

智能工业丛书



FUTURE MANUFACTURING

Manufacturing Paradigm Revolution Driven by AI and Industrial Internet

未来制造

人工智能与工业互联网驱动的
制造范式革命

杨青峰◎著



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>

智能工业丛书

未来制造

人工智能与工业互联网驱动制造范式革命

杨青峰◎著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书由三个深度关联的篇组成。第1篇从早期人类文明开始,用大量的故事和事实全景式再现手工制造、大机器生产、流水线生产、大规模定制四次制造范式的演变和跃进过程。第2篇重点讨论智能革命爆发的前因后果,从算力量变、人工智能、智能机器、工业互联网等几个维度勾勒正在发生的智能革命的细节和全貌,告诉大家智能革命为什么,是什么,以及能改变什么。第3篇论证了在以人工智能、工业互联网为核心的智能革命驱动下,制造范式将向第五制造范式——产用融合演进。产用融合制造范式将促使生产过程与使用过程、生产者和使用者全面融合,构造不断增值的价值环流,最终形成“边生产边使用、边使用边生产”的未来制造图景。

本书适合所有工业企业的CEO、CIO、高级管理人员、各层级工作者,智能技术供应商的高管与各级从业者,研究工业和制造业发展的专家、学者,以及高等院校中与工业、制造、智能技术相关专业的教师和学生等各类相关群体阅读。

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

未来制造:人工智能与工业互联网驱动的制造范式革命 / 杨青峰著. —北京:电子工业出版社,2018.8
(智能工业丛书)

ISBN 978-7-121-34727-6

I. ①未… II. ①杨… III. ①智能制造系统—制造业—研究 IV. ①F407.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第155910号

策划编辑:徐蔷薇

责任编辑:赵娜

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:787×1092 1/16 印张:18 字数:340千字

版次:2018年8月第1版

印次:2018年8月第1次印刷

定价:68.00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)88254888,88258888。

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。

本书咨询联系方式:(010)88254694。

推荐语

作者写的这本《未来制造：人工智能与工业互联网驱动的制造范式革命》，通过翔实的历史和实证对比研究，提出制造范式是由社会环境、价值观、技术和制度四个关键影响因素共同塑造的，这个研究结论很有启发意义。书中运用四因素的分析方法进一步推论出工业互联网和人工智能等智能技术群将驱动制造范式的革命，形成一个生产者和使用者处于一个总体制造系统中的新制造范式——产用融合，为中国制造业的转型升级找到了一个可参照的蓝图，值得国内的制造企业研读。

——国务院发展研究中心产业经济研究部研究室主任 王晓明

人类历史上已经先后出现过手工制造、大机器生产、流水线生产、大规模定制四种制造范式，《未来制造：人工智能与工业互联网驱动的制造范式革命》一书创新性地提出，制造范式不仅是由技术决定的，而是社会环境、价值观、技术和制度四大因素共同作用的结果。当前，根本性创新此起彼伏，新兴产业不断涌现，传统产业正在发生颠覆性变革，新制造范式业已“小荷才露尖尖角”。那么，什么可能是新科技推动下的新制造范式呢？《未来制造：人工智能与工业互联网驱动的制造范式革命》一书为我们描述了可能的图景。

——中国社会科学院工业经济研究所产业布局研究室主任 李晓华

互联网、大数据、物联网、人工智能等一大批新兴技术的快速发展正在将信息技术革命推向新的高度，也将与新工业革命实现历史性交汇，催生新一轮制造业大变革。作者基于多年的工业界实践和观察，对历次制造范式演化的规律和新一轮制造业变革的技术走向、核心特征、价值理念进行了深入探讨，提出制造业将走向以智能技术群为基础，以“产用融合”为核心特征的第五制造范式阶段，为我们呈现了一幅新技术驱动下制造业的发展趋势和未来愿景。

中国科学技术发展战略研究院研究员
科技部新一代人工智能发展研究中心副主任

李修全

当前，世界处于新技术革命与产业革命双重革命交织的时期，未来存在很大的不确定性。如何从不确定性的迷雾中发现确定的未来，这一问题的重要性不言而喻。我和作者是老朋友，很了解他长期以来的研究工作，《未来制造：人工智能与工业互联网驱动的制造范式革命》是他长期研究新兴技术和新工业积累的成果，其通过制造范式这个视角，为智能技术群与制造业的融合描绘了一个清晰可见的蓝图，具有深远的理论价值。

