

文章编号: 1006-6616 (2015) 02-0199-10

基于地质勘查遥感系统的矿产资源 地质信息产品生成流程研究

汪大明¹, 肖政浩²

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100029;

2. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 在地质勘查遥感系统的地质矿产应用基础上, 研究了高光谱矿产资源探测的技术流程, 包括构造信息产品、岩性信息产品、矿物信息产品和远景成矿预测产品的生成流程。同时选取新疆东天山土墩地区作为研究区, 对本研究的各产品生成流程和填图结果与前人研究成果进行了对比, 结果表明, 本研究的技术流程可行, 信息提取方法精度较高, 可作为今后矿产资源调查的主要技术方法使用。

关键词: 地质勘查遥感系统; 矿产资源地质信息产品; 业务化流程

中图分类号: TP79

文献标识码: A

0 引言

随着传感器技术的发展, 高光谱遥感技术已经广泛应用于矿产资源地质调查领域, 尤其是矿产资源调查和找矿应用。

地质勘查遥感系统是“十二五”期间研建的面向矿产资源和能源调查的集数据接入、数据处理、数据存储、地质应用于体的多功能综合性地质调查平台, 是能够对海量的高光谱星载、机载、地面岩心数据进行接收、存储、处理和分发的地面处理系统, 其中地质应用主要面向矿产资源探测和油气资源探测^[1]。

本文基于地质勘查遥感系统, 通过对国内外较成熟的地质信息提取与识别技术进行总结和优化, 建立了高光谱数据地质应用产品生成的技术流程, 主要包括构造、岩性和矿物信息的提取, 并结合物化探资料与其他地质资料进行成矿远景区预测, 最后总结出矿产资源地质信息产品体系及其生成流程。

1 矿产资源地质信息产品

矿产资源高光谱遥感探测的产品主要包括构造信息产品、岩性信息产品、矿物信息产品

收稿日期: 2014-12-10

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“地质勘查遥感系统集成与综合应用示范”(1212011120226)

作者简介: 汪大明(1982-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事遥感卫星、通讯导航等技术在矿产和能源领域应用研究。E-mail: daming82@qq.com

和远景成矿预测产品。根据地质勘查遥感系统的数据处理流程,卫星下行数据及航空回放数据定义为0级产品,经过辐射校正的数据定义为1级产品,经过几何校正的产品定义为2级产品(见表1),1级和2级产品均为基础产品。

表1 遥感卫星数据产品分级

Table 1 Gradation rules of remote sensing data products

产品级别	产品名称	产品描述
0级	原始数据产品	卫星下行数据及航空回放数据
1级	辐射校正产品	经过辐射校正后的高光谱数据,包括反射率产品
2级	几何校正产品	经过几何校正后的高光谱数据,可包括几何精校正后产品
3A级	构造信息产品	基于目视解译和人机交互解译得到的构造提取产品
4A级	岩性信息产品	基于各种分类识别方法得到的岩性分布和填图结果产品
5A级	矿物信息产品	基于各种分类识别方法得到的蚀变矿物分布和填图结果产品
6A级	远景成矿预测产品	通过对矿物识别、地质成因等相关信息的提取与组合关系的分析,结合矿床成生过程中的物源、动力过程等,判断可能存在的矿化或矿床信息。在其他知识的辅助下,实现对矿化与成矿远景区以及靶区的圈定得到的成矿预测产品

2级以上的产品为高级数据产品,是针对相关的典型地质应用生成的数据产品。根据地质勘查遥感系统总体设计,典型的地质应用包括矿产资源高光谱遥感探测、油气高光谱遥感探测和岩心高光谱遥感应用,分别定义为A类(矿产)、B类(油气)和C类(岩心)高级产品。

矿产资源高光谱遥感探测产品(A类高级产品)包括:3A构造信息产品,4A岩性信息产品,5A矿物信息产品和6A远景成矿预测产品(见表1)。

2 研究区地质背景

本文选择新疆东天山土墩地区进行高光谱矿产资源地质信息产品的业务化生成流程研究,选取该地区高光谱影像进行验证。

新疆天山为巨型古生代造山带,位于准噶尔地块和塔里木地块的结合部位,大地构造环境复杂,岩浆活动频繁,是我国西部极为重要的铜镍金成矿区域。

根据大地构造环境和构造单元地质特征分析,东天山是金铜矿发育的有利地区。已发现的成型铜(镍)矿床多分布于研究区的北部,主要类型有斑岩型、铜镍硫化物型、火山岩块状硫化物型,矽卡岩型等^[2]。

