信息技术(

多源地学信息图像复合处理技术在区域成矿统计预测 中的应用研究—以冀北张家口金矿集中区为例

韩先菊,卿 敏,汤媛媛,张慧玉

(武警黄金地质研究所,河北廊坊 065000)

[摘 要]本文以冀北金矿集中区为例,利用系列遥感影像图,开展构造、岩性解译和蚀变信息提取; 根据航磁△T、甚低频垂直虚分量和航放 K/Th 彩色密度分割图像,提取与金矿化有关的地球物理成矿 预测变量。综合遥感及地质、矿产、物探、化探等图像资料,在区域金矿成矿理论指导下,以数字图像处 理技术为手段,进行图像之间的复合处理,开展区域金矿成矿规律分析,提取区域金矿找矿预测评价标 志(变量)。采用信息量法、特征分析法和见矿概率回归估计法等方法开展金矿成矿统计预测,圈定13 处找矿远景区。

[关键词] 多源地学数据 数字图像处理 金多金属矿产 统计预测
 [中图分类号]P617
 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2014)增刊-1424-06

Han Xian-ju, Qing Min, Tang Yuan-yuan, Zhang Hui-yu. Application of compounded-processing technology based on multiple geological information images to regional metallogenic statistical prediction: An example of the Zhangjiakou gold field in northern Heibei Province [J]. Geology and Exploration, 2014, 50 (Supp.): 1424 – 1429.

地学数据是典型的多源空间数据,可分为以下 几类:(1)地质、物探、化探等测量数据;(2)地形 图、地质图、遥感图等图形、图像数据;(3)各种经验 性、描述性数据,如某地区断裂发育,某矿床属于大 型矿床等等。显然这些数据有不同的数量级、不同 的物理量纲,需要选取合适的参量,使这些不同的数 据源能反映同一目标体(地质体)。信息图像就是 统一这些多源地学数据源的有效方法,区域矿产资 源地学信息综合预测方法就是利用多源地学信息图 像开展区域成矿统计预测,圈定找矿远景区。

区域矿产多源地学信息综合预测基本方法流程 为:多源地学信息原始数据的采集→多源地学数据 图像的配准→多源地学数据图像复合处理→金矿区 域成矿规律分析及找矿预测。而多源地学数据图像 处理是其中核心技术和关键环节,关系到最终成矿 远景区统计预测成败。

多源地学信息图像复合处理技术是利用数字图 像处理技术,对与金多金属矿成矿作用有关的地质 及遥感、物探、化探以及矿产数据或资料进行处理、 分析,并以图像方式直观表达,从信息图像开展金矿 成矿规律分析,提取找矿标志(预测变量)。多源地 学信息图像复合处理技术既不同于一般的数据处 理,也不同于一般的图像处理,它是在区域金矿成矿 理论指导下,以数字图像处理技术为手段,并结合地 学相关专业学科特点,对所取得的地质及矿产、遥 感、物探、化探等数据图像资料进行分析、综合和推 演,为开展区域金多金属成矿统计预测变量(找矿 标志)优选提供有效、直观的信息。

本文以冀北张家口金矿化集中区为例,系统阐 述多源地学信息图像复合处理技术在圈定区域金矿 找矿远景区中的应用流程。

1 冀北张家口金矿集中区地质概况

研究区位于华北陆块北缘张家口金矿化集中 区,河北崇礼县下两间房-转枝莲地区(图1)。区 内及其附近外围分布着东坪特大型金矿,小营盘、张 全庄、水晶屯、中山沟、黄土梁等一批大、中型石英 脉、钾长石石英脉和钾化构造破碎蚀变岩型金矿床。

区内出露地层主要有太古界、元古界变质岩系, 盆地地区不整合覆盖有中、新生界碎屑岩系沉积地

[[]收稿日期]2014-03-28;[修订日期]2014-09-16;[责任编辑]郝情情。

[[]第一作者] 韩先菊(1969年-),女,高级工程师,主要从事遥感图像处理工作。E-mail:QM. HXJ@163. com。



图1 冀北张家口金矿集中区地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of the Zhangjiakou gold concentration area

1-新生界;2-中生界;3-中元古界;4-早元古界;5-太古界;6-燕山期钾长花岗岩;7-燕山期花岗斑岩;8-海西期二长斑岩;9-元古 宙角闪二长岩;10-元古宙二长花岗岩;11-元古宙石英二长岩;12-元古宙环斑花岗岩;13-元古宙正长岩;14-大型(特大型)金矿床;15 -中型金矿床;16-小型金矿床;17-深大断裂构造带;18-断裂构造带;19-研究区范围

