

李洪远 鞠美庭 主编

生态恢复的 原理与实践



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

生态恢复的原理与实践

李洪远 鞠美庭 主编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

生态恢复的原理与实践/李洪远, 鞠美庭主编. —北京:
化学工业出版社, 2004. 12
ISBN 7-5025-6389-X

I. 生… II. ①李…②鞠… III. 生态环境-环境保护-
研究 IV. X171.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 127041 号

生态恢复的原理与实践

李洪远 鞠美庭 主编

责任编辑: 董琳 满悦芝

责任校对: 李林

封面设计: 于剑凝

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

, <http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 22¼ 字数 552 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6389-X/X·567

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着世界人口的增加、工业化的发展以及城市化的进程,人类对各种自然资源的过度利用,致使许多类型的生态系统出现严重退化,继而引发了一系列的生态环境问题,如水土流失、森林减少、土地荒漠化、水体和空气污染、生物多样性锐减、淡水资源短缺等。如何整治日趋恶化的生态环境、防止自然生态系统的退化、恢复和重建受损的生态系统,是改善生态环境、提高区域生产力、实现可持续发展的关键。现实的诸多环境问题促使生态恢复的理论与实践研究成为当前国内外生态研究的热点和国际前沿学科之一。

有关生态恢复的实验研究可以追溯到 20 世纪 30 年代美国威斯康星大学植物园的一个 24hm² 废弃农场的恢复。20 世纪 70 年代开始,有关受损生态系统恢复的理论与实践的研究在世界各国广泛开展,欧美等国家率先开始了探讨受损生态系统恢复的机理与方法等的基础理论研究。1973 年 3 月,相关科研工作者在美国弗吉尼亚多种技术研究所和州立大学召开了题为“受损生态系统的恢复”的国际会议,首次专门讨论了受害生态系统的恢复和重建等许多重要的生态学问题。而日本著名生态学家宫脇昭教授率先在城市区域开展了人工促进自然植被的恢复实践。从 1985 年国际恢复生态学会成立以来,生态恢复的理论、技术方法与实践研究得到了快速发展,从而成为全球生态学领域的研究热点之一。生态恢复的研究对象也逐渐超出了传统的森林、草地、水域等生态系统类型,扩展到了矿区废弃地、垃圾填埋场、城市开发区域、道路建设区域等人类干扰强烈的生态系统类型。尤其是 2003 年第十五届国际恢复生态学大会将主题确定为“生态恢复、设计与景观生态学”,进一步明确了生态恢复是一个多学科交叉协作的领域,强调了生态恢复过程中人类的主观能动性所产生的作用。编者在总结自身近几年相关科研成果的基础上,充实国内外生态恢复领域最新研究成果和动态,编写了本书,并力求突出学术性、知识性和实用性。

全书共分 11 章。第 1、2 章系统介绍了退化生态系统与生态恢复的理论基础;第 3 章为全球五大洲生态恢复的概况;第 4~7 章介绍了几类自然生态系统恢复的原理与实践;第 8~11 章介绍了人类干扰影响较大的几类生态系统的恢复。每一章节都附有相对应的国内外生态恢复实例解析。

本书由李洪远、鞠美庭主持编写并统稿,各章其他参与编写人员为:第 1 章 何迎,第 2 章 何迎,第 3 章 权佳、孟伟庆,第 4 章 孟伟庆,第 5 章 常青、张裕芬,第 6 章 孟伟庆,第 7 章 姬亚芹,第 8 章 苏锋,第 9 章 何迎、王英,第 10 章 陈小奎、苏锋,第 11 章 常青。

本书编写过程中得到了南开大学环境科学与工程学院朱坦教授、朱琳教授以及许多老师的鼓励、指导和帮助,在此表示衷心的感谢!同时也感谢王凤花、钟文珏、张琳、庾丛蓉、张冬梅以及选修“生态恢复的原理与实践”课程的 2003 级硕士研究生,他们为本书翻译了大量的外文资料。

