

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2017.12.016

基于网络的汽车产品设计 / 制造 / 服务一体化研究

赵福全，刘宗巍，史天泽

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

摘要：论述中国在汽车领域实施基于网络的产品设计 / 制造 / 服务一体化工程的重要性、紧迫性和特殊性，分析中外汽车领域应用一体化技术的现状和差距，特别是对一体化工程所涉及的关键技术群进行系统分析和识别分类，给出技术发展路线图，以作为决策的参考依据。最后，阐述实现一体化工程的不同层级与相互关系，并从国家、行业和企业等多个维度，提出协同努力、推进实施汽车产品一体化工程的具体建议。

关键词：中国制造 2025；网联化技术；一体化工程；汽车产业

中图分类号：U468.1；F424.3

文献标志码：A

文章编号：1000-7695（2017）12-0097-06

Research on the Network-based Integration of Automotive Product's Design, Manufacturing and Service Technology

ZHAO Fuquan, LIU Zongwei, SHI Tianze

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

Abstract: In this paper, the application of integration of design, manufacturing and service (IDMS) in automotive industry is analyzed. The key technologies for IDMS are extracted and classified in this paper. A roadmap for development of IDMS in automotive industry is given as a reference. The application of IDMS demands the collaboration of different apartments including nation, industries and enterprises. Corresponding suggestions are given for the application of IDMS in automotive industry.

Key words: made-in-China 2025; internet technology; IDMS; automotive industry

当前，以互联网、大数据、云技术、3D 打印、人工智能等新技术为代表的新一轮科技革命方兴未艾，跨行业、跨企业的交织融合成为趋势，极有可能带来全球经济形态和产业竞争格局的巨大变化^[1]。在此背景下，全球主要工业强国都在积极应对，相继提出了机器人革命（日本）、工业互联网（美国）、工业 4.0（德国）等^[2]，以期加速本国制造业的转型升级，占领未来国际竞争的战略制高点。中国也提出了“中国制造 2025”的战略纲领，致力于推进工业化和信息化的深度融合，以适应互联网和新科技革命趋势带来的变化^[3]。事实上，互联网的迅速发展早已对通信、传播、零售业等领域造成了巨大影响，而目前正在越来越显著地冲击传统制造业^[4]。同时，互联网也给制造业带来新的机遇，引发资源配置、商业模式以及全产业链条的各个环节的重大变化。在此背景下，基于网络的设计 / 制造 / 服务一

体化技术越来越受到人们的关注。一体化技术以互联网为基础，通过充分网联，实现工业产品全生命周期内跨环节的全面联通和信息交互，同时实现各环节之间有效的协同。

一体化的核心在于基于网络手段，联通全生命周期内的设计、制造、服务等环节，变封闭串联为开放并联，形成各环节之间的紧密协同、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。具体包括异地设计、异地制造、异地服务的统一标准和协调同步，网络化设计、网络化制造、网络化服务以及三者的有效联通和集成。相对于传统生产方式，在制造业领域实施基于网络的一体化工程有巨大优势。如通过虚拟环境中的设计、开发、验证，大大缩短产品开发周期，节省开发成本；直接与客户互动，实现更精准的客户需求采集、分析与响应；设计与制造同步，数据

收稿日期：2016-09-02，修回日期：2016-12-15

项目来源：中国工程院项目“制造强国战略研究”第一期（2013-ZD-4）；中国工程院项目“制造强国战略研究”第二期（2015-ZD-07）

共享，实时反馈与更新，更加高效、精准；各企业之间直接相连，消除中间环节，实现最大程度的协同效应；销售与服务与设计、制造融合为一体，重塑新型商业模式和产业生态，带来新的业务领域和盈利可能；充分互联协作，可以有效利用全球化的离散资源。目前国外的一体化工程应用广泛，已产生了很多效果明显的典范示例；而在国内，航空^[5-6]、船舶^[7-8]和汽车等是一体化技术应用的重点领域，也在不断深化和推广。

本文重点讨论一体化工程在汽车领域的应用。汽车产业牵涉面广、关联度大、带动性强，处于装备制造业的高端，是国家工业基础、科技水平、综合国力的综合体现^[9-10]，研究一体化工程在汽车产业的具体应用和相关关键技术的发展路径，对于促进和指导产业提升具有重大意义。为此，针对汽车产品的特殊性，结合中国汽车产业的实际情况，本文在综合分析和系统梳理的基础上，提出了一体化工程在汽车领域应用的关键技术和发展路线图，并对其推进实施提出了具体建议。

