

中国乘用车中长期 节能潜力与路径研究 结题报告

Report on China Passenger Car's Medium and Long-term
Energy Saving Potential and Path Research

研究单位： 中国汽车技术研究中心
China Automotive Technology &
Research Center(CATARC)

支持单位： 美国能源基金会
Energy Foundation

2017年6月



中国乘用车中长期 节能潜力与路径研究 结题报告

Report on China Passenger Car's Medium and Long-term
Energy Saving Potential and Path Research

研究单位： 中国汽车技术研究中心
China Automotive Technology &
Research Center(CATARC)

支持单位： 美国能源基金会
Energy Foundation

2017年6月



目录

Contents

第 1 章 中国乘用车节能现状与趋势分析	1
1.1 车用能源现状	1
1.2 乘用车节能政策现状	4
1.2.1 宏观规划	4
1.2.2 准入与生产管理	4
1.2.3 财税政策	5
1.2.4 使用便利性	6
1.3 国产乘用车属性发展现状、趋势与成因挖掘	6
1.3.1 平均油耗变化情况	6
1.3.2 整备质量变化情况	9
1.3.3 平均功率变化情况	10
1.3.4 空间参数变化情况	12
1.4 乘用车产品结构发展现状、趋势与成因挖掘	13
1.5 小结	16
第 2 章 中国乘用车节能发展问题识别	17
2.1 市场端分析	17
2.1.1 消费者选购车型时趋向于大型化	17
2.1.2 市场端产品结构中生产车型趋向于 SUV 化	17
2.1.3 消费者在购置新车时存在动力匹配过剩情形	18
2.1.4 节能因素在消费者的需求中比重相对弱化	18
2.2 技术端分析	19

2.2.1	发动机先进技术应用水平与汽车发达国家尚有差距	19
2.2.2	自动变速器自主化程度较低，先进变速器研究计划缺失	20
2.2.3	混合动力技术起步较晚，尚未实现批量应用	20
2.2.4	新能源汽车存在技术、性能和使用环境等多方面问题	21
2.2.5	工业基础薄弱，汽车轻量化水平明显落后	21
2.3	政策端分析	22
2.3.1	阶梯形标准曲线	22
2.3.2	财税政策	24
2.4	节能发展问题整体评估	26
2.5	小结	29
第 3 章	节能潜力分析模型构建	30
3.1	研究思路	30
3.1.1	整体框架	30
3.1.2	数据体系	31
3.2	模型构建	32
3.2.1	模型结构	32
3.2.2	相关性分析	32
3.2.3	参数变化与油耗的关系	33
3.2.4	回归结果分析	35
3.2.5	节能技术趋势及预判	37
3.3	小结	38
第 4 章	节能潜力测算情景设定	39
4.1	传统能源车市场端情景	39
4.1.1	整备质量情景假设	39
4.1.2	功率情景假设	39
4.2	传统能源车技术端情景	40
4.2.1	技术应用比例发展规律	40
4.2.2	节能技术分类	42
4.2.3	技术普及率预测方案	43

4.2.4 节能技术发展情景假设	44
4.3 新能源车政策端情景	45
4.3.1 新能源规模假设	45
4.3.2 新能源油耗折算假设	46
4.3.3 新能源核算倍数假设	47
4.4 节能潜力测算工具	48
4.5 小结	49
第 5 章 节能潜力测算结果分析与评估	50
5.1 节能潜力测算结果分析	50
5.1.1 传统能源汽车节能潜力	50
5.1.2 考虑新能源汽车后的节能潜力	51
5.1.3 NEV 法规灵敏性分析	52
5.2 测算结果评估	54
5.2.1 评估的必要性	54
5.2.2 中国乘用车能源需求预测模型	55
5.2.3 评估情景设定	55
5.2.4 结果分析	56
第 6 章 结 论	58
6.1 关键结论总结	58
6.2 政策启示	58
6.3 下一步工作展望	59
附 录	60
附录 A: 技术调研信息表	60
附录 B: 节能技术渗透率预测图	61

图目录

图 1-1	2015 年全球、欧盟（EU-28）、美国、日本、中国能源消费结构	1
图 1-2	2006-2016 年中国原油进口量、产量和对外依存度	2
图 1-3	2006-2016 年我国汽车产量、销量及增幅情况	2
图 1-4	国产乘用车平均油耗变化情况	7
图 1-5	自主 / 合资平均油耗变化情况	7
图 1-6	分车型平均油耗变化情况	8
图 1-7	自主 / 合资分车型产量占比变化情况	8
图 1-8	自主 / 合资技术应用发展情况	9
图 1-9	国产乘用车平均整备质量变化情况	10
图 1-10	国产乘用车平均整备质量变化情况	10
图 1-11	国产乘用车平均功率年度变化情况	11
图 1-12	自主 / 合资平均功率变化情况	11
图 1-13	分功率段产量占比变化情况	12
图 1-14	国产乘用车外形尺寸年度变化情况	12
图 1-15	自主 / 合资平均空间年度变化情况	13
图 1-16	分车辆类型平均空间年度变化情况	13
图 1-17	国产乘用车车型结构占比历史数据	14
图 1-18	欧盟乘用车车型结构历史变化趋势	14
图 1-19	欧盟车型产量变化曲线	15
图 1-20	中国城镇农村可支配收入	15
图 2-1	轿车市场中的产品结构变化	17
图 2-2	产品结构的变化对油耗的影响	18
图 2-3	消费者购车关注因素调研	19

图 2-4	中、美、欧缸内直喷技术应用比例对比	20
图 2-5	分系别国产乘用车混合动力车型产量及占比	21
图 2-6	目标值分段函数曲线	22
图 2-7	各整備质量段核算数据统计结果	23
图 2-8	受影响的车型识别（2014 年）	23
图 2-9	奖罚兼具的财税政策情景示意图	24
图 2-10	三种财税政策情景下分级别影响差异对比	25
图 2-11	三种财税政策情景下分排量影响差异对比	25
图 2-12	分系别 PSFI 指数变化趋势	27
图 2-13	中国国产乘用车 ERFC 指数变化趋势	28
图 3-1	节能潜力分析模型构建与分析框架	30
图 3-2	自主品牌整備质量油耗 lowess 回归曲线	33
图 3-3	合资品牌整備质量油耗 lowess 回归曲线	34
图 3-4	自主品牌功率油耗 lowess 回归曲线	34
图 3-5	合资品牌功率油耗 lowess 回归曲线	35
图 3-6	中国乘用车节能技术进步趋势	37
图 3-7	中、美 NERFC 指数对比	38
图 4-1	2030 年前国产乘用车平均整備质量发展趋势假设	40
图 4-2	2030 年前国产乘用车平均功率发展趋势假设	40
图 4-3	美国汽车行业技术应用比例曲线	41
图 4-4	技术应用比例回归分析曲线	41
图 4-5	美国 VVT 技术应用比例曲线	42
图 4-6	节能技术应用效果情景假设	45
图 4-7	国产新能源市场规模趋势假设	46
图 4-8	测算工具逻辑框架示意图	48
图 5-1	传统车情景差异对比图	51
图 5-2	行业节能潜力多情景比较	52
图 5-3	市场结构变化对行业测算的影响	53

图 5-4	NEV 能耗折算情景差异对行业油耗测算影响对比	53
图 5-5	NEV 核算倍数情景差异对 2025 年行业油耗测算的影响	54
图 5-6	多情景设定未来乘用车新车燃油经济性水平	56
图 5-7	不同单车燃油经济性情景下的乘用车成品油需求预测	56
图 5-8	不同单车燃油经济性情景下的乘用车成品油峰值及时间	57
附图 1	VVT (DOHC) 渗透率预测图	61
附图 2	缸内直喷渗透率预测图	61
附图 3	涡轮增压渗透率预测图	62
附图 4	废气循环冷却渗透率预测图	62
附图 5	米勒循环渗透率预测图	63
附图 6	停缸渗透率预测图	63
附图 7	能量管理渗透率预测图	64
附图 8	6 档及以上 MT 渗透率预测图	64
附图 9	8 档及以上 AT 渗透率预测图	65
附图 10	6 档及以上 DCT 渗透率预测图	65
附图 11	CVT 渗透率预测图	66
附图 12	电动助力转向渗透率预测图	66
附图 13	高效电附件渗透率预测图	67
附图 14	怠速启停渗透率预测图	67
附图 15	制动能量回收渗透率预测图	68
附图 16	48V 系统渗透率预测图	68
附图 17	非插电式混合动力渗透率预测图	69
附图 18	减少摩擦技术进步效率预测图	69
附图 19	减少风阻技术进步效率预测图	70
附图 20	低滚阻轮胎技术进步效率预测图	70

表目录

表 1-1	汽车年行驶里程	3
表 1-2	汽车按车龄分燃料消耗量	3
表 1-3	2015 年中国汽车整体汽、柴油消费情况	3
表 1-4	2015 年生育政策调整新增出生人口规模均值估计	16
表 2-1	三种财税政策情景下行业平均油耗对比	26
表 3-1	数据指标体系	31
表 3-2	油耗影响因素相关系数表	33
表 3-3	回归系数表	36
表 4-1	节能技术调研信息表	43
表 4-2	新能源市场主要车型油耗折算结果比较	47
表 4-3	新能源乘用车油耗折算情景假设	47
表 4-4	新能源核算倍数情景假设	48
表 5-1	传统能源汽车节能潜力趋势	50
表 5-2	含新能源典型情景列表	51
附表 1	技术调研信息表	60



摘要

在对中国乘用车节能现状与趋势进行系统性总结与问题挖掘的基础上，本报告对中国乘用车中长期节能潜力与路径这一问题进行了模型构建、情景假设及结果分析，并给出相关政策建议。本文首先分析了中国乘用车节能现状与趋势，从宏观能源形势、政策现状及趋势表现进行了总结分析，并定性或定量分析了目前行业发展中存在的一些问题。其次，本报告系统性构建了节能潜力分析模型以及节能潜力分析工具。在此基础上，本报告对模型的各输入条件进行了评估假设，包括构建了节能技术普及率预测模型，对技术列表里的各项技术进行了普及率预测。最后，对传统能源车节能潜力及行业整体节能潜力进行了情景分析，并给出了本研究认为的最可能发生的情景。研究认为，在目前的政策体系及市场消费趋势下，相关规划中节能目标的实现存在一定难度，需要从政策、技术和市场多方面加大引导及保障力度。

关键词：乘用车能耗；节能潜力；技术路径；情景分析

第1章 中国乘用车节能现状与趋势分析

1.1 车用能源现状

我国是全球人口最多的国家，经济的快速增长，促使我国成为全球最大的能源消费国，2015年能源消费量高达3013.9百万吨油当量，位居全球第一，占全球能源总消费量的22.92%。我国已成为全球第二大石油消费国，其消费量达到559.7百万吨油当量，仅次于美国的851.6百万吨油当量。BP数据显示，2015年全球石油消费量增长190万桶/日，我国以77万桶/日的新增需求量，再次成为对全球石油需求增长最快的国家。

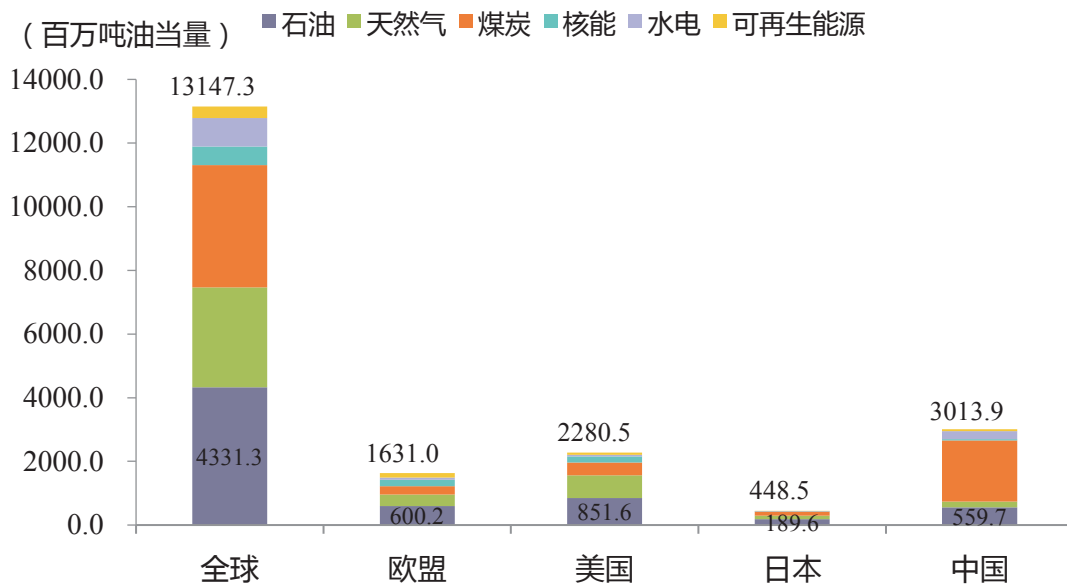


图 1-1 2015 年全球、欧盟 (EU-28)、美国、日本、中国能源消费结构

数据来源：BP 世界能源统计年鉴

2006–2016 年，我国原油产量基本稳定在 2 亿吨左右，原油进口量和对外依存度持续走高。我国原油进口量由 2006 年的 1.45 亿吨，增长至 2016 年的 3.81 亿吨，增幅 162.76%；原油对外依存度由 2006 年的 44.9%，增长至 65.5%。国际油价长期大

幅波动，对我国石油相关产业造成巨大经济影响；对马六甲海峡航运的长期依赖，给国家能源安全造成极大隐患。因此，从经济、安全两方面考虑，我国均应采取多重措施，以降低我国原油对外依存度，确保国家能源安全。

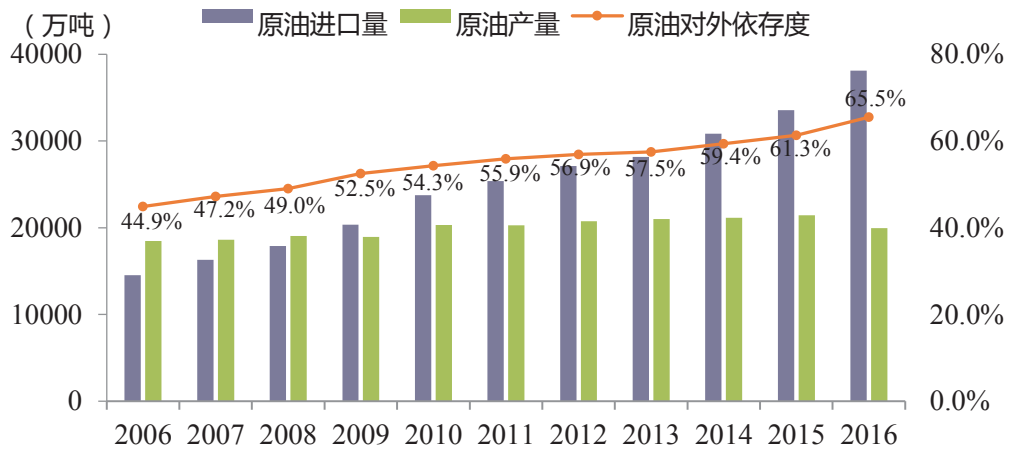


图 1-2 2006-2016 年中国原油进口量、产量和对外依存度

数据来源：国家统计局

2016 年我国汽车产销量分别达到 2811.88 万辆、2802.82 万辆，同比增长 14.76%、13.65%，高于上年同期 11.50 和 8.70 个百分点，增幅为近三年来最高。我国汽车产业受经济影响程度远小于欧、美、日等国家，虽然增速在 2008 年、2011 年出现下滑，但产销量仍稳步升高。截止 2016 年，我国汽车保有量达到 1.86 亿辆（不包括三轮汽车和低速货车），传统能源汽车保有量 1.85 亿辆，占比 99.45%。国际能源署（IEA）数据显示，我国陆路运输油品消耗量占石油产品总消耗量的 40-45%。

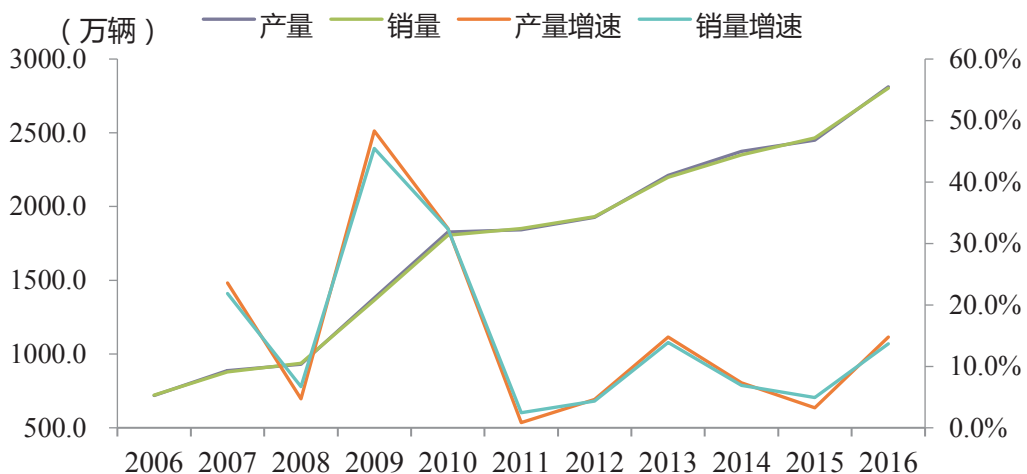


图 1-3 2006-2016 年我国汽车产量、销量及增幅情况

数据来源：OICA

车用总油耗测算采用“车用总油耗 = 车辆保有量 × 燃油经济性 × 年行驶里程”

的方法。测算思路：使用汽车历史保有量、年销量及残存率数据，将汽车保有结构按照不同车辆种类和车龄进行细分，然后将各类汽车保有量乘以各自的燃油经济性数据（百公里油耗），再乘以相应的年行驶里程数据，求和得到总油耗结果。

按表 1-1、1-2 及保有量相关数据，计算得出 2015 年我国车用汽柴油总油耗达 2.25 亿吨，占汽、柴油消费总量的 78.13%，如表 1-3 所示。

表 1-1 汽车年行驶里程

车辆种类	细分类别	年行驶里程 (km)
乘用车	—	19000
客车	大型客车	54000
	中型客车	52000
	轻型客车	37000
货车	重型货车	55000
	中型货车	35000
	轻型货车	28000
	微型货车	19500

表 1-2 汽车按车龄分燃料消耗量

单位：L/100km

注册年份	乘用车	大型客车	中型客车	轻型客车	重型货车	中型货车	轻型货车	微型货车
2015 年	7.04	22.90	18.73	11.08	39.03	21.32	9.61	7.17
2014 年	7.22	24.19	19.18	11.18	38.14	22.20	9.75	7.00
2013 年	7.33	25.38	20.53	12.28	40.08	24.44	10.76	7.07
2012 年	7.38	26.00	21.10	11.89	41.00	25.30	10.66	7.16
2011 年	7.54	27.00	22.00	12.18	42.50	26.30	10.83	7.45
2010 年	7.71	27.25	22.20	12.80	42.85	26.55	11.25	7.75
2009 年	7.77	27.75	22.65	13.00	43.40	27.05	11.30	7.90
2008 年	7.89	28.25	23.10	13.75	44.00	27.55	11.80	8.10
2007 年	8.00	28.75	23.55	14.50	44.60	28.05	12.40	8.80
2006 年	8.06	29.00	23.75	14.50	44.95	28.30	12.40	8.90
2005 年	8.65	29.25	23.95	14.50	45.30	28.55	12.40	9.00
2004 年及以前	9.15	30.25	24.90	15.50	47.50	30.00	13.00	9.50

表 1-3 2015 年中国汽车整体汽、柴油消费情况

年份	车用能源消耗 (百万吨)		
	汽油	柴油	汽、柴合计
2015	112.37	113.05	225.42

由此可见，除国家原油战略储备、炼厂产能扩张因素外，汽车保有量逐年攀升，也是造成我国对进口原油需求增长的主要原因。为降低我国对进口原油的依赖，大力发展节能和新能源汽车已成为我国重要的战略选择。

1.2 乘用车节能政策现状

面对严峻的能源与环境形势，为提高我国汽车节能水平，提升汽车产业竞争力，汽车行业主管部门从宏观规划、准入与生产管理、财税政策及使用便利性等方面，对节能与新能源汽车发展给予支持和引导。

1.2.1 宏观规划

大力发展节能汽车已成为国家的重要战略选择。为加快培育和发展节能汽车产业，我国政府相继对外发布纲领性文件，明确我国汽车产业发展目标，为汽车企业后续产品的规划布局划定了指导方向。2005年12月，国家发改委、建设部、公安部、财政部、监察部、环保总局联合发布《关于鼓励发展节能环保型小排量汽车的意见》（国办发〔2005〕61号），提出发展节能环保型小排量汽车的重要性，为我国节能环保型小排量汽车的产业发展奠定了政策基础。

2012年6月，国务院印发了《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020年）》（国发〔2012〕22号），提出我国节能汽车产业发展目标“到2020年，当年生产的乘用车平均燃料消耗量降至5.0升/百公里，节能型乘用车燃料消耗量降至4.5升/百公里以下；商用车新车燃料消耗量接近国际先进水平”，明确节能技术发展目标“掌握混合动力、先进内燃机、高效变速器、汽车电子和轻量化材料等汽车节能关键核心技术”。

2015年5月，国务院印发《中国制造2025》（国发〔2015〕28号），将节能汽车产业列入十大重点领域之一，提出掌握高效内燃机、先进变速器、轻量化材料等核心技术的工程化和产业化能力的战略目标。

国务院发布的规划性文件为汽车产业未来10年的发展思路划定基调，也给汽车企业吃了一颗“定心丸”。近几年汽车企业在节能技术方面投入逐步增大，行业整体油耗水平持续下降，2016年国产乘用车企业平均燃料消耗量实际值达到6.83L/100km（未计入新能源汽车），先进变速器、涡轮增压发动机等节能技术应用比例与国际差距日益缩小。

1.2.2 准入与生产管理

为规范节能汽车生产，我国政府根据汽车产业实际国情，对汽车产品实施事前准入管理，通过定期发布《道路机动车辆生产企业及产品公告》，约束汽车企业生产行为，截止2016年年底，工信部已发布291批公告。围绕公告准入环节，制定了一系列标准、政策，对节能汽车产品相关技术指标进行要求。

为加强汽车行业燃料消耗量的管理，推动汽车节能水平提高，国家政府部门出台了一系列的管理政策和措施，围绕油耗备案与公示、油耗标识、油耗标准、企业平均油耗等方面开展工作。《乘用车燃料消耗量限值》（GB19578）和《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》（GB27999）对我国乘用车燃料消耗量下降提出了具体要求，落实了《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020年）》的要求。乘用车企业平均燃料消耗量管理（CAFC）实现了与国际通行做法接轨，进一步提升了我国汽车节能管理水平。

2013年3月，工业和信息化部、发展改革委、商务部、海关总署、质检总局联合发布《乘用车企业平均燃料消耗量核算办法》，我国正式实施CAFC核算及公示管理，至今已稳定运行4年，先后公示了2013至2016年度乘用车企业平均燃料消耗量情况，披露了我国生产（销售）乘用车的100多家企业包括不达标企业的燃料消耗量水平等信息；基于乘用车企业平均燃料消耗量管理核算公示的结果，我国政府正在探索实施基于燃料消耗量水平的奖惩管理制度。

2014年10月，工业和信息化部、发展改革委、商务部、海关总署、质检总局发布《关于加强乘用车企业平均燃料消耗量管理的通知》，对乘用车企业平均燃料消耗量不达标企业给予通报、暂停公告、投资限制等处罚，强化了企业平均燃料消耗量的约束性。2016年9月，工业和信息化部发布《企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理暂行办法（征求意见稿）》（简称《暂行办法》），明确了监管对象、CAFC及积分核算方法、不达标企业的处罚措施等；《暂行办法》极大的弥补了财政补贴政策的退坡、有效的改善了行业燃料经济性水平。在乘用车燃料消耗量标准、核算、公示、加强管理的政策制定下，我国乘用车企业平均油耗逐年降低。

1.2.3 财税政策

为拉动小排量节能汽车市场消费，我国政府在消费者购置环节做减法，针对节能汽车予以减征购置税的政策。2010年7月，财政部、发展改革委、工业和信息化部关于印发《“节能产品惠民工程”节能汽车（1.6升及以下乘用车）推广实施细则》的通知（财建[2010]219号）。2013年9月，财政部、发展改革委、工业和信息化部发布《关于开展1.6升及以下节能环保汽车推广工作的通知》（财建[2013]644号），决定从2013年10月1日到2015年12月31日，对于消费者购买符合政策要求的节能车型给予3000元定额补助。

2015年，符合政策要求的39家企业的272个车型享受了节能惠民补贴优惠，累计产量227万辆，占到当年度乘用车的11.2%。2015年9月，财政部、国家税务总局发布《关于减征1.6升及以下排量乘用车车辆购置税的通知》（财税[2015]104号），决定自2015年10月1日起至2016年12月31日止，对购置1.6升及以下排量乘用车减按5%的税率征收车辆购置税。政策实施后，1.6升及以下排量乘用车产量占乘用车总量的比例由2015年9月的65%迅速提升到12月的72%。借助1.6升及以下排量乘用车车购税减征政策带来的市场增长，2015年乘用车产量增长了5.8个百分点。

2016年12月，财政部、国家税务总局发布《关于减征1.6升及以下排量乘用车车辆购置税的通知》（财税[2016]136号），决定自2017年1月1日起至12月31日止，对购置1.6升及以下排量的乘用车减按7.5%的税率征收车辆购置税；自2018年1月1日起，恢复按10%的法定税率征收车辆购置税。

我国政府目前对部分车型的车船税实施减征政策，虽然车辆应缴的车船税金额占整车购置成本比例很小，但对消费市场起到了良好的引导作用。2015年5月，财政部、国家税务总局、工业和信息化部联合发布《关于节约能源使用新能源车船车船税优惠政策的通知》（财税[2015]51号），继续对节约能源车船，减半征收车船税。2015年8月，财政部、国家税务总局、工业和信息化部公示《享受车船税减免优惠的节约能源使用新能源汽车车型目录》（第三批），三类节能性汽车（乘用车、燃气天然气重型商用车、汽柴油重型商用车）共计1734款车型。

1.2.4 使用便利性

为缓解城市交通使用压力，我国多个城市对汽车实行“限行、限购”政策。2016年2月，国务院常务会议特别提出督促落实不得对新能源汽车限行限购的要求。北京、长春、大连、武汉等城市实行限行政策，均按规定新能源汽车“不限行”；北京、天津、上海、杭州、广州、深圳、贵阳、石家庄8个城市采取机动车限购措施，均对新能源汽车采取不限购或放宽限购的优惠措施；天津、广州等城市对于混合动力节能汽车给予单独摇号政策，引导社会使用节能汽车。限行限购区域对节能与新能源汽车采取优惠路权政策，为节能与新能源汽车发展提供了极大的市场空间和便利性。

1.3 国产乘用车属性发展现状、趋势与成因挖掘¹

在相关节能政策的积极作用下，从历史趋势来看，我国乘用车节能水平不断提升，但是与油耗有直接关系的整备质量、平均功率、空间等参数则呈现出逐年增长的趋势，给行业节能带来一定的负面影响。

1.3.1 平均油耗变化情况

2009–2016年，国产乘用车油耗逐年降低，不计入新能源车的情况下2016年平均油耗降至6.83L/100km，较2015年下降2.15%。2013年进入乘用车燃料消耗量管理三阶段，国产车油耗同比降幅开始上升，由2013年的1.36%升高至2015年的1.97%。2016年，油耗管理进入四阶段，平均油耗将持续降低，同比降幅也超过2%。具体如图1-4所示。

¹ 由于2012年及以前年份进口乘用车数据暂无法获取，因此1.3小节研究范围仅国产传统能源乘用车2009–2012年数据来源：机动车出厂合格证，2013–2016年数据来源：汽车燃料消耗量数据管理系统

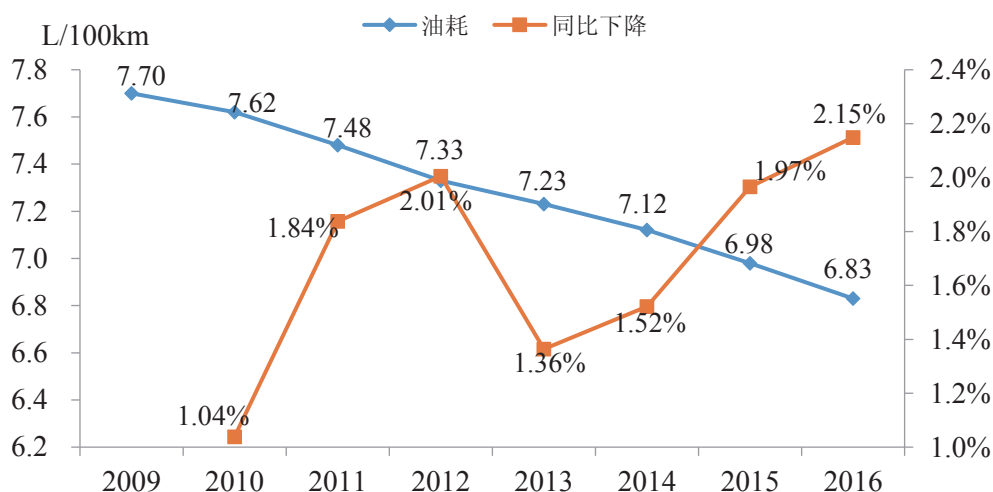


图 1-4 国产乘用车平均油耗变化情况

分企业类型来看，自主品牌乘用车油耗水平高于合资品牌，达标质量即实际值/达标值也更低。2016年，自主乘用车平均油耗实际值为7.12L/100km，达标值为7.02L/100km，由于油耗达标值大幅下滑，传统能源车未达到标准要求。合资企业乘用车油耗实际值下降速度较快，由2013年的7.29L/100km降至2016年的6.69L/100km。具体如图1-5所示。

