

# 山西省潞安矿区生态恢复模式研究

王世东, 郝成元, 郭增长, 刘昌华, 樊良新

(河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 在对潞安矿区自然经济条件、环境破坏程度和土地利用现状进行调查与分析的基础上, 根据潞安矿区实际, 以尽快恢复被破坏土地的原有生产力为出发点, 以恢复改善生态环境为目标, 提出了稳定塌陷区生态恢复模式、潜在或动态塌陷区生态恢复模式、煤矸石山环境治理模式、废弃物地生态恢复模式、环境污染区生态恢复模式、家园服务生态恢复模式等6类适合潞安矿区的生态恢复模式, 每类模式里又包含几种子模式。经过对矿区不同区域实施的生态恢复模式成效的调查结果表明, 该生态恢复模式系统的建立和空间分布格局是科学合理的, 符合潞安矿区的实际情况, 并取得了良好的经济效益和生态效益。

**关键词:** 潞安矿区; 生态环境; 恢复模式; 塌陷地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0051-05

中图分类号: X37, X171.1

## Eco-environmental Restoration Models in Lu'an Mining Area of Shanxi Province

WANG Shi-Dong, HAO Cheng-yuan, GUO Zeng-zhang, LIU Chang-hua, FAN Liang-xin

(School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

**Abstract:** This study is based on the investigation and analysis of natural and economic conditions and the extent of environmental damages and land use in Lu'an mining area. According to the actual conditions of Lu'an mining area and taking the restoration of original capacity of destroyed land as the starting point, six ecological restoration models suitable to Lu'an mining area are put forward in order to restore and improve the ecological environment. The models are the ecological restoration model of stable subsidence area, the ecological restoration model of dynamic subsidence area, the ecological restoration model of coal gangue field, the ecological restoration model of disused land, the ecological restoration model of environmental pollution region, and the ecological restoration model of homestead service. Each ecological restoration model contains several sub-models. Results from survey indicate that the system of ecological models is scientific and reasonable. Moreover, the high economic and ecological benefits have been obtained in recent years.

**Keywords:** Lu'an mine area; ecological environment; restoration model; subsidence area

潞安矿区位于山西省沁水煤田东部边缘的中段, 是我国重要的煤炭工业生产基地。多年来, 随着煤炭被大量开采, 在采空区上方形成了大面积塌陷地, 地表塌陷坑周边出现明显或较大的裂缝, 破坏了地形地貌、地面景观和地表植被; 煤矸石、粉煤灰压占土地、污染环境, 造成水土流失; 矿区废水排放污染地表水和采煤致使地下水的疏干, 从而导致矿区出现一系列的生态环境问题, 包括生态结构退化和功能退化、生态系统碎裂化、矿区和周边地区环境严重污染、矿区污染源扩散、矿区和周边地区水过程和生物栖息生境的破坏以及各种自然地质灾害的诱发等<sup>[1]</sup>。对于煤炭生产中出现的生态环境问题, 潞安集团一直比较重视,

但其重点主要放在矿区破坏和污染防治上, 而对矿区原来已经出现的生态环境问题, 没有引起足够重视, 使原先已经很脆弱的矿区生态环境进一步恶化。所以急需采取有效措施和建立适合潞安矿区的生态恢复模式来改善矿区生态环境, 促进矿区可持续发展。

本研究以自然、社会、经济复合生态系统理论为指导, 结合潞安矿区煤炭资源开发与利用现状, 深刻辨识所面临的生态问题及其产生机制, 探讨了矿区生态系统演变规律及其发展变化趋势, 本着“整体、协同、循环、再生”的生态学基本原则, 集成国内外矿区生态恢复技术与经验, 提出了适合潞安矿区的生态恢复模式。该研究将为潞安矿区生态恢复工作的开展

收稿日期: 2009-07-23

修回日期: 2009-11-10

资助项目: 国家科技支撑计划课题“中原地区基本农田保护技术研究”(2006BAJ05A14); 河南省教育厅自然科学研究计划项目(2010B420001)

作者简介: 王世东(1978—), 男(汉族), 河南省清丰县人, 讲师, 主要从事GIS和土地复垦的教学与科研工作。E-mail: wsd0908@163.com.

