CACP
中国汽车低碳行动计划

2020

中国汽车低碳行动计划研究报告

中汽数据有限公司
Automotive Data Of China Co.,Ltd.



中国汽车低碳行动计划研究报告(2020)

CHINA AUTOMOBILE LOW CARBON ACTION PLAN (CALCP) RESEARCH REPORT 2020

牵头单位：中汽数据有限公司

技术支持单位（排名不分先后）：联合国环境规划署，世界资源研究所，世界钢铁协会，世界汽车用钢联盟，CDP，能源基金会，诺丁汉大学，加州大学戴维斯分校，阿美亚洲，埃克森美孚研究与工程公司，国家应对气候变化战略研究和国际合作中心，生态环境部对外合作与交流中心，生态环境部机动车排污监控中心，交通运输部规划研究院，中国科学院城市环境研究所，北京工业大学。

2020年7月9日

报告编写单位与作者信息

PREPARATION ORGANIZATIONS AND AUTHORS

报告主体撰写单位：

中汽数据有限公司

报告部分章节撰写单位（排名不分先后）：

世界资源研究所，世界钢铁协会，世界汽车用钢联盟，诺丁汉大学，阿美亚洲，交通运输部规划研究院

报告提供整体意见和建议的单位（排名不分先后）：

联合国环境规划署，世界资源研究所，世界钢铁协会，世界汽车用钢联盟，CDP，能源基金会，诺丁汉大学，加州大学戴维斯分校，阿美亚洲，埃克森美孚研究与工程公司，国家应对气候变化战略研究和国际合作中心，生态环境部对外合作与交流中心，生态环境部机动车排污监控中心，交通运输部规划研究院，中国科学院城市环境研究所，北京工业大学

EXPERT LIST

专家名单

* 按照姓氏字母顺序排列

姓名	机构	职位
Amir F. N. Abdul-Manan	阿美亚洲	战略运输分析部总监（中国）
Russell T. Balzer	世界汽车用钢联盟	汽车用钢技术总监
陈伟强	中国科学院城市环境研究所	研究员
龚慧明	能源基金会	中国交通项目高级项目主任
龚先政	北京工业大学	教授
Jeongwoo Han	埃克森美孚研究与工程公司	工程师
刘纪新	联合国环境规划署	副专家
刘胜强	交通运输部规划研究院	室主任/高级工程师
刘婷	生态环境部对外合作与交流中心	副所长
马翠梅	国家应对气候变化战略研究和国际合作中心	部门副主任/副研究员
马冬	生态环境部机动车排污监控中心	项目主管/高级工程师
Jon McKechnie	英国诺丁汉大学	副教授
孟凡然	英国诺丁汉大学	研究员
宋婉瑜	CDP全球环境信息研究中心	供应链项目经理
王云石	加州大学戴维斯分校	
	中国能源与交通中心	主任
	中美荷兰零排放汽车政策实验室	联合主任
薛露露	世界资源研究所	研究员
薛兴宇	阿美亚洲	战略运输分析师（上海）
杨萍	世界钢铁协会	生命周期评价项目专员

EXPERT COMMENT

专家赠言

* 按照姓氏字母顺序排列



Amir F. N. Abdul-Manan

阿美亚洲

战略运输分析部总监（中国）

《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》强调了应用全生命周期方法来评估乘用车碳排放的重要性。报告通过多方合作的形式，为推动中国汽车碳排放法规向全生命周期过渡迈出了坚实的第一步。该报告探讨了不同的能源和动力系统对乘用车碳排放的影响，揭示了乘用车碳减排需要着手于从低碳能源的生产到高效动力总成技术的各个方面。它表明基于全生命周期碳排放的乘用车技术开发，例如使用清洁合成燃料配合高效混合动力系统，将会为汽车行业的绿色低碳发展带来更加显著而深远的意义。



Russell T. Balzer

世界汽车用钢联盟

汽车用钢技术总监

《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》将有利于促进汽车LCA方法和模型的持续发展。重要的是要识别并了解仅针对车辆使用阶段和考虑了车辆生命其他阶段的基于生命周期方法这两种方式测量当前排放之间的差距。这种了解对于真正减少中国乘用车车队的排放至关重要。



陈伟强

中国科学院城市环境研究所

研究员

中汽数据公司开展的这一项工作具有重要意义。该研究不仅可为中国汽车工业的碳减排途径分析提供科学基础和决策依据，还可为中国汽车工业的金属资源需求和资源循环利用潜力研究提供重要的基础。



龚慧明

能源基金会

中国交通项目高级项目主任

十四五期间是构筑行业碳排放模型和数据基础的关键时期，这将为十五五大力推进行业碳排放管理和减排打下坚实的基础。汽车行业作为交通行业中的耗能大户，且是各行业中持续快速增长的行业。在汽车行业推进低碳行动不单将有力支持国家2030年左右碳排放达峰的目标，也将有利于2030年后碳排放总量的快速下降。有别于以往从上往下按照不同能源品种消耗核算碳排放总量，从下往上开展相关分析更有利于紧密结合管理措施研究和相关减排潜力的分析，同时全生命周期分析的角度将更有利于对问题和挑战全面系统的理解和解决。希望中汽数据有限公司的研究能够不断突破，为中国汽车行业低碳发展、技术进步提供更好的管理支持。



龚先政

北京工业大学

教授

《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》秉承生命周期理念，在中国乘用车碳排放核算方法、模型、基础数据等方面开展了大量细致的开拓性研究工作，系统性应用于中国乘用车、企业、行业的碳排放核算和预测，对全面解读中国乘用车行业生命周期碳资产管理具有重要指导意义。

EXPERT COMMENT

专家赠言

* 按照姓氏字母顺序排列



Jeongwoo Han

埃克森美孚研究与工程公司

工程师

《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》估算了2019和2030年中国乘用车（汽油ICEV和BEV）的全生命周期碳排放。该报告从实际车辆中收集了大量可靠高质量的数据和信息，从而对现有的乘用车全生命周期碳排放的知识体系做出了极大的贡献。该报告还根据《节能与新能源汽车技术路线图2.0》，预测了2030年中国乘用车车队的全生命周期碳排放，并指出了替代动力总成和燃料的潜在挑战和机遇。



刘纪新

联合国环境规划署

副专家

2016年交通行业对全球二氧化碳排放总量的贡献为24%，是所有行业中温室气体排放量增长最快的。因此，为实现 “将本世纪的全球气温上升幅度控制在2°C以下，并力争进一步限制在1.5°C”的《巴黎协定》目标，推动交通行业的低碳转型十分重要。汽车行业是中国温室气体排放增长最快的领域之一，《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》应用全生命周期的碳排放核算方法，对2019年中国境内所生产的乘用车进行碳排放核算，辨识中国现阶段乘用车生命周期碳排放差距，预测2030年中国乘用车生命周期的碳排放趋势，为中国汽车碳排放管理政策的制定提供了技术支持。



刘胜强

交通运输部规划研究院

室主任/高级工程师

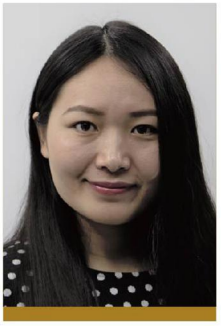
《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》从全生命周期角度，对我国乘用车碳排放清单、不同级别车辆排放对比及未来减排趋势进行了系统分析，具有较高的创新性和前瞻性，对我国加快推广新能源车辆、推动交通行业温室气体减排和污染控制、支撑能源革命发展战略具有重要的意义。



刘婷

生态环境部对外合作与交流中心
副所长

汽车行业作为现代工业的代表，深刻地影响着人们的生活，也对全球绿色、低碳、可持续发展起着举足轻重的作用。《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》基于详实数据和科学模型，建立了中国乘用车全生命周期碳排放核算的方法，为中国汽车行业开展低碳行动提供了创新工具和有力支撑。



马翠梅

国家应对气候变化战略研究和国际合作中心
部门副主任/副研究员

《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》从生命周期角度为量化乘用车温室气体排放提供了理论方法，在推动汽车行业技术变革升级、应对汽车贸易领域可能面临的绿色贸易壁垒以及进一步提高中国汽车产业在国际市场的竞争力等方面具有积极意义。



马冬

生态环境部机动车排污监控中心
项目主管/高级工程师

当前，我国面临大气污染防治和应对气候变化的双重压力。随着汽车排放标准的逐步加严和新能源汽车的推广应用，汽车使用阶段的排放比重逐步降低，生产阶段和回收阶段的排放比重逐步增加。《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》对开展汽车生命周期排放研究，加强汽车生命周期环境管理，推进行业可持续发展具有重要意义。

EXPERT COMMENT

专家赠言

* 按照姓氏字母顺序排列

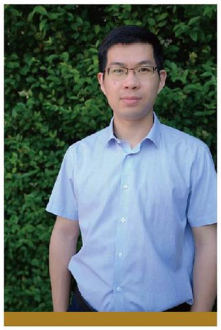


Jon McKechnie

英国诺丁汉大学

副教授

要了解乘用车的全部环境影响，就需要对材料生产，车辆制造，车辆使用和车辆寿命进行全面评估。《中国汽车低碳行动计划研究报告》提供了针对中国背景进行此项评估所需的数据和方法，并将为工业和政府为解决该行业的生命周期排放做出的努力奠定基础。



孟凡然

英国诺丁汉大学

研究员

《中国汽车低碳行动计划研究报告》利用生命周期评估方法衡量中国乘用车对环境的全部影响。该结果对中国道路交通的低碳化以及实现国家/国际的气候变化目标具有重要意义。我们期待其在中国汽车行业的发布。



宋婉瑜

CDP全球环境信息研究中心

供应链项目经理

这项研究为中国快速发展的汽车产业奠定了及时而坚实的基础，包括提供了燃油车和电动车的具体生命周期温室气体排放核算方法，有助于公司了解其产品生命周期中每个阶段的温室气体排放。值得强调的是，这项研究提供中国企业本土化的核算指南，但同时具备符合国际核算方法要求的精细程度，能够有效协助中国企业进行国际化对标。我们欣喜地看到此份指南的发布，并期待更多中国汽车企业加入该倡议，以管理和减少产品对环境的影响。



王云石

加州大学戴维斯分校 | 中国能源与交通中心 主任 | 中美荷兰零排放汽车政策实验室 联合主任

该报告非常及时地提供了有关中国乘用车生命周期排放的详细且值得信赖的信息。它分析了车辆及其组件和燃料来源的实际数据。它还回答了中国大多数人提出的问题：在中国运行的电动汽车是否会减少二氧化碳排放，答案是肯定的，并且在将来会有更好的表现。但它也突显了在不加快电力行业可再生能源以及混合动力和轻量化技术引进的情况下，中国要进一步减少二氧化碳所面临的挑战。然而，对我来说最有价值的是，这份报告为中国思考潜在的汽车二氧化碳管制打开了大门，就像欧盟采用的那样，这是一种更好，更公平的车辆管制方式。但是中国还需要完成更多的工作，例如撰写类似的关于商用车的报告，以及通过不同方式对中国道路交通快速电气化进行成本效益研究，这些方式包括现有的侧重于商用车领先乘用车的电气化研究，并鼓励在MHD卡车，公共汽车和某些乘用车中使用H2的政策。



薛露露

世界资源研究所 研究员

在全球气候变暖的背景下与瞬息万变的全球贸易环境下，碳定价、碳边境调节机制（基于碳的关税）将成为汽车及上下游产业，未来不可避免将面临的趋势。《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》从生命周期的视角评价中国乘用车单车与汽车层面碳排放核算模型，为全生命周期减少乘用车排放、提升产业及上下游竞争力，奠定了重要基础。

EXPERT COMMENT

专家赠言

* 按照姓氏字母顺序排列



薛兴宇

阿美亚洲

战略运输分析师（上海）

《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》强调了应用全生命周期方法来评估乘用车碳排放的重要性。报告通过多方合作的形式，为推动中国汽车碳排放法规向全生命周期过渡迈出了坚实的第一步。该报告探讨了不同的能源和动力系统对乘用车碳排放的影响，揭示了乘用车碳减排需要着手于从低碳能源的生产到高效动力总成技术的各个方面。它表明基于全生命周期碳排放的乘用车技术开发，例如使用清洁合成燃料配合高效混合动力系统，将会为汽车行业的绿色低碳发展带来更加显著而深远的意义。



杨萍

世界钢铁协会

生命周期评价项目专员

《中国汽车低碳行动计划研究报告（2020）》通过全生命周期的视角，应用生命周期评价的方法来全面系统的审视中国乘用车的碳排放。核算模型应用最新的材料行业数据，并从乘用车单车与企业层面量化乘用车的碳排放及预测其2030的碳排放趋势，对支持中国乘用车全生命周期的研究、管理及行业的绿色可持续发展具有重要意义。

FOREWORD
前言

2016年11月，人类应对气候变化的努力中具有历史性意义的《巴黎协定》正式生效，引领全球进入绿色低碳发展的新阶段。中国彰显负责任大国的担当和智慧，采取切实行动应对气候变化，积极参与国际气候治理，并向国际社会承诺“二氧化碳排放2030年左右达到峰值并争取尽早达峰”。

作为中国温室气体排放增长最快的三个领域之一，汽车行业的碳减排对中国能否顺利实现达峰至关重要。为了履行中国温室气体减排承诺，有效管理汽车行业的碳排放，中国正积极开展基于汽车全生命周期的碳排放核算标准和政策的研究。

2018年，中汽数据有限公司组织成立世界汽车生命周期联合研究工作组（WALCA），发起“中国汽车低碳行动计划（CALCP）”，核算并发布汽车全生命周期碳排放的研究成果。2020年，中汽数据联合16家国内外机构开展《中国汽车低碳行动计划（CALCP）2020》研究，针对2019年中国境内所生产的乘用车，开展全生命周期的碳排放核算。

回顾中国乘用车生命周期碳排放历史演进，辨识中国现阶段乘用车生命周期碳排放差距，预测2030年中国乘用车生命周期的碳排放趋势，进一步支撑中国汽车碳排放管理政策研究，推动中国2030年碳排放达峰目标的实现。

期望本研究成果对于汽车行业、生命周期评价方法及应对气候变化等多个领域的研究有所启发和借鉴，也期待和更多的国际机构开展合作研究，共同推动中国乃至全球汽车行业绿色、低碳、可持续发展。

目录 | CONTENTS

01 P01
研究背景
RESEARCH BACKGROUND

- 国际汽车碳排放政策趋势 P01
- 国内汽车碳排放管理现状 P03
- 研究目的及意义 P04

02 P05
历史回顾:2010-2019年乘用车生命周期碳排放十年历史演进
HISTORICAL REVIEW: LIFE CYCLE GHG EMISSION EVOLUTION OF PASSENGER VEHICLES IN CHINA 2010-2019

03 P07
乘用车生命周期碳排放核算方法
LIFE CYCLE GHG ACCOUNTING OF PASSENGER VEHICLES

- 单车生命周期碳排放核算 P08
  - 目的和范围的确定 P08
  - 清单数据 P09
  - 单车碳排放核算方法 P09
    - 车辆周期碳排放核算方法 P10
    - 燃料周期碳排放核算方法 P12
- 企业平均碳排放核算方法 P13
- 汽车行业年度量产乘用车生命周期碳排放核算方法 P13

04 P14
现状分析：2019年乘用车生命周期碳排放研究结果
STATUS QUO ANALYSIS: RESEARCH RESULT OF LIFE CYCLE GHG EMISSIONS OF PASSENGER VEHICLES 2019

- 2019年中国量产乘用车生命周期碳排放总量 P14
- 乘用车单车生命周期碳排放研究结果 P16
  - 不同级别乘用车车型生命周期碳排放核算结果 P18
  - 不同生命周期阶段碳排放核算结果 P21
  - 乘用车单车生命周期碳排放的关键影响因素分析 P23
- 中国乘用车企业生命周期碳排放研究结果 P25

05 P26
2030年情景预测：乘用车生命周期碳排放达峰
SCENARIO FORECAST OF 2030: TRENDING OF LIFE CYCLE GHG EMISSIONS OF PASSENGER VEHICLES

- 2030年中国乘用车单车生命周期碳排放 P26
  - 电网清洁化 P28
  - 车辆技术进步 P29
  - 行驶里程变化 P34
- 2030年中国乘用车车队生命周期碳排放 P35
- 2030年中国E-fuel乘用车的生命周期碳排放 P37
  - 背景介绍 P37
  - E-fuels全生命周期碳排放分析 P38
  - E-fuels的优势和挑战 P39

06 P40
结 论
CONCLUSION

参考文献 P42
附表1 核算范围内零部件重量占比及材料组成 P44
附表2 部件更换次数 P45
附表3 车辆周期相关碳排放因子 P46
附表4 能源生产的碳排放因子 P46
附表5 常见化石能源特定参数值 P47

