

欧洲汽车行业现状与发展趋势

[精简版 2020]

Review & Development Trend of European Automotive Sector [Brief Version 2020]

全德华人机电工程学会
法国华人汽车工程师协会
全英华人汽车工程师协会
奥中科技交流协会

编著

中国人才研究会汽车人才专业委员会
出版



欧洲汽车行业现状与发展趋势

编委会

李铀 汪善进 张式程 胡静文 姜钧伟 唐华寅
徐宏明 陶剑波

主编 汪善进

前言

一年一度的全球华人汽车精英联合年会暨“中国拥抱世界”汽车产业创新论坛是海内外华人汽车行业人士的大聚会。2019 年大会决定把 2020 年大会的主办权交给欧洲的汽车协会，由全德华人机电工程学会牵头。会议结束之际，全球汽车精英组织汪大总主席在与海外汽车协会代表交谈中指出建立汽车智库的重要性，希望广大海外汽车协会能为中国汽车智库的建立做出贡献。法国华人汽车工程师协会汪善进会长呼应提出撰写一份有关欧洲汽车发展现状的报告书，在 2020 年全球华人汽车精英联合年会期间推出以供大家交流。建议得到了中国人才研究会汽车人才专业委员会领导和全德华人机电工程学会张式程主席的大力支持，并为这个项目冠名为《欧洲汽车蓝皮书》。此项目也得到全英华人汽车工程师协会和奥中科技交流协会的积极响应。

在全德华人机电工程学会、法国华人汽车工程师协会、全英华人汽车工程师协会及奥中科技交流协会负责人共同推进下，四大协会联合成立了《蓝皮书》编委会，汪善进担任主编。由于受欧洲各国冠新疫情影响，《蓝皮书》起草和编辑工作从 2020 年 6 月份正式开始。《蓝皮书》稿件征集通知经四大协会正式发出后，受到欧洲汽车业内人士的极大关注和许多投稿意向。在不到一个月的时间里，编委会收到了近 50 份稿件。为了赶在全球华人汽车精英联合年会之前出版，我们不得不忍痛割爱，挑选了部分稿件，把核心内容编辑成《欧洲汽车行业现状与发展趋势》精简版，以刊物的形式发表。

欧洲是汽车的发源地，一百多年来一直在汽车领域占据特殊地位，在很多方面引导世界潮流。悠久的历史沉淀、众多的知名品牌、一流的内燃机技术和完整的零部件供应体系，使得欧洲车企在汽车领域的优势经久不衰。同时，欧洲民众普遍具有强烈的环保意识，欧盟为环保制定了非常严苛的汽车尾气排放法规，既能保护环境，又能从政策层面上推动新能源汽车的持续发展。因此，欧洲在新能源汽车领域里的很多方面也是领头羊。深入了解欧洲汽车的发展进程和动向，对中国汽车未来的发展无疑具有很大的借鉴作用。

受时间和篇幅所限，这份刊物对欧洲汽车行业的现状和发展趋势进行了简单的介绍，让国内汽车界的朋友对欧洲汽车行业的现状和趋势有个宏观的了解。虽不够全面，但我们希望它的出版能起到抛砖引玉的作用，带动更多的海外学者和专业人士为中国汽车智库的发展添砖加瓦。

《欧洲汽车行业现状与发展趋势》这份刊物是欧洲华人汽车协会赠给《2020 年全球华人汽车精英联合年会》最具欧洲特色的礼物。它的出版，见证了欧洲汽车界广大华人专业人士对欧洲汽车事业的关注和对中国汽车发展的热情，更见证了欧洲四大华人汽车协会之间的良好合作和真挚友谊。

感谢中国人才研究会汽车人才专业委员会特别是李喆乐秘书长对这份刊物出版的大力支持！感谢所有为本刊物的起草和撰写做出贡献的编委和作者！

全德华人机电工程学会主席 张式程

法国华人汽车工程师协会会长 汪善进

全英华人汽车工程师协会主席 徐宏明

奥中科技交流协会会长 姜钧伟

目录

7

第一章 新能源汽车

1. 前言

2. 欧洲新能源汽车的发展历史与现状

2.1 新能源汽车历史简介

2.2 欧洲新能源汽车市场概况

2.3 纯电动汽车与插电混合动力汽车比较

2.4 欧洲新能源汽车主要厂商和品牌

3. 欧洲政府的新能源汽车政策与推动措施

3.1 欧盟的碳排放政策

3.2 欧洲及德国电池产业布局

4. 欧洲汽车厂商的新能源战略与技术路线

4.1 法系车企的新能源战略

4.2 德系车企的新能源战略

4.3 欧洲各大车企的新能源技术路线

5. 欧盟动力电池梯次利用的现状和发展趋势

5.1 梯次利用的应用场景和技术路线

5.2 欧盟梯次利用的现状和发展趋势

6. 欧洲及全球新能源汽车展望

6.1 欧洲乘用车及轻型车领域新能源汽车市场起步

6.2 欧洲的排放和限行法规及优厚的政府政策

6.3 拉动新能源汽车普及的主要动力

6.4 欧洲及全球新能源汽车销量展望

7. 总结

第二章 智能与网联汽车

1. 前言

2. 欧洲自动驾驶产业概述

2.1 高级辅助驾驶系统（ADAS）发展趋势

2.2 无人驾驶发展趋势

2.3 车联网发展趋势

3. 欧洲自动驾驶产业生态现状

3.1 OEM 产品动态与战略规划

3.2 供应商产品动态与战略规划

3.3 初创公司产品动态与战略规划

3.4 各国政府的产业规划与政策

4. 智能网联汽车安全性

4.1 ISO26262 与 SOTIF 预期功能安全

4.2 车辆网络安全

5. 总结

第三章 内燃机与混合动力汽车

1. 前言

2. 欧洲内燃机技术的现状与发展趋势

2.1 欧洲车用发动机类型及其燃料概况

2.2 欧洲车用发动机燃烧系统

2.3 混合动力背景下的内燃机整机优化调整

2.4 后欧六时代排放法规前瞻与技术挑战

2.5 后欧六时代给内燃机标定带来的挑战

3. 欧洲混合动力技术的现状与发展趋势

3.1 混合动力构架分析与路线展望

- 3.2 混合动力与先进燃烧技术及后处理技术的融合
- 3.3 混合动力与人机系统的融合
- 3.4 混合动力与自动驾驶的融合
- 3.5 混合动力与车联网的融合

4. 总结

第四章 汽车工业体系与行业整体发展

1. 前言

2. 车企转型中组织构架面临的挑战

- 2.1 行业背景
- 2.2 项目矩阵式结构
- 2.3 职能部门组织构架

3. 汽车供应商如何应对行业变革

- 3.1 全球汽车业的冬天来了？
- 3.2 电动化的崛起
- 3.3 大型供应商转型迫在眉睫
- 3.4 中小型供应商如何应对

4. 工程咨询服务行业在欧洲汽车行业中的定位和作用

- 4.1 行业背景
- 4.2 商业模式和政策影响
- 4.3 机遇和挑战

5. 欧洲领头羊德国汽车工业发展现状综述

- 5.1 汽车新四化-让人憧憬的美丽新世界？
- 5.2 电动汽车最终会脱离利基市场吗？
- 5.3 失业恐惧和企业重塑- 转型带来的压力？
- 5.4 德系车企 vs 特斯拉- 猎人还是被猎杀？
- 5.5 智能联网-“德国制造” vs “美国超人”？
- 5.6 自动驾驶- 人类和机器人的控制权之争？

- 5.7 多元化的新服务- 纯汽车制造急需拓展新属性?
- 5.8 经济的不确定性- 惩罚性关税是否正在威胁汽车行业?
- 5.9 中国市场决定成败- 汽车行业有望在今年触底反弹?

6. 总结

98

附件

欧洲四大华人汽车协会简介

全德华人机电工程学会

法国华人汽车工程师协会

全英华人汽车工程师协会

奥中科技交流协会

第一章

新能源汽车

1. 前言

作为汽车的发源地，一百多年来欧洲一直是整车制造和零部件制造中心之一。悠久的历史 and 雄厚的技术，使得欧洲车企在汽车领域的各个方面都具有很大优势。同时，欧洲民众普遍具有强烈的环保意识，欧洲政府的环保政策经常起到引领全球作用。2015 年在巴黎召开的联合国气候大会达成了历史性的减排协议。在巴黎气候大会召开前夕，欧盟制定了全球最严的汽车碳排放标准，既能保护环境，又能从政策层面上推动新能源汽车的持续发展。因此，欧洲很有潜力成为全球新能源汽车的领头羊。欧洲新能源汽车的发展进程和动向，对中国新能源汽车未来的发展具有很大的借鉴作用。

本章对欧洲新能源汽车的现状和发展趋势做个综述。内容涉及欧洲新能源汽车市场的总体状况介绍、欧洲各大厂商的新能源发展战略和技术路线介绍、欧盟的二氧化碳排放法规和欧洲各大政府的新能源汽车政策解读以及动力电池的梯次利用介绍。最后一篇文章是行业专家对欧洲及全球新能源汽车未来十年的发展趋势做出的分析和预测。

2. 欧洲新能源汽车的发展历史与现状

汪善进(法国)

2.1 新能源汽车历史简介

众所周知，欧洲是汽车的诞生地。1769 年，法国人居纽 (Joseph Cugnot) 发明了世界上第一辆蒸汽机汽车。1886 年，德国人戴姆勒 (Gottlieb Daimler) 和奔驰 (Carl Benz) 发明了世界上第一辆燃油汽车。世界上第一辆电动汽车通常被认为是由英国人安德森 (Robert Anderson) 在 1832 年左右发明的，比燃油汽车早半个世纪 [1][2]。1859 年法国物理学家普朗特 (Gaston Plante) 发明了可充电的铅酸电池 [2]。有了蓄电池技术，电动汽车才从 19 世纪下半叶开始在欧美得到了较为广泛的运用。1900 年美国制造的汽车中，电动汽车为 15755 辆，蒸汽机汽车 1684 辆，而燃油汽车只有 936 辆。进入 20 世纪以后，由于内燃机技术的不断进步，特别是 1908 年美国福特公司发明了以流水线生产方式大批量生产汽车，使燃油汽车普及到千家万户，蒸汽机汽车被无情地淘汰，电动汽车也因续航里程短逐渐萎缩。

20 世纪末，随着石油资源的日益减少、大气环境的污染增加，人们重新关注起电动汽车。1990 年，美国加利福尼亚州首先制定了零排放汽车 (Zero Emission Vehicle) 计划，强制在美国的厂商从 1998 年起生产至少 2% 的零排放汽车。全球各主要汽车厂商开始在新能源汽车领域做出尝试。美国通用汽车公司开发一款新型纯电动汽车 EV1，在 1996 到 1998 年之间共生产了 1117 辆 [2][3]。21 世纪初，汽车动力电池技术有了新的发展，特别是能量密度较高的三元锂电池，把电动汽车的续航里程提到了新的台阶。2006 年，成立不久的美国特斯拉汽车公司推出了 Roadster 纯电动跑车，百公里加速只要 3.9 秒，每次充电可行驶 400 公里。同年，中国比亚

迪汽车公司成功研发第一款搭载磷酸铁电池的 F3e 纯电动汽车。2010 年，日产公司推出全球最早的纯电动车量产车型 Leaf。2010 年，法国波洛莱公司推出一款小型纯电动汽车 Bluecar，并在巴黎地区成功地建立了自动出租服务，最多时有 4000 辆 Bluecar 同时运行。2012 年，雷诺推出面向大众的纯电动车型 Zoe。全球新能源汽车在政策补贴的刺激下，迎来了蓬勃发展的黄金时代。

在新能源汽车的发展史册上，中国的比亚迪汽车占有一席之地。2003 年成立的比亚迪汽车公司，一开始就把电动汽车、混合动力汽车作为发展重点。2008 年比亚迪发布自主研发的 F3 DM 插电混动车型，是全球第一款可充电混合动力汽车，开创了新能源汽车的一片新天地。插电式混合动力车又称可充电混合动力车，也称双模汽车，即在一辆车上搭载了两套驱动方式(纯电驱动和油电混合驱动)，既有纯电动汽车无污染的优点，又解决了无电不能出行的烦恼。今天，插电式混合动力汽车在国际上被公认为新能源汽车。

2.2 欧洲新能源汽车市场概况

在当今的乘用车市场上，新能源汽车主要由纯电动汽车和插电式混合动力汽车组成，因此也被行业人士称为插电式汽车。氢燃料电池汽车由于成本高、技术不成熟等问题，在欧洲一直没有起步[4][5]。2019 年，欧洲的氢燃料电池汽车总销量只有 526 辆，在一个年销量高于 1500 万的汽车大市场里，几乎可以忽略不计（注：欧洲市场指欧盟 27 成员国，欧洲自由贸易联盟 4 成员国和英国）。

至今为止，尽管新能源汽车技术不断改进，汽车消费者的环保意识越来越强，但新能源汽车市场的发展动力主要来自各国政府的推动政策。除政府对新能源汽车的补贴政策外，欧盟为环保制定了非常严苛的汽车尾气排放法规，使得传统动力汽车无法达标。更有甚者，欧洲五大汽车市场中的法国、英国和西班牙将从 2040 年开始禁售燃油车，小国挪威更是将燃油车禁售提前到了 2025 年。部分城市和地方政府也出台了更为严苛的燃油汽车禁行限制，例如巴黎、伦敦将在 2030 年禁行燃油汽车。这些政策都是欧洲新能源汽车市场的强大推手。

欧洲一直占据全球第二大新能源汽车市场地位。2015 年欧洲曾经超过美国成为世界第一大市场，但 2016 年开始被中国超过。自 2010 年起，欧洲的新能源汽车销量一直呈快速增长。2017 年同比增长 39%，2018 年同比增长 41%，2019 年同比增长 40%。

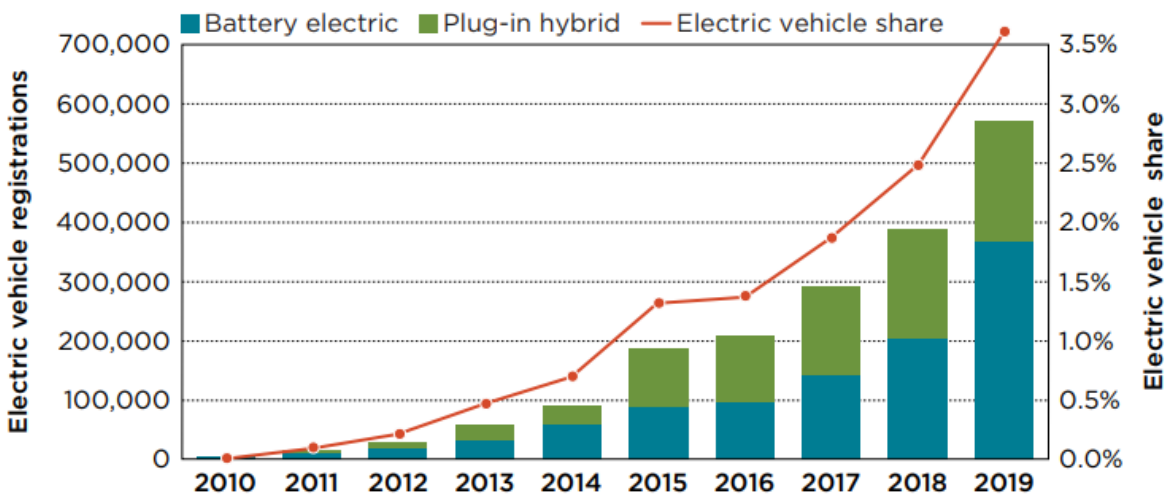


图 1: 2010 年 - 2019 年欧洲新能源汽车销量与新车市场份额变化 (数据来源 ICCT)

德国、英国、法国、意大利是欧洲的传统汽车大国，也一直占据欧洲汽车市场的前四名。但小国挪威在其政府的强力推动下，在新能源汽车市场是欧洲的领头羊。2019 年

挪威新能源汽车销量为 86,200 辆(欧洲第二)，累计销量为 334,000 辆(欧洲第一)，电动汽车销售份额为 58%(世界第一)。

2.2.1 2019 年欧洲主要国家的新能源市场状况

2019 年欧新能源汽车销量为 564,000 辆。德国销售量最多，为 106,000，其次是挪威（80,000）、英国（74,000）、法国（61,500）。新能源汽车销售渗透率为 3.6%。整个欧洲分布并不均匀，市场渗透率高的国家是挪威（56%），荷兰（15%）和瑞典（11%）。德国、英国和法国的电动汽车市场渗透率都在 3% 左右。东欧和南欧的许多市场的电动汽车市场渗透率均低于 1%。

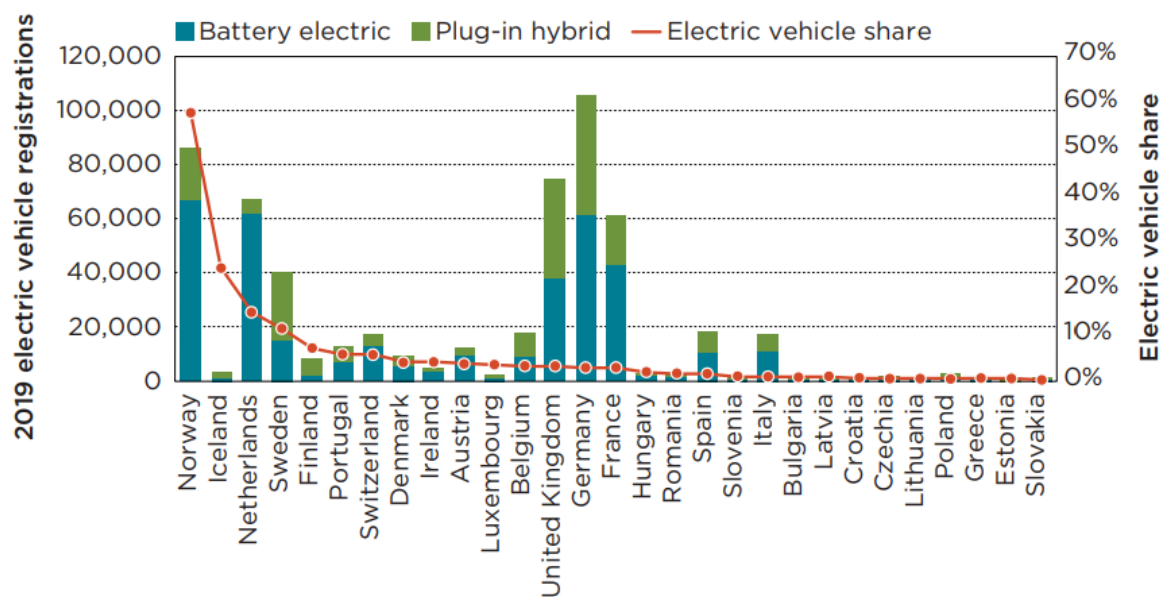


图 2：2019 年欧洲各国新能源汽车销量与新车市场份额分布 (数据来源 ICCT)

2.2.2 2020 年欧洲新能源市场趋势

2017 年开始，欧洲所有车企都加大了新能源汽车领域的投资力度。2020 年到 2022 年之间将有 50 多款新型电动汽车在欧洲上市。大量的新能源车型出现，带动了消费者的购买欲，也增强了老百姓对新能源汽车的信心。2020 年一季度，欧洲主流市场新能源汽车的销量超过了 20 万辆，同比增长约 85%。其中纯电车型的注册数达到创纪录的 12.6 万辆，同比增长约 56%，市场占比达 4.6%；3 月份的单月销量也是创下了历史新高，达 5 万辆，在新车市场的占比达到 6.5%。德国、法国和英国的新能源汽车销量同比涨幅都超过 100%。

第二季度受新冠疫情影响比较大，6 月份整个欧洲市场仍处于复苏模式，同比下降 24%。为了拯救汽车市场，欧洲多个国家加大了对新能源汽车的补贴力度，其中德、法两国的补贴力度非常大。德国每辆新能源车的补贴达到了 9000 欧元（约合人民币 7.4 万元）。法国政府对每位纯电动车购买者补贴 7000 欧元，如果是换购形式购车还能额外享受 5000 欧元补贴，也就是说在法国购买一辆纯电动汽车最多可以享受到 1.2 万欧元的补贴。插电式混合动力汽车购买者则可获得 2000 欧元的补贴，条件是二氧化碳排放量每公里少于 50 克。

受政府的补贴政策影响，2020 年第二季度欧洲新能源汽车销量仍然快速增长。2020 年上半年的新能源汽车市场份额高达 7.9%（仅纯电动的市场份额为 4.3%），是 2019 年 3.6% 的两倍以上。6 月份登记了近 93,000 辆汽车（增长 95%），创了历史纪录。6 月份的插电汽车市场份额为 8.2%（其中纯电动汽车的市场份额为 4.4%）。可以预见，欧洲今年的新能源汽车将打破历史纪录，超过百万大关，有望成为世界第一大市场。

2.3 纯电动汽车与插电式混合动力汽车比较

目前欧洲市场的新能源汽车基本由纯电动汽车和插电混合动力汽车组成，两者的增长幅度都很大。从汽车的价格和性能方面比较，插电式混合动力汽车具有明显的优势。插电式混合动力汽车携带燃油动力和纯电动两套系统，造价自然比燃油汽车高。但相比纯电动汽车，由于电池小很多，插电式混合动力汽车在成本上更有优势。下表是欧洲市场今年卖得最好的纯电动汽车雷诺 Zoe 和刚上市不久的插电混合动力汽车雷诺 Captur e-Tech 比较。两辆车价格不相上下，但 Captur e-Tech 性能远远高于 Zoe。

| 车型 | 档次 | 发动机+电机 总马力 | 电池容量 | 纯电动 续航里程 | 总续航 里程 | 最低价格 (不含补贴) |
|--------------------------|----------|------------------------------------|---------|-------------|-----------|----------------|
| Renault Zoe | B | 109 hp | 52 kWh | 395 km | 395 km | 32 300 € |
| Renault Captur e-Tech | B SUV | 160 hp (油 91 hp 电 66hp+31hp) | 9.8 kWh | 50 km | > 600 km | 33 700 € |

表 1: 纯电动与插电式混合动力汽车比较

对上班族来说，只要工作单位离住所不超过 50 公里，插电式混合动力汽车用起来与纯电动汽车一样，不费一滴油，同样环保。对周末要远行的人来说，开混合动力汽车不必担心半路没电。插电式混合动力汽车相对纯电动汽车的优势非常明显。因此，在电池技术有重大突破之前，插电式混合动力汽车的增长潜力大于纯电动汽车。

2.4 欧洲新能源汽车主要厂商和品牌

在欧洲的汽车厂商中，法国雷诺的纯电动汽车发展战略制定得最早。2008 年，雷诺集团公布发展战略，明确把发展重点放在纯电动汽车上，并于 2012 年成功量产纯电动车 Zoe，面向大众，在欧洲第一次采用纯电动专属平台。除雷诺外，德国宝马、瑞典沃尔沃的电动化布局也较早，但他们的重点放在插电混合动力汽车上。2013 年，宝马推出第一辆纯电动汽车 BMW i3。与雷诺不同，宝马采用了纯电动与燃油汽车共享平台的技术路线。凭借先发优势，雷诺、宝马在欧洲市场多年来一直名列前茅，与非欧洲的特斯拉、日产、三菱分享欧洲市场的前 5 名。德国大众集团的电动化布局很晚，2015 年“柴油门”爆发，迫使大众改变战略，抛弃传统的柴油汽车路线，彻底走上电动化道路，并制定了最全面的电动化发展目标。德国戴姆勒集团、法国标致雪铁龙集团也是从 2016 年才开始把发展重点转移到电动化路线上。

2.4.1 2019 年欧洲市场的畅销品牌与车型

在 2019 新能源汽车的排名中，前 5 名里有 4 款纯电动车。特斯拉 Model 3 位居榜首，成为 2019 年欧洲最畅销的插电汽车。第二名是久战沙场的雷诺 Zoe，自从 2013 年上市以来，Zoe 每年都刷新销售纪录。多年位居欧洲插电混合动力榜首的三菱 Outlander 占据第三名位置。第四和第五名分别是日产 Leaf，大众 e-Golf，都是纯电动。

尽管宝马的纯电动车 i3 只占据第六位，但宝马集团旗下有 4 款插电混合动力车进入前 20 名：Mini Countryman，BMW 530e，BMW 225Xe Active Tourer，BMW 330e。沃尔沃的一款插电混合动力车 XC60 T8 排名第十。至于奔驰，集团旗下有一款插电混合动力车 Mercedes E300e/de 和一款纯电动车 Smart Fortwo ED 进入前 20 名。

| Rank | Electric car model | Sales |
|------|---------------------------|--------|
| 1 | Tesla Model 3 | 95,168 |
| 2 | Renault Zoe | 45,129 |
| 3 | Mitsubishi Outlander PHEV | 34,597 |
| 4 | Nissan Leaf | 31,792 |
| 5 | Volkswagen e-Golf | 28,710 |
| 6 | BMW i3 | 23,882 |
| 7 | Hyundai Kona EV | 21,790 |
| 8 | Audi e-tron | 18,382 |
| 9 | Mini Countryman PHEV | 15,975 |
| 10 | Volvo XC60 T8 PHEV | 14,395 |

表 2: 2019 年欧洲市场新能源汽车销量统计 (数据来源: Manufacturers, ANDC, JATO Dynamics)

2.4.2 2020 年变化趋势

从 2020 年的排名来看，最大的惊喜是法国的雷诺 Zoe 超过特斯拉 Model 3 夺得欧洲新能源车型的第一名。雷诺 Zoe 的销量优势估计到 9 月份之前不会改变。在未来的几个月中，大众将要推出的全新车型 ID.3，有可能挑战雷诺 Zoe 或特斯拉 Model 3 的地位。

| Rank | Electric car model | Sales |
|------|---------------------------|--------|
| 1 | Renault Zoe | 36,506 |
| 2 | Tesla Model 3 | 33,164 |
| 3 | VW e-Golf | 17,639 |
| 4 | Mitsubishi Outlander PHEV | 14,009 |
| 5 | Audi e-tron | 13,538 |
| 6 | Peugeot 208 EV | 13,266 |
| 7 | Nissan Leaf | 12,925 |
| 8 | Hyundai Kona EV | 11,527 |
| 9 | Volvo XC60 T8 PHEV Mini | 8,801 |
| 10 | VW Passat GTE | 8,743 |

表 3: 2020 上半年欧洲市场新能源汽车销售数量(来源: CleanTechnica)

在品牌排名中，特斯拉，宝马，雷诺和大众 4 个品牌几乎不相上下，都占有大约 9% 的份额。排名第一的特斯拉与排名第四的大众之间的销量差距只有 1,155 辆。第 5 名沃尔沃，份额 8%。因此，欧洲新能源汽车市场的前 5 大品牌中有四个欧洲品牌，这也是一大惊喜。

再来看这些品牌的插电汽车渗透率。沃尔沃的插电汽车渗透率达到 25%，在传统车企里最高。宝马和雷诺的渗透率分布为 13% 和 10%，也比较高，有望达到欧盟新的 CO2 排放标准。大众的插电汽车渗透率为 6%，低于欧洲车企的平均水平。

参考文献

[1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Voiture_électrique

[2] Histoire du véhicule électrique – Avere-France, www.aver-france.org

[3] Histoire de la voiture électrique, Alexandre Fournier, www.mobilitytechgreen.com

[4] Histoire de la voiture à hydrogène, voiturehydrogene.net

[5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Véhicule_à_hydrogène

3. 欧洲政府的新能源汽车政策与推动措施

胡静文 (德国)

3.1 欧盟的碳排放政策

3.1.1 欧洲低碳经济路线概述

欧盟委员会在制定全新汽车排放法规时的出发点，并不是依照市场需求，而是依照低碳经济路线图：

- 2017 年 11 月，欧盟委员会宣布温室气体排放标准升级：欧盟境内新车每公里碳排放必须在 2025 年降低 15%，在 2030 年之前降低 30%。

- 2018 年 12 月 18 日，在最新决议中，欧盟委员会又将 2030 年的减排目标由 30% 提高到了 37.5%。

- 2021 年平均排放绩效目标不变：乘用车的平均每公里二氧化碳排放量不得高于 95 克，而轻型商用车不得高于 147 克。如果新车测试无法达标，每公里超出排放限额 1g 的二氧化碳排放量就意味着 95 欧元的罚款。

- 以上两个目标从 2020 年开始（部分）执行。自 2021 年起，基于 NEDC 循环的测试方法将被强制切换为全新的 WLTP 方法。

- 2050 年之前，相比于 1990 年，欧盟的目标是降低 80%-95% 的碳排放。

我们由此可以推测，2030 年之后，欧盟的碳排放政策将会更加严格，推广低排放甚至是零排放汽车，或许将会是欧洲车企的唯一选择。

3.1.2 欧盟碳排放 12 问 12 答

自 2020 年起，新乘用车的二氧化碳排放限值将在整个欧盟范围内被强制执行。这无疑会对欧盟境内汽车产业供需两端以及现有的技术市场产生巨大影响。

接下来，我们将采用一问一答的形式，用十二个有代表性的问题，尝试对《欧盟碳排放政策》做出一个全面深入且彻底的解读。

1. 欧盟碳排放法规的具体限制是什么？

截止至 2019 年底，欧盟内新车的平均二氧化碳排放限值是 130 克每公里。而到明年为止，欧盟境内新车的平均二氧化碳排放限值将只允许为 95 克每公里。这相当于：汽车正常行驶时每百公里的油耗为 4.2L 汽油或 3.8L 柴油。严格来说，这 95 克每公里的排放值不是“极限值”，是“目标值”，而且是欧盟市场范围内所有上牌销售汽车的“平均目标值”。这意味着，二氧化碳排放量较高的车型还是被允许继续销售的，但汽车制造商将不得不用碳排放较低的汽车进行“对冲”。

2. “平均目标值”适用于所有欧盟汽车制造商吗？

具体来讲，欧盟的碳排放法规对各个车企来说并没有“统一的目标值”。因此，每个欧盟境内的汽车制造商都有一个自己需要准守的“个体目标值”，该目标值主要是基于该车企每年所销售的车辆的平均重量而核算出来的。

如果像大多数德国品牌一样制造中高档重型汽车，车企所要达到的碳排放“个体目标值”将自然而然超过 95 克每公里的欧盟“平均目标值”。比如大众，宝马，戴姆勒的“个体目标值”分别是 96.6，102.5，103.1。而那些以销售中小型汽车为主的车企则有可能满足比 95 克每公里还要低的“个体目标值”，比如以丰田（94.9）为代表的日系和以 PSA（91.6）为代表的法系。顺便提及计算所有碳排放目标值的基础是制造商指定的标准消耗量。

3. 各个汽车制造商的“个体目标值”是如何精确计算出来的？

目标值的计算公式如下：目标值 = $95 + a(M - M_0)$

(M) = 汽车制造商一年内所售出新车的平均重量

(M₀) = 特定参考时期（2021 年之前都基于 2016 年至 2018 年的数据）内欧盟出售所有新车的平均重量（M₀：目前为 1379.88 千克）。

(a) = 缩小系数（当前为 0.033）

(95) = 95g/km 的碳排放“平均目标值”

如果某制造商主要以出售轻型汽车为主，(M-M₀) 的计算结果则可能为负值，所以对车企的“个体目标值”也会小于 95g/km。并且该公式将在几年内进行调整，例如 2017 年至 2019 年之间注册新车的平均重量将从 2022 年开始适用，而缩小系数 a 也将由于技术的不断进步将被不断的调整。

4. 欧盟碳排放法规的实施会为车企预留“过渡时期”么？

在上一次欧盟的碳排放限制收紧中，欧盟为汽车制造商预留了相当宽裕的“过渡适应期”。例如在 2012 年到 2015 年间，在推行碳排放 130 克的目标值时，欧盟仍对此以 65%，75%，80% 和 100% 的达标水平对法规进行了四年的“逐步升级”。但这次情况却有所不同，因为基本

没有过渡期：欧盟境内车企在 2020 年就必须达到 95g/km 排放目标值的 95%，而在 2021 年就必须 100%达到这一目标。

5. 违规罚款的数额具体是如何计算的？

对于欧盟境内的整车厂来讲，“排放超标”意味着将会面临巨额的罚款。不达标的企业将必须为每克超过限额的二氧化碳排放值支付 95 欧元的罚款，然后再乘以前一年该企业在欧盟登记出售的汽车数量，以此而得出其罚款的总额。

根据 PA Consulting 的一项新研究显示，欧洲境内 13 家领先的汽车制造商中尚且没有一家能够实现欧盟 2021 年的碳排放目标，这将使他们或将面临总计 146.5 亿欧元的潜在巨额罚款。其中，德国大众汽车集团将需为此支付 45 亿欧元的罚款，戴姆勒集团近 10 亿欧元，宝马集团约 7.5 亿欧元。

6. 欧盟境内整车厂将会如何应对高额的碳排放违规罚款？

短期内，欧盟境内的整车制造商只能依靠销售“绿色环保”的零排放以及“超低排放”的车型来尝试最大限度地“中和”碳排放。这里其实隐藏着一个“小技巧”：二氧化碳排放量少于 50g/km 的车型在 2020 年的销量将被容许“翻倍计算”（这里通常指纯电动汽车或插电式混合动力车型，它们的“超级信用系数值”为 2）。换句话说，卖一辆算两辆，而这些销量都将记入该主机厂二氧化碳的总帐户进行核算。而到了 2021 年，此类车型的“超级信用系数值”将由 2 降至 1.67，到 2022 年再次下降为 1.33，直至到 2023 年开始降至 1。到那时，纯电动或混动车型的销量相对于碳排放的计算将不会在享有额外的优惠。

在 2020 年至 2022 年期间，欧盟境内整车厂所享有的碳排放“超级信用额度”的优惠上限为 7.5 g/km。因此，我们也可以这么理解：此时欧盟境内的整车厂每生产和出售一辆电动汽车，它就将“附带”为自己节省 1 万欧元左右的潜在罚款！

7. 除此之外，欧盟境内的整车厂还有其他的有效措施可以抵消碳排放罚款吗？

虽然欧盟碳排放法规所规定的潜在巨额罚款对整车厂造成了巨大的压力，但是有一点我们必须看明白：羊毛出在羊身上，欧盟和欧洲各国政府对“新能源”汽车的技术支持和市场扶持力度也非常大。也就是说，整车厂罚款的大部分资金最终还是会通过政府资助和税收优惠的形式返还给车企，这也是欧洲车企保持研发积极性和良性循环的保证和秘诀之一！

同时，欧洲的整车制造商还可以向欧盟申请某些新型技术研发和投产的“额外排放信用额度”，例如持续研发对碳排放值没有负面影响的车辆新功能和新技术。这方面可参与抵消碳排放的积分优惠最多为 7 克。当然，获批的前提是整车厂必须能够有效证明该新型技术的有效性并可以通过欧盟相关部门的独立审查和验证。

此外，欧洲的整车制造商也可以联合起来，组成所谓的“碳排放共同体联盟”。这样的话，欧盟所规定的碳排放目标值将适用于所有参与该联盟的车企。这就意味着，任何“传统车企”与“电动汽车制造商”所组建的“共同体联盟”都可以大大减少自身所售车型的排放要求。例如，菲亚特克莱斯勒之前就和特斯拉达成了协议，组成了碳排放的共同体联盟，不过这一协议的成本非常高，甚至可以覆盖特斯拉在德国建造超级工厂 4 的费用，这对特斯拉来说可谓是一笔非常可观的收入。

最后还很重要的一点是，每年年产量为 1 万到 30 万辆的小型车企还可享有“额外优惠”，根据欧盟的特殊规定，此类车企可以申请自己的碳排放目标值。

8. 欧盟和各国政府对此还有什么其他形式的支持么？

欧盟和德法政府对欧洲电池产业的支持就是一个很好的例子。

9. 欧洲各类汽车行业协会和环保团体是如何评价该欧盟碳排放政策的？

德国汽车行业协会（VDA）认为，欧洲追求宏伟气候目标的决心是正确的，但欧洲的汽车行业将因此比其竞争对手面临更多的发展限制。欧盟的汽车二氧化碳排放目标是 95g/km，这在世界范围内可以说是最严格的，远远高于其他地区或主要市场的排放目标。例如，到 2021 年，中国政府规定的碳排放目标为 117 g/km，日本为 105 g/km。此外，德国汽车行业协会还曾公开表示，欧盟没有充分考虑到利用车辆和驱动技术以外的减排潜力，例如大力开发生物燃料和合成燃料技术。

环境污染就像是一个沉默的演说家，将越来越多的人动员起来成为它的反对派，公众对气候变化的日益关注正在影响欧盟不断加大监管力度。在以生态为导向的环保团体的眼中，对于气候、经济和消费者而言，苛刻的 CO2 限值是必不可少的。他们声称，德国汽车工业拥有系统的知识储备，许多能干的工程师和训练有素的技术工人，他们有能力开发和生产最有效的技术。凭借“面向未来”的可靠产品，德国汽车行业也将由此而保持国际竞争力，这也同时是德国经济的引擎和就业机会的保证。

10. 欧盟碳排放法规的限制对潜在购车者到底意味着什么？

在欧盟这种“奖惩分明”的政策影响叠加下，一方面可以鞭策欧洲各大汽车制造商加紧电动化转型，研发生产更多符合碳排放新规的产品。另一方面，欧盟及欧洲各国的购车补贴也可以持续刺激市场对电动汽车的消费需求。

从 2020 年开始，为了避免罚款，欧盟境内的整车厂将会严格依据其制定的碳排放目标来管理新车型的生产和销售，许多知名品牌可能会尝试将更多全新的电动和插电式混合动力车型逐步推向市场。

随着不同品牌、不同款型的电动车陆续问世，欧洲汽车消费市场或将迎来百花齐放的局面。同时，随着“三电技术”的持续进步，电动汽车的痛点也正在被逐步攻克。到 2020 年底，欧洲潜在购车用户在市场内可挑选的电动汽车型号或将从不到 100 种而激增至 175 种。这其中包括德国各大知名整车厂推出的宝马“mini”、大众“ID.3”、雷诺的 Zoe 和菲亚特的“500”等等。而根据分析公司的预测，到 2025 年，欧洲市场内的电动车品类或将超过 330 种。

同时，欧洲汽车经销商的销售策略也慢慢转向电动汽车，并倾向于从高消费模式利基市场转向大众市场。如有必要，零售商的折扣模式也将适用于此。最重要的是，如果新购车者购买经济型车型，他们还将从欧盟各国不菲的电动补贴中受益。而大排量内燃机车型的价格却因此而可能会越来越高。

11. 欧盟会因为新冠疫情而推迟或放宽碳排放限制么？

目前看来，完全不会。

大众 CEO 迪斯在欧洲疫情最严重的时候就曾很坚定对外公开表示：“大众集团不会在今年向欧盟提出暂缓实行排放新法规的要求，我们会坚决执行既定方针，绝不讨价还价。同样，疫情也不会影响大众集团的电动化战略”。德国戴姆勒集团的 CEO 康林松随后也发表了相同的言论。

随后，德国三大知名车企为提振车市，向德国联邦政府提出了针对新车购置（包括燃油车）的消费补贴申请计划，但是该申请在经过政府内部激烈讨论过后也遭到反对而没有通过。政府给出的反对理由之一是，若燃油车型也能够获得补贴，则意味着此前享受补贴的电动汽车被变相抬价，显然不利于满足欧盟的碳排放目标。

同上述决定遥相呼应的是：法国总统马克龙 2020 年 5 月底在法雷奥（Valeo）的 Étaples 工厂宣布将投资 80 亿欧元投资，补贴促进法国汽车行业，尤其是电动汽车的发展。投资项目包括：大规模补贴纯电动与混合动力汽车，兴建 10 万个充电桩，10 亿欧元分别投资 PSA 与雷诺进行产业数字化升级，并计划在 2025 年使法国本土的电动汽车年产量达到 100 万台，以及推出 1.5 亿欧元进行创新研究。

当然，德国联邦政府也计划拨款 500 亿欧元，用以促进德国在气候保护和数字化研发等领域（人工智能，量子计算，数字化，通信网络扩展）的创新。而作为环保奖励补贴的组成部分，自 2020 年 7 月 1 日起至 2021 年底，政府将为德国境内销售的纯电动（BEV），燃料电池（FCV）和插电式混合动力（PHEV）车型提供更高的购车补助，并同时在全德范围内大力修建更多的充电桩。

12. 2021 年之后的欧盟碳排放趋势会是如何？

2021 年之后，欧盟境内的碳排放限令将越发严格。

按照欧盟最新的规定，欧盟境内到 2025 年的碳排放量需要在 2021 年均值的基础上再减少 15%；到 2030 年，碳排放量还需进一步减少 37.5%。而由于目前 2021 年的碳排放实际年均值尚未确定，所以如果我们按照 95g/km 的目标值为基数来计算的话，2025 年和 2030 年相对应的目标值将分别为 80.75 g/km 和 61.75 g/km。

综上所述，欧洲整车厂缺乏足够的时间来足够快地减少排放并避免罚款。这也就意味着，单单依靠现有的内燃机技术想要达到欧盟 2021 年的碳排放目标似乎已经太晚了。因此，欧洲的整车厂们在短期内将不得不采取不同的策略来产生立竿见影的效果。但从长远来看，车企们正在开发的新一代低排放技术在满足其 2025 年和 2030 年欧盟二氧化碳排放目标的过程中仍然具备极大的技术潜力。

技术变革带来的干扰和不确定性对汽车行业来说一直是不可避免的，但新技术的突破必将是减少排放和降低成本的长期解决方案。对欧洲的汽车制造商和供应商来说，对技术进行广泛和长期的布局显得尤其重要，它们不仅要短期开辟一条通向可持续发展的“纯电动交通之路”，同时还需要继续关注高效内燃机的技术趋势，特别是可再生的合成燃料以及燃料电池的应用。

为了激励和推广潜在新能源技术的发展，在欧盟全新碳排放法规中，电动汽车是按照“零排放”来归类的。所以，欧盟的新法规更加倾向于电动化，因此未来市场也会跟进以适应这个大趋势。所以，低排放车辆的研发，生产，营销和价格策略都至关重要。

