

煤矿区土地复垦研究:前景与进展*

杜建平¹, 邵景安^{1,2}, 谭少军¹, 曹飞¹

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院; 2. 重庆师范大学三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331)

摘要:【目的】梳理煤矿区土地复垦取得的理论技术成果,为开展煤矿区土地复垦工作提供参考。【方法】在CNKI中检索煤矿复垦相关文献,对检索到的1406篇相关文献按时间段分类统计,通过总结、归纳和提炼得出煤矿区土地复垦研究现状与前沿。【结果】煤矿区土地复垦研究主要集中在煤矿区土地复垦方向、复垦技术、复垦模式等3方面。煤矿区土地复垦方向的确定集中于适宜性评价上,评价单元划分、评价体系构建、权重确定、评价方法选取等方面是其中的研究重点;土地复垦技术不断创新,形成了以地貌重塑、土壤重构、植被恢复为主的技术体系;土地复垦模式多样,并由单一模式向综合模式发展。【结论】煤矿区土地复垦虽取得重大成果但仍存在复垦的土地质量差,复垦利用率低,恢复和保护生态环境的作用不能有效发挥等问题,复垦方向确定的科学化、复垦技术生态化、复垦模式综合化将是今后煤矿区土地复垦的研究重点。

关键词:煤矿区;土地复垦;前景与进展;适宜性评价

中图分类号:TD88

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2018)01-0131-10

煤矿开采造成的土地浪费、生态破坏已上升为全球性问题,由此衍生的土地复垦研究受到国内外学术界和政府的普遍关注。煤矿区土地复垦最早在德国和美国得到重视,自20世纪20年代开始德国就在煤矿废弃地上种植树木以恢复植被和保护环境,美国则在《矿山租赁法》中对保护土地和自然环境提出明确要求。随后一系列关于土地复垦会议的召开使得土地复垦在世界范围内的研究更加深入。2000年5月16—18日北京国际土地复垦学术研讨会(Beijing international symposium on land reclamation)在北京市新大都饭店召开。来自亚洲、欧洲、北美洲、南美洲、大洋洲等16个国家的200多位专家、学者参加了会议。此次会议以面向21世纪的矿区土地复垦与生态重建为主题,着重围绕矿区土地复垦与生态重建方面的问题展开深入研讨,涉及露天矿复垦、采煤塌陷地复垦、矿山固体废弃物复垦、污染土壤的改良修复、GIS和虚拟现实技术的应用、土地复垦政策法规管理等方面^[1]。2005年10月25日在北京市门头沟区举行的首届北京生态建设国际论坛就生态建设、矿山退化生态系统修复的新理念、新技术和新方法等议题进行了研讨。2014年10月17—19日北京国际土地复垦与生态修复研讨会(Beijing international symposium on land reclamation and ecological restoration)在北京市召开。来自15个国家的200余名国内外代表就矿区土地复垦与生态修复的政策与管理、采煤塌陷地复垦与生态修复、污染土地修复等方面进行了深入研讨。

中国煤矿区土地复垦直到20世纪80年代才真正受到重视。80年代以前,中国土地复垦一般是将废弃的土地重新开垦为农田种植农作物,直到1983年才诞生出中国第一篇煤矿复垦方面的论文——《我国露天煤矿的占地和土地复用问题》,随后1989年《土地复垦规定》的实施被视为中国土地复垦进入法制轨道的重要标志,2011年中国颁布的《土地复垦条例》对土地复垦活动进行了规范,2013年通过的《土地复垦条例实施办法》对加快推进中国土地复垦工作具有重要意义。中国煤矿资源丰富且分布广泛,截止2015年底,全国煤矿数量1.08万个,主要分布在华北、东北、西北、西南等地。煤矿区土地的复垦对增加中国耕地、林地、建设用地面积,坚守18亿亩耕地红线,实现节约集约用地目标以及建设生态文明具有重要意义。近些年来,中国经济结构的转型、北方雾霾等环境问题的加剧、国家对生态安全的高度重视等因素使得煤矿区土地复垦工作受到相关科研机构、高等院校及政府部门的高度重视。本文从煤矿区土地复垦方向、复垦技术、复垦模式等3个方面对煤矿区土地复垦研究取得的重要成果进行总结凝练,以期对今后煤矿区土地复垦工作提供参考。

* 收稿日期:2016-11-24 修回日期:2017-10-27 网络出版时间:2017-05-16 11:24

资助项目:重庆市国土房管局科技计划项目(No.CQGT-KJ-2014034)

第一作者简介:杜建平,男,研究方向为土地利用与生态过程,E-mail:dujp2016@163.com;通信作者:邵景安,研究员,E-mail:shao_ja2003@sohu.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20170516.1124.008.html>

1 材料与方法

1.1 数据收集

在中国知网数据库中,通过检索关键词“煤矿、土地复垦”得到文献 64 篇(期刊论文 51 篇、学位论文 10 篇、会议报告 3 篇);检索篇名“煤矿、土地复垦”查到文献 232 篇(期刊论文 165 篇、学位论文 39 篇、会议报告 18 篇、报纸 10 篇);检索主题“煤矿、土地复垦”获得文献 1 147 篇(期刊论文 788 篇、学位论文 219 篇、会议报告 99 篇、报纸 40 篇)。

在检索到的 1 443 篇相关文献中,除去因篇幅较小、信息量过少、参考价值不大等无效文献 17 篇,重复文献 21 篇,最终得到有效文献 1 406 篇(其中期刊 990 篇、学位论文 264 篇、会议报告 118 篇、报纸 34 篇,分别占文献总数的 71%,18%,8%,2%)(图 1)。

1.2 数据处理

使用 Excel 对检索到的 1 406 篇与煤矿土地复垦相关的文献进行基本的统计分析(图 2),从文献数量分布可知,中国煤矿区土地复垦大致经历了 3 个阶段:

1) 探索阶段(1980—1989)。以介绍引进国外土地复垦的经验和做法为特点,期间共产生了 12 篇相关文献,诞生了中国知网收录的关于煤矿土地复垦方面最早的论文——《我国露天煤矿的占地和土地复用问题》,为《土地复垦规定》的制定奠定了理论基础,极大地促进了中国土地复垦事业的发展。

