城市碳排放峰值预测及总量控制
——以重庆市为例

CHENGSHI TANPAIFANG FENGZHI YUCE
JI ZONGLIANG KONGZHI
——YI CHONGQINGSHI WEILI

CHONGQ



刘　强／著

西南财经大学出版社

城市碳排放峰值预测及总量控制
——以重庆市为例

CHENGSHI TANPAIFANG FENGZHI YUCE
JI ZONGLIANG KONGZHI
——YI CHONGQINGSHI WEILI



刘　强／著

西南财经大学出版社
四川·成都

图书在版编目(CIP)数据

城市碳排放峰值预测及总量控制:以重庆市为例/刘强著. —成都:西南财经大学出版社,2019.12
ISBN 978-7-5504-4124-8

Ⅰ.①城… Ⅱ.①刘… Ⅲ.①城市—二氧化碳—排气—研究—中国
Ⅳ.①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 190321 号

城市碳排放峰值预测及总量控制——以重庆市为例
刘强 著

策划编辑:高玲
责任编辑:廖韧
封面设计:墨创文化
责任印制:朱曼丽

出版发行	西南财经大学出版社(四川省成都市光华村街 55 号)
网　　址	http://www.bookcj.com
电子邮件	bookcj@foxmail.com
邮政编码	610074
电　　话	028-87353785
照　　排	四川胜翔数码印务设计有限公司
印　　刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	170mm×240mm
印　　张	16
字　　数	298 千字
版　　次	2019 年 12 月第 1 版
印　　次	2019 年 12 月第 1 次印刷
书　　号	ISBN 978-7-5504-4124-8
定　　价	88.00 元

1. 版权所有,翻印必究。
2. 如有印刷、装订等差错,可向本社营销部调换。

摘要

气候变化已成为人类共同面临的挑战。党的十九大报告指出，要贯彻新发展理念，牢固树立践行绿水青山就是金山银山的理念，建立健全绿色低碳循环发展的经济体系。我国作为构建人类命运共同体的倡导者，已成为应对气候变化国家合作的引导者，成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者。城市作为人口和产业的集聚区，是碳排放重点区域。将城市的碳排放作为研究对象，能够更好地推动国家实现2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%，以及全国2030年左右碳排放达峰的目标愿景。

国家和地方新一轮的机构改革，将应对气候变化和减排的职能由发展改革部门调整至生态环境部门，应对气候变化要快速融于生态环境保护大格局，亟须从管制政策、市场政策、信息政策三个方面，构建应有的政策体系和体制机制。目前，我国对地方二氧化碳排放峰值的研究以及实施总量控制的工作还处于起步阶段，关于碳排放达峰及总量控制的学术研究还比较薄弱。

本书在应对气候变化的总体架构中，探索构建城市碳排放一般分析框架，对城市碳排放投入产出、影响因素、碳排放峰值预测、碳排放总量控制四个环节进行了实证分析，并从政府考核和市场机制两个维度构建了城市碳排放控制机制，最后提出对策建议。本书主要包括以下五个部分：

第一部分是导论，主要阐述了研究背景、研究意义，提出了研究的技术路线图，并对国内外的研究进行了综述和分析。

第二部分是第一章，基于经济学理论，推演了碳排放最优排放水平—碳排放驱动因素—碳减排最佳路径的逻辑过程，通过分析城市人口集聚、产业发展、生活方式等与碳排放的理论关系，构建了城市碳排放“双维度四环节”理论分析框架，搭建起研究的四梁八柱，后续章节均以重庆为例，基于该分析框架展开研究。

第三部分包括第二章、第三章、第四章、第五章，一是对重庆市的碳排放总量、碳排放结构、碳排放分布等内容进行描述性分析和对比性分析，为后续

研究提供基础数据保障；二是从经济发展和碳排放协同推进的角度，通过编制碳排放投入产出表，实证分析了重庆市国民经济42个部门经济产出和碳排放机理的关系，按照碳排放水平、潜在水平与经济产出水平的组合，对行业部门进行分类；三是利用LMDI因素分解模型定量分析了城市碳排放的影响因素，并分别就人口发展（规模和结构）、经济水平（规模和质量）、产业结构、能源结构、技术水平、政策机制等方面分析了各自对碳排放的影响程度；四是着重详细分析总结国内部分大城市、特大城市以及超大城市的碳排放达峰规划的实践经验和具体做法，通过构建碳排放峰值预测的宏观、中观、微观模型，对重庆市未来碳排放进行了预测，探寻到重庆市碳排放达峰坐标；五是在重庆市峰值预测的基础上，对重庆市2020年碳排放总量进行分析，为后面章节的总量控制机制的研究奠定基础。

