

生态基础设施视角下的城市生态修复策略

An Urban Ecological Restoration Strategy from the Perspective of Ecological Infrastructure

张玉钧 薛冰洁

ZHANG Yujun; XUE Bingjie

摘 要 城市外部条件的快速变化使得城市生态系统具有复杂性和不确定性，为此提出的“城市双修”强调对城市进行生态修复，且必须能够适应这种变化带来的复杂性和不确定性，以便在多种选择的修复策略中采用一种减缓性措施，来降低城市发展过程中出现的生态风险。本文通过分析和梳理城市生态系统中城市生态基础设施的概念、类型和基本生态服务，受损生态基础设施的现状以及生态修复面临的问题，对城市湿地的生态修复提出了减缓性策略，以期为今后的城市生态修复提供一种实施途径。

关键词 城市生态系统，受损生态基础设施，基本生态系统服务，生态修复，减缓策略

Abstract The rapid change of urban external conditions makes the urban ecosystem complex and uncertain. To adapt to this situation, city betterment and ecological restoration emphasizes the ecological restoration, which aims at reducing the ecological risks in the process of urban development with a mitigation measure. Based on the analysis of the concept, type, basic ecological service, damaged ecological infrastructure and the problems of ecological restoration in urban ecosystem, this paper puts forward a mitigation strategy for the ecological restoration of urban wetland in order to provide an analytical method for urban ecological restoration in the future.

Keywords urban ecosystem, damaged ecological infrastructure, basic ecosystem services, ecological restoration, a mitigation strategy

- 中图分类号：TU984
- 文献标识码：A
- DOI：10.12049/j.urp.201703007
- 文章编号：2096-3025（2017）07-0053-07

作者信息

张玉钧 北京林业大学园林学院教授、博士生导师，生态旅游发展研究中心主任
薛冰洁 北京林业大学园林学院博士研究生

城市生态系统是城市居民与周围的生物与非生物环境相互作用而形成的一类具有一定功能的网络结构，也是人类在改造自然和适应自然环境的基础上建立起来的特殊的人工生态系统^[1-3]。人类早期的栖居地无疑是其周围自然环境的组成部分，后来随着城市的出现，人工环境逐渐与自然环境的相互交织或镶嵌在一起，形成一

种次生环境。这种次生环境是受损自然生境退化的阶段性产物^[4]，构成了以人类活动为中心的城市生态系统。城市生态系统表现为由社会、经济和自然三个亚系统组成的复合生态系统^[5]，其中，自然亚系统也被看作是城市生态基础设施。

城市生态基础设施是提升城市生态系统健康水平和维护城市人居环境的关键环节，是社会赖以生存和发展的基本物质条件^[6]。然而，随着经济的快速发展和人口的迅猛增长、城市的迅速扩张以及沥青、混凝土等不透水地面的增加，导致城市绿地和湿地的生态基础设施面积大幅减少，生境破碎化严重，城市的热岛效应、灰霾效应、雨洪雨污效应及水体富营养化等生态环境问题加剧^[7]。而作为城市基础性结构的生态基础设施受损严重，导致其自我调节能力和生态系统服务水平大大降低。在此背景下，住房和城乡建设部于2017年提出在各城市制定“城市双修”的实施计划，进行“生态修复和城市修补”。“城市双修”以景观生态学、城市生态学等理论为主要支撑，强调生态修复对于改善人居环境、转变城市发展方式的必要性，因此，实施生态修复策略具有无可替代的重要性。

1 城市生态修复的对象分析

城市生态修复是以生态系统本身的自我修复能力为主，以外界适当的人工调节能力为辅，来恢复生态系统原有的保持水土、调节小气候、净化环境、维护生物多样性的生态功能^[8]。城市生态修复的对象是城市受损的生态基础设施，为了使受损的生态基础设施恢复到正常状态，保障其结构的完整性和功能的完善性，需要对受损的生态基础设施进行修复。具体的修复内容包括城市山体修复、水体治理和修复、废弃物修复和利用以及完善绿地系统。生态修复的方式是对受损的生态基础设施进行技术处理，以增加其持久的耐用性和对影响的抵抗力。生态修复的技术包括各种湿地治理、增加城市绿地与植被、土壤处理和地表改进措施、利用更具生态修复力和抵抗力的植物品种等，目的是来提高生态系统的承受力及自我修复力^[9]，后续的景观设计技术也可以作为提高生态服务的辅助手段。

