

CCiD

Testing and Evaluation Technology for Intelligent Manufacturing

智能制造测试与评价技术丛书

# 工业大数据 测试与评价技术

中国电子信息产业发展研究院 | 编著

Testing and Evaluation Technology for  
Industrial Big Data

**工业大数据是指在工业领域信息化相关应用中产生的海量数据**

工业大数据来源于产品生命周期的各个环节（包括市场、设计、制造、服务、再利用等），以及企业外、产业链外的“跨界”数据



中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

---

# 工业大数据 测试与评价技术

Testing and Evaluation Technology for  
Industrial Big Data

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 (CIP) 数据

工业大数据测试与评价技术 / 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 978-7-115-44211-6

I. ①工… II. ①中… III. ①数据处理—应用—制造业—研究 IV. ①F407.4-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第290071号

## 内 容 提 要

本书通过介绍工业大数据的体系结构以及创新性应用案例,帮助读者深入理解工业大数据的应用情况;并从工业大数据性能测评、安全测评、数据质量测评以及可视化评价4个维度,深入解析工业大数据测试的关键理论与模型,剖析工业大数据应用系统的关键质量评价技术。

本书适合工业大数据技术产品和系统有关的研发人员、测试人员及最终用户阅读参考。

---

◆ 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: 21.5

2017年2月第1版

字数: 306千字

2017年2月河北第1次印刷

---

定价: 89.00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！

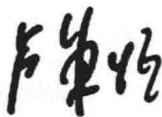
智能制造是用人工智能技术解决制造的问题。摆在我们面前的问题，第一是要解决做什么，第二是解决怎么做。

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

# 《工业大数据测试与评价技术》

## 编委会

编委（按姓氏笔画排序）：

卢山 乔健雄 刘法旺 安健 陈涿萍

范兆霞 周波 周润松 侯龙 姚振智

郭盈 唐杰 黄子河

# 前 言

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。自 18 世纪中叶开启工业文明以来，世界强国的兴衰史和中华民族的奋斗史一再证明，没有强大的制造业，就没有国家和民族的强盛。打造具有国际竞争力的制造业，是我国提升综合国力、保障国家安全、建设世界强国的必由之路。

随着新一代信息技术与制造业深度融合，各国都在加大科技创新力度，推动三维（3D）打印、移动互联网、云计算、大数据、生物工程、新能源、新材料等领域取得新突破，技术进步正在引发影响深远的产业变革，形成新的生产方式、产业形态、商业模式和经济增长点。特别是国际金融危机爆发后，发达国家纷纷实施“再工业化”战略，制定以重振制造业为核心的再工业化战略。美国发布先进制造业伙伴计划、制造业创新网络计划，德国发布“工业 4.0”，日本在《2014 制造业白皮书》中重点发展机器人产业，英国发布“英国制造 2050”等。

新中国成立尤其是经过改革开放三十多年的发展，制造业持续快速发展，建成了门类齐全、独立完整的产业体系，产业规模达到整个世界制造业的 20% 左右，有力推动工业化和现代化进程。但与世界先进水平相比，我国制造业自主创新能力不足，关键核心技术受制于人，品牌质量水平不够高，产业结构不尽合理，仍然“大而不强”。在当前全球产业竞争格局发生重大调整的背景下，我国于 2015 年 5 月印发了《中国制造 2025》，旨在紧紧抓住这一重大历史机遇，实施制造强国战略，加强统筹规划和前瞻部署，把我国建设成为引领世界制造



业发展的制造强国。

工业大数据是未来工业在全球市场竞争中发挥优势的关键，是实现智能制造的核心推动力。无论是德国“工业 4.0”、美国工业互联网还是“中国制造 2025”，各国制造业创新战略的实施基础都是工业大数据的搜集和特征分析，以及以此为未来制造系统搭建的无忧环境，发展工业大数据都已成为各国布局国家乃至地区发展的重要国家战略。