欧洲的整车厂们正在密切关注如何在 2020 年全年鼓励低排放汽车的销售，因为只有纯电动汽车和插电式混合动力汽车有资格可以获得显著降低罚款的超级信用积分。这意味着，欧洲的整车厂将会重新审视价格和增加更多的促销活动，在后续众多车型的销售中更加突显出低排放汽车的优势。

随着欧洲 WTLF 和 RDE 测试新规的全面执行，碳排放法规趋严，锂电上升为全欧战略，欧盟各国补贴亦全面趋向纯电，2020 年很有可能是欧洲和德国电动战略布局大爆发的一年。再考虑到中美两国的退补因素影响，新能源车主要驱动力大概率将会由中美转移至欧洲。

3.2 欧洲及德国电池产业布局

3.2.1 背景

随着全球电动汽车的需求量陡增，整车厂对动力电池的需求量也与日俱增。面对亚洲电池生产商占据全球 80% 的市场份额的情形，欧盟各国也开始了加速提升该领域的科研及资金投入。这些欧洲国家和企业共同抱团创办组建“欧洲汽车电池联盟”的目的，是希望通过形成合力和有效竞争力来和亚洲的主要竞争对手争夺更多的市场主动权！

2019 年 6 月 28 日，德媒报道称：宁德时代计划投资 19 亿欧元，用于在德国东部城市爱尔福特建设电池厂。最终投资金额相当于原金额的 7.5 倍。已经于 2019 年 10 月 18 日正式破土动工。

对于欧洲政坛和汽车厂商来说，显然不是一个好消息。因为他们一直呼吁企业联合起来，建立一个地域性的电池同盟，以与亚洲企业竞争。

3.2.2 组建欧洲动力电池联盟

2019 年 4 月，法国和德国共同组建了欧洲第一个跨国动力电池联盟。参与的车企包括法国汽车巨头标致雪铁龙集团及其德国子公司欧宝和法国电池制造商 Saft 等。

2019 年 12 月 9 日，欧盟委员会批准了德国经济部长皮特·阿尔特迈尔牵头的第二个欧洲动力电池生产联盟，启动了大型“欧洲共同利益重大项目”（IPCEI）。

首批参与该项目的五家德国公司分别是：巴斯夫（BASF）、宝马（BMW）、欧宝（OPEL）、优美科（Umicore）和瓦尔塔（Varta）。这个项目的启动，为这五家德国公司和来自六个欧盟成员国的其他公司获得资金铺平了道路。第二批涉及九家德国公司及 10 个来自其他欧盟成员国的公司和研究机构。欧盟委员会已批准向这七个参与项目的欧盟成员国提供 32 亿欧元（约合人民币 249 亿元）的资助，用以支持欧洲电池的技术研究和项目创新。

2020 年 6 月 30 日阿尔特迈尔表示，德国希望到 2030 年实现全球电池需求量三分之一在德国和欧盟境内生产的目标。当天，阿尔特迈尔正式向电池企业 Varta 授予了第一笔价值 3 亿欧元的政府资助。阿尔特迈尔表示，德国必须在能源和交通转型中保持竞争力、创造新的就业机会并确保繁荣。

欧洲动力电池联盟预计，到本世纪 20 年代中期，欧洲制造的电池市场价值或将达到 2500 亿欧元。德国经济部提供的数据显示，锂离子电池约占电动汽车创造价值的 40%。德国已设定到 2030 年使电动汽车保有量达到 700 万至 1000 万辆的目标，这也将为外国电池企业在德子公司带来商机。欧盟动力电池生产联盟的项目涵盖了从原材料，功能材料到电池的生产和集成，以及二次使用和回收利用的完整电池产业链。研究和创新以及新技术的产业化是该项目的主题。最终的目的是在欧洲制造最具创新性和可持续性的车载动力电池，从而进一步确保欧洲的产业价值和就业机会。

3.2.3 作为欧洲汽车工业的中心的德国电池工厂

2019 年 6 月 28 日上午，德国联邦教育与研究部（BMBF）部长 Anja Karliczek 在柏林宣布：明斯特市将承担起德国电池工厂的重任，并获得德国政府 5 亿欧元的扶持。另外，该市所在州北莱茵 - 威斯特法伦州政府还将提供 2 亿欧元。

2019 年 7 月 23 日，巴伐利亚州（Bayern）与巴登符腾堡州（Baden-Württemberg）州政府宣布成立南德电池工厂，意在提供更高性能和更高效率的电池生产。

德国联邦外贸与投资署 (GTAI) 汽车专家比通托 (Stefan Di Bitonto) 分析，一国在其国内而非国外生产电池已成为一种趋势。“目前的趋势很明显，电池生产正在向客户基地靠拢，”比通托指出，德国是欧洲汽车工业的中心，目前该机构已注意到德国不同地区在这一领域的投资数量正在增加。其中，最有名的是位于图灵根州的中国宁德时代，以及下萨克森州的 Northvolt、萨克森-安哈尔特州的孚能科技以及最近在勃兰登堡州投资的特斯拉。“我们相信，未来德国的电动汽车生产将主要从本国直接获得所需的电池。”

4. 欧洲汽车厂商的新能源战略与技术路线

汪善进 (法国), 胡静文 (德国)

4.1 法系车企的新能源战略

4.1.1 雷诺，欧洲纯电动汽车的先行者

在欧洲，雷诺集团的纯电动汽车发展战略起步最早。2008 年，雷诺已制定明确的纯电动汽车发展路线图，2012 年前上市四款纯电动汽车：

- Kangoo ZE, 小型商用车, 2011 年开始量产；
- Fluence ZE, 中型乘用车, 2011 年开始量产；
- Zoe, 小型乘用车, 欧洲第一辆纯电动专属台车, 2012 年开始量产；
- Twizy, 两座市区用车, 2011 年开始量产。

2017 年，雷诺制定了新的电动汽车发展战略，到 2022 年将推出 8 款纯电车型，12 款混合动力车型。至今，雷诺集团拥有全系列的电动汽车，是欧洲最大的电动汽车厂商，雷诺 Zoe 今年再次占据欧洲市场新能源汽车销售榜首。

4.1.2 标致雪铁龙，2025 年实现 100%车型电动化

标致雪铁龙集团的电动化战略直到 2017 年才制定，主要目标是：

- 到 2021 年将推出 7 款纯电车型，8 款插电式混合动力车型；
- 到 2025 年，100%车型将实现电动化，全车系将都具备纯电动或插电混动车型。

2019 年，标致雪铁龙重申未来 5 年的战略规划，2019 年底正式上市新能源车型。集团未来 5 大品牌旗下的新能源车型和内燃机车型都将在 CMP 和 EMP2 两大平台完成。其中 CMP 平台的电动化平台 eCMP 是由标致雪铁龙与东风集团共同开发完成，主要集中生产紧凑 B 级车和入门 C 级车的纯电车型版本。另一个 EMP2 平台集中开发插电混合动力车型，主要生产 C 级高档车和 D 级车，未来也会推出这一级别的纯电车型。

4.2 德系车企的新能源战略

4.2.1 大众，规划最为明确的欧洲车企，全力发展纯电动

大众公司 2017 年推出电动化发展规划“Roadmap E”。2023 年前投资 300 亿欧元用于汽车电动化，实现 2030 年电动汽车占比 40%。

MEB 平台是大众实现电动化战略的核心平台，预计最终年产量规模在 400 万台左右，是全球量产规模最大的纯电动平台。目前，福特已经决定基于 MEB 平台推出新电动车型，未来或有更多外部车企加入。

大众宣布将在由燃油车向新能源汽车转型的过程中专注于电动车型的发展。未来几年，大众计划大力投资电动汽车领域，推出一系列电动车型。2019 年 11 月，大众投入 12 亿欧元将德国东部的茨维考工厂改为电动汽车专用工厂，预计到 2022 年成为生产 6 个车型、年产 33 万辆的欧洲最大电动汽车工厂。大众汽车计划到 2028 年，全球纯电动产量增加至 2200 万辆。

奥迪与保时捷合作开发全新的高端电动车平台 PPE，多个车型配备纯电动动力总成，覆盖 B 级到 D 级细分高端豪华车市场。该平台预计 2021 年之后开始使用，奥迪在 2019 年 10 月宣布了电动化战略，将采用大众集团的四个电动车平台制造不同种类的电动车型。2025 年向全球推出 30 款电动车型。近日，奥迪也正在组建新的电池组装厂，以确保电动汽车快速上量。

4.2.2 宝马，i/e/MINI 三大体系，核心车型开始电动化

宝马 2019 年电动车保有量目标为 50 万辆(包括混合动力车)，2021 年为 2019 年的两倍，并提供 5 款新电动车型。到 2020 年推出 10 款新能源汽车。到 2025 年，保持平均每年 30% 电动车销售增长率，提供 25 款电动车型。

宝马正在对核心平台进行调整，计划基于一个平台以适应传统动力，插电式混动和纯电动系统，新的架构将在 2021 年后投入量产。

2019 年宝马集团数据财报显示，新能源车销量超过 145,815 辆，占比逐年提高，预计两年内（到 2021 年）还将翻一番，实现全球累计交付 100 万辆的目标。

4.2.3 戴姆勒，“2039 计划”

戴姆勒在 2019 年 5 月公布“雄心 2039”计划。其中规划到 2030 年新能源车销量占比超过 50%。首款纯电动车 EQC 续航里程超过 400km，国产 EQC 采用 CATL 电芯。

戴姆勒电动化战略分为三方面：1)发展高性能 48V 技术，降低油耗；2)对新车型或原有车型推出 PHEV 版本，提升燃油利用效率；3)研发纯电动与燃料电池零排放车。

2019 年，奔驰在欧洲市场的总销量为 90.2 万辆，市场表现要比宝马和奥迪更加优秀。梅赛德斯-奔驰首席执行官康林松日前表示，未来将全身心投入到电动车的发展之中，目前，奔驰旗下多款车正逐渐拓展电动化车型，自 2021 年起，4 款基于大型纯电动车型架构（EVA）平台的全新纯电动车型将陆续上市。

Smart 德国更是在官网公告表示：从 2020 年起，该品牌在欧洲将只推出纯电的车型。

观察欧洲各大车企公布的 2020 年度战略，无论是从新能源产品的研发、产业链的投资布局，还是上下游资源的开发拓展计划，均彰显了这些传统的汽车制造巨头打响电动化战役、攻占电动车市场的决心。

丰富多样的车型给了市场极大发挥空间。对部分欧洲汽车制造商来说，微型电动车开发成本低，是用来平衡碳排放最合适的产品。加上各国在补贴时间上的延迟和力度提升，生产者们都倾向研发和推出更多多样化的产品。

4.3 欧洲各大车企的新能源技术路线

20 年后，燃油汽车将不再主导市场。但在此之前，汽车市场的变化趋势并不明朗，因为决定汽车行业走向的除了技术和市场因素外，更重要的可能是环境与政治因素。如何正确把握未来 20 年汽车市场需求的变化？如何使自己新开发的产品适应市场需求？这对全世界的汽车厂商都是个挑战。汽车产品战略里最重要的是动力技术，技术落后没有竞争力，技术太超前也会给企业带来损失。如何制定一条正确的技术路线，关系到车企未来 20 年的生死存亡。

目前，决定欧洲车企技术路线的硬指标是欧盟乘用车二氧化碳排放法规。按照欧盟的规定，2021 年以 NEDC 工况计算的 CO2 排放目标值为 95 g / km；2025 年需要在此基础上再减少 15%；到 2030 年，碳排放需减少 37.5%，相当于 59 g / km。因此，要达到欧盟 CO2 排放目标，电动化是必经之路，但达标的方式有多种。比如要达到 2030 年 59 g / km 的目标，可以通过 30%左右纯电动汽车和 70%左右混合动力车实现，也可以通过 100%插电式混合动力实现。更实际的方式可能是纯电动、混合动力(插电+不插电)、燃油车(汽油+柴油)五大动力齐驱并进。

下面是笔者对欧洲各大车企选择的新能源技术路线做个大概的描述。

| 车企 | 纯电动技术 | | 插电混合动力技术 | |
|--------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------|------------------------|
| | 纯电动平台 | 电池技术 | 动力配置 | 动力分配与传递 |
| 雷诺集团 | 专属平台 +兼容平台 | 三元锂电池 (LG) | 1 台汽油发动机 + 2 台电动机 | 混联式 无离合器自动变速 |
| 标致雪铁龙集团 | 兼容平台 | 三元锂电池 (宁德时代) | 1 台汽油发动机 + 2 台电动机 | 并联式 液力自动变速 |
| 大众集团 | 专属平台 | 三元锂电池 (LG, Samsung, 宁德时代) | 1 台汽油发动机 + 1 台电动机 | 并联式 双离合自动变速 |
| 宝马集团 | 兼容平台 | 三元锂电池 (宁德时代) | 1 台汽油发动机 + 1 台电动机 | 并联式 (增程式) 液力自动变速 |
| 戴姆勒集团 捷豹路虎集团 沃尔沃集团 | 兼容平台 | 三元锂电池 (孚能科技, LG ,宁德 时代) | 1 台汽油发动机 + 1 台电动机 | 并联式 液力或双离合自动变速 |

表 4：欧洲各大车企的纯电动与插电式混合动力技术比较

先从欧洲纯电动先驱雷诺开始。雷诺集团早在 2008 年就已明确地选择纯电动汽车发展路线。按当时总裁戈恩的设想，雷诺发展重点是纯电动车开发与燃油车优化齐驱并进，混合动力被放在次要位置。2015 年的大众 « 柴油门 » 爆发后，柴油车的发展受挫，雷诺才决定把汽油-电混合动力车的开发放到优先位置。

纯电动汽车的平台有两种策略：一种是兼容平台，一般是把燃油车平台稍加改动放上蓄电池和电动机；另一种是电动车专属平台，按照纯电动的特点和需求设计。兼容平台的好处是经

济，但因纯电动车的电池重量和体积很大，把电池放进一个为燃油车设计的平台，既减少了车辆的可用空间，而且不能充分优化电动车的性能。电动车专属平台则可以充分发挥电动车的优势，但缺点是成本昂贵。开发一款全新的平台的成本接近 10 亿欧元，如果车的销量不高，肯定亏本。

凭借与日产联盟的优势，雷诺为 Zoe 车型设计了纯电动专属平台。对雷诺这个产量中等的车企来说，走电动专属平台路线不能说没有风险，但 Zoe 的成功证明了这个选择是正确的。实际上，除了 Zoe 外，雷诺还开发了四款采用兼容平台的纯电动乘用车和商用车，但在市场上都不太成功。

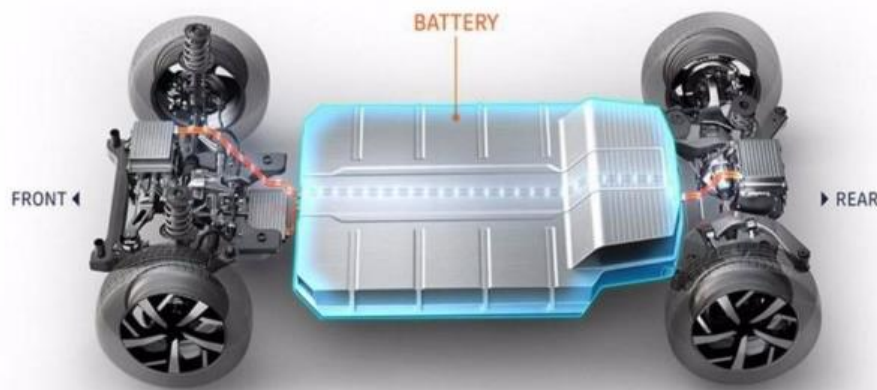


图 3：雷诺-日产联盟新一代纯电动汽车平台 CMF-EV

图片来源：easyelectriclife.groupe.renault.com

除雷诺外，德国大众也选择纯电动专属平台路线，但大众选择的是模组化平台，一台多用。大众的目标是用它的 MEB 平台实现年产量规模 400 万台纯电动汽车，将是全球量产规模最大的纯电动平台。能否实现，我们拭目以待。

欧洲其它车企奔驰、宝马、标致雪铁龙、捷豹路虎和沃尔沃都选择兼容平台路线。在这个纯电动汽车市场的变化并不是很明朗的时期，采用兼容平台路线，无疑降低了风险。

随着纯电动汽车的规模不断扩大，可以预测，在不久的将来，电动专属平台将被各大车企广泛采用。

电池方面，欧洲的车企走的路线比较一致，都用三元锂电池，或与中国的供应商(宁德时代、孚能科技)，或与韩国的 LG 合作。目前，中国在动力电池技术和产量方面稳稳地占据世界第一位置。尽管欧洲德法政府都有发展动力电池的雄心壮志，但短期内离不开中日韩供应商。

再来谈一下插电混合动力技术。插电混合动力是纯电动+混合动力，兼顾了纯电动车与混合动力的优点，因此在未来的十几年里会有很大的发展前景。插电混合动力的技术关键不是纯电动而是混动部分，混动部分的关键是发动机与动力传递系统。发动机的主要问题是降低油耗，也就是提高热效率，这方面丰田做得最好，最高热效率已经达到 41 %。欧洲车企也不错。发动机技术大同小异，主要差别在于优化。混合动力发动机的优化有两种方式：一是通过优化发动机本身的设计，但受内燃机原理限制，潜力有限；二是优化混合动力系统，即通过动力传递系统的设计和电机的辅助来让发动机保持在最经济的工作点工作，这方面的发展潜力比较大，也是衡量混合动力系统做得好坏的关键。

动力分配与传递系统的设计多种多样。粗分有三大类：串联式混合动力，并联式混合动力，混联式混合动力。串联式混合动力系统一般由内燃机直接带动发电机发电，产生的电能传到电池，再由电池传输给电机转化为动能驱动汽车。增程式电动汽车也属于这一类。并联式混合动力系统有两套驱动系统：传统的内燃机系统和电机驱动系统。两个系统既可以同时协调工作，也可以各自单独工作驱动汽车。混联式混合动力系统的特点在于内燃机系统和电机驱动系统各有一套机械变速机构（见图 4），两套机构或通过齿轮系，或采用行星轮式结构结合在一起，从而综合调节内燃机与电机之间的转速关系，系统优化的潜力大。丰田采用的行星齿轮机构属于混联式混合动力系统。

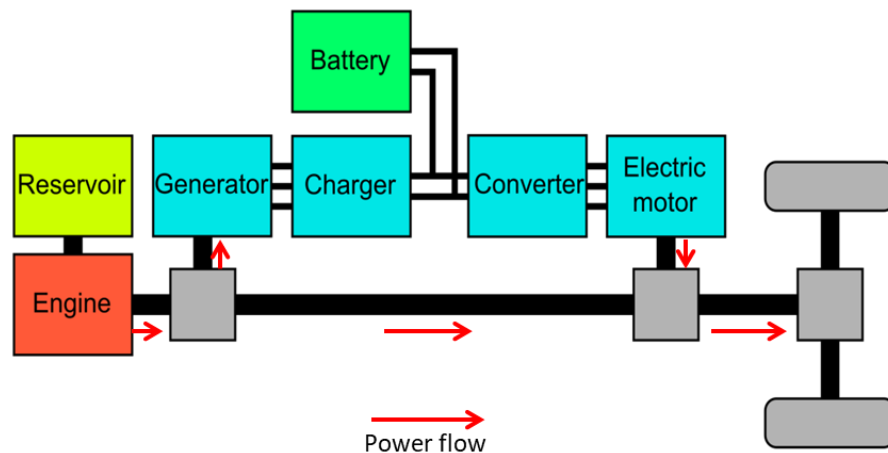


图 4：混联式混合动力系统示意图

除雷诺外，大部分欧洲车企都采用并联式混合动力系统（见表 4），以发动机为主动力，通过自动变速箱传递动力，电机作为辅助动力。这种系统适用于多种不同的行驶工况，结构相对简单。雷诺与众不同，选择了一种特殊的动力分配与传动系统，具有 1 台汽油发动机、2 台电动机（一台主电机和一台辅助电机）和一台多模式自动变速箱，四大件合为一体。最出众的是它的变速箱，没有离合器，由动力控制系统加电机辅助直接换挡。这种大胆的选择既经济又能改善驾驶性能，还减少了油耗，可谓一剑三雕。

插电式混合动力汽车的主体是燃油汽车，而增程式电动汽车的主体是纯电动汽车。因此，相对于插电混合动力，增程式电动汽车的成本更高，而且性能上没有优势。在欧洲，除宝马汽车公司外，其它车企到目前为止还没有增程式电动汽车上市的计划。

从性能方面看，插电式混合动力汽车相对于纯电动汽车具有相当的优势。从成本方面看，插电式混合动力汽车不管从平台方面还是动力系统方面，都比较容易与传统内燃机汽车形成协同效应，优势较大。尽管目前欧洲政府的补贴政策更有利于纯电动汽车，但可以预见，插电式混合动力汽车未来的发展空间很大，插电式混合动力技术改善和优化将会成为欧洲车企未来几年的重点。

5. 欧盟动力电池梯次利用的现状和发展趋势

黄俊星（法国）

5.1 梯次利用的应用场景和技术路线

根据相关统计，2019 年，尽管有新冠疫情的影响，全球新能源汽车的销量依然达到了 220 万辆，其中欧盟更是以 56 万辆的销量实现 40% 的同比增长。而锂电池作为动力汽车的“心脏”，销量自然也是水涨船高 [1]。

电动汽车的出现一定程度上减少了环境的污染压力，但是同时也带来新的难题：动力电池的老化和处理。

理论上讲，乘用车的电池使用寿命可以达到 4-8 年，而商用车只有 3-5 年，当其容量衰退到初始容量的 70%-80% 时，它就再也无法适应高功率和长航程的技术要求了。而电池被退换并不代表它已经损坏，实际上它还有很大的利用空间，通过一定技术手段的处理，还可以降级应用于其他场合，这就是梯次利用的由来。

梯次利用的时间据预估可达 8-10 年，因此梯次利用可以充分发挥电池的剩余寿命，进一步降低电池的全生命周期成本。

5.1.1 梯次利用的应用场景

梯次利用的应用场景包括两种：静态场景和动态场景。

静态场景主要是化学储能，应用于包括发电侧/配电侧/用户侧储能，通讯基站后备电源，家庭/商业储能，分布式发电/微网，等等。动态场景主要是如电动单车，低速代步车，物流车，城市环卫车的铅酸电池的替换等等。

下图展示的是一个静态储能应用场景：

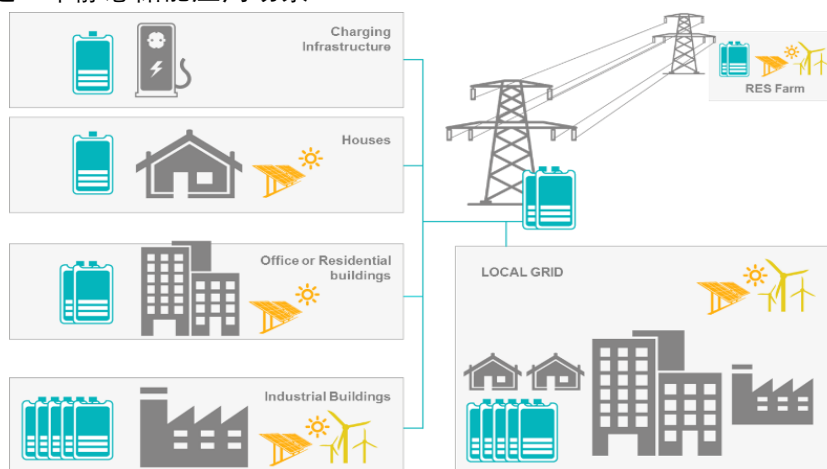


图 5：梯次利用电池应用场景 来源: ELSA

梯次利用愿景虽好，但是目前也面临着一定的难题：

一是筛选，重组和寿命预测方面存在技术难点，经济和安全性能不理想；二是盈利模式尚未成熟，导致电池回收检测，开发利用成本过高；三是产业链和生态圈未能建立，上下游产业未能无缝对接；四是相关技术规范和标准发展滞后，如 BMS 接口是否规范，历史数据是否可查询等等。

这些技术难题制约着梯次利用的大规模发展，甚至有报道称，很多主机厂和电池厂明确表示不愿意将回收的电池用于梯次利用，避免后期在梯次利用过程中出现安全事故从而对公司品牌产生负面影响。而规模上不去又反过来限制了技术的发展，形成了恶性循环。这也不难解释目前梯次利用总体应用成本可能比采用新电池的储能系统还要高。

5.1.2 梯次利用的技术路线和优缺点

梯次利用的技术路线目前主要有两种：第一是整包利用，第二是拆解筛选再重组。两种方法各有优缺点，但是根据个人的项目经验，推荐直接整包利用，这个也是欧盟 ELSA 项目的核心技术所在。

第一：直接整包利用

好处：不需要考虑不同厂家各种电芯的一致性，属于轻资产投入，甚至不需要专门的设备和存储区域，是初创企业的最佳切入点（注：2019 年奇瑞控股集团与上海电力大学联合开发的“动力蓄电池梯次利用异构兼容储能电站”项目就是这个路线）。

缺点：需要知道原生 BMS 的通讯接口协议，出于竞争或知识产权的考虑，很多电池厂家并不想开放接口给第三方，造成开发难度加大和选择余地减少（各自为营）。

第二：先拆解，筛选，之后再重组利用

好处：不需要知道原生电池 BMS 的接口和算法。

缺点：需要完成拆解、检测、筛选、重组等多个步骤，而目前筛选技术有待突破，各个厂家生产的电池的电压内阻电容等参数均不一样，重组后很难达到良好的一致性，系统会在很少的循环次数下容量有断崖式下跌，造成维护困难和成本升高，很难实现商业上的盈利。另外需要具备一定的电池存储空间和相应的资质，通过环评手续有一定的困难，属于重资产投入。

整包利用的方法省去了电池包的拆解和重组环节，避免了后续因为电芯品牌不同而出现参数不一致性导致的问题，开发流程也可以大大缩短。

下图展示的是整包利用技术路线的一般开发步骤：退役电池-基于 Matlab/Simulink 的 model 设计-PCS（储能变流器）设计-验证-安装。

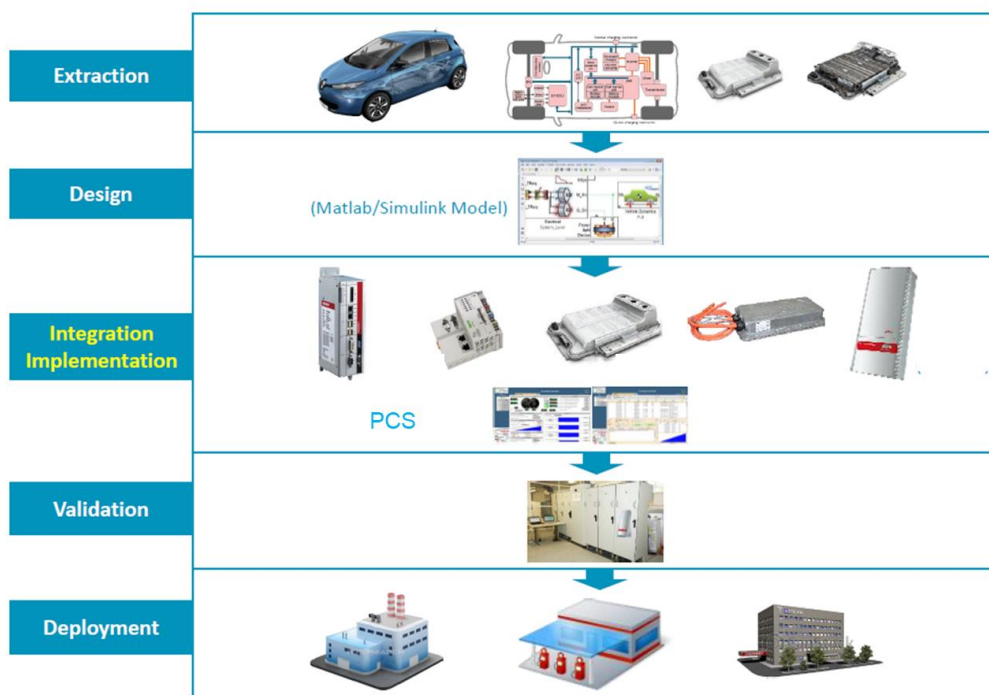


图 6：整包利用开发流程

5.2 欧盟梯次利用的现状和发展趋势

5.2.1 政策体系

中国从 2009 年开始就陆续出台了相关的回收政策，例如 2018 年工信部等七部委联合发布的《新能源汽车动力蓄电池回收利用管理暂行办法》，鼓励开展梯次利用和再生利用，并且明确规定先进行梯次利用再进行资源回收，推动动力蓄电池回收利用模式创新。

事实上，欧盟是最早关注电池回收并采取措施的地区，1991 年就推出了《含有某些危险物质的电池与蓄电池指令》，其中规定这些电池需单独回收。基于其在 3C 电池，铅酸电池的回收方面起步较早，积累了很多相关的经验，2006 年另外出台了废旧电池的处理和回收政策 2006/66/EC，因此欧盟也建成了由动力电池生产企业来承担回收主体的配套体系（生产者责任延伸制）。该体系主要有几个特点：

1. 生产者承担回收，处理和再生利用所产生的费用，并对使用者提出法定义务，如押金制度；
2. 建立联盟体系，由联盟代替加盟的生产商履行相关的回收责任。

如德国最大的回收联盟 GRS 基金目前是欧洲最大的锂电池回收组织，电池企业按照产量向 GRS 缴纳会费的方式共享回收网络，目前会员已达 4600 家 [2]。

丹麦要求所有电池零售商回收废旧电池并对新电池的销售征收 6%-8% 的税用于支付回收运输和处理过程中产生的各种费用。

另外在 Horizon 2020 资助下，欧盟还成立了一个电池 2030+（BATTERY 2030+）计划，旨在解决未来电池研发过程中所面临的挑战，提出了对电池的整个生命周期进行设计的理念：从原材料到回收的闭环协同运转，同时还规划电池的回收率至少达到 75% 以上 [3]。而目前丹麦的废旧电池回收率已经达到了 75%，瑞典得回收率更是达到了 95%。虽然欧盟各国的回收政策有所区别，但都是基于欧盟总部所颁发的政策法规作为指导思想。

由前面所述，由于电池筛选，检测和余容预估方面的技术尚未成熟，商业模式不完善，运输，存储成本过高等因素的限制，梯次利用的大规模应用还得假以时日。欧盟和中国是电动汽车最大的市场，同时也是最大的回收利用市场。两者在梯次利用方面处于类似的状况。即目前大部分的梯次利用项目主要还是政策鼓励，示范效应为主。

欧盟“地平线 2020”计划（Horizon 2020）是其境内最大的研究和创新资助框架，从 2014-2020 内，陆续投入了 800 亿欧元用于新技术的研发和探讨。其中有 17 个项目属于智能电网&储能模块（包括退役电池的梯次利用），资金金额达 237M€。

据统计，欧盟境内目前有十几个与梯次利用相关的项目在运行，大部分是主机厂如雷诺、戴姆勒、宝马、日产与公共机构如电厂（EDF, ENGIE）+ 研究机构的合作。

下面再介绍一下笔者参与的梯次利用项目 ELSA。

ELSA (Energy Local Storage Advanced system): 欧盟 Horizon 2020 框架全资资助的前沿开创性项目 (1300 万欧元)，目的在于实现电动汽车退役动力电池在静态储能方面的应用。该系统能兼容各种不同动力电池（雷诺和日产）的同时组网，能有效进行调频调峰改善电能质量等操作，技术水平属于全球领先。目前 ELSA 在欧盟境内有近 10 个示范点在运行中，充分验证了梯次利用项目整包利用的可行性和解决了延长动力电池的全生命周期的技术瓶颈。

下图展示的是 ELSA 项目在法国/德国的应用实例。



图 7：梯次利用在欧盟的应用实例

5.2.2 发展趋势

最近，欧盟各国相关加大了购买新能源汽车的激励政策（高达 200 亿欧元），用于减缓 covid-19 对汽车行业的影响。因此在疫情之后，新能源汽车在欧盟势必会迎来一波高潮。另外欧盟还有多部有关电池回收利用的法律框架正在审理之中，各大车企均有或者正在参与处理自家退役电池的项目，如 Renault + Umicore + ENGIE, PSA + Mitsubishi + EDF + ForseePower, Volkswagen + MAN + VHH 等之间的合作。因此我们将会看到越来越多的梯次利用项目出现在人们的视野中。届时，梯次利用将会成为电池全生命周期中不可或缺的一环。

5.3 总结

欧盟在推动各种技术和发展经济的时候一直以来非常看重环保效应，相比而言中国更偏向于经济效益，因此经常出现先乱后治的局面。在动力电池的回收及梯次利用领域，我们看到了中国的产业链发展迅速和日臻完善，但需要注意产业过热和无序发展造成重复开发。因此需要更多的政策引导和规范。欧盟在这方面一直稳步前进，虽然不是一日千里，但是有值得我们学习的地方。

另外，虽然欧盟在电芯，模组设计方面的能力比较微弱，但是其在锂电池系统集成和材料回收方面具有非常强大的优势。如比利时的 Umicore，英国和瑞士的 Glencore，德国的 Accurec 和法国的 Recupyl 等均是回收链条上的重要玩家。

总体而言，欧盟和其他发达国家均非常重视废旧电池的梯次利用，但由于下游应用体量较小，相关研究均处于起步和试点阶段。

然而动力电池的大规模退役潮已经开始，百亿蓝海的赛道徐徐开启。随着相关标准的发布和政策的日臻完善，技术方面的不断试错和深入研究，还有上下游产业的协同作业水平不断提高，显而易见，梯次利用将会成汽车行业的下一个“风口”。

风起于青萍之末，浪成于微澜之间。让我们拭目以待吧。

参考文献

[1] 销量和预测基于 EV Sales Blog 公布最新数据和德邦研究所的预测

[2] GRS BATTERIEN GEMEINSAMES RUCHNAHME SYSTEM <http://www.grs-batterien.com/>

[3] BATTERY 2030+ <https://battery2030.eu/>

6. 欧洲及全球新能源汽车展望

吴昊，孙延军 (英国)

全球汽车行业正在经历深刻变革，受贸易冲突、去全球化和新冠疫情的影响，汽车行业正在经历着前所未有的震荡。相对美国和中国，新能源汽车在欧洲的起步似乎不温不火。引以为傲的欧系品牌似乎都在错失新能源汽车的发展机遇。随着汽车电气化的脚步不断加速，新能源汽车的未来会以何种方式呈现？欧洲又会扮演怎样的角色？

6.1 欧洲乘用车及轻型车领域新能源汽车市场起步略慢，但后劲十足

进入上一个十年，新能源汽车（纯电动和插电式混合动力汽车）的全球市场开始逐步萌芽，美国在起步阶段引领全球发展，中国在中后期快速崛起，成为全球最大的新能源汽车市场，欧洲则一直不温不火，但在 2019 年和 2020 年展示了后来居上的趋势。

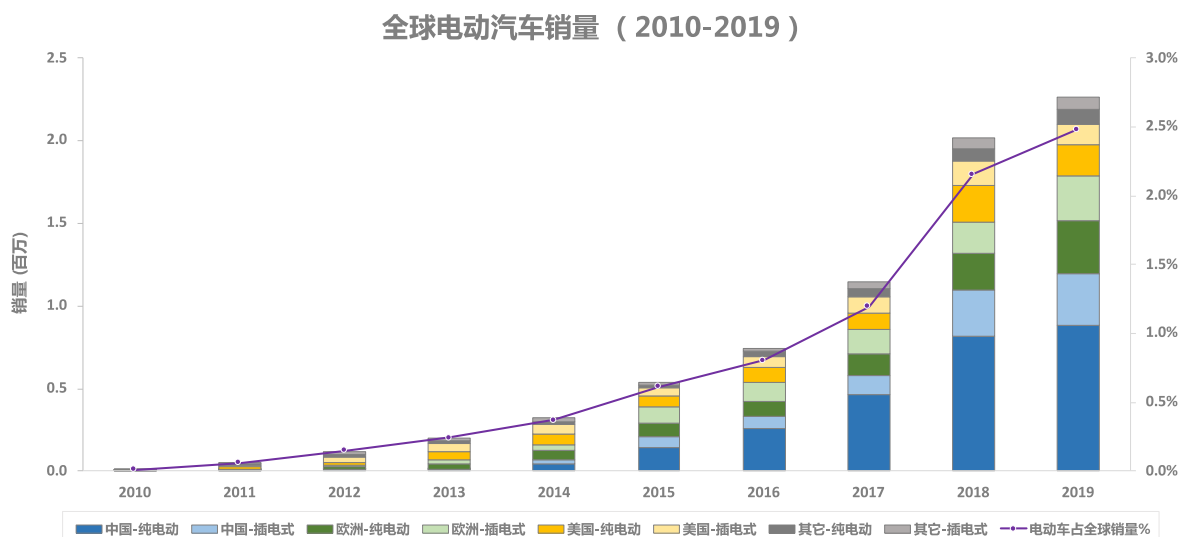


图 8. 全球新能源汽车（乘用车及轻型汽车）销量 2010 - 2019

图片来源：华夏基石《电动汽车产业发展研究报告》

当前，全球新能源汽车市场正在发生革命性的转变，过去三年尤其值得关注。2017 年是新能源汽车具有里程碑意义的一年，全球新能源汽车销量首次达到一百万辆。新能源汽车的市场份额也首次突破了全球汽车销量的百分之一（见图 8）。新能源汽车市场自 2015 年以来已增长了一倍以上，其中纯电动汽车（BEV）占比达到三分之二。2018 年延续了 2017 年的快速增长态势，全球新能源汽车销量突破两百万辆，新能源汽车市场份额突破 2%，其中中国的新能源汽车销量超过全球的一半。2019 年，受政策影响，全球新能源汽车销量增速放缓，**但欧洲市场新能源汽车的增幅亮眼，销量增幅依然超过了 40%**。近期，受新冠病毒疫情影响，当前包括新能源汽车在内的全球汽车业受到严重打击，传统内燃机汽车和新能源汽车的销量均大幅下滑。2020 年上半年，全球新能源汽车总销量下滑约 14%。但是，欧洲新能源汽车市场带来了振奋人心的消息：**2020 年上半年，欧洲新能源汽车销量在疫情之下逆势大幅增长**，上半年新能源汽车的市场占有率达到 7.9%，相比 2019 年的 3.6%，销量占比翻了一番。欧洲正在以后居上的态势，牵引全球新能源汽车的发展。

6.2 欧洲严格的排放和限行法规及优厚的政府政策是当前新能源汽车普及的最大推手

当前新能源汽车的普及仍然很大程度上受到政府政策和法规的推动。燃油车的经济性和排放，财政激励措施，城市通行限制是推动新能源汽车普及的主要政策和法规。目前全球主要汽车市场都制定了燃油经济性的相关法规，例如欧洲的二氧化碳平均排放限值（EC 443），中国的平均燃油消耗标准（CAFC）和美国的企业平均燃油经济性标准（CAFE）。从各主要市场的历史数据分析，二氧化碳平均排放值年均降低量约 3%。**欧洲是全球燃油经济性要求最严苛的地区**，以欧洲乘用车二氧化碳平均排放限制为例，欧盟委员会提出了 2025 年和 2030 年以 NEDC 计的二氧化碳排放目标值分别为 81 g/km 和 59 g/km。就燃油经济性而言，当今最好的汽油，柴油和混合动力汽车（C 级）以 NEDC 计分别约为 100 g/km，90 g/km 和 80 g/km。因此，在 2030 年的框架内，新能源汽车将变得尤为重要。我们估计，要实现 2025 年的二氧化碳排放限值，欧洲新能源汽车的份额须达到 10%，到 2030 年要达到 30% 左右，其中纯电动汽车占一半以上。

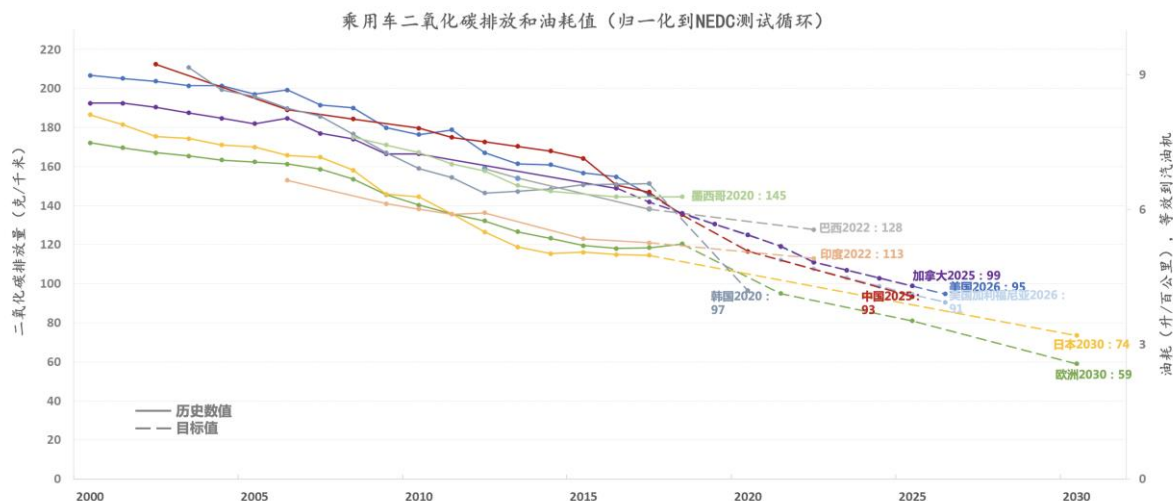


图 9. 全球主要市场企业平均乘用车燃料消耗及二氧化碳排放限值
图片来源：华夏基石《电动汽车产业发展研究报告》

世界各国都在积极推动交通能源领域的清洁和可持续发展，不少国家先后出台燃油汽车限行和零排放汽车发展目标。欧洲各国在限行和零排放目标上也处于全球领先的地位，例如欧洲五大汽车市场中的英国、法国和西班牙将从 2040 年开始禁售燃油车，挪威更是将燃油车禁售提前到了 2025 年（如图 10 所示）。部分城市和地方政府也出台了更为严苛的燃油汽车禁行限制，例如巴黎、伦敦、米兰、巴塞罗那、斯德哥尔摩等欧洲城市将在 2030 年禁行燃油汽车。这些限行、禁行，禁售等法规的出台，将迫使整个汽车行业加速向电动化转型，汽车电动化成为法律意义上的必然。

