



上海现代服务业联合会
Shanghai Services Federation

Rx 荣续智库

新能源汽车行业ESG白皮书

(氢能 · 甲醇 · 生物质 · 天然气 · 太阳能类)

摘要

新能源汽车的赛道已从“电动单一解”转向“多元能源共生”。氢能的清洁、甲醇的灵活、生物质的循环、天然气的成熟、太阳能的自主——这些能源形态，正以技术融合的方式重塑汽车产业的ESG底色。本白皮书聚焦多元动力新能源汽车的ESG实践，拆解不同能源路线的减碳逻辑、产业协同与落地挑战，试图为“绿色出行”找到可落地的可持续路径。



PREFACE

前言

在全球能源转型与ESG理念深度绑定的当下，新能源汽车产业已跳出“纯电独大”的单一叙事，进入“多元动力协同发展”的新阶段。

过去十年，纯电动汽车的规模化普及让“电动化”成为新能源汽车的标签，但单一技术路线的局限性也逐渐显现。充电基础设施的区域失衡、动力电池的资源依赖、极端场景下的补能焦虑，都让产业意识到“净零出行”需要更多元的能源方案。氢能的零碳闭环、甲醇的资源适配性、生物质的循环经济价值、天然气的过渡减排优势、太阳能的能源自主潜力，这些不同属性的能源形态，正以技术融合的方式，共同支撑起汽车产业的ESG底色。

本白皮书以“多元动力”为锚点，系统梳理全球新能源汽车的能源路线演进，不同区域基于资源禀赋与政策导向，走出了差异化的ESG落地路径。我们期望这份白皮书，不仅是多元动力新能源汽车的产业全景扫描，更能成为连接技术、产业、资本与政策的纽带，让从业者看见不同路线的差异化价值，让投资者识别ESG实践中的真实减碳效能，让政策制定者把握“包容式创新”的产业节奏，共同推动新能源汽车产业从“规模扩张”转向“可持续发展”，真正实现“出行零碳”的长期价值。

ANALYST

研究员

刘思芮

CFA ESG证书: 106254819

张隼卿

CFA ESG证书: 103878094

王菁

高级注册ESG分析师: 24RZQLKC000059A

碳管理师: CHINAETSCM20250010092

国际通用ESG策略师: SH1529FCA0556

李梓辰

CFA ESG证书: 162302774

邵富添

高级注册ESG分析师: 25RZQLKC004680A

张祖辉

高级注册ESG分析师: 25RZQLKC002892A

朱婵瓊

高级注册ESG分析师: 25RZQLKC002829A

郑贞福

高级注册ESG分析师: 25RZQLKC000933A

宋伟栋

CFA ESG证书: 102606886

高级注册ESG分析师: 24RZQLKC003312A

碳管理师: CHINAETSCM20250010027

张汀楠

高级注册ESG分析师: 25RZQLKC000459A

碳管理师: CHINAETSCM20250010060

丁凯楠

高级注册ESG分析师: 25RZQLKC004128A

解春雷

高级注册ESG分析师: 25RZQLKC003766A

陈磊

高级注册ESG分析师: 24RZQLKC600977A

碳管理师: CHINAETSCM20250010247

刘秀勇

高级注册ESG分析师: 24RZQLKC603333A

李懿黎

高级注册ESG分析师: 24RZQLKC601513A

杜鑫

高级注册ESG分析师: 25RZQLKC000556A

碳管理师: CHINAETSCM20250010183

CONTENTS

目录



第一章 多元动力新能源汽车概览

- 07 多元动力的发展
- 15 多元动力的价值链
- 16 石油类替代动力燃料的发展

第二章 全球多元动力新能源汽车的发展状况

- 35 欧洲
- 37 日本
- 46 韩国

第三章 主要动力能源的实践分析

- 53 氢能
- 64 甲醇
- 73 生物燃料
- 87 天然气
- 97 太阳能

第一章 多元动力新能源汽车概览

第一节 多元动力的发展

在全球“双碳”目标引领下，新能源汽车产业已成为推动交通领域脱碳、助力全球能源转型的核心抓手，亦是各国产业竞争的战略焦点。据国际能源署（IEA）《2025 年全球电动汽车展望》数据显示，2024 年全球新能源汽车销量突破 1700 万辆，渗透率首次超过 20%，产业规模化发展态势明确。

一、不同动力路线的比较

在锂电池等电池类动力路线成为市场主流的同时，新能源汽车动力技术已进入多路线并行迭代的新阶段。从依托生物质资源的乙醇、生物柴油等生物燃料，到基于化石能源清洁化利用的天然气、醇醚类燃料，再到聚焦零碳未来的太阳能动力与氢能、甲醇等新型低碳燃料，多元化的动力解决方案正逐步打破传统燃油的垄断格局，为交通领域的绿色转型提供了丰富路径。

在众多技术路线中，氢能与甲醇燃料因其全生命周期低碳属性、能源存储与转化的灵活特性，以及对长途运输、远洋航运等纯电技术难以覆盖场景的适配能力，成为当前产业聚焦的核心方向，更是推动新能源汽车产业从“部分替代”迈向“全面替代”的突破口。与此同时，天然气与生物燃料作为当前技术成熟度高、规模化应用基础扎实的重要路径，同样是交通领域绿色转型的核心支撑，其产业升级与技术优化进展亦对全局转型成效具有重要影响。不同燃料相关的技术演进与产业布局，共同构成了全球新能源交通的核心发展格局，深刻影响着行业转型的节奏与方向。

表 1: 不同动力路线的比较 (部分动力类别)

特征维度	燃油车	电池车 (BEV/PHEV)	氢燃料电池车	甲醇燃料车 (以醇电混动为例)
市场规模	全球主导，但份额持续下滑	快速扩张，纯电年销超千万级	示范推广期，规模较小	特定区域和场景应用，规模有限
增长趋势	逐年萎缩	高速增长	政策驱动稳步增长	技术成熟，生态初建 (如吉利醇氢生态)
典型应用场景	全场景覆盖，尤其其中长途、重载	城市乘用车、短途物流、公交	商用车 (重卡、公交)、特定区域	商用车 (重卡、船舶)、固定发电、特定区域补充能源

特征维度	燃油车	电池车 (BEV/PHEV)	氢燃料电池车	甲醇燃料车 (以醇电混动为例)
能源基础设施	加油站网络极完善	充电网络快速建设，快充桩投资占比高	加氢站严重稀缺，建设成本高	可改造现有加油站，基础设施要求相对较低
能源获取便利性	极高	较高 (但快充和超充网络仍需完善)	极低 (加氢站稀少，中国 2025 年目标建设约 70 座)	较高 (特别是甲醇产区)
政策支持力度	逐步退坡，部分区域限制使用	全球范围内强力支持 (购置补贴、税费减免)	高强度支持 (示范城市群、加氢站建设补贴)	支持 (但政策明晰度和支持力度常不及纯电和氢能)
技术成熟度	非常成熟	高度成熟，持续迭代	核心技术成熟，储运降本和耐久性待突破	技术成熟 (如吉利已深耕超 20 年)，适用场景清晰
初始购置成本	相对较低	较高，但电池成本持续下降	昂贵，系统成本高	介于燃油车和纯电车之间
能源使用成本	受油价波动影响大	低 (电费远低于油费)	极高，绿氢制备成本高	具有经济性，燃料成本较低
环境效益 (减排)	高碳排放	使用阶段零排放 (电力清洁度影响全周期)	使用阶段零排放 (“绿氢”全周期近零排放)	低于燃油车 (使用绿色甲醇可显著减排)

从上述对比表可以看出，不同类型的汽车在全球市场中呈现出差异化的发展态势。燃油车尽管仍占据主导地位，但其市场份额正逐渐被新能源车型蚕食，尤其是在政策限制和环保压力的双重作用下，增长已显疲态。

相比之下，电池车凭借技术进步和政策支持，市场规模快速扩大，成为当前新能源汽车市场的主力。氢燃料电池车和甲醇燃料车虽然目前规模较小，但各自在特定场景中展现出独特优势。氢燃料电池车主要应用于商用车领域，特别是在重卡和公交等需要长续航的场景中备受关注；而甲醇燃料车则依托现有基础设施改造的便利性，在固定区域和特定用途中逐步推广。

二、不同动力路线的发展情况

一、燃油车

在全球范围内正面临着日益严峻的政策环境，各国政府纷纷出台措施逐步削减对传统燃油车的支持力度。欧洲和北美地区由于较早实施严格的碳排放法规和禁售燃油车时间表，传统燃油车销量下滑尤为明显。例如，德国计划在 2035 年全面禁售燃油车，挪威等北欧国家甚至将这一期限提前至 2025 年，这直接导致当地燃油车库存积压严重，部分车企不得不通过大幅降价来清理库存。与此同时，新兴市场虽然仍是燃油车的重要阵地，但随着中国、印度等国家新能源汽车产业链的成熟和出口能力的增强，燃油车在这些市场的价格优势也在逐渐减弱。

二、电池车 (BEV/PHEV)

政策上，电池车在全球新能源汽车发展浪潮中获得了各国政府的政策支持力度。从中国到欧洲，从北美到亚洲，各国政府纷纷出台一系列强有力的扶持政策，为电池车的普及推广创造了极为有利的发展环境。

这些支持政策体系涵盖了购车全周期的各个环节，主要包括高额的新能源汽车购置补贴政策，大幅降低消费者购车成本；全方位的税费减免措施，包括购置税、车船税等多项税收优惠；部分城市还提供免费的新能源汽车专用牌照，解决限牌城市的上牌难题；此外，电池车还享有城市道路通行权优先等特殊待遇，如公交专用道使用权、不受限行政策限制等。

这一系列组合式的政策支持，充分体现了各国政府推动绿色交通转型的决心，也为电池车市场的高速发展提供了强劲动力。其市场规模快速扩张，已成为当前新能源汽车市场的绝对主力，增长迅速。

尤其是在纯电动车领域，其迅猛发展的趋势主要得益于动力电池技术的持续进步与创新，包括能量密度的显著提升、充电速度的不断加快以及电池寿命的有效延长；同时，全球范围内充电基础设施的加速完善，特别是快充桩和超充网络的广泛布局，极大地缓解了消费者的续航焦虑；再加上各国政府对环保车型的大力推广以及消费者环保意识的日益增强，共同推动了电池车市场的繁荣。

三、氢燃料电池车 (FCEV)

相较于锂电池，氢燃料电池更能适配长续航、高温、高寒等工况需求。尽管目前氢燃料电池车仍处于示范推广的初级阶段，但其长远的发展势头不容小觑。作为一种清洁能源汽车，氢燃料电池车在全球范围内获得了显著的政策支持，尤其是在中国、日本、韩国和美国加州等主要市场。这些地区通过示

范城市群奖励政策等具体措施，为氢燃料电池车的推广提供了强有力的保障。政策支持不仅体现在车辆购置环节，还延伸至加氢站等基础设施建设领域，形成了完整的产业链扶持体系。以中国为例，示范城市群政策通过财政补贴、税收优惠等多种方式，大幅降低了车企和消费者的使用成本。日本和韩国则通过国家战略推动氢能产业发展，加州则凭借其严格的环保法规和激励政策，共同构建了氢燃料电池车发展的良好政策环境。这种全方位的政策支持体系，为氢燃料电池技术的商业化应用创造了有利条件。

在各国积极的政策驱动下，氢燃料电池车的市场规模呈现出稳步提升的态势，特别是在商用车领域，如重卡、公交等，凭借其长续航、高功率和快速加氢等特点表现尤为突出。例如，中国明确提出到 2025 年实现氢燃料电池汽车保有量达到 5 万辆的目标，并且在多个示范城市群给予了大力的政策支持和资金补贴。不过，由于加氢站等基础设施建设成本极为高昂，单座加氢站的建设成本往往高达数百万甚至上千万，而且目前覆盖范围十分有限，难以满足大规模推广的需求，这在很大程度上导致氢燃料电池车的普及速度相对缓慢，市场规模的扩大面临着较大的挑战。

中国市场：政府制定了清晰的燃料电池汽车产业发展路线图，通过政策引导和资金支持双轮驱动产业发展。以辽宁大连 550 亿元的东北亚氢基能源加注基地项目为例，该项目是中国当前规模最大的氢能基础设施建设项目，建成后将形成完整的氢能产业链，包括制氢、储运、加注等环节，预计将大幅提升中国在氢能领域的技术水平和产业规模。

美国市场：持续保持全球领先地位，这一优势主要源于两个关键因素。一是企业持续加大研发投入力度，在技术创新方面保持竞争优势；二是得益于政府出台的一系列支持性政策计划，特别是美国《通胀削减法案》中对清洁能源产业的大规模激励措施。

欧洲市场：各国正持续加大对气候中和技术的投资力度，其中德国和英国在氢能应用领域处于全球领先地位。作为欧洲经济强国，德国政府计划投入数十亿欧元建设氢能基础设施；而英国则凭借其能源转型政策体系，在海上风电制氢等创新技术方面取得突进展。与此同时，欧盟层面推出的绿色协议和碳边境调节机制 (CBAM) 正在重塑欧洲能源格局，这些政策加速了传统高碳行业的转型。

四、甲醇燃料车 (以醇电混动为例)

甲醇燃料车的应用场景主要集中在特定区域和一些重点行业，虽然其整体市场规模相对有限，但却具备诸多独特的竞争优势。其发展得益于区域性的政策支持以及在特定场景下展现出的经济性 (如远程醇氢电动系统声称最低发电成本仅需 0.85 元/kWh)。依托吉利等领军企业长达 20 余年的技术深耕与积

累，甲醇燃料车在技术层面已日臻成熟，目前已在商用车、船舶以及固定发电等多个领域展现出巨大的发展潜力和广阔的应用前景。

相较于氢燃料电池车和纯电动车等其他新能源车型，甲醇燃料车的基础设施改造难度相对较低，可充分利用现有的加油站网络进行适度升级改造，无需大规模新建专门的燃料补给设施，这在很大程度上降低了推广应用的成本和难度。此外，在甲醇资源丰富的地区，如具有煤炭资源优势可通过煤化工生产甲醇的区域，其能源获取的便利性和经济性表现得尤为显著，能够为甲醇燃料车的广泛应用提供坚实的基础保障，进一步凸显了其在特定场景下的发展价值和市场竞争力。

中国市场：甲醇汽车的推广主要集中在山西、陕西、贵州、甘肃等资源型省份。这些地区不仅具备甲醇生产的资源优势，还得到了地方政府的大力支持。以甘肃省为例，该省制定了明确的发展目标，到2025年底，全省甲醇汽车保有量要突破1万辆。在具体实施层面，甘肃省采取了“政府引导、市场运作”的模式，重点在城市公共交通、机关公务用车、邮政运输、城市管理、市政工程等公共服务领域优先采购甲醇汽车，通过示范效应带动私人消费市场的发展。

欧洲市场：甲醇汽车的发展则呈现出完全不同的特点。这些国家将重点放在绿色甲醇在船舶领域的应用上，这主要是为了应对国际海事组织（IMO）提出的减排战略。北欧国家利用其领先的可再生能源技术和完善的碳捕集体系，致力于开发基于生物质能和可再生能源的绿色甲醇，为航运业的低碳转型提供解决方案。这种差异化的发展路径充分体现了甲醇燃料应用的多样性，也反映出不同地区根据自身资源禀赋和发展需求制定的特色化发展策略。

美国市场：甲醇汽车在美国的发展则呈现出独特的路径，主要集中于特定的工业领域和区域。美国的甲醇汽车产业更多依托其强大的化工基础和成熟的市场机制，尤其是在天然气资源丰富的地区，甲醇生产成本较低，为甲醇燃料车的推广提供了经济性支撑。此外，联邦政府和部分州政府对替代燃料技术的支持政策也为甲醇汽车的发展注入了动力。例如，加利福尼亚州作为全美环保政策最为严格的地区之一，通过清洁燃料标准（LCFS）等政策鼓励甲醇燃料的应用，特别是在物流运输和重型卡车领域。这些政策不仅推动了甲醇燃料在商用车市场的渗透，还促进了相关基础设施的逐步完善，包括甲醇加注站的建设以及现有加油站的改造升级。与此同时，一些大型物流企业开始尝试使用甲醇燃料车作为传统柴油车的替代方案，在降低碳排放的同时也减少了运营成本，这种模式正在逐步向其他州扩展。

五、生物燃料汽车

生物燃料作为一种可再生能源的发展进程，与其原料产地的地理分布、气候条件以及当地政府的能源支持政策密切相关。具体而言，生物燃料的原料种植需要特定的自然环境，如适宜的温度、降水和土壤条件，这决定了原料产地的区域分布；同时，各国政府制定的生物能源补贴政策、碳排放交易机制等能源政策，也会直接影响生物燃料产业的投资规模和技术研发方向。因此，生物燃料能否实现规模化生产并替代传统化石能源，既取决于原料产地的自然资源禀赋，也依赖于国家层面的能源战略规划和政策支持力度。

中国：中国生物燃料产业呈现鲜明的区域化发展格局，其路径高度依赖地方资源禀赋与政策导向。东部沿海地区，如长三角，依托港口优势重点发展生物航煤（SAF）和船用燃料油，对接国际航运减排需求；传统农业大省则聚焦于利用秸秆等资源生产生物乙醇或生物柴油；而广东等政策创新区正积极探索生物制氢等前沿技术。然而，整个产业面临的核心制约在于成本竞争力不足，其根源是原料收集体系效率偏低和高昂的生产成本。未来破局的关键在于通过技术创新（如酶制剂、合成生物学）持续降本增效，并完善全国性的可持续原料回收与供应网络，才能在能源转型中占据更重要的生态位。

北美和欧洲：这些地区在生物燃料应用领域处于全球领先地位，已经建立了相当成熟的生物燃料掺混体系，并制定了具有法律约束力的强制性添加标准。以美国为例，其通过实施可再生能源标准（Renewable Fuel Standard，简称RFS）政策，明确规定了不同种类生物燃料在交通燃料中的最低掺混比例，这种完善的制度设计不仅确保了生物燃料的市场需求，也为相关产业链的发展提供了稳定的政策保障。欧洲各国同样建立了类似的法规体系，通过立法手段推动生物燃料在交通运输领域的规模化应用，这些措施充分体现了欧美国家在可再生能源推广方面的政策先进性和执行力度。

巴西：作为全球可再生能源领域的先驱国家，在生物燃料应用方面处于世界领先地位。这个南美大国拥有全球最成熟的生物燃料产业体系，特别是在交通领域的应用尤为突出。据统计，巴西道路上行驶的灵活燃料车（FFV）占比高达76%，这一数字远超其他国家，充分展现了巴西在清洁能源汽车推广方面的卓越成就。作为国家能源支柱的巴西石油公司（Petrobras）正在积极布局未来能源市场，投入巨资建设多个现代化生物精炼厂。这些新型工厂将专注于生产高端生物燃料产品，包括可再生柴油（HVO）和可持续航空燃料（SAF），以满足国内外日益增长的清洁能源需求。巴西的这一系列举措不仅巩固了其在全球生物燃料领域的领导地位，也为世界能源转型提供了宝贵经验。

东南亚：凭借得天独厚的热带气候条件，拥有全球最丰富的棕榈油资源储备。该地区各国政府正积极推动生物柴油产业发展，将其作为可再生能源战略的重要组成部分。其成本主要受原料价格主导（占比高达 85%-90%）。以废弃油脂为原料的生物柴油成本约为 1500-3000 元/吨，而采用植物油（如棕榈油）则成本可能超过 10000 元/吨。马来西亚、印度尼西亚等主要棕榈油生产国通过政策扶持和技术创新，逐步建立起完整的生物柴油产业链。然而，这种发展模式也引发了广泛的环境争议，包括大规模毁林开荒导致的生态系统破坏、生物多样性丧失，以及由此产生的碳排放增加等问题。如何在经济发展与环境保护之间寻求平衡，已成为该地区可持续发展面临的重要挑战。

三、不同动力路线的基础设施情况

基础设施的完善程度是制约各类燃料汽车发展进程的关键性因素，其重要性体现在多个层面。无论是传统燃油汽车、新能源汽车还是其他替代能源汽车，都需要配套的基础设施作为支撑。以充电桩网络为例，其覆盖密度和分布合理性直接影响着电动汽车用户的出行便利性和使用体验。同样，加氢站的布局 and 数量也决定着氢燃料电池汽车的推广速度。此外，包括道路条件、停车设施、维修服务网络等在内的基础设施配套水平，都会对各类燃料汽车的市场接受度和普及程度产生深远影响。可以说，完善的基础设施体系是推动汽车产业转型升级的重要保障。

1. 电动车

在新能源汽车基础设施建设领域，不同类型能源补给设施的发展呈现出显著差异。充电网络（主要为纯电动汽车服务）的发展势头迅猛。特别是直流快充桩的投资力度持续加大，在整体充电桩布局中占据重要地位。目前，中国已经成功构建了全球规模最大、覆盖范围最广的充电基础设施网络，为电动汽车的普及提供了坚实保障。凭借其成熟的产业链、相对低廉的使用成本和便捷的充电网络，预计将继续保持其在城市短途通勤、轻型物流配送、共享出行等领域的市场主导地位。特别是在人口密集的城市地区，BEV 的零排放特性使其成为改善城市空气质量的首选方案。

2. 氢燃料电池车

相比之下，加氢站（服务于氢燃料电池汽车）的发展面临诸多挑战。由于氢气在物理特性、储存方式、安全要求上与传统汽柴油存在代际差异，使得“改造”这条路在技术和经济上均不可行。当前更现实的路径是“合建”，即在同一地块上并行建设两套独立的系统。这类设施目前是各类新能源补给站中最

稀缺的资源，且建设成本居高不下，单个站点的建设投入可能高达 1000 万元以上。当前最大的障碍是高昂的成本。不仅整车制造成本高（燃料电池系统价格昂贵），更重要的是“绿氢”的制备、储存和运输成本极高。目前绿氢的成本约为 30-40 元/公斤，目标是到 2030 年降至 15 元/公斤左右。

但同时由于其快速加注和长续航的特点，有望在长途重型货运、高强度连续作业的商用车领域（如港口牵引车、矿区自卸卡车、长途客车）以及特定区域的公共交通系统中发挥独特优势。在寒冷地区，FCEV 的低温性能优势也将使其获得更多应用机会。

截至 2025 年初，全国范围内建成的加氢站仅有 540 座左右，其中能够满足乘用车需求的 70MPa 高压加氢站占比不足 10%，这一现状严重制约了氢燃料电池乘用车的商业化推广。值得注意的是，大连正在推进的氢基能源基地项目已规划了加氢功能，为区域氢能发展提供了示范。

3. 甲醇/生物燃料汽车

在替代燃料领域，甲醇/生物燃料加注设施展现出明显的成本优势。甲醇加注站可以通过对现有加油站进行适度改造来实现，单站改造成本控制在 15 万元左右。其经济性高度依赖于甲醇价格。煤基甲醇成本较低（约 1800 元/吨），但碳排放高；绿色甲醇环保但成本高昂（约 3000 元/吨）。吉利推出的醇电混动技术声称在特定场景下具有发电成本优势。中国山西省在这方面走在前列，其甲醇加注网络覆盖率已达到 60%。生物柴油因其与传统柴油的高度兼容性，仅需在现有加油站增加储罐和加注设备即可实现功能扩展，单站改造成本约 5 万元，具有显著的经济性优势。

生物燃料的发展路径则更为依赖强制性的掺混政策驱动，比如美国通过可再生燃料标准（RFS）强制要求燃料供应商掺混一定比例的生物燃料，中国则通过乙醇汽油试点（如 E10）在部分省份逐步推广，这种政策设计虽然能够创造稳定的市场需求，但也反映出生物燃料产业尚未形成自发的市场化发展机制。

不过作为重要的过渡方案和特定场景的补充，甲醇燃料凭借其储运便利性和相对成熟的产业链，在远洋船舶、内河航运等领域的应用前景尤其被看好。而生物燃料则将继续通过与传统燃油掺混的方式，在现有燃油车体系中发挥减排作用，并逐步向可持续航空燃料（SAF）等高端领域拓展，为航空业的碳减排提供重要支撑。

参考文献:

第二节 多元动力的价值链

新能源燃料价值链的核心环节聚焦原料层与生产层，二者共同决定燃料产品的“经济性、可持续性、安全性”三大核心属性。其中，原料层作为价值链源头，直接影响资源供给稳定性与初始碳足迹，是全产业链绿色化的基础；生产层作为价值转化关键，其技术成熟度与能效水平直接决定燃料生产成本、产品纯度及环境友好性，是衔接原料与终端应用的核心枢纽。

一、原料层：源头核心与选择逻辑

原料层作为新能源汽车动力价值链的“源头核心”，其资源属性（核心为可再生性与低碳性）直接决定燃料产品的市场竞争力与 ESG 价值，是全产业链绿色化的基础保障。基于“资源可得性、技术适配性、ESG 兼容性”三大核心原则，非锂电新能源动力的原料体系明确聚焦氢能、甲醇、生物燃料、天然气、太阳能五大品类。

表 2：新能源燃料原料层特性

原料类型	核心来源	技术适配方向	2024 年供应现状	关键瓶颈
氢能	可再生能源电力（风电、光伏）、工业副产氢（钢铁、化工）	PEM/AEL/SOEC 电解制氢	全球氢能供应量 1.3 亿吨（绿氢占比 < 1%，中国绿氢产能 30 万吨）	绿氢依赖高成本绿电，工业副产氢提纯成本高（纯度 99.999% 需额外能耗）
甲醇	生物质（秸秆、林业废弃物）、CO ₂ 捕集 + 绿氢（电制甲醇）、天然气（传统工艺）	生物质气化、CO ₂ 加氢催化合成	全球甲醇产能 1.2 亿吨（传统工艺占 85%，电制甲醇占比 < 2%）	生物甲醇原料收集率低（中国秸秆收集率 60%），电制甲醇依赖低成本 CCUS
生物燃料	非粮作物（麻风树、藻类）、废弃油脂（地沟油、餐饮废油）	加氢脱氧（HVO）、发酵（生物乙醇）	全球生物燃料产能 3 亿吨（二代非粮燃料占比 15%，中国废弃油脂制燃料 150 万吨）	藻类规模化培养难（户外培养易受污染），废弃油脂原料分散（收集成本占 30%）
天然气	页岩气、油田伴生气、煤层气	液化分离（LNG）、蒸汽重整（蓝氢）	全球天然气产量 4.2 万亿立方米（页岩气占 35%，中国伴生气回收率 95%）	页岩气开采污染风险（水力压裂致地下水污染），甲烷逃逸率高（全球平均 2.3%）

原料类型	核心来源	技术适配方向	2024 年供应现状	关键瓶颈
太阳能	光催化材料（TiO ₂ 、钙钛矿）、光伏组件（单晶硅 / 多晶硅）	光催化制氢、光伏电解制合成气	全球光伏装机量 1.5TW（单晶硅占比 85%，钙钛矿实验室效率 31%）	光催化材料稳定性差（TiO ₂ 寿命 1000 小时），光伏 - 合成耦合效率低 (<15%)

来源：数据基于《全球甲醇论坛 2024 数据》《中国氢能联盟 2024 白皮书》整理

在原料选择策略上，遵循“优先布局、科学过渡、严格限制”的分层逻辑。其一，优先锁定“可再生+低碳”双属性原料，如绿氢、生物燃料等，这类原料契合“双碳”目标与 ESG 核心要求，是长期发展的核心方向；其二，兼顾技术成熟度与经济性平衡，对天然气制蓝氢等过渡性方案适度保留，依托其技术成熟、成本可控的优势，为核心原料体系的规模化落地提供缓冲；其三，严格限制“高碳排+高生态风险”原料，例如以粮食作物为原料的生物燃料（易引发粮食安全与生态挤占问题）、未配套 CCUS（碳捕获、利用与封存）技术的煤制甲醇（全生命周期碳排过高），从源头规避 ESG 风险。

二、生产层：价值转化关键与核心要求

生产层是新能源燃料价值链的价值转化核心，承担着将原始原料转化为符合终端应用标准燃料产品的关键职能，其技术路线选择、能效水平与环保控制措施直接决定燃料的经济性与可持续性。结合五大原料品类的技术适配方向，生产层核心任务例如氢能的电解制氢与 PSA 变压提纯、甲醇的生物物质气化或 CO₂加氢催化合成、生物燃料的加氢脱氧（HVO）或发酵转化、天然气的液化分离与蒸汽重整、太阳能的光催化制氢或光伏-电解耦合制合成气等。

从 ESG 视角看，生产层的核心要求体现在三个维度。一是能效提升，通过优化工艺参数（如电解槽电流密度、催化反应温度）降低单位燃料能耗，例如 PEM 电解槽通过低铈催化剂应用可降低 47% 成本；二是环保管控，重点控制生产过程中的碳排、废水及有害气体排放，如蓝氢生产需配套 CCUS 技术确保碳捕捉率 ≥ 95%，生物燃料生产需建设废水循环系统；三是安全保障，针对甲醇合成、电解制氢等高危环节，需强化设备密封、通风系统及人员防护，规避甲醛泄漏、重金属接触等职业健康风险。

第三节 石油类替代动力燃料的发展

石油作为现代工业的血液，自 19 世纪中叶以来长期主导全球能源格局，但随着资源枯竭、环境问题及地缘政治因素影响，人类一直在寻找其替代品。从早期依托农业资源的生物质燃料探索，到聚焦低碳

化的氢燃料技术突破，再到依托化石能源清洁化利用的过渡性选项天然气，以及可再生能源驱动的前瞻性方向太阳能燃料开发，各类替代燃料均历经从实验室创新到产业化应用的关键跨越，且在重型运输、航空航运等难电气化的领域形成差异化竞争优势。

一、生物质燃料

作为车用直接燃烧替代燃料的核心品类，生物质燃料依托农业废弃物、能源作物、生物质基原料等非石油资源转化生成，涵盖乙醇燃料、甲醇燃料、醇醚类燃料、生物柴油等分支，是后石油时代能源多元化供给体系的重要组成。其发展历程深度契合替代燃料从“能源安全驱动”到“环保与碳中和驱动”的核心转型逻辑，既凭借成熟的技术体系成为当前车用替代燃料的主流选择，又通过绿色化技术迭代（如纤维素转化、藻类合成）持续突破原料可持续性与减排潜力瓶颈。

从全球格局来看，生物质燃料呈现显著的区域化适配特征——各国基于自身资源禀赋形成差异化发展路径，而多元燃料调和协同（如乙醇-甲醇混合、生物柴油-DMMn 调和）则成为产业升级的重要方向。

表 3：主要石油类替代燃料发展现状综合比较

燃料类型	原料来源	能量密度	减排潜力	技术成熟度	主要应用领域	代表产品
乙醇燃料	粮食/非粮/纤维素	中	中高 (20-70%)	高	轻型车辆	E10, E85
甲醇燃料	煤/天然气/绿氢+CO ₂	低	中 (30-50%)	中高	出租车,重型车	M100, M85
生物柴油	植物油/废弃油脂	高	高 (50-80%)	高	重型车辆,航空	B5, B20
醇醚燃料	煤/天然气/生物质	中低	中 (30-60%)	中	重型车辆,航运	DME, DMMn

(一) 乙醇燃料：从粮食安全到纤维素乙醇的技术跨越

乙醇燃料作为生物燃料的核心品类，其发展历程围绕“原料可持续性”与“技术经济性”持续迭代，形成从第一代粮食基乙醇到第二代纤维素乙醇的清晰技术跨越路径。这一转型不仅破解了粮食安全约束，更推动乙醇燃料产业向绿色低碳、资源循环的可持续方向升级，成为难电气化交通领域的重要替代能源选项。

1. 乙醇燃料的发展

第一代粮食基乙醇：规模化成熟与区域差异化格局

粮食基乙醇是第一代生物燃料的代表性产品，已形成完整的工业化生产体系，全球产业呈现显著的区域差异化发展特征，核心依托各区域农业资源禀赋形成特色发展模式。

北美地区凭借丰富的农业资源与强力政策支持，构建起以玉米乙醇为主导的发展模式，产能建设持续活跃；南美地区则聚焦甘蔗乙醇赛道，依托优越的自然条件与成熟的产业配套，形成突出的规模化竞争优势。数据显示，南美地区甘蔗种植面积达 1200 万公顷，其中巴西占比超 60%，年甘蔗压榨量稳定在 6.5 亿吨以上；2023 年南美甘蔗乙醇总产量达 320 亿升，占全球总产量的 42%，单位生产成本较玉米乙醇低 18%-22%，在国际市场具备强劲竞争力。

从技术与经济特性来看，第一代粮食基乙醇技术成熟度最高，但核心短板日益凸显：“与民争粮、与粮争地”的矛盾持续加剧，且生产成本长期徘徊在 4800-5000 元/吨区间，受农业自然灾害影响，原料价格波动风险较高，可持续发展空间受限。

第二代纤维素乙醇：技术突破与战略价值凸显

在第一代技术瓶颈凸显的背景下，以农作物秸秆、木材加工残余物等纤维素类废弃物为原料的纤维素乙醇技术脱颖而出，成为乙醇燃料产业转型的核心方向，从根源上破解了粮食安全约束，具备更广阔的可持续发展潜力。

