

Biological Restoration and Practical Methods to Treat Environmental Pollution

基于环境污染治理的 生态修复与实践路径

——以北京园博会为例

文 \ 张祖群 \ Zhang Zuqun \ 中国科学院地理科学与资源研究所博士后、
首都经济贸易大学工商管理学院副教授
王 波 \ Wang Bo \ 首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院博士

导读：生态修复在基础理论上达成8条种共识，在土壤、水、大气等环境中广泛运用。2013北京园博会秉承低碳发展理念、循环发展理念、绿色发展理念，运用多种生态修复技术，体现生态可持续发展理论与生态文明。其中，为根治永定河老河道进行生态修复使之成为“锦绣谷”的景观，成为最大亮点，且体现了基于生态修复的可持续发展、生态修复在大地园林中的体现。

Key Words

关键词：北京园博会；生态修复；“锦绣谷”；生态文明

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7739.2014.01.010

一、研究综述

（一）生态修复概念界定

生态修复是以生态学原理为指导，以物理修复、化学修复及技术工程为手段，通过一定的优化组合，使之达到最佳效果和最低耗费的一种综合的污染环境修复方法。^[1]生态修复是相对于生态破坏而言，以生态工程或生物技术为措施，将受损生态系统恢复到原来或与原来相近的结构和功能状态。污染环境的生态修复是指在生态学原理的指导下，对多种修复方式进行优化综合。^[2]它具有三个主要特点：①遵照生态学原理中的循环再生、和谐共存、整体优化、区域分异等；②主要通过微生物和植物等的生命活动来完成，生态修复的影响因素多且复杂；③需要物理学、化学、植物学、微生物学、栽培学和环境工程等多学科的合作来保障生态修复的顺利实施。^[3]

综合国内外相关学者文献，生态修复在基础理论上达成如下共识：第一，不利干扰是生态系统退化的动力，生态修复的最基本条件是消除不利干扰。^[4]第二，退化生态系统的类型主要有裸地、森林采伐迹地、弃耕

地、沙漠及垃圾堆放场等。第三，生态修复包括生态系统自然修复和人工修复。第四，生态自我修复的初始条件不同，修复过程将具有明显的系列差异。第五，一系列演替的初始条件和后续条件决定了生态自我修复的演替过程。第六，恰当的演替初始条件的人工组合的实现，会显著促进自然修复过程。第七，与人工修复相比，依靠自然力量进行的生态修复将具有显著的优越性。^[5]第八，退化生态系统修复和重建的原则一般包括自然原则、社会经济原则和美学原则。^[6]

（二）生态修复理论

保持生态平衡是生态建设与环境保护的目标，也就是根据生态学的原理，通过一定的生物、生态工程的技术与方法，让生态系统的结构功能尽可能地保持天然的生态环境。受到破坏的自然环境一般采用生态修复的原理进行生态建设，主要生态修复的手法包括三种（表1）。

（三）生态产业概念与生态可持续发展

1. 生态可持续发展

世界环境与发展委员会在著名的布朗特兰报告中《我们共同的未来》里最早提出了关于可持续发展的定义，并将可持续发展定义为既满足当代人发展的需求，又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展。可持续发展主要表达代际公平与同代公平伦理，即要在同代公平伦理下实现经济、社会和生态三个系统的持续发展，又要满足代际

公平伦理下的三个子系统（包含经济、社会和生态三个子系统）的持续发展（表2）。

生态文明也称环境文明、绿色文明，指人们在改造世界的同时，不断克服改造过程中的负面效应，积极改善和优化人与自然、人与人的关系，建设有序的生态运行机制和良好的生态环境所取得的物质、精神及制度方面的成果的总和。^[8]生态文明在可持续发展方面起着至关重要的作用，它是一种全方位、多维度生态发展方式，包括绿色发

展、循环发展及低碳发展。

2. 生态产业

生态产业是指以生态经济原理和知识经济规律为依据并组织发展起来的，是一种基于生态系统承载能力、具有高效的经济过程及和谐的生态功能的网络型、进化型产业。^[9]生态产业体系是指与三种产业相关联的生态农业、生态观光旅游业、生态工业和生态商

