

Lutiankuang Shengchan Yu Shengtai Chongjian

Lilun Ji Yingyong

露天矿生产与生态重建 理论及应用

马从安 才庆祥 王启瑞 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

露天矿生产与生态重建理论及应用

马从安 才庆祥 王启瑞 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书对露天煤矿的生产与生态重建的理论和实践进行了研究。内容主要包括:露天矿重金属污染与土壤肥力评价,露天矿景观生态评价指标模型,露天矿区景观生态质量评价,露天矿区景观生态的空间格局分析,露天矿水土流失预测与防治,露天矿剥离与排土工艺参数及时空关系的综合优化设计,露天矿生产与生态重建适宜性评价专家系统,露天矿生产与生态重建一体化系统研究,国内外露天矿生态恢复与重建的发展趋势等。

本书可供大中专院校师生及相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

露天矿生产与生态重建理论及应用/马从安,才庆祥,
王启瑞著. —徐州:中国矿业大学出版社,2009.12
ISBN 978 - 7 - 5646 - 0542 - 1

I. 露… II. ①马…②才…③王… III. ①露天开采—研
究②露天矿—生态环境—矿区环境保护—研究 IV. TD804
X322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 222878 号

书 名 露天矿生产与生态重建理论及应用
著 者 马从安 才庆祥 王启瑞
责任编辑 姜志方
责任校对 杜锦芝
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
排 版 徐州中矿大印发科技有限公司排版中心
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
经 销 新华书店
开 本 787×960 1/16 印张 11.5 字数 220 千字
版次印次 2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

大型露天煤矿具有以下特点:① 开采速度快,集中开采,生产规模大,每年形成数千万方,甚至上亿方的固体废弃岩土;② 占地面积大,数十至数百公顷;③ 影响范围广,几乎扰动了大气圈、土壤圈、岩石圈、水圈和生物圈;④ 开采时间长,数十年至上百年;⑤ 地貌构造特殊,露天矿排弃的岩土是一种人工松散堆积地貌;⑥ 涉及领域广,包括采矿学、地理学、土壤学、农学、林学、生态学、社会学等;⑦ 生态重建目标要求高,不是最初环境的简单恢复,而是按照采矿的时空发展顺序和最终符合当地人们的需求和价值取向,对生态系统的组成、结构和功能进行积极的安排和调控,重建一个高水平、可持续发展的生态系统。为保护和改善生态环境,对露天矿区被破坏的土地进行生态重建是十分必要的。

本书结合实例对大型露天煤矿的生产和生态重建等方面的问题进行了研究。基于景观生态学、土壤学、系统工程学、计算机专家系统等领域的原理和方法,提出了新的思路和途径,并建立了相应的数学模型和计算机程序。内容主要包括:露天矿重金属污染与土壤肥力评价,露天矿景观生态评价指标模型,露天矿区景观生态质量评价,露天矿区景观生态的空间格局分析,露天矿水土流失预测与防治,露天矿剥离与排土工艺参数及时空关系的综合优化设计,露天矿生产与生态重建适宜性评价专家系统,露天矿生产与生态重建一体化系统研究等。

本书在已完成的国家自然科学基金项目“露天采矿与生态重建一体化理论与方法研究”(50474069)等若干科研项目和有关学位论文的基础上撰写而成。神华集团准格尔能源有限公司董事长马军教授级高级工程师、准格尔能源有限公司总工程师郭昭华教授级高级工程师

等为本书的撰写提供了宝贵的资料,神华北电能源有限公司生产与安全部经理张文英高级工程师、中国矿业大学王辉副教授等参加了部分课题的研究工作。本书在撰写过程中,参考了许多国内外研究文献,在此一并表示诚挚的感谢!

中国矿业大学出版社为本书的出版给予了大力支持,特此致谢!

