

## 兖济滕矿区地表塌陷遥感信息解译研究

王行风, 杜培军, 孙久运

(中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221008)

**摘 要:** 采矿塌陷地的动态监测是矿区资源管理的重要方面, 从遥感图像中提取采矿塌陷地是遥感应用于矿山资源环境监测的重要研究课题。根据兖济滕地区的各种塌陷地特点, 充分利用光谱特征、地学特征等信息, 采用了波段阈值法、地理信息系统、模型法以及监督分类法等技术方法, 建立了研究区塌陷动态提取的技术体系。并对研究区进行遥感图像处理与专题信息提取, 有效地完成对兖济滕矿区塌陷地信息的提取和评价。

**关键词:** 遥感; 采矿塌陷地; 分区提取; 兖济滕地区

中图分类号: P627; P642. 21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)05-0259-04

## Extracting of Remote Sensing Information of Mining Subsiding in Yanjiteng Area

WANG Xing-feng, DU Pei-jun, SUN Jiu-yun

(College of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

**Abstract:** It is one important aspect of RS(remote sensing) applications in mining areas to extract mining subsiding land from RS images. Taking the Yanjiteng area as the study case and using TM image data, pose the technique of extracting subsiding information on the basis of spectrum characteristic of all subsiding types. Firstly, compartmentalize the research area into multi-layer according to the distributing of every type in the area. By using the techniques of band threshold, GIS, modeling and supervision classification, information of mining subsiding in Yanjiteng area is extracted more precise and effective than traditional method.

**Key words:** remote sensing; mining subsiding land; multi-layer extracting; Yanjiteng area

近年来,随着国民经济的发展,建设速度的加快,煤炭工业得到了很大的发展。然而采煤所造成的地表塌陷一直是矿区环境综合治理的主要问题,它甚至成为煤矿区社会、经济和生态环境可持续发展所面临的重要问题<sup>[1,2]</sup>。定量、实时和动态获取塌陷地信息自然成为区域环境综合治理、地表塌陷控制模式研究等工作的关键环节。应用现代遥感技术提取和分析矿区塌陷地信息是矿区环境研究的重要方向,对于大规模的塌陷地信息清查、动态变化监测和塌陷地的治理复垦等具有重要意义。国内外对于遥感技术在矿区塌陷地研究中的应用作了大量研究。但是这些研究都存在一定的局限性,如彭苏萍等主要关注平原积水塌陷地的研究<sup>[3]</sup>,对于部分塌陷地如干旱非积水塌陷地等信息则研究不够。本文以兖济滕矿区为研究地区,结合该区的具体情况,进行了各种塌陷地信息的遥感提取技术方法研究,建立了适合该区的塌陷地信息提取技术体系,并应用于该区的塌陷地信息提取和检测,取得了较好的效果。

### 1 研究区概况及资料选取

兖济滕矿区位于山东省西南部济宁市、滕州市境内,包括兖州、济宁、滕州 3 个煤田,地跨兖州、邹县、曲阜、微山、滕

州市及济宁市区,地理坐标东经 116°22'~117°15',北纬 34°45'~35°38',面积约 2 500 km<sup>2</sup>(其中兖州、济宁矿区约 1 290 km<sup>2</sup>,滕州矿区约 1 209 km<sup>2</sup>)。

兖济滕矿区作为山东省重要的煤炭生产基地,煤炭资源开发引起的矿山环境地质灾害比较严重。其中地面塌陷面积 112.395 km<sup>2</sup>,煤炭资源开发程度最高的济宁市每年的塌陷达 667 hm<sup>2</sup>;由于开采区塌陷呈盆地状,最大下沉量一般为 6~8 m,而像兖州矿区的地表潜水位一般为 3~5 m,所以,开采后深塌陷区一般常年积水,并随着年度和季节变化,积水面积不稳定,使原来的旱地生态环境变成水体生态环境,同时由于盆地周围的坡地易发生水土流失,造成耕地面积锐减,土壤退化,质量下降,导致矿区农业生产下降,影响农业发展。沉降还可造成地面的建筑、道路、树林和水利设施破坏,桥、涵、闸断裂,河床下沉,严重破坏矿区地表排灌系统,致使积水排不出去,芦苇丛生,这不仅造成矿区耕地资源的浪费,而且严重破坏矿区生态环境。

遥感数字图像是本研究的主要信息源。TM 卫星遥感数据波段分辨率较高,对水体以及植被有很好的反映,30 m 的空间分辨率能够满足研究区的需要。时相选择丰水期以

收稿日期: 2006-08-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40401038); 中国矿业大学青年科研基金项目(2005A032)

