

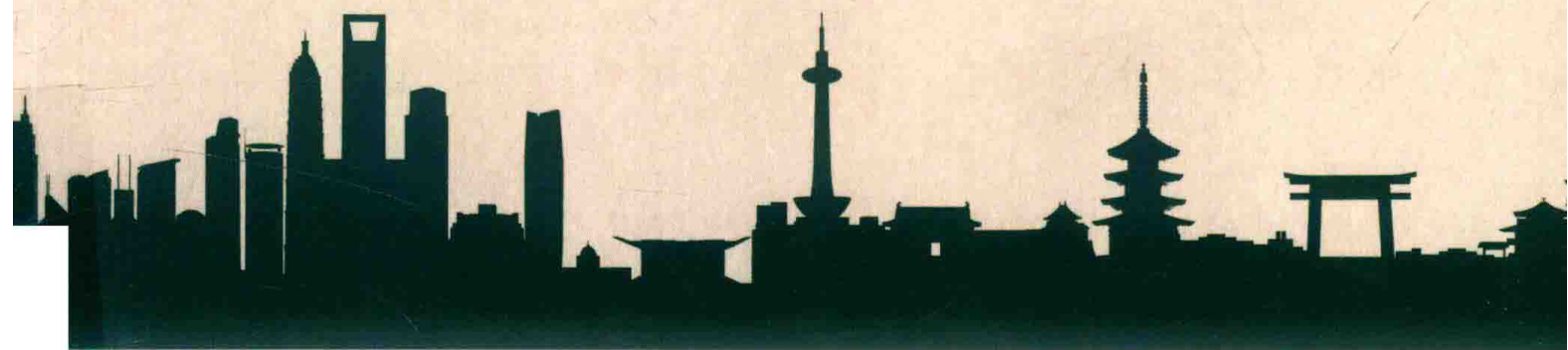


中国科学院上海高等研究院报告系列

中国城市碳评估研究报告 2018

王茂华/主编

China City Carbon Evaluation
Report 2018



科学出版社



中国科学院上海高等研究院报告系列

中国城市碳评估研究报告 2018

王茂华/主编

China City Carbon Evaluation
Report 2018

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书围绕城市发展的内在规律与能耗排放的关联分析、城市碳排放监测与评估引导低碳城市健康发展和数据支撑下的城市碳排放达峰路径研究等几个主题,研究新型城镇化下城市低碳发展路径和碳评估研究的理论与方法,分析比对全球二氧化碳监测科学实验卫星 TanSAT 数据、中国科学院全球碳收支 A 类先导专项形成的能源排放因子数据库,整合城市能源、建筑和交通等多源碳排放相关数据,形成基于多源多尺度的城市碳评估模型、指标、技术和实证的战略发展路线图,并对目前的我国 300 多个城市低碳发展的能耗、排放、碳浓度、空气质量、经济产业、资源环境、土地利用、交通运输、通信信息、健康安全 10 个维度的数据进行了分析。

本书可供城市管理和低碳发展相关的政府管理部门、研究机构及相关领域学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国城市碳评估研究报告 2018 / 王茂华主编. —北京: 科学出版社, 2019. 1

(中国科学院上海高等研究院报告系列)

ISBN 978-7-03-059226-2

I. ①中… II. ①王… III. ①城市-二氧化碳-排气-评估-研究报告-中国-2018 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 241531 号

责任编辑: 李轶冰 / 责任校对: 彭 涛

责任印制: 张 伟 / 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>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 1 月第一次印刷 印张: 8 1/2 插页: 2

字数: 250 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

编写委员会

主 编 王茂华

顾 问 魏 伟

副主编 汪鸣泉

编 委 王茂华 魏 伟

汪鸣泉 尚 丽

苏 昕 常 征

李青青

| 前 言 |

低碳城市是实现减排目标的重要抓手。十九大报告中指出，中国引导应对气候变化国际合作，成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者。中央城市工作会议强调要“统筹空间、规模、产业三大结构”，“贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念”，来推动新型城镇化工作。城市的绿色、低碳、智慧、健康发展，关系到国家的经济社会可持续发展和节能减排目标的实现。

本书围绕城市碳排放的核算和评估方法，研究新型城镇化下城市的低碳发展路径，报告整合、分析、比对碳卫星数据，中国科学院全球碳收支 A 类先导专项形成的能源排放因子数据，城市经济、社会、能源、建筑、交通等统计数据，建立了基于多源多尺度数据的城市碳评估模型和指标体系，对影响城市低碳发展的能耗、排放、碳浓度、空气质量、经济产业、资源环境、土地利用、交通运输、通讯信息、健康安全 10 个维度的数据进行了系统分析。

