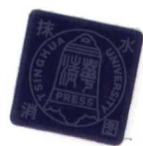




张丙印 倪广恒 编著

城市水环境工程



清华大学出版社

城市水环境工程

张丙印 倪广恒 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者根据水利学科的发展趋势以及对知识结构组成的最新要求,并在总结了近年来课程教学实践经验的基础上编写而成。全书以我国城市水环境问题为主线,介绍以水资源、水污染、水环境和水生态等水问题为核心的满足可持续发展原则的城市水利工程的设计原则和方法。本书内容主要包括:中国城市水环境问题,环境微生物学基础,现代城市生活垃圾填埋场设计,城市水环境污染控制与修复工程,河道水域的生态环境功能,河道水域生态环境的保全和恢复等。

本书较全面地介绍了城市水环境保护和生态恢复等方面的知识,内容新颖,可作为高等院校水利和土木工程等有关专业本科生或专业培训的教材,也是从事相关领域工作的广大工程技术人员和科技人员较好的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

城市水环境工程/张丙印,倪广恒编著. —北京:清华大学出版社,2005.9

ISBN 7-302-11671-7

I.城… II.①张…②倪… III.城市环境:水环境—环境工程—研究 IV.X321

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第096785号

出版者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社总机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:刘建龙

文稿编辑:宣颖

印刷者:北京市清华园胶印厂

装订者:三河市新茂装订有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:20.25 字数:481千字

版 次:2005年9月第1版 2005年9月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-11671-7/X·73

印 数:1~4000

定 价:26.00元

前 言

水环境是城市环境的重要组成部分。随着我国人民生活水平的迅速提高、城市化进程的加快以及民众环保意识的增强和对环境质量要求的提高，人们对水环境质量的要求也越来越高。传统的以工程结构为核心的水利工程的设计思想和方法，在新的世纪正在遭受日益强烈的质疑和挑战。融入环境和生态保护的思想，满足可持续发展原则，以解决水资源、水污染、水环境和水生态等水问题为核心内容的新的城市水利工程的设计思想正在形成。这些对学生和正在从事相关领域工作的广大工程技术人员和科技人员的知识结构提出了新的要求。根据水利工程学科的这一发展趋势，作者自国外学习归来后，于2000年在清华大学水利水电工程系为本科生开设了《城市水环境工程》这一新课程，并编写了供该课程使用的讲义。该课程由于内容新颖，符合学科的发展趋势，受到了学生的普遍欢迎。本教材是在原讲义的基础上并结合近年来课程教学的实践经验编写而成。

本书内容以我国城市水环境问题为主线，较全面地介绍了有关城市水环境保护和生态恢复等方面的内容，介绍了以水资源、水污染、水环境和水生态等水问题为核心的满足可持续发展原则的城市水利工程的设计思想和相关基础知识。主要内容包括：中国城市水环境问题，环境微生物学基础，现代城市生活垃圾填埋场设计，城市水环境污染控制与修复工程，河道水域的生态环境功能，河道水域生态环境的保全和恢复等内容。

本书由张丙印和倪广恒共同编写，其中，张丙印负责编写第1章至第4章，倪广恒负责编写第5章和第6章。

清华大学水利水电工程系的王光伦教授和才君眉教授等在《城市水环境工程》课程的开设、讲义以及本书的编写过程中给予了具体的指导和帮助，胡黎明副教授审阅了部分书稿，在此向他们表示深深的谢意。作者的研究生李全明、高辉等参加了本书的校稿和绘图等工作，在此一并致谢。

由于编者的水平和时间有限，本教材可能存在疏漏和不足之处，真诚希望有关专家及老师和同学们指正。

张丙印 倪广恒
于清华大学

目 录

第 1 章 城市生态与水环境系统.....	1
1.1 城市及城市生态系统.....	1
1.1.1 城市及城市化过程.....	1
1.1.2 城市生态系统.....	2
1.1.3 城市的发展模式与环境问题.....	8
1.2 城市水环境系统.....	11
1.2.1 水的结构和性质.....	11
1.2.2 水圈、水循环和水资源.....	15
1.2.3 城市水环境系统的构成.....	19
1.2.4 城市水环境系统的功能.....	20
1.3 中国城市水环境问题.....	23
1.3.1 我国水资源的特点.....	23
1.3.2 我国城市水环境问题.....	24
第 2 章 环境微生物学基础.....	30
2.1 微生物学及发展简史.....	30
2.1.1 微生物和我们.....	30
2.1.2 微生物的特点.....	31
2.1.3 微生物学的发展简史.....	32
2.2 微生物的分类、形态和结构.....	34
2.2.1 微生物的分类.....	34
2.2.2 原核微生物的结构及形态.....	36
2.2.3 真核微生物的结构及形态.....	43
2.2.4 非细胞生物——病毒.....	52
2.3 微生物生理学.....	54
2.3.1 微生物的代谢.....	54
2.3.2 微生物的酶.....	55
2.3.3 微生物的能量.....	57
2.3.4 微生物的呼吸.....	58
2.4 微生物的生长.....	64
2.4.1 微生物的生长过程.....	64
2.4.2 微生物的营养类型.....	65

