

国家海洋局资助项目

HAIYANG SHENGTAI HUIFU
LILUN YU SHIJIAN



海洋生态恢复 理论与实践

陈 彬 俞炜炜 等◎编著

中国海洋大学出版社

中国海洋大学出版社

中国海洋大学出版社

海洋生态恢复

理论与实践

主编 王世军 副主编 王世军

1

1



国家海洋局资助项目

海洋生态恢复理论与实践

陈 彬 俞炜炜 等 编著

海洋出版社

2012 年 · 北京

内 容 简 介

本书在对国内外海洋生态恢复研究进行总结分析的基础上,提出了海洋生态恢复的一般程序和方法。重点阐述了红树林、珊瑚礁、海草床与海藻场、滨海湿地、渔业资源退化、海水养殖污染、外来物种入侵、海洋溢油、砂质海滩退化九类海洋生态恢复的方法,内容涵盖了生态恢复选址、生态退化诊断、生态恢复措施、生态恢复影响评估、生态恢复监测与成效评估等整个工作流程。

本书列举了近年来国内外海洋生态恢复实例进行分析说明,更有助于为沿海地区开展海洋生态恢复提供参考。本书可供相关领域专家学者及开展海洋生态恢复的工作者学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

海洋生态恢复理论与实践/陈彬等编著. —北京:海洋出版社, 2012.1
ISBN 978-7-5027-8169-9

I. ①海… II. ①陈… III. ①海洋生态学 IV. ①Q178.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 257542 号

总 策 划: 于乃疆

责任编辑: 于乃疆

责任校对: 肖新民

责任印制: 刘志恒

排 版: 北京蓝鲸海洋文化发展中心

出版发行: 海洋出版社

地 址: 北京市海淀区大慧寺路 8 号 (716 房间)
100081

经 销: 新华书店

技术支持: (010) 62100058

发 行 部: (010) 62174379 (传真) (010) 62132549
(010) 68038093 (邮购) (010) 62100077

网 址: www.oceanpress.com.cn

承 印: 北京华正印刷有限公司

版 次: 2012 年 1 月第 1 版

2012 年 1 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 13.75

字 数: 310 千字

印 数: 1~1500 册

定 价: 54.00 元

本书如有印、装质量问题可与发行部调换

《海洋生态恢复理论与实践》

编写人员

主 编：陈 彬 俞炜炜

副 主 编：刘文华 蔡 锋 黄小平 陈光程

编写人员：（按姓氏音序排列）

杜建国 黄海萍 黄 浩 江志坚 雷 刚

林更铭 林荣澄 林祥志 刘建辉 刘正华

马志远 牛文涛 戚洪帅 石盛莉 唐森铭

王广禄 王昭凯 郑森林

前 言

近几十年来,随着沿海地区人口的急剧增长、社会经济的快速发展、工业化和城市化进程的不断推进,海洋自然资源的掠夺性开发日益加剧,继而引发了一系列的生态环境问题,直接或间接导致了海洋生态系统的严重退化,如生物多样性下降、珍稀濒危物种绝迹、红树林消失、渔业资源衰退、滨海湿地面积萎缩等。海洋生态环境退化是世界各国普遍面临的问题,退化生态系统的恢复也已成为全球生态学研究领域的热点。

1975年3月,在美国佛吉尼亚理工大学(Virginia Polytechnic Institute and State University)首次召开了全球“受损生态系统的恢复”国际会议。1988年,国际恢复生态学会(The Society for Ecological Restoration International)成立,标志着恢复生态学学科的形成。在随后的20年,恢复生态学得到了迅速的发展,研究尺度从早期的小尺度的生态恢复项目转向大尺度的区域性生态恢复,研究内容由传统的生态恢复措施的单方面研究转向生态恢复的系统化研究,其涵盖了生态退化诊断、生态恢复措施、生态恢复监测与成效评估等方面。与此同时,恢复生态学的发展也促进了海洋生态恢复的理论与实践,一批海洋生态恢复的著作陆续出版,如Preeht的《Coral reef restoration handbook》(2006)、Nordstrom的《Beach and dune restoration》(2008)、Campbell的《Seagrass restoration》(2010)等;此外,国内外出版的一些恢复生态学相关的专著,如Perrow等的《Handbook of ecological restoration》(2002)、李洪远等的《生态恢复的原理与实践》(2005)、任海等的《恢复生态学导论》(2008)等也对红树林、珊瑚礁、滨海湿地等涉海典型生态系统的恢复进行了阐述。总体而言,尽管国内外有关专家学者在海洋生态恢复领域开展了大量有益的探索,但相较于陆地生态恢复研究,海洋生态恢复的发展历程较短,目前还处于初步的探索与发展阶段,尚未形成完整的、系统的海洋生态恢复理论与方法。