土墩—黄山—镜儿泉一带,岩体高度分异,普遍有铜镍矿化;现已探明黄山、黄山东为大型矿床,土墩、香山、黄山北为中型矿床,黄山南、二红洼为小型矿床。土墩—黄山—镜儿泉一带出露地层主要为下石炭统干墩组和中石炭统梧桐窝子组。

3 矿产资源地质产品生成业务化流程研究

3.1 构造信息产品生成业务化流程

构造信息提取一般采用目视解译与计算机半自动交互解译相结合的方法。首先从高光谱数据中抽取相应波段,形成真彩色图像或标准假彩图像,或者直接采用预处理效果较好的波段,通过传统目视解译方法进行构造信息提取,生成相应的矢量图层,最后生成标准的构造

信息产品(见图1)。



图1 构造信息产品生成流程

Fig. 1 Producing process for geological structure

3.2 岩性信息产品生成业务化流程

高光谱岩性信息分类填图方法:①对高光谱数据进行辐射定标、大气校正、光谱重建,得到光谱反射率数据;②根据矿物波谱特征对反射率数据进行波谱降维,对照地质图选取典型岩性建立感兴趣区,确定岩性分类的先验样区;③选用合适的方法进行岩性信息分类填图,并对结果进行优化操作。岩性信息分类填图流程见图2。

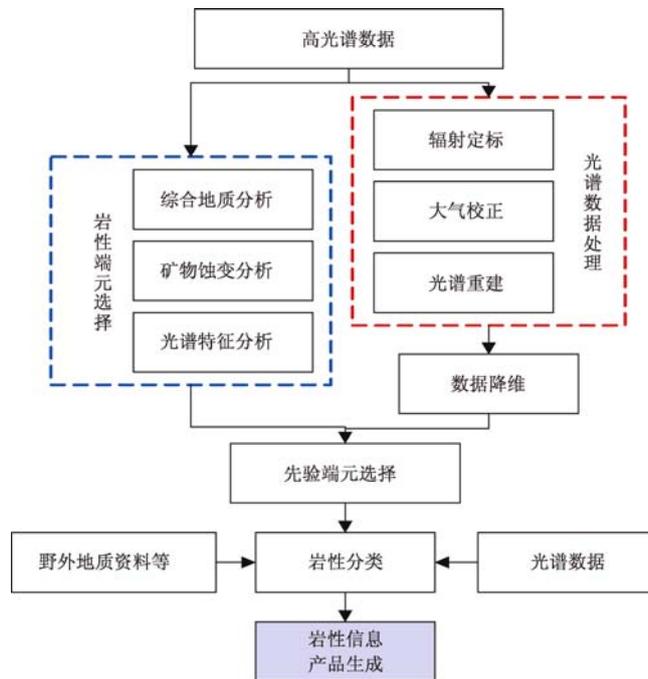


图2 岩性信息分类填图流程

Fig. 2 Process for mapping classification of lithology information

3.2.1 数据预处理

高光谱数据预处理主要包括辐射定标、辐射校正和大气校正,以剔除由于大气影响、地形起伏以及传感器本身不稳定带来的各种失真。

3.2.2 端元选择

端元是指成分单一的岩性像元。岩性分类信息提取一般要进行岩性端元信息选择,选择的方式主要有两种:①根据野外波谱测量或从已有的地物波谱信息库中选择端元,通过此种途径选择的端元称为“参考端元”;②直接从待分类岩性的图像上选择端元,然后不断对其进行修改、调整,确定最终端元,这种图像上选择的端元区域称为先验样区。

