

X-射线荧光分析法在隐伏金矿体定位预测中的应用

刘铁兵, 沈远超, 曾庆栋, 李光明

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

[摘要] 野外使用 HAD-512 型多元素 X-射线荧光仪进行隐伏金矿体定位预测是一种有效和快捷的方法, 在山东省金城金矿、牟平金矿和云南墨江金矿矿区及外围, 使用该方法圈定的异常区, 为在矿体两翼寻找小盲矿体以及在矿区外围确定成矿远景区提供了重要的依据。

[关键词] X-射线荧光分析 隐伏矿体 成矿预测 金矿床

[中图分类号] P618.51; P575.5 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)01-0082-05

技术方法

应用 X-射线荧光分析方法勘查金矿已有二三十年的实践^[1], 该方法因具有野外现场化、快速化、成本低等一系列优点, 在地质勘探中得到了越来越广泛的应用, 并取得了很好的找矿效果和经济效益。

近年来, 由于具有较高分辨率的低气体放大倍数正比计数管, 及常温下使用的 Cd(Te) 半导体探测器问世, 加上迅速发展的微型计算机(微处理器)技术进入 X-射线荧光分析领域^[2], X-射线荧光仪已由单道、双道、四道向多道方向发展, 仪器性能大大改善。笔者采用 HAD-512 型(512 道)多元素 X-射线荧光仪, 在山东省莱州市金城金矿、牟平金矿和云南省墨江金矿进行了一次多个元素同时测量, 圈出金矿化异常, 为成矿预测提供了重要依据。本文对该仪器的使用方法、参数设置、数据处理以及在指导成矿预测方面进行了分析和探讨。

1 方法技术

1.1 原理简介

根据莫塞莱定律, 特征 X-射线能量与原子序数平方成正比。因此, 用放射性同位素放出的 X-射线去激发岩石、矿物或土壤中某元素时, 后者产生特征 X-射线, 由于不同原子序数的元素放出的特征 X-射线能量不同, 分析仪可以“定性”识别元素; 同时根据元素的特征 X-射线的强度大小, 可以“定量”测定元素的含量^[3]。目前, 由于仪器检出限的原因, 用 X-射线荧光分析方法无法直接分析岩石中的金含量, 但在各种成因的金矿矿体及其分散晕中, 均存在与金共生或伴生的元素, 如 Ag、As、Hg、Sb、

Cu、Pb、Zn、As、W 以及 Fe 等, 通过测量这些共生或伴生的元素(元素组合), 就有可能克服 X-射线荧光分析仪检出限的限制, 快速地圈定金的有利赋存地段, 从而达到间接找金的目的。

1.2 参数设置

作者采用由成都理工学院核工系最新研制的 HAD-512 型 X-射线荧光仪在多个金矿床进行了工作。该仪器用 ²³⁸Pu(钚)作为激发源, 考虑到不同测区的实际情况, 兼顾地质信息提取和工作效率, 选择了 Fe、Cu、As、Pb 和 Cu + Zn + As + W + Hg + Pb 总量(简称 ZL)为目标元素及元素组合。同时为了避免元素之间相邻谱线的干扰, 选定了探测能窗(表 1)。

表 1 HAD-512 型 X-射线荧光仪探测能窗设置表

被测元素	被测射线	待测射线能量 keV	测量能窗能量 keV
Fe	FeK	6.40	6.40 ±0.5
Cu	CuK	8.05	8.05 ±0.5
As	AsK	10.54	10.54 ±0.8
Pb	PbL	12.61	12.61 ±0.7
ZL (Cu + Zn + As + W + Hg + Pb) (源射线)	CuK ~ PbL 散射线	8 ~ 13	7.5 ~ 13.5
		15	15 ±1

1.3 样本采集和处理

样本采集分为两类: 第一类采自井下巷道内的岩(矿)石, 经细磨至 200 目后, 放置在样品盒中进行测量; 第二类取自地表土壤, 在每一测点上挖 20 cm ~ 30 cm 深坑, 去掉腐殖层土壤, 取 B 层土壤, 过 60 目筛后, 放置在样品盒中进行测量。

