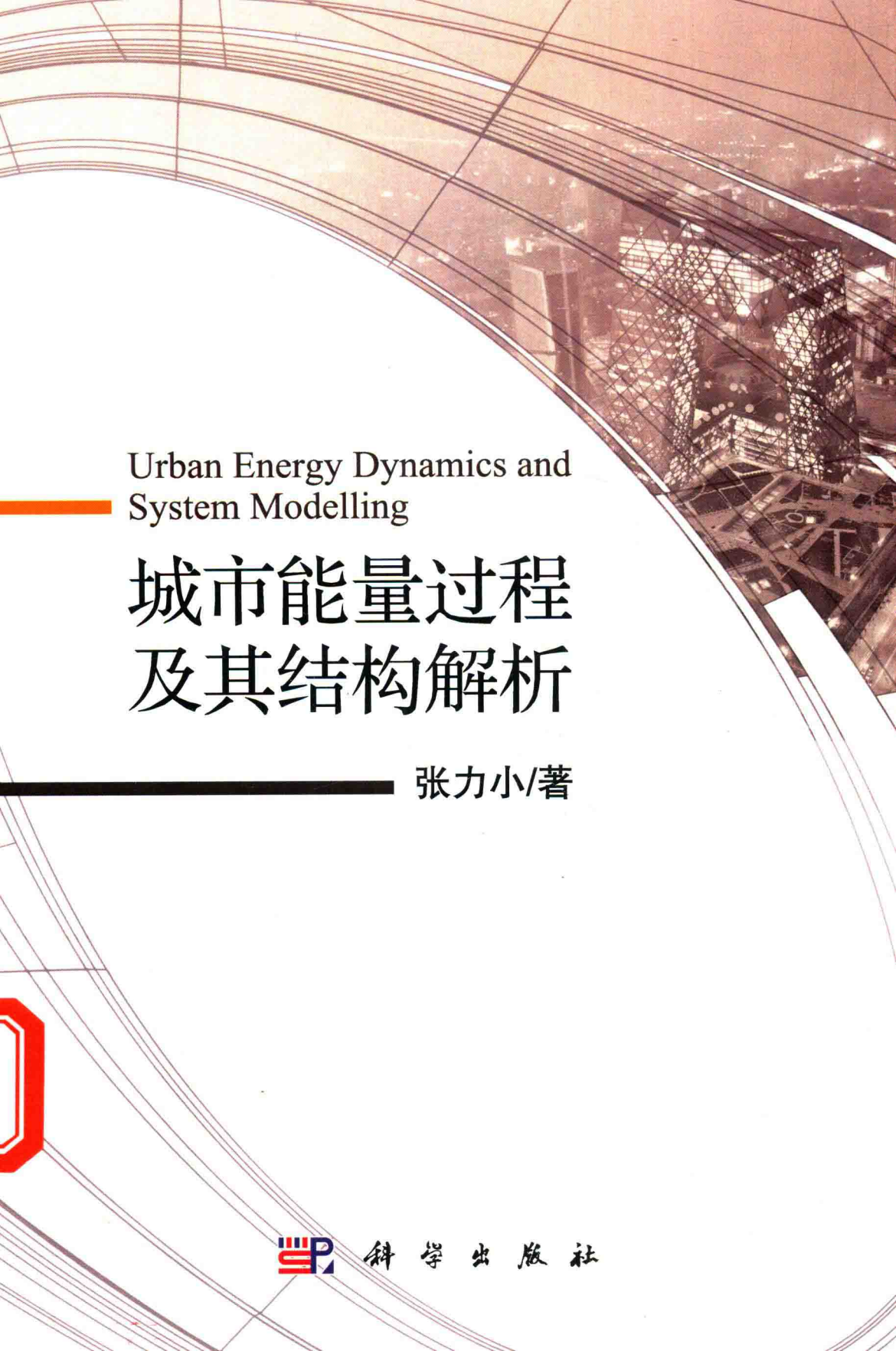




Urban Energy Dynamics and
System Modelling

城市能量过程 及其结构解析

张力小/著



科学出版社

国家重点研发计划项目“城市与区域能流-物流-信息流传输过程与
耦合机制”课题(2017YFC0505703)资助

城市能量过程及其结构解析

张力小 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书基于能量的视角,系统解析城市的结构-过程-功能特征与规律,以城市生态学、产业生态学、系统动力学及系统生态学等学科理论为指导,基于静态核算与结构解析方法,分析了我国城市能源消费的空间差异,能源转型特征、驱动因素及部门重构规律等;基于动态过程模拟,对北京市未来城市发展的能源需求与碳排放进行分析与预测,提出了峰值拐点与路径实现,并综合考虑公平、效率和能力等因素对区域节能减排指标进行分解;基于生态能量视角,系统核算了北京市物质能量流动与资源代谢效率。相关研究结论可为科学建设低碳城市、优化城市能源结构、促进城市节能减排、提高城市生态竞争力等方面提供理论支持和实践指导。

本书可供城市生态学、产业生态学等领域研究人员及政府有关部门的决策人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市能量过程及其结构解析/张力小著. — 北京:科学出版社,2018.6
ISBN 978-7-03-057042-0

I. ①城… II. ①张… III. ①城市-能源管理-研究-中国 IV. ①F206

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第055627号

责任编辑:李 敏 杨逢渤/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>

北京建宏印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第 一 版 开本:720×1000

2018年6月第一次印刷 印张:15 1/4

字数:300 000

定价:168.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

