



② 数字经济系列丛书

新范式下 中国制造业数字化转型 ——理论与实践

许冠南 孔德婧 周源 / 著

国家制造强国建设战略咨询委员会委员 屈贤明
教育部长江学者特聘教授 吴晓波

推荐

非
外
借



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

数字经济系列丛书

新范式下中国制造业数字化转型

——理论与实践

许冠南 孔德婧 周 源 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

当前制造业范式面临巨大变革,智能制造成为未来制造的主攻方向,而数字化转型是夯实我国智能制造发展的基础。本书深入浅出地对制造业数字化转型理论与实践进行了梳理和剖析,共分为三篇展开:理论篇剖析制造范式变革与数字化转型的国家战略、智能制造新模式以及产业治理工具;产业篇基于工业机器人、3D打印、伺服电机等数字化制造关键产业深度研究,探析中国制造业的数字化转型实践;政策篇解析中国制造业数字化转型相关产业政策及区域政策,并提出我国制造强国建设与数字化转型的政策建议。

本书有助于加强对新范式下我国制造业数字化转型的理解,可为相关学者、产业界人士、政府部门提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

新范式下中国制造业数字化转型:理论与实践 / 许冠南,孔德婧,周源著. -- 北京:北京邮电大学出版社,2019.8

ISBN 978-7-5635-5839-1

I. ①新… II. ①许… ②孔… ③周… III. ①制造业—数字化—研究—中国 IV. ①F426.4-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第172674号

书 名:新范式下中国制造业数字化转型——理论与实践

作 者:许冠南 孔德婧 周 源

责任编辑:徐振华 米文秋

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail:publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京玺诚印务有限公司

开 本:720 mm×1 000 mm 1/16

印 张:20

字 数:410千字

版 次:2019年8月第1版 2019年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-5839-1

定 价:68.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

寄 语

经过新中国近七十年特别是改革开放四十多年的奋斗,中国制造业总体规模大幅提升,综合实力不断增强。世界银行数据显示,2010年以来,中国制造业产值连续五年超过美国,在全球制造业的占比2017年达到28.57%,成为名副其实的全球制造大国。但中国还不是制造强国,当前迫切需要转变发展方式,实现制造业数字化、网络化、智能化的战略转折。

在当前发展范式转变的关键期,我国制造业发展挑战与机遇并存。一方面,国际金融危机后,发达国家高端制造回流与中低收入国家争夺中低端制造转移同时发生,对中国制造业形成“双向挤压”的严峻挑战。面对这种形势,中国制造业仍然大而不强,存在着发展方式粗放、结构不合理、核心技术受制于人、资源环境约束强化等深层次的矛盾和问题。另一方面,以信息技术与制造技术深度融合为主要特征的新一轮科技革命与产业变革已经到来,新一轮的技术革命和产业变革对于当今中国,尤其是对于中国的制造业,是一个技术上赶超发展、结构上加快升级的重大机遇。

制造业是创新驱动发展的主战场,制造业数字化转型是中国制造业升级的重要途径。智能制造范式可以归纳和提升为三种基本范式,即数字化制造、数字化网络化制造和数字化网络化智能化制造,智能制造的三个基本范式次第展开、迭代升级。一方面,三个基本范式体现着国际上智能制造发展历程中的三个阶段;另一方面,对中国而言,必须发挥后发优势,采取三个基本范式并行推进、融合发展的技术路线。据调查,数字化网络化智能化制造已成为中国73%的制造企业的强烈需求,并在数千家企业实施,有了较好的基础。同时,互联网在企业得到普及应用,新一代人工智能技术取得重大突破,并在中国提前布局。中国制造应当树立战略自信,抓住范式转变的契机,实现跨越发展。

本书作者长期关注制造业创新发展以及新兴产业领域的研究,在本书中对新范式下我国制造业的数字化转型升级进行了深入探讨,对于我国制造业发展以及新一代信息技术在各行业领域的推广应用将发挥积极作用,希望能够为相关部门、产业、企业制定数字化转型战略及规划提供依据和参考。

国家制造强国建设战略咨询委员会委员

屈贤明

2019年7月于北京 中国工程院

序

经过近七十年的奋斗，新中国制造业发展跌宕起伏，终于雄起于世界的中国成为当今世界的头号制造大国。从一百多年前的“洋务运动”迄今，历经错失的第一次产业革命、抓住了尾巴的第二次产业革命、攀上潮头的第三次产业革命，中国制造历经曲折磨难，终于勇立于第四次产业革命的潮头，全面进入了中华崛起的伟大新时代！

