

ENERGY

中国能源政策研究院前沿研究系列

# 全球能源互联网背景下 安徽省能源电力发展研究

Energy and Electricity Development of  
Anhui in the Context of  
Global Energy Interconnection

..... 林伯强 陈煜 ©编著

非  
外  
借



科学出版社

中国能源政策研究院前沿研究系列

# 全球能源互联网背景下安徽省 能源电力发展研究

**Energy and Electricity Development of Anhui in  
the Context of Global Energy Interconnection**

林伯强 陈煜 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书对全球能源互联网背景下安徽省经济、能源、电力和环境发展进行研究。全书可以分为三个主要部分：第一部分为对安徽经济社会发展现状和能源电力发展现状的分析；第二部分探讨全球能源互联网对安徽远景能源电力发展的新要求 and 安徽远景能源电力发展路径，并对安徽远景经济社会发展、远景负荷特性发展、远景能源电力供需与发展进行预测；第三部分为全球能源互联网下安徽能源电力发展提出结论与政策建议。

本书的读者对象为能源及相关行业的研究人员和从业人员，其对能源政策当局、能源经济学者及能源一线实践者也有一定的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

全球能源互联网背景下安徽省能源电力发展研究 = Energy and Electricity Development of Anhui in the Context of Global Energy Interconnection / 林伯强, 陈煜编著. —北京: 科学出版社, 2018.7

(中国能源政策研究院前沿研究系列)

ISBN 978-7-03-058210-2

I. ①全… II. ①林… ②陈… III. ①能源工业—工业发展—研究—安徽  
②电力工业—工业发展—研究—安徽 IV. ①F426.2 ②F426.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 141314 号

责任编辑: 范运年 王楠楠 / 责任校对: 王萌萌

责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 无极书装

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

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 7 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2018 年 7 月第一次印刷 印张: 15

字数: 288 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



## 作者简介



林伯强，美国加利福尼亚大学（Santa Barbara）经济学博士。现任厦门大学中国能源政策研究院院长、能源经济与能源政策协同创新中心主任、博士生导师，是2008年教育部（长江学者）特聘教授。其目前主要的研究和教学方向为能源经济学和能源政策。国内兼任国家能源委员会能源专家咨询委员会委员，国家发展和改革委员会能源价格专家咨询委员会委员，中国能源学会副会长，新华社特聘经济分析师，中央人民广播电台特约观察员。国际方面现兼任达沃斯世界经济论坛能源顾问委员会委员和达沃斯世界经济论坛全球议程低碳能源理事会委员。

# 前 言

伴随着中国经济近几十年来的快速增长，能源环境资源约束逐步趋紧、社会可持续发展压力逐步显现。如何清洁、高效、稳定地保障能源的供应，已经成为能源行业所面临的一项重要课题，全球能源互联网战略构想应运而生。全球能源互联网是集能源传输、资源配置、市场交易、信息交互、智能服务于一体的“物联网”，是创造巨大经济、社会、环境综合价值的和平发展平台。通过以清洁能源、智能电网和特高压骨干网技术深度融合为核心，以清洁替代和电能替代战略为途径，推动能源发展方式转变，全球远景能源电力格局将发生根本性变化。

安徽省作为连接东部长江三角洲（简称长三角）负荷中心与西部电源中心的枢纽，在全球能源互联网中有着重要的地位。全球能源互联网将创造巨大的生产力，为世界经济的发展带来能源要素的解放，极大地推动了技术进步和产业升级，成为经济增长的强大引擎。安徽省作为东部的重要省份之一，应该牢牢抓住全球能源互联网带来的机遇，推进全省特高压电网、智能电网的建设以及清洁能源的发展，为全省经济的绿色、和平、友好发展奠定基础。本书在全球能源互联网背景下，对安徽省远景经济、远景能源电力发展进行探讨。

安徽远景经济社会发展水平是直接决定安徽远景能源电力发展的重要因素。当前安徽经济社会发展水平与全国尚存较大差距，2015年安徽人均国内生产总值（gross domestic product, GDP）仅为全国的72%，人均用电量为全国的66%，人均生活用电量为全国的77%，城镇化率低于全国5.6个百分点。根据经济社会发展规划，“十三五”期间，安徽将力争与全国同步建成全面小康社会，安徽远景经济社会发展潜力如何、能否赶超与何时赶超全国并达到中等发达国家省份水平，对研究安徽远景能源电力发展意义重大。

