

从中、美、欧盟2020-2025乘用车油耗标准严格程度与中美节油技术比较看中国2020年新乘用车平均油耗标准的可行性

作者：何卉，Anup Bandivadekar

日期：2013年8月

关键词：中国，技术渗透，油耗标准，技术成本曲线

背景

在国务院2012年发布的《节能与新能源汽车产业发展规划2012-2020》（下称发展规划）中，中国明确将推动汽车产业优化升级、提高节能技术创新能力、实现由汽车工业大国向强国的转变作为我国汽车工业今后十年发展的指导思想¹。为推动节能技术与车辆燃料经济性的显著改善，发展规划提出到2020年，新增乘用车平均燃油消耗目标达到5L/100km。但是最近一些汽车企业对该油耗目标是否太过严格提出了质疑，具体意见集中在实现该目标的技术可行性、未来技术选择和成本方面。

在此背景下，本文总结了美国满足2025年轻型车温室气体和燃油经济型标准的技术路径，并比较了中美标准的严格程度和近期技术趋势。中国提出的2020年乘用车油耗目标在绝对值上与美国2020年乘用车燃油经济性目标接近，但由于美国车型更大更重、动力等性能更高，美国车辆达标所面临的技术挑战比中国更严峻。因此美国联邦环保署（EPA）和国家高速公路交通安全管理局（NHTSA）所认同的合理标准严格程度和对应的达标技术路径对中国具有较强的参考意义，并从侧面说明中国的标准严格程度是合理的，技术和成本上都是可行的。最后，我们分析了中美乘用车队节油技术发展趋势的差异，并阐述了这种差异主要来源于是否有明确、严格的中长期节油目标作为技术发展推动力。这也有力地说明了中国需要尽早制定2020年乘用车油耗标准以实现5L/100km目标，并考虑研究颁布更长期的节能目标（2025-2030）。

1 国务院《节能与新能源汽车产业规划2012-2020》，国发〔2012〕22号

作者 何卉是国际清洁交通委员会（ICCT）政策分析员、中国项目带头人。
Anup Bandivadekar是ICCT乘用车项目主任。

深入比较中、美、欧盟乘用车油耗标准的严格程度

在比较不同地区的标准时，政策制定者们往往最关注各地车队油耗目标的绝对值。但是，中、美、欧盟三地乘用车属性差别很大，这种情况下油耗目标所要求的车队年改善率是衡量三地标准严格程度的另外一把标尺。本节通过两种方法比较了中美标准的严格程度：油耗目标的绝对值和平均年改善幅度。

目标绝对值比较

中国目前的第3阶段乘用车油耗标准预计在2015年新乘用车平均油耗达到6.9L/100km，发展规划中提出了到2020年前车队平均油耗达到5L/100km。在接下来的比较中，我们把这些标准值作为汽油车标准值，不考虑电动车和其他灵活性达标方式。

美国在2010年5月和2012年8月分别颁布了2012-2016年和2017-2025年两个阶段的轻型车燃油经济性标准和温室气体标准。表1给出了各年的两套标准值，其中NEDC油耗标准值为由CAFE工况下的燃油经济性标准转换而来，工况转换方法见附件1。这组燃油经济性目标值没有考虑灵活燃料车（包括电动车）、以及空调能效提高的CAFE达标灵活性配额。也就是说，这组目标值完全是对汽油车能效提高的要求，因此与中国的油耗标准具有可比性。

美国轻型机动车不仅包括重量不超过8500磅（3855.5千克）的轿车，也包括质量不超过10000磅（4536千克）的轻型卡车（四轮驱动SUV、厢式货

车、轻型皮卡等）。大约一半²在美国环保署定义下的轻型卡车在中国都被归为商用车。因此，仅选择美国的轿车与中国的乘用车进行比较更为合理。即使如此，美国轿车平均而言发动机排量是中国乘用车的1.5倍，尺寸比中国乘用车大11%、质量比中国乘用车重25%、功率比中国乘用车高65%（表2给出基准年2010年车队各参数平均值），而美国2015年和2020年的燃油经济性标准在转化成与中国相同的NEDC工况下油耗标准之后分别为7.4和5.5升/百公里（表1中红色字体），仅比中国的标准宽松了7–10%。

表1. 美国轿车、轻型卡车和整体轻型车队各年油耗和温室气体标准

MY	油耗标准 NEDC L/100km			温室气体标准 CAFE g/mile		
	轿车	轻卡	车队	轿车	轻卡	车队
2012	8.1	11.0	9.2	263	346	295
2013	7.8	10.7	8.9	256	337	286
2014	7.6	10.3	8.6	247	326	276
2015	7.4	10.0	8.3	236	312	263
2016	7.2	9.7	8.0	225	298	250
2017	6.5	9.0	7.4	212	295	243
2018	6.2	8.7	7.1	202	285	232
2019	5.8	8.2	6.7	191	277	222
2020	5.5	7.8	6.3	182	268	213
2021	5.3	7.4	6.0	172	249	199
2022	5.1	7.2	5.8	164	237	190
2023	5.0	7.0	5.7	157	225	180
2024	4.9	6.8	5.5	150	214	171
2025	4.7	6.6	5.3	143	203	163

注：美国车队的燃油消耗目标是从高速公路安全管理局的标准中转化而来。这些数据与EPA制定的温室气体目标不完全对应。其中主要的不同在于环保署考虑到测量空调系统中非CO2 温室气体的减排，而高速公路安全管理局没有制定相对应的标准。而且，这组燃油经济性目标值没有考虑灵活燃料车（包括电动车）的CAFE配额。也就是说，这组目标值完全是对汽油车能效提高的要求。

信息来源：联邦环保署，2012–2016年和2017–2025年最终标准法规

欧盟于2009年底发布了首个针对新乘用车二氧化碳排放的强制性标准(EC) 443/2009, 规定了以整备质量为依据的线性标准曲线，和2015年及2020年全体车队的平均目标值：分别是130克/公里和95克/公里。2013年4月，欧盟环境委员会通过了一项针对2020年以后标准的初步提案³（改提案仍须其他两个委员会投票决定最终通过与否），提出了2025年车队平均标准的范围在68–78克/英里。虽然该法规赋予了电动车激励乘数，但同时规定各企业在2020年及以后标准达标时最多可利用电动车激励乘数抵销2.5克/公里的公司平均目标值。因此，即使我们假

设所有企业都最大程度地利用电动车乘数这一达标灵活性（即所谓的最差情景），整体车队的实际目标值最高也就是97.5克/公里（2020年），和70.5–80.5克/公里的范围（2025年）。在将欧盟的二氧化碳排放标准换算成油耗标准时，我们按照这一“最差情景”计算油耗目标值。

并且，因为欧盟乘用车中约一半为柴油车，我们单独计算了汽油乘用车须承担的标准值。欧盟汽油车虽然略轻、略小于中国乘用车，2015年和2020年油耗标准分别为5.6和4.2升/百公里，比中国相应年份的标准严格了约19–16%。

标准年改善率比较

本小节旨在比较中、美、欧盟三地2015、2020和2025年标准所要求的车队年均改善率。在比较三地具体数据之前，一个政策制定者们关心的问题是什么样的年改善率要求是合理的。虽然EPA和NHTSA没有绝对的定论，但在2017–2025年标准制定的早期技术支持文件中，认为年改善率在3–6%的范围内都是合理的，并在当时提出了分别对应3%、4%、5%和6%年改善率的2025初步目标值⁴及粗略的技术路径。欧盟环境委员会最新的提案中拟议的2025年标准值范围也在3–5%的年改善率要求之间。

美国的2025年标准最终确定的目标值所要求的该标准执行年份以内（即2017–2025年）的年改善率要求为4.3%（油耗标准）。注意这和我们表2中年改善率数值不同。这是因为EPA和NHTSA在制定2025年标准时无法预计未来的车队油耗水平，因而假设车队在2016年（即2017–2025年标准实施前期）达到2016年标准水平。因此这一年改善率反映了两个机构对车队年改善幅度的初始意图。表2的数据是从基准年份的实际值算起，更能反映真实的年改善率要求。综上所述，年改善率在3–6%之间都可以视为合理的。

表2的最上方几行比较了基准年(2010年)相关车队的各项参数平均值（按销量进行的加权平均）和平均油耗水平，中间几行比较了各地2015，2020和2025年油耗标准所要求的相对于基准年的年平均改善率要求，最下面几行则比较了各地2015、2020和2025年温室气体标准所要求的年平均改善率。如前文提及的原因，我们仅拿欧盟汽油车、美国轿车与中国乘用车相比。

2 由EPA2010年轻型车数据库中算出约46%的轻型卡车应属于中国轻型商用车范畴。

3 欧洲议会：http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/envi/dv/934/934197/934197en.pdf

4 联邦环保署和交通部关于2017–2025车型年轻型车燃油经济性和温室气体标准的联合意向书，2010年9月。<http://epa.gov/OMSWWW/climate/regulations/ldv-ghg-noi.pdf>

从油耗标准和其年改善率要求的比较来看，中国达到2020年油耗标准的年改善率要求（4.2%）⁵比欧盟汽油车（3.9%）和美国轿车（3.8%）的年改善率要求稍高，但仍在美国EPA、NHTSA和欧盟政策制定者认为合理的范围内。

表2. 中、美、欧三地车队平均特征指标和油耗目标年改善率比较

	欧盟汽油乘用车	美国轿车	中国乘用车
基准年（2010）水平			
发动机排量（L）	1.4	2.6	1.7
整备质量（kg）	1,172	1,604	1,280
脚印面积（m ² ）	3.75	4.22	3.79
功率（kW）	77	142	86
CO ₂ 排放（g/km）	145	170	180
燃油消耗（NEDC L/100km）	6.2 ^[1]	8.0	7.7
油耗目标和年改善率			
2015（NEDC L/100km）	5.6 ^[2]	7.4	6.9
2020（NEDC L/100km）	4.2 ^[2]	5.5	5
2025（NEDC L/100km）	3–3.4 ^[2]	4.7	无
2010–2020年均油耗减低%	3.9%	3.8%	4.2%
2010–2025年均油耗减低%	3.8–4.7%	3.5%	无
温室气体目标和年改善率			
2015（g/km）	130	147	161
2020（g/km）	97.5	113	117
2025（g/km）	70.5–80.5	89	无
2010–2020年均GHG减排%	3.9%	4.0%	4.2%
2010–2025年均GHG减排%	3.8–4.7%	4.2%	无