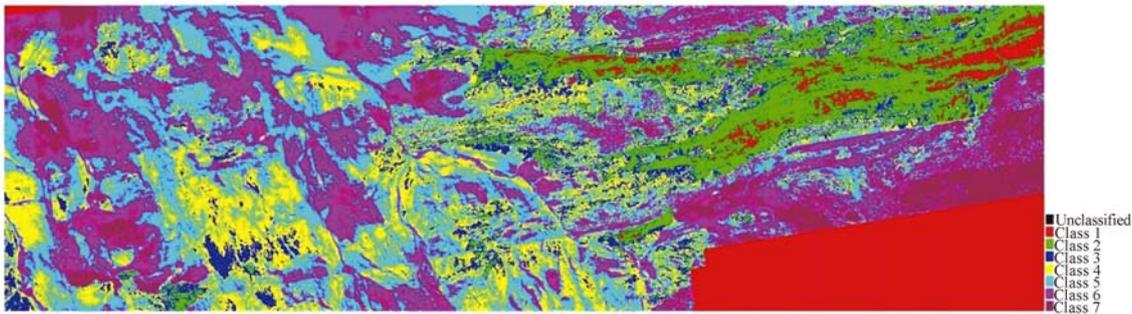
基于图像的端元选择方法有:①最大噪声分离(MNF)变换;②像元纯度指数(PPI)分析;③ N 维可视化(n -Dimensional Visualization)^[3]。

3.2.3 岩性填图结果

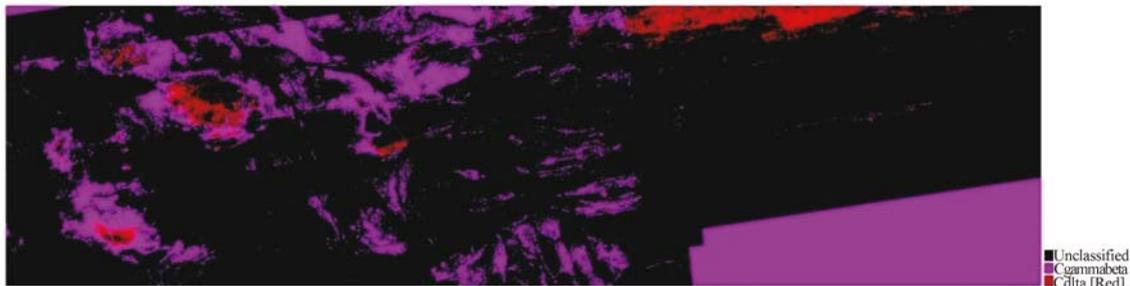
对研究区高光谱原始数据的 211 个波段进行目视解译, 去掉 33 个明显的噪声波段, 再结合岩性地质特征去掉 1300 nm 之前的波段 85 个, 裁剪得到 93 个波段, 对裁剪结果设定参数重新分类, 得到填图结果。

按照是否选择先验区, 岩性分类分为非监督分类和监督分类。非监督分类也称聚类分类, 其分类结果只是对不同类别达到了分区效果, 并不能确定类别属性; 监督分类又称训练场地法, 根据已知训练区提供的样本, 通过选择特征参数, 进行图像分类^[4]。

本次研究参照研究区地质图, 分别采用非监督分类和监督分类法进行岩性提取 (见图 3)。



(a) 非监督分类填图结果



(b) 监督分类填图结果

图 3 岩性提取结果

Fig. 3 Results of lithology extraction

3.3 矿物信息产品生成业务化流程

常用的高光谱矿物填图方法为: ①用最大噪声分离 (MNF) 变换对反射率数据进行波段降维, 用像元纯度指数 (PPI) 分析进行空间降维; ②用 N 维可视化方法来确定图像端元, 进行端元识别, 确定矿物波谱; ③利用合适的方法进行矿物填图, 并对结果进行优化操作。矿物填图流程见图 4。

3.3.1 高光谱数据预处理

对高光谱数据进行辐射定标、大气校正等处理后得到光谱反射率数据。

3.3.2 典型矿物光谱吸收特征分析

根据主要波谱特征将矿物划分为含 Fe^{2+} 矿物、含 Fe^{3+} 矿物、含 Mn^{2+} 矿物、碳酸盐矿物、含 Al-OH 键矿物、含 Mg-OH 键矿物等大类。

