

中国电动汽车成本收益评估 (2020-2035)

Nic Lutsey, 崔洪阳
国际清洁交通委员会

禹如杰
中国汽车技术研究中心



www.theicct.org

communications@theicct.org

[twitter @theicct](https://twitter.com/theicct)

致谢

本研究是在Aspen全球变化研究院的慷慨资助下完成的。我们感谢Michael Nicholas博士在本研究的早期阶段所提供的数据分析支持, 同时感谢何卉和Drew Kodjak对本报告进行的审阅和提出的建设性意见。报告中可能出现的任何疏漏或错误皆有作者承担。

International Council on Clean Transportation
1500 K Street NW, Suite 650
Washington, DC 20005

communications@theicct.org | www.theicct.org | [@TheICCT](https://twitter.com/TheICCT)

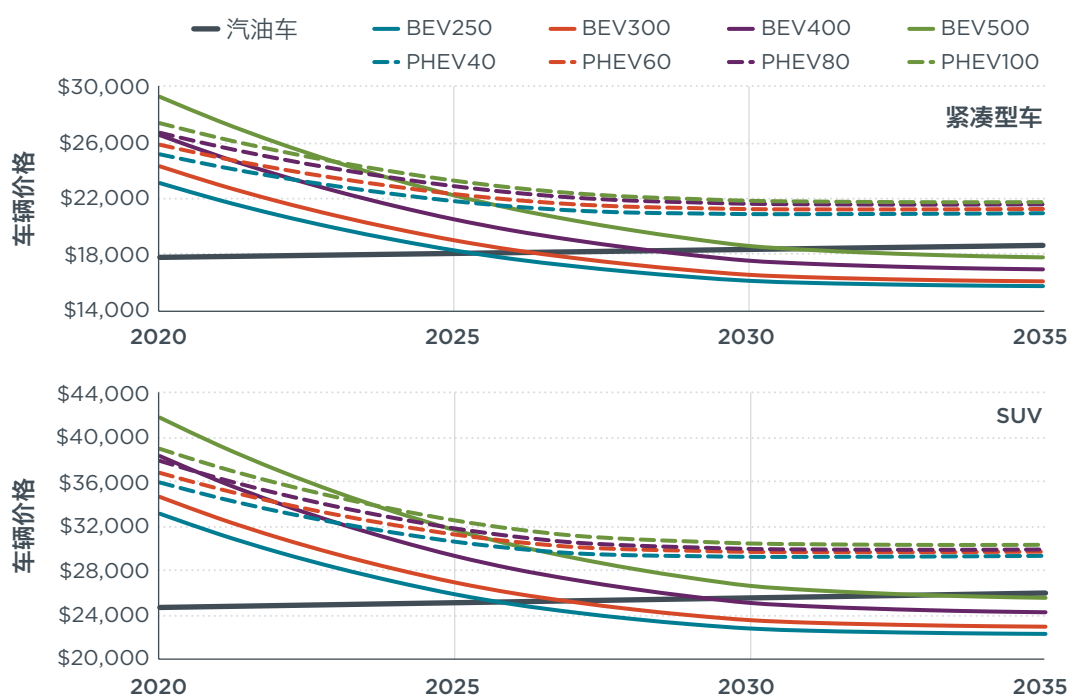
© 2021 国际清洁交通委员会

执行摘要

随着全球范围内电动汽车生产规模的逐步提升, 电动汽车的单车成本逐渐下降, 实现大规模汽车电动化转型的前景进一步明朗。 中国、欧洲和北美的政府从提升空气质量、应对气候变化、以及促进产业发展的角度出发积极推动汽车电动化转型。作为全球最大的汽车市场和全球最大的电动汽车市场, 中国持续地通过政策激励来加速电动汽车的推广并提出更长期的电动汽车发展目标。

中国的电动汽车政策未来将如何变化备受关注。在电动汽车技术显著提升的大背景下, 一个关键的政策问题就是中国的电动汽车成本将以多快的速度下降, 在什么时间点能够与燃油车实现成本平价, 以及电动汽车成本的下降能够为消费者带来多大的收益。本研究首先分析了2020-2035年间中国动力电池成本的下降趋势, 然后采用基于零部件成本的自下而上的方法评估了2020-2035年间中国电动汽车制造成本和电动汽车价格的变化趋势, 并评估了电动汽车相较于燃油车能够为消费者带来的收益。基于此, 本研究还采用情景分析的方法探究了以上成本收益分析结果对中国新能源汽车积分法规的政策启示。

图ES-1给出了燃油车和电动汽车在2020-2035年间的价格变化趋势, 上图是紧凑型车的结果, 下图是SUV的结果, 这两类车是中国乘用车市场上的主流车辆级别。图中的电动汽车包括了纯电续航里程250-500公里的纯电动汽车 (BEV) 和纯电续航里程40-100公里的插电式混合动力汽车 (PHEV)。2020年, 电动汽车的价格比燃油车高出5000-17000美元。随着动力电池系统成本和车辆装配成本的持续下降, 纯电续航里程较短的BEV将在2026年左右实现与燃油车的价格平价, 而纯电续航里程较长的BEV将在2030年左右实现与燃油车的价格平价。



图ES-1 2020-2035年燃油车辆和电动车辆的价格 (上图为紧凑型车, 下图为SUV)

本研究的主要结论包括以下三点。

在中国, 电动汽车有望在5-10年内与燃油车实现价格平价。在持续的技术进步和生产规模提升的共同作用下, 动力电池系统成本将从2020年的130美元/千瓦时(0.90元/瓦时)下降至2030年的59美元/千瓦时(0.4元/瓦时)。对于主流的车辆级别(如紧凑型车和SUV), 纯电续航里程在300-400公里的BEV将于2026-2029年间与燃油车实现价格平价;纯电续航里程较短(250公里)的BEV将在2025年率先实现与燃油车的价格平价, 但是需要有更多的充电基础设施作为支撑;而纯电续航里程较长(500公里)的BEV将在2030年及以后年份与燃油车实现价格平价。如果中国在百公里电耗下降和动力电池系统成本下降等方面的进展速度比预想的更慢, 那么BEV实现与燃油车价格平价的时间会推迟1-3年。

在价格平价到来之前, 电动汽车早早就可以为中国的消费者带来巨大的成本节省。在电动汽车与燃油车实现价格平价之前的很多年, 电动汽车从持有成本的角度来看就已经相对燃油车具备竞争力, 这主要得益于电动汽车在燃料费用方面的优势。根据我们的分析, 电动汽车将在2022-2026年间与燃油车实现首位车主持有成本平价, 首位车主的持有时间假设为5年。对于主流的车辆级别(如紧凑型车和SUV), 2025年购买BEV新车的消费者相对于购买汽油新车的消费者在燃料费用方面将节省2400-3300美元, BEV所带来的成本节省(包括燃料费用的节省和养护费用的节省)远高于其所带来的成本增加(包括充电设备费用的增加和其他费用的增加)。

加速汽车电动化转型可以为中国消费者带来更大的收益, 同时也需要增加产业投资。如果中国乘用车新销量中电动汽车的占比能够在2035年达到90%, 从全生命周期持有成本的角度出发, 更广泛的中国消费者就能够获得电动汽车推广所带来的收益。与中国现有的目标(包括包括2025年20%的官方目标和2030年40%、2035年50%的研究性目标)相比, 如果中国能够在2024-2035年间以更快的速度向汽车电动化转型, 那么中国的消费者可以多获得4450亿美元(3万亿元)的净收益, 这里更快的速度是指电动乘用车的年销量从2019年的100万辆左右增长到2035年的2000万辆以上, 相应地, 动力电池的年产量需要在15年间增长至少30倍。

以上三条结论可以为政策制定提供一些启示。虽然本研究预测电动汽车的成本会在未来持续下降并为消费者带来大量收益, 但是, 如果没有持续的政策支持, 汽车的全面电动化转型并不会实现。在主流车辆级别的电动汽车与燃油车实现成本平价之前, 持续的政策激励非常重要, 在成本问题之外, 持续的政策支持对于解决电动汽车推广过程中所面临的其他核心壁垒也非常关键。中央层面所提出的零排放汽车推广目标可以促使各地政府与产业协调一致积极行动, 而制定更长期的汽车法规(如新能源汽车积分法规和汽车排放标准)对于确保产业投资的落实、电动汽车生产规模的提高和电动车型多样性的提升尤其重要, 是确保中国更广泛的消费者能够从电动汽车的推广中获得收益的必要一环。

作为全球最大的汽车市场和全球最大的电动汽车市场, 中国在加速全球汽车电动化转型方面发挥着特殊作用。本研究表明中国有机会进一步扩大其电动汽车和动力电池的生产规模, 从而帮助电动汽车加速实现与燃油车的成本平价。世界范围内, 欧洲和北美的领先市场已经提出了在2030-2040年间实现乘用车新销量100%零排放的目标, 如果中国也能提出类似的电动汽车推广目标, 就可以以更快的速度朝着汽车全面电动化的方向前进, 中国的消费者也可以在这个过程中获得巨大的收益。同时, 中国做出这样的承诺也可以向中国和全球的车企释放一个信号, 那就是中国将继续在电动汽车和动力电池领域引领世界。

目录

执行摘要..... i

引言..... 1

电动汽车成本分析..... 3

 动力电池系统成本研究..... 3

 电动汽车制造成本..... 6

 电动汽车价格..... 9

车辆持有成本评估..... 13

 车辆和燃料成本假设..... 13

 电动汽车首位车主持有成本..... 14

 电动汽车全生命周期持有成本..... 17

不同政策情景下的成本收益分析..... 20

 政策情景设计..... 20

结论..... 25

参考文献..... 28

附录..... 31

图目录

图ES-1 2020-2035年燃油车辆和电动车辆的价格（上图为紧凑型车, 下图为SUV） i

图 1 2011-2020年全球电动乘用车年销量（基于EV-volumes数据）6

图 2 2015-2020年的动力电池系统成本数据和2020-2035年的动力电池系统成本预测5

图 3 2019、2025和2030年紧凑型车的车辆制造成本8

图 4 2020-2035年不同车辆级别的燃油车辆和电动车辆的价格10

图 5 2019、2025和2030年紧凑型车（上图）和SUV（下图）的首位车主持有成本 15

图 6 2019、2025和2030年电动汽车与燃油车首位车主持有成本的差异
（上图为紧凑型车, 下图为SUV） 16

图 7 2019、2025和2030年电动汽车与燃油车全生命周期持有成本的差异
（上图为紧凑型车, 下图为SUV） 18

图 8 2020-2040年中国乘用车新销量中电动汽车的占比（左图）
和中国电动乘用车的年销量（右图） 21

图 9 2020-2035年BEV、PHEV和EV与燃油车的价格差异和全生命周期净收益
（销量加权平均结果） 22

表目录

表 1 2019年中国燃油乘用车市场分车辆级别的销量及销量加权平均的技术参数 6

表 2 2020和2030年与基准燃油车辆相对应的电动汽车的技术参数 6

表 3 不同情景下BEV实现成本平价的年份 12

表 4 不同政策情景下电动乘用车销量及全生命周期的成本收益分析结果 23

表 A1 文献调研梳理得到的动力电池系统成本数据 31

表 A2 2020-2035年燃油车和电动汽车的价格（按2019年美元计价） 32

引言

尽管汽车电动化转型仍处于早期阶段，但全球电动汽车（EV）市场在过去几年中已经取得了快速发展。如图 1所示，截至2020年底，全球范围内电动乘用车的累计销量已经超过1000万辆，其中中国的贡献最大，占45%，欧洲、北美紧随其后，分别贡献了30%和19%，这三大市场加在一起贡献了全球总销量的94%。中国、欧洲、北美从提升空气质量、应对气候变化、保障石油安全、以及促进产业发展等多个角度出发积极推动汽车电动化转型，并采取了一系列有针对性的政策措施来破除电动汽车推广过程中所面临的核心壁垒，有效地推动了各自电动汽车市场的增长，同时也促进了全球电动汽车供应链的形成。

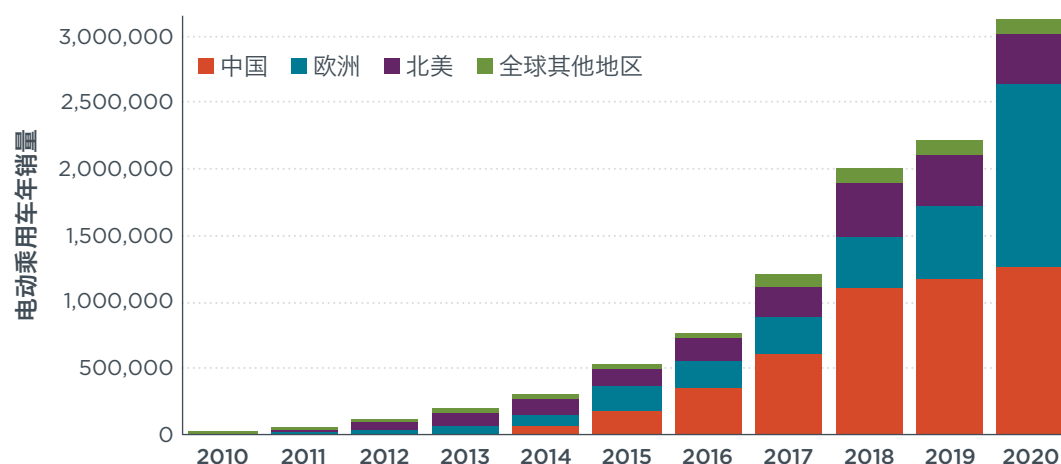


图 1 2011-2020年全球电动乘用车年销量（基于EV-volumes数据）

在电动汽车市场快速发展的过程中，要求车企逐年提升电动汽车产量或销量的汽车法规发挥着关键作用，它们是电动汽车车型多样性持续提升和产量持续增长的核心驱动力。中国是全球最大的电动汽车市场，很多中国城市也位居世界电动汽车之都之列（Hall, Cui, & Lutsey, 2020），这些发展成绩的取得与中国的新能源汽车积分法规（目前以双积分政策的形式展现）以及与之相辅相成的地方性新能源汽车激励政策密不可分（Cui, 2018; Hall, Cui, & Lutsey, 2020; Liu et al., 2020）。在中国，新能源汽车包括纯电动汽车（BEV）、插电式混合动力汽车（PHEV）、以及燃料电池汽车（FCV）。

中国之外，其他两大市场的汽车法规也在其汽车电动化进程中发挥着关键作用。在欧洲，面向2030年的乘用车二氧化碳排放法规设定了零排放和低排放（二氧化碳排放50克/公里以下）汽车的销量占比基准；在北美，截至目前电动汽车销量的绝大部分都来自已经实施零排放汽车积分法规的州和省，按照法规要求，这些州和省的电动汽车在新售乘用车中的占比需要在2025年达到10%左右。此外，欧洲和北美的很多国家和地方政府还提出了在2030-2040年间实现新售乘用车100%电动化的目标并在制定相关政策以实现这些目标的过程之中（British Columbia Office of the Premier, 2018; Office of Governor Gavin Newsom, 2020; French Republic, 2019; Québec, 2020; United Kingdom, 2020）。

这些目标的提出和法规的制定向世界其他国家和地区的政府以及汽车行业众多的利益相关方释放了一个信号，即需要努力着手解决电动汽车推广的诸多壁垒。例如，

要实现电动汽车大规模地投放市场,就必须对电动汽车装配工厂的建设以及车企动力电池供应链的搭建进行投资;同时,电动汽车销量的持续增长意味着市场上可供消费者选择的电动汽车车型需要不断增多,并且要覆盖不同的车辆级别和不同的品牌,这就要求车企在市场营销方面不断增加投入;各地方对其未来电动汽车推广数量的清晰规划有助于量化分析在相关领域(如充电基础设施建设)所需要进行的公共投资和私人投资的具体规模(Slowik et al., 2019);此外,地方政府还可以通过多种形式的激励政策来促进电动汽车在当地的购买和使用。

