

Roadmap for Sustainable Innovative
Development of China's Wind Power Industry

中国风能 可持续发展之路

李家春 贺德馨 主编



海外情



科学出版社

中国风能可持续发展之路

李家春 贺德馨 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书首先阐明了发展风能在优化能源结构、转变发展方式、治理大气环境、应对气候变化等方面的重要意义,根据当前国内外风能发展的现状和趋势,对2020年、2030年和2050年我国能源发展做出了统筹规划,特别是对风能发展的规模和时空布局提出了具体方案。为了保障实现我国未来风能可持续发展的战略目标,提出了相应的技术路线、产业体系、市场机制和政策措施。尽管风能具有清洁、低碳、可再生等诸多优势,但由于风力发电的随机性、波动性、间歇性特征,我们必须依靠创新驱动克服规模入网的困难。本书安排了专门章节详细阐述互联网和设计制造中先进技术在风能产生、输送、利用、调度、分配和运维中发挥的重要作用。作为重要的可再生能源之一,风能将是未来社会能源利用的重要形式和发展趋势,我国在过去50年风能事业取得辉煌成就的基础上必将实现可持续发展,并为我国的社会发展做出不可或缺贡献。

本书可供风能企业研究和设计制造部门的科技人员、政府部门的管理人员、高等院校教师、研究生、本科生和广大公众阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国风能可持续发展之路/李家春,贺德馨主编. —北京:科学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-03-054578-7

I. ①中… II. ①李… ②贺… III. ①风力能源-能源开发-可持续性发展-研究-中国 IV. ①TK81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 231058 号

责任编辑:赵敬伟 赵彦超 / 责任校对:邹慧卿

责任印制:张 伟 / 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>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年1月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018年1月第一次印刷 印张:21 插页:3

字数:420 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

编委会名单

主 编 李家春 贺德馨

副主编 任东明 周建平 王同光

编 委 (按姓氏笔画排序)

叶友达 叶杭冶 李 晔 李健英

林毅峰 杨校生 周济福 赵晓路

秘 书 孙相人

前 言

能源是人类为从事生产活动和提高生活质量所需的动力和热量的来源,是经济社会发展的物质基础,是国家安全的可靠保障。因此,能源问题一贯受到国家和政府部门的高度重视。作为国家最高咨询机构,中国科学院学部总是把能源问题置于重要地位,并通过战略研究、咨询报告、学术论坛等形式不断凝练科学问题,探究解决方案,为国家能源工程发展提出建设性意见。

本咨询研究小组曾于 2012 年 9 月举办了“能源开发利用中的前沿力学问题”的学术论坛,2013—2014 年经过深入企业和现场调查研究,向国务院递交了《大力推进我国风能可持续发展的对策建议》的咨询报告。然而,在未来可再生能源的发展过程中仍会遇到各种挑战,能源供给和消费革命任重道远。因此从 2015 年起,我们启动了《中国风能可持续发展之路》的撰写工作。除了政府和管理部门,这本书主要面向企业、工程、科技、教育各界和广大公众,进一步阐明发展风电等可再生能源的深远意义、目标任务、关键技术、制约瓶颈、政策法规、体制机制等问题,并提出相应的对策措施,旨在使从事风能开发、研究和管理的相关人员在可再生能源的战略地位、规划布局、深化改革、创新驱动等方面取得共识,促进风能投资、开发和双创活动。在此期间,国家发布了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》和《可再生能源发展“十三五”规划》。我们要以此两个纲领性文件为准,进一步审视、阐述和丰富咨询报告的相关内容,为未来风电产业的可持续发展做出新贡献。

