

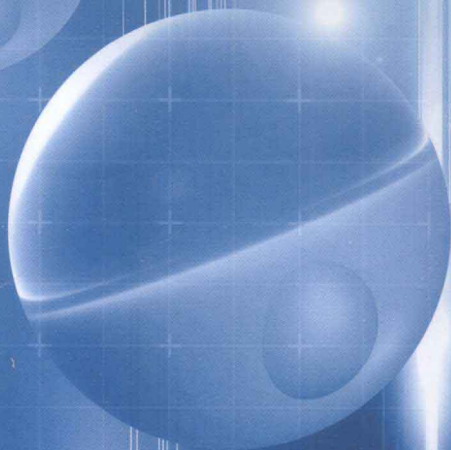
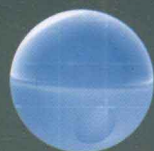
城市水环境规划治理理论与技术

CHENGSHISHUIHUANJINGGUIHUAZHILILILUNYUJISHU

“十二五”国家重点图书



市政与环境工程系列丛书



赫俊国 李相昆 袁一星 等编著
张 杰 主 审



哈尔滨工业大学出版社

“
市

图书
丛书

城市水环境规划治理理论与技术

赫俊国 李相昆 袁一星 等编著
张 杰 主 审

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书阐述了城市水生态与水环境系统,介绍了城市水资源计算与评价的方法,规定了城市水环境规划原则及方式,讲述城市水环境污染成因、污染物迁移转化规律和环境容量的推算方法,分析城市水环境的水质评价方法,最后介绍城市点源污染处理技术及城市水环境修复技术,并提出创新的城市用水模式与城市节水体系。全书共分10章。第1章城市水生态与水环境系统;第2章城市水资源与城市水循环;第3章城市水环境规划;第4章城市水环境污染与水环境容量;第5章城市水环境质量评价;第6章城市点源污染处理技术;第7章城市水环境修复技术;第8章城市水环境中雨水利用技术;第9章创新的城市用水模式;第10章城市水经济与水文化建设。

本书可作为高等学校城市水资源专业、给水排水专业和环境工程专业的本科生、研究生教材,也可作为相关专业工程技术人员、管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

城市水环境规划治理理论与技术/赫俊国编著. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2012.4
ISBN 978-7-5603-3516-2

I. ①城… II. ①赫… III. 城市环境:水环境—环境
规划 IV. ①X321

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 044404 号

责任编辑 王桂芝 贾学斌
封面设计 卞秉利
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 22.75 字数 554 千字
版 次 2012年4月第1版 2012年4月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-3516-2
定 价 45.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

水是不可替代的资源,是人类生活和生产活动中最基本的物质条件之一。城市工业、农业灌溉、水产养殖、交通运输、旅游等各项事业的发展,都必须在保护和利用好水资源的基础上进行。因此,水对城市及其经济的发展具有很重要的作用。由于历史原因以及城市污水厂与污水管网建设不配套、运行资金缺乏、监督体制不完善等诸多因素,尤其是缺乏对健康水循环的科学认识,使得我国江河流域普遍遭到污染,城市水环境污染问题日益严重。虽然近年来城市污水处理设施基础建设速度加快,但我国水环境质量还远没有得到改善,甚至在很多地区还在退化。

基于这种背景,本书把城市水健康循环理念作为指导思想并贯穿全书,对城市水生态与水环境系统进行描述,着重介绍了城市水资源计算与评价方法和城市健康水循环理论、城市水环境规划原则及方式、城市水环境污染及污染物的迁移转化规律和环境容量的推算方法、城市点源污染处理技术及城市水环境修复技术、城市水环境的水质评价方法,最后提出创新的城市用水模型与城市节水体系及举措,提倡建立良好、和谐的城市水经济与水文化。

本书的出版得益于我们密切跟踪本专业领域的发展趋势和最新动态,并能够在教学、科研、实际工程中坚持并将近年来参与的中国科学技术中长期发展规划(2006—2020)的战略研究的部分内容、撰写人员主持或参加的“十一五”国家重大水专项和科技支撑计划项目的部分研究成果及国家其他各类科研项目获得的最新科研成果融入本书,尤其得到中国工程院张杰院士提出的健康城市水生态系统模型及城市健康水循环的理念与理论支持,使本书与当前环境保护的工作实践和行业的发展趋势密切结合。而且很荣幸的是,通过多方的支持,本书已列入“‘十二五’国家重点图书出版规划项目”及“黑龙江省精品图书出版工程项目(2011)”。

参加本书撰写的人员有:哈尔滨工业大学市政环境工程学院赫俊国(第1、5、6章),李相昆(第2、9章),袁一星(第3、4章),李建政(第7章),北京工业大学李军(第8章),北京市市政工程设计研究总院于德强(第10章)。

