



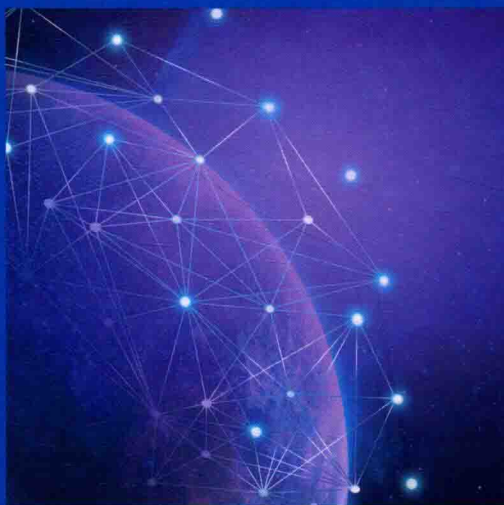
CETC
中国电科

CAICT
中国信通院

RESEARCH ON THE DEVELOPMENT
OF ELECTRONIC INFORMATION
ENGINEERING TECHNOLOGY IN CHINA

中国电子信息工程 科技发展研究 (综合篇)

■ 中国信息与电子工程科技发展战略研究中心



科学出版社

中国电子信息工程科技发展研究

(综合篇)

中国信息与电子工程科技发展战略研究中心

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书分析了电子信息领域近期至 2016 年度的科技发展情况,综合阐述了国内外电子信息领域科技重要突破及标志性成果,为我国科技人员准确把握电子信息领域发展趋势提供参考,也为我国制定电子信息科技相关发展战略提供支撑。全书分“总论”和“专题”两部分。总论较宏观地讨论了电子信息领域科技全球发展态势、我国发展现状和发展展望;专题分别对“微电子光电子”“光学工程”“感知”“测试计量”“电磁空间”“网络与通信”“信息安全”“水声工程”“电磁场与电磁环境效应”“控制”“认知”“计算机系统及软件”和“计算机应用”等 13 个专题方向在全球发展态势、我国发展现状、我国未来展望以及热点亮点工作等方面进行了具体探讨。

本书的工作成果同时包含了科技前沿技术研究成果和部分产业现状,对国家不同层面和不同领域的各界专家学者、工程科技管理人才、科研工作者、在校相关专业学生的工作和学习具有较高的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

中国电子信息工程科技发展研究. 综合篇/中国信息与电子工程科技发展
战略研究中心编. —北京:科学出版社,2017. 10

ISBN 978-7-03-054791-0

I. ①中… II. ①中… III. ①电子信息-信息工程-科技发展-研究-中国
IV. ①G203

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 242414 号

责任编辑:赵彦超 赵敬伟 / 责任校对:邹慧卿

责任印制:肖 兴 / 封面设计:耕者工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 10 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018 年 3 月第二次印刷 印张:23 3/4

字数:433 000

定价:138.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《中国电子信息工程科技发展研究(综合篇)》总体组名单

指 导 组

组长:陈左宁 卢锡城 邬江兴 吴曼青

成员(以姓氏笔画为序):

马远良	王天然	王恩东	韦 钰	方家熊	方滨兴	邓中翰
叶声华	吕跃广	邬贺铨	刘尚合	许祖彦	孙家广	安耀辉
李三立	李天初	李乐民	李伯虎	杨德森	吴 澄	余少华
沈昌祥	张广军	张尧学	张钟华	陈 纯	陈 鲸	陈志杰
陈良惠	陈俊亮	范滇元	金国藩	金怡濂	赵沁平	赵梓森
胡光镇	胡启恒	段宝岩	姜会林	费爱国	柴天佑	龚惠兴
戴 浩						

工 作 组

成员(以姓氏笔画为序):

卜 哲	王 坤	王 鹏	王庆国	王雪飞	付 强	乔 钢
刘 壮	刘国君	安 达	许守任	李 伟	李 婷	李梦男
李睿深	束宇翔	吴晓凡	何 炜	张 帆	张 睿	张陆游
陆 燕	陈 磊	邵秀梅	武 莹	范桂梅	周 兰	周 峰
胡小锋	陶 利	曹开彬	曹蓟光	商志刚	梁智昊	曾倬颖
蔡 鸣	蔡 毅	戴 飞				