1 在汽车领域实施一体化工程的意义

一体化工程可以使设计、制造、服务紧密协同、充分联动，其在复杂工业产品生产中应用的难度更大、优势也更大。汽车产品的复杂性高、关联性强，因此一体化工程的应用潜力大，如能有效应用，其效果将更显著。因此，开展一体化工程在汽车领域的应用具有极高的研究价值，具体有以下三点。

其一，实施汽车产品一体化工程具有很高的必要性。首先，汽车产业链条长，涉及面广，关联性强，信息量大，因而在工厂间、甚至全产业链条间实现远程实时的信息交互、一体化协同至关重要。其次，汽车产品是机电一体化的复杂产品，具有安全、节能、环保、可靠、舒适、智能等多样化的性能指标，涉及零部件上万个、供应商数百个、总成和系统模块数十个，其开发周期长，产品创造全过程环节多，更需要一体化来打通彼此之间的屏障，形成合力。最后，汽车产品是大批量多工况应用的民用产品，不仅要追求规模效应，更要满足消费者不断提升的个性化需求。未来汽车制造模式必然向大规模定制化的智能制造发展，并将构成企业间激烈竞争的重要方面^[11]，而智能制造恰是以充分互联、有效协同为基础的，也就是说基于网络的一体化工程是汽车制造向“汽车智造”升级的前提。

其二，实施汽车产品一体化工程具有很强的紧迫性。一方面，中国经济已步入增长速度趋于平缓的“新常态”，中国汽车产业的市场竞争也日趋激烈。目前全球几乎所有的品牌都已进入中国市场，合资企业产品线已在下探，中国汽车制造业面临着巨大挑战和转型压力。另一方面，行业法规越来越严格，消费者的期望越来越高，而自主研发能力薄弱、核

心技术缺失的自主品牌在技术、质量、效率等方面全面落后、亟待提升。因此依托较强的信息产业基础，实施一体化工程以把握新一轮科技革命的历史性机遇，对于汽车产业而言具有现实的紧迫性。

其三，汽车产品在未来智能化生产中占有特殊地位。一方面，汽车产品作为未来智能网联终端之一，将成为未来智慧城市和“万物网联”社会的重要接口，影响到社会生活的方方面面。另一方面，智能汽车产品与汽车智能制造互为促进，产品的网联化和智能化将有力地推动汽车制造过程中各环节、各要素的充分互联、高效协作，最终实现智能生产，而后者又会对提升汽车产品的智能化产生正向激励作用。

2 中外汽车产品一体化现状与差距

在各大工业强国制定并实施发展的先进制造业计划中，汽车产业都扮演着重要的角色，如美国的先进制造业国家战略计划将汽车定为首要目标，德国的工业4.0计划，大众、戴姆勒和宝马均参与其中。同时，各国的制造业战略规划中信息化、智能化技术也都处于核心地位，其中不乏基于网络的设计/制造/服务一体化方面的内容。

目前，发达国家在汽车产品设计/制造/服务一体化方面已实现了较高的数字化、自动化，正致力于打通各环节间的“壁垒”，真正形成闭环的一体化的体系，从而进一步提升效率，并为制造业未来的转型升级做好准备。例如美国福特汽车公司所推行的C3P（CAD/CAM/CAE/PIM）体系、德国奥迪公司的柔性化数字工厂、日本丰田汽车公司基于网络的产、供、销一体化TNS（Toyota Net System）系统等。对中国汽车企业而言，大部分汽车企业已初步具有基于网络的设计、试验、仿真、制造、服务的应用系统，各应用系统的应用切实带来了设计、制造、服务的提升。例如长安集团的“数字化研发平台规划”、长城汽车的数字化工厂的开发、福田欧曼的重型卡车数字工厂等。一体化工程的应用已帮助这些企业缩短产品开发周期、降低经营成本、开拓销售渠道、提高经营利润。

