





# 精益智能制造

藏书章

欧阳佳



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

精益智能制造 / 欧阳生著. —北京: 机械工业出版社, 2018.6  
(工业控制与智能制造丛书)

ISBN 978-7-111-60035-0

I. 精… II. 欧… III. 智能制造系统—制造业—研究—中国 IV. F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 097643 号

## 精益智能制造

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 余洁

责任校对: 殷虹

印刷: 三河市宏图印务有限公司

版次: 2018 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 170mm×242mm 1/16

印张: 18.25

书号: ISBN 978-7-111-60035-0

定价: 69.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

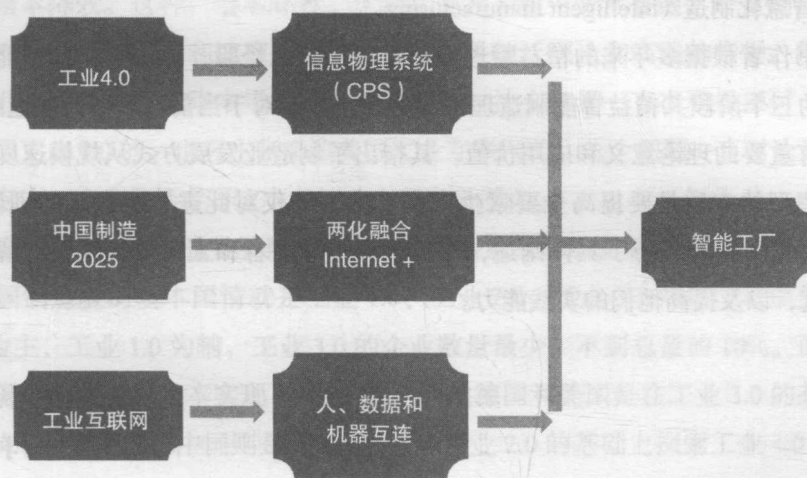
本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

HZBOOKS | 华章科技 | Science & Technology





最近十年来，世界各国为了应对科学技术的迅猛发展和国际市场的竞争，制定了许多发展战略计划，特别是在工业界，如工业互联网（美国，2012年）、工业4.0（德国，2013年）和《中国制造2025》（中国，2015年）等。它们虽然侧重点不一样，但具有相同的目标，即建立智能工厂（见下图）。因为各国具有不同的基础和环 境，所以实施途径也应不同。中国是制造大国，要实现制造强国，必须要以创新的思维开辟新的途径，沿着智能制造的方向实现伟大的中国梦想。



什么是智能制造？目前还没有新的定义，或者说没有统一认可的定义。通俗地讲，制造是本体，智能是灵魂。

所谓智能，是智力和能力的总称。中国古代思想家一般把“智”与“能”看作两个相对独立的概念。

所以知之在人者谓之知，知有所合谓之智。

所以能之在人者谓之能，能有所合谓之能。

《荀子·正名篇》

智能是一种认识客观事物和运用知识解决问题的综合能力（王万森的《人工智能原理及其应用》，第3版）。

物竞天择，适者生存。几百万年来人类适应不断变化的生存环境，成为地球上最具智能的物种。人的生命真谛是什么呢？也许就是要更好地活着，活着要有智慧，要有感情，活着才是生命的基础，所以这个就是智能的核心，即生存的本能。

对企业来说，实现智能制造也是为了企业的生存和发展。

智能制造的本质是人工智能技术、网络技术等新兴技术与制造技术的有机融合，以便更经济、灵巧地优化生产过程，制造出更好的产品，让企业创造更多的效益。

从整体上来说，智能制造有三个发展阶段：

□ 数字化制造 (digital manufacturing)

□ 灵巧化制造 (smart manufacturing)

□ 智慧化制造 (intelligent manufacturing)

本书作者根据多年来的精益管理和智能制造实践经验，提出了精益智能制造理论体系的三个阶段共精益智能制造理论六个要素，这对于当前开展智能制造的研究、实践具有重要的理论意义和应用价值。其指出了制造业发展方式从规模速度型转向质量效率型的本质是要提高全要素生产率，本书不仅对此进行了深入的理论分析，而且结合实际案例进行了具体阐述，有助于开拓管理者和工程技术人员理解智能制造的广度，以及提高他们的实践能力。

