

CCID

Testing and Evaluation Technology for Intelligent Manufacturing

智能制造测试与评价技术丛书

# 智能网联汽车 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  
Intelligent and Connected Vehicles

智能网联汽车是新一轮科技革命背景下的新兴产业，是汽车与信息技术两大产业融合创新的代表

基于典型的测试与评价方法论，详细阐述智能网联汽车“端管云”测评、功能安全测评、信息安全测评以及综合试验验证技术



中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

---

# 智能网联汽车 测试与评价技术

Testing and Evaluation Technology for  
Intelligent and Connected Vehicles

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

智能网联汽车测试与评价技术 / 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 978-7-115-43905-5

I. ①智… II. ①中… III. ①汽车—智能通信网—测试②汽车—智能通信网—评价 IV. ①U463.67

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第290072号

## 内 容 提 要

本书共分7章, 主要围绕智能网联汽车的内涵与外延, 从其“端管云”、功能安全、信息安全以及综合试验验证等几个与传统汽车测评不同的方面详细介绍了如何开展测试与评价, 进而保障智能网联汽车系统应用的稳定与安全、可靠。

本书适合各类对智能网联汽车感兴趣的人员, 高等院校车辆工程、计算机、通信等专业师生, 以及从事测试与评价的工程技术人员阅读参考。

---

◆ 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: 32

2017年2月第1版

字数: 528千字

2017年2月河北第1次印刷

---

定价: 129.00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，远远超越过去数千年的总和。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！

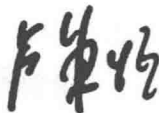
智能制造是用人工智能技术解决制造的问题。摆在我们面前的问题，第一是要解决做什么，第二是解决怎么做。

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

# 《智能网联汽车测试与评价技术》

## 编 委 会

编 委（按姓氏笔画排序）：

丁文龙 卢 山 朱科屹 刘大鹏 刘法旺 陈绿萍

何承坤 宋 娟 范兆霞 周 唯 姚振智 黄子河

崔 颖 雷 蕾 薛晓卿

# 前 言

在新一轮科技革命的浪潮下，全球制造业向智能制造方向全面升级的态势日趋明显，为此各国纷纷制定转型战略。为顺应潮流，《中国制造 2025》明确提出要加快信息化与工业化深度融合，把智能制造作为主攻方向，以谋求在新的历史机遇期，加快发展并最终实现制造强国的战略目标。智能网联汽车产业正是这一轮科技革命背景下的新兴产业，是汽车与信息技术两大产业融合创新的代表。

可以预见，整个汽车产业的深度和广度都将发生空前的变化：传统的汽车设计、制造、销售、使用、售后、维护和管理模式很有可能被颠覆，新模式下将有无穷多种可能。在这一巨变过程中，智能网联汽车作为未来的汽车产品形态，将处于中间枢纽和核心环节的地位。此外，汽车制造系统和汽车产品两个体系，在智能化过程中并行互动，互为依托、互相促进，共同支撑汽车产业迈上未来全新的智能境界。

一方面，智能制造系统将为智能网联汽车的实现提供支撑，智能制造系统的敏捷性有利于智能网联汽车的个性化和柔性化发展，促进智能网联汽车的快速迭代；另一方面，智能网联汽车也可能成为大规模定制化生产的需求端，其用户能与企业直接对话，促使 C2B 模式的增长，从而推动汽车产业向智能制造转型升级。智能网联汽车不仅仅是新一代汽车产品，也是个性化需求和数据的收集终端和交互平台，更是全新的智能制造体系及产业价值链的核心环节，其快速、有效的发展将为中国汽车产业乃至整个制造业的转型升级提供战略支撑。

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，近年来在智能网联汽车相关新兴领域开展了研究，总结了自动驾驶行为安全测评、功能安全测评、信息安全测评等方面的理论和工程实践经验，组织编写成《智能网联汽车测试与评价技术》一书，并编入《智能制造测试与评价技术》中。

全书共分为 7 章。

第 1 章概要介绍智能网联汽车的概念与内涵，并介绍美国、欧盟、日本以及我国智能网联汽车的发展趋势与概况，指出了我国在发展智能网联汽车中所面临的挑战，分析了智能网联汽车测试与评价的重要性与必要性，并给出其测试与评价的基本方向。