作者恳请广大读者批评指正。

作 者

2009 年 4 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 国内外研究现状	(3)
1.2 研究内容	(7)
1.3 研究方法与技术路线	(10)
1.4 小结	(11)
2 露天矿重金属污染与土壤肥力评价	(12)
2.1 概述	(12)
2.2 胜利露天煤矿重金属污染分析	(13)
2.3 准格尔哈尔乌素露天煤矿重金属污染分析	(18)
2.4 控制土壤受重金属污染的对策	(22)
2.5 土壤肥力综合评价	(26)
2.6 小结	(32)
3 露天煤矿景观生态评价指标模型	(34)
3.1 露天煤矿开采环境破坏的特点	(34)
3.2 景观生态评价研究现状	(40)
3.3 矿区景观特点	(41)
3.4 矿区景观生态评价指标选取的原则	(42)
3.5 生态评价指标体系	(42)
3.6 小结	(53)
4 露天矿区景观生态质量评价	(54)
4.1 矿区景观生态质量评价	(54)
4.2 矿区景观生态质量评价指标体系	(54)
4.3 生态评价指标权重的确定	(54)

4.4	胜利露天矿区生态评价指标及其等级划分与赋值标准·····	(57)
4.5	结果与分析·····	(59)
4.6	小结·····	(61)
5	露天矿区景观生态的空间格局分析·····	(62)
5.1	概述·····	(62)
5.2	研究区域的景观概况·····	(64)
5.3	研究方法·····	(65)
5.4	研究区景观格局的指标计算与结果分析·····	(68)
5.5	小结·····	(70)
6	露天矿水土流失预测与防治·····	(72)
6.1	概述·····	(72)
6.2	预测区域及预测时段·····	(72)
6.3	水土流失成因、类型及分布·····	(73)
6.4	预测内容·····	(76)
6.5	预测方法及水土流失强度值预测·····	(76)
6.6	水土流失量预测·····	(79)
6.7	水土流失危害·····	(80)
6.8	水土流失防治方案·····	(81)
6.9	水土流失防治分区及分区防治措施·····	(81)
6.10	防治工程与防治措施设计·····	(83)
6.11	小结·····	(89)
7	露天矿内外排土场复垦工程设计·····	(90)
7.1	概述·····	(90)
7.2	剥离与排土工艺参数的确定·····	(91)
7.3	哈尔乌素露天煤矿内外排土场复垦工程设计·····	(94)
7.4	胜利露天矿内外排土场复垦工艺·····	(105)
7.5	小结·····	(112)
8	露天矿生产与生态重建适宜性评价专家系统·····	(114)
8.1	概述·····	(114)
8.2	待复垦土地适宜性评价方法·····	(114)

8.3	复垦土地适宜性评价等级体系	(115)
8.4	生态重建适宜性评价专家系统	(116)
8.5	专家系统的知识表示与推理	(116)
8.6	专家系统工具 CLIPS 原理	(120)
8.7	复垦土地适宜性评价专家系统设计	(127)
8.8	系统的运行及应用实例	(134)
8.9	小结	(137)
9	露天矿生产与生态重建一体化系统研究	(139)
9.1	采矿—复垦一体化作业的工艺研究	(139)
9.2	露天矿生产与生态重建一体化系统模型研究	(140)
9.3	露天矿生产与生态重建一体化系统的 SD 模型	(142)
9.4	小结	(145)
10	国内外露天矿生态恢复的发展趋势	(146)
10.1	美国及加拿大露天煤矿生态恢复的研究现状及发展趋势	(146)
10.2	澳大利亚露天煤矿的生态重建研究现状	(160)
10.3	小结	(161)
	参考文献	(162)

1 绪论

煤炭是我国重要的基础能源和原料,在国民经济中具有重要的战略地位。露天煤矿开发与建设,是我国“十一五”期间建设十三个大型煤炭基地的重要组成部分。国家《“十一五”煤炭行业发展规划》中提出“大型煤炭基地建设将以大型煤炭企业为主体,优先建设大型现代化露天煤矿和矿井”;《中国节能技术政策大纲》12.3.1中明确指出:“新建矿山,在采矿技术和经济条件允许的情况下,优先采用露天开采。大中型露天矿,边坡稳定,岩石坚硬,尽量采用陡帮开采;深凹露天矿,宜采用汽车胶带联合运输方案;露天采矿设备应逐步大型化、配套化。”