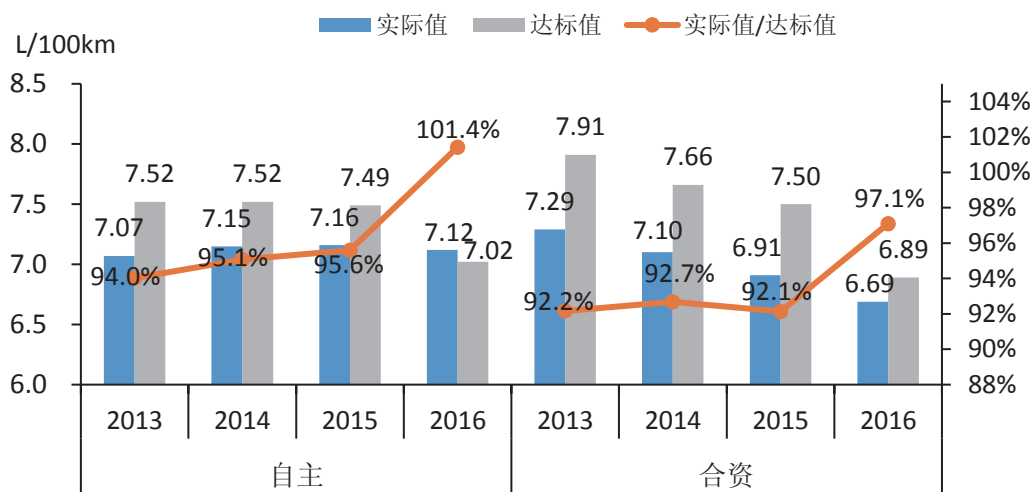


图 1-5 自主/合资平均油耗变化情况

合资企业平均油耗较低，主要原因有：一，合理的产品结构；二，轿车和SUV平均油耗大幅降低。2016年合资企业轿车仍占总量的60%以上，产品结构更为合理。轿车方面，合资车油耗实际值减小0.66L/100km，而自主车仅降低0.21L/100km，二者差距缩小，2016年油耗水平相当。SUV方面，合资乘用车油耗下降1.17L/100km，远高于自主车0.44L/100km的降幅。MPV、交叉车用车方面，自主品牌燃油经济性明显落后于合资车。具体如图1-6、1-7所示。

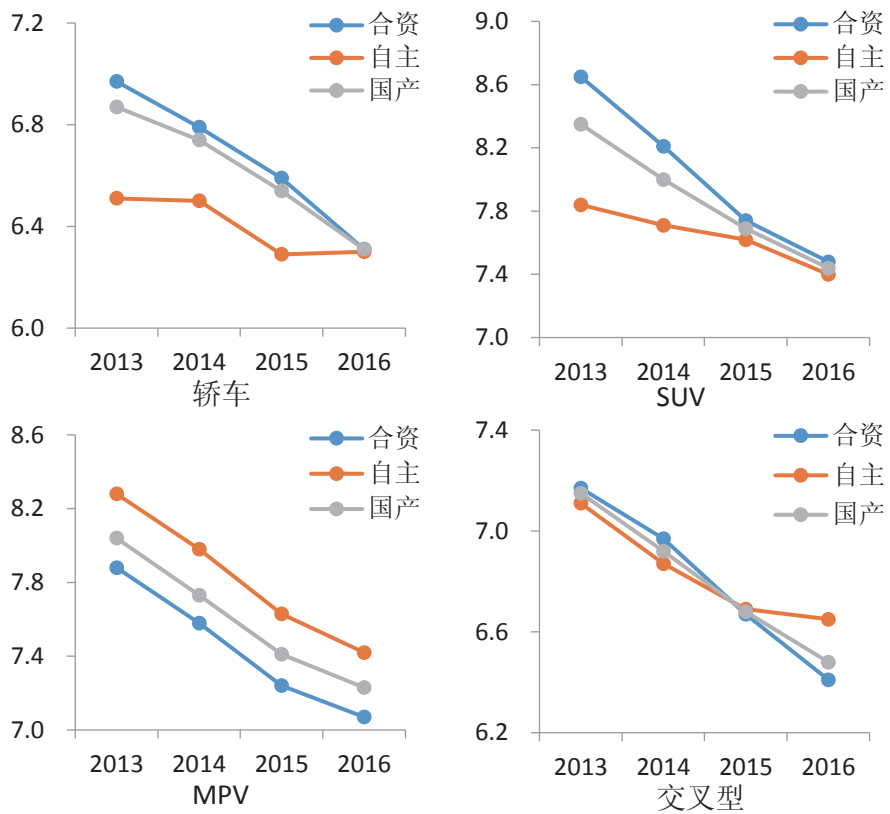


图 1-6 分车型平均油耗变化情况

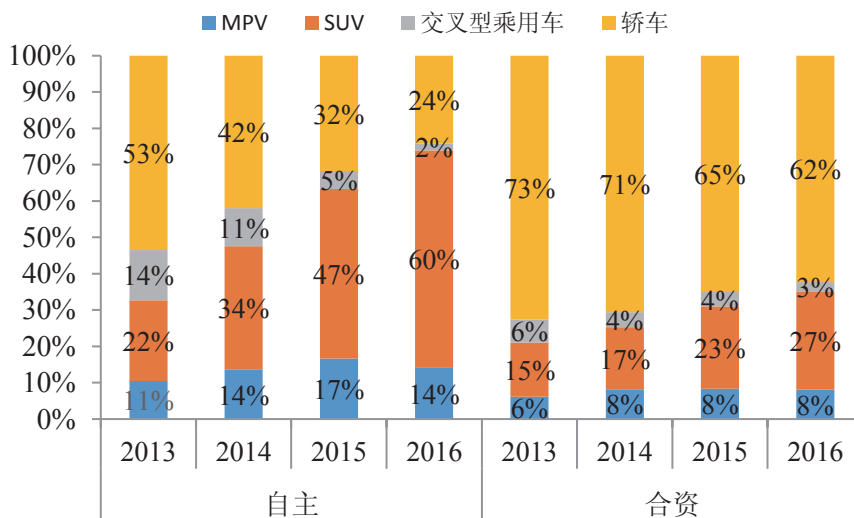


图 1-7 自主/合资分车型产量占比变化情况

节能技术应用方面，自主企业起步较晚，2012 年开始普及涡轮增压技术和先进变速器，2016 年应用比例分别达到了 37%、32%，前者略高于合资企业平均水平，后者仍落后于合资车。然而，在缸内直喷技术及怠速启停应用方面，自主企业

2014 年才开始应用且增长速度偏低，同时由于合资企业应用比例增长幅度明显高于自主品牌，二者的差距逐渐增大，2016 年分别相差 26.3%、18.7%。节能技术搭载率的巨大差异，对车型油耗产生了重大影响，也成为企业合规的决定性因素。具体如图 1-8 所示。

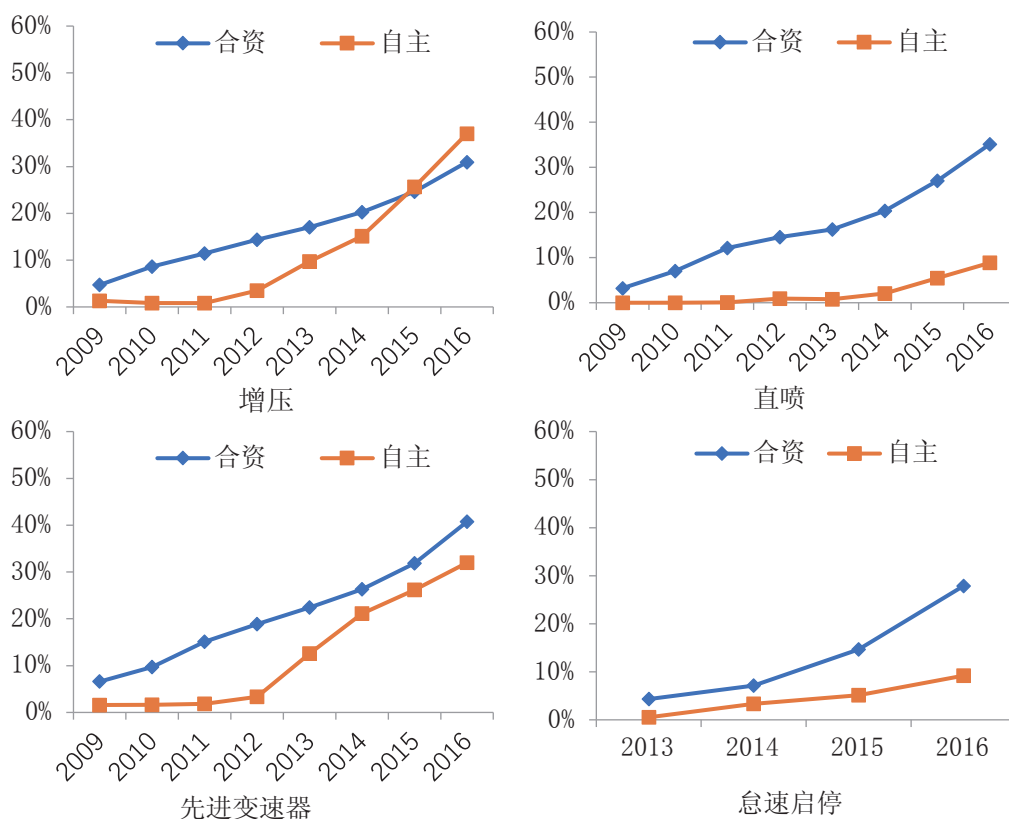


图 1-8 自主/合资技术应用发展情况

注：先进变速器指 7 档及 7 档以上 AT 变速器、6 档及 6 档以上 MT 变速器、CVT 和 DCT。

增压、直喷应用比例计算仅考虑汽油车

1.3.2 整备质量变化情况

受 SUV 份额提升、轿车份额下降的影响，国产乘用车市场平均整备质量基本呈线性增长，由 2009 年的 1233kg 提升至 2016 年的 1388kg，整体升高 12.6%。2014 年增幅放缓，较 2013 年增长 13kg，而其余年份较上一年增幅均大于 20kg。具体如图 1-9 所示。

分企业类型来看，国产乘用车整备质量升高的主要驱动力来自于自主企业。自主企业平均整备质量逐年增长，由 2009 年的 1156kg 升高至 2016 年的 1410kg，整体上升 254kg，增幅高达 22%。相较而言，合资企业平均整备质量变化幅度较小，2014 年甚至出现微幅下降，从 2009 年到 2016 年上升 104kg。具体如图 1-10 所示。

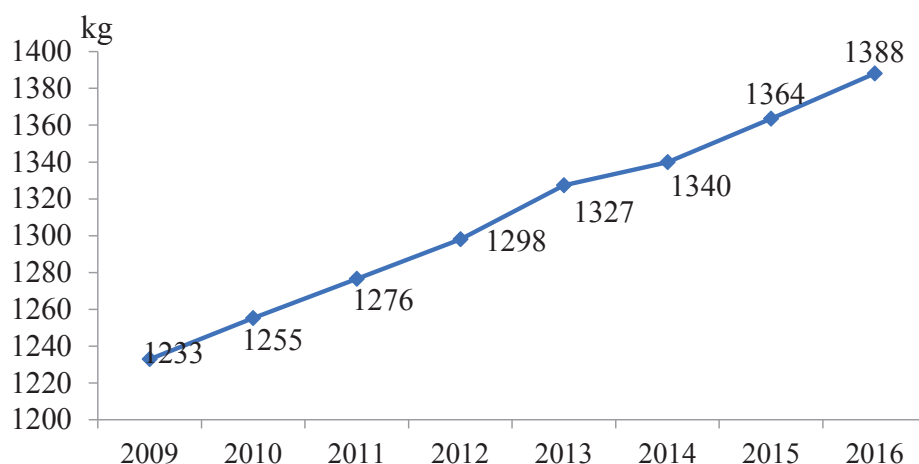


图 1-9 国产乘用车平均整备质量变化情况

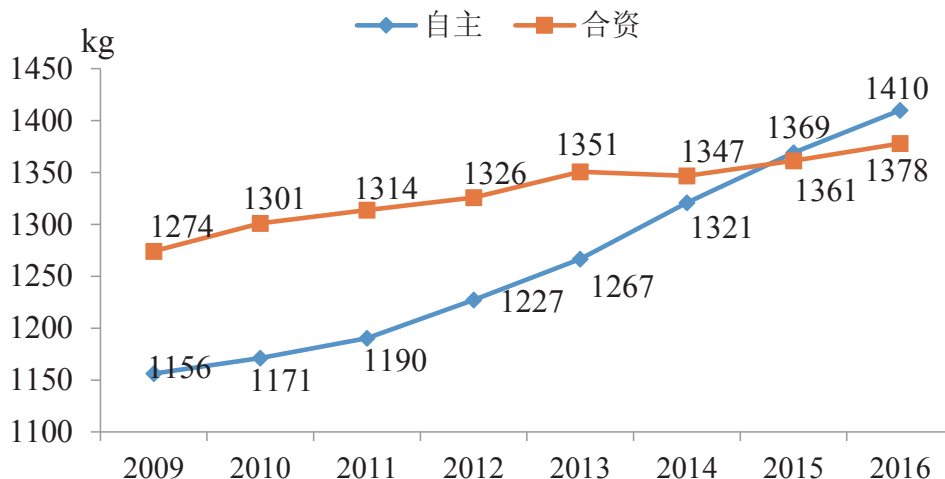


图 1-10 国产乘用车平均整备质量变化情况

1.3.3 平均功率变化情况

国产乘用车平均功率保持上升趋势，由 2009 年的 78.94kW 增长至 2016 年的 101.81kW，但增速放缓，2016 年较 2015 年增长 3%。分企业类型来看，自主企业整体动力性能增长速度更快，2013 年平均功率仅 65.3kW，2013 年达到 80kW 以上，2016 年为 98.09kW，2016 年较 2009 年增长 50.2%，与合资企业差距缩小至 5.46kW。2009-2016 年合资企业平均功率稳定增长，2015 年突破 100kW，2016 年达到 103.55kW，2016 年较 2013 年增长 20.1%。具体如图 1-11、1-12 所示。

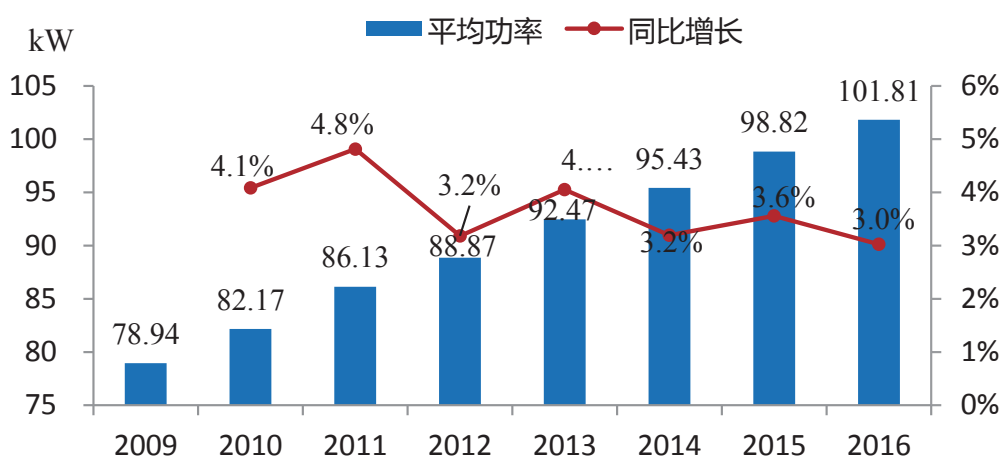


图 1-11 国产乘用车平均功率年度变化情况

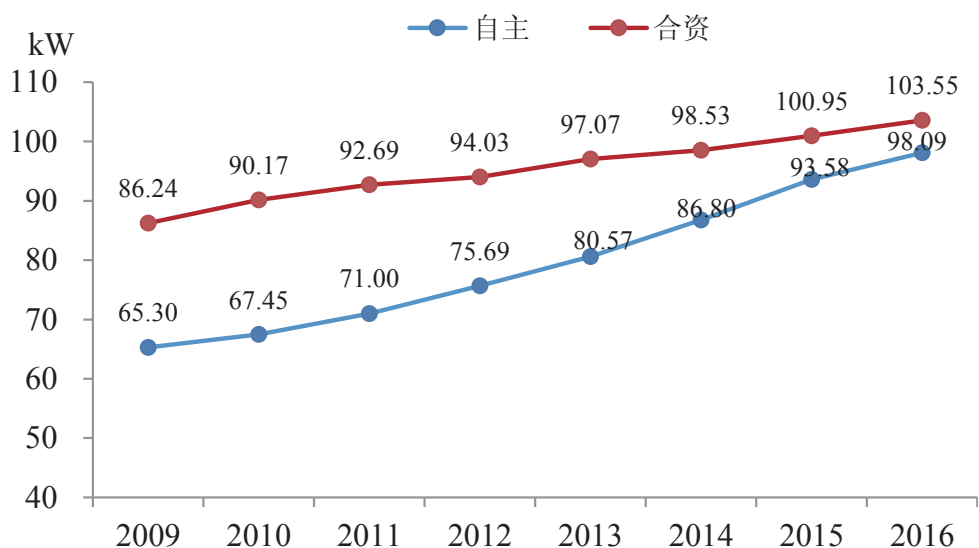


图 1-12 自主/合资平均功率变化情况

2013年至2016年，国产乘用车平均功率向高功率区间偏移，低功率区间产量占比下降，高功率区间份额扩张。与2013年相比， $60 < \text{功率} \leq 80$ 功率段产量占比大幅降低，2016年降至13.4%，而 $80 < \text{功率} \leq 100$ 功率段份额明显增长，2016年升至44.5%。 $100 < \text{功率} \leq 120$ 功率段产量占比基本不变，而分布在 $120 < \text{功率} \leq 140$ 功率段的车型小幅上涨。2016年，由于凯迪拉克CT6上市，国产车型首次出现功率大于260kW的车辆。具体如图1-13所示。

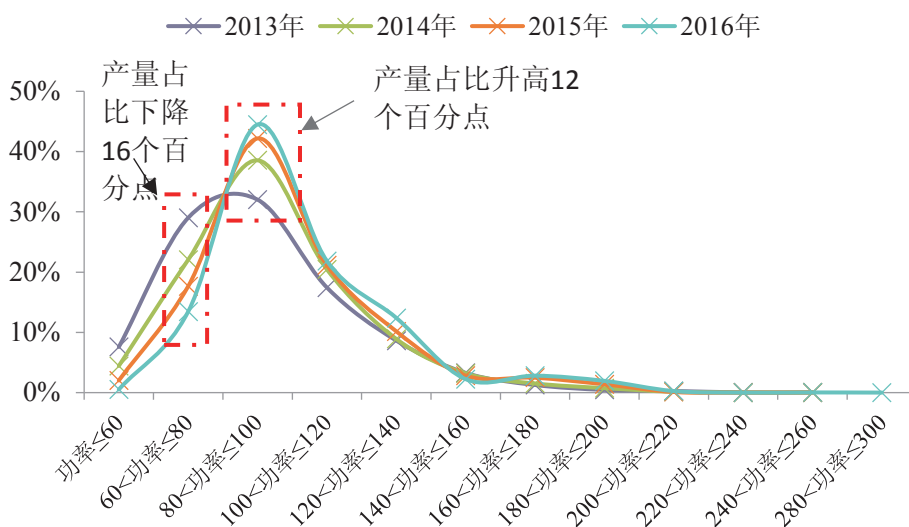


图 1-13 分功率段产量占比变化情况

1.3.4 空间参数变化情况²

外形尺寸方面，国产乘用车平均车长、车宽增长明显，2016 年平均车长升高至 4520mm，2016 年较 2009 年增长 4.7%，而平均车宽达到了 1776mm，2016 年较 2009 年增长 4.6%，二者增幅相当。平均车高有所变动，尚未表现出长期增长趋势，具体如图 1-14 所示。分企业类型来看，由于产品结构的变化，自主车型平均空间增速大幅领先于合资品牌，2013 年及以前其平均空间更低，2014 年随着 SUV 产量占比超过 30%，其平均空间已超过合资车型。具体如图 1-15 所示。

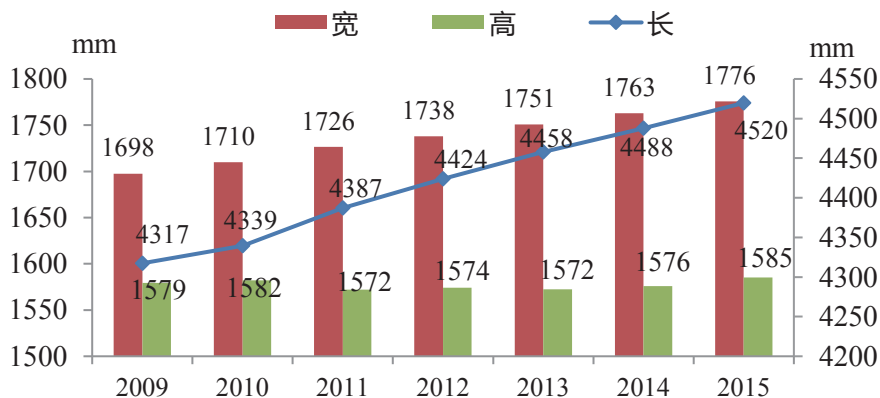


图 1-14 国产乘用车外形尺寸年度变化情况

² 2009-2015 数据来源：机动车出厂合格证

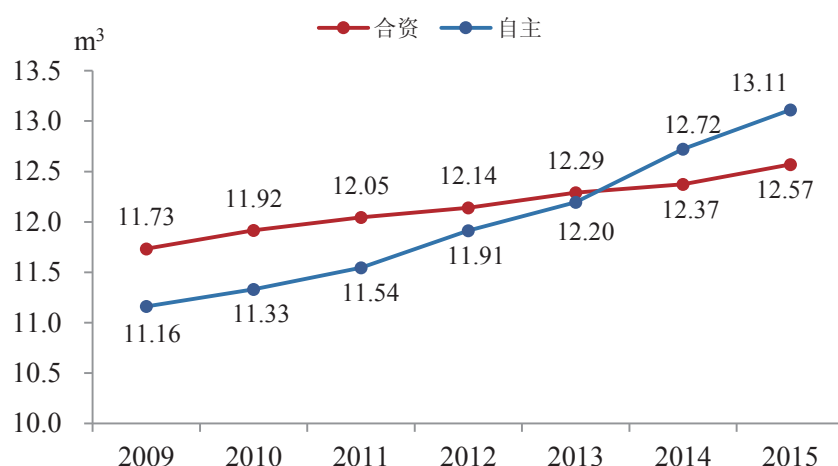


图 1-15 自主 / 合资平均空间年度变化情况

车辆空间大小方面，MPV 车型平均空间在 2012 年之前，小型化趋势明显，2013–2014 小幅降低。2015 年 MPV 平均空间小幅升高，主要原因是上汽通用五菱 MPV 产品结构的变化。SUV 平均空间降低，小型化趋势明显。与之相反，交叉型乘用车、轿车平均空间逐年递增，呈大型化趋势。由此可知，国产乘用车平均车长和车宽的增长主要来源于轿车和交叉型乘用车。具体如图 1-16 所示。

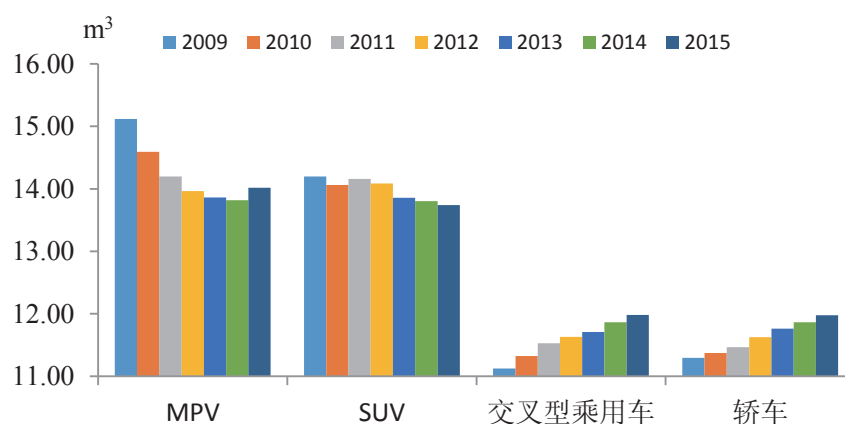


图 1-16 分车辆类型平均空间年度变化情况

1.4 乘用车产品结构发展现状、趋势与成因挖掘

近五年国产乘用车产品结构数据如图 1-17 所示。SUV 的比例由 2012 年的 15.5% 增长至 2017 年一季度的 40.8%，上升幅度最大。MPV 车型的比例由 2012 年的 6.4% 增至 2015 年的 10.4%。从 2015 年开始略有下降，2017 年一季度占比 8.8%，下降 1.6%。交叉型乘用车占比持续下降，由 2012 年的 9.4% 下降到 2016 年的 2.3%，在 2017 年一季度继续降低至 2.0%。

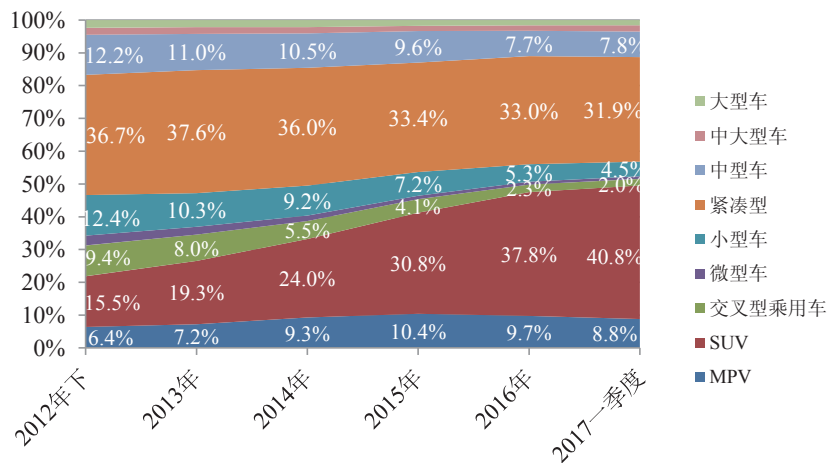


图 1-17 国产乘用车车型结构占比历史数据

轿车市场的微型车和小型车的市场份额在 2012 年的占比分别为 3.0% 和 12.4%，近五年逐年递减，从 2012 年到 2016 年分别下降至 0.9% 和 5.4%，说明市场中乘用车的产品结构向大型化发展。紧凑型 and 中型轿车的比例稳中有降，降幅分别为 4.8% 和 4.4%，在 2017 年一季度的数据中为 31.9% 和 7.8%。中大型和大型轿车在市場中的比例较小，在 2012 年分别占比 2.1% 和 2.4%，随着其他车型在国内市場中的增加，这两者的比例进一步减少，分别降低至 2017 年的 1.9% 和 1.6%。

在产品结构中 SUV 和 MPV 占比逐年升高，两者市场份额总和由 21.9% 增长至 49.6%；轿车市场份额由 68.7% 下降至 48.5%，并且紧凑型产品在轿车中的占比超过一半；交叉型乘用车市场将持续低迷。

对比欧洲乘用车产品结构的变化，如图 1-18 所示，2010 年的 SUV 比例为 9.1%，到 2014 年比例增长至 19.7%，与 2010 年相比，市场份额增长幅度超过 100%。在图 1-18 中，欧盟车型产量变化曲线更直观地展示各个车型结构的变化，SUV 的比例在 2001~2013 年期间不断提升。与中国市场相同的趋势是在产品结构中轿车比例略有降低，但不同的是在国外交叉型车型较少，并且 MPV 车型在欧盟整体市場中的比例变化较小。

