



“十三五”国家重点图书出版规划项目

智能制造
系列丛书

中国机械工程学会
组织编写

制造业 知识工程

田锋 著



KNOWLEDGE ENGINEERING
IN MANUFACTURING INDUSTRY



清华大学出版社



“十三五”国家重点图书出版规划项目

智能制造
系列丛书

制造业 知识工程

田锋 著



KNOWLEDGE ENGINEERING
IN MANUFACTURING INDUSTRY

清华大学出版社
北京

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。
版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目（CIP）数据

制造业知识工程 / 田锋著. —北京：清华大学出版社，2019
（智能制造系列丛书）
ISBN 978-7-302-51236-3

I . ①制… II . ①田… III . ①制造业—工业企业管理—知识管理—研究—中国 IV . ①F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 213820 号

责任编辑：冯昕 王华
装帧设计：李召霞
责任校对：赵丽敏
责任印制：宋林

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>，<http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社总机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者：三河市龙大印装有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：170mm×240mm 印 张：22 字 数：383 千字

版 次：2019 年 5 月第 1 版 印 次：2019 年 5 月第 1 次印刷

定 价：58.00 元

产品编号：079508-01

智能制造系列丛书编委会名单

主任：

周 济

副主任：

谭建荣 李培根

委 员（按姓氏笔划排序）：

王 雪	王飞跃	王立平	王建民
尤 政	尹周平	田 锋	史玉升
冯毅雄	朱海平	庄红权	刘 宏
刘志峰	刘洪伟	齐二石	江平宇
江志斌	李 晖	李伯虎	李德群
宋天虎	张 洁	张代理	张秋玲
张彦敏	陆大明	陈立平	陈吉红
陈超志	邵新宇	周华民	周彦东
郑 力	宗俊峰	赵 罡	钟诗胜
袁 勇	高 亮	郭 楠	陶 飞
霍艳芳	戴 红		

丛书编委会办公室

主任：

陈超志 张秋玲

成 员：

郭英玲	冯 昕	罗丹青	赵范心
权淑静	袁 琦	许 龙	

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。习近平总书记党的十九大报告中号召：“加快建设制造强国，加快发展先进制造业。”他指出：“要以智能制造为主攻方向，推动产业技术变革和优化升级，推动制造业产业模式和企业形态根本性转变，以‘鼎新’带动‘革故’，以增量带动存量，促进我国产业迈向全球价值链中高端。”

智能制造——制造业数字化、网络化、智能化，是我国制造业创新发展的主要抓手，是我国制造业转型升级的主要路径，是加快建设制造强国的主攻方向。

当前，新一轮工业革命方兴未艾，其根本动力在于新一轮科技革命。21世纪以来，互联网、云计算、大数据等新一代信息技术飞速发展。这些历史性的技术进步，集中汇聚在新一代人工智能技术的战略性突破，新一代人工智能已经成为新一轮科技革命的核心技术。

新一代人工智能技术与先进制造技术的深度融合，形成了新一代智能制造技术，成为新一轮工业革命的核心驱动力。新一代智能制造的突破和广泛应用将重塑制造业的技术体系、生产模式、产业形态，实现第四次工业革命。

新一轮科技革命和产业变革与我国加快转变经济发展方式形成历史性交汇，智能制造是一个关键的交汇点。中国制造业要抓住这个历史机遇，创新引领高质量发展，实现向世界产业链中高端的跨越发展。

智能制造是一个“大系统”，贯穿于产品、制造、服务全生命周期的各个环节，由智能产品、智能生产及智能服务三大功能系统以及工业物联网和智能制造云两大支撑系统集成而成。其中，智能产品是主体，智能生产是主线，以智能服务为中心的产业模式变革是主题，工业物联网和智能制造云是支撑，系统集成将智能制造各功能系统和支撑系统集成成为新一代智能制造系统。

智能制造是一个“大概念”，是信息技术与制造技术的深度融合。从 20 世纪中叶到 90 年代中期，以计算、感知、通信和控制为主要特征的信息化催生了数字化制造；从 90 年代中期开始，以互联网为主要特征的信息化催生了“互联网 + 制造”；当前，以新一代人工智能为主要特征的信息化开创了新一代智能制造的新阶段。这就形成了智能制造的三种基本范式，即：数字化制造（digital manufacturing）——第一代智能制造；数字化网络化制造（smart manufacturing）——“互联网 + 制造”或第二代智能制造，本质上是“互联网 + 数字化制造”；数字化网络化智能化制造（intelligent manufacturing）——新一代智能制造，本质上是“智能 + 互联网 + 数字化制造”。这三个基本范式次第展开又相互交织，体现了智能制造的“大概念”特征。