1.1 城市生态基础设施概述

1.1.1 城市生态基础设施的概念

生态基础设施 (Ecological Infrastructure, 简称 EI) 一词最早见于1984年联合国教科文组织的“人与生物圈计划 (MAB)”所发布的生态城市规划报告中。该报告提出生态城市应遵循的五项原则：①生态保护战略；②生态基础设施；③居民生活标准；④历史文化的保护；⑤将自然引入城市^[7,10-11]。我国学者于2002年引入生态基础设施的概念并将其应用于城市规划的实践中^[12]。城市生态基础设施本质上是一种基于功能利用与格局分布的概念，主要体现在生境、生态服务功能、生产者和城市生态框架的构成要素等方面，可以将其理解为城市生态系统必须的自然基础和框架，是能够提供生态服务功能和自然资源服务功能的部分，具有必要性、基础性和不可替代性等特点。城市生态基础设施主要包括城市及与之密切相关联系的郊区所构成的区域中包含的城市绿地、森林、水系、湿地、农田、自然保护系统等，也有学者将这一概念引伸到自然文化遗产网络中^[6-7]。本文中的生态基础设施主要指自然景观和腹地对整个城市提供持久支持能力的生态系统^[13-14]，其主要发挥生态系统服务功能。

1.1.2 城市生态基础设施的类型

城市生态基础设施取代了原初的自然生态系统，成为城市及其居民持续获得自然生态服务的基础和保障，这些生态服务包括：提供新鲜的空气和食物，提供体育、休闲娱乐、安全庇护的场所及提供审美和教育价值等^[6]。有学者认为城市生态基础设施至少应由城市湿地生态基础设施、城市绿地生态基础设施以及城市地表硬化的生态改造工程三个方面构成^[7]。其中，湿地是城市生态基础设施重要的组成部分，它不仅具有丰富的自然资源，还具有重要的生态系统服务功能；城市绿地和植被在改善城市空气质量、调节小气候、美化城市景观等方面起到重要的生态作用；而城市地表硬化是城市发展和扩张的重要特征之一，也是人类干扰和破坏城市生态基础设施的集中表现。总之，由湿地、绿地和城市地表硬化的生态改造工程构成的城市生态基础设施是社会赖以生存和发展的基

表1 MA生态系统服务类型及其具体的服务内容

Tab.1 Ecosystem services types and their specific ser-vices of MA

序号	生态系统服务类型	具体服务内容
1	支持服务	土壤形成、光合作用、初级生产、营养循环、水循环
2	供给服务	食物、纤维、燃料、基因资源、生物—化学物质、天然药材和药物等、装饰资源、淡水
3	调节服务	空气质量调节、气候调节、水分调节、侵蚀调节、疾病调节、害虫调节、传粉、自然灾害调节
4	文化服务	文化多样性、精神和宗教价值、游憩和生态旅游、审美价值、知识系统、教育价值

资料来源：笔者整理

表2 城市生态基础设施提供的基本生态服务及其功能特征

Tab.2 Basic ecological services and functional characteristics of urban ecological infrastructure

序号	主要生态基础设施的类型	生态系统服务类型	具体服务内容
1	湿地、森林公园、自然保护区、农田、生态缓冲带	调节区域气候、维持生物多样性和景观完整性与文化多样性	缓解热岛效应、维持生物多样性、涵养水源，控制城市的无序膨胀，对城市的生态环境进行调节和缓冲，为城市居民提供接触自然、体验农业以及观光休闲的场所，促进城乡生态文化的交流
2	河流、湖泊、绿道、园林绿地	改善城市内部环境质量	减轻噪声、减少悬浮颗粒、净化水质
3	城市公园、居民区绿地、附属绿地	维持社会稳定和谐	提供日常休闲游憩的场所；缓解疲劳，减轻压力；提供交流机会，促进并维持社会完整性

