

京西石灰石采石场

废弃地植被恢复效果及其评价研究

JINGXI SHIHUISHI CAISHICHANG
FEIQIDI ZHIBEI HUIFU XIAOGUO JIQI PINGJIA YANJIU

©石丽丽 王雄宾 史常青 赵廷宁 谷建才 著

河北科学技术出版社

京西石灰石采石场

废弃地植被恢复效果及其评价研究

JINGXI SHIHUISHI CAISHICHANG

FEIQIDI ZHIBEI HUIFU XIAOGUO JIQI PINGJIA YANJIU

©石丽丽 王雄宾 史常青 赵廷宁 谷建才 著

河北科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

京西石灰石采石场废弃地植被恢复效果及其评价研究/
石丽丽等著. —石家庄: 河北科学技术出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-5375-7389-4

I. ①京… II. ①石… III. ①采石场-植被-生态恢复-研究-门头沟区 IV. ①Q948.15②TD872

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第010116号

京西石灰石采石场废弃地植被恢复效果及其评价研究

石丽丽 王雄宾 史常青 赵廷宁 谷建才 著

出版发行 河北科学技术出版社

地 址 石家庄市友谊北大街 330 号 (邮编: 050061)

印 刷 河北新华第二印刷有限责任公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16

印 张 9.125

字 数 122 千字

版 次 2015 年 1 月第 1 版

2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

前 言

近年，日趋严重的生态环境危机给人类敲响了警钟。我国将生态文明建设作为关系人民福祉、关乎民族未来的长远大计，科学谋划强力实施；广大人民群众在物质生活不断改善、精神生活不断丰富的前提下，更是渴望天蓝、水净、地绿、山清。废弃矿山生态恢复作为生态文明建设的重要组成部分，不仅是区域经济社会可持续发展的有力保障，更是维护当地生存环境、提高百姓生活质量的有力支撑。建立完善矿山生态恢复理论体系，探索生态文明建设之路，实现可持续发展，是全国各地普遍面临的重大课题，也是学术界十分关注的研究热点。

近代以来，人类对矿产资源的需求日益增大，对矿产资源的开采不可避免会对生态产生破坏，露天开采、地面塌陷、采选矿废弃物的堆存产生了大量的矿区废弃地，由此造成了较为严重的水土流失。北京矿山资源开发利用由来已久，北京矿山绝大部分分布在山区，此区域既是阻断北京西北干旱半干旱生态脆弱区沙漠化向首都地区侵袭的天然屏障功能区，也是北京重要的水源涵养地。采矿活动和废弃物的排放，加剧了生态系统的退化，给周边居民的生产及生活带来严重影响，一定程度上制约区域经济的可持续发展，也对北京城区的生态安全构成威胁。因此，关停首都周边矿山并对其废弃地进行生态修复，成为实现北京及周边地区健康可持续发展的迫切需要，同时也是北京山区实现其生态涵养功能的必然要求。“十五”以来，北京市委、市政府高度重视矿区废弃地的生态环境修复工作，投入大量资金，以人工恢复为主的方式对首都山区的废弃矿山进行生态恢复，这在很大程度上加快了生态恢复进度，

但对于生态工程实施后恢复到何种程度、是否达到预期目标,都只是表面观察现象,实际还须进行理论与数据支持。本书以恢复生态学为核心理论,以北京市门头沟区妙峰山镇石灰石采石场废弃地为研究地点,调查分析不同恢复措施下植物群落结构特征及演替趋势、昆虫群落结构组成、土壤理化性质和其生态功能,建立评价体系对各恢复措施的实施效果进行评价,为北京市关停废弃矿山的人工生态恢复提供相关的技术依据。

本书是作者学习和实践的研究总结,同时也是许多老师、同仁支持和帮助的结果,在资料收集方面得到了北京林业大学等单位的大力支持,在外业调查方面得到北京林业大学、河北农业大学、河北省水土保持工作总站、河北省水利科学研究院多位专家、教授的帮助,在此一并表示感谢!

