

# 智能制造 测试与评价概论

中国电子信息产业发展研究院 | 编著

Introduction on Testing and Evaluation for  
Intelligent Manufacturing



中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

---

# 智能制造 测试与评价概论

Introduction on Testing and Evaluation for  
Intelligent Manufacturing

中国电子信息产业发展研究院 | 编著

---



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

智能制造测试与评价概论 / 中国电子信息产业发展  
研究院编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2017.2  
(智能制造测试与评价技术丛书)  
ISBN 978-7-115-44533-9

I. ①智… II. ①中… III. ①智能制造系统—系统测  
试②智能制造系统—系统评价 IV. ①TH166

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第002925号

## 内 容 提 要

本书在简要介绍智能制造的基本概念、内涵、发展现状,以及我国智能制造发展面临的挑战的基础上,阐明了智能制造测试与评价的重要性和必要性及其框架,对智能制造测试与评价所涵盖的智能制造装备与产品测评、工业软件测评、工业网络测评、工业云测评、工业大数据测评、智能制造系统信息安全测评、智能制造评价等内容分别进行了具体的介绍。

本书适合智能制造领域的相关从业人员阅读参考。

- 
- ◆ 编 著 中国电子信息产业发展研究院  
责任编辑 杨 凌  
责任印制 彭志环
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
  - ◆ 开本: 700×1000 1/16  
印张: 19.5 2017年2月第1版  
字数: 317千字 2017年2月河北第1次印刷
- 

定价: 88.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)87055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052 号

# 丛书序言

在蒸汽机出现后的短短 200 多年间，工业文明所缔造的社会财富，远远超过过去数千年的总和。它是人类文明的精华，又创造了更璀璨的文明。这个世界从来没有像今天这样繁荣、昌盛和强大，但也从没有像今天这样迷茫和脆弱。能源危机、生态危机、金融危机、经济危机已在不断告诫人们历经三次革命的工业体系需要新的变革。工业改变世界，谁在改变工业？

进入 21 世纪以来，新一轮科技革命和产业变革正在孕育兴起，全球科技创新呈现出新的发展态势和特征。以智能制造为核心，信息技术、生物技术、新材料技术、新能源技术广泛渗透，带动几乎所有领域都发生了以数字化、网络化、智能化、绿色化、服务化为特征的群体性技术革命，这是新一轮的工业革命。

在新一轮的工业革命浪潮中，无论是德国的“工业 4.0”、美国的“工业互联网”，还是日本提出的发展战略，都是在突出本国技术优势的基础上，力争抢占世界制造业的制高点。由于各国科技与工业发展的优势和基础不同，智能制造呈现出各自不同的特点。美国作为世界互联网的发源地，正在使用其强大的信息技术，提出了以信息物理系统（CPS）为主要特征的智能制造。德国依靠工业的厚重根基，提出了“工业 4.0”的技术解决方案。日本始终不遗地坚持贯彻精益生产的理念。中国制定了符合我国情况的发展战略——“中国制造 2025”，积极推动“互联网+”行动，破解制造业发展存在的若干问题，这是强国之策、利民之举！

智能制造是用人工智能技术解决制造的问题。摆在我们面前的问题，第一是要解决做什么，第二是解决怎么做。

做什么？《中国制造 2025》给出了行动纲领，它吸取了美国、德国、日本的所长，又结合了中国的特点，聚焦在五大工程——创新体系工程、智能制造工程、绿色制造工程、工业强基工程、高端装备工程。其中把智能制造工程作为主攻方向，以使我们的制造业由大变强。《中国制造 2025》明确要聚焦新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械十大重点领域。

怎么做？习近平总书记强调，实施创新驱动发展战略，最根本的是要增强自主创新能力，最关键的是要把核心技术和关键技术牢牢掌握在自己手中，最重要的是要坚定不移地走中国特色自主创新道路。在日趋激烈的全球综合国力竞争中，我们没有更多选择，非走自主创新道路不可。

