

煤矸石堆场信息遥感提取方法对比

王 鹏¹, 刘庆生¹, 刘高焕¹, 申文明², 李 岩³, 张朝忙⁴, 董金发¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100029; 3. 内蒙古自治区固体废物管理中心, 呼和浩特 010000;

4. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

摘要:煤矸石作为工业特殊固体废物之一,产生于煤炭的采掘与洗煤的过程中,影响着周围的生态环境,因此,通过遥感影像获得煤矸石堆场的位置、面积信息,对于后续的调查也有很好的指导作用。本文选择2011年9月的Landsat 5 TM影像,通过将研究区的光谱信息与地形、温度等辅助信息相结合的方式,分别使用非监督分类、监督分类、谱间关系法、分层分类法4种方法对研究区煤矸石堆场进行提取。通过对比,分层分类法提取煤矸石堆场信息的识别精度可达到78%。另外,该方法对于继续在高分辨率遥感影像上进行煤矸石堆场位置、面积的提取也有指导作用。

关键词:煤矸石堆场; Landsat 5 TM; 鄂尔多斯; 谱间关系法; 分层分类法

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00768

1 引言

煤矸石是在煤炭开采、洗选加工过程中所产生的固体废物,目前,煤矿的排矸量约占煤炭开采量的10%~25%,已成为我国累积堆积量和占用场地最多的工业废物^[1]。

国内外对煤矸石的研究主要集中在煤矸石的成分、煤矸石与煤的分选、煤矸石的综合利用,以及煤矸石对生态环境的影响,例如,祁星鑫^[2]、刘富强^[3]分别探讨了煤矸石的特征、应用及利用图像处理技术实现煤矸石的自动分类,此处的分类分选与遥感技术相比,为微观分类,主要以煤矸石的成分进行分类与分选。对于煤矸石堆场位置、面积信息的提取研究较少,传统的煤矸石堆场调查采取实地测量与统计相结合的常规方法,效率低下而且统计结果受人为影响大。近年来,遥感高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率广泛应用于煤矸石堆场信息的提取,主要有荆青青先采用主成分分析法将14个波段进行去相关降维,再运用马氏距离法对图像进行监督分类^[4],对荆门市马河镇煤矸石分布范围进行提取,经过后处理后精度达到88.17%。冯稳基于TM多光谱影像,运用知识决策树分类方法对江西萍乡煤矿区进行煤矸石信息提取,经过后处理后

精度达到82.97%^[5]。

以往的煤矸石堆场提取,主要利用遥感影像的光谱信息,很少用到其他辅助数据。本文在前人研究的基础上,将遥感影像的光谱信息与其他辅助数据相结合,以TM所覆盖的鄂尔多斯为研究对象,通过多种信息提取方法的对比,找到中分辨率影像上提取煤矸石堆场的方法和特点,为遥感进行煤矸石堆场监测提供依据。

2 研究区与数据源简况

(1)鄂尔多斯市位于内蒙古自治区西南部,地处鄂尔多斯高原腹地,东部、北部和西部分别与呼和浩特市、山西省、包头市、巴彦淖尔市、宁夏回族自治区、阿拉善盟隔河相望,南部与陕西省榆林市接壤,地理坐标为北纬37°35'24"~40°51'40",东经106°42'40"~111°27'20",东西长约400km,南北宽约340km,总面积86 752km²。

全市已探明煤炭储量1496亿多t,约占全国总储量的1/6。如果计算到地下1500m处,总储量约近1万亿吨。在全市87 000多km²的土地上,70%的地表下埋藏着煤。按地域位置,全市可划分为东、西、南、北4大煤田,东部即准格尔煤田,西部即桌子山

