

文章编号: 1007-4619(2006)06-0917-09

# 采矿扰动下草地荒漠化的遥感分析 ——以霍林河露天煤矿区为例

王广军<sup>1</sup>, 胡振琪<sup>2</sup>, 杜海清<sup>3</sup>, 杜明义<sup>4</sup>, 陈秋计<sup>5</sup>

(1. 中国地质大学(北京)土地科学技术系, 北京 100083; 2. 中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所, 北京 100083;  
3. 北京邮电大学通信网络综合技术研究所, 北京 100876; 4. 北京建筑工程学院测量工程系, 北京 100044;  
5. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000)

**摘 要:** 煤炭开发对草地的影响主要体现在对草地的直接破坏和草地荒漠化。以霍林河露天煤矿区为例, 基于决策树和 BP 神经网络, 完成了草地荒漠化信息提取, 并对研究区 16 年来的荒漠化情况进行了分析, 结果表明: ①从 1987 年至 2003 年间, 研究区荒漠化总面积存在由强转弱、再由弱变强的演变过程, 这与气候变化和人为活动有直接关系, 但更多的是受气候变化影响的缘故; ②轻度荒漠化、中度荒漠化面积同样经历了由强转弱、再由弱变强的演变过程, 分析其原因, 主要是受气候变化的影响, 其次是受超载放牧、掏挖药材以及垦荒等因素影响; ③受煤炭开发的影响, 重度荒漠化草地多围绕矿业建设用地呈“▲”状分布, 并且受季风影响向矿业建设用地东侧发展迅速; ④重度荒漠化草地面积在 16 年间始终呈现出高增长的态势, 并与矿业建设用地相关关系显著, 可将矿业建设用地面积作为评价、预测该区煤炭开发对生态环境影响的重要依据。

**关键词:** 采矿扰动; 草地荒漠化; 遥感; 霍林河露天煤矿区

**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A

## Analysis of Grassland Desertification Due to Coal Mining Based on Remote Sensing——An Example from Huolinhe Open-cast Coal Mine

WANG Guang-jun<sup>1</sup>, HU Zhen-qi<sup>2</sup>, DU Hai-qing<sup>3</sup>, DU Ming-yi<sup>4</sup>, CHEN Qiu-ji<sup>5</sup>

(1. Department of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;  
2. Institute of Land Reclamation and Eco-restoration, CUMT, Beijing 100083, China;  
3. Institute of Communication Network Integrated Technique, BUPT, Beijing 100876, China;  
4. Department of Surveying and Engineering, BICEA, Beijing 100044, China;  
5. School of Surveying and Land Resources, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract** Impacts of coal exploitation on grassland are grassland destruction and desertification. In this paper, the desertified grassland in Huolinhe open-cast coal mine was extracted from remote sensing image by using decision tree and back-propagation (BP) neural network, and the desertification during the past 16 years in the study area was analyzed. The results indicate that ① from 1987 to 2003, there is a strong to weak then weak to strong evolution process for the total grassland desertification, which can be attributed to climate change and human activities, especially to the influence of climate change; ② there is a evolution similar process from strong to weak then from weak to strong for the area of medium desertification and slight desertification, which can be mainly ascribed to the climate changes then to the over-grazing, uprooting of the medicinal materials and over-reclamation; ③ due to the coal exploitation, the severe desertification is always in shape of “▲” around the mining land, and developed to the east quickly with the help of monsoon; ④ the area of severe grassland desertification is on the increase during the past 16 years, and there is much correlation between the

收稿日期: 2004-08-09; 修订日期: 2005-11-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 40071045) 资助

作者简介: 王广军 (1976—), 男, 2005 年 1 月毕业于中国矿业大学 (北京校区), 获摄影测量与遥感博士学位。现从事国土与环境遥感、测绘等方面的教学和科研工作。已发表论文 6 篇, 其中 EI 收录 3 篇。E-mail: smartwg@sohu.com.

mining land and severe grassland desertification area, so the mining land area can be served as an important indicator for coalfield eco-environment assessment and prediction.

**Key words** mining exploitation; grassland desertification; remote sensing; Huolinhe open-cast coal mine

## 1 引 言

煤炭是中国最重要的能源,煤炭行业在国民经济建设中占有重要地位。随着中国煤炭开发“战略西进”的实施,西部地区将成为中国新世纪重要的能源基地,而这里又是中国重要的草原区之一,长期以来由于自然和人类的双重作用,草地的生态环境已是十分脆弱,而煤炭资源的开发和利用,在促进经济和社会发展的同时,也带来了环境和灾害问题<sup>[1]</sup>,势必会使已经十分脆弱的草地环境进一步恶化,生态系统和畜牧业经济的可持续性发展受到严重威胁。因此研究采矿扰动下草地荒漠化的特点,为矿产和草地资源的合理利用和可持续发展提供决策依据,具有重要的现实意义。

本文以霍林河露天煤矿区为例,阐述了采矿扰动下草原露天煤矿区草地受损引发因子,基于决策树和 BP 神经网络,完成了矿区建设用地和草地荒漠化信息提取,并对研究区 16 年来的矿区建设用地和草地荒漠化情况进行了分析。