工业大数据的数据量大、数据类型复杂多样、实时性处理要求高等特点，使得在大数据处理技术方面与传统方式有着巨大的不同，从而给工业大数据测试带来了许多新的挑战。为了保障工业大数据处理分析系统的安全可靠运行，对其进行系统评测并定期开展安全检查、安全评估是十分必要的。中国软件评测中心作为我国权威的第三方软、硬件产品及系统工程质量安全与可靠性检测机构，基于长期以来在工业控制系统安全攻防的研究和质量、安全测评领域积累的理论和工程实践经验，组织编写了《工业大数据测试与评价技术》一书，并编入《智能制造测试与评价技术丛书》中。

本书共分 6 章，以工业大数据测试与评价技术为主线，重点探讨工业大数据与智能制造的关系，并认真阐述工业大数据的典型行业应用，从系统性能测评、安全测评、数据质量测评以及可视化验证测试方面，分析关键的测试技术、测试流程、测试工具和测试案例。

第 1 章作为基础，叙述了智能制造、工业大数据等一般性概念、来源等，并介绍了工业大数据与智能制造的关系、我国发展工业大数据的潜在问题以及工业大数据测试面临的挑战。

第 2 章介绍了工业大数据关键技术与典型应用，从工业大数据标准、应用体系结构、关键技术等方面阐述了工业大数据的特性和应用前景。

第 3 章介绍了工业大数据的性能测评技术，对工业大数据应用的性能指标体系、性能测试设计、测评方法、测试工具等都进行了论述，并介绍了典型的性能测试实例。

第 4 章介绍了工业大数据的安全测评技术，包括大数据架构安全、数据安全、应用安全以及典型的安全测试工具等。



第5章介绍了工业大数据的数据质量测评技术，包括数据剖析技术、清洗技术和质量评价方法。

第6章详细介绍了工业大数据的可视化验证测试技术；阐述了工业大数据可视化的特点、可视化测评的因素、方法、流程和具体实例。

限于时间、条件与水平，本书还存在需要进一步完善与提高的地方，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 .....	1
1.1.1 基本概念 .....	1
1.1.2 主要特征 .....	2
1.1.3 国内外发展现状与趋势 .....	3
1.2 工业大数据的定义与来源 .....	5
1.2.1 工业大数据的定义 .....	5
1.2.2 工业大数据的来源 .....	6
1.3 工业大数据与智能制造的关系 .....	39
1.3.1 大数据是制造业智能制造的基础 .....	39
1.3.2 大数据是工业互联网的命脉 .....	39
1.3.3 大数据构成新一代智能工厂 .....	42
1.4 我国发展工业大数据的潜在问题 .....	42
1.5 工业大数据测试的挑战 .....	45
<b>第2章 工业大数据关键技术与典型应用简介</b> .....	53
2.1 工业大数据标准 .....	53
2.1.1 国际标准 .....	53

2.1.2	国内标准	56
2.2	工业大数据应用体系结构	62
2.3	工业大数据关键技术	64
2.3.1	源数据采集	65
2.3.2	海量异构数据管理技术	73
2.3.3	数据挖掘技术	90
2.4	工业大数据典型应用	107
2.4.1	需求预测	108
2.4.2	产品创新	109
2.4.3	故障监测	110
2.4.4	趋势预警	111
2.4.5	营销分析	112
<b>第3章</b>	<b>工业大数据的性能测评</b>	<b>121</b>
3.1	工业大数据系统的性能要素和性能指标	121
3.1.1	影响系统性能的数据要素	121
3.1.2	评价系统性能的测评指标	124
3.2	工业大数据系统实施性能测试方法	127
3.2.1	性能测试方案规划	127
3.2.2	测试数据设计依据	129
3.2.3	测试数据生成方法	130
3.2.4	性能测试管理流程	132
3.3	工业大数据系统常用性能测试技术	135
3.3.1	基准测试技术	135
3.3.2	负载测试技术	139
3.4	工业大数据系统常用测试工具	154
3.4.1	基准测试工具	154
3.4.2	负载测试工具	156

