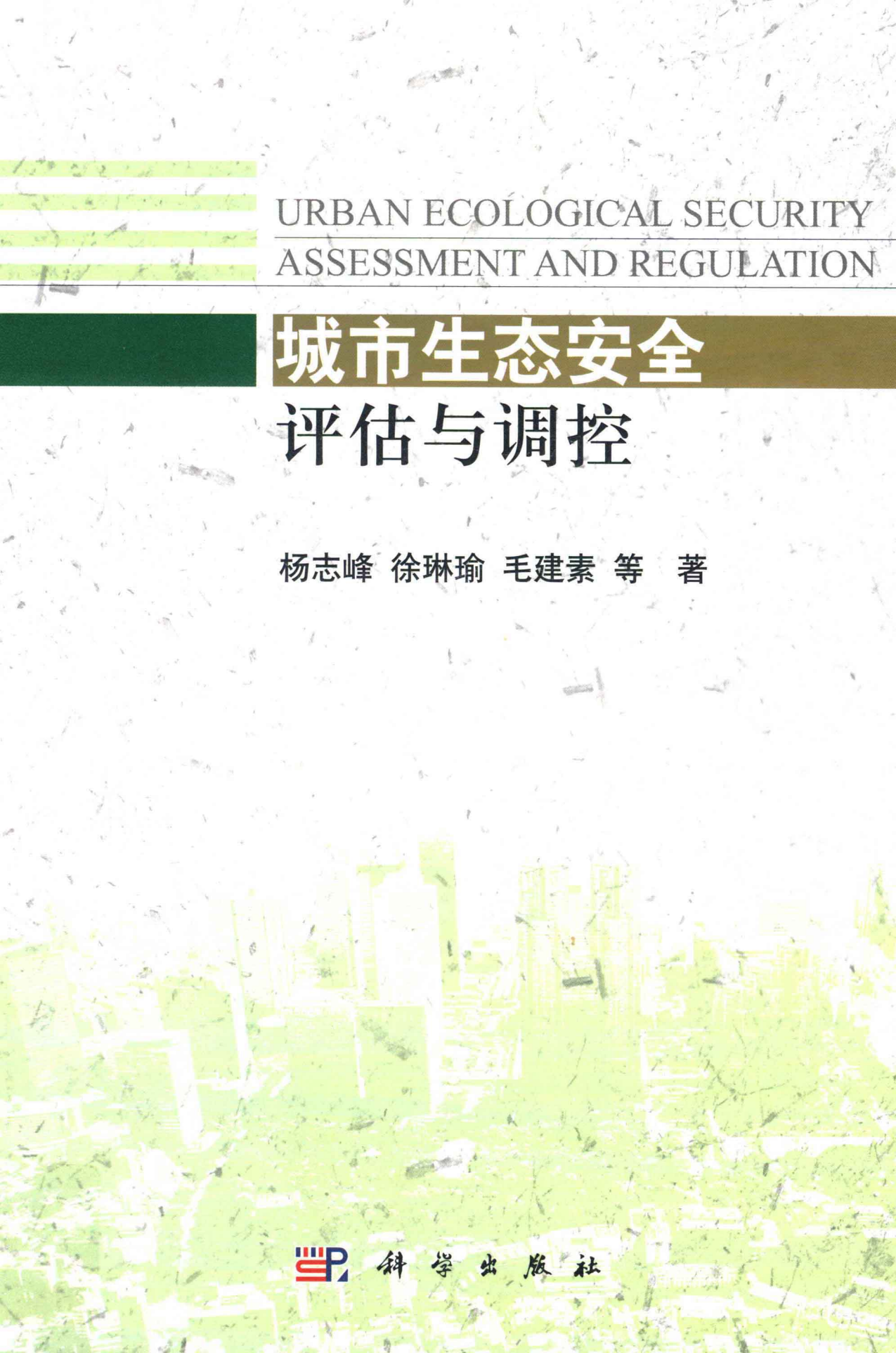




URBAN ECOLOGICAL SECURITY
ASSESSMENT AND REGULATION

城市生态安全 评估与调控

杨志峰 徐琳瑜 毛建素 等 著



科学出版社

城市生态安全评估与调控

杨志峰 徐琳瑜 毛建素 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

城市生态安全是一个国家或区域生态安全的基础和核心。本书在深入剖析城市生态环境问题特征的基础上,立足于城市规划对城市有序发展的作用,从城市自然生态系统、城市社会经济系统、城市规划三个层次开展生态安全评价与调控技术方法的研究。通过城市自然生态安全组成要素因果关系分析,识别威胁城市生态安全的关键要素,建立生态安全评价等级,针对直接影响城市发展与生态环境相互作用关系的产业规划、土地利用规划及能源规划等重要专项规划的实施,评估城市发展中的生态安全状态,进而建立生态安全调控技术体系,并反馈规划方案的调整。上述理论方法应用于厦门、焦作、北京、广州等城市,为城市生态可持续发展以及生态安全调控提供实践案例,以期推进城市生态学理论与方法的普及性和可操作性。

本书可作为生态、环境和地理及其他相关学科的教学、科研和业务参考书,也可供各级城市发展与规划部门和各级环保的工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市生态安全评估与调控/杨志峰等著. —北京:科学出版社,
2013.6

ISBN 978-7-03-037109-6

I. ①城… II. ①杨… III. ①城市环境—生态环境—安全评价—
研究 IV. ①X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 049242 号

责任编辑:杨帅英 朱海燕 王淑云 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

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>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 6 月第一次印刷 印张:22 1/2

