



【德】

阿尔冯斯·波特霍夫 (Alfons Botthof)

恩斯特·安德雷亚斯·哈特曼 (Ernst Andreas Hartmann)

◎主编

刘欣◎译

工业4.0

【实践版】

开启未来工业的新模式、新策略和新思维

Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



工业4.0

【实践版】

开启未来工业的新模式、新策略和新思维

Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0

【德】

阿尔冯斯·波特霍夫 (Alfons Botthof)

恩斯特·安德雷亚斯·哈特曼 (Ernst Andreas Hartmann)

◎主编

刘欣◎译

作为德国联邦政府“高科技及创新战略”主要元素之一,针对未来的“工业4.0”项目将推进传统工业的信息化,如工业化生产。在物联网化的进程中,通过虚拟世界与实体世界的融合,建立虚拟—现实系统,实现在新时代下,技术流程与在德国的生产商业流程共同成长。德国经济与能源署(BMWi)开展的“工业4.0时代机械自动化”科技项目是“工业4.0”项目的一部分,而本书也因此得以出版。本书概括展示了机械自动化及工业4.0背景下工作的未来导向,并指出科研领域、工业领域以及工作者即将面临的主要挑战、机遇和风险。本书所展示的发展趋势,为生产及自动化、机器人、虚拟工程、农机以及教学工厂等领域提供了解决方案范本。

Translation from German language edition;

Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0

by Alfons Botthof and Ernst Andreas Hartmann

Copyright © 2015 The editors and the authors

Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved by the Publisher.

本书的中文简体字版由机械工业出版社出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有,翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记图字:01-2015-2281号。

图书在版编目(CIP)数据

工业4.0:实践版:开启未来工业的新模式、新策略和新思维/
(德)波特霍夫(Botthof, A.), (德)哈特曼(Hartmann, E. A.)
主编;刘欣译. —北京:机械工业出版社, 2015.4

ISBN 978-7-111-50118-3

I. ①工… II. ①波… ②哈… ③刘… III. ①信息
技术—应用—工业化—研究 IV. ①F403

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第082877号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:坚喜斌

责任编辑:刘静 杨冰 刘林澍

责任印制:乔宇

责任校对:赵蕊

北京市四季青双青印刷厂印刷

2015年5月第1版·第1次印刷

170mm×240mm·14.25印张·2插页·132千字

标准书号:ISBN 978-7-111-50118-3

定价:46.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面防伪标均为盗版

推荐序一

近年来，全球制造业始终面临着转型升级和可持续发展的挑战。这一局面形成的原因是多方面的，包括劳动力老龄化和与此对应的根深蒂固的传统生产模式、全球制造业结构和形势的不断变革，以及智能技术领域的创新在生产环境中相对较慢的应用速度等。

“工业 4.0”是德国联邦政府高技术战略工作组基于对制造业前景的预测而制订的前瞻性计划，试图呈现以信息物理系统（Cyber-Physical Systems, CPS，也有学者将其译为“信息物理融合系统”，也有学者将其译为“信息物理融合系统”）为核心，引领第四次工业革命的全新生产体系。

在工业 4.0 时代，智能工厂将取代传统的生产设备，并生产智能产品。迈向工业 4.0 之路是循序渐进、不断演进的：许多基础技术仍然需要进一步发展，现存的制造业基础设施需要适应工业 4.0 时代的要求，建立有效的信息物理系统模型也需要新工具、新技术和新方法的大力支持。但只要与信息技术全面整合、具备先进分析和预测能力的工业 4.0 得以成功运用和实施，企业的全球竞争力将得以提高，本土制造业将得以恢复，全新的市

场机遇将得以开创。

工业 4.0 转型中一个关键的问题是它对人们造成的影响。人们需要怎样与智能化的设备和系统进行合作以保障未来工业 4.0 环境下的生产活动有条不紊？对面临着人口老龄化的国家而言，这个问题极为关键，对于新兴经济体也同样至关重要。

