

能源转型 与智能电网

NENGYUAN ZHUANXING
YU ZHINENG DIANWANG

陈允鹏 黄晓莉 杜忠明 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

能源转型 与智能电网

NENGYUAN ZHUANXING
YU ZHINENG DIANWANG

陈允鹏 黄晓莉 杜忠明 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从能源发展的背景和趋势出发,剖析了能源转型发展面临的新挑战和新需求,提出了未来能源发展新模式,并明确了智能电网在能源转型和发展进程中的关键作用。书中主要内容包括能源发展背景、能源转型发展需求及模式创新、智能电网在能源转型中的核心作用,以及智能电网架构和建设等。

本书可供能源、电力行业从业者从宏观角度了解行业的基本概念和发展趋势,尤其适用于关注能源转型及智能电网技术和发展的人士,为他们提供基础背景、概念和技术信息。同时,本书还可供高等院校相关专业师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

能源转型与智能电网 / 陈允鹏等编著. —北京:中国电力出版社, 2017. 8
ISBN 978-7-5198-1114-3

I. ①能… II. ①陈… III. ①智能控制-电网-研究-中国
IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 214914 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:王春娟 (010-63412350) 曹 慧

责任校对:郝军燕

装帧设计:张俊霞 赵姗姗

责任印制:邹树群

印 刷:北京瑞禾彩色印刷有限公司

版 次:2017 年 8 月第一版

印 次:2017 年 8 月北京第一次印刷

开 本:710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张:10.5

字 数:172 千字

印 数:0001—3000 册

定 价:62.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换



序

近年来，随着信息通信技术的飞速发展，互联网经济蓬勃兴起，给社会生活的方方面面带来深刻的改变。以“第三次工业革命”为代表的新经济思想受到广泛关注，人们津津乐道地谈论着互联网经济对传统行业的颠覆，仿佛旧的世界已经摇摇欲坠，新的秩序即将重构。在能源领域，“智能电网”“智慧能源”“能源互联网”等新概念层出不穷，能源云、物联网、区块链等技术形态被追捧、被炒作，甚至被神化，让人感到既振奋欣慰，又心存忧虑。

经济社会的发展，有其固有的规律，能源行业作为资金和技术高度密集的传统产业，更是有其庞大的惯性及发展轨迹。早在 20 世纪 80 年代初，美国学者托夫勒在其著作《第三次浪潮》中，就为人们描绘出信息技术革命将对人类社会经济发展带来的深远影响。但就个人的经历而言，真正深切地感受到新经济对我们日常生活的改变，应该是在 2000 年以后国内互联网经济的兴起，从最初的新浪、搜狐、网易三大门户到如今的“BAT”……新经济的概念从提出到真正开始影响我们的生活，又经历了二十余年的时间。在能源领域，对于现阶段信息技术可能带来的改变，我本人并不乐观。杰里米·里夫金在 2012 年出版的《第三次工业革命》一书中提出“能源互联网”的概念，在我国一度风靡并受到热捧，但由于能源与信息技术固有的差异性，能源互联网目前只能代表一种新能源经济的思想，尚无法作为一种技术模式或体系实现。

与此同时，能源领域面临的最为迫切的挑战来自于可再生能源的高比例渗透及能源工业绿色可持续发展。在总体趋势上，可再生能源替代化石能源、分布式能源替代集中式能源、传统化石能源清洁高效利用的发展方向毋庸置疑。今后相当长的一段时期内，非化石能源大都会以电力的形式存在，新能源的发

展事实上就是电力的发展。电力工业长期以来遵循工业化的发展思路，追求集中化、同步化、标准化、专业化、集权化，在应对新能源随机性、波动性、分散性等问题上显得有些南辕北辙，而第三次工业革命所倡导的信息化、智能化、分布式，为能源绿色发展提供了新的思路和借鉴，这也是智能电网提出的背景和初衷。但作为能源工作的从业者，需要有清醒的认识，智能电网的发展远未到全面爆发的阶段，需要开展大量艰苦卓绝的工作，推动概念的落地与实现。

