

DOI: 10.5846/stxb201408181632

彭燕, 何国金, 张兆明, 江威, 欧阳志云, 王桂周. 赣南稀土矿开发区生态环境遥感动态监测与评估. 生态学报, 2016, 36(6): - .

Peng Y, He G J, Zhang Z M, Jiang W, Ouyang Z Y, Wang G Z. Eco-environmental Dynamic Monitoring and Assessment of Rare Earth Mining Area in Southern Ganzhou Using Remote Sensing. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(6): - .

赣南稀土矿开发区生态环境遥感动态监测与评估

彭 燕¹, 何国金^{1,*}, 张兆明¹, 江 威^{1,2}, 欧阳志云³, 王桂周¹

1 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

摘要: 稀土矿业的发展在促进区域经济发展的同时, 也对生态环境带来影响。为研究江西赣南稀土矿产开发及其对生态环境的影响, 采用 SPOT1/2/5、Landsat7 和 ALOS 等多源遥感数据, 对该区域 2000—2010 年稀土矿开发进行遥感动态监测。采用面向对象的方法对研究区进行生态系统分类, 同时结合回溯法可较好地减少伪变化, 并可快速地提取稀土矿开采区的变化信息。通过分析发现赣南稀土矿开采集中分布在几个主要的乡镇, 从 2000 年至 2010 年这十年间整体上呈增加的趋势, 但前五年主要体现为扩张, 后五年复垦的力度在加强。新增的稀土矿矿区在开发过程中破坏的生态系统类型主要为林地, 而废弃稀土矿区通过治理后主要恢复成耕地。稀土矿开采对植被覆盖、生物量、土地退化以及景观的破碎化都有一定的影响。同时稀土矿开采可能引发水体流失、山体滑坡等环境问题和风险。

关键词: 稀土矿开采区; 遥感监测; 生态环境; 十年变化

Eco-environmental Dynamic Monitoring and Assessment of Rare Earth Mining Area in Southern Ganzhou Using Remote Sensing

PENG Yan¹, HE Guojin^{1,*}, ZHANG Zaoming¹, JIANG Wei^{1,2}, OUYANG Zhiyun³, WANG Guizhou¹

1 Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Science, Beijing 100094, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Although development of the rare earth mining industry has resulted in significant contributions to regional economies, such benefits have also caused severe environmental problems. In order to create land cover maps and thereby monitoring the changes in eco-environmental impacts caused by rare earth mine exploitation in southern Ganzhou, China, during 2000—2010, object-oriented classification was conducted using SPOT1/2/5, Landsat7, and ALOS satellite images. A retrospective approach was also used to reduce the amount of false change information and thus efficiently extract the change information in this region. The total rare earth mining area increased from approximately 36.02 km² in 2000 to 49.58 km² in 2010. The results indicate that the rare earth mining area was mainly distributed in the towns of Ling Bei, Zu Dong, and Guimei Shan. During 2000—2005, the rare earth mining area expanded rapidly before slowing in 2005—2010 due to implementation of a reclamation program. The results also showed that most newly expanded rare earth mine areas were converted from forests, whereas the major reclaimed areas were farmland. Rapid development of rare earth mining is shown to cause severe environmental problems including vegetation destruction, biomass change, land degradation, and landscape fragmentation in addition to potential risks such as soil erosion and landslides.

基金项目: 矿产资源开发典型区域生态环境十年变化调查与评估 (STSN-10-03)

收稿日期: 2014-08-18; **网络出版日期:** 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hegj@radi.ac.cn

Key Words: Rare earth mining area; remote sensing monitoring; eco-environment; 10 years change

稀土矿产资源是一种不可再生的资源,在机械制造、石油化工、农林牧业、航天航空及军工技术等方面都有较为广泛的用途。由于对稀土资源需求量的不断增加,致使稀土矿区开采规模扩大,一些不法商人为牟取暴利,超出矿权范围开采稀土矿。而不当的开采方式,将会导致稀土矿矿区出现水污染、植被破坏、水土流失等众多的环境问题^[1]。这些环境问题已经严重地影响了矿区人民的工作和生活,还制约了社会经济的可持续发展,影响了当地经济发展和社会稳定。传统的矿山环境监测一般是采取国土资源动态巡查的方式发现问题,由于稀土矿区开采比较零散,占地面积大,如果要对矿区开发及其生态环境问题进行全面调查,传统方法的时效性差、周期长、效率低^[2]。随着卫星对地观测技术的发展,尤其是高分辨率卫星遥感数据的不断出现,遥感技术已成为研究生态环境最有利的手段之一。近几十年来,世界各国利用卫星遥感技术在矿区生态环境调查与评估中做了大量工作。早在 60 年代国外开始利用遥感技术对矿产资源开采状况进行监测;1999 年以来,我国国土资源部在全国范围开展了土地利用动态遥感监测;2002—2003 年国家航空物探遥感中心对江西崇义地区矿产资源的开发状况进行遥感监测研究。利用遥感技术对矿区进行遥感监测,不仅可以定性分析其开采状况,也可以定量分析其开采区的面积和范围等相关问题。C.A.Legg 利用遥感技术定性分析了地表采矿所引起的环境问题和矿区土地复垦,并实现了采矿区和土地复垦范围的定量分析^[3]。同时,遥感技术与其他的数据、方法结合能发挥更大的作用。刘元慧等人采用统计的环境监测数据和遥感数据,并以数理统计方法和地理信息技术为支撑,对兖州矿区的生态安全进行监测分析^[4],取得了很好的效果。随着高光谱、高空间分辨率的遥感卫星的出现,遥感技术被逐渐用于监测矿区水体及植被的污染状况。雷国静等人采用 QuickBird 数据对南方离子型稀土矿周围植被长势进行了调查,并对矿区引发的生态环境问题提出了缓解的方式和建议^[5]。遥感技术以其独特的优势被越来越多地应用于矿区生态环境监测中。

