煤矿区生态恢复理论与技术研究进展*

吴历勇

(昆明理工大学环境科学与工程学院, 云南 昆明, 650093)

摘要:煤矿的开采占用和破坏了大量土地,改变了矿区及周围区域水体结构,破坏了动植物区系,导致矿区生态环境退化与环境污染,进而引发了一系列社会、经济与生态环境问题。矿区的生态恢复已经在社会上引起了广泛关注,成为当今较为活跃的研究热点之一。综述了国内外煤矿区生态恢复在理论与技术研究上取得的进展及存在的主要问题。

关键词:煤矿区;生态恢复;理论基础;技术措施

中图分类号:F124.5;TD82 文献标识码:A 文章编号:1001-0076(2012)04-0054-05

Research Progress of Ecological Restoration Theory and Technology in Coal Mine Area

WU LI-yong

(College of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China)

Abstract: Coal mine exploitation occupies and destroys a large number of land. The structure of waters around the mine has changed. The changes also causes huge destruction of flora and fauna, results in eco-environmental degradation and environmental pollution in mining areas, and further triggers a series of social, economic and ecological environment problems. Mine ecological restoration has aroused widespread attention in society and becomes the focus of research. This paper summarized the progress and existing main problems in ecological restoration of domestic and international coal mine area in the theory and technology.

Key words: coal mine area; ecological restoration; theoretical foundation; technical measures

原煤的采掘和消费在带来巨大经济效益的同时,也产生了生态破坏和环境污染等一系列问题。矿山大规模和长时间开采通常会侵占、破坏和污染矿区土地资源,并改变区域水热结构,破坏动植物区系,导致矿区生态退化与环境污染,进而引发一系列社会经济与生态环境问题。已成为全球环境与发展面临的重大挑战之一^[1]。

据不完全统计^[2],露天矿每开采1万吨煤要挖损土地约0.1 hm²,外排土场压占土地为挖损土地量的1.5~2.0倍,露天矿正常生产时每采万吨煤排土场平均压占0.16 hm²土地。据此推算,露天开采挖损与压占土地总量在4.5万hm²左右。对环境的影响形

态涵盖了压占大量的土地,改变原有地形地貌,地质结构及其稳定性、周边生态环境、景观过程与功能、当地居民的生产、生活方式等诸多方面。因此,着眼于区域长期经济、社会、生态可持续发展,需根据各煤矿区不同状况,因地制宜地恢复矿区生态环境。这也是实现可持续发展的有效途径之一。

目前,针对煤矿区出现的诸多生态环境问题,矿区的生态恢复与重建已经成为生态学研究及应用的重点。随着矿区生态恢复与重建理论的发展和逐步完善,又结合景观生态学的方法和成果,并将其应用到了更大的范围中。系统地了解矿区生态恢复的内涵及重要性、国内外矿区生态恢复理论的研究进展、

* 收稿日期:2011-11-22;修回日期:2012-02-21

作者简介:吴历勇(1978-),男,辽宁丹东人,助教,硕士研究生,研究方向:环境管理与污染控制。

矿区生态恢复的经济、环境和社会效益及其理论基础和研究现状,可以为矿区生态恢复工作的开展提供了一定的理论依据和先进的技术方法。

1 煤矿区生态恢复的理论基础

矿区生态恢复是通过人为改造和自然演替的共同作用,使矿区各生态要素朝着人类预期方向演化的过程,包括土地要素、植被要素、景观要素等。生态恢复是辅助生态整合性的恢复和管理研究的过程。因此矿区的生态恢复具有明显的多学科性,涉及自然科学(地质学、土壤学、农学、林学、生态学、生物学、环境科学等)、技术科学(生态工程、环境岩土工程、采矿技术、水土保持等)和社会科学(人口学、经济学、社会学等)。在生态恢复的过程中,自然科学为矿区生态恢复提供理论依据;技术科学为矿区生态恢复提供技术支持;社会科学为矿区生态恢复提供参考依据。

