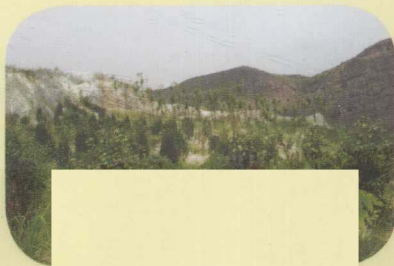




矿山 废弃地植被恢复的 实践与发展

雷海清 柏明娥 ● 编著



中国林业出版社

矿山废弃地植被恢复 的实践与发展

雷海清 柏明娥 编著

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山废弃地植被恢复的实践与发展 / 雷海清, 柏明娥编著.
—北京: 中国林业出版社, 2010. 6
ISBN 978-7-5038-5857-4

I. ①矿… II. ①雷… ②柏… III. ①矿山—植被—恢复—研究
IV. ①Q948. 15 ②TD88

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 116296 号

中国林业出版社·环境景观与园林园艺图书出版中心

责任编辑: 于界芬

电话: 83229512 传真: 83227584

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

E-mail cfphz@public.bta.net.cn 电话 83224477

网址 www.cfph.com.cn

发行 新华书店北京发行所

印刷 北京地质印刷厂

版次 2010 年 6 月第 1 版

印次 2010 年 6 月第 1 次

开本 787mm × 1092mm 1/16

印张 17.25

字数 442 千字

印数 1 ~ 2000 册

定价 46.00 元



前言

全球范围内的生态退化及由此引发的生态危机、环境问题和生物多样性减少等问题已经影响到了人类社会的可持续发展，采用各种生态修复技术改善生态环境越来越受到研究者的重视。从 20 世纪 70 年代以来，人们从一系列全球环境问题所带来的危害中认识到：环境和资源是人类生存和发展的基本条件，环境污染已成为制约经济、社会发展，危及人类生存的重大因素；如果没有一个良好的生态环境和长期可利用的自然资源，人类将失去赖以生存和发展的基础，经济、社会也难以协调发展。不论从我国现代化建设所面临的客观条件来说，还是从我国现代化建设所追求的最终目标来说，加强生态环境保护都是当前和今后我国经济、社会发展的客观需要和必然选择。

我国是一个资源大国，全国各地有着丰富的矿产资源，中国已探明的矿产资源总量约占世界的 12%，仅次于美国和前苏联，居世界第 3 位。通过大量地质勘查工作，已发现矿产 171 种，其中探明储量的矿产 153 种（能源矿产 7 种、黑色金属矿产 5 种、有色金属矿产 41 种、贵金属矿产 8 种、非金属矿产 89 种、其他水气矿产 3 种）。中国已成为世界上矿产资源总量丰富、矿种比较齐全、配套程度较高的少数国家之一。按探明储量计算，中国 45 种主要矿产中有 25 种居世界前三位，其中稀土、石膏、钒、钛、钽、钨、膨润土、石墨、芒硝、重晶石、菱镁矿、锑等 12 种居世界第一位。为我国 1 万多个国有矿山、24 万多个集体和其他经济成分矿山提供了矿产资源。我国已成为世界上矿种比较齐全的少数国家之一，矿业开发总规模目前居世界第三位。

采矿业在我国有着悠久的历史，矿业是人类从事生产劳动古老的领域之一。矿业的发展与扩大矿产资源的开发利用，对人类社会文明的发展与进步产生了巨大的、无可替代的促进作用。中华民族的祖先和世界上许多民族一样，从他们诞生之日起，就开始从事矿产开发利用活动。历史学家将人类历史划分为旧石器时代、新石器时代、青铜器时代、铁器时代，都是以当时人们开发利用的主要矿产种类为特征。正是我们的祖先在适应自然、认识自然和改造自然的过程中，在发现矿产、认识矿产与开发利用矿产的过程中，促进了社会生产力的发展和人类文明的进步，为今天大规模的矿业开发打下了一定的基础。

改革开放以来,采矿业的发展更是随着经济的蓬勃发展而快速增长,中国矿业的总产值呈不断上涨趋势,矿业经济规模不断扩张。截至2007年,中国国内矿业总产值达到23297亿元,同比增长22%,从2002年以来,已经累计增长了3倍多。由于利润空间巨大,大量资金注入到矿石开采行业,整个矿业表现出了强劲的发展势头。矿业对工业产值的贡献、对国家和地方税收的贡献以及对GDP的带动作用,表现得日益明显。

矿产开发一头连着资源,一头系着环境。现代蓬勃发展的采矿业为社会经济发展做出重大贡献的同时,随着大量矿山资源被采空后,也留下了大量的采矿剥离土、废矿坑等矿山废弃物,造成了生态环境的破坏和环境污染。据悉,全国有各类矿山企业12.5万个,集中开采和规范开采及闭坑或废弃矿山急需治理。就浙江而言,到2005年底,全省有各类矿山企业4254个,自1993~2005年关闭矿山9366个需要治理,其中急需治理的有1723个,面积达4569hm²。这些矿山废弃地,不仅占用了大量的土地资源,造成严重的水土流失、视觉和环境污染,甚至引发崩塌等地质灾害隐患。至2003年仅浙江全省共有矿山次生地质灾害201处,其中采空区地面塌陷145处、崩塌38处、滑坡15处、泥石流5处、石煤自燃3处,矿山地质灾害总面积52.93hm²,其中采空区地面塌陷面积42.46hm²,占80%。温州矾矿矿区于2003年6月、8月和9月发生数次塌陷,塌陷影响范围1.3hm²,危及采空区上方居民住宅的安全;部分矿山废渣任意堆放,阻塞沟谷,造成泥石流隐患。