以江西省定南县、龙南县、全南县、信丰县以及安远县赣南五县稀土矿开发区为研究区域,利用遥感技术分别对 2000 年、2005 年和 2010 年 3 个时期的稀土矿开发状况进行监测,并对 2000 年—2010 年稀土矿开发区的生态质量进行分析。监测结果有助于更加快速、准确地了解矿山开采状况和矿山环境信息,为相关部门制定矿产资源规划,保持矿产资源的可持续开发与利用,维护矿业秩序及综合整治矿区环境等提供技术支撑及决策依据。

1 研究区概况及数据源

江西赣南是我国离子型稀土矿的主要生产基地。本研究以江西省赣州市定南县、龙南县、全南县、信丰县以及安远县赣南五县为研究区域。研究区位于江西省赣州最南端(见图 2 中小插图),总面积 9732.86km²。该研究区域矿产资源丰富,富含稀土矿、钨矿等矿产资源,是 2011 年江西省赣州市首批离子型稀土矿国家规划县之中的五个。

研究区中稀土矿开采主要采用露天开采的方式,对地表植被破坏较为严重,为了使稀土矿开发状况调查更为精确与全面,应当选取质量较好的高空间分辨率遥感影像。综合考虑研究目的、成本以及对信息的需求量,2000 年选用 SPOT1/2/4 全色影像和 Landsat 7 数据,2005 年选用 spot5 多光谱影像,2010 年选用 ALOS 全色和多光谱影像。由于研究区范围较大,针对有些年份数据缺失的问题,则选取与该年份相近的质量较好的数据作为补充。共涉及 ALOS 数据 18 景,主要为 2010 年 11 月的数据;SPOT5 数据 10 景,主要为 2005 年 10 月的数据;SPOT1/2/4 数据 6 景,主要为 2001 年 11 月的数据;Landsat7 数据 4 景,主要为 2001 年 11 月的数据。对于南方多云雨地区,获取高质量的光学遥感影像比较困难,同时为了便于变化检测研究,数据季相应该尽量接近,因此本文中的数据时相集中于数据质量较好的 10—11 月份。同时还收集了研究区域内的行政边界、DEM 和生物量等相关的基础辅助数据。

2 研究方法

2.1 遥感数据预处理

在实际的遥感数据分析和信息提取之前,需要对遥感数据进行正射校正、融合、镶嵌、裁剪等一系列的处理工作。对于 1B2 级别(经过系统辐射与几何校正的产品,提供地理编码和地理参考数据两种选择)的 ALOS 数据采用有理函数模型进行正射校正,误差控制在一个像元以内。针对 SPOT 系列的数据,则采用物理成像模型,误差控制在一个像元以内。通过对 ALOS 数据分别采用 BROVERY、HIS、PCA 变化、PANSHARP 等不同的融合方法进行实验,发现采用 PANSHARP 变换进行融合后的影像的颜色保持最好,最接近自然色,且图像纹理清晰。因此采用 PANSHARP 算法对 ALOS 数据进行融合。同时,SPOT1/2 数据与 ETM 数据之间的融合通过类似的实验进行对比分析,最终也采用 PANSHARP 方法进行融合。通过对比 ETM+数据不同的波段组合分别与 SPOT1/2/4 全色数据的融合效果,发现 ETM+数据的蓝、绿、红、近红外这四个波段与 SPOT1/2/4 全色数据的融合效果最佳。

2.2 信息提取

根据研究目的,将生态系统类别分为森林、草地、农田、湿地、裸地、建设用地以及稀土矿开采区等七大类别。对于高分辨率影像来说,由于地物类别内部的光谱响应变异增大,传统的基于像元的遥感影像分类方法已不适合高分遥感影像分类,因此研究中主要采用面向对象的分类方法。面向对象的分类方法是对影像进行分割,将具有相同的光谱信息和空间特征的同质像元归并成大小不同的影像对象的过程。该方法能够充分挖掘影像自身的光谱信息,空间特征以及上下文关系,在不增加额外辅助信息的情况下增加分类的依据,使分类结果与地物的实际情况更加吻合。对于多时相遥感影像变化信息提取,如果对多期影像先单独分类然后再进行变化信息提取,则会出现大量的伪变化信息,本文采用回溯方法来进行研究区多时相地表覆盖变化信息提取,该方法有效减少了伪变化,提高了精度,同时可以快速地检测出地物不同时相之间的变化信息。