第四部分包括第六章、第七章，在重庆市“十三五”期末的碳排放总量预测结果的基础上，分别从政府考核和市场机制两个维度，探讨控制城市碳排放的方法。其中：基于政府考核维度的控制机制的相关内容注重分析碳排放总量和碳强度“双控”目标的分解方法、分解结果以及考核内容设计和考核机制建立等；基于市场机制维度的控制机制的相关内容注重分析碳市场配额无偿分配和有偿分配的分配方式，并以重庆为例评价分析了碳交易对城市碳减排的作用等。

第五部分是第八章，围绕国家应对气候变化的政策部署，结合研究结论，提出碳减排的总体要求，分别从低碳能源、低碳产业、城乡发展、试点示范、创新支撑、能力建设以及组织保障等方面分类提出对策建议。

本书的研究创新主要体现在三个方面：

第一是分析框架上的创新，本书从经济学成本-收益理论和环境经济学传统计量模型出发，通过“碳排放最优水平—碳排放驱动因素—碳减排最佳路径”的理论推演过程，建立区域碳排放分析的一个分析框架。

第二是研究思路的创新，本书建立了“双维度四环节”的城市碳排放控制一般分析框架，从政府和市场两个维度，着重对城市碳排放投入产出、影响因素、峰值预测以及控制机制进行系统性的研究，探寻城市控制碳排放的对策。

第三是研究内容的创新，一是本书各部分研究内容能够从经济产出、影响因素的角度分析城市碳排放，又能对城市远期的碳排放峰值和近阶段的碳排放总量分别进行预测，以期对城市碳排放实施阶段性的总量控制；二是本书从政府管控和市场交易两个维度构建城市碳排放控制机制，以期能够系统性、整体性的构建城市碳排放的控制体系。

关键词：碳排放；影响因素；碳排放峰值；总量控制

目　录

导论 / 1

第一节　研究背景与选题意义 / 1

一、研究背景 / 1

二、选题意义 / 2

第二节　主要内容、技术路线和逻辑结构 / 3

一、主要内容 / 3

二、技术路线 / 4

三、逻辑结构 / 5

四、重要概念界定 / 8

第三节　研究方法与主要创新点 / 10

一、研究方法 / 10

二、主要创新点 / 11

第四节　文献综述 / 11

一、碳排放的产业分布 / 12

二、碳排放的影响因素 / 13

三、碳排放的峰值预测 / 15

四、碳排放的总量控制 / 18

第五节　全球应对气候变化形势分析 / 21

一、国际政策行动 / 21

二、国内政策行动 / 25
三、国内外新转变 / 26

第一章 城市碳排放理论建构：一个分析框架 / 28
第一节 城市碳排放理论推演 / 28
一、碳排放最优水平 / 28
二、碳排放驱动因素 / 31
三、碳减排最佳路径 / 32
第二节 城市发展与碳排放理论分析 / 34
一、经济发展与碳排放 / 34
二、人口集聚与碳排放 / 35
三、生活方式与碳排放 / 37
第三节 城市碳排放：一般性分析框架的提出 / 41
一、一般性分析框架的提出 / 41
二、要素间关系分析 / 42
三、一般性分析框架的应用 / 43

第二章 重庆市碳排放测度及其分析 / 44
第一节 重庆市人口、经济社会及资源环境情况 / 44
一、人口发展情况 / 44
二、经济发展情况 / 46
三、资源环境情况 / 49
第二节 重庆市能源消费情况 / 50
一、能源消费总体情况 / 50
二、能源消费结构分析 / 50
三、能源消费分行业分析 / 52
第三节 重庆市碳排放核算分析 / 60

一、碳排放总量核算方法 / 60
二、碳排放总量数据核算 / 61

第三章 重庆市碳排放投入产出分析 / 67
第一节 投入产出分析基本原理 / 67
一、基本模型 / 67
二、基本参数 / 68
第二节 碳排放投入产出模型及分析原理 / 69
一、碳排放投入产出模型 / 70
二、碳排放投入产出分析原理 / 71
第三节 重庆市碳排放投入产出 / 76
一、重庆市碳排放投入产出表的编制 / 76
二、重庆市碳排放投入产出分析 / 76
三、分行业碳排放特性综合评价 / 88