2) 大发展阶段(1989—2011)。以《土地复垦规定》的颁布为标志,确立了“谁污染,谁治理”的原则。此后,在《土地复垦规定》的

规范下,中国煤矿区土地复垦在人才培养、土地复垦规划、资金来源等方面有了法律保障。1991 年中国矿业大学培养了中国第一个土地复垦博士,国家自然科学基金、国家 863 计划、煤炭科学基金等大量投入土地复垦领域,这一时期共产生了 780 篇相关文献,占文献总数的 55.5%,使得中国在煤矿区土地复垦理论和技术方面进一步成熟,与国际发达国家的差距大幅缩小。

3) 新发展阶段(2011—2016)。受中国产业结构调整、环境问题大量出现、人口不断增长、以往复垦制度缺陷等因素的影响,中国对煤矿区土地复垦工作越发重视。为节约集约利用土地,提高土地利用的社会、经济和生态效益,2011 年 3 月颁布了《土地复垦条例》,至此中国煤矿土地复垦迈上新台阶,此后为保证该条例的有效实施,于 2013 年又制定《土地复垦条例实施办法》对土地复垦工作进行了有效说明。这一阶段煤矿区土地复垦理论、技术和管理制度等更加合理成熟,仅 5 年多时间产生的文献占总检索文献的 43.7%,且“3S”技术大量用于煤矿区土地复垦方面研究,煤矿区土地复垦朝着专业化、信息化、模式化方向发展。

1.3 分析方法

使用的方法主要有:基本统计分析法、归纳总结分析法。前者主要指对收集到的文献进行基本的统计分析,通过制作图表直观形象的表达出相关文献的组成结构和随时间的变化情况;后者通过阅读相关文献并进行整理分类,归纳总结出煤矿区土地复垦研究主要集中在煤矿区土地复垦方向、复垦技术和复垦模式上。同时,对归纳总结的煤矿区土地复垦方向、复垦技术、复垦模式等 3 方面的相关资料进行提炼升华,进一步对煤矿区土地复垦

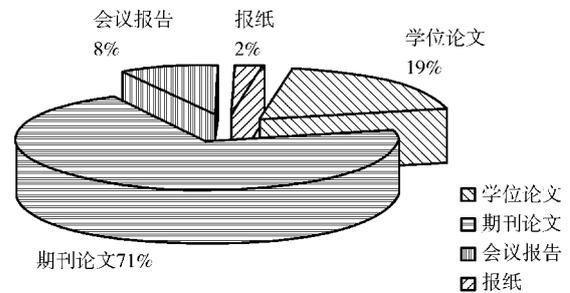


图 1 文献类型比例图

Fig. 1 Scale figure of document type

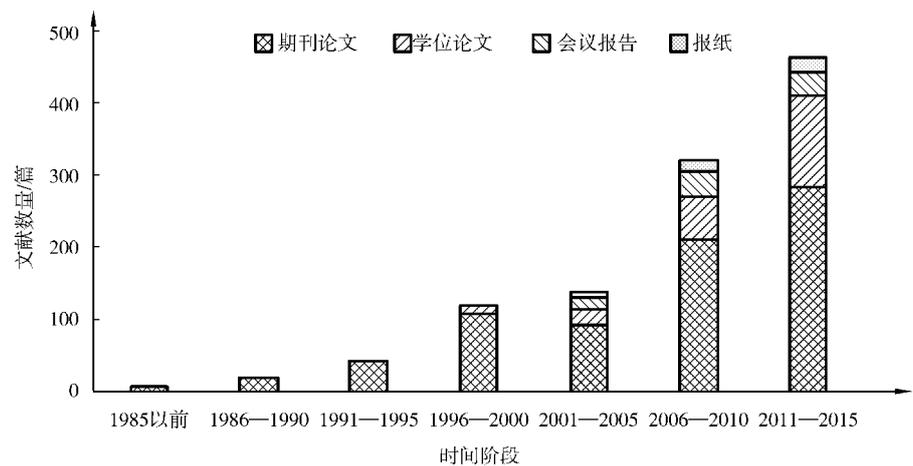


图 2 文献组成结构变化图

Fig. 2 The structure variation of document compositions

方向、复垦技术和复垦模式的类型、具体操作流程、适用情况、优缺点、发展前景等进行分析。

2 结果与分析

2.1 煤矿区土地复垦方向研究

煤矿区土地复垦方向的确定主要集中在适宜性评价上,从上世纪 20 年代德国和美国率先开展煤矿区土地复垦开始,各国根据自身实际情况分别对本国煤矿区土地复垦进行了不同程度的适宜性评价研究。其中影响最大的是联合国粮农组织(FAO)于 1976 年提出的《土地评价纲要》,它促进了土地评价研究在世界范围内的广泛应用。目前,学术界在煤矿区土地复垦评价单元的划分、评价体系的建立和评价方法的选择上均做了大量研究,但针对土地复垦可行性研究有待深入,如煤矿土地复垦的环境要素及风险分析少见报道,评价指标体系的建立还不够完善,对不同复垦方向的应用评估工作进行得较少,从而导致部分煤矿复垦后的土地利用效果不够显著。

2.1.1 煤矿区土地复垦评价单元的划分 煤矿区土地复垦方向的确定,需要以土地复垦适宜性评价为基础,其中评价单元的划分对于整个评价过程起着至关重要的作用。目前,土地评价单元的划分大致有 7 种方式^[2-4]:1) 依据土地利用分类体系,以土地利用现状分类单元为评价单元;2) 以土地资源类型单元为评价单元;3) 依据土壤分类体系,以土壤类型单位(土类、土属、土种)为评价单元;4) 以行政单位(如行政村、行政乡)为评价单元;5) 以土地权属为评价单元;6) 以划分的网格单元作为评价单元;7) 以多因素叠置形成的同质单元为评价单元。在具体的工作实践中具体采用哪一种方式,需根据各煤矿区具体的实际情况而定。

2.1.2 煤矿区土地复垦方向评价指标体系构建 指标体系的建立应遵循代表性、科学性、可操作性等原则^[6]。评价指标的确定需要对研究区内影响土地利用的自然、经济、社会等因素进行全面系统分析;评价指标体系权重则可运用专家经验法、层次分析法、德尔菲法等(表 1)多种方法来确定。

表 1 评价指标体系权重确定方法及优缺点

Tab. 1 The weight methods of evaluation index system and its advantages and disadvantages

权重确定方法	优点	缺点
专家经验法	简单易行	主观随意性大
层次分析法	适宜确定多个层次 级别构成权重	属于主观赋权法,客观性较差
德尔菲法	简便灵活	咨询周期较长,主观随意性大