2.2.1 稀土矿开采区遥感影像特征

赣南稀土矿有池浸法、堆浸法和原地浸矿法三种开采方式,各开采方式在遥感影像上特点也不一样^[6]。池浸法和堆浸法这两种方法其实质都是“搬山运动”,因而在影像上呈大片的地表裸露区,同时还有长方形或圆形的浸矿池和沉淀池(如图 1 左图所示)。而原地浸矿法不动土方,直接在山顶或山坡上挖注液井,对山体结构破坏相对于池浸法和堆浸法要小,因此在遥感影像上表现为沿着山坡呈明暗相间的密集带状区域,同时周边有圆形或长方形的高位池和沉淀池(如图 1 右图所示)。同时赣南稀土矿开采区都是位于山区,周边基本上都是大片的林地,较易区分。



图 1 稀土矿开采区 ALOS 遥感影像(左图:池浸法/堆浸法;右图:原地浸矿法)

Fig. 1 ALOS image of rare earth mining areas(left: pond leaching and in-situ heap leaching method; right: In-situ leaching method)

2.2.2 稀土矿开采区生态系统遥感信息提取

对于多时相遥感影像动态信息提取,主要采用回溯法来实现。即首先对某一时相的影像进行面向对象的

目标信息提取,然后以此结果为基础和限制条件,提取其他时相的目标信息。由于 2010 年的遥感影像数据空间分辨率达到 2.5m,能够较为清楚的识别矿区等地物,因此首先对 2010 年的遥感影像采用面向对象的分类方法,结合纹理特征、光谱信息、高程信息、形状信息等特征建立分类规则,得到相关的分类图(见图 2 中 c 图),并利用野外调查数据以提高分类精度。在此基础上,实施对 2000 年和 2005 年遥感图像的分类和信息提取。在此过程中,图像分割是关键,即无论分割尺度的大小,必须保证其他时相影像的多个分割对象的边界和与 2010 年各地物类别的边界吻合,如此则可以在很大程度上减少由于边界问题带来的伪变化,从而提高分类精度。对于稀土矿开采,新增稀土矿开采区通常所占用的地物类别为林地,较少数占用耕地,因此若以 2010 年稀土矿开采区为限制条件,则对于 2005 年或 2000 年的影像上的地物来说就相对简单得多,主要包含的地物类别为稀土矿开采区、林地和耕地;对于废弃稀土矿区的复垦,通常是恢复成耕地,较少数部分恢复成林地,因此以 2010 年的耕地或林地为限制条件,在 2005 年或 2000 年的影像上提取废弃稀土矿区则容易得多。从而可快速地检测出地物不同时相之间的变化信息,得到 2000 年—2005 年、2005 年—2010 年稀土矿开采区的生态系统类别变化结果图(如图 3)。最后便可得到 2000 年、2005 年的分类图(见图 2 中 a、b 图)。

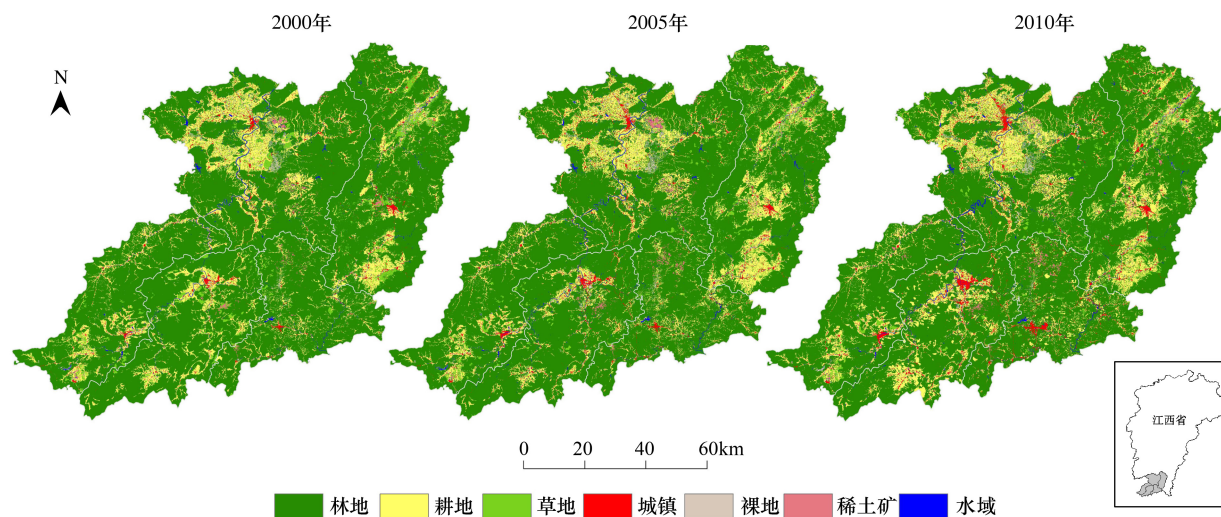


图 2 赣南稀土矿区生态系统分类结果图

Fig. 2 Classification result of rare earth mining area in the south of Ganzhou, Jiangxi province

a. 2000 年, b. 2005 年, c. 2010 年

为验证分类结果及变化信息的可靠性,需对结果进行精度验证。由于 2000 年、2005 年的分类结果以及变化信息均是在 2010 年分类图的基础上利用回溯法得到的,因此验证 2010 年分类结果的精度即可推断其他的结果的可靠性。主要采用野外验证的方法,并结合 QUICKBIRD 卫星影像对 2010 年分类结果进行精度评价。分别对每类随机选取了 50 个点进行验证,共 350 个点。对于野外无法到达的点,则参考 QUICKBIRD 卫星影像。野外验证点总共有 230 个点,其中稀土矿区有 22 个点,通过 QUICKBIRD 卫星遥感影像验证的点有 120 个。最后通过混淆矩阵(见表 1)计算得到精度评价结果,其总体精度高达 90%,稀土矿区的精度达 95% 以上,满足后续的分析需求。