沈斌教授

同济大学中德学院

2018年4月15日

## Preface 前言

2012年以来，随着美国工业互联网和德国工业4.0风靡全球，中国也加紧了制造业升级转型的步伐：工业与信息化部（简称工信部）于2015年颁布了《中国制造2025》，中国制造业正式驶入升级转型的快车道。

在过去几年智能制造实践中，由于中国制造业基础较差、自动化程度偏低，“机器换人”非常热，很多公司甚至把“机器换人”等同于智能制造，不管有没有用，就把机器人买回来，可是最后发现根本用不起来，结果机器人一直闲置在现场，导致企业增本降效。这种“增本降效”现象在国内企业中非常普遍，严重制约了中国制造业升级转型的质量和速度，究其原因主要是缺乏理论和实践的指导。那么，中国制造业到底应该如何降本增效、升级转型呢？社会各界一直在积极探讨：有主张学习德国工业4.0的，也有主张借鉴美国工业互联网的，这个问题一直讨论到现在也还没有定论，这也是笔者写这本书的动力和意义所在。

笔者认为：中国制造业要降本增效、升级转型，必须要基于中国当前基本国情，当前中国制造业的基本国情就是工业1.0、工业2.0、工业3.0并存。其中主要以工业2.0为主、工业1.0为辅，工业3.0的企业数量最少，不到总量的10%。而反观德国和美国，其制造业基本实现了工业3.0。因此德国和美国是在工业3.0的基础上探索工业4.0的道路，而中国则是在工业1.0和工业2.0的基础上探索工业4.0的道路，这有本质上的差别，也决定了无论是德国工业4.0还是美国工业互联网都不太适合中国，中国要走自己的道路。

过去十多年间，笔者先是从事制造业的精益管理工作，从富士康到江森自控，再到博世，经历了三种最具有代表性的企业文化。在这三家企业工作，笔者深刻体会到精益管理是如何在不同文化的企业中落地生根的。特别是在博世工作期间，运用精益管理的知识和经验帮助供应链中核心供应商提升企业整体水平，从企业战略、

运营管理一直到日常工作，共为 100 多家供应商提供了项目落地指导，在此过程中得以深刻了解中国制造业的现状、问题和需求。另外从 2013 年博世引领德国工业 4.0 革命开始，笔者有机会系统地了解博世工业 4.0 是如何在公司内部落地实施的，也开始将博世的工业 4.0 实践应用到供应商，帮助供应商升级转型。在这个过程中，笔者发现中国制造业需要的是用精益管理来降本增效，以及用工业 4.0 技术来升级转型，于是笔者将精益管理和工业 4.0（智能制造）结合起来提出了“精益智能制造”理论体系，以帮助中国制造业实现“降本增效、升级转型”的目标。精益管理是对管理流程和制造流程进行整体优化，是“软”的方面，可以称为“神”；智能制造是对生产要素和信息系统的智能化改造，是“硬”的方面，可以称为“形”。在此轮制造业升级转型大潮中，软硬结合，有神有形，才能事半功倍，以上也是本书的实践来源。

另外，在写作本书的过程中，笔者将过去实践精益管理和智能制造项目的具体心得和实践提炼成一些简单易懂的原创理论和模型，以供读者参考，如苹果理论、精益管理“大四元”模型、三次元创新理论、精益人才“修己五式”、精益智能制造理论、纵横向端到端数据网络模型、升级转型“五支柱模型”等，这些构成了本书的理论基础。特别是精益智能制造理论，其共有六大要素：精益化、创新化、自动化、数字化、智能化和互联化。企业在实战智能制造的过程中要系统地分步实施。

因此，本书的最大特色就是理论与实践相结合，理论来自于实践，反过来又指导更多的企业进行实践。另外本书写作方式也是案例和理论相互贯通，以案例引出理论和用理论指导实践的方式进行，既关注理论的高度，也考虑具体实践的深度。

本书共分为三大部分：第一部分（第 1～3 章）从人类社会变革和中国的现状说明中国为什么要走精益智能制造之路；第二部分（第 4～9 章）介绍精益智能制造是什么，详细解读精益智能制造的六大要素；第三部分（第 10～11 章）以笔者实践精益智能制造的一个成功案例来说明企业该如何实践精益智能制造，从而实现降本增效、升级转型。

目前第四次工业革命刚刚开启，未来将进入智能化时代，在这次社会变革中中国有机会换道超车。过去西门子等公司构建的传统工业世界将不能满足智能时代的需求，整个工业将会被重新定义，中国有望引领此次社会变革。