当前,中国处于快速城镇化阶段,城市规模的迅速膨胀以及人口的急剧增长引发能源尤其是化石能源消费量的激增,进而导致我国城市面临着巨大的大气污染与碳排放压力。作为社会-经济-自然复合生态系统,城市中各要素(部门)之间无时无刻不在发生复杂的相互作用和变化,城市系统能量过程错综复杂,单从能量的输入、输出或者局部子过程进行研究难以系统地表征城市内部经济、资源和环境间错综复杂的关系,需要从能量输入、转化、储存及废弃物的排放等过程对复杂的城市生态系统进行分析。因此,通过系统分析城市能源消费现状,解析城市能量在各个组分之间的流动过程、转换关系及其驱动机理,了解能量投入、输送和消耗及其与城市载体的关系,预测未来城市能源需求和碳排放,并从广义能量视角模拟城市物质能量流动,不仅对丰富城市能量生态学研究的方法体系具有重要的理论意义,而且也是当前的迫切需求,具有重要的实践指导意义。

北京作为我国首都和国际化大都市,是我国城市化发展速度最快的地区之一,近十几年来对能源的需求迅速增加,然而本地能源资源极为有限,需从外地调入大量煤炭、油品等能源,能源对外依存度很高;同时北京也是我国节能减排的先行先试地区,长期致力于产业结构调整、技术进步和优化能源结构等工作,并取得了一定的成效。研究表明,北京已经发生较为显著的能源转型,由以煤炭为主的单一能源消费结构逐渐转向电力、天然气等多元化、清洁化的能源结构,而北京能源消费变化的主要驱动因素为直接能源消费强度和最终需求变化效应;在能源转型过程中,北京的能源消费总体规模不断扩大,而能源消费强度大幅下降,第三产业能源消费比重持续增长,主要能耗部门也由化学工业部门等第一、第二产业转向具有低直接耗能、高间接耗能特征的服务业等第三产业部门,间接能耗日渐成为能源管理的重要部门;预测北京的能源消费与碳排放将在2030年左右达到峰值,服务业将逐步取代工业成为能源消费的主要行业;然而因支撑经济发展所需的能源大都来自外界输入,北京的生态竞争力较差。通过对北京的能源消费现状与未来能源需求进行解析和预测,以期构建城市能量过程及其驱动机理研究的分析框架,丰富城市能量生态学研究的理论体系和案例实践。

本书的目的在于通过系统研究城市能量在各个组分之间的流动过程、转换关

系及其驱动机理,揭示能量投入、输送和消耗及其与城市载体的关系,并以北京为实证案例,对城市能源消费现状进行系统解析及对未来能源消费趋势进行预测,并从广义能量视角模拟城市物质能量流动,可为北京未来能源发展和建设低碳城市提供重要的定量化依据,也可国内其他城市乃至世界其他发展中国家城市的能源消费管理和节能减排工作提供经验借鉴。

