

煤矿区土地复垦规划设计研究进展及展望

桑李红,付梅臣,冯洋欢

(中国地质大学(北京)土地科学技术学院,北京 100083)

摘要:为梳理煤矿区土地复垦规划设计的研究现状,探究未来发展方向,通过系统检索国内外研究成果,回顾了土地复垦规划设计的主要发展历程,重点总结了规划体系和尺度、适宜性评价及结构布局优化、复垦规划理念和模式、复垦工程规划设计等方面的研究进展。通过与国外相比,发现我国在动态预复垦规划设计中领先国际,但仍存在未能与采矿规划有机结合、土地复垦目标单一及仿自然地貌生态修复实践不足等问题。结合国家社会经济的发展及学科的国际发展趋势,指出建立智能决策系统、促进采复一体化、实现多维虚拟规划是未来复垦规划设计的研究方向,并且未来规划设计将更加注重差异性、协调性和生物多样性保护。

关键词:煤矿区;土地复垦;生态修复;规划设计

中图分类号:TD88

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)02-0243-07

Progress and prospect of research on land reclamation planning and design in mining area

SANG Lihong, FU Meichen, FENG Yanghuan

(School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to analyze the current situation of land reclamation planning and design in mining area and explore the future development trend, the main development courses of land reclamation planning and design were reviewed by citing the relevant literatures, academic works, technological achievements at home and abroad. We summarized the progress of system and scale of land reclamation, suitability evaluation, land use structure and layout optimization, concept and mode of reclamation planning, planning and design of key reclamation projects. Comparing with foreign countries, the dynamic pre-reclamation planning and design of coal mining subsidence land in china led the international. However, there were still some deficiencies in land reclamation planning and design, for examples, land reclamation was weakly combined with the mining planning, the purposes of reclamation were so focused on farmland that less involved in protection and leisure planning mode, geomorphic reclamation was still in its infancy and rarely applied. Furthermore, considering the development of national society and international trends, we prospected the scientific advances to promote the scientific development of land reclamation planning and design, including establishing intelligent decision-making system, promoting mining-reclamation integration and realizing multi-dimensional virtual based on the cloud platform. Moreover, researchers should pay more attention to differences, coordination and biodiversity conservation of land reclamation planning and design.

Key words: mining area; land reclamation; ecological rehabilitation; planning and design

0 引 言

煤炭是我国当前重要的能源,占一次能源消费的 70%左右^[1]。但因采掘活动,每年损毁土地数量

庞大,造成矿区环境污染、土地压占、水土流失、生物多样性降低等问题^[2]。土地复垦与生态修复则成为煤矿区土地可持续利用的根本举措。通过矿区调查与监测,结合采矿工艺要求,按照自然保护与社会

收稿日期:2017-08-10;责任编辑:代艳玲 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.02.036

基金项目:中国科协 2016—2017 学科发展研究系列资助项目(2016XKYL01)

作者简介:桑李红(1989—),女,河南安阳人,硕士研究生。通讯作者:付梅臣,教授,博士生导师。E-mail:fumeichen@163.com

引用格式:桑李红,付梅臣,冯洋欢.煤矿区土地复垦规划设计研究进展及展望[J].煤炭科学技术,2018,46(2):243-249.

SANG Lihong, FU Meichen, FENG Yanghuan. Progress and prospect of research on land reclamation planning and design in mining area[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(2): 243-249.

经济发展需求编制的《矿区土地复垦规划设计方案》,在整个煤炭开发生命周期中担负着重要职能。不仅使损毁土地有序地得以恢复利用,而且引导各类复垦工程实施,最终取得最优的复垦效果。因此,规划设计是复垦工程建设实施的龙头,其质量的高低直接决定了复垦质量。

20世纪中叶,我国土地复垦规划设计理论与方法多借鉴土地利用工程技术、城乡规划技术、国外复垦规划设计技术等。随着生态文明和绿色矿山的建设,矿区复垦工作得到更多关注,然而借鉴的技术难以解决复垦规划尺度、塌陷地、排土场、矸石山等关键问题。为促进煤矿区土地复垦规划设计的科学发展,笔者通过梳理国内外土地复垦规划设计研究进展,对比国内外发展趋势分析我国研究取得的成就及存在的问题,展望未来发展趋势并提出发展建议。

1 煤矿区土地复垦规划设计发展进程

我国复垦工程可以追溯到春秋战国,甚至更早的梯田工程,其中最著名的是清末时期绍兴东湖复垦工程,将汉代建材矿山铸成一处山水大盆景。现代煤矿区土地复垦规划设计研究主要分为4个阶段:

1)企业为主,研究探索阶段。起步于20世纪50年代~70年代初,当时的研究目标、复垦工程方法较单一,对矿区环境的修复效益局限性很大。

2)国家立法,企业与专家共同合作研究阶段。自1988年《土地复垦规定》明确复垦规划设计的编制要求,相继出台系列土地复垦相关政策,复垦规划设计体系初步建立。1990年孙绍先等专家学者探讨了井工矿的复垦规划内容编制深度。1994年由中国土地学会露天开采复垦专业委员会组织编制的《安太堡露天煤矿土地复垦规划》是我国较早的煤矿复垦规划,并得到了有效实施。《矿区土地复垦规划的理论与实践》(1996年)和《煤矿区土地复垦的理论、方法和原则》(2001年)提出了矿山土地复垦规划的理论、方法和原则。2004年国家科技进步二等奖《煤矿区土地生态环境损害的综合治理技术》提出三维可视化规划技术。该阶段的成果促进了我国煤矿区复垦规划设计内容的完善和方法的改进。

3)政府、企业与专家共同参与,构建复垦监管体系及技术标准阶段。2006年后发布的土地复垦相关条例、规程,进一步提高了矿山复垦规划的地位并明确了其要求。2013年《工矿废弃地复垦利用专项规划研究》和各级土地整治规划规程,推行新的

区域土地复垦规划、复垦工程设计标准。企业探索中,2010年淮南矿业集团制定了生态矿区总体规划,提出了循环经济、市矿统筹发展等方案;2014年中煤平朔集团联合科研机构开发了矿区绿色转型发展规划体系和基于物联网的矿区环境治理智能监管及绩效动态评估技术,推动了规划和监管体系的落实。最终形成了以复垦方案为抓手,土地整治规划为调控,复垦工程项目规划设计为补充的复垦规划设计管理体系。

4)社会参与,提升生态文明新格局阶段。生态文明背景下绿色矿山建设由行业政策引导转化为政府发展战略,进一步促进了各部门协商和公众参与。该阶段对公众参与的内涵和程序、利益相关者分类、人与自然之间冲突等问题进行界定与分析。同时,探讨基于生态文明的土地复垦技术体系,以及如何保护生物多样性、建设美丽中国等成为未来复垦规划设计研究的重点。

2 煤矿区土地复垦规划设计研究成果

煤矿区土地复垦规划设计方面各项研究成果的数量较少,以复垦工程技术问题为主。基金资助项目支撑了“土地复垦规划设计”理论和实践有机结合。

截止2017年6月,从中国知网(<http://www.cnki.net>)检索“矿区”/“土地复垦”+“规划设计”等关键词或主题词,筛选出国内土地复垦规划设计研究文章共计211篇。2000年以后文章的数量逐年小幅上升,平均每年10篇左右(图1)。类型以期刊论文、硕士论文为主。研究以“土地复垦规划设计”的技术问题为主,侧重点不同(图2),结合信息技术,开展适宜性规划设计理论与技术研究,成果涉及工程科技、经济与管理科学、农业科技、信息科学等学科。从谷歌学术搜索(<https://scholar.google.com>)检索“planning reclamation mining”、“planning restoration mining”、“planning rehabilitation mining”等关键词,国外相关文献共计45篇,同样数量有限。