对中国而言，不必走西方发达国家顺序发展的老路，应发挥后发优势，采取三个基本范式“并行推进、融合发展”的技术路线。一方面，我们必须实事求是，因企制宜、循序渐进地推进企业的技术改造、智能升级，我国制造企业特别是广大中小企业还远远没有实现“数字化制造”，必须扎扎实实完成数字化“补课”，打好数字化基础；另一方面，我们必须坚持“创新引领”，可直接利用互联网、大数据、人工智能等先进技术，“以高打低”，走出一条并行推进智能制造的新路。企业是推进智能制造的主体，每个企业要根据自身实际，总体规划、分步实施、重点突破、全面推进，产学研协调创新，实现企业的技术改造、智能升级。

未来 20 年，我国智能制造的发展总体将分成两个阶段。第一阶段：到 2025 年，“互联网 + 制造”——数字化网络化制造在全国得到大规模推广应用；同时，新一代智能制造试点示范取得显著成果。第二阶段：到 2035 年，新一代智能制造在全国制造业实现大规模推广应用，实现中国制造业的智能升级。

推进智能制造，最根本的要靠“人”，动员千军万马、组织精兵强将，必须以人为本。智能制造技术的教育和培训，已经成为推进智能制造的当务之急，也是实现智能制造的最重要的保证。

为推动我国智能制造人才培养，中国机械工程学会和清华大学出版社组织国内知名专家，经过三年的扎实工作，编著了“智能制造系列丛书”。这套丛书是编著者多年研究成果与工作经验的总结，具有很高的学术前瞻性与工程实践性。丛书主要面向从事智能制造的工程技术人员，亦可作为研究生或本科生的教材。

在智能制造急需人才的关键时刻，及时出版这样一套丛书具有重要意义，为推动我国智能制造发展作出了突出贡献。我们衷心感谢各位作者付出的心血和劳动，感谢编委会全体同志的不懈努力，感谢中国机械工程学会与清华大学出版社的精心谋划和鼎力投入。

衷心希望这套丛书在工程实践中不断进步、更精更好，衷心希望广大读者喜欢这套丛书、支持这套丛书。

让我们大家共同努力，为实现建设制造强国的中国梦而奋斗。

周济

2019年3月

技术进展之快，市场竞争之烈，大国较劲之剧，在今天这个时代体现得淋漓尽致。

世界各国都在积极采取行动，美国的“先进制造伙伴计划”、德国的“工业 4.0 战略计划”、英国的“工业 2050 战略”、法国的“新工业法国计划”、日本的“超智能社会 5.0 战略”、韩国的“制造业创新 3.0 计划”，都将发展智能制造作为本国构建制造业竞争优势的关键举措。

中国自然不能成为这个时代的旁观者，我们无意较劲，只想通过合作竞争实现国家崛起。大国崛起离不开制造业的强大，所以中国希望建成制造强国、以制造而强国，实乃情理之中。制造强国战略之主攻方向和关键举措是智能制造，这一点已经成为中国政府、工业界和学术界的共识。

制造企业普遍面临着提高质量、增加效率、降低成本和敏捷适应广大用户不断增长的个性化消费需求，同时还需要应对进一步加大的资源、能源和环境等约束之挑战。然而，现有制造体系和制造水平已经难以满足高端化、个性化、智能化产品与服务的需求，制造业进一步发展所面临的瓶颈和困难迫切需要制造业的技术创新和智能升级。

作为先进信息技术与先进制造技术的深度融合，智能制造的理念和技术贯穿于产品设计、制造、服务等全生命周期的各个环节及相应系统，旨在不断提升企业的产品质量、效益、服务水平，减少资源消耗，推动制造业创新、绿色、协调、开放、共享发展。总之，面临新一轮工业革命，中国要以信息技术与制造业深度融合为主线，以智能制造为主攻方向，推进制造业的高质量发展。