2.3 矿区生态质量评价

稀土矿开采分布零散,使得地表景观变得破碎,同时对地表植被破坏严重,使得土地退化。因此综合考虑稀土矿开采对周边生态系统的破坏特点,并参考区域生态质量评价有关的文献^[7-9],同时遵守指标选取中的可操作性原则,研究中选取了稀土矿区占用比、植被覆盖指数、区域生物量、土壤侵蚀强度以及景观破碎度五个指标来反映赣南稀土矿区的生态质量状况。

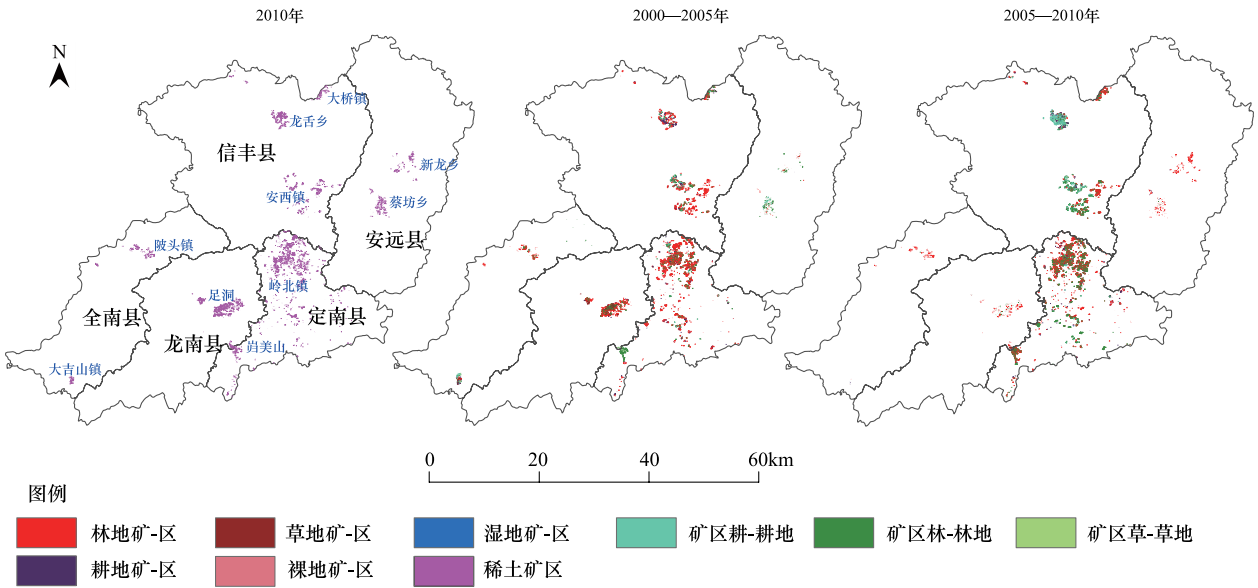


图3 赣南稀土矿区分布图及矿区变化图

Fig. 3 Distribution maps and change detection results of rare earth mining area in the south of Ganzhou, Jiangxi province

a.2010 年矿区分布图;b.2000—2005 矿区变化图;c.2005—2010 矿区变化

表 1 2010 年分类结果精度评价混淆矩阵

Table 1 Confusion matrix of classification result precision assessment in 2010									
类名 Name	工矿 Mine	城镇 City	耕地 Farmland	裸地 Bareland	林地 Forest	草地 Grassland	水域 Water	生产者精度 Producer accuracy	用户精度 User accuracy
工矿 Mine	48	0	1	0	0	0	1	100%	96.00%
城镇 City	0	45	2	0	1	0	2	100%	90.00%
耕地 Farmland	0	0	46	0	4	0	0	83.64%	92.00%
裸地 Bareland	0	0	2	1	0	1	1	100%	96.00%
林地 Forest	0	0	3	2	45	2	0	77.59%	90.00%
草地 Grassland	0	0	1	43	6	43	0	93.48%	86.00%
水域 Water	0	0	0	0	1	0	49	92.45%	98.00%
总体精度 All accuracy						91.71%			
Kappa						0.9033			

2.3.1 评价因子

①稀土矿区占用比

稀土矿区占用比例是指稀土矿开采对森林、草地、湿地、农田等生态系统的挖损面积占被评价区域总面积的百分比,用来反映稀土矿开发对其他生态系统所造成的影响。

②植被覆盖指数

植被覆盖指数是反映研究区域植被覆盖程度的指标之一,其计算方法较多,有利用植被归一化指数(NDVI)定量估算植被覆盖度^[10],也有利用生态系统类型分类结果进行估算的^[7]。本研究植被覆盖指数主要参考《生态环境状况评价技术规范》进行估算,其计算公式为:

植被覆盖指数=(0.38 * 林地+0.34 * 草地+0.19 * 耕地+0.07 * 建设用地+0.02 * 裸地)/区域面积 (1)