相较于粮食基乙醇，纤维素乙醇的原料优势极为显著。一方面，原料为农业、林业废弃物，无需占用耕地，彻底规避“与粮争地、与民争粮”的矛盾；另一方面，直接原材料成本稳定维持在 4000 元/吨区间，受农业自然灾害引发的价格波动影响远小于粮食类原料。数据验证显示，相较于第一代粮食基技术及占用耕地的 1.5 代技术，第二代纤维素乙醇技术的原料供应量可提升 44.17 倍，原料可获得性实现根本性突破。

当前纤维素乙醇产业化仍面临核心技术瓶颈，直接导致其生产成本高于第一代技术，达 6000-7000 元/吨。核心制约因素集中在三方面：一是纤维素酶成本高企，占生产总成本的 20%-30%；二是原料分散，收集难度大、成本高；三是预处理技术尚未完全成熟，不同技术路线均存在短板。

2. 实践应用与产业进展

我国对纤维素乙醇技术高度重视，已将其纳入国家战略性新兴产业重点支持范畴，自 2006 年起就在河南、吉林等粮食主产区布局中试装置，当前最大产能已达 10 万吨/年。其中，中粮集团联合诺维信建设的 1 万吨/年示范工厂，以玉米秸秆为原料完成产业化试生产，成功印证了原料转换的技术可行性。

从产业整体阶段来看，纤维素乙醇仍处于示范推广阶段，现有项目规模多集中在 500 吨至 10 万吨区间，仅有极少数企业实现规模化生产。不过其环保价值与替代潜力已得到广泛认可，麦肯锡研究报告显示，该技术路线到 2020 年可实现替代 3100 万吨汽油的潜力，对应减少 9000 万吨二氧化碳排放。

3. 未来发展方向与政策导向

未来纤维素乙醇的技术突破将聚焦三大核心维度：一是控制秸秆预处理能耗，降低过程成本；二是大幅提升纤维素酶活性，降低酶制剂依赖与成本；三是优化混合糖发酵效率，提升全流程转化率。目前，诺维信研发的酶制剂已将糖化效率提升至理论值的 92%，为全流程转化率提升奠定基础。

政策层面，纤维素乙醇已被明确列为生物燃料领域重点发展方向，“定点生产、定向供应”的产业模式为技术成熟度提升与成本下降预留了充足的市场培育空间。随着技术突破与产业成熟，纤维素乙醇有望成为乙醇燃料产业的主流方向，进一步强化其在能源转型中的替代价值。

(二) 甲醇燃料：从煤化工到绿色合成的转型之路

1. 甲醇燃料价值链拆解

甲醇燃料的三条价值链路径，是技术演进不同阶段的核心成果体现，各路径既相互衔接又各有侧重，共同推动甲醇燃料产业向绿色低碳转型。

过渡路径：传统甲醇价值链

该路径是甲醇规模化生产的基础形态，依托早期化石能源制甲醇技术发展而来，通过耦合 CCUS 技术降低碳排放，解决传统工艺高碳短板，适配当前仍在运行的传统甲醇燃料车场景，实现存量市场的低碳过渡。

价值链全流程：天然气/煤 → 蒸汽重整制合成气 → 甲醇合成 → CCUS 耦合（碳捕捉率 90%） → 储运（管道/罐车） → 应用（现有甲醇燃料车）。

负碳潜力路径：生物甲醇价值链

该路径是资源循环利用与负碳发展的方向，以农业、林业废弃物为原料，通过气化技术实现资源化转化。2024 年中国企业已实现秸秆制甲醇的技术突破，真正实现生产过程碳中和，为产业负碳发展提供了可行路径。

价值链全流程：生物质（秸秆/林业废弃物） → 气化（800-1000°C，空气/蒸汽为气化介质） → 合成气净化（脱焦油/脱硫） → 甲醇合成 → 储运（管道/罐车） → 应用（工业锅炉/乘用车）

低碳路径：电制甲醇价值链

该路径是全生命周期低碳的核心方向，依托绿电替代化石能源、DAC 技术捕集二氧化碳，从源头降低碳足迹。当前随着 DAC 碳捕集成本下降（从\$600-800/吨降至\$200/吨），该路径正从“小众试点”向规模化发展推进，预计 2035 年成为主流路径。

价值链全流程：绿电（光伏/风电） → 电解制氢（AEL 电解槽） → CO₂捕集（DAC 技术/工业尾气） → 甲醇合成（Cu-Zn-Al 催化剂，220°C/5MPa 反应条件） → 储运（管道/罐车） → 应用（船用燃料/甲醇制氢）

2. 甲醇燃料技术演进与发展历程

甲醇燃料的应用探索与技术升级贯穿整个 20 世纪，历经从实验室研发到产业化试点的多阶段突破。

工业化起步阶段（20 世纪初 - 1920 年代）

1905 年，德国科学家率先实现甲醇工业化合成，采用一氧化碳与氢气在锌铬催化剂作用下的反应路线，奠定甲醇燃料应用的技术基础。1923 年，美国标准石油公司开发中压合成工艺，将甲醇生产成本降至每吨 48 美元，推动甲醇燃料进入初步试验阶段。

试验探索与瓶颈凸显阶段（1930 年代 - 1970 年代）

1932 年，德国工程师在奔驰汽油发动机上完成 15% 甲醇掺烧试验，实现稳定运行的同时使发动机热效率提升约 8%。1947 年，美国加州理工学院研究证实，甲醇辛烷值高达 109，远超传统汽油的 70-80 区间，抗爆优势显著；但也暴露出核心短板 —— 体积能量密度仅为汽油的 47%，导致车辆续航缩短，且对铜、铝等金属的腐蚀速率是汽油的 3-5 倍，对橡胶密封件膨胀率影响超 12%，材料兼容性问题突出。

1973 年全球石油危机倒逼甲醇燃料技术加速迭代，瑞典萨博公司推出全球首台柔性燃料原型车，可兼容 85% 甲醇混合燃料，但存在冷启动需预热至 80°C 以上、喷射系统寿命仅 2 万公里的局限。1979 年，日本通产省联合实验发现，甲醇发动机尾气甲醛排放量达 230ppm，是传统汽油机的 6-8 倍，引发环保争议；同期德国巴斯夫公司研发的抗腐蚀添加剂虽将金属腐蚀速率降低 60%，但使燃料成本每升增加 0.15 马克，经济性不足制约规模化推广。

技术储备与转型突破阶段 (1980 年代 - 21 世纪)

1985 年国际能源署统计显示，全球甲醇燃料示范项目累计投入超 7 亿美元，但商业化落地项目占比不足 5%。1988 年，美国能源部《代用燃料评估报告》指出，甲醇在重型柴油机应用中存在关键障碍：十六烷值仅为 3，自燃温度高达 465°C，压燃式发动机需改造燃油系统并加装火花塞，单机改造成本增加 1200 美元。受多重因素影响，20 世纪末全球甲醇燃料发展转入技术储备阶段。

进入 21 世纪，甲醇燃料生产技术完成从资源依赖到绿色低碳的三级跃迁：第一阶段以煤炭、天然气为原料，实现甲醇规模化生产；第二阶段利用焦炉气等工业副产气制甲醇，提升资源循环利用率；第三阶段聚焦绿色甲醇技术，通过可再生能源制氢与二氧化碳合成甲醇，实现全生命周期碳中和。2024 年，中国企业攻克核心技术，利用秸秆等生物质或工业排放 CO₂ 与绿氢合成甲醇，为全球甲醇燃料绿色转型提供了可落地路径。

3. 实践应用：优势凸显与挑战突破

甲醇燃料是可直接替代汽柴油的清洁能源，适配机动车、锅炉等多种设备，在我国具备丰富的试点应用经验。2012 年起，山西、陕西、贵州、甘肃等资源富集地区开展甲醇汽车试点运行，积累了大量实际应用数据。试点结果显示，与传统汽油相比，甲醇燃料燃烧更清洁，尾气中 PM2.5、NO_x 等污染物排放量显著降低。

截至 2025 年，甲醇燃料在国内出租车、重型卡车等特定领域应用比例已超 10%，山西、陕西等地已形成从甲醇生产、储运到加注应用的完整产业链。在乘用车领域，国内试点的甲醇乘用车续航可达 800km，加注体验与传统燃油车无差异，解决了早期续航短板问题。

甲醇燃料产业化曾面临两大核心瓶颈。一是能量密度仅为汽油的 48%，导致车辆续航缩短；二是对金属材料存在腐蚀性，需配套专用发动机与输配系统。随着技术迭代，上述问题已逐步突破：专用抗腐

蚀材料与密封件的应用，解决了甲醇对发动机部件的腐蚀问题；燃料喷射系统优化与整车轻量化设计，有效弥补了能量密度短板。

2025 年 IMO (国际海事组织) 船用燃料硫含量限值收紧至 0.1%，为甲醇燃料在船舶领域的应用带来重大机遇。日本三菱重工研发的甲醇-柴油双燃料发动机，甲醇替代率可达 70%，氮氧化物排放降低 30%，成为船舶动力升级的优选方案。

同时，甲醇燃料应用场景向重卡、乘用车延伸。中国在山西、陕西等地试点的甲醇乘用车，续航可达 800km，加注流程与传统燃油车一致，用户体验大幅提升。

(三) 醇醚类燃料：从煤基替代到多元化发展的演进

醇醚类燃料是石油替代能源体系的重要组成，其发展历程深度契合能源资源禀赋特征，核心脉络呈现“从单一煤基替代到多元原料驱动、从政策引导到市场适配”的演进逻辑。凭借与我国“富煤贫油少气”资源结构的高度适配性，以及基础设施兼容性优势，醇醚类燃料已逐步形成多产品协同发展格局，在难电气化领域具备独特替代价值。

1. 核心定义与资源适配优势

醇醚燃料是指以煤 (含原煤、煤层气、焦炉煤气等)、天然气、生物质或其他可再生资源为原料，经化工转化生产的甲醇、乙醇、二甲醚 (DME)、聚甲氧基二甲醚 (DMMn)、低碳醇、高碳醇等产品，及此类产品与煤化工原料混合形成的液体燃料混合物。

其核心竞争优势体现在两方面。一是资源适配性强，煤基属性与含氧特性精准匹配我国资源禀赋，成为保障能源安全的重要替代选项；二是基础设施兼容性高，储运、加注设施与设备可与传统成品油通用，大幅降低规模化推广的基础设施改造升级成本，为产业落地提供关键便利。

2. 发展历程：从政策倡导到市场选择的演进

我国醇醚燃料产业发展始终依托政策引导与市场需求双向驱动，逐步从战略布局到标准化落地。

战略启动阶段 (2006 年起)

2006 年 7 月，国家发改委首次明确“发展二甲醚等煤基醇醚燃料是未来能源替代工作的重点”，标志着醇醚燃料正式纳入国家能源战略体系。随后，工信部发布的《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》将二甲醚汽车列为新能源汽车范畴，为终端应用打开政策通道。

标准化推进阶段 (战略启动后持续深化)

我国逐步构建完善醇醚燃料标准体系，先后出台甲醇燃料 (M85、M100)、二甲醚燃料 (DME)、聚甲氧基二甲醚 (DMMn) 等核心产品的技术标准，从质量规范、应用适配等层面为规模化推广奠定基础，推动产业从试点探索向规范化发展转型。

多元化发展阶段 (当前)

随着原料技术突破，产业逐步摆脱单一煤基依赖，形成煤基、天然气基、生物质基多元原料路径；产品端呈现差异化发展态势，不同醇醚产品基于自身特性适配不同应用场景，市场分化格局日益清晰。

3. 核心产品分化：特性与应用场景适配

醇醚类燃料家族内部产品特性差异显著，形成各自独特的发展轨迹与应用定位。

二甲醚 (DME)：柴油替代核心选项

具备高十六烷值 (55-60)、燃烧清洁无烟的显著优势，是柴油的优质替代燃料。

2005-2015 年间，我国二甲醚产能进入快速扩张期，核心应用于公交车、重型卡车等商用车场景。但受限于自身高饱和蒸气压特性，对燃油系统密封性要求严苛，导致大规模商业化应用受到一定制约。

聚甲氧基二甲醚 (DMMn)：新兴清洁调和组分

十六烷值极高 (>76)、含氧量高 (47-50%)，且与柴油混溶性优异；添加 10-20% DMMn 即可显著提升柴油燃烧效率，降低颗粒物排放 30%以上，环保价值突出。

作为新兴醇醚产品，DMMn 已成为我国清洁柴油战略的重要组成部分。2024 年，多家能源央企密集布局 DMMn 产业化项目，推动技术成果向规模化生产转化，未来在商用车清洁燃料领域潜力巨大。

醇醚混合燃料：协同优势组合方案

通常以甲醇/乙醇与二甲醚或其他醚类混合而成，兼具醇类燃料的高辛烷值与醚类燃料的高十六烷值优势，实现排放性能与经济性的协同优化。

典型代表如甲醇-二甲醚混合燃料，在轻型车辆应用中展现出良好的排放指标与成本优势，为轻型交通领域的石油替代提供了灵活解决方案。

4. 核心挑战

当前醇醚类燃料推广应用仍面临两大核心瓶颈。一是能量密度短板，多数醇醚燃料热值低于传统汽柴油，直接导致车辆续航里程缩短，影响用户体验；二是材料兼容性问题，部分醇醚燃料对橡胶、塑料等部件存在溶胀作用，需针对性改造车辆燃油系统，增加应用成本。

(四) 生物柴油：从实验室创新到全球商业化应用

ILUC (间接土地利用变化) 本土化管控与先进原料开发，推动生物柴油产业从“资源依赖”向“可持续规模化”转型。作为可再生的石油柴油替代品，生物柴油因资源可再生性、环境友好性等优势，已从早期实验室探索逐步发展为全球商业化应用的成熟液体替代燃料，尤其在重型运输、航空航运等难电气化领域具备不可替代的石油替代价值。

表 4：全球主要国家生物柴油产业发展特征

国家/地区	原料特点	技术路线	政策支持	市场应用
印尼	棕榈油为主 (粮食基原料)	第一代技术 (酯交换反应)	强制掺混政策	国内高比例掺混应用
欧盟	菜籽油为主 (兼顾非粮原料)	第一、二代技术并行	可再生能源指令	B7-B20 掺混比例普遍应用
中国	餐饮废油为主 (非粮废弃原料)	第二代技术 (HVO/酯交换)	循环经济政策、废弃油脂溯源管理	商用车、工业锅炉等场景试点推广
美国	大豆油为主 (兼顾微藻原料)	第一、三代技术协同发展	可再生燃料标准 (RFS)	以 B20 及以下低比例掺混为主

1. 生物柴油价值链图谱

生物柴油产业的发展以原料迭代为核心驱动，形成三代差异化价值链路径，各路径在原料选择、技术工艺、应用场景上呈现显著代际特征，共同构成“受限-主流-未来”的阶梯式发展格局。

第一代生物柴油：粮食基受限路径

这是早期商业化基础路径，因 ILUC 风险与粮争地问题逐步受限。该技术成熟度高、生产成本较低，但可持续性短板突出。印尼是该路径的典型代表，依托丰富的棕榈油资源成为全球最大生物柴油生产国，产量占比约 17%；美国、欧盟早期也主要采用大豆油、菜籽油发展此路径。受粮食安全与生态保护需

求约束，欧盟 2015 年已立法限制粮食基生物柴油占比不得超过 7%，标志着该路径逐步退出主流发展序列。

价值链全流程：粮食作物（玉米/甘蔗/大豆/棕榈油）→ 发酵/压榨（提取油脂）→ 酯交换反应（生产脂肪酸甲酯 FAME）→ 调和（与汽油/柴油混合，比例 10%-20%，如 B5、B20）→ 终端应用（乘用车为主）。

第二代生物柴油：非粮基主流路径

这是当前商业化成熟路径，兼具经济性与可持续性。通过原料革新规避粮争地风险，是全球生物柴油产业的核心支撑。中国受耕地资源限制，此路径尤为适配，原料主要来源于餐饮废油；2024 年央企研发实践表明，通过技术创新可将“地沟油”等废弃物高效转化为高质量生物柴油。未来该路径的核心突破方向是“原料保障”，通过区块链溯源技术（如中国《废弃油脂溯源管理办法》）可将原料收集率从当前的 30%提升至 60%，预计 2030 年可满足全球生物柴油产能的 40%需求，进一步巩固主流地位。

价值链全流程：非粮作物（麻风树/甜高粱）/ 废弃油脂（餐饮废油“地沟油”/动物油脂）→ 加氢脱氧（HVO）/ 酯交换反应 → 生物柴油/航空煤油 → 终端应用（商用车/航空领域为主）。

第三代生物柴油：微藻基未来路径

这是下一代核心发展路径，具备负碳潜力与极致土地利用效率，是解决生物柴油可持续性瓶颈的关键方向。该路径资源约束小、产能潜力大，但当前受限于规模化成本。

微藻的单位面积油脂产量可达传统油料作物的 10-30 倍，生长周期仅 3-5 天，且可利用盐碱地、荒滩等边际土地培育，完全避免“粮争地”风险；单位面积产量达 60 吨/公顷·年，是大豆的 15 倍。随着技术突破，未来将逐步攻克规模化瓶颈：通过以色列 AlgaeTech 开放式池塘技术，可将封闭式光生物反应器投资占比从 60%降至 40%；借助基因编辑技术，能将微藻油脂含量从 30%提升至 45%，最终推动成本从当前的\$2000/吨降至\$800/吨（接近二代生物柴油水平）。预计 2025 年全球藻类生物柴油产量占比将达到 5%，未来五年年均增长率维持在 15%。

价值链全流程：微藻（盐碱地/荒滩培育）→ 油脂提取 → 生物柴油/生物原油 → 终端应用（高端交通燃料，如航空、远洋航运）。

2. 生物柴油发展历程：从战略探索到全球商业化

生物柴油的发展历史贯穿近百年能源转型进程，从早期战略替代需求到现代环保驱动，逐步实现从实验室创新到全球规模化应用的跨越。

早期探索阶段（20 世纪 30 年代）

中国的生物柴油研究起步较早，北平地质调查所沁园燃料化学研究室、南京中央工业试验所已开启植物油替代汽油的技术探索。1935 年，中央工业试验所顾毓珍在《汽油代替品问题》演讲中指出，当时中国每年进口汽油约 3000 万加仑，价值超 2000 万元，不仅造成经济损失，更面临战争时期港口封锁的能源安全风险，明确了生物柴油作为战略替代燃料的重要意义。这一时期的探索还发现，中国西北等不适宜种植农副产品的区域，适合种植油料作物；而藻类生物燃料可利用海洋面积，契合“不占用耕地”的发展方针，为后续产业发展奠定了方向基础。

系统发展阶段（20 世纪 70 年代）

受全球石油危机与环保需求双重推动，多国开始系统布局生物柴油产业，聚焦技术研发与小规模试点，逐步形成第一代粮食基技术路线，为后续商业化积累了基础数据与经验。

快速商业化阶段（21 世纪以来）

生物柴油产业进入规模化发展期，2017-2022 年间，全球交通运输领域生物燃料年消费量增长近 300 亿升，总量超 1600 亿升/年，生物柴油占据核心份额。同时，产业逐步完成从第一代向第二代的转型，应用场景从乘用车向商用车、航空领域延伸——2016-2023 年全球航空生物燃料消费量从 6000 多吨增至约 50 万吨，增长显著，验证了其在难电气化领域的应用潜力。

表 5：全球主要国家生物柴油产业发展特点

国家/地区	原料特点	技术路线	政策支持	市场应用
印尼	棕榈油为主	第一代技术	强制掺混政策	国内高比例应用
欧盟	菜籽油为主	第一、二代技术	可再生能源指令	B7-B20 普遍
中国	餐饮废油为主	第二代技术	循环经济政策	试点推广阶段
美国	大豆油为主	第一、三代技术	RFS 标准	B20 以下为主

3. 生物柴油的核心挑战

当前生物柴油产业面临原料供应不稳定（二代路径废弃油脂收集率低）、第一代路径粮争地与 ILUC 风险及全生命周期碳排放核算不统一等核心挑战，ESG 风险管控需聚焦代际差异适配与环节精准施策，构建企业与政策协同体系。企业层面，一代路径企业需恪守原料占比限制并向二代转型、管控 ILUC 风险，二代企业依托区块链溯源提升原料稳定性并强化环保治理，三代研发企业攻克培育污染难题并建立碳核算体系；政策层面需结合资源禀赋实施 ILUC 本土化管控，补贴废弃油脂收集并支持边际土地海藻培育，出台掺混标准与碳激励政策拓展应用场景。未来随着二代原料保障提升与三代成本突破，生物柴油有望成为减排的核心支撑。

二、氢燃料：绿氢经济性突破与储运优化引领产业升级

氢燃料以其燃烧产物清洁、能量密度高的核心优势，成为石油类替代燃料中低碳化潜力最大的品类之一。从早期工业副产氢的初步应用，到光伏、风电等绿电制氢技术的成本下降，再到液氢运输、氨裂解储运等技术的迭代，逐步破解“成本高、储运难”的核心瓶颈，在重型卡车、燃料电池汽车等场景展现出广阔应用前景。

1. 氢燃料价值链拆解

氢燃料汽车产业价值链呈现全链条协同特征，核心流程为：可再生能源电力（集中式光伏/陆上风电/海上风电）→ 电解制氢（PEM/AEL/SOEC 电解槽）→ 氢纯化（PSA 变压吸附技术，纯度可达 99.999%）→ 储运（高压气态/液氢/氨裂解/液态有机氢载体 LOHC 等路径）→ 加注（加注站 35MPa/70MPa 加注机）→ 终端应用（燃料电池商用车/乘用车/工业替代）。该价值链以绿氢制备为核心，以储运效率提升为关键，逐步构建起覆盖生产、流通、应用的完整产业生态。

产业链下游聚焦氢能源汽车制造与应用，根据氢气利用方式不同，主要分为氢内燃机汽车和氢燃料电池汽车两类。其中，氢内燃机汽车以氢气为燃料，通过内燃机将热能转化为动能，整体结构与传统燃油车相近，差异集中在氢燃料供应系统、点火装置等部件，但高温环境下易产生 NOx 污染，且能量转换率仅 35%-40%，储氢与喷射系统造价高、耗氢量大，还存在传统燃油车的噪声与震动问题，家用普及难度大。氢燃料电池汽车依靠氢燃料电池将化学能转化为电能驱动车辆，核心部件为氢燃料电池（含电堆、电控系统，电堆涵盖双极板、质子交换膜等零部件），工作过程无燃烧、产物仅为纯水，实

现零污染排放，且电机驱动可降噪减震、驾驶体验接近纯电车，3 分钟加氢的补能速度优势显著，能效转换率达 60% 以上，但铂催化剂价格高昂（占成本 40%），导致整车成本高于传统燃油车及电车。目前，氢燃料电池在技术路线和政策支持上占据主导地位，是氢能源汽车产业的核心发展方向。

2. 核心突破：从“示范验证”到“规模商用”的跨越

当前氢燃料汽车产业已迈入规模化商用攻坚阶段，绿氢经济性突破与全链条技术优化成为核心驱动力，具体体现在供给端、应用端及储运端三大环节。

供给端方面，绿氢平准成本（LCOH）下降趋势明确。根据行业白皮书数据，绿氢 LCOH 将从 2024 年的 \$3.8-4.5/kg 降至 2030 年的 \$1.5-2.5/kg，核心依赖两大技术突破：一是 PEM 电解槽低铱催化剂应用，铱用量从 0.15mg/cm² 降至 0.05mg/cm²，直接推动成本降低 47%；二是“光伏+储能”平准电价下探，中国新疆、甘肃等风光资源富集基地已具备电价降至 \$0.01/kWh 的潜力。同时，政策层面持续加码绿氢经济性，2025 年 12 月《可再生能源电解水制氢》CCER 方法学正式发布，明确绿氢项目减排量核算标准，典型风光制氢项目可通过 CCER 交易年获约 2000 万元减排收益，投资回收期缩短 0.44 年，进一步重塑绿氢产业盈利逻辑。

应用端方面，燃料电池性能提升与成本下降成效显著。燃料电池寿命将从 2024 年的 8000-10000 小时提升至 2030 年的 15000 小时，通过全氟磺酸树脂质子交换膜改良及水热管理系统优化，燃料电池系统成本有望从 \$800/kWh 降至 \$300/kWh 以下，直接推动燃料电池商用车购置成本下探 30%，即从 2024 年的 150 万元/辆降至 2030 年的 100 万元/辆以内。更具突破性的是氢内燃机技术的成熟，玉柴自主研发的国内首台商用车燃氢发动机 YCK05H，采用高压多点喷射、高效低惯量涡轮增压等先进技术，攻克回火、爆震等核心难题，与传统燃料电池商用车相比，制造成本降低 70%、使用成本降低 50%、使用寿命延长 400%，可实现零碳排放，已成功应用于洒水车、公交等场景。

储运端方面，损耗控制与成本优化实现双重突破。液氢运输损耗率将从当前的 0.3-0.6%/天降至 2030 年的 <0.2%/天，核心依赖真空多层绝热材料普及率提升至 80%；氨裂解储运在跨区域场景（如中欧氢能贸易）的综合成本较液氢低 10-15%，预计 2030 年将成为 1000km 以上长距离运输的主流方案。国内企业亦在储氢技术上实现创新，陕西氢能能源的有机液态储氢技术，通过化学反应将氢气“锁”入有机液体，实现常温常压安全运输，将储运成本从 23.3 元/kg 降至 11 元/kg，有效破解了常温常压运氢难题。

3. 技术实践：国内自主化突破与区域示范成效

在核心部件自主化领域，国内企业与科研机构协同攻关，实现关键技术突破。陕西旭氢时代联合西安交大研发的“氢跃”系列氢燃料电池电堆，单堆功率最高可达 82.3 千瓦，性能达国内领先水平，产出氢气纯度符合 99.999% 的燃料电池应用标准，成本较进口产品降低 40%。该技术已在陕西韩城实现产业化落地，当地旭强瑞清洁能源公司建成陕西第一座固定式加氢站，首批 12 辆氢燃料重卡凭借低廉氢源供应及高速公路通行费全免政策，实现运营盈利；截至目前，当地高纯氢产能达 8600 吨/年，45 辆氢燃料电池重卡投入试运行，4 座加氢站建成投用，燃料电池汽车产能达 1000 辆/年，形成完整区域产业闭环。

在场景应用示范方面，区域化推广成效显著。2025 年 4 月，陕西首条氢能源公交线路在蒲城县开通，线路运营的氢能源公交车 15 分钟可加满 20 公斤氢气，百公里耗氢仅 4.5 公斤，充分验证了氢燃料汽车在公共交通领域的实用性与经济性。从全国范围看，2025 年中国氢能产业规模预计达 6800 亿元，燃料电池汽车销量达 3.2 万辆，重卡占比超 60%，西北绿氢基地、东部燃料电池应用示范区等三大集群初具雏形，为氢燃料汽车规模化推广奠定基础。

4. 环境价值与应用前景

氢燃料具有显著的环境友好特性，氢分子燃烧与氧分子结合仅产生热能和水，氢燃料电池工作产物亦以水为主，仅排放少量氮氧化物，对空气污染极小，全生命周期碳排放优势突出。从技术可行性来看，氢气可通过电解水、煤气化等多种方式制取，且无需对汽车发动机进行大规模改装，应用兼容性较强。事实上，氢能汽车研发应用已有数十年历史，1965 年国外科学家已设计出可上路行驶的氢能汽车，中国亦在 1980 年成功研制出可乘坐 12 人的氢能汽车，贮存氢材料达 90 公斤。

未来，随着绿氢经济性持续提升、储运技术不断优化及基础设施逐步完善，氢燃料汽车将在公交、环卫、冷链、物流配送等商用场景实现广泛应用，同时逐步向乘用车领域渗透。结合政策导向与技术迭代趋势，氢燃料作为锂电动力的重要补充，将与其他新能源技术协同发力，为交通领域“双碳”目标实现提供核心支撑。

三、天然气：化石能源清洁化的过渡性替代选项

作为化石能源中清洁度较高的品类，天然气因成熟的开采储运体系、较低的碳排放强度，成为石油类替代燃料的核心过渡选项。从传统工业燃料场景逐步延伸至交通、能源生产等领域，依托现有基础设施快速推广，既为当前石油替代提供可行方案，也为未来纯氢能体系落地铺垫基建基础。

天然气价值链以“清洁化改造”为核心，同步预留氢能转型接口，形成覆盖全流程的可持续发展路径：天然气开采（页岩气/伴生气）→ 净化（脱硫/CO₂脱除，提升清洁度）→ 运输（管道/LNG 船，强化泄漏管控）→ 终端应用（LNG 重卡/燃气轮机/蓝氢生产）→ 长期转型（混氢天然气掺烧，衔接氢能体系）。

短期发展核心聚焦“甲烷逃逸精准控制”，破解清洁化短板，通过技术升级实现全链条泄漏管控。例如，LNG 船采用 GTT 再液化装置，将蒸发率从 0.15%/天降至 0.07%/天以下；重卡发动机搭载西港 HPDI 系统，使甲烷排放降低 76%。

长期核心方向是“向混氢天然气转型”，衔接氢能发展战略。依托现有天然气基础设施进行低成本改造，实现氢能与天然气的协同利用。天然气管道掺氢比例将从 2024 年的 5% 试点水平，逐步提升至 2030 年的 20%；通过环氧树脂内壁涂层改造技术，现有天然气管道可直接兼容氢能输送，实现“存量基建零浪费”。这一转型路径不仅降低氢能基础设施建设成本，更实现天然气向纯氢能的平稳过渡，为后续纯氢能车大规模推广预留关键基建支撑。

四、太阳能：可再生能源驱动的未来替代方向

太阳能燃料依托光伏、光催化、热化学等技术，形成两大应用方向：一是直接转化为车辆动力；二是将无限可再生的太阳能转化为可储存、可运输的化学燃料（如太阳能制氢、太阳能合成甲醇/柴油），间接为车辆提供动力，打破化石能源的资源约束。其发展历程围绕“能量转化效率提升”与“规模化成本下降”两大核心目标，从早期实验室技术探索，逐步迈向小规模示范项目落地，核心优势在于资源无限性与全生命周期零碳潜力。

太阳能通过“直接驱动+间接转化”多条技术路线形成覆盖不同场景需求的价值链体系，各路线从能量转化到终端应用各有侧重。

太阳能直接驱动车辆路径 (分布式即时供能型)

需中间能量转化环节, 能量损耗少, 适配短途、低速的城市通勤及短途物流场景; 当前核心突破方向是提升车用光伏组件的转化效率 (目标突破 30%)、优化车身集成设计以提升受光面积, 同时配套高容量储能电池解决阴雨天续航问题。

价值链全流程: 车用光伏组件 (柔性薄膜/高效叠层电池) → 车顶/车身集成安装 (适配乘用车/商用车车型) → 光电转换 (提升转化率适配动力需求) → 储能电池储能/直接供电 (驱动电机) → 终端应用 (城市通勤乘用车、短途物流车)。

光催化制氢路径 (常温常压适配型)

反应条件温和、设备结构相对简单, 适配分布式小规模应用场景, 当前核心突破方向是提升光催化材料的量子效率与稳定性。

价值链全流程: 光催化材料 (TiO₂/钙钛矿等) → 光催化分解水 (常温常压条件, 无需额外能耗) → 氢纯化 (提升纯度至燃料电池适配标准) → 储运 (高压气态/低温液态) / 直接应用 (燃料电池汽车、分布式发电)。

光伏-电解-合成燃料路径 (规模化合成型)

可依托成熟光伏产业基础实现规模化拓展, 合成的液体燃料与现有燃油储运、应用体系兼容性高, 是衔接当前能源体系的核心过渡路线。

价值链全流程: 光伏板 (单晶硅/钙钛矿叠层, 提升光电转换效率) → 电解制氢 (PEM 电解槽, 适配光伏电力波动) → 与 CO₂ 耦合反应 (F-T 合成工艺) → 合成柴油/甲醇等液体燃料 → 终端应用 (商用车、航空航运、工业锅炉)。

热化学循环制氢路径 (高温高效型)

能量转化效率高, 可直接制备烃类燃料, 适配大规模集中式能源基地场景, 当前需突破高温反应器材料耐温性与系统稳定性瓶颈。

价值链全流程: 太阳能聚光 (抛物面镜/定日镜, 汇聚太阳能提升温度) → 反应器加热 (700-1500°C 高温环境) → 金属氧化物循环 (如 ZnO/Fe₃O₄ 循环分解水/CO₂) → 制氢/直接制烃 (合成甲烷、乙烯等) → 应用 (工业原料、燃气轮机发电)。

参考资料

1. 远程新能源商用车: 第三届链博会展示醇氢电动技术, 引领绿色交通新时代.ITBEAR 科技资讯.2025-08-21. <https://m.itbear.com.cn/html/2025-08/927207.html>
2. 首个氢能产业中长期规划——《氢能产业发展中长期规划 (2021-2035 年)》.商用汽车.参考网.2022-06-27. <https://m.fx361.com/news/2022/0627/10493833.html>
3. GEP Research. 全球及中国生物质能源行业全景深度分析报告 (2025 年 HT35GSH04) .全球环保研究网.2025-08-06. <https://www.gepresearch.com/104/view-856264-1.html>
4. GEP Research. 全球及中国生物质气化产业发展研究报告.全球环保研究网.2025-09-02. <https://m.gepresearch.com/86/view-874044-1.html>
5. 言九.2025 年中国生物燃料行业现状与发展前景.华经情报网.2025-04-05. <https://www.huaon.com/channel/trend/1065309.html>
6. North America FCEV Market Outlook Report 2025-2034.GlobeNewswire.August 20, 2025. <https://www.globenewswire.com/news-release/2025/08/20/3136213/28124/en/North-America-FCEV-Market-Outlook-Report-2025-2034-A-Projected-3-5-Billion-Market-Medium-Range-FCEVs-Gain-Traction-Balancing-Range-and-Refueling-Efficiency.html>
7. Marcus Lu.Global EV Adoption (2019 vs. 2025).Voronoi.August 20, 2025. <https://www.visualcapitalist.com/charted-global-ev-adoption-2019-vs-2025/>
8. 生物燃料系列之玉米乙醇: E15 道阻且长, 政策决定美国乙醇需求增量.金融界.2021-09-14. <https://www.163.com/dy/article/GJRP5ULM0519QIKK.html>
9. 从原料国到能源产业竞争者! 澳大利亚豪掷超 7 亿美元布局生物燃料, 撬动私营部门投资【附生物燃料行业市场分析】.网易新闻.2025-09-17. <https://www.163.com/dy/article/K9M9DMVD051480KF.html>
10. 2025 年中国甲醇燃料行业市场发展驱动因素、行业壁垒及未来发展趋势预测报告.智研咨询.2025-09-29. https://m.sohu.com/a/939736842_120950203
11. 李忠, 谢克昌. 煤基醇醚燃料.化学工业出版社, 2011.

