

国家自然科学基金青年基金资助项目 (编号: 51208423)
陕西省社会科学界重大理论和现实问题研究项目 (编号: 2011C0573)

Study for
the Construction
of Ecological City
Based on
Urban Metabolis:
Taking Xi'an
as an Example

基于物能代谢视角的生态城市建设研究 ——以西安为例

◎沈丽娜 著

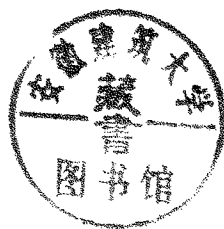
中国建筑工业出版社

国家自然科学基金青年基金资助项目 (编号: 51208423)

陕西省社会科学界重大理论和现实问题研究项目 (编号: 2011C0573)

基于物能代谢视角的生态城市 建设研究——以西安为例

沈丽娜 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基于物能代谢视角的生态城市建设研究——以西安为例/

沈丽娜著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-112-20687-2

I. ①基… II. ①沈… III. ①生态城市—城市建设—
研究—西安 IV. ①X321.241.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 083357 号

本书在参考国内外城市物质流、能量流的研究动态和国内外生态城市建设的
基础上, 以西安市为例, 从城市物能代谢研究入手, 通过对城市物质和能量代谢
过程及机理分析, 寻求城市物质流和能量流的生态化途径, 以期生态城市建设
提供依据。此外还从城市规划角度探讨了西安市生态化建设的途径和对策。

本书可供城市规划建设管理人员以及有关专业师生参考。

责任编辑: 许顺法

责任设计: 谷有稷

责任校对: 王宇枢 张 颖

基于物能代谢视角的生态城市建设研究——以西安为例

沈丽娜 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京建筑工业印刷厂制版

大厂回族自治县正兴印务有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8 1/4 字数: 206 千字

2017 年 11 月第一版 2017 年 11 月第一次印刷

定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-20687-2

(30310)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着我国城市化进程的加快,城市人口日渐增多,人口密度日趋增加,在这样一个人口高度集中,人工建成环境为主导的现代城市中,人们从大自然中摄取的能源和材料越来越多,向自然生态系统中排放的废物远超过其负荷承载能力,致使城市周围环境恶化、资源枯竭,自然生态系统退化,城市生态系统代谢失衡。本书试图从城市物能代谢研究入手,通过对城市物质和能量代谢过程及机理分析,寻求城市物质流和能量流的生态化途径,为生态城市建设提供依据。

本书在参考国内外城市物质流、能量流的研究动态和国内外生态城市建设的基础上,参照欧盟统计局《物质流账户及指标—方法导则》和国际能流图,构建了中观层面的城市物质流、能量流分析框架;提出了城市物质流、能量流生态化评价指标体系和评价方法;以西安为例进行了西安市 2005~2014 年物质流和 2014 年能量流分析,绘制了西安市 2014 年物质流全景和 2014 年能流图;开展了西安市 2005~2014 年物质流生态化和 2014 年能量流生态化评价;最后从城市规划角度探讨了西安市生态化建设的途径和对策。具体研究结论包括以下几个方面:

(1) 城市物质流分析。构建了适合城市层面的物质流分析框架以及核算指标。对西安 2005~2014 年的物质流进行初步分析,绘制了西安市物质流的全景图,并从资源投入量、污染物排放量、物质消耗强度、污染物排放强度、物质生产力、资源效率和环境效率七个方面对西安市物质流进行分析,得出西安市近十年来物质流的发展趋势。结果表明,西安市近十年来物质消耗强度不断加快,污染物排放强度稳步增加。

(2) 城市能量流分析。研究了城市能流图的绘制,在此基础上对西安市 2014 年能源数据进行了统计、分析、计算和研究,绘制出西安市 2014 年能源平衡表和西安市能源流动图,并且通过能流图分析西安市能源利用情况。首先,西安市能源消费以煤炭和石油为主,可持续能源利用较少;其次,西安四大能源消费终端(民用及商用占 54%、工业占 28%、交通运输占 16%)消耗能源量多,利用效率低;最后从减少工业、民用商用和交通运输能耗提出解决这一问题的建议,从而为基于能量流动角度建设西安生态城市提出新的可参考方法。

(3) 城市物质生态化研究。在物质流组成与特点分析的基础上,根据“人口—社会—经济复合生态系统”理论和“压力—状态—响应”模型,依据物质流生态化方案提出其评价指标体系;并运用群组层次分析法,建立了一套完整的城市物质流生态化建设指标体系;对西安市 2005~2014 年物质流生态化情况进行评价。结果表明,西安市物质生态化健康发展。最后,提出了城市生态化建设的生物物质、金属矿物、工业矿物、建筑材料、污染物等的生态化途径与方法。

(4) 城市能量生态化研究。通过对西安市能量流动图的分析研究,建立了以城市能源供应、能源加工转换、终端消费部门和终端用能效率为二级指标的评价体系。对西安市的能流角度城市生态化建设进行了综合评分,得出结论,认为西安市属于能量流角度城市生

