

全球 制造业的 颠覆

工业4.0



Subversion of The Global Manufacturing
Industrie 4.0



■ 华海敏 主编



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>

全球 制造业的 颠覆



工业4.0



Subversion of The Global Manufacturing
Industrie 4.0



■ 华海敏 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

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

全球制造业的颠覆：工业 4.0/华海敏主编. —北京：电子工业出版社，2015.7
ISBN 978 - 7 - 121 - 26069 - 8

I. ①全… II. ①华… III. ①制造业 - 工业生产 - 智能控制 IV. ①F407.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 099966 号

策划编辑：富 军

责任编辑：富 军

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

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：720 × 1 000 1/16 印张：21.25 字数：358 千字

版 次：2015 年 7 月第 1 版

印 次：2015 年 7 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：58.00 元

其他参编人员有：周志敏 纪爱华 周纪海 刘建秀 顾发娥
纪达安 刘淑芬 纪和平 纪达奇 陈爱华

凡所购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，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 zlt@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

引 言

“工业 4.0”的大潮正以排山倒海之势席卷而来。浪潮涌上传统制造业，或迅疾如风，或激烈如火，或柔韧如水，产业融合，创新出全新的制造业。不同的产业，不同的方式，不同的速度，相同的却是双向的融合和改变。

德国为什么提出“工业 4.0”概念？

德国提出“工业 4.0”概念旨在支持工业领域新一代革命性技术的研发与创新，以保持德国的国际竞争力，主要是各界对德国未来发展表现出某种危机意识，同时认为德国工业经济发展面临许多机遇，但在新一轮技术革命和产业的变革中，德国人有危机感，也看到新机遇，并试图在工业领域继续保持全球领先的地位。

“工业 4.0”是什么？

工业 4.0 是一个发展的概念，是一个动态的概念，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，是互联，是集成，是数据，是创新，是服务，是转型，是 CPS，是智能工厂，是智能制造，是国家战略，是企业行为，也是推进两化深度融合所秉持的核心理念。



“工业 4.0”靠哪些技术支撑？

“工业 4.0”将引入大量具有互通信能力的物理组件，需要通过承载网络实现跨领域和跨地区的智能制造，同时还对安全可靠性的要求较高。“工业 4.0”的技术支撑有物联网技术、ICT（信息和通信技术）、CPS（信息物理系统）、云计算和大数据等。

当前，中国制造业正面临着前所未有的挑战，受到高端制造业向发达国家回流，低端制造业向低成本国家转移的双重挤压，因此，学习和借鉴“工业 4.0”的理念，建设智能工厂，推进两化深度融合，具有十分重要的现实意义。

随着以互联网为平台“鼠标经济”的兴起，传统经济（水泥经济）也开始触网以谋求发展，建立在传统实体基础上的新经济正成为一种发展趋势。但要想实现这一蓝图，“鼠标+水泥”，即“互联网+工业”的双轮驱动至关重要。

本书在资料的收集和信息交流上，都得到了国内专业学者和智能系统集成商的大力支持。书中引用了部分官员的讲话及对专家学者的访谈录，由于篇幅等原因未能在参考文献中一一列出，敬请谅解，在此表示衷心的感谢。

编者



一、揭开“工业 4.0”的面纱 1

“工业 4.0”的概念包含了由集中式控制向分散式增强型控制的基本模式转变，目标是建立一个高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式，是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。物联网、信息通信技术、信息物理系统、大数据及云计算都应用到了“工业 4.0”中，它们协同作战，将全面颠覆传统的制造业的思维方式。

- 01 工业发展及“工业 4.0”的概念 3
- 02 “工业 4.0”将颠覆全球制造业 9
- 03 “工业 4.0”的内涵及基础 14
- 04 “工业 4.0”的特征 21
- 05 “工业 4.0”的潜力及实现措施 25

二、《中国制造 2025》与“工业 4.0”殊途同归 31

中国制造 2025 与德国“工业 4.0”在重要目标和核心手段上有异曲同工之处，但“中国制造 2025”不等同于“德国工业 4.0”，中国制造 2025 注重与制定“互联网+”行动计划相匹配，推动移动互联网、云计算、大数据、物联网等与现代制造业结合，这是中国制造 2025 更加宽广的发展方向和提升空间。

