

国内外矿区土地复垦研究进展

王莉, 张和生

(太原理工大学 矿业工程学院, 太原 030024)

摘要:人类对矿产资源的大规模开采导致的矿区土地受损及环境恶化一直是国内外研究关注的热点, 矿区土地复垦和生态环境恢复也一直受到世界相关国家的高度重视。本文在概括国内外土地复垦历程及阶段特征的基础上, 介绍了世界发达国家土地复垦新进展及我国在土地复垦理论、方法和技术方面取得的成绩; 针对我国新发布的《土地复垦条例》, 借鉴国外先进土地复垦的理论和技术, 探讨了我国矿区土地复垦未来的研究方向。

关键词:矿区; 土地复垦; 研究进展

中图分类号: TD88

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)01-0294-07

The Research Progress of Land Reclamation in Mining Area in Domestic and Abroad

WANG Li, ZHANG He-sheng

(College of Mining Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The damaged land and environmental deterioration caused by the large-scale exploiting of mineral resources are the focused issue concerned by national and international research. And the land reclamation and ecological environmental recovery have been highly valued all over the world. An overview of the history and stage characteristics of land reclamation was showed, and the new development of theory, method and technology for land reclamation in domestic and abroad in recent years was summarized. Meanwhile, combined with the new Land Reclamation Ordinance and the academic frontier land reclamation thoughts and research idea about coal mining area in foreign countries, the future research direction of mining area land reclamation in China was pointed out.

Key words: mining area; land reclamation; research progress

从以蒸汽机的发明为代表的第一次工业革命开始, 工业的大规模发展和人类对矿产资源的大规模开采导致的矿区土地受损及环境恶化一直是国内外研究关注的焦点问题, 矿区土地复垦和生态环境恢复也一直受到世界相关国家的高度重视^[1-3]。美国、前苏联、德国、澳大利亚等矿产资源储量丰富的国家, 土地复垦工作开展较早, 早在 20 世纪初期, 就开始进行一些简单的破坏土地修复措施^[4]; 二战后, 土地损毁、环境恶化加剧, 各国相继开展了相关的研究工作^[5]; 到 20 世纪 70 年代, 各国关于土地复垦的法律法规陆续出台, 矿区土地复垦工作大规模开展; 20 世纪 90 年代以来, 随着可持续发展的提出及科学技术的进步, 土地复垦的方向和技术发生了很大变化。我国土地

复垦工作开展较晚, 始于 20 世纪 50 年代, 主要采用填埋、剥离、覆土等简单措施, 土地复垦基本上处于一种自然修复的状态; 到 20 世纪 80 年代, 相关法律法规陆续出台, 土地复垦才开始步入正轨^[2]; 目前我国土地复垦也取得了一定的成绩, 土地复垦率达 25% 左右, 但与世界先进国家矿区 70%~80% 的土地复垦率相比, 仍有很大差距。2011 年国务院发布了新的《土地复垦条例》, 对矿区土地复垦工作有了新规定, 这意味着我国土地复垦将要迈上一个新台阶。为有效推进新《土地复垦条例》的贯彻落实, 本文试就国内外土地复垦的历程、已有的理论和方法技术等作必要的总结分析和研究进展述评, 以期能为我国矿区土地复垦工作的开展提供借鉴和启示。

收稿日期: 2012-07-10

修回日期: 2012-08-20

资助项目: 国家自然科学基金项目(41171449)

作者简介: 王莉(1987—), 女, 陕西榆林人, 硕士研究生, 主要从事地理信息系统应用和土地复垦等领域的研究工作。E-mail: rnjwl612@163.com

通信作者: 张和生(1962—), 男, 山西晋城人, 博士, 副教授, 主要从事地理信息系统理论及应用、开采沉陷、土地复垦等研究工作。E-mail: zhs-gis@126.com

1 矿区土地复垦历程及特征

1.1 国外矿区土地复垦历程及特征

随着第二次工业革命后科学技术的突飞猛进,新技术、新发明层出不穷,各国开始了对矿产资源的采掘,使得土地遭到破坏,同时出现了一些修复采矿破坏土地的措施,这是土地复垦的萌芽。在二十世纪初期,德国、美国、英国和澳大利亚等国当时的政府职员和学者们意识到土地破坏问题,开始着手对矿区废弃土地进行研究,提出了土地复垦及一些针对土地恢复使用的措施建议,拉开了进行矿区土地复垦及相关研究的序幕。早期的土地复垦工作比较简单,如英国的 Daniel Hall 在他给复垦委员会的报告中提到要把采矿后废弃的土地复垦供农业使用,并提出两种整地方法:一是对废弃地进行局部修复;二是对整个破坏区进行覆土;还有学者提出若是把废弃矿区复垦为草地,则需对矿渣等排出的污染物进行处理^[5]。此时德国已开始对种树的实验研究,认为在不同生态环境的区域应进行不同树种的混合种植,尽量满足混交林成林过程中的需求^[6]。

