

# 工业4.0实践精要

辛玉军 陈林生 著

 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS

INDUSTRIE 4.0:  
ESSENTIALS  
AND PRACTICES

# 工业4.0实践精要

辛玉军 陈林生 著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

工业 4.0 是正在发生的由信息技术创新和制造业业务流程深度融合的一次工业革命。成功转型升级的企业将使客户深度参与个性化产品设计,智能化、数字化的生产技术工程规划和验证。智能化的制造,使企业以零库存、零缺陷、高效率、低成本的方式向客户交付高价值的产品和服务,并对产品进行全生命周期的管理和服务;同时,用大数据和云技术,以越来越快的速度积累知识资产,飞速提升自己在产品设计、制造、服务和营销方面的竞争能力。

本书以丰富详实的案例,通俗易懂的文笔,深入浅出地介绍了工业 4.0 的技术、理论、实践和方法论,深度分析了工业 4.0 技术如何融合到设计、生产、营销和销售、服务等业务流程,及其带来的颠覆性的场景革命。

工业 4.0 是一场用信息技术把知识模型化、工具化、通用化并以越来越快的速度产生知识,以知识资产推进竞争的竞赛。本书为准备参与这场竞赛的制造业从业者编写。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业 4.0 实践精要/辛玉军,陈林生著. —北京:机械工业出版社, 2016.6

ISBN 978-7-111-54255-1

I. ①工… II. ①辛… ②陈… III. ①制造业—研究—世界  
IV. ①F416.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 158132 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:曹雅君 责任编辑:曹雅君 刘 博

责任校对:舒 莹 封面设计:可圈可点

责任印制:李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2016 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

170mm×242mm·14.25 印张·181 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-54255-1

定价:59.00 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

服务咨询热线:(010) 88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

(010) 88379203

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

“这是最好的时代，这是最糟的时代，这是理性的时代，这是困惑的时代，这是迷信的时代，这是怀疑的时代。这是希望之春，这是失望之冬。人们拥有一切，人们一无所有。由此将坠入地狱，由此将升入天堂。”

——狄更斯

只有 250 多年的工业文明创造的社会财富，是农业文明的千万倍。工业 4.0 将把人类推向智能文明，将会创造更加璀璨的未来。工业 4.0 是制造企业的必由之路！工业 4.0 转型成功与否，不是企业经营好与坏的问题，而是企业生与死的问题！

工业 4.0 是我们这一代人面对的又一次大机遇，PC 时代出现了比尔·盖茨，互联网时代出现了张朝阳、杨致远、马云、马化腾、扎克伯格……工业 4.0 时代必将成就一批新贵。

作为制造业从业人士、投资人士，你不能不了解影响我们未来的工业 4.0。基于物联网和业务知识模型化构建的信息物理系统，让企业以越来越快的速度积累知识资产，工业 4.0 时代是专家型公司生态圈的游戏。基于此的精准营销，用户对工厂的大规模定制，自适应柔性化智能制造，制造业服务化，社会化制造等业务模式等颠覆式商业创新将重构制造业的版图。不能数字化、智能化构建数据快车道的企业将会成为“石器时代的古董”！

## 推 荐 序

我们关注智能制造（广义）很久了，对其中的问题还在不断地学习和探讨。参加了多次工业 4.0 的讲座和培训，听到的多是“高大上”的概念和理论。2015 年底，在北京听了辛玉军老师讲的课，感到非常实用、很接地气，讲清了理论与实践的结合问题；讲清了机械化、自动化、数字化、数据化、智能化的关系问题；讲清了企业各个信息系统、互联网、物联网与制造生产线的关系问题；讲清了智能设计、智能制造（狭义）、智能服务的关系问题；讲清了现有企业如何过渡到智能制造企业的问题。这对于推广智能制造（广义）有重要的现实指导意义。

