

汽车产业变革的特征、趋势与机遇

赵福全^{1,2}, 刘宗巍^{1,2*}, 郝瀚^{1,2}, 史天泽^{1,2}

(1. 清华大学, 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084, 中国;
2. 清华大学 汽车产业与技术战略研究院, 北京 100084, 中国)

摘要: 针对当前汽车产业正在发生深刻变革的复杂局面, 从引发产业变革的根本驱动力切入, 从价值链规律、产业格局重构、产品属性变化等不同维度, 系统分析了产业变革的特征与趋势, 指出汽车产业的内涵与外延正在不断扩展; 综合辨析了智能化与网联化的关系、发展路径、商业模式、产业平台公司及出行转型策略等智能网联汽车 (ICA) 的关键问题; 全面阐述了汽车智能制造的体系内涵、战略要点、未来图景及升级路径等核心观点。最后基于产业跨界融合发展的前景, 指明了制造体系升级和服务体系升级两大战略方向, 指出了当前中国汽车产业的主要发展机遇。

关键词: 汽车; 智能网联汽车 (ICV); 智能制造; 跨界融合; 产业变革; 科技革命; 发展策略

中图分类号: U 461.99 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1674-8484.2018.03.001

Characteristics, trends and opportunities in changing automotive industry

ZHAO Fuquan^{1,2}, LIU Zongwei^{1,2*}, HAO Han^{1,2}, SHI Tianze^{1,2}

(1. *State Key laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China;*
2. *Tsinghua Automotive Strategy Research Institute, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

Abstract: Aiming at the current status of massive changing in Chinese automotive industry, the characteristics, development trends and opportunities are discussed from the perspective of value chain, construction of total industry and changes of automotive products. Following issues are involved: the relationship between intelligence and connectivity; development roadmap and business modes of the intelligent and connected vehicles (ICV); the content and blue print of automotive intelligent manufacturing and the key points to realize it. Finally, basing on the trend of industrial cross-border integration, it is presented that the updating of manufacturing system and service system are the strategy directions in automotive industry, among which lies the major opportunities for Chinese automotive industry.

Key words: automotive; intelligent and connected vehicles (ICV); intelligent manufacturing; industrial cross-border integration; industry changes; technology revolution; development strategy

收稿日期 / Received : 2018-08-27。

基金项目 / Supported by : 国家自然科学基金重点项目 (U1764265)。

第一作者 / First author : 赵福全 (1963—), 男 (汉), 北京, 教授。E-mail: zhaofuquan@tsinghua.edu.cn。

* 通讯作者 / Corresponding author : 刘宗巍 (1978—), 男 (汉), 辽宁, 副研究员。E-mail: liuzongwei@tsinghua.edu.cn。

1 汽车产业进入全面变革的驱动力

以互联网、大数据、云计算、人工智能等技术为代表的新一轮科技革命，正在引发全球制造业的深刻变革^[1-2]。作为传统制造业中的集大成者，汽车产业也正步入前所未有的变革期^[3-8]。互联网公司、大数据公司、科技公司以及新型模式运营公司等外部力量纷纷跨界进入汽车领域，与传统整车企业和零部件企业一起推动产业加速转型升级，受此影响，车辆本身、车辆与用户、车辆与车辆以及车辆与外部环境之间的商业模式与生态结构将完全不同。在本轮变革过程中，汽车产业将与信息等相关产业实现空前紧密的相互融合，不仅改变汽车产业格局，而且波及能源、环境、交通等

领域并最终改变人类社会生活的方方面面，孕育着广度和深度空前的发展机遇^[9-13]。

如图1所示，当前汽车产业的深刻变革是科技革命与制约因素内外共同作用的结果。一方面，新一轮科技革命的主要代表技术都将在汽车领域得到广泛应用，从而为产业升级提供了强有力的科技驱动；另一方面，能源消耗、环境保护、交通拥堵和行车安全即所谓汽车社会的“四大公害”，给产业可持续发展带来的压力与日俱增，要求汽车产业必须化压力为动力，把握机遇提供全新的解决方案。由此导致本轮变革呈现全面转型升级的特征，涵盖了产品形态的重新定义、产业发展的全面创新、制造体系的重大升级和产业生态的深度重塑。

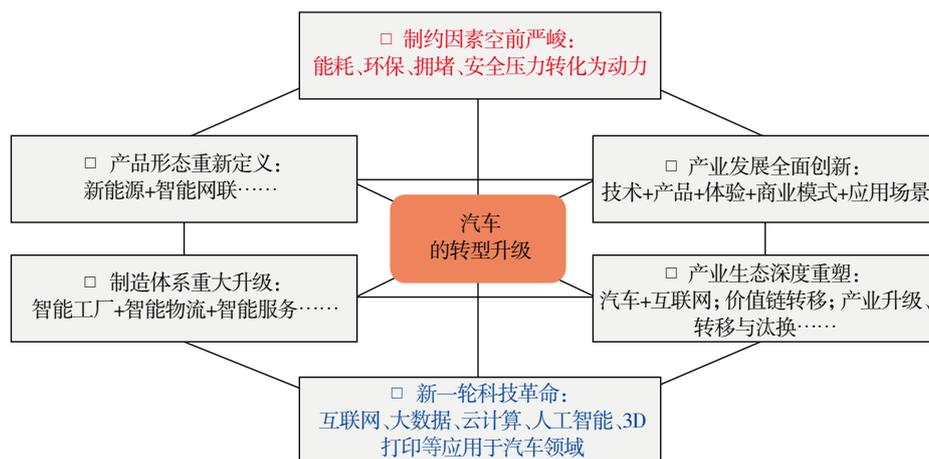


图1 汽车产业的深刻变革

本轮全面变革的驱动力，可以归纳为能源、互联和智能3大革命以及由此引发的6大革命性变化。能源革命，意味着电池、电机、电控即所谓“三电”，将成为新的核心技术，围绕“三电”技术将出现与传统产业链条并行的全新产业链。互联革命和智能革命，两者相辅相成，互为促进，意味着新的汽车核心技术、新的汽车制造模式、使用模式、维护模式以及新的基础设施，将会催生全新的产业生态。由此带来汽车的6大革命性变化：一是由信息“孤岛”向信息“海洋”转变；二是由人驾车向车自动驾驶转变；三是由耗能机械向可移动的储能供能单元转变；四是由拥有使用向共享使用转变；五是由汽车制造向汽车“智能制造”转变；六是由移动工具向出行服务转变，这是本轮汽车产业深刻变革的根本原因，将会带来前所未有的新机遇和新挑战，具体如图2所示，其中C2B(customer to business)即

消费者到企业，是互联网经济时代新的商业模式；B2B(business to business)是指企业对企业之间的营销关系。

2 汽车产业深刻变革的特征与趋势

2.1 汽车产业价值链变化的特征与趋势

从价值链维度看，汽车产业价值链已不能再以原有规律进行分析和评估^[14-15]。基于汽车产业“连接+数据”趋势对各个环节全面影响的系统研究，作者对制造业“微笑曲线”理论进行了修订和发展，从理论层面阐释了未来汽车产业的价值链规律，即在新形势下汽车产业价值链将呈现“总量上升、重心后移”的基本特征与发展趋势。总量上升意味着汽车产业价值体量将整体上扬，比以前创造更大的商机和价值；重心后移则是指汽车产业价值内涵向服务端，尤其是出行领域深度扩展，这一传统汽车企业很少关注的领域，将由于汽车产

