

近红外光谱分析在毕力赫金矿预测中的应用

孟 恺^{1,2}, 申俊峰^{1,2}, 卿 敏³, 吴学丽^{1,2}, 睢程晨^{1,2}, 刘 倩^{1,2}

1. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院 地质过程和矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国地质大学(北京) 深部过程与探测技术教育部重点实验室, 北京 100083;

3. 武警黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000

摘要:近红外矿物分析技术在澳大利亚、加拿大等国已经成为矿产勘察的主要技术手段之一, 利用该技术可以快速识别蚀变矿物及其组合, 提取与成矿有关的重要信息。本次工作的目的是寻找内蒙古毕力赫金矿的接替资源。利用南京地质矿产研究所研制的 BJ KF-1 型近红外矿物分析仪勘查了毕力赫金矿区的蚀变矿物。结果表明, 该仪器能有效地识别蒙脱石、伊利石、次生石英、绢云母和高岭石等蚀变矿物, 依据其特征吸收峰峰位和强度判断蚀变矿物的分布特点。根据上述五种蚀变矿物分布特点预测该区西南部、北西部和矿区 26 号脉的北西—南东延伸部位属于蚀变较强地区, 为矿化有利部位, 值得进一步勘查。

关键词:近红外矿物分析; 蚀变; 内蒙古毕力赫

中图分类号: P618.51 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2009)02-0147-10

The Application of Near-Infrared Spectral Analysis in Exploration of Gold Mine in Bilihe

MENG Kai^{1,2}, SHEN Jun-feng^{1,2}, QIN Min³, WU Xue-li^{1,2}, JU Cheng-chen^{1,2}, LIU Qian^{1,2}

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of

Geosciences, Beijing 100083, China 2. China University of Geosciences, Key Laboratory

of Lithospheric Tectonics and Exploration, Ministry of Education, Beijing 100083,

China 3. Gold Geological Institute of CA PF, Langfang, Hebei 065000, China

Abstract: Near-Infrared Spectral Mineral Analysis technology has already become one of the most important methods in the mineral exploration in the developed countries, such as Australia, Canada and US. This technology can rapidly identify alteration minerals and their combinations, and such can reveal significant information about mineralization. A BJ KF-1 type Near-Infrared Spectral Mineral Analyzer, made by Nanjing Institute of Geology & Mineral Resources, was used to investigate alteration minerals collected from Bilihe gold mine in Inner-Mongolia. The results indicated that this analyzer can efficiently recognize 5 types of alteration mineral, montmorillonite, illite, quartz, sericite, kaolinite, and the distribution characteristics of the alteration minerals can be estimated by the location of absorptive peaks and the intensity of peak values. According to the distribution characteristics of the 5 kinds of alteration mineral, we predicted that the Southwestern, the Northwestern of Bilihe gold mine and the NW-SE extension area of the 26th lode are the areas of stronger alteration and of being apt to mineralize.

Key words: near-infrared mineral analysis; alteration minerals; Inner-Mongolia; Bilihe

收稿日期: 2008-04-16 收到, 12-24 改回

第一作者简介: 孟恺(1982—), 硕士, 矿物学专业。E-mail: michael.mengkai@yahoo.com.cn.

通讯作者: 申俊峰(1963—), 教授, 矿物学专业。E-mail: shenjif@cugb.edu.cn.

近红外光谱分析技术是近年来发展并逐渐成熟的一种矿物岩石特征识别与测量技术。其理论基础是:矿物晶格中离子(离子团)间化学键的弯曲和伸缩可以对某些波段的红外光进行特征吸收,因而可以区分不同矿物种属或识别同种矿物结晶度的差异^[1]。

实践证实,层状硅酸盐、碳酸盐、硫酸盐等许多矿物都会在近红外波段产生特征吸收^[2]。特别是与金属矿化相关的蚀变区带的含水矿物,由于矿物含量和结晶程度的差异而表现出红外光谱的明显不同^[3]。因此,该技术在矿化蚀变识别、成矿预测等方面具有广阔应用前景。

资料表明,澳大利亚、美国和加拿大等发达国家,在利用近红外分析技术进行成矿预测方面已有诸多经验,取得了大量成果^[3]。采用澳大利亚开发生产的 PIMA (Portable Infrared Mineral Analyzer) 仪进行找矿勘察,特别是在金矿预测中积累了很多成功经验^[3]。我国尚处于起步阶段。

目前,南京地质矿产研究所自行研制的便携式近红外矿物分析仪(BJ KF-1 型)已投入使用,其性能可与 PIMA 相媲美^[4]。本文是利用该仪器在内蒙古毕力赫金矿进行的勘察的总结。

1 毕力赫金矿地质背景

工作区位于内蒙古自治区锡林郭勒盟苏尼特右旗境内。西距集二线朱日和车站 65 km,北西距苏尼特右旗所在地赛汗塔拉 90 km,南距镶黄旗政府所在地新宝力格镇 35 km。