态化建设的后期准备阶段。指出了西安市能量流动中存在能源结构不合理，可持续能源开发利用度低，能源的利用效率低等问题。提出了城市能源供应体制生态化、供热供电生态化、能源副产品资源化利用、能源利用生态化四个方面的能源生态化途径与方法。

(5) 结合物质流和能量流的城市空间生态化研究。按照输入(资源)和输出(废物)都最小化的原则提出了城市的生态环境循环系统。从能量流动的角度提出了西安在城市生态化建设的过程中应完善城市道路交通体系，优化土地利用模式，完善空间景观格局，对城市余气余热应回收利用，中水应循环使用，应大力发展节能建筑。从物质流动的角度提出了西安城市生态化建设的过程中应对城市固体废弃物进行综合利用，产业集群生态化，减少产品生产过程中对物质、能量的浪费。从意识形态的角度转变人们的传统观念，形成人与自然和谐相处的伦理道德观念。

目 录

前 言

第一章 绪论 1

1.1 研究背景 1

1.1.1 物质能源消费对环境和气候影响的加剧 1

1.1.2 城市化进程加快对生态城市建设的挑战 1

1.1.3 西安国际化大都市建设的生态需求 3

1.2 问题的提出及选题的意义 3

1.2.1 问题的提出 3

1.2.2 研究的意义 4

1.3 研究内容 4

1.3.1 基本概念 4

1.3.2 主要内容 5

1.4 研究思路、方法和技术框架 6

1.4.1 研究思路 6

1.4.2 研究方法 6

1.4.3 研究框架 7

第二章 国内外研究现状与分析 8

2.1 国外城市物能代谢研究进展 8

2.1.1 萌芽阶段 8

2.1.2 发展阶段 12

2.1.3 停滞阶段 13

2.1.4 崛起阶段 13

2.1.5 多元化阶段 14

2.2 国内城市物能代谢研究进展 14

2.2.1 国家层面物质流分析研究 15

2.2.2 国内各省市物质流分析研究 15

2.3 国内外城市能量流研究进展 17

2.3.1 国外能量代谢研究进展 17

2.3.2 国内能量代谢研究进展 18

2.4 国内外生态城市建设研究进展 18

2.4.1 国外生态城市建设研究进展 18

2.4.2 国内生态城市建设研究进展 20

2.4.3 生态城市建设实践 21

2.5	研究方向趋势	21
2.5.1	可持续发展判定指标	22
2.5.2	计量输入城市的温室气体	22
2.5.3	政策分析的动态数学模型	23
2.5.4	设计工具	24
2.6	本章小结	25
第三章	城市生态系统与自然生态系统	26
3.1	自然生态系统及其物能流原理	26
3.1.1	自然生态系统的特点	26
3.1.2	生态系统的物质流与能量流	26
3.2	城市生态系统及其物能流特征	28
3.2.1	城市系统	28
3.2.2	城市生态系统	28
3.2.3	城市生态系统特征	30
3.3	城市生态系统与自然生态系统差异分析	31
3.3.1	以人为主体的	31
3.3.2	人工环境	31
3.3.3	生态系统不稳定	32
3.3.4	物质能量流动不同	32
3.4	本章小结	32
第四章	城市生态系统物质流分析	35
4.1	物质流分析的内涵	35
4.2	城市物质流生态分析方法的建立	36
4.2.1	经济系统物质流分析	36
4.2.2	特定物质流分析	38
4.2.3	城市物质流分析	39
4.3	西安市物质流分析研究	41
4.3.1	数据来源及计算	41
4.3.2	系统边界的界定	42
4.3.3	数据统计	43
4.3.4	数据分析	44
4.4	本章小结	49
第五章	城市生态系统能量流分析	51
5.1	能量流分析的内涵	52
5.2	城市能量流生态分析方法的建立	52
5.2.1	能源流动图分析	52
5.2.2	能量统计国际比较说明	54

5.3	西安市能量流分析研究	54
5.3.1	数据来源与处理	54
5.3.2	西安市能源供应分析	56
5.3.3	减少能耗讨论	59
5.4	本章小结	61
第六章	城市生态系统物质流生态化分析	62
6.1	城市物质流生态化评价概念	62
6.2	城市物质流生态化的评价指标建立	63
6.2.1	指标体系建立的原则	63
6.2.2	指标体系框架	63
6.2.3	单项指标解释	64
6.2.4	单项指标标准值的确定	64
6.2.5	单项指标权重确立	65
6.2.6	单项指标的无量纲化	67
6.3	西安市 2005~2014 年物质流生态化评价	67
6.3.1	计算方法	67
6.3.2	西安市 2005~2014 年物质流生态化评价	68
6.3.3	结果分析	69
6.4	城市物质流生态化方式	70
6.4.1	生物物质的生态化	70
6.4.2	金属矿物和工业矿物的生态化	71
6.4.3	建筑材料的生态化	72
6.4.4	能源物质的生态化	73
6.4.5	污染物的生态化	74
6.5	本章小结	75
第七章	城市生态系统能量流生态化分析	76
7.1	评价指标体系构建的目标、原则和步骤	76
7.1.1	评价指标体系构建的目标	76
7.1.2	评价指标体系构建的原则	76
7.1.3	评价指标体系构建的步骤	76
7.2	指标体系框架的建立	77
7.3	能量流动角度的城市生态化建设评价方法	78
7.3.1	基于层次分析法的能流角度城市生态化评价模型	78
7.3.2	能流角度城市生态化建设指标体系综合评价	82
7.3.3	能流角度城市生态化建设评价指标体系的应用	84
7.4	能量流动角度的城市能源供应生态化研究	85
7.4.1	城市能源供应体制生态化	85
7.4.2	供热供电生态化	85

