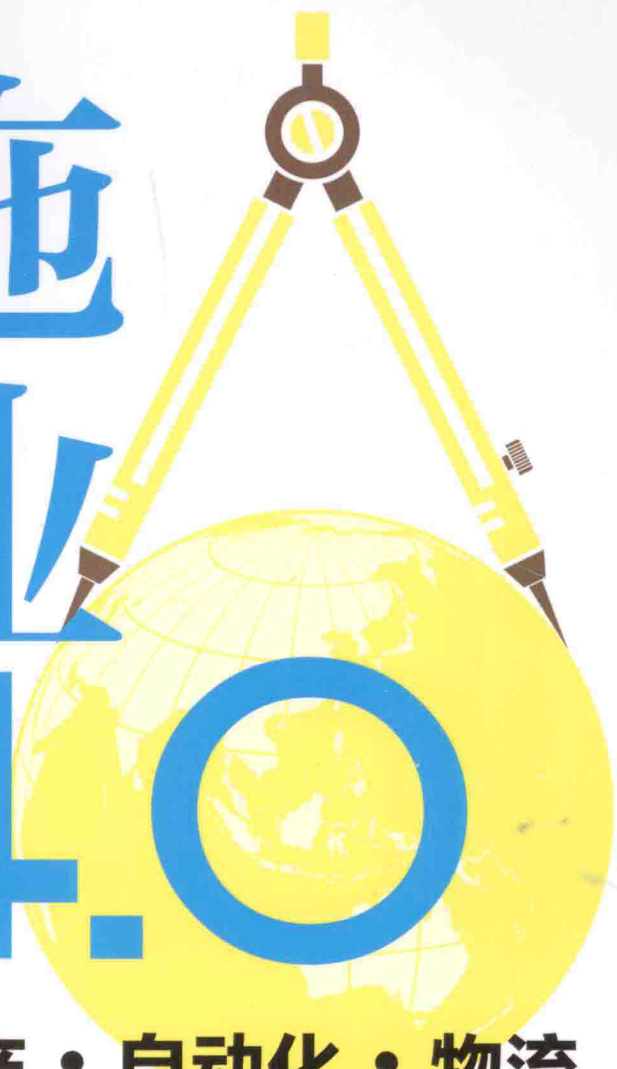


实施 工业

Industrie 4.0 in Produktion
Automatisierung und Logistik

4.0



—— 智能工厂的生产 · 自动化 · 物流
及其关键技术、应用迁移和实战案例

托马斯·保尔汉森
[德] 米夏埃尔·腾·洪佩尔
布里吉特·福格尔-霍尔泽
等著

工业和信息化部电子
科学技术情报研究所
译



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

实 施 工 业 4.0

——智能工厂的生产·自动化·物流
及其关键技术、应用迁移和实战案例

托马斯·保尔汉森

[德] 米夏埃尔·腾·洪佩尔 等著

布里吉特·福格尔-霍尔泽

工业和信息化部电子

科学技术情报研究所

译



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

前沿的科学家和技术人员在这部新的权威著作中为我们解答了有关工业 4.0 的以下问题：什么是工业 4.0？它将如何变革生产、自动化和物流？在引进工业 4.0 时有哪些通向成功的因素？有哪些技术将进行改革？信息技术行业的未来将如何？

以工业 4.0 的首次应用为出发点，作者讨论了从经济角度上看比较重要的一些问题，并为成功实现工业 4.0 制订了一个计划。本书以直观的实践案例来具体描述信息技术行业所面临的一些挑战和要求，主题包括从基础技术到垂直和水平方向的融合，到信息物理系统以及人机交互等各个方面，数据安全的内容也有所涉及。通过对现实的描述和对未来的展望，这部权威著作将为我们揭示德国实施工业 4.0 的真正作为。

Translation from German language edition:

Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik

by Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel and Birgit Vogel-Heuser

Copyright © 2014 Springer Vieweg | Springer Fachmedien Wiesbaden

Springer Fachmedien Wiesbaden is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

Authorized Simplified Chinese language edition by Publishing House of Electronics Industry © 2015

本书中文简体字版专有出版权由 Springer Science+Business Media, LLC 授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号图字：01-2015-1606

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

实施工业 4.0：智能工厂的生产·自动化·物流及其关键技术、应用迁移和实战案例/（德）保尔汉森（Bauernhansl,T.），（德）洪佩尔（Hompel,M.T.），（德）福格尔—霍尔泽（Vogel-Heuser,B.）著；工业和信息化部电子科学技术情报研究所译. —北京：电子工业出版社，2015.4

书名原文：Industrie 4.0 in produktion, automatisierung und logistik: anwendung • technologien • migration (german edition)

ISBN 978-7-121-25845-9

I. ①实… II. ①保… ②洪… ③福… ④工… III. ①信息技术—研究 ②信息产业—产业发展—案例 IV. ①TP3②F49

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 072617 号

责任编辑：柴 燕

印 刷：北京天宇星印刷厂

装 订：北京天宇星印刷厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：27 字数：691.2 千字

版 次：2015 年 4 月第 1 版

印 次：2015 年 4 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：88.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

工业 4.0：互联网时代的工业新思维

德国工业 4.0 战略，体系庞大，设计全面，为我们展现了未来工业发展的美好前景。其实，简化一些来看，我认为工业 4.0 主要是宣示互联网时代的工业新思维。

站在工业革命发展历程的角度看，新一代信息技术革命为人类开辟了新的活动空间，并使得知识与智慧的生产摆脱人力的自然束缚，得以实现工业化大生产。新一代信息技术带来了人的知识与智慧的工业化生产。打个比方，与徒步相比，高速公路、高铁、飞机等交通工具就是人脚力的解放和工业化。与记忆相比，录音带、CD、磁盘等记录仪就是人记忆力的延伸和工业化。而人的知识、智慧历来是依靠口口相传以及个体学习或集中教育等来积累与开发的。当人类知识实现数字化并联网后，人类对自然、事物的了解通过物联网、云计算、大数据实现全方位感知、存储与处理的时候，人类最本质的生产活动——智慧生产也开始走上工业化发展的道路。

过去几百年来，历次科技和产业革命，其共同特点是对物质生产活动的工业化，从蒸汽机时代到电气化时代，其效率远远超过了农业时代的人力、畜力等自然力。在信息技术没有诞生以前，人的脑力活动的成果，只能被有限地记录，而很难被联合、被放大。人类始终以有限的脑力活动控制着物理世界。而计算机尤其是互联网的诞生，使得以数字化、网络化手段生产、加工和传递信息、知识成为可能。随着信息技术一波又一波的跃迁与变革，更让人类对知识、智慧的生产与运用实现了高度工业化。

