



可 持 续 发 展 践 行 丛 书

SHANGHAISHI NENGYUAN TANPAIFANG 2050

上海市能源碳排放 2050

郭 茹 曹晓静 李风亭 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

可 持 续 发 展 践 行 丛 书

上海市能源碳排放2050

郭 茹 曹晓静 李风亭 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书以上海为案例,利用斯德哥尔摩环境研究所开发的长期能源选择计划(LEAP)模型,对城市的能源碳排放现状与2050年远景趋势进行了研究。首先,应用国际主流的城市碳排放核算方法系统分析了上海能源活动碳排放现状。其次,借助LEAP模型软件,结合部门分析法和情景分析法对2050年上海能源碳排放趋势进行了模拟分析。最后,根据上述研究结果给出了未来上海市节能和碳减排应采取的措施和建议。

本书适用于从事循环经济与可持续发展、城市发展与管理等领域的研究者,对于政府工作人员和从事公共事务的人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

上海市能源碳排放:2050 / 郭茹等著. -- 上海:
同济大学出版社,2011.3

ISBN 978-7-5608-4529-6

I. ①上… II. ①郭… III. ①能源经济—研究报告—
上海市 ②二氧化碳—排气—研究报告—上海市 IV.
①F426.2 ②X511

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第037641号

可持续发展践行丛书

上海市能源碳排放 2050

郭 茹 曹晓静 李风亭 著

责任编辑 凌 岚 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路1239号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏句容排印厂

开 本 787 mm×960 mm 1/16

印 张 12

印 数 1—2 100

字 数 240 000

版 次 2011年3月第1版 2011年3月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-4529-6

定 价 28.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

序 言

近日,日本发生的地震、海啸及核爆炸等一系列事件加剧了人类对全球性环境危机的认知和重视。如果说日本地震和海啸是自然原因造成的,核爆炸则是人类自身活动造成的恶果。而气候变化则是人类需要正视的另一个重大危机。目前,应对气候变化的重要性已经达成了全球共识。减缓气候变化,作为应对气候变化的一个重要方面,却由于涉及了环境、经济和政治等方方面面错综复杂的利益关系而显得举步维艰。后京都时代全球碳减排目标的分配仍未达成统一共识。城市不仅是能源消费和碳排放的主要来源,也是资源最集中的地方,城市有义务、有能力、也最适合挑起温室气体减排的重任。2005年由伦敦提议,成立了世界大城市气候领导联盟,旨在加强国际城市间合作,共同应对气候变化;同年,美国西雅图市市长格雷格·尼克斯发起了“美国市长气候保护协议”,得到了141个城市的积极响应。我国城市也随着2009年哥本哈根气候会议的召开掀起了一股低碳建设的热潮,如吉林、杭州、无锡和贵阳等。然而与国外城市相比,中国城市的低碳城市多基于项目层面,缺乏整体系统的科学分析和规划。这其中有多重原因,但缺乏相关专业知识和实践经验以及对温室气体减排的迫切性认识不足是主要的两个原因。

低碳规划的第一步便是认清现状,即进行温室气体排放清查。虽然,目前国内涌现出不少关于城市碳排放核算的研究,然而核算方法五花八门,缺少统一指导,且与国际通用做法不相符合,降低了国际间城市碳排放的可比性。其次是温室气体减排目标的确定。毋庸置疑,发达国家应该承担更多的减排责任。然而仅靠发达国家的努力是远远无法将温室气体控制在一个合理水平的,最后发展中国家也将深受其害。因此,发展中国家也应该及早地行动起来。本书通过2050情景分析试图说明城市需要付出怎样的努力才能达到或接近合理的碳减



排目标,帮助决策者认清温室气体减排的迫切性。此外,必须指出的是碳减排并非只是单纯的投入,在追求低碳的过程中蕴涵许多商机,某些机遇或许是下一个高速发展阶段的新引擎。我们应牢牢把握,化被动为主动,尽早制定低碳方案,实现经济—社会—环境协调发展的最终目标。