2.4.3	微生物的生长曲线.....	66
2.5	微生物的生态.....	68
2.5.1	生态系统与微生物.....	68
2.5.2	微生物生态系统.....	71
2.5.3	土壤中的微生物及生态.....	72
2.5.4	水体中的微生物及生态.....	75
2.5.5	污染水体微生物生态.....	77
第3章	现代城市生活垃圾填埋场设计.....	81
3.1	固体垃圾及其处理方法.....	81
3.1.1	固体垃圾及其对环境的影响.....	81
3.1.2	城市生活垃圾的主要特征.....	85
3.1.3	固体垃圾处理基本方法.....	87
3.1.4	我国垃圾处理所面临的严峻形势及对策.....	94
3.2	城市生活垃圾填埋场的选址.....	95
3.2.1	填埋场的分类.....	95
3.2.2	填埋场污染物的多重阻隔系统.....	96
3.2.3	填埋场选址.....	97
3.3	垃圾填埋场的总体布置规划.....	101
3.3.1	确定填埋体的构造及填埋方式.....	102
3.3.2	确定填埋场容量.....	104
3.3.3	地表水排水设施和环境监测设施.....	104
3.3.4	场区环境与场地基础设施.....	104
3.4	垃圾填埋场污染物阻隔系统设计.....	104
3.4.1	基础阻隔系统.....	105
3.4.2	垂直阻隔系统.....	112
3.4.3	表面阻隔系统.....	116
3.4.4	国外填埋场表面密封系统简介.....	120
3.5	垃圾填埋场渗滤液收集系统设计.....	121
3.5.1	填埋场渗滤液组成及特征.....	121
3.5.2	渗滤液的来源及控制.....	123
3.5.3	渗滤液收排系统设计.....	125
3.5.4	渗滤液处理.....	129
3.6	垃圾填埋场气体收集系统设计.....	130
3.6.1	填埋场气体的组成特征及其危害.....	130
3.6.2	填埋场气体的产生过程.....	131
3.6.3	填埋场气体的控制系统.....	133
3.7	填埋场的施工与垃圾填埋.....	141
3.7.1	填埋场的场地准备.....	141

3.7.2	填埋场基础阻隔层的修建.....	141
3.7.3	垃圾体的填埋.....	145
3.7.4	填埋场的封闭和复用.....	147
3.8	填埋场及周围环境监测与评价.....	148
3.8.1	填埋场监测.....	148
3.8.2	地下水监测.....	150
3.8.3	气体监测.....	151
第4章	城市水环境污染控制与修复工程.....	154
4.1	城市污水的性质.....	154
4.1.1	水污染及其危害.....	154
4.1.2	点污染源和面污染源.....	157
4.1.3	水体的功能划分与保护标准.....	160
4.1.4	水质指标.....	161
4.2	城市污水的收排及处理系统概述.....	166
4.2.1	城市污水收排系统的体制.....	166
4.2.2	城市污水的重复利用——中水系统.....	168
4.2.3	城市污水处理的基本方法.....	170
4.3	城市污水的物理处理.....	173
4.3.1	格栅和筛网.....	173
4.3.2	沉淀.....	175
4.4	城市污水的好氧生物处理.....	178
4.4.1	活性污泥法.....	179
4.4.2	生物膜法.....	189
4.5	城市污水的厌氧生物处理.....	197
4.5.1	厌氧生物处理的基本原理.....	198
4.5.2	污水厌氧生物处理工艺.....	201
4.6	生物脱氮与除磷.....	205
4.6.1	生物脱氮工艺.....	205
4.6.2	生物除磷工艺.....	208
4.7	污水处理生态工程.....	210
4.7.1	概述.....	210
4.7.2	塘处理系统.....	211
4.7.3	污水土地处理系统.....	220
4.7.4	人工湿地处理系统.....	222
4.8	污染环境修复工程.....	227
4.8.1	概述.....	227
4.8.2	污染河流的生物修复.....	228
4.8.3	污染湖泊的生物修复.....	231

第 5 章 河道水域的生态环境功能	244
5.1 基本概念.....	244
5.2 自然河道的形态、特性与功能.....	246
5.2.1 河道的形态.....	246
5.2.2 河流的生态环境要素.....	249
5.2.3 河流生态系统的结构.....	253
5.2.4 河流生态系统的功能.....	254
5.3 干扰河道水域生态环境的因素.....	257
5.3.1 自然界的干扰.....	257
5.3.2 人类活动的干扰.....	258
5.4 河道水域生态环境的评价.....	264
5.4.1 河道水域生态环境调查.....	264
5.4.2 河道水域生态环境评价方法.....	270
5.5 湿地生态系统及其环境功能.....	277
5.5.1 湿地的定义.....	277
5.5.2 湿地的分类.....	278
5.5.3 湿地的功能.....	282
5.5.4 湿地鉴定标准与中国湿地资源.....	283
5.5.5 湿地面临的生态环境问题及保护措施.....	287
第 6 章 河道水域生态环境的保护和恢复	290
6.1 河道水域生态环境保护 and 恢复概述.....	290
6.1.1 河流生态环境恢复的概念和内容.....	290
6.1.2 河流生态恢复的原则.....	291
6.1.3 河流生态恢复的一般程序.....	291
6.2 河道水域生态环境保护 and 恢复的内容与方法.....	292
6.2.1 河流生态群落的恢复.....	292
6.2.2 河流滨岸带的生态恢复.....	294
6.2.3 河流生态恢复的监测和指标体系.....	297
6.3 城市河流的景观设计.....	297
6.3.1 城市河流及其功能.....	297
6.3.2 城市河流景观的形成.....	299
参考文献	311

