

文章编号: 0253-9993(2007)11-1157-05

基于 3S 技术的大型露天矿区复垦地景观变化分析

毕如田¹, 白中科², 李 华³, 叶宝莹²

(1. 山西农业大学 资源环境学院, 山西 太谷 030801; 2. 中国地质大学(北京) 土地科学技术学院, 北京 100083; 3. 山西大学 环境与资源学院, 山西 太原 030006)

摘 要: 以平朔安太堡露天煤矿复垦区的 5 个排土场为研究对象, 运用景观生态学理论及 3S 技术, 把复垦后按照植被覆盖和地形特征划分的斑块与排土场建设时期的斑块进行了对比分析. 结果表明: 斑块个数及其平均斑块面积反映了复垦地景观的破碎化程度, 随着复垦时间的增加, 斑块数目也不同程度的增加, 复垦时间较长的二铺排土场、南排土场、西排土场的多样性指数有较大提高, 稳定性指数除二铺排土场和南排土场有所降低外, 其它排土场的变化不显著, 景观优势度指数的高低与平均斑块面积的大小显著相关. 破碎化程度的增高也表明了复垦地的植被演替与恢复过程的多样性在不断增加. 结合研究区调查情况分析表明, 排土场复垦地景观的变化是非均匀沉降、地表覆土厚度与下垫层类型、植被配置与演替以及管理措施等因素综合影响的结果, 斑块数目、平均斑块面积、分维数、多样性、优势度等景观指数能较好地反映出复垦地景观结构及其变化.

关键词: 露天矿区; 土地复垦; 景观变化; 景观生态

中图分类号: TD824.8; X171.4 **文献标识码:** A

Landscape change analysis of reclamation land in opencast coal mine based on 3S technology

BI Ru-tian¹, BAI Zhong-ke², LI Hua³, YE Bao-ying²

(1. College of Resource and Environmental, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. College of Land Science Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. College of Environmental and Resource, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: Five dumps in Antaibao opencast coal mine were chosen as studying object. 3S technology and landscape ecology theory were used on the compare analysis of the reclamation patch according to vegetation cover and terrain division with dump patch in construction time. Results show that number of patch and average area of patch reflect landscape fragmentation degree in dump. Patch number is increasing with the increasing of reclamation time. Diversity index of long reclamtion time of Erpu dump, south dump and west dump are improved higher. Stability index is not significant change except Erpu dump and south dump are descent. Dominant index of landscape is significantly change related with average area of patch. Increase of fragmentation degree is also shown that the increase of vegetation succession and revegetation's variety. Change of landscape in dump is synthesis influence result of inhomogeneous depression, cover soil thickness in surface, vegetation disposition and succession, underlay type and administrative policy etc. . Landscape index, such as patch numbers, average patch area, fractal dimension, variety index, dominant index, can reflect landscape structure and its change.

Key words: opencast coal mine; land reclamation; landscape change; landscape ecology

收稿日期: 2007-01-29 责任编辑: 毕永华

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40471132, 40501071); 山西省自然科学基金资助项目(20041098)

作者简介: 毕如田(1963-), 男, 山西阳泉人, 教授, 博士. Tel: 0354-6288765, E-mail: brt@sxau.edu.cn

对于大型露天采矿, 原地貌脆弱的生态系统经过人类剧烈的干扰后, 形成新的异质景观, 其中作为占露天矿区 80% 面积的排土场复垦地景观的建设, 成为矿区景观生态建设的关键. 目前国内一些学者针对矿区景观格局进行了研究, 卞正富等从土地利用方面研究分析矿区景观要素及其景观格局的变化规律^[1]; 付梅臣等对煤矿区复垦农田景观演变及其控制方面进行了研究^[2]; 胡振琪等利用遥感图像对煤矿区土地利用与覆盖变化进行了研究^[3]; 杜培军从工矿区陆面演变与空间信息技术应用方面进行了研究^[4]; 李强等对神府东胜矿区景观生态异质性与景观生态进行了研究^[5]; 刘海龙通过分析采矿废弃地的景观生态特征和环境影响, 对生态恢复与重建的各种工程与生物措施以及可持续利用途径进行综述^[6]; 此外, 郭道宇、张金屯等从矿区复垦地植被恢复过程多样性变化进行了研究^[7]; 马克明等对植被格局的分形特征进行了研究^[8]. 但目前国内针对大型露天矿区排土场复垦地运用 3S 技术对其景观特征及变化的研究还比较少.