表1 生态修复原理与措施

生态修复类型	具体原理	修复措施
污染土壤的生态修复	现阶段对污染的土壤进行生态修复主要利用植物、微生物以及动物的自然修复能力。植物修复是主要利用植物本身的提取、吸收和固定作用及植物根际微生物的分解和转化作用来清除土壤、沉积物中的有毒有害污染物。	植物提取修复，通过种植对重金属耐性较强且积累能力较强的超积累植物，利用其根系吸收污染土壤中的重金属并运移至植物的地上部分，收割植物地上部后即可去除土壤中的重金属。植物固定修复是指通过植物活动使污染物的毒害作用减少，生物有效性降低，如植物根系分泌物及枝叶分解物等可以起到固定重金属的作用。植物降解修复是利用植物及其根际微生物的降解作用去除土壤中的有机污染物。
水体污染生态修复	通过发展水体污染生态修复技术，强化自然界的自净能力和物质循环规律治理被污染的水体。这是一项清洁环境的低投资、高效益、便于运行、发展潜力较大的技术，许多发达国家如日本、美国等已广泛用于工程实践。	人工湿地生态修复基本原理是利用湿地水体中的微生物和湿地植物降解、吸收和截流污水中的污染物，从而达到修复污水的目的。微生物在获取自身生长所需养分的同时，分解水中的有机污染物及其他生物的排泄物及尸体，促进水养份循环。藻类是水生生态系统食物链的最基础环节，具有很高的生产能力。可在生长繁殖过程中从水中吸收和富集某些有机和无机污染物。有些藻类还能向体外分泌胞外物质降解污染物。
大气污染生态修复	利用生态修复技术来治理大气污染是近年来国际上加强研究的前沿性课题，它是一种绿色技术，利用太阳能净化污染的大气。	城市绿地和草坪对大气中粉尘可起到阻挡、过滤和吸附作用，进而减少粉尘量，其减尘作用：①茂密的树冠可降低大气中烟尘和粉尘；②由于树叶表面绒毛能分泌粘性油脂及汁液，故其可吸附大量粉尘。

资料来源：根据文献^[7]综合制表。

表2 可持续发展三个子系统之间的关系

可持续发展	经济系统	社会系统	生态系统
三类目标	经济目标	社会目标	生态目标
三类效益	经济效益	社会效益	生态效益
三方面关联的目标模式	经济可持续发展是指通过保持经济增长和改善发展质量，满足人们日益增长的物质文化需求，提高人民生活水平，并为其它方面的发展提供必要条件和支撑。	社会可持续发展：①控制人口数量改善人口结构提高人口素质；②发展科学技术和提高教育水平，加强文化建设和精神文明建设；③提高生活质量和保障社会长治久安；④实现社会公平发展和民主管理。	生态可持续发展水平高低主要受两因素影响：①生态环境变化与幅度；②生态资本存量大小。 要对整个生命和生态系统的完整性进行保护：①保护生物多样性和自然资源可持续供给能力；②不断解决水土流失、荒漠化等重大生态环境问题；③对环境破坏和污染加强预防和控制；④对已遭破坏和污染环境积极治理和修复。
三者的关系	经济发展对生态发展起着支撑作用。	生态发展对社会发展起着促进作用。	社会发展对经济发展起着引导作用。

资料来源：于兴军，罗贻芬. 可持续发展、水土保持、生态修复——一个合理构架[A]. 中美水土保持研讨会论文集[C]. 2003.

