

# 桂西地区核地球物理学 $\alpha$ 卡法、 $\gamma$ 能谱法、 X 射线荧光法现场勘查金矿研究

章 晔 侯胜利 程业勋 葛良全

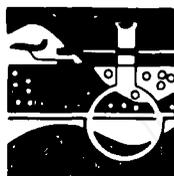
(中国地质大学·北京)

李甫安 黄德保 李光猛 黄镇豪

(广西第二地质队·田阳)

本文论述了应用核地球物理学中的  $\alpha$  卡法、 $\gamma$  能谱法、X 射线荧光法现场综合勘查金矿的理论基础、方法技术及应用实例。首次在同一金矿区综合应用 3 种方法, 实践表明: 应用  $\alpha$  卡法可圈出与金矿密切相关的构造破碎带; 应用  $\gamma$  能谱法可进一步划分金矿化带; 应用 X 射线荧光法划分金矿层厚度, 指导地质人员有目的的采样。

**关键词** 构造破碎带 钾长石化 金矿指示元素  $\alpha$  卡法  $\gamma$  能谱法 X 射线荧光法



物探与化探

在核地球物理方法中,  $\alpha$  卡法、 $\gamma$  能谱法和 X 射线荧光法等都具有仪器轻便、现场原位测量以及测量速度快的特点。 $\alpha$  卡法能够揭示构造破碎带;  $\gamma$  能谱法能够定量测定岩石和土壤中钾、铀、钍 3 元素的含量, 进而揭示钾化带; X 射线荧光法能够测定金矿多种指示元素 (或指示元素组合) 的含量。地质、地球化学理论认为, 金矿化带常产于构造破碎带中; 金矿的指示元素常是多个元素的群体聚合; 部分热液型金矿床存在有钾长石化现象, 金矿层的围岩中钾含量比金矿层中钾含量偏高。因此, 依据金矿床的这些特点, 可以充分发挥核地球物理学中上述方法的优点, 达到快速勘查金矿的目的。

## 理论基础

### 1. $\alpha$ 卡法

自然界存在有 3 个天然放射性衰变系列: 铀系、钍系和锕系, 在这 3 个系列中部, 各有一个气态元素, 其原子序数为 86, 是氡的放射性同位素 (铀系:  $^{222}\text{Rn}$ ; 钍系:  $^{220}\text{Rn}$ ; 锕系:  $^{219}\text{Rn}$ )。构造破碎带中, 往往岩石破碎、裂隙发育, 地下深处岩石内的氡气, 在地下水的运移和活动时, 易于沿着构造破碎带向地表扩散、对流和泵吸。因此, 在构造破碎带上方的土壤中, 氡气及其子体的浓度相对富集。掩埋在土壤层中的“ $\alpha$  卡”旨在吸附氡气及其子体, 其基本原理是基于一切固体表面都具有吸附周围介质中的分子、原子和离子的能力。在一定采集时间内,  $\alpha$  卡上所吸附的氡及其子体所放出的  $\alpha$  射线的能注量率与测点土壤中的氡气浓度成比例。因此, 使用仪器测量各测点土壤中的  $\alpha$  卡上所吸附氡及其子体的  $\alpha$  射线的能注量率, 可以了解土壤中氡气浓度的分布状况, 从而圈定构造破碎带。

1993 年 7 月收到, 林镇泰编辑。

## 2. $\gamma$ 能谱法

$\gamma$ 能谱法是利用铀系、钍系和 $^{40}\text{K}$ 的 $\gamma$ 射线能谱存在着一定的差异,利用这种差异选择几个合适的 $\gamma$ 谱段,进行 $\gamma$ 能谱测量,使之能正确反映被测介质中铀、钍、钾的含量。选用 $\gamma$ 谱线一般为:铀道1.76MeV( $^{214}\text{Bi}$ ),钍道2.62MeV( $^{212}\text{Po}$ ),钾道1.46MeV( $^{40}\text{K}$ )。被测介质中铀、钍、钾的含量由下列联立方程组解出。

$$I_1 = a_{11}C_K + a_{12}C_U + a_{13}C_{Th}$$

$$I_2 = a_{21}C_K + a_{22}C_U + a_{23}C_{Th}$$

$$I_3 = a_{31}C_K + a_{32}C_U + a_{33}C_{Th}$$

式中: $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 分别为钾、铀、钍道扣除本底后的计数率;

$C_K$ 、 $C_U$ 、 $C_{Th}$ 分别为钾、铀、钍的含量; $a_{ij}(i=1, 2, 3; j=1, 2, 3)$ 为 $\gamma$ 能谱仪的换算系数,即在 $\gamma$ 射线饱和层条件下岩石或土壤中单位含量的钾、铀、钍在相应道的计数率。

