

航空成像光谱的蚀变信息提取技术

杨燕杰, 赵英俊

核工业北京地质研究院; 遥感信息与图像分析技术重点实验室, 北京 100029

摘要 根据成像光谱仪 CASI/SASI 的影像特点, 制定了高光谱影像的处理方法流程, 介绍了各步骤的内容和需要注意的事项。阐述了噪声和坏波段去除、大气校正的过程, 并提出了一些经验性的处理方法。在成像光谱岩石蚀变提取算法中, 根据经验对已有方法进行了改进; 在基于特定算法的矿物填图方法中, 依据柯坪地区 CASI 影像中富含二价铁的辉绿岩脉的光谱特征, 提出了富二价铁岩石提取算法。经过实地验证, 富二价铁岩石的提取对铀矿勘探具有较好的指导作用。通过提取的信息结果与已经矿区或矿点的空间叠加分析发现, 富二价铁岩石空间分布与铀异常点分布有很强的相关性。根据富二价铁与铀矿的空间分布规律, 提出了断裂+富二价铁岩石的成矿模式。红色砂岩提供铀源, 岩脉提取铀成为存储容器。富二价铁岩石提供铀沉淀催化剂的作用, 且线性的富二价铁岩石分布区域对成矿更有利。通过富二价铁岩石的提取, 在柯坪南部地区新发现了 3 条铀异常带。

关键词 蚀变; 高光谱; CASI/SASI; 二价铁; 铀

中图分类号 P231

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.23.007

Extraction of Alteration Information Based on Airborne Hyperspectral Image

YANG Yanjie, ZHAO Yingjun

Key Laboratory of Remote Sensing Information and Image Analysis Technique; Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China

Abstract Based on CASI/SASI images' characteristics, the hyperspectral images processing procedure is established. The contents of each step and things, which should be paid attention to, are introduced. Before the extraction of alteration information, the data pre-processing should be well completed, the type of alterations in the study area should be determined, and the corresponding spectral database should be built. Some empirical approaches are made for those processing. Based on the experience, the various methods are described in detail and some algorithms are improved. Based on the spectrum characteristics of the rock containing ferrous iron-rich on the CASI images of Keping area, the ferrous iron-rich rock extraction algorithms are proposed. The field work has proved that the alteration information extracted is correct, and the extraction of ferrous iron-rich is a good guidance for uranium exploration. The rule determining the mineralization model in the study area is found through the alteration information extraction and spatial superposition analysis on mine points or mineral area. The special distribution of ferrous iron-rich rock has a strong correlation with the uranium abnormal. In the study area, the red sand rock is the passage for uranium, the dyke is the storage for uranium, and the ferrous iron-rich rock makes uranium settle around the dyke. Three new dykes of uranium abnormal are found in south part of Keping using the method.

Keywords alteration; hyperspectral; CASI/SASI; Fe^{2+} ; uranium

0 引言

随着遥感技术的发展, 遥感数据的空间分辨率和光谱分辨率都得到了快速的发展, 获取的数据量也呈几何数级增长, 遥感数据获取技术的发展速度快于数据处理方法, 因此

对数据处理方法的需求也变得越来越迫切^[1-3]。目前, 受成像光谱数据获取的限制, 国内成像光谱矿物填图技术的研究成果不多, 主要集中在核工业北京地质研究院、中国科学院、国土资源航空物探遥感中心、北京大学、武汉大学、中国地质大

收稿日期: 2011-03-18; 修回日期: 2011-07-26

基金项目: 核工业北京地质研究院遥感信息与图像分析技术重点实验室生产项目

作者简介: 杨燕杰, 博士研究生, 研究方向为遥感图像处理, 电子信箱: yangjeyang1983@163.com; 赵英俊 (通信作者), 研究员, 研究方向为遥感图像分析, 电子信箱: 13661367932@139.com

学等研究机构,且大多是利用 Hyperion^[4]、PHI、OMIS^[5]等低空间分辨率的高光谱像影,利用高分辨率成像光谱影像数据的研究很少。CASI/SASI 是国际上先进的成像光谱数据获取仪器,具有高空间分辨率、高光谱分辨率和数据量大的特点,广泛用于环境保护、军事伪装识别、矿产普查与勘探等领域。利用航空成像光谱 CASI/SASI 数据,可以提取研究区的岩石蚀变。为矿产勘查和勘探提供依据。本文是在 CASI/SASI 数据处理过程中,对高光谱遥感数据处理方法和流程进行研究,为同类型的数据处理提供研究范例。