- 06 《中国制造 2025》 33
- 07 德国“工业 4.0”战略给中国的启示 41
- 08 两化融合及应对的挑战 45

三、德国“工业 4.0”战略与愿景 59

德国“工业 4.0”战略的要点可以概括为：建设一个信息物理系统网络，研究智能工厂和智能生产两大主题，实现横向、纵向与端对端三项集成，实施八项计划——标准化和参考架构、管理复杂系统、一套综合的工业宽带基础设施、安全和保障、工作的组织和设计、培训和持续的职业发展、监管框架、资源利用效率。

“工业 4.0”展现了一幅全新的工业愿景蓝图：在一个“智能、网络化的世界”里，物联网和务联网（服务互联网技术）将渗透到所有的关键领域，创造新价值的过程逐步发生改变，产业链分工将重组，传统的行业界限将消失，并会产生各种新的活动领域和合作形式。

- 09 德国“工业 4.0”双重战略 61
- 10 德国“工业 4.0”战略的根本目标 74
- 11 人机领跑“工业 4.0” 79
- 12 德国“工业 4.0”战略的愿景 85
- 13 德国“工业 4.0”的战略要点 91

四、智慧工厂和智能制造 123

“工业 4.0”最终需要实现的目标是制造业向智能化的方向转型；“智能”思想是“工业 4.0”的核心。“工业 4.0”主要可以分为两大部分：第一部分是“智能工厂”，重点研究智能化生产系统和过程，以及网络化分布式生产设施的实现；第二部分是“智能生产”，主要

涉及整个企业的生产物流管理、人机互动及3D技术在工业生产过程中的应用等。

- 14 智慧工厂的定义及目标 125
- 15 智慧工厂的支撑技术 129
- 16 智慧工厂的构成及打造 143
- 17 智能技术和测控装置 154
- 18 智能化 160
- 19 智能制造 170
- 20 智能制造系统 175

五、“工业4.0”的技术支撑 183

目前，由德国提出的“工业4.0”概念正在风靡全球，新兴的技术将渗透到工业的各个方面。这将形成一个灵活度高，具有个性化、智能化的生产模式。工业要实现向智能方向的转型，就离不开物联网技术、现代信息通信技术、信息物理系统、大数据、云计算的支撑，协同作战，全面颠覆传统制造业的思维方式，掀起新一轮工业革命的浪潮。

- 21 物联网定义及关键技术 185
- 22 物联网的四大支柱技术 188
- 23 物联网四大支撑网络及架构 209
- 24 物联网技术标准及信息安全 213
- 25 物联网技术支撑“工业4.0” 218
- 26 信息和通信技术（ICT） 226
- 27 ICT支撑“工业4.0” 250
- 28 信息物理系统 254
- 29 CPS机遇与挑战及与物联网的关系 264

- 30 “工业 4.0”与 CPS 的关系及核心战略 269
- 31 云计算的定义及特征 277
- 32 云计算的特点及产业分级 283
- 33 私有云和公有云及发展趋势 293
- 34 云计算与云安全 299
- 35 大数据的定义及数据分析 303
- 36 大数据处理及存储面对的问题 310
- 37 “工业 4.0”的核心是数据 316

参考文献 328

一、揭开“工业 4.0”的面纱

- 01 工业发展及“工业 4.0”的概念
- 02 “工业 4.0”将颠覆全球制造业
- 03 “工业 4.0”的内涵及基础
- 04 “工业 4.0”的特征
- 05 “工业 4.0”的潜力及实现措施

“工业 4.0”的概念包含了由集中式控制向分散式增强型控制的基本模式转变，目标是建立一个高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式，是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。物联网、信息通信技术、信息物理系统、大数据及云计算都应用到了“工业 4.0”中，它们协同作战，将全面颠覆传统的制造业的思维方式。