01

RESEARCH BACKGROUND
研究背景

1.1国际汽车碳排放政策趋势 | TREND IN GLOBAL POLICIES FOR AUTOMOTIVE GHG EMISSIONS

(1) 气候变化问题日益引发全球关注

2015年12月，巴黎气候变化大会通过《巴黎协定》。该协定旨在将全球平均气温升幅控制在较工业化前水平2℃之内，并为把升温控制在1.5℃之内而努力。为实现该目标，各缔约方应尽快实现温室气体排放达峰，并在本世纪下半叶实现温室气体“净零”排放。中国在会上承诺2030年单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降60%~65%，并且将于2030年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现。2020年2月12日英国政府寻求在2032年之前停止销售汽油和柴油新车，混合动力以及插电式混合动力汽车也包含在内，从而实现在本世纪中叶达到零排放的目标。2020年3月4日，欧盟委员会公布《欧洲气候法》草案，决定以立法的形式明确到2050年实现“碳中和”的政策目标，即温室气体净排放量到2050年降为零。2020年3月10日，欧盟委员会发布了《欧洲新工业战略》，支持各行业实现气候中立。

目标：

将全球平均气温升幅控制在较工业化前水平2℃之内并把升温控制在1.5℃之内

中国承诺：

2030年单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年

下降 **60%~65%**

(2) 以乘用车为代表的交通行业碳排放显著

交通行业是全球能源消耗和温室气体排放的重要领域。根据IEA最新的研究报告，2016年全球交通行业的能源消耗占到世界终端能源消耗总量的36%[1]，交通行业因其显著的能源消耗也成为减缓应对气候变化问题的重点领域之一。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告显示，2014年交通行业对全球温室气体排放总量的贡献为14%，位居第三大排放行业[2]。在交通行业中，道路交通碳排放是欧盟乃至全球碳排放的重要组成部分之一，其中包含乘用车在内的轻型车为重中之重。2016年乘用车能源消耗占到全球交通行业的58%，占世界终端能源消耗和二氧化碳排放总量的20%左右[1]。各国政府、国内外汽车企业和行业机构需要共同采取行动，从而促进乘用车的温室气体减排。

2016年全球交通行业的能源消耗

占到世界终端能源消耗总量的**36%**

2016年乘用车能源消耗

占到全球交通行业的**58%**

欧盟计划在2023年前，评估建立统一的生命周期碳排放评价方法和数据发送方法，并且计划到2025年，每一辆出口到欧盟市场的汽车需核算发布其生命周期碳排放。

(3) 国际汽车碳排放法规逐渐向全生命周期过渡

长期以来，国外发达国家在汽车碳排放法规的制订方面积累了大量经验，例如，美国的轻型车温室气体(GHG)排放和企业平均燃料经济性(CAFE)标准、欧盟的乘用车和轻型商用车CO_2排放标准、新加坡的车辆排放计划(VES)等。随着电动化发展，汽车行业碳排放逐渐由燃料周期向车辆周期转移，车辆周期的碳排放量不容忽视。因此，仅仅核算燃料周期的碳排放量已不再满足当前节能环保、控制温室排放的要求，汽车全生命周期的碳排放核算势在必行。国际上现行的汽车碳排放法规只对汽车燃料使用阶段设定限值，忽略了材料及生产制造环节，不能完全体现汽车的实际碳排放，容易导致污染转移等问题。目前，国际上汽车碳排放研究正在逐渐转向全生命周期研究。欧盟计划在2023年前，评估建立统一的生命周期碳排放评价方法和数据发送方法，并且计划到2025年，每一辆出口到欧盟市场的汽车需核算发布其生命周期碳排放。

(4) 国际车企已确定全生命周期“碳中和”的发展目标

世界各国的汽车企业正在积极地采取行动，在自身运营和供应链中实现脱碳，其中，应用LCA方法设定科学合理的减排目标是被最广泛采取的行动之一，一些典型的国际汽车企业明确提出了各自实现全生命周期“碳中和”或“零排放”的时间表。2015年10月，丰田发布《丰田环境挑战2050》，提出2050年实现整车全生命周期CO_2零排放；2019年5月，戴姆勒发布“雄心2039”环保计划，在未来20年内建立一支碳中和的新型乘用车车队；2019年7月，大众汽车发布新的企业环境使命宣言“goTOzero”，计划在2050年实现整个集团层面的全面碳中和；2019年10月，沃尔沃汽车发布了“2040环境计划”，力求在2040年之前将公司发展成为全球气候零负荷标杆企业。与此同时，这些国际汽车企业也对其供应商及海外合资公司提出相应的低碳化发展要求。

1.2 国内汽车碳排放管理现状

CURRENT AUTOMOTIVE GHG EMISSION CONTROL IN CHINA

(1)中国正加紧制定基于全生命周期的乘用车碳排放标准

中国已经成为世界上最大的温室气体排放国，汽车行业是中国温室气体排放增长最快的领域之一，汽车行业的碳减排对中国能否顺利实现达峰至关重要。因此，为了履行中国碳减排承诺，并更好地与国际接轨，降低汽车行业的碳排放，中国正加快研究乘用车生命周期碳排放核算技术规范和乘用车生命周期碳排放限额，推进国家标准的落地实施，开展乘用车生命周期碳排放管理政策研究，助力国家2030年碳排放达峰。

(2) 国内汽车企业国际碳排放市场竞争力缺乏

国际车企积极开展碳排放研究，已确定“碳中和”的发展目标，并且已经将碳减排压力传递到国内合资主机厂及其供应商。然而，国内车企更多的是顺应政策指引，缺乏主动进行碳排放管理的意识，普遍存在生命周期碳排放技术能力缺乏、管理经验不足等问题，国际碳排放市场竞争力薄弱。为满足国内外碳排放政策法规的要求，应对国际碳市场的相关要求，国内的汽车企业及其供应商需要适应国际形势的要求，采取积极行动，建立汽车生命周期评价技术能力，以实现自身碳减排的目标。

(3) 促进汽车行业低碳化发展是我们的责任和义务

为了科学、客观的帮助汽车行业企业核算汽车全生命周期碳排放，全面了解不同车型的碳排放水平和差距，作为汽车行业的第三方机构，中汽数据有限公司有责任和义务积极开展碳排放相关研究。一方面，推动汽车碳排放政策的有效落地，辅助政府做好汽车行业的碳排放管理，形成汽车市场良性互动；另一方面，帮助汽车企业及其供应商建立汽车生命周期评价技术能力建设和管理流程，降低企业生命周期碳排放管理政策应对的成本，提升产品的综合价值和国际竞争力。

1.3
研究目的及意义

OBJECTIVE AND
SIGNIFICANCE

ND SIGNIFICANCE

研究目的

RESEARCH OBJECTIVE

本研究旨在应用生命周期评价方法，搭建科学合理的乘用车生命周期碳排放核算模型，开展中国境内量产乘用车的全生命周期的碳排放核算，回顾中国乘用车生命周期碳排放历史演进，分析中国现阶段乘用车生命周期碳排放水平，预测2030年中国乘用车生命周期的碳排放趋势。

研究意义

RESEARCH MEANING

本研究在分析中国乘用车全生命周期碳排放水平，推动中国乘用车全生命周期碳减排，提升企业应对国内外碳排放政策要求提供技术能力，支撑中国汽车碳排放管理政策的研究制定，推动中国2030年碳排放达峰等方面具有重要意义。

02

HISTORICAL REVIEW: LIFE CYCLE GHG EMISSION EVOLUTION OF PASSENGER VEHICLES IN CHINA 2010-2019

历史回顾 | 2010—2019年中国乘用车生命周期碳排放十年历史演进

参与本章编写的专家：刘胜强

2010—2019年中国乘用车平均材料构成、平均整备质量和平均油耗数据如下表所示。其中，2010—2014年乘用车的材料构成数据来自Dai（2016）[3]，2015—2019年乘用车的材料构成数据来自汽车生命周期评价模型（CALCM）；历年乘用车平均整备质量和平均油耗数据来自中汽数据有限公司的测算，平均油耗数据不包含新能源车核算倍数优惠。

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
汽车材料	**Vehicle material**										
普通钢	Steel	40.79%	38.38%	36.84%	36.79%	37.16%	36.50%	36.50%	32.94%	32.94%	31.00%
高强钢	Advanced high strength steel	13.84%	14.93%	15.46%	16.27%	16.25%	16.50%	16.50%	17.00%	17.00%	17.15%
铁	Iron	5.87%	6.75%	7.14%	7.10%	6.79%	6.70%	6.70%	5.29%	5.29%	5.29%
铝	Aluminum	8.51%	8.72%	9.29%	9.50%	9.96%	10.50%	10.50%	11.54%	11.54%	12.34%
镁	Magnesium	0.32%	0.29%	0.28%	0.28%	0.28%	0.20%	0.20%	0.05%	0.05%	0.05%
铜	Copper	1.61%	1.65%	1.84%	1.83%	1.78%	1.70%	1.70%	2.73%	2.73%	2.73%
铅	Lead	0.99%	1.01%	0.94%	0.90%	0.90%	0.90%	0.90%	0.71%	0.71%	0.71%
锌	Zinc	0.22%	0.22%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.15%	0.15%	0.15%
其他金属	Other metals	1.16%	1.13%	1.25%	1.25%	1.25%	1.20%	1.20%	0.72%	0.72%	1.00%
塑料	Plastic	9.36%	9.26%	9.06%	8.43%	8.24%	8.40%	8.40%	8.95%	8.95%	10.00%
碳纤维复合材料	Carbon fiber reinforced plastic	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
橡胶	Rubber	4.95%	5.45%	5.36%	5.09%	4.93%	5.00%	5.00%	5.40%	5.40%	5.40%
涂料	Lacquers	0.84%	0.83%	0.84%	0.80%	0.70%	0.70%	0.70%	0.29%	0.29%	0.29%
织物	Textiles	1.34%	1.18%	1.25%	1.25%	1.23%	1.10%	1.10%	1.17%	1.17%	1.17%
液体	Liquid	5.59%	5.48%	5.54%	5.57%	5.61%	5.60%	5.60%	3.98%	3.98%	3.98%
玻璃	Glass	2.33%	2.41%	2.42%	2.41%	2.40%	2.40%	2.40%	2.91%	2.91%	2.77%
其它材料	Other materials	2.28%	2.31%	2.30%	2.33%	2.33%	2.40%	2.40%	6.15%	6.15%	5.96%
平均整备质量 (kg)	Average vehicle weight (kg)	1,255.3	1,276.6	1,298.4	1,320.4	1,340.3	1,362.0	1,389.8	1,416.6	1,432.7	1,458.1
平均油耗 (L/100km)	Fuel consumption (L/100km)	7.7	7.5	7.4	7.3	7.2	7.0	6.8	6.6	6.3	6.1

从图1中可以看出，2010—2019年期间，乘用车燃料周期的碳排放占比最大（占全生命周期的80%以上），其中，燃料使用阶段贡献的碳排放量最多，占全生命周期的68%~75%之间。另外，研究期间乘用车全生命周期的碳排放量以年均1.5%的速度逐年递减，由2010年243.6gCO_2e/km减少至2019年的212.2gCO_2e/km；在全生命周期的各个阶段中，车辆周期阶段的碳排放变化幅度最大，由2010年的28.2gCO_2e/km增加至2019年的42.0gCO_2e/km，年均增长4.5%；燃料生产阶段和燃料使用阶段次之，年均降低2.6%，分别由32.7CO_2e/km降低至25.8gCO_2e/km以及182.7gCO_2e/km降低至144.3gCO_2e/km；从全生命周期碳减排来看，主要来自于燃料周期，其中燃料生产阶段和燃料使用阶段分别贡献了15.2%和84.8%。尤其是燃料使用阶段的碳排放基数大，减排潜力也最大，因此为了更好的促进汽车全生命周期碳减排，燃料使用阶段碳排放的有效控制则尤为重要。

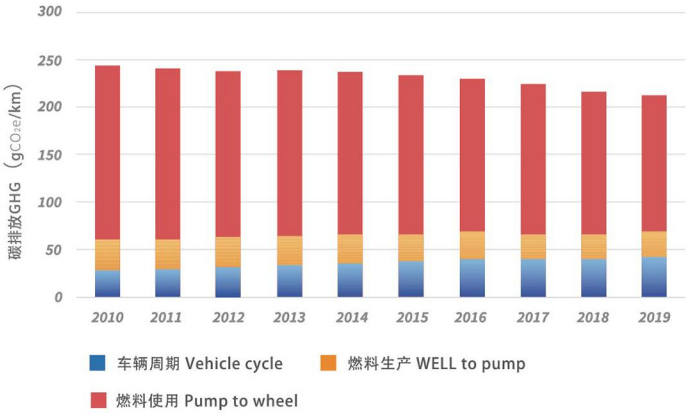


图1. 2010—2019年中国乘用车单车平均生命周期碳排放

图2详细描述了2011—2019年中国乘用车单车平均生命周期单位行驶里程碳排放与油耗累计变化量。在研究期间，车辆周期阶段的碳排放量逐年递增，其他两个阶段的碳排放量则逐年递减。一方面是由于零部件制造商使用轻量化材料用以减少使用阶段的燃料消耗，而相比于普通钢材，轻量化材料生产阶段的碳排放强度更高；另一方面则是随着汽车电动化的发展，动力蓄电池的生产会带来额外的碳排放，也使得车辆周期阶段的碳排放量逐年递增。而且，由于车辆燃料生产效率和使用效率的提高，燃料生产阶段和燃料使用阶段的碳排放会相应减少。具体来说，燃料生产阶段的碳排放变化量最不明显，相对于2010年，累计减少6.9CO_2e/km，燃料使用阶段的变化量最大，累计减少38.4CO_2e/km。最后可以看出研究期间的累计油耗变化量为负增长，表明平均油耗逐年降低，并且变化量的趋势和乘用车单车平均生命周期碳排放变化量的趋势表现基本一致，例如单车平均周期阶段2018年碳排放变化量最大，对应油耗平均值在此期间的变化量也最大。出现这种情形主要在于油耗降低表明车辆燃料效率提高，由此促进了燃料使用阶段的碳排放减少，进而使全生命周期碳排放减少。

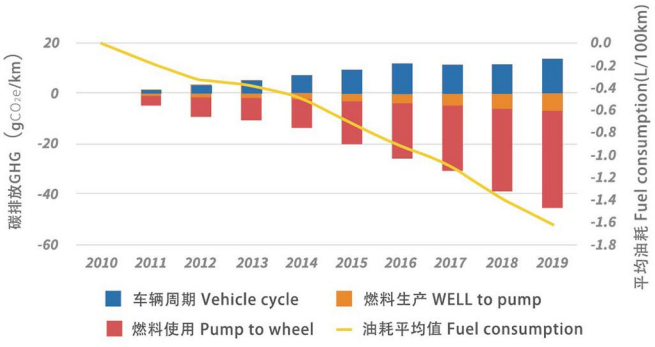


图2. 2011—2019年中国乘用车单车平均生命周期碳排放与油耗变化趋势

03

LIFE CYCLE GHG ACCOUNTING OF PASSENGER VEHICLES

乘用车生命周期碳排放核算方法

本研究应用生命周期评价（LCA）方法核算乘用车生命周期碳（温室气体）排放。生命周期评价是对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价。

中汽数据有限公司依据国家标准GB/T24040-2008、GB/T24044-2008以及ISO14067-2018的要求，采用中国汽车生命周期数据库（CALCD），基于中国汽车行业的特点，开发了汽车生命周期评价模型（CALCM），并应用CALCM模型开展了中国乘用车生命周期的碳排放核算。核算过程中所需的车型名称、车型尺寸、整备质量、燃料类别、燃料消耗量、产量等数据来源于中汽数据有限公司；乘用车单车材料重量、材料碳排放因子、整车生产能耗、燃料碳排放因子等数据来源于中国汽车生命周期数据库（CALCD）。

乘用车单车、企业、行业生命周期碳排放量核算方法详见3.1~3.3章节。

3.1单车生命周期碳排放核算 | LIFE CYCLE GHG ACCOUNTING PER VEHICLE



图3.乘用车生命周期碳排放核算系统边界图

3.1.1目的和范围的确定

本研究的目的是核算中国境内生产的乘用车的生命周期碳排放。研究对象包括汽油M1类车（汽油ICEV）、柴油M1类车（柴油ICEV）、常规混合动力乘用车（HEV）、插电式混合动力乘用车（PHEV）和纯电动乘用车（BEV）。本研究的功能单位为一辆乘用车行驶1km所提供的运输服务。根据中国汽车技术研究中心有限公司的研究，2016年中国乘用车单车平均年行驶里程为13,000～13,500km[4]，并在过去的几年中呈下降趋势，本研究选择乘用车年行驶里程为13,000km。根据商务部、发改委、公安部联合发布的《机动车强制报废标准规定》，乘用车使用年限参考值为8~15年，本研究取其平均值11.5年为乘用车生命周期。基于以上的分析，本研究中乘用车的生命周期行驶里为150,000km。

本研究所评价的乘用车的生命周期系统边界包括乘用车的车辆周期和燃料周期在内的全生命周期阶段。其中，乘用车的车辆周期包括原材料获取、材料加工制造、整车生产、维修保养（轮胎、铅蓄电池和液体的更换）等阶段；乘用车的燃料周期，即“油井到车轮（Well to Wheels, WTW）”，包括燃料的生产（Well to Pump）和燃料的使用（Pump to Wheels）两个阶段。对于燃油车，WTP包括原油开采和提炼加工等阶段；对于电动车WTP包括电力（火电、水电、风电、光伏发电和核电等）的生产和传输等阶段。