在煤矿区土地复垦方向评价体系的构建方面,国外已建立起比较完善的评价体系及数理分析方法,中国在指标评价体系的构建上大多还是参照国外做法,但中国在借鉴国外优秀方法的同时因地制宜,结合中国具体国情,开创了具有中国特色的煤矿区土地复垦评价体系。李志强等^[7]从土壤侵蚀、地形坡度、地表物质组成、有效

土层厚度、排水条件、灌溉水源保证、土体单位质量、岩土污染、土壤有机质含量、非均匀沉降影响等 10 个方面来构建土地复垦适宜性评价体系,并采用极限条件法对安家岭煤矿排土场待复垦土地进行适宜性评价。邢应和等^[8]以安山矿区的自然状况和地质采矿条件为基础并结合项目区的实际情况从地形坡度、土地破坏程度、有效土层厚度、土壤质地、有机质含量、交通条件等 6 个方面来构建评价体系,以此对安山矿区采煤沉陷地的复垦利用方向进行适宜性评价,最终确定其复垦利用方向。朱紫薇等^[6]则从生物环境、土壤环境、水环境等 3 个方面来构建采煤沉陷区复垦适宜性评价体系。尽管 1976 年 FAO 颁布了迄今为止最权威、最有影响力的适宜性评价体系,即《土地评价纲要》^[9],但是由于各研究区实际情况的差异、评价者知识结构的不同、权重确定方法的选取各异等因素,土地复垦适宜性评价指标体系的建立还有待深入研究。

2.1.3 煤矿区土地复垦方向评价方法选择 在煤矿区土地适宜性评价方法上现已探索出多种方法(表 2)。国外在煤矿区土地适宜性评价方法方面大多是在 GIS 基础之上,采用计算机辅助叠加制图法^[10]、多指标决策法^[11]、人工智能^[12-13]等来确定煤矿区土地复垦方向。Turner 和 Miles^[14]在适宜性地图叠加技术基础之上,提出了一种选择交通通道的计算机系统;Wright 等^[15]在《基于多目标的土地利用空间信息系统设计》中提出,基于不同限制因素分别制定出多个目标函数作为决策模型,进而分析出最终的决策结果;Zhou 等^[16]应用基于 GIS 的神经网络与遗传算法相结合的方法来进行土地适宜性评价分析。

对煤矿区土地适宜性评价则主要采用极限条件、指数和、模糊综合评判、人工神经网络等方法。崔艳等^[17]通过极限分析法对露天矿区进行农用地复垦适宜性评价,以此确定采矿场边坡、排土场边坡、排土场平台的复垦方向;胡鑫等^[18]运用指数和法对煤矿沉陷区各复垦单元的可行性进行评价并提出有针对性的复垦措施;宋可实^[19]通过模糊综合评判法对采煤塌陷区进行土地复垦适宜性评价,以此来确定采煤塌陷区的土地复垦适宜方

向;豆飞飞等人^[20]采取指数法和极限条件法对煤矿土地复垦进行适宜性评价,确定了宜农、宜林及宜养殖的土地区域和面积。

表 2 煤矿区土地复垦方向的评价方法及优缺点

Tab. 2 The evaluation methods of land reclamation direction and their advantages and disadvantages in coal mine area

评价方法	优点	缺点
计算机辅助叠加制图法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能突破手工操作的局限、处理海量数据^[21] 2. 既可进行独立的区域土地适宜性分析,也可以将研究区不同地图合并成总的土地适宜性图进行分析^[21] 3. 容易理解和操作^[23] 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 进行加权综合分析操作时,操作者不能较好地理解某些评价因子及赋予它们相应权重的意义,导致得出的结果存在差异^[23] 2. 假设各评价因子间缺乏相关性^[24-25];评价者并不了解或忽略这些假设,致使一些不正确的结论产生^[26] 3. 把复杂评价过程简化为几个评价因子的问题,而不是多因素、多方面综合判断^[23]
多指标决策方法	克服了计算机辅助叠加制图方法的不足 ^[23]	<ol style="list-style-type: none"> 1. 应用不同的评价指标合并方法、属性图标准化方法和权重确定方法可能导致不同的结果^[21] 2. 缺乏一个被普遍承认且通用的加权方法^[21] 3. GIS 多指标评价输入的数据经常不准确,缺乏确定性、意义模糊^[21-23]
人工智能	能较好地容忍不确定性、模糊性以及不准确性等 ^[22-23]	<ol style="list-style-type: none"> 1. 最大缺点在于它的“黑箱”式分析问题风格^[22] 2. 在大空间尺度上的适用性较差^[21]
极限条件法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 凡是在有某项土地复垦影响因子指标出现不适宜的情况下,均可以采用这种方法^[22] 2. 简单易操作,能较好体现个别极端决定土地评价适宜性的因素^[27] 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 缺乏对各种影响因子的全面考虑和分析,在多数情况下评价的结果过于保守^[22] 2. 未考虑到在某些情况下,土地某种性质的不足可由其他部分弥补,致使得出的结论偏于草率和绝对^[27]
指数和法	充分考虑了各影响因子的重要性,并将各参评因子的影响程度予以量化,思路清晰,逻辑性强 ^[22]	需要先确定评价因子的权重和土地等级指数范围,由于经验和确定权重的方法不同,评价的结果具有一定的主观随意性 ^[22]
模糊综合评判法	充分考虑到各评价因子指标的模糊性及其对土地质量影响的模糊性 ^[22]	需要事先确定评价因子指标体系,给结果带来一定的人为影响 ^[22]
可拓法	把各参评因子量化,尽量减少了人为因素的影响,克服了多因素识别评价中的主观片面性,该方法计算简便,计算结果比较客观,能正确反映土地复垦的适宜性程度 ^[22]	体系还不够完善,可供选择的关联函数比较少,原理和方法有待进一步深入研究 ^[22]
人工神经网络法	比较适合处理大数据量的问题,使用者可以专注于问题本身而不用关注技术的细节 ^[28]	在应用中存在学习收敛速度慢、容易陷入局部极小网络学习和记忆具有不稳定性等缺陷 ^[28]
多方法结合评判	扬长避短,弥补单一方法造成评价结果与客观实际严重不符的缺陷 ^[20]	多种方法在衔接上、容融上可能存在一定问题 ^[20]