1.4 数据处理

为了减少相邻谱线间重叠干扰, 对 FeK、CuK 的谱线干扰进行了扣除校正。为了消除“基体效

[收稿日期] 2000-11-20; [修定日期] 2000-12-01; [责任编辑] 曲丽莉。

[基金项目] 中国科学院“九五”重大黄金项目(KZ951-A1-404-02-02)、中国科学院创新工程项目(KZCX1-Y-03-01)的部分科研成果。

应”,根据有关文献的研究,各元素的“特征 X- 射线强度与散射射线强度的比值”(简称“特散比”)一般是正比于其元素的含量^[4]。利用“特散比”和“被测元素的含量”之间的线性关系,对经谱线重叠干扰校正后的各元素的特征 X- 射线强度值进行了特散比校正,即以各元素的特征 X- 射线峰高计数(单位 cpm)除以 15keV 附近源的散射射线峰高计数,以其比值(称为“特散比值”)为参数,来绘制各元素(Fe、Cu、As、Pb 和 ZL)的等值线图,每个参量的数值单位为相对单位“XR”。

2 应用实例

2.1 山东金城金矿东季矿区隐伏矿体预测

2.1.1 矿床的特征

山东省金城金矿东季金矿区位于胶西北金矿集中分布区的焦家金矿田中,是一受焦家断裂带控制的破碎蚀变岩型金矿床^[5]。焦家断裂带在东季矿区呈 NE10° 方向展布,倾向 NWW,在矿区中部产状较陡(图 1)。焦家断裂带的上盘为胶东群斜长角闪

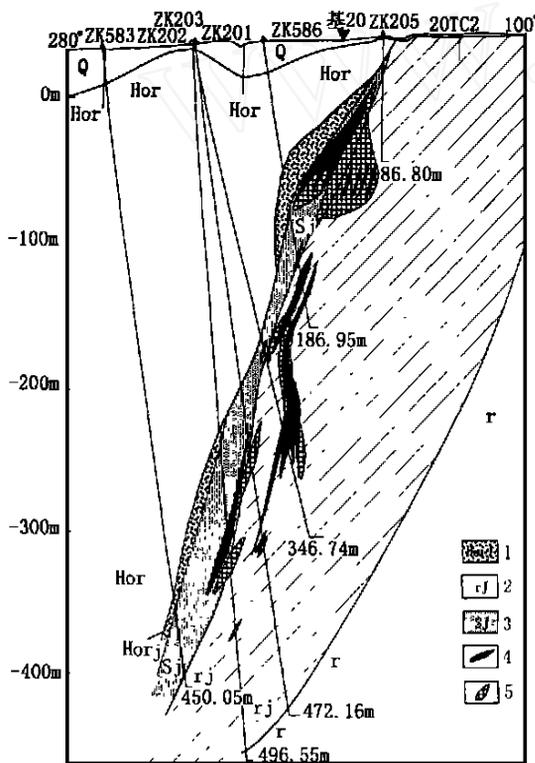


图 1 东季金矿床 20 勘探线地质剖面图

Q—第四系;Hor—胶东群斜长角闪岩;—L—玲珑花岗岩;1—蚀变斜长角闪岩;2—蚀变花岗岩;3—绢英岩化碎裂岩;4—金矿体;5—矿化体

岩质岩,主体自上而下为蚀变斜长角闪岩质碎裂岩、断层泥、蚀变花岗岩质碎裂岩及碎裂蚀变花岗岩,下

盘为蚀变玲珑花岗岩。金矿体产在主裂面的下盘蚀变花岗岩质碎裂岩及碎裂蚀变花岗岩中,具有“尖灭再现、尖灭侧现、膨大狭缩、分枝复合”的特点。围岩蚀变以红色钾长石化为主,发育于花岗岩中,分布范围广,呈面状、带状;其次为绢英岩化,发育于花岗质碎裂岩中,呈带状局部分布;与金矿化关系密切的蚀变为黄铁矿化,呈细脉、网脉状发育于红色钾长石化花岗岩的节理裂隙中,或呈网脉状、浸染状发育于绢英岩化的花岗质碎裂岩中,黄铁矿化强烈之处构成金矿(化)体。围岩蚀变在空间上无明显分带。

2.1.2 测量结果与预测

对在东季矿区 4 个中段巷道中取得的 72 件岩(矿)石样品的 X- 射线荧光值进行了统计,Fe、Cu、As、Pb 和 ZL(总量)的数值与矿化度呈明显正比关系,这与在矿区做出的地球化学元素组合特征相一致。所测元素 X- 射线荧光值(XR)的下限分别确定后,做出 - 210 m 中段测区 Fe、Cu、As 元素和 ZL 参数等值线图(图 2)。

