



矿区土地复垦与生态重建——机遇与挑战

吴晓丽, 朱宇, 陈广仁, 苏青

《科技导报》编辑部, 北京 100081

摘要 矿产开发在为经济发展提供大量能源的同时, 由于不合理的开发、采掘, 也对当地的耕地和生态环境造成了严重破坏, 中国矿区土地复垦与生态重建既蕴藏巨大的机遇又面临严峻的挑战。结合 2009 年《科技导报》首期学术沙龙“矿区土地复垦与生态重建——机遇与挑战”研讨的内容, 对中国矿区土地复垦与生态重建的态势、研究进展、困境、国外经验及实践案例等进行了综合评述, 以期为中国矿区土地复垦与生态重建“十二五”发展战略提供决策咨询。

关键词 土地复垦; 生态重建; 矿区

中图分类号 TD88

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)17-0019-06

Opportunity and Challenge for Land Reclamation and Ecological Reconstruction in Mining Area

WU Xiaoli, ZHU Yu, CHEN Guangren, SU Qing

*The Editorial Department of Science & Technology Review,
Beijing 100081, China*

Abstract China has rich mineral resources, which contribute huge energy, but also caused severe damage to farmland and ecological environment. This makes land reclamation and ecological reconstruction in China mining area study face enormous opportunity and challenge. Based on the discussion content of the first academic salon "Opportunity and Challenge for Land Reclamation and Ecological Reconstruction in Mining Area" held by *Science & Technology Review* in 2009, a comprehensive review on situation, research progress, dilemma of land reclamation and ecological reconstruction in China mining area study, foreign experience and practical case is presented, in order to provide decision-making consultation for development strategy of land reclamation and ecological reconstruction in China mining area of the twelfth Five-Year Plan.

Keywords land reclamation; ecological restoration; mining area

0 引言

2009 年 5 月 18-19 日,《科技导报》举办主题为“矿区土地复垦与生态重建——机遇与挑战”的学术沙龙。沙龙由中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所、矿山生态安全教育部工程中心教授胡振琪主持,来自中国、美国、德国、加拿大、丹麦等国的专家学者出席沙龙,在京部分高等院校、科研院所相关专业的研究生列席。与会代表就 20 年来中国矿区土地复垦与生态重建研究与实践的机遇与挑战进行了深入讨论,以期为中国矿区土地复垦与生态重建“十二五”发展战略提供决策咨询。

矿产资源是国民经济和社会发展的重要物资基础,中国 95% 以上的能源、80% 以上的工业原材料和 70% 以上的农业生产资料都来自于矿产资源。而矿产资源开采在为国民经济发展提供能源和原料的同时,也对耕地和生态环境造成了破坏。保护耕地是中国的基本国策,确保 1.2 亿 hm^2 耕地是耕地保护的一条红线,而环境安全、生态安全更是与我们的生活息息相关。资源开发向深部、西部的战略转移已将生态环境保护及采后重建的研究提上日程,2009 年是中国《土地复垦规定》颁布 20 年,保护耕地和生态环境的任务依然十分艰巨,迫切需要总结中国矿区土地复垦与生态重建理论、技术、实践和管理等方面的经验教训,借鉴国外的有关经验,凝练中国矿区土地复垦与生态重建的关键科学技术问题,探讨土地复垦未来科学发展的道路和“十二五”科技发展战略。本文结合本次沙龙研讨的内容,就中国矿区土地复垦与生态重建的态势、研究进展、困境、国外经验及实践案例等问题进行梳理、评述,以期有关决策提供咨询依据。

本次沙龙上,20 余位专家做了主题报告,本文报道部分

收稿日期:2009-08-15

作者简介:吴晓丽,博士,研究方向为科技期刊出版,电子信箱:wuxiaoli@cast.org.cn



学者的主要观点。

1 矿区土地复垦与生态重建的态势

中国工程院院士、中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室教授彭苏萍在“中国煤炭资源开发利用现状及可持续发展战略”的报告中指出,中国是一个矿产资源丰富的国家,截至2003年初,全国已发现矿产171种,查明资源储量的矿产共158种,矿产地2万余处,中国已成为世界重要矿产资源大国和矿业大国。在全国已探明的化石能源资源储量中,煤炭、石油和天然气所占比重分别为94%、5.4%和0.6%,这种“富煤、少气、贫油”的能源资源结构,决定了中国能源发展必须以煤炭为主。中国煤矿开发过程中遗弃很多煤矸石和固体废弃物,堆积固体废弃物失稳导致了诸多灾难事故,对土地与生态环境产生负面影响。中东部平原区人口稠密、土地资源稀缺,大多数煤矿在平原地区开采引起地表沉降、积水,迫使村庄搬迁,从而加剧了人地矛盾。西南部分地区煤质差,很多煤中含硫量高,一些煤矿中含有砷、氟、放射性等有毒有害元素,污染较重。北方中西部地区生态环境恶化,水资源紧缺,生态环境退化,荒漠化问题进一步加剧^[1]。