可再生能源的战略地位

人类利用能源有悠久的历史。早在数千年前的文明发源地,人们就使用风力、水力和蓄力进行耕作、碾磨、提水和运输。17 世纪工业革命后,煤炭逐步成为主要动力,19 世纪末开始开采石油,使用电力,科技的进步对能源的转型起了决定性的作用。20 世纪 50—70 年代由于环境污染和能源危机,导致了可再生能源的规模化利用,目前风能、太阳能、生物质能利用方兴未艾。欧盟是全球可再生能源发展时间最早、力度最大、效果最明显的经济体。2011 年,欧盟发布了《2020 年能源发展战略》,明确了“3 个 20%”的目标,即到 2020 年,相对于 1990 年水平,温室气体减排 20%,能耗降低 20%,可再生能源占能源消费总量的比重达 20%,并提出实现 2020 年亟需开展的行动。同年,欧盟发布了《2050 能源发展路线图研究报告》,

计划到 2050 年,在积极的发展情景下,相对于 1990 年水平,温室气体减排 80%—95%,可再生能源占终端能源消费总量的 75%,可再生能源发电量占电力消费总量的 97%,在能源结构中成为最主要的角色。由此可见,清洁能源成为未来社会替代能源的潮流不可逆转。

“十二五”期间我国经济发展进入新常态。为保证我国经济社会长期平稳发展,必须改变生产发展方式,确定调整供给侧经济结构,并提出去产能、去库存、去杠杆、降成本、补短板的应对策略。2016 年经济领域深化改革取得显著成效,煤炭、钢铁、石化、玻璃、水泥等过剩产能都得到了削减,能源结构调整势在必行。可再生能源是能源供应体系的重要组成部分,可再生能源开发利用规模不断扩大,应用成本快速下降,发展可再生能源已成为能源转型的核心内涵和主导方向。

化石能源不久将枯竭,它的使用导致环境污染,生态破坏、健康损害。尤其是从 2013 年以来,国内多次大范围、持续性重度雾霾天气过程引起了社会各界的密切关注。追究雾霾缘由,与 20 世纪中期伦敦烟雾事件(煤烟排放)和洛杉矶光化学烟雾事件(汽车尾气排放)综合因素相似。一方面,通过解析 PM_{2.5} 的成分,发现排放的硫氧化物、重金属等经化学反应生成的二次颗粒物所致。气象学家证实,雾霾发生与天气因素的相关度为 77.1%。而且京津冀地区近年来由于冷空气过程减弱,年平均风速降低,环境容量减小,自净能力降低,极不利于雾霾消散。因此,在湿度较高、静稳天气的条件下,雾霾必定卷土重来。要切实改变目前空气质量完全依赖气象条件的状况,采用可再生能源替代化石能源是唯一的选择;另一方面,从全球气候变化的角度来看,IPCC 自 1990—2014 年以来发布的五次评估报告确认,大气中二氧化碳含量的上升,地球表面温度的升高,有 95% 的置信度是由人类活动引起的,如果不加控制,将导致全球增温摄氏 4 度以上,人类将面临极端气候与海平面上升带来的严重灾难。世界各国经过努力于 2015 年签订了《巴黎协定》,占温室气体排放总量 75% 的 110 个国家批准了协议,并即将生效。中美两国首脑发表了关于气候变化的声明,中国政府承诺 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰,并计划到 2030 年非化石能源占一次能源消费比重提高到 20% 左右。

因此,从我国现有的能源结构和世界未来能源发展趋势来判断,大力发展风能等可再生能源不仅有利于改善大气质量,应对气候变化,而且是符合长远经济社会发展目标的重大战略决策。

统筹规划能源时空布局

我国人口众多,能源需求总量巨大,要改变能源结构长期以煤为主的局面,任务艰巨,因此,能源转型的过程绝不是一蹴而就的。可以预期,从现在起到 2050

年,我国的能源结构还处在从以化石能源为主转向非化石能源和化石能源多元利用的阶段,估计要到 21—22 世纪之交,才有可能实现以可再生能源为主的局面。所以,风能总量及其时空布局的规划必须置于整个能源规划之中,进行科学统筹考虑。