从图中可以看出,Fe、Cu、As 和 ZL 值显示的 X- 射线荧光异常区与该中段中 3 号矿体吻合很好。在图西北角出现的小异常为一 30 cm 宽的黄铁矿-石英脉所致。总体上 X- 射线荧光异常区的分布显示,在已知 3 号金矿体端部仍存在很强的异常区,表明矿体在该中段向南西方向仍有延伸趋势,从而确定在矿体翼部进一步探矿的方向。

2.2 山东莱州后赵家地区异常解释与成矿远区预测

2.2.1 测区地质特征

沿胶西北地区的焦家断裂带产出一系列大型破碎蚀变岩型金矿床,如焦家金矿床、新城金矿床等。莱州市朱桥以南的后赵家至圈子地区处于焦家断裂带的南延部位,区域上位于老地层与花岗岩体接触带的附近。地球物理解译表明,其东部可能存在郭家岭型花岗岩体。区内地表基本为第四系所覆盖,根据焦家断裂的延长趋势,可确定断裂带从区内通过。但是,在这一覆盖区下,断裂带的确切走向及可能的控矿区段,是未能解决的问题。

前人进行的地质工作认为,在本区北部后赵家,焦家断裂带的走向已经具有由北北东向向南南东向偏转的迹象。在本区南部平里店一带,基岩有所出露,并发育一条具有一定规模的构造断裂带,其特征与焦家断裂带基本一致,表明这条断裂带是焦家断裂带穿过本覆盖区的南延部分。同时,本区东南方向并未有大规模断裂的出现,也从侧面表明了

这一点。基于上述地质分析,并结合焦家断裂带具有沿走向局部出现转折的特点,推断焦家断裂带在后赵家—圈子地区发生了北北东—南南东—北北东

的弧形转折。为进一步证实这一地质推断,在该区 8 km^2 范围内进行了X-射线荧光分析样品采集和测量。

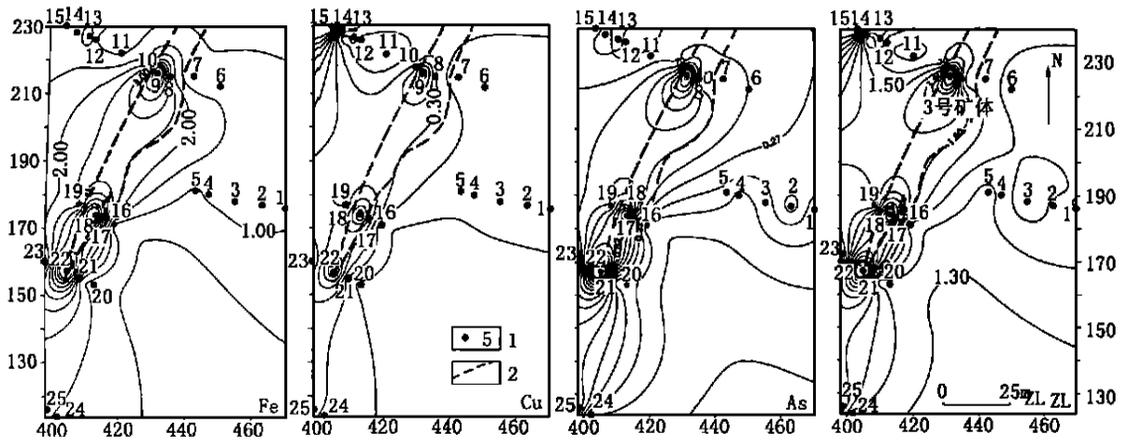


图2 东季-210 m中段X-荧光异常图

1—取样点及编号;2—3号金矿体界线

2.2.2 测量结果与预测

测量结果表明,从后赵家到圈子一带有一较为明显的带状异常,X-射线荧光 ZL 异常区宽大,将主要异常相连,反映了在测区内焦家断裂存在从NE10向南转为NE30的转折,如图3中虚线推测的范围。

根据焦家断裂带的控矿构造特征及区域成矿规律:老地层与岩体接触带部位、焦家断裂走向从NE向偏东方向转折部位是成矿有利地区,矿床分布具有等距性等特点,认为朱桥东南后赵家—圈子地区是一个潜在的焦家断裂带控矿的有利区域。X-射线荧光异常区的圈定为这一成矿预测提供了进一步的依据。