3.5	工业大数据系统测试案例 .....	158
3.5.1	智能变电站云实验平台测试案例 .....	158
3.5.2	海量数据存储系统性能测试案例 .....	162
<b>第4章</b>	<b>工业大数据安全测评 .....</b>	<b>173</b>
4.1	工业大数据系统安全的要素 .....	174
4.1.1	架构安全要素 .....	174
4.1.2	数据安全要素 .....	176
4.2	工业大数据的架构安全测评 .....	180
4.2.1	分布式计算框架的安全测评 .....	180
4.2.2	非关系型数据库的安全测评 .....	183
4.3	工业大数据的数据安全性测评 .....	185
4.3.1	数据可信性度测评 .....	186
4.3.2	隐私保护程度测评 .....	186
4.4	工业大数据个人信息保护测评 .....	190
4.4.1	收集阶段的个人信息保护测评 .....	190
4.4.2	加工阶段的个人信息保护测评 .....	191
4.4.3	转移阶段的个人信息保护测评 .....	191
4.4.4	删除阶段的个人信息保护测评 .....	192
4.5	工业大数据系统安全等级测评 .....	192
4.5.1	物理安全等级保护测评 .....	193
4.5.2	网络安全等级保护测评 .....	194
4.5.3	主机安全等级保护测评 .....	196
4.5.4	数据安全等级保护测评 .....	197
4.5.5	应用安全等级保护测评 .....	197
4.6	工业大数据安全测评工具 .....	204
4.6.1	脆弱性扫描工具 .....	204
4.6.2	渗透测试工具 .....	205

4.6.3	静态分析工具 .....	205
4.6.4	常用工具介绍 .....	205
4.7	工业大数据安全测试案例 .....	207
<b>第5章</b>	<b>工业大数据数据质量测评</b> .....	<b>217</b>
5.1	数据质量的涵义 .....	218
5.2	工业大数据面临的数据质量问题及挑战 .....	219
5.2.1	数据源角度 .....	220
5.2.2	数据生命周期角度 .....	221
5.2.3	数据处理技术角度 .....	223
5.2.4	数据管理角度 .....	224
5.3	数据质量的评价准则 .....	226
5.3.1	完整性 .....	226
5.3.2	一致性 .....	227
5.3.3	准确性 .....	227
5.3.4	时效性 .....	228
5.3.5	有效性 .....	229
5.3.6	及时性 .....	229
5.4	数据质量测评技术 .....	231
5.4.1	数据剖析技术 .....	231
5.4.2	数据清洗技术 .....	234
5.4.3	数据质量评价方法 .....	247
5.5	面向工业信息系统的数据库质量测评 .....	257
5.5.1	数据质量测评模型 .....	257
5.5.2	数据质量测评流程 .....	259
5.5.3	数据质量评价 .....	262

<b>第6章 工业大数据可视化验证测评</b> .....	265
6.1 数据可视化的基本概念 .....	265
6.1.1 数据可视化的定义 .....	265
6.1.2 数据可视化的意义 .....	271
6.2 工业大数据可视化技术 .....	275
6.2.1 文本可视化 .....	276
6.2.2 网络(图)可视化 .....	281
6.2.3 时空数据可视化 .....	288
6.2.4 多维数据可视化 .....	295
6.3 工业大数据的可视化分析 .....	299
6.3.1 互联网络 .....	299
6.3.2 航线星云 .....	301
6.3.3 资金喷泉 .....	302
6.3.4 单一麦芽取样员 .....	304
6.3.5 信号风暴骑士 .....	305
6.4 工业大数据可视化测评验证技术 .....	307
6.4.1 可视化数据完整性验证 .....	308
6.4.2 可视化效果评价 .....	309
6.4.3 可视化的测评方法 .....	315
6.5 工业大数据可视化测评案例 .....	316
<b>参考文献</b> .....	323



# Chapter 1 第1章 绪论

## 1.1 智能制造

### 1.1.1 基本概念

智能制造是指基于物联网、云计算、大数据等新一代信息技术，贯穿于设计、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、系统和模式的总称。