这么大面积的废弃地长期处于“用之较难,弃之可惜”的尴尬境地,并且存在严重的安全隐患,严重影响了自然景观、旅游资源、森林资源、重要基础设施的保护和城镇的发展及人居环境的改善,与其他资源的开发利用和保护之间的矛盾比较突出,已经成为塑造“蓝天、碧水、绿色”的良好生态环境,实现经济社会可持续发展急需破解的重要课题。

矿山废弃地的植被恢复已成为我国生态环境建设的重要组成部分,通过对废弃矿山废弃地的植被恢复,能够有效改善生态环境,减少地质灾害的发生,美化环境,同时植被恢复成功后,还可以使原来是废弃地的土地产生新的价值,能够作为林地和农地进行土地的再利用,从而缓解我国人多地少的矛盾,实现循环经济,构建和谐社会。

矿山废弃地的植被自然恢复是非常缓慢的,必须对其采取积极的人工措施加以干预。但这些人造措施,必须符合矿区发展和当地国土资源的规划,其技术涉及生产安全和坡体的安全稳定,物种引入的安全性,与周围山体地貌的连贯性。矿山废弃地植被恢复是一项多学科内容的结合,其理论基础宽泛,涉及生态学、环境科学、恢复生态学、植物学、微生物学和土壤学等多学科的技术和理论背景。因此如何在实践中发展矿山植被恢复的理论是一项非常重要和有意义的工作。

针对目前矿山生态植被恢复现状,遵循自然科学规律,按照近自然生态植被恢复的理念,编者结合近年来在相关领域的研究及国内外同类研究、规划设计、施工管理的技术积累与经验,编著了本书,以供相关人员参考。

本书对矿山废弃地植被恢复研究进展、浙江省的矿山废弃地植被恢复技术研究、浙江省矿山废弃地修复现状、边坡加固稳定技术、适生植物材料的选择研究、植物生长基质的配制和固定技术研究、森林化植被修复技术研究、人工植被养护技术研究、人工生态修复技术规范和质量评价体系研究、矿山废弃地植被恢复植物的繁殖技术研究、浙江矿山废弃地生态修

复优良等内容作了全面、详细的论述，并结合矿山生态植被恢复工程实践进行具体分析。本书适用于矿山国土、林业、水利水保、园林、旅游等部门从事项目建设管理、生态环境建设的教学、科学研究、设计和工程技术人员参考使用。

本书的出版，感谢浙江省亚热带作物研究所、浙江省林业科学研究院、浙江省国土资源厅、浙江大学生命科学学院、浙江省林业技术推广总站、温州大学生命与环境科学学院、浙江省华东建设工程有限公司、浙江地勘实业发展有限公司、浙江山川地质环境咨询有限公司、温州矾矿、瑞安市国土资源局、湖州新绿源矿山生态建设有限公司、广州市艾棵环保科技有限公司等单位的支持。感谢浙江省林业科学研究院洪利兴、钱华、刘本同，中国林业科学院林业研究所杨秀艳，浙江省亚热带作物研究所闫田力、李发勇、何家骅，浙江华东建设工程有限公司李树一，浙江地勘实业发展有限公司王小五、秦品光，广州市艾棵环保科技有限公司张亚，浙江大学徐礼根，湖州新绿源矿山生态建设有限公司潘志龙等同志提供了部分技术资料。在此对他们的支持和帮助表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

2010年3月于杭州



目 录

前言

第 1 章 矿山废弃地植被修复的研究概况 / 1

- 1.1 国外研究现状及发展趋势 / 2
- 1.2 国内研究现状及发展趋势 / 4

第 2 章 浙江矿山废弃地修复现状 / 7

- 2.1 浙江矿产资源状况 / 7
- 2.2 浙江矿山生态环境现状 / 8
- 2.3 浙江矿山生态环境保护与治理规划 / 10
- 2.4 温州矿山废弃地类型及生态修复整治模式 / 27

第 3 章 边坡加固稳定技术 / 32

- 3.1 浙江地质环境的基本特点 / 32
- 3.2 边坡稳定性分析的方法 / 35
- 3.3 边坡加固稳定防护技术 / 36
- 3.4 航民石料厂废弃矿山稳定性治理 / 37
- 3.5 瑞安曹村镇采石场稳定性治理 / 55
- 3.6 浙南明矾矿废弃地地质灾害塌陷稳定技术研究 / 62

第 4 章 适生植物材料的选择 / 71

- 4.1 浙江地带性常绿阔叶林植物种类组成的基本特征 / 71
- 4.2 岩石边坡自然生长物种的调查分析 / 75
- 4.3 岩石边坡绿化植物应用情况的调查分析 / 78
- 4.4 田间试验分析 / 80
- 4.4 浙南明矾矿适生植物材料的选择 / 84