01 工业发展及“工业 4.0”的概念

(1) 工业发展的四个阶段

第一阶段：“工业 1.0”，18 世纪 60 年代至 19 世纪中期，通过水力和蒸汽机实现的工厂机械化，即机械生产代替了手工劳动，经济社会从以农业、手工业为基础转型到了以工业和机械制造带动经济发展的模式。

第二阶段：“工业 2.0”，19 世纪后半期至 20 世纪初，在劳动分工的基础上采用电力驱动产品的大规模生产，通过零部件生产与产品装配的成功分离，开创了产品批量生产的新模式。

第三阶段：“工业 3.0”，始于 20 世纪 70 年代并一直延续到现在，电子与信息技术的广泛应用，使得制造过程不断实现自动化，自此，机器能够逐步替代人类作业，不仅接管了相当比例的体力劳动，还接管了一些脑力劳动。

第四阶段：“工业 4.0”，德国学术界和产业界认为，未来 10 年，基于信息物理系统（Cyber Physical System, CPS）的智能化，将使人类步入以智能制造为主导的第四次工业革命，产品全生命周期和全制造流程的数字化，以及基于信息通信技术的模块集成，将形成一个高度灵活、个性化、数字化产品与服务的生产模式。

继蒸汽时代、电气时代、信息时代三大工业革命之后，全球化分工使生产要素加速流动和配置，市场风向变化和个性化需求对企业的反应时间和柔性化能力提出前所未有的要求，全球进入空前的创新密集和产业变革时代。基于此，以物联网和智能制造为主导的第四次工业革命悄然来袭。

工业革命的四个阶段如图 1-1 所示。

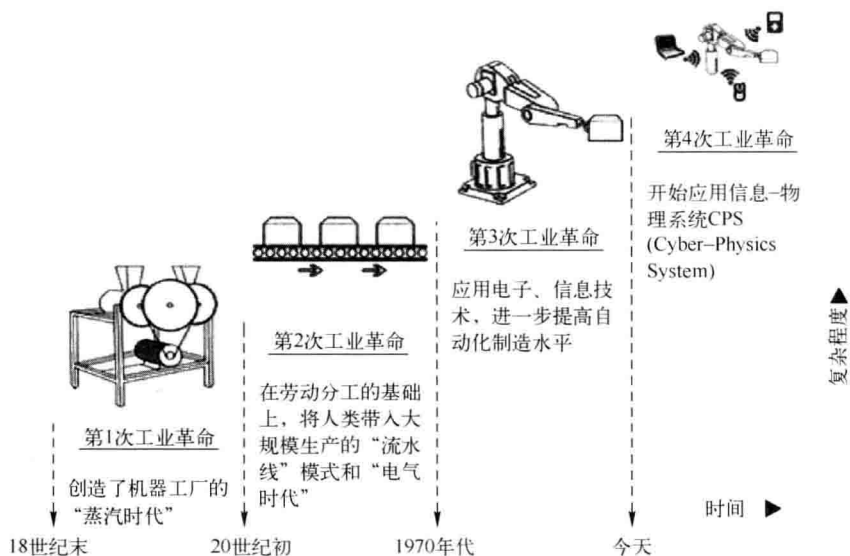


图 1-1 工业革命的四个阶段

(2) “工业 4.0” 的概念

信息技术领域从来不缺乏新概念和新理念，但真正能够被各界广泛认可并快速传播的发展理念屈指可数。在新一代的信息技术正在广泛普及并推进生产方式变革时，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的时候，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的思想，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”的概念出现了，这一概念的最大成功在于，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的集成，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。

“工业 4.0”这一概念的提出，寓意人类将迎来以信息物理系统（CPS）为基础，以生产高度数字化、网络化、机器自组织为标志的第四次工业革命。所谓“工业 4.0”，是通过虚拟生产结合现实的一种生产途径，使未来制造业可实现更高的工程效率、灵活性及更短的上市时间，如图 1-2 所示。