本书内容凝聚了我们研究组十余年的工作成果,对参与本书研究工作的梁竞、胡秋红、冯悦怡、张鹏鹏等研究生表示感谢,在本书的编辑和修改过程中得到了庞明月、张鹏鹏、杨举华、唐守娟、熊欣等同学的帮助,在此一并感谢。

尽管如此,书中不足和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2018.5

目 录

第1章 城市系统及其能量驱动过程	1
1.1 引言	1
1.2 开放的能量系统	2
1.3 城市的时空维度	3
1.4 城市主要的能量流	5
1.5 总体研究思路与章节安排	5
参考文献	5
第2章 城市能源消费的态势判断	7
2.1 引言	7
2.2 北京市能源消费现状分析	8
2.3 北京市能源消费结构分析	12
2.4 北京市能源消费的产业分布结构分析	16
2.5 北京市能流图分析	20
参考文献	23
第3章 基于指数分解的城市能量消费变动解析	24
3.1 引言	24
3.2 方法与原理	25
3.3 模型建立与数据来源	31
3.4 北京市能源消耗影响因素分解结果分析	32
3.5 结论与建议	39
参考文献	40
第4章 城市能源系统模拟	42
4.1 城市与能源之间的关系	42
4.2 国内外能源模型研究进展	43

4.3 北京市能源环境模型构建	47
4.4 能源消费	60
4.5 碳排放	62
4.6 节能减排潜力分析	64
4.7 结果讨论	66
参考文献	68
第 5 章 基于生产与消费视角的城市能源消费	71
5.1 城市能量过程分析	71
5.2 投入产出模型构建及体现能耗系数推导	73
5.3 城市能量总量变化规律分析——以北京市为例	79
5.4 城市经济活动的能量影响——以北京市为例	86
5.5 北京市 1987 ~ 2007 年能量消费部门结构分析	90
参考文献	96
第 6 章 基于结构分解方法的城市系统能量解析	98
6.1 基于结构分解分析方法的能量变动驱动机理研究	98
6.2 城市系统分析与数据来源	99
6.3 城市能量总量变化的结构分解	101
6.4 北京市能量消耗变动影响因素的结构分解	104
6.5 小结	115
参考文献	115
第 7 章 城市能量消费空间分异特征	117
7.1 城市能量消费的空间差异研究进展	117
7.2 研究区域和方法	124
7.3 典型城市能源消费的空间分布特征	128
7.4 基于 Theil 指数的中国典型城市能源消费空间差异测度分析	140
参考文献	146
第 8 章 城市节能目标分解模型	150
8.1 引言	150
8.2 节能减排目标分解国内外研究进展	151
8.3 北京市节能目标分解研究	153
8.4 结果与讨论	158

8.5 结论与政策建议	163
参考文献	164
第9章 我国城市群发展与系统分析	166
9.1 城市群的发展及其生态环境问题	166
9.2 国内外研究现状	173
9.3 珠江三角洲城市群概述	178
9.4 长江三角洲城市群概述	180
9.5 京津唐城市群概述	184
9.6 三大核心城市主要指标比较	187
参考文献	188
第10章 生态能量视角下的城市群可持续性分析	193
10.1 城市群生态经济系统分析方法	193
10.2 城市群间的资源支撑系统分析	195
10.3 城市群间的生态经济效率分析	206
10.4 城市群间的环境负荷分析	209
10.5 城市群内部城市生态经济系统分析	211
10.6 结论与展望	226
参考文献	227
第11章 结论与展望	229
11.1 主要结论	229
11.2 研究展望	230
附录	232

第 1 章 城市系统及其能量驱动过程

1.1 引言

城市是人类居住与活动的核心场所,也是人类经济活动、能源消费的聚集区,并且这种聚集效应会随着城市化的进程越来越显著。21 世纪将是城市主导的时代,一个重要的变化是到 2050 年全球城市人口将从 2010 年的 35 亿增长至 65 亿 (Kennedy et al., 2014)。另一个重要的变化是全球人口超过百万的城市从 1950 年的 75 个增加至 2011 年的 447 个,百万人口以上城市平均人口规模从 200 万增长至 760 万。到 2020 年全球将有 527 个百万以上人口城市,其城市平均人口将达到 850 万 (Programme, 2011)。截至 2013 年底,我国城市人口已达 7.3 亿,城市化率为 53.73% (国家统计局, 2014),而 20 世纪 90 年代初期这个数据只有 26%,20 年翻了一番。根据《国家新型城镇化规划 (2014—2020 年)》,预计到 2020 年我国的人口城市化率要达到 60% 左右,这毫无疑问将对我国能源安全与环境安全提出新的挑战。