目前，中国开始规划和实施《中国制造 2025》，这是具有历史意义的。我们应该赶上这一班车，所以应该读一读辛玉军老师的这本书。

中国制造业要在未来的世界制造业中占有自己的位置，必须实现产品及服务的革命性替代（主要依靠技术创新）、创新性迭代（核心是速度和精确优化）、满足产品高质量和高可靠性的精益生产（实现工匠精神）、单位产品制造及服务成本的降低和个性化、规模化的定制生产。智能制造（广义）条件下的优化设计、优化制造、优化服务、企业系统效率更高（提高 20%~30%）、企业运行成本更低（下降 20%~40%）带来了单位产品及服务成本更低、自适应生产、规模化的个性定制生产、大数据驱动企业一切决策，这应该是我们的目标。

工业 4.0 的体系庞大、设计全面，为我们展现了未来工业发展的美好前景。工业 4.0 转型成功的企业，会增加数个维度的竞争力：

- 基于知识模型化、通用化、泛在化和现代质量工程，给了企业对研发、工艺、制造、营销和服务等业务进行精益高水平的规划、验证和高效运作的的能力。
- 基于物联网和知识建模构建信息物理系统，给了制造和服务以实时化、精准化、高效化、自适应的监控和优化能力，实现了规模化的个性定制生产。

- 基于企业构建的数字化、数据化，运用大数据技术，不断生成企业对用户、材料、结构、工艺、设备和供应商等多领域的深度洞察，发现隐含的知识和规律，帮助我们实现精准的参数优化、系统优化、制造优化、营销优化、自动学习、智能决策、智能纠错，并快速积累企业可以传承的知识资产。
- 基于增材制造、实验仿真、虚拟现实、增强现实、物联网等技术，实现产品模块化设计、模块制造、模块化运营的能力，企业可以进行工业化与定制化融合的大规模定制业务；可以提高产品迭代速度和迅速开发新产品；可以迅速提高人员素质，实现智力延伸，快速积累可传承的知识资产，企业可以从容实现制造业服务化转型。

转型成功的企业可以对没有转型的企业进行“降维攻击”，基于自己的多维度的竞争能力，用颠覆式的商业模式快速占领市场。未来不能快速进行工业 4.0 转型的企业将难以生存。

非常欣喜地看到辛玉军老师把 17 年对制造业的研究经验浓缩成一本书——《工业 4.0 实践精要》。本书介绍工业 4.0 中把信息技术的创新融合到制造业的产品设计、工艺规划、制造、营销和售后服务等全业务流程，理论阐述透彻清晰、案例丰富详实。辛玉军老师结合他的经验提出了对企业转型实战具有高度指导意义的转型路线图。

这本书将成为中国企业在工业 4.0 转型路上的指导性的路标。让大家一起来见证中国制造业成功转型，并助力中国成为世界制造强国。

川投能源公司总经理 金群

2016 年 4 月

## 前 言

建立在科学技术上的工业文明只有 250 多年的历史，却给人类带来空前的繁荣。在这 250 多年中，技术创新给工业带来了三次革命，我们正在经历第四次工业革命。信息技术的发展及其与制造业流程的联动带来的第四工业革命必将把人类文明推向新的高度。

工业 4.0 的概念在 2011 年由德国人工智能研究中心的“用信息技术提升先进制造业”项目提出，并很快成为德国的国家战略。快速发展和成熟的物联网，横向纵向端到端的集成，虚拟现实，大数据，自动化，人工智能和机器人，云计算和云服务，网络安全等信息技术构成的信息物理系统（Cyber Physical System）是第四次工业革命的内在动力。工业 4.0 将彻底再造制造业的整个价值链。掌握工业 4.0 技术的企业将快速积累自己的知识资产，成为价值链上的专家型公司。生态圈中一批专家型公司构建的价值链，将以零库存、零缺陷、高效率、低成本的方式为客户提供高附加值的产品和服务。整个制造业传统的商业模式都将被颠覆，不能掌握工业 4.0 技术的企业将快速出局。美国依据自己在软件和数据处理能力上的优势启动的工业互联网和工业 4.0 有着异曲同工的效果。