——国家工业信息安全研究中心处长 刘雅轩

《未来制造：人工智能与工业互联网驱动的制造范式革命》是作者多年来思考和研究的成果。作者以严谨的学术态度、理性的求证方法，基于对新一代信息技术所驱动的产业革命深刻认知，对当前的热点问题——制造范式的演进规律进行了研究，提出了“产用融合”是第五制造范式的观点，并对此进行了精辟论述，有助于化解因概念满天飞而又缺乏科学论述所带来的诸多困惑。本人有幸见证了作者这一研究脉络的过程，感佩本书所凝结的辛勤劳动和独立思考的价值。

——中国中钢集团有限公司信息管理中心总经理 李红

新一轮全球工业革命的浪潮正如汹涌的大海席卷而来，无论身处哪个行业，都将无一例外地被这轮以数字化、智能化为特征的革命所影响。在这样的社会大背景下，中国制造业应果断抓住机遇，在“中国制造 2025”和“制造强国战略”的引领下，利用工业互联网、工业大数据、人工智能等新一代信息技术的全方位渗透与融合，创新生产方式、组织方式和商业模式，实现弯道超车，彻底摆脱中国制造业在全球价值链分布中的低端位置，实现从“微笑曲线”到“数字化曲线”的逆袭。杨先生不仅是一位学识渊博的学者，更是一位有着丰富实践经验的实干家，多年来潜心研究智能化工业，硕果累累，更为重要的是他有自己独到的见解、视角和判断力，这在当今这轮热闹非凡的“智能化”思潮中显得尤为珍贵。在本书中他创新性地提出了用“范式”思维研究和实现工业互联网路径的客观规律——剥离了行业个性化特征和不同技术标准的智能制造的通例。中国经济发展到今天，在许多领域我们都引领着世界的发展。未来，依然需要向世界先进国家学习先进经验，但我们也必须抓紧探索和创造适合中国企业自身特色的工业互联网的建设路径和方法论，杨先生在这本书里为我们打开了一扇通往未来制造的窗口。

——中国中纺集团有限公司信息中心主任 骆学农

制造业转型升级正在如火如荼地进行，除云计算、大数据、移动互联网、物联网之外，工业互联网和人工智能的加入，使人们对制造业转型升级添加了一些智能和智慧的想法，在这个转型升级的混沌时期，关于“什么是未来制造范式”众说纷纭：有的人说是个性化定制；有的人说是数据化制造；有的人说是数字化加网络化再加智能化……作者在研究制造业发展历程过程中，提出未来制造范式是产用融合式制造这一新颖观点，为从事制造业转型升级的研究者、设计者、实施者，从另外一个维度提供了一种新的思考方法。

——中国铝业集团有限公司信息化管理部副主任 文欣荣

需求和供给的有效匹配是经济学命题，也是技术命题。千百年来，无论是数量上、结构上，还是品质上的匹配，都随科技进步而持续地动态再平衡。作者结合最新科技发展，立足充分利用智能技术满足用户深层次、全场景、个性化需求的考量，提出以产用融合为特征的第五制造范式，为开启未来制造之路开辟了新视角、新路径。

——中国自控系统工程有限公司副总经理 朱学新

这是一部追溯到上古时期的世界制造业发展简史，是一部浓缩半个多世纪的人工智能发展史，也是一部把制造业和人工智能融会贯通，实现“产用融合”，进而开创性提出“未来的第五制造范式”，描绘出制造业发展多彩未来的书！

——云智慧总裁 刘洪涛

第五制造范式——人类制造的未来

制造不是一件新鲜的事情，人类一出现就会制造东西，制造工具更是人类与猿类揖别的分水岭。但同样是制造东西，时代不同，人们制造的范式就不同。

手工制造时代，人们肩挑手扛，以人力当动力，靠着简陋的生产工具，就这样造出来到今天我们仍然啧啧惊叹的工匠文明。手工制造虽然落后，但人类发展的绝大部分时间都受益于它带给人类的一切物质文明。

手工制造发展时间长了，工具不断演进，一些聪明人就发明了更加复杂的机器。一台机器需要另外的机器配合，于是产生了链式的机器发明，这一过程在 250 年前的英国纺织业反复进行，最终在瓦特发明蒸汽机之后大功告成。一个看起来可以连续运行的动力机器，外加大量生产机器构成的体系组成了世界上最早期的工厂。有了工厂，大机器生产范式最终形成。此后全世界开始疯狂模仿，在 100 年左右的时间里，大机器生产遍布了整个世界。