稀土矿开采区的植被覆盖情况基本上与裸地相近,因此在计算过程中将稀土矿开采区视为裸地。

③区域生态系统生物量

研究中采用单位面积生物量指标来反映区域生态系统的生物量情况,其计算公式为:

$$RB = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (RBD_{ij} \times S_p)}{S} \quad (2)$$

其中, RB 指区域单位面积生物量; j 为区域生态系统类型, 包括森林、草地、湿地这三类生态系统; RBD_{ij} 是 j 类生态系统 i 像元的相对生物量密度; S 是评价区域总面积。其中相对生物量密度的数据由全国生态环境十年 (2000—2010 年) 变化遥感调查与评估专项组提供。

④土壤侵蚀强度

在其他条件一定的情况下, 植被覆盖度和土壤侵蚀度呈反比关系, 《土壤侵蚀分类分级标准》中是将植被覆盖度与坡度结合起来计算土壤侵蚀强度的^[11]。本研究中根据《土壤侵蚀分类分级标准》, 并结合本地的实际情况以及相关资料, 将土壤侵蚀强度分为 3 级: 微度、中度、重度。同时考虑到生态系统类型, 对于林地、草地、农田、裸地、工矿区等类型采用植被覆盖度与坡度两个因子来判别土壤侵蚀强度等级, 具体见《土壤侵蚀分类分级标准》; 而对于其他的生态系统类型 (水域、建设用地等) 均确定为无明显侵蚀区, 即微度侵蚀强度。

为了定量评价研究区域的土壤侵蚀强度, 其土壤侵蚀强度的计算公式如下^[7]:

$$SE = \frac{0.05S_{sl} + 0.25S_{mo} + 0.7S_{hig}}{S_{all}} \quad (3)$$

其中: S_{sl} 是轻度侵蚀的面积, S_{mo} 是中度侵蚀的面积, S_{hig} 是重度侵蚀的面积, SE 是指研究区域的土壤侵蚀指数。

⑤景观破碎度

景观破碎度是指景观因自然或人为因素的干扰而被分割的破碎程度。景观破碎化使得斑块面积不断缩小, 将直接影响到生物的多样性。同时也反映了人类活动对景观影响的强烈程度^[12]。该指标有不同的具体计算方法^[13-16], 本研究中采用单位面积中各种斑块的总数作为景观破碎度的判别指标^[16]:

$$C = \frac{\sum n_i}{A} \quad (4)$$

其中: C 表示景观的破碎度, $\sum n_i$ 是景观中所有景观类型斑块的总个数, A 为景观的总面积。

2.3.2 数学模型

通过对研究区域的评价指标进行加权来构建的稀土矿区的生态质量综合评价, 从而反映矿区的生态质量状况。其计算模型为:

$$REMEQI = \sum_i^n \omega_i \left(\frac{100}{(A_i)_{max}} \right) \quad (5)$$

其中, $REMEQI$ 为稀土矿区生态质量指数, ω_i 各评价因子相应的权重, A_i 各生态质量评价指标值, $(A_i)_{max}$ 是指评价因子中最大的值, $\frac{100}{(A_i)_{max}}$ 表示是对各评价因子归一化处理, 值的范围为 $[0, 100]$ 。其中 ω_i 是根据项目研究中各指数的相对重要程度构建相应的判断矩阵, 利用层次分析法软件进行计算得到的。稀土矿区占用比、植被覆盖指数、区域生物量、土壤侵蚀强度和景观破碎度这五个评价指标的权重分别为 0.2、0.21、0.28、0.12、0.19。

3 结果与分析

3.1 赣南稀土矿开发现状

稀土矿开发现状, 主要是对稀土矿区分布、数量及面积进行定量和定性的分析。对 2010 年稀土矿开采区分布图进行面积统计, 可得到赣南各个县稀土开采区的面积 (见图 4)。赣南稀土矿属于离子吸附型稀土矿, 早期主要采用池浸法和堆浸法的开采方式, 随着环保意识的加强, 在 2006 年后, 基本上采用原地浸矿的开采

方式。从稀土矿分布图可以看出,赣南稀土矿开采规模较小,呈遍地开花的分布模式,但相对集中在几个主要的乡镇,如定南县岭北镇、龙南县足洞、岗美山、全南县陂头镇、大吉山镇、安远县新龙乡、蔡坊乡以及信丰县龙舌乡等地区。2010 年稀土矿开采区面积为 49.58km²,其中定南县开采面积最大,占总稀土矿区面积的 39%;其次是信丰县,占总稀土矿区面积 22%。

3.2 稀土矿开发十年变化

稀土矿开发十年变化则重点分析新增稀土矿区和废弃稀土矿区复垦情况,分析新增稀土矿开发区的分布、面积和所占用的生态系统类型以及已恢复成植被的废弃稀土矿区的分布、面积和类型。

3.2.1 稀土矿开采对生态系统类型的破坏

稀土矿开发对周边生态系统类型的破坏主要是在开发过程中因挖损、压占而引起的。不同的开采方式对周边的生态系统类型的破坏形式也不一样。池浸法开采方式对周边生态系统类型的破坏特点是挖损和压占,堆浸法开采方式对其破坏特点是以挖损为主。这两种开采方式对地表植被破坏均比较严重(见图 5 左),属于物理方式的破坏。而原地浸矿法对地表植被破坏较小,既不是挖损也不是压占,由灌注的化学药剂使得植被根系萎缩,丧失保持水土的能力(见图 5 右),属于化学方式的破坏。