国家高端智库



中国信息与电子工程科技发展战略研究中心

CHINA ELECTRONICS AND INFORMATION STRATEGIES

中国信息与电子工程科技发展战略研究中心简介

中国工程院是中国工程科学技术界的最高荣誉性、咨询性学术机构,是首批国家高端智库试点建设单位,致力于研究国家经济社会发展和工程科技发展中的重大战略问题,建设在工程科技领域对国家战略决策具有重要影响力的科技智库。当今世界,以数字化、网络化、智能化为特征的信息化浪潮方兴未艾,信息技术日新月异,全面融入社会生产生活,深刻改变着全球经济格局、利益格局、安全格局,信息与电子工程科技已成为全球创新最活跃、应用最广泛、辐射带动作用最大的科技领域之一。为做好电子信息领域工程科技类发展战略研究工作,创新体制机制,整合优势资源,中国工程院、中央网信办、工业和信息化部、中国电子科技集团加强合作,于2015年11月联合成立了中国信息与电子工程科技发展战略研究中心。

中国信息与电子工程科技发展战略研究中心秉持高层次、开放式、前瞻性的发展导向,围绕电子信息技术发展中的全局性、综合性、战略性重大课题开展理论研究、应用研究与政策咨询工作,充分发挥中国工程院院士、国家部委和中央企业中各层面专家学者的智力优势,积极推动自然科学与社会科学相结合,努力在信息与电子工程科技领域建设一流的战略思想库,为国家有关决策提供科学、前瞻、及时的建议。

《中国电子信息工程科技发展研究(综合篇)》

编写说明

当今世界,以数字化、网络化、智能化为特征的信息化浪潮方兴未艾,信息技术日新月异,全面融入社会生产生活,深刻改变着全球经济格局、利益格局、安全格局。电子信息工程科技作为全球创新最活跃、应用最广泛、辐射带动作用最大的科技领域,不仅是全球技术创新的竞争高地,也是世界各主要国家推动经济发展、谋求国家竞争优势的重要战略方向。电子信息技术是典型的“使能技术”,几乎是所有其他领域技术发展的重要支撑,电子信息技术与生物技术、新能源技术、新材料技术等交叉融合,有望引发新一轮科技革命和产业变革,给人类社会带来新的机遇。电子信息技术又是典型的“工程科技”,作为最直接、最现实的工具,直接将科学发现、技术创新与产业发展紧密关联,极大地加速了科学技术发展的进程,成为改变世界的重要力量。电子信息技术也是新中国成立 60 多年来特别是改革开放 30 多年来,中国经济社会快速发展的重要驱动力。在可预见的未来,电子信息工程科技的进步和创新仍将是推动人类社会发展的最重要的引擎之一。

中国工程院是国家工程科技界最高荣誉性、咨询性学术机构,把握世界科技发展大势,围绕事关科技创新发展的全局和长远问题,为国家决策提供科学的、前瞻的、及时的建议,履行好国家高端智库职能,是工程院的一项重要任务。为此,中国工程院信息与电子学部责成邬江兴、吴曼青两位院士具体负责,组织学部院士,动员各方面专家 300 余人,参与《中国电子信息工程科技发展研究(综合篇)》(以下简称“蓝皮书”)编撰工作。编撰“蓝皮书”的宗旨是:分析研究电子信息领域年度科技发展情况,综合阐述国内外年度电子信息领域科技重要突破及标志性成果,为我国科技人员准确把握电子信息领域发展趋势提供参考,为我国制定电子信息科技发展战略提供支撑。

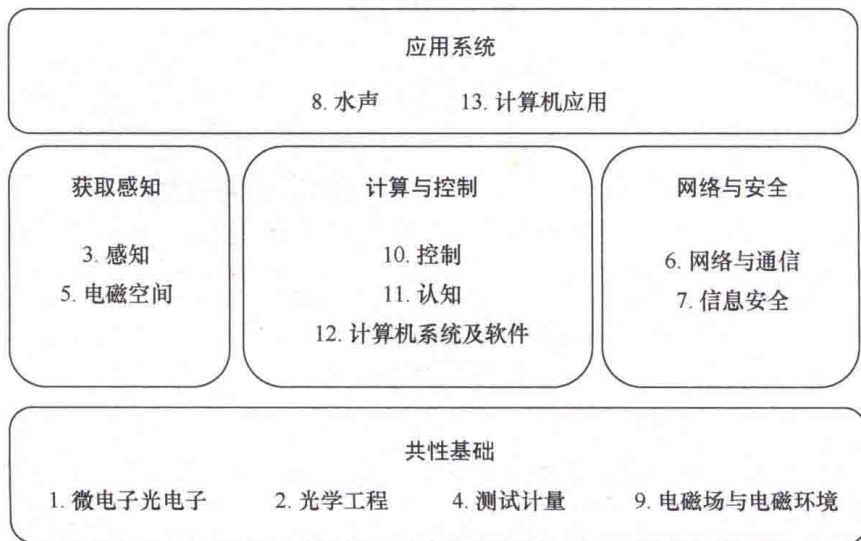
“蓝皮书”编撰的指导原则有以下几条:

(1) **写好年度增量。**电子信息工程科技涉及范围宽、发展速度快,本书立足“写好年度增量”,即写好 2015 年特别是 2016 年的新进展、新特点、新趋势。

(2) **精选热点亮点。**我国科技发展水平正处于“跟跑”“并跑”“领跑”的三“跑”并存阶段。本书力求反映我国该领域发展特点,不片面求全,把关注重点放在发展中的“热点”方向和取得明显进步的技术“亮点”。

(3) **总论专题结合。**本书分“总论”和“专题”两部分。总论部分较宏观地讨论了电子信息领域科技全球发展态势、我国发展现状和发展展望;专题部分分别对

13 个专题方向进行较具体的分析。专题选择没有严格遵照传统的学科划分,而是以信息“获取”“传输”“处理”“应用”等要素为基础,辅之以部分“应用系统”和“共性基础”,形成如下图所示的 5 大类和 13 个专题方向。13 个专题方向的颗粒度不尽相同,但各专题内的技术点相关性强,也能较好地与学部专业分组对应。



13 专题方向归类图

编撰“蓝皮书”仍在尝试阶段,难免存在很多疏漏和错误,敬请批评指正。

中国信息与电子工程科技发展战略研究中心

2017 年 1 月 19 日

目 录

《中国电子信息工程科技发展研究(综合篇)》编写说明

总 论

第一部分 全球发展态势	3
一、宏观态势	3
(一) 各国继续强化电子信息发展布局,加快抢占数字时代发展先机	3
(二) 电子信息科技正处于群体突破前夜,工程科技开创体系化创新时期	4
(三) 大数据重新定义工程科技新范式,开源开放重塑技术发展模式	5
(四) 电子信息技术与各行业深入融合应用,加速构建现代产业体系	6
(五) 电子信息科技深刻改变人类生产生活方式,加速社会现代化进程	6
二、相关态势	7
(一) 集成电路开启超摩尔探索,大规模集成技术引领光电子发展	7
(二) 光学工程呈现多元、多极发展态势,激光应用深度和广度不断拓展	8
(三) 遥感手段与范围不断拓展,全球化、精细化探测引领未来技术方向	8
(四) 传感器日益成为信息技术重要基础,集成化、智能化成为重要方向	9
(五) 高精密计量测试紧密围绕行业应用,促进电子信息产业质量提升	10
(六) 雷达加速网络化智能化发展,孕育全新一代雷达体系	11
(七) 人网物三元万物互联飞速演进,软定义大带宽广覆盖引领未来	11
(八) 网络安全向主动和动态防御转变,管防控一体化全面发展	12
(九) 海洋战略引领水声装备快速发展,产业规模持续增长	13
(十) 制电磁权争夺激烈,新型电磁材料和器件高速发展	13
(十一) 大数据驱动人工智能新高潮,信息物理系统加速控制系统智能化	14
(十二) 高性能计算和先进存储加速突破,计算机应用开启智能时代	15
第二部分 我国发展现状	16
一、发展环境	16
(一) 重视顶层规划,完善政策支撑体系	16
(二) 创新和应用双轮驱动,加快建设科技强国	18
(三) 坚持市场导向,创新产业发展思路	20
二、技术现状	21
(一) 移动芯片带动设计优势向制造和封测扩散,光子集成技术快速发展	21