第二次世界大战后,随着矿产资源需求的急剧增长,各国对各种矿物开始大规模的开采,矿区大面积土地遭到破坏,生态环境严重受损,矿区土地复垦因此被重视起来。德国、美国、苏联、澳大利亚和英国等国相继开展了土地复垦的研究工作,德国在 1950 年 4 月 25 日通过了《Law over the Whole Planning in the Rhenish Lignite Area》,首次要求对矿区土地进行规划,德国的一个州也补充了《Prussian General Mining Law》这一决议,并且规定“在开采时和开采后应保护和保持矿区表土及原有景观。”这是德国首次对土地复垦做明确定义,矿区废弃地多被用于农业和林业;英国当时开展土地复垦主要是为了改善矿区环境和消除矿山边坡不稳定的隐患,土地多复垦为农业用地或公众绿地;前苏联在 1954 年部长委员会中就明确指出:“利用后的土地必须恢复到适宜农业利用或其它建设需要状态”。于 1960 年各加盟共和国通过的《自然保护法》和 1962 年的部长委员会决议中更明确地要求进行土地复垦。同一时期,澳大利亚的土地复垦工作也逐渐起步。

到 1970s,随着人类对环境问题的日益关注和重视,美国、前苏联等相继修订和颁布了有关矿区土地复垦方面的全国性法规,有了相关法律的约束,土地复垦工作逐渐步入正轨,矿区土地复垦理论研究空前

活跃起来,复垦工程也大范围地开展起来。1977 年美国颁布了《Surface Mining Control and Reclamation Act(露天采矿管理和复垦法)》,简称 SMCRA,同时建立了 OSM(Office of Surface Mining Regulation and Enforcement)来执行它。SMCRA 创建了两个方案:一个是对正在开采的煤矿进行监管,另一个是对废弃矿区土地进行复垦。SMCRA 同时成立了露天采矿办公室、内政部办公机构,颁布相应规章,为国家的监管工作和复垦工作提供资金,并确保国家监管方案的一致性;SMCRA 中规定建立土地复垦基金和土地复垦保证金制度,前者负责对废弃矿区土地进行复垦,后者则是督促矿主闭坑后进行复垦的有效手段;当时的复垦重点主要集中在露天矿的挖损地和矸石山,复垦地主要用于植树和种草,或作为湿地加以保护,开始偏重于生态恢复。这一时期,前苏联则以林业复垦为主,通过植树来改善矿区脆弱的生态环境^[3];对于未被污染积水的矿区,在充分考虑地下水位年际变化及土壤保水性等因素后,在条件适宜地区进行渔业养殖及水上运动设施建设等项目。德国当时比较注重生态和影响陆地景观发展这一问题,土地复垦的重点向这一方向转移^[6]。与此同时,澳大利亚大多数矿山开始实施复垦计划,进行矿区土地复垦;加拿大也出台了矿区土地复垦制度,联邦的《环境保护法》(1988 年 6 月)和各省土地复垦法令(如阿尔伯达省的《地表保护和复垦法令》),加拿大土地复垦制度主要包括土地复垦计划和土地复垦财务担保两项内容。

到 1990s,随着可持续发展战略的实施,矿区的可持续发展也受到了极大的关注,重构生态系统的要求受到重视,矿区损毁土地的复垦方向逐渐转为生态复垦,与此同时,科学技术的进步使得 RS、GIS、GPS 等技术的应用领域不断扩展,在土地复垦工作中也逐渐开始使用。美国土地复垦工作者通过相关试验得出:在洼地滩区,橡树因其能耐耐密实的土壤和季节性积水生长较为良好,被用作湿地复垦的主要树种,并且在复垦土地上植树种草,来恢复矿区生态环境。德国北莱茵地区复垦目标从以林、农业复垦为主转向建立休闲用地、重构生物循环体系和保护生物物种方面,形成混合型土地复垦模式:农林用地、水域及微生态循环体协调、统一地设立在一起,从而为人、动物和植物提供较大的生存空间。目前欧美发达国家已建立较为完善的土地复垦理论体系,土地复垦技术方法也不断进步并且仍在探索中,相关的土地复垦法律也已逐步健全,为土地复垦工作的进一步发展打下了基础(表 1)。