矿区生态恢复是以景观生态学、恢复生态学和生态经济学原理为指导,以保护、改善和恢复矿区生态环境、实现煤炭资源开发与环境承载力相协调为重点,以矿区经济建设、社会建设和环境建设为主要对象,把改善矿区生态环境和提高矿区居民的生活质量作为最终目的。需要根据矿区生态破坏程度,通过矿区污染的综合治理、废弃土地复垦造田、煤矸石的资源化利用以及景观格局设计和环境规划等,来恢复矿区自然生态系统的完整性和稳定性,实现矿区资源开发与生态建设的协调发展。它是一项复杂的系统工程,需要将各学科中的前沿科学技术融为一体,从长远的角度进行土地利用和生态环境的规划设计^[3]。

1.1 恢复生态学理论

恢复生态学是生态学的应用性分支,是从生态系统层次考虑和解决问题的,是对社会经济活动导致的各类退化生态系统、废弃地和废弃水域进行生态治理的科学技术基础^[4]。恢复生态学是帮助研究生态整合性的恢复和管理过程的科学。生态整合性包括生物多样性、生态过程及结构、区域及历史情况、可持续的社会实践等范围。根据恢复生态学的定义和生态恢复实践的要求,恢复生态学基础理论的研究成果主要包括:生态演替理论、遥感与地理信息系统相结合的理论、生态恢复效果评价理论等;应用技术领域的研究成果主要包括:退化生态系统恢复与重建的关键技术体系;生态系统结构与功能的优化配置及其调控

技术;物种与生物多样性的恢复与维持技术;生态工程设计与实施技术;环境规划与景观生态规划技术;主要生态系统类型区退化生态系统恢复与重建的优化模式试验示范与推广等。

恢复生态学是生态恢复和生态重建的理论基础^[5],主要研究在自然灾害和人类活动干扰下受到损害的自然生态系统的恢复与重建问题,涉及到自然资源的可持续利用、社会经济的持续发展和生态环境、生物多样性保护等诸多研究领域的内容。根据恢复生态学的基本理论,在矿区生态恢复和重建的过程中,应该重点研究矿区生态系统结构、功能、内在的生态学过程与相互作用机制、生态恢复的关键技术体系和生态系统的稳定性、多样性、生产力、恢复力和可持续性等问题^[6]。

1.2 景观生态学理论

景观生态学是一门新兴的交叉学科,起源于20世纪30年代,70年代以后才得到迅速发展,现已广泛应用于自然资源的开发与利用、生态系统管理、自然保护区的规划与管理、生物多样性保护、城乡土地利用规划设计、城市景观建筑规划设计、生态系统恢复与重建等领域。

景观生态学以整个景观为研究对象,强调空间异质性的维持、发展与生态系统之间的相互作用,研究内容主要包括三个方面:景观结构、景观功能和景观动态变化;核心内容是空间格局、生态学过程与尺度之间的相互作用^[7]。景观生态学的重要理论有生态平衡及其调控理论、岛屿生物地理学、复合种群理论、景观连接度和渗透理论、等级理论和景观复杂性^[7-9]等。生态平衡及其调控理论,能使矿区生态恢复不断地打破旧的生态平衡,创建新的最佳的平衡,形成可持续的、最大生产力和最佳生态经济效果;复合种群理论能为主导产业基地建设设计规模化的用地区,提供生态环境保护用地,并从空间上进行科学规划和设计,便于各种复合种群的发育、成长,促进土地的生物多样性保护,为矿区土地系统的物种良性循环和煤矿区生态环境的可持续发展提供有力保障^[10]。

景观生态学认为,景观的结构与功能是相匹配的。景观元素由3种类型构成:缀块、廊道和基质。其中基质是景观中的背景地域,是一种重要的景观元素类型,在很大程度上对景观的性质及其动态起决定和主导作用。基质的判定一般有3个标准,即相对面