本文以平朔安太堡露天煤矿排土场复垦地为研究对象, 应用景观生态学理论及 3S 技术分析排土场复垦地的景观结构的复杂性与稳定性, 揭示景观空间结构的分形特征, 探讨了复垦地景观变化的原因, 可为生态环境保护和可持续发展提供科学依据.

1 研究区及其复垦地存在的问题

1.1 研究区概况

平朔露天矿区地处黄土高原东部、山西省北部的朔州市境内, 东经 112.18° ~ 113.50°, 北纬 39.38° ~ 39.62°. 矿区所在地黄土广布, 植被稀少, 水蚀、风蚀严重. 矿区南北长 21 km, 东西宽 22 km, 面积 380 km², 地质储量 127.5 亿 t. 安太堡露天煤矿是平朔矿区开发建设的第 1 个大型露天煤矿, 1985 年开始建设, 年产规模 1 500 万 t, 面积 60 km² 左右, 服务年限 92 a (1985—2077).

1.2 研究区复垦地景观的形成及主要问题

安太堡露天煤矿从采掘开始到构筑复垦地, 其工程工艺源于美国西部露天矿, 采用单头挖掘机-卡车运输的采排工艺, 正常的剥离搬运采用斗容 24 m³ 的液压铲和载重 154 ~ 195 t 自卸式卡车, 工作面和排土场的平整采用轮胎式大型推土机 (331 kW). 对外排土场采用扇形推进, 先下部后上部, 多平台多弃点同时排弃. 对内排土场采用由下向上发展, 排弃台阶全部形成后, 与采掘工作面同步推进^[9,10]. 目前, 安太堡露天煤矿已开采超过 20 a, 形成了 5 个排土场, 复垦时间近 20 a. 通过工程措施进行地貌重塑和土体再造, 快速形成了大型平台和边坡景观的人造地貌, 这种新造地存在着显而易见的弱点, 新造地以自卸载重 154 ~ 195 t 的卡车运输, 在复垦平盘基底上覆土过程中碾压, 大型履带推土机平整的过程中, 使表层复土的密度高达 1.6 ~ 1.9 g/cm³, 地面径流系数高达 50% ~ 70%^[10,11], 对地貌进行重塑后所形成的排土场“土壤”的土体构造无发生学土壤的层次. 此外, 由于扰动后的地表在高强度的压实下, 土体内的水、肥、气、热以及耕性等肥力因子极差, 因此, 必须通过土体重构, 才能为植物提供良好的立地条件, 也为恢复植被、提高土地生产力打下良好的基础. 大型露天矿区土地复垦中的非均匀沉降、土壤侵蚀、地力贫瘠等成为景观生态重建中最主要的问题.

植被重建过程是露天矿区景观动态演变中最明显的特征. 露天矿区的地貌重塑、土体重构直接影响着植被重建的过程, 但反过来, 植被重建过程也深刻地影响着露天矿区排土地貌的变化、复垦地土壤理化性质的优劣. 植被重建过程不仅反映了植被的配置和演替规律, 而且也综合反映了地貌重塑和土体重构的功能及其变化, 因此, 对露天矿区复垦地植被景观格局及其演变规律的研究对矿区的景观生态重建的规划和指导具有重要作用.

2 数据来源与研究方法

2.1 资料的调查与处理方法

以 2005 年 IKONOS 遥感影像为信息源, 结合 1:10 000 地形图和矿区施工 CAD 图, 根据植被类型、生长状况、地貌特征及道路等明显的地物信息, 在 ArcGIS 9.0 平台上对安太堡露天煤矿复垦地斑块进行矢

量化, 并利用 GPS 进行实地调查, 根据调查资料修正斑块信息, 共调查了安太堡矿二铺排土场、南排土场、西排土场、西排土场扩大区、内排土场 (以下简称二铺、南排、西排、西扩、内排) 等 5 个排土场的 496 个斑块的植被状况、地表物质组成、土层覆盖厚度、复垦年限等信息, 通过 GIS 矢量化生成各景观要素斑块的面积和周长, 并建立各斑块对应调查点的属性数据库。

为了研究复垦地植被演替对复垦地景观的影响, 将研究区各个排土场建设时期的 CAD 图, 通过 GIS 进行编辑和矢量化。其中, 二铺形成时期为 1985—1986 年, 南排形成时期为 1985—1991 年, 西排形成时期为 1985—1993 年, 西扩形成时期为 1993—2005 年, 内排从 1989 年开始并一直延续到 70 a 后最终形成。

