

# 面向对象分类方法在铁尾矿堆快速提取中的应用研究

王少军<sup>①</sup>, 冯稳<sup>①,②</sup>, 孟丹<sup>①</sup>, 乌云其其格<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 武汉 430074; <sup>②</sup> 湖北地质调查院, 武汉 430034)

**摘要:**以黄石市大冶铁矿区为例,利用面向对象分类方法进行铁尾矿堆信息快速提取试验研究。首先,根据WorldView-2影像特点,充分利用其丰富的光谱特征及精确的空间形状特征进行图像分割,突出影像对象边缘、重现地物实际存在情况;其次,分析影像对象的光谱、形状、纹理、拓扑关系等特征信息,建立分类规则进行分类,提取出尾矿堆信息。为了进一步提高分类精度,可以利用eCognition软件RS/GIS数据集成功能,在面向对象分类结果上进行目视解译。试验证明,面向对象分类方法适用于提取矿区尾矿堆信息,是高分辨率遥感影像自动分类的理想选择。

**关键词:**铁尾矿堆; WorldView-2影像; 图像分割; 面向对象分类

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2012.02.020

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1000-3177(2012)120-0103-05

## Rapid Information Extraction of the Iron Tailing Pile Using Object-oriented Classification Technique

WANG Shao-jun<sup>①</sup>, FENG Wen<sup>①,②</sup>, MENG Dan<sup>①</sup>, WU Yun-qiqige<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> The Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074;

<sup>②</sup> Hubei Institute of Geological Survey, Wuhan 430034)

**Abstract:** Taking Daye iron deposit in Huangshi as an example, it extracted the information of the iron tailing pile with object-oriented classification method. First of all, the WorldView-II image was segmented by its rich spectral feature and precise special shape feature to enhance the edge of objects and the relative location of the objects; secondly, analyzing the spectrum, shape, texture and topological relation of the objects, to establish the classification rule, and then extracted the gangue information. In order to improve the accuracy of classification, it could use the RS/GIS data integration function of eCognition, to make visual interpretation based on results of object-oriented classification. The experiment had proved that the object-oriented classification method is appropriate for extracting the information of iron tailing pile and it is the best choice of automatic classification of high-resolution remote sensing image.

**Key words:** iron tailings pile; WorldView-II; image segmentation; object-oriented classification

### 1 引言

尾矿属于选矿后的废弃物,随着钢铁工业的迅速发展,铁矿石尾矿在工业固体废弃物中占的比例也越来越大。据不完全统计,累计堆存的铁尾矿量总量近  $2 \times 10^9 \text{ t}^{[1]}$ 。由于自然资源矿藏不断减少,开

采难度不断增加,与此同时,尾矿中金属元素提炼水平不断突破技术瓶颈,矿石工业市场开始重视金属尾矿资源<sup>[2]</sup>。但金属尾矿堆的开采利用不仅破坏土地资源,而且也给人类生活环境带来严重污染和危害,破坏生态平衡等问题,如何寻求综合利用与生态保护的平衡,现已受到了全社会的广泛关注。