收稿日期:2012-09-21;修回日期:2013-04-19。

基金项目:环保公益资助项目(201109043)。

作者简介:王 鹏(1986-),男,宁夏青铜峡人,硕士,主要研究方向为遥感信息提取。E-mail:trueloveissmiss@qq.com

煤田,南部即东胜煤田,北部即乌兰格尔煤田。鄂尔多斯煤炭资源不仅储量大,分布面积广,而且煤质品种齐全,有褐煤、长焰煤、不粘结煤、弱粘结煤、气煤、肥煤、焦煤,大多埋藏浅,垂直厚度深,易开采。目前,4大煤田,除乌兰格尔煤田外,其余均正在开采之中。2010年该市原煤产量为44 934万t^[6],煤矸石产生量为1193.83万t^[7],煤矸石堆场多位于采煤坑附近,露天堆放,与洗煤厂、堆煤场相连。

(2)本研究根据煤矸石的产生过程及其本身为煤炭和岩石混合物的特性,选择2011年9月的Landsat5 TM影像,行带号为127-32,在这一时间内,植被覆盖度高,煤矸石堆场与周围背景区别大,堆场信息易于提取。Landsat5 TM影像的7个波段均被用到,其中不常用到的第6波段用于反演研究区的温度^[8-9]。不但有遥感影像外,还收集到ASTER GDEM(数字高程模型)、野外考查数据、环境统计数据,及一些与之相关的统计资料。ASTER GDEM用于提取研究区的坡度,TM影像与ASTER GDEM数据均来源于美国NASA数据共享网站^[10]。

根据研究需要,对遥感影像进行了辐射校正、大气校正^[11-12],之后利用Google Earth高分辨率影像对TM影像进行了几何校正^[13],重采样方法为二次样条函数法,校正精度保证在0.5个像元之内。

3 煤矸石遥感提取分析

3.1 煤矸石提取方法

本文根据煤矸石的成分与形成特点,利用光谱分析、非监督分类,对研究区地类进行分析,确定与煤矸石相混淆的地类。同时,对煤矸石堆场进行监督分类^[14]、非监督分类^[14]、谱间关系法^[15]、分层分类法^[16]提取和精度分析,具体流程见图1。

3.1.1 典型地物光谱特征分析

提取研究区的煤矸石信息^[15],首先,要了解煤

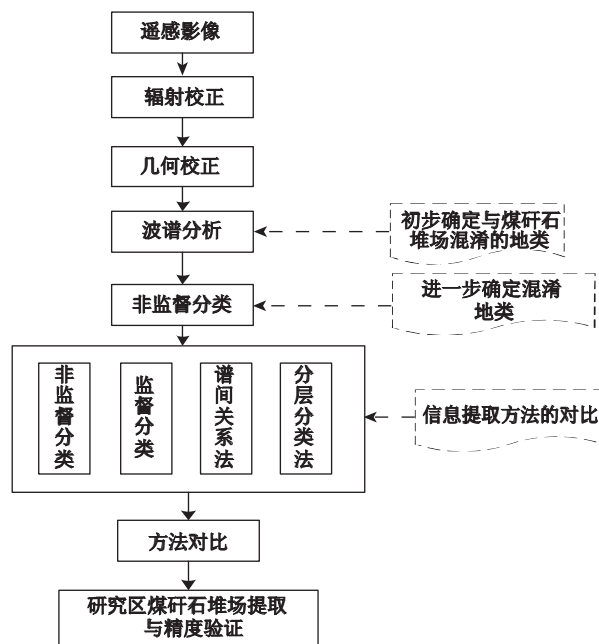


图1 技术路线图

Fig.1 Diagram of work flow

矸石堆场的光谱特征,以及容易与煤矸石堆场相混淆的地类,本研究通过目视判读方法,分别对煤矸石堆场、采煤坑、堆煤场、排土场、沙漠、道路、居民地、林地、草地、耕地、水体、阴影12种类型进行了取样(取样数均为200个),统计各自的灰度均值(如表1),得到相应的地物光谱特征曲线(如图2)。

由不同地物亮度均值曲线可以看出,煤矸石堆场与堆煤场、采煤坑相混淆,在第5波段煤矸石堆场与采煤坑、堆煤场有所区分,但同时又混入了阴影和水体,无法简单的利用阈值法来进行信息提取。