城市地区不仅是人口的聚集地,也是经济和生产力的集聚地。正因为这个原因,城市地区才常常形成集聚的劳动力市场。亚洲国家人口基数大、人口增长速度快,所以亚洲城市人口在 2011 年已超过世界城市人口的一半,这一比例将在 2050 年达到 53%,而欧洲和北美等发达国家城市人口占全球城市人口比重将在 2050 年有所下降。因而,包括中国在内的亚洲城市在全球城市化及能源利用、温室气体排放等方面会产生更加显著的影响 (蔡博峰, 2014)。

由此可见,城市是人口、物质、经济、社会活动和科学技术高度集中的复杂人工巨系统。如果把该人工系统与自然生态系统相比较,可以看出城市地区属于以化石燃料驱动的异养型 (heterotrophic) 生态系统,不具备自我维生能力,必须依靠以太阳能驱动的自然地区及农业地区等自养型 (autotrophic) 生态系统为其提供资源与物质来维持生命,并容纳城市运转所产生的各种污染 (Odum, 1989)。从广义生态系统的观点来看,城市是生态系统的一部分,而生态系统中的任何结构与功能的实现,均需要能量作为驱动力,均涉及能量的流动、储存与转换。正如人体新陈代谢与生命活动中需要消耗物质和能量一样,城市的运转也

依赖于持续不断的能量、资源和信息的供应，因此我们可以从物质输入、转化、储存及废弃物的排放等过程对城市系统进行分析。

换句话讲，能量贯穿于整个结构功能复杂的生态系统的动态演化过程中。同样，能量对城市生态系统的发展演化至关重要。纵观 5000 多年的城市形成演化史，不难发现，城市的源起与进化均与能量有关，能量是隐含在影响城市发展的科技与环境等因素中的内在驱动力。借由自然环境所提供的可再生能量，人类得以获取维生所需的食物、水与空气；通过对不可再生能量的开采，人类得以利用高效能的燃料，带动工业化的脚步。也正是人类劳动力的提高，对能量的收集利用能力不断增强，有了能量剩余，才产生了产品交易行为，以及社会分工制度，进而推动城市系统的形成与进化。

根据生态学家 Cottrell 的观点，城市可以说是文明演进下人类的一种组织，可收集并重新分配各生产行业所产生的多余能量，此组织也是由剩余能量所形成（Cottrell, 1955；黄书礼，2004）。

1.2 开放的能量系统

在热力学视角下，与外界既有物质交换，又有能量交换的系统称为开放系统。与开放系统相对应的有孤立系统和封闭系统。在客观世界中封闭系统与孤立系统的存在是相对的（即绝对地阻止能量交换或者物质交换是不可能的，只能在限定程度上尽可能地降低通量，降低交换的物质能量与系统自身的物质能量的比），而开放系统的存在是绝对的。

城市就是这样的一个开放系统，与周围环境不断进行着物质和能量的交换。城市生态经济系统的物质流动主要包括自然物质流、经济物质流和废弃物质流等。城市生态经济系统要维持其经济功能和生态功能，就需要源源不断地从外界输入物质能量（广义上都可以称为能量）。例如，化石燃料、食物、建筑材料、水等，并通过进一步的加工、存储、使用和循环利用等环节，能量在城市经济系统中进行流动，其影响的边界远大于城市的物理边界，如图 1-1 所示。