1.1 区域地质概况

矿区位于华北地台北缘中西段温都尔庙造山带上,属古亚洲构造域的一部分。北侧为贝尼奥夫带。该带在中生代受滨太平洋构造域叠加。区域出露地层主要有上石炭统阿木山组($C_3 a$)、下二叠统额里图组($P_1 e$)、于家北沟组($P_1 y$)、上侏罗统玛尼图组($J_3 mn$)、白音高老组($J_3 b$)、白垩系下统九佛堂组($K_1 j$)等一套火山岩和火山碎屑岩组合,以及新生界古近系-新近系和第四系冲积物覆盖。侵入岩主要为灰白色中细粒黑云母石英闪长岩和砖红色花岗斑岩,受北东向构造控制,为印支期—燕山期产物。另外还有一些与之相伴的中基性岩脉。

依据不同地质发展阶段构造演化、岩浆活动和沉积建造特点,区域上分为查干忽热-敖包乌苏复背

斜和都仁乌力吉-巴彦得力格中生代火山盆地和中、新生代断陷盆地等构造单元。毕力赫金矿产于都仁乌力吉-巴彦得力格中生代火山盆地东南边缘。本区自古生代以来,经历了比较复杂的构造变动,以印支期—燕山期频繁的岩浆侵入和强烈的火山活动为特色,有与之相关的岩浆热液或火山-次火山热液型 Au、Cu 矿床产出。

1.2 矿区地质特征

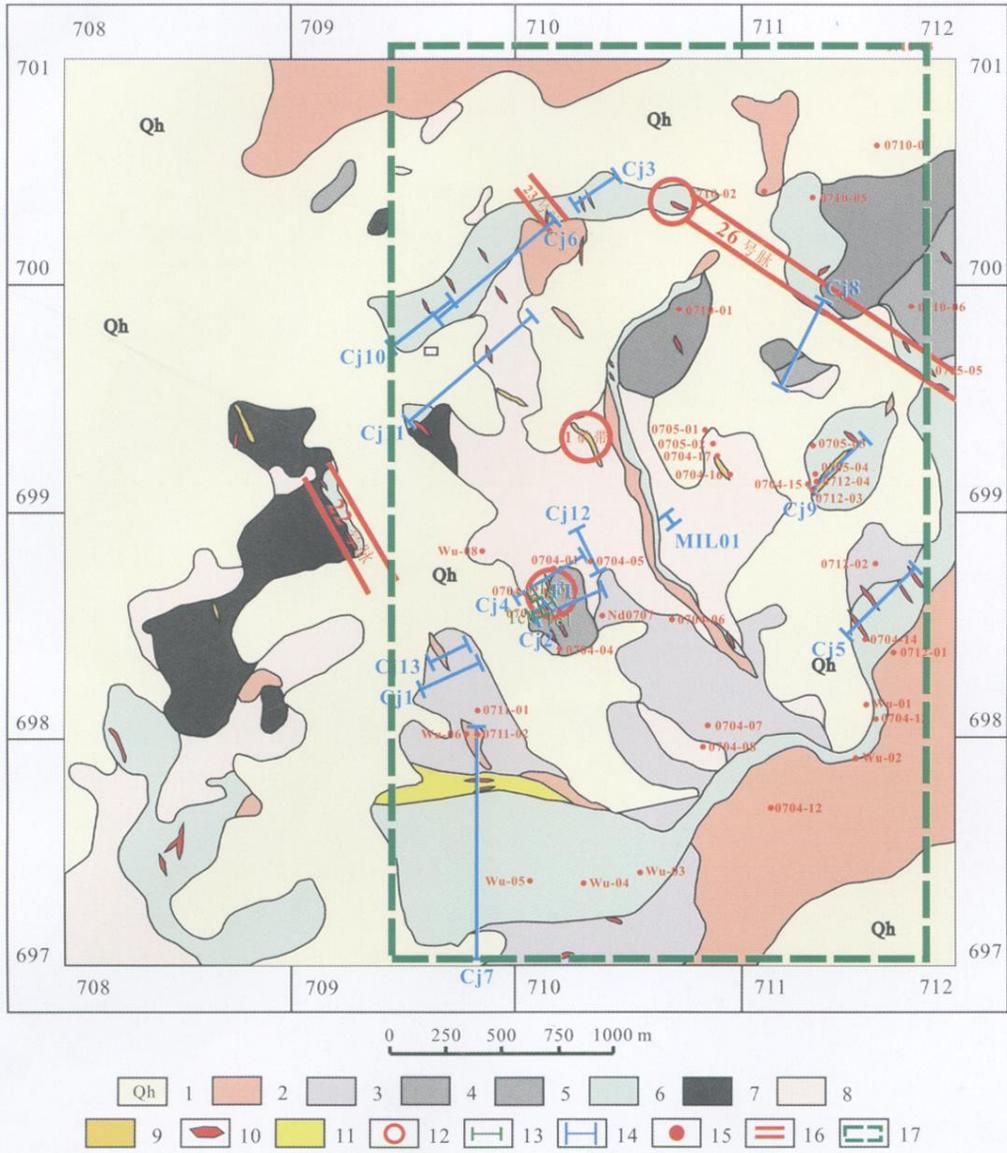
矿区位于都仁乌力吉-巴彦得力格火山盆地东南部,褶皱构造不发育。火山岩总体为向北西倾斜的单斜构造,火山岩基底为查干忽热-敖包乌苏复背斜的东南翼,为二叠系下统额里图组地层。断裂构造以北(北)西向为主(主断裂),次为北东向、东西向以及与火山活动有关局部发育的环状和放射状构造。北(北)西向断裂构造为区域北东向构造的次级构造,是矿区的主要控岩控矿构造。北东向构造断层规模小,仅局部可见,多为强烈挤压的片理化带。环状构造和放射状构造以毕力赫矿区中部 号矿带中的 号矿体和 26 号脉地表富矿包附近最为典型。矿区火山构造可分为火山颈和次火山岩岩体构造。火山以裂隙式喷发为主,在不同方向断裂构造交汇处形成小的喷发中心。