作为发展中国家,也许我们会遇到比发达国家更多的困难和挑战,但是我们需要一个更稳定、更繁荣、更健康的社会,而这个社会必须显著降低对化石能源的依赖,这就是低碳社会。借用美国波特兰市市长 Sam Adams 的话来说:“我们知道低碳行动规划并不是容易的,但是我们都知必须走出这一步。”

本书旨在与广大对气候变化议题感兴趣的研究人员共同探讨如何在有限数据的基础上,帮助城市实现快速可行的碳排放核算,制定合理的碳减排目标,为城市低碳发展贡献绵薄之力。由于温室气体减排是一个非常复杂的系统问题,而作者能力水平有限,书中尚有很多不足和疏漏之处,敬请广大读者指正。

著 者

2011年3月

摘 要

目前,各国对减缓气候变化的重要性和紧迫性已达成共识。城市聚集了世界上半以上的人口,消费了约 75% 的能源,排放了约 70% 的二氧化碳,对全球气候变化产生了重要影响,因此城市如何走出一条低碳发展的道路至关重要。气候变化是在大的时空尺度下缓慢发展的,应对气候变化问题必须从长远的战略视角考虑当下的解决方案。能源是城市碳排放的主要来源,研究城市能源相关碳排放的长期趋势具有重要的理论意义和现实意义。目前,能源碳排放长期趋势的研究多集中在全球和国家层次,城市层面的研究不多见。本书以上海为案例,利用斯德哥尔摩环境研究所开发的长期能源选择计划模型(long-range energy alternatives planning system, LEAP),从系统整体与部门分析相结合的角度对城市的碳排放现状与 2050 年远景趋势进行了研究。

首先,应用国际主流的城市碳排放核算方法系统地分析了上海能源碳排放现状。2007 年上海市能源碳排放量达到了 18 489 万 t CO₂ (不包括水运、航运),人均碳排放量为 9.95 t CO₂/人。若加上水运和航运碳排放量,则 2007 年上海能源碳排放量达到 21 467 万 t CO₂,人均碳排放量为 11.55 t CO₂/人,水运和航运碳排放量比重高达 13.87%。本书将上海与纽约、伦敦和东京等国际大都市进行了横向对比。结果表明:(1)从碳排放部门分布来看,纽约、伦敦和东京均以建筑用能碳排放为主,比重高达 60.7%~71.0%,而上海则以工业碳排放为主,比重高达 65.6%;(2)从人均碳排放量来看,上海以 9.95 t CO₂/人高居榜首,分别是纽约、伦敦和东京的 1.58 倍,1.69 倍和 1.75 倍。(3)从政策角度看,上海虽然加强了节能减排的范围和力度,然而与东京、伦敦和纽约相比,仍存在一些不足,如缺乏专门的气候变化领导机构和明确的碳减排目标,并且经济政策工具不够丰富等。



其次,借助 LEAP 模型软件,将部门分析法和情景分析法集成起来对 2050 年上海能源碳排放趋势进行了模拟分析。对未来数十年的上海市能源碳排放总量、人均排放和强度(单位 GDP 碳排放)进行了预测,并尝试回答两大关键问题:(1)上海是否能够实现国家的碳排放强度目标;(2)上海何时能够跨越人均碳排放高峰和碳排放总量高峰,峰值是多少。

