




中国战略性新兴产业 研究与发展

R&D of
China's Strategic
New Industries

智能电网

Smart Grid

中国科学院电工研究所 组编
肖立业 主编

 机械工业出版社
China Machine Press



014004810

F121.3
98
V11

中国战略性新兴产业 研究与发展

R&D of China's Strategic New Industries

智能电网

Smart Grid



中国科学院电工研究所 组编
肖立业 主编



机械工业出版社
China Machine Press

F121.3
98
V11

本书按智能电网包含的类别分成12章,每章独成体系就国内外技术与产业发展现状、未来发展趋势、发展前景与路线图进行深入分析研究,进而提出各自的发展对策与建议,最后汇总各个环节的研究结果,整体提出我国智能电网产业发展环境及对策、建议,展望未来智能电网的发展趋势。

第1~12章分别为智能电网概论、电力传感器与传感网、测量系统与保护控制、电网信息通信与计算、分布式电网、智能用电与智能园区、电力电子器件与装置、智能高压电气设备、电力储能系统、超导电力技术、我国智能电网产业发展环境及对策建议、智能电网的全球制高点和路线。

本书将普及性、科学性有机地统一起来,既具有一定的思想、理论深度,又具有浅显易懂、实用的特点,并且本书按智能电网包含的类别进行章节划分,将差异性与整体性有机统一起来,方便各分行业读者阅读。本书既适合政府部门、行业决策机构制定政策法规,电气与信息行业学术研究机构规划研究方向参考,也适合电气与信息企业决策者,技术、管理及市场人员,以及投资、证券行业及咨询机构的人员在规划、投资、研究、项目实施中使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国战略性新兴产业研究与发展. 智能电网 / 肖立业
主编:—北京:机械工业出版社,2013.6
ISBN 978-7-111-43192-3

I. ①中… II. ①肖… III. ①新兴产业—产业发展—研究—中国 ②智能控制—电力系统—产业发展—研究—中国 IV. ①F121.3 ②F426.61

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第150947号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:张珂玲 张利萍 编辑:张丹丹
责任校对:陈延翔 刘雅娜
北京宝昌彩色印刷有限公司印制

2013年6月第1版第1次印刷
170mm×242mm·39印张·699千字
标准书号:ISBN 978-7-111-43192-3
定价:238.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

易览网:<http://www.mepfair.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)68326643

封面无防伪标均为盗版

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会

- 主任** 路甬祥 全国人大常委会副委员长、中国科学院院士
- 副主任** 苏波 工业和信息化部副部长
- 王文斌 中国机械工业联合会副会长、机械工业信息研究院院长、机械工业出版社社长

委员 (按姓氏笔画排序)

- 王仲颖 国家发展和改革委员会能源研究所副所长
- 石勇 机械工业信息研究院战略与规划研究所所长
- 付于武 中国汽车工程学会理事长
- 刘忠明 郑州机械研究所副总工程师兼研发中心主任
- 祁俊 中国工程机械工业协会会长
- 李树君 中国农业机械化科学研究院院长
- 李俊峰 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心主任
- 肖立业 中国科学院电工研究所所长
- 吴筠 中国机械通用零部件工业协会原理事长
- 何加群 中国轴承工业协会专务委员
- 汪鸣 国家发展和改革委员会综合运输研究所副所长
- 宋天虎 中国机械工程学会常务副理事长
- 张进华 中国汽车工程学会常务副理事长兼秘书长
- 张志英 中国液压气动密封件工业协会原理事长
- 陆力 中国水利水电科学研究院水力机电研究所所长
- 茅仲文 中国工程机械工业协会副秘书长
- 徐和谊 北京汽车集团有限公司董事长
- 徐洪泉 中国水利水电科学研究院水力机电研究所总工程师
- 郭锐 机械工业信息研究院副院长、机械工业出版社副社长
- 盛伯浩 北京机床研究所副总工程师
- 韩文科 国家发展和改革委员会能源研究所所长
- 景晓波 工业和信息化部运行监测协调局副巡视员
- 谢三明 工业和信息化部运行监测协调局监测预测处处长