本书在写作过程中得到了社会各界朋友的大力支持和鼓励，特别要感谢领革智能的王思龙先生对第 7 章内容提出的众多改进建议，以及黄国强先生对全部书稿的



校正；感谢同济大学的沈斌教授为本书作序；感谢机械工业出版社华章公司王颖副总编辑对本书提出的宝贵修改建议。感谢斯欧的于万钦先生和温勇先生、IT 高管会曹重英博士等众多专家对本书的关注和支持。另外，写作期间减少了对家人的陪伴，但却得到了他们的支持和谅解，没有他们的支持，笔者无法完成写作，在此对家人表示诚挚的感谢。最后，本书在写作过程中参考了相关文献，笔者对这些文献的作者表示真诚的谢意。

由于精益智能制造理论涉及众多科学领域，又包含很多前沿科技，再加上笔者水平有限，本书难免有不足之处，烦请读者朋友交流探讨斧正。最后，祝愿读者朋友和中国制造业在精益智能制造的道路上越走越远，越走越好，为早日实现中华民族的伟大复兴添砖加瓦。

欧阳生

# 目 录 Contents

## 序

## 前言

<b>第1章 时代变迁</b> .....	1
1.1 认知革命与采集社会 .....	1
1.1.1 石器和火 .....	2
1.1.2 语言 .....	2
1.2 农业革命与农业社会 .....	3
1.3 科学革命 .....	4
1.4 四次工业革命 .....	5
1.5 美国工业互联网 .....	6
1.6 德国工业 4.0 .....	9
1.7 德国工业 4.0 和美国工业互联网的对比 .....	13
1.8 变与不变 .....	13
<b>第2章 中国制造业的挑战与对策</b> .....	22
2.1 国家竞争力分析 .....	23
2.2 中国制造业宏观层面的两大挑战 .....	26
2.3 中国制造业微观层面的五大痛点 .....	28
2.3.1 管理层 .....	29
2.3.2 产品研发 .....	30
2.3.3 低成本运营 .....	31

2.3.4	供应链	31
2.3.5	信息集成	32
2.4	“中国制造 2025”的目标及框架	33
2.4.1	“中国制造 2025”的目标	33
2.4.2	“中国制造 2025”的框架	34
<b>第 3 章</b>	<b>中国制造业的升级之路</b>	<b>37</b>
3.1	提高全要素生产率	39
3.2	精益管理与降本增效	41
3.2.1	精益管理的意识	41
3.2.2	精益管理的目标	46
3.2.3	精益管理的八大原则	50
3.2.4	精益管理的工具	53
3.3	升级转型	60
3.3.1	客户升级	60
3.3.2	产品升级	62
3.3.3	制造升级	62
3.3.4	管理升级	63
3.3.5	人员升级	64
3.4	精益智能制造理论体系	65
3.4.1	精益智能制造第一阶段：精益化	66
3.4.2	精益智能制造第一阶段：创新化	69
3.4.3	精益智能制造第二阶段：自动化	73
3.4.4	精益智能制造第二阶段：数字化	74
3.4.5	精益智能制造第三阶段：智能化	78
3.4.6	精益智能制造第三阶段：互联化	82
3.5	精益智能制造评价指标体系	85
<b>第 4 章</b>	<b>精益化</b>	<b>88</b>
4.1	精益化之精益战略	89
4.2	精益化之管理体系	96

4.2.1	工程项目管理体系	97
4.2.2	生产管理体系	100
4.2.3	质量管理体系	108
4.2.4	供应链管理体系	113
4.3	精益化之精益文化	124
4.3.1	以客户为导向	124
4.3.2	系统改善	126
4.3.3	点改善	127
4.4	精益化之精益人才	130
<b>第5章 创新化</b>		<b>135</b>
5.1	三次元创新理论	137
5.2	产品创新	140
5.3	制造创新	143
5.3.1	设备创新	143
5.3.2	工艺创新	145
5.3.3	生产模式创新	146
5.3.4	生产技术进步	151
5.3.5	供应链模式创新	154
5.4	商业模式创新	155
5.5	用创新解决实际问题	159
5.6	打造企业创新 DNA	164
5.6.1	人	164
5.6.2	组织结构	165
5.6.3	组织文化	168
<b>第6章 自动化</b>		<b>171</b>
6.1	点层级自动化	173
6.2	线层级自动化	177
6.3	面层级自动化	179
6.3.1	“有身份”的物料	180