虽然不能否认现实中的种种实施困难，但在互联网和智能技术的支持下，全球能源互联网战略将是大势所趋。安徽远景能源电力发展将面临全新和更高的要求。围绕“两个替代”战略，积极超前探索研究全球能源互联网背景下安徽远景能源电力发展路径、安徽远景能源电力供需，对助力安徽实现清洁、绿色、高效的能源生产消费模式，以及科学、前瞻地指导安徽远景电力发展的功能定位、发展路径意义重大。

全球能源互联网是智能化的能源体系，它的发展将深刻地改变人类的生产生活方式，并极大地改善自然生态环境。根据一般的发展规律，在达到能源消费峰

值前,经济的发展将导致能源需求不断上升。近年来,传统能源消费随着经济的增长而不断增加,这进一步带来了各种污染物排放的增加。“十二五”期间,安徽省能源消费量从 9708 万吨标准煤增长到 12332 万吨标准煤,年均增长率为 4.9%。而安徽省的能源消费结构还是以较不清洁的煤炭为主,2015 年,安徽省的能源消费结构中煤炭占比 77.1%,石油占比 16.2%,天然气占比 3.7%,非化石能源占比 3%。化石能源的使用导致的二氧化硫、氮氧化物和烟尘等各类污染物的排放,对生态环境以及居民的健康有极大的影响。未来,随着经济社会的进一步发展,如何平衡经济与环境需求将成为安徽省需要直接面对的重要问题。全球能源互联网要求把握能源革命的新机遇,加快推进清洁替代,这为安徽省实现经济可持续发展提供了思路。

全球能源互联网的核心在于能源电力,能源电力是保障经济社会发展的重要基石,可以说,电气化水平基本上可以代表一个地区的综合发展水平。而安徽省目前电能占终端能源的比例仅为 20%,不仅远低于发达国家,在国内也处于较低的水平。而全球能源互联网所提出的推进电能替代,减少化石能源的直接使用,对安徽省实现清洁化发展、提升经济发展的质量有积极的作用。

基于上述问题,本书对全球能源互联网背景下安徽省能源电力发展进行研究,全书共分为三部分:第一部分对安徽经济社会发展现状和能源电力发展现状进行分析;第二部分首先对全球能源互联网对安徽远景能源电力发展的新要求和安徽远景能源电力发展路径进行探究,在发展新要求和发展路径的基础上,对安徽远景经济社会发展、远景负荷特性发展、远景能源电力供需与发展进行预测;第三部分基于以上研究,为全球能源互联网下安徽能源电力发展提出结论与政策建议。

本书得到国网安徽省电力公司“全球能源互联网背景下安徽省能源电力发展研究”项目的支持,还得到福建省能源经济与能源政策协同创新中心资金、厦门大学繁荣计划特别基金的资助。

本书是团队合作的结果,厦门大学能源经济与能源政策协同创新中心、厦门大学中国能源政策研究院、厦门大学中国能源经济研究中心的杜之利、刘奎、田鹏、贺加欣、谭睿鹏、张广璐、仵金燕、朱俊鹏、陈宇芳、陈星、葛佳敏、陈语等参与了本书的撰写与校正工作;国网安徽省电力公司经济技术研究院的陈煜、叶彬、叶斌、马静、王宝、冯沛儒等参与了第 2~第 4 章、第 6 章、第 8 章的撰写。特别感谢我的博士研究生吴微所做的大量组织和协调工作。

林伯强

2018 年 1 月 10 日

# 目 录

## 前言

第 1 章 概述	1
1.1 本书研究背景和意义	1
1.2 国内外研究综述	1
1.3 本书主要研究内容	5
1.4 创新之处	6
参考文献	7
第 2 章 安徽经济社会发展现状分析	10
2.1 安徽经济总量及人均概况	10
2.2 安徽产业结构概况	13
2.3 安徽城镇化及城乡收入概况	27
2.4 本章小结	33
第 3 章 安徽能源电力发展现状	36
3.1 安徽省能源资源禀赋	36
3.2 安徽省能源供需现状	40
3.3 安徽省电力供需现状	45
3.4 安徽省污染物排放和二氧化碳排放现状	49
3.5 本章小结	50
第 4 章 全球能源互联网对安徽远景能源电力发展的新要求	53
4.1 全球能源互联网构建基础和条件	54
4.2 全球能源互联网发展路线	56
4.3 全球能源互联网背景下安徽省能源电力发展路径	59
4.4 本章小结	74
第 5 章 安徽远景能源电力发展路径	75
5.1 安徽省清洁能源发展现状与未来前景	75
5.2 安徽省各行业的用能方式、结构及碳减排潜力分析	81
5.3 先进电力技术的发展前景分析	94
5.4 安徽省电力发展的政策建议	101
5.5 本章小结	103