科学统筹规划首先要求我们必须按照我国经济社会发展水平来制定能源消费总量目标,既要满足工业化、城镇化、生活方式改善带来的日益增长的能源需求,同时,又要符合建设资源节约型、环境友好型社会的绿色发展要求。考虑到我国经济社会发展两个一百年的宏伟目标和人口规划,到 2050 年,我国经济总量将达到 300 万亿元,以 14 亿人口为基数,人均 GDP 约 21 万元(约 3 万美元),并基于单位产值能耗(0.20 吨标准煤/万元)、人均能耗水平(4 吨标准煤/人)、能源消费年均增长速度、产业结构调整、低碳和排放约束条件进行预测,到 2050 年能源消费总量约为 60 亿吨标准煤和 12 万亿度电;科学统筹规划要求我们还要安排好各种能源的比例和发展进程,通过能源结构多元发展,不断减少化石能源的比重。到 2050 年,规划确定非化石能源的比例将从 2015 年的 12% 增长到 2030 年的 20% 和 2050 年的 38.5%,届时,风电将占一次能源的比例为 10.7%,在电力结构中占比为 17.8%,在非化石能源中占比为 27.8%,前景无限广阔;科学统筹规划要求我们安排好能源发展的空间布局,全国规划建设蒙东、蒙西、新疆、甘肃、吉林、黑龙江、河北、山东沿海等八大风电基地,有步骤地发展海上风电,确定了具体的发展路线图,即 2020 年前积极有序开发陆上风电,示范开发近海风电,2020—2030 年陆上、近海风电并重发展,2030—2050 年实现陆上风电和海上风电的全面发展;科学统筹规划,要求除了集中陆上风电外,还要布局中东部、南方、西藏等地分散的低风速风电,并安排建设哈密—郑州等 10 条特高压输电通道、抽水蓄能电站、物理化学储能、分布式风电和智能微电网建设,确保可再生能源充分消纳和平稳上网运行;科学统筹规划要求安排多能互补发电布局,建设风电与常规水电、抽水蓄能水电、太阳能等多能互补发电系统,进一步提高风能利用效率。通过实现以上规划,使未来中国能源发展将会实现能源需求增长从以工业为主向民用为主转变,能源终端消费从一次能源向二次能源(电力)转变,能源发展的硬约束从经济增长向生态环保等三个方面的转变,从而使我们不仅实现了国家工业化、生活现代化,并真正达到了绿色、低碳能源利用的宏伟目标。

深化能源体制机制改革

我国风电产业经历了引进示范、自主开发和规模发展三个阶段。第一阶段 1986—2005 年是技术引进和示范试验阶段。通过与丹麦、德国、意大利、西班牙国际合作,建立了荣成马兰、浙江大陈、新疆达坂城和内蒙古朱日和示范基地,取得了

经验,培养了人才;第二阶段 2006—2010 年,自主开发和初步产业化阶段。国家颁布了《可再生能源法》,实施了特许经营权法,推行了强制上网、分类电价、接网补贴、费用分摊和税收优惠等法规,促进了民营企业投资的积极性;第三阶段是 2011—2015 年是规模开发和自主创新阶段,国家进一步完善了《可再生能源法》,我国风电快速发展,到 2015 年底,装机容量 1.293 亿千瓦,发电 1863 亿千瓦时,稳居世界第一,形成了风电装备制造产业、风电场工程与运维产业、风电系统技术服务产业等完整的产业体系,造就了若干可参与国际竞争的整机制造厂,可以制造多兆瓦大型的风力发电机组,产品质量大幅提升,开发了 8 个千万千瓦级的风力发电场,并跃居成为世界风电大国。

我国现有风力发电的市场机制自 2005 年以《可再生能源法》开始,到目前基本成型。特点是以《可再生能源法》为法律保障,以强制上网、分类电价、接网补贴、费用分摊和税收优惠等为效益保障的一整套政策、法规组成。在风力发电早期发展阶段,运行顺畅,效果显著,为风力发电产业的兴起提供了一个由国家主导的有竞争、有管控、有保障的风力发电市场,有效地推动我国风力发电科技进步、产业发展,保证我国风电持续十年高速发展,节能减排和应对气候变化成效显著。