6.3.2	自动配送设备	183
6.3.3	自动化仓库	184
6.4	网层级自动化	185
<b>第7章 数字化</b>		<b>187</b>
7.1	数据生产	189
7.2	数据传输	194
7.2.1	FSK	194
7.2.2	LTE	194
7.2.3	NB-IoT	195
7.2.4	LoRa	195
7.2.5	IEEE 802.15.4	196
7.2.6	ISM 频段	196
7.2.7	网关	196
7.3	数据存储	199
7.3.1	DAS	200
7.3.2	NAS	200
7.3.3	SAN	201
7.3.4	数据库服务器	201
7.3.5	公有云	202
7.3.6	私有云	204
7.3.7	混合云	204
7.4	数据分析	205
7.5	数据应用	208
7.6	数字化工厂	209
<b>第8章 智能化</b>		<b>214</b>
8.1	CPS	215
8.2	智能硬件	219
8.3	智能软件	223

8.4 智能服务 .....	224
<b>第9章 互联化 .....</b>	<b>228</b>
9.1 互联化的核心技术 .....	231
9.2 网络安全 .....	235
9.3 实实协同 .....	238
9.4 实虚协同 .....	241
9.5 德国和美国的互联化实践 .....	243
<b>第10章 一家智能制造示范企业的经验启示 .....</b>	<b>245</b>
10.1 全面推进 .....	246
10.2 事半功半 .....	250
10.3 自我反省 .....	251
10.4 重新规划 .....	253
10.5 强身健体 .....	255
10.6 顺序过渡 .....	258
10.7 全面智造 .....	261
10.8 全面服务, 宣布转型 .....	262
<b>第11章 精益智能制造实战 .....</b>	<b>264</b>
11.1 企业实战工业4.0的路径 .....	265
11.2 精益智能制造在企业的落地点 .....	268
11.3 精益智能制造创造的新业务模式 .....	271
11.4 精益智能制造服务商需要具备的能力 .....	273
11.5 精益智能制造未来展望 .....	275

# 时代变迁

《人类简史》开篇提到：

- 大约在 135 亿年前，经过“大爆炸”之后，宇宙的物质、能量、时间和空间才变成现在的样子。
- 大约 38 亿年前，有些分子结合起来，形成一种特别庞大而又精细的结构，称为“有机体”。
- 大约 200 万年前，地球上开始出现人类。
- 大约 7 万年前，智人开始出现，认知革命让历史正式启动。
- 大约 1 万年前，人类开始了农业革命，让历史加速发展。
- 大约 500 年前，开始了科学革命，一直持续到现在。

在有人类后这漫长的约 200 万年间，发生了很多重大的历史变革，这些变革也将历史分成了不同的时代：认知革命将人类带进采集社会；农业革命打开了农业社会的大门；随着科学革命的出现，工业社会的新篇章开启了。沿着历史的轨迹，先简单回顾这几次重大的历史变革。

## 1.1 认知革命与采集社会

从大约 200 万年前到 1 万年前，整个世界其实同时存在多种不同的人，如鲁道夫人、直立人、尼安德特人。当时的人主要靠采摘野果野菜来维持生存，也就是我们目前所称的采集社会，采集社会大约持续了 200 万年，也是目前我们所知的最漫长的一个时代。

约 7 万年前智人出现，开启了智人统治世界的征程。

智人没有狮虎豹狼凶猛，数量上没有直立人多，体型上不如尼安德特人魁梧

和肌肉发达，但是为什么智人最终胜出，征服了整个世界？

答案是智人学会了使用新工具。那么，智人的新工具是什么呢？

### 1.1.1 石器和火

智人战胜自然界猛兽的新工具就是石器和火！

几乎在过去约 200 万年间，在自然界猛兽面前，人类一直是一种弱小的边缘生物！石器出现的原因是人类想把骨头敲开，吃里面的骨髓，而这些一般是猛兽吃完剩下的。猛兽不会制造工具，所以吃不到这部分营养丰富的骨髓，而这恰巧给了人类生存的巨大机会！

大约 80 万年前，人类开始使用火，火带来的最大好处就是能够烹饪食物。有些食物在自然形态下无法被人类吸收，如小麦、水稻、马铃薯。因为有了火，这些食物才变成了人类的主食。