积要大,连通程度要高,具有动态控制功能。景观生态学对生态环境的评价是通过两个方面进行的:一是空间结构分析,二是功能与稳定性分析。

景观格局空间结构分析是分析在自然环境、各种生物以及人类社会的相互作用下对景观的干扰,带有强烈的人为因素。其判断的依据是结构与功能相匹配的程度和合理性,这也是判断景观功能状况优劣的依据。矿区环境在采矿的干扰下,矿区景观结构发生了强烈的变化:采矿区原生植被的破坏;土壤理化性质的改变;原本适合动植物、微生物生存繁衍的土壤环境的恶化;原本有利于景观连通性的各种廊道被截断;形成新格局下的障碍^[10];景观结构异质化,形成各种斑块,各斑块间的空间隔离度增大,连接度减小,形成了破碎化景观等。此外,诸如采区、排土场、矸石山等景观类型以及道路、水渠、积水坑等景观要素,使原本均质的景观变得破碎化,整个矿区的景观形成了由斑块、廊道和基质组成的典型的镶嵌格局^[9]。

景观功能的发挥需要相对面积较大、连通程度好的绿地景观,稳定的景观类型则是由生物量较高、生命周期较长的高亚稳定性类型的物种(如乔木、灌草丛等)组成,该类型表现的是抗稳定性,即对主要来自外部的随机干扰作用具有恢复和阻抗能力。

景观生态学注重对景观资源的管理及景观的生态设计,提出的理论、原理及研究方法对环境规划设计有着重要的指导意义。景观生态学所提出的从景观空间结构分析、景观生态功能研究、景观动态变化分析到景观控制和管理的一整套方法是景观设计的强大工具^[10],因此,运用景观生态学理论进行矿区的生态恢复能在景观设计的整体性和协调一致性上给予宏观指导。

2 国内外矿山生态恢复研究概况

2.1 矿区生态恢复研究进展

早在20世纪20年代初,国外就加强了对矿区废弃地,尤其是煤矿废弃地的恢复工作。20世纪70年代以后,生态恢复逐渐形成了一门多学科、多行业、多部门联合协作的系统工作,许多企业自觉把土地复垦纳入采矿设计、施工和生产过程中^[11~12]。

英美德法澳等发达国家都制定了专门的露天煤矿复垦法规和建立复垦基金^[13],规定在采煤后必须及时复垦。如英国的巴特威尔露天矿采用内排土方

式,边开采边回填,最后回土造田,待达到当地的种植标准后交给煤管局的农业部门出售。英国还规划将井下煤矸石用于露天矿采区中复垦,通过规划设计,将露天矿采场复垦和减少煤矸石的堆放有机结合起来,使矿区的地形地貌形成稳定、和谐的景观格局。

德国也是世界上一个重要的采煤国家,且以露天开采为主。德国政府对煤矿废弃地的生态恢复十分重视,早在上世纪20年代就开始对露天煤矿矿区废弃地进行复垦^[14],不仅制定了相应的法规,还重视先进技术的应用。如:莱茵矿区在开采之初就做到了剥离表土另存,以备复垦之用,同时充分发挥煤矸石和粉煤灰等废弃物的作用,用于充填,变废为宝。由于法制机构健全、执法严格、资金渠道稳定、重视发挥先进科技在矿区生态恢复中的作用等优势,德国矿区的生态恢复工作取得了很大成绩,至1996年,全国的煤矿恢复率已达53.5%。

美国1977年颁布的复垦法令明确规定:煤炭开采破坏的土地必须恢复到开采前的状态。此外,国家还根据不同矿区的污染和破坏程度进行了不同法令的制定。同时,在科研学术方面也非常活跃,在矸石山植树造林、在排土场培育人工林和利用电厂粉煤灰改良土壤等方面做了很多工作,积累了丰富的经验^[15]。由于法令的强制作用和科研工作的配套协作,美国矿区环境保护和生态恢复成绩显著。