值得注意的是,各大车企所规划的电动汽车投放规模正在越来越多地超出政府所设定的目标。据不完全统计,2025年,各大车企加在一起计划在全球范围内销售超过2000万辆电动汽车,这是2019年全球销量(约200万辆)的十倍(Slowik, Lutsey, & Hsu, 2020)。电动汽车在早期阶段的研发成本较高、生产规模较小,当其市场规模进入千万量级时,就意味着一条有竞争力的动力电池供应链初步形成,规模效应逐步显现。目前,全球范围内已经有5家动力电池供应商每年为至少20万辆电动汽车供应动力电池(Sharpe et al., 2020),动力电池领域的技术进步也还在继续到来,例如电池化学领域的技术进步使得减少高成本材料的使用成为可能、材料利用率的提升带来成品率的提高、电池比能量的提升等等,此外,动力电池生产规模的大幅增加也会促使其成本显著下降(CATARC, 2019; Chung, Elgqvist, & Sannhanagopalan, 2016)。

中国所提出的电动汽车推广目标对于驱动全球电动汽车市场的增长尤其重要。这一方面是因为中国的汽车市场体量巨大,全球汽车产业非常看中中国市场,另一方面也是因为中国在电动汽车领域所做出的持续的政策努力。中国第一阶段(2019-2020年)的新能源汽车积分法规促使中国乘用车新销量中电动汽车的占比从2018年的4.5%提高至2019年的5.3%和2020年的6.2%(Cui, Hall, & Lutsey, 2020; EV-volumes, 2021)。2020年6月,中国发布了第二阶段的新能源汽车积分法规,其所提出的新能源汽车积分要求将促使电动汽车在中国乘用车新销量中的占比在2023年进一步提升至10%-12%(工业和信息化部, 2020)。2020年11月,中国国务院发布《新能源汽车产业发展规划(2021-2035)》,提出了2025年电动汽车市场占比达到20%的目标(国务院, 2020)。此外,中国汽车工程学会在工业和信息化部的指导下完成并于2020年10月发布的《节能与新能源汽车技术路线图2.0》也提出了2030年40%左右、2035年50%以上的研究性的电动汽车市场占比目标(中国汽车工程学会, 2020)。

中国和全球的汽车电动化进程的快慢取决于电动汽车的成本能够以多快的速度下降。为了回答这一问题,本研究采用基于零部件成本的自下而上的分析方法,将最佳可得的动力电池成本数据和其他汽车零部件成本数据结合起来,对2020-2035年中国电动汽车的成本进行的预测分析。本研究主要关注乘用车,针对中国乘用车市场上主要的车辆级别(如紧凑型车、SUV等)进行了成本分析。在电动汽车方面,我们主要关注BEV和PHEV,未将FCV纳入考量。我们所分析的成本包括车辆制造成本、车辆价格、首位车主的总持有成本、以及全生命周期的总持有成本等。对于每一种成本,我们都将电动汽车与燃油车相比较,从而预测不同类型的电动汽车与燃油车实现平价的时间点。在本研究的最后,我们基于以上成本分析的结果并通过情景分析的方法,评估了中国在2024-2035年设定不同严格程度的新能源汽车积分法规的成本和收益。

电动汽车成本分析

本节首先分析了2020-2035年间中国动力电池系统成本的下降趋势, 然后采用基于零部件成本的自下而上的方法评估了2020-2035年间中国电动汽车制造成本和电动汽车价格的变化趋势, 并与燃油车进行对比。在进行电动汽车成本分析时, 我们考虑了BEV和PHEV两种技术路线, 并对中国乘用车市场上具有代表性的车辆级别(如紧凑型车、SUV、MPV等)都进行了单独的分析。本节所采用的方法沿用了ICCT早前发布的针对美国市场的研究报告中的成本分析模型(Lutsey & Nicholas, 2019a, 2019b), 我们基于近期中国和全球范围内新发布的相关研究对模型参数进行了更新, 并根据中国乘用车市场的具体特征(如车辆级别、车辆参数等)对模型进行了本地化调整。

动力电池系统成本研究

我们采用文献调研的方法对全球范围内最新发表的有关动力电池系统成本(包括历史数据和未来预测)的研究进行了梳理。对于历史数据, 我们在梳理时将那些最新的、描述详细的、采用自下而上的方法进行成本技术分析(包括成本构成分析、总成本分析)的研究纳入考量, 其中有针对全球市场的研究, 有针对欧美市场的研究, 也有单独针对中国市场的研究, 这有助于我们了解现阶段中国市场的动力电池系统成本与欧美市场以及全球整体水平的差异。对于未来预测, 我们在梳理时将那些在报告中对其方法学和技术参数设定(如正负极材料选择、单体成本、系统成本; 成本与生产规模的关系; 自下而上的成本技术分析等方法)给出了清晰描述的技术研究纳入考量, 同时, 我们也将部分车企对其未来动力电池成本下降趋势作出的详细阐述纳入考量。

本研究中所称的动力电池系统成本指的是对于车企的成本, 既包括动力电池的制造成本, 也包括动力电池供应商所有相关的间接成本。全球产业调研数据显示, 2019年和2020年销量加权平均的动力电池系统成本分别为156美元/千瓦时和137美元/千瓦时(Bloomberg New Energy Finance, 2020, 2021)。2019-2020年, 美国和欧洲车企在年产10万辆电动汽车的情况下, 其动力电池系统成本平均在175美元/千瓦小时左右, 动力电池系统的体积比能量和质量比能量分别为325-350瓦时/升和150-170瓦时/千克(Anderman, 2019)。这些数据与主要车企发布的信息比较一致, 通用、特斯拉、大众所发布的信息显示, 这些车企2019-2021年的动力电池单体成本大约在95美元/千瓦时到110美元/千瓦时之间(Davies, 2017; Ewing, 2019; P3, 2020; Witter, 2018)。

锂离子动力电池在正极、负极、单体设计等方面的技术创新不断涌现。2019年, 全球新售电动乘用车所搭载的动力电池中, 镍钴锰三元锂离子电池(NMC)的装车容量占60%以上, 镍钴铝三元锂离子电池(NCA)占30%左右, 之后是磷酸铁锂电池(LFP)和锰酸锂电池(LMO), 其中NMC主要是搭载在特斯拉车型上, 而LFP的研发和销售都集中在中国市场(EV-volumes, 2021)。动力电池正在朝着增镍减锰减钴的方向发展(如从NMC111向NMC611的转变), 动力电池的体积比能量和质量比能量也在不断提高。相较而言, NCA和NMC两类三元锂离子电池主要是搭载在长

续驶里程的车上, 而LFP主要是搭载在短续驶里程的车上, 车主需要更频繁地为车辆充电。

动力电池领域的技术进步还在继续。下一代NMC技术可以进一步提升动力电池单体的质量比能量(单位是瓦时/千克正极材料或瓦时/千克单体材料)、体积比能量(单位是瓦时/升)、和成本。Schmuck等人的研究发现, 提升正极材料中镍的占比并配合含硅的负极材料可以将电池单体的质量比能量在目前占市场主导的NMC611的基础上再提升30%至75% (Schmuck et al., 2018)。Berckmans等人的研究结果与Schmuck等人的研究类似, 在将负极材料从石墨升级为硅/石墨复合材料的情况下, 下一代NMC技术可以大幅提升电池单体的质量比能量 (Berckmans et al., 2017)。Li等人的研究也展示了NMC、NCA两类三元锂离子电池持续的技术进步, 同时反映了正极材料不断增镍的趋势 (Li, Erickson, & Manthiram, 2020)。德国P3汽车股份有限公司对特斯拉于2020年10月发布的动力电池信息的分析以及Berckmans等人的分析显示, 在2025-2030年间, 大规模生产的动力电池系统成本可以降到50美元/千瓦小时左右 (Berckmans et al., 2017; P3, 2020)。

中国的动力电池系统成本数据所展现出的趋势与欧美类同, 但是中国动力电池系统成本的绝对值要比欧美更低。通过将单独针对中国市场的研究 (CAEV, 2020; CATARC, 2019; GGII, 2019; 马云腾, 2020; 苗圩, 2020; 工业和信息化部, 2017a, 2017b; 国家制造强国建设战略咨询委员会, 2018; 任泽平等, 2019; 中国汽车工程学会, 2016, 2020; 施智梁, 2020; 苏晨等, 2020)与其他研究进行对比, 我们发现LFP的系统成本通常比NMC和NCA这两类三元锂离子电池要低10%到20%; 而在动力电池类型和生产规模相同的情况下, 中国的动力电池系统成本通常比欧洲和美国要低20%。

未来动力电池成本的继续下降将依赖于锂离子电池技术的持续进步(如正极材料进一步增镍减钴、负极向硅/石墨复合材料转变、更高的比能量等电池化学领域的技术创新)以及动力电池制造工艺和生产规模的进一步提升(如从2020年为5-10万辆电动汽车供应动力电池提升至2025年为50万辆甚至更多的电动汽车供应动力电池)。动力电池的技术创新并非单一地针对成本, 而是重视成本、比能量、安全性、耐久性等方面的协同进步。需要说明的是, 本研究对未来的预测分析仅基于现有的NMC、NCA、LFP等锂离子电池技术的持续进步, 并未将更前沿的技术突破(如固态电池、金属空气电池等)纳入考量。此外, 尽管全球范围内NMC和NCA占主导的趋势非常明显, 中国很多的动力电池供应商还是选择继续在LFP领域深耕, LFP虽然比能量相对较低, 但其成本显著低于NMC和NCA。

图2展示了我们通过文献调研梳理得到的动力电池系统成本数据, 包括2015-2020年的历史数据和2020-2035的预测数据, 文献的清单及具体数据见附录中的表A1。图2中有一蓝一红两根加粗的实线, 其中蓝线表示ICCT于2019年发布的研究中给出的针对美国市场的动力电池系统成本预测, 从2020年的152美元/千瓦时至2030年的74美元/千瓦时, 年均下降率为7% (Lutsey & Nicholas, 2019a); 而红线则表示本研究针对中国市场的动力电池系统成本预测, 我们预测中国市场上容量为50千瓦时的动力电池的系统成本将从2020年的123美元/千瓦时 (0.85元/瓦时) 下降到2030年的58美元/千瓦时 (0.4元/瓦时) 和2035年的51美元/千瓦时

(0.35元/瓦时)，年均下降率为7.3%。图 2中黑色的虚线是中国汽车工程学会2020年10月发布的《节能与新能源汽车技术路线图2.0》中所给出的2025-2035年的预测（中国汽车工程学会，2020），其中2030-2035年的部分与本研究的预测结果非常相似。图 2中最下方绿色的虚线是德国P3汽车股份有限公司基于特斯拉最新发布的动力电池信息所给出的预测，展示了未来实现大规模生产的企业可以做到的动力电池成本，可以认为是动力电池系统成本预测中的一个合理的下界。

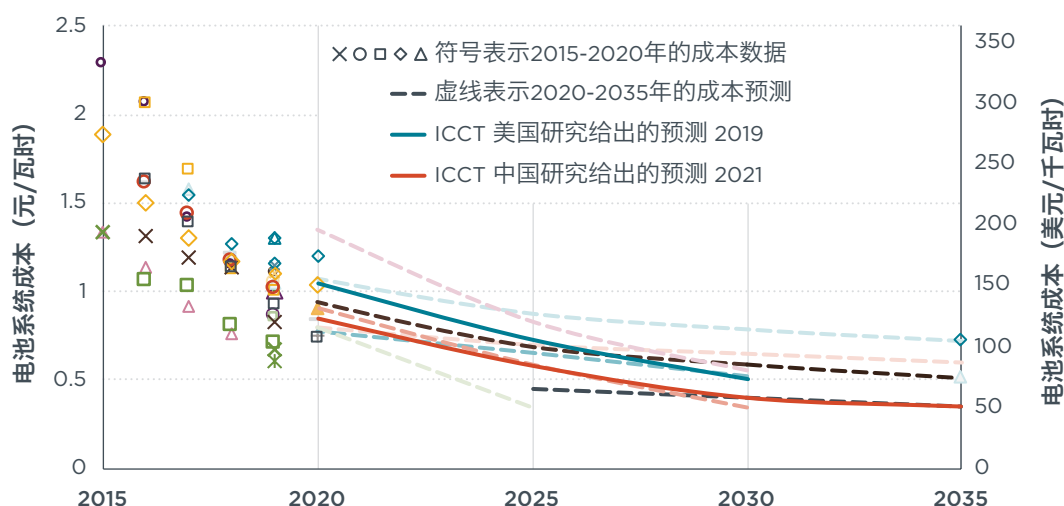


图 2 2015-2020年的动力电池系统成本数据和2020-2035年的动力电池系统成本预测

对比图 2中红蓝两根加粗实线不难发现，中国的动力电池系统成本要比美国低出约20%。这主要是因为中国动力电池的生产规模更大，同时材料成本也相对较低（LFP和NMC811的市场占比较高）。截至2019年底，全球范围内50%左右的电动汽车和动力电池都是在中国生产（Slowik et al., 2020）。电动汽车年产量排名全球前15位的企业中有8个来自中国，其中北汽、比亚迪、上汽、吉利、奇瑞在2019年的电动汽车年产量均超过6.5万辆；全球范围内成长速度最快的动力电池供应商中的绝大多数也来自中国，宁德时代和比亚迪更是跻身全球前三，这两家公司在2019年分别为32万辆和23.6万辆电动汽车供应了动力电池单体。

基于前述的文献调研，动力电池的系统成本通常比单体成本高出30%到40%。在本研究中，我们沿用ICCT早前发布的针对美国市场的研究报告中关于系统成本与单体成本的关系的假设，即单体成本占系统成本的73%，且该占比随着电池容量的增大而升高（Lutsey & Nicholas, 2019a）。图 2中的红色实线展示的是容量为50千瓦时的动力电池的系统成本，当电池容量更低时，每千瓦时的成本会更高；而当电池容量更高时，每千瓦时的成本会更低。例如，2020年一辆电池容量为42千瓦时的BEV的电池系统成本为130美元/千瓦时（0.9元/瓦时），这就比图 2中红色实线展示的123美元/千瓦时要高。再比如，2025年一辆250英里续驶里程的纯电动轿车的电池系统成本为86美元/千瓦时，而一辆500英里续驶里程的纯电动SUV的电池系统成本则为83美元/千瓦时。对于PHEV，本研究假设其每千瓦时的动力电池系统成本在2020-2035年间一直比最低续驶里程的BEV还要高出40%。

电动汽车制造成本

本研究在评估电动汽车的制造成本时,采用的是基于零部件成本的自下而上的分析方法。这一方法学沿用了ICCT早前发布的针对美国市场的研究报告中的成本分析模型 (Lutsey & Nicholas, 2019a),并根据中国乘用车市场的具体特征对模型进行了本地化调整。具体来说,第一步是确定基准燃油车辆的技术参数,第二步是基于基准燃油车辆的技术参数确定与之匹配的电动汽车的技术参数,第三步是基于电动汽车的技术参数评估其制造成本。对于中国乘用车市场上主要的车辆级别(如紧凑型车、SUV等)我们都进行了评估。