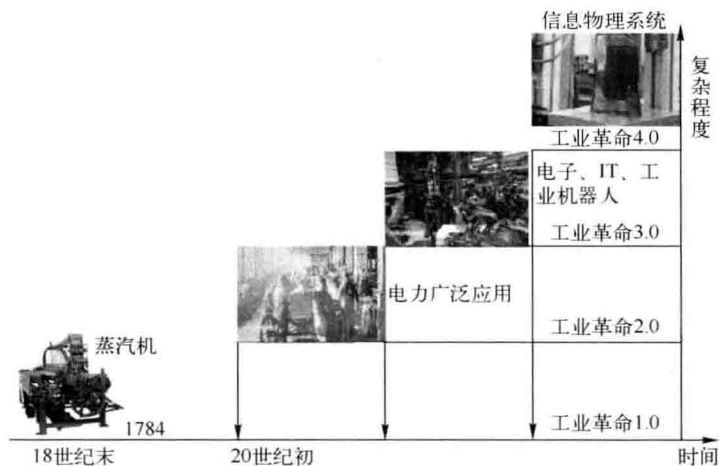


图 1-2 工业 1.0 ~ 工业 4.0 发展历程及复杂程度

“工业 4.0”概念源于 2011 年汉诺威工业博览会，最初的想法只是通过物联网等媒介来提高德国制造业水平。在两年后的汉诺威工业博览会上，由“产官学”组成的德国“工业 4.0”工作组发表了题为《德国工业 4.0 战略计划实施建议》。

在《德国工业 4.0 战略计划实施建议》中对“工业 4.0”有详细的描述：在一个“智能、网络化的世界”里，物联网和服务网（the Internet of Things and Services）将渗透到所有的关键领域，在智能电网能源供应领域、可持续移动通信战略领域（智能移动、智能物流）及医疗智能健康领域融合。在整个制造领域中，信息化、自动化、数字化贯穿整个产品生命周期、端到端工程、横向集成（协调各部门间的关系），成为工业化第四阶段的引领者，也即“工业 4.0”。

“工业 4.0”的概念有三个支撑点：

① 制造本身的价值化，不仅是做好一个产品，而且是把产品生产制造过程做到浪费最少、制造过程与设计者配合。

② 在制造过程中，根据加工产品的差异、加工状况的改变能自动做出调整，达到具有所谓的“自省”能力，也就是整个系统，包括设备机器本身，在设计制造过程中能根据变化的情况，及时做出调整。

③ 在整个制造过程中达到零故障、零忧虑、零意外、零污染，至少要低忧虑、低污染，使制造过程达到最小忧虑化，这就是制造业的最高境界。

“工业 4.0”是一个愿景，代表的是第四次工业革命，是产品生命周期中整个组织、管理的飞跃。这样的生命周期以不断增加个体消费需求为导向。它横跨产品最初的设计、生产、发展、配送，再到最后的回收，并包括所有的相关服务。

实时网络提供的所有相关信息、价值链的各个部分及随时获得最优价值的的能力是“工业 4.0”的基础。也就是说，“工业 4.0”想要打造的是整个产品生产链的实时监控，产品配套服务设施之间的合作，而这一切的起点只需要个体消费者的一个需求。

在德国率先提出“工业 4.0”的概念之后，美国也推出工业物联网、互联企业等类似概念。无论“工业 4.0”还是工业互联网，其主要特征都是智能和物联，而宗旨都在于将传统工业生产与现代信息技术相结合，从而提高资源的利用率和生产灵活性、增强客户与商业伙伴的紧密度，并提升工业生产的商业价值。

德国“工业 4.0”概念包含了由集中式控制向分散式增强型控制的基本模式转变，目标是建立一个高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式。在这种模式中，传统的行业界限将消失，并会产生各种新的活动领域和合作形式。创造新价值的过程正在发生改变，产业链分工将被重组。德国学术界和产业界认为，“工业 4.0”概念即是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。该战略旨在通过充分利用信息通信技术和网络空间虚拟系统 [信息物理融合系统 CPS (Cyber - Physical System)] 相结合的手段，将制造业向智能化转型。

