

# 人工裸地生态修复的 研究与实践

董厚德 等著

辽宁大学出版社

# 人工裸地生态修复的 研究与实践

著者 董厚德 董晓南 谷朝君  
张 绵 全奎国 潘 颖  
谷明淑

辽宁大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

人工裸地生态修复的研究与实践 / 董厚德等著.  
—沈阳: 辽宁大学出版社, 2016. 3  
ISBN 978-7-5610-8242-3

I. ①人… II. ①董… III. ①生态修复—研究  
IV. ①X171. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 061432 号

---

出 版 者: 辽宁大学出版社有限责任公司

(地址: 沈阳市皇姑区崇山中路 66 号 邮政编码: 110036)

印 刷 者: 辽宁彩色图文印刷有限公司

发 行 者: 辽宁大学出版社有限责任公司

幅面尺寸: 210mm×285mm

印 张: 22. 25

字 数: 580 千字

出版时间: 2016 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2016 年 3 月第 1 次印刷

责任编辑: 马 静

封面设计: 徐澄玥

责任校对: 齐 悦

---

书 号: ISBN 978-7-5610-8242-3

定 价: 155. 00 元

联系电话: 024—86864613

邮购热线: 024—86830665

网 址: <http://press.lnu.edu.cn>

电子邮件: [lnupress@vip.163.com](mailto:lnupress@vip.163.com)

## 序

人类是自然的一部分，在自然生态系统中生存、繁衍和发展。由于人类社会现代科学技术的高度发展，生产力空前强大，对自然生态系统的干扰强度日益增加。地球上自然生态系统日益减少，功能不断下降，缺损生态系统的面积急剧扩大，已经影响到人类社会的进步和发展，甚至威胁到人类的存亡。

一个世纪前，哲学家恩格斯曾指出：“我们不要过分陶醉于我们对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都对我们进行报复。每一次胜利，起初确实取得了我们预期的效果，但是注后和再注后都发生了完全不同的、出乎意料的影响，常常把最初的结果又消除了。”这是他在总结了人类为了索取而破坏自然的教训中得出的精辟结论。但是限于当时的认识水平，这一结论只谈了一半。人类对自然界的每一次胜利不仅在后来完全失去，而且这些胜利在自然界中引起的生态连锁反应，对自然界的破坏，有的可能永远无法消除。

从工业革命到今天，人们运用聪明和智慧极大地丰富了自己的物质生活。这一切无不是对自然过度索取而获得的。不惜代价的石油开采，矿山和火电的开发，钢铁、冶金和化工的过量生产，对野生动物随意猎杀与捕捞，随意毁林、无节制地造田，草原因过牧而退化，沙漠扩大。这一切导致地球上裸地和废弃荒地面积的大量增加，大气污染和水质恶化，引起地球大气圈、水圈和生物圈的生态恶性循环及连锁反应。虽然我们已迈入了物质文明高度发达的时代，但在津津乐道地享受现代物质生活的同时，我们也面临着一个生态危机的时代。

庆幸的是，当今人们已经认识到了保护自然生态系统，治理缺损生态系统，促进其生态结构和功能的恢复和提高，是我们共同面临的迫切任务。

人类的智慧已发展到了空前的境地。我们可以把太空探测器送到火星，离开太阳系。已发现原子核内的超微粒子，研制出超大型计算机，可以筛选出控制干细胞分化成特定组织细胞的四条基因，可以通过基因调控克隆生命，等等。但是我们却在恢复自己“家园”的探索中进步十分缓慢。尽管我们已从教训中逐步认识到人类生态环境的重要性，但是对

各类缺损生态系统的生态治理仍然是我们亟待解决的难题之一。

目前，在裸地生态恢复工程中有两个重要问题亟待解决：

一是指导理论错位，即没有正确地运用现代生态学和地植物学理论来指导裸地的生态恢复工程；二是生态治理的方法错位。目前，我国各类裸地生态修复工程中多沿用相邻学科的理论和方法，其中园林景观绿化的技术和手段应用得最为普遍：在远离城市和居民点的裸地上建造亭台楼阁、月亮门、小桥流水；在裸地上覆盖上厚厚的田园土，栽种奇花异木和耗水草坪，将一个人工裸地建造成一个美丽的公园。这些恢复后的人造工程不仅与自然生态系统根本不能融为一体，而且会产生再次生态破坏。