总体而言，中国汽车产业的一体化工程应用，与先进国家相比还有较大差距，这些差距不仅体现在产品设计、制造、服务各环节，更体现在协同开发平台的缺乏。一方面，目前国内尚未建立跨企业、全网资源共享的协同工作平台，甚至大多数企业还没有成熟的内部协同工作平台。汽车产品协同开发平台是汽车设计/制造/服务一体化工程的核心技术之一，为生产、设计、销售各环节人员的协同、交流提供基础，也是汽车产品一体化生产的重要支撑。在企业内部层面，少数已有的工作平台覆盖范围较窄，设计/制造尚未充分协同，遑论服务环节的引入。而且协同平台的应用也不够广泛，大量零部件企业，甚至整车厂尚无协同平台的开发。在产业层面，车

企和研究单位分别建立了自己的设计、制造、试验、材料等数据库，却未实现相互通联及资源共享。另一方面，中国汽车产业整零设计协同不足、设计与制造融合不足、服务环节滞后。在整零协同设计方面，部分整车与零部件企业内部分别建立了设计平台，但整车与零部件企业之间缺乏统一标准，协同不足；在设计与制造融合方面，异地设计与制造协同尚未充分实现，柔性化、数字化生产更严重推广不足，由于未能获得足够的制造数据，以设计数据与制造数据互相集成为基础的设计/制造一体化也很不完

善，无法形成实时协同，造成生产效率和准确度受到限制；在服务环节，信息收集方式落后，且数据尚未完全集成，造成其作用仅体现在服务反馈上，无法与设计、制造进行有效协同。

事实上，中国汽车产品与国际先进水平的显著差距，在很大程度上正是由于中国汽车产业在一体化工程方面存在严重的短板。中国汽车企业引入一体化工程较晚，且投入不足，在技术、标准、工作流程以及管理模式等方面，与国际先进水平相比都有较大差距。具体分析如表1所示。

表1 中国汽车产品一体化短板分析

技术方面	标准方面	工作流程方面	管理模式方面
一体化管理信息平台	面向汽车产品的一体化开发标准体系	开发流程	与一体化生产相配套的管理机制
动态企业建模技术应用	汽车零部件数据流标准化建设	管理流程	与一体化生产相配套的组织架构
协同设计技术开发	汽车零部件数据库建设	数字化工艺设计流程	配套管理模式的研究
柔性化/数字化生产技术	设计标准与生产标准的统一	服务与设计/制造的交互流程	
生产流程仿真技术			

3 汽车一体化工程关键技术分析

3.1 汽车产品一体化工程关键技术

汽车产品设计/制造/服务一体化工程，是以相关的大量关键技术为支撑的，这些技术既包括传统的汽车设计、制造、服务技术，也包括信息化、智能化等新技术。然而技术（特别是新技术）的发展和进步往往存在较大的不确定性，同时也受到成本、法规、消费者认知等其它诸多因素的影响，因此尽管提升一体化工程应用程度的大方向毋庸置疑，但在具体实施过程中，仍然需要理清关键技术群，把握发展时间表，才能针对关键短板，有效实施攻关，既前瞻又不盲目地有序推进、逐步发展。有鉴于此，本文从技术维度上对一体化工程关键技术进行深入研究和系统梳理，以期为国家和企业提供决策参考。

经认真提炼和遴选，本文将汽车产品一体化工

程涉及到的关键技术逐一列出，并尝试进行清晰描述：以网络化发展程度为横坐标，将各关键技术以网络化平台及共性技术、一体化设计、制造、服务技术四个维度进行了分类，具体如表2所示。其中，网络化平台及共性技术包括数据技术和网联化技术两个类别，是一体化工程的总体性核心技术，为设计、制造、服务信息的交互协同提供平台^[12-13]和支撑，涵盖了物联网^[14]、大数据^[15]、云计算、网络安全等重要技术。一体化设计技术和一体化制造技术分为虚拟技术和实体技术两个类别，核心在于利用虚拟技术和平台进行协同设计/制造，主要包括数字化建模、协同设计、网络化敏捷设计、虚拟制造以及云制造和制造互联网等技术^[16]。最后是一体化服务技术，划分为面向汽车厂和面向消费者的两个类别，涉及物流、服务、车联网等关键技术。

