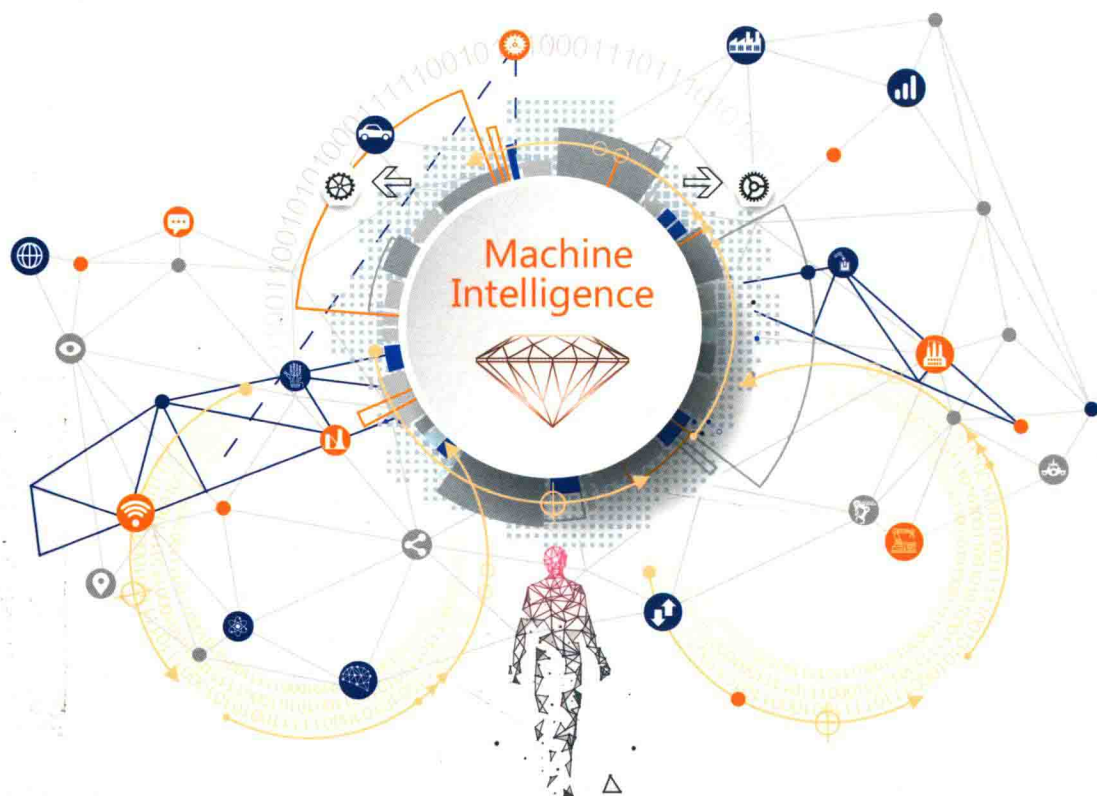


机 · 智

从数字化车间走向智能制造

朱铎先 赵敏 ◎著



智能大潮，浩浩荡荡，涤荡社会每个角落，化育传统万事万物。
工业界的制造范式已经开始走向智能制造。



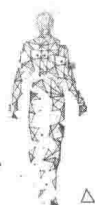
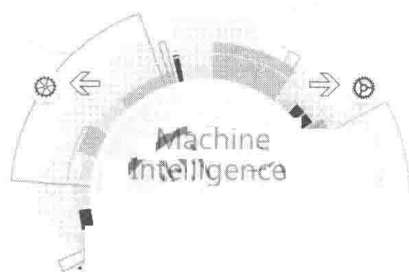
机械工业出版社
China Machine Press

走向智能

机 · 智

从数字化车间走向智能制造

朱铎先 赵敏 著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

机·智：从数字化车间走向智能制造 / 朱铎先，赵敏著. —北京：机械工业出版社，2018.10

ISBN 978-7-111-60961-2

I. 机… II. ①朱… ②赵… III. 数字技术 - 应用 - 制造业 - 车间管理 - 研究
IV. F407.406.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 215528 号