近年来,我国沿海各地陆续尝试开展一些小规模海洋生态恢复工程,因此,系统总结国内外海洋生态恢复的理论与方法,可为我国更有效地开

展红树林、珊瑚礁、滨海湿地等典型海洋生态系统的恢复提供参考。国家海洋局环境保护司高度重视海洋生态恢复工作,从2008年开始委托国家海洋局第三海洋研究所开展海洋生态恢复的总结研究工作,并多次对该项目进行了具体的指导和鼓励,本书即为该项目成果的总结和凝炼。全书共分为十一章,其中第一章和第二章主要在对国内外海洋生态恢复研究进行综述的基础上,提出了海洋生态恢复的一般程度和方法;第三章至第十一章重点阐述了红树林、珊瑚礁、海草床与海藻场、滨海湿地、渔业资源退化、海水养殖污染、外来种入侵、海洋溢油、砂质海滩退化9类海洋生态恢复的方法,内容涵盖了生态恢复选址、生态退化诊断、生态恢复措施、生态恢复影响分析、生态恢复监测与成效评估等整个工作流程,列举了一些国内外实例并进行分析说明,力图为沿海地区开展海洋生态恢复提供参考。

本书编写具体分工如下:第1章和第2章由陈彬和俞炜炜编写;第3章由陈光程、俞炜炜编写;第4章和第7章由刘文华、林荣澄、牛文涛等编写;第5章由黄小平、刘文华、江志坚编写;第6章由俞炜炜、石盛莉、刘正华、黄浩等编写;第8章由林更铭、林祥志、王昭凯、郑森林编写;第9章由唐森铭、陈光程编写;第10章由杜建国、郑森林、马志远编写。第11章由蔡锋、戚洪帅、刘建辉、王广禄、雷刚编写。全书由陈彬和俞炜炜统稿。

本书的出版得到了国家海洋局海洋环境保护司的资助。同时,在总结研究工作过程中,中科院南海海洋研究所等相关单位提供了大量关于海洋生态恢复实践的一手资料,沿海各省市海洋局等职能部门在此期间给予具体指导和配合,谨此深表感谢!

本书除了利用编者所在单位——国家海洋局第三海洋研究所近年来取得的相关研究成果外,还引用了大量的国内外海洋生态恢复研究成果,所有引用的文献和报告均在参考文献中列出。在成书的过程中,编者虽然已尽心竭力,但限于水平与经验,本书错误与不当在所难免,敬希斧正。

编 者

2011年9月于厦门

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 基本概念与内涵	(1)
1.1.1 退化生态系统	(1)
1.1.2 生态恢复	(1)
1.2 生态恢复研究概况	(2)
1.2.1 生态恢复研究概况	(2)
1.2.2 海洋生态恢复研究概况	(4)
1.3 海洋生态恢复研究概况	(5)
1.3.1 国际海洋生态恢复研究概况	(5)
1.3.2 国内海洋生态恢复研究概况	(7)
1.4 讨论与展望	(7)
参考文献	(8)
第2章 海洋生态恢复程序与内容	(12)
2.1 海洋生态恢复程序	(12)
2.2 生态恢复选址	(13)
2.3 生态调查与资料收集	(13)
2.4 生态系统退化诊断	(14)
2.4.1 生态退化干扰分析	(14)
2.4.2 参照系统选取	(14)
2.4.3 生态系统退化程度诊断	(15)
2.5 生态恢复目标确定	(17)
2.5.1 目标确定原则	(17)
2.5.2 生态恢复目标	(17)
2.6 生态恢复措施制定	(18)
2.6.1 生态恢复途径	(18)
2.6.2 生态恢复的管理措施	(19)
2.6.3 生态恢复的技术措施	(20)
2.7 生态恢复影响分析	(21)
2.8 生态恢复实施	(21)
2.9 生态恢复监测与生态恢复成效评估	(21)