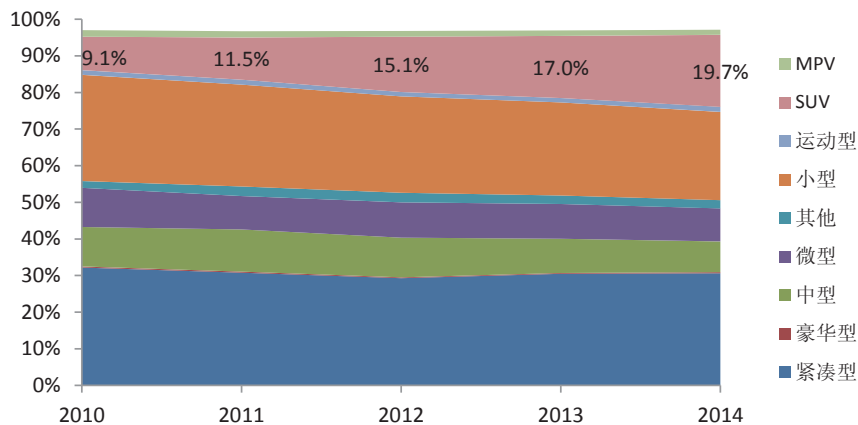


图 1-18 欧盟乘用车车型结构历史变化趋势

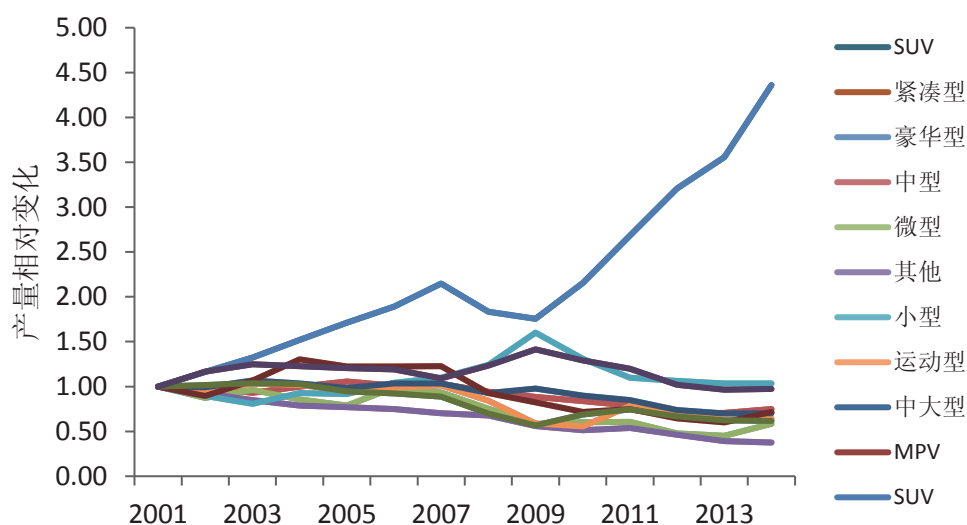


图 1-19 欧盟车型产量变化曲线

对中国和欧盟的市场数据分析可知，中、小、微型车比例持续降低，以 SUV 为代表的大型产品比例逐步上升，产品结构整体呈现大型化趋势。

对于乘用车近五年出现大型化、SUV 化的趋势原因分析如下：

(1) 随着近些年中国经济的高速增长，居民人均可支配收入的不断提升。如图 1-20 所示为 2010 年到 2016 年全国城镇和农村居民人均可支配收入，城镇居民的人均可支配收入由 19109 元增长至 33616 元，增幅 75.9%。农村居民可支配收入由 5919 元增长至 12363 元，增幅 108.9%。而居民的购买力持续增强，导致消费者对中高档价位的大型乘用车接受度不断提高。

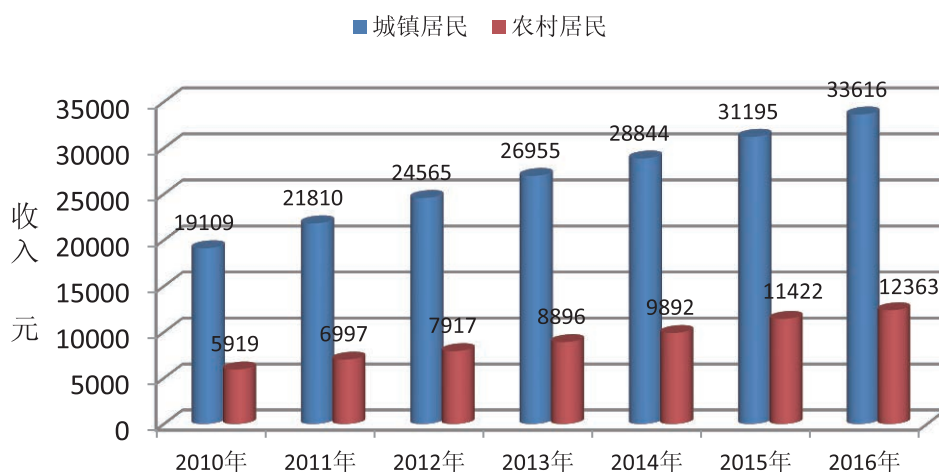


图 1-20 中国城镇农村可支配收入

(2) 国内二孩政策的开放促使一部分消费者对车内空间更多的需求。如表 1-4 所示为全面开放二孩政策后，生育政策调整新增出生人口规模均值估计，2016-2020 年全面放开二孩可增加约 600-2000 万新增人口，国内二孩政策打破了传统的“2+2+1”

模式，之前的小型车空间无法满足乘坐需求，消费者将更倾向于购买大型车以搭乘更多的家庭成员。

表 1-4 2015 年生育政策调整新增出生人口规模均值估计

单位：万人

年份	单独二孩	全面二孩
2016	111.42	565.8
2017	92.2	583.2
2018	69.64	393.45
2019	73.12	421.3
2020	95.75	426.52
2021	97.49	391.7
2022	69.64	280.29
2023	92.27	351.66
2024	67.9	306.4
2025	92.27	337.74
2026	87.05	283.77
2027	111.42	322.07
2028	116.64	332.51
2029	127.09	262.88
2030	109.68	254.17

(3) 未来换购需求加剧，乘用车市场以“小”换“大”规模将持续扩大。受车龄老化以及车辆报废增加等因素影响，十三五将迎来乘用车换购高峰期；预计 2020 年换购规模将超过 1200 万辆，占据乘用车市场的一半。随着汽车在中国家庭的普及，消费者对驾驶的动力性和乘坐的舒适性要求不断提高，因此在换购过程中，消费者更倾向于选择大型乘用车。

1.5 小结

在我国能源安全与环境问题日益突出的背景下，国家出台一系列政策促进节能与新能源汽车的发展，行业燃油经济性水平不断提升。同时需要指出的是，行业燃油经济性水平的提升是行业技术水平的不断进步、产品市场结构的剧烈变动以及政策法规的积极介入的综合结果。

第2章 中国乘用车节能发展问题识别

2009–2016年我国国产乘用车（不包括新能源车）平均燃料消耗量取得了年均下降1.7%的成果，但同时我们也发现，存在于市场端、技术端及政策端的诸多因素限制了我国乘用车节能水平的进一步提升。下文将对这些问题进行定性或定量的评估分析。

2.1 市场端分析

2.1.1 消费者选购车型时趋向于大型化

针对产品结构中轿车细分车型的数据，如图2-1所示，微型轿车的比例由2009年的8.1%下降至2015年的2.3%；小型车在轿车市场中的比例由2012年的20.4%下降至2015年的13.5%。从2009年至今，小微车型在轿车中占比共降低16%。而紧凑型、中型、中大型轿车的比例从2009年至今分别上涨了9.8%、1.7%、1.2%。轿车的结构数据从侧面透露出消费者在产品结构中更倾向于大型化乘用车。

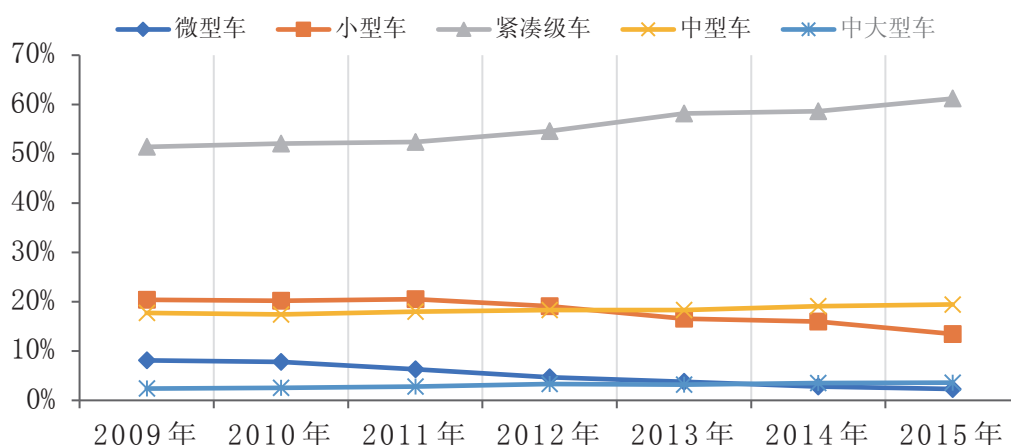


图 2-1 轿车市场中的产品结构变化

2.1.2 市场端产品结构中生产车型趋向于 SUV 化

从2009年开始，国产乘用车中SUV产量占比逐步升高，SUV市场份额由6%上

升至 2016 年的 35%；根据 2017 年一季度国内乘用车的生产情况，轿车和 SUV 的产量占比之和接近 90%，其中自主企业的 SUV 产量占比为 63.6%，说明现有乘用车产品结构向大型化，SUV 化转变。

如果相比于 2009 年乘用车市场端的产品结构，随着技术的进步，油耗量不断降低，但是近几年乘用车产品结构中的大型化和 SUV 化侵蚀 0.34L/100km 的油耗下降潜力，如图 2-2 所示，说明市场端产品的大型化不利于节能目标的达成，在一定程度上给节油带来负面影响。

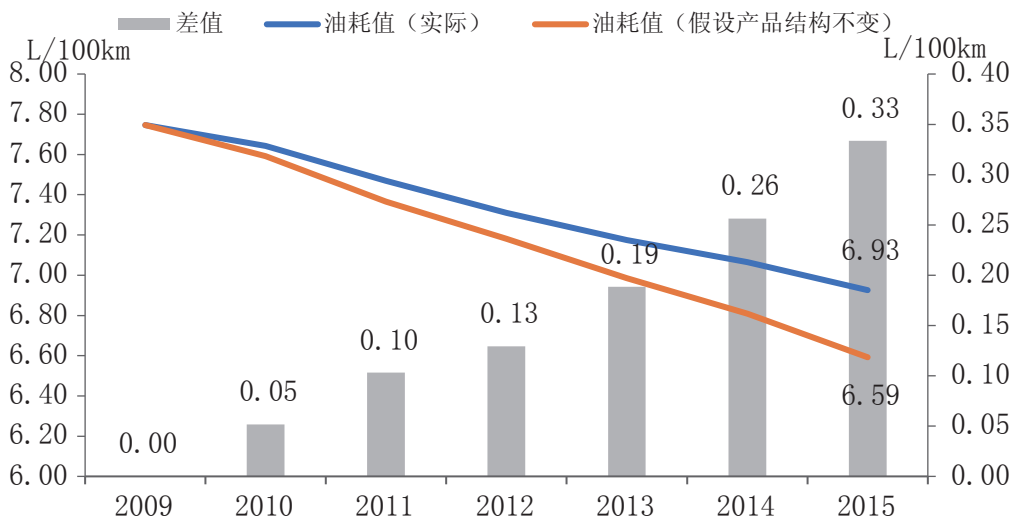


图 2-2 产品结构的变化对油耗的影响

2.1.3 消费者在购置新车时存在动力匹配过剩情形

随着消费者对购车需求多样化的升级，现有产品结构中同一款车型搭载多款的动力匹配产品。然而在国内的一二线城市中，考虑到市内交通拥堵的实际情况，对发动机过高的动力匹配并不发挥其最优燃油经济性和动力性。相反，动力过度匹配反而在油耗上造成不必要的损失。例如，国产沃尔沃 XC60 T6 AWD 与进口车型相比，国产车型搭配 2.5 升直列五缸涡轮增压发动机表现出过剩的动力。

2.1.4 节能因素在消费者的需求中比重相对弱化

消费者在购车过程中对众多因素的关注程度也对市场端的产品结构有重要影响。如图 2-3 所示为消费者购车关注因素调研结果。通过此次调查发现，在被访者购车过程中，最先考虑的不是节油效果，最关注的因素中“品牌”居首。其次是汽车的安全性和故障率等其他因素，而汽车的油耗是排名第四的关注因素。因此，购车者的关注因素影响着市场端的产品结构，进而影响搭载先进技术的普及率。

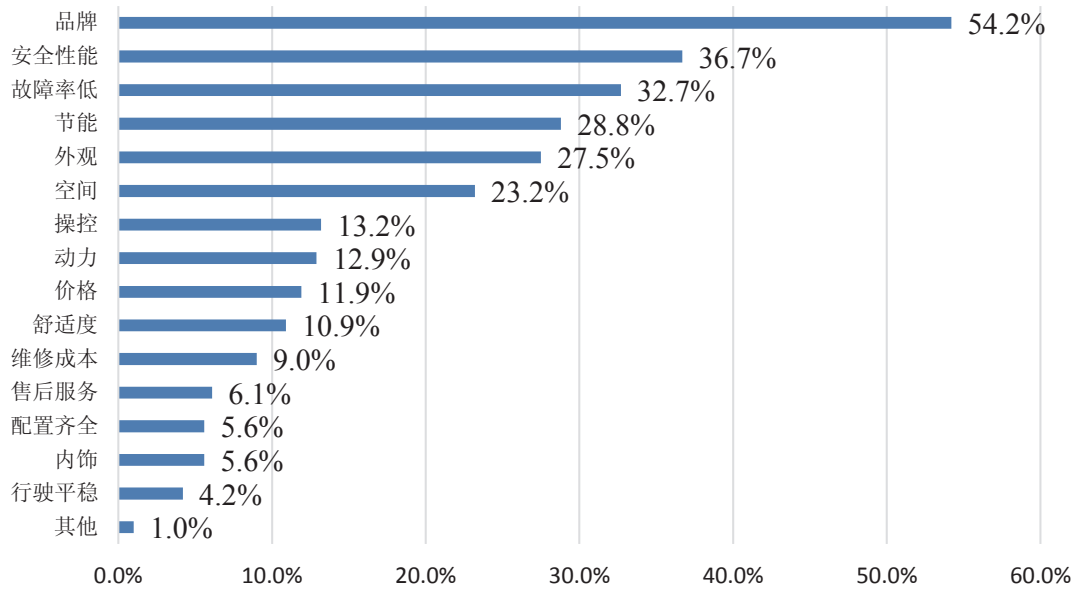


图 2-3 消费者购车关注因素调研

2.2 技术端分析

日益严格的汽车节能、环保要求必须通过先进技术来实现。近年来，我国乘用车节能技术水平呈现稳步提升态势，主要围绕汽油机及变速器技术开展，电子电器、低摩擦、轻量化等技术也正加快发展并对整车节能形成一定支撑。但与世界先进水平相比，我国在关键技术的研发、生产、应用方面仍存在不足。

2.2.1 发动机先进技术应用水平与汽车发达国家尚有差距

近年来，国内乘用车持续加大汽油机研发投入力度，不断提高可变气门正时(VVT)、可变气门升程(VVL)、涡轮增压(TC)等节能技术应用比例。尤其在涡轮增压技术方面取得较大突破，2016年应用比例和增速均已超越美国。但在部分发动机技术领域，国内乘用车发展水平与欧、美尚有较大差距，比如缸内直喷(GDI)技术，2016年国产乘用车应用比例仅为26.7%，落后欧、美国家4年左右。其中自主品牌国产乘用车缸内直喷技术应用比例仅为5.7%，技术水平严重落后。

在新技术方面，国外已利用阿特金森+奥拓双循环等技术将发动机最高压缩比提升至14:1，未来更将进一步提升至18:1。同时GDI+PFI混合喷射、电子增压+涡轮增压、电动VVT、电控附件等新技术、新趋势开始逐步显现，但国内乘用车企业在上述领域多处于空白状态，未来有待进一步加强。

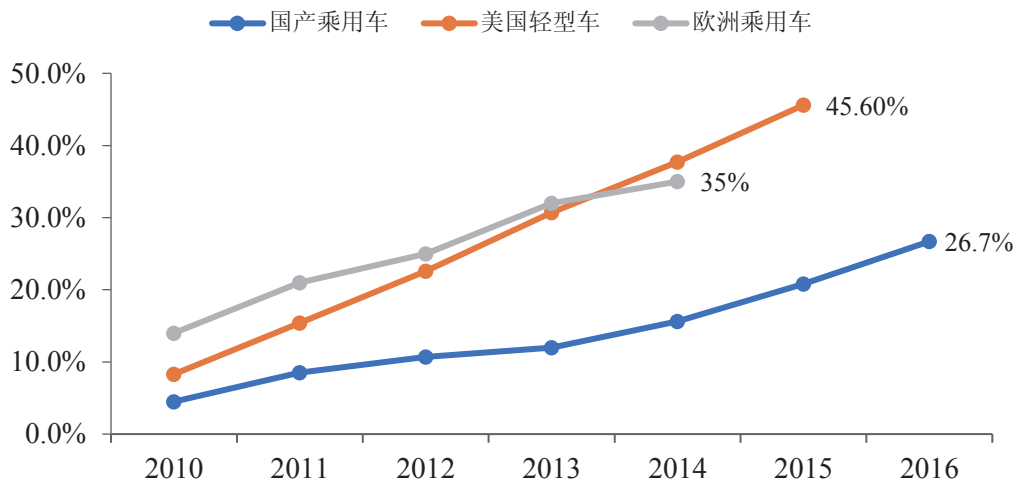


图 2-4 中、美、欧缸内直喷技术应用比例对比

2.2.2 自动变速器自主化程度较低，先进变速器研究计划缺失

变速器是汽车的重要部件、对车辆的动力性、操控性、舒适性和燃油经济性都具有重要作用。随着我国汽车消费市场不断成熟，汽车变速器类型已经开始显著影响消费者的购车选择。目前美国、日本自动变速器的装车率分别在 95%、85% 以上，而我国乘用车自动变速器市场份额较低，2016 年仅为 58.7%。而自动变速器应用受限的最主要原因还是自主化程度较低，目前仅有奇瑞、广汽、比亚迪、山东盛瑞、湖南江麓等少数自主企业具备自动变速器的研发、生产能力，并且在零部件精度、耐久性、整车匹配等技术方面与国际先进变速器生产企业仍存在一定差距，产业化条件仍然薄弱。

此外，国外已研发出 9AT、8DCT、9DCT 等技术，部分产品已实现批量应用，同时还对 10AT、10DCT 开展了研究。但国内自主品牌车企在上述领域还缺乏明确的研究计划，应抓紧规划，尽早突破。

2.2.3 混合动力技术起步较晚，尚未实现批量应用

由于技术相对成熟，节能和环保效果明显，混合动力汽车在欧、美、日等国家和地区得到大规模应用。截止 2017 年 1 月底，丰田混合动力汽车的全球累计销量已经突破 1000 万辆。混合动力汽车的发展趋势将是模块化、平台化；混合程度不断提高。而国内混合动力技术特别是自主品牌混合动力技术起步较晚，混合动力汽车性能指标与世界先进水平差距较大。尽管近年来科力远、奇瑞、长安等多家企业的混合动力系统陆续开发成功，但实际应用至乘用车产品上的少之又少。数据显示，自主品牌混合动力乘用车在 2013 年还有 600 辆左右的产量，而随后几年产量基本为零，可见国内自主开发的混合动力系统离大规模量产和应用还有较长的路要走。

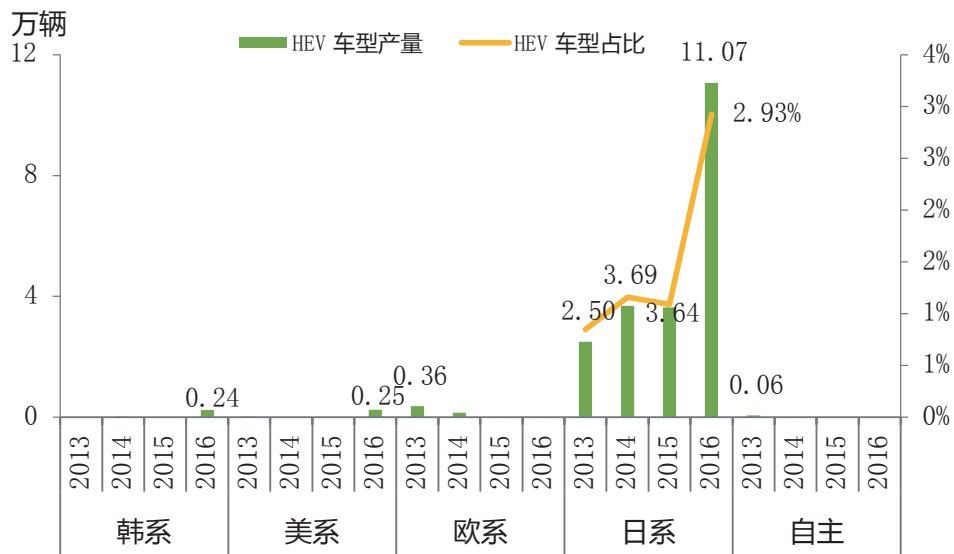


图 2-5 分系别国产乘用车混合动力车型产量及占比

48V 微混系统是近年来汽车节能领域新兴的一项热点技术，德国博世、美国德尔福等零部件巨头均已完成 48V 系统的研制，相关标准也已建立，奥迪、雷诺等企业也陆续推出搭载 48V 系统的车型，传统动力乘用车应用 48V 微混系统的趋势已十分明显。但目前国内对 48V 系统尚处于初步研发阶段，仅 48V 电池可实现国产，48V 电机、制动能量回收系统等均未完全开发成功。

2.2.4 新能源汽车存在技术、性能和使用环境等多方面问题

纯电动技术方面，相对日产、宝马、特斯拉等国际一流纯电动生产企业，国内企业纯电动产品在形成标准化生产的规模效应、整车及关键零部件的批量化生产工艺、质量控制以及成本控制方面还有待提升。由于基础设施不健全、商业化推广缓慢、产品应用率低等原因，产品性能的市场验证不足，电池性能衰减控制能力、整车可靠性有待提升。

插电式混合动力技术方面，与国际先进水平相比在混合动力发动机、机电耦合装置、电机系统等核心零部件以及混合动力系统集成方面存在一定差距，插电式混合动力模式下的动力输出平顺性、节油效果、整车 NVH 等整车性能以及产品可靠性及耐久性尚待进一步提高。

2.2.5 工业基础薄弱，汽车轻量化水平明显落后

汽车轻量化技术包括轻量化材料应用、先进工艺和结构优化设计等方面。汽车轻量化始于 20 世纪 70 年代的美国，此后受到欧美日等发达国家和地区的高度重视，轻量化材料在汽车上的应用比例不断增加，汽车制造业在成型工艺和连接技术上不断创新，结构优化设计和零部件的模块化水平不断提高，使得发达国家的平均车重在过去

的 20 年间约降低了 25%。虽然汽车轻量化已是大势所趋，但国内汽车轻量化相关产业还未形成规模，在轻量化技术研发及应用方面与国外先进水平相比存在较大差距。例如在轻量化材料应用方面，自主品牌乘用车白车身铝合金平均用量在 100kg 以下，低于欧美 140 至 160kg 的水平；镁合金平均用量在 1.5kg 以下，低于欧美 6 至 26kg 的水平。

2.3 政策端分析

2.3.1 阶梯形标准曲线

根据国家标准 GB27999-2011 即《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》（三阶段）和国家标准 GB27999-2014 即《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》（四阶段）标准中对单车燃料消耗量实际值（简称“实际值”）、燃料消耗量目标值（简称“目标值”）的规定，目标值按照分段函数的形式设定，具体数值如下图：

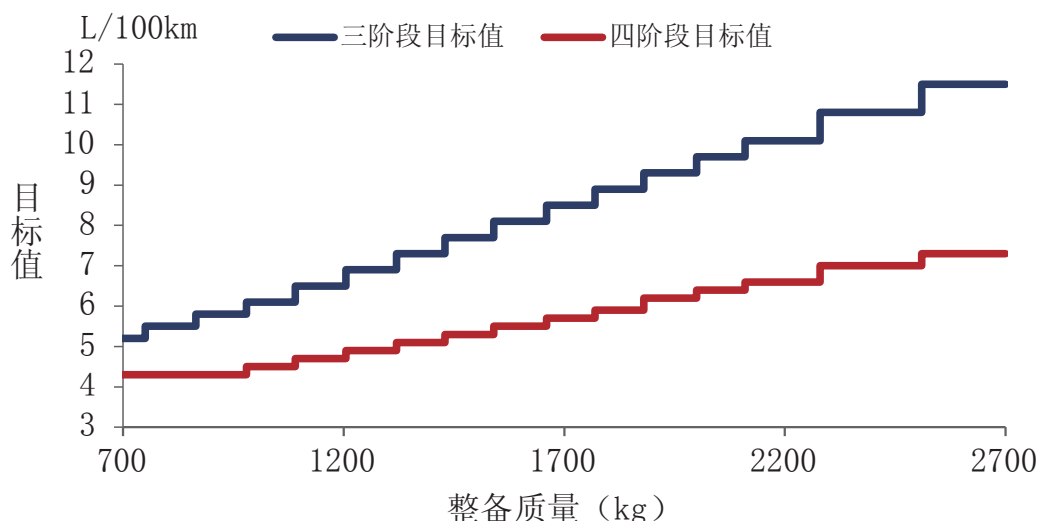


图 2-6 目标值分段函数曲线

国家政策导向是抑制行业平均整备质量上升，降低平均燃料消耗量，因此四阶段目标值斜率大幅低于三阶段。然而，以整备质量为基准的阶梯形标准曲线，一方面对于轻量化技术存在一定抑制作用，另一方面部分企业利用标准漏洞存在投机行为。

例如，企业可以通过适当增加整备质量，达到增大目标值要求的目的。比如 1420kg 整备质量的乘用车，只需要增加 10kg 质量，即可达到下一整备质量段，目标值直接提升 0.2L/100km。但是这种合规路径，与政策导向是背道而驰的。具体统计数据如下图所示。

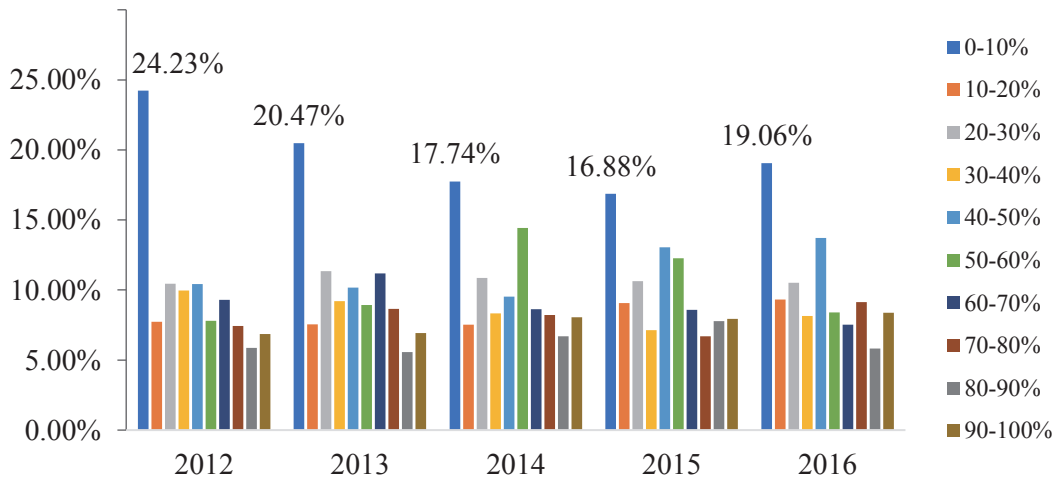


图 2-7 各整備质量段核算数据统计结果³

从上图中可以看出，位于各整備质量段前 10% 的乘用车占比较高，在 20% 左右。而处于整備质量段 80%–90% 和 90%–100% 两个区间段的乘用车所占比例仅为 7% 左右。从这个结果可以很明显的说明，部分企业存在小幅增加质量，提升目标值的现象。

同时，相关研究成果也支持这一观点。Hao 等对 2010–2014 年国产乘用车进行分析评估，识别出利用阶梯型曲线进行油耗目标值核算获利的 74 款车型。具体结果如图 2–8 所示。

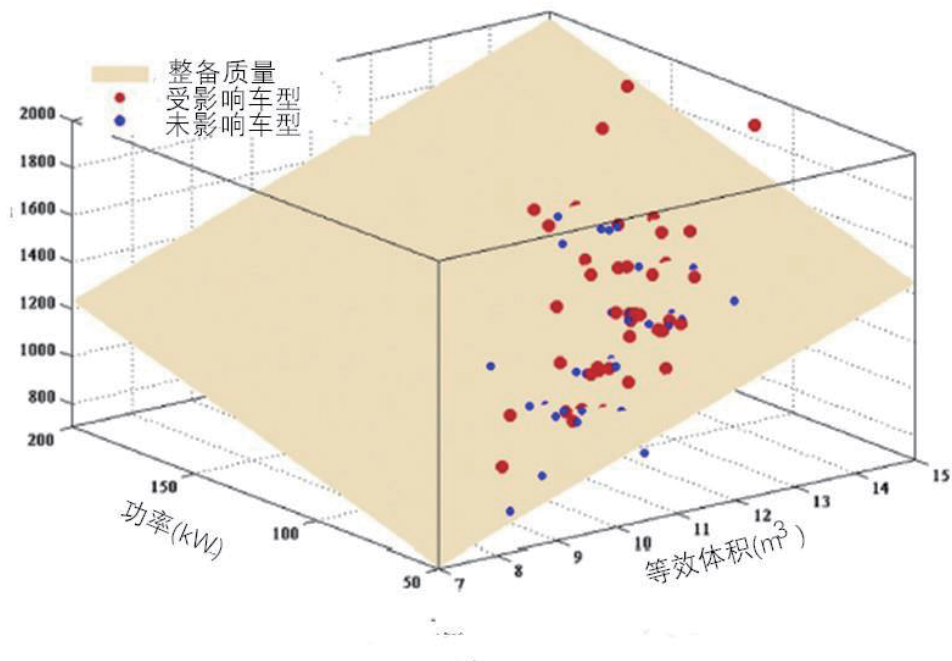


图 2-8 受影响的车型识别 (2014 年)

³ 该数据采集自燃料消耗量数据管理系统

2.3.2 财税政策

财税政策作用于市场端，短期内可以通过对局部或整体市场的刺激，达到调整汽车市场结构，提升市场销量的目的。在本节我们基于嵌套逻辑回归模型（NMNL），构建了一种方法用以评估不同的财税政策对于汽车行业节能的影响，具体如下所述。

2015年底国家推出了1.6L及以下排量车型乘用车购置税减半的政策（简称“购置税政策”）。该政策从2015年10月1日开始一直持续到2016年底，较大的刺激了市场需求。同时由于有了1.6L以下这个范围限制，对发动机小型化具有一定的促进作用，能在一定程度上减小行业燃料消耗以及尾气排放。

