

中国自动化 技术发展报告

ZHONGGUO ZIDONGHUA JISHU FAZHAN BAOGAO

孙优贤 陈 杰 等编著



化学工业出版社

中国自动化 技术发展报告

ZHONGGUO ZIDONGHUA JISHU FAZHAN BAOGAO

孙优贤 陈 杰 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

中国自动化技术发展报告/孙优贤等编著. —北京: 化学工业出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-122-30715-6

I. ①中… II. ①孙… III. ①自动化技术-技术发展-研究报告-中国 IV. ①TP2-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 243681 号

责任编辑: 宋 辉

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 王素芹

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 32¼ 字数 860 千字 2018 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 128.00 元

版权所有 违者必究

编写委员会

主 任：孙优贤

副主任：陈 杰

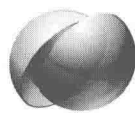
编 委（按姓名汉语拼音排序）：

陈 虹	陈 杰	戴琼海	邓 方	丁进良
董海荣	杜文莉	段广仁	管晓宏	韩 璞
胡 军	刘世霞	宁 滨	石红芳	孙优贤
阳春华	于海斌	袁景淇	仲崇权	周 彬
朱群雄				

编写人员名单

章	负责人	参加编写人员
第 1 章 综述	孙优贤（浙江大学） 陈 杰（北京理工大学）	孙优贤 陈 杰
第 2 章 冶金自动化	阳春华（中南大学） 丁进良（东北大学）	孙 备
第 3 章 化工自动化	朱群雄（北京化工大学） 杜文莉（华东理工大学）	程 辉 赵 亮 田 洲 耿志强
第 4 章 能源自动化	管晓宏（西安交通大学） 韩 璞（华北电力大学） 袁景淇（上海交通大学）	曾豪骏
第 5 章 工业控制网络	仲崇权（大连理工大学）	陈 晨
第 6 章 人机交互自动化	戴琼海（清华大学）	刘世霞 田 丰
第 7 章 数控机床自动化	于海斌（中国科学院沈阳自动化研究所）	王明辉 于 东 贺鑫元 胡静涛 朱志浩
第 8 章 机器人	于海斌（中国科学院沈阳自动化研究所）	王明辉 胡静涛 王笑寒 何玉庆 赵新刚 潘新安 姜志斌 刘金国 丛 杨 宋国立 胡明伟
第 9 章 车辆自动驾驶及控制	陈 虹（吉林大学）	高炳钊 许 芳 赵海艳 高金武 刘奇芳

章	负责人	参加编写人员
第 10 章 列车运行控制 及自动驾驶	宁 滨（北京交通大学）	荀 径 唐 涛
第 11 章 航天航空自动化	段广仁（哈尔滨工业大学） 胡 军（北京控制工程研究所）	周 彬
第 12 章 陆用装备自动化	陈 杰（北京理工大学）	邓 方



自动化科学与技术在当今社会发展中起着至关重要的作用，并且正经历着日新月异的发展和变化，为全面展现中国自动化行业与技术发展概貌，中国自动化学会组织专家编写，由化学工业出版社出版《中国自动化技术发展报告》(以下简称《报告》)。《中国自动化技术发展报告》是一本全面反映我国自动化技术发展水平的报告。内容包括冶金自动化、化工自动化、能源自动化、工业控制网络、人机交互自动化、数控机床自动化、机器人、车辆自动驾驶及控制、列车运行控制及自动驾驶技术、航天航空自动化和陆用装备自动化十一大工业领域中自动化技术的发展状况和趋势，分别介绍自动化技术的系统特征、国内外发展现状、新技术新方法、应用情况以及本行业的自动化技术发展建议。本报告的目的是把脉技术现状、分析发展动向、为技术人员和决策者提供宏观支持。

为写好本报告，2016年7月，自动化领域知名学者共同组成了报告的编写委员会，负责报告的起草工作，经过深入交流与充分讨论，决定将自动化技术所涉及的研究领域分为十一个大的方面，分别剖析其特征和意义，梳理并介绍该技术领域的国内外现状及发展趋势、最新技术与方法、应用情况，凝练研究方向和发展建议等。