本书阐述了人们在工业 4.0 环境下将受到怎样的冲击，以及技术如何将人类与未来的生产系统进行进一步整合等问题。我认为本书呈现的技术和案例可以使读者进一步理解人们在工业 4.0 转型中的角色变换。

李杰 (Jay Lee)

美国俄亥俄州辛辛那提市，辛辛那提大学

推荐序二

马克思在研究英国工业革命时明确指出，生产力的改变不是革命，只有生产关系发生改变，才是革命。纵观其后发生的第二次、第三次工业革命，马克思的话犹在耳边，甚至到了所谓的工业 4.0（即第四次工业革命），生产力和生产关系的并行改变，仍然是一个不变的规律。

发生在英国的工业革命最典型的技术应用是机械化，这导致了车间的出现，同时也导致了工人阶层的出现；其后以电气化为代表的第二次工业革命，再次促使了车间的革命——出现了流水线作业，同时伴随的是职业经理阶层的出现；再到以信息化为代表的第三次工业革命，导致了分布式乃至全球化的工厂出现，全球化的分工也出现了，这个阶段出现了职业的投资阶层，硅谷是最为典型的代表。

即将到来的第四次工业革命也会遵循以上规律，大量的互联网技术被应用到生产制造过程，将导致智能制造的出现，工厂也将转变为智能工厂，正如马克思所讲，生产力的大幅提升之后，生产关系也会发生改变，在第四次工业革命期间，生产关系将发生什么改变呢？

机械工业出版社引进德国原版图书出版的《工业 4.0》（实践版），探索性地回答了这个问题。通过社会技术视角，来自不同领域的专家深入分析了工业 4.0 时代的工作环境、工作内容以及工作方式等的改变，揭示了工业 4.0 时代的工作状态——这也是未来的工业常态。

工业 4.0 研究院研究成果显示，工业 4.0 具有高度自动化、高度信息化和高度网络化三大基本特征。从《工业 4.0》（实践版）讨论的主题来看，工业 4.0 时代的自动化将导致工作形态发生改变，特别是企业工作者的角色和地位将发生较大的改变（见书中第 2 章），这要求新型工人拥有新的知识和技能，并能够与机器进行协作。不过，由于工业 4.0 时代的高度信息化，机器人协同工作（见书中第 3 章第 2 篇文章）将轻松达到，更由于互联网技术在生产制造领域的广泛应用，将更容易提高生产效率，形成学习型生产系统（见书中第 3 章第 5 篇文章）。

仅仅是车间的革命还不足以让我们认识到第四次工业革命带来的变革，按照德国工业 4.0 体系关于三大集成的论述，工业 4.0 研究院把它总结为工业 4.0 发展的三个阶段，分别为纵向集成、端到端集成和横向集成。

在工业 1.0、2.0 和 3.0 阶段，技术创新大都发生在车间，到了工业 4.0 时代，车间仍然是最先发生变化的地方，所谓纵向集成就是传统工厂边界内发生的技术革新，这也是德国企业西门子推出数字化工厂（Digital Factory）解决方案的商业理由，

因为最容易满足企业升级改造需求的，毫无疑问是车间的数字化。而在探索工业 4.0 解决方案的三一重工和海尔等不同类型的制造企业，也把纵向集成作为变革的起点。

毫无疑问，在工业 4.0 时代，仅仅局限在车间的技术创新，不足以体现互联网技术对生产制造领域的影响。正如时下李克强总理提出的“互联网+”概念，互联网技术在生产领域的应用，将导致新的业态出现——目前主要体现为端到端集成的形态，具体可以考察的案例有苹果、小米、海尔和红领等企业，它们利用自己在产业链上的影响力或创新，实现了对供应链的集成，并利用手中的核心数据，介入到了电子商务服务环节。笔者对海尔互联工厂印象深刻，一直探索利用互联网力量的张瑞敏，似乎已经在正确的工业 4.0 道路上。