(二) 光学技术与应用稳健发展,科技创新成果走在前沿	21
(三) 遥感技术与国际同步,初步形成体系化发展	22
(四) 航天核心传感器实现自主可控,“智慧十”驱动感知领域加速创新	23
(五) 电子信息仪器仪表体系形成,计量测试技术和应用水平快速提升	23
(六) 雷达系统技术与国际同步发展,基础技术追赶先进水平	24
(七) 网络与通信成为自主创新典范,从跟随模式加速转向创新引领	25
(八) 网络安全自主可控进一步提升,理念和防御技术创新迎来突破	25
(九) 水声技术装备种类齐全,突破传统领域加快赶超步伐	26
(十) 电磁兼容及防护技术创新突破,电磁制衡能力大幅提升	26
(十一) 新型控制技术广泛应用,控制系统智能化水平显著提升	27
(十二) 人工智能技术与产业加速追赶,数据资源优势日益凸显	27
(十三) 高端计算多点突破,智能终端系统多元化创新	28
(十四) 计算机应用技术整体跃升,产业智能化发展特征明显	29
三、产业现状	29
(一) 产业发展势头强劲,产业集聚效应明显	29
(二) 新模式新业态打造新动能,两化融合协同效应初显	31
第三部分 我国发展展望	34
一、发展思路	34
二、发展重点	36
(一) 强化集成电路工艺基础创新,加强光电子芯片及器件研发	36
(二) 深化光学前沿基础问题研究,加快高新技术工程应用转化	37
(三) 持续提升空间、时间、光谱分辨率,遥感数据进一步精细化	37
(四) 推进低端传感器集约化发展,提升中高端传感器产业竞争力	38
(五) 研究基于量子物理的新一代计量基标准,提升测试计量和仪表水平	38
(六) 雷达性能提升与功能扩展并行,提升体系对抗能力	39
(七) 探索未来网络与通信革命性技术体系,构建陆海空天一体化网络	39
(八) 构建安全态势感知与防御体系,加快物联网和工控安全创新	40
(九) 完善水声装备体系化建设,推动军民融合深度发展	40
(十) 电磁环境效应机理与体系化防护研究并重,推进大型基础平台研制	41
(十一) 促进智能信息空间与控制技术深度融合,实现“无缝智能”	41
(十二) 推动人工智能范式融合,研发新型认知计算基础软件开源平台	42
(十三) 协同发展 E 级高性能计算与存储系统,加快创新新型终端系统技术	42
(十四) 推动计算机应用技术协同创新,培育智慧产业快速发展	43
参考文献	43

专 题

专题一 微电子光电子	47
编写说明	48
专家组和撰写组名单	49
专题研究	51
一、全球发展态势	51
二、我国发展现状	53
三、我国未来展望	55
四、我国热点亮点	56
(一) 系统集成芯片设计技术	56
(二) 微电子封装技术	58
(三) 微电子机械系统技术	59
(四) 微波光电子技术与集成	61
(五) 光电光纤传感器	62
(六) 光电子技术军事应用	63
专题二 光学工程	65
编写说明	66
专家组和撰写组名单	67
专题研究	69
一、全球发展态势	69
(一) 固体激光技术向多极化发展	69
(二) 红外技术向军用和民用领域持续拓展	69
(三) 新型光学系统和仪器不断涌现	70
(四) 光波精密调控将获得突破	70
(五) 量子计算技术已初见端倪	70
(六) 激光增材制造推动工业制造水平到全新的高度	71
(七) 空间激光通信技术成为实现天地一体化的重要手段	71
(八) 光学观测成为空间观测最重要的手段	71
二、我国发展现状	71
(一) 光学工程前沿领域地位逐步提高	72
(二) 大力支持科研立项与成果积累	72
(三) 光学制造行业发展迅速	75
三、我国未来展望	76
(一) 我国将在基础科研领域形成一批重要成果	76