历经 30 多年的发展，中国已成为世界第一制造大国，2014 年中国制造业在 GDP 中的占比是 42.6%，同期美国只有 10%。制造业对于中国的重要性不言而喻。德国、美国应用先进的信息技术带来的创新业务模式，给它们带来了新的成本、质量和产品技术的优势。2015 年的数据显示，美国的制造成本只比中国高 4%。高端制造业纷纷回流欧美发达国家。2015 年 12 月，阿迪达斯的“SPEED FACTORY”自动化快速工厂在德国启用，用智能方式生产个性化定制运动鞋。在国内，各个生产要素的成本快速增加，低端制造业流向越南、印度等国家。中国制造业面临着巨大的挑战，升级转型是唯一出路。

中国企业从来不愁学习能力，工业 4.0 恰恰给我们提供了一个快速学习、

弯道超车的机会。本书系统介绍了工业革命史，工业 4.0 的技术基础、理论方法、成功案例，工业 4.0 的技术改造、产品开发、生产技术工程、制造和售后服务业务流程，以及工业 4.0 技术带来的颠覆式的业务模式。工业 4.0 时代，在知识资产富集的专家型价值链的环境下，业务模式必然转型为以模块化产品设计开发、模块化制造工艺设计、模块化生产为特点的模块化经营。

中国的制造业面对工业 4.0 这样一个系统的、复杂的、多学科并举的转型阶段，如何控制转型中的风险，如何以接地气、消化得了的方式快速转型？本书在技术路线和转型管理方面做了系统的探讨和论述。

本书由北京至卓越公司辛玉军先生和甲骨文公司陈林生先生联合撰写。辛玉军先生从事制造业管理咨询和信息化咨询 17 年，创立北京冠卓企业管理顾问有限公司和北京至卓越信息技术有限公司。辛玉军对制造业的工业 4.0 的转型的必要性、面临的挑战以及转型的路径有着独到的理解，提出“工业 4.0 是以信息技术把制造全业务流程和资源数字化，把知识模型化，并通过数据飞轮快速积累知识资产，并以独到的知识资产创造竞争优势”。陈林生先生在大数据行业从业 16 年，对大数据技术、理论和应用积累了丰富的经验。陈林生先生撰写了第 8 章“工业大数据”部分，其余章节由辛玉军先生撰写。

感谢我们的创业伙伴王红兵和姜莹参与讨论并贡献了思想。

感谢航天科工集团周翔先生和申世光先生关于智能制造的探讨和提供实践材料。

感谢红领服饰、尚品宅配、ABB、哈雷摩托、德国倍福自动化、沈阳机床等公司的案例材料支持。

感谢刘伟华先生对外文资料的整理和翻译。

感谢我的家人在写作期间对我的大力支持，让我的人生充满快乐和激情！

辛玉军

2016 年 4 月



# 目 录

推荐序

前言

## 1 第1章

### 掌控未来——工业4.0

- 1.1 工业革命的历史 / 1
- 1.2 工业4.0的成功故事 / 9
- 1.3 工业4.0改变企业的生存模式 / 27

## 30 第2章

### 制造业的世界竞争

- 2.1 解读《中国制造2025》 / 31
- 2.2 美国先进制造业国家战略 / 38
- 2.3 英国的“未来制造业2050”和“高价值制造”战略 / 52
- 2.4 德国工业4.0国家战略 / 53

## 59 第3章

### 工业4.0的十大技术支柱

- 3.1 物联网 / 60
- 3.2 纵向、横向集成 / 68
- 3.3 仿真模拟 / 72
- 3.4 自动化和机器人 / 73
- 3.5 知识自动化 / 74
- 3.6 大数据 / 76

- 3.7 增强现实 / 78
- 3.8 增材制造——3D打印 / 79
- 3.9 云服务和云计算 / 82
- 3.10 信息安全 / 84

## 86 | 第4章

### 工业4.0时代的产品开发

- 4.1 工业4.0时代的产品营销和销售 / 87
- 4.2 工业4.0时代的产品开发 / 89
- 4.3 平台化、模块化、参数化的产品定制设计 / 91
- 4.4 数字化产品开发工具让一切变得简单 / 106
- 4.5 产品生命周期管理 / 108
- 4.6 模拟仿真验证产品设计和制造工艺 / 117