本书第一章对中国城市碳评估研究的意义和发展趋势进行了分析。低碳城市是实现减排目标的重要抓手，同时城市发展的内在规律与能耗排放具有很强的关联性，本研究致力于城市碳排放监测与评估，建立数据支撑下的城市碳排放达峰路径研究体系，引导低碳城市健康发展。

第二章对城市碳评估理论与模型开展了调研。本章重点从城市碳评估研究理论与方法、城市气候变化综合评估理论模型、城市发展关联的碳排放理论模型、卫星、清单、地面数据等开展调研，重点对 IPCC、ICLEI、WRI 温室气体清单法、国家发展与改革委员会温室气体清单法、城市碳足迹与温室气体排放核算、城市低碳评价指标体系、城市碳排放的空间集聚效应以及城市碳排放核算精确性等国内外已有理论和方法进行了调研和适用性分析。

第三章为上海城市碳排放的现状与评估。本章首先结合上海城市转型发展的动力和趋势开展分析，以上海城市能耗与碳排放为切入点，重点分析了能源活动和工业生产过程的二氧化碳直接排放、外调电力等的二氧化碳间接排放，并与其他直辖市碳排放开展了对比。其次，结合上海市行业终端消费排放、分产业类型和分能源类型的能源部门的规划，对上海市重点行业碳排放开展分析，并对上海等直辖市城市碳排放、城市间碳足迹、碳排放的空间集聚效应和城市评估方法的不确定性进行评估。

第四章为上海城市碳排放的预测与规划评估。本章重点对上海市 2020 年碳排放量、2020 年化石能源消费量、2030 年发电部门规划等进行预测及分析，开展上海碳足迹及排放趋势的预测与分析。

第五章为中国城市碳排放的现状评估与趋势预测。本章对中国各区域的能耗与排放、能源流进行分析，从行业和区域两个角度，对中国城市的碳集聚效应与转移效应进行评估，并结合碳卫星数据，对中国城市的碳浓度逐月变化和空间变化时空特征进行分析，提出城市碳评估的数据和技术建议。

第六章为中国智慧低碳健康城市指数评估。本章建立了城市碳评估的指标体系，设计了具有一定适用性的中国智慧低碳健康城市综合指数，该指数包含城市能耗指数、城市排放指数、城市碳浓度指数、城市空气质量指数、城市经济产业指数、城市资源环境指数、城市土地利用指数、城市交通运输指数、城市通讯信息指数、城市健康安全指数，并利用该指数，对我国 300 多个城市，进行了不同数据维度的系统分析。

本书适合城市管理和低碳发展相关的政府管理部门、研究机构以及相关领域学者阅读参考。相关数据和资料汇编的更新时间为 2017 年，因此会存在一定的时间滞后性，但本书探讨的基于时间和空间的城市多维度数据的挖掘和分析方法，为全面认识城市低碳发展提供了一个可供借鉴的方法。限于我们知识修养和学术水平，报告中难免存在不足之处，恳请读者批评、指正！

王茂华

2018 年 10 月

| 目 录 |

第一章 中国城市碳评估研究展望	1
第一节 低碳城市是实现减排目标的重要抓手	2
第二节 城市发展的内在规律与能耗排放的关联分析	4
第三节 城市碳排放监测与评估引导低碳城市健康发展	8
第四节 数据支撑下的城市碳排放达峰路径研究	11
第二章 城市碳评估理论与模型调研	14
第一节 城市碳评估研究理论与方法概述	14
第二节 城市碳评估研究理论文献综述	16
第三节 城市碳评估研究数据文献综述	21
第四节 城市碳评估研究方法文献综述	27
第五节 城市碳排放核算方法精确性文献综述	38
第六节 小结	41
第三章 上海城市碳排放的现状与评估	43
第一节 上海城市能源相关数据分析	44
第二节 上海城市转型发展的动力和趋势	47
第三节 上海市城市能耗与碳排放分析	48
第四节 上海市重点行业碳排放分析	51
第五节 上海市城市碳足迹定量分析与评估	54
第六节 上海市碳排放的空间集聚效应分析	58
第七节 上海城市评估方法的不确定性分析	63
第四章 上海城市碳排放的预测与规划评估	65
第一节 上海市碳排放预测研究现状分析	65
第二节 上海市 2020 年碳排放预测及分析	68
第三节 上海市 2020 年化石能源消费预测及分析	71