除了以上两种集成模式，还有跨越多条价值链的横向集成，这才是真正未来的制造业，按照工业 4.0 研究院提出的新工业价值生态概念，横向集成是互联网技术在生产制造领域的深入应用，同时也是社会生产力大大提升的阶段，在这个阶段，社会技术体系也会发生革命性的改变。细心的读者应该会发现，这也是《工业 4.0》（实践版）一书中隐约提及的一个改变。

由于工业 4.0 时代的技术高度发达，大量机器人的应用实现了高度自动化，无所不在的计算（泛在计算）将导致高度信息化得以实现，加上真正的 CPS（Cyber-Physical Systems，信息物理融合系统，也有学者将其译为“信息物理系统”）带来的高度网

络化，传统意义上的工人、经理等角色将不复存在，工业 4.0 生产体系的自组织能力，将模糊工人和经理之间的界限，也许每个人都是生产者，每个人也同时是管理者，当然，每个人也可以给自己投资，成为一个“资本家”。

工业 4.0 的三大高度化特征合一就会实现所谓的智能化，笔者不清楚未来历史学家在描述工业 4.0 的时候，会不会把智能化作为这个时代的特征，也不清楚什么样的事件可以作为这个时代的代表，但笔者相信，生产力的大幅提升，新的生产关系出现，仍然会成为这个时代的特征。

读者在阅读《工业 4.0》(实践版)的时候，如果把《工业 4.0：即将来袭的第四次工业革命》(机械工业出版社 2014 年出版的一本德国引进图书)作为阅读的参考书，则可以更容易理解技术的变革和社会的变化相辅相成，推动历史的车轮不断前行，人类社会将发生巨大的改变，中国制造也将成为推动这个改变的一股不可忽视的力量。

胡 权

工业 4.0 研究院院长兼首席经济学家

前 言

德国在很多领域都因“技术引导变革”而闻名。在传统能源经济经历微转型、向利用可再生能源供能靠拢的今天，德国将扮演什么样的角色，成为了全球关注的焦点。此外，德国国民经济的另一传统强项当下也备受瞩目：由于产品、流程、服务的数字化以及实体世界与互联网世界的融合，工业领域、生产型企业以及机械及设备制造行业正经历进一步的剧烈变革——近几年来，所有事物均贴上了“互联网化”的标签。

通过“面向未来——工业 4.0”项目，德国政府立项研究这一创新型的发展趋势。德国经济与能源署（BMWi）开展的“工业 4.0 时代机械自动化”科技项目中，对“面向未来——工业 4.0”进行了具体描述并提供支持。

“工业 4.0”这个概念包含两方面的意思。一方面，“工业 4.0”表示制造业已经进入了第四个发展阶段：第一阶段是 18 世纪后期引入机械生产技术；第二阶段是 20 世纪初期在生产上广泛应用电器；第三阶段是 20 世纪中期通过电子及信息技术实现进一步的生产自动化；而工业革命的第四阶段是通过互联网将实体世界与信息系统相结合，使得企业未来将机械设备、库存

系统以及物资融合在一起，而系统、设备、物资之间可以自主交换信息、开展行动，甚至相互监控。

另一方面，“4.0”这样的“版本称呼”更明确地表明了本次革命不限于传统意义上的机械及设备制造变革，而是由信息技术产业主导的新型变革。

本书将“工业 4.0”视为一套社会技术系统，该系统研究技术发展、社会需求以及经济挑战之间的相互作用，并关注社会中心问题：工业领域未来的工作导向是什么？它有什么意义？对此，出版人及作者希望能够借助本书进一步推进对数字时代工作世界的讨论。