在情景分析时,根据人口与 GDP 增速的不同设计了高(H)、低(L)两组情景;根据能源结构调整的力度、高效发电技术和 CCS 技术的普及率等因素将每一组情景细分为节能情景(EE)、能源结构优化情景(ER)和低碳发展情景(LC),从而组合成 H-EE、H-ER、H-LC、L-EE、L-ER 和 L-LC 六个情景。模拟结果显示:人口与 GDP 增速,能源结构优化与 CCS 技术的使用都对上海市碳排放产生了重要影响。从碳排放强度来看,各情景均能达到 2020 年碳排放强度比 2007 年下降 45% 的基本目标;从人均碳排放来看,各情景均可以跨越上海人均碳排放高峰,但峰值出现的时间和峰值的大小均有所不同,只有 ER 情景(H-ER 和 L-ER)和 LC 情景(H-LC 和 L-LC)可以实现 2050 年的人均碳排放量低于 2007 年排放水平的基本目标,但这些情景均无法实现 2050 年人均碳排放量降至 $2 \text{ t CO}_2/\text{人}$ 的高目标;从碳排放总量看,除了 H-EE 和 L-EE 情景无法实现碳排放总量的下降外,其余情景将于 2030 年附近跨越上海碳排放总量高峰,但峰值相差较大,只有 L-LC 情景实现了 2050 年碳排放总量低于 2007 年水平的基本目标,但未达到碳减排 50% 的高目标和 $5\,337 \text{ Mt CO}_2$ 的累计碳排放总量控制目标。综上,只有 L-LC 情景满足碳排放总量的基本目标,但仍无法满足碳排放总量控制的高目标。由此可见未来上海碳排放控制的艰难性和紧迫性,上海必须从现在起就付出艰苦卓绝的努力,采取各种节能减排措施,才能够更好地应对未来的减排压力。

最后,根据上述研究结果给出了未来上海市节能和碳减排应采取的措施和建议。

Executive Abstract

Global warming is an important issue affecting human survival and development. City accounts for more than half of the world population, consumed 75% of the energy and emitted around 70% of the global GHGs. Thus it is essential to consider low carbon development at urban level from a long-term perspective when facing the urgent and continuous challenge of climate change. As fossil fuel is the main carbon source of cities, how to control the CO₂ emission from energy activities is crucial to fight climate change at urban level. However, the existing researches focus more on global and national scenarios and less on urban scenarios from a long-term view.

We take Shanghai as the case to show how to account the current carbon emission and predict future emission at city level by use of Long-range energy alternatives planning system (LEAP) model developed by Stockholm Environment Institute.

Firstly, the energy related CO₂ emission is estimated according to the international mainstream accounting methods for Shanghai. Shanghai emitted 184.89 Mt CO₂ in total with the emission per capita of 9.95 t CO₂ in 2007 if not including shipping and aviation, while emitting 214.67 Mt CO₂ with the emission per capita of 11.55 t CO₂ if including shipping and aviation. This research also compares Shanghai with Tokyo, London and New York to judge the Shanghai's performance in the aspect of CO₂ control and take some lessons from the developed cities. The results show that: (1)



In the aspect of carbon emission, Shanghai shows different emission characteristics compared with Tokyo, London and New York. Building Energy is the main carbon source of Tokyo, London and New York (60.7%~71.0% of the total carbon emission), while industry is the main carbon source of Shanghai (65.6% of the total carbon emission). (2) Shanghai's carbon emission per capita is 1.58 times of New York, 1.69 times of London and 1.75 times of Tokyo. (3) In the aspect of policy, Shanghai has enhanced the control of energy consumption and CO₂ emission; however there are still some shortcomings compared with Tokyo, London and New York such as lack of the specialized leading agency on climate change, the clear carbon emission reduction targets and the diversification of economic policy instruments.

LEAP model is used to simulate Shanghai's carbon emission in the period from 2007 to 2050 based on the method of sector analysis and scenario analysis. Three indicators including total amount, carbon intensity and emission per capita were analyzed then. The following two questions are to be answered: (1) Can Shanghai reach the national carbon intensity target already promised by Chinese Government? (2) When will Shanghai reach the peak of CO₂ emission per capita and total CO₂ emission respectively and how high are the peak values?

Six scenarios have been developed to simulate future carbon emission in Shanghai. According to the growth rate of population and GDP, the scenarios have been divided into two groups: high growth rate (H) and low growth rate (L). Meanwhile, according to Shanghai's performance in the adjustment of energy structure and the development of high-efficiency electricity generation technologies & CO₂ capture and storage (CCS) technologies, each group has been divided into three categories: energy efficiency scenario (EE), energy restructure scenario (ER) and low carbon development scenario (LC).