本书在撰写过程中得到了兄弟院校及相关专家的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。由于国内外关于此方面的研究尚处于探索研究阶段,加之作者水平所限,难免有疏漏及不当之处,诚挚希望广大读者批评指正。

作 者
2012年3月

目 录

第 1 章 城市水生态与水环境系统	1
1.1 城市生态系统	1
1.2 城市水生态系统	6
1.3 城市水环境系统	12
1.4 中国城市水环境问题	17
第 2 章 城市水资源与城市水循环	21
2.1 水圈	21
2.2 水循环	21
2.3 水资源的定义、特性与国内外概况	25
2.4 水资源分类与计算工作内容	30
2.5 水资源的计算方法	31
2.6 地下水资源估算	36
2.7 水资源总量的计算	43
2.8 水资源评价	46
2.9 水资源水质评价	49
第 3 章 城市水环境规划	53
3.1 城市水环境功能区的划分与功能介绍	53
3.2 城市水环境形态与组合方式	57
3.3 城市水环境规划原则与方式	60
3.4 城市河流的景观规划设计	64
3.5 城市中适宜水环境面积的确定	73
第 4 章 城市水环境污染与水环境容量	78
4.1 城市水环境质量标准	78
4.2 城市水环境污染	79
4.3 污染物在水体中的迁移与转换	87
4.4 水环境水质模型	92
4.5 水环境容量计算	110
第 5 章 城市水环境质量评价	117
5.1 水质评价概述	117
5.2 地表水水质评价	118
5.3 地下水水质评价	133
第 6 章 城市点源污染处理技术	141
6.1 影响城市水体的主要点污染源	141

6.2	城市污水生物处理工程技术	142
6.3	活性污泥法	150
6.4	生物膜法	158
6.5	污水的厌氧生物处理技术	166
6.6	氧化沟污水生物处理技术	177
6.7	废水生物脱氮除磷技术	182
6.8	膜生物反应器技术	188
6.9	污水处理的稳定塘处理技术	195
6.10	剩余污泥的厌氧消化处理	200
6.11	有机固体废弃物的生物处理技术	203
6.12	城市固体废弃物的堆肥技术	209
6.13	城市生活垃圾的卫生土地填埋	217
第7章	城市水环境修复技术	224
7.1	城市水面恢复	224
7.2	城市河流水系修复	225
7.3	城市湖泊、水库水体修复	231
7.4	湖泊、水库水体污染的生物修复	238
7.5	受污染地下水的修复	258
7.6	城市其他水域系统生态修复	266
7.7	污染土壤的净化修复	268
第8章	城市水环境中雨水利用技术	279
8.1	城市雨水利用的含义与意义	279
8.2	国内外城市雨水利用	284
8.3	雨水利用系统	288
8.4	雨水收集与截污工程	289
8.5	雨水调蓄	298
8.6	雨水处理与净化技术	300
8.7	雨水自然净化技术	303
8.8	雨水综合利用系统	306
8.9	雨水水文循环途径的修复	308
第9章	创新的城市用水模式	313
9.1	创新的水资源利用模式	313
9.2	城市节水	322
9.3	节制用水	337
第10章	城市水经济与水文化建设	340
10.1	城市水经济建设	340
10.2	城市水文化建设	345
	参考文献	353

第 1 章 城市水生态与水环境系统

1.1 城市生态系统

城市是一个在稳定地域内的人口、资源、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群聚居地。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 and 经济的复合城市生态系统。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;人的社会行为和文化理念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,包含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统一整体。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,了解城市生态系统的结构、功能、特征后,按照城市生态系统的调控原则来保持城市持续稳定发展。

1.1.1 城市生态系统的科学内涵

20 世纪 20 年代,美国芝加哥学派创始人帕克(Robert Ezra Park)提出了人类生态学和城市生态学的思想,开创了城市生态研究的先河。按《环境科学词典》定义,城市生态系统是“特定地域内的人口、资源、环境通过各种相生相克的关系建立起来的人类聚居地或社会、经济、自然的复合体”。该领域以城市为研究对象,以社会调查及文献分析为主要方法,以社区即自然生态学中的群落、邻里为研究单元,研究城市的集聚、分散、入侵、分隔及演替过程、城市竞争、共生现象、空间分布格局、社会结构和调控机理,认为城市是人与自然、人与人相互作用的产物。城市是人口集中的地区,属于自然环境的一部分,但它本身并不是一个完整、自我稳定的生态系统。城市生态系统中生存着植物和动物,其作用已不再是系统的生产者,大多是起到城市景观绿化作用。由于城市中缺乏分解者,造成城市消费品的大量堆滞,系统的食物链破坏,使城市环境日益恶化,生态失衡。因此,城市生态系统是个很不完善的人工生态系统。