第5章	植物生长基质的配制和固定 / 100
5.1	浙北采石场适生植物生长基质的配制和固定 / 100
5.2	浙南明矾矿适生植物生长基质的改良技术 / 116
第6章	森林化植被修复 / 124
6.1	浙北采石场岩石边坡森林化植被修复 / 124
6.2	浙南明矾矿岩石边坡森林化植被修复 / 142
第7章	人工植被养护 / 152
7.1	浙北采石场人工植被养护 / 152
7.2	瑞安曹村镇采石场植被恢复养护 / 166
第8章	人工生态修复技术规范和质量评价体系 / 168
8.1	浙北采石场人工生态修复技术规范和质量评价体系 / 168
8.2	浙南明矾矿人工生态修复效益 / 190
第9章	矿山废弃地植被恢复植物的繁殖技术 / 191
9.1	美丽胡枝子繁殖技术 / 191
9.2	马棘繁殖技术 / 196
9.3	金银花繁殖技术 / 199
9.4	常春油麻藤繁殖技术 / 200
9.5	凌霄繁殖技术 / 202
9.6	华山矾繁殖技术 / 202
9.7	不同处理方式对种子带菌及发芽的影响 / 205
第10章	浙江矿山废弃地生态修复优良树种选择 / 207
10.1	草本植物 / 208
10.2	木本植物 / 217
10.3	藤本植物 / 258
参考文献	/ 264



第1章

矿山废弃地植被恢复的研究概况

现代社会中,人类活动正使我们的地球环境特别是陆地系统发生改变,这些活动包括工农业生产和采矿。虽然矿产资源为我国提供了95%以上的一次性能源,80%以上的工业原材料,70%以上的农用生产原料和30%以上的饮用水(H. W. Dai, et al., 2002),但矿山开采过程中,露天采矿场、排土场、尾矿场、塌陷区以及受重金属污染而失去经济利用价值的土地而成为矿山废弃地,煤矿的矸石山、电厂粉煤灰、金属矿山尾矿等矿山固体废弃物是矿区的一大公害,侵占了大量土地并造成环境污染。矿山的开采,严重改变甚至破坏了矿区原有自然生态系统,使之相应的生态功能减弱或丧失,造成土地退化、景观破坏、环境污染、动植物生境破坏等问题。目前,矿山废弃地的生态恢复与重建已受到广泛关注。

我国矿产资源丰富,共有大中型矿山9000多座,小型矿山26万座,因采矿侵占,占地面积已接近4万 km^2 ,由此而产生的废弃土地面积每年达330 km^2 。浙江省累计关停的废弃矿山有8000余处,需治理的矿地面积达到67000多亩*。开展矿山废弃地植被恢复研究显得急为迫切。

自1940年以来,由于科学技术的进步,人类生产、生活和探险的足迹遍及全球,尤其是全球人口已达57亿,而且每年仍以9000多万人的速度在递增。在那些有人居住的地方人类为了生存,大部分的自然生态系统被改造为城镇和农田,原有的生态系统结构及功能退化,有的甚至失去了生产力。随着人口的持续增长,对自然资源的需求也在增加。环境污染、植被破坏、土地退化、水资源短缺、气候变化、生物多样性丧失等增加了对自然生态系统的胁迫。人类面临着合理恢复、保护和开发自然资源的挑战。20世纪80年代,恢复生态学(restoration ecology)应运而生。恢复生态学从理论与实践两方面研究生态系统退化、恢复、开发和保护机理,因而为解决人类生态问题和实现可持续发展提供了机遇(Aber & Jordan: 1985; Chapman: 1992; Cairns: 1995; 马世骏, 1990; 刘良梧和龚子同, 1994; 陈灵芝和陈伟烈, 1995; Dobson: 1997; 任海和澎少麟, 1998; 周启星和魏树和, 2006)。进行生态恢复工程的目标不外乎四个:①恢复诸如废弃矿地这样极度退化的生境;②提高退化土地上的生产力;③在被保护的景观内除干扰以外加强保护;④对现有生态系统进行合理利用

* 1 hm^2 = 15 亩。

和保护,维持其服务功能。生态恢复与重建的原则一般包括自然法则、社会经济技术原则、美学原则3个方面,主要有以下几个基本的恢复技术体系:①非生物或环境要素(包括土壤、水体、大气)的恢复技术;②生物因素(包括物种、种群和群落)的恢复技术;③生态系统(包括结构与功能)的总体规划、设计与组装技术。而矿山废弃地生态修复物种选择技术就属于生物因素中的以物种为恢复对象的物种选育技术。

森林作为陆地生态系统的主体和重要的可再生资源,在人类发展的历史中起极其重要的作用。然而,由于人口及其需求的无限度增长,导致了有限资源的过量消耗,引起了全球性的资源危机和生态环境的持续恶化。资料表明,在人类初期,全球森林面积占陆地总面积的 $\frac{2}{3}$,达到 $76 \times 10^8 \text{ hm}^2$,19世纪中期下降到 $56 \times 10^8 \text{ hm}^2$,到1990年则下降到 $34 \times 10^8 \text{ hm}^2$ (我国目前的森林覆盖率为12.9%)。在森林面积减少的同时,沙漠化正威胁着世界 $\frac{1}{3}$ 的陆地面积,1977年全球沙漠化土地达 $20 \times 10^8 \text{ hm}^2$,并且每年仍有近 $0.21 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 土地退化,其中 $0.06 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的土地变为沙漠。森林覆盖率锐减恶化了人类的生存环境,并直接或间接地制约了经济的发展(Carns, 1982;蔡晓明, 1995)。森林恢复已在世界不同地方通过造林实践了许多年,然而只有在近代全面了解天然林的结构、功能与动态的基础上,才有可能系统讨论森林恢复的机理。