字数:520 000

定价:129.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着社会经济的快速发展,我国的城市化水平快速增长。人们在享受着快速城市化带来的各种积极效应的同时,也不得不面对随之而来的一系列城市生态环境问题,如严重的大气污染、水体污染、固体垃圾污染、生物多样性减少等。这些城市问题已经严重威胁到城市的生态安全,为此国家颁布了一系列城镇生态规划措施,众多城市也在各项发展规划中加强了生态规划的比例,以期保障规划实施的生态安全。针对城市发展过程中存在的严重生态环境问题,以及在城市规划编制阶段可能会忽略的一些潜在的生态问题和隐患,开展城市生态安全的研究,对实现城市可持续发展及完善城市规划将起到重要而积极的作用。城市生态安全评价与调控研究适应我国快速城市化发展中保障城市生态安全的要求,能够满足促进城市健康发展和为人们提供良好的城市生态环境的重大需求。

本书的主要内容以国家科技支撑课题“城市规划实施的生态安全评估与调控技术及应用示范”成果为主体,并基于国家重点基础研究发展 973 计划“城市生命体生态特征及演变机理研究”、国家自然科学基金“城市生态系统承载力研究”和“快速城市化地区的生态风险研究”的成果对内容进行了补充完善。

本书共分两篇 11 章。第 1 章主要综述城市生态安全的发展过程、相关的研究成果,以及针对城市规划实施的生态安全评价与调控方法的研究。第 2 章到第 7 章为城市生态安全的理论方法篇。首先,笔者依据城市生态系统结构与功能,针对城市自然生态系统,提出基于因果关系机理的城市自然生态安全概念及其 S-PRD 评价概念模型,引入灰色系统理论,从时间动态和空间分异的角度实现了对城市自然生态安全发展幅度、快慢与潜力的评价及对不安全状态的预警,开展了城市自然生态安全动态评价方法及其应用研究。其次,针对城市社会经济体系,选取与生态环境问题密切相关的专项规划(产业、能源、土地),将生态安全评价理论方法发展应用于各项规划实施过程,包括:①针对城市产业规划,分析主要生态环境问题,在生态安全评价基础上对城市工业行业进行生态效率与贡献率分析,提出解决具体环境问题的科学有效调控对策;②针对城市能源规划,引入环境绩效理论构建评估指标体系,运用模糊综合数学分析法等方法进行评价研究,结合情景分析方法提出城市能源利用总体规划方案;③针对城市土地规划,结合心理学需求理论提出城市土地生态安全理论与评价模型,在模型构建的基础上引入“规划调控系数”,在时空尺度上实现土地利用规划实施效果的定量化、动态性分析。最后,立足于城市生态规划的生态调控,基于城市生态系统以人为中心的亚系统相互作用机制及城市生态危机产生的生态学、经济学、社会学根源的分析,提出城市生态系统调控的具体内容、要求与方法,建立城市复合生态系统生态调控的目标指标方法体系以及评价标准。本书的第 8 章到第 11 章为案例研究篇,主要选择厦门、焦作、北京、广州等城市为案例点,针对城市自然生态系统、能源规划和生态要素的建设发展、城市产业规划,以及对土地利用规划以及城市生态

规划的生态调控等，将生态安全评价方法与理论运用到上述城市各类规划中，并对其规划建设提出针对性的建议。上述案例分析既是演示方法的过程，也是为案例城市的生态安全建设与规划提供科学依据的重要工作。后记部分对书中研究获得的重要结论和研究特色进行总结，以使读者能更直接、更清楚地获得研究结论和要点。

本书主要由杨志峰、徐琳瑜、毛建素等共同完成。第1章、第3章由杨志峰、徐琳瑜完成；第4章、第9章由毛建素、杜艳春完成；第6章、第10章由杨志峰、徐琳瑜、王磊、周晓萃完成；第5章、第11章由徐琳瑜、李兆雪完成；第2章、第8章由杨志峰、赵清完成；第7章由杨志峰、胡廷兰完成；书中后记部分由徐琳瑜、杨志峰完成；最后由杨志峰、徐琳瑜完成统稿工作。本书融汇了北京师范大学环境学院城市生态规划课题的部分研究成果，包括北京、广州和焦作等案例点的基础研究。课题组的其他成员，包括李巍、毛显强、何孟常、鱼京善、赵彦伟、陈彬、张妍、张力小、田光进、康鹏、于冰、李筱金、赵旭、刘艳尼、赵伟、谢涛、姚长青、卫晋晋、岳文淙、靳玮、韩曦、李阳、臧晶晶、蔡蕾等老师和同学，都对本书提供了帮助，在此一并表示感谢。

影响城市生态安全的因素错综复杂。不同城市的发展规模、经济水平、自然地理特征和生态环境问题等特征都不尽相同，城市中各类专项规划背景与出发点存在差异，这对城市发展及规划实施中的生态安全评价提出了极大的挑战。本书立足于城市复合系统理论与方法，从城市规模、功能、结构与空间布局等方面构建生态安全评估及动态调控的理论方法体系，制定适宜的生态调控措施，从而保障城市生态安全。本书在城市生态安全评价理念思路、规划实施中生态安全保障的研究方法与技术应用等方面进行了探索与创新，这些研究成果可以为国内外相关研究起到借鉴作用。

