



中国智能城市建设与推进战略研究丛书
Strategic Research on Construction and
Promotion of China's iCity

中国 智能制造与设计 发展战略研究

中国智能城市建设与推进战略研究项目组 编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社



中国智能城市建设与推进战略研究丛书
Strategic Research on Construction and
Promotion of China's iCity

中国 智能制造与设计 发展战略研究

中国智能城市建设与推进战略研究项目组 编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国智能制造与设计发展战略研究 / 中国智能城市建设与推进战略研究项目组编. — 杭州 : 浙江大学出版社, 2016. 5

(中国智能城市建设与推进战略研究丛书)

ISBN 978-7-308-16624-9

I. ①中… II. ①中… III. ①智能制造系统—制造业—经济发展战略—研究—中国 IV. ①F426. 4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第323899号

中国智能制造与设计发展战略研究

中国智能城市建设与推进战略研究项目组 编

出品人 鲁东明
策 划 徐有智 许佳颖
责任编辑 张颖琪
责任校对 余梦洁
装帧设计 俞亚彤
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路148号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州林智广告有限公司
印 刷 浙江印刷集团有限公司
开 本 710mm×1000mm 1/16
印 张 38
字 数 662千
版 次 2016年5月第1版 2016年5月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-16624-9
定 价 98.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行中心联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxchs.tmall.com>

“中国智能制造与设计发展战略研究” 课题组成员

课题组组长

吴 澄	清华大学	院士
-----	------	----

课题副组长

孙优贤	浙江大学	院士
王天然	中国科学院沈阳自动化研究所	院士

课题组成员

李伯虎	航天科工集团	院士
徐志磊	中国工程物理研究院	院士
祁国宁	浙江大学	教授
范玉顺	清华大学	教授
顾新建	浙江大学	教授
朱云龙	中国科学院沈阳自动化研究所	教授
邵之江	浙江大学	教授
张 霖	北京航空航天大学	教授
薛安克	杭州电子科技大学	教授
孔思淇	中国工程物理研究院	工程师
杨青海	中国标准化研究院	副研究员

本书主要执笔人（按章节顺序）

主编、主审：吴澄院士

副主编：孙优贤院士、王天然院士

第1章 智能制造的概念与内涵：范玉顺、吴澄

第2章 智能制造对智能城市的影响：顾新建、祁国宁

第3章 智能设计技术：顾新建、祁国宁、徐志磊

第4章 智能加工生产技术：薛安克、王天然、徐哲

第5章 智能制造服务技术：顾新建、祁国宁

第6章 智能制造中的建模与仿真技术：李伯虎、柴旭东、张霖、侯宝
存、肖莹莹、杨晨、邢驰

第7章 智能制造中的机器人技术：王天然、赵忆文、韩建达

第8章 智能制造中的控制优化技术：邵之江、孙优贤、朱云龙

第9章 智能供应链和物流管理技术：范玉顺

第10章 智能制造中的传感器及传感网技术：徐志磊、孔思淇

第11章 嵌入式系统：朱云龙

第12章 离散型智能工厂：朱云龙

第13章 流程型智能工厂：邵之江、荣冈、孙优贤

第14章 云制造系统：李伯虎、张霖、柴旭东

全书由吴澄、顾新建、杨青海统稿。

序

“中国智能城市建设与推进战略研究丛书”，是由 47 位院士和 180 多名专家经过两年多的深入调研、研究与分析，在中国工程院重大咨询研究项目“中国智能城市建设与推进战略研究”的基础上，将研究成果汇总整理后出版的。这套系列丛书共分 14 册，其中综合卷 1 册，分卷 13 册，由浙江大学出版社陆续出版。综合卷主要围绕我国未来城市智能化发展中，如何开展具有中国特色的智能城市建设与推进，进行了比较系统的论述；分卷主要从城市经济、科技、文化、教育与管理，城市空间组织模式、智能交通与物流，智能电网与能源网，智能制造与设计，知识中心与信息处理，智能信息网络，智能建筑与家居，智能医疗卫生，城市安全，城市环境，智能商务与金融，智能城市时空信息基础设施，智能城市评价指标体系等方面，对智能城市建设与推进工作进行了论述。

作为“中国智能城市建设与推进战略研究”项目组的顾问，我参加过多次项目组的研究会议，也提出一些“管见”。总体来看，我认为在项目组组长潘云鹤院士的领导下，“中国智能城市建设与推进战略研究”取得了重大的进展，其具体成果主要有以下几个方面。