提供科学依据,并为全国其它矿区生态恢复工作提供借鉴。

## 1 生态恢复模式研究的理论基础

要全面、科学、系统地分析和研究矿区生态恢复模式,就需在恢复生态学理论的基础上,深入了解矿区生态系统的破坏机理、演替规律和各种生态恢复模式的特点。恢复生态学是 20 世纪 80 年代发展起来的现代生态科学的分支,最早出现在麦迪逊植物园(1984)学术会议的论文集集中。

20 世纪 80 年代,随着各类生态系统的退化及相继引发的环境问题加剧,国外开始注重对不同退化生态系统的恢复重建研究。在废矿地恢复方面,澳大利亚对采矿地的生态恢复的研究较深入。1996 年在美国召开了国际恢复生态学会议,专门探讨了矿山废弃地的生态恢复问题;在草地恢复方面,北美在 20 世纪 30 年代开始,同期欧洲开始研究非洲干旱引起的草原退化问题。目前国外在恢复生态学理论和实践研究方面走在前列的是欧洲、澳洲和北美。欧洲侧重于矿山恢复,北美侧重于水体和林地恢复,澳洲侧重于草原管理与恢复。

我国的恢复生态学研究,前期主要以土地退化,尤其是土壤退化为主。主要针对水土流失、草场退化及盐渍化、土地污染及肥力贫瘠化、森林生态系统退化与恢复、草地生态系统恢复改良、湿地恢复重建等。20 世纪 90 年代以来,对矿山废弃地复垦和植被对于重金属污染的修复研究也开始增多。其生态恢复途径是改换土壤、进行物理和化学改良、去除有害物质、种植先锋物种等。

矿区生态系统往往是对原有农林生态系统进行一定程度破坏之后建立起来的,在矿区生产和建设过程中由于农林植被绝大部分被破坏,导致生态平衡失调,人类生存环境恶化。本研究针对采矿活动造成区域生态环境恶化问题,对矿区自然经济条件、环境破坏程度和土地利用现状进行调查与分析,以恢复改善生态环境为目标,对矿区生态恢复模式进行研究。

## 2 研究区概况

潞安矿区位于山西省东南部,太行山中段西侧、长治盆地西部,地理坐标为东经  $112^{\circ}3'53''$ — $113^{\circ}16'35''$ ,北纬  $35^{\circ}50'9''$ — $36^{\circ}33'49''$ ,总面积约  $4\ 015\ \text{km}^2$ ,属于我国 13 个大型煤炭基地之一——晋东煤炭基地的范围内。矿区地势呈北高南低,西高东低之势,整体上为向东南倾斜的低山丘陵—河谷平原,海拔在  $900\sim 1\ 100\ \text{m}$  之间;潞安矿区属温暖带大陆性气候,年平

均降雨量为  $583.9\ \text{mm}$ ,年平均蒸发量为  $1\ 731.84\ \text{mm}$ 。矿区地表多为第四系黄土和冲积层覆盖,在北部和东部边缘有零星岩层出露;矿区土壤主要有黄土、棕壤、褐土、草甸土和水稻土 5 个种类,其中,褐土是矿区主要的地带性土壤,分布较广;矿区植被属华北暖温带落叶阔叶林地带的一部分,森林覆盖率较低,仅为 8%。潞安矿区现有国有重点生产矿井 6 对,在建矿井 5 对,地方煤矿及乡镇煤矿 147 处。此外,矿区现有 6 座矿井型选煤厂,5 座在建选煤厂,4 座地方煤矿选煤厂,2 座资源综合利用电厂,2 座在建资源综合利用电厂以及一系列的矿区辅助、附属企业和基础设施等。这些矿山企业在生产过程中产生了一系列的生态环境问题。

