

Eco-effect Research
of Ecological Engineering

生态工程的生态效应研究

王让会 著



科学出版社

生态工程的生态效应研究

王让会 著

国家科技支撑计划(2012BAC23B01, 2012BAD16B0305)

国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2006CB705809)

江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

联合资助

中国清洁发展机制基金

科学出版社

北京

X171.4
16

内 容 简 介

本书在简要介绍生态工程发展过程的基础上, 阐述生态工程的内涵及特点、生态工程的学科地位与作用, 分析生态工程规划设计、实施与评价的原理与方法。重点研究生物多样性、景观结构与功能、自然地理分异规律、工程造价及工程材料原理在相关类型生态工程中的应用。针对中国沿海开发工程、二氧化碳减排工程、飞播造林工程、流域治理工程以及城市景观工程等不同地域、不同规模、不同类型生态工程的特点, 并应用生态资产估算方法、NPP 估算方法、碳储量估算方法、水土耦合分析方法、生态风险评价方法、数字模拟方法以及信息图谱方法等, 研究分析生态工程的特征及变化规律, 开发生态安全评价及生态景观格局合理性评价信息平台, 为准确把握生态效应提供科学依据。

本书可供生态科学、地理科学、环境科学、工程规划设计、遥感与 GIS 以及信息系统研发等专业的研究生学习借鉴, 亦可供上述领域的管理者、工程技术人员及科研工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

生态工程的生态效应研究/王让会著. —北京: 科学出版社, 2014.12

ISBN 978-7-03-042707-6

I. ①生… II. ①王… III. ①生态工程—生态效应—研究 IV. ①X171.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第287049号

责任编辑: 伍宏发 曾佳佳 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 李 利 / 封面设计: 许 瑞

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>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年12月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2014年12月第一次印刷 印张: 19 1/4 插页: 2

字数: 400 000

定价: 89.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

生态工程学作为快速发展的一门新兴交叉学科,是科技发展与社会需求相结合的产物。国家节能减排、应对气候变化、低碳经济发展的需求极大地促进了生态建设、环境保护与社会经济的发展,生态工程的现实需求也与日俱增。生态工程的规划设计、建设实施及效应评估,为资源环境的有效利用与社会经济可持续发展提供了基础保障,也为生态文明建设提供了重要的理论支持与技术借鉴,并将在中国现代化进程中继续发挥重要的指导作用。

目前,生态工程随着技术的发展处于不断发展之中,生态工程的效应评价特别是生态效益的评价也处于快速发展之中。随着生态经济学、资源经济学、环境经济学、环境工程学、环境材料学等学科的发展,生态工程学将不断地汲取相关学科的理念及思路,为解决生态工程理论与实践中的科学问题及技术难题提供借鉴与指导,同时,也必将推动生态工程学及生态效应评价相关领域不断发展。

人类进入 21 世纪后信息技术快速发展,特别是遥感信息技术、生态信息技术、地理信息技术、环境信息技术等得到了前所未有的进展,物联网、大数据、云计算等新技术的创新与发展,无疑使这些富有时代特点及创新意义的技术,在生态工程的规划设计以及实施与评估中得以借鉴,并促使生态工程向更具有时代特色与创新价值的方向发展。我们已经进入了互联网时代,它不仅是科学问题与技术问题,更重要地是哲学问题及社会问题。生态工程及效应评价有必要借鉴及吸收互联网发展中的理念以及解决问题的思路,始终处于创新前沿,并体现出时代特色以及长远价值。

生态工程及其效应评价是一项复杂的系统工程,需要多学科、多角度、多途径、多方法的联合与协同,共同为相关理论问题及技术问题的深化提供支撑。在探索生态工程及其生态效应评价相关问题的过程中,凝聚了诸多科研工作者的成果,是相关创新性研究成果的高度凝练与集成。本书得到了国家科技支撑计划(2012BAC23B01, 2012BAD16B0305),国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2006CB705809),国家发展和改革委员会中国清洁发展机制基金(赠款项目)“新疆适应气候变化的林业碳汇关键领域及能力建设”以及江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)的资助,同时,也凝练及集成了中国气象局气候变化专项“江苏省气候变化评估报告”(CCSF201318),中国沙漠气象科学研究基金项目“典型荒漠-绿洲水热耦合关系研究”(Sqj2012006),中国气象局干旱气象科学研究基金