根据中亚热带、南亚热带生态系统退化的一般过程,对矿山废弃地这一极度退化的生境,要先通过恢复到灌草丛再向针叶林或针阔混交林的方向恢复,最后再恢复到常绿阔叶林。再根据南亚热带季风常绿阔叶林恢复过程机理(彭少麟, 1996),在恢复早期,种类组成数量中草本植物多、灌木植物少、乔木植物较少;林间植物少、喜光种类多、中生性种类无或少、耐阴性种类无或很少;先锋种类很多、建群种类少、顶极种类无或较少;种类发展速度很快,种类组成态不稳定;从群落结构特征看:垂直空间结构方面,冠层分化不明显、径级分化不明显、高度级分化也不明显、林间层分化不明显;水平空间结构方面,密度发展小,相对多度上,乔木小、灌木大、草本大。

1.1 国外研究现状及发展趋势

英、美、澳等发达国家有悠久的开矿历史,在恢复生态学方面也研究得最早,20世纪80年代以来,随着各类生态系统的退化以及相继引发的环境问题加剧,国外开始注重对主要是采矿废弃地的恢复重建的研究。1973年3月,在美国弗吉尼亚理工大学召开了题为“受害生态系统的恢复”国际会议,第一次专门讨论了受害生态系统的恢复和重建等重要的生态学问题。日本人宫胁昭通过改造土壤,利用乡土树种,在较短时间内建立起顶级群落类型,其方法被称为“Miyawaki method”。1980年,Bradshaw和Chdwick出版了*The Restoration of Land, The Ecology and Reclamation of Derelict and Degraded Land*,从不同角度总结了生态恢复过程中理论和应用问题。1987年,Jordan等人出版了*Restoration Ecology, A Synthetic Approach to Ecological Research*,认为恢复生态学是从生态系统层次上考虑和解决问题,恢复过程是人工设计的;在人的参与下,一些生态系统可以恢复、改建和重建。1993年,*Restoration Ecology*杂志创刊,标志着恢复生态学走向成熟。1995年,美国生态恢复学会提出,恢复是一个概括性的术语,包含改建(rehabilitation)、重建(reconstruction)、改造(reclamation)、再植(revegetation)等含义。生态重建(reconstruction)并不意味着在所有场合下恢

复原有的生态系统；生态恢复的关键是恢复生态系统必要的结构和功能，并使系统能够自我维持。1996 年在美国召开了国际恢复生态学会会议，专门探讨了矿山废弃地的生态恢复问题。

对采矿废弃地生态恢复的研究在英国、美国、澳大利亚等有悠久开矿历史发达国家开展较早，作为恢复生态学的重要组成部分推动了恢复生态学理论的建立和发展。美国早在 1977 年就颁布了全国性的土地复垦法规，目前被开采的各类矿山破坏土地的复垦率已达到了 79.5%，德国达 85%（Bradshaw, A., 1990）。1996 年在美国召开了国际恢复生态学会会议，专门探讨了矿山废弃地的生态恢复问题。

前苏联等国家在采用生物固结法治理尾矿库扬尘面方面开展了深入的研究实践（暴学珠，1992），在前苏联克里沃罗格矿区通过选用 100 多种草本植物进行尾矿库生植再植试验，最后筛选出南方芦苇和黑海野麦为最适草本植物。芦苇在尾矿库可长到 3.5m，老芦苇丛中枝条的稠密度在 1m 内可达 300~500 根，新丛也可达 50~300 根，枝条可留到下一年。这一点在干燥无雪的冬季条件下是很重要的。芦苇的干杆能降低风速、保住并积累雪层，从而减少冬季矿泥扬尘现象。且芦苇生命力强，在尾矿表面很快扩展，无需额外养护。黑海野麦高达 1.50m，主根长，葡萄式的根深 1m，生长在海边和河滩的沙子上。在栽种前往尾矿上投放大量矿物肥料、在早春季节种下并用压土机压平。从第二年开始便快速长出主根并能扩展。

同时美国、加拿大等国家还开展了尾矿在建材方面的应用实践（暴学珠，1992）。在美国、加拿大等许多国家，铜矿尾矿被广泛用于采空井巷的回填以及露天矿复田。美国 Vait - Pain 铜厂将尾矿用于工厂、体育场和停车场建设过程中的场地平整。美国 Kenecott Co. 公司计划用铜矿和金矿的选矿尾矿填平大盐湖水域的一部分，然后在填平地段建设一条公路。国外还将尾矿大量用于建设堤坝和围墙。铅锌矿尾矿方面，德国“阿特拉斯-科普科”公司采用铅锌厂的选矿尾矿生产硅酸盐砖。澳大利亚对此类尾矿则采取添加水泥或不加水泥的方法用于回填矿区采空地段，共利用了 80 万吨尾矿，使回填工程成本降低。日本各铅锌厂采取与炼铜厂同样的做法，在烟气净化过程中回收制取硫石膏用于建材生产。