2.9.1 生态恢复监测	(22)
2.9.2 生态恢复成效评估	(24)
2.10 讨论与展望	(25)
参考文献	(26)
第3章 红树林生态恢复	(30)
3.1 红树林生态系统特征	(31)
3.2 红树林生态退化分析	(32)
3.3 红树林生态恢复目标确定	(33)
3.4 红树林生态恢复模式选取	(33)
3.5 红树林生态恢复措施	(34)
3.5.1 管理措施	(34)
3.5.2 技术措施	(35)
3.6 红树林生态恢复监测	(41)
3.7 红树林生态恢复成效评估	(42)
3.8 实例分析	(42)
3.8.1 福建泉州湾洛阳江口红树林恢复实例分析	(42)
3.8.2 九龙江口秋茄红树林人工恢复对大型底栖动物群落的影响	(45)
3.9 讨论与展望	(55)
参考文献	(56)
第4章 珊瑚礁生态恢复	(58)
4.1 珊瑚礁生态系统特征	(59)
4.2 珊瑚礁生态恢复程序与内容	(59)
4.3 珊瑚礁生态系统退化诊断	(60)
4.3.1 珊瑚礁生态系统退化的原因	(60)
4.3.2 珊瑚礁退化诊断指标选取	(61)
4.4 珊瑚礁生态恢复目标确定	(61)
4.5 珊瑚礁生态恢复模式选择	(62)
4.6 珊瑚礁生态恢复措施	(63)
4.6.1 管理措施	(63)
4.6.2 技术措施	(64)
4.7 珊瑚礁生态恢复监测与成效评估	(70)
4.7.1 珊瑚礁生态恢复的监测	(70)
4.7.2 珊瑚礁生态恢复的成效评估	(70)
4.8 实例分析	(70)

4.8.1 菲律宾 Lipata 与 Bolinao 的珊瑚移植	(70)
4.8.2 海南三亚珊瑚移植实例分析	(73)
4.9 讨论与展望	(75)
参考文献	(76)
第5章 海草床与海藻场生态恢复	(80)
5.1 海草床与海藻场生态系统特征	(80)
5.1.1 海草床生态系统特征	(80)
5.1.2 海藻场生态系统特征	(81)
5.2 海草床生态恢复程序与内容	(82)
5.2.1 海草床生态系统退化诊断	(82)
5.2.2 海草床生态恢复目标确定	(82)
5.2.3 海草床生态恢复模式	(83)
5.2.4 海草床生态恢复措施	(83)
5.2.5 海草床生态恢复监测与评估	(90)
5.3 海藻场生态恢复程序与内容	(90)
5.3.1 海藻场生态系统退化诊断	(90)
5.3.2 海藻场生态恢复目标确定	(91)
5.3.3 海藻场生态恢复模式	(91)
5.3.4 海藻场生态恢复措施	(92)
5.3.5 海藻场生态恢复监测与评估	(94)
5.4 海草床生态恢复实例分析	(95)
5.4.1 我国海草床生态恢复实例分析	(95)
5.4.2 美国切萨皮克湾海草床生态恢复实例	(96)
5.5 海藻场生态恢复实例分析	(97)
5.5.1 我国海藻场生态恢复实例分析	(97)
5.5.2 美国华盛顿西北海域海藻场生态恢复实例分析	(99)
5.6 讨论与展望	(99)
参考文献	(101)
第6章 滨海湿地生态恢复	(107)
6.1 滨海湿地生态退化分析	(107)
6.2 滨海湿地恢复目标确定	(109)
6.3 滨海湿地生态恢复措施	(110)
6.3.1 滨海湿地生态恢复的管理措施	(110)
6.3.2 滨海湿地生态恢复的技术措施	(110)

