

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2017.09.020

大众“排放门”事件成因解析及其对 中国汽车动力技术战略选择的启示

赵福全, 刘宗巍, 王司南

(清华大学节能与安全重点实验室 // 清华大学汽车产业技术战略研究院,
北京 100084)

摘要: 提高燃油经济性和降低污染物排放是当今汽车产业发展的两大重要主题。大众“排放门”事件引发了业界对于柴油机技术路线以及汽车动力技术战略选择的重新思考。从法规、技术和企业战略 3 个维度出发, 通过对比各国排放法规体系, 分析主流的柴油机减排技术, 论述大众清洁柴油机技术路线选择, 深入解析大众“排放门”事件的成因。在此基础上, 结合中国汽车产业的实际情况, 从国家法规体系、产业技术路线以及企业技术战略等角度总结若干关键启示, 并提出中国汽车动力技术战略选择的具体建议。

关键词: 大众“排放门”; 企业决策; 技术路线选择; 柴油机技术

中图分类号: G301; F204; F416.471

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2017) 09-0130-06

Volkswagen Emission Scandal Analysis and the Implications to the Strategical Decision of China's Vehicle Powertrain Roadmap

ZHAO Fuquan, LIU Zongwei, WANG Sinan

(State Key Laboratory of Automobile Safety and Energy; Tsinghua Automotive Strategy Research Institute,
Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Improving fuel economy and mitigating pollution emissions are two most concerned topics of automotive industry. The Volkswagen emission scandal brings reconsideration of diesel powertrain roadmap and strategical decision of vehicle powertrain technologies. From the perspective of regulation, technology and corporate strategy, the scandal is analyzed thoroughly by comparing the structures of vehicle emission regulations in different countries, analyzing the main diesel emission reduction technologies and discussing the Volkswagen's clean diesel roadmap decision. Considering the development of China's automotive industry, implications are provided with respect to national regulation structure, technology roadmap of automotive industry and corporate strategical decision making. Furthermore, suggestions are presented with regard to the strategical decision of China's vehicle powertrain roadmap.

Key words: Volkswagen emission scandal; corporate decision making; technology roadmap; diesel technology

1 研究背景

汽车产业对于能源和环境具有深远影响。近年来以中国为代表的新兴汽车市场增长势头强劲, 全球汽车保有量稳定增长。据世界汽车组织统计, 2013 年世界汽车保有量已达到 11.8 亿辆, 近 10 年年均增长率达 3.6%^[1]。从能源方面看, 汽车是目前最主要的石油消费源之一。数据显示, 2014 年全球石油消费量达到 42.1 亿吨^[2], 其中交通运输领域的石油消费占到总消费量的 64.3%, 而道路交通又

占了交通领域总体石油消耗的 90.0%, 可见汽车在全球能源消耗中占重要地位^[3]。在环境方面, 传统内燃车以及混合动力汽车仍然全部或部分以化石燃料作为能源, 造成大量温室气体和空气污染物的排放, 而全球汽车保有量的持续增加无疑进一步加剧了环境恶化的趋势。

面对日益严峻的能源和环境形势, 各国相继出台了汽车燃油经济性法规和污染物排放法规, 规定了不同类型汽车必须满足的燃油经济性和污染物排放限值标准。中国、欧盟地区和美国作为世界汽车

收稿日期: 2016-07-24, 修回日期: 2016-10-10

的最主要市场，均已明确制定或发布了到 2025 年以前的法规限值水平。不断加严的法规对各大汽车厂商提出了严峻挑战，倒逼汽车厂商必须根据自身的产品特点和技术储备情况选择合理的近中远期节能减排技术战略，以解决传统内燃机汽车的油耗和排放问题。

从最根本的汽车动力技术角度出发，面向未来需求的主要技术方案大致可分为三类：一是采用新能源技术，即以电力驱动汽车，变石油能源消耗为电能消耗；二是传统动力总成技术持续优化，这其中使用原理上比汽油机更加节油的柴油机是重要的选项之一；三是采用混合动力技术，结合前两种方案以达到节能减排目标。3 种方案各有千秋：新能源汽车无疑是一种治本的解决方案，但受电池成本和基础设施等条件限制，其广泛普及尚待时日；混合动力汽车有不同混合度可选，能够灵活满足需求，但由于同时搭载了两套动力系统，在成本上与传统内燃机汽车相比存在劣势；而柴油机似乎是最为简单的解决方案，特别是欧洲汽车厂商对柴油车的青睐度较高，其中尤以大众汽车为典型代表。大众汽车一直宣称，凭借自己的清洁柴油机技术可以用比混合动力更低的成本满足日益严苛的能耗和排放法规。