加拿大等国家越来越趋向于建立明确的环保目标，制定切实可行的标准和激励措施，开展环境影响评价，推广综合环境管理体系（王永生，2009）。如加拿大要求当矿山闭坑时，要求着力于环境和安全两方面的工作。矿山恢复是一个持续的工程，目标是减小或阻止不利的环境影响，创造一个自然的生态系统，使因为开采而打乱的空气、土地、水、生物恢复到一个可接受的状态，或接近于采矿活动之前的状态。矿区恢复在每一个阶段都在进行，勘探后、地表或地下的采矿后或处理设备关闭后都要进行。矿区恢复技术包括调迁或者拆毁建筑物和物理基础设施，闭坑，稳定的地下工作、土壤和倾斜，处理尾矿和废水，恢复植被。美国矿山环境治理的技术规范与要求大部分是以《复垦法》中的复垦要求为依据制定的，主要包括 4 个方面：第一，遵循“原样复垦”的基本原则，要求按采矿前土地的地形、生物群体的组成和密度进行恢复。第二，固体废物堆放和填埋都要进行技术处理，防止可能发生的滑坡及填埋废物对水面的污染。第三，在矿产资源的勘探、开采、洗选和加工过程中会产生许多废水，必须经过厂矿自行对废水进行处理或将污水排入污水处理厂。第四，在土地复垦中，对复垦所需要的填充物进行了具体的规定，如对填充物的密度（根据复垦后的土地用途而定）、填充物混合的比例、填充的高度、表土覆盖等都做了具体要求，并有专门的技术管理部门负责检查监督。澳大利亚则为了恢复和治理矿山的生态环境，要求矿业公司依据州政府按相关程序审批的签有协议的“开采计划与开采环境影响评价报告”，以崇

尚自然、以人为本、恢复原始为理念,一边开采一边把开采结束的矿山进行恢复。包括植被恢复、土地复垦、酸性废水的处理、其他污染的治理以及矿山环境治理的验收。其治理验收的基本标准有三条,即:复绿后地形地貌整理的科学性;生物的数量和生物的多样性;废石堆场形态和自然景观接近,坡度应有弯曲,接近自然。

另外,美国、日本、英国、加拿大、澳大利亚等国家都通过制定矿山环境保护法规、理顺矿山环境管理体制、建立矿山环境评价制度、实行矿山环境保证金制度、实施矿山环境许可制度、执行矿山环境恢复治理计划、实行矿山环境监督检查与强制执行制度等一系列措施来保证矿山环境恢复治理(王雪峰,2007)。

采矿废弃地土壤的退化直接导致植物生存的介质环境恶化,如水分、养分缺失,有毒物质积累等,植被遭到破坏。事实上,土壤系统与植被系统的退化是互为因果的,两个系统的相关性使得两者的退化(恢复)必然具有协同性。Tilman(1985)曾提出演替和资源比例假说,认为资源控制生物区系,生物反之改变赖以生存的环境。人为改变某一资源的丰富度会影响资源的比例,从而影响植被演替的发展方向。有的学者则认为(D. Terrance Booth, et al., 1999)提高播种率和增加物种的数量有利于提高废弃地植被的存活率和覆盖率,而且有研究表明物种种类多的系统比单一物种的系统更有利于土壤动物多样性的增加和土壤改良。

1.2 国内研究现状及发展趋势

相比之下,我国对采矿废弃地生态恢复和重建的研究从20世纪90年代才逐步得到重视,到1994年复垦率仅为13.3%(黄铭洪等,2003),由此可见,我国的矿区废弃地生态恢复任重道远。在过去的十几年中,我国在采矿废弃地生态恢复与重建方面做了一些工作(黄铭洪等,2003),比如在大型煤矿区生态重建(白中科等,2003;卞正富,2000)、金属尾矿的植被恢复(王克华和刘胜详,2003;郝秀珍和周东美,2005)等方面开展了卓有成效的探索。但总的来说,针对不同类型采矿废弃地土壤系统与植被系统之间关系及其动态演变的研究还很欠缺。

我国的恢复生态学研究,前期主要是以土地退化,尤其是土壤退化为主。主要针对水土流失、风蚀沙化,草场退化及盐渍化、土地污染及肥力贫瘠化,研究了森林生态系统的退化与恢复、草地生态系统的恢复改良、湿地的恢复重建等。20世纪90年代以来,对矿山废弃地复垦和植被对于重金属污染的修复的研究也逐渐增多。

任海等(2002)曾指出开采矿产首先会造成土壤及植被的破坏,进而导致整个生态系统破坏。若不进行人工恢复较难在短时间内生长植物和支持植被生态系统。目前许多国家的矿区自觉或不自觉地开展了一些废弃地的恢复研究与实践,但由于废弃地的环境条件恶劣,其植被恢复还面临着较多的问题。从生态学角度看,废弃矿山需经过改良后才能恢复植被。废弃矿山面临的主要生态学问题是表土层破坏,存在限制植物生长的物质,缺乏营养元素,生物资源较差等。针对这些问题,对废弃矿山进行恢复,首先要使土地表面稳固,控制污染,改善视觉感受,对地面稍作处理吸引人们开发,并提高生产力。在对废弃矿地进行植被恢复时,可遵循如下方法:覆盖土壤,对土壤进行物理处理,添加营养物质,去除有害物质,筛选适宜的先锋植物种类,间种适生的乡土树种。

赵晓英等(2001)指出土地复垦往往被理解为土地的恢复耕种,在国外一般理解为“破坏土地或环境的恢复”,美国定义为“将已采完矿的土地恢复成管理当局批准使用的采矿后土地的各种活动”。Hossner 在其《露天矿土地复垦》一书中指出:“复垦的主要目标是重建永久稳定的景观地貌,这种地貌在美学上和环境上能与未被破坏的土地相协调,而且采矿后土地的用途能最有效地促进其所在的生态系统的稳定和生产能力的提高”。土地复垦被定义为三个目的类型:复原破坏前制订的规划,将破坏土地恢复到稳定的和永久的用途,这种用途和破坏前一样,也可以在更高的程度上用于农业,或改作游乐休闲地或野生动物栖息区。我国的国情要求必须重视土地复垦和生态恢复与重建,并且与国外的情况和目标是不尽相同的,国外(特别是发达国家)往往强调复原其生态状况,尽可能地复原地貌,恢复原生态,很少强调土地生产力,使其优先恢复为耕地、农田等,因而,我国的定义为“对各种破坏土地恢复到可利用状态”,更注重目前条件下高生产力的恢复。