参考文献	105
<b>第 6 章 安徽远景经济社会发展</b>	<b>106</b>
6.1 安徽远景经济社会发展布局	106
6.2 安徽远景经济社会产业结构模拟	118
6.3 安徽省各城市人口与城镇化布局	124
6.4 本章小结	130
参考文献	131
<b>第 7 章 安徽远景负荷特性发展预测</b>	<b>132</b>
7.1 负荷特性变化、智能电网与需求侧管理	132
7.2 安徽远景主要时间节点负荷特性指标预测	135
7.3 储能技术、电动汽车与需求侧管理	149
7.4 结合能源互联网关键技术进行需求侧管理的电网负荷	159
7.5 本章小结	162
参考文献	162
<b>第 8 章 安徽远景能源电力供需与发展预测</b>	<b>163</b>
8.1 安徽远景能源电力需求预测	163
8.2 安徽远景能源电力供给预测	185
8.3 安徽远景煤炭生产	192
8.4 主要污染物和碳排放	195
8.5 电气化水平	210
8.6 特高压电力受进规模限制下安徽省远景电力运输	211
8.7 未来能源成本变化对能源消费和产出的影响冲击	214
8.8 本章小结	220
参考文献	224
<b>第 9 章 结论与政策建议</b>	<b>225</b>
9.1 主要结论	225
9.2 政策建议	226



# 第1章 概述

## 1.1 本书研究背景和意义

能源是社会生产力的核心和动力源泉，是人类社会可持续发展的基础。能源和社会经济的发展有着紧密的联系。面对目前化石能源短缺、生态环境破坏等问题，人类社会可持续发展面临着极大的挑战。2015年9月26日，习近平主席在联合国发展峰会上，倡议构建全球能源互联网，推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求。2015年11月30日，在巴黎召开的《联合国气候变化框架公约》第21次缔约方大会（简称巴黎气候变化大会）上，中国提出力争2030年单位国内生产总值（gross domestic product, GDP）二氧化碳排放比2005年下降60%~65%，非化石能源占一次能源消费的比例为20%左右。

人类社会可持续发展对能源清洁、绿色、高效利用的要求日益紧迫，全球能源互联网顺应形势，将推动能源发展方式转变，使能源发展摆脱资源、时空和环境约束，实现清洁能源高效开发、利用，推动水电、风能、太阳能等清洁能源成为主导能源，让人人享有充足的能源供应，为经济社会发展带来持续的强劲动力。

改革开放以来，安徽省经济得到了快速的发展。2015年，安徽省GDP为22005.6亿元，比上年增长8.7%，人均GDP为35997元。虽然安徽省经济增长比较快，然而与接壤六省相比，其GDP排名倒数第二，与全国各省相比，排名第14位。随着安徽省的经济发展和人均GDP水平的提升，三次产业增加值的结构一直处于不断变化之中。三次产业增加值比例由1995年的32.26:36.46:31.28调整为2015年的11.16:49.75:39.09。在全球能源互联网带动下，世界的生产方式和组织结构将发生深刻变革，产业结构和社会生产力将得到极大提高。安徽省应抓住这一轮契机，合理分配能源、优化产业结构、带动新兴产业发展，保证安徽省经济的稳定与发展。

本书在全球能源互联网大背景下，研究安徽省远景能源电力发展，以期为安徽省在电力规划、电力布局以及电力建设方面提供决策参考。

## 1.2 国内外研究综述

### 1.2.1 能源结构的研究

能源是人们赖以生存的基础，自从石油危机爆发后，能源生产和消费的结构

及其预测受到能源领域学者的高度关注。

国外学术界主要从能源替代、能源-经济等角度研究能源结构问题。Tahvonen 和 Salo 认为能源生产先从可再生资源向化石能源过渡,再由化石能源向可再生能源过渡,并刻画了化石能源价格下降和消费增长的阶段,这与霍特林模型显著不同<sup>[1]</sup>。Silva 等认为两类能源替代弹性为常数,即采用固定替代弹性(constant elasticity of substitution, CES)型的生产函数刻画最终产品的生产,通过建立一个一般均衡模型,分析能源替代过程中的长期均衡特征<sup>[2]</sup>。Lafforgue 等的模型中还考虑了碳捕捉与储存下的能源替代轨迹<sup>[3]</sup>。自从协整理论被提出后,其已经在能源领域广泛运用。Apergis 和 Payne 在多变量框架内分析了美国的六个中部城市 1980~2004 年能源消费与经济增长间的关系,建立了协整分析和误差校验模型<sup>[4]</sup>。Sözen 和 Areaklioglu 基于 GDP 及人口增长率,应用神经网络方法建立了土耳其的能源预测模型,预测未来土耳其能源消费的水平,还用基于能源指标(包括已建设的生产量、能源容量、能源进出口量)、国民生产总值(gross national product, GNP)和 GDP 三种方法训练的人工神经网络说明了应用经济指标对能源消费量预测的有效性<sup>[5]</sup>。