注：[1] 2010年欧盟汽油车CO₂和油耗值由ICCT欧洲数据库计算得出。
[2] 我们用汽油的二氧化碳含量因子（2337克 / 升）将二氧化碳标准换算成油耗标准（例：130克 / 公里 = 5.6升 / 百公里 = 130 ÷ 2337 × 100），从而得出汽油车分担的油耗标准。

数据来源：
美国基准数据：联邦环保署，轻型车温室气体减排和燃油经济性趋势报告：1975–2012
美国目标：联邦环保署，2012–2016年和2017–2025年最终标准法规
中国基准数据：国际清洁交通委员会2012，《中国新乘用车既有技术应用情况分析》与《中美车队比较》，中国汽车技术研究中心（仅2010油耗数据）：《中国乘用车油耗和技术状态报告》第81页
中国目标：国务院《节能与新能源汽车产业规划2012–2020》，国发[2012] 22号

从温室气体标准和其年改善率要求的比较来看，美国的温室气体年改善率要求比其油耗年改善率要求要高。主要原因是美国除了要求对车辆本身能效的改善，还鼓励企业使用低全球变暖潜能值（GWP）的空调制冷剂，从而进一步削减车辆温室气体排放。因我们之前假设中国的2020年5升 / 百公里的标准不包含任何达标灵活性，因此中国温室气体标准值由5升 / 百

公里直接转换。中国2020年油耗目标的当量二氧化碳目标值要求的年改善率幅度虽然较大（4.2%），但与美国的要求（4%）非常接近。

本文第三节分析了美国和中国乘用车目前的技术状态，美国车辆技术上已经比中国车辆先进了不少。换句话说就是美国的起点比中国高，那么要达到与中国相仿的年改善率，其实面临的技术挑战比中国的大。

本节结论是：中国的2020年乘用车标准，即新汽油车车队平均油耗达到5升 / 百公里，无论是从绝对值的严格程度还是从年改善率要求的相对严格程度都与美国和欧洲的同期标准相仿，因而是合理、可行的。

实现美国2025目标所需技术，其节油潜力、成本和技术路径

单项技术节油潜力和成本

EPA和NHTSA对实现2025温室气体和燃油经济性目标所需的技术、提高效率的潜力（或降低温室气体和油耗的潜力）和增加的成本（表3）进行了全面的评估，采用的方法包括全球最先进的汽车技术仿真模型和通过硬件拆解进行成本研究（详见附件2），这也是汽车企业在使用的技术和成本分析方法。除此以外，两家机构还对技术文献进行了广泛的收集、整理和研究，并与厂商和主要供应商进行了一对一的访谈，这些信息（包括一些企业机密信息）都对以上的分析进行了有效补充。因此，与企业自己提供的信息相比，EPA和NHTSA的评估结果可信度高且客观透明，更能真实地反应技术收益与成本。

对于一些技术而言，其节油或CO₂减排潜力和成本和车辆大小、车型用途是成比例的。两家机构分析了美国市场上7个主要的轻型机动车类别。因本文篇幅有限，我们没有列出所有车辆类别的技术节油潜力和成本，表3只列出了与中国主流车型比较接近的小型轿车和大型轿车的技术节油潜力和小型车的增量成本，没有包含厢式货车和轻型卡车（这些仅在美国市场常见的车型）的信息。

5 与美国两个阶段间较为连贯的年均提高幅度相比，中国2015年的标准只要求在2010年的水平上提高很小的幅度（2.2%），而在接下来的2015到2020年间要求的提高幅度大幅上涨（6.2%）。换言之，中国2015年的目标较为“容易”，而显得2020的目标挑战性大。基于中国2010年新乘用车车队7.7 L/100km的平均油耗，达到2020目标的年均提高幅度为4.2%。

表3. 美国考虑的温室气体和节油技术及其效率收益与成本

技术	节油率 / CO2 减排率(占基准车辆%) ^[1]		2017年小型轿车总成本 ^[2]	2025年小型轿车总成本
	小型轿车	大型轿车	2010\$	2010\$
发动机技术				
低摩擦润滑剂	0.6	0.8	4	4
发动机减阻（1级）	2	2.7	44	43
发动机减阻（2级）	3.5	4.8	97	93
汽缸停缸	n. a.	6.5	196	160
可变气门正时技术 - 进气门	2.1	2.7	46	39
可变气门正时技术 - 双气门耦合	4.1	5.5	46	39
可变气门正时技术 - 双气门	4.1 ^[3]	5.5 ^[3]	95	78
间断的可变气门升程/正时	4.1 ^[4]	5.6 ^[4]	163	133
持续性可变气门升程/正时	5.1	7	244	200
化学计量比汽油直接喷射(SGDI)	1.5 ^[5]	1.5 ^[5]	277	226
涡轮+小型化（在SGDI基础上）（1.8–2.7MPa）	11–17	14–21	427	337
冷却废气再循环（在2.4MPa TRBDS+SGDI的基础上）	3.6	3.6	305	249
高级柴油发动机（T2B2 排放水平）	19.5	22.1	2965	2420
变速器技术				
换挡优化 1级	2	2.7	33	27
换挡优化 2级	5.2	7	34	27
变矩器提前锁定	0.4	0.4	30	25
高效变速箱	4.8	5.3	251	202
6档自动变速（基于4档自动变速）	3.1	3.9	-9	-8
8档变速干式双离合（基于4档自动变速）	11.1	13.1	80	66
手动变速（MT6）	0.5	0.5	260	218
混合和电池电动技术				
12伏起停	1.8	2.4	401	308
轻度混合动力	7.4	7.2	3170	2273
能量分流式(powersplit)	19	36	4483	3406
2-mode混合动力（强混合动力）	23	28	7099	4722
可外接插电式混合动力汽车(PHEV)- 40英里续航	63	63	14401 ^[6]	8626
电动汽车 - 100英里续航	100	100	17837 ^[6]	9676
附件技术				
增强型高效电机&电导附件（12伏）	1.7	1.3	89	75
电力转向	1.5	1.1	109	92
增强型高效电机&电导附件（42伏）	3.3	2.5	143	120
减小空气阻力（轿车20%，卡车10%）	4.7	4.7	74	71
低滚动阻力轮胎（轿车20%，卡车10%）	3.9	3.9	73	44
低阻刹车	0.8	0.8	74	71
后传动轴断开连接（仅限一体化车身）	1.3	1.3	98	82
减重				
减重10–20% ^[7]	5–10%	5–10%	149–668	120–526

注释：
[1] 节油潜力（或称节油收益，简称收益）是基于基准车辆的增量；
[2] 成本为小轿车的总成本，包括直接（或材料、加工和劳动力成本、厂商利润）和间接成本（R&D，学习，或关于企业运作和销售的成本）；成本折合为2010美元；
[3] 节油率值是相对于基准车辆，如果基于ICP，对小型和大型轿车分别为2–2.7%；
[4] 节油率值是相对于基准车辆，如果基于VVT，对小型和大型轿车分别为2.8–3.9%；
[5] 节油率值是EPA对SGDI本身收益的估计。美国汽车工业协会(AAM)的估计更高（3–7%）–3%是直接来自SGDI获得的增效，7%来自扭矩的。扭矩的提高使得发动机小型化成为可能并因此提高燃油经济性。当SGDI与其他技术相结合，节油 / 减排潜力会更大；
[6] 成本不包括充电器和充电人力成本，仅涵盖电池和非电池性杂费；
[7] 减排并没有把来自于发动机小型化等对于汽车综合设计的进步计算在内。对于小规模汽车减重（例如小于5%），发动机的尺寸不会发生改变；因此CO2减排/节能幅度较小（大约为3%）。但是更大规模的车辆减重则常常伴随着发动机的重新设计，因此，减排的幅度要远高于与表中估计的5–10%。

收益数据来源： EPA, Regulatory Impact Analysis: Final Rulemaking for 2017–2025 Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards（标准影响分析RIA），2012；
成本数据来源： EPA, Joint Technical Support Document: Final Rulemaking for 2017–2025 Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards（技术支持文件TSD），2012

上表所列的所有技术，其2025年的成本都在2017的基础上有不同程度的减少。这主要是因为厂商的学习效应（在实践中学习）和规模经济。特别是在电池技术飞速发展的阶段，混合动力的成本在2025前将大大降低（幅度在1/4到1/3）。

值得注意的是，采用更先进技术未必会增加成本。在上表中，从4档自动变速向6档自动变速的转变就节约了9美元（如表3红色字体显示）。虽然听上去有些不合常理，但新的设计方案（Lepelletier齿轮组合）无需增加离合和齿轮的数目，优化了制造工艺并省去一些部件成本。

根据美国环保署估计，在实行新标准后，2025年的车型将比2016年车型 价格平均高出1700美元，比现在车型（2012年）价格高2600美元（不到10%的价格上涨）⁶。但是在3年之内，燃油经济性的提高所节省的油耗就可以抵消增加的成本（含各项税费，维护和保险费用）。3年之后，2025年车型所节省的燃油可以为顾客带来总计3400至5000美元的净收益⁷。