矿区地层以下二叠统碎屑沉积岩和上侏罗统火山岩系为主(图 1),前者包括额里图组和于家北沟组,后者主要有玛尼图组和白音高老组。下二叠统额里图组分布于矿区东部,岩性以粗碎屑岩为主夹少量沉凝灰岩。于家北沟组为浅色—暗灰红色为主的细碎屑岩。玛尼图组分布于矿区中部,不整合于额里图组砂岩之上,顶部与白音高老组酸性火山岩整合接触,岩性为灰绿、灰紫色(蚀变)安山岩,安山质角砾熔岩,黄绿色安山质火山角砾岩,灰白色玻屑凝灰岩,紫红、黑灰色安山岩,紫红灰色安山质(熔结)凝灰岩等。本组是矿体的主要围岩。

区内侵入岩主要为燕山期砖红色花岗斑岩。主要分布在矿区周边;矿区中部 号矿带上盘还有受北北西构造控制的中粗粒花岗斑岩岩脉。喷出岩主要是晚侏罗世玛尼图组中性火山岩,包括安山质角砾熔岩、安山玢岩质角砾熔岩和爆发相的火山碎屑岩类,本组是主要围岩。矿区北部及周边分布有晚侏罗世白音高老组中酸性火山岩和火山碎屑岩,主要为次火山岩相的安山玢岩和流纹斑岩等。此外,矿区广泛分布安山质角砾熔岩,包括安山质角砾熔

岩、辉石安山质角砾熔岩、玄武安山质角砾熔岩和角闪安山质角砾熔岩等。火山碎屑岩分布较广,但规模不大,以火山集块岩和火山角砾岩为主,此外有灰白色安山质凝灰岩和安山质熔结凝灰岩,它们的共同特点为具凝灰结构、火山角砾结构,块状构造或层状构造。区内安山玢岩质角砾熔岩呈红褐色,聚斑

结构,熔岩角砾构造、块状构造,与安山质角砾岩常为侵入接触。矿区安山玢岩质角砾熔岩不仅是主要矿体的赋矿围岩,其本身也是主要含金地质体之一。在地下浅部,该岩体全岩矿化。流纹斑岩主要分布于花岗斑岩外接触带,矿区 26 号脉南侧即与流纹斑岩呈断层接触。



1. 第四系; 2. 加布切尔包单元花岗斑岩; 3. 额里图组砂岩、板岩、变质砂岩; 4. 安山质火山角砾岩; 5. 玛尼吐组安山质角砾熔岩; 6. 白音高老组流纹岩、流纹斑岩、凝灰岩、凝灰质砂岩; 7. 胡尔嘎庙组玄武岩、安山质玄武岩; 8. 玛尼吐组安山岩; 9. 次安山岩、安山玢岩; 10. 石英脉、英安质细晶岩脉; 11. 构造破碎带; 12. 推断弧形或放射状裂隙; 13. 探槽; 14. 测线; 15. 测点; 16. 矿带; 17. 成图区域

1. Quaternary; 2. Jabuqieeraobao Unit granite porphyry; 3. Elitu Group: sandstone, slate, metasandstone; 4. Andesitic volcanic breccias; 5. Manitu Group: Andesitic breccia lava; 6. Baiyingaolao Group: rhyolite, rhyolite-porphyry, tuff, tuffaceous sandstone; 7. Hueramiaio Group: basalt, andesitic basalt; 8. Manitu Group: andesite; 9. Andesite, andesite-porphyrity; 10. Quartz vein, quartz andesitic aplitic dyke; 11. Structural fracture zone; 12. Inferred arc or actinoid Fracture; 13. Exploratory Trench; 14. Survey Line; 15. Survey Point; 16. Fahlband; 17. Mapping Area

图 1 矿区测线分布简图

Fig. 1 Sketch map of measuring line in the mining area

1.3 矿体特征

区内从玄武岩到流纹岩构成一套含 Au 火山建造。毕力赫金矿床主要赋存于晚侏罗世玛尼图组火山、次火山与火山碎屑岩系和隐爆角砾岩,其中蚀变火山岩、次火山岩和角砾岩是主要的含 Au 地质体;主要岩性有安山质角砾熔岩、安山玢岩质角砾熔岩、闪长玢岩和蚀变玄武质角砾岩等。