然而，2015 年 9 月，美国环境保护署（EPA）公布大众在美国销售的直喷增压柴油车存在作弊行为，这被称为大众“排放门”事件。作弊的柴油车中被人植入了程序，能够识别汽车是在实验室中进行排放测试实验还是在实际路况上行驶。当汽车在进行排放测试时，程序就开启氮氧化物（NO_x）排放控制措施；而当汽车在实际道路行驶时则关闭排放控制措施，导致实际路况的 NO_x 排放值最高超标达 40 倍。

“排放门”事件爆出后，大众股票在两天内下挫超过 30%，市值蒸发 137 亿美元。大众随后宣布，植入该作弊软件的车型总量可能超过 1 100 万辆，其中 2009—2015 年间在美国销售的总量就超过 50 万

辆，并计划投入约 73 亿美元进行善后^[4]。大众原 CEO 马丁·文德恩等众多高管也因此辞职。之后大众在自查中进一步发现，欧洲市场上销售的车型也在 CO₂ 测试中存在不正当行为^[5]。为此，几乎所有有大众柴油车销售的国家和地区均开始了调查工作。事件发生后，大众品牌及大众集团其它品牌在全球的销量明显下滑。目前事件仍在持续发酵中，影响尚难以完全估计。

本文从法规、技术和企业战略等维度出发，系统分析了“排放门”事件的成因，以此为基础，结合中国汽车产业的实际情况，总结了若干关键启示，提出了中国汽车动力技术战略选择的具体建议。

2 “排放门”事件的成因分析

首先必须明确，大众“排放门”事件从本质上讲不是技术问题，而是企业诚信问题，但是，技术特性、法规要求以及企业战略是交织在一起而相互影响的，这些因素共同导致了大众汽车最终选择了作弊行为。归结起来主要包括法规、技术和企业 3 个层面的原因，以下进行详细阐释。

2.1 法规层面的因素

各个国家和地区排放法规的严格程度、导入时间和循环测试工况不尽相同。以中国、欧盟和美国为例，在污染物限值方面，中国将于 2017 年全面实施国 V 排放法规，其严格程度与欧 V 法规相当；欧盟于 2014 年 9 月开始实施欧 VI 排放法规，相比于欧 V 法规，其污染物限值大幅加严；美国从 2004—2009 年逐年导入了 Tier2 阶段法规，其限值规定总体与欧 VI 相近，但比欧 VI 法规更为严格。在循环测试工况方面，欧盟和中国均采用 NEDC 工况；美国采用 UDDS、US06、SC03、NYCC 和 HWFET5 种工况，分别表征城市驾驶、激进驾驶、空调满载、市区拥堵和高速驾驶 5 种情形的驾驶特性，以反映实际路况下的排放情况。几种法规对比如表 1 所示。

表 1 各国和地区轻型柴油车污染物排放法规的严格程度对比

国家和地区	阶段	HCHO	NMOG+NO _x	HC+NO _x	NO _x	PM	CO	PN	导入时间	循环工况	当量严格程度
				mg/km			g/km	#/km			
中国	国 V			230	180	5	0.5		2017	FTP	欧 5
中国北京	京 VI		44			2	1.0		2017.12	NEDC	Tier3 bin70
欧盟	欧 6			170	80	5	0.5	6.0 × 10 ¹¹	2014.9	NEDC	欧 6
美国	Tier 2	2.5	99		31	2	2.6		2004	FTP	Tier2 bin5/ Tier3 bin160
美国	Tier 3	2.5	19			2	0.6		2017	FTP	Tier3 bin30

对于柴油车而言，污染物排放控制中难度最大的是对氮氧化物（NO_x）的控制。通过表 1 中对污染物排放限值、导入时间和循环工况等的对比可以发现，美国法规最为严格。美国从 2004—2009 年逐年导入了 Tier2 阶段的排放法规，规定了 8 个类型的污染物排放标准，企业需要将市场销售车型匹配到对应类型的标准中，所销售车型加权平均排放值不得超过 Tier2 bin5 的要求。相比之下，欧洲第 6 阶段排放标准晚于美国 Tier2 法规 5 年，到 2014 年才开始实施，且循环工况不同于美国标准，限值规定较美国标准也有所宽松。