6.4 滨海湿地生态恢复监测与评估	(112)
6.4.1 滨海湿地生态恢复监测	(112)
6.4.2 滨海湿地生态恢复评估	(112)
6.5 实例分析	(113)
6.5.1 厦门五缘湾湿地生态恢复实例分析	(113)
6.5.2 美国旧金山湾盐沼湿地恢复实例分析	(118)
6.6 讨论与展望	(122)
参考文献	(122)
 第7章 渔业资源恢复	(125)
7.1 海洋渔业资源退化及恢复措施	(125)
7.2 人工渔礁生态恢复程序与内容	(125)
7.2.1 人工渔礁目标	(126)
7.2.2 人工渔礁类型	(126)
7.2.3 人工渔礁的设计与投放	(126)
7.2.4 人工渔礁生态恢复监测与成效评估	(128)
7.2.5 人工渔礁生态恢复监护与管理	(129)
7.3 增殖放流生态恢复程序与内容	(129)
7.3.1 增殖放流的目标	(130)
7.3.2 增殖放流的设计与投放	(130)
7.3.3 增殖放流生态恢复监测与成效评估	(131)
7.3.4 增殖放流生态恢复监护与管理	(132)
7.4 广东澄海莱芜人工渔礁实例分析	(133)
7.4.1 渔业资源退化分析	(133)
7.4.2 人工渔礁的设计与投放	(134)
7.4.3 人工渔礁投放后的管理	(135)
7.4.4 人工渔礁成效的监测与评估	(136)
7.5 讨论与展望	(136)
参考文献	(137)
 第8章 海水养殖污染生态恢复	(141)
8.1 海水养殖污染特征	(141)
8.2 海水养殖污染生态恢复措施	(141)
8.2.1 大型海藻净化富营养化水体	(143)
8.2.2 海水养殖污染的综合恢复	(147)
8.3 九龙江口养殖污染生态恢复实例分析	(148)

8.3.1 养殖污染综合生态恢复措施	(148)
8.3.2 生态恢复监测	(149)
8.3.3 生态恢复成效分析	(150)
8.4 讨论与展望	(151)
参考文献	(152)
第9章 外来物种入侵防范与生态恢复	(153)
9.1 外来物种及其危害	(153)
9.1.1 外来物种的定义	(153)
9.1.2 海洋外来入侵物种的来源	(154)
9.1.3 海洋外来入侵物种的危害	(154)
9.1.4 海洋外来入侵物种	(155)
9.2 外来物种的生态恢复难点与原则	(157)
9.2.1 外来物种入侵的安全考虑	(157)
9.2.2 外来物种入侵生态恢复的难点与原则	(157)
9.3 外来物种入侵防范与恢复方法	(158)
9.3.1 外来物种入侵的防范	(159)
9.3.2 外来物种入侵控制与治理	(162)
9.4 实例分析	(168)
9.4.1 澳大利亚达尔文港条纹贻贝清除	(168)
9.4.2 海洋入侵植物治理以互花米草为例	(169)
参考文献	(173)
第10章 海洋溢油生态恢复	(177)
10.1 海洋中石油的存在形态及危害	(177)
10.1.1 海洋中石油的存在形态	(177)
10.1.2 石油对海洋的危害	(178)
10.2 海洋溢油生态恢复技术方法	(179)
10.2.1 物理处理方法	(179)
10.2.2 化学处理方法	(180)
10.2.3 生物处理方法	(181)
10.3 海洋溢油生态恢复监测与成效评估	(182)
10.4 海洋溢油生态恢复实例分析	(183)
10.4.1 海洋溢油污染概况	(183)
10.4.2 海洋溢油污染恢复措施	(184)
参考文献	(187)

第 11 章 砂质海滩养护与修复	(189)
11.1 海滩养护的历史和现状	(189)
11.2 海滩养护原则与技术	(191)
11.2.1 海滩养护目标	(191)
11.2.2 海滩养护选址原则	(192)
11.2.3 海滩养护流程	(193)
11.3 厦门岛东北部香山—长尾礁岸段海滩修复实例分析	(198)
11.3.1 海滩修复选址	(198)
11.3.2 香山—长尾礁海滩修复的基本定位	(200)
11.3.3 香山—长尾礁海滩修复工程设计	(200)
11.3.4 泥沙运移分析和岸线变化预测	(203)
11.3.5 香山—长尾礁海滩修复工程施工	(203)
11.3.6 香山—长尾礁海滩修复后期监测	(204)
11.4 我国海滩养护前景	(205)
参考文献	(206)