到目前为止,发现主要矿化蚀变带 5 条,即 I 号矿带、II 号矿(蚀变)带、26 号脉、23 号脉和 22 号脉。本次工作的范围见图 1。

目前开采的主要矿体均位于矿区中部的 I 号矿化蚀变带内,矿带总体北西走向,倾向北东,上盘与一花岗岩斑脉直接接触。富矿地段明显受北东和北西向构造交汇部位的火山机构控制,总体呈扁豆状。控制矿化范围长 150 m,宽 100 m。由后期活动的次火山岩墙(脉)和构造将其切割呈多个部分,共圈定 21 个矿体,主要矿体为 、 、 和 号 4 个矿体(表 1)。矿体形态复杂,多呈透镜状、脉状或囊状,走向北北西,一般倾向北东东,倾角中等,主要矿体有向南东侧伏的趋势。

表 1 毕力赫金矿 I 号矿带主要矿体特征一览表

Table 1 The Characteristics of main deposit body in the mine belt I of Bilihe Gold mine

矿体号	规模/m			产状	平均品位 ($\times 10^{-6}$)	品位变 化系数(%)	厚度变 化系数(%)	备注
	长度	厚度	延深					
110		15.44	65	63° 41°	9.93	147		采空
100		5.48	47	71° 65°	7.43			采空
97		6.31	90	63° 42°	3.51	145.86		采空
140		7.78	65	70° 41°~45°	4.41	144.37	46.33	大部采空

2 测试方法及结果

近红外光谱的波长为 780 ~ 2500 nm。在此波段中,对于近红外光谱产生吸收的官能团主要是含氢基团,包括 C—H(甲基、亚甲基、甲氧基、羧基、方基等)、羟基 O—H、巯基 S—H、氨基 N—H 等,它们的合频和一级倍频位于 1300 ~ 2500 nm 波段^[13]。因为矿物晶格中原子间的化学键的弯曲和伸缩吸收某些区域的近红外光谱,所以根据矿物某些官能团在近红外区域的这种特征吸收光谱可以区分不同的矿物,而同一矿物的不同结晶度表现在近红外光谱上是吸收峰的宽窄差异,结晶度越高吸收峰越窄。

利用这一方法可以区分层状硅酸盐中的单矿物(粘土矿物、绿泥石和蛇纹石等)、含羟基之硅酸盐矿物(绿帘石与闪石等)、硫酸盐矿物(明矾石、黄铁钾矾与石膏等)、碳酸盐矿物(方解石与白云石等);而矿物的结晶度显示矿化作用过程中热液蚀变体系结晶时的温度和化学环境,结晶过程也与蚀变体系中的粘土矿物有关,这是矿物近红外光谱揭示成矿规律的基础。

本次采用南京地质矿产研究所研制的 BJ KF-1 型红外矿物分析仪(表 2)。采样原则是:选择重点研究区域布置测线,点距一般为 8 m,在蚀变较强地

区加密至 4 m 或 1 ~ 2 m。测线均穿切蚀变带。本次共有测线 16 条,控制点样 39 个,共计扫描 938 件样品(图 1)。就地测量。每一块样品测试 6 个面。具体测量时适当调整样品的测量时间。测量时用随机携带的近红外矿物分析系统 1.0 软件进行解谱,并利用标准矿物谱线进行自动和人工反复比对,提取矿物特征识别信息(蚀变矿物种类、出现频率及特征峰强度、半宽、峰位移等信息)。用 surfer 软件进行矿物成图处理,并在矿区地质图上投影。

2.1 蚀变矿物种类

矿物分析识别软件自动识别发现,区内主要蚀变矿物有蒙脱石、伊利石、次生石英、绢云母和高岭石。它们的近红外特征谱线见图 2。

表 2 BJ KF-1 型近红外矿物分析仪主要性能参数

Table 2 The main performance parameters of the BJ KF-1 type Near-Infrared Spectral Mineral Analyzer

仪器测量范围	1300 ~ 2500 nm
仪器分辨率	< 8 nm
光谱采样间隔	> 8 nm
单个样品扫描的时间	< 1 min
适用工作环境温度	- 20 ~ 50
测量矿物种类	硅酸盐、碳酸盐、硫酸盐矿物等