特别感谢日本京都大学环境设计学研究室森本幸裕教授、中国农业大学观赏园艺与园林

系李树华教授、南开大学材料化学系刘双喜教授为本书提供了大量珍贵的文献资料。书中还引用了国内外许多学者专家发表的研究成果以及图表资料，在此表示诚挚的感谢。

限于水平和资料掌握的程度，本书可能难以全面概括目前国内外生态恢复领域研究的优秀成果和最新进展，错误与不当之处在所难免，恭请广大读者和有关专家批评指正。

编 者

2004 年 11 月于南开园

内 容 提 要

受损生态系统恢复的理论与实践研究是当前生态学发展的热点之一。本书在参考大量国内外文献与研究成果的基础上,系统阐述了生态恢复的基本原理与方法,介绍了全球生态恢复实践的概况与特点以及不同类型生态系统恢复的原理、方法与实例。全书内容包括:人类干扰和退化生态系统;生态恢复的基本原理;全球生态恢复的概况;森林生态系统的恢复;水域生态系统恢复的原理与实践;草地生态系统的恢复;海洋和海岸带生态系统的恢复;废弃地的生态恢复;路域生态系统的恢复;城市绿化与城市生态系统恢复;多自然型河流治理与生态恢复设计等。

本书资料丰富、内容充实,具有很高的学术和实用价值。可供生态学、环境科学、林学、农学、水利、城市规划、景观设计等领域的师生及科技人员、设计人员使用,也可作为高等院校相关专业的研究生或高年级本科生教材。

目 录

1 人类干扰和退化生态系统	1
1.1 退化生态系统及其成因	1
1.1.1 退化生态系统的定义	1
1.1.2 退化生态系统成因	1
1.1.3 生态系统退化的过程	3
1.1.4 生态系统的退化程度诊断	6
1.2 退化生态系统类型与特征	10
1.2.1 退化生态系统的类型	10
1.2.2 退化生态系统的特征	11
1.3 全球退化生态系统现状	14
1.3.1 全球退化生态系统	14
1.3.2 中国退化生态系统	15
1.3.3 中国的脆弱生态系统	18
参考文献	19
2 生态恢复的基本原理	20
2.1 生态恢复概述	20
2.1.1 生态恢复的三个层次	20
2.1.2 生态恢复的意义与类型	24
2.2 生态恢复的理论基础	25
2.2.1 恢复生态学理论	25
2.2.2 基础生态学理论	27
2.2.3 景观生态学理论	30
2.3 生态恢复的机理与方法	34
2.3.1 生态恢复的目标与原则	34
2.3.2 生态恢复的机理	36
2.3.3 生态恢复途径、技术措施与程序	36
2.3.4 生态恢复的时间与评价标准	40
参考文献	41
3 全球生态恢复的概况	43
3.1 美洲	43
3.1.1 美洲生物群落的多样性概况及面临的问题	44
3.1.2 生态恢复的政策和法律体系	46
3.1.3 小结	47

3.2 欧洲	47
3.2.1 生态恢复现状	47
3.2.2 生态恢复的促进因素	48
3.2.3 小结	50
3.3 非洲	50
3.3.1 生态恢复的现状	50
3.3.2 恢复实践	51
3.3.3 小结	52
3.4 大洋洲	53
3.4.1 大洋洲的生物多样性及退化现状	53
3.4.2 生态恢复的相关法律和政策	54
3.4.3 小结	55
3.5 亚洲	56
3.5.1 印度	56
3.5.2 中国	57
参考文献	61
4 森林生态系统的恢复	62
4.1 温带森林的恢复	62
4.1.1 天然林的特征	62
4.1.2 林地的干扰过程	64
4.1.3 制定恢复计划	65
4.1.4 林地恢复影响因素	68
4.1.5 林地恢复的原则和方法	68
4.1.6 林地恢复的实例	71
4.2 热带雨林的恢复	73
4.2.1 恢复的限制因素	74
4.2.2 加速恢复的策略	76
4.2.3 热带雨林恢复的实例	78
4.2.4 小结	79
4.3 热带干旱林的恢复	80
4.3.1 研究概况	80
4.3.2 恢复的影响因素	81
4.3.3 研究的初步结论	84
参考文献	85
5 水域生态系统恢复的原理与实践	87
5.1 河流(溪流)生态恢复的原理与实践	87
5.1.1 河流(溪流)生态系统的结构与功能	88
5.1.2 人类对河流(溪流)生态系统的影响	91
5.1.3 河流(溪流)生态系统恢复的理论依据	91
5.1.4 河流(溪流)生态恢复的目标与内容	96

