

厘清智能制造、工业互联网等概念背后的技术和商业逻辑

在数据+算法定义的世界中

以数据的自动流动化解复杂系统的不确定性

优化资源配置效率



重构

REFACTORING

数字化转型的逻辑

THE LOGIC OF DIGITAL TRANSFORMATION

○ 安筱鹏 著

 中国工信出版集团

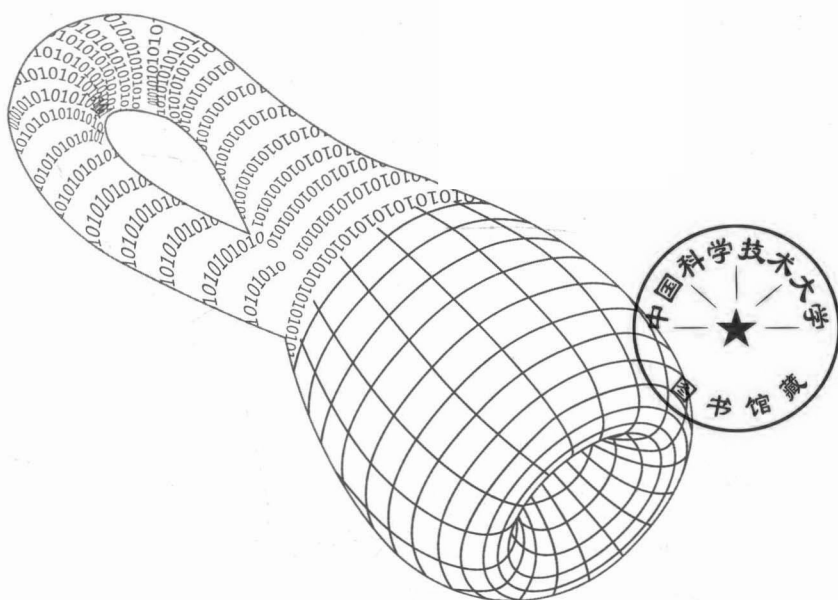


电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

重构 REFACTORING 数字化转型的逻辑

THE LOGIC OF DIGITAL TRANSFORMATION

○ 安筱鹏 著



电子工业出版社

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

重构：数字化转型的逻辑 / 安筱鹏著. —北京：电子工业出版社，2019.3
ISBN 978-7-121-35909-5

I. ①重… II. ①安… 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(2019)第004221号

策划编辑：董亚峰

责任编辑：刘小琳 特约编辑：白天明 李 丹

印 刷：天津画中画印刷有限公司

装 订：天津画中画印刷有限公司

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：710×1 000 1/16 印张：20.5 字数：294千字

版 次：2019年3月第1版

印 次：2019年3月第1次印刷

定 价：79.00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 zltz@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) 88254538, liuxl@phei.com.cn。

/ 序 一 / PREFACE

制造业是经济发展的脊梁，制造业是大国崛起的支柱。

自工业革命以来，制造业已成为科学和技术进步成果的主要载体，制造业已成为创新的重要发源地。

300 多年科学技术和产业的发展，积累了一场新的变革，似乎这场变革依然选择了制造业为试验场。

这场变革，肇始于信息技术，从通用目的技术向大众技术转变，信息资源从理论概念转变为渗透到经济社会发展所有领域、各个环节不可须臾或缺的基本要素。

这场变革发轫于感知、物联、移动，大数据、人工智能这些信息技术新领域推动了比特与原子的融合，信息技术和工业技术的融合，工业基础设施与信息基础设施的融合。融合的新技术体系和基础设施，有能力改变工业革命以来形成的产业形态、技术路径、商业模式。

这场变革加速于 2008 年金融危机。金融危机的发生推动了学术界、产业界、政界的思考，为什么，走向何方，如何在变革中保持企业和国家的竞争力？

这场变革来得如此迅猛、广泛和深刻。2008 年，全球市值前 5 名没有一家互联网公司；2018 年，前 5 名被互联网企业包揽。网络跨越了国界，渗透到经济、社会、军事、文化、生活的各个角落，咿呀学语的幼童会用手机、