为了深入分析政策对行业市场结构的影响，本研究通过构建多层次的嵌套逻辑回归模型，对消费者的购车选择过程进行模拟，以量化财税政策对行业细分结构的影响。

记 $x_{ik} = (1, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik1}, x_{ik2}, \dots)^T$ 表示车辆性能参数或者消费者个人信息， $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots)^T$ 为 x_{ik} 相应项的系数， β_0 即为常数项估计值。则消费者效用为

$$U_{ik} = \beta^T x_{ik} + \varepsilon_{ik}$$

则相应的第一层和第二层的选择概率分别为

$$P(C_1 = j) = \frac{\exp(\beta^T x_{ik} + \gamma_j IV_j)}{\sum_j \exp(\beta^T x_{ik} + \gamma_j IV_j)}$$

$$P(C_2 = i | C_1 = j) = \frac{\exp(\beta_j^T x_{ik})}{\sum_{j \in J} \exp(\beta_j^T x_{ik})}$$

为了进一步比对政策效果，我们设定了另一种财税政策，基于美国 Feebates 政策，设定一种类似的国内 Feebates 政策。设定斜率为 6500 元/(L/100km)，曲线形式如下图所示。

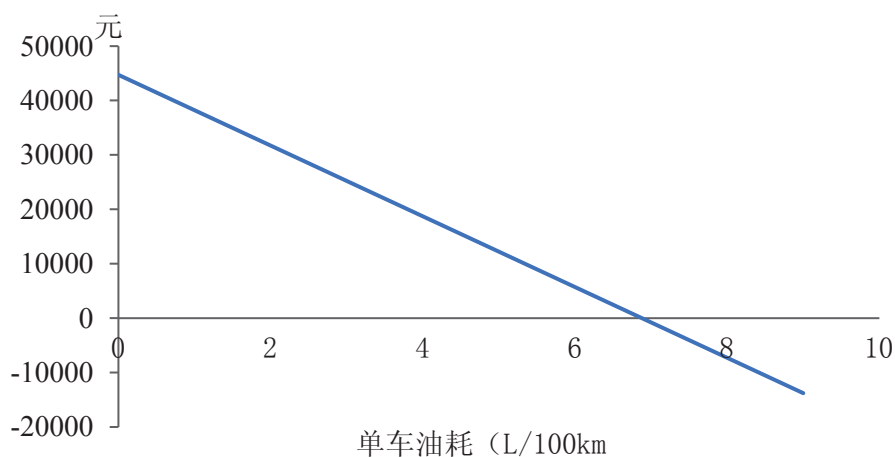


图 2-9 奖罚兼具的财税政策情景示意图

基于嵌套逻辑回归模型，对行业 2016 年上半年的财税政策效果进行评估，得到

的结果如下图所示：

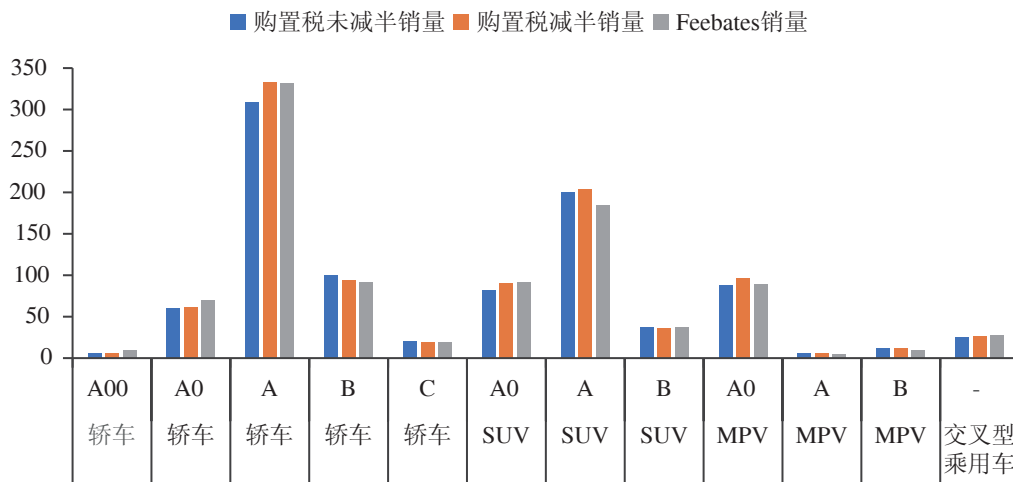


图 2-10 三种财税政策情景下分级别影响差异对比

购置税政策对小型车、紧凑型车促进作用明显，同时也达到了抑制大型车市场的效果。这对节能减排的效果是积极的。而 Feebates 政策在斜率为 -6500 元/(L/100km) 的情况下，市场的调节效果更为显著。比如小型轿车，购置税政策增大了小型轿车 1.7 万辆的市场份额，而 Feebates 情境下则会扩大 10.0 万辆的市场份额。两项政策对紧凑级轿车市场促进作用大体相当，分别使紧凑级轿车市场扩大 24.6 万辆和 22.9 万辆，对于紧凑级车型而言，两项政策的优惠力度大体相当。而交叉型乘用车，普遍技术水平较低，排量较低，因而在两项政策的影响下，仍有不同程度促进作用。

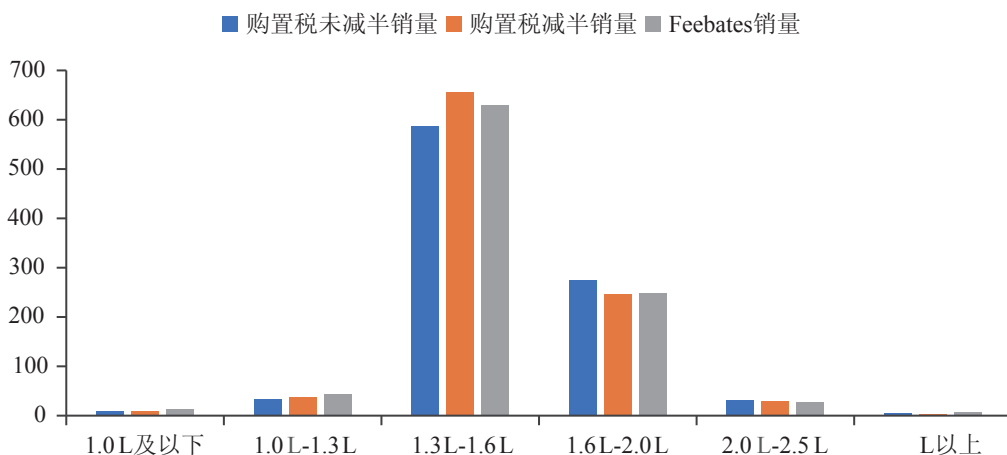


图 2-11 三种财税政策情景下分排量影响差异对比

从排量角度划分，政策差异同样明显。在市场占据主体地位的 1.3L-1.6L 排量段，购置税政策促进其市场份额提高 67.6 万辆，Feebates 政策促进其市场份额提高 42.4 万辆，份额差距达到 25.2 万辆。这一排量段的市场份额增量主要来自 1.6L-2.0L 排量段。

1.6L-2.0L 排量段在购置税政策和 Feebates 政策下，市场份额分别降低了 27.7 万辆和 26.2 万辆。

表 2-1 三种财税政策情景下行业平均油耗对比

政策情形	行业平均整备质量	行业平均油耗	行业销量
无政策	1382.75kg	6.93L/100km	941.24 万
购置税政策	1373.55kg	6.88L/100km	980.75 万
Feebates 政策	1357.24kg	6.73L/100km	963.98 万

通过以上研究可以发现，与购置税政策相比，以油耗为基准的 Feebates 政策能够对局部市场结构产生更大影响，从而达到降低行业平均油耗的目的。但是由于存在对于高油耗车型的惩罚政策，可能带来较大的实施阻力。

2.4 节能发展问题整体评估

衡量车辆技术进步的指标很多，如涡轮增压替代自然吸气，6 档及以上变速器替代 4 档变速器等。而车辆性能则较多体现在百公里加速时间、燃油经济性、车身尺寸等参数上。本章在研究选取量化车辆技术进步的复合参数基础上，研究比较各国在燃油经济性政策下车辆属性的发展趋势。

EPA 每年都会发布《燃油经济性趋势报告》，EPA 在报告中采用 Ton·Mpg 这一指标来描述车辆的效率，然而这一指标仅能表示车辆对重量的运输效率，不能反映汽车空间、动力性等方面的复合影响。AnFeng 等提出了将车辆动力性、燃料油经济性和内部空间构成的复合指数作为衡量车辆技术情况的指标，对于乘、商用车，对应的复合指标公式如下：

轿车：

$$PSFI=HP/LB \cdot FT^3 \cdot MPG$$

轻卡：

$$PSFI=HP/LB \cdot IN \cdot MPG$$

其中 HP 为功率，LB 为车重， FT^3 为车辆内部空间，IN 为轴距，MPG 为燃油经济性。

本文在沿用 PSFI 这一指标的基础上，对计算方法进行了调整，详见下式。其中 P 代表车辆动力性指标，F 代表车辆经济性指标，S 代表车辆空间指标，其具体计算公式如下：

$$PSFI = \frac{P \cdot S}{F}$$

其中，

P = 发动机额定功率 / 整备质量，单位：kW/kg；

S = 脚印面积 * 高度，单位： m^3 ；

F = 燃料消耗量，单位：L/100km。

需要注意的是，PSFI 指数是一项相对的参数指标，在单独计算时没有具体的物理意义，只有在以某一年份的 PSFI 指数为基准，将其他年份的 PSFI 与基准年份进行比较时才能看车辆属性的进步情况。通过对不同国家和地区乘用车平均 PSFI 指数的计算，可以分析出车辆在一定时期内动力性、空间、燃料经济性等车辆属性的进步情况，对于课题分析车辆属性变化具有重要的意义。

通过燃料经济性、动力性以及空间数据可以计算出中国乘用车历年平均 PSFI 指数，由下图可以看出，中国乘用车平均 PSFI 指数整体呈向上趋势发展，并且呈现出非常好的线性关系，说明国产乘用车的技术水平整体是呈向上趋势发展的。

从不同系别角度分析，欧系、美系乘用车 PSFI 指数发展趋势与国产乘用车整体保持一致，代表了国内乘用车车辆属性发展的平均水平；日系乘用车的 PSFI 指数要明显高于国产乘用车的平均水平，这是由日系车油耗低、整备质量轻的特点所决定的；韩系乘用车的 PSFI 指数是唯一没有保持线性增长的，其在 2013-2014 年期间出现了微小的下降；自主企业乘用车的 PSFI 指数则远低于其他国产乘用车水平，说明自主企业乘用车的车辆属性整体上较为落后。

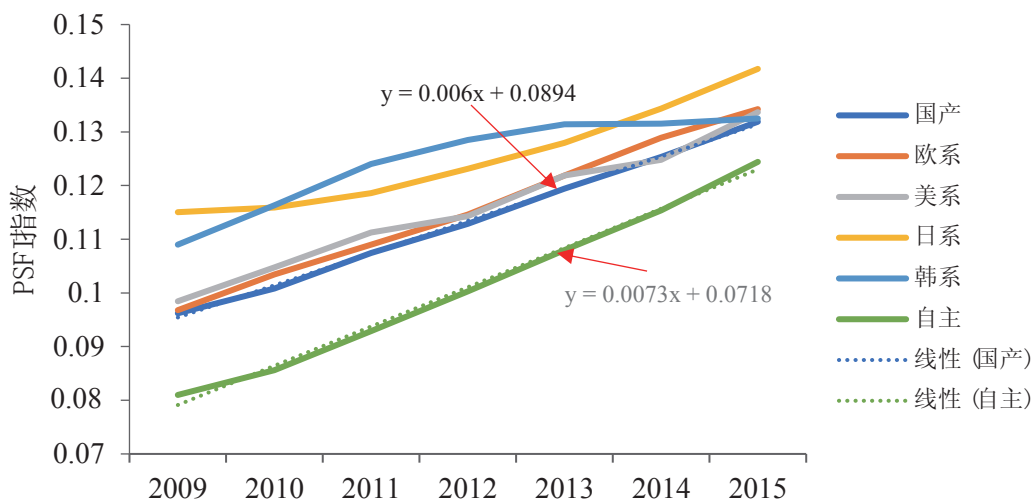


图 2-12 分系别 PSFI 指数变化趋势

燃料消耗量降低潜力是假设车辆的动力性水平和空间水平都保持基准年份不变的基础上，其技术进步全部应用于燃料消耗量的降低所得到的燃料消耗量与上一年度燃料消耗量的差值，其计算公式如下：

$$\Delta FC_{potential} = FC_{base} - \frac{(P \cdot S)_{base}}{PFSI_{cal}}$$

其中，

FC_{base} ，代表基准年份车辆的实际燃料消耗量水平，单位：L/100km；

$(P \cdot S)_{base}$ ，为基准年份车辆的动力性水平和空间水平；

$PFSI_{cal}$ ，为计算年份车辆的 PSFI 值。

在得到燃料消耗量降低潜力的基础之上，可以进一步引入 ERFC 指数的概念，用于表示技术进步用于降低车辆燃料消耗量的程度，具体计算公式如下：

$$ERFC = \frac{FC_{base} - FC_{cal}}{\Delta FC_{potential}}$$

其中，

FC_{cal} ，代表计算年份车辆的实际燃料消耗量水平，单位：L/100km；

$FC_{potential}$ ，代表计算年份车辆的燃料消耗量潜力，单位：L/100km。

通过对车辆 ERFC 的计算，即可判断某一时期内技术进步用于降低车辆燃料消耗量的程度，与该时期内的节能政策进行对比，即可得到节能政策与车辆技术进步以及燃料消耗量降低之间的影响关系，最终得到车辆属性变化与政策之间的关系。

对照国内的节能政策的发展历程分析中国乘用车 ERFC 指数的变化趋势。首先，中国国产乘用车的 ERFC 变化趋势相对稳定，每年的燃料消耗量降低潜力一直保持在 0.3–0.4L/100km 左右的水平。ERFC 指数方面，中国在 2010 年仅有 20% 左右的水平，在 2011 年进入燃料消耗管理的第三阶段之后 ERFC 指数开始攀升，并在 2012 年达到最高 40% 左右，说明在企业平均燃料消耗量达标要求的压力下，企业逐渐重视起对车辆燃油经济性水平的提升。在随后的几年里，中国乘用车 ERFC 指数虽然有了小幅度降低，但一直维持在 30% 以上。对应国内的节能政策发展历程，

中国的 ERFC 指数变化趋势相对稳定，没有出现 ERFC 指数为负值的现象，说明国产乘用车企业每年都会投入一定的力量用于提升车辆的燃料经济性水平。另外一方面，欧盟和美国在一些关键的政策时间节点下 ERFC 指数可以达到 50% 至 100% 的水平，将绝大部分的技术研发精力都用在车辆燃油经济性水平的提升，而中国乘用车的 ERFC 指数在最高时期也并未超过 40%，这面说明国产乘用车的制造水平仍处于发展阶段，车辆的各方面属性都有进一步提升的空间和相应的需求，同时也反应了国内节能政策的要求不够高，对企业的节能减排影响力度不够大。

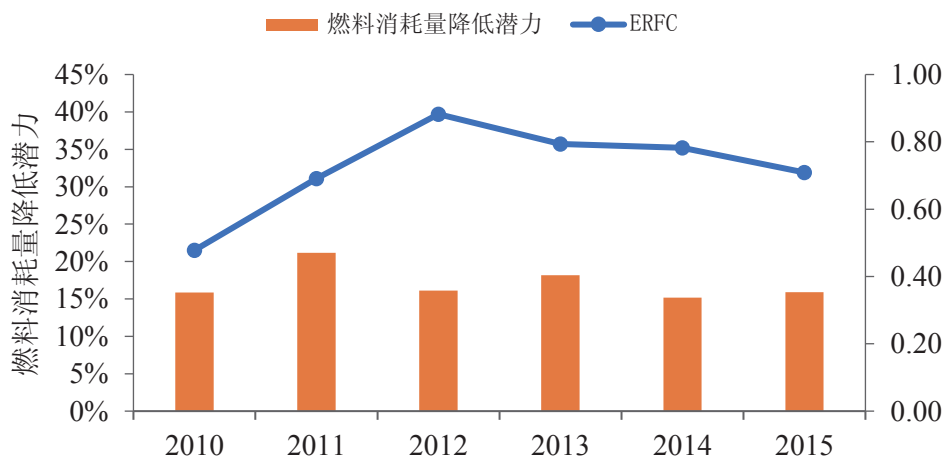


图 2-13 中国国产乘用车 ERFC 指数变化趋势

2.5 小结

目前我国的汽车节能相关政策标准法规还存在一定的改进空间，市场端的大型化趋势还在继续，关键节能技术的自主化进程有待加强。在这些因素的综合作用下，虽然从 2009–2015 年我国乘用车燃油经济性水平实现了一定幅度的下降，但是通过分析发现技术的进步并未全部应用到油耗改善上，车辆性能与结构的变化侵蚀了近 70% 的油耗降低潜力。

在当前的能源与环境形势下，未来汽车行业的油耗水平需要持续降低。然而如何综合考虑市场需求、政策导向以及企业技术升级的内在规律，从而科学评估设定合理的节能目标要求，是本文将着重解决的问题。

第3章 节能潜力分析模型构建

前文对行业发展现状以及当前问题进行了分析，并总结出行业节能的影响因素及问题。本章将纳入这些影响因素，构建一个完整的框架体系和方法模型，对未来行业未来节能潜力进行预判和分析。

3.1 研究思路

3.1.1 整体框架

通过构建多元线性回归模型量化分析车型参数对油耗的影响，并基于回归结果对历史技术进步的趋势展开量化分析。在得到车型参数对油耗量化影响之后，对行业未来的车型参数发展趋势、节能技术普及规律、行业政策管理要求等进行合理的情景分析，从而实现未来行业整体油耗水平的预测。

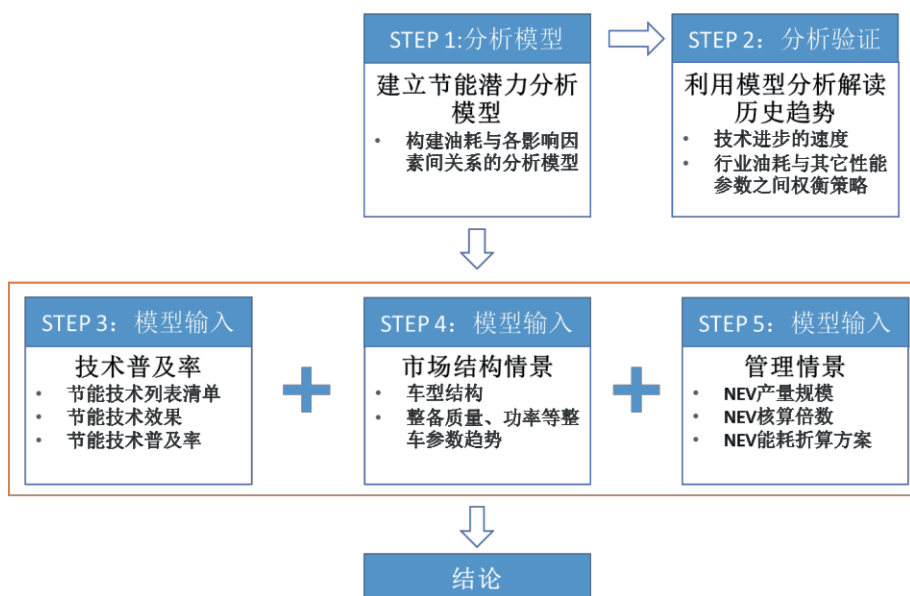


图 3-1 节能潜力分析模型构建与分析框架

本章节将对第一步和第二步模型体系研究展开分析，后续情景假设将在第四章展

开分析。

3.1.2 数据体系

本文所用的数据主要来自合格证数据（2009–2016年）乘用车数据。由于中国传统能源乘用车以汽油为主，柴油、双燃料乘用车的占比非常小，不在本研究范围内。而非插电式混合动力乘用车虽然目前产量占比较小，但是是政策鼓励的发展方向，仍将予以考虑。为求数据来源真实、准确，根据通告、公告数据对合格证数据进行了比对调整和扩充。经过扩充后，数据指标体系如表3-1所示：

表 3-1 数据指标体系

数据分类	数据维度	样例 / 单位	数据来源
识别参数	生产企业		合格证
	品牌		合格证
	车身类别	按轿车、SUV、MPV、交叉型乘用车划分	ADC
	车型级别	根据尺寸和市场定位划分	ADC
	车辆系别	按欧系、美系、日系、韩系、自主划分	ADC
	通用名称		ADC
	燃料类型	按汽油、非插电式混合动力划分	合格证、公告、油耗系统 ⁴
车身结构参数	整备质量	kg	合格证
	轴距	mm	合格证
	外廓长	mm	合格证
	外廓宽	mm	合格证
	外廓高	mm	合格证
	前轮距	mm	合格证
	后轮距	mm	合格证
发动机性能参数	最高车速	km/h	合格证
	功率	kW	合格证
	扭矩	N·m	公告
	排量	ml	合格证
技术性参数	油耗	L/100km	合格证、公告
	气缸数		公告
	驱动形式	按前驱、后驱、全驱划分	公告
	变速器	按 MT、AT、CVT、DCT 划分	公告
	进气方式	按涡轮增压、自然进气划分	公告
	供油方式	按缸内直喷、多点电喷划分	公告

本研究数据以动力总成作为基本数据单位。动力总成数据维度包括通用名称、燃料类型、驱动形式、变速器、排量、功率、供油方式、进气方式、气缸数、扭矩、油耗。其余维度数据，按同一动力总成下，当年产量最大的车型进行补充。

⁴ 合格证混合动力燃料类型不区分插电式和非插电式，通过公告和油耗系统数据加以区分。

3.2 模型构建

3.2.1 模型结构

根据前面章节的数据统计分析，可以看出技术进步的趋势，以及在市场需求的影
响下，车型参数分布呈现的变化特点。为了更精准把握行业节能技术进步程度，需要
构建一个数理模型做进一步量化分析。

根据可能对油耗产生影响因素，本文拟构建如下的线性回归模型：

$$\ln(FC) = \beta_0 + \sum_j \beta_j \ln(p_j) + \tau_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3.1)$$

其中，FC 为燃料消耗量，单位为 L/100km， p_j 为车辆性能属性或离散技术应用，
当为离散技术应用时， $\ln(p_j)$ 为 0 或 1。 β_j 为待估参数，也就是 $\ln(p_j)$ 的系数。 τ_t 为每年
的技术进步量指标， μ_i 是品牌差异。由于中国乘用车市场结构复杂，同一汽车厂商可
能生产不同品牌车系的乘用车，比如长安福特马自达汽车有限公司，生产的汽车品系
复杂，有美系的福特、日系的马自达、欧系的沃尔沃，还生产自主品牌长安系列。因
而建模分析过程中将选择品牌作为油耗水平的影响因素，而不是生产企业。 ε_{it} 为随机
误差项。

τ_t 作为技术进步量指标，当公式中不含节能技术因素时， e^{τ_t} 表示每年由于降油耗
技术应用，行业油耗相对于基准年下降的幅度。当公式中含有部分技能技术因素时，
则 e^{τ_t} 表示每年由于其他降油耗技术应用，行业油耗相对于基准年下降的幅度。

本章节将通过 (3.1) 式对 2009 年 -2016 年共计 8 年的国产乘用车产量数据进行
分析，得到国产乘用车车型参数与油耗之间的定量关系，为未来的行业油耗预测提供
支撑作用。

3.2.2 相关性分析

表 3-1 中的技术性能参数都是对油耗具有明显影响的因素，但是各个影响因素之
间同时可能存在较强的相关性，为排除这些干扰，我们进行了相关性分析，参数彼此
的相关关系如表 3-2 所示。

表格中计算参数通过原始数据计算获得，空间为长 × 宽 × 高，脚印面积为轴距
× (前轮距 + 后轮距) ÷ 2。

从与油耗的相关关系上来看，所有数据指标中，整备质量与油耗的相关性最强，
空间与油耗的相关性其次，同时空间与整备质量之间也存在非常强的相关性，这是由
于在密度相同的情况下，体积越大，整备质量也就越大。轴距、外廓长、外廓宽、外
廓高等车型尺寸参数与油耗的相关关系较弱。

表 3-2 油耗影响因素相关系数表

	发动机性能参数			车型尺寸参数					计算参数	
	排量	功率	扭矩	质量	轴距	长	宽	高	空间	脚印
排量	1									
功率	0.787	1								
扭矩	0.749	0.953	1							
质量	0.823	0.752	0.789	1						
轴距	0.595	0.557	0.576	0.756	1					
长	0.707	0.684	0.695	0.798	0.829	1				
宽	0.715	0.762	0.766	0.804	0.617	0.800	1			
高	0.018	-0.183	-0.137	0.239	0.211	-0.091	-0.197	1		
空间	0.649	0.502	0.544	0.877	0.797	0.744	0.646	0.554	1	
脚印	0.705	0.732	0.737	0.834	0.916	0.896	0.854	-0.017	0.764	1
油耗	0.755	0.470	0.485	0.797	0.551	0.546	0.486	0.403	0.744	0.538

发动机性能参数相关性较高。彼此间存在较强的替代性。其中，功率与排量、扭矩的相关系数都较高，可作为动力性能的重点分析指标。

根据相关性的分析，我们将重点对国产乘用车的整备质量和功率展开研究。

3.2.3 参数变化与油耗的关系

全行业乘用车的平均整备质量和平均功率等车型参数都处于不断增大的趋势中，这是由消费者市场需求决定的。那么车型参数增大，对油耗有着怎样的影响呢？我们需要进一步分析车型参数与油耗的关系。

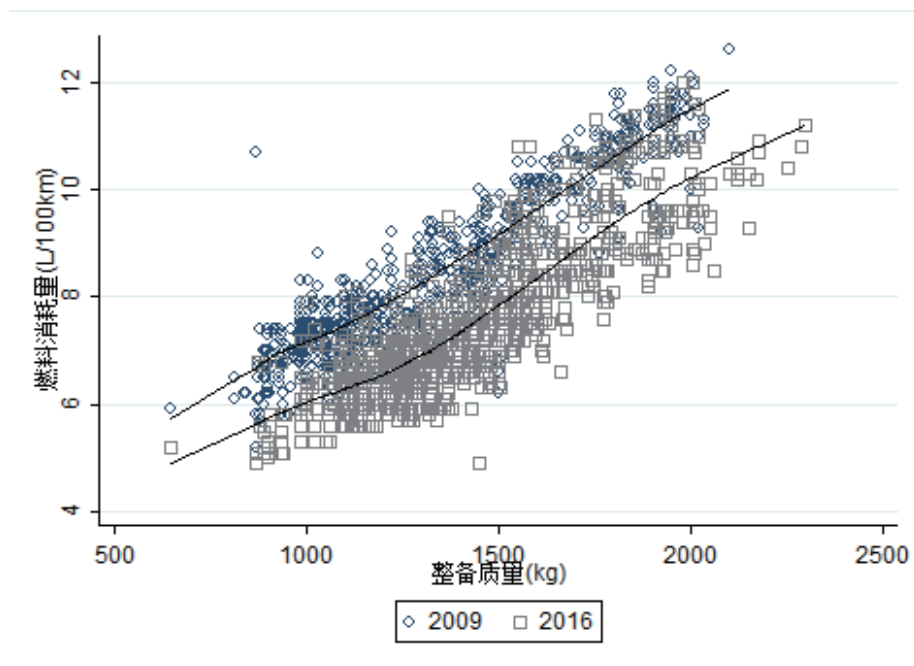


图 3-2 自主品牌整备质量油耗 lowess 回归曲线

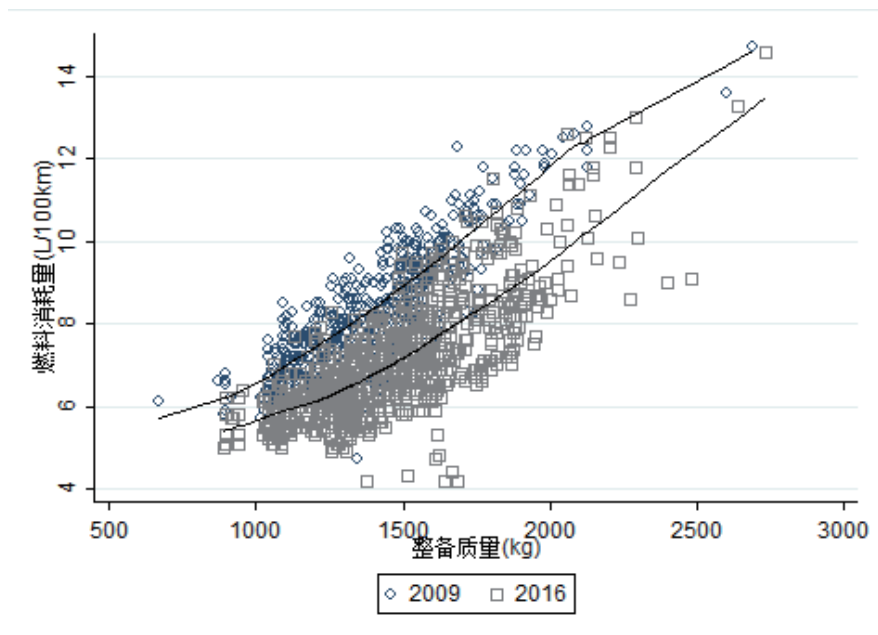


图 3-3 合资品牌整备质量油耗 lowess 回归曲线

从图 3-2、图 3-3 中，可以看出整备质量与油耗的 lowess 曲线具有较明显的线性关系。

2009 年与 2016 年自主品牌整备质量油耗 lowess 回归曲线几乎平行，在 1000-1500kg 之间油耗下降更加明显，表明这一整备质量段乘用车节能技术升级效果显著，节能效果优于其他整备质量段的乘用车。