5.1.5	河流生态恢复的原则、方法与存在的问题	101
5.1.6	河流生态恢复的难点	104
5.1.7	河流生态系统恢复的实例分析	106
5.1.8	小结	110
5.2	湖泊的生态恢复原理与实践	111
5.2.1	湖泊的结构与生态功能	112
5.2.2	人类活动对湖泊的影响	115
5.2.3	湖泊恢复的基本原理	115
5.2.4	湖泊恢复的生态调控	118
5.2.5	湖泊“生物操纵”管理措施	122
5.2.6	湖泊生态恢复实例分析	125
5.2.7	小结	128
5.3	淡水湿地的生态恢复原理和实践	128
5.3.1	淡水湿地的结构与功能	128
5.3.2	人类对淡水湿地生态系统的影响	131
5.3.3	淡水湿地生态恢复目标与原则	131
5.3.4	淡水湿地生态恢复的过程和方法	134
5.3.5	淡水湿地生态恢复的检验与评估	141
5.3.6	淡水湿地生态恢复的实例	142
5.3.7	小结	146
5.4	盐沼的生态恢复原理与实践	147
5.4.1	盐沼生态系统的特征与功能	147
5.4.2	盐沼退化原因分析	149
5.4.3	盐沼生态恢复的限制因素	152
5.4.4	盐沼生态恢复的措施	154
5.4.5	盐沼生态恢复实践	158
5.4.6	小结	163
	参考文献	164
6	草地生态系统的恢复	166
6.1	石灰质草地的恢复	166
6.1.1	前言	166
6.1.2	恢复的限制条件	168
6.1.3	具体的恢复技术	170
6.1.4	恢复石灰质草地的途径	173
6.1.5	小结	175
6.2	热带稀树草原的恢复	175
6.2.1	问题的本质	176
6.2.2	重建的方法	176
6.3	温带草原牧场的恢复	180
6.3.1	恢复的限制因素	180

6.3.2 恢复的方法	181
参考文献	183
7 海洋和海岸带生态系统恢复	185
7.1 珊瑚礁生态系统的恢复	186
7.1.1 珊瑚礁生态系统的特征	186
7.1.2 珊瑚礁生态系统的功能	186
7.1.3 珊瑚礁生态系统受损的原因	187
7.1.4 受损珊瑚礁生态系统恢复的技术和方法	188
7.1.5 小结	190
7.2 红树林生态系统的恢复	191
7.2.1 红树林的概念与特征	191
7.2.2 红树林的生态效益和社会经济价值	191
7.2.3 影响红树林生态系统的不利因素	193
7.2.4 红树林生态系统恢复的技术和方法	193
7.3 海滩生态系统的恢复	196
7.3.1 海滩生态系统概述	196
7.3.2 海滩生态系统的功能	197
7.3.3 海滩生境丧失和退化的原因	197
7.3.4 海滩生态系统恢复的技术和方法	197
7.3.5 小结	200
7.4 海岸沙丘生态系统的恢复	200
7.4.1 海岸沙丘生态系统特征	200
7.4.2 海岸沙丘生态系统的功能	201
7.4.3 海岸沙丘生态系统受损的原因	201
7.4.4 海岸沙丘生态系统恢复的技术和方法	202
7.5 小结	205
参考文献	205
8 废弃地的生态恢复	207
8.1 废弃地生态恢复概论	207
8.1.1 废弃地的定义、类型及特征	207
8.1.2 废弃地生态恢复的定义、目的和意义	209
8.1.3 废弃地生态恢复的原则、步骤和方法	210
8.2 矿区废弃地的生态恢复	212
8.2.1 矿区废弃地及其危害	212
8.2.2 世界各国矿区废弃地生态恢复概况	214
8.2.3 矿区废弃地生态恢复的规划与设计	216
8.2.4 矿区废弃地生态恢复技术	218
8.2.5 矿区废弃地生态恢复的评价与管理	227
8.3 城市工业废弃地的生态恢复	231
8.3.1 城市工业废弃地的产生及对城市环境的影响	231