第四章 重庆市碳排放的影响因素分析 / 91
第一节 碳排放影响因素分解 / 91
一、因素分解模型 / 91
二、基础数据核算 / 92
三、LMDI 因素分解模型 / 97
四、LMDI 因素分解结果 / 98
第二节 碳排放影响因子的影响程度分析 / 99
一、人口因素与碳排放 / 99
二、人均 GDP 与碳排放 / 100
三、能源强度与碳排放 / 100
四、能源结构与碳排放 / 101
五、产业结构与碳排放 / 101

第五章　重庆市碳排放达峰预测分析 / 102
第一节　城市碳排放达峰实践分析 / 102
一、我国碳排放达峰面临的情况及进程安排 / 102
二、中国碳排放达峰先锋城市峰值目标情况 / 102
三、典型案例及预测模型 / 104
第二节　分城市达峰经验综述 / 105
一、成都 / 105
二、青岛 / 112
三、天津 / 115
四、广州 / 120
五、武汉 / 124
第三节　峰值预测模型构建 / 128
一、碳排放预测模型的选择及关联 / 129
二、碳排放峰值宏观驱动因素情景分析模型解析 / 131
三、能源需求情景分析模型的解析 / 132
第四节　重庆市分领域碳排放量的预测 / 135
一、综合能源消费的二氧化碳排放预测 / 136
二、化石能源消费的二氧化碳排放预测 / 143
三、产业活动能源消费的碳排放预测 / 149
第五节　重庆碳排放峰值预测 / 155
一、情景指标的预测 / 155
二、碳排放峰值结果 / 164
三、2020 年碳排放总量预测 / 166

第六章　基于政府考核的碳排放控制机制 / 167
第一节　总量控制目标分解模型设计 / 167

一、分解思路 / 167
二、模型构建 / 168
三、指标选取 / 168
四、分解计算方法 / 170
第二节 重庆市总量目标分解实证分析 / 171
一、总量分配目标的确定 / 171
二、分解指数的确定 / 172
三、区县分解结果 / 172
第三节 碳强度下降目标分解方法 / 174
一、分解思路 / 174
二、数据选择及分析 / 177
三、碳强度目标分解结果 / 181
第四节 碳排放目标考核机制 / 186
一、考核指标设计原则 / 186
二、考核对象与内容 / 186
三、考核方法及流程 / 189
四、考核奖惩措施 / 190
五、考核组织管理 / 190

第七章 基于市场交易的碳排放控制机制 / 192
第一节 碳排放权交易市场概述 / 192
一、碳交易理论基础 / 192
二、国际碳市场 / 194
三、国内碳交易 / 201
第二节 碳排放权配额无偿分配方式 / 204
一、配额分配理论基础 / 204
二、委托-代理人模型 / 206

三、重庆碳配额无偿分配结果 / 206
第三节 碳排放权配额有偿分配方式 / 211
一、有偿分配的理论基础 / 211
二、有偿分配的关键问题 / 215
第四节 重庆市碳市场运行成效 / 218
一、碳市场交易情况 / 218
二、碳市场经验总结 / 220
三、碳市场建设成效 / 222
第八章 控制碳排放的对策建议 / 225
第一节 总体要求和主要目标 / 225
一、总体要求 / 225
二、主要目标 / 227
第二节 对策建议 / 227
一、建立低碳能源体系 / 227
二、推动产业低碳转型 / 228
三、统筹城乡低碳发展 / 230
四、推进低碳试点示范 / 231
五、加强低碳科技支撑 / 232
六、加强低碳能力建设 / 233
七、强化低碳实施保障 / 234
主要结论及展望 / 235
参考文献 / 241

导　论

第一节　研究背景与选题意义

一、研究背景

党的十九大报告进一步强调了必须坚定不移贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念[①]。十九大报告明确提出建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计，要像对待生命一样对待生态环境，实行最严格的生态环境保护制度，建设美丽中国，为全球生态安全做出贡献，并将此作为新时代坚持和发展中国特色社会主义的十四条基本方略之一。

气候变化已成为人类共同面临的挑战。党的十九大报告指出，要贯彻新发展理念，牢固树立践行绿水青山就是金山银山的理念，建立健全绿色低碳循环发展的经济体系。我国作为构建人类命运共同体的倡导者，已成为应对气候变化国家合作的引导者，成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者[②]。我国已向国际社会承诺，到2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%～65%，全国2030年左右碳排放达到峰值，并争取尽快达峰[③]。为此我国自“十二五”开始，启动低碳城市和省区试点、碳排放权交易试点、对地方政府实施年度温室气体排放目标责任考核等一系列的工作。

环境和气候变化是世界各国共同面临的挑战和严峻课题。面对这个巨大挑战，一些国家怯场，一些国家规避，甚至有个别本该承担重大责任的国家以莫

---

① 习近平. 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［M］. 北京：人民出版社，2017.