第1章 城市生态与水环境系统

本章主要介绍城市的概念,城市生态系统的组成、特点、功能以及城市发展模式和面临的环境问题等;阐述了水的特性,城市水环境系统的构成和功能;还介绍了我国水资源的特点和我国城市存在的主要水环境问题。

1.1 城市及城市生态系统

1.1.1 城市及城市化过程

城市起源于“城”和“市”的结合。“城者,所以自守也”,“筑城以卫君,造廓以守民”,以军事和安全防御为目的而筑造的城堡或者圈围起来的城垣,便是早期的“城”。“日中为市,致天下之民,聚天下之货,交易而退,各得其所”,古时候人们群聚进行物品交易的场所即称之为“市”(肆)。“市”进入“城”,“城”中有“市”,于是形成了城市。世界上迄今发现的最早的城垣距今有8000年的历史。我国城市的形成大概在春秋战国时期,那时出现了集中的工商业区——市。战国时期的《周礼·考工记》明确规定:“匠人营国,方九里,旁三门,國中九经九纬,经涂九轨,左祖右社,面朝后市,市朝一夫。”这就对城市的营造进行了规范。后代的许多城市,从西汉的长安开始,或多或少都符合《周礼·考工记》的这个规则,如十二城门、左祖右社、面朝后市等。应该说,这大约就是我国最早对城市的定义了。当然,随着历史的推移和社会经济、科学技术的发展,现代城市在时间、空间和功能上都发生了巨大的变化,其概念早已超出了“城”和“市”的范畴,也不是古代人所认识的城市的涵义了。

现代城市给人最直观的印象是它那鳞次栉比的高楼、川流不息的汽车、四通八达的道路,绚丽夺目的夜景、琳琅满目的商品、摩肩接踵的人流、源源不断的物质流动、各式各样的工厂和企业、方便周到的服务设施、便利的通信系统和游人如织的园林绿地等。这些是城市区别于乡村的表面特征,是城市外在的表现形式。除此之外,现代城市更具有它有别于乡村的深层次的内在抽象特征,主要反映在以下三个方面:

(1) 聚集性 马克思和恩格斯指出:“城市本身表明了人口、生产工具、资本、享乐和需求的集中;而在乡村里所看到的却是完全相反的情况:孤立与分散。”城市首先是大量人口的集聚。拥有大规模、高密度的居住人口是城市最重要的特征,这也是划分城市规模的依据。此外,现代城市集聚了大量的建筑物、构筑物、道路桥梁和公共服务设施,还聚集了大量的产品、商品、信息以及废弃物等。聚集,是城市的明显特征。

(2) 多功能性 城市是商品经济发展的产物,其功能是多方面的。它不仅是工业发展

基地,而且还往往是贸易中心、金融中心、交通枢纽和信息中心,有些还是政治中心、科学教育中心或风景旅游中心。城市的多功能性,来源于城市的自补性、开放性和互补性,来源于城市在城乡经济、社会发展中的中心地位和作用。

(3) 高效性 城市是先进生产力的空间凝聚形式,它集聚了先进的生产力诸要素,如大量的产业工人和科技人员、先进的劳动工具和信息、各种新颖的材料和技术手段等。上述各种要素在城市中的凝聚和有机结合,还会产生集聚效益,从而大幅度提高城市的生产效益、经济效益和商品流通效益。高效能、高速度、快节奏是城市发展的必然结果。

从以上分析可以看出,集聚是城市最本源和最主要的特征。集聚效益的结果使城市成为一个社会相对发达的地区。因而,一个国家的城市化进程通常同其发展水平相联系。

城市化是以农村人口向城市迁移和集中为特征的一种历史过程,表现在人的地理位置的转移和职业的改变以及由此引起的生产和生活方式的演变。在近代,随着各国工业化程度的加快,非农业经济活动的比例逐步上升,世界城市化的速度也大大加快。根据联合国的统计,从1950年~1995年,发达国家的城市居民人口增长了37%左右;在发展中国家,城市居民的人数增加了1倍以上。现在,全世界人口超过100万的大城市已达325座,超过1000万的超级大城市有20座。预计到2006年,世界人口的1/2,即32亿将是城市居民。

城市化在让人类享受物质文明的同时,也使人类受到“城市病”的困扰,全球城市化的迅猛发展更加重了“城市病”的流行,也使人类深受其害。据调查统计,虽然城市面积只占陆地面积的2%,但是排放出的二氧化碳却占总排放量的78%。城市人口消耗了工业木材总使用量的76%、生活用水总量的60%。目前世界城市人口的2/3以上居住在发展中国家,其中的贫困人口约15亿,至少有6亿人没有足够的住房,11亿人呼吸不到新鲜的空气,仅因饮用水不洁每年就会造成1000万人死亡。此外,日益恶化的基础设施和交通拥挤、污染严重、资源浪费、疾病、失业、犯罪、城市治理资金匮乏以及管理者决策水平低下等问题,不仅威胁着城市的发展潜力,而且还威胁着社会的稳定。