重构

数字化转型的逻辑

行动不便的老人用手机购买服务。知识普及、能力提升以从来没有过的速度前行，从物质产品匮乏到大规模产能过剩，中国只用了 40 年时间。

制造业正在系统经历由此带来的变革。先进制造业、智能制造、工业 4.0、互联网 + 制造、工业互联网、两化深度融合、数字化转型、网络制造、绿色制造、极限制造、柔性制造、定制生产、循环制造、数字制造，制造业历史上从来没有像今天一样，在短短的时间内，为如此多的技术、概念、模式包围。

制造业正在尝试突出重围、引领变革。一道道工艺、一个个产品、一条条生产线、一个个企业、一串串供应链正在将数字、技术、平台融合，从相对落后的昨天，向网络化、数字化、智能化的明天转变；感知、物联、数字孪生、信息物理系统正以制造业的实践诠释数字如何与原子融合，工业技术、信息技术、智能技术融合起来为制造业带来了更高的效率。这些探索，为经济社会各个领域在新技术体系下的发展，提供了参考模板。

安筱鹏博士以官员的身份观察、推动这场变革，以学者的睿智思考、归纳这场变革。其近作《重构：数字化转型的逻辑》一书，正是这种双重视野的结晶。

全书共三个部分，从智能制造、工业互联网、数字经济出发，以经典的实例为引导，以经济学理论为根基，对变革的技术特征、路径特征、商业模式特征、理论特征做了系统而又具体地分析和总结，不失为关注、参与到这场变革中的学者、技术人员、企业家、政府官员一本难得的参考读物。

杨学山

2018 年 10 月 31 日

于北京到福州的航班上

/ 序 二 /

PREFACE

当前，新一代信息技术、新材料技术、新能源技术正在带动群体性技术突破，新的商业组织形态和商业模式层出不穷。特别是新一代信息技术和先进制造技术深度融合，柔性制造、网络制造、智能制造日益成为全球制造业发展的重要方向。我国是制造业大国，也是互联网大国，拥有完备的产业体系、坚实的制造基础和吸收新技术的巨大国内市场，在新兴科技和产业领域已取得一定突破，具有抓住这次科技和产业革命机遇的有利条件。面对这一新的历史机遇，我们必须牢牢把握技术变革的内在发展规律，顺势而为、前瞻部署，抢占新一轮产业竞争的制高点。

回顾工业革命近三百多年发展史，每次技术变革都将带来社会生产过程确定性的大幅提高，从提高动力输出确定性的内燃机，到提高产品精度确定性的可编程逻辑控制器，再到提高企业管理运营确定性的软件系统，确定性是不变的追求。而每次确定性的提升都伴随着更大范围不确定性的涌现，不确定性是永恒的主题。近几年来，随着工业互联网的蓬勃发展，产品、机器、数据等实现互联互通和综合集成，促进设备运行、车间配送、企业生产、市场需求之间的实时信息交互，原材料供应、零部件生产、产品集成组装等全生产过程变得更加精准协同。同时，个性化定制、网络化协同、智能化生产、服务化延伸等新模式、新业态的涌现为制造业带来了更大范围、更深层次、更广领域的复杂不确定性，也为社会生产发展提供了更多的路径选择。

在新一轮产业革命背景下，万物互联、数据驱动、软件定义、平台支撑、智能主导的发展特征日益凸显，数据已成为这个时代的核心资源。基于数据的生产，将推动制造业智能化升级。如果说传统的自动化、数字化、网络化给生产制造提供了“肢体”“感官”和“神经”，大数据和人工智能的应用则给生产制造配上了“大脑”，使之能灵活应对各种业务场景，实现真正的智能。通过整合、分析制造设备数据、产品数据、订单数据及生产过程中产生的数据，能够使生产控制更加及时准确，生产制造的协同度和柔性化水平显著增强。基于数据的决策，将增强制造业管理能力。推动跨行业、跨区域创新组织的建立和协同设计、电子商务、众包众创等新模式的发展，增强制造企业的管理能力。基于数据的运营，将加快制造业服务化进程。推动企业业务从产品生产销售，向生产型服务领域延伸，发展模式从围绕产品生产销售提供售后服务，转为围绕提供持续服务进行产品设计，主要利润来源从产品制造与销售环节，转为售后的生产型服务环节。基于数据的创新，将催生新产品、新模式、新业态。我国拥有巨大的消费市场和多样化的消费需求，将大数据融入到可穿戴设备、家居产品、汽车产品的功能开发中，能够推动技术产品的跨越式创新，形成智能可穿戴设备、智能家居、智能网联汽车等制造业发展新领域，有助于抢占制造业新的增长点和制高点。