露天采煤有以下主要特点:

- ① 资源友好——回收率高,可以达到95%以上;
- ② 安全友好——死亡率低,可以连续多年保持零死亡率;
- ③ 环境友好——土地复垦,容易实现露天采矿与生态环境重建一体化;
- ④ 集中开采——生产规模大,吨煤投资与生产成本低;
- ⑤ 机械化程度和人均工效高,便于实现现代化管理;
- ⑥ 能够突出体现煤炭资源安全、高产高效、高回收率的开发。

世界各主要采煤国都优先发展露天采煤。以露天煤矿的产量占煤炭生产总量计算,德国为76.6%,澳大利亚为71.2%,印度为70.5%,美国为67.0%,俄罗斯为58.2%,南非为52.9%,波兰为32.0%。目前我国露天煤矿的产量只占煤炭总产量的5.0%左右。

根据规划,“十一五”期间我国进行改扩建和新建的生产能力为10 M~20 Mt/a的特大型露天煤矿逾20座,总能力占全国煤炭总产量的比例将明显提高。

一般来说,露天煤矿(区)生态重建研究主要包括以下内容:

(1) 基于环境工程的类型识别与矿区生态环境特征分析。

矿区生态环境分析:对矿区所在区域的生态环境现状作全面调查分析,了解矿区生态环境存在的主要问题、产生环境问题的主要原因和主导限制因素、生态环境问题的主要危害。

矿区原生地面土壤侵蚀分析:分析矿区未开发建设前主要的土壤侵蚀类型和分布情况、土壤侵蚀的强度和主要形成原因、影响本区土壤侵蚀的主要限制因

素等。

矿区开发建设可能造成的生态环境问题分析:在对矿区生产规模、生产方式、生产工艺等进行全面了解的基础上,分析矿区开发建设可能造成的环境问题的种类、分布和危害程度,矿区生产建设影响生态环境的主要因素等。

(2) 适于本矿区的生态环境评价指标体系。

对影响生态环境系统的生态环境因子在自然干扰和人类活动干扰下所表现出的敏感性和回复力进行全面考核,综合考虑这两方面的表现,对各评价因子给予较为全面的评价。

首先通过调查、数据分析以及专家评判等方法对具体的生态环境系统各评价因子给出基准值来作为评价的依据。针对不同的因子制订出相应的评定规则和计算公式,通过与基准值的对比最终确定各因子的敏感性和回复力等级。

组成生态环境系统的系统因子有很多,在系统因子的确定上必须要选择那些能够完整、准确地反映生态环境系统状况、代表所评价的生态环境系统特点的系统因子。同时注意所选取的系统因子应概念明确、容易获取和有足够的数据量,即具有简明性和可操作性。

对于露天煤矿生态环境系统的评价方法与步骤:

① 确定要进行评价的系统因子项目,对系统的各生态环境因子确定评价基准值;

② 根据因子敏感性等级判定准则和计算公式以及回复力等级判定准则和计算公式对各因子的敏感性等级和回复力等级进行判定;

③ 根据脆弱程度与敏感性、回复力的组合关系转换定义以及脆弱度取值定义,对各因子的脆弱度值给予确定;

④ 计算出被评价的生态环境系统的脆弱程度或敏感度的度量值。

(3) 露天矿采剥生产对生态环境影响的全面评价分析。

露天矿采剥生产对生态环境影响的全面评价分析内容有:矿区建设损坏、占压土地、植被;排土场土壤侵蚀;排土场稳定性分析;矿区建设对水、土等环境的影响;矿区景观格局时空变化分析。

(4) 土壤成分及其物理、化学性质试验。

① 采用筛分和直接量测相结合的方法对露天矿山排土场散体岩石的粒度分布进行现场调查。在实测资料的基础上,求出各不同粒径下对应的筛下累计质量相对含量后,即可以对排土场散体岩块粒度组成进行分形分析。