在大机器生产范式最为辉煌的时刻，世界上发明了电力，发现了石油，从而开启了人类制造业发展的新阶段。不过，并不是大家想象的大机器生产不断量变而创造出全新的制造范式，而是再次从手工制造开始，运用新技术，跃变出一个全新的制造范式，从而使大机器生产因落后而被淘汰。流水线生产是福特在手工制造汽车过程中发现问题并试图解决问题的过程中创造出来的，从而开启了制造范式演进的第三个时期。流水线生产意味着高效率的大规模生产，大规模生产必须大规模销售，大规模销售进而催生了大

规模消费。在福特主义——高工资、高产量、高消费的指引下，全世界享受着大规模生产带来的物质繁荣。流水线生产带来的物质繁荣没有持续多久，人们就开始乏味了。人们需要多样化，而不是福特主义强调的单品生产，以满足大众需要。大体上同时代的美国通用汽车公司意识到了这个问题，通过多样化产品线来应对这种需要，很快就后来者居上，把福特公司竞争下去了。但这时候，基本的生产方式并没有变，只是多了几条生产线。

又过了一段时间，日本丰田汽车公司同样敏锐地觉察到了世界已经发展到多样化、个性化时期，迎合这个需要才能发展。另外，它发现自己根本没有实力来照搬美国汽车公司大规模生产的模式。怎么办？日本丰田汽车公司进而创造出了精益生产模式，以拉式生产和即时生产为中心，强调零消耗，满足小批量、多样性需要。到20世纪80年代，美国汽车公司发现自己竞争不过日本公司，后来发现奥秘就在于精益生产，又转过头向日本丰田汽车公司学习精益生产。以精益生产的思想为核心，结合当时信息技术的发展和应用，专家们提出了大规模定制制造范式。大规模定制以模块化生产为基础，满足大众小批量、多样性的需要，开启了第四制造范式时期。现在，我们经常听到很多所谓工业4.0的案例，但只要仔细研究，你就会发现其实质还是大规模定制。按照德国工业4.0的逻辑，这些案例还是工业3.0，只不过更加智能而已。

现在，新技术革命爆发已经10年，期间智能制造、德国工业4.0风起云涌。2017年，人工智能引爆了智能革命。基于新技术革命，世界有一个共识，一场新工业革命必然会发生，一个全新的制造范式一定会形成。但具体是什么，人们提了很多方案，包括德国工业4.0，但现在看起来都不太像最终谜底。如何科学地给制造业描绘出一个未来范式，是一个急需解决的问题。没有预期蓝图，现在媒体和自媒体热烈讨论的制造企业数字化转型又向何处去呢？转型错了，又由谁来负责呢？

范式是价值观和世界观，是通例，其他企业就是照搬来都没问题。不是说形成一个局部可行的模式就可以称为范式，它得具有通用性。有了通用性，才能成为全社会的范例。通过范式学习，人们可以解决社会中同类的问题。

过去告诉我们未来，但并不是过去的范式直接能导出未来。事实证明，从手工制造到大规模定制，制造范式的演进并不是在某一家企业连续进行的，也不是前一个范式量变，并最后质变为后一个范式这么简单。过去的范式演进告诉我们一个规律，范式是在社会环境、价值观、技术和制度四个元素框定下形成的。首先要找到一个适应当下社会环境的价值观，然后用最先进的技术构造它的内部结构，最后再用制度强化它，才有可能找到一个适合于新时代的制造范式。

当下社会环境有什么特点？物质极大丰富，人们日渐富裕，精神满足日益重要，人们更加追求价值，基于互联网的虚实融合空间初步形成。现在人们的价值观又是什么？以人们的深层次需求满足为中心，满足人们更高层次的非物质追求，满足真实场景的个性化需要，以及以价值为中心进行生产。简单地说就是，让“以用户为中心”真正落地，重点满足用户的深层次非物质需求。