胡振琪教授在“中国矿区土地复垦与生态重建的回顾与展望”报告中指出,近年来,矿产资源开采在为国家贡献大量能源的同时,也造成了严重的生态环境和社会问题^[2]。比如,矿产资源开采导致严重大气污染、水污染和土地污染。大气污染源主要来自煤、煤矸石、尾矿、自然粉尘、扬尘和一些易挥发气体,其中矸石堆自燃已成为一个重要的大气污染源。

中国科学院沈阳应用生态研究所研究员李培军在“东北老工业基地环境污染机理与生态修复”报告中指出,矿业活动会产生各种废水,煤矿和各种金属、非金属矿的废水以酸性为主,并多含大量重金属及有毒、有害元素。大量废水未经达标处理就任意排放,使地表水、地下水及土壤受到污染。此外,矿产资源开采破坏了大量耕地,导致土壤肥力下降,土壤生态恶化。矿山开采造成的土壤污染以金属矿山危害最为严重,金属矿区和冶炼厂的“三废”排放,使金属废弃物向土地系统转移,并在自然因素的作用下汇集、残留于土壤环境中,通过迁移作用影响作物生产,进而直接对生态安全、食品安全、人体健康、环境质量和公共安全等的造成危害。中国土壤污染状况已开始对土地资源可持续利用与农产品生态安全构成威胁。全国受有机污染物污染的农田达 $3.6 \times 10^7 \text{ hm}^2$,受重金属污染的农业土地约为 $2.5 \times 10^7 \text{ hm}^2$,其中,严重污染土地超过 $7 \times 10^5 \text{ hm}^2$,有 $1.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 土地因镉含量超标而被迫弃耕。全国每年因土壤污染而损失的粮食达 $1.2 \times 10^{10} \text{ kg}$ 。土壤污染不仅导致大气和水体环境污染,还导致农产品品质下降,危害人体健康。因此,必须对土壤污染的预防和污染土壤修复予以高度重视。

目前,中国土壤污染呈现如下特点:①污染面积增加明显,一些地区的土壤污染由局部污染开始呈连续分布污染;②污染物种类增加,复合污染日益突出;③污染物含量呈增

加趋势,且部分污染物来源尚未查清;④城市土壤污染严重;⑤矿区、工业基地土地污染严重,生态环境恶化。在东北老工业基地,高强度矿山资源开发,化工-石油-冶金-制造-煤炭等重化工业密集建设,污染治理滞后,已造成严重的水体污染及水质性缺水、土壤污染、水-土-气混合污染。环境质量恶化已成为制约东北老工业基地振兴的瓶颈问题之一,因此,开展环境污染形成机理及生态修复研究已成为国民经济建设的迫切要求。

2 矿区土地复垦与生态重建的研究进展

胡振琪教授指出,20世纪50年代到70年代中国对矿区土地复垦与生态重建问题处于自发探索阶段;之后陆续颁布了一些关键政策法规。1988年颁发的《土地复垦规定》实行“谁破坏、谁复垦”的原则,由用地单位和个人采取整治措施,使其恢复到可供利用状态;20世纪90年代是试点示范阶段,当时的国家土地管理局进行了许多试点工作,国家环境保护局做了一些矿区生态环境破坏的调查研究,并开始对矿产资源的财产权益。1997年实施的《中华人民共和国矿产资源法实施细则》对矿山开发中的水土保持、土地复垦和环境保护做出了具体规定,要求不能履行水土保持、土地复垦和环境保护责任的采矿人,必须向有关部门缴纳履行上述责任所需的费用。1998年颁布的《土地管理法》规定:“因挖损、塌陷、压占等造成土地破坏,用地单位和个人应当按照国家有关规定负责复垦;没有条件复垦或者复垦不符合要求的,应当缴纳土地复垦费,专项用于土地复垦。复垦的土地应当优先用于农业。”由此产生了国家投资的土地开发整理复垦项目。2006年发布的《关于加强生产建设项目土地复垦管理工作的通知》要求,加强土地复垦前期管理,做好生产建设项目土地复垦方案的编制、评审和报送审查工作。2009年实施的《矿山地质环境保护规定》明确:“采矿权申请人申请办理采矿许可证时,应当编制矿山地质环境保护与治理恢复方案,报有批准权的国土资源行政主管部门批准。”而《全国土地利用总体规划纲要(2006-2020年)》、《全国矿产资源规划(2008-2015年)》等都要求对矿区土地复垦与生态重建提出了明确的要求^[1]。