20 世纪 90 年代，世界信息化时代开启，城市也逐渐从传统的二元空间向三元空间发展。这里所说的第一元空间是指物理空间（P），由城市所处物理环境和城市物质组成；第二元空间指人类社会空间（H），即人类决策与社会交往空间；第三元空间指赛博空间（C），即计算机和互联网组成的“网络信息”空间。城市智能化是世界各国城市发展的大势所趋，只是各国城市发展阶段不同、内容不同而已。目前国内外提出的“智慧城市”建设，主要集中于第三元空间的营造，而我国城市智能化应该是“三元空间”彼此协调，

使规划与产业、生活与社交、社会公共服务三者彼此交融、相互促进，应该是超越现有电子政务、数字城市、网络城市和智慧城市建设理念。

新技术革命将促进城市智能化时代的到来。关于新技术革命，当今世界有“第二经济”“第三次工业革命”“工业 4.0”“第五次产业革命”等论述。而落实到城市，新技术革命的特征是：使新一代传感器技术、互联网技术、大数据技术和工程技术知识融入城市的各系统，形成城市建设、城市经济、城市管理和公共服务的升级发展，由此迎来城市智能化发展的新时代。如果将中国的城镇化（城市化）与新技术革命有机联系在一起，不仅可以促进中国城市智能化进程的良性健康发展，还能促使更多新技术的诞生。中国无疑应积极参与这一进程，并对世界经济和科技的发展作出更巨大的贡献。

用“智能城市”（Intelligent City，iCity）来替代“智慧城市”（Smart City）的表述，是经过项目组反复推敲和考虑的。其原因是：首先，西方发达国家已完成城镇化、工业化和农业现代化，他们所指的智慧城市的主要任务局限于政府管理与服务的智能化，而且其城市管理者的行政职能与我国市长的相比要狭窄得多；其次，我国正处于工业化、信息化、城镇化和农业现代化“四化”同步发展阶段，遇到的困惑与问题在质和量上都有其独特性，所以中国城市智能化发展路径必然与欧美有所不同，仅从发达国家的角度解读智慧城市，将这一概念搬到中国，难以解决中国城市面临的诸多发展问题。因而，项目组提出了“智能城市”（iCity）的表述，希冀能更符合中国的国情。

智能城市建设与推进对我国当今经济社会发展具有深远意义。智能城市建设与推进恰好处于“四化”交汇体上，其意义主要有以下几个方面。一是可作为“四化”同步发展的基本平台，成为我国经济社会发展的重要抓手，避免“中等收入陷阱”，走出一条具有中国特色的新型城镇化（城市化）发展之路。二是把智能城市作为重要基础（点），可促进“一带一路”（线）和新型区域（面）的发展，构成“点、线、面”的合理发展布局。三是有利于推动制造业及其服务业的结构升级与变革，实现城市产业向集约型转变，使物质增速减慢，价值增速加快，附加值提高；有利于各种电子商务、大数据、云计算、物联网技术的运用与集成，实现信息与网络技术“宽带、泛在、

移动、融合、安全、绿色”发展，促进城市产业效率的提高，形成新的生产要素与新的业态，为创业、就业创造新条件。四是从有限信息的简单、线性决策发展到城市综合系统信息的网络化、优化决策，从而帮助政府提高城市管理服务水平，促进深化城市行政体制改革与发展。五是运用新技术使城市建筑、道路、交通、能源、资源、环境等规划得到优化及改善，提高要素使用效率；使城市历史、地貌、本土文化等得到进一步保护、传承、发展与升华；实现市民健康管理从理念走向现实等。六是可以发现和培养一批适应新技术革命趋势的城市规划师、管理专家、高层次科学家、数据科学与安全专家、工程技术专家等；吸取过去的经验与教训，重视智能城市运营、维护中的再创新（Renovation），可以集中力量培养一批基数庞大、既懂理论又懂实践的城市各种功能运营维护工程师和技术人员，从依靠人口红利，逐渐转向依靠知识与人才红利，支撑我国城市智能化健康、可持续发展。

