



中汽中心 | 碳经济

中汽碳(北京)数字技术中心有限公司



清华大学环境学院

School of Environment, Tsinghua University

替代燃料降碳潜力评估

Assessment of the Carbon Reduction Potential of Alternative Fuels

——氢燃料电池及氢燃料电池重型货车碳足迹研究

Carbon Footprint Study of Hydrogen Fuel Cells and Hydrogen Fuel Cell Heavy Duty Vehicles



汽车工业节能与绿色评价中心
道路车辆产品碳足迹数据发展倡议



H₂ Hydrogen

目录

序言	1
执行摘要	2
1 氢燃料电池碳足迹研究	3
1.1 研究方法	3
1.2 研究结果	4
1.2.1 摇篮到大门的温室气体排放评估	4
1.2.2 上游材料生产与工厂能源消耗	4
1.2.3 关键影响因素分析	6
1.2.4 减排潜力与未来展望	7
1.3 讨论与启示	7
2 氢燃料重型货车碳足迹研究	8
2.1 研究方法	8
2.2 研究结果	9
2.2.1 碳足迹构成及影响因素	9
2.2.2 减排策略与实施路径	9
2.2.3 关键发现及核心观点	10
2.3 挑战与机遇	11
3 对利益相关者的建议	13
3.1 政策制定	13
3.2 产业规划	13
3.3 科研方向	13
参考文献	14
研究团队	15
致谢	16
单位介绍	17

图源

WPS稻壳资源库

免责声明

本报告由中汽碳（北京）数字技术中心有限公司与清华大学联合发布，旨在助推氢能燃料电池的发展、催生洞见并促进交流。报告中发表的研究结果、解读和结论是中汽碳（北京）数字技术中心有限公司与清华大学认可的合作成果，但报告中内容并不一定代表中汽碳（北京）数字技术中心有限公司、清华大学及其全体成员、合作伙伴或其他利益相关方的观点。

版权所有 ©中汽碳（北京）数字技术中心有限公司与清华大学。保留所有权利。不得以任何方式手段，包括影印和录音，或通过任何信息存储和检索系统复制或传播报告任何部分的内容。

序言

在应对气候变化与改善环境质量双重挑战的背景下，低碳替代燃料及其相关技术的研究与应用尤为重要。作为一位长期关注能源与环境的学者，我深知减少温室气体排放、推动能源绿色转型的紧迫性和重要性。氢燃料电池作为清洁能源的关键技术，正逐步展现在重型车领域的减碳潜力和应用前景。

氢燃料电池以氢能为燃料，具备高效率 and 强续航能力，具备在长途运输和重载物流领域的替代潜力。氢燃料电池重型货车不仅有效降低交通运输行业的碳排放，还推动能源结构优化和产业链的绿色转型。当前，全球氢燃料电池汽车市场正迎来快速发展期。其中，中国已成为氢燃料重型车推广数量最多的国家，初步构建了涵盖制备、储运、加注等环节的氢能供给体系。多家车企也在积极布局氢燃料电池车市场，共同推动氢燃料电池汽车产业链的商业化落地。

尽管如此，氢燃料电池技术的广泛应用仍面临氢气生产成本、储存运输安全性和加氢站基础设施建设等方面的问题，需要持续优化技术路径，降低成本，提升性能。此外，如何准确从全生命周期的角度评估氢燃料电池及其重型货车的碳足迹，也是当前亟待回答的问题。

《替代燃料降碳潜力评估——氢燃料电池及氢燃料重型货车碳足迹研究》的研究恰逢其时。本报告对于氢燃料电池技术在生产、运营、维护阶段的关键因素及减排潜力进行细致的分析和系统的思考，形成中国氢燃料电池技术减排路径建议，希望能借此报告给政策制定

者和产业界带来一定参考和讨论的基础，并激发更多的研究和实践，共同推动我国乃至全球的能源转型和环境保护事业。让我们携手合作，为建设一个更加清洁、绿色、可持续的交通系统而努力。



郝吉明
中国工程院院士
美国国家工程院外籍院士
清华大学环境学院教授、博士生导师
清华大学环境科学与工程研究院院长

执行摘要

氢燃料电池汽车是中国推动氢能产业高质量和大规模发展的重要应用领域，也是实现道路低碳化的重要途径。然而，从生命周期的角度看，氢燃料电池汽车上游生产阶段的温室气体排放（Greenhouse Gas，下文均使用GHG¹）可能会抵消尾气零排放带来的效益。近年来，中国政府高度重视氢能产业的发展，国家发展改革委等部门发布的《关于大力实施可再生能源替代行动的指导意见》为氢能技术创新和产业化提供了明确指导，同时《能源法》的修订及“氢高速”等项目的推进，进一步加速了氢能产业的布局与应用。

在此背景下，本研究全面评估了中国典型乘用车氢燃料电池产品的碳足迹水平，并深入分析氢燃料电池技术在重型商用车领域的降碳潜力。识别其关键影响因素和降碳潜力，为政策制定、产

业规划及科研方向提供科学依据。研究分为两部分：

一是乘用车氢燃料电池碳足迹研究。单个典型乘用车燃料电池产品系统从“摇篮”²到“大门”³的温室气体排放量为 5952.4 kg CO₂e/个， 并有望通过社会系统性降碳、行业技术水平提升与企业减碳行动在 2030 年实现减排 66%。

二是氢燃料电池重型货车碳足迹研究。氢燃料电池牵引车全生命周期的温室气体排放量为同类柴油牵引车的 74%。敏感性分析显示，氢燃料及车用材料的清洁程度对氢燃料电池牵引车的减排效果具有显著影响。因此，亟需推进氢燃料电池车辆全链条减碳工作。

注1：GHG包括如下7种温室气体：二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟化碳（PFCs）、六氟化硫（SF₆）、三氟化氮（NF₃）。
注2：“摇篮”即代表产品的诞生。
注3：“大门”即代表产品制成出厂。