中国矿业大学国土资源研究所教授卞正富在“关于矿区土地复垦与生态重建基础研究的思考”的报告中强调,近20多年来,中国的土地复垦与生态重建研究在理论和技术两个层面上都取得了很大的进展。理论研究方面,在土地破坏机理、复垦土壤生产力模型、土地复垦界面演替、残余变形预测、矿山区域土地与生态价值评价等方面,取得了丰富的研究成果。如果没有这些理论为指导,复垦工艺、复垦技术、具体的采矿措施就不可能提出来,或者提出来也不一定有依据。在技术上,主要包括两大方面,一是源头控制,一是事后治理。源头控制主要包括采矿-复垦-生态恢复一体化,地下开采矿山排矸与塌陷区复垦一体化,充填采矿控制沉陷与复

垦一体化等。事后治理是指针对开采导致的沉陷土地所采取的复垦技术,主要包括非充填复垦和充填复垦技术。非充填复垦根据积水状况与地貌特征,大致分为疏排法复垦、梯田(或台田)式复垦及平整土地工程技术复垦。充填复垦主要是利用煤矸石充填、粉煤灰充填及其他固体废弃物(如城市垃圾和河泥等)充填,还包括挖深垫浅、深耕改良、微生物改良及复垦土壤重构技术等。

中国地质大学(北京)教授付梅臣在“资源枯竭矿区土地复垦与生态重建技术研究”报告中指出,土地复垦是资源枯竭矿区生态环境恢复的主要途径,尤其对东部地区发展生态农业更具潜力。因为东部地区有些地方地下潜水位比较高,沉陷后,在沉陷深部位存在常年积水或季节性积水,增添了水域生态系统,生态景观异质性增加。复垦时,首先,采用挖深垫浅的工艺流程,可以建立高效基塘生态农业系统,同时根据生态学原理和生态经济学原理,增加生态位,建立良性的物质与能量循环系统,更好地发挥生态系统整体功能。其次,发展湿地公园和郊野公园,这是一个很重要的土地复垦方向。随着中国城市化进程的加速,城市边缘的沉陷地规划为湿地公园或郊野公园,可以为城市提供广阔的生态腹地。这方面的前期准备工作,不仅应考虑如何将水系、绿带等生态用地融入城市发展空间,另外还需做好景观功能的分区和景观类型划分,提前做预复垦或预规划的方案。第三,发展矿山公园。这需要对矿山旅游资源配置进行全面规划、评估,应选择交通便利、基础设施较好的大、中型矿山,或者历史价值、矿山遗迹保护好的的矿山规划矿山公园。一般说来,这些大、中型矿山的采矿设备、采矿场景以及地质景观等都具有教育意义和科普价值。此外,还应加强矿山旅游产品的定位与开发及矿山旅游资源的保护与监测。针对露天开采矿山和井工开采矿山类型的不同,矿山公园的定位与开发也不尽相同^[3]。

付梅臣教授认为,资源枯竭矿区土地复垦与生态重建技术是一项综合应用技术。从类型来说,主要包括农田复垦技术,河流水系修复技术,湿地修复技术,水体修复技术,村落恢复技术,山体恢复技术及林地重建技术等。农田复垦技术要解决内部组织协调(田块、廊道)和外部组织协调(农田防护林、道路、沟渠)问题。河流水系的修复不仅要做好水系疏通与河道修复,还需做好地表植被保护与建设,这样才能使整个水系长期保存下去。同时还要做好矿山水处理与利用,特别是在一些缺水的地方,要注意把矿井水综合利用起来。湿地修复技术可以与湿地公园和其他水质修复结合,在修复过程中,离城市比较近的地方一定要处理好积水区的主体处理与造景之间的关系,不能为了今后建公园再造假山,应提前做好规划。另外,要处理好地表植被恢复与造景、道路系统改造与景观连通,以及采矿遗迹保护与改造的关系。可以采用水体修复技术在积水区建立生化塘,并通过配置动植物以净化沉陷积水水体。对于位于塌陷区的村落,可采用村落恢复技术,在迁村并点时注意保护、规划村落,发展中心村,节