大众“柴油门”事件涉及车型从 2009 年到 2014 年共计在美国销售了 50 万辆，处于美国柴油机乘用车市场的绝对主导地位，2014 年更是占到该领域市场份额的 71.71%^[6]。然而尽管在美国的柴油车中，大众品牌车型位居销量第一^[7]，但是美国乘用车市场是汽油车占据绝对主体地位，因此大众的柴油车仍然以在欧洲销售为主，比较而言，美国市场售出

的柴油车数量甚至可以说微不足道，这可能是大众汽车对美国法规迅速提升有所忽视的原因之一。而如前述分析，欧洲法规较美国滞后且要求较低，客观上大众汽车如果不想放弃美国市场，只有提前开发高于欧 5 标准的柴油车型，需要增添大量后处理技术并匹配相应硬件，这是要以成本的显著增加为代价的。

另一方面，从法规的具体实施和监管角度来看，美国法规的落实性也更强。图 1 对比了美国与欧洲排放法规的落实和监管方式^[8]。整体来看，欧洲法规中整车厂可以自己做测试或通过有资质的技术公司提供测试；而在美国法规下，EPA 有权利测试，且可以在任何步骤中实施认证试验，如果发现违规情况，EPA 有权处以罚款或者要求召回。具体来说，在道路载荷系数、实验室测试、生产一致性验证以及在用车监管等各个方面，欧盟法规都比美国法规的要求宽松。

地区	法规阶段	法规要求			
		滑台实验	实验室测试	产品一致性	在用车监管
欧洲	执法者	无认证性实验	无认证性实验	检查质量系统 无认证性试验	仅部分成员国采用 无法律后果
	OEM	滑台试验 实验结果不公布	实验室测试 使用代表性车型 NEDC工况测量	产品一致性 随机抽取样本 CO ₂ 不得超8%以上	在用车监管 仅对污染物排放监管，不 包括CO ₂
生产验证和使用					
美国	OEM	滑台实验 结果公布	实验室测试 排放最高车型，5工况测 测试车型覆盖产量的90%	选择性强制审查 执法者可以不事先通知， 要求OEM从生产线直接选 择指定车型做测试	在用车监管 行驶里程16000km和 20000km时测试
	执法者	滑台试验 周期性对部分在用车型做 验证性试验	实验室测试 为约15%的车型做验证性 试验		在用车监管 随机对选定目标车型做测 试

图 1 欧洲与美国排放法规监管方式对比

总体而言，欧洲排放法规一直给予柴油车不同于汽油车的区别对待，同时法规较美国要求低、监管松。因此，法规对大众“排放门”的影响主要有两点：一是美国排放法规的严格程度远超欧洲的排放法规，客观上造成柴油车达标难度大增；二是监管严格的美国法规体系也使大众汽车的作弊行为更容易被查出和披露。

2.2 技术层面的因素

从技术上看，工作原理决定柴油机技术在节油方面具有先天优势，在任何工况下都有较好的燃油经济性，同时也易于满足碳排放标准；与之相比，混合动力技术只在城市工况下更能体现出节油优势。

但是如前所述，柴油机必须克服 NO_x 等的排放控制难题。不断加严的排放法规限值和日益贴近实际的测试工况使柴油车排放达标的难度持续增加^[9]，一方面提高了排放控制系统的成本和复杂度，另一方面也不得不牺牲一部分燃油经济性，而成本和燃油经济性原本是柴油机的优势所在。

目前主流的柴油机减排后处理技术有 3 种，包括稀燃氮氧化物捕集技术（lean NO_x traps, LNT）、选择性催化还原技术（selective catalytic reduction, SCR），以及应对更高法规要求的 LNT+SCR 技术。表 2 展示了对 3 种技术作用原理、产品应用和劣势的对比分析