尽管智能制造的大潮在中国滚滚而来，尽管政府、工业界和学术界都认识到智能制造的重要性，但是不得不承认，关注智能制造的大多数人（本人自然也在其中）对智能制造的认识还是片面的、肤浅的。政府勾画的蓝图虽

气势磅礴、宏伟壮观，但仍有很多实施者感到无从下手；学者们高谈阔论的宏观理念或基本概念虽至关重要，但如何见诸实践，许多人依然不得要领；企业的实践者们侃侃而谈的多是当年制造业信息化时代的陈年酒酿，尽管依旧散发清香，却还是少了一点智能制造的气息。有些人看到“百万工业企业上云，实施百万工业 APP 培育工程”时劲头十足，可真准备大干一场的时候，又仿佛云里雾里。常常听学者们言，CPS (cyber-physical systems, 信息 - 物理系统) 是工业 4.0 和智能制造的核心要素，CPS 万不能离开数字孪生体 (digital twin)。可数字孪生体到底如何构建？学者也好，工程师也好，少有人能够清晰道来。又如，大数据之重要性日渐为人们所知，可有了数据后，又如何分析？如何从中提炼知识？企业人士鲜有知其个中究竟的。至于关键词“智能”，什么样的制造真正是“智能”制造？未来制造将“智能”到何种程度？解读纷纷，莫衷一是。我的一位老师，也是真正的智者，他说：“智能制造有几分能说清楚？还有几分是糊里又糊涂。”

所以，今天中国散见的学者高论和专家见解还远不能满足智能制造相关的研究者和实践者们之所需。人们既需要微观的深刻认识，也需要宏观的系统把握；既需要实实在在的智能传感器、控制器，也需要看起来虚无缥缈的“云”；既需要对理念和本质的体悟，也需要对可操作性的明晰；既需要互联的快捷，也需要互联的标准；既需要数据的通达，也需要数据的安全；既需要对未来的前瞻和追求，也需要对当下的实事求是……如此等等。满足多方面的需求，从多视角看智能制造，正是这套丛书的初衷。

为助力中国制造业高质量发展，推动我国走向新一代智能制造，中国机械工程学会和清华大学出版社组织国内知名的院士和专家编写了“智能制造系列丛书”。本丛书以智能制造为主线，考虑智能制造“新四基”[即“一硬”（自动控制和感知硬件）、“一软”（工业核心软件）、“一网”（工业互联网）、“一台”（工业云和智能服务平台）]的要求，由 30 个分册组成。除《智能制造：技术前沿与探索应用》《智能制造标准化》和《智能制造实践》3 个分册外，其余包含了以下五大板块：智能制造模式、智能设计、智能传感与装备、智能制造使能技术以及智能制造管理技术。

本丛书编写者包括高校、工业界拔尖的带头人和奋战在一线的科研人员，有着丰富的智能制造相关技术的科研和实践经验。虽然每一位作者未必对智能制造有全面认识，但这个作者群体的知识对于试图全面认识智能制造或深刻理解某方面技术的人而言，无疑能有莫大的帮助。丛书面向从事智能制造

工作的工程师、科研人员、教师和研究生，兼顾学术前瞻性和对企业的指导意义，既有对理论和方法的描述，也有实际应用案例。编写者经过反复研讨、修订和论证，终于完成了本丛书的编写工作。必须指出，这套丛书肯定不是完美的，或许完美本身就不存在，更何况智能制造大潮中学界和业界的急迫需求也不能等待对完美的寻求。当然，这也不能成为掩盖丛书存在缺陷的理由。我们深知，疏漏和错误在所难免，在这里也希望同行专家和读者对本丛书批评指正，不吝赐教。

在“智能制造系列丛书”编写的基础上，我们还开发了智能制造资源库及知识服务平台，该平台以用户需求为中心，以专业知识内容和互联网信息搜索查询为基础，为用户提供有用的信息和知识，打造智能制造领域“共创、共享、共赢”的学术生态圈和教育教学系统。

我非常荣幸为本丛书写序，更乐意向全国广大读者推荐这套丛书。相信这套丛书的出版能够促进中国制造业高质量发展，对中国的制造强国战略能有特别的意义。丛书编写过程中，我有幸认识了很多朋友，向他们学到很多东西，在此向他们表示衷心感谢。

