

The Road towards
Intelligent Manufacturing

Professional Interpretation Practice Roadmap

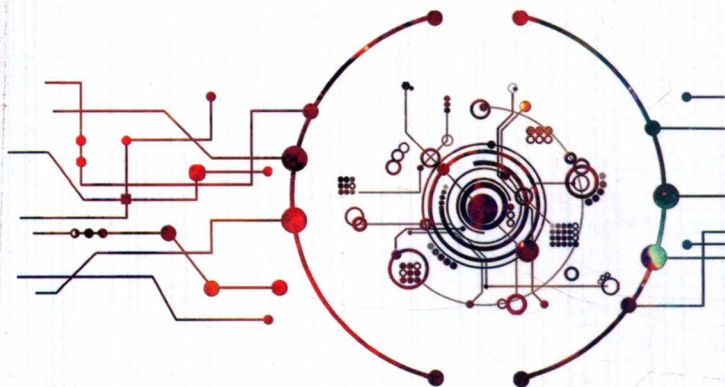
智能制造之路

专家智慧 实践路线

主 编 ○ 刘强 丁德宇 副主编 ○ 符刚 郭源生 刘明雷

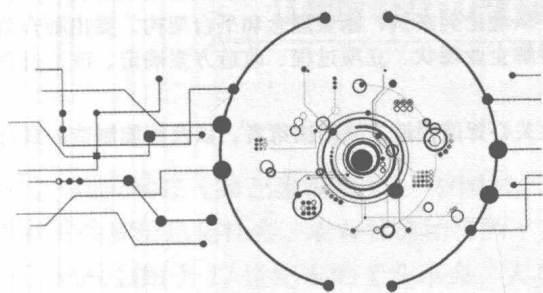
诠释理论方法
落地路径探索
提供解决方案

一本书看清智能制造



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

The Road towards Intelligent Manufacturing
Professional Interpretation Practice Roadmap



智能制造之路

专家智慧 实践路线

主 编◎刘强 丁德宇

副主编◎符刚 郭源生 刘明雷

丁德宇 王臣昊 王琪 文博 方志刚 田锋 邢驰 曲慧杨
朱东 任常锐 刘大炜 刘明雷 刘强 李伯虎 李学军 李潭
杨临生 杨晨 肖莹莹 谷牧 张霖 苗立杰 范玉顺 林廷宇 编著
周向阳 赵凌非 侯宝存 施国强 姚建铨 柴旭东 郭丽琴 郭源生
黄志新 常真卫 符刚 韩雄 程熙 曾国平 温留伟 谢刚
靳春蓉 褚君浩 黎小华

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

策划本书，是想将分散在各行业智能制造专家头脑中的智慧和经验，以书的形式，梳理汇聚成一个智库，在我国实现智能制造的进程中，提供基础的分析 and 可行的方法，让大家明了智能制造的方向和着力点，给企业和工程技术人员指出智能制造的实践目标和路径。

本书分为4个部分，分别为：战略总体篇、技术基础篇、技术选择篇、实践案例篇；共22章，每章都可独立成文，针对一个议题或案例进行了深入探讨，读者可以先选择阅读自己关注的相关章节。

本书力求体现实践性，行业技术文章讲解该领域的政策解析、发展前景、实践方向，从战略到执行，从理论到案例，涵盖理念和平台架构，突出融合创新，提供解决方案等；案例文章讲解企业现状、立项过程、改造方案确定、改造过程、结果、分析总结等。

本书适合各行业关心智能制造发展的决策者，以及智能制造的践行者、创业者阅读使用。

图书在版编目（CIP）数据

智能制造之路：专家智慧 实践路线 / 刘强，丁德宇主编. —北京：机械工业出版社，2017.7

ISBN 978-7-111-57125-4

I . ①智… II . ①刘… ②丁… III . ①智能制造系统 IV . ①TH166

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 139204 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：李万宇 责任编辑：李万宇

责任校对：孙丽萍 封面设计：马精明

责任印制：李 昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 21.25 印张 · 3 插页 · 429 千字