第四节	上海市 2030 年发电部门规划预测与分析	74
第五节	上海碳足迹及排放趋势预测与分析	80
第五章	中国城市碳排放的现状评估与趋势预测	83
第一节	中国各区域的能耗与排放趋势分析	83
第二节	中国各区域的能源流分析	89
第三节	中国各区域的空间集聚效应与转移效应分析	97
第四节	中国城市的碳浓度时空特征分析	101
第六章	中国智慧低碳健康城市指数评估	105
第一节	中国智慧低碳健康城市指数评估分析	105
第二节	中国智慧低碳健康城市指数类型评估结果	110
参考文献	123

第一章 | 中国城市碳评估研究展望^①

中国政府高度重视城市的绿色、健康、智慧发展。2015年12月，习近平总书记在中央城市工作会议上发表重要讲话，分析城市发展面临的形势，明确做好城市工作的指导思想、总体思路、重点任务。会议强调要“贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念”“统筹空间、规模、产业三大结构”“提高新型城镇化水平”^②。可见，城市的创新智慧低碳发展已成为时代的主流。2015年12月，第二届世界互联网大会在浙江乌镇开幕，习近平总书记指出，“乌镇的网络化、智慧化，是和现代、人文及科技融合发展的生动写照，是中国互联网创新发展的一个缩影”^③。2016年9月，二十国集团（G20）领导人杭州峰会举行，习近平总书记指出“我们已经就《二十国集团创新增长蓝图》达成共识，一致决定通过创新、结构性改革、新工业革命、数字经济等新方式，为世界经济开辟新道路，拓展新边界”^④。2017年10月18日习近平代表第十八届中央委员会在中国共产党第十九次全国代表大会上向大会做报告《决胜全面建成小康社会夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利》。习近平明确：引导应对气候变化国际合作，成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者。习近平强调，推动大数据和实体经济深度融合，在绿色低碳等领域培育新增长点、形成新动能。

（1）中国城市碳评估研究的目的和意义

为促进国家的经济社会绿色、科学、可持续发展和到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%目标的实现，研究新型城镇化下城市行业低碳发展路径和碳评估研究的理论与方法。

（2）中国城市碳评估研究方法 with 内容

整合分析比对全球二氧化碳监测科学实验卫星 TanSAT（以下简称“碳卫星”）、

① 本章作者：王茂华、魏伟、汪鸣泉。

② 新华网2015年12月22日电，中央城市工作会议在北京举行。

③ 新华网2015年12月16日电，习近平在第二届世界互联网大会开幕式上的讲话（全文）。

④ 新华网2016年9月4日电，习近平在二十国集团领导人杭州峰会上的开幕辞（全文）。

城市能源、建筑和交通等多源碳排放相关数据，形成基于城市碳评估模型、指标、技术和实证的战略发展研究报告。主要包括以下几个方面的内容。

- 1) 低碳城市是实现减排目标的重要抓手；
- 2) 城市发展的内在规律与能耗排放的关联分析；
- 3) 城市碳排放监测与评估引导低碳城市健康发展；
- 4) 数据支撑下的城市碳排放达峰路径研究。

第一节 低碳城市是实现减排目标的重要抓手^①

中国政府承诺减排目标的实现有赖于城市低碳发展。根据习近平总书记在2015年12月1日的气候变化巴黎大会开幕式上的讲话内容和《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》、《中国应对气候变化的政策与行动2015年度报告》、《“十二五”控制温室气体排放工作方案》、《能源发展战略行动计划（2014—2020年）》、《国家应对气候变化规划（2014—2020年）》与习近平关于《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》的说明等一系列报告的要求，中国政府对应对气候变化和实现节能减排的2020年和2030年目标分别进行了部署。

2020年的减排分解目标及实现情况如图1-1所示。

1) 中国应对气候变化的2030年减排目标：到2030年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%，非化石能源占一次能源消费的比重到20%左右，并于2030年前后使二氧化碳排放达到峰值。

2) 中国应对气候变化的2020年减排目标：到2020年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%，非化石能源占一次能源消费的比重到15%左右，一次能源消费总量控制在50亿吨标准煤左右。其中，煤炭占一次能源消费的比重控制在62%以内，即不超过31亿吨标准煤。

该目标进一步拆解，可核算出相应的碳排放量阈值（负相关）、国内生产总值增长预期（正相关）、煤炭（负相关）和非化石能源（正相关）等一次能源的消费量和结构指标等，实现总体和分项控制。