机·智：从数字化车间走向智能制造

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：王 颖

责任校对：殷 虹

印 刷：北京诚信伟业印刷有限公司

版 次：2018 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

开 本：170mm×230mm 1/16

印 张：21.75

书 号：ISBN 978-7-111-60961-2

定 价：79.00 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

华章科技
HZBOOKS | Science & Technology



摆在我面前的是“走向智能丛书”的第二本，《机·智：从数字化车间走向智能制造》。如果说智能时代是人类社会未来形态的大海，经济社会各个领域的智能化过程则是形成大海的百川。

制造领域的智能化是百川中的江河。《机·智：从数字化车间走向智能制造》的作者描绘了制造业智能化的趋势和路径，对走向智能时代理论和方法进行了一次具体化的探索，这是在《三体智能革命》基础上，描述制造业这个重要领域智能化的力作。

之所以说制造领域智能化是汇成智能社会大海的大江大河，一是因为制造业在其他领域智能化过程中的基础性作用，二是因为制造业智能化对全社会智能化在基础理论和方法论的贡献。不从理论上总结制造业智能化的理论和方法，就不可能形成走向智能时代整体的理论和方法论。制造业智能化是《三体智能革命》所阐述的“物理实体、意识人体、数字虚体”构成的“三体智能模型”最有说服力的实证。

《机·智：从数字化车间走向智能制造》以“取势、明道、优术、利器、实证”五大篇章，全面介绍了以实现智能制造为实践重点的制造业智能化过程，不仅对制造企业的智能制造实践具有重要的指导作用，更重要的是对走向智能时代的理论思考带来了影响深远的启迪。于我而言，有三点尤为突出。

一是关于数字孪生的讨论。书中指出：“数字虚体与物理实体在形与态的彼此相像属于‘数字孪生’”，“数字孪生是在产品

全生命周期中每一个阶段都存在的普遍现象，大量的物理实体系统都有了数字虚体的‘伴生’”。生物智能基于遗传基因而延续，人类智能的各种产物和成果基于各种工具和记录的信息而传承。智能时代的传承和延续，与生物智能和人类智能的结晶相比有何特征？如果数字孪生超越产品的生命周期，那么这个特征就是数字孪生，数字孪生是智能时代智能的遗传基因。显然，数字孪生是可以超越产品的生命周期的。

二是关于智能制造的物理实体与其数字孪生的数字虚体之间，信息实现了双向传输，也就是数据的自动流动。这是智能制造的重要特征，也是领域智能化进程中的重要环节，更是赛博物理空间的基本特征，成为走向智能时代的一个标志性产物。

三是关于生产车间的工业数据是车间的重要资产的论述。信息资源是经济社会发展的基础性战略性资源，大数据是有价值的资产，这样的概念很多人挂在嘴上，但很少落实到管理中、制度中、帐本中。本书关于车间数字资产的讨论，具体地、有说服力地阐述了数据的资源和资产性质。

走向智能时代是一份时代的试卷。《三体智能革命》和《机·智：从数字化车间走向智能制造》从两个不同的视野给出了作者们的回答，既有理论阐述，也有实践落地。我们期待更多的学者和实际工作者参与其中，给出更多的答卷，引导时代变革期的发展理性。

是以为序。

杨学山

2018年7月10日于杭州到北京的复兴号上

序二

Machine
Intelligence
机·智

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。推进制造业做大做强是实现我国工业转型升级、推进供给侧结构性改革的重要途径和必由之路。

《中国制造 2025》明确指出我国制造业发展的战略是“坚持走中国特色新型工业化道路，以创新发展为主题，以促进制造业提高质量增加效益为中心，以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线，以推进智能制造为主攻方向”。

对制造企业而言，智能制造如何做，企情不同，路径也不尽相同，我认为该书提出的“从数字化车间走向智能制造”是一条很务实的路径。

该书从东方文化的视角，以“取势、明道、优术、利器、实证”为主线，剖析了智能制造浪潮发生的根源，对比了德、美、日、中不同国家有关智能制造的理念及路径，对 CPS 赛博物理系统、工业互联网等智能制造的重要使能技术进行了深入阐述，并提出了“智巧工厂”等令人印象深刻的概念。

后半部分的数字化车间建设是该书的重点。作者以“六维智能”为主线，分别从数字化车间建设内容、建设原则以及设备物联网、预测性维护、MES 制造执行系统、工业大数据等方面进行了详尽讲解，对 MES 发展方向、虚拟现实 / 增强现实、人工智能等一些前沿技术作了有意义的探讨，在书的最后还结合青岛海尔模具等四个实际案例，对智能制造在企业与学校中的应用进