本丛书在当前发展智能制造为迫切任务之时，应时推出，给出了智能制造的基本概念及主要内容介绍，为广大读者作向导，实为难得。尤其本丛书聚焦智能制造关键应用的测试与评价技术，有望为智能制造提出一套建设参考标准和规范，更是智能制造规范发展的重要工作。丛书由中国电子信息产业发展研究院卢山院长和黄子河副院长牵头，研究院及中国软件评测中心四十多位一线有丰富检测评估经验的专家和技术人员参与了本套丛书的撰写工作。目前该丛书已经完成《智能制造测试与评价概论》《工业控制系统测试与评价技术》《工业机器人测试和评价技术》《智能网联汽车测试与评价技术》《工业大数据测试与评价技术》及《FPGA 软件测试与评价技术》的编写工作。尽管可能有些人对书中的一些具体概念、提法、重点把握及技术细节会有不同的看法，但我认为，一方面，学术需要争论，另一方面，我们会通过智能制造的实践与发展逐步走向共识和更正确、更深刻。智能制造与制造业的产品和服务一样，需要高质量实施。因此，这一套丛书在我国是先行的、引领性的、有重要价值的。相信本书能为中国制造从数量到质量，从制造到智造发挥重要作用。

中国工程院院士



2017年2月20日于西安交通大学

# 《智能制造测试与评价概论》

## 编委会

编委（按姓氏笔画排序）：

王佳 毛雪 卢山 刘法旺 陈绿萍

张松鹏 邵枝华 范兆霞 周峰 郝鑫

姚振智 骆明珠 黄子河

# 前 言

随着新一代信息通信技术与制造业深度融合，智能制造被寄予厚望。智能制造是基于新一代信息技术，贯穿设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有信息深度自感知、智慧优化自决策、精准控制自执行等功能的先进制造过程、系统与模式的总称。在数字化制造、大数据、工业互联网、机器人、增材制造等技术的广泛应用推广下，制造业技术体系正在重构，全球制造业正面临制造技术体系、制造模式、产业形态和价值链的巨大变革。各个国家纷纷推出各自的升级国策，例如德国的“工业 4.0”、美国的“先进制造”、日本的“机器人革命”等。为了有效应对新一轮科技革命和产业变革，中国也提出了《中国制造 2025》作为全面实施制造强国的重大战略，明确将智能制造作为主攻方向。

与传统的制造相比，智能制造具有自律能力、人机一体化、虚拟现实、自组织与超柔性、学习能力与自我维护能力五项典型特征，能够在实践中不断地充实知识库，具有自学习功能。同时，具备在运行过程中自行故障诊断，并对故障自行排除和维护的能力。这些特征使得智能制造能够自我优化并适应各种复杂环境。

目前，我国在智能制造的发展过程中出现了诸多现实的基础问题，主要体现在：一是制造企业缺乏顶层框架设计与系统成套解决方案，对于智能制造的整体构建体系和评价体系存在着认识上的提高和统一。二是在智能制造复杂系统重点中的互联互通问题。针对不同生产水平的国产、进口设备 / 软件的集成与互联以及国产化替换问题，迫切需要开展系统构件的集成应用验证技术研究和

标准验证技术研究，满足智能制造系统构件间的兼容适配、互联互通、互操作的要求。三是在智能制造信息安全方面存在较大缺口。随着智能制造系统的开放性增加，信息安全威胁日益突出，需加强安全测评技术研究，完善安全保障体系。

在智能制造项目实施方面，企业的智能制造实践方向有待明确、发展路径尚未清晰，需要行之有效的发展定位评估、落地措施和实施指导。如何科学、系统地评价企业智能制造的发展水平，既是政府加强智能制造相关项目评价考核、完善行业管理体系的实际需求，又是推动智能制造在各行业领域发展和应用的必然要求和重要保障。因此，为了实现制造业企业的顺利转型升级，迫切需要形成一套切实可行的评价体系，对制造系统的智能化水平进行科学、系统、有效的评估，为企业定位能力水平和问题提供服务 and 手段，为行业企业评估智能制造建设水平、鉴别智能制造能力短板、明确智能制造转型升级方向提供有效的指导和支撑，为政府推动智能制造发展提供决策参考。实际上，建立测试与评价指标体系和评估工作机制，就是为了提炼共性发展经验，树立标杆工程，更好地推进智能制造在企业端的落实。将定性，落实到定量；将示范，转换成共识；将实践，提升到理论；将项目，落实到强企。只有最终落实到企业的核心竞争能力的建设，智能制造才会有蓬勃的发展动力。