约用地,维护乡村特色。矿山尤其是露天矿采矿时常常会破坏山体,可采用山体恢复技术对山脊生态廊道进行修复,保持山脊线的自然连续性,并尽可能留出更宽的视线通廊。此外,还要恢复并重建山体的自然生态植被。在矿区的矸石山、积水区边缘、鱼塘堤坝、河流与道路两侧,可采用林地重建技术合理布局林地,科学规划树木的种植,以乡土树种为主,同时注意煤矸石山抗旱栽植问题^[3]。

胡振琪教授进一步指出,一般矿区土地复垦技术按矿产类型分采煤沉陷(塌陷)地复垦技术、露天矿复垦技术、煤矸石山绿化技术、尾矿库复垦技术,以及配套技术如:土地复垦信息系统、土地复垦管理技术、在土地复垦中用于监测、评价的3S技术等^[1]。

3 矿区土地复垦与生态重建面临的困境

土地复垦与生态重建是一个交叉学科,涉及土地、环境、矿业、农业等多个学科,目前矿区土地复垦与生态重建面临诸多挑战。胡振琪教授指出,该领域的名词概念多、不统一;管理存在交叉重叠现象,缺少协调的机制和机构。例如,在矿山开采生态补偿方面,本来补偿的目的是将矿山生态环境恢复治理到或超过原生态环境生产能力,而不是单纯地对造成环境污染者收费或对损失价值予以经济补偿,政府管理有关职能部门职责交叉、分工不明确,导致了管理者对采矿企业生态补偿行为的监管和激励机制不完善等问题。目前,中国的矿区究竟破坏了多少土地,有多少土地需要复垦,全国到底有多少矸石山,这些问题尽管有统计数据,但数据的真实性存在很大质疑,需要利用先进技术进行监测、诊断、预测、预警。当前,中国的土地复垦与生态重建技术尚缺乏革新,矿-粮复合的采煤塌陷与粮食生产矛盾巨大,距二者兼得尚有很大差距,煤矸石山的污染治理也存在技术误区^[1]。

沈阳农业大学教授魏忠义认为,对土地复垦与生态重建的学科定位,目前最紧迫的是归纳出土地复垦理论体系,作为一个核心理论指导。现在许多问题都是由于没有理论指导而产生的,谈理论倒不一定非得归属哪个学科。

中国地质大学(北京)教授白中科在“生态脆弱矿区生态恢复重建的方法与关键技术”报告中指出,应淡化矿区土地复垦的学科问题,强化矿区土地复垦的科学问题。集成不同学科的复垦与重建技术,从源头控制矿区污染,将有利于中国不同类型矿区土地复垦问题的诊断,以及矿区复垦土地生产功能、环境功能和生态功能恢复对策的正确选择。

美国南伊利诺斯大学、国家土地复垦研究中心中西部中心主任 Chugh 教授也认为,土地复垦涉及的领域非常广,如果把它放入单独某一个学科,会有一些风险。比如现在培养研究生,可以从农业科学、土地科学、环境科学等多学科招收学生,进行跨学科的教育和培养。

李培军研究员认为,土地复垦在学科上的确没有必要过多争论,但还是要尽可能明确一个学科定位,否则申请国家项目、申报奖励都将没有归口。他同时认为,更重要地是搞清

楚土地复垦与生态重建的内涵。例如,辽中地区整个生态环境状况一般,矿山开发使一座座矿山变成了生态退化的板块,复垦并不是简单地使它恢复原貌,而是把一个个生态退化的板块变成具有生态服务功能、辐射能力强的生态岛。现在复垦的内涵很深、很广,要做一些新的思考。现阶段把土地复垦与生态重建并列起来是一个很好的提法,在并列的前提下可以对它们的内涵做一些扩展、深化和丰富。