第1章 绪 论

1.1 基本概念与内涵

1.1.1 退化生态系统

生态系统是一个处于不断变化的动态系统，正常的生态系统是生物群落与自然环境处于平衡状态的自我维持系统，各种组分按照一定规律发展变化并在某一平衡位置发生一定程度的波动，从而达到一种动态平衡状态（李洪远等，2005）。然而，在一定的时空背景下，在自然干扰或人为干扰或二者的共同作用下，生态要素和生态系统整体发生不利于生物或人类生存的量变和质变过程，打破了原有生态系统的平衡状态，造成破坏性波动或恶性循环，称之为生态系统退化（章家恩等，1997；李洪远等，2005）。生态系统退化实际上是一个系统在超载干扰下逆向演替的生态过程，是系统内组分及其相互作用过程发生的不良变化，这不仅取决于内在的因素，即生态系统的自我维持和抵抗力的强弱，而且也取决于外在的干扰（包维楷等，1999）。

退化生态系统（degraded ecosystem）是指自然或人为的干扰下形成的偏离自然状态或原有演变轨迹的生态系统（陈灵芝等，1995）。从一个稳定状态演替到脆弱的不稳定的退化状态，在这一过程中，生态系统在系统组成、结构、能量和物质循环总量与效率、生物多样性等方面均会发生质的变化（李洪远等，2005）。因此，与自然生态系统相比，退化生态系统的生物种类组成、群落或系统结构会发生明显的改变，表现为生物多样性减少、生物生产力降低、土壤和微环境恶化，以及生物间相互关系的改变（Daily，1995；陈灵芝，1995）。

1.1.2 生态恢复

自20世纪70年代以来，国内外不少学者和组织从不同的角度对生态恢复进行了许多不同的理解和阐述，其中，比较具代表性的有：①使生态系统回复至历史的、未干扰的（自然和非自然）的状态（Jordan et al.，1994；McKechnie，1983；Lewis，1990）；②使受损生态系统的结构和功能回复到干扰前的状态的过程（Cairns et al.，1978；Cairns 1995）；③使一个生态系统回复到较接近于受干扰前状态的过程（NRC，1992；Claw et al.，1998）；④重建一个结构和功能接近于自然条件的自我维持的生态系统的过程（NOAA，2002；Turner and Streever，2002）；⑤对逆向的或退化的生态系统采取的行动，使其重建生态过程、功能和生物/非生物的联系，建立一个能融入景观

整体的可持续的、具有弹性的系统 (SWS, 2000); ⑥帮助恢复和管理生态完整性的过程, 这种生态完整性包括生物多样性、生态过程和结构、区域和历史情况以及可持续的文化实践等广泛的范围 (SER, 2002); ⑦帮助已经退化、损伤或彻底破坏的生态系统恢复的过程 (SER, 2004)。

在生态恢复的定义中, 尽管有些学者强调生态恢复是试图将受损生态系统恢复至与干扰前完全一致的历史状态, 但是, 实际操作中很难或不可能实现这种理想状态, 其存在的原因包括: ①难以确定历史的或干扰前的生态系统结构或功能状态; ②在某些区域, 生态破坏或退化是不可逆的; ③由于当前的约束条件和状态可能会使生态系统沿着改变了的轨迹发展, 已经退化的生态系统的历史轨迹很难被精确确定, 甚至不可能被精确确定; ④可能受到经济和社会成本的约束; ⑤对生态自然过程的认识很有限 (Aronson et al., 1993; Cairns, 1993; Jackson et al., 1995; Hobbs and Norton, 1996; Wali, 1999; SER, 2004)。

本书所说的“生态恢复”是指帮助已经退化、损伤或彻底破坏的生态系统恢复的过程, 是一个有目的的行动, 旨在启动或者促进一个生态系统恢复其健康、完整性和可持续性 (SER, 2004)。因此, 海洋生态恢复的最终目标并不强调恢复生态系统至干扰前或历史的理想状态, 而是将其恢复至健康的生态系统, 建立一个自我维持或在较少人工辅助下能健康运行的海洋生态系统 (Maria et al., 2005; Williams et al., 2004)。