本研究的基准年是2019年。表 1给出了2019年中国燃油乘用车市场分车辆级别的销量及销量加权平均的技术参数,包括发动机功率、整备质量、脚印面积、百公里油耗、厂商指导价 (CATARC, 2020),这些销量加权平均的结果就是本研究中不同车辆级别的基准燃油车辆的技术参数。其中百公里油耗数据是NEDC工况下的油耗结果,本研究在进行消费者使用成本分析时,会先将NEDC工况下的油耗结果转化为实际道路工况下的结果。此外,厂商指导价已经将车企利润、经销商利润、以及增值税囊括在内。

表 1 2019年中国燃油乘用车市场分车辆级别的销量及销量加权平均的技术参数

车辆级别 ^a	2019年销量	2019年销量占比	功率 (千瓦)	整备质量 (千克)	脚印面积 (平方米)	百公里油耗 ^b (升/百公里)	厂商指导价 (元)	厂商指导价 ^c (美元)
微型车	6,003	0.03%	70	954	3.33	5.31	¥45,700	\$6,625
小型车	645,446	3.3%	81	1,087	3.77	5.36	¥79,000	\$11,452
紧凑型车	6,208,489	32%	94	1,279	4.10	5.68	¥122,300	\$17,728
中型车	2,109,087	11%	134	1,547	4.51	6.21	¥230,900	\$33,471
大型车	591,696	3.0%	171	1783	4.89	7.09	¥421,600	\$61,115
SUV	8,635,998	44%	122	1,550	4.25	6.91	¥170,436	\$24,706
MPV	1,314,314	6.7%	105	1,538	4.30	7.30	¥123,855	\$17,954
面包车	130,229	0.7%	68	1,118	3.72	6.44	¥40,300	\$5,842
全部	19,641,262	100.0%	108	1,398	4.09	6.21	¥149,556	\$21,679

^a 微型车对应A00级, 小型车对应A0级, 紧凑型车对应A级, 中型车对应B级, 大型车对应C级及以上。

^b 百公里油耗数据是NEDC工况下的油耗结果。

^c 按照1美元=6.8985元人民币的汇率进行转换, 厂商指导价中包括了13%的增值税。

基于表 1给出的基准燃油车辆的技术参数,我们确定了与之匹配的BEV和PHEV的技术参数,2020年和2030年的技术参数如表 2所示。表中的纯电续航里程、百公里电耗、以及PHEV的百公里油耗都是NEDC工况下的结果,本研究在进行消费者使用成本分析时,会先将NEDC工况下的电耗和油耗结果转化为实际道路工况下的结果。表中的电池容量是基于纯电续航里程、百公里电耗、以及可用容量的占比计算的,对于BEV和PHEV,我们假设可用容量分别占其电池容量的90%和80%,PHEV之所以可用容量的占比低于BEV,主要是因为PHEV所采用的功率型电池受热管理、耐久性、安全性等因素的影响在提升可用容量占比方面受到一定的制约。

表 2 2020和2030年与基准燃油车辆相对应的电动汽车的技术参数

	车辆级别 ^a	年份	百公里油耗 (升/百公里) ^b	纯电续航里程 (公里) ^c				百公里电耗 (千瓦时/百公里) ^c				电池容量 (千瓦时) ^d			
				短里程	中短里程	中长里程	长里程	短里程	中短里程	中长里程	长里程	短里程	中短里程	中长里程	长里程
纯电动汽车 (BEV)	小型车	2020	—	250	300	400	500	11.9	12.1	12.7	12.7	33	40	56	71
		2030	—	250	300	400	500	10.8	10.9	11.5	11.5	30	36	51	64
	紧凑型车	2020	—	250	300	400	500	13.0	13.0	13.1	13.4	36	43	58	74
		2030	—	250	300	400	500	11.7	11.8	11.8	12.1	33	39	53	67
	中型车	2020	—	250	300	400	500	14.2	14.3	14.3	14.6	39	48	63	81
		2030	—	250	300	400	500	12.8	12.9	12.9	13.2	36	43	57	73
	SUV	2020	—	250	300	400	500	14.6	15.0	15.7	16.5	41	50	70	92
		2030	—	250	300	400	500	13.2	13.6	14.2	14.9	37	45	63	83
	MPV	2020	—	250	300	400	500	14.5	14.9	15.6	16.3	40	50	69	91
		2030	—	250	300	400	500	13.1	13.5	14.1	14.8	36	45	63	82
插电式混合动力汽车 (PHEV)	小型车	2020	4.28	40	60	80	100	13.1	13.2	13.3	13.4	6.5	9.9	13.3	16.8
		2030	4.17	40	60	80	100	11.8	11.9	12.0	12.1	5.9	8.9	12.0	15.2
	紧凑型车	2020	4.53	40	60	80	100	14.0	14.0	14.0	14.0	7.0	10.5	14.0	17.5
		2030	4.42	40	60	80	100	12.6	12.7	12.7	12.7	6.3	9.5	12.7	15.8
	中型车	2020	4.96	40	60	80	100	15.3	15.3	15.3	15.3	7.6	11.5	15.3	19.1
		2030	4.83	40	60	80	100	13.8	13.8	13.8	13.8	6.9	10.4	13.8	17.3
	SUV	2020	5.52	40	60	80	100	17.0	17.1	17.3	17.4	8.5	12.8	17.3	21.8
		2030	5.38	40	60	80	100	15.3	15.5	15.6	15.7	7.7	11.6	15.6	19.7
	MPV	2020	5.82	40	60	80	100	16.8	17.0	17.1	17.3	8.4	12.7	17.1	21.6
		2030	5.68	40	60	80	100	15.2	15.4	15.5	15.6	7.6	11.5	15.5	19.5

^a 小型车对应AO级, 紧凑型车对应A级, 中型车对应B级。
^b PHEV在电量保持模式下的油耗按照比同级别的传统燃油车低20%计算; PHEV车主的耗油里程和耗电里程的比例基于纯电利用系数 (Utility Factor) 确定, 纯电利用系数根据生态环境部 (2016) 中给出的公式进行计算。
^c 表中的纯电续航里程、百公里电耗、以及PHEV的百公里油耗数据都是NEDC工况下的结果。
^d 表中的电池容量是基于纯电续航里程、百公里电耗、以及可用容量的占比 (BEV假设90%, PHEV假设80%) 计算的。

考虑到电动汽车未来在三电系统 (电池、电机、电控) 和整车层面 (如轻量化、空气动力学、轮胎滚阻) 持续的技术进步, 本研究假设2020-2035年间BEV (包括电量消耗模式下的PHEV) 的百公里电耗每年下降1%。基于ICCT于2020年10月发布的研究报告中关于中国乘用车新车车队油耗降低的技术路线及其成本的评估 (Yang & Cui, 2020), 本研究假设2019-2035年间燃油车 (包括电量保持模式下的PHEV) 的百公里油耗每年下降3%, 对应的成本每年升高0.3%, 燃油车油耗的持续下降是中国乘用车新车车队在2030年实现3.2升/百公里的油耗目标的重要一环。

在本研究中, 中国燃油乘用车新车车队的百公里油耗将从2019年的6.2升/百公里下降至2030年的4.4升/百公里 (均为NEDC工况下的结果), 这会导致3732元 (541美元) 的价格上升。不同车辆级别的燃油车的油耗下降和价格上升各不相同, 例如, 燃油SUV平均的百公里油耗将从2019年的6.9升/百公里下降至2030年的4.9升/百公里, 相应的价格上升为4038元 (585美元)。本研究在进行消费者使用成本分析时, 基于ICCT于2018年发布的研究报告中关于NEDC工况和实际道路工况下油耗差异的分析结果 (Yang & Yang, 2018), 假设燃油车、PHEV和BEV在实际道路工况下的油耗和电耗都比NEDC工况下高34%。

本研究中电动汽车车主的耗电里程和耗油里程的比例是基于纯电利用系数 (Utility Factor) 确定的。对于PHEV, 纯电利用系数是根据生态环境部 (2016) 中给出的计

算公式计算的, 纯电续驶里程为40公里的PHEV(PHEV40)的纯电利用系数为0.34, 这里的40公里是NEDC工况下的续驶里程, 其对应的实际道路工况下的续驶里程为30公里, 我们在计算PHEV40的纯电利用系数时是按照30公里的实际工况续驶里程计算的。同理, PHEV60、PHEV80、PHEV100的纯电利用系数分别为0.49、0.61和0.70。对于PHEV的耗油里程, 本研究假设其百公里油耗是同级别、同车型的燃油车的80%。

除动力电池系统的成本外, 车辆制造成本的其他组成部分是根据瑞银集团最新发布的电动汽车成本拆解研究报告中给出的数据调整得到的 (UBS, 2017)。瑞银集团的报告评估了雪佛兰的纯电动车型Bolt和大众的燃油车型高尔夫在2017年和2025年的成本, 这两款车都属于紧凑型车 (中国的A级车、欧洲的C级车)。本研究基于表 1 和表 2 中给出的中国基准燃油车辆及其对应的电动车辆的技术参数, 对瑞银集团报告中给出的成本数据进行了调整。瑞银集团报告中按2017年美元计价的成本按照1.04的通货膨胀率调整为按2019年美元计价的成本。与ICCT早前针对美国市场的研究报告 (Lutsey & Nicholas, 2019) 一样, 本研究中车辆动力系统的成本和车辆装配成本分别是基于车辆的额定功率和车辆的脚印面积进行比例调整。此外, 通过对比中美市场的车辆的价格数据, 本研究估计中国生产的动力系统的成本比ICCT早前针对美国市场的研究报告中的结果低20%。

图 3给出了2019、2025和2030年燃油和电动紧凑型车的车辆制造成本, 其中BEV根据纯电续驶里程分为BEV250、BEV300、BEV400和BEV500四类, PHEV也根据纯电续驶里程分为PHEV40、PHEV60、PHEV80和PHEV100四类。车辆制造成本不包括车企利润、经销商利润和税收。2019年, 燃油紧凑型车的车辆制造成本为13400美元; 受动力电池系统成本和间接成本较高的影响, 四类BEV的车辆制造成本比燃油车高出5100-10100美元。到2025年, 燃油紧凑型车的车辆制造成本略微上涨至13600美元, 而不同纯电续航里程的BEV和PHEV的车辆制造成本分别为13800-16700美元和16500-17600美元。到2030年, 燃油紧凑型车的车辆制造成本进一步上升至13800美元, 而此时的电动汽车 (包括不同纯电续航里程的BEV和PHEV) 的车辆制造成本为12100-16500美元。

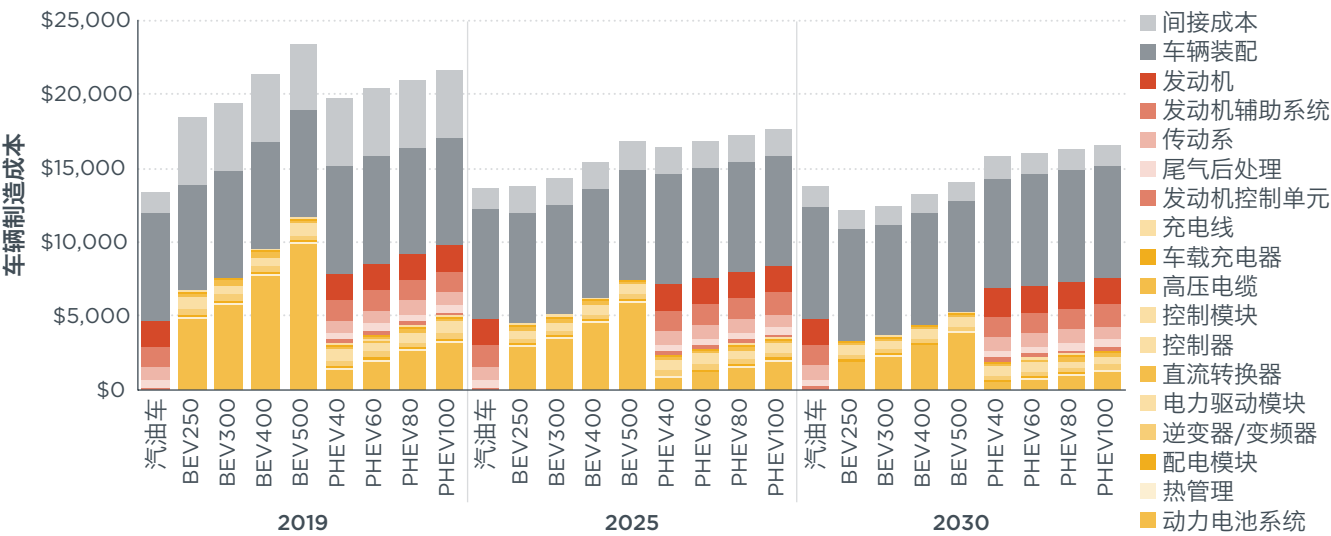


图 3 2019、2025和2030年紧凑型车的车辆制造成本

如图 3所示,从基准年2019年到2025-2030年,电动汽车的制造成本显著降低,这主要归功于动力电池系统成本和间接成本的下降。其中间接成本主要包括研发成本、折旧成本、摊余成本等,随着电动汽车生产规模的扩大和制造工艺的改进,单车的间接成本会大幅下降。BEV的间接成本从2019年的4500美元下降至2030年的1200美元,比燃油车1400美元的间接成本更低。BEV300的动力电池系统成本从2019年的5800美元下降至2030年的2300美元,而BEV500的动力电池系统成本从2019年的9900美元下降至2030年的3900美元,降幅高达61%。电动汽车除动力电池系统之外的车辆动力系统成本从2019年的1800美元下降至2030年的1400美元,降幅为21%。PHEV由于动力电池容量较小且仍然保有燃油动力系统,其车辆制造成本的下降幅度显著低于BEV。

电动汽车价格

在车辆制造成本的基础之上,本研究进一步评估了车辆价格。车辆价格不仅包括车辆制造成本,还包括车企利润和经销商利润。我们将图 3中展示的通过自下而上的分析方法得到的车辆制造成本数据与表 1中所给出的厂商指导价数据进行对比,并基于对比的结果假设了车企利润率和经销商利润率。需要说明的是,车辆制造成本和厂商指导价之间的差距不仅是车企利润和经销商利润,还包括两种价内税。一种是增值税,税率是13%;另一种是消费税,税率根据发动机排量确定,本研究基于基准年中国燃油乘用车市场的特征假设小型车、紧凑型车、中型车、SUV和MPV的税率分别为3%、5%、9%、5%和5%。本研究重点关注的是2020-2035年间车辆技术成本的变化,因此我们在计算中未考虑任何针对电动汽车的税率减免和补贴政策,电动汽车和燃油车完全按照同样的税率进行两种价内税的计算。

平均来看,车企的利润是车辆制造成本的10%,经销商的利润是车辆制造成本与车企利润之和的10%。不同车辆级别的车企利润率和经销商利润率并不相同。例如,紧凑型车的利润率相对较低,我们按照车企利润率和经销商利润率均为6%进行计算;而SUV的利润率相对较高,我们按照车企利润率和经销商利润率分别为11%和12%进行计算。在本研究中,我们假设同一车辆级别的燃油车辆和电动车辆的利润率是一致的,在这种情况下,利润率不会影响电动汽车与燃油车实现平价的时间。当电动汽车的车辆制造成本低于燃油车后,电动汽车的价格也会相应地低于燃油车,当然,届时车企也有可能选择利用电动汽车的成本优势提高利润率。