与此同时，可根据不同省、自治区、直辖市历史排放情况和经济发展预期，核算出相应的分区域的碳强度指标，实现全国和分区域控制（图1-2）。

^① 本节作者：王茂华、魏伟、汪鸣泉。

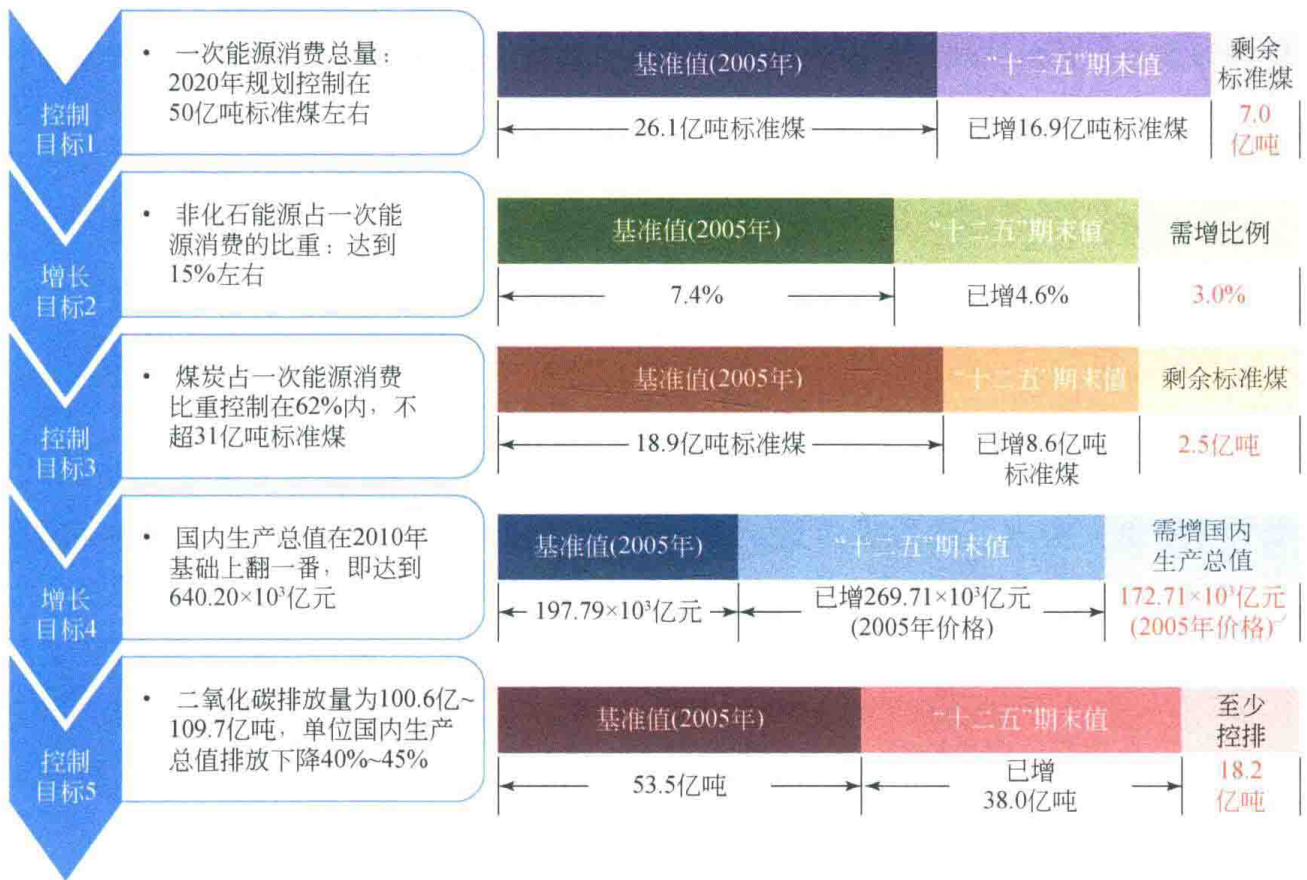


图 1-1 2020 年的减排分解目标及实现情况

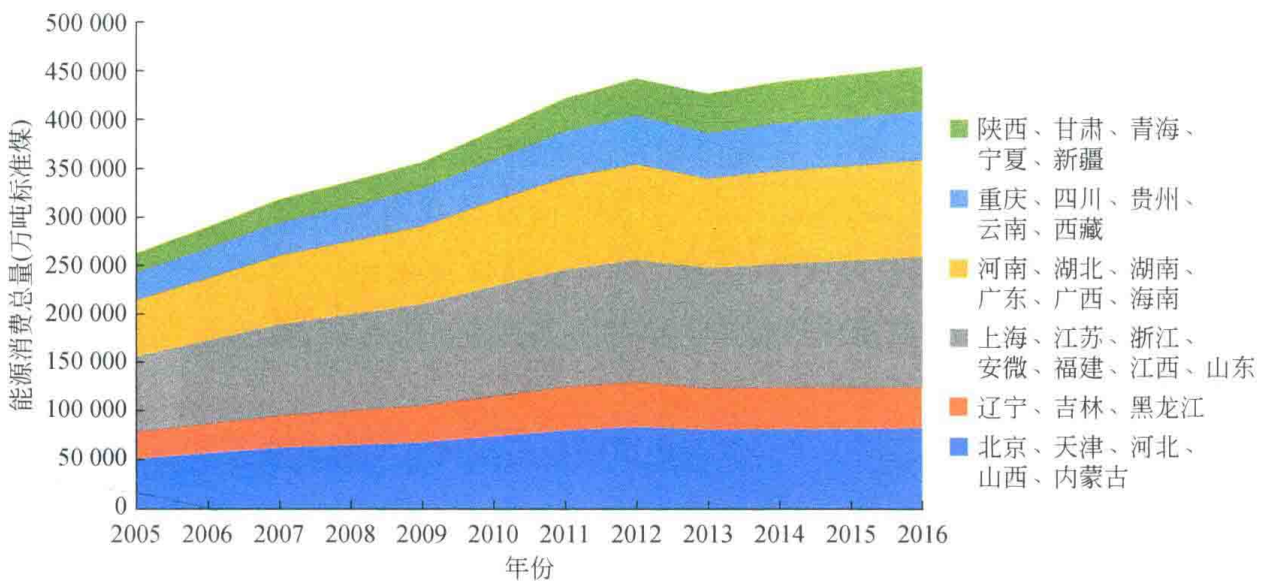


图 1-2 展现了不同能源消费区域的变化，2005 ~ 2016 年，各个省、自治区、直辖市的能源消费总体趋势为不断增加，其发展从 2013 年开始进入一个相对缓慢增长的阶段。各个区域来看，四川、广东、河南、山东、江苏、河北、辽宁、内蒙古、山西等地的消费量较高，相对而言西部地区（新疆、宁夏、青海、甘肃、云南、贵州等）能源消费总量明显低于东部沿海地区（广东、山东、浙江、江苏）。