3.1.2 混淆地类的确定

提取研究区煤矸石堆场信息,须建立煤矸石堆场的解译标志(颜色、纹理、形状等信息),以确定与煤矸石堆场混淆的地类。

通过上一步对研究区地类灰度均值的统计,将

表1 典型地物亮度均值

Tab.1 Mean values of the brightness of typical ground objects

波段	地类											
	堆煤场	煤矸石	采煤坑	排土场	道路	水体	耕地	居民地	阴影	草地	林地	沙漠
band1	59	70	65	100	110	73	65	80	50	105	59	118
band2	25	29	27	60	177	45	32	58	21	58	28	75
band3	25	30	26	75	100	60	35	65	20	85	23	105
band4	20	28	21	78	105	50	58	70	30	99	100	195
band5	40	53	44	145	81	10	85	95	38	168	88	190
band7	28	37	35	98	120	7	42	75	18	105	26	130

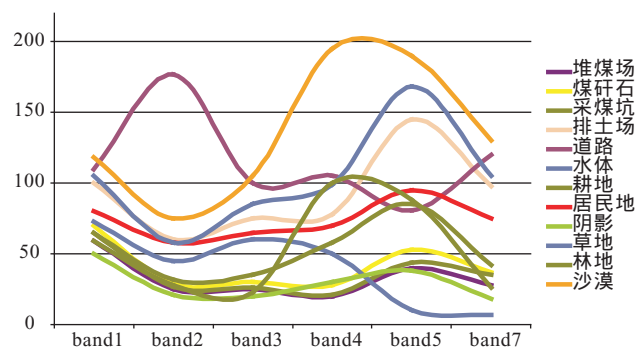


图2 不同地物亮度均值曲线

Fig.2 Curves of mean values of brightness for different ground objects

研究区地类分为12种地类,在此利用ERDAS IMAGINE 9.1对研究区2011年TM遥感影像进行非监督分类,选择ISODATA(迭代自组织数据分析技术)方法,将分类后影像与组合后的5,4,3假彩色影像进行对比,最终确定在研究区内煤矸石堆场与采煤坑、堆煤场、阴影、部分水体相混淆。与波谱分析不同的是,通过非监督分类能更直接地观察到煤矸石堆场分布的地形位置、纹理、颜色、形状信息,以及与煤矸石堆场混淆的地类。

3.1.3 煤矸石信息提取方法对比

选择合适的煤矸石提取方法至关重要,本文选择了非监督分类、监督分类、谱间关系法、分层分类法4种方法对实验室煤矸石堆场进行了提取,以下分述4种方法信息提取的过程。

(1)非监督分类与监督分类

利用ERDAS对研究区2011年TM遥感影像进行非监督分类,选择ISODATA(迭代自组织数据分析技术)方法(图3)。利用ERDAS软件对Landsat TM5的5,4,3波段组合影像进行了最大似然法监督分类,对煤矸石信息进行了提取(图4)。

首先,利用非监督分类方法对研究区煤矸石堆场进行提取,发现提取出的煤矸石堆场与采煤坑、堆煤场、山体阴影相混淆;

然后,用监督分类方法提取,发现煤矸石堆场只与采煤坑、堆煤场混淆,但是只能提取面积大的堆场,丢失面积小的煤矸石堆场。

(2)波谱间关系法

从表1看出,在Band1煤矸石堆场与堆煤场、采煤坑、居民地、林地的灰度均值相近,与排土场、道路、水体、耕地、阴影、草地、沙漠区别,其中,与沙漠和道路的区别最大;在Band2煤矸石堆场的灰度值