在众多类型的金矿床中,特别是基性、中性火山岩及侵入岩中的金矿床,其特点是在围岩蚀变带中富含钾。在浸染型金矿中,原生含矿部分明显地高于容矿的碳酸盐围岩中的钾含量。在含金的层位中,由于钾的地球化学性质活泼,钾易于随地下水而流失。

因此,根据金矿床中钾的地球化学特征,使用 $\gamma$ 能谱仪定量测定岩石或土壤中钾、铀、钍的含量,特别是钾的含量,可以圈定金矿层位和围岩钾化蚀变带。

## 3. X射线荧光法

X射线荧光法的理论基础,是应用近代物理学中的莫塞莱定律。应用放射性同位素 $^{239}\text{Pu}$ 所放出的X射线,在现场原位轰击土壤或岩石矿石中的金矿指示元素的原子,使之产生其特征X射线(荧光),特征X射线的能量大小与指示元素的原子序数的平方成正比(即莫塞莱定律),而特征X射线的照射量率与介质中金矿指示元素的含量 $C$ 成比例,其表达式如下:

$$I_f = \frac{K \cdot I_0}{\mu_0 + \mu_f} \cdot C$$

式中: $I_f$ 、 $C$ 分别为金矿指示元素的特征X射线的照射量率和在介质中的含量;

$\mu_0$ 、 $\mu_f$ 分别为介质对放射性同位素源所放出的初始X射线、特征X射线的质量吸收系数;

$I_0$ 为初始X射线的活度;

$K$ 为与仪器探测器的探测效率、几何条件等有关的常数。

因此,应用便携式X射线荧光仪测量金矿的指示元素的原子所放出的特征X射线的能量和照射量率,可以对金矿指示元素进行定性和定量的测定。

最实用并能被便携式X射线荧光仪测定的金矿的指示元素有:砷、铜、铅、锌、汞、硒、铋等及其组合。据金的地球化学性质了解到,虽然金元素属典型的亲铁元素,但从微观上看,金又呈现明显的亲硫性,上述几种元素都是典型的亲硫元素,在金的成矿过程中,亲硫元素的离子或化合物对金的沉淀起重要作用,它们与金密切伴生。资料统计表明:多金属硫化物类型的金矿是我国最主要的金矿床类型。根据金与亲硫元素的相关特性,应用便携式X射线荧光仪现场测定亲硫元素的含量或者说金的指示元素含量,可以现场快速划分出含金层位或地段,及时指导地质取样。

## 方法技术

### 1. $\alpha$ 卡法

$\alpha$ 卡采用圆片状镀铝聚酯树脂薄膜,膜的直径6cm; $\alpha$ 杯高10cm;杯埋深30cm;埋杯时间24h。取卡后立刻测量,测量时间为4min。

### 2. $\alpha$ 能谱法

仪器采用FD-840型四道 $\gamma$ 能谱仪,测量时间100s,每一测点读数2~3次,取其平均值。实测中严格使探头测量的立体角

( $2\pi\Omega$ ) 一致。在野外工作之前, 应对四道  $\gamma$  能谱仪进行铀、钍、钾含量的标定。

### 3. X 射线荧光法

基体效应、几何效应是 X 射线荧光法的主要影响因素, 其影响实质是: 被测介质中高含量的吸收元素对金矿的指示元素的特征 X 射线产生吸收效应; 因测量凹凸不平、密度变化、颗粒度变化而构成影响; 以及不同类型岩石中金矿指示元素的背景值所引起变化的影响。为了克服上述诸因素对测量结果的影响, 作者综合应用了“补偿法”、“峰背比法”以及“标准值法”。

另外, 我们还应用了自行设计和研制的可用于便携式 X 射线荧光仪测量“亲铜元素总量”的找金矿 X 射线能量滤波器, 其能量通带为 8 ~ 12 keV, 可接收铜、铜、铅、锌、汞、硒、铋等 8 种金矿指示元素的特征 X 射线的总和, 同时还平衡掉其他基体元素对待测元素的特征 X 射线的干扰。此技术已获中国专利号 8620876 9.4。