1.1.2 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,是一个庞大复杂的组合生态体系。它包括三个子系统:自然生态系统、经济生态系统和社会生态系统,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特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。

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

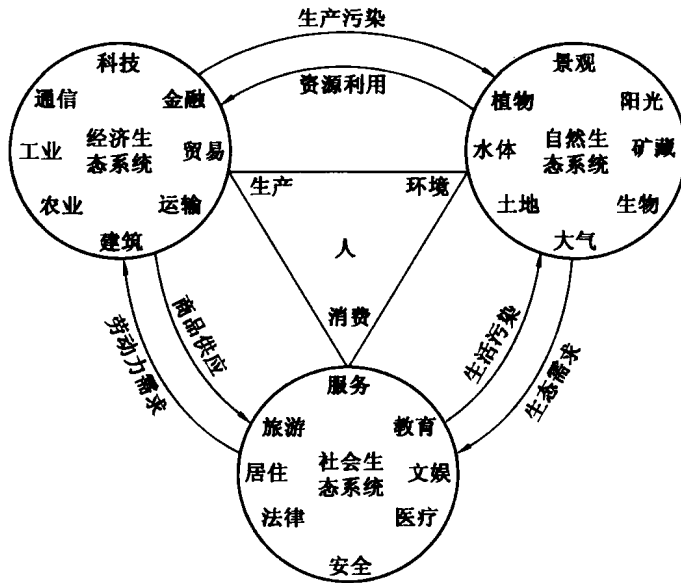


图 1.1 城市生态系统结构示意图

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、邮电通信信息子系统、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。

自然生态系统、经济生态系统、社会生态系统等三个亚系统是不可分割的。人的活动贯穿于整个生态系统的各个过程中。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,而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(图 1.2(a))和农村系统(图 1.2(b))的倒三角形营养结构,如图 1.2(c)所示。

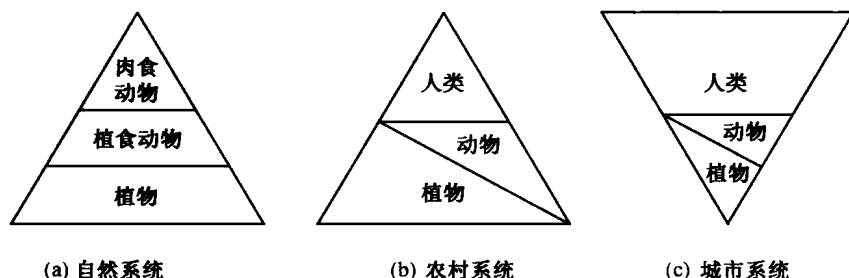


图 1.2 不同类型生态系统的营养结构

城市生态系统的营养物质如水、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策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。

1.1.3 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,与自然生态系统相比,城市生态系统具有如下特点。

1. 城市生态系统以人为主体的

城市生态系统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。人工生态系统从其他自然生态系统获得资源,维持平衡。人工生态系统平衡失调与社会和文化的变化有关,自然生态系统的平衡失调与基因变异、长期的气候或其他环境变化有关。

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。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。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里去消化。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,把野生生物圈在一定范围内,同时把自己也限制在人工化的城市里,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

城市生态系统划分为自然生态系统、经济生态系统和社会生态系统,其主要特点在 1.1.2 中已经介绍。

1.1.4 城市生态系统的功能

城市是一个高度组织的有机体,具有一切有机体的正常功能。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、生活和还原三大功能。因此,城市好像个加工厂,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,如图 1.3 所示。城市生态系统的基本功能包括生产功能、能量流、物质流、信息流四项。