0 001—4000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-57125-4

定价：89.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066 机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294 机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

introduction

20世纪80年代，托夫勒在《第三次浪潮》一书中描绘了人类社会发展的三个阶段：农业社会、工业社会和信息化社会。农业社会始于约1万年前，人类从采集狩猎进入了农耕文明；工业社会始于17世纪末的工业革命，人类的工业社会已经历了工业1.0（以蒸汽机的发明和应用为主要标志）和工业2.0（以电气自动化和大规模生产为主要标志）两个阶段；而信息化社会则始于20世纪50年代后期，当今人类社会正处于信息化社会的初级阶段（在德国《工业4.0》中称之为“工业3.0”）向高级阶段（称之为“工业4.0”）发展的阶段。在每一次变革浪潮中，人类社会的生产方式、生产技术、社会形态、生活方式等无不受到深刻影响，产生了巨大的变化。

今天，我们正处于一个技术日新月异、变革浪潮迭起和社会快速变化的新时代。物联网、工业互联网、大数据、云计算、智能产品、智能装备、智慧工厂、智能交通、智慧城市……，新概念、新技术和新业态等如雨后春笋般地层出不穷。如果说，过去的几十年里，互联网技术深深地渗透和大大地改变了人们的通信、交流、信息共享和生活方式，那么，近年来快速发展的以工业互联网、物联网、大数据和云计算等为代表的新一代信息技术正在与制造技术深度融合，将广泛、深刻地改变整个制造业的形态和面貌，托夫勒描绘的信息化高级阶段——工业4.0时代正在快速向我们走来。

智能制造是工业4.0时代制造技术和制造业的发展方向。在德国《工业4.0》、《中国制造2025》、美国《实施21世纪智能制造》和日本《工业价值链参考框架》等各国的重大发展战略中，智能制造已成为国家保持竞争力、确保未来优势的主要趋势和关键技术方向。无疑，对于在总量上已经居全球之首的中国制造业来说，智能制造是实现转型升级的重大机遇，是完成制造业从大变强的重要途径，是实现制造强国梦的必由之路。

近几年来，智能制造在各界受到了从未有过的高度重视和广泛关注，从中央领导、企业翘楚到业界学者、工程技术人员，从国际峰会、高层对话到学术交流、论坛讲座，智能制造都成了热点方向和热议话题。作为《中国制造2025》的主攻方向，决策层、企业界和学术界都在探讨智能制造的理念和战略，以谋求制造强国发展之道；也在研究智能制造的理论和技术，以探索企业转型升级之术。《智能制造之路——专

家智慧 实践路线》一书，正当此时。

就我所知，早在2015年初，刘强教授就提出了著名的智能制造“三不要”原则，后来又进一步发展为智能制造“三要三不要”原则，在企业界、学术界和决策层被广泛传播和引用，对我国智能制造的发展产生了重要的影响。以刘强、丁德宇为主编的作者团队，包括了来自高校、研究机构和企业等单位的院士、教授、研究员、高级工程师等一批专家学者，多年来在数字化制造、产品智能化设计与协同制造、智慧云制造、智能传感与控制、智能制造装备和工艺过程优化等诸多方面，坚持不懈地开展基础性理论方法研究工作，同时，更难能可贵的是，他们还结合我国制造企业的实际现状和发展需求，在智能制造落地实施和应用实践方面开展了大量先行的探索和试验工作。

《智能制造之路——专家智慧 实践路线》一书正是作者团队多年从事智能制造相关研究和实践的总结，在内容上，它既有战略总体，又有技术基础，还有技术选择，更有实践案例，高度凝聚了作者团队在长期工作中的审慎思考、广泛研究、深入探索和具体实践中的丰富智慧；在风格上，它具有理论方法与关键技术相结合、解决方案和实践案例相结合的鲜明特点，理论、方法、技术、案例独立成篇但又互相补充和支撑，整体上为推进和实施智能制造提供了全面系统的指导。

相信这本书是当前智能制造理论研究和应用实践方面一本不可多得的、极具参考价值的专著。

此为序。

丁 汉

中国科学院院士
华中科技大学教授
2017年6月28日



Preface

智能制造已成为现代制造发展的必然趋势，是“中国制造 2025”的主攻方向，也是中国制造业实现转型升级、由大到强的必由之路。

“工业 1.0”时代制造的特征是以水力和蒸汽动力取代了人力和畜力驱动机械制造设备，实现了机械化地批量制作或生产产品；“工业 2.0”时代的制造以电力驱动并伴以专业分工为特征，实现了大规模制造和自动化生产；工业 3.0 时代的制造进入了先进制造阶段，该阶段制造技术与以电子、信息技术为代表的新技术结合，实现了在数字化基础上的柔性自动化，并呈现出智能化、绿色化和服务化等新特征；工业 4.0 时代的制造则将进入智能制造阶段，它是在工业互联网、物联网、大数据及云计算等新一代信息技术与先进制造技术深度融合的基础上，以标准化的“智能工厂”系统和赛博物理融合的“智能生产”过程为特征，面向设计、生产、管理、服务等全生命周期的制造活动，建立具有信息感知、优化决策和执行控制功能的制造系统，实现高效、优质、低耗、绿色的生产和服务。