项目“干旱对自然生态系统的影响及评估”(IAM201001)的成果。特别是“防城港港口城市生态规划”、“天山云水资源潜力评估与增雨雪技术开发应用”、“二氧化碳植物吸收减排的基础研究”、“沙区资源高效利用与产业开发技术集成与示范”等项目,为本书的问世起到了重要基础性作用。

在相关生态工程的监测与评价工作中,诸多同仁为此付出了不懈努力与辛劳。王让会教授总体策划、组织实施并凝练集成本书。飞播造林工程野外调查及实验中,陕西省林业厅飞播站王锁民高级工程师、孔绿玉工程师及陕西省治沙研究所的相关人员,南京信息工程大学王让会、曹华、程曼、孙舒开展了大量野外调研及室内分析工作。在减排林工程野外调查及实验分析中,中国石油新疆油田分公司的赵福生、李刚,中国林业科学研究院新疆分院宁虎森、吉小敏、高明月、古丽尼莎、郭靖,南京信息工程大学王让会、徐德福、李琪以及吕妍、孔维财、钟文、丁玉华、吴明辉、陆志家、王龚博等参与了相关工作。在塔里木河生态工程的调查及评估中,中国科学院张慧芝高级工程师以及薛英、徐晓芳、黄青等参与了相关野外调查及实验分析工作。针对江苏沿海开发以及广西防城港景观格局评价等工作,南京信息工程大学王让会、茹万凤、王筱雪等做了大量工作。在界面生态及效应评价等研究工作中,团队成员孙舒、朱婵瓔、张玥、薛雪、王筱雪以及前面提及的相关成员参与了部分工作。特别是徐晓芳、薛英、曹华、孙舒、钟文、茹万凤依托相关研究项目,完成了专业学位论文,对本成果的综合集成起到了重要支撑作用。同时,本专著借鉴吸收了国内外同行专家的最新研究成果,对他们的辛勤工作亦表示由衷谢意!

随着人们对生态系统结构与功能的日益重视,关于生态风险、生态健康、生态安全、生态适宜性、生态合理性、生态效应分析等问题也备受关注。目前,围绕湿地生态工程、城市园林工程、干旱区生态工程、生态园区建设工程以及重要产业发展中的生态工程等,许多专家开展了卓有成效的研发工作,为生态工程学科体系的完善以及工程效能的发挥起到了重要作用。与此同时,一些学者及工程技术人员,把生态科学理念与工程技术有机地结合起来,与农业、林业、牧业、水利等产业相联系,并在农田生态工程、水土保持工程、污染治理工程、地质防护工程、气象减灾工程、城市优化工程等方面,进行了大量实践探索,逐渐形成了具有中国特色的生态工程模式,并发挥了重大的生态效益、经济效益及社会效益。

2014年是极不平凡的一年,中国改革开放进入了一个新的历史性阶段。著者曾经工作20年的中国科学院,已走过了65年的艰辛历程,将代表国家进一步实施科技改革与知识创新,并正在以往“知识创新工程”的基础上大力推进“率先计划”;目前著者工作的南京信息工程大学,在2014年也进入了新的目标管理及

快速发展时期。同时，2014年作为甲午战争百年纪念，一直提醒人们要奋发图强，勇于进取！这也是近代历史给中国人民留下的抹不去的历史印记……只有铭记历史，开拓创新，不断发展中国科技事业，才能在日益复杂的21世纪发展中国。创新是促进一个民族发展不竭的动力，谨以此书献给中华人民共和国成立65周年！并祝贺著者曾就读的高等教育阶段第一母校——西北农林科技大学建校80周年！第二母校——新疆大学建校90周年！第三母校——北京林业大学建校62周年！与此同时，著者对近期本科及硕士母校邀请回校参加校庆活动而未能成行深表歉意！2014年也恰逢教师节30周年，在此对所有教育关心指导过我的老师们致以崇高的敬意！并再次对我的中学老师王兆夫先生、马宗昌先生以及我的本科、硕士及博士生导师王性炎教授、游宏智教授、游先祥教授表示衷心的感谢！