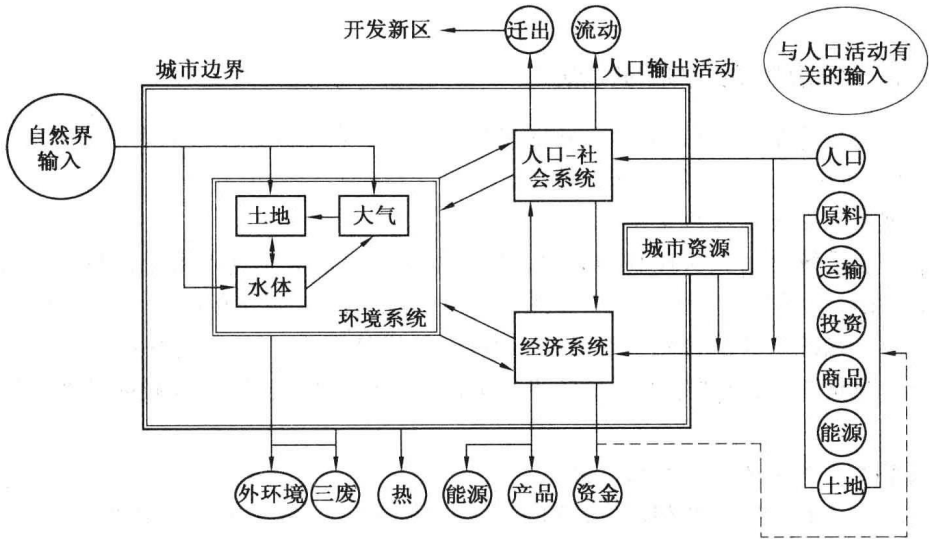


图 1.3 城市生态系统的运转模型

1. 城市生态系统的生产功能

生产功能分生物生产和非生物生产两个部分,体现了人类在城市生态系统生产活动中所具有的主体作用。

2. 城市生态系统的能量流

能量流反映了城市在维持生存、运转、发展过程中,各种能源在城市内外部、各组分之间的消耗、转化,城市经济结构及能源消耗结构对城市环境质量具有较大的影响。

3. 城市生态系统的物质流

城市物质流是指维持城市人类生产、生活活动的各项资源、产品、货物、人口、资金等在城市各个空间区域、各个系统、各个部分以及城市与外部地区之间的反复作用过程。物质流是一种周而复始的循环。

4. 城市生态系统的信息流

城市信息流是城市生态系统维持其结构完整性和发挥其整体功能必不可少的特殊因素。自然生态系统中的“信息传递”指生态系统中各生命成分之间存在的信息流,主要包括物理信息、化学信息、营养信息及行为信息几个方面。生物间的信息传递是生物生存、发展、繁衍的重要条件之一。城市生态系统中信息流的最基本功能是维持城市的生存和发展,是城市功能发挥作用的基础条件之一。

1.1.5 城市生态系统的平衡分析、调控与生态健康

1.1.5.1 城市生态系统的平衡

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整体高度有序化时,才能趋于动平衡状态。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,系统处于自组织状态,保持各系统的稳定运行。

1.1.5.2 城市生态系统的调控原则

城市生态调控的目标是高效、和谐,调控城市生态系统应遵循以下原则。

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。

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。

1.1.5.3 城市生态健康内涵

生态系统健康的概念由 Schaeffer 等首次提出,明确的定义是 Rapport 论述的,也是目前被公认的定义。他认为:生态系统健康是指一个生态系统所具有的稳定性和可持续性,即在时间上具有维持其结构组织、自我协调和对胁迫恢复的能力;生态系统健康的定义可通过活

力、组织结构和恢复力三个特征表述。活力表示生态系统的功能,可根据新陈代谢或初级生产力等来测度;组织结构可根据生态系统组分间相互作用的多样性及其数量来评价;恢复力可根据结构和功能的维持程度和时间来测量。

一般来说,健康的生态系统是针对某一个或某一尺度的生态系统而言的。在一个特定区域内一个或单一尺度的健康生态系统并不一定决定其他生态系统或区域复合生态系统是否健康,但是一个或某一尺度不健康的生态系统必然会影响到其他生态系统或区域复合生态系统的健康程度。例如,区域自然系统的破坏势必会导致区域环境恶化,灾害加剧,危害区域社会经济系统并影响人类生态系统的健康程度。所以,为实现城市生态系统的健康良好和可持续发展,作为子系统的水生态系统必须是健康的。

1.2 城市水生态系统

1.2.1 城市水生态系统的定义及内涵

城市水生态系统就是在城市圈内水与各环境要素和社会经济之间相互作用而形成的以水为中心的复杂系统,即雨水与防洪排涝,水资源开发利用与城市供水,水资源配置与生态需水,污染源排放与水环境保护,水污染与水体修复,水景观与人水相亲,水面面积与人居舒适度,人文历史与水文化,水经济与社会进步等方面的城市水问题。

城市水生态系统是依托于城市生态系统中的一个子系统,是在城市这一特定区域内,水体中生存着的所有生物与其环境之间不断进行物质和能量的交换而形成的一个统一整体。由于城市人群与水体的密切关系,城市人群及其与水相关的活动也属于城市水生态系统的涵盖部分。

1.2.2 城市水生态系统的研究内容

1.2.2.1 城市水生态系统的研究思路

通过对生态系统、城市生态系统及水生态系统理论的深入研究和对国内外相关研究成果的回顾、总结与集成,制定城市水生态系统的研究计划,探讨水生态系统内部的循环过程,揭示各要素之间的作用机理,查明水生态系统与社会经济发展的互动规律,界定城市水生态系统的内涵,规范城市水和各环境要素的生态功能,为城市水生态系统建设和管理提供理论依据。