② 分析排土场组成物质的化学组成,特别是对排弃物中有毒、有害物质进行测定,分析其对环境可能造成的危害。

(5) 基于矿区生态环境重建的露天矿剥离与排土工艺参数及其时空关系的

综合优化设计。

对矿区生产工艺进行了解,分析其生产过程中的特点,为矿区土地复垦和生态环境重建提供依据。结合矿区表土层的覆盖特点,把表土作为有限资源,对其剥离参数和生产工艺进行专门设计。为适应未来矿区生态环境重建,以及与采场生产工艺相匹配,对排土工艺和排土场参数进行设计,优化不同性质剥离物在排土场立面和平面上的排弃位置,使采矿工程与生态环境重建在工艺参数及时间和空间上优化配置,并对矿区生态重建所需资源的流量和流向进行优化控制,提高矿区土地复垦与生态重建的综合效益。

(6) 研究采矿过程中环境成本的计算方法及生态重建的经济效益、社会效益和生态效益评价模型。

(7) 建立露天矿生产与生态环境重建一体化预控技术数字化采集系统。

(8) 设计土地复垦方案,建立土地复垦示范区。

1.1 国内外研究现状

(1) 煤炭工业发展中存在的主要问题

总结我国“九五”以来煤炭工业发展现状及存在的问题,可以看出煤矿环境保护与改善受诸多因素的制约,也能够折射出矿区生态环境重建工作严重滞后的深层次原因。

① 组织结构不合理。2000年,全国矿井平均每处产煤只有3万余吨。国有重点煤矿矿井平均年生产能力0.8 Mt,是先进采煤国家的1/3左右。119家国有重点煤矿平均每个企业年销售煤炭4.4 Mt,市场占有率不到0.5%。没有形成产、运、销一体化综合经营体系,经营效益受外部条件制约严重。

② 技术和装备水平低。全国煤矿非机械化采煤占60%以上,大中型矿井生产设备老化,小型和乡镇煤矿生产工艺落后,破坏和浪费资源现象十分严重。

③ 产品结构单一。2000年全国原煤入选比例只有35%左右,洁净和高附加值产品少。

④ 煤矿安全事故居高不下。重大、特大事故频繁发生,全国一次性死亡10人以上的事故煤矿占80%。

⑤ 国有煤炭企业尚未摆脱困境。职工工作环境恶劣,待遇低,企业自身和社会负担重。

⑥ 资源枯竭矿区转产困难。富余人员转业和就业难,影响社会稳定。

⑦ 矿区环境综合治理进展缓慢。污染和破坏环境的增长速率远大于环境恢复和治理的进展速率,而且这种污染和破坏对人是全方位的。

⑧ 技术管理手段落后,从业人员素质低。

(2) 煤炭工业面临的形势和市场需求

① 总体来说,世界煤炭需求量将持续增长。据预测,到 2020 年,世界石油消费量年均增长 1.9%,天然气消费量年均增长 2.6%,煤炭消费量年均增长 2.2%。亚洲大部分国家煤炭消费年均增长 3.8%左右,而欧洲国家年均下降 0.6%。未来五年,世界煤炭贸易量将以年均 3.6%的速度增长。

② 我国在亚洲煤炭贸易市场中仅占 20%的份额,煤炭出口增长潜力较大。

③ “十五”及“十一五”期间,国民经济增长速度(预计)为年均 8%左右,煤炭需求量稳步上升,年均增长 20 Mt 以上。

④ 加强矿区环境综合治理。以土地复垦为重点,协调各方面力量,建立各种类型的矿区生态重建示范基地,逐步形成与生产同步的生态恢复建设机制,使矿区土地复垦、生态重建工作取得明显成效,大中型煤矿矿井水复用率达 60%以上,外排水达标率 100%。

从以上对煤炭工业存在的主要问题和面临的形势分析,可以进一步理解煤炭矿区土地复垦与生态重建工作严重滞后的深层次原因以及推进煤炭矿区土地复垦与生态重建工作的紧迫性、必要性和艰巨性。