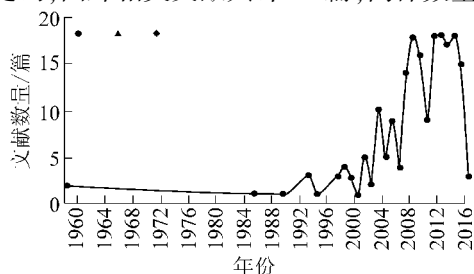


图1 历年研究文献统计

Fig. 1 Annual statistics on number of related literatures

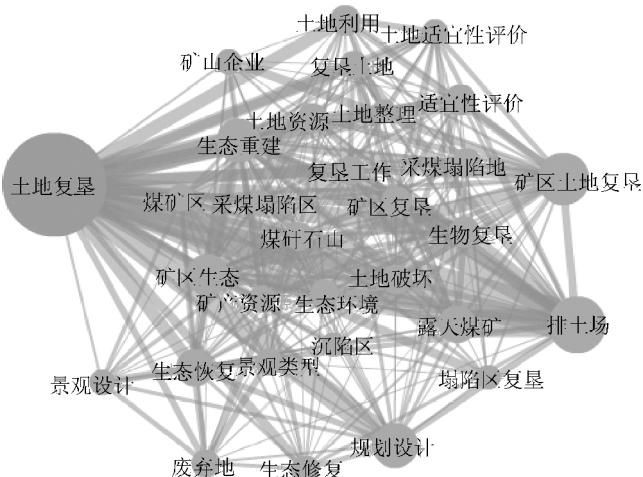


图2 土地复垦关键词共现网络示意

Fig. 2 Keywords co-occurrence network of land reclamation

截止2017年,土地复垦规划设计相关的专著与教材共计32部,其中仅有3部直接阐述该主题。其他著作多以章节阐述设计标准、规划方法等。相关的科技成果有13项,直接以“煤矿区土地复垦规划(方案)设计”为主题的成果仅有4项,以矿山企业自设项目较多。煤矿区土地复垦规划设计相关的科技成果奖励有10项。其中,国家科技进步二等奖1项,省部级科技成果奖9项。相关的专利有12项,主要涉及露天矿和采煤沉陷地复垦技术等。自“六五”开始,国家科技支撑计划项目、863项目、国家自然科学基金、部委科技项目、地方科技项目等,以及企业科技项目使得“规划设计”理论与实践得到有机结合,促进了土地复垦规划设计研究与技术的提升。

3 煤矿区土地复垦规划设计研究进展

3.1 规划体系、尺度及利益主体

经过近30年的探索,我国逐步建立了完善的煤矿区土地复垦规划体系。在编制过程中如何优化复垦规划尺度以及平衡利益者关系,进一步增强规划操作性和促进社会公平是目前研究的热点。

1) 规划体系完善。目前,我国复垦规划已形成国家、省、市、县、乡等层次,区域、矿区、矿山等尺度,层次与尺度相互交融。①列入国土规划、土地利用总体规划、土地整治规划等范畴;②部分煤炭大省、市、县,专门组织编写煤炭复垦规划;③列入煤炭工业发展规划、生态保护规划等相关规划;④煤矿山企业编制的规划。

2) 加强宏观与微观复垦规划设计协调性和可

操作性。宏观尺度总体规划结合区域的生态环境,与国民经济发展规划及整个矿区的发展规划相衔接。复垦边界划定考虑以自然边界为主,从矿区角度出发,打破行政区划限制。微观规划设计以矿井或沉陷区进行规划展开。据此建立矿区土地复垦规划、县级土地复垦监管计划及矿井土地复垦工作方案3个层次^[3],促进复垦规划尺度的有效统一。

3) 注重利益主体关系的平衡。应用利益主体分析理论^[4]和沟通式规划理论^[5],明确复垦规划制定中的利益主体、态度及其利益空间的差异,推断政府、企业、非政府组织、公民等在规划实施中的行为倾向组合。既融合地方特色、人文风情,又为矿区土地复垦规划的编制提供了制度建议。

3.2 适宜性评价及布局优化

应用3S技术、算法模型等,结合煤矿区待复垦土地特性,研究了优化煤矿区的土地复垦适宜性评价和空间布局的方法。

1) 改进矿区土地复垦适宜性评价单元的划分和评价方法。评价单元划分法包括损毁类型划分法、损毁程度划分法、造成损毁的用地类型划分法和综合划分法4类。其中改进常规因素叠置法并考虑采煤影响的综合划分法,提高了评价结果精度和成果可应用性^[6-7];基于遥感影像提取矿业废弃地图斑,依据评价指标权重及栅格面积调整分割线得到评价单元,有效减小了划分工作量。评价方法方面,基于GIS和神经网络的评价方法提高了复垦适宜性评价的效率和精度^[8],基于可拓理论的模糊综合评价法进一步减少了评价方法中主观因素影响^[9]。

2) 基于信息技术优化土地复垦空间结构。常规土地利用配置方法存在难以依据土地适宜性评价结果将土地利用数量结构匹配到具体土地单元的问题^[8]。基于遗传算法添加小生境算法、自适应参数算法等构建土地复垦空间优化模型,并融合GIS,实现了土地空间优化的自动化和可视化^[10]。