达标技术路径

虽然EPA和NHTSA在分析轻型车2025年达标技术时详细分析了电动车和电池技术，但双方都认为美国轻型车达到2025年标准并不需要这类车辆数目的显著增长。EPA对2025年全体车队和各个企业对各项技术的应用比例进行了预估。根据对全体车队的预估，要达到2025年标准：1）主要靠对主流汽油发动机全方位的能效改善（2025年车队几乎全部应用增压直喷发动机小型化，8档变速器应用达90%，轿车和轻型卡车按保守估计平均减重8%，低滚动阻力轮胎、优化的空气动力设计和高能效的车载附件都达到普遍的应用）；2）很小一部分靠传统混合动力技术的更广泛应用（并且主要是中、弱混合动力，较少依赖强混合动力）；3）电池动力车辆的贡献则是微乎其微（EPA预期它们占到的市场份额在2021年最多不过1%，到2025年最多不过2%，当然如果此类车辆成本出乎预料地下降很多从而导致市场占有率自然增长，则有助于达标，只不过不是达标的必要条件）；4）几乎不需要柴油车。表4是EPA对2021和2025车型年轻型车队（包括基本轿车和轻型卡车）各项节能技术应用比例的预期。

表4. 2021和2025年达标预期技术应用比例，EPA

技术类别	MY 2021		MY 2025	
	轿车	轻卡	轿车	轻卡
发动机技术*				
发动机减阻（2级）	29%	27%	93%	99%
化学计量比汽油直喷	60%	73%	93%	97%
涡轮增压发动机小型化（1.8 MPa BMEP）	43%	53%	25%	19%
涡轮增压发动机小型化（2.4 MPa BMEP）	14%	16%	63%	67%
涡轮增压发动机小型化（2.7 MPa BMEP）	2%	4%	3%	11%
冷却废气再循环	11%	16%	65%	74%
先进柴油发动机	0%	0%	0%	0%
变速器技术				
6速自动变速器	2%	18%	0%	0%
8速自动变速器	7%	71%	8%	89%
6速双离合变速器	17%	2%	0%	0%
8速双离合变速器	61%	7%	79%	9%
6速手动变速器	8%	1%	6%	1%
高效变速箱	36%	57%	93%	99%
混合动力和电池动力技术				
起停	7%	11%	7%	32%
弱混合动力	5%	11%	20%	39%
P2混合动力	4%	2%	4%	5%
插电式混合动力	0%	0%	0%	0%
电动车	1%	0%	3%	0%
附件能效技术				
低滚动阻力轮胎2级	72%	74%	96%	99%
高能效附件2级	71%	64%	73%	55%
减重				
纯减重（刨除某些技术带来的质量增加）	-5%	-7%	-6%	-10%

数据来源：EPA，标准影响分析（RIA）
* 部分技术，如VVT，或一些技术的第一阶段，如发动机减阻1级，应该在2021年前即达到普及应用，因此没有列入表中。

从单车层面的技术路径考虑，图1显示了两个与中国乘用车比较接近的车辆级别的节油技术路径举例（EPA对19个轻型车辆级别的数千个技术包裹进行了模拟，图1仅显示了主要节油效果的几个技术包裹）。这两个级别分别是一个1.5升直列4缸DOHC发动机的紧凑型车（根据美国数据库中平均基准油耗水平为6.4升 / 百公里），和一个2.4升直列4缸DOHC发动机的小型轿车（根据美国数据库中平均基准油耗水平为6.2升 / 百公里）。

从图1中可看出，针对发动机、变速器、附件和减重技术组合而成的技术包裹就已经可以实现42-48%的油耗减少，从而使两个车辆级别的绝对油耗下降到3.4-3.6升 / 百公里的范围。图1表明，一辆美国典型小型车（在中国市场上相当于中大型轿车）完全可以在不依赖电动技术的情况下、仅采用一些技术改

6 2017–2025 最终标准规定，第88页，2012–2016 最终标准规定，第26页（总文档第25348页）。
7 2017–2025最终标准规定，第318页

善就达到中国的5升 / 百公里标准。接下来，混合动力技术的应用可进一步将油耗降低10—15%，使绝对油耗值下降到2.5–3升 / 百公里。如果应用电动技术，则可以将当量油耗进一步减少（最高达74%），如图中灰色条形所示。

本节结论为：美国分析的未来节油技术、成本和路径对中国有很大参考意义。即使美国的车辆更大、更重，要达到其2025年标准主要依赖对动力总成系统及整车能效的改善和轻量化，尚不需要电动车和柴油车的贡献。中国乘用车队达到在2020年标准也可以遵循汽油车动力总成系统、整车、附件能效的大幅改善和车辆减重，而并不需要纯电动或部分电动技术、或柴油车市场比例的显著增长。

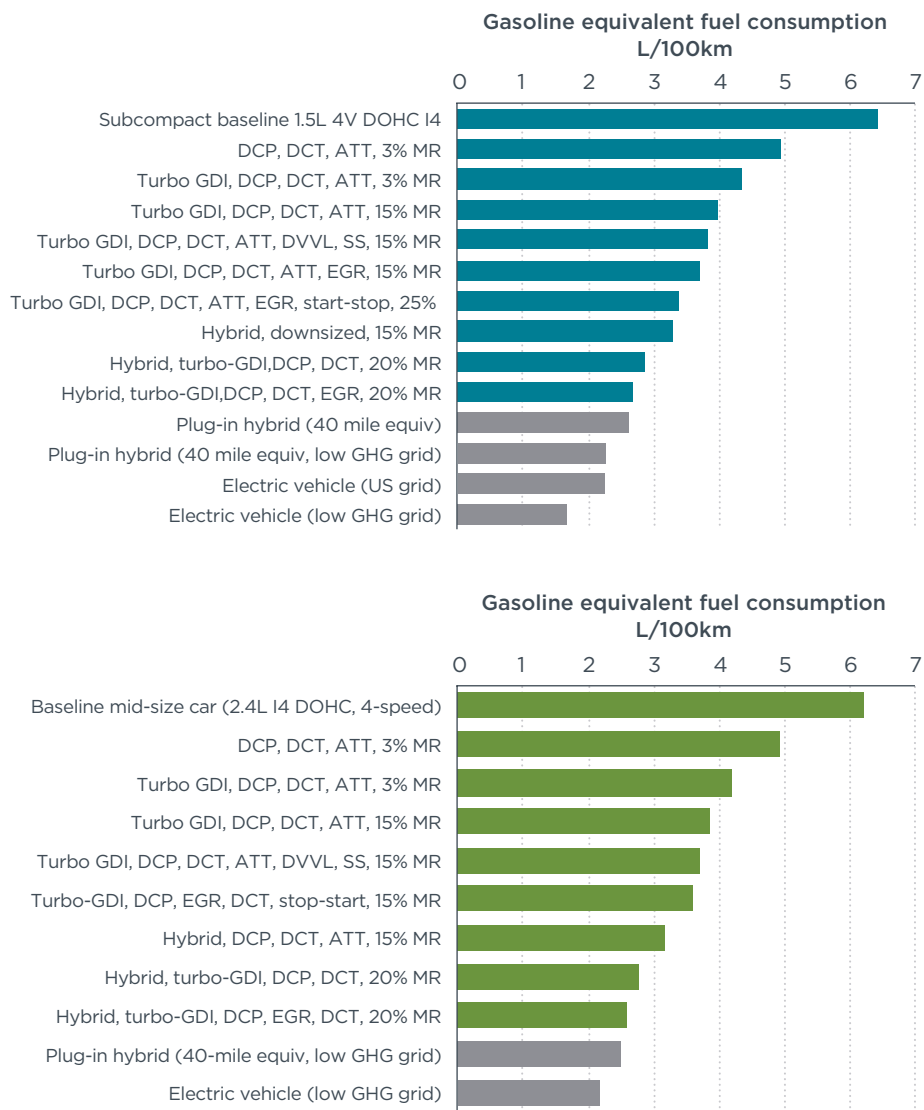


图1. 美国紧凑型车（上图）和小型轿车（下图）节油技术包裹效果示例

注：技术简称见附件3

数据来源：EPA，联合初步技术评估报告(TAR)，Interim Joint Technical Assessment Report: Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards for Model Years 2017–2025 (TAR), and 2010, OMEGA model outputs

近中美乘用车节能技术发展趋势

美国最近几年的数据显示轻型车技术应用的步伐正在加快。其实,即便在没有油耗法规政策的干预下,汽车生产企业也在不断追求技术创新、改进汽车设计和生产工具,以应对日益激烈的全球产业竞争⁸。美国过去20年的数据显示,某项新技术从首次应用到其在市场上得到普及的时间在不断缩短,这受益于汽车设计和生产中“平台”共享的效应和企业(在竞争中)不断精进的制造技艺的灵活性⁹。

而在有推动技术发展作用的法规政策干预下(如严格的能效或油耗标准),本土企业的技术创新和应用脚步会更快¹⁰。美国过去20年汽车产业的发展正是见证了这一点。图2显示了美国轻型轿车自2000年起几项主要的动力总成系统技术的市场采用率趋势,以及在同一时间段油耗法规政策推进的时间表。图中2004年以前技术应用增长的平缓、2004—2009年间技术采用率稳步增长、以及2009年后迅猛增长形成了强烈对比。

可以看出先进能效技术采用步伐的加快基本和法规标准加严的进程是同步的。美国在2004年之前可以说没有严格的轻型轿车能效/温室气体标准(长期以来燃油经济性法规针对轻型轿车来说停滞不前)。直至2004年加州率先推出了严格的轻型车温室气体减排法规,对2009—2016车型年的新车生效。在主管部门加州空气资源局(CARB)与主要企业就标准达成进行磋商的期间(即2004年前夕),一些企业已经开始在逐步调整投资、研发和产品部署的策略,以应对当时几乎已显示出的未来油耗标准加严的必然趋势。2009—2010是加州政府、联邦政府与全国车企就全国范围标准的设定进行全面对话的期间,2010年中三方签署了同意书,自此全国范围内实施严格轻型车能效法规的趋势已成必然。2004—2010年,所有车企都开始了中长期技术战略的部署,使得它们的车队在2016年能够达到联邦政府的标准,其结果就是(如图中显示的)这一期间各项技术使用率有了明显涨幅¹¹。2010年联邦政府对2012—2016车型年的标准正式颁布后,企业已经明确了解到能效提高是美国长期坚持的战略,进而开始提早部署更长阶段内技术投资和研发。2011年上半年,虽