表 1 国外矿区土地复垦历程与特点

阶段	理论	技术	复垦目标	特点
二战以前	认识到土地复垦的重要性,提出土地复垦	废弃物简单处理、污染地覆土	农业为主	少量零散的工作、研究
二战后—1970s 年代初	提出土地复垦概念及在复垦作物选择上有了相关研究,法律法规开始出现	土地平整,裂缝填充,植树种草	农业、林业等以经济利用为主	各国开始重视土地复垦,开始了相关科学实验研究及小范围的土地复垦工作
1970s—1980s 年代末	各国陆续出台了相关的法律法规,土地复垦理论体系初步建立	回填、土壤重构,修筑相关农地设施,鱼塘设施	农业、林业、渔业、牧业、旅游业,因地制宜以景观构造为主	理论研究活跃起来,土地复垦工作逐渐步入正轨,大规模地开展工作
1990s 以来	法律法规逐渐健全,理论体系完善	生物技术、化学技术及计算机、GIS、RS、GPS 等科学技术	林地、草地、湿地等以生态复垦、可持续发展为导向	注重矿区可持续发展,以生态复垦为主,并大范围使用高科技技术

1.2 国内矿区土地复垦历程及特征

我国土地复垦工作起步较晚,最初是在 20 世纪 50,60 年代,矿山职工自发在排土场、尾矿场上垫土种植蔬菜和粮食,以克服自然灾害带来的吃粮困难。基于我国耕地少、人口多这一特殊国情,我国早期的矿区土地复垦主要是将废弃地改造成可耕种土地,采用填埋、剥离、覆土等简单措施,实现矿区土地农业耕种目标,当时的土地复垦处于一种自然状态。我国这一时期的土地复垦没有理论指导,复垦技术、复垦方向与特点与国外第一阶段即二战以前相似。

到了 20 世纪 80 年代末,随着煤炭等矿产资源大肆开采引起的环境问题逐渐显现,我国开始重视矿区的生态环境及可持续发展问题,全国人大常务委员会、国务院、财政部、国土资源部、原煤炭部、原冶金部、国家环保总局(现环保部)等先后制定了与矿区土地复垦、环境保护相关 30 多部的法律、法规和规章,如《中华人民共和国土地管理法》(1986)、《土地复垦规定》(1988)、《中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》(1994)、《土地复垦技术标准》(试行)(1995)、国家标准《水土保持技术规范》(1995)、《开发建设项目水土保持技术规范》(2002)等,其中《土地复垦规定》明确提出“谁破坏、谁治理”的原则,这些法律法规对土地复垦规划、环境治理、资金来源做了相应的规定,使得土地复垦工作有法可依。在这些法律法规颁布后,一些地区展开了土地复垦工作,平朔安太堡露天煤矿从 1994 年至今,矿区已复垦 2 000 hm² 土地,矿内排土场内建设了 130 座日光温室和年出栏 4 000 只肉羔羊的养殖场一座,复垦土地上生长着良好的牧草和树木;开滦煤矿从 1996 年开始进行土地复垦,累计植树 138 万株,绿化面积 607 hm²,昔日不毛之地,如今已是林地成片、生机盎然。这期间,我国针对土地复垦出台了多项法律法规、政策文件,很多专家学者进行了大量研究,在科学理论方面取得了较多成果,复

垦方向因地制宜,有农业、林业、渔业、牧业和旅游业等,复垦特点与国外第二、第三阶段类似。技术方法方面,一些学者在研究试验中引入了生物、化学、计算机等高新技术,达到国外发达国家现阶段水平,说明我国土地复垦发展迅速。

为了落实十分珍惜、合理利用土地和切实保护耕地的基本国策,规范土地复垦活动,加强土地复垦管理,提高土地利用的效益,我国国务院制定了《土地复垦条例》,于 2011 年 3 月 5 日予以公布,其中增加了许多新的制度,明确界定了土地复垦责任主体;强化了土地复垦义务人的复垦责任,敦促他们自觉履行土地复垦义务;加强和落实了监管措施,建立了有效的监管制约机制、资金保障机制和严格的责任追究机制;加强历史遗留损毁土地和自然灾害损毁土地的复垦^[7]。条例中对土地复垦工作做了许多详细具体的要求,其中很大一部分内容是针对采矿等生产建设活动的损毁土地,充分说明我国越来越重视矿区土地复垦问题。

2 土地复垦理论及技术方法研究进展

2.1 土地复垦概念

国外土地复垦的发展已经相当成熟,在理论方面,各国对土地复垦都有明确的定义。Hossner 在其《Reclamation of Surface-Mined Lands(露天矿土地恢复)》一书中指出:“复垦(Reclamation)的主要目标是重新建立永久稳定的景观地貌(Landscape),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”^[8]。Ohio 州将土地复垦定义为恢复采煤影响的土地作林地、草地、农地、娱乐场所、野生动物栖息地或其它高于相当于采前生产力水平的用途,而采取的回填、平整、土壤重构植被及其它工作。德国 Gerhard Darmer 等于 1992 年在