合资品牌 2009 年和 2016 年 lowess 回归曲线也是几乎平行的，在各整备质量段节能技术应用都有所体现。在中大型车范围内，油耗突出的现象得到了很好的控制

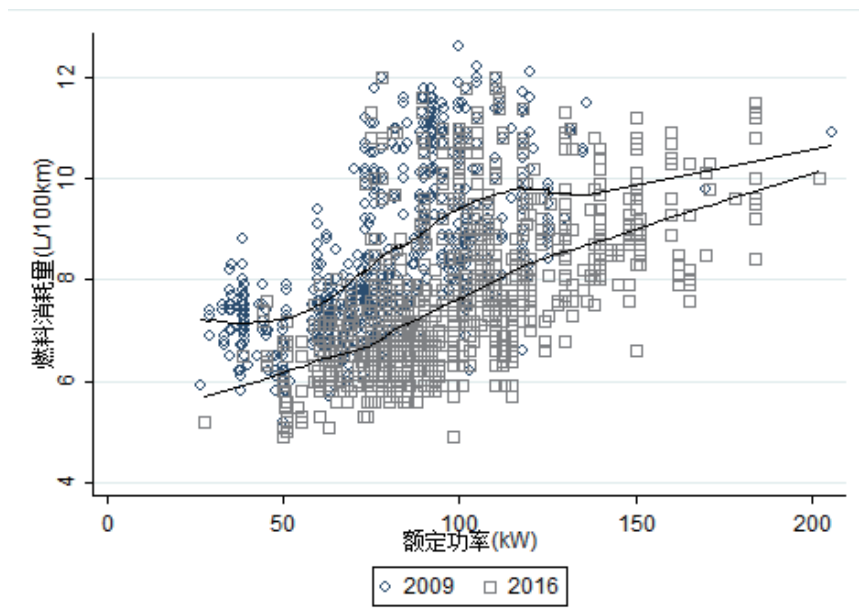


图 3-4 自主品牌功率油耗 lowess 回归曲线

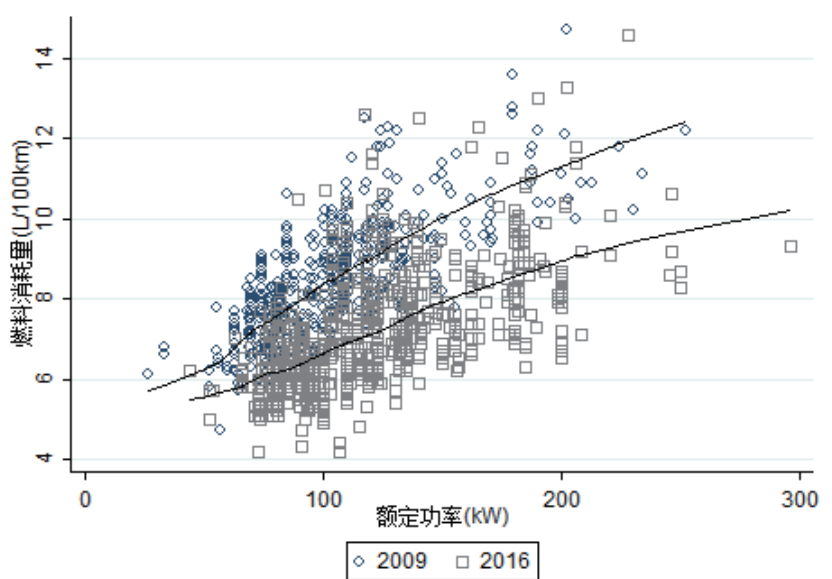


图 3-5 合资品牌功率油耗 lowess 回归曲线

从图 3-4、图 3-5 中，可以看出自主、合资品牌的功率与油耗的 lowess 曲线 2009 年与 2016 年相比具有较明显的差异性。在 2009 年，一些自主品牌动力性能与车型大小不成正比，例如部分大型 SUV 功率不足 80kW，技术水平的差距使得油耗与功率之间线性关系不明显。而合资品牌虽然有各自不同的技术路径，但是总体上动力性能和车型尺寸匹配程度较高，因而能保持较好的线性关系。到了 2016 年，自主品牌动力性能不匹配的问题得到有效缓解。合资品牌油耗与功率的 lowess 曲线斜率大幅降低。表明合资品牌大功率车型在节能技术方面优势比较明显。

3.2.4 回归结果分析

针对不同的分析维度，比较不同模型结构之间的差异，拟构建 4 个不同的模型做对比分析。

模型一仅考量了整备质量和功率两个参数因素。整备质量从一个侧面反映了车型级别，是消费者对于乘用车实用性需求的体现，功率显然是动力性能的体现。也就是说这两个参数可以在一定程度上反映出市场需求。模型二在模型一的基础上，增加了两个车型结构参数，以比较不同车型参数之间的关系。模型三在模型一的基础上增加了部分节能技术应用参数，由于可能会对油耗造成影响的因素过多，难以面面俱到，仅选取目前仍处于推广期且节油效果比较显著的进气方式和供油方式两个技术因素进行分析。模型四将所有考量因素汇总，可作为单车油耗的预测模型进行预测分析。由于空间与整备质量之间较强的相关性，模型四不再考虑空间因素。

同时如前文所述，在国内品牌因素是油耗技术水平的一个反应，因而模型三和模型四予以考虑。

由于自主、合资等不同系别的品牌在技术基础、技术成熟度等方面存在的差异性，模型四在模型三的基础上增加了系别分类。以 2009 年作为基准年，应用最小二乘法，

对系数进行估计及假设检验，相应估计结果汇总如下表⁵：

表 3 回归系数表

	模型一	模型二	模型三	模型四
ln(质量)	0.935***	0.816***	0.808***	0.785***
ln(功率)	-0.113***	-0.100***	0.060*	0.064*
ln(空间)		0.114		
2010	-0.023***	-0.023***	-0.020***	-0.020***
2011	-0.043***	-0.043***	-0.042***	-0.042***
2012	-0.075***	-0.076***	-0.071***	-0.071***
2013	-0.095***	-0.097***	-0.088***	-0.088***
2014	-0.121***	-0.125***	-0.112***	-0.112***
2015	-0.146***	-0.150***	-0.132***	-0.133***
2016	-0.179***	-0.184***	-0.155***	-0.155***
非插电混动		-0.326***	-0.288***	-0.285***
四驱		0.042***		0.033***
涡轮增压			-0.052***	-0.052***
缸内直喷			-0.085***	-0.085***
变速器			√	√
品牌			√	√
日系				-0.212***
欧系				-0.230***
美系				-0.153***
韩系				-0.181***
常数项	-4.110***	-3.594***	-4.058***	-3.909***
样本量	12741	12741	12741	12741
R^2	0.729	0.747	0.85	0.851
调节 R^2	0.728	0.747	0.848	0.850

在只考虑车型参数时，模型的拟合精度超过 70%，说明整备质量和功率因素对自主品牌的油耗具有显著影响。但是受不同系别技术水平差异的影响，模型一和模型二的拟合精度只有 70% 左右。在考虑了品牌和技术因素后，拟合精度提升到了 85% 左右。这个回归结果表明，用模型四的模型结构进行单车油耗预测是合理可行的。

从图 3-2、图 3-3 中可以看出，国内乘用车市场上，整备质量与油耗具有较明显的线性相关关系，因而多个模型中，ln(整备质量)的回归系数都距离 1 比较接近。非插电式混合动力技术节油效果明显，同等整备质量、功率、其他技术应用的情况下，混合动力节油效果达 24.8%。在同等动力水平的情况下，全行业缸内直喷的平均节油效果优于涡轮增压技术。

分系别看，欧系车型节油技术水平较高，日系紧随其后，而韩系和美系在节能方

⁵ 模型系数都经过假设检验，其中“***”、“**”、“*”、“+”分别表示概率 $p < 0.001$ ， $p < 0.01$ ， $p < 0.05$ ， $p < 0.1$ 。“√”表示模型考虑该因素，由于条目较多，未一一列出。

面仍需进一步努力。

模型应用的参数分为性能属性参数和技术进步参数。由于本文的研究重点不是单车油耗预测，而是行业节能技术发展趋势的研究。而技术进步参数范围庞杂，轻量化、小型化、降摩擦、降风阻等节能技术难以捕捉量化，难以将所有的节能技术包含进来，因而行业的技术进步参数不再单独分析，融合在一起，作为 e^{τ} 来分析节能技术历史进步趋势。节能技术历史进步趋势将采用模型一的分析结构。

3.2.5 油耗影响因素量化分析

按照模型一的结构，对行业的节能技术发展水平进行回归分析。为了更直观的理解行业在降低油耗方面的技术发展进程，我们定义：

$$FC_{potential} = FC_{base} \cdot e^{\tau} \quad (3.2)$$

以 2009 年作为基准年， FC_{base} 即为 2009 年的实际油耗， $FC_{potential}$ 则是后续年份的油耗潜力。若定义基准年份油耗水平为 100%。 τ_i 经过 e^{τ} 转化后，即为油耗下降幅度。根据公式 (1)， e^{τ} 表示车型参数不变的情况下，单纯由技术进步对油耗造成的影响，也就是节能技术进步指标。油耗的降低幅度排除节能技术进步指标的影响，则是车型参数变化对油耗的影响。2009 年以来的节能技术进步水平趋势以及车型参数的影响趋势如下图所示：

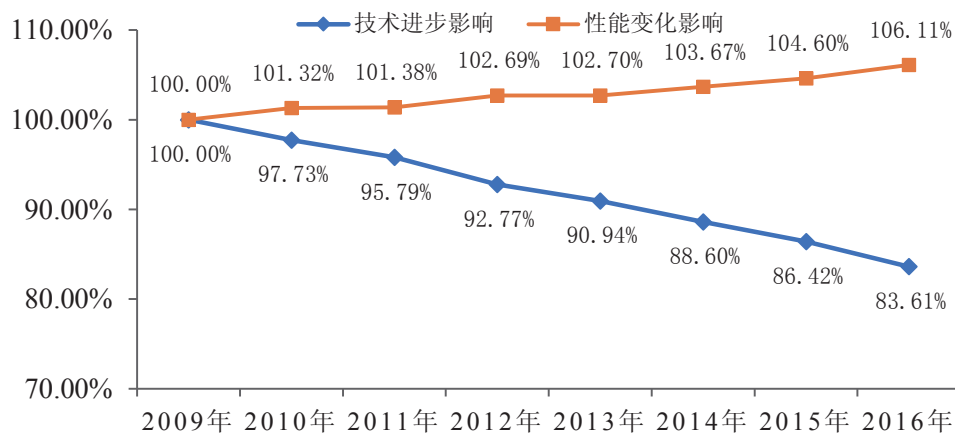


图 3-6 中国乘用车节能技术进步趋势

相对于 2009 年，每年技术进步给油耗带来的节油效果大都在 2% 左右，而 2012 年和 2016 年节油效果分别提升了 3.02% 和 2.81%，高于一般提升速度。这两年恰恰是燃料消耗量标准进入三阶段、四阶段的时间，表明政策对节能技术的推动效果比较明显。

另外我们定义新油耗降幅侧重指数 (New Emphasize on Reduction of Fuel Consumption, NERFC)

$$NERFC = \frac{FC_{base} - FC_{cal}}{FC_{base} - FC_{potential}} \quad (3.3)$$

其中 FC_{cal} 表示当年的实际油耗，NERFC 指数表示技术进步量在提升燃油经济性中所占的比例。

Mackenzie 等研究了 1975–2009 年美国轻型车燃油经济性趋势，将中国的 NERFC 指数与美国进行对比可以发现，中国的 NERFC 相当于美国 2005–2009 年的水平，具体如下图所示。

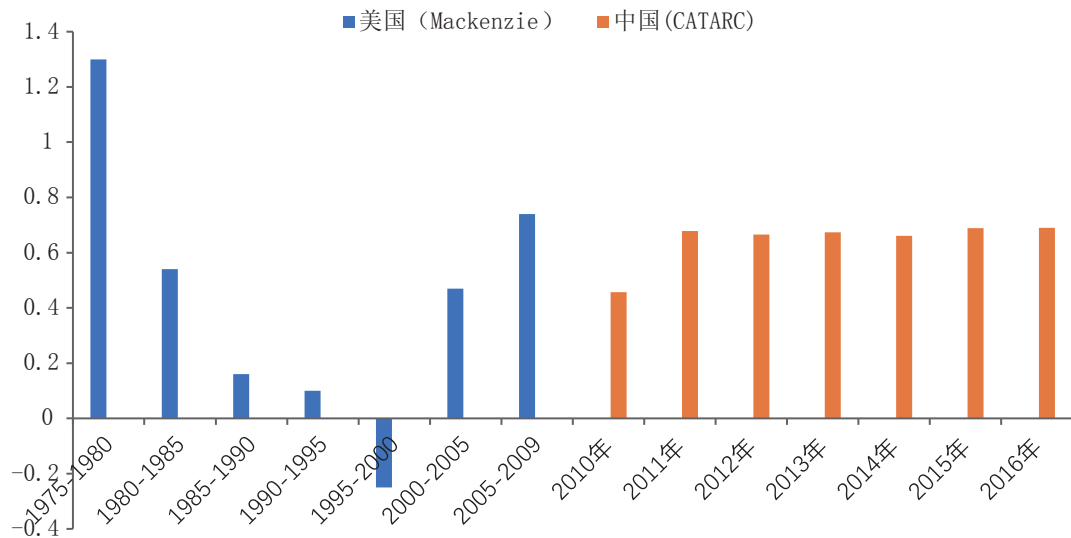


图 3-7 中、美 NERFC 指数对比

3.3 小结

本章节通过构建多元线性回归模型，得到了整备质量、功率以及技术进步与油耗之间的量化关系，基于模型对节能技术历史发展规律进行了分析并对中美技术发展进行了对比。本章节的量化研究工作，为未来行业的平均油耗预测建立了基础。

第4章 节能潜力测算情景设定

本章节基于前文的历史趋势分析及未来展望，对平均油耗产生影响的市场端、技术端和政策端因素进行合理化分析与情景假设⁶，以判断未来行业节能潜力及节能技术发展路径。

4.1 传统能源车市场端情景

由前一章节的模型分析，未来行业预测的市场端，将重点考虑整备质量变化趋势和功率变化趋势。

4.1.1 整备质量情景假设

根据第 1.3.2 节对整备质量历史趋势的分析，行业车型长期存在大型化的趋势，因此在未来一段时间内，整备质量仍将继续升高，但是随着轻量化技术的逐步推广和 SUV 市场的趋近饱和，增幅一定会逐步缩小的。因此，我们假设在 2020 年前，行业平均整备质量仍将按年均 0.4% 的速度增长。2020 年以后，随着行业节能压力的增大，在政策法规的引导下，轻量化技术的应用很可能会进一步深化。因此我们对 2020 年后的行业平均整备质量设定了另外两种情景：行业平均整备质量可能一定时期维持不变，甚至出现一定幅度的下滑，这个下滑的比例，我们仍设定为 0.4%（约 6kg）。

4.1.2 功率情景假设

根据 1.3.3 节对功率历史趋势的分析，为了提升市场竞争力，整车生产企业具有内在的提升整车动力性的需求。我们基于 OEM 规划情况调研，动力总成换代后动力性能均有所提升。2020 年以后，产品结构变化对于平均功率的贡献减弱，因此我们对未来行业功率趋势设定了一种年均增幅 0.8% 的情景。同时对于 2020 年后设置了一种比较极端的情景，即由于行业结构变化，行业平均功率每年下滑 0.3% 的情景。

⁶ 本章节的多种情景假设分别定义为高情景、中情景和低情景。其中高情景为有利于行业平均油耗降低的情景，低情景反之。

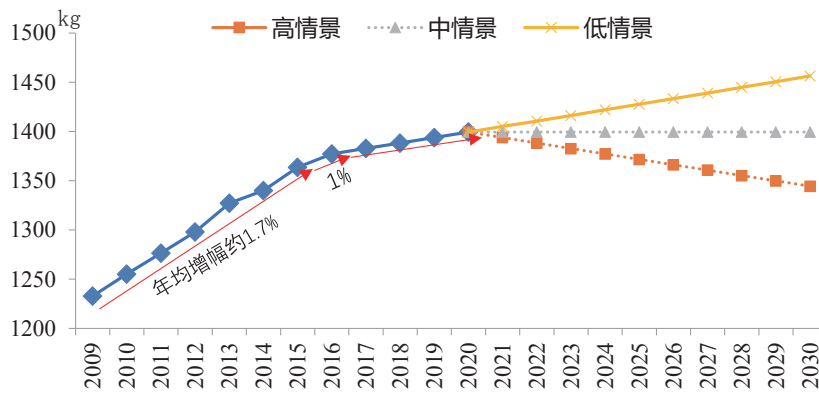


图 4-1 2030 年前国产乘用车平均整备质量发展趋势假设

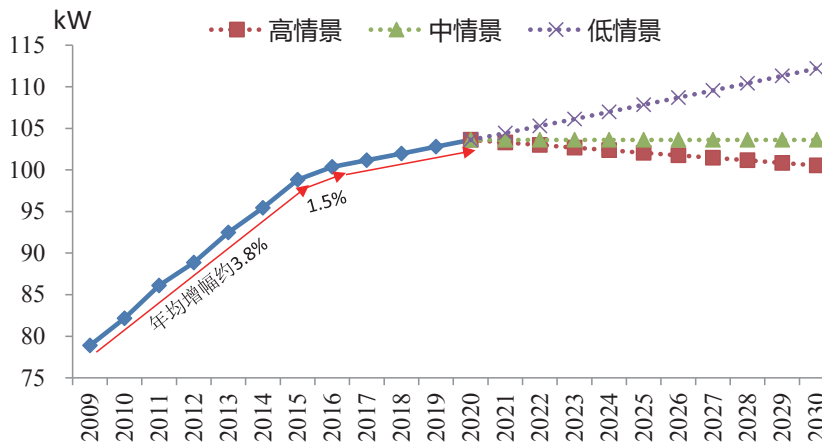


图 4-2 2030 年前国产乘用车平均功率发展趋势假设

4.2 传统能源车技术端情景

前一节对 4.1 式模型结构中的 p_j 做出了情景假设，这一章节将对 4.1 式中的 τ_i 做出合理的假设分析。

学者们对不同市场新技术的普及情况进行了大量研究，逻辑回归模型 (Logit Model)、巴斯模型 (Bass Model) 等 S 型曲线得到了广泛的应用。Hula 等分析了美国重点汽车技术的应用情况，即已经达到较高应用比例或在新车中应用比例逐年升高的技术，发现单个生产制造商的技术渗透循环周期远小于行业整体，但没有进行技术应用比例的规律探讨。Zoepf 等采用最小二乘法将乘用车技术应用比例用逻辑函数表示，考虑了多种影响因素的效应，对技术应用比例曲线进行了深入研究。

4.2.1 技术应用比例发展规律

随着技术的发展和消费者需求的增加，汽车搭载的技术越来越多，如安全气囊、

空调、导航系统等。经过初期的发展，有些技术认可度稳步提升，逐渐被多数企业大规模使用；而部分技术则由于成本过高、实用性不足等原因，未能成功普及。某一年的技术应用比例 m 以当年新车普及情况为准。图 4-3 为美国各项汽车技术的应用比例曲线，以技术出现第一年为横坐标“1”，应用比例随着使用年份增长不断升高，达到最大值后趋于稳定。不同汽车技术，其应用比例曲线有所不同。例如，变速器锁止技术普及两年后应用比例增长非常快，曲线初期斜率大，陡增趋势明显。而 VVT 技术应用比例则是在 8 年后才进入快速增长期，普及初期斜率小，曲线平缓。此外，燃油喷射技术的最大应用比例达到了 100%，而其他各项技术只是趋于稳定在某一固定值附近。

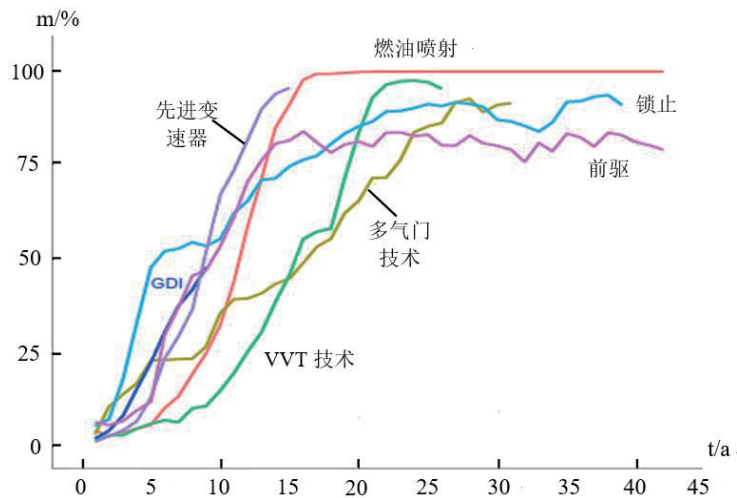


图 4-3 美国汽车行业技术应用比例曲线

充分发展的技术应用比例曲线大致可分为 3 个阶段：技术刚开始应用的初始阶段、应用比例快速增长的阶段、饱和阶段。利用最小二乘法回归分析得到的应用比例曲线范例如图 4-4 所示。这也表明了，应用比例的发展规律需要确定 3 个参数：初始阶段所需的时间、应用比例的最大增长速率以及最大应用比例。

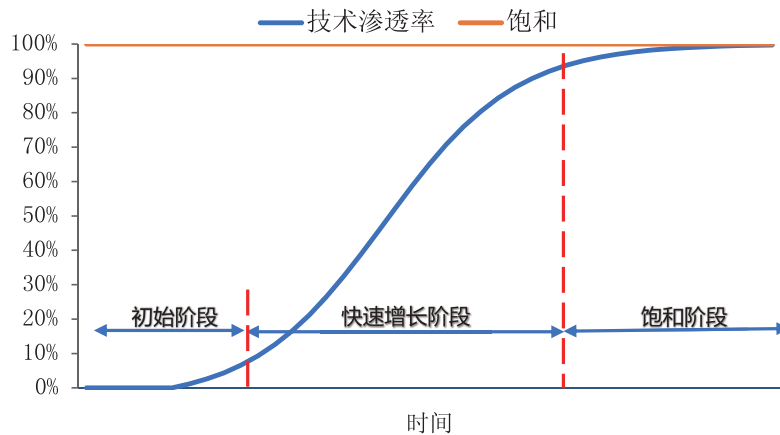


图 4-4 技术应用比例回归分析曲线

根据应用比例的变化，美国 VVT 技术的发展具有明显特征：第一阶段，1990—1997 年的 8 年内应用比例由 0.6% 增长到 10.8%；第二阶段，1998—2010 年的 13 年内应用比例由 10.8% 增长到 91.8%，年均增长 6.75%；第三阶段，2011—2015 年应用比例趋于饱和，稳定在 96% 左右。具体如图 4-5 所示。2007 年美国开始提高 CAFE 标准，同时油价在 2008 年达到历史最高值，CAFE 标准的重大变化和油价升高的双重刺激，使得 VVT 技术在快速增长阶段后期应用比例增长进一步加快，仅 2008—2009 年应用比例就增长了 16.4%。

同时，企业技术应用情况与行业应用比例息息相关。1997 年，随着现代汽车的加入，欧系、日系、美系、韩系所有系别企业均开始普及 VVT 技术。由于各大企业的推动作用，1998 年，美国 VVT 技术进入了快速增长阶段；2010 年，欧系、日系、韩系企业 VVT 技术应用比例达到饱和，且除大众之外基本全部实现 100% 覆盖；2011 年，美国 VVT 技术进入饱和阶段。

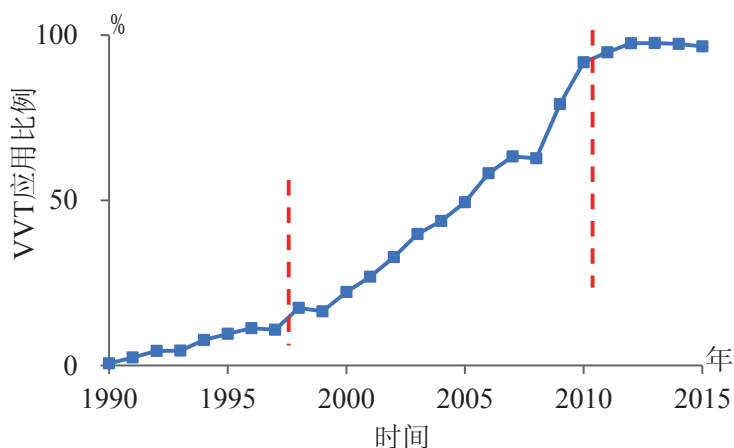


图 4-5 美国 VVT 技术应用比例曲线

4.2.2 节能技术分类

根据前期企业走访调研以及专家座谈结果⁷，对近几年可能会推广普及的节能技术进行整理分析。节能技术主要分为发动机技术，变速器技术以及电器系统技术。

同时，由于技术升级路线的差异，单独划分出来一类渐进式技术。前面几项技术是由明确的技术研发应用周期和界限的，而渐进式技术并没有明确的应用界限，该类别的技术升级是个长久持续的过程，比如减少摩擦、减少风阻、低滚阻轮胎和轻量化技术⁸等。由于内在的升级需求以及成本控制原则，这几项技术的升级都是渐进的，因而没有明确的技术渗透率概念，单独划分为一类技术。相关技术的调研信息结果如下表：

⁷ 技术调研信息表详见附录 A。

⁸ 由于轻量化技术是直接影晌整备质量的技术，在 5.1.1 节情景假设已经加以考虑，本章节不在继续研究。

表 4-1 节能技术调研信息表

技术分类	技术名称	节油效果	成本 / 元	技术说明
发动机	VVT(DOHC)	2.18%	300	
	缸内直喷	4.50%	1700	
	涡轮增压	7.20%	3185	
	废气循环冷却 (C-EGR)	3.63%	1953	
	米勒循环	6.50%	1000	
	停缸	0.44%	210	
	热管理	3.50%	800	
变速器	6MT 及以上	2%	1800	相对于 5MT
	8AT 及以上	5.74%	5500	相对于 4-5AT
	6DCT 及以上	4.00%	1700	相对于 4-5AT
	CVT	3.75%	1200	相对于 4-5AT
电气系统	电动助力转向	2.50%	708	
	高效电附件	1.22%	600	
	怠速起停	3.70%	1500	
	制动能量回收	3.50%	1000	相对于怠速启停
	48V 系统	5%	2500	相对于制动能量回收
	非插电式混合动力	15%	27000	相对于 48V
渐进式技术	减少摩擦	3.54%	888	
	减少风阻	2.50%	1000	
	低滚阻轮胎	2%	1000	

4.2.3 技术普及率预测方案

根据第 4.2.1 节的分析, 技术普及规律普遍遵循 S 型曲线规律。对技术发展趋势的研究也将基于 S 形曲线进行预测。

基于产品生命周期规律, 采用逻辑回归模型对技术渗透率趋势进行预测。Logit 模型的模型结构为

$$N(t) = \frac{M}{1 + ae^{-bt}} \quad (4.1)$$

其中, t 为某项技术引入以后的时间, $N(t)$ 为 t 时刻该技术的渗透率, M 为该技术的饱和期达到的最大应用比例, a 、 b 为带估参数。

根据 5.1 式, 定义技术进步效率

$$n(t) = \frac{1}{1 + ae^{-bt}} \quad (4.2)$$

显然, 存在下式关系

$$N(t) = M \cdot n(t) \quad (4.3)$$

对技术渗透率的研究重点，其实就是技术普及速度的快慢问题，因而可以归结到技术从引入到饱和所用的时间 T 。规定 T 满足

$$n(T) \geq 95\%$$

即技术进步效率大于 95% 的第一年定义为饱和时间点，之后可以认为会符合市场的正常波动。

基于此，以及逻辑回归函数的对称性，可以推算出，在 T 的这个定义下，参数的近似解为

$$a = e^{4.5}$$

$$b = \frac{2 \ln(a)}{T} = \frac{9}{T}$$

由此，对技术渗透率的研究落实到了对 M 和 T 的预测上。 M 根据技术特点、政策要求等，通过专家调研的方式获得。而对 T 则构建一个线性回归函数。

$$\log(T) = b_0 + b_1 \log(cost) + b_2 \log(rate) + b_3 \log(score) \quad (4.4)$$

其中， $cost$ 为技术升级成本， $rate$ 为技术节油效果， $score$ 为消费者评分，代表了消费者对某项技术的市场认可度。

这几项指标分别从技术本身属性和消费者认可度方面对技术的影响进行考量。可以认为是基于当前政策环境和行业节能压力的一个技术渗透率预测方案。

前面所述为一般节能技术的渗透率预测方案，还有一类无法明确定义渗透率的渐进式技术则不能直接采用这个方案。

渐进式技术虽然没有渗透率的概念，但是仍可借用这个框架体系。渐进式技术跨过技术渗透率这一步，直接对应到技术对行业平均油耗水平的影响上。此时 M 转化为某项渐进式技术的预期节能效果， T 仍可采用前述方案进行处理。

由于上述方案是基于当前政策环境得到的技术渗透率，可作为节能技术效果低情景。未来政策环境收紧，会加快技术应用速度。以 T 分别乘以系数 0.9 和 0.8 可得到两组技术渗透率预测值，分别作节能技术效果中情景和节能技术效果高情景。