Al-OH 诊断谱带一般位于 2165 ~ 2215 nm 附近 (见图 5a); Mg-OH 诊断谱带一般位于

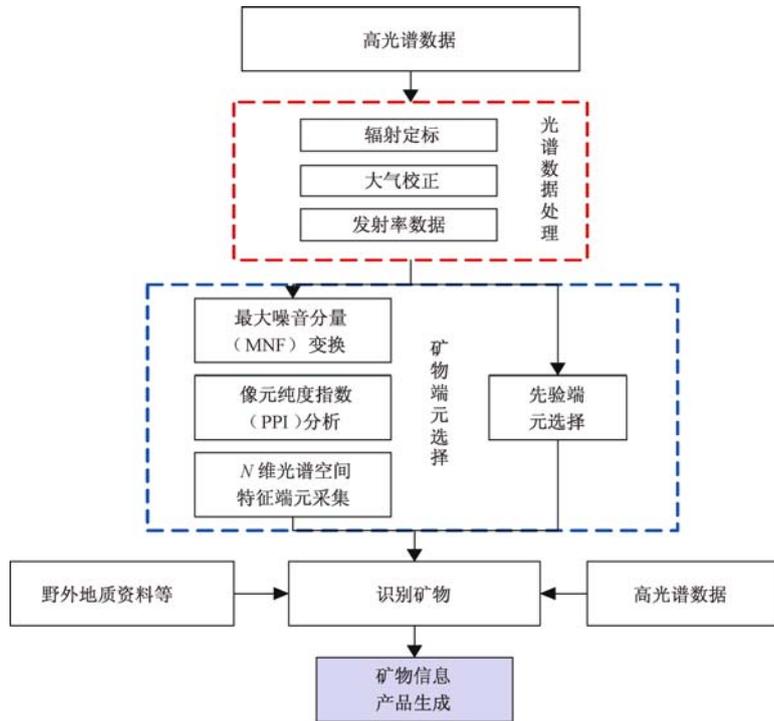


图 4 矿物填图流程

Fig. 4 Process for mapping of mineral

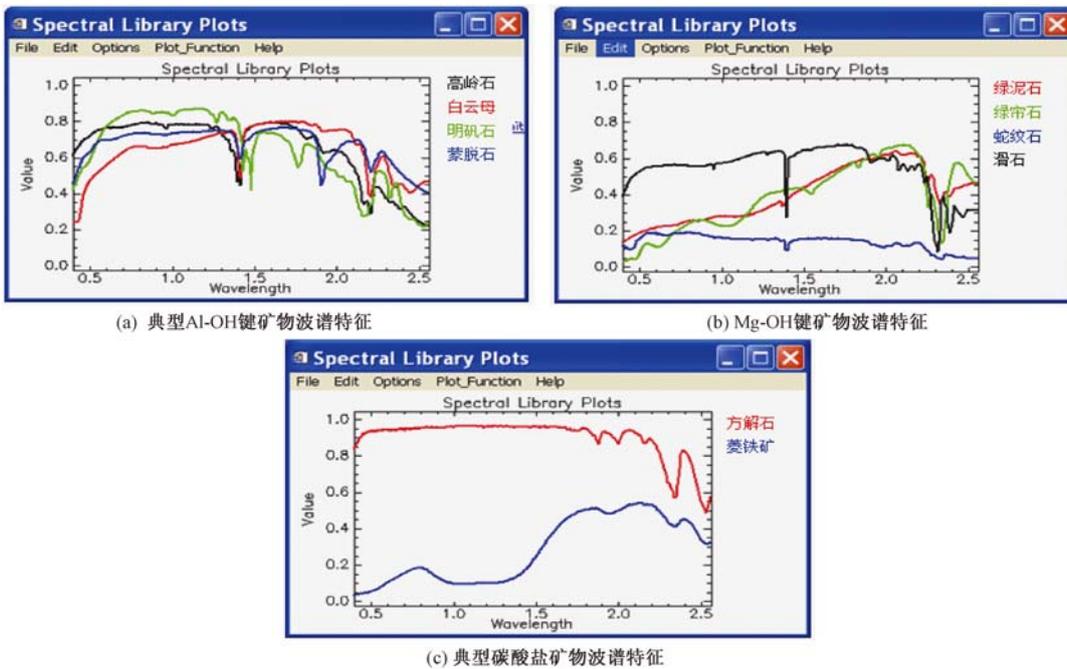


图 5 典型矿物波谱特征

Fig. 5 Typical spectral features for mineral

2315 ~ 2335 nm 附近 (见图 5b); CO_3^{2-} 诊断谱带一般位于 2335 ~ 2386 nm 区间 (见图 5c); Fe^{2+} 诊断谱带一般位于 1000 ~ 1100 nm 附近; Fe^{3+} 诊断谱带一般位于 600 ~ 900 nm 附近; Mn^{2+} 诊断谱带一般位于 450 ~ 600 nm 附近。

根据主吸收谱带和次要吸收谱带的组合特征, 同时考虑吸收谱带在不同岩石中的变异, 识别矿物。

3.3.3 矿物识别技术

基于光谱数据的矿物识别方法主要有基于光谱波形参数识别、基于光谱相似性测度识别、基于混合光谱模型识别以及基于地质统计规律和基于光谱知识的智能识别等^[5]。

3.3.4 矿物填图试验研究