资料来源：笔者根据李锋《基于生态系统服务的城市生态基础设施：现状、问题与展望》整理

本物质条件，是城市及其居民持续获得生态系统服务的保障。中国在快速城市化的进程中，保障其生态基础设施的健康与完整迫在眉睫^[11]。

1.1.3 基本生态系统服务

1997年，Daily出版了《自然服务：社会对自然生态系统的依赖》一书，定义生态系统服务是生态系统及其生态过程所形成与维持的人类赖以生存的环境条件与效用^[15]。同年，Costanza在《自然》杂志上提出，生态系统服务代表人类直接或间接从生态系统功能中获得的利益，包括生态系统所提供的产品和服务^[16]。2001-2005年实施的“千年生态系统评估”（Millennium Ecosystem Assessment，简称MA）项目把生态系统服务研究推向了高潮。MA将生态系统服务定义为“人类从生态系统中获得的收益”，把服务功能分为支持服务、供给服务、调节服务和文化服务四大类。这种分类方案对后来生态系统服务价值研究产生了深远影响，被广泛用于评价和核算生态系统服务功能的价值（表1）。这个分类方案对后来的生态系统服务价值研究产生了深远的影响，是目前被广泛接受和使用的方案之一^[17-18]。

上述生态系统中四种服务类型的重要性等同，但由于城

市生态基础设施的限制性条件决定其必须优先保证一些基本的生态系统服务。城市生态基础设施所提供的生态系统服务包括水循环、气候调节、水资源供给、生物多样性保护、文化多样性与审美价值等（表2）。这些生态系统服务在城市发展中的作用是不可或缺的，同时也是人们能够通过城市生态修复等手段来实现的。维护这些基本生态服务的安全格局，就是城市发展的生态底线^[6-7, 11, 19]。

1.2 城市受损生态基础设施的现状分析

城市生态系统具有先天的脆弱性，这种脆弱性主要表现在三个方面：①它是一个不完整的系统，需要有一个人工管理完善的物质输送系统，以保持其相对的稳定性；②它的自然调节机能具有一定的生态阈值范围，但目前已经受到一定程度的破坏；③它的生命系统的主体是人类，而非各种植物、动物和微生物，次级生产者和消费者都是人，因而食物链已被大大简化。由城市扩张带来的“破坏性建设”，使得本来就具有限制性的城市生态系统更加脆弱，目前的城市生态基础设施基本处于“亚健康”状态。首先，区域山水格局和大地肌理的连续性和完整性被打破。城市建成区的地毯式扩张，使得维护城市景观的镶嵌体格局和生态学过程被切断，风、水、