图 4给出了2020-2035年分车辆级别的燃油车辆和电动车辆的价格,从上至下分别是小型车、紧凑型车、中型车、SUV和MPV的结果。图中的黑线实线表示汽油车的价格,随着油耗标准的加严,汽油车的价格会小幅上升。BEV的车辆制造成本在2020-2035年间大幅下降,相应地BEV的价格也会大幅下降,图中蓝、红、紫、绿四条实线表示纯电续航里程从低到高的BEV的价格,可以看到,纯电续航里程相对较短的BEV250和BEV300基本上将在2025-2027年间与汽油车实现平价,而纯电续航里程相对较长的BEV400和BEV500由于动力电池容量更大,基本将在2027-2031年间与汽油车实现平价。图中四条虚线表示40-100公里纯电续航里程的PHEV的价格,可以看到, PHEV的价格将在2023-2025年间高过同车辆级别的BEV500,随后一直都是三类动力技术路线(汽油车、BEV、PHEV)中价格最高的一个。

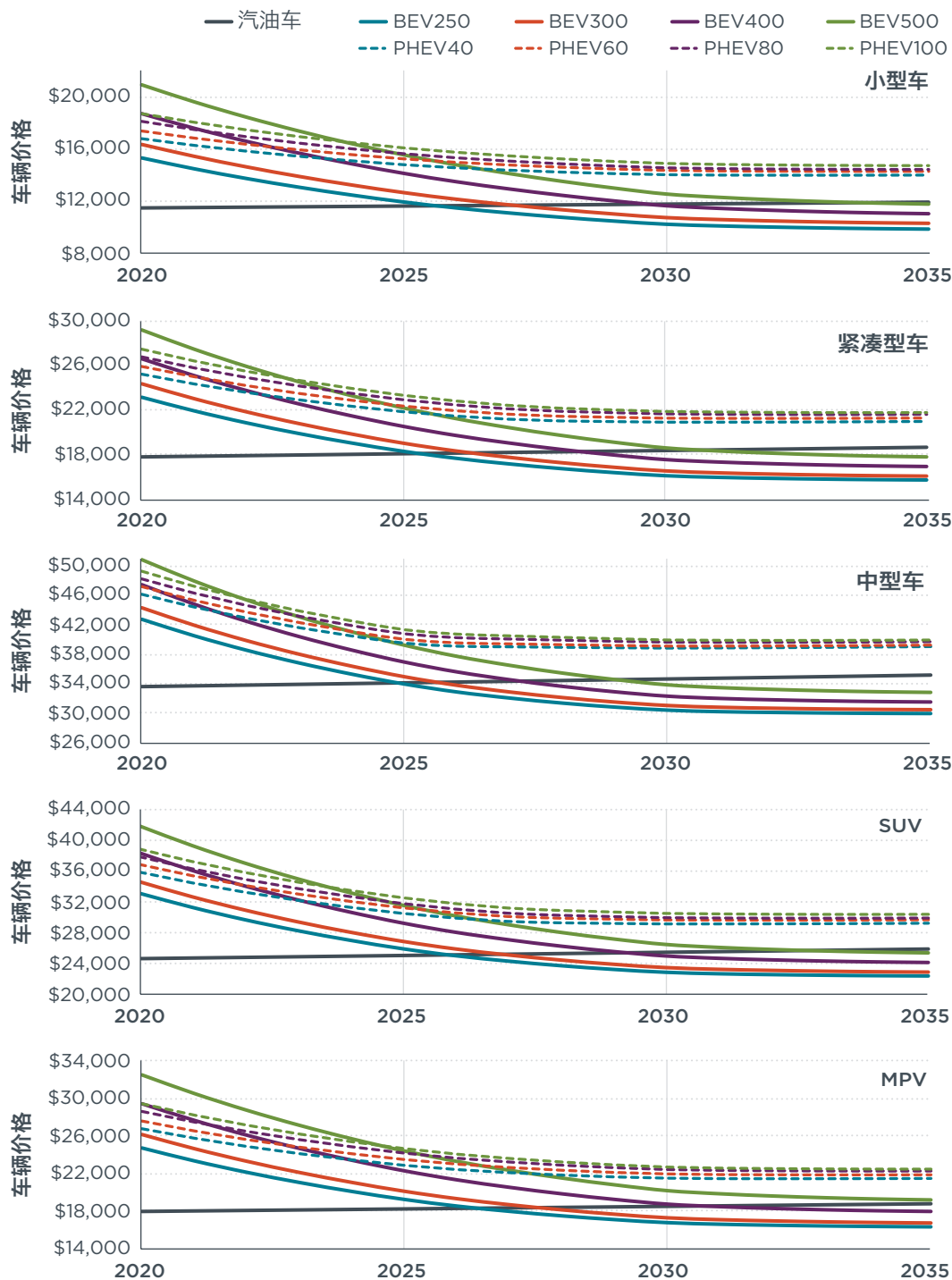


图 4 2020-2035年不同车辆级别的燃油车辆和电动车辆的价格

如图 4所示, BEV将在2025-2035年间与汽油车实现平价, 具体的时间点因纯电续航里程和车辆级别的不同而不同。BEV250的纯电续航里程最短, 将最先实现平价, 其中紧凑型车和中型车的平价时间是2025年左右, 而小型车、SUV和MPV的平价时间是2026年。纯电续航里程相对较长的BEV实现平价的时间相对较晚。对于BEV400, 紧凑型车和中型车将在2027-2028年间实现平价, 而SUV、小型车和MPV将在2029-2030年间实现平价。对于BEV500, 中型车在2029年实现平价, 其他车辆级别实现平价的时间将在2031年甚至更晚。相对便宜的车辆级别(例如小

型车比紧凑型车和中型车便宜, MPV比SUV便宜很多) 需要更长时间来实现平价, 因为它们的动力电池和动力系统在车辆制造成本中所占的比例相对较低。

当纯电续航里程较短的BEV率先实现平价时, 消费者可能会选择购买价格较低但纯电续航里程也较短的BEV, 也可能会出于对充电便利性的担忧而选择多花20%左右的钱购买纯电续航里程较长的BEV或者PHEV。例如, 2026年时250公里纯电续航里程的紧凑型BEV的价格将首次低于紧凑型汽油车, 消费者可能会选择购买价格较低的BEV250, 也可能会选择多花3600美元购买BEV500或者多花3800美元购买PHEV40。类似地, 2026年时250公里纯电续航里程的纯电动SUV的价格将低于汽油SUV, 消费者可能会选择购买价格较低的BEV250, 但也可能会选择多花5300美元购买BEV500或者多花4900美元购买PHEV60。

如图 4所示, PHEV的价格也将在2020-2030年间明显下降。2030年时, 不同车辆级别的PHEV与汽油车的价格差距将下降至1600-5400美元左右。例如, 对于紧凑型车, PHEV40与汽油车的价格差距将从2020年的7300美元下降至2025年的3800美元; 对于SUV, PHEV40与汽油车的价格差距将从2020年的11100美元下降至2025年的5400美元。但是, PHEV无法与汽油车实现平价, 这一方面是因为PHEV仍然保留了内燃机动力系统, 另一方面则是因为电动汽车价格的下降主要来自动力电池系统成本的下降, 而PHEV的动力电池容量相对较小, 在PHEV价格中所占的比例也相对较小。

电动汽车与燃油车实现平价的时间受两个关键参数的影响, 一个是百公里电耗的下降速度, 另一个是动力电池系统成本的下降速度, 我们对这两个参数对平价时间的影响进行了敏感性分析。对于百公里电耗的下降速度, 本研究的中间情景假设的是1%的年均下降率, 在此基础上, 我们设计了一个百公里电耗下降更慢情景(0%的年均下降率) 来体现能效提升被车辆整备质量和脚印面积的增加抵消的情况, 以及一个百公里电耗下降更快情景(2%的年均下降率) 来体现能效提升压力更大的情况。对于动力电池系统成本的下降速度, 本研究的中间情景假设的是7%的年均下降率, 我们设计了一个电池成本下降更慢情景(5%的年均下降率) 来体现技术创新和产量提升的速度慢于预期的情况, 以及一个电池成本下降更快情景(9%的年均下降率) 来体现出现更大的动力电池技术突破的情况。

敏感性分析的结果如表 3所示, 我们以300公里和400公里纯电续航里程的紧凑型车和SUV为例展示了百公里电耗的下降速度和电池系统成本的下降速度对电动汽车与燃油车实现平价的年份的影响, 其中中间情景下的平价时间就是图 4中所展示的结果。可以看到, 如果百公里电耗在2020-2035年间保持不变, 那么与中间情景相比, BEV300和BEV400分别需要多用0.5年和0.9-1.1年才能与汽油车实现平价;而如果百公里电耗的年均下降率从1%提升至2%, 那么平价可以提前0.4-0.8年到来。如果动力电池系统成本的年均下降率从7%下降至5%, 那么BEV300和BEV400分别需要多用1.3年和2.5-3.4年的时间才能与汽油车实现平价;而如果动力电池系统成本的年均下降率从7%提高至9%,那么平价可以提前0.7-1.2年到来。

表 3 不同情景下BEV实现成本平价的年份

	BEV300					BEV400				
	中间情景	百公里电耗下降更慢情景	百公里电耗下降更快情景	电池成本下降更慢情景	电池成本下降更快情景	中间情景	百公里电耗下降更慢情景	百公里电耗下降更快情景	电池成本下降更慢情景	电池成本下降更快情景
紧凑型车	2026.3	2026.8	2025.9	2027.7	2025.7	2028.4	2029.3	2027.7	2030.9	2027.3
SUV	2026.9	2027.4	2026.4	2028.2	2026.2	2029.2	2030.3	2028.5	2032.6	2028.0
与中间情景相比BEV实现平价所需要增加或减少的年数										
紧凑型车	-	+0.5	-0.4	+1.3	-0.7	-	+0.9	-0.7	+2.5	-1.1
SUV	-	+0.5	-0.4	+1.3	-0.7	-	+1.1	-0.8	+3.4	-1.2

表 3中所给出的敏感性分析结果进一步强化了主流车辆级别（如紧凑型车、SUV）的电动汽车将在2025-2030年间与燃油车实现平价的评估结果，同时也显示出电动汽车百公里能耗和动力电池系统成本的持续下降对于加速电动汽车与燃油车实现平价的重要意义。对于百公里电耗，中国在最新发布的《新能源汽车产业发展规划（2021-2025）》中提出了2025年12千瓦时/百公里的电耗目标（国务院，2020）。考虑到中国的电动乘用车市场未来将呈现出逐渐大型化的趋势（下文将详细分析），百公里电耗的年均下降率需要达到1%-2%才能实现12千瓦时/百公里的目标。对于动力电池的系统成本，本研究中间情景中2030年0.4元/瓦时的结果与最新发布的《节能与新能源汽车技术路线图2.0》中所提出的目标非常接近，更高的动力电池系统成本（如表 3中电池成本下降更慢情景下的2030年0.52元/瓦时）将会导致平价时间推迟1-3年。

车辆持有成本评估

在车辆价格的基础之上,本研究又进一步评估了车辆持有成本,包括首位车主的持有成本和车辆全生命周期的持有成本。首位车主的持有成本,尤其是车辆持有和使用过程中的燃料费用和养护费用,对于消费者的购车选择非常重要;而车辆全生命周期的持有成本,对于相关公共政策的制定非常重要。我们评估了电动汽车和燃油车相比对于首位车主的成本竞争力,并预测了电动汽车与燃油车相比在车辆全生命周期内能够为消费者带来的净收益。需要强调的是,本研究在评估车辆持有成本时,未将电动汽车所享受的中央和地方政府的补贴和税费减免等优惠政策考虑在内,目的是对燃油车和电动汽车的成本和收益作出技术中立的对比分析。

车辆和燃料成本假设

本研究对车辆持有成本的评估基于一系列针对车辆和燃料成本的假设,这些假设整体上沿用了ICCT早前发布的针对美国市场的研究中的方法,并利用中国本地的数据进行了更新。

在进行税费计算时,除了上文在车辆价格评估阶段提到的增值税和消费税两种价内税,本研究在车辆持有成本评估阶段又考虑了车辆购置税。尽管中国目前对电动汽车免征车辆购置税,我们在计算中还是对燃油车和电动汽车均按照10%的税率进行车辆购置税计算;同样的道理,我们在进行车辆持有成本评估时也没有将中国现存的中央和地方层面针对电动汽车的其他优惠政策考虑在内,包括补贴和税费减免等,这样能够在成本对比时专注于车辆技术成本变化的影响。

在进行油费计算时,考虑到未来汽油价格的涨跌存在较大不确定性,本研究假设中国的汽油零售价格在2020-2035年间保持6.8元/升(0.99美元/升)不变。在进行电费计算时,本研究假设电动汽车车主一半的充电行为采用家用充电桩,电费为0.52元/千瓦时(0.075美元/千瓦时),另一半的充电行为采用公共充电桩,电费和充电服务费为1.5元/千瓦时(0.217美元/千瓦时)。我们假设首位车主的持有周期为5年,车辆全生命周期为15年,按照5%的贴现率评估了燃油车和电动汽车的首位车主持有成本和全生命周期持有成本。

在进行养护费用计算时,本研究假设汽油车的养护费用随车辆价格的升高而升高,例如小型车每公里的养护费用分别为0.03美元,而SUV每公里的养护费用则为0.06美元。基于文献调研,本研究假设BEV每公里的养护费用是汽油车的50%(UBS, 2017; New York City, 2019),而PHEV每公里的养护费用则假设为汽油车和BEV的平均值,这是因为当PHEV在电量消耗模式下运行时,与汽油车相比,其发动机使用和刹车磨损都有所减少。

本研究假设车辆的年均行驶里程为14000公里(Ou et al., 2019),按照第一年行驶18344公里然后逐年递减4%进行计算,在15年的车辆全生命周期内共行驶21万公里。我们基于前文所述的纯电利用系数确定了PHEV车主的年行驶里程中耗电里程和耗油里程的比例。同时,我们也基于纯电利用系数计算了BEV车主的年行驶里程中耗电里程和耗油里程的比例,这里的耗电里程值得是使用该BEV行驶的里程,而耗油里程指的是当该BEV的纯电续驶里程无法支撑车主的长距离出行时,车主采用“

替代车辆”（如家庭第二辆车、网约车等）行驶的里程。我们假设当BEV车主采用“替代车辆”时，采用的是汽油车，且其使用成本与本研究汽油车的使用成本一致（例如2020年小型车和中型车的成本分别是0.22美元/公里和0.55美元/公里）。

在税费、燃油费用、养护费用和“替代车辆”费用之外，电动汽车车主的持有成本还包括充电设备费用。安装家用充电桩能够提高电动汽车车主的充电便利性，PHEV车主在家充电的需求相较BEV较低（Nicholas, 2019），本研究假设BEV和PHEV车主在2020年购买和安装家用充电桩的费用分别为600美元和200美元，随着家用充电桩生产规模的增长，其购买和安装费用也会随之下降，2030年时BEV和PHEV车主购买和安装家用充电桩的费用会分别降至400美元和160美元。本研究未将电动汽车车主在安装家用充电桩后所节省的充电时间的价值纳入持有成本的计算，也未将公共充电基础设施建设和运营成本中未转移至车主身上的部分纳入考量。

电动汽车首位车主持有成本

图 5给出了2019、2025和2030年汽油车、BEV和PHEV的首位车主（5年持有周期）持有成本，上图和下图分别展示了紧凑型车和SUV的成本评估结果，正如表 1所示，紧凑型车和SUV是中国乘用车市场的主流车辆级别，其在基准年2019年的销量和市场占比分别为620万辆（32%）和860万辆（44%）。首位车主持有成本包括车辆制造成本、车企利润、经销商利润、充电设备费用、燃料费用、养护费用和税费，对于BEV250、BEV300、BEV400和BEV500，首位车主持有成本还包括“替代车辆”费用。不难看出，从2019年到2025和2030年，首位车主持有成本中变化最大的是部分是电动汽车的制造成本（如图 3、图 4所示），而电动汽车制造成本的大幅下降主要归功于动力电池系统成本的快速下降。