矿山开采造成大规模土地破坏,特别是露天煤矿开采每年破坏的土地面积达 2 200 ha,且每年以 8%~9%的速度递增,到 2020 年破坏土地面积约 66 000 ha,今后 30 a 累计破坏土地面积将达 0.135 Mha^[1]。露天矿对矿区土地及生态环境的破坏日益加剧,因此矿山开采对土地破坏的治理已成为我国持续发展政策优先关注的问题之一。

矿山开采对土地破坏的治理就是在条件许可的情况下建设一个与当地自然界相和谐的人类生态系统,或建立一个自然生态系统,以弥补和充实该地区原有的自然界,真正实现可持续发展^[2]。由于治理本质上都是生态学的,比起原有的复垦概念(即矿山对土地破坏的治理恢复至具有农业使用价值)范围要广,所以将矿山开采对土地破坏的治理概括为生态重建以取代原来广泛使用的复垦的提法。

矿区生态建设不是在采矿出现环境问题后才采取的一种后患处理措施,而是在开采之前就预测可能发生的环境问题,在开采中尽量避免或减少对环境的破坏,对策是超前的^[3];其追求的目标不是原始的环境,而是主动按照采矿的时空发展顺序和最终人类的需求及价值取向对生态系统的组成、结构和功能进行积极的设计与调控。重建一个高水平可持续的支持系统,其对策是主动的^[3]。露天开采与生态重建一体化研究,将突破传统单一的矿区土地复垦或闭坑后再进行矿区环境治理的传统模式,使矿山开采的各个作业环节与生态重建作业的

各个环节能最佳配合,以产生最大的经济效益、社会效益和生态环境效益,实现对生态系统的组成、结构和功能进行积极的安排和调控,重建一个高水平、可持续发展的生态系统^[4]。

由于矿区开采是分期进行的,其生态重建也逐步展开。主要分为三个阶段^[5]:生态系统的破坏阶段、生态重建的建设阶段和生态重建的平衡阶段。相应地,生态重建的目标也分为三个层次:近期目标、中期目标和远期目标^{[2][5]}。近期目标以确保矿山企业安全生产和改善生活环境为主,强调防护性生态效益,减少采矿引发的地质灾害;中期目标注意培育生态系统的生产价值功能,突出生态系统的经济效益;远期目标是最大程度实现生态系统的经济效益、生态效益和社会效益,为矿山建设一个美好的生产、生活家园,保证代际或代间平等和社会可持续发展。

根据近期目标的特点,这段时期生态重建主要采用稳定性工艺^[2],即对平台、边坡等景观采取有效的措施以确保它们的稳定。文献[6]从生产实际出发,讨论了平台的排水措施及边坡加固等工程设计问题。

对于中期目标阶段来说,植被恢复是生态重建的主要任务。研究的主要方法是土壤条件的改善及生物物种的选用^[2]。文献[7]根据采矿对土地破坏的机理,提出了“分层剥离、交错回填”土壤剖面重构原理,根据剥离物的性质和数量,将剥离物分层逐段排弃,力求复垦后的土地和土壤的自然结构相一致。文献[8]利用复垦用地结构多样性指数和生物多样性指数来评价矿区生态恢复状况的方法,对复垦方案及复垦时植物品种进行了选择。文献[11]引用景观生态学中景观异质性和缀块的概念,分析了复垦区的景观异质性,但对于格局和生态过程的相互作用也没有进行研究。根据景观生态学格局与生态过程理论,植被恢复和土地结构一定存在某种相互作用的关系,如果能从理论上找出它们之间的关系,建立起理论模型,预测出在不同的结构(格局)下植被(生态过程)的变化,或根据不同的土地结构给出不同的生态重建方案,对于提高复垦效益、指导矿区的生态重建将会有重大的实际意义。另外,也克服了目前的复垦技术仅停留在试验与示范阶段、由复垦实践上升到复垦理论技术不足的问题^[9]。