本书由中国电子信息产业发展研究院卢山院长和黃子河副院长牵头，研究院及中国软件评测中心智能制造及相关领域的同事参与了本书的撰写工作。中国软件评测中心在所创建的“智能制造企业核心能力评价平台”的基础上，研究范围覆盖研发设计、生产制造、物流管理、跨价值链协同等核心业务领域，以智能制造标准体系框架为依据，针对智能制造关键技术中的智能制造装备与产品（包括工业机器人和智能网联汽车）、工业控制系统、工业软件、工业大数据、工业网络、工业云六个方面，对其测试与评价技术进行综述，建立了一套智能制造核心能力评价指标体系，具有可操作、可分解、可量化、可实践、可推广的特征。

全书共分为 8 章。

第 1 章概要介绍了智能制造的基本概念、主要特征、典型架构等，并介绍



了德国、美国、欧盟、日本以及我国智能制造的发展状况，指出了我国在发展智能制造中所面临的挑战，分析了智能制造测试与评价的重要性与必要性，并给出了测试与评价的基本框架。

第2章主要介绍智能制造装备与产品测评，分节对工业机器人测评、工业控制系统测评、智能网联汽车测评技术与方法进行重点阐述。

第3章主要介绍工业软件的测评，首先介绍工业软件的分类与测评指标，然后分别介绍了嵌入式软件测评、复杂分布式软件测评以及FPGA软件测评。

第4章主要阐述工业网络的协议符合一致性测评、网络连通性测评以及网络性能可靠性评估三个方面。

第5、6章主要介绍工业云和工业大数据的测评，分别对工业云和工业大数据系统功能测评、性能测评、安全性测评以及可靠性测评进行了详细阐述。

第7章介绍智能制造系统信息安全测评，概要介绍了智能制造中信息安全的关键技术，详细介绍了行为异常检测、威胁检测和漏洞检测三种信息安全测试方法以及风险评估的方法与工具。

第8章从智能制造生产线、车间与工厂、企业以及企业协同四个层次来描述如何进行智能制造评价，并给出其评价的指标。

限于时间、条件与水平，本书还存在需要进一步完善提高的地方，衷心希望广大读者与各界人士给予批评指正。

作者

2016年10月于北京

# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 智能制造的基本概念与内涵 .....	1
1.1.1 基本概念 .....	1
1.1.2 主要特征 .....	3
1.1.3 参考架构 .....	4
1.2 智能制造的发展现状 .....	11
1.2.1 德国 .....	12
1.2.2 美国 .....	12
1.2.3 欧盟 .....	13
1.2.4 日本 .....	14
1.2.5 中国 .....	14
1.3 我国智能制造发展面临的挑战 .....	16
1.4 智能制造测试与评价的重要性和必要性 .....	18
1.5 智能制造测试与评价框架 .....	21
1.6 参考文献 .....	24
<b>第2章 智能制造装备与产品测评</b> .....	27
2.1 智能制造装备测评概述 .....	27

2.1.1	智能制造装备及其在智能制造中的应用	27
2.1.2	关键测评对象	29
2.2	工业机器人测评	31
2.2.1	工业机器人概述	31
2.2.2	工业机器人测评综述	35
2.2.3	工业机器人整机性能及安全可靠性测评	35
2.2.4	工业机器人标定	36
2.2.5	工业机器人软件测评	37
2.2.6	工业机器人关键零部件测评	38
2.2.7	工业机器人专项测评	40
2.2.8	工业机器人集成应用测评	43
2.3	工业控制系统测评	44
2.3.1	工业控制系统测评综述	44
2.3.2	工业控制系统软件测评	48
2.3.3	工业控制系统硬件测评	53
2.3.4	工业控制系统网络协议测评	56
2.3.5	工业控制系统信息安全测评	59
2.4	智能网联汽车测评	62
2.4.1	智能网联汽车测评综述	63
2.4.2	智能网联汽车“端管云”测评	64
2.4.3	智能网联汽车功能安全测评	68
2.4.4	智能网联汽车信息安全测评	72
2.4.5	智能网联汽车试验验证	76
2.5	参考文献	86
<b>第3章 工业软件测评</b>		<b>93</b>
3.1	通用软件测评	93
3.1.1	软件测试分类	94