随着改革开放和经济的快速发展,我国已经迎来了快速城市化的新时期。据统计到1998年底,我国设市城市已发展到668个,其中,超过100万人口的特大城市37个,50万~100万人口的大城市49个,中等城市204个,小城市378个,建制镇18800个。全国城镇人口36935万,城市化水平达到30.4%。据估算,未来10年,我国将有1.5亿至2亿农村人口转移进城市。到2020年,我国的城市化水平将达到50%。

统计显示,目前我国国民收入的50%、工业产值的70%、工业利税的80%都产生于城市;90%以上的科技力量和高等教育院校集中在城市,高科技产业、通信、交通、金融、信息等也均以城市为主要载体。城市已经名副其实地成为国家政治、经济、文化科技和对外交流的中心。根据国际城市化进程的历史经验,当一个国家城市化水平达到30%时,也是这个国家加速城市化的时期。经过50年的发展,1998年我国城市化水平已达到30.4%,正好处在30%这一加速点上,随着城市化进程的加快,城市在我国国民经济的发展中将进一步起到主导作用,成为经济发展的主要动力。

1.1.2 城市生态系统

城市是一个在稳定地域内的人口、资源、环境(包括自然环境和社会环境)通过各种相

生相克关系建立起来的人类聚居地。从生态角度来看,城市是一个以人类生活和生产活动为中心,由居民和城市环境组成的自然、社会和经济的复合生态系统,或城市生态系统。城市的自然和物理组成是其赖以生存的基础;城市各部门的经济活动和代谢过程是城市生存发展的活力和命脉;而人的社会行为和文化理念则是城市演变和进化的动力。

城市生态系统占有一定的环境地段,有其特有的生物和非生物组成要素,还包括人类和社会经济要素。这些要素通过物质—能量代谢、生物地球化学循环以及物质供应和废物处理系统,形成一个有内在联系的整体。研究城市生态系统,就是从生态学的角度研究城市居民的心理和生理活动与城市环境的关系。在了解城市生态系统的结构、功能与特征后,应当按照城市生态系统的调控原则,保持城市各方面持续稳定的发展。

1. 城市生态系统的组成与结构

城市生态系统是一个多层次、多因素、多功能的随机动态的人工生态系统,是一个庞大复杂的复合生态体系。它包括许多子系统,可概括为自然生态系统、经济生态系统和社会生态系统3个亚系统,各子系统下面又分为不同层次的次级子系统。这些子系统之间按照一定的形态结构和营养结构组成了城市生态系统,如图1.1所示。

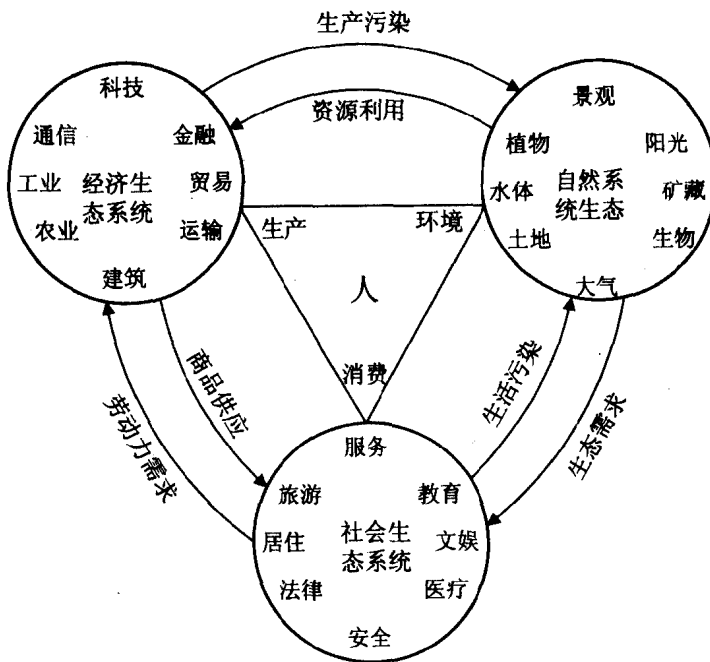


图 1.1 城市生态系统结构示意图

自然生态系统从自然环境的角度研究人类活动与城市的相互关系和影响。生态系统以环境问题为中心。它包括自然能源子系统(太阳能、风能、潮汐能……)、矿产子系统、水环境子系统(地表水、地下水、降雨)、大气—气候环境子系统、土地环境子系统、动植物子系统、景观绿化子系统等。自然生态系统是城市居民赖以生存的基本物质环境,它以生物和环境的协同共生及环境对城市活动的支持、容纳、缓冲及净化为特征。

经济生态系统以生产问题为中心,从经济发展的角度研究城市生态系统。它包括工业

生产子系统、农业生产子系统、交通运输子系统、邮电通讯—信息子系统、商业金融子系统、建筑子系统、人工能源子系统(电、煤、油)等。经济生态系统涉及生产、分配、流通和消费的各个环节,它以物资从分散向集中的高密度运转,能量从低质向高质的高强度集聚,信息从低序向高序的连续积累为特征。