国内的研究主要集中在以下两个方面。其一,我国能源结构的预测。一些学者从能源系统工程的角度,利用 MARKAL (market allocation) 模型,预测我国或某一地区的一次能源结构和电源结构<sup>[6-8]</sup>。还有一些学者将马尔可夫模型应用到能源结构预测中,预测了我国能源消费结构的动态变化,并以此为基础分析我国二氧化碳和污染物排放等问题<sup>[9,10]</sup>。其二,我国能源结构优化问题。林伯强等研究我国能源结构的战略调整,在考虑了最优节能量的基础上和在碳排放约束下,以最小化能源消费的社会总成本为目标建立最优化模型,通过可计算一般均衡(computable general equilibrium, CGE)模型模拟能源成本增加对于宏观经济的影响,认为如果在 2020 年以前将排放限制在更低水平,可能会需要以牺牲经济增长和地市进程为代价<sup>[11]</sup>。王锋和冯根福研究能源结构优化对于碳排放强度的贡献,通过对 2011~2020 年能源需求和能源结构的预测,分析三种情景下的能源强度下降状况,发现能源结构调整幅度越大,碳强度的下降幅度越大<sup>[12]</sup>。邱立新等采用多目标决策方法,以能源投资最小、环境污染治理费用最少为目标函数,进行各类能源消费量的优化<sup>[13]</sup>。

## 1.2.2 关键技术的研究

由于电网存在峰谷差的不同,储能调峰可以保持电力系统发电和负荷的基本平衡,有效减小负荷峰谷差。另外,在未来智能电网的不同配电系统中,将会出现如风能、太阳能等多种可再生能源电力,储能技术的推广应用,可以有效整合

配置这些能源资源,从而大幅提高资源的综合利用率,平衡各种可再生能源发电输出的波动。目前储能技术可以划分为:①以动能和势能的形式储存电能的机械储能,如抽水蓄能、压缩空气蓄能、飞轮储能等;②以电磁能量为储存介质的电磁储能;③以电化学反应为能量转换途径的化学储能,如超级电容器和各种蓄电池<sup>[14,15]</sup>。除了从技术角度,还有学者从抽水蓄能电站在电网中的作用和效益角度阐述了发展抽水蓄能电站解决电网调峰及经济运行的问题<sup>[16]</sup>。

随着智能电网的建设,需求侧管理作为电力工业密不可分的一部分,显得尤为重要。在国外,电力负荷调节的技术手段和经济手段是最早实施的电力需求侧管理,许多国家采用开关钟控制负荷和实施分时电价制度<sup>[17]</sup>。有学者基于大数据挖掘方法进行电力价格预测,也有学者基于博弈论的思想探讨了在未来智能电网背景下的需求侧管理技术<sup>[18,19]</sup>。在国内,曾鸣和汪晓露使用可计算一般均衡的方法对电力需求侧管理项目的经济影响及环境影响进行了分析,认为对于一个给定的福利影响水平,清洁发展机制下的电力需求侧管理项目可以有效地减少产生的排放量<sup>[20]</sup>。翟学书和王炳根据国内外多年来的需求侧管理经验,表述了做好需求侧管理工作的四大要素,着重对政府在需求侧管理工作中的主导作用进行了专题研究<sup>[21]</sup>。而在电动汽车参与需求侧管理的电力负荷调节作用上,学者也有不同见解,Fernández 等认为,电动汽车选择在非峰荷下充电可以使电网改建成本下降<sup>[22]</sup>;Adolfo 和 Biagio 则认为电动汽车充电负荷具有随机性,可能导致电网负荷高峰增加<sup>[23]</sup>。

### 1.2.3 经济社会发展预测研究

经济社会发展预测研究主要包括对 GDP、产业结构以及人口的预测,本书利用索洛模型“增长的核算”方法对安徽省经济发展状况进行分析,并对其未来的经济发展进行预测;在人口预测方面,本书利用自回归分布滞后模型(auto-regressive distributed lag model, ADLM)对安徽省各地市的人口进行预测;同时,在经济发展方面,本书利用马尔可夫模型对安徽省的产业结构进行预测。