1 - Cenozoic erathem; 2 - Mesozoic erathem; 3 - Mesoproterozoic; 4 - Early Proterozoic; 5 - Archeozoic; 6 - Yanshanian K-feldspar granite; 7 - Yanshanian granite porphyry; 8 - Hercynian monzonite porphyry; 9 - Proterozoic hornblende monzonite; 10 - Proterozoic monzonite granite; 11 - Proterozoic quartz monzonite; 12 - Proterozoic annular porphyritic granite; 13 - Proterozoic syenite; 14 - large (super large) gold deposits; 15 - me dium gold deposits; 16 - small gold deposits; 17 - deep fault structural zone; 18 - fault structural zone; 19 - study area

层。东西向尚义 - 赤城 - 崇礼 - 平泉深断裂从区域 北部穿过,其次级近东西、北东、北西以及近南北向 断裂构造发育,对区域岩浆 - 金矿化具有重要控制 作用。

区域元古宙和中生代的侵入岩最发育,其次为 海西期。元古宙侵入岩(γ₂)沿尚义 - 赤城深断裂 带分布,构成水泉沟 - 大南山偏碱性杂岩带和小张 家口、镇宁堡 - 赤城两个超基性岩带。海西期侵入 岩(γ₄)分布在尚义 - 赤城深断裂带以北,多为规模 较大的岩株、岩基状花岗岩类。燕山期侵入岩(γ₅) 多呈北东 - 北北东向展布的小岩株、岩枝,突出特征 为斑状结构,岩性以中酸性和偏碱性为主,如钾长 花岗斑岩、二长花岗斑岩、石英正长斑岩等,多呈隐 伏、半隐伏状,与成矿关系密切。

2 单一地学数据源图像处理和分析

多源地学信息原始数据源中,地质图、矿产图等 可作为统计分析数据信息图像直接利用,而遥感、地 球物理以及地球化学数据源则需要在原始测量数据 基础进行必要的处理,从中提取成矿预测变量,形成 统计预测可资利用信息图像。

2.1 遥感数据处理

遥感图像包含了丰富的构造、岩性和蚀变信息, 与金多金属矿化关系密切。

2.1.1 综合遥感图像解译

利用不同遥感数据源,包括ETM、ASTER、 SPOT、QUICK – BIRD和WORLDVIEW – 2等卫星数据,进行基础图像合成和严格的校正配准,形成一系 列质量较好、可供解译的标准的遥感影像图。

地质研究表明,不同规模断裂构造、(燕山期) 小侵入岩体以及古老变质岩系与金矿化关系密切。 利用系列遥感标准图像,一是开展构造信息提取,包 括线性构造带,非带状线性构造但规模较大者,规模 较大的环形(弧形)构造或微(小)型环形构造群。 二是岩性提取(尤其是侵入岩提取),包括古老变质 岩系及其晚期盖层,侵入岩、尤其是推断隐伏侵入岩 提取。综合上述成果资料,编制研究区遥感解译综 合图(图2)。

2.1.2 蚀变信息提取

利用多波段遥感数据,尤其是高光谱遥感数据 开展蚀变信息提取,可以有效识别(提取)与羟基 OH⁻、CO₃⁻ 有关的蚀变以及与铁有关的蚀变(童庆 禧等,2006;田国良等,2006;韩先菊等,2010,2012)。

研究区与金矿化关系密切蚀变类型主要为硅 化、钾化、绿泥石化、高岭土化等(邓乃达等, 1988)^①。本次试验采用 ETM 数据,依据研究区典 型矿床蚀变岩波谱特性的实测结果(图3),设计符 合本区实际的蚀变提取方法。通过比值分析、主成 分分析、K-L变换,图像掩膜技术,并最后进行灰度 处理,获得研究区蚀变发育程度图,图像亮度值越高 则蚀变越强烈(图略),据此提取矿化蚀变带。

2.2 物探数据的处理

首先对原始物探测量数据进行校正配准、网格 化,然后对网格化后的数据进行傅氏变换、滤波等 各种处理。目的是获取金矿床产出的地球物理环 境,为找矿远景区筛选提供有益的信息。