2.1.4 煤矿区土地复垦方向的最终确定 目前,煤矿区土地复垦方向的最终确定主要是坚持定性方法与定量方法相结合。首先,根据各煤矿区的具体情况,选取主要评价因子构建指标评价体系;然后,运用适宜的权重确定方法确定各指标或各指标层的权重;最后,选择合适的煤矿区土地复垦方向评价方法最终确定煤矿区土地复垦方向(图 3)。郭青霞等人^[4]选取坡度、土壤侵蚀、排水条件、灌溉条件、岩土污染、土体容重、非均匀沉降、土壤有机质、有效土层厚度、地表物质组成等 10 个评价因子,并参照《中国 1/100 万土地资源图》等级划分标准对评价因子进行等级划分,运用最小限制因素法对土地的适宜性进行评价,最终确定了复垦土地利用方向。喻红林等人^[29]参照全国各地矿山土地复垦适宜性评价中评价因子的选取及权重的确定方法,选取地形坡度、灌排条件、表土质

地、土层厚度、外部条件等限制因素作为评价指标,并对各因素进行等级划分,从而构建起指标评价体系,然后采用德尔斐法确定各参评因子的权重,利用极限条件法和指数与法相结合的方法,最终确定了五峰山煤矿区各评价单元的土地复垦利用方向。刘二伟等人^[30]选取开采破坏程度、土壤类型、破坏后地形坡度、土壤侵蚀度和土壤有机质含量作为评价因子,采用专家打分法确定各评价因子的权重,利用指数和法求出土地综合质量指数,据此确定了郭家山煤矿土地复垦方向。

目前,中国煤矿区土地复垦的主要目的是为了增加耕地,实现耕地总量的占补平衡,因此对煤矿区土地复垦方向的确定应在优先考虑农地化的前提下,宜农则农,宜林则林,宜建则建。在评价单元的划分上,目前虽

已形成一定的标准,但由于土地的各种性状在地面上的分布存在无规律的连续变化、评价尺度不同等原因,运用单一的划分标准划分评价单元就不能满足实际需要,今后在评价单元的划分上需结合多种评价标准来划分评价单元。在评价指标体系的构建上,多选取自然因素方面的因子,而对经济、人口、环境污染等社会经济因素考虑较少,今后的煤矿区土地复垦评价指标体系应从适宜性、驱动力、限制力等多方面来构建。目前,中国所采用的评价方法相对单一,存在着容错性、通用性、动态性较差等缺陷。因此,今后在煤矿区土地复垦方向适宜性评价方法的选择上,优化整合多种方法手段对影响煤矿区土地复垦方向适宜性评价的多个因素进行全面系统综合的考虑和分析,将是研究的热点和核心工作。随着地理信息技术和遥感技术的迅猛发展,今后土地复垦适宜性评价采用 GIS 和 AL 相结合的方法将是土地复垦适宜性评价发展的必然趋势^[21]。

2.2 煤矿区土地复垦技术研究

目前在煤矿区土地复垦技术方面已经建立起较为完整的复垦技术体系(图 4),但是针对煤矿这一特殊的复垦对象,尚未提出能够指导设计和施工的技术标准或规范,导致复垦的土地质量差,复垦利用效率低、恢复和保护生态环境的作用不能有效发挥。

2.2.1 地貌重塑技术 地貌重塑是针对煤矿区的地形地貌地势特点,根据开采工艺、土地损毁方式和土地破坏程度,采取一系列措施,将损毁土地重新塑造成一个适于再利用的新地貌^[31]。

目前国内外采用较多的地貌重塑方法主要有充填法和非充填法。充填法主要指粉煤灰充填、煤矸石充填和污泥充填等;非充填法主要指就地整平、梯田式整平、疏排法和挖深垫浅。德国维

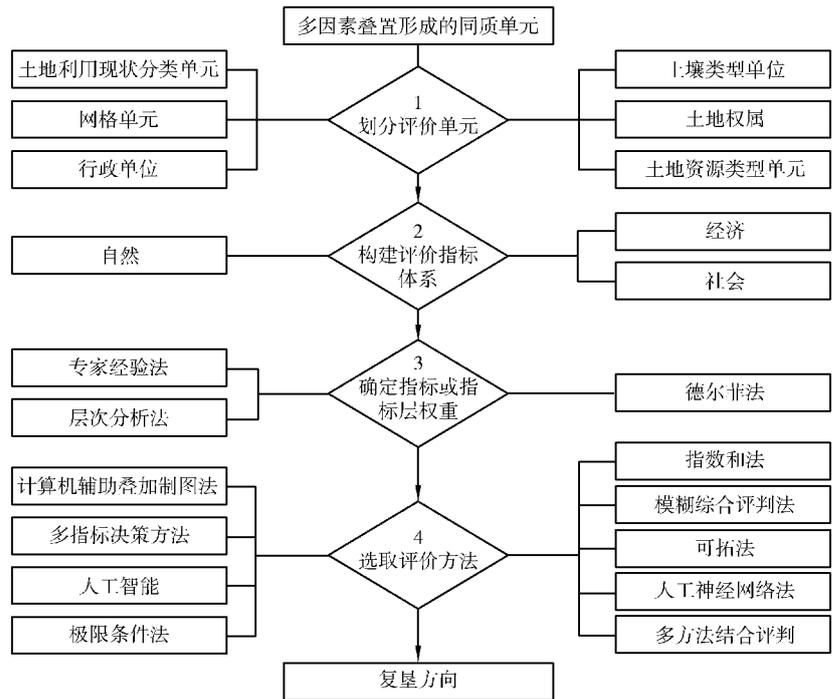


图 3 煤矿区土地复垦方向确定流程图

Fig. 3 Land reclamation direction determination process in coal mine area

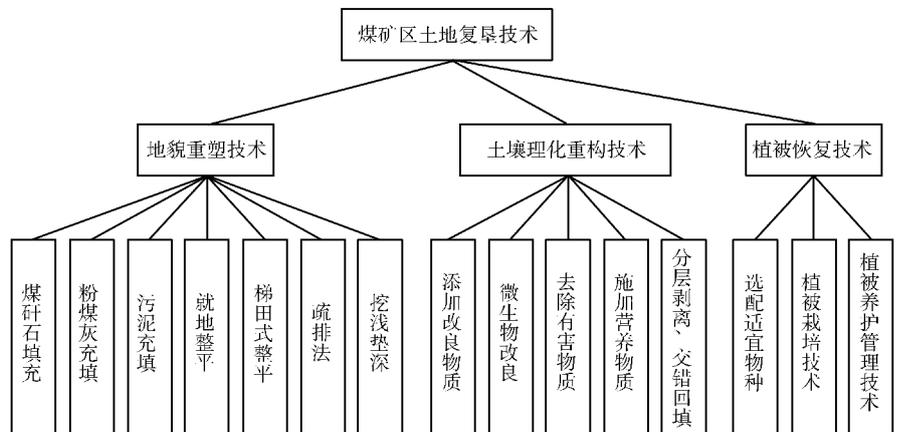


图 4 煤矿区土地复垦技术体系

Fig. 4 The technology system of land reclamation in coal mine area

佐夫露天煤矿在褐煤开采中采用“分层剥离、交错回填”工艺,通过运用分层压实方式构筑平台与边坡、修建排水沟等工程来重塑地貌以用于林业、农业发展^[32];美国弗吉尼亚煤矿将煤矸石填入因采煤造成的沉陷区,再用机械将矸石分层压实,以达到适宜种植的目的。