#### 1) 索洛模型相关研究

推动经济增长的因素有诸多方面:资本积累、劳动力投入、人力资本与技术的提高、城镇化建设以及政治制度的稳定与全球化的资本流动等。按照索洛模型“增长的核算”方法分析,经济增长的最大动因便是生产要素的积累与发展,而要素主要包括三个方面:资本、劳动力与全要素生产率(total factor productivity, TFP)。国内外有很多学者利用索洛模型对经济增长进行了分析。Caraianni 利用索洛模型对 1990~2004 年罗马经济波动性进行模拟,结果表明,索洛模型可以很好地解释经济波动<sup>[24]</sup>。韩立杰等利用索洛模型选取 1978~2004 年的数据,实证研

究了资本、劳动和技术进步对我国经济增长的影响<sup>[25]</sup>。Ding 和 Knight 利用增强索洛模型,分析了影响中国经济增长的主要因素<sup>[26]</sup>。高新才和李俊衡以索洛模型为基础,结合各项经济指标,对陕西省 1990~2009 年经济增长的方式、质量和稳态水平作了实证性质的分析<sup>[27]</sup>。卿宇娇选取我国实际经济数据并且利用索洛模型,分别计算出资本投入、劳动力投入以及技术进步这三方面对我国经济增长的实际贡献率,并实证分析了它们对我国经济增长的影响<sup>[28]</sup>。丁然根据我国 1994~2008 年的相关数据,对我国 GDP  $Y$ 、固定资产投资  $K$ 、从业人员数量  $L$  等时间序列数据运用计量经济方法建立计量模型,利用索洛经济增长理论实证研究了资本、劳动力投入和技术进步对我国经济增长的影响<sup>[29]</sup>。胡蕾基于索洛模型,利用新古典增长理论对我国 1982~2009 年的数据进行收集,实证分析了资本、劳动、技术进步对经济增长的贡献率<sup>[30]</sup>。周侯勋通过索洛模型分析了资本投入、技术进步对我国新常态下经济增长的作用<sup>[31]</sup>。

## 2) 人口预测模型研究

人口预测问题是人口学理论研究的核心问题之一。预测技术的不断创新、发展,使人口预测模型日益丰富多彩,各具特色。任强和侯大道基于 Leslie 矩阵和自回归滑动平均 (autoregressive moving-average, ARMA) 模型构建了人口预测的随机方法<sup>[32]</sup>。门可佩等根据 1949~2005 年中国人口发展的最新统计资料,提出并建立了离散灰色增量模型和新初值灰色增量模型,对未来中国人口发展趋势进行了预测研究<sup>[33]</sup>。王周喜等在马尔萨斯人口模型的基础上,引入了考虑众多影响因素的人口模型,尤其是人口迁移,提出了人口预测的非线性动力学研究<sup>[34]</sup>。杨青生以广州市城市人口预测为例,针对城市人口预测中信息不充分的特点,采用灰色系统理论建立了 1992~2006 年的人口动态增长模型<sup>[35]</sup>。Härdle 等通过年龄性别比人口预测对德国的人口进行了预测<sup>[36]</sup>。

随着回归分析方法、计量经济学的不断发展,以时间序列分析方法为基础的 ADLM 用于中国人口预测已有了一定进展。时间序列分析方法建立模型不考虑以人口理论或经济理论为依据的解释变量的作用,而是依据变量本身的变化规律,利用外推机制描述和预测时间序列的变化。安和平以 ADLM 为基础,以人口年增长量作为被解释变量,人口年增长量的滞后值、人口年出生率和人口年死亡率的滞后值作为解释变量,分别设计了两类四个模型,并从中筛选出较优的包含人口年增长量的滞后值的中国人口自回归分布滞后预测模型和不包含人口年增长量的滞后值的中国人口预测模型<sup>[37]</sup>。

## 3) 马尔可夫模型相关研究

马尔可夫模型最早由马尔可夫 (Markov) 提出,鉴于马尔可夫模型的优良性质,目前其已经广泛运用于各个领域的预测研究。李伟等利用 BP (back propagation) 神经网络-马尔可夫模型对油料消耗进行了预测,将预测结果与实际值进行了对比