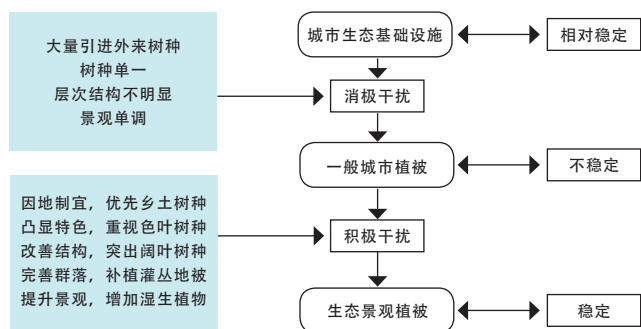


图1 城市植被改造的干扰机制

Fig.1 Interference mechanism of urban vegetation

资料来源：笔者自绘

物种、营养的流动难以为继必然会使城市生态系统运转不良、退化甚至崩溃^[20-21]；其次，围绕在城市周边或镶嵌在城市中的乡土自然景观并未得到足够的重视。欧洲的田园景观和日本的里山自然，都是经过城市化过程的洗礼之后而定型并保留下来的^[22]。但在我国，伴随着城市化进程的加速，城市与自然环境分离，传统的乡土自然环境受到前所未有的开发冲击。事实上，乡土自然作为一种次生自然，其生态学价值也不可忽视。长期以来，乡土自然与人们的生产、生活紧密结合才得以维持下来，这在生态学上属于一种良性的干扰过程。放弃对乡土自然的适当管理，中止这种干扰过程，有可能导致乡土自然本身的生物多样性出现危机，其后果是某些已经适应了乡土自然环境的植物或动物，如许多伴人植物或昆虫，有可能从此消失或灭绝；最后，湿地生态系统受到过度的扰动，河流被“裁弯取直”，湖泊、湿地被填埋造田，无论老城更新或新城建设都忽视了建造活动与土地之间的联系，致使历史沉积下来的相对稳定的景观结构正在迅速改变^[23]。城市与其自然环境中的山、水、林、田、湖被相互割裂，生命共同体没有形成完整的体系。

2 城市生态修复面临的问题

城市生态修复面临的问题很多，其中首要的问题是理论对实践的指导作用不强以及环境影响评价制度的缺失。

2.1 理论对实践的指导作用不强

城市生态修复所涉及到的理论包括复合生态系统理论、生态系统服务及其权衡协同理论、景观生态学理论、恢复生态学理论、干扰生态学理论、生态基础设施理论、人与自然共生共赢理论以及生态系统管理理论等诸多理论。目前各种理论在实践应用环节针对性不强，尤其是各种理论的配套和整合运用与城市的生态修复实践存在严重脱节。以干扰生态学理论为例，该理论认为在自然生态系统中，干扰机制贯穿着整个生态过程，消极干扰使作用对象和系统发生衰退，积极干扰能够促进群落正向演替，使系统达到稳定和平衡的状态^[24-25]。城市建设使原有的自然或城市生态系统遭受剧烈的干扰和破坏，这属于外部因子的消极干扰。而对城市绿地进行积极维护，以恢复土地的活力和维持其生态服务，这属于积极正向的人工干扰。在植被重建过程中，需要引入积极的干扰因子或措施，包括适地适树、充分利用现有的林分资源、适当选择乡土树种等，以达到兴利驱害的效果，并建立一个具有适应能力、持久吸引力和可以有效维护的城市景观植被。因此，干扰理论的研究有助于在绿地建设和植被形成过程中，了解乡土植被被破坏的原因，识别消极的干扰因子并避免负面干扰产生的破坏和不利影响。在此基础上引入积极的干扰因子，改造一般的城市植被使其成为生态景观植被，将绿地建设目标和植被演替方向置于可控范围之内（图1）。

日本琵琶湖国家公园的实例可以充分说明这一点。琵琶湖是著名的游览胜地，面积约690km²，为日本《湖沼水质保全特别措置法》指定保护湖泊，也被列入《湿地公约》这一国际重要湿地名录中。作为近畿地区1400万人的水源地，琵琶湖被人们亲切地称为“生命之湖”。在1945年6月经由公开征求选出的“琵琶湖八景”中，至少有一半都与植被景观有关。过去琵琶湖周围的山上多是针叶林，后经人工改造成为常绿阔叶林，在此过程中，日本提出以下具体措施来确保其生态系统不被破坏：①保林护林措施：确定现有天然林和人工林的保护范围，要求对人工林进行间隔采伐、维护保养等科学管理，防止林区地面植被的破坏，防止水土流失；②造林措施：根据森林状况进行发展规划，扩大造林范围，

引入多层林木营造项目,在造林的同时改善林木的景观结构;③育林措施:推动森林病虫害防治措施,培养森林管理人员,提高山区森林管理人员的待遇,整治林内道路等设施,确立森林管理的支援体制;④砂防措施:通过建立防砂堤、防砂坝,以及滑坡治理、道路河床保护等工程措施来防止泥石流等灾害引起的水土流失;⑤治山措施:通过山区综合治理,恢复荒废山地的生态,建造防灾林、保安林,预防、治理山腹崩坏、危险边坡等,达到防灾和保护森林的目的;⑥通过保护梯田及完善农业基础设施确保在集水域范围内有一定的农地渗透地域;⑦通过对市区街道进行透水性路面铺装、整治路边植树带和城区绿化等措施确保市区有一定的雨水入渗区域。此案例中可借鉴之处是,在治山养水的同时充分利用原有林分资源,重视林相改造。