《中国战略性新兴产业研究与发展·智能电网》

执行编委会

主 编 肖立业
副 主 编 齐智平 刘建明 廖瑞金
撰 稿 人 肖立业 夏善红 韩 立 陈贤祥 郑凤杰
任 仁 毕天姝 陆 超 薛安成 刘建明
赵丙镇 杨 猛 齐智平 鲁宗相 周 龙
邓 卫 欧阳红 王丽芳 李耀华 徐德鸿
肖湘宁 王正仕 廖瑞金 荣命哲 张国强
王有元 杜 林 周 淙 张晓星 来小康
屈 慧 王松岑 林良真 戴少涛 裴 玮
特约撰稿人 武建东

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会办公室

主 任 郭 锐（兼）
副主任 李卫玲
成 员 赵 敏 张珂玲 李 晶

序言

全球金融危机和经济衰退发生以来，美欧日俄等各国为应对危机、复苏经济、抢占未来发展的先机和制高点，都在重新审视发展战略，不断加快推进“再工业化”，培育发展以新能源、节能环保低碳、生物医药、新材料与高端制造、新一代信息网络、智能电网、海洋空天等技术为支撑的战略性新兴产业，在全球范围内构建以战略性新兴产业为主导的新产业体系。力图通过新一轮的技术革命引领，重新回归实体经济，创造新的经济增长点。这已成为很多国家摆脱危机、实现增长、提升综合国力的根本出路。可以预计，未来的二三十年将是世界大创新、大变革、大调整的历史时期，人类将进入一个以绿色、智能、可持续发展为特征的知识文明时代。那些更多掌握绿色、智能技术，主导战略性新兴产业发展方向的国家和民族将在未来全球竞争合作中占据主导地位，赢得全球竞争合作，共享持续繁荣进程中的主动权和优势地位。

为应对金融危机和全球性经济衰退以及日趋强化的能源、资源和生态环境约束，以实现中国经济社会的科学发展、和谐发展、持续发展，党中央、国务院提出加快调整产业结构、转变经济发展方式，加快培育和促进战略性新兴产业发展的方针，出台了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》以及相关政策举措。可以肯定，未来5~10年将是我国结构调整与改革创新发展的一个新的战略机遇期，将通过继续深化改革，扩大开放，提升自主创新能力，建设创新型国家，实现我国科技、产业、经济由大变强的历史性跨越，我国经济社会发展将走出一条依靠创新驱动，绿色智能，科学发展、和谐发展、持续发展之路，实现中华民族的伟大复兴。

展望未来，高端装备制造、新能源汽车、节能环保、新一代信息技术、生物医药、新能源、新材料、绿色运载工具、海洋空天、公共安全等全球战略性新兴产业将形成十数万亿美元规模的宏大产业，成为发展速度最快，采用高新技术最为密集，最具持续增长潜力的产业群落。战略性

新兴产业的发展需求也将拉动技术的创新突破和产业结构的调整，为包括我国在内的全球经济发展注入新的强大动力。

在世界各国高度重视培育和发展战略性新兴产业的新形势下，编著一套《中国战略性新兴产业研究与发展》图书，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对行业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行全面、系统研究，凝聚对战略性新兴产业内涵和发展重点的认识，为国家战略性新兴产业发展规划的顺利实施，以及政府和有关部门制定促进战略性新兴产业发展的相关政策和法规提供参考，具有十分重要的现实意义。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书一期包括 12 个分册，对相应产业的阐述、分析均注重强调战略性新兴产业的六个主要特点：

一是**绿色**。战略性新兴产业属于能耗低、排放少、零部件可再生循环的“环保型”“绿色型”产业，无论从产品的设计、制造、使用，还是回收、再利用等整个生命周期的各个环节，对资源的利用效率与对环境的承载压力均要求达到最理想水平。