## 3 潞安矿区主要生态环境问题分析

虽然潞安矿区生产矿井及附属的主要企业对生产过程中所造成的生态环境破坏也采取了积极的治理措施,如煤矸石、粉煤灰填沟、矸石山绿化、采后土地复垦等,取得了一定的效果。但是由于长期的煤炭开采以及相关产业的发展,对整个矿区的生态环境质量产生了较大影响。

潞安矿区随着开采规模的扩大,空气污染情况有加重的趋势,突出问题之一就是矿区燃煤、采煤、运煤等过程所造成的 TSP 普遍超标。根据近年监测数据,潞安矿区空气中污染物主要为二氧化硫、烟尘和粉尘。

煤炭资源的开采会对矿区地表水和地下水造成一定的影响,对水环境造成污染的因素主要有矿区井下排水、选煤厂煤泥水、工业场地生产生活污水,以及附近电厂排放的废水。潞安矿区内 30 多个地下水水质监测点数据表明,整个矿区有 65% 左右的监测井中有超标现象。这些矿区废水的排放,对矿区水体、土壤和植被产生了较大影响。

在煤炭资源开采过程中会产生大量煤矸石,潞安矿区煤矸石压占土地面积已达  $54.33\ \text{hm}^2$ 。矸石在露天堆放时,易于风化成为细颗粒,易于被带到周围空气中,使空气质量下降。而且,日积月累,矸石山内部的残煤会自燃,放出大量  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{NO}_x$  等有害气体。另外,矸石堆积还造成地面景观破坏。而且,矸石山露天堆放,经受风吹、日晒和雨淋等风化剥蚀作用,矸石中的有毒元素可能通过雨水淋溶进入水域和渗入土壤,从而影响土壤环境和水环境。

潞安矿区另一个主要环境问题是采煤所造成的土地塌陷。目前潞安矿区塌陷地面积已达  $4\ 047\ \text{hm}^2$ ,塌

陷地中95%属于耕地。地表塌陷形成下沉盆地,造成土地季节性积水或永久性积水;同时,地表变形不均衡,使耕地变得起伏不平,造成水、土、肥流失,土壤肥力下降,致使农作物大幅减产;塌陷造成土层松动,使低山丘陵区的土地产生不同程度的滑坡和水土流失。地表裂隙对水渠、公路等基础设施造成不同程度的破坏。开采塌陷会疏干含水层,改变矿区水文地质条件,进而也影响到矿区的地表水体,使地表水资源减少。采煤塌陷会导致动物栖息地的破坏与生境恶化,使种类和数量减少,加速动物多样性丧失速率。

## 4 潞安矿区生态恢复模式研究

### 4.1 稳定塌陷区生态恢复模式

4.1.1 矸石充填和灌、林、草覆盖模式 该模式主要是在塌陷地充填煤矸石,并在此基础上覆土造田,既减少矸石对环境的影响,又可使塌陷区得以治理。可在治理土地上种植农作物,也可营造用材林、经济林,还可在煤矸石回填塌陷区的基础上,进一步采用灌浆覆土的办法,种植牧草发展畜牧业<sup>[2]</sup>。

4.1.2 粉煤灰充填生态恢复模式 该模式主要是利用矿区电厂排放的粉煤灰充填塌陷地覆土造地,科学规划设计可形成采煤—发电—充填复垦塌陷地的良性系统,具有保护环境和复垦土地的双重效益。采取有效的管理措施,充填覆土后的塌陷地可以恢复成原来的高产稳产田。

4.1.3 集约化农业生态恢复模式 该模式主要适用于土地破坏程度较轻的区域,土层深厚、土壤肥沃、土壤养分状况变化不大,地下水资源丰富,只要采取工程措施修复平整并改进水利条件即可恢复土地原有的使用价值<sup>9</sup>。治理后的土地主要执行种植业生产功能,以高产、高质、高效农业发展为目标,建成以当地优势农作物为主,兼顾土特产种植和加工一体化的商品粮生产基地。