4.2.4 节能技术发展情景假设

基于前面的方法，可以预测节能技术的普及规律。同时根据一项技术的节油效果，即可得到该技术对行业油耗的影响。我们定义

$$p_i = 1 - \delta_i t_i \quad (4.5)$$

其中：

δ_i ：第 i 项技术的单车节能效果

t_i ：第 i 项技术在目标年份的技术应用比例 ($0 \leq t_i < 1$)

p_i ：第 i 项技术的行业节能效果，这个效果是相对于未使用该技术时的油耗比例。

结合 (3.1) 式，可以自然得出

$$e^{\tau_i} = \prod_{i=1}^n \frac{1 - \delta_i t_{i2}}{1 - \delta_i t_{i1}}$$

τ_i ：表示某年相对于基准年的技术进步量，同（3.1）式中的含义。

δ_i ：第 i 项技术节能效果。

t_{i1} ：第 i 项技术基准年份的技术应用比例（ $0 \leq t_1 < 1$ ）。

t_{i2} ：第 i 项技术目标年份的技术应用比例（ $0 < t_2 \leq 1$ ）。

由此，我们可以得到技术发展对行业油耗水平的三种情景假设⁹。

以2016年技术应用水平作为基准，在车型参数等因素不变的情况下，其他年份技术应用带来的节油效果如图4-6所示。由于多项技术应用比例在2030以前达到饱和状态，2030年三种情景假设下的油耗差异已经缩小。中情景在车型参数等因素不变的情况下，技术应用使得2030年油耗将降到2016年油耗的56.51%。

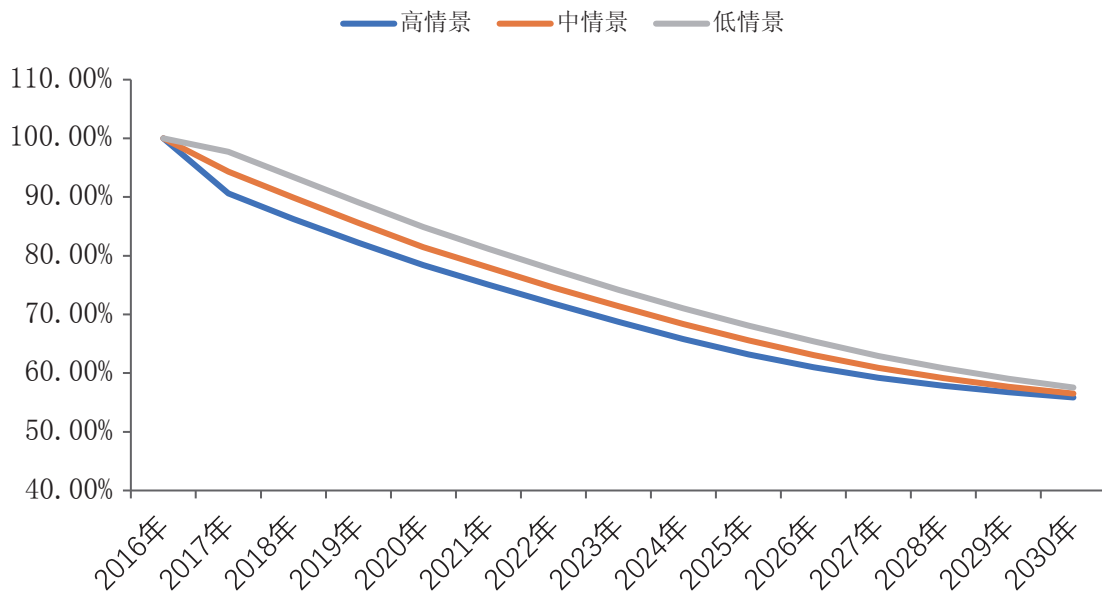


图 4-6 节能技术应用效果情景假设

4.3 新能源车政策端情景

在本节，我们将对 NEV 未来的产量规模、能耗折算方式及核算放大倍数进行探讨分析。

4.3.1 新能源规模假设

目前国内对新能源车的定义包含纯电动乘用车（EV）、插电式混合动力乘用车

⁹ 关于各项技术未来的技术渗透率预测或技术进步效率预测详见附录 B。

(PHEV) 和燃料电池乘用车 (FCEV)。近几年在国内政策的推动下, EV 和 PHEV 的产销量开始逐渐提升, FCEV 的研发也已经提上了日程。

为了优化行业能源结构, 国家将在较长一段时期内继续大力推广新能源车产业。

基于市场发展趋势以及《节能与新能源汽车技术路线图》, 我们设置了新能源规模中情景, 2025 年和 2030 年国产新能源乘用车年产量分别达到 470 万辆和 1420 万辆。我们锁定 FCEV 在 2025 年和 2030 年分别达到 1 万辆和 70 万辆, 同时设定 2025 年和 2030 年 PHEV 与 EV 之间的年产量比例为 1: 2。其余年份的 EV、PHEV 和 FCEV 以几何差值设定。

《(中国制造 2025) 规划系列解读之推动节能与新能源汽车发展》以及《汽车产业中长期发展规划》也对 2025 年新能源产量做了规划, 分别为约 375 万辆和约 600 万辆。我们基于此分别设置为新能源规模低情景和高情景。两个情景 2030 年 EV 和 PHEV 产量依据中情景和相应 2025 年规划等比例进行设定, 同样锁定 2030 年 FCEV 在 2025 年和 2030 年分别达到 1 万辆和 70 万辆。

新能源年产量规模三种情景假设如下图所示:

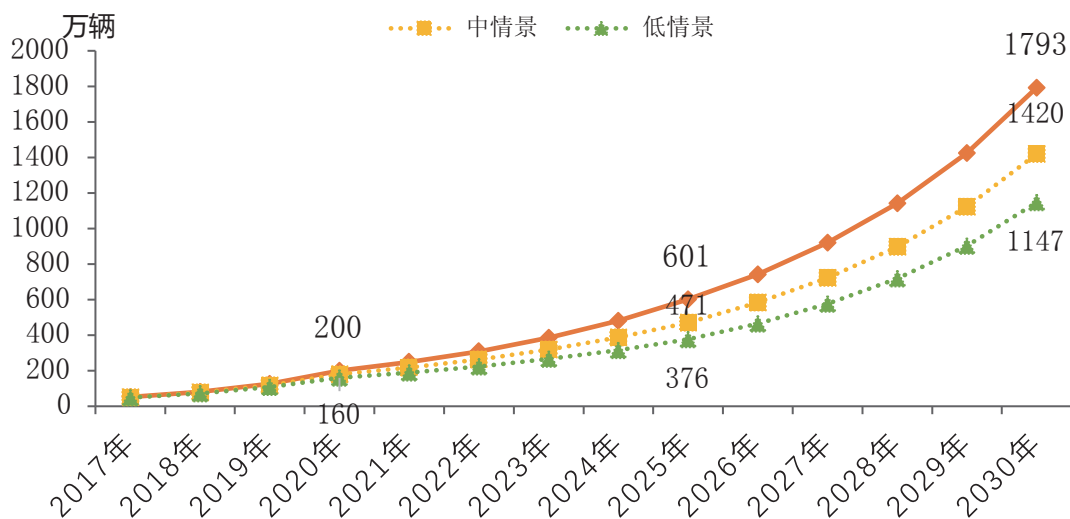


图 4-7 国产新能源市场规模趋势假设

4.3.2 新能源油耗折算假设

根据国家标准对新能源乘用车燃料消耗量测量方法的规定, 2020 年以前 EV 和 FCEV 的燃料消耗量按 0L/100km 计算; PHEV 忽略电能消耗量, 在测试燃料消耗量进行加权计算时, 一般 A 状态燃料消耗量 0L/100km, 仅 B 状态燃料消耗量参与计算。但是从长期来看, 当新能源产量达到一定规模后, 国家对新能源的管理将从规模优先到质量优先的转变, 将会对百公里电能消耗量或转换后的燃料消耗量进行管理, 部分新能源乘用车在不同的油耗折算方案下的燃料消耗量如下表所示:

表 4-2 新能源市场主要车型油耗折算结果比较

车型名称	整备质量 (kg)	纯电动续驶里程 (km)	综合工况电耗 (kWh/100km)	综合工况油耗 (L/100km)	方法一油耗 (L/100km)	方法二油耗 (L/100km)	方法三油耗 (L/100km)
江淮 iEV5	1260	170	15	-	1.7	3.5	4.7
EV160 北汽	1295	160	18	-	2.0	4.2	5.6
比亚迪秦	1900	300	17	-	1.9	4.0	5.3
宝马 5 系 PHEV	2145	58	20	2	3.6	5.3	6.3
奔驰 GLE 500 e	2571	32	18	3.7	4.8	6.1	6.8
比亚迪唐	2280	80	21	2.4	4.21	6.13	7.36
传祺 GA5 REV	1680	50	16	2.4	3.6	4.9	5.7
荣威 550PHEV	1699	60	13	1.6	2.6	3.7	4.4

表 4-2 中，方法一为基于热值的简单折算燃料消耗量，方法二为基于热值的全生命周期折算的燃料消耗量，方法三为基于 CO₂ 排放的全生命周期折算燃料消耗量。同时，由于技术不断进步，未来新能源的燃料消耗量折算数值会进一步降低。

我们以典型车折算数值作为行业平均水平的替代。设定高情景为长期维持现行油耗折算政策不变；中情景为六阶段引入油耗折算，并按方案一进行油耗折算；低情景为五阶段引入油耗折算，五阶段按方案一油耗折算，六阶段按方案二油耗折算。

由此，对四阶段、五阶段、六阶段的油耗折算进行情景假设，折算数值如下表：

表 4-3 新能源乘用车油耗折算情景假设

情景分类	燃料类型	四阶段 L/100km	五阶段 L/100km	六阶段 L/100km
高情景	EV	0	0	0
	PHEV	2.2-1.8	1.75-1.55	1.55-1.5
	FCEV	0	0	0
中情景	EV	0	0	1.6
	PHEV	2.2-1.8	1.75-1.55	2.8-2.7
	FCEV	0	0	0
低情景	EV	0	1.6	2.8
	PHEV	2.2-1.8	2.8-2.7	3.2-3.1
	FCEV	0	0	0

4.3.3 新能源核算倍数假设

根据相关规定，新能源乘用车的核算倍数在逐年下调。参考国内外对于 NEV 的管理趋势，核算倍数未来仍将进一步降低。当行业新能源产量达到一定规模，技术相对成熟的时候，新能源的核算倍数会降到 1，不再对新能源乘用车给予特殊优待。基于此，我们对新能源的核算倍数进行假设，高情景设定六阶段核算倍数下降到 1，低情景设定为五阶段核算倍数下降到 1。具体实施方案如下表所示：

表 4-4 新能源核算倍数情景假设

情景分类	高情景	低情景
2016 年	5	5
2017 年	5	5
2018 年	3	3
2019 年	3	3
2020 年	2	2
2021 年	2	2
2022 年	1.8	1.5
2023 年	1.8	1.5
2024 年	1.5	1
2025 年	1.5	1
2026 年	1.3	1
2027 年	1.3	1
2028 年	1.1	1
2029 年	1.1	1
2030 年	1	1

4.4 节能潜力测算工具

基于第 3、4 章相关内容的研究结果以及多个情景假设，我们构建了节能潜力预测工具。

该工具以 excel 形式呈现，内置了第三章模型的计算结果，同时包含了本章节的 486 种情景假设组合，对未来行业油耗潜力进行测算评估。

测算工具共 13 个 sheet，除说明文档外，含 1 个基础数据录入 sheet，6 个情景设定 sheet，5 个结果输出 sheet，为了便于直观看出来油耗变化，其中一个结果输出 sheet 以图形的形式展现结果。不同 sheet 之间的框架逻辑图 4-8 所示。

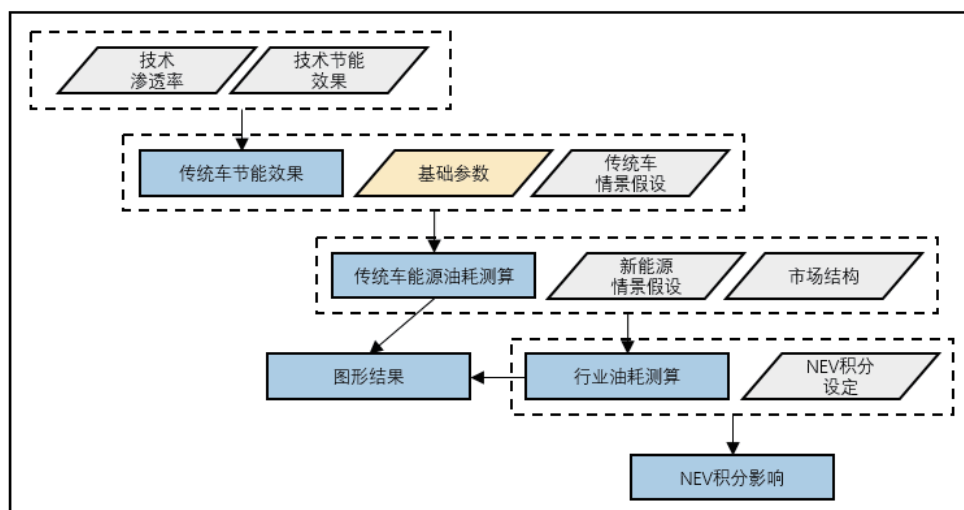


图 4-8 测算工具逻辑框架示意图

4.5 小结

在充分研究行业历史发展规律的基础上，我们对传统能源乘用车的市场发展趋势进行了情景设定，并结合技术发展规律对节能技术应用比例进行了预测。

每一项切实影响到行业油耗核算的因素，都设置了多种情景。以有利于降低行业油耗核算的方案命名为高情景，以不利于降低行业油耗核算的方案命名为低情景，居于二者之间的情景命名为中情景。中情景对应于未来最有可能发生的情景，高情景和低情景则分别对应于未来情景可能性的上下两个边界。

整備质量、功率、节能技术应用每项设定了三种情景，同时基于行业发展现状以及政策规划导向，对涉及到新能源核算的新能源市场规模、新能源油耗折算、新能源核算倍数等因素进行了合理的设定。

多种影响因素之间的各种情景组合，共形成了 486 个不同的发展情景。将这些情景内嵌入节能潜力测算工具，以便于后续的结果分析和评估。

第 5 章 节能潜力测算结果分析与评估

5.1 节能潜力测算结果分析

5.1.1 传统能源汽车节能潜力

根据 4.1 节、4.2 节对传统能源乘用车产品属性和技术进步情景的假设，结合 3.2 节的模型框架体系，对传统能源乘用车的油耗下降潜力进行预测，得到的 2020 年、2025 年、2030 年行业传统能源乘用车平均油耗预测值如下表所示：

表 5-1 传统能源汽车节能潜力趋势

情景组合	产品属性情景	技术进步情景	2020 年油耗 L/100km	2025 年油耗 L/100km	2030 年油耗 L/100km
1	高	高	5.43	4.31	3.74
2	高	中	5.64	4.47	3.79
3	高	低	5.88	4.64	3.86
4	中	高	5.43	4.38	3.87
5	中	中	5.64	4.54	3.92
6	中	低	5.88	4.72	3.99
7	低	高	5.43	4.46	4.01
8	低	中	5.64	4.63	4.06
9	低	低	5.88	4.80	4.14

由表 5.1 可以看出，基于目前的市场技术趋势及企业技术升级规律，最可能发生的中情景中，2020 年传统能源汽车平均油耗为 5.64L/100km，2025 年为 4.54L/100km，2030 年为 3.92L/100km。

结合表 5-1 进一步分析比较，得到图 5-1。

锁定产品属性为中情景，2025 年、2030 年技术进步差异（高情景与低情景相比）对行业油耗的影响分别达 0.34L/100km、0.12L/100km，技术进步对行业油耗的影响在缩减，其原因主要在于目前较为成熟的节能技术的普及率在 2030 年将趋于饱和。

锁定技术进步情景为中情景，进一步分析产品属性的高、低情景差异性，可以看出 2025 年、2030 年产品属性差异对行业油耗的影响分别达 0.16L/100km、0.27L/100km。

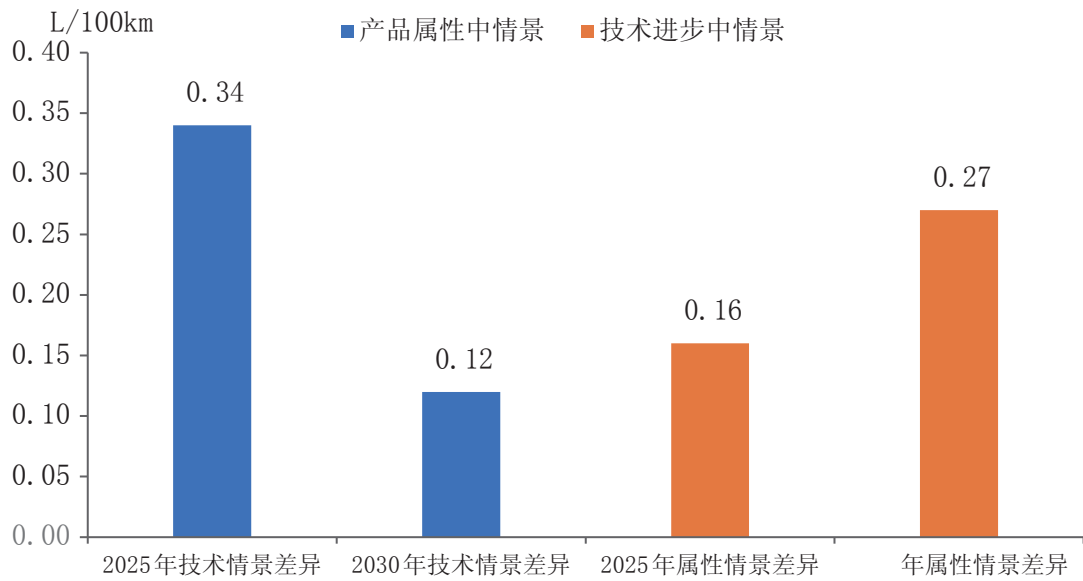


图 5-1 传统车情景差异对比图

四阶段、五阶段行业产品属性变化幅度有限，行业传统能源平均油耗受技术进步速率影响较大，而到了六阶段，技术进步逐渐接近传统能源乘用车性能极限，而乘用车长期产品属性变化差异逐渐拉大，产品属性对行业传统能源平均油耗的影响将逐渐扩大。

因此，短期内应促进节能技术普及速率，长期来看，还是要以引导市场需求为主。

5.1.2 考虑新能源汽车后的节能潜力

引入新能源核算政策情景假设，继续核算全行业平局油耗。表 5-2 选取了 12 种典型的情景假设，相应情景的行业油耗预测值见图 5-2。

表 5-2 含新能源典型情景列表

情景编号	传统能源情景			NEV 法规情景		
	行业平均整备质量	行业平均功率	技术发展趋势	新能源油耗折算	新能源核算倍数	市场结构情景
1	高情景	高情景	高情景	高情景	高情景	高情景
2	高情景	高情景	高情景	中情景	高情景	中情景
3	高情景	高情景	高情景	中情景	低情景	中情景
4	高情景	高情景	高情景	低情景	低情景	低情景
5	中情景	中情景	中情景	高情景	高情景	高情景
6	中情景	中情景	中情景	中情景	高情景	中情景
7	中情景	中情景	中情景	中情景	低情景	中情景
8	中情景	中情景	中情景	低情景	低情景	低情景
9	低情景	低情景	低情景	高情景	高情景	高情景
10	低情景	低情景	低情景	中情景	高情景	中情景
11	低情景	低情景	低情景	中情景	低情景	中情景
12	低情景	低情景	低情景	低情景	低情景	低情景

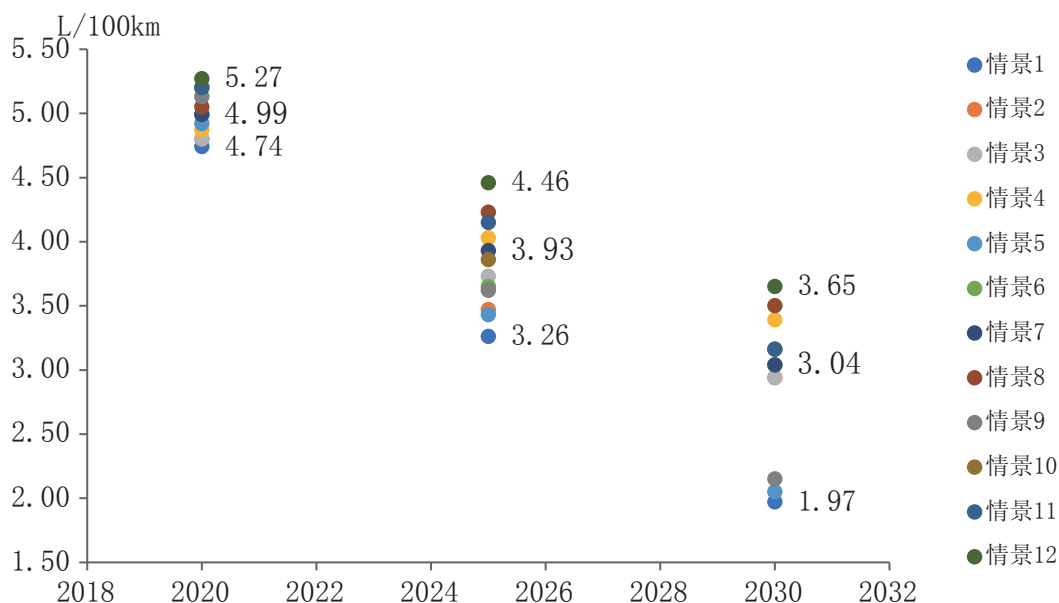


图 5-2 行业节能潜力多情景比较

在不同情景假设下，传统能源乘用车行业平均油耗差异在 2025 年、2030 年分别为 0.49L/100km 和 0.40L/100km。纳入新能源核算后，全行业乘用车平均油耗差异在 2025 年、2030 年进一步扩大到 1.20L/100km、1.68L/100km。NEV 情景纳入核算后，行业平均油耗情景差异分别扩大到了原来 2.45 倍和 4.23 倍。NEV 核算情景的差异对行业平均油耗的影响更加巨大。

表 5-2 中，情景 7 是未来最可能发生的实际情景。该情景下，2020 年、2025 年、2030 年的行业平均油耗分别为 4.99L/100km、3.93L/100km、3.04L/100km，该情景可达到行业调控目标。

我们将在下一节对 NEV 核算中的市场结构、NEV 油耗折算方案、NEV 核算倍数情景对行业平均油耗的影响展开进一步分析。

5.1.3 NEV 法规灵敏性分析

本节在设定市场端和技术端均为中情景的条件下，分别比较新能源规模、NEV 油耗折算、NEV 核算倍数在不同情形下对行业油耗测算的影响。

(1) 设定 NEV 油耗折算为中情景、NEV 核算倍数低情景，比较市场规模对行业油耗测算的影响。以高情景与低情景作为对比，不同情景下 2025 年行业油耗差值达 0.29L/100km，2030 年进一步扩大到 0.38L/100km，详见图 5-3。

(2) 设定 NEV 核算倍数低情景、新能源市场规模中情景，比较 NEV 油耗折算对行业油耗测算的影响。以高情景与低情景作为对比，不同情景下 2025 年油耗差值达 0.22L/100km，而 2030 年则达到 0.98L/100km。这是由于 2030 年 NEV 产量规模扩大造成的，随着 NEV 年产量占比逐渐提升，NEV 油耗折算的影响将逐渐扩大，详见图 5-4。

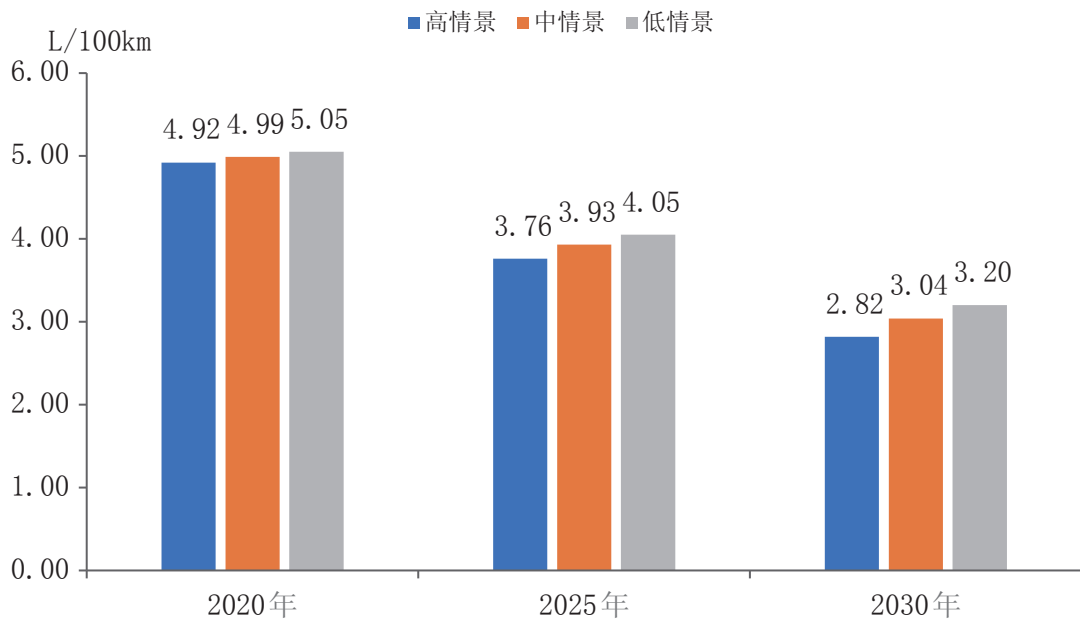


图 5-3 市场结构变化对行业测算的影响

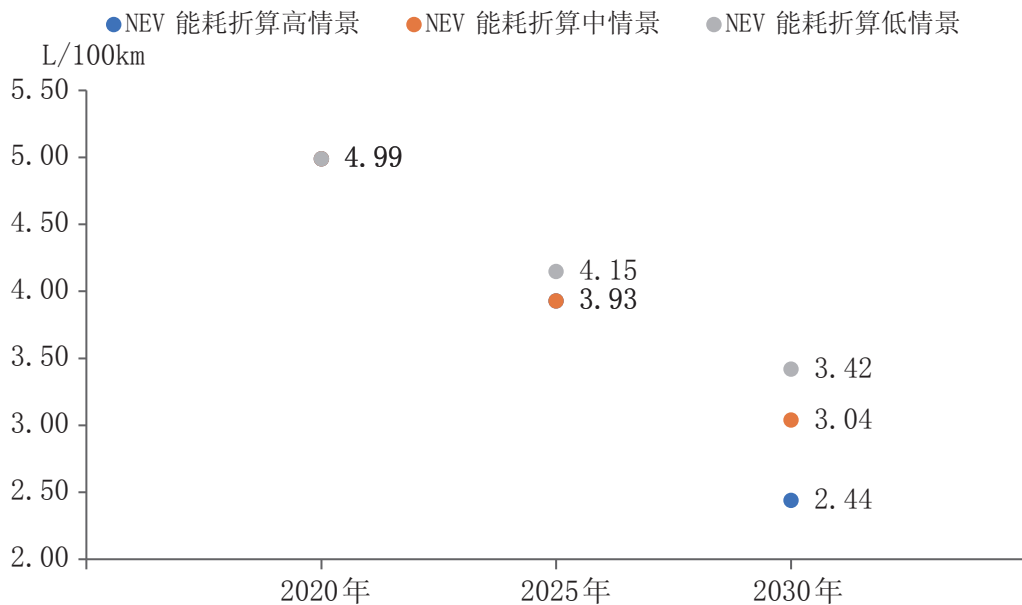


图 5-4 NEV 能耗折算情景差异对行业油耗测算影响对比

(3) 分别设定 NEV 市场结构、NEV 油耗折算双高情景，NEV 市场结构、NEV 油耗折算双中情景，以及 NEV 市场结构、NEV 油耗折算双低情景，比较核算倍数对行业油耗测算的影响。在 2025 年，NEV 双高情景中油耗差距为 0.33L/100km，NEV 双中情景中油耗差距 0.28L/100km，NEV 双低情景中油耗差距 0.24L/100km，详见图 5-5(由于两个 NEV 核算倍数情景中，2020 年和 2030 年核算倍数相同，不再做比较)。

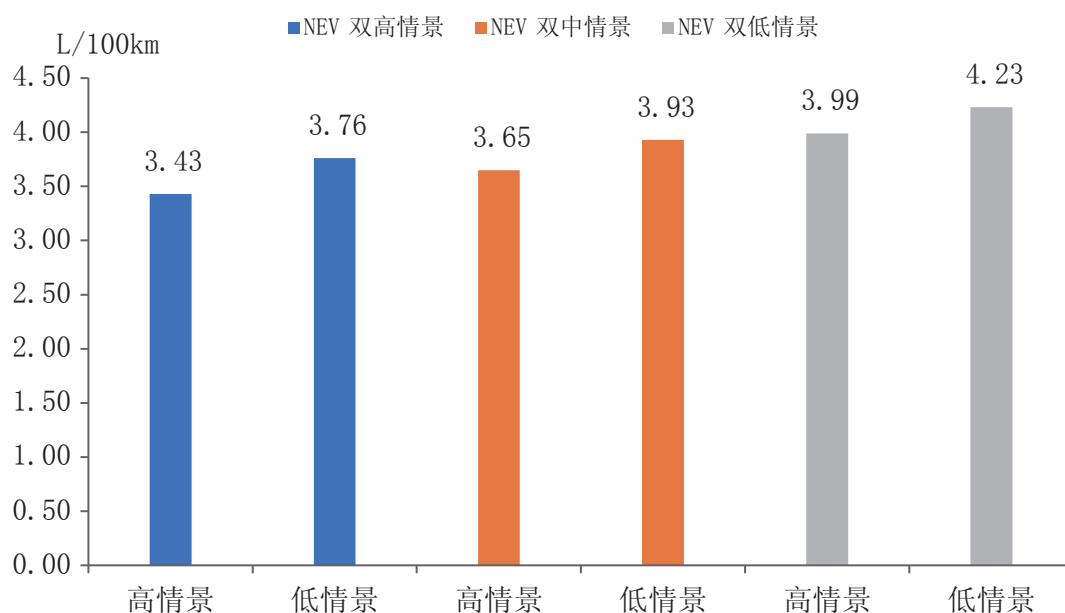


图 5-5 NEV 核算倍数情景差异对 2025 年行业油耗测算的影响

通过图 5-3、图 5-4、图 5-5 三张图的 NEV 多情景油耗差异比较，NEV 市场规模情景和 NEV 核算倍数情景差异对行业平均油耗的影响比较接近，而 NEV 能耗折算对行业平均油耗核算的影响逐渐扩大。五阶段、六阶段 EV 油耗是否仍按 0L/100km，PHEV 油耗是否仍忽略电能消耗，将对行业平均油耗核算产生巨大影响。