二是**智能**。新型工业化要求坚持以信息化带动工业化、以工业化促进信息化，即要实现“两化融合”。而“两化融合”决定了智能是未来产业尤其是战略性新兴产业的发展方向。所谓智能，是指制造过程的智能化、产品本身的智能化、服务方式的智能化。这些均是智能的最基本层次，它还具有其他更为丰富的内涵。如：智能电网，通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用，可实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和系统安全等方面的智能；智能汽车不只是安全智能，还包括节能、减排、故障预警等方面的智能。

三是**全球制造**。随着全球化趋势不断深化，战略性新兴产业的发展成果也必将是由全人类共创共享。新产品的研制开发，不再由一个企业独自完成，需要集成各方面优势资源共同解决。例如 iPhone 在中国完成装配，但它的设计、研发以及许多零部件的供应都是在美国、日本、欧洲等国实现的，其本身就是一个全球化的产品。因而，未来的制造必

然是全球化制造、网络化制造。

四是**满足个性化需求与为更多人分享相结合**。目前中国有 13 亿人口，印度有 12 亿人口，还有巴西、印度尼西亚等新兴国家、发展中国家也都要实现现代化。在全球如此规模庞大的人群中，既存在富裕阶层、高消费阶层，他们的消费需求是个性化、多样化的；又有占比较大的中产阶层、贫困人口，他们的消费需求是基本层次的，但也不能被忽视。两种类型的消费需求必须同时被满足，这不仅是构建和谐社会的需要，而且是构建和谐世界的需要。因此，我国发展战略性新兴产业，应该既要满足中高端个性化的需求，同时又要满足我国与其他发展中国家广大普通消费者的需求。要把个性化的设计、个性化的产品生产，与规模化、工业化的传统生产结合起来，不能完全抛弃传统的规模化生产方式。

五是**可持续**。要使有限的自然资源得以有效、可持续利用，发展利用可再生资源、能源，强调发展再制造、循环经济。无论是原材料使用，还是零部件制造，从研发、设计之初就考虑到了生产中的废料、使用后的遗骸的回收处置，使其能够重新得到循环利用。

六是**增值服务**。培育发展战略性新兴产业需要注意在设计制造过程中与产品售后、使用过程中提供相关增值服务。不应再局限于传统的观念，只注重制造本身，而不注重服务的价值。例如，发展电动汽车产业，必须首先解决好商业模式问题，包括充电桩建设、电池更换、废旧电池回收等服务方面，否则将无法广泛推广。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书内容丰富，资料翔实，观点鲜明，立意高远，并力求充分体现“四性”，即科学性、前瞻性、指导性和基础性。

第一，体现**科学性**。所谓科学性，就是指以科学发展观为指导。科学发展观的核心是以人为本，总体目标是全面、协调、可持续，基本方法是统筹兼顾，符合客观规律。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书既要能够为党中央、国务院提出的加快发展战略性新兴产业的总体战略服务，又不受行业、部门的局限，更不能写成规划或某些部门规划的解读材料，而应能够立足于事物客观规律、立足于全局。各分

册编写组同志重视调查、研究，力求对国情、科技、产业及全球相关产业的发展态势有比较准确的把握，努力为我国战略性新兴产业的发展提供一本基于科学基础的好素材。这套图书立足基于我国国情，而不是简单地把发达国家的相关产业信息进行综合、编译，照搬照抄。当然，我国发展战略性新兴产业不能“闭门造车”，而是要坚持开放性，积极参与国际分工合作，充分利用全球优势资源，提高发展的起点和水平。因而，有必要参照国际成功经验与最新发展趋势，但一定要以我国国情和产业特点为根本出发点，加快培育和发展有中国特色的、竞争能力强的战略性新兴产业。