需要特别指出，智能制造技术是不断发展的。因此，“智能制造系列丛书”今后还需要不断更新。衷心希望，此丛书的作者们及其他的智能制造研究者和实践者们贡献他们的才智，不断丰富这套丛书的内容，使其始终贴近智能制造实践的需求，始终跟随智能制造的发展趋势。



2019年3月

当前，正是我们的党和国家大力倡导“创新”的关键时刻。本书是响应国家、顺应时代和形势的迫切需要而出版的，对广大读者来说也是雪中送炭——恰逢其时，又意义非凡。

作为本书作者的共同实践者和好友，我所在单位（中国航空工业沈阳飞机设计研究所，以下简称“中航工业沈阳所”）既是知识工程的实践者，又是精益研发的试行者。和本书作者及其团队一起，从企事业单位的实践中形成并见证了知识工程的正确性和精益研发的合理性，对中航工业沈阳所能研制出先进的飞机起到了重要的推动和促进作用。今天，《制造业知识工程》的出版又是作者及其团队近年来对知识工程工作的深入实践和总结的结晶。他们能把这份珍贵的成果向广大的读者奉献出来，十分令人兴奋！

为什么说《制造业知识工程》对当前的广大读者来说是“雪中送炭，恰逢其时”呢？先谈谈我对知识工程的认识和理解。制造业知识工程是在基于流程的知识工程的基础上进一步发展起来的，其核心是如何建立知识体系。本书从企业实践出发，从研究制造业企业的资源特征入手，形成对知识体系的独特分类模式：实物、数据、信息、模式和技术。同时，这五类知识也具有层次递进的特征。针对这五类知识，提出五种知识层级提升方法，即增值加工，分别是数字化、标准化、结构化、范式化和模型化。知识工程的应用特点包括知识和资源的关系辨识、知识的增值加工、知识工程的体系化建设、知识应用模式贴近业务、知识和研制融合。知识工程应用价值包括加速人员培养、弥补科技人才断层、促进企业的智力资产保值增值、驱动企业研制创新、变革企业研制模式。因此，制造业知识工程是知识工程工作实践到目前为止最好的总结和提炼。

再来谈谈我对知识工程和“创新”“知识管理”“精益研发”“智慧研制”之关系的认识。

知识工程和创新的关系。党和国家领导人在历次会议上都提出了我们国家

对创新的要求。党的十八大报告中提出了要“实施创新驱动发展战略”。习近平主席提出：“实施创新驱动发展战略是立足全局、面向未来的重大战略，是加快转变经济发展方式、破解经济发展深层次矛盾和问题、增强经济发展的内生动力和活力的根本措施。”“（创新）必须摆在国家发展全局的核心位置，这是党中央综合分析国内外形势，立足国家发展全局做出的重大战略抉择，具有十分重大的意义。”所以，创新是党和国家面临的迫切需要。同时，也是时代的迫切需要，因为我国已是世界第二大经济体，科技水平就其总体而言处于世界二流水平（个别领域和项目已处于一流）。在这方面，比我们先进的国家不帮助我们，比我们落后的国家帮不了我们。剩下的只有一条路，那就是走自力更生、自主创新的道路，因为现在我国已到了非创新不可的历史阶段！这也是形势的迫切需要。党中央 2016 年颁布的《国家创新驱动发展战略纲要》中已明确提出：“我国科技事业发展的目标是：到 2020 年时，使我国进入创新型国家行列；到 2030 年时，使我国进入创新型国家前列；到新中国成立 100 年时，使我国成为世界科技强国。”正像习近平主席所讲：“抓科技创新不能等待观望，不可亦步亦趋，当有只争朝夕的劲头。时不我待，我们必须增强紧迫感。”以上都是党和国家以及时代、形势对我们提出要创新的要求。但如何实践创新？现在更迫切需要的是实现创新的方法。我认为，实施知识工程就是全国所有企事业单位实施创新具体的有效的方法和途径之一。因为知识工程要解决的就是两大问题：一是对历史知识的积累、传承和重用；二是实施基于知识的创新。

