

# 基于 RS 和 GIS 技术的露天矿区土地利用变化分析

毕如田<sup>1</sup>, 白中科<sup>2</sup>, 李 华<sup>3</sup>, 李卫祥<sup>1</sup>

(1. 山西农业大学资源环境学院, 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, 太原 030006)

**摘 要:** 以安太堡大型露天煤矿为研究对象, 以研究区 4 期 Landsat TM 卫星影像为数据源, 将露天矿区土地利用类型按照剥离区、采挖区、复垦区和原地貌进行分类, 采用监督分类与人机交互解译相结合的方法, 获得研究区 4 个时期土地利用类型图, 将不同时期土地利用类型图叠加, 分析了露天矿区土地利用变化过程。结果表明, 研究区原地貌 15 a 间平均每年减少 1 km<sup>2</sup> 左右, 并由于近年来煤炭产量的逐步增加原地貌面积有加速减少的趋势, 采挖区的面积基本保持在 7 km<sup>2</sup> 左右, 剥离区与复垦区面积有不断增长的趋势, 但复垦区增长速度较剥离区增长速度快, 预计在 2015 年复垦面积与剥离面积基本保持平衡; 按照目前的采煤速度, 研究区一期工程的原地貌到 2008 年将全部消失。运用 RS 和 GIS 技术对大型露天矿区土地利用变化分析, 可快速准确地掌握露天矿区土地利用的时空结构、不同时期不同土地类型的转移情况及其发展趋势, 为大型露天矿区土地复垦与生态重建规划提供决策支持。

**关键词:** 露天矿区, 土地利用变化, 遥感, GIS 技术, TM 影像, 安太堡煤矿

**中图分类号:** F323.211

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-12-0201-04

毕如田, 白中科, 李 华, 等. 基于 RS 和 GIS 技术的露天矿区土地利用变化分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 201-204.

Bi Rutian, Bai Zhongke, Li Hua, et al. Land use changes in opencast mine based on RS and GIS technology[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 201-204.(in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

露天采矿对土地的破坏最为明显和直接, 不仅使得中国人多地少的矛盾更加突出, 而且带来的生态环境问题也十分严重。矿区土地复垦与生态重建已成为解决人地矛盾、改善生态环境的一项重要措施, 同时也是露天采矿企业可持续发展的保障。国外学者利用 RS 和 GIS 技术针对矿区时空变化特征<sup>[1-3]</sup>、矿区植被景观演替规律<sup>[4,5]</sup>、矿区土地利用与景观结构变化的关系<sup>[6]</sup>等方面进行了研究。中国学者利用多时相遥感影像对工矿区陆面演变<sup>[7]</sup>、矿区地表沉陷对土地利用的影响<sup>[8,9]</sup>、矿区土地利用变化<sup>[10]</sup>、复垦农田景观重建模式<sup>[11]</sup>、矿区景观格局<sup>[12-14]</sup>、露天矿区地物特征<sup>[15]</sup>等进行了研究。但目前针对大型露天矿区, 运用遥感与地理信息系统技术对采矿扰动土地的动态演变过程的研究还比较少见。

位于晋北黄土高原的平朔安太堡露天煤矿是中国第一个超大型现代化露天煤矿, 其剥采厚度在 150 m 左右, 自 1987 年投产以来, 已累计采煤 2.7 亿 t, 排放的废土矸石已超过 10 亿 t。大型露天采矿剧烈扰动了原地形、地层、土壤、植被, 原生态系統将在近 1 个世纪里逐步形成演变成为规模巨大的人造地貌景观。分析露天采矿扰动土地的时空变化过程, 及时准确地掌握露天矿区土地

利用变化状况, 对于矿区合理规划、科学管理具有重要的作用。本研究以安太堡露天煤矿为研究对象, 利用 4 个时期 Landsat TM 遥感图像和 GIS 技术, 对露天矿区土地利用变化进行了分析。