8.3.2	城市工业废弃地的生态恢复	233
8.3.3	城市工业废弃地生态恢复实践	237
8.4	垃圾处置场地的生态恢复	241
8.4.1	垃圾处置场地的危害	241
8.4.2	垃圾处置场地生态恢复的意义	242
8.4.3	垃圾处置场地废弃地生态恢复的方法	243
	参考文献	249
9	路域生态系统的恢复	251
9.1	路域生态系统的内涵与环境功能	251
9.1.1	路域生态系统的内涵	251
9.1.2	路域生态系统的生态功能	251
9.2	道路建设对路域生态系统的影响	252
9.2.1	对动植物及其生息环境的影响	252
9.2.2	对区域环境和地表景观的影响	255
9.3	路域生态系统的恢复途径——生态道路建设	255
9.3.1	生态道路的生态学基础	255
9.3.2	生态道路建设	259
9.4	国外路域生态系统恢复与设计	265
9.4.1	21 世纪德国的道路建设——生物生息环境保护与创造	265
9.4.2	荷兰消除“生境破碎化”的道路建设	267
9.4.3	日本保护与重建多种生境的生态道路建设	268
9.4.4	国外其他国家保护生态环境的道路建设	269
9.5	小结	271
	参考文献	272
10	城市绿化与城市生态系统恢复	273
10.1	城市生态恢复概述	273
10.1.1	城市生态恢复的内涵	274
10.1.2	城市生态恢复的目标	274
10.1.3	城市生态恢复的限制因素	275
10.2	生态绿地建设与城市生态恢复	278
10.2.1	城市生态绿地建设的原则	278
10.2.2	城市生态绿地建设途径	278
10.2.3	城市生态绿地建设的技术与方法	285
10.3	特殊空间绿化在城市生态恢复中的应用	293
10.3.1	城市特殊空间绿化发展概况	293
10.3.2	特殊空间绿化与城市生态恢复	294
10.3.3	特殊空间绿化的设计和建造技术	300
10.3.4	特殊空间绿化在城市生态恢复中的前景	304
	参考文献	309
11	多自然型河流治理与生态恢复设计	311

11.1	河流生态恢复与河流治理·····	311
11.1.1	传统的河流治理方式及其影响·····	311
11.1.2	河流生态恢复与河流管理·····	312
11.2	多自然型河流理论概述·····	312
11.2.1	多自然型河流概念的提出·····	313
11.2.2	多自然型河流景观生态设计的技术方法·····	313
11.3	国内外多自然型河流恢复实例分析·····	318
11.3.1	日本的多自然型河流恢复·····	318
11.3.2	美国的多自然型河流恢复治理·····	322
11.3.3	欧洲的多自然型河流治理·····	328
11.3.4	中国的河流管理与治理现状·····	331
11.4	小结·····	344
	参考文献·····	345

1 人类干扰和退化生态系统

生态系统是一种永远处于不断运动和变化状态的动态系统，这里所说的退化生态系统是一个相对的概念，是相对于原来的生态系统而言的。退化生态系统实际上是生态系统演替的一个类型，其形成原因既可能是自然干扰，也可能是人为干扰。

1.1 退化生态系统及其成因

1.1.1 退化生态系统的定义

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。正常的生态系统是生物群落与自然环境取得平衡的自我维持系统，各种组分按照一定规律发展变化并在某一平衡位置作一定范围的波动，从而达到一种动态平衡状态。但是，生态系统的结构和功能也可以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发生位移（displacement），导致生态要素和生态系统整体发生不利于生物和人类生存的量变和质变，生态系统的结构和功能发生与其原有的平衡状态或进化方向相反的位移，位移的结果打破了原有生态系统的平衡状态，使系统的结构和功能发生变化并形成障碍，造成破坏性波动或恶性循环；具体表现在生态系统的基本结构和固有功能的破坏或丧失、生物多样性下降、稳定性和抗逆能力减弱、系统生产力下降，也就是系统提供生态系统服务的能力下降或丧失，这样的生态系统被称为退化或受损生态系统（damaged ecosystem）。