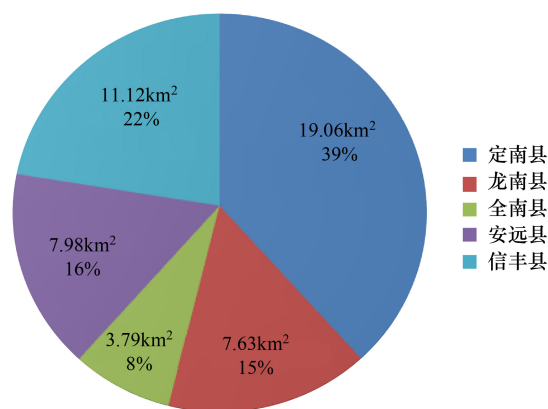


图 4 2010 年赣南稀土矿开采区面积饼图

Fig. 4 Area pie chart of rare earth mining areas in 2010



图 5 稀土矿开采对植被的破坏 (左图:池浸法/堆浸法;右图:原地浸矿法)

Fig. 5 Vegetation destruction by rare earth exploitation (left: pond and in-situ heap leaching method; right: In-situ leaching method)

图 6 展示了赣南各县扩张的面积情况以及扩张所占用的生态系统类型情况。综合分析矿区变化图(见图 3 中 b 和 c 图)和面积统计图,可得到以下结论:

①2000 年至 2005 年新增的稀土矿矿区开采面积为 22.75km²,其中定南县和信丰县稀土矿区扩张面积较大;从 2005 年至 2010 年新增的稀土矿矿区开采面积为 18.60km²,定南县、安远县和全南县稀土矿区扩张面积相对较大。从 2000 年至 2010 年十年间矿区扩张主要分布在定南县。

②2000 年至 2010 年十年间新增的稀土矿开发而破坏的生态系统类型主要为林地,其中 2000 年至 2005 年占用的林地面积达到 18.25 km²,2005 年至 2010 年面积为 17.33km²。

③图 5 是野外考察矿区时拍摄的照片,左图中展示了堆浸法/池浸法开采后的矿区需进行水土流失防护,而右图中则展示了原地浸矿法开采使得矿区及周边位置的植被枯萎,土壤沙化,有山体滑坡的风险。因此,结合野外调查,可知道稀土矿开采区存在水土流失、山体滑坡等潜在的风险。

3.2.2 废弃稀土矿区生态恢复情况

图 7 展示的是稀土矿的变化及生态恢复情况。综合分析矿区变化图(见图 3 中 b 和 c 图)和面积统计图,

可得到以下结论:

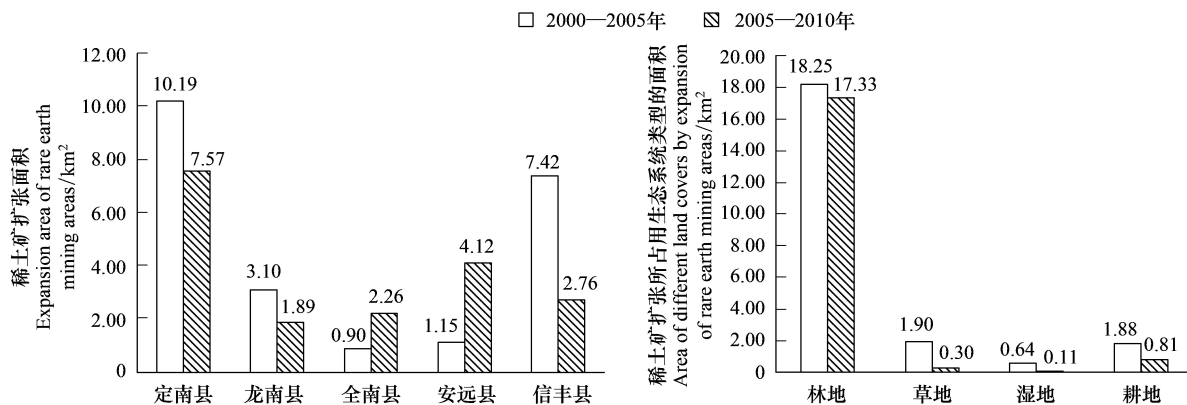


图 6 稀土矿扩张及扩张所占用生态类型面积图

Fig. 6 area map of expansion and different land covers occupied by expansion of rare earth mining areas