鉴于矿山生态恢复的复杂性及作者知识和能力有限,书中难免有不妥之处,敬请读者不吝赐教。

石丽丽

2014年11月22日

目 录

1	矿山废弃地生态恢复研究与实践综述	1
1.1	恢复生态学相关研究概述	1
1.2	矿山废弃地生态恢复实践	5
1.3	国内外废弃矿山生态恢复研究进展	11
1.4	存在的问题与发展趋势	19
2	研究地区与试验地基本情况	21
2.1	研究地区概况	21
2.2	试验地基本情况	25
3	研究内容和研究方法	27
3.1	研究内容	27
3.2	技术路线	28
3.3	研究方法	28
4	不同恢复措施林地植物群落结构特征	38
4.1	不同恢复措施林地群落物种结构及多样性	38
4.2	各林地群落垂直层次结构	44
4.3	不同恢复措施林地短期演替趋势	53
4.4	小结	54
5	不同植被恢复措施林地昆虫群落结构分析	56
5.1	不同恢复措施林地昆虫群落组成及多样性	56
5.2	不同恢复措施林地功能亚群落物种组成及多样性	58
5.3	不同恢复措施林地昆虫群落垂直结构组成及多样性	63
5.4	植物物种多样性与昆虫物种多样性关系分析	65
5.5	小结	67
6	不同植被恢复措施林地土壤化学性质及土壤酶分析	69
6.1	不同植被恢复措施林地土壤化学性质分析	69
6.2	不同植被恢复措施林地土壤酶活性分析	77
6.3	土壤酶活性与土壤化学性质的相关分析	82
6.4	小结	84

7	不同植被恢复措施林地生态功能分析	87
7.1	不同恢复措施林地涵养水源功能分析	87
7.2	不同恢复措施林地植被固碳释氧功能分析	91
7.3	不同恢复措施林地植被积累营养物质功能分析	93
7.4	不同恢复措施林地植被净化大气功能分析	94
7.5	小结	96
8	不同植被恢复措施林地综合生态功能评价	98
8.1	评价指标分析	98
8.2	权重计算	100
8.3	层次分析法评价	108
8.4	TOPSIS法评价	114
8.5	两种方法评价结果比较分析	117
8.6	小结	119
9	结论与讨论	121
9.1	结论	121
9.2	本文特色与创新点	124
9.3	问题与讨论	124
	参考文献	126

1 矿山废弃地生态恢复研究与实践综述

1.1 恢复生态学相关研究概述

1.1.1 恢复生态学的定义及发展历程

恢复生态学 (Restoration Ecology) 是近几十年来新兴的一门学科,最早是由美国学者 Jordan 于 1985 年提出。恢复生态学在实践中不断发展,迄今尚无统一的定义。尽管对其定义有所差异,但各位学者均认为恢复生态学是关于一门关于生态系统恢复的学科,其主要研究内容是研究退化、受损生态系统如何恢复或重新建立,所应用的理论是以生态系统演替理论为主的生态学基本原理。恢复生态学实际上是生态系统恢复实践的产物,它致力于恢复、重建由人类活动和自然灾变作用而引起的对自然生态系统的破坏。恢复生态学的发展,为解决生态恢复问题、实现自然环境的可持续发展提供了良好机遇。

20 世纪 50 年代,欧美国家开始研究恢复生态学,当时研究内容主要是对由地下水开采、采矿等工程活动所引起的塌陷环境进行生态恢复方面的研究。1962 年“寂静的春天”发表以后得到迅速发展。1975 年在美国召开了名为《受害生态系统的恢复》的第一次以恢复生态学为主题的国际会议。1980 年美国学者 Cairns 编著了《受害生态系统的恢复过程 (The recovery process in damaged ecosystem) 》,从不同角度深入探讨了受害生态系统恢复过程中涉及的重要生态学理论和应用问题。1983 年,在美国召开了题为《干扰与生态系统 (disturbance and ecosys-

tem)》的学术会议,与会学者系统探讨了自然及人为干扰对自然景观、生物圈、生态系统、种群及物种的生理生态学特性的变化影响(马世骏,1990)。1985年Aber和Jordan两位美国学者首次明确提出了“恢复生态学”的概念(章家恩,1999)。国际生态恢复学会于1989年成立。恢复生态学专业期刊《Restoration Ecology》于1993年在美国创刊,这在一定程度上意味着恢复生态学的进入快速发展阶段。美国曾于1996年召开国际恢复生态学会议,此次会议专题分析、探讨了关于矿山废弃地生态恢复的现状、方法、问题、发展趋势等(Xiong, 2003),在接下来的数十年中,国际上召开了一系列的以恢复生态学为主要议题的学术会议。