7.4.3	能源副产品资源化利用	85
7.4.4	能源利用生态化	86
7.5	本章小结	86

第八章 城市生态系统空间生态化分析

8.1	西安生态城市建设构想	87
8.1.1	西安市建设生态城市的基础	87
8.1.2	西安生态城市建设目标	88
8.1.3	西安城市生态化建设的原则	88
8.1.4	城市生态化建设基本框架的构建	89
8.2	能量流动角度的西安市生态化规划	90
8.2.1	城市道路交通规划设计	90
8.2.2	土地利用规划布局设计	94
8.2.3	生态绿地规划	96
8.2.4	绿色基础设施规划设计	98
8.2.5	建筑建造规划设计	99
8.3	物质流视角下的西安市生态化规划	99
8.3.1	固体废弃物防治规划	100
8.3.2	产业生态规划	102
8.3.3	文化生态规划	103
8.4	生态循环社区规划建设	104
8.5	本章小结	106

第九章 结论及展望

9.1	结论	107
9.1.1	研究方法的建立	107
9.1.2	物质流分析	107
9.1.3	能量流分析	107
9.1.4	物质生态化研究	108
9.1.5	能量生态化研究	108
9.1.6	城市生态化研究	108
9.2	主要创新点	109
9.2.1	理论创新	109
9.2.2	方法创新	109
9.2.3	实践创新	109
9.3	展望	110

附录

参考文献

第一章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 物质能源消费对环境和气候影响的加剧

城市为社会经济的发展带来巨大的机遇，同时也给生态环境带来了巨大的挑战。由于城市发展消耗全球 85% 的资源和能源，排出 85% 的废物和二氧化碳，导致并加剧了全球气候和环境的日益恶化。根据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC，2007）的说法，自 1750 年以来，人类工业生产活动使大气中的二氧化碳含量升高了 32%，未来，由于燃烧产生的排放量可能会持续增长。

随着居住在城市及城市周边地区的人日渐增多，人类与自然环境相互作用的动态平衡已经被人类占用自然资源而破坏。城市是聚集生产活动、消费活动和垃圾处理的中心，这一特性不仅驱使土地特性发生改变，也导致了一系列全球环境问题。

城市发展过程是一种人与自然关系失调的过程，主要表现在：

（1）“流”，代谢失衡

在城市开发的过程中，资源开发的不合理和利用率的低下，致使自然系统中过多的能源和物质被开采，在环境中滞留，使得城市代谢失衡。如长期形成开发多于产出，自然生态系统得不到足够的补偿、缓冲和保养生息，自然生态系统的自我修复功能就会受到破坏，将引起严重的城市环境和生态问题。

（2）“网”，结构失调

城市是由人、物质、空间、经济、社会、信息和生态等交织成的复杂的网络系统。在这个网络中存在着如产业结构不合理、土地利用不合理、城乡关系不协调、供需关系不平衡、经济建设和环境保护不同步、过度开发开采等现象，导致了城市发展过程中的各种矛盾的出现。

（3）“序”，功能紊乱

健康的自然生态系统，不断地进行着“输入—代谢—输出”的循环过程，有其自身的生态调节能力，城市生态亦应如此，应有完备的生产、生活和生态平衡的功能，但城市并不具备自身的调节能力，需要人为的干预，但人在参与社会自然生态活动的过程中却忽略了人与自然生态系统的协调，过分重视社会生产和生活功能。良性的生态功能应有可持续供给能源的能力、容纳城市废物能力、环境自净能力、经济协调能力以及自组织的社会能力，这都需要人的积极参与和有效推动，否则就会引起城市序功能的失调。

1.1.2 城市化进程加快对生态城市建设的挑战

1900 年，全球人口中只有 10% 是城市居民，如今这个比例已超过 50%，在今后的 50 年中这个比例还要继续增长。由于人口的增长和移居，预计到 2030 年将有 20 亿新的城市居民，如图 1-1（a）。在继续增加的这部分人口中，有 95% 以上来自于发展中国家，这使得目前大多数工业化国家城市化率接近 80%^[1]。此外，发展中国家中几乎所有的大城市（人口大于 100 万）将发展到空前的规模，如图 1-1（b）。城市人口的增加伴随着经济增长和人口结构的