收稿日期: 2011-01-14 修订日期: 2011-02-21

基金项目: 中国地质调查局,鄂西、鄂东南及江西大余一定南成矿区遥感地质综合调查(1212010911082)。

作者简介: 王少军(1965~),女,湖北武汉,博士在读,副教授,主要从事地理信息系统的教学与科研工作。

E-mail: 3slab@cug.edu.cn

虽然高分辨率遥感影像的获取能力在不断提高,遥感影像的空间信息也更加丰富,但是基于像元的分类方法在处理这类影像时,存在明显的局限性,如完全依赖地物光谱信息进行分类,不能区分“同物异谱”或“同谱异物”现象。针对高分辨率遥感影像的处理难点,基于面向对象的遥感影像信息提取方法应运而生。影像分析技术早在20世纪70年代就应用于遥感影像的解译中, Ketting 和 Landgrebe 提出了同质性对象提取的优点,并推出了一种 ECHO (Extraction and Classification of Homogenous Objects)<sup>[3]</sup>分割算法;20世纪80年代, Ghassemian H 等讨论了基于面向对象的数据压缩的算法;1990年, Daida, J, Sarnadani, R 等真正开始将面向对象方法引入到遥感图像处理应用中,对海面浮冰进行了分析;随后,越来越多的研究者从影像分割单元或斑块的角度对遥感分类方法进行了探索性研究,取得了一些进展,如 Lobo 的每地块 (Per-field) 方法<sup>[4]</sup>, Aplin 等的每斑块 (Per-Patch) 分类方法<sup>[5]</sup>, 这些方法是面向对象分类方法的雏形;1999年 Baatz M 和 Schape A 针对高分辨率的遥感影像的特点,提出了面向对象的遥感图像分类方法<sup>[6]</sup>,并于2000年将面向对象影像分类方法程序化,诞生了商业软件产品 eCognition。随后,面向对象分类发展迎来了发展的高峰期,国内外越来越多研究学者运用该方法取得了满意的研究成果。2001年, Hofmann 在面向对象的分类方法中利用影像对象的光谱、纹理、形状与背景信息识别 IKONOS 影像中的非正式居民地,得到的分类结果有较高的精度<sup>[7]</sup>;黄惠萍通过相关实验研究对面向对象的影像分类结果的精度和准确性进行了肯定<sup>[8]</sup>;张建国等进行面向对象的冬小麦种植面积遥感估算研究<sup>[9]</sup>;刘常娟等运用面向对象的分类方法在土地利用数据库建设中的应用<sup>[10]</sup>;孙晓霞等利用面向对象的分类方法从 IKONOS 全色影像中提取河流和道路<sup>[11]</sup>;曾涛等采用面向对象的高空间分辨率遥感影像信息提取—汶川地震城市震害房屋案例研究<sup>[12]</sup>。本文以黄石市铁山区铁尾矿堆提取为例,针对区内金属矿产开发种类繁多,矿山占地组织结构复杂、单元破碎情况,采用面向对象分类方法进行铁尾矿堆分布调查及面积估算。

## 2 研究区概况及数据

### 2.1 研究区概况

铁山区位于湖北省黄石市西部,靠长江中游南岸,区内为丘陵地貌。矿产丰富,尤其盛产铁矿石,

铁矿开采历史悠久,开采方式由早期的露天开采演化到现在的地下开采。其规模曾经冠为“中国第一大型露天铁矿”,并在昔日第一露天采坑边建有亚洲最大的硬岩复垦区。

### 2.2 数据介绍

WorldView-2 卫星于2009年10月发射,是世界上首颗能提供8波段高分辨率影像的商业卫星。星下点多光谱分辨率为1.8m,全色分辨率达到0.46m。除了4个常见的波段外(蓝色波段:450nm~510nm;绿色波段:510nm~580nm;红色波段:630nm~690nm;近红外线波段:770nm~895nm), WorldView-2 卫星还能提供其他4个彩色波段的分析。海岸波段(400nm~450nm),支持植物鉴定和分析,也支持基于叶绿素和渗水的规格参数表的深海探测研究;黄色波段(585nm~625nm),过去经常被说成是 yellow-ness 特征指标,是重要的植物应用波段;红色边缘波段(705nm~745nm),辅助分析有关植物生长情况,可以直接反映出植物健康状况有关信息。近红外2波段(860nm~1040nm),这个波段部分重叠在 NIR1 波段上,但较少受到大气层的影响,该波段支持植物分析和单位面积内生物数量的研究。

### 2.3 图像准备

选用2010年5月30日采集到的 WorldView-2 影像,将8个单一波段捆绑合成得到彩色多光谱影像;再利用现有1:50000地形图、DEM控制资料分别在多光谱及全色影像上选取16个控制点,分别做正射校正;然后对正射校正后的多光谱、全色影像进行辐射校正;最后采用 pansharp 方法进行融合处理,融合后的影像分辨率达到0.46m。对其进行影像增强和变换处理,目的是为了突出有用信息,加大各地物间的差异性,为图像分割做准备。