(二) 我国激光增材制造产业将进入快速发展阶段	76
(三) 我国空间激光通信将步入实用化	76
(四) 光纤通信将在技术和应用层面实现多项系统级创新	76
(五) 光学技术将进一步提升我国军事斗争和反恐维稳能力	77
(六) 我国红外成像将实现广泛应用	77
四、我国热点亮点	77
(一) 大口径光学加工技术	77
(二) 空间激光通信技术	79
(三) 星载激光测距技术	83
(四) 高功率激光器技术	85
(五) 高性能红外成像技术	86
(六) 量子成像技术	88
参考文献	89
专题三(1) 感知-遥感	91
编写说明	92
专家组和撰写组名单	93
专题研究	95
一、全球发展态势	95
(一) 体系化部署面向全球变化科学研究的遥感观测计划	95
(二) 高度重视遥感数据和定量遥感产品的质量控制技术	95
(三) 遥感信息产业正在迈入快速发展关键时期	96
二、我国发展现状	96
(一) 遥感技术全球化观测战略布局有待进一步优化	96
(二) 遥感数据及信息产品质量控制技术的重视有待进一步加强	96
(三) 遥感信息社会化、大众化服务水平和能力有待进一步提升	97
三、我国未来展望	97
(一) 遥感技术及应用发展正在向“高精度”“社会化”方向迈进	97
(二) 遥感技术未来发展重点	97
四、我国热点亮点	98
(一) 遥感技术及应用的前沿共性问题	98
(二) 可见光高分辨率成像技术及应用	99
(三) 航天测绘成像技术及应用	102
(四) 航空光学遥感技术及应用	103
(五) 红外成像/探测技术	103
(六) 高光谱成像技术及应用	105

(七) 合成孔径雷达技术及应用	106
(八) 激光遥感技术及应用	108
(九) 微波遥感技术及应用	109
(十) 遥感技术气象海洋应用	110
(十一) 遥感技术军事应用	111
(十二) 遥感技术国土资源与生态环境应用	112
参考文献	113
专题三(2) 感知-传感器	115
编写说明	116
专家组和撰写组名单	117
专题研究	119
一、全球发展态势	119
(一) 全球传感器产业进入快速增长期	119
(二) 科技进步和市场需求持续驱动传感器技术创新	120
(三) 智能传感器发展带动集成电路的发展	120
(四) 全球传感器产业进一步集中,我国传感器技术和产业有长足发展	120
二、我国发展现状	120
三、我国未来展望	121
四、我国热点亮点	122
(一) 可见光传感器	122
(二) 红外传感器	123
(三) 紫外传感器	125
(四) 太赫兹传感器	127
(五) 力学传感器	128
(六) 磁学传感器	129
(七) 电学传感器	130
(八) 声学传感器	132
(九) 化学生物传感器	134
(十) 集成组合 Combo 传感器	135
参考文献	136
专题四 测试计量	141
编写说明	142
专家组和撰写组名单	143
专题研究	145
一、全球发展态势	145

二、我国发展现状	148
(一) 信息通信领域测试计量	148
(二) 无线传感与测试计量	149
(三) 智能制造相关测试	150
(四) 时频计量	150
三、我国未来展望	150
四、我国热点亮点	153
(一) 无线通信测试	153
(二) 光学和光通信测量	155
(三) 量子计量与测量	156
(四) 时间频率计量	157
(五) 大数据和高性能计算测试	158
参考文献	159
专题五 电磁空间	165
编写说明	166
专家组和撰写组名单	167
专题研究	169
一、全球发展态势	169
(一) 雷达系统技术	169
(二) 雷达对抗技术	170
(三) 雷达信号处理技术	171
二、我国发展现状	171
(一) 雷达及雷达对抗技术与国外同步发展	171
(二) 基础技术发展良好,尚需追赶国际先进水平	172
三、我国未来展望	172
(一) 雷达系统技术	172
(二) 雷达对抗技术	173
(三) 雷达信号处理技术	173
四、我国热点亮点	173
(一) 雷达系统技术	173
(二) 雷达对抗技术	180
(三) 雷达信号处理技术	184
参考文献	187
专题六 网络与通信	189
编写说明	190

专家组和撰写组名单	191
专题研究	193
一、全球发展态势	194
(一) 前沿创新	194
(二) 技术创新	195
(三) 产业发展	196
二、我国发展现状	196
(一) 前沿创新	196
(二) 技术创新	197
(三) 产业发展	197
(四) 机遇挑战	198
三、我国未来展望	199
(一) 前沿创新	199
(二) 技术创新	199
(三) 产业发展	199
四、我国热点亮点	200
(一) 移动通信	200
(二) 数据通信	202
(三) 光纤通信	204
(四) 移动互联网	205
(五) 物联网	207
参考文献	208
专题七 信息安全	211
编写说明	212
专家组和撰写组名单	213
专题研究	215
一、全球发展态势	215
(一) 从被动防御向主动防御转变,主动防御技术多样化发展	215
(二) 安全自动化与智能化程度提高,趋向管防控一体化与云管端协同	215
(三) 大数据技术与安全技术融合成为 2016 最大热点	216
(四) 全球工控网络、移动支付等重点领域安全技术取得多方面进展	217
(五) 量子密钥分发技术获得突破性进展,同态加密与区块链技术各有发展	217
二、我国发展现状	218
(一) 芯片、操作系统、安全整机等自主可控技术领域取得较大进展	218
(二) 主动免疫防御、拟态防御和量子计算等自主创新进入世界前列	219