对于远期目标阶段来说,该阶段生态重建的研究重点是生态系统的功能设计。此阶段生态重建被视为一项有着高经济社会效益和生态环境,并最终成为建设用地、农业用地、娱乐用地和野生生物保护。在发达国家采矿生态重建的主流是兼顾娱乐和野生生物保护目的,大多采用高尔夫球场和自然公园的形式,这样既给人类一个休息的场所,也给野生生物一个良好的栖居场所^{[12]~[16]}。文献[6]在工业区、生活区、复垦区等景观的防护植被措施进行了实践。按照景观生态学的等级尺度观点,尺度从大到小分为全球—大陆—区域—景观—生态系统,

如果尺度较小,很难实现持续发展;如果尺度较大,比较容易实现持续发展。文献[8]利用复垦用地结构多样性指数对徐州矿区两个乡镇开采沉陷前后的用地结构分析,在景观或区域尺度上对复垦方案进行了评价,但是也没有从理论上探讨用地结构的最佳配置。理论上可以假设,任何景观都存在最佳配置的问题,如果某一景观或区域的土地利用格局是最佳的,那么可以确认这个景观或区域的土地、水、生物多样性能一代一代地持续下去。因此从理论上探讨生态重建的空间格局评价,看其是否合理,进而决策出最佳配置是远期目标生态重建阶段需要解决的问题。

由前面的分析知道矿区的生态重建主要分为三个阶段,根据这三个不同的阶段,生态重建的目标也不同,决策的方法与内容也不尽相同。

对于近期目标决策阶段来说,主要是以确保矿山企业安全生产、减少采矿引发的地质灾害为主。因此其决策目标相对来说比较单一,主要是考虑工程的稳定性。文献[6]从生产实际出发,讨论了平台的排水措施及边坡加固等工程设计问题。

中期目标阶段生态重建的决策目标,相对来说也比较单一,主要是研究土地结构与植被恢复的关系。根据景观生态学的尺度概念,该阶段主要是讨论小尺度下格局与生态过程的关系,建立相应的理论模型,寻求最佳的植被方案。文献[10]和文献[17]通过专家系统的方法,对土地结构与植被的关系进行适宜性评价,该专家系统采用人机对话的模式,由推理机向用户提问,用户以点菜单的方式做出回答,通过启动咨询模块就可以得到专家系统的诊断结果、建议性(预测性)方案。文献[18]根据 Ramganjmandi 矿区的自然和文化属性,建立了土地利用方向的计算机模型,为该矿的采后复垦及土地利用方向的最佳决策提出了快速、便捷的分析工具。文献[19]也在湿地的分类及工作能力的评价等领域建立了专家系统,为及时方便地对湿地的分类、植物品种的选择及工作能力的客观评价提供了一个科学的决策工具。文献[41,42,68]根据大型露天煤矿生产的特点,建立了生产与生态重建一体化土地适宜性评价专家系统。

远期目标阶段生态重建的目的是实现生态重建的经济、生态和社会效益三个指标都达到最佳,实现矿山的可持续发展。这是一个多目标决策问题。文献[5]运用土地利用结构单一指标来综合定量评价生态重建的经济、生态和社会效益,尽管可以粗略定量评价生态重建效益,该方法需要进一步商榷。文献[21]采用模糊分析、灰色理论的多目标决策模型设计出黄土区露天煤矿废弃地复垦决策的信息系统,但其决策目标的权重问题过分强调了人为主观意志的作用,值得进一步探讨。文献[22]采用灰色系统理论,根据复垦决策的特点、内容、目标、准则去建立复垦决策因素的量化模型,对复垦方案优选的综合效果测度指标体系

有较大的指导意义,但对优选方案中多目标的权重问题仍存在较大的人为因素。文献[23]通过对露天煤矿土地复垦特点和 GIS 强大功能的分析,阐述了露天煤矿土地复垦信息系统建立的计算机思想、系统结构、功能和实现途径,并在安太堡露天煤矿人工重建的生态系统上进行运行验证,给出了安太堡露天煤矿 2000 年生态景观镶嵌格局和重建规划的平面图。文献[24]以德国 LUSATIAN 露天矿为例,探讨了该地区的土地、森林、农业生态环境、水文地质条件等因素受到破坏后,同时由于长期的开采及产量的下降引起了该地区的经济社会条件发生了巨大的变化,发生了失业率上升及人口的迁出等问题。为处理好这样一个复杂的问题,文献[25]针对整个系统进行了综合分析,采用了分步建模原理,建立了一个由社会—经济模块、林业及农业经济部门模块、景观模块、土壤模块、水文地质模块、林业生态系统模块、农业生态系统模块等不同尺度的 7 个模块组成的决策支持系统,为该地区的景观恢复,改善其经济及社会条件,对该地区的生态及经济进行了评价,得出了相应的结论。