## 3 目标信息提取

### 3.1 目标信息提取

面向对象的分类方法是基于基元或者影像对象的分类方法,而不是单个的像素<sup>[6]</sup>。这些“基元”或者“影像对象”具有除色调(光谱)特征外,还有形状、纹理、拓扑、拓扑关系特征等语义信息,是真实世界地物目标的最初近似表示。在不增加外来信息的情况下增加了分类的依据,从而提高分类的精度,使分类结果更加接近目视判别的结果<sup>[13]</sup>。面向对象的分类方法主要包括3个环节:影像分割、特征信息的选取、对象分类。本文是在 eCognition 软件平台支撑下,完成影像分割及图像分类,具体信息提取流程图如1所示。

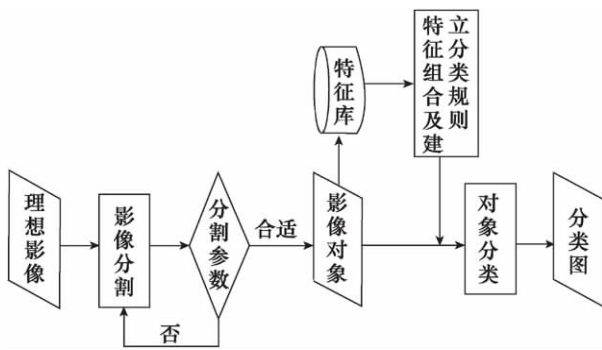


图1 信息提取流程图

### 3.2 影像分割

影像分割是面向对象分类方法的核心,影像分割效果的好坏直接影响信息提取的精度。目前的分割算法大致可以分为3大类:①阈值分割方法;②基于边缘分割方法;③基于区域分割方法。阈值分割方法是最简单的分割方法,主要适用于简单图像;基于边缘分割方法的最大缺点是不稳定,即抹掉存在的边缘,生长不存在的边缘;基于区域分割方法是目前最常用,也是最成熟的影像分割方法,典型方法为区域增长法;其原理是从一个像元开始,通过测量将要生成的影像对象的异质性,采取自下而上区域合并的方法,对满足条件的影像对象进行合并。而异质性受光谱和形状两大因素控制,异质性  $f$  的计算公式如下:

$$f = W_c * H + (1 - W_c) * S \quad (1)$$

其中  $W_c$  代表光谱异质性权重,  $1 - W_c$  代表形状异质性权重,  $0 < W_c < 1$ ;  $H$  代表光谱异质性;  $S$  代表形状异质性。而光谱异质性  $H$  取决于各波段光谱值标准差 ( $\sigma_i$ ) 以及所占权重 ( $p_i$ ); 形状异质性  $S$  取决于影像区域整体紧密度  $u$  和影像区域边界平滑度  $v$ ,  $w$  为权重,  $0 < w < 1$ 。

$$H = \sum_{i=1}^n p_i * \sigma_i \quad (2)$$

$$S = w * u + (1 - w) * v \quad (3)$$

$u, v$  的计算式为

$$u = F / \sqrt{N} \quad (4)$$

$$v = F / L \quad (5)$$

式中,  $F$  为影像区域实际的边界长度;  $N$  为影像区域的像元总数;  $L$  为包含影像区域范围的矩形边界总长度。

只有保证光谱异质性、平滑度异质性以及紧密度异质性最小,才能使整幅影像所有对象的平均异质性最小,分割效果最好。由公式(2)可知,光谱异质性大小取决于图层(波段)权重大小,可以根据特定地物信息提取的需要,选择不同的波段组合,并根

据波段的特点,赋予不同的权重。所以遥感影像的波段数越多,识别地物种类的数目就越多,数据应用的范围就越大。另外,同一地物在不同分辨率影像上包含的像元数目不同,分辨率越高,像元数目越多。根据公式(4)可知,分辨率越高,紧密度越小,能够较好地提取那些边界不很光滑但聚集度较高的影像对象。因此,本研究采用的 WorldView-2 影像较以往其他高分辨率数据,在光谱分辨率和空间分辨率两方面都有优势,有利于提高图像分割精度。

