

华北地区

采石废弃地松散堆积体 生态修复技术研究

THE TECHNOLOGY OF ECOLOGICAL
RESTORATION OF LOOSE DEPOSITS
IN QUARRY WASTELAND IN NORTH CHINA

张 华 赵廷宁 周连碧 王 琼 著

建设工程损毁林地植被修复关键技术与示范 (200904030)

金属矿山堆场酸性污染综合整治关键技术合作研究 (2012DFA90500)

华北地区采石废弃地松散堆积体 生态修复技术研究

张 华 赵廷宁 周连碧 王 琼 著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

华北地区采石废弃地松散堆积体生态修复技术研究/
张华等著. —北京: 中国环境出版社, 2014.7
ISBN 978-7-5111-1804-2

I. ①华… II. ①张… III. ①采石场—生态恢复—
研究—华北地区 IV. ①X171.4②TD872

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 064706 号

出 版 人 王新程
责任编辑 李兰兰
责任校对 唐丽虹
封面设计 彭 杉

出版发行 中国环境出版社

(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.com.cn>

电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn

联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)

联系电话: 010-67112735 (环评与监察图书出版中心)

发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中献拓方科技发展有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2014 年 7 月第 1 版
印 次 2014 年 7 月第 1 次印刷
开 本 880×1230 1/32
印 张 5.25
字 数 130 千字
定 价 28.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

本书撰写委员会

张 华 赵廷宁 周连碧 王 琼 张成梁

杨建英 吴亮亮 张 望 白 麟 韩雪梅

李小平 吴亚君 孙 伟

前 言

随着我国经济发展的加快,人类对矿产资源的需求迅速增加,然而开采石材在满足开发建设项目生产需求的同时,也造成采矿区自然生态系统和景观的严重破坏;采矿区的无序与过度开发,导致矿区破坏和危害形式多样,严重影响了区域生态环境安全,且植被恢复与重建难度增大。

尤其是露天开采,引发了采矿地区严重的生态环境问题:

- ① 矿区景观破碎化现象严重,原有土壤地表、土壤结构和原生植被被破坏,土地占压面积大,导致资源浪费严重。1998年,英国受石灰石开采影响的土地面积是 $14\,000\text{ hm}^2$ (Cullen W L et al., 1998)。澳大利亚 80 个生物地理区域中就有 66 个区域分布了 500 余座矿山。我国现有矿山企业 8 000 多个,全国中型以上国有矿山企业占地 75.4 万 hm^2 ,其中采矿占地 12.13 万 hm^2 ,采矿业中的废弃物占地 38%,由此可见,废弃物占地面积之大,土地浪费之严重;
- ② 矿区粉尘、噪声、周边土壤和水体等环境污染严重;
- ③ 众多矿山开采对土地和环境破坏速度相当惊人,水土流失加

剧,极易诱发滑坡、崩塌和泥石流等重大自然灾害,每年造成的直接经济损失达 40 亿~50 亿元;平均每年由于崩塌造成的人员死亡就达 928.15 人;④废弃渣土具有许多特殊的理化性质(夏汉平等,2002),原有土壤物理结构被破坏、营养成分缺乏和 pH 值变化大等,从而使土壤失去其作为植物生长营养元素来源及更新场所的基本功能(董世魁,2009),对矿区土地、水资源、物种多样性以及采矿区自然景观破碎程度影响较大,同时危害人类生存与健康,影响区域经济可持续发展。

据统计,北京市共有各类矿山 1 749 个,小型规模矿山占 99.2%,主要分布在远郊山区。其中有色金属、重金属及石材矿产分布于门头沟区和房山区。矿山开采破坏生态环境的同时,也带来重大安全隐患,同时废石、尾砂等固体废弃物占用大量土地,形成了与周边自然生态极不协调的景观。根据《北京市城市总体规划(2004—2020 年)》提出的统筹城乡发展、改善生态环境、调整产业结构、促进经济和社会协调发展的要求,截至 2008 年年底,北京市已全面关停小型矿山(赵方莹等,2009)。