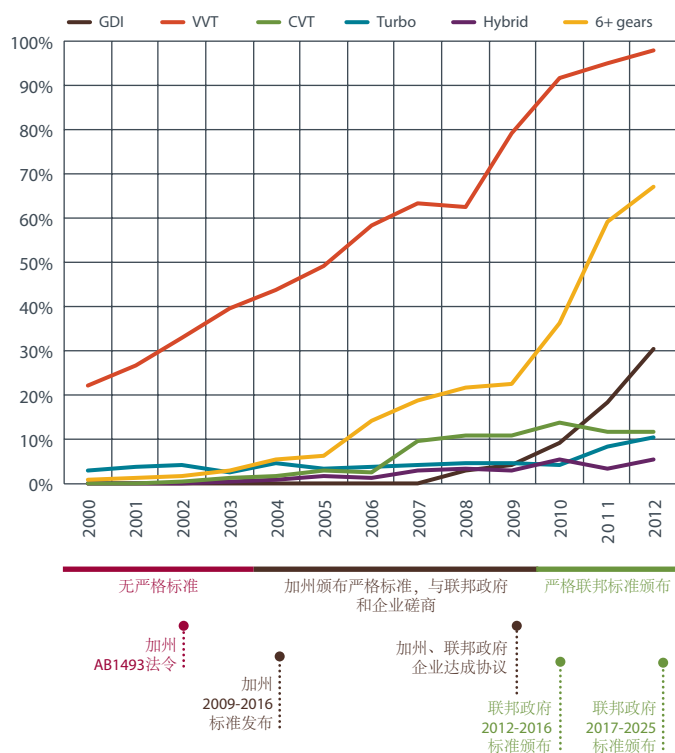


图2. 美国轻型轿车2000-2012年各项技术应用率趋势和轻型车温室气体/燃油经济性法规制定时间表

数据来源: EPA, 燃油经济性和温室气体排放趋势报告1975-2012

然2017—2025年标准草案还未出台,企业已经基本同意了联邦政府初步设定的每年能效改善率在3-6%的范围¹²。这也就是从2010年之后,技术应用的步伐进一步加快的原因。

其实中国乘用车市场近年的数据也显示出先进技术采用率提高的趋势。过去2—3年的数据显示,先进节油技术如增压直喷、可变气门、高档位数变速器等市场应用率有了明显提高。具体来讲,在2010—2012年间,采用了汽油直喷技术(GDI)的新乘用车比例从5%上升到11%,采用了可变气门技术(VVT)的新乘用车比例从44%上升到约51%,采用了6档或以上档位数变速器的新乘用车比例从6%上升到12%,采用了涡轮增压或机械增压技术的新乘用车比例从34%上升到51%(图3)。这应该反映了企业为应对于2009年提出草案、于2011年正式颁布的第3阶段乘用车油耗标准作出的努力。当然近年我国实施的一些鼓励节油车辆的激励政策也可能起到了一定作用。

8 Lutsey, N. (2012). Regulatory and technology lead time: The case of US automobile greenhouse gas emission standards, Transport Policy 21 (2012), 179-190.

9 EPA, TSD 2012.

10 Lutsey, N. (2012) Regulatory and technology lead time: The case of US automobile greenhouse gas emission standards, Transport Policy 21 (2012), 179-190.

11 同上

12 NHTSA (2011): Fact Sheet: NHTSA and EPA Propose to Extend the National Program to Improve Fuel Economy and Greenhouse Gases for Passenger Cars and Light Trucks.

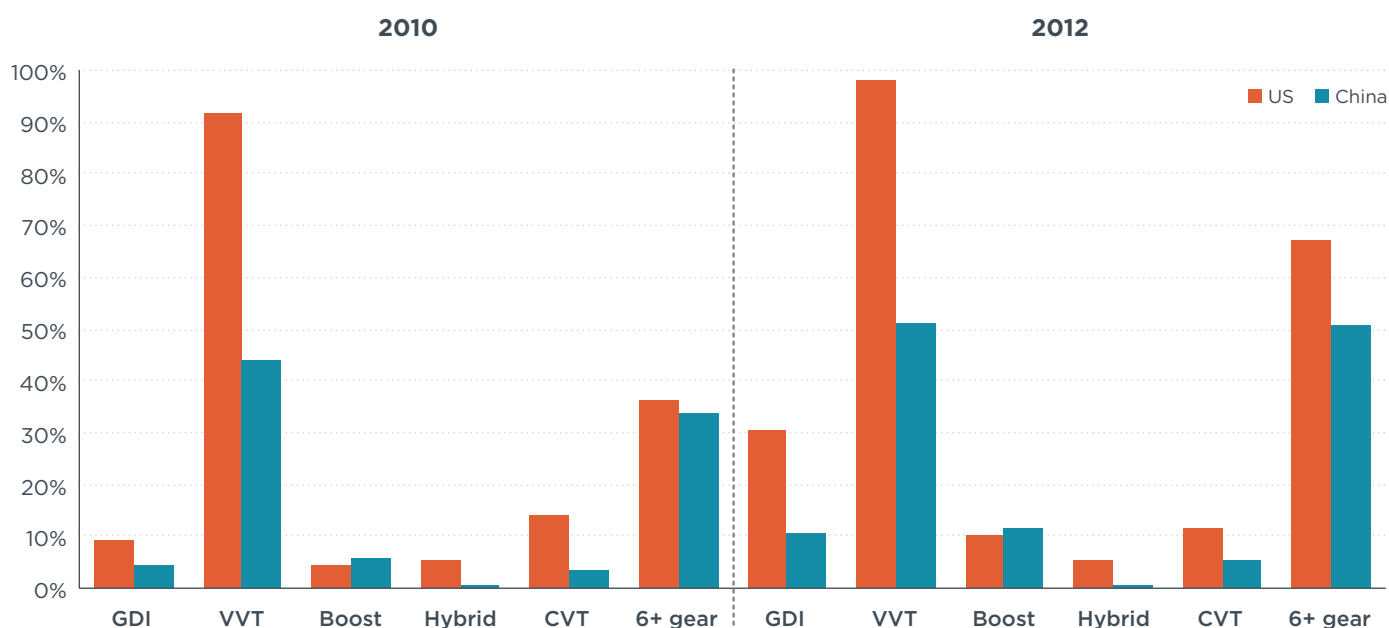


图3. 2010–2012年中国、美国乘用车主要节油技术应用比例对比

数据来源：EPA燃油经济性和温室气体排放趋势报告1975–2012；中国汽车技术研究中心—汽车数据种中心；ICCT 2012

虽然和过去相比，我国的乘用车整体技术水平有了一定提高，但与同期的欧洲和美国轻型车技术水平相比，还存在采用率绝对值上的差距¹³。甚至从相对的技术进步速度角度讲，我国的技术进步步伐也没有美国的快。图3比较了2010—2012年间，几项主要能效技术在中、美乘用车（即中国的乘用车）应用率的增长趋势。这一比较显示了，中美之间的技术差距在这几年间不仅没有缩小，还有不断扩大的趋势。比如美国GDI的采用率在2010年领先中国约5个百分点（美国9.2%，中国4.6%），到2012年这个差距扩大到约20个百分点（美国30.4%，中国10.8%）。与此相似，美国高档位变速器的应用率从2010年仅领先中国不到3个百分点，到2012年领先中国16个百分点。其他几项主要技术，除了CVT外，中美差距在这2—3年基本保持不变（其中因为美国VVT技术几乎100%普及，上升空间不大）。

我国的节能与新能源汽车产业规划中将提高汽车产业技术水平、缩小与西方发达汽车市场技术差距、产业升级作为2020年之前的主要目标。从以上中美技术差距看，如果不从政策上给予更大推动力，实现这些目标的挑战将越来越大，而我国汽车产业从技术上落后于西方发达汽车市场的状况在未来10–15年很难得到改善。而确保严格的中长期油耗目标（包括2020年起有成用车平均达到5升/百公里的目标）则是最有力的政策推动。

本节的结论是：从美国的经验和历史数据看，严格的中长期新车燃油经济性/油耗/温室气体标准能大力推动技术的创新和应用。如果不尽早确定长期的严格的油耗标准，中国的汽车工业与美国的技术差距很可能会进一步扩大，无法实现成为汽车产业强国的中国梦。

结论

通过前面的分析我们得到如下结论，并为中国政策制订者提出了一些政策建议。

结论一：中国提出的到2020年新乘用车（新能源车除外）达到平均5升/百公里的目标是合理的、可行的。

中国提出的5升/百公里的目标值从绝对值上比较接近美国对轿车2020年提出的当量油耗目标值（5.5升/百公里）。但前文数据显示，美国轿车比中国乘用车平均大很多、重很多、马力几乎是中国车辆的两倍。美国车辆达标所面临的技术挑战应该比中国车辆达标面临的挑战大的多。

如果我国5升/百公里的目标可以最终确定，那么对车队油耗年改善率的要求则与美国对轻型轿车2012–2016和2017–2025标准中要求的年改善率、即欧盟2020年标准和2025年标准提案所要求的年改善率非常接近。当然，美国车队目前的技术水平已经比中国车队更先进，同样幅度的年改善率要求对美国车队来说则意味着更多真正的技术创新（即技术从无到

13 何卉、涂军，2012。《中国新乘用车节油技术应用情况分析以及与欧美车队比较》，国际清洁交通委员会，2012

有, 或制造工艺从繁复到简单、伴随着成本的下降)。中国车队可以利用后发优势, 以较快的速度消化比较成熟的先进技术。因而, 如果美国标准要求的年改善率是合理的, 没有理由认为同样的要求对中国车队来说难达到。

结论二: 达到5升/百公里的目标中国所需的技术主要是对汽油车动力总成系统、整车、附件能效的大幅改善和车辆减重, 而并不需要纯电动或部分电动技术、或柴油车市场比例的显著增长。

达到美国2025年标准的技术选择非常广泛, 成本增量均在合理范围(企业认可的范围)之内, 而且在车主使用达标车辆3–4年内从节油省下的钱就可以抵消这些增加的成本。由于企业的“学习效应”和量产带来的规模效应, 采用这些先进技术在长期的成本增量比短期成本增量要少。这还没有包括一些意想不到的技术和工程工艺的突破所带来的大幅成本降低, 甚至从落后技术到先进技术有可能绝对成本不减反降(即新技术有可能更省钱)。