变化,造成了对于生态系统前所未有的需求,尤其对于中国和印度这样的人口大国^[1]。

城市和城市生活对于生态的重要性和危害性正随着城市日益扩张的范围和日益增长的影响力而变得日益严重。城市和城市生活对生态系统的重要性和危害程度已经达到人类历史的最高点。目前已有一半的人口居住在城市中。这一比例还在稳步增长,预计就在几十年后将达到70%。从长远来看,建设材料的短缺,例如金属、煤炭、水泥和木材等,很有可能成为中国城市化进程中的障碍,而且这种建设材料短缺带来的压力会阻碍全球范围的基础设施建设^[2]。大都市无论在数量和规模上都日趋上升,乡村生活受城市生活方式的影响越来越大。在高度工业化的西方发达国家,越来越难区分乡村和城市生活。在这种情况下,乡村的居民像城市居民一样与大自然的接触越来越少,越来越像城市居民一样远离自然资源,越来越依靠国际化市场提供食物和生活必需品。

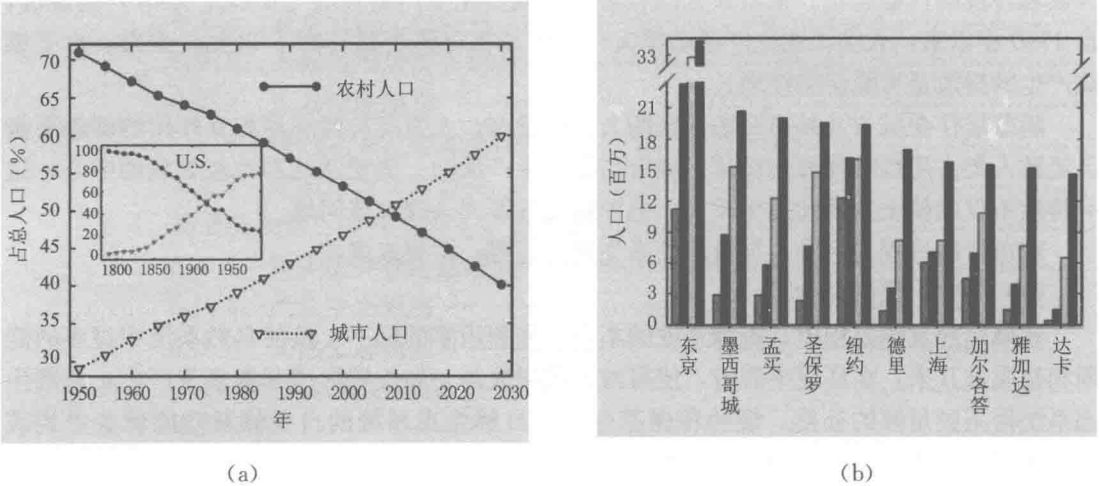


图 1-1 世界城市化前景: 2005 版(联合国, 纽约, 2006)。

注: 图 (a) 表示 1950 年至 2030 年世界城市人口和农村人口的变化^[2]。小图显示美国从 1790 年至 1990 年的可比较数据^[3]。图 (b) 表示世界 10 个最大的人口聚集区从 1950 年至 2010 年的人口变化, 排序以 2010 年人口规模为依据, 从左到右依次为: 日本东京, 墨西哥墨西哥城, 印度孟买, 巴西圣保罗, 美国纽约, 印度新德里, 中国上海, 印度加尔各答, 印度尼西亚雅加达, 孟加拉国达卡尔。每个城市的柱状图从左到右分别表示 1950、1970、1990 和 2010 年(计划)的人口^[1]。

人们生存环境的总压力来自于大自然生态系统对人群所需能源和材料吞吐量的承载能力。在这样一个高度集中的、人工建成环境为主导的现代城市中, 贸易和其他经济交易活动的速度和频率被大大增加, 城市尤其是大都市的发展速度比农村更为迅速和猛烈。在城市中, 消费行为更加复杂, 是越来越快的通信系统和越来越便利的可达性, 赋予了城市较之于乡村的众多优势, 并且这种优势还会持续下去。与此同时, 空调系统、地热系统、机械通风系统及其他提供舒适生活服务的设备也日益增多, 所有的这一切, 都意味着更高的能源消耗。

虽然在能源利用和城市机动性上大型科技系统革命性地提高了效率, 但却没有让我们朝着减少资源消耗的方向上行进。事实上, 人均资源消耗量反而呈增长趋势。这些先进系统虽然提供了无可比拟的便利性, 却造成了环境破坏和资源消耗恶性循环: 一个领域的资源消耗增长刺激了其他相关领域, 从而造成了足以毁灭自然物质供给基础的消耗量。廉价便利的能源供给促进了交通运输的扩张, 增强了地域化, 进而增加了交通规模和能源消耗。