人们对未知世界的探索脚步是永无止境的，生态工程及效应评价领域研究才刚刚起步，但已充满活力并富有生命力，相信在诸多管理者、专家学者、工程技术人员及各界人士的共同努力下，生态工程学在不久的将来定会大放异彩！

本专著是著者及其团队多年研究成果的又一综合性体现，在本书即将付梓之际，著者对所有参与者及管理者表示衷心感谢；同时，对科学出版社的同仁们为本书出版所付出的辛劳一并表示感谢。书中对于相关问题的论述难免有疏漏及欠缺之处，衷心希望得到同行的不吝赐教，并期望能够为促进中国生态工程研究及效应评价领域的进展有所借鉴与帮助。



2014年中秋于南京

目 录

第一章 生态工程研究导论	1
第一节 生态工程的若干问题	1
一、生态工程的产生与发展	1
二、生态工程的内涵及特点	6
三、生态工程划分原则与类型	6
四、生态工程的生态效应问题	10
第二节 生态工程地位与作用	11
第三节 生态工程的主要原理	12
一、经典生态学与生态工程	12
二、景观生态学与生态工程	13
三、自然地理学与生态工程	14
四、工程学及人为调控与生态工程	16
第四节 生态工程现状及发展趋势	17
一、研究现状	17
二、未来趋势	20
参考文献	22
第二章 生态效应研究主要进展	25
第一节 生态工程特征及评价	25
第二节 生态效应的评价问题	26
一、生态效应研究若干问题	26
二、生态效应评价思路方法	32
第三节 界面生态研究与生态工程评价	32
一、界面生态研究的主要进展	32
二、大气-陆地-海洋界面研究	33
三、EOD 研究的相关问题	35
第四节 生物界面及其效应研究	36
一、生物界面的相关问题	37
二、界面生态的尺度研究	37
三、界面效应的原理方法	38
参考文献	39
第三章 沿海开发的生态效应及安全评价	46
第一节 沿海开发的基本情况	46

一、沿海开发的总体布局	46
二、沿海开发的基本原则	47
三、沿海开发效应评价目的与意义	47
第二节 沿海开发生态效应及生态安全研究进展	48
一、景观格局与生态效应评价	48
二、生物多样性与生态效应评价	49
三、生态安全与生态效应评价	50
第三节 沿海开发生态效应评价方法及途径	51
一、生态效应研究内容	51
二、生态效应评价方法	52
三、生态效应评价一般途径	57
参考文献	59
第四章 ASA 工程的生态效应评价	62
第一节 ASA 工程效应评价相关问题	62
一、ASA 工程研究背景	62
二、研究区概况及研究思路	64
三、研究方法与数据处理	68
第二节 基于景观特征分析的 ASA 效应评价	72
一、ASA 工程景观格局分析	72
二、ASA 的生态特征	77
三、ASA 的土壤特征	81
四、ASA 土壤微生物特征	85
第三节 基于生态资产估算的 ASA 效应评价	90
一、生态资产的内涵及特点	90
二、已市场化生态资产估算	91
三、未市场化生态资产估算	91
四、生态资产空间特征分析	97
第四节 基于碳汇效应的 ASA 效应评价	98
一、研究背景及意义	98
二、植被生物量估算及分布	100
三、碳储量估算与特征	109
四、ASA 可持续发展模式	127
参考文献	131
第五章 CDRF 工程的生态效应评价	136
第一节 CDRF 工程背景	136
一、工程简况	136
二、研究目的及意义	138
三、研究背景	139