电动和电池技术在未来会更商业化, 这归功于电池能效的大幅提到和成本的下降。然而, 其商业化的程度对达到美国2025年达标的贡献是微乎其微的。EPA预计到2021年和2025年, 插电式混合动力和纯电动轻型车的市场比例可能在1–2%左右, 轿车的比例稍高, 也只是在1–3%左右。事实上, 靠改善汽油车发动机、变速器、整车和附件、减重和一些混合动力技术就可以帮美国的小型轿车(类似中国的中到大型轿车)达到42–48%的节油率。

结论三: 严格的中长期新车油耗标准能大力推动技术的创新和应用。如果不尽早确定长期的严格的油耗标准, 中国的汽车工业与美国的技术差距将进一步扩大, 无法实现成为汽车产业强国的中国梦。

美国的数据显示出近年轻型车先进技术普及的速度非常快。这主要是由于企业为应对2012–2016年和2017–2025年严格的轻型车燃油经济性/温室气体标准做出的技术部署。美国从政府公布新标准(或标准草案)到标准正式实施的第一年之间通常有较长的引导时间, 使得企业有较充分的时间进行技术投资、技术部署和产能调节, 这样也使得使用新技术的成本维持的较低(反之, 如果标准实施和公布时间离得太近, 企业使用新技术或者说达标成本就会很高)。

在中国, 先进动力总成技术应用的比例在近2–3年也在逐年提高, 反映了企业为应对第三阶段标准付出的努力。但中国技术提高的速度不及美国。一个不可忽视的原因是2020年目标还未通过强制性

标准法规正式确定, 如何确保法规的有效实施也未明确, 2025年乃至2030年更长期的目标研究还未开始, 这就导致企业无法预测未来目标, 也无法及早做出相应的长期技术研发和产品开发部署, 而仅仅停留在短期达标所需的技术层面。不仅如此, 中长期目标的不确定性还会导致企业面临的调整时间较短, 人为地增加了未来达标成本, 危及到节能目标的实现。只有尽早确定步调一致、严格的中长期目标和标准, 我国的技术创新和应用才有可能跟上美国的步伐。

结论后的思考—如要确保严格的长期节油目标, 中国还缺失什么?

中国过去10年左右制订新车油耗标准的主要依据还是尽早与国际水平接轨, 在目标值的绝对值上尽快赶上发达汽车市场(美国、欧盟、日本), 如我国2020年目标初步定在5升/百公里其中一个参考就是日本2005年(即我国政策制定者刚开始讨论第3阶段油耗标准的时候)乘用车队平均油耗大概是5升/百公里。对现有车队技术基准和未来技术发展的研究在我国比较薄弱。目前对未来技术节油潜力、应用水平、乃至成本的研究方法主要还是依托对企业进行公开的或一对一的调研。这种“传统”的方法虽然仍是信息的重要来源, 但仅依靠这一传统方法就作为标准制订的依据很可能会低估技术发展和创新的能力、潜力, 高估它们的成本, 从而大大限制了未来标准的严格程度, 这样制订出来的标准对鼓励技术创新的作用也不大。

美国EPA和NHTSA不仅进行企业调研, 两个机构内部的工程师们研发了一系列评估技术和成本的模型, 此外还雇佣独立的研究机构进行大量试验和模拟, 进一步补充、优化和完善EPA自己的模型。我国目前还没有可与美国EPA建立的一系列技术和成本的先进研究模型相匹敌的先进研究方法。

如前文提及, 基于车辆平台的共享这一有利条件, 美国EPA研究的几乎所有技术和相关结果都可以应用于(但不是直接套用于)我国。在过去1–2年, ICCT和欧盟政府、其他研究机构合作, 成功将美国的技术成本研究方法在结合欧盟数据的基础上应用于欧盟, 以支持其2020–2025期间轻型车温室气体减排标准(附件介绍了相关研究和部分结果)。对于我国乘用车目前的技术状态, ICCT也做了一些前期研究, 并正开展相关工作将欧美的技术成本研究方法应用到中国(附件最后一段有简要说明)。

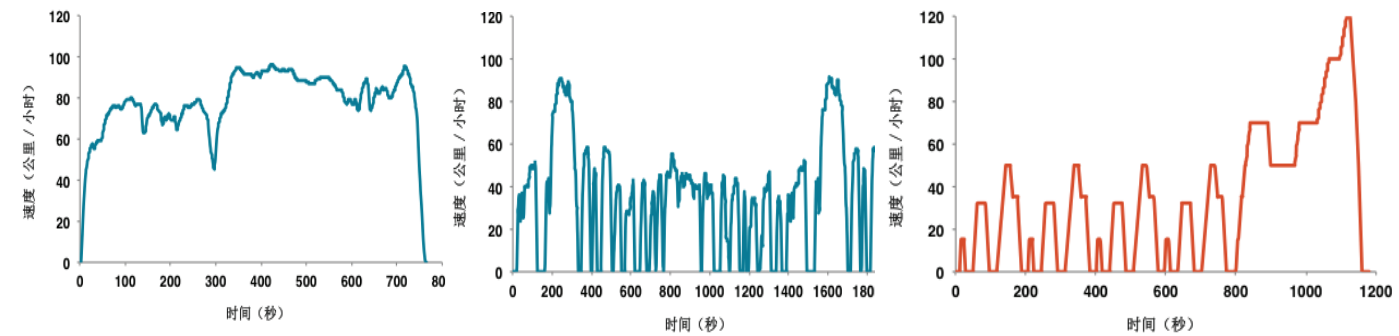
作者认为, 从传统研究框架跳出来, 开发更为客观、先进、透明, 并基于详尽本地数据的方法论是中国确保严格合理的长期节油目标所急需解决的问题。

附件：

附件1：NEDC和CAFE工况油耗转换方法概述

在比较中国、美国和欧盟轻型车油耗 / 燃油经济性 / 温室气体标准值的严格性时，一个难点在于三地采用了两种不同的测试工况：中国和欧盟采用了NEDC工况，美国采用了CAFE工况，导致了三地标准值不能仅仅通过单位的换算来进行比较。

测试工况是针对某一车辆类别本地典型行使路况包括最高时速、平均时速、行使中停车和怠速时间等要素的模拟。美国和欧盟轻型车路况不同，因而设计的不同的标准测试工况。我国乘用车油耗标准法规采用了欧盟的工况。图A1. 1a-b绘出了美国高速行使工况 (HWFET) 和城市行使工况 (FTP-75)，标准中所指的CAFE工况不是一个独立的工况，而是城市和高速两个工况测出的燃油经济性结果通过55%/45%的比例加权计算得出。图A1. 1c则绘出了欧盟的NEDC工况。表A1. 1总结并比较了三个工况的要素。



表A1. 1. EPA城市、高速和NEDC工况要素			
工况	时长（秒）	平均时速(km/h)	最高时速(km/h)
EPA 高速（HWFET）	765	77.6	96.4
EPA 市区（FTP-75）	1874	34.1	91.2
NEDC	1180	33.4	120

为了解决不同工况间数值可比性的问题，安锋和Amanda Sauer在其2004年报告《世界各国乘用车燃油经济性 & 温室气体排放标准对比》中利用MEEM模型模拟各工况下相同车型的燃油经济性并开发了CAFE和NEDC工况下燃油经济性数值的调整因子，即NEDC工况下的燃油经济性（以英里 / 加仑衡量）约是CAFE工况下燃油经济性数值的1.13倍。

2007年国际清洁交通委员会的报告《各国乘用车燃油经济性 & 温室气体排放标准：最新全球政策分析》中扩大了模拟车型的选取范围并进一步优化了工况调整因子的计算方法。这份报告的分析发现工况调整因子随着车辆燃油经济性变化而变化，具体说，对于燃油经济性较高的车辆，各工况下得出的燃油经济性值间的差异越小。从CAFE工况下的燃油经济性值（以英里 / 加仑，mpg，衡量）折算到NEDC工况燃油经济性值的调整因子由下面函数计算得出：调整因子 = $-0.1033 \times \ln(\text{CAFE mpg}) + 1.473$ ，然后以此调整因

子作为原CAFE mpg值的除数计算NEDC mpg值。

最后以标准比较为目的，需要计算NEDC工况下的油耗值，从NEDC mpg值到油耗升 / 百公里转换仅需简单的单位换算即可，即 $\text{L}/100\text{km} = 235/\text{MPG}$ 。下面给出一个从CAFE mpg值（46.3 mpg，即美国2020年轿车燃油经济性标准）换算到NEDC L/100km值的例子。这个例子为简单起见，所有中间步骤都取小数点后两位，直到最后油耗值取一位。实际计算中，所有中间步骤数值按原数值代入下一步计算，只有最后计算油耗值取小数点后一位。

第一步：计算工况调整因子

调整因子 = $-0.1033 \times \ln(46.3) + 1.473 \approx 1.08$

第二步：计算NEDC工况下mpg值

NEDC mpg = $46.3 / \text{调整因子} = 46.3 / 1.08 \approx 42.87$

第三步：计算NEDC工况下L/100km值

NEDC L/100km = $235 / \text{NEDC mpg} = 235 / 42.87 \approx 5.5$

附件2：减少新轻型车辆燃料消耗的技术潜力：ICCT系列报告摘要

为了制定新车的油耗标准，我们有必要对减少汽车油耗的新技术以及相关的成本进行一次彻底的评估。近几年，ICCT已投入巨资在美国和欧盟进行此项评估。通过适当修改假设前提，这些新技术及其成本的评估是能够适用于世界其他地区的。

汽车技术的仿真模拟

从2009年年底开始，ICCT在美国环保局和加州空气资源委员会（CARB）的配合下委托Ricardo公司（Ricardo Inc）进行了车辆技术仿真模拟，研究未来降低油耗的潜在可能性。这项工作首先在美国范围内查阅了发动机、变速器以及道路负载（质量、滚动阻力和空气动力学）的减排技术。汽油、柴油和汽油混合动力汽车是技术查阅的重点，因为这三种类型的车辆预计在2020年至2025年期间将占据汽车销售的大部分份额。在制定最终的燃耗标准时保证了要实现该标准不需要依靠电动驱动车辆（新能源汽车，比如插电式混合动力车，电动汽车和燃料电池汽车）。