② 同①。

③ 信息来自习近平主席在巴黎气候变化大会开幕式上发表的题为《携手构建合作共赢、公平合理的气候变化治理机制》的重要讲话。

须有的理由转身逃离。产生这些现象的本质原因有两个：一个原因是人们虽然认识到这个问题的严重性，但同时也认识到国家在解决这个问题上应该承担的义务和责任很重；另一个更深层次的原因是一国要敢于并真正承担起自己所应承担的义务和责任是很不容易的。

正如习近平总书记在党的十九大报告中讲到的，作为负责任的世界最大的发展中国家，我国庄严承诺会积极应对世界环境和气候变化，“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”①。通过对碳排放的理论分析，建立区域碳排放一般性的分析框架，找到城市碳排放的重点环节和主要抓手，分析清楚城市碳排放的影响因素，确定碳排放峰值和达峰时间，并基于总量目标控制，建立城市多维度的碳排放控制机制，从而展示我国每一个城市、每一个产业及领域的减碳足迹，正是我们努力兑现碳减排承诺的具体体现。

因此，我国每一个省级行政区域和每一个大中城市，经过认真科学的规划和部署，明确各自碳排放的产业分布、影响因素、达峰时点、总量控制机制，明确提出自己的减碳路径，是我国兑现减碳承诺的努力的一个有机组成部分。

二、选题意义

碳排放与人类的生产生活密切相关，随着科学技术的进步、能源结构的优化、产业水平的提升、生活方式的转变，某个区域的碳排放规模和趋势会发生深刻变化。我们要进行碳排放的控制研究，就必须搞清楚某个区域碳排放的特殊性，它的特殊性既与其产业结构的历史和现状有关，又与产业结构的演进趋势有关，还与这个区域的社会结构，包括它的城市化水平、交通的发生量及产业交通、公共交通和私人交通的相对占比，建筑物的体量及产业用、公用和居民建筑的相对占比，节能建筑与非节能建筑的相对占比相关。某个区域碳排放的特殊性还与这个城市的能源结构，该区域政府在推进能源结构优化和改善方面的规划目标、推进力度及落实效果密切相关，与该区域政府推出并落实各行业、企业和全体居民节能减排政策的广度、深度及力度密切相关。

正因为如此，我们在考虑某个区域未来碳排放总量的预测和减排轨迹时，一方面，要使用国际认同、各地区相对统一、简单便捷的控制变量和核算模型；另一方面，又应该尽可能设计出能够充分展现本地区碳排放特色和减排轨

① 习近平. 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［M］. 北京：人民出版社，2017.

迹的测度模型，并引入相应的控制变量。

重庆是一个产业结构明显有偏重的老工业基地城市，也是一个对传统火力发电和外购电存在严重依赖的城市。作为国家首批低碳试点城市和碳排放权交易试点城市，这些年全市上下携手合力做了大量工作，也取得了显著的成效。但是，由于受历史包袱和资源条件的约束，与全国低碳发展先进省份相比，重庆在单位地区生产总值二氧化碳排放强度、碳排放规模、峰值测度、总量控制、市场调节等各个碳减排环节，都还存在一些差距。

以往的研究往往集中在低碳发展的意义和减排路径方面，对于在经济社会体系中，城市碳排放的影响因素和影响机理的探讨不深，基于长远目标的规划不够。结合现阶段经济社会发展对化石能源的消费导致的碳排放刚性需求，尽管在碳强度下降方面，从国家到地方已逐步开展控制性工作，但是基于城市碳排放峰值达峰目标下的总量控制机制仍未建立健全。国家已启动多批低碳城市和省份试点工作，但对城市碳排放的系统性研究不足，对城市控制碳排放和推进低碳转型的路径措施不够清晰。

因此，以重庆为例，构建城市碳排放的一般性的分析框架，厘清城市碳排放的产业分布特点、影响因素程度、未来碳排放峰值、总量及其控制机制，对于城市控制温室气体排放，完成国家下达的五年计划目标，具有一定的理论意义和现实作用。