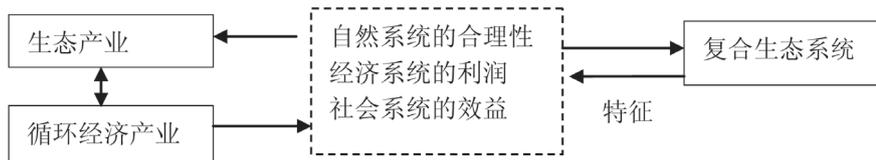


图1 从“复合生态系统”向“生态产业”、“循环经济产业”关系^[12]

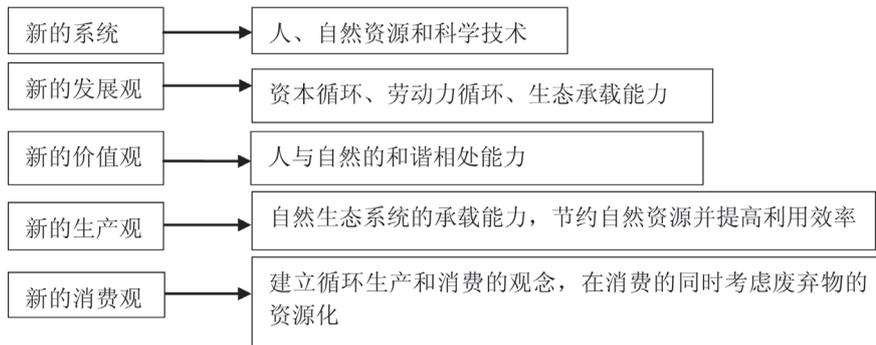


图2 循环发展的主要特征

业。^[10]可以通过两个以上的生产体系或环节之间的系统耦合，使物质、能量能多级利用、高效产出，资源环境能系统开发、持续利用。生态产业的组合与设计原则主要包含横向耦合、纵向耦合、区域耦合、柔性结构、功能导向、软硬结合、自我调节、增加就业、人类生态和信息网络（图1）。^[11]

党的十八大报告中指出，坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针，着力推进绿色发展、循环发展和低碳发展。其中，绿色发展包含节约资源、环境友好、舒适宜居三个方面。循环发展是一种新的发展模式（图2）主要从提高能源利用效率、开发利用可再生能源及引导消费者行为等方面推进低碳发展。

二、北京园博会的生态修复利用分析

（一）园博园的生态修复实践

北京园博园以绿色、节能、环保、生态技术为理念，其建设不仅处处体现着科技的力量，而且体现出全方位的生态文明发展——绿色发展、循环发展和低碳发展。园区在景观、建筑和市政设施建设上广泛采用了新材料、科技创新节能成果，如风机沙透水砖、节水浇灌、垂直绿化、地源热泵系统、高承载植草地坪、木塑平台、雨水花园、节水浇灌技术、屋顶绿化、园区雨水利用系统和太阳能光伏

发电系统等；同时运用了大型乔木移植技术提高成活率，利用露骨料透水混凝土新型建筑工程技术。这些生态工程技术都体现了生态优先、以人为本、绿色循环、永续利用的园林建设理念，体现了科学与生态的有机结合的价值所在，具有重要的生态科普价值（表3）。

因此，利用生态修复原理对垃圾填埋场进行生态修复，极

大地改变了当地的生态环境，同时利用高科技进行能源的循环利用，以实现节约能源的目的。锦绣谷及永定河成功的生态修复的成果，体现了绿色发展、循环发展及低碳发展的全方位、多维度的生态发展方式，进而实现了经济效益、社会效益和生态效益的目标，同时充分体现了生态可持续发展、社会可持续发展及经济可持续发展的三个子系统之间的相关关联关系。

（二）锦绣谷的生态修复

20世纪70、80年代，永定河老河道由于挖砂形成了一个巨大的砂坑，后来逐渐演变为占地面积140公顷左右的建筑垃圾填埋场，且前后有2000多名拾荒者聚集在此，逐渐搭起了2万多平方米的临时建筑。园博园建筑垃圾填埋面积陆地面积52.4%，地基难以处理，垃圾最大填埋深度达到30米。万花锦绣谷原位于永定河河滩地，至园博会筹建时仍留有一个面积约为10公顷的河滩地，其建筑垃圾填埋深度约有20米。如何对其进行修复？园博会秉持尊重自然、保护环境的理念，并通过生态修复原理和技术，把垃圾场变成了绿地，废弃地变成了园林，具有很好的示范性和推广价值（表4）。