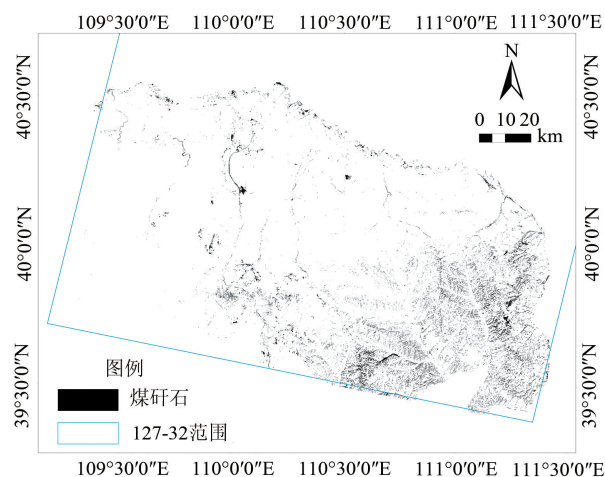


图3 非监督分类提取的煤矸石堆场

Fig.3 Gangue yard extracted by unsupervised classification

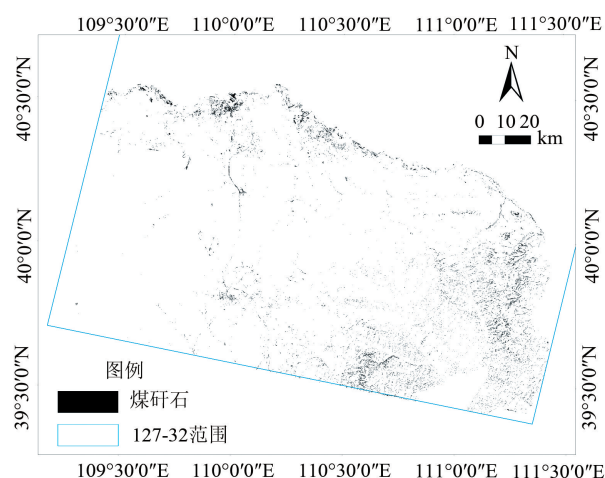


图4 监督分类提取的煤矸石堆场

Fig.4 Gangue yard extracted by supervised classification

较低,与堆煤场、采煤坑及林地相近,与其他地类相区别,其中区别最大的是道路;在Band3煤矸石堆场与堆煤场、采煤坑、林地相混淆,与沙漠的区别最大;在Band4煤矸石堆场与沙漠的区别最大,与堆煤场、采煤坑相混淆,在这一波段不再与林地混淆,却与阴影混淆;在Band5煤矸石堆场中堆煤场、采煤坑混淆,但三者之间灰度差较前几个波段大,与沙漠、排土场、草地的差别都很大;在Band7煤矸石堆场依然是与堆煤场、采煤坑相混淆,同时与耕地和林地相混淆,与道路和沙漠的区别最大。

通过对各个波段地类灰度均值的对比可知:所有波段煤矸石堆场都与采煤坑、堆煤场相混淆;在Band7阴影的灰度值最小;从表1可以看出,Band5中煤矸石堆场与堆煤场均值差最大,同时,所有波

段中煤矸石堆场的均值总是大于堆煤场的均值,通过波段两两相加可以增加煤矸石堆场与堆煤场之间的区别。图5是每个波段与Band7进行加运算后的波谱曲线。从图5可以看出,Band5+Band7与其他运算结果相区分,通过试验,最终确定利用 $84 < \text{Band5} + \text{Band7} < 102$ 进行煤矸石堆场信息的提取,提取结果中部分煤矸石堆场依然与采煤坑、堆煤场相混淆,需要进一步进行后处理来提高精度,这里的后处理包括形状指数、面积等方法。图6为通过谱间关系法提取的煤矸石堆场的结果图。