第三次工业革命也好，第四次工业革命也罢，“再工业化”和中国的“信息化与工业化深度融合”是一脉相通的。其核心思想就是要充分的应用信息技术改造传统产业，实现转型升级。在产品研发设计方面，除了应用信息技术提高设计效率的同时，要综合应用计算机技术、网络通信技术、控制技术和传感技术，使装备成为信息物理融合系统的一部分；在经营管理中，充分运用信息技术实现企业纵向和横向的集成，实现管理模式和业务流程的创新，提高经营决策的科学性；在生产制造方面，实现智能制造、绿色制造，提高生产的柔性，提高资源的利用，向物联网、智能企业、智能产业迈进。

在“工业4.0”的理念中，产品本身是生产过程中一个十分活跃的元素。这个理念也可以用“智慧工厂”来解释，也就是说，在这个工厂中，数字世界与物理世界无缝融合，在这些产品中包含有全部必需的生产信息。通过信息物理系统，企业不仅可以清晰地识别产品、定位产品，而且还可以全面掌握产品的生产经过、实际状态及至目标状态的可选路径。

在“工业4.0”时代，机器、存储系统和生产手段构成了一个相互交织的网络，在这个网络中，可以进行信息的实时交互、调准。同时，信息物理系统还能给出各种可行性方案，再根据预先设定的优化准则，将它们进行比对、评估，最终选出最佳方案。这就使得生产更具效率、更环保、更加人性化。同时，因为调动了“元信息”，所以提高了生产过程的透明度。

“工业4.0”的基本范式如图1-3所示。这种以信息技术为基础，整合软、硬件的系统又称嵌入式生产系统。该系统的应用，一方面使得企业与企业之间纵向一体化程度加深；另一方面，在从预订到交货的横向一体化中，各个环节也被紧密地联系起来。正如德国技术科学协会（Acatech）发表的一份文件中预测的那样：“信息物理系统（嵌入式系统）将彻底变革制造业、交通业和医药业。”

“工业4.0”把大量的有关人、IT系统、自动化原件和机器的信息融入到虚拟网络和实体物理系统（CPS）中，并利用产生的数据为企业服务。其本质即为“融合”。在制造系统中，工厂现场设备传感和控制层的数据与企业信息系统融合，并传到云端进行存储、分析，形成决策并反过来指导、协同企业的生产和运营。通

过“工业 4.0”可以建立一种人机互动的崭新模式，即机器适应人的需求。具有多通道用户界面的智能工业辅助系统，能将数字和模拟环境直接搬到生产车间。

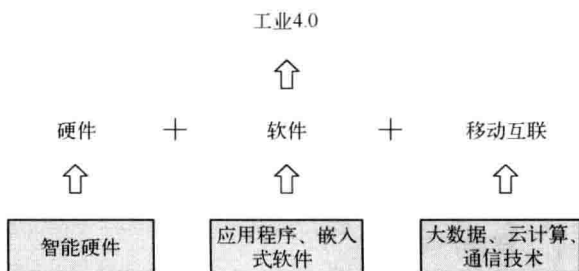


图 1-3 “工业 4.0” 的基本范式

未来工厂也将从局部的机器智能（如机器人）发展到全厂智能，届时，嵌入式制造系统在工厂和企业之间的业务流程上实现纵向网络连接，在分散的价值网络上实现横向连接，并可进行实时管理，从产品下订单开始，直到产品外运的物流。

这一理念将零散的信息、通信、虚拟等技术整合，通过数据可视化和共享互联，打通企业的产品设计、研发、生产与客户管理、供应链和能耗管理等系统，实现从底层控制级、中层生产线级到上层企业管理级的整体优化，最终帮助制造业实现更短的上市时间、更高的生产灵活性和资产利用率、更低的拥有成本和更可控的企业风险。

在制造业领域，CPS 包括能自主交换信息的智能机器、存储系统和生产设施，它们能独立运行和相互控制。这有利于从根本上改善工业生产过程，包括制造、工程、材料的使用、供应链和生命周期管理。

“工业 4.0”将是一个渐进的过程，为了适应制造工程的特殊需求，现有的基本技术和经验必须加以改变；还必须探索针对新地点和新市场的创新解决方案。如果成功，那么“工业 4.0”将会提升德国的全球竞争力，并保持其国内制造业继续发展。