“以用户为中心”听起来很熟悉，人人都在说，福特就说过从消费者出发，但最终落实了没有？基本上都落实到订单，用户愿意买单好像就是以用户为中心了。另外，工业技术怎么发展都是有限的，也不可能满足用户无止境的需要，即以用户为中心也是有边界的。本书证明在产用分离的情况下，实现“以用户为中心”就是一句空话。因为从生产者 and 使用者角度，两边都是黑箱，仅仅通过交易是无法实现以用户为中心的。而且，产用分离不是今天才形成的，既有分工、交换、货币、市场等客观原因，也有传统制造范式的人为因素，克服产用分离确实不是一件容易的事情。其实更重要、更现实的是在现有技术条件下，达成生产和使用双方的沟通、理解和价值交换及不断增值，我认为这才是真正的、负责任的“以用户为中心”。这也是本书所提出的产用融合制造范式的内涵，让生产者和使用者融合在一个系统中，双向透明，形成价值环流，实时按需生产和价值流动式生产。生产者尽最大能力实现生产，使用者理解并参与生产过程，使使用者价值最大化，反之，生产者的价值也能够最大化。那么，产用融合制造范式是否可行？它其实是内部构造问题，只能从技术发展中找答案。

60年的算力量变，10年云时代的发展，人工智能实用化，智能机器普遍存在，这为我们实现产用融合提供了充分的技术基础。而工业互联网的发展，整合各种技术元素和工业元素，为产用融合提供了系统级的平台。工业互联网是机器的机器、系统的系统、工厂的工厂，它可以看成未来制造业的“超级生产机器”。理想状态下，使用者连上这台超级机器，就能实现其需要的生产。有了智能技术、智能机器，以及“超级生产机器”——工业互联网，还有万物互联的互联网、移动互联网和物联网做辅助，构造生产者和使用者之间价值环流的技术已经完全成熟，产用融合蓝图已经清晰可见。

人类早期的自产自自用，其实就可以称为产用融合。生产力的进步，人类文明的发展，分工、交换、货币、市场的产生，以及旧制造范式，不断造成和加剧生产过程和使用过程的分离。未来，借助于全新的产用融合制造范式，人们将会再次回归到有如人类早期的“自产自自用”状态，人们也将实现真正的按需生产。按需生产不是按订单生产，而是实时永续的按需，是生产者和使用者互动式生产，是流式生产。形象地说，就是“边生产边使用、边使用边生产”。产用融合制造范式支持用户参与创新或用户主导生产，只

要生产者和使用者处在一个价值环流中，一切皆有可能。

产用融合制造范式不是一种空想，现在已有的个性化定制、面向共享的生产、协同生产、服务型制造都可以看成产用融合制造范式的典型局部应用，而产用融合是它们的共性基础。新零售也可以看成产用融合制造范式的一个典型场景，未来的其他场景也将如此。

凡是过往，皆是序章。产用融合——人类未来的第五制造范式，它将带给我们完全不一样的制造未来和更加美好的生活，让我们翘首以待！

杨青峰

2018年3月28日

目 录

第 1 篇 制造范式演进史

第 1 章 工匠文明与手工制造	3
1. 大舜：人类早期文明的伟大工匠	5
2. 冷兵器的锤炼：手工制造的漫长演进	8
3. 瑞士钟表：工匠文明的巅峰	12
4. 工场：手工纺织业的最后华章	16
第 2 章 大机器生产	20
1. 瓦特与蒸汽机	23
2. 理发匠阿克莱特与纺织工厂	26
3. 早期工厂的分工与组织	30
4. 泰勒制——科学管理的发明	33
第 3 章 流水线生产	38
1. 福特、T 型车与流水线	40
2. 福特主义	46

3. 大规模生产与大规模销售	50
4. 现代企业与跨国公司	53
第4章 大规模定制	55
1. 丰田汽车公司与精益生产	58
2. 信息化与互联网的兴起	64
3. 世界需要多样性	68
4. 大规模定制与模块化工厂	71
小结：从过去到未来	75

第2篇 汹涌而来的智能革命

第5章 从硅基智能到量子计算	81
1. 算力量变：1947—2006年	83
2. 10年云时代：2006—2016年	88
3. 智能革命：2017年开启的未来	94
4. 正在积蓄的力量：量子计算	98
第6章 人工智能掀起的革命	103
1. 人工智能挫折史	105
2. 深度学习崛起	110
3. 求解通用智能	115
4. 赋能的逻辑	118
5. 万物智能的美好蓝图	120
第7章 人工智能的若干种未来	124
1. 超级人工智能	126
2. 脑机接口——人机融合	129
3. 人工智能芯片	131
4. 机器智能伦理与约束	134
5. 人工智能的战争	138