目前,我国风电发展的规模已经与十年前不可同日而语,现行的政策、法规与风电产业现状不相适应的状况日益显现。由于风电规模庞大,补贴经费上升,经费来源渠道有限,财政入不敷出,补贴经费不能及时到位屡见不鲜;风资源丰富的三北地区远离工业发达、人口密集的中东部地区,电网输送、储能容量、当地消纳能力明显不足;电力改革滞后,输、配、售电不分,调度未能独立,市场没有开放,跨区调配不畅;尚未建立电价形成机制,仍然依靠政府定价,可再生能源的环保功能产生的经济、社会效益未能得到体现。以上短板导致弃风现象成为可再生能源的痼疾,愈演愈烈。以 2015 年为例,全年风力发电 1863 亿千瓦时,同比增加 23%。但弃风电量高达 339 亿千瓦时,同比增加 213 亿千瓦时,弃风率为 18.2%。这充分说明我国的电力配送体制阻碍了可再生能源发展前进的步伐。因此,必须通过调查研究、认真分析、总结经验,将深化能源和电力机制体制改革提到议事日程。深化改革的最终目标是建立有可再生能源中长期可持续发展的市场机制。

在目前阶段,新机制的要点是:搞好配套规划,进一步确立风能的战略优先地位;科学合理制定风电配额指标,强制地方执行;发行绿色证书,完善市场交易;推进能源体制改革,发展风能友好型电网。新机制必须保障我国风电和可再生能源发展中长期目标的实现;要解决电网建设长期滞后、弃风、消纳日趋严重、成本电价差距、政府补贴退出、民营资本介入、监督管理机制不健全等问题。

根据非化石能源消费比重和可再生能源开发利用目标的要求,建立全国统一的可再生能源绿色证书交易机制,进一步完善新能源电力的补贴机制。通过设定燃煤发电机组及售电企业的非水电可再生能源配额指标,要求市场主体通过购买

绿色证书完成可再生能源配额义务,通过绿色证书市场化交易补偿新能源发电的环境效益和社会效益,逐步将现行差价补贴模式转变为定额补贴与绿色证书收入相结合的新型机制,同时与碳交易市场相对接,降低可再生能源电力的财政资金补贴强度,为最终取消财政资金补贴、实现电力供销完全市场化创造条件。

同时,通过京津冀及其周边地区(张家口、承德、赤峰、乌兰察布)可再生能源协同利用基地,西北、西南水、光、风基地和风、光、热综合基地等示范试验,证明多种可再生能源协同利用在技术上是可行的,从而提高了可再生能源的利用效率,缓解了弃风、弃光和弃水的现象。如果能在在此基础上,进一步推广风、光、煤电联合输送示范工程和投融资模式经验,并大胆探索,从体制机制和业务管理机制上深化改革,解决可再生能源的瓶颈问题指日可待。

加速建设创新驱动体系

近十年来,世界经济面临困境。上一轮科技和产业革命所提供的动能耗尽,现有经济治理机制缺陷显现,导致世界经济整体动力不足,有效需求不振。其表象是:增长乏力、失业上升、债务高企、贸易不畅、投资低迷、市场波动、实体经济失速。但事实证明,无论简单的货币政策刺激,还是金融杠杆调节,都无法为世界经济增长带来长期稳定发展的内在动力。唯有通过创新驱动、结构改革、工业革命、网络技术、数字经济等新方式,挖掘增长动能,创新增长方式,才能为世界和中国经济找到出路。另一方面,进入 21 世纪,科学技术加速发展,在宇宙演化、物质结构、生命起源领域正酝酿着重大理论创新,信息技术、生物技术、新材料技术、先进制造技术正孕育着新的突破。全球产业剧烈变革,一场新的工业革命诸如:美国工业互联网、德国工业 4.0、中国制造 2025 等正在兴起。由此可见,基础学科面临着交叉融合,颠覆性关键技术不断涌现,展示了新的前景。总之,世界和中国经济挑战与机遇并存。