行了介绍，具有很好的借鉴价值。

我对书中很多观点产生了很强的共鸣，特别是书中提出的“人机网三元战略”、“以人为本的智能制造落地之道”等一些十分重要的观点。通过航天科工集团近年来在云制造及智慧云制造等方面的研究与实践，我们认识到智能制造的实施绝不是简单的“机器换人”，智能制造的实施是一项系统工程，它以新一代信息技术与制造业深度融合的数字化、网络化、云化、智能化的技术手段，促使制造全系统及全生命周期活动中的人/组织、技术/设备、管理、数据、材料、资金（六要素）及人流、技术流、管理流、数据流、物流、资金流（六流）集成优化，进而实现高效、优质、节省、绿色、柔性地制造产品和服务用户，达到提高企业市场竞争能力的目标。

该书是两位作者的第二次合作，在2016年，包含两人在内的九位作者出版了《三体智能革命》一书，提出了“三体智能”等理论，在智能制造界产生了很好的反响。经过近两年的辛勤付出，两位作者又基于“三体智能”的理论基础，结合智能制造最新理念及实践，以微观的视角，从企业的范畴，按落地的路径，撰写了该书。

我在很多年前就认识两位作者。朱铎先先生从20世纪90年代起曾在航天单位工作多年，后来创建了北京兰光创新科技有限公司，为航空航天等数百家企业提供了数字化车间/智能制造解决方案，具有丰富的制造信息化实战经验。赵敏先生20世纪80年代在清华大学执教，我与他在参与国家863计划“现代集成制造系统（CIMS）”主题的科研工作中相识。他近十年出版了多部专著并擅长为企业解决技术问题，是国内著名的创新方法与智能制造专家。

该书凝聚了两位作者多年的理论研究与实践经验，相信该书会对制造型企业的智能化转型升级具有很强的借鉴与参考价值。

李伯虎 中国工程院院士

2018年7月16日于北京

前言

Machine
Intelligence

机·智

以新一代信息技术与制造业深度融合为特征的智能制造正在全球引发新一轮工业革命。

2015年5月19日，国务院正式发布了《中国制造2025》。“以提质增效为中心，以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线，以推进智能制造为主攻方向。”这个行动纲领发出了向制造强国进军的动员令，吹响了向智能制造发起主攻的冲锋号。

自2014年起，为了探讨智能系统的原理、方法与实现路径，本书作者与其他七位专家一起花费两年多时间研讨与撰写，于2016年9月出版了“走向智能丛书”之《三体智能革命》，该书奠定了一种颇具中国特色的智能理论基础和构建智能系统的方法论，首次提出了“物理实体、意识人体、数字虚体”的“三体智能模型”，并以“状态感知、实时分析、自主决策、精准执行、学习提升”的“二十字箴言”作为评判智能系统的基本特征。《三体智能革命》出版后，在业界获得了普遍的好评并得到了中国工程院等权威机构的认可，对国内智能制造的研究与应用起到了积极的推动作用。

如果说《三体智能革命》是站在社会的宏观视角，以各行各业智能系统演进的大视野对智能理论进行了深入研究和比较宏观的论述，那么本书则是站在企业微观视角，将三体智能模型中的基本逻辑用于对智能制造的深入研究。我们的理解是，正是因为数字虚体与其他两体的交汇与融合，才让机器有了智能，才有了今天的智能制造。于是，“走向智能”就有了一个非常具体的延

伸——“从数字化车间走向智能制造”。

《三体智能革命》是“走向智能丛书”的开篇之作，而本书则是“走向智能丛书”的续篇。因此在本书撰写过程中，承袭和沿用了《三体智能革命》中的若干学术观点和术语。本书也是两位作者的第二次合作写作。

本书以“取势、明道、优术、利器、实证”五大篇章，深入剖析智能制造的根源、本质、技术路径与发展趋势，全面探讨中国制造企业应该如何制订智能制造战略和战术，重点阐述离散行业数字化车间的建设及注意事项等实战内容，并给出若干实施案例，力图体现战略结合战术，理论结合实践。