## 2 研究区概况

霍林河煤田位于内蒙古自治区哲里木盟扎鲁特旗境内,走向长 60 km,宽 8—10 km,面积约为 540 km<sup>2</sup>。煤田中心的地理坐标为东经 119°34′,北纬 45°28′。目前已经建成投产的露天煤矿主要集中在煤田北部,其中位于煤田北部东翼的霍林河露天矿是中国“七五”、“八五”期间重点开发建设的大型现代化露天煤矿之一,现有生产能力 10 Mt/a。此外,在煤田的北部边缘尚分布有其他体制的煤矿 10 余个(图 1)。

本区地处蒙古高原东部,地势呈四周高中间低,海拔一般在 870 m 以上,地貌依次为山地丘陵、堆积台地和冲积平原。露天煤矿主要散布在中部的堆积台地和冲积平原上。

本区属中温带温凉地区半湿润大陆性气候,冬季寒冷少雪,夏季凉爽;年平均降水量为 354 mm,蒸发量达 1544 mm。全年 8 级以上大风平均 50 天左右,分布在 10 月至翌年的 6 月。栗钙土为本区主要土壤,占土地总面积的 85.5%,间有少量风沙土和草甸土分

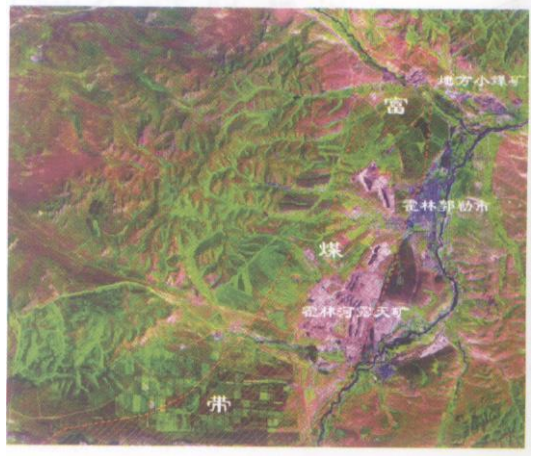


图 1 霍林河煤田位置示意图

Fig 1 The location map of Huolinhe coalfield

布。该区草原系当今世界保留比较完整的原始草原之一,属于蒙古植物分布区,植被以针茅、羊草为主。

## 3 矿区开发对草地影响的分析

煤炭的开采将导致矿区草地生态系统结构和功能的破坏,使草地生态系统的自我调节功能下降,打破了原有生态系统的平衡,生态系统变得脆弱而且不稳定。概括来说,煤炭开发对该区草地生态系统的影响主要体现在:

(1) 挖损 露天煤矿开采后将形成深大的采坑,造成原地表形态、地层层序、生物种群的直接破坏,原来的草地生态系统不复存在;

(2) 压占 挖损后产生的废弃岩土直接堆置于采坑旁边的草地上,形成巨大的排土场,造成原来草地生态系统的丧失;

(3) 占用 原有的草地变为容纳厂房、选煤场、运煤铁路、排土道路、供电通讯线路以及给排水管道的工业广场,占用了一部分草地资源;

(4) 土地沙化 由于煤矿的开发,机动车辆增多,引起无限制的开辟新路,而本地土壤质地多轻壤偏沙,植被一经破坏,水土流失严重,在春季大风的作用下,该区土壤风蚀沙化迅速蔓延,同时矿山开采对地下水资源的破坏以及城市增长引起的水资源过度利用,使得本区地下水位下降,植被盖度减少,进一步加剧了土壤沙化;

(5) 环境污染问题 挖损、压占和占用过程中的粉尘污染、水土流失以及酸性、碱性、毒性物质通过径流对周围土地、水系和大气造成的污染<sup>[2]</sup>,进而引起草地质量变差;另一方面,矸石山和排土场表土在春季大风的作用下,往往会在周围的草地蒙上厚厚的一层覆土,不仅污染了土壤,而且使草地的生产力下降,植被盖度降低,造成当地草地的贫瘠化。

概括说来,煤炭开发对草地的影响主要体现在对草地的直接破坏(挖损、压占和占用)和草地荒漠化。

## 4 研究方法

### 4.1 资料准备

经过充分的区域调查和分析,收集了研究区

1987年、1996年和2003年的TM资料,如表1所示。另外还收集了研究区的1:50000地形图(1987年)、1:50000矿山资源分布图(1996年)和1:50000土地利用现状图(2003年),此外还收集到了研究区1987年土壤普查报告和1992年土地利用现状调查报告等文本资料。为了消除遥感影像之间由于传感器和物候状况的差异而造成的影响,以1987年6月15日遥感影像为参考影像,应用TISF辐射转换模型<sup>[3]</sup>对1996年和2003年的遥感影像进行了辐射校正;几何校正则是利用1:50000地形图上的12个控制点,将遥感影像转换至1954年北京平面坐标系下,几何校正的精度小于0.5个像元。所有的图件都经过了扫描矢量化并转成ENVI系统的evf格式,以备后续使用。

表 1 研究区 TM 资料

Table 1 Remotely sensed imageries of Huolinhe coalfield received from Landsat-5 Thematic Mapper