我国经济发展进入新常态,国家适时提出了创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念,并具体体现在发展速度从高速转向中高速,发展方式从规模速度型粗放增长转向质量效益型集约增长,发展聚焦从传统产业转向新兴产业;发展动力从生产要素驱动转向科技创新驱动,保持经济的平稳增长,赋予中国经济增长新动能。

回顾能源发展史,热力学、电磁学、核物理的发展和蒸汽机、内燃机、水轮机、电动机的发明,导致了能源革命。最近麦肯锡提出的影响未来人类社会的颠覆性技术就包括了可再生能源和储能技术。此时此刻,我们要紧紧抓住世界新技术革命的良好机遇,通过不断突破高效、清洁、低碳、低成本、可持续能源技术,促进风能、太阳能、生物能、核能、氢能等新能源快速发展,进入规模化应用,为我国乃至全球能源革命做出积极贡献。

风能技术与力学、物理学、地球科学、材料、电工、信息等技术紧密相关,需要持

续开展基础和应用研究,解决弃风瓶颈问题。为此,我们需要利用先进制造和材料设计技术,制造世界一流的超大型和特殊环境风力发电机组;我们需要发展风资源精细评估、风电场优化布局和海上风电技术,大幅提高风力发电的效率;我们需要优化配置电力资源,结合储能和分布式消纳手段,通过互联网/微电网技术,提高大规模电网平稳接入能力。我们要进一步加大风电领域的研发资金的投入,健全我国可再生能源产业体系,着力建设可再生能源国家实验室、公共服务平台,完善监督认证制度,进一步加强人才引进、培养力度和国际合作交流,使我国在不远的将来建设成为世界风电强国。

本书是在《大力推进我国风能可持续发展的对策建议》咨询报告的基础上,进一步深入研究和细致分析,提出了具体措施,以利于贯彻落实,从而到2050年真正能实现所制定的风能发展的宏伟战略目标。

全书共分6章。第1章经济社会发展与能源问题,介绍风能可持续发展的战略意义;第2章风能发展基本情况,介绍国内外风能发展现状与趋势;第3章中国风能可持续发展规划与布局,对中国风电中长期发展目标与时空布局提出了具体方案;第4章中国风能可持续发展路径,介绍中国风能可持续发展技术路线、产业体系和市场机制;第5章中国风能可持续发展的对策与措施,提出了在风能政策、人才培养、服务体系建设和国际交流合作等方面的建议;第6章开拓风能可持续发展新空间,对规模化风电并网、分布式风电、互联网在风电系统中的应用、大型风电机组和海上风电设计制造、风电装备绿色制造风能多元化应用等关键问题进行探讨,充分体现互联网和先进制造技术对于风能工程创新发展的重要意义。

本书是集体编撰完成的。在编撰过程中,咨询项目组成员严陆光院士、张涵信院士、胡文瑞院士、徐建中院士和陈祖煜院士对本书的内容提出了许多宝贵的意见。全书除了由编委会成员分工组织和参与有关章节编写外,刘坚、郑雅楠、吕波、李莹、庞静、马江涛、周志超、钟伟、崔新维、胡书举、刘兵、石文辉、傅凌焜等同志也参加了有关章节的编写。本书的编撰出版得到了中国科学院学部的咨询委员会和数学部的指导和资助,也得到了中国科学院力学研究所的积极支持。在此,一并向他们表示衷心的感谢。