不少学者认为这一定义尚应进一步完善，还应从自然景观、系统的结构和功能的协调、能流和物流的循环、水分平衡以及生物的生理生态学特性等方面加以综合分析。

章家恩（1999）认为在研究生态退化时，应把人类自身纳入生态系统加以考虑，研究人类-自然复合生态系统的结构、功能、演替及其发展。因为环境恶化、经济贫困、社会动荡、文化落后等都是人类-自然-经济复合生态系统退化的重要诊断特征。

1.1.2 退化生态系统成因

1.1.2.1 退化原因分析

当生态系统的结构变化引起功能减弱或丧失时，生态系统处于退化状态。引起生态系统结构和功能变化而导致生态系统退化的原因很多，干扰作用是主要的原因。由于干扰打破了原有生态系统的平衡状态，使系统的结构和功能发生变化并形成障碍，造成破坏性波动或恶性循环，从而导致系统的退化。

干扰使生态系统发生退化的主要机理首先在于在干扰的压力下，系统的结构与功能发生变化。事实上，干扰不仅在群落的物种多样性的发生和维持中起重要作用，在生物的进化过程中也是重要的选择压力。在功能过程中，干扰能减弱生态系统的功能过程，甚至使生态系

统的功能丧失。干扰的强度和频度决定生态系统退化程度。过大的干扰强度和频度，会使生态系统退化成为不毛之地，而恢复极度退化的生态系统是非常困难的。常常需要采取一些生态工程措施和生物措施来进行退化生态系统恢复的启动工作，进而才能恢复植被。如果自然生态系统的地下部分（主要是土壤）保留较完整，则植被的自然恢复是可行的。

1.1.2.2 干扰的类型

可以从不同的角度对干扰进行划分：按干扰动因干扰可划分为自然干扰和人为干扰；按干扰来源干扰可划分为内源干扰和外源干扰；按干扰性质干扰可划分为破坏性干扰和增益性干扰。对退化生态系统而言，研究其退化原因一般采用第一种划分方法，本书也着重于自然干扰与人为干扰。

(1) 自然干扰 自然干扰指无人活动介入的自然环境条件下发生的干扰，包括大气干扰、地质干扰和生物干扰等。在不同的地理区域，自然干扰的因素是不同的。Pickett (1985) 曾把自然干扰定义为“使生态系统生物群落和种群结构受到破坏，使资源基础的有效性或物理环境发生改变而在时间上相对离散的事件”，例如火灾、冰雹、洪水冲击、雪压、异常的霜冻、酸雨、地震、泥石流、滑坡、病虫害侵袭和干旱等自然干扰因素。

自然干扰又可分为物理因素和生物因素。物理因素主要有火烧、冰雹、风暴、雪压和雪暴、洪水、大潮汐、降水变化、干燥胁迫、河岸和海岸冲击、沉淀、地表运动过程等；生物因素主要有捕食或放牧，伤害或取代其他有机体的非捕食行为（如草地哺乳动物和蚂蚁的挖掘），以及生态系统中大型食肉动物的消失所导致的食草动物的压力减轻，进而造成植被动态过程的深刻变化等。

(2) 人为干扰 人为干扰，是区别于自然干扰的另一种主要干扰方式，是指由于人类生产、生活和其他社会活动形成的干扰体对自然环境和生态系统施加的各种影响，包括有毒化学物释放与污染、森林砍伐、植被过度利用、露天开采等人为活动因素对生态系统的影响，属社会性的压力。从人类角度出发，人类活动是一种生产活动，一般不称为干扰；但对于自然生态系统来说，人类的所作所为均是一种干扰。从某种角度看，人类对生态系统干扰的作用力和影响范围，远远超过了自然干扰。现在，包括极地在内，已经没有任何生态系统未受到人类活动或其合成产物的影响。人为干扰因素因区域不同而异，并与社会发展水平、产业结构特征及生产手段和方式有关。人为干扰往往叠加在自然干扰之上，共同加速生态系统的退化。在某些地区，人为干扰对生态退化起着主要作用，并常造成生态系统的逆向演替以及不可逆变化和不可预料的生态后果，如土壤荒漠化、生物多样性丧失和全球气候变化等。