2.2 环境影响评价制度缺失

环境影响评价(Environmental Impact Assessment,简称EIA)是指对建设项目或政策引起的环境变化(包括对自然环境和社会环境的影响)所进行的预测和评价,并据此提出减缓环境负向变化的措施。其基本目的是在建设项目或政策对外部环境或多或少产生不利影响的情况下,摸清两者的关联机制,从而制定相应的措施,协调社会经济发展与环境保护的关系,为谋求人类社会的健康、持续发展提供科学的方法论基础。发达国家已经建立了成熟的环境影响评价制度,如美国、瑞典、澳大利亚、法国、加拿大、德国和日本等国家。这些国家除了开展环境影响评价之外,还开展了社会环境影响评价、景观协调性评价、环境风险评价、环境影响综合评价以及环境经济分析。涉及到的环境评价指标包括:①生态系统层面的物种、种群、群落、生境以及生态系统等;②物理—化学环境层面的大气、水、噪声、土壤和土地利用等;③美学环境层面的土地景观、气象景观、水文景观、生物景观和建筑景观等;④社会环境层面的福利水平、社会结构、社区关系、发展政策、人际关系、价值观体系、文明程度和社会秩序等。我国在某些大型建设项目上已经开展了相应的环境

影响评价工作,但在城市生态修复领域,完善的环境影响评价制度尚未建立,尤其是公众、政府主管部门和科学咨询部门还存在协调不够的问题。开展环境影响评价的目的是为了尽量减缓环境的负面影响,而环境负面影响减缓措施对保护自然环境特别重要,因此有必要采取回避、降低以及代偿等措施来保护环境。这种环境影响评价不仅仅限于项目的规划阶段,还应该包括项目建设、收尾阶段以及完成之后几年的跟踪阶段。

3 城市生态修复的减缓策略

生态修复的目的是为了维持城市生态基础设施的基本服务能力。正如前文所述,城市生态系统是复杂的,是由社会、经济和自然三个亚系统组成的复合生态系统,需要能够处理不同时间、空间和社会尺度及层次结构的复合问题,在此过程中不可避免地会产生不确定性以及多维的互动作用,因此应该将资源、社会和个体行为者的行为组成的网络进行结合^[26]。复杂适应系统(Complex Adaptive System,简称CAS)具有非线性反馈、战略相互作用、个体和空间异质性以及时间尺度不同等显著特征。因此,可以借鉴系统论的理念进行综合治理,将城市生态系统视作连接人与自然的复杂的适应系统^[27]。根据CAS理论,个体与个体之间、个体与环境之间具有相互作用,个体发挥主观能动性调整自身状态,不断进行演化来适应环境,进而改变整个系统的功能和属性^[28]。

而城市生态修复的对象主要是自然亚系统部分,它以受损生态基础设施的形式出现,本身已处于自然生境的退化阶段。这种自然生境的退化包括社会经济和生理功能两个方面,正是这两方面的原因,决定了自然亚系统具有较强的不确定性。而人们难以对自然生境的退化或受损程度进行评价,是因为社会及公众对城市复合生态系统中自然亚系统的物质产品和基本生态服务的需求,影响了其对自然生境退化过程的理解和认识。当自然生境失去对那些必要资源的制约能力时,其生理功能退化就会发生,而生物多样性的变化虽然降低了自然生境的社会经济价值,但不会影响它对那些必要资源的制约能力。良好的生态资源本底,为城市发展创造了基础条件,

而城市经济的快速发展又给城市生态环境带来明显的压力^[4]。因此,通过城市生态修复可以平衡城市资源依赖和制度压力之间的矛盾。

生态减缓(Ecological Mitigation)是指解决影响自然环境和生态不确定性的潜在因素的做法,其目的是保护自然系统的健康,以提高其继续生产可再生资源的能力。生态减缓的例子如通过环境制度约束温室气体减排,这种措施能够积极地减少与气候变化有关的不确定性因素。严格意义上的生态减缓是指减少或消除人的行为对自然环境造成损害的做法^[29]。在生态环境中,减缓通常包括回避、降低和代偿等措施,预期的结果是没有全面的生态价值损失^[30-31]。在做生态工程时,要尽量减缓工程本身对自然环境造成的不利影响,以保护生物的多样性。