综上所述，“中国智能城市建设与推进战略研究丛书”的内容丰富、观点鲜明，所提出的发展目标、途径、策略与建议合理且具可操作性。我认为，这套丛书是具有较高参考价值的城市管理创新与发展研究的文献，对我国新型城镇化的发展具有重要的理论意义和应用实践价值。相信社会各界读者在阅读后，会有很多新的启发与收获。希望本丛书能激发大家参与智能城市建设的热情，从而提出更多的思考与独到的见解。

我国是一个历史悠久、农业人口众多的发展中国家，正致力于经济社会又好又快又省的发展和新型城镇化建设。我深信，“中国智能城市建设与推进战略研究丛书”的出版，将对此起到积极的、具有正能量的推动作用。让我们为实现伟大的“中国梦”而共同努力奋斗！

是以以为序！

徐匡迪

2015年1月12日

前 言

2008 年，IBM 提出了“智慧地球”的概念，其中“Smart City”即“智慧城市”是其组成部分之一，主要指 3I，即度量（Instrumented）、联通（Interconnected）、智能（Intelligent），目标是落实到公司的“解决方案”，如智慧的交通、医疗、政府服务、监控、电网、水务等项目。

2009 年年初，美国总统奥巴马公开肯定 IBM 的“智慧地球”理念。2012 年 12 月，美国国家情报委员会（National Intelligence Council）发布的《全球趋势 2030》指出，对全球经济发展最具影响力的四类技术是信息技术、自动化和制造技术、资源技术以及健康技术，其中“智慧城市”是信息技术内容之一。《2030 年展望：美国应对未来技术革命战略》报告指出，世界正处在下一场重大技术变革的风口浪尖上，以制造技术、新能源、智慧城市为代表的“第三次工业革命”将在塑造未来政治、经济和社会发展趋势方面产生重要影响。

在实施《“i2010”战略》后，2011 年 5 月，欧盟 Net!Works 论坛出台了 *Smart Cities Applications and Requirements* 白皮书，强调低碳、环保、绿色发展。之后，欧盟表示将“Smart City”作为第八期科研架构计划（Eighth Framework Programme, FP8）重点发展内容。

2009 年 8 月，IBM 发布了《智慧地球赢在中国》计划书，为中国打造六大智慧解决方案：智慧电力、智慧医疗、智慧城市、智慧交通、智慧供应链和智慧银行。2009 年，“智慧城市”陆续在我国各层面展开，截至 2013 年 9 月，我国总计有 311 个城市在建或欲建智慧城市。

中国工程院曾在 2010 年对“智慧城市”建设开展过研究，认为当前我国城市发展已经到了一个关键的转型期，但由于国情不同，“智慧城市”建

设在我国还存在一定问题。为此，中国工程院于 2012 年 2 月启动了重大咨询研究项目“中国智能城市建设与推进战略研究”。自项目开展以来，很多城市领导和学者都表现出浓厚的兴趣，希望投身到智能城市建设的研究与实践 中来。在各界人士的大力支持以及中国工程院“中国智能城市建设与推进战略研究”项目组院士和专家们的努力下，我们融合了三方面的研究力量：国家有关部委（如国家发改委、工信部、住房和城乡建设部等）专家，典型城市（如北京、武汉、西安、上海、宁波等）专家，中国工程院信息与电子工程学部、能源与矿业工程学部、环境与轻纺工程学部、工程管理学部以及土木、水利与建筑工程学部等学部的 47 位院士及 180 多位专家。研究项目分设了 13 个课题组，涉及城市基础建设、信息、产业、管理等方面。另外，项目还设 1 个综合组，主要任务是在 13 个课题组的研究成果基础上，综合凝练形成“中国智能城市建设与推进战略研究丛书”综合卷。

两年多来，研究团队经过深入现场考察与调研、与国内外专家学者开展论坛和交流、与国家主管部门和地方主管部门相关负责同志座谈以及团队自身研究与分析等，已形成了一些研究成果和研究综合报告。研究中，我们提出了在我国开展智能城市（Intelligent City, iCity）建设与推进会更加适合中国国情。智能城市建设将成为我国深化体制改革与发展的促进剂，成为我国经济社会发展和实现“中国梦”的有力抓手。