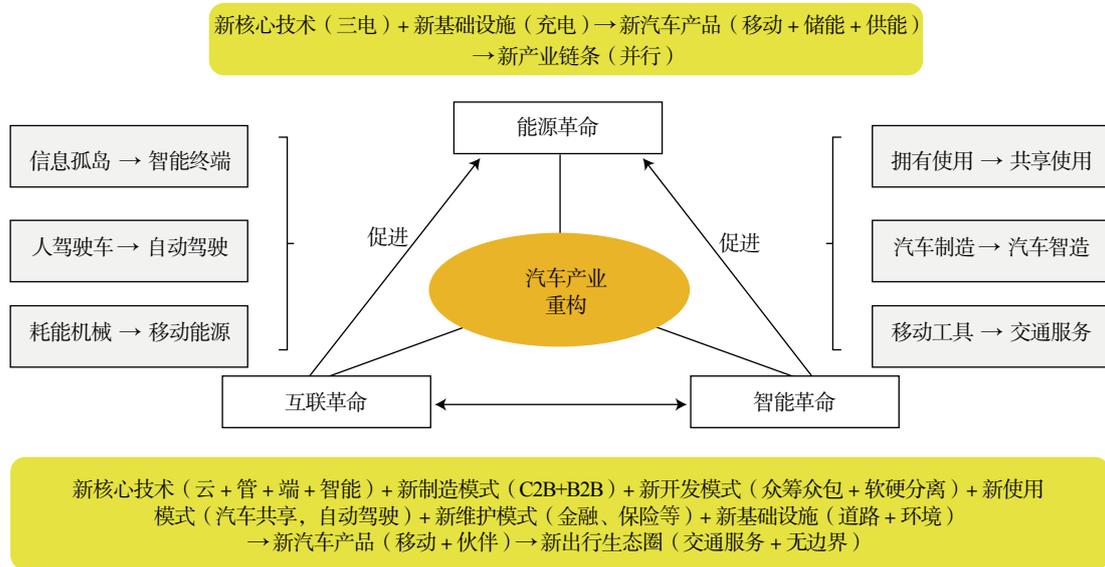


图2 三大革命驱动汽车产业深刻变革

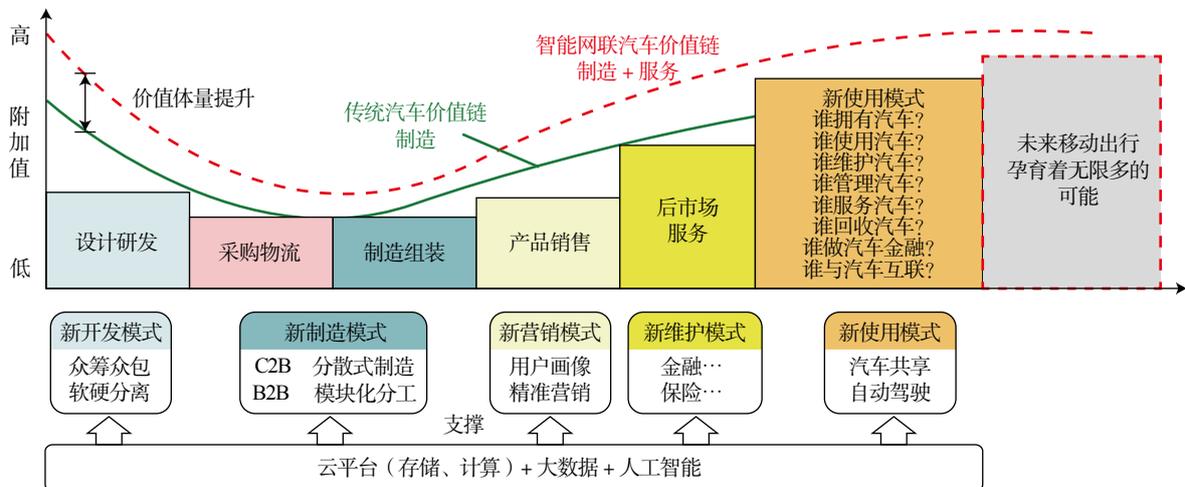


图3 汽车产业价值链的颠覆性改变

业价值链外延而产生巨大的商业发展空间，具体如图3所示。

传统汽车产业价值链聚焦“制造”，而未来新的汽车产业价值链则是“制造+服务”的集成。“服务”的增加并不只是体现在微笑曲线的后端，而是贯穿于汽车设计研发、采购物流、生产制造、销售及售后服务的各个环节，包括设计端的软硬分离、众筹众包，制造端的分散式制造、模块化分工，销售服务端的用户画像、精准营销以及全新的保险、金融等。这些都是“价值体量上升”的根本原因^[16]。

另一方面，汽车服务体系的升级与扩展趋势更为突

出，不仅将对整个汽车后市场，更将对人类出行方式产生深刻影响，从而形成全新的出行生态圈^[17-22]。在自动驾驶技术的支撑下，汽车共享程度将逐步提高，使汽车如何拥有、使用、维护、管理、服务以及回收等都发生根本性改变，出行服务逐渐被越来越多的汽车企业所关注并作为核心业务来布局发展，由此汽车产业的微笑曲线呈现出“价值重心后移”的新特征。

为应对上述变化，各类企业都必须努力围绕汽车全产业链实现数据的打通和价值的深度挖掘。对于汽车企业来说，要重视自身全产业链的数字化、信息化、智能化升级，这将带来企业运营效率的全面提升，并产

生新的商业价值；对于信息通讯技术企业而言，应把握机遇重点探索云平台、大数据、人工智能在汽车产业的系统化应用的战略机遇。

2.2 汽车产业格局变化的特征与趋势

从产业格局维度看，汽车领域的竞争格局正在发生重大改变，呈现“多方参与、竞争合作，你中有我、我中有你”的复杂态势。除了传统整车企业、供应商和经销商以外，信息通讯技术企业（以互联网公司最具代表性）、全新硬软件科技公司、新的运营商、服务商、内容商以及基础设施公司等不断融入汽车产业，使原本垂直线型的产业价值链逐渐演变成交叉网状的出行

生态圈。在汽车发展史上第1次进入产业渐趋无边界的局面。产业可以无边界，但企业经营不能无边界。汽车产业渐趋无边界与企业经营必须有边界正在成为新时代汽车产业的主要矛盾。汽车产业格局重构带来的最大挑战在于，无论新旧企业都面临着同样一个难题：究竟未来产业的核心在哪里？自己的核心业务应该如何定位？如图4所示，汽车产业从未像今天这样生机勃勃而又倍加复杂，诸多不同参与方都成为了未来出行服务生态圈不可或缺的重要组成部分，而没有任何一类企业能够拥有全部所需的能力。换言之，任何一类参与方其实都是不可或缺的，每一方都有各自的优势和短板，也都有不同的机遇和挑战。

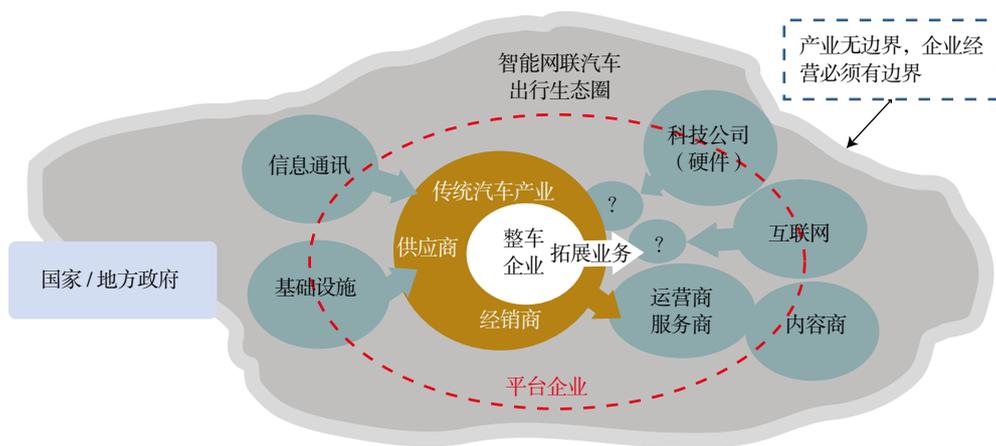


图4 未来汽车产业竞争格局的变化

为应对产业生态发生的巨变，各类企业都必须理清关键问题，找准自身定位，明确产业分工，调配内外资源，构建起自己的产业“朋友圈”并不断扩展，同时不断提升自身在“朋友圈”中不可替代的独特能力和优势，进而抢占未来竞争的战略制高点。实际上，当前全球主流车企几乎都在以收购、合资、战略合作以及孵化等手段，加强在车联网、大数据、自动驾驶和移动出行服务等领域的布局。作为案例之一，图5总结了丰田汽车构建自身“朋友圈”的情况，这家原本相对保守的传统汽车企业正以前所未有的力度不断加大出行服务领域的投入，以应对日益复杂的产业生态重塑，确保自己的核心战略地位。

总体而言，本轮产业格局重构将会引发汽车产业的本质发生改变，本文中将其总结概括为汽车产业即将进入全新的3.0时代。汽车诞生之初的1.0时代，是一个企业也即一家工厂独自打造汽车；在福特“流水线”

出现之后的2.0时代，形成了真正意义上的汽车产业，即出现了产业分工，形成了整车制造商、配套供应商以及汽车销售商的完整产业链，最终演变成今天这样一个健全产业打造汽车的繁荣局面；而即将进入的3.0时代，则是汽车围绕出行功能形成跨界交融的产业生态圈，多个产业一起参与打造基于汽车的未来移动出行(mobility)新业态。如图6所示。

正因如此，汽车产业的属性及其重要度也将发生改变。如果说，过去作为制造业的集大成者，汽车主要与制造业的安全息息相关；随着规模跃升至全球翘楚，汽车又成为国家能源安全、环境安全和交通安全的关键所在；那么，未来汽车的智能化网联化升级则使其成为信息安全的重要组成部分。全球对于汽车产业的重视程度不断提升，中国汽车产业在国民经济中的地位更是前所未有，且还在与日俱增。显然，对于后发的中国而言，汽车产业正迎来前所未有的战略机遇。



图 5 丰田汽车的出行生态布局 (截至 2017 年)

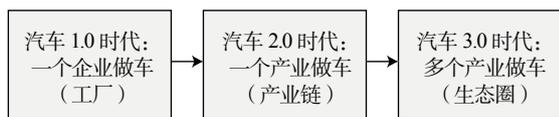


图 6 汽车产业的演变

2.3 汽车产品属性变化的特征与趋势

从产品属性维度看, 汽车将逐步由带有电子功能的机械产品向带有机械功能的电子产品转变。在此过程中, 汽车产品中硬件和软件的构成比例将发生显著变化。如图 7 所示, 当前, 汽车主要还是硬件主导定义产品, 各个不同的汽车品牌也主要基于硬件性能区分各自的产品定位和差异; 未来, 汽车中软件的比重将越来越大, 直至超过硬件, 由此汽车的产品属性和品牌定义都将发生根本性改变; 同时, 硬件和软件的开发基于完全不同的思维逻辑: 硬件靠换代升级才能实现技术进步,

而软件则可以通过迭代开发及“空中下载”(over the air, OTA) 技术进行在线升级, 实现产品的不断完善和技术的升级进步, 以满足日益提升的用户体验需求。相应的, 硬件的开发也必须采取全新的理念, 即必须为支撑软件的不断迭代升级而做充分的预留。未来最好的汽车产品必须做到软硬最好的结合, 为此制造业思维和互联网思维必须相互融合、有效组合。

当然, 硬件和软件其实是不可分割的, 硬件仍然是未来汽车的根基和必要条件, 而软件则是未来汽车的灵魂和充分条件。软件的强大必须基于优秀的硬件来实现, 如果没有好的硬件, 软件将成为无本之木; 反过来说, 如果没有好的软件, 再优秀的硬件也无法发挥出最佳的效能, 难以构成最优质的产品。因此, 在面向全新属性的汽车产品开发过程中, 为了给软件迭代打好基础, 汽车设计师必须给硬件做好预留, 以确保升级后的软件能够很好地发挥作用。这种为软件做硬件能力预留的设计方法是传统汽车设计师不曾采用的,