四、研究方法及途径	141
第二节 基于多元数据的 CDRF 特征表达	142
一、数据来源及处理	142
二、CDRF 基本特征表达及分析	145
第三节 CDRF 碳密度分布及动态仿真	156
一、CDRF 种植模式及其碳密度	156
二、CDRF 多维动态可视化仿真	159
第四节 CDRF 生态安全评价及系统研发	163
一、研究背景情况	163
二、水资源时空变化特征	166
三、水资源变化与生态安全的关系	174
四、生态景观格局分析	177
五、CDRF 生态安全评价	178
参考文献	191
第六章 流域生态工程的效应评价	193
第一节 流域生态工程	193
一、流域背景情况	193
二、生态恢复思路及工程策略	194
三、工程组成及规模	196
四、实施过程及状况	196
第二节 生态水文过程及其效应	197
一、研究背景情况	197
二、生态水文过程的特征	200
第三节 植被对生态水文变化的响应	206
一、植被景观格局变化	206
二、植被对地表径流的响应	209
三、植被与地下水之间的关系	213
第四节 流域生态工程的生态风险评价	220
一、生态风险评价背景概况	220
二、ERA 的方法及途径	223
三、ERA 关键问题分析	226
四、干流生态风险定量评价	231
五、干流 ERM 相关对策	237
参考文献	242
第七章 城市景观生态工程的合理性评价	244
第一节 景观生态工程及合理性判定方法	244
一、景观生态工程	244
二、LPR 模式识别	247

三、评价数据来源及处理	251
第二节 景观合理性的多途径评价	256
一、基于环境容量及资源承载力的 LPR 判定	256
二、基于生态效率的 LPR 判定	259
三、基于景观指数的 LPR 判定	265
第三节 景观合理性的 PSR 模型评价	276
一、综合评价体系概述	276
二、PSR 模型的基本原理及应用	276
三、PSR 模型综合指标体系构建	277
四、PSR 模型的指标选取及赋值	278
五、PSR 模型的具体方法及结果	281
六、LPR 模式识别	283
第四节 景观合理性模式识别系统	286
一、景观模式识别系统设计	286
二、景观模式识别系统研发	288
参考文献	296

第一章 生态工程研究导论

第一节 生态工程的若干问题

一、生态工程的产生与发展

(一) 生态工程的发展背景

随着生态保护、环境治理以及生态文明建设的全面推进,各类生态工程以前所未有的速度得到规划实施,为美丽中国的构建发挥了重要作用,成为新时期可持续发展的重要切入点与坚实依托。

生态工程(ecological engineering)是由美国著名生态学家 Odum 和中国知名学者马世骏分别正式提出的,在近几十年的发展中,其概念内涵、研究对象、基本原理、方法论得以确定(马世骏等,1993)。近年来,生态工程开始注重应用新技术,研究注意了多尺度协同作用,生态工程设计方法原理不断发展。生态工程学作为一门应用型学科,其核心是建立在基本生态学原理之上的工程设计。关于生态工程的基本原理有许多,现在普遍认同的生态工程基本原理是整体、协调、循环、自生的相关理念(Yan et al., 1998)。王如松(1987)曾提出了生态工程调控的开拓适应、竞争共生、连锁反馈、循环再生、多样性、主导性、结构功能、最小风险等设计原则,因其包含了诸多理论在一定程度上也成为指导生态工程建设的基本原理。生态工程具有跨学科性,体现了生态学原理和工程技术众多学科交叉与融合的特点。

如前所述,中国著名生态学家马世骏在 20 世纪 50 年代初就提出了生态工程的概念,其内涵是指应用生态系统中物种共生与物质循环再生原理、结构与功能协调原则,结合系统分析的最优化方法,设计的促进分层多级利用物质的生产工艺系统。其目的是在促进自然界良性循环的前提下,充分发挥资源的生产潜力,防止环境污染,达到经济效益与生态效益同步发展(钦佩等,1997)。近几十年来,生态工程的概念、原理和方法等都得到了进一步发展,更侧重于应用模型和新技术以及不同尺度的协同效应等方面的研究与探索。生态工程是人类认识和改造世界的一种系统方法,将社会经济与自然环境综合在一起,并达到生态可持续的规划、设计与管理的系统科学方法与组合技术手段。因而,生态工程必须与生态和社会文化条件相结合。在进行生态工程设计时必须融入可持续性原理的理念,建

立可持续性的生态系统,同时生态工程也是可持续性的有效途径(汪敏等,2004)。生态工程必须遵循整体性原则、层次性原则、科学性原则、因地制宜原则以及可持续发展原则等进行规划建设及效应评估。