脱离与为其提供能量、食物、原料和消纳废弃物的区域环境间稳定的联系，城市的自组织体系将不能维系。如同人体新陈代谢与生命活动中需要消耗物质和能量一样，城市的运转也依赖于持续不断的能量、资源和信息的供应。在一个城市中，“新陈代谢”开始于物质的利用、能量的消耗和城市的发展，一部分物质和能量被作为城市基础设施储存起来，物质和废弃物则通过人工循环系统进行迁移，伴随着这一系列过程，污染物被排放到大气、陆地和水系统中，进一步影响着其生命支持系统。城市及其生命支持系统之间这些循环能否高效、流畅运行直

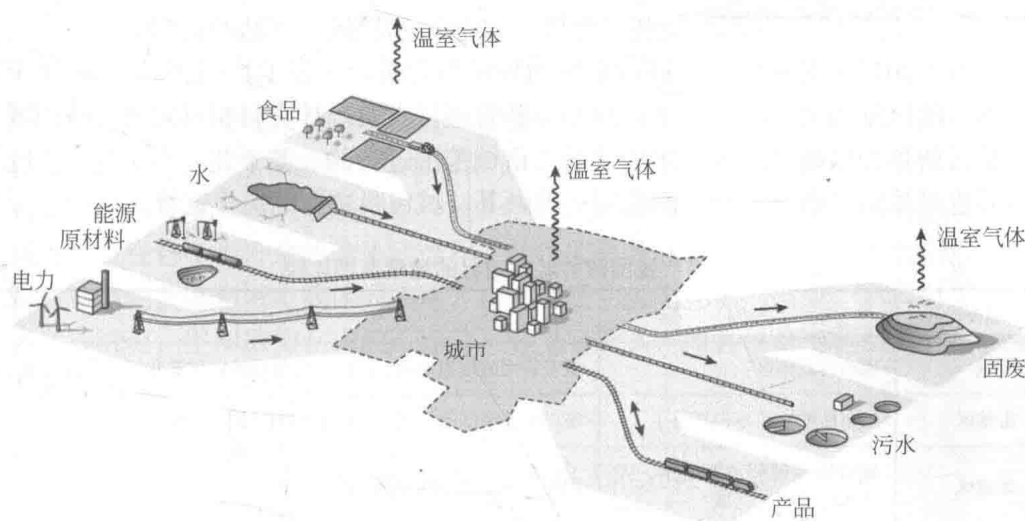


图 1-1 城市系统物质能量交换示意图（赵荣钦，2011）

决定了城市发展潜力的高低和生态环境质量的好坏，也间接影响着人类生活的质量。

1.3 城市的时空维度

城市复杂性就来源于人类活动在时间和空间两个维度上的持续作用和不断“演化”。也就是说，像城市这样一个庞大的复杂系统，借助于能量的驱动，它们自下而上有机生长，由小及大空间拓展。因此，我们对城市能量过程的解析也需要从“时间”和“空间”两个维度对其演化过程和自组织特征进行复杂性研究。另外，城市的复杂性也提醒我们，对城市系统的研究需要做特定假设和简化。

根据城市空间影响范围，城市生态经济系统可分为城市蔓延区（urban sprawl）和城市足迹区（urban footprint）。城市蔓延区主要是指城市建成区及城市形态集中连片的区域，或者说以水泥地面为覆盖特征的区域。城市足迹区，主要是指城市边界之外，直接或间接为城市提供能源和原料的区域。需要说明的是，城市的足迹区不一定就紧挨着城市蔓延区，可能位于数公里外。

对于中国而言，需要注意的是，中国的城市首先是一个行政区的概念，所以，在一定程度上会混淆城市的空间概念，也就导致对城市资源核算系统边界的混淆。我国对城市的概念有不同的界定，即“城区”（人口、经济活动较为密集的区域，一般理解为中心城区地带）、“建成区”（城镇非农业活动的建设地段）、“市

辖区”（包括城区和郊区）和“市域”（包括市辖区、下辖的县和县级市）。蔡博峰（2014）对四个区域进行系统的界定与分析，见表 1-1。其中，市域属于中国行政区划内的一级，由于行政归属和管理特点及统计资料相对完整，中国城市排放清单和低碳城市规划主要是基于市域范围进行的。鉴于此，本研究的系统边界也是采用“市域”的空间范围，兼顾其“城市足迹”的虚拟区域。