分析, 得出了 BP 神经网络-马尔可夫模型能够对油料消耗进行准确预测的结论<sup>[38]</sup>。纪礼文采用马尔可夫模型对股票市场进行预测, 具体分析上证综合指数的涨跌率<sup>[39]</sup>。马颖运用马尔可夫区制转移向量自回归 (Markov switching vector autoregression, MS-VAR) 模型再次对中国 1978~2010 年的能源消费与经济增长之间的关系进行了研究<sup>[40]</sup>。Jarrow 采用马尔可夫模型, 分析了信用风险利差的期限结构<sup>[41]</sup>。Longini 等使用分期马尔可夫模型估计已经接受各种感染阶段的 603 名人类免疫缺陷病毒 (human immunodeficiency virus, HIV) 感染个体的队列中获得性免疫缺陷综合征 (acquired immunodeficiency syndrome, AIDS) 的潜伏期的分布和平均长度<sup>[42]</sup>。张相珍运用灰色-马尔可夫模型对 2012 年山东省电力消费量进行了预测, 通过模型精度的比较, 证明该模型是有效的<sup>[43]</sup>。刘金全和郑挺国在利率期限结构中通过纳入马尔可夫区制转移, 将传统 CKLS (Chan-Karoli-Longstall-Saunders) 模型推广到更为一般的状态相依的 CKLS 模型, 并将其应用于对我国 1996 年 1 月~2006 年 3 月银行间同业拆借市场六组不同到期日的月度加权平均利率的研究<sup>[44]</sup>。孙红丽等基于马尔可夫过程, 建立了企业人力资源供给预测模型<sup>[45]</sup>。

基于以上研究综述不难发现: ①在能源结构的预测研究方面, 国内外研究都比较成熟, 可借鉴的方法也较多, 为本书提供了借鉴; ②目前国内外在关键技术研究方面, 以储能技术的研究为例, 多是对技术方面的阐述, 较少有其对负荷变化影响的研究, 而且基本没有对其社会福利进行估算, 电动汽车方面也没有在替代率不同的情况下考察负荷调节作用, 因此虽然以上研究有借鉴价值, 但还有可深入研究之处; ③在对经济发展进行预测研究方面, 本书采用的索洛模型、马尔可夫模型以及 ADLM 已经被各领域的学者广泛使用, 基于以往的研究基础, 本书通过运用这些模型对安徽省经济发展进行分析预测, 具有一定可靠性和准确性。

### 1.3 本书主要研究内容

第一, 从安徽省 GDP 及增长、产业和工业结构变化、工业和服务业内部各行业走势、居民收入及增长、人口规模和城镇化率, 以及人均 GDP、人均居民收入等与全国及周边省份对比等角度, 全面剖析“十五”以来, 尤其是“十二五”期间安徽经济社会发展情况; 同时从安徽能源资源储量及开发利用、能源生产和消费总量及结构、电力生产和消费总量及结构、主要污染物和碳排放总量及结构、人均能源电力消费量变化及其与全国和周边省份对比等角度, 全面剖析“十五”以来, 尤其是“十二五”期间安徽能源电力发展情况。

第二, 围绕全球能源互联网“两个替代”战略, 结合上述对安徽能源电力发展情况的分析结论, 探析全球能源互联网背景下, 安徽远景能源电力发展面临哪些迫切的新要求; 同时以安徽远景能源电力发展面临的迫切新要求为指导, 深入

研究安徽远景主要时间节点（2020年、2030年、2050年）在化石能源和清洁能源开发利用，潜力规模及技术效率提升，终端工业各行业、服务业各行业以及居民消费用能方式、用能结构、节能技术进步和主要污染物及碳减排技术潜力，先进电力技术类型、商业应用时点、发电效率等各方面的发展路径与主要发展目标。

第三，结合全球能源互联网战略对安徽新能源、装备制造等行业的发展促进，研究安徽远景主要时间节点（2020年、2030年、2050年）经济发展潜力和发展水平，量化经济社会发展主要指标；研究安徽远景产业和工业结构变化与全球能源互联网背景下智能电网技术、需求侧响应及负荷管理技术对安徽远景负荷特性的单独及综合定量影响，预测安徽远景主要时间节点主要负荷特性指标，为远景电力、电量、调峰平衡、用电最大负荷预测提供基础；同时分析储能和新能源技术的应用潜力及其对于国网安徽省电力公司（简称安徽电网）的影响。

第四，基于安徽远景经济社会发展预测结果和远景能源电力发展路径与主要目标结果，构建量化远景展望模型，预测安徽远景主要时间节点的能源电力供需、主要污染物及碳排放结构、电气化水平，并从特高压电力受进规模等角度，根据研究需要，设定必要的不同情景开展研究，并对结果进行合理解释。

第五，以全省远景经济社会发展预测为基础，深入探索研究远景主要时间节点各地市经济社会发展布局。在经济社会远景发展布局基础上，从农业、工业、建筑业、服务业模块，定量测算远景各地市、各模块用电布局情况，形成远景主要时间节点各地市全社会用电量布局结果。进而结合各地市产业发展变化，研究各地市远景负荷特性变化，最终得到各地市远景全社会最大负荷布局结果。