《重构：数字化转型的逻辑》一书，是安筱鹏博士对多年信息化工作经验的系统梳理和升华，作者从技术、产业、经济、哲学等多个视角审视制造业数字化转型内在机理，在眼花缭乱的概念丛林中剥离出一条新工业革命的发展路径——从智能制造到工业互联网，在确定性与不确定性之间，找到了属于这个时代的决策逻辑——“数据+算法”。这是一本有思想、有内涵、有价值的读物，值得细细品读。

罗 文

工业和信息化部副部长

2018年11月16日

/ 序 三 / PREFACE

冷静思考复杂环境下中国制造业转型升级的方向与路径

在当前的环境下，研究实体经济特别是制造业的转型发展，显得尤为重要。一方面，经过多年的实践摸索，很多企业找到了方向和路径，成绩很显著，但从总体来看，前景困难重重，不容乐观，道阻且长；另一方面，全球产业竞争日趋激烈，知识产权纠纷更加突出，贸易保护主义盛行，中国制造业面临的环境复杂而艰难。过去 30 年，我一直重点关注中国制造业的发展，为此我认为，要特别重视三个问题。

第一个问题，是审视我国制造业的真实状况。改革开放 40 年，最大的成就体现在我国制造业的发展上，我们已经是世界公认的制造大国。但是，同时要承认，我们不是制造强国，甚至仍处于全球制造业的第三梯队。尤其需要重视的是，在新一轮工业革命的背景下，中国制造业的数字化、网络化、智能化发展与先进国家比仍显落后。正如本书披露的，2016 年，数字经济在全球发达国家 GDP 的比重达 50% 左右，而中国刚过 30%。制造业是根本，很遗憾我们在前些年某种程度地偏离了这个根本，现在纠偏的意义重大，时机刻不容缓。

第二个问题，是我们要取什么方向，走什么路径。本书为这个问题提供了一个详尽的蓝图，主要经历体系重构、动力变革、范式迁移的蜕变与

涅槃；以互联网、大数据、人工智能的精准动态思维取代传统制造的冗余思维；以数据的自动流动化解复杂系统的不确定性，实现传统制造的转型升级；再从智能制造阶段迈入工业互联网阶段。感兴趣的读者可以仔细研读本书。

第三个问题，是如何处理前进过程中的各种关系。近年来，中美关于贸易规则、知识产权、产业竞争等纠纷不断，背后潜藏着更深层矛盾，如何走出困境，需要的不仅仅是技巧与耐性。相比于外部关系，内部关系需要给予更多关注。制造业的地位、制造业与虚拟产业的关系、制造业与服务业的关系、国企的改革与民企的未来、产权的保护和法治的建设、政府与企业的角色定位、改革开放的稳定预期等，如果不能理顺，如果没有“一百年不变”的魄力和决心，就难以开创下一个辉煌的历程。如果有预期、有决心，困难算什么？改革开放 40 年不就是从困难中走过来的吗？

让我感到振奋的是，这三个问题，本书都有很好的探讨，而且很多探讨是可以直接付诸实践的。在当前内外部环境错综复杂的情况下，中国制造业转型发展的方向和路径是什么，作者对这个重要议题的表达，全面准确、逻辑严密、直击本质，值得我们静下心来好好读一读。

陈春花

北京大学王宽诚讲席教授

国家发展研究院 BiMBA 院长

2018 年 12 月于朗润园

/ 推荐语 /

《重构：数字化转型的逻辑》一书从理论与实践、技术与经济、宏观与微观等不同视角，系统梳理了一系列新技术、新概念、新业态背后数字化转型的技术逻辑、经济逻辑和商业逻辑，全面阐释了 ICT 推进制造业等实体经济转型的内在机理，深入分析了在当今全球数字化转型大背景下技术、产业变革的方向和趋势。作者多年从事 ICT 技术、产业、政策研究和制定工作，具有权威的专业知识和扎实的实践经验，提出的一系列具有思想性、前瞻性、启发性的新概念、新判断，对于产业界、学术界从事数字化转型探索和研究的人员多有益处。

