

面向中国制造2025 的 智造观

杜品圣 顾建党 编著



打造智能产业生态，引领产业互联网之路
品质、创新、精益、智能，助力中国制造新超越



机械工业出版社
China Machine Press

工业控制与智能制造丛书

面向中国制造2025  的
智造观

杜品圣 顾建党 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

面向中国制造 2025 的智造观 / 杜品圣, 顾建党编著. —北京: 机械工业出版社, 2017.10

(工业控制与智能制造丛书)

ISBN 978-7-111-58299-1

I. 面… II. ①杜… ②顾… III. 制造业—工业发展—研究—中国 IV. F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 253702 号

面向中国制造 2025 的智造观

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: 2017 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 170mm × 242mm 1/16

印 张: 14.75

书 号: ISBN 978-7-111-58299-1

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

本书编委会

主 编：杜品圣 顾建党

副 主 编：缪竞红

编 写：白 洋 倪建军 张 龙 易书波

协 助：吴勇志 王言海 付 岗

梁恩泉 吴永兰

特别感谢：温莉芳 王 颖

推荐序一 Foreword



朱森第

中国机械工业联合会专家委员会名誉主任
国家制造强国建设战略咨询委员会委员
国家信息化专家咨询委员会委员
国家智能制造标准化专家咨询组副组长
工业和信息化部智能制造专家咨询委员会主任

生产效率更高、资源消耗更少、产品品质更好、单件成本更低、市场响应更快、环境影响更小，这六个“更”可以说是制造业的永恒主题。人类从石器时代、机器时代、电气时代、自动化时代一路走来，如今进入网络时代、信息时代，一直在不懈追求制造的高效和精美。人们的生活因制造而丰富多彩，社会的发展因制造而日新月异。伴随着人类执着的追求，制造系统不断演进，制造模式层出不穷。从作坊式到流水线、从大规模生产到大批量定制、从精益生产到智能制造……向人们揭示了制造系统演进的方向，即人从最初作为制造系统中的重要组成部分，逐渐演化为人的体力劳动在制造系统中不断减少，直至退出制造系统，进而，又逐步减少人的脑力劳动在制造系统中的分量，直至制造系统完全可以自主进行制造活动。为此，人类从来没有停止过探索，如今有了互联网、大数据、云计算、移动通信等信息技术和其他高新技术的发展和融入，制造系统从灵巧、聪明走向智能、智慧。人工智能的发展，并在智能制造系统中的充分应用，使之真正成为自度量、自适应、自决策、自诊断、自维护、自学习的智能

制造系统，智能制造得以实现。智能制造，不是制造活动的终结，而是制造的新阶段，是当今时代制造业实现六个“更”的有效手段。

中国工业化晚于早期工业化国家一百多年，制造业的发展也后于工业发达国家。近十年来，中国制造业发展提速，总量和规模已居世界第一，但与发达国家相比，在创新、效率、结构、可持续发展等方面存在较大差距。尤其近年来随着劳动力成本的提高，资源和环境约束的增加，中国制造业必须在这六个“更”上迈出更大步伐，实现跃升。《中国制造 2025》，即是中国制造业实现三步走战略的头十年的纲领，以智能制造为主攻方向，以绿色制造和服务型制造为侧翼，以优质制造和工业强基为基础，力求在制造业由大变强的转变中迈出坚实的一步，取得明显成效。智能制造由此而引起各方各界的重视，形成了智能制造热，这也是很自然的。但智能制造系统如何构建，智能制造如何实现，实现智能制造的关键要素是什么，却是不可回避和亟待明确的问题。

菲尼克斯电气公司，作为全球电气连接、电子接口和工业自动化领域的技术和市场领袖品牌，以其品质优良、不断创新而著称于世。菲尼克斯中国公司努力成为中德制造业的桥梁，近年来更以“连接智能的世界”为宗旨，致力于德国工业 4.0 和中国制造 2025 的沟通、交流和合作，在教学演示、人员培训、标准制定、咨询服务、项目推进等方面，开展了诸多卓有成效的工作，为促进中国制造业迈向数字化、智能化做出了有益的贡献。本书既是菲尼克斯中国公司对在中国这块土地上推进智能制造的认识和观点的概括，也是近年来工作和实践的总结，从实践上明确和回答了智能制造的一些关键问题，对制造企业开展智能制造具有较强的实践指导意义。