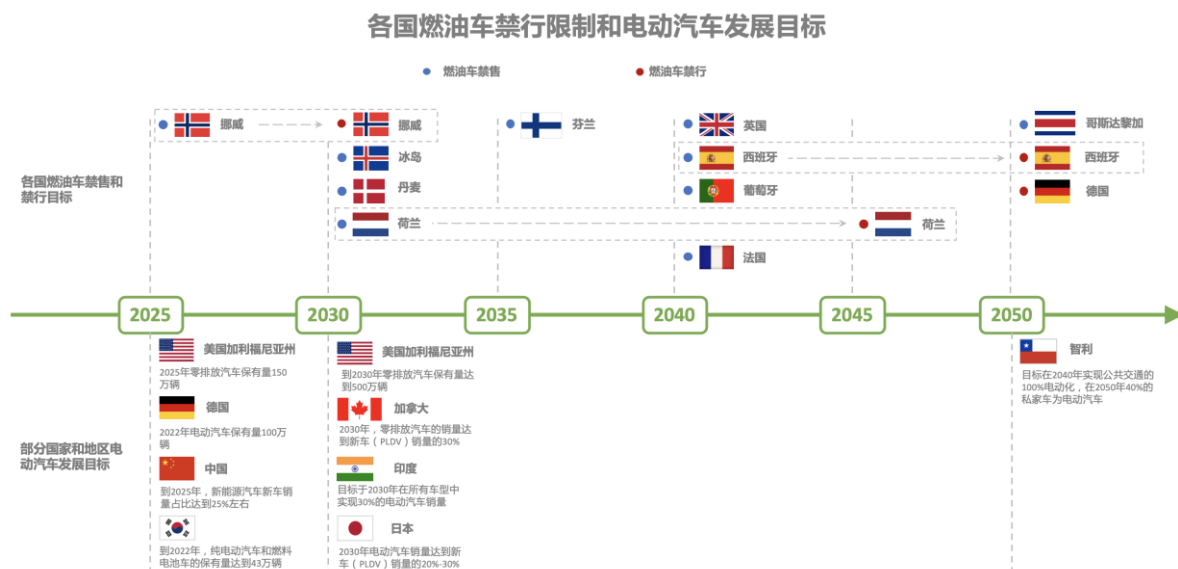


图 10. 各国燃油车禁行限制和新能源汽车发展目标
图片来源：华夏基石《电动汽车产业发展研究报告》

另外一方面，来自政府的财政激励措施，包括政府补贴，税费减免等，也加速了新能源汽车的推广使用。但随着各国政府财政激励措施的逐渐减少，来自这一层面的政策推进作用正在消退。受新冠疫情的影响，各国汽车行业都遭受沉重打击，为了缓解危机，促进新能源汽车发展，各国近期也都纷纷出台新的新能源汽车补助方案，欧洲国家的补助方案非常优厚，例如法

国政府提供 10 亿欧元用于资助消费者购买新能源汽车，纯电动汽车单车最高补助可达 12,000 欧元；德国政府将单车补助从 3,000 欧元提高到 6,000 欧元，加上来至企业的 3,000 欧元补贴，消费者最多可享受单车 9,000 欧元的补助。英国在免除增值税和路税之外，政府再额外补贴 3,000 英镑，对于一台 4 万英镑左右的纯电动车，消费者获得的实际优惠约 11,000 英镑。欧盟 27 国加上英国，除了立陶宛之外，全都提供新能源汽车购置优惠政策。

6.3 消费者对新能源汽车的需求会逐渐成为拉动新能源汽车普及的主要动力

随着新能源汽车技术进步、成本降低和充电设施的建设，包括欧洲多国在内的消费者会逐渐打消疑虑，突破购置障碍，消费侧的需求拉动会加速新能源汽车的普及。

虽然各国情况不尽相同，但消费者购置纯电动汽车的主要障碍可以综合为以下四个方面：续驶里程，成本溢价，充电设施不足和充电时间太长（如图 11 所示）。而近期新能源汽车领域的发展正在消除这些障碍。

各国消费者对纯电动汽车续驶里程的期望不尽相同，中国和意大利的消费者是高里程数的期望较低，而德国和法国的消费者则期望更高的续驶里程。300 英里（480 公里）的续驶里程是一个“甜蜜点”，属于 60%以上的消费者都可以接受的续驶里程，在中国和意大利该续驶里程数的接受程度更是高达 90%左右。最近几年推出的新车型里，不少纯电动汽车已经接近甚至超过了大部分消费者的预期续驶里程，例如福特野马 Mach E，宝马 iX3 等。我们预计随着更多的高续驶里程纯电动汽车的出现，消费者的里程焦虑将逐渐成为历史。

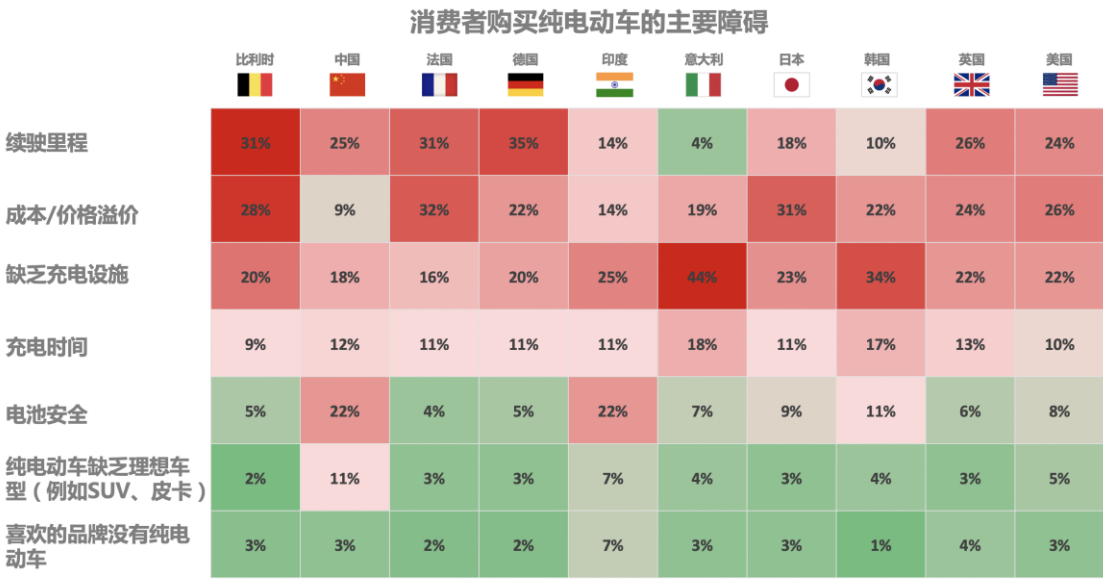


图 11. 消费者购买纯电动车的主要障碍
图片来源：华夏基石《电动汽车产业发展研究报告》

纯电动汽车的价格溢价也随着技术进步和成本下降正在逐步消失，这一现象在欧洲尤为明显。根据我们的预计，欧洲主要国家在未来几年里将逐渐实现纯电动汽车与传统燃油车年均总拥有成本的基本持平，随后纯电动汽车将逐渐具有优势，加速消费者购车意愿向纯电动汽车转变。如果考虑当前欧洲各国政府的大力补贴，纯电动汽车在欧洲已经具有成本优势，这可能也是近期欧洲市场纯电动汽车销量大幅增加的主因。

世界各国都在持续增加公共充电桩的安装数量，很多欧洲国家公共充电桩与纯电动汽车保有量的比例均超过了欧盟替代燃料基础设施指南所推荐的 0.1 的比例，并且欧盟各国和英国正在持续增加公共充电桩，尤其是快速充电桩的数量。随着各国持续对充电设施的投入，充电桩的障碍将逐渐消失，进一步降低消费者的购置心理障碍。

私人充电桩对于纯电动汽车的普及也具有极为重要的意义，虽然挪威的公共充电桩的配比并不高，但大量存在的私人充电桩促进了挪威纯电动汽车市场的快速发展。私人充电桩的建设也是欧洲各国政府政策支持的重点。

6.4 欧洲及全球新能源汽车销量展望

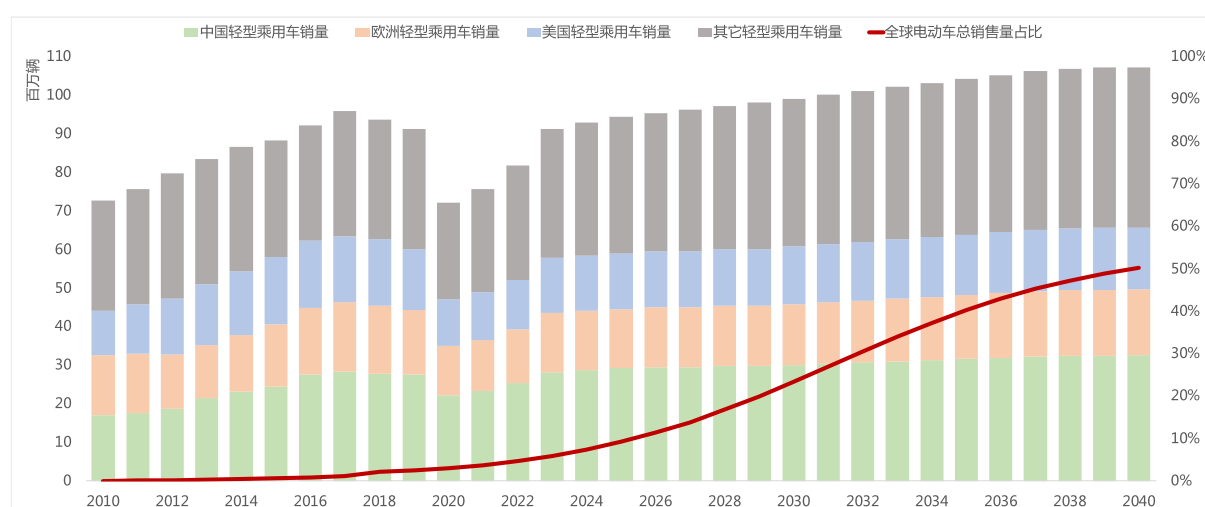


图 12. 全球新能源汽车销量展望 – 乘用车和轻型汽车销量及新能源汽车占比

图片来源：华夏基石《电动汽车产业发展研究报告》

受新冠疫情影响，全球汽车行业遭受重创，但新能源汽车的拐点已经来临，产销量将持续增加。预计全球新能源汽车销量占比在今年约为 3%，2025 年将接近 10%，2030 年达到 23%，2040 年达到 50%。

受新冠疫情的影响，我们预计今年全球乘用车及轻型汽车的销量将下滑 21% 左右。但得益于各国政府的政策扶持，新能源汽车销量的下滑幅度会远远低于传统燃油汽车，并有可能与去年持平甚至小幅增加，帮助全球新能源汽车销量占比达到 3%。欧洲市场将扮演火车头的角色，政府的财政支持和新车型的上市将拉动欧洲市场新能源汽车的销售。中国市场受政策退坡的影响，第一季度新能源汽车的降幅超过燃油汽车，但随着第二季度中央和地方政府一系列扶持政策的出台，预计下半年中国新能源汽车市场将出现强势复苏。北美市场和世界其它地区预计新能源汽车的降幅与传统燃油汽车相当。

新冠疫情对汽车行业的影响预计将持续三年左右，全球乘用车和轻型汽车的销量预计在 2023 年恢复到疫情前的规模（如图 12 所示）。随着新车型的持续推出，总体拥有成本（Total Cost of Ownership, TCO）的继续下降，全球新能源汽车的销量占比在 2023 年将达到 6%。

欧洲严苛的燃油经济性和二氧化碳排放法规（如图 9 所示），最为激进的燃油车禁售和禁行节点（如图 10 所示），在不合政府补助下即将临界的总体拥有成本，和各大车企、尤其是欧洲本土车企不断推出的基于专用新能源汽车平台的新车型，以及欧洲民众强烈的环保意识，

将推动欧洲新能源汽车市场的快速发展，成为世界新能源汽车市场的领头羊。我们预计即使受疫情影响，欧洲新能源汽车的销量在今年仍将实现强劲增长，其增幅或将超过 60%，销量占比将超过 8%，甚至有望提前突破 10% 的临界点。这一增长态势在疫情之后将进一步加强，**欧洲市场有望在 2020 年反超中国，成为全球最大的新能源汽车市场。**我们预计欧洲新能源汽车销量占比将在 2025 年达到 18%，2030 年（荷兰，丹麦，冰岛将在 2030 年开始禁售传统燃油车）达到 40%，2040 年（英国，法国，西班牙等欧洲主要汽车市场将在 2040 年开始禁售传统燃油车）达到 74%。**欧洲市场将成为全球新能源汽车销量占比最高的市场**（注：欧洲市场指欧盟 27 成员国，欧洲自由贸易联盟 4 成员国和英国）。

中国过去三年新能源汽车市场一直保持高速增长，新能源汽车销量超过全球一半，为世界最大新能源汽车市场。但中国新能源汽车市场受政策影响非常大，在中央和地方政府补贴退坡的情形下，从 2019 年下半年开始，中国新能源汽车市场出现同比下滑态势。受疫情影响，今年上半年新能源汽车在中国市场销量大幅下滑，下滑幅度甚至超过传统燃油汽车。但随着今年第二季度的政策调整，下半年有望实现同比增长。预计 2020 年全年新能源汽车销量将比 2019 年下滑 20%，产销量在 100 万辆左右。随着中国政府推进新基建的充电桩建设，以及包括特斯拉在内的跨国车企在中国推出多款纯电动汽车新车型，我们预计中国新能源汽车销量在 2021 年将恢复到疫情之前的水平（120 万辆左右）。我们预计中国新能源汽车销量占比在 2025 年达到 13%，2030 年 33%，2040 年 65%。

受政策法规，消费者习惯，车型和油价等多方面因素的影响，美国新能源汽车市场的发展将落后于世界其它两大汽车市场欧洲和中国。这个差距将在接下来的 10 年间进一步拉开。但随着更高续航里程纯电动汽车的推出和成本的不断下降，以及更符合美国消费者需求的电动皮卡等新车型的推出，美国消费者也将逐渐转向电动汽车。此外，大部分美国家庭都有两部以上的汽车，并且有空间安装家用充电桩，因而把电动汽车作为家庭第二用车的购买意愿也往往更强烈，美国新能源汽车市场后期的潜力依然十分巨大。我们预计美国新能源汽车销量占比在 2025 年为 7%，2030 年 18%，2040 年 53%。

在这三大汽车市场之外的世界其它区域，日本、韩国、加拿大和新西兰等发达国家均将出现较快的新能源汽车渗透趋势，澳大利亚也会逐渐缩小差距，但东南亚，南亚，中东，非洲和南美等地区的汽车市场，其新能源汽车的渗透率将远远落后三大主要汽车市场。对于三大汽车市场之外的世界其它地区，我们预计新能源汽车的销量占比在 2025 年约为 3%，2030 年 11%，2040 年 28%。

过去 5 年的全球新能源汽车销量中，纯电动汽车的占比从 2014 年的 58% 上升到 2019 年的 65%，随着电池成本的进一步降低，新车型更长的续航里程，我们预计纯电动汽车的占比将进一步上升，在 2025 年达到 70% 左右，2030 年 75%，2040 年 80%。

本文内容部分引至华夏基石《电动汽车产业发展研究报告》，已获得华夏基石咨询和投资服务（英国）有限公司和深圳华夏基石产业服务集团有限公司授权使用。

7. 总结

2020 年注定是不平凡的一年。欧洲汽车制造商将迎来欧盟历史上最严格的汽车碳排放法规，对每个车企都是个巨大的挑战。祸不单行，年初又遇到席卷全球的新冠疫情，欧洲成重灾区，汽车市场受到了极大的冲击。但可喜的是，欧洲市场的新能源汽车销量不减反而大增，超

过中国成为新能源汽车全球第一市场。表面上看，这个结果归功于欧洲政府的补贴政策 and 欧盟的汽车碳排放法规，但更深层的原因是欧洲政府保护的可持续发展战略。2020 年 9 月 16 日，欧洲联盟委员会主席乌尔苏拉·冯德莱恩表示，欧盟委员会将提议把欧盟 2030 温室气体减排目标从原定的 40% 提升到 55%。这项决定无疑会进一步加速欧洲汽车电动化的进程。欧洲新能源汽车的前景一片光明。

从车企角度看，尽管新能源汽车增长很快，但由于全球各大车企都制定了新能源汽车宏大计划，市场上新能源汽车新车型的增长大大超过销量的增长。因此，新能源汽车车企间的竞争会更加激烈，特别是纯电动汽车。目前纯电动汽车的开发成本高，短期内较难盈利。而插电式混合动力汽车不管从平台方面还是动力系统方面，都比较容易与传统内燃机汽车形成协同效应。预计在未来几年，如果动力电池技术没有大突破，插电混合动力汽车的增长潜力比纯电动汽车更大。

作者简介

汪善进，清华大学机械系本科，法国中央理工学院博士，汽车动力与 NVH 专家，在法国汽车行业从事动力传动和动力总成研发工作 30 年，曾担任雷诺汽车公司发动机 NVH 技术负责人十余年。现任法国华人汽车工程师协会会长，欧洲 SAE NVH 大会专家委员会成员。

胡静文，2008 年毕业于德国斯图加特大学汽车与发动机硕士专业，十二年汽车行业相关经验，参与了戴姆勒，保时捷等多家德国车企大客户的研发项目。目前就职于某德国世界顶尖一级汽车供应商动力总成前瞻研发部门，负责技术战略转型和新能源系统构架以及技术方案集成等。

黄俊星，法国电气工程师学位，具有 8 年多国内外汽车行业经验，曾任欧盟大型梯次利用储能项目 ELSA 的算法技术负责人，担任 LG Display 广州工厂高压电力系统维护副主管，参与法国雷诺新能源汽车整车控制器的研发。

吴昊，清华大学汽车系本科、硕士，剑桥大学工程系博士，皇家注册工程师，先后任职福特欧洲动力系统控制、福特全球产品规划和商务战略部、福特欧洲出行创新中心、德勤英国战略咨询汽车和出行业务部，目前担任华夏基石咨询和投资服务（英国）有限公司 CEO。

孙延军，清华大学机械工程系硕士，先后任职于中国汽车工业工程公司、清华大学天津高端装备研究院、国家新能源汽车技术创新中心，目前担任深圳华夏基石产业服务集团投资银行部高级投资经理。

第二章

智能与网联汽车

1. 前言

近年来, 随着人工智能浪潮的兴起与无线通信的持续进步, 车辆智能化与网联化成为了继电动化之后汽车工业的又一大挑战。在这一浪潮中, 汽车工业不再仅仅面对行业内部, 而是面对来自电子与计算机行业为背景的科技公司跨界挑战。欧洲作为汽车产业的发源地, 各大车企与政府如何面对这一波技术浪潮的挑战, 各自做出了何种产业规划与选择, 值得中国借鉴。

本章试图描述欧洲在智能化与网联化两方面的发展全景。首先简要介绍智能化, 尤其是高级辅助驾驶系统, 无人驾驶系统, 与车联网技术的发展概况。其次专门就德法英为主要目标, 介绍其主要整车企业, 零部件供应商, 初创企业在智能化与网联化上的最新发展动态。最后, 就智能网联化所带来的安全问题进行进一步的技术讨论。

2. 欧洲自动驾驶产业概述

李铀 (法国), 赵玉龙 (德国), 李季 (英国), 周泉 (英国)

2.1 高级辅助驾驶系统 (ADAS) 发展趋势

高级辅助驾驶系统 (英 Advanced Driver Assistance Systems, 缩写 ADAS) 是一种附加在汽车上的用来辅助驾驶员驾驶汽车的电子电气系统。它的出现一方面提高了驾驶安全性以及驾驶舒适度, 另一方面也提升了整车的经济价值。从功能上讲 ADAS 能够部分或完全自主的干预车辆的驱动 (比如油门和刹车), 控制系统 (例如泊车转向辅助系统) 或者信号装置 (例如仪表盘显示警告信息), 或在紧急情况发生之前或期间使用合适的人机交互界面 (英 Human-Machine-Interface, 缩写 HMI) 警告驾驶员。按照国际汽车工程师学会 (英 Society of Automotive Engineers, 缩写 SAE) 对自动驾驶等级的划分 [1], ADAS 覆盖了从 L0 到 L2 级包含的所有功能以及部分 L3 级功能 (或 L2.5)。L3 到 L5 则包含了高度以及完全自动驾驶的应用场景。ADAS 的发展历史可以追溯到上个世纪。在人们还没听说过 ADAS 这个词之前, 防抱死制动系统 (英 Anti-lock Braking System, 缩写 ABS) 和车身稳定控制 (英 Electronic Stability Control, 缩写 ESC; 德文缩写 ESP) 已经被广泛使用, 按照今天 SAE 标准它们属于 L0 级, 也就是没有自动化任何驾驶员对车的操作, 但是它们在无形之中实现了对车辆行驶状态的识别 (如轮胎打滑系数, 转向过度或不足) 并且独立完成对车身姿态的矫正。这一系列的操作正是当今 ADAS 主流设计理念“感知-决策-执行”的前身。1995 年, 三菱集团推出当时全球第一个基于激光雷达的车距保持系统 (Preview Distance Control)。此系统可以通过控制节气门和换挡来保持和前车的距离, 但是不能控制刹车。尽管如此, 这个系统有史以来第一次实现了由机器独立完成部分驾驶动作, 是 ADAS 发展历史上的一个重要里程碑。之后又有多个主机厂推出类似的产品。直到本世纪初, 激光雷达才被毫米波雷达所取代, 并且都增加了对刹车的控制。2002 年, 奥迪与大众在其旗舰车型上正式推出第一代自适应巡航控制系统 (英 Adaptive cruise

control, 缩写 ACC)，这也就是我们现在所熟知的 ACC 的第一代产品。如果说机器在 ABS，ESP 系统中只是在车辆行驶过程中起到了一个辅助性的作用，ACC 的出现则宣告机器从此正式走上了取代人类驾驶员的道路。在这之后越来越多的 ADAS 新功能不断被推出，例如 L0 级别的车道偏离警示系统（英 Lane Departure Warning System，缩写 LDWS）与自动紧急刹车系统（英 Automatic Emergency Braking，缩写 AEB），L1 级别的泊车辅助系统（英 Parking Assist System，缩写 PAS），与车道保持辅助（英 Lane Keep Assist，缩写 LKA），或者 ACC+LKA 这样的 L2 级别功能，以及部分 L3 级别功能如交通拥堵辅助（英 Traffic Jam Assist，缩写 TJA）和集成式巡航辅助（英 Integrated Cruise Assist，缩写 ICA）。即将进入量产落地阶段的各种 L3 级 ADAS 系统将第一次把人类驾驶员从驾驶任务中完全解放出来（特定场景下，比如高速公路）。根据 SAE J3016 的定义，L3 的自动化程度在特定场景下允许人类驾驶员放开手脚和双眼，在系统无法处理的情况下需要再把控制权交还给驾驶员，也就是说人类驾驶员虽然不用自己开车，但是必须随时做好重新接管控制权的准备。这个人机交互的过程非常复杂且具有很多不确定性，它的难点在于具体的交接权限时间点的划分以及在交接期间如何确保行驶安全。如何完美的解决这些技术难题以实现 L3 的真正量产落地是各大主机厂及供应商在接下来一到两年内的一个重要目标。

伴随着新技术的推陈出新 ADAS 系统在整车价值链的比重也越来越大。以德国为例，2003 年每辆卖出去的车平均配备价值 900 欧元的 ADAS 系统，2015 年这个数字已经超过 4000 欧元。从 ADAS 在德国的新车装车率来看 [2]，ACC 的新车装车率在 2017 年已经达到了 24%，AEB 达到了 54%，停车辅助系统甚至高达 66%。扩展到欧洲范围内 [3]，2017 年 ADAS 的新车渗透率已经达到了一个很高的水平，尤其是西欧主要发达国家，停车辅助系统新车安装率平均可达到 60%以上，AEB 可达到至少 40%左右的装车率，德国与比利时甚至达到了 54%，车道保持系统也达到了至少 30%的装车率。由这些统计数据可以看出 ADAS 在欧洲范围内得到越来越多消费者的青睐，整体增长势头十分强劲，功能较复杂的 ADAS 系统还有巨大的上升空间（如 ACC，LKA 以及 TJA 等）。由业内专家提出的 ADAS 智能化时间表（图 1）可以看出，到 2025 年 L0-L2 级 ADAS 系统将实现 100%的新车装载率，而 L3 以上的 ADAS 系统到 2030 年将超过 40%的装载率 [4]。据研究报告显示，2019 年全球 ADAS 市场规模为 350 亿美元，由于全球范围内新冠疫情的爆发，预计 2020 年 ADAS 市场将缩水至 270 亿美元，但之后将以 10%的年增长率迅速扩大，到 2026 年将达到 600 亿美元，2030 年达到 830 亿美元的市场规模。从车型上看，乘用车将继续占据大部分市场份额，从系统组成部分来看毫米波雷达将在传感器市场继续保持领先的地位，从地域上看亚太地区将在 2030 年左右成为最重要的 ADAS 市场 [5]。

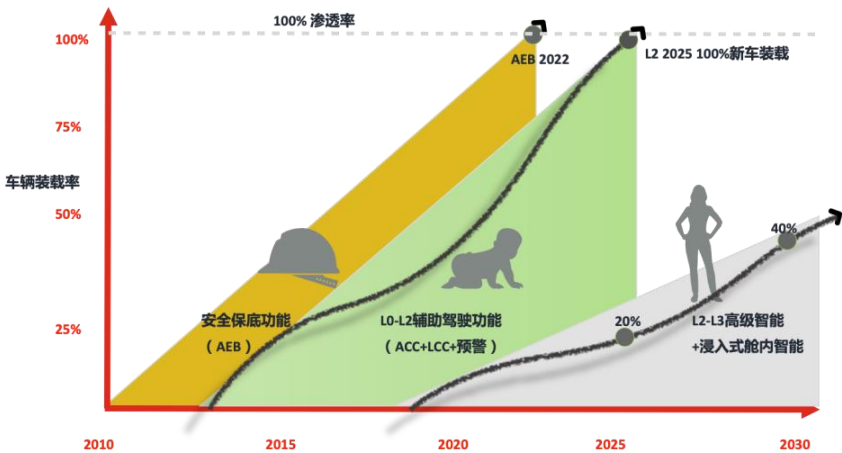


图 1: 2010-2030 年智能驾驶功能演进周期和市场渗透率预测 [4]

由于 ADAS 的出现确实显著减少了事故发生率尤其是人员伤亡率（例如根据德国联邦公路研究所及其他机构的研究报告，车距保持系统可以减少 17% 的有人员伤亡的严重交通事故，自动紧急刹车助手可以减少 28% 的有人员伤亡的追尾事故，换道助手可降低 26% 的事故发生率），各国已经推出不同层面的相关法规强制安装各种主动与被动安全系统，例如从 2003 年起德国政府就已出台新车必须安装 ABS 的法规，美国和欧盟分别在 2012 年和 2014 年颁布了新车必须安装 ESP 的法令。目前欧盟已经计划从 2022 年 7 月起在所有乘用车以及轻型商用车上强制安装 ACC，AEB 或者 LKA 这样的 ADAS 系统。在汽车行业内主动安全系统（ACC，AEB，FCW 等主要 ADAS 系统）早已被 NHTSA（美国国家公路交通安全管理局：National Highway Traffic Safety Administration），NCAP（欧盟新车安全评鉴协会：European New Car Assessment Programme）和 JNCAP（日本新车安全评鉴协会：Japan New Car Assessment Program）等国际汽车安全评鉴组织作为安全辅助列入标准测试内容。这也意味着没有配备 ADAS 系统的车型在美欧及日本汽车市场是缺乏竞争力的，因为它们在辅助安全项的失分使其无法得到满分五星评级。

总的来说，无论是从市场需求还是从新法律法规的推出都让我们可以预见 ADAS 将在接下来的 5 到 10 年内实现爆发式的增长。2020 年，ADAS 系统所代表的软件定义汽车这一趋势已经毫无争议地被看作是汽车的未来，而这一年，也毫无争议地被看作自动驾驶元年 [4]。随着工业界以及各国政府对 ADAS 研发的加大投入与扶持，我们有理由相信在不久的将来 L3 级以下（包括部分 L3）的 ADAS 系统将迅速脱离成长期进入成熟期，不仅为实现更高级别的完全自动驾驶奠定技术基础，更将在全球范围内带来巨大的社会和经济效益。

2.2 无人驾驶发展趋势

根据 SAE 的自动驾驶等级划分标准，业界往往将 L4/L5 等级称为无人驾驶车辆。其特点是彻底的将人类从驾驶员的角色中排除，而由自动驾驶系统代替人类驾驶员。而 L4/L5 的差别在于，L4 是针对特定区域内的完全无人驾驶，而 L5 则是任意区域内均可以实现无人驾驶，是自动驾驶的最终也是最理想状态。

历史：L4/5 无人驾驶技术的发展源于 DARPA（美国国防部高级研究计划局）在 2004，2005 与 2007 年举行的三次 Grand Challenge 与 Urban Challenge 无人车挑战赛。在这三界比赛中，汇聚了美国与欧洲最优秀的大学与科研院所，如麻省理工大学，斯坦福大学，卡内基梅隆大学，慕尼黑工业大学等。而 2007 年的冠军也由斯坦福大学获得。持续性的比赛，涌现出了一大批天才工程师与技术团队。而谷歌于 2008 年将冠亚军团队主要成员悉数招入旗下，成立了世界上首家以 L4 等级无人驾驶为目标的企业 Waymo。而其它成员纷纷成立各类无人驾驶初创企业，如 Cruise，Argo，ZOOX 等。

技术路线与特点：不仅是培养人才，三届无人驾驶挑战赛也同时为 L4 等级无人驾驶车辆明确了技术发展方向。一个典型的无人驾驶系统往往包含了感知，定位，导航与控制四个模块。

在感知层面，形成了以激光雷达为主，多传感器数据融合为主的系统解决方案。其中激光雷达负责精确测量障碍物的距离方位等信息，而摄像头用于识别物体的类别。在定位上，形成了以高精地图为主，多传感器组合导航为主的定位系统。而由于制作高精地图与基于高精地图的点云配准定位也主要由激光雷达完成。因此，绝大部分瞄准 L4 等级以上的团队与公司均选择价格昂贵的激光雷达作为核心传感器。DARPA 比赛进入决赛并获得名次的队伍，均为搭载了美国 Velodyne 公司的激光雷达，或者德国 IBEO 公司的激光雷达。以昂贵的激光雷达做为感知与定位的核心传感器，是目前区别 ADAS 系统与无人驾驶系统的显著特征之一。

此外，由于一台 L4 无人车并不直接面向普通消费者，L4 无人车企业并不像传统汽车企业那样重视对成本的控制，往往直接将最昂贵但也最精密的传感器，计算平台与体系架构应用在车辆当中。除了激光雷达之外，还比如高精度 RTK 差分卫星定位系统，高精度惯性导航系统，高分辨率摄像头阵列，图形并行计算单元，以太网关路由器等。这些设备虽然精度高，价格贵，但是距离车规级的稳定性与安全性依然有不小距离。

产业生态：L4 等级的无人驾驶系统可以取代司机的作用，因而可以消减移动出行服务商，物流公司等的运营成本，故其被许多资本所看好。按照所针对的不同场景，L4 等级的应用场所主要为：（1）以 Robotaxi 为方向，比如 Uber, Waymo 等；（2）以园区为目标的低速场景，如 Navya；（3）以货运卡车为目标如 TuSimple（4）以矿区农田 如 Caterpillar JohnDeer 等。

而以上仅仅是对无人驾驶集成方案提供商按应用场景做了分类。而进一步分析无人驾驶的产业链条，又可以将在这条产业链上的公司划分为：（1）传感器供应商：如激光雷达，摄像头，毫米波雷达，惯性导航测量单元等，（2）计算平台提供商：如 Intel, Nvidia, NXP 等，（3）高精地图供应商：如 HERE, TomTom 等，（4）工具链供应商：如 Vector, dSPACE, Mathworks 等。（5）算法供应商，如 Mobileye, Almotive 等。图 2 展示了无人驾驶产业链的主要玩家及所属的类别。

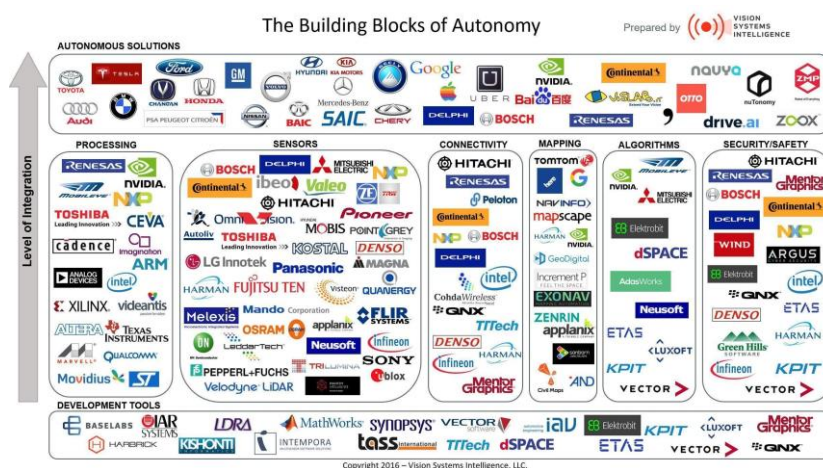


图 2：无人驾驶产业生态中的各个代表性企业，按照其产品方向划分 来源：

<https://www.slideshare.net/PengWU6/demo-project-a-threestep-strategy-for-contract-manufacturers-to-capitalize-on-soaring-autonomous-vehicles-market>

2.3 车联网发展趋势

V2X 通信目前被设计为由长期演进（LTE）网络实现，然而该技术可能很快被设计为由 5G 实现。交通运输是生活质量和经济增长的基础，V2X 通信的主要优势是提高运输的安全性，增强交通流量和提升能源使用的效率。中国汽车工业协会对搭载 V2X 功能汽车的定义是：搭载先进的车载传感器、控制器、执行器等装置，并融合现代通信与网络技术，实现车与 X（人、车、路、后台等）智能信息的交换共享，具备复杂的环境感知、智能决策、协同控制和执行等功能，可实现安全、舒适、节能、高效行驶，并最终可替代人来操作的新一代汽车（《V2X 技术走向成熟》，2018）。

V2X 的应用包括四部分：V2N（Vehicle-To-Network，车-互联网）是目前应用最广泛的车联网形式，其主要功能是使车辆通过移动网络，连接到云服务器，使用云服务器提供的导航、娱乐、防盗等应用功能。V2V（Vehicle-To-Vehicle，车-车）可以用做车辆间信息交互和提醒，最典型的应用是用于车辆间防碰撞安全系统。V2I（Vehicle-To-Infrastructure，车-基

基础设施），车辆可以与道路甚至其他基础设施，例如交通灯、路障等通信，获取交通灯信号时序等道路管理信息。V2P（Vehicle-To-Pedestrian，车-行人）则是用做给道路上行人或非机动车安全警告（《初探车联网 V2X 技术》，2018）。



图 3. 四种 V2X 的应用支持类型示意图

V2X 产业分为 DSRC 和 C-V2X 两个标准和产业阵营。一是 DSRC 专用短程无线通信标准，以 IEEE802.11p 为基础，V2V 为其主要的应用方式，经过十多年的发展历史，形成以 NXP/ST/瑞萨/车企等传统汽车电子产业链。二是 C-V2X，是基于 LTE-R14 技术为基础，通过 LTE-V-D 和 LTE-V-Cell 两大技术支持包括 V2I、V2V、V2P 等各种应用，目前正处于标准制定的关键阶段，并在今年 9 月制定了第一版的标准，形成以华为、高通等通信产业链企业、电信运营商和汽车企业为主的产业阵营（《初探车联网 V2X 技术》，2018）。

车辆网联化的九大技术挑战（Karagiannis G 等.2011）：1）寻址和地理寻址。2）风险分析和管理。3）以数据为中心的信任和验证。4）匿名，隐私和责任。5）安全本地化。6）转发算法。7）延迟约束。8）数据包的优先级和拥塞控制。9）传输层和网络层之间的可靠性和交叉层次。因此，在本质上不可靠的网络之上提供尽可能可靠的传输服务是很重要的。设计跨越传输层和路由层的跨层协议在支持实时和多媒体应用的车载网络中可能是有益的。

3. 欧洲自动驾驶产业生态现状

李铀 (法国), 赵玉龙 (德国)

3.1 OEM 产品动态与战略规划

奔驰集团（Daimler AG）：作为汽车的发明者，一家具有百年历史的全球最大的豪华车生产商在各个领域从未停止过技术革新与发明创造的脚步，如今在处于风口浪尖的 ADAS 领域更是如此，从 1998 年在其 S 级轿车产品线推出第一代领先市场的辅助驾驶系统 Distronic 开始 [6]，到 2016 年获得了美国内华达州发放的全球首张乘用车自动驾驶牌照 [7]，再到 2017 年和罗伯特·博世公司（Robert Bosch GmbH）合作开发“Robotaxi” [8]¹，2019 年与宝马集团（BMW AG）成立自动驾驶联盟 [9]²，直到最近与英伟达（Nvidia Corporation）高调宣布进行战略合作，从 2024 年开始将在梅赛德斯·奔驰的整个产品线启用英伟达全新的以软件定义的 EE 架构

¹ 2019 年底戴姆勒集团宣布由于不确定的盈利预期将减少对此项目的投入而集中精力开发适用于货车“Hub to Hub”应用场景的解决方案 [34]。2019 年 12 月份 Robotaxi 项目在美国圣何塞正式开始试运营 [35]。

² 2020 年 6 月，戴姆勒集团与宝马集团终止了此项目的合作 [33]

“NVIDIA DRIVE™”来更新自动驾驶功能和其他安全与舒适功能。硬件方面车载计算平台将基于英伟达最新的“安培”架构进行开发并拥有同类产品中最强算力（图 4）。在此基础上双方将共同开发 L2，L3 级自动驾驶功能和 L4 级全自动泊车功能 [10]。

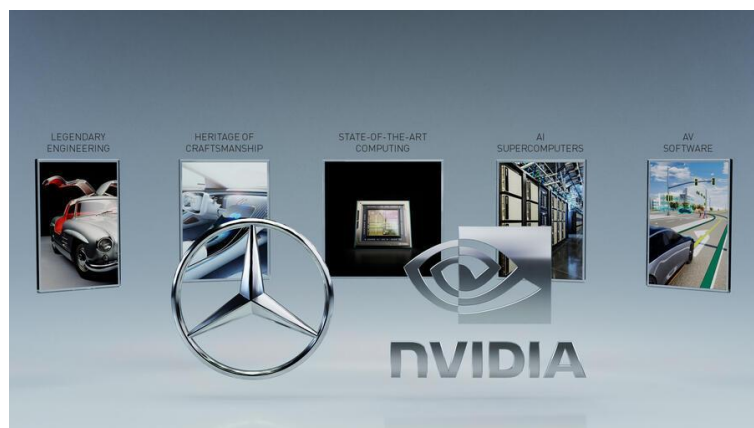
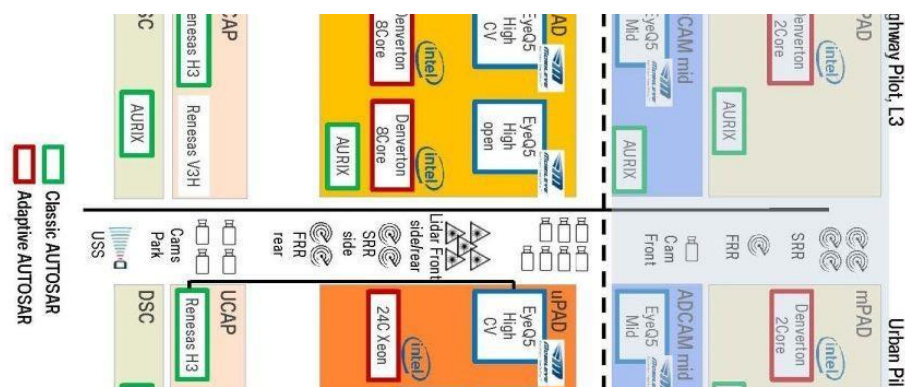


图 4：戴姆勒将在其所有车型中搭载英伟达 Orin 车载电脑 [11]

随着欧盟新法规对 L3 级自动驾驶的开放，奔驰很有可能在今年或明年推出真正的 L3 级自动驾驶系统。按照戴姆勒官网公布的信息，即将亮相的全新一代奔驰 Drive Pilot，可以在高速公路上实现 L3 级有条件的自动驾驶。在车道标识清晰可识别能见度良好的情况下，驾驶员可以完全脱离驾驶任务而去做其他事情，比如通过车载娱乐系统收发电子邮件或者参加电话会议等。只有在车道线无法识别或者特殊路况下（如施工路段）系统会发出提示请求驾驶员重新接管车辆控制。如果驾驶员无视系统提出的接管警告或者遇到其他紧急情况，系统就会启动“紧急停车”机制，还可以通过 SOS 服务自动联系救援人员。此外，Drive Pilot 还会利用地图数据和限速标志自行改变车辆行驶速度并显示变速的原因 [12]。在商用车领域，戴姆勒也积极研发 ADAS 在重卡上的应用。2015 年戴姆勒获得了全球首张卡车自动驾驶牌照并成为第一家实现卡车 L2 级自动驾驶量产落地的主机厂 [13]。与博世合作的“Robotaxi”项目在卡车领域的延伸是又一个戴姆勒亦在此领域希望充当领头羊的有力证明。