与前几次科技和产业革命相比，此次工业革命的根本驱动力来自知识与智慧的大生产。更加值得注意的是，基于信息网络这一崭新的信息空间，人类脑力生产的规模呈几何级数增长，其重要性也急剧上升，并被用于指导基于现实物理空间的活动。人类通过驾驭信息网络空间获得了远超前代人的更新更优的生产力。

当传统的规模化大生产经济模式在资源、能源等刚性约束下，因为需求的飞速变化而遭遇一系列瓶颈时，新一轮信息技术革命带来了新的解决方案。德国的工业 4.0 战略提出，利用 CPS（信息物理系统），可以跨越单个工厂、企业的界限，连接并高效利用全社会的设计资源、制造资源，实现智慧化生产。美国等国家的颠覆式医疗的前沿实践表明，网络化医疗的高级阶段就是全社会所有执业医师的知识与智慧的共享。这些前沿的思潮与案例带给人们最大的启示就是：新一代信息技术的变革，其本质是指向知识与智慧生产方式的革命。这一次革命要比前几次科技与产业革命深刻得多。

与此同时，我们还应高度重视网络新空间的技术经济价值。随着大数据、云计算、物联网等新一代信息技术的发展，网络空间还在迅速演进，其中最重要的一个趋势，就是网络空间本身不再完全虚拟化，而是日益融合现实物理空间的“虚实结合、虚实相生”的新空间。而我国学术界、工业界对此的认识和洞察远远没有到位。

在制造业生产中，产品本身通过传感器以及嵌入电子芯片进行信息的感知处理。而新的趋势是，越来越多的产品、设备开始进入网络空间，“万物联网”不再只是镜花水月。德国工业 4.0 战略非常明确地展现了这样的发展前景。

其实，2006 年美国科学家 Helen Gill 提出了信息物理融合系统(CPS)的概念。CPS 使物

理系统具有计算、通信、精确控制、远程协作和自治功能。CPS 连接了虚拟空间与物理现实世界，使智能物体通信并相互作用，创造一个真正的网络世界。2008 年，IBM 提出了智慧地球的概念，旨在将地球上所存在的物体装上传感器，通过信息化平台感知、管理与控制。这进一步推动了物理世界与网络世界的连接。德国工业 4.0 战略就是基于以上创新思考而延伸发展的。利用 CPS 技术，不仅产品联网，所有的装备都联网，形成一台“超级机器”。这将从根本上改变了未来的制造模式，也将会开发出创造价值的新方法和新的服务模式。智能产品在全生命周期内被识别、被定位、被控制。这其中所蕴含的是生产力最本质的进步，就是即使产品只生产一次，也能通过颇具收益的方式制造出来。在“工业 4.0”中，动态业务和工程流程能帮助供应商根据生产需要最终做出相应改变，并灵活应对生产中断和故障。

中国大部分制造企业的信息化程度相对较低，即使信息化水平较高的企业，装备联网也仅仅限制在厂区等局部范围之内，我们是不是难以跟上这样的发展潮流？以小米、乐视等崛起为标志，互联网思维开始闯入传统产业，引起了全社会激烈的思维碰撞。王健林与马云、雷军与董明珠的两次“对赌”，深刻体现了传统产业与信息产业对互联网认识的分歧。

我国工业能否学习借鉴互联网思维，工业与互联网的结合能否实现创新发展？答案不言而喻。将互联网看作是一种颠覆式创新的新载体，这是互联网思维的本质要义。当前社会热议的互联网思维，还主要基于互联网尤其是移动互联网，针对消费者一侧的服务。而在生产者一侧，尤其是工业领域，互联网思维用武之地其实更大。

在传统的制造领域，海尔、格力这样的巨头型公司收入已跃上千亿元级，继续沿着传统的制造模式，海尔、格力们要向万亿级的公司发展，面临极大的瓶颈。在互联网创造的新空间里，海尔完全可以向全球家居设备运营服务商发展，新的家电、家居设备甚至可以不用直接销售给用户，而是如同电信运营商送手机收月租费和套餐使用费一样，按时间或使用量收费。

我认为，工业化思维下的冰箱，是一件孤立的产品，除了售后服务的环节，在卖给用户后与制造企业的关系基本中止。而互联网思维下的冰箱，却是包括制造企业在内的各类企业提供创新服务的开始。研究表明，现在的冰箱使用过程中有三分之一的存储食品因为变质被浪费。未来的冰箱将通过互联网、物联网和 CPS 等，与制造企业、服务企业、食品企业甚至物流企业实现多维连接，以获得自动化、智能化的控制，防止变质并获取及时的供应。

以上是我对工业4.0的初浅理解。非常欣喜地看到，电子工业出版社翻译出版了《实施工业4.0》这本新书。该书基于德国工业4.0战略，对实施战略可能产生的效益进行了深入研究分析，并在大量的企业实践调查分析的基础上，详细描述了实施工业4.0战略需要把握的关键技术与应用，以及现有企业信息系统如何迁移到智能化工厂的场景和过程。精彩生动的工业4.0实践案例，更为我们借鉴工业4.0，挥洒互联网时代的工业新思维，推动《中国制造2025》目标的实现，提供了参考。

也许，纷纷扰扰的理念讨论、战略理解以及各种新鲜的思考之后，需要的是具体路径和务实行动。希望《实施工业4.0》一书能为各界提供行动指南。

杨海成

2015.4

杨海成

原西北工业大学常务副校长、教授、博士生导师。现任中国航天科技集团总工程师，北京神舟航天软件技术有限公司董事长，国家信息化专家咨询委员会委员，“十二五”科技部先进制造技术领域制造服务主题专家组组长，科技部“十五”、“十一五”、“十二五”制造业信息化科技工程专家组组长，《计算机集成制造系统——CIMS》杂志主编，多次参与国家两化融合、军工制造业数字工程、制造业信息化工程、国家科技中长期规划、中国制造 2025、智能制造等战略研究和规划编制工作。

把握新一轮科技革命和产业变革的历史机遇

历史的经验表明,把握趋势、调整战略、应对变革的能力是一个国家持续发展的关键,一个能够准确把握历史前进方向的国家,才能引领时代大踏步地向前发展。潮流兴起时,先于潮流变化者将能够引领和主导趋势;潮流形成时,适应潮流变化者将能够生存和发展。进入新世纪以来,党中央审时度势,准确把握全球信息化发展大势,提出一系列战略部署,有力地推动了中国经济社会转型。十六大报告提出,坚持以信息化带动工业化,以工业化促进信息化。十七大报告强调,坚持走中国特色新型工业化道路,大力推进信息化与工业化融合,促进工业由大变强。十八大报告进一步提出,坚持走中国特色新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化道路,推动信息化和工业化深度融合、工业化和城镇化良性互动、城镇化和农业现代化相互协调,促进工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展。