“取势篇”重点介绍企业实施智能制造前，需先深刻了解智能制造产生的大背景及未来发展趋势。要点在于我们应该如何发挥自身优势，既“师夷之长”，又扬长补短，在这次制造业转型升级中少走弯路并取得成功。其中第一章是在德、美、中、日这些工业强国和大国都不约而同地提出了相近的智能制造战略，掀起史上最大的智能制造浪潮大背景下，深入剖析了其背后深层次的原因及发展趋势。第二章指出我们既要积极学习德国工业 4.0 的先进理念以及其构思精巧的“工业 4.0 参考架构模型（RAMI 4.0）”，同时也要了解其恰当的应用场景。第三章介绍了美、德、日、中智能制造战略齐头并进，各具特色，同时对这些不同战略进行了分析、比较与要点提炼，特别对“一智各表”的现象进行了分析，力图说明“智能”一词的不同内涵。

“明道篇”强调人始终是智能制造的主导因素。制造企业在制订智能制造落地战略时，不仅要在先进技术和设备上有所突破，更应该充分挖掘人与管理的价值与潜力，才能确保智能制造的成功落地。其中第四章论述了“人机网三元战略”、“三体智能模型”和“人－信息－物理系统”，以及中国“以人为本”的东方哲学思想与西方先进技术如何实现交汇与融合。第五章阐明在向智能化转型升级的关键阶段，比设备、软件更重要的是企业的经营战略以及与智能制造相适应的企业文化。

“优术篇”深度剖析 CPS（赛博物理系统，也称为信息物理系统）、工业互联网等先进概念的本质、缘起、发展方向及如何在制造企业中的落地。其中第六

章重点介绍了源于美国、兴于德国的 CPS 技术。欲做好智能制造和工业 4.0，必先了解 CPS，更是创造性地提出了“二维九格”定义法。第七章讲述了工业互联网作为智能制造关键基础设施，催生了新技术、新业态、新模式，同时对工业互联网的属性、意义及实现路径等方面进行了剖析。

“利器篇”把重点放在了车间的数字化建设上。智能制造的纵向集成发生在企业里，车间是企业将各种图纸转变为产品的主要场所。车间强则企业强，车间智则企业智。其中第八章以离散制造行业为例，基于“六维智能理论”，探讨了智能制造如何在车间实施与落地。第九章介绍了车间设备的互联互通，尤其是用数字化手段治理“聋、哑、傻”设备，通过实时采集设备运转数据而实现设备的可视化、智能化管理和预测性维护，并介绍了实施过程中的注意事项。第十章讲述了 MES 系统对生产过程中的计划、排产、物料、工具、设备、质量等进行全面的精细化管理。第十一章以工业大数据为主线讲述了高级排产、虚拟现实 / 增强现实及新一代人工智能等前沿技术在数字化车间的应用及其前景展望。

“实证篇”强调了一个最浅显的道理：知易行难。各种理念、理论最终的目的都是为了在企业落地，智能制造不能只停留在理论层面，成功的案例对于正在考虑智能制造实施方案的企业有很大的借鉴价值。其中第十二章收录了海尔模具、宁夏共享集团等四个智能制造的典型案例。宁夏共享集团被李克强总理比喻为“傻大黑粗”转型升级成为了“窈窕淑女”，被称赞是“展示了‘中国制造 2025+互联网’的融合，是新旧动能转换的生动体现。”

值得说明的是，本书希望能够首开严格区分“智能”程度与所对应术语之先河，对“Smart、Intelligent”两个术语所描述的两种不同“智能”现象加以较为严格的区分，期待能够避免乃至消除业内一直存在的“一智各表”的不利现象。作者在本书中自我约定并尽量做到：凡是涉及到数字化网络化“Smart”级别的“智能”，皆称作智巧；凡是应用了新一代人工智能所形成的“Intelligent”级别的“智能”，直接称作智能。如此，英文术语与中文术语之间形成一一对应，看到英文，就知道中文是什么，看到中文，也随即知道英文