3.3 复垦规划理念和模式

20世纪晚期,煤矿区复垦以恢复耕地为主,但随着现代生态农业、生态旅游、景观规划和生态修复等理念的引入,现已形成了综合生态复垦模式。

1) 从现代生态农业系统规划角度,依据矿区生态产业链条以及“种、养、加、学、销、游”一体化思路,进行矿区现代生态农业规划^[11-12]。

2) 结合矿山文化与地域文化,打造矿业遗产全系列、差异化主题,创新矿业遗址旅游地模式,并在

巨野矿区和李梅矿区得到实践^[13]。

3)从矿—城协同角度,煤矿废弃地的土地盘活和景观再生应把局部地块的利用放到城市用地布局 and 空间结构中整体考虑,统一规划^[14]。晋城古书院^[15]和徐州九里湖地区由此实现了矿业棕地从“封闭”到“融合”的功能置换及空间重构。今后可结合开发公共空间新需求和形式,创新城市开放空间模式。

4)从景观生态规划角度,宏观上划分景观基质功能区优化区域空间布局,微观上采用生态网络规划法等识别和保护景观要素,在徐州潘安采煤塌陷区得到较好实践^[16-17]。结合湿地景观处理技术,进行城市湿地景观规划。今后应更注重开采沉陷对景观生态影响的过程研究和动态修复规划的方法研究。

5)从生态修复角度,通过“功能区划—景观区划—适宜性评价—技术配置”进行生态修复规划^[18],利用虚拟现实技术构建露天煤矿生态恢复虚拟现实系统。另外,引入美国仿自然生态修复理念^[19],利用 Geofluv 等模型构建仿自然地貌,在黄土区超大型露天煤矿地貌重塑中进行了初步应用^[20]。

3.4 复垦工程规划设计

采矿方式不同,煤矿区土地复垦工程规划设计表现出不同的特点。围绕露天煤矿区和井工矿煤矿区,探讨了与开采协调的动态复垦规划方法以及复垦工程措施的优选与设计等方法。

3.4.1 露天煤矿区土地复垦工程规划设计

1)加强采复一体化的规划设计。露天煤矿区“采运排复一条龙作业”在平朔矿区得到较早应用。为有机结合采排与复垦工艺,开采过程中,采用分期开采逐期回填和内排土方式,减少对耕地的损毁^[21];结合采矿生命周期,开展复垦规划、动态复垦^[22]。

2)深化剥离物污染防治设计。根据剥离物物化性质采取设置隔离层、深度覆盖、盐分处理等措施,在尾矿库周围布设排水设施进行污染防治。

3)排土场复垦规划设计日趋成熟。利用仿自然原理,排土场的坡面可设计为S形、抛物线形或直线形,平盘设计为坡式、反坡式或水平式,利用地形设计排水系统^[23]。排土场边坡采用降低台阶高度,修建拦河坝、抗滑桩和削坡开级等方法进行加固。整形与保持水土措施有“堆状地貌种植”、“分区成梗、分段成畦”、“大水排、小水蓄”等,规范排土场复

垦^[24]。目前,已经形成一套比较完备的排土场复垦规划设计技术体系。

4)生物多样性恢复的规划设计得到重视。采用基于生物多样性恢复的地貌重塑、土壤重构以及植被重建等手段进行排土场生境再造,通过建立矿区生态源地和生态廊道等优化矿区景观格局^[25]。

3.4.2 井工煤矿区土地复垦工程规划设计

1)不断探索开采沉陷预计与损毁程度评价方法,模拟展示采煤沉陷状况。基于开采沉陷理论和环境系统工程理论^[26],引入模糊综合评判、灰色聚类分析等方法^[27],借助3S技术和三维激光扫描技术模拟和可视化展示地形沉陷变形情况^[28]。利用遥感数据、地面监测调查、地下地质采矿信息,开发“三位一体”的西南山地区采煤塌陷现状监测和受损评估技术。建立矿山损毁程度的模糊综合评价法,利用可拓集理论,通过关联函数,量化描述影响矿区土地损毁程度的评价指标^[29]。也有研究采用单位产量损毁系数测算法、典型调查法和统计分析法等建立基于省级区域损毁土地测算的方法体系^[30],明确了损毁土地基数。

2)塌陷地复垦规划设计技术得到广泛应用。针对浅、中、深度塌陷地,分别采取分层剥离、交错回填及削高填凹、挖深填浅、挖池筑堤等措施,这在徐州潘安矿和山东枣庄矿区得到了应用^[31]。从动态演变规律出发,提出了基于循环经济的生态修复模式^[32]。大面积沉陷积水区可根据自身和区位特征等恢复成湿地公园、水产养殖、水库、污水处理湿地等类型^[33],河北唐山市南湖、安徽淮北市南湖、淮南市十涧湖和河南平顶山市白鹭洲等成功复垦为城市湿地公园。