园博会（锦绣谷）是永定河生态修复的一部分，它通过对生态修复原理的解剖，让游客了解生态系统作用和价值，明白保护生态环境的重要意义。园博会可以通过开展科普旅游来将其成功的景观生态修复案例弘扬下去。由表4可以看出，园博会可以开通生态科普旅游和技术科普旅游，不仅让游客了解各种植物的品种、特色以及栽培技术，也让游客了解生态的绿色发展、循环发展及低碳发



表3 园博园的生态修复实践

	技术应用	作用功效
低碳发展理念	地源热泵系统	通过地源热泵系统，每年就能节约标准煤1519吨、减少二氧化碳排放2840吨。
循环发展理念	水系统循环利用	园博会可以实现两个“零排放”：园区内所有污水零市政排放和园区内所有雨水零市政排放。园区内新建两处污水处理站，产生的全部污水经过处理和35公顷的湿地公园净化后，用于园内的景观水面和绿化灌溉，这也就构成了园博湖中的水。同时，园博园还专门修建了雨水花园，所有的雨水都可以循环利用。园博园水源净化工程对于修复永定河河道、保障永定河“五湖一线”水源质量都会做出重要贡献。
绿色发展理念	净化空气	园内规划种植乔灌木、花卉等1200多万株，形成了占地面积147公顷连片的绿地景观，一年可吸收二氧化碳5.4万吨，排放氧气3.8万吨，可谓是天然的氧吧，改善了区域空气质量。

资料来源：园博会调研和下列资料整理。刘晓光，孙苏晶，吴冰. 城市废弃地生态修复的价值、困境及对策研究[A]. 多元与包容——2012中国城市规划年会论文集(09.城市生态规划) [C]. 2012.

表4 园博会（锦绣谷）的生态修复原理与科普功能

生态修复理念	实施的原因与条件	科普教育功能
利用既有地形，把现状建筑垃圾填埋场改造为下沉式景观花谷	一是垃圾填埋场的垃圾大部分是建筑垃圾，不仅具有较好的基地条件，而且可以减少土壤修复的麻烦。二是一般的园林景观建设堆山头的多，谷底景观的比较少，且在技术上可以借鉴国内外矿坑修复的成功经验，如加拿大的布查特花园就是在废弃的石灰矿场上建成。	进行断面展示，主要让游客看到场地中建筑垃圾是怎样被处理的，植物是怎样在这种环境中生长的。同时具有生态教育与推广价值。
实施生态修复原理技术措施	首先对建筑垃圾进行分层碾压夯实，以减少后期建筑垃圾的沉降。然后，将谷内回填部分适合于植物生长的种植土，大部分种植土采用田园土只有表层回填300mm腐殖土和种植土的混合土（混合土比例为3:7）。由于种植土回填后期会出现沉降，所以在种植土回填的过程中将回填土采用分层碾压的处理方法。由于现状的建筑垃圾填埋场边坡高度较高，且边缘至底部的坡度都很低，极易发生滑坡。为了确保谷的安全在回填土的同时，进行边坡修整，并适当增加了土工格栅、土工布等增强土体稳定性柔性支护。	
因地制宜的植物栽培	种植苗木90万株，地被花卉15万平方米，绿化面积10公顷。园博园选择的大都是一些能够适应北方气候特点的树种，比如说油松、国槐这些树种，比较抗旱，种植下去后，在这个区域都能够正常生长。物联网技术运用到园林种植中，实现对植物的精准灌溉、精准施肥，节水、节肥，减少污染。同时种植樱桃、月季、紫薇、海棠、石榴、元宝枫、银杏等植物来打造相关主题园区。	了解植物种类、栽培灌溉技术等生态科普知识。
节能灌溉系统	锦绣谷里实现了“精准灌溉”，使得水的利用率超过85%。当技术人员将锦绣谷内的每一棵树录入系统后，系统就会根据树种、树龄等数据，判断出每棵树的“饮水量”。还有一套同样连接到电脑上的监测系统，能够测算每次下雨时，这棵树周围降了多大的雨，树已经“喝掉”多少水，再根据这一数据调整对每棵树的灌溉量。仅这一项智能控制系统的应用，就能节约50%以上灌溉水。	了解现代灌溉技术，普及现代节能知识。