宝马集团（BMW AG）：在过去的几年中，宝马集团反复展示了其对半自动至全自动驾驶的技术积累。早在 2006 年，一辆宝马 3 系就在霍根海姆赛道上划出了完美的赛车线。自 2011 年以来，具有 L3 级功能的宝马测试车已在德国的 A9 高速公路上驰骋。2014 年，宝马的原型车首次在拉斯维加斯赛道上自主完成了漂移，证明了即使是极限驾驶也可以由自动驾驶系统完成。2017 年，宝马在拉斯维加斯 CES 上展示了一辆 L3 级 5 系轿车中的有条件自动化，网络化和个性化驾驶。同年，它在德国，美国和以色列投入了由 40 辆 7 系测试车辆组成的有条件高度自动化的测试车队。2018 年，宝马集团自动驾驶中心在慕尼黑附近的 Unterschleißheim 开业，2019 年 3 月，宝马集团 D³ 高性能平台投入运营。这个以数据驱动开发的中心将 230 PB 的存储容量与超过 100,000 个内核和 200 多个 GPU 的算力结合在一起。宝马集团通过 2014 年就已参股的 HERE，以及与英特尔，Mobileye（自 2016 年起）和其他合作伙伴的合作，为宝马 iNEXT 的量产开发做足了前期准备。到 2021 年，宝马 iNEXT 将成为宝马集团的第一款在高速公路上提供安全的 L3 级自动驾驶功能的汽车。宝马集团及其合作伙伴目前在新的宝马集团自动驾驶中心共同开发一个可扩展的技术平台，以实现稳定安全的高度或完全自动驾驶 [14]。值得一提的是，宝马 iNext 基于的 L3 级系统架构采用了 Fallback 安全机制（图 5），不同系统层级使用不同的硬件子系统支持，在高级智能层遇到意外或故障时，降级到低级的底层系统作为安全保底，最大化的保证了驾驶的安全性和可靠性 [4]。



大众集团 (Volkswagen AG) 与奥迪集团 (Audi AG) : 大众与奥迪集团在汽车 EE 架构上一直落后于奔驰和宝马, 即便是号称全球第一辆达到 L3 级自动驾驶的奥迪 A8, 其骨干网络仍然基于 CAN 和 Flexray 总线。奥迪最新车型 Q8 的车载娱乐系统也仍然沿用传统的 MOST 总线, 以太网只用在诊断和 TBOX 上, 尽管搭载了中央域控制器 zFAS³ (德: zentrales Fahrerassistenzsystem-Steuergerät) [16], 整车电子电器架构和十年前相比几乎没什么进步。直到 2016 年, 大众集团下定决心发展全面数字化, 并对整车 EE 架构进行全面升级以开发全新的 MEB 电动车平台 (图 6)。此平台上使用了诸如千兆以太网骨干网、时间敏感网络 (TSN: Time-Sensitive Networking)、自适应 AUTOSAR 平台、高性能车载计算平台 (HPC: High Performance Computer)、TSN 交换域控制器、虚拟局域网等目前最先进的各种软硬件与通信技术。虽然 MEB 平台目前在大众最新电动车型 ID3 的应用上出现了一些问题 [17], 但是不会影响 MEB 平台在业内的领先地位 [18]。以此平台为基础, 大众预计将在 2023 年左右推出 L3 级的自动驾驶系统 [19]。

大众也像其他厂商一样找到了自己的战略合作伙伴来组建新四化（电动化、智能化、网联化、共享化 [21]）联盟。2019 年 7 月，大众集团与福特汽车（Ford Motor Company）共同注资自动驾驶软件平台公司 Argo AI（其中大众注资 26 亿美元），使其估值超过 70 亿美元。通过这种合作模式两家公司可以将 Argo AI 自动驾驶系统分别集成到各自的车型中去，从而实现大规模的全球扩展。通过双方对资源与平台的共享，加上对交付地区的划分，最终将带来巨大的协同效应 [22]。2019 年 10 月，大众宣布成立自动驾驶独立部门 Volkswagen Autonomy（简称 VWAT），计划分别于 2020 年和 2021 年在硅谷和中国建立分公司。大众计划将集团内自动驾驶的研究资源全部转移到 VWAT。VWAT 将负责大众内部 L4 级自动驾驶的所有事宜，

³ 作为大众旗下自动驾驶的急先锋，奥迪集团于 2017 年 7 月在巴塞罗那发布了 A8 旗舰轿车，这也是全球首款搭载 L3 自动驾驶技术的量产车型。新 A8 的发布成为了自动驾驶技术发展史上里程碑式的事件 [23]。但是由于当时欧盟相关法规的缺失，奥迪不得不暂停了 zFAS 的部署。

加速自动驾驶的商业落地 [23]。从以上这些举动可以看出大众作为全球最大的汽车生产商绝不甘心放弃自动驾驶这块战略高地，并希望把决定未来产品核心竞争力的技术牢牢的掌握在自己手中。

雷诺集团 (Groupe Renault): 在 ADAS 方面,雷诺集团于 2019 年推出的 Clio5 集成了大部分主流 ADAS 功能,如带 Stop&go 功能的自适应巡航控制,盲点检测,自动紧急刹车,拥堵辅助驾驶,车道线偏离预警等。而 Clio5 的销量也颇为亮眼 在 2020 年第一季度中成为了欧洲销量最多的车型。

雷诺在 ADAS 系统上技术畅想,在 2017 年推出的概念车 Symbioz 上得到了很好的体现[44] (图 7)。该概念车基于雷诺电动车平台,拥有 500KM 里程。最为吸引人的当属其搭载的自动驾驶系统。该车搭配多枚激光雷达,多枚毫米波雷达与多摄像头,从而能对车身四周的环境做出较为全面的感知。基于这些传感器,该车可以在高速公路上实现自主边道与超车。该车同时可以自动驶入高速收费站的收费通道,而无需驾驶员手动干预。另一个亮点是结合当前火热的 VR/AR 技术,该车搭载的 VR 系统可以将车辆感知系统的结果输入 VR 眼镜,使得驾驶员与乘客可以佩戴该 VR 眼镜,享受将驾驶过程与虚拟境界相融合的奇妙驾驶体验。该车 2017 年推出后,在从法国鲁昂至巴黎几百公里的高速公路区间内,持续半年面对公众与媒体进行了公开展示,收到了很好的宣传效果。



图 7: 左: 雷诺于 2017 年推出的 Symbioz 概念车中; 右: 雷诺集团的 Robotaxi 原型车辆

除了在 ADAS 系统上持续加强投入力度,雷诺集团在 L4 及以上的无人驾驶系统上也有所布局。在国际上,2019 年通过雷诺日产联盟与谷歌旗下的 Waymo 达成合作协议,在法国境内,雷诺集团的 Robotaxi 项目主要通过 EVAPS 项目实现。从 2017 年开始的 EVAPS 项目是法国政府投资最大的无人驾驶项目,该项目旨在为巴黎 Saclay 大学城地区(约 100 平方公里)的学生提供方便出行服务。

标致雪铁龙集团(Groupe PSA): (以下简称标雪)在早在 2015 年便在法国以及欧洲测试面向高速公路的 L3 等级自动驾驶汽车。相比雷诺集团,标雪的策略更加专注,即专注于 L1 – L3 等级的 ADAS 系统,而非 L4 等级以上的完全无人驾驶。从 2017 年开始,便通过 AVA 项目 (Autonomous Vehicle for All) [45]来开展自动驾驶的研发工作。该项目目的为: (1) 为客户实现易于使用的 ADAS 系统, (2) 根据用户不同需求,打造不同等级的自动驾驶系统, (3) 为集团所有品牌: 标致,雪铁龙,DS 打造通用的 ADAS 系统。AVA 项目所打造的 ADAS 系统,已经应用在标雪旗下的 208 / 308, 2008 / 3008, 雪铁龙 C4, C3 中。AVA 项目中所打造的自动驾驶原型车辆如图 16 所示。脱胎于 AVA 项目,标雪集团旗下的 DS7 与标致 508 将夜视系统应用于夜晚行人保护,这也是首次应用夜视系统的法国车企。截至 2019 年,标雪集团已经在欧洲累计测试了 17 万公里的高速公路自动驾驶,在中国也测试了 1 万多公里。

注重与道路基础设施建设商的合作：2017 年，标雪与法国高速公路运营商 VINCI 合作，在法国 Saint-Arnoult-en-Yvelines 的高速公路路段实现了自动驾驶车辆在智能公路收费站的引导下自动通过收费站（图 8）。而 2019 年双方宣布进一步加深合作⁴⁵，在法国 A10 与 A11 两条高速公路上测试更多的自动驾驶功能，如（1）遇到路网改造时，也可以实现车辆在改造路段的自动驾驶功能，（2）特殊场景下（极端气候或者路面发生车祸等）可以引导自动驾驶汽车安全停靠在路边安全区域内。



图 8：左图：标致 AVA 项目的自动驾驶原型车辆，右图：标雪展示自动驾驶状态下通过高速公路收费站
<https://www.groupe-psa.com/en/story/en-route-vers-la-voiture-autonome/>

3.2 供应商产品动态与战略规划

罗伯特·博世公司(Robert Bosch GmbH)：博世作为全球最大的汽车零部件供应商，所拥有的完整产业链布局决定了其在自动驾驶领域也必有一席之地。2019 年博世在 ADAS 领域的客户就有上百家 OEM 和初创公司，销售额达数十亿欧元。尤其在 ADAS 的感知层面，也就是在传感器领域的布局（图 9），博世占有绝对的市场主导地位。其主要产品包括摄像头、毫米波雷达以及激光雷达等传感器，有丰富的近、中、远距离感知产品组合。博世从 1978 年开始研发车载毫米波雷达，在此领域已经耕耘了逾 40 年。现如今，第五代 77GHz 毫米波雷达已经量产。除此之外，博世在摄像头领域也推出了号称“革命性”的第三代的多功能/立体摄像头。在激光雷达领域，博世近年来不仅开展内部研发并创投了 3D Flash 激光雷达开发商 TetraVue，中国全固态芯片激光雷达初创公司飞芯电子（ABAX Sensing），而且在 2020 年初又与光速基金以 1.73 亿美金联合领投了禾赛科技的 C 轮融资，刷新了激光雷达行业的单笔融资记录 [24]。在域控制器方面，博世从 2016 年起就成立了专门的研发团队，从 DASy Base 到 DASy Enhanced，以及最新的 DASy 2.0，产品将覆盖 L2 到 L3 的所有 ADAS 功能。



图 9: 博世在传感器领域的布局 [25]

在完全自动驾驶领域，博世首先以自动代客泊车技术（Automated Valet Parking）为切入点。矿区、港口、园区等封闭场景，以及泊车这样特定功能的自动驾驶，因运行环境相对较简单，技术上更容易实现。2019 年 7 月，由博世和戴姆勒联合打造的全自动无人驾驶泊车功能正式在德国斯图加特奔驰博物馆停车场获得运营许可，据悉这是 L4 自动驾驶技术在全球首次得到政府许可。应用于城市内的自动驾驶出租车（Robotaxi）也是博世的关注重点。在该领域，其合作对象同样是戴姆勒。2017 年 8 月，博世与戴姆勒开启了加快城市道路的 L4 级完全自动驾驶及 L5 级无人驾驶汽车的深度合作，在加利福尼亚打造首个自动驾驶试点城市 [26]。2019 年 12 月 Robotaxi 在圣何塞正式开始试运营 [27]。戴姆勒在去年年底宣布缩减 Robotaxi 项目支出以后，博世也将 L4 级以上的研发重点转移到卡车领域，并为此专门成立了雅典娜-卡车项目组。

今年 7 月 21 日，博世宣布从 2021 年起将从驾驶辅助，自动驾驶，汽车多媒体，动力总成和车身电子等多个事业部抽调 17000 名软件及电气电子方向的工程师成立全新的“智能驾驶与控制事业部（Cross-Domain Computing Solutions）”。这一全新事业部将开发用于车载计算机和控制单元的软件，以及包含各级别 ADAS 以及车载娱乐系统在内的诸多功能性软件。除跨域软件开发外，新事业部还将统筹开发车载计算单元、控制单元和传感器，以此形成合力，从而更好地研发面向未来的整车电子电气架构。可以说这次全新的智能驾驶与控制事业部的成立是博世发展史上一次非常重要的“大象转身”，也必定将对全球汽车行业的发展产生深远影响。

大陆集团（Continental AG）：作为全球第二大汽车零部件巨头，大陆集团自然也不能错过自动驾驶这个高科技领域的风口浪尖。自动驾驶的感知层是大陆这样的国际供应商的传统强项，也就是摄像头，毫米波雷达和激光雷达等传感器领域（图 10）。以毫米波雷达为例，博世、大陆、海拉、富士通和电装等几家巨头就占据了 24GHz 和 77GHz 毫米波雷达市场份额 70% 以上。其中大陆与博世两家更是领先其他竞争对手一个身位达到了全球 44% 的市场占有率。目前大陆集团的毫米波雷达也已经更新到了第五代。摄像头方面大陆的主要产品包括多功能双目摄像头 MFS430、多功能 Mono 摄像头 MFC 500、360 度全景摄像系统等。在激光雷达领域大陆也积极开展自己的研发，不仅在低线束领域有 SRL101 这样可满足 AEB 与 ACC 等 ADAS 基本功能的产品，也在高线束领域开发能够满足自动驾驶对 3D 环境构建需求的 3D Flash 固态激光雷达 HFL110，并通过收购雷达公司 ASC 来弥补自己在 3D 激光雷达技术上的不足 [28]。

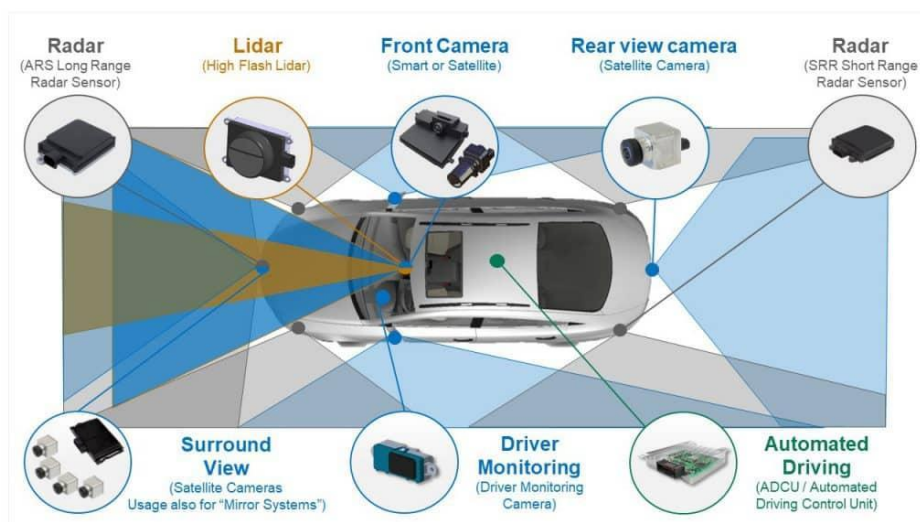


图 10: 大陆在 ADAS 传感器与中央域控制器的产品线 [29]

在 ADAS 的规划层，大陆集团的核心产品是中央域控制器 ADCU（Automated Driving Control Unit，图 6）。ADCU 会对摄像头、雷达、激光雷达等车载传感器所生成的数据进行分析与融合。根据分析结果，具有强大计算能力的 ADCU 可以规划和决定最佳的路径，协调车辆制动系统并对可能的道路危险做出及时的反应。为了给计算平台提供算力支撑，大陆与英伟达建立了深度合作关系，基于英伟达的 SoC NVIDIA DRIVE Xavier™、操作系统 NVIDIA DRIVE OS 和自动驾驶汽车软件栈 DRIVE AV，开发自动驾驶解决方案。据悉，能够满足 L3 级自动驾驶功能的新系统将于 2021 年正式上市。在高精地图方面大陆于 2015 年就推出了电子地平线地图（eHorizon [30]）。之后通过与 IBM、思科合作，寻求让 eHorizon 连上云，使其拥有了网络更新能力并最终发展成联网式电子地平线地图（Connected eHorizon）。后来又入股 HERE 地图，获取了足够多的高精度地图数据；与国际移动卫星组织 Inmarsat 合作，进一步提升云端能力。此外，大陆集团将无人驾驶与 V2X 技术相结合，推出了 CUBE（Continental Urban mobility Experience）无人驾驶技术的开发平台。该平台集成了大陆集团所有感知、规划、行动相关的产品，可以在指定的封闭园区内安全地自主地行驶。通过集成 V2X 通信技术，CUBE 实现了与其他交通参与者和基础设施进行通信和数据的交换。大陆集团打造这个平台的目的是为了让其成熟的 ADAS 技术，例如制动系统和环境传感器，在此平台的基础上继续研发并最终可以应用到自动驾驶出租车的批量生产中 [31]。大陆集团靠自身深厚的技术积累能够参与到“感知”、“决策”和“执行”的各个层面，这也是许多 Tier1 供应商在自动驾驶研发方面的先天优势，这也是为什么他们仍然是当今自动驾驶领域的重要一极。

ZF 集团（ZF Friedrichshafen AG）：德国第三大，全球第四大汽车零部件供应商，ZF 集团通过收购 TRW Automotive Holdings Corp. 也在 ADAS 传感器领域取得了不小的市场份额。作为全球最大的摄像头供应商之一，ZF 在此领域每年出货量达数百万颗。今年推出的最新一代前视摄像头 S-CAM4.8（图 11）不仅拥有 100 度的水平视角而且集成了 MobileEye 的最新图像处理技术。宽广的水平视角可以更早的探测到弯道上或者路口的横向交叉目标。MobileEye 的 EyeQ4 处理器为其提供了更强大的对弱势交通参与者，如行人和自行车，的识别能力。由于出色的整体性能，S-CAM 系列可以为 L3 级以下的 ADAS 系统提供更多的安全性和舒适性，并且可以被应用到整个乘用车和商用车领域 [32]。在固态激光雷达领域，ZF2016 年收购了 Ibeo 汽车系统有限公司（Ibeo Automotive Systems GmbH）40%的股份，并与其共同开发可以重建 3D 模型的固态激光雷达。



图 11: 左: ZF 最新一代摄像头 S-CAM4.8 [32]; 右: ZF 中央计算平台 ProAI [33]

从 2017 年起 ZF 和英伟达展开合作将人工智能系统用于交通运输业，并发布中央计算平台 ProAI（图 11）。ProAI 使用可扩展的 NVIDIA DRIVE PX 2 AI 运算平台来处理多个摄像头以及来自激光雷达、雷达和超声波传感器的数据，强大的算力使系统可精准地感知车身周围的情况，并据此对后续动作进行规划。目前 ProAI 系列产品已经推出四款满足自动驾驶不同阶段的相关产品。第一代 ProAI 是入门级型号，符合所有 NCAP 2022 标准；第二代 ProAI 具有足够的计算能力，可以满足 L2 和 L3 级别自动驾驶；第三代 ProAI 提供了广泛的模块化功能，并在三块性能主板上集成了不同的芯片，这将为 L4 级自动驾驶提供实时数据处理所需的计算能力。而最新一代 ProAI RoboThink 新增可拓展的计算能力和自带的图像处理器，拥有逾 150 Tera-OPS 的算力，且可模块化组合最多 4 个单元，实现约 600 Tera-OPS 的总算力，能完全满足 L4 级及以上的自动驾驶应用。此外，ProAI 产品系列提供了一个开放平台，根据需要除了可以集成经典功能算法之外，还完全支持对 AI 算法的集成 [34]。

ZF 在共享出行领域也同样有自己的战略部署。2018 年 6 月，ZF 宣布与亚琛初创公司 e.Go Mobile 成立合资公司 e.Go Moove GmbH。2019 年双方又与移动解决方案运营商和集成商 Transdev 宣布建立合作关系，通过利用 Transdev 运营系统集成的自动驾驶车 e.Go Mover，开发全新的共享自主移动解决方案。从基础核心部件到拥有强大计算能力的中央控制器开发，底盘控制执行，再到共享出行服务，ZF 已经完成了自动驾驶核心框架的搭建 [35]。

VALEO 集团： VALEO 集团作为法国最大的汽车零部件集团之一，在 ADAS 感知传感器（环视摄像头，毫米波雷达，超声波雷达，激光雷达等）方面占据着不错的市场份额。因此，其在自动驾驶方面的策略是紧密围绕其感知传感器展开。

激光雷达： Valeo 集团自 2014 年起便开始激光雷达的研发工作。通过与德国 IBEO 合作，Valeo 推出了全球第一款符合汽车安全等级的可大规模量产的激光雷达 Scala[46]。2018 年随着全球第一款 L3 等级自动驾驶汽车奥迪 A8 的推出，该激光雷达作为拥堵辅助驾驶的主力传感器之一，从而广为所知。随后，Valeo 也推出了 Scala2 激光雷达，将激光扫描线束从 4 线增加至 16 线。2019 年 Valeo 宣布获得 4 家汽车主机厂价值 5 亿欧元的激光雷达订单。同时 Valeo 集团与加拿大初创企业 Leddar Tech 合作，进行下一代固态激光雷达的研发工作。不仅仅只是激光雷达，Valeo 围绕 Scala 激光雷达，旨在通过 drive4U 项目打造自动驾驶感知系统。在 drive4U 项目中[47]，Valeo 将一台路虎越野车安装了多台自家 Scala 激光雷达，自家毫米波雷达。通过多传感器融合感知与基于点云高精度点云地图的定位系统，于 2019 年在巴黎市中心核心地区展示了无人驾驶能力，引起了广泛关注（图 12）。

Valeo.AI： Valeo 也是法国汽车界面对人工智能的发展浪潮，最早成立 AI 研发中心的企业。2017 年，Valeo 与欧洲最优秀的若干所大学与研究所（瑞士洛桑联邦理工，巴黎路桥，巴黎高等电信，法国国家信息化与自动化所，德国马克斯普朗克研究所等）在巴黎共同成立了人工智能研究中心。该中心成立的目的在于加强科研院所，初创企业与 Valeo 之间在人工智能，尤其

是自动驾驶感知系统方面的研究。联系所研究方向为基于深度学习的多传感器融合感知，深层深度神经网络的不确定度估计等。2017 年该研究中心成立以来，已经拥有 100 人的研发团队，连续在计算机视觉顶级会议与人工智能顶级会议上连续发表研究成果。

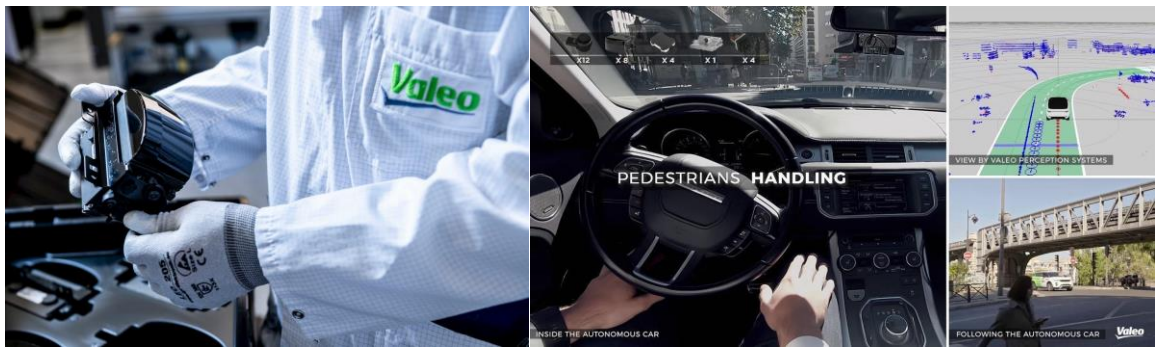


图 12：左：Valeo 集团所生产的 Scala 激光雷达，右：依靠 Scala 激光雷达，Valeo 集团的 Drive4U 项目于 2019 年完成了在巴黎市区的无人驾驶展示。来源：<https://www.valeo.com/en/valeos-lidar-driving-the-autonomous-vehicles>

佛吉亚（Faurecia）集团：法国汽车界另一位主攻汽车内饰及座舱的零部件巨头佛吉亚（Faurecia）在 ADAS 系统上的布局则主要以以下三个方面展开布局：

（1）归属于智能座舱的驾驶员疲劳检测系统：基于各种不同的摄像头（近红外，热成像），毫米波雷达以及生物特征传感器的数据，可以对驾驶员进行辨识工作，检测是否疲劳驾驶或者酒驾，以及监视健康状态。

（2）电子后视镜与车辆环视系统：佛吉亚近年推出的 EMirror 系统。利用摄像头取代传统的后视镜，可以利用最新的计算机视觉算法，自动检测汽车后方的车辆与障碍物，及时提醒司机注意，尤其在高速变道情况下。



图 13：佛吉亚集团于 CES2020 所展示的自动泊车 来源：<https://www.faurecia-clarion.com/fr/technologie/systemes-avances-aide-conduite>

（3）自主泊车系统：佛吉亚借助环视系统发力自主泊车与自主召唤系统。一辆搭载该系统的原型车辆（日产 Infinity）与 2020 年初在美国拉斯维加斯的 CES2020 面向公众展示（图 13）[48]。

3.3 初创公司产品动态与战略规划

Atlatec: 位于德国卡尔斯鲁厄的 Atlatec 是一家为自动驾驶提供高精度地图与定位服务的初创企业 该企业的特点是采用双目摄像头与 GPS 就可以制作出传统中需要用昂贵的激光雷达才能实现的自动驾驶用高精度导航地图，因此可以以更低的价格提供自动驾驶导航地图（图 14）。由于车载双目摄像头同时也被广泛应用于 ADAS 系统当中，该公司的产品有可能被车

企所采用，大范围应用在所有安装了双目摄像头的车辆中。这样，车企将可以成为高精地图的提供商。



图 14: Atlatec 所制作的高精度地图与车载摄像头混合的结果。右: Artisense 的传感器系统

Artisense: 成立于 2018 年，位于德国慕尼黑的 Artisense 是由慕尼黑工业大学著名的机器人学教授 Daniel Cremers 创立的高精度地图与定位初创企业，其核心技术是紧耦合的视觉与惯性导航系统的定位与建图技术。与 Atlatec 类似，Artisense 利用双目摄像头，消费级别的惯导系统，依靠先进的算法，可以实现在 GNSS 系统失效情况下的车辆定位，这给复杂的城市环境下自动驾驶提供了有力的帮助。2020 年美国 CES 中，Artisense 展示了在楼宇的多层地下停车场，在丢失 GPS 信号的情况下精准定位车辆位置，并在释出停车场接收到 GPS 信号后几乎无缝对接[49]。

Navya: 成立于 2014 年，总部位于法国里昂，是世界上最早从事无人驾驶的初创公司之一。其主要方向是面向校园，工业开发园区等低速半封闭环境下的无人摆渡车的研发与运营。2018 年 Navya 于巴黎 La Défense 地区展示无人驾驶小巴的运营（图 15）。2019 年获得新加坡政府允许，在新加坡开展无人小巴的载客实验。截至 2019 年已经有超过 2 万名乘客尝试体验过该无人驾驶小巴。Navya 同时也是第一支 IPO 的自动驾驶初创企业，与 2018 年在巴黎 EuroNext 证券交易所上市[50]，大股东之一是法国汽车零部件巨头 Valeo。

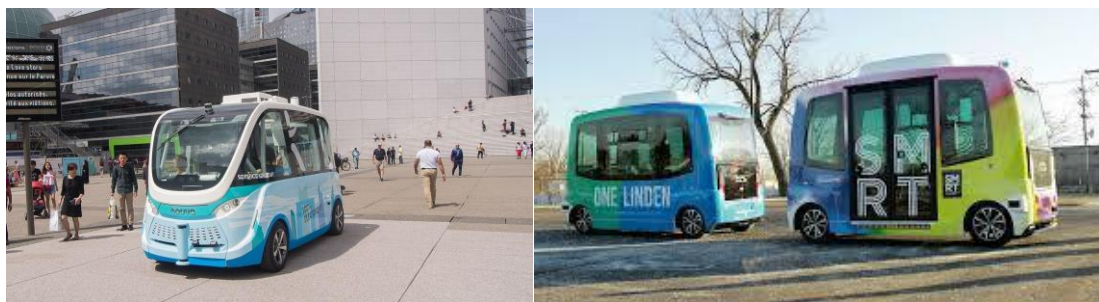


图 15 左: Navya 在巴黎 La Défense 开展的无人驾驶小巴体验活动; 右: Easymile 的无人小巴 EZ10 在美国 Ohio 州测试。

Easymile: 与 Navya 同时成立与 2014 年，Easymile 的前身可以更早追溯至由 Clermont – Ferrond 大学移动机器人实验室孵化的初创企业 Robosoft，也是全球范围内较早从事无人驾驶汽车开发的公司之一。与 Navya 的方向类似，均为低速半封闭场景下的无人驾驶，如工业园区或校园。其主打产品 EZ10 无人驾驶小巴同样装备有各类激光雷达，摄像头，差分 GPS 等感知定位设备。依靠事先建好的高精度地图定位，也同样在欧洲各国，北美，以及新加坡同时展开无人小巴的运营测试活动（图 15）。

Oxbotica: 成立于 2014 年 Oxbotica 发源于英国牛津大学的移动机器人团队，是以 L4 / 5 完全无人驾驶为目标的初创公司。依托牛津大学强劲的科研实力，在自动驾驶感知定位与路径

规划方向上均有不俗的实力。Oxbotica 的主要产品是一套名为 Selenium 的自动驾驶全栈软硬件系统与一套名为 Caesium 的移动出行服务管理系统[51]。

3.4 各国政府的产业规划与政策

新法兰西工业计划 (Nouvelle France Industrielle): 法国政府在传统上一直从国家层面上对新科技的发展进行规划与扶持, 对自动驾驶以及无人驾驶技术也一样如此. 旨在促进法国的工业与科技水平, 法国工业部于 2013 年 9 月推出了一项名为“新法兰西工业” (Nouvelle France Industrielle) 的国家级产业规划与投资刺激政策[52]。在该方案所涵盖的 34 个项目中, 自动驾驶汽车正是其中之一, 而项目总负责人正是时任雷诺集团总裁的卡洛斯·戈恩。

在新法兰西工业计划中, 自动驾驶的发展被设计成由汽车制造商, 汽车零部件制造商与科研院校共同参与完成。其中, 嵌入式智能, 网联化, 人机交互由法国 Vedecom 研究所负责协调, 而系统安全性由 SystemX 研究所负责。

SAM(Sécurité et Acceptabilité de la Mobilité Autonome)计划与 ENA(Expérimentations de Navettes Autonomes)计划: 在新法兰西工业计划截止之后(2019 年), 法国政府继续追加对自动驾驶的扶植与投资力度。于 2019 年 6 月启动了一轮新的, 总计投资 1.2 亿欧元, 为期 3 年半的名为 SAM (Sécurité et Acceptabilité de la Mobilité Autonome) 与 ENA(Expérimentations de Navettes Autonomes)的两项新计划[53]。这两项计划目标为探索与展示无人驾驶出行服务的安全性 with 公众的接受程度, 评估其对交通, 环境以及城市规划的影响。所提供的无人驾驶出行服务具体包括结构化道路自动驾驶, 自主泊车, Robotaxi, 最后一公里的无人配送等。因此, 其场景包含高速公路, 停车场, 城市区域, 郊区和农村地区, 而车辆则包含汽车, 摆渡小巴, 以及移动机器人等。在 SAM 与 ENA 计划中, 一共有包含汽车工业, 科技行业, 移动出行服务商的 21 位合作单位与 16 个无人驾驶移动出行测试场地。该两项计划完成 100 辆自动驾驶车辆, 在各测试地点累计运送 50 万人次。在 SAM 计划中, 由法国 Vedecom 研究所负责统筹协调。而 ENA 计划中由法国交通部所属 IFSTTAR 研究院领导。其它主要成员包括: 汽车公司: 雷诺, 标致雪铁龙, Valeo, 移动出行商: RATP, KEOLIS, Transdev, 科研机构: Vedecom, SystemX, Cerema, 巴黎路桥大学等。其中具有代表性的自动驾驶测试项目:

项目 1: 领导者: 标致雪铁龙集团与雷诺集团, 地点: 位于法兰西岛(大巴黎地区)的结构化道路; 内容: 大规模测试与验证 2 台标致雪铁龙集团的自动驾驶原型车与 7 辆雷诺集团的原型车辆, 要求测试里程超过 50 万公里。

项目 2: 领导者: Valeo 集团, 地点: 巴黎, 内容: 在 INDIGO 集团的位于巴黎的地下停车场内实现自助泊车系统。该项目面向 12 至 15 辆经过改装的共享电动汽车。

项目 3: 领导者: 雷诺集团与 Transdev, 地点: 巴黎 Saclay 地区, 内容: 该项目旨在巴黎 Saclay 地区打造无人驾驶出租车(Robotaxi)服务。项目分为三个步骤, 首先将连接 Saclay 地区与 Massy RER 火车站, 其次将在 Saclay 地区建立 Robotaxi 无人驾驶打车服务, 用以实现对当地公交线路的补充。最后将由四台雷诺集团的 Robotaxi 原型车实现这一任务

SAM 与 ENA 项目的 16 个测试场地参见图 16。

Territoires pour le programme national d'expérimentations du véhicule routier autonome

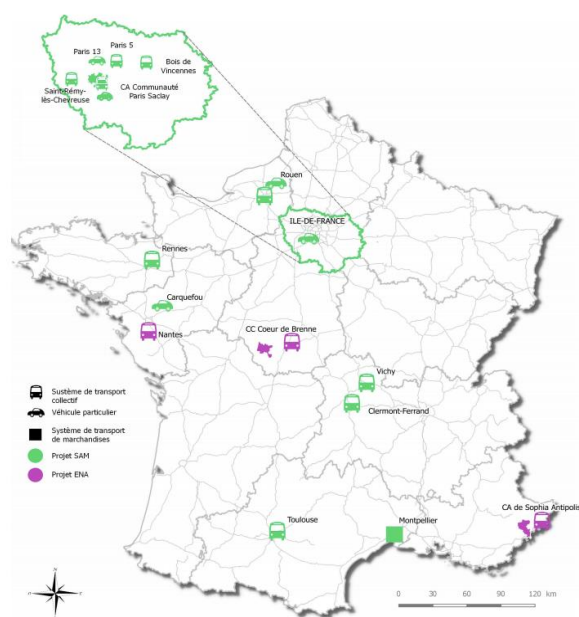


图 16: 法国 SAM 与 ENA 计划中的 16 个测试场所在全法分布情况。其中以巴黎大区最为密集。来源: https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/9918029_D%C3%A9veloppement-VA_Vdef2.pdf

4. 智能网联汽车安全性

陶剑波（奥地利），张新海（瑞典），马振东（奥地利）

为什么一辆自动驾驶汽车会不安全呢？大致会有四个原因，第一个是自动驾驶功能本身的设计漏洞。也就是说一些特定的场景在设计时可能没有考虑到。举一个夸张点的例子，如果一个自动驾驶汽车或者一个 ADAS 系统在设计时没想过会在路上遇见袋鼠，那它在澳大利亚就很可能出问题。再比如说，周围车子反常理的行为也可能造成安全问题。设计漏洞还包括一些算法自身的局限性没有被充分考虑到。我们都知道，感知算法无法做到 100% 的准确。但是设计者需要保证偶然感知算法偶然出现的失误不会造成安全问题。这种设计漏洞很难完全避免，因为自动驾驶汽车所要面临的环境太过复杂。但即使设计被做得滴水不漏，汽车还有可能不安全。第二个导致不安全的原因是自动驾驶功能的实现可能不能完全符合设计。造成这些错误的原因包括软件里的 bug，以及随机硬件错误（比如内存中的位翻转）。第三个导致自动驾驶不安全的原因就是司机或是乘客可能会发生的误操作（针对 L2 及 L3 的系统）。而第四个原因则是人为的恶意行为（security）。比如恶意修改车内的代码，恶意攻击车载通信系统（V2X）以及驾驶过程中，其它车辆的恶意举动，比如报复性别车或者碰瓷。本章下文会根据这几个原因简要介绍一下相关标准现状以及解决思路。

那么如何才能避免这些可能会造成危险的因素呢？一系列的安全标准就是用来解决这些问题的。而在汽车电子领域，最著名的安全标准就要数 ISO 26262 以及近些年新鲜出炉的 ISO/PAS 21448（SOTIF）。ISO 26262 重点解决由软件 bug 和随机硬件错误所造成的安全问题，也就是上文中提到的第二个原因。这类问题被叫做功能安全问题。ISO 26262 并不针对自动驾驶汽车或 ADAS 系统。因为无论是传统汽车（L2 及以下），ADAS 或是自动驾驶汽车都很难避免软件 bug 和随机硬件错误。ISO 26262 中给出了详尽的方法论以在保证功能安全风险足够低

的前提下兼顾开发成本。这套方法论也适用于自动驾驶或是 ADAS 系统中的功能安全问题。ISO/PAS 21448 旨在解决前文中提到的原因一和原因三所造成的安全问题，也就是，设计漏洞（包括算法的局限性），以及误操作。有这些因素造成的安全问题被归纳为预期功能安全（SOTIF）问题。而 ISO/PAS 21448 目前也只处于草稿阶段，并还在不断完善。第四个原因与网络安全有关，相关国际标准为 ISO 和 SAE 合作制订的 ISO/SAE 21434。

4.1 ISO26262 与 SOTIF 预期功能安全

首先来说一下 ISO 26262 是如何解决功能安全问题的。前文提到，功能安全主要针对由于 systematic faults (最常见的就是软件中的 bug。通常由此类错误所造成的失效 (failures) 都有特定的触发条件。)以及随机硬件错误（此类错误会小概率随机发生）。此处要注意，在 ISO 26262 的世界里，没有随机软件错误。ISO 26262 假设，软件错误的触发都不是随机的。比如说在软件中一不小心将 \geq 写成了 $>$ ，那么这类错误只会在特定的情况下被触发。同样，即便是操作系统中的调度错误，也只会特定情况下被触发，也不会是随机发生的。比如某个任务的执行时间过长。图 17 展示了这些错误会如何一步一步造成安全问题。举个例子来说，紧急制动系统（AEBS）中的软件 bug 会造成刹车系统失灵（hazard）。如果这刚好发生在高速公路上，并且路上的车又很多（operational situation），大部分司机在这种情况下都很难避免事故。

那么 ISO 26262 的目的是不是消除系统中所有的错误呢？并不是。由于现在汽车的电子系统过于复杂，消除所有的错误几乎是不可能的。很难做到，也很难证明。所以我们只能假设在开发以及验证的过程中花的精力及成本越多，那该系统出错的可能性也就越小。但价格也是汽车市场中很重要的竞争武器。所以成本对汽车行业来说又十分重要。所以，将所有系统的可靠性做到极致在汽车行业中也一定就是一个明智之举。考虑到这些，ISO 26262 的思路用一句话概括就是：越是关键（critical）的错误，就越不能发生。比如，从安全的角度来说，刹车失灵就要比空调失灵更关键，因此在开发及验证过程中就要花更多的精力来保证它不会发生。要做到这一点，我们就要弄清楚两个问题。第一个问题是如何判断哪个错误更关键。第二个问题就是如何保证这些错误不会发生。第一个问题的答案可以在 ISO 26262 中的第三部分找到。第二个问题的答案可以在 ISO 26262 中的第四，五，六部分中找到。ISO 26262 从提出到现在已有将近 10 年的时间了。如今在世界汽车行业中也已被广泛采纳。直到近些年，ADAS 系统的普及以及自动驾驶的兴起，人们才逐渐意识到，只有 ISO 26262 已经不够用了。在这个历史背景下，ISO/PAS 21448 应运而生。

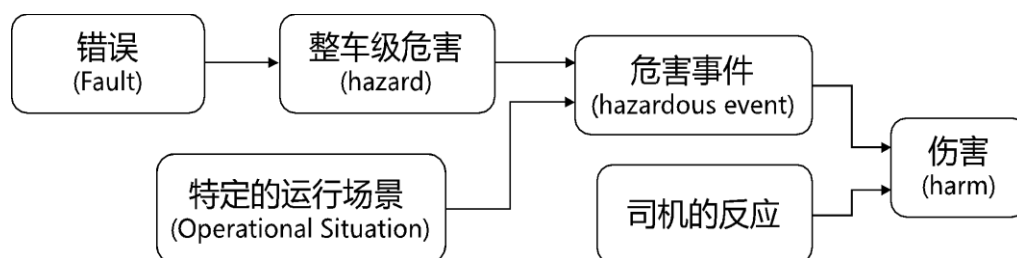


图 17. ISO 26262 对伤害来源的假设，图中箭头表示因果关系

那么从安全分析的角度来说，传统汽车和自动驾驶汽车的最主要区别是什么呢？传统汽车属于一个封闭系统，其与外界主要的借口为方向盘，踏板，拨杆，方向盘和中控上的按钮，车轮与地面的摩擦以及一些简单的传感器，比如 IMU。而自动驾驶汽车或者是 ADAS 则为一个开放系统。其输入包括汽车的整个运行环境，维度高，变化多，且不确定。这种开放性为安全分析带来巨大的挑战，我们不可能把所有可能的情况统统考虑进去。因为这些可能性几乎是无限的。ISO/PAS 21448 给出的解决思路则是把驾驶环境分解为一个个场景（scenario）。这些