## 1 资料来源与研究方法

### 1.1 资料来源

采用数据为 1990-08-22、1995-09-24、2001-08-21、2005-07-30 共 4 期 Landsat TM 影像。用线性拉伸和直方图均衡法对 TM 数据进行处理, 选择高斯-克吕格投影空间为校正空间, 运用朔州市 1:1 万地形图, 采用地形图到图像的方式对遥感图像进行几何精校正。在 ERDAS IMAGINE 遥感图像处理软件中以研究区边界的矢量图建立兴趣区, 与几何校正后的遥感图像进行运算, 准确提取其边界信息, 并进行误差校正和投影变换, 得到具有完整地理要素的研究区边界矢量图。

为了突出影像信息, 达到影像增强的目的, 运用主成分分析(PCA)方法将 TM 影像的多波段信息压缩到少数几个转换波段上。图 1 是研究区 1990 年、1995 年、2001 年、2005 年 4 个时期 TM 影像前 3 个主成分的合成影像。

### 1.2 研究方法

在本研究中, 首先分析和设定土地利用判读标志, 通过图像判读并结合有关外业调查检验工作, 采用监督分类及人机交互解译相结合的方法, 获得 4 个时期的研究区土地利用类型图, 将土地利用类型按照剥离区(含堆垫区)、采挖区(含运煤区、工业广场)、复垦区(复垦土地植被区)和原地貌 4 大类型进行分类, 然后将 4

收稿日期: 2007-04-02 修订日期: 2008-02-25

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(2008011061-1)

作者简介: 毕如田(1963-), 男, 山西阳泉人, 山西农业大学资源环境学院教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事资源环境信息技术研究与教学工作。太谷 山西农业大学资源环境学院, 030801。Email: brt@sxau.edu.cn

个时期遥感图像的解译结果在 ArcGIS 软件平台下进行矢量化编辑,并赋予不同地物的属性数据。通过 GIS 软件分别将不同的两个时期的土地利用类型图进行叠加分析,形成土地利用变化图斑,新生成的数据层可以揭示研究区土地利用的空间格局以及土地利用动态变化状况,可确定土地利用类型变化的位置和所属类型,并能获得详细的土地利用转变矩阵。

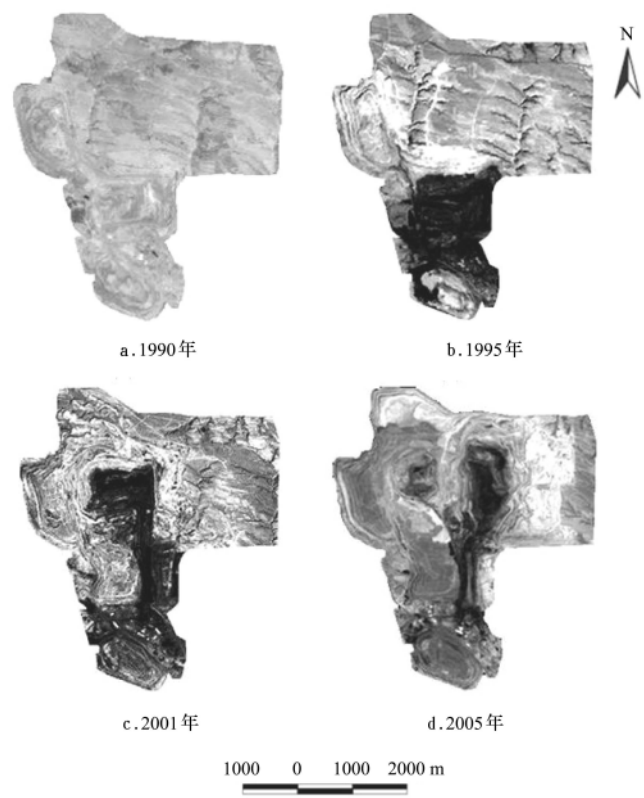


图1 研究区4个时期的TM影像  
Fig.1 TM images for four periods in study region

2 结果和分析

2.1 时间变化分析

在地理信息系统软件 ArcGIS 的属性表中可以获得各种土地斑块的面积,比较两个时期的土地利用类型,可得到研究区 4 个不同时期(1990 年、1995 年、2001 年、2005 年)土地利用基本格局变化情况表,如表 1 所示。