火不仅增加了人类食物的种类，还缩短了人类进食食物的时间。烹饪过的食物容易咀嚼和消化，而这又促使人类肠道的长度缩短，降低了身体对能量的消耗，由此，人类的大脑就可以吸收更多的能量，从而变得越来越发达。大脑发达后，人类就有了更多的办法来对付自然界的猛兽，如挖陷阱和围捕等。自此，人和动物之间的距离开始越拉越远。

正是依靠新工具，人才能站到食物链的顶端：石器让人能够生存下去，而火让人生存得越来越好。

### 1.1.2 语言

人依靠石器和火战胜了自然界的猛兽，那么智人又是如何在处于劣势中战胜其他人种的呢？目前主流看法是语言。

大约在 7 万~3 万年前出现了新的思维和沟通方式，这就是认知革命！认知革命是如何发生的目前还不知晓。但是普遍认可的是由于某次基因突变，改变了智人的大脑内部连接方式，让他们用前所未有的方式进行思考，用完全新式的语言来沟通。为什么这次突变只发生在智人的大脑里，现在只能说是纯粹的偶然。重要的不是突变的原因，而是突变带来的结果。

《人类简史》作者赫拉利认为语言带来了三个层面的结果（见表 1-1）：

□ **语言沟通最为灵活。**不同的动物间可以用不同的方式进行沟通，比如狼叫、蚂蚁协作等。但是在自然界这么多沟通方式里，人类的语言可能是最方便的。由于语言沟通便捷，人类在遇到危险时反应速度就大大加快了，这样也就提高了他们应对外界危险的能力。比如当智人周边有野兽时，可以立刻提醒同伴躲避野兽攻击，若是沟通效率低，还未等把信号发出，同伴可能就已经成为野兽的美味了。



- 语言是沟通关于世界信息的方式，最重要的信息不是关于野兽的，而是人类自己的。智人是一种社会性动物，社会协作是我们得以生存和繁衍的关键。对于每个人来说，光是知道躲避野兽的攻击还不够，还需要知道自己部落里面谁讨厌谁、谁跟谁交往、谁诚实、谁又是骗子……这就是“八卦理论”。八卦理论能够增加部落成员间的相互了解，能够找出大家喜欢的“能人”来做部落首领，以壮大自己的部落。但是依靠“八卦”的方式协作是有限度的，如当今广泛流传的“150人门槛”理论，说的就是当一个团体人数达到150人时，正常的沟通方式就会失灵，必须要借助其他协作模式来增强团体的凝聚力，而这就是虚构故事。
- 虚构故事。通过文字语言创造出想象的现实，虚构一个故事，认可这个故事的人即使互不相识，也能够有效合作。

表 1-1 语言的影响

名称	新能力	更深远的影响
河边有只狮子	能够传达更大量关于智人身边环境的信息	规划并执行复杂的计划，如躲开狮子、猎捕野牛等
八卦理论	能够传达更大量关于智人社会关系的信息	组织更大、更有凝聚力的团体，规模可达150人
虚构故事	能够传达关于虚构概念的信息，如部落的守护神等	1) 大量陌生人之间的合作 2) 社会行为的快速创新

有了语言这个新工具之后，智人之间就可以进行高效的协作，而协作让智人变得更为强大。当智人遇见尼安德特人时，一个智人基本上是无法打败一个尼安德特人的；当一群智人和一群数量相当的尼安德特人交战时，智人开始也没有取胜的可能，但是由于智人语言沟通便捷和能够高效协作，第一次战败后吸取经验教训，可以迅速地调整战术，第二次战斗效果就会比第一次好，经过一次又一次地总结和调整，尼安德特人必败无疑。而智人就是这样战败其他人种，最终征服全球的。

从智人征服全球的过程中可以看出新工具的无穷威力，谁掌握了新工具，谁能熟练使用新工具，谁就能驾驭历史的车轮一路向前。

## 1.2 农业革命与农业社会

人类有长达约200万年的时间靠采集和狩猎为生。大约在1万年前，人类开始投入几乎全部的精力，从早到晚忙着播种、浇水、除草、牧羊，因为这样可以得到更多的水果、谷物和肉类，这就是农业革命。其最初发生在中东、中国及中美洲，主要集中在公元前9000年到公元前3500年间。