基于上述认识，经过长期的探索和实践，我们运用生态学和地植物学原理，效仿自然、模拟自然，对人工裸地生态修复工程进行设计，按生态学规律和技术进行施工，取得了一定的实效。现将我们的研究所得总结成“人工裸地生态修复的研究与实践”一书。全书共分两篇。第一篇介绍对人工裸地进行生态修复时必须掌握的生态学和地植物学的基本原理和技术。第二篇介绍我们运用这些理论和技术完成的三个不同自然地理区域内人工裸地生态修复工程的实例，并总结提出模拟自然生态修复法。

作者诚望本书的出版能为我国人工裸地生态修复事业的发展“添砖加瓦”，以求尽早全面恢复我国青山绿水的大好河山。

在本书出版之际，我们要感谢美国伊利诺伊大学董而博教授，他多次协助我们对美国和加拿大的裸地生态修复进行考察，并对本书提出不少宝贵建议。

大连市环境监测中心张勇教授、抚顺环境监测中心谢维教授和辽宁省林业勘测设计院涂军廷高级工程师曾亲临工程现场进行调研和指导。

王超硕士、陈敏硕士、陈钊硕士、李小明硕士和于普技术员在生态修复工程的现场勘察、取样和环境监测以及书稿整理过程中均作了很多工作。

辽宁大学出版社社长张家道对本书的出版给予了大力支持。

本书责任编辑马静副编审为本书的出版付出了辛勤的劳动。

在此一并表示深深的谢意。

董厚德

2015年12月

# 目 录

## 第一篇 人工裸地生态修复的理论基础及其运用

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>第一部分 人工裸地的生态恢复与生态修复</b> | 3  |
| 第一章 人工裸地治理现状               | 3  |
| 第一节 裸地类型                   | 3  |
| 第二节 人工裸地治理现状               | 4  |
| 第二章 人工裸地的生态治理              | 10 |
| 第一节 人工裸地生态治理现状             | 10 |
| 第二节 生态恢复的内涵                | 11 |
| 第三节 生态修复的内涵和程序             | 13 |
| <b>第二部分 人工裸地生态修复的理论基础</b>  | 18 |
| 第一章 人工裸地生态修复的原理——生态系统生态学   | 18 |
| 第一节 生态系统的组成                | 18 |
| 第二节 生态系统的功能                | 20 |
| 第三节 生态系统的平衡                | 26 |
| 第二章 人工裸地生态修复的原理——动态地植物学    | 28 |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 第一节 植物群落的组成和结构 .....                 | 29        |
| 第二节 植物群落的分类 .....                    | 30        |
| 第三节 植物群落的形成与演替 .....                 | 32        |
| 第四节 植物群落的地理分异规律 .....                | 40        |
| 第五节 植被图 .....                        | 42        |
| 第六节 植被区划 .....                       | 43        |
| <b>第三部分 模拟自然生态修复法 .....</b>          | <b>46</b> |
| 第一章 待修复裸地区域自然生态系统的特征和缺损生态系统的现状 ..... | 46        |
| 第一节 待修复裸地区域自然生态系统的结构和特征 .....        | 46        |
| 第二节 待修复缺损生态系统的现状 .....               | 47        |
| 第二章 生态修复目标植物和植物群落的选择 .....           | 49        |
| 第一节 目标植物和植物群落选择的依据 .....             | 49        |
| 第二节 客土种子库的测定 .....                   | 49        |
| 第三章 裸地——缺损生态系统的生态修复 .....            | 50        |
| 第一节 缺损生态系统的生境生态修复 .....              | 50        |
| 第二节 缺损生态系统的植被生态修复 .....              | 51        |

第二篇 人工裸地生态修复工程的实践

|                                           |           |
|-------------------------------------------|-----------|
| <b>工程实例一 辽宁抚顺西露天矿北帮矿山废弃裸地生态修复工程 .....</b> | <b>55</b> |
| 第一章 抚顺西露天矿北帮矿山废弃裸地生态修复工程概述 .....          | 56        |
| 第一节 西露天矿废弃裸地生态修复工程设计的依据和工程总量 .....        | 56        |