表 1.1 人类对生态系统干扰的方式与效应

人为干扰方式		效 应
传统劳作方式	对森林和对草原植被的砍伐与开垦	植被退化,水土流失加剧,区域环境恶化;生物生境遭破坏,生物多样性丧失
	采集	生物资源被破坏,一些物种灭绝
	采樵	生态系统能量和养分减少,生物生存活动受破坏;草原遭破坏
	狩猎和捕捞	种群生殖和繁衍遭破坏,一些物种灭绝;生物性状和数量发生变化
工农业污染		水质污染,空气污染,酸雨
新干扰形式(旅游、探险活动等)		污染,旅游资源退化

人类对生态系统干扰的形式和途径很多，它们产生的效应和表现形式也多种多样（见表 1.1）。

a. 传统劳作方式对生态系统的干扰

➤ 对森林和对草原植被的砍伐与开垦 人类的这种干扰对自然环境构成危害，始于大约一万多年前的早期农业并持续到现在（如备受人们关注的热带雨林的砍伐）。这种干扰导致一系列生态环境问题的发生，如森林大量被砍伐后，不仅导致森林植被的退化，加剧水土流失以及区域环境的变化，而且还会因造成许多生物生境的破坏，导致生物多样性的丧失。

➤ 采集 据统计，全球 80% 的人口依赖于传统医药，而传统医药中 85% 与野生动植物有关。例如，美国用途最广泛的 150 种医药中有 118 种源于自然，其中 74% 来源于植物，18% 来源于真菌。我国中药对野生动植物的利用和依赖更是闻名于世。因此，一些经济、药用及珍稀野生生物资源自古以来就被大肆掠夺采集，有时甚至造成一些物种的灭绝。所以，采集是人类对自然生态系统长期施加的一种直接干扰。

➤ 采樵 这也是一种不可忽视的干扰方式。在这种干扰中，人类的主要目的是为了满足自身对能源的需求，其对生态系统造成的影响是破坏了物质循环的正常进行。如对林下枯落物的利用，不单单意味着生态系统能量和养分的减少，而且还破坏了地被层及其土壤动物的生存环境。人类以采樵为目的而对草原枯落物的反复掠取，是造成草原退化的重要原因。

➤ 狩猎和捕捞 狩猎是一种特殊的干扰方式，在历史上，人类曾以此作为维生的手段之一。森林中生存着大量野生动物，人类以经济和食用为目的的非计划狩猎，尤其是对种群数量很少的濒危动物的捕杀，会严重破坏动物种群的生殖和繁衍，甚至造成物种的灭绝。人类对水生生物资源的适度捕捞，可保持水产品的持续利用。但是，在种群繁殖前的大量捕捞，则会使种群生殖年龄提前，个体小型化，种群数量急剧下降。

b. 工农业污染 人类在不断发展工农业的同时，也向自然环境排放了大量的生活垃圾、工业垃圾、农药以及各种对环境有毒害性的污染物。这是人类社会不断发展后，对自然生态系统的另一种最主要的直接干扰方式。工业废水的直接排放使许多水域被污染，水质下降甚至饮用水的价值丧失；大量化石燃料的使用以及向大气排放的各种污染物，不仅使空气受到污染，而且进入大气的硫氧化物、氮氧化物，与水蒸气结合后形成极易电离的硫酸和硝酸，导致大气酸度增加，许多地区甚至酸雨成灾，对生态系统和土壤等造成了灾难性的影响。这方面的干扰及其危害是相当广泛和相当严重的，事例也是随处可见。