第二，体现**前瞻性**。一是能够前瞻战略性新兴产业的发展，因为这套图书是战略性新兴产业的发展指导书。二是能够前瞻战略性新兴产业技术的发展。为了做好这两个前瞻，必须要适当地前瞻全球经济、我国经济与战略性新兴产业发展的趋势。只讲发展现状是不够的，因为关于现状的资料很多，通过简单地网络搜索即可查到；也不能只罗列国外的某些规划和发展战略。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的编写注重有深度的科学分析与前瞻性的研究。

第三，体现**指导性**。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书本身就是指导书，能够对产业、对技术、对国家制定政策，甚至在未来国家发展战略与规划的制定等方面发挥一定的引导作用与影响。虽然不能说这套图书可以指导国家战略与规划的制定，但是应该努力发挥其积极的引导作用。

第四，体现**基础性**。所谓基础性，就是指要能够提供战略性新兴产业的基础信息、基础知识，以及我国和有关国家在相关产业发展方面的基本战略，主要的法规、政策和举措，并尽可能提供一些基本的技术路线图。比如在轴承分册，就描述了一个轴承产业发展的路线图。唯有如此，《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书才能满足原来立项的宗旨——不仅要为工程技术界、大学教师、大学生与研究生提供学习参考书，为产业界的技术人员、管理人员提供决策参照，而且要为政府部门的政策法规制定者提供参考。

机械工业出版社是具有 60 年历史的专业性综合型出版机构，改革开放后，随着市场经济的发展，机械工业出版社不断改革转型，不但形成了完善的编辑出版工作流程和质量保证体系，而且编辑人员作风严谨，工作创新。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书不仅是一套科技普及书，更是一套产业发展参考书，必须既要介绍国内外战略性新兴产业的发展情况，又要阐述相关政策、法规、扶植措施等内容。因此，这套图书的组编单位、编写负责人和编写工作人员必须要有相关积累和优势。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书所选的分册主编和作者主要是精力充沛的业内中青年专家，并由资深专家负责相应的编审、校审工作。现在看来大多数工作由中青年同志担当，是完全符合实际的。此外，这套图书的编著还充分发挥了有关科研院所、行业学会和协会的作用，他们的优势在于对行业比较熟悉，并掌握了较为丰富的资料。

最后，特别感谢国家出版基金对《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的大力支持！感谢全体编写出版人员的辛勤劳动！

期望《中国战略性新兴产业研究与发展》为社会各界了解战略性新兴产业提供帮助，期待中国战略性新兴产业培育和发展尽快取得重大突破，祝愿我国在不久的将来实现由经济大国向经济强国的历史性跨越！是为序。

浩南祥

2012 年 2 月 6 日于北京

前言

当今电网是经历了 100 多年才逐渐发展起来的，其基本形态没有根本性的变化，即电网以传统电力设备为网架基础、以可调度能源（如化石能源、水力和核能等）作为电力的主要一次能源和以交流为运行模式的基本形态没有发生根本性的变化。然而，电网的规模和结构形态发生了很大的变化，即从最初的局域小规模电网发展到区域中等规模电网，进而发展到今天的跨区互联大电网。以我国为例，2012 年，我国发电总装机容量已经接近 12 亿 kW，年总发电量接近 5 万亿 kW·h，我国电网已经基本形成了“西电东送、南北互供、全国联网”的总体格局，已经覆盖了全国大部分地区。

现有大电网存在以下几个方面的重大问题：①电网结构不尽合理；②随着电网规模的扩大，电网的安全稳定性问题和不可预知因素日益突出；③大容量远距离输电能力有待于进一步提升；④电能质量和电网运行效率有待于进一步提高。