知识工程和知识管理的关系。从我国绝大多数单位对“知识工程”的认识来说，大部分都是从“知识管理”入手。知识管理是以构建单位知识库为目标的，知识工程早期工作，将单位已有的知识按业务、部门进行分类，并存放在知识库中，以支撑业务人员的查询、搜索和使用。从知识管理向上发展，就是要梳理研制流程，并针对员工工作项目，进一步将知识库中的知识改造为伴随知识工作包，最终和研制流程紧密融合。这就是基于流程的知识工程的核心思想，思路清晰，方法具体，一经提出就得到企业界的广泛认同。不仅对知识工程在企业落地起到了关键作用，而且对精益研发的落地也起到了支撑作用。而从知识管理向下发展，要深挖设计过程中的知识。根据知识的类别，选择合适的工具进行增值加工，通过软件的知识建模工具，生成数字化和工具化的知识，并直接与相关研制工具建立关联，使知识与研制活动紧密融合，直接支持研制工作。这种方式也提供了随用随积累、随用随创新的

知识积累与运用模式。这就是作者提出的知识工程的重点内容。所以说，本书提出的知识工程是在基于流程的知识工程成功运用的基础上发展起来的，在知识的积累和应用方面更全面、更深入、更有效、更好用。

知识工程和智慧研制的关系。在智慧研制时代，智慧院所信息化建设将形成智慧工作平台（WWP）。WWP集成了数字化工作平台、信息化工作平台和知识应用平台（简称“三驾马车”），加上先进的数字化技术、先进的信息化技术、先进的项目管理技术以及知识工程管理四大关键技术驱动（简称“四轮驱动”）。而其中，知识应用平台和知识工程管理技术则是智慧平台工作的新亮点。在智能制造时代，大数据分析方法的出现，为知识层级的提升开辟了一种新方法——智慧分析法，使得我们可以获得全息化的知识。因此，全息化是第六种知识加工方法。围绕知识的智慧化加工及其功能化应用，形成相应的技术、工具、流程、标准、规范、人才、组织以及这些要素的载体——知识工程平台，就是智慧工作平台中的知识应用平台的具体化描述。所以可以说，知识工程是智慧研制中不可缺少的最新的亮点部分，最重要的组成部分。从这个角度讲，知识工程的重要性和必要性又有了进一步的提升，因为它成为智慧研制中不可缺少的明星。

总之，本书提出的知识工程既是知识管理深入发展的需要，又是智慧研制核心组成的需要，更是党和国家、民族自主创新的需要。而且，基于流程的知识工程、以增值加工为核心的知识工程及精益研发是一个缺一不可的有机组合体，这三者结合起来下一步将发展为智慧研制。希望本书的出版，能为全国不同行业的企事业单位领导、科技管理人员、技术研制人员学习研究和开展知识工程工作提供实际的参考、指导和培训，为实践有中国特色的技术创新之路提供经验和借鉴。让我们共同努力，在一定程度上改变目前“各单位只提创新要求，可以说是铺天盖地，比比皆是，而涉及具体创新的方法却是寥寥无几，少之又少”的局面。让我们在创新实践的道路上多一点扎实，少一点浮夸，以求真正的实效吧！

中航工业沈阳飞机设计研究所原副所长、科技委主任

中航工业咨询知识工程首席专家

中航工业集团科技委知识工程推进组组长

施荣明

2019年3月

研究发现，中国企业存在较为严重的“人才断层”现象。我国企业在用一批非常年轻的队伍进行越来越复杂系统的研制，其中潜藏着巨大的风险甚至威胁。人才断层已成为企业不得不解决的问题。解决人才断层问题不能寄希望于返老还童灵丹和长生不老药。人才的核心价值是经验与知识。当我们把人才断层定义为知识和经验的断层时，发现灵丹妙药真的存在，那就是“知识工程”。企业的强大之处，往往不在于引进了多少先进技术，而在于真实积累了多少现有成果。通过知识工程手段，让新一代技术人员快速拥有老一代专家的做事方法和处事经验，可以在很大程度上解决人才断层的问题。知识和经验的传承本来是一件自然的事情，但是中国企业的人才断层现状，要求我们必须通过特殊手段来强制完成这一使命，这个特殊手段就是知识工程。

知识工程体系认为，技术研发和产品研制企业是知识最密集的企业，是知识工程最重要的阵地。研制过程就是利用现有知识创造新知识的过程，凡是对研制工作有帮助的资源都是知识。我们不对知识和资源这两个概念作严格区分，知识工程就是对研制资源的智慧化增值加工过程。即使知识和资源有区别，也是相对而言、互相转化的。