The simulation results showed that the growth rate of population and



GDP, the adjustment of energy structure and the usage of CCS technology would greatly affect the carbon emission trend of Shanghai. In terms of carbon intensity, Shanghai's carbon intensity in 2020 can be reduced by 45% compared with the 2007 emission level in all scenarios which is the basic target of emission control. In terms of emission per capita, Shanghai can climb across the peak of emission per capita in all scenarios, but with different time and peak values. Only in the scenario ER (H-ER and L-ER), can Shanghai's emission per capita in 2050 be controlled under 2007 level which is the basic target of emission control. None of the scenarios can help Shanghai reach the high target which requires less than 2 t CO₂ per capita in 2050. In terms of total emission control, four scenarios except H-EE and L-EE can climb across the peak around or before 2030 with different peak values, but only in the scenario L-LC, can Shanghai's total carbon emission be controlled under 2007 level which is the basic target of total emission control. None of the scenarios can help Shanghai reduce its emission by 50% in 2050 compared with 2007 level and control the cumulative carbon emission from 2007 to 2050 under 5 337 Mt CO₂ which are the high target of total emission control.

Generally speaking, it is very urgent and difficult for Shanghai to reduce its carbon emission as soon as possible. Shanghai will face great pressure regarding climate change mitigation if it fails to control its energy-related carbon emission. Finally, some key suggestions are raised according to the all findings.

目 录

序言

摘要

第 1 章 绪论	001
1.1 研究背景和意义	001
1.2 国内外研究现状	007
1.3 研究对象、目的和内容.....	021
1.4 研究方法与技术路线	024
第 2 章 对若干重要问题的阐释	026
2.1 理论基础	026
2.2 概念界定	030
2.3 数据来源与处理	035
第 3 章 碳排放核算与 2050 情景分析方法	041
3.1 能源碳排放核算方法	041
3.2 能源碳排放情景分析方法	053
3.3 可持续能源碳排放评价指标	072
第 4 章 上海经济发展与能源资源概况	075
4.1 行政区划	075
4.2 经济发展	076
4.3 社会发展	079
4.4 能源供给	081



第5章 上海能源碳排放现状	083
5.1 上海节能与碳减排政策	083
5.2 上海能源碳排放现状分析	103
5.3 国外典型城市对比分析	106
第6章 2050年上海能源碳排放情景分析	113
6.1 情景参数设置	113
6.2 情景模拟结果分析与评价	146
第7章 结论与建议	159
7.1 结论	159
7.2 建议	161
7.3 展望	163
单位符号和缩略语	164
参考文献	166
附录	172
附录 A 主要国家碳减排目标及减排现状一览表	172
附录 B 上海节能和碳减排政策一览表	173
附录 C 上海市能源发展“十一五”规划主要指标	175
附录 D 2010年前上海市主要火力电厂基本资料汇总表	176
附录 E 上海风电规划场址	178
附录 F 上海市外来电碳排放因子估算过程	178
致谢	180

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景和意义

20 世纪 80 年代至 90 年代末,中国通过较小的能源消费增长,保证了国民经济的快速发展(谢治国,2006)。但 21 世纪以后,随着城市化进程和 2020 小康社会建设目标的推进,我国能源需求量飞速增长,使得本来已经得到初步缓解的能源供应问题再次成为国民经济发展的瓶颈。除了面临满足长期能源需求的挑战外,中国能源可持续发展还面临着能源引发的环境污染治理、温室气体减排和高油价的挑战。其中,温室气体减排是牵涉面最广,时间最紧迫,形势最严峻的挑战。

1.1.1 后京都时代中国巨大的碳减排压力

随着《京都议定书》第一个承诺期(2008—2012)的即将到期,全球碳减排目标面临着重新分配的巨大挑战。然而,随着经济的飞速发展,中国能耗与碳排放量也屡创新高,使我国面临越来越大的碳减排压力。