4.1.4 水土保持型生态恢复模式 对于潞安矿区周边丘陵和山区地带,塌陷地坡度较大,不适宜进行农业复垦。可在坡度较大地区栽种适宜树种,增加林木覆盖率。对不适宜种树的地段,可种植当地适宜牧草。对于山洪、泥石流自然灾害威胁的地段,应修建相应的防护工程,并在工程内侧营造防风林带。

4.1.5 农林鱼禽生态利用模式 该模式是充分利用塌陷形成积水的优势,根据鱼类等各种水生生物的生活规律和食性以及它们所处的生态位,按照生态学的食物链原理,实现农—渔—禽—畜综合经营的生态农业模式。生物之间以营养为纽带的物质循环和能量流动,构成了生产者、消费者和还原者为中心的3大

功能群类,并在此过程中形成物质的多级循环利用<sup>[3]</sup>。

4.1.6 设施农业建设模式 设施农业是利用现代先进科学技术,实现高产、高效的现代农业生产方式。潞安矿区所在的长治市设施农业发展基础较好,市场流通体系比较健全,潞安矿区有些矿井离市区较近,存在就近的技术优势和市场条件,因此设施农业模式可以作为潞安矿区塌陷地治理为农地的利用方式之一。

4.1.7 畜牧养殖模式 为了使塌陷区中的各种废弃物在生产过程中得到循环利用,可利用农田中的粮食、作物秸秆和废弃菜叶作为家禽和家畜的饲料,家禽和家畜的粪便作为有机肥施加在农田中提高农田的肥力。这种模式将种植业和养殖业紧密联系起来,进一步提高了经济效益。

4.1.8 修建人工湖公园生态恢复模式 这种模式主要适用于塌陷面积大、塌陷深的区域,结合矿区周围环境,利用大面积的塌陷水域修建人工湖公园,一方面为发展旅游业奠定基础,同时给当地居民创造怡人的生存环境,改善矿区的生态环境质量。

### 4.2 潜在或动态塌陷区生态恢复模式

4.2.1 牧草—农田生态复合模式 煤炭开采过程中,大面积土地处于动态塌陷之中,对于动态塌陷耕地,可采取简单的工程复垦措施,在受到地下采煤影响时能使破坏的耕地尽量提高生产能力,并在破坏严重区域和丘陵区域种植牧草,改善生态环境,减少水土流失,也可在牧草地进行畜牧养殖,使牧草—农田形成一个复合的生态系统。

4.2.2 立体开发模式 该模式主要适用于积水的动态塌陷区,由于塌陷仍在进行,深浅不一,宜采取鱼、鸭混养短期粗放式的立体开发模式。这种模式是指在塌陷区开挖的鱼塘或深积水区栽培植物和养殖动物,按一定方式配置的生产结构,并且在生物之间形成一种简单食物链的养殖模式。

### 4.3 煤矸石山环境治理模式

4.3.1 煤矸石综合利用模式 煤矸石对生态环境造成的破坏作用不容忽视,必须采取切实可行的治理措施,最好能综合利用煤矸石,最大限度地发掘出煤矸石的经济价值。煤矸石综合利用模式主要有:(1)矸石制砖;(2)煤矸石生产轻骨料;(3)煤矸石生产空心砌块;(4)煤矸石作原燃料;(5)煤矸石作水泥混合材料;(6)煤矸石作筑路材料;(7)煤矸石作砷掺合料;(8)煤矸石作燃料进行发电、供热;(9)从煤矸石中回收部分煤炭;(10)利用煤矸石作充填、灌浆材料<sup>[4]</sup>。