卫星	轨道号	获取时间	分辨率 /m	辐射校正	几何粗校正
Landsat-5	122 /28	1987 /06 /15	25	×	√
Landsat-5	122 /28	1996 /05 /22	25	×	√
Landsat-5	122 /28	1996 /06 /07	25	×	√
Landsat-5	122 /28	2003 /05 /26	25	×	√
Landsat-5	122 /28	2003 /07 /29	25	×	√

\* 资料来源:中国科学院遥感卫星地面接收站。

### 4.2 基于光谱混合分解模型的草地沙化和植被盖度信息的提取

联合国在1994年签署的防治荒漠化公约中,把荒漠化定义为“荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润地区的土地退化,主要表现为农田、草原、森林的生物或经济生产力和多样性的下降或丧失,包括土壤物质的流失和理化性状的变劣以及自然植被的长期丧失”<sup>[4]</sup>。由荒漠化的定义可以看出,植被和土壤性状是荒漠化评价中的两个重要指标。研究区位于草原风沙区,从荒漠化的驱动力上看,以风蚀荒漠化为主,因此在本研究中将沙壤比例和植被盖度变化作为一项重要内容来研究,沙壤比例和植被盖度也是后续荒漠化评价的重要依据。本文采用光谱混合分解模型<sup>[5]</sup>来提取沙壤比例和植被盖度。

#### 4.2.1 光谱混合分解原理

光谱混合分解的基础是线性光谱混合模型

(LSMM)。线性光谱混合模型假定地表物质组分足够大或不透光,以保证光子仅仅与一个地表物质组分发生作用,同时辐射传递过程是可加性的。地物光谱组合可以利用最小二乘法并保证各组分(端元)总和为1,通过线性混合方程进行分解。其目标就是在分析和重新组合这些端元产生专题图件以前,将地表各种重要物质组分的光谱贡献进行分离<sup>[6]</sup>。LSMM模型的基本公式为:

$$R_{\lambda} = \sum_{k=1}^N f_k C_{k\lambda} + \epsilon_{\lambda}$$

$$\sum_{k=1}^N f_k = 1, 1 \geq f_k \geq 0$$

$$RMS = \left[ \sum_{i=1}^{\lambda} (\epsilon_{\lambda})^2 / N \right]^{1/2}$$

式中, $R_{\lambda}$ 为第 $\lambda$ 波段第 $i$ 像元的光谱反射值; $N$ 为基本组分的数目,且 $N \leq m + 1$ , $m$ 为波段数; $f_k$ 为对应 $i$ 像元的第 $k$ 个基本组分所占的分量值; $C_{k\lambda}$ 表示第 $k$ 个基本组分所在 $\lambda$ 波段的光谱反射值; $\epsilon_{\lambda}$ 为第 $\lambda$ 波段第 $i$

个像元对应的误差值;RMS为均方根误差图像。

### 4.2.2 模型解算

线性光谱混合模型常采用最小二乘法的方法进行计算。结果以各 Endmember分量图和残余误差图像的形式表示。在本研究中,经过主成分变换和散度分析<sup>[7]</sup>,共选取了植被、阴影、沙壤、轻壤 4 个组分,利用无约束线性光谱混合分解模型(即不考虑每一分量值结果的正负及总和是否为 1)分别对

1987年、1996年和 2003年 5 个时相的遥感图像进行了混合像元分解。为消除季相不一致对植被盖度的影响,作者基于逐像元线性内插的方法<sup>[8]</sup>,分别对 1996年 5月 22日、6月 7日和 2003年 5月 26日、7月 29日的植被盖度影像进行内插,构造出 1996年 6月 15日和 2003年 6月 15日的植被盖度影像。去除阴影,归一化后沙壤以及内插后植被分量的结果如图 2所示。