(1) 中国已经成为世界第一排放大国

20 世纪 90 年代以来,中国的碳排放总量增速迅猛。1990 年中国的碳排放量仅占世界碳排放总量的 11%;而 2007 年,中国碳排放比重增至 21%,成为世界第一碳排放大国(图 1-1)。

(2) 中国的人均碳排放量基本达到世界平均人均碳排放量

如图 1-2 所示,中国人均碳排放量增速远高于世界人均碳排放量增速,2004 年与世界平均水平仅差 0.19 t C。据有关资料显示,目前中国的人均碳排放量



已基本达到世界平均水平(国家发改委能源研究所课题组,2009),人均温室气体排放相对较低的国际谈判优势已经不复存在。

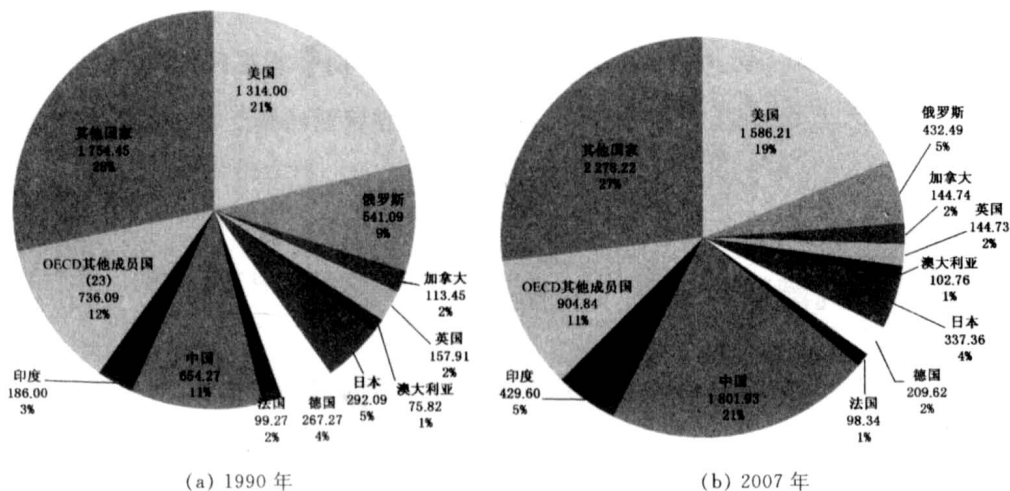


图 1-1 世界主要国家碳排放总量比重图 (单位: Mt C)