4 国外矿区土地复垦与生态重建的经验借鉴

美国、澳大利亚、加拿大等国的土地复垦率均达到 50% 以上,取得了令世人瞩目的成就,得益于这些国家建立的比较完善的土地复垦制度。

根据美国有关土地复垦法规,凡有毁损土地的商业行为的行业、部门,都有复垦的义务,这有些类似于中国的“谁破坏,谁复垦”政策。美国的土地复垦起源于民众对露天采矿所引起的生态和人居环境破坏的关注。露天采矿业发展初期,由于规模和范围比较小,公共环境保护意识相对薄弱,矿区发展对周围环境带来了较大的负面影响。随着露天采矿业发展,采矿业对土地和生态环境的破坏日益加剧,露天采矿业土地管理与复垦问题成为环境保护的焦点之一,美国一些州的民众和民间团体开始关注露天采矿的土地和生态环境问题,强烈呼吁制止露天开采,要求恢复破坏了的土地和生态环境。这由此迫使一些州政府和立法机构不得不考虑制定相关的政策和法律,以限制矿业主采矿对公共环境的破坏行为,促使矿业主恢复对业已破坏的土地生态和环境。1939 年,西弗吉尼亚州首先颁布了第一个管理采矿的法律——《复垦法》(Land Reclaim Law)。1975 年止,美国已有 38 个州制定了有关土地复垦法规,其余州则制定了土地复垦管理条例;1977 年 8 月 3 日颁布了第一部全国性土地复垦法规——《露天采矿管理与土地复垦法》(下称《复垦法》),以法律规定为依据确保履行土地复垦义务。这些法律或管理条例的颁布和实施,对土地复垦起到了极大地促进作用,采矿破坏的土地得到控制,采矿区的土地生态环境得到较大的改善。

《复垦法》从法律上规定,矿业主开采土地所造成的破坏,必须恢复到原来状态,不得对公共环境造成危害。为此,美国联邦法律规定,经批准的采矿区,开采前必须有包括地质、地形、土壤状况、植被种类密度、野生动物种类密度、地下地上水等一系列详尽的调查记载。同时要求边开采边复垦,采矿结束后经过几年复垦整治,已经恢复到开矿前状况,即向相关部门申请验收。每 5 年为一个检验期,未通过检验的需再恢复 5 年才可进行第二次验收。从总体上,美国已经建立了一整套土地复垦机制。美国的复垦标准和要求也相当苛刻。针对露天采矿,包括从环境保护、自然景观恢复到消除对土地生态和周边环境的污染,土地复垦标准涉及矿山废弃物处理、采矿土地恢复诸多方面的内容。

Chugh 教授在“美国采矿与土地复垦”报告中指出,美国

实行采矿许可证制度,包括露天采矿许可证、地下采矿许可证。未持有州管理机构或者内政部颁发的许可证,任何单位或个人均不得进行新的露天采矿作业或重新打开、开发已废弃的矿井或矿区。重要的是在申请许可证时,开采者必须针对采矿和复垦对矿区及流经矿区的水可能产生的影响予以评估,并提供采矿后的复垦计划。通过实施这种许可证制度,有效地保护环境,如空气、土壤、水、植被、动物等。

许可证签发之前,申请者必须收集大量采矿和复垦的环境、资源信息数据,陈述是否有必要进行这样的采矿行为,包括如何进行采矿,如何进行复垦;将采取何种措施,使采矿行为对当地水资源的影响最小;所实施的相关措施是否有利于保护环境;如何保证采矿行为及之后的复垦行为能够有利于恢复环境,例如如何设计所要建设的设施,地质勘察结果,稳定性分析,沉降计划,等等。一旦实施采矿行为,对于环境的影响如何,有哪些潜在的水文影响,破坏程度如何,是否采用了相关的监测措施;可能产生哪些污染,例如对水质、当地社区的污染影响;针对废水和沉淀物所制定的控制规划,应包括今后一旦发生洪水等灾害,应该采取何种措施,是如何设计的。经由有关部门论证并确定此采矿行为能否保护环境、保护濒危的物种,有助于保护鱼类和野生生物,最终委员会投票表决是否颁发采矿许可证。在美国,重点强调的是煤实际上是不可再生的资源,而土地是永久性资源。采矿只是一个短期行为、临时性行为,因此需要确保在采矿行为结束之后,通过这样一个许可证,采矿企业与当地政府形成一种合同,最大程度地保护当地环境及水资源,使这片土地重新恢复到原来的状况。

采矿业对矿区环境和景观生态环境的破坏是不可否认的,但这并不意味着是对生态的永久性破坏。德国的矿区景观生态重建的成功经验证明,通过合理的整治和复垦规划,这种损害是可以恢复的。

德国最早的土地复垦记录出现于 1776 年,当时的土地租赁合同明确写明采矿者有义务对采矿区域进行治理并植树造林。系统地对土地进行复垦始于 20 世纪 20 年代^[5]。德国的土地复垦可分为四个阶段:第一阶段(20 世纪 20 年代到 40 年代中期)的土地复垦主要是试验性地植树、造林。第二阶段始于 1946 年。战后的德国百业待兴,对煤炭的需求量急剧加大,对土地的占有量也随之加大,政府发现对环境的重建不容忽视,并首次将“在矿山企业开采过程中和完成后,应保护和整理地表,重建生态环境”写入法律。第三阶段自 20 世纪 60 年代初至 80 年代末。60 年代前西德对林业复垦的状况进行了改进。一是把早期种植的杨树砍掉,取而代之的是橡树、山毛榉、枫树等。二是随煤炭开采力度的加大和矿场的迁移,土地复垦不再是植树造林,而是兼顾多种用途。而前东德在 20 世纪 60 年代主要是林业复垦,70 年代开始重视农业复垦,80 年代则因对煤炭的开采力度不断加大,所造成的土地和环境损害随之加重,但由于资金短缺无力进行土地复垦。东西

