



能源安全、二氧化碳减排与新能源汽车换道超车

朱欢

(北京大学新结构经济学研究院 100871)

摘要:目前中国能源消费总量与二氧化碳排放总量位居全球第一，石油对外依存度突破 70%，一方面，交通行业是石油的主要消费部门，能源安全和二氧化碳减排面临严峻挑战；另一方面，中国新能源汽车的销售量和保有量领先于其他经济体而成为换道超车型产业。由此本文拟从能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车利用国内巨大市场的优势换道超车成为全球领先型产业等三个角度来论述中国设定期限禁售燃油车的必要性。通过改进的 Gompertz 模型预测未来汽车需求，并假定在 2030 年、2040 年和 2050 年完全禁用燃油车对能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车发展的影响。研究结论表明，尽快全面推动“油改电”，加强对交通行业的调控，将是实现中国能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车换道超车目标的必然选择。

关键词: 能源安全；二氧化碳减排；新能源汽车；禁用燃油汽车；新结构经济学

本工作论文系列是新结构经济学最新的尚未在学术期刊发表的研究成果，目的在于学术讨论与评论，并不代表北京大学新结构经济学研究院的官方意见。本系列论文拒绝接受已发表或期刊已接收论文投稿，文责作者自负。本文由“G. 新结构能源环境经济学”审核。

能源安全、二氧化碳减排与新能源汽车换道超车

朱欢

(北京大学新结构经济学研究院 100871)

摘要:目前中国能源消费总量与二氧化碳排放总量位居全球第一,石油对外依存度突破70%,一方面,交通行业是石油的主要消费部门,能源安全和二氧化碳减排面临严峻挑战;另一方面,中国新能源汽车的销售量和保有量领先于其他经济体而成为换道超车型产业。由此本文拟从能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车利用国内巨大市场的优势换道超车成为全球领先型产业等三个角度来论述中国设定期限禁售燃油车的必要性。通过改进的 Gompertz 模型预测未来汽车需求,并假定在 2030 年、2040 年和 2050 年完全禁用燃油车对能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车发展的影响。研究结论表明,尽快全面推动“油改电”,加强对交通行业的调控,将是实现中国能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车换道超车目标的必然选择。

关键词: 能源安全; 二氧化碳减排; 新能源汽车; 禁用燃油汽车; 新结构经济学

1 引言与文献综述

减少汽车污染物排放进而改善空气质量、减少化石能源消耗以及实现汽车产业转型升级是燃油车禁售国家的主要驱动力。2016 年,挪威提出该国在 2025 年起禁止销售燃油车,成为全球第一个明确提出禁售燃油车的国家,随后,丹麦、冰岛、爱尔兰和荷兰等经济实力强、环保意识高、清洁电力占比高的国家也相继提出禁售燃油车的行动计划。燃油车逐步退出是一个不可逆转的全球性趋势。

从国内来看,机动车尾气排放日益成为重要的大气污染源。根据《中国移动源环境管理年报(2020)》数据显示,2019 年全国机动车保有量达到 3.48 亿辆,其中,新能源汽车保有量为 381.0 万辆,占全国机动车保有量的 1.09%;全年机动车燃油消费量达到 27143.7 万吨,污染物排放总量为 1603.8 万吨,汽车是污染物排放总量的主要贡献者。与此同时,中国石油进口依存度达到 70.9%,机动车石油消耗占比超过 50%,能源安全隐患较大。作为缓解能源环境危机、促进产业转型升级的战略性新兴产业,新能源汽车的发展受到我国政府的高度重视,2020 年国务院办公厅印发了《新能源汽车产业发展规划(2021-2035 年)》,提出到 2025 年新能源汽车市场竞争力要明显增强,新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的 20%左右,将新能源汽车作为中国汽车产业转型发展的主要方向和促进本世纪经济持续增长的重要引擎,尤其是在当前大背景下新能源汽车和中国造车新势力成为当前有效引领国内国际双循环,带动中国汽车产业全球崛起的典型样本。作为负责任的发展中大国,中国为《巴黎协定》的通过及生效做出了积极贡献,中国能源需求总量、二氧化碳排放总量及其结构变化,直接关系到未来全球的气候变化问题。由此,本文重点从能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车换道超车成为全球领先型产业角度探讨中国禁用燃油车的必要性以及中国汽车产业转型升级的可行性。

与本文相关的文献主要包括以下两类:

第一,传统燃油车对环境污染的影响。国内外较少有经济学文献直接估算传统燃油车对能源消耗和二氧化碳排放的影响,但是有较多的文献探讨燃油车限行、车用燃料标准改进和燃油车限购等措施对大气污染的影响,间接证明了减少燃油车使用有助于改善大气环境。Chen et al.(2013)^①、Viard 和 Fu(2015)^②以北京市为例,发现机动车限行政策对空气质量有显著改善作用。然而,曹静等(2014)^③的研究则认为限行政策尤其是“尾号限行”对大气

作者致谢林毅夫教授的建设性建议与两名审稿专家的宝贵意见,当然,文责自负。

质量的影响甚微, He 和 Jiang(2021)^④基于中国 6 个大城市燃油车限购政策, 采用 DID 实证检验了汽车限购政策有效降低了 PM10 浓度, 提升了空气质量, 并且这一政策带来的健康收益约为 882.7 亿元; 此外, 提高燃油环境税、提升机动车尾气排放标准对大气污染的治理效果较为明显, 可以有效实现节能减排的绿色发展目标 (赖明勇等, 2008^⑤; Auffhammer 和 Kellogg, 2011^⑥; Burke 和 Nishitaten, 2013^⑦; Barnett 和 Knibbs, 2014^⑧; 孙坤鑫, 2017^⑨; Craglia 和 Cullen, 2019^⑩; Li et al., 2020^⑪)。

第二, 新能源汽车的环境绩效以及相应的政策工具等。

其一, 关于新能源汽车的使用能够显著减少污染物的排放, 从而达到改善空气质量的效果。Kazimi(1997)^⑫较早的评估了美国洛杉矶地区可替代燃油汽车的环境影响, 认为电动汽车的推出每年可带来 350 万至 7000 万美元的额外健康收益。Holland et al.(2016)^⑬也研究认为美国的电动汽车使用具有良好的环境效益。Smith(2010)^⑭认为电动汽车的推广与使用有助于降低爱尔兰交通部门的二氧化碳排放。Ayetor et al.(2020)^⑮以非洲地区的加纳国家为例, 通过对比分析认为传统燃油汽车排放的 CO₂ 是电动汽车的 3.35 倍, 这也间接验证了电动汽车的环保性。基于中国的研究有: Tang et al.(2013)^⑯基于中国的宏观数据得出新能源汽车对节能减排具有一定的促进作用, 但其效果受新能源汽车数量和发电结构的影响, 由此大力发展新能源汽车产业, 增加节能汽车数量可能是更有效的选择。Tan et al.(2018)^⑰基于中国新能源试点城市政策 (“十城千辆工程”) 作为准自然实验, 采用 DID 研究发现新能源汽车的使用显著降低了城市的 NO₂ 浓度, 带来了良好的环境效应。Sheldon 和 Dua(2020)^⑱基于中国 2017 年微观调查数据研究显示插电式电动汽车在 2017 年的新车销售份额中达到 2.5%, 并且政府对插电式电动汽车的补贴提高了新车的燃油经济性, 减少了 66.6 亿升的汽油消费。Xie et al.(2021)^⑲研究认为中国新能源汽车补贴政策的实施总体上可以显著改善城市空气质量, 随着补贴规模增加 1%, 空气污染水平将降低约 0.15%。

其二, 政府扶持新能源汽车产业发展的政策设计。一些国家对燃油效率高的替代燃料或混合动力汽车实行补贴并取得了较好的应用与推广, 如美国 2000 年开始的刺激混合动力汽车的消费激励措施和生产者的激励措施 (Gallagher 和 Muehlegger, 2011)^⑳; Deshazo et al., 2017²¹; Clinton 和 Steinberg, 2019²²)、法国 2008 年实施的 “新车置换奖惩制度” (Haultfoeuille et al. 2013²³)、瑞典的绿色汽车退税 (Huse 和 Lucinda, 2014²⁴), 加拿大金融政策激励激发了消费者购买新能源汽车 (Azarafshar 和 Vermeulen, 2020²⁵), 英国对插电式混合动力汽车和纯电动汽车的补贴有助于提高推广新能源汽车的使用 (Santons 和 Rembalski, 2021²⁶); 欧盟国家通过征收碳排放税等方式鼓励新能源车消费, 支持新能源汽车的研发和市场拓展 (郑彬, 2020²⁷); 以及能源价格和财政激励措施具有可以积极影响新能源汽车的使用 (Münzel et al., 2019²⁸)。

在以中国新能源汽车产业政策方面的研究中, 主要集中于探讨政府补贴、税收减免、免费专用牌照、“双积分政策”、政府及公共机构采购、充电基础设施建设和车辆限行限购对新能源汽车推广和使用的积极影响 (周亚虹等, 2015²⁹; 马少超和范英, 2018³⁰; 周燕和潘遥, 2019³¹; Qu et al., 2018³²; 李国栋等, 2019³³; 李晓敏等, 2020³⁴; Wang et al. 2020³⁵)。综上所述可知, 当前国内外学者对于新能源汽车产业政策工具的研究主要集中于对生产者 and 消费者的补贴为主的货币性政策来降低新能源汽车高成本、高价格的不足, 以车辆限行、限购等路权管制政策来提高新能源汽车的比较优势, 以充电桩基础设施建设来提高新能源汽车的便利性。