(三) 我国在云计算、大数据等网络安全对抗技术方面快速发展	220
三、我国未来展望	221
(一) 发展思路	221
(二) 目标导向	222
(三) 发展路径	222
(四) 重点任务	222
四、我国热点亮点	222
(一) 主动防御技术	222
(二) 云安全技术	224
(三) 大数据安全技术	225
(四) 量子通信	226
参考文献	227
专题八 水声工程	229
专家组和撰写组名单	230
专题研究	231
一、全球发展态势	231
二、我国发展现状	232
三、我国未来展望	233
四、我国热点亮点	233
(一) 海洋声学的建模与实验研究	233
(二) 声呐技术	236
(三) 水中目标特性与声隐身技术	238
专题九 电磁场与电磁环境效应	241
编写说明	242
专家组和撰写组名单	243
专题研究	245
一、全球发展态势	245
(一) 电磁场理论与多学科交叉,新概念、新机理、新方法持续突破	245
(二) 电磁环境效应被提升为国家战略安全的要素	246
(三) 电磁环境效应成为技术垄断和贸易壁垒的利器	247
二、我国发展现状	248
(一) 基础研究薄弱,仿真预测技术手段不全	248
(二) 电磁环境效应作用机理研究不深入	248
(三) 新材料、新器件不能满足发展需求	249
(四) 电磁环境效应标准体系尚不完善	249

三、我国未来展望	250
(一) 发展思路	250
(二) 发展路径	250
四、我国热点亮点	251
(一) 短波电磁环境治理	251
(二) 电磁防护仿生新技术	253
(三) 电磁防护材料技术	257
(四) 电磁场天线技术	260
(五) 电磁兼容设计技术	262
(六) 计算电磁学	265
参考文献	267
专题十 控制	273
编写说明	274
专家组和撰写组名单	275
专题研究	277
一、全球发展态势	278
二、我国发展现状	280
三、我国未来展望	281
(一) 发展思路	281
(二) 目标导向	282
(三) 发展路径	282
(四) 重点任务	283
四、我国热点亮点	283
(一) 共融机器人技术	283
(二) 流程工业知识自动化	285
(三) 离散制造智能工厂	288
参考文献	291
专题十一 认知	293
编写说明	294
专家组和撰写组名单	295
专题研究	297
一、全球发展态势	297
二、我国发展现状	298
三、我国未来展望	299
(一) 发展思路	299

(二) 目标导向	300
(三) 发展路径	300
(四) 重点任务	300
四、我国热点亮点	301
(一) 知识学习与推理技术	301
(二) 深度学习	303
(三) 类脑智能技术	306
(四) 群智认知技术	308
(五) 认知增强的可视分析技术	312
(六) 混合智能技术	314
参考文献	317
专题十二 计算机系统及软件	319
编写说明	320
专家组和撰写组名单	321
专题研究	323
一、全球发展态势	323
(一) 高性能计算技术研究不断深入,主要国家加快相关布局	323
(二) 容器技术带动云计算迭代升级,大规模分布式存储进入创新高峰	324
(三) 下一代计算终端形态酝酿创新,呈现泛终端发展态势	324
二、我国发展现状	325
(一) 计算机系统与软件技术进步明显,基础技术和元器件仍有差距	325
(二) 终端产品规模增长迅速,产业整体生态影响力不高	326
(三) 智能技术同计算系统与软件加速融合,部分领域处于世界前列	326
三、我国未来展望	326
(一) 加强计算系统技术创新,逐步解决基础器件、产业生态等问题	326
(二) 积极抢占计算系统与软件技术前沿阵地	327
四、我国热点亮点	327
(一) 高性能计算技术/应用	327
(二) 存储系统技术/应用	329
(三) 云计算技术	331
(四) 搜索引擎技术	333
(五) 新型终端系统技术	335
(六) 终端安全技术	337
参考文献	339