由于涉及领域广泛,编著时间仓促,书中难免疏漏之处,敬请读者批评指正。

李家春 贺德馨

2017年9月10日

目 录

前言	
第 1 章 经济社会发展与能源问题	1
1.1 全球经济社会发展中的问题	1
1.1.1 全球气候变化	1
1.1.2 全球能源安全	3
1.1.3 全球环境污染	9
1.2 全球采取的行动	11
1.2.1 应对气候变化的主要行动	11
1.2.2 应对能源安全的主要行动	12
1.2.3 应对环境危机的主要行动	15
1.3 风能的地位和作用	19
1.3.1 改善能源结构,推进能源转型	19
1.3.2 创造就业机会,优化经济结构	20
1.3.3 控制温室气体排放,减少环境污染	22
参考文献	23
第 2 章 风能发展基本情况	24
2.1 全球风能发展基本情况	24
2.1.1 全球风能资源	24
2.1.2 全球风能发展现状	25
2.1.3 全球风能发展展望	33
2.2 中国风能发展基本情况	36
2.2.1 中国风能资源	36
2.2.2 中国风能发展现状	37
2.2.3 中国风能发展展望	46
参考文献	50
第 3 章 中国风能可持续发展规划与布局	51
3.1 中国风能可持续发展规划	51
3.1.1 中国经济社会发展目标	51
3.1.2 能源需求与结构分析	53
3.1.3 电力需求与结构分析	66

3.1.4 风电可持续发展目标	73
3.2 中国风电可持续发展布局	77
3.2.1 陆上风能集中式开发布局	78
3.2.2 陆上风能分散式开发布局	86
3.2.3 海上风能开发布局	89
3.2.4 多能互补风电开发布局	95
参考文献	100
第4章 中国风能可持续发展路径	102
4.1 中国风能可持续发展技术路线	102
4.1.1 风能技术研究现状	102
4.1.2 风能技术发展趋势	107
4.1.3 风能可持续发展关键技术	109
4.2 中国风能可持续发展产业体系	116
4.2.1 风能产业的发展历程	116
4.2.2 风能产业体系的基本组成	118
4.2.3 风能产业体系发展模式	123
4.3 中国风能可持续发展市场机制	126
4.3.1 风能市场形成和发展历程	126
4.3.2 现有风能市场机制及其实施效果分析	128
4.3.3 促进风能可持续发展的市场机制探讨	136
参考文献	139
第5章 中国风能可持续发展的对策与措施	141
5.1 做好风能发展的统筹规划与顶层设计	141
5.1.1 现状分析	141
5.1.2 存在问题	142
5.1.3 对策建议	143
5.2 完善风能政策体系	144
5.2.1 现状分析	144
5.2.2 存在问题	148
5.2.3 对策建议	150
5.3 加快完善风能人才培养体系建设	152
5.3.1 现状分析	152
5.3.2 存在问题	154
5.3.3 政策建议	154
5.4 推进风能公共技术服务平台建设	155

5.4.1 现状分析	156
5.4.2 存在问题	158
5.4.3 对策建议	159
5.5 健全风能发展监管与服务体系	160
5.5.1 现状分析	160
5.5.2 存在问题	163
5.5.3 对策建议	164
5.6 促进风能领域国际交流与合作	166
5.6.1 现状分析	166
5.6.2 存在问题	167
5.6.3 对策建议	170
参考文献	170
第6章 开拓风能可持续发展新空间	172
6.1 规模化风电并网运行技术	172
6.1.1 概述	172
6.1.2 风电功率预测	173
6.1.3 风电并网运行控制	177
6.1.4 风电优化调度及风险防御	180
6.1.5 结语	183
参考文献	183
6.2 分布式风电与微电网	184
6.2.1 概述	184
6.2.2 国内外现状	187
6.2.3 需求分析	192
6.2.4 技术路线和发展方向	194
6.2.5 结语	196
参考文献	198
6.3 互联网与智能风电场	198
6.3.1 概述	198
6.3.2 互联网在风功率预测系统中的应用	199
6.3.3 互联网与风电场维护系统	200
6.3.4 互联网在能源管理系统中的应用	210
6.3.5 结语	217
参考文献	217
6.4 风电机组可靠性设计	217