综上所述可以看出, 既有研究为本文所从事的研究提供了一定的参考价值 and 借鉴意义。一方面, 传统燃油汽车的使用对能源消耗 and 环境污染带来了巨大的压力, 逐渐使用更加清洁的新能源汽车, 禁售燃油汽车成为汽车产业中长期的发展趋势; 另一方面, 新能源汽车产业受益于各国有利的政策支持, 以及自身显著的环保效益得到了广泛的推广与应用, 有助于汽车产业的换道超车。相较于已有文献, 本文可能的边际贡献在于: 第一, 从学术角度来看, 本

文定量分析禁用燃油汽车对能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车换道超车的影响，同时有利于促进新能源汽车产业的换道超车，实现汽车产业的转型升级。并通过时间序列数据进行政策模拟分析 2030 年、2040 年和 2050 年禁用燃油车对国家能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车产业的影响；第二，从实践角度来看，当前中国是全球第一大能源消费国，第一大石油进口国，第一大二氧化碳排放国，第一大汽车产销国，立足于中国发展阶段以及实际国情考察中国能源安全、二氧化碳排放量和汽车需求未来发展趋势，有助于理解中国未来的能源消费与结构转型、二氧化碳排放和汽车产业转型升级，为新格局下的汽车产业评估提供科学依据。

本文结构安排如下：第二部分为能源安全视角下汽车产业转型升级的必要性分析；第三部分为二氧化碳减排约束下汽车产业转型升级的必要性分析；第四部分为新能源汽车产业的发展状况；第五部分为汽车需求的预测与情景模拟；最后为研究结论。

2 能源安全视角下的汽车产业转型的必要性

2.1 能源消费总量与结构的变动趋势

能源攸关国计民生和国家安全，关系人类生存和发展，对于促进经济社会发展、增进人民福祉至关重要。自 1965 年以来，全球能源消费总量不断增加，石油、煤炭与天然气成为最主要的三大能源。中国能源消费总量也呈现上升趋势，年均增速 6.35%，其能源消费总量占全球的比重从 1965 年的 3.54% 增长到 2019 年的 24.28%，并且在 2009 年中国首次超过美国，成为全球第一大能源消费国，并形成以煤炭为主，石油为辅的能源消费格局。2019 年，一次能源消费中煤炭占比达到 57.64%，石油占比为 19.69%，天然气消费占比为 7.81%，水电等所占比重为 14.86%，由此可见，煤炭和石油在中国能源消费结构中占据重要地位。

基于资源禀赋的视角，中国是一个煤炭较为充裕的国家，煤炭生产量基本能够满足国内煤炭需求。但是石油存在巨大缺口，中国石油消费量从 1965 年的 11 百万吨增长到 2019 年的 650.1 百万吨，而生产量从 11.3 百万吨增长到 191 百万吨，尤其是 1993 年之后石油消费量远远超过生产量，对外依存度显著提高，自 1993 年的 1.20 个百分点增长到 2019 年的 70.62 个百分点，石油对外依存度首次突破 70%，远超 50% 的国际警戒线，成为全球第一大石油净进口国（如图 1 所示）。此外，中国人均石油资源拥有量较少，到 2019 年底，已探明石油储量占世界的 1.5%，储采比（即可开采时间）仅有 18.7 年，而世界储采比为 49.9 年。石油被称为国民经济的“血液”，是经济建设的战略资源。如今，中国进口石油的数量不断增加，石油对外依存度不断提高，能源安全隐患较大，促进石油消费尽早达峰并降低石油消费总量，对加速能源转型具有重要意义。

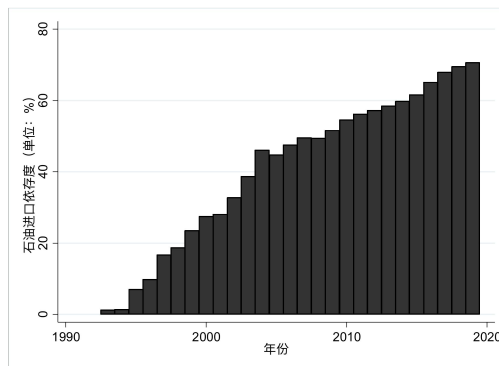


图 1 中国石油对外依存度

数据来源：IEA。

2.2 石油进口来源构成分析

石油作为全球最主要能源产品，同时也是工业品和生活用品的重要原材料，全球石油资源分布与消费分布的不均衡使得石油无可争议的成为国际贸易中的重要商品。全球石油主要产于中东、北美、其他独联体国家、非洲、亚太国家、中南美洲和欧洲；但是全球石油消费国家主要是北美、欧洲、亚太国家^①、其他独联体国家、中东、中南美洲和非洲。

就中国而言，2019年中国原油进口国家主要来自沙特阿拉伯、西非和俄罗斯，成品油的主要进口国家和地区是其他亚太地区国家、新加坡和其他中东国家，中国石油进口严重依赖于中东地区，且国家过于集中，中东地区局势动荡，给全球的石油市场带来了重大的冲击。目前海运航线是最重要的进口来源，主要有4条，分别是中东航线、拉美航线、非洲航线和东南亚航线。除了拉美航线以外，其余航线均需要经过马六甲海峡，换言之中国石油进口总量70%要经过马六甲海峡，海上通道安全也受到海盗活动、恐怖袭击的威胁，这些都对中国石油进口的稳定性与安全性产生了一系列不利影响。

2.3 石油的消费结构

从全球的发展趋势来看，交通行业是石油消费的主要部门，占石油消费总量的比重在2018年达到65.63%。与此同时，中国的石油消费总量也呈现上升趋势，从1990年的81958吨油当量增长到2018年的534864吨油当量，年均增速6.99%，其中石油的主要消费部门也是交通运输业，相应时期交通部门石油消费总量从23095吨油当量增长到287862吨油当量，年均增速10.08%，占石油消费比重也从28.18%增长到53.82%。自2007年以后，交通部门的石油消费占比达到50%以上，成为中国石油能源的第一大消费部门。其中，汽油消费主要由国内乘用车保有量的快速增长拉动，2000年以来中国乘用车经历了爆发式增长，到2019年，保有量增速始终保持在10%以上，拉动了汽油消费快速增长，尽管在此过程中也提出了燃油汽车的低碳节能发展，如采用先进发动机、变速器等技术，但是其油耗仍然较高。

综上所述，中国的石油储量相当有限，供求矛盾日益显著，石油对外依存度越来越严重，必将给中国的石油安全带来巨大的威胁，进而成为严重威胁国家安全的重要因素。在石油消费中主要来自于交通部门，尤其是过去几十年中国燃油车保有量的迅速发展增加了石油消耗以及对外依存度。由此，要解决中国能源安全问题，有必要从交通部门的转型升级入手，实现交通部门能源使用的低碳化、清洁化与电动化。降低汽车行业石油消耗量，其核心路径主要包括发展新能源汽车和先进节能汽车技术，扩大使用清洁低碳替代燃料等。

3 二氧化碳减排约束下的汽车产业转型的必要性

3.1 二氧化碳排放总量与结构的变动趋势

绿色可持续发展是全球各国共同追求的方向，过去多年既见证了中国经济的快速发展，也是中国成为碳排放大国的历程。自1965年以来，全球二氧化碳排放总量不断增加，中国、美国、印度和俄罗斯成为最主要的四大排放国家，此外，从全球二氧化碳排放部分来看，交通部门成为全球二氧化碳排放的第二大部门，仅次于电力和热力的生产所产生的碳排放。其中，交通部门的二氧化碳排放也主要集中于机动车^②。中国CO₂排放量呈现上升趋势，从1965年的488.5百万吨增长到2019年的9825.8百万吨，年均增速5.89%，其排放总量占全球的比重也从4.36%增长到28.76%，并且在2005年首次超过美国，成为全球第一大二氧化碳排

^① 其中，亚太国家在1993年超过欧洲、2006年超过北美成为全球第一大石油消费区域。

^② 以2018年数据为例，全球燃料产生的二氧化碳排放量为33513.25百万吨，首先，电力和热力生产部门的二氧化碳排放量为13977.83百万吨，占比41.71%，其次，交通部门二氧化碳排放量为8257.73百万吨，占比24.64%；再次，工业部门二氧化碳排放量为6158.32百万吨，占比18.38%；最后，居民部门二氧化碳排放量为2032.82百万吨，占比6.07%。

放国家。尤其在 2013 年后，随着中国经济增速放缓以及节能减排措施力度的加大，二氧化碳排放量进入平台期，2013-2018 年碳排放的增速为 1.32%，尤其是在 2014、2015 和 2016 年出现负增长。在此期间，电力和热力生产部门二氧化碳排放的年均增速为 3.16%，工业部门二氧化碳排放量的年均增速为-2.14%，交通部门二氧化碳排放量的年均增速为 4.98%，居民部门二氧化碳排放的年均增速为 3.62%，由此可见，交通部门的碳减排任重而道远。