本文选用东天山地区的 HyMap 数据进行矿物填图试验。研究区含蛇纹石、白云母、绿帘石、绿泥石矿物。具体填图流程如下:

①数据降维。利用 MNF 变换进行光谱数据减维, 分离数据中的噪声; 观察最终特征值, 确定数据的固有维数, 选择合适的 MNF 波段进行 PPI 指数计算。

②计算图像的 PPI 指数。最终产生 PPI 图像, 从直方图中选择阈值, 仅选择最纯的像元以保证被分析的像元数最小, 将这些像元输入到分离特定光谱端元的交互式可视化算法中。

③ N 维可视化进一步提纯纯净像元。通过选择 n 维散点图的顶点和拐角 (n 是波段数), 进一步提纯纯净像元; 将最终确定的端元输入到图像中的感兴趣区 (ROI), 从图像中提取每个感兴趣区平均反射率光谱曲线作为成像光谱矿物填图的候选端元。

④建立真实波谱库。将采集端元的波谱曲线输出, 经过波谱分析得到波谱曲线图, 确定端元矿物并建立该矿物的真实波谱库。

⑤选择合适的填图方法, 提取各类矿物, 并对提取结果做最小图斑去除、类合并等操作, 优化矿物提取结果。

3.3.5 填图结果及分析

各种填图方法对比研究显示, SAM 方法可以快速且较准确地显示矿物信息, 完成填图 (见图 6—图 8)。

为了分析高光谱数据的矿物填图效果, 本文将矿物信息提取结果图与前人对此研究区进行的矿物填图结果进行了对比。设研究区总的点数为 N , 结论相同就认为该点取值 1, 最后