——曹淑敏（北京航空航天大学党委书记）

安筱鹏博士，是一位学者型的官员，更是一位有官员经历的产业革命研究者。本书紧扣产业前沿和实践，全面摒弃 IT 数字化转型的旧思想，深入地揭示了数字化转型的逻辑，其本质是技术革新下的商业与产业重构，是在互联网开放共享互操作的环境下，软件（算法）、数据、云计算重新定义的价值链、新分工体系和决策系统。

——高红冰（阿里巴巴集团副总裁，阿里研究院院长）

数字化是信息社会最鲜明也是最本质的特征，它已经深入人类生产生活的方方面面。本书从产品设计到售后服务的全流程、从底层加工平台到商业模式全方位深刻地改造和重塑制造业各环节，系统介绍了数字化的

重构

数字化转型的逻辑

引领作用。作者在信息化领域有系统研究和长期积累，还有参与政策制定的丰富经验，对中国制造业数字化转型的独特路径和发展前景的分析与判断很有说服力，使我们对我国通过数字化转型实现从制造业大国向制造业强国的成功转变充满信心。

——高世楫（国家信息化专家咨询委员会委员、国务院发展研究中心资源与环境政策研究所所长）

安筱鹏博士探索数字化的基本逻辑，接触到了数字化的本体，而不止是末用。其内在的逻辑是以数据的自动流动化解复杂系统的不确定性。基于企业从提供同质产品向提供多样化产品转变，他判断出，制造业服务化的本质是一种范围经济。这一点超越了代表新经济增长理论高度的罗默。

——姜奇平（中国社会科学院信息化研究中心秘书长、数量经济技术经济研究所信息化与网络经济室主任）

安筱鹏博士有很好的学养基础，他曾经作为一位深谙技术和产业趋势的官员有更多接触科技工作者及众多的企业的机会，这又进一步拓宽了他的视野。其新著《重构：数字化转型的逻辑》展现了他独特的视野及深邃的思考，精辟之处频现，如智能制造的本质就在于以数据的自动流动化解复杂系统的不确定性，提高制造资源配置效率。

对于智能制造及工业互联网技术的研究者，以及制造企业的管理者和工程师们而言，此书无疑是一本很好的参考书。

——李培根（中国工程院院士）

安筱鹏博士是一位长期从事智能制造理论与实践研究的专家。他的专著《重构：数字化转型的逻辑》一书，集数字化制造与数字化的制造服务为一体，集数字化制造理论逻辑与实践变革逻辑为一脉，科学性、通俗性、指导性强，值得学界、业界、政界的朋友们品读。

——毛光烈（中国信息化百人会顾问、浙江省智能制造专委会主任）

我多次在各种会议上聆听安筱鹏博士的精彩演讲，尽管受益匪浅，但总还有意犹未尽的感觉。今天他将这几年的深思熟虑及在各种公开场合的演讲资料经过系统化梳理，汇集成书，打开书稿让我爱不释手。我很认真地读完了《重构：数字化转型的逻辑》书稿。无论是语言表述，还是专业、严谨的逻辑分析，处处能感受到他对万物互联、两化融合、智能制造、工业互联网、CPS、制造强国等各方面问题的长期研究探索、实践积累和理论升华。作者用他过硬的专业素质和高智商，给我们展示了作为新一代“专家型领导”应该有的素养。

本书从信息、不确定性与人类社会发展的分析入手，得出企业竞争的本质就是优化资源配置效率的竞争，最后给出智能制造的本质是以数据的自动流动化解复杂系统的不确定性。同时明确给出制造业智能化转型的趋势：万物互联、数据驱动、软件定义、平台支撑、组织重构。

作者是工业互联网发展的倡导者、布道者。书中很多关于工业互联网技术体系的定义、概念的提出都是原创。例如，工业互联网平台为什么，是什么，怎么看？工业互联网平台的演进路径，建设工业互联网平台的出发点、切入点、着力点和落脚点等。在厘清了概念的同时也为我们指明了方向。

由衷感谢安筱鹏为我们从事企业数字化、网络化、智能化服务的工作者奉献的宝贵财富。

——王文京（用友网络科技股份有限公司董事长兼 CEO）

云计算、大数据、物联网、人工智能等正深刻地影响和改变着传统行业、企业数字化转型，也是企业业务升级、提升效率、增强竞争力的必由之路。而工业互联网是企业数字化转型最重要、最富有挑战性，也是有最多机会的领域。