表2 3种柴油机NO_x后处理技术对比分析

对比的方面	LNT	SCR	LNT+SCR
作用原理	在发动机稀燃工况下，将NO _x 吸附于催化剂中，催化剂饱和后，进一步采用过饱和混合气（过量喷油），在短时间内将催化剂再生	利用氨将NO _x 还原为氮气和水，一般轻型乘用车采用尿素水溶液作为氨的载体	分为主动SRC和被动SRC技术。被动SRC技术可直接利用LNT合成的氨在SRC中参与NO _x 的还原反应
优势	在低负荷状态下有效还原70%~80%的NO _x ；设备耐久性和长时间工作效果好；无需增加尿素的储存箱，无需在使用过程中不断填充尿素。节省了车辆的布置空间，减少驾驶员维护成本	NO _x 还原的比例可高达95%；无需喷油再生催化剂，具有更好的燃油经济性	在超欧VI的排放法规阶段具有更好的前景；在不同工况下都具有较好的效果；某些系统构型无需填充尿素
劣势	NO _x 容量受限于LNT的体积，且在大负荷工况下（例如高速或爬坡等）会超过其后处理极限，造成NO _x 的排放恶化。对硫化物的亲和度高于氮氧化物，因此需要超低硫含量的油品以避免硫化物中毒。应用于大型车会进一步牺牲燃油经济性；催化剂中的贵金属成本较高	低负荷工况还原率较低；对油品的硫含量敏感，只有氧化钒作为催化剂的SRC硫含量的耐受性较高 ^[10] ；冷启动时尚未达到尿素的分解温度，效果不好 ^[11] ；需要周期性加注还原剂，以及为尿素喷射系统、储存系统和加热系统等匹配的更大的布置空间	系统更复杂；成本高昂；系统空间占用更大，布置受限；系统调校困难 ^[12]
应用	中小型柴油车	中型柴油车	大型柴油车

此次“排放门”事件中，大众柴油机采用的正是LNT技术。如表2所示，LNT技术相比于SCR技术具有一定成本优势，并可避免定期加注尿素的不便及额外成本。但LNT技术必须通过过量喷油来保持催化剂吸附NO_x的效果，也就是说，LNT技术要么牺牲部分燃油经济性来减少排放，要么牺牲排放控制效果来保持低油耗；而且这种切换较容易实现，在硬件系统无需更改的情况下，通过预置程序调节发动机和后处理系统的工作状态即可。“排放门”事件中，大众就是选择了在测试阶段开启过量喷油控制排放而牺牲油耗，而在实际使用阶段却予以关闭，牺牲排放而确保产品的燃油经济性，以博得消费者的青睐。

2.3 企业层面的因素

虽然法规、技术层面的因素在客观上构成了大众“排放门”的诱因，但本文认为此次事件最根本的原因还在于企业出现了技术战略决策的重大选题失误，高层又不愿意承认错误并及时调整，导致积重难返，最终以企业诚信问题的形式暴露出来。这

起事件绝对不是几个工程师的个人行为，而是高层战略决策方向约束下的不得已“作弊”。

从大众汽车动力技术的发展历程来看，柴油机技术的确长期具备领先优势。早在上世纪70年代，大众就生产了其第一辆柴油版Golf轿车，此后大众集团一直坚持重点发展柴油机技术。1999年发布的一款轻量化三缸柴油车陆波，油耗仅3L/100km，成为当时世界上最节油的汽车^[13]。随着欧洲乘用车市场柴油化进程的加快，大众对柴油机技术的信心也不断增强。如图2所示，欧洲乘用车市场上柴油车的市场份额从1991年的14.3%一直提升至2008年的53%，并一直平稳保持在50%上下的水平^[14-15]。随后，大众又进一步开发出混合动力柴油车，包括柴油混动的Jetta、Golf和Passat。大众柴油车不仅在欧洲受到认可，在美国市场也开疆拓土，在2014年全美十大最节油的柴油车中，大众集团独占6席^[16]。可以说，坚持优先发展柴油机战略的大众汽车确实将柴油机技术做到了世界顶尖水平。