## 1.4 创新之处

本书在全球能源互联网背景下研究安徽省远景电力发展路径，这在国内尚属首次，对全国其他省份的远景电力布局具有很好的启迪和参考作用，同时对助力安徽实现清洁、绿色、高效的能源生产消费模式，以及科学、前瞻地指导安徽远景电网发展的功能定位、发展路径和布局安排意义重大。

本书在角度和方法上也存在几个创新点。

第一，在全球能源互联网背景下，通过安徽省社会经济和能源电力的现状突出发展清洁替代和电能替代的必要性，突出发展智能电网的必要性，还结合安徽省社会经济和能源电力远景预测说明全球能源互联网的可行性，突出智能电网、特高压技术、储能技术等发展的经济可行性。各角度的研究都在现有研究基础上进行了借鉴和突破。

第二，通过采用目前学界较为流行的统计分析方法，如协整理论、BP神经网络算法、可计算一般均衡模型等分析方法，从化石能源和清洁能源开发利用，潜

力规模及技术效率提升,终端工业各行业、服务业各行业及居民消费用能方式、用能结构、节能技术进步和主要污染物及碳减排技术潜力,先进电力技术类型、商业应用时点、发电效率等角度,研究安徽远景主要时间节点能源电力发展需要沿着怎样的有效路径来实现全球能源互联网的战略要求,并量化主要发展目标。研究结果具有高度的严谨性和参考性,对安徽省远景电力布局具有重要的参考作用。

第三,安徽省远景能源电力供需状况、能源电力生产与消费形态、主要污染物及碳排放结构、电气化水平等结论的获得,均需构建有效的情景预测模型。而远景能源电力供需受经济社会发展水平、能源电力发展路径与目标的综合影响,受经济社会与能源电力发展的诸多技术参数共同影响和决定,是一个复杂系统问题,因此供需预测模型构建难度较大。而本书在考虑到各种影响因素后,构建有效的情景预测模型,对安徽省远景的预测水平做出了严密的定量分析。

### 参 考 文 献

- [1] Tahvonen O, Salo S. Economic growth and transition between renewable and nonrenewable energy resources[J]. *European Economic Review*, 2001, 45 (8): 1379-1398.
- [2] Silva S, Soares I, Afonso O. Economic and environmental affect under resource scarcity and substitution between renewable and non-renewable resources[J]. *Energy Policy*, 2013, 54: 113-124.
- [3] Lafforgue G, Magné B, Moreaux M. Energy substitutions, climate change and carbon sinks[J]. *Ecological Economics*, 2008, 67 (4): 589-597.
- [4] Apergis N, Payne J E. Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model[J]. *Energy Economics*, 2009, 31 (2): 211-216.
- [5] Sözen A, Areaklioglu E. Prediction of net energy consumption based on economic indicators (GNP and GDP) in Turkey[J]. *Energy Policy*, 2007 (35): 4981-4992.
- [6] 陈文颖,吴宗鑫.用 MARKAL 模型研究中国未来可持续能源发展战略[J].*清华大学学报(自然科学版)*, 2001, 41 (12): 104-106.
- [7] 陈长虹,科林·格林,吴昌华. MARKAL 模型在上海市能源结构调整与大气污染物排放中的应用[J]. *上海环境科学*, 2002, 21 (9): 515-519.
- [8] 何旭波. 补贴政策与排放限制下陕西可再生能源发展预测——基于 MARKAL 模型的情景分析[J]. *暨南学报(哲学社会科学版)*, 2013, 35 (12): 1-8.
- [9] 牛东晓,孙伟,赵磊. 基于转移矩阵识别的马尔可夫能源结构预测模型[J]. *华北电力大学学报*, 2004, 31 (3): 59-61.
- [10] 林伯强,蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. *管理世界*, 2009, 4: 27-36.
- [11] 林伯强,姚昕,刘希颖. 节能和碳排放约束下的中国能源结构战略调整(英文)[J]. *中国社会科学(英文版)*, 2010 (2): 91-110.
- [12] 王锋,冯根福. 优化能源结构对实现中国碳强度目标的贡献潜力评估[J]. *中国工业经济*, 2011 (4): 127-137.
- [13] 邱立新,雷仲敏,周田君. 中国能源结构优化的多目标决策[J]. *青岛科技大学学报(社会科学版)*, 2006, 22 (3): 49-54.