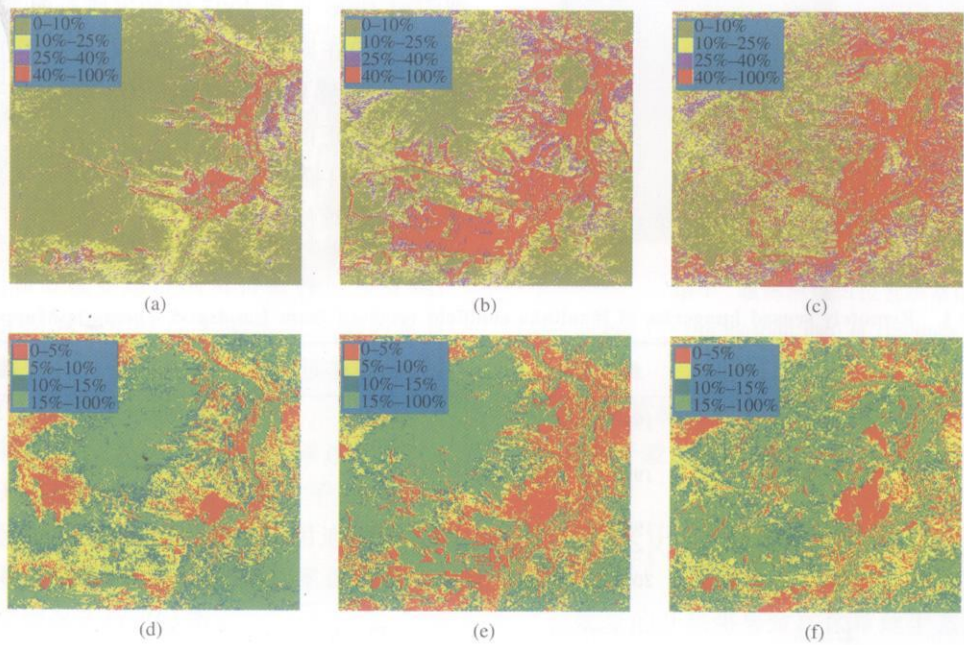


图 2 LSMM 分解后沙壤和植被盖度分量结果图

(a) 1987年沙壤分量; (b) 1996年沙壤分量; (c) 2003年沙壤分量; (d) 1987年植被盖度分量; (e) 1996年植被盖度分量; (f) 2003年植被盖度分量

Fig 2 Decomposed results for sandy soil and vegetation fraction using linear spectral mixture model (LSMM)

(a) sandy soil fraction for 1987 imageries; (b) sandy soil fraction for 1996 imageries; (c) sandy soil fraction for 2003 imageries; (d) vegetation fraction for 1987 imageries; (e) vegetation fraction for 1996 imageries; (f) vegetation fraction for 2003 imageries

### 4.2.3 光谱混合分解结果评价

霍林河矿区光谱混合分解后的各分量值统计表 2。

从表 2 可以看出,像元分解后的各分量值及分量值之和等于 1 在图像中所占的比例均超过了 80%。通过对 RMS 误差图像进行分析,发现各分量值及分量值之和不在 [0, 1] 区间的区域,主要集中在道路、沟谷和河流两岸,其他区域的误差呈均匀分布,说明整个图像混合光谱的分解具有相似的精度水平,这也证明本文所采用的端元及分解结果是可信的。

### 4.3 基于决策树和 BP 神经网络的矿业建设用地和草地荒漠化信息的提取

煤矿开发对草地的直接破坏主要表现在挖损、

压占和占用上,间接影响则是造成了周边草地的荒漠化,因此必须遵循一定的分类思想将两者分离开来,分别进行提取,并探求两者之间的关系。本文采用决策树和 BP 神经网络相结合的方法进行提取。

#### 4.3.1 决策树和 BP 神经网络

##### (1) 决策树

决策树是遥感图像分类中的一种分层次处理结构,适用于下垫面地物复杂并模糊的状况。其基本思想是逐步从原始影像中分离并掩膜每一种目标作为一个图层或树枝,避免此目标对其他目标提取时造成干扰及影响。最终复合所有的图层以实现图像的自动分类<sup>[9]</sup>。决策树的思想主要建立在地物特征的复杂性上,分层处理时力求每一层的类别突出,可分性较好,使处理较为容易。因此如何分组对结

表 2 光谱混合分解后各分量值统计

Table 2 Statistic of each component after spectral mixture decomposing

	0≤植被≤1 所占比例/%	0≤沙地≤1 所占比例/%	0≤轻壤≤1 所占比例/%	0≤阴影≤1 所占比例/%	植被+沙地+轻壤+ 阴影≈1所占比例/%
1987-06-15	94.3025	89.6282	92.7533	84.5597	86.9477
1996-05-22	94.4829	89.1001	86.7818	88.9109	90.2329
1996-06-07	90.7225	89.7877	97.8266	88.7505	96.2107
2003-05-26	89.2849	87.8163	90.4082	88.6577	82.0646
2003-07-29	97.0539	94.1974	91.6145	88.6551	92.7661

果影响很大。由于草原露天矿区土地覆被以牧草地为主,牧草地成片分布,间有矿业建设用地、裸土地、水体、居民地等,因此可以遵循决策树的思想,通过对 NDVI 影像取适当阈值,首先将植被(草地)和非植被分离开来,再利用下面要讲述的 BP 神经网络,对分离出的两个大类分别进行细分,从而完成对矿业建设用地和草地荒漠化信息的提取。

#### (2) BP 神经网络

遥感信息分类本质上是一个模式识别过程,因而目前计算机遥感信息分类主要采用传统的模式识别方法——统计决策方法和句法分析方法。但是,由于从遥感图像上难以抽取结构基元,并对他们进行描述,而统计决策方法受地形、光照条件等方面因素的影响,“同物异谱”、“同谱异物”现象时有发生,所以,仅用遥感数据通过统计决策方法进行地物识别的准确率也不高。近年来发展起来的 BP 神经网络分类方法,以其完美的分类算法和较高的分类精度,被广泛地应用于遥感图像的分类<sup>[10, 11]</sup>。最基本的 BP 神经网络是由三层结构组成,分别为输入层、中间层(隐层)和输出层。其学习过程由正向传播和反向传播组成。在正向传播过程中,样本信号经过 Sigmoid 函数  $[f(x) = 1/(1 + e^{-x})]$  的作用,逐层向前传播,每一层神经元的状态只影响到下一层神经元的状态。如果在输出层不能得到期望的输出信号,那么修改各层神经元的权值,同时使输出信号的误差沿原路返回。经过反复传播,最后使信号误差达到所要求的范围。