原材料和零部件等的运输过程、乘用车生产用设备制造、厂房建设等基础设施不包括在边界范围内。乘用车生命周期碳排放核算的系统边界图如图3所示。

单车生命周期碳排放核算主要包括目的与范围的确定、清单数据、碳排放计算等过程。

3.1.2清单数据

车辆周期

本研究车辆周期共核算车辆发动机、底盘、车身、电器等44类零部件，见附表1。共核算22种材料的碳排放：钢铁、铸铁、铝合金、镁合金、铜及铜合金、PP、PA、PE、PVC、PU、玻璃、橡胶、炭黑、制冷剂、铅、硫酸、三元材料、磷酸铁锂、锰酸锂、钴酸锂、石墨、六氟磷酸锂等。

车辆周期特定零部件的重量占比及材料组成、材料碳排放因子、整车生产碳排放因子等数据来自CAMCM-2019。特定零部件的重量占比及材料组成数据来源于中汽数据有限公司拆解的90余款主流车型的产量加权的平均值，见附表1。

此外，本研究车辆周期核算汽车行驶过程中轮胎更换、铅蓄电池更换、制冷剂的逸散和更换的碳排放以及整车冲压、焊接、涂装、总装和动力站房等生产制造过程的碳排放。轮胎、铅蓄电池、制冷剂的逸散及更换次数如附表2所示。

如附表3所示，本研究中材料碳排放因子数据来源于CALCD2018，代表中国平均水平数据；整车生产的碳排放因子数据来源于2014—2019年40余家汽车生产厂商的调研结果，代表中国汽车行业企业整车生产碳排放的平均水平。

燃料周期

本研究中乘用车的燃料消耗量数据是基于新标欧洲测试循环（NEDC）工况的测试数据，与报告撰写当时实行的《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第五阶段)》车型测试工况一致。

燃料生产的碳排放因子数据来源于中国汽车生命周期数据库（CALCD），代表中国平均水平，如附表4所示。其中，电力碳排放因子基于2017年中国能源结构（煤电64.7%、水电18.6%、可再生能源发电6.5%、、核电3.9%、天然气发电3.2%、油电3.1%），按照全国平均水平进行测算。

燃料使用的碳排放采用GB 27999-2019中的CO_2转换系数，汽油按2.37kgCO_2/L计算，柴油按2.60kgCO_2/L计算；电能使用过程中碳排放按0计算。

3.1.3单车碳排放核算方法

乘用车生命周期单位行驶里程碳排放量按下列公式进行计算

$$C = (C_{Vehicle} + C_{Fuel})/L \times 1000$$

C——乘用车生命周期单位行驶里程的碳排放量，gCO_2e/km

$C_{Vehicle}$——车辆周期碳排放量，kgCO_2e

C_{Fuel}——燃料周期碳排放量，kgCO_2e；

L——乘用车生命周期行驶里程，km，按150,000km计算

车辆周期、燃料周期碳排放量计算方法参见3.1.3.1节和3.1.3.2节。

3.1.3.1车辆周期碳排放核算方法

车辆周期碳排放量按以下公式进行计算

$$C_{Vehicle} = C_{Material} + C_{Production} + C_{Replacement}$$

$C_{Vehicle}$——车辆周期碳排放量，$kgCO_2e$；
$C_{Material}$——原材料获取碳排放量，$kgCO_2e$；
$C_{Production}$——整车生产的碳排放量，为550$kgCO_2e$；
$C_{Replacement}$——维修保养（轮胎、铅蓄电池、制冷剂更换）的碳排放，$kgCO_2e$。

原材料获取碳排放量按以下公式进行计算

$$C_{Material} = \Sigma(M_{Material\ i} \times CEF_{Material\ i})$$

$C_{Material}$——原材料获取碳排放量，$kgCO_2e$；
$M_{Material\ i}$——材料i的重量，kg；
$CEF_{Material\ i}$——材料i获取的碳排放因子，$kgCO_2e/kg$。

整车生产的碳排放量按以下公式进行计算

$$C_{Production} = \Sigma(E_r \times （CEF_r + CEF'_r）) + M_{CO_2}$$

$C_{Production}$——整车生产阶段碳排放量，$kgCO_2e$；
E_r——能源r的消耗量；
CEF_r——能源r生产的碳排放因子，参见附表4；
CEF'_r——能源r使用的碳排放因子，按照附表5计算；
M_{CO2}——生产过程中的CO_2逸散的量，$kgCO_2e$。

维修保养（轮胎、铅蓄电池、制冷剂更换）的碳排放按以下公式进行计算

$$C_{Replacement} = C_{Tyres} + C_{Lead-acid\ battery} + C_{Refrigerant}$$

$C_{Replacement}$——维修保养（轮胎、铅蓄电池、制冷剂更换）的碳排放，$kgCO_2e$；
C_{Tyres}——轮胎更换的碳排放，$kgCO_2e$；
$C_{Lead\text{-}acid\ battery}$——铅蓄电池更换的碳排放，$kgCO_2e$；
$C_{Refrigerant}$——制冷剂逸散及更换的碳排放，$kgCO_2e$

轮胎更换2次产生的碳排放量按以下公式进行计算

$$C_{Tyres} = M_{Tyres} \times CEF_{Tyres} \times 2$$

C_{Tyres}——轮胎更换的碳排放，$kgCO_2e$；
M_{Tyres}——轮胎的重量，kg；
CEF_{Tyres}——轮胎的碳排放因子，$kgCO_2e/kg$。

铅蓄电池更换2次产生的碳排放量按以下公式进行计算

$$C_{Lead-acid\ battery} = M_{Lead-acid\ battery} \times CEF_{Lead-acid\ battery} \times 2$$

$C_{Lead\text{-}acid\ battery}$——铅蓄电池更换的碳排放，$kgCO_2e$；
$M_{Lead\text{-}acid\ battery}$——铅蓄电池的重量，kg；
$C_{EFLead\text{-}acid\ battery}$——铅蓄电池的碳排放因子，$kgCO_2e/kg$

制冷剂逸散1次及更换1次产生的碳排放量按以下公式进行计算

$$C_{Refrigerant} = M_{Refrigerant} \times (CEF_{Refrigerant} + GWP_{Refrigerant})$$

$C_{Refrigerant}$——制冷剂逸散及更换的碳排放，$kgCO_2e$；
$M_{Refrigerant}$——制冷剂的重量，kg；
$CEF_{Refrigerant}$——制冷剂生产的碳排放因子，$kgCO_2e/kg$；
$GWP_{Refrigerant}$——制冷剂的全球增温潜值，$kgCO_2e/kg$。

3.1.3.2燃料周期碳排放核算方法

燃料周期碳排放量按以下公式进行计算

$$C_{Fuel} = C_{WTP} + C_{PTW}$$

C_{WTP}——燃料生产的排放量，$kgCO_2e$；
C_{PTW}——燃料使用过程的碳排放量，$kgCO_2e$

燃料生产的碳排放量按以下公式进行计算

$$C_{WTP} = FC \times CEF_{Fuel} \times L/100$$

C_{WTP}——燃料生产的排放量，$kgCO_2e$；
FC——燃料消耗量，L/100km或kWh/100km，汽油车、柴油车的燃料消耗量采用按GB/T 19233进行测定的测定值，
混合动力汽车的燃料消耗量采用按GB/T 19753进行测定的测定值，
纯电动乘用车的耗电量采用按GB/T 18386进行测定的测定值；
CEF_{Fuel}——燃料生产的碳排放因子，$kgCO_2e/L$或者$kgCO_2e/kWh$

*测试工况为NEDC工况

汽油车、柴油车、混合动力乘用车燃料使用过程的碳排放量按以下公式进行计算

$$C_{PTW} = FC \times K_{CO_2} \times L/100$$

C_{PTW}——燃料使用过程的碳排放量，$kgCO_2e$；
FC——燃料消耗量，L/100km或kWh/100km，汽油车、柴油车的燃料消耗量采用按GB/T 19233进行测定的测定值，混合动力汽车的燃料消耗量采用按GB/T 19753进行测定的测定值，纯电动乘用车的耗电量采用按GB/T 18386进行测定的测定值；
K_{CO_2}——转换系数，燃油乘用车按照GB 27999-2019中的CO2转换系数计算，对于燃用汽油的车型为2.37kg CO_2/L，燃用柴油的车型为2.60kg CO_2/L；纯电动乘用车燃料使用过程的碳排放量按0 $kgCO_2e$计算。

*测试工况为NEDC工况

3.2企业平均碳排放核算方法

企业碳排放核算采用产量加权平均的方法，如以下公式所示

某企业的年度平均碳排放量用该企业各车型的碳排放量与各车型对应的生产量乘积之和除以该企业乘用车年度生产量计算得出：

$$C_{Enterprise} = \frac{\sum_{1}^{N} C_i \times V_i}{\sum_{1}^{N} V_i}$$

$C_{Enterprise}$——企业平均碳排放量，gCO_2e/km；
i——乘用车车型序号；
C_i——第i个车型的碳排放量，gCO_2e/km；
V_i——第i个车型的年度产量。

3.3汽车行业年度量产乘用车生命周期碳排放核算方法

汽车行业年度量产车型生命周期碳排放量按下列公式进行计算

$$C_{Industry} = \sum_{1}^{N} C_i \times L \times V_i \times 10^{-6}$$

$C_{Industry}$——汽车行业年度量产车型生命周期碳排放量，tCO_2e；
i——乘用车车型序号；
C_i——第i个车型的碳排放量，gCO_2e/km；
L——乘用车生命周期行驶里程，按150,000km计算；
V_i——第i个车型的年度产量。

04

STATUS QUO ANALYSIS: RESEARCH RESULT OF LIFE CYCLE GHG EMISSIONS OF PASSENGER VEHICLES 2019

现状分析 2019年乘用车生命周期碳排放研究结果

4.1 2019年中国量产乘用车生命周期碳排放总量

本研究根据前述碳排放核算方法和2019年乘用车产量数据，测算了2019年中国量产乘用车的生命周期碳排放总量，结果显示2019年量产乘用车生命周期碳排放总量巨大，为6.2亿tCO_2e，有效控制乘用车碳排放对中国实现碳减排目标和碳排放达峰至关重要。下面将对不同燃料类型、不同级别的车辆以及车辆不同生命周期阶段的碳排放进行分析。

1 不同燃料类型车型碳排放分析

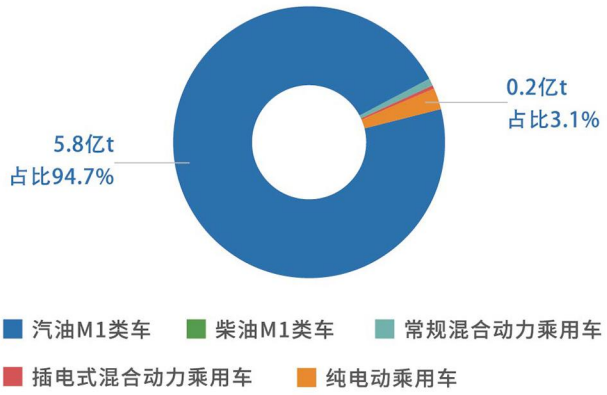


图4.不同燃料类型乘用车的生命周期碳排放

图4展示了不同燃料类型的2019年量产乘用车全生命周期碳排放总量，包括汽油M1类车、柴油M1类车、常规混合动力乘用车、插电式混合动力乘用车和纯电动乘用车，其中，插电式混合动力乘用车纯电行驶里程为56.5%。从图4中可以看出，不同燃料类型的乘用车碳排放存在明显差异。相对于其他类型车辆，汽油M1类车贡献了2019年量产乘用车生命周期碳排放总量的绝大部分，共排放5.8亿tCO_2e，占比94.7%；其余四种燃料类型的乘用车共排放了0.3亿tCO_2e，仅占比5.3%，对2019年量产乘用车生命周期碳排放总量贡献不大。汽油M1类车碳排放占比之所以远超其他燃料类型的车辆，不仅在于汽油M1类车碳排放量较高，更在于相对于其他燃料类型的车辆，该种车辆生产技术成熟、产量规模高，纯电动乘用车碳排放总量较高应与其产量有关。如图5所示，汽油M1类车2019年产量1860.7万辆，占2019年总产量的93.3%，纯电动乘用车2019年产量84.0万辆，占2019年总产量的4.2%。

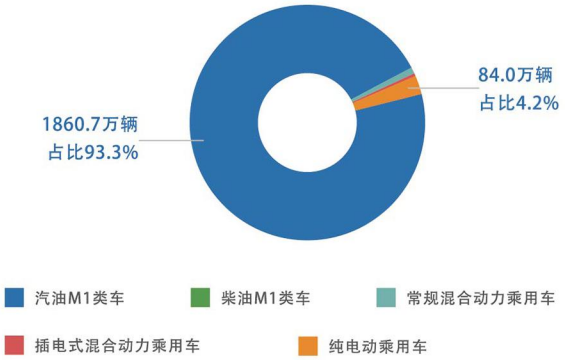


图5.2019年不同燃料类型乘用车产量

如图5所示，汽油M1类车2019年产量1860.7万辆，占2019年总产量的93.3%，纯电动乘用车2019年产量84.0万辆，占2019年总产量的4.2%。

2 不同级别车型碳排放分析

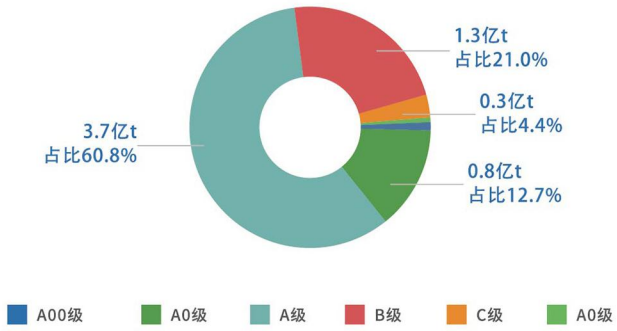


图6.不同级别乘用车的生命周期碳排放

图6展示了不同级别的2019年量产乘用车全生命周期碳排放。图7展示了不同级别乘用车的产量。从图6中可以看出，不同级别的乘用车碳排放存在明显差异。相对于其他级别的车辆，A级车碳排放占2019年量产乘用车生命周期碳排放总量的较大比重，共排放3.7亿tCO_2e，占比60.8%。B级车次之，共排放了1.3亿tCO_2e，占比21.0%。其余级别类型的车辆1.1亿tCO_2e，仅占比18.2%。经过分析可知，A级乘用车碳排放之所以远高于其他级别的车型，主要因为其产量较其他车型高。

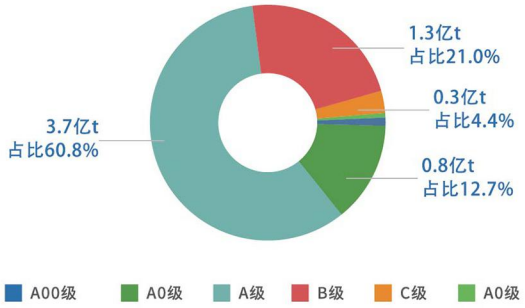


图7.2019年不同级别乘用车产量

如图7所示，A级乘用车2019年产量1,241.5万辆，占2019年总产量的62.2%。

3 不同生命周期阶段碳排放分析

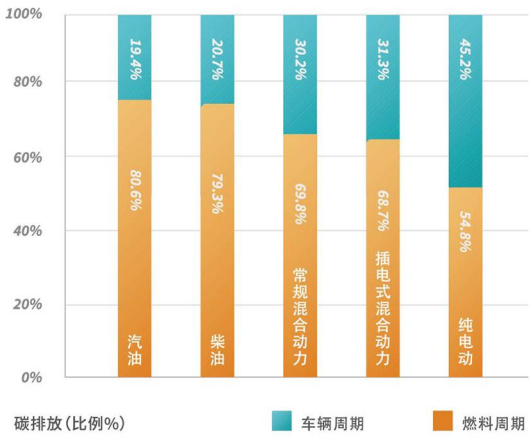


图8.不同燃料类型乘用车的全生命周期各阶段碳排放占比

由图8展示了基于不同燃料类型乘用车单车碳排放数据计算出的2019年量产乘用车的全生命周期碳排放总量中各阶段（车辆周期和燃料周期）的占比情况。可以看出，不同燃料类型乘用车的生命周期碳排放占比差异明显，五种燃料类型的乘用车在燃料周期阶段的碳排放贡献均大于车辆周期阶段。汽油M1类车和柴油M1类车碳排放主要来自燃料周期，占比分别高达80.6%和79.3%。随着车型电动化程度的增加，车辆周期占比逐

渐增大，而燃料周期逐渐减小。纯电动乘用车车辆周期碳排放和燃料周期碳排放占比接近，但燃料周期仍略高。传统燃油车和电动乘用车的车辆周期和燃料周期阶段占比存在较大差距主要源于两个方面。一方面，因为电动汽车需要动力蓄电池驱动，动力蓄电池的原材料获取和电池的制造阶段会排放大量的温室气体，因此，电动车的车辆周期阶段碳排放相比于燃油车会增加。另一方面，因为电动车由电驱动，电动车的能源转化效率比燃油车高，且电动车使用过程中是零排放，因此，电动车燃料周期的碳排放相比于燃油车会降低。