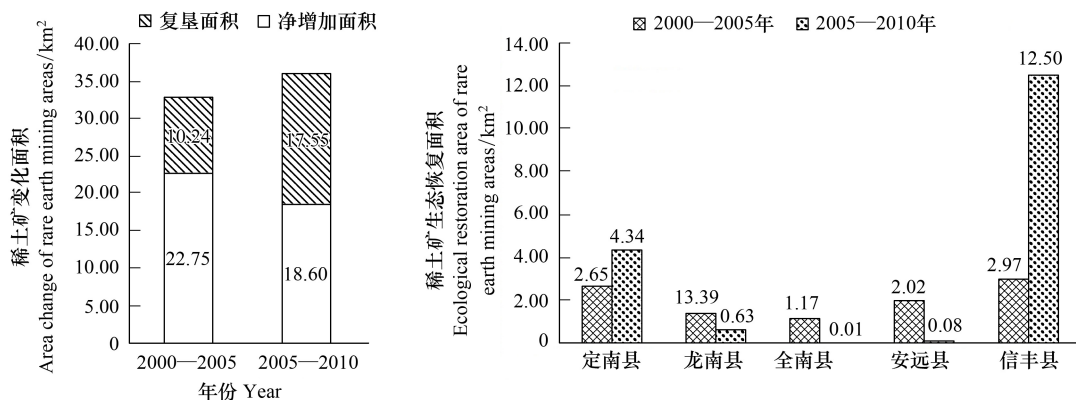


图 7 稀土矿变化及生态恢复面积图

Fig. 7 Area change and ecological restoration area histogram of rare earth mining area

2000 年至 2005 年赣南地区恢复的废弃稀土矿区面积为 10.24 km², 2005 年至 2010 年达到 17.55 km²。其中定南县和信丰县在后五年复垦面积相对前五年较大, 而龙南县、全南县以及安远县则在前五年复垦面积相对较大, 后五年几乎没有复垦。后五年总复垦面积相对于前五年明显增加, 且其复垦面积与新增的稀土矿区面积相当, 说明在此期间针对废弃稀土矿生态环境的治理力度加强, 治理效果比较理想。特别是, 信丰县废弃稀土矿区复垦面积达 12.50 km², 占总赣南稀土矿废弃矿区总复垦面积的 71% 左右。这些复垦工作将有效地控制水土流失, 山体滑坡等, 从而使得生态环境日趋良性循环, 将取得良好的社会效益和经济效益。

3.3 赣南稀土矿区生态质量评价

3.3.1 生态质量状况

图 8 是根据矿区生态质量的评价因子的定义及公式计算得到的, 展示了各个评价因子从 2000 年至 2010 年的变化情况以及相互之间的变化关系, 从而反映了矿区的生态质量状况。稀土矿区占用比例从 2000 年至 2010 年一直呈增长的趋势, 其中 2000 年至 2005 年增长较快, 而 2005 年至 2010 年增长较缓。根据前面分析知道, 这是由于在 2005 年至 2010 年复垦力度加大, 其复垦面积与新增稀土矿区面积相当, 从而导致稀土矿区面积变化不大。而植被覆盖指数的变化趋势与之相反, 从 2000 年至 2010 年植被覆盖指数降低, 说明 2000 年至 2010 年植被覆盖情况变差。而稀土矿开采, 尤其是类似“搬山运动”的池浸法和堆浸法的开采方式对地表植被的破坏严重, 甚至会改变景观地貌。从 2000 年至 2010 年单位面积的生物量减少, 景观破碎度增大, 这说明受自然或人类活动的干扰较强, 而在赣南稀土矿区内, 稀土矿开采活动较为强烈, 因此除了城镇的发展带来

的影响之外,稀土矿开采对其的影响也不可忽略。土壤侵蚀度在这十年内,2005 年侵蚀最为强烈,这与 2000—2005 年稀土矿新增面积比 2005—2010 年新增面积大的变化是一致的。综合以上分析,稀土矿开采对植被覆盖、生物量、土地退化以及景观破碎化都有一定的影响。

3.3.2 区域生态质量综合分析

对 2000—2010 年稀土矿开发区的生态质量进行动态的综合分析,可从整体上监测 2000 年、2005 年、2010 年研究区的生态质量变化状况,从而得到稀土矿开采对周边的生态质量影响情况。图 9 是 2000、2005 和 2010 年稀土矿开发区生态质量指数曲线图,是根据上述的数学模型(公式(5))计算后绘制而成的。

对比分析 2000 年、2005 年和 2010 年赣南稀土矿区的生态质量,发现 2000 年的生态质量最好,2005 年的生态质量最差,而在 2010 年,其生态质量相对 2005 年变好。其变化情况符合 2000—2005 年主要体现为稀土矿扩张,2005—2010 年主要体现为稀土矿复垦的情况,这说明了稀土矿开采对周边区域的生态质量具有负面影响。从 2005—2010 年生态质量变好的幅度虽然不大,但至少说明了赣南地区相关的部门进行的稀土矿区治理工作已经取得了一定的成效。

4 结论

采用了 SPOT 1/2/5、ALOS、Landsat7 等多源遥感影

像,对江西省定南县、龙南县、全南县、安远县以及信丰县等赣南五县的稀土矿开发区的生态环境进行遥感监测和评估,结论如下:

(1) 2.5m 分辨率的遥感影像能较为清楚地反映稀土矿开采情况。在进行生态系统分类等遥感信息及变化信息提取时,可采用基于面向对象的回溯法能够快速提取变化信息,同时能够较好地减少伪变化,提高变化信息提取精度,从而取得较高的分类精度。

(2) 赣南稀土矿区比较分散,规模较小。从 2000 年至 2010 年这十年间矿区面积总体呈增大趋势,而不同时期其变化情况不同。从 2000 年至 2005 年这五年间矿区主要呈扩张态势,2005 年至 2010 年扩张面积与复垦面积相当。在此期间政府部门加大稀土矿开发区的复垦力度,并取得了一定的成效。遥感信息分析认为,复垦区主要位于信丰县。