国内外众多学者早在 20 世纪 80 年代就已提出智能制造的概念，他们从智能制造技术和智能制造系统两个方面，持续地开展了大量理论研究、技术开发和应用实践等工作。但在 21 世纪初期，由于信息技术、智能技术等未出现新的重大突破，关于智能制造的研究一度从热点走向沉寂。自从德国“工业 4.0”和“中国制造 2025”发布以后，由于政府在战略层面的强力推动和工业界转型升级的迫切需求，智能制造引起了各方面的高度关注，重新又成为人们的研究热点和技术前沿。在对工业 4.0、中国制造 2025 的理论研究和论坛研讨过程中，作者团队深深地感到，无论是从战略发展的视角，还是基础理论的研究，或是工程技术和生产应用实践，当前亟需一本智能制造方面的著作，能够从理论到实践、从技术到系统、从研究到应用，全面地阐述智能制造的理论概念、关键技术和应用实践。

正是为了满足智能制造研究和实践的需要，中国智能制造百人会与机械工业出版社经过深入广泛的讨论，确定以“智能制造——从理论到实践之路”作为主题，出版一本覆盖战略、基础、技术和案例等方面内容的智能制造专著，以期为学术界和工业界众多教学研究人员、工程技术人员和管理工作者等，提供一本理论与实践并举、技

术与工程融合、内容丰富而又兼具实践指导的参考书。

本书凝聚了国内一大批在智能制造理论和实践领域卓有成就的专家学者的智慧和成果。全书由刘强、丁德宇担任主编，由符刚、郭源生和刘明雷担任副主编，共分为“战略总体篇”（第1章~第4章）、“技术基础篇”（第5章~第9章）、“技术选择篇”（第10章~第14章）和“实践案例篇”（第15章~第22章）。其中，前言、第1章和第5章由刘强撰写，第2章由范玉顺撰写，第3章由姚建铨、王臣昊撰写，第4章由李伯虎、柴旭东、张霖、侯宝存、施国强、林廷宇、曲慧杨、杨晨、肖莹莹、郭丽琴、邢驰、李潭、王琪、谷牧撰写，第6章由褚君浩、郭源生撰写，第7章由任常锐、刘明雷撰写，第8章由程熙、符刚撰写，第9章由朱东撰写，第10章由丁德宇撰写，第11章由杨临生撰写，第12章由田锋、黄志新撰写，第13章由符刚、方志刚撰写，第14章由丁德宇、靳春蓉撰写，第15章由文博、符刚撰写，第16章由周向阳撰写，第17章由李学军撰写，第18章由苗立杰撰写，第19章由赵凌非撰写，第20章由温留伟撰写，第21章由曾国平、刘大炜、黎小华、谢刚、韩雄撰写，第22章由常真卫撰写。

机械工业出版社李万宇编辑在本书的出版过程中，付出了大量的时间和精力，没有她的辛勤和细致的工作，本书不可能与读者见面。

虽然全体作者为本书的编撰工作贡献了最大的智慧和努力，但由于水平和时间的限制，书中可能还存在各种错误和不足，敬请各位读者批评指正。

刘 强

序
前言

第 1 部分 战略总体篇

第 1 章	智能制造是强国必由之路	3
1.1	全球制造技术和制造业发展的大背景	3
1.1.1	智能制造是制造业发展的必然趋势	3
1.1.2	“优质、高效、低耗、绿色”仍是智能制造发展的主题	4
1.1.3	新一代信息技术推动智能制造发展	4
1.1.4	工业发达国家纷纷出台智能制造发展战略	4
1.2	《中国制造 2025》发展战略及其主要内容	6
1.2.1	中国制造面临的机遇和挑战	6
1.2.2	《中国制造 2025》的主要内容	9
1.3	《中国制造 2025》重点领域	10
1.3.1	战略任务和重点	10
1.3.2	十大重点领域	11
1.3.3	《中国制造 2025》的规划体系	11
1.4	智能制造工程	12
1.5	推进智能制造的“三要三不要”原则	12
1.6	展望智能制造的未来	15
1.6.1	基于“数字孪生”的赛博物理生产系统	15
1.6.2	未来智能工厂和智能生产的实现场景	15