1 CASI/SASI 数据

CASI/SASI 航空成像光谱仪是核工业北京地质研究院遥感信息与图像分析技术重点实验室 2008 年从加拿大 ITRES 公司引进的航空高光谱测量系统。该系统包括可见光-近红外和短波红外 2 个传感器 CASI-1500 和 SASI-600, 可以同时获取 380—2450nm 的图谱合一的高光谱影像数据, 总波段数最高达 388 个, 空间分辨率可以达到亚米级(表 1)。

表 1 CASI/SASI 的主要技术指标
Table 1 Main parameters of CASI/SASI

参数	CASI-1500	SASI-600
光谱范围/nm	380—1050	950—2450
每行像元数	1470	640
连续光谱通道数	288	100
光变带宽/nm	2.3	15
帧频(全波段)	14	100
总视场角/(°)	40	40
瞬时视场角/(°)	0.028	0.07
信噪比(峰值)	>1100	>1100
量化水平/位	14	14
最大供电需求	28V 直流电压下 18A	
记录媒介/GB	256	256
绝对辐射精度	<2%	<2%

2 数据处理流程

CASI/SASI 的详细处理流程如图 1 所示,包括几何校正,噪声和坏波段去除,大气校正,光谱重建,MNF 变换,PPI 指数计算,端元光谱选择,矿物填图方法选择,阈值设定,地质图与野外验证,地理编码,条带镶嵌,图像编辑、整饰与制图,蚀变岩石与矿物的空间分布规律总结,文字报告等。另外还包括研究区蚀变类型的确定和研究区光谱数据库的建设工作。在矿物填图方法的选择中,根据数据的特点选择合适的方法,可以几种方法同时应用,以便提高数据处理的精度,也可以验证其他方法处理的数据的正确性。基于光谱相似性和基于光谱特征参数的矿物填图结果也需要进行阈值选择,这一步骤中实践经验是否丰富对数据的处理精度有很大影响。

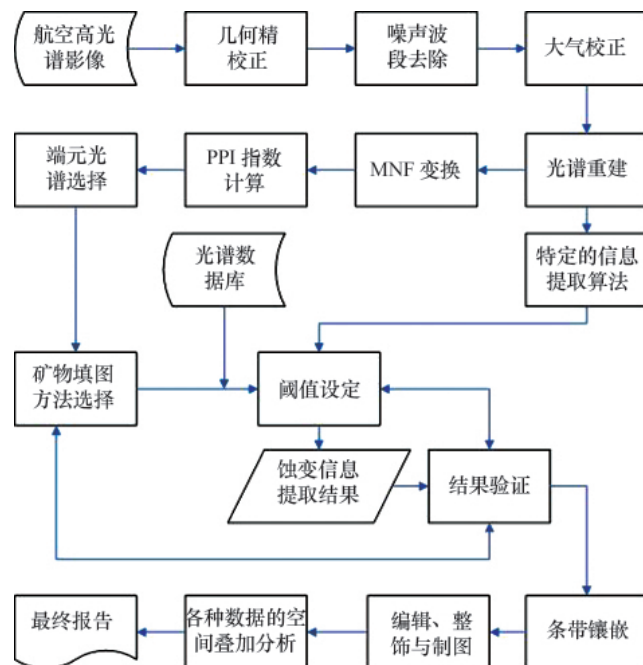


图 1 柳园地区航空成像光谱数据处理流程

Fig. 1 Flowchart of the hyperspectral data processing in the Liuyuan area

3 数据预处理

在通过 CASI/SASI 成像光谱数据提取岩石蚀变之前,需要对数据进行去除噪声、坏波段、辐射校正、大气校正等预处理工作,以便于保证后续数据处理的精度。

3.1 噪声和坏波段去除

在所有操作之前,应先进行噪声波段去除,以减少对后续工作的影响。将一景 CASI/SASI 影像带入 ENVI 中,利用自动浏览功能从图像的质量上检查影像中存在的坏波段,将信噪比较低的波段剔除,因为这些波段对光谱数据的提取结果干扰很大。

利用傅里叶变换(低通滤波)和傅里叶逆变换对 CASI/SASI 影像进行操作,可以很好地去除条带噪声(图 2)。但这种方法也造成一些信息的丢失,因此也可以在信息提取之后对提取结果的数据进行条带噪声处理,消除条带噪声。