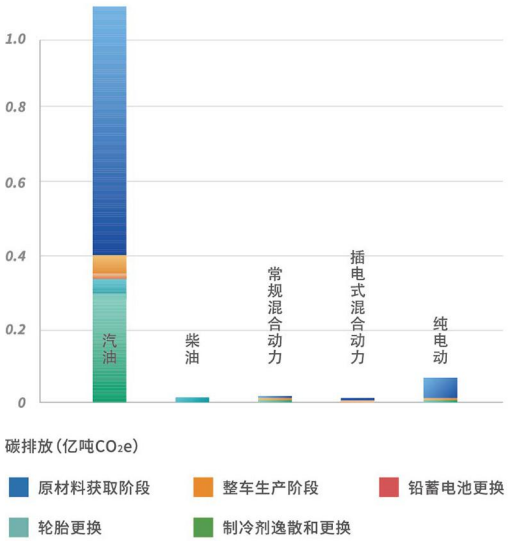


图9.不同燃料类型乘用车的车辆周期各部分碳排放

图9显示了不同燃料类型乘用车的车辆周期阶段各部分碳排放。从图中可知，不同燃料类型车型之间的车辆周期碳排放总量差异较大，汽油M1类车碳排放最大，纯电动乘用车次之，柴油M1类车最少，应与不同燃料类型乘用车产量有关（图5）。其次，不同燃料类型车型的车辆周期的五个部分碳排放也有明显差异，但原材料获取阶段的碳排放占比均最大，其次为制冷剂逸散及更换，铅蓄电池更换阶段所产生的碳排放最少。

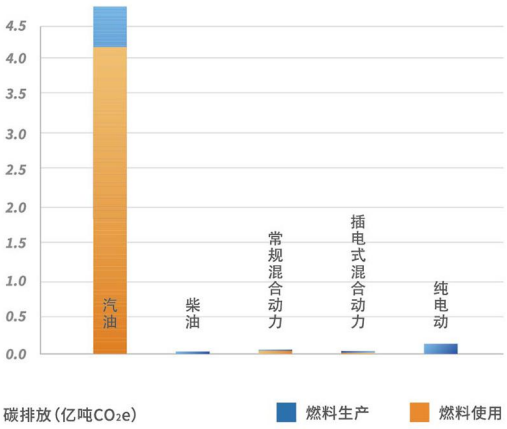


图10.不同燃料类型乘用车的燃料周期各部分碳排放

图10展示了不同燃料类型乘用车的燃料周期阶段各部分碳排放。不同燃料类型车型之间的燃料周期碳排放总量差异较大，汽油M1类车碳排放最大，纯电动乘用车次之，柴油M1类车最少，应与不同燃料类型乘用车产量有关（图5）。从图中可知，不同燃料类型车型燃料周期的两个部分碳排放差距明显。汽油M1类车燃料使用阶段的碳排放占燃料周期阶段的绝大部分，约为燃料生产阶段碳排放的11倍。而纯电动乘用车燃料周期所产生的碳排放主要来源于燃料生产阶段，燃料使用阶段的碳排放为零。

4.2 乘用车单车生命周期碳排放研究结果

根据单车碳排放的核算方法，进行不同燃料类型乘用车产量加权取平均值，计算2019年不同燃料类型乘用车平均单位行驶里程的碳排放。如图11所示。五种不同燃料类型乘用车中，柴油M1类车平均碳排放最高，明显高于其他燃料类型，为281.9gCO_2e/km；汽油M1类车平均碳排放次之，为209.0gCO_2e/km；常规混合动力乘用车碳排放为167.2gCO_2e/km，插电式混合动力乘用车碳排放为180.9gCO_2e/km；纯电动乘用车碳排放最低，为153.7gCO_2e/km。相比于传统的汽油M1类车和柴油M1类车，常规混合动力乘用车、插电式混合动力乘用车和纯电动乘用车具有碳减排潜力，其中，纯电动乘用车碳减排潜力更大，相较于汽油M1类车和柴油M1类车分别减排26.4%和45.5%。

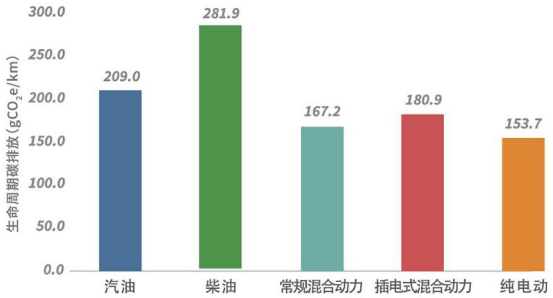


图11.2019年不同燃料类型平均单位行驶里程碳排放

综合产量和单位行驶里程碳排放进行分析，目前对于碳排放总量影响较高是汽油M1类车和纯电动乘用车，为进一步分析不同级别汽油M1类车和纯电动乘用车的碳排放能力， 根据3.1.3单车碳排放的核算方法，本部分核算了2019年汽油M1类车和纯电动乘用车各自产量80%以上的车型单位行驶里程的碳排放数据。根据核算结果可知，单位行驶里程碳排放介于107.0~350.0gCO_2e/km，各种车型之间单位行驶里程碳排放具有明显差距。其中绝大部分纯电动乘用车车型碳排放较低，以A00级纯电动乘用车的宝骏E100和宝骏E200为例，其碳排放分别为107.1gCO_2e/km和108.3gCO_2e/km。而汽油M1类车的碳排放较高，以C级汽油M1类车普拉多为例，其碳排放为344.3gCO_2e/km，约为前两款车型的3倍。以下内容将主要分析汽油M1类车和纯电动乘用车的单位行驶里程碳排放。

汽油M1类车

本部分共核算了199种汽油M1类车车型，单位行驶里程碳排放介于167.8~344.3gCO_2e/km之间，平均值为215.6gCO_2e/km。其中威驰碳排放最少，为167.8gCO_2e/km，普拉多碳排放最多，为344.3gCO_2e/km，远高于其他车型，为威驰的2倍，2019年车型产量最大的英朗GT碳排放为189.0gCO_2e/km。在所有车型中，高于平均值的车型有101款，占到产量比重的44.3%；低于平均值的车型有98款，占到产量比重的55.7%。

纯电动乘用车

本部分共核算了44种纯电动乘用车车型，例如宝骏E100、江铃E200、欧拉R1等。单位行驶里程碳排放介于107.0~240.0gCO_2e/km之间，平均值为158.0CO_2e/km。其中宝骏E100碳排放最少，碳排放为107.1CO_2e/km，蔚来ES8碳排放最多，为235.6CO_2e/km，2019年车型产量最大的比亚迪E5碳排放为161.9gCO_2e/km。在所有车型中，高于平均值的车型有29款，占到产量比重的69.5%；低于平均值的车型有15款，占到产量比重的30.5%。整体比汽油M1类车单位行驶里程碳排放低，因此，在一定程度上，纯电动乘用车比汽油M1类车更利于减排。

乘用车碳排放均值对比分析

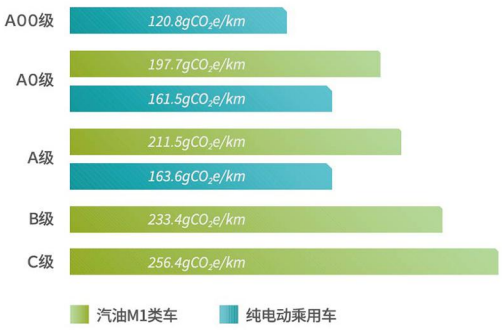


图12.2019年不同级别量产乘用车平均单位行驶里程碳排放

本部分所核算的各级别量产汽油M1类车和纯电动乘用车的单位行驶里程碳排放均值如图11所示。可以看出，汽油M1类车分布在各个级别，但纯电动乘用车仅有A级以下车型，与同级别的汽油M1类车相比，纯电动乘用车均具备全生命周期的碳减排潜力。A0级乘用车中，纯电动乘用车的碳排放相比汽油M1类车低18.3%（36.2gCO_2e/km），A级乘用车中，纯电动乘用车的碳排放相比汽油M1类车低22.6%（47.9gCO_2e/km）。同种燃料类型，单位行驶里程碳排放按照A00级、A0级、A级、B级、C级的顺序递增。汽油M1类车中，A0级比A级碳排放低6.5%（13.8gCO_2e/km），A级比B级碳排放低9.4%（21.9gCO_2e/km），B级比C级碳排放低9.0%（23.0gCO_2e/km）。纯电动乘用车中，A00级比A0级碳排放低25.2%（40.7gCO_2e/km），应与这两类车型的整备质量有关，A0级比A级碳排放低1.3%（2.1gCO_2e/km）两者之间差距很小。

4.2.1 不同级别乘用车车型生命周期碳排放核算结果

本节根据第3章的核算方法和4.2章节的数据处理方式核算了不同级别乘用车车型生命周期碳排放，并展示了碳排放值低于同级别平均值的车型。

A00级车型 *CLASS A00*

本部分核算了A00级乘用车的生命周期碳排放数据，A00级车仅有8种纯电动乘用车车型。

A00级纯电动乘用车 TOP5

A00 SIZE CLASS BATTERY ELECTRIC VEHICLES **TOP5** A00级纯电动乘用车

图12展示了A00级纯电动乘用车碳排放最低的Top5车型排名情况，碳排放由低到高分别是宝骏E100（107.1gCO_2e/km）、宝骏E200（108.3gCO_2e/km）、江铃E200（115.8gCO_2e/km）、奇瑞EQ1（116.3gCO_2e/km）、欧拉R1（118.2gCO_2e/km），这5款车型均低于A00级纯电动乘用车平均碳排放（121.5gCO_2e/km）。A00级纯电动乘用车TOP5之间碳排放差异不大，主要是由于其不同车型间整备质量和电耗的差异较小。

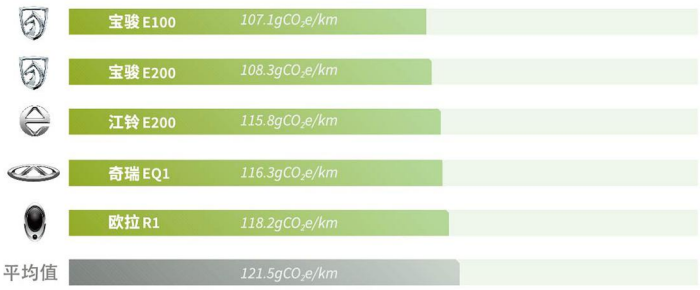


图13. A00级纯电动乘用车Top 5车型

A0级车型 *CLASS A0*

本部分核算了A0级汽油M1类车和纯电动乘用车的生命周期碳排放数据。

A0级汽油M1类车 TOP10

A0 SIZE CLASS GASOLINE M1 VEHICLES **TOP10** A0级汽油M1类车

图13显示了A0级汽油M1类车碳排放最低的Top10车型排名情况，碳排放由低到高分别是致享（167.8gCO_2e/km）、威驰（167.8gCO_2e/km）、瑞纳（168.3gCO_2e/km）、悦纳（169.8gCO_2e/km）、威驰FS（170.6gCO_2e/km）和致炫（170.6gCO_2e/km）、飞度（172.6gCO_2e/km）、焕驰（177.4gCO_2e/km）、劲客（182.0gCO_2e/km）、大众Polo（183.6gCO2e/km）。这10款车的碳排放均低于A0级汽油M1类车碳排放的平均值（197.7gCO_2e/km）。这10款车型的单位行驶里程碳排放差距不明显，威驰的碳排放最低，为167.8CO_2e/km，大众Polo碳排放最高，为183.6gCO_2e/km。

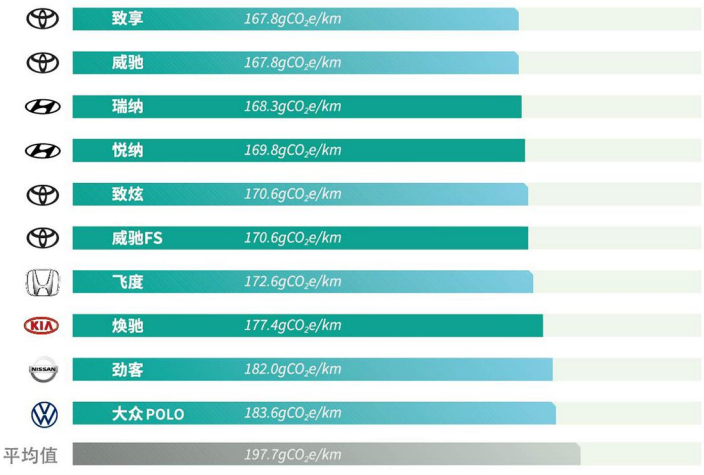


图14. A0级汽油M1类车Top 10车型

A0级纯电动乘用车 TOP5

A0 SIZE CLASS BATTERY ELECTRIC VEHICLES TOP5 A0级纯电动乘用车

右图展示了A0级纯电动乘用车碳排放最低的Top5车型排名情况，碳排放由低到高分别是哪吒N01（133.7gCO_2e/km）、比亚迪E2（148.3gCO_2e/km）、比亚迪S2（149.0gCO_2e/km）、江淮iEV7（150.6gCO_2e/km）、奥迪Q2L（156.7gCO_2e/km），A0级纯电动乘用车碳排放的平均值（161.5gCO_2e/km）。A0级纯电动乘用车的碳排放平均值低于同级别的汽油M1类车的碳排放，表明同级别中，纯电动乘用车在碳减排方面具有一定优势。



图15.A0级纯电动乘用车Top 5车型

A级车型 CLASS A

本部分核算了A级汽油M1类车和纯电动乘用车的生命周期碳排放数据。

A级汽油M1类车 TOP10

A SIZE CLASS GASOLINE M1 VEHICLES TOP10 A级汽油M1车

右图展示了A级汽油M1类车Top10车型排名情况，碳排放由低到高分别是凌派（168.8gCO_2e/km）、享域（168.8gCO_2e/km）、起亚K3（170.1gCO_2e/km）、锋范（175.4gCO_2e/km）、奔驰A级（178.9gCO_2e/km）、思域（179.6gCO_2e/km）、荣威i5（180.8gCO_2e/km）、昕锐（181.8gCO_2e/km）、骐达（183.2gCO_2e/km）和凌渡（183.2gCO_2e/km）。这10款车型的单位行驶里程没有明显差距，介于168.8~183.2gCO_2e/km，且均低于A级汽油M1类车的碳排放平均值（211.5gCO_2e/km）。

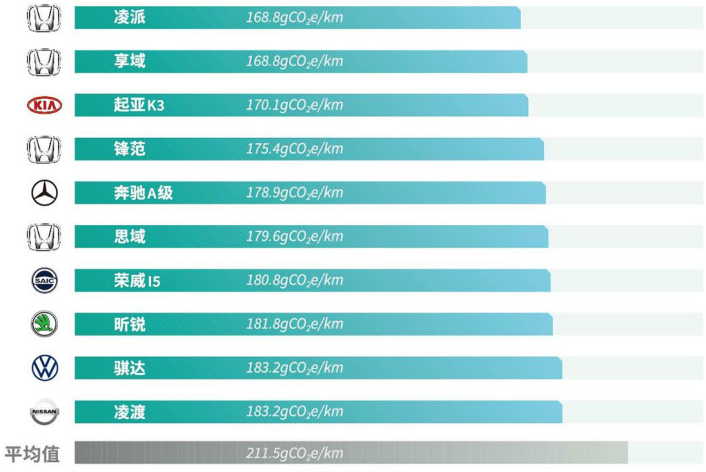


图16.A级汽油M1类车Top 10车型

A级纯电动乘用车 TOP10

A SIZE CLASS BATTERY ELECTRIC VEHICLES **TOP10** A级纯电动乘用车

右图中展示了A级纯电动乘用车Top10车型排名情况，碳排放由低到高分别是朗逸（151.0gCO_2e/km）、奔腾B30（152.8gCO_2e/km）、轩逸（153.1gCO_2e/km）、欧拉iQ（153.3gCO_2e/km）、宝来（153.6gCO_2e/km）、高尔夫（154.1gCO_2e/km）、荣威Ei5（158.0gCO_2e/km）、启辰D60（158.9gCO_2e/km）、别克Velite6（159.6gCO_2e/km）、俊风E11K（160.7gCO_2e/km）。这10款车型的单位行驶里程之间没有明显差距，朗逸单位行驶里程碳排放最低，为151.0gCO_2e/km；俊风E11K单位行驶里程碳排放最高，为160.7gCO_2e/km。所有A级纯电动乘用车碳排放平均值为163.6gCO_2e/km，低于同级别的汽油M1类车的碳排放，表明同级别中，纯电动乘用车在碳减排方面具有一定优势。



图17.A级纯电动乘用车Top 10车型

B级车型 *CLASS B*

本部分核算了B级汽油M1类车的生命周期碳排放数据，B级纯电动乘用车仅有一辆，因此未进行分析。

B级汽油M1类车 TOP10

B SIZE CLASS GASOLINE M1 VEHICLES **TOP10** B级汽油M1车

右图展示了B级汽油M1类车Top10车型排名情况，碳排放由低到高分别是天籁（195.6gCO_2e/km）、本田INSPIRE（198.9gCO_2e/km）、凯美瑞（200.3gCO_2e/km）、奥迪A4L（202.9gCO_2e/km）、迈腾（204.7gCO_2e/km）、君威（205.3gCO_2e/km）、奔驰C级（205.8gCO_2e/km）、亚洲龙（206.4gCO_2e/km）、雅阁（208.7gCO_2e/km）、沃尔沃S60L（214.7gCO_2e/km）。B级汽油M1类车的碳排放平均值为233.4gCO_2e/km。这10款车型单位行驶里程碳排放介于195.6~214.7gCO_2e/km，且均低于平均值。