社会生态系统从社会学的角度研究城市与人类活动的关系。社会生态系统以人口问题为中心,包括人口子系统(劳动力、就业、年龄结构、流动)、住宅子系统、防灾减灾子系统、公共安全子系统、文化教育子系统、医疗保健子系统、供应子系统、污染治理子系统、社会心理学子系统等。社会生态系统涉及城市居民及其物质生活和精神生活的诸方面,它以高密度的人口和高强度的生活消费为特征。社会生态系统是人类在自身活动中产生的,主要存在于人与人之间的关系上,存在于意识形态领域中。

上述3个亚系统是不可分割的。人的活动贯穿在整个生态系统的各个过程。从生态经济角度讲,整个系统又可归结为环境—生产(经济)—消费(社会)三者之间的链式结构(如图1.1所示)。其中,人是该链式结构的中心。

城市存在于一定的区域范围,占有一定的空间位置,并具有某种形态结构。从城市的构型上看,城市的外貌除了受自然地形、水体、气候等影响外,更要受城市形成的历史、文化、产业结构、民族、宗教,甚至受到人的兴趣等人为因素的影响。一般城市的总体构型有同心圆结构、棋盘结构、辐射型结构、卫星城结构及多中心镶嵌结构等。除城市构型外,城市的人口密度、功能分区和交通桥梁、道路等都是描述形态结构的因素。

从营养结构看,城市生态系统是以人类为中心的复合生态系统,系统中生产者—绿色植物的量很少,消费者主要是人,而不是其他动物,分解者微生物亦少。因此,城市生态系统不能维持自给自足的状态,需要从外界供给物质和能量,从而形成不同于自然生态系统的倒三角形营养结构(如图1.2所示)。

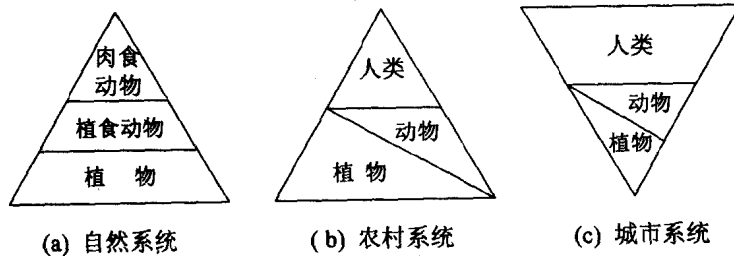


图 1.2 不同类型生态系统的营养结构

城市生态系统的营养物质—水、空气、食品等的加工、输入、传递过程都是人为因素在起主导作用。特别是在现代城市中,其生态系统的营养物质传递媒介主要是金融和货币。政治经济规律起着决定性作用,可以认为城市生态系统的营养结构主要是城市的经济结构,包括城市产业结构、能源结构、资源结构和交通结构。经济结构又决定着城市的人口结构(城市生态系统的主要生物结构)和城市的形态结构(城市生态系统的空间结构)。同时,经济结构又是制约城市环境状况的主要因素。所以,研究城市生态系统的中心问题是研究城市的经济结构,把握住这一中心环节,对于城市规划、管理以及城市的环境保护工作都是极为重要的。

2. 城市生态系统的特点

城市生态系统是一个结构复杂、功能多样、巨大而开放的复合人工生态系统，包括自然、社会和经济3方面。城市生态系统与自然生态系统相比，具有如下特点。

(1) 城市生态系统是以人为主体的生态系统 它是由人所控制的系统，政治、社会、心理、美学观点等个人行为因素对系统有很大的影响，其功能由社会、经济、政治、自然等综合因素而非单纯的自然环境因素所控制。人工生态系统可从其他自然生态系统获得资源，维持平衡。它的结构和变化速率也不同于自然生态系统，后者的平衡失调一般与基因变异、长期的气候或其他环境变化有关，前者则与社会和文化的变化有关。

(2) 城市生态系统是一个开放的系统 这是由系统的不完全性和寄生性所决定的。在城市生态系统中人口(消费者)密集，生产者和分解者不足，生态环节不健全，自然资源严重不足，必须依靠外界输入大量的食物和能源，才能维持高速运转的生长状态，是个典型的非独立生命系统。从外界输入城市生态系统的能量和物质，在系统内通过人类的生产和生活实现流通转化，逐级消耗，从而维持系统的功能稳定。而人类生产的产品和生活产生的大量废弃物，大多也不是在城市内部消化、消耗和分解的，而是必须输送到其他生态系统中去消化。这种与周围其他生态系统高速大量的能流和物流交换，主要靠人类活动来协调，使之趋于相对平衡，从而最大限度地完善城市生活环境，满足居民的需要。正是由于城市生态系统的这种非独立性和对其他生态系统的依赖性，使得城市生态系统显得特别脆弱，自我调节能力很低。

(3) 城市生态系统是人类的自我驯化系统 在城市生态系统中，人类一方面为自身创造了舒适的生活条件，满足自己在生存、享受和发展上的许多需要；另一方面又抑制了绿色植物和其他生物的生存和活动，污染了洁净的自然环境，反过来又影响了人类自身的生存和发展。人类驯化了其他生物，把野生生物限制在一定范围内，同时把自己也圈在人工化的城市里，使自己不断适应城市的环境和生活方式，这就是人类自身驯化的结果。