然而，新时代的新长征伴随新一轮科技革命在全球的蓬勃兴起，意味着制造业的发展内涵和发展方式的范式转变。中国制造从“追赶”到“超越追赶”的质变，是一场“非线性的范式转变”，意味着过去的成功将面临“忘却”，意味着中国制造将面临更艰巨的“颠覆性、革命性”的挑战。当下，以“数字化”为核心，万物互联、人工智能、边缘计算、脑科学等新环境、新技术、新方法、新思维驱动着中国制造的新发展。新的内涵、新的发展范式需要人们站在新的思维前沿展开勇敢的研究和探索。巨大的战略机遇亦意味着重大的挑战，中国的制造强国之路依然艰难，需要一代又一代人的共同努力奋斗！

许冠南女士十多年前曾作为从本科直攻博士学位的博士在我门下学习多年，长期积极从事制造业的创新管理研究，并作为“浙江大学-剑桥大学全球化制造与创新管理联合研究中心”的联合培养博士生，曾赴剑桥大学深造。期间，她参与了我主持的国家自然科学基金与英国皇家科学院联合资助项目等多个与制造业密切相关的课题，发表了许多有独到见解的高水平论文。作为女生，长期深入制造企业一线调研实属不易。记得当初去杭州下沙工业园区调研时，她担任学生调研小组的组长，在她文弱的表象背后所表现出来的那股倔强劲儿给我和其他老师留下了深刻的印象。她在浙江大学学习期间曾获得多项荣誉：优秀博士论文、浙江省优秀博士毕业生、光华一等奖学金等。毕业后，她任教于北京邮电大学，持续研究中国制造，与清华大学公共管理学院长聘副教授、中国工程科技发展战略研究院院长助理周源博士（许冠南在剑桥大学制造研究院留学时的学友）多有合作，他们的研究报告和建议被中国工程院、科技部等相关部门多有采纳。期间，我们亦在国际会议和相关学术学会上多有相遇，在成为日渐成熟的学者的同时，她仍然保持着那种谦虚好学、积极钻研、主动求智的风格，令人欣慰。

本书是许冠南女士与孔德婧博士和周源博士合作的结晶，三位志同道合的青年学者站在时代的最前沿，又深入实际，不仅有“理论篇”，更有“产业篇”和“政策篇”，仰望天空而又脚踏实地，可谓“顶天立地”之作，在这一阵风似地只盯着“国际顶尖杂志”致力于“闭门造车”写论文的浮躁空气中，无异于一股“把论文写在祖国大地上”的清风。这是一时心血来潮所不能成就之书，它建立在长期致力于制造业创新发展以及新兴产

业领域的研究,全程参与“制造强国战略研究”与“战略性新兴产业培育与发展”等一系列中国工程院重大咨询项目,长期深入调研制造业数字化转型的多年相关研究基础之上,其中的真知灼见可为广大从事相关理论研究、产业实践和政策制定的读者带来重要的启发和借鉴。

作为长期从事全球化制造与创新的学者,目睹中国制造从“二次创新”驱动的追赶向“原始创新”驱动的超越追赶之升级,能应邀为这样的青年后继的作品作序,深感高兴。相信有这样一大批积极投身于祖国建设大事业的年轻一代学者,中华崛起之“中国梦”并不遥远!

浙江大学求是特聘教授
浙江大学社会科学学部主任
教育部长江学者特聘教授
吴晓波
2019年7月于杭州 求是园

前 言

随着新一轮科技革命在全球范围蓬勃兴起,制造业的发展方式正在发生颠覆性、革命性的转变,在移动互联网、大数据、人工智能、超级计算、传感网、脑科学等新理论、新技术的驱动下,呈现出深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放、自主操控等特征,正在对经济发展产生重大而深远的影响。作为实体经济的主体,制造业的高质量发展是重中之重,而颠覆式技术的不断涌现为制造业创新发展、“换道超车”提供了机遇。制造业在传统数字化制造范式的基础上,逐渐呈现出“互联网+制造”“人工智能+制造”的数字化、网络化、智能化制造范式的特点。在新的范式下,制造业数字化转型被赋予了新的内涵。

2013—2014年,中国工程院会同工业和信息化部、国家质检总局共同开展“制造强国战略研究”重大咨询项目,提出了我国跨入制造业强国行列的“三步走”战略,并向中央提出制定实施“中国制造2025”的战略建议。2015年3月,国务院发布了“中国制造2025”战略,强调了制造业在我国经济发展中的重要地位,提出要牢牢坚持发展制造业不动摇,同时提出实现制造强国必须遵循“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化”的发展方针,以及实现实施制造强国战略的8项战略对策。2015—2016年,中国工程院进一步组织开展了“制造强国战略研究(二期)”重大咨询项目,配合国务院领导小组以及工业和信息化部制订完善“中国制造2025”“1+X”行动计划,并协助推动“中国制造2025”落地实施,着重围绕“中国制造2025”的九大战略任务落地实施以及智能制造、绿色制造、优质制造、制造业服务化、制造业创新体系构建实施过程中遇到的主要问题进行深入研究,并对典型地区制造2025和典型制造企业2025进行案例研究,以加快中国制造业由大向强转变的步伐。