澳大利亚把矿业作为主要产业,它把土地复垦和矿产采掘等产业一样作为一种行业,非常注重矿山开采后的生态恢复。在澳大利亚,复垦已成为开采工艺的一部分,新开采的矿山除采掘部分以外其它被扰动过的土地已经或正在被绿色所覆盖,对于过去开采遗留下来的已封闭矿山复垦工作则是由政府出资^[16]。此外,高科技的指导和支持是澳大利亚矿山生态恢复的显著特点之一。采用卫星遥感技术提供复垦设计中的基础参数来选择各场地的适宜位置,借助计算机辅助设计,优化选择待复垦矿区的地形地貌,以实现工程量的优化和最适宜经济投入—产出选择,获得效用—效率优化方案。不仅使澳大利亚在矿山的生态恢复工作中节约了大量资金,而且使得矿山恢复了绿色,空气质量大为改善,生态环境得以明显改观。

法国在露天煤矿取的生态复垦中也有很多可以借鉴的成功经验。比如,曾经成功地利用外排土场平整绿化后建设跑狗场、赛马场和高尔夫球场等休闲场所,从而使因矿山开采而占用的土地得到再利用,增

大了矿区的绿化面积和土地的使用面积。其中 La Martinie 露天煤矿排土场复垦示范工程所开创的“脚坝”技术^[17],对于露天矿外排土场的生态恢复具有广泛的指导意义。

总体上看,美、日、英、德、澳大利亚等发达国家在矿区生态恢复与重建方面有着某些共同特点^[18]:(1)有健全的复垦法律法规;(2)有专门的土地复垦管理机构和复垦基金;(3)将复垦纳入采矿许可证制度中;(4)建立复垦保证金制度;(5)执行严格的土地复垦标准;(6)重视土地复垦的研究和多学科专家的参与合作;(7)有土地复垦的学术团体和研究机构,学术活动十分丰富。在此基础上,已经形成比较完善的生态修复程序与技术体系,在法律、法规与相关经济政策的推动下,生态修复工作迅速开展。尤其是近十几年,国际上该领域的研究更是异常活跃,取得的主要研究成果包括:矿山开采对土地生态环境的影响机制与生态环境恢复研究;遥感(RS)与地理信息系统(GIS)在土地复垦中的应用^[18-19];无覆土的生物复垦及抗侵蚀复垦工艺;矿山复垦与矿区水资源及其它环境因素的综合考虑矿山生产的生态保护^[20]。

2.2 国内矿区生态恢复研究进展

国内矿区生态恢复的研究虽然起步比较晚,但发展较快。我国矿山废弃地的生态恢复工作开始于20世纪50~60年代,是随着社会经济的发展和环境保护的需要自发开展起来的。20世纪80年代以来,我国矿山废弃地的生态恢复工作取得了较大进展,但在整个1980年代基本还是处于零星、分散、小规模、低水平的状态,缺少可行性分析和科学规划,成效不大;直到1988年《土地复垦规定》出台后,该项工作才步入了法制管理轨道。

近20年来,矿区生态恢复研究突飞猛进,不论在生态恢复的理论研究、规划与设计方面,还是在工程和生物措施方面都取得了较大的成效。矿区生态恢复已经从宏观和微观两个方面基本形成了理论体系框架。宏观上,复垦决策理论对复垦决策的特点、内容、目标、准则等有较为明确的认识,对建立复垦决策量化模型、决策语言模型、复垦方案优选、用地结构优化模型及复垦方案的综合评价指标体系等有较大的指导意义^[21]。微观上,一直针对煤炭开采对耕地的破坏机理和土壤的剖面重构原理进行研究,提出了“分层剥离,交错回填”的土壤剖面重构原理和评价复

垦土地生产力的量化模型^[22]。此外,还对人类活动加速土壤侵蚀控制问题进行了研究,并对矿区土地复垦界面要素的演替规律及其调控技术进行了研究,并把应用系统工程理论和生态工程理论^[23]引入到煤矿区土地复垦的实践中。