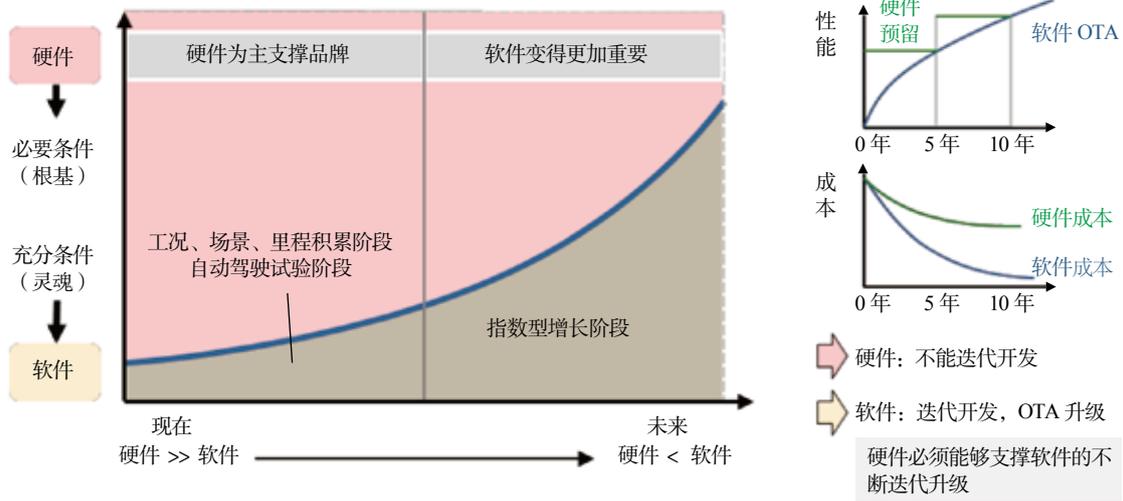


图7 未来汽车产品竞争力的改变

它既挑战中国汽车产业对未来硬软件发展速度的准确判断,也影响产品投入初期的性价比。为了有效解决这一矛盾,一些企业也开始尝试通过可拓展模块的设计理念来实现硬件升级迭代的目的。总而言之,随着软件在汽车产品中作用的不断增大,未来汽车设计师必须导入全新的产品设计与试验验证理念:为有效实现产品设计功能,必须“软硬并重”;为将产品性能发挥到极致,必须“软硬融合”;从产品开发方法及开发周期差异化的角度,必须“软硬分离”;从产品性价比的角度,必须“软硬平衡”。硬软两方工程师的优势互补、互为支撑是成功开发未来汽车的基础和前提。

2.4 汽车产业的内涵与外延正在不断扩展

与一般制造业不同,关联广泛、高度复杂的汽车产业在本轮深刻变革中呈现制造体系与产品形态双向并

行、互为促进的趋势。一方面,汽车将为整个工业体系的智能化升级提供先导、基础和载体,也唯有汽车智能制造体系方能满足打造未来智能汽车的需求;另一方面,未来智能汽车将为智能制造体系的升级提供最强的拉动,两者互相影响、互为促进,进而形成全新的汽车产业。汽车将与未来科技、未来产业、未来产品、未来社会以及未来能源、未来环境、未来交通、未来生活形成紧密而全新的关系,从而使汽车的内涵与外延得到不断扩展。在此过程中,汽车将以出行、互联、共享、服务等全新特征,在大交通、大能源和大环境中扮演全新角色,并催生出产品、技术、用户体验、商业模式和应用场景等多维度全面立体的创新机遇。具体如图8所示。接下来,本文就从智能汽车及智能制造两个层面来展开论述。

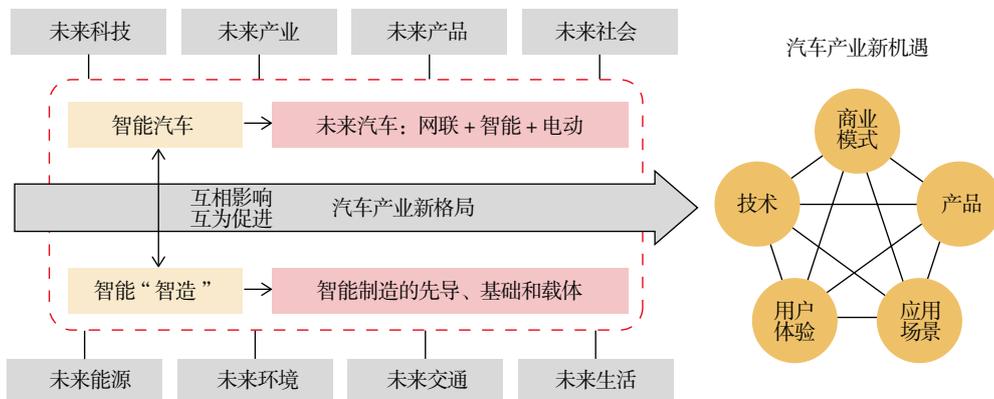


图8 汽车产业与产品的内涵和外延不断扩展

3 智能网联汽车发展的关键问题

3.1 车辆智能化与网联化的相互关系

智能网联汽车又称智能汽车, 是全球业界公认的发展方向和重大机遇, 包含了车辆智能化与网联化这两个紧密关联但并不相同的维度。如图 9 所示, 传统汽车以及新能源汽车作为产品载体, 通过智能化和网联化的技术赋能, 实现与外界环境的充分联接, 这样才构成了智能网联汽车的全部内涵。其中, 主要使用电能直接驱动的新能源汽车是智能网联技术的最佳载体, 而传统燃油车通过电子电器架构升级, 同样可以而且也

必须向智能化、网联化方向进化。车辆本身的智能即智能化, 主要体现在自动驾驶和人机交互两方面, 前者将由当前的辅助驾驶系统 (advanced driver assistance system, ADAS) 逐步发展而来, 后者最终将以智能座舱的形式体现在汽车产品中, 同时人工智能是自动驾驶和人机交互获得能力提升的关键; 而车辆与外界互联即网联化, 主要体现在通过端、管、云, 打通车内与车外, 实现云一端一体化的融合计算及服务。而车辆一旦与外界环境, 包括人、其他车辆、基础设施、其他智能硬件以及各种服务设施联通, 就可以为各种商业模式的创新和出行服务的集成创造无限可能的发展空间。

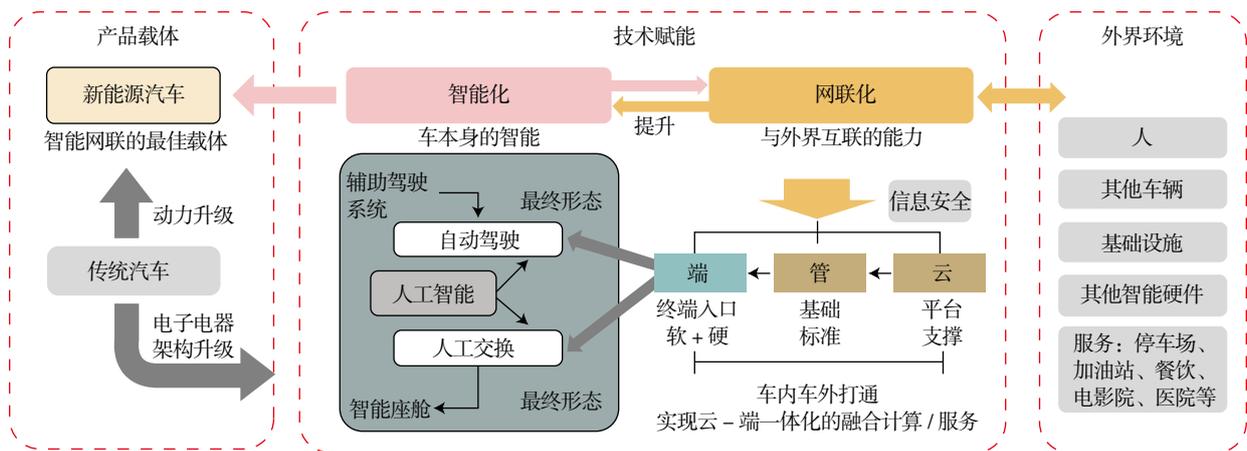


图 9 车辆智能化与网联化的关系辨析

对于智能汽车而言, 智能化和网联化都是不可或缺的重要内容, 企业的关注点绝不能仅限于自动驾驶, 像产品载体的升级、人机交互、端管云乃至外部生态, 同样是未来汽车产品竞争力的核心组成部分。总体而言, 实现智能是目的, 网联是核心手段, 两者密不可分、互为支撑。汽车的智能需要网联才能真正发挥作用, 而网联将使汽车智能的水平进一步提升; 两者共同作用, 才能确保未来汽车能够更加聪明, 进而更好地服务人、解放人、理解人, 这也是智能网联汽车的终极诉求所在。

3.2 发展智能网联汽车的路径识别

基于上述分析, 提升车辆智能化这一终极目标, 可以分解为自动化(以自动驾驶水平为依据)和网联化水平(以车辆网联的广度和深度为依据)两个方面。如图 10 所示, 车企如果仅仅关注自动化或者网联化而忽略另一个方面, 最终是难以实现产品的高度智能化的。而根据自身的实力和定位, 目前车企实际上正在通过 3 条不同的技术路径来提升自身产品的智能化程度。如图所示, 集团 1 类企业, 优先打造网联化核心竞争力, 以

互联服务为特色形成自身产品卖点; 集团 2 类企业, 优先攻关自动驾驶技术, 以取得相对领先地位; 集团 3 类企业, 兼顾网联化和自动化, 在重视人机交互技术以打磨产品亮点的同时, 发力自动驾驶技术; 而集团 4 所

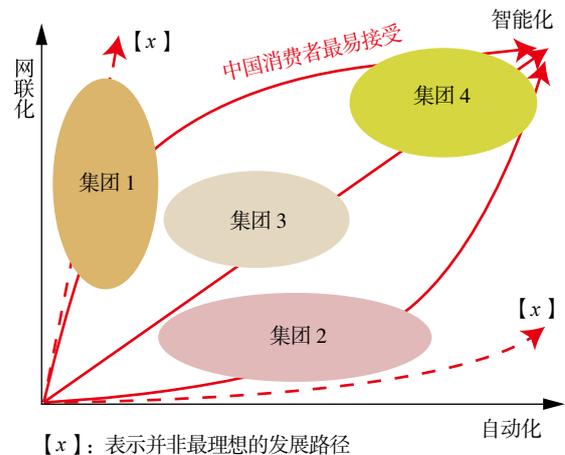


图 10 发展智能网联汽车的技术路径

处位置，则是各家汽车企业为之努力的理想目标，即实现自动驾驶和全面网联的同步升级，达到车辆充分智能化的目的。

目前，本土汽车企业及科技公司采取集团1的发展路径即优先网联产业化的偏多。这些企业通过人机交互、网联服务来打造差异化竞争力，即有效利用中国信息产业和互联生态的优势，以快速形成独特的产品特色。对于习惯于享受互联服务的中国消费者而言，这条路径显著地提升了产品的魅力指数。而自动驾驶技术涉及到感知、控制、执行等功能相关的一系列硬软件核心技术和关键零部件，也与传统汽车技术水平息息相关。客观上讲，发展高级别自动驾驶技术挑战汽车企业的技术积累及对全球新技术的整合能力。集团2的发展路径多为技术积累较为雄厚的欧美汽车企业及高科技公司所采用。本文中认为本土汽车企业及科技公司应采用集团3的发展路径，即在积极推进网联技