表 1 研究区 1990—2005 年不同土地利用类型面积和比例  
Table 1 Land use type changes during 1990 to 2005 in study region

时期	项目	土地利用类型面积			
		原地貌	剥离区	复垦区	采挖区
1990 年	面积/km <sup>2</sup>	17.690	5.523	0.584	7.256
	比例/%	56.967	17.786	1.881	23.367
1995 年	面积/km <sup>2</sup>	12.963	6.954	4.146	6.990
	比例/%	41.745	22.394	13.351	22.510
2001 年	面积/km <sup>2</sup>	6.503	9.763	7.497	7.290
	比例/%	20.942	31.440	24.143	23.476
2005 年	面积/km <sup>2</sup>	2.294	11.888	9.097	7.774
	比例/%	7.387	38.283	29.295	25.035

为反映各类型用地面积的变化幅度与速度以及研究区不同地物的类型差异,使用土地利用 / 覆盖类型的变化率指数,从不同侧面反映的变化率指数主要有时段变化率和年平均变化率 2 种类型,计算公式为:

$$K = \frac{Ub - Ua}{Ua} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中  $K$ ——某种类型的年平均变化率;  $Ua$ 、 $Ub$ ——研究时段开始与结束时该土地利用/覆盖类型的面积;  $T$ ——研究时段,当设定为年时,模型结果表示该区域此类土地利用类型的年变化率<sup>[16]</sup>。表 2 是根据表 1 以及年平均变化率指数公式计算的 4 个时期土地利用类型变化表及年均变化率。

从表 1 可以看出,研究区一期工程总面积 31.053 km<sup>2</sup>。从原地貌面积变化情况分析,1990 年原地貌占总面积的 56.97%,1995 年占 41.75%,2001 年占 20.94%,2005 年占 7.39%,说明原地貌正在快速减少,原地貌 15a 间减少了 15.396 km<sup>2</sup>,基本上平均每年减少 1 km<sup>2</sup>。从采挖区面积变化情况来看,15a 间基本保持在 7 km<sup>2</sup>左右,变化比较平稳,近 5a 略有增快,也表明最近 5a 来煤炭产量逐步增加的趋势。从剥离区与复垦区面积变化情况来看,剥离区从 1990 年的 5.523 km<sup>2</sup>到 2005 年的 11.888 km<sup>2</sup>,其面积增加了 6.365 km<sup>2</sup>,而复垦区则从 1990 年的 0.284 km<sup>2</sup>到 2005 年的 9.097 km<sup>2</sup>,其面积增加了 8.513 km<sup>2</sup>,一方面表现出矿区生产量逐年提高导致采矿剥离区面积的逐步扩大,另一方面也表现出企业在提高生产量的同时,逐步加大了复垦力度。

表 2 研究区 4 个时间段不同土地利用类型面积变化及年均变化率指数

Table 2 Land use changes and change ratio indexes during 1990 to 2005 in study region

时段	项目	土地利用类型			
		原地貌	剥离区	复垦区	采挖区
1990-1995	变化值/km <sup>2</sup>	-4.727	1.431	3.562	-0.266
	年均变化率/%	-5.344	5.182	121.986	-0.733
1995-2001	变化值/km <sup>2</sup>	-6.460	2.809	3.351	0.300
	年均变化率/%	-8.306	6.732	13.471	0.715
2001-2005	变化值/km <sup>2</sup>	-4.209	2.125	1.600	0.484
	年均变化率/%	-16.181	5.441	5.335	1.660
1990-2005	变化值/km <sup>2</sup>	-15.396	6.365	8.513	0.518
	年均变化率/%	-5.802	7.683	97.180	0.476