针对6个轻型汽车细分市场中的每一个细分市场，把认为在2020–2025年期间最具有潜力的技术进行了技术分组。动力传动系统技术包括传统技术（停止—启动功能）、并联（P2）混合动力以及混联式混合动力。在发动机研究中涉及到了几个先进的技术概念，包括具有直喷和涡轮增压的火花点火式发动机以及阿特金森循环混合动力发动机。在变速器研究

中，涉及到了六速和八速先进的自动档变速器以及具有双离合器的手自一体变速器。为了对这些先进的技术进行仿真模拟，分别针对该6个汽车细分市场创建了基准模型，并且用现有的测试数据做了验证。之后对这些验证过的模型用先进的技术包进行了仿真，这些技术包包括一系列发动机和变速器设计以其配置参数（如发动机排量、车辆重量和滚动阻力）。经过大量的模拟之后，将所获得的数据结果集成到一个数据可视化工具（DVT）。关于该项工作的初步阶段成果可以查阅2011年12月发布的《2020—2025年轻型汽车的温室气体减排技术在计算机上的模拟仿真》¹⁴。

鉴于2011年12月的那一份报告针对的是美国的汽车细分市场和美国测试工况（城市、公路和US06工况），因此ICCT委托Ricardo公司将这份工作拓展到欧盟范围。在这个阶段的研究工作中，增加了两个新车辆类别—C类，这种类别的车辆在欧盟（和中国）十分畅销，以及小型N1类商业用车，还增加了一种新的先进欧洲柴油发动机型号，同时为所有车辆分类添加了手动档变速器。此外，这项研究在之前的研究的基础上对美国 and 欧盟研究中的所有车辆用新欧洲行驶工况（NEDC）和日本综合工况—JC08进行了燃料消耗评估。关于这项研究工作的结果请查看另外一份单独发布的报告《2020—2025年欧盟轻型车技术的温室气体减排潜力分析》¹⁵。

关于技术评估的代表性结果详见图表A2.1。该图表所显示的数据是从DVT中提取的，也适用于欧盟C类汽油车。值得一提的是Ricardo公司的基准车辆使

图A2.1 C类汽油车辆模拟仿真结果

	C级（汽油车） 含减低道路负载的技术								
	CYL.	[L]	INJ.	[KG]	TRANS.	[S]	[G/KM]	EM.	RED.
欧盟27国平均水平	4	1.6	PFI	1,270	5-MT	11.3	156	Euro 4	+X%
Ricardo基准水平（启停）	4	1.6	PFI	1,257	6-MT	9.1	139	Euro 5	---
STDI（启停+化学当量直喷+小型化） -15%减重，-10%滚动/空气阻力	3	0.7	DI	1,058	8-AT 8-DCT	9.0 9.1	89 87	Euro 6	-36% -37%
LBDI（启停+稀燃直喷+小型化） -15%减重，-10%滚动/空气阻力	3	0.7	DI	1,058	8-AT 8-DCT	9.0 9.1	87 85	Euro 6	-37% -39%
EGBR（启停+高负荷EGR直喷+小型化） -15%减重，-10%滚动/空气阻力	3	0.7	DI	1,058	8-AT 8-DCT	9.0 9.1	85 83	Euro 6	-39% -40%
阿特金森循环发动机，汽油机凸轮轮廓线变换系统（P2） -15%减重，-10%滚动/空气阻力	4	1.6	PFI	1,117	8-DCT	9.1	68	Euro 6	51%

注：cyl.=气缸数，[L]=发动机排量，inj.=发动机类型，[kg]=车辆质量，trans.=变速器，[s]=0–100 km/h加速度，em.=排放标准，red.=CO₂减排量（相比Ricardo基准车型），DCT=双离合变速器，AT=自动变速器，MT=手动变速器，PFI=点喷

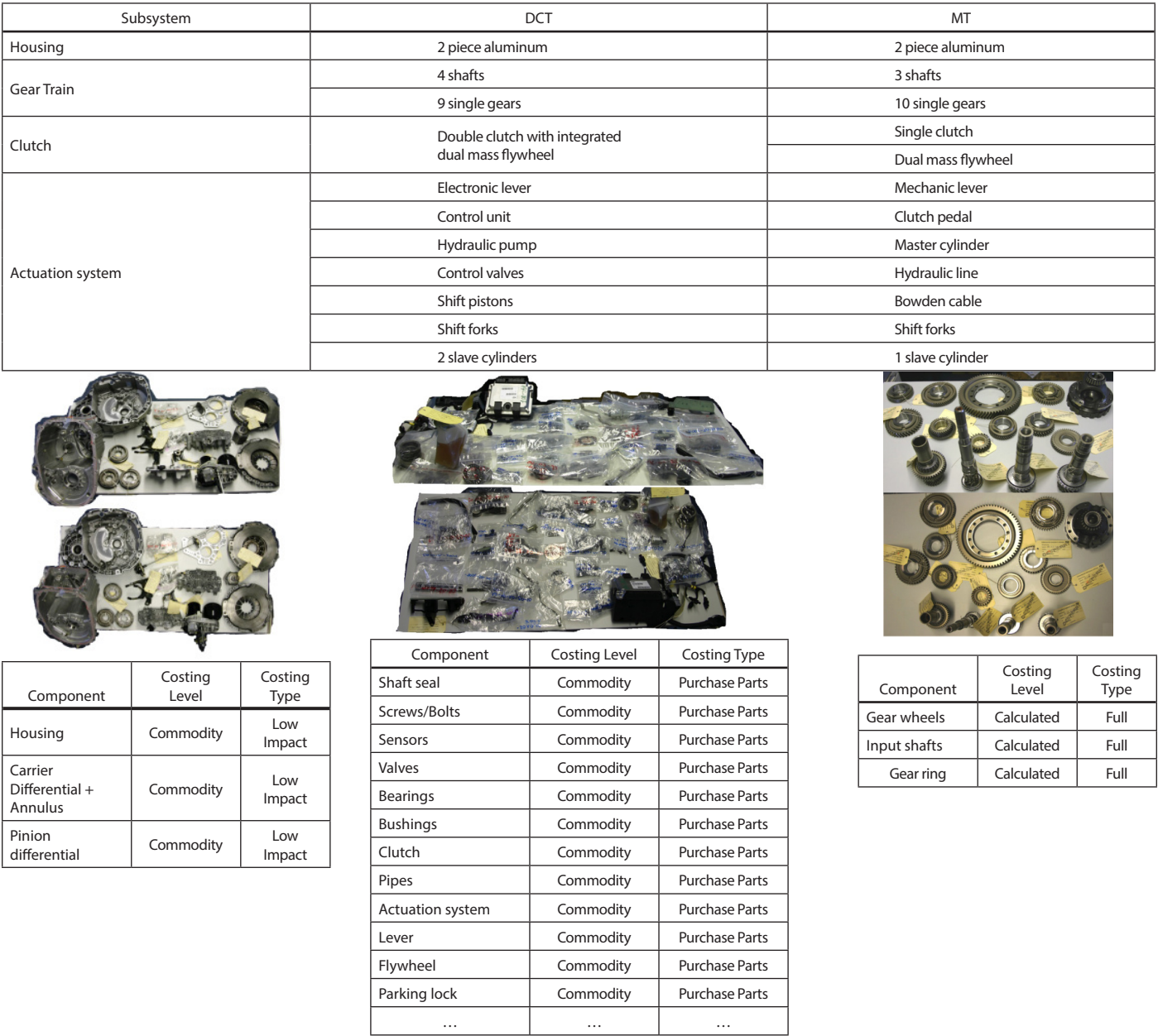
14 报告见：<http://www.epa.gov/otaq/climate/documents/420r11020.pdf>

15 报告见：<http://www.theicct.org/ghg-emission-reduction-potential-ldv-technologies-eu-2020-2025>

用的是改进式交流发电机以及发动机怠速技术，这两项技术尚未普及，不过到2020年，预计会在几乎所有的车辆上使用。使用涡轮增压器实现发动机的小型化的同时向汽油直喷式转变，朝8速双离合变速器方向发展，并降低道路负载（重量减少了15%，滚动阻力和空气阻力各降低10%），都将进一步降低C类车的平均油耗，可以实现降低37%—这要远远高于2020年欧盟标准的要求，即使在2014年将排放标准从欧5提高到欧6也无妨。

组建拆解成本评估

为了评估向先进技术过渡所需要付出的成本，我们使用了拆解分析法来进行评估。拆解法与传统使用方法是根本性区别的，传统的方法是调查制造商和供应商现有（可能是少量的）技术的成本并且将这些成本反映到未来的成本中。而拆解法通过对已有技术的每一个制造特定组件所需的材料和工艺进行详细评估，从而准确地评估未来的量产技术的成本。



图A2. 2 运用拆解法评估六速手动变速器和六速双离合变速器的差异

图表A2. 2是运用拆解法评估六速手动变速器和六速双离合变速器的成本差异的一个例子。这两种变速器被拆解成子组件, 这样可以很容易地确定它们在关键组件上的差异。根据组件的复杂性、零件形状的差异性、大小、制造工艺和材料, 成本评估的详细程度会有所差异。

FEV公司在该项工作的两个阶段都为ICCT做了详细的拆解分析。第一阶段的报告侧重于把FEV为美国环境保护署¹⁶。所做的美国汽车现有先进车辆动力传动系统成本分析和制造成本结构研究中所提供的信息和数据依据欧洲市场的情况进行相应的转变和转换。在第一阶段的分析工作中对以下先进的动力传动系统技术做了研究: 小型化涡轮增压汽油直喷式发动机, 6速和8速自动双离合变速器, 以及混联式和P2混合动力电动汽车。