场景被分为已知的场景和未知的场景，又被分为有害的场景（hazardous scenarios）和安全的场景。ISO/PAS 21448 的目的则是通过迭代的方式来增加已知且安全的场景，而减少有害的场景。这一目的又可以分解为两个子目的。目的 1 是将未知场景变为已知场景。目的 2 则是将有害场景变为安全场景。目的 1 的侧重点为如何挖掘未知的有害场景。而目的 2 的侧重点则为如何根据已知的有害场景来改进相关算法，以及如何通过优化架构来应对未知的有害场景。本章节重点关注目的 1。那什么是有害场景呢？SOTIF 相关的系统级危害行为是指由环境因素所造成的危害行为。比如说强光会使基于摄像头的目标分类方法做出错误的判断。冰雪路面会影响车身控制算法的表现等等。这些危害行为会在特定的条件下（比如强光和冰雪路面）被触发，进而造成整车级危害，比如在不该加速时加速。如果在该场景中，前面正好有一辆车，且车距很近，则该危害则会造成追尾，进而造成伤害。这种会造成伤害的场景，则被称之为危害场景。总而言之，一个有害场景包含两种必要元素。其一是系统级危害行为的触发条件，其二则是让所触发的整车级危害转变为伤害的条件。但这两个元素又并不是充分的。其原因包括 1) 所触发的系统级危害行为并不一定会传播到整车级。因为很多下游的算法都是具备恢复力的（比如传感器融合算法可以容忍一部分识别错误）同时，很多算法本身在时间上也具备恢复力（比如目标检测算法在某一帧没有检测到目标，但在下一帧可能就又检测到了）。2) 对于 L3 及以下的系统来说，危害事件发生时，相关人员（比如说司机）的介入也会避免伤害。

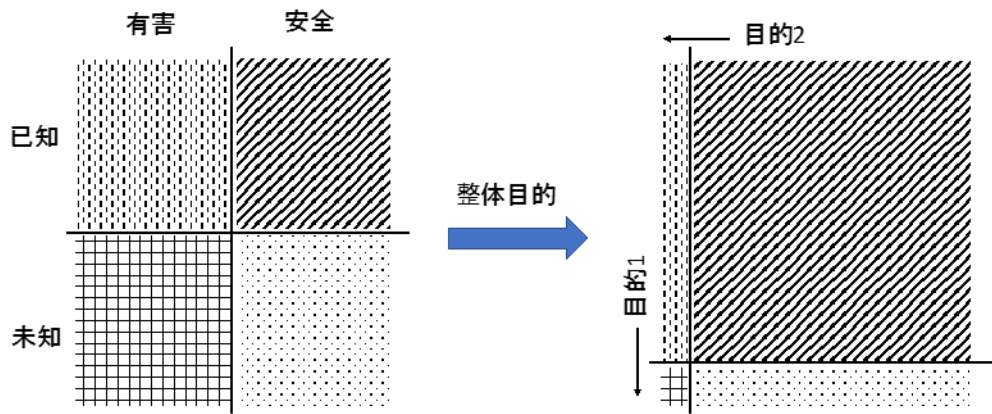


图 18. ISO/PAS 21448 的目的 [54]

那如何才能挖掘出更多的未知的有害场景呢？根据上文的讨论，找出有害场景大致有两种思路。一是通过大量路测或是整车级仿真来找出会造成伤害的场景。二是针对上文中所提到的两个必要元素，逐一击破。也就是说，先试图找出所有的危害行为的触发条件，再列举出所有会使某一整车级危害造成伤害的条件。然后对这二者做排列组合。已知整车级危害来找危害事件是 ISO 26262 中 HARA 的重要步骤。常用方法为 HAZOP，本章不赘述。那如何找出未知的触发条件呢？有一种常见的假设：触发条件为各种影响因素（influential factors）的组合。对于基于摄像头的目标识别算法来说，影响因素的例子包括光照，被识别物体的颜色，位置，背景，以及遮挡情况等。对这些影响因素进行组合并仿真，则会得到一系列触发条件。那么要如何得到这些影响因素呢？方法大致分为两类，推导法和归纳法。推导法是指通过对算法以及传感器做出的系统分析来找出所有影响因素，比如 CV-HAZOP[58]。归纳法则是指根据以往的项目经验，或是历史数据（比如自然驾驶数据或是事故数据）来归纳出所有的影响因素。

找出的潜在有害场景不仅可以用来改进算法，改进架构，还可以用来当做验证系统（包括功能验证和安全验证）的测试用例。下面的章节将进一步介绍基于场景的方法在自动驾驶的开发及验证过程中的应用及挑战，以及如何找出更多有害的场景。

基于场景的验证方法

自动驾驶的一个主要挑战是其需要在地球上的许多地区国家都能正确工作。这个要求的一个结果是要考虑各种不同类型的道路、道路标记、交通标志和其他方面，如高速公路或农村地区的交通。此外，我们还必须考虑其他环境问题，如天气状况或已被修改或部分遮挡的标志。在所有这些情况下，自主车辆仍然要适当地工作。这里的挑战是要考虑不同的情况和环境描述中使用的参数或概念之间的潜在相互作用。因此，验证所有自动驾驶系统与环境之间潜在的关键交互尤其重要。但是由于参数变量搜索空间的原因，这在一般情况下似乎是一项几乎不可能完成的任务。对于自动驾驶测试验证，有学者认为需要超过数亿公里的真是道路测试，才能在统计学上实现证明自动驾驶车辆与人工驾驶车辆一样安全。这其中隐含的一个假设是，在这些测试里程中，自动驾驶车辆系统会经历很多危急情况，可惜事实不一定如此。例如，如果测试总是在同一单调的区域行驶，我们很可能只看到一些但永远不会碰到实际中可能出现的所有问题，比如稍有不同的停车标志或其他车辆的不同驾驶行为，而很多因素也可能因不同国家地区而异。除此之外，考虑到时间和费用的因素，在现实中去完成这个庞大的里程测试工作量基本是一个不可能完成的任务，所以行业普遍共识是需要采用虚拟仿真技术对自动驾驶系统进行虚拟测试与评价。

图 19 展示了一个基于场景的验证流程的框架，此框架主要基于欧洲 ENABLE-S3 项目基于场景的验证和确认过程和 PEGASUS 项目的方法。第一步为场景生成，包括得出适当的场景类别，例如以逻辑情景的形式。需求引出步骤是通过一套安全要求来补充这些类别，这些安全要求应由系统在所确定的情景中实现。然后，测试评估系统是否符合场景类别的要求。在 ISO/IEC/IEEE 29119 和 ISO 26262 等标准中，可以找到关于测试的成熟概念。在这个测试过程中，测试用例最初是由场景类和安全要求在测试推导过程中导出的。随后，使用适当的测试台进行测试执行，例如，虚拟、物理或结合使用。在测试评估步骤中对执行的测试进行评估。然后，整个过程的结果被用于随后的总体安全论证。

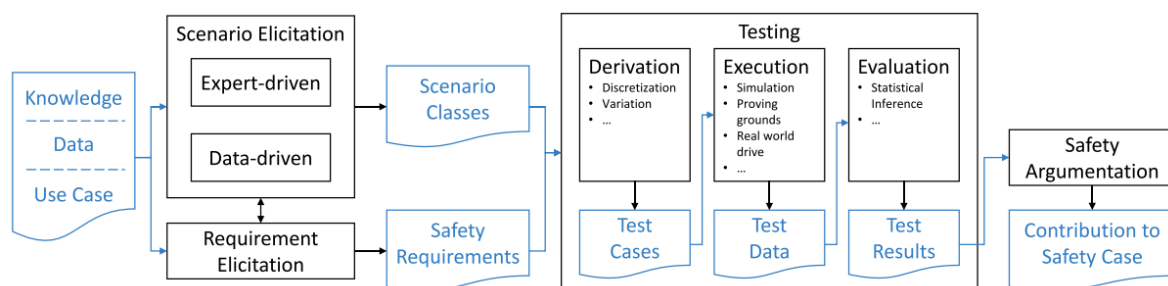


图 19. 基于 Pegasus 和 EnableS3 项目内容的基于场景测试的简化框架。[55]

场景定义

确保自动驾驶汽车在其预定的运行环境中表现充分，是整个系统验证的关键部分。所以在谈场景之前我们必须来了解下什么是 ODD (Operational Design Domain)。自动驾驶功能必须确保在其操作设计域中安全工作。ODD 一词的原始定义来自汽车工程师协会 (SAE) 在其 SAE J3016 中的定义。SAE J3016 将 ODD 定义为 "特定驾驶自动化系统或其功能专门设计的运行条件，包括但不限于环境、地理和时间限制，和/或某些交通或道路特征的存在或缺失。" 要确保测试和验证是完整的，至少需要确保 ODD 的所有方面已经通过确保系统安全运行或通过确保系统能够识别和缓解超出定义的 ODD 的范围。ODD 的典型描述往往有些简单化，NHTSA 将道路类型、地理特征、速度范围、天气和 "其他领域限制" 列为相关因素。对于不同类型的车辆，甚至对于车辆的不同应用，ODD 很可能会有所不同。连续场景挖掘的目标是增加场景

的覆盖率，使完整的 ODD 能够被场景覆盖，如果一个场景集覆盖了所有相关的 ODD，则认为它是完整的。一旦知道了 ODD，并且有覆盖 ODD 的（部分）场景，就可以生成测试用例。

Koopman 根据他的经验提出 ODD 要素环境至少应包括以下内容[56]:

- 地形，以及相关的与位置有关的特征（如坡度、外倾角、弯度、坡度、摩擦系数、路面粗糙度、空气密度）。
- 环境和天气条件，如地表温度、气温、风、能见度、降水、结冰、照明、眩光、电磁干扰、杂物，振动，以及其他类型的传感器噪声。
- 操作性基础设施，如操作性路面、导航辅助设备（如信标、车道标记、增强标志）、交通管理设备（如交通灯、路权标志、车辆行驶灯）、避让区、特殊道路使用规则（如与时间有关的车道指示变化）和车辆对基础设施的可用性。
- 与环境和运行状态空间其他方面相互关联的规则和预期行为，包括交通法规、社会规范以及与其他代理（包括自主和人类，包括显性信号以及通过车辆运动控制的隐性信号）的信号和协商程序。
- 不同地区/国家部署的考虑因素（例如，蓝色的停止标志，“右转保持移动”的停止标志修改器，水平与垂直的交通信号方向，路边的变化）。
- 通信模式、带宽、延迟、稳定性。
- 基础设施特征描述数据的可用性和新鲜度，如测绘细节水平和识别与基线数据的临时偏差（如施工区、交通堵塞、飓风疏散等临时交通规则）。
- 运营状态空间要素的预期分布，包括哪些要素被认为是罕见的，但在范围内（如收费站、警察交通拦截），以及哪些要素被认为在系统打算运行的状态空间区域之外。

2020 年 8 月份最新发布的英国 PAS1883 标准，为描述自动化车辆和驾驶系统的操作设计领域（ODD）提供了一个分类法。在标准中 ODD 被分为三大类：景物，环境条件和动态元素。其中“景物”属性包括运行环境的不可移动元素，如道路或交通灯。“环境条件”属性包括天气和环境条件。“动态元素”属性包括 ODD 中的可移动要素，如交通或标的物车辆。

“景物”下的具体分类又有：a) 区域 b) 可行驶区域 c) 交叉口 d) 特殊结构道路 e) 固定道路结构 f) 临时道路结构。“环境条件”下的具体分类又有：a) 天气 b) 颗粒物 c) 照明 d) 连通性（指车辆从外部系统接收数据和/或向外部系统传输数据以确定定位或其他车辆和更广泛的基础设施通信的能力）。“动态元素”下的具体分类又有：a) 交通 b) 目标车辆。此外 PAS1883 对每一个子分类都有详细的可测量的尺度定义。

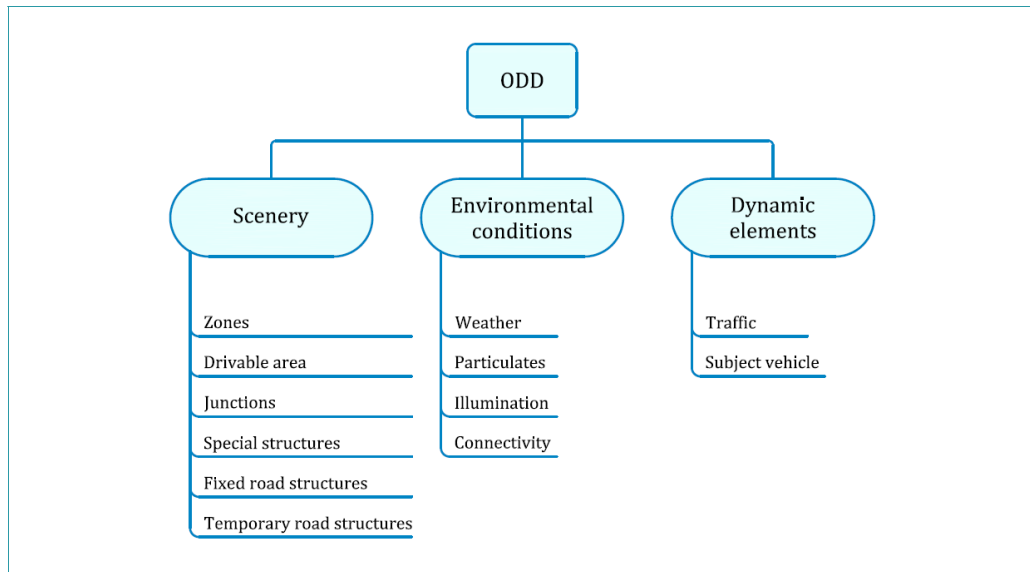


图 20. PAS1883 关于 ODD 属性的顶层分类法 [59]

根据欧洲 Pegasus 项目中的定义，场景是对多行为者过程的形式化描述，包括其静态信息，动态环境 and 环境条件。该项目根据自动驾驶产品开发的阶段、系统开发阶段和测试阶段对场景的需求差异，分别提出了对应的功能场景、逻辑场景和具体场景概念。场景可以通过多种方式收集。它们可以被设计出来（例如基于关于安全分析），从实际测试数据中收集，或者从事故数据库中提取的数据等。**功能场景**：功能场景在高层次上规定了一个方案。这通常是以人类可读的文本(散文)/图形(草图)形式进行的。**逻辑场景**：逻辑场景是功能方案的具体化。它具有更多的形式特征，是对一组具体情景的描述（例如，从左车道切入的机动动作）。**具体场景**：一个具体的方案是一个完全定义的序列。它描述的是逻辑情景中的一个实例。

针对场景描述模型 PEGASUS 项目还提出了一个系统描述场景的模型，包括以下六个独立的层次[57]：

1. 道路(道路几何尺寸等)
2. 道路设施和规则(交通标志等)
3. 临时改造和活动(道路施工等)
4. 移动的物体(与交通有关的物体，如：车辆、行人、.....相对被测车辆的移动)
5. 环境条件（光照情况，道路天气）
6. 数字信息（V2X、数字数据/地图）

总而言之，基于场景的验证方法的挑战主要集中在验证方法论（场景构建，生成体系，评价标准等）、验证平台问题（包括模块化的工具、模型精度、自动化方法、测试流程框架等）、测试用例覆盖度问题。验证方法论方面挑战具体包括了必要的数据采集和存储、方案和指标选择的步骤；以及测试用例生成方法。另外，场景的变异是不可或缺的一个方面，场景无数的变化（如不同的环境条件、不同的人员/交通参与者等）导致了大量的潜在测试案例。验证平台问题专注于可在研发流程中重复使用的验证技术模块（工具和模型），可以无缝支持各种开发的和测试环境（模型在环、硬件在环、车辆在环，以及真实世界的测试）。通过结合这两种部件和各自的技术模块，来努力实现重大的减少所需的测试工作量。

4.2 车辆网络安全

软件和网络互联是推动当今汽车升级和创新的主要动力之一。随着汽车电子电器系统软件化和自动程度的提高及与外部设备互联度的增加，汽车网络安全的要求也随之提升。作为一项非功能性要求，网络安全的重要性已经逐渐被主流汽车厂商认可。相应的汽车网络安全方面的研发的投入也在逐年增加。相比 IT 行业，网络安全对于汽车行业是一项新兴领域。汽车厂商对于汽车网络安全在流程体系和技术力量上存在不同的成熟度。与之相应的产品的网络安全性也有很大的差异。本文将以欧洲汽车工业现状为视点，探讨汽车网络安全在流程管理上和技术上的应对策略和措施。随着电子智能系统在汽车系统中比重及网络互联程度的增加，针对汽车电子电器系统的网络安全威胁也随之加剧。网络攻击的目的可以是获取车内有关信息，也可以是对车辆系统及功能的篡改和恶意操纵。以色列 Upstream 公司 2020 年全球汽车网络安全报告的数据显示汽车网络安全事件在过去 10 年内急剧增加。由于报告中的数据大多来源于公开信息，实际网络安全事件的数量极有可能更高。汽车网络安全事件的分析显示网络攻击矢量包括无匙进入系统，后台服务器，手机应用，OBD 端口，车载娱乐系统，传感器，电子控制器/TCU 终端/网关，蓝牙设备，移动网络，OBD Dongle，以及车内网络。

另一方面，随着自动驾驶的普及和发展，确保网联，自动化的汽车的车内，车与车之间及车与其运行环境的网络安全正成为整个汽车工业的一项新的挑战。汽车生产厂商必须遵循现有车辆道路安全的法规，并且履行车队和消费者在车辆使用过程中免受网络安全攻击的责任。随着车内新兴技术成分的不断增加，如果汽车的网络安全不能得到保证，汽车的运行安全也将不再确保。针对汽车网络安全的法规将陆续出台。网络安全的贯彻实施成为产品质量保证的一部分。汽车网络安全的实施是一项系统的工程。本文的重点是围绕汽车网络安全最重要的组成部分，安全工程的流程和汽车安全的技术，以欧洲为视点，探讨汽车工业界的最佳实践。

成熟的汽车网络安全流程必须建立在严谨的开发生产流程和与之相应的管理体系的基础上。安全工程流程的标准化始于 2016 年。ISO 和 SAE 开始合作制订了 ISO/SAE 21434 的国际标准。21434 标委会的成员主要来自全球各大车企和供应商以及 IT 及网络信息安全公司。21434 流程的重点是把各项网络安全工程的活动嵌入汽车开发和生产流程。贯穿 214234 标准规定的主题是把网络安全风险的管理引入汽车电子电器系统的工程开发，制造，运行，维护以及车辆的退出运行过程中。汽车网络安全工程的定义借鉴过去 20 多年来在 IT 领域积累起来的针对网络安全开发和运行中的最佳实践（best practice）和与之相匹配的安全开发生命周期（Secure Development Lifecycle - SDL）。21434 通过对每项安全工程工作的要求及与之相应的输出物的定义，寻求一套系统化，整个汽车工业都能接受的标准并促进车企之间对网络风险在同一基础上的交流。从技术层面上来看，汽车网络安全的重点是把各项嵌入式系统和网络通信安全措施通过软硬件有机的结合起来，并把它们层层分布至从单片机（microcontroller）直至 IT 后台。汽车网络安全措施从里至外大致可以归纳为以下 5 层。

电子控制器安全

汽车网络安全措施的第一层是保证电子控制器（Electronic Control Unit - ECU）和其它设备在元件层面的安全。电子控制器可以视为汽车电子电器架构中最基本的嵌入式系统。电子控制器需要具有针对物理和网络攻击的防护措施。电子控制器的安全涵盖单片机，内存，输入输出接口，通信栈，和软固件的安全。单片机要保证自身没有可用于发动恶意攻击的安全漏洞，还要给其它模块提供基础加解密服务。随着汽车网络安全要求的提高，新一代单片机大多具备嵌入式硬件安全模块（Hardware Security Module - HSM）。硬件安全模块具有防篡改功能，提供保密数据及其它重要系统配置信息的安全存储，以及保护加解密运算程序的运行并提供计算硬件加速优化。硬件安全模块自有一套与宿主系统隔离的操作系统。单片机的宿主程序通过应用程式接口（Application Programming Interface - API）调用硬件安全模块内的加解密程序。

由于用于加解密程序的密钥或公钥证书等等在硬件安全模块的物理边界之内，防止了保密信息的泄漏和篡改。

基于硬件安全模块上的单片机的安全启动和运行期系统监测等措施能有效的保证系统程序在启动前及运行中不被篡改。只有单片机系统的完整性能够的保证，才能进一步保证在这之上的运行程序和应用软件的安全。如果电子控制器提供统一诊断服务（Unified Diagnostic Service - UDS），诊断服务必须通过安全接入机制对所有与安全有关的服务申请进行认证和授权。如果电子控制器的软件可以通过诊断仪或远程（Over-the-Air OTA）进行更新，软件更新的安全需要通过电子签名保证软件的完整性和来源的真实性。电子控制器的升级程序需要在固件刷写前对软件的电子签名进行的验证。

基于电子控制器之上的各项通信应用程序要在开发过程中做到安全设计和安全编码，并经过软件安全测试以确保没有安全漏洞。在此之外，汽车上的电子控制器的安全设计必须考虑到针对单片机及周边设备的物理入侵和旁路攻击。调试接口，串口，印刷电路板上的连接点都需在出厂前关闭以防止对单片机内存的直接读写。

车内通信网络安全

汽车网络安全措施的第二层是保证车内通信网络的安全。现今车内通信网络主要由总线比如 CAN, LIN, MOST, Flexray 和车载以太网组成。通信网络把电子电器架构内各类元器件按照功能和域连接起来。网络拓扑是架构设计的重要一步。除了功能和流量，网络拓扑设计还必须考虑网络安全的需要。通过纵深防御和区域分割，网络子网把高风险的元器件和其它网络成员隔离开。子网之间的通信可以由域控制器（domain controller）或网关实现。子网之间的通信需通过总线信息过滤或防火墙保证跨域车内网络通信的完全。基于车内网络总线的特性，驾驶系统网络必须和车载娱乐系统和其它通信接口比如 OBD，TBOX 进行有效网络安全隔离。

车内网络是攻击的目标之一。逆向工程及保密信息的获取往往可以通过对车内网络的直接读取来实现。车内以太网部分的保护可以通过传输层安全（Transport Layer Security - TLS）实现。总线系统不具备对传输信息的安全保护。汽车开放系统架构（AUTOSAR）针对总线安全制定了安全车载通信（Secure Onboard Communication - SecOC）定义。SecOC 提供对总线信息的仿冒和重放攻击的保护。SecOC 将增加对总线和电子控制器的负荷。在安全设计时，SecOC 要选择性地用于重要总线信息的安全保护。如果保密信息必须通过总线传输，信息在传输过程中必须使用额外的加密措施。

对外通信接口安全

汽车网络安全措施的第三层是保证车上对外通信接口的安全。汽车上的各类通信接口往往是最易受到网络攻击的部分，所以通讯接口的安全是汽车网络完全防护最重要的环节之一。

现今汽车的通讯技术可以分为远程，近程，和直接连接。远程通信主要是通过移动通信网络，包含移动数据传输和 SMS 短信等。近程通信包括无线上网（Wi-Fi），蓝牙，超短波（UHF），近场通信（NFC）等等。直接接口包括车内的诊断端口（OBD），USB，电动车的充电接口，SD Card，CD 等的数据媒介，以及与车上智能手机的互联。针对不同的通讯接口技术和协议存在不同的安全措施。车企必须对各种接口的攻击手段和安全措施有即时的了解。在这个基础上与供应商合作把接口引发的安全隐患降至最低。所有车内与外界有交互的应用程序和软件库需要在开发过程中遵循安全开发的规范，并在投产前做充分的安全测试。

除此之外，车内还有各种无线接收器，比如胎压监视系统（TPMS），全球定位系统（GPS），交通信息频道（Traffic Message Channel, TMC），以及自动驾驶的传感器，比如摄像头和雷达。此类接口的特点是单向地接收外界的信息输入。远程接收的信息有仿冒，篡改，

重放的可能性。所以，在技术可行情况下，外界输入信息需要对信息源和数据完整性做认证和验证。对于影像和雷达即时信息，可以通过传感器融合降低自动驾驶中不实信息的负面影响。

车辆通信安全

汽车网络安全措施的第四层是保证车辆与 IT 后台及其它车辆或路边设备通信的安全。随着车联网的兴起和各项互联网业务在车上的整合，汽车网络安全边界已从单辆汽车的物理边界衍生至整个与之互联的网络节点。车端和 IT 后台或云端的网络安全需要在无线通讯，IP 网络层，传输层，应用层等各个层面加入安全保护措施。各项远程服务需要充分考虑软件系统逻辑流程的安全设计以保证车辆数据传输存储和功能的安全。

后台系统的对外接口和软件的设计和和实施需要遵循已有的互联网安全标准。还必须对安全漏洞及时修补和升级。后台系统还须建立成熟的信息安全管理规范。作为后台 IT 流程系统的一部分，售后服务网点的信息安全必须纳入管理的范围之内。除此之外，与充电桩，智能交通系统（Intelligent Transport System - ITS）等路边设备的互联也要使用多层的网络通信安全措施。

网络安全检测

汽车网络安全措施的第五层是保证单辆车或车队在运行过程中动态情况下的安全。在现今 IT 网络中，网络安全的情况认识（Situation Awareness）的重要性已经是共识。入侵检测防护系统（Intrusion Detection and Protection System- IDPS），安全信息事件管理（Security Information and Event Management - SIEM），安全运行中心（Security Operation Center - SOC）等已被证明是应对动态网络攻击有效的手段。随着汽车网络安全重要性的提高，类似的网络安全手段也将逐渐被运用至车联网中。由于车载入侵检测防护系统涉及对电子电器架构一系列元器件的升级，当前还没有普及。随车车辆互联度的加深，在后台利用已有的大数据分析手段建立针对车辆的入侵检测可以作为当今有效的额外安全防护措施。

随着汽车软件含量，网络化和自动化的不断提高，确保汽车网络安全已成为汽车工业面临的一大挑战。相关标准的制定和法规的颁布对汽车工业即是激励，同时也显示了贯彻实施汽车网络安全的紧迫性。本文以欧洲汽车企业的经验为视角，陈述探讨了如何在流程和技术上实现汽车网络安全。从长远的角度来看，在汽车技术不断更新的同时，网络安全措施及攻击手段也在日益跟进。本文所探讨的各类应对措施只代表了汽车网络安全至今为止的发展。他山之石，可以攻玉。国内车企可以借鉴欧洲企业在汽车网络安全方面较成熟的经验，尽快提高自身汽车网络安全防护能力。车企因该在这基础上创新超越，以应对不断变化的汽车网络安全隐患，确保道路车辆和消费者的安全。

5. 总结

车辆智能化与网联化的本质并非汽车的生产制造以及动力单元研发技术，而更侧重软硬件一体系统的研发能力。在全球范围来看，软件与硬件行业的最高水平是以科技公司与芯片公司为代表。因此，自动驾驶与网联汽车的迅猛发展给传统汽车厂商带来了巨大的挑战，也迫使欧洲汽车厂商进行转型。如同文中介绍，德国与法国的整车生产企业与零部件厂商纷纷与美国的芯片巨头或软件巨头结盟开发自动驾驶系统，同时也在通过优化车辆电子电气系统结构，设立专门的软件研发部门，人工智能研发中心等努力追赶并领导这一潮流。而各类型的初创企业也纷纷诞生，既有瞄准某一特别技术领域，也有做整车集成。同时自动驾驶技术的迅速发展，带来了许多安全方面的担忧。如何评估与验证以人工智能技术为核心的自动驾驶系统，给传统系统验证方法带来了巨大的挑战。欧洲在成功制定了以 ISO26262 为代表的汽车电子安全标准之后，在自动驾驶系统安全性能上，也正在推出以预期功能安全(SOTIF)为代表的的功能安全标准。尽管面临着理论与实际的挑战，笔者相信任何新技术的成熟标志，都是可以以行业标准定性与量化来评估的。本章节最后所讨论的智能网联汽车的安全性话题，相信能对读者有所启发。

参考文献

- [1] SAE, 2019. [联机]. Available: <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>.
- [2] 罗伯特·博世有限公司, “2017,” [联机]. Available: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/more-midsize-cars-than-premium-models-in-germany-feature-parking-assistants-as-standard-183296.html>.
- [3] 罗伯特·博世有限公司, 2017. [联机]. Available: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/more-midsize-cars-than-premium-models-in-germany-feature-parking-assistants-as-standard-183296.html>.
- [4] 微信公众号“几何四驱” 谷俊丽, 2020/05/31. [联机]. Available: <https://mp.weixin.qq.com/s/WSEhkSkWn0cSxJNY9hjHyA>.
- [5] Market Research Firm, “www.marketsandmarkets.com,” [联机]. Available: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/driver-assistance-systems-market-1201.html?gclid=EAlalQobChMIzc7x0M_c6gIVFs93Ch087wLfEAAAYASAAEglCofD_BwE.
- [6] 戴姆勒集团, 2020. [联机]. Available: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/DISTRONIC-Das-Auto-lernt-sehen.xhtml?oid=41510718>.
- [7] 戴姆勒集团, 2016/01/06. [联机]. Available: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Self-driving-across-the-highways-of-Nevada-New-Mercedes-Benz-E-Class-with-test-licence-for-autonomous-driving.xhtml?oid=9908327>.
- [8] 罗伯特·博世有限公司, 2017/04/04. [联机]. Available: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-and-daimler-are-working-together-on-fully-automated-driverless-system-99072.html>.
- [9] 戴姆勒集团, 2019/02/18. [联机]. Available: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Daimler-AG-und-BMW-Group-wollen-zusammen-die-naechste-Technologiegeneration-fuer-automatisiertes-Fahren-entwickeln.xhtml?oid=42640196>.
- [10] 戴姆勒集团, 2020/06/23. [联机]. Available: <https://www.daimler.com/innovation/produktinnovation/autonomes-fahren/mercedes-benz-und-nvidia-planen-zusammenarbeit.html>.
- [11] handelsblatt.com, 2020/06/24. [联机]. Available: <https://www.handelsblatt.com/technik/thespark/kooperation-us-tech-konzern-nvidia-hilft-mercedes-bei-der-entwicklung-des-autos-der-zukunft/25943722.html>.
- [12] 戴姆勒集团, 2020. [联机]. Available: <https://www.daimler.com/innovation/case/autonomous/drive-pilot.html>.
- [13] 戴姆勒集团, 2020. [联机]. Available: <https://www.daimler.com/innovation/case/autonomous/automatisiertes-fahren-daimler-trucks.html>.
- [14] 宝马集团, 2020. [联机]. Available: https://www.bmwgroup.com/en/NEXTGen/automated_driving.html.
- [15] EE Times, 2020. [联机]. Available: <https://www.eetimes.com/unveiled-bmws-scalable-av-architecture/>.
- [16] 奥迪集团, 2018/05/18. [联机]. Available: <https://www.audi-mediacycenter.com/de/fotos/detail/audi-a6-limousine-61550>.
- [17] 南德意志报, 2020/05/19. [联机]. Available: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/vw-golf-software-problem-1.4911260>.
- [18] 微信公众号“佐思汽车研究” 周彦武, 2020/07/10. [联机]. Available: <https://mp.weixin.qq.com/s/ehysrTBX2i4ZpCo6OTgqGg>.
- [19] 微信公众号“车东西” 晓寒, 2020/07/17. [联机]. Available:

- https://mp.weixin.qq.com/s/0YZtCfoDS8bYicGIV5_Mtw.
- [20] Vector Informatik GmbH, 2017. [联机]. Available: https://assets.vector.com/cms/content/events/2017/vAES17/vAES17_01_Ethernet-Adaptive-AUTOSAR-at-VW_Krieger_Wille.pdf.
- [21] 新华网, 2019/01/15. [联机]. Available: http://www.xinhuanet.com/fortune/2019-01/15/c_1123992563.htm.
- [22] 大众集团, 2019/07. [联机]. Available: https://www.volkswagenag.com/de/news/2019/07/Ford_VW_AG_collaboration.html.
- [23] 盖世汽车, 2020/06/24. [联机]. Available: <https://zhuanlan.zhihu.com/p/150373467>.
- [24] 亿欧汽车, 2020/07/27. [联机]. Available: <https://www.shangyexinzi.com/article/2172184.html>.
- [25] 汽车之家 鲍彬斌, 2019/07/15. [联机]. Available: <https://www.autohome.com.cn/news/201907/939443.html?pvareaid=101416>.
- [26] 盖世汽车 熊薇, 2019/11/16. [联机]. Available: <https://zhuanlan.zhihu.com/p/92129309>.
- [27] 罗伯特·博世有限公司, “2018/11/08,” [联机]. Available: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-and-daimler-san-jose-targeted-to-become-pilot-city-for-an-automated-on-demand-ride-hailing-service-175424.html>.
- [28] 盖世汽车 鲍彬斌, 2019/07/01. [联机]. Available: <https://www.d1ev.com/news/qiye/93849>.
- [29] 大陆集团, [联机]. Available: <https://conti-engineering.com/domains-and-markets/vehicle-domain/adas/>.
- [30] 大陆集团, [联机]. Available: <https://www.continental-automotive.com/de-DE/Passenger-Cars/Vehicle-Networking/Software-Solutions-and-Services/eHorizon/Static-eHorizon>.
- [31] 大陆集团, 2017/07/20. [联机]. Available: <https://www.continental.com/en/press/press-releases/cube-technologies-74492>.
- [32] ZF 集团, “2020/07/27,” [联机]. Available: https://press.zf.com/press/de/releases/release_17794.html.
- [33] ZF 集团, [联机]. Available: https://www.zf.com/site/magazine/de/articles_13440.html.
- [34] Pressebox, 2019/01/07. [联机]. Available: <https://www.pressebox.de/inaktiv/zf-friedrichshafen-ag/KI-faehiger-Supercomputer-ZF-ProAI-Staerkste-Rechenleistung-maximale-Flexibilitaet/boxid/936787>.
- [35] 盖世汽车 任慧娟, 2019/01/10. [联机]. Available: <https://m.gasgoo.com/news/70082684.html>.
- [36] 微信公众号“高工智能汽车”, 2020/07/02. [联机]. Available: <https://mp.weixin.qq.com/s/5azdDUwOJiqucrOP2jYbwz>.
- [37] 微信公众号“中国汽车三十人智库”, 2020/06/29. [联机]. Available: <https://mp.weixin.qq.com/s/Vgessficc3czoabNZZw9Bg>.
- [38] 南德意志报, 2020/06/19. [联机]. Available: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/bmw-mercedes-kooperation-software-automatisiertes-fahren-1.4941921>.
- [39] automobilwoche, 2019/11/15. [联机]. Available: <https://www.automobilwoche.de/article/20191115/BCONLINE/191119942/kehrtwende-beim-automatisierten-fahren-kaellenius-bremst-bei-robo-taxis>.
- [40] 戴姆勒集团, 2019/12/09. [联机]. Available: <https://www.daimler.com/innovation/case/autonomous/pilotstadt-san-jose.html>.
- [41] 大众集团, 2018/11. [联机]. Available: <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2018/11/the-race-toward-autonomous-driving.html>.
- [42] 罗伯特·博世有限公司, 2020/07/21. [联机]. Available: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-buendelt-software-und-elektronikkompetenz-in-einem-17%C2%A0000-mitarbeiter-starken-geschaeftsbereich-216256.html>.
- [43] 盖世汽车 熊薇, 2019/11/28. [联机]. Available: <http://www.heredrive.com/news/20191128/7069.html>
- [44] 雷诺集团 Symbioz 概念车 2018: <https://www.renault.fr/concept-cars/symbioz.html>
- [45] PSA 集团 AVA 项目 2020 Available: <https://www.groupe-psa.com/fr/story/en-route-vers-la-voiture-autonome/>
- [46] Valeo 集团的 Scala 激光雷达 2020 Available: <https://www.valeo.com/en/valeo-scala/>
- [47] Valeo 集团 Drive4U 项目 2020 Available: <https://www.valeo.com/en/valeo-drive4u-the-first-autonomous-car-to-be-demonstrated-on-the-streets-of-paris/>
- [48] 佛吉亚集团在 CES2020 展示自主泊车 2020 Available: <https://www.autobeatonline.com/news/faurecia-readies-autonomous-valet-parking-tech>
- [49] Artisense 在 CES2020 上展示 2020 Available: <https://www.artisense.ai/artiblog/ces>
- [50] Navya 在欧洲 EuroNext 证券交易所 IPO 2018 Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20180711005931/en/NAVYA-Launches-Initial-Public-Offering-Regulated-Market>
- [51] Oxbotica 的主要产品 2020 Available: <https://www.oxbotica.com/our-technology/>
- [52] 新法兰西工业计划 2019 Available: <https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/nouvelle-france-industrielle-sept-2014.pdf>
- [53] 法国自动驾驶实验项目 SAM 与 ENA 2019 Available https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/9918029_D%C3%A9veloppement-VA_Vdef2.pdf
- [54] International Organization for Standardization, “Road vehicles - Safety of the intended functionality,” 2019.