1. 氢燃料电池碳足迹研究

1.1 研究方法

如图 1-1 所示，本研究关注乘用车氢燃料电池“摇篮”到“大门”的GHG排放水平，系统边界包括原材料开采、重点零部件运输和产品装配为核算重点，零部件生产过程的能耗和产品报废不在本研究评估范围内。在运输阶段，综合考虑零部件的重要性、重量和运输距离，仅考虑空气压缩机、氢气循环泵、DC/DC 升压转换器、膜电极材料、双极板、端板和安装架运输导致的GHG排放。

在制造阶段，考虑膜电极、电堆和燃料电池系统装配过程的电耗和氢耗。

本研究以系统功率为 83.5 kW，系统总成为 202 kg 的一个典型乘用车氢燃料电池系统产品为研究对象，其双极板为金属板。研究采用中国本土材料和能源排放因子，数据来源于企业级调研、中国汽车生命周期数据库（CALCD）、国际铂族金属联合会委员会和Ecoinvent v3.8数据库，应用中国汽车生命周期评价模型（CALCM）开展核算。

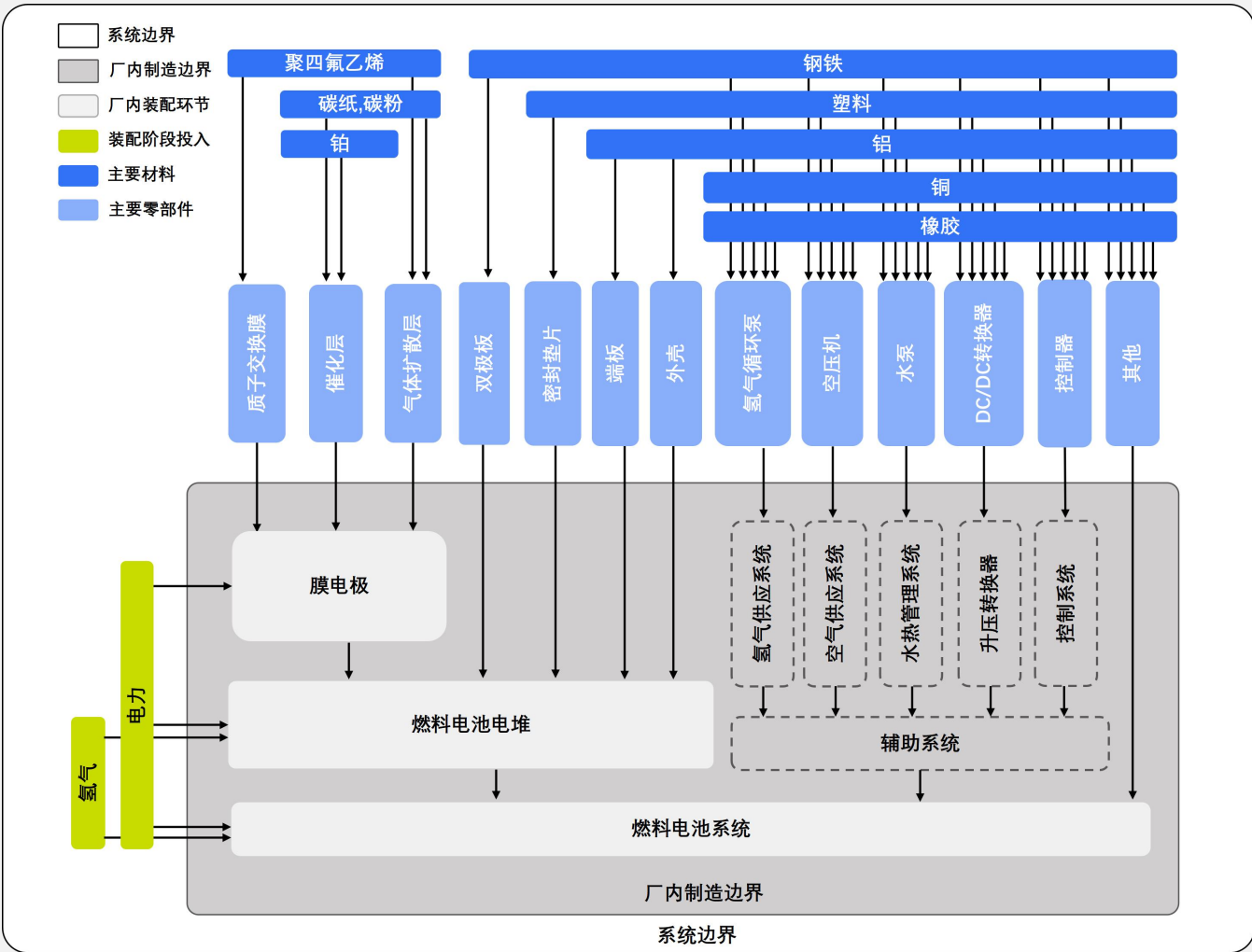


图 1-1 氢燃料电池碳足迹研究的系统边界

本研究收集氢燃料电池产品的零部件及其材料的质量图谱，拆分出了 30 个零部件和 17 种材料。如图 1-2（a）所示，燃料电池组和 BOP 系统¹各约占总重量的一半，电堆的附件占电堆总质量的 59%。显著提高了燃料电池材料图谱的全面性和分辨率。

同时，本研究绘制了氢燃料电池的材料图谱，如图 1-2（b）所示，通过材料图谱，可清晰的看出在氢燃料电池中铝的质量占比最高（47%）；其次是钢（27%）、铜（9%）和塑料（6%）。