是什么。希望从本书开始，在中文术语上消除对“智能”一词在理解和应用上的混淆。作者不求最好、最准确，但求“智能”无歧义。

智能制造，任重道远。工业互联，方兴未艾。宏微并举，注重落地。数字车间，务实起步。这正是本书想带给读者的主要信息。

受理论水平和资料获取范围所限，难免对迅猛发展的智能制造相关理论与技术存在阐述不到位甚至有不确切之处，希望广大专家及读者批评指正，不吝赐教，以利后期校正与修订。

作者

2018年6月18日于北京

目录

Machine
Intelligence
机·智

序一

序二

前言

取势篇 大势所趋，全球工业体系大转型

第一章 智能制造，风从何处来 | 2

德、美、日、中这些工业强国和大国都不约而同地提出了相近的国家战略，掀起了全球史上最大的智能制造浪潮。这并非是因为突然有什么颠覆性的技术突破，而是因为在当前全球制造业严峻形势下，各国结合自身问题及特点，在快速增长的数字经济发展进程中，希望借助自动化、数字化、网络化、智能化等新技术寻求突破，解决存在的实际问题，提升制造业竞争力，推动本国制造业的发展。

制造业面临四个难题 | 3

寄希望于新技术体系 | 11

新常态下的中国制造 | 12

数字经济扛鼎新动能 | 14

第二章 务实战略，客观认识德国工业 4.0 | 19

越是时髦、喧嚣的热潮，越需要冷静、独立的思考。我们既要积极学习德国工业 4.0 的先进理念，也要看清楚其战略本质，不要照搬照抄，一定要结合国情与企业情况，制定出积极、有效的应对策略，才能在这场全球工业革命中取得主动，助力企业的健康发展。

内忧外患，德国制造不乐观 | 20

工业 4.0，绝地反击利器 | 25

中小企业，转型升级立潮头 | 42

对工业 4.0 的四个认知误区 | 47

第三章 同场竞技，美、德、日、中各显身手 | 54

作为制造企业，不仅要深入研究与借鉴德、美、日等国家先进理念，博采众长，为我所用，还要深刻理解“中国制造 2025”的战略意义及实施路径，在中国智能制造发展战略“三范式”指导下，抓住稍纵即逝的历史发展机遇，积极推进智能制造在企业的落地，促进企业智能化转型升级。

美国借助“巧实力”重归制造业 | 54

日本工业价值链颇具价值 | 60

中国以智能制造独辟蹊径 | 67

“一智各表”，内涵有别 | 76

明道篇 因势利导，走中国道路的智能制造

第四章 以人为本，智能制造战略落地之道 | 82

从“人机网三元战略”“三体智能模型”到“人-信息-物理系统”，反映出了中国“以人为本”的东方哲学思想与西方先进技术的交汇与融合，让中国这样一个人口大国在以智能为标识的新工业革命中，明确自己的特色，找到自己的定位，推出适合本国国情的智能制造发展战略。

多国竞合，智造路径各不同 | 82

智能制造，终须以人为本 | 88

历次工业革命，“人”是核心要素 | 95

三元战略，中国企业制胜之策 | 101

第五章 审时度势，经营战略再定位 | 111

在向智能化转型升级的关键阶段，外部经营环境发生了很大变化，企业不能墨守成规，固守以往的“成功经验”，贻误战略发展机遇，应该内外兼修，不仅要有过硬的硬实力，也要有深厚的软实力。在瞬息万变的发展中，企业的经营战略和文化等需要根据形势的变化而调整。

企业经营战略的选择与制订 | 112

智能制造的“新四化” | 121

文化，企业无形竞争力 | 131

优术篇 技术使能，智能制造的落地战术

第六章 CPS 赋能，智能制造的核心驱动力 | 138

CPS 被认为是“德国工业 4.0”的核心技术，美国也将其列为八大关键的信息技术之首。既然 CPS 如此重要，我们就需要追根溯源，广泛地求证、深入地学习与思考，然后实地力行。只有深入理解 CPS，并以之为抓手，才能促进它在企业智能制造中落地。

众说纷纭，共话赛博渊源 | 138

划层分级，CPS 一统江湖 | 143

数字孪生，CPS 构建基础 | 150

CPS 织网，数据自动流动 | 153

第七章 工业互联网，“换道超车”新机遇 | 159

工业互联网是以数字化、网络化、智能化为主要特征的新工业革命的关键基础设施，通过物联网、大数据、云计算等技术手段，构建基于海量数据采集、汇聚、分析的服务体系，对产品、设备、人力、知识、信息等实现资源、能力的共享与协作，是汇众智、用众力的新型商业模式。