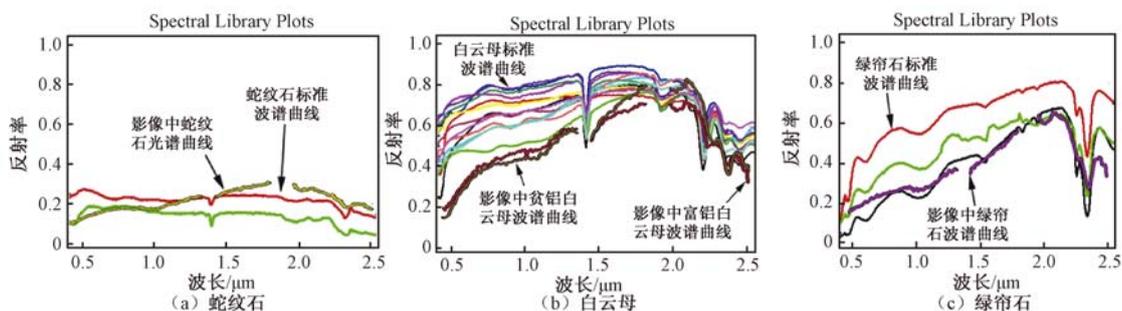


图 6 三种矿物波谱曲线

Fig. 6 Spectral curves for three kinds of mineral

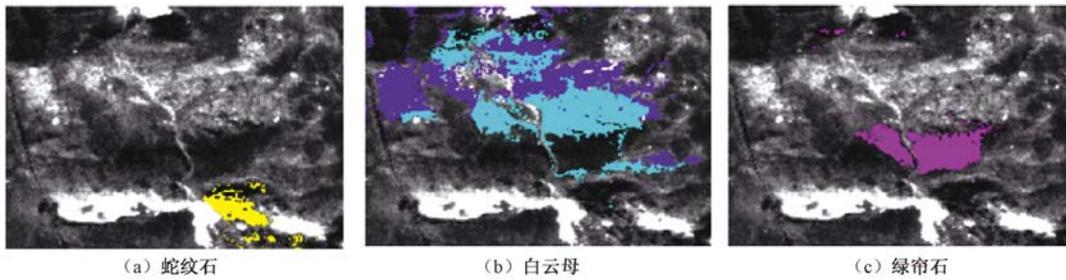


图7 三种矿物填图效果

Fig. 7 Mapping effects for three kinds of mineral

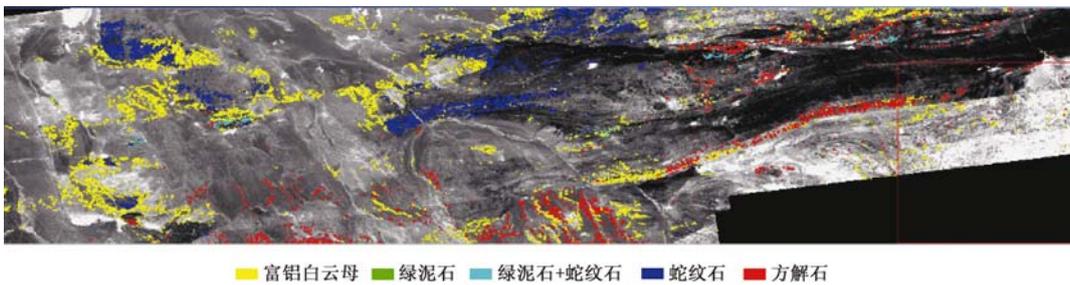


图8 矿物填图结果

Fig. 8 Mapping results for mineral

统计结果中1的个数 n ,则岩性信息识别精度可定义为: $w = \frac{n}{N} \times 100\%$ 。

对比结果并非完全一致,其中蛇纹石的填图效果一致性最高;绿帘石的分布范围一致,但本次数据的填图结果显示的范围较大;白云母的分布范围基本一致,但贫铝白云母和富铝白云母的分布范围有些混淆。经过对比分析,本次数据和前人数据填图范围的一致性达到89%,基本满足高光谱数据的填图要求。引起误差的主要原因为:分辨率越高的数据填图效果越好,辐射校正的精确程度影响填图的效果,各种分类方法中参数的选取决定了分类效果。

3.4 远景成矿区预测技术流程

高光谱远景成矿区预测主要是在已生成的构造信息产品、岩性信息产品和矿物信息产品的基础上,结合物化探资料和其他地质资料,综合考虑各种因素最终形成高光谱远景成矿预测产品(见图9)。

3.4.1 化探数据处理流程

本文采用均值+2倍标准差作为研究区化探数据的异常下限值。利用Sufer软件对原始数据进行网格化并做出异常等值线图,以异常规模的大小为标准对异常区域进行分级。

3.4.2 远景成矿区预测成果

以东天山地区黄山—黄山东矿区典型矿床的分析成果为基础,以区域成矿规律和成矿地质背景为依据,基于高光谱遥感数据进行蚀变矿物信息提取的综合空间分析,依据不同的蚀变矿物确定变量及其域值^[6](见图10)。