限于著者水平，书中疏漏在所难免，希望读者提出宝贵意见。

作 者

2011年9月于北京

目 录

前言

第 1 章 城市生态安全概述	1
1.1 城市生态环境问题	1
1.2 城市生态安全的概念与内涵	4
1.3 城市生态安全评价与调控研究进展	10

上篇 理论方法

第 2 章 城市自然生态系统安全分析	25
2.1 城市自然生态系统解析	25
2.2 城市自然生态系统生态安全概念及内涵	30
2.3 城市自然生态系统生态安全评价研究进展	33
2.4 基于生态安全的城市自然生态系统评价调控方法	37
第 3 章 城市社会经济发展规划生态安全分析	54
3.1 城市社会经济体系	54
3.2 城市规划体系分析	55
3.3 城市规划实施的生态环境瓶颈因子分析	62
第 4 章 城市产业规划实施的生态安全评估与调控	71
4.1 城市产业规划分析	71
4.2 城市产业规划实施的生态安全评估方法	76
4.3 基于生态安全的城市产业规划调控方法	82
第 5 章 城市土地利用规划实施的生态安全评估与调控	90
5.1 城市土地利用规划分析	90
5.2 城市土地利用规划实施的生态安全评估方法	95
5.3 基于生态安全评估的城市土地利用规划调控方法	99
第 6 章 城市能源规划实施的生态安全评估与调控	111
6.1 城市能源规划分析	111
6.2 城市能源规划实施的生态安全评估方法	114
6.3 基于生态安全评估的城市能源规划调控方法	122
第 7 章 城市生态安全综合调控	130
7.1 城市复合生态系统分析	130
7.2 生态调控概念的发展及生态系统调控机制研究	139
7.3 基于生态安全的城市调控方法	145

下篇 案例研究

第 8 章 厦门市生态安全评估与调控	165
8.1 厦门市自然生态环境问题	165
8.2 厦门市自然生态系统生态安全评价指标体系建立	168
8.3 厦门市自然生态安全评价	177
8.4 厦门市自然生态安全空间分异发展度与发展潜力动态评价	197
8.5 厦门市自然生态安全预警管理	217
第 9 章 焦作市生态安全评估与调控	223
9.1 焦作市经济社会与生态环境问题分析	223
9.2 焦作市规划实施生态安全评价	227
9.3 基于生态安全的焦作市产业现状分析	241
9.4 焦作市规划实施生态安全的调控	249
第 10 章 北京市生态安全评估与调控	261
10.1 北京市生态环境问题分析	261
10.2 北京城市规划体系	264
10.3 北京市能源规划实施的生态安全评估	265
10.4 北京市垃圾生态效率优化	282
10.5 北京市生态调控措施	298
第 11 章 广州市生态安全评估与调控	303
11.1 广州市生态环境问题分析	303
11.2 广州市土地利用规划分析	306
11.3 广州市土地利用规划实施的生态安全评估	308
11.4 广州市生态安全调控	320
参考文献	336
后记	344

第 1 章 城市生态安全概述

城市化快速发展的今天，生态安全已成为与人类休戚相关的问题。认识和研究城市生态安全机理和评价方法，了解城市生态安全的发展现状及存在问题，提出解决的对策，对城市的可持续发展将会起到重要的作用。城市生态安全是国家安全的一个重要方面，目前研究还处于初级阶段，其理论体系和评价方法有待于进一步研究与发展。本章在分析城市生态环境问题基础上，基于国内外生态安全相关研究成果，解析城市生态安全内涵，制定城市生态安全评估与调控技术方法框架。

1.1 城市生态环境问题

保障城市生态环境安全是生态城市建设的重要基础。城市生态系统不仅包括生物与非生物组成要素，还包括人类及其经济要素，它是人类主要的聚集地和社会、经济与文化的活动中心。我国目前地球上有 50% 以上的人口生活在城市，到 2050 年这个数字将达到 75%。我国经过 20 余年的工业化持续发展，已进入工业化中期发展阶段，我国城市具备了必要的经济实力，已经处在由破坏环境到治理环境的转折点。在这一过程中，深入剖析城市生态环境问题特征及其成因，将有助于实现城市生态安全评价与管理。

1.1.1 城市生态环境

城市是以非农业产业和非农业人口集聚形成的较大居民点（包括按国家行政建制设立的市、镇）。一般来说，生态环境是影响人类生存和发展的一切外界环境条件的总体，它包括自然的和人类改变了的环境。从复合生态系统角度来看，作为人类聚居地的城市，是经济和社会活动最集中的场所，是一类典型的社会-经济-自然复合生态系统。城市生态环境是指城市居民与城市环境的统一体以及这个统一体中进行物质、能量流动的因素，它是一个不断发展的多层次的巨系统，由城市居民以及与城市居民生产、生活有关的各种要素组成，可概括为自然环境、经济环境、社会环境三大部分。

与一般自然生态系统相比，城市生态环境在气候、水文、土壤、物种组成、种群动态和物质流方面具有独特的特点，产生了一些特殊的生态格局、过程、干扰和影响。城市生态系统组分中，除水、土、气、生因素外，还有一些人工组分，如人工构筑物——道路、广场和房屋等。城市生态系统的结构不但受到自然因素的影响和控制，而且要受到社会经济因素的影响和控制，人类对城市结构和布局的规划决定了城市发展的基本空间格局。城市生态系统结构和功能具有较快的演变速率，随社会经济发展而变化。城市生态系统具有高度的对外依赖性，需要外部的大量物质能量的输入才能够维持自身系统的完善与健康。

城市可持续发展是自然生态环境、经济生态环境、社会生态环境的协调发展。自然生态环境可持续是系统可持续发展的基础保证，经济生态环境可持续是系统可持续发展的前提条件，社会生态环境可持续是系统可持续发展的目的。三者协调有序的发展即可建立起城市生态环境的可持续发展。

1.1.2 城市环境问题的起因

近代工业革命以来，特别是第二次世界大战以后，世界范围内城市化发展迅速，城市化的发展过程不断影响着人类自身，改变了人类的生产、生活形态，创造了高度的物质文明。同时，其造成的环境污染也给人类发展带来了不利的影响。城市在自然界占有很小的空间，却集中了大量的人口、交通和信息流，建立了大量的人工设施，并生产了破坏城市环境的污染物质，改变了原来的生态平衡，造成城市物理环境的变化，如城市热岛效应、温室效应、土壤板结等。