- [55] C. Neurohr, L. Westhofen, T. Henning, T. de Graaff, E. Möhlmann, and E. Böde, "Fundamental Considerations around Scenario-Based Testing for Automated Driving," May 2020.
- [56] P. Koopman and F. Fratrik, "How many operational design domains, objects, and events?," CEUR Workshop Proc., vol. 2301, pp. 1–4, 2019.
- [57] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), "Pegasus Method - An Overview," Pegasus Proj., 2019
- [58] O. Zendel, M. Murschitz, M. Humenberger and W. Herzner, "CV-HAZOP: Introducing Test Data Validation for Computer Vision," 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Santiago, 2015, pp. 2066-2074, doi: 10.1109/ICCV.2015.239
- [59] BSI. (2020). PAS 1883:2020 Operational Design Domain (ODD) taxonomy for an automated driving system (ADS) - Specification. 26

作者简介

李铀, 博士, 在法国 OEM 担任高等级无人驾驶车辆感知系统高级研发工程师, 长期从事多传感器融合等。

赵玉龙, 博士, 现就职于德国斯图加特某世界顶级汽车零部件供应商智能驾驶与控制事业部, 担任高级研发工程师, 负责车载计算平台的软件架构开发。

李季, 正在英国伯明翰大学智能车辆系统和控制团队 (CASE-V) 攻读博士学位。

周泉, 博士, 伯明翰大学博士后研究员、智能车辆系统和控制团队 (CASE-V) 负责人。

陶剑波, 奥地利知名汽车技术公司高级工程师, 主要从事网络物理系统及高级自动驾驶系统开发与验证工作。

张新海, 博士, 瑞典皇家理工大学研究员。研究方向包括汽车电子架构设计、自动驾驶系统的安全分析以及基于模型的系统工程。

马振东, 博士, 信息网络安全专家。长期从事车联网、工业控制系统和嵌入式系统网络安全研发, 并参与了 21434 标准制定。现就职于欧洲著名汽车供应商属下工程技术公司, 负责汽车产品网络安全工程。

第三章

内燃机与混合动力

1. 前言

欧洲一直以来都是汽车重要的生产和消费区，其汽车工业百年来都占据世界的主导地位，维持欧洲汽车工业的龙头地位对欧洲的经济和社会都意义重大。近年来，伴随着更加严格排放法规的实施以及社会对能源环境问题的日益担忧，汽车动力系统不断提高其电气化程度，对适用于混合动力系统的内燃机提出了挑战，也由此对内燃机新技术的引入和已有技术的优化提出了新的需求。在混合动力系统方面，不同的混动构架给车企带来更多的技术路线选择。而随着在各技术路线上的进一步发展，系统的硬件复杂度增加，这也带来了电控和软件系统复杂度的大大增加。另外，车载电控系统与包括自动驾驶与车联网在内的智能系统也产生越来越多的交叉协作。

本章对车用内燃机和混合动力技术的现状及发展趋势进行了讨论。其中内燃机技术包括燃料、燃烧系统、整机技术、后处理以及软件标定五个方面，混合动力技术包括构架技术路线、控制策略及其与智能系统的融合等六个方面。

2. 欧洲内燃机技术的现状与发展趋势

2.1 欧洲车用发动机类型及其燃料概况

刘浩业(英国)，唐华寅(英国)

近年来以混合动力汽车，纯电动汽车为代表的新能源汽车发展迅速。尽管如此，由于现阶段传统内燃机极高的技术成熟度和化石燃料在能量密度上无可比拟的优势，内燃机仍然会在车用动力中占有重要地位。AVL 公司对未来新车市场的预测中，欧盟的乘用车动力呈现多元化与电动化发展，到 2030 年基本上不再生产“纯”传统内燃机车，新车中混动车辆和插电式混动车辆占比分别为 11%和 68%，这两类车的动力系统中仍然有传统内燃机，也就是说到 2030 年，销售的新车中仍有近 80%配备有传统内燃机[1]。因此，进一步提高内燃机的热效率和降低其有害物质排放对解决人类的能源环境问题仍然有重要意义。

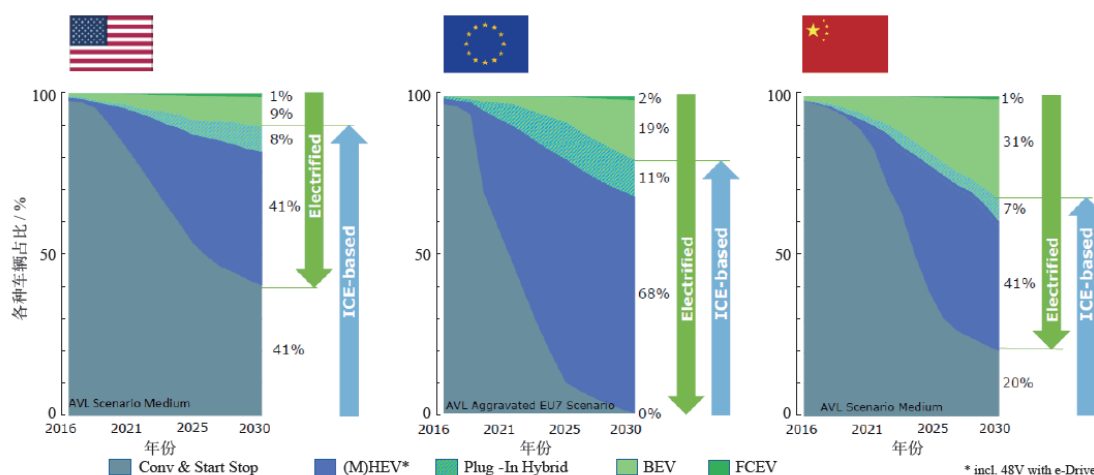


图 1: AVL 对未来汽车动力系统的预测 [1]

2017 年整个欧盟的交通能源中生物质能源的比例达到了 7.6%，其中以芬兰和瑞典两国最高。欧盟各国的燃油中普遍添加了生物燃料，根据欧盟统计局的所有欧盟成员国的燃油使用数据估算，从 2015 年到 2019 年，乙醇在汽油燃料中总的掺混比例从 5.09%提升到了 5.92% [2]，而生物柴油在柴油燃料中总的掺混比例从 5.92%提升到了 6.50% [3]。在欧盟绝大部分在售的汽油为 E5 汽油。从 2009 年起 E10 汽油在欧盟国家中不断推广，其市场占有率不断增加，目前已经有 13 个欧盟国家开始使用 E10 汽油。英国机械工程师协会对政府的政策建议中也提出加大生物燃料在汽油和柴油中的比例，以实现迅速针对固有车辆进行综合减排[4]。2016 年后，E10 燃料成为了欧盟的车辆测试燃料，欧盟出产的新车不仅能够兼容 E10 汽油且在使用 E10 汽油时才达到其内燃机的最佳工作状态[2]。目前欧盟使用的生物柴油包括传统的脂肪酸甲酯类生物柴油和新型的可再生柴油（又称氢化植物油），可再生柴油大约占总生物柴油用量的五分之一，但这一比例有望在未来进一步增加。

天然气和液化石油气是目前欧盟代用燃料汽车最广泛使用的两类代用燃料。2019 年，欧盟登记使用这两类燃料的代用燃料汽车总数提升了 33.6%到达 27305 辆。西班牙和意大利是这两类燃料最主要的使用国[5]。

2.2 欧洲车用发动机燃烧系统

王新颜(英国)，唐华寅(英国)，余松(法国)，胡静文(德国)

从上世纪 80 年代开始，柴油车在欧盟的销量开始迅速增长，其市场份额一路上升，直至 2013 年前后到达最高点。以法国为例，其柴油车的比例从 1980 年的 10%一路上升至 2012 年的 73%。这得益于柴油机自身高热效率的优势，以及柴油机技术的迅速发展带来的性能提升。随着排放法规的不断加严以及 2015 年的大众“柴油排放门”事件的影响，欧洲乘用车中汽油车和柴油车的比例发生了明显的变化。从 2016 年到 2019 年，欧盟新注册的乘用车中汽油车的比例从 46.6%提高到了 58.9%，而柴油机的比例从 49.2%降低到了 30.5%，另外，混合动力车的比例从 1.9%提高到了 5.9%，代用燃料车的比例从 1.2%提高到了 1.7% [6]。

在汽油机方面，通过对燃烧系统的优化提升内燃机热效率并降低发动机排放是目前的主要发展方向，下面将列举欧洲车用发动机燃烧系统方面研究与产品投入较多的新技术：

汽油机主动式和被动式预燃室的应用能够显著提高发动机对稀薄燃烧和高废气再循环的容忍度瓦伦西亚理工大学和法国雷诺公司[7]的研究表明，采用预燃室后，空气稀释可达 60%，废

气稀释最高约为 20%。马勒公司在主动和被动式预燃室点火系统方面开展了大量的研究工作 [8]。他们通过采用预燃室燃烧技术，配合高压缩比，米勒循环和外部废气再循环显著提升了发动机的指示热效率。布鲁内尔大学和马勒公司[9]通过光学诊断，证明了相比于普通火花点火方式，采用主动式预燃室点火系统能够有效减少爆震燃烧并增加燃烧的稳定性的。

喷水可以有效降低小型高增压汽油机的爆震倾向，并具有降低 NO_x 排放的潜力。布鲁内尔大学和马勒公司，瓦伦西亚理工大学和亚琛大学[10]，意大利国家研究委员会汽车研究所[11]等研究都表明喷水可以显著提高汽油机的热效率。

采用更高的压缩比能够提升发动机的效率，但与此同时也会增加爆震燃烧现象。里卡多[12]采用了一款压缩比高达 17:1 的汽油机设计，并采用米勒循环、空气稀释、废气再循环 EGR 稀释和喷水等策略抑制爆震现象，进而实现了高达 45%的有效热效率。大众汽车[13]开发的一款汽油机采用了 15:1 的压缩比，采用 EGR 稀释以抑制爆震，提升发动机的热效率。

除了以上提及的预燃室和喷水策略，采用外部 EGR 也是有效降低爆震倾向的策略，因而可以配合高压缩比提高热效率，同时还可以有效抑制 NO_x 排放。沃尔沃[14]采用低压 EGR 在高负荷降低排温以实现更大的当量比工况。

混合燃烧模式是提高内燃机燃烧系统性能的新途径，在不同的运行工况下采用相适应的压燃或点燃燃烧模式，能够最大限度地利用不同燃烧模式在提高热效率和降低排放的优势。伯明翰大学基于 SPEA-II，CAPSO 等先进智能算法的发动机标定方法，在传统内燃机上实现多种燃烧模式运行及其平滑切换，通过燃料设计增加燃料的预混速率，能够有效打破柴油机存在的热效率和排放之间的 tradeoff 关系，改善热效率的同时抑制颗粒物的生成，大幅缓解后处理系统的减排压力。伯明翰大学早期在国际上率先提出了 Dieseline 的汽柴油混合燃料概念，近年在高压压缩比发动机上实现了一系列可控的汽柴油混合燃料的多次喷射预混压燃，在典型工况下，应用较低的喷射压力即可在维持热效率不变的前提下降低发动机 99%的碳烟排放[15]。

另外，一些发动机的辅助系统，也可以配合燃烧系统间接地改善发动机的性能。其中包括巴斯大学与 Jaguar Land Rover 及 Aeristech 的合作研究[16]的电动涡轮或电动压轮，欧宝[17]开发的后处理电加热系统配合电动涡轮提供气流，以及拉夫堡大学[18]的尾气热能回收。

2.3 混合动力背景下的内燃机整机优化调整

唐华寅(英国)，周泉(英国)

随着混合动力技术的发展，动力总成系统中加入了电驱动系统的新维度。电动化程度的增加，发动机会更有长时间处在静止状态。这样一方面会使发动机本体对热管理系统的需求提升，另一方面是后处理系统对排温的需求更加突显。如果降低多级增压系统的需求，后处理也更有机会移至涡轮排气出口更近的位置，减少上游的热惯性。随着电驱动在动力总成中所占比例的逐步增加，带来整体动力总成的成本压力。大众在混动发动机方面降低了最大转速，优化了凸轮设计[19]。欧宝通过在涡轮增压器材料及旁通阀等方面的节省降低了 33%的增压器成本[17]。

发动机本体的研发，在混动之前的发展方向也是不断的引入新的智能技术来协助发动机适应更广的工况范围。从汽油机来看，比如进排气系统的 VVL，CVVL。增压系统的双涡轮，机械加涡轮，甚至三涡轮。喷油系统的直喷加进气道喷射。今后在这些方面，应该不会再出现追求极致的设计思路。比如发动机在低载荷效率，升功率升扭矩，瞬时响应等方面都在经历需求降低和成本的压力。发动机研发方向的转型还是会带来一些新的增长点和短期的爆发，比如车企和咨询公司的新一波效率型发动机的开发。不过另外一些增长点包括持续优化和增加的灵活

度方面，还是会保持一定的步伐。同时，即使是原有类型的发动机，在做精简时仍然需要非常大的人力物力来做合适和高效的精简。另外，一些已有功能的传感器也可能在一定程度上被控制模型取代，这有成本的因素，也有传统动力总成需要覆盖的工作区间变小的因素。同样是由于发动机需适应工况的简化，之前曾一味追求的 Downsizing 也在转向 Rightsizing。之前每一代新发动机的升功率基本都会有所提升，接下来的一段时间可能不仅升功率会保持不变，甚至会有下降的趋势。主要是对高载和低载的油耗的改善不再是主要需求。另一方面，通过阿特金森循环等方法实现高峰值热效率的自然吸气发动机，也会通过增压系统来帮助解决升功率过低的问题。总之，从两个方向各自趋近于 Rightsizing。

随着电动化的进展，整体动力总成的系统优化方法会有一些调整和优化。伯明翰大学提出了一种利用人工智能算法进行发动机标定的方法和工具[20]。另外，以往很多情况下，各系统的开发相对独立，各自优化。通过一些 Minimap 之类的方法来对充分了解的系统进行解耦和简化。今后首先会需要更多的联动，挖掘出整体的潜力。然后当各部门都对系统和流程有了一定了解之后，可能会总结出新的类似 Minimap 之类的方法，再进行解耦。软件开发以往更多是完全由硬件来驱动，达到硬件选型的目标，软件带来的影响或提升空间相对较小。随着软件复杂度加深，甚至是 V2X 的介入，软件所占的比重明显提升，比如混动策略直接影响发动机，后处理，电驱动等系统。这也意味着软件和电控系统将作为系统开发的一部分和硬件在前期共同选型，而不只是实现硬件功能的工具。当然，软件驱动硬件的开发方向在动力域的进展步伐不会有驾驶域那样快速。

动力总成系统中加入了电驱动系统的新维度之后，整体动力总成的研发更需要以全局的视角出发。这不仅包括技术上的开发，同时也包含投资、组织构架、项目管理等等，多方面的配合，来支持企业在更加复杂的研发项目中做出正确的决策。

2.4 后欧六时代排放法规前瞻与技术挑战

林纯兴(英国)，刘浩业(英国)

内燃机的电气化进程以及电动车、氢能源汽车的普及将很大程度上取决于排放法规的设定以及具体国家的政策走向。为了满足更高的燃油经济性，高效低温的燃烧以及深度电气化都是无法避免的趋势。尾气后处理系统可用来控制非二氧化碳排放物的能量变少，而这些能量的供给的间歇性也会由于纯电驱动（发动机停机）的使用频率升高而升高。对非二氧化碳排放物的控制带来更大的难度。过去五年来欧盟对于非二氧化碳排放物的限值也更加严格，欧六排放法规加入了实际行驶污染物排放测试（Real-World Driving Emissions Test）的要求（图 2）。国际清洁交通委员会建议后欧六时代欧盟轻型车排放标准包含降低排放限值、增加新型排放气体、以及扩展实际行驶污染物排放测试的边缘条件等等。意味着后处理系统需要更高质量的能量、更高效率的催化器技术、以及更低的内燃机裸排数量。在国际清洁交通委员会提出的建议中，以下内容将对后处理系统架构以及技术选型（甚至于动力总成系统的设计）将有很大的影响：

降低排放限值：例如，目前欧六柴油氮氧化物排放限值 80 mg/km。参考国六 B 即将在 2023 年实施的技术中性氮氧化物排放限值 35 mg/km，欧盟目前的标准还有很大的缩减空间。颗粒物排放标准从 23 纳米以上颗粒物升级为 10 纳米以上颗粒物：由于颗粒物大小覆盖范围的扩充，尾气颗粒物含量将有数量级以内的升高。为了实现这一标准的合规，汽油机尾气颗粒物过滤器（GPF）将成为汽油发动机后处理系统标配技术。新型排放气体限值标准的建立：例如氨

气。发动机本身不产生氨气排放，而由于在柴油后处理中尿素 SCR 技术，以及汽油后处理中高含量贵金属三元催化器的广泛使用，基于控制偏差而产生的尾气氨气排放逐渐成为一个问题。

取消实际行驶污染物排放测试（RDE）中基于二氧化碳排放量的归一计算: 基于二氧化碳排放量的 RDE 排放归一计算是在欧六排放法规中引入解决 RDE 工况能耗归一问题的阶段性标准 [21]。如这一算法标准被取消，对高净重高载荷车辆的整车/动力系统/后处理系统的设计都需要重新调整整合。继续降低实际行驶污染物排放测试（RDE）的距离限值: 目前 RDE 测试的距离限值为 16 公里，占总体测试排放的绝大部分的冷启动区间的排放控制挑战难度被均摊至此 16 公里的测试距离中。降低测试距离增加了达到限值的难度。创新的冷启动后处理系统热管理功能以及专门为冷启动设置的催化器技术将成为解决这一挑战的主要发展方向。

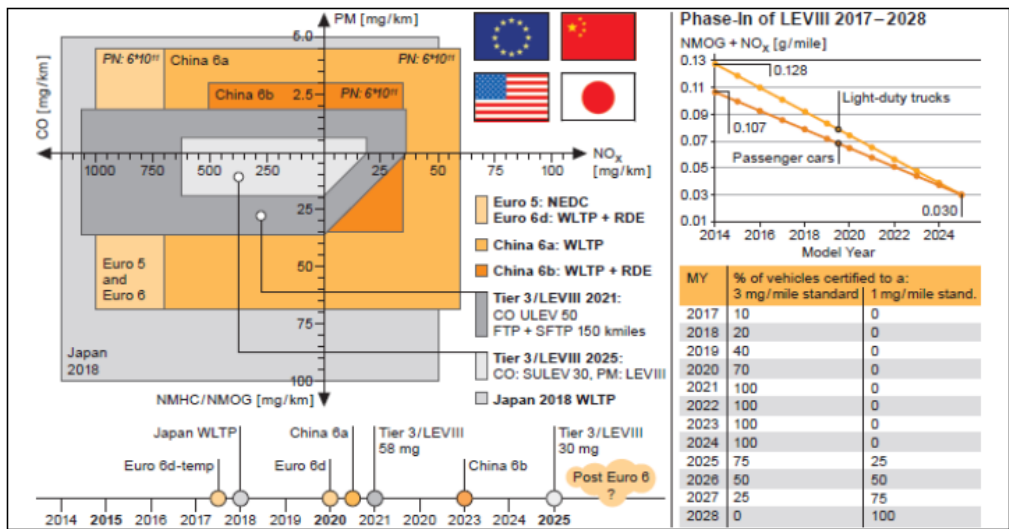


图 2: NO_x, CO 及 PM 排放标准的差别 [22]

汽油机后处理方面，从上世纪 70 年代车辆催化器的发明起，汽油发动机后处理系统的主角一直由三元催化器担当。自 2015 年欧六排放法规引进对颗粒物数量控制的要求以来，汽油颗粒物过滤器就以三元催化器诞生以来的唯一新技术应用于汽油发动机后处理系统中。最典型的欧六 D 汽油发动机后处理系统多为三元催化器+三元催化涂层颗粒物过滤器。里卡多基于欧六 D 后处理系统针对预想的欧七排放法规提出了四种后处理系统设计路径，其共同点为将本处于底盘处的三元催化涂层颗粒物过滤器提至发动机排气近端来接触更高的排气温度，增加了底盘处的额外三元催化器来增加 RDE 高温高流速工况下的排放控制。氨气是三元催化器的副产物，未来为了满足在欧七阶段可能增添的氨气排放限值法规，还会增加底盘处的氨气排放控制催化器。另一针对可能的欧七排放法规的新后处理技术为电加热催化器，利用车载存储电能转换为热能加快三元催化器的转换速率。

柴油机后处理方面，主流柴油车厂商对于现阶段排放法规以及实际行驶污染物排放测试（Real-World-Driving Emissions）的解决思路为双 SCR 双尿素喷射技术。对比于欧六 B 的主流单 SCR 催化器与单喷技术，此技术增加了带 SCR 涂层的颗粒物过滤器以及额外的尿素喷射装置。在欧六 B 阶段，NSC 可以被视为中低温工况氮氧化物控制的主流技术。但由于双 SCR 双尿素喷射技术的引进，以及 NSC 控制的复杂性，NSC 在欧六 D 系统中逐渐被更为传统，性价比高的柴油氧化催化器（DOC）取代。

后欧六时代内燃机驱动的车辆排放后处理系统都有冷启动、低能量工况、高速高温工况这三个需要克服的设计难点。汽油发动机后处理系统的设计选型偏精细化，也更看中与发动机控

制策略的集成；柴油发动机后处理系统的设计选型有更多变化，技术路线的选择也更需要有战略性思维；稀燃汽油发动机后处理系统的设计选型需要参考柴油发动机后处理系统的设计理念，同时需要解决催化器（特别是 SCR）的高温耐久性问题。不管是汽油机还是柴油机的后处理系统，电气化都会带来另一层的复杂程度同时也是机会，电加热催化器将会是未来几年的热门话题。

相对于内燃机排放仿真模拟极高的复杂性，后处理系统模型的开发具有对发动机开发成熟程度的依赖性低，可实现的高计算效率高精度 1-D 模型，模型的高度可扩展性的优势。高性能催化器设计的其中一个原理是利用载体结构提供高单位表面积，从而提高排放气体在催化器内的滞留时间。因此特性，催化器内流体在大部分工况下可视为层流并使用 1-D 的流体公式来描述流体特性。由于使用高孔洞质地的材料，催化剂涂层内的气体扩散速率也可以使用 1-D 或者 0-D 的扩散速率公式来描述。1+0D 或 1+1D 的模型设置使催化器模型具有在维持高仿真精度的条件下实现高计算效率的特性。

后处理催化器模型还具有高度可扩展性。由于后处理催化器模型的高度可扩展性，在验证过单一规格（体积/载体特性）的催化器模型后，此模型也可应用于其他细分产品的后处理系统性能验证。后处理催化器/系统模型应用的优势不止在于性能验证，还在于提供控制软件开发以及标定的虚拟平台。基于 MiL/SiL 的虚拟测试台架可以跳过硬件样板测试的需求对控制软件进行开发（控制策略选择、硬件模型设计等等），并对控制软件/硬件供应商及时提出产品需求的更改。更为广泛的仿真模拟工具应用一定会成为未来车辆研发，性能验证的发展趋势。实验测试与仿真模拟是工程师与项目管理人员的两条工具腿。在开展工程项目的过程中，合理应用这两样工具，并且找对正确的“行走”节奏（试验数据提升模型开发成熟度；仿真模拟提升硬件软件开发效率），项目的高速、高效推进并不再那么遥不可及。

2.5 后欧六时代给内燃机标定带来的挑战

宋诗如(英国)

标定工作贯穿先进发动机车辆工程开发的全流程，是满足法规要求和顾客满意度的关键环节。标定的作用是通过调整内燃机以及后处理系统控制参数让车辆达到优化的运转形态，结合市场要求给每一套‘硬件’高级定制出最优运转方案。先进发动机电控系统的完善及标定的优化是发动机应对“后欧六”时代节能减排挑战直接和常用的重要手段。

酝酿中的欧七法规的变化可能包含以下几点：排放认证区域范围扩大，CF 限值进一步下压，试验循环中加大剧烈变化工况的比例，更严格的氨泄露及颗粒数要求。

应对后欧六时代的节能减排挑战，标定工作要在以下几个方面做出更大努力。

1. 项目初期的快速判断

提高标定工作效率的最好方式就是避免返工。项目初期，结合标定快速判断硬件选型是否合适，PCM 软件是否匹配，尤为重要。笔者建议逆向操作常规标定流程，在项目研发初期，利用关键工况的优化标定，选出正确硬件，避免后期返工，进而提升研发效率。标定工程师应及时找到技术“痛点”，确定解决方案，提出增加或改造软件功能的需求，使得标定能够更合理，更精细地对发动机和后处理进行控制。

2. 细化控制分区

排放法规覆盖的温度与海拔范围逐渐变大，后处理在不同条件下的工作特性不同，现有的控制策略需要基于更细化的分区并不断优化。在不同分区内进行精细标定，充分挖掘发动机和后处理的潜力。

3. 解决排放循环中的难点

后欧六时代的排放循环中，两个最大的难点仍将是冷启动之后的 light off 和循环过程中的急加速带来的排放尖峰。通过更精细的标定，在冷启动后使后处理系统迅速达到高效工作温度区间，尽量消除循环过程中急加速造成的原排尖峰，仍是挖掘减排潜力的途径。

4. 模型控制

模型控制（Model based Control）在汽车研发尤其是气路标定等领域里已经被广泛利用，模型化范围在不断扩大。模型信号比传感器信号滞后小，进而提升动力性能与控制的响应。模型预判精准度需要不断提升，更加快准稳地对系统进行控制。

5. 标定辅助软件

近年来，越来越多的研发者致力于 AI 标定辅助软件。一个比较成熟的辅助工具可以在一定程度上，特别是项目早期，提升标定工作效率。但其本身也是一把双刃剑，工程师要避免过分依赖工具，必须结合工程判断合理使用标定辅助软件，达到真正的标定优化。

6. 后处理效能的提升与标定的配合

以柴油为例，优化后处理温度控制和 SCR 的双喷系统，是后欧六时代内提升后处理转化率的两大主流思路。

温度控制可分为两类，一是通过增加硬件，比如电加热实现升温。第二类则是在 Light-off 阶段与低扭矩运行阶段通过喷油（Vaporizer 或缸内后喷）升温。PCM 的硬件与软件需要支持标定实现对缸内后喷或 vaporizer 灵活与精确的控制。

SCR 双喷系统已被视为后欧六时代重要的的发展方向之一。该系统在主 SCR 基础上，在 DoC 之前增加 Light-off SCR。两个 SCR 由于位置不同，温度上升与下落的时间与速度也不同。两个尿素喷嘴分别控制。PCM 或 DCU 硬件软件及标定最终实现 SCR 的双喷系统的协调优化控制，提高整个 NOx 后处理系统的转化效率。

3. 欧洲混合动力技术的现状与发展趋势

3.1 混合动力构架分析与路线展望

唐华寅(英国)，李季(英国)

混合动力可以说是当前和一段时间内车企战略的重要一步，另外其复杂性也导致整体系统构架出现多种技术路线，主要包括串联、并联、功率分流。因此，部分车企也有多路线并行或者调整的现象。由于具体的混合动力类型繁杂，并且变种比较多，本文主要讨论常见的构架。功率分流（行星轮类）类混合动力系统的应用一直在业内有很多讨论，因此本文将先从其分别与串联和并联类型的对比入手。最后将会对几种类型在车企战略路线中的定位进行讨论。

3.1.1 串联与功率分流对比

提到串联混动，通常的特性是在维持电池电量平衡时的低效率，代表车型之一是宝马 i3 增程版。以往主要原因是能量需要经过发动机、发电机、电动机，导致多处能量损失。而日产 Note e-Power 在很大程度上改变了这一现象，其油耗与 i3 相比下降了接近 30%。这也与以丰田 Prius Gen4 为主要代表的高效率功率分流类混合动力非常接近。下面是三款车主要动机总成参数的对比。

| | BMW i3 增程版 | Nissan Note e-Power | Toyota Prius Gen4 |
|--------|------------------------|---------------------|-------------------|
| 电池容量 | 42.2kWh | 1.5kWh | 0.75kWh |
| 充电功率 | 49kW (DC) 11kW (AC) | 无 | 无 |
| 驱动电机功率 | 125kW | 80kW | 53kW |
| 发动机排量 | 0.65L | 1.2L | 1.8L |
| 发动机类型 | 奥托 | 阿特金森 | 阿特金森 |
| 发动机功率 | 28kW | 58kW | 72kW |

图 3: 车辆动力总成对比 [23][24][25]

日产 e-Power 和 宝马 i3 相比的主要优势包括：1) 阿特金森循环等发动机技术带来的发动机效率优势; 2) 发动机匹配优化带来的整体效率优势; 3)与 Leaf 共享驱动电机模块化设计带来的成本优势。当然，其中一部分原因是宝马 i3 的增程发动机是选配，以布置和成本为目标，没有对原有机型做过多的优化。其设计初衷也是以纯电加增程为主。另一方面，Note 以混合动力驱动为主。设计思路的不同导致其在电池容量和充电机方面节省下的空间和成本可以给发动机开发带来空间，而驱动电机也和 Leaf 共享以控制成本。发挥了串联混动的优势。整体设计思路也和丰田 Prius 非常相似，最大的区别之一就是传动方式。因此，串联混动与功率分流相比在效率上的劣势其实是可以弥补的。上面列出的几个主要原因也是可以在其他串联混动车型上借鉴的。

3.1.2 并联与功率分流对比

并联与功率分流的技术路线讨论一直非常受关注，因为这两个是传统车企向混动和新能源转型过程中最常见的两条技术路线，这一技术路线的选择也是很多车企所面临的问题。从技术本身来分析，其实功率分流类主要依靠的行星轮传动加发电机的设计，是来自于 eCVT 的方案，通过发电机扭矩调节来达到对发动机转速的控制，整体系统也可以类比为下图的发动机-变速机构-P3 电机的构架。

因此，其与并联混动有着很多相似之处，也是丰田在部分高配功率分流车型中配备并联混动中常见的 P4 电驱桥的组合。除了技术本身之外，这两类混动路线的讨论中最受关注的就是单位油耗改善所需的成本（Cost / %）。下面就来对这两条技术路线进行对比。下图中的四个图标代表四种混合动力类型的单车平均成本增幅，及平均油耗改善比例[26]。三个蓝色图标代表并联混动中随着电动化程度提升的三个典型方案，12V 启停（SS）、48V 弱混合动力（MHEV）、高电压插电并联混合动力（PHEV）。黄色图标代表功率分流（PS）。

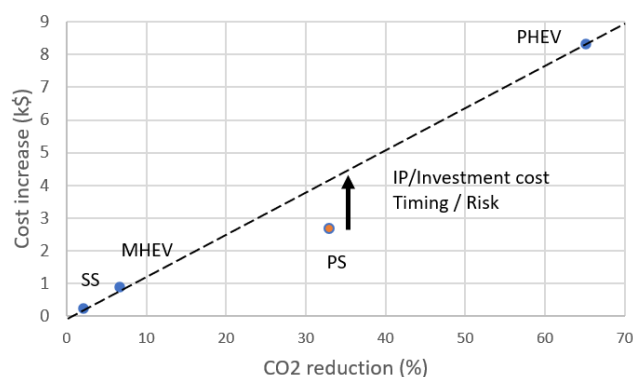


图 4: 混合动力构架成本与减排效果对比

可以看出，功率分流类型在达到同样减排效果的前提下，成本占有优势。而并联混动方面，在图上虽然只列出了三个典型方案，但是实际从 P0 到 P4 加上其中的组合，可以形成如虚线所示的稳定阶梯型路线。这以阶梯路线给传统车企带来的足够的机会和缓冲来完成转型。当然，这主要还要以及车企固有的动力总成路线。并联混动更适合原本已开展发动机小型化路线的车企，尤其是大部分欧洲车企，因为并联混动仍然需要发动机覆盖较大范围的工况。功率分流类则适合原本已开展发动机效率优化路线的车企，使得功率分流传动系统和发动机相互配合与弥补。

虽然功率分流类在同样成本前提下带来的减排效果更优，但是小型化发动机路线的车企要想完成这一跨度来实现功率分流路线，需要放弃部分的原有技术积累，而且需要在新型发动机的开发中投入更多来弥补不足，这是图中的单车成本无法包含的投资成本和风险与开发时间。而如果把把这些加入考虑，功率分流类对于原本走小型化发动机路线的车企来说就会带来更小的优势。所以，选择何种技术路线并不是从单一技术本身来考虑，更多要从整体投资、单车成本等多方面综合考虑。功率分流本身具有一定优势，但是并不一定适合所有车企。

3.1.3 战略路线中的定位

除了上面说的每一款车型的减排和成本之外，另一个在考虑动力总成方向时的重要因素就是模块化设计和车型平台技术共享。图 4 中纵向是不同动力总成的类型，横向是动力总成主要子系统。表格中的颜色代表各子系统在横向跨度时的模块兼容性，横向上的相同颜色代表该子系统进行混动类型转换时更容易兼容。图中的箭头表示不同混动类型的发展路径。比如，欧洲常见的纯小型化内燃机在增加了混动系统的能量传输机构（如 P0 的前端负载驱动、P2 的集成变速箱，等）及驱动电机和锂电池之后即可转型为并联混动。发动机方面的技术兼容性较强。后续可以通过持续优化发动机、投入在能量传输机构和电机（如增加 P2 或 P4，等）、增强电池性能与容量，等方式来延续发展。

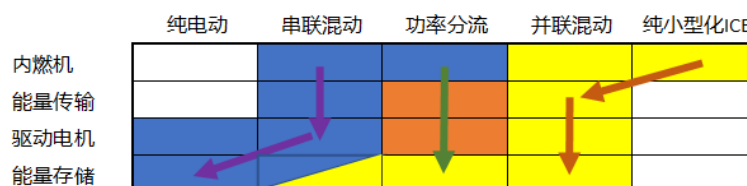


图 5: 动力总成技术路线分析

高效率型内燃机在增加了能量传输机构（如发电机，等）及驱动电机和能量存储机构（如锂电池）之后可转型成为串联混动。后续可以通过持续优化发动机、强化电机性能、增强电池

性能与容量，等方式来延续发展。而其在驱动电机及电池领域可以与纯电动有较强的兼容性。其中电池部分兼容性较强的主要是增程式串联混动，因其通常使用的都是能量型电芯，因此归在蓝色路线中。而 e-Power 这类的串联混动通常用的是偏功率型电芯，因此归在黄色路线中。

在功率分流路线中，内燃机通常以高效率型为基础，配合功率型电芯。但是其能量传输机构（eCVT）和驱动电机都很大程度上受到该路线固有的局限，导致与其他路线相对孤立。不过像上一节讲的，eCVT 其实可以理解为并联混动中一种独特的能量传输机构，因此功率分流类混动在发展路径中也有出现增加额外变速机构或 P4 电机等，这类和传统并联混动有一定技术甚至产品兼容的可能性。因此，在图中标为橙色，与黄色路径不同但是却有一定程度的相通性。

最后，从图里可以看出，对于大量已走上小型化发动机路线的车企，并联混动是短期内较容易实现和兼容的混动路径。但是，如果将来要向纯电发展，会需要跨越黄色和蓝色区域的边界，需要更多的研发投入来支持转型。而对于串联混动路径，实际是把一部分投入放在了起始点的高效内燃机开发，换取后期更高的兼容性，以及更低的向纯电转型的成本。

而另一方面，功率分流类的路径略有不同。其各子系统掺杂了不同的元素，而后期转型纯电也同样需要较大的再投入。实际上，是用前期在高效率内燃机方面的技术积累，换取混动阶段的成本优势。

可见，无论是 P2 并联混动，还是行星轮功率分流，都只是各自所在路径中的一步。三条技术路径相比，实际更多是看各车企原本起始点和优势在那里，并且是对一个较长时间周期内金融与投资曲线的规划，并无优劣之分。

3.2 混合动力与先进燃烧技术及后处理技术的融合

孙泽宇(英国)

混合动力系统的电气化是提升车辆整体效率和降低排放污染的重要手段之一。由于混合动力总成布置更加紧凑，使用常规的燃烧以及后处理技术通常都效果不佳而且难以植入。因此，融合先进燃烧技术及后处理技术有望改善这一困境并实现整体效率的提升和排放污染的降低。

拉夫堡大学混合动力汽车和先进推进中心（HVAP）的 Professor Rui Chen 团队的研究主要集中在低碳汽车和推进系统上[27]。该研究中心在可持续燃料的燃烧，排气后处理系统，超低排放燃烧系统，燃料电池，电池技术和超级电容器研究方面取得了成功。其中，该团队为车辆废热回收设计的热电发电机（TEG）系统的动态模型，该模型由逆流热交换器（HXR）和商用热电模块（TEM）组成。该模型由热电材料构建到 TEM 中，然后再构建到 TEG 系统中。该模型可作为开发动态运行控制系统的基础，以确保 TEG 的安全运行和后处理系统的高效运行[28]。另外，该团队也对 TEG 改善轻度混合动力汽车燃油经济性潜力进行研究。开发了在排气系统中配备有 TEG 的并联混合动力汽车的仿真模型。该模型由三个子模型组成：并行混合动力汽车模型，排气模型和 TEG 模型。该模型基于准静态方法，可对燃料消耗和 CO₂ 排放进行快速而简单的估算。该模型还用作分析车辆燃油消耗对 TEG 设计参数的敏感性的灵活工具。

巴斯大学和 Aeristech 公司合作的项目开发一种新型的内燃机能量回收和增压系统，从而使汽车的能效，燃料消耗和二氧化碳排放量发生逐步变化。Aeristech 的全电动涡轮增压器技术（FETT）是一种机械解耦的涡轮增压器。捷豹路虎有限公司把 FETT 概念与 JLR 的 Ingenium 发动机系列相匹配，并且 FETT 的开发将得到系统/发动机级别的仿真支持，以优化车辆的能源效率。由捷豹路虎和巴斯大学的仿真研究将为 Aeristech 和 ADT 公司提供详细的 FETT 目标规范。

ADT 将专注于优化涡轮机的设计，以使涡轮机和压缩机脱钩，而 Aeristech 将专注于设计效率最佳的电机和电源管理设备。巴斯大学动力总成和车辆研究中心（PVRC）所开发的电动涡轮增压器可用于改善瞬态响应，而不会给发动机带来任何寄生损失，同时提供能量回收以提高整体系统效率。该研究结果表明，使用电动发电机可有助于将发动机的响应时间减少多达 90%，同时提高其热效率并产生高达 6.6 kWh 的能量[29]。

马勒（MAHLE）开发了模块化混合动力总成概念（MMHP），该概念使用双模式（串联和并联）配置，以提供两者的最佳性能。MAHLE 通过将发动机，牵引电动机，发电机和变速器安装在紧凑，完全集成的模块中，车辆可以根据电池的充电状态和行驶速度以多种不同的模式运行。由于牵引电动机直接与车轮相连，发动机则通过变速箱解耦，因此在有限的速度/负载范围内运行，可以确保低油耗和二氧化碳排放。发动机，电动机和 HV 电池均可轻松缩放至不同的输出，以适应跨多个平台的从 B 级到 J 级的各种车辆应用。与现有的混合动力技术相比，模块化混合动力总成具有多个优势，包括可扩展性，燃油效率，低排放，减轻重量，易于包装以及降低生产成本。为了缩小内燃机的尺寸，MMHP 使用的动力总成系统能够开发出成本优化的“专用混合动力发动机（DHE）”。该发动机概念专为混合动力应用而设计，并受益于最新创新由被动式马勒喷火（MJl®）系统制成。被动式 MJl®系统由一个小的预燃室组成，该预燃室装有一个安装在发动机燃烧室内的常规火花塞。它产生热自由基喷射，在发动机气缸内产生非常短的燃烧事件，从而实现高压压缩比和高排气再循环率，从而降低了燃油消耗。使用进气道燃油喷射（PFI），单顶置凸轮轴（SOHC）且无可变气门正时控制。该发动机实现 207g/Kwh 超低油耗。当该模块应用于紧凑型跨界 SUV 时，WLTP 加权的 CO₂ 排放量为每公里 18 克。混合动力总成的重量类似于当前的具有 6 速手动变速箱的 4 缸汽油发动机。专门设计的内燃机可节省多达 30% 的成本[30]。

3.3 混合动力与人机系统的融合

孙泽宇(英国)

在车辆系统中，驾驶员是主要决策者。人机交互系统是人与车之间信息互通的无障碍桥梁，在安全性和环保驾驶方面起着重要作用。对于混合动力汽车技术研发来说，通过对驾驶员行为的萃取，分类和识别，更加深入地认识人为因素对能量分配的影响，可以更好地实现对混合动力总成策略的优化和合理控制。

伯明翰大学 Professor Hongming Xu 领导的 CASE-V 团队[31]在包括混合动力在内的电动化智能化汽车动力系统方面开展了四个层级的研究开发工作，其中包括发动机/电机瞬态控制和标定,动力总成的选型和能量管理,整车的人机交互,以及车队的协作管理。在与人机系统融合方面，该团队开发了应用于预测能量管理系统的双回路在线智能规划方法（DOIP），该方法可以精确地预测速度轨迹并实时地计算出最优控制分配序列。其中，在传统马尔卡夫链驾驶员模型的基础上，提出了一种深度模糊预测器（Deep Fuzzy Predictor）来评估驾驶行为在每个前瞻步骤中的变化，实现对驾驶员功率需求的在线预测。与基于传统马尔卡夫链的和模糊编码改进的预测器相比，所提出的预测器能分别减少 27%和 10%的误差。通过驾驶员在环实验验证，使用 DOIP 算法的在线预测控制策略能够从基线显著减少 9.37%的油耗，并有效缩短计算时间。此外，该团队引入了驾驶员识别的监督控制系统的概念[32]，形成了一种用于混合电动汽车（HEV）的自适应能量管理的新颖体系结构。作为人机系统，提出的系统可以从自然操作信号中准确识别驾驶员，并提供驾驶员识别的全局最佳控制策略，而不是单纯的控制动作。为了帮助提高该控制系统的可识别性和效率，开发了频谱引导的模糊特征提取（SFFE）方法，以从原始操作信号中提取 15 组特征。结果表明，与使用其他相关提取方法所获得的识别器相比，借

助 SFFE, 驾驶员识别器将可识别性提高了至少 10%。改进的混合动力汽车系统比基于模糊逻辑的系统所节省的燃油消耗减少了 5.53%, 这是一个重大进步。

巴斯大学的 Professor Chris Brace 先进汽车推进系统团队 (IAAPS) 一直从事开拓性研究, 以了解驾驶员的行为并改善其性能。研究发现发动机的燃油经济性可以提高 10%, 但这要以驾驶员的经验为代价。研究人员与福特以及 Torotrak 进行了一系列的实验, 以将燃油消耗和驾驶员的情绪反应与加速性能联系起来。研究结果发现, 对于某些特定的道路类型, 最激进的驾驶员可以比最不激进的驾驶员多消耗 50% 的燃油。这对于交通规划人员和车辆设计人员都具有重大意义[33]。此外, 该团队使用支持向量聚类方法对驾驶风格进行可靠分类的新技术, 该方法试图区分个人驾驶模式的变化并提供客观的驾驶者分类。该团队与 Ashwoods Automotive 在政府资助的知识转移合作伙伴 (KTP) 中部署了这些技术, 设计和开发了一种屡获殊荣的新产品 Lightfoot™。该产品旨在通过提供目标和等级来弥补驾驶员的驾驶乐趣损失, 从而改变驾驶员的行为, 以减少燃油排放。该产品由 Ashwoods 销售给轻型商用车的车队运营商, 可减少至少 10% 的燃料使用和 CO₂ 排放量。该产品对环境具有重大影响, 如果英国所有轻型商用车都采用该产品, 则每年可节省超过 100 万吨的 CO₂[34]。

南安普顿大学的 Professor Tom Cherrett Transportation 团队对如何改善和优化系统中的人员绩效特别是随着新技术和自动化技术的引入方面有着深入研究。该小组基于技术系统知识和生态驾驶动机作为生态驾驶效率的重要预测指标。结果表明, 生态驾驶支持系统应有助于预期驾驶, 并帮助用户找到并保持最高效率的动力传动系统状态[35]。此外, 该团队的 Professor Neville Stanton 还参与了对混合动力车驾驶员的感知策略知识 (专有技术) 与技术系统知识 (专有知识) 的作用的研究中。讨论了知识要素与知识获取过程之间的关系以及燃油效率。结构方程建模结果表明, 感知的策略知识与通过测试 (即与车辆及其界面交互) 和阅读 (即手册, 书籍和网站) 的获取有关, 而技术系统知识仅与通过阅读的获取有关。与技术系统知识相反, 感知的策略知识并不是燃油效率的重要预测指标。结果表明, 应着重于提高技术系统知识 (例如通过辅导系统), 以支持有动力的驾驶员实现更高的燃油效率。Dr Kirsten M A Revell 等研究了八名驾驶员在城市和公路环境中的手动和自动驾驶行为。记录他们的互动和言语描述, 并在每次开车后测量感知度。确定了可能会对感知产生负面影响的实例。结果表明, 一般而言, 自动驾驶的工作量较高, 可用性和接受度较低。调查结果表明应考虑驾驶员与自动驾驶车辆的互动, 从而有助于减少工作量, 增强可用性和接受性。

由英国政府通过互联自动驾驶中心 (CCAV) 和创新英国以及其他九个财团合作伙伴共同资助的 Human Drive 项目。克兰菲尔德大学高级车辆工程中心 (AVEC) Professor James Brighton 团队进行的自动驾驶汽车创新多用户环境项目 (MUEAVI) 为该项目测试以及开发测量技术和汽车性能[36]。该研究中心开发了一种基于低成本, 非侵入式双摄像头的视线映射系统, 该系统利用热图去可视化驾驶员的视线。通过提出一个非线性多项式模型来建立 Non-Driving Activities (NDA) 期间复杂的头部移动和照相机变形所带来的挑战, 该模型可以在模拟驾驶员的视线上建立面部特征与眼睛凝视之间的关系。该系统已成功演示, 可以通过视觉评估三个 NDA。这项技术可作为监视驾驶员视觉注意力的通用工具, 将在 NDA 表征方面得到广泛应用, 以智能化设计接管策略并为当前和未来的自动驾驶汽车提供驾驶环境意识[37]。

利兹大学交通研究所 (Institute for Transport Studies) Professor Natasha Merat 等参与了 Human Drive 的项目研究中。Human Drive 项目利用利兹大学的驾驶模拟器 (UoLDS) 进行驾驶员与车辆的交互作用。在道路和车辆中将其完全实施之前, 对现实和可重复的场景允许在安全可控的环境中进行驾驶员行为的研究进行模拟, 从而大大降低了与开发实际系统, 基础架构或原型相关的成本[38]。利兹大学的 Human Factors and Safety 小组在 Human Drive 项目的主

要研究工作是改进了自动驾驶车辆（AV）控制器，驾驶员行为分析以及建立了驾驶员对不同偏好类型的理解的 AV。该小组开发了基于走廊的非线性模型预测控制（NMPC），该模型可控制车辆状态以在使用安全走廊应用轨迹约束的同时实现平滑且舒适的轨迹。使用四个典型场景对安全走廊和运动控制器进行了评估，以表明该车辆具有类似人的行为或以人为本，并预测驾驶员和其他道路使用者行为。