2008年国际金融危机后,发达国家围绕新一轮科技变革和产业变革提出了一系新理念新战略,引起了国际社会的广泛关注。对这些理念战略需要认真研究,研究是为了借鉴,认识别人是为了更好的认识自己,研究别人的道路是为了给自己找到更好的出路。因此,对这些概念战略的理性客观研究和科学务实分析,有利于我们进一步把握全球产业技术革命的方向,有利于分析中国面临的机遇和挑战,有利于落实推进中国的两化深度融合战略。这也要求我们,在看待工业4.0、产业互联网等新理念新战略时,既要有国际视角,更要有中国视角;既要有技术视角,更要有转型视角;既要有理论视角,也要有实践视角;既要政府视角,也要企业视角。只有这样,我们的观察才有针对性、指导性和现实性。

基于这样一些认识,可以从更宏观的角度对德国工业4.0提出的时代背景、基本概念和初步认识谈一点体会,提供一个理解和把握新一轮技术变革和产业革命的新视角,以更好地推进实施中国的两化深度战略。

一、时代背景

2011年德国汉诺威工业博览会上,德国相关协会提出工业4.0的初步概念,此后德国机械设备制造联合会等协会牵头,联合企业、政府、研究机构的专家成立了“工业4.0工作组”,进一步加强对工业4.0的研究,2013年发表了工业4.0标准化路线图;随后,德国政府也将工业4.0纳入《高技术战略2020》中,工业4.0正式成为一项国家战略。工业4.0战略在很短的时间内得到德国各方认同,有其偶然性也有必然性,这种认识来自于德国长期以来把工业作为国家经济发展的基石,来自于信息通信技术给工业带来的革命性影响,也来自于新一轮科技革命中对德国工业地位的担忧。概括起来,主要基于三种意识:危机意识、机遇意识和领先意识。

(一) 危机意识

德国是传统的科技工业强国,但是在新一轮产业技术革命中,传统的竞争优势受到了来自各方面的挑战,一部分新兴产业成长乏力,各界对德国未来发展表现出担忧。

一是对新兴产业创新能力的忧虑。信息通信技术是全球新一轮产业变革中最具活力的技术,德国各界的普遍共识是:德国乃至整个欧洲错失了全球信息通信产业发展的机遇。全球通信产业蓬勃发展,但欧洲企业节节败退,欧洲的集成电路公司纷纷转型为设计企业,并不

断从消费市场退出。而正在此时，美国的互联网以及 ICT 巨头与传统制造业领导厂商携手，GE、思科、IBM、AT&T、英特尔等 90 多家企业成立了工业互联网联盟，重新定义制造业的未来，并在技术、标准、产业化等方面做出一系列前瞻性布局，工业互联网成为美国先进制造伙伴计划的重要任务之一。欧洲及德国等对美国的动作表现出深深的忧虑。

二是对传统产业竞争优势的忧虑。德国传统工业在全球的竞争优势仍十分突出，但是在新一代信息技术与工业加速融合，产品、装备、工艺、服务智能化步伐不断加快的背景下，德国能否跟上时代发展的潮流，产生出强烈的危机意识。德国有些专家学者不无忧虑地说，当前 90% 的创新在欧洲之外产生，德国制造业能否及时与现代的信息和通信技术实现对接，保持领先地位令人担忧。

三是对国家产业战略方向的忧虑。2008 年国际金融危机后，新一代信息技术的突破扩散及与工业融合发展，引发了国际社会对第三次工业革命、能源互联网、工业互联网、数字化制造等一系列发展理念和发展模式的广泛讨论和思考。美国、欧盟、日本、韩国等纷纷制订一系列规划和行动计划，实施制造业回归战略。这既体现了发达国家对制造业传统发展理念的深刻反思，也表明这些国家抢占新一轮国际制高点的意图和决心。德国作为全球制造业强国，在新一轮技术变革中能不能找到工业发展方向并引领全球工业发展，是德国各界广泛关注的问题。

（二）机遇意识

从德国工业 4.0 战略的相关表述，我们可以看出，德国对其传统优势产业的竞争力拥有充分的自信，认为德国工业经济的未来发展面临许多机遇。

一是市场机遇。信息通信技术与制造业融合发展带来一个重要变革就是智能制造时代的来临，云计算、大数据、人工智能、机器学习等驱动人类智能迈向更高境界，推动着人类各种生产工具的智能化和现代化，在廉价体力劳动不断被机器替代的同时，越来越多的脑力劳动者正在被智能工具所替代，人类正在迈向第二次机器时代，其带来的产业变革和就业结构影响将超越过去 300 年的工业化进程。随着新一代智能装备生产组织方式的推广普及，从普及单机智能化到普及智能生产线、智能车间、智能工厂，其背后是庞大的、快速成长的智能装备市场。德国各界希望凭借既有优势抓住这一快速成长的新市场。

二是技术机遇。智能制造不仅需要单项技术突破，更需要各种技术系统集成，而这正是德国的优势所在。一是工业软件优势。工业软件是智能装备的核心和基础，德国企业资源管理（ERP）、制造执行系统（MES）、产品生命周期管理（PLM）、可编程控制器（PLC）等核心工业软件在全球独占鳌头。二是工业电子优势。集成了传感、计算、通信的工业电子是智能装备的核心，这也是德国优势领域所在，一批德国企业在汽车电子、机械电子、机床电子、医疗电子等领域在全球引领风骚。三是制造技术优势。德国工业的基础材料、基础工艺、基础装备、基础元器件核心技术领域一直在全球处于领先地位，机械出口占全球 16%，居全球首位，其在创新性制造技术领域研究、开发和生产，以及复杂工业过程的管理领先性无人能比。传统制造技术与工业软件、工业电子技术的结合，为德国抢占智能装备竞争制高点带来了难得机遇。

三是产业机遇。装备制造业是德国最具优势的产业，面对全球智能制造带来的机遇，德国各界的共识是要把握信息通信技术与装备制造业融合的趋势，瞄准全球快速成长的智能工厂装备市场，确保德国企业成为全球智能制造产业“领先的供应商”地位。对于德国而言，这个市场是潜在的，也是现实的，没有哪个国家比德国更有条件和优势发展智能制造。德国

相关协会调查表明，60%的德国机械设备制造商确信他们的技术和产品竞争优势在未来五年会得到提高。

（三）领先意识

在新一轮技术革命和产业变革中，德国人充满危机感，也看到了新机遇，并试图在工业领域继续保持全球领先的地位，基本途径就是，通过实施工业 4.0 战略先发制人，与世界制造强国争夺新科技产业革命的话语权，抢占产业发展的制高点。具体来讲，就是要实现五个领先：