本书作者在这方面展开了很好的探讨。书中并没有空谈概念，而是从能源发展的趋势出发，抽丝剥茧地梳理能源发展的新需求及新思路，提出智能电网作为未来能源体系发展的核心，是支撑产业发展和社会进步的关键环节。真正“撸起袖子、俯下身子”，研究智能电网在电网发展过程中如何落地的现实问题，梳理出5个环节、4个支撑体系、9大重点领域、32项重点建设任务，有较强的可操作性和现实指导意义。

作者给出了智能电网完整的技术架构，从实施的角度来说，建议在现阶段分清主次，重点突破。总的来看，智能电网的开展无外乎三个方面：硬件、软件、平台。硬件上主要指基础设施及设备的智能化，软件上主要指智能调度及综合能源服务，平台主要是电力大数据智能决策平台及数据服务。三个方面有所突破，才能真正把智能电网从概念转化为切实可行的模式，真正推动我国电力工业的转型发展。

衷心祝愿作者开展的工作能够为我国能源转型发展开创新的篇章！

中国能源建设集团有限公司总工程师、首席信息官 吴云

2017年8月



前 言

发展是人类进步的永恒主题，能源是人类社会生存发展的重要物质基础，也是世界经济发展的重要动力。纵观人类社会发展的历史，人类文明的每一次重大进步都伴随着能源的改进和更替。从整个工业发展史来看，能源创新是工业革命的驱动力。至今，人类已经历过三次能源革命，第一次能源革命是人火的发明和使用，是人类进入文明时代的标志；第二次能源革命是蒸汽机的发明和应用，催生了第一次工业革命，带动了轻工业的发展；第三次能源革命是内燃机和电力的发明，推动了第二次工业革命，加快了重工业的发展，人类从此进入了电力时代。能源生产方式的革新改变了人类的生产和生活方式，是时代进步的重要标志。

如今，能源发展面临新的挑战 and 新的需求，新一次的能源革命正在开启。首先，化石能源的大规模利用产生了大量温室气体，而排放出的大量温室气体已对全球气候环境造成了严重威胁，全球气温变暖、冰川消融、海平面上升、极端天气等已初露端倪。其次，能源开发利用方式不合理造成的环境污染问题已成为世界各国面临的共同挑战。化石燃料在燃烧利用过程中会产生氮氧化物、硫化物和颗粒物等污染物，如果不改变人类的用能方式，环境污染将威胁人类的生存。最后，地球能源资源有限，人类对能源的需求量和消耗量不断增加，资源紧张与社会发展之间的矛盾日益突出，大力发展新能源和可再生能源，是人类社会可持续发展的重要保障。加快能源转型发展，构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系推动了新一轮的能源变革，能源发展格局正经历着重大而深刻的变化。

电力系统在能源转型中发挥着关键作用，智能电网是未来能源体系的核心

心。电能是最清洁、最高效、最便捷的能源利用形式，也是新能源和可再生能源利用的最佳选择。智能电网通过提升电网的柔性，加强“源—网—荷—储”的高效互动，提高系统运行的灵活性和适应性，以满足新能源开发和多样互动用电需求，是能源行业结构性调整的关键。

智能电网自提出以来得到世界范围的广泛认同，经过十几年来来的实践探索，其概念和特征、内涵与外延不断得到丰富和发展。随着全球新一轮科技革命和产业变革的兴起，先进信息技术、互联网理念与能源产业深度融合，推动着能源新技术、新模式和新业态的兴起，发展智能电网已成为保障能源安全、应对气候变化、保护自然环境、实现可持续发展的重要共识。

我国十分重视智能电网的发展。2015年7月6日，国家发展改革委、国家能源局联合发布《关于促进智能电网发展的指导意见》，对智能电网的定义和目标做出了明确指示。然而，国内对智能电网的战略意义、具体定位与表现形态，以及如何建设落实等方面尚未明了。基于在能源与电力行业多年的工作经验和思考，本书作者对智能电网提出了自己的理解和观点，特编制成书。