第二章 全球多元动力新能源汽车的发展状况

第一节 欧洲

欧洲在新能源汽车领域的发展以氢能及燃料电池汽车为核心抓手，依托系统的政策规划、持续的技术研发投入及企业与联盟的协同推进。

一、政策与战略规划

在燃料电池汽车产业发展中，欧盟以碳减排为核心目标，构建了全面递进的氢能与燃料电池发展体系，同时通过多元资金支持与专项示范项目推动技术落地；德国作为欧盟内产业领跑者，出台针对性专项政策强化引领地位，形成“欧盟统筹规划+各国差异化落实+德国重点突破”的发展格局。

欧盟层面，战略规划与资金投入双轮驱动产业发展。战略规划上，2002 年 10 月欧盟成立氢能和燃料电池技术高层小组开展氢能愿景研究，2003 年 6 月提出相关愿景报告，2004 年由欧洲 Hynet 联合研究组明确迈向欧洲氢能的路线，2005 年进一步出台欧洲氢能发展战略；2020 年发布《欧盟氢能战略》，勾勒 2050 年发展蓝图，明确鼓励燃料电池汽车在重型车辆、长途客车、特殊用途车辆、长途货运等场景的应用。资金支持方面，欧盟第六科研框架计划（2003-2006 年）分别为氢能技术和燃料电池技术投入 11257 亿欧元和 11539 亿欧元；2007 年 3 月发布计划，拟在 2007-2015 年投入 74 亿欧元用于相关技术研究；2008 年推出燃料电池与氢联盟行动计划项目（FCHJU），2008-2013 年保障 9.4 亿欧元投入，其第二阶段（2014-2020 年）FCH2JU 总经费超 13.3 亿欧元，致力于构建欧洲燃料电池和氢能平台。专项示范项目方面，欧盟通过多项举措推动技术落地：2001 年启动“清洁能源伙伴计划”，拨款 1850 万欧元支持伦敦等 10 个城市的燃料电池客车（FCB）示范项目；2007 年启动“欧洲清洁城市交通项目”深化示范运行；2009 年批准燃料电池和氢能技术项目行动计划，从第 7 框架计划（2007-2012）中列支 4.7 亿欧元资助 FCVs 及基础设施研发；2011 年底启动大规模车辆示范项目“H2 moves Scandinavi”和欧洲城市清洁氢能项目（CHIC），投资 5300 万欧元且持续至少 3 年；2017 年发起氢动力汽车欧洲联合倡议项目（JIVE），并提供 3700 万欧元资金支持。2019 年，欧洲燃料电池和氢能事业联合组织发布《欧洲氢能路线图》，明确长远目标：2030 年氢燃料电池乘用车达 370 万辆、轻型商业运输车 50 万辆、卡车和公共汽车 4.5 万辆，2050 年氢能发电总量占欧盟能源需求总量的 1/4。

财税支持方面，欧盟各国结合自身情况采取差异化补贴策略，形成两类核心模式：一类以比利时、丹麦、芬兰等国家为代表，在税收上给予燃料电池汽车优惠或减免；另一类以奥地利、法国、希腊、意

大利等国家为代表，在车辆购买或使用环节直接发放现金补贴，通过经济杠杆降低消费门槛，推动市场普及。

德国作为欧盟内燃料电池汽车产业的领跑者，通过完善的组织机制、清晰的战略规划和精准的扶持措施强化领先优势。组织机制上，2006 年德国联邦运输和数字基础设施部、联邦经济事务和能源部联合成立氢和燃料电池技术创新计划（NIP），明确三大发展目标：确保德国技术领导者地位、加快氢和燃料电池市场发展、建立全产业链；同时成立氢和燃料电池国家组织（NOW），负责 NIP 计划的总体协调管理和部委间联络。战略规划上，2012 年德国启动燃料电池及氢能国家创新计划，通过政府与车企合资模式支持关键技术研发，目标到 2015 年建成 50 个加氢站，满足 5000 辆 FCVs 的加氢需求；2020 年 6 月，联邦经济和技术部制定《国家氢能战略》，为氢能生产、储运和利用提供整体框架，鼓励创新与投资，并提出燃料电池汽车在公共客运、重载货运、建筑工地、农林用车、物流运输等场景的应用，是对电池动力车的有效补充，同时强调加氢基础设施建设是氢能应用的前提。扶持措施上，德国对燃料电池汽车实行至 2030 年的税费减免政策，消费者购置相关车辆可申请最高 6750 欧元的补贴，全方位降低产业发展与市场消费成本。

二、技术研发与企业实践

欧洲主流车企持续深耕氢燃料电池技术，成果显著。奔驰（戴姆勒）是核心推动者之一，20 世纪 80 年代初期便启动氢燃料电池研发，后随技术进步重启相关工作：2011 年推出 36 辆 Citaro 燃料电池客车，经 20 个运营商使用，累计运行时间超 14 万小时、行程超 220 万公里，同年展出的 B 级 FCVs 续航里程达 400km；2017 年法兰克福车展发布插电式混合动力氢燃料汽车 GLC F-Cell，纯电续航 51km，综合工况续航达 478km；2020 年 9 月，戴姆勒卡车公司发布 GenH2 燃料电池概念卡车，计划 2023 年开展客户实验。宝马同样加大研发投入，2015 年展示 5 系 GT FCVs，最大输出功率 188kW、续航里程 483km；2021 年启动 BMW i Hydrogen NEXT 氢燃料电池原型车的全环境测试，2022 年基于现款 BMW X5 小规模生产该车型。此外，宝马从上世纪 70 年代后期便投身氢燃料内燃机研发，累计投入约 10 亿欧元，开发的 6 代氢燃料内燃机汽车成果突出，2004 年推出的 H2R 氢燃料内燃机轿车打破 9 类速度记录，最大功率 210 千瓦，百公里加速约 6 秒，时速高达 302.4 千米/小时。企业联盟层面，2015 年液化空气集团、戴姆勒、林德等 6 家氢能龙头企业结成“H2 Mobility”联盟，协同推进氢能产业生态构建。

三、示范应用与基础设施建设

欧洲通过多项目推动燃料电池汽车规模化验证，同步完善加氢网络。燃料电池客车示范计划 (HYFLEET-CUTE) 2003-2010 年在 10 个城市示范运行 30 辆第 1 代戴姆勒燃料电池客车，累计运行 130 万英里，采用“电池+12kW 氢燃料电池”动力形式；后续的欧洲燃料电池客车示范项目 (CHIEC) 2011-2017 年在 5 个城市运行 26 辆第 2 代燃料电池公共汽车，目标推动其性能达到燃油汽车标准。基础设施方面，德国率先在慕尼黑、柏林等大城市推进加氢站建设，为氢燃料汽车商业化落地奠定基础。

四、未来发展

欧洲聚焦甲醇与氢燃料的绿色燃料路线竞争，最终明确氢燃料为长期核心方向。甲醇燃料虽有一定探索，如保时捷联合多家企业推进甲醇合成燃料研发，智利 eFuels 项目进入工业量产阶段，2024 年保时捷美孚 1 号超级杯全使用该燃料实现近乎零碳排放，德国、芬兰等国也开展甲醇重卡试点，但受限于甲醇腐蚀性强、热值低、非常规排放高等固有缺陷，20 世纪 80 年代末后欧洲甲醇汽油逐步被乙醇汽油取代，当前政策支持多集中于国家和行业层面，乘用车领域主流车企关注度远低于氢能和纯电，仅在航运脱碳及充电加氢设施不足地区的过渡性替代中具备实用价值。氢燃料则凭借能源储备充裕、可再生制备潜力大、燃烧效率高、零排放等优势，获得欧盟层面极强的战略支持，被视为脱碳核心支柱，IPCEI 氢能项目等巨额资金投入保障技术与基建发展，Stellantis、宝马、戴姆勒等主流车企均聚焦氢燃料电池技术研发，尤其在商用车领域发力。结合欧洲零碳战略目标，氢燃料汽车被认定为解决重型运输、工业储能等难题的终极方案之一，2035 年后随着基础设施和成本瓶颈突破，增长潜力巨大，长远前景远超甲醇燃料，将成为欧洲新能源汽车领域的核心发展方向。

第二节 日本

日本作为传统汽车工业强国，选择了一条不同于欧美的技术路线，展现出鲜明的多元化发展特征。日本同步推进氢燃料电池车、生物燃料、合成燃料等多种技术路径，以适应不同场景的减排需求，并在保持传统动力优势的同时实现低碳转型。这一战略既体现了日本对能源安全的考量，也反映出其在汽车产业转型中的务实态度，展现了日本在环境保护与社会责任 (ESG) 方面的深度思考。

一、多元动力类型

表 6：日本新能源汽车主要技术路径对比

技术方向	主要特征	典型代表/应用	应用重点与目标
氢燃料电池车(FCV)	续航里程长，加氢速度快，零排放	丰田 Mirai、本田 CR-V e:FCEV、日野 Profia Z FCV 重卡	商用车、长途运输；2040 年 FCV 年销 150 万辆，重型 FCV 年销 120 万辆
生物燃料	可直接用于现有内燃机，减排效果显著	E20 生物燃料 (木材、草类等为原料)、藻类生物喷气燃料(SAF)	保留内燃机驾驶体验；目标 2030 年生物燃料占交通能源 10%
合成燃料(e-fuel)	氢能载体，解决储运难题，实现碳中和	甲醇重整制氢系统、氢燃料内燃机、氨燃料	航空、海运、重型机械等难以电气化的领域

(一) 氢燃料电池车：技术领先与商用化进程加速

日本在氢燃料电池车领域始终处于全球技术研发与商业化的前沿，政府与企业协同推动技术研发、基础设施建设与市场拓展，体现了日本在清洁能源技术方面的长期投入与创新实力。自 2017 年发布《氢能基本战略》以来，日本政府持续完善政策体系，设定到 2030 年普及 80 万辆 FCV、建设 900 座加氢站的目标。2025 年，经济产业省进一步加大对 FCV 的购车补贴，最高额度达 250 万日元，远高于纯电动车型，同时推动加氢站建设成本从 3.5 亿日元降至 2 亿日元，并实施氢燃料价格支持政策，以提升其经济性，同时还计划通过无人运营模式降低人力成本。

表 7：日本加氢站建设进展与规划

年份	已建成加氢站数量	年度建设目标	覆盖重点区域
2023	120 座	150 座	东京、大阪、名古屋
2024	140 座	180 座	四大工业地带
2025	160 座	320 座	主要高速公路网
2030	计划中	900 座	全国范围

在技术研发方面，丰田与本田是推动日本氢能技术发展的核心力量。丰田于 2025 年发布了第三代氢燃料电池系统，续航里程提升 20%，达到约 777 公里，系统耐用性已接近柴油发动机水平，并计划于 2026 年应用于大型商用车领域。本田则推出了 CR-V e:FCEV 车型，创新性地将氢燃料电池与 17.7kWh 电池组相结合，提供 47 公里的纯电续航能力。该公司还开发了新一代氢燃料电池模块，功率提升至

150kW，成本降低一半，并适配 800V 高压系统，预计 2027 年实现量产。

商用车领域成为日本 FCV 商业化的重要突破口。DHL 供应链日本公司已启动氢燃料电池卡车试点运营，续航里程达 260 公里，初期服务于富士通等企业，目标在 2030 年将 30% 的物流运输转为使用可持续燃料。更引人注目的是，日野汽车于 2025 年 10 月推出了日本首款量产型氢燃料电池重型卡车 Profia Z FCV，其载重行驶续航可达 650 公里，充氢时间仅需 15-30 分钟，充分展现了 FCV 在商用车领域的实用价值。

尽管技术不断突破，日本 FCV 发展仍面临成本与基础设施瓶颈。当前氢燃料价格仍高达约 1000 日元/公斤，加氢站覆盖率有限，车辆售价约 700 万日元，明显高于普通混动车型。为应对这些挑战，日本计划在 2040 年实现 FCV 保有量 300 万至 600 万辆，并积极拓展氢能在发电、工业等领域的应用，构建更加完整的氢能产业链，这体现了日本在可持续能源体系建设方面的长期承诺。

(二) 生物燃料：传统内燃机的低碳转型路径

为降低传统内燃机车辆的碳排放，日本积极推动生物燃料的研发与应用，探索在不改变现有汽车架构的前提下实现深度减排，这一路径充分考虑了现有汽车保有量的现实情况，体现了务实的环境治理思路。ENEOS 公司与丰田、马自达等车企合作，开发出 E20 生物燃料，该燃料由 20% 的植物性乙醇与 80% 的传统汽油混合而成，其乙醇原料来源于木材、草类和回收纸等非粮食作物，整个生命周期的碳排放比纯汽油低 90%。该燃料已在 2025 年 Super Taikyu 耐力赛中进行了全面测试，丰田、马自达等品牌参与验证其性能表现，展示了生物燃料在保持传统驾驶体验的同时实现减排的实际效果。

表 8：日本生物燃料原料来源分布

原料类型	占比	主要特点	应用领域
木材废弃物	35%	来源广泛，可持续性强	E20 生物燃料
农业秸秆	25%	农业副产品，无粮食冲突	生物乙醇
藻类	20%	生长速度快，含油量高	生物喷气燃料
废食用油	15%	废物利用，循环经济	生物柴油
其他废弃物	5%	资源综合利用	多种生物燃料

日本在生物燃料原料选择上特别注重可持续性，严格避免与粮食安全产生冲突。Euglena 公司利用藻类和废油生产生物喷气燃料与生物柴油，其横滨工厂采用 Chevron Lummus Global 的 BIC 工艺，计

划在 2025 年实现 2.5 亿升/年的产能，并计划在 2030 年前再建 3 座工厂。与此同时，新能源产业技术综合开发机构与 JOIL MILLS 合作，利用冲绳县的红厚壳和水黄皮种子（含油量 30%-50%）生产 100% 生物质 SAF，产品符合国际航空燃料标准 ASTM D7566 Annex A2，这一创新为航空业减排提供了可行的技术路径。

在应用推广方面，全日空计划在 2030 年前使用 Euglena 公司的 SAF 燃料替代 10% 的航空燃油。日本政府也计划于 2025 年启动“清洁燃料证书制度”，通过环境价值认证促进生物燃料的市场化进程。尽管技术已较为成熟，生物燃料的生产成本仍高于传统化石燃料，特别是 SAF 价格达到传统航油的 2-3 倍，规模化应用仍需进一步突破经济性瓶颈。这一挑战也促使日本企业不断探索更经济的生产工艺和更广泛的原料来源。

(三) 合成燃料：氢能衍生的多元化应用探索

合成燃料作为日本实现碳中和的又一重要路径，特别适用于航空、海运和重型机械等难以电气化的领域，展现了日本在应对复杂减排场景时的技术创新能力。日本企业正积极开发氢基合成燃料，以解决纯氢储存和运输的技术难题。富士电机与三菱瓦斯化学合作开发的“甲醇重整氢燃料电池系统”，利用液态甲醇作为氢载体，计划于 2026 年实现商业化，主要应用于数据中心和工厂的备用电源领域，为氢能利用提供了新的思路。

表 8：日本合成燃料技术研发进展

技术类型	主要企业	技术特点	应用领域	商业化时间
甲醇重整制氢	富士电机、三菱瓦斯	液态储运，安全高效	备用电源、分布式发电	2026 年
氢燃料内燃机	丰田	热效率 45%，零碳排放	商用卡车、大型车辆	2027 年
氨燃料	川崎重工	零碳燃料，能量密度高	船舶、重型机械	2030 年
生物质合成柴油	日本石油联盟	费托合成工艺	交通燃料	2028 年

丰田公司则在氢燃料内燃机研发方面取得显著进展，其研发的氢燃料内燃机热效率达到 45%，排放物仅为水蒸气，特别适用于卡车等大型车辆，在实现零碳排放的同时保留了传统内燃机的驾驶体验。此外，日本企业还在积极探索其他合成燃料技术，包括通过费托合成工艺将生物质气化后转化为合成柴油，并与东南亚国家合作开发生物质供应链。川崎重工等企业则在探索氨作为零碳燃料的应用潜力，

计划将其用于船舶和重型机械领域，这些创新体现了日本在重工业减排方面的技术领导力。

尽管技术路线多样，合成燃料的加注网络尚未建立，生产成本也居高不下，仍需配套政策与基础设施支持。日本计划通过国际合作加速合成燃料的商业化进程，目标在 2030 年使生物燃料占交通能源的 10%，并积极拓展氢基合成燃料在航空与海运等领域的应用场景。这一战略不仅有助于日本实现国内减排目标，也为全球重工业领域提供了可行的脱碳方案。

二、发展动力

(一) 政策支持

日本政府是全球最早研究氢能产业的国家之一，氢能被广泛应用于交通、住宅和工业生产等多个领域，其中车用氢能是日本氢能发展的核心方向，政府通过系统性、递进式的政策布局，构建了完善的燃料电池汽车（FCV）支持体系。从政策发展脉络来看，早在 1973 年，日本就成立“氢能源协会”并出台一系列计划，覆盖制氢技术、燃料电池和液化储氢等核心领域的研发；2017 年发布“氢能基本战略”，明确到 2030 年建设 900 座加氢站、普及 80 万辆氢燃料电池汽车和 1200 辆氢燃料电池公交车，并向 530 万家庭推广家用燃料电池热电联供系统（ENE-FARM）；2021 年发布的《第六次能源基本计划》，进一步提出建立国际氢能供应链，推动氢能在制造业中的应用与生产方式转型，提升社会氢能需求；2023 年 6 月，日本经济产业省发布《氢能基本战略（修订版）》，将目标升级为全面推进氢能汽车、氢能轨道交通网络、氢能发电、氢能海空动力及家庭用氢能综合能源系统构建，明确到 2030 年国内普及约 80 万辆乘用车当量 FCV、建成 1000 座加氢站、推广 300 万台 ENE-FARM 系统，同时将燃料电池发电效率从 40%~55%提升至 60%，并设定 2030 年氢供应量 300 万吨、2040 年 1200 万吨，以及氢能发电成本降至与液化天然气相当水平的长远目标。

日本对氢能的战略布局，背后有着深刻的国家能源安全考量。作为资源匮乏的岛国，日本能源自给率极低，传统上严重依赖中东石油和天然气进口，这种单一能源结构对国家安全构成潜在威胁。而氢能作为二次能源，可通过可再生能源、化石燃料+碳捕捉等多种途径制造，还能实现海外进口，因此发展氢能社会对日本而言，不仅是推动环保与绿色转型的重要举措，更是保障国家能源独立和安全的战略行动，这也使得日本政府将氢能定位为国家战略能源，持续强化对氢能产业链的全方位支持。

在具体政策支持层面，日本构建了“补贴+税收+基础设施”的多维保障体系。补贴政策上，对氢燃料

电池车的扶持力度显著倾斜，2025 年度最高补贴金额达 250 万日元，远高于纯电动车的 85 万日元、插电混动车的 50 万日元和混合动力车的 25 万日元，且氢燃料电池车无特殊补贴条件，纯电及插混等车型则需满足相应评分标准，充分体现了政府优先推动 FCV 发展的导向。税收政策方面，2023 年日本延长环保车减税政策至年底，纯电动车可享受购置税和车检两次免税优惠，该政策被维持至 2026 年 4 月底；更为关键的是，自 2025 年 5 月起，日本将取消纯汽油车（不含轻型车）的环保减税，而新能源车型仍可继续享受税收减免，通过经济杠杆有效提升了新能源车的市场竞争力。基础设施建设作为政策落地的重要支柱，日本政府双管齐下推进新能源配套设施完善：一方面计划 2030 年前在东京等地建设 6 万座充电桩，并对地方政府提供 50%至 75%的建设补贴；另一方面持续加码氢能基建，在 2023 年修订的《氢能基本战略》中明确加氢站建设目标，同时通过补贴将加氢站建设成本从 3.5 亿日元降至 2 亿日元。此外，地方政府积极协同中央政策，东京都等地区为 FCV 提供额外购车补贴，部分车型总补贴可超 100 万日元；同时日本设立 100 多个碳中和示范区，这些区域可优先获得新能源车推广资金支持，形成中央与地方联动推进的良好格局。

表 9：日本新能源汽车补贴政策对比（2025 年度）

车辆类型	最高补贴金额	补贴条件	政策导向
氢燃料电池车	250 万日元	无特殊条件	强力扶持
纯电动车	85 万日元	需满足评分标准	鼓励普及
插电混动车	50 万日元	需满足评分标准	适度支持
混合动力车	25 万日元	需满足排放标准	过渡支持

税收政策方面，日本政府 2023 年延长环保车减税政策至年底，纯电动车在购置税和车检时可享受两次免税优惠，并将此政策维持至 2026 年 4 月底。更为重要的是，自 2025 年 5 月起，日本将取消纯汽油车（不含轻型车）的环保减税，而新能源车型仍可继续享受税收减免，这一政策显著提升了新能源车的市场竞争力，体现了日本通过经济手段引导消费者选择环保车型的政策智慧。

基础设施建设是日本新能源战略的另一重要支柱。政府计划在 2030 年前在东京等地建设 6 万座充电桩，并对地方政府提供 50%至 75%的补贴。氢能战略方面，日本 2023 年修订《氢能基本战略》，明确 2030 年普及 80 万辆 FCV、扩建加氢站至 900 座的目标。地方政府也积极配合中央政策，东京都等地区提供额外购车补贴，部分车型总补贴可超过 100 万日元。此外，日本还设立了 100 多个碳中和示范区，这些区域可优先获得新能源车推广资金支持，形成了中央与地方协同推进的良好局面。

(二) 技术优势与产业链完整性

日本在氢燃料电池技术领域拥有超过 25 年的研发积累，形成了全产业链的技术优势。丰田、本田等企业在燃料电池堆、高压储氢罐、系统控制等核心技术上处于全球领先地位。

表 10：日本氢燃料电池技术主要突破

企业	技术突破	性能指标	应用前景
丰田	第三代燃料电池系统	续航 777 公里，耐久性提升 2 倍	2026 年应用于商用车
本田	CR-V e:FCEV	氢电混合，纯电续航 47 公里	2027 年量产新一代模块
日野	Profia Z FCV 重卡	载重续航 650 公里，充氢 15-30 分钟	长途物流运输

丰田在燃料电池技术方面的突破尤为显著。其第三代燃料电池系统在功率密度、耐久性和成本控制方面均有大幅提升，续航里程达到约 777 公里，且计划于 2026 年应用于大型商用车领域。本田则推出了创新的 CR-V e:FCEV 车型，将氢燃料电池与 17.7kWh 电池组相结合，既保证了长续航，又提供了 47 公里的纯电续航能力。

日本还建立了完整的氢能产业链，从制氢、储运到应用各环节均有龙头企业布局。岩谷产业负责加氢站建设与运营，旭化成掌握燃料电池隔膜核心技术，川崎重工则专注于液氢储存与运输技术。这种全产业链布局为日本氢燃料电池车的可持续发展提供了坚实保障。

面对国际技术路线的竞争压力，日本车企也在不断调整战略。丰田计划在 2025 年推出续航 800 公里的 L4 级自动驾驶电动车，同时继续发展氢燃料技术；本田则削减纯电投资，转向混动和氢燃料技术，2024 年推出 N-ONE e:Mugen 版混动车型。值得注意的是，在美国的贸易压力下，日本政府已于 2025 年 7 月宣布将重新评估并调整其补贴政策，以减少对氢燃料电池车的明显倾斜，为包括纯电动车在内的各类清洁能源技术提供更平等的发展机会，体现了日本在坚持战略方向的同时保持政策灵活性的务实态度。

(三) 应用场景

氢燃料电池车在商用车领域展现出明显优势，特别是在中重型、长续航要求的应用场景中。与纯电动方案相比，FCV 具有加氢速度快、续航里程长、低温性能好、自重相对较轻等特点，更加适合商用车的运营需求。

表 11：FCV 在商用车领域应用实例

应用场景	代表企业	车型/项目	运营效果
物流运输	DHL 日本公司	氢燃料电池卡车	续航 260 公里，目标 2030 年 30%物流使用
重型运输	日野汽车	Profia Z FCV 重卡	载重续航 650 公里，充氢 15-30 分钟
城市公交	东京都政府	丰田 SORA 巴士	奥运村及周边地区接驳
港口作业	横滨港	燃料电池叉车	零排放，即加即用，提高效率

日野汽车于 2025 年 10 月推出的 Profia Z FCV 重卡是日本首款量产型氢燃料电池重型卡车，其载重行驶续航可达 650 公里，充氢时间仅需 15-30 分钟，完美契合长途物流需求。同时，DHL 日本公司已启动氢燃料电池卡车试点运营，目标在 2030 年将 30%的物流运输转为使用可持续燃料。在城市公交领域，东京都政府计划大规模推广丰田 SORA 燃料电池巴士，作为城市公共交通的重要组成部分。

三、企业实践——丰田氢燃料电池车

日本丰田汽车将战略重心押注于氢燃料电池车（FCV），经过二十余年深耕，已成为该领域的技术领军者。不过，其氢能乘用车发展当前仍面临多重制约，呈现“叫好不叫座”的困境。

作为丰田氢能战略的核心载体，氢燃料电池车 MIRAI 历经两代迭代，展现出鲜明的技术优势。第一代 MIRAI 于 2014 年上市，成为全球首批量产 FCV，具备“快充 3 分钟、续航 600km（NEDC 工况丰田测试值）”“零碳排放仅排水，堪比移动空气净化器”“低温环境畅行无阻”“可作为移动应急发电站对外供电”等核心特性。为推动燃料电池汽车初期市场普及，丰田于 2015 年 1 月宣布在全球开放 5680 项燃料电池相关专利，其中包含 MIRAI 的 1970 项关键技术，覆盖车载软件、系统及制氢等全链条；2019 年 4 月，进一步无偿开放约 23740 项车辆电动化技术专利使用权（含申请中项目），涵盖电机、电控（PCU）、系统控制等核心领域。2020 年 12 月，第二代 MIRAI 换代上市，基于雷克萨斯 LS 同款 GA-L 后驱平台打造，定位中型轿车，车身长度 4975mm、轴距 2920mm；动力系统采用“三个储氢罐+134kW 电机”组合，加氢时间仍保持约 3 分钟，续航里程提升至 800km，满氢状态下可达 850km。价格方面，该车美国市场起售价 4.95 万美元，可享受 1.5 万美元免费氢燃料补贴；日本本土起售价 710 万日元。

专利布局上，丰田构建了强大的技术壁垒。从国际专利分类号来看，其在 H01M8 燃料电池及其制造领域的专利申请量达 9671 件，占自身专利总量的 61%；在全球燃料电池专利申请人排名中，丰田以

10737 个专利族位居首位，占全球专利总量的 22.3%。此外，与丰田渊源深厚的爱信精机、电装两大零部件供应商合计占比 26.3%，意味着丰田体系共垄断全球 48.6% 的燃料电池核心技术，行业霸主地位稳固。

尽管技术领先，丰田氢能乘用车的市场表现却持续低迷，核心挑战集中在成本、基建及技术路径竞争三大维度。市场层面，2014 年至 2023 年，MIRAI 全球累计销量仅 21700 辆，远低于纯电动车（BEV）；即便第二代车型年产能提升至 3 万辆，实际市场需求仍未达预期，FCV 至今仍属小众品类，电动化（BEV/PHEV）仍是主流替代路径。成本方面，制氢环节（如电解水）的效率与环保性未显著优于化石能源或纯电方案；车辆生产依赖铂等贵金属，材料成本高企，且规模化不足导致零部件分摊成本难以降低。基建方面，单座日加氢 200 公斤的加氢站投资约 1000 万元人民币（不含土地），远超加油站与充电桩；氢气存储、运输的安全要求严苛，进一步推高成本；同时加氢站覆盖严重不足，以日本为例，2025 年计划建成 320 座加氢站，远低于现有 3 万座加油站、4 万座充电桩的规模，用户购买意愿受“先有车还是先有加氢站”的“鸡与蛋”困境制约。技术路径竞争上，氢能全链条（制、储、运、用）效率低于电能直接利用；且当前主流制氢依赖化石能源，“绿氢”（可再生能源制氢）占比低，碳减排效果受限，环保性备受质疑。

针对上述困境，丰田制定了多维应对策略：通过技术研发探索低成本制氢方案、减少对铂等贵金属的依赖；联合高校开展技术经济性评估；推动政策层面补贴加氢站建设；联动能源公司、储运企业协同降本，全力突破发展瓶颈。

四、挑战与展望

日本在新能源汽车多元化发展道路上面临着多重挑战。首先，成本问题仍是制约各类新能源技术普及的关键因素，生物燃料和合成燃料的生产成本仍高于传统化石燃料，氢燃料价格虽有补贴但仍处于高位。其次，基础设施建设仍需加强，特别是加氢站和合成燃料加注网络的覆盖范围仍然有限。此外，日本坚持的多元化技术路线与欧美主流的纯电动化路径存在差异，可能导致市场分化和技术标准的不统一。

尽管如此，日本在新能源汽车领域的未来发展仍充满希望。随着技术的不断进步和规模的扩大，各类新能源技术的成本有望进一步下降。日本政府计划通过政策补贴与国际协作加速生物燃料与合成燃料的商业化进程，目标在 2030 年实现生物燃料占交通能源的 10%，并拓展氢能航空、海运等领域的

应用。同时，日本企业正积极与东南亚国家合作，构建生物质燃料供应链，为合成燃料的规模化生产提供原料保障。

从长远来看，日本的新能源汽车多元化战略符合不同应用场景的减排需求，纯电动路线适用于城市短途出行，氢燃料电池车在商用车和长途运输领域具有优势，而生物燃料和合成燃料则为保留传统内燃机体验的同时实现减排提供了可能。这种多元化路径不仅有助于日本实现碳中和目标，也为全球汽车产业转型提供了重要的参考价值。随着全球对 ESG 重视程度的不断提高，日本在新能源技术方面的创新和实践将继续为可持续发展贡献力量。

第三节 韩国

近五年（2020-2025 年），韩国新能源汽车发展形成“氢燃料主导、混合动力支撑、生物燃料探索、多技术路线并行”的核心格局，依托政府强力政策驱动、本土企业技术领跑及全球化合作布局，稳步向环保可持续方向转型。市场层面，新能源车型注册量显著增长，混动汽车销量创新高，虽氢燃料电池汽车销量短期下滑，但整体新能源汽车销量仍创历史新高；出口端表现强劲，出口额与数量持续增长，全球市场影响力逐步提升。

一、多元动力类型

(一) 氢燃料汽车

氢燃料汽车是韩国新能源战略的核心抓手，形成“政策-技术-基建-市场”协同推进体系。

政策支持上，韩国政府 2021 年推出《第四期新能源汽车发展规划（2021-2025）》，明确多层次目标：2025 年、2030 年分别普及 283 万辆、785 万辆新能源汽车，实现 2030 年汽车碳减排 24%；推动公共机构全采购新能源汽车，对民企实施新能源汽车购买目标制度；推进零部件国产化，计划 2025 年将新能源汽车价格降低 1000 万韩元以上；将新能源汽车出口量从 2020 年 28 万辆提升至 2025 年 83 万辆，出口占比从 14.6% 升至 34.6%。

补贴力度向氢燃料车倾斜，2025 年氢燃料车最高补贴达 2250 万韩元，远超电动车的 800 万韩元；同时引入“低排放车配额制”，加严燃油车排放标准，推动产业本地化布局。

技术研发上，韩国将氢能列为未来核心技术，目标 2040 年推广 620 万辆氢燃料汽车、建设 1200 座加

氢站，现代汽车作为核心载体，逆势推出新款氢能概念车并计划 2025 年上市，其 Nexo 车型占据韩国氢燃料车市场 90%以上份额；商用领域进展显著，济州岛 2023 年试运行绿氢公交车，采用太阳能和风能制备的 99.99%纯度绿氢，未来计划全面替换传统公交车。