图 2 河北省崇礼县下两间房 - 转枝莲地区遥感解译综合图

Fig. 2 The remote sensing interperation composite map of Xialiangjianfang-Zhuanzhilian area in Congli

county, Hebei Province

1-第四系;2-侏罗系;3-中元古界;4-早元古界;5-太古界;6-燕山期正长斑岩;7-燕山期钾长花岗岩;8-燕山期辉石闪长 岩;9-元古宙环斑花岗岩;10-元古宙二长花岗岩;11-元古宙正长岩;12-元古宙辉石角闪二长岩;13-元古宙角闪二长岩;14 -元古宙石英二长岩;15-二长杂岩体混染带;16-大型(特大型)金矿床;17-中型金矿床;18-小型金矿床;19-金矿化点;20

- 深大断裂构造带;21 - 遥感解译线性构造带;22 - 遥感解译环性 - 弧形构造带;23 - 地质界限;24 - 不整合地质界限
1 - Quaternary; 2 - Jurassic; 3 - Mesoproterozoic; 4 - Early proterozoic; 5 - Archeozoic; 6 - Yanshanian syenite porphyry; 7 - Yanshanian K-feldspar granite; 8 - Yanshanian gabbro diorite; 9 - Proterozoic annular porphyritic granite; 10 - Proterozoic monzonite granite;
11 - Proterozoic syenite; 12 - Proterozoic gabbro hornblende monzonite; 13 - Proterozoic hornblende monzonite; 14 - Proterozoic quartz monzonite; 15 - mixed zone of monzonite complex; 16 - large (super large) gold deposits; 17 - medium gold deposits; 18 - small gold deposits; 19 - gold mineralized points; 20 - deep fault structural zone; 21 - linear structure zone of the remote sensing interperation; 22 - annular-arc structure zone of remote sensing interperation; 23 - geological boundary; 24 - unconformitg



图 3 研究区典型金矿蚀变岩光谱曲线

Fig. 3 The Spectral curves of representative altered rocks in study area

SD9、SD10 - 东坪金矿床 1 号脉硅化蚀变岩; SS3、SS4、SS6、SS7 - 水晶屯金矿床 2 号脉钾化蚀变岩; SZ1、SZ2 - 中山沟

金矿床绿泥石化蚀变岩;SZ4 - 中山沟金矿床高岭土化蚀变岩

SD9,SD10 - Silicated altered-rocks from No. 1 vein in Dongping gold deposit; SS3,SS4,SS6,SS7 - potassium mineralization altered-rocks from No 2 vein in Shuijingtun gold deposit; SZ1,SZ2 - Chloritization altered-rocks from Zhongshangou gold de posit; SZ4 - Kaolinization altered-rocks from Zhongshangou gold deposit

本次收集到研究区 1/2.5 万综合航空物探数 据,通过航磁△T彩色密度分割图像,发现绝大多数 金矿床均位于正或负高磁异常的周边(图略)。在 经 Fraser 滤波处理后的 1/2.5 万航空甚低频垂直虚 分量彩色密度分割图像中,金矿床均位于高值区域, 而高值区(白色或红色区域)代表低阻体的位置(推 测主要为断裂构造破碎带)(图略)。在 1/2.5 万航 放 K/Th彩色密度分割图像中,几乎所有金矿床 (点)位于 K/Th比值的高值区(白、黄色区域),而 无矿化的中生代盆地中 K/Th 则表现为低值(图 略)。

2.3 化探数据处理

从 Au 及相关元素(Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、 Al、Si、K)的地球化学测量数据,根据区域背景,确 定异常下限,形成不同元素异常图像,对图像进行 校正配准,开展成矿指示元素分析。已发现金矿床 (点)位于 Au 及相关元素(Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、 Hg、Al、Si、K等元素异常区内。

3 多源地学信息图像复合处理和分析

对单一地学原始数据采集和预处理后形成的各种数字化图像,首先必须经过图像的几何校正、镶嵌 及配准,然后进行多源数据复合处理,开展成矿规律 和找矿信息的综合分析。

(1)应用遥感数字图像处理方法,将地质图像与 遥感信息图像叠加、复合、融合,进行综合分析,总结 出金矿成矿有利部位,包括:①两组深大断裂相交汇 的楔形区域,且发育多组相交汇的次级线性构造;② 大中型环形构造边缘并发育有微小环形构造群。

(2)遥感数据图像与物化探数据图像之间的处理,可以采取简单的叠加,也可以通过小波变换、主成分分析、HIS变换等进行融合处理。找出物化探异常及矿化蚀变信息的空间分布和组合规律,解释异常成因,追索异常源。

