

## X 荧光测量在云南潞西金矿找矿中的应用

高振敏<sup>1</sup>, 陶 琰<sup>1</sup>, 罗泰义<sup>1</sup>, 杨竹森<sup>1</sup>, 胡广耀<sup>2</sup>, 顾俊生<sup>2</sup>, 李立本<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 核工业 云南地质调查队, 云南 昆明 650106; 3. 云南黄金局, 云南 昆明 650051)

关 键 词: X 荧光测量; 金矿找矿; 红色粘土型金矿; 云南

中图分类号: P618.510.674

文献标识码: A

文章编号: 1007-2802(2000)04-0378-03

本次研究工作, 采用便携式 X 荧光测量技术, 进行多元素 X 荧光分析, 获取多种 X 荧光找矿信息, 应用于云南潞西红色粘土型金矿找矿取得了良好的效果。

## 1 应用 X 荧光测量的可行性分析

云南潞西上芒岗金矿地球化学研究表明<sup>[1]</sup>, 金与砷、铜、铅、锌、汞等元素相关性好, 相关系数分别为 0.976 2、0.939 6、0.985 9、0.898 3 和 0.992 2, 金与砷、铜、铅、锌具有良好的共生关系。

上芒岗红色粘土型金矿矿石 X 射线谱全谱分析表明, 砷的特征峰非常明显, 有较高的强度计数, 铜、锌的特征峰也能够识别, 上芒岗矿石样品砷、铜、铅、锌、汞的含量一般为  $n \times 10^{-5} \sim n \times 10^{-4}$ , 砷的含量最高达  $n \times 10^{-3}$  (表 1), 达到和超过了 X 荧光的检出限, 可以采用 X 荧光分析技术检测与金密切共生的部分金属元素进行找矿预测。

## 2 仪器及工作曲线的建立

工作中采用 IED-88A 型便携式 XRF 分析仪进行野外测量, 并用 IED-400 型多元素高精度 XRF 分析仪作室内全谱分析及对 XRF 分析仪进行数据校验。

IED-88A 型便携式 XRF 分析仪采用闪烁探测器和平衡滤光片对技术, 具有两个测量道, 运用特-散

比法作基体效应校正, 双道分别记录待测元素特征 X 射线荧光和散射射线计数率。仪器测量第一道正、负片读取计数率的差值  $I_k$  与第二道(负片)测量散射射线计数率  $I_c$  的比值称为特散比:

$$R_k = (I_k^+ - I_k^-) / I_c$$

$R_k$  是计算样品待测元素含量的参数。

根据上芒岗金矿元素相关性分析、含矿性指示元素含量特点及仪器检测的可能性, 项目研究设计制定了三对平衡滤光片对, 分别检测待测样品中的 As(Pb)、Cu 含量及主要含矿性指示元素 Cu、Zn、As、Hg、Pb 的综合参量(CP)。

工作曲线是仪器测定的物理参量与测定元素含量间的桥梁<sup>[2]</sup>。要求在研究地区选择典型矿段采集不同品级的岩矿样品(同一类型), 运用定量分析, 得到待测元素的准确含量, 再对样品进行 X 荧光测量, 求出测定元素的特散比, 通过数学拟合建立 X 荧光测量的工作曲线。

我们在广令坡矿段采集不同品级的 9 个土壤样品, 用等离子质谱分析的 Au、As、Cu、Pb、Zn、Hg 等元素, 分析结果与 X 荧光测量参数——特散比  $R$  列于表 1。拟合得到各元素 X 荧光测量的工作曲线:

$$As(10^{-6}) = 97\ 661 \times R_{As}^2 + 4\ 624.1 \times R_{As} - 245.54$$

$$Cu(10^{-6}) = 317\ 723 \times R_{Cu}^2 - 14\ 777 \times R_{Cu} + 200.78$$

$$CP(10^{-6}) = 1\ 587\ 300 \times R_{CP}^2 - 336\ 150 \times R_{CP} + 18\ 208$$

其中, As 的拟合关系如图 1 所示。

收稿日期: 2000-06-30 收到, 08-06 改回

基金项目: 中国科学院云南省合作项目(YK98008-4)、中国科学院重大项目(A)(ZK951-A1-404)、国家自然科学基金(49873021)资助

第一作者简介: 高振敏(1939—), 男, 研究员, 博士生导师, 从事矿床地球化学研究。

表 1 矿石样品元素含量( $10^{-6}$ )及对应元素的 X 荧光特散比

样号	Au	As	Cu	Pb	Zn	Hg	CP	$R_{Au}$	$R_{Cu}$	$R_{CP}$
S111	1.43	90.4	53.40	79.00	98.10	11.60	332.5	0.048 3	0.026 6	0.104 8
S112	1.17	563.0	54.80	58.70	88.80	2.54	767.8	0.072 4	0.029 6	0.118 8
S113	50.00	2 288.0	175.70	335.70	219.70	73.30	3 092.4	0.137 0	0.044 5	0.147 0
S114	0.45	247.0	55.60	58.40	99.50	2.41	462.9	0.047 1	0.034 5	0.100 2
S115	0.45	158.0	50.50	41.60	63.00	2.96	316.1	0.049 0	0.027 7	0.109 8
S116	0.65	336.0	54.80	46.00	43.10	4.01	483.9	0.044 7	0.031 8	0.107 8
S117	0.93	430.0	21.23	36.19	38.54	1.488	527.4	0.062 0	0.030 0	0.117 5
S118	0.56	404.0	12.77	16.05	31.17	1.053	465	0.062 0	0.023 4	0.105 3
S119	0.5	391.0	28.35	37.06	50.84	0.855	508.1	0.065 0	0.026 0	0.109 0
BI(标样)		5 000.0								0.209 7