然而，更为根本性的挑战来自于能源结构的重大调整。随着可再生能源越来越多地接入电网，将对电网带来一系列新的严峻挑战，这主要是由可再生能源的特点决定的。主要挑战包括以下几个方面：①由于电力资源与负荷地理分布不一致，远距离输电和区域电网互联的大电网架构不会改变，且由于能源结构调整，电力在终端能源消费结构中所占比例将越来越大，电网的规模将进一步扩大。同时，可再生能源具有波动性和间歇性的特点。因此，如何维持电网的动态功率平衡和保障大电网安全稳定性将成为更为严峻的挑战；②由于太阳能和风能等可再生能源不能通过普通的交通工具输送，而只能通过电网输送，据预测，我国 2050 年将有大约 6 亿 kW 的电力需要从西部或北部向东部或南部输送，这对传统电力输送方式带来了很大的挑战；③由于可再生能源具有波动性和间歇性，使得电网中将出现功率的双向流动，合理地实现和控制功率的双向流动是十分必要的；④由于可再生能源具有分散性，因此分布式电网将会大量出现，实现分布式电网的大量接入以及电力用户和外部电网的供需互动将成为电网的新问题；⑤由于化石能源将逐渐被电能替代，电网中的负荷结构及其动态特性将发生重大变化，这对电网也将带来新的挑战；⑥与当今电网的一次能源资源结构相比，未来电网的一次能源具有多样性，其时空分布和电源动态特性也具有多样性，这对电网的运行也将带来新的挑战。

现有电网所存在的问题以及未来能源结构重大调整所带来的挑战，迫使人们去思考如何从整体上解决这些问题并应对未来的挑战，于是，智能电网的概念便应运而生。我们认为，智能电网的本质就是利用现代信息技术（如传感器及传感器网络、现代通信技术、超级计算与分布式计算等）、新型电力设备（如传统电力设备的数

字化和智能化升级、电力电子器件及装备、超导电力装备等)、新材料技术(如储能材料、新型绝缘材料等)和新的电网结构模式(如可重构的网状结构和分布式电网等)等来运行和管理电网,使电网能够大规模地容纳可再生能源的接入,使电网中的各个环节(包括发电、输配电、储能、电力用户与分布式电网等)实现优化的自适应互动,并使电网更加高效、安全及可靠。由于能源结构将转变为以可再生能源为主,因而智能电网将是未来能源生产、传输、分配和利用的主要载体。

智能电网涉及多学科领域,智能电网的建设需要大量新技术的支撑,发展智能电网将带动一批新兴技术和产业的形成和发展。因此,智能电网无疑将是我国战略性新兴产业的重要组成部分。着眼于智能电网技术及产业的发展,本书将系统地阐述智能电网所涉及的新技术及产业,在兼顾智能电网技术体系的整体性的同时,重点介绍各种新技术的原理、国内外发展现状与未来发展前景,并给出了各技术领域的发展路线图。同时,结合国际国内形势提出相关建议与对策。

作为未来能源体系的主要组成部分,智能电网也将可能通过物联网技术与能源系统的其他组成部分(如燃气网和热力网等)构成一个统一的整体,并实现整个能源体系的优化及供需互动,从而形成智能能源网。因此,本书最后部分阐述了智能能源网的概念及其发展前景,并提出了我国智能能源网的发展政策建议。

全书共12章。参加各章编写的人员如下:第1章,肖立业;第2章,夏善红、韩立、陈贤祥、郑凤杰、任仁;第3章,毕天姝、陆超、薛安成;第4章,刘建明、赵丙镇、杨猛;第5章,齐智平、鲁宗相、周龙、邓卫;第6章,欧阳红、赵丙镇、王丽芳;第7章,李耀华、徐德鸿、肖湘宁、王正仕;第8章,廖瑞金、荣命哲、张国强、王有元、杜林、周淙、张晓星;第9章,来小康、屈慧、王松岑、齐智平;第10章,肖立业、林良真、戴少涛;第11章,裴玮;第12章,武建东。杜永红和秦洁为本书的文字编辑做了大量工作,杨哲在本书编写过程中做了大量的联络和组织工作。