c. 不断出现的新干扰形式 随着人类社会的发展，人为干扰也在不断出现新的形式，如旅游、探险活动等。这些干扰都对自然生态环境造成了不同程度的破坏。

此外，人类对生态系统的直接干扰还会产生许多间接的影响，如森林的砍伐不仅使区域的生态环境发生变化，而且还对河流流域的径流造成影响，使河流的水文特征改变。采樵不仅直接对草原植被的再生造成危害，同时还因植被状况的改变而间接影响着土壤盐分和地下水资源分布的变化。水域的污染不仅直接危害了水生生物的生存安全，而且还能通过生物对有害物质的富集而对人类的健康构成威胁。所以，人为干扰具有广泛性、多变性、潜在性、协同性、累积性和放大性等特点。

1.1.3 生态系统退化的过程

生态系统的退化实际上是系统的逆向演替。生态系统的退化如正向演替一样，是一个连续变化的过程。但由于所承受的干扰体的差异而使退化表现出退化程度、退化速度及退化过

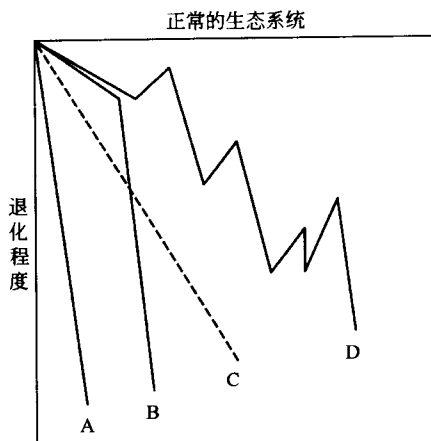


图 1.1 生态系统退化过程的几种类型示意

(引自包维楷, 陈庆恒, 1999)

A—突变过程; B—跃变过程; C—渐变过程; D—间断不连续过程

程的明显差异。据此可以把生态系统的退化过程归纳为以下几种退化过程: 突变过程、渐变过程、跃变过程、间断不连续过程及其复合退化过程 (见图 1.1)。

1.1.3.1 突变过程

突变过程指在受到特别强烈的干扰时, 生态系统表现出的突然的退化过程。突变过程的主要特点是, 驱动系统退化的干扰力远远大于系统自身的抵抗力, 退化的时间短, 速度很快, 退化程度极为严重, 退化后系统恢复能力弱, 系统靠自身自然恢复极慢。恢复重建工作任务艰巨。生态系统的这种突变过程目前最典型的例子有大型采矿导致生态系统迅速转变成废坑地的过程、泥石流导致的植被的退化过程、火山突然爆发导致的植被退化过程等。

1.1.3.2 跃变过程

在受到持续干扰的作用下, 生态系统最初并未表现出十分明显的退化或并未退化, 但干扰的持续、破坏性进一步累积到一定程度后, 生态系统突然剧烈退化的过程即为跃变过程。跃变过程的基本特点是, 干扰是持续的, 作用时间较长, 退化速度前期慢或未退化, 而后期突然加快, 系统自身抵抗力逐渐丧失。退化后系统靠自身可以自然恢复, 但恢复所需的时间长短不一。如大气污染胁迫下的森林生态系统的退化过程, 水污染胁迫下的湖泊水生生态系统的退化过程, 草地持续超载放牧干扰下的草地生态系统的退化过程等。与突变退化过程相比, 跃变过程干扰持续期较长, 退化速度相对较慢。

1.1.3.3 渐变过程

渐变过程是指干扰后, 生态系统表现出退化速度较一致、退化程度逐渐加重的退化过程。它最明显的例子是陡坡开垦耕地连续种植作物, 土壤生态系统的逐渐退化过程。

1.1.3.4 间断不连续过程

间断不连续过程指周期性干扰作用下, 生态系统表现出的退化过程。在此过程中, 干扰存在时, 系统在退化, 而在两次干扰的间隙 (无干扰), 生态系统有一定程度的恢复。如热带雨林的轮歇、刀耕火种下的土壤退化过程等。间断不连续过程与其他退化过程最明显的区别是整个退化过程中包含有明显的恢复阶段。