表2 汽车产品一体化工程关键技术群

关键技术类别	低度网络化 (当前)	中度网络化 (2020年)	高度网络化 (2025年)
网络化平台/共性技术	数据技术	数据转换技术 数据采集技术	数据管理技术 数据集成技术
	网联及支持技术	人工智能 无线通讯与传输	软件间的重新组合和集成 微电机系统传感技术 异构网络互连 5G高速网络
一体化设计技术	虚拟技术	CAD/CAE 优化仿真技术 虚拟现实技术 数字化建模技术	设计协同技术(企业内) 虚拟产品开发 计算机辅助工艺规划 虚拟产品规划 快速成型技术
	实体技术	逆向工程	设计协同技术(企业间) 网络化敏捷设计 数字化生产体系 数字化生产数据库 虚拟制造技术 实时监测/自诊断/自恢复技术 3D打印技术 数字化生产技术
一体化制造技术	虚拟技术	制造过程仿真	资源优化管理技术 云制造技术 制造互联网
	实体技术		

表 2 (续)

关键技术类别		低度网络化 (当前)	中度网络化 (2020年)	高度网络化 (2025年)
一体化服务技术	面向汽车厂	物流管理 备件管理	服务一体化数据库	服务与设计协同 远程监测 用户图像与聚类 Web 语义
	面向消费者		服务优化分析 客户管理技术	远程诊断 车联网技术 用户支付技术 用户交互技术

3.2 汽车产品一体化工程技术路线分析

为了提供更清晰的指导参考,本文在关键技术识别的基础上,进一步提出了一体化技术发展的三个阶段,即设计/制造融合及网络化程度不断提高、企业内实现设计/制造/服务一体化、企业间实现设计/制造/服务一体化;其最终目标是实现智能制造,即基于充分互联协作的大规模定制化生产。在此基础上,结合产业实践及对主要技术的理解和判断,给出了中国汽车产品一体化技术路线图,如图 1 所示。

总体来看,一体化技术在中国汽车产业中的应用将不断深化,设计/制造的融合度以及服务端的网络化程度将不断提升;至 2020 年前后,在相关技术的支撑下,有相当一部分企业将实现内部的设计/制造/服务一体化,生产效率得到提高;至 2025 年前后,随着网络技术的发展和相关设计、制造、服务以及协同技术的发展,将实现不同企业之间的设计/制造/服务一体化协同生产。最终将过渡发展成为智能工厂。