在实施影像分割时,通过设置异质性  $f$  的阈值作为分割停止的依据。当设定的  $f$  的阈值大时,得到的影像对象就相对较大,反之,得到的影像对象相对较小。对于面向对象遥感影像信息提取方法中的多尺度分割来说,黄惠萍<sup>[14]</sup>提出最优分割尺度定义:当信息提取针对的是一种地物类型或几种地物类型时,最优尺度表现为特定地物类型能用一个或几个对象来表达,对象大小与地物目标大小接近,对象多边形既不能太破碎,也不能边界模糊,且类别内部对象的光谱变异较小。根据上述指导思想及现实的研究情况,本文的图像分割分为两步:第一步,由于本文的目标信息是铁尾矿堆,分布于城区外,因此基于目视判读,手动勾画出城区边缘,生成专题图层参与分割,得到第一次分割结果,如图2所示;第二步,在第一次分割结果上采用多尺度图像分割方法。经反复试验,根据影像分割分析结果和目视判断效果,确定最佳的分割参数为:尺度参数为70,形状参数为0.2,颜色参数为0.8,紧密度为0.4,平滑度为0.6,得到第二次分割结果,如图3(b)为分割影像。



图2 第一次分割结果图



图3 第二次分割结果图

### 3.3 对象特征选择及分类

无论是目标识别还是分类,特征都是对处理结果起决定作用的因素。特定的目标总是和相应的特征或特征组合(多特征)相联系,只有选择合适的特征或特征组合,才能把某一目标与其他目标区别开来<sup>[15]</sup>。

在 eCognition 软件平台下,将成员函数法和最近距离法相结合,共同提取目标信息。在第一次分割结果的基础上,可以直接提取非城区信息,而非城区影像包含地物类型主要是:植被、矿坑、少量建筑、道路、裸地、尾矿堆 6 类地物。首先,利用成员函数法逐个提取、逐级掩膜直到目标信息出现为止。构建 NDVI 值隶属度成员函数,提取植被;根据最大封闭椭圆半径的特征,提取矿坑;根据长宽比特征,提取出线状道路;利用形状指数和亮度值的特征组合,提取建筑物;根据面积特征和波段比值关系,提取裸地。然后,在上面分类结果基础上,采用最邻近法,分别选取裸露的铁尾矿堆和少许植被铁尾矿堆样本,区分二者。最后,将提取到的各类地物叠加在一起,得到该研究区的分类图,如图 4(b)所示。

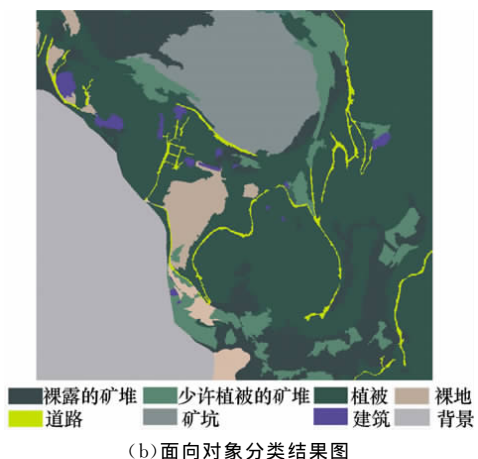
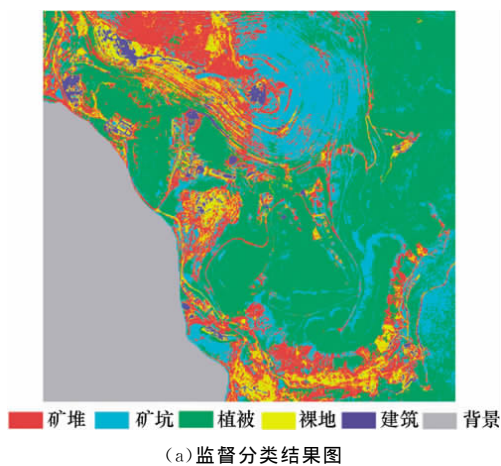