表 1-1 我国四种城市边界的地理范围比较

城市边界	范围	说明
市域	城市行政辖区	城市最大的地理范围，包括一定数量的农村等非城市建设用地
市辖区	城市所辖区（不包括县）	城市中经济活动较强，人口密度相对较大的区域
建成区	城市物理硬化地面范围，或“水泥地面”区域	比较严格意义上的城市和城镇范围
城区	城市人口密度超过 1500 人 / km^2 的区域	和发达国家的城市边界最为接近的中国城市边界，往往是中国许多城市的老城区或者主城区

资料来源：蔡博峰，2014。

除了物理上的空间维度外，城市系统也存在一个虚拟的空间维度，或者说结构上的空间维度，即城市能量会在城市各个产业部门之间进行流动、交换与转化，也构成了一个空间维度（图 1-2）。同时，对于单个节点来说，存在“存量”与“流量”一动一静两个状态 / 过程，就会涉及能量在多年之间的“滞留”与“消费”。因为，城市系统能量过程是错综复杂的，既涉及空间在多个部门之间的分配，又涉及能量流动在多年之间的时间累积。因此如何对城市系统能量的时空过程进行剖析并对直接与间接的能量流进行系统核算成为研究的重点与难点。目前的研究多侧重于能量的输入、输出或者局部子过程的研究，而对城市能量复杂过程的系统性研究仍处于初级探索阶段。

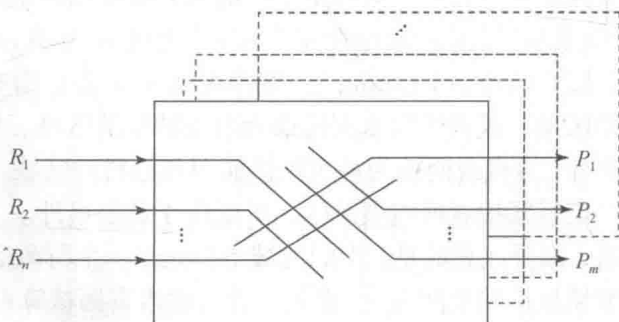


图 1-2 能量过程示意图

注： R 代表进入城市系统的不同种类的能源； P 代表城市不同产业部门的产品。

1.4 城市主要的能量流

同时,伴随着城市化进程的进一步加快和经济的高速发展,城市空间大规模拓展,城市的人口急剧膨胀,与城市系统能量输入(资源支撑)、输出(环境负荷)相关的资源环境问题越来越严重,成为制约城市发展的重要障碍。因此系统研究城市能量在各个组分之间的流动过程、转换关系及其驱动机理,了解能量投入、输送和消耗及其与城市载体的关系,认识能量功效与耗散的特点,不仅对了解城市动态机理、空间结构、功能原理等具有重要意义,而且也是当前探索和挖掘城市系统开源节流途径的迫切需求。

1.5 总体研究思路与章节安排

本书的内容主要涉及城市能源消费及其碳减排等相关问题,或者说,主要关注化石燃料消费等内容。但在此基础上,基于广义能量的视角,本书也系统核算与模拟了城市物质能量流动,特别是自然生态流的部分,详细可见本书第9章与第10章。本书的章节安排如下:

- 第1章 城市系统及其能量驱动过程
- 第2章 城市能源消费的态势判断
- 第3章 基于指数分解的城市能量消费变动解析
- 第4章 城市能源系统模拟
- 第5章 基于生产与消费视角的城市能源消费
- 第6章 基于结构分解方法的城市系统能量解析
- 第7章 城市能量消费空间分异特征
- 第8章 城市节能目标分解模型
- 第9章 我国城市群发展与系统分析
- 第10章 生态能量视角下的城市群可持续性分析
- 第11章 结论与展望

参考文献

- 蔡博峰.2014.城市温室气体清单核心问题研究.北京:化学工业出版社.
- 国家统计局.2014.中国城市统计年鉴.北京:中国统计出版社.
- 黄书礼.2004.都市生态经济与能量.台北:詹氏书局.
- 赵荣钦.2011.城市生态经济系统碳循环及其土地调控及控制研究——以南京市为例.南京:南京大学博士学位论文.