前已述及,生态工程是指人类应用生态学和系统学等学科的基本原理和方法,通过系统设计、调控和技术融合,对已被破坏的生态环境进行修复与重建,对造成环境污染和破坏的传统生产方式进行改善,并提高生态系统的生产力,从而促进人类社会和自然环境和谐发展的一系列工艺技术实施工程。生态工程作为一门年轻的学科,许多研究还在不断地深化和扩展之中,近年来,在传统研究的基础上,生态工程设计方法原理不断发展。生态学和工程学是生态工程建设的关键,生态学原理是生态工程的理论基础,如生态系统整体性、生物多样性、物质循环和能量流动、反馈和调节机制、竞争和协同进化等原理都是生态工程实施的重要理论基础。生态工程研究与处理的对象是作为有机整体的社会-经济-自然复合生态系统,也是一个具备开放性和整体性的综合体,必须有外界的支撑才能持续下去。生态工程的整体性体现在生态工程的各个组成部分都是生态工程中必不可少的一部分,它们之间相互依存,共同支撑整个生态工程功能的正常发挥。但生态工程中的任何一个部分,都不具备生态工程的全部功能,不同方面的关系处理和协调就成了规划设计及实施中的重要部分。

可持续发展战略在各个领域与各个行业的实施,极大地促进了生态工程的产生与发展。近年来,中国的大型工程项目,如西气东输工程、青藏铁路工程、高速公路建设工程等不断涌现。这些工程涉及范围广,经过的生态系统类型复杂,对生态环境的结构和功能影响大;尤其是在生态环境脆弱区,极易造成不可恢复性的负效应。因此,研究这些工程的运行、开发以及它们对生态环境及生态系统产生的利弊,寻找需要改进的方法途径,进而指导生态建设成为当前亟待解决的问题(王克林,1998;赵永青,2010)。目前,中国在铁路工程修建过程中和工程建成后一直进行环境的监测、脆弱性和生态安全的评估以及环境效应的追踪研究,为生态工程的综合效应评价起到了重要作用。在南水北调工程对沿线生态与环境的影响、塔里木沙漠公路防护林生态工程、西气东输工程沿线地区不同类型区生态恢复中都有生态工程效应评价的工作。在西部大开发过程中,生态工程核心在生态与环境的研究与保护方面,特别是西部生态与环境的演化过程、水土资源的持续利用、生态与环境现状评价及未来变化趋势预测等,为科学认知中国西部地区生态与环境变化规律,促进水土资源可持续利用等提供科学依据和技术支撑。在东北地区水土资源配置、生态与环境保护和可持续发展、黄土高原水土流失治理、长江中下游湖泊富营养化治理、“三农”问题、生态系统碳收支问题等方面都发挥了很大作用(中国地理学会自然地理专业委员会,2006)。相关领域的研究及实践,是实现资源、环境、社会、经济可持续发展战略的重要组成部分,均不

同程度地促进了生态工程学不同方面研究的进展,成为中国生态工程学发展的重要基础。

人工调控原理在水利工程学中的应用主要反映在生态水利工程的相关方面。生态水利工程的设计既要符合水利工程学原理,也要符合生态学原理,体现生态水利工程学——人水和谐的设计理念(余兴明, 2008)。水域生态系统受到胁迫时,需要对各种胁迫因素之间的相互关系进行综合分析,在进行生态水利工程设计时,应考虑整个水域的生态系统修复问题,充分掌握生态系统各个要素间的相互作用,提出修复生态系统的整体性的方法。随着现代工业化发展的加快,生态工业园区建设也得到了快速发展,构成了现代生态工程的重要内容。生态工业园规划可以从面向对象和面向过程两个角度展开(项学敏等, 2009)。