从表 2 的各个时段的年均变化率来看,原地貌 3 个时段的值分别为: -5.344%, -8.306%, -16.181%, 原地貌的变化曾现出加速减少趋势,也表现出研究区煤炭产量逐年上升的趋势;剥离区 3 个时段的年均变化率表现出平稳上升的趋势;采挖区的年均变化率除 2001—2005 年这个时段略有增加外,基本保持不变;复垦区的年均变化率变化很大,在 15a 中,其年均变化率达到 97.180%,显示出研究区的土地复垦工作成果绝大部分是在近 15a 完成的,在实际调查时发现,研究区的二铺排土场在 1985—1990 年期间实施了复垦工程,但由于植被配置以及管

理方面的问题其退化现象比较严重。

从表 1 的面积变化情况可以看出，采挖区基本保持原有的面积，原地貌面积大大减少，而复垦区与剥离区面积表现出逐步同步增长的趋势，复垦区面积与剥离区面积的差距有逐步缩小的趋势，表明了企业复垦力度逐步较大，但注意到，剥离区面积的绝对数还在增加，对原地貌的大面积剥离和堆垫，加剧了矿区排土场的水土流失，极易造成大规模的泥石流，同时严重影响了当地的生态环境。因此，加大矿区土地复垦力度、严格控制剥离区面积是露天煤矿安全生产、保护生态环境的重要措施。

对表 1 中 4 期不同土地类型，建立线性回归方程，如表 3 所示。表 3 中回归方程的系数也可以看出土地利用变化的趋势，其中，原地貌每年减少 1.032 km<sup>2</sup>，复垦区增加的速度为每年 0.569 km<sup>2</sup>，较剥离区的 0.428 km<sup>2</sup> 每年快 0.141 km<sup>2</sup>，采挖区则以每年 0.035 km<sup>2</sup> 的速度缓慢增加。根据表 3，可对研究区不同土地类型面积进行预测。预测结果表明，按照现有的变化速度，研究区一期工程到 2008 年原地貌将全部消失，并将进入到二期工程；采挖区面积则保持平缓的增加趋势；预计在 2015 年复垦面积与剥离面积基本保持平衡，在复垦面积不断加大的同时，剥离区面积也在扩大，从而对当地的脆弱生态环境的影响也在加剧，因此必须重新进行土地复垦规划，进一步加大土地复垦资金投入和复垦措施，同时要根据复垦进度以及采矿对环境的影响，有计划的控制煤炭产量，努力使经济效益、生态效益、社会效益的统一。

表 3 不同土地利用类型面积的线性回归方程

Table 3 Linear regression equations for areas of different land use types

土地利用类型	线性回归方程
原地貌	$S=-1.032t+23.025$
剥离区	$S=0.428t+3.072$
复垦区	$S=0.569t-1.923$
采挖区	$S=0.035t+6.879$

注：时间变量  $t$  的取值是采矿的年限，以研究区 1985 年建设开始为基准 0； $S$ ——面积，km<sup>2</sup>。

2.2 空间变化分析

通过随时间序列变化的矿区土地利用现状可以分析研究区土地利用的时空演变过程。运用 GIS 软件的叠加分析功能，将不同时期的土地利用类型图叠加起来，可进行多时相的土地利用空间信息分析，能反映出矿区土地利用的时空结构演变的总体情况，发现露天矿区土地类型与土地数量变化，分析大型露天采矿扰动土地的时空结构演变的动态过程和发展趋势，为大型露天矿区土地复垦与生态重建规划提供支持。在 ArcGIS 地理信息系统软件平台下，将 4 个时期的土地利用类型图进行两两叠加后，获得研究区两个时期不同土地类型的转移情况及其变化值，如表 4 所示。