术产业化的同时，加大自动驾驶技术的持续攻关，有效平衡好网联技术与自动驾驶技术的投入，力争实现智能技术的全方位引领，最终向集团4靠拢。

3.3 发展智能网联汽车的商业模式

针对发展智能网联汽车的具体商业模式，作者经过综合研究分析提出了“1+1+1”模式，3个“1”分别代表3个不同的资源参与方，具体如图11所示。首先，整车及零部件企业仍然是发展智能网联汽车的主角和基础，即所谓的第1个参与方“1”；进入智能网联时代，IT及科技企业将成为不可或缺的重要一极，它们所提供的信息、网联、人工智能等技术支撑决定了汽车智能化的程度，这是发展智能网联汽车的第2个参与方“1”^[23-24]；而提供公共资源的政府将成为极为重要的第3个参与方“1”，因为在智能网联汽车产业化进程中，基础设施建设、城市及交通平台的搭建以及政策法规标准制定等，无不有赖于政府强有力的推进。

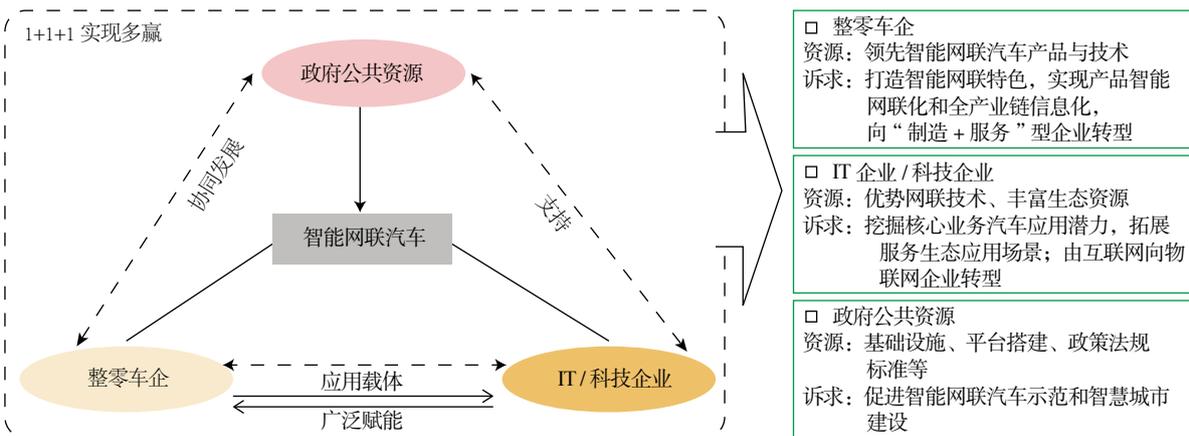


图 11 发展智能网联汽车的商业模式

综上所述，以上3方力量在发展智能网联汽车的征程中缺一不可，唯有有效集成，才能最终实现产品的快速产业化。对于汽车企业和IT/科技企业来说，前者为后者提供最有价值的应用载体（汽车产品），后者为前者实现最广泛的赋能，双方既要对自身优势抱有充分自信，更要积极争取对方的有力支持。而政府往往是容易被忽视的一方，实际上对于智能网联汽车生态构建而言，政府力量从未像今天这样如此重要且不可或缺，这也正是中国充分发挥体制优势，实现智能网联汽车赶超的机遇所在^[25-26]。为此，地方政府应积极谋划以智能汽车示范带动智慧城市建设，并加紧实施；而各类不同企业在推进智能网联生态构建的过程中，也要主

动积极寻求政府力量的有效支持。最终，智能汽车（smart vehicle, SV）的发展需要智能交通（smart transportation, ST）及智慧能源（smart energy, SE）的有力支撑，而三者的有效联动是建设智慧城市（smart city, SC）的关键。

3.4 汽车产业平台公司的发展趋势与演进方向

随着物联网技术的进一步普及，作者认为产业平台公司将是跨界整合并在重构前景下有效平衡产业无边界与企业经营有边界之间矛盾的关键，这也将是汽车产业升级的演进方向。如前所述，在产业深刻变革的进程中，传统公司与新技术公司各具独特优势，也都有各自缺项，未来的赢家一定是能将各方资源最有效组

合的集大成者, 即产业平台公司。汽车产业平台公司是未来汽车产业生态中为各类不同公司提供共性的业务服务及管理支持的并可用于衍生其他产品的全新服务公司。而产业平台公司不可能一蹴而就, 其发展预期会遵循如图 12 所示的进程。首先出于迎接未来竞争的需要, 主流大型企业(包括整车企业、也包括互联网/IT 企业)将构建起自身平台, 整合内外部的各种资源, 并积累平台运营、数据交互和信息安全等方面的经验。但由于仅限于企业自身资源, 从长远来说这类平台的服务能

力是非常有限且不可持续的。继而一些企业之间会进行深度合作与联盟, 把彼此的企业平台连接起来形成联合平台, 以期拓展服务能力。这类联盟构架下的平台公司将初具规模, 成为继续升级的坚实基础。最后通过竞争与合作, 联合平台将进一步整合形成产业大平台, 即具有汽车产业特色的智能网联平台公司。该类产业平台公司类似于互联网产业的 BAT(百度、阿里、腾讯)等巨头, 但在业务功能方面具有较强的物联网特色, 能有效服务于特定产业。

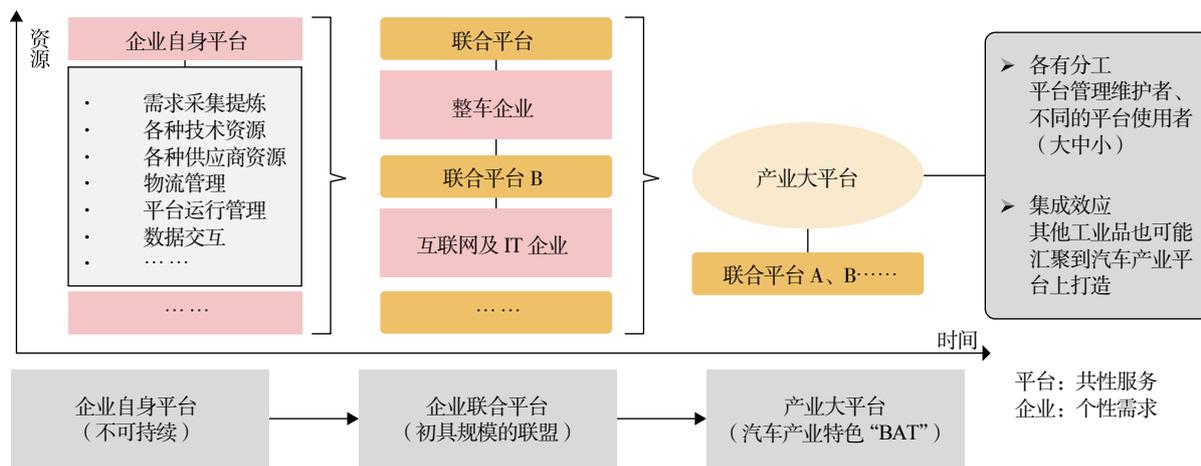


图 12 汽车产业平台公司的发展趋势

在产业大平台上, 一方面众多参与者各有分工, 既有主导平台管理和维护的大企业, 也有从不同层面接入和使用平台的各类企业, 其中不乏中小企业; 另一方面, 汽车产业平台公司将具有集成效应, 其他工业品也很有可能汇聚到集大成的汽车产业平台上打造。由此可见, 具有相当规模和实力的大企业, 应系统思考是否以及如何向产业平台公司方向升级发展的策略和路径; 而产业平台公司的前景也并不意味着中小企业将毫无机会, 实际上平台公司主要提供共性的基础服务, 针对客户具体的个性化需求仍需要各类参与企业自行提供。因此, 具有独特能力能够提供差异化服务且具有品质保障的中小企业, 在产业平台上将是不可或缺的, 并有望借助产业平台的力量更大限度地发挥个性化作用; 反之, 没有能力接入产业平台的中小企业将会面临被加速淘汰的命运。

3.5 车企面向出行服务商的转型策略

面向产业价值链向后端特别是出行服务领域延展的趋势, 当前全球已有很多主流汽车企业宣称, 将由汽车产品制造商向出行服务提供商转型, 这就引出业

界关注的另一个关键问题: 整车企业向出行服务商转型的目的、定位和策略。必须明确的是, 智能网联汽车的设计制造与使用服务是完全不同的两种核心能力, 前者的远景目标是围绕汽车产品实现大规模个性化生产, 即智能制造; 后者的终极诉求则是提供全天候汽车共享的出行服务。对于主流汽车企业而言, 其优势在于更具“造好车”的基础, 有能力打造未来个性化的汽车产品; 而“用好车”的能力在于使汽车产品的使用更加高效便捷, 这与“造好车”虽有交集, 但重心不同, 所需核心能力也完全不同, 如图 13 所示。

在制造服务化的前景下, “造好车”和“用好车”其实都涉及到全新的 2C(two customers)和 2B(two businesses)模式, 但内涵截然不同: “造好车”面向车辆综合服务, 2C 的重点是提供定制化产品及涵盖车辆全生命周期的车主服务, 2B 的目标则是提供全产业链服务, 即打造符合用户个性化需求的车辆; “用好车”面向移动出行服务, 2C 的诉求是基于智能化网联化提供定制化的出行方案, 2B 的诉求则是与其他行业共同提供联合服务。这需要完全不同的能力、资源和相应的布局。

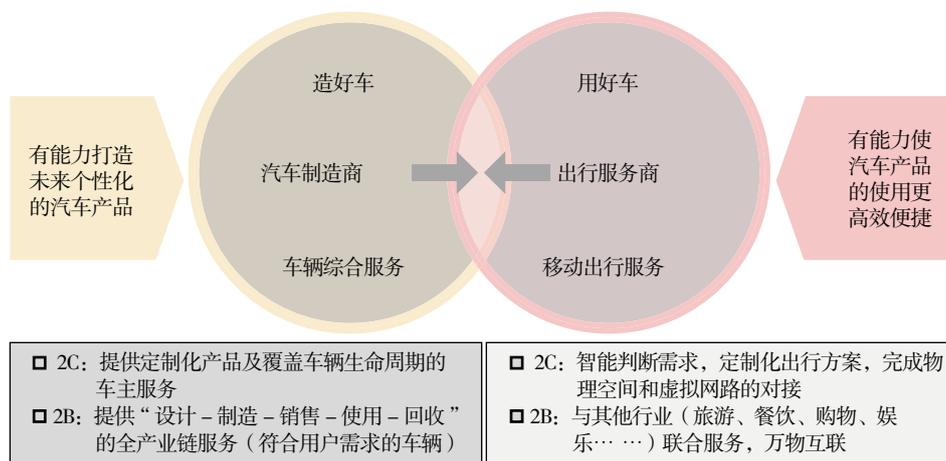


图 13 汽车设计制造与使用服务需求的不同能力

车企如果追求“造好车”，这实际上是现有业务的延伸，需要打造智能制造的“小”平台，以实现车辆产品本身价值的最大化；而如果追求“用好车”，则是全新业务的拓展，需要打造出行服务的“大”平台，在此过程中要逐渐淡化车辆产品而强化出行服务。