5.2 测算结果评估

5.2.1 评估的必要性

随着近些年中国汽车保有量的快速增长，中国车用能源及温室气体排放总量在持续攀升，给国家能源安全及环境带来一定负面影响。

为应对全球气候变化，2015 年中国政府在巴黎气候变化大会上提出四大行动目标：一是 2030 年单位 GDP 的二氧化碳排放量比 2005 年下降 60~65%；二是 2030 年非化石能源比重提升到 20% 左右；三是 2030 年左右实现碳排放达峰并争取尽早实现达峰；四是 2030 年森林蓄积量比 2005 年增加 45 亿立方米。

为落实“2030 年左右实现碳排放达峰并争取尽早实现达峰”这一目标，2016 年 10 月国务院印发《“十三五”控制温室气体排放工作方案》。该《方案》指出，要统筹国内国际两个大局，顺应绿色低碳发展国际潮流，把低碳发展作为我国经济社会发展的重大战略和生态文明建设的重要途径，采取积极措施，有效控制温室气体排放。加快科技创新和制度创新，健全激励和约束机制，发挥市场配置资源的决定性作用和更好发挥政府作用，加强碳排放和大气污染物排放协同控制，强化低碳

引领，推动能源革命和产业革命，推动供给侧结构性改革和消费端转型，推动区域协调发展，深度参与全球气候治理，为促进我国经济社会可持续发展和维护全球生态安全作出新贡献。

汽车使用阶段每年消耗 2 亿吨以上的成品油，产生大量的温室气体，其中乘用车消耗的成品油总量约占汽车消耗总量的一半。随着我国汽车保有量的持续增长，汽车使用阶段的温室气体排放仍然存在持续增加的潜在风险。落实“2030 年左右实现碳排放达峰并争取尽早实现达峰”这一目标需要中国社会各行业包括汽车行业的努力。

5.2.2 中国乘用车能源需求预测模型

车用总油耗的测算方法大致分为两类：第一类采用“车辆保有量 × 燃料经济性指标 × 年行驶里程”的方法；第二类从汽车交通运输量出发，采用吨公里油耗和人公里油耗进行计算。本文采取国内外广泛采用的第一类方法进行研究计算。

第一步是将乘用车保有结构按照车龄进行细分，用到乘用车历史保有量、年销量；第二步是将各车龄保有量乘以各自的燃油经济性数据（百公里油耗），再乘以其年行驶里程数据，求和得到总油耗数据。计算公式如下：

$$Oil_i = \sum_{j=1}^n (VP_{i,j} \times AFE_{i,j} \times VMT_{i,j} \times Den_{i,j})$$

$$AFE_{i,j} = \frac{\sum_{k=0}^{\sigma} (Sales_{i-k,j} \times SR_{k,j} \times FE_{i,j,k})}{VP_{i,j}}$$

其中： i 表示年份； j 表示车辆种类； n 表示车种数量； k 表示车龄； σ 表示车辆可能到达的最长使用寿命； Oil_i 表示 i 年份的车用燃油消费数量（kg）； $VP_{i,j}$ 表示 i 年份 j 类车的保有量（单位：辆）； $AFE_{i,j}$ 表示 i 年份 j 类车的平均燃油经济性（L/100km）； $VMT_{i,j}$ 表示 i 年份 j 类车的年行驶里程（100km）； $Den_{i,j}$ 表示 i 年份 j 类车的燃油密度（kg/L）（汽油取 0.732，柴油取 0.835）； $Sales_{i-k,j}$ 表示 $i-k$ 年时 j 类车的销量（单位：辆）； $SR_{k,j}$ 表示 j 类车在 k 年的残存率； $FE_{i,j,k}$ 表示 i 年份 j 类车在 $i-k$ 年的燃油经济性。在本研究中车辆类型仅包含乘用车。

5.2.3 评估情景设定

本研究将探讨不同的乘用车燃油经济性目标对于车用能源需求量的影响。基于乘用车能源需求预测模型，本文以 5.1 节得出的结论，多情景设定未来乘用车新车燃油经济性水平，从而分析不同燃油经济性发展情景下的车用能源需求。基准情景为 5.1 中的中情景，及本研究认为最有可能发生的情景，规划情景指 2020 年达到 5.0L/100km，2025 年达到 4.0L/100km，2030 年达到 3.2L/100km，高情景和低情景指 5.1 中情景分析中的燃料消耗量最小值和最大值。具体情景设定如下图所示。

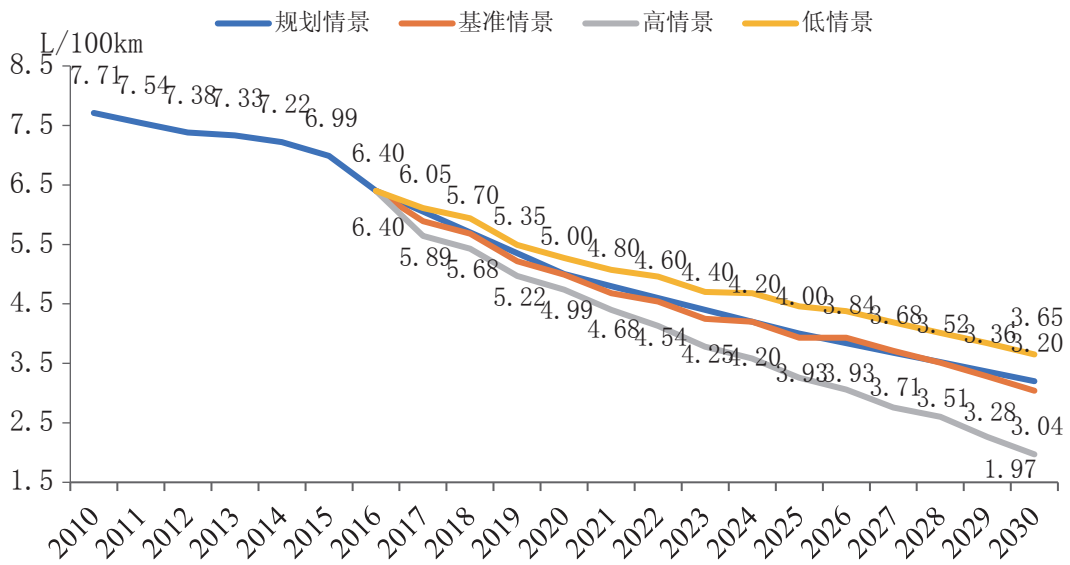


图 5-6 多情景设定未来乘用车新车燃油经济性水平¹⁰

5.2.4 结果分析

在不同的燃油经济性情景假设下，我们可以得到未来每年的乘用车成品油消耗总量。所有的 4 种情景中，乘用车成品油需求总量均在 2023 年左右达到峰值，但是在不同的情景设定中，乘用车成品油需求总量存在较大差异。具体如下图所示。

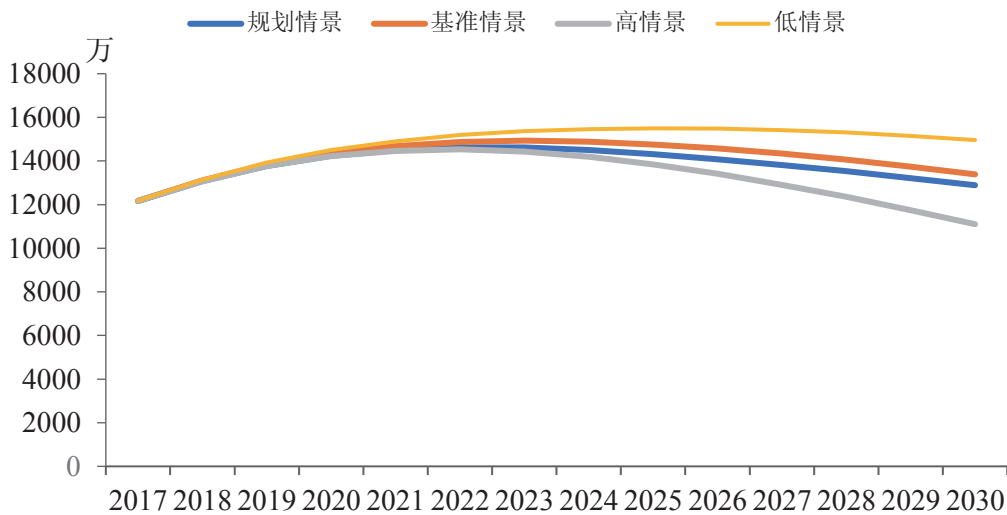


图 5-7 不同单车燃油经济性情景下的乘用车成品油需求预测

¹⁰ 根据国家标准 GB27999-2011 和 GB27999-2014 对核算方案的规定，2015 年及以前的行业平均燃料消耗量不含新能源乘用车，2016 年及以后的行业平均燃料消耗量包含新能源乘用车。

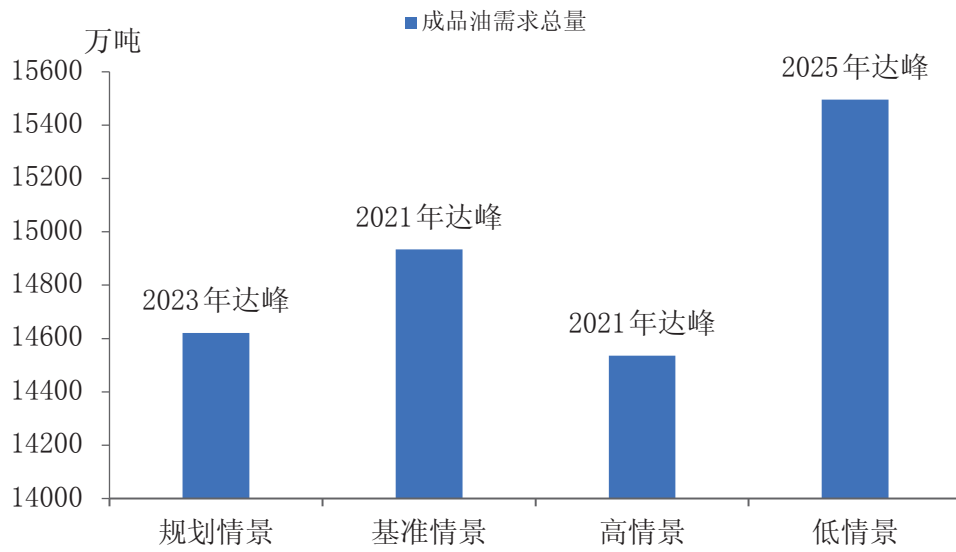


图 5-8 不同单车燃油经济性情景下的乘用车成品油峰值及时间

通过以上分析可以看出，即使单车燃油经济性沿着最恶劣的情景发展，乘用车成品油需求量也会在 2025 年达峰，但是高达 1.55 亿吨的年成品油需求量，将会是我国现有原油生产能力的 1.3 倍，我国原油对外依存度也将持续走高。

第 6 章 结 论

6.1 关键结论总结

本研究在梳理中国乘用车节能现状与趋势的基础上，总结了影响乘用车未来平均油耗走向的关键因素，基于这些关键因素构建了节能潜力分析模型并开发了分析工具。在此基础上，对各影响因素尤其是未来节能技术普及率进行了预测判断，得到不同情景下对应的未来行业节能水平，并给出了最可能发生的情景。具体结论如下：

1) 2009–2016 年，国产传统能源乘用车行业平均油耗年均下降 1.7%，乘用车整備质量、平均功率、尺寸、产品结构等因素都朝着不利于行业平均油耗降低的方向发展。

2) 市场端的产品结构变化，侵蚀了 0.34L/100km 的平均油耗（2015 年与 2009 年对比），现行标准体系及财税政策存在改进空间。

3) 综合考虑 OEM 内在的技术研发规律、消费市场及政策要求，传统能源车最有可能达到的平均油耗水平是 2020 年 5.64L/100km，2025 年为 4.54L/100km，2030 年为 3.92L/100km。

4) 研究得出了传统能源汽车节能技术列表及未来技术普及率预测曲线。

5) 考虑新能源汽车后，行业未来最有可能的平均油耗水平是 2020 年 4.99L/100km，2025 年为 3.931L/100km，2030 年为 3.04L/100km。

6) 通过新能源法规对于行业平均油耗影响的灵敏度分析可以发现，2025 年新能源汽车规模、电能折算方式以及核算放大倍数的不确定性分别会对行业平均油耗造成 0.29L/100km、0.22L/100km 以及 0.3L/100km 左右的影响。

7) 无论在哪一种情景下，乘用车总的成品油消耗及 CO₂ 排放都将在 2030 年前达峰，只是达峰的时间及峰值有所不同。

6.2 政策启示

(1) 研究结论与规划目标的差异性。在综合考虑 OEM 内在的技术研发规律、消费市场及政策要求的基础上，本研究得出的 2020、2025 及 2030 年行业平均油耗是可以达到相关政策规划里提出的 2020 年 5.0L/100km，2025 年 4.0L/100km 以及 2030 年 3.2L/100km 的行业油耗目标的。

行业油耗目标的实现，仍需要行业主管部门从行业管理政策、财税政策等方面，加大政策力度，引导节能汽车及新能源汽车的发展。

(2) 市场结构与趋势需要有效引导。乘用车大型化、高功率化的趋势大量蚕食节能技术进步带来的成果，建议从财税政策、油耗标识、官方发布油耗年度趋势报告等手段，加大消费市场宣传力度，引导消费者绿色节能消费。

(3) 现有政策存在改进空间。诸如标准中的阶梯型曲线等，存在一定的改进空间。

(4) 企业平均燃料消耗量体系中的新能源汽车相关规定需要谨慎。新能源汽车规模、电能折算方式以及核算放大倍数的不确定性对行业平均油耗造成的影响大多处于0.3L/100km左右，尤其是电能折算方式，对于行业平均油耗的影响达到1.01L/100km。在CAFC体系下，新能源汽车的相关规定不但影响未来行业平均油耗水平，同时影响传统能源汽车的油耗要求，因此需要谨慎对待和科学评估。

6.3 下一步工作展望

由于本课题研究过程中，随着研究进程的深入，课题组发现一些亟待解决的问题：

从总能耗测算角度来看，乘用车在2030年前原油消耗和CO₂排放达峰已不存在太大问题，但占车用能源消耗一半左右的商用车节能仍存在较大潜力，其技术水平也与国际水平存在较大差距。如何设计有效的商用车节能管理政策，是课题组下一步需要研究的问题之一。

目前对于新能源乘用车未来市场规模的预期，政策制定者与工业界存在一定的分歧。如何科学合理预判未来不同技术类型NEV的规模，是课题组下一步需要着重解决的问题。

附 录

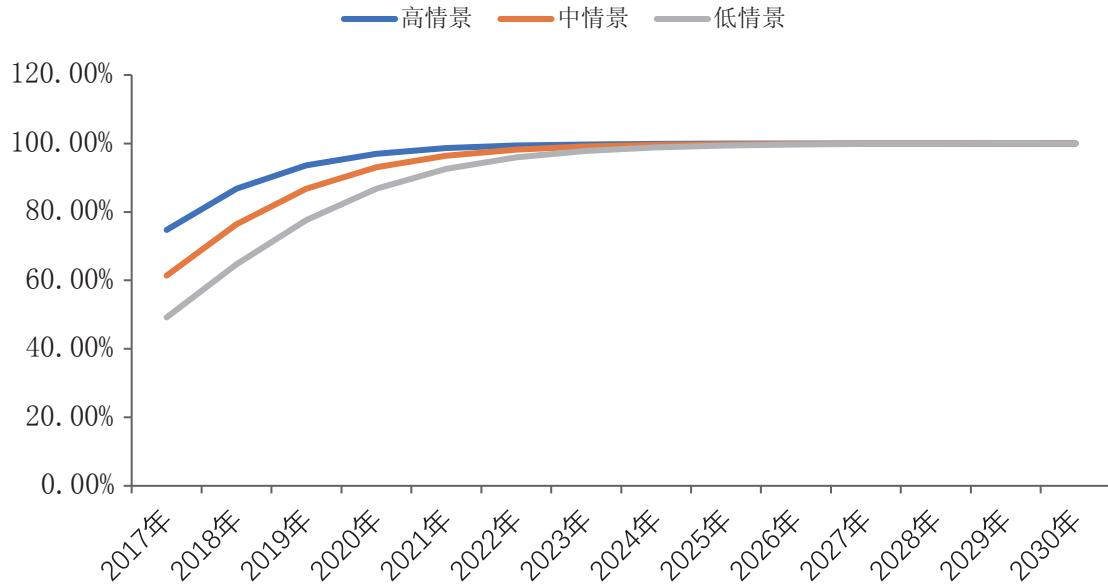
附录 A：技术调研信息表

附表 1 技术调研信息表

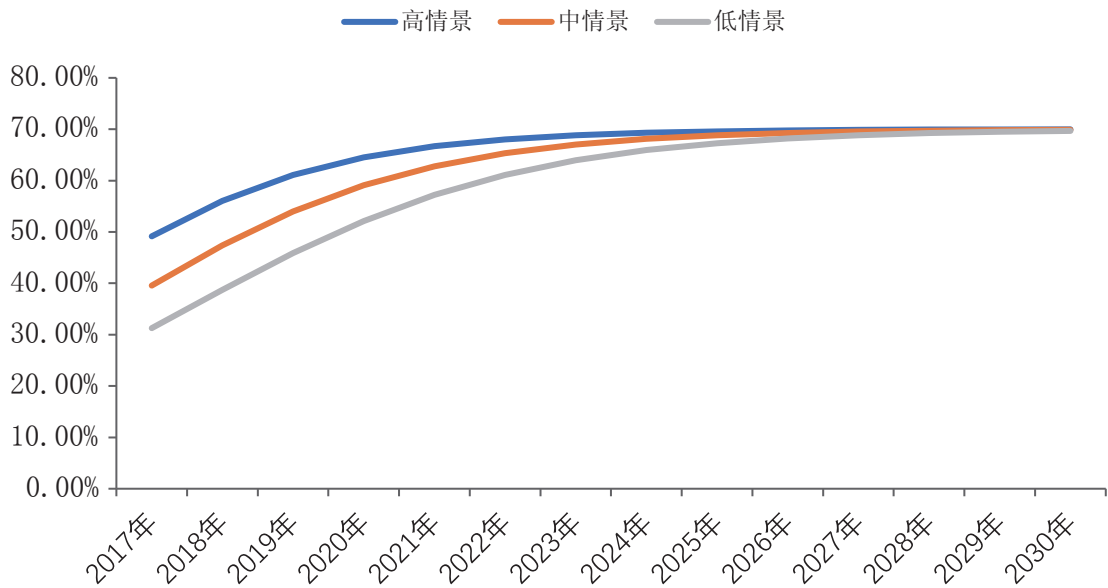
序号	技术分类	技术名称	升级成本	节油效果	动力性能评价	NVH 评价 (震动噪音)	操控性评价	NEDC 应用前景	M 评估值
1	发动机	VVT(DOHC)							
2		缸内直喷							
3		涡轮增压							
4		C-EGR							
5		米勒循环							
6		停缸							
7		热管理							
8	变速器	6MT 及以上							
9		8AT 及以上							
10		6DCT 及以上							
11		CVT							
12	电气系统	电动助力转向							
13		高效电附件							
14		怠速起停							
15		制动能量回收							
16		48V 系统							
17		非插电式混合动力							
18	渐进式技术	减少摩擦							
19		减少风阻							
20		低滚阻轮胎							