6.4.1 概述	217
6.4.2 风电机组可靠性设计现状	222
6.4.3 风电机组可靠性设计基本情况	224
6.4.4 风电机组可靠性设计关键技术	231
6.4.5 结语	232
参考文献	233
6.5 大型风电叶片的设计、制造与运维	234
6.5.1 大型风电叶片产业现状	235
6.5.2 大型风电叶片设计	236
6.5.3 大型风电叶片制造	243
6.5.4 大型风电叶片运维	245
6.5.5 结语	246
参考文献	247
6.6 大型风电机组传动系技术	248
6.6.1 概述	248
6.6.2 风电机组传动系技术现状	250
6.6.3 风电机组中速传动系技术	254
6.6.4 中速传动系的关键技术	262
6.6.5 结语	263
参考文献	263
6.7 海上风电机组的环境、载荷与响应	265
6.7.1 概述	265
6.7.2 海上风电场环境特性	266
6.7.3 海上风电机组支撑结构	271
6.7.4 海上风电机组支撑结构的水动力载荷	274
6.7.5 海上风电系统的流固耦合	277
6.7.6 结语	283
参考文献	284
6.8 风电装备制造绿色化与智能化	285
6.8.1 风电设备制造绿色化	286
6.8.2 风电设备制造智能化	290
6.8.3 结语	295
参考文献	295
6.9 风能多元化应用	296
6.9.1 多能互补	296

6.9.2 风电供热	302
6.9.3 风电制氢	305
6.9.4 风电储能	308
6.9.5 风电海水淡化	313
6.9.6 结语	316
参考文献	316

彩图

第 1 章 经济社会发展与能源问题

1.1 全球经济社会发展中的问题

1.1.1 全球气候变化

早在 19 世纪初,法国物理学家约瑟夫·傅里叶就已认识到了地球大气的重要性,并将大气比作一个能够截留部分太阳辐射热量的温室。1859 年,爱尔兰物理学家约翰·廷德尔发现,太阳短波辐射可穿透大气层将能量传到地表,但地球的长波逆辐射会被二氧化碳所截留,因此,地球可以保持温度并维持生命。根据这个观念,他认为或许可以解释地球历史上的气候变化。1896 年,瑞典诺贝尔化学奖得主斯万特·奥古斯特·阿累尼乌斯教授估算,如果大气中的二氧化碳含量增加两倍,可使地球气温上升 5—6 摄氏度。

1956 年,吉尔伯特·普拉斯利用气候模型,第一次阐述了气候变化的二氧化碳理论。随后,加利福尼亚州立大学圣迭戈分校的查尔斯·基林发表了大气中二氧化碳含量年变化的测量数据,发现大气中二氧化碳浓度有持续上升趋势。在基林数列的开端,二氧化碳的浓度为 315ppm,1970 年则上升到 325ppm,1980 年上升到 335ppm。此后,数值仍不断上升,由 1995 年的 360ppm 上升到 2005 年的 380ppm。这进一步证明了阿累尼乌斯教授提出的观点:大气中的二氧化碳含量的增加会造成全球变暖。不过,基林所发现的二氧化碳含量的增加速度要远远快于阿累尼乌斯的估计。这也促使科学家们开始对二氧化碳和其他温室气体对气候的影响进行更细致的考察,从而为科学分析全球变暖开辟了道路。1977 年,科学家们开始达成了一个新的共识:全球变暖确实对人类构成严重威胁。1979 年,美国国家科学院宣称:可以确信的是,大气中的二氧化碳水平增加一倍,将会使全球变暖 1.5—4.5 摄氏度。