本书给出了工业互联网、企业数字化转型清晰、实用、可操作的建议，是每位企业高层领导和变革主管的必读书。

——徐文伟（华为公司董事，战略 Marketing 总裁）

重构

数字化转型的逻辑

作者从思想者的维度，探讨了以大数据、人工智能、物联网、云计算为技术基础的新一代信息所带来的制造业革命性变革；又从实践者的维度，分析了我国应对以数据驱动为特征的、由智能制造和工业互联网引领的新工业革命的战略思路和路径选择。本书不仅具有较强的可读性，而且其中探讨的诸多问题引人深思。

——周宏仁（国家信息化专家咨询委员会常务副主任）

/ 拥抱数据驱动的新时代 /

伴随着新一代信息通信技术的持续创新和渗透扩散，新一轮工业革命正在全球范围孕育兴起，制造业正迈向体系重构、动力变革、范式迁移的新阶段，加速向数字化、网络化、智能化方向延伸拓展，万物互联、数据驱动、软件定义、平台支撑、组织重构、智能主导正在构建制造业的新体系，它也成为了全球新一轮产业竞争的制高点。

制造业正迈向体系重构的新阶段。工业革命 300 多年来，从机械化、电气化、自动化到智能化，技术变革是永恒的主题，在新一轮产业革命背景下，以互联网、大数据、人工智能为代表的新一代信息通信技术与制造业加快融合发展，正在全方位重构制造效率、成本、质量管控新体系，全方位重塑制造业的生产主体、生产对象、生产工具和生产方式。第一，谁来生产（Who）在变。生产主体从生产者向产消者（Prosumer）演进，个性化定制模式的兴起让消费者全程参与到生产过程中。第二，生产什么（What）在变。伴随着万物互联时代的到来，生产对象从功能产品向智能互联产品演进，可动态感知并实时响应消费需求的无人驾驶、服务机器人等智能化产品的商业化步伐不断加快。第三，用何工具（Which）在变。信息技术革命使得工业社会传统的以能量转换为特征的工具被智能化工具所驱动，形成了智能工具——具备对信息进行采集、传输、处理、执行的工具。当前，数字化技术使劳动工具加速智能化，生产工具从传统的能量转换工具向智能工具演进，3D 打印、数控机床、智能机器人等智能装备

快速涌现。第四，如何生产（How）在变。伴随着新一代信息技术的发展，实体制造与虚拟制造加速融合，推动生产方式从传统制造的“试错法”到基于数字仿真的“模拟择优法”转变，构建制造业快速迭代、持续优化、数据驱动的新生产方式。第五，在哪生产（Where）在变。网络化协同制造、分享制造等制造业新模式推动生产地点从集中化走向分散化，跨部门、跨企业、跨地域的协同成为常态，尤其是分享制造的发展，构建起了检测、加工、认证、配送等制造能力标准化封装、在线化交易的新体系，推动制造能力在全社会范围内进行协同。

制造业正迈向动力变革的新阶段。新一代信息通信技术尤其是大数据技术的发展，驱动制造业迈向转型升级的新阶段——数据驱动的新阶段，可以从三个方面来理解。第一，资源优化是目标。新一代信息通信技术与制造业融合主要动力和核心目标，就是不断优化制造资源的配置效率，就是要实现更好的质量、更低成本、更快的交付、更高的满意度，就是要提高制造业全要素生产率。第二，数据流动是关键。新一代信息通信技术是如何优化制造资源配置效率的？信息流是如何带动技术流、资金流、人才流、物资流的？关键是数据流动，即能够把正确的数据在正确的时间以正确的方式传递给正确的人和机器，把数据转化为信息，把信息转化为知识，把知识转化为决策，以应对和解决制造过程的复杂性和不确定性等问题，提高制造资源的配置效率。第三，工业软件是核心。数据如何转化为信息，信息如何转化为知识，知识如何转化为决策，其背后都有赖于软件，软件本质上是人类隐性知识显性化的载体，是一套数据自动流动的规则体系，把数据转变为信息，把信息转变为知识，把知识转变为决策，不断优化资源的配置效率，全面提升全要素生产率，激发经济创新活力、发展潜力和转型动力，培育基于数据驱动的新动能。