附录 B：节能技术渗透率预测图

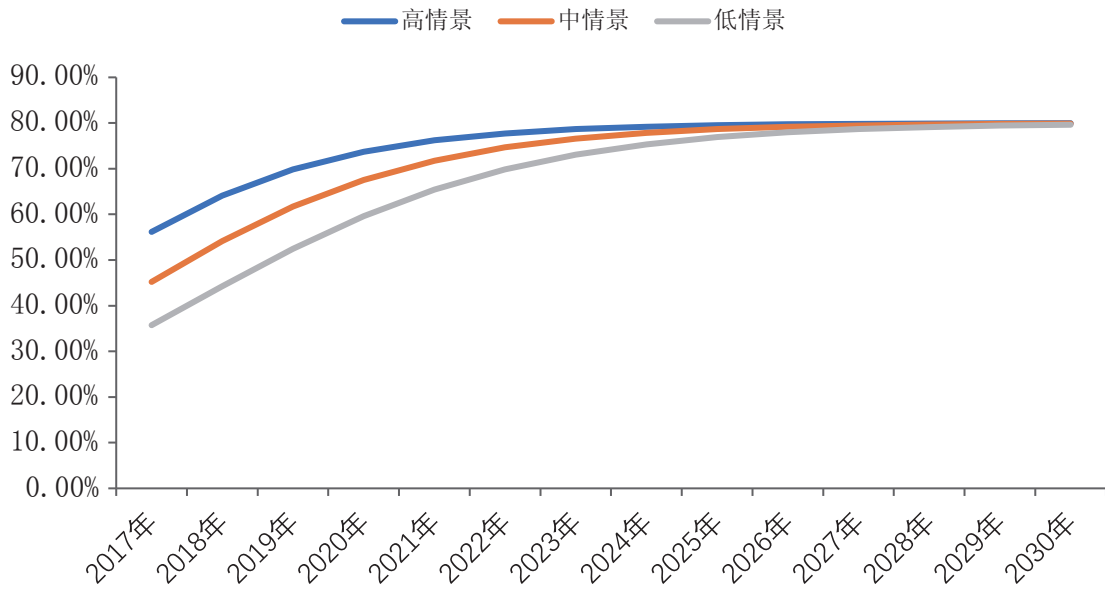
1. 发动机技术



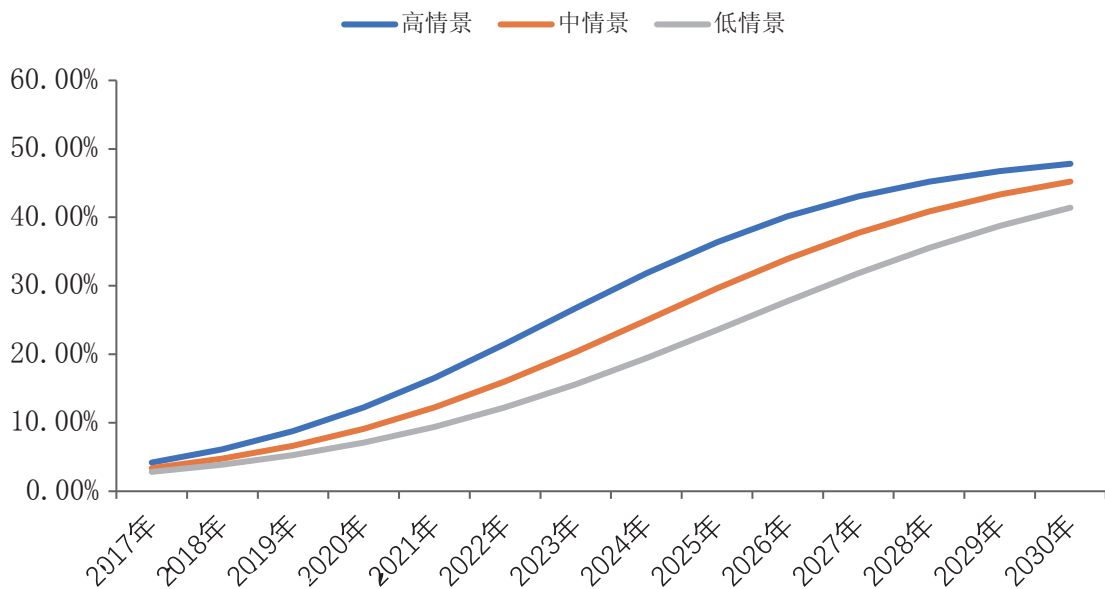
附图 1 VVT (DOHC) 渗透率预测图



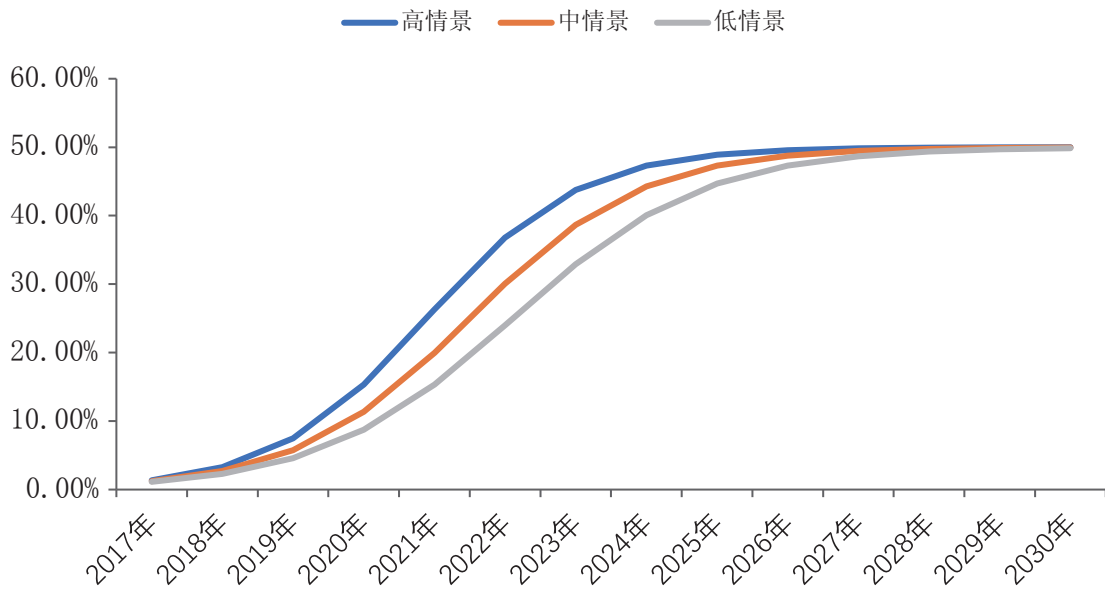
附图 2 缸内直喷渗透率预测图



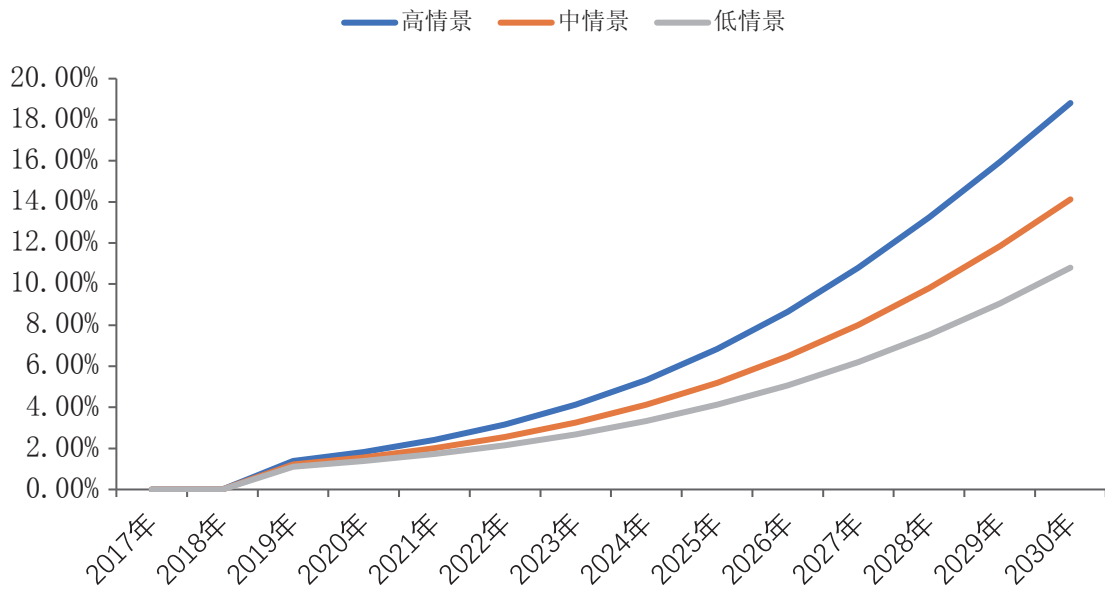
附图3 涡轮增压渗透率预测图



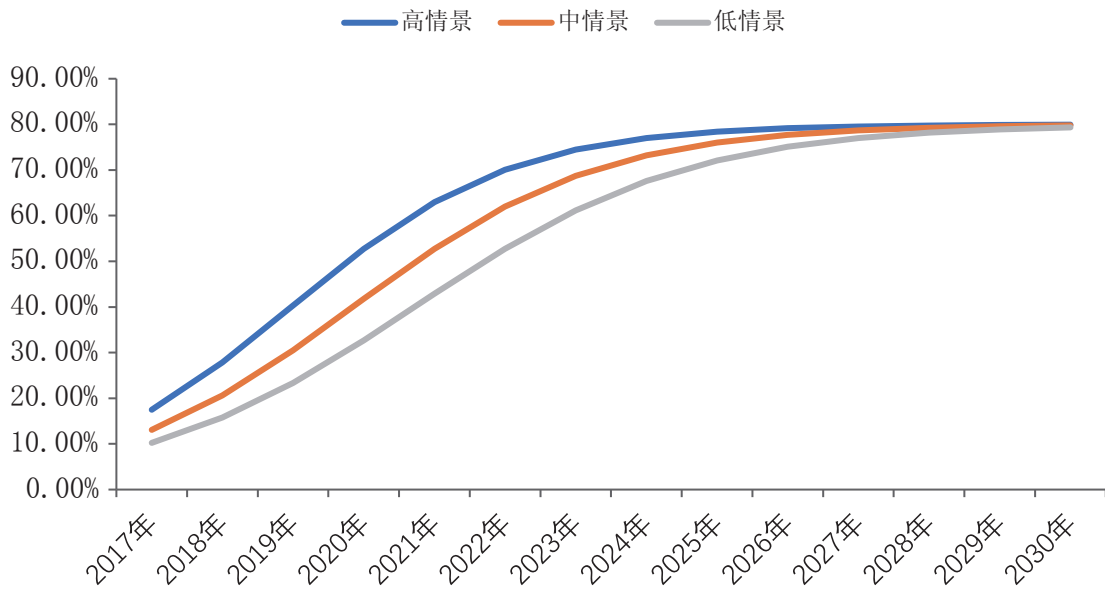
附图4 废气循环冷却渗透率预测图



附图 5 米勒循环渗透率预测图

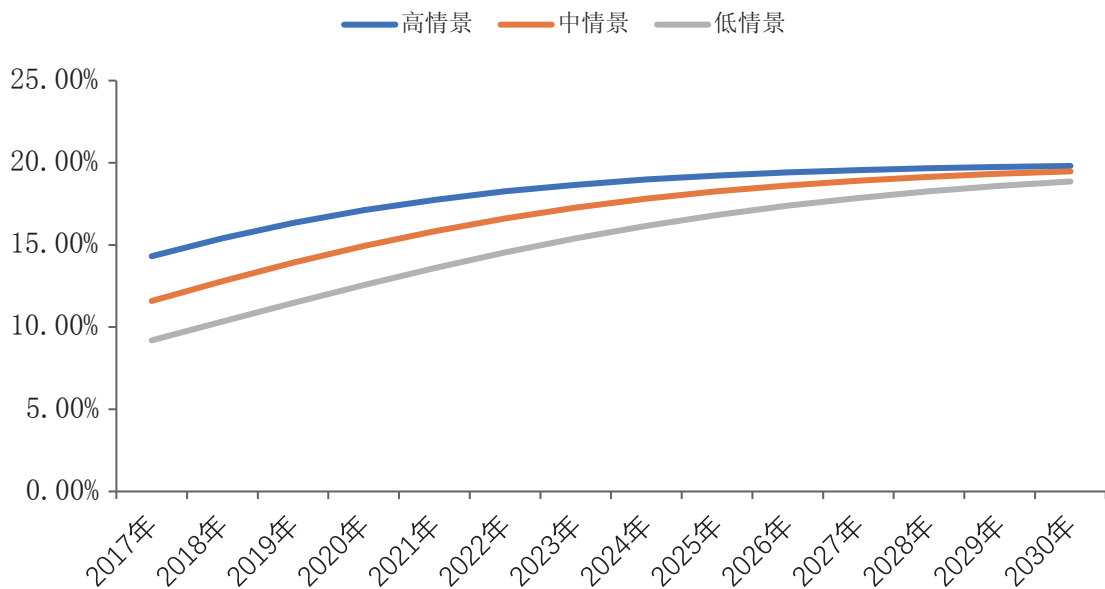


附图 6 停缸渗透率预测图

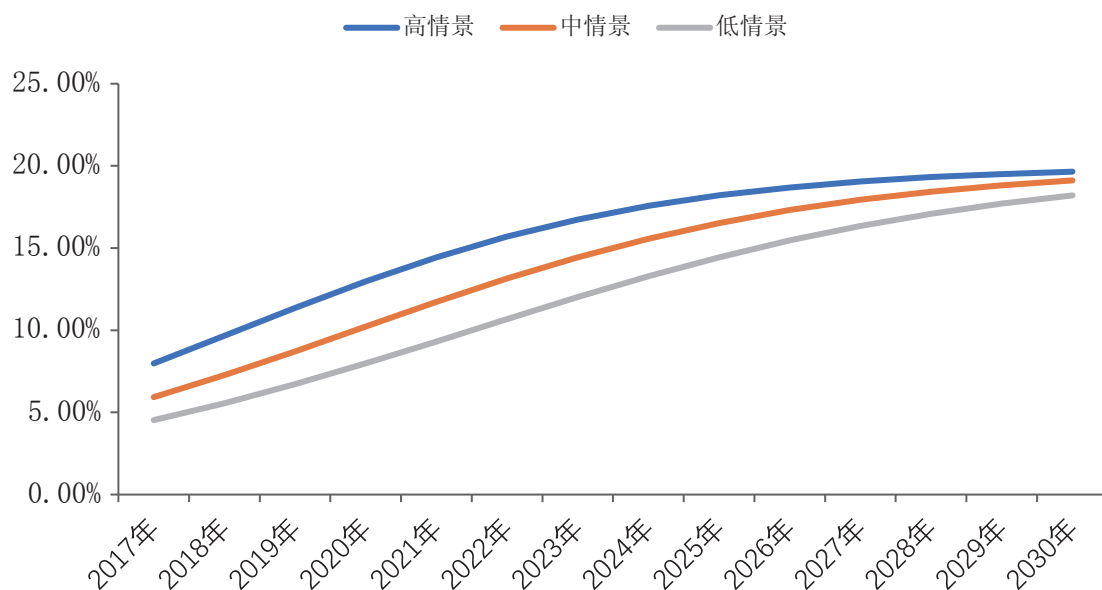


附图 7 能量管理渗透率预测图

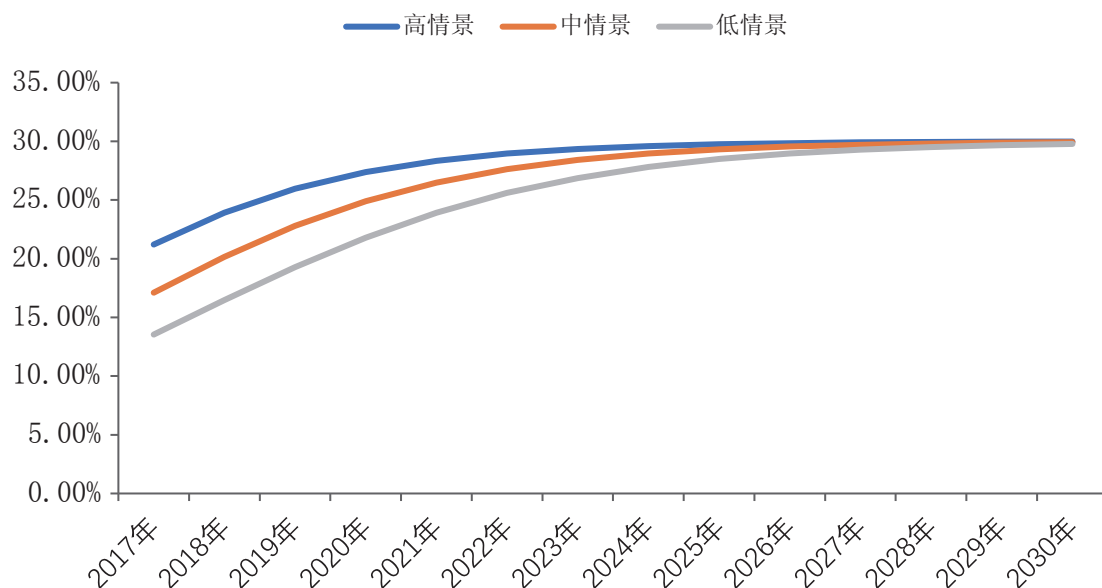
2. 变速器技术



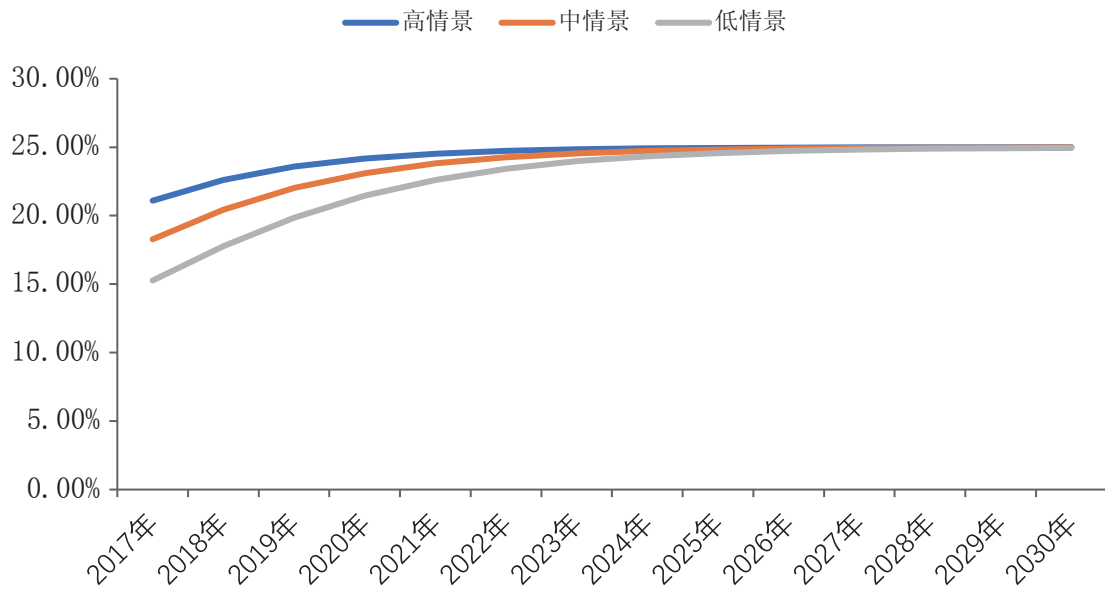
附图 8 6 档及以上 MT 渗透率预测图



附图9 8档及以上AT渗透率预测图

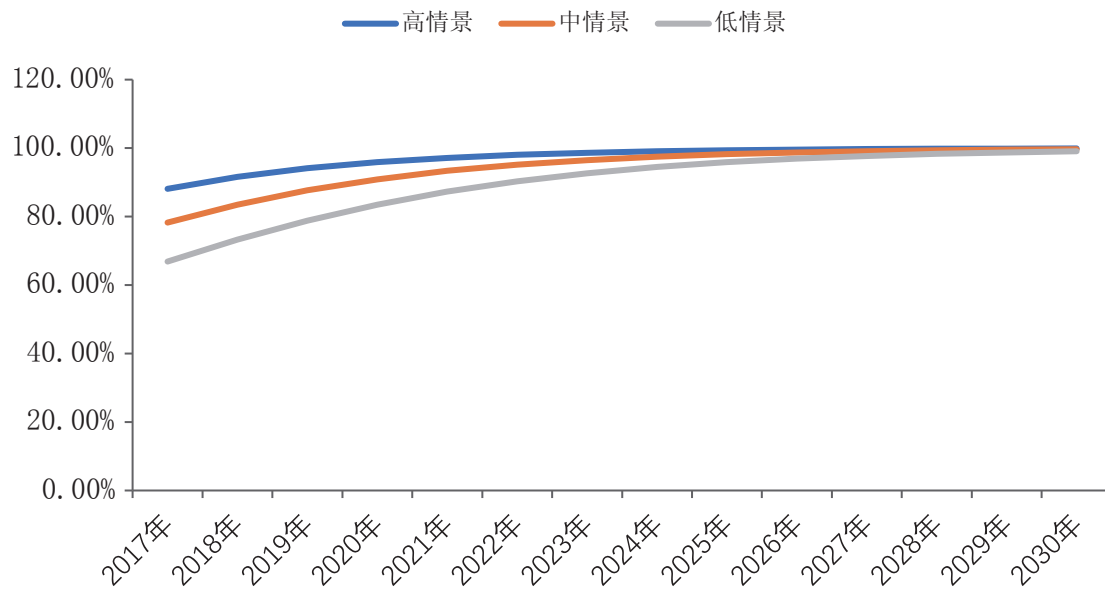


附图10 6档及以上DCT渗透率预测图

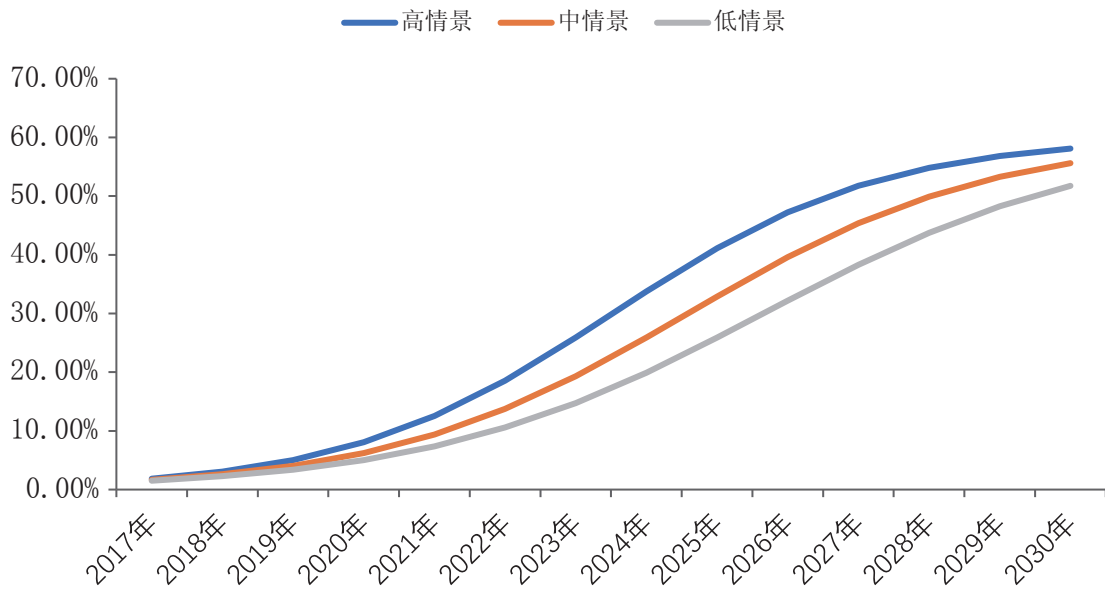


附图 11 CVT 渗透率预测图

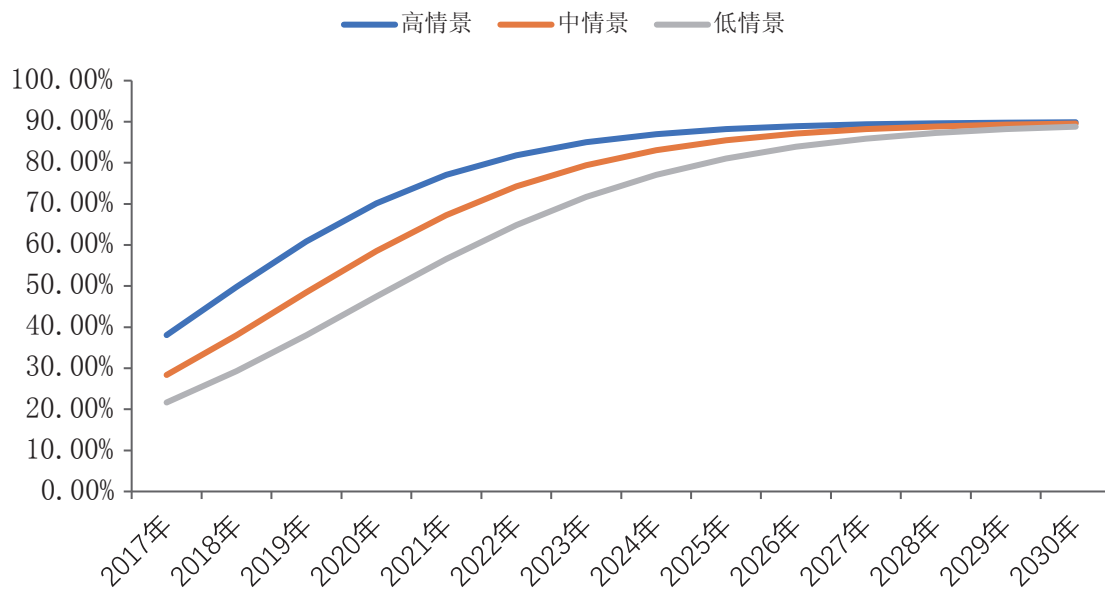
3. 电子电器技术



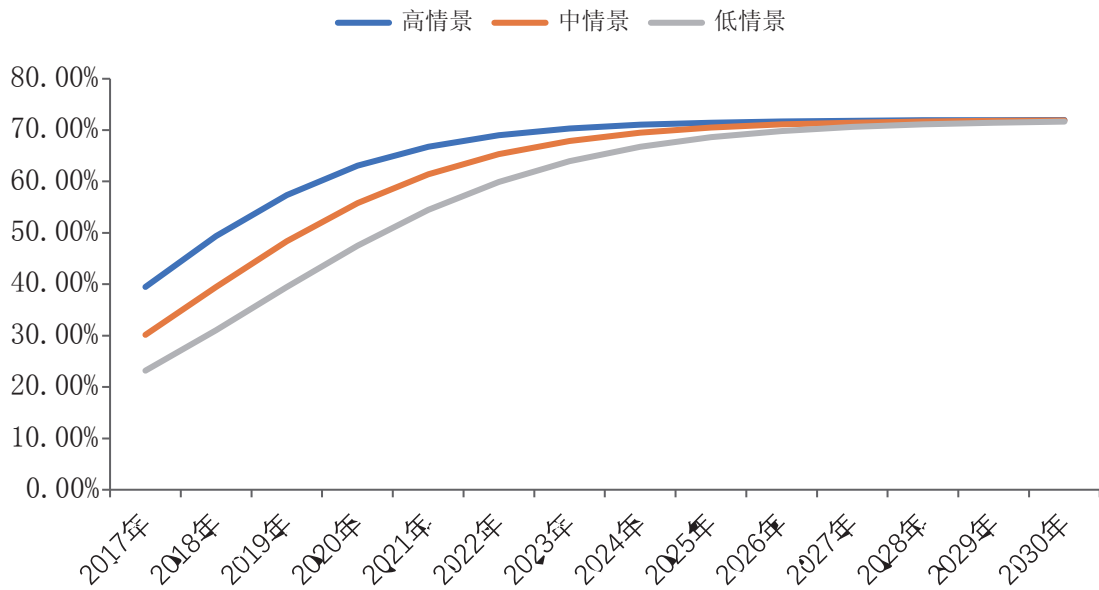
附图 12 电动助力转向渗透率预测图



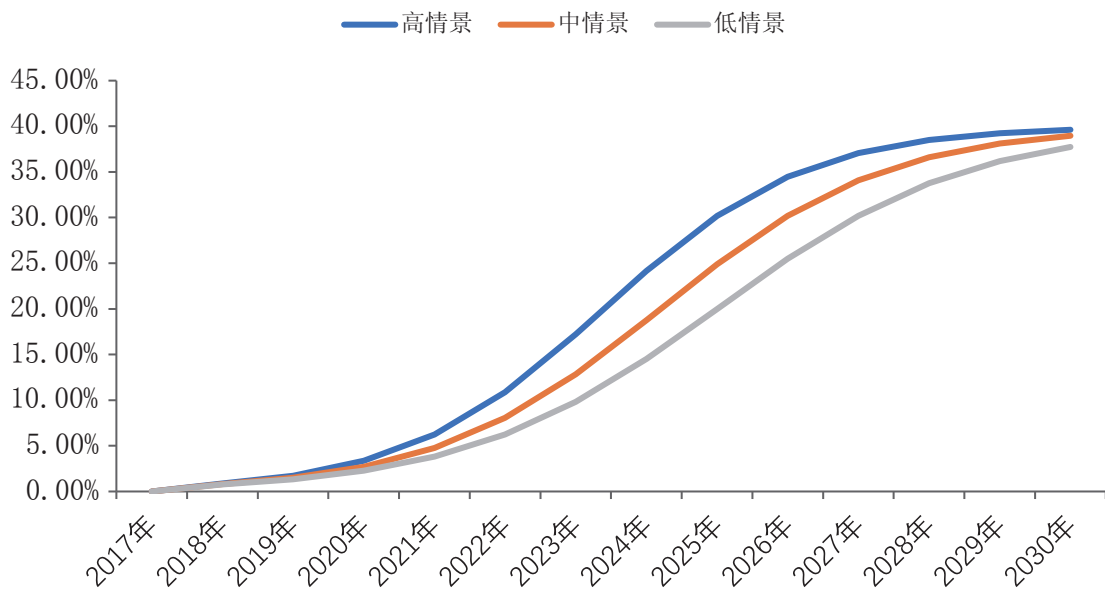
附图 13 高效电附件渗透率预测图



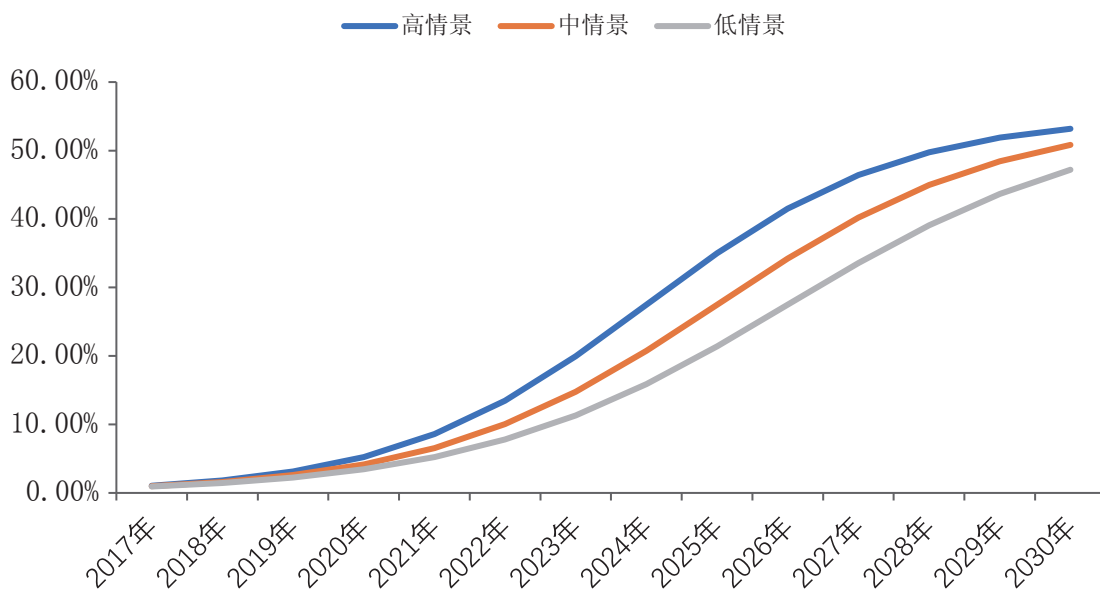
附图 14 急速启停渗透率预测图



附图 15 制动能量回收渗透率预测图

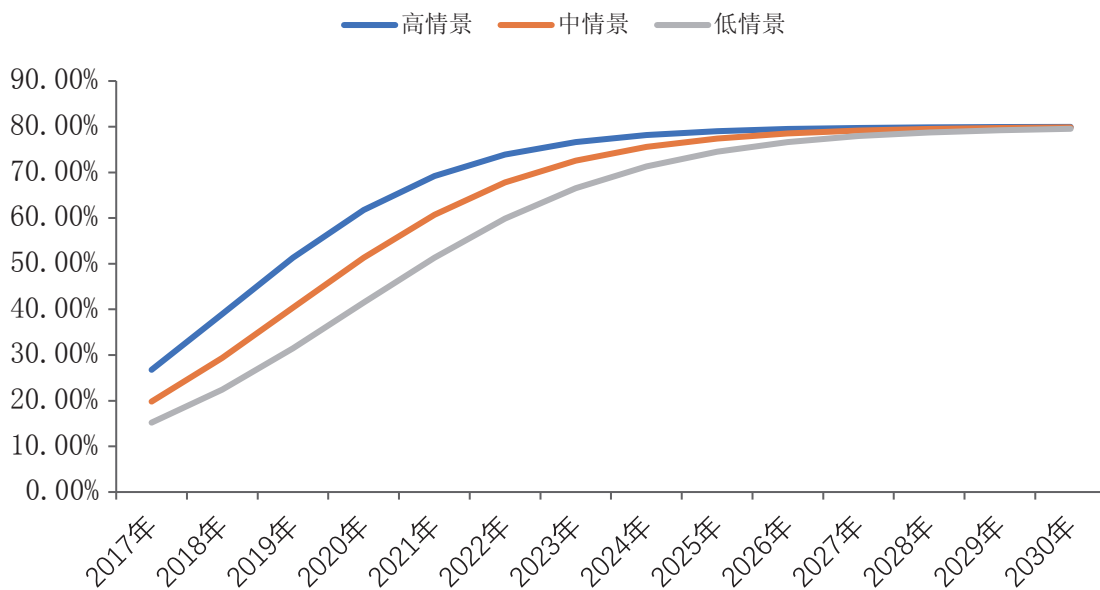


附图 16 48V 系统渗透率预测图

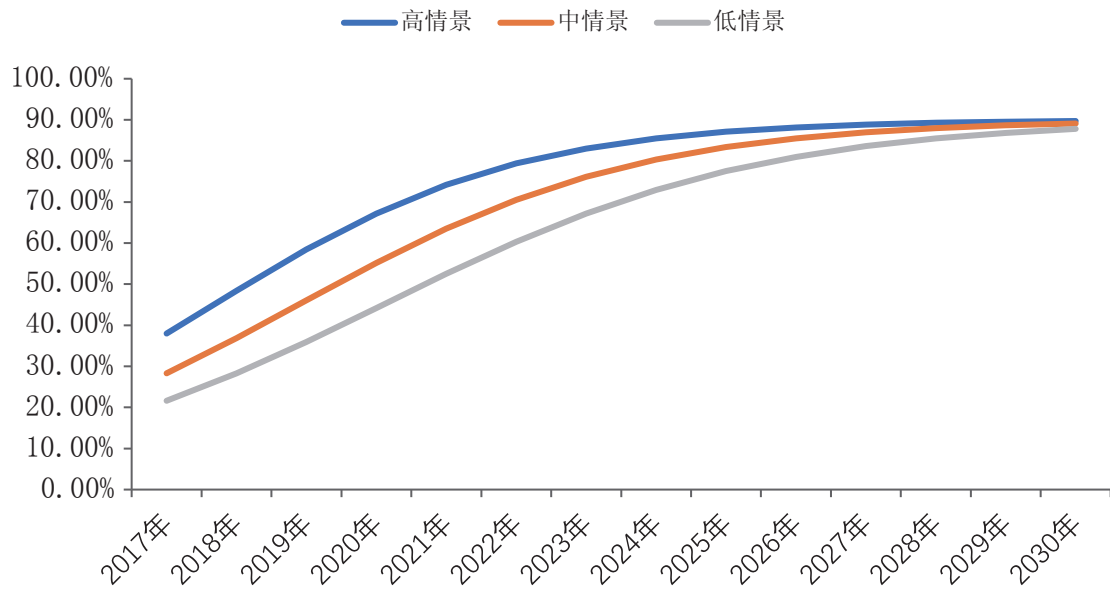


附图 17 非插电式混合动力渗透率预测图

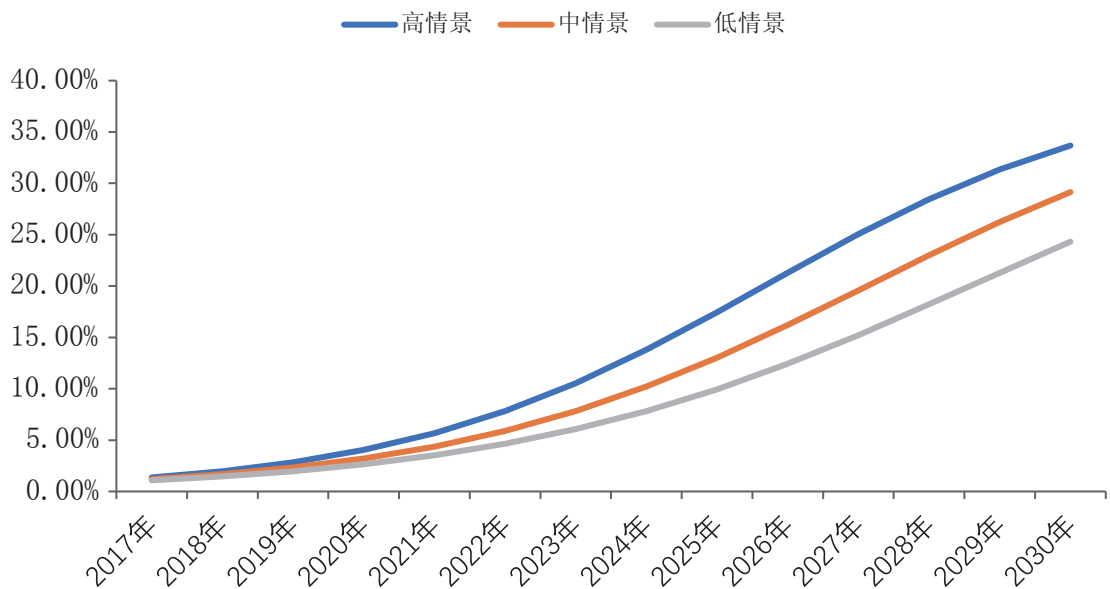
4. 渐进式技术




附图 18 减少摩擦技术进步效率预测图



附图 19 减少风阻技术进步效率预测图



附图 20 低滚阻轮胎技术进步效率预测图



中国乘用车中长期 节能潜力与路径研究 结题报告

Report on China Passenger Car's Medium and Long-term
Energy Saving Potential and Path Research