## 应用实例

### 1. 广西金牙金矿区

该金矿区位于某褶皱带中部, 矿体属微细粒浸染型金矿, 矿与非矿用肉眼难以区分, 矿体的分布、形态及延伸由构造破碎带所控制, 且多为隐状或半隐状产出。

在该金矿区的 0 线和 516 线, 应用核地球物理学上述 3 种方法进行了系统研究。 $\gamma$  能谱测量和  $\alpha$  卡法沿剖面线 0 线和 516 线布置测点。图 1 为 0 线剖面线上的  $\gamma$  能谱法测量 K% 和  $\alpha$  卡测量钍及其子体的实测综合剖面图, 图中钾含量 K% 在金矿化带上方 AB 段出现偏低值场, 而金矿化带两侧的围岩上方钾含量 K% 相对偏高; 在  $\alpha$  卡测量曲线上, 相对应的金矿化地段呈明显的异常高值带。从该综合剖面图上 K% 曲线和  $\alpha$  卡测量曲线的特征分布来看, 可以划分构造破碎带并确定其金矿化带的宽度。

图 2、图 3 分别为 0 号剖面线上剥土

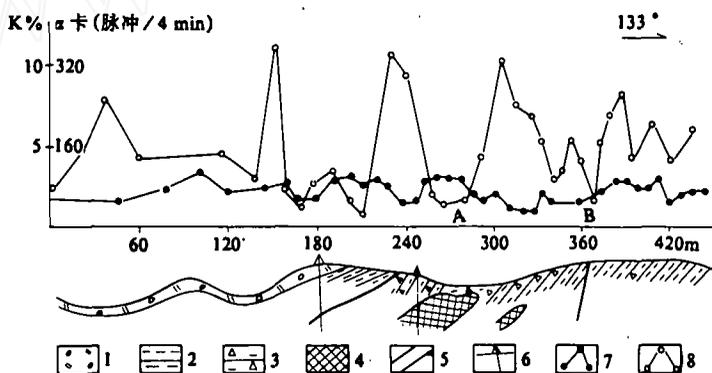


图 1 广西凤山金牙金矿区 0 线  $\gamma$  能谱测量和  $\alpha$  卡测量综合剖面曲线图

1— 残积坡积层; 2— 泥岩; 3— 挤压破碎泥岩; 4— 金矿体; 5— 破碎带; 6— 钻孔;

7—  $\gamma$  能谱测量 K% 曲线; 8—  $\alpha$  卡测量曲线

BT001 和钻孔 ZK007 岩心现场应用轻便型 X 射线荧光仪实测亲铜元素总量 (以峰背比值  $\eta$  表示) 的曲线。为了克服铁元素构成对亲铜元素的特征 X 射线的吸收效应, 在方法技术上综合使用了“补偿法”和“峰背比值”

法。图中的 X 射线荧光测量曲线都能具体反映出金矿层的相应位置, 与化学分析结果金矿层对应良好, 如图 2 中的 AB 段、CD 段, 以及图 3 中的 EF 段。



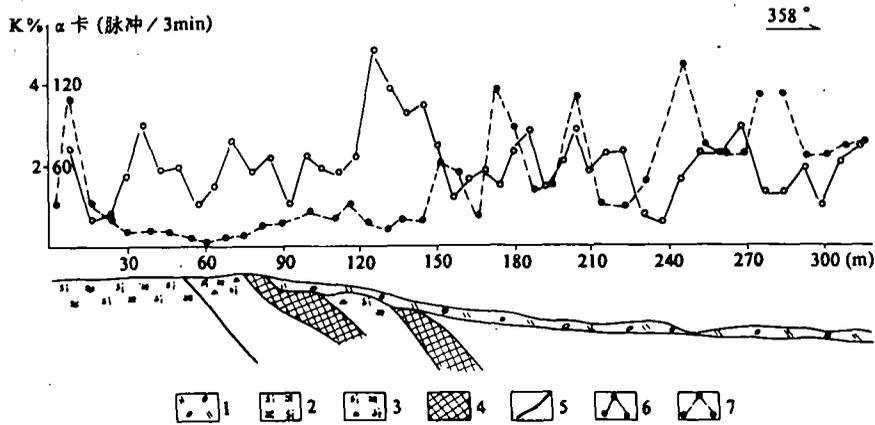


图4 广西田林高龙金矿区30剖面线的 $\gamma$ 能谱测量和 $\alpha$ 卡测量的综合曲线剖面图

1- 残积坡积层; 2- 构造石英岩; 3- 硅化构造角砾岩; 4- 金矿体;  
5- 断层线; 6-  $\alpha$ 卡测量曲线; 7-  $\gamma$ 能谱测量K%曲线