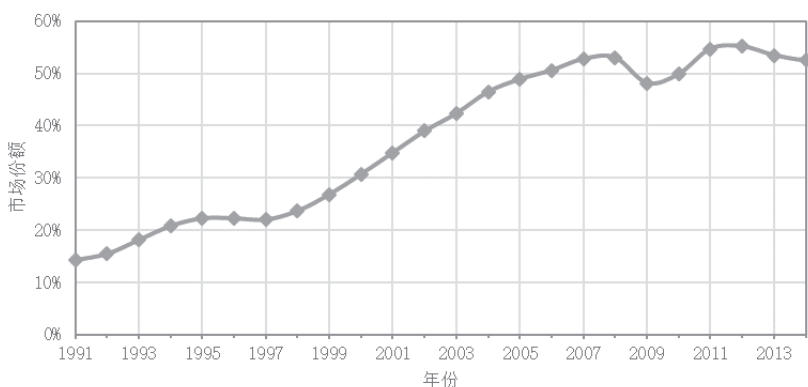


图2 欧洲乘用车市场上柴油车的市场占有率

然而，事物都是一分为二的。大众汽车一直以清洁柴油机作为满足未来节能需求的技术路线，而对于电动车、混合动力等其它节能技术的市场导入

却动作缓慢。在一定时期内，这一决策并无问题，并能享有企业资源聚焦的优势，但是在排放法规不断加严、柴油机成本优势渐趋减弱的大形势下，规

模庞大、实力超强的大众汽车却没有及时调整战略推出多种动力技术,而是依然固守柴油机标榜“包打天下”,这既是对柴油机技术本身的过度迷恋,更是一种战略短视和赌博。由此大众汽车陷入了两难的境地:如不作弊,则满足排放法规的柴油车节油效果减弱、成本增加,难以保持竞争力,而且短期内也没有其它技术可以替代柴油机征战市场;企业高层又固执己见,不愿承认只押宝柴油机是战略失误,最后只得选择作弊,试图蒙混过关。

3 大众“排放门”事件对中国汽车动力技术战略选择的启示

由于大众汽车在世界汽车业的重要地位,此次其“排放门”事件预期将对整个产业,特别是对于未来汽车节能技术的走向产生深远影响。满足排放需求的绿色柴油机技术在与混合动力技术的较量中,未来可持续的优势将不复存在,传统发动机,尤其是柴油机的发展前景将因此蒙上一层阴影。准备发展柴油机技术的企业,将更加谨慎或降低投入;已在开发柴油机技术的企业,也可能因此放缓推进速度;相应的,新能源汽车等其它技术路线则将因此更受重视。

回顾大众“排放门”事件发展过程,分析表面诱因背后的深层次主因,其中有诸多经验和教训值得中国汽车行业借鉴。

3.1 新能源是长期战略方向,国家理应坚定不移、主导推进

大众“排放门”事件再次提醒我们,传统内燃机作为汽车动力源在节能环保方面是有极限的,只依靠改进传统动力技术无法满足日趋严苛的节能环保需求,可见,以新能源汽车作为汽车产业长期发展方向是高瞻远瞩的正确战略抉择,国家应该更加坚定不移,加大力度积极推进电动车和插电式混合动力汽车的快速发展。而企业立足于长远,也要坚持自己的战略判断。以比亚迪为例,尽管在发展过程中遇到了这样那样的问题,但早在2003年进入汽车业之初,该企业就坚定推行电动车发展战略,并在多年市场环境较差的情况下始终不变,这种战略坚持对于企业来说是难能可贵的。

当然,尽管汽车动力电动化的趋势将日益明显,但受限于成本、耐久和基础设施等制约因素,当前新能源汽车还不可能迅速成为汽车产品的主流,“新旧”交替将是一个长期的过程。在可预期的未来,汽车动力都将呈现多元化的特点,因此,我们既不能放松对新能源汽车技术的攻关和产业化推进,也不能忽视其它任何可能的节能减排技术。

3.2 传统动力技术仍大有可为,即使柴油机也不可“因噎废食”

传统内燃机作为单独动力源的比例将持续下降,但预计在相当长的时间里仍会占据汽车动力源的多

数份额,并将在各种油电混合技术中发挥重要作用。而对于技术相对落后的中国来说,传统动力汽车的节能减排空间更为可观。因此,切不可由于此次“排放门”事件而忽视对传统内燃机的持续改进。任何一家企业,在一段未知且漫长的时间内只关注某种动力技术而放弃其它技术路线,都将面对无法承受的风险。实际上,针对近中期油耗法规带来的巨大节能压力,挖掘传统内燃机的潜力仍将是不可替代的技术选择,必须加大力度、重点投入。