图18.B级汽油M1类车Top 10车型

C级车型 CLASS C

本部分核算了C级汽油M1类车的碳排放数据，且根据第3章的核算方法和4.2章节的数据处理方式，C级汽油M1类车只有8种车型。C级车型没有纯电动乘用车。

C级汽油M1类车 TOP6

C SIZE CLASS GASOLINE M1 VEHICLES TOP6

右图展示了C级汽油M1类车Top6车型排名情况，碳排放由低到高分别是宝马5系（227.0gCO_2e/km）、凯迪拉克CT6（232.3gCO_2e/km）、沃尔沃S90（232.8gCO_2e/km）、奔驰E级（235.7gCO_2e/km）、奥迪A6L（244.8gCO_2e/km）、凯迪拉克XTS（254.8gCO_2e/km），C级汽油M1类车碳排放平均值为256.4gCO_2e/km。6款车型碳排放差异较小，应与其整备质量和油耗相近有关。

从以上分析可以看出，相同级别中，汽油M1类车的单位行驶里程碳排放比纯电动乘用车高。在不同级别中，汽油M1类车和纯电动乘用车的随着车型级别的提升单位行驶里程碳排放逐渐增加。以轻量化和低能耗著称的A00级别的车型相对于其他级别的车型在碳减排上更有优势。



图19.C级汽油M1类车Top 6车型

4.2.2不同生命周期阶段碳排放核算结果

本部分主要核算了199款汽油M1类车和44款纯电动乘用车的车辆周期和燃料周期阶段各个部分的碳排放，并针对核算结果进行了分析。

汽油M1类车

车辆周期碳排放核算结果

本部分主要分析了汽油M1类车的车辆周期碳排放，各种车型之间的碳排放介于31.6~56.1gCO_2e/km，平均值为41.0gCO_2e/km。按照升序排列，选出车辆周期碳排放最低的Top10车型进行具体分析。见图20，可以看出，这10款车型之间的各个阶段碳排放总量相差不大，介于31.6~34.2gCO_2e/km。在车辆周期的5个部分中，主要是原材料获取阶段的碳排放有所差别，其他四个阶段的碳排放则没有明显差别。因此，若要降低汽油M1类车车辆周期的碳排放，应主要从降低原材料获取阶段的碳排放入手。

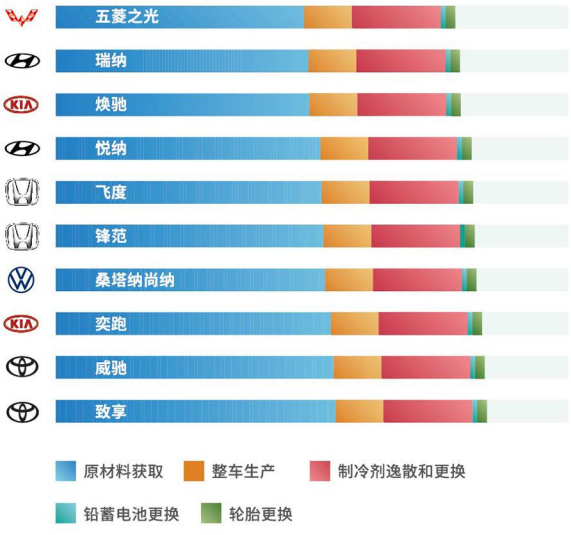


图20.汽油M1类车车辆周期阶段碳排放Top 10车型

燃料周期碳排放核算结果

本部分主要分析了汽油M1类车的燃料周期碳排放，各种车型之间的碳排放介于131.0~288.2gCO_2e/km，平均值为174.7 gCO_2e/km。图21显示了汽油M1类车燃料周期碳排放最低的Top10车型的各个阶段的碳排放。从图中可以看出，这10款车型的各个阶段碳排放总量相差不大，介于131.0~138.9gCO_2e/km，主要是由于其油耗差异不大。降低油耗可以进一步降低汽油M1类车燃料周期的碳排放。

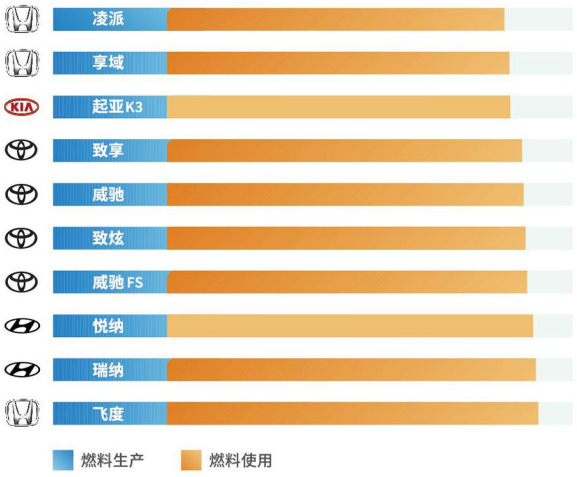


图21.汽油M1类车燃料周期阶段碳排放Top 10车型

纯电动乘用车

车辆周期碳排放核算结果

本部分主要分析了纯电动乘用车的车辆周期碳排放，各种车型之间的碳排放介于42.9~102.2gCO_2e/km，平均值为71.2gCO_2e/km。图22显示了纯电动乘用车车辆周期碳排放最低的Top 10车型的各个部分的碳排放。从图中可以看出，这10款车型的各个阶段碳排放总量有明显差距，介于42.9~65.5gCO_2e/km。和汽油M1类车相似，各个车型之间车辆周期阶段中碳排放的差距主要来源于原材料获取阶段，其他四个部分没有差别。所以不管是减少汽油M1类车还是纯电动乘用车车辆周期的碳排放，都需从原材料获取阶段的碳排放入手。

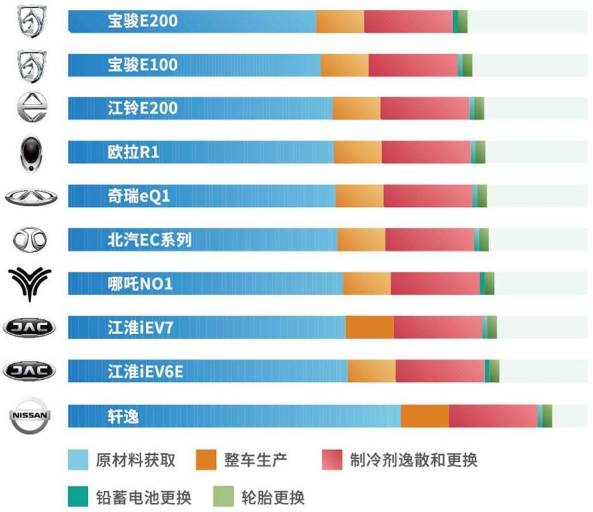


图22.纯电动乘用车车辆周期阶段碳排放Top 10车型

燃料周期碳排放核算结果

本部分主要分析了纯电动乘用车的燃料周期碳排放，各种车型之间的碳排放介于61.6~133.4gCO_2e/km，平均值为86.9gCO_2e/km。图23显示了纯电动乘用车燃料周期碳排放Top 10车型的各个部分的碳排放。从图中可以看出，这10款车型的燃料周期碳排放有明显差距，介于61.6~81.9gCO_2e/km。在燃料周期的两个部分中，主要是燃料生产阶段产生碳排放，燃料使用阶段所产生的碳排放为零。降低电耗可以进一步降低纯电动乘用车燃料周期的碳排放。

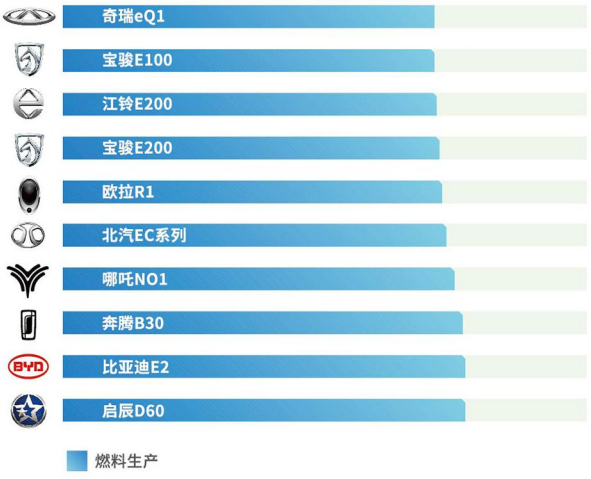


图23.纯电动乘用车燃料周期阶段碳排放Top 10车型

*各车型的生命周期碳排放数据欢迎查询此网站：http://auto-eaca.com/plus/list.php?tid=4

4.2.3乘用车单车生命周期碳排放的关键影响因素分析

Analysis of Key Influencing Factors in Life Cycle GHG Emissions per Vehicle of Passenger Vehicles

01 整备质量

汽油M1类车

右图显示了汽油M1类乘用车车型整备质量与单位行驶里程碳排放量之间的关系，圆圈的大小代表了车型的产量。从图中可以看出，随着整备质量增大，汽油M1类乘用车单位行驶里程碳排放量逐渐增大，两者具有明显的正向关系。产量占比62.2%的汽油M1类车整备质量在1100~1650kg范围内，碳排放值在200.0~250.0gCO_2e/km。

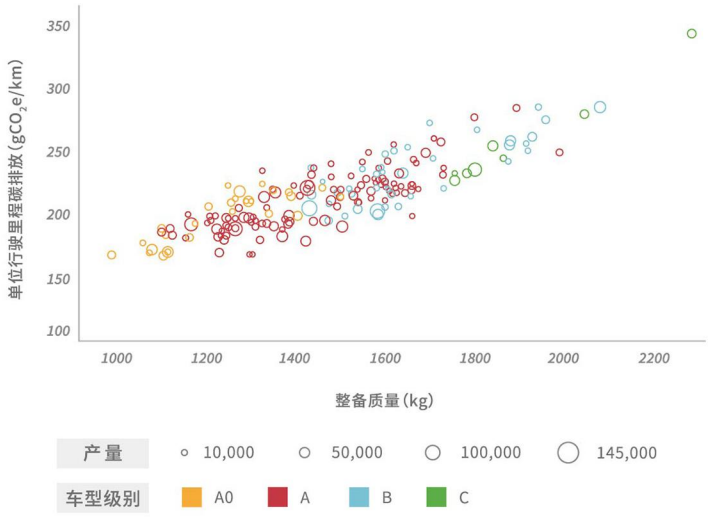


图24.汽油M1类乘用车单位行驶里程碳排放量-整备质量关系

纯电动乘用车

右图显示了纯电动乘用车车型整备质量与单位行驶里程碳排放量之间的关系。从图中可以看出，随整备质量增大，纯电动乘用车碳排放量逐渐增大，两者之间具有明显的正向关系。产量占比66.7%的纯电动乘用车整备质量在1500~1700kg范围内，碳排放值集中在150.0~170.0gCO_2e/km。

从以上分析可以看出，汽油M1类车和纯电动乘用车的整备质量和单位行驶里程均具有一个正向线性关系，因此采用轻量化材料降低汽车整备质量有利于促进汽车行业减排，但同时要兼顾轻量化材料生产阶段所带来的碳排放的增加。

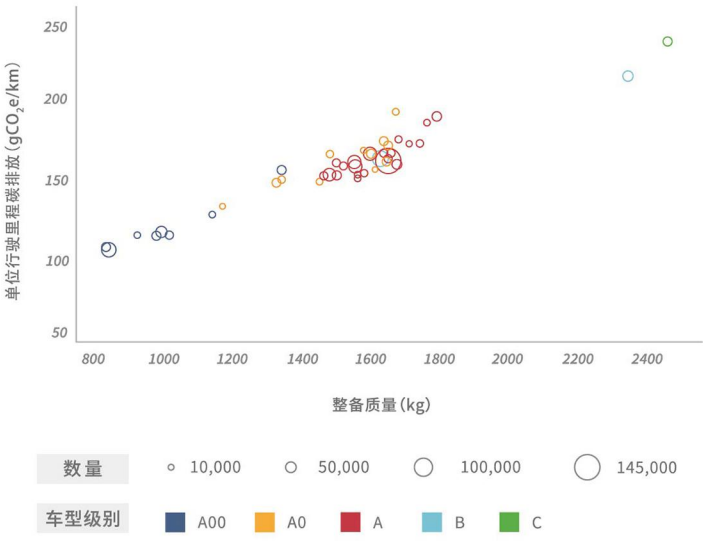


图25.纯电动乘用车单位行驶里程碳排放量-整备质量关系

02 燃油经济性

汽油M1类车NEDC-油耗

右图显示了汽油M1类车NEDC-油耗与单位行驶里程碳排放量之间的关系。从图中可以看出，随NEDC-油耗增大，燃油乘用车碳排放量逐渐增大；燃油乘用车碳排放量与NEDC-油耗具有明显的线性关系。

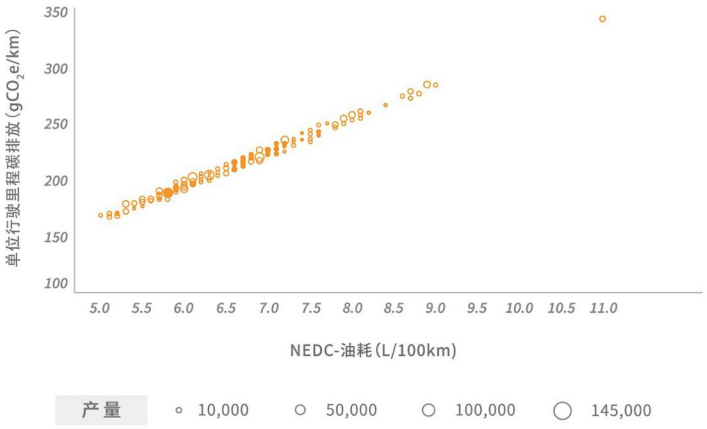


图26.汽油M1类车单位行驶里程碳排放量与NEDC-油耗关系

纯电动乘用车NEDC-电耗

右图显示了纯电动乘用车车型NEDC-电耗与单位行驶里程碳排放量之间的关系。从图中可以看出，随NEDC-电耗增大，纯电动乘用车碳排放量逐渐增大，两者具有一定的正向关系。

从以上分析可以看出，NEDC-油耗与单位行驶里程碳排放量之间具有明显的线性关系，而NEDC-电耗与单位行驶里程碳排放量之间不再具有明显的线性关系。因此，随着汽车电动化的发展，汽车行业碳排放的有效管理尤为重要。

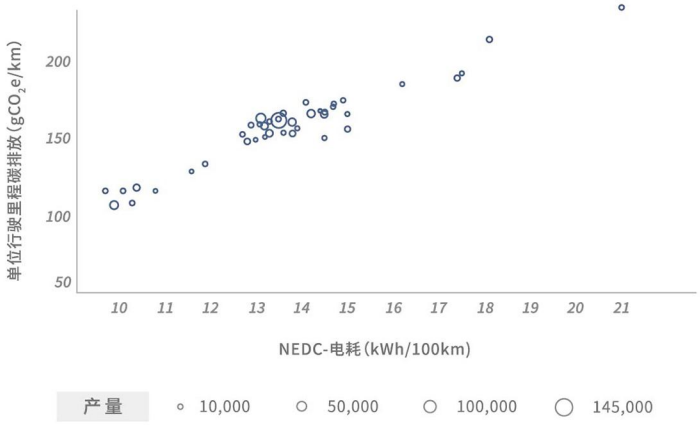


图27.纯电动乘用车单位行驶里程碳排放量与NEDC-电耗关系

4.3中国乘用车企业生命周期碳排放研究结果

Results of Research on Life Cycle GHG Emissions of Passenger Vehicle Makers in China

01 整体情况概述

根据3.2企业平均碳排放的核算方法，本部分核算了企业平均的碳排放数据。通过核算结果可知，企业平均碳排放介于107.5~508.2gCO_2e/km，企业之间平均碳排放具有明显差距。其中一些以电动车为主的企业平均碳排放较低，例如山东梅拉德能源动力科技有限公司和知豆电动汽车有限公司平均碳排放最低，分别为107.5gCO_2e/km和111.5gCO_2e/km。

而以燃油车为主的企业平均碳排放较高，例如江苏九龙汽车制造有限公司的企业平均碳排放为337.1gCO_2e/km，接近前两个公司的3倍，原因在于其主要生产B级MPV车型，整备质量较大；而中恒天越野汽车作为平均碳排放最大的公司，由于其主要生产C级SUV车型，整备质量和燃料消耗量大，企业平均碳排放远超其他公司，比它的前一排名企业多将近1倍的碳排放。