第二节 城市发展的内在规律与能耗排放的关联分析^①

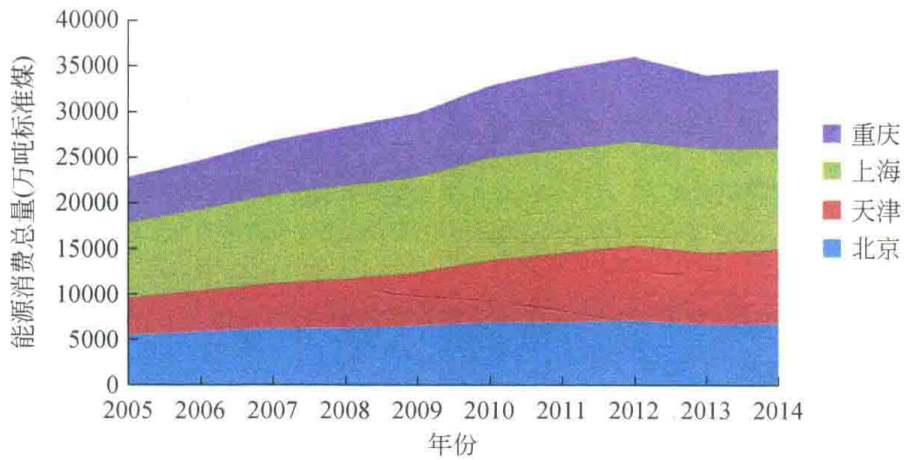
中国科学院上海高等研究院一直秉承“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求”的发展方针，采用全国 286 个地级市的 2000 ~ 2014 年的经济、人口、建设、资源、能源、交通、环境、健康等多维度，近 30 个低碳绿色指标，进行中国能源与碳排放相关研究，并形成 Springer Nature 出版集团出版的 *China Low-Carbon Healthy City, Technology Assessment and Practise* 等系列报告。以上研究也为中国城市碳评估研究报告的撰写提供了动态、天地一体化的数据和模型基础。