#### 4.3.2 矿业建设用地信息的提取

煤矿开发对草地的直接破坏主要表现在挖损、压占和占用上,最终体现到研究区不同年份的土地利用覆盖变化上。因此对矿业建设用地信息(挖损、压占和占用)的提取就转化为土地利用覆盖变化信息的提取。为避免引起分类混淆,提高分类精度,在本研究中将煤炭开发引起的挖损、压占和占用

信息统一为一个地类,即矿业建设用地。

通过对 NDVI 影像和实地的对比分析,取  $NDVI \geq 0.05$  为阈值将土地覆被中的植被信息(草地)分离出去,将非植被信息划分为水体、裸土地、矿业建设用地、居民地和其他建设用地,而后利用 BP 神经网络,将矿业建设用地提取出来。在本研究中, BP 神经网络隐层数为 2 层,在迭代 100000 次以后, RMS 误差达到 0.0001。基于决策树和 BP 神经网络的矿业建设用地信息如图 3 所示。

#### 4.3.3 草地荒漠化信息的提取

##### (1) 信息复合

为了提取采矿扰动下草地荒漠化信息,作者选用了 1987 年 6 月 15 日、1996 年 5 月 26 日和 2003 年 5 月 22 日三个时相的遥感影像,对每个时相的遥感影像进行主成分变换,同时为了解决低盖度荒漠化监测中 NDVI 的局限性,将每个时相的遥感影像主成分变换后的前三个分量与植被盖度、沙壤比值影像和 NDVI 影像进行复合(为了使 NDVI 影像具有可比性,本文中的 NDVI 影像是 1996 年两个时相、2003 年两个时相线性内插至 6 月 15 日的值),构造出 3 个时相 6 个波段的合成影像。

##### (2) 采矿扰动下草地荒漠化评价指标的建立

荒漠化动态变化研究首先要确定监测指标。草地荒漠化过程实际上是在各种不当的人为活动与自然营力交互作用下草地植被与土壤的退化过程。对于草原露天矿区来说,采矿扰动是引发草地荒漠化的主要因子,从其作用结果来看,主要表现为植被盖度的下降、草地生物量的减少和土壤性状的变化。因此在本研究中,将植被盖度、生物量和土壤质地(沙地比例)作为采矿扰动下草地荒漠化评价的重要指标,同时辅以卫片合成影像目视解译的色调信息。很多研究表明<sup>[12, 13]</sup>, NDVI 与生物量的相关关系显著,故在本研究中将 NDVI 作为评判草地生物量的指标。采矿扰动下草地荒漠化的评价指标见表 3。

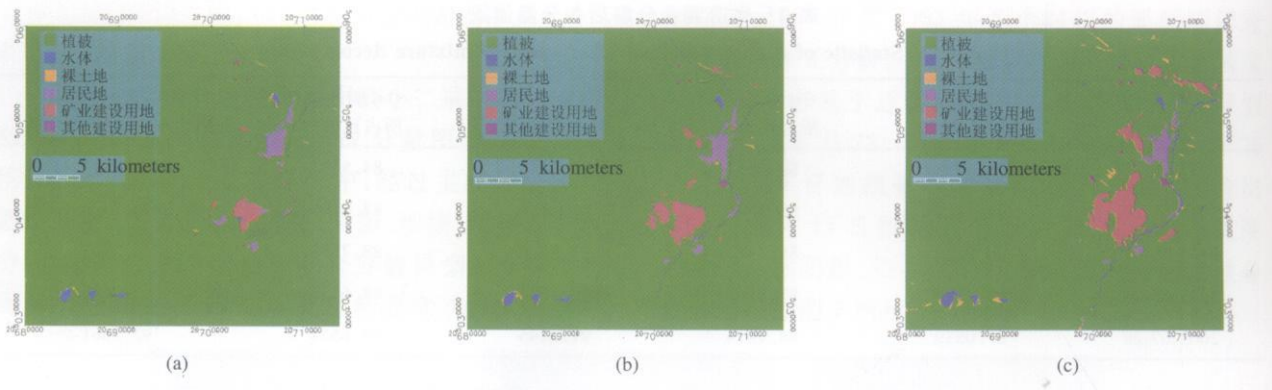


图 3 霍林河矿区 1987—2003 年矿业建设用地情况  
 (a) 1987 年矿业建设用地情况; (b) 1996 年矿业建设用地情况; (c) 2003 年矿业建设用地情况

Fig 3 Mining land from 1987 to 2003 in Huolinhe coalfield

(a) mining land in 1987; (b) mining land in 1996; (c) mining land in 2003

表 3 采矿扰动下草地荒漠化的评价指标

Table 3 Grassland desertification assessment indicators based on mining exploitation

	植被盖度 %	生物量 (NDVD)	沙壤比例 %	主成分 (3, 2, 1)合成影像色调特征
轻度荒漠化	10—15	0.10—0.14	10—25	淡青色, 多分布于采场边缘
中度荒漠化	5—10	0.07—0.10	25—40	淡粉色, 多分布于重度荒漠化外围
重度荒漠化	0—5	0.05—0.07	40—100	红色或蓝色, 分布于矸石山和采坑周围