第 2 章总结了智能网联汽车测试与评价相关的基础理论和方法论，并对常用的测试与评价方法进行了阐释。

第 3 章围绕“端”“管”“云”三层技术架构，分别对智能网联汽车终端、网络和服务系统的测试与评价方法进行了研究。

第 4 章围绕功能安全问题对 ISO 26262 标准进行了解读，并从安全完整性等级评估和功能安全测试两个方面对智能网联汽车的功能安全测试与评价方法进行了研究。

第 5 章围绕信息安全问题，对传统信息安全测评技术进行了总结，分析了新技术下的信息安全问题，进而对智能网联汽车的信息安全测评技术进行了研究。

第 6 章从车辆开发的角度分析研究了智能网联汽车的试验验证技术，并总结了智能网联汽车综合试验场和示范区的发展趋势和作用，同时对智能网联汽车试验验证平台的设计方法进行了研究。

第 7 章介绍了一些工程案例，为智能网联汽车的测试与评价提供了参考。

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 智能网联汽车概述</b> .....	1
1.1 智能网联汽车的概念与内涵 .....	1
1.1.1 智能网联汽车的相关范畴 .....	1
1.1.2 智能网联汽车的基本概念 .....	4
1.1.3 智能网联汽车的主要分类 .....	6
1.1.4 智能网联汽车的关键技术 .....	8
1.2 智能网联汽车的发展趋势与概况 .....	11
1.2.1 智能网联汽车的主要特点 .....	11
1.2.2 智能网联汽车的发展趋势 .....	13
1.2.3 主要国家和地区智能网联汽车发展概况 .....	17
1.3 智能网联汽车的测试与评价 .....	28
1.3.1 传统汽车测评技术 .....	28
1.3.2 智能网联汽车典型事故案例 .....	33
1.3.3 智能网联汽车测试的意义和必要性 .....	36
1.4 参考文献 .....	44
<b>第2章 测试与评价方法概述</b> .....	49
2.1 概论 .....	49

2.2	测评目的 .....	50
2.2.1	符合性测评 .....	50
2.2.2	比对测评 .....	51
2.2.3	研发测评 .....	52
2.3	通用测试原理 .....	52
2.3.1	测试方案设计方法 .....	53
2.3.2	相似理论 .....	55
2.4	常见测试方法 .....	63
2.4.1	模型在环、软件在环测试方法 .....	63
2.4.2	硬件在环测试方法 .....	66
2.4.3	台架在环测试方法 .....	70
2.4.4	实车测试方法 .....	76
2.5	常见的评价方法 .....	78
2.5.1	常见的通用评价方法 .....	79
2.5.2	常见的安全评价方法 .....	84
2.6	参考文献 .....	92
<b>第3章 智能网联汽车“端管云”测试评价技术 .....</b>		<b>95</b>
3.1	智能网联汽车测评技术框架 .....	95
3.2	智能网联汽车终端测评技术 .....	96
3.2.1	概述 .....	96
3.2.2	传感器测试方法 .....	101
3.2.3	车载总线测试方法 .....	117
3.2.4	嵌入式控制软件测试方法 .....	125
3.2.5	车载操作系统测试方法 .....	132
3.2.6	车载及智能终端应用软件的测试方法 .....	143
3.3	智能网联汽车网络测评技术 .....	148
3.3.1	概述 .....	148

3.3.2	协议一致性测试技术 .....	156
3.3.3	协议互操作性测试技术 .....	163
3.3.4	性能测试 .....	167
3.3.5	健壮性测试 .....	172
3.4	智能网联汽车服务系统测评技术 .....	177
3.4.1	概述 .....	177
3.4.2	基本功能性能测试技术 .....	183
3.4.3	大数据测试技术 .....	192
3.4.4	云计算服务系统测试技术 .....	210
3.5	参考文献 .....	225
<b>第4章</b>	<b>智能网联汽车功能安全测评技术 .....</b>	<b>229</b>
4.1	功能安全现状概述 .....	229
4.1.1	引言 .....	229
4.1.2	安全相关系统 .....	230
4.1.3	功能安全 .....	232
4.2	ISO 26262 标准解读 .....	234
4.2.1	功能安全管理 .....	237
4.2.2	概念设计 .....	243
4.2.3	系统级产品开发 .....	244
4.2.4	硬件级产品开发 .....	246
4.2.5	软件级产品开发 .....	252
4.2.6	生产和运行 .....	256
4.2.7	支持过程 .....	257
4.3	功能安全测评技术 .....	257
4.3.1	安全完整性等级评估 .....	258
4.3.2	功能安全测试 .....	274
4.4	参考文献 .....	295