《景观与露天采矿:恢复的生态指南》一书中将土地复垦解释为:“恢复(Reclamation)是使被破坏的景观恢复生产力和视觉吸引力(Visually Attractive)的各种措施”^[9]。前苏联土地复垦界认为:土地复垦是对受工业影响的土地,采取有计划的创建和加速形成具有高生产力、高经济价值、最佳人工景观的采矿、生物、工程、土壤改良及生态学综合技术措施来恢复土地^[4]。英国矿业与环境委员会将土地复垦定义为将废弃的场地改做某种用途。我国《土地复垦条例》中对土地复垦的定义为:指对生产建设活动和自然灾害损毁的土地,采取整治措施,使其达到可供利用状态的活动^[7]。

2.2 国外土地复垦新技术

在复垦工程技术方面,国外主要以露天矿为主,开采时将采掘空间作为排土场,采取倒堆法、顺序剥采复田法等工艺来进行土地保护与土地复垦。德国莱茵地区露天矿农业复垦是将剥离的表土单独存放做复垦表土,把沙石和电厂的粉煤灰等废料直接回填到采坑,填至复垦设计高度,上面覆盖 1 m 厚的表土,施肥后先种植能提高土壤肥力的豆科牧草,然后种植其它作物。英国的很多露天矿实行的是边回采边回填,然后覆土造田,巴特威尔露天矿采用内排土方式,边采边填,覆土厚度 1.3 m,其中表层 0.3 m 为耕作层;阿克顿海耳煤矿也是将井下煤矸石直接排到邻近的露天矿采坑中,然后覆土复垦。在靠近河流、川坝地区,可以挖取河坝底淤泥作为覆盖表土,一方面河坝底淤泥含有丰富的氮磷有机物有利于复垦种植的草木生长,另一方面可以增加水库、堤坝的容水量,防止河道的阻塞。针对表土缺乏及土壤贫瘠复垦地,推出了人造表土,将人造表土覆盖在被挖损土地上、矸石山上、被石油和油页岩开采及重金属污染的土地上,改善土壤的耕性,提高土壤生产力;目前使用较多的有“生物土”(BioSoil)和“无毒土”(N-Viro Soil)。“生物土”是一种被称之为具有自然结构的肥料,含有 78% 的有机物质、6.38% 的氮、1.7% 的磷、3.8% 的钾,增加作物产量,提高养分和水分吸收,改善植物根和茎的生长;“无毒土”为一种化肥,是由城市废水、矿物副产品制造而成的一种类似土壤的有机产品,它可以调节土壤的 pH 值、固定金属元素、提高养分、增加土壤有机质,从而用来改善土壤的耕性,提高土壤生产力;欧洲、美国、加拿大等已建立了专门的生物土和无毒土生产公司,批量生产不同标准的表土,以满足需要。

在化学技术方面,美国、德国等发达国家针对矿山开采土壤侵蚀问题研究出用“侵蚀被”等来保护坡

地、梯田边坡、沟渠边坡等以使土壤不被侵蚀,它由木屑、聚烯烃纤维、聚丙烯纤维、二次利用的尼龙、椰子纤维、稻草等编织而成,铺设在土壤层面上以防止土壤侵蚀,同时植物可以自然地穿过侵蚀被生长,侵蚀被还可以保护新种的草种不被雨水冲走,可以用于复垦方向为草地、矿山尾矿场等比较特殊的复垦土地。针对干旱地区、半干旱地区发明了保水剂,设计出利用水力喷播机械进行水力播种的方法,以提高复垦区植物的成活率和减少土壤侵蚀。澳大利亚通过相关实验研究,得出在金属矿污染地和废弃物中加入磷酸盐可以有效降低铅、锌等金属离子的含量,有助于草等植物生长^[10]。

在生物技术方面,欧美一些发达国家非常注重生物复垦方法及其对矿区生态系统和景观恢复的影响研究。随着科学水平的提高,生物和化学技术也被应用到矿区土地复垦中来,因为蚯蚓能疏松土壤,增加土壤有机质并改善结构,还能促进酸性或碱性土壤变为中性,增加磷等速效成分,使土壤适于农作物生长。因此,在矿区废弃地上接种蚯蚓已成为一种矿区土地复垦提高土壤质量的方法,英国 Kevin 等通过相关研究,于 1995 年提出一种蚯蚓养殖和土壤接种的土地复垦技术方法,把在实验室内培养出来的蚯蚓的茧、幼虫和成虫同时接种到复垦土地中,研究表明,用这种方法蚯蚓的成活率高;对于土壤贫瘠的地区或是在表土肥力较差的情况下,多选择豆科作物作为先锋植物来提高土壤的肥力,在土壤恢复到一定程度后,再种植其它作物;在复垦时进行林木选择时多选择周边地区生长的耐贫瘠的树种,并且选择多种植物进行混种,而不是单一树种。有些微生物能处理工业废水中的磷酸盐、含硫废气并改良土壤,也被用于土地复垦中,在金属矿山和酸性矿山剥离物(如煤矸石山)上复垦栽树时接种微生物,可以促进植物迅速生长,目前已研制出微生物化肥和农用抗生素(利用微生物的产生物),均可以应用到土地复垦中。