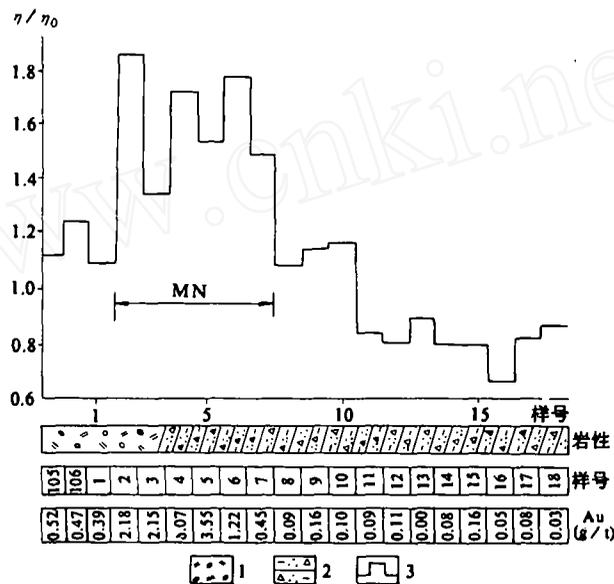


图5 广西田林高龙金矿区探槽TC3004 X射线荧光测量图

1- 残积坡积层; 2- 挤压破碎粉砂质泥岩; 3- X荧光测量亲铜元素总量“峰背比标准值” $\eta/\eta_0$ 曲线

图4为30线 $\gamma$ 能谱测量K%和 $\alpha$ 卡测量综合剖面图,在本剖面所穿过的6号矿体所处的金矿化带上方,钾含量K%明显低于其金矿层两侧的围岩,而相应的构造带地段, $\alpha$ 卡测量结果呈现高值异常。

在30线和44线的剖面线上的探槽和钻孔岩心进行了X射线荧光现场测量,并采

用了自行设计与研制的测量亲铜元素总量找金矿滤波器,测得了亲铜元素(砷、铜、铅、锌、汞、硒、铋等)总量的特征X射线总照射量率,划分出了金矿层。由于本矿区岩性复杂,基体效应严重,因此不但采用了“补偿法”、“峰背比 $\eta$ 法”而且还进行了使用了“标准值法 $\eta/\eta_0$ ”和“岩性分类法”。

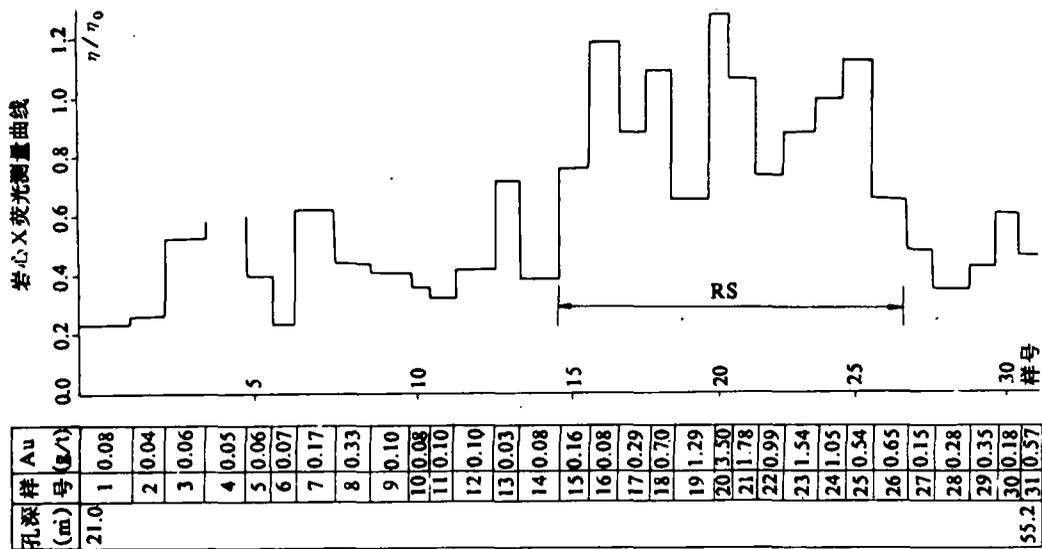


图 6 广西田林高龙金矿区钻孔 ZK3001 泥岩 X 射线荧光法现场测量块状岩心综合剖面图

图 5、图 6 为探槽 TC 3004 及钻孔 ZK3001 岩心的现场 X 射线荧光实测结果，结果表明 X 射线荧光法划分的金矿层与化学分析结果划分的金矿层基本吻合，参见图 5 中 MN 段、图 6 中的 RS 段。

### 结 语

在桂西地区的金牙金矿区和高龙金矿区的 4 条剖面线上，应用核地球物理中的  $\alpha$  卡法、 $\gamma$  能谱法和 X 射线荧光法等现场勘查金矿，经研究后得到了以下几点认识：