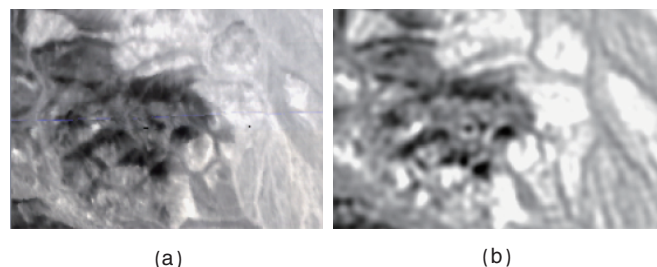


图 2 条带噪声的去除前(a)后(b)影像对比

Fig. 2 Image contrast before (a) and after (b) the strip noises are removed

3.2 大气校正

大气校正的处理流程如图3所示。成像光谱数据可以利用实测的地面光谱数据对影像进行辐射定标。如果地面的实测光谱数据与成像光谱传感器获取时间同步,则不需要进行大气校正。但大部分实测数据与传感器不能同步,一般情况下需要对成像光谱影像数据进行大气校正。在进行大气校正时,需要飞行参数和地理参数,如飞行时间、传感器相对高度、研究区的海拔高度、地理经纬度、大气温度等信息,根据这些信息选择合适的大气模式,并设定大气校正参数进行后续的操作。大气校正后的地物波谱是否与地物的波谱接近,可以研究区内的典型地物进行对比分析,如植被等(图4)。

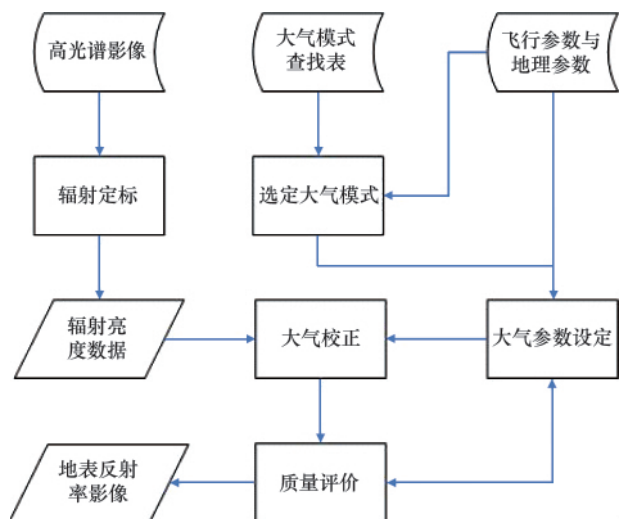


图3 CASI/SASI 大气校正流程

Fig. 3 Flowchart for atmosphere correction of CASI/SASI

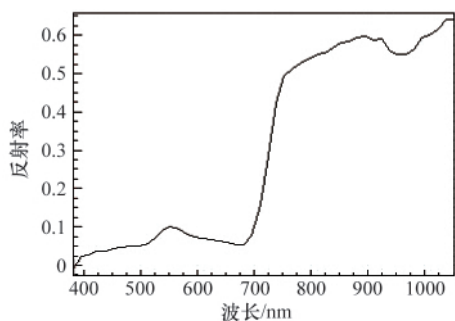


图4 大气校正后的 CASI 影像中的植被光谱曲线

Fig 4 Plant spectrum in CASI images when they are processed

4 成像光谱数据信息提取

在成像光谱进行预处理之后,根据影像数据的特点和典型岩石的光谱特征选择合适的数据处理方法。自然界普遍存在的元素,如富含不同价态铁离子的岩石,可以根据光谱特征制定特定的算法进行提取。一些岩石的光谱特征与影像中其他岩石光谱特征有很大差异,可以通过光谱相似方法对这些岩石进行信息提取。一些岩石光谱特征相差不大,可以通过光谱特征参数方法提取岩石信息。每种岩石的提取方法都