我国恢复生态学研究是在20世纪80年代以后,随着改革开放开始的。在与世界各国开始在各个方面加强联系的同时,我国政府、学术界、新闻界以及普通人民等也都逐渐认识到在发展过程中由于功利所带来的环境破坏问题,因此我国政府提出将环境保护被作为一项基本国策。1992年,联合国在里约热内卢召开了环境与发展会议,我国政府积极支持《21世纪议程》制定及实施。我国政府于1994年也制定了自己的环境保护相关发展目标,并发表《中国21世纪议程》,中国科学院于1999年发表了中国自己的可持续报告——《1999年中国可持续发展战略报告》。在以后的科学研究及实践中,国家推动了“三北”防护林工程、退耕还林还草工程、“三江源”治理工程、“长江中上游”防护林工程、水土流失工程治理,我国的生态恢复学理论、技术随之开始快速发展。现阶段,虽然有了一定的基础,但总体来看我国的恢复生态学理论和技术仍处于探索、治理阶段,我国现存的退化生态系统类型复杂多样,退化的程度也比较严重,恢复治理的理论、技术起步都比较晚,相关研究数量较少且质量较一般,因此我国恢复生态学所面临的科学研究、治理实践任务都比较艰巨,只有通过科学的、长期的、连续性的研

研究与治理,才能达到把我国退化生态系统治理好的预期目的。

1.1.2 矿山废弃地的生态恢复

一般的矿山开采有露天开采和地下开采两种方式,露天开采矿山是以剥离挖损地面上的土地为主,这种开采方式会明显地改变地表景观。地下开采是将矿物采出后,开采区上面覆盖岩层会失去支撑,其岩体内部应力平衡受到破坏,导致其采空区上覆岩层发生变形直至破坏。矿山开采前多为植被覆盖的山体,开采过程中经常会砍伐森林,压覆、毁坏土地,导致山体及植被遭到破坏,同时会产生废石、垃圾的堆置,严重破坏地表自然景观。不同国家不同时期矿山废弃地生态恢复的定义不同,但总起来来说他是在不断完善的。

20世纪80年代末,中国发布的《土地复垦规定》中提出了以利用土地为目的的定义,即土地复垦是对在生产建设过程中,因挖损、塌陷、占压等造成破坏的土地,采取整治措施,使其恢复到可供利用状态的活动。部分学者认为矿山生态重建是指对采矿等活动引起的退化生态系统,借助人工支持和诱导等多种手段,对其物种组成及结构、生态功能进行超前性的规划并实施调控,在接近调控目标这一逆向演替过程中,对各种可能出现的问题尽早做出预测、判断,并在实施过程中不断对实施效果进行跟踪和评估,逐渐调整技术措施,最后重新建立一个符合需求的、可持续的生态系统,实现然与自然和谐相处发展(白中科,1998)。蒋高明(1996)则提出:矿山废弃地生态恢复主要是针对矿山废弃地破坏后退化的生态系统,是在研究分析矿山废弃地自然恢复过程、机理的基础上,逐步总结经验,建立相应的技术体系、指标对其进行评价,以此来指导因人类活动而造成的破坏生态系统的恢复,因此矿山废弃地生态恢复理论可以指导矿山废弃地的土地利用、生态保护和生物多样性保护等治理实践活动。

矿区废弃地生态恢复与重建过程中主要面临的生态学问题：①由于人为的干扰，表层土的结构、理化性质发生了较为强烈的干扰和破坏，土壤结构变得不适合植物根系舒展和生长，此外，表土层的破坏导致植物缺乏正常生长所需要的介质（Smith，2002）；②某些因子遏制植物的生长发育，如由于人类活动造成矿山废弃地的土壤呈碱性或过酸（舒俭民，1998）、各种重金属含量超高（束文圣，2003）、土壤的盐碱化严重（沈渭寿，2012）等等；③土壤中缺乏植物在生长、发育、繁殖过程中所必要的某些营养元素（Bi，2000）。土壤养分含量因矿区种类的不同而不同，土壤中有机物、有效氮等的缺乏是大部分矿区废弃地的共同点（阳承胜，2000），也有少量种类的矿山废弃地缺乏有效磷，有效钾等营养元素（马彦卿，2000）；④几乎所有矿山废弃地中的物种多样性及物种结构都遭受到过毁灭性的破坏，由于在采矿过程中破坏了动植物栖息地，矿山废弃后其植物、动物的种类及数量都会大幅减少或丧失，这会造成矿山废弃生态恢复的难度，生物多样性越大矿山废弃地生态恢复的越迅速，反之则慢。（Khan，2005；Butt，2009）；⑤原始景观受到严重破坏，景观破碎化严重，恢复工作困难。