矿业建设用地作为采矿扰动最严重的区域, 不仅造成了地表原生植被的完全去除, 而且在相当长的时期内出现逆转的可能性很小。从这个意义上讲, 矿业建设用地与国家通用的 4 级荒漠化分类中的极重度荒漠化土地是一致的。此外, 矿业建设用地还是周围草地荒漠化的重要引发因子之一, 因此为了深入探究采矿扰动对草地荒漠化的影响, 本文就不将矿业建设用地作为一个单独的荒漠化等级加以区分, 而采用三种荒漠化等级。

(3) 信息提取

首先利用提取矿业建设用地时分离出来的植被信息对合成影像进行掩膜处理, 将合成影像上的植被信息分离出来, 然后利用所建立的荒漠化评价指标体系, 在分离出来的合成影像上选训练区, 以便进行荒漠化信息提取。分类算法仍采用 BP 神经网络, 为了避免分类时大值对小值的掩盖, 在分类前对主成分变换的前三个分量进行了归一化处理。荒漠化信息提取结果如图 4 所示。

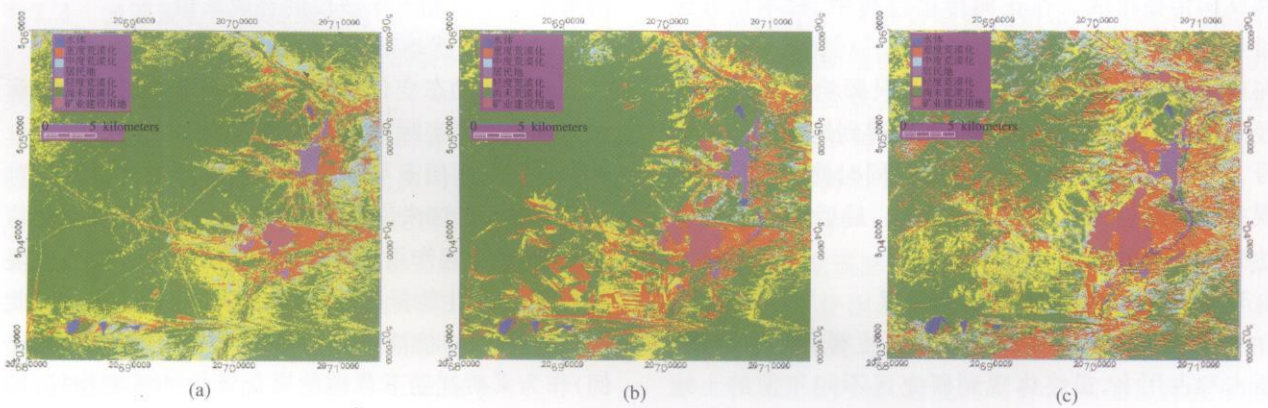


图 4 霍林河矿区 1987—2003 年荒漠化信息提取结果

(a) 1987 年荒漠化情况; (b) 1996 年荒漠化情况; (c) 2003 年荒漠化情况

Fig 4 Grassland desertification results for Huolinhe coalfield from 1987 to 2003

(a) grassland desertification result in 1987; (b) grassland desertification result in 1996; (c) grassland desertification result in 2003

## 5 结果与分析

通过对 1987, 1996 和 2003 年遥感影像荒漠化分类图进行研究, 得出研究区荒漠化草地统计情况如表 4 和图 5 所示。

从表 4 和图 5 可以看出:

表 4 霍林河矿区 1987—2003 年荒漠化草地统计表 (面积单位:  $\text{km}^2$ , 总面积:  $1071.18\text{km}^2$ )

Table 4 Statics of deserted grassland in Huolinhe coal mine from 1987 to 2003 (area unit  $\text{km}^2$ , total area:  $1071.18\text{km}^2$ )

年份	尚未荒漠化		轻度荒漠化		中度荒漠化		重度荒漠化		其他用地 (水体、居民点等)	
	面积	比例 %	面积	比例 %	面积	比例 %	面积	比例 %	面积	比例 %
1987	695.80	64.96	188.85	17.63	94.64	8.84	70.81	6.61	21.08	1.97
1996	752.72	70.27	121.63	11.35	41.79	3.90	120.78	11.28	34.26	3.20
2003	499.25	46.61	178.76	16.69	126.07	11.77	216.44	20.21	50.66	4.73

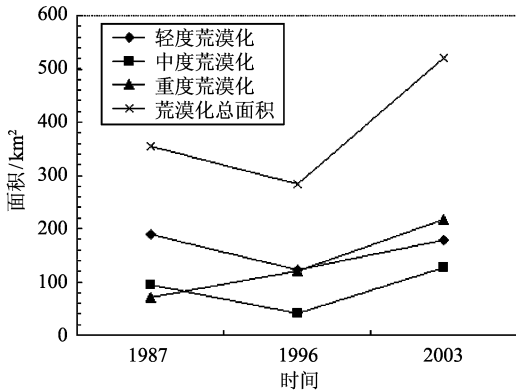


图 5 霍林河矿区 1987—2003 年草地荒漠化统计情况

Fig 5 Statistic of grassland desertification in Huolinhe coal mine from 1987 to 2003