在道路建设过程中,通过尽量不改变地形、避免动物繁殖期施工、重要物种异地保护以及地下水保护等措施,来应对栖息地消失或面积缩小、栖息环境发生质变的问题,最终可以达到预期的结果:①回避和降低因地形改变而引起的栖息地消失或面积缩小;②降低噪音对敏感物种的影响;③通过异地保护措施,避免因地形改变而影响动物种群;④降低水环境变化对动物栖息环境的影响。

在水系河道的修复治理过程中,应在保证预期治水效果和不破坏原有水系生态系统的前提下,寻找到另外一种施工技术手段作为对我国传统衬砌方法的补充即采用树木桩植进行河道治理的近自然型施工技术。这是一种亲水作业的施工方法,尤其对于水流平缓的城乡水系河道的治理具有明显效果,既不会改变河道周边的景观,又可以减缓生物多样性的丧失过程。事实上这项技术的原型始于荷兰,日本自明治时期引入,后来在实践过程中参考了德国和瑞士等国的做法并经过不断改进,现已比较完善与成熟。此项技术的优点是施工过程比较简单,成本低,耗资少,经久耐用,在实现预期治水效果的同时,也保全了景观和生物的多样性。我国目前在涉及城乡水系河道的治理方面还缺少这种成熟的技术和方法,因此迫切需要采取适应性的修复技术。

与传统衬砌技术相比,近自然型施工技术的先进性在于

它使用的是自然素材,具有柔软性,施工也比较容易,因而施工后对河床底盘沉降变化的适应性比较高,同时克服了传统施工过程中忽视保护生物多样性的缺点。这项技术拟解决的关键问题是建立配套的技术体系,针对不同河道的特点选择相应的施工方法,并注意协调治水效果、环境保护、景观及生态系统维护等各个方面的关系。该技术的应用前景非常广阔,除了用于上述城乡水系河道的治理之外,还可以用于暗渠排水工程、农田土地改良、公园施工以及公园造景甚至海岸加固等工程。

4 结论与讨论

“城市双修”强调了对受损的山体、河流、湿地、植被等的生态修复,“山、水、林、田、湖”是一个不同尺度下复合的有机生命共同体,它在让城市再现绿水青山的过程中,也需要受到统一的、系统化地整治和管护。

城市生态系统具有复杂性和不确定性的综合特征,生态基础设施在其中承担着服务基本生态系统的功能。本研究的重点在于将生态修复的系统理论与“城市双修”的实践活动相结合,采取生态修复的减缓策略,尽可能避免不当的修复措施给城市带来生态风险,并通过该研究,为城市建设实践中调整土地利用方向,合理布局城市湿地、城市绿地、植被以及城市地表硬化等生态改造工程提供新的思路,降低人类活动对生态系统的干扰,促使城市受损的生态设施恢复到健康状态。通过生态修复手段,实现社会系统、经济系统和自然系统的协调发展,促进城市生态资本增值,全面提升生态系统的服务功能,最终形成生态系统修复、景观功能提升和生活品质优化的生态宜居城市。 **URP**

参考文献 References

- [1] 解艳萃.城市生态系统研究进展[J].中国资源综合利用,2016,34(11):53-55.
- [2] 石惠春,刘伟,何剑,等.一种城市生态系统现状评价方法及其应用[J].生态学报,2012,32(17):5543-5549.
- [3] 赵帅,柴立和,李鹏飞,等.城市生态系统健康评价新模型及应用——