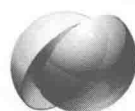
经过编写组数十位专家、学者一年多的写作和反复修改，《报告》得以完成。《报告》分为12章，第1章“综述”由浙江大学孙优贤和北京理工大学的陈杰负责，第2章“冶金自动化”由东北大学的丁进良、中南大学的阳春华负责，第3章“化工自动化”由北京化工大学的朱群雄和华东理工大学的杜文莉负责，第4章“能源自动化”由西安交通大学的管晓宏、华北电力大学的韩璞和上海交通大学的袁景淇负责，第5章“工业控制网络”由大连理工大学的仲崇权负责，第6章“人机交互自动化”由清华大学的戴琼海负责，第7章“数控机床自动化”和第8章“机器人”由中国科学院沈阳自动化研究所的于海斌负责，第9章“车辆自动驾驶及控制”由吉林大学程虹负责，第10章“列车运行控制及自动驾驶”由北京交通大学的宁滨负责，第11章“航天航空自动化”由哈尔滨工业大学的段广仁和北京控制工程研究所的胡军负责，第12章“陆用装备自动化”由北京理工大学的陈杰负责。

由于报告涉及多个行业和领域，参加编写的专家、学者众多，在此不一一列举，详细的编写人员名单在文前列出。

《报告》的顺利完成得益于国内外多名专家和同行的鼎力支持，同时，有很多为《报告》编写提供帮助的教授、学者、行业从业人员和研究生，他们是：龚至豪、方浩、邓华民、邱晓波、武云鹏、蔡涛、白永强、辛斌、陈晨、陈文颀、甘明刚、彭志红、孙健、窦丽华、高欣、王亚军、吴峰华、马彦、章新杰、张建伟、许男、王菲、张玉新、褚洪庆、郭露露等，感谢他们为本书付出的辛勤工作。

由于编著者水平所限，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编著者



第 1 章 综述	1
1.1 自动化技术在各行业的发展状况	1
1.1.1 冶金自动化	1
1.1.2 化工自动化	2
1.1.3 能源自动化	3
1.1.4 工业控制网络	4
1.1.5 人机交互自动化	6
1.1.6 数控机床自动化	7
1.1.7 机器人	7
1.1.8 车辆自动驾驶及控制	8
1.1.9 列车运行控制及自动驾驶	9
1.1.10 航天航空自动化	10
1.1.11 陆用装备自动化	11
1.2 报告研究内容及结构安排	12
第 2 章 冶金自动化	13
2.1 冶金自动化背景介绍	13
2.1.1 冶金行业概况	13
2.1.2 冶金自动化概况	14
2.2 冶金自动化国内外现状	15
2.2.1 矿物处理过程自动化技术国内外现状	15
2.2.2 钢铁冶金过程自动化技术国内外现状	16
2.2.3 有色冶金过程自动化技术国内外现状	18
2.3 冶金自动化技术与方法	19
2.3.1 参数检测与关键工艺参数的软测量	19
2.3.2 过程控制技术	22
2.3.3 运行优化技术	29
2.3.4 计划调度	33
2.3.5 一体化控制技术	39
2.4 应用效果	45
2.4.1 选矿自动化应用效果	45
2.4.2 钢铁自动化应用效果	45

2.4.3 有色冶金自动化应用效果	46
2.5 发展建议	46
2.5.1 技术发展建议	46
2.5.2 人才培养发展建议	47
2.5.3 政策发展建议	47
参考文献	47
第3章 化工自动化	50
3.1 背景介绍	50
3.2 国内外现状	51
3.2.1 乙烯流程自动化系统的国内外现状	52
3.2.2 汽油管道调和控制优化系统的国内外现状	54
3.2.3 聚烯烃过程控制优化系统的国内外现状	55
3.2.4 化工过程报警优化管理与安全应急演练	56
3.3 新技术和新方法	57
3.3.1 乙烯流程自动化技术新方法	58
3.3.2 炼油流程汽油调和和自动化新技术	63
3.3.3 聚烯烃流程自动化系统新技术	69
3.3.4 报警优化管理与企业安全应急救援演练技术	73
3.4 应用情况	75
3.4.1 乙烯流程先控与优化技术的应用情况	75
3.4.2 汽油管道调和控制优化技术的应用情况	76
3.4.3 聚乙烯聚合过程优化技术的应用情况	78
3.4.4 企业生产安全应急救援演练的应用情况	78
3.5 发展建议	79
参考文献	79
第4章 能源自动化	82
4.1 背景介绍	82
4.1.1 我国的能源系统	82
4.1.2 能源控制系统的背景	83
4.2 国内外现状	91
4.2.1 能源系统的国内外研究现状	91
4.2.2 能源控制技术的国内外现状	92
4.3 新技术和新方法	103
4.3.1 信息物理融合能源系统	103
4.3.2 火力电站建模及优化控制技术	106