## 118 | 第5章

### 工业4.0时代的工业生产技术工程

- 5.1 虚拟制造 / 118
- 5.2 运用信息技术构建精益工厂 / 124
- 5.3 人体数字建模和工位设计 / 126
- 5.4 工业机器人作业仿真建模 / 128
- 5.5 数字工厂和物流仿真设计 / 130
- 5.6 CAD、CAM和CNC数据链和价值链 / 132
- 5.7 模块化制造 / 134

## 138 | 第6章

### 工业4.0时代的智能工厂

- 6.1 智能工厂的系统构成 / 142

- 6.2 智能工厂的三大基石 / 145
- 6.3 标准化——互联成功的保证 / 148
- 6.4 基于智能设备和智能物料的工厂物联网 / 151
- 6.5 智能工厂组织设计和变革管理 / 153
- 6.6 模块化制造 / 155

157 | 第7章

服务是一个金矿

- 7.1 全生命周期的服务 / 158
- 7.2 制造业服务化的类型 / 159
- 7.3 制造服务化案例 / 161

167 | 第8章

工业大数据

- 8.1 工业数字化转型 / 167
- 8.2 实现工业数字化转型的主要IT技术 / 171
- 8.3 工业大数据的业务价值与应用场景 / 191
- 8.4 如何推进和实施工业大数据 / 204

209 | 第9章

工业4.0转型之路

- 9.1 构建智能制造体系 / 210
- 9.2 智能工厂 / 213
- 9.3 社会化制造 / 214
- 9.4 大规模定制业务模式转型和服务化转型 / 214

# 第 1 章

## 掌控未来——工业 4.0

当今飞快的技术进步深刻地改变着制造业。信息技术、人工智能、材料科学以及 3D 打印等技术已经启动了新一轮的工业革命，德国人定义为“第四次工业革命”。基于物联网技术，通过虚拟建模构建物理信息系统，来打造智能化产品。智能化制造是工业 4.0 的主要特征。虚拟物理系统让企业能够用简单的方法管理客户需求、产品研发、制造和服务。工业 4.0 模式下的企业可以高效率、低成本、零缺陷、零库存地大规模制造个性化产品和提供个性化服务。以信息技术创新为基础的工业 4.0 将深刻改变企业的竞争模式和人类的生活方式。既然是“革命”，那一定是要有被革命者和革命者，革命者长什么样？如何成为革命者，而不要成为被革命者？

中国古代的智者说：“以铜为鉴，可以正衣冠；以人为鉴，可以明得失；以古为鉴，可以知兴替。”首先让我们来回顾一下工业革命的历史吧！

### 1.1 工业革命的历史

人类从农业社会步入工业社会的历史只有 250 年。在此期间，经历了三次工业革命，目前正在发生的是第四工业革命。下面我们一起来看

看工业革命的历史。

### 1.1.1 工业 1.0

第一次工业革命，发生在 1760—1840 年，起始于英国，波及欧美主要国家。1765 年，珍妮纺纱机的出现，标志着工业革命在英国乃至世界的爆发（图 1-1）。18 世纪中叶，英国人瓦特改良蒸汽机之后，一系列技术革命引起了从手工劳动向动力机器生产转变的重大飞跃，大大提升了生产效率。在第一次工业革命时，纺织行业从雇佣人数、投资额度和产值工业等方面来讲都是第一大产业，也是工业革命影响最为显著的行业。到 1830 年，一个操作纺纱机的英国纺织工人其产量 20 倍于一位进行手工操作的中国同行，而一台英制蒸汽动力的“骡”式纺纱机，其产量相当于 200 台手纺车。机械化使英国纺织行业的生产效率从 1760 年到 1830 年提升了 400 倍。统治世界的中国棉布，很快就被物美价廉的英国布替代。男耕女织的中国经济模式彻底落后了。中国没有参与第一次工业革命，在世界经济中的份额由 1800 年的 33.3% 快速下降到 1860 年的 19.7%，被英国的 19.9% 超越。英国成为名副其实的“世界工厂”。