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| 第二节 西露天矿废弃裸地生态修复工程 .....                      | 59        |
| 第二章 抚顺西露天矿北帮平盘Ⅰ矿山废弃裸地生态修复工程 .....             | 66        |
| 第一节 平盘Ⅰ矿山废弃裸地生境生态修复工程 .....                   | 66        |
| 第二节 平盘Ⅰ矿山废弃裸地的植被生态修复工程 .....                  | 71        |
| 第三节 植被生态修复的效果分析 .....                         | 75        |
| 第三章 石油污水生态处理工程及其效果分析 .....                    | 87        |
| 第一节 石油污水生态处理工程 .....                          | 87        |
| 第二节 石油污水生态处理工程效果分析 .....                      | 91        |
| <b>工程实例二 辽宁大连瓦房店安台风电场(48MW)人工裸地生态修复工程 ...</b> | <b>96</b> |
| 第一章 大连瓦房店安台风电场人工裸地的生态修复工程 .....               | 96        |
| 第一节 瓦房店安台风电场裸地生态修复目标植物和植物群落的选择 .....          | 98        |
| 第二节 瓦房店安台风电场裸地生境的生态修复 .....                   | 114       |
| 第三节 瓦房店安台风电场裸地植被的生态修复 .....                   | 118       |
| 第二章 大连瓦房店安台风电场人工裸地植被生态修复效果 .....              | 123       |
| 第一节 瓦房店安台风电场机座平台裸地植被生态修复效果 .....              | 123       |
| 第二节 瓦房店安台风电场路肩平地裸地植被生态修复效果 .....              | 232       |
| 第三章 大连瓦房店安台风电场人工裸地生态修复的环境效益 .....             | 240       |
| 第一节 瓦房店安台风电场裸地植物多样性的变化 .....                  | 240       |
| 第二节 瓦房店安台风电场生态修复后水土保持的效果分析 .....              | 254       |
| 第三节 瓦房店安台风电场裸地生态修复的综合效应 .....                 | 255       |
| 第四章 大连瓦房店安台风电场人工裸地植被自然恢复的调查 .....             | 263       |
| 第一节 瓦房店安台风电场自然结缕草草地移植后裸地植被的自然恢复 .....         | 263       |
| 第二节 瓦房店安台风电场自然结缕草草地移草裸地自然恢复实验 .....           | 268       |

第三节 瓦房店安台风电场未进行生态修复的砾石裸地植被自然恢复的观测 ..... 274

**工程实例三 辽宁阜新彰武平安地风电场(49.5MW)沙质裸地生态修复工程 ... 281**

第一章 阜新彰武平安地风电场沙质裸地的生态修复工程 ..... 281

第一节 阜新彰武平安地风电场裸地生态修复的依据 ..... 281

第二节 阜新彰武平安地风电场裸地的生态修复 ..... 287

第二章 阜新彰武平安地沙质裸地生态修复的效果 ..... 290

第一节 阜新彰武平安地风电场沙质裸地植被生态修复的效果 ..... 290

第二节 阜新彰武平安地风电场沙质裸地生态修复的环境效益 ..... 327

**参考文献 ..... 345**

# 第一篇

## 人工裸地生态修复的理论基础及其运用



矿山裸地



风电场平台砾石裸地

本篇论述了生态恢复与生态修复的科学内涵。并介绍了进行人工裸地生态修复应当掌握的生态学和动态地植物学基本理论。最后提出作者创建的模拟自然生态修复法。



风电场平台沙质裸地



## 第一部分

# 人工裸地的生态恢复与生态修复

## 第一章 人工裸地治理现状

### 第一节 裸地类型

#### 一、裸地

裸地是指失去土壤和植被覆盖的地面。裸地通常是由于剧烈外力作用使地表的土壤和植被破坏殆尽而形成。大面积裸地的出现可导致原有生态系统的消失，若不及时实施生态恢复，不仅破坏了原有生态环境，最终会对生物圈造成巨大的影响。

虽然裸地的类型多种多样，但其共同特点是地面上无土壤和植被，土地基质的基本组成是石块或土砾。

#### 二、裸地的类型

##### （一）按裸地成因分类

##### 1. 自然裸地

由自然的成因形成的裸地，如火山喷发、山体水土流失、山体滑坡、山体崩塌、泥石流、山体石砾化与岩石化、石漠化和沙漠化等。

##### 2. 人为裸地

在人类生产过程中形成的裸地。在农田耕种、草地放牧和森林采伐过程中自然植被和土壤遭到不同程度的破坏，严重者形成裸地。在这类裸地上尚残留不同数量的植物和一定厚度的土壤层。但其植被覆盖度只有20%以下，成为一种残破的生态系统，又称作临界裸地。