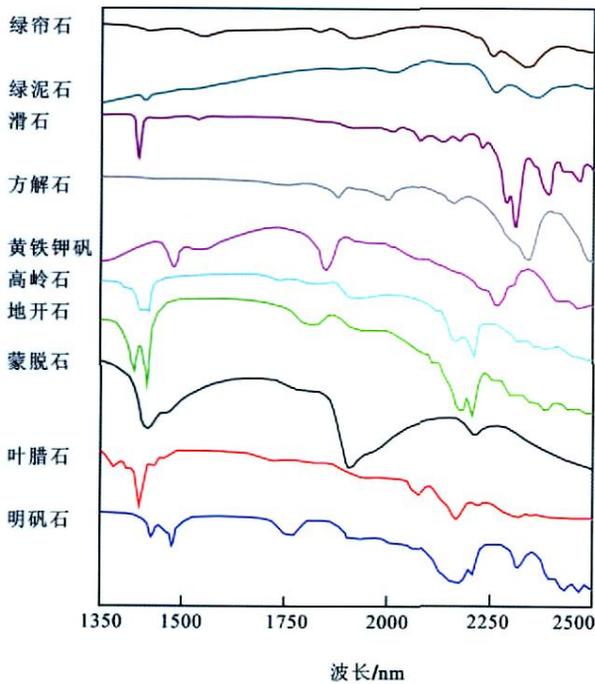


图2 矿物近红外特征谱线

Fig. 2 The mineral characteristic of near-infrared spectra

2.1.1 蒙脱石 化学分子式为 $E_x (H_2O)_4 \{ (Al_{2-x}, Mg_x)_2 [(Si, Al)_4 O_{10}] (OH)_2 \}$, 结构中的吸附水和晶格水显示 1423.5 nm 和 1915 nm 附近的吸收峰; 由于 Al—OH 的存在而在 2135 nm 附近出现明显的吸收峰。区内蒙脱石的富集与矿体的对应关系较好, 蒙脱石化高值区分布基本与矿体位置吻合, 可作为找矿标志^[23]。

2.1.2 伊利石 化学分子式为 $K_{1-x} \{ Al_2 [(Si_{3+x} Al_{1-x})_4 O_{10}] (OH)_2 \}$, 其中 $x = 0.25 \sim 0.5$ 。在 1910 nm 和 1940 ~ 1950 nm 附近出现 H₂O 吸收峰。由于伊利石中的阴、阳离子之间化学键的共价程度和距离造成晶体对称度的不同, 使金属羟基基团光谱产生一定差异。其最显著的特征吸收为 2200 nm 附近的最大吸收峰及其两侧的一些次一级吸收峰构成“二元结构”, 吸收峰的位置为 2215 nm 和 2355 nm 附近。

2.1.3 绢云母 化学分子式为 $K_{0.5-1} (Al, Fe, Mg)_2 (Si, Al)_4 O_{10} (OH)_2 \cdot nH_2O$ 。近红外光谱谱线在 2200 nm 附近出现主吸收峰。绢云母还会影响到 2160 nm 处的左肩部吸收峰, 在 2345 ~ 2350 nm 出现次吸收峰。

2.1.4 高岭石 化学分子式为 $Al_4 [Si_4 O_{10}] (OH)_4$, 纯高岭石中 Al₂O₃ 占 41.2%。其近红外光谱谱线特征以显著的 Al—OH 吸收峰为主。它在 1410 ~ 1440 nm 附近出现“双羟基峰”, 在 1910 nm 附近出现结构水峰, 在 1940 ~ 1950 nm 附近出现吸附水峰, 最显著的 Al—OH 三阶梯吸收峰出现在 2320 ~ 2380 nm 附近。如结晶度好, 则峰形尖锐; 搬运型高岭石结晶度低, 则峰形较缓。高岭石的高值区与矿体对应关系不明显, 推测是由于高岭石主要与钾长石发生交代作用, 与本区钾化并不强烈有关。

2.2 近红外光谱测量结果及其数据处理

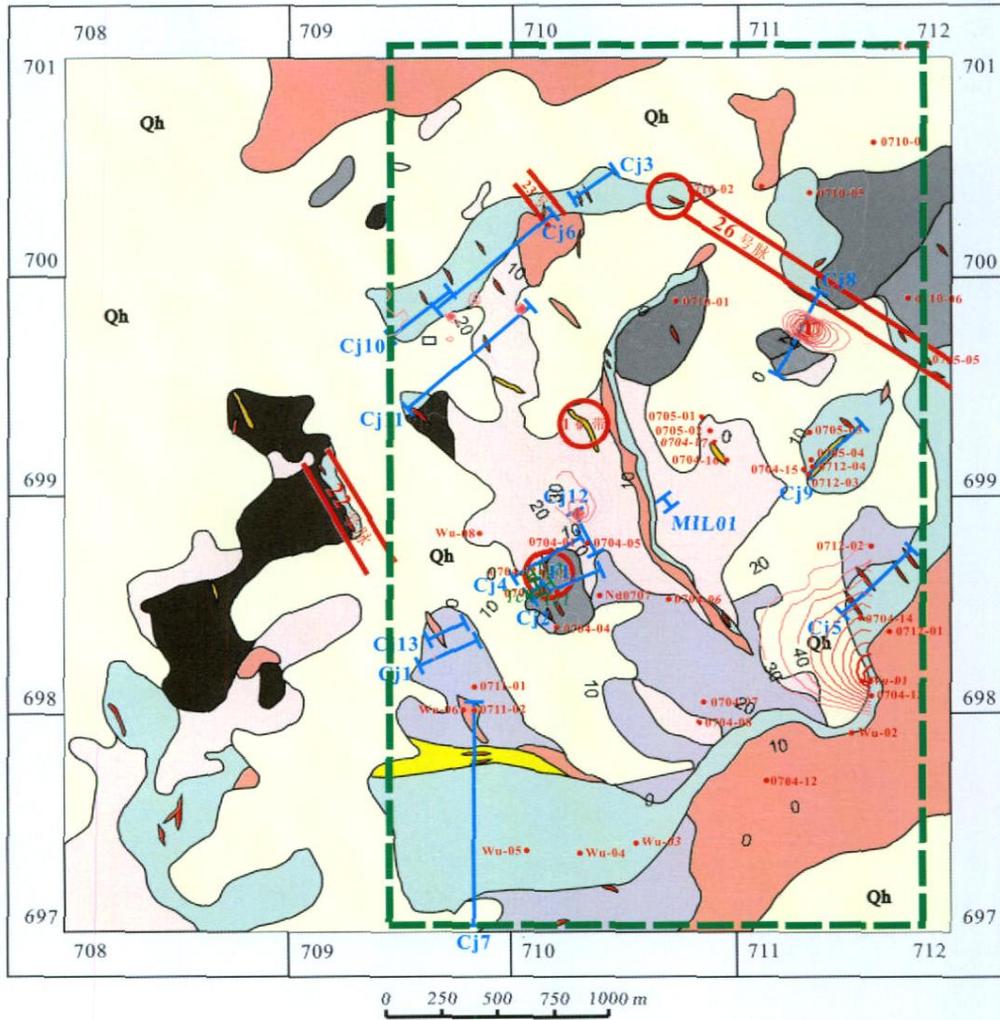
从中可以看出, 蒙脱石(图3)和伊利石(图4)高值区有明显差异, 也有部分重叠; 重叠部分正好是二者相对含量中等的区域。如蒙脱石相对百分含量约 10% 的区域和伊利石相对百分含量 25% 的区域即为重叠。从矿带和矿带已知矿化情况看, 所有这些重叠区域均为可能矿化蚀变区。此外, 按照热液蚀变区解谱规律^[4], 蒙脱石高值区代表相对低温蚀变区, 伊利石高值区代表相对高温蚀变区。那么, 698 坐标线以南、711 坐标线以西应为高温区; 698 和 699 坐标线之间、711 坐标线以东为低温区域。蒙脱石和伊利石的相对含量重叠区指示高温流体和低温流体的过渡区域, 也是重要的矿化蚀变区^[9]。