据统计,全国开发累计破坏土地面积 200 多万 hm^2 ,而且正以每年 3.3 万~4.7 万 hm^2 的速度递增,而采矿区的生态修复过程非常缓慢,一定要采取积极的人工措施使植被修复与建植过程加快,促进矿区的生态恢复。因此,进行矿山生态修复理论与应用技术的科学研究,并在此基础上提出可行的矿山生态修复技术势

在必行。只有在合理开发和有效利用石材资源的同时，加强采石废弃地生态环境的治理，才能实现合理利用国土资源并改善生态环境（王琼，2009）。

本书主要汇集了“建设工程损毁林地植被修复关键技术与示范（200904030）”和“金属矿山堆场酸性污染综合整治关键技术合作研究（2012DFA90500）”的研究成果，同时得到了北京林业大学水土保持学院、北京矿冶研究总院环境工程研究设计所、北京市房山区周口店镇政府、北京市园林绿化局治沙办、北京市房山区林果中心等单位的大力支持，在此表示衷心感谢！

本书共分为 11 章，第 1 章概述了采石废弃地生态修复研究现状及其存在的问题，包括国内外采石废弃地生态修复、采石场开采工艺、采石废弃地边坡水土流失规律、采石废弃地生态修复技术、土壤水分研究、松散堆积物资源化利用及植物种筛选；第 2 章主要介绍了研究区概况；第 3 章主要介绍了研究内容与方法；第 4 章至第 10 章主要介绍了采石废弃地松散堆积体特征、松散堆积体压实技术、抗旱保水袋应用技术、保水覆盖技术、松散堆积物资源化利用技术、平铺生态袋绿化技术和植物选择与配置技术；第 11 章在上述研究的基础上进行了归纳和总结，提出了华北地区采石废弃地一系列生态修复技术。

本书可供矿山、林业、水利水保、园林、旅游、国土等部门从事项目建设管理、生态治理与生态修复、生态环境建设的教学、

科学研究、设计和工程技术人员参考。

由于作者知识水平有限，缺点和错误在所难免，恳请专家、学者不吝赐教，以便在日后工作中进一步完善提高，为促进我国矿山生态修复事业的发展贡献力量。

张 华

2014 年 5 月于北京

目 录

1 绪 论	1
1.1 采石废弃地的生态修复研究现状.....	1
1.2 存在的问题.....	17
2 研究区概况.....	18
2.1 昌平试验区概况.....	18
2.2 房山试验区概况.....	19
3 研究内容与方法.....	21
3.1 研究内容.....	21
3.2 研究方法.....	24
3.3 技术路线图.....	25
4 采石废弃地松散堆积体特征研究.....	27
4.1 采石废弃地松散堆积体的概念及内涵.....	27
4.2 松散堆积体特征研究.....	27
4.3 试验内容与方法.....	28
4.4 理化性质分析.....	29
4.5 径流量和产沙量分析.....	32

4.6	土壤体积含水量分析.....	33
4.7	小结.....	35
5	松散堆积体压实技术.....	37
5.1	松散堆积体压实技术概述.....	37
5.2	试验内容与方法.....	37
5.3	试验结果与分析.....	40
5.4	小结.....	51
6	抗旱保水袋应用技术.....	53
6.1	抗旱保水袋应用技术概述.....	53
6.2	试验内容与方法.....	53
6.3	试验结果与分析.....	55
6.4	小结.....	70
7	保水覆盖技术.....	72
7.1	保水覆盖技术概述.....	72
7.2	试验内容与方法.....	72
7.3	试验结果与分析.....	74
7.4	小结.....	91
8	松散堆积物资源化利用技术.....	94
8.1	松散堆积物资源化利用技术概述.....	94
8.2	试验内容与方法.....	95
8.3	试验结果与分析.....	96
8.4	小结.....	104