卞正富(2000)对我国煤矿区土地复垦进行了研究指出:近20年来,矿区土地复垦逐渐成为世界各采矿大国的热点研究课题。20世纪70年代后期,前苏联、美国相继颁布了有关矿区土地复垦方面的全国性法规,我国也于20世纪80年代末正式颁布了土地复垦规定,有了专门的法规,矿区土地复垦理论研究空前活跃起来,有关土地复垦理论研究的文献成倍增长,甚至国际上著名的 *International Journal of Surface Mining and Environment* 杂志也更名为 *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*。我国煤矿区土地复垦对象包括开采沉陷地、露天采矿场挖损地、露天采矿排土场占地、洗选矸石占地。我国复垦任务最重的是开采沉陷地复垦,这是由我国煤炭以井工开采为主决定的,全国煤炭产量95%以上为井工开采。由于井工开采与露天开采比例悬殊太大,无法利用露采剥离物回填开采沉陷盆地。

现在已经筛选出了影响矿山废弃土地复垦潜力的自然和社会经济条件方面的4类14个亚类因子,并划分为6个等级,对植物在矿山废弃地重金属的修复作用也有了一定的认识,并且发现土壤生物肥力水平是成功地进行矿业废弃地土地管理的关键因素之一,是矿业废弃地生态恢复和治理的重要指标。

采矿废弃地生态恢复与重建主要应用了土壤及生态学的理论,如演替理论等(宋玉芳等,1989)。在实践中,对采矿废弃地的生态重建主要可分为以改良基质为主的土壤复垦(王晓玲等,2005;冯永军等,2004;蔡光琪等,2000;李海波等,2005;)和以植被恢复为主的植物修复(杨修等,2001;张文敏等,2000)。由于土壤生态系统与植被生态系统之间的密切相关,改良基质与植被恢复是相辅相成的过程,基质改良最终是为植被恢复服务。采矿废弃地的土壤往往退化严重,依靠自然恢复极为困难和缓慢。如内蒙古赤峰市元宝山上20世纪60年代露天煤矿形体分层剥离形成的排土场,经20余年的植被自然恢复,植被盖度仅为22%~25%。所以,对采矿废弃地的生态恢复进行人为干涉,以加快植被恢复的进程是非常必要的。

矿区废弃地生态恢复与重建的主要问题是矿区废弃地基质改良、土壤侵蚀控制和植物种类的筛选,关键是在正确评价废弃地类型、特征的基础上,进行植被的恢复与重建,进而使生态系统实现自行恢复并达到良性循环(宋书巧等,2001)。而正确评价废弃地类型、特征以及进行基质改良与植物种类的筛选必然要建立在废弃地土壤系统与植被系统关系深入了解的基础之上,只有明确两个系统之间的关系,在植物修复过程中才能有的放矢,适当、适

时引入物种和进行有效的管理。宋书巧等 (2001)

根据实地调查认为以在矿区废弃地自然定居的植物作为生态恢复的首选植物种。进入 21 世纪, 人们越来越重视以矿区生态系统健康与环境安全为恢复目标的生物修复, 在我国开展了一些金属矿区土壤的植物修复、微生物修复、动物修复及其联合协同修复的研究 (孙庆业等, 2005; 王友保等, 2003; 张志权等, 2001; 齐艳红, 2005)。同时, 利用耐重金属植物进行金属采矿废弃地的恢复取得了不少成功的例子, 并开始利用现代生物技术克隆耐重金属污染的基因, 试图培育出适于在重金属污染土壤上生长的植物种类这些研究和实践是在了解环境与植被内在关系的基础上开展的。

矿山废弃地生物修复技术的兴起只有 10 多年, 还存在不少问题有待解决, 这些问题主要是: ①生态系统恢复的不可确定性, 虽然已提出了许多生态系统恢复的标准, 但对于生态系统服务功能的恢复程度尚不知晓; ②生态系统恢复要求综合考虑生态、经济和社会因素, 但对时间、空间上异质性的生态系统而言实在太难, 尤其是有持续干扰时, 很难恢复到理想状态; ③由于生态系统的复杂性, 生态系统退化程度和干扰因子很难简单概括到一些易测定的具体指标, 尤其是如何控制干扰很难具可操作性; ④生态系统恢复与自然演替是一个动态的过程, 有时很难区分两者; ⑤生态系统毁誉的时间到底要持续多长, 目前的科学研究还不能准确回答这个问题, 有待于开展可重复的和长期的试验和观测; ⑥生态系统恢复的机理还不不清楚, 尤其是重新引进当地消失的物种、外来种在恢复中的角色还难以正确判断; ⑦退化生态系统恢复与重建技术尚不成熟, 目前恢复生态学中所用的方法均来自相关学科, 尚需形成独具特色的方法体系; ⑧恢复生态学的发展需要科学工作、政府、民众的充分合作, 通过互相交流信息、方法和经验, 从而可加快恢复全球以退化的生态系统。