从表 4 中可以看出，1990-2005 年不同土地类型之间的转移情况，在 3 个不同时段转移中，原地貌向剥离

区的转移都是最大的，并在 15 a 的期间内，从原地貌到剥离区转移面积达 11 km<sup>2</sup> 以上；剥离区向复垦区转移面积达 4.329 km<sup>2</sup>，注意到这里的剥离区包括堆垫区，因此，剥离区向复垦区的转移实质上是堆垫区向复垦区的转移，从这里也可以发现堆垫区信息，即通过土地利用变化分析可以发现露天矿剥离区与堆垫区这两个同谱异物区域；注意到采挖区在 15 a 期间有 3.649 km<sup>2</sup> 未转移，未转移部分主要是工业广场和采煤运输区；从 1990-2005 年的总的变化还可以看出，转移前复垦区（以及部分原地貌植被）只有 0.195 km<sup>2</sup> 仍然被植被覆盖，而其余 0.389 km<sup>2</sup> 的原复垦区植被到 2005 年已经退化或被工业广场占用。分析不同土地类型变化转移情况，不仅可以掌握露天矿区土地扰动与土地复垦变化状况，而且还可以通过不同时期土地利用变化情况来挖掘遥感影像较难分辨的地物信息，如剥离区与堆垫区、采挖区与运煤区和工业广场等信息。

表 4 研究区不同时期土地类型转移前后面积

Table 4 Area transform of different land use types in every period

年限	转移前类型	转移后类型				转移前合计
		原地貌	剥离区	复垦区	采挖区	
1990-1995	剥离区	2.287	0.561	2.676		5.523
	采挖区	0.021	5.925	1.310		7.256
	复垦区		0.488	0.096		0.584
	原地貌	4.646	0.016	0.064	12.963	17.689
	转移后合计	6.954	6.990	4.146	12.963	31.053
1995-2001	剥离区	3.691	2.342	0.921		6.954
	采挖区	0.113	4.372	2.505		6.990
	复垦区	0.322	0.055	3.769		4.146
	原地貌	5.637	0.522	0.301	6.503	12.963
	转移后合计	9.763	7.290	7.497	6.503	31.053
2001-2005	剥离区	5.137	2.543	2.082		9.763
	采挖区	2.294	4.584	0.412		7.290
	复垦区	0.337	0.557	6.603		7.497
	原地貌	4.120	0.090	—	2.294	6.503
	转移后合计	11.888	7.774	9.097	2.294	31.053

3 结论与讨论

从研究区 4 期土地利用类型的变化情况可以看出，原地貌 15 a 间平均每年减少 1 km<sup>2</sup> 左右，但近年来由于煤炭产量逐步增加原地貌面积加速减少的趋势，采挖区的面积基本保持在 7 km<sup>2</sup> 左右，剥离区与复垦区面积有不断增长的趋势，但复垦区增长速度较剥离区增长速度快，其差距有逐步缩小的趋势，表明了企业复垦力度在逐步加大。按照目前的变化速度可以看出，研究区一期工程到 2008 年原地貌将全部消失，并将进入到二期工程；预计在 2015 年复垦面积与剥离面积基本保持平衡，在复垦面积不断加大的同时，剥离区面积也在扩大，从而对当地的脆弱生态环境的影响也在加剧，因此企业应重新调整土地复垦规划，进一步加大土地复垦资金投入，同时要根据复垦进度以及采矿对环境的影响，有计划的控制

煤炭产量, 努力使经济效益、生态效益、社会效益的统一。

将研究区不同时期的土地利用类型图叠加, 分析了大型露天采矿扰动土地的时空结构演变的动态过程和发展趋势。通过分析研究区不同时期不同土地类型的转移情况及其变化值, 可准确地掌握矿区土地利用变化的动态过程和发展趋势, 为大型露天矿区土地复垦与生态重建规划提供支持。分析不同土地类型变化转移情况, 不仅可以掌握露天矿区土地扰动与土地复垦变化状况, 而且还可以通过不同时期土地利用变化情况来挖掘遥感影像较难分辨的地物信息。大型露天煤矿区扰动剧烈, 地物变化快, 具有强烈的时空特征, 常规的土地调查方法将逐渐被遥感技术所取代。快速准确地掌握露天煤矿区土地利用的时空变化过程, 对露天矿地物变化动态监测和科学管理提供了准确数据支持, 对露天煤矿区土地复垦与生态重建具有一定的现实意义。