欧美发达国家的遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)等技术研发时间早,应用范围广,如澳大利亚 Philips 于 1991 年在昆士兰煤炭讨论会中提出利用计算机辅助土地复垦和矿产开采,露天煤矿开采设计时,利用 CAD 或 GIS 技术设计出开采结束后的地形,利用 DEM 模型绘制采前与采后及复垦后的地貌;德国 Antwi 利用遥感和 GIS 技术对 Schlabendorf Süd 采矿前后 1995 年和 2000 年的土地覆被图进行对比分析,检测采矿等干扰对栖息地的多样性和土地覆被变化的影响^[11],可以针对性地提出治理方案;目前这些技术已经广泛用于矿区土地

复垦工作中。1999 年美国发射的 IKNOS 卫星,空间分辨率提高到 1 m,极大地提高了数据精度;GPS 技术具有精度高、全天候工作、效率高、功能多、操作简便等优点,应用较为广泛;GIS 用于图像处理和数据分析,目前一些 GIS 软件(ArcGIS、MapInfo、PrideMap、GeoMedia 等)已经应用在土地复垦工作中,这些软件强大的空间分析模块,能够快速提取矿区动态变化的信息,灵活地对数据进行处理分析,可以提高土地复垦适宜性评价的精度和效率,并且它们的功能仍在不断完善中。

国外已形成了比较完善的土地复垦理念体系、健全的法律法规,并且有强大的组织、科研机构,有固定的复垦资金渠道和严格的标准作后盾。在此基础上又提出了新的要求,加强对采矿前后生态资源的调查和研究,采前、采后对野生动植物做保护、挽救措施;在进行生态重建时,尽量使新建景观和周边景观和谐地融合在一起,并有较高的经济、生态和美学价值。

2.3 我国土地复垦理论及技术方法

我国土地复垦研究起步较晚,基本上属于发达国家的后续跟进,通过近 20 a 时间的研究及实践,我国土地复垦工作也取得了一定进步。在土地复垦理论和学科体系方面,胡振琪^[12]认为土地复垦和生态重建的基础理论是土地科学、环境科学等相关学科的基础理论的综合应用,于 2003 年在《参与型土地复垦的概念与方法》中提出了土地复垦学的概念,并认为土地复垦学是以破坏土地为主要研究对象,以破坏土地的再生利用及其生态系统的恢复为其核心任务,土地复垦的目的不仅仅在于使土地资源得以重新利用,更重要的是要恢复生态系统,起到环境保护的作用;龙花楼等^[3]从景观生态学的角度出发,提出了采矿迹地(矿区废弃地)景观生态重建的原理:仿自然原形原理、斑—廊—基关系原理、多样性与异质性原理、与外部组合条件原理、人与自然生物控制共生理论;新颁布的《土地复垦条例》中对土地复垦重新进行了定义,进一步丰富了土地复垦的理论内容。

土地复垦工程技术方面,与国外注重环境保护不同,我国更注重农地保护,我国的研究主要集中于不同工程复垦技术对土壤的影响及复垦后土壤的生产能力。露天矿土地复垦以挖损、占压地和污染地的复垦为主,开采较早的露天煤矿及其它金属和非金属矿多采用外排土方式,采排工作结束后进行复垦工作,二者独自展开,并未结合。在借鉴国外露天矿先进开采、复垦技术的基础上,山西省平朔煤矿将排土场的整形与采排工艺统筹考虑,提出了“采运排复一条龙作业”以及“堆状地貌种植”等复垦方法,有效地降