1.2.2.2 健康城市水生态系统建设模式研究

基于城市水生态系统的内涵和相关功能,结合生态城市规划的关键问题,如水源规划、水系规划、水安全、水环境质量及水景观等各项因素,提出健康城市水生态系统建设模式的构建理念及原则,并建立城市水生态系统建设的框架体系。

1.2.2.3 城市水生态系统中的适宜水面面积

根据城市自然环境、社会经济发展水平,考虑城市发展的定位、经济产业格局、社会经济规划目标等因素,综合国际先进经验和国内研究成果,确定城市居民生活和水生态平衡所需

要的适宜水面面积。探讨适宜的水面面积对城市局域气候的影响程度,为生态城市中的水生态系统规划提供技术指导和理论依据。

1.2.2.4 城市水生态系统中最佳水面组合形式

水面主要形式通常有河道和洼陷结构两类,其中河道包括沟、渠、溪、河等;洼陷结构包括自然湖、人工湖、水库、水塘、水池、水坑和湿地等。在“以人为本”的现代城市规划建设理念中,水面形式决定城市规划布局和社会发展趋势,城市水生态系统中最佳水面组合形式必须根据城市的地形地貌、水系的分布格局、城市发展的总体规划、供排水系统、城市土地利用方案、历史文化传统等具体情况,进行合理的选择,为城市生态系统建设提供基础资源条件和水安全保障。

1.2.2.5 城市水生态系统安全保障体系

水是生命的保障,但是如果管理不善,也会成为城市的灾害。城市水生态系统安全体系主要包括城市防洪排涝体系、供水保障体系、枯水期生态用水量保障体系、城市水环境保护体系。近年来,随着城市化率的提高,大量城市边缘的村庄和农田被划归城市,城市水系范围的扩大及下垫面的改变给城市的防洪和排涝带来很大压力。在城市安全体系中,协调统一河湖防洪标准与城市排水标准,确定合理的水文分析计算方法,制定安全的城市防洪排涝体系十分必要;城市供水是城市社会经济发展的首要保障,必须解决城市供水问题;论证枯水期城市河湖的引水能力,制定保障河湖水系的环境用水量和生态需水量方案;根据城市水环境功能区划,确定城市水生态系统的最大安全纳污容量,研究定量化计算模式,为城市水质安全提供技术支持。

1.2.2.6 城市水生态系统景观、文化、经济建设的概念和目标

水生态系统景观的建设要体现“以人为本”和“人水相亲”的主旨,参照城市的规划格局和水域功能特点,挖掘城市历史文化传统,建设城市水景观,实现水景观与城市文化的和谐统一。同时,利用人们亲水的观念,大力发展涉水经济,如高级豪华型别墅群、涉水游乐场等,充分发挥水经济的作用。

1.2.2.7 城市水生态系统中水环境保护及污染水体的生态修复途径

调查分析城市的污染成因,提出水环境质量保护的技术途径,研究城市洼陷结构中生物对污染物的截留效应以及不同尺度河道对污染物质的净化效应。通过现场监测和实验手段,研究河道沿岸不同水生植物对水体中典型污染物质的吸附和截留规律,分析水生植物对污染水体的净化效应,探讨城市水生态系统的修复途径。

1.2.3 健康城市水生态系统模型

1.2.3.1 城市水生态系统物质平衡分析

城市是水环境和水资源及其他物质和能量消耗的最大潜在用户。大量的水、粮食和其他物资从城市周边地区输入城市,经过居民消费之后,再进入污水中排入城市排水系统,排入受纳水体,如图1.4所示。