第 2 章	i 时代的到来——智能制造产生的技术基础	17
2.1	数据、信息、知识与智能	17
2.1.1	定义	17
2.1.2	智能的 5 种能力	18
2.2	如何度量信息和评价信息的价值	19
2.2.1	信息的度量	19
2.2.2	信息的价值	20
2.3	信息应用的发展历程	20
2.4	i 时代（智能化阶段）的特征及技术发展态势	22
2.4.1	无所不在的感知	22
2.4.2	超高速的信息传递	23
2.4.3	高效的知识共享	24
2.4.4	云计算	24
2.4.5	智能化的分析和决策	26
2.4.6	“人-机-物”三元一体化的赛博物理融合空间	27
2.4.7	按用户需求快速提供大批量个性化服务	28
2.5	未来的信息应用的智能化阶段场景	29
第 3 章	物联网	30
3.1	物联网的前世今生	30
3.2	物联网的技术实现	31
3.2.1	分层架构	32
3.2.2	关键技术	32
3.2.3	热点技术	35
3.2.4	技术优势	39
3.3	物联网的标准化工作	41
3.3.1	标准化的意义	41
3.3.2	物联网标准体系	41
3.3.3	我国物联网标准化工作	43
第 4 章	智慧云制造——云制造 2.0	44
4.1	智慧云制造的产生与发展	44

4.2	智慧云制造的技术实现	45
4.2.1	智慧云制造定义	45
4.2.2	智慧云制造系统概念模型	45
4.2.3	智慧云制造系统体系结构	46
4.2.4	智慧云制造系统的关键技术	46
4.2.5	智慧云制造系统的特征	50
4.3	智慧云制造的推进与实施	51
4.3.1	“航天云网”的云制造应用范例	51
4.3.2	值得关注的几个问题	62

第 2 部分 技术基础篇

第 5 章	智能化的现代制造工艺及装备	67
5.1	现代制造工艺及装备的发展趋势	67
5.1.1	高速化和复合化	67
5.1.2	精密化和微细化	67
5.1.3	自动化、数字化和智能化	68
5.1.4	绿色化和安全化	69
5.2	现代加工工艺及其智能化发展	69
5.2.1	智能机床及智能数控加工	69
5.2.2	超精密加工技术	72
5.2.3	先进无模成形技术	74
5.2.4	高能束流加工技术	75
5.3	工业机器人及其智能化发展	77
5.3.1	工业机器人的特点	77
5.3.2	工业机器人关键技术	77
5.3.3	工业机器人的智能化发展	79
5.4	增材制造技术	80
5.4.1	增材制造原理及应用	80
5.4.2	增材制造方法	81
5.4.3	增材制造发展趋势	82

第 6 章	智能制造新材料与感知技术	83
6.1	强基工程与智能制造基础技术	83
6.1.1	产业政策引导性工程——“强基工程”	83
6.1.2	基础技术面临六大难点	84
6.1.3	智能制造基础技术的融合和创新应用	84
6.2	智能制造新材料	85
6.2.1	信息功能材料	85
6.2.2	创新性材料类型与应用	85
6.2.3	智能复合材料体系和种类	86
6.3	智能制造产品中的传感器技术	87
6.3.1	传感器概述	88
6.3.2	传感器分类	88
6.3.3	传感器技术应用	88
6.3.4	传感器市场分布与需求状况	90
6.3.5	传感器技术与我国产业发展现状	90
6.4	工艺技术研究方向与发展趋势	92
6.4.1	技术研究方向	93
6.4.2	技术发展趋势	93
6.4.3	工艺发展重点	95
6.4.4	产品发展趋势	96
6.5	技术发展中存在的问题分析与建议	97
6.5.1	国内产业发展存在的问题	97
6.5.2	产业发展构想与建议	99
第 7 章	大数据	101
7.1	智能制造与大数据	101
7.2	企业的大数据规划和标准	102
7.3	大数据关键技术	105
7.3.1	大数据平台技术	105
7.3.2	大数据分析技术	107
7.4	大数据的工业应用	108
7.4.1	大数据助力产品研发	108