注：根据2013年的调研所得。

展。实际上，开展生态科普旅游的形式，不仅仅是对园博园内的众多植物的相关知识进行普及，也是对园博会锦绣谷的生态修复原理的普及。大众在观赏园博园内美丽风景的同时，要明白这片壮阔景观是如何化腐朽为神奇的，并在此基础上引申到生态发展和生态文明建设的发展。

三、总结

(一) 基于生态修复的可持续发展

1. 生态修复与可持续发展的关系

生态发展是一个广泛的概念，从生态作为经济运行内生变量的角度看，生态发展是指投入要素的“生态资本”存量的增长与质量的提高。生态资本存量的增长是指生态系统中生物多样性的保存与增值。生物多样性包含动物、植物、微生物等各物种以及它们所组成的生态体系和生态过程。生态资本质量的优化是指生态系统保证人类生活素质能力的提高。^[13]为实现流域的可持续发展，作为可持续发展系统的一部分——生态可持续发展，在区域可持续发展的复合系统内，以人与自然的协调关系为出发点，必须支撑和适应相应的经济可持续发展和社会可持续发展。生态环境是决定人类生活质量的最主要方面，但在人类过度干扰下，大量的生态环境遭到破坏。而生态恢复就是指停止人类对生态系统的过度干扰，利用生态本身的自适应、自组织和自调控能力，并遵循生态系统演替规律从而实现其回复功能的过程。^[14]要摆脱这种不利的生态环境，必须从根本上改变人与自然的关系，必须增强生态发展与经济、社会的可持续发展之间的关系。科学管理生态环境，把经济发展与环境保护协调统一，充分发挥生态系统的自维护功能，借助大自然自身的能力对退化的生态系统进行修复。

2. 生态大发展与生态文明理念的弘扬

生态发展是经济可持续发展的基础，生态发展与生态文明的理念就是要认识自然、亲近自然及环保、循环利用、低碳发展、绿色发展的理念。园博会内不仅具有包罗万象的奇花异草，还具有高科技的应用，更具有

生态修复原理等生物技术知识。因此，这里蕴含着丰富的生态科普知识，可以通过开展科普教育与传播，将生态发展与生态文明的理念弘扬下去。

3. 加强经济的辐射作用

选择在废弃地上建设园博园，具有重大的生态修复示范意义，这也是历届园博会的一个创举。永定河畔的璀璨明珠永定河绿色生态发展带，辐射丰台、石景山、门头沟等区县，是首都“西部生态发展带”的重要组成部分。经过3年建设，永定河畔的园博园，如今已成为京城西南部的璀璨明珠，将会发挥其辐射作用，带动经济的发展。

(二) 生态修复在大地园林中的体现

生态修复在大地园林的建设中起着重要的作用，大地园林正积极地应用生态修复技术改善人类居环境和生态环境。近年来，生态修复技术在河流和修理废弃垃圾填埋场等方面取得很大的进展。目前常见的生态修复类型：工业废弃地、垃圾填埋场和受损淡水水域的恢复重建。^[15]日本和韩国在河流和废弃垃圾填埋场的生态修复设计方面有一些典型的案例。

1. 日本案例

日本江户川支流坂川的古崎净化场，是采用生物-生态方法对河道大水体进行修复的典型工程，它利用卵石接触氧化法对水体进行净化。

2. 韩国案例

韩国首尔市兰芝岛世界杯公园就是采用一系列生态修复技术对严重污染的垃圾场兰芝岛垃圾山进行综合整治，如自然修复、植物修复、生物修复、客土重填和土壤安定化工程等。生态修复技术在这些项目中，已经不再是简单的利用沉淀、过滤、曝气和单一的植物进行修复，更多的是在园林设计中与环境工程的生态修复技术相结合并进行综合整治。^[16]

3. 欧美国家案例

欧美很多国家，通过生态修复公园的废弃地改造的方式，将废弃地改造为充满活力的城市生态公园。德国对废弃地改造时就充分考虑休闲功能的建设，或作为公园或作为运动场地、露宿营地等。