从能量和物质代谢角度看，城市是生物圈表层最活跃的地点。人类活动对土地利用的直接影响控制了初级生产力和生物多样性。城市化通过改变地表的性质和热量平衡，影响生物地球化学过程，改变微气候和空气质量。城市化增加了不透水地表面积，同时影响地形和水文过程，改变水分、养分和沉积物的通量。这些影响将对我们的生存环境和社会经济发展产生很大的干扰，必须长期积极应对。现代城市是一类脆弱的人工生态系统，它在生态过程上是耗竭性的，其最大特点就是人口的高度密集；城市生态系统是不完全的和开放式的，主要体现在需要其他生态系统的支持，需要人为地输入大量的能源与物质；同时，城市中人类生产和生活中排泄的大量废物需要在其他生态系统中处理消化。城市生态系统的人口高度密集性、复杂性和开放性，导致城市发展过程中出现了一系列生态环境问题。

就城市生态问题而言，其实质主要体现在：一是以腹地生态系统耗竭为代价流入城市的资源，只有少数变成产品被社会所利用，多数物质和能量以废弃物的形式滞留在环境中，导致相应的生态环境要素质量的下降；二是大规模的城市生产生活活动导致土壤板结、水体枯竭，改变了水文循环和局部气候，增大了热岛效应；三是经济社会的生产、生活与生态管理职能条块分割，规划与城市发展往往不相符，以及公众生态意识低下等。

1.1.3 城市生态环境问题类型

目前城市生态环境问题主要表现在各生态环境要素的污染及生态要素的资源匮乏，剧烈的人类活动导致的城市结构的变化及其功能的退化，生产、生活与生态管理职能条块分割，规划与城市发展往往不相符所引起的问题。

随着城市人口的增长和工业化水平的提高，向大气排放废物也逐年增多，影响了城市大气环境质量，甚至伤害到人类健康。根据《2007 年中国环境质量公报》，2007 年空气质量达到和超过国家二级标准的城市数量比例达到 60.5%，劣于三级的比例下降至 3.4%，相比 2001 年，城市空气质量已有所好转，但我国城市空气污染问题依然严重。依据世界

卫生组织（WHO）2005年发布的空气质量准则中的相关标准（2005），中国城市空气中的主要污染物质二氧化硫（SO₂）、可吸入颗粒物（PM₁₀）等普遍超标，城市空气质量长期处于不健康状态；而联合国环境规划署（UNEP）2007年的年度报告表明，中国城市最为密集的东南沿海地区是全球可吸入颗粒物浓度高于60μg/m³的两大城市密集区之一（另一地区为印度半岛）；在全球空气污染最为严重的十大城市中，中国占了8个。随着城市化水平的提高，城市生产和生活耗水量增加，排放的污水量增加，造成对城市及其周围水域的严重污染。目前我国有1/3的河流、75%的主要湖泊、25%的沿海水域遭受严重污染，而这些污染水体主要分布于城市周边或流经城市。主要城市内湖水水质基本上为劣V类，超过1/2的城市市区地下水污染严重并在整体上呈恶化趋势。水体污染造成城市地区严重的饮用水安全问题。在113个环保重点城市中，16个城市饮用水水质全部不达标，占重点城市的14%；74个饮用水源地水质不达标，占饮用水源地的20.1%；5.27亿t取水量水质不达标，占重点城市取水量的32.3%。水体污染也加剧了城市水资源的普遍短缺。据水利部统计，全国现有的600多座城市中，超过2/3的城市存在缺水问题，其中1/6左右的城市缺水严重，缺水总量为60亿m³。

城市发展就是以钢筋混凝土结构代替自然生态结构的过程。人口增长、经济发展又使城市建筑物不断趋密趋高，更加重了土地的承载负荷，从而破坏了土地的自然结构，土壤颗粒间隙变小，蓄水能力下降。城市的建设使城市天然植被趋于灭绝，自然生态系统被彻底取代。除此之外，城市的发展还对郊区生态系统造成一定破坏，如北京市就存在一个以城市为中心向外辐射的“生态破坏圈”，其面积远大于城市面积。人口压力造成的乱垦滥伐、过度樵采和过度放牧，以及地下水位下降等因素，导致城市郊区天然植物破坏严重，造成黄土高原地区部分城市水土流失加剧、干旱区绿洲城市沙漠化等土地生态环境问题。

城市化的过程就是人口、政治、经济相对集中的过程。人口密度增大的同时，也带来许多社会环境问题。人口、经济在城市的相对集中发展，使城市空间越来越拥挤，城市或者缺乏统一规划，或者规划不尽合理。城市人均绿地面积过低、道路建设跟不上城市发展的步伐已经成为我国大多数经济较发达城市发展的制约因素；落后的市政设施难以适应城市发展的需求，导致住房紧张、行车难等社会问题。许多城镇片面强调拉大框架，占用大量优质农田，使其处于低效利用状态。区域和城市生态规划缺失，旧城改造和新区开发缺乏科学的区域发展规划，更谈不上相关的生态规划作保障；大量小规模工业小区和独立厂房遍地开花。马路经济、马路园区、马路商业这类沿路开发模式尽管造成了十分严重的生态环境问题，但仍然被许多地方政府所推崇。城市生态管理体制不健全，热衷于技术引进，疏于消化吸收。我国政府从世界各国引进了大量的污染控制技术，但由于国外污染形成的背景和控制因素与国内的情形不尽相同，资源利用效率低下，包括城市垃圾分选综合处理、中水回用以减少对地下水的开采、没有建立雨水收集系统和雨污分流系统。同时，城市作为高度人工化的生态系统，其生态安全状况与经济社会发展方式、产业发展政策、生态环境建设和国民生活与消费等方面有着密切的因果关系。因此，城市生态安全涉及社会、经济、资源、环境等各个方面。要保护和建设我国城市的生态安全，就必须综合考虑，采取一些战略性的行动和措施，使各个方面协调和持续发展。