图 4 不同分类方法的结果对比

## 4 结果分析

针对本研究区采用的面向对象分类方法,进行了传统的监督分类(最近距离)的对比试验,结果如图 4(a)所示。可以清晰地发现,监督分类提取的地物类型较少,且不能区分“同物异谱”或“同谱异物”现象;另外,结果呈现出离散颗粒状的“椒盐现象”,不利于结果统计,影响制图效果。产生上述现象的根本原因是,监督分类完全依赖于地物的光谱信息。而面向对象分类结果,较好地保持了地物的完整性,更贴近实际情况,这是由于面向对象的分类方法采用了影像对象的光谱、形状、纹理、拓扑、拓扑关系特征等语义信息进行分类。

假定目视解译结果是绝对正确的,以目视解译结果为参照标准,将面向对象提取到的尾矿堆面积与其对比,如表 1 所示。面向对象的分类结果各部分都比目视解译结果大,归结其原因是,西侧矿坑因为其最大封闭椭圆半径较小,且纹理结构与裸露尾矿堆相似,被误分为裸露尾矿堆,导致面向对象的裸露尾矿堆面积偏大;矿坑周边岩石覆盖有稀疏植被,本质上属于少许植被矿堆,只是根据矿山项目要求,主观目视判断该部分属于矿坑部分,导致少许植被覆盖尾矿堆面积偏大。除此之外,其他部分能够准确、完整、真实地表达实际地物情况。

表 1 目视解译与面向对象分类的尾矿堆提取结果对比

(单位:ha)

尾矿堆类型	目视解译	面向对象	相对误差
尾矿堆总面积	38.45	48.56	26%
裸露尾矿堆面积	34.38	42.23	23%
少量植被覆盖尾矿堆面积	4.07	6.33	55%

注:相对误差=(面向对象面积值-目视解译面积值)/目视解译面积值。

## 5 结束语

WorldView-2 数据较其他高分辨率影像(通常只有蓝、绿、红、近红外 4 个波段)增加了 4 个波段,同时具备高分辨率和高光谱分辨率的特性,进一步提高了识别地物细节的能力,在今后的遥感调查与分析应用中有着巨大的潜力。

选取合适的分割参数是面向对象信息提取的关键,针对特定的地物类型,衡量分割尺度最佳的标准是:用最少的影像对象反映地物的实际情况,对象多边形既不能破碎影响分类精度,也不能太大包含混合地物。本文选用最佳分割参数为:尺度参

数为 70, 形状参数为 0.2, 颜色参数为 0.8, 紧密度为 0.4, 平滑度为 0.6, 能够反应铁尾矿堆实际分布情况。

对比结果显示, 面向对象避免了像元分类产生的“椒盐效应”, 使得分类结果更精确、地物形态更完整、符合实际情况。虽然面向对象的分类方法不能

完全、十分精确地表达目标信息, 但是可以快速地锁定目标信息的具体范围, 避免了目视解译过程中“漏掉”信息的情况。因此, 可以利用 eCognition 软件的 RS/GIS 的数据集成功能, 将面向对象的分类结果转换成矢量图层, 进行下一步的目视解译, 可以大大提高工作效率。