企业应全力做好汽油机小型化、增压、直喷和可变技术等的攻关和优化;同时对柴油机也不可因噎废食,在降低节能期待、适当增加成本的情况下,柴油机仍是有效的节能技术,不仅可在商用车上继续使用,大型乘用车如SUV、MPV也应导入适当比例。近期中国汽车市场SUV的持续热销也增大了柴油车的潜在应用空间,特别是对于自主品牌车企,短期内要实现混合动力技术突破的难度很大,柴油机技术近乎成为满足油耗法规的必然选择。如果既回避混合动力,又放弃柴油机,企业未来是不可能满足严苛的节能减排法规的。

3.3 混合动力不仅是过渡技术,更是无法逾越的达标技术选项

混合动力作为一种重要的节能技术,未来将成为满足油耗和排放法规不可或缺的技术方案。不应仅将混合动力视为一种过渡技术,实际上这是最基础、最关键的汽车技术之一。一方面,传统内燃机的持续改进和优化技术几乎可以全部应用于混合动力系统中,进一步提高整车的燃油经济性;另一方面,即使在电动车广泛普及后,动力耦合和电子控制等混合技术也仍然可以继续发挥作用。

目前,中国混合动力技术远远落后于世界先进水平,无论国家还是企业都应加强重视、奋起直追。根据当前自主品牌车企的技术现状,尤其应关注插电式、增程式及轻型混合动力技术的开发及应用。

3.4 在持续加严法规的同时,国家更要严格执法

由上文分析可知,美国法规的完善体系和执法力度在暴露大众“排放门”事件的过程中发挥了重要作用。中国现行法规的限值标准和执法体系基本同欧盟一致,无论从法规体系还是执法方式上,都大可借鉴美国的一些经验。

在加强立法方面,国家应当综合评估企业的达标成本,渐进地导入更加严格的法规。超出大部分企业现阶段能力的法规,对处于技术弱势的自主品牌不利,更容易诱发企业投机取巧甚至作弊行为。今后在立法的过程中应当有充分的标准评估和技术评价作为支撑,包括法规的社会效益、企业的技术成本等,都应当予以系统考虑。

而加强执法甚至比科学立法更为重要。当前,国家在节能环保方面必须严格执法,这比加快法规

升级更有意义。例如,可以借鉴美国法规的监管流程,加强执法部门在产品型式认证、生产一致性认证和在用车符合性方面的抽查与监管,以确保法规执行落地。这样一方面让在中国市场的所有企业都感受到中国法规的严肃性,认真做好相关技术的开发及引进,助力中国能源和环境问题的解决;另一方面,更要让本土企业摒弃侥幸心理,为走出国门创造良好环境,否则,即使大众这样的世界级强企,也一样要付出沉重代价。

3.5 企业技术路线选择是一门科学,需遵循规律而非押宝

大众“排放门”事件暴露出的一个问题是,企业掌舵人可以懂技术,但不能自视为技术专家,否则很容易陷入技术路线之争,将对技术路线选择产生可怕的影响,因为派系是从自认为“主流”的思想出发进行决策,而不是从企业近期、中期、长期利益角度出发,系统全面客观地看待问题。

实际上,企业在选择节能与新能源技术时是绝不能押宝的,因为每一种技术都有其局限性和不确定性,过分迷恋某一“先进”技术,超越了极限而没有其它备选方案,企业很可能将陷入异常危险的境地;同时,企业的技术战略决策必须兼顾近期的现实压力和中远期的发展需求,系统考虑国家战略、法规要求、企业研发水平与技术储备、技术的成熟度与成本、市场接受程度、消费者用车习惯等多种因素,有针对性地制定近期、中期和长期的产品战略规划,以及不同技术的开发和市场导入策略,以有效而变化的技术组合来应对挑战。

4 总结

大众“排放门”事件从表面上看是企业诚信问题,而非技术问题,但究其根源,则是大众汽车在动力技术战略决策中出现了重大选题失误所致。面对日益严苛的排放法规,大众一直坚持的柴油机技术路线难以兼顾成本、节油和排放需求,又没有其它储备技术的及时推出,导致只能选择“作弊”来保持产品竞争力,最终为美国监管严格的执法体系曝光。这一事件一方面对于汽车动力技术路线的选择有深远的影响,另一方面更促使我们重新思考企业进行技术战略决策的科学方法论。