有学者对我国的能源消费量与城市人口的关系进行了分析研究,研究表明城市化水平每提高1%,城市居民将增加3800万吨标准煤的能源需求^[4]。随着我国城市化率的不断增加,人们生活水平的不断提高,及城市发展过程中的其他相关因素,这种需求还将有上升的趋势,我国的能源供应将会出现严重的缺口。城市和城市生活方式的无限扩张和传播将带来显著的风险,那就是资源消耗的无止境增长和环境负荷远远超出大自然的负荷能力。因而我们需要的是一个友善的、人性化的生态可持续城市。可持续发展是一个过程,或者说是一个减少资源使用和减轻环境负荷的复杂过程。但是,只表明方向是不够的,改变必须足够大,才能实现长期地不超过自然负荷。

1.1.3 西安国际化大都市建设的生态需求

城市发展最初的模式是人和自然的和谐共生,但随着城市规模的不断扩大,城市从环境中摄取的越来越多,这种共生的关系就被破坏了,致使城市及其周围环境恶化、资源枯竭,自然生态系统退化。近年来人们开始关注自身生存的环境,开始研究生态城市的建设,研究城市发展与生态环境的关系,试图寻求城市规划的生态化途径。城市规划理论发展亟须生态思想的介入,解决城市问题亟须生态学思想的指导。认识和研究城市生态问题,掌握城市生态系统的运作规律,探索适宜生态原则的城市空间发展和布局模式,建设一个符合人类理想,满足人类自身发展的高效、和谐、持续的城市,已成为摆在我们面前一项十分必要和迫切的课题。

自从国务院批复赋予西安一个国际化大都市的全新定位以来,西安一直在努力构建生态的空间格局。未来西安依托交通区位、科研教育等资源禀赋,塑造以大渭河、大秦岭、“八水绕长安”(八水:渭河、泾河、沔河、涝河、泾河、泾河、泾河、泾河)为特色的生态格局,把西安塑造成一座人文资源与生态资源相互依托的和谐之都。但目前西安城市道路交通问题严重,土地利用不合理,城市中的自然生态环境空间不足等问题严重阻碍着西安未来的发展。如何打造城市自然生态环境,实现城市“低消耗、高利用、低排放”,如何实现城市物能代谢的生态化利用、达到物质和能源的高效利用,实现人与环境的和谐共生是摆在我们面前的亟须解决的问题。在这个过程中需要我们对西安市整体的物质流动和能量流动进行深入研究,需要我们研究西安如何实现对物质和能量的生态化利用,以及从城市规划的角度来分析如何实现城市功能布局的合理、生态绿地的高效和资源的综合利用。

1.2 问题的提出及选题的意义

1.2.1 问题的提出

王如松^[5]认为,城市红色的热岛效应、绿色的水华效应、灰色的灰霾效应、黄色的沙尘效应以及郊区白色的秃斑效应——城市环境“五色效应”的生态学实质是城市生态代谢的失衡、生态系统的无序和生态管理的失调。城市发展的过程不只是保护生物或防治污染,生态城市建设追求的是城市物、事、人、境之间在时间、空间、数量、结构与秩序关系上的高效和谐。

人们消费的几乎所有生物性资源、能源以及矿产资源都来源于人们生存的空间,社会代谢所产生的废弃物也靠城市空间来容纳和由生长在其上的生物来降解、吸收。物质流是生态系统中物质运动和转化的动态过程,物质流分析将使研究对象的来龙去脉更加明了清晰,更加容易找出问题的关键所在,使复杂的问题简单化、直观化。能量流动和物质循环

维持着生命的存在和繁衍,没有能量就不存在运动,没有物质就不存在系统。能量流动和物质循环是生态系统的基本功能,是系统功能、结构的综合反映。

城市系统的新陈代谢的思想最初是源于生物学的新陈代谢,经济系统或者是城市系统也就像在一个活的生物体中发生的能源的生物化学过程一样。城市新陈代谢理论将城市模拟为一个能从自然汲取食物与养分并向自然排放废弃物的有机体^[6]。

城市在新陈代谢的过程中进行着物质、能量的流入与流出,它是城市生长、繁荣的必要条件,当这种流入与流出接近相等,也就是维持了城市生态系统的循环平衡。然而城市中出现了三种不良的生态环境效应,物质流的改变、能量流的改变和生态平衡的破坏,城市中出现的水资源枯竭、工业生产中原材料的短缺都是物能代谢失衡的结果。生态平衡的关键在于:一方面使物质和能量的输入输出接近相等,另一方面将外来干扰限定在一定范围内,使得生态系统能通过自我调节(或人为控制)恢复到原初的稳定状态。