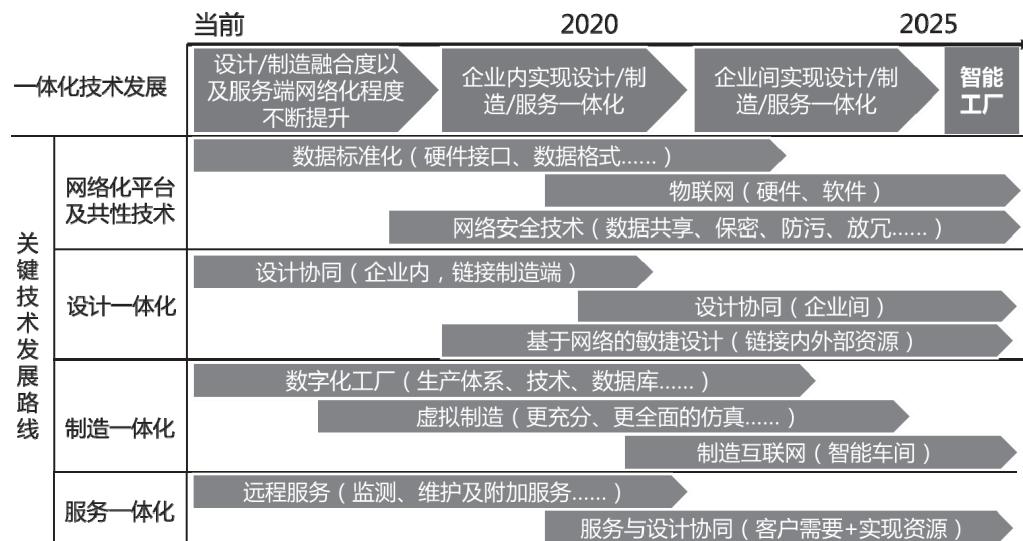


图 1 汽车产品一体化工程技术路线图

在关键技术层面上,网络化平台及共性技术是汽车产品设计、制造、服务协同工作的基础支撑。数据标准化是协同设计的前提,考虑到设计、制造、服务数据的复杂性和多样性,完善的一体化生产全网数据标准大致将于 2020 年—2025 年期间完善。物联网技术(包括相关硬件、软件)依托于数据标准化,大约将于 2020 年左右开始持续应用于汽车产品的一体化生产,并将不断完善。全网协同以及物联网等技术需要网络安全技术的保证,包括数据的共享、保密、防污、防冗等相关技术,这将是一个持续完善的过程,至 2020 年期间将开始逐步应用到汽车产品一体化中。设计、制造、服务方面也有相应的关键技术发展作为有效支撑。

4 汽车一体化工程实施建议

4.1 汽车产品一体化工程结构解析

基于网络的汽车产品设计/制造/服务一体化工程,是逐级交融、由点到面的系统工程,需要不同层面的共同协作。首先,必须对一体化工程的不同层级有清晰认识,具体来讲,大致可以分为三个层面,即企业内部一体化工程、汽车产业内(汽车相关企业之间)一体化工程、汽车产业与其它产业间(汽车企业与信息等产业的企业之间)的一体化工程,如图 2 所示。事实上,一体化工程的实施既是企业的事情,但又不限于一个企业,既是产业的事情,但又不限于汽车产业。要真正实施好一体化工程,需要企业、产业、国家的通力合作。

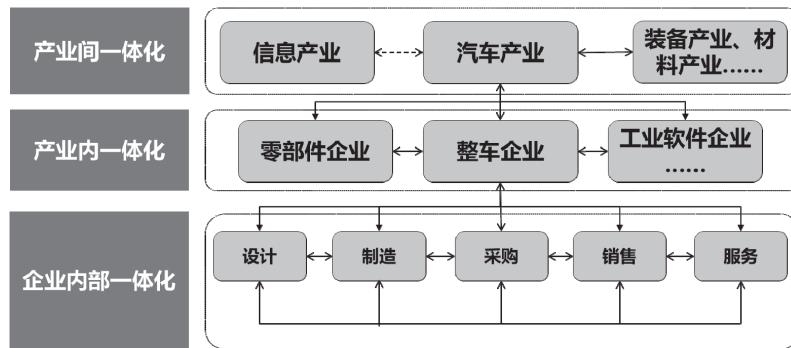


图2 基于网络的汽车产品设计/制造/服务一体化工程示意图

企业内的一体化工程，是指汽车企业内部各个部门之间的充分联通和高效协同，包含规划、设计、制造、采购、市场、销售、服务等。实现汽车企业内部各部门的一体化是整个一体化工程的基础。

产业内的一体化工程，是指产业链内各企业之间的充分联通和高效协同，包含上游原材料企业、中游核心零部件企业、下游整车制造企业以及各类服务机构。其中，掌控工业软件的企业至关重要，因为工业软件将对整车企业和零部件企业的一体化工程具有重要的推进和保障作用，而整零之间形成一体化协同，又是实现汽车行业一体化工程的基础。

产业间的一体化工程，是指汽车企业与其它相关产业如装备制造、材料等产业等之间实现充分联通和高效协同，从而实现更快速度、更低成本、更适宜质量、也更灵活的产品输出。这一层级的协调需要国家的主导和支持，也需要信息产业提供重要支撑。中国信息产业具有自身优势，可以为包括汽车产业在内的传统产业提供联接工具和协同手段，同时其互联协作、跨界融合的理念和思想，也可以发挥引导和示范作用，通过“互联网+”，将有助于加快传统产业充分网联进程，最终实现产业间设计/制造/服务一体化。

上述三个层面的一体化工程是由小到大、逐步扩展的关系，每个层面实现一体化是上一层面实现一体化的基础。而在具体实施过程中，国家首先应站在产业间实现一体化的战略高度，明确整个工程的顶层设计，并以重点企业为切入点和龙头，通过培育激励和示范引导，为产业内和企业内的一体化创造条件。企业则应结合自身条件，积极推进实施基于网络的汽车产品设计、制造、服务一体化示范工程，遵照循序渐进的原则，稳步推进，逐步扩展，不断完善。