推荐序二 Foreword



Roland Bent

德国电工委员会 (DKE) 主席

德国 IEC 标准委员会主席

德国菲尼克斯电气集团执行副总裁

2013年，德国政府正式提出“工业4.0战略”作为未来德国工业发展的愿景。与德国工业4.0不谋而合的是，中国提出了《中国制造2025》，为发展成为工业强国描绘出清晰的路线图。当前我们面临着互联网信息技术的快速发展和剧烈冲击，它为人类社会也为工业领域开辟了新的创新空间。这种趋势被称为数字化，它催生智能制造作为一种新型生产方式进入工业。它强大且充满活力，势不可挡。

作为德国著名“隐形冠军”的菲尼克斯电气敏锐地抓住这个千载难逢的机会，积极地投身到这场发展变革中，成为工业转型有力的推动者和设计者。它勇于创新、深入实践，短短几年就取得了非常可喜的成就，为数字化创造出非常强大的产品与解决方案。基于深厚的技术基础和研制自动产线方面的长久积淀，菲尼克斯电气就如何推动工业4.0以及中国制造2025形成了独到的智能制造观点。本书就是菲尼克斯中国公司执行智能制造战略的应用篇和实践篇，全面阐述了中国制造2025和工业4.0的核心要素，详细描述了实施智能制造需要把握的理念、技术和相应的企业管理的升级转型方法。同时通过介绍大量的智能制造实践案例，理解互联网时代的工业新思维，规划从概念走向实施层面的架构。希望本书为各界推进实现智能制造目标提供参考，也希望对读者日常工作的开展起到抛砖引玉的作用。

推荐序二英文原文：

In 2013, the German government officially proposed the “Industrie 4.0 strategy” as the vision for the future German industrial development. In line with Industrie 4.0, China has also proposed a clear roadmap for the development of China’s strong industry “Made in China 2025”. At present we are facing a very fast and tremendous development and impact of the Internet-and Information-technology that opens a new space of innovation for our human society and our industries This trend is also called “Digitalization” and with this the new production model of “intelligent manufacturing” has begun to enter into the industry. This is a very powerful and dynamic trend, which can’t be stopped.

Phoenix Contact, as one of the famous “hidden champions” in Germany, took the opportunity; actively and become a strong promoter and designer of this big change of the industry. With inspiring innovation and a very deep own production practice, in just a few years Phoenix Contact has already created very powerful products and solutions for the digital world. With a background of a high technology competence and a high competence in the construction of automated production lines Phoenix Contact formed its own view of intelligent manufacturing to promote Industrie 4.0 and Made in China 2025. This book “Smart View for Made in China 2025” is the summary of practice and application know how and is promoting the intelligent manufacturing strategy in China. It comprehensively expounded core essential factor of Industrie 4.0 and Made in China 2025. At first it describes in details the necessary concept transformation and technology upgrade and the corresponding management methods for the implementation of Industrie 4.0 and Made in China 2025. At the same time, through the introduction of intelligent manufacturing practice cases, it creates an understanding of the new ideas for planning smart production architectures from concept to implementation in the age of Internet. We hope the publishing of this book “Smart view for Made in China 2025” will provide good references and useful support for the daily work for the reader who has the goal of promoting intelligent manufacturing.

前 言 | Preface

在《中国制造 2025》的战略指引下，我国各界仁人志士都在积极探索，为实现制造业强国而努力。本书以我国制造业微观视角介绍了企业实现智能转型的思考与实践，希望为政、产、学、研等各界领导、企业家、专家学者及投资者提供一整套可参考借鉴的“面向中国制造 2025 的智造观”（以下简称“智造观”）。

智造观的核心观点是面对风起云涌的智能制造浪潮，面对新常态，面对市场驱动、资源倒逼和技术变革所带来的机遇与挑战，依照品质、创新、精益和智能的八字方针推进企业智能转型，实现制造业的价值创造。