2.2.2 土壤理化重构技术 土壤重构是以土壤恢复或重建为目的,采取适当的技术工艺重新构建一个合适的土壤剖面,并运用一定的措施改善土壤的理化性质,使土壤的生产力得到恢复和提高^[33]。土壤重构与地貌重塑紧密相连,地貌重塑是土地复垦的基本内容,是土壤重构的基础;改造原有土壤的物理、化学和生物条件以促进生物生长、土壤生产力水平恢复的土壤重构则是土地复垦的核心内容^[34]。在进行土壤理化重构方面,目前主要采用如下几种方法。

1) 添加改良物质。Andrew 等人^[35]通过在矿区土壤中施加消化污泥,在地表混合种植黑麦草和三叶草,来吸附去除土壤中的重金属,从而改善土壤的理化性质。

2) 微生物改良法。俄罗斯从覆土的岩石中分离出细菌,利用微生物的新陈代谢作用,使土壤中氮和腐殖质数量增加,迅速形成土壤,提高土壤肥力^[36]。

3) 去除有害物质。胡振琪等人^[37]从国外引入在矿区复垦中普遍应用的土工布技术,选取聚乙烯丙纶、涤纶针刺、涤纶复合土工布和 HDPE 土工膜共 4 类土工材料来验证土工布对煤矸石淋出液中重金属的阻隔作用,发现土工布能不同程度地降低淋出液中重金属的含量,以达到土壤理化重构的目的。

4) 施加营养物质。即对重塑地貌后的土地施加适量的有机或无机肥以增加土壤中的有机质含量,提高土壤的肥力。合理配置有机肥料和化肥,注重氮、磷配合,增加土壤养分,促进土壤团粒结构形成是实现土壤理化重构的重要方式。

5) 分层剥离、交错回填法。此方法重在重构土壤剖面,胡振琪^[38]在国内外土地复垦实践基础上,提出用“分层剥离、交错回填”来重构土壤剖面,以实现土层顺序的基本不变或更适宜作物生长。

此外,匡文龙等人^[39]在《采煤塌陷地区土地生态环境的影响与防治研究》中针对采煤塌陷引起的土壤破坏,提出“原位保护”和“异位保护”两种方法,来实现煤矿区土地复垦土壤的理化重构。

2.2.3 植被恢复技术 植被恢复是煤矿废弃地生态恢复的首要工作^[40]。通过保护现有植被或栽种新植被,来恢复或重建被破坏生态系统,恢复物种多样性及生态系统功能^[41]。对于煤矿区植被恢复,国内外主要从物种选配、植被栽植技术和植被养护管理技术 3 方面来进行。

1) 选配适宜物种。鉴于各地气候、土壤、地形地貌、原生植被不同,植被类型存在较大差异,复垦方向亦不同,因此应遵循因地制宜的原则选取相应的植被类型。王子玲等人^[42]认为风沙区及黄土丘陵区植物选择,应优先考虑本土树种,再考虑适应能力和抗风抗旱能力和繁殖能力强的物种。李道亮等人^[43]基于相似算法,建立了依据废弃地的气候和土壤属性就可得出待修复地与成功案例库中煤矿废弃地的气候和土壤的相似程度及对应适生植物品种的模型,为煤矿废弃地植被恢复选择适宜的植物品种提供了决策支持。

2) 植被栽植技术。当前成熟的植被栽植技术主要包括覆土栽植技术、无覆土栽植技术和抗旱栽植技术^[44]。但在植被恢复过程中应根据地块的土壤性状、种植模式和植物种类,合理选择栽植技术。

3) 植被养护管理技术。煤矿复垦地植被养护管理的目的是为植被更好的成活、生长、繁殖创造环境条件,使之迅速成林^[44-45]。参考依据煤矿复垦区立地条件、植被恢复目标,植被养护管理技术主要应做好土壤管理、植被管理、植被保护等工作^[44-46]。在种植后的第一年需要灌溉、施肥、植被抚育等高强度管理,之后逐年降低管理强度,直至自然生长,以促进复垦区建立稳定的自然生态系统^[44-45]。

目前,煤矿区土地复垦技术在地貌重塑、土壤理化重构、植被恢复上取得了重大成就,形成了较为完整的复垦技术体系,但缺乏相应的技术标准和设计、施工规范,今后土地复垦技术的发展趋势将是在完善现有技术体系的同时,积极探索新的技术,更多的采取生物技术并制定较为完备的设计、施工技术标准和规范。

2.3 煤矿区土地复垦模式

煤矿区土地复垦利用模式的建立与该地区的地理环境、煤矿开采方式、土地破坏程度和当地的生产方式等因素密切相关^[47-48]。随着煤矿复垦模式研究的开展,在土地复垦利用模式上已不再局限于复垦为耕地、林地等,而是根据煤矿自身特点及周围产业发展状况提出不同的复垦利用模式,从而加大土地利用效率,但土地复垦后利用模式的研究还不全面,创新性实例较少。目前,国内外煤矿区土地复垦利用模式主要有生态农林渔业、旅游、建设用地、综合等模式。吴言忠^[49]在研究中指出土地用途模式可根据塌陷区位置条件、塌陷状况和用地需求