#### [参 考 文 献]

- [1] Lausch A, Biedermann F. Analysis of temporal changes in the Lignite mining region south of Leipzig using GIS and landscape metrics[A]. In: Clare T, Howard D. eds. Quantitative approaches to landscape ecology[C]. 06th- 10th September 2000, Bangor, IALE(UK), 2000: 71—83.
- [2] Yuri G, Andrew V, Matthew R and Erica M. Prioritizing abandoned coal mine reclamation projects within the contiguous United States using Geographic information system extrapolation[J]. Environmental Management, 2003, 32: 527—534.
- [3] Santo E L, Sanchez L E. GIS applied to determine environmental impact indicators made by sand mining in a floodplain in southeastern Brazil[J]. Environmental Geology, 2002, 41: 628—637.
- [4] Karen D H. Long-term vegetation recovery on reclaimed coal surface mines in the eastern USA[J]. Journal of applied Ecology, 2002, 39(6): 960—966.
- [5] Melanie A N, John M K, Carl D G, Tim K M, Samuel C W. Vegetation succession after bauxite mining in western[J]. Australia restoration ecology. 2006, 14(2): 278—284.
- [6] Baessler C, Klotz S. Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years[J]. Agriculture, ecosystems & environment. 2006, 115(1—4): 43—50.
- [7] 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.
- [8] 白中科, 段永红, 杨红云, 等. 采煤沉陷对土壤侵蚀与土地利用的影响预测[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 67—70.
- [9] 全占军, 程 宏, 于云江, 等. 煤矿井田区地表沉陷对植被景观的影响—以山西省晋城市东大煤矿为例[J]. 植物生态学报. 2006, 30(3): 414—420.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 胡振琪, 赵淑芹. 中国东部丘陵矿区复垦土地利用结构优化研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 78—81.
- [14] 张前进, 白中科, 郝晋珉, 等. 黄土区大型露天矿农业用地格局演变分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 98—103.
- [15] 毕如田, 白中科. 基于遥感影像的露天煤矿区土地特征信息及分类研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 77—82.
- [16] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643—650.

## Land use changes in opencast mine based on RS and GIS technology

Bi Rutian<sup>1</sup>, Bai Zhongke<sup>2</sup>, Li Hua<sup>3</sup>, Li Weixiang<sup>1</sup>

(1. College of Resource and Environmental, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030801, China;

2. College of Land Science Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. College of Environmental and Resource, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** Based on four periods Landsat TM data, large opencast mine of Antaibu was chosen as research object, land use types were classified according to stripping area, excavated area, land reclamation area and original area, and combination method of surveillance classify and human-computer reciprocal interpreting was adopted to get land use type graphs of four periods. Land use type graphs of different periods were overlaid, and land use changes in the opencast mine was analyzed. Results show that the original area of study region was decreased around 1 km<sup>2</sup> per year during the past 15 years. Due to gradual increase of coal output, original area has a tendency of speedup decrease, excavated area keeps about 7 km<sup>2</sup> on the whole, and stripping area and land reclamation area incline to increase while land reclamation area increases much faster. It is expected that excavated area and land reclamation area may be equal in 2015. According to the mining speed at present, original area of the first period in the study region will disappear in 2008. Technology of RS and GIS were used to analyze land use change in large opencast mine, which can quickly and precisely master the time and spatial structure of land use, transfer condition and development tendency of different land use types in different periods, and provide decision-making support for land reclamation and ecosystem reconstruction in large opencast mine region.

**Key words:** opencast mine region, land use change, remote sensing, GIS technology, TM image, Antaibu coal mine