企业要实现智能转型，首先需要多维度打造智造观支撑体系：产品为王，夯实工业文明，打造专业型组织；布局数字化和互联网企业，连接平台型组织，推进产业互联网建设；从政、产、学、研等方面推进战略合作，相互赋能、相互成就，拥抱协同共赢的智能产业生态；多层次支持教育事业，培养智能技术与解决方案人才。

实现智能转型需内外兼修，企业不管是自身进行智能化改造升级，还是对外提供智能制造解决方案，都需要遵循系统科学的步骤。

本书提供了基于智造观的技术架构：提出实现智能制造的四部曲，即流程精益化、适应自动化、系统数字化以及信息云端化；分析产品生命周期管理导向的生产制造模式及实现方法，包括大数据的应用、互联网自动控制网络的应用、数字化与信息技术的深度融合。

最后就智能制造的具体案例及核心技术进行了深入的分析和详尽的介绍：从企业内部打造智能车间、柔性生产线、客户定制化生产线到与高校

合作的工业 4.0 智能制造示范线，应用精益理念分析柔性多品种数字化生产制造链，将自动控制技术、信息技术和云技术应用在智能产线上，为智能制造提供全面的技术支撑。

本书介绍了企业因地制宜走智能转型之路的思路、方法和路径，为企业和高校提供参考和借鉴。

特别说明的是，在撰写此书的过程中，得到了机械工业出版社华章分社及众多专家学者的指导和支持，在此一并致谢！限于作者的视野和能力，文中所述不可能全面到位，甚至可能出现疏漏和错误，恳请各位读者批评指正！

目 录 | Contents

本书编委会
推荐序一
推荐序二
前言

第 1 章 概述	1
1.1 世界制造大国制造业发展状况	1
1.1.1 全球制造业整体发展状况	1
1.1.2 美国制造业发展近况	5
1.1.3 德国制造业发展近况	10
1.1.4 日本制造业发展近况	14
1.1.5 中国制造业发展近况	17
1.2 当前中国制造业面临的困境与挑战	21
1.2.1 产能过剩	21
1.2.2 资源倒逼	25
1.2.3 颠覆性变革	28
1.3 智能制造助力中国制造业转型升级	31
1.3.1 建立智能制造思维体系	31
1.3.2 探索智能制造创新技术	33
1.3.3 构建智能制造合作机制	34

1.3.4	打造智能制造示范工程	36
第2章	面向中国制造2025的智造观	39
2.1	新常态下的企业思考	40
2.1.1	市场变化驱动转型升级	41
2.1.2	资源倒逼推动价值重塑	41
2.1.3	技术变革带动智能引领	42
2.2	对智造观的诠释	43
2.2.1	坚守品质	43
2.2.2	持续创新	46
2.2.3	精益无止境	47
2.2.4	智能引领未来	49
2.3	智造观支撑体系	50
2.3.1	产品为王, 打造专业型组织	52
2.3.2	布局产业互联网, 连接平台型组织	53
2.3.3	相互赋能, 拥抱智能产业生态	53
2.3.4	面向智能制造的人才培养	55
第3章	智造观的技术架构	61
3.1	智能制造的四部曲	61
3.1.1	流程精益化——智能制造的前奏曲	62
3.1.2	适应自动化——生产制造系统	63
3.1.3	系统数字化——产品生命周期	74
3.1.4	信息云端化——智能管理系统	81
3.2	产品生命周期管理导向的生产制造模式	84
3.2.1	概述	84
3.2.2	理论基础	85
3.2.3	实体构成	86
3.3	产品生命周期管理导向的生产制造模式实现方法	90
3.3.1	大数据的应用	90