作者简介: 王行风(1972-),男,讲师,主要从事 3S 研究。

及植物生长季后期的 8~9 月份,塌陷地水体信息丰富而且塌陷地水体植被光谱特征明显。选用的图像资料为 2003 年 9 月徐州幅和山东幅的 ETM+(LANDSAT7)数据,以该区 1:5 万土地利用现状图、1:5 万地形图作为辅助资料,并采用 ENVI 4.0 遥感图像处理软件。

## 2 遥感数据预处理

### 2.1 波段的选择

TM 数据各波段之间存在相当成分的冗余信息,为减少相互干扰,信息提取时应选择信息量较大的波段,尽量选择相关性较小的波段参与分析,本研究用的 TM 影像各波段的相关性(徐州幅)如表 1。从相关性看,前三个波段具有很高的相关系数(0.95 左右),第 4 波段比较独立,第 7 波段和第 5 波段相关性较高。由此,宜选择 TM1~TM3 中的 1 个波段, TM5, TM7 中的 1 个波段和 TM4 波段。从方差分析来看, TM1, TM4, TM5 三个波段信息量较大,但 TM3 包含对叶绿素的吸收区,易于识别植被;与其它的可见光谱段相比,它受大气的阴霾影响较小,影像的反差较好,分辨率较高。经目视效果对比, TM3, TM4, TM5 合成后塌陷地类型边界清晰,易于识别。因此, TM4, TM5, TM3 波段(分别赋予 R, G, B 通道)是本研究最佳假彩色合成波段。合成图上的山地、丘陵等地貌景观及各类用地影像特征分异清晰,耕地类型中的水田色调呈粉红色;而旱地呈灰白色;菜地呈猩红色,园地呈浅褐色,城镇呈蓝色;公路呈线状,色调灰白;铁路呈线条状,色调为浅蓝。

表 1 徐州幅 TM6 个波段间相关系数矩阵

波段	1	2	3	4	5	7
1	1.0000	—	—	—	—	—
2	0.9287	1.0000	—	—	—	—
3	0.9293	0.9514	1.0000	—	—	—
4	-0.3610	-0.1994	-0.3167	1.0000	—	—
5	0.2292	0.3602	0.3666	0.6097	1.0000	—
7	0.6691	0.7182	0.7963	0.0327	0.7606	1.0000
平均值	77.5598	36.8702	39.0620	66.7642	67.1950	30.5319

表 2 兖济滕塌陷地分类系统

塌陷地类型	特 点
非积水塌陷干旱地	一般不积水,地形起伏较大,尤其是大面积整体塌陷因地下留有各种煤柱支撑,使地面更加凹凸不平,耕作极其不便,造成严重的作物减产
塌陷沼泽地	主要分布于地势平坦、排水不畅的平原地区,土壤出现潜育化、沼泽化和次生盐渍化现象。不宜发展农业生产,亦不宜进行水产养殖,其影响之处往往造成农作物绝产,开发复垦难度较大
季节性积水塌陷地	地面较周围地表低,在雨水较多季节积水形成水塘,而在少雨或无雨季节形成板结地,对农业生产极为不利
常年浅积水塌陷地	较季节性积水塌陷地的下沉深度大,一般在 0.5~3 m,积水深度 0.5~2.5 m,极易形成作物绝产,导致土地生产结构突变,需要进行挖深才可以进行耕种
常年深积水塌陷地	下沉深度最大,一般在 3 m 以上,最深达 12~15 m。主要分布在大中型矿区的采空区。地表下沉至潜下水位以下,形成不规则的封闭水域,有的与河道相通,形成塌陷人工湖或小水库。水质良好,水量充足,因而是发展渔业理想场

### 3.2 塌陷地遥感解译标志

根据遥感图像首先了解矿井所在位置以及矿区的地质构造特征,再根据图像上的色调、植被、微地貌、水体等反映的异常现象解译采空塌陷,其主要解译标志如下:

(1)采空塌陷区的边缘部位常出现张性裂隙,这些张性裂隙在卫片上常形成弯曲的条纹和纹理,张性裂隙内富水并

### 2.2 几何精校正

采用地面控制点的方法进行几何精校正,在 1:5 万地形图上选择控制点,在图像上找到相应的点,输入相应的坐标值。控制点要选择地形图和图像上明显的固定地物点,其分布应保证均匀、合理。本研究的每景图像选择大约 30 个控制点,经 ENVI 处理后, RMS error(Root Mean Square error)平均值为 0.25,满足误差控制在一个像元内的要求。在图像处理过程中,像元灰度值的重采样运用双线性内插法,以避免最近邻法亮度块状、不连续的缺陷。