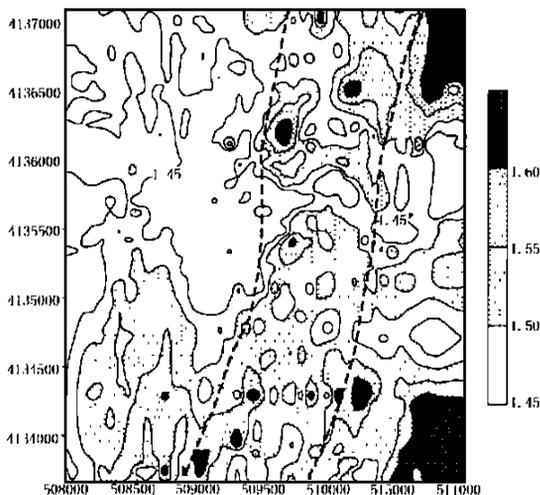


图3 后赵家至圈子地区X-射线荧光 ZL 异常图

2.3 山东牟平金矿外围辉寨矿区成矿预测

2.3.1 测区地质特征

辉寨金矿区位于山东烟台市牟平区王格庄镇辉寨村北方向500 m左右处,属牟平金矿外围。该区内早期有民采(地表氧化矿及坑道原生矿均有开采)。矿区内出露岩石主要为二长花岗岩,其中有片麻岩捕虏体。另外,还发育NE向煌斑岩脉,与矿化体相伴生。矿区内所见煌斑岩为晚期岩脉,穿入矿化体中。

矿区内构造发育,为NNE向断裂构造系,地表确定了11条含矿的断层,它们构成一个断裂密集发育带(断裂束),其走向为 $20^\circ \sim 30^\circ$,倾向NW,倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 左右。断裂面较平直,无挤压片理化现象。每一断层一般由两个主断面组成,两断面之间岩石相对破碎,裂隙发育,产生明显矿化。矿化类型为蚀变岩型金矿化。矿脉呈NNE向展布,其产状为倾向 $290^\circ \sim 300^\circ$,倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。平面延伸长度在200 m~300 m左右,延深大于100 m。地表及近地表均为氧化矿石。氧化矿石颜色为浅红色,金属矿物为褐铁矿,氧化深度不清。原生矿石为蚀变岩型矿石,金属矿物主要为黄铁矿,呈浸染状分布于绢英岩及绢云母化花岗岩中,局部形成黄铁矿脉。取样分析表明,矿体的金品位在 0 至 14×10^{-6} 。

2.3.2 测量结果与预测

在垂直控矿构造线方向上,每10 m一个测点,进行X-射线荧光分析取样和测量。分别做出了Fe、Cu、As、Pb和 ZL 总量X-射线荧光剖面图,其结果显示,各异常峰均与金矿脉的位置相吻合。 ZL (总量)异常图解中(图4),在剖面的东侧还显示出

一些异常峰,推测有新的或隐伏金矿脉的存在。结合地质分析,认为辉寨矿区的成矿远景很好,可进一步勘探和开发。

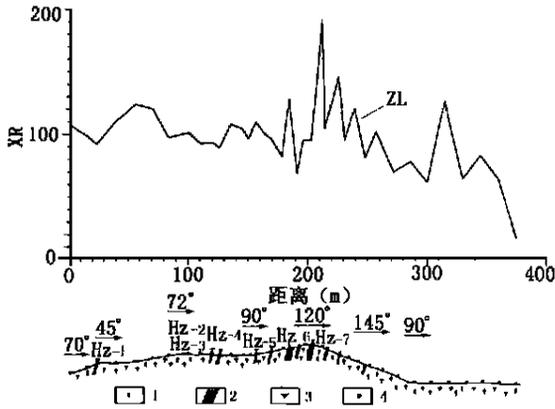


图 4 辉寨矿区地质剖面图及 X- 射线荧光 ZL 异常图
1—二长花岗岩;2—矿化蚀变岩;3—金分析取样点;4—X- 射线
荧光测量点

2.4 云南墨江金矿北部外围地区异常解释和成矿远景预测

2.4.1 墨江金厂金矿北部外围地质特征

云南墨江金厂金矿位于哀牢山构造带九甲—安定大断裂的东侧浅变质岩系^[6~7]。矿区出露地层为古生界哀牢山浅变质岩系、上三叠统红层及第四系残坡积物。浅变质岩系分为 3 个岩性段,自下而上分别为烂山段、四十八两山段及马乎洞段,其中烂山段中下部的硅质岩为主要的矿化围岩。