一是理念领先。物联网、移动互联、云计算、大数据等新一代信息技术广泛普及并推进生产方式变革，当各国纷纷提出数字化制造、工业互联网、能源互联网等制造业发展新理念时候，德国作为欧洲传统的工业强国，需要一个既能继承传统工业发展思想、又能启发未来工业趋势的新理念，抢占发展理念的制高点，并引领德国工业继续保持全球领导地位。正是在这一背景下，德国工业 4.0 的概念出现，这一概念最大的成功在于它把几百年工业发展的历史与现代信息技术趋势进行了完美集成，它是继承性与创新性的统一、理论性与通俗化的统一、严肃性与时尚性的统一，其传播的速度、广度、深度也超过了德国人的预期。

二是技术领先。当前，信息技术创新步伐不断加快，正步入泛在、智能、集成的新阶段。从计算、传输到处理，从感知、传感到智能，泛在连接和普适计算已无所不在，云计算、大数据、人工智能、机器学习等驱动人类智能迈向更高境界，虚拟化技术、3D 打印、工业互联网、大数据等技术将重构制造业技术体系。德国实施“工业 4.0”战略，其宗旨就是支持工业领域新一代革命性技术的研发与创新，大力推动物联网和服务互联网技术在制造业领域的应用，从而应对新一轮科技革命带来的挑战，以此抢占信息技术与工业融合发展中技术的制高点。

三是产业领先。在新一轮科技革命的影响下，全球新的产业分工体系和分工格局正在形成，基于信息物理系统（CPS）的智能工厂和智能制造模式正在引领制造方式的变革，全球研发设计、生产制造、服务交易等资源配置体系加速重组，网络众包、异地协同设计、大规模个性化定制、精准供应链管理等正在构建企业新的竞争优势，全生命周期管理、总集成总承包、互联网金融、电子商务等加速重构产业价值链新体系。德国提出“工业 4.0”的实质就是在智能生产体系的支撑下，重构全球的生产方式，继续引领产业高端。

四是标准领先。产品的智能化、装备的智能化、生产的智能化、管理的智能化以及服务的智能化，迫切要求装备与产品之间，装备与人之间，以及企业、产品、用户之间全流程、全方位、实时的互联互通，实现数据信息的实时、准确交换、识别、处理、维护；研发、生产、管理、服务的高度协同对智能制造的标准化提出了新的要求，这就必须尽快制定相关的技术标准、服务标准、管理标准和安全标准。智能制造的标准体系是全球产业竞争的一个制高点，德国已抢先一步，制定了《“工业 4.0”标准路线图》，以此抢占“工业 4.0”标准化领域的制高点。

五是市场领先。巩固并不断扩大全球市场的优势是德国工业 4.0 的根本出发点。在“工业 4.0”战略中，德国采用了“领先的供应商战略”与“领先的市场战略”的双重战略来释放市场潜力。“领先的供应商战略”强调德国装备制造供应商要通过技术创新和集成，不断提供世界领先的技术解决方案，并藉此成为“工业 4.0”产品的全球领先的开发商、生厂商；“领先的市场战略”强调要将德国国内制造业作为主导市场加以培育，率先在德国国内制造企业加快推行“工业 4.0”与部署信息物理网络系统（CPS），进一步壮大

德国装备制造业。

二、基本内涵

与国际社会关于第三次工业革命的说法不同，德国学术界和产业界认为，前三次工业革命的发生，分别源于机械化、电力和信息技术。他们将 18 世纪引入机械制造设备定义为工业 1.0，20 世纪初的电气化为 2.0，始于 20 世纪 70 年代的生产工艺自动化定义为 3.0，而物联网和制造业服务化迎来了以智能制造为主导的第四次工业革命，或革命性的生产方法，即“工业 4.0”。德国“工业 4.0”战略旨在通过充分利用信息通信技术和信息物理系统（CPS）相结合的手段，推动制造业向智能化转型。主要表现在以下几个方面：

（一）工业 4.0 是互联

工业 4.0 的核心是连接，要把设备、生产线、工厂、供应商、产品、客户紧密地连接在一起。“工业 4.0”适应了万物互联的发展趋势，将无处不在的传感器、嵌入式终端系统、智能控制系统、通信设施通过信息物理系统（CPS）形成一个智能网络，使得产品与生产设备之间、不同的生产设备之间以及数字世界和物理世界之间能够互联，使得机器、工作部件、系统以及人类会通过网络持续地保持数字信息的交流。

——**生产设备之间的互联**。工业 4.0 的核心是单机智能设备的互联，不同类型的功能的智能单机设备的互联组成智能生产线，不同的智能生产线间的互联组成智能车间，智能车间的互联组成智能工厂，不同地域、行业、企业的智能工厂的互联组成一个制造能力无所不在的智能制造系统，这些单机智能设备、智能生产线、智能车间及智能工厂可以自由的、动态的组合，以满足不断变化的制造需求，这是工业 4.0 区别与工业 3.0 的重要特征。

——**设备和产品的互联**。工业 4.0 意味着智能工厂能够自行运转，零件与机器可以进行交流。由于产品和生产设备之间能够通信，使得产品能理解制造的细节以及自己将被如何使用。同时，它们能协助生产过程，回答诸如“我是什么时候被制造的”、“哪组参数应该被用来处理我”、“我应该被传送到哪”等等问题。

——**虚拟和现实的互联**。信息物理系统（CPS）是工业 4.0 的核心，它通过将物理设备连接到互联网上，让物理设备具有计算、通信、控制、远程协调和自治等五大功能，从而实现虚拟网络世界与现实物理世界的融合。

——**万物互联（IOE, Internet of Everything）**。信息技术发展的终极目标是实现无所不在的连接，所有产品都将成为一个网络终端。万物互联就是人、物、数据和程序通过互联网联接在一起，实现人类社会所有人和人、人和物以及物和物之间的互联，重构整个社会的生产工具、生产方式和生活场景。

（二）工业 4.0 是集成

“工业 4.0”将无处不在的传感器、嵌入式终端系统、智能控制系统、通信设施通过 CPS 形成一个智能网络，使人与人、人与机器、机器与机器以及服务与服务之间能够互联，从而实现横向、纵向和端对端的高度集成。集成是德国工业 4.0 的关键词，也是长期以来中国推动信息化与工业化深度融合的关键词。我们在两化融合评估体系中，将两化融合分为起步阶段、单项应用阶段、综合集成阶段、协同创新阶段等四个阶段，综合集成是信息化和工业化融合走向深入的重要标志，中国两化融合主要强调了企业间的横向集成和企业内部的纵向集成，而德国工业 4.0 增加了端到端的集成。