城市化过程中产生的一系列生态环境问题，已经影响了城市人群的生活及福利，寻求

科学合理的评价手段和调控方式，将城市社会经济的发展控制在合理的程度和范围内，从而保障城市人群及生态系统的安全状态已成为目前亟待解决的问题。

1.2 城市生态安全的概念与内涵

1.2.1 城市生态安全发展概述

1948年7月13日，联合国教科文组织的8名社会科学家共同发表《社会科学家争取和平的呼吁》，提出在国际合作的前提下，以全球为范围进行实地的调查研究，解决现代若干重大环境问题，被认为是现代生态安全的先声。1977年，美国著名学者 Leicester R. Brown 在其《建设一个持续发展的社会》一书中专门研究了环境安全问题，并明确提出重新定义国家安全，试图将环境问题纳入到国家安全中。1989年，IIASA 正式提出了生态安全的概念。自此以来，国外对于生态安全的研究可以从宏观和微观两方面来阐述，具体如下：首先，在宏观角度上，国外主要围绕生态安全的概念与内涵、生态安全与国家安全、军事战略、民族问题、可持续发展及全球化间的相互关系而展开。例如，Rogers 从国家层面指出生态安全是国家安全和社会稳定的重要组成因素，是一个国家的生存和发展所需的生态环境，处于少受或不受破坏和威胁的状态，即自然生态环境能够满足人类和群落的生存与发展需要，同时不使其潜力受到损害。Dennis 指出，生态安全需要建立在人类与自然环境之间的平衡、人类与非人类种群间的平衡、不同人种间的平衡以及人类与致病微生物间的平衡等4种平衡的保持基础上。1996年，建立在生态安全、生态责任和可持续发展基础上的《面对全球生态安全的市民条约》，有来自100多个国家的200多万人签名。该条约要求各成员国及各团体组织互相协调生态及经济等各方面的利益，履行生态责任和义务。在1998年发布的《生态安全与联合国体系》中，各国专家及代表对生态安全的含义、不安全的原因、影响与发展趋势等发表了不同的看法。综上所述可以看出，作为一个热点，生态安全已被越来越多的专家、学者及行政长官乃至平民百姓所认识和重视。其次，从微观角度来看，国外对生态安全的研究主要集中在两方面：一是基因工程生物的生态（环境）安全与生态（环境）风险；二是施用化学品对农业生态系统健康及生态安全的影响。

2000年11月，在国务院首次发布的《全国生态环境保护纲要》中，明确提出“维护国家生态环境安全”。在此之前，国内关于生态安全的研究并不多见，自此以后有迅速增加的趋势，主要涵盖三方面的内容：首先，对生态安全影响我国社会和经济发展的必要性进行了充分论证。曲格平（2002）认为，生态安全是国家安全的重要基石，指出我国的生态安全已经在国土、水、生命健康与生物等四个方面突显出来。陈国阶（2002）指出，当前环境退化、生态破坏及其诱发的环境灾害与生态灾难不仅没有得到减缓，反而越来越对区域发展、社会进步、国家安全构成威胁。其次，对生态安全的概念及内涵进行了界定与探讨。最后，许多研究者对生态安全体系建设、生态安全评价指标体系的建立及评价方法、景观生态安全格局、自然保护区的生态设计等内容进行了探索。例如，周国富（2003）在总结生态安全的含义的基础上，提出了生态安全研究体系的基本框架。Xu 等

(2008) 根据生态学理论,对工业生态系统与工业系统安全进行界定的基础上,建立了包含系统活力、组织、恢复力在内的工业生态安全评价指标体系,提供了国家工业安全研究的新视角。Niu 等(2005)借助于 D-P-S-I-R 概念模型,建立了区域生态安全评价指标体系。Meng 等(2009)基于 P-S-R 概念模型,建立了包含 15 个指标在内的生态安全评价指标体系,并且运用层次分析法、模糊综合评价法和主成分分析法等对沱江流域 2015 年和 2020 年的生态安全状况进行预测,在生态安全评价方面更进了一步。俞孔坚(2008)深入研究了自然保护区中基于生态系统多样性保护和物种多样性保护的景观生态安全格局及景观规划的理论和方法,并进行了实证分析。徐海根等(2000)采用理论分析与案例研究相结合、资料调研与野外调查相结合的方法,建立了自然保护区的生态安全设计理论方法体系,同时应用 GIS 技术、整数规划和迭代法等,为一个或多个保护目标勾勒出多种保护规划的蓝图。

生态安全研究的内容涉及生态安全分析、生态系统健康诊断、生态系统服务功能的可持续性、生态安全监控、生态安全评价、生态安全预警与调控、生态安全维护和管理等,但主要集中在生态安全评价研究方面。生态安全评价是以生态环境质量评价成果为基础,依据生态系统自身为人类提供服务功能的现状和保障人类社会经济和农业可持续发展的要求,对照一定的标准,对生态环境因子及生态系统整体进行的生态安全状况评估;也有的指对生态系统的完整性以及各种风险下维持其健康的可持续能力的识别与判断研究。生态安全评价作为进行生态安全研究的基础,越来越受到广泛关注,在全球的环境管理中占据着越来越显著的地位。