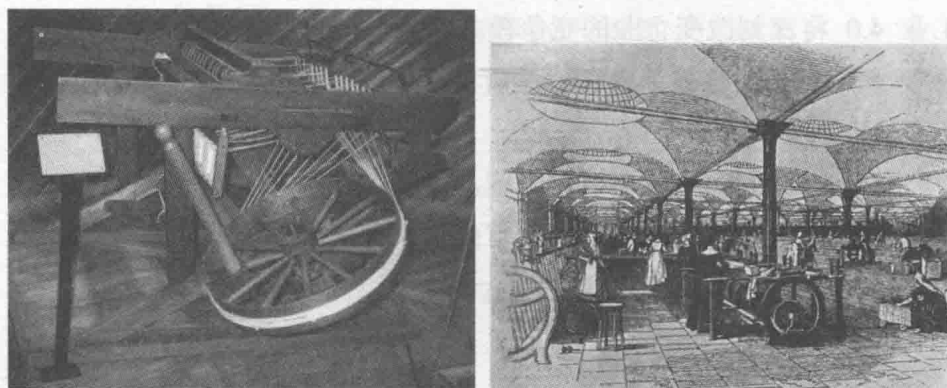


图 1-1 珍妮纺纱机和大型纺织工厂

第一次工业革命过程中积累了大量的资金，通过金融创新的方式来支持技术发展和基础设施建设。由于机械化需要大量的铁、机械加工技

术和工具，冶金技术和化学科技取得了长足的进步，大量的生产资料 and 产品的运输促进了道路和运河的修建。

第一次工业革命带来的另一个巨大影响是：人类历史上第一次实现了人口和生活水平的同步增长。在之前的历史中，人类重复着经济发展—人口膨胀—资源紧张—战争—人口大量减少、休养生息、经济发展的循环。英格兰和威尔士的人口从1740年的600万增长到1901年的3050万。欧洲人口从1800年的1亿人，增长到1900年的4亿人。同期，人类生活水平大幅提升，廉价的布和食品满足了人们的基本需求。另一个文明的标志是：通过立法禁止童工。在工业革命初期，由于童工廉价，童工得以被大规模的使用。一个4岁的小孩在工厂要工作13个小时才得到成人工资的10%~20%。到1844年，第一部禁止童工的法律诞生，使用9岁以下的童工是非法的，18岁以下的童工工作时间不能超过12小时，不能夜间工作。英国工厂里的童工如图1-2所示。



图1-2 英国工厂里的童工

第一次工业革命具有划时代的历史意义，对人类社会的演进产生了空前的影响。它为新生的资本主义制度奠定了坚实的物质基础，促使欧美诸国先后实现工业化，由农业国变成工业国。它为英国提供了历史机

遇，英国利用了工业化的先发优势，确立了“世界工厂”的地位。

总结一下，第一次工业革命的重点见表 1-1。

表 1-1 第一次工业革命的重点项目

革命者	机械化工厂企业主
被革命者	手工作坊
技术	蒸汽机，纺织机械，机械工具创新，炼铁技术，化学
影响	生产效率显著提升 大型工厂兴起 人口和生活水平同步增长 知识得到空前的重视

### 1.1.2 工业 2.0

第二次工业革命发生在 1870—1920 年，以电气化、集中控制的大规模生产和标准化生产线为特征。最为典型的标志是福特汽车公司通过电气化、标准化生产线，大规模生产 T 型车，大幅降低了汽车的售价，使每一个工薪家庭都可以买得起。

第二次工业革命中，制造和生产技术的进步使得全球很多地方可以广泛采用已有的技术系统，如电报和铁路网、燃气及水的供应和污水处理系统，它们此前被集中到一些特定的城市。铁路和电报线在 1870 年以后极大扩容，逐渐形成第一次全球化的新浪潮。在同一时期，引入了新的系统，最显著的是电力和电话。第二次工业革命一直持续到 20 世纪早期的，重点见表 1-2。