9 平铺生态袋绿化技术	106
9.1 平铺生态袋绿化技术概述.....	106
9.2 试验内容与方法.....	106
9.3 试验结果与分析.....	109
9.4 小结.....	115
10 植物选择与配置技术	117
10.1 植物选择与配置技术概述.....	117
10.2 试验内容与方法.....	118
10.3 试验结果与分析.....	120
10.4 小结.....	131
11 结论与建议	132
11.1 结论.....	132
11.2 建议.....	135
参考文献	137
附录 1 本书植物名录	145
附录 2 本书试验照片	153

1 绪 论

1.1 采石废弃地的生态修复研究现状

1.1.1 国内外采石废弃地生态修复研究现状

矿区生态修复是指把被采矿破坏的土地恢复成人类所需要的适宜状态的过程,许多国家对矿区生态修复有着不同的定义,它是一个在 20 世纪 80 年代发展起来的现代生态学的分支(吴欢等,2003),在国际上备受关注,是退化生态系统与恢复生态学的重要研究内容之一(彭少麟,1996),而矿区植被修复与重建是矿区生态恢复的关键和最佳策略(Gunn J et al., 1993)。

国内外有许多关于矿山生态恢复的名词,如矿山土地复垦、废石场复垦(林海,2010)、矿区生态恢复(Ecological Restoration)(董世魁,2009)、矿山生态植被恢复(赵方莹,2009)等名词,而欧洲在早期则使用了生物工程(Bioengineering)的概念。还有与生态恢复相近的几个重要的生态学概念,如加拿大和澳大利亚常用修复(Rehabilitation),欧美常用更新(Renewal)、改进(Enhancement)和修补(Remediation),英国常用重建(Restoration)概念等,各国从不同角度反映了生态恢复与重建的意图(范志平等,2006)。

矿区生态系统是在对原有生态系统产生一定程度破坏之后,重

新形成的新的生态系统。当矿区开发后,环境系统由于其功能的改变,也逐渐演化为以矿产资源为主的环境系统。矿产资源的开发引起地表土壤结构破坏和废弃物随意堆积,占用了大量土地,绿色植被破坏严重,导致动物迁移,并造成大气、水体及土壤的污染。因此,被破坏的矿区生态系统具有以下典型特征:①它是一个以人为中心的、受自然规律和社会经济规律双重支配的开放型生态系统;②组成发生改变、结构不完整、功能不健全、异质性增强的比较脆弱的生态系统;③物质和能量流动加速,一般需要补充大量的辅助物质和能源;④土地生产力下降,环境污染问题严重(范志平,2006)。

1.1.1.1 国外采石废弃地生态修复研究现状

William J Mitsch (2005) 等将露天采矿场、原是矿场或工业区的垃圾堆积场、景观荒芜及空气和土壤受污染的土地归为荒芜或者近似荒芜的景观。为了能够将这些土地恢复成原本应有的生态系统功能,最大的挑战就是生态工程。许多文献显示,一般重建被破坏的土地和矿区,要强调以科学和生态的方式处理,欧洲中部以森林修复的方式处理(Fanta, 1994; Seip et al., 1994; Kilian, 1998),东欧以生态矫正的方式处理(Mitsch et al., 1997);一般陆地复建(Wali, 1992)和煤矿弃置场则以生态重建的方式处理(Hüttel et al., 2001)。

陆地土壤生态系统重建的主要成分之一是植物种子的可利用及传播途径(Wali, 1999)。这些种子和传播媒介来自于自然的途径,它们透过大气、动植物和水体传播,也可由人类引进。加强自然重建过程则需要利用人为因素控制生态重建过程。

西方发达国家在 20 世纪初就开始了相关工作。英、美、澳等发达国家的采矿年代久远,最初研究主要是集中在对采矿后遗留的废弃地植被的恢复(李永庚等, 2004)。美国在 1971 年的矿山土地复垦率为 79.5%,德国莱茵褐煤矿区的复垦率为 55%,且大多是结合