2.2 景观格局分析中指数的选用

景观格局指数旨在分析景观空间结构^[12,13]。本次研究结合露天矿区排土场的特点和分析目的, 采用了分维数、多样性指数、均匀度指数及优势度指数等格局分析指数, 景观指数的具体计算方法在有关文献中有详细的描述^[14-16]。

3 结果与分析

3.1 复垦地景观的面积特征

研究区共有 5 个排土场, 总计斑块 496 个, 划分为 8 个景观类型。采用景观类型面积、景观类型面积比例、斑块个数、斑块个数比例、斑块的平均面积 5 个指标进行分析。研究区不同排土场面积特征见表 1。

由表 1 可知, 复垦时间较早的二铺排土场、南排土场、西排土场斑块平均面积小于总体斑块的平均面积, 其斑块个数所占的比例均大于斑块面积所占的比例, 南排土场面积所占比例为 16.07%, 但斑块个数比例占 23.79%, 显示出较高程度的破碎化, 主要是由于该区覆土与下垫层煤矸石等填埋不匀、部分斑块

表 1 安太堡煤矿各排土场复垦后斑块面积特征
Table 1 Area characteristics of different reclamation land in Antaibao dumps

排土场	排土场面积/hm ²	所占比例/%	斑块数 <i>n</i>	所占比例/%	斑块平均面积/hm ²
二铺	38.45	3.25	25	5.04	1.54
南排	189.89	16.07	118	23.79	1.61
西排	267.89	22.66	172	34.68	1.56
西扩	294.61	24.93	64	12.90	4.60
内排	391.14	33.09	117	23.59	3.34
合计	1 181.98	100.00	496	100.00	2.38

土层浅以及周边村民乱挖煤矸石造成的, 也有一些斑块由于地表土层压实等因素, 部分植被存在退化现象。内排土场和西排土场扩大区斑块平均面积则远远大于总体斑块的平均面积, 其中内排面积占整个排土场面积的 33.09%, 而其斑块个数比例仅占 23.59%, 可明显看出内排土场景观类型斑块割裂的程度较小。

3.2 复垦地景观的多样性及分维特征

在 GIS 支持下, 计算出矿区排土场 5 个不同排土场复垦地景观斑块的基本统计数据。通过拟合回归模型得出分维数, 并计算出各景观类型的稳定性指数、多样性指数、均匀度和优势度, 见表 2。

表 2 安太堡煤矿各排土场复垦土地景观特征

Table 2 Landscape characteristics of different reclamation land in Antaibao dumps

排土场	斑块数 <i>n</i>	分维数 <i>D</i>	相关性 <i>R</i>	稳定性 <i>S_k</i>	多样性 <i>H</i>	均匀度 <i>E</i>	优势度 <i>D_{om}</i>
二铺	25	1.389 6	0.922 8	0.110 4	2.765 8	0.859 2	0.453 1
南排	118	1.399 9	0.938 9	0.100 1	4.176 1	0.875 4	0.594 6
西排	172	1.316 2	0.950 5	0.183 8	4.514 6	0.877 0	0.632 9
西扩	64	1.400 1	0.919 7	0.099 9	2.508 9	0.603 3	1.650 0
内排	117	1.358 0	0.934 5	0.142 0	3.485 4	0.731 9	1.276 8

从表 2 可以看出, 分维数能够定量描述排土场复垦地景观结构的特征参数, 排土场复垦地景观要素斑块越不规则、越复杂, 其分维越大。按照排土场景观类型的分维数自大到小的排列顺序: 西扩 > 南排 > 二铺 > 内排 > 西排。排土场复垦时间较长, 土层覆盖不均匀的西扩、南排, 斑块分割与破碎化严重, 分维数

也较高;排土场相对海拔较低的内排,景观要素的分维数较低;西排的斑块分割虽然严重,但受人为因素的干扰和煤矸石覆土不均等因素的影响,其分维数保持在相对较低的水平.特别是南排和西排,虽然复垦时间较长,但经过近20 a的复垦与保护,其植被覆盖状况未发生恶化.西扩与内排的景观优势度明显高于其它3个排土场,反映出西扩与内排的平均斑块面积远高于其它3个排土场.