低了复垦费用,提高了复垦效率;在对早期堆放形成的排土场复垦过程中,总结出在平台上“分区成埂、分段成畦”及“大水排、小水蓄”的整形与水土保持措施,使排土场复垦基本达到规范化^[13];伊敏河矿在排土场复垦过程中,将电厂粉煤灰与露天矿剥离物进行混合排弃,开展了种草试验,在采掘过程中实行了腐殖土单采单放,从开采技术上提前实现了内排等;义马北露天矿利用排土场复垦地建成一个农场;而鹤岗岭北露天矿、小龙潭露天矿等用露采剥离物作筑坝材料,将沟壑地段或露采场修筑成池塘蓄水,提供工业用水和饮用水或养鱼。对于被污染的土地,一般对其进行表土覆盖,然后根据情况采取其他复垦措施。井工矿复垦以塌陷地和废弃矿渣的处理为主,针对不同损毁情况的工程技术有:疏干法、挖深垫浅法和填充法等复垦方法。陈龙乾等^[14]在综合考虑潜水位标高、土壤耕层厚度、作物根系长度和水土流失状况等因素的条件下,提出了泥浆泵复垦的最佳标高确定的方法,建立了相应的模型,并在 2006 年以徐州矿区为例,研究了煤矸石的地球化学性能和有毒元素状况,分析了煤矸石孔隙度计算的理论和方法,建立了煤矸石充填超高计算的数学模型,提出了煤矸石充填标高确定的数学方法;考虑到煤矸石中含有重金属离子、易溶盐离子及发生氧化分解而生成的有害物质等,王国强^[15]等提出了煤矸石的卫生填埋法。由于充填法成本较高、充填料数量有限及要面临二次污染等问题,我国对非充填复垦技术进行了相关研究,分别提出了裂缝填充、土地平整、塌陷土地阶地化、修筑梯田、等高沟垄种植等整地技术。在土壤侵蚀和水土流失严重的地区,还可以采取相关水土保持措施,如修筑鱼鳞坑、水平沟、台地等治坡工程;修建淤地坝、谷坊、拦沙坝、沟头防护等治沟工程;建造水池、水窖、截排水沟和灌溉系统等小型水利工程。

我国土地复垦化学技术主要是用来改良土壤,针对酸性土壤,施用煤灰、石灰或者是类似石灰的工业废料来降低土壤酸性;对碱性土壤或 pH 值较高的土壤,利用煤炭腐殖酸等物质进行改良;施用有机肥或氮、磷、钾等无机肥来促进土壤熟化、增加土壤肥力;对于有毒的尾矿及废弃物,在覆盖表土前覆盖煤渣、钢渣等惰性材料,预防有毒金属向表层土迁移。我国开始引入国外先进的化学复垦技术,这些技术广泛的泛使用还需进一步研究。

我国土地复垦生物技术主要是林草种植。很多矿山在开采过程中会破坏林草地或是在复垦时将破坏土地复垦为林地或草地,因此面临树种、草种的选择问题,要在被破坏土地上营造稳定、高生产力的人

工林或人工牧草地,必须根据当地的自然气候条件、岩土的成分和性质,考虑树种草种的抗旱性、抗寒性、耐贫瘠性、生长发育速度和一定的土壤改良作用,有目的地选择合适的乔灌木树种和草种,采取合适的播种方式、适宜的种植密度和优化的林草配置方案。杨本志等^[16]在对我国东部矿区研究中考虑到土壤重金属含量,在农田防护林区选择种植杨树、马尾松和毛白杨等,在盐度较大的区域种植海蓬子、猪毛菜和沙藜等;陈杰等^[17]在位于鄂尔多斯市的召富露天煤矿的土地复垦方案设计中根据其立地条件选择林草混交,林地选择种植沙棘,草种选择羊草。有些学者针对树种的种植方法也做了相关研究,如常青针叶树的带土球栽培、落叶树的少量配木栽植等。

我国土地复垦研究工作中也开始引入 RS、GPS、GIS 相关技术,RS 技术主要用于矿区土地覆被调查,胡振琪等^[12]利用遥感图像对陕西省榆林市神府煤矿区 1986 年、1993 年、2000 年、2006 年土地利用与覆盖变化进行了研究,利用航空影像对矿区 20 a 间的植被覆盖变化情况进行定量监测;薛建春等^[18]根据 1987 年、1996 年和 2005 年 3 期的 TM 影像,从土地利用数量变化模型、土地利用程度变化模型对平朔矿区土地利用动态变化情况进行了分析;在我国 GPS 技术通常用于煤矿沉陷地的变形监测;GIS 用于图像处理、数据提取^[19],包沙妮等^[20]对 GIS 在土地复垦工作的应用进行了较为详细的阐述,利用 ArcGIS 软件对复垦土地进行了适宜性评价、制作相关图件、进行数据处理和结果输出,并在此基础上完成了安家岭煤矿的土地复垦方案设计。我国有学者提出了 3S 技术的集成应用,王娅娟等^[21]在煤矿环境地质评估中,利用 3S 技术对矿山地质环境影响程度进行分区、分级,并统计出不同土地利用类型的土地面积、矿业活动占用土地面积变化。