4. 中国案例

我国浙江绍兴的东湖风景名胜就是在矿山废弃地上进行景观再造而修建成的。将生态修复技术与大地园林景观设计有机地结合，使得生态环境被严重破坏的地段重新焕发自然的生机，为生态环境治理带来新的方法和手段。

说明：本文系基金项目，属2013年度研究生科普研



究能力提升类项目(2012KPYJD10-19, 2013KPYJD28)、国家社会科学基金青年项目(12CJY088)、2011年度北京市属高等学校人才强教深化计划中青年骨干人才资助(PHR201108319)、2012年北京市社科联青年社科人才资助项目(2012SKL027)、北京对外文化交流与世界文化研究基地2013-2014年度青年研究项目(BWSK201304)、2013年北京市优秀人才培养资助项目“北京文化多样性研究:逻辑、案例与政策”项目的研究成果。

参考文献:

- [1]周启星,魏树和,张倩茹.生态修复[M].北京:中国环境科学出版社,2005:156-157.
- [2]崔爽,周启星.生态修复研究评述[J].草业科学,2008,25(1):86-90.
- [3](1)周启星,宋玉芳.植物修复的技术内涵及展望[J].安全与环境学报,2001,1(3):48-53.(2)朱亮,苗伟红,严莹.河流湖泊水体生物-生态修复技术述评[J].河海大学学报(自然科学版),2005,33(1):59-62.
- [4]康乐.生态系统的恢复与重建[A].//马世骏.现代生态学透视[M].北京:科学出版社,1990:300-308.
- [5]王振洪,朱晓柯.国内外生态修复研究综述[C].发展水土保持科技,实现人与自然和谐——中国水土保持学会第三次全国会员代表大会,2006:25-31.
- [6]彭少麟.恢复生态学,生态学的回顾与展望[M].北京:气象出版社,2004.497-511.
- [7](1)周启星,宋玉芳.植物修复的技术内涵及展望[J].安全与环境学报,2001,1(3):48-53.(2)Mohammed H I Dore, Ian Burton. Environmental degradation and remediation: is economics part of the problem?[J]. Environ.Monit.Assess.2003,86(1):47-61.(3)单孝全.土壤的植物修复与超积累植物研究[J].分析科学学报,2004,20(4):430-433.(4)刘杰,朱义,罗亚平.清除土壤重金属污染的植物修复技术[J].桂林工学院学报,2004,24(4):507-511.(5)刘冰,张光生,周青一,等.城市环境污染的植物修复[J].环境科学与技术,2005,28(1):109-111.(6)周启星,魏树和,张倩茹.生态修复[M].北京:中国环境科学出版社,2005.156-157.(7)朱亮,苗伟红,严莹.河流湖泊水体生物-生态修复技术述评[J].河海大学学报(自然科学版),2005,33(1):59-62.(8)崔爽,周启星.生态修复研究评述[J].草业科学,2008,25(1):87-91.
- [8]宋言奇.生态文明建设的内涵、意义及其路径[J].南通大学学报(社会科学版),2008(4):103-106.
- [9]王如松.从农业文明到生态文明——转型期农村可持续发展的生态学方法[J].中国农村观察,2000(1):1-8.
- [10]王静慧.县域生态农业产业化理论与典型模式研究[D].中国农业大学资源与环境学院,2003:1-38.
- [11]王如松.从农业文明到生态文明——转型期农村可持续发展的生态学方法[J].中国农村观察,2000(1):1-8.
- [12]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.
- [13]冯静.生态发展是实现经济可持续发展的物质基础[J].生态经济,2000(12):30-31.
- [14]于兴军,罗贻芬.可持续发展、水土保持、生态修复——一个合理构架[A].中美水土保持研讨会论文集[C].2003:11.
- [15]赵彩君.景观生态恢复方法研究初探[D].北京林业大学,2002:12.
- [16]荣先林.生态修复技术在现代园林中的应用——以杭州经济技术开发区为例[D].浙江大学,2010:3-5.

■责任编辑:张炜