02 不同系别企业平均碳排放

右图展示了不同系别企业平均碳排放-产量关系。从图中可知，在中国主要有七大系别的生产企业，其中英系、法系和韩系的产量较低，均不超过100万辆，而日系、德系和自主生产的产量较高，均在400万辆以上。另外，企业平均碳排放介于220.0~240.0gCO_2e/km，其中韩系和日系的生产企业平均碳排放较低，企业平均碳排放分别为220.7gCO_2e/km和221.0gCO_2e/km，尤其是日系车的产量占比可观，而美系和自主生产企业平均碳排放则较高。

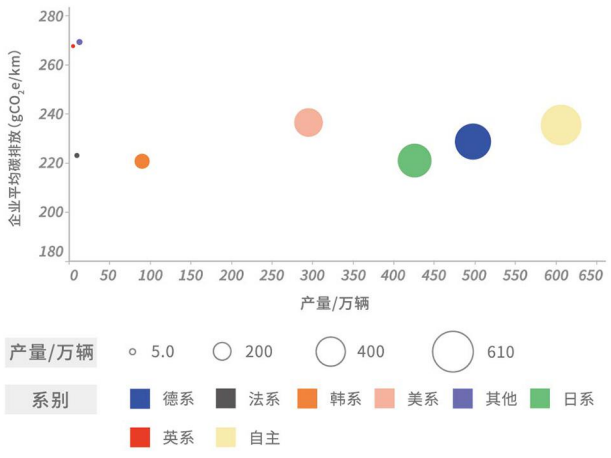


图28.企业平均碳排放-产量关系



05

SCENARIO FORECAST OF 2030: TREND IN LIFE CYCLE GHG EMISSIONS OF PASSENGER VEHICLES

2030年情景预测：乘用车生命周期碳排放发展趋势

5.1 2030年中国乘用车单车生命周期碳排放

LIFE CYCLE GHG EMISSIONS
PER VEHICLE OF CHINESE PASSENGER VEHICLES 2030

参与本章编写的专家：杨萍，Russell T. Balzer，孟凡然，Jon McKechnie，周博林，薛露露

本章以A级乘用车为例，选择汽油M1类（ICEV）与纯电动乘用车（BEV）为核算对象，结合未来汽车行业电动化、轻量化、智能化、共享化等特点，设定了2030年的发展情景，包括2030年现有政策情景和2030年低碳情景。其中，2030年现有政策情景参数根据已有政策发展规划数据设定，2030年低碳情景参数采用经过专家评估的较先进的低碳工艺、低碳的发展规划数据来确定。

在此基础上，本研究设定了电网清洁化、车辆技术进步和行驶里程变化这三个情景类别，其中车辆技术进步包括了轻量化、电动化、自动驾驶和燃料效率提升这四个情景子类别。不同情景、情景类别和子类别的具体参数的设定见表2。

表 2 (2030年不同情景参数设置)

Parameters for Different Scenarios 2030

NO.	情景类别	情景子类别	参数名称	单位	2019年	2030年 现有政策情景	2030年低碳情景
1	电网清洁化	电网清洁化	非化石能源发电比例	%	29.0%	33.1%	42.3%
2			电网碳排放因子	$kgCO_2e/kWh$	0.635	0.506	0.306
3	车辆 技术进步	轻量化	高强度钢重量	kg	250	339	424
4			铝合金重量	kg	180	250	200
5			碳纤维复合材料重量	kg	0	30	50.00
6			汽油车平均整车重量	kg	1413.0	1130.4	1059.8
7			纯电动车平均整车重量	kg	1611.0	1288.8	1208.3
8			普通钢碳排放因子	$kgCO_2e/kg$	2.4	1.9	1.1
9			高强度钢碳排放因子	$kgCO_2e/kg$	3.0	2.4	1.4
10			铝合金碳排放因子	$kgCO_2e/kg$	16.4	13.1	7.9
11			碳纤维复合材料碳排放因子	$kgCO_2e/kg$	26.4	12.9	10.9
12		电动化	保有量电动化比例	%	0.9%	30%	35%
13			乘用车保有量	亿辆	2.1	3.3	3.3
14		自动驾驶	汽油车平均油耗	L/100km	7.2	5.9	4.8
15			纯电动车平均电耗	kWh/100km	14.3	12.1	10.5
16			汽油车油耗增加	--	--	22%	7%
17			纯电动车电耗增加	--	--	15%	5%
18		燃料效率提升	汽油车平均油耗	L/100km	7.2	4.8	4.5
19			纯电动车平均电耗	kWh/100km	14.3	10.5	10.0
20	行驶里程变化	行驶里程降低	年行驶里程	km/年	13000	12500	12000
21			生命周期行驶年份	年	11.5	11	10

5.1.1 电网清洁化

Clean Power Grid

本研究假设2030年现有政策情景和低碳情景中非化石能源发电比例分别为33.1%和42.3%[5]，与2019年基准情景（采用2017年的非化石能源发电比例29.0%）相比分别提升了4.1%和13.3%。

2030年现有政策情景和低碳情景中非化石能源发电比例相比

2019年分别提升 **4.1%/13.3%**

2030年现有政策情景和低碳情景中电网的碳排放因子分别为0.506kgCO_2e/kWh和0.306kgCO_2e/kWh[5]，分别比2019年基准情景（采用CALCD2017年电力数据0.635kgCO_2e/kWh）降低了20.3%和51.9%。

2030年现有政策情景和低碳情景中电网的碳排放因子相比

2019年分别降低 **20.3%/51.9%**

CONCLUSION

依据以上参数，在仅考虑电力清洁化对于纯电动乘用车燃料周期的影响，不考虑车辆周期和其他参数的变化的情况下，电网清洁化情景下2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳排放分别为147.7gCO_2e/km和119.0gCO_2e/km，分别比2019年降低了11.1%和28.4%。相对于汽油M1类车，2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳减排潜力分别可以达到35.2%和47.8%。

2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳减排潜力

分别可以达到 **35.2%/47.8%**

2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳排放

分别比2019年降低 **11.1%/28.4%**

5.1.2 车辆技术进步

Vehicle Technology Advancement

01 轻量化

《节能与新能源汽车技术路线图2.0（草稿）》(简称“路线图2.0草稿”) [6]显示，未来，汽车将加大车身、底盘、动力系统和内外饰等部分的轻量化设计，加大高强度钢、铝合金和碳纤维复合材料等轻量化材料在汽车部件的应用。根据路线图2.0草稿中汽车轻量化技术创新战略联盟的预测。

2019年普通钢铁的碳排放因子来自CALCD，按照2030年现有政策情景和低碳情景中电力的碳排放因子等比例变化得到2030年两种情景中普通钢的碳排放因子分别为1.9kgCO_2e/kg和1.1kgCO_2e/kg，均分别比2019年基准情景降低了20%和52%。

本研究假设2030年现有政策情景中乘用车平均单车高强度钢用量占整备质量的30%、铝合金用量250kg、碳纤维复合材料用量30kg，整车重量比2019年减重20%；假设2030年低碳情景中乘用车平均单车高强度钢用量占整备质量的40%、铝合金用量200kg、碳纤维复合材料用量50kg，整车重量比2019年减重25%。

2019年先进高强度钢的碳排放因子由世界钢铁协会提供，本研究选择热镀锌加工工艺，按照2030年现有政策情景和低碳情景中电力的碳排放因子等比例变化得到2030年两种情景中先进高强度钢的碳排放因子分别为2.4kgCO_2e/kg和1.4kgCO_2e/kg，均分别比2019年基准情景降低了20%和52%。

2030年两种情景中先进高强度钢的碳排放因子

分别比2019年基准情景降低 **20%/52%**

先进的高强度钢（AHSS）是一种复杂的、精密的材料，其化学成分经过精心选择，其多相微观结构是由精确控制的加热和冷却过程产生的。对于给定的产品，使用先进高强度钢代替传普通碳钢的好处是需要的钢材更少，从而降低了整体环境影响。先进高强度钢包括热轧和镀锌钢材，而这些钢材已经包含在世界钢铁协会的热轧和热镀锌卷LCI数据之中。如右图，本研究中钢铁的生命周期边界包含了“大门到大门”以及相关上游过程（原材料输入）和替代过程、废弃物处理等。

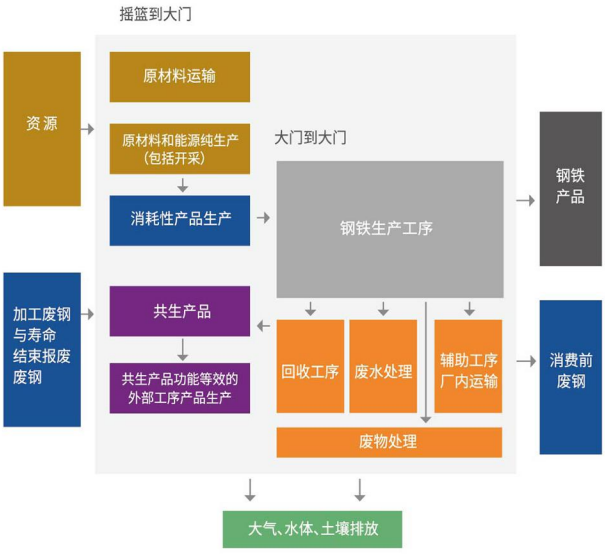


图29.“摇篮到大门”的钢铁系统边界

碳纤维复合材料的碳排放因子由诺丁汉大学提供，基于对未来碳纤维和碳纤维复合材料生产低碳化的预估，2030年现有政策情景和低碳情景中碳纤维复合材料的碳排放因子分别为12.9kgCO_2e/kg和10.9kgCO_2e/kg，比2019年基准情景降低了51.2%和58.8%。

碳纤维由于其卓越的性能在汽车行业的应用日益提升，其中，基于聚丙烯腈（PAN）的碳纤维在世界上产量和使用量均最大。但原始的基于PAN的碳纤维的能源消耗量较大，因此当前的一些技术开发工作正在研究木质素（一种天然聚合物）或木质素与生物聚合物的组合，将其作为可再生和低成本的原料用于碳纤维生产。

根据Das的研究[7]，碳化步骤中木质素的能耗比基于PAN的碳纤维降低约25%。另外，与原始碳纤维制造相比，已发现碳纤维回收可显著减少能耗和排放。有行业报告声称，与原始碳纤维相比，回收的碳纤维可实现约95%的能耗降低，而机械性能却相当[8, 9]。

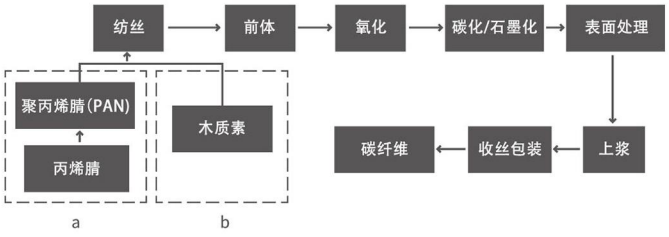


图30. 由a）PAN和b）木质素生物质生产的典型碳纤维

碳纤维复合材料（CFRP）环境影响背后的重要因素是碳纤维碳化过程中的能源需求，向木质素基和回收碳纤维的转化都可能减少这种环境影响。因此，对于本研究轻量化中的未来CFRP场景，我们主要关注不同的碳纤维生产。

2030年现有政策情景和低碳情景中碳纤维复合材料的碳排放因子相比2019年分别降低 **51.2%/58.8%**

（1）2030年现有政策情景

目前碳纤维生产过程的整体效率约为45%-55%[7, 10, 11]。在2030年现有政策情景中，我们假设PAN基的原始CFRP生产效率保守提高60%，因此每生产1kg碳纤维需要25kWh电力和3.48MJ蒸汽。同时，研究还考虑了2030年现有政策情景中电网清洁化下的碳排放因子为0.51kgCO_2e/kWh。

（2）2030年低碳情景

2030年的低碳情景考虑以下两种不同情况，并在报告中使用两种情况中的平均碳排放因子。

- 木质素基的原始碳纤维生产

目前每生产1kg 木质素基碳纤维需要20.8kWh电力和330.2MJ热（总效率为45.6%）[7]。假设在2030年低碳情景中，采用100%的木质素基碳纤维生产，转化效率提高55%。2030年低碳情景中电网清洁化下电网碳排放因子为0.31kgCO_2e/kWh。

• PAN基碳纤维和回收碳纤维

考虑各种流化床操作参数（3kg/hr-m2至12kg/hr-m²的进料速度），大约仅需6MJ/kg即可从CFRP中回收碳纤维。对于2030年低碳情景，认为工厂产能为100吨回收碳纤维/年，进料率为12kg回收碳纤维/h-m²，每回收1kg的碳纤维需要使用1.5MJ天然气和1.1 kWh电力。

与2019年PAN基碳纤维的碳排放因子15.2kgCO_2e/kg相比，2030年现有政策情景表明排放因子将减少17%为12.7kgCO_2e/kg。2030年低碳情景中，木质素基的原始碳纤维与PAN基碳纤维和回收碳纤维相对于2019年情景分别降低了17%和54%，平均排放因子为9.8kgCO_2e/kg（减少36%的温室气体排放）。

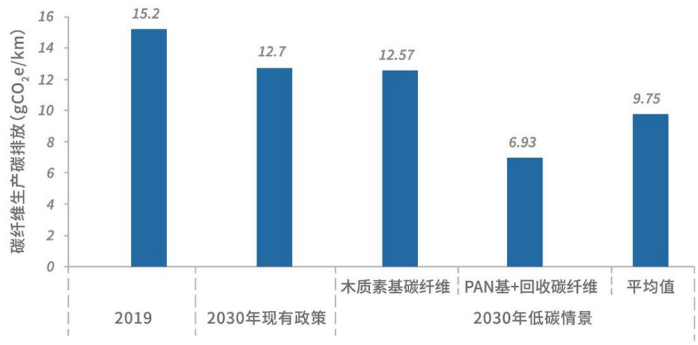


图31.不同场景下碳纤维的温室气体排放因子

另外，2030年现有政策情景和低碳情景中，铝合金的碳排放因子按照与电力碳排放因子等比例变化，分别为13.1kgCO_2e/kg和7.9kgCO_2e/kg。

依据以上参数，在电网清洁化情景的基础上，不考虑其他参数的变化，轻量化情景下2030年现有政策情景和低碳情景中，汽油M1类车生命周期碳排放分别为239.3gCO_2e/km和225.0gCO_2e/km，分别比2019年增加了5.1%和降低了1.2%；纯电动乘用车生命周期碳排放分别为148.6gCO_2e/km和108.7gCO_2e/km，分别比2019年降低了10.6%和34.6%。相对于汽油M1类车，2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳减排潜力分别可以达到37.9%和51.7%，在电网清洁化情景的基础上有所释放。

2030年现有政策情景和低碳情景中，
汽油M1类车生命周期碳排放分别比2019年降低

5.1%/1.2%

纯电动乘用车生命周期碳排放分别比2019年降低

10.6%/34.6%

02 自动驾驶

已有研究显示，自动驾驶技术会降低乘用车的燃料效率。这是由于自动驾驶汽车会增加必要的处理和感知单元，以及自动泊车和自动代客等功能会增加额外的行驶里程，这些都会使乘用车的燃料效率降低[12]。本研究假设2030年乘用车实现完全自动驾驶，根据的Hamza（2019）的研究[13]，分别选择1.5kW和0.5kW电力消耗代表2030年现有政策情景和低碳情景中的自动驾驶技术水平，其中纯电动乘用车选择BEV 300。

则2030年现有政策情景和低碳情景中ICEV油耗分别增加22%和7%，BEV的电耗分别增加15%和5%。以5.2.4中的燃料效率为基础计算，则2030年现有政策情景和低碳情景中ICEV油耗分别为5.9L/100km和4.8L/100km，BEV为12.1 kWh/100km和10.5 kWh/100km。

依据以上参数，在轻量化情景的基础上，不考虑其他参数的变化，自动驾驶情景下2030年现有政策情景和低碳情景中，汽油M1类车生命周期碳排放分别为205.4gCO_2e/km和163.8gCO_2e/km，分别比2019年降低了9.8%和28.1%；纯电动乘用车生命周期碳排放分别为137.2gCO_2e/km和97.0gCO_2e/km，分别比2019年降低了17.4%和41.6%。

相对于汽油M1类车，2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳减排潜力分别可以达到33.2%和40.8%，在轻量化情景的基础上有所收紧。

1.

自动驾驶情景下2030年现有政策情景和低碳情景中，汽油M1类车生命周期碳排放分别比2019年降低：

9.8% / 28.1%

2.

纯电动乘用车生命周期碳排放分别比2019年降低：

17.4% / 41.6%

3.