### 2.3 研究区图像数据的提取

本研究区跨越徐州幅和山东幅 TM 影像,研究区只是其中一部分,故需要提取兖济滕矿区的数据。首先进行拼接,然后再进行研究区图像剪裁和图像增强处理。TM 图像进入 ENVI 后有 2% 的自动线性拉伸,本研究采用 TM4, TM5, TM3 波段假彩色合成,图像清晰易判读,不需要进行增强处理。这部分处理并非研究重点,请参考有关书籍。

## 3 塌陷地信息提取技术

### 3.1 塌陷地分类系统的确定

兖济滕地区区域生态环境是一个土地和煤炭两种同位资源同时开发利用而构成的工农交错复合型的生态系统,因而属于一个破坏多于建设、开发多于整治的脆弱生态系统。考虑到区内各大矿区开采方式、煤层厚度、埋藏深度、顶板条件、管理技术水平等各不相同,引起的地面塌陷、积水及其危害程度亦不尽一致,为了便于研究和分类综合利用,在塌陷地信息调查和评价之前应该对其进行合理分类。这方面的研究比较多,分别从塌陷规模、塌陷速度、塌陷地性质、塌陷形态和稳定程度等方面进行分类<sup>[4]</sup>。根据研究区的特点采用了塌陷地性质分类法,建立了兖济滕塌陷地分类系统(表 2)。主要分为:非积水塌陷干旱地、塌陷沼泽地、季节性积水塌陷地、常年浅积水塌陷地和常年深积水塌陷地。

且植被往往较为发育。

(2)塌陷区的人工建筑物遭到破坏,如河堤和道路塌方及居民点被迫搬迁,这些影像是采空塌陷的间接解译标志。

(3)塌陷区的土地利用明显低于非塌陷地,其弃置地较多,这易与未塌陷地相区别。

(4)塌陷区地表水体形状为不规则状,不如人工开挖湖

塘整齐,在塌陷积水区边缘有人工开发整齐的精养鱼塘。

(5)在塌陷区的复垦区<sup>[5]</sup>,由于回填造田用的都是矸石山和电厂的粉煤灰,复垦区内植物稀少,色调为灰—灰白色,这也是判读塌陷区的重要标志。

### 3.3 塌陷地信息提取技术路线

通过对遥感图像(TM453 合成影像)和土地利用现状图分析可知,研究区的塌陷地实际上包括无水塌陷地和有水塌陷地两部分。这两部分的光谱特征、空间特点都有很大的差别,应根据它们的特点而采取不同的塌陷信息提取方法。

试验常用的监督分类、非监督分类和 NDVI 植被指数法

进行信息提取,效果均不够理想。非监督分类的各类之间光谱混淆严重;监督分类难以准确地划定实验区,精度也较低。NDVI 植被指数法中,各类之间的阈值难以准确界定。在实验中,我们根据研究区的特点,确定分层提取的方法。首先利用水体提取模型 $(TM2+TM3)-(TM4+TM5)$ <sup>[6]</sup>,对丰水期图像进行处理,提取图像中的自然水体和塌陷地水体。用此水体的分布图像作为掩膜处理整个合成影像;从而将遥感图像分成两个层次。再根据空间特征、光谱特征的差别在每一层中采用不同的方法进行塌陷地信息提取<sup>[7]</sup>(图1)。