4.3.3	水力发电核心控制技术	125
4.3.4	风力发电核心控制技术	127
4.3.5	光伏发电核心控制技术	130
4.3.6	核电厂关键控制技术	132
4.4	能源自动化技术的应用	135
4.4.1	能源系统优化技术的应用	135
4.4.2	火电厂燃煤热值在线辨识技术的典型应用(煤质在线监测)	137
4.4.3	智能(数字)化电厂的建设与智慧电厂的未来	138
4.4.4	水电厂计算机实时监控系统的典型应用	143
4.4.5	风力发电 Deif 主控系统的典型应用	144
4.4.6	远景“阿波罗”光伏云平台技术的典型应用	144
4.4.7	非能动型压水堆核电技术 AP1000 的典型应用	145
4.4.8	企业多能源系统的需求控制与优化	146
4.4.9	风电场信息物理融合能源系统信息构建方案	148
	参考文献	150
第 5 章	工业控制网络	154
5.1	工业控制网络研究现状与趋势	154
5.1.1	工业控制网络背景	154
5.1.2	多总线设备集成方法研究现状	155
5.1.3	程序开发与编译方法研究现状	160
5.2	多种网络设备统一管理技术	162
5.2.1	概述	162
5.2.2	基本原理	162
5.2.3	设备描述的主要内容与实现	164
5.2.4	变量描述的实现	169
5.2.5	基于描述的设备操作与管理	170
5.3	控制网络统一编程方法	173
5.3.1	概述	173
5.3.2	控制程序建模	173
5.3.3	并行任务提取	178
5.3.4	并行任务的分配	181
5.4	编程开发平台软件	183
5.4.1	软件功能结构	183
5.4.2	平台软件程序实现	185
5.5	工程应用案例	191
5.5.1	系统结构	191

5.5.2 应用程序开发	193
5.5.3 设备管理与变量管理	194
5.6 发展建议	195
参考文献	196
第6章 人机交互与自动化	197
6.1 人机交互自动化背景介绍	197
6.1.1 人机交互与自动化的关系	197
6.1.2 战略意义	198
6.1.3 问题与挑战	198
6.2 人机交互自动化技术国内外现状	200
6.2.1 国际研究现状	200
6.2.2 国内研究现状	201
6.2.3 发展需求	202
6.2.4 现有技术和解决方案的不足	203
6.3 技术与方法	204
6.3.1 技术体系	204
6.3.2 关键技术	204
6.3.3 核心器件与系统	209
6.4 应用	209
6.4.1 智能穿戴	210
6.4.2 智能家居	210
6.4.3 智慧医疗	210
6.4.4 移动办公	210
6.4.5 智能汽车	210
6.4.6 智能机器人	210
6.4.7 数字文化	211
6.4.8 舆情分析	211
6.5 发展建议	211
6.5.1 技术发展建议	211
6.5.2 人才培养建议	212
6.5.3 政策发展建议	212
参考文献	213
第7章 数控机床自动化	214
7.1 数控系统背景介绍	214
7.1.1 我国数控技术的现状	214

7.1.2	数控系统典型特征描述	214
7.1.3	数控系统行业状况	216
7.2	数控系统国内外现状	218
7.2.1	数控系统国外现状	218
7.2.2	数控系统国内现状	219
7.2.3	插补技术国内现状	220
7.2.4	现场总线技术	222
7.3	数控系统新技术与新方法	223
7.3.1	概述	223
7.3.2	实时平台	224
7.3.3	人机接口	225
7.3.4	工艺解释	225
7.3.5	加工过程控制	226
7.3.6	具体应用技术	227
7.4	应用情况	228
7.4.1	中科院沈阳计算所、沈阳高精数控、沈阳机床集团联合实施的“国产 数控机床应用国产数控系统示范工程”	229
7.4.2	鲁南机床与华中数控实施的应用示范工程	229
7.4.3	通过“高档数控机床与基础制造装备”国家重大课题专项推动技术 应用	230
7.5	数控系统发展建议	231
	参考文献	234
第8章	机器人	236
8.1	背景介绍	236
8.1.1	概述	236
8.1.2	典型特征描述	236
8.1.3	分类情况和行业应用概况	237
8.2	国内外现状和发展趋势	239
8.2.1	国外机器人发展态势	239
8.2.2	工业机器人现状	239
8.2.3	特种机器人现状	244
8.2.4	服务机器人现状	253
8.3	新技术和新方法	257
8.3.1	工业机器人的新技术和新方法	257
8.3.2	特种机器人的新技术和新方法	259
8.3.3	服务机器人的新技术和新方法	263