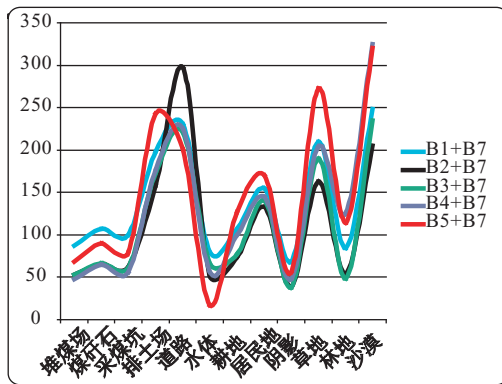


图5 波段加运算后地物亮度均值曲线

Fig.5 Curves of mean values of brightness for add operation of band

(3) 分层分类法

通过监督分类、非监督分类、阈值法进行煤矸石堆场信息的提取,主要是依据遥感影像的光谱信息。经统计,煤矸石堆场与堆煤场、采煤坑、阴影、林地、水体相混淆,因此,在区域地类的识别与提取

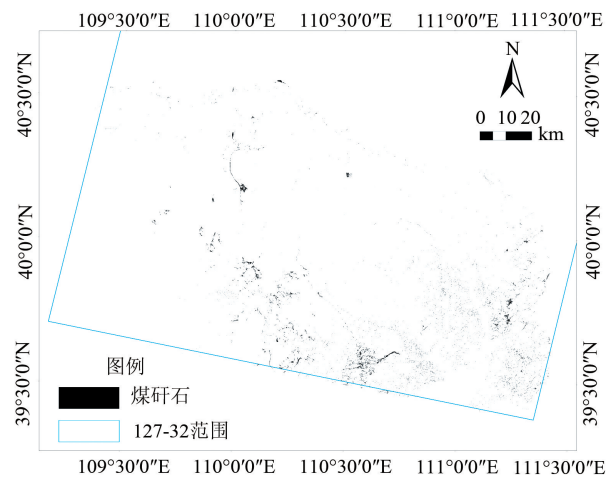


图6 波谱间关系法提取的煤矸石堆场

Fig.6 Gangue yard extracted by spectral method

中采用分层分类法。在进行煤矸石堆场识别时,不仅仅依靠影像的光谱信息,同时加入地形、温度等辅助信息,来提高煤矸石堆场的提取精度。分层分类法提取煤矸石堆场的技术流程如图7。

① 对遥感影像上煤矸石堆场进行颜色、纹理、形状的分析,建立解译的直接标志;通过归一化植被覆盖指数(NDVI^[17-18])将研究区分为非植被区与植被区,在此将NDVI值大于0.1的划为植被区,将NDVI值小于0.1的划为非植被区,煤矸石堆场处于非植被区域。② 通过改进后归一化差异水体指数^[19-21]将研究区分为非水域区与水域区,在此将MNDWI值大于0的划为水域区,将小于0的划为非水域区。③ 背景地类中另一个易提取的信息是沙漠,通过影像的波谱关系图可得到沙漠灰度值较大这