- Cottrell F. 1955. Alternative strategies for integrating economics and ecology//Jansson A M. Integration of Economy and Ecology-An Outlook for the Eighties. Stockholm: Askö Laboratory, Univ of Stockholm: 19-29.
- Kennedy C, Stewart I D, Ibrahim N, et al. 2014. Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities. *Ecological Indicators*, 47: 7-15.
- Odum E P. 1989. Ecology and Our Endangered Life-Support Systems. Sunderland: Sinauer Associates.
- Programme U N H S. 2011. Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements. London: Earthscan.

第 2 章 城市能源消费的态势判断

2.1 引言

如 1.1 节所述，城市作为人类社会经济活动的中心，聚集了世界一半以上的人口，城市能源消费占全球能源消费总量的 75%，温室气体排放占全球排放总量的 70%（IEA，2016），为主要能源消费者与温室气体排放源。庞大的人口规模和持续增长的经济发展趋势使得包括中国在内的世界各国以惊人的速度迈向城市化时代的同时，城市也逐步患上了高能耗、高排放与高污染的“三高综合征”，城市的脆弱性不断显现并且有加剧的倾向，频繁发生的气候灾害威胁到了未来经济社会的发展及城市居民正常的生产生活（梁朝晖，2010）。因此，遏制全球变暖、削减碳排放，已成为 21 世纪国际社会的共识（Jr et al.，2008），城市作为气候变迁全球化与低碳化之间的关键网络节点，在全球应对气候变迁过程中，将扮演更为主导性的角色。

近年来，越来越多的中国城市、研究机构和非政府组织等开始关注低碳城市，并开展了不同层面的项目与活动，见表 2-1。城市低碳化发展已经成为中国应对气候变化和促进城市可持续发展的新坐标（潘焱和刘雪，2010）。

表 2-1 国内低碳城市的尝试

组织机构	试点城市	目标
世界自然基金会	上海市、保定市、广州市、攀枝花市、伊春市	上海市——生态建筑示范城市；保定市——新能源制造业城市；广州市——可持续交通示范城市；攀枝花市——生物柴油发展之城；伊春市——生态保护低能耗发展之城
气候组织	广东省、贵阳市、杭州市、天津市、武汉市、重庆市、德州市	从政策、技术、投融资和市场多维角度探索城市低碳实践路径、开发城市规划、能源管理、绿色产业化、可再生能源利用、交通和金融 7 个领域的 10 个示范项目
国家发展和改革委员会	广东省、辽宁省、湖北省、陕西省、云南省五省和天津市、重庆市、深圳市、厦门市、杭州市、南昌市、贵阳市、保定市	一是编制低碳发展规划；二是制定支持低碳绿色发展的配套政策；三是加快建立以低碳排放为特征的产业体系；四是建立温室气体排放数据统计和管理体系；五是积极倡导低碳绿色生活方式和消费模式

资料来源：国家发展和改革委员会，2010；李建明等，2011；中新网，2011。

北京市是一个拥有 2114.8 万人口（北京市统计局，2014）、能源消费量巨大但能源资源非常匮乏的超大型城市，能源资源问题一直是困扰其经济社会发展的重要因素。近十几年来，北京市经济快速发展，对能源的需求迅速增加，2009 年能源消费总量达到 65.70Mtce（百万吨标准煤当量），人均能耗为 3.74tce（吨标准煤当量），为全国平均水平 2.3tce 的 1.6 倍（国家统计局，2010）。而北京地区本身能源资源极为有限，能源对外依存度很高，自供能源仅占能源消费总量的 6%，100% 的天然气、100% 的原油、95% 的煤炭、64% 的电力和 60% 的成品油都需从外地调入（Li et al., 2010）。

与此同时，随着北京市经济的发展和居民生活水平的提高，持续增长的能源消费尤其是传统能源消费，将使得北京市的温室气体排放量继续攀升。据统计，2008 年北京市人均 CO₂ 排放量达到 6.91t，为全国人均排放量 5.3t 的 1.3 倍多（孙宇挺，2010）。如果未来北京市的经济社会发展依惯性推进，则人均碳排放量将达到全球其他城市所未曾有过的规模。因此，“低碳化发展”是北京市必须面对的一个严肃课题。同时，北京市作为中国的首都，有着特殊的政治地位，又是国际大都市，其能源消费态势在应对全球气候变化和温室气体排放等方面发挥着决定性的作用。