第二节　主要内容、技术路线和逻辑结构

本节重点介绍本书的研究内容、技术路线和逻辑结构。

一、主要内容

本书主要研究内容是以重庆为例，通过建立城市碳排放的一般性分析框架——“双维度四环节”分析框架，并基于城市碳排放影响因素、峰值预测和总量控制等框架环节开展实证分析，建立城市碳排放基于政府和市场的“双维度”控制机制。本书的内容具体包括六个方面。

一是详细分析总结国内部分大城市、特大城市以及超大城市的碳排放达峰规划的实践经验和具体做法，按照现有的技术规则和测算方法，对重庆市碳排放总量，分产业、分行业排放情况进行描述性分析和对比性分析。

二是由于能源消费和碳排放不可能游离于经济社会发展之外，因此本书从

经济发展和碳排放协同推进的角度，利用投入产出分析方法，实证分析了重庆市国民经济42个部门经济产出和碳排放的机理关系，按照碳排放水平、潜在水平与经济产出水平的组合，对行业部门进行分类。

三是利用LMDI因素分解模型定量分析了城市碳排放的影响因素，并分别就人口发展（规模和结构）、经济水平（规模和质量）、产业结构、能源结构、技术水平、政策机制等方面分析了各自对碳排放的影响程度。

四是借助目前比较流行的STIRPAT模型，对重庆市碳排放达峰进行了预测，找出可能的峰值坐标，以及各因素影响下的坐标变动及变动幅度。

五是在峰值坐标基础上，对标对表2020年碳排放总量情况，分别从政府考核和碳交易市场两个维度，构建城市碳排放的控制机制，其中：基于政府考核维度的控制机制的相关内容注重分析碳排放总量和单位GDP二氧化碳排放强度下降目标的分解方法、分解结果以及考核内容设计和考核机制建立等；基于交易市场维度的控制机制的相关内容注重分析碳交易配额无偿分配和有偿分配的经济学意义和分配方式，并以重庆市碳排放权交易市场为例评价了市场机制对城市碳减排的影响。

六是贯彻落实党的十九大报告关于生态优先、绿色发展的要求，结合本书研究结论，分别从低碳能源、低碳产业、城乡发展、试点示范、创新支撑、能力建设以及组织保障等方面提出对策建议。

二、技术路线

本书将基于行业视角的城市碳排放，基于影响因子的城市碳排放影响因素分析，基于长期目标设计的城市碳排放峰值预测，基于五年规划阶段性的碳排放总量控制分析四个环节有机结合，并从政府考核和市场交易两个维度的碳排放系统控制出发，形成本书的一般性的分析框架——“双维度四环节”城市碳排放分析框架。

技术路线如图0-1所示，具体从行业、因素和峰值三个方面，分别借助投入产出模型、因素分解模型、峰值预测模型分析城市碳排放的影响，针对城市碳排放控制对象的不同，从政府考核、市场交易等两个维度建立城市碳排放控制机制。