3.3.2	互联网自动控制网络的应用	94
3.3.3	数字化与信息技术的深度融合	97
第4章	智造观的实践分享	101
4.1	智能型注塑车间	101
4.1.1	企业建设智能车间的意义	101
4.1.2	企业建设智能车间的目标和任务	103
4.1.3	注塑智能生产的实现	104
4.1.4	打造真正的智能车间	109
4.2	继电器产品柔性生产线	122
4.2.1	多功能继电器智能生产线的总体构建框架	122
4.2.2	应用精益技术分析实现柔性多品种数字化生产制造链	125
4.2.3	信息流及云技术在智能制造线上的框架	132
4.2.4	自动控制技术在智能制造线上的应用	135
4.3	CLX 客户定制化生产线	139
4.3.1	电气柜制作与 CLIPLINE complete 组合式端子	139
4.3.2	组合式端子制造遇上工业 4.0	142
4.3.3	CLX 客户定制化生产线的实现	144
4.4	高校工业 4.0 示范线	149
4.4.1	建立面向智能生产的教育实验室的总体构建框架	149
4.4.2	模块化的智能生产制造线设备的组成和实现	151
4.4.3	智能教育示范线的信息流及云技术的应用	157
第5章	实现智能制造的自动化系统	165
5.1	概述	165
5.1.1	自动化技术的变革	165
5.1.2	菲尼克斯开放自动化系统的形成	167
5.2	无缝一致的通信网络	169
5.2.1	INTERBUS 现场总线技术	169

5.2.2	工业以太网	172
5.2.3	PROFINET	177
5.2.4	工业无线技术	184
5.3	融合 IT 技术的控制系统	190
5.3.1	可编程逻辑控制器	190
5.3.2	PC Worx 控制软件	194
5.3.3	OPC UA	197
5.3.4	嵌入式控制系统解决方案	199
5.4	安全技术	201
5.4.1	功能安全	201
5.4.2	信息安全	206
5.5	开放的自动化平台	211
5.5.1	PLCnext 技术	211
5.5.2	PROFICLOUD 工业云	215
5.5.3	PC Worx Engineer	217
	主要参考文献	221

概 述

制造业是所有与制造有关的企业的总体，是一个国家尤其是大国经济的重要支柱，是国民经济的“关键性产业”。世界科技革命的迭次兴起与科技成果的广泛应用都离不开制造业强有力的支撑。即使在全球服务业经济比重不断提升的背景下，制造业仍然是经济发展的基本力量和重要动能，是科技创新和构建产业新体系的主战场。

1.1 世界制造大国制造业发展状况

历次产业革命以来的经济发展史表明，制造业的发展及其内部结构升级是经济结构转型的基础，任何大国都不可能逾越制造业充分发展这一阶段而直接进入以服务业为主的经济阶段。因此，当前世界主要发达经济体纷纷制定各具特色、富有前瞻性的制造业发展新战略，以抢占新一轮科技革命的发展先机和先进制造业的发展高地。

1.1.1 全球制造业整体发展状况

世界制造业在近 20 年的时间里发生了深刻变化，全球范围内制造业增

增加值总体呈现攀升态势，但占经济总量的比重始终处于下滑趋势。而全球制造业的格局发生了巨大变迁，21 世纪初欧盟、美国、日本三大经济体在全球制造业中占据领导地位，中国制造业则以惊人的速度增长，2009 年制造业增加值首次超过美国，2012 年超过欧盟跃居世界首位，而欧、美、日三大经济体的制造业占比逐年下滑。^[1] 目前在经历了全球的经济衰退后，世界经济开始走向复苏。

从制造业增加值的角度来看，根据世界银行的数据显示在 2005 年至 2006 年间世界制造业增加值突破了 10 万亿美元（以 2010 年不变价美元计算，下同）。2009 年受金融危机等因素影响全球制造业增加值出现大幅下滑，虽在 2010 年短期内出现高速回升重返 10 万亿美元上方，但随后几年始终处在较低的增速水平。2013 年世界制造业增加值突破 11 万亿美元，2015 年达到 11.6 万亿美元。世界制造业增加值的变化趋势如图 1-1 所示。从制造业增加值占 GDP 的比重来看，近 20 年来全球范围内制造业占经济总量的比重始终呈下滑趋势，由 21 世纪初的 20% 左右下降至 2015 年约 15% 的占比水平，如图 1-2 所示。而各国家的发展水平各不相同，根据联合国工业发展组织的《2016 年工业发展报告》指出，工业化国家制造业增加值占 GDP 的比重从 1990 年的 15.4% 下降至 2014 年的 14.5%；发展和新兴工业经济体制造业增加值占 GDP 的比重从 1990 年的 16.2% 上升至 2014 年的 20.5%。自 1990 年以来，发展和新兴工业经济体的制造业增加值增长率持续上涨。截至 2014 年，发展和新兴工业经济体的制造业增加值已经比 1990 年增加了近四倍。^[2] 在很多发展中国家，更高的制造业增加值增长率带来经济持续增长。以“金砖四国”中的印度、俄罗斯、巴西为例，这三国的制造业增加值总和在 2016 年达到了 0.86 万亿美元（以 2010 年不变价美元计算），比 2006 年增加 33%，其中印度的增长率高达 114%。