3)边采边复规划设计技术成为研究的新方向。一些学者先后提出“梯次复垦”、“动态复垦”、“超前复垦”、“预复垦”等概念和方法,并得到了实践^[34-36],被国际命名为“CMR-UM”技术。通过耦合地下开采与地面复垦措施,分析了复垦时的影响因素和优选技术,总结了“顺序开采—滚动式土地平整—农田水利设施修复”、“先跳采再全采—地表平整—阶段集中突击式复垦”、“中间优先—外扩式开采—地表疏排”3种边采边复模式^[37]。完成并实施了皖北和济宁示范区两煤层和单一煤层开采下的边采边复规划设计。研究了减轻土地损毁的开采措施和优选沉陷前或过程中复垦方案的方法^[38]。但今后仍需加强采复一体化、开采对土地及建筑损

毁规律的研究,进一步确定边采边复时机选择模型中地面水工建筑的损毁标准。

4) 矸石山治理规划设计更加可行。在煤矸石中混入 30%~70% 的土壤^[39],采取阶梯平台式堆放矸石。在堆放场后缘设置水沟,前缘修建挡矸墙,周围营造 3~5 m(宽)的防护林对矸石山整形,防止水土流失。采取喷洒石灰混合物中和煤矸石的强酸性防止煤矸石自燃^[27]。通过土壤覆盖设计、绿化设计和植物养护措施进行生态修复治理。

4 煤矿区土地复垦规划设计存在问题

西方发达国家已建立较为完善的煤矿区土地复垦规划设计理论与方法体系:①采用 GIS 技术进行辅助^[40];②多目标决策矿区土地用途及设计方案^[41-42];③注重复垦景观;④仿自然地貌生态修复法和露天矿边采边复的规划设计方法研究较为突出。我国逐步形成专项复垦规划、矿山复垦规划设计体系:①在 3S 技术、虚拟技术等支持下的土地复垦规划设计技术紧随国际潮流。复垦规划设计方案采用 3S 技术辅助开展和编制,并通过虚拟技术或决策模型等进行多维模拟;②井工矿预复垦规划设计理论与方法领先国际。在采煤沉陷地动态预复垦规划设计中,突破了复垦时机、复垦标高、表土剥离、复垦结构动态设计等关键技术,完成了东部矿区多煤层开采下的边采边复规划设计。但与西方发达国家比较,仍然存在明显差距。

1) 土地复垦规划设计,未能有机结合采矿规划,属于配套的、约束力较弱的规划设计,不仅浪费了人力物力,而且损毁土地的原位修复及减损效果一般。我国土地复垦方案、矿山复垦规划设计等由相关单位单独编制完成,仅是采矿活动的一个环节。复垦前期工作(如露天矿排土、井工矿排矸等)未能够与采矿工艺有机结合,压占了土地,提高了复垦成本。

2) 土地复垦目标差异,以恢复农田为主,限制了规划设计理论与方法的全面发展。近年来,我国复垦重点区域集中于东部矿粮复合区,以复垦农田的土地平整工程、灌排工程、道路工程、防护工程等规划设计为主,包括以土壤重构理论为依据的充填土层结构设计,以挖深垫浅理论为依据的基塘结构规划设计等。其他复垦农用地则以复绿规划设计为主。矿山公园、郊野公园、创意文化产业模式等方面的复垦规划设计研究成果仍较少,未能够形成独特

的理论与方法。

3) 采前环境本底调查薄弱,土地复垦规划设计方向偏离了复原修复及区域融合。我国尚需从受损矿山原生态环境入手,加强对野生动植物的保护。按照原生态位规划设计景观结构、生态功能,结合仿自然地貌生态修复技术,建立与区域融合的人工生态系统。

5 未来研究发展趋势

随着煤矿区土地复垦与生态修复的不断实践,以及国际交流、多学科融合,在物联网、云技术、大数据、测绘与信息技术等的支撑下,我国煤矿区土地复垦规划设计的理论与技术呈现出从单目标规划向多目标规划,从单阶段规划向全生命周期规划,从人工编制规划向智能辅助编制规划,从二维平面规划向多维虚拟规划等转变的发展趋势,满足了绿色循环低碳发展的要求,促进了矿区持续发展。未来研究趋势如下。

1) 矿区土地复垦规划设计方法更趋智能化,促进复垦规划设计决策系统的建立。在继承传统方法外,更加注重提升信息收集、分析与决策建模、规划设计模拟与制图、传播等技术,不断拓展应用系统方法、多学科交叉融贯研究的方法、公众参与的方法、技术与手段创新的方法等,逐步实现智能化决策。