李晋川等对开采沉陷耕地破坏的机制及生态恢复提出了一些新的观点^[6]:初步探明了耕地沉陷和生产力的下降机理;阐述了沉陷地对耕地景观的破坏特征、规律及其它地表沉陷与变形的相关关系;提出了沉陷地资源合理利用对策、经济评价方法、生态恢复的成本效益分析、土壤改良的工程和生物技术及矸石快速熟化技术等。胡振琪等对平朔地区露天矿生态恢复理论与技术进行了深入研究^[24],主要包括地貌重塑、土壤重构和植被恢复等技术手段,其主要特色是采用经济合理、技术可行的操作工艺,进行土壤熟化、培肥;采用“乔、灌、草”结合的种植方式,合理配置植被的重建模式;实施“采掘—排弃—造地—复垦”一体化基础工程;利用黄土对局部重金属相对富集和酸度较大的岩石层进行压埋,采用堆状地面排土工艺,减缓排土场的非均匀沉降和地表过度压实^[25]。

经过几十年探索研究,我国采用的复垦方法已经从简单的“一挖二平三改造”发展到疏排降非充填复垦、煤矸石和粉煤灰等充填复垦、基塘复垦、生态工程复垦和生物复垦等多种形式、多种途径相结合的复垦技术体系。复垦规划和生物改良技术研究最多,较为成熟的有煤矸石充填压实技术和泥浆泵复垦技术。对复垦土地进行规划是土地复垦的关键,属于重要专项规划。矿区复垦规划因为复垦对象的特殊性和异质性而成为难点和重点。为此,引入了模糊综合评判、灰色聚类分析等数学量化分析方法^[26]来辅助复垦规划。根据采矿规划,预测开采后的土地破坏形态、地貌变化规律和景观格局也是土地复垦总体规划的关键技术之一。生态恢复的主要技术支撑是开采沉陷理论和环境系统工程理论,而复垦规划的核心内容则是复垦土地利用方向决策、复垦用地结构优化和复垦工程和生物措施选择。

3 存在的主要问题

目前,矿区生态恢复主要面临5个生态问题:(1)解决表土层被破坏土壤中毒性物质含量过高、植物生长水分和营养物质缺乏^[27]的问题;(2)减少重金属含量过高^[28]、pH值太低或土壤盐碱化^[29]等限制植物生

长的因素影响;(3)改变必要的如有效磷、钾、氮和有机质缺乏的状况^[30]; (4)不仅要改善恶劣的土壤条件,还要关注生物种类的减少和丧失给矿区废弃地恢复带来的更为不利的影响^[31]; (5)原始景观受到严重的破坏,景观破碎化严重,景观恢复的方向确定。

4 结语

为有效开发和合理利用矿产资源、保护生态环境,矿区生态恢复工作尤其重要。通过比较国内外矿山生态恢复的理论和技术研究情况,对矿区生态恢复的理论依据和技术支持有一定了解,同时也存在一些问题。在今后工作中应充分重视环境与经济的协调发展,加强土地复垦与生态保护的立法与执法工作,充分利用破坏的土地空间,坚持可持续发展战略,在经济发展的同时加强生态环境保护。合理有序利用和保护生态环境,减轻煤炭开采所带来的生态破坏,为煤矿区环境综合治理探索出合理有效的发展模式。

参考文献:

- [1] 彭建,蒋一军,吴健生,等. 我国矿山开采的生态环境效应及土地复垦典型技术[J]. 地理科学进展,2005(2):38-48.
- [2] 卞正富. 我国煤矿区土地复垦与生态重建研究[J]. 资源·产业,2005,7(2):18-21.
- [3] 张磊,才庆祥,彭竹. 大型露天矿土地复垦和生态重建技术初探[J]. 露天采矿技术,2008(3):51-57.
- [4] John A. Wiens, Bruce T. Milne. Scaling of 'landscape' in landscape ecology, or, a beetle's perspective. *Landscape Ecology*, 1989, 3:87-96.
- [5] Bradshaw AD. Restoration ecology as a science. *Restoration Ecology*, 1993, 1(2):71-73.
- [6] 李晋川,白中科,张立城,等. 露天煤矿土地复垦与生态重建[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [7] McGarigal Kevin, Marks Barbara J.. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure [M]. Corvallis Oregon: Forest Science Department, Oregon State University, 1994.
- [8] 李海滨,伍业钢. 景观生态学的量化方法[M]. //刘建国. 现代生态学博论. 北京:中国科学技术出版社,1992.
- [9] 刘海龙. 采矿废弃地的生态恢复与可持续景观设计[J]. 生态学报,2004,24(2):323-329.
- [10] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [11] Stapleton, soil-forming materials. their uses in land reclamation, *Minera*, 2000(1):9-11.
- [12] S-K Matil and N-C Saxena Biological reclamation of coalmine spoils with MOPSMK. *International journal of surface Mining* [J]. *Reclamation and Environment*, 1998 (12):87-90.
- [13] J. E. G. GOOD, T. G. WILIAMS and D. MOSS, Survival and Growth of Selected Clones of Birch and Willow on Restored Opencast coal sites[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1985, 22:995-1008.
- [14] 高国雄,高保山,周心澄,等. 国外工矿区土地复垦动态研究[J]. 水土保持研究,2001,38(1):98-102.
- [15] Pinto V, Font X, Salgot M, et al. Using 3-D structures and their virtual representation as a tool for restoring opencast mines and quarries[J]. *Eng. Geol.* 2002, 3(6):121-129.
- [16] 张绍良,张国良. 土地复垦的基础研究[J]. 中国矿业大学学报,1999,28(4):389-392.
- [17] 张志斌. 大型露天煤矿闭坑后的生态环境问题及其对策[J]. 露天采矿技术,2003,23(3):1-3.
- [18] K. Mukhopadhyay. Environmental ramifications in surface mining with respect to land degradation under Indian context[J]. *Journal of mines, metals & fuels*, 1994:200-205.
- [19] Singh and S. Bhattacharya. Proposed criteria for assessing subsidence damage to renewable resource lands[J]. *Mining Engineering*, Mar, 1987:189-193.
- [20] Douglas Baker. A methodology for integrating materials balance and land reclamation[J]. *USM, R&E*, 1996(10):143-146.
- [21] 张国良,张绍良. 矿区土地复垦灰色决策模式研究[J]. 中国矿业大学学报,1997(1):52-56.
- [22] 胡振琪. 煤矿山复垦土壤剖面重构的基本原理与方法[J]. 煤炭学报,1997,22(6):617-622.
- [23] 卞正富. 矿区土地复垦界面要素的演替规律及其调控研究[J]. 中国土地科学,1999(2):9-11.
- [24] 胡振琪. 采煤沉陷地的土地资源管理与复垦[M]. 北京:煤炭工业出版社,1996.
- [25] 白中科,李晋川,王文英. 中国山西平朔安太堡大型露天煤矿退化土地生态重建研究[J]. 中国土地科学,2000,14(4):56-59.
- [26] 李杰颖,韩放,梁成华,等. 浅谈矿区土地的生态复垦[J]. 采矿技术,2006,9(3):75-76.
- [27] Smith R A H, Bradshaw A D. The use of metal tolerant plant populations for the reclamation of metaliferous wastes[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1979, 16:595-612.
- [28] Jiang G M, Putwain P D, Bradshaw A D. An experimental study on the revegetation of colliery spoils of Bold Moss Tip, St. Helens, England[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1993, 35(12):951-962.
- [29] Dacey P W, Colbourn P. An assessment of method for the determination of pyrite in colliery spoil[J]. *Reclamation Review*, 1979, 2:113-121.
- [30] Dancer W S, Handley J F, Bradshaw A D. Nitrogen accumulation in Kaolin mining wastes in Cornwall I[J]. *Natural communities. Plant and Soil*, 1977, 48:153-167.
- [31] Jiang G M, Putwain P D, Bradshaw A D. Response of *Agrostis stolonifera* to limestone and nutritional factors in the reclamation of colliery spoils[J]. *Chinese Journal of Botany*, 1994, 6(2):155-162.