(4) 城市生态系统是多层次的复杂系统 仅以人为中心，即可将城市生态系统划分为3个层次的子系统：①生物人—自然环境系统，只考虑人的生物性活动，是人与其生存环境的气候、地形、食物、淡水、生活废弃物等构成的子系统。②工业—经济系统，只考虑人的生产和消费等经济活动，是由人与能源、原料、工业生产过程、交通运输、商品贸易、工业废弃物等构成的子系统。③文化—社会系统，只考虑人的社会活动和文化生活，是由人的社会组织、政治活动、文化、教育、康乐和服务等构成的子系统。以上各层次的子系统内部，都有自己的能量流、物质流和信息流，而各层次之间又相互联系，构成一个不可分割的整体。

3. 城市生态系统的功能

城市可以比作是一个高度组织的有机体，具有一切有机体的正常功能。例如，城市的各种网络设施犹如血液循环系统；每天输入城市的各种物质和能量好像就是生物的食物源和能源；城市生产产品和生活活动类似生物体的运动和做功；其他还有吸收和排泄等代谢功能以及政治的、社会的许多功能等。城市依靠许多系统完成这些功能，并进行有序的活动和有效的运转。城市生态系统是城市居民与城市环境构成的对立统一体，它和自然生态

系统一样,也具有进行物质循环、能量流动和信息交换的3项基本功能,都简称为“流”。

(1) 城市生态系统的能量流 为了推动城市生态系统的物质流动,必须从外部不断地转入能量,如煤、石油、电力、水和食物(生物燃料)等,并通过加工、储存、传输和使用等环节,使能量在城市生态系统中流动。一般来说,城市的能流随着物流的流动而逐渐转化和消耗,它是城市居民赖以生存、城市经济赖以发展的基础。城市生态系统的能量流动一般是由低质能量向高质能量的转化及消耗高质能量的过程,其中一部分能量被储存在产品中,而一部分损耗的所谓“废能”,则以热能、磁能、辐射能等形式耗散于环境中,成为城市的热、磁和光等污染的污染源。

(2) 城市生态系统的物质流 在城市生态系统里,物质运动同样必须遵守“物质不灭定律”。城市生态系统里的物质流动建立在城市新陈代谢基础之上,包括城市与城市外界大量的工业原料和农副产品的输入和工业产品与废弃物的输出两个方面。每个城市每天都要从外界转入大量的矿石、煤、油、粮食、淡水等。同时,向外界输出大量的产品、副产品、生活垃圾和工业废弃物等。香港每天物质流动量高达100万吨。所以,城市是地球表层物质在空间大量集聚的地域,其物质的流速依据不同城市的状况而变化。城市生态系统的物质流包括资源流、货物流、人口流、劳动力流和智力流等。

(3) 城市生态系统的信息流 信息流是对城市生态系统各种“流”的状态的加工、传递、控制和认识的过程。信息指消息,是对某一事物不确定性的度量,或者说是针对某事物知道和了解的程度。一个事物越复杂,其中所含的信息就越多。信息具有传递知识、传递情报、节省时间、提高效率等作用。城市中的任何运动都要产生一定的信息。如属于自然信息的水文、气候、地质、生物和环境等信息;属于经济信息的市场、金融、价格、新技术、人才、贸易等信息。城市具有完善的新闻传播网络系统,因而可以在广阔的范围内以高速度、大容量及时地传播信息。城市具有现代化的通信设施,能够以信息系统连接生产、交换、分配和消费的各个领域和环节,可高效地组织社会生产和生活。

城市的重要功能之一,就是输入分散、无序的信息,输出经过加工、集中、有序的信息。对于以政治、文化、科学、商业为中心的城市,这一功能尤其重要。城市的输出物中,除了物质产品和废物外,还有精神产品,这就要靠信息流来完成。信息流是附于物质流中的,报纸、广告、书刊、信件、照片等是信息的载体,电话、电视、通信、网络也是信息的载体,人的各种活动,如集会、交谈、讲演、表演等,也是在交流信息。信息的流量大小反映了城市的发展水平和现代化程度。信息流的高密度集中与高速度有序是现代城市的重要特征之一。

城市的功能就是将外界输入的物流、能流和信息流,经过系统内部的转化作用,最后以一定的方式输出,完成城市生产、生活和还原的三大功能(如图1.3所示)。因此,城市好像一个加工厂,合理地组织流动、提高加工转化效率、达到稳定运行是城市生态系统研究的目的。在图1.3中,自然界的输入以及其他与人口活动有关的输入进入城市,通过亚系统的作用表现为城市的质量以及相应的输出。三个亚系统的承受能力(容量)构成了城市资源,它决定了城市的发展潜力。