知识体系的建立是知识工程的核心工作。本书从企业实践出发，研究制造业企业的资源特征，形成对知识体系的独特分类模式：实物、数据、信息、模式和技术，同时这五类知识也具有层次递进的特征。针对这递进的五类知识，提出五种知识层级提升方法，即增值加工，分别是数字化、标准化、结构化、范式化和模型化。在智能制造时代，大数据分析方法的出现为知识层级的提升开辟了一种新方法——智慧分析法，使得我们可以获得全息化的知识。因此，全息化是第六种知识加工方法。围绕知识的智慧化加工及其工程化应用，形成相应的技术、工具、流程、标准、规范、人才、组织以及这些要素的载体——知识工程平台，共同构成知识工程体系。

研制体系的三维模型中，知识是一个重要维度。依据本书所提出的知识工程分层模型，该维度由 5 个层次构成：1——有序级、2——共享级、3——自动级、4——智能级和 5——智慧级，外加一个基本级 0——显性级，形成“显序共自能慧”模型。普通企业研制知识工程层次通常在显性级、有序级和共享级层面。先进企业开始使用自动化和智能化知识。未来工业 4.0 时代，基于大数据的智慧级知识将普遍采用，那时我们将步入智慧研制时代。

基于知识工程，结合智能制造时代的新兴科技，本书提出了一个知识泛在的智慧研制理想模型，并映射而成相对应的信息化理想模型——智慧研制平台。将这两个模型推荐给中国制造业企业，协助其规划建设与智能制造时代相匹配的研制体系。在中国军工行业，正在进行智慧院所的体系设计，这两个模型也适合于进行智慧院所的规划和建设。

研制体系中知识积累和应用的层次决定了研制的智慧程度。知识层次越高，研制智慧程度越高。知识层级的提升，意味着企业智慧程度的提升。基于知识工程的层次模型，本书提出智慧研制体系的进化路线（成熟度模型）：自发级、意识级、稳序级、协同级、智能级、智慧级。

本书的讨论对象和举例多以研发企业或研发过程为背景，这是因为研发过程是知识密集度最高、知识产出最丰富、知识应用最深入的过程，并不代表本书所提的方法不适用于非研发型企业。非研发型企业或非研发过程的知识工程方法是本书所提方法的子集，大部分方法进行适应性改造，即可适用于这些企业或过程。

作者

2019 年 3 月

第1篇
知识工程框架
与蓝图
001

第1章 知识工程的发展背景	003
1.1 知识工程对中国企业的重要性	003
1.2 国外知识工程发展日趋成熟	004
1.3 国内精益研发体系日渐成熟	011
1.4 面向流程的知识工程实践	012
1.5 知识工程的下一步发展方向	014
第2章 知识工程蓝图与框架	016
2.1 企业知识的本质	016
2.2 知识资源增值是核心	018
2.3 知识工程体系蓝图	021
2.4 知识工程体系框架	023
2.5 知识工程体系成熟度	027
2.6 知识工程集成平台	032
第3章 知识工程规划与建设	036
3.1 知识工程规划步骤	036
3.2 知识工程蓝图设计	038
3.3 知识工程路线规划	039
3.4 知识工程建设方法论	041
3.5 知识工程建设成果	043
3.6 知识工程的特点与价值	043

	第 4 章 知识泛在的智慧研制	047
	4.1 智慧研制的时代背景	047
	4.2 智慧研制需求背景	052
	4.3 智慧研制三维架构	055
	4.4 智慧研制理想模型	057
	4.5 智慧研制集成平台	061
	4.6 智慧研制体系模型	066
	4.7 智慧研制成熟度模型	068
	4.8 开放式智慧研制模式	074
	4.9 智慧研制路线规划	079
	4.10 智慧研制中知识泛在	083
第 2 篇	第 5 章 隐性知识的显性化	089
知识增值加工	5.1 知识螺旋与显性化	089
技术	5.2 利用社区实现显性化	092
087	5.3 知识的显性化表达	095
	5.4 知识体系的显性化	096
	5.5 知识关系与知识地图	099
	5.6 知识显性化以人为本	102
	第 6 章 数据知识的标准化	104
	6.1 仿真数据的标准化	105
	6.2 试验数据的标准化	106
	6.3 标准化数据管理框架	107
	6.4 基于标准化数据的业务协同	109