2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳减排潜力分别可以达到：

33.2% / 40.8%

03 燃料效率提升

路线图2.0草稿表明，到2030年，新能源汽车保有量将大于7500万辆，新能源乘用车当年销量约1400万辆，占当年乘用车总销量的40%~50%，技术领先的典型A级纯电动乘用车法规工况电耗小于10.5kWh/100km，技术领先的典型A级插电式混合动力乘用车电量维持下油耗不超过4.0L/100km，乘用车新车平均油耗3.2L/100km [6]。

假设2030年新能源乘用车销量占乘用车总销量的40%，其中纯电动乘用车与插电式混合动力乘用车占比为8:2，2030年现有政策情景中A级纯电动乘用车电耗10.5kWh/100km，A级插电式混合动力乘用车电量维持下油耗4.0L/100km，经测算，2030年现有政策情景中A级汽油M1类车的平均油耗为4.8L/100km。在此基础上，假设2030年低碳情景中A级纯电动乘用车电耗10.0kWh/100km，A级汽油M1类车的油耗为4.5L/100km。

依据以上参数，在自动驾驶情景的基础上，不考虑其他参数的变化，燃料效率提升情景下2030年现有政策情景和低碳情景中，汽油M1类车生命周期碳排放分别为177.7gCO_2e/km和155.6gCO_2e/km，分别比2019年降低了22.0%和31.7%；纯电动乘用车生命周期碳排放分别为129.3gCO_2e/km和95.5gCO_2e/km，分别比2019年降低了22.2%和42.5%。相对于汽油M1类车，2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳减排潜力分别可以达到27.3%和38.6%，在自动驾驶情景的基础上有所收紧。

2030年现有政策情景和低碳情景中汽油M1类车生命周期碳排放分别比2019年降低 **22.0%/31.7%**

2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳排放分别比2019年降低 **22.2%/42.5%**

2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳减排潜力分别可以达到 **27.3%/38.6%**

5.1.3 行驶里程变化

Lifetime driving distance change

未来，随着城市规划优化、公交优先发展、交通需求管理等政策的引导，以及共享出行商业平台和自动驾驶技术日益成熟，中国乘用车的年行驶里程会进一步降低。根据世界资源研究所的预测，2030年中国乘用车年行驶里程为12,000km(低碳)~13,000km(基准)[14]。根据商务部、发改委、公安部联合发布的《机动车强制报废标准规定》，乘用车使用年限参考值为8~15年。

基于以上数据，本研究假设2030年中国乘用车年均行驶里程和使用年限均进一步降低，2030年现有政策情景和低碳情景中国乘用车年均行驶里程分别为12,500km和12,000km，使用年限分别11年和10年。

依据以上参数，在自动驾驶情景的基础上，不考虑其他参数的变化，燃料效率提升情景下2030年现有政策情景和低碳情景中，汽油M1类车生命周期碳排放分别为177.7gCO_2e/km和155.6gCO_2e/km，分别比2019年降低了22.0%和31.7%；纯电动乘用车生命周期碳排放分别为129.3gCO_2e/km和95.5gCO_2e/km，分别比2019年降低了22.2%和42.5%。相对于汽油M1类车，2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳减排潜力分别可以达到27.3%和38.6%，在自动驾驶情景的基础上有所收紧。

2030年现有政策情景和低碳情景中汽油M1类车生命周期碳排放

分别比2019年降低

22.0%/31.7%

2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳排放

分别比2019年降低

22.2%/42.5%

2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳减排潜力

分别可以达到

27.3%/38.6%

2030年现有政策和低碳情景下ICEV和BEV的生命周期碳排放核算结果如下图所示。

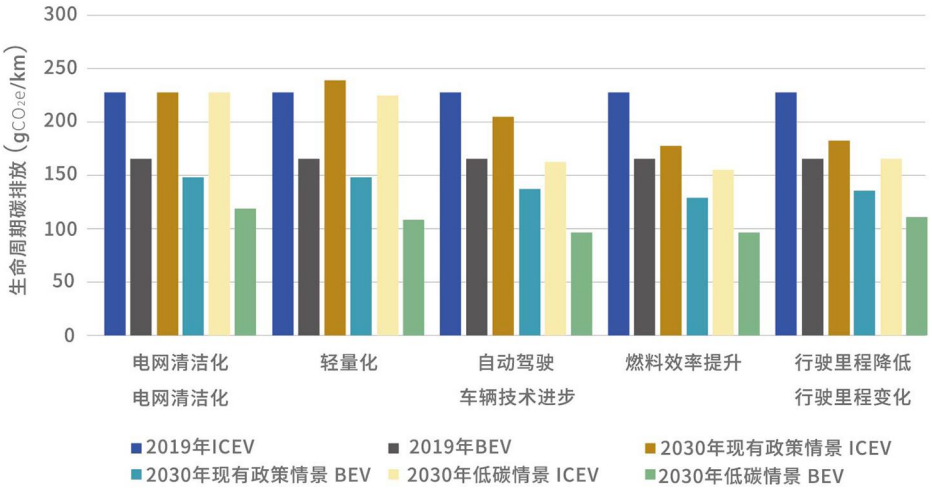


图32.203年情景下乘用车单车的生命周期碳排放

5.2 2030年中国乘用车车队生命周期碳排放

Life Cycle GHG Emissions of Passenger Vehicle Fleets 2030

中汽数据有限公司的数据显示，2019年中国乘用车保有量为2.1亿辆，电动化率为0.9%。2019年中国乘用车车队生命周期碳排放量为71.6亿tCO_2e，主要贡献来自于汽油M1类车车队，占总量的99.3%，纯电动乘用车车队生命周期碳排放占总量的不足1%。

根据路线图2.0草稿，本研究假设2030年中国乘用车保有量为3.3亿辆，2030年现有政策情景和低碳情景中乘用车车队的电动化率分别为30%和35%。则2030年现有政策情景和低碳情景中汽油M1类车保有量为2.3亿辆和2.1亿辆，纯电动乘用车保有量为1.0亿辆和1.2亿辆。

本研究按照乘用车单车生命周期碳排放乘以生命周期行驶里程再乘以保有量，分别计算2030年现有政策情景和低碳情景下中国乘用车车队的生命周期碳排放量，并用线性插值法拟合2020年到2029年的数值，计算结果如下图所示。

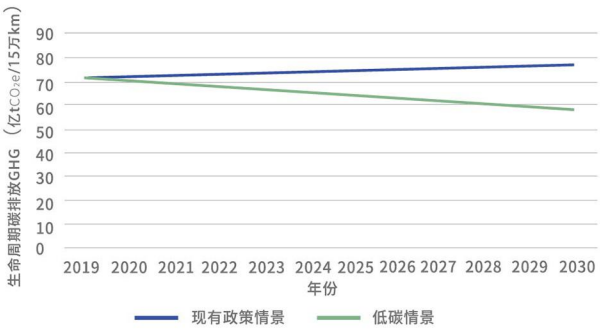


图33.2019~2030年中国乘用车车队的生命周期碳排放趋势预测

预计在2030年现有政策情景下，中国乘用车车队生命周期碳排放量为76.5亿tCO_2e，比2019年增加6.9%；在2030年低碳情景下，中国乘用车车队生命周期碳排放量为58.0亿tCO_2e ，比2019年降低19.0%，比2030年现有政策情景降低24.2%。如右面两个图片所示，在2030年的两种情境中，汽油M1类车车队生命周期碳排放量较大，均占总量的75%左右，纯电动乘用车车队生命周期碳排放均占总量的25%左右。

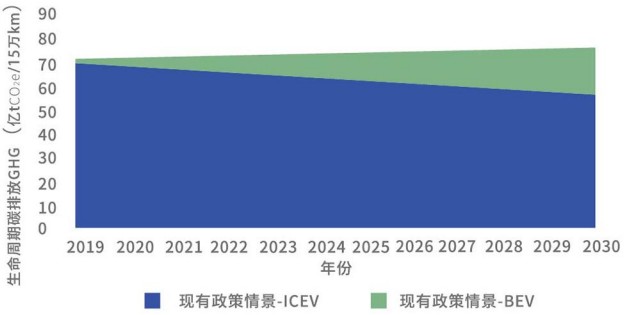


图34.现有政策情景不同类型乘用车车队的生命周期碳排放趋势预测

另外，在2030年的两种情景中，汽油M1类车车队生命周期碳排放量持续降低，纯电动乘用车车队碳排放量则逐年增长。预计在2030年现有政策情景下，汽油M1类车车队生命周期碳排放量为58.0亿tCO_2e，比2019年降低18.5%；而纯电动乘用车车队生命周期碳排放为18.5亿tCO_2e，是2019的38倍。相对于现有情景，2030年低碳政策情景中汽油M1类车车队的生命周期碳排放降低的趋势更加明显，将在现有政策情景的基础上降低26.7%（15.5亿tCO_2e）；而纯电动乘用车车队的生命周期碳排放增幅放缓，将比现有政策情景降低16.5%（3.1亿tCO_2e）。

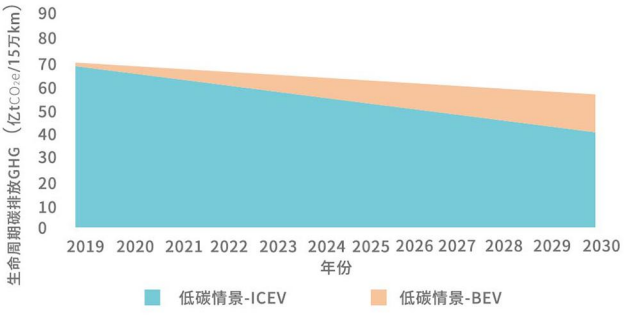


图35.低碳政策情景不同类型乘用车车队的生命周期碳排放趋势预测

2030年现有政策情景下，中国乘用车车队生命周期碳排放量

比2019年增加 **6.9%**

在2030年现有政策情景下，汽油M1类车车队生命周期碳排放量

比2019年降低 **18.5%**

在2030年低碳情景下，中国乘用车车队生命周期碳排放量

比2019年降低 **19.0%**

2030年低碳政策情景中汽油M1类车车队的生命周期碳排放

将在现有政策情景的基础上降低 **26.7%**

在2030年低碳情景下，中国乘用车车队生命周期碳排放量

比2030年现有政策情景降低 **24.2%**

2030年低碳政策情景中纯电动乘用车车队的生命周期碳排放

将在现有政策情景的基础上降低 **16.5%**

5.3 2030年中国E-fuel乘用车的生命周期碳排放

Life Cycle GHG Emissions of Electric Fuel Type Passenger Vehicles in China 2030

5.3.1背景介绍

Background to Electro-Fuels (E-fuels)

碳氢合成燃料是一种人工合成工艺，利用碳和氢（源自生物或非生物原料）制取可燃燃料的一种特殊燃料类型。目前在国际上已经有大量的研究机构和公司正在研制、生产多种气态（甲烷，二甲醚）和液态（甲醇，汽油，柴油）合成燃料。

E-fuels是一种特殊的合成燃料。它通常也被称之为液态阳光，太阳能燃料或者是动力燃料（Power-to-fuels）。其生产工艺如下图所示，它通过利用低碳能源电解水制取氢气，并与CO或者CO_2进行催化反应生成碳氢燃料。区别于其他化学合成燃料例如煤制油或者气制油等工艺使用大量的化石燃料和高碳排放的电能，E-fuels能够满足国家减排温室气体和开发清洁能源燃料的重大需求。

根据RoyalSociety[15]的政策简报，E-fuels有两个显著特征：

（1）碳通过大气中的CO_2，工业/燃烧过程或生物过程的废气捕获。

(2)氢制取中的电能需通过风，电，核能等低碳能源获取。

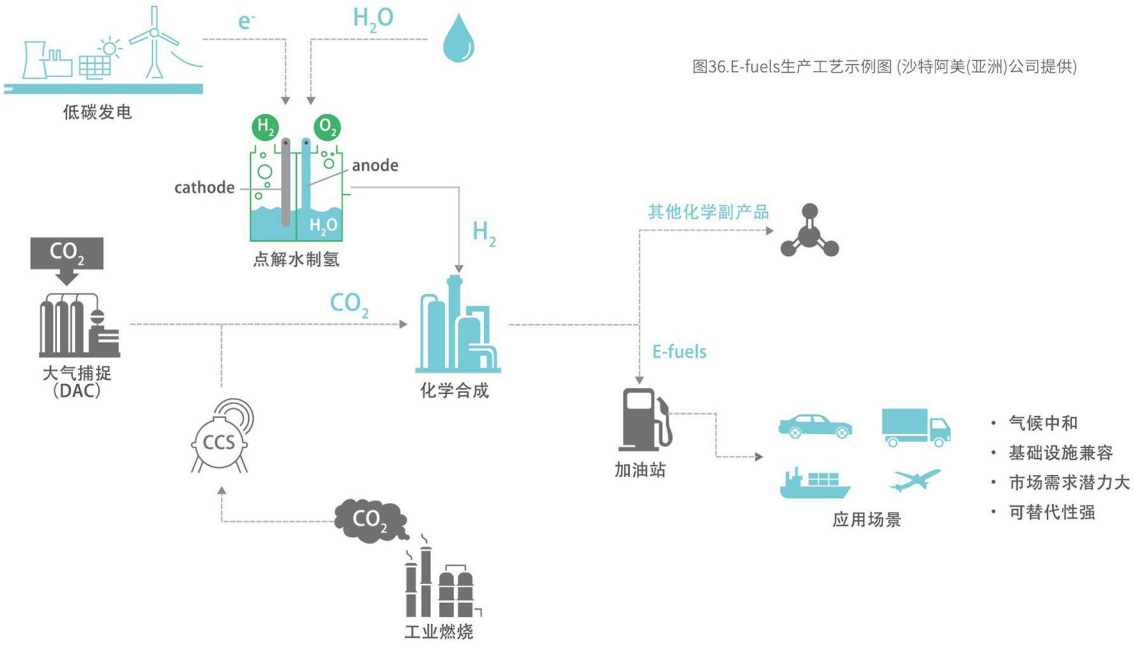


图36.E-fuels生产工艺示例图 (沙特阿美(亚洲)公司提供)

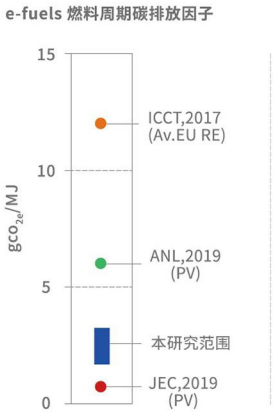
5.3.2 E-FUELS全生命周期碳排放分析

Well-to-Wheels (WtW) Analysis of E-fuels

不同的技术转换工艺可生产出不同类型的E-fuels。例如利用费托（FT- Fischer-Tropsch）工艺可以合成汽油或者柴油等燃料，或是生成甲醇作为中间产物进而转换为汽油（MTG-Methanol-To-Gasoline），或者可以合成甲醇，二甲醚，聚甲醛等液态燃料。本研究主要考虑汽油和甲醇这两种类型的合成燃料在乘用车上的应用。其中合成汽油通过费托（FT）工艺生产，甲醇由单步直接转化途径生产（$CO_2 + H_2$）。合成汽油和甲醇的碳排放因子数据由沙特阿美(亚洲)提供（即将公开发表）。

目前国际上对E-fuels的全生命周期评估较少，缺乏充分的数据支持。因此无法对现有数据做全面的比较和评估。图36罗列了本研究使用的燃料周期碳排放因子与其他一些研究机构的数据比较。虽然各个研究机构对数据计算的范围和假设并不一致，却可作为本研究使用数据的比较基准。

E-fuels与常规合成燃料的不同之处在于其利用可再生能源电力系统来产生氢。所以在2030年低碳情景的基础上，本研究设置了2030年低碳（PV）情景，假设该情景完全使用光伏发电。在该情景下，合成汽油（e-gasoline），合成甲醇（e-methanol）乘用车（ICEV）以及电动车（BEV）的全生命周期碳排放如图37所示。在2030年低碳（PV）情景，BEV相较2030年现有政策情景和低碳情景分别降低40%和27%。但若使用E-fuels 乘用车，可以分别实现63%和55%的碳排放降低。



	本研究碳排放因子数据		
	单位 gco_{2e}/MJ	光伏发电	风力发电
Drop-in fuels	汽油	2.5	3.1
	柴油	2.5	3.2
Non drop-in fuels	甲醇	1.7	2.3

图37.不同研究机构E-fuels燃料周期碳排放比较

[ANL：阿贡国家实验室, 2019 CRC’ s LCA 会议[10]; JEC：欧洲汽车研发委员会[11]; ICCT：国际清洁运输委员会[12]]. Av. EU RE：欧盟平均可再生能源电力;PV：光伏发电

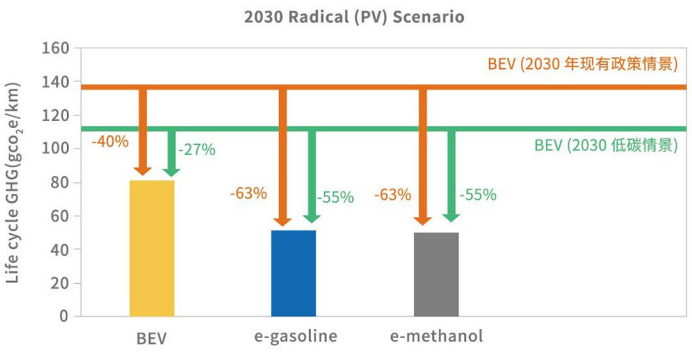


图38.BEV和E-fuels乘用车的全生命周期碳排放对比

5.3.3 E-fuels的优势和挑战

Opportunities &Challenges for E-fuels

还原CO_2合成燃料所带来的减排温室气体的巨大潜能促使世界各国的汽车制造商、石油公司以及政府部门高度重视E-fuels的发展。目前新能源（例如氢燃料，电能）的存储运输，加氢站，充电站等基础设施尚不完善，合成燃料可以直接应用于现有的能源供应链系统，是实现可再生能源转化存储的高效经济可行手段。E-fuels同时也可做为汽油组分之一或者完全替代汽油，直接应用于燃油车或混合动力汽车。