城市发展的内在规律与能耗排放紧密相关，从过去历年的城镇化发展历程来看，城市的能耗与城市的人口城镇化和土地城镇化密切相关，图 1-3、图 1-4 展示了四个直辖市以及全国能耗变化情况及其城镇化率（城镇人口占城市总人口的比例）、单位建设用地面积能耗、单位国内生产总值能耗等的变化情况。国家“十三五”规划和新一轮中央城市工作会议强调要开展城市能耗排放与建设用地的总量、强度双控行动，推动城市低碳发展。2015 年我国城市的建设用地面积已达 5.158 万平方公里，相比 1978 年增长 667%。同期我国能源消费量达到 43 亿吨标准煤，相比 1978 年增长 654%，二氧化碳排放量已超过 90 亿吨，约占全球的 28%。

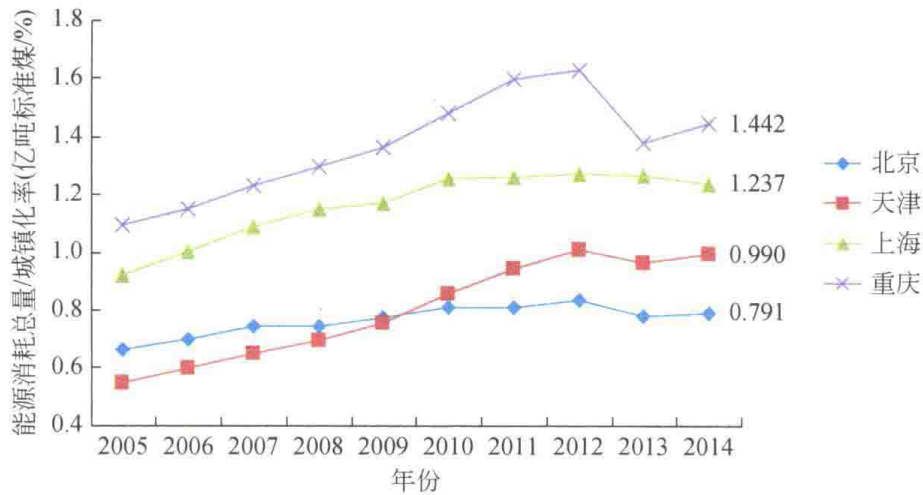
因此，有必要围绕城镇化与减排工作的协调推进，探寻统筹城市“空间、规模、产业”三大结构的整合规划方法。

图 1-5 展示了城市二氧化碳排放与城市的经济发展之间的关联关系，横坐标代表人均 GDP，纵坐标代表人均二氧化碳排放量，气泡大小代表城市的 GDP 总量。根据不同的气泡颜色，还可以将城市按照第三产业比重进行颜色区分。因此，城市可以分为五种主要的类型（图 1-5）。

^① 本节作者：汪鸣泉。

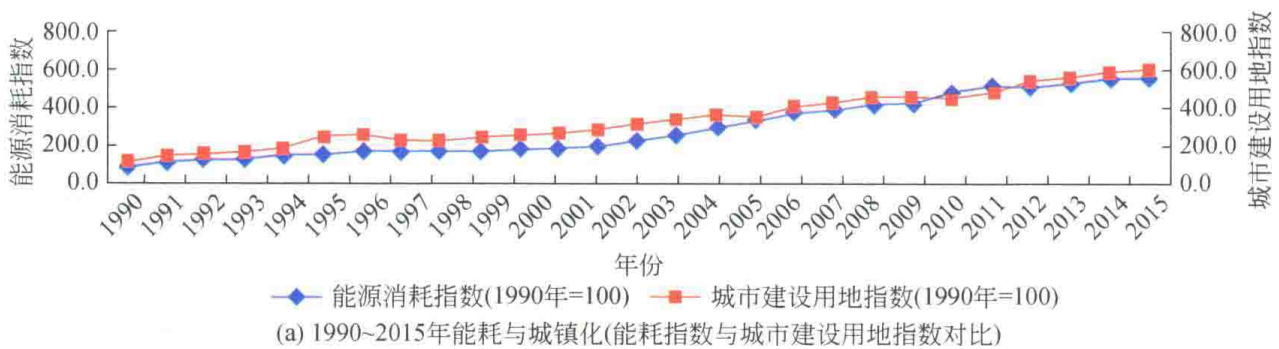


(a)能源消费总量



(b)能源消耗总量/城镇化率

图 1-3 四个直辖市能源消耗与人口城镇化发展数据集合 (2005 ~ 2014 年)