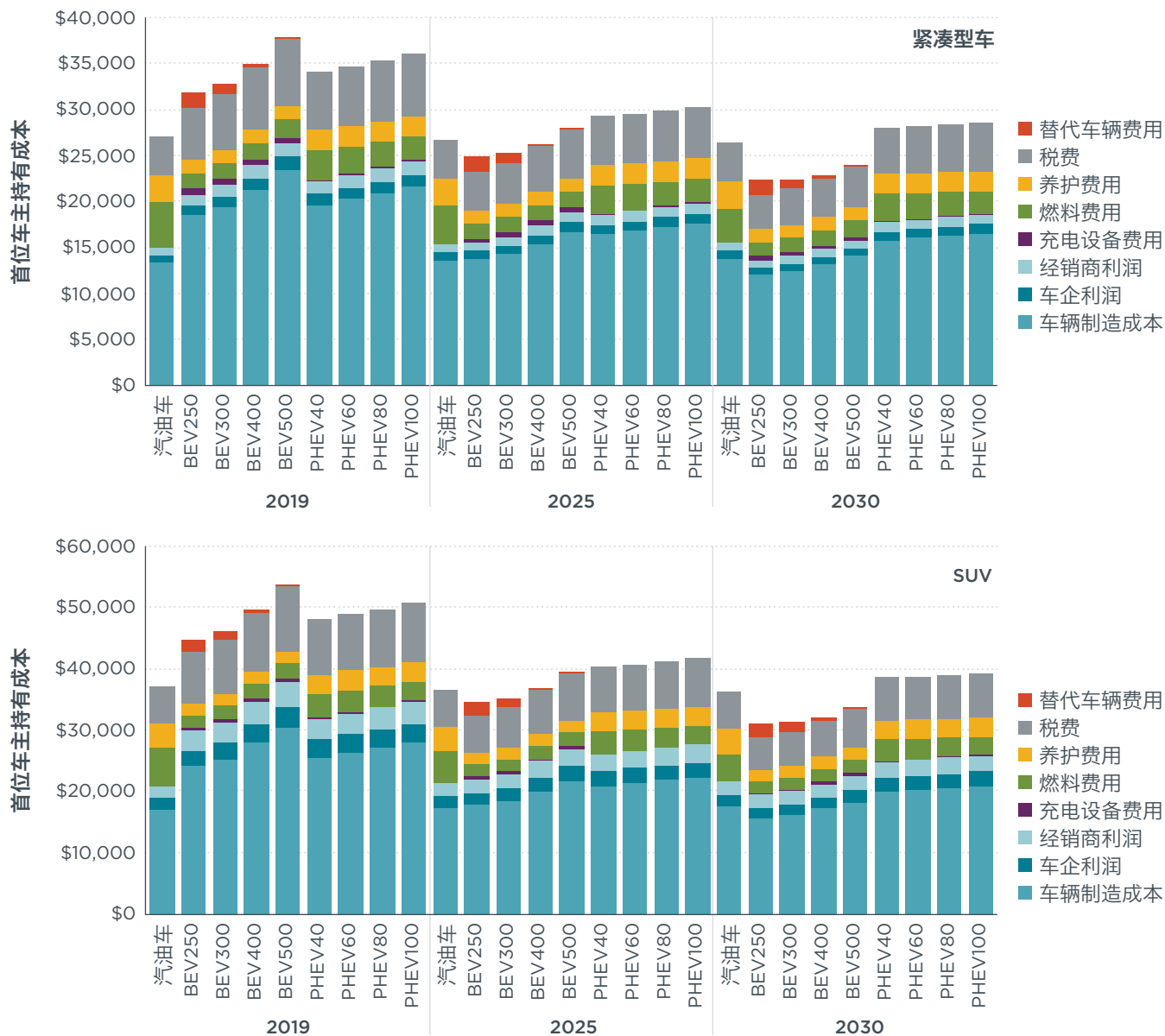


图 5 2019、2025 和 2030 年紧凑型车（上图）和 SUV（下图）的首位车主持有成本

如图 5 所示，虽然 SUV 的首位车主持有成本的绝对值比紧凑型车更高，但是这两个车辆级别在燃油车和电动汽车的首位车主持有成本的相对关系方面非常类似，其电动汽车与燃油车实现首位车主持有成本平价的时间点也相差不大。从 2025 年开始，图 5 中展示的 16 根 BEV 柱子中的 13 根（包括 2025 年纯电续航里程不超过 400 公里的紧凑型车和不超过 300 公里的 SUV，以及 2030 年所有纯电动紧凑型车和 SUV）的首位车主持有成本都低于相对应的汽油车。例如，2025 年，BEV400 紧凑型车的首位车主持有成本比汽油紧凑型车低 480 美元，BEV300 的 SUV 的首位车主持有成本比汽油 SUV 低 1400 美元。PHEV 的首位车主持有成本也将在 2020-2030 年间明显下降，但是，无论是紧凑型车还是 SUV，PHEV 都无法与汽油车实现首位车主持有成本平价，在 2030 年与相对应的汽油车在首位车主持有成本方面仍存在 1600-3000 美元的差距。

图 6 给出了 2019、2025 和 2030 年不同纯电续航里程的 BEV 和 PHEV 的首位车主持有成本与相对应的燃油车的差异，上图为紧凑型车的结果，下图为 SUV 的结果，图中

的白色菱形符号代表净差异。无论是对于车辆价格差异、燃料费用差异、养护费用差异、其他费用差异还是净差异, 当差异值为正值时, 代表电动汽车在这一方面的成本低于燃油车, 能够为消费者带来净收益, 而当差异值为负值时, 则代表电动汽车在这方面的成本仍然高于燃油车。



图 6 2019、2025 和 2030 年电动汽车与燃油车首位车主持有成本的差异 (上图为紧凑型车, 下图为 SUV)

如图 6 所示, 在基准年 2019 年, 车辆价格差异起主导作用, 电动汽车的价格明显高于燃油车。从 2025 年开始, 随着电动汽车价格的下降, 燃料费用差异和养护费用差异的相对作用逐渐增强。以紧凑型车为例, 2025 年购买紧凑型汽油新车的消费者在 5 年的首位车主持有周期内平均需要支付 4200 美元的油费, 而购买紧凑型 BEV 新车的消费者在相同的持有周期内仅需支付 1600-1800 美元的电费, 相较而言节省了 2400-2600 美元的燃料费用。BEV 的养护费用也比相对应的汽油车更低, 2025 年购买紧凑型 BEV 新车的消费者在首位车主持有周期内可以在养护费用方面相较汽油车节省 1600 美元。但是, 在税费、充电设备费用和“替代车辆”费用方面, BEV 要高于汽油车, 这些费用的差异在图 6 中以“其他费用差异”的形式展现。如前所述, PHEV 在 2025 和 2030 年无法与汽油车实现首位车主持有成本平价, 2030 年,

紧凑型PHEV在首位车主持有成本方面与汽油车的差距在1600美元 (PHEV40) 到2100美元 (PHEV100) 之间不等。

SUV的结果与紧凑型车类似, 但是成本差异的绝对值更大。如图 6所示, 2025年购买汽油SUV新车的消费者在5年的首位车主持有周期内平均需要支付5100美元的油费, 而购买纯电动SUV新车的消费者在相同的持有周期内仅需支付1900-2200美元的电费, 相较而言节省了2900-3300美元的燃料费用。2025年购买纯电动SUV新车的消费者在首位车主持有周期内相较汽油车可以节省2200美元左右的养护费用。2030年, 插电式混合动力SUV在首位车主持有成本方面与汽油车的差距在2300美元 (PHEV40) 到3000美元 (PHEV100) 之间不等。

图 5和图 6以紧凑型车和SUV为例展示了本研究针对首位车主持有成本的评估结果, 其他车辆级别的结果与紧凑型车和SUV总体一致, 主要的区别就是价格较低的车辆级别 (如小型车、MPV) 的电动汽车在成本竞争力方面的表现 (即与同级别汽油车相比的成本优势) 相对逊色于紧凑型车和SUV。根据我们的分析, 电动汽车将在与燃油车实现价格平价 (如图 4所示) 之前的3-6年就实现与燃油车的首位车主持有成本平价。纯电续航里程相对较短的BEV (BEV250和BEV300) 将在2022-2024年间与燃油车实现首位车主持有成本平价, 早于其与燃油车实现价格平价的2025-2027年; 而纯电续航里程相对较长的BEV (BEV400和BEV500) 将在2024-2026年间实现与燃油车的首位车主持有成本平价, 早于其与燃油车实现价格平价的2027-2031年。

电动汽车全生命周期持有成本

本研究不仅分析了首位车主持有成本 (5年持有周期), 还分析了全生命周期的持有成本 (15年持有周期), 前者对消费者的购车选择非常重要, 而后者对于公共政策的制定非常重要。在进行全生命周期持有成本分析时, 电动汽车与燃油车的车辆价格差异、税费差异和充电设备费用差异均与首位车主持有成本中的完全一致, 但是由于持有周期从5年增长至15年, 电动汽车与燃油车的燃料费用差异、养护费用差异以及“替代车辆”费用差异的绝对值明显变大。虽然持有周期从5年到15年增长了三倍, 但是相应的费用差异只增长了2倍左右, 这一方面是因为本研究的车辆年均行驶里程并非一成不变, 而是随着车龄的增长逐年减少, 另一方面是因为本研究在评估未来成本时采用了5%的贴现率。

图 7给出了2019、2025和2030年不同纯电续航里程的BEV和PHEV的全生命周期持有成本与相对应的燃油车的差异, 上图为紧凑型车的结果, 下图为SUV的结果, 图中的白色菱形符号代表净差异。与图 6一样, 当差异值为正值时, 代表电动汽车在这一方面的成本低于燃油车, 能够为消费者带来净收益, 而差异值为负值时, 则代表电动汽车在这方面的成本仍然高于燃油车。例如, 在基准年2019年, 紧凑型BEV250 (图中最左边的柱子) 与紧凑型汽油车相比能够在全生命周期内节省6700美元的燃料费用 (绿色柱子) 和3200美元的养护费用 (黄色柱子), 虽然在车辆价格 (蓝色柱子) 和其他费用 (红色柱子) 方面分别比紧凑型汽油车高出5700美元和3900美元, 但整体来看还是能够在全生命周期产生200美元的净收益。



图7 2019、2025和2030年电动汽车与燃油车全生命周期持有成本的差异（上图为紧凑型车，下图为SUV）

对于紧凑型车，在基准年2019年时，只有BEV250能够在全生命周期持有成本方面低于燃油车，且低出的程度非常有限。但是在2025-2030年，所有紧凑型BEV，无论纯电续驶里程的长短，都能够在全生命周期产生净收益，2025年时净收益在2800-6000美元之间，而到2030年时，净收益会进一步增加至6100-7800美元。在2025-2030年，紧凑型PHEV的全生命周期净收益在-900美元和16美元之间。SUV的结果与紧凑型车类似。在2025-2030年，所有纯电动SUV，无论纯电续驶里程的长短，都能够在全生命周期产生净收益，2025年时的净收益在2500-7600美元之间，而到2030年，净收益会进一步增加至7200-10000美元之间。在2025-2030年，插电式混合动力SUV的全生命周期净收益在-1800美元和-300美元之间。

有一类观点认为BEV中可能有较大比例的车辆在全生命周期之内会因纯电续驶里程的大幅衰减而需要更换动力电池，而更换动力电池可能会对电动汽车的全生命周期持有成本产生影响。在这种情况下，本研究特别探究了BEV更换动力电池对其全

生命周期持有成本的影响。目前有限的证据表明, 纯电续驶里程较长的BEV并没有广泛出现纯电续驶里程大幅衰减的问题。数据显示, 在美国市场上销售的特斯拉车型, 在累计行驶24-32万公里之后的纯电续驶里程衰减幅度为10%-15%, 几乎没有车辆需要更换动力电池 (Lambert, 2018; Lambert, 2020)。纯电续驶里程较长的BEV车型在全生命周期内的总行驶里程相对较长, 进行直流快充的次数也相对较多, 恰恰是相对容易出现动力电池需要更换的情况的, 而根据以上关于特斯拉的数据, BEV出现纯电续驶里程大幅衰减甚至需要更换动力电池的风险相对来说可能并没有那么很高。

如果我们在进行全生命周期持有成本评估时为BEV引入一个较高的10%的动力电池更换率时, 图 7中所展示的分析结果并不会发生根本变化。以2025年为例, 如果假设有10%的BEV250在使用7年后 (即2032年) 需要更换动力电池, 那么BEV250的全生命周期持有成本平均会增加180美元 (2032年BEV250更换动力电池的成本是1800美元, 但因为只有10%的BEV250需要更换, 因此平摊下来每辆车是增加180美元), 如果是BEV500, 那么其全生命周期持有成本平均会增加430美元。这些增加的成本 (180-430美元) 远远低于图 7中所展示的BEV的全生命周期净收益, BEV250的全生命周期净收益是其平均的动力电池更换成本 (180美元) 的6-8倍, 而BEV500的全生命周期净收益更是其平均的动力电池更换成本 (430美元) 的34-38倍。尽管如此, 有关BEV在全生命周期内纯电续驶里程衰减的数据确实非常有限, 关于汽油车在全生命周期内发动机和传动系功能退化的数据也非常有限, 因此本研究关于动力电池更换的敏感性分析只是一种探索。在前文和后文的成本分析中, 我们都未将动力系统 (如动力电池、发动机、传动系) 更换产生的成本考虑在内。

不同政策情景下的成本收益分析

作为本研究的最后一步,我们探索了前文介绍的电动汽车技术成本分析结果对中国新能源汽车积分法规制定的启示。新能源汽车积分法规(目前以双积分政策的形式展现)是中国电动汽车激励政策体系的重要组成部分,其要求乘用车生产企业逐年增加电动汽车的投放量。第一阶段的新能源汽车积分法规对2019和2020年分别提出了10%和12%的新能源汽车积分要求,车企每生产一辆电动汽车就可以获得一定数量的新能源汽车积分,单车积分由车辆的纯电续驶里程等技术参数决定,通常每辆车可以获得2-4个积分(Cui, 2018)。2020年6月,中国出台了第二阶段的新能源汽车积分法规,对2021、2022和2023年分别提出了更高的14%、16%和18%的新能源汽车积分要求,并且调整了单车积分的计算方法(工业和信息化部, 2020)。在这一背景下,我们选择紧随第二阶段新能源汽车积分法规的2024-2035年为目标年份,基于前文介绍的汽油车、BEV和PHEV的全生命周期持有成本分析结果,评估了不同的政策情景下(每个情景下新能源汽车积分法规的要求不同)中国乘用车新车车队的构成情况及相应的成本收益结果。

政策情景设计

本研究设计了三个政策情景,包括一个基准情景,一个现有目标情景,和一个强化目标情景。不同政策情景下,我们对2024-2035年中国乘用车新销量中电动汽车占比的设定不同,相应地,不同政策情景下电动汽车的销量和类型就会不同,相应的成本和收益自然也会不同。