——**纵向集成**。企业信息化发展的里程碑，是企业内部信息流、资金流和物流的集成，既是生产环节上的集成（如研发设计内部信息集成），也是跨环节的集成（如研发设计与制

造环节的集成),还是产品全生命周期的集成(如产品研发、设计、计划、工艺到生产、服务的全生命周期的信息集成)。工业 4.0 所要追求的就是在企业内部实现所有环节信息无缝链接。

——**横向集成**。即产业链信息集成。企业之间通过价值链以及信息网络所实现的一种资源整合,为实现各企业间的无缝合作,提供实时产品与服务,推动企业间研产销、经营管理与生产控制、业务与财务全流程的无缝衔接和综合集成,实现产品开发、生产制造、经营管理等在不同的企业间的信息共享和业务协同。

——**端到端集成**。围绕产品全生命周期的价值链创造,通过价值链上不同企业资源的整合,实现从产品设计、生产制造、物流配送、使用维护的产品全生命周期的管理和服务,它以产品价值链创造集成供应商(一级、二级、三级……)、制造商(研发、设计、加工、配送)、分销商(一级、二级、三级……)以及客户信息流、物流和资金流,在为客户提供更有价值的产品和服务的同时,重构产业链各环节的价值体系。

(三) 工业 4.0 是数据

工业 4.0 的核心还有数据。在“工业 4.0”时代,制造企业的数字将会呈现爆炸式增长。随着信息物理系统(CPS)的推广、智能装备和终端的普及以及各种各样传感器的使用,将会带来无所不在的感知和无所不在的连接,所有的生产装备、感知设备、联网终端,包括生产者本身都在源源不断地产生数据,这些数据将会渗透到企业运营、价值链乃至产品的整个生命周期,是工业 4.0 和制造革命的基石。

——**产品数据**。包括设计、建模、工艺、加工、测试、维护、产品结构、零部件配置关系、变更记录等数据。智能化的产品是客户需求的感知平台,也是客户个性的服务平台,产品中的传感器将会获取更多的、实时的产品数据,产品的各种数据被记录、传输、处理和加工,使得产品全生命周期管理成为可能,使得个性化服务成为可能,使得产品管理能够贯穿需求、设计、生产、销售、售后到淘汰报废的全部生命历程,使得消费者能够参与产品设计、加工的各种活动中。

——**运营数据**。包括组织结构、业务管理、生产设备、市场营销、质量控制、生产、采购、库存、目标计划、电子商务等数据。工业生产过程中无所不在的传感、连接,带来了无所不在的数据,这些数据会创新企业的研发、生产、运营、营销和管理方式。生产线、生产设备的数据可以用于对设备本身进行实时监控,同时生产所产生的数据反馈至生产过程中,使得工业控制和管理最优化。通过对采购、仓储、销售、配送等供应链环节上的数据采集和分析,将带来效率的大幅提升和成本的大幅下降,并将极大地减少库存,改进和优化供应链。利用销售数据、供应商数据的变化,可以动态调整优化生产、库存的节奏和规模。

——**产业链数据**。包括客户、供应商、合作伙伴等数据。企业在当前全球化的经济环境中参与竞争,需要全面了解技术开发、生产作业、采购销售、服务、内外部后勤等环节的竞争力要素。大数据技术的发展和运用,使得价值链上各环节数据和信息能够被深入分析和挖掘,为企业管理者 and 参与者提供看待价值链的全新视角,使得企业有机会把价值链上更多的环节转化为企业的战略优势。

——**运营决策数据**。包括经济运行、行业、市场、竞争对手等数据。为了应对外部环境变化所带来的风险,企业必须充分掌握外部环境的发展现状以增强自身的应变能力。大数据分析技术在宏观经济分析、行业市场调研中得到了越来越广泛的应用,已经成为企业提升管理决策和市场应变能力的重要手段。

（四）工业 4.0 是创新

“工业 4.0”的实施过程实际上就是制造业创新发展的过程，制造技术、产品、模式、业态、组织等方面的创新将会层出不穷。

——**技术创新**。未来工业 4.0 的技术创新在三条轨道上进行，一是新型传感器、集成电路、人工智能、移动互联、大数据在信息技术创新体系中不断演进，并为新技术在其他行业的不断融合渗透奠定技术基础。二是传统工业在信息化创新环境中，不断优化创新流程、创新手段和创新模式，在既有的技术路线上不断演进。三是传统工业与信息技术的融合发展，它既包括信息物理空间（CPS）、智能工厂整体解决方案等一系列综合集成技术，也包括集成工业软硬件的各种嵌入式系统、虚拟制造、工业应用电子等单项技术突破。

——**产品创新**。信息通信技术不断融入工业装备中，推动着工业产品向数字化、智能化方向发展，使产品结构不断优化升级。一方面，传统的汽车、船舶、家居的智能化创新步伐加快，如汽车正进入“全面感知+可靠通信+智能驾驶”的新时代，万物互联（IOE）时代正在到来。另一方面，制造装备从单机智能化向智能生产线、智能车间到智能工厂演进，提供工厂级的系统化、集成化、成套化的生产装备成为产品创新的重要方向。

——**模式创新**。“工业 4.0”将发展出全新的生产模式、商业模式。首先在生产模式层面，“工业 4.0”对传统工业提出了新的挑战，要求从过去的“人脑分析判断+机器生产制造”的方式转变为“机器分析判断+机器生产制造”的方式，基于信息物理系统（CPS）的智能工厂和智能制造模式正在引领制造方式的变革。其次在商业模式层面，“工业 4.0”的“网络化制造”、“自我组织适应性强的物流”和“集成客户的制造工程”等特征，也使得它追求新的商业模式以率先满足动态的商业网络而非单个公司，网络众包、异地协同设计、大规模个性化定制、精准供应链管理等新型智能制造模式将加速构建产业竞争新优势。

——**业态创新**。伴随信息等技术升级应用，从现有产业领域中衍生叠加出的新环节新活动，将会发展成为新的业态。进一步来讲，在新市场需求的拉动下，将会形成引发产业体系重大变革的产业。就目前来看，工业云服务、工业大数据应用、物联网应用都有可能成为或者催生一些新的产业和新的经济增长点。制造与服务融合的趋势，使得全生命周期管理、总集成总承包、互联网金融、电子商务等加速重构产业价值链新体系。