4.3.2 煤矸石山综合治理模式 该模式主要针对综合利用不完的矸石山,为了减少其对矿区生态环境的影响,对矸石山进行综合治理。主要包括:(1)矸石山土壤治理;(2)微生物恢复法;(3)矸石山的人工植被演替;(4)人工植物改良恢复法。

#### 4.4 废弃地生态恢复模式

4.4.1 矿区废弃地林灌草生态恢复模式 该模式主要针对矿区废弃地和矸石山污染区。该类型地养分贫乏,植被稀少,水土流失严重,造成矿区水体、土壤和大气的严重污染。在该区域主要利用生物恢复技术,以植被恢复为主,采用林灌草结合种植的方式改善破坏区域的植被状况。

4.4.2 村庄废弃地“林果一畜禽”复合生态模式 受矿区采煤的影响,有些村庄不得不整体迁移,对于搬迁后的村庄废弃遗址的生态恢复,可采取简单的充填式或非充填式复垦技术和必要的整平措施,将其恢复为具有可耕种能力的土地。由于该类型区治理后的土壤肥力较差,土地生产能力较弱,可以选择栽植对土壤条件要求不高,生命力强的林木,进行林果园区规划,在林地或果园内放养各种经济动物,以野生取食为主,辅以必要的人工饲养。

#### 4.5 环境污染区生态恢复模式

4.5.1 植物净化模式 一些植物能净化污水,它们的根可以吸收、富集和分解污水中的重金属元素和磷、氮、酚等有害物质<sup>[9]</sup>。矿区井下排水、选煤厂煤泥水、工业场地生产生活污水,以及附近电厂排放的废水都可能对矿区水环境造成污染。所以,可以在矿区积水塌陷地和矿区污水排放区里种植水生植物,从而起到净化污水的作用。

一些植物对大气污染有很强的抵抗能力,在一定限度内可以吸收大量的污染物而起到净化作用。煤矿开采过程中会产生大量粉尘和有害气体污染环境。所以,可以在车间及设备四周种植绿篱、乔、灌木和草坪构成的绿带阻挡气流,减少粉尘在空气中的漂浮时间,还可吸收部分飘尘;特别是种植草坪,既可降尘,又可防止地面起尘。

4.5.2 生态保护模式 为了减少矿区开采过程中对生态环境的影响,应该根据煤炭开采的不同阶段和不同矿区的地表、地质和煤炭赋存等状况采取相应的沉降控制和生态恢复工作,并辅助采取生态监测、生态监理、生态绿化和生态影响补偿等措施来保护矿区生态环境<sup>[6,8]</sup>。

#### 4.6 家园服务生态恢复模式

4.6.1 旅游景观重建模式 该模式适用于离居民点较近的大型矸石山,可以通过对矸石山内部进行灭火

处理,并在外部进行阶地化,在坡面修建阶地,覆土,栽种树木进行绿化。在此基础上建设集休闲、娱乐为一体的生态园林区,形成不同地段,各具特色景观的旅游景观点。

4.6.2 生态农庄建设模式 该模式是利用矿区特有的自然优势和当地特色农业优势,建设具有生产、观光、休闲度假、娱乐乃至承办会议等综合功能的经营性生态农庄,农庄可以具备赏花、垂钓、采摘、餐饮、健身、宠物乐园等设施与活动。

4.6.3 湿地景观再造与生态旅游模式 这种模式适于面积较大、水体深、水质好的塌陷区水域,把积水区开发为湿地景观,还可兴建游乐设施,发展旅游业。该模式不仅可以改变煤矿区脏、乱、黑的形象,改善矿区的生态环境质量,而且可以为职工和当地居民提供良好的休闲场所。

4.6.4 科普园区模式 矿山关闭之后,有许多以前的井架和矿山建筑都颇具历史价值,可以通过建立矿业博物馆将这些矿山建筑物提供给游人参观,并在周围进行绿化,使其与建立的矿业博物馆相融合,建成集教学、生态和旅游等多功能的特色旅游区。