1.1.1.3 矿山废弃地生态恢复的理论基础

可以从恢复生态学原理及理论中得到关于矿山废弃地生态恢复的相关理论（任海，2001）。恢复生态学是现代生态学的重要组成部分，20世纪80年代掀起了研究恢复生态学研究的热潮。恢复生态学主要研究如何恢复或重建由于自然灾害和人类活动等各种干扰造成的自然景观破坏，学者们认为恢复即为破坏过程的逆向演替过程，恢复生态学的核心就是研究如何实现这一逆向演替过程。

生态恢复的基础理论即为群落演替论，矿山废弃地的生态演替一般指引入到废弃矿山的先锋植物物种经过一系列演替阶段，最终达到适宜

当地的顶级群落，其核心原理是整体性原理、自生原理与循环再生原理(Prach, 2011; 魏远, 2012)。自然演替是一个缓慢的过程，一般而言，最少也需要 50~100 年才能在矿山废弃地上自然恢复植被；而如果矿上废弃地上没有表土，恢复时间可能要到 1 000 年以上。恢复生态学的重要理论一般包括自我设计(Self-design versus design theory)与人为设计理论两种。依靠自身条件，退化生态系统可以逐渐恢复，其物种组成及环境会逐渐改变，但是这个过程的完成需要漫长的时间，其恢复结果具有单一性，这种恢复形式为自我设计理论。而人为设计理论认为，通过投入资金、人力等，使用工程方法和植物重建等手段可直接、快速地恢复退化生态系统，人为设计理论恢复的类型可能是多样的。

生态恢复还应用了其他的相关生态学理论，如热力学定律(确定生态系统能量流动特征)、限制性因子原理(即仔细分析生态系统恢复的关键因子)、生态适应性理论(尽量采用乡土树种进行生态恢复)、生态位原理(合理安排生态系统中物种极其空间配置)、种群密度制约及分布格局原理(确定物种的空间配置)、演替理论、植物入侵、生物多样性理论、缀块—廊道—基底理论等(任海, 2001; Eichberg, 2006)。

总而言之，矿山废弃地的生态恢复是以恢复生态学为核心理论，结合相关的边坡稳定、工程绿化等技术，逐步实现矿山废弃地的生态恢复与可持续利用。

1.2 矿山废弃地生态恢复实践

1.2.1 矿山采矿产生的主要问题

经济的高速发展一定程度上促进了各种矿产资源的开采，城市化的大力推进带动的基础设施建设会进一步加速石灰岩类矿山的开采(高荣鑫, 2014)。相关研究表明，矿山开采环境保护的相关法律法规不健

全、矿山开采过程不规范及矿山生态治理技术落后等多种因素加重了矿山地质环境的破坏（徐升华，2011）。总结起来，石灰岩类矿山的开采主要带来了3方面的环境问题。一是地貌、生态破坏，石灰岩矿山多数分布于丘陵或低矮山丘区，其开采方式往往采取露天开采。矿山开采过程的第一步便是砍伐地表的植被，剥离地表的覆盖层。其由上而下的分段开采方式，改变了矿区的原始景观，严重地破坏了地表动植物的生存环境。二是地质灾害影响。矿山开采改变了地表结构及地面应力，不合理、不规范开采的矿山会产生陡壁和边坡，这些都可能引发山体滑坡、崩塌等地质灾害。而堆放于矿体外围的废弃渣石还可能会形成新的不稳定荒丘，一定程度上影响降水的排泄和地表径流。受暴雨冲刷或地表水浸泡过的堆渣弃石场，还可能发生水土流失和泥石流。三是环境污染。矿山采矿时会产生大量粉尘、废气以及噪声污染（杨涛，2009）。

1.2.2 国外矿山废弃地生态恢复相关实践

国外矿山废弃地恢复研究起源于19世纪末期的欧美国家。世界上较早开始实施矿区废弃地恢复利用的是英国及德国。德国在20世纪的20年代就开始进行露天煤矿矿区废弃地的复垦工作，美国相关工作则始于30年代。自20世纪中叶至今，矿山废弃地的生态恢复工作逐渐变成不同学科、不同行业、不同部门深入合作的系统工作（Stapleton，2000）。美、英、法、澳等发达国家在开矿后废弃地植被的恢复工作方面取得了大量的成果和成功的经验。自20世纪中叶起，美国、法国、澳大利亚、德国等国家相继开展了大规模的矿区废弃地的生态恢复工程（陈俊松，2012）。