制造业正迈向范式迁移的新阶段。制造范式指在一定时期、在特定技术条件下对制造业价值观、方法论、发展模式和运行规律的认识框架。新一代信息通信技术和制造业的融合发展，正在带来范式的迁移，人类认识

和改造世界的方法正从传统的理论推理、试验验证向模拟择优和大数据分析转变。第一，理论推理法。以牛顿定律、爱因斯坦相对论为代表的理论推理法是人类认识世界最根本的方法，该方法在 19 世纪末发展到极致，理论推理法以“观察 + 抽象 + 数学”为关键要素，依赖于少数天才科学家，具备严密的逻辑关系，是试验验证和模拟择优的基础。第二，试验验证法。以爱迪生发明灯泡为代表的试验验证法在 16 世纪文艺复兴开始萌芽，20 世纪伴随着工业化进入鼎盛时期，试验验证以“假设 + 试验 + 归纳”为关键要素，依赖于设备材料的高投入，试验过程大协作、长周期，验证结果直观。第三，模拟择优法。以波音 777 研发为代表的模拟择优法兴起于 20 世纪 80 年代，以“样本数据 + 机理模型”为关键要素，依赖于高质量机理模型的支撑，投入少、周期短。和传统的“试错法”相比，依托基于模型的产品定义（MBD）、全数字化样机、虚拟仿真技术等一系列模拟择优法的新技术、新理念，可推动产品研发、验证、制造、服务业务在赛博空间的快速迭代，实现更短的研发周期、更低的制造成本、更高的产品质量和更好的客户体验。第四，大数据分析。以 GE（通用电器公司）通过平台优化风电设备性能为代表的大数据分析兴起于 21 世纪初，以“海量数据 + 大数据分析模型”为关键要素，依赖于海量数据的获取，以及计算、存储资源的低成本和高效利用，是一种基于数据驱动的价值创造范式。这主要是因为，物联网、大数据、云计算等新一代信息技术正在建立一个廉价、快速、高效的数据存储、计算和处理体系，新一代信息通信技术正推动人类进入一个全面感知、可靠传输、智能处理、精准决策的新时代，尤其是大数据技术的应用，拓展了人类认识世界的视野，通过大数据分析技术可对不可见世界和未知世界进行预测，进一步丰富了人类对客观世界的认识。

我们正在迎来一次新工业革命，在这场前所未有的大变革中，我们不只是旁观者、见证者，而是这场伟大实践的亲历者、参与者、实践者。20 世纪 80 年代国际社会提出智能制造的概念，伴随着新技术应用和实践探索，智能制造的内涵和外延在过往的 40 年一直在不断演变。2012 年，国际社会提出的工业互联网日益成为各界关注的焦点，智能制造与工业互联网是

面对制造转型升级需求，基于不同时代的技术体系、需求结构、竞争格局提出的解决方案，既有联系又有区别，从智能制造到工业互联网，是信息技术体系从传统架构向云架构的迁移，是制造资源从局部优化到全局优化的演进，是业务协同从企业内部到产业链的扩展，是竞争模式从单一企业竞争到生态体系竞争的升级，是产业分工从基于产品的分工到基于知识的分工深化，但其内在逻辑是一致的——以数据的自动流动化解复杂系统的不确定性。

本书是基于作者过去几年对万物互联、两化融合、智能制造、工业互联网、制造强国的思考，并在部分公开演讲的基础上整理而成的，梳理这些碎片化的、应景式的、脉冲式的思想片段，就是想去厘清制造业转型的基本逻辑，尽管这种思考有些不自量力、有些凌乱，也不够严谨，还有许多值得商榷之处，唯一的希望是这些思考能够为业界同仁提供一点启发。

在书稿编辑完善过程中，特别感谢以下几位对本书提出的宝贵建议及付出的辛劳：贾超、袁晓庆、姚磊、田洪川、李君、赵敏、黄培、郭朝晖、宁振波、胡虎、夏宜君等。感谢电子工业出版社刘九如、董亚峰为本书出版付出的辛勤工作；感谢知室的武陵寒、万方、鲁冬雪、赵明、陈燕等人开发的精品在线课程。

安筱鹏

2018年10月