8.4 应用情况	264
8.4.1 工业机器人的应用	264
8.4.2 特种机器人的应用	266
8.4.3 服务机器人的应用	270
8.5 发展建议	272
8.5.1 技术发展建议	272
8.5.2 人才培养建议	273
8.5.3 政策制定建议	273
参考文献	273
第9章 车辆自动驾驶及控制	282
9.1 汽车电控系统技术背景介绍	282
9.1.1 汽车电控系统典型特征	283
9.1.2 汽车电控行业概况	284
9.1.3 汽车V模式开发流程	285
9.2 汽车电控系统技术国内外现状	286
9.2.1 内燃机汽车电控技术现状	286
9.2.2 新能源汽车电控技术现状	287
9.2.3 汽车传感器、执行器技术现状	289
9.3 汽车电控系统与驾驶自动化的技术与方法	289
9.3.1 车辆动力学系统建模及仿真技术与方法	289
9.3.2 动力控制系统技术与方法	290
9.3.3 底盘控制与安全系统技术与方法	293
9.3.4 新能源汽车电控系统技术与方法	300
9.3.5 汽车智能行驶优化	305
9.3.6 车身电子技术	308
9.4 典型应用	308
9.4.1 发动机电喷控制技术典型应用	308
9.4.2 自动变速控制技术典型应用	313
9.4.3 车辆轮胎建模与参数辨识技术典型应用	317
9.5 发展建议	321
9.5.1 技术发展建议	321
9.5.2 人才培养发展建议	322
9.5.3 政策发展建议	322
参考文献	322
第10章 列车运行控制及自动驾驶	324

10.1	概述	324
10.1.1	轨道交通运行控制系统构成及特点	324
10.1.2	列车运行控制技术发展历程	325
10.1.3	列车自动驾驶基本原理及系统组成	327
10.1.4	列车自动驾驶系统性能指标	329
10.2	列车自动驾驶技术国内外发展现状	330
10.2.1	列车驾驶曲线的优化技术	330
10.2.2	列车速度跟踪控制技术	331
10.3	列车自动驾驶关键技术与方法	333
10.3.1	列车动力学建模技术与方法	333
10.3.2	基于速度跟踪的列车自动驾驶技术与方法	338
10.3.3	精确停车控制技术与方法	351
10.4	应用情况	353
10.4.1	北京地铁亦庄线列车自动驾驶系统	353
10.4.2	北京地铁燕房线全自动运行系统	358
10.4.3	列车自动驾驶技术在城际铁路中的应用	361
10.5	发展建议	363
10.5.1	列车自动驾驶技术发展建议	363
10.5.2	轨道交通相关人才培养建议	364
10.5.3	我国城市轨道交通政策发展建议	366
	参考文献	366
第 11 章	航天航空自动化	369
11.1	航天航空自动化背景介绍	369
11.1.1	引言	369
11.1.2	航天航空自动化系统简介	370
11.1.3	航天航空产业概况	375
11.2	航天航空自动化技术国内外现状	376
11.2.1	航天航空自动化技术现状	376
11.2.2	高超声速飞行器控制领域的研究现状	377
11.2.3	航天器轨道控制领域的研究现状	387
11.2.4	航天器姿态控制领域的研究现状	397
11.2.5	航天器姿轨联合控制领域的研究现状	409
11.2.6	空间联合体控制领域的研究现状	414
11.2.7	航天器编队飞行控制领域的研究现状	421
11.3	航天航空自动化技术与方法	428
11.3.1	高超声速飞行器控制技术发展中的前沿研究	428

11.3.2	航天器轨道控制技术发展中的前沿研究	431
11.3.3	航天器姿态控制技术发展中的前沿研究	432
11.3.4	航天器姿轨联合控制技术发展中的前沿研究	432
11.3.5	空间联合体控制技术发展中的前沿研究	433
11.3.6	航天器编队飞行控制技术发展中的前沿研究	434
11.4	应用	435
11.4.1	先进控制技术在高超声速飞行器领域中的典型应用	435
11.4.2	先进控制技术在航天器轨道控制领域中的典型应用	436
11.4.3	先进控制技术在航天器姿态控制领域中的典型应用	436
11.4.4	先进控制技术在航天器姿轨联合控制领域中的典型应用	436
11.4.5	先进控制技术在空间联合体控制领域中的典型应用	437
11.4.6	先进控制技术在航天器编队飞行控制领域中的典型应用	437
11.4.7	其他应用	438
11.5	发展建议	438
11.5.1	技术发展建议	438
11.5.2	人才培养发展建议	438
11.5.3	政策发展建议	438
	参考文献	439