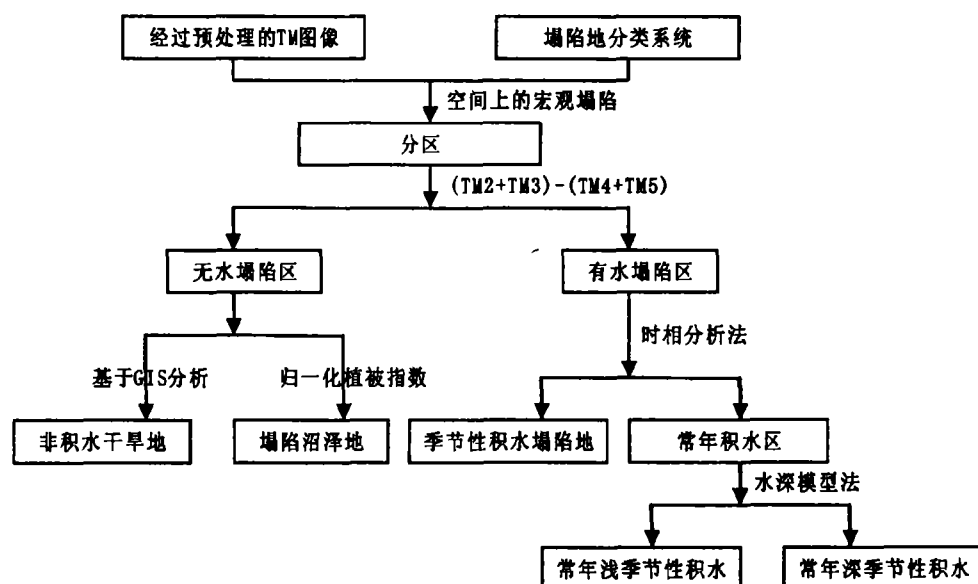


图1 塌陷地信息遥感信息提取技术路线

#### 3.3.1 无水塌陷区的信息提取

本区内的无水塌陷地分布占有一定的面积,由前述的分类系统可知,分成如下两类:

(1)非积水塌陷干旱地。非积水塌陷干旱地是本区塌陷地中面积较大的类型,其特点是一般无积水,地形起伏较大,空间特征显示凸凹不平,主要是因大面积整体塌陷而地下留有各种煤柱支撑形成,耕作极其不便,作物减产严重。这类塌陷因为地表覆盖复杂,无固定统一的光谱特征,所以很难用常规的光谱分析方法进行提取。在实验中主要用基于GIS的遥感图像分类方法,应用GIS提取有关地形因子,然后对塌陷地微地貌(坡度、形状指标、相邻区域组合关系)进行研究,以此作为信息提取的辅助证据<sup>[89]</sup>。

(2)塌陷沼泽地。这类塌陷地主要分布于地势平坦、排水不畅的平原地区、面积不大。其特征是土壤多出现潜育化、沼泽化和次生盐渍化现象,地表植被稀少,难以发展农业生产,也不适合进行水产养殖,其影响之处往往造成农作物绝产,开发复垦难度较大,多是裸露地。通过计算归一化植被指数,再根据需要确定阈值,即可得出塌陷沼泽地区域。

#### 3.3.2 有水塌陷地

(1)季节性积水塌陷地。季节性积水塌陷地在兖济滕地区各大矿区均有分布,特点是在塌陷区内,局部地塌陷,使地面较周围地表低,在雨水较多季节积水形成水塘,而在少雨

或无雨季节形成板结地,对农业生产极为不利。

在分割出有水塌陷区以后,这类塌陷地信息较容易提取,主要应用的方法为时相分析法,选择同一年度的枯水期图像和丰水期图像即可轻松获得。

(2)常年浅积水塌陷区和常年深积水塌陷区。常年浅积水塌陷地较季节性积水塌陷地的下沉深度大,极易形成作物绝产,导致土地生产结构突变。常年深积水塌陷地下沉深度最大,一般在3 m以上,最深可达12~15 m。主要分布在大中型矿区的采空区,其特点是地表下沉至地下潜水位以下,形成不规则、面积较大的封闭水域,有些还与河道相通,形成塌陷人工湖或小水库。由于此类塌陷地水质良好,水量充足,多成为渔业发展的理想场地。

两者常年均具有积水,关键在于水深的探测。水深的探测可以用两种方法<sup>[10]</sup>进行:(1)模型法。主要根据TM1波段进行,因为蓝光波段对平静、清澈的水体具有较大的透射能力,并且水底发射波也较强。所以可以根据蓝光波段上的灰度可反映水深,结合实际探测资料就可以建立灰度—水深关系模型;(2)比值法。主要利用蓝光波段和绿光波段的比值,可以求出相对水深。

利用ENVI的Mosaic功能,将以上提取结果进行镶嵌拼接,即可以得到研究区的塌陷地类型分布图。按照以上技术路线对滕州南四湖地区有水塌陷地进行提取,见图2。

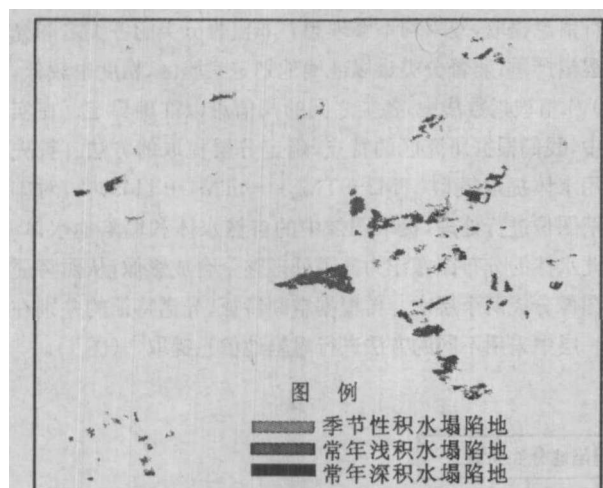


图2 滕州塌陷地分布

#### 4 结论

根据以上的技术路线,对兖滕济矿区的塌陷地信息进行了提取,通过对提取结果的精度分析,结果表明基本上可以满足该矿区塌陷地快速调查的需要。但是有些方法依然存在一些问题。