伦敦大学学院互动中心（UCLIC）评估了半自动驾驶汽车中语音命令的各种自信程度以及非驾驶任务的不同沉浸度如何影响人们在路上的注意力。结果表明汽车系统应使用果断的声音来有效地吸引人们的注意力。即使他们从事沉浸式次要任务，这也是有效的[39]。该中心的还进行了一项研究，其中参与者驾驶模拟车辆并偶尔在移动电话上拨打电话号码。实验说明和反馈鼓励参与者专注于驾驶或拨号。结果表明，参与者调整了任务交织策略以实现所需的任务目标，但其方式仍然受内部心理约束的影响。尤其是，即使极端的车辆漂移暗示更多的被动策略本来会产生更好的车道保持性，参与者仍倾向于在拨号数字之间进行引导。为了更好地理解驱动程序为何在块边界交错任务，进行了建模分析，以得出系列拨号策略的性能预测。分析支持这样的想法，即在块边界进行交织可以有效地交换放弃拨号所花费的时间，并保持中央车道的位置。这有助于理解认知约束如何影响动态多任务环境中的策略适应性来讨论这项工作的意义。

林肯大学 Dr C. Bingham 等[40]调查了驾驶员行为/驾驶方式对电动汽车（EV）的能耗，充电状态（SOC）使用和续航里程的影响。给出并分析了使用单个驾驶员进行的许多驾驶循环的结果，以及使用各种驾驶员进行的约 40 km 预定路线（包括谢菲尔德的城市和乡村道路）的结果。该研究的平台是使用 Zebra 电池技术提供的全电动 Smart Fortwo ED。在许多驾驶试验中对车轮速度和 SOC 等实时量的测量表明，能耗受驾驶方式的影响很大，例如，通过对加速度曲线的基本统计分析，可以评估“良好驾驶习惯”的指标可以获得。最终表明，在这种情况下，以适度的方式行驶与所考虑的行驶负荷之间存在差异。结果还突出表明，通过允许驾驶员最大限度地减少重复加速/减速的时间，并允许更长时间的稳定速度运动，可以减少 30% 的能耗，这相当于在交通管理方面减少 30 g / km 的二氧化碳。尽管使用纯电动汽车平台进行研究，但最终的结果更广泛地被应用于插电式混合动力汽车。

3.4 混合动力与自动驾驶的融合

帅斌(英国)

未来汽车自动驾驶将是一个必然选项，因为它具有多方面的优势，包括改善车辆的安全性，减少交通拥堵以及降低车辆的排放等。相比纯电动车而言，将自动驾驶技术运用到混合动力汽车当中，在保持车辆最大行驶里程状态下，还能为自动驾驶的传感器和计算系统提供大量的电能。为了能够将自动驾驶技术应用到实际车辆中，首先需要解决车辆与环境感知，车辆的行为决策等关键技术问题。

自动驾驶汽车需要对其周围环境进行准确感知后才能可靠地运行，通常感知系统通过机器学习方法，将从传感器所得到的感知数据转化为自动驾驶的语义信息。自动驾驶汽车的感知系统对物体进行识别通常使用的是 2D 检测方法，但是 2D 检测方法不能提供物体的深度信息，深度信息包括路径规划，避免碰撞等驾驶任务。英国华威大学首次对 3D 检测方法进行了调查研究，对 3D 检测方法以及自动驾驶中常用的传感器进行了分类[41]。自动驾驶系统对车辆的行为预测功能可以基于对当前和过去周围环境来预测附近车辆的未来状态。常规的行为预测解决方案适用于较简单的驾驶情况，因此，英国华威大学对基于深度学习的自动驾驶车辆行为预

测方法的最新技术进行了全面调研。提出了一种分布式计算体系结构，该体系结构可解决支持互联和自动/自动驾驶所需的车载和非车载计算。

自动驾驶技术的实时风险评估是非常具有挑战性的。需要对模型的许多参数进行实时调整。特别是在高度复杂的运营环境中，对计算能力的要求非常高。因此，英国拉夫堡大学针对此问题，开发了一种新的风险评估系统[42]，该方法将云端中碰撞估计的结果与基于模型的风险估计结果进行实时交互。其次，驾驶员意图的早期预测在自动驾驶车辆中同样起着重要作用，拉夫堡大学提出了一种个性化的驾驶员意图分类方法，通过无缝集成聚类，在无信号 T 交叉口处建立预测系统，以及多项式回归混合（PRM）聚类和 Akaike 的信息标准被应用于各个驾驶员的轨迹，以学习更为复杂的驾驶员行为。然后，对各种分类器进行评估，以将低级车辆状态与高级驾驶行为联系起来。为了提高自动驾驶汽车的安全性，例如自动驾驶汽车在夜间或光线不足的情况下可能存在的一些安全隐患，拉夫堡大学开发了一种红外热像跟踪算法[43]，通过与 10 个代表性的实时跟踪性能算法进行对比，所提出的算法性能优于其中七个实时跟踪性能算法。

3.5 混合动力与车联网的融合

帅斌(英国)

由于纯电动车的普及依赖于电池技术的发展和充电基础设施的普及。混合动力汽车成为了目前较为主流的方向。众所周知，降低混合动力汽车的排放和提高燃油经济性很大程度上取决于能量管理策略，能量管理策略的表现性能与许多因素密切相关，例如，未来车辆行驶的速度，驾驶员开车行为，交通路况信息等。对于不确定的驾驶工况和复杂的驾驶条件，通常会影响能量管理策略的表现性能。车联网技术的出现，可以作为汽车连接世界的“桥梁和纽带”，为能量管理策略以及信息融合等提供了新的思路，有了足够的通信接口，车辆就可以进行车对车（Vehicle-to-vehicle）和车辆对周边基础设施的通信（Vehicle-to-infrastructure）。

对于车联网的融合，伯明翰大学 Professor Hongming Xu 团队首先研究了插电式混合动力飞机牵引车的网络物理节能控制框架，并提出了一种在线优化方法，称为在线群智能编程（OSIP）[44]。新的方法获得了从车辆到万物（V2X）网络的实时最佳控制信号，并且将广泛使用的电荷耗尽/电荷维持策略升级到了更加自适应和智能的水平。结果表明，通过提议的网络物理控制可以节省多达 17% 的燃料和 13% 的总能量损失。此外，伯明翰团队和欧盟联合研究中心（JRC），针对如何区分 ACC 驾驶行为和驾驶员行为，以及如何识别 ACC 能量影响展开了实验研究，提出了两种技术来规范异类车辆规格以及道路和交通状况。在车队层面上，ACC 追随者的牵引能值趋于连续增加（11.2-17.3%）。然而，车辆的减速特性通常在跟车行为分析中被忽略。然而模拟中不切实际的减速行为会扭曲交通流量和排放结果。当前的工作建立在微仿真自由流动加速模型（MFC）的基础上，并提出了扩展。研究结果表明，MFC 模型可以准确地预测车辆 0-100 km / h 的加速度规格，均方根误差（RMSE）分别比 Gipps 模型和智能驾驶员模型（IDM）低 49.4% 和 56.8%。

英国克兰菲尔德大学基于车联网技术，提出了一种控制框架，以针对车辆动力性能，乘坐舒适性和不同驾驶模式下（运动模式、经济模式，正常行驶模式）车辆的能量效率。该框架利用智能控制算法，选择适当的协议，保证车辆在不同驾驶模式下，能够保证车辆行驶的舒适性和能量使用效率。同时，开发了用于电动汽车车队管理系统能耗的估算模型，提出的估算模型包括车辆模型，驾驶员模拟性和地形模型。对电动车队的能量消耗估算准确性的影响进行了系统的研究。结果表明，通过提高估计精度，可以大大降低电动车队的总能耗[45]。

由于缺乏信息物理系统的设计，开发和测试的基准系统，英国华威大学开发了可编程逻辑控制器（PLC）和物联网（IoT）的工业 CPS 测试平台。该测试平台可以连接到云服务，将工业和管理组件结合在一起。该平台可以用于设计，开发和评估 CPS 的故障诊断，容错控制和网络安全算法。由于其多功能性和可重构性，可用于测试工业系统中各种可能的故障和网络攻击场景[46]。同时，在车联网技术中，交通规划，优化，管理等模块等都依赖于大量的数据支持。数据量获取的越多，模块的效率也会越高。但是，许多此类数据会涉及到个人和商业隐私。该团队对此问题进行了研究，最大程度地减少和缓解隐私问题，同时又不影响各模块的功能的有效性。该团队还提出了一种新的交互协议，能够应用在规模较大的 V2X 车辆交互网络中，保证车辆之间的连通性。

4. 总结

根据对乘用车市场不同动力总成市场份额的预测，包括内燃机在内的混合动力系统在一段时间内将占据市场大部分销量，同时为进一步电动化提供技术和市场的基础。

其中，内燃机方面将会在燃烧系统、整机、后处理、标定，等多方面通过新技术的引用带来热效率和排放的改善。同时，由于动力总成系统需求的改变，内燃机各相关技术之间的取舍及其与成本之间的取舍也会导致一些技术的复杂度有所降低。这将给内燃机开发带来新的挑战。

混合动力系统作为内燃机和电动化的技术组合，其整体构架及控制系统都有很高的复杂度。整体构架方面的复杂度将体现在多样化的技术路线上，车企需要根据固有优势和战略方向来引导，依靠技术指标和成本等因素来选择技术路线。

另外，混合动力系统与其他先进技术的融合能带来可观的附加改善。未来相关技术将重点关注于三方面“融合”：一是与其他物理系统的机械融合，比如后处理与混合动力总成相融合。二是与人类信息的交互融合，比如不同驾驶风格和车辆反馈相互结合。三是与人工智能的优化融合，比如人工智能体的思维方式将更加接近驾驶者的习惯，提升用户体验。

参考文献

- [1]. Grebe U D. "From tank-to-wheel to life cycle assessment. Waseda-AVL Japan Int'l Joint Symp, " 2019, Tokyo.
- [2]. <https://www.epure.org/about-ethanol/fuel-market/fuel-blends/>
- [3]. "Biofuels Annual, " EU Biofuels Annual 2019.
- [4]. "Institution of Mechanical Engineers", Accelerating Road Transport Decarbonisation. 2020.
- [5]. https://www.acea.be/uploads/press_releases_files/ACEA_vans_by_fuel_type_full_year_2019.pdf
- [6]. R. Novella, et al, SAE Technical Paper 2020-01-0238, 2020.
- [7]. <https://www.acea.be/statistics/tag/category/share-of-diesel-in-new-passenger-cars>
- [8]. M. Bassett, et al., "MAHLE Modular Hybrid Powertrain," 28th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2019, 2019.
- [9]. K. Bureshaid, et al., "Investigation on Knock Resistance with Turbulent Jet Ignition at Different Engine Load in an Optical Engine, "JSAE/SAE Powertrains, Fuels and Lubricants, 2019.
- [10]. J. Valero-Marco, J., et al., Fuel, vol. 231, pp. 317-327, 2018.
- [11]. C. Tornatore, et al., SAE International Journal of Engines, SAE 2017-24-0062, 2017.
- [12]. R. Sellers, et al., "Designing and Testing the Next Generation of High-Efficiency Gasoline Engine Achieving 45 % Brake Thermal Efficiency, " 28th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2019, 2019.

- [13]. S. Brannys, et al., Dipl.-Ing Carsten Helbing, Prof. Dr. Friedrich Dinkelacker, "Maximum Efficiency Concept of a 1.5l TSI evo for Future Hybrid Powertrains, " 28th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2019, 2019.
- [14]. M. Morén, et al., "The New Volvo Mild Hybrid Engine Architecture," 28th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2019, 2019.
- [15]. S. Zeraati-Rezaei, et al., *Fuel*, vol. 207, pp. 165-178, 2017.
- [16]. Q. Zhang, et al., "Implementing full electric turbocharging systems on highly boosted gasoline engines". ASME Turbo Expo, 2017.
- [17]. Dr.-Ing. Claus Glahn, et al., "The Boosting System - A Key Technology also for Electrified Combustion Engines? " 28th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2019, 2019.
- [18]. S. Lan, et al., *Applied Energy*, vol. 1, pp. 1-21, 2017.
- [19]. S. Brannys, M.Sc., et al., "Maximum Efficiency Concept of a 1.5l TSI evo for Future Hybrid Powertrains," 28th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2019, 2019.
- [20]. H. Ma, et al., Computational Intelligence Nonmodel-Based "Calibration Approach for Internal Combustion Engines. *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME*, 2018.
- [21]. <https://theicct.org/publications/recommendations-post-euro-6-eu>.
- [22]. https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/EMISSIONBOOKLET_2019.pdf [Accessed 6 Jun. 2020].
- [23]. <https://ev-database.uk/car/1145/BMW-i3-120-Ah>
- [24]. <https://www.greencarcongress.com/2017/10/20171024-serena.html>
- [25]. <https://www.greencarcongress.com/2015/10/20151013-prius.html>
- [26]. Cost, Effectiveness, and Deployment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles. The National Academies Press, 2015.
- [27]. ADDIN Mendeley Bibliography CSL_BIBLIOGRAPHY "Propulsion & Energy System," 2020.
- [28]. S. Lan, et al., *Applied Energy*, vol. 210, no. August 2019, pp. 327-338, 2018.
- [29]. P. Dimitriou, et al., *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 7, no. 4, 2017.
- [30]. "High cost savings: new scalable and modular hybrid drive from MAHLE," 2019. .
- [31]. J. Li *et al.*, *Applied Energy*, vol. 253, no. November, p. 113617, 2019.
- [32]. J. Li, et al., *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 6706, no. c, pp. 1-1, 2020.
- [33]. D. Hari, et al., *Proceedings - 2012 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2012*, pp. 208-213, 2012.
- [34]. "lightfoot.," 2020. .
- [35]. T. Franke, et al., *Applied Ergonomics*, vol. 55, pp. 33-45, 2016.
- [36]. "Multi User Environment for Autonomous Vehicle Innovation," 2020. .
- [37]. L. Yang, et al., *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1-10, 2019.
- [38]. "uolds," 2020. .
- [39]. P. N. Y. Wong, et al., *Proceedings - 11th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, AutomotiveUI 2019*, no. September, pp. 165-176, 2019.
- [40]. C. Bingham, et al., *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 29-35, 2012.
- [41]. E. Arnold, et al., *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, no. 10, pp. 3782-3795, 2019.
- [42]. C. Katrakazas, et al., *Accident Analysis and Prevention*, vol. 127, no. March, pp. 61-79, 2019.
- [43]. M. Ding, et al., *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, vol. 233, no. 16, pp. 6089-6103, 2019.
- [44]. Q. Zhou, et al., *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS*, vol. 14, no. 9, pp. 4149-4158, 2018.
- [45]. A. Fotouhi, et al., *International Journal of Sustainable Transportation*, vol. 0, no. 0, pp. 1-15, 2019.
- [46]. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-50936-1_61

作者简介

刘浩业，博士，英国伯明翰大学博士后研究员、先进发动机和燃料方向负责人。

唐华寅，博士，英国迈凯伦汽车电驱动电控系统主任工程师。

李季，正在英国伯明翰大学智能车辆系统和控制团队（CASE-V）攻读博士学位。

王新颜，博士，英国布鲁内尔大学先进动力和燃油研究中心研究员(Research Fellow)。

林纯兴，博士，英国捷豹路虎汽车动力总成院主管工程师/尾气排放后处理 CAE 专家。

宋诗如，福特英国技术中心主管工程师。

余松，AVL 法国子公司 AVL LMM 汽车动力总成研发工程师。

胡静文，德国世界某顶尖一级汽车供应商负责技术战略转型和新能源系统构架等。

周泉，博士，在伯明翰大学博士后研究员、智能车辆系统和控制团队（CASE-V）负责人。

孙泽宇，正在英国伯明翰大学大学智能车辆系统和控制团队（CASE-V）攻读博士学位。

帅斌，正在英国伯明翰大学智能车辆系统和控制团队（CASE-V）攻读博士学位。

第四章

汽车工业体系与行业整体发展

1. 前言

未来几年，汽车行业将面临深刻的发展和变革。特斯拉越是“造车”，就越变得“传统”，特斯拉的估值将越来越趋同于传统汽车厂商。必将大幅削减投资规模，以避免更加激进的技术更替带来产品的风险。Pay-per-use 按次计费将取代 one-shot 一次性消费，电池，能源行业，汽车租赁共享移动消费服务逐步成为高毛利的新兴价值。虽然电池技术还在发展，但电池的技术优势也会慢慢减弱，能源和充电服务消费等将接续汽车消费成为新的增长点。

汽车公司既要规模经济又要拥抱软件完成生态化的转型。建立软件生态的护城河。汽车的外观设计语言将被标准化，软件的丰富性将展开。汽车业最大的历史短板就是缺少服务型的软件专家和软件文化，以敏捷模型为代表的软件开发模式和面向传统汽车业的 V 模型格格不入。新的时代，两方面的人才将更多地协作，创造出全新的产品。

在汽车领域，最后的赢家要同时在互联，共享，无人，电动四个战场上厮杀，而电动化是每一个玩家都要严肃对待的领域。依靠数据决策的公司往往先人一步，依靠订单只有末日黄花。

本章节将从主机厂，供应商，工程咨询公司等各个维度出发，层层推进，力求带大家领略到欧洲汽车工业体系和行业的整体发展全貌。

2. 车企转型中组织架构面临的挑战

唐华寅（英国）

2.1. 行业背景

汽车的电动化带来电气化、电池、轻量化、功率半导体、充电和热管理等“硬技术”。对应了 IT 行业的苹果，微软等“硬核”企业。

汽车的智能化为集中计算、自动驾驶、互联汽车、共享服务提供了土壤，代表了“软实力”。对应了 IT 行业的谷歌，Facebook 等“软核”开拓者。

汽车行业电动化（硬技术）和智能化（软实力）的发展正在同时发生，对行业的影响除了技术本身之外，还有产品开发模式的创新。汽车智能化、OTA、软件定义汽车等方向的发展，都对汽车开发流程和体系提出了高效、敏捷、快速迭代等多方面的要求。而为了适应开发流程和体系的改善，车企的组织构架也需要做出调整，这里包含职能部门与项目管理部门的分工，以及职能部门内部的分工等。

2.2 项目矩阵式结构

敏捷管理和高效项目制度是提升企业运行效率的一部分。软件公司里敏捷管理的各种工具，和 IT 公司里的产品经理横向联动各职能部门成员形成矩阵都非常常见。

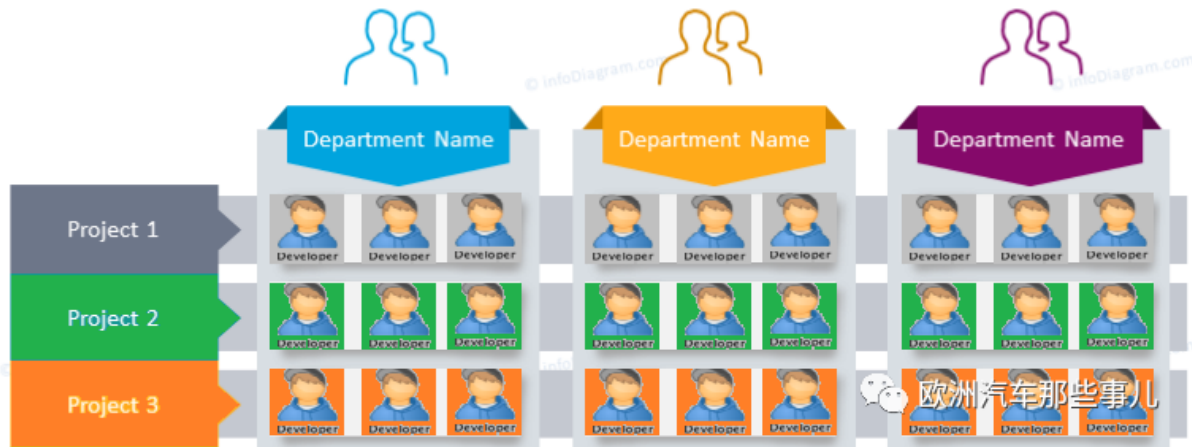


图 1 矩阵式组织架构

IT 公司的组织结构相对简单和扁平，产品经理相对更容易横向打通。汽车开发流程里，数百个跨公司跨部门团队需要相互迭代开发，导致这种构架在汽车企业实现有难度。但是随着汽车行业的变革和电子化，车企的组织构架和体系也需要从 IT 界引入不同思维来完成创新。

目前车企常见的构架包括：1) 职能部门为主、2) 项目部门为主。

职能部门为主目前比较常见，企业内部的层级结构一般比较庞大。这种模式里虽然每个职能组内虽然一般都有针对某个项目的负责人或者小团队，但往往很少能够有项目经理在横向上把各部门完全打通，跨部门合作效率偏低。有的部门和团队甚至不与项目负责人有解除，没有收到来自项目组的明确目标，即使收到了目标也没有被列入年度审核机制内，或者列入审核机制也不是由项目负责人从整个项目的角度来评判。最后项目组在横向要想找到具体的责任人需要付出很多沟通代价，形成下图这样的局面。这种模式对敏捷性影响很大，但是也是依据多年来车企构架积累的稳定性。



图 2 低效组织架构

项目部门为主常见于一些处在快速发展期的车企，也包含一些转型期的大型车企，比如奥迪在 2020 年 5 月宣布的 Artemis 计划[1]。很多项目团队内有自己的功能部门，麻雀虽小五脏

俱全。这种构架往往是短期的过度方案，在快速扩张期提供足够的敏捷度，并提高活力吸引人才。

强化矩阵式构架，主要是为了在敏捷度和稳定性上进行综合与取舍，基于上面提到的两种模式并融入从 IT 及其他产业引入的新思维探索均衡发展的模式。

对于多数车企来说，从职能部门为主的构架转型掺入更多项目机制和矩阵特性，会对跨部门合作模式带来比较大的变化。原来职能部门责任人需要做的很多项目相关决策，要转由项目负责人来决定。职能部门负责人省出的时间要花在技术流程上，尤其是跨部门合作，这些流程将会由项目负责人协助监控。某种程度上，依靠这种方式针对原本传统车企开发模式中的跨部门的低效合作，从横向的项目贯穿，提升效率，使相互依赖和嵌套的开发流程更敏捷。当然，职能部门和项目部门之间的甩锅避免不了，但是如何运用好矩阵中横纵的相互制约关系，并且适时适度的过渡，则是需要从企业上层向下的推动和引导。

2.3 职能部门组织构架

除了项目矩阵式构架以外，目前很多车企的职能部门本身也在经历很多变化。图 3 代表了以往车企职能部门的常见构架。其中上方的不同部门代表了不同职能部门，比如动力总成、底盘、车身、电子。左侧的不同领域代表了各职能部门中负责不同开发步骤或领域的组，比如仿真、系统构架、零部件设计、集成、测试验证，等等。

| | 部门 A | 部门 B | 部门 C | 部门 D |
|------|------|------|------|------|
| 领域 1 | A 1 | B 1 | C 1 | D 1 |
| 领域 2 | A 2 | B 2 | C 2 | D 2 |
| 领域 3 | A 3 | B 3 | C 3 | D 3 |
| 领域 4 | A 4 | B 4 | C 4 | D 4 |

图 3 目前车企职能部门的常见构架

多数情况下，每个职能组的跨组沟通基本处于两个维度。首先是纵向职能部门内部的沟通，这往往是该组的多数沟通网络，因此为了提高效率被划分于此职能部门。其次是横向的跨部门同领域沟通。

在汽车行业的新趋势下，电动化和智能化都对职能部门的构架带来了新的需求。

传统动力总成可以被划分为包括发动机和变速箱在内的多个板块，产品定义清晰，分工明确。在引入电驱动之后，新增了三电和集成等多方面的专业人才缺口。在动力总成领域，又分为与发动机开发关联不大的纯电动汽车项目，交集很多的插电混合动力项目，及深度融合的弱混合动力甚至电动增压项目。新增的专业岗位无论是和原有动力总成部门合并成更加庞大的部门，或是相对独立带来不同观点，都会给企业带来不同的利弊，需要车企根据当下情况做出适时的决定。而这一决定可能出现根据情况来回调整的情况。调整很正常，但是有些企业出现多次调整就难免对实际工作带来很多困惑和影响。

除此之外，轮毂电机的概念如果以后得以广泛应用，其和底盘系统的交叉也会比较复杂。其中电机对底盘系统性能，可靠性，以及与制动系统的集成都可能需要从新定义系统开发过程中跨组合作的流程。

另一方面，智能化所带来的影响可能更大。从自动驾驶，软件平台，到电控硬件，网络安全，另外还有上层的电子电器构架。这些很多都是和其他各部门交织在一起的，比如车辆的各

大系统都有可能会有智能和软件功能的出现。可以说，与动总、底盘等车辆系统相比，汽车电子电控成为了另外一个维度，而并非是完全平行。以前的 EE 构架更多是为了服务其他系统，现在就要起到更多的主动和引导作用了，这也符合软件定义汽车的长远方向。

在这一前提下，车辆各系统里的软件部分是会分布在各系统内，还是中心化合并成整车软件部门。这就需要根据哪些智能组的交叉工作更多，更需要高效沟通，同样还要根据车企的当前状况和战略来决定。传统动力总成的电控系统解决方案已经收敛并且变数不多，但是新能源系统由于电子构架的复杂性和灵活性，增加了跨组跨部门的沟通需求，给开发体系和组织构架都带来了新的问题。

基于上面提到的复杂性，职能部门组织构架可能会加入新的维度。其中一些职能组除了需要和本部门纵向及跨部门同领域横向进行沟通之外，还需要额外涵盖相关部门的纵向沟通，带来第三个维度。

| | 部门 A | 部门 B | 部门 C | 部门 D |
|------|-------|-------|------|------|
| 领域 1 | A 1 | B 1 | C 1 | D 1 |
| 领域 2 | A B 2 | | C 2 | D 2 |
| 领域 3 | A 3 | B C 3 | | D 3 |
| 领域 4 | A 4 | B 4 | C 4 | D 4 |

图 4 车企职能部门组织构架加入新的维度

可以预见的变化会集中在前面提到的电驱动和汽车电子这两个系统。除了根据不同阶段需求导致的交叉职能组的迁移之外，还可能会导致向双方部门负责人进行汇报的结构。各车企在组织管理领域的创新也会是在行业新趋势下的竞争力之一，而在组织构架背后更加重要的是整体的产品开发体系和流程，这也是组织构架所服务的对象之一。

在实际操作中，组织构架的定义需要兼顾和权衡太多，几乎不可能达到理想状态。企业领导者们如何在这一过程中对组织构架、开发流程、体系进行优化来进行优化，又以怎样的速率来引入这些优化以避免混乱，都需要根据每个企业不同的情况来进行选择，没有哪一各方案是能适应所有企业的。

3. 汽车供应商如何应对行业变革

胡静文（德国），徐鸿鹄（德国）

3.1 全球汽车业的冬天来了？

山雨欲来风满楼。一场汽车市场的寒潮让企业们措手不及，大型车企御寒尚难，何况依附于车企们的供应商们？在日趋收紧的市场中，他们该如何自救？

受中美贸易战和新冠疫情的影响，今年上半年全球汽车产量同比下跌急速。中国，欧洲和北美，三大主要车市全面疲软。

欧洲车市领跌全球，并拖累了大部分汽车零部件供应商的业绩。很多机构预测：今年下半年形势也不会有根本性的好转。

就连大型体量的供应商博世都已经未雨绸缪，为即将到来的“革命”，重组和开发新产品做好准备。未来需要全新的替代驱动动力总成和软件架构解决方案：博世估计，到 2025 年，混合动力和电动汽车的全球产量将增加到超过 2000 万辆。为此博世率先喊出了“无博世，不电动”的口号。

博世只是万千企业的一个缩影。虽然说家家有本难念的经，但有一点是清楚的：无论是大型供应商还是中小型汽车供应商都会受到全球经济动荡下滑和电动汽车浪潮来袭的严重影响。

汽车供应商们应如何应对并生存呢？

3.2 电动化的崛起

电动汽车的崛起，普遍让汽车制造商对燃油车的资金投入大大缩减。大众汽车曾表示，品牌最后一代使用内燃发动机技术的车型将在 2026 年发布。这意味着大众品牌要给自己的燃油车时代提前设定终结点，全面转向电动化。

从国家战略层面来看，荷兰、挪威、印度等国宣布 2025 年之前禁止销售传统化石燃料汽车，英国、法国等国家从 2040 年开始全面禁止销售汽油车和柴油车，日本则将终结纯燃油汽车的时间点设在 2050 年。中国虽然没有公布传统燃油车禁售时间表，但工信部表示已启动了制定计划。

随着行业大趋势的变化，电动汽车也正逐步取代燃油车丢失的份额，电动汽车未来市场将会越做越大。风向已变，欧盟现在也逐渐认为未来十年必将是属于电动汽车高速发展的小时代时，或将进一步影响到全球整体行业的发展方向。趋势的预测已经明确，但在 2025 年的节点上，大家对电气化的框架目标却存在争议。IHS 分析师的市场预测显示，2025 年全球混合动力和全电动新车的市场份额约为 25%。竞争分析公司 LMC Automotive 对此持怀疑态度，并认为这些车辆在 2025 年的市场份额仅为 11% 至 12%。

舍弗勒，德国领先的汽车零部件供应商，则保持乐观。在去年提出一个战略方案“未来移动出行”，是基于 2025 年新注册的混合动力车和电动汽车占比约 28% 来计划的，不仅如此，舍弗勒还同时考虑了一个加速方案，例如到 2025 年，在一些政府政策强力支持的国家和地区混合动力车和电动汽车的替代车辆的推广可能已经达到了 47% 的市场份额。

再看整车厂：去年在德国汽车工业协会（VDA）撮合下，德国三大汽车巨头的高管们进行磋商，最终就汽车行业未来策略达成一致。大众集团、戴姆勒集团和宝马集团一致决定：未来属于电动汽车。三大巨头还一致同意，未来 10 年将把重心投放在电动汽车上，包括纯电动和混合动力，他们将在基础设施建设、补贴政策、技术等方面展开协调一致的行动。而该计划也将会成为汽车制造商、VDA、德国政府的共同立场。欧洲企业纷纷明确了未来的政治指导方针，一切的迹象都与迫在眉睫的变革相关。

3.3 大型供应商转型迫在眉睫

这种变革不仅受到电池技术范围的技术改进和电池技术成本降低的推动，而且还受到其他越来越多希望严格限制传统驱动器许可条件的国家政策的推动。

作为富含石油矿藏的挪威，从 2025 年开始，禁止出售任何带有传统驱动器的车辆。按照汽车行业的新车型推出需要三到四年典型的开发周期来推断，那么很显然，这样的规定将会对所有的汽车厂家产生影响，由此也会影响在不久的将来的供应商。

根据 2040 年的政策，英国政府计划禁止销售传统柴油和汽油车。有趣的是，禁令还应该包括混合动力汽车，这样只有纯电动汽车才能在英伦三岛上出售。法国几周后也宣布了，为了保护气候和环境从 2040 年起停止销售内燃机这一消息。

中国政府也在推动在中国市场引入替代动力系统的双积分政策，这对德国汽车制造商来说同样非常重要。从 2018 年开始，汽车制造商已经不得不为电动和混合动力汽车实现至少 8% 的配额制，一年之后份额应该上升到 12%。如果不遵守规定，将受到罚款威胁。

几个月前和几年前，人们一直怀疑汽车行业的替代驱动系统是否真正占上风，政治要求是否会超越单纯的嘴上空头支票。现在，种种迹象显然和表明汽车行业已经在发生的巨大变化。

变革面前，德国供应商纷纷加强其在中国的业务拓展。

德国供应商从一开始就坚定地支持德国汽车制造商：他们很早就来到中国，毕竟所有主要的德国供应商都活跃在中国。目前在中国，已经拥有 315 个德国供应商的分部和企业，与 2010 年（180 个）相比，增加了 75%。近年来，涉及越来越多的中型公司。

同时，其客户不仅仅包括德国品牌，还包括众多国际和中国的汽车制造商。德国供应商继续在这里创造新的就业机会：过去几年，员工人数大幅增加，已超过 10 万人。

我们看到了很多德国公司都希望进一步扩大其在这个世界上最大的乘用车市场的参与度。这个大的经济体仍然在中期增长的轨道上，以产品质量占优的德国制造商和供应商显然仍很受中国客户的青睐。

然而几家欢喜几家愁，这里也有相反的保守派：法国汽车零部件巨头——佛吉亚为了在汽车销量下滑的情况下仍保持较高的利润率，法国汽车座椅、排气、内饰及电子制造商佛吉亚将在其传统的销量主战场——中国，裁员 17%，同时关闭 7 座在华工厂！

更加倚重中国市场的同时，德国大型供应商也明确地调整自身的策略，从而使其战略重心和投资重点更加适应新兴的未来市场条件。例如，博世早已将其业务领域（以前称为“汽车”）转变为“移动性”领域，并大规模地将投资从传统内燃机的组件转移到电动驱动器。作为“移动出行重新定义”计划的一部分，供应商大陆集团也正在推动电动汽车产品和组件的开发。采埃孚 ZF 去年也成立了自己的电动汽车部门，越来越多地专注于低压系统，插入式系统和电动轴等产品。在未来的产品开发中，莱茵金属正在推动驱动中性产品和解决方案 - 即独立于内燃机的销售的产品。包括乘用车部分之外的结构部件，外壳和应用产品。

汽车行业的发展日新月异，节奏越来越快，成本越来越高，竞争越来越激烈。越来越多的国际企业开始通过采取大型并购交易或者出售部分业务资产来寻求转型之路：作为扩大重组的一部分，以应对汽车行业向电动和自动驾驶技术的深远发展，德国大陆集团（Continental AG）将其动力总成事业部拆分为一个独立的实体公司。蒂森克虏伯（Thyssen Krupp）宣布重组汽车零部件业务，包括出售其陷入困境的汽车零件和工厂工程部门的多数股权。美国汽车零部件企业博格华纳（BorgWarner Inc）以全股份交易的方式收购英国汽车零部件供应商德尔福科技，以巩固其在汽车动力系统领域的市场地位。减震器和排气系统供应商天纳克公司（Tenneco）的股东批准了该公司以 54 亿美元收购美国汽车零部件竞争对手辉门公司（Federal-Mogul）的提议。采埃孚（ZF Friedrichshafen），这家全球领先的技术集团及乘用车、商用车和工业技术移动系统供应商以 70 亿美元高调并购了美国企业威伯科（Wabco）。此后，采埃孚与威伯科将联手成为一家领先的全球性商用车技术集成系统供应商，等等。

大型企业尚且可以在经济下行的转型期内依靠其雄厚的资源和财力度过难关，但是很多中小型企业的发展将会因此而变得举步维艰。同时，越来越多的整车厂开始要求其供应商一同参与其全球化战略布局，共同在国外的生产基地投资建厂，这也进一步加剧了中小型供应商的生存压力。

3.4 中小型供应商如何应对

动荡中心的整车厂和一级供应商们（Tier1）正在纷纷转型。

我们最为关注的是，众多中小型规模的供应商（即价值链下游，所谓的 Tier2, Tier3）在快速变化的市场中该如何定位并驱动自己应对变革呢？

许多中小型企业在生产和销售传统汽车中使用的传动装置，发动机，排气系统或液压功能零部件，他们同样面临着 2025 年及以后产品更新换代和转型的问题。

分析汽车供应商的发展方向，考虑如何从现有产品中获取额外价值，以及如何创造全新的价值。

从这两个基本出发点的话，一定绕不开三种通用策略：

1. 技术视角-公司如何通过技术成长？
2. 商业模式视角-公司如何通过新商业模式成长？
3. 全面考量

如果三个单句总结三种通用策略，那就是：

1. 技术视角：开发与原产品相关的并且有市场前景的汽车行业产品和解决方案

许多零部件供应商，作为驱动组合变化的一部分，将来传统产品市场需求大幅减少，计划在汽车领域开辟相邻的，相对类似的产品市场。

例如，如今供应商为传动系提供铝压铸件可考虑通过与驱动无关的底盘部件扩展产品范围。毕竟，底盘将在未来继续在车辆中发挥重要作用-几十年来在发动机和变速器领域获得的轻质结构专业知识可以在这里空间继续发挥巨大作用。

这种发展的优势当然是可管理的投资和现有技术的使用。许多竞争者可能会选择一条非常相似的发展道路，这可能会导致竞争加剧，价格压力大幅增加。



图 5: 全球供应商详细增长策略分析。来源: © McKinsey Center for Future Mobility

2. 商业模式视角：在未来的电子移动和软件领域获得新的业务增长

未来车辆驱动概念的变化正在创造全新的需求，这些需求可以由创新型公司及时识别和开发。

例如，增加电动汽车的热管理和技术冷却领域的需求，因为电池和电力电子设备只有在规定的温度范围内运行才能有效工作。在这里，资源丰富的供应商已经在开发将在这个面向未来的市场中使用的解决方案。因此，除了由于流动性变化而消除传统产品领域之外，供应商肯定有新的机会。

3. 全面考量：多元化进入相邻的移动领域和非汽车领域

“自动驾驶，电动化，共享化和车联网”这是汽车行业公认的移动性未来。这也意味着汽车行业以外的其他移动概念将在中长期内发挥越来越大的作用。例如，创新者在这里看到了电动自行车，电动滑板车和微型移动电话，以及电动汽车运行所需的基础设施，如充电站，可再生能源的发电，配电和运输设施，作为未来可能的市场。

最后再补充一点：通过系统的市场，竞争和趋势分析，思考如何从现有产品中获取额外价值以及如何创造新价值。大型供应商有自己的组织机构，它可以应对未来的战略和潜在的市场趋势；典型的中小企业通常是精简结构和小规模，跨学科项目团队开发的战略发展计划。为顺应市场的发展和趋势，在未来有针对性的商业领域系统性和可靠的分析中发现合适的战略和出发点。基于行业专家的中立评估和未来的客户要求，这种结构化分析提供了坚实的事实和数据支持，避免了错误方向有可能导致的昂贵代价。

4. 工程咨询服务行业在欧洲汽车行业中的定位和作用

胡静文（德国）

4.1 行业背景

一提到欧洲的汽车行业，大家想起的是奔驰，宝马，大众，PSA 这些耳熟能详的车企。而在汽车研发中同样起着重要作用的汽车工程服务咨询公司，比如 AVL，FEV，IAV，AKKA，ALTEN，ALTRAN，RICARDO 等，在行业外却鲜为人知。这些咨询公司是汽车研发中不可缺少的重要一环，在过去十几年中发展速度甚至高于那些大名鼎鼎的汽车厂商。

德法英三国在欧洲是世界公认的工业和汽车强国，世界知名车企云集。在那些行业巨人的身后，默默地站着的是广大工程技术服务咨询企业。这些企业规模一点也不小，有的甚至也雇佣了几千甚至上万名工程师，是整个欧洲工业产业价值链中的关键环节，也是当之无愧的隐形冠军。

迫于激烈的市场竞争，大型 OEM 近二三十年来大大提高了研发支出，以应对市场产品生命周期短，模型多样化，数字化等的高创新要求。这要求汽车公司在投入大量的研发经费时更要雇佣大量具有新技能的员工。这些员工的招聘，管理，融入公司文化以及经济萧条时期的裁员等成了汽车公司棘手的问题。这是许多公司越来越多地将部分研发任务外包给外部工程公司的最主要原因之一。起源于 20 世纪 70 年代初的工程技术服务公司慢慢发展成为工业界稳定的开发合作伙伴，从预研发，设计，模拟和测试到复杂零部件级别的任务都可以由它们来完成。

汽车厂商委托外包开发服务的原因是多方面的：首先，外包开发服务公司有时会拥有 OEM 不具备的外部知识，因为只要涉及到一个新领域知识的产生和创新，往往都是很耗时耗钱的。由于自 20 世纪 90 年代末以来电子和信息通信技术的快速发展，使工业价值链显著承压。预计，未来将因数字化技术渗透而彻底改变更多的工业产品和工艺流程。另一方面，工程技术外包成了减少 OEM 核心劳动力和人员成本的最有效办法，甲乙双方之间既是双赢的合作，从另外一个角度上来看其实又是一场不知道谁是最后赢家的竞赛。随着技术发展及行业竞争加剧，越来越多的制造型企业趋向于将公司的战略及资金专注于核心研发，更多非核心工作，从 IT、采购、财务、设计、仿真工作趋向于外包给此类专业服务公司。

在欧洲随着汽车行业的快速发展，越来越多的主机厂与一级供应商已熟悉技术外包形式并建立了长期合作合作，对于外包的项目和形式已形成完整的体系和制度。除主机厂直营及附属公司外，从工程设计到运营生产类的工程技术咨询公司，德系如 EDAG，IAV，法系如 AKKA，ALTEN，ALTRAN，英系如 RICARDO 等也逐步涌现，而其服务类型划分趋于完善。

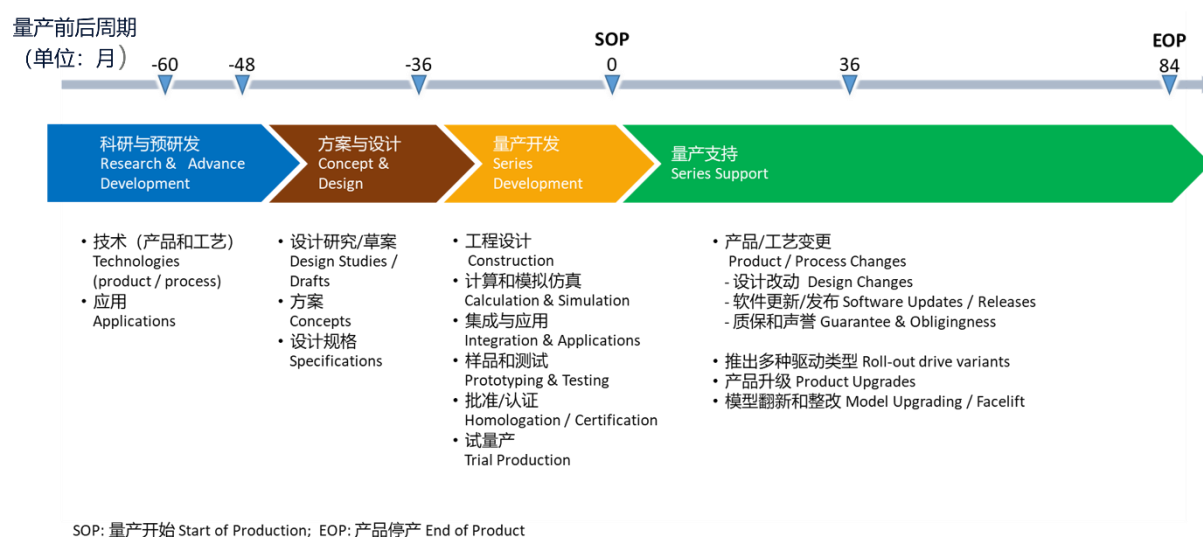


图 6: 量产前后数月研发附加值的分布(理想情况下)