因此，整车企业向出行服务商转型先要想清楚的是：究竟是为了更好地卖车，还是为了实现业务的转型？前者应围绕图 13 中左侧“造好车”的基础，适当向右侧扩展；后者则应考虑在右侧“用好车”的范畴内选择核心点切入，并反过来对左侧提出与传统用车完全不同的需求。显然，不同的企业一定有不同的最佳答案，并非所有的企业都适合向出行服务商转型。作者认为中小企业更应把精力放在“造好车”上；而大型车企向出行服务商转型的大方向无疑是正确的，但在具体实践中也不可能一步到位，必须思考资源匹配以及投入产出比等现实问题。如果过多过早地远离自身原本的优势领域进行尝试，就要有在相当一段时间内得不偿失或入不敷出的充分准备。实际上，智能网联汽车本身的发展也将是一个渐进的过程，企业不同、阶段不同、侧重点不同、所需能力也不同。为此作者建议，整车企业应当明确目标，逐步培育新能力，进而有序扩大出行服务业务的新尝试，包括与其他车企建立合作联盟，以有效控制投入、加快扩大新业务规模。

4 汽车智能制造的核心要素与发展前景

4.1 汽车智能制造升级具有特殊重要价值

与智能网联汽车产品同步并行的是汽车智能制造体系，实际上智能制造是一个全球共同的大趋势。新一轮科技革命正引发全球制造业进入空前广度、深度

和速度的转型升级期，并将由此改变全球经济与科技竞争的总体格局^[27-30]。为抢占先进制造的战略制高点，各主要工业强国相继提出了指向智能制造的制造业转型升级国家战略，如德国的“工业 4.0”、美国的“工业互联网”、日本的“再兴战略”、法国的“新工业法国”等^[31-36]。对于中国而言，一方面产业基础仍相对落后；另一方面，国民经济已步入增长速度趋缓的“新常态”，增长方式亟待转变。正因如此，中国提出了“中国制造 2025”等纲领性文件，致力于通过工业化与信息化的深度融合，不断实现“提质增效”，最终走向“智能制造”，建成制造强国。

而汽车产业正是中国实现工业化与信息化的深度融合和制造业转型升级的最佳载体和突破口^[37]。以充分互联协作为基础、大规模定制化生产为目标的智能制造，越是在复杂的产业上实现，就越为困难，但也越能产生更大的效果和价值。产业链条长、涉及环节多、差异化消费需求强烈的汽车产业，既是智能制造应用最难的产业，又是其应用效果最大的产业。作为制造业的集大成者，汽车产业不仅自身是实现智能制造、建成制造强国的最佳载体、龙头和抓手，而且也对装备制造业、工业软件与操作系统等提出了更高需求。因此，在深刻理解智能制造核心要素的基础上，加快汽车领域的布局与推进，具有特殊重要的战略意义。

4.2 智能制造体系的内涵和战略要点

智能制造的内涵是大规模定制化的制造体系，显然，这与制造业的本质，即以最低成本、最快速度、最高质量满足消费者的个性化需求，实现更加精益求精的制造，正相符合。具体来说，这将是一个由数据驱动的互联、互动、智能的制造体系，无论工业 4.0、

还是“中国制造 2025”的指向都在于此。作者对智能制造体系进行了系统的梳理, 它不仅包括智能工厂, 也包

括智能设计、智能生产、智能物流和智能服务等, 具体如图 14 所示。

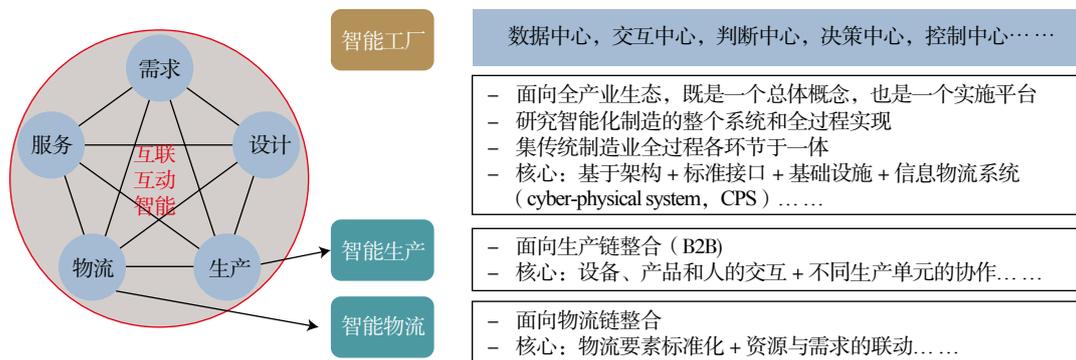


图 14 智能制造体系的内涵

图 14 中所示的智能工厂和传统意义上的工厂截然不同, 它是未来企业的数据中心、交互中心、判断中心、决策中心和控制中心, 是面向整个产业生态的一个总体概念和实施平台。同时, 智能工厂还必须与智能生产、智能物流等相互匹配和有效集成, 从而把需求、设计、生产、物流和服务等各个环节彻底打通, 充分实现互联、互动和智能, 由此才能真正实现大规模定制化的生产^[38-41]。这将是未来制造业转型升级的必然方向。

而对于智能制造的战略要点, 作者将其提炼概括

为: 由万物互联到大数据, 再到标准与端口, 最后实现全面大集成。这种大集成既是指纵向的集成, 即企业沿着产业链与上下游的其他企业联系在一起; 也是指横向的集成, 即企业打通自己内部的需求、设计、生产、物流、服务等环节, 从而跨越原有产业链, 完成端到端的联接, 创造全新的价值。也就是说, 互联是基础, 数据是核心, 标准是规则, 集成是终极形态, 最终实现更加智能的制造业^[42]。

智能制造的战略要点见图 15。

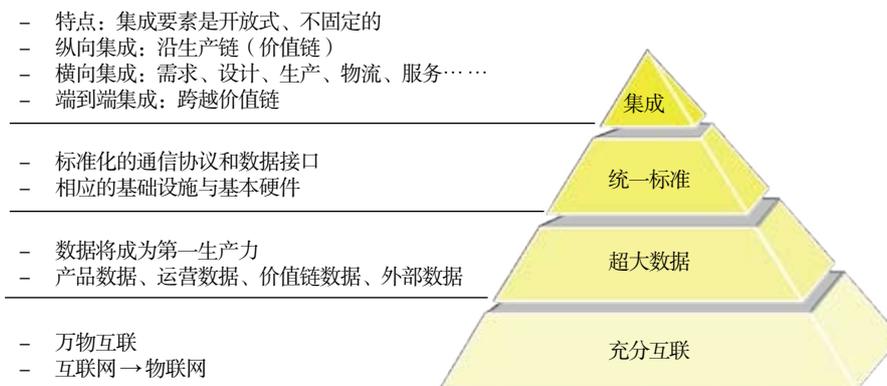


图 15 智能制造的战略要点

4.3 智能制造时代的未来图景与升级路径

展望智能制造时代的未来图景, 企业的核心竞争力将大不相同。如图 16 所示, 从工厂的变化来看, 当前工厂是集中式、计划式、强中心化和固定配置资源的, 而未来工厂是分散式、需求式、去中心化和动态配置资源的; 当前工厂只生产产品, 通过价值链来实现价值, 而未来工厂不仅仅生产产品, 还会产生大量数据, 并

且通过数据来产生和驱动价值; 当前工厂主要靠品质竞争, 通过过硬的产品质量乃至品质来支撑品牌, 而未来工厂既要做好质量, 更要实现定制化的产品以及个性化的服务, 并由此定义品牌内涵, 相比之下, 制造出高质量的产品只是一个基础条件, 而通过定制化产品来满足个性化需求的服务, 才是“新制造”更核心的竞争力。

而智能制造的升级路径可划分为 3 个阶段, 即数

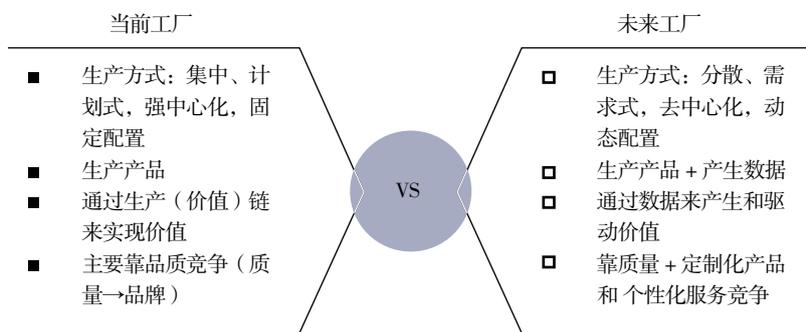


图 16 智能制造时代的图景

字化、数字化+网联化、数字化+网联化+智能化。其中，数字化是基础，将贯穿智能制造的始终，通过将信息转变为数据，为网联化提供支撑；网联化是在数字化之上实现互联，从而实现分散资源的集成利用，同时使人可以更灵活地控制机器；最后智能化则是在数字化、网联化之上增加了人工智能，由此机器与机器之间可以进行互动，从而使网联的效果更为显著。发达国家在制造体系升级过程中先后经历了数字化、网联化和智能化，既有基础牢固的优势，也有逐次升级的不足。对中国而言，则应充分发挥后发优势，并行推进三化，前瞻实施融合发展，即站在智能化需求的视角和高度对数字化和网联化进行系统布局。这其中，如果说人工智能是通向智能制造的桥梁，那么数字化则是重要的桥头堡，因此数字化是中国企业的当务之急。而在实施智能制造三化升级的进程中，作为制造业的集大成者，汽车产业将是最佳的应用平台。同时，汽车产业的智能制造也是打造智能汽车的重要支撑和先决条件。