4.2 一体化示范工程实施建议

根据以上分析，在中国推行汽车产品的一体化工程是一项复杂的系统工程，需要国家、产业、企业、科研机构的共同努力、通力协作。

国家需进行有前瞻性的顶层设计，强力推进实

施一体化工程，带动制造业转型升级。具体来讲，有五方面建议。第一，加强战略研究。国家需要站在新一轮科技革命和全球制造业转型升级的高度上，研究汽车产业未来的发展趋势，分析一体化工程在汽车产业的应用前景、潜在机遇与挑战，并提供清晰的方向性指导。第二，完成顶层设计。汽车产业实施一体化工程具有必要性、紧迫性、特殊性，是非常理想的切入点，在国家层面应尽快完成顶层设计，明确发展愿景、战略目标、实施路径、任务分工和支撑体系，避免企业自行发展造成的混乱和重复。第三，实施示范工程。建议从重点企业和重点产品入手，以点带面，逐步扩展，逐步实现企业内部、企业间、产业间的示范工程。实施中由简到繁，先在部分企业完成设计/制造一体化，在此基础上引入服务环节。第四，完善支撑体系。国家需推进标准制定和完善工作，及支撑性法规制度的建立，以保证数据安全等问题。第五，组织技术攻关。国家应进行一体化研究的科研、工程专项攻关，组织引导关键共性技术的重点突破。同时，还应加强对重点攻关技术的产业化应用引导，以实现关键核心技术带动一体化整体技术体系的发展和完善。

在产业层面，行业组织应在一体化工程的组织、协调和推进工作中发挥更大作用，为实施一体化工程提供优质服务。具体建议包括三点。首先，应构建产业间和企业间的合作交流平台。可以考虑建立汽车产业链上的一体化工程联盟，促进企业间交流。同时加强汽车产业与互联网产业的联系，进行一体化工程合作。其次，根据国家顶层设计和行业发展需要，产业内应尽快完成一体化工程方面的行业规范和标准制定并不断完善，同时协助国家制定该领域的相关法律法规。最后，需要参与并推动国家一体化工程和相关措施的落地。包括协助国家开展示范工程策划、立项、评审等工作，帮助企业解决项目实施中的问题，并将经验向全行业推广等。

对于企业来讲，一体化工程是汽车企业战略转型的重要举措和前进方向之一，理应尽快补课，积极追赶。总体而言，为实现基于网络的设计/制造/

服务一体化工程，企业需做到以下几点：加强技术创新，紧密跟踪先进技术趋势，加强重点关键技术的攻关与应用；统一技术标准，实现数据在各环节的无障碍流通；改造重点流程，变封闭串联式的工作流程为开放并联式的工作流程；变革运营模式，积极探索组织创新，以适应一体化工程的数据流通和信息管理需求。具体到业务层面，不同企业有不同的角色与分工。整车企业需着力提升企业的信息化、自动化、数字化程度，搭建交互平台，连接用户和资源；为逐步融入智能制造体系、满足大规模定制化生产做好准备；应积极向服务端延展业务，通过内部网、营销网、物流网、服务网四网交融，提升核心竞争力；尽快完成企业内部的一体化，包括实现流程、标准乃至管理模式的重塑与升级。零部件企业应加快提升数字化制造程度，并与整车企业实现对接；同时零部件企业还需加快与整车企业在设计阶段的融合，实现整零之间的一体化。而工业软件公司和工业装备公司则要全面提升面向一体化的技术能力并强化经验积累，为相关企业提供优质服务。

最后，高等院校、科研院所及第三方智库等，要为国家战略、行业标准献计献策，深入研究一体化工程的实现模式和硬软件技术等，为国家理清发展战略、制定产业规划、形成统一标准献计献策，为企业加速实施一体化工程程度，提供技术和智力支持。