2) 土地复垦规划设计更注重协调性、差异性和生物多样性保护。在不同空间尺度上加强一致性的同时,更加注重差异性,体现出区域的协调性与地方的多样性;按照适宜性评价、持续性评价结果及制度安排,协调复垦方向(用途)的同时,加强利益相关者权益协调和维护;更注重生物多样性保护约束下的低碳型工程设计,工程空间布局的适用性,并创新规划环境影响评价方法。

3) 未来我国土地复垦规划设计与采矿规划设计日趋融合,从根本上实现采复一体化。这将推进动态预复垦,降低土地受损程度和复垦成本,维护原生态水土资源质量及生态安全。

4) 逐步建立“复垦云规划平台”,完成土地复垦规划设计虚拟方案。多源矿山信息与大数据的不断丰富与挖掘技术日益成熟,以及物联网技术支持下的云计算,将使“土地复垦规划设计”的思维方式与工作模式发生根本转变。利用“土地复垦云”有机结合矿山全生命周期,建立“云规划设计”平台,实现技术集成、专业协同、相关利益者协作等融合的规

划设计模式。从 IT(Internet Technology)到 DT(Data Technology),运用 SoLoMo 技术(Social—社会性,Local—本地性,Mobile—移动性)来协助规划设计师应对土地复垦过程中的问题,完成土地复垦规划设计及虚拟方案。

总之,我国煤矿区土地复垦规划设计学科已具雏形,未来将与土地利用工程、矿业工程、信息科学、城乡规划等学科进一步相互交融,为生态文明建设提供更先进的技术支撑。

参考文献(References):