3.1.2	软件测试内容 .....	98
3.1.3	软件测试工具和方法 .....	100
3.2	工业软件测评概述 .....	102
3.2.1	工业软件产品质量水平概况 .....	102
3.2.2	工业软件分类和测评指标 .....	104
3.3	嵌入式软件测评 .....	107
3.3.1	嵌入式软件概述 .....	107
3.3.2	嵌入式软件测试 .....	109
3.4	复杂分布式软件测评 .....	112
3.4.1	分布式系统概述 .....	113
3.4.2	分布式系统测试 .....	114
3.5	FPGA 软件测评 .....	122
3.5.1	FPGA 软件概述 .....	122
3.5.2	FPGA 软件测试标准和模型 .....	124
3.5.3	FPGA 软件测试内容与方法 .....	126
3.5.4	FPGA 软件测试工具 .....	130
3.5.5	FPGA 软件测试过程与管理 .....	134
3.6	参考文献 .....	137
<b>第 4 章</b>	<b>工业网络测评</b> .....	<b>139</b>
4.1	工业网络简介 .....	139
4.2	工业网络测评概述 .....	140
4.2.1	工业网络在智能制造中的应用 .....	141
4.2.2	主要测评内容 .....	141
4.3	协议符合性测评 .....	143
4.3.1	协议一致性测试 .....	144
4.3.2	协议互操作性测试 .....	146
4.3.3	协议性能测试 .....	147

4.4	网络连通性测评 .....	148
4.4.1	网络连通性的基本内涵 .....	148
4.4.2	网络连通可靠性测评 .....	149
4.4.3	无线网络测评 .....	151
4.5	网络性能可靠性评估 .....	153
4.5.1	网络性能可靠性定义及度量 .....	153
4.5.2	正确可靠性测评 .....	155
4.5.3	及时可靠性测评 .....	155
4.5.4	完整可靠性测评 .....	157
4.5.5	性能可靠性试验评估方法 .....	159
4.6	参考文献 .....	160
<b>第5章</b>	<b>工业云测评 .....</b>	<b>165</b>
5.1	工业云 .....	165
5.1.1	云计算与工业云 .....	165
5.1.2	云计算在智能制造中的应用与发展趋势 .....	174
5.2	工业云系统测评综述 .....	174
5.2.1	云计算系统质量及其规范 .....	174
5.2.2	云计算系统测评内容 .....	179
5.3	工业云系统功能测评 .....	180
5.3.1	指标 .....	180
5.3.2	测试技术 .....	184
5.4	工业云系统性能测评 .....	191
5.5	工业云系统安全性测评 .....	194
5.5.1	指标 .....	194
5.5.2	测试技术 .....	196
5.6	工业云系统可靠性测评 .....	198
5.6.1	指标 .....	198

5.6.2	测试技术 .....	199
5.7	参考文献 .....	204
<b>第6章</b>	<b>工业大数据测评 .....</b>	<b>207</b>
6.1	工业大数据简介 .....	207
6.2	工业大数据测评综述 .....	210
6.2.1	工业大数据在智能制造中的应用 .....	210
6.2.2	工业大数据测评挑战 .....	211
6.3	工业大数据测评内容 .....	214
6.3.1	工业大数据性能测评 .....	214
6.3.2	工业大数据安全测评 .....	218
6.3.3	工业大数据数据质量测评 .....	221
6.3.4	工业大数据可视化验证测评 .....	228
6.4	参考文献 .....	238
<b>第7章</b>	<b>智能制造系统信息安全测评 .....</b>	<b>241</b>
7.1	智能制造系统信息安全概述 .....	241
7.1.1	信息安全的基础技术 .....	242
7.1.2	智能制造系统信息安全关键技术 .....	245
7.2	智能制造系统信息安全测试 .....	248
7.2.1	行为异常检测 .....	248
7.2.2	威胁检测 .....	250
7.2.3	漏洞检测 .....	252
7.3	智能制造系统信息安全风险评估 .....	255
7.3.1	网络攻击 .....	256
7.3.2	风险评估的方法 .....	260
7.3.3	风险评估的工具 .....	262
7.4	参考文献 .....	263