那么，我们有必要了解中国二氧化碳排放的主要来源，一方面，能源消费结构和二氧化碳排放量息息相关，尤其是燃料油、液化石油气、柴油和原油的二氧化碳排放系数远远高于其他原煤、焦煤与天然气^③。正如前文所述，煤炭和石油是中国的主要能源消费，煤炭消耗量巨大导致了二氧化碳排放量不断增加，此外，石油消耗产生的二氧化碳排放也较多，天然气消耗产生的二氧化碳排放较少。另一方面，不同的国民经济活动对应的二氧化碳排放量也有所不同，就中国而言，当然仍处于工业化阶段，二氧化碳主要排放的部门集中于电力和热力生产部门、工业和交通部门。作为交通运输部门重要组成部分的传统燃油汽车消耗了大量的石油，由此产生了巨大的二氧化碳排放，因此，解决传统燃油汽车的环境问题是十分重要的，尤其是逐步禁用燃油汽车，不仅会减少石油消费，提高能源安全度，而且也会减排二氧化碳排放，实现环境红利。

3.2 中国应对二氧化碳减排的国际承诺与可行路径

促进二氧化碳减排，实现可持续发展是全球共同面临的挑战与责任。从 1992 年各国政府通过了《联合国气候变化框架公约》，到 1997 年《京都议定书》达成，再到 2015 年 12 月通过的《巴黎气候协定》，其在应对全球气候变化上对各国提出了“硬指标”，中国提出将于 2030 年左右使二氧化碳排放达到峰值，并争取尽早实现；2030 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%至 65%；且届时非化石能源占一次能源消费的比例提升到 20%左右。并且，主要国家与地区在巴黎气候大会上提出了“2050 零排放汽车倡议”，共同倡议“为减少交通温室气体排放，将支持推动零排放汽车的政策与创新性投资，尽快在管辖区全部实现乘用车零排放，最迟不得晚于 2050 年”。2020 年 9 月 22 日国家主席习近平在第 75 届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话时表示，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。这是迄今为止各国中做出的最大减少全球变暖预期的气候承诺，也是中国作为一个负责任大国在全球可持续发展中的重要体现。中国主动承担大国责任，倒逼经济结构调整，促进高质量发展，实现二氧化碳减排。

事实上，通过对当前提出碳中和国家进行对比发现，这些提出碳中和的国家主要集中在欧盟等发达国家与地区，中国作为全球四个最大二氧化碳排放国家之一提出“碳中和”目标，无疑会激励其他发展中国家进行碳减排，加快全球的减排进程。中国实现“碳中和”势必要在重点领域和重点行业首先实现“碳中和”，对于交通领域的绿色化改造除了以往文献中的提高燃油经济性、改进车用替代燃料和征收燃油税等措施，逐步完成新能源汽车对传统燃油车的替代是实现交通领域“碳中和”的有效途径。

4 新能源汽车产业的换道超车

汽车产业是中国经济发展的重要支柱，也是加速城镇化进程以及实现人民对美好生活向往的重要方面，这些因素使得该产业未来将继续保持强劲发展态势。新能源汽车属于新结构

^③ 根据《综合能耗计算通则》可知，燃料油、液化石油气、柴油和原油的二氧化碳排放系数分别为 3.1705kg-CO₂/kg，3.1013kg-CO₂/kg，3.0959kg-CO₂/kg 和 3.0202kg-CO₂/kg，而焦炭、原煤和天然气的二氧化碳排放系数分别为 2.8604kg-CO₂/kg、1.9003kg-CO₂/kg 和 2.1622kg-CO₂/m³。

经济学五大类产业中的“换道超车型”，也是中国战略新兴产业中的重要产业之一。电气化是减少人口密集地区空气污染的一项关键技术战略，也是促进各国能源多样化和减少温室气体排放目标的必然选择。新能源汽车的优势包括零尾气排放、比传统燃油汽车更高的效率以及在与低碳电力部门（比如光伏产业）相结合的情况下具有减少温室气体排放的巨大潜力。新能源汽车由于其提供多种环境、社会和健康效益的能力，已经在全球范围内获得了巨大的吸引力（Halland et al., 2016）。第一，在能源效率方面，新能源汽车是传统燃油车的3-5倍，这为车辆道路运输提供了能源效率改进的空间；第二，在能源安全方面，新能源汽车降低了许多国家对石油进口的依赖，电力可以用多种能源进行生产，而且往往在国内生产，尤其是对于中国来说，石油进口依存度已经超过70%，并且进口石油的70%需要经过马六甲海峡，在当前地缘政治争端多发，国际形势趋紧的背景下，减少石油消费与进口依存度对能源安全和国家安全都至关重要；第三，在环境污染方面，由于新能源汽车没有尾气排放，对空气污染的治理非常有效，燃油车尾气排放不仅影响生态环境，而且对周边居民身体健康带来负向影响；新能源汽车可以显著减少温室气体排放。特别的，在欧洲，电动车的碳排放低于同类燃油车65%，使用电动汽车具有良好的环境效益（IEA, 2020³⁶）。

4.1 新能源汽车产业的发展现状

4.1.1 新能源汽车保有量不断增加

在支持性政策和技术进步的双重影响下，全球电动汽车数量在过去十年实现大幅增长。从全球发展态势来看，2005-2019年，电动汽车保有量从1.91千辆增长到7167.82千辆，尤其是2010年以后电动汽车保有量呈现爆发式增长。其中，纯电动汽车保有量从1.91千辆增长到4790.87千辆，插电式混合汽车保有量从0增长到2376.95千辆（如图2所示）。在此期间，中国、美国、挪威、日本、英国、德国、法国和荷兰等国成为全球新能源汽车保有量较多的国家。

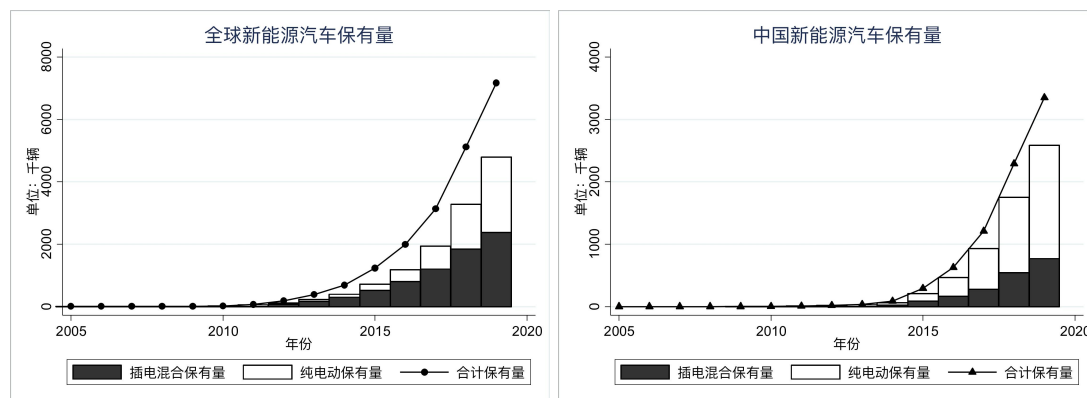


图2 2005-2019年全球与中国新能源汽车保有量

数据来源:《Global EV Outlook 2020》。

特别是中国，2016年起连续4年成为全球新能源汽车保有量最多的国家。与发达国家中的美国、挪威、日本、英国、德国相比，2005-2015年期间中国新能源汽车市场处于起步阶段，在此期间，美国、挪威、英国、德国和法国是新能源汽车保有量较多的国家，中国在2009年新能源汽车保有量仅为0.48千辆，同一时期美国新能源汽车保有量为2.58千辆，挪威为1.78千辆，英国为1.4千辆，日本为1.08千辆，中国远远落后于其他发达国家，但是2009年以后，中国新能源汽车保有量不断上升，在2016年超过美国，成为全球新能源汽车保有量最多的国家；与此同时，中国与其他处于相同发展阶段的印度、巴西和南非相比，中国新能源汽车保有量也远远高于上述三个国家。

以 2019 年全球数据为例 (如图 3 所示), 全球新能源汽车保有量最多的国家依次是: 中国的 334.9 万辆^④, 美国的 145.0 万辆, 挪威的 32.9 万辆。中国新能源汽车保有量远远高于其他经济体, 占全球保有量的一半以上, 成为全球最大的新能源汽车市场。