希望本书的出版能够为我国智能电网的发展贡献微薄之力。本书可作为智能电网技术研究开发人员和相关专业学生的参考书,也可以为政策制定、企业发展等提供帮助。

本书涉及面广,且由多位作者共同完成,因此各章写作风格也有所差异,写作中也难以避免错误及疏漏,请各位读者包涵并批评指正。

肖立业

2013年4月11日

编写说明

《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》确定了我国未来经济社会发展的战略重点和方向是战略性新兴产业，并且根据我国国情和科技、产业基础，又制定出现阶段重点发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车七大新兴产业。可见，未来5~10年七大战略性新兴产业将是国家重点支持、大力推广的产业。

为了使大家全面理解、准确把握、深刻领会国家这一战略决定的精神实质，了解其发展内涵，推动产业结构升级和经济发展方式转变，增强国际竞争优势，抢占新一轮经济和科技制高点，机械工业出版社在国家出版基金的支持下，组织各领域权威专家编写了一套《中国战略性新兴产业研究与发展》（以下简称《研究与发展》）图书。

《研究与发展》以国家相关发展政策和规划为基础，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对产业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行了全面、系统的研究；对前瞻性、基础性和目前产业上有瓶颈限制的问题提出了有针对性的对策。

《研究与发展》采用分期分批的出版方式陆续出版发行，第一期出版的分册包括太阳能、风能、生物质能、智能电网、新能源汽车、轨道交通、工程机械、水电设备、农业机械、数控机床、轴承和齿轮。今后根据国家产业政策要求及各行业的发展情况还将陆续推出其他分册。

为了出版好《研究与发展》，机械工业出版社成立了《中国战略性新兴产业研究与发展》编委会，全国人大常委会路甬祥副委员长担任编委会主任。路甬祥副委员长对该套图书的编写高度重视，亲自参加编委研讨会，多次提出重要指导意见。他从图书的定位、内容选材、作者队伍建设和运作流程等方面都给予了全面和具体的指导，并提出了“六个特点”和“四性”的具体要求。

机械工业出版社还建立了完善的项目管理、编写组织、出版规范和网络支撑四个方面的工作体系来保证图书质量。各组编单位投入了大量的精力组织行业权威专家规划内容结构、研讨内容特色；参与图书编写的主创人员也不计报酬，自觉自愿地把自己的聪明才智和研究成果奉献给社会，奉献给国家。他们都担负着繁重的科研、教学、行业管理或生产任务，为了使此书能够早日与大家见面，他们不辞辛苦、加班加点。因为他们都有一个共同心愿——帮助企业快速成长，使中国由大变强。

在此，衷心地感谢为此项工作付出大量心血的组编单位、各位专家、各位撰稿人、编辑出版及工作人员！

尽管我们做了大量工作，付出了巨大努力，但仍难免有疏漏或错误之处，敬请读者批评指正！

《中国战略性新兴产业研究与发展》编辑部

2012年6月

目录 CONTENTS

序言
前言
编写说明

| | |
|------------------------------|------------|
| 第1章 智能电网概论 | 1 |
| 1.1 智能电网的发展背景 | 2 |
| 1.2 智能电网的内涵及发展目标 | 15 |
| 1.3 智能电网所涉及的技术与相关产业 | 19 |
| 1.4 国内外智能电网发展现状 | 24 |
| 1.5 智能电网的未来——向直流运行模式回归 | 31 |
| 1.6 发展我国智能电网的有关建议 | 36 |
| 参考文献 | 38 |
| 第2章 电力传感器与传感网 | 41 |
| 2.1 传感器的原理与分类 | 42 |
| 2.2 国内外技术与产业发展现状 | 55 |
| 2.3 未来发展趋势、发展前景与发展路线图 | 79 |
| 2.4 发展对策与建议 | 84 |
| 参考文献 | 86 |
| 第3章 测量系统与保护控制 | 87 |
| 3.1 测量系统与保护控制的原理和分类 | 88 |
| 3.2 国内外技术与产业发展现状 | 101 |
| 3.3 未来发展趋势、发展前景与发展路线图 | 130 |
| 3.4 发展对策与建议 | 139 |
| 参考文献 | 140 |
| 第4章 电网信息通信与计算 | 143 |
| 4.1 信息与通信技术原理和分类 | 144 |
| 4.2 国内外技术与产业发展现状 | 173 |