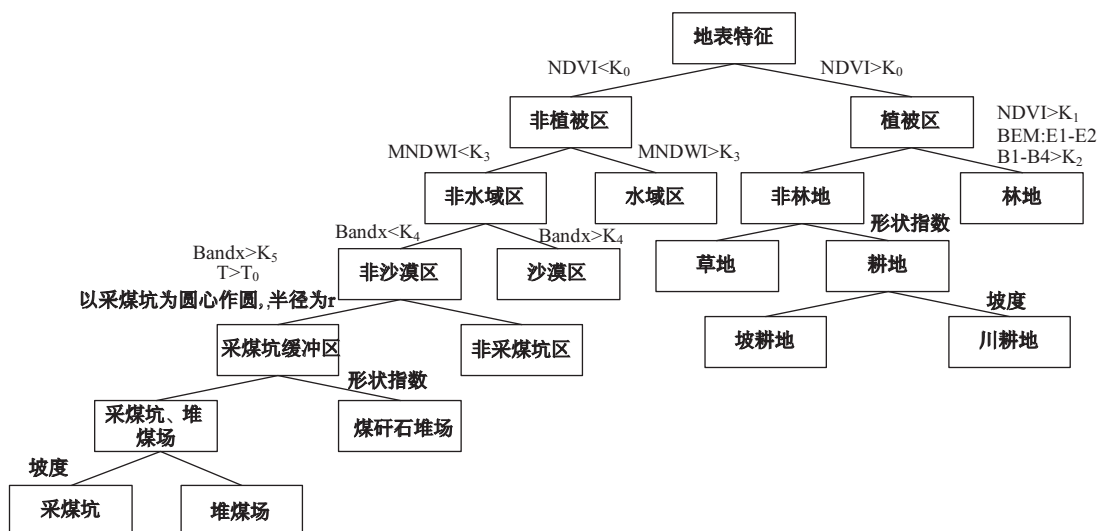


图7 分类树

Fig.7 The classification tree

一信息,并利用阈值法^[15]进行沙漠信息的提取,阈值法表达式为 $\text{Band}_x > K_0$; 在此选择第4波段,阈值为150,对研究区沙漠信息进行提取。至此剩余地类有煤矸石堆场、采煤坑、堆煤场、阴影、居民地、道路、排土场,其中,煤矸石堆场、堆煤场、采煤坑、阴影4者混淆,这4类与其他地类相区别,通过阈值法将这4类提取,参照各地物波谱间关系,在第4波段,煤矸石堆场、堆煤场、采煤坑、阴影的值均小于50,利用 $\text{band}4 < 50$,将这4类提取。因为阴影在Band5的灰度值最小,所以,利用 $\text{Band}5 < 30$ 进行阴影的提取,将阴影信息从影像中剔除,利用ArcGIS软件以煤矸石堆场、采煤坑、堆煤场建立缓冲区,在缓冲区范围内结合形状指数、温度、坡度等信息对煤矸石堆场进行提取,此处温度为通过Landsat5 TM影像的第6波段进行地表温度反演得到缓冲区的温度信息,用于缩小搜索煤矸石堆场范围,对于煤矸石堆场、采煤坑和堆煤场,其表面温度要大于其他地类的表面温度,但因为所用的TM影像第6波段的空间分辨率为120m,空间分辨率较低,所以,只能作为辅助参考信息,最后将结果转换为矢量数据,在ArcGIS软件中进行信息的后处理,包括删除面积小于一定值的图斑,具体的阈值根据统计不同研究区内实地统计或量测的煤矸石堆场面积的均值来确定,以提高煤矸石堆场的信息精度。最终利用分层分类法提取到的煤矸石堆场如图8所示。

3.2 提取结果与精度验证

结合研究区Google Earth上的高分辨率影像,通过目视解译,获得疑似煤矸石堆场120个,经过内

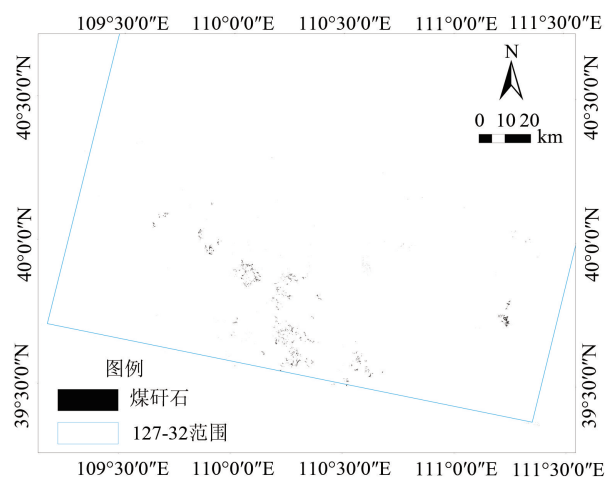


图8 分层分类法提取的煤矸石堆场

Fig.8 Gangue yard extracted by hierarchical classification

蒙古固废中心人员进一步确认,最终有80个煤矸石堆场(包括散落的煤矸石)。对比从TM影像上提取的煤矸石的点位精度,监督分类与非监督分类、谱间关系法所得到的结果煤矸石堆场与采煤坑、堆煤场、阴影混淆多,与部分林地也有混淆,利用分层分类法根据目标信息与背景信息的差别,利用不同的方法,将信息从易到难进行剔除,在进行后处理之前,煤矸石堆场仅与少量不规则采煤坑混淆。