德合并后,土地复垦进入第四阶段。由于生态意识增强,政府逐渐重视重构生态系统。目标从以林、农业复垦为主,转向建立休闲用地、重构生物循环体和保护物种,即所谓的混合型土地复垦模式:农林用地、水域及许多微生态循环体协调、统一地设立在一起,从而为人和动、植物提供较大的生存空间。成功的例子是汉巴赫矿区外排土场的复垦,如今,该外排土场已被重建成为一个别具特色的风景区。

德国的生态重建,在发展过程中形成了比较完善的可操作体系,它所遵循的原则是:将现存的和潜在的威胁到人类和生态的危险彻底根除掉。根据德国矿产资源法,矿区景观生态重建和对矿产的勘探、开发和开采均属采矿活动的组成部分。土地复垦不仅是将损坏和压占的土地恢复到可利用状态,而且要重建良好的矿区环境,使新的景观在许多方面相似甚至优于开采前的状况。景观生态重建是一个连续不断的过程,从对矿产的勘探和开采,直到优良而健康的环境在该区域内重新生成为止,使土地被赋予符合可持续发展要求的新用途。德国景观生态重建目标可归纳为:① 根据规划进行有序治理;通过恢复、重建富于变化和多用途的新景观消除采矿造成的不良后果;② 通过复垦,重建一个稳定的自然生态系统;③ 在满足社会和生态的要求下,使开采占用的土地与复垦的土地达到动态平衡。德国 Freberg 科技大学 Drebenstedt 教授在“德国土地复垦”报告中,展示了他们卓有成效的矿区生态重建。

在澳大利亚,采矿被认为是一种暂时性土地利用方式,而土地复垦就是要将干扰过的土地恢复稳定和具有生产能力,且适合社区或社区能够接受的状态。澳大利亚的土地复垦一般要经历初期规划、审批通过、清理植被、土壤转移、存放和替代、生物链重组、养护恢复、检查验收等阶段。同时,澳大利亚还执行复垦保证金制度,这使得该国的土地复垦卓有成效。例如,新南威尔士州 Bridge Hill Ridge 曾经的砂矿区,经过复垦后与周围环境融为一体,现已归入 Myall Lakes 国家公园。

许多其他国家也都有各自比较完善的复垦制度,如巴西的“退化土地复垦计划”、西班牙的“采矿破坏区复垦计划”、加拿大安大略省的“闭坑计划”等。这些制度在有关的法律、法规中都有明确的说明,有的甚至制定了专门的法律保障其得以贯彻执行。

5 矿区土地复垦与生态重建的实践案例

中国的东北老工业基地包括辽宁、吉林、黑龙江、内蒙东部等地,是全国最大的老工业基地、最大的商品粮基地,原油产量占全国 46%,石油加工占全国 26%,钢铁产量占全国 14%,有色金属占全国 11%,商品粮占全国 1/3。20 世纪 50 年代以来,东北老工业基地在为中国经济发展做出巨大贡献的同时,也面临着严重的环境问题。

李培军研究员结合霍林河煤矿和辽宁省菱镁矿山生态

环境恢复与土地复垦的研究与实践工作,认为目前减缓退化问题的主要手段依然是复垦和重建,但对一些化学污染较为明显的地区,应将修复、复垦、重建结合起来。如果不考虑对有毒有害污染物的修复,即使重建生态系统,风险也很大,可利用的方式和途径也会受到严重限制。而且,污染胁迫在一定程度上会影响生态系统的稳定性,土地恢复、生态重建应尽可能与污染物减量化和生态利用相结合,使其资源化。一个相对稳定的生态系统,对当地社会效益、经济效益、环境效益都将做出重要贡献。