不是固定的,有时几种方法混合使用往往可以提高处理的精度,但由于高光谱数据量大,在数据处理的过程中还要考虑数据处理速度。

4.1 基于光谱相似性的矿物填图

利用光谱相似性进行矿物填图应用十分广泛,具体操作流程如图5所示。在生成单航带单种矿物的分布图(图6)之后,可以将其转换成矢量文件,这有利于后续的各种矿物的叠加分析。在生成拼合底图时,可以使用各个条带的 MNF 第一或第二波段作为底图,因为这些波段的数据噪声少,影像清晰,但是需要对这些波段的空白区域进行归零处理,将空白区域的灰度改为 0,否则各个波段之间很难拼合在一起。具体 IDL 算法为

$$B = ((b_1 > (a + 0.0001)) + (b_1 < (a - 0.0001))) \cdot b_1 \quad (1)$$

其中, a 为成像光谱影像空白区域在经过 MNF 计算后第一波段的值, b_1 为需要处理的波段或整幅影像, B 为处理结果。

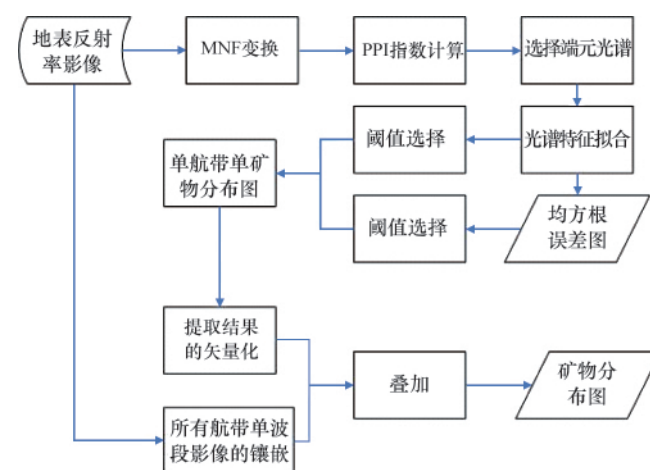
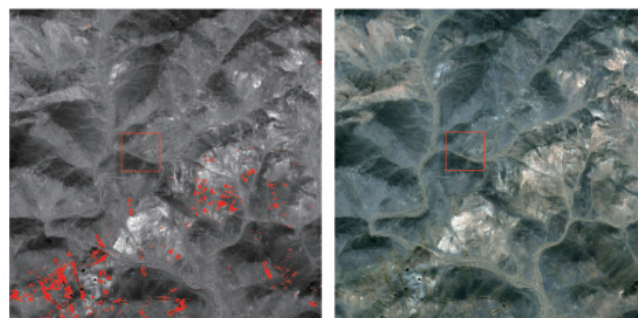


图5 光谱特征拟合方法流程

Fig. 5 Flowchart of the spectral characteristic match method



(a) 红色部分为蚀变岩石

(b) 真彩色影像

(a) Red part in the altered rock (b) True color figure of the study area

图6 通过光谱相似匹配提取的磁黄铁矿化蚀变信息图

Fig. 6 Magnetic pyrite altered information map extracted by the spectral match method

4.2 基于光谱特征参数的矿物填图方法

这个方法主要是利用典型地物的光谱吸收位置和吸收面积对影像进行信息提取。这需要对各种典型地物的光谱特

征比较熟悉。具体流程如图 7 所示。其中的阈值选择需要一定的经验或者反复验证之后确定。

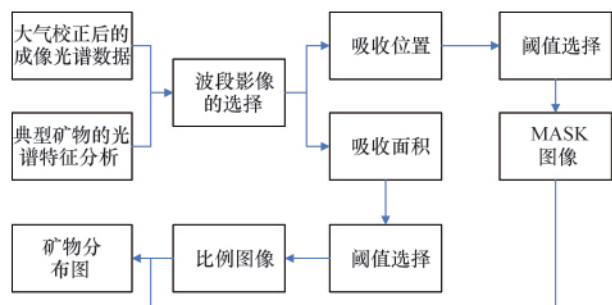


图 7 基于光谱特征参数的矿物填图流程

Fig. 7 Flowchart of the mineral mapping based on the spectral characteristics

4.3 基于特定算法的矿物填图方法

针对某一种特定类型地物的信息提取算法^[5],也是根据光谱特征提出的。现阶段已经有二价铁的定量计算公式(式(2))^[6],但是这对高光谱影像数据质量和预处理精度要求较高,需要精度的大气参数和同步的地物辐射定标,一般情况下难以实现。

$$f_{\text{Fe}} = 3.19 \times 10^{-3} A_{0.9} + 1.45 \times 10^{-3} A_{1.03} + 10 \times 10^{-3} A_{1.04} + 7.20 \times 10^{-3} A_{1.39} - 4.69 \times 10^{-3} \quad (2)$$