由图5 次生石英分布图可以看出, 本区广泛发生了硅化。次生石英含量高的区域均有可能是矿化区, 这一结果与蒙脱石和伊利石显示的蚀变矿化区一致。

图6 是地面绢云母分布图, 显示绢云母化蚀变较为广泛, 其中矿带、矿带、测区南部大平台及其西侧、测区北西部、26号脉北西和南东延伸部位等区域绢云母化蚀变较为发育, 应为矿化有利部位。

图7 是地面高岭石分布图。图中高值区集中于 700 以南、711 以西区域。高岭石常常是钾长石或绢云母风化产物或低温蚀变产物, 对照本区岩石分布特点可以认为, 高岭石高值区可能与绢云母化和热液蚀变中的高岭石化有关。

综上所述, 地面测区的西南部位(大平台的西侧和西北侧)、西北部位、26号脉的西北和东南延伸部位属于蚀变较强地区, 为可能的矿化区。



图例同图 1

图 3 蒙脱石相对百分含量等值线图

Fig. 3 Distribution isograms of montmorillonite

参考文献 (References) :

[1] 高荣强, 范世福. 现代近红外光谱分析技术的原理及应用[J]. 分析仪器, 2002, 3:9 - 12.
Gao Rongqiang, Fan Shifu. Principles and applications of modern near infrared spectroscopic techniques [J]. Analytical Instrumentation, 2002, 3:9 - 12. (in Chinese with English abstract)

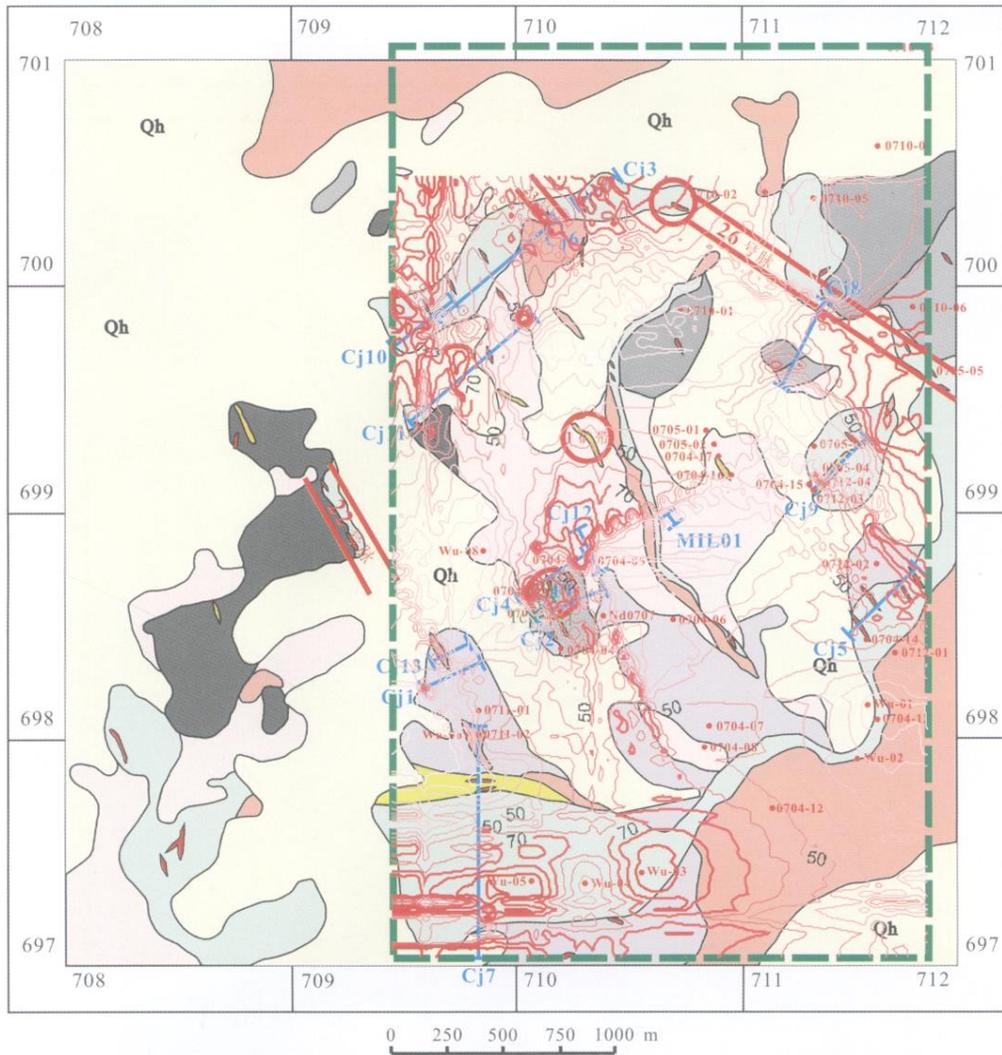
[2] 朱亮璞. 遥感地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1994:1 - 3.
Zhu Liangpu. Remote sensing geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994:1 - 3. (in Chinese)

