需更多努力。



➤ 可持续燃料的原料来源可能成为未来的潜在风险

未来，随着可持续燃料的大规模应用，其原料的来源可能存在不确定性。生物燃料目前的主要原料为非粮食的有机质，如餐饮废油、动植物油脂、农林废弃物等，绿色甲醇的生产中也会用到生物来源的二氧化碳。然而，中国目前对于这些生物质废弃物尚未形成有效的收运体系，这些原料不仅来源分散、收集困难，而且价格不稳定。国际能源署指出，到 2027 年前，作为传统的生物燃料原材料，可用的废油和油脂残渣将出现短缺，届时，生物燃料生产商可能会加大对大豆油、菜籽油等植物油的购买力度以生产生物燃料，然而这将会和粮食系统产生竞争，带来新的风险。因此，未来应探索更加多元化的原料来源，减少潜在风险。

机遇及建议



➤ 机遇

为了实现全球的净零目标，可持续燃料作为能源领域的一大支柱，将在替代传统化石燃料方面做出巨大贡献。IEA 在最新发布的《可再生能源 2023》报告中预测，2023-2028 年间，生物燃料的总需求将增长 **23%**，达到 **2000 亿升**。在《电合成燃料在交通脱碳中的作用》报告中提出，到 2030 年，在廉价可再生能源电力的大规模推广和电解槽成本降低的推动下，电合成燃料的规模将迅速扩大。



加强对可持续燃料的政策支持

政府需要加大对绿色甲醇、绿色航煤、绿色航运燃料等低碳交通运输模式及特定燃料的政策支持，通过政策激励实现降本增效。例如，为企业设定激励机制，鼓励企业采用符合可持续燃料标准的技术和产品，促进可持续发展。此外，可以对可持续燃料在传统交通运输燃料中的掺混比例提出要求，同时给予一定的支持和补贴政策，提升可持续燃料的需求量，推动产业发展。



建立可持续燃料标准体系

为可持续燃料设立明确的标准和指南，集多方参与，制定行业标准。制定清晰、具体的可持续燃料标准，包括对各种可再生能源的生产、采集、转化和使用过程中的环境和社会影响的考量。这些标准可以涵盖生产、质量、排放等方面，确保可持续燃料符合特定的环境和社会标准。在标准制定过程中，应该广泛征求各方意见，包括政府、行业协会、科研机构、企业和民间组织等利益相关者的参与和建议，确保标准制定的全面性和合理性。



建立试点示范，推动技术创新

可持续燃料技术路线众多，但目前大多还处于技术发展初期或进行了小规模示范，还未实现大规模的市场化运行。当前，中国规划布局的绿色甲醇项目近 20 个，但真正投产、商业化运营的项目仅 2 个，分别位于河南安阳和江苏连云港，其余项目均暂未开始。未来，还需要进一步的开展试点示范项目，推动可持续燃料多元化、产业化发展，突破技术瓶颈，提升技术的经济性。

参考文献

- [1] EDF (2022), Pathways to Net Zero: The Innovation Imperative. EDF+BUSINESS.
- [2] 中国能源报 (2023), 可持续燃料助力航空业减少碳排放http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2023-02/07/nw.D110000renmrb_20230207_2-17.htm
- [3] 北京大学能源研究院 (2022), 中国可持续航空燃料发展研究报告：现状与展望
- [4] 毕马威 (2022), 固碳、储氢、航运燃料、掺混发电：绿氨行业概览与展望
- [5] EPA (2023), Renewable Fuel Standard (RFS) Program: Standards for 2023 – 2025 and Other Changes; Correction
- [6] European Union (2023), European Green Deal: ambitious new law agreed to deploy sufficient alternative fuels infrastructure, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1867
- [7] European Union (2023), Renewable Energy Directive: Revised Directive EU/2023/2413
- [8] IEA (2024), Renewables 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>
- [9] IEA (2023), The Role of E-fuels in Decarbonising Transport, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-role-of-e-fuels-in-decarbonising-transport>



EDF中国官网二维码



EDF中国公众号二维码

了解我们