本书出版后，期盼读者能够对此展开热烈的讨论，期间获得的实践经验、工作认知以及社会技术分析，用于丰富、更新该议题。在此，我们希望本书的读者可以获得知识及启发，欢迎各位给予意见及建议，为该议题的继续讨论贡献一份力量。

德国柏林 阿尔冯斯·波特霍夫
(Alfons Botthof)

恩斯特·安德雷亚斯·哈特曼
(Ernst Andreas Hartmann)

2014 年 11 月

目 录 Contents

推荐序一

推荐序二

前言

第 1 章



工业 4.0 时代到来，我们应该怎么办？ / 1

自动化及工业 4.0 时代的工作未来 / 3

欧洲关于企业的组织机构、跨企业组织新模式、“无工厂生产”、个性化批量生产以及自调式或自理式生产系统的讨论，启发企业内部进行思考，如何将新模式、新生产方式融入工业 4.0 之中。

阿尔冯斯·波特霍夫 (Alfons Botthof)

工业 4.0 时代下的工作形态：过去的辉煌与未来的挑战 / 11

未来将要面临两大挑战：一是要将所获得的知识用于分析及描述促进学习的工作模式，应用在工业领域构建真实的工作系统；二是要解决自动化进程中所遇到的两难困境，即解决学习式工作形态所遇到的障碍。

恩斯特·安德雷亚斯·哈特曼 (Ernst Andreas Hartmann)

第 2 章



工业 4.0 时代，未来工作的展望 / 29

工业 4.0 背景下的工作——应用工作学协会的预期 / 31

在工业 4.0 时代，随着工作内容及任务产生变化，对工

作者知识、才干、技能、能力也都有了新的要求。现在看来,对灵活度、抽象度、问题解决能力、独立处理、沟通能力以及自我组织能力的要求尤为突出。

克劳斯-德特勒夫·贝克 (Klaus-Detlev Becker)

未来的自动化之路 / 40

工业 4.0 意味着应用于智能工厂生产的新逻辑与质量。智能产品在生产系统中担任自主角色。它们与机器、工人以及其他系统元件——如生产控制技术——进行交流,以一个自主的非人工生产要素完成其任务、参与控制生产流程。

乌尔里希·波鸿 (Ulrich Bochum)

第 3 章



工业 4.0 时代, 工业领域的机遇与挑战 / 57

另辟蹊径走向工业 4.0——机遇及限制 / 59

通向工业 4.0 有两条路: 一条道路是将一个高度机械化——虽然并非无人——工厂作为发展目标; 另一条道路——也称为以人类为中心的 CIM (HCIM) ——强调的是人类在生产流程中将起到中心作用。

本德·卡尔榭 (Bernd Kärcher)

机器人协同工作——愿景及现实 / 74

随着计算能力的提高、数据量及传感器的增加, 未来的计算机将如科幻世界一般, 有能力完成迄今为止通过人类完成的 (思维) 任务。届时, 工作及经济领域将发生剧变, 而给消费者带来的益处在于个性化产品的价格将居于可承担范围之内。

米歇尔·哈格 (Michael Haag)

工业 4.0 时代的工作优化——农业技术视角 / 82

对于农业经营者来说，提高能力以应对日益复杂的流程并能够正确执行，至关重要。而工业 4.0 概念引入自主优化、自主设置、自主诊断及认知流程，对优化农业领域意义重大。

马克思·莱内克 (Max Reinecke)

提升内部物流运输机器人自主程度——工业 4.0 时代技术发展及其应用 / 87

在人口变迁背景下，未来的发展趋势显示出，上文提到的合理化效应——即机器替代人工——从社会学角度看，也可能起到积极作用：可以在人才缺乏的时代，依旧保持生产竞争力，顺利运输货物。

约阿希姆·特约特 (Joachim Tödter)、

福尔克·菲尔艾克 (Volker Viereck)、

蒂诺·柯律格-巴斯杰勒 (Tino Krüger-Basjmeleh)、

托马斯·惠特曼 (Thomas Wittmann)