ICCT委托FEV公司增加分析了欧洲汽车市场的先进轻型车技术的净增成本。在第二阶段的工作中所研究到的先进动力传动系统技术包括柴油高压喷射, 柴油可变气门正时和升程系统, 柴油高低压冷却式废气再循环(EGR)系统, 汽油低压冷却式EGR, 6速干式双离合变速器与6速手动变速器比较, 以及皮带驱动式启动发电机(BSG)停止-启动系统。第二阶段的工作还包括对欧洲的汽车启动-停止系统在市场运用的总体情况评估。

表A2. 1列举了详细成本分析工作中数据结果, 这些数据囊括了各细分市场同时包含了技术时间学习效应。例如, C 类小型化涡轮增压汽油直喷式发动机的净增生产成本在与自然吸气端口喷油发动机相比时, 会从2012年505美元左右减少到2020年的不到400美元。

表A2. 1. 先进汽油发动机的成本估算结果

技术	ID	案例研究 #	基线技术配置	新技术配置	欧洲市场份额	欧洲车辆市场实例	计算的增量（直接）制造成本 2010/2011 生产年度	应用适用技术的净增制造成本 （直接+间接成本）			
								2012	2016	2020	2025
发动机	小型化涡轮增压汽油直喷式内燃机										
	1	0100	1.4L, I4, 4V, DOHC, NA, PFI, dVVT, ICE	1.0L, I3, 4V, DOHC, Turbo, GDI, dVVT, ICE	微型车	VW Polo	€ 230	€ 423	€ 379	€ 305	€ 276
	2	0101	1.6L, I4, 4V, DOHC, NA, PFI, dVVT, ICE	1.2L, I4, 4V, DOHC, Turbo, GDI, dVVT, ICE	紧凑型/小型车	VW Golf	€ 360	€ 511	€ 466	€ 402	€ 372
	3	0102	2.4L, I4, 4V, DOHC, NA, PFI, dVVT, ICE	1.6L, I4, 4V, DOHC, Turbo, GDI, dVVT, ICE	中型车	VW Passat	€ 367	€ 532	€ 484	€ 415	€ 383
	4	0103	3.0L, V6, 4V, DOHC, NA, PFI, dVVT, ICE	2.0L, I4, 4V, DOHC, Turbo, GDI, dVVT, ICE	中型/大型车	VW Sharan	€ 80	€ 379	€ 328	€ 223	€ 189
	5	0106	5.4L, V8, 3V, SOHC, NA, PFI, sVVT, ICE	3.5L V6, 4V, DOHC, Turbo, GDI, dVVT, ICE	大型运动型多用途车	VW Touareg	€ 648	€ 992	€ 900	€ 760	€ 698
	可变气门时标和升程的菲亚特MULTIAIR系统										
6	0200	1.4L, I4, 4V, DOHC, NA, PFI, dVVT, ICE	1.4L, I4, 4V-MultiAir, SOHC, NA, PFI, ICE	微型车	VW Polo	€ 107	€ 159	€ 145	€ 126	€ 117	

¹⁶ 同行审阅过的美国相关报告详见: <http://www.epa.gov/otaq/climate/420r09020.pdf> 和 <http://www.epa.gov/otaq/climate/420r10010.pdf> 关于 ICCT 第一阶段和第二阶段的工作详见: <http://www.theicct.org/light-duty-vehicle-technology-cost-analysis-european-vehicle-market>

表格A2.2. 汽油涡轮增压直喷技术的 2020 年成本，其中重量减少 15%，滚动阻力降低 10%，而空气动力阻力降低 10%

车辆种类	B类	C类	D累	小型N1	大型N1	成本数据来源
典型车辆	Toyota Yaris	Ford Focus	Toyota Camry	Transit Connect	Ford Transit	
先进技术 – 自动（或手动）变速器配置						
基线道路负载系统成本	1,373	1,679	1,717	1,690	1,573	RLO
重量改变	178	203	276	269	337	EPA
滚动阻力改变	4	5	4	4	4	EPA
空气动力阻力改变	30	30	30	30	30	EPA
微粒过滤器大小改变	-2	-3	-4	-3	-5	ICCT
发动机排量改变	-3	-3	-5	-4	-6	FEV ICCT
启动停止系统大小改变	-3	-4	-6	-5	-7	FEV ICCT
GDI系统大小改变	-1	-1	-1	-1	-1	FEV ICCT
涡轮增压器系统大小改变	-3	-3	-5	-4	-6	FEV ICCT
超过欧洲基线的总增量成本	1,573	1,901	2,005	1,975	1,917	Sum
先进技术 – 双离合自动（或手动）变速器配置						
基线道路负载系统成本	1,364	1,629	1,668	1,641	1,576	RLO
重量改变	178	203	276	269	337	EPA
滚动阻力改变	4	5	4	4	4	EPA
空气动力阻力改变	30	30	30	30	30	EPA
微粒过滤器大小改变	-1	-3	-4	-3	-5	ICCT
发动机排量改变	-1	-4	-5	-4	-7	FEV ICCT
启动停止系统大小改变	-1	-4	-6	-4	-8	FEV ICCT
GDI系统大小改变	0	-1	-1	-1	-1	FEV ICCT
涡轮增压器系统大小改变	-1	-3	-5	-4	-7	FEV ICCT
超过欧洲基线的总增量成本	1,573	1,851	1,955	1,927	1,919	Sum

表格 A2.3. C 级车的特点^[1]

参数	汽油		柴油	
	RICARDO	EU-27 (I在2010年)	RICARDO	EU-27 (在2010年)
车型	FORD FOCUS	N/A	FORD FOCUS	N/A
发动机排量	1.6升I4	1.6升I4	1.6升I4	1.7升I4
发动机功率(kW)	88	86	97	83
发动机类型	PFI	PFI ^[2]	n/a	n/a
测重(公斤) ^[3]	1,318	1,270	1,318	1,360
变速器类型	M6	MT ^[4]	M6	MT ^[4]
0-100 公里/小时 (秒)	9.1	11.3		11.6
NEDC CO ₂ (克/公里)	139	156	122	131
其他考虑因素	含怠速，欧5排放	无怠速，欧4排放 ^[5]	含怠速，欧5排放	无怠速，欧4排放 ^[5]

注： [1] C类市场份额约占32%，其中38%是柴油驱动
[2] 直接喷射市场份额约占19%
[3] 工作状态下的汽车重量（空气车辆加上75公斤）
[4] 手动挡变速器的市场份额约占91%（49%是M5, 42%是M6）
[5] 欧4市场份额约占60%

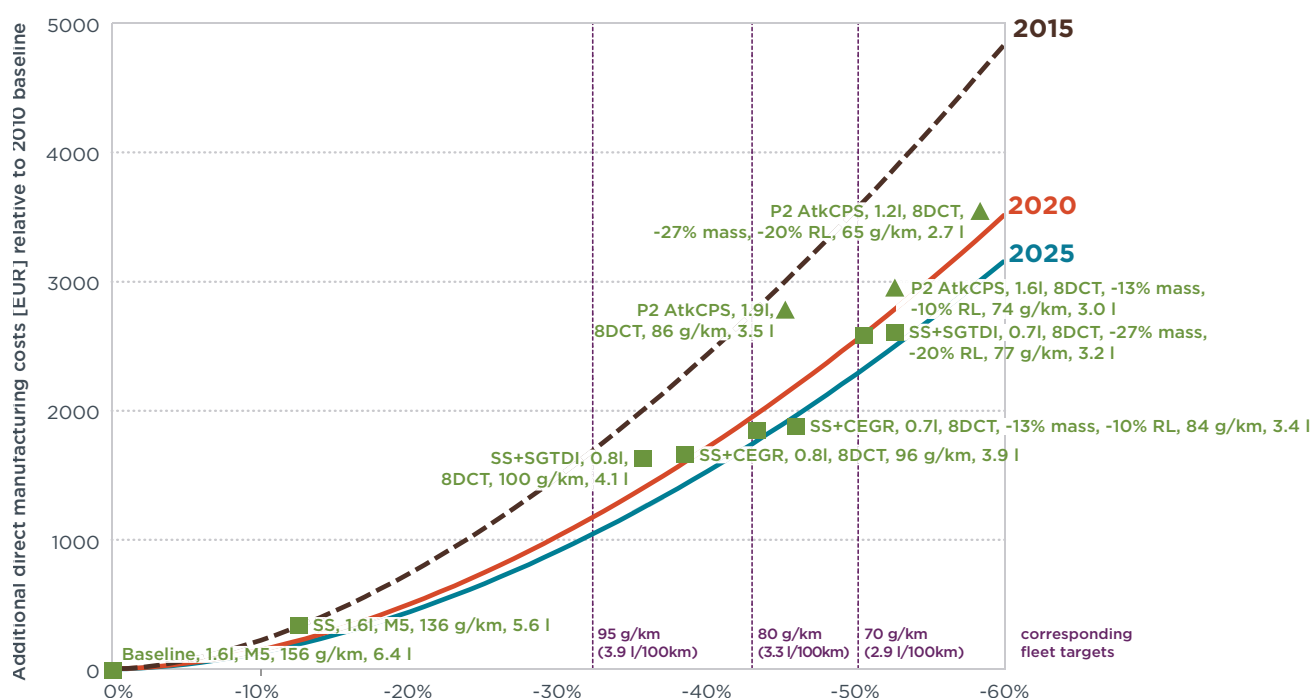
2020年和2025年的技术成本曲线

Ricardo公司和FEV公司以及其他分析报告（FEV和Lotus针对轻材料的分析，以及美国2017—2025年的规章制度中的一些个别技术评估）所提供的成本和效益数据被用于对2020—2025年欧盟轻型车辆所建立ICCT的成本曲线。ICCT的研究文件2012-4¹⁷总结了Ricardo公司所做的车辆模拟仿真建模数据的初步处理结果。Ricardo公司的研究用到的基线车辆也进行了相应调整，与2010年欧盟轻型车的特点互相匹配。为了估算出每一个降低油耗的技术包总成本，需要对单独组件的技术成本进行计算，然后整合得出一个总的成本估算。表A2.2就是一个2020年汽油车技术包的计算示例。需要注意的是计算技术项目的成本旨在不仅要增加或去除具体的零部件成本反映出来，还要反映出由于发动机小型化导致的零部件尺寸变化所产生的效果。例如，一个较小的发动机可能需要的涡轮增压器也较小（更便宜），需要的喷射系统也较小，需要的后处理装置也更小，等等。