在对三个情景进行设计之前,我们首先要对2021-2035年中国乘用车的年销量及其车辆级别构成作出假设。本研究假设中国的乘用车年销量在2021和2022年从2018-2020年的产业衰退和新冠疫情导致的经济滑坡中恢复,每年增长10%;2022年之后,假设中国的乘用车年销量按每年0.5%的速度增长。在此假设下,中国的乘用车年销量将从2019年的2090万辆增长至2035年的2660万辆。考虑到中国乘用车市场未来变动的不确定性,本研究假设在2035年以内中国乘用车年销量的车辆级别构成保持不变,例如SUV、紧凑型车和中型车的占比一直保持43%、32%和11%不变。下面我们对三个政策情景给出具体定义。

基准情景:在此情景下,中国在2024年之后将不再加严新能源汽车积分法规的要求。我们假设在第二阶段新能源汽车积分法规的作用下,中国乘用车新销量中电动汽车的占比将在2023年达到12%,在没有更严格的新能源汽车积分法规的情况下,这一比例将在2024-2035年间保持不变。我们不认为这是一个可能出现的情景,只是将其作为与其他两个情景进行对比的基准。

现有目标情景:在此情景下,中国乘用车新销量中电动汽车的占比会实现截至2020年底在中国被广泛讨论的2025年20%、2030年40%和2035年50%的目标。这些目标与中国汽车工程学会最新发布的《节能与新能源汽车技术路线图2.0》中提出的2025年20%、2030年40%和2035年50%的研究性目标相匹配(中国汽车工程学会, 2020),其中2025年20%的目标在国务院2020年11月发布的《新能源汽车产业发展规划(2021-2035)》中被明确提出(国务院, 2020)。

强化目标情景: 在此情景下, 中国乘用车新销量中电动汽车的占比将快速增长, 在2030年达到60%, 在2035年达到90%, 在2040年达到100%。世界范围内, 欧洲和北美的领先市场已经提出了在2030-2040年间实现乘用车新销量100%零排放的目标 (Cui, Hall, & Lutsey, 2020; Wappelhorst & Cui, 2020), 这一情景的设定非常接近于这些领先市场所提出的目标, 可以用于评估中国在以比其现有目标更快的速度提升电动汽车的市场占比的情况下能够获得的收益。

图 8展示了三个政策情景下2020-2040年中国乘用车新销量中电动汽车的占比 (左图) 以及中国电动乘用车的年销量 (右图)。如图所示, 在第二阶段新能源汽车积分法规实现合规的情况下, 中国乘用车新销量中电动汽车的占比将从2019年的5%左右上升至2023年的12%左右。在现有目标情景和强化目标情景下, 2024年起中国乘用车新销量中电动汽车的占比将继续上涨, 相应地, 中国电动乘用车的年销量也将持续上涨, 从2020年的200万辆增长至2025年的500万辆。2025年之后, 强化目标情景下的电动汽车市场增长速度比现有目标情景更快。在现有目标情景下, 中国乘用车新销量中电动汽车的占比将在2030年和2035年分别达到40%和50%; 而在强化目标情景下, 该占比将在2030年和2035年分别达到60%和90%。需要说明的是, 虽然图 8也给出了2035-2040年的结果, 但我们在接下来的成本收益分析中还是只考虑2024-2035年。

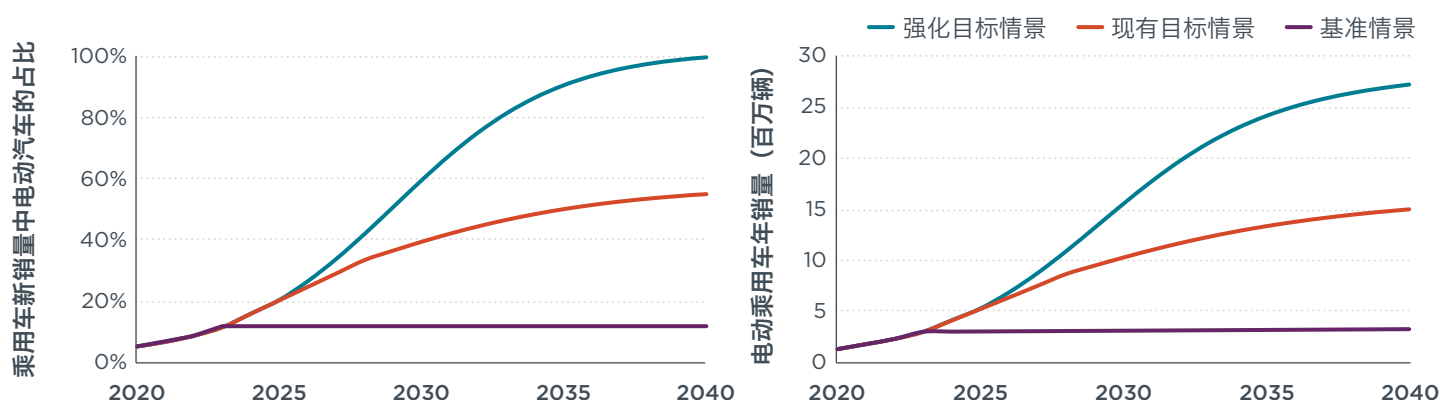


图 8 2020-2040年中国乘用车新销量中电动汽车的占比 (左图) 和中国电动乘用车的年销量 (右图)

本研究假设BEV在电动汽车销量中的占比将持续增长, 从2019年的70%逐渐增长至2035年的100%。之所以这样假设, 一方面是因为这体现了中国和全球市场上大多数车企的发展方向 (Slowik, Lutsey, & Hsu, 2020), 另一方面也是因为前文的分析结果说明BEV相较于PHEV在成本方面更具优势。我们不仅将中国的电动乘用车销量划分为BEV和PHEV, 还更细化地划分为不同纯电续航里程的BEV和PHEV。无论是BEV还是PHEV, 未来销量平均的纯电续航里程都是逐渐增大, BEV将从2019年的330公里 (NEDC工况下) 提升至2035年的440公里, PHEV将从2019年的42公里提升至2035年的80公里。与BEV和PHEV相比, 燃料电池汽车未来的成本和销量存在较大的不确定性, 因此本研究中未将燃料电池汽车纳入考量。

图 9给出了2020-2035年中国乘用车市场上BEV、PHEV和EV与燃油车的价格差异和全生命周期净收益, 其中价格差异指的是BEV、PHEV、EV的车辆价格与燃油车相比高出的部分, 而全生命周期净收益指的是BEV、PHEV、EV的全生命周期持有成本 (包括车辆价格、燃料费用、养护费用、其他费用) 与燃油车相比低出的部分。图中

的结果是不同车辆级别、不同纯电续航里程的车辆的销量加权平均的结果, 反映的是中国乘用车新车车队的整体水平。可以看到, BEV与燃油车的价格差异从2020年的8200美元下降至2035年的-1400美元; 而BEV的全生命周期净收益则从2020年的-600美元上升至2035年的8000美元。在这一时期内, BEV的动力电池容量从2020年的42千瓦时增长到2030年的56千瓦时和2035年的59千瓦时, BEV的动力电池系统成本也从2020年的130美元/千瓦时 (0.9元/千瓦时) 下降至2020年的59美元/千瓦时 (0.4元/千瓦时) 和2035年的51美元/千瓦时 (0.35元/千瓦时), 这里的动力电池容量和动力电池系统成本也是不同车辆级别、不同纯电续航里程的车辆的销量加权平均结果, 反映的是中国乘用车新车车队的整体水平。

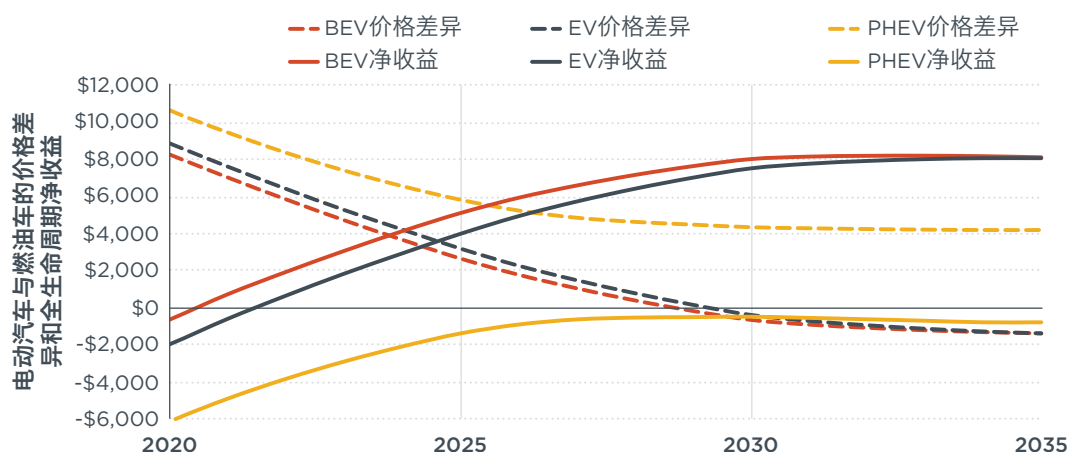


图9 2020-2035年BEV、PHEV和EV与燃油车的价格差异和全生命周期净收益（销量加权平均结果）

除BEV外, 图9也给出了PHEV和EV的结果, 其中EV的结果是BEV和PHEV的销量加权平均水平。PHEV与燃油车的价格差异从2020年的10000美元下降至2030年的4000美元, 同一时期内PHEV销量加权平均的动力电池容量从7千瓦时上升至12千瓦时。由于本研究假设BEV在电动汽车中的占比将持续上升并在2035年达到100%, 因此图9中EV的结果与BEV的结果非常接近, 2029年之后EV的价格将低于燃油车, 2033年起EV的全生命周期净收益将超过8000美元。

在现有目标情景和强化目标情景下, 尤其是在强化目标情景下, 由于电动汽车的年销量较高, 因此动力电池的年产量也相应要更高。在强化目标情景下, 供应电动乘用车的动力电池年产量需要从2020年的35-40兆瓦时增长到2030年的820兆瓦时和2035年的1430兆瓦时, 也就是说要在10年间增长20倍, 在15年间增长35-40倍。要实现如此快速动力电池产量增长, 必须要有清晰的政策信号, 同时, 车企和动力电池供应商需要作出协调一致的承诺, 对必要的供应链进行投资。

动力电池的年产量需求受电动汽车百公里电耗的影响极大。表3中关于百公里电耗考虑了三个情景, 其中中间情景假设各车辆级别的百公里电耗年均下降1%, 在这种情况下, 销量加权平均的BEV百公里电耗将在2030年达到12.5千瓦时/百公里; 百公里电耗下降更快情景假设各车辆级别的百公里电耗年均下降2%, 在这种情况下, 销量加权平均的BEV的百公里电耗将在2025、2030和2035年分别达到11.8千瓦时/百公里、11.2千瓦时/百公里和10.3千瓦时/百公里; 百公里电耗下降更慢情景假设各车辆级别的百公里电耗保持不变, 在这种情况下, 由于较大的车辆级别的BEV占比逐渐

升高, 销量加权平均的BEV的百公里电耗将逐渐升高, 在2035年达到14千瓦时/百公里。在百公里电耗下降更快情景下, 2035年的动力电池年产量需求将从1430兆瓦时下降15%至1220兆瓦时; 而在百公里电耗下降更慢情景下, 2035年的动力电池年产量需求将从1430兆瓦时上升17%至1680兆瓦时。

表 4给出了2021-2035年三个政策情景下中国电动乘用车的销量及针对消费者的全生命周期成本收益分析结果, 表中的成本收益数据都是按2019年美元计价。我们将2021-2035年分为了三个时间段, 其中2021-2023年是中国第二阶段新能源汽车积分法规的实施时间, 在这个时间段内电动汽车的成本快速下降; 2024-2030年代表中期, 在这个时间段内大多数纯电续驶里程的电动汽车与燃油车实现平价 (如图 4所示); 而2031-2035年代表长期, 在这个时间段内电动汽车车主的净收益是最大的。针对三个不同特点的时间段分别分析, 有助于为不同阶段制定不同政策提供参考。

表 4 不同政策情景下电动乘用车销量及全生命周期的成本收益分析结果

	时间段	政策情景 (不同情景下的电动汽车销量占比不同)			基准情景与现有目标情景的差距	基准情景与强化目标情景的差距
		基准情景	现有目标情景	强化目标情景		
电动乘用车销量 (百万辆)	2021-2023	6.8	6.8	6.8	0.0	0.0
	2024-2030	20.8	51.4	64.0	30.7	43.3
	2031-2035	15.3	61.4	105.8	46.1	90.5
车辆购置费用增加 (10亿美元)	2021-2023	(\$42)	(\$42)	(\$42)	\$0	\$0
	2024-2030	(\$40)	(\$61)	(\$64)	(\$21)	(\$24)
	2031-2035	\$1	\$70	\$123	\$69	\$121
燃料费用节省 (10亿美元)	2021-2023	\$39	\$39	\$39	\$0	\$0
	2024-2030	\$95	\$246	\$304	\$151	\$209
	2031-2035	\$51	\$234	\$402	\$182	\$351
养护费用节省 (10亿美元)	2021-2023	\$21	\$21	\$21	\$0	\$0
	2024-2030	\$66	\$178	\$223	\$112	\$157
	2031-2035	\$48	\$223	\$386	\$175	\$338
其他费用增加 (10亿美元)	2021-2023	(\$12)	(\$12)	(\$12)	\$0	\$0
	2024-2030	(\$22)	(\$56)	(\$68)	(\$34)	(\$46)
	2031-2035	(\$9)	(\$37)	(\$64)	(\$28)	(\$55)
净收益 (10亿美元)	2021-2023	\$6	\$6	\$6	\$0	\$0
	2024-2030	\$98	\$307	\$395	\$209	\$297
	2031-2035	\$92	\$490	\$847	\$398	\$755

注: 表中的数据是四舍五入后的结果, 红色的数据表示对消费者来说是成本, 黑色数据表示对消费者来说是收益。

表 4中的前三行对比了三个政策情景下的电动乘用车销量。在基准情景下, 2021-2035年中国乘用车的总销量为4280万辆, 在现有目标情景下为1.196亿辆, 在加强目标情景下则高达1.766亿辆。正如表中最右边两列所示, 与基准情景相比, 现有目标情景和强化目标情景分别可以使2021-2035年中国电动乘用车的总销量提高7670万辆和1.338亿辆。

在电动汽车未实现与燃油车的平价之前, 电动汽车销量的增加 (即一定数量的燃油车销量被电动汽车取代) 会导致车辆购置成本的显著增加。在2021-2023年间, 由于电动汽车的价格比燃油车更高, 电动汽车销量的增加会导致车辆购置费用增加

420亿美元。在2024-2030年间, 随着电动汽车逐渐与燃油车实现平价, 虽然强化目标情景下的电动汽车销量比现有目标情景高出不少, 但两个情景下车辆购置费用的增加值却差不多, 分别为610亿美元和640亿美元。与基准情景相比, 现有目标情景和强化目标情景分别会在2024-2030年间导致车辆购置费用增加210亿美元和240亿美元。

电动汽车销量的增加在导致车辆购置费用和其他费用(包括税费、充电设备费用和“替代车辆”费用)增加的同时, 也会带来大量的燃油费用节省和养护费用节省, 综合来看费用的节省显著高于费用的增加, 即电动汽车销量的增加可以为消费者带来丰厚的净收益。表 4中最后三行给出了三个政策情景下的净收益结果。即使是在电动汽车价格高于燃油车的2021-2023年间, 电动汽车销量的增加也可以带来390亿美元的燃料费用节省和210亿美元的养护费用节省, 再扣除420亿美元的车辆购置费用增加和120亿美元的其他费用增加, 净收益达到60亿美元。在后续的年份中, 随着电动汽车价格的持续降低, 净收益越来越大。在现有目标情景下, 2024-2030年间电动汽车销量的增加所带来的净收益为3070亿美元, 是对应的车辆购置费用增加(610亿美元)的5倍; 而在强化目标情景下, 2024-2030年间电动汽车销量的增加所带来的净收益更是高达3950亿美元, 是对应的车辆购置费用增加(640亿美元)的6.2倍。