加快其发展有利于加速智能制造发展，更大范围、更高效率、更加精准地优化生产和服务资源配置，促进传统产业转型升级，催生新技术、新业态、新模式，为制造强国建设提供新动能。

互联革命，经济发展驶入新赛道 | 160

工业互联网平台，新工业体系操作系统 | 164

工业互联网，既“姓工”也“姓公” | 168

重塑制造业，新范式开始发力 | 171

利器篇 数字化车间，智能制造主战场

第八章 从数字化车间走向智能制造 | 178

《中国制造 2025》明确指出：“推进制造过程智能化，在重点领域试点建设智能工厂/数字化车间。”数字化车间建设是智能制造的重要一环，是制造企业实施智能制造的主战场。

前面我们一起探讨了智能制造的一些原理与方法，本章将以离散制造行业为例，探讨数字化车间建设时应该遵循什么样的基本原则，采取什么样的灵活策略以及系统选型方面的注意事项，确保智能制造在车间沿着正确方向推进。

数字化车间的定义与建设主线 | 178

数字化车间实施策略 | 188

数字化车间实施效果 | 193

数字化车间系统选型原则 | 195

第九章 设备互联，机器不再“聋哑” | 198

再先进的设备，单机工作也是潜力有限。需要改变传统的设备孤岛式生产模式，发挥生产设备集群化的生产潜能，在网络化通信的基础上，实时采集生产设备的关键运转数据，对设备进行可视化、智能化管理以及预测性维护，并通过与信息化系统进行深度集成，实现设备网络化、集群化、智能化的生产管理模式，为促进企业智能制造落地打下坚实基础。

数字化车间从设备“治哑”开始 | 198

互联互通，设备携手变聪明 | 205

预测性维护，打造无忧生产 | 220

设备物联网建设注意事项 | 225

第十章 MES 赋能，智造精益双落地 | 233

市场竞争越来越激烈、客户要求越来越高、人力与生产资源成本不断上涨，企业既需要进行宏观的统筹与规划，又需要对具体事项进行“精打细算”。

车间有众多设备、设施、物资及人员，还有大量的生产任务，且产品属性不同、交货期不同、紧急程度不同，做到精细、精准、精益的管理，难度很大。

“君子生非异也，善假于物也”。MES 就是帮助企业解决这些问题的信息化系统，可以帮助企业实现生产管理数字化、生产过程协同化、决策支持智能化，可有力地促进精益生产落地及企业智能化转型升级。

MES 有关概念 | 234

MES 模块组成 | 240

MES 模块功能简介 | 243

理念需要与时俱进 | 267

第十一章 大数据赋智，车间走向新时代 | 277

不同于设备、物料等有形的物理实体，无形的数据是企业的一种新资产、新资源和新生产要素，是企业正常生产的基础，是企业进行智能化管理的关键。对这些数据进一步挖掘，以量化、可视化等方式，定位生产中存在的问题并进行优化，对提升企业竞争力有非常重要的意义。

数字化车间不只是智能制造的主战场，也是工业大数据的富矿，是新一代智能制造的测试床。采集、存储、挖掘、使用好这些工业大数据，可为企业智能制造提供源源不断的新动能。

工业大数据，车间的无形资产 | 277

APS，MES 智能化的源头 | 284

3D 可视化，制造新境界 | 293

人工智能，智能制造新引擎 | 299

实证篇 知行合一，智能制造重在落地

第十二章 各具特色，数字化车间案例集锦 | 306

古人说，知易行难。

实践是检验真理的唯一标准。智能制造一定要产生有效的经济与社会价值，一定要能切实推动传统企业的智能化转型升级。

2016 年 2 月 2 日，李克强总理视察宁夏共享集团，将该企业比喻为“傻大黑粗”转型升级成了“窈窕淑女”，称赞是“展示了‘中国制造 2025+ 互联网’的融合，是新旧动能转换的生动体现。”

海尔模具：设备互联 效益明显 | 307

中信戴卡：精益为魂 智造典范 | 311

宁夏共享：数据流动 新旧转换 | 314

西安交大：虚实融合 教学创新 | 318

后记 | 321

参考文献 | 323

参考资料 | 328