土地复垦来实施，并各有不同（唐春等，2007）。

美国的生态恢复工作较为先进，从 1940 年开始，就在全美国制定了关于露天矿的土地复垦的法律法规，规定矿山必须要进行合理开采和复垦。通过 20 多年的实践，使不同开采年限的矿山得到及时治理，有效改善了污染水源（牛一乐等，2005）。美国土地复垦的理念主要强调能够恢复为破坏之前的状态，要求使农田和森林恢复原状，还要求控制水蚀和有毒物的沉积；保证地表不变和地下水位维持在原有水平；保持表土仍在原位置；注重有害和酸性物质的预防和治理；防止堆积物产生滑坡等灾害。

德国在 1940 年就开始在欧洲中部的卢萨蒂亚褐煤地区进行改良和修复。在采矿过程中极其注意最大限度地减少破坏生态环境，开采后进行的复垦不单是种树或整地，而是从宏观上考虑生态的变化以及居民对环境的需求。德国经过长期努力后的复垦工作进展很大。在矿区及周边环境，林地整齐且长势良好，牧场碧绿如毯，旅游区风景如画，无论城市和乡村，都表现出很高的生态环境质量（韦冠俊，1990）。

由于人口稠密、工业发达，法国首先在不改变农林面积的前提下，防止污染并恢复生态系统的平衡。该国十分重视在露天排土场进行植草并促进土壤的活化，经过一定的复垦后变成新农田。为使景观与周边环境相一致，同时进行了植被绿化（黄毓明，2006；秦建桥等，2012）。

澳大利亚政府重视恢复废弃矿区，并严管生产矿区的生态环境，坚持走可持续生态矿业之路（董世魁，2009）。它将多专业联合投入，并引用许多新计算机技术，现在已将复垦作为开采工艺的一部分（Shu W S，2002）。

非洲纳马夸兰地区于 1852 年开始大规模的铜矿、钻石矿、石膏矿和重金属矿的开采活动，造成该地区矿渣、砾石和黏土的随意堆

积,破坏了该地区的内陆土地,景观破碎化现象也十分严重。与土地退化的漫长历史时期相比,纳马夸兰矿区生态恢复起步较晚。1991年《矿产第50号法案》开始生效,这才从法律层面规范约束矿主,引入开采许可证来恢复土地。2002年颁布的《矿产和石油资源开发第28号法案》,更加强调了立法对矿区生态恢复的重要性(董世魁,2009)。

在美国和澳大利亚等国家,目前引用的现代“3S”技术和其他新技术、新理念在生态修复中已得到广泛应用。生态恢复的目标也不仅仅是种树种草,而是建立一个能够进行自我维护、运行良好的完整生态系统。

1.1.1.2 国内采石场生态修复研究现状

我国关于废弃地复垦理论的研究起步于20世纪80年代,之前主要是零散的矿区进行自发的造林或造田实践,主要目的是改善生态环境、缓解土地供需压力和维护矿区安全,几乎没有深入的理论研究。90年代以后,该研究领域主要集中在有色金属矿尾矿和煤矿废弃地的植被种植等。1989年以来,我国在多地建立了土地复垦点,并取得了大面积土地复垦成果,也建立了许多示范基地。

我国国务院颁布《土地复垦规定》迄今已有20余年。近几年,我国政府进一步加大了复垦力度,加紧了矿山环境治理规划和具体方案的实施。2001—2007年,全国共恢复治理矿山环境面积15.5万 hm^2 。2004年年底植被恢复率为10%~12%,目前估计总体不足20%。通过对山东、山西、甘肃和河北4个试点省的采矿区调查,土地的复垦率已增加到43.40%,然而这与美国1977年后新建矿山80%的土地复垦率相比,仍然有很大差距(姜建军等,2005)。

目前,我国政府每年都在加大力度进行矿山土地复垦工作。完成土地复垦项目众多,如完成了河北省鹿泉市等18个示范工程。各省矿山生态环境恢复治理工作都取得了实质性进展(陈奇,2009)。