- [14] Blasko V, Kaura V. A new mathematical model and control of a three-phase AD-DC voltage source converter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 1997, 12 (1): 1231-1238.
- [15] Douangsyala S, Infarack P, Kanthee A, et al. Modeling for PWM voltage source converter controlled power transfer[C]. International Symposium on Communications and Information Technologies 2004, Sapporo, 2004: 87-92.
- [16] 陈允鹏. 发展抽水蓄能电站是电网调峰和经济运行的选择[J]. 中国能源, 2005, 27 (8): 31-34.
- [17] 周昭茂. 电力需求侧管理技术支持系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [18] Mohsenian-Red A H, Wong V W S, Jatskevich J, et al. Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2010, 1 (3): 320-331.
- [19] Huang D, Billinton R. Effect of load sector demand side management applications in generating capacity adequacy assessment[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2012, 27 (1): 335-343.
- [20] 曾鸣, 汪晓露. 引入清洁发展机制的电力需求侧管理项目一般均衡分析[J]. 华东电力, 2009, 37(12): 1965-1969.
- [21] 翟学书, 王炳. 政府在需求侧管理工作中应发挥主导作用[J]. 大众用电, 2005, 11: 6.
- [22] Fernández L P, san Román T G, Cossent R, et al. Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2011, 26 (1): 206-213.
- [23] Adolfo P, Biagio C. The introduction of electric vehicles in the private fleet: Potential impact on the electric supply system and on the environment[J]. Italy Energy Policy, 2010, 38 (8): 4549-4561.
- [24] Caraiani P. Modeling the economic growth in Romania with the Solow model[J]. Romanian Journal of Economic Forecasting, 2007, 4 (1): 77-88.
- [25] 韩立杰, 于海滨, 刘喜波. 基于索洛模型对我国经济增长的实证分析[J]. 北方工业大学学报, 2007, 19 (3): 62-64.
- [26] Ding S, Knight J. Can the augmented Solow model explain China's remarkable economic growth? A cross-country panel data analysis[J]. Journal of Comparative Economics, 2009, 37 (3): 432-452.
- [27] 高新才, 李俊衡. 陕西省经济增长质量的动态研究——基于索洛模型的考察[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版), 2011, 41 (2): 21-25.
- [28] 卿宇娇. 基于索洛模型对经济增长的实证分析[J]. 商, 2012 (9): 102.
- [29] 丁然. 我国经济增长因素的实证分析——基于索洛模型[J]. 重庆与世界(学术版), 2011, 28 (9): 20-24.
- [30] 胡蕾. 基于索洛模型的我国经济增长实证分析[J]. 现代商贸工业, 2011, 23 (19): 7-9.
- [31] 周侯勋. 资本投入、技术进步与我国经济增长的新常态——基于索洛模型的实证分析[J]. 中国市场, 2015 (42): 25-28.
- [32] 任强, 侯大道. 人口预测的随机方法: 基于 Leslie 矩阵和 ARMA 模型[J]. 人口研究, 2011 (2): 28-42.
- [33] 门可佩, 官琳琳, 尹逊震. 基于两种新型灰色模型的中国人口预测[J]. 经济地理, 2007, 27 (6): 942-945.
- [34] 王周喜, 胡斌, 王洪萍. 人口预测模型的非线性动力学研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2002, 19 (8): 53-56.
- [35] 杨青生. 基于灰色系统理论的广州市人口预测[J]. 统计与决策, 2009 (11): 49-51.
- [36] Härdle W K, Wolfgang K, Mysickova A. Stochastic population forecast for Germany and its consequence for the German pension system[R]. Berlin: Humboldt University, 2009.
- [37] 安和平. 中国人口预测的自回归分布滞后模型研究[J]. 统计与决策, 2005 (16): 4-7.
- [38] 李伟, 王红旗, 严乔乔. BP 神经网络——马尔科夫模型在军用油料消耗预测中的应用研究[J]. 中国储运, 2012 (1): 125-126.
- [39] 纪礼文. 马尔科夫模型在股票市场中的应用[J]. 投资与合作, 2010 (9): 8.



- [40] 马颖. 能源消费与经济增长——基于马尔科夫区制转移向量自回归模型的研究[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2013 (1): 35-41.
- [41] Jarrow R A. A Markov model for the term structure of credit risk spreads[J]. Review of Financial Studies, 2004, 10 (2): 481-523.
- [42] Longini I M, Clark W S, Byers R H, et al. Statistical analysis of the stages of HIV infection using a Markov model[J]. Statistics in Medicine, 1989, 8 (7): 831-843.
- [43] 张相珍. 山东省电力消费量的灰色-马尔科夫模型预测[J]. 知识经济, 2012 (12): 55, 57.
- [44] 刘金全, 郑挺国. 利率期限结构的马尔科夫区制转移模型与实证分析[J]. 经济研究, 2006 (11): 82-91.
- [45] 孙红丽, 何永贵, 张文建, 等. 马尔科夫模型在企业人力资源供给预测中的应用[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2004, 31 (5): 56-58.