1.2.2 研究的意义

(1) 理论意义

当前国内外提出的生态城市建设大多都是从实践入手的,但目前城市化过程中出现的环境问题更主要的原因是城市物能代谢的失衡、城市中物质和能量流动的不通畅所引起的。本研究是从城市物能代谢入手,深刻分析城市代谢的过程和机理,寻求城市物质和能量流动的生态化途径,以解决我国城市发展及城市化过程中所面临的资源、污染、环境和生态的各种问题。通过分析自然生态系统的代谢规律与模式,研究城市生态系统代谢的过程,物质循环利用的模式与能量流动的规律,建立完备的城市物能代谢机制,改善城市发展过程中的不良环境行为,实现城市与自然的和谐共生永续发展。

物能代谢的城市生态系统建设研究是城市生态化建设的一种理论补充,当前城市规划亟需生态化思想的介入。生态空间研究是协调城市与自然生态系统的关系,在此过程中进行必要的重构自然生态过程和健全城市自然景观生态系统,为在城市生活的人们提供更多的接近自然的机会,为生物提供更多的栖息地,保护城市生态系统中的物种,以便它们繁衍生息。这一研究为城市总体规划提供理论依据,为城市发展提供生态化的解决方案。

(2) 实践意义

目前我国大多数城市进行着快速城市化的发展,在这个发展过程中,不可避免地出现了城市发展与生态环境变化的冲突。针对这一现状,本研究站在城市生态平衡和城市可持续发展的学术高度,探讨城市生态化发展模式,避免城市片面追求经济效益,导致生态环境失衡、恶化。希望能依此研究成果为当前我国城市化进程中的大多数城市规划设计提供一种参考。

西安位于一个生态多样性的地区,该地区是涵盖了众多繁杂的生物群落的栖息地,对这些自然因素持续性发展的考虑都可纳入到城市生态化设计中,而城市物质流和能量流的深入研究将为西安提供一个很好的基线来评估整体环境的影响和效率,并为其国际化大都市的生态化发展指明道路。

1.3 研究内容

1.3.1 基本概念

(1) 物质流

生态系统中物质运动和转化的动态过程。它是由构成生物体以及一切非生命体的各种必要物质，如氮、磷、钾、碳、硫、水和各种微量营养元素，不断循环、传递和转化的动态过程。

(2) 能量流

能源从生产、运输直到被消耗后产生废气废渣等的一系列过程。

(3) 能源

《能源百科全书》指出：“能源是可以直接或经转换提供人类所需的光热动力等任一形式能量的载能体资源。”^① 本书中的能源是指人类取得能量的来源，包括已开采出来可供使用的自然资源与经过加工或转换的能量来源。对于尚未开发出的能量资源只能称资源，而不能列入“能源”这一范畴。

能源可做如下分类：根据能源是否经过加工或转换可分为一次能源与二次能源，如图 1-2。按照能源的使用状况可分为常规能源与新能源。按照能源是否可以不断再生并有规律地得到补充可分为可再生能源与非再生能源。

(4) 物能代谢

城市生态代谢管理需要揭示城市人类活动中物质流、能量流的数量与质量规模，展示构成工业活动全部物质（不仅仅是能量）的流动与储存，需要建立物质结算表，估算物质流动与储存的数量，描绘其行进的路线和复杂的动力学机制；同时，也要指出它们的物理、化学或生物富集形态（一般通过生命周期评价和投入产出分析来测度）^[8]。

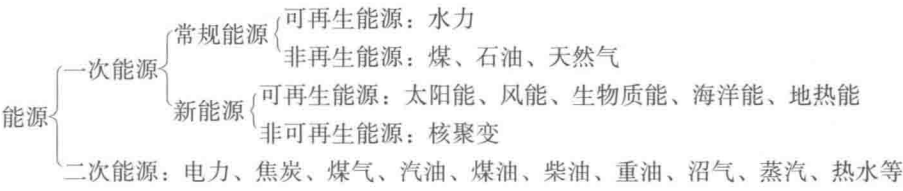


图 1-2 能源分类^[7]

1.3.2 主要内容

本书为国家自然科学基金青年基金资助项目《基于城市物质代谢视角的生态城市建设研究》（项目编号：51208423）以及陕西省社会科学界重大理论和现实问题研究项目《建设西安国际化大都市的生态城市建设研究》（项目编号：2011C0573）的阶段性研究成果，主要内容包括以下几个方面：

(1) 城市物质流能量流（MEFA）分析研究。①根据国家和区域层面物质流的相关内容，梳理和总结城市物质流需求分析的理论方法；②根据能量流的相关内容，梳理和总结城市能量流分析的理论方法；③根据以上研究方法，研究西安市物质流、能量流的流动状态，以及这种状态对城市发展所产生的影响，通过优化流的运动，实现流的通畅，为后续城市生态化建设研究做基础分析工作。

(2) 城市物质生态化、能量生态化分析研究。①在物质流研究的基础上研究城市物质流生态化评价方法及城市物质生态化分析；②在能量流研究的基础上研究城市能量生态化评价方法及进行城市能量生态化分析；③根据以上研究方法，研究西安市物质生态化、能量生态化，以及这种状态对城市发展所产生的影响，为后续城市生态化建设研究做基础研究工作。