[3] 连长云, 章革, 元春华, 杨凯. 短波红外光谱矿物测量技术在热液蚀变矿物填图中的应用——以土屋斑岩铜矿为例[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 483 - 495.
Lian Changyun, Zhang Ge, Yuan Chunhua, Yang Kai. Appli-

cation of SWIR reflectance spectroscopy in mapping of hydrothermal alteration minerals: A case study of the Tuwu porphyry copper prospect, Xinjiang[J]. Geology in China, 2005, 32(3): 483 - 495. (in Chinese with English abstract)

[4] 修连存, 郑志忠, 俞正奎, 等. 近红外光谱分析技术在蚀变矿物鉴定中的应用[J]. 地质学报, 2007, 81(11):1585 - 1590.
Xiu Liancun, Zheng Zhizhong, Yu Zhengkui, et al. Mineral analysis technology application with near infrared spectroscopy in identifying alteration mineral [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(11):1585 - 1590. (in Chinese with English abstract)

[5] Yang K, Huntington J F, Browne P R L, et al. An infrared reflectance study of hydrothermal alteration minerals from the TeMihisetor of the Wairakei geothermal system, New Zealand [J]. Geothermics, 2000, 29: 377 - 392.



图例同图 1

图 6 绢云母相对百分含量等值线图

Fig. 6 Distribution isograms of sericite

[15] 刘圣伟. 成像光谱技术在典型蚀变矿物识别和填图中的应用[J]. 中国地质, 2006, 2, 33(1): 178 - 186.
Liu Shengwei. Application of the imaging spectroscopic technique in mineral identification and mapping[J]. Geology in China, 2006, 2, 33(1): 178 - 186. (in Chinese)