这种模式在城市规模较小时并没有显出多大缺陷和危害,人们可以尽情享受城市的便

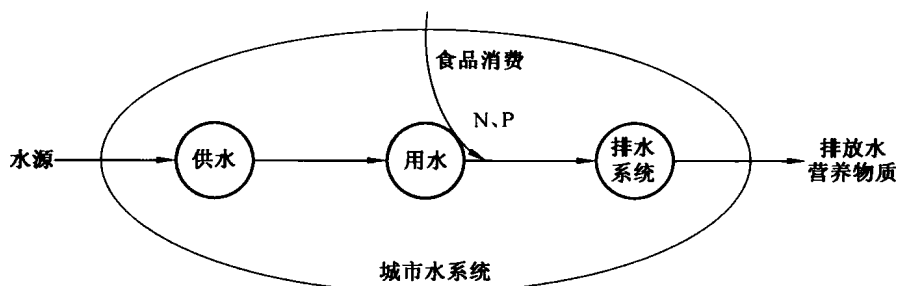


图 1.4 传统城市水系统的物质平衡

捷和舒适。然而,随着城市居民的增加,需要输入的水和粮食的数量随之大幅增长,越来越多的污水排入水体,造成了水体的污染和水资源与营养物质的流失。而这些营养物质,例如自然界中的磷是十分有限的。2002 年中国人口约为 12.8 亿人(不含中国香港、澳门和台湾地区)。其中约 39.1% 居住在城市。大量增长的城市居民给中国所有 660 个城市的水资源和水环境带来巨大的压力。2002 年,中国城市生活污水量为 243 亿 m^3 。如果能够回收其中的 1/3,就能够解决今后 10~15 年的城市缺水问题,此外,污水中含有的大量氮磷营养物质也是相当可观的。因此,在中国的许多城市,尤其是像北京、广州等这些特大城市,城市污水是极为宝贵的水资源,不应该予以废弃。污水应该而且必须回用和再循环,以解决缺水和水污染问题。

1.2.3.2 健康城市水生态系统模型

中国工程院院士张杰指出解决现行物质短缺和人类可持续发展问题的唯一出路是建立循环型社会,其中水的再循环利用是基础。在这样一种新的城市水系统中,水在排放至城市下游之前已经被利用了多次。城市排水系统为城市提供再生水,起到分解者的作用,而且通过排放高质量的处理水将社会用水与水的自然循环联系起来。这样,将降低城市需水量,下游水体水质也得到保护免于被污染。

此外,如图 1.5 所示,整个城市水系统类似于自然界水循环和氮磷循环,城市的物质流形成了反馈循环的闭环系统,城市可以用很少的新鲜水量就满足城市用水之需,同时也维持了自然界生态系统的物质循环规律。

1.2.4 城市水生态系统的营养结构、功能特点及基本特征

城市水生态系统作为城市生态系统的组成部分,其营养结构与功能特点也具有自然和社会两个方面的属性和特征。

1.2.4.1 城市水生态系统的营养结构

城市水生态系统的生产者在生态特征上与城市陆生生态系统差别很大。对生物学的自然生态系统而言,生产者除一部分水生高等植物外,主要是体型微小但数量惊人的浮游植物。这类生产者的特征是代谢率高、繁殖速度快,种群更新周期短,能量的大部分用于新个体的繁殖,因此,生物量低。对城市这样的人工生态系统,水生态系统中很多营养物质来自人为因素,如城市污水的排入、固体废物堆积、暴雨雨水的汇入等,其生产者的主要来源已不

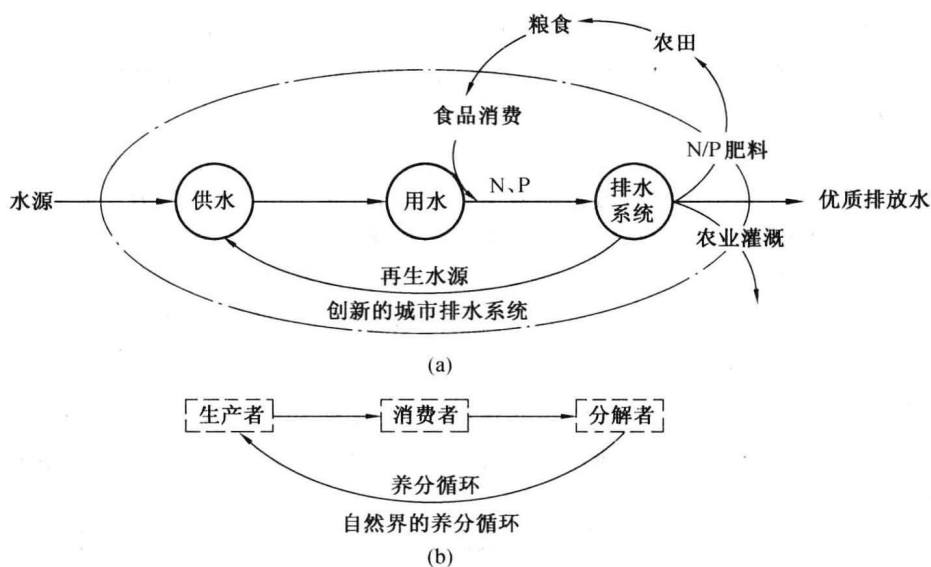


图 1.5 健康的城市水生态系统模型

再仅局限于自然生态系统中的水生植物。

城市水生态系统的自然消费者一般也是体型较小,生物学分类地位较低的变温动物,新陈代谢过程中所需要的热量比常温动物少,热能代谢受外界环境变化的影响较大。城市水生态的社会群体即人类的消费,主要包括居民生活用水、工业生产用水、城市市政综合用水等方面。这部分消费群体所消耗的不仅仅是水域中的“营养成分”,更重要的是对水量的占用。对水的过量消耗使得大量水生动植物丧失了栖息地,水生态系统将会出现萎缩。