表 1-2 第二次工业革命的重点项目

革命者	用标准化生产线模式生产的大规模制造商
被革命者	依靠工程师和熟练技工的作坊式制造商
技术	电气化，标准化制造，科学管理，电报电话，铁路，发动机，石油化工……
影响	生产效率显著提升 标准化大规模制造商兴起 人口和生活水平同步增长 大学教育普及，工程师培养的体系化

在福特制造汽车的年代，两个问题阻碍着汽车被广泛使用，一个是汽车被的质量很不稳定，另一个是汽车生产的每个步骤都需要优秀的工程师和技术熟练的工人来完成，并且处于一种低效的作坊式生产模式，交期很长，成本高企。福特重新设计了汽车的生产体系，把工程师的知识通过机械和工具标准化到生产的作业过程中，经过工序的细化和分工，每个工人的作业简化为几个标准的动作。一个新员工，经过简单培训就可以上线。把工程师从生产线上解放出来，用他们的知识和智慧不断优化生产工程技术体系以及产品的设计。电影《摩登时代》生动地展现了这个场景。变革的成果就是，生产效率大幅提升，质量显著提升，成本大幅下降。一辆T型车的售价从1910年的780美元降到了1924年的290美元。福特T型车生产线如图1-3所示。第二次工业革命的重点项目见表1-2。



图 1-3 福特 T 型车生产线

生产效率的提升，交通网络的形成，工业和农业产出的增长，大幅度地降低了几几乎所有商品的价格，导致很多企业倒闭，这个时期被称为世界经济增长引起的大萧条。诚然，随着第一、第二次工业革命使一大批农民失去了土地，一大批纺织工人失去了工作，一大批企业倒闭。但是，工业革命又创造出一大批新的行业和工作机会，1850年开始有了第一家炼油厂，1840年产生橡胶工业，1860年开始建造铁路而产生的铁路运输行业以及和电相关的发电、照明、通信、电动机等。



中国是第一次工业革命和第二次工业革命的看客，这造成了中国经济严重落后，中国人民生活水平严重落后。中国经济占世界经济的比重从 1800 年的 33.3% 下降到 1949 年的 1%。

### 1.1.3 工业 3.0

第三次工业革命发生在 1970 年并延续至今，以计算机（PC）、可编程逻辑控制器（PLC）和单片机等信息技术推动的自动化为特征。1969 年，在 Modicon 公司的实验室里研究出第一台 PLC，1970 年，第一台工业 PLC 应用在通用汽车的生产线，以此为标志的工业自动化开始全面兴起。基于可编程的控制器或者计算机来控制设备运行，再加上传感器来感知环境，就形成了感知、判断行动的闭环。电子硬件和软件技术在生产制造中的应用，让自动化设备的能力得到空前的发展。德国和日本的工程师文化造就的制造工程技术方面的领先优势，在自动时代充分地发挥出来，它们成为自动化水平最高的两个国家。从而使得两个国家在应对人力成本逐步高企的竞争中，用自动化设备和机器人替代人工，在高端制造业中保持着竞争优势。第三次工业革命的重点如下表所示。

通过编程，工程师可以构建模型，通过专业知识判断，参数化的程序进行判断，通过执行器来指挥设备的运行，再加上电子硬件技术和软件技术快速进步，自动化彻底改变了制造业的竞争规则，启动了一次深刻的工业革命。第三次工业革命还在进行中，目前中国的制造企业已经深刻感受到来自欧美同行的竞争压力。

机器人是这个阶段的主要标志。目前工业机器人的功能越来越强大，应用越来越广，成本越来越低。2014 年起，中国是世界机器人第一大市场，机器换人得到政府财政的大力支持，企业也尝到了用机器人代替人的甜头。但是截至 2014 年底，中国机器人保有量只有日本的 18%、德国的 35%。

第三次工业革命的重点项目见表 1-3。