随着生态文明建设的全面推进,中国的生态工程正在向不同行业、不同专业及自然背景方向全面拓展。

(二) 环境保护需要生态工程支持

随着生态环境问题的日益严峻,全球性保护生物多样性、保护环境的呼声与日俱增,保护策略及保护方法途径直接促进了生态工程学的发展。

在生态工程中运用多样性原理是保障工程效益的前提条件。生物多样性原理主要用于恢复生态学等方面,生态恢复过程是按照一定的功能水平要求,由人工设计并在生态系统层次上进行的,因而具有较强的综合性、人为性和风险性(章家恩等, 1997)。目前,生态保护的基本思路是根据地带性规律、生态演替规律及生态位原理选择适宜的先锋植物,逐步构造种群和生态系统,实行土壤、植被与生物同步分级恢复,以逐步使生态系统恢复到一定的功能水平(邹厚远等, 1995)。要做到生态系统功能的恢复,本质的目的是恢复系统的合理结构并使之达到自维持状态。生态恢复中的关键要素是生物体,因而生物多样性在生态恢复规划、项目实施和评估过程中具有重要的作用(康恩胜等, 2005)。森林是地球生态系统中重要组分,是人类赖以生存和发展的重要资源。在生态保护领域,森林发挥着巨大作用。20世纪70年代末以来,中国相继实施了三北地区、平原地区、太行山、长江中上游和海岸带五大防护林体系建设工程,这一系列重大林业生态工程形成了全国生态建设的主脉络,为推动中国林业的发展起到了巨大作用(徐永慧, 2009),也成为生态保护的重要示范,成为生态工程的典型代表。

生态环境保护涉及诸多方面,在生物保护工程设计中,构建多样化种群的稳定而高效的生态系统,合理利用有限的资源,增加系统稳定性是生态工程实施的原则与目标。通过生态位的建造与利用,合理配置各种生物,使有限的自然资源和社会资源,能够最大限度地充分利用,从而获得系统较高的生产力。根据不同的动植物生态位的不同,充分利用资源,使不同层次的生物多样性得以维持。目

前,将生物多样性原理、生态位原理与城市规划和园林规划的原理结合起来,与植物配置和植物造景的艺术结合起来,与人们的社会要求和心理要求结合起来,是中国新时期城市园林建设一个重要的指导思想(李楠等,2007)。同时,也极大地促进了以生态环境保护为出发点的生态工程领域的拓展与完善。

(三) 生态修复需要生态工程保障

中国自然地理类型多样,不同的自然地理背景下形成了与之相适应的生态系统类型及产业格局。社会经济发挥对资源环境的需求与日俱增,生态可持续问题也日益严峻。进行生态修复,维护生态系统稳定性需要生态工程的大力支撑。

反馈与调控是建立特定结构和功能的生态协调系统的基本原理,遵循其规律,在一定的时期对生态系统进行调控以保证其演替的方向,成为进行生态修复的原则思路。在生物与环境相互适应的过程中,生态系统本身常常以反馈过程达到自身的稳定机制,实现生态系统的整体功能。

生态系统的恢复要求生态、经济和社会因素相互协调。在具体的生态恢复与重建的过程中,主要生物技术包括物种选育和培植技术、物种引入技术、物种保护技术、种群行为控制技术、群落结构优化配置技术、群落演替控制与恢复技术等。生态恢复技术是生态恢复工程的重点及难点。目前急需针对不同类型的退化生态系统,对生态恢复的实用技术进行研发与应用,如退化生态系统恢复关键技术,生态系统结构与功能的优化配置与重构及其调控技术,物种与生物多样性的恢复与维持技术等;如生态系统结构、功能及生态学过程与相互作用机制研究,生态系统生产力、恢复能力、演替规律及可持续性研究,环境功能及人类活动对资源与环境的影响研究,不同干扰条件下生态系统的受损过程及其响应机制研究,生态系统退化的景观诊断及其评价指标体系研究,生态系统退化过程的动态监测与模拟及预报研究等(张永泽等,2001)。上述领域理论与方法研究的进展,促进了一系列不同层次生态工程的发展,也极大地保障了生态修复的客观实践。

(四) 污染治理需要生态工程支撑

社会经济快速发展的同时,也造成一些地区环境污染及生态环境退化。特别是水体污染造成了水生生物的急性中毒或死亡,土壤污染导致了作物危害和减产,农业污染引发了畜禽肉蛋的残毒以及化肥施用带来水体富营养化和地下水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的污染等。在这种背景下,人们急需找到解决上述问题的途径,污染治理呼唤生态工程,污染生态工程应运而生。污染生态工程的主要内容就是污染生态修复,污染生态修复不同于生物修复。生态工程技术必须严格遵循现代生态学的循环再生、整体优化和区域分异等基本原则,同样一个生物修复技术或一项生态工程,在不同生态环境条件,其净化功能是不同的(黄德娟等,2010),把握其特征对于