在国外,生态安全评价伴随生态风险评价和生态系统健康评价的不断发展而产生,并应用于 20 世纪 80 年代环境管理目标及观念的转变。此后,国外学者从不同角度关注和评估生态安全状况,取得了卓有成效的结果。例如,美国环保局(United States Environment Protection Agency, USEPA)、华盛顿技术办公室等单位综合评价了美国亚特兰大的生态健康,分析了影响草原生态系统抵抗力和恢复力的各类干扰因素,并提出抵抗力与恢复力可以用做评定生态系统健康的重要度量指标。在加拿大魁北克省,采用综合水生系统模型,选用活力、恢复力、维持生态系统服务、组织结构、减少投入、管理、对相邻系统的危害及人类健康等 8 项指标,评估了有害化学品对河流、湖泊和水库造成的生态风险。综上所述,在国外生态安全及其相关的研究中,生态健康评价与生态风险评价均具有较为完整的概念体系和系统的操作步骤。

1.2.2 城市生态安全的定义

1. 安全的概念及属性

“安全”作为现代汉语的一个基本语词,在各种现代汉语辞书中有着基本相同的解释。《现代汉语词典》对“安”字的第 4 个释义是“平安;安全(跟‘危’相对)”,对“安全”的解释是“没有危险;不受威胁;不出事故”。而“安全”这个词有几个本质属性。

1) 安全的特有属性是没有危险

无论是在辞书中,还是在学术研究中,人们经常把安全与“不受威胁”、“不出事故”

等联系在一起，但是，我们不能因此认为“不存在威胁”、“不出事故”、“不受侵害”就是安全的特有属性。安全肯定是不受威胁、不出事故、不受侵害的，但是不受威胁、不出事故、不受侵害并不一定就安全。某些不安全状态也可能有“不存在威胁”或“不受威胁”的属性。例如，当某一主体没有受到外部威胁但却因内在因素而不安全时，不受威胁便成了这种特殊情况下不安全的属性。这是一种不受威胁或没有威胁状态下的不安全。安全的特有属性就是“没有危险”。单是没有外在威胁，并不是安全的特有属性；单是没有内在的隐患，也不是安全的特有属性。但是，包括了没有威胁和没有隐患这样内外两个方面的“没有危险”，则是安全的特有属性了。

2) 安全是主观与客观的集合

安全的特有属性是没有危险，但是危险是绝对的，没有危险是相对的，人类认为自身是否安全主要取决于危险的状态或程度是否是人类自身可接受或可承受的范围。所以安全实质上是人类主体对评价客体危险状态的认识和评价。以人类主体对自身是否安全的认识为例，没有危险的状态是安全，而且这种状态是不依人的主观意志为转移的，因而是客观的。但人类主体对危险的可接受或可承受范围是主观的，如同在地震常发区域，有的人整日忧心忡忡担心地震的到来会影响到生命，但有的人却认为地震不会发生或不会对自己造成致命伤害，这种认识与人的社会经历、人格意识等息息相关，是带有主观色彩的，所以安全是主观与客观的集合。

3) 安全是状态和过程的集合

在辞海和学术界，人们往往把安全定义为一种“状态”，但实际上这种定义的背后暗含着维持这种状态的过程的含义，如中华人民共和国国家标准职业健康安全管理体系(GB/T 28001)对“安全”给出的定义是“免除了不可接受的损害风险的状态”。这里“安全”是一个结果，其中包含“免除损害风险”的过程。国际民航组织对安全的定义：安全是一种状态，即通过持续的危险识别和风险管理过程，将人员伤害或财产损失的风险降低至并保持在可接受的水平或其以下。尽管安全定义为一种“状态”，但是关于维持着这种状态的过程的研究是十分重要的。

4) 安全需要实体依附

安全不是一种实体性存在，而是一种属性，因而它必然依附一定的实体。当安全依附于人时，那么便是“人的安全”；当安全依附于国家时，那么便是“国家安全”；而当安全依附于世界时，便是“世界安全”。这样一些承载安全的实体，也就是安全所依附的实体，可以说就是安全的主体。客观的安全状态必然是依附于一定的主体。安全的研究必须结合其依附的实体才有意义。

2. 城市生态安全概念

生态安全作为一种全新的环境管理目标，其概念的提出已有 10 多年。“安全”的含义被认为主要是人类主体对客体危险状态的认识和评价，“生态”则表征了安全的实体依附。在实际应用中，将“生态”定义为“生态系统”是研究者比较常用的方式，即生态安全是指生态系统安全或复合生态系统安全。而从不同的角度出发，生态安全衍生出不同的定义方式（表 1-1）。