5 汽车产业跨界融合发展的方向与机遇

涉及范围广、影响深度大、关联因素多、复杂程度高的汽车产业，原本就是最具综合性的支柱产业之一。而伴随着工业化和信息化的深度融合，汽车产业的

跨界融合正成为新形势下的发展方向和重要机遇^[43-45]。2017年中华人民共和国工业和信息化部（简称工信部）发布了《汽车产业中长期发展规划》^[46]，明确提出了“‘汽车+’跨界融合工程”，并将其列入未来汽车产业的重要工程之一。如图 17 所示，汽车产业的固有特点、产业变革带来的新需求以及格局重构需要的新能力，三者互为支撑、互相推动，使“汽车+”具有了丰富的内涵和广泛的可能。无论是汽车产业、企业，还是汽车技术、人才，其承载的内容都远超从前。正因如此，汽车不仅仅是支撑我们日常生活的重要产品，更是支撑国民经济发展的支柱性产业，是制造业的龙头、载体和抓手。随着产业边界的不断扩大，汽车产业的载体作用也在不断放大：从学科的角度看，汽车不仅仅是有着清晰特性的复杂学科，更是能够有效融合其他多学科特点的学科载体，同时汽车又是创新的载体、技术的载体、应用的载体、集成的载体、成果的载体以及价值的载体。不能简单地从产品或产业发展的角度去理解汽车，更要从汽车在未来科技、产业、经济、社会发展的角度去有效挖掘其作为载体的引领性作用。

与此同时，跨界融合既给汽车产业带来空前机遇，也使产业复杂程度急剧增加、挑战不断加大。为此，接下来作者将对汽车产业跨界融合的战略方向和发展

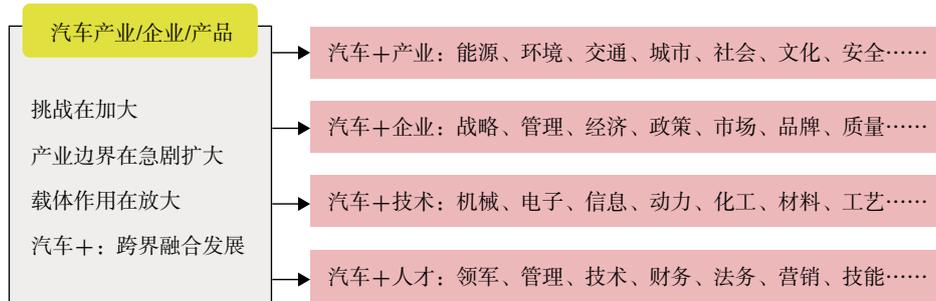


图 17 未来汽车产业呈现跨界融合的发展趋势

机遇, 进行系统梳理和综合分析, 以助力业界准确识别科学路径、合理界定各方分工。

5.1 跨界融合发展的方向辨识

汽车产业跨界融合趋势体现了科技革命引发产业革命、进而延展成为生态革命的发展趋势。作为最能承载和呈现工业化与信息化深度融合效果的领域, 汽车产业跨界融合的重点方向可以概括为“制造体系升级”和“服务体系升级”, 其内容全面涵盖了汽车与先进制造、信息、能源、环境、交通、服务、城市规划及社会生活等诸多领域的深刻关联与相互影响, 代表着以汽车为突破口, 建设制造强国以及促进产业生态和生活模式转变的广阔前景。

制造体系升级的最终目标是以数据驱动、互联协作的智能制造体系。如前所述, 该体系是一个由需求、设计、生产、物流与服务等各个环节融合而成的整体智能系统, 在本质上追求的是大规模制造与个性化、定制化生产的统一, 最终指向“按需生产”的制造业“理想境界”。当前, IT、互联网、人工智能等信息产业力量已经深度融入汽车产业, 不仅将为构建全新的汽车信息化、智能化产业链提供支撑, 也将为汽车产业链与其他领域、环节的有效联接创造条件。因此, 汽车制造体系的跨界融合升级已是大势所趋, 更是时不我待。

服务体系升级结合了信息化、智能化技术的进步, 为更好满足交通出行需求以及解决现有交通问题创造了全新的可能。智能化、网联化、共享化已逐渐成为汽车出行服务的重要趋势, 将会深刻改变交通系统和汽车生活。汽车作为出行服务的关键节点, 在向低碳化、信息化、智能化不断升级的过程中, 也与交通出行系统更加紧密地融合起来, 进而影响整个交通的大格局^[47-48]。同时, 智能交通系统的升级也对未来汽车提出了新的要求。此外, 未来汽车还可提供可移动的储能供能服务, 基于电网融合(vehicle to grid, V2G)技术, 对整个能源系统产生重大影响, 进一步丰富了服务体系升级的内涵^[49-51]。因此, 实现未来汽车产业服务体系的升级, 具有重要的战略必要性和紧迫性。

5.2 汽车产业制造体系升级的战略方向与发展机遇

5.2.1 加强数字化工厂建设

新型数字化工厂可以在计算机虚拟环境中, 对整个生产过程进行仿真、评估和优化, 并将虚拟运行进一步扩展到整个产品生命周期; 同时利用物联网技术和监控技术, 可以实现全方位的工厂信息化管理, 提高生产过程的可控性, 减少生产线人工干预; 最终集智能

硬软件管理系统于一体, 构建形成高效、节能、环保、舒适的高度智能化新型工厂。

汽车产业数字化工厂建设涉及多个领域的交叉融合, 其核心是构建汽车制造业的赛博物理系统。为此, 既需要数据管理软件、仿真测试系统、虚拟工厂设计、大数据分析、数字化管理及数字化工厂模拟等软件系统, 也需要可靠的基础网络、物联网基础设施、柔性的制造系统、工业机器人、传感器、射频识别装置等硬件设备。以期在汽车生产及服务领域, 将大数据资源充分利用起来, 帮助汽车企业提升竞争力。

汽车产业数字化工厂建设, 对专用装备的制造提出了更高要求。为满足需求, 装备制造业必须吸纳融合IT、材料等相关产业的创新成果, 加快转型升级, 才能真正为汽车强国建设提供有力支撑。目前中国特别是在工业控制软件系统方面, 远远落后于德国、美国等先进国家, 因此在该领域加快追赶是非常紧迫的当务之急。

5.2.2 推行设计/制造/服务一体化工程

设计/制造/服务一体化是指基于充分网联, 联通产品全生命周期内的设计、制造和服务环节, 变封闭串联为开放并联的结构, 形成三者的紧密协同、同步联动, 以充分传递和应用数据流, 有效调配资源, 快速响应市场, 提升产品竞争力。

与传统封闭串联的系统不同, 设计/制造/服务实现一体化可以构成开放并联的系统。在此系统中, 设计环节以用户需求为主导, 实现开源的信息化; 制造环节转变为需求式、去中心化, 工厂车间采用动态配置实现柔性化生产和个性化定制, 同时实现生产管控的高度智能化; 服务环节则表现为全流程打通的新型商业圈, 实现用户与企业的零距离互动。总之, 未来的设计/制造/服务一体化必须把需求链、工程链、供应链充分互联起来, 通过实时交互的信息和顺畅流动的数据, 实现增值。设计/制造/服务一体化工程最终将使全产业链数据实现有效集成, 并在企业内、企业间乃至产业间实现交融互通, 从而开启通向智能制造体系的大门。

5.3 汽车产业服务体系升级的战略方向与发展机遇

5.3.1 构建一体化智能出行平台

未来的移动出行模式将呈现为多种交通工具并存、多元出行方式组合的形态, 而一体化智能出行平台是其载体和中枢, 其核心是通过联网通讯实现出行工具与交通设施的高效协同运行, 具体如图18所示。

作者认为未来城市智能出行系统需要逐步达成“公

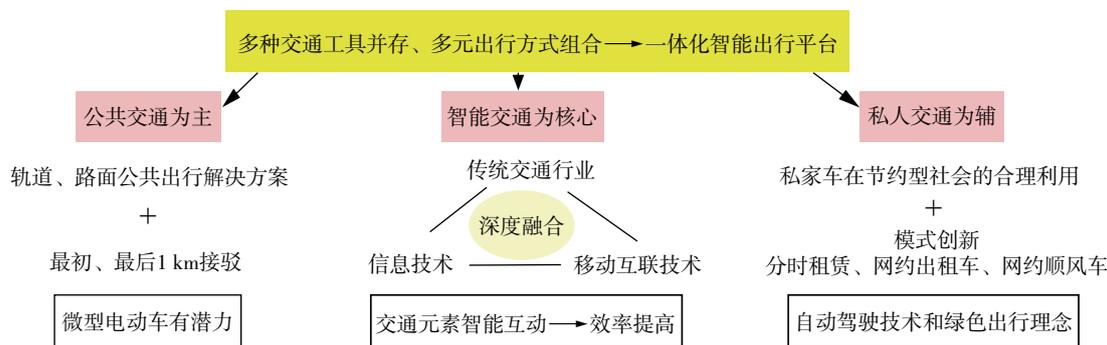


图 18 一体化智能出行平台的逻辑关系图

公共交通为主 + 私人交通为辅 + 智能交通为核心 + 多种交通工具有效组合”的综合发展目标。首先，公共交通为主，大力优化大中城市高运量的轨道、路面等多种公共出行解决方案，并配套以更加完善的“最初、最后一公里”出行手段确保便捷接驳。在这方面，可自动驾驶的微型电动汽车具有良好应用前景和低能耗、高环保优势，国家应予充分重视，尽快完善安全、质量等标准规范并引导产业优化布局。其次，私人交通为辅，引导私家车在节约型社会中合理使用，同时鼓励分时租赁等共享交通创新模式；基于自动驾驶和车联网技术的普及发展，重点推进乘用车的全天候共享化应用，提高交通工具的利用率，在有限的资源约束下满足更高的出行需求并提升出行效率；推广绿色出行的生活理念，并培育“轻拥有、重使用”的汽车共享文化。最后，智能交通为核心，推进信息技术、移动互联网技术与传统交通行业深度融合；打造融合各种交通工具及基础设施信息于一体的多元出行服务平台，基于实时的信息交互，实现出行效率的有效提升。由此，实现交通系统中各子元素（人、交通工具和基础设施等）之间的智能互动和无缝连接，从而显著提升整个社会的运转效率和出行者的极致体验。