基础设施方面，截至 2025 年 6 月已建成加氢站 407 座，接近 450 座的年度目标，但存在分布不均问题，首都圈占比 62%，地方城市覆盖率不足 40%；政府通过“天然气站改加氢站”等方案优化布局，加氢站建设成本从 2019 年 30 亿韩元降至 2025 年 20 亿韩元（约 1200 万人民币），加氢时间缩短至 5 分钟以内，但氢气零售价仍高达 8 万韩元/kg（约 43 元人民币），是汽油成本的 2 倍，制约消费普及。

(二) 生物燃料汽车

生物燃料汽车领域，韩国以政策推动为核心，加速技术研发与产业链布局。

政策层面，政府计划将生物柴油在柴油中的混合比例从 2022 年 3.5%提升至 2030 年 8%，设立 43 万亿韩元产业基金支持生产设施建设；2023 年在济州岛启动棕榈油基生物柴油公交车试点，目标降碳 50%，同时完善生物燃料法规体系，推动原料供应链协同发展。

技术与市场应用上，现代汽车与 SK Innovation 合作研发可兼容 B100 纯生物柴油的发动机，计划 2028 年量产；能源企业积极布局多元化产品，LG 化学与意大利埃尼集团成立合资企业，在忠清南道瑞山市建设年产 30 万吨的 HVO（新一代生物油）工厂，预计 2027 年投产，该燃料利用废弃食用油制成，低温性能优异且应用场景广泛；SK Innovation、GS Caltex 等企业通过海外投资、建厂等方式保障原料供应、扩大产能，HD 现代 Oilbank 则推进生物柴油、生物航空燃料等全产业链布局。

(三) 其他替代燃料

其他替代燃料领域，韩国聚焦技术储备与试点突破。

压缩天然气（CNG）汽车应用成熟，2013 年起大范围推广 CNG 混动公交大巴，较传统柴油车减碳 20%，首尔、釜山等大城市仍广泛使用；计划 2025 年推出氢-天然气（HCNG）公交车，可进一步减碳 55%。甲醇汽车领域，HD 现代重工技术积累深厚，2015 年制成首台甲醇燃料大型发动机，2022 年、2023 年先后开发全球首款中速、超大型甲醇双燃料发动机，截至 2024 年 11 月，其中速甲醇发动机订单达 346 台，市场占有率 72%；计划 2028 年将该技术应用于商用车，推动商用车动力绿色转型。

二、发展动力

韩国已将“未来汽车”列为三大创新增长产业，其中燃料电池汽车作为韩国经济重要增长领域，受到政府的广泛关注与重点扶持。

政策规划层面，韩国构建了递进式的发展目标与法治化的保障体系。2019 年，韩国政府发布《氢经济发展路线图》，明确到 2040 年将氢燃料电池汽车累计产量从 2000 余辆提升至 620 万辆，加氢站数量增至 1200 个；2020 年，韩国通过世界首部氢领域专项法律《促进氢经济和氢安全管理法》，从法律层面界定氢经济定义、规范组织机制、企业资质、供氢设施、保障措施及安全管理等内容，并设立氢经济委员会，统筹协调氢能相关政策与计划的制定实施；2022 年 11 月，韩国总理韩德洙在经济政策会议上公布新版《氢经济发展路线图》，针对燃料电池汽车提出技术攻坚目标，要求 2030 年实现商用车耐久性达 80 万公里、燃料电池汽车用氢效率达 17km/kg。

财税支持层面，韩国推出多重优惠政策助力产业落地。购车端为燃料电池汽车提供最高 3000 万韩元的补贴，同时免收车辆购置税、环境改善税；基建端对加氢站发放建设补贴，且实施免收土地使用费、水电费等优惠；产业端鼓励金融机构为氢能产业链企业提供低息贷款，并给予税收减免，全方位降低产业发展成本。

除了政策支持和技术优势，国际合作也是韩国新能源汽车产业发展的重要支撑，形成多维度合作网络。

与中国合作方面，2024 年现代汽车联合韩国蔚山市、中国广州市签署氢能合作备忘录，依托广州 HTWO 氢燃料电池系统生产基地，2025 年计划供应超 1000 套系统，开展产学研协同研发与示范项目落地。与沙特合作方面，现代汽车联合多方在沙特构建氢基移动出行生态系统，提供氢燃料电池商用车并开展技术服务与示范推广。

与全球车企合作层面，现代汽车分别与斯柯达、通用汽车达成氢能与电动车领域合作，联合韩日美欧企业攻克技术难题、推动产业标准统一。生物燃料领域，LG 化学与意大利埃尼集团合作，计划在韩国建设年产 40 万吨的生物燃料精炼厂；SK Innovation 通过投资美国、中国企业，保障生物燃料原材料供应。

三、挑战与展望

韩国新能源汽车产业当前面临三大核心挑战。氢燃料领域绿氢占比不足1%，加氢站运营亏损率超50%，民间资本参与度低；混合动力领域受补贴退坡影响，销量增速放缓，需技术升级维持竞争力；生物燃料领域原料供应依赖进口，废塑料回收体系尚未完善。

未来，韩国将聚焦技术多元化、场景扩展与国际合作三大战略。2030 年将氢能在能源结构占比提升至5%，重点发展绿氢与蓝氢，目标绿氢成本降至 2 美元/kg 以下；推动氢能在家庭热电联供、电力领域应用，2030 年实现 13TWh 清洁氢发电量；通过“造船-制氢-储运”一体化布局，承接跨洋液氢运输项目。依托政策持续投入与技术先发优势，韩国有望在 2030 年禁售燃油车的转型窗口期，巩固氢燃料汽车、液氢运输船等领域的全球领先地位，重塑产业竞争力。

参考资料

1. 黄建兵、吴玉洁.燃料电池汽车——未来“氢经济”的动力[J].城市车辆,2004(1)
2. 张晨阳、常治斌.氢燃料电动汽车-21世纪汽车产品的方向[J].湖北工学院学报,2002(6)
3. 沈燕华.国外甲醇汽油的发展与启示[R].中国石油化工集团公司经济技术研究院(北京100029),2010(12)
4. 何仁.燃料电池汽车研究现状与发展前景[J].江苏理工大学汽车研究所,2001(2)
5. 日本经济产业省.氢能基本战略(修订版)[EB/OL].日本经济产业省官方网站,2023.
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/hydrogen.html
6. 丰田汽车公司.第三代氢燃料电池系统技术白皮书[EB/OL].丰田汽车公司官方网站,2025.
https://global.toyota/pages/global/toyota-technical-review/2025_fuel_cell.pdf
7. 本田技研工业.CR-V e:FCEV 产品技术说明[EB/OL].本田技研工业官方网站,2025.
https://www.honda.co.jp/fcev/cr-v_tech/
8. Euglena 株式会社.藻类生物燃料产业发展报告[EB/OL].Euglena 株式会社官方网站,2024.
https://www.euglena.jp/en/research/biofuel_2024/
9. 日本环境省.清洁燃料证书制度实施纲要[EB/OL].日本环境省官方网站,2025.
https://www.env.go.jp/policy/clean_fuel_certificate/
10. 日本自动车工业协会(JAMA).2024-2025年日本新能源汽车政策白皮书[EB/OL].日本自动车工业协会官方网站,2025.
https://www.jama.or.jp/policy/ev_policy_whitepaper2025/
11. 日本国土交通省.新能源汽车基础设施建设规划[EB/OL].日本国土交通省官方网站,2024.
https://www.mlit.go.jp/road/ev_infrastructure_plan/
12. 三菱综合研究所(MRI).合成燃料技术经济性分析报告[EB/OL].三菱综合研究所官方网站,2025.
https://www.mri.co.jp/research/report/synthetic_fuel_economic_2025/
13. 岩谷产业.日本加氢站建设与运营现状[EB/OL].岩谷产业官方网站,2025.
https://www.iwatani.co.jp/energy/hydrogen/station_status2025/
14. South Korea boosts bio-jet fuel development amid global shift to green aviation.2024-03-19.
<https://www.chosun.com/english/industryen/2024/03/19/GUGVUGZ33BFSVJZX4YTLBGWIOM/>
15. 韩民官将携手积极培育生物燃料产业.2022-11-10.
http://bzy.scjg.jl.gov.cn/dbybzxx/zhxw/202211/t20221110_660634.html
16. 济州道绿氢公交车在韩率先开始试运行.2023-09-05.
http://jeju.china-consulate.gov.cn/chn/lqdt/202309/t20230905_11138523.htm
17. 现代与中国广州市、韩国蔚山市签署推动氢能产业发展合作备忘录.2024-11-26.
<https://www.autohome.com.cn/news/202411/1302316.html?from=m&platform-key=pc>
18. Hyundai Motor Signs MOU with KATECH, APQ and SAPTCO to Foster Hydrogen Mobility Ecosystem in Saudi Arabia.2023-10-23.
<https://www.hyundaimotorgroup.com/amp/CONT0000000000117770>
19. 韩国混动汽车突破200万辆,但电动车转型慢.2025-02-27.
<https://auto.ifeng.com/c/8hJMa6rxBxG>
20. 韩国2013年正式普及推广CNG混动公交大巴.
<https://m.evpartner.com/news/detail-2978.html>

第三章 主要动力能源的实践分析

第一节 氢能

一、全球氢能源汽车发展概况

全球氢能源汽车（主要指氢燃料汽车，FCEV）产业当前呈现“区域分化、技术突破、政策驱动”的发展格局，正处于从示范应用向规模化推广的过渡阶段，整体发展态势可概括为“前景广阔，但道路曲折”，需技术、政策与基础设施的协同推进。

全球氢燃料汽车市场的区域分化特征显著，各国依托自身产业基础与战略导向形成差异化发展路径。

中国市场以“商用车主导+政策强力驱动”为核心逻辑，商用车占比超80%，重卡、公交等场景成为绝对主力，且已建成首条重庆-钦州港氢能重卡走廊（1150公里）；政策层面，首批示范城市群政策周期将至，重庆等地出台加氢站补贴、通行便利等政策，多地试行氢车免高速费，规划2025年FCEV保有量达5万辆。

日韩市场则处于“乘用车探索受阻”的调整期，日本丰田Mirai与本田CR-V、韩国现代Nexo等主力乘用车销量持续下滑。为此，日韩加速场景转向，日本聚焦港口物流与工业脱碳，韩国通过“氢能社会”战略强化顶层设计，计划2030年前建成900座加氢站。欧美市场呈现“重卡试点+基建先行”特征，欧洲由德国、法国主导氢能重卡跨境运输试点，规划2030年建成5000座加氢站；美国加州力推港口氢能重卡应用，却受IRA法案限制中国供应链影响，本土化生产成本高企，制约规模化推广。总体而言，全球市场正从早期多元探索转向区域分工深化，中国领跑商用车规模，日韩调整乘用车策略向细分场景渗透，欧美以重卡试点牵引基建布局。

氢能源汽车的发展路径与纯电动汽车存在明显差异，呈现“商用车侧重推进、乘用车发展缓慢”的分化格局。商用车（重卡、巴士、物流车等）被认为是氢燃料电池更具优势的应用领域，因其能提供800公里以上的长续航里程和约15分钟的快速加注时间，可满足商用车高强度运营、快速补能需求，且低温环境下性能表现更优，全球主流企业均将重卡、物流车等商用车作为当前主要应用场景。而乘用车领域进展相对迟缓，虽有丰田Mirai、现代Nexo、本田Clarity、宝马ix5 hydrogen等代表性量产或示范车型，但大规模市场投放较少。商用车领域则已有多款车型进入规模化示范或测试阶段，现代XCIENT自2020年在瑞士部署，至2024年累计行驶超1000万公里，实现全生命周期碳中和；戴姆勒GenH2卡车完成瑞士阿尔卑斯山冬季测试，为2026年小批量投产奠定基础；IVECO S-WAY燃料电池

重卡参与欧洲H2Haul项目，具备连续400公里以上运营能力。

尽管氢能源汽车具备零排放、续航长等优势，但商业化推广仍面临技术瓶颈与经济性短板双重挑战。技术瓶颈主要集中在四大领域：

- 燃料电池耐久性不足，车辆动态运行下性能衰减明显，重卡所需的百万小时寿命目标尚未达成，核心部件在变工况下易发生化学与机械衰减，频繁启停等工况加剧材料老化；
- 关键材料与成本问题，质子交换膜、催化剂（如铂）、气体扩散层等核心材料多依赖进口，成本高且供应链脆弱，气体扩散层（碳纸）仍是“卡脖子”环节，虽部分材料实现国产突破，但在一致性、关键指标上与国际先进水平存在差距；
- 储氢安全与效率难题，高压气态储氢存在泄漏、爆破风险，储氢密度低且氢脆问题未完全解决，低温液态储氢能耗高、易挥发，固态储氢等前瞻技术尚处研发示范阶段；
- 制氢经济性与绿氢占比低，当前以“灰氢”为主，碳排放高，“绿氢”（电解水制氢）成本是燃油的2-3倍，且电解槽依赖贵金属（如铱），回收技术有待成熟。

经济性短板则体现在三方面：

- 整车成本过高，燃料电池系统成本占整车60%，车载高压储氢罐因使用进口碳纤维等昂贵材料，成本占比达18%；
- 使用成本偏高，氢气价格缺乏竞争力，全生命周期成本（TCO）居高不下，产业链企业普遍亏损；
- 基础设施严重滞后，全球加氢站仅约1160座（2024年底），且分布不均，主要集中在示范城市群，“车等站”现象突出，加之加氢站建设与运营成本高昂，氢气运输损耗率高，部分站点因运营压力关闭。

面对挑战，全球范围内已开启多维度技术突破探索，为氢能源汽车未来发展奠定基础。在燃料电池耐久性提升方面，已形成材料革新、系统优化及智能管理协同创新体系，中国科学技术大学团队开发的非贵金属阳极催化剂可有效抑制反向电流衰减，使燃料电池系统寿命从2015年3000小时跃升至2025年8000小时，接近内燃机水平；未来AI驱动的动态材料优化与数字孪生全生命周期管理深度融合，预计2030年可实现15000小时超长耐久性目标。成本控制方面，中国电堆成本已从2017年1.5万元/kW降至2025年的1000元/kW左右，系统成本低于2000元/kW，长安研发的氢燃料发动机超稀薄燃烧技术也实现关键突破；但整车成本过高仍是核心瓶颈，2024年全球FCEV销量仅约3.2万辆，远

低于电动汽车百万级规模，难以通过规模效应降本，关键材料进口依赖也推高了采购成本。从运营成本对比来看，重卡场景中，49吨氢燃料电池重卡百公里燃料成本350元，比同等柴油重卡高25%；乘用车场景中，丰田Mirai百公里氢耗约1.2kg，燃料成本42元，虽接近丰田凯美瑞等燃油车，但需叠加高额购车价，市场竞争力受限。

二、国内氢燃料电池汽车的发展情况

2024年，中国氢燃料电池汽车累计销量5405辆，燃料电池商用车销量为5054辆，占比93.5%。其中，中重型商用车（重卡、大巴、港口/矿区/干线物流车辆）率先实现规模化应用，而客车占比从2020年的90%快速下降至约7%，这一变化反映了市场从传统客车向更具商业化潜力的重卡及冷链物流车型的明显转型趋势。

重卡已成为氢燃料电池汽车的主战场。2024年国内氢能重卡销量达到4460辆（交强险口径统计），应用场景也已扩展至冷链物流、渣土运输等八大领域。根据文件《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》相关要求，国金证券预测，2025年燃料电池车保有量缺口约2.2万辆，重卡将成为氢能源汽车的主力战场。

氢能源商用车需求已逐步释放，乘用车市场潜力巨大但市场接受度仍需时间培养。目前，氢能源乘用车主要面向高端市场与政府示范项目，例如，丰田第二代MIRAI氢能轿车，市场建议零售价为74.8万元起，目标用户为先锋环保汽车追求者与体育赛事服务用车。2022年，上海市投入80台氢能源网约车以虹桥机场为中心运行，但因运营成本过高，实际续航能力较差等原因反响欠佳。乘用车的大规模普及可能需等待2030年后燃料电池成本降至锂电池水平（约1000元/kWh），且加氢站密度达到“每50公里1座”的便利水平

（一）氢燃料电池汽车政策

1. 国家层面

2019年3月，国家首次将氢能写入政府工作报告，明确指出未来需推动充电、加氢等设施建设；2024年两会期间，国家首次将加快氢能产业发展写入政府工作报告。

2020年9月，财政部、工业和信息化部、科技部、发展改革委、国家能源局联合发布《关于开展燃料电池汽车示范应用的通知》，明确指出在示范期间，五部门将采取“以奖代补”方式，对入围示范的城市群按照其目标完成情况给予奖励。奖励资金由地方和企业统筹用于燃料电池汽车关键核心技术产业化，人才引进及团队建设，以及新车型、新技术的示范应用等，不得用于支持燃料电池汽车整车生产投资项目和加氢基础设施建设。截至2025年3月，我国燃料电池汽车示范城市群已形成“5+N”格局，具体为京津冀、上海、广东、郑州、河北五大国家级示范城市群，以及哈密、濮阳、吕梁等新加入的城市。

2022年3月，国家发改委发布了《氢能产业发展中长期规划(2021-2035年)》，该政策指出2020-2025年为“初步示范期”，初步实现氢燃料电池汽车商业化应用，规模达到1万辆；2025-2030年为“加快推广期”，计划氢燃料电池汽车保有量达到5万辆；2030-2035年为“大规模应用期”，氢燃料电池汽车实现商业化应用。各年份具体任务详见下表。

表 11:《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》任务表

年份	任务一	任务二	任务三
2020-2025	初步实现氢燃料电池汽车商业化应用	商业化规模达到1万辆，投入运营的加氢站达到100座	以公共交通、仓储物流为主要业务开展商业化示范运行，累计运行达1亿公里
2025-2030	加快实现氢能及燃料电池汽车的推广应用	优化燃料电池系统的结构，加速关键零部件的产业化，大量降低燃料电池系统成本	车辆保有量达到6-10万辆
2030-2035	实现氢能及燃料电池技术的大规模推广应用	实现大规模氢的制取、储存、运输、应用一体化，加氢站的现场储氢，制氢规模的标准化和推广应用	完全掌握燃料电池核心关键技术

2024年12月，工业和信息化部、国家发展改革委、国家能源局又联合印发了《加快工业领域清洁低碳氢应用实施方案》，明确提出要加快氢燃料电池汽车应用。

2025年1月，我国首部《中华人民共和国能源法》正式施行，氢能首次被明确纳入能源管理体系，与煤炭、石油、天然气等传统能源并列，从法律层面明确了氢能源的能源地位。

2. 地方层面

响应国家号召，2020 年以来，我国各省市纷纷出台燃料电池相关政策。

2021 年 8 月，北京市发布《北京市氢能产业发展规划实施方案（2021—2025）》，计划到 2025 年氢燃料电池汽车保有量达到 10000 辆，新增 37 座加氢站，产业规模达到 1000 亿元。

2022 年 6 月，上海发布《上海市氢能产业发展中长期规划（2022—2035）》，提出到 2025 年保有 10000 辆氢燃料电池汽车，建设 70 座加氢站，产业规模同样达到 1000 亿元。

2022 年，河南省在《河南省氢燃料电池汽车产业发展行动方案》中提到，计划到 2025 年推广 5000 辆氢燃料电池汽车，建设 80 座加氢站，并期望产业规模达到 1000 亿元。

河北省、四川省、重庆市、吉林省、山西省、安徽省、福建省、内蒙古自治区和宁夏回族自治区均相继发布各自的氢能产业发展规划，提出了氢燃料电池汽车的数量目标、加氢站建设计划以及产业规模的预期。

同时，为进一步加快氢能车辆推广应用，各地纷纷制定了氢燃料电池汽车补贴政策，下表梳理部分相关政策。

表 12：氢燃料电池汽车地方性补贴政策梳理（部分）

时间	地区	文件名称	补贴类型	相关内容
2025 年 6 月	广州	《广州市推动智能网联新能源汽车产业发展三年行动计划（2025-2027 年）》	汽车购置补贴	政策实施期间，对于在我市新购买并登记上牌的前 5000 辆燃料电池汽车，产品符合技术先进性要求，数据已接入国家、省、市燃料电池示范应用相关信息化平台，且符合其他相关条件的，按机动车销售统一发票含税价的 4% 补贴购买方（企业或个人），最高不超过 4 万元/台。
2024 年 4 月	成都	《成都市推动氢燃料电池商用车发展试点应用行动方案（2024-2026 年）》、《成都市推动氢燃料电池商用车发展推广应用政策申报指南》	免高速费	省市协同对行驶我市成温邛高速、双流机场高速、成彭高速、成灌高速和城北高速安装使用氢装备的氢燃料电池商用车，给予使用 ETC 免除高速公路通行费。

时间	地区	文件名称	补贴类型	相关内容
2024 年 4 月	浙江	《关于支持镇海氢能产业发展的若干意见（试行）（征求意见稿）》	汽车购置补贴	支持氢燃料电池汽车购置运营，对该区登记上牌的前 200 辆氢燃料电池汽车，在享受市级资金补贴的基础上，根据实际情况给予区级配套购车资金补贴。
2024 年 3 月	辽宁	《大东区关于支持氢能暨氢燃料电池汽车产业高质量发展若干政策措施的实施细则（征求意见稿）》	资金补贴	对制氢相关项目围绕给氢、甲醇等低碳制氢的投资补贴。给予最高 10%，最多 100 万元的投资补贴。液氨、甲醇等低碳制氢围绕给予最高 20%，光伏、风电等零碳制氢相关项目围绕给予最高 30%，最多 5000 万元的投资补贴。
2024 年 3 月	山东	《关于对氢能源车免收高速公路通行费的通知》	减免过路费	自 2024 年 3 月 1 日起，对行驶山东高速公路安装 ETC 套装设备的氢能源车辆免收高速公路通行费。政策试工期 2 年，到期后根据执行情况适时调整。
2024 年 3 月	北京	关于申报《大兴区促进氢能产业发展暂行办法（2022 年修订版）》项目的通知	奖励资金	对产品被列入国家燃料电池示范城市燃料电池汽车示范城市群关键零部件目录的零部件生产研发企业，按照国家奖励资金的 30% 给予资金支持。
2021 年 11 月	上海	《关于支持本市燃料电池汽车产业发展若干政策》	资金补贴	车用加氢站经营建设主体在本市区域内按照有关规定建设加氢站，完成竣工验收并取得燃气经营许可证（车用氢气）的，本市按照不超过核定的设备购置和安装投资总额 30% 给予补助。 对取得燃气经营许可证（车用氢气）的加氢站，氢气零售价格不超过 35 元/公斤的，按照年度氢气实际销售量，给予加氢站运营主体补助

(二) 发展现状

近十年间，我国氢能源汽车相关技术实现全产业链突破，整体技术水平从 2020 年前的跟跑提升至并跑，产业链已打破国外技术垄断，部分关键技术和产品应用达到国际领先水平。

技术突破集中在四大核心领域。

一是燃料电池整体性能大幅提升，国产燃料电池可靠性显著增强，平均首次故障里程和平均间隔故障里程双双突破 10 万公里，实现-40°C低温启动技术突破，环境适应性进一步提高；同时经济性优势凸显，商务车整车氢耗处于国际领先水平，燃料电池客车百公里氢耗低于 5 公斤，燃料电池系统成本从 2020 年前的 15000 元/kW 降至 2500 元/kW，降幅达 80%，耐久性也实现突破，寿命已超 2 万小时。

二是膜电极技术取得重大突破，高活性高稳定性膜电极在 0.78V 电压下可实现 1 安培电流输出，耐高温膜电极技术稳步推进，耐受大于 100°C的技术已推广运用，其中欧阳明高团队研发的 105°C耐高温燃料电池膜电极，已完成 500h 稳定性试验且无衰退。

三是电堆技术领先全球，国内市场已出现新一代高功率、长寿命、低成本电堆，以青川科技电堆为例，其成本、体积、功率密度、最大功率寿命、冷启动运行温度等参数均达到全球最先进水平，且未来成本仍有下降空间。

四是关键零部件国产化率突飞猛进，电堆、空气压缩机、膜电极、氢气循环系统、双极板等五项核心零部件国产化率超 80%，部分龙头企业实现 100%国产化，如广东云韬氢能的“领航一号”氢燃料电池发动机系统实现自研自产 100%国产化，长城汽车自主研发的“氢动力系统”实现六大核心技术和产品知识产权完全自主化，核心零部件国产化率 100%。

尽管发展成果显著，我国氢能源汽车产业仍面临诸多技术瓶颈，主要集中在制氢和储氢两大核心环节，同时燃料电池核心零部件及系统集成也存在短板。

制氢技术方面，当前工业大规模制氢以化石燃料重整制氢为主，虽成本较低但碳排放量大，不符合可持续发展要求；水电解制氢可实现零排放，但存在成本高、效率低的问题，商业水电解槽效率仅 70%-80%，制氢成本约 30-50 元/千克，远高于传统汽油等效成本，削弱了市场竞争力；此外，水电解制氢需大量电力，国内当前以火电为主，若依赖火电制氢仍会产生碳排放，而可再生能源制氢（绿氢）规模小、发电间歇性强，与电解装置匹配难度大，且基础设施不完善，限制了大规模发展。

储氢技术方面，氢气储运成本高且安全性挑战突出，主流储氢方式各有短板：气态储氢储存密度低，影响车辆空间和续航；液态储氢密度高，但液化能耗大、储存容器绝热要求高，成本和技术难度大；固态储氢与有机液态储氢虽储氢密度高、安全性好，但技术尚处于发展前期，无法大规模应用。燃料电池领域，部分核心零件国产化率不足，碳纸（气体扩散层材料）、质子交换膜、催化剂进口比例分别达 80%、93%、98%，导致燃料电池系统成本居高不下；同时电池耐久性需进一步提升，车辆运行中催化剂失活、质子交换膜降解等问题会缩短电池寿命，解决该问题需多维度综合发力，难度较大；此外，燃料电池系统由多项子系统构成，各子系统相互影响，协调和集成难度大，如水热管理不当会引发温度不均、水淹或干膜等问题，影响电池性能与寿命。

(三) 氢能源汽车案例分析

1. 宇通燃料电池客车 F10

F10 是宇通自主研发的燃料电池客车，该车型于 2018 年起用于张家港公交系统，为江苏省首条氢燃料电池公交示范线路，截至 2024 年 12 月，运行总里程达 1429.48 万公里，累计减少二氧化碳排放 10300 余吨；同年，该车型作为赛事用车，全程为北京冬季冰雪盛会转运观众和工作人员。其基础参数详见下表。

双配置：为进一步推进商业化，从客户角度出发，该车设置有 50kW 和 60kW 两种能量型燃料电池系统，50kW 系统更适合日常短途运营，而 60kW 系统则能应对高峰期或复杂路况，客户可根据需求进行选择。同时，能量配置系统可使燃料电池大部分时间运行在 50%负荷区，提高系统效率，延长电池寿命。

负排放：该车装备宇通独有“黑科技”——活性再生自动控制物理化学一体化空气过滤技术，在运行过程中，可吸收大气中的污染物和 PM2.5 颗粒物，并排放出纯净的水和清洁空气。据测算，每辆燃料电池城市客车运行一天，可净化供 200 名成年人呼吸 1 天的空气，在零排放的基础上更进一步，实现负排放。

三大优势：一是加氢快，仅需 10 分钟左右，续航里程可达 500km，相比纯电车，大幅度缩减充电时间，解决了续航里程焦虑。二是清洁环保，排放物仅有纯水和洁净空气，相比于燃油车更加绿色节能。三是宽温域，整车通过高寒测试，可实现-30°C静态启动。

多重保障: 该车还针对氢能源特性, 设置了一系列安全保障系统。一是基于氢浓度、氢瓶压力实时监测, 制定了氢-电-结构耦合安全控制策略, 检测状态超出设定条件时, 实现断电断氢, 保障整车安全。二是使用高强度氢瓶, 可应对日常可能出现的任何环境压强, 避免氢气泄露。三是采用乘客舱无氢管路接头, 燃气系统与驾驶区完全隔离, 实现人车两隔安全可控。四是安装氢气-电器隔离系统, 阻隔氢气与易燃易爆电器件接触, 避免爆炸。五是采用特殊材料防止产生静电, 避免静电点燃氢气引起火灾。

2. 蓝途“星熠”氢气发动机牵引车

蓝途“星熠”氢气发动机牵引车是由一汽解放于 2024 年 6 月发布的氢能源商用车, 着眼于山东、山西、内蒙古、四川等富氢省份, 聚焦副产氢产量大的煤厂、钢厂等中短途运输场景, 同年 8 月投入试运营, 是我国第一款真正投入市场运营的氢气发动机整车, 预计 2025 年 12 月前具备量产条件。

高适应性: 经过一系列环境适应性试验验证, 该车展现出了优越的耐候性能, 能够在极端低温的-30°C 到酷热高温的 50°C 这一宽广的环境温度范围内保持稳定且可靠的运行状态。这一特性使得该车具备了极强的环境适应能力, 足以应对并胜任绝大多数日常工作环境, 为用户带来持续稳定的驾驶体验。

高动力性: 该车搭载的一汽解放自主研发的 15L 氢气发动机, 采用 PFI 进气道喷射及先进燃烧技术, 如高效超稀薄滚流燃烧与高压比大流量增压系统等, 配合高精度多点喷射, 实现了 340kW 的最大功率输出, 适配中短途运输任务。

高可靠性: 针对氢能源特有的技术挑战, 诸如泄漏、燃烧不稳定性及含水量问题, 该车采用了包括抗氢脆材料、防早燃点火、防机油乳化及智能氢安全保护在内的多项核心技术, 确保车辆 B10 寿命长达 100 万公里, 显著提升运营效率。

低成本: 该车可直接燃烧 90% 低纯度灰氢, 使用户使用成本大幅度降低。同时本车的氢气发动机与传统内燃机零部件高度通用, 生产线兼容性高达 90% 以上, 使其生产成本远低于燃料电池方案。

参考资料

1. 伍赛特. 氢内燃机汽车的应用前景展望 [J]. 节能, 2019, 38 (2): 68-70.
2. 秦飞, 郭朋彦, 张瑞珠, 等. 氢燃料电池堆封装研究现状 [J]. 汽车电器, 2022 (3): 14-17.