1.1.3.5 复合退化过程

除上述典型的退化过程外, 在目前生态系统退化过程中, 也有的表现为上述几种类型的组合变化, 即复合退化过程。如中国西南的亚高山暗针叶林大面积被伐的过程, 为突变过程; 若得不到及时更新, 就进一步退化为“红白刺”灌丛或箭竹灌丛 (若得到及时更新就逐渐恢复), 这个过程就是渐变退化过程。显然, 退化过程不仅决定于干扰作用的强度、干扰时间、干扰频率、干扰规模等, 还受制于系统本身的自然特性 (稳定性和抗干扰性), 表现

出明显的退化过程多元化和退化程度多样化。而自然演替过程只决定于系统本身，仅表现为单一的发展模式即向相对稳定状态发展。因此，这决定了退化生态系统恢复和重建时，必须首先合理诊断退化的过程及其退化程度，才可能合理选择应采取的途径和具体技术方法。正常的生态系统是生物群落与自然环境取得平衡的自维持系统，各组分的发展变化按照一定规律进行并在某一平衡位置作一定范围的波动，从而达到了一种动态平衡的状态，如亚热带的地带性常绿阔叶林、暖温带的落叶阔叶林、温带的草原、亚高山的云冷杉林等。

以正常的生态系统（相对稳定的生态系统）退化到荒漠状态的渐变过程为例，生态系统的退化过程大体可分为以下几个阶段（见图 1.2）。

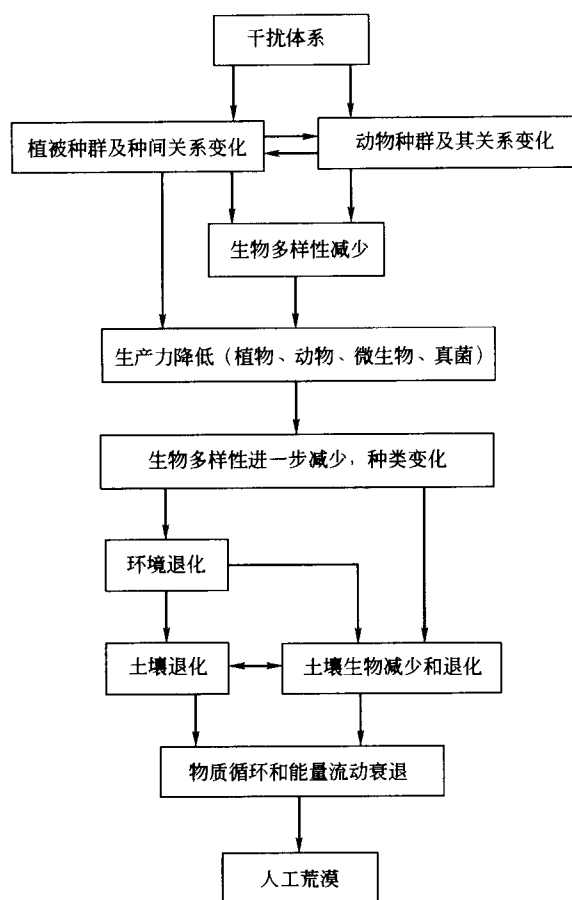


图 1.2 生态系统渐变退化过程示意（引自包维楷，陈庆恒，1999）

第一阶段，植物种群及其年龄结构发生变化，优势种群年龄结构向右位移，老龄个体居优，中幼龄个体少，更新不成功。由于优势种的衰退，一些演替中间阶段种类种群得以发展，泛化种（generalists）种群也在扩大。如草地系统中牧草种群退化，有毒、有害草种群数量增加；污染区森林结构退化，首先是树木，接着是高大的灌木，最后是矮小的灌木和草本植物。在植物种群发生变化的同时，以植物为依存的动物种群数量和年龄结构发生不良变化。本阶段退化较轻，通过消除干扰因素，自然恢复是容易成功的。如森林的封山育林、草场系统通过改变放牧时间和强度或围栏等措施，均可自然恢复相对稳定状态的生态系统。

第二阶段，在第一阶段的基础上进一步退化，生物多样性下降，生产力下降，植物种类