1951—2003 年, 霍林河矿区年平均降水量为  $350.2\text{mm}$ , 平均温度为  $6.4^\circ\text{C}$ , 降水的年际波动很大。20 世纪 50 年代降水量较多, 60 年代略有减少, 70—80 年代降水量明显减少, 到 90 年代降水量又开始增加, 2003 年降水又出现减少的趋势。气候的变化对植被生长的影响很大, Tucker 的研究证实:

表 5 草地荒漠化面积统计 (面积单位:  $\text{km}^2$ , 总面积:  $270.7\text{km}^2$ )

Table 5 Grassland desertification areas statistics (area unit  $\text{km}^2$ , total area:  $270.7\text{km}^2$ )

年份	矿业建设用地	重度荒漠化	中度荒漠化	轻度荒漠化	尚未荒漠化	其他用地
1987	6.72	44.32	37.28	59.58	112.43	10.37
1996	17.15	53.76	20.04	35.55	132.09	12.11
2003	31.00	76.60	38.18	53.62	57.74	13.56

(1) 从 1987 年至 2003 年间, 研究区荒漠化总面积存在由强转弱、再由弱变强的演变过程, 1987 年研究区荒漠化总面积为  $354.30\text{km}^2$ , 1996 年荒漠化总面积减少成为  $284.2\text{km}^2$ , 2003 年荒漠化面积再度增强, 达到  $521.27\text{km}^2$ , 为历史的最高点。这与气候变化和人为活动有直接关系, 但更多的是受气候变化影响的缘故。

植被对生长季节降水的反应及荒漠边缘植被的扩张和收缩, 与年复一年的降雨变率高度一致; 气候变化的干旱化与荒漠化的发生具有“共振”效应<sup>[14, 15]</sup>。本文的研究也证实了这种观点, 即: 干旱年份, 荒漠化面积发展得比较迅速, 而丰水年, 荒漠化面积则出现逆转。表 5 也体现了这种特点。

(2) 从表 5 还可以看出, 轻度荒漠化、中度荒漠化的发展趋势与气候的变化相一致, 表明轻度荒漠化和中度荒漠化受气候变化影响比较大; 此外, 轻度荒漠化和中度荒漠化与超载放牧、掏挖药材以及垦荒等因素也有一定的关系, 一个突出的例子就是, 尽管 2003 年的降水量要好于 1987 年, 但 2003 年轻度荒漠化和中度荒漠化面积之和却高于 1987 年, 1987 年两者之和为  $283.49\text{km}^2$ , 而 2003 年却增至  $304.83\text{km}^2$ , 草地荒漠化过程明显加快, 在局部卫星遥感影像上, 甚至出现因过度放牧而导致的斑点状沙地的蔓延。

(3) 重度荒漠化与轻度荒漠化和中度荒漠化的发展趋势却截然相反, 表明其更多的是受其他因素的影响。

图 4 表明, 采矿扰动下重度荒漠化草地多围绕

矿业建设用地呈“▲”状分布,并且向矿业建设用地的东侧发展迅速,这主要是因为本区盛行西北、西南季风,采矿活动释放的大量粉尘、烟尘等,在风力的作用下东移,并在地面上大量降尘的结果。可见对于草原露天矿区,季风对荒漠化的发生、发展起着重要的推动作用;而对于中度和轻度荒漠化草地则分布得相对较为零散,与矿业建设用地的空间位置相关关系很小,分析其原因,除受矿区开发的部分影响之外,更多地是与乱垦、过度樵采和放牧有关。

为了深入说明采矿扰动对草地荒漠化的影响,针对矿区草地荒漠化的分布特点,并借助于遥感图像解译结果,作者以矿业建设用地为中心,3km为半径做缓冲区分析,得到1987—2003年间的草地荒漠化情况如表5所列。

从表5可以看出,霍林河煤矿区矿业建设用地的重度荒漠化面积发展迅速,应用线性回归方程对两者进行分析,两者的相关系数达0.9881427,回归方程为 $y=1.3464968x+33.599239$ ( $y$ 为重度荒漠化面积, $x$ 为矿业建设用地面积),而矿业建设用地与中度荒漠化、轻度荒漠化和尚未荒漠化的相关系数仅为0.12485011, -0.15864020和-0.76461420,可见矿业建设用地面积与重度荒漠化面积之间关系密切,因此可将矿业建设用地面积作为预测、评价该区煤炭开发对生态环境影响的重要依据。

## 6 结 论

(1) 煤炭开发对草地的影响主要体现在对草地的直接破坏(挖损、压占和占用)和草地荒漠化;

(2) 遥感技术是研究采矿扰动下草地荒漠化的有效方法之一,通过构建适宜的分类方法和评价指标,可以完成对矿业建设用地和草地荒漠化信息的有效提取;