智能制造以智能工厂为载体，以关键制造环节智能化为核心，以端到端数据流为基础，以网通互联为支撑。与传统制造相比，智能制造有其特有的内涵，涉及4个层面的智能化。

第一是产品的智能化。智能制造的产品都趋于变成智能终端，可通过物联网相互连接。

第二是装备的智能化。从智能制造的单元、某台单机、某台机床、机器人向智能的生产线、智能的车间、智能的生产系统去演变。

第三是流程的智能化。管理的组织架构、企业和企业之间的交互，如何适



应产品的智能化和装备的智能化，需要重新构建与调整。

第四是服务的智能化。制造业服务化就是制造企业为了获取竞争优势，将价值链由以制造为中心向以服务为中心转变，因此如何将数字技术、智能技术、泛在网络技术以及新兴信息技术的集成应用到服务中也需要企业重新思考和规划。

### 1.1.2 主要特征

智能制造系统有以下内在特点。

#### (1) 自律能力

智能制造过程具有能感知与理解环境信息和自身信息，并进行分析判断和规划自身行为的能力。值得注意的是，强有力的知识库和基于知识的模型是自律能力的基础。

#### (2) 人机一体化

人机一体化指在智能制造过程中，人与智能机器的相互配合，更好地发挥人的潜能，使人机之间表现出一种平等共事、相互“理解”、相互协作的关系。

#### (3) 虚拟现实

虚拟现实通过模拟实际制造过程和未来的产品，从感官和视觉上使人获得完全如同真实的感受，其特点是可以按照人们的意愿任意变化，这种人机结合的新一代智能界面是智能制造的一个显著特征。

#### (4) 自组织和超柔性

自组织和超柔性是指智能制造系统中的各组成单元能够依据工作任务的需要，自行组成一种最佳结构，其柔性不仅表现在运行方式上，而且表现在结构形式上，所以称这种柔性为超柔性，如同一群人类专家组成的群体，具有生物特征。

#### (5) 学习能力与自我维护能力

智能制造系统能够在实践中不断地充实知识库，具有自学习功能，同时，在运行过程中自行进行故障诊断，并具备对故障自行排除、自行维护的能力。

### 1.1.3 国内外发展现状与趋势

#### 1. 德国“工业4.0”

德国“工业4.0”是在德国工程院、弗劳恩霍夫协会等德国学术界和产业界的建议和推动下形成的，由德国联邦教研部与联邦经济和能源部联手支持，在2013年4月的汉诺威工业博览会上正式推出并逐步上升为国家战略。其目的是为了<sup>①</sup>提高德国工业的竞争力，在新一轮工业革命中占领先机。德国“工业4.0”的核心内容可以总结为：建设一个网络（信息物理系统）、研究两大主题（智能工厂、智能生产）、实现三大集成（纵向集成、横向集成与端到端集成）、推进三大转变（生产由集中向分散转变、产品由趋同向个性转变、用户由部分参与向全程参与转变）。

2013年9月，德国发布的《实施“工业4.0”战略建议》中识别出了实现工业4.0的八个优先行动领域，第一个就是开展标准化工作。2013年12月，德国电气电子和信息技术协会与德国电工委员会联合发布《德国“工业4.0”标准化路线图》，明确了参考架构模型、用例、基础、非功能属性、技术系统和流程的参考模型、仪器和控制功能的参考模型、技术和组织流程的参考模型、人类在工业4.0中的功能和角色的参考模型、开发流程和指标、工程、标准库、技术和解决方案等12个重点方向，并提出了具体的标准化建议。2015年4月，德国在汉诺威工业博览会上宣布启动升级版的“工业4.0平台”，也启动了《德国“工业4.0”标准化路线图》2.0版的研究。

#### 2. 美国工业互联网

美国“工业互联网”的远景是在产品生命周期的整个价值链中将人、数据和机器连接起来，形成开放的全球化工业网络。实施的方式是通过通信、控制和计算技术的交叉应用，建造一个信息物理系统，促进物理系统和数字系统的融合。2014年4月，美国工业互联网联盟成立，联盟作为一个开放性的会员组织，致力于打破技术壁垒，通过促进物理世界和数字世界的融合，实现不同厂商设备之间的数据共享。联盟于2015年6月发布了《工业互联网参考体系结构》，从商业视角、使用视角、功能视角和技术实现视角对工业互联网进行了定义，同时着手开发用例