远期目标阶段的生态重建的另一个内容是虚拟现实技术研究。但如何将 GIS 技术和虚拟现实技术结合起来,将生态重建景观的空间格局和重建规划真实地展现出来,从而为决策者提供一个可视化的决策平台是一个需要进一步研究的问题。文献[46]利用可视化计算机软件成功实现了澳大利亚 Mt Owen 露天煤矿的规划与设计。文献[47]利用虚拟现实技术对露天煤矿电铲司机进行了仿真模拟训练,提高了电铲司机操作的工作效率。文献[27]和[28]根据村庄的物理特征设计地图元素并用不同的图标符号表示,并通过地图热点技术将地图的坐标和相应的村庄代码形成热点查询,用户点击图标,在图标被触发时,通过地理信息数据库和模型库的链接实现村庄信息的地理显示、查询和分析,使用户的决策活动更加直观、方便。

大型露天煤矿开采强度大,对周围环境破坏较大,特别是重金属元素由地下深部转至地表,改变了它们迁移的地球化学条件,在地表重新分异,形成了局部地区的严重污染。因此,积极开展矿山开发的环境影响评价,预测矿山开发中重金属的地球化学影响,分析其生态环境效应,提出控制重金属污染的措施和土地利用方向,已经是一件刻不容缓的任务。文献[37]对山西平朔安太堡大型露天煤矿重金属地球化学影响进行了分析,但对控制重金属污染的措施和土地利用方向没有作进一步研究。

1.2 研究内容

- (1) 露天矿重金属污染与土壤肥力评价研究。大型露天煤矿开采强度大,

对周围环境破坏较大,特别是重金属元素由地下深部转至地表,改变了它们迁移的地球化学条件,在地表重新分异,形成了局部地区的严重污染。因此,积极开展矿山开发的环境影响评价,分析其生态环境效应,提出控制重金属污染的措施和土地利用方向;土壤肥力是土壤为植物生长提供和协调营养条件和环境条件的能力,是土壤物理、化学和生物学性质的综合反映,是土地生产力的基础。本书从既全面又较简洁的原则出发,选择适当的土壤环境质量评价方法用于综合定量评价土壤肥力水平,并以胜利露天煤矿南排土场土壤基本养分状况的调查分析为依据,得到该矿土壤全氮含量极缺、土壤有机质和有效磷少缺、土壤肥力贫瘠的结论。土壤肥力贫瘠是导致矿区排土场、工业广场等地幼苗生长不良、苗木成活率不高的主要原因。因为豆科植物在废弃地植被恢复中能够起到促进N素的累积与循环作用,因此,在排土场推广种植耐性豆科植物,从而进一步提高土壤肥力,同时还可以利用木本豆科植物来修复由于露天矿开采过程中造成的重金属污染。

(2) 露天矿景观生态评价指标模型研究。通过对露天煤矿开采环境破坏的特点和矿区景观特点的分析,提出了矿区景观生态评价指标选取的原则;根据景观生态学理论中景观生态评价的原理,并结合露天煤矿开采对环境破坏的特点,采用层次分析法,构造了包括景观的稳定性、景观的功效性、景观的宜人性和景观的美学价值等五个评价指标在内的露天矿采剥生产对生态环境影响及景观生态评价指标体系。针对该评价指标体系的17项具体指标的内容进行了相关的分析,并提出了这些指标相应的计算方法。