与生态恢复有关的还有许多科学术语, 如 1980 年, Cairns 主编的《受损生态系统的恢复过程》一书中涉及生态恢复研究与实践的有关概念包括有生态恢复 (ecological restoration)、生态修复 (ecological rehabilitation)、生态重建 (ecological reconstruction)、生态更新 (ecological renewal)、生态改良 (ecological reclamation) 等。这些术语的含义既相互重叠又略有差异, 但却从不同角度反映了恢复与重建的基本意图。目前, 在学术讨论中用得较多的是“生态恢复”和“生态修复”, 其中, 欧美国家主要采用“生态恢复”, 日本和我国主要采用“生态修复”。从“修复” (rehabilitation) 和“恢复” (restoration) 二词的词义而言, 意思基本相同, 但是, “恢复”强调主体 (生态系统) 的一种状态, 其实现方式包括自然恢复与人为恢复, 原意是指使一个受损生态系统的结构和功能回复到接近或达到其受干扰前的状态; 而“修复”更强调人类对受损生态系统的重建与改进, 强调人的主观能动性。本书中“生态恢复”是一个概括性的术语, 涵盖了帮助和促进已经退化、损伤或彻底破坏的生态系统恢复的所有实践过程 (SER, 2004), 其科学内涵不仅包括狭义的生态恢复, 而且还涵盖生态修复、生态重建、生态更新、生态改良等相关概念。

1.2 生态恢复研究概况

1.2.1 国际生态恢复研究概况

生态恢复的研究最早源于美国威斯康星州, 1935 年, Leopold 及其助手一起在麦迪

逊边缘一块 24 hm² 的废弃农场上着手进行牧草恢复,如今这块草地已成为威斯康星大学具有美学和生态学双重意义的植物园。20 世纪 50—60 年代,欧洲、北美和中国都注意到了各自的环境问题,开展了一些工程与生物措施相结合的矿山、水体和水土流失等环境恢复和治理工程,并取得了一些成效。从 20 世纪 70 年代开始,欧美一些发达国家开始水体恢复研究 (Cairns, 1995)。国际上生态恢复理论与实践的研究对象主要侧重于废弃矿地、森林、农田、草原、荒漠、河流、湖泊、湿地和废弃矿地等,研究内容涵盖了生态系统退化原因与机理、生态恢复的措施与技术、生态恢复监测与评价、生态恢复目标等。当前,恢复生态学理论和实践方面走在前列的是欧洲和北美,在实践中走在前列的还有新西兰、澳洲和中国,其中,欧洲侧重矿地恢复,北美偏重水体和林地恢复,而新西兰和澳洲以草原恢复为主,中国则因人口偏多而强调农业综合利用 (任海等, 2004)。

20 世纪 70 年代中期至 80 年代,生态恢复的理论体系开始形成,并始于欧美的一些发达国家。1975 年 3 月,在美国佛吉尼亚理工大学 (Virginia Polytechnic Institute and State University) 首次召开了全球“受损生态系统的恢复”的国际会议,讨论了受损生态系统的恢复与重建等重要的生态学问题,强调对受损生态系统的基础数据的收集与生态恢复技术措施等方面的研究。1980 年, Cairns 主编了《The Recovery Process in Damaged Ecosystem》一书,从不同角度探讨了受损生态系统恢复过程中的重要生态学理论和应用问题。1983 年,美国召开了主题为“干扰与生态系统”的国际学术会议,系统探讨了人类干扰对生物圈、自然景观、生态系统、种群和生物种的生理学特征的影响。1984 年,在美国威斯康星大学召开了恢复生态学研讨会,300 多位生态学家提交了论文,强调了恢复生态学中理论与实践的统一性,并提出恢复生态学在保护与开发中起着重要的桥梁作用。1987 年, Jordan 等主编了第一本生态恢复研究的专著《Restoration Ecology》。1988 年,国际恢复生态学会 (The Society for Ecological Restoration International) 成立,标志着恢复生态学学科的形成。1989 年 9 月,在意大利锡耶纳举行的第五次欧洲生态学研讨会上把生态系统恢复作为会议讨论的主题之一,标志着恢复生态学在欧洲的兴起。

20 世纪 90 年代,生态恢复理论与实践的研究得到进一步拓展。1991 年,在澳大利亚召开了“热带退化林地的恢复国际研讨会”。1993 年,在香港举行了华南退化坡地恢复与利用国际研讨会,系统地探讨了中国华南地区退化坡地的形成及其恢复重建问题。同年,英国学者 Bradshaw 发表了“Restoration Ecology as Science”一文,确立了恢复生态学的学科地位及其在退化生态系统恢复中的理论意义。1993 年,美国创办了《Restoration Ecology》等刊物,专门刊登有关生态恢复与重建方面的研究成果。1996 年,国际恢复生态学会在瑞士召开了首届国际恢复生态学大会,强调恢复生态学在生态学中的地位,国际恢复生态学会的召开是国际恢复生态学发展的一个重要里程碑。