图像复合处理发现,遥感解译的主要线性构造 带与航磁反映的线性构造带一致,同时也显示了遥 感解译环形构造与高磁场对应的特点。复合图像显 示了金重砂异常、金化探异常、航磁沿断裂分布的特 点,金矿点也有成带性分布的特点,显示了断裂带控 制了金重砂异常、金化探异常及金矿点分布规律,断 裂带是重要的控矿构造。

(3)多源地学数据融合处理结果发现,成片分布的金化探及金重砂异常区域,以及高磁场或磁场梯度带和遥感蚀变信息分布区域吻合较好,是成矿有利部位。

从上述规律和认识,总结出区域矿产成矿预测 找矿标志,优选出下一步开展矿床统计预测变量。 需要说明的是,传统的图件套合分析是一种静态的 叠合分析,而本文采用的图像复合处理则是动态的 复合分析,即利用数学解析的方法(如主成分分析、 比值分析等),对各种数据及由图像分析所派生的 或提取的二次信息进行比较、综合、演绎,建立相应 的空间结构模型,为成矿规律分析,找矿评价指标选 取和开展统计预测提供基础信息。 4 成矿远景区统计预测

为定量描述多源地学信息的地质意义、相互关系 和成因联系,在模型区建立概率统计模型基础上,利 用统计预测方法,开展成矿预测,圈定找矿远景区。

4.1 方法概述

根据收集整理到的地理、地质、矿产、物探、化探、 遥感等信息数据,基于 GIS 建立地学空间数据库,采 用信息量法、特征分析法、见矿概率回归估计法等多 种方法进行预测(赵鹏大等,1983;王世称等,1989, 1990),再根据各方法的预测结果综合评价找矿意义。

(1) 信息量法

① 计算各地质因素及找矿标志所提供的找矿信息量,筛选出与矿化关系密切的变量;② 计算每个单元中各标志信息量的总和,进而圈定找矿远景区。

(2) 特征分析法

通过建立某一类型矿床的特征模型来达到预测 该类型矿床的目的。

(3) 见矿概率回归估计法

通过研究见矿概率与各地质变量之间的相关关 系而建立见矿概率(有矿概率、无矿概率)的回归模型,进而进行成矿预测。

4.2 具体工作步骤

(1) 单元划分

1:50000 比例尺一般以 1 km × 1 km = 1 km² 为 单元尺寸。

(2) 变量的选取及赋值

该步骤是矿床统计预测的关键,本文通过大量 的地质、物探、化探及遥感信息之间的叠加、复合处 理,目的就是要查明各变量之间的内在联系及其控 矿规律,从中优选出有指示意义的、控矿能力较强的 因素构成成矿预测变量。为统一量纲,各变量采用 0、1 赋值方法,即图像单元中存在变量取值1,不存 在取值0。

(3) 模型单元的选择

 包含已知的金矿点;② 模型单元与预测单 元在成矿条件上具有可比性;③ 模型单元有一定的 研究程度;④ 所选单元在时间上及空间上有代表 性。

(4) 成矿预测数学模型的建立

选取具有代表性且研究程度较高的模型单元, 建立用于统计预测的成矿信息量模型、成矿单元特 征模型、有矿概率回归模型、无矿概率回归模型。

(5) 成矿远景区的圈定

根据建立的成矿信息量模型、成矿单元特征模型,有矿概率、无矿概率的回归模型,定量求得研究 区划分的每个单元的成矿信息量、成矿关联度、有矿 和无矿概率。各单元的成矿信息量、成矿关联度和 有矿概率越大,无矿概率越小,则该单元成矿有利度 越大,越具成矿远景。

4.3 预测效果

研究区成矿信息量彩色密度分割图(图4),与 相应的成矿关联度(图略)和有矿概率(图略)彩色 密度分割图像对应性很好。根据成矿有利单元相对 集中分布的特点及各有利成矿单元的数量和情形, 共圈出了13处成矿远景区,A 类3处,B 类3处,C 类7处(图5)。通过远景区进行野外查证,提供两 处可供进一步工作的金矿找矿靶区。



图 4 研究区成矿信息量彩色密度分割图像

Fig. 4 The metallogenic information color density-slicing image of the study area