本质上讲，一体化出行平台可以视为一种由各类信息平台中心、网络通讯、大数据、云计算、智能基础设施支持的，具有实时在线、共享服务、无人驾驶等特点的全新出行生态系统。而智能汽车作为这一生态系统的重要节点，将全面信息化、智能化、服务化，并通过综合出行信息服务平台，有效汇集和使用交通大数据，实现城市内和城市间的无缝出行。

5.3.2 推动共享交通

共享交通在汽车产业服务体系升级中占有重要地位。特别是汽车共享模式可以有效提高单台车辆的使用效率，能够在资源整体约束下，用相同的汽车保有量

满足未来更大的出行需求，因此具有重要的战略价值。中国未来的发展，要求与之相匹配的移动运载能力，而按照现有的用车模式，社会资源/环境都难以承受所需的巨大汽车保有量带来的压力。为解决这一问题，一方面应大力发展公共交通（本质上其实也是一种共享交通），完善多种交通工具及其有效组合；另一方面，应充分利用信息化、智能化技术手段，通过商业模式创新，提升车辆的利用率。

共享交通是以智能化、网联化为基础的共享出行模式，其发展将是一个逐步发展、渐趋成熟的进程。互联通讯技术和大数据平台将使充分的共享交通真正成为可能。自动驾驶技术渗透率的提升是重要支撑，高等级的自动驾驶将使车辆可以在更多场景下实现无人移动和接驳，从而可以极大提升用户体验和共享效率，支撑共享出行模式的广泛推广。而移动出行逐渐生活化和服务化是其最终生态，并使车辆真正成为可移动的“第三”生活空间。

5.3.3 加深汽车与能源领域的融合

汽车与能源领域的融合主要体现在电动汽车作为可移动的储能单元与电网的融合。这项工作具有战略价值：一方面，汽车动力源趋向电动化的持续演进和共性节能技术的不断进步，将使车辆本身更加节能、低碳；另一方面，电动汽车作为国家战略加快发展，也要求我国必须加快以清洁能源替代煤电的能源结构调整。两方面相结合，将使电动汽车在平衡电网负荷、提高电网效率方面发挥重要作用。

为使电动汽车同时作为能源需求侧和供给侧的相应资源发挥作用，充分体现其分布式移动储能的功能，作者建议国家应推动建设电动汽车与大电网及可再生能源相互融合的能源系统；开发并推动汽车与电网融合（V2G）技术的产业化；鼓励政府、电网及企业加强互动，共同推动智能充电体系建设，并有效融入能源互联网。

6 总结

在能源、互联和智能 3 大革命的驱动下, 汽车产业正在经历前所未有的深刻变革, 引发竞争格局与产业生态的全面重构, 进而带来宝贵的战略机遇, 不仅将对未来汽车以及相关众多产业产生全方位的深远影响, 而且将会影响整个人类社会的生活形态, 并为经济可持续增长创造全新活力。展望新时期汽车产业的发展机遇, 其广度和深度都是空前的。在新能源方面, 包括电池、电机、电控以及新材料、新工艺等; 在智能网联方面, 涉及大数据、云计算、人工智能、信息安全以及传统技术的电控升级等; 在自动驾驶方面, 诸如感知(摄像头、雷达等传感器)、控制、执行等核心硬软件等都亟待攻关; 在基础设施方面, 充电网络、道路环境数字化建设等方兴未艾; 在智能制造方面, 物联网、3D 打印、机器人以及新装备、新材料、新工艺等如火如荼。可以说在产业深刻变革重构期, 机会无处不在。因此, 对于未来的汽车产业、企业、产品、技术与商业模式等, 我们必须重新认识、重新出发。如果说过去一百年, 汽车改变了人类社会, 那么未来一百年, 人类将通过改变汽车, 进而享受更加美好的汽车生活。本次汽车产业的重构, 对于后发的中国来说是一次千载难逢的历史机遇, 我们必须积极把握住汽车产业变革的战略契机, 为早日建成汽车强国并建设好和谐健康的汽车社会, 积极稳步地推进汽车产业的转型升级。

参考文献 (References)

- [1] 赵福全, 刘宗巍. 五升油耗挑战自主品牌发展模式 [J]. 汽车科技, 2015(2): 1-4.
ZHAO Fuquan, LIU Zongwei. China's 5 L/100km target in 2020 challenges the growth pattern of self-owned enterprises [J]. *Auto Mob Sci Tech*, 2015(2): 1-4. (in Chinese)
- [2] 赵福全, 刘宗巍. 我国建设汽车强国的行动方向 [J]. 汽车工业研究, 2014(10): 4-7.
ZHAO Fuquan, LIU Zongwei. Strategy direction of building powerful automotive industry in China [J]. *Auto Ind Res*, 2014 (10): 4-7. (in Chinese)
- [3] 节能与新能源汽车技术路线图战略咨询委员会, 中国汽车工程学会. 节能与新能源汽车技术路线图 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 4-9.
Council of Roadmap, Society of Automotive Engineering China. Technology Roadmap for Energy Saving and New Energy Vehicles [M]. Beijing: China Machine Press: 4-9. (in Chinese)
- [4] HAN H, WANG S, LIU Z, et al. The impact of stepped fuel economy targets on automaker's light-weighting strategy: The China Case [J]. *Energy*, 2016, **94**: 755-765.
- [5] 赵福全, 苏瑞琦, 刘宗巍. 洞见汽车强国梦 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 14-20.
ZHAO Fuquan, SU Ruiqi, LIU Zongwei. Turning China into A Stronger Automotive Country: An Insight [M]. Beijing: China Machine Press, 2016: 14-20. (in Chinese)
- [6] 赵福全, 苏瑞琦, 刘宗巍. 探索汽车强国路 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017: 5-12.
HAO Fuquan, SU Ruiqi, LIU Zongwei. Turning China into A Stronger Automotive Country: An Exploration [M]. Beijing: China Machine Press, 2017: 5-12. (in Chinese)
- [7] 赵福全, 苏瑞琦, 刘宗巍. 践行汽车强国策 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017: 7-15.
ZHAO Fuquan, SU Ruiqi, LIU Zongwei. Turning China into A Stronger Automotive Country: A Practice [M]. Beijing: China Machine Press, 2017: 7-15. (in Chinese)
- [8] 刘宗巍. 赵福全论汽车产业 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017: 57-63.
LIU Zongwei. Fuquan Zhao's Insights on Automotive Industry (Vol. 1) [M]. Beijing: China Machine Press, 2017: 57-63. (in Chinese)
- [9] SHI T, ZHAO F, HAO H, et al. Structure analysis and cost estimation of hybrid electric passenger vehicle and the application in China Case [C] // WCX World Congress Experience. 2018, Detroit, US.
- [10] WANG Y, ZHAO F, YUAN Y, et al. Analysis of typical automakers' strategies for meeting the dual-credit regulations regarding CAFC and NEVs [J]. *Autom Innov*, 2018, **1**(1): 15-23.
- [11] HAO H, CHENG X, LIU Z, et al. Electric vehicles for greenhouse gas reduction in China: A cost-effectiveness analysis [J]. *Transport Res Part D Transp Envir*, 2017, **56**: 68-84.
- [12] HAO H, LIU F, LIU Z, et al. Measuring energy efficiency in China's transport sector [J]. *Energy*, 2017, **10**: 660-678.
- [13] HAO H, LIU Z, ZHAO F, et al. Biofuel for vehicle use in China: Current status, future potential and policy implications [J]. *Renew Sustain Energ Rev*, 2018, **82**: 645-653.
- [14] 赵福全, 刘宗巍. 中国汽车产业技术转化价值链的基本规律与构建战略 [J]. 科学学与科学技术管理. 2016, **37**(7): 87-95.
ZHAO Fuquan, LIU Zongwei. Basic pattern and construction of Chinese automotive industry value chain [J]. *Sci Sci Manag Sci Tech*. 2016, **37**(7): 87-95. (in Chinese)
- [15] 赵福全, 匡旭, 刘宗巍. 面向智能网联汽车的汽车产业升级研究——基于价值链视角 [J]. 科技进步与对策. 2016, **33**(17): 56-61.
ZHAO Fuquan, KUANG Xu, LIU Zongwei. Research on upgrading of the automotive industry towards the intelligent-connected automotive industry from the perspective of value chains [J]. *Sci Techy Prog Poli*, 2016, **33**(17): 56-61. (in Chinese)
- [16] KUANG X, ZHO F, HAO H, et al. Intelligent connected vehicles: the industrial practices and impacts on automotive value-chains in China [J]. *Asia Pacific Business Rev*, 2018, **24**(6): 1-21.
- [17] 石坚, 卓斌. 自动驾驶汽车的仿真 [J]. 汽车工程, 2000, **22**(2): 97-99.
SHI Jian, ZHUO Bing. Simulation of automatic driving