正如表 4中最右边两列所示, 现有目标情景和强化目标情景可以带来比基准情景更高的电动乘用车销量和更大的净收益。2021-2035年间, 现有目标情景下的电动乘用车销量比基准情景多出7670万辆, 相应地净收益可以增加6070亿美元(4.18万亿元); 同一时期内, 强化目标情景下的电动乘用车销量比基准情景多出1.338亿辆, 相应地净收益可以增加1.05万亿美元(7.26万亿元)。

2021-2035年间, 强化目标情景为中国消费者所带来的净收益比现有目标情景多出4450亿美元(3.07万亿元)。如果中国的电动汽车市场能够以比其现有目标(包括2025年20%的官方目标和2030年40%、2035年50%的研究性目标)更快的速度增长, 不仅能够使中国以更快的速度完成汽车电动化转型, 还能够为中国的消费者带来巨大的收益。

结论

本研究旨在探究影响中国汽车电动化进程快慢的一个关键问题,那就是电动汽车的成本问题。我们评估了不同车辆级别、不同纯电续航里程的电动汽车的制造成本和价格,不同类型的消费者会因其所侧重的产品属性的不同而做出不同的消费选择,例如有的消费者会选择购买纯电续航里程较短但率先实现平价的BEV,而有的消费者会因为对充电便利性的担忧而选择纯电续航里程较长的BEV或PHEV并为此支付更多的费用。我们在进行成本评估时没有将电动汽车所享受的补贴和税费减免等优惠政策考虑在内,这样可以对燃油车和电动汽车的成本和收益作出技术中立的对比分析。本研究还评估了燃油车和电动汽车的持有成本(包括车辆价格、燃料费用、养护费用、其他费用等),评估结果显示电动汽车可以在首位车主持有周期和全生命周期内为消费者带来丰厚的净收益。

本研究的主要结论包括以下三点。

在中国,电动汽车有望在5-10年内与燃油车实现价格平价。在持续的技术进步和生产规模提升的共同作用下,动力电池系统成本将从2020年的130美元/千瓦时(0.90元/瓦时)下降至2030年的59美元/千瓦时(0.4元/瓦时)。对于主流的车辆级别(如紧凑型车和SUV),纯电续航里程在300-400公里的BEV将于2026-2029年间与燃油车实现价格平价;纯电续航里程较短(250公里)的BEV将在2025年率先实现与燃油车的价格平价,但是需要有更多的充电基础设施作为支撑;而纯电续航里程较长(500公里)的BEV将在2030年及以后年份与燃油车实现价格平价。对于价格较低的车辆级别(如小型车、MPV),BEV实现与燃油车价格平价的时间要比主流的车辆级别晚2-3年。如果中国在百公里电耗下降和动力电池系统成本下降等方面的进展速度比预想的更慢,那么BEV实现与燃油车价格平价的时间会推迟1-3年。

在价格平价到来之前,电动汽车早早就可以为中国的消费者带来巨大的成本节省。在电动汽车与燃油车实现价格平价之前的很多年,电动汽车从持有成本的角度来看就已经相对燃油车具备竞争力,这主要得益于电动汽车在燃料费用方面的优势。根据我们的分析,电动汽车将在2022-2026年间与燃油车实现首位车主持有成本平价,首位车主的持有时间假设为5年。对于主流的车辆级别(如紧凑型车和SUV),2025年购买BEV新车的消费者相对于购买汽油车的消费者在燃料费用方面将节省2400-3300美元,BEV所带来的成本节省(包括燃料费用的节省和养护费用的节省)远高于其所带来的成本增加(包括充电设备费用的增加和其他费用的增加)。如果考虑全生命周期的持有成本并假设全生命周期为15年,那么电动汽车为消费者带来的收益就会更大。对于紧凑型车,2025年和2030年购买BEV新车的消费者将分别在全生命周期内获得2800-6000美元和6100-7800美元的收益;对于SUV,2025年和2030年购买BEV新车的消费者将分别在全生命周期内获得2500-7600美元和7200-10000美元的收益。

加速汽车电动化转型可以为中国消费者带来更大的收益,同时也需要增加产业投资。如果中国乘用车新销量中电动汽车的占比能够在2035年达到90%,从全生命周期持有成本的角度出发,更广泛的中国消费者就能够获得电动汽车推广所带来的收益。与中国现有的目标(包括包括2025年20%的官方目标和2030年40%、2035

年50%的研究性目标) 相比, 如果中国能够在2024-2035年间以更快的速度向汽车电动化转型, 那么中国的消费者可以多获得4450亿美元 (3万亿元) 的净收益, 这里更快的速度是指电动乘用车的年销量从2019年的100万辆左右增长到2035年的2000万辆以上, 相应地, 动力电池的年产量需要在15年间增长至少30倍。

以上三条结论可以为政策制定提供一些启示。虽然本研究预测电动汽车的成本会在未来持续下降并为消费者带来大量收益, 但是, 如果没有持续的政策支持, 汽车的全面电动化转型并不会实现。在主流车辆级别的电动汽车与燃油车实现成本平价之前, 持续的政策激励非常重要, 在成本问题之外, 持续的政策支持对于解决电动汽车推广过程中所面临的其他核心壁垒也非常关键。中央层面所提出的零排放汽车推广目标可以促使各地政府与产业协调一致积极行动, 而制定更长期的汽车法规 (如新能源汽车积分法规和汽车排放标准) 对于确保产业投资的落实、电动汽车生产规模的提高和电动车型多样性的提升尤其重要, 是确保中国更广泛的消费者能够从电动汽车的推广中获得收益的必要一环。

在汽车法规之外, 持续的政策支持还包括延长财税激励政策、加强充电基础设施建设、以及提升消费者对电动汽车的认知度和认可度等。设计得宜的财税激励政策可以填补电动汽车与燃油车之间的价格差距, 随着时间的推移, 财税激励政策的使用应该更具针对性。例如, 在政策设计时可以有针对性地只为特定的车辆级别提供财税激励, 或者只为达到特定要求 (如年行驶里程较长、具备家用充电条件等) 的消费者提供财税激励等。本研究的分析结果显示, 消费者会在购买价格更低但纯电续航里程较短的电动汽车和购买较高但纯电续航里程较长 (即充电焦虑更低) 的电动汽车之间面临复杂的权衡。例如, 2026年时消费者可能会选择购买在价格上已经与汽油车实现平价的BEV250, 也可能会选择多花20%的钱购买BEV500或者PHEV。这说明提升家用和公共充电基础设施的便利性可以加速电动汽车成本平价的到来, 因为充电便利性的提高可以显著地增强率先实现成本平价但纯电续航里程较短的BEV对消费者的吸引力。

在本研究的基础之上, 未来还可以从多个角度出发进行更深入的研究。首先, 未来的研究可以分析随着电动汽车技术的逐步成熟、财税激励的逐步减少、消费者认知度和认可度的逐步提升、充电便利性的逐步提升以及电动汽车的保有量实现量级增长, 电动汽车的残值如何变化。其次, 通过对消费者的充电行为和采用公共充电桩充电的价格进行更细化的分析, 可以在本研究的基础之上进一步提升对电动汽车持有成本的评估。此外, 在本研究所做的国家层面的分析的基础上, 还可以进行地方层面的电动汽车成本收益分析, 在分析时可以将当地的实际情况 (如当地主流的车辆级别、车辆行驶工况特征、充电行为特征、以及高行驶里程的车辆如出租车) 考虑在内, 通过本地化的分析结果更好地为地方层面的政策制定提供参考。最后, 本研究在分析电动汽车的收益时只考虑了成本节省 (如燃料费用节省、养护费用节省等) 所带来的收益, 未来的分析还可以将电动汽车通过减少排放所带来的空气质量提升方面的收益和气候变化减缓方面的收益也考虑在内。

作为全球最大的汽车市场和全球最大的电动汽车市场, 中国在加速全球汽车电动化转型方面发挥的特殊作用。本研究表明中国有机会进一步扩大其电动汽车和动力电池的生产规模, 从而帮助电动汽车加速实现与燃油车的成本平价。世界范围内, 欧洲

和北美的领先市场已经提出了在2030-2040年间实现乘用车新销量100%零排放的目标, 如果中国也能提出类似的电动汽车推广目标, 就可以以更快的速度朝着汽车全面电动化的方向前进, 中国的消费者也可以在这个过程中获得巨大的收益。同时, 中国做出这样的承诺也可以向中国和全球的车企释放一个信号, 那就是中国将继续在电动汽车和动力电池领域引领世界。

参考文献

- 电动汽车产业技术创新战略联盟 (CAEV). (2020). 后补贴时代电动汽车产品技术方案及市场需求研究.
- 高工锂电 (GGII). (2019). GGII: 2018年锂电池出货量65GWh 同比增长46%. <https://www.gg-lb.com/asdisp2-65b095fb-35987-.html>
- 工业和信息化部. (2017a). 促进汽车动力电池产业发展行动方案. https://www.miit.gov.cn/jgsj/zbes/gzdt/art/2020/art_de6bd497dd1d438c863a1cfd7f0ccccc.html
- 工业和信息化部. (2017b). 汽车产业中长期发展规划. https://www.miit.gov.cn/jgsj/zbys/gzdt/art/2020/art_4c57e83506d049f9aae889a58fcbe442.html
- 工业和信息化部. (2020). 关于修改《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》的决定. https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/flfg/art/2020/art_2337a6d7ca894c5c8e8483cf9400ecd.html
- 国家制造强国建设咨询委员会(2017). (2018). 《中国制造2025》重点领域技术创新绿皮书 - 技术路线图. <http://www.cm2025.org/uploadfile/2018/0307/2018030814131234.pdf>
- 国务院. (2020). 新能源汽车产业发展规划 (2021-2035年). http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-11/02/content_5556716.htm
- 马云腾. (2020). 头部企业率先“冲线” 电池成本跨入0.7元/Wh时代. 电池中国网. <http://m.cbea.com/djgc/202005/682872.html>
- 苗圩. (2020). 凝心聚力 变革破局 促进产业高质量发展. <https://auto.gasgoo.com/news/202001/11/170151078C501.shtml>
- 任泽平, 连一席, 郭双桃. (2019). 中国动力电池发展报告: 2019. 恒大研究院. Zeping Hongguan: <https://mp.weixin.qq.com/s/DgN8kOGjlp5n89L276A9w>
- 生态环境部. (2016). 轻型汽车污染物排放限值及测量方法 (中国第六阶段). <http://www.mee.gov.cn/ywqz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqydywrwpfbz/201612/W020171207355626647621.pdf>
- 施智梁. (2020). 磷酸铁锂第二春? 动力电池大洗牌, 比亚迪的“大刀”已经饥渴难耐. 出行一客. <https://mp.weixin.qq.com/s/1uP6epwtGs3Tagn3CDLBDA>
- 苏晨, 邹玲玲. (2020). 动力电池降本之道. 中泰证券. <https://www.dx2025.com/wp-content/uploads/2020/02/zhong-tai-zheng-quan-dong-li-dian-chi-xi-lie-zhuan-ti-dong.pdf>
- 中国汽车工程学会 (2016). 节能与新能源汽车技术路线图. <http://www.sae-china.org/news/society/201612/1200.html>
- 中国汽车工程学会 (2020). 节能与新能源汽车技术路线图2.0. <http://www.sae-china.org/news/activities/202010/3957.html>
- 中国汽车技术研究中心 (CATARC). (2019). 中国传统汽车和新能源汽车发展趋势2050研究.
- 中国汽车技术研究中心 (CATARC). (2020). 2019车型年数据.
- Anderman, M., (2019). *The xEV industry insider report*. Total Battery Consulting: <https://totalbatteryconsulting.com/industry-reports/xEV-report/Extract-from-the-xEV-Industry-Report.pdf>
- Berckmans, G., Messagie, M., Smekens, J., Omar, N., Vanhaverbeke, L., & Van Mierlo, J. (2017). Cost projection of state of the art lithium-ion batteries for electric vehicles up to 2030. *Energies* 2017, 10(9), 1314. doi: [10.3390/en10091314](https://doi.org/10.3390/en10091314)
- Bloomberg New Energy Finance. (2020). Electric Vehicle Outlook 2020. <https://efiling.energy.ca.gov/getdocument.aspx?tn=233410>
- Bloomberg New Energy Finance. (2021). Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh. <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>
- British Columbia Office of the Premier. (2018). *Provincial government puts B.C. on path to 100% zero-emission vehicle sales by 2040*. <https://news.gov.bc.ca/releases/2018PREM0082-002226>
- Chung, D., Elgqvist, E., Santhanagopalan, S. (2016). Automotive lithium-ion cell manufacturing: regional cost structures and supply chain considerations. Clean Energy Manufacturing Analysis Center. <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66086.pdf>
- Cui, H. (2018). *China's New Energy Vehicle mandate policy (final rule)*. International Council on Clean Transportation, <https://theicct.org/publications/china-nev-mandate-final-policy-update-20180111>
- Cui, H., Hall, D., & Lutsey, N. (2020). *Update on the global transition to electric vehicles through 2019*. International Council on Clean Transportation, <https://theicct.org/publications/update-global-ev-transition-2019>
- Davies, C. (2017, July 17). VW I.D. EV boast: We'll hugely undercut Tesla's Model 3 says exec. <https://www.slashgear.com/vw-i-d-ev-boast-well-hugely-undercut-teslas-model-3-says-exec-17491688/>