### 3. 人工裸地

人工裸地是由于人类进行生产过程和建筑过程中形成的裸地。如矿产开采形成的废弃地，如废石堆、废弃的矿坑和尾矿库滩地等；铁路和公路建设中形成的各类边坡裸地；风电场建设形成的平台和边坡裸地，等等。

#### (二) 按裸地组成分类

当对某地区裸地进行具体生态治理时，还要根据裸地的地形部位，裸地的石砾和土砾的组成和性质进行详细地划分，以便对裸地进行生态修复。

##### 1. 石块裸地

地面被大小不等的石块所覆盖。石块直径在5~50cm不等。石块层厚度在0.5~5m以上。可分为石块间隙无填充物和填有细砾沙土两种类型。

##### 2. 石砾裸地

地面覆盖一定厚度的石砾，砾径 $\leq 5\text{cm}$ ，多在1~4cm左右。石砾层厚度一般在0.5~5m。

##### 3. 土砾裸地

地面被一层土砾覆盖，厚度在0.5~5m或更厚。土砾直径 $\leq 1.0\text{cm}$ 。

##### 4. 砂粒裸地

地面被砂粒覆盖，砂粒厚度在0.5~1.0m或更厚。砂粒粒径在0.05~1.0mm，含量 $\geq 90\%$ 。

## 第二节 人工裸地治理现状

### 一、国外人工裸地治理概况

人工裸地治理开始于国外。其重点是对各类矿山废弃地进行治理，治理效果显著。英国的矿山裸地治理率高达80%以上，美国在60%以上，德国在50%以上。采矿业是澳大利亚的主要产业，其矿山废弃地的治理率和治理技术均处于世界领先地位。矿山废弃地治理先进的国家均有专门法律作为保证。国家制定的矿山生产法律要求开矿之初就要准备好废弃地治理资金，废弃地形成时立即进行治理和重建。

但是国外对矿山废弃地治理的重点是对生境的修复。例如美国伊利诺伊州南部的 Sahara wood 煤矿废弃地治理，就是将面积较大的低凹矿坑整修建成垂钓的湖泊公园，将附近的低平洼地恢复成芦苇沼泽，沿山岗丘坡的冲沟填加大型石块，防止沟蚀扩大和土壤流失，将矿山残剩的低矮疏林全部围栏封育。从1999年到2013年经封育后已恢复成高达15~18 m郁闭的针阔叶混交林。对光秃的丘岗坡地进行地形整理后再通过封育恢复为自然灌草丛（图1-1-1a~d）。



图1-1-1a 美国中部煤矿废弃地人工整地后封育恢复自然植被。  
坡地上恢复灌草丛，低平地恢复芦苇沼泽(2013)



图1-1-1b 美国中部煤矿废弃地人工整地后封育恢复自然植被。  
坡地上恢复自然灌草丛 (2013)



图1-1-1c 美国中部煤矿废弃地坡地封育恢复自然草丛，顶部为封育形成的天然林 (2013)



图1-1-1d 美国中部煤矿废弃地坡地冲沟治理——填加石块防止洪水冲蚀(2013)

美国和加拿大的风电场裸地可分为农田型、山林型和荒漠型。农田型一台风机永久占地 $600\sim 800\text{m}^2$ ，山林型一台风机的永久占地在 $900\sim 1800\text{m}^2$ ，荒漠型一台风机的永久占地在 $1000\sim 2000\text{m}^2$ 左右。在永久占地上平铺 $0.3\sim 3\text{cm}$ 的小石砾，压实用作检修停车场，风机平台和边坡裸地则依靠自然恢复形成当地的乡土草地和灌丛（图1-1-2a~f）。