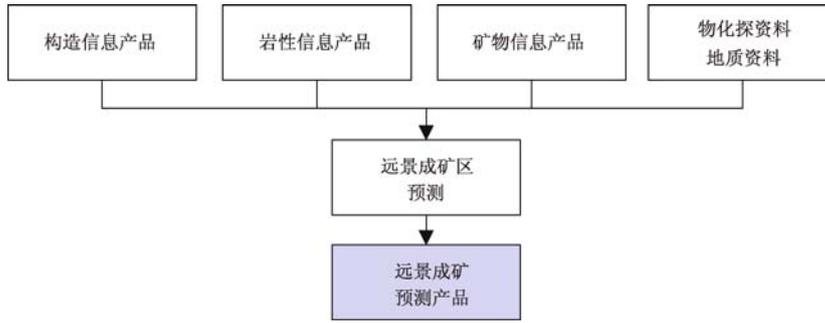


图9 远景成矿区预测产品

Fig.9 Prediction production of metallogenic province

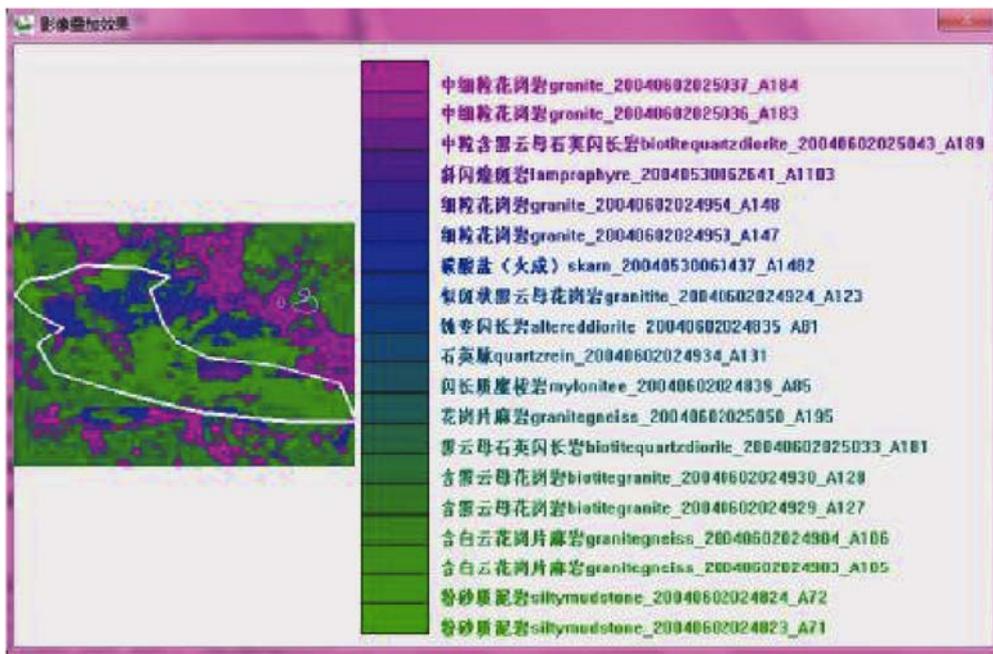


图10 远景成矿预测结果

Fig.10 Minerogenetic prospect prognostic map

4 矿产资源高光谱遥感探测技术流程总结

本文分别研究了构造信息产品、岩性信息产品、矿物信息产品和远景成矿区预测等关键技术节点。各技术节点获取不同的信息产品，层层递进，构成了矿产资源高光谱遥感探测技术流程（见图11）。

5 结论

本文在地质勘查遥感系统地质应用的基础上，研究了构造信息产品、岩性信息产品、矿

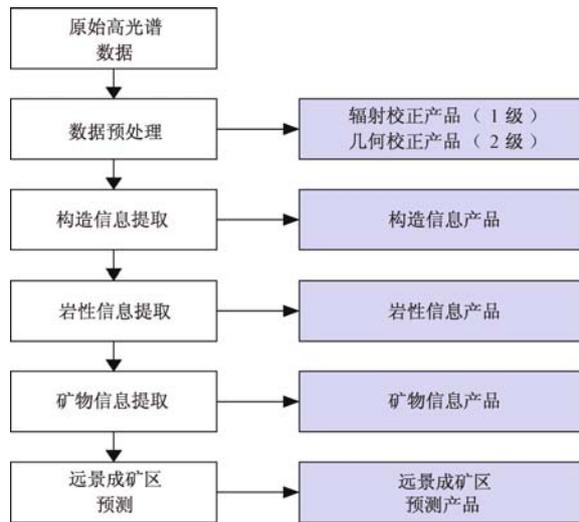


图 11 矿产资源高光谱遥感探测应用技术流程

Fig. 11 Processes for application technology of mineral hyperspectral remote sensing survey