——**组织创新**。在工业 4.0 时代，很多企业将会利用信息技术手段和现代管理理念，进行业务流程重组和企业组织再造，现有的组织体系将会被改变，符合智能制造要求的组织模式将会出现。基于信息物理系统（CPS）的智能工厂将会加快普及，进一步推动企业业务流程的优化和再造。企业组织管理创新，也是两化融合管理体系标准的重要内容，在两化融合管理体系的九大原则、四大核心要素、四个管理域中都涉及到，如何围绕企业获取可持续的竞争优势，不断优化企业的业务流程和组织架构。

（五）工业 4.0 是转型

在“工业 4.0”时代，物联网和（服）务联网将渗透到工业的各个环节，形成高度灵活、个性化、智能化的产品与服务的生产模式，推动生产方式向大规模定制、服务型制造、创新驱动转变。

——**从大规模生产向个性化定制转型**。“工业 4.0”给生产过程带来了极大的自由度与灵活性，通过在设计、供应链、制造、物流、服务等各个环节植入用户参与界面，新的生产体系能够实现每个客户、每个产品进行不同设计、零部件采购、安排生产计划、实施制造加工、物流配送，极端情况下可以实现个性化的单件制造，问题的关键是，设计、制造、配送

单件产品是盈利的。在这一过程中，用户由部分参与向全程参与转变，用户不仅出现在生产流程的两端，而且广泛、实时参与生产和价值创造的全过程。

——**从生产型制造向服务型制造转型。**服务型制造是工业 4.0 理念中工业未来转型的重要方向，越来越多的制造型企业围绕产品全生命周期的各个环节不断融入能够带来市场价值的增值服务，以此实现从传统的提供制造业产品向提供融入了大量服务要素的产品与服务组合转变。事实上，在德国工业 4.0 概念提出之前，服务型制造的理念已得到广泛认同。

——**从要素驱动向创新驱动转型。**移动互联网、云计算、物联网、大数据等新一代信息技术在制造业的集成应用，带来产业链协同开放创新，带来了用户参与式创新，带来了制造业技术、产品、工艺、服务的全方位创新，不断催生和孕育出新技术、新业态和新模式，从而激发整个社会的创新创业激情，加快从传统的要素驱动向创新驱动转型。

工业 4.0 是一个发展的概念、是一个动态的概念，工业 4.0 是一个理解未来信息技术与工业融合发展的多棱镜，站在不同的角度会有不同的理解。工业 4.0 是互联，是集成，是数据，是创新，是服务，是转型；工业 4.0 是 CPS，是智能工厂，是智能制造；工业 4.0 是国家战略，是企业行为。但从根本上来讲，“工业 4.0”是一种在信息技术发展到新阶段产生的新的工业发展模式。从终极目标来看，工业 4.0 不能为技术而技术，核心在于提高企业、行业乃至国家的整体竞争力。从企业来看，通过“工业 4.0”可以实现劳动生产率大幅提高，产品创新速度加快，满足个性化需求，减少能耗，大幅提高产品质量和附加值，显著增强企业核心竞争力；从行业来看，通过“工业 4.0”可以建立起高度协作的创新服务体系，提高整个行业的资源配置和运行效率；从国家来看，在于抢占新一轮产业竞争的制高点。

三、初步认识

人们对各国提出的新概念、新战略内涵、目标、特征、路径认识也是一个不断深化的过程。当前，理性客观分析研究工业 4.0 概念的形成演化、政策演变、组织方式、实施路径和战略重点，有利于我们在实施中国两化深度融合的战略中，找到突破点，明确切入点，抢占竞争的制高点。从中国把握新一轮技术革命与产业变革的机遇，实现工业由大变强的历史性跨越的角度来认识工业 4.0，我觉得有几个角度可以供大家参考。

（一）工业 4.0 与两化深度融合的关系

尽管中德两国工业化阶段不同、企业水平不同、技术基础不同、主导产业不同、运行机制不同，但面对新一轮产业技术革命的趋势，有相同的危机感和紧迫感，都认识到了发展的机遇和挑战，都有举全国之力抢占新一轮产业竞争制高点的战略意图，两国的战略在核心理念、发展重点、方法路径等方面也比较相似。具体来讲：

——**在核心理念方面。**剥开工业 4.0、产业互联网以及两化深度融合等这些新概念的外壳，我们可以看到不同国家应对新一轮产业技术变革的理念和战略布局的差异性，但其最根本的内核是一致的，工业 4.0 是互联、是集成、是数据、是创新、是服务、是转型，而这些理念也是推进两化深度融合所秉持的核心理念。

——**在实施路径方面。**近年来，各地在推进两化融合方面做了很多探索，如果我们认真分析观察具体路径和重点，可以看到中国的两化融合与德国工业 4.0 的相似之处。浙江结合自己的实践在两化融合工作中提出了六个“换”的思路：产品换代（实现产品的智能化升级）、机器换人（制造设备的智能化、自动化、网络化）、制造换法（车间级的设备互联、企业级设备互联的智能工厂）、电商换市（以电子商务拓展新的市场）、商务换型（云制造、服务型制造等新的商业模式）、管理换脑（发挥云计算、大数据在企业管理决策等方面作

用),浙江几年前就提出推进工厂设备的互联网,提出“机联网”与“厂联网”等一些新概念,其本质上与德国工业 4.0 所强调的智能车间、智能工厂、个性定制、数据驱动、服务化转型等发展路径是一致的。

——在企业实践方面。提升企业核心竞争力是所有产业战略规划出发点和落脚点,对中国如此,对德国也是如此。西门子、博世、SAP 等从各自的角度提出一些能够体现工业 4.0 特征的示范工厂和企业,其在企业管理、业务模式和生产方式等方面开展一系列创新,这既是德国工业 4.0 的方向,也是中国两化融合的方向。事实上,国内企业在这些方面也做了一些积极探索,家电、服装、家具等行业正形成以大规模个性化定制为主导的新型生产方式,青岛红领、维尚家具、小米科技等一批创新型企业通过建立新的生产模式实现了逆势增长。工程机械、电力设备、风机制造等行业服务型制造业务快速发展,陕鼓、徐工、中联等企业全生命周期服务、总集成总承包服务日益成为企业利润的重要来源。汽车、钢铁、石化等行业企业间的协同供应链管理水平的不断提高,宝钢与供应商之间建立了供应商早期介入(EVI)和及时生产(JIT)体系。这些企业转型的方向就是工业 4.0 所倡导的方向。

中国两化深度融合与德国工业 4.0 如出一辙、异曲同工、殊途同归,主要是从目标、理念、路径、方法的角度来看,事实上,中国企业整体的信息化与德国相比还是有比较大的差距。德国工业企业整体上处于工业 3.0 阶段,而中国企业整体上处于 2.0 阶段,中国面临更加复杂而艰巨的任务,面临两步并作一步走的挑战。