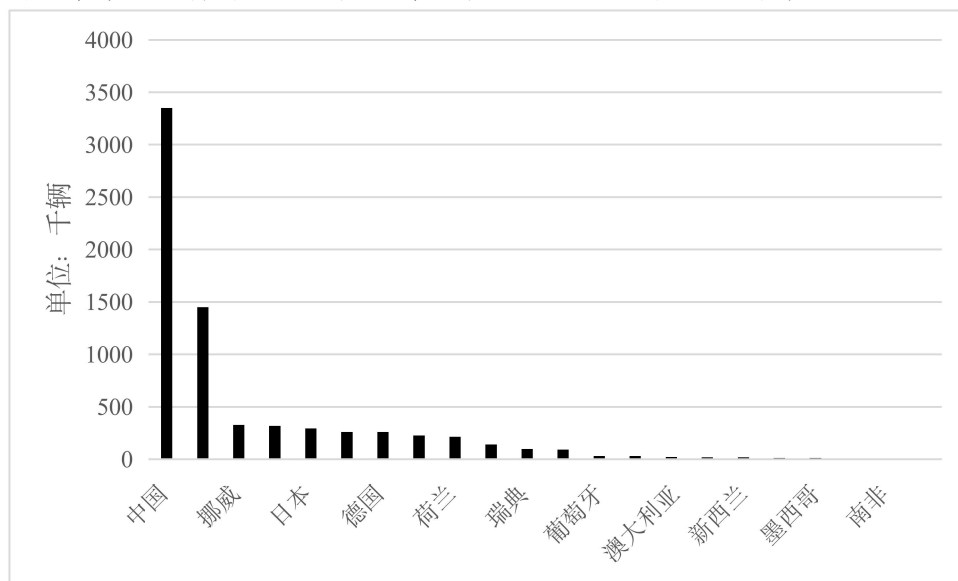


图 3 2019 年代表性国家新能源汽车保有量

数据来源: 《Global EV Outlook 2020》。

4.1.2 新能源汽车销售量持续攀升

从动态来看, 在过去的十几年, 即 2005-2019 年期间, 全球新能源汽车销售量呈现上升趋势, 从 2005 年的 1.89 千辆增长到 2019 年的 2101.68 千辆, 其中纯电动汽车销售量从 1.89 千辆增长到 1533.42 千辆, 插电式混合汽车销售量从 0 增长到 568.26 千辆 (如图 4 所示)。在 2017 年全球新能源汽车突破 100 万辆大关仅两年后, 其销售量在 2019 年突破 200 万辆, 新能源汽车的全球市场份额达到 2.6%, 创历史新高。中国仍拥有全球最大的新能源汽车市场, 其销售量占全球销售量的 50% 以上。2009-2019 年间, 中国新能源汽车销售量也突飞猛进, 从 0.48 千辆增长到 1060.31 千辆, 其中纯电动汽车销售量从 0.48 千辆增长到 834.2 千辆, 插电式混合汽车销售量从 0 增长到 226.11 千辆。以 2019 年全球新能源汽车销售数据为例, 中国、美国和德国新能源汽车销售量位居全球前三, 中国新能源汽车销售量达到 1060.31 千辆, 为美国的 3.25 倍 (美国新能源汽车销售量为 326.64 千辆), 德国的 9.76 倍 (德国新能源汽车销售量为 108.63 千辆)。

^④ 本文数据来源于《Global EV Outlook 2020》,根据国务院颁布的《新时代的中国能源发展 (白皮书)》数据显示, 2019 年新能源汽车新增量和保有量分别达到 120 万辆和 380 万辆。前者包括纯电动汽车和插电式混合汽车, 后者包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车, 统计口径的不同造成数据有所偏差。

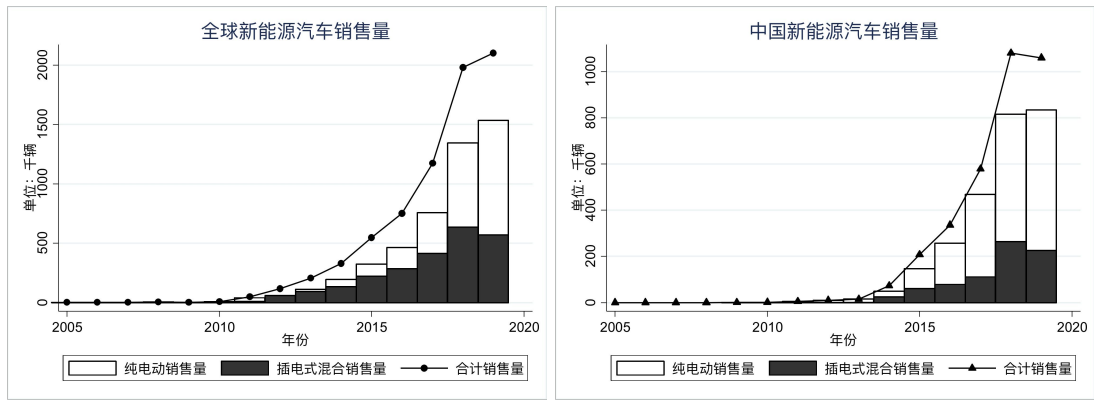


图 4 2005-2019 年全球与中国新能源汽车销售量

数据来源:《Global EV Outlook 2020》。

中国自 2015 年起连续 5 年成为全球新能源汽车销售量最多的国家。就新能源汽车销售量而言,无论是与发达国家相比较还是与处于相同发展阶段的金砖国家的比较,中国新能源汽车销售量均领先其他国家。同样,基于 2019 年的销售数据也可以看出,中国、美国和德国新能源汽车销售量处于前三名(如图 5 所示)。

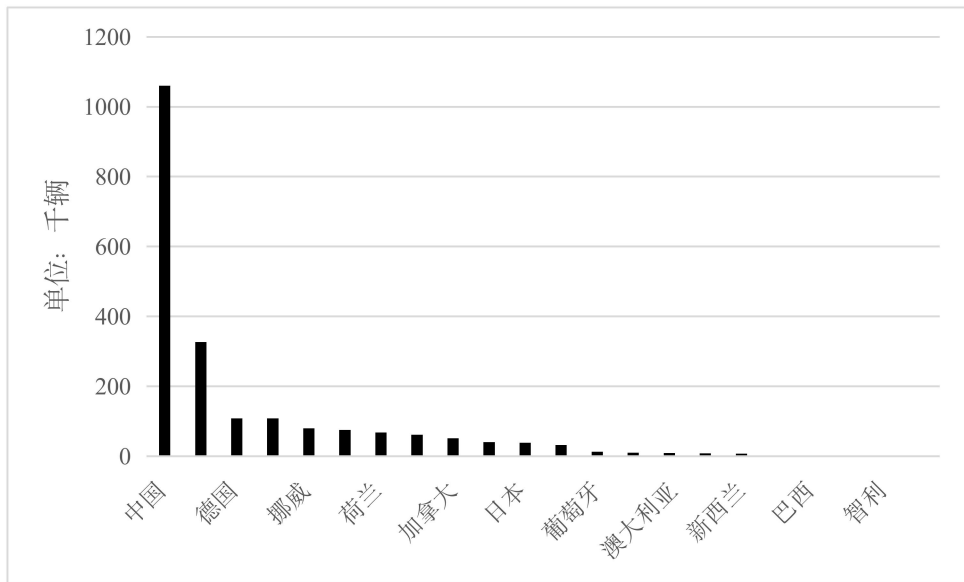


图 5 2019 年代表性国家新能源汽车销售量

数据来源:《Global EV Outlook 2020》。

4.1.3 中国新能源汽车产业机遇与挑战并存

尽管中国在新能源汽车的保有量和销售量处于世界前沿,从万人新能源汽车保有量和新能源汽车市场份额指标来看,中国与其他发达国家差距明显:

第一,就万人新能源汽车保有量而言,2009 年中国万人新能源汽车保有量仅为 0.00036 辆/万人,随后的 11 年,中国万人新能源汽车保有量不断增长,在 2019 年达到 2.3956 辆/万人,年均增速高达 153.31%;但是,与欧洲国家的挪威、荷兰、瑞典和芬兰相比较,中国万人新能源汽车保有量远远低于这些国家万人新能源汽车保有量。当前挪威国家的万人新能源汽车保有量最多,从 2008 年的 0.3530 辆/万人增长到 2019 年的 61.4280 辆/万人,年均增速为 65.10%。然而,与金砖国家的巴西、印度和南非相比较,中国万人新能源汽车保有量高于这些国家,南非国家万人新能源汽车保有量在 2013 年突破 0,为 0.0006 辆/万人,随后

几年呈现增长趋势，在 2019 年该指标达到 0.0212 辆/万人，年均增速为 123.27%。同样，以 2019 年数据为例，万人新能源汽车保有量较高的五个国家依次是挪威、荷兰、瑞典、芬兰和美国，中国排名第 12（如图 6 所述）。由此可以看出，中国万人新能源汽车保有量较低，但其增速较高，也说明了中国新能源汽车有较为广阔的增长前景。

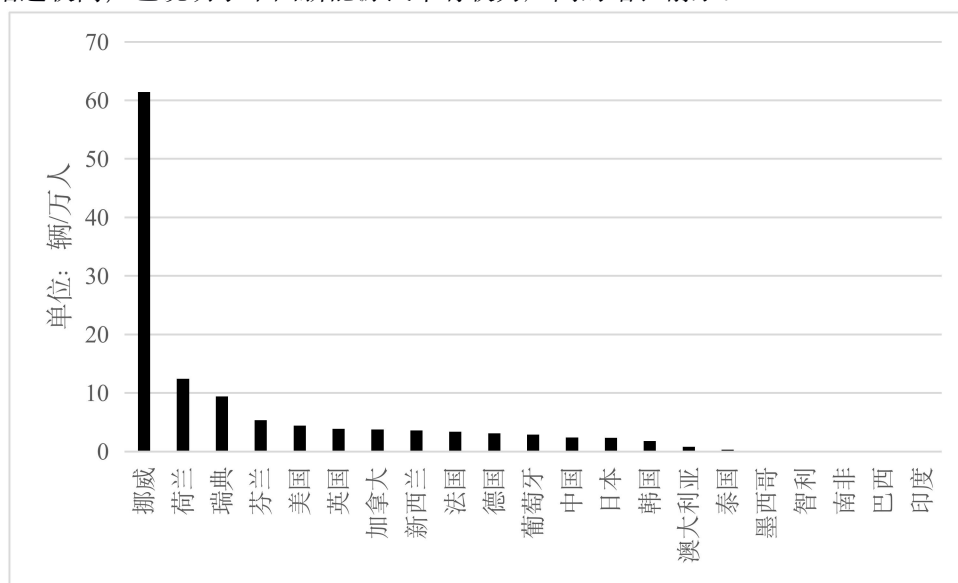


图 6 2019 年万人新能源汽车保有量

数据来源:《Global EV Outlook 2020》和 WDI。

第二，就新能源汽车市场份额而言，中国新能源汽车市场份额^⑤较低，以 2019 年数据为例，挪威是全球新能源汽车市场份额最高的国家，这一比例达到 56%。紧随其后的是荷兰 15.1%，瑞典是 11.4%，芬兰是 6.9%，葡萄牙是 5.7%，中国是 5%，德国是 3.1%，而美国新能源汽车市场份额仅为 2%（如图 7 所述）。从动态对比来看，挪威新能源汽车市场份额显著提高，中国新能源汽车市场份额也有所提高，但是与挪威国家的差距日益扩大。