21 世纪以来,生态恢复的研究普遍受到世界各国的重视,相继召开了一系列相关的学术会议和活动,涌现出大量的学术论文、文集和专著,多种有关生态恢复的期刊、专刊、网站也应运而生,生态恢复研究与实践得到了全面发展。国际恢复生态学会 (SER) 几乎每年召开国际性学术研讨会,促进了全球生态恢复的交流与发展。2000 年

在英国利物浦召开了第12届国际恢复生态学大会, 主题为“以创新理论深入推进恢复生态学的自然与社会实践”, 强调对生境所有方面和生态系统恢复进行更深入的了解和更完善的实践(彭少麟和赵平, 2000)。2001年在加拿大召开了第13届国际恢复生态学大会, 主题为“跨越边界的生态恢复”, 致力于推动在更大空间尺度上的“跨边界生态恢复”的理念、研究和推广, 建立协作关系并发挥其作用, 从而实现成功的生态恢复(彭少麟和赵平, 2001)。2002年在美国召开了第14届国际恢复生态学大会, 主题为“生态系统的了解和恢复”, 强调了生态系统是生态恢复研究的最基本和完整的单元(彭少麟等, 2002)。2003年在美国得克萨斯州召开了第15届国际恢复生态学大会, 主题为“生态恢复、设计与景观生态学”, 强调生态恢复应该归类于设计的领域(彭少麟和陆宏芳, 2003)。2004年在加拿大维多利亚召开了第16届国际恢复生态学大会, 主题为“边缘的生态恢复”(彭少麟和陆宏芳, 2004)。2005年在西班牙召开了第17届国际恢复生态学大会, 主题为“生态恢复的全球性挑战”, 强调了从生态系统到全球的生态恢复尺度、从科技到文化的生态恢复方式, 即生态恢复的尺度整合和社会实践性(彭少麟和陈卓全, 2005)。2007年在美国加利福尼亚召开了第18届国际恢复生态学大会, 主题为“变化世界中的生态恢复”, 强调通过生态学的研究阐明保护及恢复自然生态系统的目标和标准, 进行成功恢复的评估和生态恢复效力的评价(彭少麟和侯玉平, 2007)。2009年在澳大利亚召开了第19届国际恢复生态学大会, 主题为“通过生态恢复改变全球变化”, 围绕恢复地球逐渐降低的生物多样性和退化生态系统这一当前关注的科学和社会问题形成各议题(彭少麟和周婷, 2009)。2011年在墨西哥召开了第20届国际恢复生态学大会, 主题为“恢复与重建自然与文化的和谐”, 强调人类只有形成与自然和谐的文化, 才有可能不过度地破坏地球, 并恢复生态系统的结构和功能, 尤其是恢复平衡性、完整性和弹性(彭少麟等, 2011)。

目前, 世界各国发表了大量生态恢复相关的研究论文和书籍, 生态恢复理论体系得到了全面发展。刊登生态恢复方面成果的期刊有“生态恢复”(Ecological Restoration)、“恢复生态学”(Restoration Ecology)、“生态管理与恢复”(Ecological Management and Restoration)、“环境管理”(Environmental Management)、“海洋和海岸带管理”(Ocean & Coastal Management)、“生态工程学”(Ecological Engineering)等。近年来, 全球各地相继发表了一系列相关的论著, 如《恢复生态学: 新前沿》(Andel et al., 2005)、《恢复生态学基础》(Falk et al., 2006)、《生态恢复: 新兴专业的原则、价值和结构》(Clewett et al., 2007)、《生态恢复: 全球挑战》(Comin, 2010)、《恢复生态学》(Greipsson, 2010)等。

1.2.2 国内生态恢复研究概况

中国是世界上生态系统退化最严重的国家之一, 也是较早开始生态重建实践和研究的国家之一(任海和彭少麟, 2001)。从20世纪50年代开始, 我国就开始了土地沙漠化的退化环境的长期定位观测试验和综合整治研究(张强等, 1998)。1959年, 中国科学院华南植物研究所在广东的热带沿海侵蚀台地上开展了退化生态系统的植被恢复技术与机理研究(余作岳等, 1996)。随后, 许多学者相继开展了水体、森林、矿山、