<b>第8章 智能制造评价</b> .....	265
8.1 智能制造评价概述 .....	265
8.1.1 智能制造评价的意义 .....	265
8.1.2 智能制造评价的内容 .....	266
8.1.3 智能制造评价程序 .....	267
8.2 智能制造生产线 .....	269
8.2.1 设备智能化 .....	269
8.2.2 资源动态调整 .....	273
8.2.3 柔性生产力 .....	275
8.2.4 状态感知与优化控制 .....	277
8.2.5 互联互通 .....	277
8.2.6 智能质量管理 .....	278
8.3 智能制造车间与工厂 .....	280
8.3.1 智能化生产运营管理 .....	280
8.3.2 智能物流与仓储 .....	283
8.3.3 车间/工厂内集成 .....	284
8.3.4 车间/工厂对外联通 .....	284
8.4 智能制造企业 .....	286
8.4.1 关键业务智能化水平 .....	286
8.4.2 基于模型的系统工程 .....	289
8.4.3 企业内纵向集成 .....	290
8.4.4 企业内横向集成 .....	292
8.4.5 经济效益 .....	293
8.5 智能制造企业协同 .....	294
8.5.1 资源共享 .....	294
8.5.2 产业链协同优化 .....	294
8.6 参考文献 .....	296



# Chapter 1 第1章 绪论

## 1.1 智能制造的基本概念与内涵

### 1.1.1 基本概念

#### 1. 智能制造

20 世纪 80 年代，美国的赖特和伯恩基于人工智能在制造业中的初步应用提出了智能制造的概念。20 世纪 90 年代，日本联合欧美发起了“智能制造国际合作研究计划”，也提出了智能制造系统的概念。21 世纪以来，随着新一代信息通信技术与制造业深度融合，智能制造被赋予了新的内涵。在我国工业和信息化部组织的 2015 年智能制造试点示范专项行动实践方案中指出，智能制造是基于新一代信息技术，贯穿设计、生产、管理、服务等制造活动各个环节，具有信息深度自感知、智慧优化自决策、精准控制自执行等功能的先进制造过程、系统与模式的总称。智能制造具有以智能工厂为载体、以关键制造环节智能化为核心、以端到端数据流为基础、以网络互联为支撑等特征，可有效缩短产品研制周期、降低运营成本、提高生产效率、提升产品质量、降低资源



能源消耗。

## 2. “工业4.0”和第四次工业革命

第一次工业革命以蒸汽机的广泛应用为标志；第二次工业革命以电力的广泛应用、内燃机和新交通工具的创制、新通信手段的发明为标志；第三次工业革命以原子能、电子计算机、空间技术和生物工程的发明和应用为标志。前三次工业革命均以能源的更新换代大发展为标志，第四次工业革命也仍是能源的革命。由于互联网和计算机技术的高度发展，在与工业系统深度融合过程中引发的生产力、生产关系、生产技术、商业模式以及创新模式等方面的深刻变革，称为第四次工业革命，它代表着整个工业系统迈向全面智能化的革命性转变。德国人也将第四次工业革命称为“工业4.0”，并将这个概念推广到了全世界范围的制造业领域，掀起了“工业4.0”的发展热潮。

## 3. 工业互联网

工业互联网由美国通用电气（GE）公司提出，代表了全球工业系统与智能传感技术、高级计算、大数据分析，以及互联网技术的连接与融合。其核心三要素包括智能设备、先进的数据分析工具，以及人与设备的交互接口。它是智能制造体系与智能服务体系的深度融合，也是工业系统产业链与价值链的整合和外延。

## 4. 信息物理系统

信息物理系统又译为网络实体系统，英文为 Cyber-Physical Systems (CPS)，作为第四次工业革命的核心技术，由美国 NSF（美国国家科学基金会）于 2006 年提出。具体是指通过网络虚拟端的数据分析、建模和控制对实体活动内容的深度对称性管理。

## 5. “互联网+”

“互联网+”是互联网与传统行业相融合的模式，其本质是利用互联网技术颠覆传统行业的商业模式和服务模式的经济新形态。它代表着生产系统革命引起生产关系和商业模式变革的必然趋势。