土地复垦的管理方面,由于土地的自然、社会双重属性和我国土地所有制的特点,土地复垦的管理在我国显得特别重要。早在 1991 年,有关学者就提出了土地复垦管理学的构想,经过多年的探讨,形成了临时用地、以补代征、以地换地、政府复垦等多种复垦土地管理模式,并在不少复垦县市建立了土地复垦工程全过程监督管理模式,土地复垦各阶段的工作实行标准化管理和跟踪管理,以保证及时发现问题和妥善处理。这些管理模式虽然有一定的可操作性和有效性,但需要耗费大量人力物力,更科学有效的管理模式还有待于进一步研究。

3 我国矿区土地复垦研究展望

国外土地复垦已发展了近百年,科技的进步和人

类认识水平的提高,使得土地复垦理论不断深化,法律不断健全,技术不断提高。我国土地复垦工作只开始了短短几十年,现在已有了土地复垦的理论和相关法律,复垦技术水平也在逐步提高。2011 年新颁布的《土地复垦条例》对我国土地复垦工作有了更高的要求,借鉴国外土地复垦发展历程和经验技术,未来我国的土地复垦研究工作需在以下几个方面进行加强:

3.1 加强对采前拟损毁土地预测工作的研究

《土地复垦条例》要求在今后的生产建设活动中要做到“不欠新账、快还旧账”,既要复垦已损毁土地,又要对在开矿区和新开矿区的拟损毁土地进行复垦设计。明确规定:“土地复垦义务人应当在办理建设用地申请或者采矿权申请手续时,随有关报批材料报送土地复垦方案;土地复垦义务人未编制土地复垦方案或者土地复垦方案不符合要求的,有批准权的人民政府不得批准建设用地,有批准权的国土资源主管部门不得颁发采矿许可证”^[7]。我国之前的土地复垦工作主要是针对老旧矿区的已损毁土地,在煤矿开采完毕后进行相关复垦设计,在此基础上形成的土地复垦理论和实践经验已无法满足当前各矿的采前土地复垦方案设计及边开采边复垦等的要求。

要实现采前土地损毁预测、土地复垦方案设计,首先要对拟损毁土地范围及程度进行预测。露天矿可根据矿产资源埋藏范围来确定土地损毁的范围,从而设计土地复垦方案。井工矿地下开采对土地的损毁较为复杂,需要进行开采沉陷预计来确定大致的土地损毁范围和程度,然后才能进行复垦方案设计;开采沉陷预计在理论上可定量地研究受开采影响的岩层与地表移动的时空分布规律,通过相关计算大概确定土地的破坏程度和破坏范围。目前国内外都已有多种开采沉陷预计方法,并且将开采沉陷预计经典理论的算法编成软件,借助计算机进行辅助预计。由于不同的矿区所处地理位置、地质条件不同,采用的开采沉陷预计方法和软件不同,选择合适的预计方法和预计软件及确定正确的预计参数是未来土地复垦工作的一项重要研究内容。

3.2 挖掘 3S 等先进技术的应用潜力

目前 3S 技术在矿区土地复垦中的集成应用还比较少,尚处于试验阶段,如何在土地复垦工作中充分使用这一技术,目前还没有一个系统的理论指导,这一问题也亟待解决。《土地复垦条例》中规定:“国务院国土资源主管部门和省、自治区、直辖市人民政府国土资源主管部门应当建立健全土地复垦信息管理系统,收集、汇总和发布土地复垦数据信息”^[7]。这意味着,最大程度地挖掘 3S 技术及其它先进技术的应用潜力,使得

土地复垦中资料获取、适宜性评价和对复垦土地检查验收工作更便捷更科学,并且利用这些技术建立土地复垦信息管理系统,是今后的研究内容之一。

3.3 复垦目标应注重农业与生态需求

由于我国人多地少,人均土地资源尤其是人均耕地资源极为紧缺的这一特殊国情,《土地管理法》中规定要做到耕地占补平衡,损毁土地中有耕地的要求仍复垦为耕地或是把面积相同的其它用地开垦为耕地;《土地复垦条例》中也明确规定复垦的土地应当优先用于农业,我国目前仍比较注重复垦土地的农业利用,在今后的复垦研究中,安全、高产的农田建设也将是一个重要内容。

从国外土地复垦发展历史来看,国外土地复垦早期比较重视废弃土地的再次利用,废弃地多复垦为农业用地或者是进行渔业养殖等以获取经济效益;近年来开始重视生态问题,复垦方法和复垦方向也以满足生态需求为主。借鉴国外土地复垦经验,随着国家经济发展和国民认识水平的提高,我国也应该尽早重视起生态建设的问题,在复垦时尽量采取生物技术,在生态环境良好的复垦区应注重采前生境的保护、采后生境的恢复;在生态环境脆弱的区域更应该注重生境保护,在采后进行复垦工作时,可以多注重生态效益,改善矿区生态环境。在确保“18亿亩”耕地红线不被打破的情况下,矿区的生态群落重建,复垦区内的动植物保护应采取的措施,也是今后研究工作的重点之一。