本书从能源发展的背景和趋势出发，剖析了能源转型发展面临的新挑战和新需求，提出了未来能源发展新模式，并明确了智能电网在能源转型和发展进程中的关键作用。同时，对于如何发展智能电网提出了作者自己的理解和构想，明确了智能电网的定位、目标、总体架构、重点发展领域和重点任务。

全书共分四章：第一章分析了能源发展背景，从全球气候变化和国际气候环境政策出发，提出国际能源转型，并总结国外能源转型实践；同时，针对我国具体国情，提出我国能源转型和能源革命的需求。第二章探讨了能源转型发展趋势、需求及发展模式。在国内外能源背景和发展形势分析的基础上，提出了未来能源发展的几个趋势；从多个维度明确了能源转型发展的需求，分别提出了针对性的发展思路；总结了能源发展的新态势，提出了能源发展新模式，并描绘了能源发展的三个情景。第三章阐述了未来智能电网的理念，总结了美国、德国、日本、欧盟及中国等国家、地区智能电网的发展重点和技术路线，

阐述了智能电网、能源互联网、信息互联网之间的联系和区别，提出了发展智能电网的重大战略意义。第四章分析了智能电网目前的发展基础；分析了能源转型发展新模式下，智能电网全方位的能力建设需求；用智能电网的理念对发电、输电、配电、用电等各个环节做出新的阐释，提出智能电网的架构体系，进而提出今后电网发展和智能电网建设的重点领域，从全局的高度指引智能电网建设和发展。

本书编写过程中，参与编写工作的还有中国南方电网有限责任公司王志勇、陈旭、彭波、樊扬，电力规划设计总院张韬、李振杰、古含、宗志刚、苗竹、熊雄、陈国栋、杨刚。

由于编写时间仓促，且受作者能力所限，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

作者
2017年7月



目 录

序	
前言	
第一章 能源发展背景	1
第一节 全球能源发展与转型	2
第二节 我国能源发展背景	13
第二章 能源转型发展需求及模式创新	23
第一节 新形势下的能源转型发展趋势	24
第二节 能源转型发展需求及思路	27
第三节 能源发展新态势	41
第四节 能源转型发展新模式及未来发展情景	43
第三章 智能电网——现代能源体系的核心	47
第一节 智能电网即未来电网	48
第二节 国内外智能电网的发展重点	56
第三节 智能电网与能源互联网	75
第四节 智能电网——能源转型的关键和核心	78

第四章 智能电网架构和建设	85
第一节 智能电网现阶段发展基础	86
第二节 智能电网的能力建设	94
第三节 智能电网发展架构体系	102
第四节 智能电网建设的重点领域与任务	108
结语	156
参考文献	158



第一章

能源发展背景

第一节 全球能源发展与转型

一、全球气候变化压力

当前，世界能源消费以化石能源为主，煤炭和石油在能源结构中占主体地位。化石能源资源虽然储量大、开发利用方便，但随着工业革命以来数百年的大规模开发利用，地球所蕴藏的煤炭、石油、天然气等化石能源资源已被消耗近半，且能耗的速率有增无减。煤、石油、天然气在燃烧中所产生的二氧化碳等温室气体和各种烟尘污染物，引发了全球变暖、酸雨、雾霾等各种严重的气候和环境问题。

全球范围内二氧化碳排放量巨大，且呈现逐年增加的趋势。截至 2015 年，全球二氧化碳年排放量已经达到 363 亿 t，如图 1-1 所示。其中，美国由于经济发达且起步较早，二氧化碳排放量一直处于较高水平，在全球总排放量中占有较大比重；我国工业化起步较晚，早期二氧化碳排放量较低，改革开放后经济蓬勃发展，二氧化碳排放量迅速增加，由于我国人口众多，排放总量相对较大；德国、英国、日本等发达国家二氧化碳排放量也处于较高水平。