确定为建设用地模式、养殖用地模式、绿化用地复垦模式及花园式的休闲区模式等。赵玉霞等人^[50]从可持续发展的思想出发,分别运用西方经济学和环境经济学理论对唐山开滦煤矿复垦的农业模式的特征及可持续性进行了分析与比较,并据此对该区域的土地复垦提出可行的方案建议。李宗禹^[51]在《前苏联的林业土地复垦》中系统地总结了苏联被破坏土地的土壤改良、促进人工林生长、乔灌木树种选择、人工林营造等林业复垦模式的先进技术,并对苏联林业土地复垦的经济效益评价的指标体系进行了简要介绍。李根福^[52]在《国内外矿区复垦为旅游景点的实例介绍》一文中列举介绍了矿区复垦为旅游景观场所的事例,对拓宽复垦工作者的视野,因地制宜复垦土地和治理环境具有重要意义。赵海峰等人^[53]对未稳沉塌陷地采用充填煤矸石方法将之复垦为建筑用地的复垦技术进行了探讨,并将该技术成功应用为皖北矿区的煤矿区征地迁村上。王涛等人^[54]通过分析采煤沉陷区自然条件和社会条件,提出综合治理的实施方案:积水深坑建鱼池,土地复垦成方田,堤路植树防风固沙绿化环境,排灌结合保丰收。由于各煤矿区土地利用形式多样,常见有排土场、煤矸石山、建筑用地等类型,因此采用单一复垦模式不能达到最优复垦效果,近些年来采用的综合复垦模式则将解决这一问题的良好方法。今后的煤矿区土地复垦应突破现有单一模式的束缚,打破一个模式用之四海而皆准的理念,在继承其优秀做法的基础上,举一反三,推陈出新,根据不同的问题采取不同的复垦方案,形成一套新的行之有效的煤矿区土地复垦模式。

3 结束语

1) 在煤矿区土地复垦方向方面,主要集中在煤矿区土地复垦适宜性评价上;首先,根据各煤矿区的具体情况,选取主要评价因子构建指标评价体系;然后,运用适宜的权重确定方法确定各指标或各指标层的权重;最后,选择人工智能、极限条件、指数和、模糊综合评判等方法确定煤矿区土地复垦方向。在土地复垦评价单位划分上,划分依据多样,缺乏统一标准;在评价因子选取和指标体系构建上,对评价因子选取与量化缺乏环境因子考虑;评价方法选择上,采用方法较为单一,难以弥补评价方法固有的不足。对此,今后在评价因子选取、指标权重确定、指标体系构建上要更多考虑生态需求;在评价方法选择上应综合各种方法优缺点采取多种方法相结合或积极探索新的评价方法;在煤矿区土地复垦最终方向确定上应优先向农业方向发展。

2) 在煤矿区土地复垦技术方面,主要集中在地貌重塑、土壤理化重构、植被恢复上。对地貌重塑技术,多采用充填法和非充填法等措施,因充填物多为煤矸石、粉煤灰等,易造成土壤二次污染;在土壤理化重构技术上,目前虽已有多种方法来重建土壤剖面和治理土壤污染,但实际应用中土壤污染治理仍显不足;在植被恢复上,随着技术的提高植被的存活率与覆盖率逐步提高,但对植被的管理和养护缺乏有效的措施。鉴于此,今后在煤矿区土地复垦技术方面应在现有技术的支撑下,积极探索新的技术,更多的采取生物技术,降低对环境和生态的干扰。

3) 在煤矿区土地复垦利用模式方面,目前主要采用生态农业模式、林业模式、渔业模式、旅游业模式、建设用地模式、综合模式等。对于复垦模式的选择而言,需要考虑的因素较多,应根据当地自然条件、经济发展水平和社会需要等多方面条件最终选择适宜的复垦模式。

参考文献:

- [1] 胡振琪,毕银丽.2000年北京国际土地复垦学术研讨会综述[J].中国土地科学,2000,14(4):15-17.
HU Z Q, BI Y L. Review of Beijing international symposium on land reclamation in 2000[J]. China Land Science, 2000, 14(4): 15-17.
- [2] 陈百明.土地资源学概论[M].北京:中国环境科学出版社,1999:75-156.
CHEN B M. Introduction to land resources science[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1999: 75-156.
- [3] 苏壁耀.土地资源学[M].南京:江苏教育出版社,1994:42-81.
SU B Y. Land resource science[M]. Nanjing: Jiangsu Education Press, 1994: 42-81.
- [4] 郭青霞,吉谦,王改玲,等.安太堡露天煤矿复垦土地适宜性评价研究[J].山西农业大学学报,2002,22(2):82-86.
GUO Q X, JI Q, WANG G L, et al. Suitability evaluation of the reclaimed land in Antaobao opencast coal mine[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2002, 22(2): 82-86.
- [5] 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,2011,7(12):104-108.
CAI L P, LI G, SUN J Y, et al. Research about unit of the reclamation suitability evaluation in coal mining subsidence area[J]. China Coal, 2011, 7(12): 104-108.
- [6] 朱紫薇,柯伟锋.采煤沉陷区土地复垦适宜性评价指标体系的建立及仿真[J].安徽建筑工业学院学报(自然科学版),2013,21(3):82-86.