- [1] 顾大钊,张勇,曹志国.我国煤炭开采水资源保护利用技术研究进展[J].煤炭科学技术,2016,44(1):1-7.
GU Dazhao, ZHANG Yong, CAO Zhiguo. Technical progress of water resource protection and utilization by coal mining in China[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 1-7.
- [2] 杨永均,张绍良,侯湖平,等.煤炭开采的生态效应及其地域分异[J].中国土地科学,2015,29(1):55-61.
YANG Yongjun, ZHANG Shaoliang, HOU Huping, et al. The ecological impacts of coal mining and the regional differentiation[J]. China Land Sciences, 2015, 29(1): 55-61.
- [3] 李科心.矿区土地复垦规划尺度研究[J].矿山测量,2016,44(6):105-108.
LI Kexin. Study on the scale of land reclamation planning in mine areas[J]. Mine Surveying, 2016, 44(6): 105-108.
- [4] 王海萍,师学义,唐臣燕,等.矿区土地复垦规划中利益主体分析[J].矿业研究与开发,2013,33(3):122-127.
WANG Haiping, SHI Xueyi, TANG Chenyan, et al. Analysis on interest subjects in the mine land reclamation plan[J]. Mining Research and Development, 2013, 33(3): 122-127.
- [5] 韩学山,张绍良,周立新,等.沟通式规划在济南市长清区村庄复垦规划中的应用[J].山东国土资源,2012,28(10):64-67,72.
HAN Xueshan, ZHANG Shaoliang, ZHOU Lixin, et al. Application of communicative planning theory in vilage reclamation planning in Changqing District of Jinan City[J]. Shandong Bureau of Land Resources, 2012, 28(10): 64-67, 72.
- [6] 豆飞飞,李萍,朱嘉伟.永城市陈四楼煤矿土地复垦适宜性评价研究[J].中国农学通报,2013,29(17):192-197.
DOU Feifei, LI Ping, ZHU Jiawei. Research on suitability evaluation of land reclamation of the Chensilou Coal Mine in Yongcheng[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(17): 192-197.
- [7] 蔡利平,李钢,孙久运,等.采煤塌陷区土地复垦适宜性评价单元划分研究[J].中国煤炭,2011,37(12):104-108.
CAI Liping, LI Gang, SUN Jiuyun, et al. Research about unit of the reclamation suitability evaluation in coal mining subsidence area[J]. China Coal, 2011, 37(12): 104-108.
- [8] 陈秋计,胡振琪,武继军,等.基于GIS的矿区土地复垦信息系
统与辅助规划研究[M].北京:中国科学技术出版社,2007.
- [9] 王桂林,张望成,宋可实,等.基于可拓学的采煤塌陷区土地复垦适宜性评价[J].地下空间与工程学报,2015,11(1):222-228.
WANG Guilin, ZHANG Wangcheng, SONG Keshi, et al. Suitability evaluation for land reclamation in coal mining subsidence area based on extenics[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2015, 11(1): 222-228.
- [10] 陈亚凯,王婷婷,乔志勇,等.基于改进遗传算法的土地复垦规划空间优化[J].计算机仿真,2014,31(8):452-455.
CHEN Yakai, WANG Tingting, QIAO Zhiyong, et al. Land reclamation program space optimization based on improved genetic algorithm[J]. Computer Simulation, 2014, 31(8): 452-455.
- [11] 李晋川,白中科,柴书杰,等.平朔露天煤矿土地复垦与生态重建技术研究[J].科技导报,2009,27(17):30-34.
LI Jinchuan, BAI Zhongke, CHAI Shujie, et al. Study on technology of land reclamation and ecological rehabilitation of waste land in Pingshuo surface mine[J]. Science & Technology Review, 2009, 27(17): 30-34.
- [12] 温博媛.露天矿区现代生态农业规划设计研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [13] 曾丽丽.矿业废弃地再生景观设计研究[D].长沙:湖南农业大学,2015.
- [14] 葛书红,王向荣.煤矿废弃地景观再生规划与设计策略探讨[J].北京林业大学学报:社会科学版,2015,14(4):45-53.
GE Hongshu, WANG Xiangrong. Discussion on planning and design strategies for landscape regeneration of abandoned coal mine land[J]. Journal of Beijing Forestry University: Social Sciences, 2015, 14(4): 45-53.
- [15] 冯姗姗,常江.基于矿-城协同的晋城古书院矿业景观公园规划设计[J].工业建筑,2015(10):61-64,73.
FENG Shanshan, CHANG Jiang. Planning and design for Gushuyuan mining landscape park in Jincheng based on mine-city coordination[J]. Industrial Construction, 2015(10): 61-64, 73.
- [16] 李树志.我国采煤沉陷土地损毁及其复垦技术现状与展望[J].煤炭科学技术,2014,42(1):93-97.
LI Shuzhi. Present status and outlook on land damage and reclamation technology of mining subsidence area in China[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 93-97.
- [17] 廖湛嫻.平原高潜水位采煤塌陷区的景观生态规划与设计研究[D].北京:中国地质大学(北京),2012.
- [18] 王霖琳,胡振琪.资源枯竭矿区生态修复规划及其实例研究[J].现代城市研究,2009,24(7):28-32.
WANG Linlin, HU Zhenqi. Ecological restoration plan for resource-exhausted mining areas and case studies[J]. Modern Urban Research, 2009, 24(7): 28-32.
- [19] 张成梁, B Larry Li. 美国煤矿废弃地的生态修复[J].生态学报,2011,31(1):276-285.
ZHANG Chengliang, B Larry Li. Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(1): 276-285.
- [20] 景明.黄土区超大型露天煤矿地貌重塑演变、水土响应与优