以德国汽车行业为例子：在德国工业和汽车领域活跃的 76 家工程技术外包服务公司一起在德国有 93500 名员工（全球共约 222000）。截至 2018 年底，德国有其中近一半的工程技术外包服务（约 45935 名）员工供职于 15 个最大工程技术外包服务企业，这一数字比 2010 增加了 52%。这种趋势在 2015 年以来一直持续，但鉴于现阶段 OEM 的外部订单减少，这种积极的发展能否在 2020 年及未来几年继续发展尚不确定。

| Rank 2018 (2013) | Company | Headquarters | Total sales revenue (mil. Euro) 2018 (2013) | segment automotive engineering (mil. Euro) 2018 (2013) | Employees total 2018 (2013) |
|---------------------|---|--------------|---|---|--------------------------------|
| 1 (1) | AVL List GmbH (A) | | 1750 (1015) | 1750 (1015) | 10400 (6200) |
| 2 (3) | Bertrandt AG (D) | | 1021 (782) | 919 (704) | 12000 (11000) |
| 3 (2) | IAV (D) | | 907 (595) | 907 (565) | 7500 (5000) |
| 4 (4) | EDAG GmbH & Co. KGaA (D) | | 792 (383) | 792 (383) | 8541 (4355) |
| 5 (-) | Horiba Automotive (J) | | 1658 (-) | 627 (-) | 3296 (-) |
| 6 (8) | FEV Group (D) | | 654 (305) | 621 (265) | 5800 (2800) |
| 7 (7) | AKKA/MBtech Group (F) | | 1505 (878) | 604 (360) | 6820 (3785) |
| 8 (6) | Altran (F) | | 3000 (1633) | 590 (260) | 8500 (-) |
| 9 (11) | Bosch Engineering GmbH (D) | | 630 (190) | 570 (171) | 2800 (1850) |
| 10 (9) | Alten Group (F) | | 2269 (1216) | 561 (213) | 7500 (-) |
| 11 (13) | MAGNA STEYR Engineering (A) | | 440 (150) | 440 (150) | 3400 (900) |
| 12 (-) | Expleo (F) | | 1100 (-) | 322 (-) | 4750 (-) |
| 13 (-) | ETAS (D) | | 312 (-) | 312 (-) | 1380 (-) |
| 14 (16) | Applus IDIADA (E) | | 213 (134) | 213 (134) | 2510 (1690) |
| 15 (20) | Continental Engineering Services GmbH (D) | | 212 (120) | 202 (114) | 1700 (1000) |
| 16 (22) | FERCHAU Engineering GmbH (D) | | 730 (460) | 182 (100) | 8400 (6000) |
| 17 (24) | RLE INTERNATIONAL (D) | | 148 (90) | 140 (81) | 2300 (1974) |
| 18 (21) | ESG (D) | | 325 (258) | 115 (107) | 1000 (1600) |
| 19 (-) | In-tech (D) | | 114 (-) | 105 (-) | 1400 (-) |
| 20 (-) | Atesteo (D) | | 93 (-) | 93 (-) | 800 (-) |

图 7: 2013/2018 年全球前 20 汽车工程技术服务商排名。来源: ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift (汽车工程技术杂志) & Automobilwoche

在德国，汽车行业（OEM 和零部件供应商）是工程技术外包服务商的主要客户，占整个工程技术外包服务行业销售额的近 60%，其次是航空航天业占销售额的 20%，其余部分分为机械工程（8%）和其他机械电子行业。目前由于技术市场越来越多元化的要求，特别是在信息和通信技术，医疗技术，能源与环境方面的潜力和增长趋势都不可忽视。

德国工程技术外包服务商一直以来秉承着“德国工程制造 Engineering Made in Germany”的优良传统，所以对未来的年轻工程师也具有很高吸引力。汽车研发外包服务无疑是一个相对强劲的增长市场：全球汽车工程技术外包服务市场每年平均增长 5.8%，到 2020 年全球营业额将达到约 123 亿欧元，其中德国的工程技术外包服务市场占比全球近 30%。特别是德国汽车业与其他汽车国家相比，优势得天独厚：因为德国汽车行业有领先世界的供应商格局和久经考验的，高效的网络，这些都是汽车工程技术外包服务商强有力的保证和依托。

4.2 商业模式和政策影响

工程技术外包服务商一般说不开发面对最终消费者的产品。服务提供商要么提供工具或者软件，要么接受工业客户的项目订单。这些项目作为工程服务合同授予工程技术外包服务商。工程技术外包服务商既可以充当一个大客户的工作项目承包服务提供商，也可以仅仅为另一些客户提供一两个工程师租借服务。相应的商业模式选择受到各自客户关系的强烈影响，这同样也适用于工作形式的选择。

许多工程技术外包服务商长期将员工外派在客户。但是，越来越多工程技术外包服务商在加强自己办公场地的建设，这其实也是背后试图转变商业模式。这一转变的作出不仅仅由于欧洲各国越来越严苛的服务合同法律法规，而且跟行业工会和社会各界的舆论和道德压力密不可分。

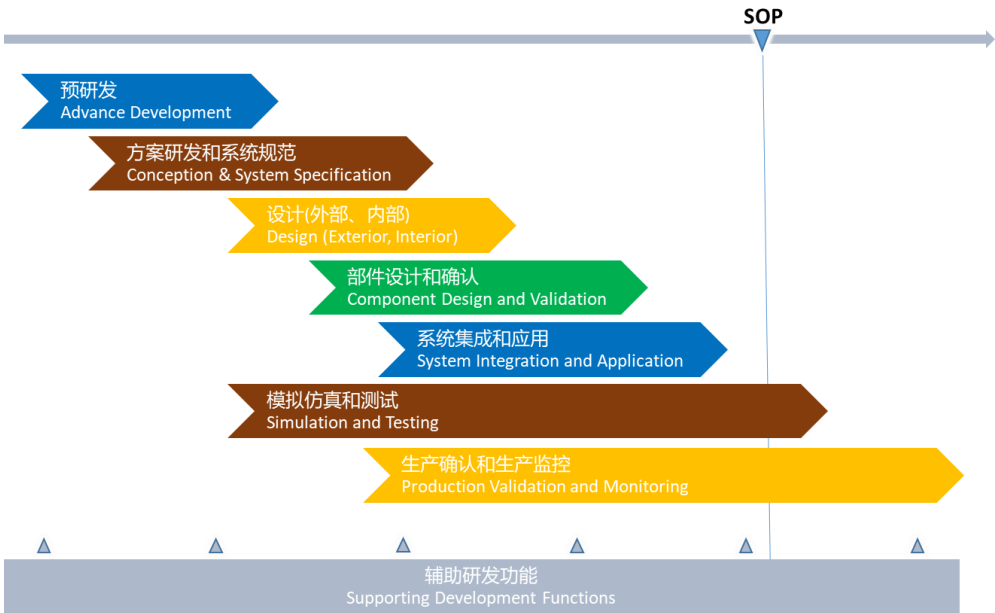


图 8: 汽车研发价值链 - 主要研发业务一览

由于工业客户外包给外部合作伙伴的份额越来越大，工程技术外包服务商在德国也越来越受到政治关注。如果因为外包降低了工业企业客户本身的工作条件和工资水平，导致核心竞争力被削弱，外包委托项目和计划就会在工业客户内部阻碍重重，甚至最后被撤销。

员工招聘方面工程技术外包服务商往往直接从大学或从其他工程技术外包服务商竞争对手那里招聘，但是，这个行业的从业人员流动性非常高。工程技术外包服务商客户经常要通过不断的招聘来源扩展其内部研发。在许多情况下，工作条件是工程技术外包服务商跳槽的原因，比如跟有工会的大企业相比更长的工作时间和更低的薪酬透明度都起到了推波助澜的作用，因为没有工会的保障所以在德国工程技术外包服务商内部员工之间薪酬水平相对差异较大，薪资高低都是基于的个人谈判的结果。

4.3 机遇和挑战

近些年工程技术外包服务行业的发展不断显示出高度集中，兼并重组的趋势。特别是随着一些法国 A 打头的母公司比如: AKKA, ALTEN, ALTRAN 和 Assystem-Gruppen 以及在 ATON 集团下 EDAG 包含 Ruecker 的兼并重组，产生了一批超大型的工程技术外包服务国际集团公司。而且整合仍在继续，未来几年内将有更多的收购和并购在汽车制造商或供应商以及工程技术外包服务行业之间进行。与此同时这些巨头通常又必须根据客户需求不得已被拆分为站点级（紧邻工业客户所在地）一些小公司。这种模式对在工程技术外包服务商中建立共同决策机制构成了重大挑战。

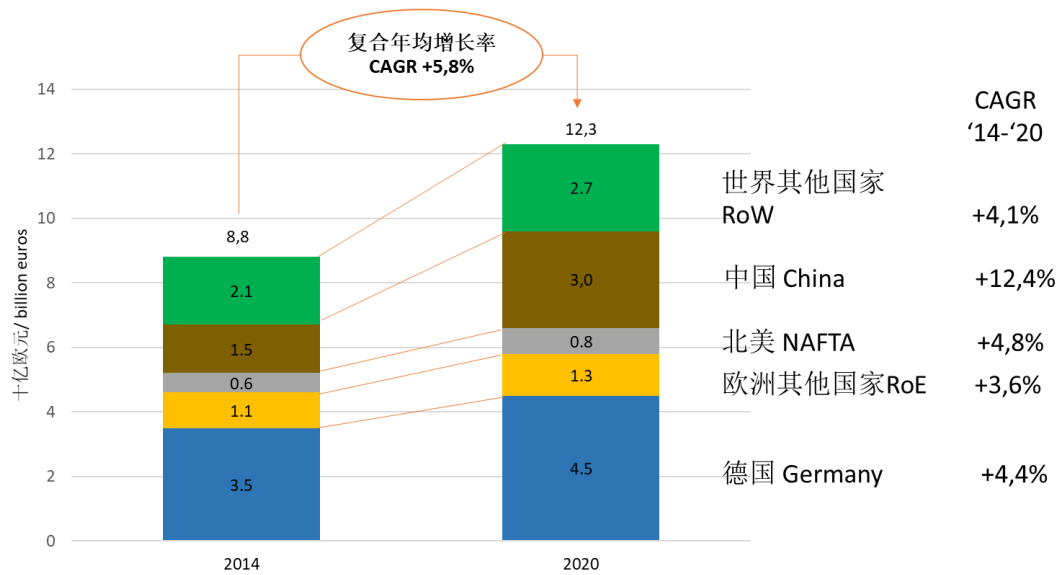


图 9: 汽车研发外包服务 - 全球乘用车研发市场发展。来源: © Berylls Strategy Advisors

还有就是随着价格压力的不断加剧，像 ONLINE-招标（采购通过互联网来快速竞标）这种形式变得越来越普遍。工业企业客户自己占股持有的工程技术外包服务商公司（例如 IAV, PSE, BEG 等）虽然有先天优势，但是也无一例外要参加竞标。

面对价格和成本压力，工程技术外包服务商只能通过将子项目继续分包给较小的工程技术外包服务商或者在发展中国家（比如印度）自己建立的分公司，又或自由职业者来做出应对。这导致工程技术外包服务商金字塔顶部有一些大的工程技术外包服务商，第二和第三个项目分配阶梯上有许多较小和海外的工程技术外包服务商。

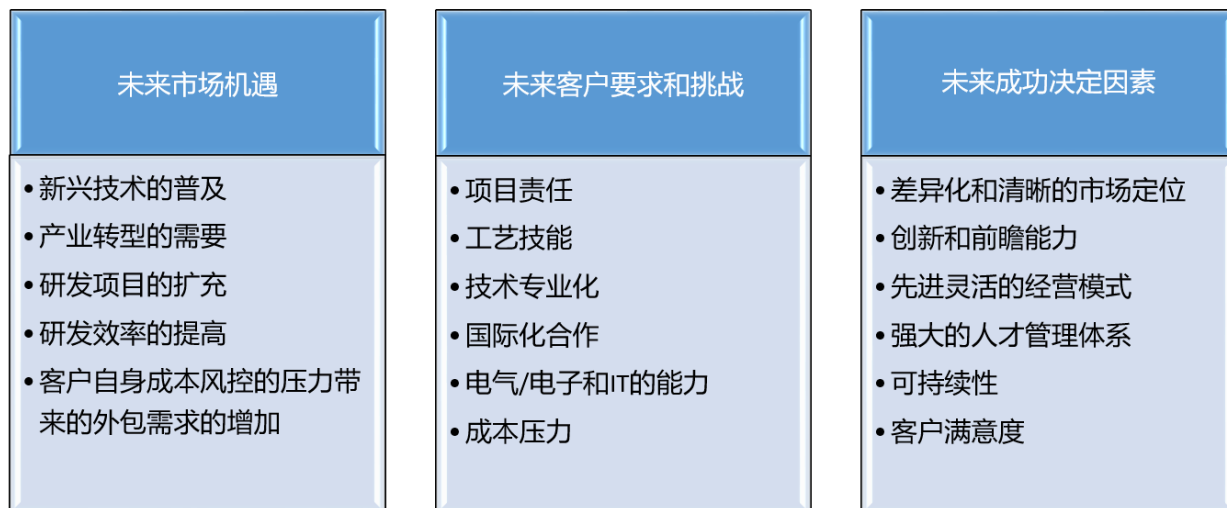


图 10: 汽车工程技术服务行业趋势前瞻

所以近年来，工程技术外包服务商客户的外包实践发生了巨大变化。为了降低交易/协调成本，都在致力于规模更大，更复杂的整体大型项目的招标，以及设法提供系统集成的整套解决方案。

在中国，自 2000 年以来，汽车市场特别是乘用车市场大规模发展，外资品牌通过在中国设立自主研发中心，合资公司及生产基地进一步拓宽市场，自主品牌技术及营销亦日渐成熟。欧洲工程技术咨询类公司于 2005 年来，随着其在欧洲原有客户在中国发展逐渐在中国设立分公司，以求加强与其在欧洲原有客户合作发展中国市场。

随着近 20 年来技术外包在中国汽车行业的发展，一些自主品牌主机厂亦开始沿用欧洲主机厂模式进行技术外包，但公司内部尚未建立相对的体系，双方的合作也面临沟通不顺，需求不明确等种种挑战。国内整车厂商在产品开发的组织体系及人员方面、产品开发工作的组织方面、产品开发过程方面等均存在着差距；在欧洲有很多非常成熟的汽车制造企业，它们的历史可能有半个世纪乃至更久，他们对于把什么业务外包和如何外包有很好的理解，他们的询价表、客户要求说明书（RFQ、SOR）通常都很明确，但中国企业在这方面因为缺乏经验和感知而较弱。

相信在未来，随着中国汽车行业日渐成熟，与工程技术咨询公司的合作不断磨合下，这一行业亦会进一步在中国发展，共同努力发展技术及扩大服务业务范围。未来 5 到 10 年，技术外包和工程服务将扮演越来越重要的角色，机遇永远是和挑战并存的。

5. 欧洲领头羊德国汽车工业发展现状综述

胡静文（德国）

回首 2019，无疑对全球汽车行业来说是艰难和苦涩的一年。全球车市销量都纷纷下滑，众多车企和供应商面临资金困境。

根据德国汽车工业协会 (VDA e.V.) 所披露的信息, 2019 年, 世界范围内共售出 8010 万辆汽车, 这个数字比 2018 年减少 5%, 是近 20 年来最大的下滑。

原因不仅是全球经济低迷动荡和中美贸易战, 还包括汽车行业的新四化过渡以及由此带来的转型压力。2020 年, 全球销量数字预计将进一步下降到 25%。

虽然 2019 年宝马奔驰奥迪大众保时捷 (BBAVP) 三大车企和五大品牌都逆势而上, 实现了全年销售量的持续增长, 交出了不错的答卷, 但是与此同时, BBA 和几乎所有的德国车企和供应商也都公布了消减开支的紧缩计划。与此同时, 车企仍需不断加大创新力度, 避免在技术淘汰赛当中落后, 这一波反向操作, 让局势变得更加复杂。

按照现在的剧情发展, 几乎可以肯定的是, 2020 年将是挑战更多的一年: 行业分化加剧, 动荡如火如荼, 加之欧洲严格的环境法律法规的推行, 以及新冠疫情的毁灭性打击, 德国汽车行业在 2020 年的日子更加艰难!

5.1 汽车新四化-让人憧憬的美丽新世界?

电动化, 智能化, 网联化, 共享化的变革将带领汽车行业在美丽新世界里勇往直前:

加速性能卓越的电动汽车凭借绿色电力可以飞驰数百公里, 碳中和的共享出租车可以部分替代城市的个人交通, 联网汽车使用 5G 通讯技术提前预知交通拥堵状况和降低发生事故的风险。

如此描述的画面让人憧憬, 但何时能够实现, 依然是个未知数。

虽然调查显示德国大多数普通民众对汽车新四化都不是特别感冒, 但不可否认的是, 德国汽车工业在关键的 电子, 软件, 数字化和自动驾驶领域结构性突围和转型也正在全面展开。

在这种客观条件下, 突围和转型需要的不仅是勇气和信念, 更需要高效的团队和精简的组织架构作为保障和依托。因此, 奥迪和戴姆勒, 博世和大陆在 2019 年年底都陆续宣布了财政紧缩和岗位优化的计划, 大家纷纷调整生产配额, 计划性的减少短期劳务合同, 提高缩短工时的比例, 于是乎更多的就职于汽车制造商和供应商传统领域的员工感到压力或陷入困境。

新四化带来科技的革命之前, 似乎更多的是转型的阵痛。

德国汽车厂商深深感到了巨大的压力, 压力不仅来自于企业外部的市场和政策, 更来自于企业本身的资金和体制, 必须未雨绸缪, 高筑墙, 广积粮, 为之后的战略突围的高投入积攒物力财力, 甚至不惜壮士断腕, 自我革新。

深入德国, 就让我们从不同的维度来解读这场变革吧。

5.2 电动汽车最终会脱离利基市场吗?

PA Consulting 的汽车专家 Michael Schweikl 提到。汽车制造商将面临超过 140 亿欧元的二氧化碳罚款, 大众, 戴姆勒和宝马将承担近一半的罚款。

PA Consulting 的一项新研究显示, 欧洲 13 家领先的汽车制造商中没有一家能够实现 2021 年的目标, 这将使他们面临总计 146.5 亿欧元的潜在罚款。该预测预测, 大众汽车集团将受到 45 亿欧元的罚款, 戴姆勒将受到近 10 亿欧元的罚款, 宝马将受到约 7.5 亿欧元的罚款。

为了实现排放目标，欧洲的汽车制造商必须在 2021 年前再增加 250 万辆纯电动汽车，以实现排放目标，这实际上是不可能的。“汽车制造商缺乏足够的时间来足够快地减少排放并避免罚款。”于是，低排放车辆的销售，营销和价格策略都至关重要。

在气候保护的大旗下，没有人可以逆转内燃机车辆的逐步减少和电动化汽车的逐步增加的大趋势，更严谨一点可以说，电力来自可再生能源的绿色氢燃料或电动汽车的逐步普及是大势所趋。一方面，在减排驱动下，德国纯电动汽车的新注册量明显增加。然而，它们的市场份额暂时仍然很小，到目前为止，对于许多消费者来说，纯电动汽车依然太昂贵且不切实际。梅赛德斯奔驰就深刻的感受到了德国民众对电动汽车的消极态度：去年 11 月，该汽车制造商仅仅售出了 19 辆 EQC 电动 SUV，算上此前 2019 年在德国的所有销量，只有寥寥的 55 辆汽车！

为了使民众早日接受电动汽车，德国政府决定提高和延长电动汽车购买补贴，延长的电动汽车“环境奖金”将提供至 2025 年底，其中一半由车企承担，并且新冠期间政府补贴部分翻倍。目前算上补贴，即使在较低价格区间，也有众多的电动汽车车型供对电动汽车感兴趣的新兴购买群体选择，并且变得对他们更加有吸引力。这笔补助资金在这个时间节点上显然是雪中送炭，德国政府似乎预料到未来电动汽车强劲和稳定的增长趋势。但是，较低的购置成本并不是全部。电池的续航不足带来的里程焦虑也不能忽视。

大众汽车正试图用全新的 ID.3 电动系列来证明自己，改变公众对电动汽车的固有认知：纯电动汽车型不但可以卖的便宜，并且在充满电池的情况下也可以行驶数百公里。此外，充电网络的建设进展也向积极一面发展。根据德国能源协会 BDEW 的评估：在德国，虽然地区性分布密度差异仍然很大，但是充电桩的铺设已经取得了长足进展。截止至 2019 年底，德国境内目前大约有 24000 个公共充电桩，比上一年增加近 50%。根据 BDEW 充电桩的注册数据显示，快速充电站在其中的占比约为 15%。

与此同时，德国目前大约注册有 22 万辆电动汽车和插电式混合动力车，这相当于平均每 9 辆电动汽车或插电式混合动力车共用一个充电桩。在接下来的两年中，德国将新建 50000 个公共充电桩，其中 15000 个由汽车制造商承担- 比如宝马计划至少建造 4100 个充电桩，其他车企也打算同样跟进。为了使电动汽车真正与日常使用兼容，并且可以便捷的在停车场，地下车库和工作场所中充电，德国政府还计划对建筑物和租赁法进行许多更改。虽然许多充电站正在规划中或在建设中，但还需要提高速度。尽管德国的大城市及其周边的卫星城已经修建了众多充电站，但在德国大面积的农村地带，充电桩的铺设数量仍然紧缺。

总之，大环境还是乐观的。随着欧洲 WTL P 和 RDE 测试新规的全面执行，碳排放法规趋严，锂电上升为全欧战略，各国补贴全面趋向纯电，2020 年是欧洲和德国电动大爆发的一年，电动汽车在欧洲逆势而上，前 7 个月欧洲电动汽车的上牌和销售量已经超出了中国，8 月 9 月继续销量暴增，再考虑到中美两国的退补因素影响，新能源车主要驱动力大概率会由中美转移至欧洲。

5.3 失业恐惧和企业重塑- 转型带来的压力？

过快地电动化转型也让德国行业工会产生担忧：电驱动跟内燃机相比零件少很多，而且需要高度专业化的工作。杜伊斯堡-埃森大学汽车研究中心（CAR）进行的一项研究表明，到 2030 年，德国制造商和供应商将失去近 23.4 万 个工作岗位- 他们将是汽车行业动荡中的第一大输家。

实际上，德国本土的汽车产量已经在下降：据 CAR 称，2019 年全年德国本土的汽车产量为 467 万辆，为 22 年来最低值。1997 年，德国本土在世界市场生产中所占的份额仍然是 10%，到 2019 年，这一比例却下降到了 5.9%。

但是德国的车企还是最大限度的采取了克制和人性化的被动裁员方式：

比如德国企业有一个应对经济危机的法宝，就是短时工制度，这一制度已经有 100 多年历史，被诺贝尔经济学奖获得者克鲁格曼誉为具有“劳动力储藏”功能的政策。短时工制度是指企业通过缩短工时、临时降薪、安排培训或休假等措施与员工共同渡过危机，尽量避免裁员。2008 年全球金融危机时，几乎所有的汽车行业相关企业都遭遇了销售额下降的冲击，但是德国公司并没有因此而裁撤任何员工，而是利用这个经济低谷时期让员工接受短时工制度，然后国家给与员工相应的补贴。

所以这次许多公司也制定了相应的转岗和培训计划，以帮助员工从传统领域过度到新领域。同时，成千上万的传统内燃机和汽车岗位进入了裁撤名单。奥迪将在 2025 年之前在德国消减 9,500 个岗位；与此同时，在电动汽车和数字化等领域又将创造 2,000 个新工作岗位。并且公司宣布不会进行强制硬性裁员。在戴姆勒，紧缩计划将在未来三年内至少造成 10000 个工作岗位的消减 – 虽然工会对该计划表达了严重的抗议。跟奥迪一样，戴姆勒主要的裁减形式也是靠发放遣散补助，鼓励主动离职和提前退休，进而不再填补空缺职位，同时保证直到 2029 年年底之前没有强制裁员计划。戴姆勒希望通过以上计划到 2022 年底节省约 14 亿欧元的人员成本。

众多德国供应商也是同病相怜：博世和大陆那些无法或不想从机械液压等传统部门转到到电子软件等新兴部门的员工正在此起彼伏的发出抗议。大陆集团到 2023 年的重组可能会影响 15000 个工作岗位，其中 5000 个在德国。如果按照“置之死地而后生”的节奏来看，这一切还只是刚刚开了个头。

越来越多的德国企业和机构要求政府重新考虑对陷入困境的公司实施工时缩短补助津贴政策。其中 IG BCE 工会正向联邦经济部长彼得·阿尔特迈耶（CDU）施加压力，但是至今尚未提出结论性的方案。

5.4 德系车企 vs 特斯拉- 猎人还是被猎杀？

毋庸置疑，德国汽车制造商既不愿成为气候变化的旁观者，更不愿意后知后觉的成为“汽车行业的诺基亚”而沦为笑柄，他们似乎已经意识到了这次行业转型过程的紧迫性。

大众宣称到 2024 年将在纯电动汽车上投资约 330 亿美元，并且在筹建自己的电池电芯工厂。

竞争对手宝马则决定将继续从中国的电池领头羊宁德时代购买电芯，巴伐利亚人与 i3 曾经是小型电动汽车的先驱，不过这么多年来却一直坚持对各种驱动形式同时保持开放的技术战略。

根据宝马自己的声明，他们现在总计已经售出了 50 万辆电动和混合动力汽车。宝马计划到 2023 年生产 25 款电动汽车型，其中一半以上为纯电动汽车型。

戴姆勒则把重心放在纯电动 EQ 系列，尤其是 SUV 车型 EQC 和 Van 车型 EQV。

与此同时，竞争对手特斯拉（Tesla）正在德国柏林郊外攻城略地：创始人埃隆·马斯克（Elon Musk）希望在勃兰登堡的格吕海德建立一个“超级工厂”。预计将于 2021 年底在当地生产紧凑型 SUV Y 型，电池和驱动器。

另外特斯拉在柏林正在建设一个工程设计研发中心。去年年底，上海的特斯拉超级工厂仅用十个月就实现了从无到有，开始量产的中国奇迹，不但让德国人惊呼不可思议，甚至还让马斯克本人兴奋的翩翩起舞。

特斯拉的这波神操作，会引起德国车企的绝地反攻么？会威胁到德国汽车在行业的市场和地位么？会影响德国雇主们对汽车和软件顶级人才的吸引力吗？

目前看来，德系老板们努力将美国人的宣战转化为一种激发自己的动力，对此他们的反馈是：我们不会畏惧特斯拉，因为创新的推动会使所有人受益。

德系车企还一致认为，特斯拉在大批量生产电动汽车方面困难重重。

5.5 智能网联-“德国制造” vs “美国超人”？

在这一大波趋势中，美国人在许多方面领先于德国人。

数字化意味着工厂生产的进一步自动化-随着汽车本身附加功能属性的增强，汽车或将成为带着四个轮子的智能手机，学术一点的说法是：汽车将成为软件定义的智能移动终端。

互联网、半导体等科技巨头跨界进入，汽车产业竞争格局在重塑、核心价值链也在重构。

新年伊始，大众汽车(Volkswagen)首席执行官赫伯特·迪斯(Herbert Diess) 便在对高管的演讲中振臂高呼，传统汽车制造商的时代已经结束了。

汽车行业正在经历一场“彻底的变革”，以使汽车比以往任何时候都更环保、更智能。大众的未来在于成为一家数字技术公司，随着该行业进入数字时代，大众需要做出紧急改变，变得更像一家科技公司。

他警告称，这家德国汽车巨头要想留在这个行业，只有“一次机会”。

戴姆勒首席执行官 Ola Källenius 则展现了更积极的态度，他在“Binn am Sonntag”中说：“这不是经济危机，市场将会再次迅速回升。”他说：“我们目前正在从根本上改变汽车行业，因此我们也正在改变这家公司。”

制造商几乎无法独自包办所有这些智能化的技术应用。大众依靠与 Microsoft 合作的云服务，最终的想法是在将来用云控制整个车队 – 包括客户售后服务，维修保养和各种升级服务的接口，例如电动汽车的充电和计费软件。

这就是全面的汽车智能网联“生态系统”，也是其他汽车制造商和供应商未来投资的重点之一。新的大众高尔夫就让人耳目一新，所有仪器都是数字化的，信息娱乐显示和投影也会出现在驾驶员的视野中。

未来的汽车之间也将彼此链接（“车对车 car-to-car”）并与基础设施（“车对其他设施 car-to-x”）通信，这将优化交通流量。

像德国大陆集团这样的供应商在这个领域就表现不错，但是来自美国和中国的竞争却从来没有间断过。另外，哪种数据保护标准应适用于预期的大量信息储存和交互仍然是一个很大的未知议题。

5.6 自动驾驶- 人类和机器人的控制权之争？

高度自动化的汽车以及一天完全自动驾驶的汽车的开发与通用网络密切相关。

但据专家称，德国人已经落后于美国公司，例如 Google 的 Waymo，后者正在其测试 Robotaxi 服务。面对美国科技公司，汽车业传统竞争对手之间开始寻求结盟，这在过去是不可想象的：戴姆勒和宝马正在合作开发“机器人汽车”，大众和福特也是如此，后者正在向 Argo AI 公司投资数十亿美元，用于开发自动驾驶汽车。

戴姆勒首席执行官康林松说：“我们关注可靠的整体系统，而不是单独的隔离解决方案。”

在美国圣何塞，斯图加特的戴姆勒正在与博世合作对自动驾驶汽车的乘车共享服务进行测试。但是，这里也出现了一些基本问题：

到底有足够的客户想要完全被机器人控制吗？

自动驾驶到底是“让机器人驾驶汽车去解放人类”还是人类之后主动或者被动交出汽车控制权？

所以经过慎重评估戴姆勒已经承认自动驾驶出租车项目挑战大于预期，市场前景不明朗，所以现在把自动驾驶的研究重心转向更能产生经济效益的卡车自动驾驶项目上。

无人驾驶汽车真的更安全吗？正在陷入分析事故决策困境的汽车保险公司和道德分析师之间的争论也才刚刚开始。

然而，在德国也可以找到自动驾驶汽车发展的积极例子：比如供应商博世在未来的自动驾驶开发中也将研发和生产激光雷达。

激光雷达的工作原理与雷达类似，但是它们不发射无线电波，而是发射激光束来定位障碍物。博世说，这样做的目的是为了使这项技术适合普通消费者，价格上更有优势，博世计划通过将激光雷达与常规雷达和摄像机相结合多传感器融合的方案来最终实现自动驾驶。

5.7 多元化的新服务- 纯汽车制造急需拓展新属性？

对于许多年轻人来说，汽车已经不再是身份的象征。

这也是制造商必须在商业模式中寻求突破的原因，这些商业模式显示他们可以在“共享经济”中赚钱。在城市中，更多的顾客更喜欢租车而不是买车。共享汽车是朝着这个方向进行的首次尝试。

车企大都转向合作的模式：通过合并后的 Car2Go 和 DriveNow 产品，戴姆勒和宝马虽然放弃了北美市场，但在欧洲的大城市找到了许多新用户。戴姆勒和吉利也将在中国推出豪华轿车共享服务。

在德国，共享汽车已是一个利基市场。虽然大众在汉诺威叫停了其第一个共享汽车 Quicar 项目，但是现在正试图通过 WeShare 的方式更加坚定的在柏林尝试电动共享汽车，接下来将会在更多的城市推广。

其他更加多种多样的服务正在慢慢把汽车制造商转变为出行服务公司。几个客户通过拼车使用同一辆车让公共交通公司也参与了进来：例如柏林地铁（BVG）的 BerlKönig 或德国铁路的 Clevershuttle，大众共享出租车服务 Moia 也飞驰正在汉堡和汉诺威的路上。

5.8 经济的不确定性- 惩罚性关税是否正在威胁汽车行业？

当全球经济表现不佳时，汽车行业首当其冲。

在许多国家经济增长停滞不前，这抑制了市场和销售，这是出口导向型行业的普遍问题。德国商会（DIHK）预测许多德国企业都将面临一场严峻的考验。

更糟的是，与美国之间正在进行的海关争端使所有国际贸易蒙上了阴影。

可能的惩罚性关税也是一个巨大的危险。

美国总统特朗普一直威胁要提高德国制造商 25% 的进口关税，并且在前几天的达沃斯论坛公开宣称，跟中国的贸易战已经告一段落，现在可以腾出手来收拾德国了。

经济学家和诺贝尔奖获得者保罗·克鲁格曼（Paul Krugman）在接受德国商报《Handelsblatt》采访时警告说：“前面就是万丈深渊！惩罚性关税将带来很大的不确定性，这反过来又会阻碍对该行业的投资。经济衰退是可以想象的，因为汽车行业在欧洲起着重要作用，而美国市场对该行业而言也不可或缺。”

但是克鲁格曼还明确表示：“如果要发起争端，就需要一个好的保证必胜的策略来兜底。但是特朗普忽略了一点：欧盟作为一个经济体与美国相当，如果以牙还牙，它也可以对美国造成巨大损害。”

5.9 中国市场决定成败- 汽车行业有望在今年触底反弹？

世界头号汽车供应商博世（Bosch）预测全球汽车产销量到 2025 年都将停滞不前。

但是也有不同声音的好消息传出，杜登霍夫教授就（Dudenhöffer）预计，虽然到 2020 年汽车需求将进一步小幅下降至 7800 万辆，积极的信号显示，这一数字将在 2020 年触底反弹，而且从 2020 年中开始将会有所好转。中国已经战胜了空前新冠疫情，随着全国上下一起努力，疫情得到控制，车市也已经触底反弹。

尤其是从 2020 年开始在亚洲和中国很有可能会实现新的增长，因此全球汽车市场到 2025 年将增加 1000 万辆新车，或增长 13%，达到 8800 万辆汽车。

但是欧洲疫情的反复对于原本就处于下滑趋势的汽车市场无疑变得雪上加霜

不过如果真像杜登霍夫教授预测的那样，德国汽车制造商的前景似乎并不那么糟糕：

- 大众可以成为全球电动汽车市场的领导者，并扩大其市场领导地位
- 戴姆勒则将通过与中国制造商吉利和北汽的合作扩大实力
- 对宝马而言，必须了解与长城的合资企业如何更好的继续发展

更重要的是，将来这些竞赛的主舞台都在中国，中国政府希望通过各种便利和优惠政策迅速地把世界主要新旧造车势力都吸引到中国来，并想方设法让他们把新能源车生产基地都放在中国，从而将未来汽车出行产业的整条供应链也从世界各地吸引过来，同时最快速地形成新的新能源汽车的产业发展格局和周边产业机遇。

正如去年有篇写新势力的文章里写到：弯道超车，说的不是在造一台车的技术上弯道超车，也不是在所谓的新四化上获得多大的技术领先，而是依靠廉价甚至亏本的基建，实现中国汽车产业的中心化。

而德系车企和供应商作为这个战略的重要参与者，似乎在中国已经布好了局。

在这幅图景下，德国汽车制造商的前景比许多分析师所看到的更好，虽然未来充满挑战，但是前途仍是一片光明。

6. 总结

涉及“旧”汽车技术(„old automotive“)领域的部门被逐步拆分，涵盖“新”汽车技术领域(„new automotive“)的部门正在被并购整合，这一进程正在进一步快速推动全球汽车产业链的快速转型！例如，未来电动化和自动驾驶技术的应用关键越来越依赖于复杂且运行良好的软件解决方案，软件解决方案的开发对于汽车行业正变得至关重要，甚至将有可能改变整个汽车行业的竞争格局。对于大部分 OEM 来说，由于时间，技术重心以及开发复杂性等等的客观原因，车企们无法在短时间内实现内部的整体软件开发。他们因此而会选择与大量的初创企业或知名软件开发商合作，或将第三方供应商预先开发的软件解决方案集成到他们的汽车硬件中。

这预示着，汽车行业内对未来新四化技术（C.A.S.E）的研发支出将会越来越惊人。各大 OEM 和汽车供应链企业开始慢慢意识到，或许只有抱团取暖，整合资源，才有可能在未来突出重围，“活着”找到出路！

当前到今后很长一段时间工业价值链的重组与产业转移都应该是关乎欧洲汽车行业经济竞争力的产业政策讨论的核心。作为企业重组战略的一部分，数字化和工业 4.0，汽车电动化，IT 大数据，智能网联，自动驾驶等议题自然成为了各大企业董事会议程上的重中之重。在这样的大背景下就更需要创建互补型的混合工业结构来支持技术发展和应对风险。

“今天的乌托邦，明天的肉和骨”这是法国作家维克多·雨果在 19 世纪所描述的工业革命带来的催枯拉朽的影响。未来几年，汽车行业也将面临同样深刻的发展和变革。通过前瞻性和及时的措施，相信未雨绸缪的企业和从业者都可以从这些“激动人心”的趋势中获益。

作者简介

胡静文，2008 年毕业于德国斯图加特大学汽车与发动机硕士专业，十二年汽车行业相关经验。参与了戴姆勒，保时捷等多家德国车企大客户的研发项目。目前就职于某德国世界顶尖一级汽车供应商动力总成前瞻研发部门，负责技术战略转型和新能源系统构架及技术方案集成等。

徐鸿鹄，机械工程自动化学士，现就职于某德国顶级汽车供应商，负责电动助力转向系统应用项目的开发与管理。三年产品设计，八年技术项目管理经验。机器人和无人车领域两年机器学习算法实战经验，重点研究领域：底盘和无人车控制技术，功能安全。

唐华寅，博士，英国迈凯伦汽车电驱动电控系统主任工程师，负责整车控制、电池管理、电机控制、功率电子控制等电控系统的构架于软件开发。

欧洲四大华人汽车协会简介

全德华人机电工程学会

全德华人机电工程学会于 2005 年 11 月成立，在德国斯图加特法院正式注册，是侧重于高层次人才的专业团体。学会现有会员 800 余人，39 位特聘专家，多数分布在博世、奔驰、宝马、大众、奥迪、保时捷、西门子、大陆、舍弗勒、采埃孚、马勒、摩天宇等知名跨国企业，也有少数就职于德国科研机构的研究人员和高校的教授及博士后。许多人已在德十几年甚至二、三十年。他们既是本行业资深专家，同时也对德国企业、研究机构及高校的管理和发展，德国经济、技术及市场发展趋势有直接体验和深入了解，并通过多年生活与工作经历，结识了许多德国各界精英，是本会重要的高端智力资源。依靠丰富的人力资源，学会致力于在教育界、科技界和工业界进行多层次、全方位的学术交流与合作。

法国华人汽车工程师协会

法国华人汽车工程师协会是一个非盈利性的专业技术团体，2016 年 11 月底在大巴黎区警察局注册，正式成立。法国是个传统的汽车大国，拥有三大汽车品牌（雷诺、标致、雪铁龙）和两大整车公司，多家国际知名的汽车配件公司（米其林、法雷奥、佛吉亚、法国汽车塑料制品公司等），还有众多的汽车技术咨询公司和科研机构。据不完全统计，仅在法国整车公司和配件公司工作的华人就有近 400 人，他们从事技术、管理、采购等方面的工作，有的已是行业内知名的专家和高管。法国华人汽车工程师协会是法国唯一的以华人为主体的汽车协会。协会的宗旨是团结广大在汽车领域工作的华人，增进他们之间的交流和友谊，同时，在中法友好互信的大背景下，推动中法汽车行业的交流与合作。

全英华人汽车工程师协会

全英华人汽车工程师协会（UK Chinese Society of Automotive Engineers）是在由华人组建的非盈利性英国汽车行业专业协会。最初筹创于 2002 年，2019 年在英国正式注册，当年 11 月在英国伦敦举办成立仪式。协会旨在为现在或曾经在英国汽车行业从业的华人提供支持，并与相关的专业协会或组织合作，搭建平台促进中英之间、以及国际汽车界同行之间的交流与合作。

协会目前拥有成员近 400 人，成员覆盖在英国整车企业、供应商、研究所、大学等机构工作和学习的华人与华裔。

协会成立以来，已经成功组织过十次线上技术研讨会。研讨会在互联网平台上免费开放，平均每次参与观众有百人左右。还会邀请数位相关领域的资深专业人士与主讲嘉宾一起就研讨话题进行问答和讨论，主讲嘉宾与研讨嘉宾均为协会成员。研讨会主题从内燃机到新能源及自动驾驶与电子控制，从理论、技术运用到产品的商业化，覆盖广泛。

奥中科技交流协会

奥中科技交流协会成立于 2011 年，是一个由旅奥华人专家学者及科技人员组成的非盈利民间团体组织，英文简称: PASCO，协会的宗旨是联络旅奥华人专家学者及科技人员，增进交

流与沟通，促进中奥科技交流与合作。奥中科技交流协会荟萃了在奥地利的高层次华人专家学者，成员主要由具有博士学位的专家学者组成，他们分别是活跃在奥地利大学，科研，工业企业和政府机构的教授，研究员，国际知名公司高管，跨国大公司高级工程师和技术人员，以及博士后与博士研究生等。其专业涵盖信息与通讯技术，量子信息，能源，生物医药，机械制造与工业电子，环保节能，土木工程，地质，经济，商务，翻译等多个领域，是旅奥华人科技水准最高、涵盖领域最广的社团组织。协会在奥地利和中国与很多大学及科研机构，企业和地方政府机构建立了广泛的合作关系，并每年组织或参与多项中奥科技交流活动，创新创业及人才交流活动。



封面设计：徐宏明