7.4.2	大数据驱动的制造过程质量控制	110
7.4.3	生产设备的预测性维护	111
7.4.4	基于大数据的工业节能	113
第 8 章	工业控制系统网络信息安全	116
8.1	概述	116
8.1.1	工业控制系统	116
8.1.2	工业控制系统网络信息安全及风险识别	116
8.2	工业控制系统网络信息安全的的关键技术与实施方法	118
8.2.1	工业控制系统信息安全总体架构设计	118
8.2.2	工业控制系统网络规划与安全区域划分	118
8.2.3	工控信息安全管理平台	120
8.2.4	工业控制系统网络信息安全标准及评估	121
第 9 章	决策支持中的商业智能系统	123
9.1	决策支持的应用现状	123
9.1.1	企业信息化是决策优化的基础	123
9.1.2	BI 是支撑企业优化决策的核心	124
9.1.3	决策支持中的关键问题	125
9.2	解决之道	126
9.2.1	从 BA 到 BI	126
9.2.2	构建有管理思想的 BI (IBI)	128
9.2.3	实施建设 IBI 系统	130
9.3	应用 IBI 提升企业决策和管理水平	133
9.4	案例	137
第 3 部分 技术选择篇		
第 10 章	智慧工厂	141
10.1	智慧工厂模型	141
10.1.1	智慧工厂概述	141
10.1.2	智慧工厂规划内容纲要	142

10.2	制造执行维度	144
10.2.1	高级排产排程 APS	144
10.2.2	流水线制造	145
10.2.3	纯离散制造	146
10.2.4	项目型制造	147
10.2.5	质量控制	148
10.3	工程维度	148
10.3.1	CAX 贯通	148
10.3.2	BOM 体系	148
10.3.3	变更管理	149
10.3.4	设备运维	150
10.3.5	产品档案	150
10.4	供应链维度	152
10.4.1	采购物流与制造物流	152
10.4.2	预库存与库存核缺 / 预占	153
10.4.3	供应链协同	153
10.4.4	成品库存与成品物流	154
10.4.5	物流自动化与智能化	155
10.5	智慧工厂中的赛博物理系统 CPS	155
10.5.1	设备联网	155
10.5.2	CPS 概念	156
10.5.3	数字孪生体	157
10.5.4	未来的产品	158
10.5.5	未来的工厂	158
10.5.6	未来的 CPS	159
第 11 章	先进生产方式——以同期生产为例	161
11.1	构建先进生产方式的目的	161
11.2	先进生产方式的基本思想及应有形态	162
11.2.1	基本思想	162
11.2.2	生产制造的应有形态	162
11.2.3	行动规范	164
11.2.4	先进生产方式的理念——两个无止境	164
11.3	先进生产方式的活动体系	165

11.3.1	管理技术的活用	166
11.3.2	先进生产方式的 PDCA 循环	167
11.4	同期生产的定义及特点	167
11.4.1	同期生产的定义	167
11.4.2	同期生产的特征	168
11.4.3	制造方式(方法)不合理的显现化	169
11.5	同期生产的实现	169
11.5.1	同期生产的活动领域和目标形态	169
11.5.2	同期生产构筑活动	171
11.5.3	实现同期生产的活动要点	172
11.5.4	同期生产的评价指标	172
第 12 章	精益研发	174
12.1	概述	174
12.2	精益研发理论	175
12.2.1	精益研发体系架构	175
12.2.2	精益研发流程模型	176
12.2.3	精益研发工作包	177
12.2.4	精益研发工作逻辑	178
12.2.5	精益研发理想模型	180
12.3	精益研发平台	182
12.3.1	研发管理系统	183
12.3.2	知识工程系统	184
12.3.3	综合设计环境	185
12.3.4	质量管理体系	186
12.3.5	资源共享单元	186
12.4	精益研发体系建设	188
12.4.1	精益研发成熟度模型	188
12.4.2	精益研发体系建设方法论	189
12.4.3	精益研发体系建设路线图	189
12.5	从精益研发到智慧研发	190
第 13 章	数字化实现	192
13.1	智能制造中数字化实现	192