与此同时,加快培育和发展战略性新兴产业,对推进制造业数字化转型、实现产业结构升级、加快经济增长方式转变、构建国际竞争新优势和掌握发展主动权具有重要的战略意义。为此,2011年6月,中国工程院启动了“战略性新兴产业培育与发展”重大咨询项目,项目组包括30位院士及三百余位专家。2014年、2016年、2018年,在“战略性新兴产业培育与发展”重大咨询项目的基础上,中国工程院先后启动了“‘十三五’战略性新兴产业培育与发展规划研究”重大咨询项目、“战略性新兴产业发展重大行动计划研究”重大咨询项目、“新兴产业发展战略研究(2035)”重大咨询项目,组织开展了一系列新兴产业发展战略研究工作,并针对新兴产业发展所存在的问题和区域布局,进一步优化新兴产业的创新发展,提出新型创新引领模式。

笔者长期致力于制造业创新发展以及新兴产业领域的研究,有幸全程参与了上述

“制造强国战略研究”与“战略性新兴产业培育与发展”系列中国工程院重大咨询项目，对制造业数字化转型有较为深刻的理解，因此将多年来的相关研究整理成册，以与广大读者共同探讨新范式下中国制造业数字化转型之路。

本书从制造业数字化转型的理论内涵、产业实践、政策实践三个层面对新范式下的制造业转型升级、提质增效进行了逐层解析。

第1~3章为理论篇，第1章从国家战略层面阐释分析中、美、德等国家的制造业数字化转型战略及其影响与启示；第2章深度解构新范式下制造业数字化转型的新模式，厘清其技术体系框架；第3章梳理制造业数字化转型的产业治理工具，从而为新范式下我国制造业的数字化转型提供理论支撑。

第4~7章为产业篇，第4章基于中、日、韩三国工程院的合作调查研究对制造业数字化转型重点领域进行技术预见分析；第5~7章从不同视角对三个代表性产业进行深度剖析，其中，工业机器人作为数字化转型的主战场、3D打印作为数字化转型的新领地、伺服电机作为数字化转型的动力源，在制造业数字化转型中发挥着重要作用，能供其他产业数字化转型与创新发展的借鉴。

第8~10章为政策篇，第8章重点解析国务院及中央部委对于制造业数字化转型的相关产业政策；第9章对全国各省域政策的组合与执行进行对比分析；第10章总结“中国制造2025”的实施成效与经验，分析其中的问题，进而为我国制造强国建设与数字化转型提出政策建议。

由于作者水平有限，书中难免有不足和错误之处，恳请读者批评指正。

本书的基金资助项目包括：国家自然科学基金项目（71872019，91646102，L1824040，L1724030，L1824039）、北京市社会科学基金项目（17GLC058）、北京市自然科学基金项目（9182013）、中央高校基本科研业务费专项（2018XKJC04，2018RC41）、教育部人文社会科学研究专项任务项目（工程科技人才培养研究）（16JDGC011）、科技重大专项课题“高档数控机床与基础制造装备”（2016ZX04005002）、中国工程院知识中心建设项目（CKCEST-2018-1-13，CKCEST-2017-1-10，CKCEST-2015-4-2）、清华大学绿色经济与可持续发展研究中心研究子项目（20153000181）、英国牛顿基金项目（UK-CIAPP\260）。

作者

2019年3月于北京

目 录

理 论 篇

第 1 章 新范式下制造业数字化转型的战略	3
1.1 我国制造业发展战略	3
1.1.1 我国制造业发展面临新的挑战	4
1.1.2 新一轮科技革命为我国制造范式转变提供契机	5
1.1.3 “中国制造 2025”战略	5
1.2 发达国家制造业发展战略	6
1.2.1 美国先进制造发展战略与“工业互联网”战略	6
1.2.2 德国“工业 4.0”战略	8
1.3 制造业数字化转型战略的影响与启示	9
第 2 章 新范式下制造业数字化转型的新模式	12
2.1 智能制造新模式的内涵与特征	12
2.2 智能制造新模式的技术体系构建	13
2.2.1 智能制造新模式的技术体系框架	13
2.2.2 智能制造新模式的技术体系解析	14
2.3 智能制造新模式的技术发展热点分析	17
2.3.1 数据获取	17
2.3.2 专利文献分析	18
2.3.3 论文文献分析	26
2.3.4 智能制造新模式的技术清单框架	38
2.4 智能制造新模式的重心:规模定制生产	38
2.4.1 规模定制生产模式的内涵	39