在这种情况下，对北京市的能源消费现状进行研究，不仅是国际社会应对全球气候变化的需求，也是为国内其他城市开展节能减排工作做出表率，也可为其其他发展中国家的城市能源消费现状管理提供经验借鉴。

2.2 北京市能源消费现状分析

北京市经济迅速发展，“十一五”期间保持了年均 11% 以上的较快增速，人均地区生产总值（gross domestic product, GDP）实现了从 5000 美元到 10 000 美元的跨越。为了支撑经济的快速发展，北京市能源消费增长推动经济社会发展的同时，也面临着环境污染和生态破坏等问题。

2.2.1 北京市能源资源储量与供给

北京市属于能源资源较为贫乏的地区，所拥有的一次能源主要是煤炭、水电和地热等，大多依赖于外部调入，2012 年能源对外依存度已超过 95%（北京市统计局，2013）。本市的煤炭和水电供给量仅为 3.52Mtce、0.21Mtce，且煤炭资源主要分布在京西^①，多为无烟煤，热稳定性差、灰分高，只有少量用于烧结、炼焦

^①京西主要包括门头沟、房山和海淀等地。

配煤、高炉喷吹等工业生产。目前京西煤炭主要用于加工民用型煤,发电与焦化用煤主要从外地供应(王敏和杨朝宇,2006)。虽然全市的一次能源资源极为有限,但拥有一定规模的能源加工转换工业,能源加工转化种类主要有火力发电、供热、炼焦及炼油,每年都有不少的二次能源(如成品油 9.36Mtce)调出北京市。

2.2.2 北京市能源消费现状

(1) 能源消费总量

改革开放以来,北京市能源消费规模不断提高,消费水平在全国各主要城市中排在前列。2012年能源消费总量为 71.78Mtce,较 1990 年增长了 1.64 倍,年均增长率达到 4.51%,低于同年全国能源消费年均增长率(11.43%)。2000~2007 年,能源消费总量大幅度上升,7 年内增加了约 51.67%,年均增长率高达 6.13%。然而 2007 年以后,北京市能源消费总量增长率呈现下降趋势,2007~2012 年,其年均增长率仅为 2.69%(图 2-1)。

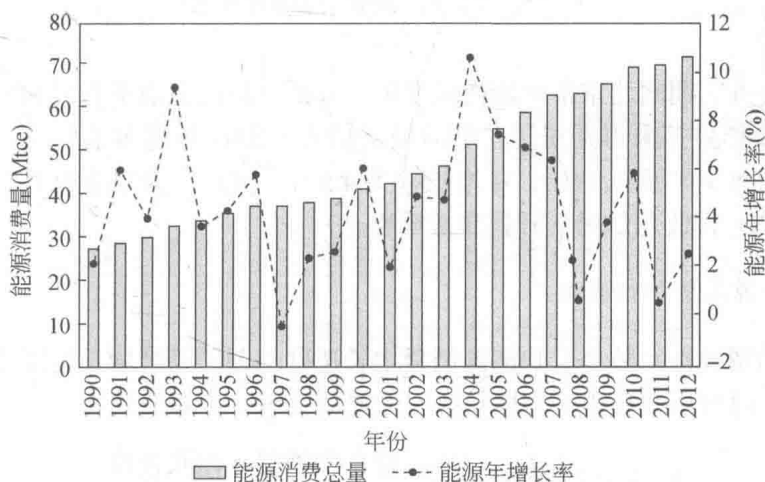


图 2-1 1990 ~ 2012 年北京市能源消费总量

(2) 能源消费强度

能源消费强度指国民经济在生产中的单位能耗水平,通常量化为生产单位国内生产总值所消耗的能源量,它能反映经济结构和能源利用效率的变化。

1990~2012 年,北京市能源消费强度下降幅度很大,1990 年能源消费强度为 5.41tce/万元,到 2012 年已经下降至 0.40tce/万元,如图 2-2 所示。近年来,北京市能源利用效率逐步提高,特别是 2005~2012 年,北京市能源消费强度由