然而目前e-fuels存在的主要难点瓶颈如下：通过可再生能源电解水制氢并还原CO_2制合成燃料的转化效率较低。很多的研究表明BEV燃料周期的效率是E-fuels乘用车的5倍之多。但是根据FEV [19] 的研究，如果考虑到BEV中电力的存储损耗和真实路况的影响，对比高效发动机（例如混合动力汽车），其比例可降至2到2.5[20]倍。这意味使用E-fuels乘用车仍然需要2.4[19]倍BEV所需电力。但是考虑到我国光电行业中严重的弃光现象（2017年全国平均弃光率达到6%，尤其在我国西北部地区更为严重[21]），故利用光废电制取合成燃料可有效解决其储能问题。

同时，在E-fuels商业化领域，我国目前还在起步阶段，缺乏政策的引导。基于车辆行驶阶段的油耗法规并不利于低碳燃料在交通领域的推广。然而随着全生命周期碳排放法规的引入，E-fuels将具备广阔的市场前景和商业价值。

如下图所示，假设在2030年低碳（PV）情景，BEV 和 ICEV 在乘用车队占比分别为 30% 和70%。 由于电动车市场占有率的限制，使用低碳排放的光伏发电并不能快速降低整个车队的碳排放。而使用E-fuels能够极大的加速我国乘用车全生命周期碳减排，推动中国2030年碳排放及早达峰。

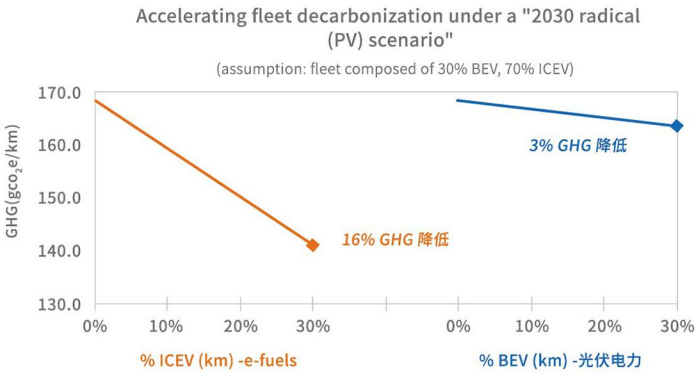


图39.2030年激进（PV）情景下乘用车车队低碳化进程预测.
假设: 30% BEV, 70% ICEV

06

CONCLUSION

结论

本研究的主要研究结论如下：

The main conclusions of this study are as follows:

01.

2010—2019年期间，中国乘用车全生命周期的碳排放量逐年递减，由2010年的243.6gCO_2e/km减少至2019年的212.2gCO_2e/km。其中，燃料周期碳排放占比不断降低，车辆周期碳排放占比逐渐增加，而前者贡献了乘用车全生命周期碳排放的绝大部分，主要是因为轻量化材料的使用和电动化程度不断提高。

02.

2019年中国量产乘用车生命周期碳排放总量巨大，为6.2亿tCO_2e，有效控制乘用车碳排放对中国实现碳排放达峰至关重要。其中，汽油M1类车贡献了94.7%，主要由于其碳排放量和产量均较高；A级车碳排放占比为60.8%，主要由于其产量较高。五种燃料类型的乘用车燃料周期的碳排放贡献均大于车辆周期，且随着车型电动化程度的增加，车辆周期占比逐渐增大，而燃料周期逐渐减小。

03.

2019年中国乘用车单车单位行驶里程生命周期碳排放介于107.0~350.0gCO_2e/km，各种车型之间碳排放具有明显差距，其中，纯电动乘用车车型生命周期碳排放比同级别的汽油M1类车型更具优势。A00级、A0级、A级和B级纯电动乘用车生命周期碳排放最低的车型分别是宝骏E100、哪吒N01和朗逸。A0级、A级、B级和C级汽油M1类车生命周期碳排放最低的车型分别是致享、凌派、天籁和宝马5系。

04.

2019年中国乘用车企业平均生命周期碳排放介于107.5~508.2gCO_2e/km，企业之间碳排放差距明显，以电动车为主的企业平均碳排放较低，而以燃油车为主的企业平均碳排放较高。

05.

通过推进电网清洁化、车辆技术进步和行驶里程变化，2030年现有政策情景中，汽油M1类车和纯电动乘用车单车生命周期碳排放分别比2019年降低19.9%和18.0%；2030年低碳情景中，汽油M1类车和纯电动乘用车单车生命周期碳排放分别比2019年降低27.5%和32.8%。

06.

相对于汽油M1类车，2030年现有政策情景和低碳情景中纯电动乘用车生命周期碳减排潜力分别可以达到25.3%和32.3%，电网清洁化和轻量化技术对于纯电动乘用车的碳减排更有利，但自动驾驶、燃料效率提升和行驶里程的变化会带来纯电动乘用车的碳减排潜力的收紧，特别是自动驾驶技术最为明显。

07.

2019年中国乘用车车队生命周期碳排放量为71.6亿tCO_2e，主要贡献来自于汽油M1类车车队。预计在2030年现有政策情景中，中国乘用车车队生命周期碳排放量增幅将达到7%；在2030年低碳情景中，未来十年的中国乘用车车队生命周期碳排放量可以降低19%。使用低碳技术，特别是电网清洁化和燃料效率提升将有助于中国乘用车车队生命周期碳减排。

参考文献：

[1]. International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2019, https://webstore.iea.org/key-world-energy-statistics-2019, (accessed 26 September 2019).

[2]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. ContriBJUTion of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K., A.A. Seyboth, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlomer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C., and Minx, Editors. 2014: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[3]. Dai, Q., J. Kelly, and A. Elgowainy, Vehicle Materials: Material Composition of U.S. Light-duty Vehicles. 2016, Argonne National Laboratory: US.

[4]. Ou, S., et al., Intensity and daily pattern of passenger vehicle use by region and class in China: estimation and implications for energy use and electrification. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2019.

[5].International Energy Agency. Global EV Outlook 2019. 2019 [cited 2019 27 May]; Available from: https://www.iea.org/gevo2019/.

[6]. 中国汽车工程学会, 节能与新能源汽车技术路线图2.0(草稿), 中国汽车工程学会, Editor. 2019, 中国汽车工程学会.

[7]. Das S. Life cycle assessment of carbon fiber-reinforced polymer composites. International Journal of Life Cycle Assessment2011. p. 268-82.

[8]. Carberry W. Airplane Recycling Efforts benefit boeing operators. 2008. p. 6-13.

[9]. Boeing. The Boeing Company 2013 Environmental Report. 2014.

[10].Overcash Ga. Carbon fiber HS from PAN [UIDCarbFibHS]. Chemical Life Cycle Database2010.

[11]. Duflou JR, De Moor J, Verpoest I, Dewulf W. Environmental impact analysis of composite use

[12]. Stephens, T.S., et al., Estimated Bounds and Important Factors for Fuel Use and Consumer Costs of Connected and Automated Vehicles. 2016, National Renewable Energy Laboratory.

[13]. [13]Hamza, K., et al., Modeling the Effect of Power Consumption in Automated Driving Systems on Vehicle Energy Efficiency for Real-World Driving in California. Journal of the Transportation Research Board, 2019. 2673(4): p. 339-347.for Real-World Driving in California. Journal of the Transportation Research Board, 2019. 2673(4): p. 339-347.

[14]. 薛露露, et al., 中国道路交通2050年“净零”排放路径研究. 2019, 世界资源研究所: 北京.

[15]. The Royal Society, Sustainable synthetic carbon based fuels for transport: Policy briefing, Royal Society (royalsociety.org/synthetic-fuels), 2019.

[16] A. Elgowainy, G. Zang, P. Sun and M. Wang, "LIFECYCLE ANALYSIS OF LOW-CARBON ELECTRO-FUELS (E-Fuels)," in The 2019 Coordinated Research Council Workshop on Life Cycle Analysis of Transportation Fuels, Illinois, 2019.

[17] A. Soler, "Role of e-fuels in the European transport system - Literature review. Report no. 14/19," CONCAWE, Brussels, 2020.

[18] A. Christensen and C. Petrenko, "CO_2-Based Synthetic Fuel: Assessment of Potential European Capacity and Environmental Performance," ICCT, 2017.

[19] N. Alt, G20 Presentation by Dr. Norbert Alt from FEV, Riyadh, Saudi Arabia, March 1st, 2020.

[20]FEV, "Interview. E-car or E-Fuels: We need both!," FEV, [Online]. Available: https://www.fev.com/jp/%E5%82%AC%E4%BA%8B%E6%A1%88%E5%86%85/efuels-interview.html. [Accessed 9 June 2020]. https://www.fev.com/jp/%E5%82%AC%E4%BA%8B%E6%A1%88%E5%86%85/efuels-interview.html. [Accessed 9 June 2020], 2020.

[21] N. Tang, Y. Zhang, Y. Niu and X. Du, "Solar energy curtailment in China: Status quo, reasons and solutions," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 97, pp. 509-528, 2018.

附表1（核算范围内零部件重量占比及材料组成）

Weight Ratios and Compositions of Parts in GHG Accounting

编号	系统名称	零部件名称	燃油乘用车		纯电动乘用车	
			零部件重量占比	材料组成	零部件重量占比	材料组成
1	发动机	缸体	1.55%	铝合金	0.00%	——
2		缸盖	0.98%	铝合金	0.00%	——
3		气缸罩盖	0.11%	PP	0.00%	——
4		曲轴	0.73%	钢铁	0.00%	——
5		凸轮轴	0.06%	铸铁	0.00%	——
6		活塞	0.08%	铝合金	0.00%	——
7		连杆	0.12%	钢铁	0.00%	——
8		齿轮	0.21%	钢铁	0.00%	——
9		飞轮	0.25%	钢铁	0.00%	——
10		进气歧管	0.21%	PP	0.00%	——
11		排气歧管	0.50%	钢铁	0.00%	——
12		油底壳	0.26%	铝合金	0.00%	——
13		发电机	0.33%	钢铁	0.00%	——
14	底盘	变速器壳体	1.67%	铝合金	1.67%	铝合金
15		变速器精密齿轮	3.21%	钢铁	3.21%	钢铁
16		中间轴	0.00%	钢铁	0.00%	钢铁
17		传动轴	0.00%	钢铁	0.11%	钢铁
18		驱动半轴	1.57%	钢铁	1.15%	钢铁
19		副车架	2.01%	钢铁	2.31%	钢铁
20		轮毂	4.12%	铝合金	6.05%	铝合金
21		轮胎	2.55%	轮胎材料	3.75%	轮胎材料
24		减震器	0.83%	钢铁	0.93%	钢铁
25		螺旋弹簧	0.55%	钢铁	0.91%	钢铁
26		转向管柱本体	0.33%	钢铁	0.57%	钢铁

编号	系统名称	零部件名称	燃油乘用车		纯电动乘用车	
			零部件重量占比	材料组成	零部件重量占比	材料组成
27	车身	白车身	25.44%	钢铁	32.39%	钢铁
28		座椅骨架	3.42%	钢铁	3.56%	钢铁
29		座椅发泡	0.56%	PU	0.58%	PU
30		座椅面罩	0.36%	PU	0.38%	PU
31		玻璃（挡风玻璃、侧玻璃、天窗玻璃）	2.43%	玻璃	4.10%	玻璃
32		仪表板本体	1.55%	PP	2.13%	PP
33		门护板	0.37%	PP	0.38%	PP
34		立柱护板	0.30%	PP	0.42%	PP
35		顶棚本体	0.13%	PP	0.25%	PP
36		保险杠	0.45%	PP	0.45%	PP
37	电器	铅蓄电池	1.11%	铅蓄电池材料	0.98%	蓄电池材料
38		空调	0.55%	PP	0.71%	PP
39		动力蓄电池	0.00%	——	按实际重量占比	动力蓄电池材料
40		高压线束（电缆）	0.00%	——	0.61%	铜及铜合金
41		高压线束（护套）	0.00%	——	0.15%	PA
42		电机壳体与定子	0.00%	——	2.51%	铝合金
43		电机后盖与转子	0.00%	——	1.56%	钢铁
44		电机前盖	0.00%	——	0.34%	铝合金

注：1. 白车身为车身结构件及覆盖件焊合总成，并包括车门、发动机罩、行李箱盖、顶盖、翼子板。
2. 纯电动乘用车和可外接充电式混合动力乘用车考虑；动力蓄电池核算范围包括：箱体底座、箱体上盖、散热片、水冷连接管、硬铜巴、高压盒、正极、负极、电解液：六氟磷酸锂。
3. 燃油乘用车包括汽油车、柴油车、可外接及不可外接充电式混合动力乘用车，可外接充电式混合动力乘用车零部件重量占比为各零部件重量占动力蓄电池之外的重量的比重。
4. 纯电动乘用车零部件重量占比为各零部件重量占动力蓄电池之外的重量的比重。

附表2（部件更换次数）

Parts replacement times

名称	更换次数
轮胎	(5×10^4)km更换1次，生命周期更换2次
制冷剂	生命周期逸散1次，更换1次
铅蓄电池	生命周期更换2次

附表3（车辆周期相关碳排放因子）

Emission Factors over Vehicle Cycle

编号	名称	碳排放因子	单位
1	钢铁	2.4	$kgCO_2e/kg$
2	铸铁	1.8	$kgCO_2e/kg$
3	铝合金	16.4	$kgCO_2e/kg$
4	镁合金	36.7	$kgCO_2e/kg$
5	铜及铜合金	4.2	$kgCO_2e/kg$
6	聚丙烯(PP)	2.6	$kgCO_2e/kg$
7	尼龙(PA)	9.2	$kgCO_2e/kg$
8	聚乙烯(PE)	2.5	$kgCO_2e/kg$
9	聚氯乙烯(PVC)	6.1	$kgCO_2e/kg$
10	聚氨酯(PU)	4.4	$kgCO_2e/kg$
11	玻璃	1.0	$kgCO_2e/kg$
12	制冷剂	96.7	$kgCO_2e/kg$
13	轮胎	2.1	$kgCO_2e/kg$
14	铅蓄电池	2.0	$kgCO_2e/kg$
15	三元锂电池包	95.0	$kgCO_2e/kWh$
16	磷酸铁锂电池包	85.0	$kgCO_2e/kWh$
17	锰酸锂电池包	67.9	$kgCO_2e/kWh$
18	整车生产	550	$kgCO_2e/kWh$

附表4（能源生产的碳排放因子）

Emission Factor of Energy Production

编号	名称	碳排放因子	单位
1	汽油	0.3	$kgCO_2e/L$
2	柴油	0.3	$kgCO_2e/L$
3	电	0.6	$kgCO_2e/kWh$

附表5（常见化石能源特定参数值）

Emission Factor of Energy Use

品种		低位发热量	热值单位	单位热值含碳量（吨碳/GJ）	燃料碳氧化率
固体燃料	无烟煤	24.515	GJ/t	27.49×10^{-3}	94%
	烟煤	23.204	GJ/t	26.18×10^{-3}	93%
	褐煤	14.449	GJ/t	28.00×10^{-3}	96%
	洗精煤	26.344	GJ/t	25.40×10^{-3}	93%
	其他洗煤	15.373	GJ/t	25.40×10^{-3}	90%
	型煤	17.460	GJ/t	33.60×10^{-3}	90%
	焦炭	28.446	GJ/t	29.40×10^{-3}	93%
液体燃料	原油	42.620	GJ/t	20.10×10^{-3}	98%
	燃料油	40.190	GJ/t	21.10×10^{-3}	98%
	汽油	44.800	GJ/t	18.90×10^{-3}	98%
	柴油	43.330	GJ/t	20.20×10^{-3}	98%
	一般煤油	44.750	GJ/t	19.60×10^{-3}	98%
	石油焦	31.000	GJ/t	27.50×10^{-3}	98%
	其他石油制品	40.190	GJ/t	20.00×10^{-3}	98%
	焦油	33.453	GJ/t	22.00×10^{-3}	98%
	粗苯	41.816	GJ/t	22.70×10^{-3}	98%

品种		低位发热量	热值单位	单位热值含碳量（吨碳/GJ）	燃料碳氧化率
气体燃料	炼厂干气	46.050	GJ/t	18.20×10^{-3}	99%
	液化石油气	47.310	GJ/t	17.20×10^{-3}	99%
	液化天然气	41.868	GJ/t	17.20×10^{-3}	99%
	天然气	389.310	GJ/万Nm^3	15.30×10^{-3}	99%
	焦炉煤气	173.854	GJ/万Nm^3	14.00×10^{-3}	99%
	高炉煤气	33.000	GJ/万Nm^3	70.80×10^{-3}	99%
	转炉煤气	84.000	GJ/万Nm^3	49.60×10^{-3}	99%
	密闭电石炉炉气	111.190	GJ/万Nm^3	39.51×10^{-3}	99%
	其他煤气	52.340	GJ/万Nm^3	12.20×10^{-3}	99%



中汽数据有限公司

电话：022-84379771
邮箱：sunxin@catarc.ac.cn
地址：天津市东丽区先锋东路 68 号
邮编：300300