<b>第5章 智能网联汽车信息安全测试评估技术</b>	299
5.1 智能网联汽车信息安全现状	299
5.1.1 概述	299
5.1.2 典型攻击案例分析	303
5.1.3 小结	313
5.2 传统信息安全测评技术	314
5.2.1 概述	314
5.2.2 测评意义	317
5.2.3 测评目标及对象	318
5.2.4 测试标准	320
5.2.5 测评原则	327
5.2.6 测试内容	328
5.2.7 判定标准	343
5.2.8 新技术下的信息安全问题	353
5.3 智能网联汽车信息安全测评技术	356
5.3.1 测评目标	356
5.3.2 测评对象	356
5.3.3 测试依据	359
5.3.4 测试原则	360
5.3.5 测试内容	361
5.3.6 评估规范设计思路	374
5.4 参考文献	381
 <b>第6章 智能网联汽车试验验证技术</b>	 385
6.1 智能网联汽车试验验证需求	385
6.2 智能网联汽车试验验证技术	387
6.2.1 智能网联汽车试验验证技术面临的挑战	387
6.2.2 ADAS 测试评价方法	390

6.2.3	ADAS 测试场景定义 .....	396
6.2.4	智能网联汽车测试评价方法 .....	401
6.3	智能网联汽车综合试验场 .....	404
6.3.1	国外智能网联汽车综合试验场 .....	405
6.3.2	国内智能网联汽车综合试验场 .....	413
6.4	智能网联汽车示范区 .....	415
6.4.1	国外智能网联汽车示范区 .....	416
6.4.2	国内智能网联汽车示范区 .....	419
6.5	智能网联汽车试验验证平台设计 .....	427
6.5.1	总体架构设计 .....	427
6.5.2	基础支撑环境 .....	428
6.5.3	应用示范与试验验证系统 .....	432
6.5.4	系统服务 .....	440
6.6	参考文献 .....	442
<b>第7章</b>	<b>工程案例 .....</b>	<b>445</b>
7.1	新能源充电一致性测试项目 .....	445
7.1.1	概述 .....	445
7.1.2	测试评价内容 .....	446
7.1.3	用例 .....	449
7.1.4	结论 .....	457
7.2	道路交通信号控制机 NTCIP 通信协议测试 .....	458
7.2.1	项目概述 .....	458
7.2.2	测试内容与方法 .....	459
7.2.3	测试案例 .....	461
7.2.4	测试结果 .....	478
7.3	新能源充电运营监控系统 .....	479
7.3.1	项目概述 .....	479

7.3.2	测试内容	480
7.3.3	测试方法	480
7.3.4	测试方案	481
7.3.5	测试结果分析	487
7.4	电子液压制动系统 ECU 硬件架构功能安全等级评估	489
7.4.1	项目概述	489
7.4.2	评估对象与方法	491
7.4.3	评估内容	492
7.4.4	评估结果	497



# Chapter 1 第 1 章

## 智能网联汽车概述

### 1.1 智能网联汽车的概念与内涵

#### 1.1.1 智能网联汽车的相关范畴

智能网联汽车作为一种新生事物，概念尚无定论。国内外企业和研究机构已从不同侧重点提出了智能汽车、无人驾驶汽车、车联网、车路协同系统、智能交通系统等与智能网联汽车相关的范畴。智能网联汽车的界定需要与这些概念加以区分。

#### 1. 智能汽车

按照 Azim Eskandarian 在《智能汽车手册》中的定义，智能汽车是指“能够自主完成部分驾驶任务或辅助驾驶员更有效的完成驾驶任务，实现更安全、更高效和更环保行驶的车辆”，这个定义本身是十分广义的，国内通常不将“智能”与“自动化”两个概念加以区分，采用欧美对车辆自动化的分类体系来定义智能汽车。目前最流行的分类方法包括国际自动机工程师协会（SAE，原译为“美国汽车工程师协会”）定义的 6 级分类方法和美国高速公路安全管理局（NHTSA）的 5 级分类方法，这两类方法本质上差异不大。根据 NHTSA 的定义，