3.3 露天矿区复垦地景观变化分析

露天矿区复垦地植被覆盖的不同,不仅是对复垦地植被配置的反映,而由于植被重建的景观特征能够深刻地影响并能综合地反映出地貌重塑与土体重构的作用,因此,研究植被景观变化能较好地描述露天矿区复垦地的景观变化.表3是通过GIS软件平台获得的排土场建设时期的斑块面积特征.通过GIS属性数据获取各排土场建设时期的斑块面积和周长,计算出分形维数、稳定性指数、多样性指数、均匀度和优势度等景观指数(表4).

将表1,2中排土场的斑块与面积进行比较,如图1所示.可看出,复垦后比复垦前的斑块数量显著增加,斑块增加比例最高的南排达到218.9%,西排与二铺斑块增加比例也均在100%以上,内排和西扩斑块增加比例较小,分别为20.6%和23.1%.通过实地调查与分析,南排、西排以及二铺的复垦年限都在10 a以上,非均匀沉降、地表覆土厚度与下垫层类型,植被配置方案以及管理措施等因素对复垦地的综合影响作用超过10 a,是使得各排土场复垦地景观变化的根本原因.同时,复垦地平均斑块面积也大大减少,表明复垦地的植被演替与恢复过程的多样性也在不断增加,各排土场复垦地斑块平均面积均不同程度减小,西扩与内排的斑块平均面积减少比例分别为21.87%和18.48%,其减少比例大大低于二铺的46.09%、南排的66.08%、西排的64.08%等3个排土场,这也反映出西扩与内排这两个排土场复垦期限较短,受非均匀沉降等因素的影响还较小,但在一定程度上也反映出地表覆土较厚、下垫层类型较均匀以及土体再造工程管理较好等原因.

将表2,4的景观特征进行比较,结果如图2所示.从图2可以看出,排土场复垦后与复垦前比较,

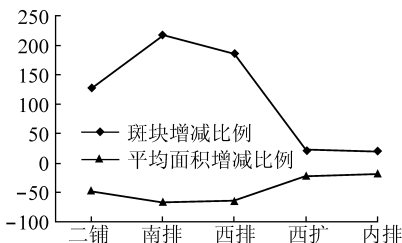


图1 排土场复垦后与复垦前斑块与面积差异

Fig. 1 Varity of patch area in dump after and before reclamation

表3 安太堡煤矿排土场建设时期的斑块面积特征

Table 3 Patch area characteristics of construction time in Antaibao dumps

排土场	面积 /hm ²	所占比例 /%	斑块数 <i>n</i>	所占比例 /%	斑块平均面积/hm ²
二铺	31.42	2.67	11	4.28	2.86
南排	180.20	15.33	37	14.40	4.87
西排	260.61	22.16	60	23.35	4.34
西扩	306.17	26.04	52	20.23	5.89
内排	397.42	33.80	97	37.74	4.10
合计	1 175.82	100.00	257	100.00	4.58

表4 安太堡煤矿排土场建设时期排土场景观特征

Table 4 Landscape characteristics of construction time in Antaibao dumps

排土场	斑块数 <i>n</i>	分维数 <i>D</i>	相关性 <i>R</i>	稳定性 <i>S_k</i>	多样性 <i>H</i>	均匀度 <i>E</i>	优势度 <i>D_{om}</i>
二铺	11	1.103 2	0.828 0	0.396 9	1.847 9	0.770 7	0.550 0
南排	37	1.754 3	0.919 6	0.254 3	3.216 7	0.890 8	0.394 2
西排	60	1.266 6	0.874 9	0.233 4	3.448 7	0.842 3	0.645 7
西扩	52	1.376 1	0.899 9	0.123 9	2.894 1	0.827 7	0.602 4
内排	97	1.376 6	0.912 6	0.123 4	3.366 4	0.763 9	1.040 3