3.4 进一步完善土地复垦资金体系

土地复垦的资金体系是土地复垦的重要内容,因为它为土地复垦工作的顺利完成提供资金保证。《土地复垦条例》中规定:“土地复垦义务人应当将土地复垦费用列入生产成本或者建设项目总投资。”“土地复垦义务人不复垦或者复垦验收中经整改仍不合格的,要缴纳土地复垦费,由有关国土资源主管部门代为组织复垦”^[7]。由于各煤矿损毁前的土地类型、实际损毁面积、损毁程度、复垦标准、复垦用途和完成复垦任务所需的工程量等条件各不相同,所确定的土地复垦费的数额也不一致;各个地区物价、劳动力价格都不相同,在参照我国2012年新修订的《土地开发整理预算定额标准》的同时,还应结合当地实际情况进行资金预算。土地复垦费的具体征收使用管理办法,目前还没有统一的方式,有待于进一步研究,以制定出一个行之有效的土地复垦资金管理体系。

参考文献:

[1] Plass W T. Reclamation of surface mined land[J]. Ohio J. Sci., 1975, 75(6): 298.

- [2] 韦朝阳,张立城,何书金.我国煤矿区生态环境现状及综合整治对策[J].地理学报,1997,52(4):300-307.
- [3] 龙花楼.采矿迹地景观生态重建的理论与实践[J].地理科学进展,1997,16(4):68-74.
- [4] 何书金,郭焕成,韦朝阳,等.中国煤矿区的土地复垦[J].地理研究,1996,15(3):23-32.
- [5] 卞正富.国内外煤矿区土地复垦研究综述[J].中国土地科学,2000,14(1):6-11.
- [6] Chang J. The Development of Land Reclamation in Germany[M] // Lu Xin-She. Mine Land Reclamation and Ecological Restoration for the 21 Century. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2000.
- [7] 中华人民共和国国务院令 第592号.土地复垦条例[Z].北京:中国法制出版社,2011.
- [8] Hossner L R. Reclamation of surface-Mined Lands[Z]. CRC Press. Rocsstion, Florida, U. S. A, 1998.
- [9] Dietrich G. Landscape and surface mining: Ecological guidelines for reclamation[Z]. Van Nostrand Reinhold, 1992.
- [10] Lottermoser B G, Munksgaard N C, Daniell M. Trace element uptake by mitchell grasses grown on mine wastes, canningtonag-pb-zn mine, australia: implications for mined land reclamation[J]. Water Air Soil Pollution, 2009, 203(1/4): 243-259.
- [11] Antwi E K. Efah Kwabena Antwi, Rene Krawczynski, Gerhard Wiegleb. Detecting the effect of disturbance on habitat diversity and land cover change in a post-mining area using GI[J]. Landscape and Urban Planning, 2008, 87(1): 22-32.
- [12] 胡振琪.半干旱地区煤矸石山绿化技术研究[J].煤炭学报,1995,20(3):322-327.
- [13] 周书东,王小霞,李廷芥.煤田开采诱发环境地质问题及防治对策[J].水土保持研究,2007,14(3):351-354.
- [14] 陈龙乾.土地复垦评估探讨[J].矿山测量,1996(1):381-41.
- [15] 王国强,赵华宏,吴道祥,等.两淮矿区煤矸石的卫生填埋与生态恢复[J].煤炭学报,2001,26(4):4281-431.
- [16] 杨本志,卞正富.浅议我国东部矿区的生态重建技术[J].煤矿环境保护,2000,14(3):71-10.
- [17] 陈杰,乔玉,李刚.大型露天煤矿土地复垦规划案例研究[J].露天采矿技术,2007(3):471-50.
- [18] 薛建春,蔡松.生态脆弱矿区土地利用动态变化研究:以平朔矿区为例[J].水土保持研究,2011,18(4):204-207.
- [19] 李保杰,顾和和,纪亚洲,等.基于RS和GIS的矿区土地利用变化对生态服务价值损益影响研究:以徐州市九里矿区为例[J].水土保持研究,2010,17(5):123-128.
- [20] 包沙妮,叶宝莹,白中科,等. ArcGIS在矿区土地复垦中的应用[J].山西农业大学学报,2009,29(6):501-503.
- [21] 王娅娟,孟淑英,陈隆,等.“3S”技术在煤矿环境地质评估中的应用研究[J].煤炭工程,2011(12):106-108.