污染治理至关重要。

基于污染治理的不同需要,目前的污染生态修复主要包括土壤和地下水的生物修复技术、污染生态修复技术及污染生态工程等。土壤和地下水的生物修复技术,通常是指利用生物强化物质或有特异功能的生物消减、净化污染环境中的污染物的替代技术,包括对重金属具有富集功能的植物筛选和对有机污染物具有特异降解功能微生物的筛选与培育等。污染生态修复技术,主要是指通过生物的富集与净化作用,实现对污染土壤的净化。通过污染物在土壤-植物系统的生态过程及其调控,确立其场地信息、工艺参数、土壤环境同化容量,进行水力负荷科学设计,以实现污水无害化及资源化的处理利用(孙铁珩等,2002)。生态工程支撑了污染治理的客观实践。

(五) 规划设计需要生态工程助力

在各类生态建设、环境保护项目实施中,均需要具体的方案规划及设计。相关设计理念、工艺流程、过程管理及可视化表达的原理与方法,正是生态规划及生态管理的重要组成部分,也是生态工程的重要内容。

由于人类活动对景观影响的普遍性与深刻性,对于作为人类生存环境的各类景观而言,人类活动在景观变化中无疑起着主导作用。当环境发生变化,甚至导致整个生态系统的破坏,系统的结构和功能也发生了明显的变化,这时完全依靠生态系统自身的能力已经很难恢复到原来的状态,必须要借助人体的主观能动性的发挥,如实施生态工程,才能逐渐恢复生态系统的结构和功能(范志平等,2006)。通过对变化方向的改变和速率的调控,可实现景观的定向演变和可持续发展。

近年来,作为具有时空表达特征及定性及定量特征的景观生态学的发展,极大地丰富了生态工程规划设计的内涵,并增进了生态工程的合理性与科学性。应用景观生态学理论和方法在生态工程的功能划定、廊道设计以及生态功能的空间布局上发挥着重要作用。景观界面作为生态界面的一个方面,也极大地促进了界面生态学的发展。景观界面是两个相对均质的生态系统相互过渡耦合而构成的有别于该两种生态系统的转换区域,其显著特征为生境的异质化。异质化的空间特征导致了其环境特征的相互融合与分异,形成特有的边缘特征。边缘效应是景观界面最显著的特征之一。边缘效应是指在两个或多个不同性质的生态系统(或其他系统)交互作用处,由于某些生态因子或系统属性的差异和耦合作用而引起系统某些组分及行为的较大变化。景观生态学的原理与方法促进了生态工程保护理念与模式的更新,特别是基于RS及GIS等方法,能够对规划设计对象进行多方案的数字化表达,有利于规划设计方案的优化选择。值得提及的是:景观生态学中的格局分析、格局-生态过程关系分析以及空间模拟技术为各类规划设计的科学性提供了保证;其模拟预测技术,为规划提供可靠的技术支持;利用景观生态学及其

他学科理论评价区域生态风险和构建区域生态安全格局(张小飞等, 2006), 更具有现实意义。

二、生态工程的内涵及特点

科学技术的发展促进了一系列领域的发展, 生态工程是生态学理论与工程学方法的有机结合, 是当代自然科学、社会科学以及工程技术等领域综合发展的结果。一般认为, 生态工程是从系统思想出发, 按照生态学、经济学和工程学的原理, 运用现代科学技术成果、现代管理手段和专业技术经验组装起来的, 以期获得较高的经济、社会、生态效益的现代工程系统, 是倡导环境友好型的工程模式。从生态工程内涵可以看出, 生态工程具有一系列基本特征。如具有在系统工程领域相联系的多元成分与多重目的性, 具有整体性与协调性特征, 具有多学科相结合的特征, 具有鲜明的伦理学特征, 同时, 强调经济效益、生态效益和社会效益协调发展。