其中, $A_{0.9}, A_{1.03}, A_{1.04}, A_{1.39}$ 分别为 0.9, 1.03, 1.04, 1.39 μm 处的反射率。

根据富含二价铁离子的岩石光谱特征,在可见光范围内,富二价铁岩石的光谱特征波段为 505, 548nm 等。植被^[3]的光谱特征波段为 505, 548, 691, 748nm 等。富二价铁岩石与植被在 505—548nm 之间的光谱有相似的光谱特征,即 548nm 波段的反射率明显高于 505nm 波段,植被在 691 和 748nm 有 2 个与富二价铁岩石不一样的光谱特征,植被光谱在 748nm 波段的反射率明显高于 691nm 波段,而富二价铁的光谱曲线相对平滑。因此根据这些特征提出了一种提取富含二价铁岩石范围的计算公式(式 3),这种方法对数据的要求不是很高,数据处理速度较快,经过实地验证数据结果精度较高,对铀矿勘查具有一定的指导作用。

$$B = [B_{548} + (0.2B_{691}) - B_{505} - (0.2B_{748})] \times 10^3 / B_{691} \quad (3)$$

其中, $B_{548}, B_{691}, B_{505}, B_{748}$ 分别为中心波长在 548, 691, 505 和 748nm 的波段影像, B 为处理结果。

图 8 为成像光谱 CASI 的真彩色合成影像,图 9 为经过富二价铁计算公式提取的结果。在真彩色中这种特征并不明显,并且容易与河谷、断裂、地层界线混淆,很难在真彩色影像将它们区分开,但通过式(3)可以很好地提取出富二价铁信息。经过实地验证,提取结果与实地状况非常吻合,并且发现图 9 中的 3 条构造是富含铀元素的岩脉构造。

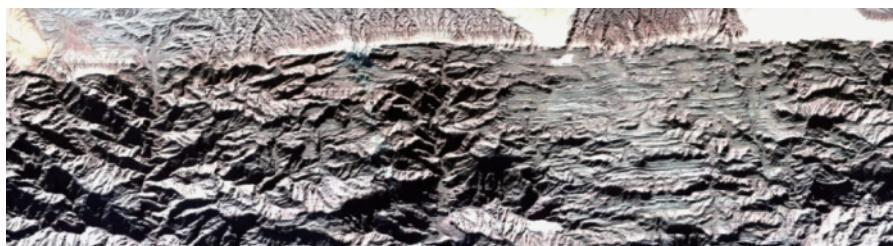


图 8 成像光谱数据的真彩色影像

Fig. 8 True color image of the hyperspectral image

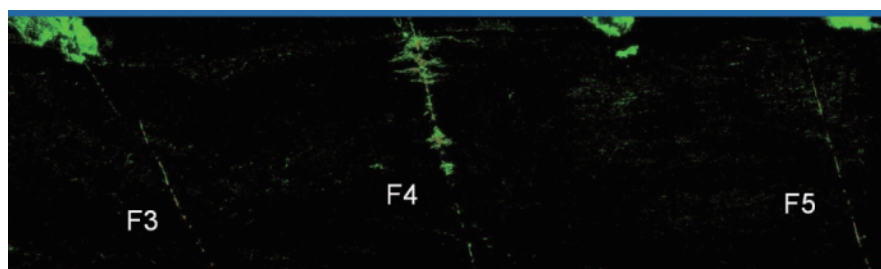


图 9 通过式(3)提取的富二价铁岩石信息

Fig. 9 Information of rocks containing rich in Fe^{2+} is extracted from images based on formula 3

5 信息提取结果与矿点的空间叠加分析

蚀变矿物信息提取初步完成之后,需要进行实地考察,以验证结果中提取的蚀变矿物类型是否正确,然后将验证结果反馈到提取结果,修正误差,提高数据处理的精度。当提取的岩石蚀变结果达到研究需求的精度后,将其与地质构造、