随着经济的日益发展,对矿产资源的开发利用量也逐渐增大,而我国采石场的数量过多、规模过小、布局不合理。如北京市门头沟区共有 101 个采石场(截至 2005 年),占地面积约 466 hm^2 。截至 2006 年,北京市山区关停废弃矿山总面积为 $5\,092.13 \text{ hm}^2$,全面开展关停废弃矿山的植被恢复试点工作,门头沟区、房山区及丰台区被列为试点区县,探索了一些成功的生态恢复治理模式和技术措施(李金海等,2009)。在实际生产中,应注重在矿山开发的每一阶段均需要同步进行矿区生态修复工作(胡振琪等,2005)。

我国关于矿区生态修复的研究很多,但大多是煤矿和金属矿山废弃地生态修复治理,比如孙红等(2012)和王雷等(2012)是关于煤矿废弃地的生态修复研究、王超等(2012)和王婧静(2010)是关于金属矿山废弃地的生态修复研究,或偏重于综述性及绿化技术案例和实践的研究报道(高丽霞等,2005;秦高远等,2006),鲜见针对采石废弃地的系统性试验研究。袁剑刚等(2005)对珠江三角洲采石场悬崖立面土壤植被特征进行了研究,而关于我国北方采石废弃地生态修复技术的专门研究较少。

1.1.2 采石场开采工艺现状

目前,我国露天开采工艺是按照《金属非金属矿山安全规程》(GB 16423—2006)的规定,按自上而下和由顶至底分层或分台阶开采,而许多中小型矿山开采企业没有按照标准执行,而是采用一面坡开采,导致工作面逐渐变陡,工作作业平台得不到安全保障,这样的开采方式产生了许多高陡边坡以及无序堆积的松散废弃物,造成岩体松动、松散废弃物堆积不稳定,矿区地形破碎化现象严重,极易发生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害;不仅带来后续的生态修复难题,比如高陡边坡的植被恢复问题,同时也形成了极易发生水土流失的大量裸露坡面,给采石废弃地生态修复带来极大的困难。

此外,采用凿岩机或炸药进行凿岩或爆破的过程对采石场基岩的岩石硬度也造成了严重的破坏,随着开采年限的增长,形成的粒径大小不一的砾石,其风化程度等物理性质也逐渐恶化,给采石废弃地生态修复也带来一定的难度。

1.1.3 采石废弃地边坡水土流失规律研究现状

矿区水土流失是由于人为扰动地表或堆置固体废弃物而造成水土资源的破坏和损失(叶林春等,2008),尤其是露天开采方式对地表破坏程度大,还会产生大量的水土流失,造成植被破坏、水体污染。我国大量矿山产生的废弃渣土往往随意乱堆放,基本没有拦挡措施,每遇降雨极易造成水土流失、滑坡和泥石流等地质灾害。随着经济发展带来的高强度矿产资源开发,水土流失面积持续增大,水土流失强度增加,对矿区生态环境、生产安全及人民生活构成严重威胁。因此,需要全面系统地了解矿区水土流失规律,探索适宜矿区的防止水土流失的生态修复技术。采石废弃地由于人为扰动地面或堆积废弃物而使其原地貌形态、地层结构、生物种群丧失(郝蓉等,2003),生态系统极度退化、水土资源破坏和损失,极易产生滑坡和泥石流等自然灾害(B G et al., 2003; K et al., 2003; Clemente A S et al., 2004; N J, 2006),最终土地生产力下降甚至完全丧失。重建结构合理和功能完善的矿区生态系统,首先要通过人类在遵循自然规律的基础上进行植被重建,使因工程建设而遭到破坏的自然环境(扰动土地)得到修复和再生。

20世纪60—70年代,世界各地开始普遍进行小流域水土流失规律研究,主要通过天然降雨及人工降雨进行水土流失试验(赵志进,1983)。目前,国内外学者有关水土流失的研究很多,但以单一影响因素和模拟试验研究较多。我国水土流失规律研究目前多集中于山地、丘陵及小流域,且理论模型相对成熟,在开发建设项目区尤其