（二）工业 4.0 有望成为德国制造的新品牌、新名片

当提到硅谷时,我们自然会联想到全球 IT 产业创新创业基地。当我们提到德国时,我们会联想到高可靠、高精密、高质量、高安全的德国工业产品,德国制造作为一种品牌已成为德国的重要资产,这是德国人历经百年而打造的。但德国人并不满足,在新一轮信息技术革命背景下,要赋予德国制造以新的内涵。德国工业 4.0 是德国工业发展的新理念、国家的新战略,更为重要的是,它正在成为德国制造的新品牌,为德国的工业体系贴上新的标签,它在强化德国制造原有的内涵基础上,赋予了新的内容:高技术、高品质、高效率。德国已经意识到,当人们谈到工业 4.0 的一系列概念,如柔性、智能、绿色、灵活、精准、高效时,就会天然地把这些概念和德国联系起来,都会把这些理念作为德国制造的重要特征,作为德国制造业应有之义。工业 4.0 强化德国制造高品质形象,西门子经常讲的案例是实施工业 4.0 后,百万产品缺陷数量仅为 15,相当于产品合格率为 99.9985%;工业 4.0 不断强化德国制造的高效率形象,虚拟工厂、无人工厂、智能工厂作为工业 4.0 的核心理念已深入人心;工业 4.0 不断强化德国制造高品质服务的形象,工业 4.0 反复讲的一个概念是产品全生命周期服务、(服)务联网,高质量的服务正成为德国制造的新内涵。

（三）构建工业 4.0 协同推进机制

工业 4.0 作为一个新理念凝聚了德国各界的共识,并演变成了共同行动。

——联邦政府。德国联邦政府以最快的速度把一个来自民间的概念转化为国家产业战略,在工业 4.0 概念提出不久就将其纳入国家《高技术战略 2020》,作为德国未来十大高技术项目之一。经济和能源部、德国教育和研究部全面负责工业 4.0 战略的实施,把工业 4.0 作为研发和产业化项目支持的优先领域。

——各州政府。很多参与工业 4.0 的企业都是大企业,但德国人认为让中小企业参与到工业 4.0 战略中更为重要,在新一轮的技术革命和产业变革中,“一个都不能少”。为此,德国多个州政府不断完善创新集群政策和中小企业创新政策,围绕帮助中小企业全方位参与

工业 4.0，整合政府、协会、院所以及大企业资源，组织开展专题咨询、技术支持、平台建设、创业辅导、融资扶持、人才培养等全方位服务。

——**行业协会**。德国的行业协会具有较强的动员能力和组织能力，德国机械及制造商协会（VDMA），信息技术、通信与新媒体协会（BITKOM），电子电气制造商协会（ZVEI）等，既是德国工业 4.0 的发起者、组织者，也是引领者、实施者。2013 年 4 月，上述三个协会以及相关企业合作设立了工业 4.0 平台，成立了 4.0 平台董事会、指导委员会、科学顾问委员、秘书处办公室、业务工作组等 5 个组织机构，全面负责工业 4.0 的推广普及工作。

——**重点企业**。德国企业是工业 4.0 战略的真正主体，他们的积极性、主动性和创造性才是工业 4.0 成败的关键。ABB、巴斯夫、宝马、博世、戴姆勒、英飞凌、SAP、西门子、蒂森克虏伯（ThyssenKrupp）、通快（TRUMPF）、蔡司（zeiss）是德国工业 4.0 坚定的支持者、引领者和实践者。戴姆勒开始研究工业 4.0 语境下的智能汽车端到端系统架构，SAP 根据工业 4.0 概念提出装备制造整体解决方案 idea to performance，西门子提出智能工厂整体解决方案。德国三大协会的调查表明，47% 的公司已参加到工业 4.0 战略中，18% 的公司正参与 4.0 战略的研究工作，12% 的公司已把工业 4.0 战略付诸实践，工业 4.0 作为一种国家战略正嵌入到企业发展战略中。

——**研究院所**。当前，联邦政府和州政府的研究所以及大学已参与到了工业 4.0 技术开发、标准制订和人才培养体系，成为工业 4.0 战略实施的一支重要力量。德国人工智能研究中心、国家科学与工程院等顶级研究机构已开展涉及工业 4.0 的一系列项目研究，弗劳恩霍夫研究所（Fraunhofer）在其所属的 7 个研究所引入工业 4.0 研发项目，凯泽斯劳滕大学、隆德大学、慕尼黑大学、达姆施塔德大学、莱茵美茵大学等围绕信息物理系统（CPS）、智能工厂、智能服务、系统生命周期管理（Syslm）等开展一系列前瞻性的研发、人才培养，部分大学也参与到了工业 4.0 平台工作体系中。

（四）优先行动：标准、技术、人才

如何将工业 4.0 的理念和战略转化为具体行动，德国人提出系列行动计划，包括标准化、网络设施、信息安全、流程再造、人才培养、法律政策等，这些都是重要而且必要的行动，但如果一定要更聚焦到三个最核心的行动上的话，那可以考虑将标准、技术和人才作为工业 4.0 最优先考虑的领域。

——**标准先行**。德国三大协会调查结果表明，数据的标准化是工业 4.0 面临的最大挑战。德国也把标准作为工业 4.0 战略实施的优先领域，这既是信息技术与工业技术融合发展的内在要求，也是德国工业发展进程中长期以来坚持的基本理念。德国电气电子和信息技术协会于 2013 年 12 月发表了工业 4.0 标准化路线图，为工业 4.0 行业标准制定提供了概览和规划基础，在参考体系结构、用例、术语与模型、技术流程、仪器和控制系统、服务流程、人机交互技术、开发流程、标准库、知识库等十二个领域提出具体建议。德国工业 4.0 平台、电气电子信息技术协会（VDE）和电工委员会（DKE）以及相关企业联合组成跨行业、跨领域的工作组，加快标准化路线图的实施，当前重点是加快工业 4.0 参考模型、术语及急需标准的制订工作。

——**技术引领**。当一波一波的新技术涌来并不断推动生产方式持续变革时，我们需要新的理念、新的思维、新的概念，在产品形态、管理方式、组织架构、商业模式等方面进行一系列变革。但回顾工业 1.0、2.0、3.0 走过的百年历程，最基本的规律是，产业革命的前提首先是技术革命，任何华丽的概念最终都会回归到最基本的问题——技术的领先。从国家角度