矿点或矿区进行叠加,分析矿区或矿点、地质构造与蚀变矿物分布之间存在的空间规律,确定成矿或控矿模式,为后续的地质勘探任务提供依据。

图 10 为铀异常区与富二价铁岩石分布空间叠加结果,其中,绿色为早期发现的异常区,白色为核工业北京地质研

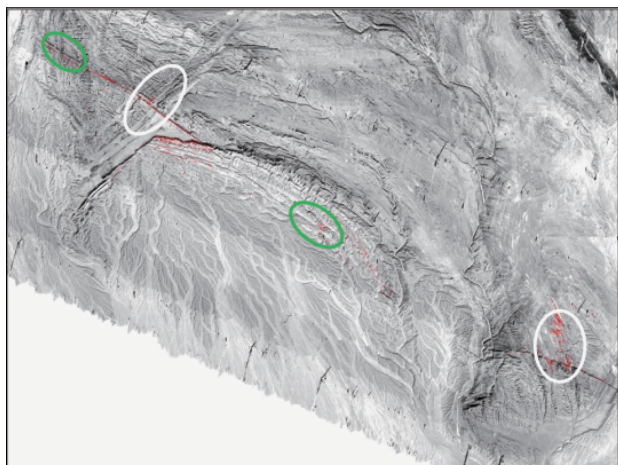


图 10 提取的富二价铁岩石信息(红色部分)与
铀异常区(圆圈内)分布

Fig. 10 Distributing of rocks being rich in Fe^{2+} (red color area) and the abnormal area of uranium (in the circularity)

究院刘德长、叶发旺近期发现的铀异常。可以看出,铀异常与富二价铁岩石有很强的相关性。根据图中的纹理特征,可以看出铀异常区分布于一条断裂带上。根据在图 9 和图 10 中铀异常与富二价铁岩石和断裂构造分布,可以推断富二价铁岩石+断裂构造是铀成矿的有利区域。

6 结论

在成像光谱的应用领域中,地质应用是最成功的。随着高光谱数据的增长,造成了数据的冗余,大量信息没有充分地利用和开发,为了尽可能提取其中包含的有用信息,数据处理方法有待不断完善。高光谱处理的关键是提高数据处理的精度和速度,提高精度的关键是数据的预处理工作,提高

速度的关键是丰富的经验(阈值的选取)和算法的改进。核工业北京地质研究院遥感信息与图像分析技术重点实验室在高光谱处理方面作了大量的工作,本文根据以往的工作经验制定了高光谱数据的处理方法流程,对现阶段的高光谱处理具有较好的指导作用。富含二价铁岩石的断裂构造与铀成矿有很强的相关性,通过富二价铁岩石信息的提出可以为铀矿勘探提供很好的找矿线索。

参考文献 (References)

- [1] Boardman J W, Kruse K A, Green R O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data [C]. Summaries of the Fifth Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, Pasadena, CA, Jan 23-26, 1995.
- [2] 甘甫平, 王润生, 杨苏明. 西藏 Hyperion 数据蚀变矿物的初步识别[J]. 国土资源遥感, 2002, 54(4): 44-50.
Gan Fuping, Wang Ruisheng, Yang Suming. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2002, 54(4): 44-50.
- [3] 甘甫平, 王润生. 遥感岩矿信息提取基础与技术方法研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2004.
Gan Fuping, Wang Ruisheng. *The remote sensing information extraction method and technology of rocks* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004.
- [4] 田淑芳. 基于航天高光谱遥感的东胜地区矿物填图研究 [D]. 北京: 中国地质大学, 2008.
Tian Shufang. *Mineral mapping in Dongsheng district based on space hyperspectral remote sensing*[D]. Beijing: China University of Geoscience, 2008.
- [5] Mustard J F. Chemical analysis of actinolite from reflectance spectra[J]. *American Mineralogist*, 1992, 77(3-4): 345-358.
- [6] 杨国鹏, 余旭初, 周欣, 等. 基于相关向量机的高光谱影像分类研究[J]. 测绘学报, 2010, 39(6): 572-578.
Yang Guoping, Yu Xuchu, Zhou Xin, et al. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2010, 39(6): 572-578.

(责任编辑 代丽)

·学术动态·



“中韩围填海环境影响与管理政策国际研讨会”征文

中国海洋学会和韩国海洋学会将于 2011 年 11 月 6—7 日在厦门召开“中韩围填海环境影响与管理政策国际研讨会”。

会议主题为“围填海的环境影响与管理政策”。征文范围:围填海的历史、现状及需求;典型围填海工程的社会影响、经济影响与环境影响;围填海管理的政策手段、经济手段和技术手段;围填海管理的国际合作对策。

论文截止日期:2011 年 9 月 10 日。

电话:0532-88967809, 18660292526;传真:0532-88964779;

电子信箱:quanbingo@126.com。