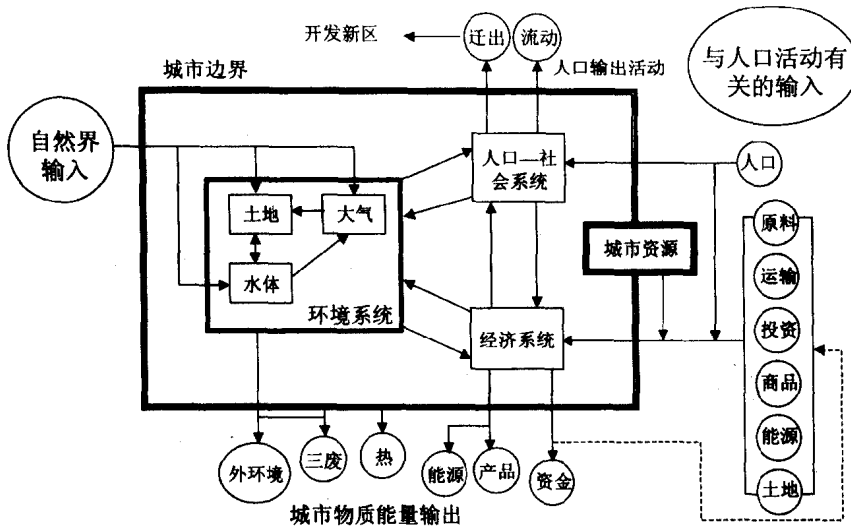


图 1.3 城市生态系统的运转模型

4. 城市生态系统的平衡与调控

城市生态系统的平衡，是指城市这一自然—经济复合生态系统在动态发展过程中，保持自身相对稳定有序的一种状态。从生态控制理论的观点来看，城市生态系统只有在其整体高度有序化时，才能趋于达到动平衡状态。此时，系统功能得以充分发挥，系统本身和其中各子系统均具有自我调节能力(即系统处于自组织状态)，并且可以通过少量“序参量”的调控，保持全系统的稳定运行，并表现为在城市中人类与自然环境间的相互协调，城市的各个组成部分的结构合理，系统的输入与输出均衡，城市经济的各个部门有计划按比例地发展，城市社会安定，人民安居乐业。可见，这种平衡是在人类有意识的调控下才能达到的一种动态平衡。

城市生态调控的目标有二：一是高效，即高的经济效益和发展速度；二是和谐，即和谐的社会关系和稳定性。经济高效与社会和谐是相辅相成的两个侧面，前者是正反馈过程，强调发展的速度；后者是负反馈过程，强调发展的稳定。二者既是矛盾的又是统一的。城市生态调控的目的，在于利用一切可以利用的机会，充分提高物质能量的利用效率，使系统风险最小，而综合效益最高，从而使社会、经济、环境得到协调发展。调控城市生态系统各种“生态流”时应遵循以下原则：

(1) 循环再生原则 注重物质的综合利用，开发生态工艺、建立生态工厂和废品处理厂等，把废物变成为能够被再次利用的资源。如再生纸、垃圾焚烧发电、污水经净化处理后再利用等。

(2) 协调共生原则 城市生态系统中的各子系统之间、各元素之间是互相联系、互相依存的，在调控中要保证它们的共生关系，达到综合平衡。共生可以节约能源、资源和运输，带来更多的效益。如采煤和火力电厂的配置、公共交通网的配置等。

(3) 持续自生原则 城市生态系统整体功能的发挥，只有在其子系统功能得以充分发挥时才能实现。子系统的自我调节和自我维持稳定机制，表现在当子系统处于生态阈值范

围内时,各子系统会尽可能地利用一切可以利用的力量和能量,为系统整体功能服务,而不是局部组织结构的增大。正是由于子系统间的相互作用和协调,城市整体才能形成具有一定功能的自组织结构,达到良性循环的状态。

按照生态学的理论,只要对城市生态系统的物质流、能量流和信息流进行适当调控,即通过输入负熵值,使系统总熵值降低,并保持这种负熵值的连续适量输入,就可以使城市生态系统达到高度有序化,并保持这种高度有序的动态平衡。

循环再生原则、协调共生原则和持续自生原则是生态控制论中最主要的原则,也是城市生态系统调控中所必须遵循的原则。

1.1.3 城市的发展模式与环境问题

纵观人类在地球上生存和发展的漫长历史,可以看出:人类、环境与发展三者之间,存在着密切且不可分割的相互关系,它们之间既相互依存,又相互作用。其相互作用既有正面效应,也有负面效应。

人类为了抵御自然灾害的威胁和危害,为了自身的生存和发展,充分发挥自己的聪明才智,通过辛勤劳动和发明创造,促进了工农业和城市建设的发展,使现代化和城市化成为当前的一个全球性过程。现代化的工业、农业、科学技术和文化教育以及日新月异的现代化城市建设是人类对发展作出的积极作用。但是,由于人类认知能力的限制以及人类社会内部的矛盾冲突等因素的影响,也会对发展产生不良影响。当人类的活动符合客观的自然规律时,它对环境和资源起到保护和改善的正面作用;当人类的活动不符合自然发展规律时,往往造成破坏和损害环境及资源的种种负面影响。

纵观发达国家的现代化发展过程,可以看到,对资源高消耗的生产体系和对生活资源高消费的生活体系构成了这些发达国家发展的基本特征。例如,据统计资料,人口数量仅占世界总数约4.9%的美国每年能源消耗量却占世界消耗总量的24.9%,高出世界平均水平4倍;另一个发达国家日本的人口占世界总人口的2.5%,能源消耗却占4.9%,高出平均水平1倍。这就是我们所说的传统的现代化发展模式,该模式的前提是丰富的资源条件,但许多国家并不具备这种条件。对于具有十分丰富的自然资源,而人口相对不多的国家(如美国),在短期内似乎可以采用这种发展模式,而很多国家并不具备这些条件。实践证明,传统的发展模式既不能使欠发达国家实现现代化的梦想,又不能使发达国家保持可持续发展。当代环境与资源的问题已经成为全人类可持续发展的制约因素。