- 化研究[D].北京:中国地质大学(北京),2014.
- [21] 刘宝臣,张晖,赵艳林,等.基于综合环境效益的矿山复垦规划研究[J].中国水土保持,2010(2):6-8.
- LIU Baochen,ZHANG Binghui,ZHAO Yanlin,*et al.* Research on mine reclamation planning based on comprehensive environmental benefits[J]. Soil and Water Conservation in China, 2010(2):6-8.
- [22] 张丙涛,刘艳章,李海龙,等.朝国露天矿动态复垦模式研究[J].金属矿山,2015,44(4):61-65.
- ZHANG Bingtao,LIU Yanzhang,LI Hailong,*et al.* Study on dynamic reclamation mode of Chaoguo Open Pit Mine[J]. Metal Mine,2015,44(4):61-65.
- [23] 范军富.露天煤矿土地复垦理论与方法研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2002.
- [24] 左舒扬.鄂尔多斯黑岱沟露天煤矿排土场生态修复及复垦设计研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
- [25] 原野,赵中秋,白中科,等.露天煤矿复垦生物多样性恢复技术体系与方法:以平朔矿排土场为例[J].中国矿业,2017,26(8):94-98.
- YUAN Ye,ZHAO Zhongqiu,BAI Zhongke,*et al.* Technology system and method of biodiversity restoration for the reclamation of opencast coal mine: a case study from the dumps in Pingshuo Mine[J].China Mining Magazine,2017,26(8):94-98.
- [26] 崔希民,邓喀中.煤炭开采沉陷预计理论与方法研究评述[J].煤炭科学技术,2017,45(1):160-169.
- CUI Ximin,DENG Kazhong.Research review of predicting theory and method for coal mining subsidence[J]. Coal Science and Technology,2017,45(1):160-169.
- [27] 潘妍宇.山地煤矿区土地复垦规划与设计研究:以贵州普安县煤矿区为例[D].焦作:河南理工大学,2010.
- [28] 郭文兵,白二虎,陈俊杰.三维激光扫描监测开采沉陷的精度分析[J].煤炭科学技术,2014,42(11):85-89.
- GUO Wenbing,BAI Erhu,CHEN Junjie.Precision analysis of 3D laser scanning to monitor mining subsidence[J]. Coal Science and Technology,2014,42(11):85-89.
- [29] 罗明.土地复垦潜力调查评价研究[M].北京:中国农业科学技术出版社,2013.
- [30] 景明,白中科,余勤飞.省级土地整治规划中复垦规划方法与实证研究:以山西省为例[J].水土保持研究,2013,20(6):316-320.
- JING Ming,BAI Zhongke,YU Qingfei.Method and empirical research of land reclamation planning in provincial land consolidation planning: a case study of Shanxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation,2013,20(6):316-320.
- [31] 王自威.典型工矿区受损土地修复技术与整治规划设计[D].北京:中国地质大学(北京),2013.
- [32] 张海波,刘芳芳.循环经济对采煤塌陷地生态修复研究[J].中国矿业,2007,16(1):26-28.
- ZHANG Haibo,LIU Fangfang.Study on ecological restoration of coal mining subsidence land by circular economy[J]. China Mining Magazine,2007,16(1):26-28.
- [33] HU Zhenqi,FU Yanhua,XIAO Wu,*et al.* Reclamation and environment ecological restoration plan for abandoned underground coal mine site in Eastern China[J].International Journal of Mining,2014,29(4):316-330.
- [34] 胡振琪,肖武,王培俊,等.试论井工煤矿边开采边复垦技术[J].煤炭学报,2013,38(2):301-307.
- HU Zhenqi,XIAO Wu,WANG Peijun,*et al.* Concurrent mining and reclamation for underground coal mining[J].Journal of China Coal Society,2013,38(2):301-307.
- [35] 韩奎峰,康建荣.动态矿区DEM生成方法及其在土地复垦中的应用研究[J].测绘科学,2009,34(3):161-163.
- HAN Kuifeng,KANG Jianrong.Dynamic mining area DEM generation method and its application in land reclamation[J].Science of Surveying and Mapping,2009,34(3):161-163.
- [36] 赵海峰,方军,高荣久,等.非稳沉陷陷地动态充填煤矸石复垦为建设用地技术探讨[J].矿山测量,2010,38(6):84-85.
- ZHAO Haifeng,FANG Jun,GAO Jiurong,*et al.* Discussion on dynamic filling coal gangue reclamation land for construction land in unstable subsidence area[J]. Mine Surveying,2010,38(6):84-85.
- [37] 肖武.井工煤矿区边采边复的复垦时机优选研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2012.
- [38] 胡振琪,付艳华,肖武,等.基于文献计量分析的美国采矿与复垦(1984—2014年)发展历程研究综述[J].中国土地科学,2016,30(2):87-98.
- HU Zhenqi,FU Yanhua,XIAO Wu,*et al.* A review of the development of mining and reclamation (1984—2014 years) in the United States based on Bibliometric Analysis[J]. China Land Sciences,2016,30(2):87-98.
- [39] 张成梁,张翹楚,荣立明,等.煤矸石山稳定坡体构建的师法自然生态修复技术研究[J].林业实用技术,2015(5):17-21.
- ZHANG Chengliang,ZHANG Qiaochu,RONG Liming,*et al.* Study on ecological restoration technique from coal gangue stable slope construction[J].Practical Forestry Technology,2015(5):17-21.
- [40] KIM Sungmin,CHOI Yosoon,SUH Jangwon.ArcMine: ArcGIS extension to support mine reclamation planning[J]. Computers & Geosciences,2012,46(9):84-95.
- [41] Ebert P J.Accommodating the land-use planning provisions of the surface mining control and reclamation act—discussion[J].Mining Engineering,1984,36(4):378.
- [42] SHENAVAR M.OSANLOO M.Land use selection and reclamation layout planning by MCDM—case study: sangan placer iron ore mine of Iran[C].16th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (SWEMP),2016.