科学观测表明,地球大气中各种温室气体的浓度都在增加,其主要原因是工业革命以来,人类活动影响的结果,特别是消耗的化石燃料(煤炭、石油等)的不断增长和森林植被的大量砍伐导致人为排放的二氧化碳等温室气体不断增长,大气中二氧化碳含量的增长速度每年大约在 1.8ppm(约 0.4%)左右。尽管各种预测模型的结果略有差别,但是所反映的变化趋势却基本是一致:随着二氧化碳等温室气体浓度的加倍,全球大气和土壤的温度将升高 1.5—4.5 摄氏度,这种温度变化是

逐渐的,受海洋水体的影响,大约每 10 年升高 0.3—1 摄氏度。

目前科学界对全球气候变化的后果基本取得共识,认为它的影响和危害主要表现在:①海平面上升。全世界大约有 1/3 的人口生活在沿海岸线 60 公里,经济发达,城市密集的地区。全球气候变暖导致的海洋水体膨胀和两极冰雪融化,可能在 2100 年使海平面上升 50 厘米,这将危及全球沿海地区,特别是那些人口稠密、经济发达的河口和沿海低地。这些地区可能会遭受淹没或海水入侵,海岸带滩涂遭受侵蚀,土地恶化,海水倒灌,洪水加剧,并影响沿海养殖业,破坏给排水系统。②对农业和生态系统带来影响。随着二氧化碳(CO_2)浓度增加和气候变暖,可能会增强植物的光合作用,延长生长季节,使世界某些地区更加适合农业耕作。但全球气温和降雨态势的变化,也可能使世界另外一些地区的农业和自然生态系统不能适应,造成大范围的森林植被破坏和农业灾害。③自然灾害加剧。气候变暖导致的自然灾害可能是一个更为突出的问题。全球平均气温略有上升,就可能带来频繁的水文气象灾害,如:暴雨、大范围干旱和持续高温,势必造成严重损失。④危害人类健康。高温会给人类的循环系统增加负担,热浪会引起死亡率增加。同时随着温度升高,可能使许多国家疟疾、淋巴腺丝虫病、血吸虫病、黑热病、登革热、脑炎等传染病蔓延。

作为发展中国家,我国经济在未来相当长时期内还会以中高速增长。根据国内外众多机构的研究结果,在较高的经济增长速度情景下,中国 2020 年能源需求有可能达到近 50 亿吨标准煤;2030 年和 2050 年可能达到 60 亿吨标准煤和 70 亿吨标准煤。2012 年发布的《中国的能源政策白皮书》指出,中国人均能源资源拥有量在世界上仍处于较低水平,煤炭、石油和天然气的人均占有量仅为世界平均水平的 67%、5.4%和 7.5%。与其他化石能源资源相比,煤炭资源相对丰富,但由于其开发受到赋存量、水资源、生态环境、安全因素、运输条件和环境容量等多方面的限制,能被有效开发利用的煤炭资源量明显不足。中国石油对外依存度已从 21 世纪初的 32%飙升至 60%,预计 2030 年以后,石油进口依存度将进一步提高到 70%以上;天然气需求从 2006 年的 500 多亿立方米增加到 2030 年的 3000 亿立方米。

由于经济社会发展和人民生活水平的提高,中国未来能源消费还将大幅增长,在化石能源供应压力和资源约束将不断加大的同时, CO_2 排放量也会快速增长,这必然会带来两方面的影响:①国际气候谈判的压力增大。在《联合国气候变化框架公约》下,多数国家正积极采取行动来共同应对气候变化。国际社会已形成共识:将 2050 年全球升温控制在 2 摄氏度以内。为此,全球温室气体排放需在 2020 年左右达到峰值,到 2050 年相比 1990 年需减少 50%。一些发达国家和组织如欧盟、日本、加拿大等均制定了自身的温室气体限量减排目标。同时,呼吁发展中国家也要承担相应减排责任。中国的温室气体排放总量大、增速快,化石能源排放的 CO_2 已位居世界第一位,人均排放量超过世界平均水平。根据美国能源信息署