注1：BOP系统为（Balance of Plant）是指在氢能源系统中，除了核心设备外的辅助系统。

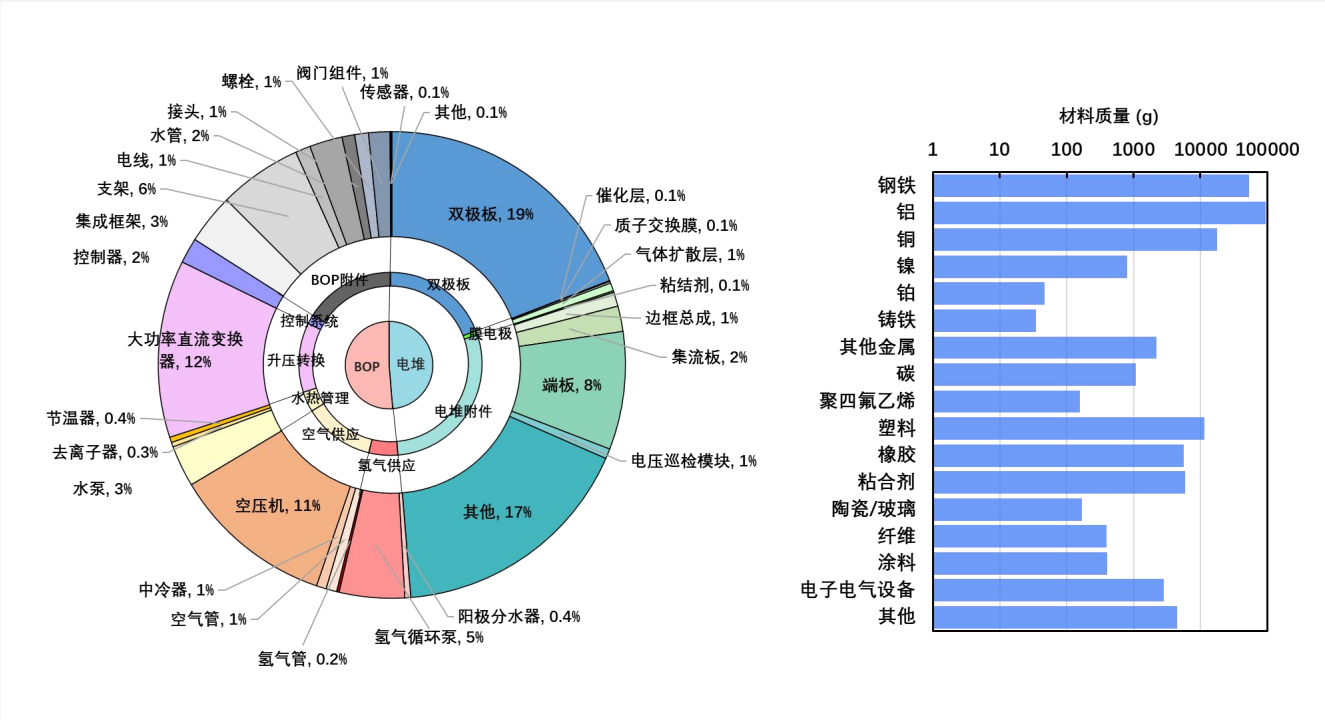


图 1-2 氢燃料电池材料图谱（a. 氢燃料电池零部件构成；b. 氢燃料电池材料构成）

1.2 研究结果

1.2.1 摇篮到大门的温室气体排放评估

通过计算，本研究中燃料电池系统产品“摇篮”到“大门”的温室气体排放量为 5952.4 千克二氧化碳当量（kg CO₂e）。燃料电池系统产品材料相关温室气体排放量见图 1-3 所示。

原材料采集和制造阶段相关排放分别占总量的 50.4%和 49.5%，运输阶段的影响较小。

1.2.2 上游材料生产与工厂能源消耗

● 材料排放贡献

如图 1-3 所示，铝是最大的排放来源（45%）。一方面，它在燃料电池中的广泛使用、质量占比高；另一方面，电解铝是高电耗过程，在当前的电力组合下，铝的碳排放因子仍较高。

铂主要用于膜电极的催化层，是材料相关碳排放的第二大来源（41%），主要源于排放因子较高。尽管质量比例

低，但开采和冶炼阶段GHG碳排放强度高^[1]。

钢是燃料电池系统中的第二大材料，是双极板的主要成分，是第三大排放源，占上游二氧化碳排放的 4%。

铜、电子产品、电气设备和塑料分

别占排放量的 3%、2%和 1%。

本研究发现，燃料电池堆的附件和BOP系统的附件分别占材料相关排放量的24%和 10%。该部分的影响通常被以往研究所忽视。此外，本研究产品的双极板采用金属板路线，其与石墨板和复合板路线的评估结果具有一定差异。