(3) 研究结果表明,从1987年至2003年间,研究区荒漠化总面积存在由强转弱、再由弱变强的演变过程,这与气候变化和人为活动有直接关系,但更多的是受气候变化影响的缘故;轻度荒漠化、中度荒漠化面积同样经历了由强转弱、再由弱变强的演变过程,分析其原因,主要是受气候变化的影响,其次是受超载放牧、掏挖药材以及垦荒等因素影响;受煤炭开发的影响,重度荒漠化草地多围绕矿业建设用地的“▲”状分布,并且受季风影响向矿业建设用地的东侧发展迅速;重度荒漠化草地面积在16年间始终呈现出高增长的态势,并与矿业建设用地相关关系

显著,可将矿业建设用地面积作为评价、预测该区煤炭开发对生态环境影响的重要依据。

**致 谢** 内蒙古自治区霍林郭勒市国土资源局刘玉顺、李志学和张志华等人为本研究提供了相关资料,在此表示感谢!

## 参 考 文 献 (References)

- [1] Sheng Y H, Guo D Z, Zhang S B, et al. Research on the Monitoring and Analysis of Mining Area Environment [M]. Beijing: Geology Press, 2001. [盛业华, 郭达志, 张书毕等. 工矿区环境动态监测与分析研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2001.]
- [2] Bai Z K, Zhao J K, Li J C, et al. Ecosystem Damage in a Large Opencast Coal Mine: A Case Study on Pingshuo Surface Coal Mine, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(6): 870—875. [白中科, 赵景逵, 李晋川等. 大型露天煤矿生态系统受损研究——以朔州露天煤矿为例 [J]. 生态学报, 1999, 19(6): 870—875.]
- [3] Hall F G. Radiometric Rectification: Toward a Common Radiometric Response Among Multidate Multisensor Images [J]. Remote Sensing of Environment, 1991, 35: 11—27.
- [4] UN. United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa [R]. 1994.
- [5] Theseira M A, G. An Evaluation of Spectral Mixture Modeling Applied to a Semi-arid Environment [J]. Int J Remote Sens, 2002, 23: 687—700.
- [6] Adams J B, Smith M O, Gillespie A R. Simple Model for Complex Natural Surfaces: A Strategy for the Hyper Spectral Era of Remote Sensing [C]. Process of IGARSS'89, 1989, 1: 16—21.
- [7] Zhang X C, Zhao Y S. Application of Line Spectral Mixture Model to Rapid Assessment of Land Degradation in Semi-arid Area [J]. Journal of Graduate School Academia Sinica, 1999, 16(2): 169—176. [张熙川, 赵英时. 应用线性光谱混合模型快速评价土地退化的方法研究 [J]. 中国科学院研究生院学报, 1999, 16(2): 169—176.]
- [8] Patrick Hostert. Coupling Spectral Unmixing and Trend Analysis for Monitoring of Long-term Vegetation Dynamics in Mediterranean Rangelands [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 87: 183—197.
- [9] Wang J, Dong G R, Li W J, et al. Primary Study on the Multi-Layer Remote Sensing Information Extraction of Desertification Land Types by Using Decision Tree Technology [J]. Journal of Desert Research, 2000, 20(3): 243—247. [王建, 董光荣, 李文君等. 利用遥感信息决策树方法分层提取荒漠化土地类型的研究探讨 [J]. 中国沙漠, 2000, 20(3): 243—247.]
- [10] Wang Y Q. Artificial Neural Network Models in Remote Sensing and Multisource Geographic Data Classification [J]. Scientia Geographica Sinica, 1999, 17(2): 105—112. [王野乔. 遥感及

- 多源地理数据分类中的人工神经网络模型 [J]. 地理科学, 1999, **17**(2): 105—112 ]
- [11] Jia Y H, Zhang C S, Wang A P. Classifying of Multisources Remote Sensing Imagery Based on BP Neural Network [J]. Journal of Xi'an University of Science & Technology, 2001, **21**(1): 58—60 [贾永红, 张春森, 王爱平. 基于 BP 神经网络的多源遥感影像分类 [J]. 西安科技学院学报, 2001, **21**(1): 58—60 ]
- [12] Huang J F, Wang X Z, Wang R C, et al. A Study on Monitoring and Predicting Models of Grass Yield in Natural Grassland Using Remote Sensing Data and Meteorological Data [J]. Journal of Remote Sensing, 2001, **5**(1): 69—74 [黄敬峰, 王秀珍, 王人潮等. 天然草地牧草产量遥感综合监测预测模型研究 [J]. 遥感学报, 2001, **5**(1): 69—74 ]
- [13] Huang J F, Wang R C, Hu X B, et al. Studies on Grass Yield Monitoring and Predicting Models of Natural Grassland Using Remote Sensing Data in Northern Xinjiang [J]. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1999, **25**(2): 125—129. [黄敬峰, 王人潮, 胡新博等. 新疆北部天然草地产草量遥感监测预测模型研究 [J]. 浙江农业大学学报, 1999, **25**(2): 125—129.]
- [14] Tucker C J, Dregne H E, Morton S R. Expansion and Contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990 [J]. Science, 1991, **253**: 299—301.
- [15] Nicholson S E, Tucker C J, Ba M B. Desertification, Drought and Surface Vegetation: An example from the West African Sahel [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, **79**: 815—829.