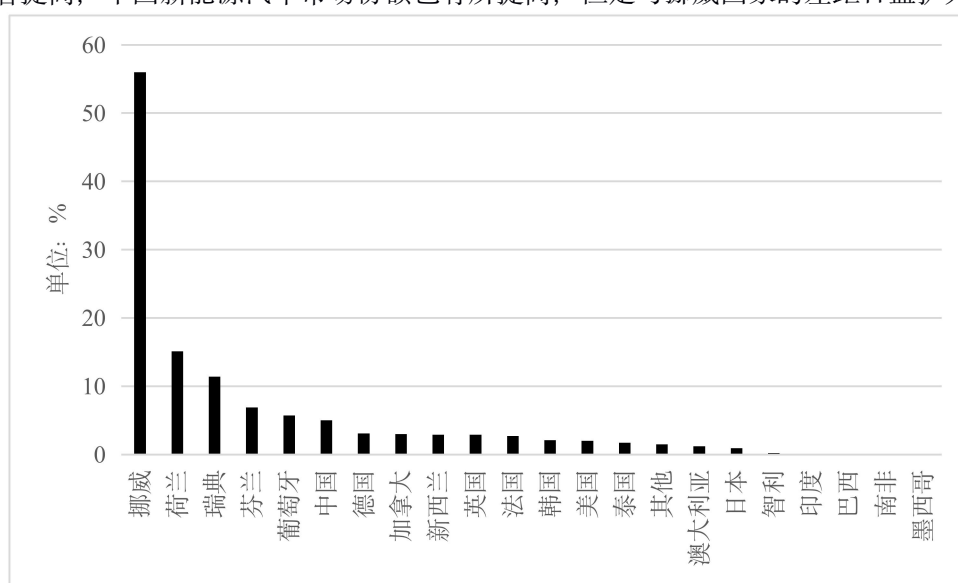


图 7 2019 年代表性国家新能源汽车市场份额数据

数据来源:《Global EV Outlook 2020》。

4.2 新能源汽车产业的案例分析：挪威

^⑤ 新能源汽车市场份额的计算公式是当年新能源汽车登记量/所有新汽车登记量。

从前文的分析中我们可以看出，挪威在新能源汽车的应用与推广方面处于世界前沿，在可比的单个经济体中，无论是万人新能源汽车保有量还是新能源汽车市场份额，挪威都远远高于其他经济体。为何挪威成为全球新能源汽车占有率最高的国家，也是最早宣布在 2025 年禁止销售新燃油汽车的国家。基于新结构经济学的理论 (Lin, 2012³⁷; 林毅夫, 2012³⁸; 林毅夫和付才辉, 2019³⁹; 朱欢等, 2020⁴⁰)，我们从以下几点进行解释：

一是要素禀赋结构决定了具有比较优势的产业结构。自然资源禀赋特征明显，挪威位于北欧斯堪的纳维亚半岛西北部，西邻挪威海，海岸线长 2.1 万公里，是南北狭长的山国，高原、山地、冰川约占全境 2/3 以上，大部分地区属温带海洋性气候。挪威水力资源极为丰富，境内由很多冰川和湖泊，由于冰河溶解的水量丰富，十分适合水力发电，因此，挪威拥有适合新能源汽车产业的先天发电条件，水电发电量在发电总量中的比例达到 95% 以上，保障了新能源汽车所需的电力。随着清洁发电比例的提高，发电清洁化进程的推进，从全生命周期来看，新能源汽车的污染物减排潜力在不断增大。

二是政府发挥了“积极有为”的作用。自 1991 年，挪威以免除登记税的方式来鼓励电动车的推广，获得了良好的经济效应与二氧化碳减排效应 (Yan 和 Eskeland, 2018⁴¹)，随后出台了如完善充电基础设施 (Mersky, 2016⁴²)、公共停车场免费停车、减免年度牌照费用、免交过路费、免除增值税、优先上路权等一系列具体的政策措施。同时也包括公共采购的政策，提高了公众对新能源汽车的认可度和接受度 (Filippa, 2018⁴³)。综上，挪威国家在新能源汽车市场占据一席之地。

三是汽车产业转型与升级的需求。挪威在 2015 年千人汽车保有量达到 614 辆，根据历史经验，当千人汽车保有量维持在 500 辆以上，市场趋于饱和，开始缺乏增长动力。新能源汽车的发展对汽车市场的增长及产业发展带来良好契机，有利于促进该国汽车产业的转型与升级。

四是经济发展阶段对消费需求的提升。2019 年，挪威按照购买力评价人均 GDP 达到 63633 美元，属于高收入国家。随着收入水平的提升，消费者对清洁空气的需求增加，相应的也会消费更加清洁的产品，增加了新能源汽车的需求。

4.3 全球代表性国家新能源汽车发展与改革目标

环境保护和可持续性目标推动了全球各国对新能源汽车政策的支持。世界各国已出台相关政策，支持交通部门的转型，包括交通部门的温室气体减排目标，燃油效率目标、新能源汽车保有量目标和销售目标，向消费者和生产者提供财政补贴和税收优惠，建立充电桩等基础设施来支持新能源汽车的推广与使用。

近年来，特别是在欧洲国家设立了一个长期愿景，即在中长期逐步淘汰内燃机汽车，实现 100% 的新能源汽车销售或保有。特别是有部分国家明确了燃油车退出市场，实现全面新能源汽车销售和使用的目标。表 1 汇报了部分国家燃油车禁售时间，从区域分布来看，主要集中于欧盟国家，挪威宣布在 2025 年全面实现电动汽车的使用，这也是目前宣布的国家中最早能够 100% 电动汽车使用的国家，德国是欧洲国家中最晚实现全面电动汽车使用的国家；亚洲国家仅有斯里兰卡和日本宣布未来 2035-2040 年全面实现电动汽车；北美国家中的加拿大和美国部分州也宣布全面实现电动汽车使用；其他国家中包括以色列、佛得角和哥斯达黎加也宣布相继全面实现电动汽车使用，促使燃油车完全退出市场。从拟计划的时间来看，欧洲国家绝大部分在 2030 年实现电动车的全覆盖，挪威是最早宣布将在 2025 年禁止销售新燃油汽车的国家，德国、日本、美国和哥斯达黎加拟在 2050 年实现 100% 电动汽车使用。中国目前尚未宣布这一计划的时间表，但是从政府出台的各个文件中看出鼓励在重点区域、公共交通等领域率先全面使用新能源汽车，由点到面，先试行后推广，如海南省将于 2030 年起全面禁售燃油车，实现新能源汽车全面覆盖和普及，成为中国第一个禁售燃油车试验点。

表 1 部分国家燃油车禁售时间表

区域	2025 年	2030 年	2035 年	2040 年	2050 年
欧洲	挪威	丹麦; 冰岛; 爱尔兰; 荷兰; 斯洛文尼亚; 瑞典	英国	法国; 葡萄牙; 西班牙;	德国
北美				加拿大	美国 (10 个州)
亚洲		中国海南省	日本	斯里兰卡	
其他		以色列	佛得角		哥斯达黎加 [®]

注: 作者根据相关资料整理所得。

5 中国未来汽车需求预测与政策模拟

汽车产业是中国经济发展的重要支柱,也是加速城镇化进程以及满足人民对美好生活向往的重要需求,这些因素使得该产业未来将保持良好发展态势。特别是新能源汽车为世界经济注入新动能,也是中国从汽车大国迈向汽车强国的必由之路,更是应对气候变化、推动绿色发展的战略举措。

5.1 中国未来汽车需求预测

汽车需求主要受到经济发展阶段、人口密度、城市化进程等多因素影响。从国际发达国家及城市经验来看,千人保有量是一个重要的衡量依据,它与人均 GDP 具有直接相关性。从历史纵向对比来看,中国千人汽车保有量不断增加,年均增速超过 10%;从横向跨国对比来看,中国千人汽车保有量远远低于发达国家和金砖五国的其他三个国家(除了印度以外),特别是 2005-2015 年,美国千人汽车保有量从 804 辆/千人增长到 824 辆/千人,俄罗斯千人汽车保有量从 217 辆/千人增长到 356 辆/千人,中国千人汽车保有量从 24 辆/千人增长到 119 辆/千人。中国千人汽车保有量不仅低于发达国家,而且也低于部分发展中国家。这也从侧面反映出中国具有庞大的汽车需求市场。