学习型工厂对工业 4.0 的意义 / 96

在第四次工业革命的背景下，通过工业的相互联合，能够更加提高效率。通过学习型工厂可以更快地获得最新数据，以及时进行优化。因此学习型生产系统是工业 4.0 的受益方。

A. 坎普克 (A. Kampker)、C. 德士肯 (C. Deutschens),

A. 马克思 (A. Marks)

第 4 章



工业 4.0 的核心主题及发展战略 / 107

生产工作的发展前景 / 109

工业 4.0 系统的安装过程和投入生产被认为是一个漫长

的过程。在这个过程中，活动和工作结构必须要显示出高度的灵活性和出色的解决问题能力，并且不能够轻易就为某个状态（最终状态）下定论。

哈特穆特·希尔世-克莱森 (Hartmut Hirsch- Kreinsen)

工业 4.0 大背景下的生产系统的实现 / 124

第四次工业革命是否成功，在极大程度上取决于设计方案是否成功而有针对性地组织这个方面做出了决定性改变。人力与技术因素应依据组织的设计与架构调整和定位。

约翰·多泽 (Jochen Deuse)、科尔斯滕·怀斯纳 (Kirsten Weisner)、

安德雷·横斯特贝克 (Andre Hengstebeck)、

费力克西·布什 (Felix Busch)

创新需要能人借助虚拟工程开创新的工作文化 / 139

工业 4.0 时代产品和服务从以技术为基础到以人为本的过渡能否成功在很大程度上取决于企业的创新程度。高度创新的经济意义在于低成本和高质量。

吉夫卡·奥卡洛娃 (Jivka Ovtcharova)、柏琳娜·哈弗勒 (Polina Häfner)、

维克多·哈弗勒 (Victor Häfner)、尤里卡·卡迪柯叶科 (Jurica Katicic)、

克里斯蒂娜·温克 (Christina Vinke)

通过人机团队的构建摆脱自动化的窘境 / 159

自动化若是没有人的参与，是无法成功运行的。人类在其中所扮演的角色必须更加明确，抹去这一角色并不是一种出路。我们应该取消对人类与机器任务的僵化分配。理想的任务分配不该在事前就决定好，而是在任何时刻根据既定的分配策略基于当时的需求重新决定。这种动态性可以借助一种新的人机关系视角来实现，即人机团队 (MMT)。

安德雷亚斯·吕特克 (Andreas Lüdtkke)

第 5 章



工业 4.0 的未来前景 / 191

人机互动合作下的工作系统构建——以机器人技术为例 / 193

随着传感技术、传动机制以及导航领域科技的迅猛发展，工业机器人被更多的领域加以使用，同时突破了工业机器人的传统应用方式。由以往的人机空间分离的共存方式转向更紧密的人机互动合作乃是大势所趋。

史蒂芬·威士曼 (Steffen Wischmann)

工业 4.0 时代的工作导向——新视角和待解决的问题 / 208

工业 4.0 时代的工作世界是可塑造的，也是需要塑造的。未来的工作形态须参考社会技术系统理念的三个维度：“人力”“组织”以及“技术”。经实践得知，“组织”尤其重要。因为可通过企业内部、企业间的组织来实现增值。

阿尔冯斯·波特霍夫 (Alfons Botthof)、

恩斯特·安德雷亚斯·哈特曼 (Ernst Andreas Hartmann)

第1章

工业 4.0 时代到来， 我们应该怎么办？

工业 4.0（实践版）

开启未来工业的新模式、新策略和新思维

德国已经在工业 4.0 对工作质量、资质要求、组织机构新形式以及人与技术间关系的影响方面进行了深入思考。首先，是关于“人类因素”的主题，然后是关于“人与技术”的主题，德国都对即将发生的人与技术、人与环境互动关系的改变，以及随之带来的工厂内分工合作新形式进行了深入研究。