3. 洪吉超, 马世琨, 梁峰, 等. 氢燃料电池数字孪生技术的系统集成与智能管理 [J]. 工程科学学报, 2025, 47. <https://cje.ustb.edu.cn/article/pdf/preview/10.13374/j.issn2095-9389.2025.02.24.006.pdf>
4. Md.Mosaddek Hossen et al. State-of-the-art and developmental trends in platinum group metal-free cathode catalyst for anion exchange membrane fuel cell (AEMFC)[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2023, 325: 121733.
5. 朱仲文, 汪鑫, 江维海, 等. 氢燃料电池汽车整车集成式热管理系统研究 [J]. 汽车工程, 2023. <https://www.qichegongcheng.com/CN/10.19562/j.chinasae.qcgc.2023.11.001>
6. 李成宇, 齐洪磊, 宋金香, 等. 冷热环境下燃料电池客车热管理系统运行模式及特性研究 [J]. 汽车工程学报, 2024, 14 (4): 733-744.
7. 吴广权, 杜家坤, 陈泓, 等. 米勒循环汽油机燃用氢气燃烧及排放特性分析 [J]. 机械科学与技术, 2024, 43 (5): 750-755.
8. 胡明禹, 柏艺珊, 刘亦凡, 等. 国外加氢站“关停潮”分析及对我国氢能产业发展建议 [J]. 石油石化绿色低碳, 2024, 9 (3): 10-14.
9. 中商产业研究院. 2025-2030 年中国氢燃料电池市场调研分析及投资风险研究预测报告 [R]. 2025.
10. 中汽中心中国汽车战略与政策研究中心. “万辆百站”燃料电池汽车示范大数据报告 [R]. 2024.
11. 高工氢电产业研究所 (GGII). 燃料电池汽车数据库 [R]. 2025. https://news.sohu.com/a/851750330_120717004
12. 智研咨询. 研判 2025! 中国氢能商用车市场现状及发展趋势分析 [R]. 2025. <https://www.chyxx.com/industry/1220244.html>
13. 氢智会. 数见氢境 | 氢燃料电池成本与价格趋势 [R]. 2025. <https://www.chinaautoms.com/m/view.php?aid=27235>
14. Sebastian Pascal Wolff. Eco-Efficiency Assessment of Zero-Emission Heavy-Duty Vehicle Concepts[R]. 2022. https://www.researchgate.net/publication/369185465_Eco-Efficiency_Assessment_of_Zero-Emission_Heavy-Duty_Vehicle_Concepts
15. 管理员. 2025 年全球氢燃料汽车 (FCEV) 动态简报 (截止 8 月 19 日) [R]. 汽车供应商网, 2025. https://www.chinaautosupplier.com/show_article-80405.html

16. 杨梓.氢能储运探索多路径降本 [N]. 中国能源报,2024.
https://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2024-06/10/content_26063744.htm
17. 景春梅,王成仁.应尽快解决管道输氢掣肘问题 [N]. 中国经济报,2024.
<https://paper.people.com.cn/zgnyb/images/2023-06/12/06/zgnyb2023061206.pdf>
18. 能景 EnerScen. 技术 | 固态储氢多技术路径进展及适配场景分析 [N]. 知乎专栏,2024.
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/16529033728>
19. 里程碑!《中国氢发动机产业发展蓝皮书》发布 [N]. 百度百家号,2025.
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1842657273353852131&wfr=spider&for=pc>
20. 杨江凯.氢能源车成本构成车机系统与专利费占比 [N]. 百度百家号,2025.
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1838423938712459669&wfr=spider&for=pc>
21. 央视网.我国电动汽车充电设施总数超 1600 万个 [N]. 2025.
https://www.gov.cn/yaowen/shipin/202508/content_7035750.htm
22. 杨梓.氢能储运探索多路径降本 [N]. 中国能源报,2024.
https://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2024-06/10/content_26063744.htm
23. 景春梅,王成仁.应尽快解决管道输氢掣肘问题 [N]. 中国经济报,2024.
<https://paper.people.com.cn/zgnyb/images/2023-06/12/06/zgnyb2023061206.pdf>
24. 能景 EnerScen. 技术 | 固态储氢多技术路径进展及适配场景分析 [N]. 知乎专栏,2024.
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/16529033728>
25. 里程碑!《中国氢发动机产业发展蓝皮书》发布 [N]. 百度百家号,2025.
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1842657273353852131&wfr=spider&for=pc>
26. 杨江凯.氢能源车成本构成车机系统与专利费占比 [N]. 百度百家号,2025.
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1838423938712459669&wfr=spider&for=pc>
27. 央视网.我国电动汽车充电设施总数超 1600 万个 [N]. 2025.
https://www.gov.cn/yaowen/shipin/202508/content_7035750.htm
28. 朴汉中.质子交换膜燃料电池系统建模及其水热管理研究 [D]. 吉林大学,2024.
<https://d.wanfangdata.com.cn/thesis/D03504442>

第二节 甲醇

一、全球甲醇汽车发展概况

全球甲醇燃料汽车发展始于20世纪70年代石油危机时期,美国、日本、德国等汽车大国率先开展技术研究,曾实现量产与规模化示范运行,但受技术路线之争、基础设施建设滞后等因素影响,20世纪90年代后发展陷入停滞。近年来,在全球能源转型与“双碳”目标驱动下,甲醇汽车因补能效率高、续航不受天气影响、成本低于氢燃料电池汽车等优势,重新引发多国关注,形成以中国为规模化应用引领者,德国、日本等国侧重技术研发与细分场景验证的全球发展格局。截至2023年底,全球甲醇燃料汽车累计保有量约12.8万辆,主要集中于中国、德国、日本等政策先行区域,且商用车占比高达87%,成为产业发展的核心载体。

从德日两国的发展成熟度来看,二者均在甲醇汽车核心技术领域具备深厚积累,但应用导向与技术侧重存在差异,整体成熟度处于同一梯队。德国以博世等企业为核心,在甲醇燃料喷射系统、发动机热管理等关键技术优势显著,其燃料喷射系统热效率较行业平均水平高出12个百分点,低温启动性能优异,30°C环境下启动时间可缩短至8秒;应用场景主要聚焦商用车与工业运输领域,依托成熟的汽车工业体系,推动甲醇动力技术与现有商用车平台的适配优化。日本则以丰田等企业为引领,重点布局甲醇重整制氢与燃料电池协同技术,研发的燃料电池尾气处理协同系统可将整体能效提升至47%,较传统动力链提高12个百分点,该技术路线已纳入企业长期战略规划;应用上偏向技术示范与前沿探索,在乘用车甲醇动力系统小型化、高效化及船舶甲醇动力应用等领域开展多元试点。两国均未形成大规模商业化推广态势,核心瓶颈仍在于加注基础设施覆盖不足与燃料供应体系不完善。

二、国内甲醇汽车发展概况

截至2025年,中国甲醇汽车已经告别了单纯的试点验证阶段,进入了区域规模化落地的关键时期。当前行业呈现出技术成熟、政策支持升温、市场逐步起势但仍有瓶颈待破的鲜明特点,想要在2030年实现真正的规模化发展,还需要跨越多重障碍、攻克关键难题。

(一) 政策的发展

1. 国家层面

国家层面为甲醇汽车的发展提供了顶层设计和宏观指导，明确了其作为清洁能源的重要地位。近年来，国家层面关于甲醇汽车的政策框架已从零散的支持性文件，升级为一套涵盖战略定位、标准规范与激励措施的“三位一体”治理体系，展现出系统性和递进性的显著特征。

首先，在顶层设计上，甲醇汽车的战略定位日益清晰。2019年3月，国家发改委等八部门联合发布的《关于在部分地区开展甲醇汽车应用的指导意见》，首次从国家层面明确鼓励甲醇汽车的应用，并前瞻性地提出探索利用二氧化碳（CO₂）制备甲醇的技术路径。这一指导意见为甲醇汽车产业的发展奠定了基调。随后，2021年10月交通运输部发布的《绿色交通“十四五”发展规划》，将甲醇动力船舶纳入航运业低碳转型的重要技术路径，进一步拓展了甲醇的应用场景。2022年3月，国家发改委等六部门发布的《关于大力实施可再生能源替代行动的指导意见》，再次明确提出在交通领域推广应用绿色甲醇等清洁液体燃料，凸显了其在能源结构转型中的重要性。

其次，行业标准的建立为产业链的健康发展提供了制度保障。2023年6月，《M100车用甲醇燃料》国家标准正式实施，这是甲醇汽车应用领域的首个国家标准，对燃料的品质、添加剂技术规范等做出了明确规定。该标准的出台，有效淘汰了不合规的燃料供应商，净化了市场环境，为甲醇汽车的规模化推广提供了可靠的燃料质量基础。

最后，在激励措施方面，政策导向从普惠性补贴向结构性引导转变。2024年12月，国家发改委发布的《产业结构调整指导目录(2024年本)》，将“电解水制氢和二氧化碳催化合成绿色甲醇”正式纳入新能源鼓励类产业。这一举措标志着政策支持的重心已转向产业链的绿色化源头，通过鼓励绿色甲醇的生产，从根本上提升甲醇汽车的环境效益，构建了从生产到应用的全链条政策激励闭环。

国家标准方面，国家市场监督管理总局发布了《M100车用甲醇燃料》（GB/T 42416-2023）等强制性标准，从技术指标、添加剂规范到检测检验方法进行了统一，为甲醇汽车的推广和市场规范化提供了技术依据。

表 12: 中国甲醇汽车产业关键政策梳理 (2019-2025 年)

发布时间	发布主体	政策文件/标准名称	核心内容与支持方向
2019年3月	国家发改委等八部门	《关于在部分地区开展甲醇汽车应用的指导意见》	鼓励在部分地区开展甲醇汽车应用，探索 CO ₂ 制备甲醇技术。
2021年10月	交通运输部	《绿色交通“十四五”发展规划》	将甲醇动力船舶纳入航运业低碳转型的重要技术路径。
2022年3月	国家发改委等六部门	《关于大力实施可再生能源替代行动的指导意见》	提出在交通领域推广应用绿色甲醇等清洁液体燃料。
2022年10月	工信部	《“十四五”工业绿色发展规划》	支持甲醇燃料与可再生能源制氢、生物质能等技术耦合应用。
2023年6月	国家标准化管理委员会	《M100 车用甲醇燃料》国家标准	正式实施，规范燃料品质，淘汰不合规供应商。
2024年12月	国家发改委	《产业结构调整指导目录(2024年本)》	将“电解水制氢和二氧化碳催化合成绿色甲醇”纳入新能源鼓励类产业。
2025年6月	山西省晋中市	《晋中市甲醇重卡集中签约暨整车交付仪式》	通过“三保政策”（保醇源、保醇质、保醇价），构建甲醇汽车应用闭环生态。
2025年9月	上海市	申能集团 10 万吨绿色甲醇项目	取得 ISCC EU 与 PLUS 双认证，打通绿色甲醇贸易、仓储、加注全流程认证体系。

2. 地方层面

在国家顶层设计的宏观指引下，地方政府的先行先试成为甲醇汽车商业化推广的关键催化剂。各地因地制宜，探索出了各具特色的创新模式，其中以山西晋中、贵州贵阳等地区为代表的“资源富集型”试点和以上海为代表的“技术创新型”试点尤为突出，共同构成了“中央统筹+地方试点”的治理新格局。

山西晋中作为全国甲醇汽车应用的重要试点，其成功的核心在于构建了“产-供-销”一体化的闭环生态。当地政府通过实施“三保政策”——保醇源、保醇质、保醇价，有效解决了用户的后顾之忧。

“保醇源”即依托本地丰富的煤炭资源，发展煤制甲醇产业，保障燃料的稳定供应；“保醇质”则是通过严格的质量监管，确保进入市场的甲醇燃料符合标准；“保醇价”则是利用规模化采购和地方补

贴，将甲醇价格稳定在一个合理水平，使其相较于传统燃油更具经济性。截至2025年6月，晋中市已建成超过500座甲醇加注站，其中包括58座撬装式加注站，形成了便捷的加注网络，有力地推动了甲醇重卡的应用。

上海作为甲醇汽车应用的后起之秀，其创新点在于紧扣“绿色”与“标准”两大关键词。2025年9月，申能集团的10万吨绿色甲醇项目取得了国际可持续发展与碳认证（ISCC）的EU与PLUS双认证，这是国内首个打通绿色甲醇从原料供应、生产、贸易到仓储、加注全流程的认证体系。此举不仅为沪产绿色甲醇进入全球市场提供了“绿色通行证”，也为国内绿色甲醇的标准化生产和贸易树立了标杆，极大地提升了产业链的透明度和可信度。

沈阳市为支持甲醇汽车发展，明确其在实施限行政策期间享有与新能源汽车同等的路权，并可通过发放电子通行码实现全天通行；同时，对符合条件的甲醇汽车生产企业，按照轻型物流车1万元/辆、重卡车型3万元/辆的标准给予一次性购车补贴。

西安市购买甲醇汽车不仅可以享受购车补贴，还能在路权和停车方面获得多重便利。根据政策，用户购买甲醇重卡每辆可获得10,000元补助，购买乘用车型则可获得5,000元补助。在路权与停车方面，甲醇汽车不仅不受尾号限行政策制约，还可随意在公交专用车道行驶，并在全市范围内享有两小时免费停车优惠，从而实现了购车与使用成本的双重降低。

淄博市出台了《关于支持甲醇汽车生产制造和推广应用的八条措施》，从强化整车制造、完善零部件配套、推进技术创新、建设加注站到人才培养和金融支持等多个环节提供了全方位的政策支持。

黑龙江为推动甲醇汽车产业发展，当前正多维度推进政策创新：一方面，研究制定将甲醇汽车纳入国家以旧换新政策体系的方案，明确对报废旧车后购买甲醇汽车的用户给予专项补贴；另一方面，针对甲醇汽车在高速通行场景中的成本优势，也在同步研究制定相关的高速通行费补贴政策，以进一步降低用户使用成本并提升市场接受度。

这些政策等共同构成了一个从技术研发、生产制造、推广应用到基础设施建设的完整支持体系，旨在推动甲醇汽车成为我国绿色交通的重要组成部分。

这些政策主要围绕碳达峰、碳中和的总体目标，从能源结构、工业制造、城乡建设、交通运输等多个维度提出了具体的量化指标。

(二) 传统甲醇和绿色甲醇

甲醇又称羟基甲烷，是一种有机化合物，常用于生产溶剂、合成树脂、制药原料等。在燃料和能源方面，甲醇可与汽油混合使用以减少排放并提高燃油效率，还可用作M85（85%甲醇，15%汽油）和M100（纯甲醇）替代燃料。

1. 传统甲醇

作为当前主流的甲醇生产模式，其原料体系高度依赖不可再生的化石能源。从国内产业实践来看，煤炭是传统甲醇生产的核心原料，约占全国总产能的76%。与此同时，天然气作为另一种重要原料，在具备资源禀赋优势的地区（如西北、西南等天然气富集区域）被广泛采用，其清洁性相较于煤炭更优，且在原料成本与环境效益上具备一定竞争力。此外，传统甲醇生产还涉及对工业副产物的资源化利用，例如焦炉煤气——这种炼焦工业过程中产生的富氢气体，通过分离提纯后可转化为甲醇原料，既降低了生产成本，又实现了工业废弃物的循环利用，对推动产业绿色转型具有重要意义。

2. 绿色甲醇

绿色甲醇作为传统甲醇的可持续替代方案，其生产过程严格限定使用可再生资源 and 清洁能源作为原料，以实现全生命周期碳足迹的显著降低甚至碳中和。

第一类是生物质制甲醇。该路径以农作物秸秆、林业废弃物（如树枝、木屑）、城市有机垃圾（如厨余垃圾、污水处理厂污泥）等生物质资源为基础原料。

第二类是电制甲醇（e-甲醇）。该路径以风能、太阳能等可再生能源为驱动力，通过电解水技术生产“绿氢”（H₂），并结合从工业排放源（如水泥厂、钢铁厂）捕集的二氧化碳（CO₂）或直接空气捕获（DAC）技术获取的CO₂，作为合成甲醇的碳源和氢源。

表13: 传统甲醇和绿色甲醇的对比

对比维度	传统甲醇	绿色甲醇
原料来源	煤炭、天然气等化石燃料	生物质、绿氢 + 可再生 CO ₂
碳排放	高碳排放，生产过程释放大量 CO ₂	零碳或负碳排放，全生命周期碳中和
环保性	燃烧相对清洁，但生产环节污染大	全程绿色，生产和燃烧环节均环保
应用场景	传统化工原料、部分内燃机燃料	船舶燃料、新能源汽车、绿色化工

传统甲醇生产，尤其是煤制甲醇，在中国占据主导地位。依托成熟的技术和稳定的原料供应，传统甲醇的生产成本相对较低，约为1500至2000元/吨。然而，其环境代价高昂，碳排放强度可达每吨甲醇2至3吨二氧化碳，是导致行业面临环保压力的主要原因。

与此相对，绿色甲醇作为甲醇产业绿色转型的核心方向，正从概念走向实践。它主要通过生物质气化或利用绿电（可再生能源发电）电解水制氢，再与二氧化碳（CO₂）合成两种技术路线制备。绿色甲醇的生产过程可实现近零甚至负碳排放，成为应对气候变化的关键一环。尽管其环境价值巨大，但目前受限于技术成熟度和较高的初始投资，生产成本仍处高位，约为3500至4600元/吨。

表14：中国甲醇生产技术路线格局与环境成本对比

技术路线	原料来源	产能占比(约)	碳排放强度 (吨 CO ₂ /吨甲醇)	生产成本 (元/吨)
传统甲醇	煤炭	70% - 75%	2 - 3	1500 - 2000
传统甲醇	天然气	少数	较低	受气价波动影响大
绿色甲醇	生物质	新兴	近零	约 3500 - 3800
绿色甲醇	绿电 + CO ₂	新兴	负碳	约 3500 - 4600

(四) 甲醇汽车的技术路线

甲醇汽车的技术路线主要围绕甲醇燃料的特性及应用场景展开，目前可归纳为三种核心路径：纯甲醇替代/掺烧技术、甲醇燃料电池和甲醇重整燃料电池技术。

1. 纯甲醇替代/掺烧技术

这一路线是使用甲醇发动机，是甲醇汽车最基础且已实现规模化应用的技术路径，其核心在于直接以甲醇作为内燃机车辆的燃料或与汽油混合使用，代表企业为吉利汽车，其技术原理为纯甲醇替代技术直接使用高比例甲醇（如M85或M100）作为燃料，驱动传统内燃机（ICE）运行；掺烧技术则将甲醇与汽油以特定比例如M10、M15等混合（即甲醇汽油），作为发动机的燃料。甲醇的燃烧特性（高辛烷值、低排放）使其在发动机中能够实现更高效、清洁的燃烧。代表企业为吉利汽车，目前已经将其自主研发的甲醇发动机运用到了轻卡、重卡、客车和多种车型上。

2. 甲醇燃料电池技术

第二种是使用直接甲醇燃料电池，利用液态甲醇作为燃料，通过电化学反应将甲醇的化学能转化为电能驱动车辆。该路线的系统集成度较高，无需复杂的重整器和后处理模块，燃料加注方式与传统燃油车类似，操作便捷。同时，甲醇作为液态燃料本身具备较高的能量密度（约15.6 MJ/L），在车载储存和运输方面具有天然优势，可利用现有甲醇基础设施进行补充。

3. 甲醇重整燃料电池技术

甲醇重整制氢燃料电池路线被视为甲醇汽车领域的重要前沿探索方向，其核心在于通过车载甲醇重整装置实现氢气的现场制取，再将氢气注入燃料电池系统发电，为车辆提供动力。该技术的本质是将传统氢燃料电池车中的高压储氢罐替换为甲醇储罐，并在车辆上集成甲醇重整装置，从而形成“甲醇制氢+燃料电池发电”的双重能源转化系统。

该技术路线已在国内部分企业与车型中落地实践。例如，苏州氢洁电源科技有限公司与东风特汽于2016年联合开发的T7型电动物流车，即采用了基于甲醇重整氢燃料电池系统的动力方案。此外，厦门金龙公司也正联合国内研发机构推进30kW燃料电池客车发动机用的微反应在线制氢系统研发，并计划应用于12米氢燃料电池客车，其等速行驶里程可达800公里。

在重型商用车领域，吉利新能源商用车集团是主要推广者，其产品覆盖小卡、轻卡、中卡、重卡等全系列车型，动力架构形式包括甲醇直驱、甲醇增程及甲醇并联混动等类型。受限于加注系统和基础设施分布，甲醇重卡当前主要集中在新疆、甘肃、山西、陕西等区域，但正逐步向浙江、云南、天津、河南等省市扩展。

(五) 甲醇汽车的案例分析

1. 吉利汽车：深耕绿色甲醇，引领低碳变革

吉利自2005年启动绿色甲醇技术研发，构建了覆盖甲醇生产、储运、加注、甲醇汽车及二氧化碳捕集的完整产业链。技术层面，攻克甲醇发动机低温启动难题，推出“醇氢动力”超醇电混技术，实现甲醇与汽油任意比例混合燃烧；二氧化碳加氢制甲醇催化剂技术取得突破，衰减率大幅降低并实现工业

化量产，生物质甲醇技术研发持续推进。

项目与产品落地方面，2024年10月启动内蒙古阿拉善年产50万吨绿色甲醇首期10万吨示范项目，利用风光电制绿氢与工业CO₂合成甲醇，年减碳约15万吨；甲醇汽车产品覆盖乘商用车，在贵阳作为出租车主力车型，在山西、陕西等多地应用于物流运输，截至2024年底累计规模化运营近4万台，行驶里程超200亿公里。加注网络建设上，联合中石油、中石化等推进布局，截至2024年底全国重点区域建成519座甲醇加注站，规划2027年底扩展至4000座。此外，吉利还为哈尔滨亚冬会提供350辆醇氢电混汽车，并配套建设甲醇加注站，验证了甲醇汽车在高寒环境的适应性。

2. 比亚迪汽车：布局甲醇动力技术，推进示范运行

比亚迪将甲醇动力技术纳入清洁能源研发体系，优化甲醇燃料应用方案以降低全生命周期碳排放。积极响应国家甲醇汽车试点计划，推动甲醇动力车型在特定场景下的示范运行，依托自身新能源全产业链布局，为甲醇汽车技术商业化落地提供支撑。

3. 奇瑞汽车：研发甲醇动力系统，夯实生产基础

奇瑞具备甲醇汽车研发与生产基础，专注于开发清洁高效的甲醇动力系统，通过改进发动机燃烧效率提升能源利用效率，降低甲醇燃料使用过程中的碳排放，以规范化管理推进甲醇汽车创新业务合规发展。

4. 陕重汽车：前瞻布局甲醇重卡，落地混燃技术

陕重汽作为国内重型卡车生产基地，早在2013年便推出甲醇柴油双燃料混合动力重卡，2016年实现甲醇柴油混燃技术在德龙M3000自卸车上的应用。依托国家级企业技术中心等研发平台，持续保持甲醇汽车领域的技术领先地位。

5. 上海申能集团：全链条布局绿色甲醇，打通认证体系

申能集团是绿色甲醇全链条创新领军企业，其2025年10万吨绿色甲醇项目通过绿电制氢与CO₂催化合成技术生产绿色甲醇，取得ISCC EU与PLUS双认证，打通从原料、生产到仓储、加注的全流程绿色认证体系，为甲醇汽车提供合规绿色燃料支撑，助力区域交通低碳转型。

参考资料

1. 博世.双碳目标下绿色甲醇在交通领域的应用前景白皮书[R]. 2025.
<https://www.sgpjbg.com.cn/baogao/646248.html>
2. 沈建跃.符合中国特色的甲醇重整制氢燃料电池系统[R/OL]. Palcan 博氢集团.
<https://www.sgpjbg.com.cn/baogao/121908.html>
3. 王蔚祺.绿色甲醇发展前景分析：优于大市交通领域主流替代燃料,融合绿氢发展前景广阔[R]. 国信证券,2024.
4. 2024年绿色甲醇发展前景分析：交通领域主流替代燃料,融合绿氢发展前景广阔[OL]. 搜狐,https://news.sohu.com/a/833493108_121123901
5. 甲醇作为未来新能源形式,发展几何?[OL]. 知乎.
<https://www.zhihu.com/question/522203995/answer/3630975709>
6. PODE / 甲醇双燃料发动机甲醛排放生成特性研究[OL]. 知乎.
https://www.zhihu.com/market/paid_magazine/1632610442567700480/section/1632610463488913408?origin_label=search
7. 甲醇汽车来了[OL]. 知乎.
https://www.zhihu.com/market/paid_magazine/1122820600594436096/section/1122820801694420992?origin_label=search
8. 倪吉.碳中和报告十：看好绿色甲醇发展空间[R/OL]. 东方证券,2024.
<https://www.sgpjbg.com.cn/baogao/154618.html>
9. 云道资本. 2024中国绿色甲醇行业研究与前景展望[R/OL]. 2024.
<https://www.sgpjbg.com.cn/baogao/152441.html>
10. 吉利控股集团. 2024年可持续发展报告[R/OL]. 2024. <https://zgh.com/geely-esg/#download>
11. 上海申能集团. 10万吨绿色甲醇项目 ISCC 认证报告[R]. 2025-09.
12. 张诗悦.中国绿色甲醇行业概览：双碳战略驱动千亿级清洁能源赛道,产业链爆发式增长前瞻[R]. 2024.
13. 深企投产业研究院.甲醇汽车行业研究报告[R/OL]. 2024.
<https://www.sgpjbg.com.cn/baogao/914652.html>
14. 董鹏,牛耀文,郭世等.我国甲醇汽车发展困境与出路[J]. 2019.

15. 周文辉.国内外甲醇汽车发展和使用情况及对策建议 [R/OL]. 2024.
<https://wenku.baidu.com/view/4d403a2a0708763231126edb6f1aff00bfd5708a?fr=xueshu&wkts=1760775957700>
16. 国家能源局.专家解读 | 中国氢能发展：从试点探索进入有序破局新阶段 [Z/OL]. 2025.
<https://www.nea.gov.cn/20250604/ec7606c39c084f5b82505b2b4bab81d6/c.html>
17. 中华人民共和国自然资源部.向绿向新,新型能源体系加快构建 [Z/OL]. 2024.
https://www.zgjssw.gov.cn/yaowen/202410/t20241004_8404549.shtml

第三节 生物燃料

一、全球生物燃料汽车发展概况

生物燃料一般指由生物质构成或提炼而成的固体、液体或气体燃料，像生物乙醇、生物柴油、乙基叔丁基醚等都属于此类。它们在一定程度上能够替代从石油中制取的汽油和柴油，是可再生能源开发利用的重要领域。

现阶段，乙醇是应用最广泛的生物燃料，由植物原料制成的生物质转化而来，通常以 E10（10%乙醇）或 E15（15%乙醇）的形式与汽油混合使用，能提升辛烷值并降低尾气排放。生物柴油则是另一种主流生物燃料，由植物油、动物脂肪等可再生资源制成，可作为清洁替代品与石化柴油按不同比例混合，其中 B20（20%生物柴油）最为常见，且其生产正逐步转向非农业原料以提升可持续性。而可持续航空燃料（SAF）等新兴技术也在快速发展，推动能源结构向低碳化转型。随着技术进步，生物燃料在减少化石能源依赖和应对气候变化方面将发挥更重要的作用。

全球生物燃料市场呈持续增长态势，核心驱动力源于各国对碳减排的推进与可持续能源系统的构建。2024 年，全球生物燃料市场估值已达 528 亿美元，预计至 2032 年将攀升至 1027 亿美元，复合年增长率为 9.4%。从区域发展差异来看，欧盟、美国、亚太地区及拉丁美洲（尤其是巴西）凭借成熟的生物燃料市场、完善的支持性政策及补贴机制，实现了生物燃料的规模化应用，处于全球领先梯队；而非非洲、部分亚太发展中经济体等区域，受限于基础设施薄弱、政策支持不足、成本偏高等因素，生物燃料市场增长相对缓慢。

1. 美国

受能源安全问题驱动，美国自 20 世纪 80 年代起着力发展生物燃料，形成了以生物乙醇为核心，兼顾生物柴油、生物天然气的多元发展格局。其中，生物乙醇以玉米和纤维素为主要原料，通常按一定比例掺混到汽油中使用以降低温室气体排放；生物柴油原料涵盖大豆油、菜籽油、废油及动物脂肪，生物天然气则以纤维素、沼气为核心原料，两类燃料均为美国生物燃料领域的重点发展方向。

美国生物燃料的发展进程与政策引导密切相关，形成了多层次、递进式的政策推进体系。1978 年，美国实施《能源税收法案》，正式启动 E10 乙醇汽油（生物乙醇添加比例 10%）的推广，并于 2019 年进一步推出 E15 乙醇汽油，持续扩大生物乙醇的应用范围。2007 年颁布的《能源独立与安全法案》具有里程碑意义，其确立的可再生燃料标准（RFS）强制要求燃料供应商逐年提高生物燃料掺混比例，为产业发展划定明确方向。

2022 年是美国生物燃料产业政策加码的关键节点，当年 8 月推出的《减少通货膨胀法》为产业发展提供强力支撑：一方面为可再生能源生产相关基础设施追加 5 亿美元资金，另一方面针对清洁燃料生产、可持续航空燃油及现行生物燃料制定税收抵免政策。同期，美国能源部旗下阿贡国家实验室、可再生能源实验室等四大实验室联合开展研究，聚焦生物燃料与先进发动机设计的结合，通过筛选原料和制备工艺、构建生物燃料手册及清单，为交通各领域碳减排提供技术指导。

后续政策持续深化可再生燃料标准的实施与升级。2024 年 3 月，美国国家环境保护局（EPA）发布 2027-2032 年汽车排放法规最终草案，进一步强化 RFS 的核心地位，通过年度“可再生产量义务”（RVO）明确可再生燃料产量要求——该义务覆盖所有石油基汽油、柴油的炼油厂及进口商，EPA 会为认证燃料生产生成可再生能源识别号（RIN），作为企业完成生物燃料添加义务的证明及市场交易凭证。草案还将以生物天然气为代表的纤维素生物燃料产量目标提升 25%，并计划 2025 年进一步提高至 33%。2025 年 3 月，特朗普政府推动石油与生物燃料行业达成政策共识，明确 2026 年生物柴油的 RVO 将从 33.5 亿加仑提升至 47.5 亿-55 亿加仑，增幅达 41.8%-64.2%，进一步巩固了生物汽柴油的产业发展地位。

2. 巴西

巴西是全球首个从国家战略层面推广生物燃料应用的国家，这一战略转变的核心起因是上世纪七十年代爆发的石油危机。作为地域广袤、自然资源丰富的国家，巴西拥有充足的甘蔗资源，其中超半数被用于生物乙醇生产。依托甘蔗产业的资源优势，巴西成为全球第二大燃料乙醇生产国，同时也是最大的燃料乙醇出口国——其燃料乙醇除满足本国能源需求外，约 10% 销往国际市场。2022 年，巴西燃料乙醇总产量达 74.2 亿加仑，在全球总产量中占比约 27%。

巴西生物燃料的推广以完善的政策法规体系为支撑，形成了循序渐进的掺混比例提升路径。1931 年，巴西《乙醇添加比例法》正式确立乙醇掺混制度，明确全国范围内汽油的乙醇掺混比例为 5%，政府公务用车汽油的乙醇掺混比例则设定为 10%。1975 年，第 76593 号法案推出《国家乙醇燃料计划》，作为当时规模最大的化石能源替代工程，该计划推行 E20 乙醇汽油标准，强制要求汽油中乙醇掺混比例达到 20%，并通过政策引导鼓励企业扩大燃料乙醇产能。

进入 21 世纪，为积极应对全球气候变暖挑战，巴西持续完善生物燃料相关法规体系。2007 年，第 6263 号法案出台，为燃料乙醇掺混比例提升提供制度支持；2015 年，行业标准进一步将无水乙醇掺混比例提高至 27%。2025 年，巴西国家能源政策委员会 (CNPE) 批准实施新的掺混标准：国内销售汽油中无水乙醇掺混比例从现行 27% 上调至 30%，同时将柴油中生物柴油的混合比例从 14% 提高到 15%，新规自当年 8 月 1 日起正式生效。该政策预计可实现年减排二氧化碳 300 万吨，新增就业岗位 5 万个，同时达成汽油自给自足目标。根据规划，未来无水乙醇掺混比例将进一步提升至 35%，巴西在生物燃料应用领域的实践始终处于全球领先水平。

依托成熟的生物燃料技术与产业基础，巴西于本世纪初启动“灵活燃料¹汽车”推广工作。此类车辆搭载燃料成分传感系统，可实时探测燃料混配比例，自动调节燃料喷射及火花定时参数，能适配任意比例的乙醇汽油混合燃料，包括 100% 乙醇燃料 (E100)、85% 高乙醇燃料 (E85) 以及 20%-25% 乙醇掺混汽油。2017 年 12 月，巴西政府通过《国家生物燃料政策》(Renova Bio 法案)，将“灵活燃料汽车”发展纳入国家战略层面，旨在持续提升生物燃料在能源结构中的占比。

2025 年 8 月，起实施新的生物燃料强制掺混政策，将汽油中无水乙醇掺混比例从 27% 提升至 30%，柴油中生物柴油掺混比例从 14% 提升至 15%。此外，《未来燃料法》为后续掺混比例提升预留空间，

明确无水乙醇在汽油中的最大混合比例可达 35%，生物柴油在普通柴油中的混合比例上限为 25%；原料结构上，甘蔗仍是乙醇生产的核心原料，大豆油则主导生物柴油生产。截至目前，巴西本土生产的汽车中，灵活燃料汽车占比已达 97%。

在车型研发与产业化方面，巴西同样走在全球前列。1979 年，巴西推出菲亚特 147 车型，成为全球首款完全以生物乙醇为动力的汽车。国际汽车品牌与巴西合作密切，劲客、Versa、丰田等均在巴西设立生产基地，逐步形成具有本土特色的品牌体系。其中，丰田自 2007 年向巴西市场引入弹性燃料汽车后，始终坚持乙醇汽车的研发与生产；2019 年，巴西丰田（具备弹性燃料汽车技术积累）与日本丰田（拥有领先混合动力技术）联合完成弹性燃料混合动力车型研发并启动量产。此外，丰田汽车于 2023 年投资 450 亿日元，用于全新紧凑型弹性燃料混合动力车的生产，并于 2024 年在圣保罗州索罗卡巴工厂正式投产，产品覆盖中南美 22 个国家和地区。

3. 欧盟

2003 年起，欧盟正式批准生物燃料的开发与应用，截至 2021 年，生物能源在欧盟可再生能源构成中的占比已达 59%。为推动交通运输领域脱碳进程，欧盟聚焦电气化 (EV)、氢能及生物燃料等替代方案，明确 2035 年后不再销售化石燃料汽车。2023 年，欧盟通过《可再生能源指令 (RED III)》，将 2030 年欧盟总体可再生能源使用目标提升至 42.5%。在生物燃料领域，欧盟重点支持以农林业废弃物、工业废料、生活垃圾分类物、藻类、废弃食用油及动物脂肪为原料的生物燃料生产，这类生物燃料不仅避免“与粮争地”，还具备优良的碳减排效能。RED III 指令明确，至 2030 年，源自食物的生物燃料最高引入比例限制为 7% 或 2020 年水平+1%（取两者中较低值），源自废食用油的生物燃料最高引入比例为 1.7%。

欧洲地区形成以生物柴油为核心、燃料乙醇为补充的发展格局，是全球最大的生物柴油生产与消费区域。当前，欧洲多数国家将生物柴油掺混比例设定在 5%~10%，仅瑞典、芬兰、挪威 3 国达到 20% 左右。其中，生物柴油原料以菜籽油、废弃食用油 (UCO)、棕榈油及豆油为主，燃料乙醇原料则以甜菜、玉米、小麦为主。针对高土地利用变化风险的作物，法国、丹麦、奥地利、荷兰、瑞典、葡萄牙、德国、比利时、意大利已于 2023 年前停止将棕榈油用作生物柴油原料；法国、丹麦、荷兰、比利时同期也停止将大豆油作为生物柴油原料。