(3) 露天矿区景观生态质量评价。矿区景观生态综合评价由生态质量评价、社会经济评价和有效管理评价组成,其中生态质量评价是主体。生态质量评价从生态系统层次或生态系统组合体(景观)上研究系统各组分,特别是生命组分的质量变化规律和相互关系,以及人为作用下系统结构与功能质量变化的程度。评价指标的代表性和指标的相互独立性是建立评价指标体系的基本原则。建立生态评价的指标体系,并科学合理地确定体系中各指标的重要性,使之数量化并最终对胜利露天矿区的景观生态质量进行分析评价。

(4) 露天矿区景观生态的空间格局分析。景观空间格局一般指大小和形状不一的景观斑块在空间上的配置。景观要素的组成和构型是其基本特点。景观要素组成是指景观要素类型以及各类型在景观中所占的比重,而景观要素构型则是指不同景观要素的空间排列方式。文章通过对胜利露天矿区建设前期(一期)和胜利露天矿区建设后期(二期)景观嵌块体的分类分析,在矿区建设前期(一期)农田、露天煤矿和城镇及工矿用地类型仅占1.66%,但在胜利露天矿区建成后,工矿景观的数目、面积均增加,其中仅露天煤矿与城镇及工矿这两类景

观用地类型就达 6.517%,草原景观的面积减少,由建设前的 82.03%下降到 65.683%,因此,要想扭转这种草原景观面积减少的不利状况,应大力开展矿区的植被恢复,特别是草原植被的恢复,实现露天煤矿生产与生态重建的一体化。景观空间格局分析表明:建设后的景观生态的多样性和均匀性程度高于建设前,表明建设后矿区的土地利用较建设前趋于多样化、均匀化;建设后矿区的景观优势度减少,表明土地开发利用程度(人类活动强度)较建设前大大增加;建设后矿区的景观破碎度较建设前的景观破碎度增大,表明随着矿区的建成,土地利用的完整性变差。

(5) 露天矿水土流失预测与防治研究。露天煤矿一般地处生态环境脆弱,随着露天矿建设与生产,对区域草地植被及土壤产生损毁和扰动,造成人为水土流失。露天煤矿区水土流失预测是根据露天矿工程布局、施工工艺及施工组织等特点,预测因露天矿建设和生产可能造成的新增水土流失,以便为矿区水土流失防治分区和分区防治措施、数量、施工进度及水土保持监测方案提供依据。

(6) 露天矿剥离与排土工艺参数及时空关系的综合优化设计。矿山生产期间,剥离物的排弃要按照排土场的设计规划有计划地进行,在排土场安全、稳定的前提下,为了减少露天矿排土场裸露的岩石对周围环境的危害,缩短复垦周期及提高复垦效益,要求对排土场中排弃到界的区域及时地进行复垦。为了尽早将被破坏的土地加以复垦利用,排土作业和复垦作业应当有机地结合起来,使采矿、排土和复垦作业融为一体,相互兼顾,从而实现剥离与复垦一体化的平行作业。

(7) 露天矿生产与生态重建适宜性评价专家系统研究。露天矿生产与生态重建适宜性评价研究的主要内容是对待复垦土地的生态重建进行适宜性评价。待复垦土地大多地形尚未成型,属未来空间,但可以根据可能出现的立地类型进行适宜性评价,实现对生态系统的组成、结构和功能进行积极的安排和调控。利用 CLIPS 专家系统语言,采用模块控制技术,对土地复垦适宜性评价专家系统运行进行总体控制的推理机设计。通过人机对话方式,用户将事实库输入计算机,利用事先建立好的含有规则的知识库,实现了事实库、知识库和推理机的集成,完成了大型露天煤矿土地复垦适宜性评价专家系统的设计,该系统用户界面良好,在 WINDOWS 系统下运行该软件,效果较好,汉字提示输入,大大方便了用户;实现了人机对话的模式;解决了不同立地类型土地利用的农、林、牧等适宜性评价问题;为大型露天煤矿复垦土地适宜性评价提供了方便快捷的决策工具。

(8) 露天矿生产与生态重建一体化系统研究。露天开采不仅破坏了矿区的生态系统,而且使得当地的经济结构也受到了极大的影响。特别是大型露天矿区,由于其开采时间长,这种影响变得更加显著。对于露天矿生态重建系统来