第12章	陆用装备自动化	453
12.1	陆用装备自动化背景介绍	453
12.1.1	引言	453
12.1.2	陆用装备自动化系统的典型特征描述	453
12.2	装备自动化技术国内外现状	457
12.2.1	陆用装备自动化技术现状	457
12.2.2	目标搜索、捕获、识别与环境感知自动化技术现状	459
12.2.3	陆用装备指挥控制系统技术现状	461
12.2.4	陆用装备火力控制系统技术现状	464
12.2.5	陆用装备维护保障自动化技术现状	465
12.2.6	陆用装备的效能评估技术现状	468
12.3	陆用装备自动化的新技术与新方法	469
12.3.1	复杂陆用装备自动化系统体系结构的多目标优化技术	469
12.3.2	陆用装备自动化系统的层次型建模技术与方法	470
12.3.3	野战多元信息获取与信息融合技术	474
12.3.4	信息分发、传输、识别与利用的技术与方法	478
12.3.5	陆用装备的环境信息感知与定位技术	480
12.3.6	分布式指挥控制与火力控制一体化控制系统的技术和方法	482

12.3.7	陆用装备故障诊断、自修复与保障自动化的技术与方法	486
12.3.8	陆用装备作战效能实时评估技术与方法	488
12.4	应用	489
12.4.1	自动化火炮系统的典型应用	489
12.4.2	我国防空装备自动化系统典型应用	490
12.4.3	坦克装甲装备自动化系统典型应用	491
12.4.4	我国防化装备自动化系统典型应用	494
12.4.5	轻武器及单兵装备自动化系统典型应用	498
12.5	发展建议	499
12.5.1	技术发展建议	499
12.5.2	人才培养发展建议	499
12.5.3	政策发展建议	499
	参考文献	499

第1章

综述

控制科学在当今社会发展中起着至关重要的作用，并且正经历着日新月异的变化，为全面展现中国自动化行业与技术发展概貌，推动中国自动化技术的加快发展，中国自动化学会组织行业专家编写《中国自动化技术发展报告》。

2016年7月，由孙优贤院士牵头，自动化领域多位知名学者共同组成了编写委员会，负责《报告》的起草工作，经过编委会深入交流与充分讨论，决定将自动化技术所涉及的研究领域分为冶金自动化、化工自动化、能源自动化、工业控制网络、人机交互自动化、数控机床自动化、机器人、车辆自动驾驶及控制、列车运行控制及自动驾驶、航天航空自动化和陆用装备自动化十一个方面，分别剖析其特征和意义，梳理并介绍该技术领域的国内外现状及发展趋势、最新技术、应用情况，凝练研究方向和发展建议。

1.1 自动化技术在各行业的发展状况

近十年来，自动化科学在中国获得了很大的发展，取得了长足的进步，但真正在理论上有较大影响或便于应用的原创性成果仍然较少，基于控制的具有自主知识产权的成果也很鲜见，这与我国处于世界第二大经济体的地位和大力推进科技强国的目标是不匹配的，特别是一些高端智能控制装备仍依赖进口，核心技术亟待突破。

当今处于信息化时代，在日新月异的信息科学大环境中各领域的自动化技术都在快速发展。为了比较精确地把握其发展方向、研究控制科学中一些新分支，就必须对各自动化技术的历史与现状进行系统分析。下面从以下几个自动化技术领域来分别阐述。

1.1.1 冶金自动化

(1) 发展背景及研究意义

冶金是从矿石中提取金属或金属化合物，用各种加工方法将金属制成具有一定性能的金属材料的过程和工艺。冶金工业可以分黑色冶金和有色冶金。冶金工业在我国有着悠久的历史，书中这部分内容主要围绕钢铁冶金、有色冶金和矿物处理这三方面对冶金自动化的研究背景进行介绍。

冶金工业是我国国民经济的重要基础产业，其广泛地涉及机械、电子、化工、建材、航天、航空、国防军工等各个行业，为我国国民经济和国防军工发展提供基础和关键性的材料，在经济建设、社会发展和国家安全中具有不可替代的战略地位。随着我国经济的发展，冶金工业也取得了巨大的发展，目前我国在冶金方面的产量和制造能力均居世界前列。但是随着世界经济发展速度的放缓，我国冶金行业面临着利润大幅下降、经营困难等挑战。另一方面现代工业发展对冶金工业在高质量、精细化等方面提出了更高的要求。因此传统的冶金自动化技术已经无法满足现代工业生产的需求，冶金自动化技术的创新和发展是从根本解决冶金工业困境的有效途径。

(2) 研究现状及发展方向

随着信息技术和自动控制技术的发展，冶金自动化和其他行业一样取得了长足的发展与