矿区内岩浆岩主要为金厂超基性岩体,为长 16 km、宽 1.3 km~2 km 的岩墙,平面上呈南北向反“S”形展布,多被断裂切割为规模不等的透镜体,岩性主要有斜辉橄榄岩、斜辉辉橄岩。岩体与围岩无热接触变质作用,岩体本身存在强烈的蚀变作用,表现为强烈的蛇纹石化、滑石化、菱镁矿化及石棉化等。

矿区构造以断裂构造为主,其次为褶皱构造。九甲—安定断裂为矿区的主干断裂,总体走向为 NNW—SSE,倾向 NEE,倾角 50°~80°,平面上呈反“S”形,次级断裂为近 EW 向、NNW 向和 NNE 向,其中产出含金石英脉。褶皱构造有金厂倒转背斜和烂山背斜。

矿区呈北西—南东向展布,长约 3.2 km,宽约 500 m,从北至南依次分为四十八两山、老金牛、烂山、滴水坎和猫鼻梁子 5 个矿段。金厂金矿的矿体主要赋存于金厂超基性岩体以西的浅变质岩系中,围岩蚀变强烈,主要有硅化、黄铁矿化、铬水云母化等,矿石类型以石英脉型和含金石英细脉及硅质岩的混合型为主。含金石英脉成群出现、雁行排列,长

数十米—数百米,混合型矿体多呈似层状、透镜状。矿石中的硫化物以黄铁矿化为主,金以自然金和银金矿产出。

在矿区的北部外围,即从四十八两山矿段向北经米七七湖村至小腊石村一带,是一个成矿远景区。区内的西侧为金厂超基性岩体,东侧为上三叠统红层,两者之间夹持地带推测为金厂金矿含矿岩系向北的自然延伸区域,在这一近 9 km² 的范围内进行 X- 射线荧光分析取样和测量,开展成矿潜力的评价。

2.4.2 测量结果与预测

将测量结果制成各元素参数等值线图,在 As 和

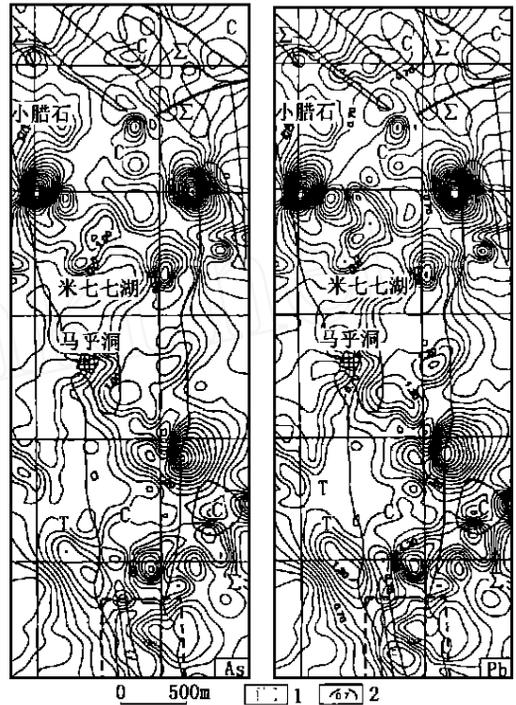


图 5 墨江金厂金矿北部外围 X- 射线荧光 As、Pb 异常图
T—上三叠统红层;C—古生界浅变质岩系;Σ—金厂超基性岩体;1—已知四十八两山矿段范围;2—XR 参数等值线

Pb 元素异常图中(图 5)可见,总体上的异常区为一狭长的带状,与浅变质岩系的分布区相吻合。在测区的南端为已知的四十八两山矿段,显示了明显的异常。与之相比较,在北部未知区内,出现了 4 个异常高值区,说明是金矿化所引起的异常。结合在未知区内的地质观察,在出现 X- 射线荧光异常的地区,均发现了与金矿化密切伴生的硅化、黄铁矿化、铬水云母化等蚀变矿化,采集的部分样品金含量达到工业品位。X- 射线荧光异常的圈定不但证实了该区为成矿远景区的推测,而且为进一步的勘探工程设计提供了重要的依据。

(下转第 90 页)

5 结论

在山东蓬家乔地区层间滑动角砾岩型金矿的已知区、未知区和半未知区,首次开展了 CSAMT 法的野外方法试验,共完成了 12 条测线,58 个排列,406 个频率测深点,测线总长度达 8120m。数据采集数量大、质量高,保证了成果的可信度。多层次的数据处理和各种不同的图件,使 CSAMT 法的地质效果更加明显,尤其是通过在已知矿上的异常显示,表明了 CSAMT 法寻找胶东层间滑动角砾岩型金矿是有效的,为今后在胶东地区乃至全国,大规模、大范围寻找该类矿床,为中国金矿资源战略接替基地若干靶区预测提供了一种轻便、快速、高效的地球物理手