- Ewing, J. (2019, September 14). Volkswagen hopes fresh logo signals an emission-free future. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2019/09/08/business/volkswagen-trademark-electric-vehicles.html>
- EV-volumes. (2021). EV Data Center. <http://www.ev-volumes.com/datacenter/>
- French Republic. (2019). LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités [Law Number 2019-1428 of 24 December 2019 on Mobility Orientation]. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?categorieLien=id&cidTexte=JORFTEXT000039666574&dateTexte=>
- Hall, D., Cui, H., & Lutsey, N. (2020). *Electric vehicle capitals: Cities aim for all-electric mobility*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/electric-vehicle-capitals-update-sept2020>
- Lambert, F. (2018, April 14). Tesla battery degradation at less than 10% after over 160,000 miles, according to latest data. <https://electrek.co/2018/04/14/tesla-battery-degradation-data/>
- Lambert, F. (2020, June 12). Tesla data shows battery degradation is limited but not all packs are created equal. <https://electrek.co/2020/06/12/tesla-data-battery-degradation-limited-mileage-packs-equal/>
- Li, W., Erickson, E., & Manthiram, A. (2020). High-nickel layered oxide cathodes for lithium-based automotive batteries. *Nature Energy*, 5(1), 26-34. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/s41560-019-0513-0?proof=true&ln%2525EF%2525BB%2525BF>
- Liu, F., Zhao, F., Liu, Z., & Hao, H. (2020). The impact of purchase restriction policy on car ownership in China's four major cities. *Journal of Advanced Transportation*. doi: [10.1155/2020/7454307](https://doi.org/10.1155/2020/7454307)
- Lutsey, N. & Nicholas, M. (2019a). *Update on electric vehicle costs in the United States through 2030*. International Council on Clean Transportation. <https://www.theicct.org/publications/update-US-2030-electric-vehicle-cost>
- Lutsey, N. & Nicholas, M. (2019b). *Electric vehicle costs and consumer benefits in Colorado in the 2020-2030 time frame*. International Council on Clean Transportation, <https://theicct.org/publications/ev-costs-colorado-2020-2030>
- Mock, P. (2019). *CO₂ emission standards for passenger cars and light-commercial vehicles in the European Union*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/ldv-co2-stds-eu-2030-update-jan2019>
- New York City. (2019, March 8). Reducing maintenance costs with electric vehicles. *NYC Fleet Newsletter*, Issue 255. <https://www1.nyc.gov/assets/dcas/downloads/pdf/fleet/NYC-Fleet-Newsletter-255-March-8-2019-Reducing-Maintenance-Costs-With-Electric-Vehicles.pdf>
- Nicholas, M. (2019). *Estimating electric vehicle charging infrastructure costs across major U.S. metropolitan areas*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/charging-cost-US>
- Office of Governor Gavin Newsom. (2020). Governor Newsom announces California will phase out gasoline-powered cars & drastically reduce demand for fossil fuel in California's fight against climate change. <https://www.gov.ca.gov/2020/09/23/governor-newsom-announces-california-will-phase-out-gasoline-powered-cars-drastically-reduce-demand-for-fossil-fuel-in-californias-fight-against-climate-change/%23~:text=SACRAMENTO%20-%20Governor%20Gavin%20Newsom%20today,passenger%20vehicles%20to%20be%20zero->
- Ou, S., Yu, R., Lin, Z., Ren, H., He, X., Przesmitzki, S., & Bouchard, J. (2019). 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*, 25, 307-327. doi: [10.1007/s11027-019-09887-0](https://doi.org/10.1007/s11027-019-09887-0)
- P3. (2020). Tesla battery day 2020 – technology announcement analysis. https://www.electrive.net/wp-content/uploads/2020/09/200923_Tesla_Battery-Day_P3-Assessment-published.pdf
- Québec. (2020). 2030 Plan for a Green Economy: Electrification and climate change policy framework – summary. <https://www.quebec.ca/en/government/policies-orientations/plan-green-economy/>
- Schmuck, R., Wagner, R., Hörpel, G., Placke, T., & Winter, M. (2018). Performance and cost of materials for lithium-based rechargeable automotive batteries. *Nature Energy* 3, 267-278. doi: [10.1038/s41560-018-0107-2](https://doi.org/10.1038/s41560-018-0107-2)
- Sharpe, B., Lutsey, N., Smith, C., & Kim, C. (2020). *Power play: Canada's role in the electric vehicle transition*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/canada-zev-transition>
- Slowik, P., Hall, D., Lutsey, N., Nicholas, M., & Wappelhorst, S. (2019). *Funding the transition to all zero-emission vehicles*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/funding-ZEV-transition>
- Slowik, P., Lutsey, N., & Hsu, C.W. (2020). *How technology, recycling, and policy can mitigate supply risks to the long-term transition to zero-emission vehicles*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/mitigating-zev-supply-risks-dec2020>
- UBS. (2017). UBS evidence lab electric car teardown: Disruption ahead? [Q-Series newsletter]. <https://neo.ubs.com/shared/d1ZTxnvF2k/>

United Kingdom (2020). The ten point plan for a green industrial revolution. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/936567/10_POINT_PLAN_BOOKLET.pdf

Wappelhorst, S., & Cui, H. (2020, November 11). Growing momentum: Global overview of government targets for phasing out sales of new internal combustion engine vehicles [Blog post]. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/blog/staff/global-ice-phaseout-nov2020>

Witter, F. (2018). Shaping the transformation together. Volkswagen Group, investor meetings, Frankfurt and London, 29th - 30th November 2018. https://www.volkswagenag.com/presence/investorrelation/publications/presentations/2018/11_november/2018_11_29-30_Volkswagen_Group_Presentation_Investor_Meetings_Frankfurt_London.pdf

Yang, Z., & Cui, H. (2020). *Technology roadmap and costs for fuel efficiency increase and CO₂ reduction from Chinese new passenger cars in 2030*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/china-costcurves-oct2020>

Yang, Z., & Yang, L. (2018) *Evaluation of real-world fuel consumption of light-duty vehicles in China*. International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publications/real_world_fuel_consumption_ldv_China

附录

附录中的两张表格提供了正文中所展示的部分信息的具体细节。表A1给出了图 1中所展示的动力电池系统成本的数据源。需要强调的是, 这些数据源在诸多方面存在差异, 例如, 有的数据源给出的是成本数据, 有的数据给出的则是价格数据; 不同数据源给出的动力电池系统成本的构成不同; 不同数据源采用的货币年份不同; 有的数据源给出的是特定的动力电池类型的成本, 有的给出的则是市场平均水平; 有的数据源给出的单独针对中国市场的成本, 有的数据源给出的则是全球平均水平。表A2给出了图 4所展示的车辆价格数据。

表 A1 文献调研梳理得到的动力电池系统成本数据

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030	2035
CAEV 2020 (下限)						0.8	0.7	0.65	0.6
CAEV 2020 (上限)						1.2			
CATARC 2019 (宁德时代)	1.9	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0			
CATARC 2019 (大众)		1.61		1.21		0.83			
CATARC 2019 (下限)			1.58	1.22	1.05	0.94	0.69	0.58	0.51
CATARC 2019 (上限)			1.55	1.27	1.16	1.07	0.88	0.78	0.72
GGII 2019 (下限)					1.15				
GGII 2019 (上限)					1.3				
马云腾 2020 (宁德时代)	1.33				0.67				
马云腾2020 (比亚迪)					0.85				
马云腾2020 (LFP)						0.75			
马云腾2020 (NMC/NCA)						0.9			
苗圩 2020 (下限)					0.6				
苗圩 2020 (上限)					1				
工业和信息化部 2017a						1			
工业和信息化部 2017b						1			
国家制造强国建设咨询委员会2018						1	0.9	0.8	
任泽平等2019 (LFP)					1.05				
任泽平等2019 (NMC)					1.1				
中国汽车工程学会2016						1	0.9	0.8	
中国汽车工程学会2020							0.45	0.4	0.35
施智梁 2020 (LFP, 下限)					0.86				
施智梁2020 (LFP, 上限)					1.0				
施智梁2020 (NMC/NCA, 下限)					1.1				
施智梁2020 (NMC/NCA, 上限)					1.3				
苏晨等2020 (宁德时代)	1.33	1.13	0.91	0.76					
苏晨等2020 (宁德时代, 价格)	2.28	2.06	1.41	1.15					
苏晨等2020 (国轩高科)		1.06	1.02	0.8	0.7				
苏晨等2020 (国轩高科, 价格)		2.06	1.69	1.12	1				
苏晨等2020 (孚能科技)		1.31	1.19	1.13	0.83				
苏晨等2020 (孚能科技, 价格)		1.61	1.43	1.17	1.01				
Berckmans 2017 (高成本, 基准石墨负极)						195	120	80	
Berckmans 2017 (低成本, 石墨/硅负极)						131	85	50	
Witter 2018 (大众)		236	200	165	134	106			
P3 2020 (特斯拉)						115	50		
Lutsey & Nicholas 2019 (ICCT针对美国市场的研究)						152	106	74	
本研究 2021 (ICCT针对中国市场的研究)						123	84	58	51

表中标蓝的成本数据的单位是美元/千瓦时, 其他成本数据的单位都是元/瓦时, 汇率按照1美元对应6.8985元人民币。对于只给出了单体成本的研究, 我们将单体成本乘以1.3来估算系统成本。

表 A2 2020-2035年燃油车和电动汽车的价格（按2019年美元计价）

	动力技术	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
小型车	汽油车	11,486	11,521	11,555	11,590	11,625	11,659	11,694	11,730	11,765	11,800	11,835	11,871	11,907	11,942	11,978	12,014
	BEV250	15,284	14,459	13,722	13,063	12,473	11,943	11,491	11,115	10,785	10,500	10,259	10,134	10,046	9,978	9,927	9,892
	BEV300	16,310	15,400	14,586	13,855	13,199	12,609	12,103	11,675	11,299	10,972	10,692	10,545	10,440	10,358	10,297	10,255
	BEV400	18,700	17,590	16,592	15,693	14,883	14,153	13,517	12,971	12,487	12,061	11,690	11,492	11,346	11,231	11,145	11,085
	BEV500	20,893	19,603	18,438	17,387	16,437	15,578	14,824	14,170	13,585	13,068	12,613	12,368	12,184	12,039	11,930	11,853
	PHEV40	16,748	16,247	15,808	15,425	15,089	14,794	14,560	14,384	14,240	14,128	14,046	14,015	14,007	14,005	14,008	14,016
	PHEV60	17,430	16,873	16,384	15,953	15,574	15,240	14,969	14,760	14,585	14,445	14,337	14,292	14,273	14,262	14,258	14,261
	PHEV80	18,101	17,489	16,949	16,472	16,050	15,677	15,370	15,128	14,923	14,755	14,622	14,563	14,532	14,512	14,501	14,500
	PHEV100	18,774	18,106	17,514	16,990	16,525	16,112	15,769	15,494	15,259	15,063	14,904	14,831	14,789	14,760	14,742	14,736
紧凑型车	汽油车	17,782	17,835	17,889	17,943	17,996	18,050	18,105	18,159	18,213	18,268	18,323	18,378	18,433	18,488	18,544	18,599
	BEV250	23,139	21,915	20,831	19,871	19,019	18,263	17,637	17,136	16,708	16,351	16,064	15,916	15,826	15,757	15,708	15,677
	BEV300	24,283	22,963	21,792	20,752	19,827	19,004	18,316	17,759	17,279	16,875	16,544	16,373	16,263	16,178	16,118	16,079
	BEV400	26,603	25,089	23,740	22,536	21,462	20,502	19,688	19,016	18,431	17,931	17,512	17,291	17,140	17,024	16,939	16,883
	BEV500	29,225	27,497	25,951	24,566	23,325	22,212	21,257	20,456	19,752	19,142	18,622	18,345	18,150	17,997	17,885	17,808
	PHEV40	25,127	24,273	23,532	22,888	22,329	21,842	21,465	21,194	21,042	20,985	20,934	20,934	20,941	20,954	20,973	20,998
	PHEV60	25,906	24,989	24,190	23,492	22,883	22,352	21,933	21,624	21,437	21,347	21,267	21,251	21,244	21,247	21,259	21,278
	PHEV80	26,674	25,693	24,836	24,085	23,427	22,851	22,391	22,045	21,823	21,702	21,592	21,560	21,541	21,533	21,537	21,551
	PHEV100	27,443	26,398	25,482	24,677	23,971	23,349	22,848	22,464	22,207	22,054	21,915	21,867	21,834	21,817	21,813	21,821
中型车	汽油车	33,572	33,673	33,774	33,875	33,977	34,078	34,181	34,283	34,386	34,489	34,593	34,697	34,801	34,905	35,010	35,115
	BEV250	42,791	40,538	38,561	36,824	35,298	33,955	32,875	32,049	31,364	30,816	30,404	30,197	30,093	30,017	29,968	29,942
	BEV300	44,302	41,922	39,829	37,987	36,364	34,932	33,770	32,870	32,116	31,506	31,036	30,797	30,667	30,571	30,506	30,470
	BEV400	47,373	44,737	42,409	40,351	38,530	36,917	35,589	34,536	33,643	32,905	32,318	32,013	31,830	31,692	31,594	31,534
	BEV500	50,734	47,832	45,258	42,972	40,941	39,135	37,627	36,410	35,365	34,486	33,770	33,394	33,153	32,969	32,837	32,752
	PHEV40	46,186	44,416	42,885	41,560	40,414	39,423	39,003	38,923	38,853	38,794	38,744	38,767	38,800	38,842	38,892	38,949
	PHEV60	47,204	45,351	43,743	42,349	41,138	40,088	39,614	39,484	39,369	39,267	39,178	39,181	39,197	39,225	39,265	39,315
	PHEV80	48,206	46,270	44,587	43,123	41,849	40,740	40,212	40,033	39,873	39,730	39,603	39,585	39,584	39,599	39,628	39,671
	PHEV100	49,211	47,191	45,431	43,897	42,558	41,391	40,809	40,580	40,374	40,190	40,025	39,985	39,967	39,969	39,988	40,023
SUV	汽油车	24,781	24,855	24,930	25,005	25,080	25,155	25,230	25,306	25,382	25,458	25,534	25,611	25,688	25,765	25,842	25,920
	BEV250	33,138	31,309	29,697	28,277	27,023	25,915	25,011	24,305	23,712	23,227	22,850	22,655	22,545	22,462	22,404	22,368
	BEV300	34,747	32,783	31,049	29,515	28,158	26,955	25,964	25,179	24,512	23,961	23,522	23,294	23,156	23,051	22,976	22,928
	BEV400	38,314	36,055	34,049	32,266	30,679	29,267	28,083	27,122	26,293	25,593	25,018	24,713	24,514	24,360	24,247	24,172
	BEV500	41,837	39,321	37,074	35,065	33,269	31,660	30,294	29,162	28,176	27,329	26,618	26,240	25,982	25,781	25,633	25,534
	PHEV40	35,859	34,476	33,277	32,236	31,333	30,549	29,944	29,516	29,333	29,257	29,189	29,191	29,201	29,221	29,248	29,282
	PHEV60	36,894	35,426	34,149	33,037	32,068	31,224	30,565	30,086	29,857	29,738	29,631	29,611	29,604	29,610	29,627	29,654
	PHEV80	37,912	36,360	35,006	33,824	32,790	31,887	31,173	30,644	30,369	30,208	30,063	30,021	29,997	29,989	29,996	30,016
	PHEV100	38,932	37,296	35,864	34,610	33,511	32,548	31,779	31,199	30,879	30,675	30,491	30,428	30,387	30,365	30,361	30,374
MPV	汽油车	18,007	18,061	18,115	18,170	18,224	18,279	18,334	18,389	18,444	18,499	18,555	18,610	18,666	18,722	18,778	18,835
	BEV250	24,737	23,352	22,127	21,042	20,080	19,226	18,519	17,954	17,473	17,072	16,750	16,582	16,479	16,399	16,342	16,305
	BEV300	26,176	24,671	23,335	22,149	21,094	20,156	19,371	18,736	18,189	17,728	17,351	17,153	17,025	16,926	16,854	16,806
	BEV400	29,367	27,597	26,019	24,609	23,350	22,223	21,266	20,473	19,781	19,187	18,688	18,422	18,239	18,096	17,990	17,917
	BEV500	32,547	30,543	28,745	27,131	25,681	24,377	23,254	22,307	21,473	20,747	20,126	19,793	19,556	19,371	19,233	19,139
	PHEV40	26,704	25,718	24,860	24,113	23,464	22,899	22,458	22,141	21,888	21,698	21,571	21,521	21,515	21,518	21,527	21,543
	PHEV60	27,630	26,568	25,641	24,831	24,123	23,504	23,014	22,651	22,356	22,128	21,967	21,897	21,876	21,866	21,866	21,875
	PHEV80	28,541	27,404	26,408	25,535	24,769	24,096	23,558	23,151	22,815	22,549	22,353	22,264	22,228	22,206	22,197	22,199
	PHEV100	29,455	28,241	27,175	26,238	25,414	24,688	24,101	23,648	23,271	22,967	22,736	22,628	22,576	22,542	22,524	22,520

表中BEV和PHEV分别指纯电动汽车和插电式混合动力汽车，BEV和PHEV后面的数字代表NEDC工况下的纯电续航里程，单位是公里。