我国在向现代化国家发展的道路上,受到种种因素的制约:①我国是个人口大国,1990年人口已超过11亿,预计在21世纪初的10~20年后将达14~15亿;②我国自然资源虽然总量巨大,居世界第7位,但人均自然资源占有量却相对匮乏,仅列世界第80位;③中国只能依靠自身的资源来发展,即使“外购”,其数量也极为有限。因此,我国只能根据国家的实际情况,在严格控制人口增长的同时,遵循资源低消耗的生产模式以及勤俭节约但高质量的生活消费模式。在过去的一段时间里,我国的经济发展十分迅猛,但这种发展仍然是维系在对资源高度消耗基础上的经济发展,因而在消耗了大量资源的同时,也造成了日益突出的环境问题。目前,我国以城市为中心的环境污染仍在继续,并逐步向农村蔓延,生态环境衰退的范围正在扩大,环境的脆弱性日益显露。主要表现在如下几个方面:

(1) 水环境污染严重 我国每年排放的废水总量约 365 亿 m^3 。其中,工业废水处理率虽达到 70%左右,但其中只有 30%左右处理设施的出水能达到排放标准;城市废水处理率不到 10%。如此大量的废水挟带着悬浮物、有机污染物、氮磷等营养性污染物、重金属、有毒有害污染物、难生物降解污染物等,排放到全国的各类江、河、湖、水库、海湾及近海海域,造成了严重的水环境污染。根据国家环保总局发布的《1996 年中国环境状况公报》,1996 年我国江河湖库的水域仍普遍受到不同程度的污染,除个别水系支流和部分内陆河流外,总体上仍呈加重趋势,78%的城市河段不适宜作饮用水的水源,50%的城市地下水受到污染,工业较发达城镇附近的水域污染严重。

(2) 大气污染十分突出 煤是我国的主要能源,约占能源总消耗量的 80%左右,因此我国大气污染基本呈煤烟型污染,而且在今后相当长的一段时期内这种状况仍会延续。据有关资料报道,20 世纪 90 年代初全国 SO_2 的排放总量每年约 1900~2000 万 t/a。全国烟尘产生总量约 8000 万 t/a,排放总量 1900 万 t/a 左右。近年来烟尘污染虽得到一定控制,但其危害仍十分严重。全国 600 多个城市中大气质量符合国家一级标准者寥寥无几,极少数城市成为“卫星上看不见的城市”。西南、华中地区酸雨污染严重,华中地区中心地带酸雨的年均 pH 值低于 4.0(pH 值低于 5.6 的雨被称为酸雨),酸雨出现频率在 80%以上。西南地区北部的酸雨 pH 值低于 5.0,其出现频率高达 80%。长江下游至厦门沿海地区的酸雨虽然较弱,但分布范围广。珠江三角洲和广西东部,酸雨 pH 值在 4.5~5.0 之间,频率为 60%~90%。总之,酸雨已成为覆盖我国很大范围的一种大气污染,形势十分严峻。随着城市汽车数量的急剧增长,汽车尾气的危害也日益加剧。目前我国排放的影响全球气候的温室气体数量占全世界的第二位。我国在控制损耗臭氧层物质的排放方面正任重道远。

(3) 城市垃圾和固体废弃物污染尚未得到控制 城市垃圾和工业固体废弃物是又一大类污染物,其堆存量已近 6 亿 t,占地约 5 万多 hm^2 ($1hm^2=10^4m^2$),对土壤和地下水造成严重污染。有毒、有害固体废物的数量仍在逐年增长,有的基本上未经任何处理即进行堆放填埋,对环境的危害十分严重。据报道,当前我国垃圾围城现象相当普遍。目前,全国工业固体废弃物产生量(未含乡镇工业)约 8 亿 t/a,其中排入江河达 600~700 万 t/a,已成为巨大的水污染源之一。

(4) 城市噪声污染也日益严重 据环保部门对 46 个城市监测的结果表明,1995 年我国城市环境噪声污染相当严重。区域环境噪声为 51.3~76.6dB(A),平均为 57.1dB(A);道路交通噪声为 67.6~74.6dB(A),平均为 71.5dB(A),其中 34 个城市的噪声平均超过 70dB(A)。特殊住宅区噪声全部超标,居民文教区有 97.6%城市超标。这些数据虽是抽样监测的结果,但它仍反映出我国城市噪声已成为当前的城市公害之一。

(5) 植被破坏严重,森林覆盖率降低 我国曾经历过几次大面积的植被破坏,对森林的乱砍滥伐屡禁不止。1992 年全国森林覆盖率仅 13.6%,与世界平均值 31.3%相比相差甚远。由于森林采伐速度过快,用材林中供采伐的成熟林和过成熟林的蓄积量已大幅度减少。若按目前的消耗水平,再过 7~8 年森林资源将消耗殆尽。此外,由于过度放牧,重用轻养,我国草原退化严重。严重退化的草地已达 9000 万 hm^2 ,占现有草地的 1/3。

(6) 水土流失日益严重,土地荒漠化不断扩大 建国初期全国水土流失面积为 153 万 km^2 ,占国土面积的 1/6。40 余年来,虽然治理了 50 余万 km^2 。但是,大量的开荒、采掘及修路作业等开发活动,使水土流失面积逐年扩大,导致耕地贫瘠化和荒漠化、河道淤塞、