物信息产品和远景成矿预测产品生成的技术流程,最终得到了矿产资源高光谱遥感探测技术流程。

选取新疆东天山土墩地区为研究区,对各技术流程及填图结果进行了验证。结果表明,本文总结的各类产品生成流程方便实用,填图结果比较精确,为今后的遥感地质找矿和矿产资源勘查提供了便利的方法和流程。

参 考 文 献

- [1] 李志忠,杨日红,党福星,等. 高光谱遥感卫星技术及其地质应用 [J]. 地质通报, 2009, 28 (2/3): 270 ~277.
LI Zhi-zhong, YANG Ri-hong, DANG Fu-xing, et al. Hyperspectral remote sensing satellite technology and its geological application [J] Geological Bulletin of China, 2009, 28 (2/3): 270 ~277.
- [2] 周强,甘甫平,陈建平,等. 哈密土墩矿区高光谱影像蚀变矿物识别初步研究 [J]. 矿床地质, 2006, 25 (3): 329 ~336.
ZHOU Qiang, GAN Fu-ping, CHEN Jian-ping, et al. Application of hyper spectral imaging data to mineral identification in Tudun Cu Ni deposit, Hami, Xinjiang [J] Mineral Deposits, 2006, 25 (3): 329 ~336.
- [3] 常睿春,何政伟,王茂芝. 蚀变矿物信息与构造在高光谱遥感找矿中的应用初探 [J]. 国土资源科技管理, 2012, 29 (6): 84 ~87.
CHANG Rui-chun, HE Zheng-wei, WANG Mao-zhi, Application of Altered mineral information and structure tohyperspectral remote sensing prospecting. [J] Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2012, 29 (6): 84 ~87.
- [4] 甘甫平,熊盛青,王润生,等. 高光谱矿物填图及应用示范 [M]. 北京:科学出版社, 2014.
GAN Fu-ping, XIONG Sheng-qing, WANG Run-sheng, et al. Hyperspectral mineral mapping and application demonstration [M], Bei Jing; Science Press, 2014.
- [5] 唐攀科,李永丽,李国斌,等. 成像光谱遥感技术及其在地质中的应用 [J]. 矿产与地质, 2006, 20 (2): 160 ~164.
TANG Pan-ke, LI Yong-li, LI Guo-bin, et al. Imaging spectrometry remote sensing technology and its applications in geology [J], Mineral Resources and Geology, 2006, 20 (2): 160 ~164.

- [6] 吕凤军, 郝跃生, 石静, 等. ASTER 遥感数据蚀变遥感异常提取研究 [J]. 地球学报, 2009, 30 (2): 271 ~276.

LÜ Feng-jun, HAO Yue-sheng, SHI Jing, et al. Alteration remote sensing anomaly extraction based on Aster remote sensing data. [J]. Journal of earth, 2009, 30 (2): 271 ~276.

RESEARCH ON THE PROCESSING OF PRODUCING MINERAL AND GEOLOGICAL INFORMATION BASED ON REMOTE SENSING PROCESSING SYSTEM FOR GEOLOGICAL EXPLORATION

WANG Da-ming¹, XIAO Zheng-hao²

(1. Oil & Gas Survey, CGS, Beijing 100029, China;

2. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Hyperspectral remote sensing has become an important tool for geological prospecting. This study researched the technique flow, including geological structure information, lithology information, mineral information and metallogenic prediction, by using hyperspectral remote sensing based on the application of remote sensing processing system to geological exploration. Tuguo area in Xinjiang is chosen for comparing the processing and the result of mapping with previous studies, and good effects are got. The results in this study show that this processing is advisable and the way of information extraction is accurate. This processing can be used as the main technical methods of mineral resources investigation.

Key words: remote sensing processing system for geological exploration; production of mineral and geological information; operational process