美国对于综合治理矿区生态环境的重点是开展矿区土地复垦。20世纪20年代美国就开始系统地对破坏土地进行复垦。1920年《矿山租赁法》中明确提出要保护土地和自然环境。20世纪中后期，随着有关生态

环境恢复治理发展和相关管理法规的逐步完善,矿区生态环境恢复治理中的生态系统工作成为研究的焦点。1995年“国家矿产资源调查计划”的制定,把资源、环境、土地利用发展等诸多目标合为一体开展研究,提出能够实现矿产资源可持续利用的最终目标。美国于1996年召集不同国家学者召开了国际恢复生态学会议,会议过程中讨论关于退化矿山废弃地的复垦、生态恢复等问题(李永康,2004)。1997—2001年美国地调所实施的矿区废弃地优先研究为联邦土地管理局治理废弃矿山环境提供了相应的技术支持。在美国废弃地治理后进行再开发利用时主要有耕种农作物、种植圣诞树、种植干草或做牧场、进行房地产开发等多种形式(Tracy, 2000; Smith, 2002; 李闽, 2003)。

前苏联政府因为注意到土地遭受破坏而产生生态恢复的理念,其生态恢复一般在手工业影响的土地上实施。生态恢复工作产生效益的高低,在一定程度上取决于如何开发土地以及土地开发的种类选择。苏联一般采用生物学标准、经济技术标准等两个标准来分析决定生态恢复的方向。生物学标准通过消除对环境的有害影响程度和生物群落创建的角度,来综合分析、评价被破坏土地的应该的生态恢复方向和开发方式;经济技术标准则是从施工工艺的先进程度、投资回报是否高效等方面出发,分析评价生态恢复的利用方式、方法。在俄罗斯,矿山废弃地的生态恢复工程经过了工程技术恢复以及生物技术恢复两个基本阶段,其中的工程技术恢复发生在生物技术阶段之前,通常针对被破坏土地的开发种类和类型而进行整地,主要包括:①平整场地;②改造场地坡度;③表层覆盖沃土;④改良土壤理化性质等多个步骤。而生物技术恢复包括一系列恢复被破坏土地肥力的措施,主要是绿化造林等。

法国人口稠密、工业发达的特点决定了其对土地复垦工作的一个基本要求是保持足够的农林面积,同时还要保持生态平衡。在解决露天复垦的恢复工作上,法国经常是先在露天排土场上覆土、种植草、灌木,

从而活化土壤、提高土壤的肥力,改善其土壤结构及理化性质,过渡后再复垦为农田。为了使复垦区与周边的生态环境相协调,还会在农田周围进行多植物配置、绿化造林等工作。

法国的林业复垦工作一般分为三个步骤:第一是实验阶段,在土壤表层种植多种植物,研究分析各类植物对土壤理化性质的改变效果,选择合适的植物;第二是综合种植阶段,选出长势良好的树种进行大面积种植试验,试验内容包括如何增加土壤和合适的管理方式等;第三阶段主要是分时间种植和多种树种混合种植阶段,此阶段主要做混交种植,合理安排林业和农业,同时选择适应性较强的树种,有利于提高整体的存活率。

德国是世界上最主要的采煤国家之一,其煤的年产量曾经达到2亿吨以上,其政府对煤矿废弃地和煤矿周边的复垦及生态恢复工作非常重视,早在20世纪20年代就开始逐渐对其露天煤矿的矿区废弃地进行复垦等工作。德国矿上废弃地土地复垦可分为4个阶段:1920—1945年,德国对不同树木在采矿废弃地上的生长适应情况进行了研究。1945—1958年,德国突出了植物物种多样性以及树种混交的研究,同时通过法律规定矿主在采矿后必须进行矿山复垦及重建。1958年以后,原西德根据不同的采矿废弃地,分别种植橡树、山毛榉、枫树等;原东德煤产区由林业复垦为主逐渐转向农业复垦。东德、西德合并后进入第4阶段,矿山废弃地治理从农林复垦转向复合型土地复垦模式——休闲用地,这成为很好的物种保护用地,同时其景观用地比例有了较大上升。由于相关机构较为健全、态度严谨、执法严格且生态恢复相关资金渠道稳定,德国的矿山废弃地生态恢复工作很快就取得很大成绩(魏远,2011),开始进行从土壤到植被的一次性顶级群落恢复。到20世纪末,德国土地复垦面积 $8.23 \times 10^4 \text{ hm}^2$,恢复率达到50%以上(胡振琪,1995)。现在德国矿区生态重建的研究经验很丰富,其综合治理的具体做法主要有实