1.  $\alpha$  卡法是一种快速寻找构造破碎带的方法；它能够良好地圈定与金矿密切相关的构造破碎带位置。

2.  $\gamma$  能谱法测量钾含量，在金矿化带上呈现偏低值场，而在金矿化带两侧的围岩上方呈现偏高值场，据此规律， $\gamma$  能谱测量可以辅助划分金矿化带。

### 主要参考文献

- [1] 章晔等编著，《X 射线荧光探矿技术》，地质出版社，1984 年。  
 [2] R·W·博伊尔[加拿大]，1984，《金的地球化学

3. 肉眼难以识别的微细粒浸染型金矿区勘查，应用便携式 X 射线荧光仪，现场测量与金矿相关的亲铜元素总量的荧光照射量率，再辅以有关的方法技术处理，既可以寻找金矿，又可以划分金矿层，指导地质采样，避免盲目取样。

4. 核地球物理中  $\alpha$  卡法、 $\gamma$  能谱法、X 射线荧光法等 3 种方法联合应用于现场勘查金矿，在我国尚属首次。以此技术在桂西的两个远景区，为发现新金矿提供了有力的新手段。

在实际工作中，广西地矿局罗在明局长、周永峰高工、汪金榜高工以及李正海高工、韦宗宇高工、覃存先高工、谢家盈高工、邹耕耘高工、黄平生同志等曾给予大力支持与协助，在此一并致谢。另外，参加工作的人员还有侯广峰、鲍峰、陈友红、伍岳等。

及金矿床》，地质出版社；1984 年。

- [3] 章晔等编著，《放射性方法勘查》，原子能出版社，1990 年。

# The Study of Exploration Gold Deposit by Using $\alpha$ Card Method, Gamma-ray Spectrometry Method, X-ray Fluorescence Method of Nuclear Geophysical Methods in The West of Guangxi

Zhang Ye, Hou Shengli, Cheng Yexun, Ge Liangquan, Li Fuan,  
Huang Debao, Li Guangmeng, Huang Zhenhao

In this paper, the theory and technology of exploring gold deposit by using nuclear geophysical methods ( $\alpha$  Card method, gamma-ray spectrometry method, x-ray fluorescence method) are discussed. It is the first time to use these three methods in same gold deposit. The results show: constructure broken belts concerning gold deposit can be found by using  $\alpha$  card method, the gold mineralization can be delimited by using gamma-ray, spectrometry method, the grade of gold are can be determined by using X-ray fluorescence method and instruct sampling.

## 冶金矿山 60mm 与 75mm 口径粉矿地层钻进与 取心钻具通过鉴定

1993年6月23日,冶金部矿山司在武钢大冶铁矿,对部重点科研课题——大冶铁矿60mm口径、金山店铁矿75mm口径粉矿层钻进技术与取心钻具进行了技术鉴定。同行专家在听取研制组的报告后,又到现场参观了带有特殊附件的钻具与从粉矿层取出的保持原始地质结构和产状的岩矿心,经认真讨论,认为该项技术在国内属首创,并达到了世界水平,一致同意通过鉴定。

武钢金山店铁矿存在有较厚层的粉状矿,厚处可达数十米。这种矿层在钻探中遇水立即坍塌,受钻具的扰动,也会因松散而被破坏成粉末流失,井壁非常不稳定。长期以来,传统的钻进工艺无法达到地质要求。大冶铁矿的粉矿层,多为蜂窝状、碎块状结构,给钻探与取心造成新的困难。两矿区的粉矿层钻进技术多年来一直没能解决。加之矿山坑内钻进、钻孔以各种空间角度分布,坑内环境给钻探施工提出了比地表钻探更为苛刻的要求,从而增

加了该技术的难度。

该课题由冶金地质探矿学会技术服务部牵头组织,与武钢矿山部铁矿、武钢大冶铁矿共同设计研究,并在两矿进行了多个循环的试验和反复改进,才获得成功。这两种钻具是把金刚石钻进技术、绳索取心技术、冲击回转钻进技术,以及高效无固相洗井护壁工艺有机地结合为一体,成功地运用到坑内粉矿层钻进与取心上,并用半合管取心,绳索安全脱勾,以及破碎砂样取心器的设计上有所创新。其中60mm口径钻具能通过绳索的方式实现不提钻更换4种钻具与取心方法,不仅改善了对复杂多变地层的适应性,也提高了钻进效率,并给地质工作提供有代表性的岩矿样品。

该项技术不仅能解决冶金矿山粉矿层的钻进与取心问题,而对其他矿山与地表复杂层钻进与取心,也同样有借鉴作用。

(本刊通讯员)