表 1-1 生态安全概念汇总

作者	涵义	对象
国际应用系统分析研究所（IIASA）（1989）	在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会秩序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态，包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全，组成一个复合人工生态安全系统	自然-经济-社会
曲格平（2002）	主要包括两个方面：一是防止由于生态环境的退化对经济基础构成威胁；二是防止环境问题引发人民群众的不满，特别是导致环境难民的大量产生，从而影响社会稳定	复合系统
郭中伟（2001）	包含两重含义：其一是生态系统自身是否安全，即其自身结构是否受到破坏；其二是生态系统对于人类是否安全，即生态系统所提供的服务是否满足人类的生存需要，并强调生态系统自身的安全是生态安全的基础	
吴豪（2001）	生态系统的健康和完整情况。强调保障生态安全的生态系统应该包括自然生态系统、人工生态系统和自然-人工复合生态系统	
Rogers（1999）	从国家的层面，提出生态安全是指一个国家生存和发展所需的生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态，即自然生态环境能满足人类和群落的持续生存与发展需求，而不损害自然生态环境的潜力	自然、半自然系统
杨京平等（2003）	包括生物安全、环境安全和生态系统安全。其中，生物安全和环境安全构成生态安全的基石，生态系统安全构成生态安全的核心。没有生态安全，系统就不可能实现可持续发展	
全国生态环境保护纲要	是国家安全和社会稳定的一个重要组成部分，是指一个国家生存和发展所需的生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态	
肖笃宁等（2002）	人类在生产、生活和健康等方面不受生态破坏与环境污染等影响的保障程度，包括饮用水与食物安全、空气质量与绿色环境等基本要素	
左伟等（2004）	自然生态环境能满足人类和群落的持续生存与发展需求，而不损害自然生态环境的潜力	自然系统
崔书红（2001）	由水、土、大气、森林、草地、海洋、生物组成的自然生态系统是人类赖以生存、发展的物质基础。当一个国家或地区所处的自然生态环境状况能够维系其经济社会可持续发展时，其生态经济系统是安全的；反之，则不安全	

由表 1-1 中看出，目前对生态安全的概念、认识等还存在分歧，但综合国内及国际上的定义，基本上存在着广义与狭义两种理解。前者以 1989 年国际应用系统分析研究所（IIASA）提出的生态安全的含义为代表，包括自然、经济、社会生态安全三个方面，组成一个复合的人工安全系统；后者以 Rogers（1999）提出的含义为代表，指的是自然及半自然生态系统的安全，即生态系统完整性与健康的整体水平的反映。

国际应用系统分析研究所（IIASA，1989）提出的广义生态安全概念，强调生态安全是人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会秩序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态，包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全。此概念从人类安全的角度来定义生态安全，科学客观，因为只有人类才会有“安全”意识，所以“生态安全”只有针对人类才有意义。广义生态安全反映了复合生态系统生态安全的范畴，从范围大小也可分成全球生态系统、区域生态系统和微观生态系统等若干层

次，涉及内容广泛而具体，在生态安全研究中有一定影响力，适合于区域尺度以上的生态安全和可持续发展研究，为大多数学者所接受。

肖笃宁等（2002）将生态系统服务功能的可持续性作为生态安全研究的基本内容，并将生态安全定义为人类在生产、生活与健康等方面不受生态破坏与环境污染等影响的保障程度，包括饮用水与食品安全、空气质量与绿色环境等基本要素，以更好地体现人类对安全管理和安全预警等方面的主动设计与能动性。该定义中生态安全的含义主要包括两方面的内容：其一是生态系统自身是否安全，即其自身结构是否受到威胁；其二是生态系统对于人类是否是安全的，即生态系统所提供的服务是否满足人类的生存需要。这种定义提供了生态安全研究的一个侧面，即通过生态系统服务功能强弱来测度其安全程度。基于安全是风险的反函数，通常评价对象对于期望值状态的保障程度，或防止非理想的不确定性事件发生的可靠性。

曲格平（2002）认为生态安全包括两方面的含义：一是防止生态环境的退化对经济基础构成威胁，主要指环境质量状况和自然资源的减少退化，削弱了经济可持续发展的支撑能力；二是防止环境问题引发公众的不满，特别是导致环境难民的大量产生，影响社会稳定。

在宏观尺度上，依据研究范围大小和层次高低，生态安全的研究又可分为全球生态安全、国家生态安全、区域生态安全、景观生态安全、城市生态安全以及城市生态系统中各子系统安全。城市生态系统作为区域研究的核心，其安全水平及动态变化日益受到学者及决策者的关注。目前学者普遍采用施晓清等（2005）关于城市生态安全的定义：城市生态安全是指维护城市发展所需的生态环境能满足城市当前和未来发展需要的一种城市发展状况。该定义将人类主体的生态安全扩展到城市社会经济系统的层面上，而支持系统的安全性则更侧重于对城市系统中自然生态系统安全性的研究。

以上的定义表明了生态安全实质上包含两个层次的安全：人类主体的安全性和支持系统的安全性，这两种安全性是相对的，同时也是相互关联的。广义的生态安全将人的生存和发展能力不受威胁定义为生态安全，表面上更加重视人类主体的安全性，但是保障人的生存和福利不受损害的基础即为支持系统的安全性，所以支持系统安全也是该定义包含的一个方面。而基于生态系统服务功能作定义的生态安全则更强调支持系统自身的安全性，该定义将通过支持系统提供的服务功能来定义人类主体的安全性，但也是以人类主体的需求为标准的。基于安全风险关系定义的生态安全人类主体对自然生态系统期望值状态的保障程度，实质上是人类主体安全性的保障程度，而保障也是以支持系统安全性为基础的。所以根据不同的研究目的，生态安全的定义会从不同的角度出发，但实质上是在探讨以人类主体安全性支持系统安全性，以及这两者之间的相互作用相互关系，只是研究的侧重有所不同。

1.2.3 城市生态安全的内涵

城市生态安全的提出，首先来自于人类对于安全的需求，形成了精神世界的价值观念，对于支持人类生存发展的城市生态系统来说，其系统的安全稳定是基础，对于两者之

间的关联与联系可以作为一种状态来进行评价。可以分析得出，城市生态安全的概念包括观念、目标、状态三个层次的属性。

城市生态安全首先是一种观念，认为城市的发展与建设需要建立安全的底线，尤其是生态安全的底线，体现着人们对城市生态系统服务的需求，反映了对城市发展和建设行为的生态导向的价值观。而保证对生态环境影响冲击的最低限度就是保证生态安全，更高的要求就是把这种冲击纳入到生态环境自身的发展变化过程中去，使之成为生态环境动态变化的和谐一员。有学者提出“正生态”的概念就是表达了这样的内涵，人类的开发建设行为在消耗和污染自然界的空气、水、能源的同时，也能够帮助生态环境消解污染和产生新的洁净空气、水、能源等。