数据来源:1990 年数据来源于 2007—2008 年人类发展报告,2007 年数据来源于 CDIAC

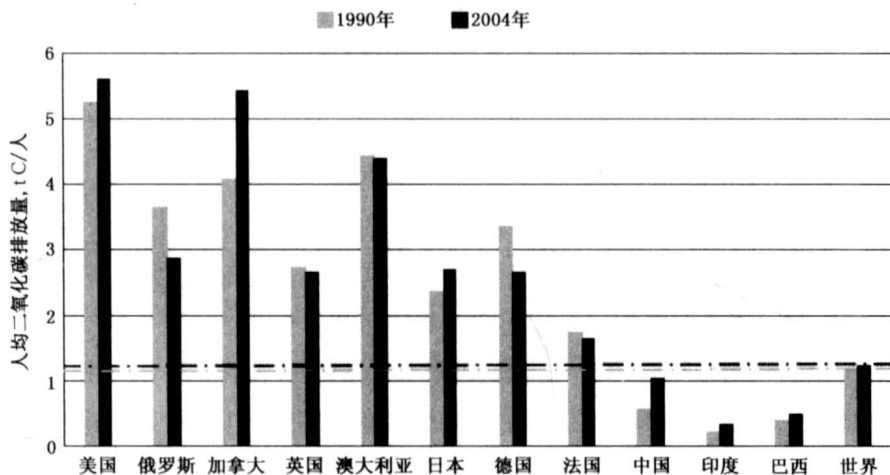


图 1-2 世界主要国家人均碳排放量对比图

数据来源:1990 年数据来源于 2007—2008 年人类发展报告

(3) 未来中国的碳排放空间有限

根据丁仲礼等的研究(丁仲礼等,2009),若将 2050 年温室气体浓度控制在

470 ppm 的水平(确保全球温度升高低于 2°C), 基于各国各阶段人均累计排放量趋同的原则(最有利于我国的碳排放权分配方案), 2006 年到 2050 年期间中国能源碳排放的排放空间也仅为 109.91 Gt C。即使 2035 年中国人均能耗和能源结构达到当前日本的水平(日本在以化石能源消费为主的发达国家中最为节能)且人均碳排放达到高峰, 并于 2050 年达到法国 2005 年的水平(法国是以核电为主的发达国家), 中国也无法完成 2006 年到 2050 年间 109.91 Gt C 的累计碳排放总量控制目标。因此, 即使从累计排放的角度看, 中国也必须尽早行动起来, 为避免气候变化可能引起的巨大灾难而努力。

目前, 日本、美国、欧盟等发达国家和地区已经提出了中长期绝对减排目标(见附录 A)。我国则提出了“争取到 2020 年单位国内生产总值 CO_2 排放量比 2005 年下降 40%~45%”的自愿减排目标。虽然实现这一目标对于一个发展中国家来说已实属不易, 但是即使顺利完成这一目标, 中国的温室气体排放量仍将继续上升。随着全球变暖的进一步加剧, 中国将不只受到来自发达国家的压力, 一些易受气候变化影响的国家(特别是小岛屿国家)也将从维护本国安全出发, 对我国提出更强烈的减排要求。如若处理不当, 将引起发展中国家内部的不团结, 并影响我国作为一个负责任的大国形象, 更严重的可能还会对我国的政治外交、经济贸易产生不利影响。

因此, 后京都时代的中国面临着前所未有的巨大减排压力。据有关预测, 中国 2020 年以后将不可能回避温室气体排放削减的承诺。

1.1.2 以低碳能源为核心的低碳经济和新技术革命日益深入人心

随着气候变化问题的日趋严峻, 能源安全的内涵已经从保障充足的军用战略资源供给、提供社会经济发展必要的能源、治理和预防能源开采和使用过程中引发的安全隐患和环境污染等国内或区域性问题的拓展到了减少温室气体排放、减缓气候变化这一全球性的问题上。

各国纷纷将提高能源利用效率、增加可再生能源比重作为温室气体减排的重要手段(表 1-1)。中国曾提出“十一五”期间单位生产总值能耗下降 20% 的约束性指标, 试图通过能源的高效利用、清洁煤技术的推广、清洁能源的多元化等措施来缓解能源及碳排放问题。由此掀起的以高能效、低排放为核心的新技术