自然分解者在城市水生态系统中作用较差,很大程度上只是依赖水体中部分浮游生物通过自溶来完成物质循环的功能。大量的分解者应该是城市水生态系统的社会消费者,即人类通过人工作用,对系统内废物进行分解,如污水治理、固废的处理等。

城市水生态系统自然营养结构中物质循环和结构单一,其生产、消费和分解者均很薄弱。自然水生态系统在无人为因素干扰的情况下,可实现生产、消费和分解的动态平衡。但是城市水生态系统很大程度受到人为因素的影响,人类在生产、消费和分解三者中均有参与。因此,若系统中生产和消费过量,而分解不足,则使得城市水生态系统中营养物质过剩,水量变化不定,水体环境恶化,造成城市水生态系统功能萎缩,甚至枯竭。

1.2.4.2 城市水生态系统的功能特点

与城市中其他生态系统相比,水生态系统对光能的利用率比较低。据奥德姆(Mdum)对佛罗里达中部某温泉的能流研究,太阳总有效能中的 75.9% 能量不能为初级生产者利用,22.88% 呈不稳定状态,而实际用于总生产力的有效太阳能仅占 1.22%,除去生产者自身呼吸消耗的 0.7%,初级生产者净生产力所利用的光能只有 0.52%。据特兰斯康对俄亥俄州荒地生态能流的研究结果,太阳辐射总能量的 1.6% 为初级生产者利用,用于净生产的光能占总辐射能的 1.2%。荒地生态系统是陆地生态系统中生产力比较低的生态类型,但其光能的有效利用率仍为水域生态系统的 2 倍多。

在城市水生态系统中初级生产转化为次级生产的效率一般在 10% 以上,不低于城市陆地生态系统。所以,在城市水生态系统中,若除去人为干扰,分解者作用远没有陆生生态系统重要,水域中只有 10% ~ 40% 的初级生产量是由分解者分解的。

自然水域生态系统中动植物尸体及其排泄物的去向主要有三种:一是通过自溶而归还环境并被重新利用;二是由分解者分解而被重新利用;三是下沉,下沉部分一些被水生生物利用,一些则随水体运动返回上层而被再利用。但在城市水生态系统的河流生态系统中,由于水的流动性较大,系统物质循环的功能比较差、内源性营养少,需要大量外源性营养物质,但又不能超过系统所能承受的阈值,这是河流生态系统在物质循环上的特点。

1.2.4.3 城市水生态系统的基本特征

城市水生态系统属淡水生态系统,主要包括湖泊、水库和河流等类型。其中,河流属于动水环境,能不断地输入营养物和排出废弃物,因此比湖库静水环境的生产力高很多倍。

1. 湖库生态系统

湖泊水库具有十分复杂的生态系统,一般将这个生态系统划分为三个不同类型的区域:湖滨带、浮游区和底栖区,各自拥有不同类型的生物群落。

(1) 湖滨带通常生长着大量的草类植物,又称为“草床”,是湖泊与陆地交接区域。许多天然湖泊具有大面积的湖滨带,从功能上来说,湖滨带可以有效截留地面径流中的泥沙等悬浮物,吸收地面径流中的营养物质,减少其对湖泊水库水体的影响。另外,湖滨带植物可以为各种动物提供良好的栖息地和大量的食物,促进生态良性循环。但是过度茂盛繁殖的湖滨带植物也会产生大量的有机物,每年大量的根生植物和附着的藻类腐烂后产生的有机物随水体进入湖泊水库,将影响水体水质,甚至加剧富营养状态。

(2) 浮游区是湖泊水库水域主体,在浮游区生长着多种水生高等植物,包括沉水植物、浮水植物和挺水植物三类。水生高等植物在生长过程中能够将一部分具有溶解性、悬浮性和沉积性的营养物质吸收固定在植物体内,通过定期收割,移出水体之外,一定程度上降低了水体富营养化水平。植物还能通过与藻类竞争营养,遮挡光线能量,抑制藻类的繁殖生长速度。但是,如果在湖泊水库中,任由水生高等植物自由生长、堆积和腐烂,将导致湖泊水库的沼泽化。

(3) 在底栖区,生活着丰富的底栖动物和微生物,起着分解作用,将湖滨带或浮游区产生的各种有机物重新分解,使之变为动植物能够重新吸收的营养因素等,然后扩散传质至表水层或有光层。湖泊水库水生态系统如图 1.6 所示。