1-最有利成矿区;2-有利成矿区;3-较有利成矿区;4-成矿不利区

1 - the most favorable metallogenic area; 2 - the favorable metallogenic area; 3 - the more favorable metallogenic area; 4 - the

unfavorable metallogenic area



图 5 研究区金矿成矿远景区分布图

Fig. 5 The distribution map of metallogenic prospective provinces in study area

1-A 类远景区;2-B 类远景区;3-C 类远景区

1 - Class A prospective areas; 2 - Class B prospective areas; 3 - Class C prospective areas

[注释]

 邓乃达.1988.冀北东坪金矿床成矿地质特征与预测研究报告. 武警黄金地质研究所科研报告

[References]

- Tong Qing-xi, Zhang Bin, Zheng Lan-fen. 2006. hyperspectral remote sensing [M]. Beijing; Higher Education Press; 1 - 100
- Tian Guo-liang. 2006. Thermal infrared remote sensing [M]. Beijing: Electronic Industry Press: 1 - 100 (in Chinese)
- Han Xian-ju, Liu Yang, Zhang Hui-yu, Zhao Yu-suo. 2010. An attempt of extracting alteration information from Aster date in forest-covered regions: a case study of the Jinchang gold field in Dongning county, Heilongjiang province [J]. Geology and Exploration, 46 (Supp.): 1295 - 1300
- Han Xian-ju, Tang Yuan-yuan, Zhang Hui-yu, Fan Jun-jie. 2012. The applying study of WORLDVIEW 2 date in exploration: taking the Jin-shuiquan gold field as an example [J]. Mineral Deposits, 31 (Supp.):124 128(in chinese with English apstract)
- Zhao Peng-da, Hu Wang-liang, Li Zi-jin. 1983. Statistical prediction of ore deposits[M]. Beijing: Geological Publishing Press: 1 - 100 (in chinese)

Wang Shi-cheng. 1989. The evaluation methods of comprehensive informa-

tion on gold resources. Changchun: Jilin science and Technology Press: 1-100(in chinese)

Wang Shi-cheng, 1989. The interpretation theory of comprehensive information and the methods of mineral prediction maps compiling[M]. Changchun; Jilin University press: 1 - 150

[附中文参考文献]

- 童庆禧,张兵,郑兰芬.2006.高光谱遥感的多学科应用[M].北京:高 等教育出版社:1-100
- 田国良.2006.热红外遥感[M].北京:电子工业出版社:1-100
- 韩先菊,刘烊,张惠玉,赵玉琐.2010.森林覆盖区利用 ASTER 数据提 取蚀变信息的实验研究 - 以黑龙江省东宁县金厂金矿区为例 [J].地质与勘探,46(增刊):1295 - 1300
- 韩先菊,汤媛媛,张慧玉,范俊杰.2012.WORLDVIEW-2数据在地质 找矿中的应用-以金水泉金矿区为例[J].矿床地质,31(增 刊):124-128
- 赵鹏大,胡旺亮,李紫金.1983. 矿床统计预测[M]. 北京:地质出版 社:1-100
- 王世称.1989.综合信息解译原理与矿产预测图件编制方法[M].长春:吉林大学出版社:1-100
- 王世称.1978.金矿资源综合信息评价方法[M].长春:吉林科学技术 出版社:1-150

Application of the Compounded-Processing Technology Based on Multiple Geological Information Images to Regional metallogenic Statistical Prediction: An Example of the Zhangjiakou Gold Field in Northern Heibei Province

HAN Xian-ju, QING Min, TANG Yuan-yuan, ZHANG Hui-yu

(Gold Geological Institute of CAPF, Langfang, Hebei 065000)

Abstract: Taking the gold field in the northern Heibei Province as an example, based on a series of remote sensing images, the author interpreted the geological structure & lithology and extracted alteration information; Based on aeromagnetic ΔT , very low frequency method (VLF) vertical imaginary component and airborne gamma-ray energy spectrum K/Th multicolor density-slicing images to extract the geophysical metallogenic prediction indexs that related to the gold mineralization. Integrated images data of the remote sensing, geology, minerals, geophysics and geochemistry, directed by regional gold metallogenic theory, by means of the images processing technology to compound treatment images, carry on regional gold metallogenic regularity analysis and extract regional gold prospecting prediction evaluating symbol (indexs). Using information method, characteristic analysis method and discovery probability regression estimation method to carry out statistical prediction of gold mineralization, and delimitate 13 prospective provinces.

Key words: multiple geological date, digital image processing, gold-polymetellic ore deposits, statistical prediction