段。数据处理,采用了多种软件,多种方法,绘制了不同剖面的反演断面图,不同深度立体切片图,提高了显示度。为今后寻找该类矿床提供了一个可靠的数据处理程序及绘图方法。在未知区和半未知区,发现了新的异常,为在蓬家乔地区扩大金矿储量,深入研究矿带的分布、空间定位、钻孔布置,提供了地球物理佐证。

[参考文献]

- [1] 石昆法.可控源音频大地电磁法理论与应用[M].北京:科学出版社,1999,1~14.
- [2] 米萨克 N.纳比吉安主编.勘查地球物理电磁法[M].赵经祥等译.北京:地质出版社,1992,172~238.
- [3] 罗延钟,何展翔,马瑞伍,等.可控源音频大地电磁法的静态效应校正[J].物探与化探,1991,15(3):196~202.

APPLICATION OF CSAMT METHOD IN PREDICTING INTERLAYER SLIDING BRECCIA TYPE GOLD DEPOSITS IN PENGJIAKANG REGION, SHANDONG PROVINCE

SHI Kun - fa ,ZHANG Geng - li ,LI Ying - xian ,YU Chang - ming

Abstract :CSAMT method is a electromagnetic technique to measure Kaniya resistance and phase to determine geological bodies in the depth. This method has been developed since middle 1980 's ,is featured by its high sensitivity ,large depth of detection ,and strong ability against interference ,and be widely used in prospecting metal ore resources ,ground water ,petroleum ,nature gas ,and in geological detection for large engineering construction. In this article ,authors introduce the working principle of CSAMT method and discussed the processes of data treatment and geological application on the interlayer sliding breccia type gold deposits in details.

Key words :CSAMT method , gold ore ,theory and effect

(上接第 85 页)

3 结语

(1) X 射线荧光分析法是一轻便、灵敏和有效方法。可以在野外现场快速测定与金矿化密切伴生的多种元素异常信息。

(2) 使用多道 X - 射线荧光光谱仪,可以在矿井巷道内,在地表基岩区和覆盖区进行取样,岩(矿)石样品需进行粉碎,地表土壤样需进行过筛处理,以提高测量精度。

(3) 将多个元素 X - 射线荧光异常进行综合对比,对不同的地区和不同的金矿化类型,从已知到未知,选取合理的异常参数,提高确定矿致异常的可靠性。

(4) 以地质研究为基础,结合其他物化探方法做

出的结果进行对比和综合分析,圈定的多元素 X - 射线荧光异常区,可为成矿预测提供更多的信息。

[参考文献]

- [1] 王继伦,李善芳,齐文秀,等.中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用[M].北京:地质出版社,1997.
- [2] 周四春,等.核地球物理 X 荧光技术论文集[A].成都地质学院,1989.
- [3] 章晔,谢庭周,周四春,葛良全.勘查金矿的现场 X 射线荧光法[J].铀矿地质,1988,4(1).
- [4] 周四春,章晔.轻便 X 荧光仪上应用特/散法的探讨[J].核电子学与探测技术,1985,5(5).
- [5] 吕古贤,林文蔚,罗元华,等著.构造物理化学与金矿成矿作用[M].北京:地质出版社,1999.
- [6] 蔡新平,徐兴旺,张宝林,等.滇西墨江金厂金矿床时空四维结构模型[J].矿床地质,1999,18(1).
- [7] 应汉龙,蔡新平,刘秉光.云南墨江金矿床含金硅质岩的地球化学特征和成因[J].地球化学,1999,28(4):307~318.

THE APPLICATION OF X - RAY FLUORESCENCE ANALYTICAL METHOD IN POSITIONING PREDICTION OF CONCEALED GOLD ORE BODIES

LIU Tie - bing , SHEN Yuan - chao , ZENG Qing - dong , LI Guang - ming

Abstract :Multi - elements X - ray fluorescence analytical method is a fast and effective way to predict and localize blind gold ore bodies. Authors use this method in Jingcheng and Muping gold deposits , Shandong Province and in Mojiang gold deposit , Yunnan Province effectively , get important information for predicting blind gold ore bodies in the depth and proposing new areas for further gold exploration.

Key words :X - ray fluorescence analysis , blind ore bodies , ore prediction , gold ore deposit