5 结论

本文分析了一体化工程在汽车领域应用的重要意义，阐释了中国实施汽车产品一体化工程的必要性、紧迫性和特殊性，分析了中外在汽车产品一体化工程应用方面的主要差距。以此为基础，本文对一体化工程涉及的相关关键技术进行了深入研究和系统梳理，结合产业实践经验和对技术的综合预判，完成了一体化关键技术群的识别与分类，并绘制了关键技术发展路线图。同时，对一体化工程应用的不同层级进行了解析，指出该工程的实施必须由国家、产业和企业多方参与、分工协作、共同努力。最后，本文从国家、产业、企业三个层面，提出了汽车产品加快实施基于网络的设计/制造/服务一体化工程的具体建议：国家应完成顶层设计，并通过培育重点企业和实施示范工程，强力引导，以带动制造业整体的转型升级；产业应协助国家加强组织、协调和推进工作，特别需要制定和完善标准规范体系，并牵头促进跨企业、跨产业的一体化合作；企业则应加紧补课，积极追赶，立足于先在企业内部实现一体化，重点攻关关键技术，重塑流程和体系，并加强外部合作，不断提升自身的一体化应用水平。最终通过各方面的通力合作，将有效推动一体化工程在汽车领域的深化应用和推广，为中国早日建成

汽车强国乃至制造强国提供重要动力。

参考文献：

- [1] LEE J, BAGHERI B, KAO H. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems [J]. Manufacturing Letters, 2015 (3):18–23
- [2] 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(03):103–110
- [3] 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
- [4] 王湘念,侯志霞.基于网络的航空产品设计/制造/服务一体化技术研究[J].航空制造技术,2014(13):56–59
- [5] 马瑛剑.低成本通用飞机复合材料设计制造一体化技术[J].航空制造技术,2011(20):51–54
- [6] 陈昌伟,胡国清,张冬至.飞机数字化柔性工装技术研究[J].中国制造业信息化,2009,38(9):21–24,28
- [7] 陈启涛,金钷峰,王聿.基于并行协同设计理念的船舶设计流程优化[J].船舶标准化与质量,2014(04):21–27
- [8] 郑冬标,邢晓龙.江南造船数字化生产计划关键技术应用[J].上海造船,2010(02):72–78
- [9] 赵福全,刘宗巍.我国建设汽车强国的战略判断[J].汽车工程学报,2014(05):313–318
- [10] 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
- [11] 赵福全,刘宗巍.汽车强国战略视角下的本土企业定位分析[J].汽车科技,2014(06):1–5
- [12] 张振宇,许多.设计制造协同平台的构建与关键技术[J].航天制造技术,2012(05):67–70
- [13] 张倩,齐德显.面向服务的云制造协同设计平台[J].华南理工大学学报(自然科学版),2011,39(12):75–81
- [14] BANDYOPADHYAY D, SEN J. Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization [J]. Wireless Personal Communications, 2011, 58 (1):49–69
- [15] ZHOU K, FU C, YANG S. Big data driven smart energy management: From big data to big insights [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016:215–225
- [16] ORDAZ N, ROMERO D, GORECKY D, et al. Serious Games and Virtual Simulator for Automotive Manufacturing Education & Training [J]. Procedia Computer Science, 2015 (75):267–274
- [17] 王文涛,刘燕华.3D打印制造技术发展趋势及对我国结构转型的影响[J].科技管理研究,2014,34(6):22–25
- [18] 徐静,陈秀万.我国智慧城市发展现状与问题分析[J].科技管理研究,2014,34(7):23–26
- [19] 李高扬,刘明广,LIGAOYANG,等.产学研协同创新的演化博弈模型及策略分析[J].科技管理研究,2014,34(3):197–203
- [20] 周秋忠,范玉青.MBD技术在飞机制造中的应用[J].航空维修与工程,2008(3):55–57
- [21] 魏淑艳,郭随磊.中国新能源汽车产业政策工具选择[J].科技进步与对策,2014(21):99–103
- [22] 胡斌祥,王仲范,邓楚南,等.我国电动汽车产业发展战略研究[J].科技进步与对策,2001,18(4):31–33
- [23] 顾力刚,张文帝.基于联合申请专利的企业研发合作网络研究[J].科技进步与对策,2015(5):73–78

作者简介：赵福全(1963—)，男，辽宁铁岭人，教授，博士，主要研究方向为汽车产业、企业运营管理、研发体系建设及技术路线的战略；刘宗巍(1978—)，通信作者，男，辽宁辽阳人，副研究员，博士，主要研究方向为汽车企业管理、产品开发流程与项目管理、以及技术路线评估；史天泽(1989—)，男，河北石家庄人，博士后，主要研究方向为汽车企业技术战略。