目标属性：城市生态安全是一种目标，城市的发展建设应该以协调生态关系、保证城市生态环境和城市自身的安全为目标之一。这是城市发展和建设的一系列目标体系的重要一员，即在追求城市经济增长、社会和谐、物质丰富、设施完备等传统目标的同时，也需要追求城市灾害事件的较少发生率和可能性，朝着城市生态安全目标不断地靠近。

状态属性：城市生态安全也是一种状态的描述，可以说是对城市生态安全目标状态的评价。在不同的社会经济背景下，城市生态安全的状态是动态变化的，通过对其进行评价分析，可以对城市生态安全的建设保障提供有利的信息，促进其进一步发展。

虽然不同的学者对城市生态安全的概念给出了不同的表述，但在城市生态安全的内涵和外延上却达成了很多共识。

(1) 生态安全指的是生态系统的安全。这里的生态系统既可以单指自然生态系统，也可以是自然-经济-社会复合生态系统。地域尺度上涵盖全球生态系统、区域生态系统、城市生态系统、微观生态系统等若干层面。

(2) 生态安全是生态系统的一种存在状态。生态安全是生态系统相对于生态风险、生态威胁的一种存在状态，是其在一定时期内本质属性和总体功能的具体表现。生态系统的状态有“安全”与“风险”两个方面，可以说，生态安全与生态风险互为反函数。生态风险是指特定生态系统中发生的随机事件的概率及后果，如干扰或灾害对生态系统结构和功能造成的损害，具有不确定性、危害性与客观性。

(3) 生态安全是相对的。安全是相对不安全而言的，不存在绝对的安全。构成生态安全的众多因素对人类生存和发展的影响程度并不相同。如果用生态安全系数来表征生态安全的满足程度，则各地的生态安全保证程度可以不一样。因此，可以通过建立反映生态因子及系统综合质量的评价标准来定量地评判某一区域或国家的安全状况。

(4) 生态安全是动态的。一个城市、区域、国家的生态安全不是固定不变的，它不断地随环境变化而变化，即影响安全的因子发生变化，反馈给人类的生活、生存及发展条件，导致安全程度发生变化，甚至可能导致系统状况由安全转变为不安全。

(5) 人类可以对生态安全进行监测、评价、预警与调控。通过生态安全评价，可以确定一个城市、区域、国家的生态安全状况。对不安全的地区或国家，人类可以通过监测、预警和调控等措施建立生态安全保障体系，促使不安全因子向安全方向转化，不断优化、提高未来的生态安全状况。

(6) 生态安全是经济、社会持续发展的前提。对一个国家而言，生态安全与政治安

全、经济安全、军事安全等一样，是国家安全体系的重要构成因素，而且是相对独立的一个部分，更是其他安全的载体和基础。生态安全是民族和国家实现持续发展的基石。一个国家，若生态安全阈值较低，资源储备较匮乏，经常遭遇生态危机，整个国家的持续发展必然会受到影响，甚至危及国家的稳定。

(7) 维护生态安全需要成本。一般来讲，生态安全的威胁来自于人类自身的活动，也就是说，是人类自身的活动引起环境的破坏，从而导致生态系统对人类产生威胁。为了解除这种威胁，人类在不断调整自身行为的同时，还需要付出代价，需要投入经济、人力成本。

综合上述对城市生态安全概念及其共同性认识的分析，一般认为城市生态安全是指一个城市的环境和资源状况能够满足人类经济、社会等的持续发展需求，又能通过自身及经济、社会的调节保证其生态环境状况处于不受或少受威胁的状态。其中，人类社会的需求与资源和环境的可持续供给之间的关系是核心内容。该概念包括两层内涵：其一，研究对象是城市自然-经济-社会复合生态系统，该系统涵盖自然、经济、社会 3 个子系统；其二，三者间相互作用，自然生态系统提供服务，社会、经济子系统消耗资源、排放废物并积极响应，三者相互制约，表现为相互间的各种威胁与破坏，同时又有有机联系，表现为相互间的支持与改善，共同孕育出城市生态安全的理想状态，即以自然生态子系统的健康和社会、经济子系统的可持续发展为内涵的广义可持续发展。

1.3 城市生态安全评价与调控研究进展

1.3.1 城市生态安全评估方法

城市生态安全也可以理解为城市生态系统的健康与稳定，已经超越了城市建设与环境保持协调的层次，它融合了社会、文化、经济等因素，体现的是一种广义的生态观。随着生态安全研究的深入，在融合各相关学科和研究领域成果的基础上出现了一系列评价生态安全的方法，如综合指数法、生态足迹法、景观生态格局法及其他生态安全评价法，这些研究方法都不同程度地考虑了人类活动对环境的压力、自然资源的质量变化和人类活动的状况。

1. 指标体系法

了解城市生态安全的状况对维护城市的持续发展十分必要，它是正确决策的基础，而客观的评价需要科学的评价原则作为指导。城市生态安全评价需要遵循以下原则。

(1) 科学性原则。在评价时，指标体系一定要建立在合理的基础上，能客观和真实地反映系统发展的状态、各个子系统和指标间的相互联系，并能较好地度量研究目标的实现程度。

(2) 整体性原则。由于系统是一个有机的整体，评价指标应是能真实反映系统的综合体。在选择评价指标的时候，必须使评价目标和评价指标有机地联系起来，组成一个层次分明的整体，这样才能保证评价结果的真实可靠。