2.4.2	规模定制生产模式的技术体系	39
2.4.3	规模定制生产模式的发展关键点	41
2.4.4	规模定制生产模式的发展支撑	42
第3章	新范式下制造业数字化转型的治理工具	43
3.1	新兴产业发展治理工具概述	43
3.2	新范式下的政府采购	44
3.2.1	政府采购概述	44
3.2.2	发达国家政府采购政策发展	44
3.2.3	发达国家政府采购案例	45
3.3	新范式下的政府补贴	46
3.3.1	政府补贴概述	46
3.3.2	发达国家政府补贴政策发展	47
3.3.3	发达国家政府补贴案例	48
3.4	国际经验启示	50

产 业 篇

第4章	制造业数字化转型重点领域技术预见	53
4.1	中日韩三国工程院合作调查研究简介	53
4.2	中日韩先进制造业发展概述	54
4.3	中日韩先进制造发展重点领域及技术分析	57
4.4	中日韩先进制造各领域技术合作期望分析	64
4.5	中日韩先进制造技术合作总体评估	69
4.6	制造业数字化转型的重点领域	71
第5章	工业机器人:数字化转型的主战场	72
5.1	工业机器人产业与可持续发展	72
5.2	工业机器人产业发展现状	74
5.3	我国工业机器人产业技术基础	78
5.3.1	总体发展水平	78
5.3.2	核心技术发展水平	83

5.3.3	技术创新发展水平	91
5.4	我国工业机器人产业创新能力	92
5.4.1	国家创新能力差距评估数据库	92
5.4.2	高价值专利分析	92
5.4.3	工业机器人创新能力差距评估	95
5.5	我国工业机器人领域国际合作	101
5.5.1	国际合作问卷调查	102
5.5.2	重点技术及国际合作可行性	103
5.6	工业机器人产业可持续发展案例	106
5.7	促进工业机器人产业发展的建议	107
第 6 章	3D 打印:数字化转型的新领地	109
6.1	3D 打印产业概述	109
6.2	基于专利主路径分析的 3D 打印产业技术预测	111
6.2.1	主路径分析方法	111
6.2.2	数据获取与研究方法	112
6.2.3	3D 打印技术发展生命周期分析	114
6.2.4	3D 打印技术主路径演化分析	115
6.2.5	3D 打印技术预测	118
6.3	基于专利引用的 3D 打印产业国际知识流动	118
6.3.1	国际知识流动与产业发展	118
6.3.2	国际知识流动相关研究评述	120
6.3.3	国际知识流动影响要素模型构建	122
6.3.4	数据来源与研究方法	126
6.3.5	3D 打印产业实证分析	131
6.3.6	促进 3D 打印产业知识流动的建议	143
第 7 章	伺服电机:数字化转型的动力源	146
7.1	伺服电机产业概述	146
7.2	技术路线图方法	147
7.2.1	基本分析框架及流程管理	147
7.2.2	产业技术路线图制定的工作流程	149

7.2.3 伺服电机产业技术路线图研究方法	152
7.3 市场需求分析	153
7.4 产业目标分析	159
7.5 技术壁垒分析	162
7.6 研发需求分析	164
7.7 促进伺服电机产业发展的建议	166

政 策 篇

第 8 章 中国制造业数字化转型相关产业政策解析	173
---------------------------------	------------

8.1 中央政策目标导向分析	174
8.1.1 加强科技创新类政策分析	175
8.1.2 优化产业环境类政策分析	176
8.1.3 完善管理机制类政策分析	176
8.1.4 综合分析	178
8.2 中央政策着力点分析	179
8.2.1 主要供给型政策工具分析	179
8.2.2 主要环境型政策工具分析	180
8.2.3 主要需求型政策工具分析	182
8.2.4 综合分析	182
8.3 各产业领域政策着力点分析	183
8.3.1 节能环保产业	184
8.3.2 新一代信息技术产业	184
8.3.3 生物产业	185
8.3.4 高端装备制造产业	186
8.3.5 新能源产业	186
8.3.6 新材料产业	187
8.3.7 新能源汽车产业	188
8.4 产业政策分析结论与建议	188