¹ 灵活燃料，指既可用汽油，又可以使用乙醇、甲醇等与汽油比例混合的燃料，还可以用氢气，并随时可以切换。

在燃料乙醇应用方面，截至 2022 年 7 月，Superethanol-E85（乙醇添加量 15%）在法国燃料市场的占比已达 7%（2021 年为 4%），主要应用于混合动力车等车型。按照发展规划，至 2040 年，法国 E85 混合动力车保有量有望突破 500 万辆。

此外，欧盟是全球最大的沼气生产区域，产量占全球总量的 2/3 以上，原料主要来源于畜禽粪便、农作物秸秆及有机废弃物等。沼气经简易净化处理后可直接用于发电，或经提纯加工为生物天然气，供汽车作为燃料使用。以瑞典为代表的车用燃气模式，目前已成为全球生物天然气产业中技术最成熟、政策配套最完善的典范。截至 2024 年，瑞典投入运营的加气站约 205 座，其中约 95%可提供生物天然气作为交通燃料。

当前，欧洲生物燃料应用仍以“生物燃料-汽柴油”混动模式为主，同时持续推进纯生物燃料汽车的验证与研发工作，宾利、保时捷等多个欧洲汽车品牌已投身生物燃料汽车领域的投资与研发。

企业实践方面，例如宾利汽车将可持续材料研究作为核心方向之一，其中包括以生物燃料替代汽油，旨在保留品牌动感与尊贵特质的同时降低环境影响。2023 年，宾利在英国克鲁工厂安装生物燃料加油机，引入的第二代生物燃料以稻草、锯末、树皮等农林业废弃物及食品工业副产品为原料，规避了第一代生物燃料“食物与燃料之争”的问题。该燃料符合汽油国际质量标准 EN228，无需改造发动机即可应用于汽油车，碳排放量降低 85%，且燃烧不产生硫、金属氧化物等大气污染物，可直接替代传统汽油。2023 年古德伍德速度节上，宾利可再生燃料驱动车型首次亮相，牵引 2.5 吨稻草拖车创下登山赛拖车牵引速度新纪录，且所有参与登山赛的现代宾利车型均使用该可再生燃料，无需改装续航里程可达 1770 公里。

4. 日本

日本能源结构受国土可种植面积限制，石油、煤炭及天然气仍占据主导地位，但该国早在本世纪初便启动了可再生能源发展进程。2002 年 1 月，《新能源法政令》将生物质纳入新能源范畴；同年 3 月发布的《地球温室效应对策推进大纲》，也将生物能源列为重点导入的新能源类型。不过，日本的生物质能源主要应用于国内发电领域，生物燃料在交通领域的应用迟至 2010 年左右才逐步展开，且以生物乙醇燃料为主要形式。

截至 2019 年，可再生能源在日本能源供应总量中的占比为 6%，在最终能源消耗中的份额为 8%；在可再生能源构成中，生物质能源占比约三分之一。具体到交通运输领域，生物燃料占日本运输能源消耗的比重仅约 0.6%，且仍以生物乙醇为主，整体应用规模较小。

2023 年 3 月 30 日，日本经济产业省（METI）发布《能源供应结构复杂方法》部分修订的最终拟议规则（有效期至 2028 年），此次修订重点通过推广低碳生物乙醇消费强化温室气体减排目标，并首次允许美国生物乙醇进入日本生物燃料全市场。同时，日本政府规划了明确的推进路径：自 2028 年起在部分地区试点推广含 10%生物燃料的混合燃料，力争 2030 年前实现全国覆盖，未来十年内逐步将生物燃料掺混比例提升至 20%。

企业实践情况方面，例如 2022 年 7 月，丰田联合斯巴鲁、铃木、大发、新日本石油（ENEOS）及丰田通商共 6 家企业，成立“生物质革新次世代汽车燃料研究机构”，核心目标是通过推动生物质技术研发、车用生物乙醇高效生产，在保留内燃机引擎的基础上实现碳中和，并借鉴巴西成功经验。2024 年，丰田、铃木与日产三大车企联合推出全球首台生物甲烷发动机，燃料源自农作物残茬、动物粪便等有机废弃物加工的燃气，搭载该发动机的实验车型排放量较汽油发动机减少 70%，性能媲美传统燃油车，日本计划 2026 年推出首款生物甲烷动力汽车。2025 年，日产、马自达、斯巴鲁、丰田再与新日本石油（ENEOS）合作，研发由植物来源生物乙醇与传统汽油调配的低碳汽油替代品；其中新日本石油（ENEOS）重点探索木材、草类、再生纸等非粮食类生物质制乙醇技术，突破主流生物燃料对农地和粮食资源的依赖限制。

又如，马自达秉持“多元动力战略”，认为 2030 年结合电气化技术的转子内燃机仍将占其生产车辆的 95%，2040 年内燃机及液体燃料在汽车工业中仍具战略地位。2025 年，马自达推出的 CX-30 车型采用 SUSTAIN 公司研发的 100%第二代可持续生物燃料，该燃料以农作物废料等农业副产品为原料（非可食用作物），通过优化发动机燃烧过程实现充分利用，驾驶体验与普通汽油车一致且环保性能跃升。12 台车完成了从瑞典马尔默到挪威特罗姆瑟（穿越北极圈）、总长约 2162 公里的无二次加注长途行驶，每台车减少碳排放约 317 公斤（相当于一棵树 13 年的吸碳量）。此外，马自达还在日本研发藻类燃料、合成燃料等替代能源，加入欧洲 e-Fuel 联盟，且马自达（英国）自 2023 年起就采用 SUSTAIN 的可持续燃料为经典老车车队供油，践行“传统燃油车可通过生物燃料实现环保转型”的理念。

5. 亚太地区其他国家

亚太地区积极推进生物燃料应用落地。例如，印度尼西亚计划 2025 年实施 B40 强制令（生物柴油掺混比例 40%），作为亚太地区最大的生物柴油消费国，其产业发展依托庞大的棕榈油产量；又如，印度力争 2025 年下半年实现 20%乙醇混合目标；再如，越南考虑 2026 年起将 E10 乙醇汽油（10%乙醇混合）作为汽油车唯一燃料。

二、国内生物燃料汽车发展概况

中国生物燃料产业起步相对较晚，交通领域应用目前仍处于试点示范向市场化推广过渡的关键阶段。近十年来，在“双碳”目标引领下实现快速发展，其发展历程按时间顺序可划分为五大阶段，整体呈现“技术储备-试点探索-系统推进-全面产业化-创新发展”的递进态势。

（一）发展阶段

早期探索阶段（2000 年前）：技术储备与政策酝酿

中国生物燃料的萌芽探索可追溯至 20 世纪 70 年代，此阶段以技术储备和政策酝酿为核心特征，为后续产业化奠定基础。1970-1990 年是技术储备期，国内科研机构率先开展系统性研究，中科院大连化学物理研究所等单位牵头推进生物质热解、气化及乙醇发酵等基础研究；1986 年，河南南阳启动首个乙醇汽油实验室项目，探索燃料乙醇与汽油的混合应用，但受技术水平和能源政策限制，研究未脱离实验室阶段。1991-2000 年进入政策酝酿期，国家开始关注生物燃料战略价值，1999 年国家计委（现国家发改委）首次提出发展燃料乙醇设想，组织考察巴西、美国推广经验并评估国内可行性；产业实践同步起步，河南天冠集团（原南阳酒精厂）建成国内首个万吨级燃料乙醇试验装置，标志着生物燃料从科研向工程化迈出关键一步。同时，甲醇汽车研发始于 20 世纪 70 年代末，乙醇汽油研究也处于技术可行性论证阶段，但尚未形成系统性政策支持。

起步试点阶段（2001-2011）：政策破冰与局部推广

2001 年，国家率先在河南、黑龙江等省份启动燃料乙醇试点，次年八部委联合出台《车用乙醇汽油试点方案》，正式确立推广框架；2005 年《可再生能源法》首次从法律层面确立生物液体燃料地位，至 2010 年通过核准中粮、吉林燃料乙醇等龙头企业，全国形成百万吨级燃料乙醇产能，完成从零星试点到规模化生产的跨越。此阶段试点核心是推广 E10 乙醇汽油，初期以玉米、小麦等粮食作物为原料，

主要用于消化陈化粮，但 2007 年因“与人争粮”争议，国家叫停粮食乙醇新项目审批。同期，山西、陕西等地自主开展 M15 低比例甲醇汽油试点，不过缺乏全国统一标准；2009 年工信部启动甲醇汽车专项研究，探索高比例甲醇燃料可行性；2010 年上海开通首条地沟油生物柴油公交线路（B5），标志着废弃油脂利用技术走向成熟。

系统推进阶段（2012-2018）：全国试点与政策深化

这一阶段产业发展聚焦非粮原料转型和多元化技术路线拓展，政策体系从局部规范升级为全行业引导。2012 年，工信部启动覆盖山西、上海、陕西等 5 省市的全国甲醇汽车试点，重点验证 M100 甲醇燃料的安全性、环保性和经济性；2014 年《能源发展战略行动计划》明确支持非粮生物燃料和甲醇汽车发展，推动交通燃油替代，同年《生物柴油产业发展政策》出台，构建起涵盖原料、生产到监管的全产业链规范体系。2015 年广西建成 20 万吨木薯乙醇项目，2018 年山东实现纤维素乙醇中试生产（转化率 18%），非粮化路线取得实质性突破。2016 年《生物质能发展“十三五”规划》重点推动交通领域生物燃料应用，明确技术升级路径；2017 年十五部门联合出台乙醇汽油全国推广方案，确立 2020 年全覆盖目标，政策重心转向全行业协同发展。

全面产业化阶段（2019-2020）：政策加码与范围扩张

2019 年起，产业进入全面推广与产业化攻坚期，政策支持力度持续加大。同年，八部委联合发布《关于在部分地区开展甲醇汽车应用的指导意见》，推动甲醇汽车在出租车、物流车等商用领域应用，并加快完善加注体系；京津冀地区同步形成废弃油脂制生物柴油的闭环应用体系。乙醇汽油推广方面，国家推进 2020 年基本实现全国覆盖的目标，同时持续推动纤维素乙醇技术突破。2020 年“2030 碳达峰、2060 碳中和”战略目标提出，为生物燃料产业赋予新的发展动能，标志着产业发展正式纳入国家“双碳”战略框架。

创新发展阶段（2021 年至今）：技术突破与市场化攻坚

此阶段见证了生物燃料汽车技术路线的重大突破，产业化进程加速推进。2023 年，东方航空首次使用国产 50%掺混比例生物航煤执飞商业航班，拓展了生物燃料的应用场景；同年，中国生物燃料汽车行业保有量约 120 万辆，主要集中在乙醇汽油乘用车领域。2025 年，吉利推出搭载专用甲醇发动机的重卡，相比传统柴油车可降低 30%运营成本；同期，比亚迪与中石化合作开发生物基合成柴油技术，展现出强劲的技术创新活力。政策层面，2022 年生物燃料汽车被纳入新能源汽车多元化技术路线，2025 年启动购置税免征试点，为市场化推广提供有力支撑。

(二) 实践运用

当前，中国生物燃料汽车产业正处于市场化推广期。总体来看，中国生物燃料汽车政策呈现“因地制宜、技术导向、能源安全与环保并重”的特点。原料端坚持非粮化路线，规避粮食安全风险；技术端重点开发高比例掺混专用发动机，提升核心竞争力；应用端聚焦商用车辆市场拓展，计划到 2030 年实现交通领域 15%的碳减排贡献目标。

1. 生物乙醇汽油汽车：中国自 2001 年起在部分省份推广 E10 乙醇汽油（10%乙醇+90%汽油），覆盖黑龙江、吉林、辽宁、河南、安徽、广西等多个省份。多数传统燃油车无需改装发动机，可直接加注使用，适配性较强，是当前生物燃料汽车中应用范围最广的类型。

2. 生物柴油车辆：聚焦公交与货运等商用领域，部分城市试点推广 B5（5%生物柴油+95%柴油）或

B20（20%生物柴油+80%柴油）混合燃料，以上海、深圳等城市为代表。这类车辆主要依托城市公共交通和物流运输场景实现规模化应用，在降低尾气排放的同时，探索生物柴油的产业化落地路径。

3. 其他试验阶段生物燃料车辆：一是纤维素乙醇汽车，2015 年后在河南、山东等地开展示范应用，但受限于技术不成熟、转化效率低、成本偏高等问题，尚未实现商业化推广；二是生物甲烷汽车，以垃圾填埋场沼气提纯制成的生物甲烷为燃料，少量应用于公交领域，如 2018 年南宁启动相关试点，验证生物甲烷在交通场景的可行性。

4. 可持续航空燃料（SAF）试点（延伸领域）：虽不属于汽车领域，但作为生物燃料的重要应用方向，中国在航空领域积极推进 SAF 应用。SAF 以废弃油脂、农林废弃物等可再生资源为原料，可与传统航空煤混合使用（最高掺混比例 50%），显著降低碳排放。2024-2025 年，国航、东航、南航等航空公司，在从北京大兴、成都双流等机场起飞的部分航班中试用 SAF，探索航空领域的绿色能源替代方案。

表 14：生物燃料汽车分类及国内应用举例

类型	主要成分	原料来源	典型混合比	适用车型	国内应用或试点	优缺点
生物乙醇汽车	乙醇 (C ₂ H ₅ OH)	玉米、甘蔗、小麦、大麦、马铃薯、秸秆、木材、藻类等	E10/E85/E100	-灵活燃料汽车：专为乙醇燃料设计，可使用 E20-E100（20%-100%乙醇）； -改装汽油车：普通汽油车更换耐腐蚀部件（如油泵、密封件）后，可适配 E30-E85； -专用高比例乙醇车； -普通汽油车：仅限低比例 E10	-黑龙江、河南、安徽等 11 个省份强制使用 E10，所有国标汽油车均可直接使用，全国超 50%加油站供应； -河南、广西试验 E30-E50 乙醇柴油双燃料公交车，但未大规模推广	能直接减少尾气污染，原料来自可再生植物资源；但高比例乙醇燃料可能导致油耗增加，且低温启动性能较差
生物甲醇汽车	甲醇 (CH ₃ OH)	速生植物（如柳枝稷、芒草）、藻类、木材、农业废弃物（如秸秆、甘蔗渣）、林业残余物等	M15/M85/M100	-甲醇灵活燃料汽车：可使用 M15-M100（15%-100%甲醇）； -改装汽油车：普通汽油车通过更换耐腐蚀部件（油路、密封件等），可适配 M30-M85； -纯甲醇汽车：专为 100%甲醇燃料优化 -双燃料汽车：甲醇/汽油双燃料车型，可手动切换燃料类型	-吉利帝豪甲醇轿车（出租车、网约车，M100 燃料）； -陕汽甲醇重卡（货运车辆，试验阶段）	燃料成本低且排放清洁，适合传统发动机改装使用；但是低温启动性能较差，加注站点目前较少。
生物柴油车	脂肪酸甲酯 (FAME)	地沟油、废弃动植物油脂、藻类油	B5/B20/B100	-普通柴油车：B5，所有柴油车可直接使用（无需改装）；B20，部分新型柴油车兼容； -改装柴油车：高比例混合，B30-B100：需升级发动机密封件和燃油系统（耐腐蚀处理）； -专用生物柴油车：海外部分卡车、公交车设计兼容 B100； -工程机械/船舶：挖掘机、渔船等（B10）	-B5 强制添加：上海、海南等地试点加油站供应 B5 生物柴油（地沟油制）； -2020 年起《B5 柴油》国标实施，但普及率仍低； -海南推动 B10 生物柴油在渔船应用	废油利用，具有优异的润滑性能，能有效减少发动机磨损；但低温易凝结，长期储存易变质

类型	主要成分	原料来源	典型混合比	适用车型	国内应用或试点	优缺点
生物天然气车	甲烷 (CH ₄)	(沼气提纯) 畜禽粪便、餐厨垃圾、农业废弃物	Bio-CNG/Bio-LNG	-压缩天然气汽车 (CNG 车型): CNG 出租车/家用车, CNG 公交车/货车; -液化天然气汽车 (LNG 车型): 长途重卡/城际客车; -双燃料汽车: 汽油/CNG 或柴油/LNG 双系统车型 (可手动切换燃料)	-北京、成都等地试点 Bio-CNG 公交; -深圳部分垃圾清运车使用 RNG	碳负排放潜力 (废弃物产生的甲烷, 不利用则会排入大气)、原料广泛易得; 但能量密度低、气体净化要求高 (含硫化物等杂质会腐蚀发动机)、生产规模化难度大
合成生物燃料车	油脂基/纤维素基/废弃物基	原料来源多样, 核心是通过可再生能源驱动碳循环过程	-	多种车型适用	-欧洲 HVO/BTL 普及度高, 国内仍处早期	环保性高, 可直接替代传统燃油且兼容现有车辆; 但生产成本较高, 目前加注基础设施尚不完善

(三) 案例：上海生物柴油公交车规模化应用十年探索

上海是我国最早开展生物柴油公交应用的城市之一，通过“政策强制+市场激励”的双轮驱动模式，构建了可持续的绿色交通解决方案，形成“地沟油—生物柴油—公交应用”的完整闭环，为全国其他城市提供了可复制的经验。

1. 政策推动与实施成效

上海的生物柴油公交推广以政策为核心引领，分阶段推进试点扩大与体系完善。2010 年，上海市绿化和市容管理局牵头，联合公交企业、科研机构在公交 780 路试点全国首个 B5 生物柴油应用项目（5% 餐厨废弃油脂+95%柴油），首次探索生物柴油在城市公交中的技术可行性，标志着我国城市公交系统开启废弃油脂转化燃料的规模化应用探索。

2013 年 8 月，上海市食安办、市绿化市容局、同济大学等六方签署《餐厨废弃油脂循环利用合作协议》，明确 2014 年将试点推广至 1000 辆公交车，核心目标是构建闭环管理体系，从源头杜绝地沟油回流餐桌。2014-2018 年进入政策调整与扩大试点阶段：2014 年完成《餐厨废弃油脂制生物柴油调合燃料 (B5)》地方标准制定，10 条公交线路（如 55 路、123 路）累计行驶 232.6 万公里，验证了规模化应用的稳定性；2015-2017 年修订《上海市餐厨废弃油脂处理管理办法》，强化“统一回收—规范加工—公交消纳”全链条管控，日均消纳地沟油提升至 70 吨。

2019 年起进入全面推广阶段，久事公交集团 2000 余辆柴油车全面使用 B5 生物柴油，覆盖 7 个中心城区停车场，日均加油量达 2.8 万升；2020 年后，上海 231 座加油站开始供应 B5 生物柴油，通过价格

优势鼓励社会车辆使用。截至 2023 年，上海全市超 3000 辆公交车使用 B5 生物柴油，年消纳量超 10 万吨，减排二氧化碳约 30 万吨，形成全球规模最大的生物柴油公交体系。该实践不仅实现显著环境效益（PM 排放降低 47%、CO 排放降低 20%），更通过地沟油闭环管理保障了食品安全。未来，上海计划探索 B10、B20 等高比例掺混燃料，并将应用场景拓展至船舶、环卫车等领域。

2. 市场探索与商业化拓展

上海生物柴油公交市场的发展伴随政策引导逐步完成从培育到成熟的过渡，呈现清晰的阶段性特征：2010 年试点初期，市场处于培育阶段，生物柴油生产成本较传统柴油高出约 15%，需依赖政府补贴维持运营。此时原料收集体系统一化不足，地沟油收购价格波动较大（2012 年均价约 3000 元/吨），终端消费完全依赖公交集团采购，市场化销售渠道尚未形成，以上海中器环保为代表的首批生产企业产能利用率长期低于 50%，市场供需处于政策引导下的脆弱平衡状态。

随着《上海市餐厨废弃油脂处理管理办法》的修订实施，市场机制逐步完善。2015 年全市强制推行地沟油闭环管理后，原料供应量从日均 60 吨提升至 2017 年的 120 吨，价格稳定在 2800-3200 元/吨区间；久事公交集团通过规模化采购（年约 3 万吨）推动生物柴油生产成本下降 8%，与国标柴油价差缩小至 5% 以内。这一阶段的关键突破是 2016 年上海石化介入生物柴油调和领域，依托其成熟的成品油销售网络，在 15 座加油站试点 B5 生物柴油社会化销售，首次实现非公交领域的市场渗透。

当前市场已进入全面商业化阶段，呈现三大核心特征：一是价格机制完全市场化，B5 生物柴油通过免征消费税的税收优惠，挂牌价持续低于普通柴油 0.2-0.3 元/升，具备市场竞争力；二是供应链高度整

合，形成“93 家收运企业+4 家处置企业+久事公交+中石化销售”的完整产业链，原料利用率达 95% 以上；三是市场主体多元化，除公交领域年消纳 10 万吨外，顺丰上海车队等物流企业主动采购 B5 生物柴油，社会化销售占比提升至 30%。2023 年市场规模达 12 亿元，较 2018 年增长 400%，生产企业毛利率维持在 18-22% 的合理区间。

目前上海生物柴油市场形成“国企主导、民企补充”的格局。上海石化掌握 70% 的调和产能，民营企业中器环保、绿铭环保专注前端原料处理。2024 年 B7 标准制定完成后，预计将催生 20 万吨/年的新增市场需求，但原料收运成本上升（2023 年地沟油均价达 3500 元/吨）及氢能公交的竞争，将成为影响市场持续增长的关键变量。未来，市场有望向船用燃料等更高附加值领域延伸，以进一步提升产业盈利能力。

参考资料

1. 视角：世界各国生物燃料政策动向.Alpatent 科技资讯平台,2024-07-17.
https://www.sohu.com/a/792811576_120810173
2. 前海期货：全球燃料乙醇发展现状. 2023-08-14.
<https://www.qhfco.net/upload/ueditor/20230824/202308241713534184.pdf>
3. 全球生物燃料发展：新形势下的绿色能源探索之路.中国产业发展促进会生物质能产业分会,2023-08-31. <https://www.beipa.org.cn/newsinfo/6329243.html>
4. 刘瑾,郭建国.生物燃料的发展现状与前景 [J]. 生态学报,2008,28 (4):1340-1350.
5. 王梦,田晓俊,陈必强,等.生物燃料乙醇产业未来发展的新模式 [J]. 中国工程科学,2020,22 (2).
6. 2025 年中国生物航煤竞争格局与市场趋势洞察：产能突破与技术革新驱动增长.中国报告大厅,2025-07-30.<https://cht.chinabgao.com/info/1280336.html>
7. ITBEAR.JDM 车企探索新路径,携手 ENEOS 研发低碳生物燃料应对减排挑战.搜狐汽车,2025-07-17. https://www.sohu.com/a/914614299_362225?scm=10001.325_13-325_13.0.0.5_32
8. 清源.日产、马自达、丰田等日系车企探索生物燃料新路径：用草木、再生纸制造乙醇.IT 之家,2025-07-11.<https://www.ithome.com/0/867/496.htm>
9. 中国生物燃料相关政策.小牛行研,2025-02-24.
<https://www.hangyan.co/charts/3517098275251422636>
10. 中国中化牵头制定的生物天然气国标正式实施.中国城市燃气协会,2023-01-01.
<https://chinagas.org.cn/4628/202301/55953.html>
11. 上海市环境科学研究院.“货运车、船舶和工业锅炉燃用餐厨废弃油脂制生物柴油的环保排放特性及效果评估”项目通过绩效评价.上海市生态环境局,2022-02-14.
<https://sthj.sh.gov.cn/hbzhywpt6040/hbzhywpt6065/20220831/67cf1b1fafb6482c9ef0819c9c36e012.html>
12. 上海：“地沟油”新人设！上海久事公交 2000 余辆公交车喝上生物柴油.公共交通资讯,2019-05-10.https://www.chinabuses.com/keyun/2019/0510/article_89235.html
13. 霍霍.八部委推动甲醇汽车发展,甲醇汽车能否战胜燃油成为主流? . 网易号,2019-04-10.<https://www.163.com/dy/article/ECD1UAJS05377ZC9.html>
14. 仝晓波.甲醇汽车进入产业化发展新阶段（政策解读）[N]. 中国能源报,2019-03-25.https://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2019-03/25/content_1915947.htm
15. 地沟油制生物柴油首次面市 沪两家加油站试点供应.上海市市容环卫商业协会网,2017-10-31.<http://www.stacaes.com/zyw/contents/60/7184.html>
16. 中国首个 2 代纤维燃料乙醇项目获得国家发改委批复.中国网,2012-07-11.<https://newenergy.in-en.com/html/newenergy-1472130.shtml>
17. 皓月.工信部拟启动全国甲醇汽车试点工作 [N]. 中国证券报,2012-03-30.
https://www.chinabuses.com/policy/2012/0330/article_2830.html
18. 宜班.发改委欲扩大乙醇汽油试点范围 [N]. 中国化工报,2006-06-27.
<https://hebccpi.org/plus/view.php?aid=1810>
19. 《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》发布.中国管道商务网,2006-06-26.<http://www.www.chinapipe.net/regulation/2006/107.html>

第四节 天然气

一、国外天然气汽车发展概况

天然气汽车（简称“NGV”）指以压缩天然气 CNG 或液化天然气 LNG 为燃料的汽车，以天然气为核心燃料，具备显著的低排放优势，其碳氧化物排放量比汽油车减少 90%以上，碳氢化合物排放减少 70%以上，氮氧化物排放减少 35%以上。作为“双碳”目标下交通领域的过渡性交通工具，既能降低碳排放，又能兼容现有能源供应体系，近年来逐渐成为行业关注焦点。

1. 全球发展情况

从全球天然气汽车发展概况来看，碳中和目标显著强化了政策驱动作用，推动汽车行业向天然气新能源方向快速转型。在碳约束机制的倒逼下，燃料替代进程加速，柴油等高污染车辆逐步被淘汰，例如欧盟等地区将交通领域纳入碳排放交易体系，碳价上升显著提升了天然气汽车的经济性，研究表明碳价每增加 10%，天然气商用车渗透率提高 1.8%，直接推动柴油车替代；多国还设定了交通减排硬性目标，要求公共服务领域优先采用低碳燃气车辆，加速高污染车队淘汰。同时，能源安全与碳中和目标的协同，使政策更倾向于发展天然气新能源汽车，俄乌冲突后，欧洲通过扩大 LNG 进口（2022 年增幅达 60%）降低对俄油依赖，同时配套加气站补贴政策，实现能源自主与短期减排双目标；美国则依托页岩气低价优势（气价仅为柴油的 1/3），通过《基础设施法案》投资州际 LNG 网络，降低运输业碳排放强度。此外，绿色金融也发挥了引导作用，推动产业投资流向天然气汽车生产，例如欧洲央行将天然气汽车纳入《可持续金融分类方案》，企业 ESG 评级与融资成本挂钩，驱动产业链资本倾斜；公共采购设定碳强度门槛，迫使物流企业采购天然气重卡以满足碳中和政策合规要求。

碳中和导向的政策优化路径呈现差异化区域策略。技术领先国以欧盟为代表，政策重点是建立生物甲烷绿色认证体系，衔接碳边境调节机制，实践案例为德国主导 ISO 生物甲烷标准制定，呈现规则制定导向，旨在推动全球标准和机制，强化国际影响力；资源富集国以美国为代表，重点是锁定 LNG 长期出口合同，稳定气价支撑交通减排，实践中页岩气企业将甲烷回收率与 ESG 评级绑定，呈现资源优化导向，利用能源出口稳定价格，整合 ESG 以提升可持续性；新兴市场以亚太地区为代表，政策重点是将国有能源企业 ESG 考核与碳中和进度挂钩，印度建设“气-电-氢”综合能源站降本的实践是典型案例，呈现成本效率导向，通过国有企业和多能源整合，降低转型成本，加速进度。

表 15: 差异化的区域策略

区域类型	政策重点	实践案例	关键特点
技术领先国 欧盟	建立生物甲烷绿色认证体系，衔接碳边境调节机制 (CBAM)	德国主导 ISO 生物甲烷标准制定	规则制定导向：推动全球标准和机制，强化国际影响力
资源富集国 美国	锁定 LNG 长期出口合同，稳定气价支撑交通减排	页岩气企业绑定甲烷回收率与 ESG 评级	资源优化导向：利用能源出口稳定价格，整合 ESG 以提升可持续性
新兴市场 亚太	国有能源企业 ESG 考核挂钩碳中和进度	印度建“气-电-氢”综合能源站降本	成本效率导向：通过国有企业和多能源整合，降低转型成本，加速进度

2. 全球规模

全球天然气汽车市场呈现“商用车主导、区域分化深化”的格局，从区域分布看，欧洲、亚洲和北美是主要应用地区。欧洲以 CNG 出租车普及为特色，北美侧重重型卡车领域。亚太地区市场份额占比超 40%，凭借政策支持与市场需求，成为全球天然气汽车发展最快的区域。

全球天然气汽车保有量已持续增加，成为清洁能源交通领域的重要力量。2021-2025 年全球保有量年增速预计维持在 5%-8%，政策扶持力度、LNG 贸易成本下降及发动机技术突破将是关键增长变量，但需警惕能源结构转型带来的替代风险。从市场规模与区域分布来看，截至 2008 年，全球 80 多个国家天然气汽车保有量约 960 万辆，占汽车总保有量的 1.16%，其中亚洲、欧洲和南美洲为主要市场。亚洲市场中，中国、印度等新兴经济体需求快速增长，韩国、日本则因需求饱和增速趋缓；南美市场中，阿根廷、巴西等国因油气价差显著，天然气汽车普及率居全球前列。2013 年，天然气商用车在商用车市场整体下滑背景下成为核心突破点，尤其在污染物治理压力大的地区增速显著。

市场增长的驱动因素主要包括三方面。一是环保政策强制推行，多国通过严格排放法规及“以气代油”政策倒逼高污染燃油车替换，欧洲将天然气汽车纳入碳中和路径，雾霾治理需求也加速了公共领域车辆气化；二是经济性优势显著，天然气价格长期低于汽柴油，燃料成本降低 30%-50%，推动物流、出租等行业大规模应用，政策补贴进一步强化了这一优势；三是 LNG 技术突破带动市场扩容，低温液化技术的成熟提升了储运效率，LNG 能量密度较 CNG 提高 2.5 倍，续航里程延长至 800 公里以上，推动

重卡长途运输领域应用，同时产业链投资加速，2021 年全球 LNG 再汽化能力增幅创新高，基础设施完善降低了终端使用成本。其中，能量密度指单位质量或单位体积的物质或系统中所储存或释放的能量，通常用于衡量能源载体的效率；再汽化则是指 LNG 可在液态状态下便于运输，但无法直接用于汽车，需要再次加热到大气压下变回天然气状态的过程。

3. 区域发展差异

不同区域的发展态势存在差异，北美地区受益于页岩气繁荣，气价处于低位，天然气重卡渗透率提升，但政策支持力度弱于欧亚，增长瓶颈为加气站网络密度不足；欧洲在碳中和目标下，试点推广生物甲烷与 LNG 混合燃料，德国、意大利商用车气化率领先，增长瓶颈为可再生能源竞争压缩了天然气的长期发展空间；亚太新兴市场中，中印需求激增，政府补贴加气站建设，中国 2021 年 LNG 进口量全球第一，支撑下游应用，增长瓶颈为气价波动影响经济性稳定性。这里的页岩气是赋存于以富有机质页岩为主的储集岩系中的非常规天然气，是连续生成的生物化学成因气、热成因气或二者的混合，可游离态存在于天然裂缝和孔隙中，以吸附态存在于干酪根、黏土颗粒表面，还有极少量以溶解状态储存在于干酪根和沥青质中。

表 16: 区域发展态势对比

区域	特点	增长瓶颈
北美	页岩气繁荣致气价低位，天然气重卡渗透率提升；政策支持力度弱于欧亚	加气站网络密度不足
欧洲	碳中和目标下，生物甲烷与 LNG 混合燃料试点推广；德国、意大利商用车气化率领先	可再生能源竞争压缩天然气长期空间
亚太新兴市场	中印需求激增，政府补贴加气站建设；中国 2021 年 LNG 进口量全球第一，支撑下游应用	气价波动影响经济性稳定性

从未来趋势与挑战来看，短期增长潜力体现在 LNG 贸易灵活性提升，现货合同增加、再出口贸易活跃，增强了区域市场供应弹性；同时技术迭代加速，缸内直喷、稀薄燃烧技术提升了天然气发动机效率，缩小了与汽柴油机的性能差距。但长期来看，天然气汽车市场发展仍面临挑战，在能源转型冲击下，氢能、电动化技术分流投资，削弱了天然气在零碳交通中的过渡地位；加气站建设成本高昂（单站约 300 万-500 万美元），也制约了在欠发达地区的推广。

4. 国际竞争格局

国际企业竞争格局呈现出鲜明的区域分化特征，形成了由欧洲、北美、亚太三大阵营主导的竞争态势。各阵营依托自身资源禀赋、技术优势与政策环境，构建了差异化的企业竞争策略与市场定位，共同塑造了当前全球天然气汽车领域的产业竞争格局。

欧洲利用生物甲烷掺混天然气燃料大大提高了天然气汽车的可持续性，并实现能源巨头与车企的市场联盟格局：技术突破上，欧洲整车制造商推出生物甲烷重卡大大降低碳强度；政策驱动上，欧盟碳边境调节机制（CBAM）推动生物甲烷认证标准化，能源企业加速并购生物质气源项目。同时，欧洲还在扩张高速公路加气网络和整合开发低碳燃料技术。