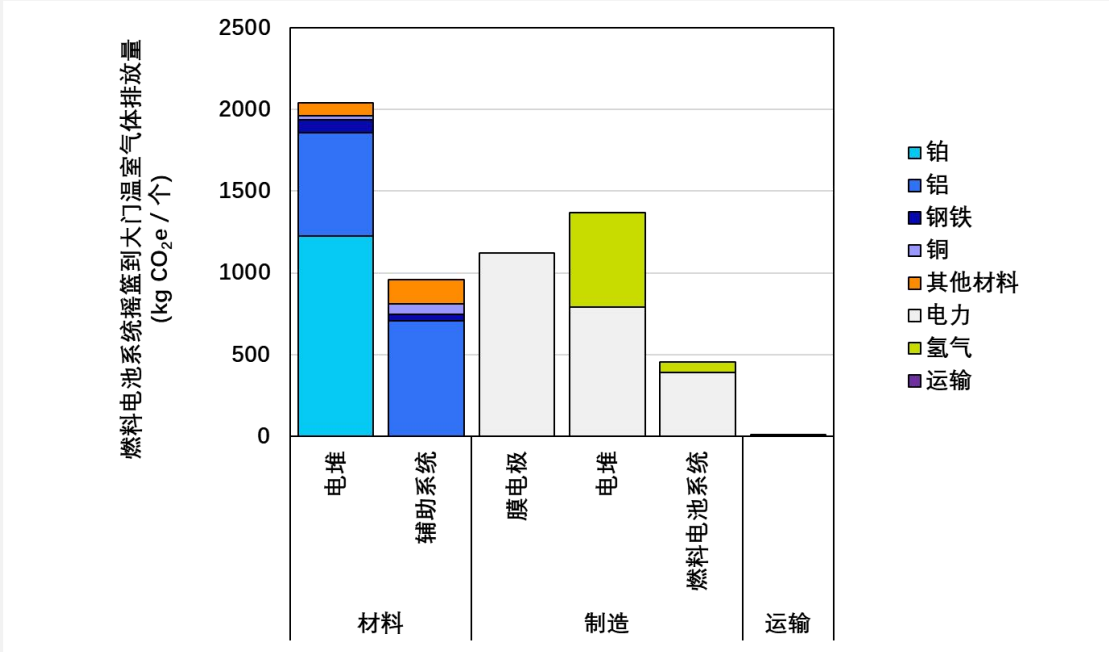


图 1-3 燃料电池系统产品“摇篮到大门”的温室气体排放量

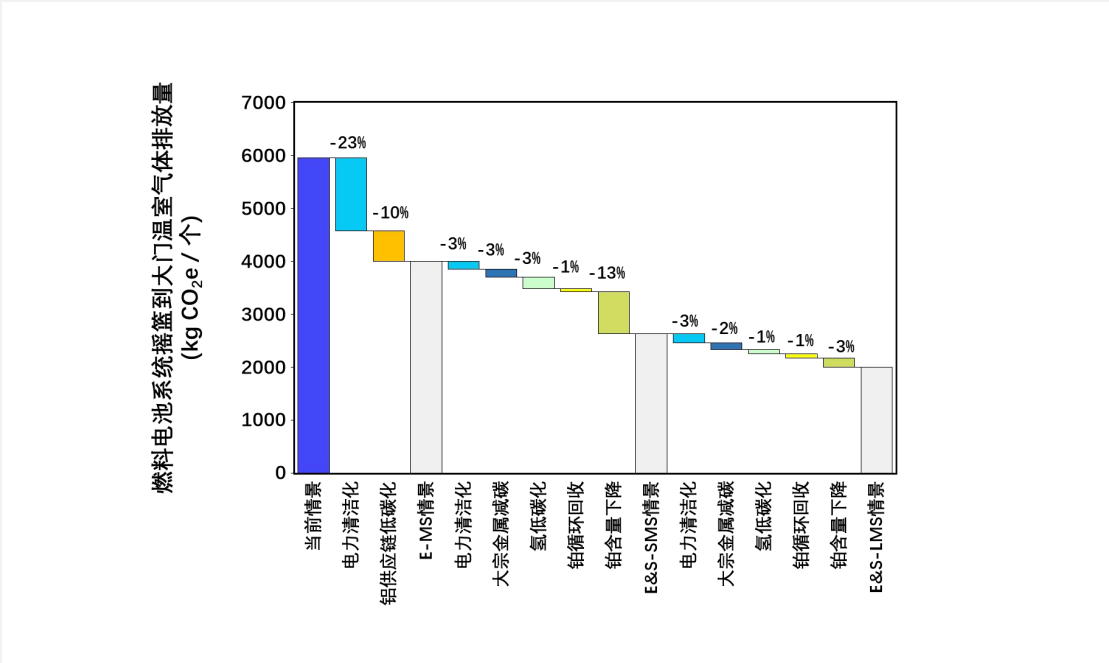


图 1-4 燃料电池系统产品温室气体减排潜力

● 制造阶段排放贡献

电力是整个制造过程的主要温室气体排放源（78%）。燃料电池堆和燃料电池系统的生产过程需要氢气投入用来激活和测试。本章节采用中国主流制氢途径的温室气体排放因子，该水平下氢气占制造阶段GHG排放总量的 22%，相当于“摇篮到大门”总量的 11%。

1.2.3 关键影响因素分析

● 重量功率比

质量功率密度用于估计给定功率的燃料电池模型总重量，反映了整体材料

需求量。该数值在以往研究中具有较大差异，且早期文献通常低估或忽略了辅助系统和电堆配件的质量，以往研究的质量功率密度比本研究中的实际数据低 13% - 68%^[2-4]。