第 9 章 区域制造业数字化转型政策比较分析	190
-------------------------------	------------

9.1 省域“十三五”战略性新兴产业发展规划对比分析	190
----------------------------	-----

9.1.1	省域“十三五”战略性新兴产业发展相关规划概述	190
9.1.2	省域战略性新兴产业重点领域对比分析	191
9.1.3	省域各产业重点方向对比分析	192
9.2	省域“中国制造 2025”行动计划重点领域对比分析	204
9.2.1	省域“中国制造 2025”行动计划概述	205
9.2.2	各省份重点发展领域一致性分析	206
9.2.3	各省份重点发展领域差异性分析	209
9.3	区域政策分析结论与建议	216
第 10 章	制造强国建设与数字化转型	218
10.1	“中国制造 2025”的实施成效与经验	218
10.1.1	制造业创新中心建设工程	219
10.1.2	工业强基工程	219
10.1.3	智能制造工程	220
10.1.4	绿色制造工程	222
10.1.5	服务型制造专项	223
10.2	建设制造强国面临的主要问题	225
10.2.1	生产率不高是现阶段建设制造强国的主要瓶颈	225
10.2.2	制造业增长方式仍然以规模扩张为主	226
10.2.3	制造业的发展水平存在不均衡	228
10.2.4	产业生态环境建设问题	237
10.2.5	产业政策与国际规则相适应性问题	239
10.3	新范式下制造强国建设的新要求	241
10.3.1	加大国家技术创新统筹部署的实施力度	241
10.3.2	把以企业为主体的技术创新体系建设落到实处	241
10.3.3	加快推进关键共性技术支撑体系建设	242
10.4	新范式下建设制造强国的对策与建议	243
10.4.1	继续大力推进制造强国建设	243
10.4.2	培育完善产业创新生态系统	244
10.4.3	处理好市场主导与政府调控的关系	245
10.4.4	处理好自主创新与开放发展的关系	246

参考文献	248
附录 1 “十二五”期间战略性新兴产业主要相关政策	253
附录 2 省域“十三五”战略性新兴产业发展相关规划统计	281
附录 3 省域“中国制造 2025”行动规划重点领域解析	283
附录 4 基于回归的影响因子分析模型(不含交叉影响)	300
附录 5 基于回归的影响因子分析模型(含交叉影响)	302

第1章 新范式下制造业数字化转型的概述

理论篇

1.1 我国制造业发展概况

第 1 章 新范式下制造业数字化转型的战略

以新一代信息技术为代表的新一轮科技革命正在全球范围蓬勃兴起,对传统制造业形成了巨大冲击,制造业的发展方式正在发生颠覆性、革命性的转变。人工智能、生物技术、量子通信等新技术正在积聚力量,与产业融合形成大量颠覆性技术,产品迭代速度不断加快。美国在 2012 年提出“工业互联网”的概念,德国在 2013 年提出“工业 4.0”战略,体现了互联网与制造业深度融合的发展趋势。2016 年,AlphaGo 击败了人类职业围棋选手,使人工智能技术重新受到全球关注。人工智能技术的创新突破向制造业与信息技术的深度融合提出了更高的要求。在移动互联网、大数据、人工智能、超级计算、传感网、脑科学等新理论、新技术的驱动下,制造业呈现出深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放、自主操控等特征,正在对经济发展产生重大而深远的影响,这不仅使产品的功能、性能和使用价值发生了巨大变化,使制造过程发生了深刻变化,也带来了产业模式、产业形态的革命性变化。制造业在传统数字化制造的基础上,逐渐呈现出“互联网+制造”“人工智能+制造”的数字化、网络化、智能化制造范式的特点。在新的范式下,制造业数字化转型被赋予了新的内涵。

1.1 我国制造业发展战略

习近平总书记曾指出,科学技术越来越成为推动经济社会发展的主要力量,创新驱动是大势所趋。在新一轮工业革命与中国加快转变经济发展方式形成历史性交汇的一刻,必须将核心技术和关键技术牢牢掌握在自己手中,实现工程化、产业化,使中国由科技强到产业强、经济强,最终实现国家富强。

近十年来,我国制造业持续快速发展,总体规模大幅提升,综合实力不断增强,不但对国内经济和社会发展做出了重要贡献,而且成为支撑世界经济的重要力量。2015 年,中国工业增加值约占全球工业增加值的 21.7%(数据来源:世界银行)。2016 年,我国共有 110 家企业入选“财富世界 500 强”,实现了上榜公司数量的持续增长,上榜公司包括上海汽车集团股份有限公司(46)、东风汽车集团(81)、中国南方工业集团公司(102)等大型国有企业,还包括京东(366)、浙江吉利控股集团(410)、美的集团股份