第 8 章 机器产生智能的基因	141
1. 连接一切	143
2. 虚实融合	146
3. 可伸缩的算力	150
4. 边缘计算	155
5. 智能控制与人工智能	159
6. 自治的智能机器	162
第 9 章 工业互联网——工业智能的基础	165
1. “超级生产机器”的诞生	168
2. 信息物理融合系统 (CPS)	173
3. 互联网上的工厂	176
4. 全网制造资源配置	179
5. 工业互联网的若干种模式	181
小结：从算力量变到联网工业	184

第 3 篇 未来的第五制造范式——产用融合

第 10 章 旧制造范式、产用分离与回归	193
1. 分工与协作	195
2. 交换、货币与市场	199
3. 福特：好产品都能卖出去	202
4. 精益之道：以用户为中心	206
第 11 章 制造范式革命的魔力拼图	209
1. 个性化定制：伪命题还是真命题	212
2. 共享经济与面向共享的生产	217
3. 服务型制造≠制造+服务	221
4. 协同生产：虚拟工厂的建造方法	224
5. 新零售——古老行业的新活法	226

第 12 章 通向产用融合的道路	231
1. 工业互联网与透明工厂	234
2. 数字孪生与虚实双态	237
3. 连接与价值环流	239
4. 用户参与创新	241
5. 人工智能：产用融合的效率来源	243
第 13 章 产用融合——第五制造范式	245
1. 360 度连接生产者 and 使用者	248
2. 部署两个支点：智能产品与智能服务	252
3. 在生产者与使用者之间构建价值环流	254
4. 把工业互联网潜能发挥到极致	257
5. 深度运用大数据和人工智能	262
6. 智能价值网络塑造的世界	264
小结：从产用分离到产用融合	267
参考文献	269

制造范式演进史

毫无疑问，智能革命和与之驱动的新一轮制造业革命正在全球范围内爆发。但如何科学地预测制造业革命的未来，以及准确地描绘制造业革命的预期蓝图，是指引制造业转型升级的关键。很简单，按图索骥总比盲人摸象要容易很多。

1962年，科学哲学家托马斯·库恩在《科学革命的结构》中提出了范式、常规科学、反常、科学革命等概念，并通过这些概念之间相互作用的关系为我们揭开了科学革命的奥秘。托马斯·库恩指出：“世界上任何一次科学革命，本质上都是范式的跃变性转换。这为我们提出一个科学的制造业未来提供了基本的思考范式。”

什么是范式？在《科学革命的结构》一书中，托马斯·库恩指出：“范式是一定时期内科学共同体的思维原则、方法论和价值观；范式是科学共同体一致接受的某一专业学科的基本理论和取得的重大科学成就。不同学科各有自己的范式，每一学科在不同的发展阶段，也会有不同的范式；科学共同体拥有工具和操作运演方式；范式拥有的范例是典型的具体题解，每一个科学共同体的成员通过范例的学习，才能掌握范式并学会解决同类的问题。”

范式如何演进？《科学革命的结构》中提出：“首先是具有一个范式和致力于解谜的常规科学；其次，常规科学遇到严重的反常，并引发危机；最终由于一个新范式的诞生，危机得到平息。世界在这一过程的循环往复中不断前进和发展。”托马斯·库恩指出：“一个新范式代替旧范式，不是真理代替谬误，其本质是一种世界观和价值观的转变，这种观念转变能够与世界更加融洽地互动。”

制造业是一个古老到可以追溯人类文明起源的那一刻的行业。从旧石器时代开始，人们打制石器，制作陶器，已经是手工制造的开端，而后经历长期的演进，终于发展成为我们现在所看到的制造业。参照托马斯·库恩的理论与制造业的发展历史，制造业从人类早期文明到现在，已经经历了三次范式转换：手工制造到大机器生产，大机器生产到流水线生产，流水线生产到大规模定制。在这个过程中形成了四个范式：手工制造、大机器生产、流水线生产、大规模定制。从现在开始，制造业正在向第五范式演进。

虽然经过若干次范式转换，或者称为产业革命，但人类有关制造的知识并没有完全湮灭，而是在传承中发展。现在看起来，制造业已经与人类早期的茹毛饮血时代完全不同，但从知识网络的角度看，现在我们有关制造业的知识纤维都可以追溯到遥远的过去，回到那个敲打石器的时代。从那个远古时代，我们来回看制造业的初心。

第 1 章
Chapter 1

工匠文明与手工制造