霍林河煤矿位于内蒙古自治区通辽市西北部,是中国五大露天煤矿之一。矿区地质地貌为山地丘陵、堆积台地、冲积平原,属中温带温凉地区半干旱大陆性气候,年平均气温 0.1°C ,年平均降雨量 383.39 mm,蒸发量 1 544.2 mm。霍林河煤田产褐煤,探明储量为 130.14 亿 t,煤矿开采规模为 3.0×10^7 t/年。随着霍林河煤矿的发展,1985 年 11 月,国务院批准建立霍林郭勒市。霍林河矿区开采、霍林郭勒市发展引发的环境污染对霍林河造成了严重威胁。矿区工业废水 $3\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$,生活污水 $6\ 000\sim 8\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$,总量约 $10\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ 。经研究,利用城市污水土地处理工程、污水慢速渗滤土地处理工程、排土场复垦示范工程,生活污水经过一级处理后,加氯消毒,建成 $400\ \text{万}\ \text{m}^3$ 容积的污水库,在灌溉季节将污水库的水提出来,一部分自流,一部分提灌。大部分污水通过布水系统灌溉人工林地,灌溉林地 $666.7\ \text{hm}^2$ 以上,慢渗区杨树、樟子松、落叶松林的生长量比对照要高出 30% 以上,有效地解决了水环境污染问题。霍林河煤矿采用单斗挖掘机采装、自卸汽车运输开采工艺,沿煤层倾向方向全长拉沟运输,用推土机推平倾向拉沟。建矿初期,剥离物完全外排,1992 年开始内排。现有矿山外排土场 4 个,占地 $17.3\ \text{km}^2$,总排土量 $6.0\times 10^8\ \text{m}^3$ 。在排土场复垦研究中,通过苗木筛选、菌根及保水剂等试验,发现最有效的途径是尽可能使用当地土著品种和适生品种,就近筛选一些适应性较强的品种。“八五”、“九五”期间,通过在霍林河露天矿排土场建立面积达 $40\ \text{hm}^2$ 的示范区,探索出适宜于半干旱地区排土场平台、边坡与坡下治理的综合技术体系,目前复垦面积已超过 $100\ \text{hm}^2$ 。

菱镁矿是中国的优势资源之一,其储量、产量与出口量均居世界首位。辽宁是中国菱镁矿储量最集中的地区,海城、大石桥等地菱镁矿储量占全国总储量的 85%,占世界总储量的 20%。这些地区菱镁矿开发利用历史悠久,开采强度高、规模大,生态环境影响严重。李培军课题组以辽宁省菱镁矿资源集中地区为研究目标,旨在研究探明矿山环境破坏与污染的范围、程度及其危害,建立矿区生态恢复适宜性评价指标体系;探索板结层形成机理,为缓解矿区土地退化和控制板结层形成提供理论依据;筛选出适宜于菱镁矿山废弃地植被恢复的种类,开发推广相关技术,实现植被的快速恢复;研究菱镁应用生态工程方法修复矿区及其周边地区的污染土壤与废弃土地,提供菱镁矿区不同土地类型复垦技术与示范

工程。他们在具体研究中,根据地形地貌因子(地面坡度、覆土厚度、土层物质组成、板结层厚度、灌溉条件)、土壤物理性质(容重、分散系数、初始入渗速度、孔隙度)、土壤化学性质(酸碱度、镁含量、水溶性钙镁比、氮磷钾含量)、生物因子(酶活性、微生物总量、呼吸强度)等指标,建立菱镁矿区土壤修复与植被快速建设评价指标体系,采用逻辑信息分类法对上述指标进行标准化处理和量化分级,判定影响菱镁矿区土壤修复与植被快速的主要限制性因子。课题组调查的区域为海城、大石桥多家镁矿石开采加工企业及其周边地区。调查点 pH 值范围在 8.76~9.34。受镁粉尘污染较轻地区的 pH 值在 8.7~8.9,而矿石运输沿途、矿石冶炼厂以及排土场等地受污染较重,pH 值均超过 9.1,最高可达 9.34,表明镁尘污染严重地区的土壤已严重碱化。镁在土壤中以 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 MgCl_2 、 MgSO_4 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 的可溶态和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 MgO 的不可溶态存在,各形态间可相互转化。可溶态镁进入土壤胶体中进行离子交换,可改变土壤交换性能和盐基饱和度,过量的镁可能以 MgCO_3 状态在土壤表面结层形成硬壳,改变土壤理化性能,破坏土壤团粒结构,使土壤 pH 值升高——pH 值达 8~10 时,土壤将发生次生盐渍化。距菱镁矿开采、冶炼排放源 300 m 以内范围为镁粉尘排放源的重污染地段;300~1 200 m 范围为中污染地段;1 200 m 以外范围为轻污染地段。