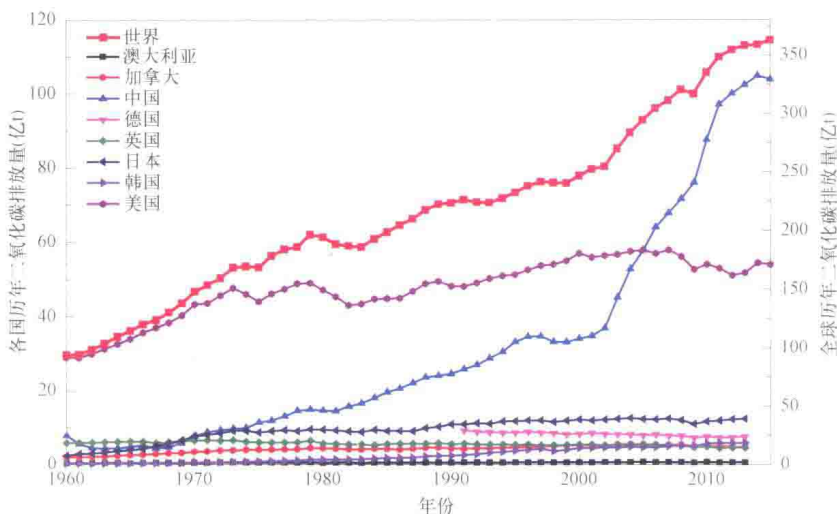


图 1-1 1960~2015 年全球各国二氧化碳排放情况

资料来源：全球碳项目（Global Carbon Project）。

根据 2015 年全球各地区二氧化碳排放占比情况（图 1-2）可看出，亚洲、北美洲和欧洲为主要排放来源。亚洲地区区域广阔、人口众多，既包括日本、韩国等发达国家，也包括中国、印度等发展中国家，能源消耗总量巨大；北美洲和欧洲地区发达国家较多，二氧化碳排放量占比较高。

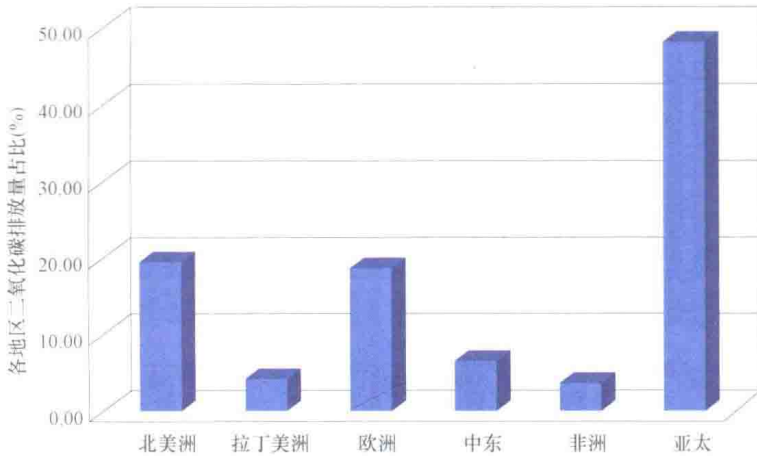


图 1-2 2015 年全球各地区二氧化碳排放占比情况

资料来源：BP 公司网站。

大量温室气体排放已经对全球气候环境造成较大影响，全球气温变暖已经成为不争的事实。美国气象学会刊登研究称，在太平洋西北部地区长期气候变暖的过程中，人为因素成为变暖的主要原因；在过去的 100 多年里，该地区的平均气温升高了大约 0.72℃。美国地球系统研究实验室对全球气温进行了长期监测研究，基于 1961~2014 年全球平均气温数据（图 1-3），统计全球气温异常情况发现，全球变暖的现象十分明显，且温升较高地区主要集中在北美洲、欧洲等发达国家聚集地。

极端天气与自然灾害是全球气候变化的直接后果。二氧化碳等温室气体产生温室效应，导致地球温度上升（见图 1-4），将使全球降水量重新分配、冰川和冻土消融、海平面上升等，威胁自然生态系统的平衡。根据 1980~2012 年全球重大自然灾害发生次数（图 1-5）可看出，随着全球气温变暖，重大自然灾害发生的频率逐渐升高，其中气候灾害（极端气温、干旱、森林火灾等）和天气灾害（风暴）呈现出明显上升趋势。频发的重大自然灾害造成的经济损失与日俱增（见图 1-6），已经对人类的生存造成严重威胁。