(3) 通过遥感信息分析发现,稀土矿开采对周边生态系统类型的破坏主要为林地,同时结合野外调查,认为稀土矿开采后若不进行及时的治理与复垦将引发水土流失、山体滑坡等地质灾害。

(4) 稀土矿开采对周边的植被覆盖、生物量、土地退化以及景观破碎化均有一定影响,生

态质量从 2000 年至 2005 年变差,但是在 2010 年有好转,说明赣南地区相关部门对稀土矿区的治理工作取得了一定的成效。

(5) 从遥感信息看,信丰县废弃稀土矿区复垦效果明显,其他离子型稀土矿区可借鉴信丰县的治理方式。可按照“谁投入、谁开发、谁治理、谁受益”的原则,鼓励企业、单位和个人以种植果树等生态化方式开发治理废弃稀土矿区及稀土尾砂。

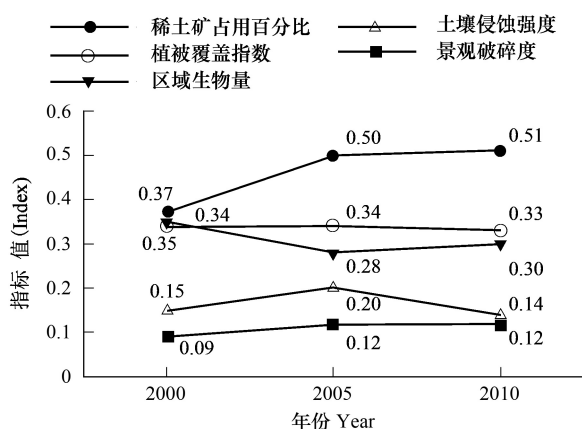


图 8 2000—2010 年赣南稀土矿区生态质量评价指标变化图

Fig. 8 Changes of ecological quality evaluation indexes in rare earth mining area from 2000 to 2010

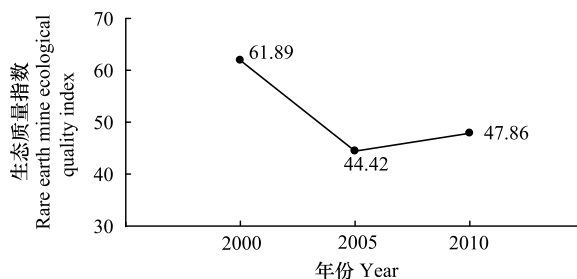


图 9 2000、2005 和 2010 年稀土矿区生态质量指数图

Fig. 9 REMEQI map in 2000, 2005 and 2010

参考文献 (References):

- [1] 王瑜玲. 江西定南北部地区稀土矿矿山开发状况与环境效应遥感研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.
- [2] 佟彪, 吴文波, 林玉祥. 利用遥感影像自动提取变化信息的方法研究. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2007, 9(1): 46-48.
- [3] Legg C A. Applications of remote sensing to environmental Aspects of surface mining operations in the United Kingdom // International Conference and Exhibition. Remote Sensing: An Operational Technology for the Mining and Petroleum Industries. London, England: The Institute of Mining and Metallurgy, 1990: 159-164.
- [4] 刘元慧, 李钢. 基于 PSR 模型和遥感的矿区生态安全评价——以兖州矿区为例. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(5): 134-138.
- [5] 雷国静. 遥感在稀土矿区植被污染信息提取中的应用. 江西有色金属, 2006, 20(2): 1-5.
- [6] 彭燕, 何国金, 曹辉. 基于纹理的面向对象分类的稀土矿开采地信息提取. 科学技术与工程, 2013, 13(19): 5590-5596.
- [7] 国家环境保护总局. HJ/T 192-2006 生态环境状况评价技术规范(试行). 2006.
- [8] 王君华, 莫伟华, 陈燕丽, 钟仕全, 孙涵. 基于遥感的广西生态质量气象评价方法研究. 气象科学, 2009, 29(6): 833-837.
- [9] 万本太, 王文杰, 崔书红, 潘英姿, 张建辉. 城市生态环境质量评价方法. 生态学报, 2009, 9(3): 1068-1073.
- [10] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 周为峰. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算. 资源科学, 2004, 26(4): 153-159.
- [11] 中华人民共和国水利部. SL 190-2007 土壤侵蚀分类分级标准. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [12] 曾勇. 区域生态风险评价——以呼和浩特市为例. 生态学报, 2010, 30(3): 668-673.
- [13] 贾宝全, 慈龙骏, 杨晓辉, 孙林, 杨洁泉. 石河子莫索湾垦区绿洲景观格局变化分析. 生态学报, 2001, 21(1): 34-40.
- [14] 宋冬梅, 肖笃宁, 张志城, 曹宇, 马明国, 王建华, 王建. 甘肃民勤绿洲的景观格局变化及驱动力分析. 应用生态学报, 2003, 14(4): 535-539.
- [15] 邓劲松, 王珂, 李君, 徐俊锋, 沈掌泉, 高玉蓉. 乡镇耕地整理对耕地景观破碎度的影响研究. 应用生态学报, 2006, 17(1): 41-44.
- [16] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析——以山东省东营市为例. 生态学报, 1996, 16(4): 337-343.