本文从煤矸石堆场中选取80个点作为验证点,与经过内蒙古固废中心人员确认的煤矸石堆场对应,对所提取的煤矸石堆场信息进行精度的验证,验证结果正确率最高为78%,各种方法提取煤矸石堆场精度见表2。

表2 煤矸石提取精度对比表

Tab.2 Accuracy comparison of gangue yard extraction

方法	非监督 分类	监督 分类	谱间 关系法	分层 分类法
精度 (%)	正确点 44	正确点 48	正确点 59	正确点 63
	正确率 55	正确率 60	正确率 74	正确率 78

4 结论

(1)本文利用Landsat5 TM遥感图像,根据煤矸石的不同波谱信息,确定了与煤矸石堆场混淆的地类,进一步利用非监督分类方法对研究区煤矸石堆场进行提取,发现提取出的煤矸石堆场与采煤坑、堆煤场、山体阴影相混淆。将分类结果与5,4,3假彩色合成影像进行对比,获得不同地物纹理、颜色、形状、地形位置的直接标志,然后用非监督分类、监督分类、阈值法、分层分类法对鄂尔多斯市煤矸石信息进行提取。

(2)通过波谱间关系的分析,主要利用波谱信息和阈值法,对目标信息进行了提取,精度较非监督分类和监督分类有了提高,但因为所利用信息的单一性,煤矸石堆场依然与部分采煤坑、堆煤场混淆。

(3)选择分层分类法,结合前面获得的目标地类与背景地类的颜色、纹理、形状、地形位置等特征,先简单后复杂,将地类信息剔除,之后建立缓冲区,减少同谱异物和同物异谱的现象,最后叠合形状指数、温度、坡度等方法辅助信息,进行煤矸石堆场的提取(提取精度较前3种方法高),但缺点是过程复杂,所涉及到的信息知识多,提取结果中同

时也包含一部分形状不规则的采煤坑。

(4)与前人的研究相比,本文的煤矸石信息提取精度最高为78%,原因是以往研究区范围小,植被覆盖度高且与煤矸石混淆的地类少,本文所研究区域范围大,研究区内地类复杂,煤矿多为露天煤矿,植被覆盖低,煤矸石堆场与采煤坑、堆煤场、山体阴影、水体等混淆。