本文采用改进的 Gompertz 模型对中国千人汽车保有量进行预测分析, Gompertz 曲线是一条 S 型曲线,它的形状特征是开始增长较慢,然后经历一段较快的增长,最后增长又趋于缓慢,直到饱和状态。因此,建立如下估计模型:

$$V(X) = \gamma e^{a \exp(\beta X)} \quad (1)$$

其中, $V(X)$ 是人均汽车保有量, X 是实际人均 GDP, 以 1978 年为基期, a 和 β 是待估参数, γ 是汽车拥有量的饱和参数,并假设是已知参数。相关研究表明 γ 与城市化水平高度相关,在一些城市化率超过 90% 的国家与地区, γ 的值设定为 0.62,考虑到中国的城市化率远低于 90%,因此设定 γ 的值为 0.50 (Tang et al., 2013)。于是,式 (1) 可以转换为:

$$\ln(\ln \gamma - \ln V(X)) = C + \beta_1 X + \beta_2 \ln(X) + \varepsilon_0 \quad (2)$$

式 (2) 中 $C = \ln(-a)$ 为一个常数, ε_0 为随机误差项。显然,式 (2) 中存在估计偏误,

由此,进一步将其进行改进,在模型中纳入 X^2 和 $\ln(X)$ 来解决上述问题。根据《中国统计

[®] 2019 年,哥斯达黎加发布《国家脱碳计划》,提出到 2030 年实现 100% 可再生能源发电,到 2050 年实现温室气体零排放的目标。依照该计划,公共交通工具的电动化率在 2035 年将达到 70% 以上,2050 年实现全部电动化。(参见:刘旭霞.哥斯达黎加积极发展可再生能源[N].人民日报,2021-1-4 (016))

年鉴》并基于 1978-2019 年相关数据进行参数估计。

$$\ln(\ln \gamma - \ln V(X)) = C + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \varepsilon_0 \quad (3)$$

$$\ln(\ln \gamma - \ln V(X)) = C + \beta_1 X + \beta_2 \ln(X) + \varepsilon_0 \quad (4)$$

从表 2 中可知，第 (3) 列的估计效果较好，因为 R^2 得到了显著提高，并且残差值也位于 0 的附近（如图 8 所示），而第 (1) 列和第 (2) 列的估计效果稍有逊色。因此，本文采用改进的 Gompertz 模型来对中国的汽车需求进行预测。即：

$$V(X) = \gamma e^{\alpha \exp(\beta_1 X) X^{\beta_2}} \quad (5)$$

因此，可以在预测人均 GDP 的基础上，可以根据上述模型预测中国未来汽车需求量。如图 9 所示，到 2030 年、2040 年和 2050 年中国千人汽车保有量分别为 301 辆、389 辆和 454 辆。

表 2 模型 (2) - (4) 的估计结果

	(1)	(2)	(3)
X	-0.0001*** (0.0000)	-0.0002*** (0.0000)	-0.0001*** (0.0000)
X ²		0.0000*** (0.0000)	
lnX			-0.1494*** (0.0125)
常数项	1.7761*** (0.0160)	1.8351*** (0.0167)	2.7535*** (0.0847)
R ²	0.9746	0.9861	0.9960
N	42	42	42

注：括号内为标注误，* $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$ ，*** $p < 0.01$ 。

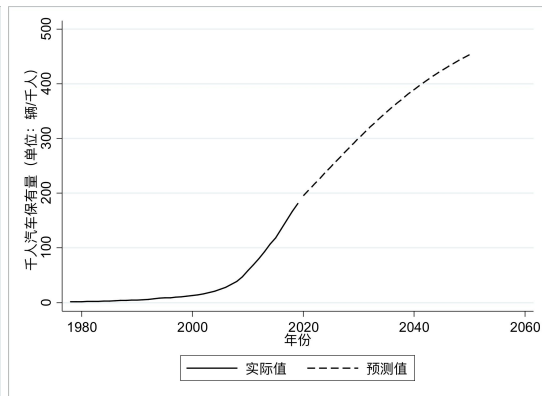
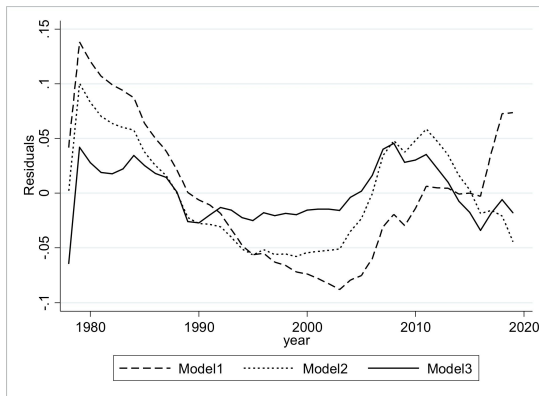


图 8 表 2 模型 (1) - (3) 残差项的散点图 图 9 中国汽车需求量的预测

5.2 禁用传统燃油汽车的必要性分析

第一，减少国家对外的石油依赖，保障能源安全。

正如前文所述，中国自 1993 年以来石油对外依存度不断提高，在 2019 年成为全球第一大原油进口国和全球仅次于美国的第二大石油消费国。其中，汽车是最重要的石油消费主体之一。按照前文的预测，到 2030 年、2040 年和 2050 年千人汽车保有量是 2019 年的 1.66 倍、2.15 倍和 2.50 倍，而在 2019 年中国石油对外依存度已经突破 70%，若仍

然按照传统燃油汽车发展方式，势必会对石油对外依存度乃至能源安排造成严重威胁，如图 10 所示，到 2050 年中国石油依存度将达到 100%。由此，有必要设定期限来禁售燃油车。随着传统燃油汽车的逐步退出，低能耗汽车与新能源汽车的普及将逐步降低石油消费量，进而减少中国在交通领域对外的石油依赖度。

图 10 中国石油对外依存度预测

数据来源：作者整理而得。

图 11 中国交通部门二氧化碳排放数据预测

数据来源：作者整理而得。

第二，实现国家二氧化碳减排目标，按期达到“碳中和”。

特别的，国家主席习近平在 2020 年第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话，强调中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，使二氧化碳排放力争于 2030 年达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和，这是迄今为止各国中做出的最大减少全球变暖预期的气候承诺。当前，中国二氧化碳排放总量中交通部门排放占比约为 10%，如果继续发展燃油汽车，并且随着未来中国燃油汽车人均保有量的不断提升，必然会对二氧化碳排放产生巨大影响。2019 年交通部门二氧化碳排放量为 953 百万吨，千人汽车保有量为 173 量/千人，随着时间推移，到 2030 年、2040 年、2050 年交通部门二氧化碳排放量会增至 1696.28 百万吨、2669.17 百万吨、3857.72 百万吨（如图 11 所示）。由此，交通部门尤其是燃油汽车的使用会给中国实现二氧化碳减排承诺带来巨大的不利影响。

第三，促进汽车产业转型升级，实现新能源汽车的换道超车。

作为最大的发展中国家，中国在新能源汽车的保有量和销售量都位居世界前端。新能源汽车让中国处于追赶发达国家的汽车产业实现了换道超车成为全球领先型产业的机会。新结构经济学根据产业和世界技术前沿的差距、是否符合比较优势及研发周期长短将中国的产业分为五大类：追赶型、领先型、转进型、换道超车型和战略型（Lin, 2017⁴⁴；林毅夫，2017⁴⁵）。新能源汽车产业属于典型的换道超车型产业，这类产业新技术、新产品的研发主要以人力资本投入为主，产品和技术的研发周期远短于燃油车的研究周期。中国新能源汽车产业能够实现换道超车得益于以下因素：

一是发展新能源汽车产业符合中国现阶段的比较优势。改革开放以来，中国经济持续增长，要素禀赋结构不断提升，人力资本显著提高，技术水平大幅提升，根据佩恩表 9.1 (PWT9.1) 数据显示，1978-2017 年，以 2011 年不变价得到的实际人均 GDP 从 1305.35 美元增长到 13464.54 美元，人力资本指数从 1.6248 增长到 2.5664，全要素生产率从 0.5667 增长到 1.0374，由此可见，中国具备发展新能源汽车产业所需要的资本、人才与技术。此外，经过多年的发展，中国已经形成了完整的工业体系，与新能源汽车制造业相关的上下游产业链完整，具备新能源汽车整车制造能力。

二是中国政府发挥了“积极有为”的作用，包括对新能源汽车免征车辆购置税和车船税优惠政策，对新能源汽车推广应用财政补贴政策（如新能源汽车下乡活动等），对新能源汽

车公共充电桩等基础设施的建设投资（到 2018 年底全国共有 331294 个充电桩，保障了新能源汽车的充电便利^⑦）等，以及对关键技术链的产业政策，诸如规划引导、财税支持、技术规范及行政监管等，促进了新能源汽车的创新（郭本海等，2019⁴⁶），受益于各地公交电动化政策，客车领域新能源化进程加快，并于 2009 年科技部、发改委、工信部和财政部四部委联合在 25 个试点城市开展了节能与新能源汽车示范推广工作^⑧；中国政府也先后在多个政策文件中提到了新能源汽车发展目标（如表 2 所示），这都为新能源汽车产业的发展带来了良好的契机。