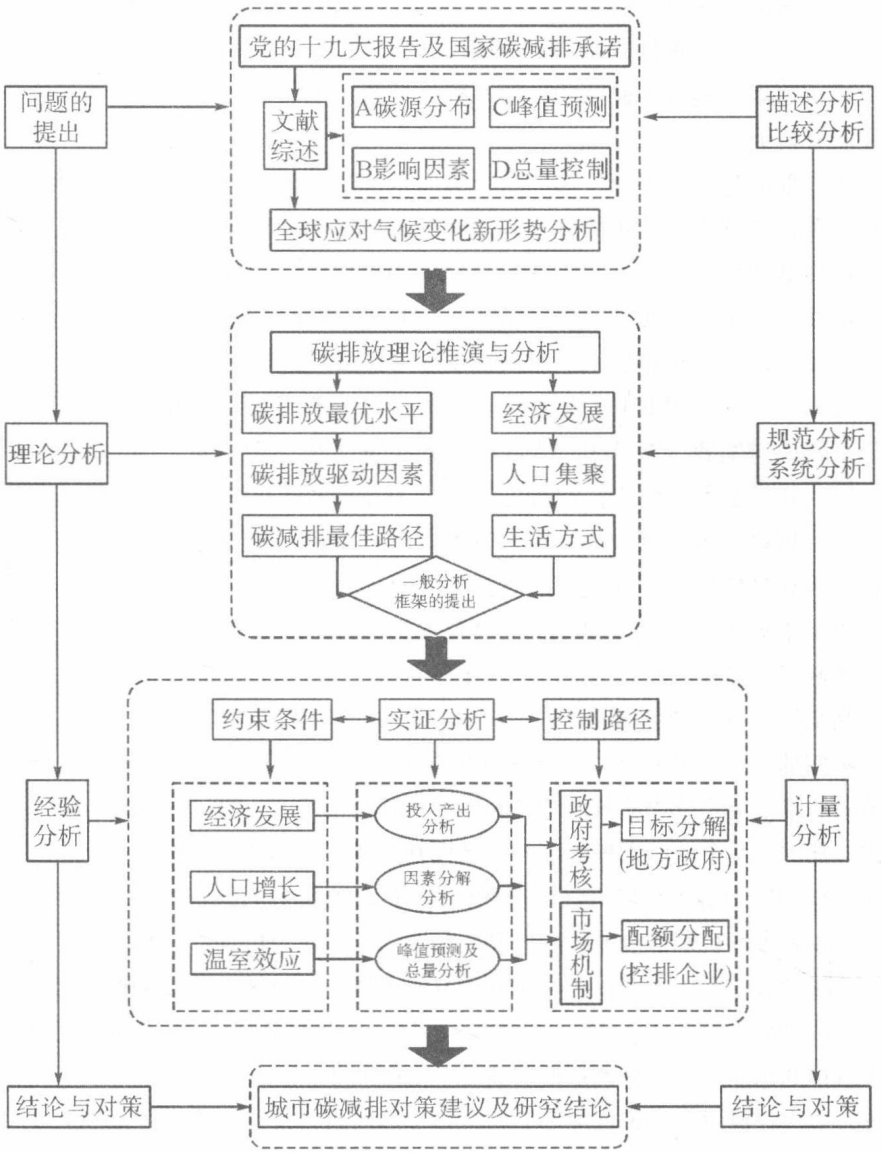


图 0-1　技术路线

三、逻辑结构

本书第一部分是导论，主要阐述了研究背景、研究意义，提出了研究的技术路线图，并对国内外的研究进行了综述和分析。

第二部分是第一章，基于经济学理论，推演了碳排放最优排放水平—碳排

放驱动因素—碳减排最佳路径的逻辑过程，通过分析城市人口集聚、产业发展、生活方式等与碳排放的理论关系，构建了城市碳排放“双维度四环节”理论分析框架，搭建起研究的四梁八柱，后续章节均以重庆为例，基于该分析框架展开研究。

第三部分包括第二章、第三章、第四章、第五章，一是对重庆市的碳排放总量、碳排放结构、碳排放分布等内容进行描述性分析和对比性分析，为后续研究提供基础数据保障；二是从经济发展和碳排放协同推进的角度，通过编制碳排放投入产出表，实证分析了重庆市国民经济 42 个部门经济产出和碳排放机理的关系，按照碳排放水平、潜在水平与经济产出水平的组合，对行业部门进行分类；三是利用 LMDI 因素分解模型定量分析了城市碳排放的影响因素，并分别就人口发展（规模和结构）、经济水平（规模和质量）、产业结构、能源结构、技术水平、政策机制等方面分析了各自对碳排放的影响程度；四是着重详细分析总结国内部分大城市、特大城市以及超大城市的碳排放达峰规划的实践经验和具体做法，通过构建碳排放峰值预测的宏观、中观、微观模型，对重庆市未来碳排放进行了预测，探寻到重庆市碳排放达峰坐标；五是在重庆市峰值预测的基础上，对重庆市 2020 年碳排放总量进行分析，为后面章节的总量控制机制的研究奠定基础。

第四部分包括第六章、第七章，在重庆市“十三五”期末的碳排放总量预测结果的基础上，分别从政府考核和市场机制两个维度，探讨控制城市碳排放的方法。其中：基于政府考核维度的控制机制的相关内容注重分析碳排放总量和碳强度“双控”目标的分解方法、分解结果以及考核内容设计和考核机制建立等内容；基于市场机制维度的控制机制的相关内容注重分析碳市场配额无偿分配和有偿分配的分配方式，以重庆为例评价分析了碳交易对城市碳减排的作用等。

第五部分是第八章，围绕国家应对气候变化的政策部署，结合研究结论，提出碳减排的总体要求，分别从低碳能源、低碳产业、城乡发展、试点示范、创新支撑、能力建设以及组织保障等方面分类提出对策建议（如表 0-1 所示）。

表 0-1　　逻辑结构一览表

第一部分 （导论）	1. 研究意义
	2. 研究框架
	3. 技术路线
	4. 文献综述
	5. 国内外形势分析