● 铂含量

如图 1-5，以往研究通常基于技术可行性推断氢燃料电池产品铂含量，往往代表了先进实验室水平，反映的是未来低铂技术路线而非当前市场主流水平。

本研究基于市场典型产品的实际数据高于以往研究所采用的铂含量（0.1 - 0.4 g/kW）。

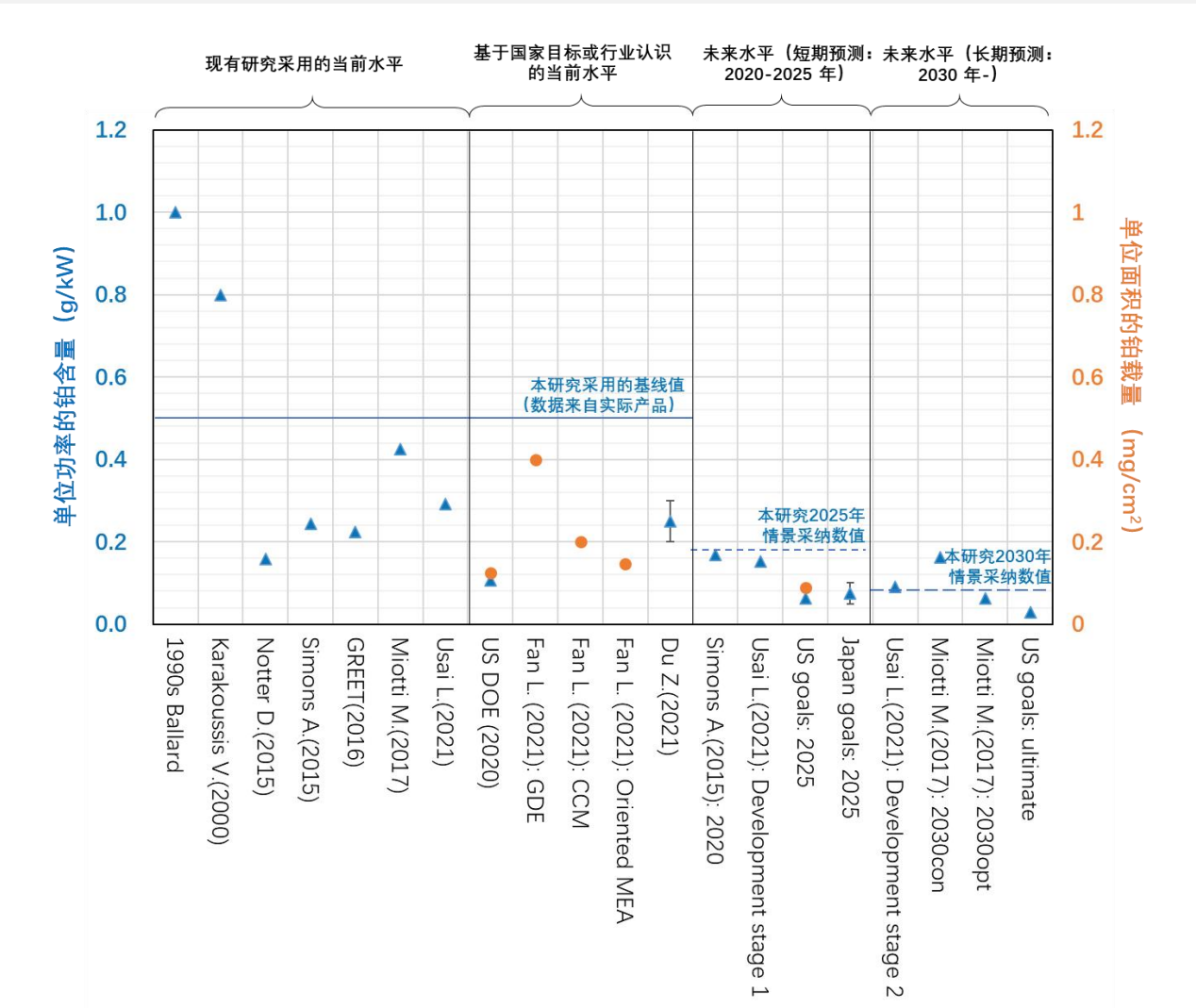


图 1-5 氢燃料电池铂载量取值文献和报告对比^[2-10]

1.2.4 减排潜力与未来展望

● 2030年减排潜力

本研究从社会系统性降碳（电力结构调整、大宗金属降碳）、行业技术水平提升（催化层铂含量下降）、企业减碳行动（产能转移与优化供应链）三个视角探究了氢燃料电池的未来减碳潜力（如图 1-4 所示）。短期内，企业减碳策略（E-MS）预计可实现 33%的减碳潜力；综合情景（E&S-LMS）下，2030 年可实现氢燃料电池的温室气体排放量减少 66%^[11]。

● 低碳战略实施可能性

中国的“双碳”目标正在加速电力和排放密集型原材料的脱碳。这种系统性脱碳预计将有助于氢燃料电池原材料和制造过程相关能耗的碳排放减少。从行业层面看，氢燃料电池发展趋势包括功

率密度提升以及低铂、无铂的燃料电池电堆设计，这些将有助于氢燃料电池系统材料使用量的减少。此外，国际贸易中越来越严格的碳足迹法规正在推动企业采取更多的减排策略，包括绿色供应链管理和产能转移等，这已在动力电池领域头部企业存在实践案例。

1.3 讨论与启示

为比较不同研究中燃料电池的生命周期影响，本研究采用了单位功率的影响进行标准化，发现本研究对氢燃料电池产品“摇篮”到“大门”的温室气体排放量评估为以往研究的 1.2-7.8 倍。这种差距主要来自于以往研究对制造阶段能耗忽略或差异。关键参数如质量功率密度和铂载量在现有研究中的取值存在较大差异。亟待开展更多实地调研，尽快建立具体场地数据库，提高对氢燃料电池的行业水平的认识。



2. 氢燃料重型货车碳足迹研究

2.1 研究方法

本研究关注于氢燃料电池重型货车生命周期碳排放水平，功能单位为每公里千克二氧化碳当量,核算边界包括材料周期和燃料周期。材料周期重点考虑原材料开采、原材料加工、零部件生产、燃料电池装配和车辆装配，采用中国本土的材料排放因子和中国汽车生命周期评价模型（CALCM）^[12]对氢燃料电池重型货车材料周期碳足迹进行核算¹。燃料周期包括氢燃料的生产、运输、加注、使用环节，综合考虑货车使用地实际氢燃料产能结构、氢燃料运输技术与距离、加氢站加注能耗与氢燃料泄露等环节展开对氢燃料电池重型货车燃料周期碳足

迹的评估。

氢燃料的温室气体排放因子与氢燃料生产工艺相关，需要结合车辆实际使用区域的氢燃料生产工艺占比开展碳足迹评估。

本研究选取京津冀地区最大设计总质量 49 吨的氢燃料电池牵引车展开碳足迹评估。京津冀地区氢燃料主要来自工业副产氢提纯（77%）、电解水制氢（14%）和天然气重整制氢（9%），基于此计算京津冀地区加权平均温室气体排放因子^[13]。

注1：模型未考虑储氢罐。



2.2 研究结果

2.2.1 碳足迹构成及影响因素

本研究收集了 20 辆最大设计总质量 49 吨的氢燃料电池牵引车 3 个月的行驶数据，分析研究时间段内氢燃料电池牵引车的加氢、充电量及活动水平，开展氢燃料电池重型货车碳足迹研究。

研究中的 20 辆氢燃料电池牵引车日平均出行里程在 60 公里到 270 公里之间，工作内容以倒短运输为主。选取车辆日出行里程 150 公里作为倒短运输典型日出行里程，活跃天数比例设置为

90%，得到车辆年出行里程约为 49275 公里。

研究结果表明，假设氢燃料电池牵引车辆使用年份为 5 年，一辆 49 吨氢燃料电池牵引车的生命周期温室气体排放量为 1.1 kg CO₂e/km。其中，燃料周期排放量为 0.7 kg CO₂e/km，占 64%；材料周期排放量为 88 t CO₂e，即 0.4 kg CO₂e/km，占生命周期温室气体排放的 36%。