表 2 中国各规划文件中提到的新能源汽车发展目标

时间	政策名称	指标	2020 年	2025 年
2009.03.20	国务院颁布《汽车产业调整和振兴规划》	改造现有生产能力，形成 50 万辆纯电动、充电式混合动力和普通型混合动力等新能源汽车产能，新能源汽车销售量占乘用车销售总量的 5%左右。		
2012.06.28	国务院关于印发《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020 年）》的通知	新能源汽车生产能力	200 万	—
		新能源汽车累计产销量	500 万	—
2014.07.14	国务院办公厅关于加快《新能源汽车推广应用的指导意见》	新能源汽车推广应用城市新增或更新车辆中的新能源汽车比例不低于 30%	—	—
2017.04.06	工业和信息化部、国家发展改革委、科技部关于印发《汽车产业中长期发展规划》的通知	新能源汽车产销量	200 万	—
		新能源汽车销售量占汽车新车销售量的比例	—	>20%
2020.10.20	国务院办公厅关于印发《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》的通知	新能源汽车销售量占汽车新车销售量的比例	—	20%

资料来源：国务院政府文件网站。

三是有效的市场，中国具备有效竞争的国内市场，激发了企业的创新动力。从供给端看，一方面，中国培育了一批具有竞争力的本土新能源汽车企业，如比亚迪、上汽集团、广汽新能源、蔚来汽车、小鹏汽车、北汽新能源等；另一方面，鼓励外资进入中国新能源汽车市场，2018 年 6 月，国家发改委发布的《外商投资产业指导目录》（2018 年修订）中正式取消新能源汽车合资股比限制，作为新能源汽车行业的代表车企之一，特斯拉在中国建厂在很大程度上带动了国内新能源汽车行业的发展，随着外资、合资以及本土造车新势力的发展加速，中国新能源市场逐渐形成全面竞争开放的新格局。从需求端看，中国新能源汽车市场份额较低，未来有巨大的市场需求潜力。

特别的，新能源汽车产业在解决能源安全与二氧化碳排放方面具有较强的优势。随着传统燃油汽车的逐步退出，低能耗汽车与新能源汽车的普及将逐步降低石油消费量，进

^⑦ 数据来源于《中国汽车工业年鉴 2019》。2015 年国务院办公厅关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见，和 2018 年国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部、财政部制定了《提升新能源汽车充电保障能力行动计划》，都从国家顶层设计上保障了新能源汽车的基础设施建设。

^⑧ 2009 年确定北京、上海、重庆、长春、大连、杭州、济南、武汉、深圳、合肥、长沙、昆明、南昌等 13 个城市作为国家首批试点城市；2010 年初又进一步增加天津、海口、郑州、厦门、苏州、唐山和广州 7 个试点城市；随后又增加沈阳、成都、南通、襄樊、呼和浩特 5 个试点城市。

而减少中国在交通领域对外的石油依赖度。新能源汽车的使用主要依靠于电力，尤其是纯电动汽车避免了使用燃油，因此我们有必要分析中国发电的能源结构问题。从图 12 中可以看出 1990-2018 年中国发电的能源逐步清洁化。首先，煤炭发电占总发电量的比例在 2007 年达到 81%，并且从 2008 年以后这一比例开始下降，到 2018 年这一比例降为 66.26；其次，水电发电在总发电量中的占比为 14.62%-20.39%；最后，石油发电这一比例呈现显著的下降趋势，从 1990 年的 8.11% 下降到 2018 年的 0.14%。由此，保障了新能源汽车全生命周期的低碳性，而且退役的动力电池可以梯次利用，在储能系统、通信基站及数据中心的备用电池系统得到利用，从而带来了广泛的环境福祉。

图 12 中国发电的能源结构

数据来源：EIU Energy Indicators and Forecasts.

5.3 禁用传统燃油车对能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车换道超车的影响

上述从能源安全、二氧化碳减排与新能源汽车换道超车角度论证了中国未来全面实现禁用燃油汽车的必要性。接下来，通过情景模拟分析中国在 2030 年、2040 年和 2050 年不同时点禁用燃油汽车对石油依存度、二氧化碳减排与新能源汽车产业发展的影响。

表 3 汇报了政策模拟的估计结果，其中基准情景表示没有外生冲击下按照前文汽车保有量的预测结果可知，到 2030 年石油依存度为 86.44%，交通部门的二氧化碳排放量达到 1696 百万吨，新能源汽车保有量份额为 2.31%，到 2040 年石油依存度、交通部门的二氧化碳排放量以及新能源汽车保有量份额分别为 94.30%、2669 万吨和 2.65%，到 2050 年这三项指标为 99.50%、3857 万吨和 2.83%。从中可以看出石油对外依存度接近 100%，由于中国汽车保有量规模大，新能源汽车的份额呈现缓慢增长的趋势；若有一些强烈的外生冲击，如禁用燃油车规划的提出会对能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车产生影响。

首先，情景一（假设 2030 年禁用传统燃油车），到 2030 年、2040 年和 2050 年石油对外依存度和二氧化碳排放量均为 0，新能源汽车市场份额达到 100%，保障了国家能源安全和二氧化碳减排，实现了交通部门的“碳中和”，新能源汽车市场实现换道超车。其次，在情景二（假设 2040 年禁用传统燃油车），到 2030、2040 和 2050 年石油对外依存度分别为 33.63%、0、0，交通部门二氧化碳排放量分别为 453 万吨、0、0，新能源汽车市场份额分别为 51.69%、100%、100%，相较于情景一而言，到 2040 年可以保障石油安全和交通部门的“碳中和”，以及新能源汽车的换道超车。最后，情景三（假设 2050 年禁用传统燃油车），到 2030、2040 和 2050 年石油对外依存度分别降至 45.56%、22.78%和 0，交通部门的二氧化碳排放量也依次降至 614 万吨、307 万吨和 0，新能源汽车市场份额分别增至 35.02%、66.85%和 100%。通过对上述情景模拟分析发现越早实现禁用燃油汽车越有利于缓解能源安全、减少二氧化碳排放和促进新能源汽车发展。基于中国国情，新能源汽车是传统燃油汽车退出后的最主要替代选择，尤其是在公共车辆领域。

表 3 禁用传统燃油车对能源安全、二氧化碳减排和新能源汽车换道超车的影响

年份	基准			2030 年禁用燃油汽车			2040 年禁用燃油汽车			2050 年禁用燃油汽车		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Oil	86.44	94.30	99.50	0	0	0	33.63	0	0	45.56	22.78	0
CO ₂	1696	2669	3857	0	0	0	453	0	0	614	307	0
NEV	2.31	2.65	2.83	100	100	100	51.69	100	100	35.02	66.85	100

注：Oil 表示石油依存度，单位为%；CO₂ 表示交通部门的二氧化碳排放量，单位为百万吨；NEV 表示新能源汽车保有量份额，单位为%。

6 研究结论

本文从三个方面对未来汽车产业转型升级的有效路径进行了分析。首先，从能源安全的角度，分析了中国能源消费结构中石油对外依存度突破 70%，且石油进口的 70% 需要经过马六甲海峡，交通部门至少消耗了 50% 的石油，由此可见，传统燃油车的大量使用给中国能源安全乃至国家安全带来巨大挑战，促使汽车产业的转型升级势在必行；其次，就二氧化碳减排的约束而言，传统燃油车的使用不仅消耗了石油，而且增加了二氧化碳排放，并且石油的二氧化碳排放系数要高于煤炭等其他能源，因此，逐渐禁用传统燃油车有助于实现交通部门的碳中和；最后，基于新能源汽车的换道超车视角，分析了中国新能源汽车保有量和销售量均居全球首位，但其万人新能源汽车保有量和新能源汽车市场份额相对较低，换言之中国新能源汽车市场机遇与挑战并存，随后以挪威和代表性国家为例分析各国新能源汽车市场的发展目标愿景，多数欧洲国家明确提出了在 2040 年全面禁售传统燃油车的计划与方案。

此外，基于 1978-2019 年中国千人汽车保有量数据采用改进的 Gompertz 模型预测未来汽车需求走势，在没有外生冲击下，到 2050 年中国千人汽车保有量突破 700 辆/千人，石油对外依存度接近 100%，传统燃油车使用带来的二氧化碳排放增至 3857 万吨，新能源汽车保有量份额为 2.83%，这对中国的能源安全、“碳中和”和新能源汽车换道超车带来巨大压力；若有外生冲击，如到 2030 年、2040 年和 2050 年禁用传统燃油车将会大大降低中国的石油对外依存度和交通部门的二氧化碳排放，提高新能源汽车的市场份额，最终实现新能源汽车的换道超车。总之，传统燃油汽车退出将带来多方面直接或间接性收益，有助于实现国家能源安全保障、空气质量改善、二氧化碳减排、产业转型升级等一系列目标。