(1)遥感影像是矿区地表塌陷地信息快速提取有效的信息源,从中提取塌陷信息可以结合矿区的实际特点,采用不同的方法进行。

(2)矿区塌陷地信息提取需要采用综合方法进行。特别是非积水干旱塌陷地信息的提取,需要综合应用地物的光谱信息、空间特征信息和领域知识才能够有效地提取。

(3)山区塌陷地信息提取。山区塌陷地由于潜水位较低,塌陷的形成原因也比较复杂。所以建立专家知识系统,进行基于GIS的塌陷地信息提取、评价、分析、模拟和决策支

持系统是一个值得研究的重要方向。

#### 参考文献:

- [1] 鹿献章,杨义忠,喻根,等.淮北市北区地表水体及采空塌陷遥感调查[J].安徽地质,1997,7(1):79-87.
- [2] 雷利卿,岳燕珍,孙久林,等.遥感技术在矿区环境污染监测中的应用研究[J].环境监测,2002,(2):33-36.
- [3] 彭苏萍,王磊,孟召平,等.遥感技术在煤矿区积水塌陷动态监测中的应用—以淮南矿区为例[J].煤炭学报,2002,27(4):374-378.
- [4] 毛汉英,方创琳.兖滕两淮地区采煤塌陷地的类型与综合开发生态模式[J].生态学报,1998,18(5):449-454.
- [5] 张全景.平原地区采煤塌陷地资源调查与农业复垦评价研究—以山东省济宁市为例[J].国土与自然资源研究,2000,(2):46-48.
- [6] 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.
- [7] 牛明香,赵庚星,李尊英.南四湖湿地遥感信息分区分层提取研究[J].地理与地理信息科学,2004,20(2):45-48.
- [8] 杜培军,郭达志. GIS支持下的遥感图像中采矿塌陷地提取方法研究[J].中国图像图形学报,2003,8(A):231-235.
- [9] 刘立民,刘汉龙,连传杰,等.基于GIS的矿山塌陷损害评价系统及可视化方法[J].防灾减灾工程学报,2003,23(1):69-73.
- [10] 梅安新,彭望琮,秦其明,等.遥感导论[M].北京:高等教育出版社,2001.236-239.

(上接第258页)

时空食物链综合型能使系统中的物质得以高效生产和多次利用,是一种适度投入,高产,少废物,无污染,高效益的模式类型<sup>[7]</sup>。

重点扶持一批效益好、潜力大、带动力强的农业龙头企业,形成“龙头带基地、基地联农户”的产业化经营机制,鼓励和引导种植业、养殖业与营销、加工业的融合,延长农业生产的产业链。以丘陵、平原、滩涂和城郊为依托,划分南部林特经济和生态保护功能区、中部都市创汇农业功能区、北部沿海产业综合开发区、近岸水产养殖区等4大功能区,加快建设创汇蔬菜、名优水果、花卉苗木、特色水产和食草畜禽五大基地。

#### 2.5 发展集约型的居住区

以节约能源为主题,建造一批交通方便,适合生活的集约型居住区。居住区的主要目的是尽量减少能源浪费,方便交通。在房屋的建筑材料上,尽量使用节能、环保建材,以适应日益高涨的节能呼声。

#### 3 结语

城市规划在城市现代化进程中起到了重要的作用,其地

位是其他方式所不可取代的。一个好的城市规划,不仅可以为城市带来好的生活以及居住环境,同时,对吸引外来人口和投资也可以起到很好的带动作用。

#### 参考文献:

- [1] 胡希军,阳柏苏,马永俊.城市生态规划与城市生态建设浅议[J].怀化学院学报,2005,(2):79-82.
- [2] 王祥荣.生态建设论——中外城市生态建设比较分析[M].南京:东南大学出版社,2004.
- [3] 徐秀英,沈月琴.农村城镇化与生态环境协调发展研究[J].生态经济,1998,(5):10-13.
- [4] 黄安年.当代世界五十年[M].成都:四川人民出版社,1997.
- [5] 慈溪市规划局.慈溪市城市总体规划[EB/OL]. www.ecixi.com
- [6] 慈溪市人民政府.慈溪市国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要[EB/OL]. http://www.cixi.gov.cn
- [7] 彭晓春,陈新庚,等.城市生长管理与城市生态规划[J].中国人口·资源与环境,2002,(1):15-18.