第1章 智能制造的概念与内涵

- 一、智能制造的定义和内涵 / 4
 - (一) 智能制造的定义 / 4
 - (二) 智能制造的特征 / 9
- 二、智能制造的发展与研究状况 / 13
 - (一) 制造模式的发展与演变 / 13
 - (二) 智能制造的国内外发展状况 / 25
- 三、智能制造的技术框架 / 39
 - (一) 智能制造的基础理论、方法与标准体系 / 39
 - (二) 智能制造的关键技术 / 40
 - (三) 智能制造装备与应用工程 / 44
 - (四) 本书的结构框架 / / 50

第2章 智能制造对智能城市的影响

- 一、概 述 / 53
 - (一) 基本概念和定义 / 53
 - (二) 不同形态的城市对智能制造的不同需求 / 55
- 二、智能制造对经济的影响 / 56
 - (一) 概 述 / 56
 - (二) 智能制造提高企业竞争能力 / 60
 - (三) 智能制造对智能城市基础设施建设的影响 / 61
 - (四) 智能制造对经济发展的负面影响及对策 / 63
- 三、智能制造对城市社会的影响 / 66
 - (一) 智能制造改善城市生态环境 / 66
 - (二) 智能制造保障城市居民衣食住行健康安全 / 68
 - (三) 智能制造支持城市结构布局优化 / 68

(四) 智能制造提高企业员工的幸福感 / 74

(五) 智能制造对城市社会的负面影响及对策 / 76

第3章 智能设计技术

一、概 述 / 83

(一) 基本概念和定义 / 83

(二) 智能设计的需求 / 86

(三) 智能设计的演化 / 89

二、基于知识的智能设计技术 / 96

(一) 概 述 / 97

(二) 基于知识库的智能设计 / 98

(三) 基于模块化的智能设计 / 104

(四) 基于网络的开放式智能设计 / 113

(五) 基于网络的用户协同智能设计 / 116

三、基于软件的智能设计技术 / 121

(一) 概 述 / 121

(二) 基于 CAD 系统的智能设计 / 122

(三) 基于 CAE 系统的智能设计 / 126

(四) 基于虚拟现实的智能设计 / 128

四、智能设计的关键技术 / 131

(一) 知识获取的智能技术 / 131

(二) 知识整理的智能技术 / 135

(三) 面向智能设计的模型技术 / 137

(四) 模拟人类思维的智能设计技术 / 145

第4章 智能加工生产技术

一、智能数控加工生产技术 / 150

(一) 概 述 / 150

(二) 智能数控加工生产关键技术 / 154

(三) 典型智能数控加工生产技术	/ 162
二、智能生产监控	/ 165
(一) 概 述	/ 165
(二) 智能生产监控关键技术	/ 168
(三) 典型的智能生产监控方法	/ 170
三、增材制造	/ 180
(一) 概 述	/ 180
(二) 增材制造技术分类	/ 183
(三) 关键技术和发展趋势	/ 190
(四) 增材制造技术的应用领域	/ 191
(五) 总结和展望	/ 194
第 5 章 智能制造服务技术	
一、概 述	/ 197
(一) 制造服务的概念和定义	/ 197
(二) 制造服务的需求	/ 199
(三) 智能制造服务的需求	/ 201
二、智能制造服务模式	/ 204
(一) 智能制造服务模式发展方向	/ 204
(二) 大数据驱动的智能制造服务模式	/ 206
(三) 物联网驱动的智能制造服务模式	/ 213
(四) 基于互联网的开放式智能制造服务模式	/ 218
(五) 基于云计算平台的智能制造服务模式	/ 220
三、智能制造服务的关键技术	/ 226
(一) 智能信息采集技术	/ 226
(二) 智能信息管理技术	/ 228
(三) 智能信息处理技术	/ 230
(四) 产品智能维护服务技术	/ 231

第6章 智能制造中的建模与仿真技术

- 一、概 述 / 237
 - (一) 建模与仿真技术 / 237
 - (二) 智能制造中的建模与仿真技术 / 239
- 二、智能制造中的建模与仿真关键技术 / 243
 - (一) 面向全生命周期的智能产品及环境建模技术 / 243
 - (二) 基于模型 / 知识的智能制造支撑平台技术 / 249
 - (三) 智能制造建模仿真应用工程技术 / 258
- 三、智能制造中的建模与仿真应用案例 / 262
 - (一) 虚拟采办应用案例 / 262
 - (二) 复杂产品多学科虚拟样机应用案例 / 266
- 四、智能制造中的建模与仿真技术的发展 / 270
 - (一) 基于大数据驱动的建模与仿真技术 / 270
 - (二) 智能制造中的嵌入式(在线)仿真技术 / 272
- 五、本章小结 / 273