- vehicle [J]. *Autom Engi*, 2000, **22**(2): 97-99. (in Chinese)
- [18] 杨东凯, 吴今培, 张其善. 智能交通系统及其信息化模型 [J]. 北京航空航天大学学报, 2000, **26**(3): 270-273. YANG Dongkai, WU Jingpei, ZHANG Qishan. Intelligent transport system and its informatics model [J]. *J Beijing Univ Aero Astro*, 2000, **26**(3): 270-273. (in Chinese)
- [19] 王笑京, 沈鸿飞, 汪林. 中国智能交通系统发展战略研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2006, **6**(4): 9-12. WANG Xiaojing, SHEN Hongfei, WANG Lin. The study on China's ITS development strategy [J]. *J Transport Syst Engi Inform Techn*, 2006, **6**(4): 9-12. (in Chinese)
- [20] Ambak K, Atiq R, Ismail R. Intelligent transport system for motorcycle safety and issues [J]. *Europ J Sci Res*, 2009, **28**(4): 600-611.
- [21] Bonsall P. Information systems and other intelligent transport system innovations [J]. *Cell Cycle*, 2000, **4**(12): 1761-1766.
- [22] 刘宗巍, 陈铭, 赵福全. 基于网联化的全天候汽车共享模式效益分析及实施路径 [J]. 企业经济, 2015(7): 44-48. LIU Zongwei, CHEN Ming, ZHAO Fuquan. Benefits and application study of car-sharing mode based on connected vehicles [J]. *Enterprise and Economics*. 2015(7): 44-48. (in Chinese)
- [23] 王悦, 刘宗巍, 赵福全. 汽车产业核心技术掌控力评价体系研究 [J]. 汽车工程学报, 2015, **5**(4): 235-243. WANG Yue, LIU Zongwei, ZHAO Fuquan. An indicator framework to evaluate the core technology capability of automotive industry [J]. *Chin J Autom Engi*, 2015, **5**(4): 235-243. (in Chinese)
- [24] 刘宗巍, 乔钦彧, 赵福全. 汽车与信息技术企业产品创造模式对比: 通用汽车和苹果公司案例 [J]. 中国科技论坛, 2017(4): 103-110. LIU Zongwei, QIAO Qin Yu, ZHAO Fuquan. Comparative study of the production mode in automotive and information technology enterprises: General motors and apple case [J]. *Forum Sci Tech China*, 2017(4): 103-110. (in Chinese)
- [25] 赵福全, 刘宗巍, 赵世佳. 社会与产业变革浪潮下的人才战略与转型对策: 以汽车产业为例 [J]. 科学管理研究, 2017(1): 47-50. ZHAO Fuquan, LIU Zongwei, ZHAO Shijia. Talent strategy and transformation counter measures under society and industrial revolution wave: A case study of automotive industry [J]. *Sci Manag Res*, 2017(1): 47-50. (in Chinese)
- [26] 赵福全. 确保中国新能源汽车产业可持续发展的政府新角色思考 [J]. 汽车工艺师, 2018(1): 18-22. ZHAO Fuquan. New roles for Chinese government to ensuring the sustainable development of new energy vehicles [J]. *Automobile Manufacturing Engineer*, 2018(1): 18-22. (in Chinese)
- [27] 王喜文. 中国制造 2025: 从工业大国到工业强国 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2015: 13-25. WANG Xiwen. Made in China 2025: From Big to Powerful [M]. Beijing: China Machine Press: 13-25. (in Chinese)
- [28] 周德文. 中国制造 2025: 中小企业何去何从 [J]. 首席财务官, 2015(8): 58-59. ZHOU Dewen. Made in China 2025: The direction of small enterprises [J]. *Chief Finan Officer*, 2015(8): 58-59. (in Chinese)
- [29] 朱剑英. 智能制造的意义、技术与实现 [J]. 机械制造与自动化, 2013(3): 1-6. ZHU Jianying. The significance technologies and implementation of Intelligent manufacturing [J]. *Mach Buil Auto*, 2013(3): 1-6. (in Chinese)
- [30] 潘健生, 王婧, 顾剑锋. 我国高性能化智能制造发展战略研究 [J]. 金属热处理, 2015(1): 1-6. PAN Jiansheng, WANG Jing, GU Jianfeng. Study on the development strategy of high performance intelligent manufacturing in China [J]. *Heat Treat Metals*, 2015, **40**(1): 1-6. (in Chinese)
- [31] 黄群慧, 贺俊. 中国制造业的核心能力、功能定位与发展战略: 兼评《中国制造 2025》 [J]. 中国工业经济, 2015(6): 5-17. HUANG Qunhui, HE Jun. Core power, function and development of Chinese Manufacture Industry: A comment on made in China 2025 [J]. *China Ind Economics*, 2015(6): 5-17. (in Chinese)
- [32] 周济. 智能制造: “中国制造 2025” 的主攻方向 [J]. 中国机械工程, 2015(17): 2273-2284. ZHOU Ji. Intelligent manufacturing: Main direction of “Made in China 2025” [J]. *China Mech Engi*, 2015(17): 2273-2284. (in Chinese)
- [33] 贺正楚, 潘红玉. 德国“工业 4.0”与“中国制造 2025” [J]. 长沙理工大学学报: 社会科学版, 2015(3): 103-110. HE Zhengchu, PAN Hongyu. Germany “Industry 4.0” and “Made in China 2025” [J]. *J Changsha Univ Sci Tech: Social Sci*, 2015(3): 103-110. (in Chinese)
- [34] Weyer S, Schmitt M, Ohmer M, et al. Towards industry 4.0: Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems [J]. *IFAC-Papers On Line*, 2015, **48**(3): 579-584.
- [35] Lee J, Bagheri B, Kao H. A Cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems [J]. *Manufacturing Lett*, 2015, **3**: 18-23.
- [36] Kolberg D, Zühlke D. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies [J]. *IFAC-Papers On Line*, 2015, **48**(3): 1870-1875.
- [37] 赵福全, 刘宗巍, 史天泽. 中国制造 2025 与工业 4.0 对比解析及中国汽车产业应对策略 [J]. 科技进步与对策, 2017, **34**(14): 85-91. ZHAO Fuquan, LIU Zongwei, SHI Tianze. Comparison and analysis between made-in-China 2025 and industry 4.0: Coping strategies for Chinese automotive industry [J]. *Sci Tech Prog Poli*, 2017, **34**(14): 85-91. (in Chinese)
- [38] 黄斌, 周婉婷. 精益生产技术在汽车制造业的应用 [J]. 工业工程与管理, 2004, **9**(5): 126-129. HUANG Bin, ZHOU Wangting. Lean manufacture implementation in automobile industry [J]. *Ind Engi Manag*, 2004, **9**(5): 126-129. (in Chinese)
- [39] 周延虎, 何桢, 高雪峰. 精益生产与六西格玛管理的对比与整合 [J]. 工业工程, 2006, **9**(6): 1-4. ZHOU Yanhu, HE ZhenE, GAO Xuefeng. Comparing and

- integrating lean production and six sigma [J]. *Ind Eng J*, 2006, **9**(6): 1-4. (in Chinese)
- [40] 顾新建, 曹韵红. 大批量定制生产与精益生产方式的比较 [J]. 成组技术与生产现代化, 2000(4): 1-4.
GU Xinjian, AO Yunhong. A comparison between the massive production and lean production [J]. *Group Tech Production Modernization*, 2000(4): 1-4. (in Chinese)
- [41] 张根保, 付兴林, 朱瑜庆, 等. 汽车制造企业精益生产系统模型 [J]. 机械工程学报, 2010, **46**(2): 93-98.
ZHANG Baogen, FU Xinlin, ZHU Yuqing, et al. Model of lean production system for automobile manufacture enterprise [J]. *J Mech Eng*, 2010, **46**(2): 93-105. (in Chinese)
- [42] 赵福全, 刘宗巍, 史天泽. 基于网络的汽车产品设计 / 制造 / 服务一体化研究 [J]. 科技管理研究, 2017, **37**(12): 97-102.
ZHAO Fuquan, LIU Zongwei, SHI Tianze. Research on the network-based integration of automotive product's design manufacturing and service technology [J]. *Sci Techn Manag Res*, 2017, **37**(12): 97-102. (in Chinese)
- [43] 刘宗巍, 史天泽, 郝瀚, 等. 中国汽车技术的现状、发展需求与未来方向 [J]. 汽车技术, 2017(1): 1-6.
LIU Zongwei, SHI Tianze, HAO Han, et al. Current situation, development demand and future trend of automotive technologies in China [J]. *Autom Tech*, 2017(1): 1-6. (in Chinese)
- [44] ZHAO F, HAO H, LIU Z. Technology strategy to meet China's 5 L/100 km fuel consumption target for passenger vehicles in 2020 [J]. *Clean Tech Envir Policy*, 2016, **18**(1): 7-15.
- [45] LIU Z, HAO H, CHENG X, et al. Critical issues of energy efficient and new energy vehicles development in China [J]. *Energy Policy*, 2018, **115**: 92-97.
- [46] 工业和信息化部, 国家发展和改革委员会, 科学技术部. 汽车产业中长期发展规划 [OL]. (2017-04-06), 北京. http://www.most.gov.cn/tztg/201705/t20170510_132694.htm.
The National Development and Reform Commission, the Ministry of Industry and Information Technology, The People's Republic of China Ministry of Science and Technology. Middle and long term development plan of automotive industry [OL]. (2017-04-06), Beijing. http://www.most.gov.cn/tztg/201705/t20170510_132694.htm. (in Chinese)
- [47] Heikkilä S. Mobility as a service : A proposal for action for the public administration, case Helsinki [D]. Helsinki: School of Engineering, Aalto University, 2014.
- [48] 王学成, 荣朝和. 出租车行业管制下的出行服务平台发展研究 [J]. 经济与管理研究, 2016, **37**(6): 90-97.
WANH Xuecheng, RONG Chaohe. Development of travel service platform in condition of constraint Taxis [J]. *Res Economics Manag*, 2016, **37**(6): 90-97. (in Chinese)
- [49] ZHAO S, ZHAO F, LIU Z. The current status, barriers and development strategy of new energy vehicle industry in China [C] // *Int'l Conf Indu Tech Manag. IEEE*, 2017(1): 96-100.
- [50] 刘宗巍, 马雨晴, 郝瀚, 等. 微型短途电动汽车产品电池类型选择的成本量化对比研究 [J]. 汽车工程学报, 2018(3): 157-167.
LIU Zongwei, MA Yuqing, HAO Han, et al. Quantitative comparative study on battery selection for micro short-distance electric vehicles [J]. *Chinese J Automotive Engineering*, 2018(3): 157-167. (in Chinese)
- [51] 赵福全, 刘斐齐, 刘宗巍, 等. 中国汽车产业低碳化评价指标体系研究 [J]. 中国工程科学, 2018, **20**(1): 104-112.
ZHAO Fuquan, LIU Feiqi, LIU Zongwei, et al. Research on evaluation index system for low-carbon development of China's automobile industry [J]. *China Engi Sci*, 2018, **20**(1): 104-112. (in Chinese)

赵福全 教授

现为清华大学教授、博士生导师, 清华大学汽车产业与技术战略研究院院长。主要从事汽车产业发展、企业运营与管理、技术发展路线等领域的战略研究。

Pro. ZHAO Fuquan

He is a Professor and Director of *Automotive Strategy Research Institute at Tsinghua University*, (TASRI). He is leading a group of strategic study on automotive industry policy, corporate management and technology strategies since May 2013.

刘宗巍 博士

现任清华大学汽车产业与技术战略研究院副研究员, 主要从事汽车企业技术管理研究, 侧重于研发方法论, 产品开发流程与项目管理, 以及技术战略评价与决策方法论等。

Dr. LIU Zongwei

He serves as an associate professor of *Tsinghua Automotive Strategy Research Institute* (TASRI). He mainly works on automotive corporate technological management, with special interests in R&D methodology, product development process and project management as well as technological strategy evaluation and decision-making methodology, etc.