2.2.2 减排策略与实施路径

氢燃料电池牵引车相比于传统柴油牵引车的减排效果具有较大的不确定性。

研究表明，柴油牵引车的材料周期温室气体排放量为 47 吨二氧化碳当量 (t CO₂e)，仅为氢燃料电池牵引车的 53%，主要是由于氢燃料电池牵引车的部件材料、动力电池和氢燃料电池系

统的生产¹、制造产生了更多的温室气体排放。柴油牵引车的燃料周期二氧化碳当量排放量为 1.2 kg CO₂e/km，是氢燃料电池牵引车的 1.7 倍。

综上，氢燃料电池牵引车的材料周期温室气体排放量更高，但其在燃料周

1：此处氢燃料系统为重型车辆氢燃料系统，使用中国汽车生命周期评价模型（CALCM）进行评估

期的单位里程温室气体排放更低，需要更高的活动水平以发挥氢燃料电池牵引车在使用阶段的减排效益。

假设柴油牵引车的活动水平与氢燃料电池牵引车相同。在当前氢燃料电池牵引车活动水平下（年出行里程 49275 公里），按照 5 年的使用寿命计算车辆生命周期温室气体排放量。

如图 2-1 所示，氢燃料电池牵引车的生命周期温室气体排放量为 258 t CO₂e，柴油牵引车的生命周期温室气体

排放量为 350 t CO₂e，说明在本章节使用的氢燃料生产工艺构成和当前的活动水平下，氢燃料电池牵引车已经展现出更好的生命周期温室气体减排效益。

但是需要注意的是，在研究的这批氢燃料电池牵引车中，部分车辆的年行驶里程较低（低于 15000 公里），则这部分车辆的生命周期温室气体排放可能高于柴油车辆。

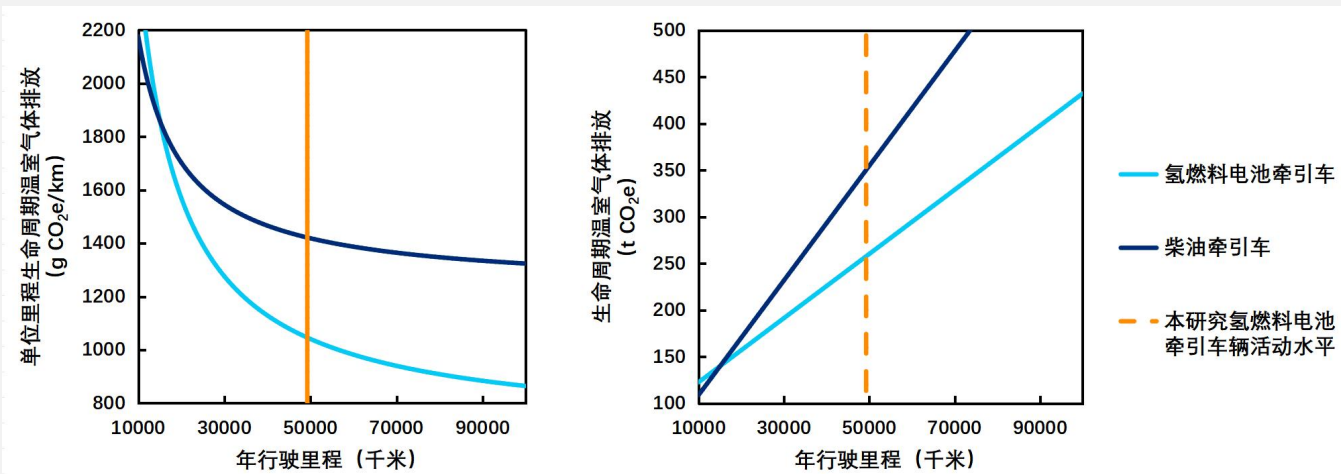


图 2-1 氢燃料电池牵引车和柴油牵引车生命周期温室气体排放

2.2.3 关键发现及核心观点

本研究从行业产业的视角出发，围绕氢燃料制备清洁化、材料周期整体清洁化、活动水平提高、使用寿命延长四个因素探究了氢燃料电池未来减碳潜力。

研究对以上四个因素进行敏感性分析，探究以上因素变化 20%对氢燃料电池牵引车减排效果的影响。在基线情景下，氢燃料电池牵引车每公里相比于柴油牵引车减排 0.38 kg CO₂e，生命周期相比于柴油牵引车减排 92 t CO₂e。

分析结果如图 2-2 所示。氢燃料的清洁程度对于氢燃料电池牵引车的减排有最大的影响。现阶段氢燃料主要通过工业副产气制氢的方式制备，本研究基于大规模制氢厂调研，指出如果在工业副产气制氢的过程中大规模使用绿电，氢燃料的排放因子能够降低 20%。此时氢燃料电池牵引车生命周期温室气体减排量可以提升约 37%。活动水平提高、使用寿命延长、材料周期整体清洁化分别可以将氢燃料电池牵引车生命周期温室气体减排量提升 29%、29%和 19%。