表 17: 欧洲——能源巨头与车企联盟

企业类型	代表企业	竞争策略	市场定位	关键数据点
能源供应商	壳牌(Shell)、道达尔(Total)	主导 LNG 加注网络建设，高速公路覆盖率超 60%	基础设施控制者	覆盖率超 60%
整车制造商	斯堪尼亚(Scania)、依维柯(IVECO)	推出生物甲烷重卡，全生命周期碳强度比柴油低 90%	重型运输领域领导者	碳强度低 90%
技术整合者	博世(Bosch)	开发 HCNG（氢掺混）发动机，热效率提升 12%	低碳燃料技术提供方	热效率提升 12%

北美锁定页岩气资源优势，从经济性、规模与合规、技术三个方面推进页岩气供应链整合：作为页岩气资源富集区域，锁定低价页岩气源实现经济性驱动优势；以 ESG 评级与减排目标绑定，倒逼企业大规模采购 LNG 重卡，加速市场采纳度；不断进行产品创新解决续航痛点，支撑 LNG 重卡的性能需求。

表 18: 北美——页岩气供应链整合

竞争策略	市场定位	关键优势对比
锁定低价页岩气源，LNG 燃料成本仅为柴油 1/3	燃料成本优势构建者	经济性驱动：源头成本控制，LNG 成本低至柴油 1/3，直接降低用户 TCO（总拥有成本）
规模化采购 LNG 重卡，ESG 评级与减排目标绑定	规模化应用先行者	规模与合规驱动：通过大规模采购实现 ESG 目标，示范行业减排实践，加速市场采纳
推出 X15N 天然气发动机，适配长途重卡续航需求	动力系统核心供应商	技术驱动：产品创新（如 X15N 发动机）解决续航痛点，支撑 LNG 重卡性能需求

亚太区域重视天然气汽车的推广应用政策，对天然气汽车的整体重视程度和需求量远高于欧洲和美洲，形成发展迅速的政策驱动型市场，其天然气汽车总体保有量远高于欧洲和北美地区。

表 19: 亚太——政策驱动型市场

企业类型	代表企业	竞争策略
国有能源集团	印度 GAIL、中石油(CNPC)	主导 CNG 加气站建设，城市覆盖率达 80% 例如，国有资本主导的“气-电-氢”综合能源站建设，降低边际成本
整车制造商	塔塔汽车(Tata Motors)	开发 CNG 乘用车，售价较燃油车低 15%
新兴技术企业	韩国现代(Hyundai)	推进 LNG-电动混合动力技术，减排率提升至 35%

5. 案例——美国 TTSI 港口 LNG 卡车部署

长滩港区作为全美第二大集装箱港，年均运营柴油卡车达 13000-14000 辆，年排放二氧化碳约 2600 吨，氮氧化物排放占区域总排放量的 45%。美国 Total Transportation Services, Inc. (TTSI)作为南加州最大港口运输服务商，在港口运输领域引入液化天然气 (LNG) 卡车以降低港口社区空气污染。

公司投资建设专用 LNG 加注基础设施，配备 4 条快速加注通道及 10 台高压加注泵，单站日服务能力达 200 车次。初期优先保障战略合作车队（如 MDB 运输集团、AJR 物流公司）的燃料供给，后期逐步向第三方开放服务。加注网络覆盖洛杉矶-长滩港区至内陆铁路场站的核心运输走廊，形成半径 150 公里的燃料保障圈，确保高频次运输的连续性。

经 EPA 认证，LNG 卡车较同级柴油车降低 20%-30%的二氧化碳排放，颗粒物排放减少 95%。若采用可再生天然气 (RNG)，通过生物质甲烷捕获技术可实现全生命周期碳减排 80%以上，相当于单车年减碳量达 40 吨。该技术路径直接支持加州《先进清洁卡车法案》(ACT) 的阶段性目标，为 2035 年零排放重型车占比 55%的强制要求提供过渡方案。

依托美国页岩气革命带来的价格优势，天然气长期较柴油价格低 30-40%。叠加加州空气资源委员会 (CARB) 的加注站建设补贴（单站最高 50 万美元），TTSI 车队燃料成本降低 20%-35%，年节省运营支出超 200 万美元。加注效率方面，单次 15 分钟加注可实现 800 公里续航，完美匹配港口至内陆配送中心（如安大略物流枢纽）的往返运输需求，有效规避纯电动卡车充电时长导致的运力损失。

6. 案例——沃尔沃集团的技术创新

沃尔沃集团在天然气汽车技术创新上表现突出。其研发的天然气汽车搭载先进智能控制系统，可实时监测车辆运行状态和天然气消耗，自动调整发动机工作参数以实现最佳燃烧效果——例如爬坡或加速时增加天然气供应量提升动力，匀速行驶时减少供应量以提高经济性。

安全性上，沃尔沃研发了多重安全防护系统：储气罐安装多个传感器，实时监测压力、温度等参数，异常时自动采取泄压、降温等措施；车辆配备先进灭火装置，检测到火灾时自动启动灭火；同时通过优化车辆结构设计，提升碰撞时的安全性，保护乘客和储气罐。这些技术创新使沃尔沃天然气汽车市场竞争力强，销量逐年增长。

二、国内天然气汽车发展概况

2024 年，国内天然气重卡销量达 17.82 万辆，较上年增长 17%，创下历史新高。这一增长得益于多重因素的共同作用：国六 II 标准的全面落地，加速了老旧车辆的淘汰更新，为天然气重卡释放了广阔市场空间；LNG 价格的持续走低，进一步凸显了天然气重卡的运营成本优势——某物流公司的数据显示，其天然气重卡每公里燃料成本比柴油重卡低约 0.5 元，一辆车年行驶 10 万公里可节省 5 万元；此外，公路货运市场的逐步复苏，也刺激了运输车辆需求，天然气重卡因兼具经济性与环保性，成为众多物流企业的首选。

从市场竞争来看，国内天然气重卡市场集中度较高。2024 年，解放、重汽、东风等前五家企业占据了超 95% 的市场份额。解放汽车凭借发动机技术和整车制造工艺的深厚积累，其天然气重卡在动力性能和燃油经济性上表现优异，市场份额位居第一；重汽通过优化产品结构、加大轻量化技术研发（即在保证车辆强度和安全性的前提下，采用高强度钢、铝合金等轻质材料优化车身、车架等部件，降低自重以提升运输效率和燃料经济性），其产品运输效率和可靠性上竞争力较强，市场份额紧随其后；东风则依托完善的产品线和区域渠道优势，在细分市场保持稳定份额。

区域分布上，天然气重卡销量呈现明显不均衡。河北、山西、河南等资源型物流大省，因煤炭、钢铁等大宗货物运输需求旺盛，销量占比较高。2024 年，河北、山西的销量占比分别达 15.4% 和 15.3%。这两个省份不仅天然气资源丰富，且政策支持力度大，加气站等基础设施完善，为天然气重卡运营提供了便利。

1. 政策分析

国家层面，发改委颁布的《天然气利用管理办法》于 2024 年 8 月 1 日正式生效，明确将以液化天然气为燃料的载货卡车、城际载客汽车、公交车等纳入优先类，为天然气汽车发展提供了明确政策导向。

2025 年 3 月，交通运输部、发改委、财政部联合发布《关于实施老旧营运货车报废更新的通知》，首次将天然气重卡纳入补贴范围，这一政策将加速老旧柴油重卡淘汰，促进天然气重卡推广。例如，某物流企业若将 100 辆老旧柴油重卡报废更新为天然气重卡，不仅能获得补贴降低购车成本，还能通过天然气重卡的低运营成本，在未来几年显著提升经济效益。

地方层面，各地也出台配套政策加大支持。重庆市对 LNG 货车开放主城区内环通行权，市政环卫车 100% 采购 LNG 车型，并给予购车税收优惠，此举使重庆年减排二氧化碳超 100 万吨，有效改善了城市空气质量；四川省则在加气站建设上给予补贴，鼓励企业完善基础设施，提升天然气汽车使用便利性。

2. 技术发展

国内企业在天然气发动机热效率提升上成果显著。凯瑞动力研发的 LNG 发动机热效率达 43%，较前代产品大幅提升，其通过优化燃烧系统、采用先进喷油技术和涡轮增压技术，使天然气燃烧更充分；力创科技的 BD5A 发动机热效率更是突破 55.9%，达到国际领先水平，该发动机采用智能可变压缩比技术（可根据工况自动调整压缩比，提升燃烧效率），并搭配电辅助复合增压系统，进一步提高进气量，增强燃烧效果。

国际上，知名发动机企业也在加大研发投入。例如，康明斯研发的新型天然气发动机，通过采用先进材料和制造工艺降低内部摩擦损失，热效率提升至 45% 以上。这些技术突破不仅有助于降低天然气汽车能耗和运营成本，还能增强其市场竞争力。

国内在 LNG 储罐技术上实现了轻量化与高安全性的双重突破。中集安瑞科研发的新型 LNG 储罐，采用高强度、低密度复合材料，相比传统钢制储罐重量减轻 30% 以上，有效提升车辆有效载荷；同时，通过优化结构设计和隔热性能，提高了储罐安全性和可靠性，减少天然气蒸发损耗。富瑞特装则在储罐智能化控制上创新，其研发的智能储罐系统可实时监测压力、温度等参数，并自动调整加气和供气过程，提升了加气站运营效率和安全性。

国际方面，挪威 Hexagon Composites 公司研发的全复合材料高压气瓶，具有重量轻、耐压高、耐腐蚀等优点，广泛应用于天然气汽车领域，其采用先进缠绕工艺使纤维均匀分布，提升了气瓶强度和可靠性。此外，部分企业正探索吸附储存等新型储气技术，通过将天然气吸附在特定吸附剂上提高储气密度，有望进一步增加天然气汽车续航里程。

天然气掺氢技术作为新兴技术，近年来在国内得到广泛关注和研究。新疆德信燃气在乌鲁木齐开展 CNG 掺氢（5%）公交试点，成效显著：公交车辆氮氧化物排放降低 18%，燃料成本下降 12%。这得益于氢气燃烧速度快、火焰传播速度高，能促进天然气更充分燃烧，减少污染物排放并提高燃料利用率。宝钢、包钢等企业在掺氢管线钢研发上也取得进展，宝钢的掺氢管线钢通过相关测试，包钢实现掺氢比例扩至 30%，为掺氢技术大规模应用提供了材料支撑。

国际上，部分国家和地区在天然气掺氢技术上走在前列。欧盟发起多个相关研究项目，推动掺氢技术在能源领域的应用；英国已建成多条掺氢天然气示范管道，部分家庭开始使用掺氢天然气；美国也在积极研究，探索将掺氢天然气应用于重型运输车辆，以降低碳排放、提高能源利用效率。

3. 案例——重庆天然气汽车的推广模式

重庆市在天然气汽车推广上形成了有效的模式。政策驱动方面，除开放主城区内环通行权、市政环卫车采购政策外，还对购买天然气汽车的企业和个人给予税收优惠，降低购车成本。基础设施建设上，重庆积极推进加气站布局，截至 2021 年，高速公路服务区已投运 6 座 LNG 加注站，计划“十四五”期间建成 30 余座，实现出省通道全覆盖；同时优化主城区加气站分布，提升加气便利性。

重点领域应用上，重庆在渣土车、物流运输和船舶改造等领域大力推广天然气汽车。渣土车领域，2015 年首批 4 辆 LNG 渣土车试点成功后，截至 2023 年，主城区 LNG 渣土车规模已超 200 辆，不仅减少尾气排放、改善空气质量，还降低了运营成本；物流运输领域，东风商用车天龙 KX 燃气牵引车被广泛应用，该车型搭载 1350L 气罐，续航达 1500km，每百公里气耗 32kg，较柴油车年省成本超 3 万元，深受物流企业青睐；船舶改造方面，重庆港务物流集团将滚装船、货船改造为 LNG 动力，单船年减排二氧化碳 2400 吨，为长江流域绿色航运起到示范作用。

参考资料

1. 杜祥琬.我国实现"双碳"目标面临的现实挑战与对策建议[J]. 学术前沿,2025(2):13-19
2. 王灿,蔡闻佳,郑馨竺,等.碳中和目标下气候政策研究的前沿问题[J]. 北京理工大学学报:社会科学版,2022, 24(4):7
3. 郭劲光,万家瑞.我国能源消费的网络关联特征及其优化路径——碳达峰与碳中和视角的思考[J]. 江海学刊,2021, 000(004):85-91
4. 刘耀彬,邓伟凤,李硕硕,等.基于碳汇潜力的碳排放空间关联网络结构特征及影响因素——以长江中游城市群为例[J]. 中国人口·资源与环境,2024, 34(3):1-15
5. 闫宝东,赵堂玉,王利宁,等.全球 LNG 市场特征和趋势分析及对我国的启示[J]. 中国能源,2019, 41(8)
6. 黄浩凯.2021 年全球液化天然气市场特点及发展趋势[J]. 国际石油经济,2022, 30(4):79-91
7. 何太碧,黄海波,林秀兰,等.中国 LNG 汽车及加气站技术应用分析及推广建议[J]. 天然气工业, 2010(9):5.DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.09.021
8. 苏欣,杨君,袁宗明,等.我国液化天然气汽车研究现状[J]. 天然气工业,2006, 26(008):145-148. DOI:10.3321/j.issn:1000-0976.2006.08.045
9. 周祥民.液化天然气(LNG)汽车的现状及发展趋势[J].[2025-08-17]
10. 陈秋阳,陈云伟.国际氢能发展战略比较分析[J]. 科学观察,2022, 17(2):1-12
11. 徐洪流.氢燃料电池技术应用现状及发展趋势分析[J]. 科技与创新,2019, 122(02):166-167
12. 洪金龙,高炳钊,董世营,等.智能网联汽车节能优化关键问题与研究进展[J]. 中国公路学报,2021, 34(11):29
13. 陈隼.我国双积分政策对新能源车企研发效率的影响研究[D]. 上海财经大学,2021
14. 网络游侠.上海加速 LNG 加注布局,强化全球航运绿色转型领导力.百家号,2025-03-26.<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1830682961955997563&wfr=spider&for=pc>
15. 咨蕴.中美贸易新规对 LNG、LPG 及汽车运输船市场的影响解析.百家号,2025-04-29.<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1837159565853604449&wfr=spider&for=pc>
16. 新战略低速无人驾驶.多个港口无人车规模突破百台! 中国抢占全球智慧港口建设高地.百度百家号,2023-12-18.<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1785606984689111348&wfr=spider&for=pc>
17. 祝家新,林文胜.天然气汽车加气站发展趋势及 LCNG 加气站技术特点[J]. 能源技术,2007(1):32-35
18. 赵广明.车用清洁燃料 LPG,CNG,LNG 的合理应用[J]. 石油化工环境保护,2000(3):4. DOI:CNKI:SUN:SYHB.0.2000-03-011
19. 周怡沛,周志斌.中国 CNG 汽车市场发展现状、趋势与策略[J]. 国际石油经济,2009(10):5
20. Dewen Z, Guangwu Z, Dong Y, et al. 国内外天然气资源现状与发展趋势[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(1):47-49
21. 叶文平.BT 公司新能源汽车市场营销策略研究[D]. 大连海事大学,2023
22. 姚蔚.中国客车产业发展报告(2014~2015)[M]. 社会科学文献出版社,2015
23. 总站网卡车编辑组.美国天然气重卡发展情况及应用场景案例分析.汽车总站网,2024-11-20.<https://www.chinaautoms.com/m/view.php?aid=24328>
24. Group G L M .Argentina's gas supply system in emergency shutdown amid frigid weather[J]. Global LNG Monitor, 2024(TN.817)
25. 陈楠枰.聚焦中国电动汽车百人会论坛(2016)大咖说:新能源汽车产业发展究竟怎么走?[J]. 交通建设与管理,2016
26. 杨晓东,顾安忠.液化天然气汽车的研究和发展[J]. 新能源,2000, 22(9):7
27. 林在犁,杨学杰.世界能源状况及车用天然气发动机技术发展[J]. 柴油机,2005(04):4-8
28. 王强.绿色汽车燃料——液化天然气冷量回收汽车空调系统研究[J]. 西安交通大学,2003
29. 成菲,舒兵,秦园,胡奥林.国外天然气利用趋势及其启示与建议[J]. 天然气技术与经济,2017, 11(2)
30. 朱磊.有关国内外天然气的市场现状分析[J]. 中国化工贸易,2020, 012(030):4,6

31. 赵福全,刘宗巍,汪宇.中国乘用车自动变速器产业发展战略[J]. 2021 (2016-8):96-101
32. 刘昆.中国企业跨国并购战略研究[D]. 武汉理工大学. 2025-08-17
33. 薛震.新能源汽车产业化风险研究[D]. 复旦大学,2009
34. 中国汽车工业协会. 2024 年天然气重卡行业发展报告 [R]. 2025.<https://www.caam.org.cn/>
35. 凯瑞动力官方网站. LNG 发动机技术白皮书 [Z]. 2024.<https://www.keruipower.com/>
36. 沃尔沃集团官方网站.天然气汽车技术创新报告 [R]. 2024.
<https://www.volvogroup.com.cn/zh/innovation/>
37. 重庆市交通运输局.天然气汽车推广政策及成效报告 [R]. 2024.<https://jtj.cq.gov.cn/>

第五节 太阳能

一、国外太阳能汽车发展概况

随着全球对环境保护和可持续能源的关注度不断提高，太阳能汽车作为一种创新的交通工具，正逐渐成为汽车行业的研究热点。在国外，众多汽车制造商和科技公司纷纷投入资源，致力于推动太阳能汽车的发展。

太阳能汽车行业聚焦于将太阳能转化为电能，以此驱动车辆行驶，为交通运输领域提供清洁、可持续的解决方案。其核心使命在于打破传统燃油汽车对化石能源的依赖，减少碳排放，助力全球实现碳中和目标，同时为消费者带来更环保、经济的出行选择。

全球太阳能汽车市场规模的增长源于多方面因素。各国政府积极推动可再生能源发展，为太阳能汽车提供补贴、税收优惠等财政支持，刺激了市场需求。随着技术进步，太阳能电池板成本下降、效率提升，以及能量存储系统的优化，使得太阳能汽车性能逐步改善，成本效益更具吸引力。消费者环保意识增强，对绿色出行的需求促使他们更愿意接纳和选择太阳能汽车。不过，目前太阳能汽车市场仍处于发展初期，尽管增长迅速，但在全球汽车市场中的占比依旧较小，其大规模普及还面临成本、技术成熟度等挑战。

(一) 日本

日本在太阳能汽车领域的探索与发展，契合日本资源匮乏的基本国情，也源于其对环保的高度重视，更依托于本土强大的科技实力支撑，形成了独具特色的技术演进与产业布局路径。

1. 发展阶段

早期探索阶段（20 世纪 70-90 年代）：赛事驱动技术积累

20 世纪 70 年代全球石油危机的爆发，成为日本发力新能源汽车研发的重要契机，太阳能汽车作为关键探索方向进入视野。彼时，太阳能汽车尚处于实验室研发的初级阶段，技术基础相对薄弱。1987 年，通用汽车单座太阳能赛车 Sunraycer 在首届世界太阳能车挑战赛中夺冠，这一赛事成果引发了日本本田技研的高度关注。受此启发，本田于 1988 年 4 月组建了由 4 人构成的初代电动车基础研究团队，正式开启太阳能汽车领域的探索之路。凭借深厚的赛事基因，本田积极投身各类太阳能汽车赛事，以赛促研积累核心技术。

1989 年，日本举办“朝日太阳能车拉力赛”，此后又陆续推出 1991 年“北海道太阳能车赛”、1992 年“铃鹿太阳能车赛”与“能登太阳能车拉力赛”等赛事。这些赛事吸引了汽车企业、科研院所及高校广泛参与，成为技术交流与创新的核心平台。这一时期，太阳能电池以晶体硅为主流，其中学生参赛队使用的电池转换效率普遍在 14%-18%，企业参赛队则凭借技术优势达到 19%-23%；部分技术与资金实力雄厚的队伍已开始应用 MPPT 装置，进一步提升太阳能利用效率。

1993 年和 1996 年，本田研发的“dream”太阳能车两次在世界太阳能挑战赛中夺冠，该赛事从澳大利亚达尔文到阿德莱德，全程 3028 千米，以严苛规则和超长距离成为全球顶级太阳能汽车赛事，本田的夺冠彰显了日本在该领域的初步技术成果，也极大激励了本土企业与科研机构的参与热情。1997 年，东京电机大学教授藤中政晴带领团队，历时近两年改装市售车辆打造“向日葵”号太阳能汽车，该车车顶搭载太阳能电池板并配备可充电电池，最高时速可达 120 千米。同年 7 月至 9 月，藤中政晴团队驾驶“向日葵”号从伦敦出发，途经法、意、德、荷等国，跨大西洋抵达美国纽约后横穿全美至洛杉矶，完成长达 10000 千米的长途行驶，不仅验证了太阳能汽车的实用可行性，更为后续技术改进积累了宝贵的实测数据。

技术提升与赛事辉煌阶段 (21 世纪初-2010 年代)：效率突破与民用探索并行

进入 21 世纪，日本在太阳能汽车技术研发上持续深耕，核心聚焦太阳能电池转换效率提升、车辆动力系统优化及能量存储管理升级。2004 年，日本太阳能组件年产量突破 1200MW，为太阳能汽车产业发展奠定了坚实的产业基础。2008-2012 年，东海大学挑战中心学生团队打造的“东海挑战者”号太阳能汽车，在南非与澳大利亚交替举办的世界顶级太阳能汽车驾驶竞赛中实现五连冠，成为赛事领域的标杆。该车搭载夏普公司提供的太空卫星级化合物太阳能电池，转换效率高达 30%，远超当时先进晶体硅太阳能电池 20%的效率水平——这类化合物材料可吸收更广泛的光谱，虽制造成本较高，但大幅提升了太阳能汽车的续航与动力性能。

在赛事技术持续突破的同时，日本企业开始积极探索太阳能汽车的民用化路径。2016 年，丰田推出全球首款量产太阳能电动车——新型 Prius，其太阳能装置容量达 180 瓦。此前 Prius 的太阳能板仅作为选配，电力仅用于车内换气，而新型号实现了行驶能源获取的关键突破。同年，日本国立研究开发法人“新能源及产业技术综合开发机构”（NEDO）牵头组建“搭载太阳能发电系统汽车检讨委员会”，联合日产、夏普等企业共同探讨运输领域的能源与环境议题，为太阳能汽车的技术迭代与商业化落地谋划路径。

产学研协同推进商业化阶段 (2010 年代至今)：技术成熟度持续提升

近年来，日本太阳能电动车逐步逼近商业化应用水平，产学研协同创新成为核心驱动力。2019 年，丰田联合夏普与 NEDO，基于普锐斯插电混合动力车型打造太阳能汽车测试车。该车在引擎盖、车顶、车尾全面搭载厚度仅 0.03 毫米的太阳能薄膜，可紧密粘附于复杂车身表面；这些太阳能薄膜的转换效率高达 34%，晴天露天环境下发电功率达 860 瓦，充满 8.8KWh 动力电池需 10 小时，每日最多可补充 44.5 千米纯电续航；即便在行驶过程中，太阳能薄膜也能为车内电器系统及动力电池充电，折算续航里程可达 57 千米。不过，受太阳能电池板高成本制约，大规模量产仍面临挑战。

2022 年 7 月，NEDO 与夏普联合推出实验电动车，该车搭载转换效率达 31.17%的高效太阳能电池模组，装置容量超 1 千瓦，经测算在适配的行驶模式下，有望实现全年无需外部电源充电。这一成果源于 2014 年 NEDO 规划的“太阳光电开发战略”，该战略聚焦发电成本降低与高性能太阳能电池研发，为高效光伏技术在汽车领域的应用提供了核心支撑。2025 年 3 月 12 日，丰田正式发布 FT-Me 纯电微型车，专为城市短途出行设计，车顶配备太阳能电池板，每日可额外提供约 30.58 千米续航；该车定

价预计与 Citroën Ami 相近，主要面向家庭第二代步车需求消费者及追求独立出行的青少年群体，成为太阳能汽车贴近民用市场的重要尝试。

2. 企业数量变化与龙头企业

企业数量层面，近 5 年日本涉足太阳能汽车领域的企业呈缓慢增长态势。据不完全统计，2020 年相关企业约 20 家，2024 年增长至约 30 家。增长动力主要源于日本政府对新能源产业的持续政策扶持，以及本土雄厚的电子技术与汽车制造基础为企业提供的技术支撑；但受限于太阳能汽车技术研发难度大、资金投入高，且市场需求尚未完全释放，企业数量的快速扩张受到明显制约。

行业格局上，**丰田与夏普**是日本太阳能汽车领域的两大龙头企业，合计市占率约 50%，共同引领行业发展方向。其中，丰田作为全球知名汽车制造商，在太阳能汽车领域投入巨大且成果丰硕：2010 年率先在混动普锐斯上推出可选装太阳能电池板（初期用于停车通风与 12V 铅酸电池辅助充电）；2019 年与夏普合作测试新型太阳能电芯；2024 年 7 月通过旗下子公司 Woven Capital 向钙钛矿太阳能初创公司 EneCoat Technologies 注资 55 亿日元，加速钙钛矿技术车载应用探索；2025 年发布 FT-Me 纯电微型太阳能车。凭借在混动技术领域的深厚积累与庞大市场份额，丰田在太阳能汽车技术储备与市场布局上占据领先地位，市占率约 40%，核心吸引对环保出行有需求且信赖丰田品牌的消费者。

夏普作为电子行业巨头，依托在显示技术与电池领域的核心优势，于 2024 年正式进军电动汽车领域。同年 9 月，夏普首款电动汽车概念车“LDK+”亮相，车顶配备太阳能充电板以提升能源利用效率与环保性能；事实上，早在 2019 年夏普就已与丰田合作，为其太阳能测试车提供高效太阳能电池板。未来，夏普计划依托母公司鸿海精密工业的电动汽车平台开发产品，并推进自研电动汽车发售。凭借电子技术创新能力与太阳能技术积累，夏普为太阳能汽车的智能化升级与能源管理优化提供了新思路，虽刚起步但竞争力突出，预计市占率约 10%。

除两大龙头外，日本还有多家企业与机构涉足太阳能汽车领域，例如日本工学院大学在帝人集团支持下研发太阳能动力车并参与普利司通世界太阳能车挑战赛，大阪产业大学研制的“OSU-Model-S”太阳能汽车采用天合光能 IBC 电池，多次斩获铃鹿 FIA 太阳能汽车比赛冠军。但这些企业或项目多处于技术研发与赛事参与阶段，尚未实现大规模商业化量产，市场份额相对有限。当前行业内前 10 家企业合计市占率预计达 70%-80%，随着技术成熟与市场打开，未来行业格局有望重构，具备创新技术与商业模式的新企业或将获得更多市场机会。

(二) 美国

美国在太阳能汽车发展领域始终处于前沿探索地位，凭借其雄厚的科技实力、积极的政策导向以及活跃的商业创新氛围，不断推动太阳能汽车从理论设想逐步走向现实应用。

1. 发展阶段

早期探索与概念验证 (20 世纪 50 - 80 年代)

太阳能汽车的概念雏形在美国早有浮现。1955 年，通用汽车在芝加哥 Powerama 车展上展出了一款名为“Sunmobile”的太阳能汽车，它仅有 15 英寸长，内置小型 P 电动机和由 12 个光伏电池组成的装置，可通过手电筒产生电流驱动。尽管这款车只是一个初步概念验证产品，功率远远无法满足实际汽车需求，但它开启了美国在太阳能汽车领域探索的先河。到了 20 世纪 70 年代，全球石油危机爆发，能源问题成为焦点，这极大地推动了美国对新能源汽车的研究，太阳能汽车研发也迎来新契机。1982 年，澳大利亚探险家托尔斯楚普驾驶太阳能汽车横穿澳大利亚，虽当时反响有限，但引起了美国车企关注。1987 年，首届世界太阳能挑战赛在澳大利亚举行，通用汽车联合 16 个子公司及 AeroVironment 公司的工程团队，打造出“SunRaycer”参赛。该车汇聚了顶尖技术，其弧形光伏板装有 7200 块砷化镓电池，光电转换效率极高，电池组性能出色。在比赛中，“SunRaycer”以 5 天 44.9 小时的行驶时间、平均时速 41.6 英里的成绩夺冠。此次胜利意义重大，不仅展现了太阳能汽车的可行性，更为美国后续技术研发积累了宝贵经验。福特的“Sunchaser”也参与了此次赛事，虽落后于“SunRaycer”，但也在一定程度上推动了太阳能汽车技术的发展。赛事结束后，通用将“SunRaycer”捐赠给史密森尼学会的美国国家历史博物馆，并开启全国巡展，激发了学生对替代能源技术和工程职业的兴趣。

高校引领与技术提升 (20 世纪 90 年代 - 21 世纪初)

受“SunRaycer”成功的鼓舞，美国高校积极投身太阳能汽车研发。1990 年，通用汽车为推广汽车工程和太阳能技术，组织并赞助了首届“Sun Rayce USA”赛事，后更名为“American Solar Challenge”。该赛事每两年在偶数年夏季举办，吸引了北美各地高校参与，成为高校太阳能汽车技术交流与竞争的重要平台。首届比赛中，密歇根大学太阳能车队的“Sunrunner”以平均时速 24.7 英里夺冠。此后，1993 年、1995 年、1997 年和 1999 年赛事持续举办，各高校不断优化太阳能汽车设计，在电池效率、车辆轻量化、能量管理系统等方面取得进步。2001 年，赛事更名为“American Solar

Challenge”，美国能源部和国家可再生能源实验室成为赞助商。2005 年，赛事名称变为“North American Solar Challenge”，反映了比赛范围扩展至加拿大。高校在这些赛事中发挥了重要创新作用，例如斯坦福大学、麻省理工学院等高校的参赛队伍，通过改进太阳能电池板材料、优化车身空气动力学设计等，提升了太阳能汽车的整体性能，推动了太阳能汽车技术从实验室走向实际应用场景。

企业创新与市场探索 (21 世纪 10 年代至今)

进入 21 世纪，美国企业在太阳能汽车领域动作不断。2011 年，奔驰发布 smart forvision concept 太阳能概念车，其车顶多处六角形空洞下方设有太阳能电池夹层，探索了太阳能在汽车能源供应中的应用方式。2014 年，福特与 SunPower 科技公司和佐治亚理工大学联合开发了 C - MAX Solar Energi Concept 太阳能概念车。该车采用插电式混合动力双电能系统，车顶太阳能电池板可发电，总续航里程达 998km，纯电模式续航 38km。这一时期，美国新兴企业也崭露头角。2006 年成立的 Aptera Motors 公司专注于太阳能汽车研发，其设计的太阳能汽车采用独特水滴形外观，车身覆盖太阳能薄膜电池板，日常情况下太阳能供电板每天可为车辆提供约 70 公里续航。尽管该公司曾在 2011 年被清算，但 2019 年重组后，通过众筹重启研发，计划推出不同版本车型，最高时速可达 110 英里 / 小时，价格在 3.6 万 - 5.9 万美元之间。2024 年 8 月，美国 GoSun 公司推出电动汽车太阳能充电盒，行驶和停车时均可为电动汽车充电，展开后可覆盖车顶和前后风挡玻璃，大幅提升充电效率，重约 32 公斤，高 12.7 厘米，自带 200 瓦太阳能电池板，总输出功率可提升至 1200 瓦。此外，特斯拉虽未推出完全以太阳能为主要动力的车型，但作为新能源汽车行业领军者，其在电池技术、智能化等方面的创新，间接为太阳能汽车发展提供了技术支持。同时，特斯拉旗下的太阳能电池板和储能业务，也显示出其对太阳能在交通及能源领域综合应用的布局。

2. 企业数量变化与龙头企业

近五年，美国涉及太阳能汽车行业的企业数量显著增加。2020 年相关企业数量约为 50 家，到 2024 年已超过 100 家。一方面，美国政府出台了一系列鼓励新能源汽车发展的政策，包括税收抵免、补贴等，刺激了企业进入该领域的积极性。另一方面，美国在科技研发、风险投资等方面具有优势，为太阳能汽车初创企业提供了良好的成长环境。大量科技人才和资金涌入，推动了企业数量的快速增长。

美国太阳能汽车领域活跃着诸多创新企业，它们凭借先进技术和独特商业模式，在市场中崭露头角。其中，特斯拉与 Aptera Motors 堪称行业龙头，引领着美国太阳能汽车的发展潮流。

特斯拉虽是全球知名的电动汽车巨头，但其在太阳能领域的布局同样深远，这为其在太阳能汽车发展方面奠定了坚实基础。2016年，特斯拉收购美国太阳能发电系统供应商 SolarCity，成功转型为全球唯一垂直整合的能源公司，业务涵盖太阳能板、家用储能设备及电动汽车等，构建起端到端的清洁能源产品体系。在汽车产品中，特斯拉部分车型已尝试应用太阳能技术，例如 Model S 和 Model X 车型配备了太阳能电池板，停车时可利用太阳能为车辆电池充电，为用户提供了额外的电力补充方式。特斯拉还拥有强大的电池技术和能源管理系统，这对于提升太阳能汽车的能量存储与利用效率至关重要。凭借全球领先的品牌知名度、庞大的用户基础以及先进的技术研发能力，特斯拉在美国太阳能汽车市场占据重要地位，市占率约为 35%。其广泛的超级充电站网络和完善的售后服务体系，也为消费者选择特斯拉太阳能汽车相关产品提供了便利和保障。