① 资料来源：沈清基，可再生能源与城市可持续发展，城市规划，2006 年，第 30 卷，第 7 期

(3) 基于城市物能代谢的城市空间生态化研究。在分析和梳理国内外生态城市建设空间形式,得出城市空间的几何形式及其与自然系统的运作之间的关系之后,本研究力求找到每一种空间的生态效应,将物质流能量流与空间相结合,极小化物质消耗的同时提高生态效率,提出城市空间结构模式,城市交通系统模式,土地利用模式,绿地、建筑、产业、废弃物等循环模式。

1.4 研究思路、方法和技术框架

1.4.1 研究思路

本书主要研究城市物质流、能量流的流动机理,西安城市发展过程中的物质流、能量流的动态变化,通过微观的数据分析建立与生态城市的联系,研究城市生态化建设的方法与对策等问题。研究的技术路线(如图 1-3 所示)遵循从理论研究到应用研究的逻辑步骤。

第一步,根据国家和区域层面的物质流和物能代谢的相关内容,梳理和总结城市物质流需求分析的理论基础;第二步,在城市物质流基本理论认识的基础上,从西安市的实际出发,分析西安市近 10 年来物质流动的状态,以及这种状态对城市发展所产生的影响,为后续城市生态化建设研究做基础分析工作;第三步,根据能流代谢和能流图的相关内容,梳理和总结城市能量流分析的理论基础;第四步,在城市能量流基本理论认识的基础上,从西安市的实际出发,分析西安市近 10 年来能量物质流动的状态,并绘制西安市 2011 年能量流动图,从能流图中分析西安市能量流动及消耗的动态过程,以及研究这种状态对城市发展所产生的影响,为后续城市生态化建设研究做铺垫工作;第五步,在物质流分析的基础上进行物质生态化研究;在能流图分析的基础上进行能量生态化研究;第六步,在上述物质流、能量流分析的基础上,寻求生态城市建设的理论框架,找出适合西安市城市生态化建设的意见和对策。

1.4.2 研究方法

(1) 多学科理论。本书研究的理论方法以生态学理论和生态环境经济学理论为核心,辅以城市规划理论、GIS、生态产业学、经济学、管理学和社会学等多学科的综合运用。运用马克思主义的自然辩证观、历史与现实相结合、规范分析与实证分析、批判与建构相结合的研究方法,定性、定量分析中进行西安城市生态化建设模式研究。

(2) 文献分析与总结。利用外文期刊全文数据库、中文期刊全文数据库、各种统计年鉴以及其他文献库,收集整理国内外物能代谢、物能代谢生态化等相关研究成果,进行分类总结,以资本研究参考借鉴。

(3) 城市系统分析法。将改进的层次分析法应用于城市系统进行分析研究。城市是一个复合生态系统,具有一般系统的特点和功能,因而利用城市物质流、能量流理论及其方法来创建城市复合生态系统思想来指导具体的城市规划与建设实践。

(4) 规划与理论结合的方法。以城市与自然生态系统和谐发展为基础,从理论中概括出城市空间的最生态的发展模式,指导各层面的城市规划,实现城市规划的规范化和科学化。

(5) 实证法。以西安市为案例,为西安市未来城市总体布局的优化提供方案。在于规划设计单位调研学习及实地踏勘,充分认识西安市城市规划的基础上,进行综合、归纳、分析,提出适合西安生态城市建设的发展模式。

1.4.3 研究框架

本书将文献调研、模型模拟、理论假设和实证分析等方法相结合,利用中国城市统计年鉴、中国环境统计年鉴、中国能源统计年鉴、陕西统计年鉴和西安统计年鉴等资料的数据,运用西安市四轮总规资料,研究西安市物质、能量流动状况,及物质生态化、能量生态化方法,描绘其行进的路线和复杂的动力学机制;从城市规划出发,以结构和布局优化实现流的通畅。