遗憾的是, 以往学者们多把土壤系统与植被系统分割开来进行研究, 而两者之间的相互关系却被忽视 (李永庚等, 2004)。这方面的研究仅限于一些特定类型的矿山废弃地的恢复研究, 缺乏系统性, 主要是阐述植被恢复中植物种选择的重要性 (杨礼攀等, 2004; 束文圣等, 2001; 刘世忠等, 2002), 或是阐明土壤生物区系对生态恢复与重建的作用。因此, 加强植物修复对退化环境的生态适应性研究是关系到受损生态系统修复与重建成功与否和效果如何的重要基础环节。筛选出能够用于矿山废弃地生物修复的最佳物种, 是开展生物修复的基础环节。



第2章

浙江矿山废弃地修复现状

2.1 浙江矿产资源状况

浙江省矿产资源种类较多,已发现矿产 113 种,截至 2008 年全省查明资源储量的矿产 94 种(不包括油气、放射性矿产)。

全省列入统计的矿区有 2694 个,比上年减少 530 个,其中固体矿产矿区 2641 个,地热矿泉水矿区 53 个。

矿产地的分布情况为:能源矿产主要分布于浙江西部,金属矿产中黑色金属主要分布在绍兴、余杭、淳安、诸暨、湖州、长兴、三门、景宁、建德等市(县);有色金属矿产全省均有分布,其中铜矿较集中分布在绍兴——诸暨,铅、锌矿、钼矿遍布全省,钨、锡矿等见于浙西北;贵金属矿产中金、金银矿主要分布在遂昌、诸暨、绍兴、东阳等市县;银、铅、锌矿主要在遂昌—龙泉—庆元一带以及新昌、诸暨、黄岩、天台和温州等市县;稀有稀土金属主要分布在临安市,其余在龙泉、天台、黄岩、永嘉和绍兴等市县多金属矿区以共伴生矿存在。非金属矿产遍布全省,其中普通萤石主要分布金华、丽水、湖州、杭州等,叶蜡石主要分布丽水、温州、绍兴等市,明矾石主要分布于温州、杭州、宁波,膨润土主要分布杭州、湖州等市,硅藻土主要分布于绍兴市,伊利石主要分布绍兴、温州市,沸石主要分布在丽水市,硅灰石主要分布于湖州市,高岭土主要分布于绍兴、温州、丽水、湖州、台州等市,水泥灰岩主要分布杭州、湖州、衢州、金华等市。

浙江省矿产资源总的特点是丰歉并存,陆域燃料(煤炭、石油)矿产贫乏;金属矿产短缺,铁矿资源有限,铜、钼矿质优,但后备储量不足,铅锌量较大,但以贫矿为主;非金属矿产丰富。由于客观地质条件的限制以及地勘有效投入不足,浙江省矿产资源形势较为严峻。除部分非金属矿产外,大部分矿产保有储量不能满足开采需求,叶蜡石、硅藻土、水泥灰岩、熔剂灰岩、玻璃原料、明矾石、沸石、电石灰岩和高岭土(陶瓷土)等 10 多种矿产保有储量可以满足开采需要;铅锌、铁、铜、钼、金、硅灰石、饰面用花岗岩等矿产保有储量基本能满足开采需要。

矿产种类较多,资源总量不大。全省已发现固体矿产 113 种,探明储量的 94 种,但探明的资源储量和预测的远景资源量居全国各省区的后十位。

非金属矿产丰富，部分矿种探明资源储量位居全国前列。以探明资源储量而言，明矾石、叶蜡石居全国之冠，萤石、伊利石、铸型辉绿岩居全国第二，饰面闪长岩第三，沸石、硅灰石、透灰石、硼矿、膨润土、珍珠岩等列十名之内。多数矿床规模大，埋藏浅，开采条件好。

金属矿产点多面广，但规模不大。全省铁、铜、钼、铅、锌、金、银、钨、锡矿产较多，但多数为小型矿床或矿点，仅少数矿产地达到大中型规模，且矿石组成复杂，共伴生多种元素。

煤炭资源贫乏，海域油气资源前景看好。省域成煤地质条件差，煤炭资源贫乏；陆域尚无发现油气资源，但海域油气前景看好。

2.2 浙江矿山生态环境现状

2.2.1 自然条件与矿产资源开发现状

浙江省濒临东海，地处北亚热带，气候温暖湿润，雨量充沛，土地肥沃，水系发育、地貌单元多样，自然生态条件良好，生物资源丰富。矿产资源以非金属矿产较丰富、金属矿产相对不足和能源矿产严重匮乏为特征。矿产资源开发利用程度较高，70%以上探明储量的矿产地已得到开发，2000年有各类矿山企业7665家，其中生产矿山7189家，年产矿石量2.4亿吨，矿业总产值39亿元，利税总额4.5亿元。建筑石（材）料、石灰石、水泥配料、建筑用砂及砖瓦用黏土等矿产开采量为2亿吨，占全省矿产资源总开采量的83%。开采方式以露天开采为主，露天开采矿山6883家，占89.8%；地下井采矿山782家，占10.2%。矿山以小型为主，共有7567家，占总数的98.7%；大中型仅98家，占1.3%。