实际上,适宜的技术路线从来不是一成不变的,因为影响技术路线的法规、成本、市场以及技术成熟度等要素都在改变。技术决策本身是一门科学,切勿自欺欺人或弄虚作假,否则终将受到“惩罚”。大众汽车此次“排放门”事件的惨痛教训恰恰证明了这一点。作为汽车工业的后来者,中国政府和企业尤其需要系统思考、与时俱进、谨慎判断、积极行动。面向未来能源多样化的机遇与挑战,我们必须多管齐下:坚持推进新能源汽车的战略发展,同时持续优化传统动力技术,加强混合动力技术的研

发与应用,并不断加大基础研究力度,以支撑中国汽车大国早日走向汽车强国。

参考文献:

- [1] OICA. Worldwide motorization rate 2013 [EB/OL]. (2015-02-27) [2016-05-24]. <http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>
- [2] BRITISH PETROLEUM. Statistical review of world energy 2015 [EB/OL]. (2015-06-01) [2016-05-24]. <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>
- [3] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Key world energy statistics 2015 [EB/OL]. (2015-11-30) [2016-05-24]. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2015.html>
- [4] JACK EWING. Volkswagen says 11 million cars worldwide are affected in diesel deception [EB/OL]. (2015-09-22) [2016-05-24]. http://www.nytimes.com/2015/09/23/business/international/volkswagen-diesel-car-scandal.html?_r=0
- [5] ANDREAS CREMER. VW says CO2 emissions scandal not as bad as feared [EB/OL]. (2015-12-09) [2016-05-24]. <http://www.reuters.com/article/us-volkswagen-emissions-carbon-idUSKBN0TS12I20151209>
- [6] JEFF COBB. December 2014 Dashboard [EB/OL]. (2015-01-06) [2016-05-24]. <http://www.hybridcars.com/december-2014-dashboard/>
- [7] THE STATISTICS PORTAL. Number of diesel passenger car registrations in the U.S. in 2014, by major manufacturer (in units) [EB/OL]. (2015-05-30) [2016-05-24]. <http://www.statista.com/statistics/465801/us-diesel-passenger-car-registrations-by-major-manufacturer/>
- [8] MOCK P, GERMAN J. The future of vehicle emissions testing and compliance [J]. Communications, 2015, 49 (30): 847129-102
- [9] WITTKA T, HOLDERBAUM B, MAUNULA T, et al. Development and demonstration of LNT+ SCR system for passenger car diesel applications [J]. SAE International Journal of Engines, 2014, 7: 1269-1279
- [10] JOHNSON T V. Review of vehicular emissions trends [J]. SAE International Journal of Engines, 2015, 8: 1152-1167
- [11] JANSSEN J. Vanadia-based catalysts for mobile SCR [M]// NOVA I, TRONCONI E. Urea-SCR technology for deNOx after treatment of diesel exhausts. New York: Springer, 2014: 65-96
- [12] YANG L, FRANCO V, CAMPESTRINI A, et al. Control technologies for euro 6 Diesel passenger cars [J]. Communications, 2015, 49 (30): 29-102
- [13] ECKER H J, SCHWADERLAPP M, GILL D K. Downsizing of diesel engines: 3-Cylinder/4-Cylinder, March 6-9, 2000 [C]. Detroit: SAE World Congress, 2000
- [14] EUROPEAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS' ASSOCIATION. The automobile industry pocket guide [R]. Brussels: European Automobile Manufacturers Association, 2014
- [15] EUROPEAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS' ASSOCIATION. The automobile industry pocket guide [R]. Brussels: European Automobile Manufacturers Association, 2015
- [16] US DEPARTMENT OF ENERGY. Fuel economy of new diesel cars [EB/OL]. (2015-12-10) [2016-05-24]. <http://www.fueleconomy.gov/feg/>

作者简介: 赵福全 (1963—), 男, 辽宁铁岭人, 国家“千人计划”特聘专家, 院长, 教授, 博士研究生导师, 博士, 主要研究方向为汽车产业发展、企业运营与管理、技术发展路线。刘宗巍 (1978—), 通信作者, 男, 辽宁朝阳人, 副研究员, 博士, 主要研究方向为汽车企业管理、研发体系构建理论与应用、产品开发流程与项目管理、技术战略评价与决策方法论。王司南 (1991—), 男, 辽宁铁岭人, 在读博士生, 主要研究方向为国家燃油经济性法规体系的评价与优化、汽车节能技术路线的选择与优化方法。