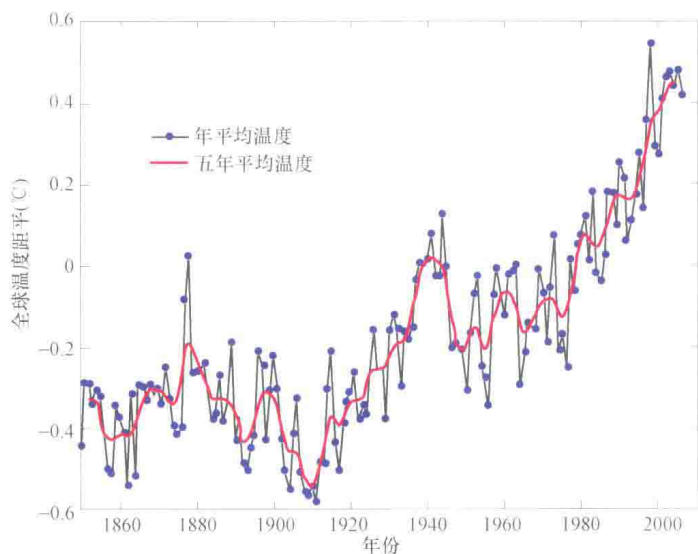


图 1-3 全球平均气温变化曲线

资料来源：美国气象学会会刊《气候学》。

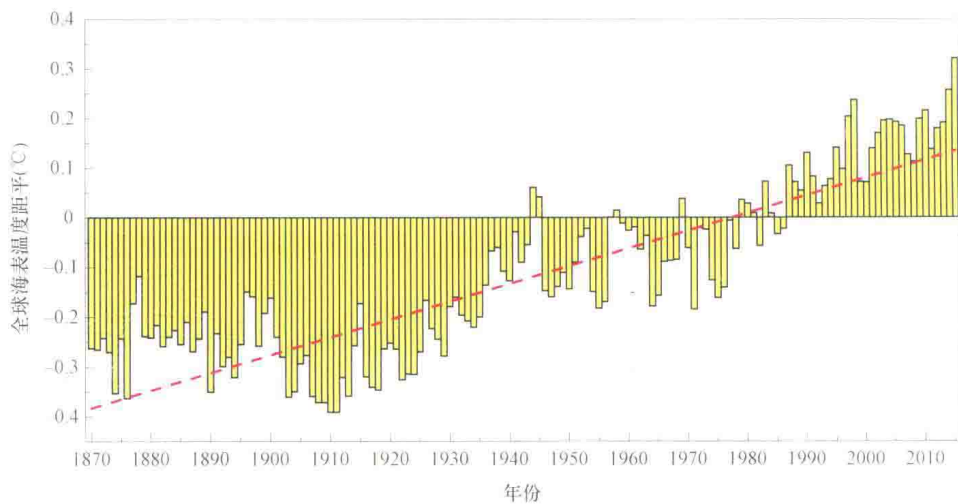


图 1-4 基于 Hadley 中心海温资料的 1870~2015 年全球海表温度距平变化

资料来源：《中国气候变化监测公报（2015 年）》。



图 1-5 1980~2014 年全球重大自然灾害发生次数

资料来源：慕尼黑再保险公司和国家气候中心。



图 1-6 1980~2015 年全球重大自然灾害的总损失和保险损失

资料来源：慕尼黑再保险公司和国家气候中心。

二、国际气候变化适应政策

面对全球气候变化的严峻形势，国际气候环境政策发生调整，世界各国已达成共识，共同应对全球气候变化的挑战。

在政府间气候变化委员会的推动下，1992年5月22日，在巴西里约热内卢的联合国环境与发展大会上通过了《联合国气候变化框架公约》（United Nations Framework Convention on Climate Change，简称《框架公约》）。《框架公约》于1994年3月21日正式生效。目前，该公约已拥有近200个缔约方。《框架公约》的最终目标是：将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上。这一水平应当在足以使生态系统能够自然地适应气候变化，确保粮食生产免受威胁，并使经济发展能够可持续地进行的时间范围内实现。