| | | |
|------------|-------------------------|------------|
| 4.3 | 未来发展趋势、发展前景与发展路线 | 176 |
| 4.4 | 发展对策与建议 | 196 |
| | 参考文献 | 197 |
| 第5章 | 分布式电网 | 199 |
| 5.1 | 分布式电网简介 | 200 |
| 5.2 | 分布式电网关键技术及其原理 | 205 |
| 5.3 | 国内外技术发展现状 | 232 |
| 5.4 | 未来发展趋势、发展前景与发展路线图 | 244 |
| 5.5 | 发展对策与建议 | 253 |
| | 参考文献 | 253 |
| 第6章 | 智能用电与智能园区 | 255 |
| 6.1 | 智能用电和智能园区的原理与分类 | 256 |
| 6.2 | 关键技术与产业发展现状 | 262 |
| 6.3 | 未来发展趋势、发展前景与发展路线图 | 294 |
| 6.4 | 发展对策与建议 | 306 |
| | 参考文献 | 310 |
| 第7章 | 电力电子器件与装置 | 313 |
| 7.1 | 智能电网电力电子器件 | 314 |
| 7.2 | 智能电网用电力电子装置 | 320 |
| 7.3 | 国内外技术与产业发展现状 | 335 |
| 7.4 | 未来发展趋势、发展前景与发展路线图 | 345 |
| 7.5 | 发展对策与建议 | 352 |
| | 参考文献 | 353 |
| 第8章 | 智能高压电气设备 | 357 |
| 8.1 | 智能高压电气设备基本原理 | 358 |
| 8.2 | 典型的智能高压电气设备 | 371 |
| 8.3 | 国内外产业与技术发展现状 | 400 |
| 8.4 | 未来发展趋势、发展前景与发展路线图 | 409 |
| 8.5 | 发展对策与建议 | 413 |
| | 参考文献 | 415 |

| | |
|---|------------|
| 第9章 电力储能系统 | 417 |
| 9.1 电力储能原理和分类 | 418 |
| 9.2 国内外储能技术与产业发展现状 | 440 |
| 9.3 各类电力储能技术特点及面临的挑战 | 462 |
| 9.4 储能技术发展前景与发展路线图 | 471 |
| 9.5 发展对策与建议 | 474 |
| 参考文献 | 475 |
| | |
| 第10章 超导电力技术 | 481 |
| 10.1 超导体的基本物理特性 | 482 |
| 10.2 超导电力技术的基本原理 | 490 |
| 10.3 超导电力技术的发展现状及趋势 | 508 |
| 10.4 我国发展超导电力技术的目标与发展路线图 | 526 |
| 10.5 发展对策与建议 | 530 |
| 参考文献 | 531 |
| | |
| 第11章 我国智能电网产业发展环境及对策建议 | 535 |
| 11.1 国外智能电网发展的政策措施 | 536 |
| 11.2 我国智能电网产业发展的环境分析 | 538 |
| 11.3 我国智能电网产业发展面临的问题及原因分析 | 546 |
| 11.4 我国智能电网产业发展的对策与建议 | 549 |
| 参考文献 | 553 |
| | |
| 第12章 智能电网的全球制高点和发展路线 | 555 |
| 12.1 关于智能电网 1.0 版本、2.0 版本、3.0 版本的 总体架构 | 556 |
| 12.2 我国智能能源网的产业现状 | 566 |
| 12.3 我国发展智能能源网应关注的问题 | 573 |
| 12.4 发展智能能源网的重点产业 | 575 |
| 12.5 推动智能能源网建设的政策建议 | 581 |
| | |
| 附录 | 587 |
| 附录 A 智能电网重大科技产业化工程“十二五”专项 规划(节选) | 588 |
| 附录 B 缩写词表 | 599 |