- 以天津市为例[J].环境科学学报,2013,33(4):1173-1179.
- [4] Steven G Whisenant. 受损自然生境修复学[M].赵忠,译.北京:科学出版社,2008.
- [5] 马世骏,王如松.社会—经济—自然复合生态系统[J].生态学报,1984,4(1):1-9.
- [6] 俞孔坚,王思思,李迪华,等.北京城市扩张的生态底线——基于生态系统服务及其安全格局[J].城市规划,2010(2):19-24.
- [7] 李锋,王如松,赵丹.基于生态系统服务的城市生态基础:设施现状、问题与展望[J].生态学报,2014,34(1):191-200.
- [8] 贾建中.城市生态修复规划的理与法[EB/OL].(2015-10-12)[2017-04-30]<http://www.planning.org.cn/report/view?id=101>.John J Pigram, John M Jenkins. 户外游憩管理[M].高峻,朱璇,吴云,等译.重庆:重庆大学出版社,2011.
- [10] 任宪威,梁红平,张玉钧.北京自然保护区的现状评价与发展构想[J].自然资源,1993,17(1):59-63.
- [11] 俞孔坚,李迪华,韩西丽.解决城市生态问题的生态基础设施途径[J].自然资源学报,2007,22(5):808-816.
- [12] 俞孔坚,李迪华.论反规划与城市生态基础设施建设[C]//中国科协2002年学术年会第22分会论文集.2002.
- [13] 刘海龙,李迪华,韩西丽.生态基础设施概念及其研究进展综述[J].城市规划,2005,29(9):70-75.
- [14] 唐小平,黄桂林,张玉钧.生态文明建设规划:理论·方法与案例[M].北京:科学出版社,2012.
- [15] Richards, Kenneth. Daily Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M].Washington D C: Island Press, 1997.
- [16] Costanza, Arge R, Groot, et al.The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. Nature, 1987, 387(5):253-260.
- [17] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis (Millennium Ecosystem Assessment Series)[M]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [18] 刘尧,张玉钧,贾倩.生态系统服务价值评估方法研究[J].环境保护,2017,6:69-73.
- [19] Jack Ahern, Sarel Cilliers, Jari Niemelä. The Concept of Ecosystem Services in Adaptive Urban Planning and Design: A Framework for Supporting Innovation[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 125:254-259.
- [20] 俞孔坚,李迪华.城市景观之路——与市长们交流[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [21] 邬建国.景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M].2版.北京:高等教育出版社,2009.
- [22] 张玉钧.重新审视乡土自然的价值[N].人民日报(海外版),2003-02-10.
- [23] 王向荣.自然与文化视野下的中国国土景观多样性[J].中国园林,2016(9):33-42.
- [24] 周道玮,钟秀丽.干扰生态理论的基本概念和扰动生态学理论框架[J].东北师范大学学报(自然科学版),1996(1):90-96.
- [25] 葛书红,王向荣.煤矿废弃地景观再生规划与设计策略探讨[J].北京林业大学学报(社会科学版),2015,14(4):45-53.
- [26] Christian Rammel, Sigrid Stagl, Harald Wilfing. Managing Complex Adaptive Systems——A Co-evolutionary Perspective on Natural Resource Management[J]. Ecological Economics, 2007, 63(2):9-21.
- [27] Simon Levin, Tasos Xepapadeas, Anne-Sophie Crépin, et al. Social-Ecological Systems as Complex Adaptive Systems: Modeling and Policy Implications[J]. Environment and Development Economics, 2013, 18(2):111-132.
- [28] 谭跃进,邓宏钟.复杂适应系统理论及其应用研究[J].系统工程,2001(5):1-6.
- [29] Pete Tashman, Jorge Rivera. Ecological Uncertainty, Adaptation, and Mitigation in the U.S. Ski Resort Industry: Managing Re-source Dependence and Institutional Pressures[J].Strategic Management Jouenal, 2016, 37:1507-1525.
- [30] Trizjournal.Is TRIZ Useful For Generating Ecological Mitigation Solutions? [EB/OL].(2004-04-20).<https://triz-journal.com/triz-useful-generating-ecological-mitigation-solutions/>.
- [31] 森本幸裕,亀山章.ミテイゲーシヨ ン ー 自然環境の保全・復元技術[M].東京:ソフトサイエンス社,2001.