板结层形成趋势分析表明,粉尘不断沉降造成板结层变厚,主要体现在中层硫氧镁盐拦截向下迁移的物质、碳酸镁大量积累,而受蒸发和板结层密封作用影响,底层碱式碳酸镁不断增加。板结层修复对策包括:① 生物方法:增加植被覆盖度、苗床抚育。该方法具有生态补偿功能,能够阻挡粉尘进入土壤,控制板结层形成;② 物理方法:机械式破除、减少耕作。这种方法简单直接但费时费力;③ 化学方法:通过施撒磷石膏、有机土壤添加剂、PAM(聚丙烯酰胺)延缓板结层形成,为生物修复提供保障。但是,这种方法会产生二次污染且成本高。

为比较改良剂对板结层结构以及渗透性能的影响,李培军课题组选取 CaSO_4 、PAM、 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 作为改良剂,采用轻烧 MgO 粉末均匀撒在土壤表面,投加改良剂,比较渗透速度和板结层结构变化。研究表明, MgO 粉尘形成板结层后明显降低土壤渗透速度;添加 CaSO_4 土壤渗透速度降低,但随着干湿交替次数上升,渗透速度降低;添加 CaSO_4 +PAM 后改良效果优于 CaSO_4 ; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 使得土壤渗透速度随干湿交替次数上升而增加,具有潜在的改良效果;增加 PAM 后尽管初始渗透上升,但渗透速度随干湿交替次数上升而降低;仅施加 PAM 时,虽然第一次渗透时最终渗透速度非常低,但随着干湿交替次数上升,达到最理想的改良作用;实验说明,PAM 对板结层土壤渗透改良效果最优。土壤修复须采用糠醛渣、磷石膏等改良镁污染土壤的性质,平地整坡以解决平压问题,以土著植物为先锋物种改善适种环境。

6 结语

1) 中国科协长期致力于倡导学术争鸣的风气,《科技导

报》也在努力搭建学术交流的平台,希望通过学术研讨、学术争鸣,激发新思想、新观点、新理论。在 2008 年 7 月 9 日成功举办首期学术沙龙“汶川震区生态影响评价及灾后生态重建与修复”^[5]的基础上,《科技导报》第 2 期学术沙龙“矿区土地复垦与生态重建——机遇与挑战”再次关注中国的生态环境问题,并期望就此问题予以更加深入的研讨。

2) 中国矿产资源丰富,在为国家贡献大量能源的同时,也对耕地和生态环境造成了严重破坏,这使中国矿区土地复垦与生态重建面临巨大的机遇和挑战。在借鉴国外成功经验的基础上,中国土地复垦与生态重建研究经过 20 年的发展,无论是从政策法规,还是理论研究、技术和实践应用方面都取得了很大进展,但是,鉴于土地复垦与生态重建属于多学科研究领域,综合相关学科优势进行联合攻关,对于该学科理论体系的完整构建和实际生产的有效应用,继而促进该学科的进一步提升,有着重要的意义和紧迫的现实价值。

参考文献 (References)

- [1] 彭苏萍. 中国煤炭资源开发与环境保护[J]. 科技导报, 2009, 27(17): 1.
Peng Suping. *Science & Technology Review*, 2009, 27(17): 1.
- [2] 胡振琪. 中国土地复垦与生态重建二十年: 回顾与展望 [J]. 科技导报, 2009, 27(17): 19-23.
Hu Zhenqi. *Science & Technology Review*, 2009, 27(17): 19-23.
- [3] 付梅臣, 吴淦国, 周伟. 矿山关闭及其生态环境恢复分析[J]. 中国矿业, 2005, 14(4): 32-37.
Fu Meichen, Wu Ganguo, Zhou Wei. *China Mining Magazine*, 2005, 14(4): 28-31.
- [4] Lange S, Stormer A. Der Betriebsplan-Instrumentarium für die wiedereinsatzbarmachung [M]/Pflug W. Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Berlin: Springer, 1998: 68-77.
- [5] 陈广仁, 苏青, 吴晓丽, 等. 加强震后生态评价, 促进灾区生态修复[J]. 科技导报, 2008, 26(15): 19-26.
Chen Guangren, Su Qing, Wu Xiaoli, et al. *Science & Technology Review*, 2008, 26(15): 19-26.

(责任编辑 王芷)

《科技导报》“研究论文”栏目征稿

《科技导报》以发表国内外科学技术各学科专业原创性学术论文为主,同时刊登阶段性最新科研成果报告,以及国内外重大科技新闻,快速、全方位、高密度、大容量提供科技信息。“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。本栏目欢迎广大一线科技工作者投稿。投稿网址: www.kjdb.org; 投稿邮箱: kjdbbjb@cast.org.cn。