规划及实施生态工程必须因地制宜, 根据不同地区的现实情况确定本地区的生态工程模式。同时, 由于生态系统是一个开放系统, 在生态工程的建设中必须增强系统的物质、能量及信息的输入, 加强与外部环境的物质交换, 提高生态工程的产出与效率。在生态工程的建设中, 实行劳动、资金、能源、技术密集交叉的集约经营模式, 达到既有高的产出, 又能促进系统内各组成成分的协调发展。

三、生态工程划分原则与类型

(一) 生态工程的划分原则

为了有针对性地开展生态工程的研究与实践, 结合不同领域和地区的特殊性进行生态工程的类型划分具有基础性作用, 也是评价生态工程效应的关键之一。由于生态工程不同类型之间相互交叉渗透, 存在着复杂的内在联系, 而且生态工程作为新兴的领域还处于发展阶段, 许多理论与技术有待于进一步开拓与完善, 特别是由于生态工程所涉及对象的广泛性, 决定了生态工程分类体系的建立还有诸多难点, 目前生态工程的分类标准还不统一, 生态工程体系还不完善。

尽管如此, 人们在对生态工程进行类型划分时, 还是探索出了一系列的原则与方法。基于理论与实践的需要, 人们依据工程属性、工程目标、工程环境背景、工程产业特征、工程治理模式等原则思路, 对不同的生态工程进行了类型划分, 并取得了良好效果, 也促进了生态工程分类研究的进展。

(二) 生态工程的主要类型

在生态学及相关理论指导下, 结合区域特点及实践需要, 一些专家把目前的

生态工程划分为治污生态工程、生态修复工程及农业生态工程等类型,在一定程度上,满足了生态实践的需要。但在具体的规划设计及实施中,还需要结合现实需要进行有针对性的分类。

1. 生态工程的一般分类

根据生态工程在国内外的发展现状和趋势,可将生态工程划分为不同产业类型的生态工程、不同区域类型的生态工程、不同工程目的的生态工程三大类型(云正明,1993),也同样在生态建设中得到广泛应用。

结合中国目前产业发展状况,以产业类型来划分生态工程,主要包括农业生态工程、种植业生态工程、林业生态工程、畜牧与水产业生态工程、农村庭院生态工程和城市生态工程等(云正明,1993)。进入21世纪以来,中国面临着更加严重的生态环境与经济发展问题,因此,中国的生态工程多与产业部门及社会经济发展紧密联系。

中国自然地理类型多样,生态环境状况迥异,以区域地理类型来划分生态工程,主要包括山地生态工程、绿洲生态工程、盐碱地生态工程、沙漠生态工程、湿地生态工程、滩涂生态工程、草原生态工程等。

针对具体问题,以工程目的来划分生态工程,主要包括污水处理生态工程、固体废物处理生态工程、土壤修复生态工程、公路维护生态工程及园林绿化生态工程等。

作为一门应用性的技术体系,生态工程的产生和发展是与区域性生态环境治理及经济发展密不可分的;而生态环境治理与经济发展都需要从综合治理的角度出发,将不同产业的生态工程综合起来,应用于某一特殊地区的环境整治与建设当中才能发挥最大作用。因此,按照不同的气候、地形、地貌、土壤、水文类型、社会经济特点等区域类型来划分生态工程类别更具实际意义。

在中国生态工程的实践中,江苏省盐城市于2009年对十大类重点生态工程项目进行了方案设计,并制定了实施计划。相关生态工程包括生态工业类工程、生态食品类工程、生态旅游类工程、生态城市类工程、绿色盐城类工程、水源保护类工程、生态文化类工程、城市污染控制类工程、农村污染防治类工程以及生态建设支撑类工程,充分反映了区域特色及现实情况,对于生态建设、环境保护与经济发展具有重要的指导意义,有利于促进区域低碳经济及生态文明各项事业的健康发展。

在生态工程的实践中,受中国产业结构及人口规模与经济发展水平的影响,农业生态工程具有重要的地位与作用。一般而言,农业生态工程是应用农业生态系统中物种共生原理,多种成分相互协调和促进的功能原理,以及物质循环、能量流动及信息传递的原理,采用系统工程的最优化方法设计不同类型的农业生态