革命将有可能推动人类生产方式、消费方式的转变,形成以低能耗低污染为基础的经济,即进入所谓的“低碳经济”时代(国家发改委能源研究所课题组,2009)。

表 1-1 主要国家和地区的节能减排目标

国家/地区	节能目标	出处
美 国	建筑部门:2015 年能耗比 2005 年降低 20%	《能源政策法》(2005 年 8 月)
	工业部门:单位产品能耗在 2007—2016 年每年至少降低 2.5%	
	交通部门:到 2017 年,汽油消费量削减 20%。讨论强制实施新的平均每百千米 5.6 L 的汽车油耗标准	《国情咨文》(2007 年 1 月)
日 本	到 2030 年单位 GDP 能耗比目前至少降低 30%;要求重点用能单位每年减少 1%的能耗消费	《新国家能源战略》(2006 年 5 月)
欧 盟	2020 年能源消费在 1990 年基础上降低 20%,温室气体排放量至少减少 20% 到 2020 年,实现可再生能源占能源总量的 20% 到 2020 年,家庭能源使用效率提高 27%、工商企业提高 30%、交通行业提高 26%、制造业提高 25% 在 2012 年以前,汽车 CO ₂ 的排放标准相比 2004 年下降 20%,达到 130 g/km	《能源效率行动计划》(2006 年 10 月)
英 国	到 2020 年,CO ₂ 排放量在 1990 年水平上削减 26%~32%,到 2050 年削减 60%	《气候变化法案》(草案)(2007 年 3 月)
	到 2016 年,英国所有新建建筑实现零碳排放	《能源白皮书》(2007 年 5 月)
法 国	2015 年前每年节能 2%,2015—2030 年每年节能 2.5%	《能源政策法》(2005 年 3 月)
德 国	从现在到 2020 年,单位 GDP 能耗每年降低 3%	默克尔:德国能源峰会

数据来源:《中国 2050 年低碳发展之路——能源需求暨碳排放情景分析》(国家发展和改革委员会能源研究所课题组,2009)

可再生能源的开发利用是满足现实能源需求和解决未来能源问题的重要战略措施。2006 年 1 月,《中华人民共和国可再生能源法》开始生效。其中包括了五项重要的制度,即总量目标制度、强制上网制度、分类电价制度、费用分摊制度和专项资金制度。在这五项制度下,中国支持可再生能源发展的政策框架基本形成。目前,中国可再生能源处于快速发展阶段,一些技术已经达到或接近商业

化发展的水平,无论从资源、技术和产业的角度,在近期都有大规模发展的潜力。可再生能源已经开始在中国的能源供应中发挥作用,在未来能源供应构成中将具有举足轻重的地位。根据中国政府制定的国家发展目标,2020年可再生能源的发电比例可以达到12%,2040年之后可以达到30%或更高的水平,成为重要的替代能源。

2009年5月,中国国家电网公司正式发布“建设坚强智能电网”的研究报告,首次公布了“智能电网”的发展计划。智能电网是一个完整的信息架构和基础设施体系,实现对电力客户、电力资产、电力运营的持续监视,利用“按需应变”的信息提高电网公司的管理水平、工作效率、电网可靠性和服务水平,从而大幅度提高能源效率。中国将分三个阶段推进坚强智能电网的建设,在三个阶段中总投资预计超过4万亿元。2009—2010年为规划试点阶段,重点开展“坚强智能电网”发展规划工作,制定技术和管理标准,开展关键技术研发和设备研制,以及各环节试点工作;2011—2015年为全面建设阶段,加快特高压电网和城乡配电网建设,初步形成智能电网运行控制和互动服务体系,关键技术和装备实现重大突破和广泛应用;2016—2020年为引领提升阶段,全面建成统一的“坚强智能电网”,技术和装备全面达到国际先进水平。智能电网的建设将成为中国提高能效、减少温室气体排放的重要举措之一。

1.1.3 城市成为低碳发展的先锋

2008年,城市已经聚集了世界人口的一半以上,消费了世界总能耗的2/3,温室气体排放占全球总量的70%左右(C40 Cities Climate Leadership Group, 2009)。城市在减缓气候变化中理应承担重要角色,没有城市的参与,全球将很难实现长期减排的目标。目前,已经有越来越多的城市投入到温室气体减排行动中,比如,城市气候保护运动(the cities for climate protection campaign, CCP), C40气候变化领导小组等。伦敦、纽约和东京等国际都市也纷纷将自己定位为城市碳减排的引领者,分别提出了自己的碳减排目标并制定了详细的碳减排计划(Mayor of London, 2007; Bloomberg, 2007; Tokyo Metropolitan Government, 2007)。从中国既有发达地区走过的能源消耗和碳排放道路看,中国城市走的依旧是“能源资源高消耗,温室气体高排放”的道路(国家发改委能源研究所课题组, 2009)。2007年上海人均能源消费量已经达到5.3 tce,人均