湖泊是地面上长期存水的洼地,其特点是水的流动性和更换速度很慢,故也属于静水生态系统。湖泊的许多生态功能与其形态特性有关,受许多因素制约。

在湖泊的沿岸带内,湖水通常较浅,光照较强,溶解氧含量高,水温高,营养物质丰富,所以沿岸带内聚集着许多动植物,尤其是水生维管束植物和藻类等,生产者极为繁茂,由湖岸向湖心带呈同心圆状分布。在湖泊和池塘的沿岸带除挺水植物、浮水植物、沉水植物外,还生存着大量的浮游动植物和自由生物。湖泊的深水层光线弱,浮游植物光合作用补偿层以下的光强度不能满足藻类光合作用的需要,因此,深水层以异养动物和嫌气性细菌为主。

湖泊有独特的发展过程,从产生到衰老,经过一系列的发展阶段,最后由水域生态系统变为陆地生态系统。在这个演变过程中,湖泊经历了由贫营养阶段、富营养阶段、水中草本

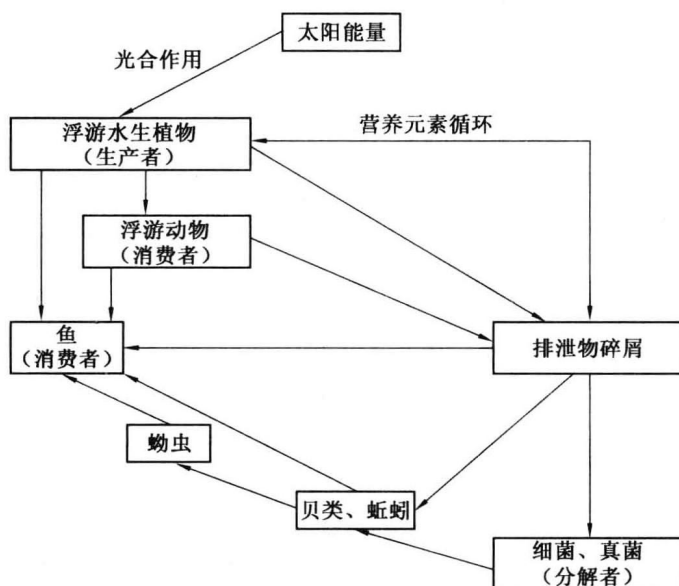


图 1.6 湖泊水库水生态系统示意图

阶段、低地沼泽阶段直到森林顶级群落的渐变。但在城市生态系统中,大量人为的因素,使每个阶段的转变时间大大缩短了。

水库虽然是人工形成的水域,但在生态特征上具有与湖泊基本一致的特点。

2. 河流生态系统

(1) 构成。河流包括河槽和在其中流动的水流两个部分。河流属流水型生态系统,是陆地与水体的联系纽带,在生物圈中起着重要的作用。河流生态系统结构示意图如图 1.7 所示。

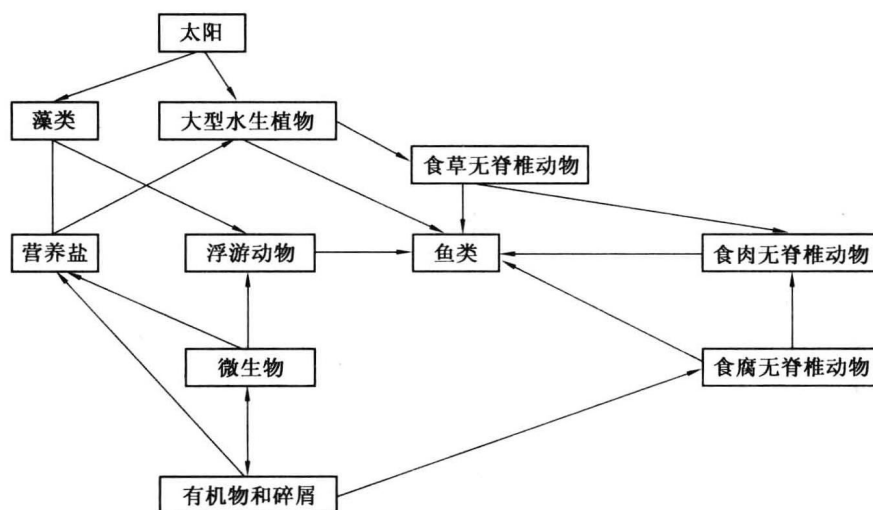


图 1.7 河流生态系统结构示意图

①大型水生植物。大型水生植物分为浮游类和根生类,最常见的是水草类,包括有根生