(a) 1990~2015年能耗与城镇化(能耗指数与城市建设用地指数对比)



图 1-4 中国能源消耗与土地城镇化发展数据集合 (1990 ~ 2015 年)

资料来源: 2000 ~ 2016 年《中国城市统计年鉴》; 2000 ~ 2016 年《中国统计年鉴》

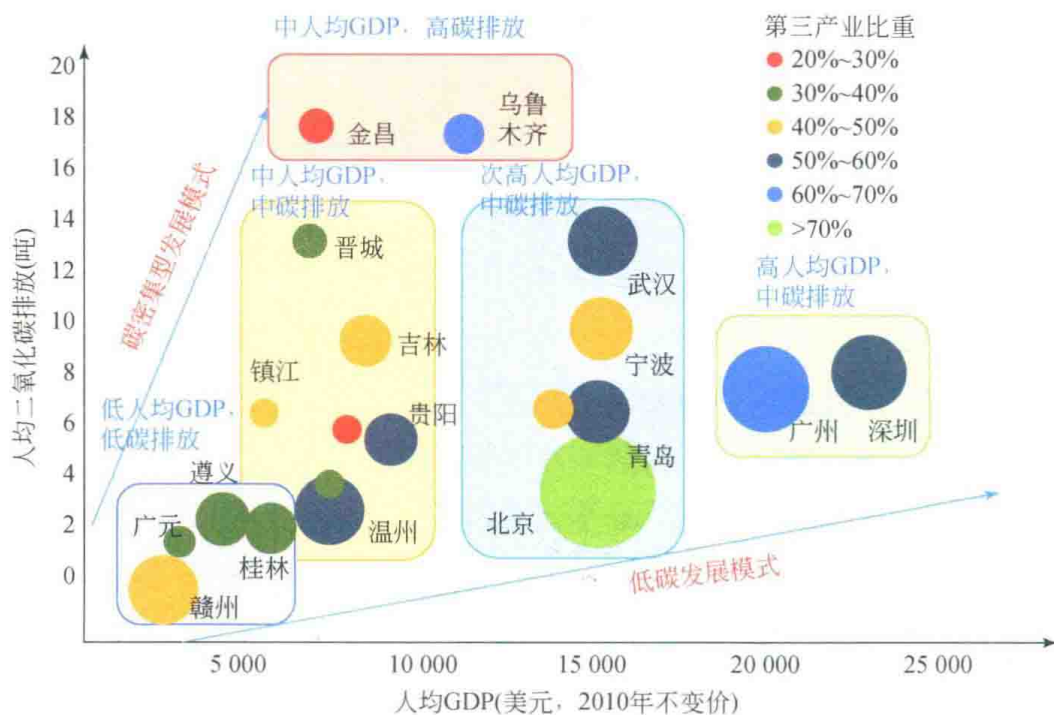


图 1-5 中国城市低碳聚类分析与研究

资料来源: 根据中国达峰先锋城市联盟秘书处和落基山研究所联合编写的《最佳城市达峰减排实践比较和分享 2016》等资料整理

类型 1: 低人均 GDP、低碳排放, 以赣州、桂林、遵义、广元等为代表, 其经济总量较低、人均二氧化碳排放和人均 GDP 也不高, 相对的环境较好, 而第三产业的比重均不高, 是环境生态保存较好、开发强度较低的城市。

类型 2: 中人均 GDP、中碳排放, 以温州、贵阳、吉林、镇江、晋城等为代表, 其人均 GDP 未超过 1 万美元, 人均二氧化碳排放量处于中等水平, 第三产业比例比

第一类型城市较高，是环境生态中等、开发强度中等的城市。

类型3：次高人均GDP、中碳排放，以北京、宁波、青岛、武汉等为代表，其人均GDP 1.5万美元左右，人均二氧化碳排放量处于中等水平，第三产业比例比第一、第二类型城市较高，是环境生态中等、开发强度次高的城市。

类型4：高人均GDP、中碳排放，以广州、深圳等为代表，其人均GDP为2万美元，人均二氧化碳排放量处于中等水平，第三产业比例在50%~60%，是环境生态中等、开发强度较高的城市。