复垦后与复垦前景观特征差异

从图2可以看出,排土场复垦后与复垦前比较,

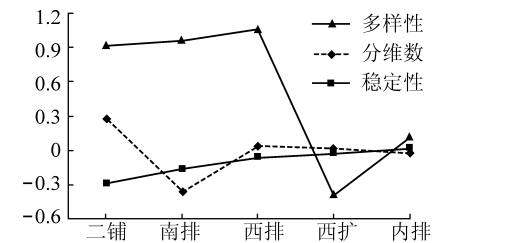


图2 排土场复垦后与复垦前景观特征差异

Fig. 2 Varity of landscape characteristics in dump after and before reclamation

二铺、南排、西排这 3 个排土场的多样性指数有较大提高, 西扩有所降低, 内排略有增加, 与实际调查的情况非常吻合. 二铺的分维数有所增加, 其原因是该排土场由于植被退化严重以及修建部分工业设施, 导致了二铺斑块的复杂性增加. 南排由于在 1991 年发生大规模滑坡, 滑落体积达 1 000 万 m^3 , 滑坡严重影响了矿区的安全, 从南排分维数的降低也说明了南排斑块的复杂性较新建时期有所降低; 其它 3 个排土场的分维数变化不大. 稳定性指数除二铺和南排有所降低外, 其它排土场的变化都不十分显著.

4 结 论

斑块个数及其平均斑块面积反映出排土场复垦地景观的破碎化程度, 研究区排土场破碎化的主要原因有: 复垦区覆土厚度不匀、下垫层类型填埋不匀、地表降水分配不均、植被的配置方案以及人为因素等; 一些斑块由于地表土层压实等因素, 植被存在退化现象; 随着排土场复垦时间的增加, 斑块数目也不同程度的增加; 破碎化程度的增高表明了复垦地的植被演替与恢复过程的多样性也在不断增加.

分维数能够定量描述排土场景观结构的特征参数, 排土场景观要素斑块越不规则、越复杂, 其分维越大. 排土场复垦时间较长, 土层覆盖不均匀的西扩、南排, 斑块分割与破碎化严重, 分维数也较高; 排土场相对海拔较低的内排, 景观要素的分维数较低.

结合研究区调查情况进行综合分析表明, 排土场复垦地景观的变化是非均匀沉降、地表覆土厚度与下垫层类型、水土流失、植被配置与演替以及管理措施等因素综合影响的结果, 斑块数目、平均斑块面积、分维数、多样性、优势度等景观指数能较好地反映出排土场景观结构及其变化.

参考文献:

- [1] 卞正富, 张燕平. 徐州煤矿区土地利用格局演变分析 [J]. 地理学报, 2006, 61 (4): 349 ~ 358.
- [2] 付梅臣, 胡振琪. 煤矿区复垦农田景观演变及其控制研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2005. 35 ~ 53.
- [3] 胡振琪, 谢宏全. 基于遥感图像的煤矿区土地利用/覆盖变化 [J]. 煤炭学报, 2005, 30 (1): 44 ~ 48.
- [4] 杜培军, 胡召玲, 郭达志, 等. 工矿区陆面演变监测分析与调控治理研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2005. 11 ~ 32.
- [5] 李 强, 慈龙骏. 神府东胜矿区景观生态异质性分析与景观生态建设 [J]. 干旱区资源与环境, 1996, 10 (2): 62 ~ 68.
- [6] 刘海龙. 采矿废弃地的生态恢复与可持续景观设计 [J]. 生态学报, 2004, 24 (2): 323 ~ 329.
- [7] 郭道宇, 张金屯, 宫辉力, 等. 安太堡矿区复垦地植被恢复过程多样性变化 [J]. 生态学报, 2000, 25 (4): 763 ~ 770.
- [8] 马克明, 祖元刚. 植被格局的分形特征 [J]. 植物生态学报, 2000, 24 (1): 111 ~ 117.
- [9] 白中科. 工矿区土地复垦与生态重建 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 24 ~ 40.
- [10] 李晋川, 白中科. 露天煤矿土地复垦与生态重建 [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 28 ~ 96.
- [11] 白中科, 郭青霞. 矿区土地复垦与生态重建效益演变与配置研究 [J]. 自然资源学报, 2001, 16 (6): 525 ~ 530.
- [12] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (1): 121 ~ 125.
- [13] Li H, Reynolds J F. A new contagion index to quantify spatial pattern [J]. Landscape Ecology, 1993, 8: 155 ~ 162.
- [14] Milne B T. Spatial aggregation and neutral models in fractal landscape [J]. The American Naturalist, 1992, 139 (1): 32 ~ 57.
- [15] Ritters K H, O' Neill R V. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics [J]. Landscape Ecology, 1995, 10: 23 ~ 39.
- [16] Hioki Y. Nature restoration and rehabilitation project information [J]. Landscape Ecol. Eng., 2005, 1: 93 ~ 100.