### 参考文献

- [1] 蔡石贵. 铁尾矿综合处理与二次利用技术及市场前景分析探讨[J]. 四川建材, 2008(5): 64—65.
- [2] 夏平, 李学亚, 刘斌. 尾矿的资源化综合利用[J]. 矿业快报, 2006(5): 10—12.
- [3] Ketting. R. L., Landgrebe. D. A. Computer classification of remotely sensed multispectral image data by extraction and classification of homogeneous object [J]. IEEE Transactions on Geoscience Electronics, 1976, 14(1): 19—26.
- [4] Lobo A, Chic O, Casterad A. Classification of mediterranean crops with multi-sensor data: Per-pixel versus per-object statistics and image segmentation [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17 (12): 2385—2400.
- [5] Aplin P, Atkinson P, Curran P. Per-field classification of land use using the forthcoming very fine resolution satellite sensors; Problems and potential solutions [C]//Advances in Remote Sensing and GIS Analysis. Chichester: Wiley & Sons, 1999: 219—239.
- [6] Baatz M, Schape A. Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic networks [C]//Proc of the 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing, 1999.
- [7] Hofmann P. Detecting buildings and roads from IKONOS data using additional elevation information[J]. GeoBIT/GIS, 2001(6): 28—33.
- [8] Huang HuiPing, Wu Bingfang, Fan Jinlong. Analysis to the relationship of classification accuracy segmentation scale image resolution [C]//IGARSS, 2003: 3671—3673.
- [9] 张建国, 李宪文, 吴延磊. 面向对象的冬小麦种植面积遥感估算研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 156—160.
- [10] 刘常娟, 杨敏华, 张秀英. 面向对象的分类方法在土地利用数据库建设中的应用[J]. 测绘科学, 2009, 34(1): 176—177.
- [11] 孙晓霞, 张继贤, 刘正军. 利用面向对象的分类方法从 IKONOS 全色影像中提取河流和道路[J]. 测绘科学, 2006, 31(1): 61—63.
- [12] 曾涛, 杨武年, 黎小东, 等. 面向对象的高空间分辨率遥感影像信息提取—汶川地震城市震害房屋案例研究[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(5): 81—87.
- [13] 魏飞鸣. 基于对象信息的遥感影像分类研究[D]. 电子科技大学, 2008.
- [14] 黄惠萍. 面向对象影像分析中的尺度问题研究[D]. 中国科学院遥感应应用研究所, 2003.
- [15] 陈秋晓, 骆剑承, 周成虎, 等. 基于多特征的遥感影像分类方法[J]. 遥感学报, 2004, 8(3): 239—245.

(上接第 70 页)

- [6] 李维钧, 张微微, 等. 基于中巴资源卫星数据的水稻种植面积监测[J]. 西南大学学报, 2009(31): 179—184.
- [7] 吴健平, 杨星卫. 用 NOAA/AV HRR 数据估算上海地区水稻种植面积[J]. 应用气象学报, 1996, 7(2): 190—194.
- [8] 骆成凤, 王长耀, 刘永洪, 等. 利用 BP 算法进行新疆 MODIS 数据土地利用分类研究[J]. 干旱区地理, 2005, 28(2): 258—262.
- [9] Lenington R K, Sorensen C T, Heydorn R P. A mixture model approach for estimating crop areas from landsat data[J]. Remote Sensing of Environment, 1984, 14(1~3): 197—206.
- [10] Dturner M, Gongalton R. Classification of multi-temporal SPOT-XS satellite data for mapping rice fields on a west African floodplain[J]. International Journal Remote Sensing, 1998, 19(1): 21—41.
- [11] 陈晔, 赵纯勇, 杨华. 基于 RS、GIS 重庆市都市圈生态绿地特征研究[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2005, 22(2): 64—67.
- [12] 燕荣江, 景元书, 何馨. 农作物种植面积遥感提取研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14767—14768.
- [13] [http://www.jiaxiang.gov.cn/touzizhe/tz\\_content.php?id=33](http://www.jiaxiang.gov.cn/touzizhe/tz_content.php?id=33)[EB/OL].
- [14] 赵红蕊, 阎广建, 邓小炼. 一种简单加入空间关系的实用图像分类方法[J]. 遥感学报, 2003, 7(5): 358—363.
- [15] 彭虢, 张树文. 基于 NDVI 与 LAI 的水稻生长状况研究[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(1): 12—16.
- [16] 马丽, 顾晓鹤, 徐新刚, 黄文江, 贾建华. 地块数据支持下的玉米种植面积遥感测量方法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 147—151.