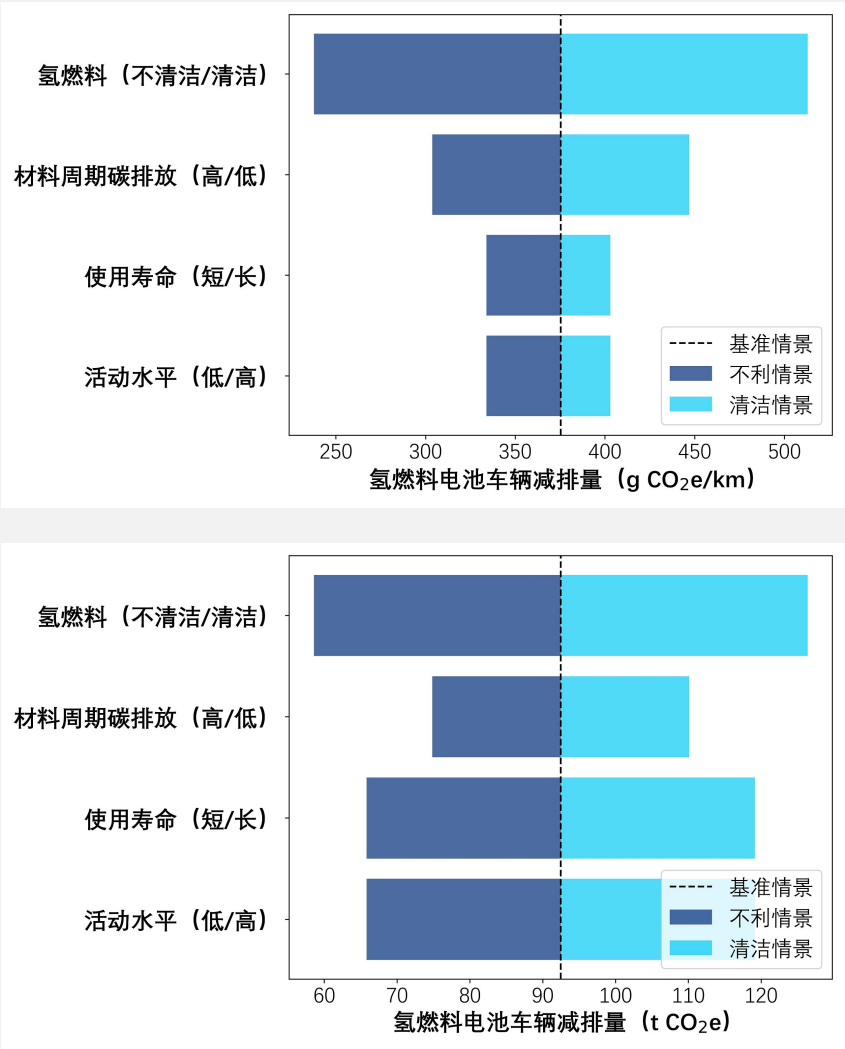


图 2-2 不同情景下氢燃料电池车辆减排效益

(图中横坐标为氢燃料车辆相比于柴油车辆的减排量，即数值越大，氢燃料电池牵引车相比于柴油车辆的减排效果越显著)

2.3 挑战与机遇

氢燃料电池重型货车在实现交通领域脱碳转型中扮演着关键角色。其推广应用仍面临着诸多挑战，同时也存在巨大的发展机遇。

● 挑战

(1) 技术层面

重型货车对续航里程和载重能力要求较高，目前燃料电池系统的功率密度、储氢技术和电堆技术仍需进一步提升。此外，重型货车运行环境复杂，对燃料电池系统的可靠性、耐久性、低温启动

性能要求高，需要进一步提高系统的抗冲击和抗腐蚀能力，开发低温适应性更好的燃料电池系统。

(2) 经济层面

燃料电池系统、车载供氢系统等关键部件成本较高，导致重型货车购置成本居高不下。同时，氢气价格仍处于较高水平，影响了燃料电池重卡的市场竞争力。

未来需要进一步降低关键部件的生产本和氢燃料自身成本，让氢燃料电池重型货车的推广从政策导向逐步转向市场导向。

(3) 基础设施层面

目前加氢站主要集中在氢燃料电池车辆示范城市群，其数量和分布无法满足大规模氢燃料电池重型货车的运输需求，需要加快加氢站网络布局。

● 机遇

在挑战之外，氢燃料电池车辆的发展也面临着许多机遇。

(1) 政策利好

国家高度重视氢能产业发展，国家能源局发布《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》，明确设置氢燃料电池车辆推广目标。各地也出台了一系列政策措施支持氢燃料电池汽车推广应用，如补贴、免高速费等优惠措施。

(2) 行业趋势

重型货车作为道路交通领域碳排放的重要部门，发展氢燃料电池技术是其低碳发展的重要途径与必经之路。

(3) 经济成本

随着燃料电池技术和制氢、储氢、运氢技术的不断进步，以及氢能燃料电池续航里程的持续增加，氢燃料电池整车和氢燃料成本有望逐步下降，未来氢燃料电池车辆有望实现与燃油车的总拥有成本平价。



3. 对利益相关者的建议

3.1 政策制定

(1) 政策支持与战略规划

- 制定替代燃料发展战略，整合多元化燃料路线，明确氢、氨、醇等替代燃料在重型货车领域的应用目标和技术路线图，与氢能形成互补发展格局。
- 采取经济鼓励，帮助企业将低碳技术优势转化为成本优势，如开展碳积分、碳交易、税收减免、运营补贴等。

(2) 基础设施建设与完善

- 加快加氢站网络与绿氢协同供应的建设，优先支持使用绿氢的加氢站建设，形成清洁氢供应网络。
- 推进制氢技术研发和清洁氢气的开发，完善氢气运输、储存基础设施布局，为氢燃料电池车辆提供稳定、清洁的燃料。

(3) 标准制定与技术转移

- 制定严格的氢燃料电池及重型货车碳足迹核算标准，明确清洁氢的认定标准，促进清洁氢在交通领域的广泛应用。
- 制定和完善替代燃料及相关产业的技术标准和安全规范，确保产业健康发展。

(4) 国际合作与协同发展

- 与国际能源机构（IEA）等机构合作，共同制定替代燃料在重型交通领域的国际标准。

- 加强与在替代燃料（氢、氨、醇等）方面技术领先的国家（如德国、挪威、冰岛等）的合作，吸收先进技术和商业化经验。

3.2 产业规划

(1) 优化制造与减排技术

- 加大在低碳材料、高效氢燃料电池系统等领域的研发投入，降低生产成本，同时提升产品的能效和环保水平。

(2) 供应链管理与材料选择

- 优先选择低碳、可持续的原材料供应商，建立清洁供应链体系，推动供应链协同降碳工作的开展。

(3) 市场策略与产品定位

- 除了道路交通，积极探索氢燃料在船舶、航空等领域的试点运行，扩大清洁氢的应用范围，增强市场接受度。

3.3 科研方向

(1) 研究方向与重点领域

- 深化其他代替燃料的碳足迹的研究，特别是针对绿氢使用全生命周期的碳足迹分析，提高数据准确性和模型可靠性。
- 加强替代燃料具体场地数据库建设工作（涵盖生产、储存、运输及应用等阶段），确保碳足迹核算工作的准确性、真实性和可比性。



参考文献

[1] International Platinum Group Metals Association. The Life Cycle Assessment of Platinum Group Metals[J]. 2017.