本书各研究内容的关系和框架如图 1-3,本研究遵循从理论研究到应用研究的逻辑步骤。

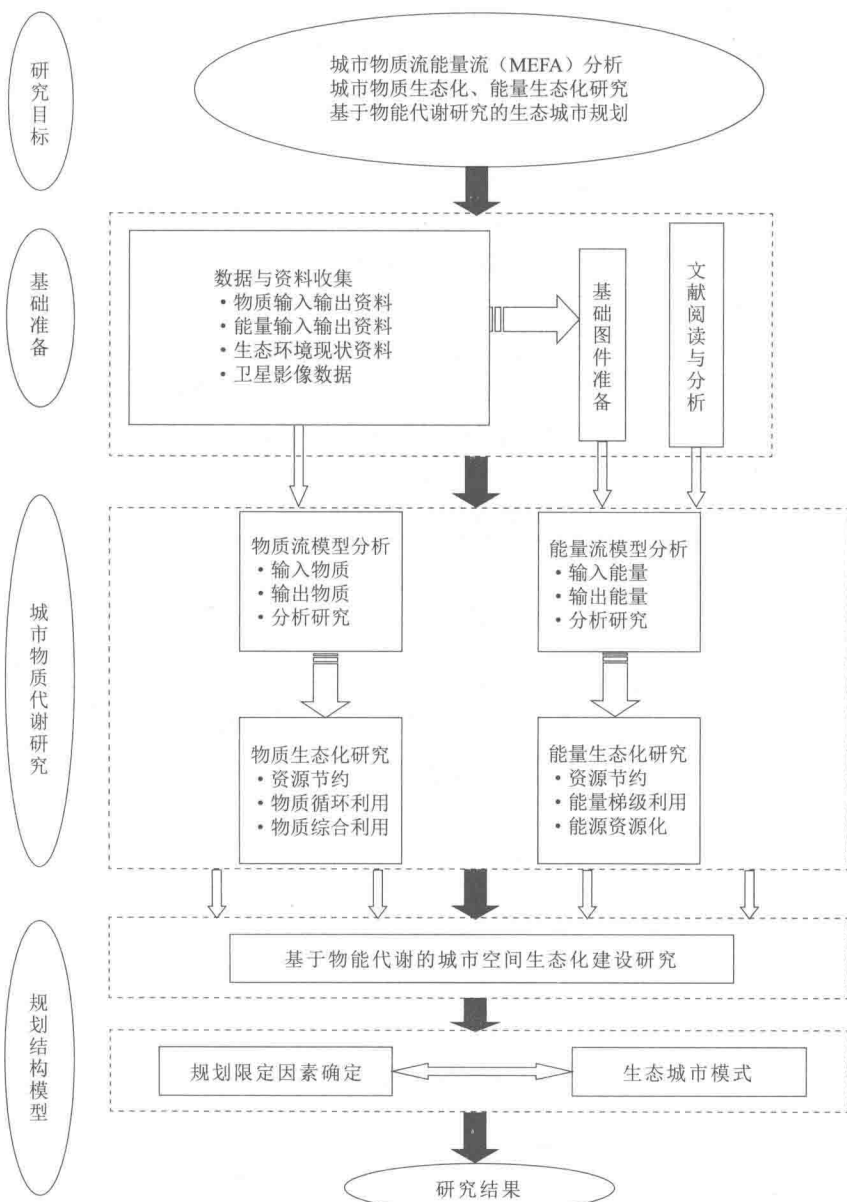


图 1-3 本书研究框架

第二章 国内外研究现状与分析

2.1 国外城市物能代谢研究进展

国外城市物能代谢研究起步较早，研究历经近 50 年的历程，涉及区域研究、城市研究、物质研究等方面，1965 年提出了城市物质代谢的概念，在 20 世纪 70 年代兴起对城市新陈代谢的研究，在 20 世纪 80 年代这方面的研究非常少，之后 20 世纪 90 年代再度兴起关于城市代谢的研究。在此将其分为四个研究阶段：

2.1.1 萌芽阶段

最早提出生命是代谢现象的是在 1857 年由 Jarob Moleshottdde 提出。最早提出城市的物质代谢概念的是在 1965 年由 Wolman 提出的^[9]，他将城市环境看成是一个生态系统并观测它的“物质代谢”活动，以水、食物、燃料的使用和污水排放率、废弃物和大气污染物质数据，计算出美国一个假设为 100 万人口的城市的每人平均物质流入和流出量。他的这项研究忽略有些物质的输入，如电力、基础设施和其他一些持久耐用品的统计，这些物质是区域广度的研究城市代谢的内容。从这项研究开始，越来越多的项目开始研究城市物能代谢，表 2-1 中列出了国外相关城市物能代谢研究的进展，主要的研究集中在对城市物质的定量分析上。

国外城市物能代谢研究历程 表 2-1

发展阶段	作 者	年份	研究 案例	研究的内容与贡献	代表性事件	成果与特点
启蒙 阶段	Wolman ^[9]	1965	美国	主要分析了城市供水、水质污染、空气污染三种代谢问题	首次提出了城市物质代谢的概念	发现了城市代谢的机理
发展 阶段	Zucchetto ^[16]	1975	迈阿密	利用 Odum 的能值分析方法研究了迈阿密的能源流动及能源和经济的关系	提出了化石燃料能源是度量区域中人与自然关系的简单指数；通过能源向不同区域流动的情况可建立人口迁移模型	提出了人和自然系统中自然流及能量流的量化和理论性结论
	Hanya 和 Ambe ^[10]	1976	东京	东京城市的物质代谢		
	Stanhill ^[17]	1977	巴黎玛黑区	利用 Odum 的能值分析方法分析巴黎玛黑区（农业生态系统）的能量流和物质流	巴黎玛黑区交通系统中废弃物的高效生物循环与现在城市生态系统的对比研究	将代谢应用于农业生态系统中
	Duvigneaud 和 Denayer-De Smet ^[11]	1977	布鲁塞尔	天然的能源平衡		能源流动平衡研究