由于《框架公约》没有规定具体减排指标，缺乏可操作性，因此1997年12月11日于日本京都召开《框架公约》第三次缔约方大会，制定了《京都议定书》，为各缔约方规定了具有法律约束力的量化减排和限排指标。这一协议被称为“人类为防止全球变暖迈出的第一步”，也是历史上第一个为发达国家规定减少温室气体排放的法律文件。截至2007年12月，共有176个缔约方批准、加入、接受或核准《京都议定书》。

2007年，联合国气候变化大会在印度尼西亚巴厘岛召开，来自《框架公约》的192个缔约方参加了此次大会。这也是联合国历史上规模最大的气候变化大会。会议着重讨论了“后京都”问题，通过了应对气候变化的“巴厘岛路线图”，确定了今后加强落实《框架公约》的领域，对减排温室气体的种类、主要发达国家的减排时间表和额度等做出了具体规定。

2015年12月12日，举世瞩目的巴黎气候变化大会落下帷幕，公约缔约方第21次会议通过了《巴黎协定》和有关决定，标志着全球气候治理进入新的阶段。该协定重申了公平、共同但有区别的责任和各自能力原则，提出了三点目标：一是将全球平均温度上升幅度控制在工业化前水平 2°C 之内，并力争不超过工业化前水平 1.5°C ；二是提高适应气候变化不利影响的能力，并以不威胁粮食生产的方式增强气候适应能力和促进温室气体减排发展；三是使资金流动符合温室气体低排放和气候适应型发展的路径。《巴黎协定》是在全球经济社会发展的背景下，多方谈判诉求、立场再平衡的结果，反映了国际社会在合

作应对气候变化责任和行动等方面的新共识，提供了未来全球气候治理的新范式。

《联合国气候变化框架公约》下气候变化适应政策的发展历程如图 1-7 所示。

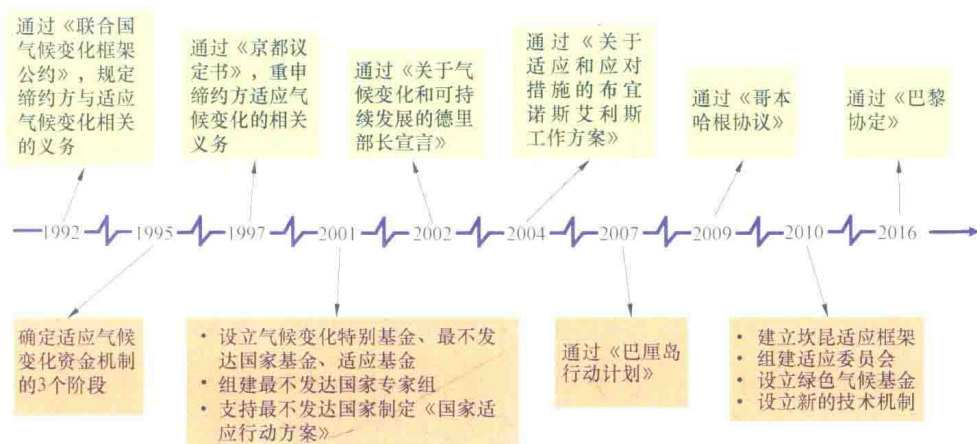


图 1-7 《联合国气候变化框架公约》下气候变化适应政策的发展历程

三、国际能源发展目标

1. 低碳化

煤炭、石油等化石能源的大规模利用是造成全球气候变化的根源。由 2015 年全球各地区能源结构比例（图 1-8）可看出，当前国际能源主体仍然依赖于化石能源，各地区化石能源占比均高于 70%。可再生能源在能源体系中占比较低，拉丁美洲水能资源丰富，可再生能源发展情况相对较好；北美洲和欧洲地区核能开发规模较大，太阳能、风能等可再生能源也得到了进一步发展；亚太地区、非洲和中东地区目前可再生能源开发程度较低，主要依赖化石能源。

开展以低碳为核心的能源转型是解决全球气候变化的必然途径。转变全球能源结构，积极发展太阳能、风能、水能等可再生能源，降低对化石能源的依赖，是应对全球气候变化挑战的核心。