图1-1-2a 加拿大东部农田型风电场裸地不进行植被修复（2015）



图1-1-2b 美国中部农田型风电场裸地不进行植被修复（2013）

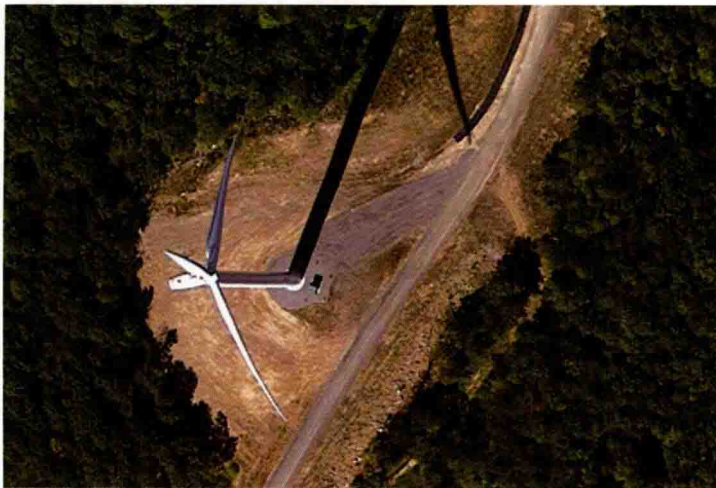


图1-1-2c 美国东北部山林型风电场裸地不进行植被修复 (2015)

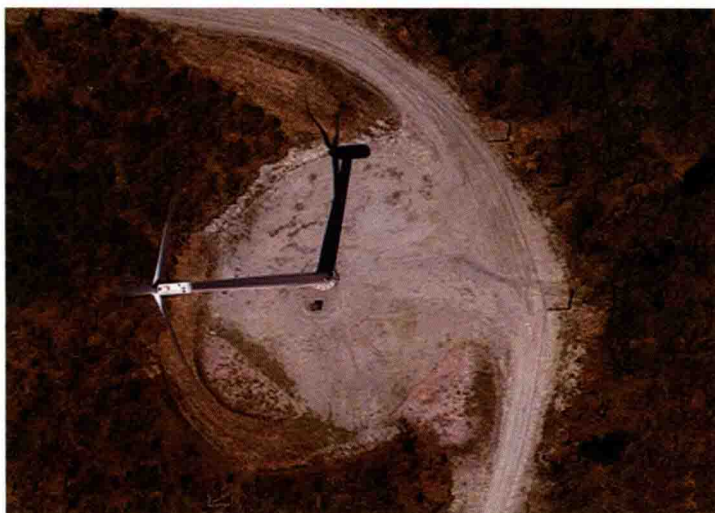


图1-1-2d 美国东北部山林型风电场裸地不进行植被修复 (2015)



图1-1-2e 美国西南部荒漠型风电场机座裸地围封不进行植被修复 (2014)



图1-1-2f 美国西南部荒漠型风电场裸地依靠自然恢复稀疏旱生灌丛 (2014)

## 二、国内人工裸地治理概况

我国矿山废弃地的治理起步很晚。1988年我国颁布了《土地复垦法》可以作为我国治理矿山废弃地的正式起点。经过近30年全国矿山废弃地治理虽然取得了一定的成绩。但与国外先进国家相比，相差甚远。

据不完全统计，在2009年，全国国有矿山企业有8000多家，个体小矿山企业有23万多家。仅全国中型以上的矿山企业占地7541km<sup>2</sup>，其中露天采矿场616km<sup>2</sup>，排土场329km<sup>2</sup>，尾矿场273km<sup>2</sup>。如果加上20多万家个体矿山企业的占地，其数字是相当可观的。

辽宁的矿产资源丰富，以种类多、储量大而著称。煤矿和铁矿全国有名，菱镁、金刚石和硼等矿产储量分别居世界和全国首位。矿产资源开发一直是全省支柱产业，是决定辽宁基本工业结构的主要因素。

由于辽宁矿产开发时间长、规模大、强度高，造成的环境破坏，具有点多、面广和量大的特点。长期以来因重开发、轻治理，矿山裸地的治理和修复速度缓慢。辽宁矿山生态环境恶化趋势还没得到有效控制。

据2004年统计，辽宁省采煤沉陷区总面积约340km<sup>2</sup>。全省182家大矿山累计产生废矿渣42亿m<sup>3</sup>，占地面积2200余km<sup>2</sup>，破坏土地面积近580 km<sup>2</sup>。然而已复垦的面积不到40 km<sup>2</sup>，复垦率不到6%。近些年政府有关部门要求将矿山废弃地复垦率提高到10%~15%。据了解达标的矿山寥寥无几。

2011年有报道称辽宁省的6881个矿点，矿山废弃地约有895 km<sup>2</sup>，全省已治理的矿山废弃地面积为15.6 km<sup>2</sup>，仅占被破坏面积的1.74%。

2012年的报道辽宁省废弃工矿用地有169km<sup>2</sup>。

上述数据出自不同年份和不同部门，统计的矿山类别和数量有所不同。尽管数据差别较大，但是可以提示我们辽宁矿山废弃地待治理的数量甚大。