行政府运转机制，建立公司运作模式，遵循因地制宜的原则、科学开展环境治理，科学规划、整合资源建设产业园区（陈忠全，2008）。

澳大利亚是世界矿业大国之一，政府对于矿山开采后的生态恢复也是非常重视，生态环境恢复技术在国际上也处于领先地位。例如澳大利亚为了改善矿山周围的环境同时减少资金的投入量，有关研究部门首先采用卫星遥感数据所提供的复垦参数数据来确定相应的位置，再借助计算机提供出辅助设计，优化选择待复垦区的地形条件，以实现工程量的优化和合适的经济投入——产出选择，即获得最优的设计方案。这种方案的确立既避免了不必要的投入节约了资金又有效地改善了周围的生态环境。（Gorokhovich，2003；Dimitris，2003）。

综上所述，在一些发达的国家例如德国、英国、澳大利亚、美国、俄罗斯等有着先进的科学技术、成熟的采矿技术和良好的矿山恢复技术，在矿区恢复方面有很多共同特点（Pinto，2002）：首先是健全的法律法规，在遵守法律法规的前提下还有较充裕的治理、复垦的资金保障，其次是和有关方面的多学科专家的合作，共同制定合理的研究开发方案（胡振琪，2005）。这些国家都有矿山生态恢复方面的学术团体和研究机构，并且其学术活动十分丰富是其另一个共同点。在已形成的较为完善的生态恢复技术体系支持下，在相关法律、法规与经济政策的推动下，这些发达国家的废弃矿山生态恢复工作开展的较为迅速（刘国华，2003；王应刚，2007）。

1.2.3 国内矿山废弃地生态恢复实践

国内矿山废弃地生态恢复实践发展主要经过了起步阶段、完善阶段和现在的较为成熟阶段。

（1）起步阶段。

随着人们对环境资源重视程度的提高以及经济的迅速发展，20世纪

50年代末,我国自发开展起了矿山废弃地的恢复工作,起步比其他国家与地区相对较晚。我国所采取的技术路线大都是在借鉴国外(尤其是前苏联)成型技术标准的基础上,结合我国实际情况摸索前行的。在20世纪五六十年代,主要沿用传统思路,即通过填埋、刮土、覆土等措施将已经退化的土地改造成可耕种土地(王林,2013)。

(2) 完善阶段。

20世纪70年代至90年代,为我国废弃矿区复垦的完善阶段,我国许多矿区都开始相继开展了废弃地的生态恢复工作,并取得了较大的发展。人们逐渐认识到矿区废弃地恢复的目标就是建立稳定、高效的人工植被生态系统,但是由于当时多方面的限制条件,使这项工作未能高效并集中的开展,缺少科学规划和可行性分析,成效并不大(周国华,2005;姚国征,2006;徐友宁,2006)。20世纪80年代以后,随着改革开放,许多地方矿山的蓬勃发展,造成水土流失和土地荒漠化等一系列的环境问题日渐突出,引起了国家和有关部门的高度重视,1988年国务院《土地复垦规定》和1991年《中华人民共和国水土保持法》的正式出台,使该项工作才步入了法制管理轨道的一个新阶段。1995年由水利部发布《开发建设项目水土保持方案编报审批管理规定》,矿区废弃地的生态恢复工作进一步得到规范。此阶段后期开始通过对煤矸石山的植被恢复,来改善煤矸石山的环境条件和景观,利用植被覆盖减缓地表径流、拦截泥沙、调蓄土壤水分和粉尘污染(王林,2013),但是由于矿业废弃地生态恢复技术等方面仍然还很薄弱,与矿业的飞速发展相比,矿区废弃地生态环境重建技术还严重滞后(白中科,2000;王霖琳,2007)。

(3) 较为成熟阶段。

在此前研究及实践的基础上,政府愈加重视矿区废弃地的环境问题,植物生态修复成为一种新兴的矿山废弃地环境治理技术。近几年,