第7章 智能制造中的机器人技术

- 一、现状与需求 / 278
 - (一) 工业机器人的发展 / 278
 - (二) 工业机器人应用现状 / 280
 - (三) 技术进步与需求 / 283
- 二、新一代工业机器人典型研究 / 289
 - (一) LWR 机器人 / 290
 - (二) Baxter 机器人 / 291
- 三、关键技术 / 294
 - (一) 机构与行为技术 / 295
 - (二) 感知与变化适应技术 / 296
 - (三) 交流合作技术 / 297

(四) 认知与决策技术 / 298

四、智能制造机器人发展趋势 / 299

第 8 章 智能制造中的控制优化技术

一、离散行业智能制造中的控制优化技术 / 307

(一) 离散行业智能制造中的控制优化技术发展与应用现状 / 307

(二) 离散行业智能制造中的控制优化关键技术 / 312

(三) 离散行业智能制造中的控制优化技术发展趋势 / 318

二、流程行业智能制造中的控制优化技术 / 322

(一) 基于模型的优化控制技术 / 322

(二) 多变量控制技术 / 325

(三) 智能决策技术 / 335

(四) 全流程智能调度技术 / 340

第 9 章 智能供应链与物流管理技术

一、智能供应链与物流管理的概念及内涵 / 350

(一) 供应链与物流管理的发展历程 / 350

(二) 智能供应链与物流管理的核心驱动力 / 351

(三) 智能供应链与物流管理的需求与挑战 / 353

(四) 智能供应链与物流管理的特征及目标 / 354

(五) 智能供应链与物流管理的成功应用 / 357

二、智能供应链与物流管理相关技术及方法 / 359

(一) 智能供应链与物流管理技术体系 / 359

(二) 智能供应链管理运作技术 / 360

(三) 供应链与物流管理智能决策模型及方法 / 368

(四) 智能信息处理技术 / 375

三、智能供应链与物流管理系统设计 / 384

(一) 智能基础设施层 / 385

(二) 智能信息处理层 / 386

(三) 智能应用层 / 388

(四) 智能决策层 / 391

四、沃尔玛的智能物流与供应链系统 / 398

(一) 沃尔玛供应链与物流管理概要 / 398

(二) 智能供应链与物流技术在沃尔玛的应用 / 400

(三) 沃尔玛智能供应链与物流管理的启示 / 403

第10章 智能制造中的传感器及传感网技术

一、概 述 / 407

二、需求与国内外现状 / 408

(一) 需 求 / 408

(二) 现 状 / 409

三、关键技术 / 418

(一) 传感器 / 418

(二) 传感网 / 422

四、发展趋势 / 425

(一) 传感器 / 425

(二) 传感网 / 426

第11章 嵌入式系统

一、概 述 / 430

(一) 基本概念及定义 / 430

(二) 嵌入式系统的发展现状及趋势 / 432

二、嵌入式系统的关键核心技术 / 434

(一) 基本概念及定义 / 430

(一) 嵌入式操作系统 / 434

(二) 嵌入式微处理器 / 439

(三) 嵌入式支撑软件	/ 442
(四) 嵌入式应用软件	/ 442
三、嵌入式系统的应用领域	/ 443
(一) 工业控制应用领域	/ 443
(二) 机器人应用领域	/ 443
(三) 智能家居应用领域	/ 444
(四) 交通管理领域	/ 444
(五) 电子商务领域	/ 444
(六) 环境工程与自然	/ 445
四、嵌入式系统的产业发展	/ 445
(一) 国外嵌入式产业发展	/ 445
(二) 国内嵌入式产业发展	/ 445

第12章 离散型智能工厂

一、离散制造业智能化发展背景	/ 449
二、离散型智能工厂的内涵与特征	/ 452
三、离散型智能工厂的体系结构	/ 457
(一) 体系架构	/ 457
(二) 典型功能单元及系统	/ 460
四、离散型智能工厂关键技术	/ 476
五、离散型智能工厂典型案例	/ 479
(一) 西门子数字化工厂案例	/ 479
(二) 宁夏小巨人智能工厂案例	/ 483
(三) 三一智能工厂应用案例	/ 487

第13章 流程型智能工厂

一、流程工业智能化发展历程	/ 495
---------------	-------