图 2：特斯拉 Cybertruck 2022 年德国海诺威 IdeepExpo 展会概念车



Cybertruck 没有观后镜的电动皮卡概念车



Cybertruck 配套 SpaceX 的卫星互联网接收器——星耀

来源：新浪股市汇-小鹏汽车-特斯拉还没有找到太阳能增程的最优解

Aptera Motors 是一家专注于太阳能汽车研发制造的新兴企业，自 2006 年成立以来，一直致力于打造高效、环保的太阳能电动汽车。2020 年 12 月，Aptera Motors 推出的 Aptera Solar Vehicle 太阳能电动汽车备受瞩目。该车采用独特的水滴形外观设计，不仅极具未来感，还大幅降低了风阻系数，提升了能源利用效率。车身覆盖的太阳能薄膜电池板是其核心亮点，在阳光充足的情况下，这些电池板每天可为车辆提供约 70 公里的续航里程。不同版本车型的续航能力出色，最高可达 1000 英里/次充电。Aptera Motors 通过众筹方式筹集资金，推动产品研发与生产进程，目前已积累了大量潜在客户。其产品价格相对亲民，起售价为 2.59 万美元，这使其在市场竞争中具备一定价格优势。在技术创新和产品性价比的双重驱动下，Aptera Motors 在美国太阳能汽车市场的市占率约为 15%。

除特斯拉和 Aptera Motors 外，美国还有其他企业涉足太阳能汽车领域。例如，GoSun 公司于 2024 年 8 月推出电动汽车太阳能充电盒，可在行驶和停车时为电动汽车充电，为太阳能汽车的充电便捷性提供了新的解决方案。不过，这些企业大多处于技术研发或产品推广的初期阶段，尚未形成大规模量产和销售，在市场份额方面暂无法与特斯拉和 Aptera Motors 相抗衡。综合来看，在美国太阳能汽车市场，特斯拉和 Aptera Motors 作为龙头企业，二者合计市占率约为 50%。前 10 企业的合计市占率因行业内企业数量相对有限且多数企业处于发展初期，预计可达 70% - 80%。随着技术的持续突破、市场需求的增长以及政策支持力度的加大，未来美国太阳能汽车市场格局可能发生变化，新的企业有望凭借创新技术和商业模式，在市场中获取更大份额。

(三) 德国

作为汽车工业强国，德国在太阳能汽车领域的探索同样颇具影响力。依托深厚的工程技术底蕴、对可持续发展的坚持以及完善的工业体系，德国在该领域的研发、创新与市场探索从未停歇。

1. 发展阶段

早期探索与技术积累 (20 世纪 70 - 90 年代)

全球石油危机引发能源警觉，太阳能汽车成为新能源探索的重要方向，德国高校和科研机构率先发力，聚焦太阳能电池性能优化、动力系统适配等核心技术，虽成果多停留在实验室，但为后续发展积累了关键经验。1989 年，罗兰·赖歇尔等人牵头成立德国太阳能移动协会（初名“太阳能汽车驾驶员与制造商协会”），汇聚行业力量，成员早期研发的电动四轮太阳能汽车主要活跃于技术交流和小型赛事。协会后续历经两次更名，关注焦点从车辆制造拓展至太阳能在交通领域的综合应用，还接手了“停车充电”公共网络的建设管理，并通过季刊《太阳能移动》搭建技术交流平台，有力推动了行业早期协作与发展。

企业创新与产品研发推进 (21 世纪初 - 2010 年代)

大众、宝马、奔驰等传统车企凭借技术和资金优势布局太阳能汽车研究，虽未推出量产产品，但在关键技术上成效显著：奔驰探索太阳能电池板与车身融合设计，宝马深耕高效能量管理系统，大众则主攻电池技术改进与车身轻量化，全方位提升车辆性能。2016 年，初创企业 Sono Motors 成立，通过互

联网众筹快速募集资金，委托开发两款功能原型车并于 2017 年亮相。同年推出的 Sion 太阳能汽车项目颇具亮点，作为 MPV 车型，车身多处嵌入 456 块光伏板，峰值功率 1.2 千瓦，平均每周可提供 112 公里续航，搭配 54kWh 电池组，WLTP 续航达 305 公里。此后该公司持续融资，2018 年便收获超 8500 份预订单，计划以 1.6 万欧元起售价推向 29 国市场。

商业化尝试与市场挑战 (2010 年代至今)

2019 年，Sion 量产车型设计优化完成，确定由瑞典 NEVS 工厂代工，计划八年量产 26 万辆，彼时欧洲付费预订量已突破 1 万份，2020 年初增至 1.3 万份。但资金问题始终困扰企业，2019 年底公司透露常规融资失利，2022 年纳斯达克上市后，即便预订量超 2 万辆，募资活动仍未达预期。2023 年 2 月，Sion 被迫放弃量产计划，转而专注第三方太阳能电池板制造，公司精简业务并裁减员工。不过德国并未停下探索脚步，众多企业和科研机构仍在攻克能量转化效率、成本控制、续航里程等技术难题，比如研发新型光伏材料、优化能源管理系统以适配不同工况。随着技术进步和全球可持续交通需求增长，德国有望推动太阳能汽车从概念走向更广泛的实际应用。

2. 企业数量变化与龙头企业

在企业数量上，近 5 年德国太阳能汽车相关企业呈现稳步增长。2020 年约有 30 家，2024 年增长至约 45 家。德国强大的汽车产业基础，使得零部件供应商、汽车制造商等相关企业有能力涉足太阳能汽车领域。政府对新能源汽车产业的支持政策，如研发补贴、产业规划引导等，也为企业发展创造了有利条件。不过，太阳能汽车技术的高门槛和市场不确定性，使得企业增长速度相对平稳。

在德国太阳能汽车领域，Sono Motors 的 Sion 项目，是太阳能汽车的代表。Sono Motors 于 2016 年在黑森州的卡本成立，自创立起便专注于太阳能汽车研发制造。

公司于 2022 年开始预售 Sion。Sion 车型在引擎盖、车顶、挡泥板、四分之一面板及后备箱区域均配备了太阳能电池板，仅前端未配置，以此避免前端易刮擦导致的高额更换成本。不过其搭载的太阳能系统无法完全满足整车电力需求，核心作用是提升电动车续航能力、减少对充电设施的依赖，该系统在行驶或停放状态下均可持续收集阳光转化为电能补充动力电池，尤其在光照充足地区能有效缓解里程焦虑，也适配充电基础设施不完善的区域。

具体参数上，Sion 的太阳能电池板数量因版本不同为 330-456 块，电池组容量范围为 30kWh (需额外选装) 至 54kWh。完全依赖太阳能充电时，每日可补充约 18-30 公里续航；结合太阳能与电网充电，综合续航里程可达 305 公里。车辆仅支持普通充电桩补能，电机最大功率为 80kW，太阳能光伏板每周可补充约 112 至 245 公里续航，同时支持 75kW 快速充电，光照充足条件下单日太阳能补充续航可超 30 公里。

营销方面，Sion 采用电池组与车身分离的销售策略，用户可选择按月租赁或一次性购买，并针对德国路况推出基础型纯太阳能适配方案及电池租赁选项。

公司原计划于 2023 年下半年开始量产，由芬兰 Valmet Automotive 公司负责生产制造。但受持续不稳定的金融市场影响，2023 年 2 月，Sono Motors 宣布放弃生产 Sion 太阳能汽车的计划，转而专注为第三方制造太阳能电池板。即便如此，Sono Motors 在德国太阳能汽车发展进程中留下了深刻印记，在其活跃于太阳能汽车生产领域时，市占率曾高达 60%。

除 Sono Motors 外，德国还有一些企业在太阳能汽车领域有所探索。例如，一些高校主导的太阳能汽车项目，像亚琛工业大学 (RWTH Aachen University) 的学生团队 Sonnenwagen Aachen，致力于研发高性能太阳能赛车。2024 年 9 月，该团队的 Covestro Photon 太阳能赛车在比利时举行的 Ilumen 欧洲太阳能挑战赛中获得第二名，Covestro Adelle 赛车获得第三名。其研发的赛车采用了 Maxeon SunPower 叉指背接触太阳能电池，在优化太阳能利用、车辆轻量化和空气动力学设计等方面取得诸多成果。不过，这些项目多以学术研究和赛事参与为主，尚未实现大规模商业化量产，在市场份额方面占比较小。若将德国前 10 的太阳能汽车相关企业合计市占率进行估算，由于行业整体仍处于发展初期，除 Sono Motors 曾占据较大份额外，其他企业规模和影响力相对有限，预计前 10 企业的合计市占率可达 80% - 90%。其中，剩余份额由一些涉足太阳能汽车技术研发的传统汽车零部件供应商、新兴科技企业以及高校衍生项目等共同占据。这些企业和项目虽目前市场份额不大，但在太阳能电池技术改进、车辆能源管理系统优化等方面持续投入，为德国太阳能汽车产业未来发展提供了技术储备和创新活力。随着技术不断进步和市场逐步成熟，未来德国太阳能汽车市场格局有望重塑，新的企业或项目可能凭借创新技术和商业模式，在市场中崭露头角。

(四) 荷兰

荷兰以可持续能源领域的创新实践闻名，在太阳能汽车发展进程中占据关键地位，其发展脉络清晰呈现“技术奠基—赛事驱动—商业化探索”的递进态势。

1. 发展阶段

早期探索与技术奠基 (20 世纪 70 - 90 年代)

石油危机让荷兰深刻意识到能源转型的紧迫性，高校和科研机构率先开展基础技术研究。其中代尔夫特理工大学团队聚焦太阳能电池板性能提升，通过测试不同材料的光吸收与转化特性优化制造工艺，为光电转换效率突破提供理论支撑；其他机构则同步探索动力系统与太阳能的适配性，优化能量传输环节。尽管早期研究多局限于实验室，但这些探索为后续发展筑牢了技术根基。

赛事驱动与技术飞跃 (21 世纪初 - 2010 年代)

2001 年澳大利亚世界太阳能挑战赛上，荷兰“Nuna”太阳能汽车惊艳亮相，凭借流线型低风阻设计、轻质坚固的特殊材料车身，以及卫星级高效砷化镓太阳能电池，以 32 小时 39 分钟跑完 3010 公里，平均时速 91 公里/小时，打破四项世界纪录；2003 年“Nuna II”再夺冠军，创下 170km/h 的太阳能汽车极速纪录，彰显荷兰技术领先地位。这一时期埃因霍温理工大学学生团队表现突出，2013 年为参与挑战赛巡洋舰级别赛事打造的“Stella”太阳能汽车，是首款四座位家用型太阳能车，满载时速可达 120 公里/小时，车身大面积覆盖的太阳能电池板不仅能满足行驶需求，还可向电网反向输电，成功夺冠。后续推出的“Stella Lux”“Stella Vie”“Stella Era”接连卫冕，实现四连冠，推动太阳能汽车从追求速度向兼顾实用性与能源自给转型。

企业创新与商业化尝试 (2010 年代至今)

2016 年，埃因霍温理工大学相关团队创始人联合成立 Lightyear 公司，专注研发脱离电网依赖的长续航太阳能汽车。2019 年发布的 Lightyear One，车身覆盖 5 平方米太阳能电池板，良好日照下日均新增续航 70 公里，搭配高效电动系统与优秀空气动力学设计，最大续航达 625 公里；2022 年量产交付的 Lightyear 0 售价 25 万欧元，延续核心技术优势。尽管 2023 年其生产子公司破产，但企业转向开发售价约 3 万欧元的 Lightyear Two，以期扩大市场份额。同期，Squad Mobility 公司聚焦城市短途出行，2022 年推出双座 Squad Solar City Car，售价仅 6250 欧元，车重 350 千克，最高时速 45 公里、

续航 100 公里，附带轻巧高效的太阳能组件，还计划推出共享应用与四座车型。此外，高校创新持续发力：埃因霍温理工大学研发的“Zem”原型车，通过车顶、引擎盖太阳能组件最大化电力转换，还搭载二氧化碳捕获过滤系统探索碳中和；跨院校学生团队 Top Dutch Solar Racing 2019 年首次参赛便凭“Green Lightning”赛车获挑战赛挑战者级别第四名及工程卓越奖，2021 年推出的“Green Spirit”赛车持续精进。

2. 企业数量变化与龙头企业

在企业数量上，近 5 年荷兰太阳能汽车产业呈现出先快速增长后调整的态势。2019 年，行业内企业数量仅为 5 家左右，当时太阳能汽车概念刚兴起，仅有少数初创企业和科研团队涉足。截至 2024 年末，企业数量稳定在 15 家左右。

荷兰在太阳能汽车领域积淀深厚，不仅有龙头企业 Lightyear 引领行业发展，埃因霍温理工大学的科研团队也通过“斯特拉-泰拉”（Stella Terra）太阳能 SUV 项目，实现了太阳能技术与越野性能的创新性融合，成为全球太阳能汽车领域的重要实践案例。

从产业背景来看，Lightyear 作为荷兰太阳能汽车行业龙头，2016 年由埃因霍温理工大学工程学教授 Lex Hoefsloot 联合其他创始人创立，核心定位是打造独立于电网之外的长续航电动汽车。2019 年发布 Lightyear One 太阳能汽车，2022 年量产交付 Lightyear 0，该车售价 25 万欧元（不含增值税），车身覆盖 5 平方米太阳能电池板，良好日照条件下日均新增续航 70 公里，60kWh 电池在 WLTP 测试下续航达 625 公里。尽管 2023 年 1 月其生产运营子公司 Atlas Technologies B.V. 申请破产，但公司计划聚焦开发售价约 3 万欧元的 Lightyear Two 车型，其活跃期间凭借领先技术和高端定位，市占率约达 40%。

“斯特拉-泰拉”项目的研发依托于埃因霍温理工大学的深厚积淀，该校在可持续能源与汽车工程领域研究扎实，其学生团队“Solar Team Eindhoven”此前打造的“Stella”系列太阳能汽车多次斩获国际赛事冠军，积累了丰富的研发与实践经验。2021 年，团队完成太阳能露营车“Stella Vita”研发并完成欧洲南端之旅后，敏锐发现电动汽车在偏远地区及复杂地形的充电困境，遂依托现有技术优势启动“斯特拉-泰拉”项目，探索太阳能技术与越野性能的融合路径。

该项目的核心技术突破体现在三大维度：一是**太阳能电池板技术创新**，团队选用高效轻质太阳能电池板，经大量实验优化布局，广泛覆盖车顶、引擎盖等区域以最大化采光面积，同时精准调整车顶倾斜

角度，确保车辆爬坡、下坡等不同姿态下均能高效受光；此外自主研发的逆变器转换效率高达 97%，远超普通水平，实现太阳能向电能的高效转化，弱光照环境下也能稳定供电。二是**能量管理系统优化**，开发先进的智能能量管理系统，可实时监测太阳能发电量、电池电量及车辆行驶工况，动态优化能源分配——太阳能充足且功率需求低时储存多余电能，爬坡、加速等大功率场景下协调太阳能电池板与电池协同供电；同时贯穿低能耗设计理念，采用碳纤维增强复合材料打造车身，整车重量仅 1200 千克，搭配高效电机与优化传动结构，进一步降低能耗。三是**轻量化与太阳能利用融合**，底盘、悬挂等关键部件选用轻质铝合金材料，在保证强度应对越野冲击的同时减轻重量；将太阳能电池板与车身结构一体化设计，电池板既承担能量获取功能，又参与车身受力，减少额外支撑结构重量，提升太阳能利用效率的同时增强车身刚性，适配复杂越野工况。

2023 年 10 月，团队驾驶“斯特拉 - 泰拉”从摩洛哥北海岸出发，完成近 1000 公里测试，路线涵盖里夫山脉崎岖山路、干涸河床、森林小道及撒哈拉沙漠沙丘等极端路况。测试中，车辆太阳能供电系统稳定运行，助力顺利穿越各类复杂地形，仅出现转向系统故障（修复后继续测试）。最终结果显示，车辆晴天公路续航达 710 公里（超预期 630 公里），越野路况续航 550 公里，弱光照环境下续航仍可达 670 公里左右，充分证明了其太阳能技术在复杂环境中的可靠性与高效性。

Squad Mobility 也是行业内的重要企业。2019 年发布理想城市汽车计划，2022 年双座的 Squad Solar City Car 在欧盟上市，售价仅为 6250 欧元。该车重约 350 千克，由两个后轮内置电机和四个可更换的锂离子电池组提供动力，最高时速 45 公里，续航里程 100 公里。附带的太阳能组件轻巧高效，主要用于城市周边短途出行。公司还计划推出共享移动应用，并开发全尺寸四座车型。凭借高性价比和针对城市短途出行市场的精准定位，Squad Mobility 市占率约为 25%。

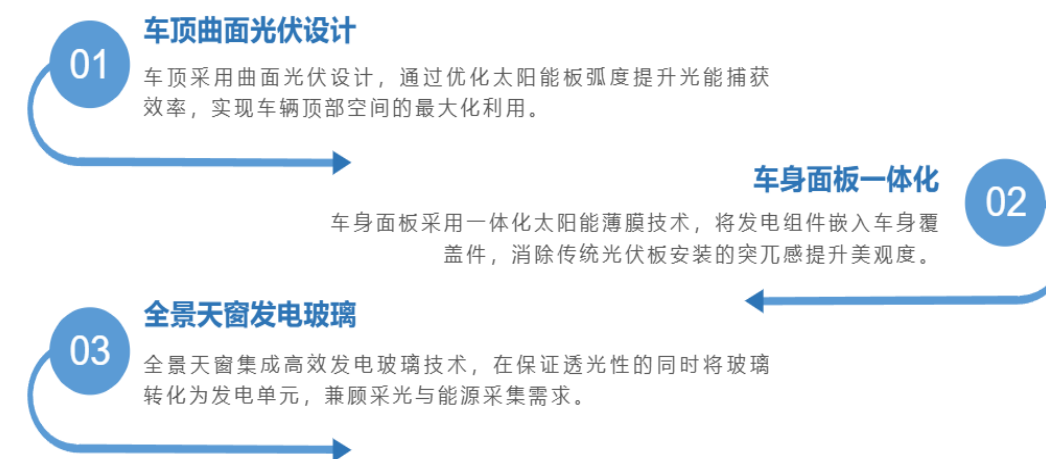
综合来看，荷兰太阳能汽车行业前两大龙头企业 Lightyear 和 Squad Mobility 合计市占率约为 65%。若统计前 10 企业，由于行业内企业数量相对有限且分布较为集中，预计前 10 企业的合计市占率可达 90% 左右。剩余 10% 的市场份额由其他小型初创企业、高校衍生项目以及部分涉足该领域的传统企业占据。这些企业虽目前市场份额较小，但在技术研发、产品创新等方面积极探索，为荷兰太阳能汽车产业发展注入活力。

(五) 未来发展

太阳能新能源汽车的技术突破核心集中在车身集成与能源管理两大关键领域，同时依托全产业链协同升级构建发展优势，在能碳双控转型背景下，相关技术与产业布局成为行业发展的重要支撑。

车身集成方案的核心是将高效单晶硅光伏电池无缝集成至车辆顶部、引擎盖等大面积外表面。通过超薄、柔性封装技术，在保障发电效率的基础上，大幅减轻附加重量，同时维持车辆原有流线型设计。这一方案不仅能实现行驶过程中的太阳能辅助发电，有效提升续航里程，更标志着新能源汽车向能源自给方向迈出关键一步。初步测试显示，集成面积约 1.5 平方米的光伏电池在标准日照条件下，日均可额外提供约 200 瓦时的电能补充。

图 1：太阳能新能源汽车车身集成方案



能源管理系统是整车能效提升的核心支撑，其关键在于智能充电控制系统、混合动力系统及续航优化算法三大核心技术的协同运作。智能充电控制系统可动态协调太阳能输入、电池状态与电网充电，实现高效能量捕获与存储；混合动力系统能无缝切换纯电、混动及增程模式，在保障动力输出的同时最大化能源利用率，尤其在光照不足时可自动切换至电池供电模式，意义关键；续航优化算法则基于实时路况、驾驶习惯及环境因素，精准预测并优化能耗分配。三者共同构成车辆高效智能运行的能源中枢，显著提升整车续航里程与能源使用效率。值得注意的是，太阳能技术的应用还能有效降低电池容量需求，在德国电气化高速技术路线的重卡运输领域，这一优势对动力电池配置优化尤为重要。

新能源汽车关键技术的落地与升级，离不开全产业链的**深度协同**。构建从材料供应、零部件制造到整车组装的完整产业链，重点加强四大环节：高纯度光伏材料生产、专用芯片与电力电子、轻量化车身制造、智能控制系统。特别是在光伏材料环节，要突破高纯度硅、砷化镓、钙钛矿前驱体等关键材料的规模化生产技术，降低进口依赖。

二、国内太阳能汽车发展概况

从国内太阳能汽车及新能源汽车整体市场现状来看，仍处于发展初期阶段。目前市面上的太阳能电动车售价普遍偏高，且续航能力有限，日常使用需搭配传统能源补充，核心作用在于利用太阳能提升电动车续航、减少对充电设施的依赖。

截至 2025 年 6 月，我国市面的纯太阳能动力车型均为概念车或区域性试验车型，尚未实现规模化商用。从市场目标来看，2025 年我国太阳能汽车预计销量 15 万辆，2030 年目标突破 100 万辆，占新能源汽车市场的 10%。

国内太阳能汽车发展的具体实践中，天津号是中国首辆纯太阳能汽车，2022 年由天津阿尔特汽车工程技术开发有限公司联合研发，搭载 8.1 平方米太阳能电池板，日发电量 7.6 千瓦时，续航 74.8 公里，最高车速 79.2 公里/小时。该车采用航天级太阳能电池技术，电能转化效率达 30%，但实际续航能力受天气、角度等因素影响显著。

另外，比亚迪太阳能车顶项目颇具代表性。作为国内新能源汽车龙头企业，比亚迪依托自身在电池技术与整车制造的积累，开展太阳能车顶的研发与应用探索。其通过自研材料技术，将太阳能车顶成本降至 8000 元/套，用户可通过节省油费在 3-4 年内回本，实现了技术可行性与经济性的平衡。该太阳能车顶可在行驶或停车过程中吸收太阳能并转化为电能，为车辆辅助供电，有效提升续航里程，减少充电频次。同时，比亚迪将太阳能技术与车辆能量管理系统深度融合，实现太阳能发电、电池储能与动力输出的协同优化，既契合能碳双控新规下全生命周期碳足迹管理的要求，也为太阳能技术在汽车领域的实用化提供了有益借鉴。尽管该项目目前仍以选装形式推出，尚未成为标配，但为国内太阳能汽车的规模化发展积累了宝贵的技术与市场经验。

案例：蔚来 EC 光伏选装——建筑一体化 (BIPV) 的移动出行实践

蔚来 EC 车型推出光伏选装方案，以建筑一体化 (BIPV) 技术为核心创新点，将全景天窗设计为发电玻璃 (非附加光伏板)，实现日均发电量 2.5kWh，可满足 20km 续航需求，同时具备低温环境电池预热功能，大幅降低车身集成成本 18%，验证了 BIPV 技术在移动出行领域的规模化应用潜力。

该方案的价值的延伸体现在换电体系赋能与场景拓展上。一方面，太阳能电力可直供换电站，降低对电网的依赖；另一方面，搭载露营供电模式，通过太阳能转换系统为车载设备及户外用电设施提供稳定电力支持，实现现代露营需求与零碳理念的融合，构建离网场景下的能源解决方案。值得注意的是，露营供电模式是 V2G (车辆到电网) 技术平战结合模式的延伸，日常可满足多元化生活用电，应急状态下可通过电动车集群联网为城市基础设施及核心数据中心供电；结合华为 24 小时离线储能系统，可保障城市核心智脑及算力中心的能源供应，在极端工况下实现城市能源优先级调度，凸显能源战略核心地位。

截至 2024 年 9 月，国内多款车型已支持 V2G 技术，涵盖特斯拉、比亚迪、蔚来、理想等多个品牌。不过 V2G 技术推广需建立充电设备与通信协议的开放标准体系，实现电动汽车、充电基础设施及电网系统的可靠通信，同时开发高强度加密协议及身份认证体系保障安全，Itronite 等合作方则协同车企实现车辆与电网的双向能量交互。

图 3：比亚迪光伏车顶 (搭载华为昇腾 384 芯片，2025 年 7 月量产)



来源：baidu 图片

参考资料

1. 2025 年至 2030 中国太阳能汽车行业市场深度调研及竞争格局与投资策略报告 [R]. 2025-08-05.
2. 目前太阳能汽车有哪些技术难题待解决? [EB/OL]. 汽车之家,2025-04-12.
<https://www.autohome.com.cn/ask/15389476.html>
3. 太阳能汽车的技术瓶颈有哪些? [EB/OL]. 汽车之家,2025-08-04.
<https://www.autohome.com.cn/ask/18136466.html>
4. 彭军、张晓宏团队联合澳大利亚新南威尔士大学及浙江省白马湖实验室.太阳能电池效率表 (第 66 版) [R]. 2025-05-26. <https://doi.org/10.1002/pip.3919>
5. 北俞.太阳能电动车的动力性能如何? [EB/OL]. 太平洋汽车,2025-03-17.
<https://www.pcauto.com.cn/ask/1567115.html>
6. 2025 年至 2030 中国太阳能汽车行业项目调研及市场前景预测评估报告 [R]. 2025-08-05.
7. 前瞻产业研究院.新能源汽车发展大势所趋 太阳能汽车充满想象 [EB/OL]. 2017-01-25.
<https://bg.qianzhan.com/trends/detail/506/170125-7e880e83.html>
8. 目前太阳能汽车的市场普及程度怎样? [EB/OL]. 太平洋汽车,2024-11-08.
<https://www.pcauto.com.cn/ask/253623.html>
9. 春风混柳絮.太阳能汽车的现状、挑战与未来展望 [EB/OL]. 百度百家号,2025-05-24.
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1832932757011971503&wfr=spider&for=pc>
10. 加盟星.太阳能驱动,环保未来 - 太阳能汽车的发展与前景 [EB/OL].
<https://jiameng.baidu.com/content/detail/414821497978>
11. 有驾.太阳能汽车续航突破 2000 公里 燃油车时代即将终结 [EB/OL].
<https://www.yoojia.com/article/9450233149970985587.html>
12. 知乎.特斯拉推出“太阳能汽车充电宝”,晒一天续航增加 80 公里! [EB/OL]. 2022-07-07.
<https://zhuankan.zhihu.com/p/538729018>
13. 2024-2030 年中国太阳能汽车行业市场深度调研及竞争格局与投资策略研究报告 [R/OL]. 人人文库,2024-07-18. <https://www.renrendoc.com/paper/338442433.html>
14. 太阳能汽车技术探索 [R/OL]. 人人文库,2024-06-14.
<https://www.renrendoc.com/paper/333025031.html>
15. 2024 年太阳能汽车市场分析现状 [R/OL]. 原创力文档,2024-12-04.
<http://mip.book118.com/html/2024/1203/5101323141012004.shtm>
16. 从光伏到太阳能汽车: 发展挑战与未来前景 [EB/OL]. 百度百家号,2023-10-09.
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1837134742068443507&wfr=spider&for=pc>
17. 科技前沿太阳能电动汽车的技术突破与挑战 [R/OL]. 人人文库,2025-02-26.
<https://www.renrendoc.com/paper/392527561.html>
18. 太阳能汽车发展现状及其实用化对策研究 [R/OL]. 豆丁网,2024-06-03.
<https://www.docin.com/p-4669110391.html>
19. 2025 年中国太阳能汽车市场全景评估及投资规划建议报告 [R/OL]. 人人文库,2025-02-10.
<https://www.renrendoc.com/paper/387381551.html>
20. 2025-2030 中国太阳能汽车行业发展分析及发展趋势与投资前景预测研究报告 [R/OL]. 人人文库,2025-04-07. <https://www.renrendoc.com/paper/406471694.html>
21. 汽车行业的绿色能源技术革新与应用 [R/OL]. 人人文库,2025-02-11.
<https://www.renrendoc.com/paper/387625890.html>

INTRODUCTION



关于上海现代服务业联合会

上海现代服务业联合会，是由本市主要从事服务业的行业协会、学会、商会等社会组织及企事业单位自愿组成的跨行业、跨领域的综合性枢纽型非营利社团组织。拥有会员单位1500余家，其中200余家为行业协会、学会、商会等社会组织，覆盖了金融、信息、科技、商务、生产、公共、专业服务等多个领域，基本囊括上海市服务业的所有行业。

以联合会为主发起设立了上海现代服务业企业促进中心、上海经贸商事调解中心、上海现代服务业发展研究院、上海现代服务业发展基金会、上海现代服务业标准创新发展中心等五个民非实体机构，并牵头成立长三角现代服务业联盟，具有全面服务社会、助推经济发展的综合实力和核心竞争力。

2024年3月，上海市商务委关于印发《加快提升本市涉外企业环境、社会和治理（ESG）能力三年行动方案（2024-2026年）》，明确上海现代服务业联合会承担着“加大对ESG理念的宣传力度”的主要任务。



关于荣续ESG智库研究中心

荣续ESG智库研究中心，致力于推动“绿色共赢”的可持续发展理念，成为企业ESG发展的长期伙伴。我们通过ESG行业研究、优秀案例研究、政策和标准研究、热点和趋势分析等，解决气候变化、环境、社会、公司治理等领域的信息缺乏或信息不对称的问题，为企业提供可落地、可复制、可持续的ESG解决方案，帮助企业践行ESG理念，创造长期价值。

荣续智库研究中心汇聚了各行业的ESG专家和研究员，他们在各自领域拥有丰富经验和卓越能力。这些专家大部分是来自品职教育的ESG持证学员。品职教育拥有超过百万的活跃ESG学习社群，以及超过3万名ESG人才组成的人才库，是荣续智库坚实的人才资源。

荣续智库将继续发挥行业经验，秉持深刻洞察力和强大执行力，帮助企业将ESG有效整合到核心战略中，助力企业在ESG领域实现突破，创造社会和经济双重价值。

ESG白皮书系列

- | | | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|--|
| 01 纺织服装行业ESG白皮书 | 13 包装印刷行业ESG案例白皮书 | 25 银行绿色金融行业ESG白皮书 | 37 酒旅行业ESG白皮书 | 49 基建行业ESG白皮书 |
| 02 食品饮料行业ESG白皮书 | 14 家电行业ESG白皮书 | 26 跨境电商行业ESG白皮书 | 38 零碳产城融合项目发展白皮书 | 50 气候金融ESG白皮书（基础篇） |
| 03 汽车行业ESG白皮书 | 15 美妆行业ESG白皮书 | 27 光储充行业ESG白皮书 | 39 零碳产城融合项目案例白皮书 | 51 气候金融ESG白皮书（实务篇） |
| 04 化工行业ESG白皮书 | 16 钢铁行业ESG白皮书 | 28 电子元器件分销行业ESG白皮书 | 40 白酒行业ESG白皮书 | 52 新能源汽车行业ESG白皮书（电池类） |
| 05 环保行业ESG白皮书 | 17 物流及航运物流行业ESG白皮书 | 29 建筑材料行业ESG白皮书 | 41 电力行业ESG白皮书 | 53 新能源汽车行业案例白皮书（电池类） |
| 06 新能源行业ESG白皮书 | 18 航空物流行业ESG白皮书 | 30 通信服务行业ESG白皮书 | 42 物业行业ESG白皮书 | 54 新能源汽车行业ESG白皮书（氢能·
甲醇·生物质·天然气·太阳能类） |
| 07 半导体行业ESG白皮书 | 19 建筑行业ESG白皮书 | 31 通信设备行业ESG白皮书 | 43 有色金属行业ESG白皮书 | 55 医养康行业ESG白皮书 |
| 08 医药行业ESG白皮书 | 20 储能行业ESG白皮书 | 32 家居装饰行业ESG白皮书 | 44 零碳物流园区发展白皮书 | 56 公共建筑行业ESG白皮书 |
| 09 财会行业ESG白皮书 | 21 机械储能行业ESG白皮书 | 33 互联网教育行业ESG白皮书 | 45 零碳园区发展白皮书 | 57 智能制造行业ESG白皮书（航空航天） |
| 10 金融“一带一路”ESG白皮书 | 22 电化学储能行业ESG白皮书 | 34 医疗器械行业ESG白皮书 | 46 传媒行业ESG白皮书 | 58 微电网与虚拟电厂行业ESG白皮书 |
| 11 包装行业ESG白皮书 | 23 化学储能行业ESG白皮书 | 35 医疗卫生行业ESG白皮书 | 47 造纸行业ESG白皮书 | 59 中国企业出海ESG白皮书（更新版） |
| 12 印刷行业ESG白皮书 | 24 出海欧盟 行业ESG白皮书 | 36 康复辅具行业ESG白皮书 | 48 煤炭行业ESG白皮书 | 60 零碳园区案例白皮书（系列） |

合作咨询请联系
(扫码添加联系人)



欢迎关注荣续ESG智库研究中心
为您提供最新的ESG资讯
共同探索可持续发展的未来