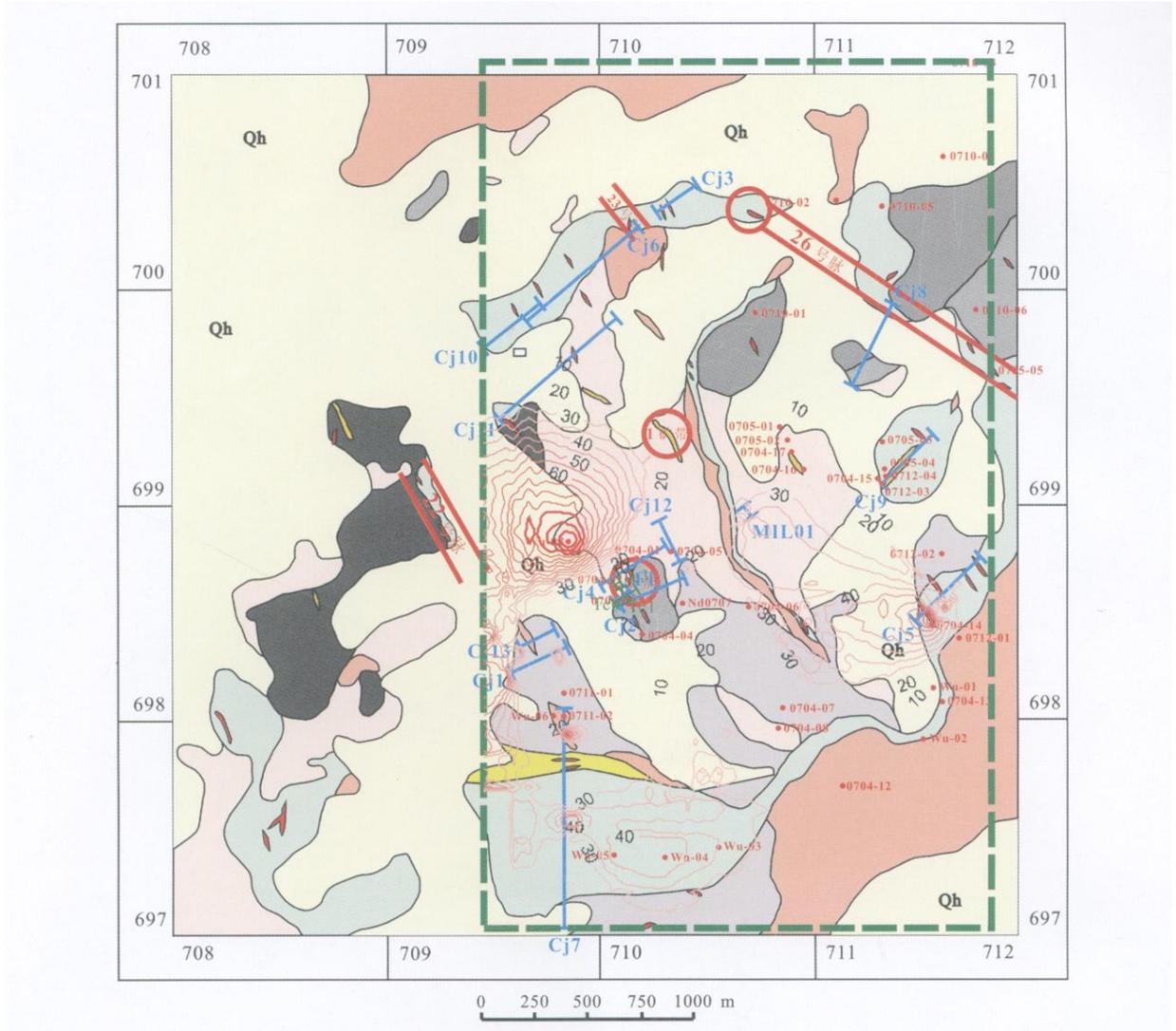
[16] 相爱芹, 朱谷昌. 多光谱遥感蚀变信息提取的新方法应用研究[J]. 矿产与地质, 2006, 20(6): 655 - 658.
Xiang Aiqin, Zhu Guchang. Application of new multi-spectrum remote sensing alteration information extraction method [J]. Mineral Resources and Geology, 2006, 20(6): 655 - 658. (in Chinese with English abstract)

[17] 雷天赐. 高光谱数据挖掘在蚀变矿物识别与提取中的应用[J]. 资源环境与工程, 2005, 19(3): 213 - 219.
Lei Tianci. Application on data mining of hyperspectrum to identification and extraction of alteration minerals [J]. Resources Environment & Engineering, 2005, 19(3): 213 - 219. (in Chinese with English abstract)

[18] 张卉. 近红外光谱分析技术[J]. 光谱实验室, 2007, 24(3): 388 - 395.
Zhang Hui. Near Infrared Spectroscopy Analysis Technology [J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2007, 24(3): 388 - 395. (in Chinese with English abstract)

[19] 张银. 近红外光谱分析技术的数据处理方法[J]. 红外技术, 2007, 29(6): 345 - 348.
Zhang Yin. Methods for data process of near infrared spectroscopy analysis [J]. Infrared Technology, 2007, 29(6): 345 - 348. (in Chinese with English abstract)

[20] 褚小立. 近年来我国近红外光谱分析技术的研究与应用进展[J]. 分析仪器, 2006, 2: 1 - 10.



图例同图 1

图 7 高岭石相对百分含量等值线图

Fig.7 Distribution isograms of kaolinite

Chu Xiaoli. Research and applications of near infrared spectroscopy in China in recent years[J]. Analytical Instrumentation, 2006,2:1 - 10. (in Chinese with English abstract)

[21] 赵利青, 孙世华. 内蒙古苏尼特左旗地区发现三叠纪金矿化[J]. 黄金地质, 2003,9(4) :2 - 7.

Zhao Liqing, Sun Shihua. Triassic gold mineralization is discovered in Sunitezuoqi, Eastern Inner Mongolia[J]. Golden Geology, 2003,9(4) :2 - 7. (in Chinese with English abstract)

[22] 祝宏臣, 王海波. 内蒙古苏尼特左旗两种不同成因类型金矿[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(5) : 759 - 766.

Zhu Hongchen, Wang Haibo. Two Genetic types of gold deposits in Sonid Zuqi Inner Mongolia[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(5) :759 - 766. (in Chinese with English abstract)

[23] 曹烨, 李胜荣, 申俊峰. 便携式短波红外光谱矿物测量仪(PIMA)在河南前河金矿热液蚀变研究中的应用[J]. 地质与勘探, 2008,3(2) :82 - 86.

Cao Ye, Li Shengrong, Shen Junfeng. Application of portable infrared mineral analyzer (PIMA) in the Qianhe gold mine, Henan province[J]. Geology and Prospecting, 2008,3(2) :82 - 86. (in Chinese with English abstract)