## 5 潞安矿区生态恢复模式空间分布格局

### 5.1 理论基础和研究方法

空间分布格局划分的方法论一般可分为定性和定量两大类。定性以专家集成为主,包括叠置法、主导因素法、景观制图法;定量包括多变量聚类法、多元线性判别法、模糊判别法和数字成像法。本研究主要是以植被、土壤、降水、地形地貌、生态环境和社会经济等量化数据为主,并结合专家判读的半定性半定量方法来进行生态恢复模式空间分布格局划分。

首先将潞安矿区地形图、SPOT 影像、土地利用现状图等资料在 ArcGIS 9.3 平台下进行矢量化、配准、纠正以及叠加后建立潞安矿区空间数据库系统;然后根据潞安矿区实地调查数据、长治市统计年鉴等相关资料进行分析并录入数据库;最后基于潞安矿区空间数据库和属性数据库,结合矿区生态环境破坏的特点与潞安矿区实际,根据每种生态恢复模式的功能特点和生态效益,在 ArcGIS 9.3 软件下进行矿区生态恢复模式空间分布格局划分。

### 5.2 生态恢复模式空间分布格局划分

根据潞安矿区目前存在的主要生态环境问题及其空间分布情况,以及每种生态恢复模式的特点和所能解决的生态环境问题<sup>[7]</sup>,并结合潞安矿区生态环境分区和自然概况,制作了潞安矿区生态恢复模式空间格局图(图1)。经过对潞安矿区近几年不同区域采

用的生态恢复模式的实际生态效益调查,表明生态恢复模式系统的建立和空间分布格局是科学合理的,符合潞安矿区实际情况,并取得了良好的经济效益和生态效益。

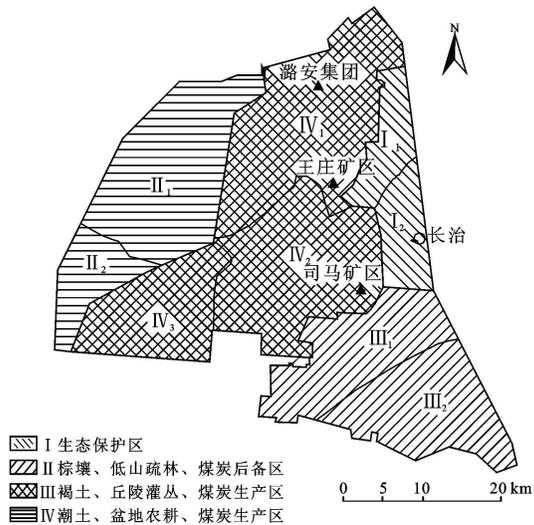


图 1 潞安矿区生态恢复模式空间格局

注: I<sub>1</sub>: 1 植物净化模式, 2 科普园区模式; I<sub>2</sub>: 1 湿地景观再造与生态旅游; II<sub>1</sub>: 1 生态保护模式, 2 生态农庄建设模式; II<sub>2</sub>: 1 水土保持型模式, 2 牧草—农田生态复合模式; III<sub>1</sub>: 1 粉煤灰充填生态恢复模式, 2 煤矸石综合利用模式; III<sub>2</sub>: 1 畜牧养殖模式, 2 立体开发模式; IV<sub>1</sub>: 1 煤矸石综合治理模式, 2 矸石充填和灌林草覆盖模式, 3 集约化农业生态恢复模式, 4 矿区废弃地林覆草生态恢复模式; IV<sub>2</sub>: 1 牧草—农田生态复合模式, 2 煤矸石综合利用模式; IV<sub>3</sub>: 1 水土保持型生态模式, 2 立体开发模式。