- ZHU Z W, KE W F. Creation and simulation of mining subsidence area reclamation suitability evaluation index system [J]. *Journal of Anhui Institute of Architectur & Industry (Natural Science Edition)*, 2013, 21(3): 82-86.
- [7] 李志强, 曹永新, 李伟光, 等. 安家岭露天矿排土场复垦适宜性评价与效益分析[J]. *露天采矿技术*, 2007(2): 58-60.
- LI Z Q, CAO Y X, LI W G, et al. The reclaimed land suitability evaluation and benefit analysis of surface mine dump in Anjialing[J]. *Open-cast Mining Technology*, 2007(2): 58-60.
- [8] 邢应和, 阳华, 姜升. 采煤沉陷地复垦适宜性评价探讨—以安山矿区为例[J]. *矿山测量*, 2011(2): 51-56.
- XING Y H, YANG H, JIANG S. Suitability evaluation of land reclamation in coal mining subsidence area: a case study of Anshan mining area[J]. *Mine Surveying*, 2011(2): 51-56.
- [9] 凌云川. 土地适宜性评价理论与方法研究[J]. *现代农业科技*, 1999, 19(1): 49-52.
- LING Y C. Research on theory and method of land suitability evaluation[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 1999, 19(1): 49-52.
- [10] LYLE J, STUTZ F P. Computerized land use suitability mapping[J]. *Cartographic Journal*, 1983, 20(1): 39-49.
- [11] CHUVIECO E. Integration of linear programming and GIS for land use modeling [J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1993, 7(1): 71-83.
- [12] ALEXANDER S M, WATERS N M, PAQUET P C. A probability-based GIS model for identifying focal species linkage zones across highways in the Canadian Rocky Mountains[M]. [S.l.]: John Wiley & Sons Ltd, 2006: 233-255.
- [13] CLARKE G, STILLWELL J. Applied GIS and spatial analysis[J]. *Photogrammetric Record*, 2006, 19(107): 254-255.
- [14] TURNER A K, MILES R D. The GCARS system: A computer assisted method of regional route location[J]. *Highway Research Record*, 1971(348): 1-15.
- [15] DIAMOND J T, WRIGHT J R. Design of an integrated spatial information system for multi-objective land use planning[J]. *Environment & Planning B Planning & Design*, 1988, 15(2): 205-214.
- [16] ZHOU J, CIVCO L D. Using genetic learning neural networks for spatial decision making in GIS[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1996, 62(11): 1287-1296.
- [17] 崔艳, 白中科, 张继栋, 等. 露天矿区农用地复垦适宜性评价的方法与应用[J]. *农业工程学报*, 2008, 24: 181-184.
- CUI Y, BAI Z K, ZHANG J D, et al. Methods and application of agricultural land suitability evaluation in open-cast mining area[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24: 181-184.
- [18] 胡鑫, 曹伟. 刘砦煤矿沉陷区土地复垦可行性分析[J]. *能源技术与管理*, 2016, 41(2): 186-188.
- HU X, CAO W. Land reclamation feasibility analysis of coal mining subsidence area in Liuzhai[J]. *Energy Technology and Management*, 2016, 41(2): 186-188.
- [19] 宋可实. 采煤塌陷区土地复垦适宜性评价研究: 以徐州潘安煤矿塌陷区为例[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- SONG K S. Suitability evaluation for land reclamation in coal mining subsidence area: a case study of Pan'an, Xuzhou coal mining subsidence area[D]. Chongqing: China: Chongqing University, 2014.
- [20] 豆云飞, 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 F F, LI P, ZHU J W. Research on suitability evaluation of land reclamation of the chensilou coal mine in Yongcheng [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(17): 192-197.
- [21] 何英彬, 陈佑启, 杨鹏, 等. 国外基于 GIS 土地适宜性评价研究进展及展望[J]. *地理科学进展*, 2009, 28(6): 898-904.
- HE Y B, CHEN Y Q, YANG P, et al. An overview and perspective of alien land suitability evaluation study based on GIS technology [J]. *Progress in Geography*, 2009, 28(6): 898-904.
- [22] 王欢, 王平, 谢丽祥, 等. 土地复垦适宜性评价方法[J]. *中南林业科技大学学报*, 2010, 30(4): 154-158.
- WANG H, WANG P, XIE L X, et al. Commentary on methods for suitability evaluation of land reclamation[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2010, 30(4): 154-158.
- [23] 邱炳文, 池天河, 王钦敏, 等. GIS 在土地适宜性评价中的应用与展望[J]. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(5): 20-24.
- QIU B W, CHI T H, WANG Q M, et al. Application of GIS and its prospect in land suitability assessment[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2004, 20(5): 20-24.
- [24] HOPKINS L D. Methods for generating land suitability maps: a comparative evaluation[J]. *Journal for American Institute of Planners*, 1977, 43(4): 386-400.
- [25] PEREIRA J M C, DUCKSTEIN L. A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation[J]. *Geographical Information Systems*, 1993, 7(5): 407-424.
- [26] MALCZEWSKI J. A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making [J]. *Geographical Information Systems*, 1996, 10(8): 955-971.
- [27] 徐丽莎. 土地适宜性评价的理论与评价方法综述[J]. *今日南国*, 2008(103): 18-19.
- XU L S. Review of theory and evaluation methods of land suitability evaluation[J]. *The South of China Today*, 2008