制造业收入和出口拉动了经济的繁荣，全球各国与制造业相关的活动迅速发展。通过投资高科技基础设施和教育等方面，各国家和企业正在努力进入下一个技术前沿。随着信息技术与制造技术的不断融合，目前世界制造业的发展呈现出一些新的趋势和特点。

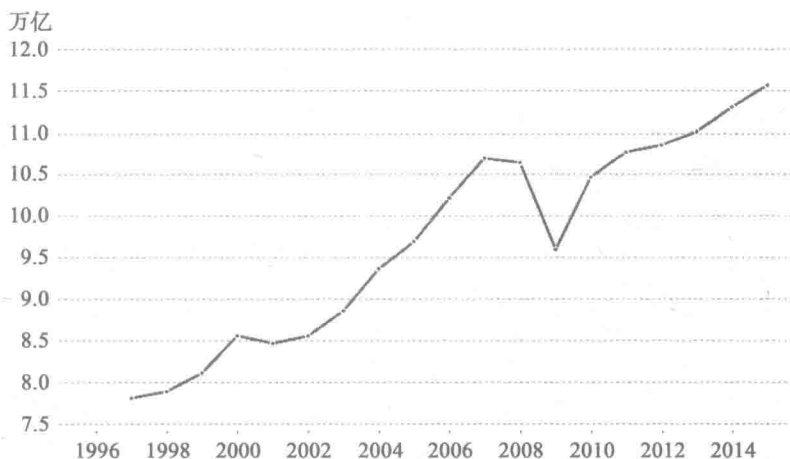


图 1-1 世界制造业增加值 (来源: 世界银行)

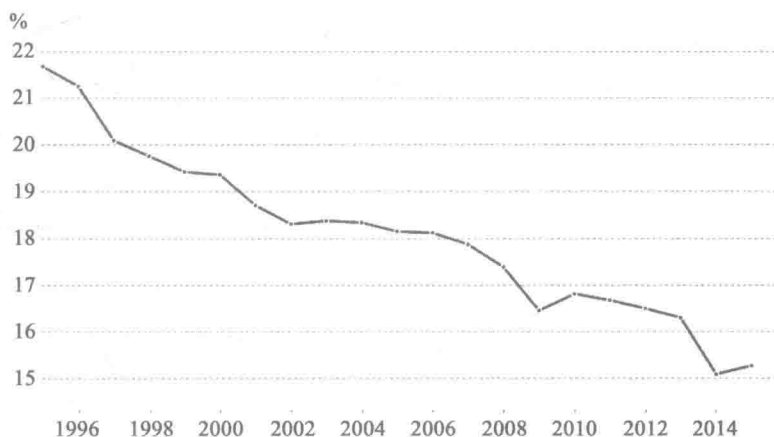


图 1-2 世界制造业增加值占 GDP 的比重 (来源: 世界银行)

从生产方式看, 智能制造将成为制造业变革的重要方向。新一代信息技术与制造业融合发展, 是新一轮科技革命和产业变革的主线。德国、美国、法国等发达国家的制造业发展战略都将智能制造作为发展和变革的重要方向。智能制造包括智能化的产品、装备、生产、管理和服务, 主要载体是智能工厂和智能车间。^[3] 特别是德国提出了“工业 4.0”概念后, “工业 4.0”概念被各界研究者经常提及, 在全球范围内得到了极高的关注。“工业 4.0”将彻底改变设计、制造、运营以及产品服务和生产系统。产品、