## 6 生态恢复模式实施后生态效益评价

为了评价潞安矿区生态恢复模式的选择和实施给矿区带来的生态效益,分别对潞安矿区生态系统的主要组成部分:水、大气、土壤及母质、生物群落的变化进行了测定。

近几年的治理实践表明,潞安矿区生态恢复工作中的生态工程拦截泥沙、减少侵蚀、减少地表径流的作用明显。如塌陷地在修造梯田后,滞洪、拦沙的作用明显,通过简单的径流和水文观测可以推算出滞洪、拦沙的总量。通过对潞安矿区生态恢复模式实施后数据量测,表明生态恢复工程对土壤基质贡献较大。另外,利用土壤温、湿度传感器对潞安矿区生态工程实施后土壤含水量、温度、容重等指标测量,对于土壤肥力,测量其有机质含量、氮磷钾等营养元素的含量变化。这些测量结果都表明,生态恢复工程实施后土壤肥力和土壤各项性能指标都大幅提高。

矿区生态恢复模式的实施对生物多样性的变化影响显著,首先表现在种类多样性的变化,本研究按照 Shannon 的方法测算了潞安矿区生态恢复模式实施后植物种类多样性、丰富度和均匀度等指数,并利

用回归方程对生物量进行了推算<sup>[9]</sup>。测量结果表明,矿区生态恢复模式实施后潞安矿区生态恢复模式实施后,生物多样性增加,生物量明显提高。

生态效益的评价结果表明,潞安矿区生态恢复模式的选择和实施解决了矿区土地退化、生态破坏等一系列生态环境问题,给矿区生态环境带来了良好的生态效益。

## 7 结论

对潞安矿区自然经济条件、环境破坏程度和土地利用现状进行调查与分析以及在兼顾社会、经济和生态效益的基础上,以尽快恢复被破坏土地的原有生产能力为出发点,以恢复改善生态环境为目标,对潞安矿区生态恢复模式进行研究,提出了稳定塌陷区生态恢复模式、潜在或动态塌陷区生态恢复模式、煤矸石山环境治理模式、废弃地生态恢复模式、环境污染区生态恢复模式、家园服务生态恢复模式等 6 类适合潞安矿区的生态恢复模式,每类里面又包含几种子模式。研究成果不仅可以解决矿区可持续发展中的重要技术理论问题,也为矿区环境保护指明了方向,为改善矿区生态环境提供了科学依据和保障。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 丰瞻,许文年,李少丽,等. 基于恢复生态学理论的裸露山体生态修复模式研究[ J ]. 中国水土保持, 2008(4): 23-26.
- [ 2 ] 陈建平,宁曙光,王志宏. 阜新地区矸石山表层植被技术研究[ J ]. 露天采矿技术, 2005(6): 46-48.
- [ 3 ] 笪建原,张绍良,王辉,等. 高潜水位矿区耕地质量演变规律研究:以徐州矿区为例[ J ]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(3): 383-389.
- [ 4 ] 任金旺,陈茂玉. 植物在防治环境污染中的作用及主要抗污染植物[ J ]. 太原科技, 2005(4): 24-25.
- [ 5 ] 王存存,陈东田,王永佼. 矿区废弃地生态恢复和可持续发展研究[ J ]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 502-505.
- [ 6 ] 张笑培,杨改河,胡江波. 不同植被恢复模式对黄土高原丘陵沟壑区土壤水分生态效应的影响[ J ]. 自然资源学报, 2008, 23(4): 635-642.
- [ 7 ] 甄静. 基于 GIS 的西安市土地利用分区方法研究[ D ]. 西安:长安大学, 2006.
- [ 8 ] 董立国,李生宝,潘占兵,等. 半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复模式与技术体系的探讨[ J ]. 中国农业科技导报, 2008 10(6): 35-41.
- [ 9 ] 常秋玲,康鸳鸯. 河南采煤塌陷区土地复垦与生态恢复浅析[ J ]. 中国矿业, 2006 15(11): 43-45.
- [ 10 ] 彭鸿,邓民兴,卫伟,等. 生态工程综合效益测算指标体系和评价方法初探[ J ]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 43-45.