一旦各技术包的成本数据点成功建立，可以基于最具成本效益的燃料消耗削减的目标通过数据进行回归分析得出成本曲线。由于此成本曲线是适用于仿真分析所选择的代表车辆，因此该成本曲线的数据点都是标准化的，符合欧盟当前各市场细分的平均水平。例如，表A2.3显示了Ricardo公司的基准车辆和欧盟27国市场的C类车平均水平的差异，而图A2.3显示C类车的成本曲线。

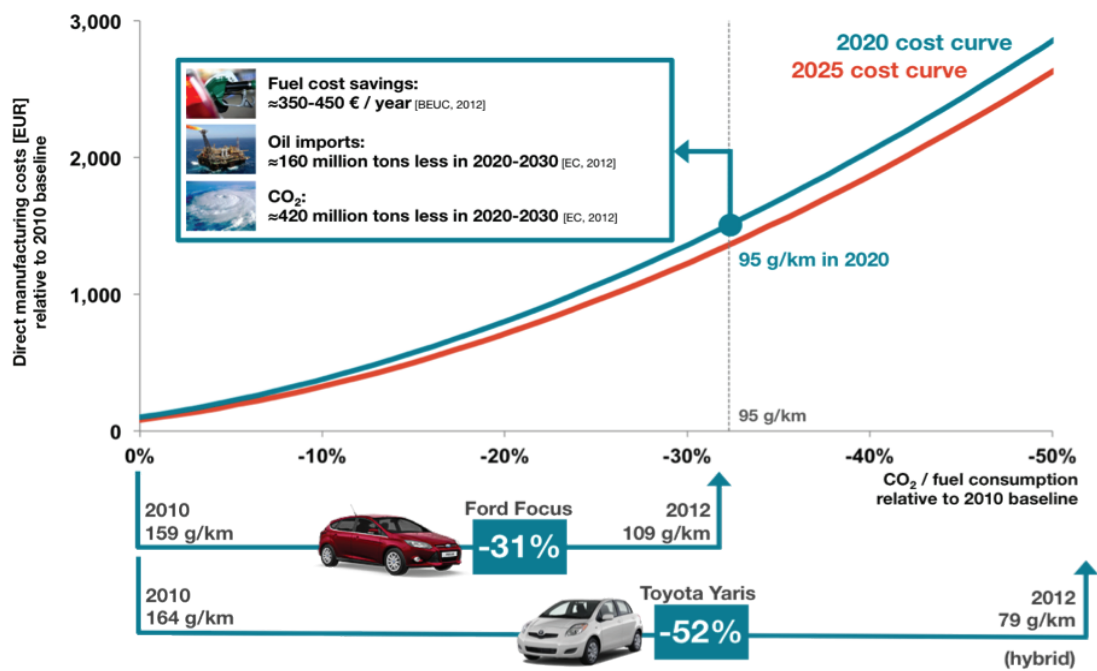
在得出各细分市场的成本曲线之后，再按照目前的燃料细分（即，汽油和柴油）和类别细分（即，B类、C类等）市场份额绘出车队加权平均曲线。因此，如在图A2.4中所示的2020-2025年成本曲线，明确地排除市场份额占比会向小型车辆转变的可能性。在ICCT研究文件2012-5中可以找到关于细分市场的成本曲线以及乘用车和轻型商务车辆成本曲线的详细信息。

C-segment PETROL

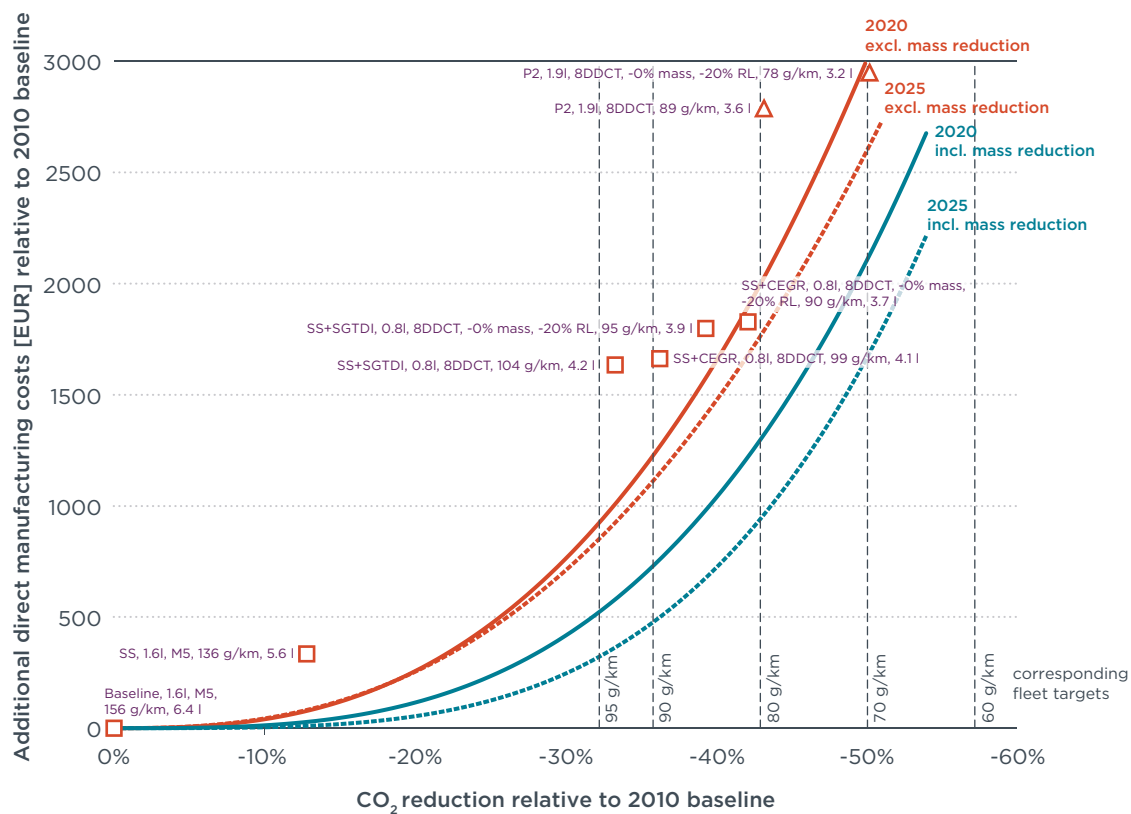


图A2.3. C级汽油车的成本曲线

17 报告见：<http://www.theicct.org/initial-processing-ricardo-vehicle-simulation-modeling-co2-data>。



图A2. 4. 欧洲乘用车市场的CO₂减排成本曲线



图A2. 5. C级汽油车2020年和2025年CO₂减排技术成本曲线

ICCT的下一步分析

在ICCT发布了2012-4和2012-5两篇工作论文后，FEV完成了一项关于减重成本的新分析报告¹⁸。根据报告，减重技术的成本应该比原来估计的更低，这些结果很有可能会取代之前相关报告的成本曲线，详见ICCT新的工作论文2013-1¹⁹。图A2.5显示了欧盟车队2020和2025年包含和未包含减重技术分析的技术成本曲线。

根据所得出各条曲线来看，我们可以得出这样的结论：到2020年欧盟的乘用车要达到95克/公里CO₂的目标估计增加的费用是相对于2010年基准车型来说每车约1000欧元（在未包含减重技术前提下），如包含减重技术，达标增加的费用则降到600欧元。同样的，到2020年欧盟的轻型商务车要达到147克/公里CO₂的目标估计增加的费用是每车约500欧元（未包含减重），如包含减重技术可降低至200欧元。要达到这些2020年的目标要通过改进内燃机，变速器和适度的轻量化。要达到任何一类车的平均CO₂目标都没有必要引入电动或混合动力汽车技术。如果标准的设计可以更好地鼓励减重技术发挥更大潜力，达标成本会进一步下降。

成本评估的基本假设是所有的技术都全部是西欧制造—更精确地说是在德国。在现实中，相当一部分的制造环节是在东欧完成，甚至是欧洲以外的劳动力成本比德国低的国家。根据估计，如果是在由东欧来完成制造的情况下，相关的成本曲线将相应比上文提及的曲线降低约15—20%。关于这种效应的更详细分析报告将在本系列随后的研究文件中呈现。

ICCT已经委托Ricardo公司根据拟议的世界统一轻型车测试程序（WLTP）对各种技术包进行模拟得出会产生多少增益，从而可根据WLTP 测试程序或NEDC工况（如需要）得出成本效益信息数据。

ICCT已经委托 FEV公司评估间接成本参数（ICMS），用于在欧盟范围内将直接制造成本转换成净制造成本。后续的成本曲线还将包括欧洲的ICM，不过后续出现大幅变动的可能性很小。

ICCT也将采用类似的方法对技术增益和成本数据进行转换，为中国的乘用车和轻型商用车的建造相应的成本曲线。

¹⁸ 报告见：<http://www.theicct.org/briefing-near-term-tech%20potential-new-cars-eu>

¹⁹ 报告见：<http://www.theicct.org/mass-reduction-impacts-eu-cost-curves>

附件3：技术术语缩写注释

- ATT 普适技术，即各种发动机均可采用的技术，包括发动机减阻、低摩擦润滑剂、空气动力优化、低滚动阻力轮胎等等
- DCP 进排气可变气门正时
- DCT 双离合变速器
- DOHC 顶置双凸轮轴
- DVVL 连续可变气门升程
- EGR 废气再循环
- GDI 汽油直喷技术
- Hybrid 传统混合动力
- MR 减重或轻量化
- Plug-in hybrid 插电式混合动力
- SS 起停
- Turbo 增压技术