参考文献

- ① Chen, Y. Y., Jin, G. Z., Kumar, N., Shi, G. The promise of Beijing: evaluating the impact of the 2008 Olympic Games on air quality [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2013, 3(66): 424-443.
- ② Viard, V. B., Fu, S.H. The effect of Beijing's driving restrictions on pollution and economic activity [J]. *Journal of Public Economics*, 2015, (125):98-115.
- ③ 曹静, 王鑫, 钟笑寒. 限行政策是否改善了北京市的空气质量? [J]. *经济学(季刊)*, 2014, 13 (3): 1091-1126.
- ④ He X.P., Jiang S. Effects of vehicle purchase restrictions on urban air quality: empirical study on cities in China [J]. *Energy Policy*, 2021, 148:1-10.
- ⑤ 赖明勇, 肖皓, 陈雯, 祝树金. 不同缓解燃油税征收的动态一般均衡分析与政策选择[J]. *世界经济*, 2008, (1): 65-76.
- ⑥ Auffhammer, M., Kellogg, R. Clearing the air? The effects of gasoline content regulation on air quality [J]. *American Economic Review*, 2011, 101(6): 2687-2722.
- ⑦ Burke, P. J., Nishitaten, S. Gasoline prices, gasoline consumption, and new vehicle fuel economy: Evidence for a large sample of countries [J]. *Energy Economics*, 2013, 36: 363-370.
- ⑧ Barnett, A. G., Knibbs, L. D. Higher fuel prices are associated with lower air pollution levels [J]. *Environment International*, 2014,(66): 88-91.
- ⑨ 孙坤鑫. 机动车排放标准的雾霾治理效果研究——基于断点回归设计的分析[J]. *软科学*, 2017, 31 (11): 93-97.
- ⑩ Craglia, M., Cullen J. Do vehicle efficiency improvements lead to energy savings? The rebound effect in Great Britain [J]. *Energy Economics*, 2020, 88: 1-10.
- ⑪ Li P., Lu, Y., Wang, J. The effects of fuel standards on air pollution: evidence from China [J]. *Journal of Development Economics*, 2020, 146: 1-19.
- ⑫ Kazimi C. Evaluating the environmental impact of alternative-fuel vehicles[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1997, 33(2):163-185.
- ⑬ Holland, S. P., Mansur, E. T., Muller, N. Z., Yates, A. J. Are there environmental benefits from driving electric vehicles? The importance of local factors[J]. *American Economic Review*, 2016, 106(12):3700-3729.
- ⑭ Smith, W. J. Can EV (electric vehicles) address Ireland's CO₂ emissions from transport? [J] *Energy*, 2010, 35:4514-4521.
- ⑮ Ayetor, G.K., Quansah, Q.A., Adjei E. Towards zero vehicle emissions in Africa: a case study of Ghana [J]. *Energy Policy*, 2020, 143:1-12.
- ⑯ Tang B. J., Wu X.F., Zhang X. Modeling the CO₂ emissions and energy saved from new energy vehicles based on the logistic-curve [J]. *Energy Policy*, 2013, 57: 30-35.
- ⑰ Tan R., Tang D., Lin B.Q. Policy impact of new energy vehicles promotion on air quality in Chinese cities [J]. *Energy Policy*, 2018, 118: 33-40.
- ⑱ Sheldon, T. L., Dua, R. Effectiveness of China's plug-in electric vehicle subsidy [J]. *Energy Economics*, 2020, 88:1-8.
- ⑲ Xie Y., Wu D.S., Zhu, S.J. Can new energy vehicles subsidy curb the urban air pollution? Empirical evidence from pilot cities in China [J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 754: 1-20.
- ⑳ Gallagher K. S., Muehlegger, E. Giving green to get green? Incentives and consumer adoption of hybrid technology[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2011, 61(1): 1-15.
- 21 Deshazo, J. R., Sheldon, T. L., Carson, R.T. Designing policy incentives for cleaner technologies: lessons from California's plug-in electric vehicle rebate program[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 84:18-43.
- 22 Clinton, B. C., Steinberg, D. C. Providing the spark: impact of financial incentives on battery electric vehicle adoption[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2019,98:1-18.
- 23 Haultfoeuille, X. D., Givord, P., Boutin, X. The environmental effect of green taxation: the case of the French Bonus/Malus [J]. *Economic Journal*, 2013, 124(578): 444-480.
- 24 Huse, C., Lucinda, C. The market impact and the cost of environmental policy: evidence from the Swedish Green Car Rebate [J]. *Economic Journal*, 2014, 124(578): 393-419.
- 25 Azarafshar, R., Vermeulen, W. N. Electric vehicle incentive policies in Canadian provinces [J]. *Energy Economics*, 2020, 91:1-15.
- 26 Santons, G., Rembalski S. Do electric vehicles need subsidies in the UK? [J]. *Energy Policy*, 2021, 149:1-10.
- 27 郑彬. 欧盟推动汽车业向新能源转型[N]. *人民日报*, 2020-6-17 (016) .
- 28 Munzel, C., Plotz, P., Sprei, F., Gnann, T. How large is the effect of financial incentives on electric vehicle sales?—A global review and European analysis [J]. *Energy Economics*, 2019, 84:1-21.

-
- ²⁹ 周亚虹, 蒲余路, 陈诗一, 等. 政府扶持与新型产业发展[J]. 经济研究, 2015, (6) :147-161.
- ³⁰ 马少超, 范英. 基于时间序列协整的中国新能源汽车政策评估[J]. 中国·人口资源与环境, 2018, 28 (4) :117-124.
- ³¹ 周燕, 潘遥. 财政补贴与税收减免——交易费用视角下的新能源汽车产业政策分析[J]. 管理世界, 2019, 10: 133-149.
- ³² Qu S. Q., Lin Z.H., Qi L., et al. The dual-credit policy: quantifying the policy impact on plug-in electric vehicle sales and industry profits in China [J]. Energy Policy, 2018: 121: 597-610.
- ³³ 李国栋, 罗瑞琦, 谷永芬. 政府推广政策与新能源汽车需求: 来自上海的证据[J]. 中国工业经济, 2019, (4): 42-61.
- ³⁴ 李晓敏, 刘毅然, 杨娇娇. 中国新能源汽车推广政策效果的地域差异研究[J]. 中国·人口资源与环境, 2020, 30 (8) :51-61.
- ³⁵ Wang L., Fu Z. L., Guo W., et al. What influences sales market of new energy vehicles in China? Empirical study based on survey of consumers' purchase reasons [J]. Energy Policy, 2020, 142: 1-11.
- ³⁶ Clean Energy Ministerial. Global EV outlook 2020 entering the decade of electric drive[R]. OECD, 2020.
- ³⁷ Justin Y. F. Lin. New Structural Economics: A framework for rethinking development policy[M]. Washington, World Bank, 2012a.
- ³⁸ 林毅夫. 新结构经济学: 反思经济发展与政策的理论框架[M]. 北京: 北京大学出版社, 2012.
- ³⁹ 林毅夫, 付才辉. 新结构经济学导论 (上下册) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- ⁴⁰ 朱欢, 郑洁, 赵秋运, 等. 经济增长、能源结构转型与二氧化碳排放——基于面板数据的经验分析[J]. 经济与管理研究, 2020, 41 (11) :19-34.
- ⁴¹ Yan, S. Y., Eskeland, G. S. Greening the vehicle fleet: Norway's CO₂-differentiated registration tax[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2018, 91:247-262.
- ⁴² Mersky A C, Sprei F, Samaras C, et al. Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway [J]. Transportation research part D transport and environment, 2016, 46: 56-68.
- ⁴³ Filippa E, Lina T. Electric vehicle adoption in Sweden and the impact of local policy instruments[J]. Energy Policy, 2018, 121:584-596.
- ⁴⁴ Justin Y. F. Lin. New Structural Economics and industrial policies for catching-up economies [M]. Advances in the Theory and Practice of Smart Specialization, 2017, 183-199.
- ⁴⁵ 林毅夫. 产业政策与我国经济的发展: 新结构经济学的视角[J]. 复旦学报 (社会科学版), 2017, (2): 148-153.
- ⁴⁶ 郭本海, 陆文茜, 王涵, 等. 基于关键技术链的新能源汽车产业政策分解及政策效力测度[J]. 中国·人口资源与环境, 2019, 29 (8) :76-86.

Energy Security, Carbon Dioxide Emission Reduction and Corner-overtaking of New Energy Vehicle Industry

ZHU Huan

(Institute of New Structural Economics, Peking University 100871)

Abstract: At present, China's energy consumption and carbon dioxide emissions rank first in the world, and its dependence on foreign oil has exceeded 70%, among them, the transportation industry is the main consumer of oil, so energy security and carbon dioxide emission are facing severe challenges. On the other hand, China's new energy vehicle sales and stocks are ahead of other economies to become a corner-overtaking industry. Thus this paper intends to discuss China's necessity of setting a time limit to ban the fuel vehicles from energy security, achieve "carbon peak" in 2030 and "carbon neutral" in 2060, and take advantage of the huge domestic market of new energy vehicles. The improved Gompertz model is used to predict future vehicle demand, and the impact of completely banning fuel vehicles in 2030, 2040 and 2050 on energy security, carbon dioxide reduction and the development of new energy vehicles is assumed. The conclusion of this paper shows that to comprehensively the "oil to electricity" as soon as possible and strengthen the regulation of the transportation industry will be the inevitable choice to achieve china's energy security, carbon dioxide emission reduction and the goal of corner-overtaking of new energy vehicles.

Keywords: Energy security; carbon dioxide reduction; new energy vehicle; forbid the use of fuel vehicles; new structural economics.