- (103):18-19.
- [28] 曹文彬,代启亮,李玉华,等.土地适宜性评价方法研究进展[J].安徽农业科学,2013,41(21):9084-9086.
CAO W B, DAI Q L, LI Y H, et al. Research progress of land suitability evaluation [J]. Journal of Anhui Agri, 2013, 41(21):9084-9086.
- [29] 喻红林,李晓青,邓楚雄,等.五峰山煤矿区复垦土地适宜性评价及复垦模式研究[J].农学学报,2012,2(6):59-64.
YU H L, LI X Q, DENG C X, et al. The reclaimed land suitability evaluation and reclamation mode of coal mine area in five mountains mountain [J]. Journal of Agriculture, 2012, 2(6):59-64.
- [30] 刘二伟,赵艺学.郭家山煤矿土地复垦适宜性评价[J].山西农业科学,2010,38(7):62-65.
LIU E W, ZHAO Y X. Suitability evaluation of land to be reclaimed in the Guojiashan coal mine [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2010, 38(7):62-65.
- [31] 张俊芳.基于过程控制的矿山土地复垦工程技术体系构建[J].安徽农业科学,2014,42(25):8692-8695.
ZHANG J F. Construction of technology system of land rehabilitation engineering in mining area based on process control [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(25):8692-8695.
- [32] 郭义强,罗明,王军.中德典型露天煤矿排土场土地复垦技术对比研究[J].中国矿业,2016,25(2):63-68.
GUO Y Q, LUO M, WANG J. Study on comparison of land reclamation technology in typical surface mine dump between China and Germany [J]. China Mining Magazine, 2016, 25(2):63-68.
- [33] 胡振琪,魏忠义,秦萍.矿山复垦土壤重构的概念与方法[J].土壤,2005,37(1):8-12.
HU Z Q, WEI Z Y, QIN P. Concept of and methods for soil reconstruction in mined land reclamation [J]. Soils, 2005, 37(1):8-12.
- [34] MOFFAT A, MCNEILL J. Reclaiming disturbed land for forestry [M]. London: HMSO, 1994.
- [35] RATE A W, LEE K M, FRENCH P A. Application of biosolids in mineral sands mine rehabilitation; use of stockpiled topsoil decrease strace element uptake by plants [J]. Bioresource Technology, 2004, 91(3):223-231.
- [36] GIEDRIUS P, VIDA M. Towards sustainable rural development in Central and Eastern Europe; Applying land consolidation [J]. Land Use Policy, 2010, 27(2):545-549.
- [37] 胡振琪,王萍,张明亮,等.土工布阻隔煤矸石中重金属迁移实验研究[J].环境工程学报,2008,2(4):536-541.
HU Z Q, WANG P, ZHANG M L, et al. A column test for preventing heavy metal pollution from coal gangue with geotextiles [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2008, 2(4):536-541.
- [38] 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(6):617-618.
HU Z Q. Principle and method of soil profile reconstruction for coal mine land reclamation [J]. Journal of China Coal Society, 1997(6):617-618.
- [39] 匡文龙,邓义芳.采煤塌陷地区土地生态环境的影响与防治研究[J].中国安全科学学报,2007,17(1):116-120.
KUANG W L, DENG Y F. Probe into the soil environmental impact of coal mining collapsed area and its prevention and cure measures [J]. China Safety Science Journal, 2007, 17(1):116-120.
- [40] 杨勤学,赵冰清,郭东罡.中国北方露天煤矿区植被恢复研究进展[J].生态学杂志,2015,34(4):1152-1157.
YANG Q X, ZHAO B Q, GUO D G. A review on vegetation restoration of opencast coal mine areas in northern China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(4):1152-1157.
- [41] 李其远.论平庄矿区可持续发展之路[J].内蒙古煤炭经济,1998(1):4-6.
LI Q Y. On sustainable development of mining area in Pingzhuang [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 1998(1):4-6.
- [42] 王子玲,霍晓梅,符亚儒,等.神府东胜沙地矿区植被建设技术研究[J].西北林学院学报,2007,22(6):1-6.
WANG Z L, HUO X M, FU Y R, et al. Vegetation construction technology in Shenfu mining area in Dongsheng sandy [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(6):1-6.
- [43] 李道亮,王莹.煤矿废弃地植物恢复品种选择模型研究[J].系统工程理论与实践,2005(8):140-144.
LI D L, WANG Y. A plant species selection model for revegetation of abandoned land contaminated from coal mining activities [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2005(8):140-144.
- [44] 赵方莹,刘飞,巩潇.煤矸石山危害及其植被恢复研究综述[J].露天采矿技术,2013(2):77-81.
ZHAO F Y, LIU F, GONG X. Summarize of coal gangues harm and plant renew research [J]. Opencast Mining Technology, 2013(2):77-81.
- [45] 李鹏波,胡振琪,吴军,等.煤矸石山植被恢复技术模式的研究[J].山东林业科技,2006(1):13-15.
LI P B, HU Z Q, WU J, et al. Study on model of vegetation rehabilitati on technique on coal waste pile [J]. Shandong Forestry Science and Technology, 2006(1):13-15.
- [46] 张婷,王曰鑫.煤矸石山生态恢复研究进展[J].水土保持研究,2007,14(5):412-416.
ZHANG T, WANG Y X. Research porgerss of coal waste piles' ecology restoartion [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(5):412-416.

- [47] 韩明正.采煤塌陷矿区土地整理模式研究[D].北京:中国农业大学,2004.
HAN M Z. Study on land arrangement mode in laving mine[D].Beijing:China Agricultural University,2004.
- [48] 郭义强.煤矿区土地复垦规划模式研究[D].河北:河北农业大学,2005.
GUO Y Q. Study on the model of land restoration planning in the coal mining area[D].Hebei: Agricultural University of Hebei,2005.
- [49] 吴言忠.采煤塌陷区复垦土地的技术模式研究[J].山东煤炭科技,2007(5):61-62.
WU Y Z. The technical model for land reclamation in coal mining subsidence area [J]. Shandong Coal Science and Technology,2007(5):61-62.
- [50] 赵玉霞,毛显强,杨居荣.几种矿区复垦农业利用模式的可持续性分析与比较:以唐山开滦煤矿为例[J].中国人口资源与环境,2000,10(2):72-74.
ZHAO Y X, MAO X Q, YANG J R. Sustainable analysis and comparison of several styles for agricultural reclamation in mines: taking Kailuan coalmine in Tangshan as an example[J]. China Population , Resources and Environment,2000,10(2):72-74.
- [51] 李宗禹.前苏联的林业土地复垦[J].世界林业研究,1996,5(14):37-44.
LI Z Y. Forest land reclamation in former USSR[J]. World Forestry Research,1996,5(14):37-44.
- [52] 李根福.国内外矿区复垦为旅游景点的实例介绍[J].冶金矿山设计与建设,1996(5):60-63.
LI G F. Mined land reclaimed into touristry landscape: some examples at home and abroad[J]. Metal mine design and construction,1996(5):60-63.
- [53] 赵海峰,方军,高荣久,等.非稳沉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(6):84-86.
ZHAO H F, FANG J, GAO R J, et al. Discussion on the technology of dynamic filling coal gangue reclamation for construction land in unstable subsidence area[J]. Mine Surveying, 2010(6):84-86.
- [54] 王涛,黄翠霞.铁法煤矿采煤沉陷区土地复垦综合治理模式初探[J].水土保持科技情报,2003(3):40-41.
WANG T, HUANG C X. Research on comprehensive management mode of land reclamation of coal mining subsidence area in Tiefa[J]. Scientific and Technical Information of Soil and Water Conservation,2003(3):40-41.

The Research of Land Reclamation in Coal Mining Area: Prospects and Progress

DU Jianping¹, SHAO Jing'an^{1,2}, TAN Shaojun¹, CAO Fei¹

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University; 2. Key Laboratory of Surface Process and

Environment Remote Sensing in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] It provides a reference for land reclamation work in coal mining area by combing its land reclamation theory and technology. [Methods] By the way of summarizing, summing up and refining the research of present situation and the future through the retrieve of related 1,406 papers according to the time classification in CNKI relevant literature. [Findings] The research mainly concentrated on land reclamation direction which determines the direction of land reclamation in coal mine area focused on the evaluation of suitability, unit division and system to build, such as weight, evaluation method of selection is the key research; Land reclamation technology innovation, form, reclamation technology and reclamation modes. It forms the major technology system with landform reshaping, soil reconstruction, and vegetation restoration; Land reclamation patterns are diversity, and develops by a single mode to the comprehensive one. [Conclusions] Although there are significant achievements in land reclamation but there are still some problems, such as poor quality of reclaimed land, low reclamation utilization rate, its ineffective role to restore and protect the ecological environment, so the research importants will focus on the determination of scientific reclamation direction, ecological reclamation technology and integrated reclamation modes in land reclamation of coal mining area.

Keywords: coal mining area; land reclamation; prospects and progress; land suitability evaluation

(责任编辑 许 甲)