汽车的智能化水平从低到高分为5个层次：纵向控制（加/减速）和横向控制（转向）均由驾驶员完成的车辆无智能化，定义为第0级；纵向或横向控制中有一个能由车辆完成的车辆定义为第1级；纵向和横向控制都能由车辆完成，但驾驶员需要时刻监督驾驶任务的车辆定义为第2级；驾驶员不需要时刻监督驾驶任务，但在特定的工况下需要驾驶员接管车辆控制权的车辆定义为第3级；全工况下都不需要驾驶员介入的车辆定义为第4级。在第4级中，汽车可对交通环境进行全程实时检测，实现完全无人操作下的车辆行驶与控制，这是智能汽车发展的最高级形态。

智能汽车作为智能交通系统的一个重要组成部分，是一个集环境感知、规划决策和控制执行于一体的高新技术综合体。智能汽车利用传感器技术、信号处理技术、通信技术、计算机技术等，根据各传感器所得到的信息做出分析和判断，辨别车辆所处的环境和状态，或者给司机发出劝告和报警信息，提醒司机注意规避危险；或者在紧急情况下帮助司机操作车辆（即辅助驾驶系统），防止事故的发生，使车辆回到正常驾驶转台；或者代替司机的操作，实现车辆运行的自动化。

智能汽车主要侧重于汽车的智能化发展层次，即汽车是否具有先进的环境感知、决策规划和一定层级的自动驾驶能力，并未将联网与信息交互功能作为考虑的重点。

## 2. 无人驾驶汽车

谷歌公司认为，无人驾驶汽车是指通过车辆搭载的摄像机、雷达和激光测距仪等传感器来“观察”其他车辆，并使用高精度地图来进行导航的汽车。毕马威公司和美国汽车研究中心提出，无人驾驶汽车是能够感知周围环境，自主决定到达目的地路线的汽车。

清华大学汽车系副研究员王建强将无人驾驶汽车定义为“通过车载传感系统感知道路环境，自动规划行车路线并控制车辆到达预定目标的智能汽车”。

“无人驾驶汽车”本身并不是一个严谨的概念，可以简单理解为具备高度智能化水平（NHTSA 定义的第4级）的智能汽车，即通过传感器、控制器和执行器来代替人的环境感知、人的判断决策和人的驾驶操作的车辆。“无人驾驶汽



车”明确提出了汽车全面自动化的目标，即汽车能够自主完成驾驶任务，不需要驾驶员的监督和干预。

### 3. 车联网

车联网的概念来自物联网，根据行业背景的不同，对车联网的定义也不尽相同。传统意义的车联网是指装载在车辆上的电子标签通过无线射频等识别技术，在信息网络平台上实现对所有车辆的属性信息和静、动态信息的提取和有效利用，并根据不同的功能需求对所有车辆的运行状态进行有效的监管和提供综合服务的系统。

随着车联网技术与产业的发展，上述定义已经不能涵盖车联网的全部内容。根据车联网产业技术创新战略联盟的定义，车联网是以车内网、车际网和车载移动物联网为基础，按照约定的通信协议和数据交互标准，在车—X（车、路、行人以及互联网等）之间进行无线通信和信息交换的大系统网络，是能够实现智能化交通管理、智能动态信息服务和车辆智能化控制的一体化网络。

中国物联网校企联盟对车联网的定义是“由车辆位置、速度和路线等信息构成的巨大交互网络”。通过GPS、RFID、传感器和摄像头等装置，车辆可以完成自身环境和状态信息的采集；通过物联网技术，所有的车辆可以将自身的各种信息传输汇聚到中央处理器；通过计算机技术，大量的车辆信息可以被分析和处理，从而计算出不同车辆的最佳路线、及时汇报路况并安排信号灯周期。

“车联网”主要立足于网络环境，强调信息互联共享和商业模式创新，对汽车产品本身的智能化发展关注较少。

### 4. 车路协同系统

车路协同系统是基于无线通信、传感探测等技术进行车路信息的获取，通过车车、车路信息交互和共享，实现车辆和基础设施之间的智能协同与配合，达到优化利用系统资源、提高道路交通安全、缓解交通拥堵的目标。

清华大学“863”主题项目“智能车路协同关键技术研究”提出的智能车路