13.1.1	数字化与智能制造的关系	192
13.1.2	数字化全生命周期管理	192
13.1.3	智能制造的企业数字化平台架构	193
13.1.4	智能制造的数字化技术路线与实现路径	194
13.2	数字化产品智能设计	195
13.2.1	基于 MBD 面向制造与装配的设计 (DFMA)	195
13.2.2	建立数字化智能设计知识库	196
13.2.3	基于 MBD 的一体化仿真分析	196
13.3	数字化产品协同研发	197
13.3.1	基于模型的系统工程	197
13.3.2	基于模型的机电一体化设计过程管理	198
13.3.3	基于模型的数字化虚拟样机 (DMU)	198
13.3.4	面向成本的数字化设计 (DFC)	199
13.4	数字化制造	200
13.4.1	数字化制造系统总体架构	200
13.4.2	基于 3PR 模型的单一数据源管理	200
13.4.3	基于模型的数字化零件制造规划	201
13.4.4	基于模型的数字化装配规划	202
13.4.5	基于模型的电子作业指导 EWI	204
13.4.6	基于模型的人因工程仿真	206
13.4.7	虚拟工厂布局设计	206
13.4.8	制造系统成熟度分析	207
13.4.9	物流仿真	207
13.4.10	机器人离线编程与仿真技术	208
13.5	基于模型的数字化服务	209
第 14 章	制造执行系统	210
14.1	概述	210
14.1.1	制造执行系统的出现与发展	210
14.1.2	MES 定义和功能特点	211
14.1.3	MES 在智能制造中的地位及作用	212
14.2	MES 标准	213
14.2.1	NIST 的 MES 模块划分	213
14.2.2	ISA95 标准	213

14.2.3	ISA95 MOM 功能	214
14.3	自主 MES 产品介绍	215
14.3.1	元工 MES	215
14.3.2	华铁海兴 MES	218
14.3.3	华宏信达 MES	220
14.3.4	天河智造云 T5-MES	221
14.3.5	兰光 MES	223
14.3.6	虎蜥 ABP-MES	225

第 4 部分 实践案例篇

第 15 章	高铁领域智能制造建设——中车集团青岛四方股份公司典型案例	231
15.1	背景及挑战	231
15.1.1	高铁行业发展背景	231
15.1.2	高铁制造面临的挑战	232
15.2	智能制造的建设目标及方案	232
15.2.1	规划目标	232
15.2.2	建设方案	233
15.2.3	智能制造实施效果对比	235
15.3	建设现状及下一步建设思路	236
15.3.1	智能制造建设现状	236
15.3.2	下一步建设思路	238
15.4	智能制造建设的预期目标	238
15.4.1	项目实施的预期目标	238
15.4.2	项目的成长性分析	239
15.5	智能制造建设的示范作用	240
第 16 章	面向工业 4.0 的系统仿真及应用——物流系统规划及仿真典型案例	241
16.1	工业 4.0 中系统仿真技术的作用	241
16.2	仿真应用案例介绍	242

16.2.1	上海某汽车零部件公司的厂内物流规划及配送计划仿真	242
16.2.2	某食品制造厂的自动化物流系统改建仿真	246

第 17 章 打造精益制造的智能制造之路——东方汽轮机典型案例 250

17.1	缘起	250
17.2	做什么	251
17.3	怎么做	252
17.4	做得怎么样	255
17.4.1	TPM 方面	255
17.4.2	班组建设	256
17.4.3	KPI 体系	258
17.4.4	精益质量模块	259
17.4.5	生产管理系统	259
17.4.6	精益供应链管理	259
17.4.7	研发与制造工艺体系	259
17.4.8	成本管控体系	261
17.5	未来做什么	262
17.5.1	系统及设备之间的连接	263
17.5.2	海量数据的应用	263
17.5.3	从数字化到自动化和智能化的发展	263

第 18 章 树立创新模式的设计过程智能化——云设计协作平台应用典型案例 264

18.1	总体目标	264
18.2	策划与支撑	264
18.3	实例——某风机的设计与开发	266
18.3.1	概念设计	266
18.3.2	详细设计	270
18.3.3	工艺制定	271
18.3.4	数字化样机	271
18.3.5	材料和标准件采购	271
18.3.6	制造	271
18.4	改进与展望	273