[2] Simons A, Bauer C. A life-cycle perspective on automotive fuel cells[J]. Applied Energy, 2015, 157: 884-896.

[3] Miotti M, Hofer J, Bauer C. Integrated environmental and economic assessment of current and future fuel cell vehicles[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2017, 22: 94-110.

[4] Usai L, Hung C R, Vásquez F, et al. Life cycle assessment of fuel cell systems for light duty vehicles, current state-of-the-art and future impacts[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 280: 125086.

[5] Karakoussis V, Leach M, van der Vorst R, et al. Environmental emissions of SOFC and SPFC system manufacture and disposal[J]. 2000.

[6] Notter D A, Kouravelou K, Karachalios T, et al. Life cycle assessment of PEM FC applications: electric mobility and μ -CHP[J]. Energy & Environmental Science, 2015, 8(7): 1969-1985.

[7] Amamiya I, Tanaka S. Current topics proposed by PEFC manufacturers, etc.—current status and topics of fuel cells for FCV[J]. Hydrogen, Fuel Cell Project Evaluation, and Issue Sharing Week (Japan New Energy and Industrial Technology Development Organization, 2019), 2019.

[8] Hydrogen And Fuel Cell Technologies Office. Technical Targets for Proton Exchange Membrane Electrolysis[EB/OL]. [2024-01-26].

[9] 杜泽学. 车用燃料电池关键材料技术研发应用进展[J]. 化工进展, 2021, 40(1): 6-20.

[10] Fan L, Tu Z, Chan S H. Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review[J]. Energy Reports, 2021, 7: 8421-8446.

[11] Xiong Y, Wang F, Zhao D, et al. Cradle-to-gate GHG emissions and decarbonization potentials of minivan-equipped hydrogen fuel cell system[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2025, 212: 107877.

[12] 冯屹 等. 面向碳中和的汽车行业低碳发展战略与转型路径(CALCP2022) 交通运输[M]. 机械工业出版社, 2022.

[13] 北京市生态环境局. 北京市碳普惠方法学 氢燃料电池汽车（试行）[EB/OL]. (2024-05-11)[2024-11-21]. <https://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xgk69/zfxxgk43/fdzdgknr2/zcfb/2024bzcwj/543352678/index.html>

研究团队

中汽碳（北京）数字技术中心有限公司

- 赵冬昶 中汽碳（北京）数字技术中心有限公司 执行董事、总经理
- 赵明楠 中汽碳（北京）数字技术中心有限公司 总工程师
- 孙 铎 中国汽车技术研究中心有限公司 首席专家
- 郝婧姝 中汽碳（北京）数字技术中心有限公司 咨询研究员

清华大学环境学院

- 吴 烨 清华大学环境学院 教授、博士生导师
- 张少君 清华大学环境学院 副教授、博士生导师
- 熊翌灵 清华大学环境学院 博士研究生
- 林 浩 清华大学环境学院 博士研究生
- 王 放 清华大学环境学院 博士研究生



致谢

作者由衷感谢以下人士，在本文编写过程中给予的大力支持，提供了诸多宝贵得意见与建议。

致谢专家（排名不分先后）：

余 意 上海捷氢科技股份有限公司

张立淼 未势能源科技有限公司

何巍楠 北京交通发展研究院

肖晨江 国能氢创科技（北京）有限责任公司

方海峰 中国汽车技术研究中心有限公司

此外，感谢上海捷氢科技股份有限公司的任风风、中国汽车技术研究中心有限公司的郭婷对研究工作的支持，感谢中汽碳（北京）数字技术中心有限公司郝婧姝对本文的编辑校对及排版设计。

最后，感谢政府间国际科技创新合作项目（2023YFE0109300）对研究提供资助，感谢汽车工业节能与绿色评价中心 道路车辆产品碳足迹数据发展倡议对研究提供的支持。



单位介绍

中汽碳（北京）数字技术中心有限公司

中汽碳（北京）数字技术中心有限公司（以下简称“中汽碳数字”）隶属于中国汽车技术研究中心有限公司（国务院国资委直属中央企业），是从事推动绿色金融和碳数字技术等新型经济要素与产业高质量发展有效融合的专业机构。

中汽碳数字立足于“产融新视角，碳索新路径，释放新动能”的创新理念，将碳足迹数字技术有机融合于价值链、信息链、产业链、创新链、供应链及管理链，致力于促进绿色金融经济要素高效、科学匹配汽车产业“双碳”关键环节和关键领域，探索数字经济技术在碳排放领域的应用场景与运营模式，释放汽车产业绿色低碳高质量的发展新动能。



中国汽车生命周期评价模型（CALCM）已授权剑桥大学、耶鲁大学、清华大学和北京大学等上千家国内外高校、机构和企业使用，促进了汽车生命周期评价研究领域的学术进步和产业应用。

清华大学环境学院

清华大学环境学院源于国立清华大学于1928年设立的市政工程系，1977年建立中国第一个环境工程专业，2011年在清华大学百年校庆之际发展为环境学院，目前建立了以环境科学、环境工程、环境管理三大学科方向为基础，涵盖多要素多介质的综合性、交叉型学科体系。

清华大学环境学院是中国重要的环境保护高层次人才培养基地和高水平研究中心，两次蝉联环境工程国家重点学科，连续五年环境学科QS排名前十名，为国家重大行动与环境保护重大决策提供了支撑，多项创新技术成功投入重大环境工程实际应用并持续改进推广，取得了良好的社会环境效益。