2.2.2 矿山生态环境现状

经过近几年的努力，浙江省矿山环境保护和恢复治理取得了一定进展。龙泉铅锌矿、建德铜矿、绍兴平水铜矿等一批老矿山基本做到了“三废”达标排放，温州矾矿三废（矾浆、矾砂、废气）污染的“老大难”问题取得了突破性进展；一些采石取土矿山闭坑或停采后，因地制宜地开发成为风景名胜区和度假区，如杭州乐园等；杭州、宁波、长兴、萧山等城镇周边关停露采矿山，开展了生态恢复治理工作，或植树种草还绿成为城镇公益绿地，或平整开发成为建设用地，取得了良好的治理效果和社会经济效益。但从总体上看由于集体和个体私营小矿山的急剧增加，管理监督力度薄弱，治理工作严重滞后，矿山生态环境问题仍较突出，具体表现在：

（1）矿山环境保护设施不完善，环境污染仍有发生。有的金属、化工原料（主要指萤石、硫铁矿与明矾石）矿山和选矿企业，未按有关规定和要求建立与生产规模相配套的尾矿库、废矿堆拦石坝和废水处理池等环保基础设施，“三废”缺乏有效处理。少数矿山和选矿企业的废水、尾矿直排江河、水库和海域，造成环境污染。煤和石煤开采过程中排放的酸性矿坑水，有害组分严重超标，造成矿山周围及下游水体与土壤的严重污染。石煤的硫含量和放射性剂量均较高，其开采利用在局部地区造成了严重的大气污染和放射性污染。一些建筑石料等非金属矿山在加工过程中产生的大量粉尘严重污染空气，造成矿山周围大气中可吸

入颗粒物的超标。

(2) 尾矿库维护管理工作薄弱, 库坝垮塌隐患依然存在。多数关停、闭坑矿山的尾矿库处于无人管理状态, 缺乏行之有效的管理、监测与维护, 造成尾矿散失严重, 并存在库坝垮塌的安全隐患。个别生产矿山尾矿库超负荷堆放, 易发生突发性垮塌。

(3) 矿山区域布局不合理, 影响其他资源的保护与开发。大量的露采矿山采矿技术落后、剥采比大、资源利用率低下, 整体处于“小、散、差、低”的状况, 严重影响和破坏森林植被与自然景观。尤其是建筑石料、石灰石、水泥配料和砖瓦用黏土等资源的大量开采, 与其他资源的开发利用和保护之间的矛盾十分突出, 有的矿山位于各类自然保护区、风景名胜區、旅游度假区、地质遗迹保护区、历史文化保护区、水源保护区、重要基础设施保护区(如铁路、高速公路、国道、省道等交通干线和重要水利设施)及城镇周边, 严重影响着自然景观、旅游资源、文物资源、水资源、森林资源、重要基础设施的保护和城镇的发展及人居环境的改善。建筑石料、石灰岩和其他非金属等露采矿山随意倾倒固体废物和众多砖瓦用黏土矿山不合理取土, 侵吞耕地与侵占土地现象严重, 影响耕地面积平衡, 加剧了人口与土地之间的矛盾。河道采砂点多面广, 采补失衡, 取采不规范, 严重影响水利设施的保护和航运安全, 降低防洪、泄洪能力。

(4) 矿山作业不规范, 矿山地质灾害日趋严重。大部分露采矿山开采不规范, 开采边坡坡度过大(极少数甚至是倒嘴状), 对危石和残坡积物缺乏必要的处理, 固体废物随意堆放, 导致边坡失稳, 诱发滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害。部分地下开采矿山, 由于没有保留足够的安全矿柱和必要的支撑, 诱发采空区地面塌陷、地裂、地面沉降等地质灾害。部分矿山密集分布区地质灾害十分突出, 严重危及人身安全和重要基础设施。个别石煤矿山由于开采不当导致发生自然现象。

(5) 矿山复垦还绿与矿山生态环境整治严重滞后。2000 年全省矿山占地面积 35990hm^2 , 约占全省陆地面积 0.35% 。矿山生态破坏面积约 11000hm^2 , 而复垦还绿面积只有 800hm^2 , 占生态破坏面积的 7% ; 矿区发生地质灾害面积达 1000hm^2 , 而治理的仅仅个别灾害点; 矿山固体废料的年排放量 2000万 m^3 , 而处理、利用的约占总数的一半, 其中尾矿的年排放量在 200万 m^3 左右, 年处理利用量 150万吨 (约合 75万 m^3), 仅占年排放尾矿总量的 38% ; 矿山废水年排放量约 836万吨 , 处理排放的仅占总量的 16% 左右(处理排放的主要是金属、硫铁矿山), 而绝大多数非金属矿山的废水未经处理直接排放。

导致上述问题的主要原因是:

(1) 宣传力度不够, 环境保护意识淡薄。由于缺乏广泛深入的宣传, 部分采矿权人对矿山生态环境保护意义的理解不够, 思想观念落后, 资源忧患意识、生态环境保护意识淡薄, 只注重于矿产资源开发的经济效益, 而忽视矿山生态环境保护与生态恢复治理, 缺乏对矿山生态环境保护基础设施建设的投资, 在采选中未采取行之有效的环境保护措施, 加重了矿业活动对生态环境的影响和破坏。

(2) 有关法规操作性不强, 相关制度难于落实, 监督管理不规范。目前涉及矿山生态环境保护的法律法规较多, 但多数为宏观的指导条款, 操作性不强, 在实际运行中难于操作, 导致矿山生态环境保护与治理的监督管理不规范, 存在着多头管理和不到位等现象, 严重影响矿山生态环境的有效保护和恢复治理工作的全面实施。矿山生态环境调查、评价制度和采矿权人履行矿山生态环境治理义务得不到贯彻执行与有力监督。