来看，没有核心技术支撑的产业变革终将会昙花一现。工业是德国经济的基石，而这块基石的基础是百年来德国在工业技术领域坚持不懈的创新。就工业 4.0 战略的实施而言，继续保持并不断强化德国在工业软件、工业电子、基础材料、基础工艺、基础装备、基础器件以及交叉融合领域的技术优势，并力图在虚拟仿真、人工智能、智能工厂、智能产品、信息物理空间（CPS）等新的技术领域抢占先机。弗劳恩霍夫研究所等一批联邦和州政府支持的研究院所，SAP、西门子、博世以及一批“隐形冠军”，已经参加到抢占新一轮技术制高点的竞争中，德国提出要成为智能制造技术的主要供应商和 CPS（信息物理系统）技术及产品的领导者。

——**人才优先。**在德国企业界谈到工业 4.0 未来面临的挑战时，无论是传统制造业企业，还是 ICT 企业，都把人才问题看作他们面临的共同挑战。德国企业普遍认为，工业 4.0 导致了对优秀员工标准的转变，工业 4.0 建立在一个开放、虚拟化的工作平台之上，重复性的熟练体力和脑力工作不断被智能机器所替代，人机交互以及机器之间的对话将会越来越普遍，员工从服务者、操作者转变为一个规划者、协调者、评估者、决策者。目前，德国传统的大学教育体系中的学科设置和教学理念是基于上个世纪 70 年代工业需求制定的，过去的 40 年学科专业不断细分的教育模式难以培养出能够驾驭日益复杂综合的制造业的体系，工业 4.0 的实践不仅仅对企业自身提出了挑战，而且对传统的教育体制提出了新挑战。

（五）信息安全：全球的共同挑战

信息技术越普及、越深化，信息安全问题就越突出，企业实施工业 4.0 的一大挑战和困惑就是，工业生产智能控制的信息安全问题，这既是一个企业的挑战，也是国家的挑战。德国各界对此有清醒的认识，并把工控安全作为工业 4.0 需要解决的核心议题。

认识工业 4.0 战略的时代背景、具体内容和实施目标，有利于我们更好地学习和借鉴，有利于实施中国的制造强国战略，有利于推进中国的信息化与工业化融合。

电子工业出版社邀请我为本书作序，无论从自己的学识、资历、水平来讲，还是对新一轮产业变革规律性的把握来看，确实勉为其难，但刘九如总编辑的邀请盛情难却，自己将 2014 年年底的一次研讨会发言重新整理作为本书的序，谈一点粗浅的认识，或许可以为读者阅读此书提供一些背景。理念、战略是一回事，具体创新实施又是另一回事。电子工业出版社翻译出版的新书——《实施工业 4.0》，由德国工业 4.0 科学咨询委员会委员、弗劳恩霍夫制造技术和自动化研究所所长托马斯·保尔汉森牵头，历时两年的调查与研究，成功地为实施工业 4.0 制定了一个行动计划，并提出了实施工业 4.0 战略需要把握的关键技术与应用，“哪些技术使得工业 4.0 成为可能？”“这些技术目前的发展情况如何？”，同时，通过大量精彩生动的工业 4.0 实践案例，详尽地介绍了现有工业企业如何迁移到智能化工厂的场景和过程，为具体实施工业 4.0 提供了具体路径。“怎么干”？或许各位读者可以从此书中得到更多的启示和借鉴。

安筱鹏

2015 年 4 月

译者序

2013 年，德国政府正式提出“工业 4.0 战略”，针对未来制造业的走向和相关问题进行战略布局。2014 年 10 月初，国务院总理李克强访问德国期间，中德双方签署《中德合作行动纲要：共塑创新》，宣布中德两国将在“工业 4.0”领域开展合作。

纵观世界经济发展走势，制造业的数字化、虚拟化正在彻底改变人们制造产品的方式。以美国为首的发达国家掀起“再工业化”浪潮，着力降低阻碍转型发展的生产成本、机会成本和交易成本，重新增强对世界经济的主导性。美国通用电气公司（GE）于 2012 年秋季提出了“工业互联网”（Industrial Internet）的概念，将产业设备与 IT 融合，目标是通过高性能设备、低成本传感器、互联网、大数据收集及分析技术等组合，大幅提高现有产业的效率并创造新产业。美国波士顿咨询公司的研究报告表明，由于竞争力上升，美国在未来 6 年内每年将从欧洲、日本和中国等出口大国夺取 700~1150 亿美元的制造业出口额。

德国作为全球制造业中最具竞争力的国家之一，其装备制造业全球领先。得益于在创新制造技术方面的研究、开发和生产，以及在复杂工业过程管理方面的高度专业化等因素，德国确立了其在制造工程行业中的领导地位。因此，德国以其特有的优势开拓新型工业化的潜力——工业 4.0（Industry 4.0），并开始推进这一产官学一体项目的新一代产业升级计划。

“工业 4.0 战略”是在《德国高技术战略》与《德国高技术创新战略 2020》的基础之上提出来的，并成为 2014 年通过的《新高技术战略——创新型德国》的一个内容。在 2011 年召开的德国汉诺威工业博览会上，德国相关协会提出“工业 4.0”的初步概念。2013 年汉诺威工业博览会，由“工业 4.0”工作组发表了最终报告《保障德国制造业的未来——关于实施工业 4.0 战略的建议》，德国政府正式提出“工业 4.0”战略。2014 年汉诺威工业博览会的主题是“融合的工业——下一步”，很好地契合了“工业 4.0”的概念，并专门推出了一个包含 15 家参展企业的“工业 4.0”之旅。

尽管这一概念被广泛引用，但其内涵一直模糊不清，在跟踪分析研究的过程中，我们欣喜地看到，《实施工业 4.0》一书，是一本全面阐述工业 4.0 核心要素，从概念走向实施层面，目前最权威、最系统提出构建 4.0 工业体系的好书。全书共有 5 部分内容，第一部分“工业 4.0 所带来的经济效益”从市场的角度出发，阐述工业 4.0 为使用者所带来的经济效益；第二部分“应用案例分析”旨在通过应用案例展示工业 4.0 在实际应用中的潜力，只有理解了工业 4.0 的主要问题和基本概念，各行业才能对工业 4.0 进行有针对性地使用；第三部分“实现工业 4.0 所需要的技术”主要介绍实现工业 4.0 所需要的技术及相关的安全性、标准化和费用等条件；第四部分“工业 4.0 实际应用中的挑战”主要描述了工业 4.0 在实际应用中可能遇到的挑战和问题，并提出相应的解决方案；第五部分“工业 4.0 的机遇和应用的可能性”从工业的角度出发，探讨工业 4.0 的机遇。

当前我国正处于大力推动两化深度融合、促进工业转型升级的关键时期，研究德国工业 4.0，有利于进一步明确两化深度融合的推进思路，也有利于两化融合的推广和国际接轨。本书将为读者清晰地展现工业 4.0 的内涵。拥有本书的读者将会知道如何合理地进行决策与评