类型5：中人均GDP、高碳排放，以金昌、乌鲁木齐等为代表，其人均GDP 1万美金左右，人均二氧化碳排放量高，是经济总量相对较小的城市。

比较而言，类型3（次高人均GDP、中碳排放城市）和类型4（高人均GDP、中碳排放城市）是相对低碳的发展模式。从图1-5中也可以看到，经济发展与低碳发展结合的发展才是相对良性和健康的发展模式，这就需要探寻低碳经济和人口收入、产业类型之间的均衡发展点，来推动城市的未来可持续之路。

中国城市碳评估研究致力于形成中国科学院特色的自主知识产权的城市低碳发展研究模型、指标和数据库，建立基于技术和实证的天地一体化的城市的碳排放量核算与评估方法（表1-1）。

表 1-1 中国科学院上海高等研究院已有城市低碳评估结果

排名（前十位）	2018年	2016年	2014年	2012年
1	广州	合肥	合肥	深圳
2	温州	广州	广州	珠海
3	舟山	南京	南京	大连
4	深圳	福州	福州	北京
5	嘉兴	上海	上海	上海
6	台州	青岛	青岛	广州
7	福州	大连	大连	青岛
8	珠海	北京	北京	福州
9	东莞	济南	济南	威海
10	北京	厦门	厦门	泉州

注：采用时空尺度多源数据评价方法

资料来源：中国科学院上海高等研究院，2012，2014，2016

本研究将在已有基础上，针对已有城市低碳评估工作重空间、轻数据的特点，

整合分析天基、地基的数据，形成一个整合城市能源、建筑和交通等多源数据的城市碳评估报告，为城市绿色低碳发展和健康转型提供科学支撑。

第三节 城市碳排放监测与评估引导低碳城市健康发展^①

根据联合国环境规划署（United Nations Environment Programme, UNEP）和国际能源署（International Energy Agency, IEA）的研究报告，世界化石燃料碳排放的70%来源于城市，因此，要实现中国政府的减排承诺，离不开城市未来“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展。中国政府经过多年努力，在智慧低碳城市规划、建设、发展方面出台了一系列的试点方案，如图1-6所示。



图 1-6 中国智慧低碳城市试点情况

注：IBM 指国际商业机器公司（International Business Machines Corporation）

资料来源：根据国家智慧城市和低碳城市相关文件整理

自温家宝 2009 年提出感知中国以来，我国已公布三批国家智慧城市试点，三批国家低碳城市试点，与此同时，通过 2010 年上海世界博览会、2015 年中美气候智慧型/低碳城市峰会（第一届）和 2016 年中美气候智慧型/低碳城市峰会（第二届）等，向全球展示了我国智慧低碳城市试点工作的成效。

其中，国家低碳城市试点（表 1-2），于 2017 年 1 月公布了第三批。截至目前，我国的低碳城市试点，已有 3 批 87 个区域入选，其中涉及 6 个省区、4 个直辖市、71 个地级城市和 6 个区县，并明确城市碳排放峰值目标、城市碳排放清单和城市碳排放统计核算系统等考核指标，其中截至 2016 年 6 月，已有 34 个城市提出了碳排放

^① 本节作者：汪鸣泉。

峰值目标, 24个城市完成了碳排放清单编制工作, 12个城市建立了碳数据管理平台, 26个城市收集了重点排放单位数据, 7个城市建立了碳排放统计核算系统。随着国家低碳城镇、低碳工业园区、低碳产业示范园区和低碳社区等试点的推出, 如何更好地核算区域碳排放量成为未来的重要工作。

表 1-2 国家低碳城市试点情况

序号	区域	行政单位	入选批次
1	广东省	省	1
2	辽宁省	省	1
3	湖北省	省	1
4	陕西省	省	1
5	云南省	省	1
6	海南省	省	2
7	天津市	直辖市	1
8	重庆市	直辖市	1
9	北京市	直辖市	2
10	上海市	直辖市	2
11	深圳市	城市	1
12	厦门市	城市	1
13	杭州市	城市	1
14	南昌市	城市	1
15	贵阳市	城市	1
16	保定市	城市	1
17	石家庄市	城市	2
18	秦皇岛市	城市	2
19	晋城市	城市	2
20	呼伦贝尔市	城市	2
21	吉林市	城市	2
22	大兴安岭地区	地区	2
23	苏州市	城市	2
24	淮安市	城市	2
25	镇江市	城市	2
26	宁波市	城市	2
27	温州市	城市	2
28	池州市	城市	2