上述分析表明:分层分类法提取煤矸石信息的精度高于监督分类、非监督分类、波谱间关系法。其受到TM影像空间分辨率的影响,所提取的煤矸石堆场只能提供有用的点位信息,但基本能满足对煤矸石堆场进行动态监管的要求。在中分辨率影像上收集到的煤矸石堆场纹理、颜色、形状、地形位置等信息能用于后续利用面向对象方法进行煤矸石堆场高分辨率影像提取时分类规则集的建立,具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 刘迪.煤矸石的环境危害及综合利用研究[J].气象与环境学报,2006,22(3):60-62.
- [2] 祁星鑫,王晓军,黎艳,等.新疆主要煤区煤矸石的特征研究及其利用建议[J].煤炭学报,2010,35(7):1197-1201.
- [3] 刘富强,钱建生,王新红,等.基于图像处理与识别技术的煤矸石自动分选[J].煤炭学报,2002,25(5):534-537.
- [4] 荆青青,张志,王旭.基于ASTER遥感影像的煤矸石分布信息提取方法[J].煤炭科学技术,2008,36(5):93-96.
- [5] 冯稳,张志,乌云其其格,等.采用决策树分类方法进行煤矸石信息提取研究[J].黑龙江大学自然科学学报,2011,28(2):277-280.
- [6] 鄂尔多斯统计局.鄂尔多斯市2010年社会发展和国民经济统计公报[EB/OL].http://www.ordos.gov.cn/pub/ordostj/TJGB/201111/t20111116_525042.html.2011.2.
- [7] 鄂尔多斯环保局.鄂尔多斯市2010年全市固体废物污染防治信息[EB/OL]. http://www.ordoshb.gov.cn/Infos_Show.asp?ID=1626,2011.6.
- [8] 历华,曾永年,俞培东,等.利用多源遥感数据反演城市地表温度[J].遥感学报,2007,11(6):891-898.
- [9] 覃志豪, Zhang M, Karnieli A,等.用陆地卫星TM6数据演算地表温度的单窗算法[J].地理学报,2001,56(4):456-466.
- [10] NASA.NASA's Earth observing System Data and Information System [EB/OL]. <http://earthdata.nasa.gov/about-eosdis/system-description/eos-metadata-clearing-house-echo>.
- [11] 朱绍攀,陈宇.大气辐射校正方法分析[J].地理空间信息,2010,8(1):113-116.
- [12] 郝建亭,杨武年,李玉霞,等.基于FLAASH的多光谱影像大气校正应用研究[J].遥感应用,2008(1):78-81.
- [13] 梅安新,彭望琚,秦其明,等.遥感概论[M].北京:高等教育出版社,2001,196-201.
- [14] 周成虎,骆剑承,杨晓梅,等.遥感影像地学理解与分析[M].北京:科学出版社,1999,75-78.
- [15] 赵英时,等.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003,222-241.
- [16] 田庆久,闵祥军.植被指数研究进展[J].地球科学进展,1998,13(4):327-332.
- [17] Baret F, Guyot G, Major D J. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation[C]. Proceedings of the 12th Canadian Symposium on Remote Sensing. Vancouver, Canada, 1989,1355-1358.
- [18] 丁凤.基于新型水体指数(NWI)进行水体信息提取的实验研究[J].测绘科学,2009,34(4):155-157.
- [19] 徐涵秋.从增强型水体指数分析遥感水体指数的创建[J].地球信息科学,2008,10(6):776-780.
- [20] 徐涵秋.利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J].遥感学报,2005,9(5):589-595.

Method Comparison of Extraction of Gangue Yard Based on Remote Sensing

WANG Peng^{1*}, LIU Qingsheng¹, LIU Gaohuan¹, SHEN Wenming², LI Yan³, ZHANG Chaomang⁴
and DONG Jinfa¹

(1. *State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China*; 2. *Satellite Environment Application Center, Ministry of Environment Protection, Beijing 100029, China*; 3. *Solid Waste Management Center of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010000, China*; 4. *Resource & Environment College of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*)

Abstract: Gangue, as one of the industry-specific solid waste produced from coal mining and coal washing, effects on around environment significantly. Therefore, monitoring of coal yard is essential for the management and protection of ecological environment. Before gangue yard detailed investigation, obtaining preliminary data of the location and area of gangue yard by remote sensing image is needed and good for subsequent investigations. This article took the image of Landsat5 TM, received in September, 2011 as data source and did the radiometric and geometric correction to the images. According to the composition and formation characteristics of gangue, we extracted the gangue yard with following two steps: firstly, got land classification information that is confused with gangue through spectral analysis and unsupervised classification; secondly, combined spectral information and terrain, temperature and other ancillary information of the study region, and used four methods, i. e., unsupervised classification, supervised classification, spectrum-photometric method and hierarchical classification respectively to extract the gangue yard of the study area. By comparison of the above methods, we found that the unsupervised classification and supervised classification methods had a faster data extraction but with low extraction accuracy. The accuracy of spectrum-photometric method is a little higher than the former two methods. The hierarchical classification method has the highest accuracy in preliminary data extraction, and the identification accuracy of the gangue yard is up to 78% after post-processing. The result basically meets the requirement on dynamic supervision of gangue yard. Thus, these methods are also useful, as guidance, to continuing extract data of the area and location of the gangue yard under high resolution remote sensing images. Especially, the hierarchical classification method is more suitable for gangue yard information extraction.

Key words: gangue yard; Landsat 5 TM; Erdos; spectral method; hierarchical classification

*Corresponding author: WANG Peng, E-mail: trueloveissmiss@qq.com