注:样品元素含量由中国科学院地球化学所等离子质谱分析

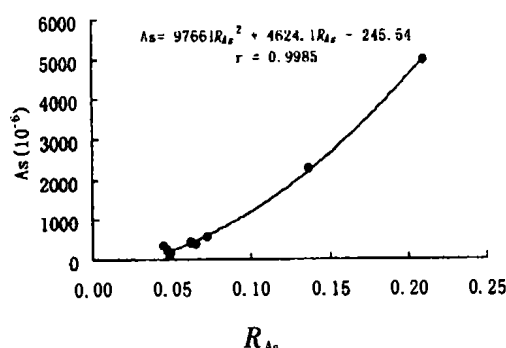


图 1 样品 X 荧光特散比与等离子质谱分析结合拟合关系

方法是:1)仪器准备工作:开机预热 30 min 进行自稳,然后测定谱漂修正系数;2)土壤测量:按不同精度布置测网、测线,在测点掘出一尺深度上的 B 层土壤,捣细、整平后进行测量。每次读取特征 X 射线及散射射线强度计数,测量计数时间为 18 s。

### 3 测量成果分析

对上芒岗金矿的广令坡矿段、麦窝坝矿段及找矿预测区勐莫进行了系统测量,沿北东走向的上芒岗断裂共测北西向剖面 9 条,其中广令坡矿段实测剖面 4 条,麦窝坝矿段 3 条,勐莫预测区 2 条,剖面线距 200~400 m,每条剖面 20 个测点,点距 20 m 左右,每个测点测定 As、Cu 及 Cu-Pb(CP)组合参量。

#### 3.1 共生元素地球化学分布

根据测量的特散比值,按工作曲线计算得到各测点的 As、Cu 的含量及 As、Cu、Pb、Zn、Hg 组合(CP)的参考数据。将数据作趋势面处理叠合于地质图中,得到各测区与 Au 共生的元素地球化学分布。已知矿段广令坡及麦窝坝的测量表明,由 X 荧光测

量结果得到的元素地球化学分布与已知矿化带及矿体吻合。广令坡矿段 As 的元素地球化学分布如图 2 所示。

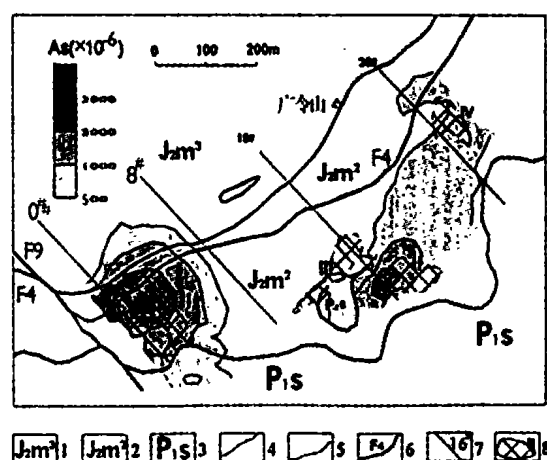


图 2 广令坡矿段 As 元素地球化学分布图

1. 中侏罗统勐嘎组上段;2. 中侏罗统勐嘎组中段;3. 下二叠统沙子坡组;4. 地层界线;5. 地层不整合界线;6. 断层及编号;7. 勘探线及编号;8. 金矿体及编号

#### 3.2 金含量或在矿体中品位的间接估算

虽然目前 X 荧光方法还不能直接测定地质体中微量的金元素含量,但据前述分析,金与砷、铜、铅、锌、汞、锑等元素紧密共生,可以通过后 6 个元素 X 荧光方法测定结果间接估算金在地质体中的含量或在矿体中的品位<sup>[3]</sup>。我们采用 Au 与共生元素的测定参数 R 直接进行拟合(减少经中间运算产生的计算误差)计算金品位,作为野外现场判别金含矿性的依据。典型样品金含量与 R 如表 2 所列,金含量与  $R_{Au}$  的拟合函数关系为:

$$Au(10^{-6}) = 0.048\ 39 \times e^{48.188 R_{Au}}$$

### 3.3 多元素地球化学异常

一般认为多元素地球化学异常比单元素地球化学分布能更有效地反映成矿作用<sup>[4]</sup>。为了对上芒岗地区红色粘土型金矿进行系统找矿预测,在剔除受采矿影响的非地表样数据后,对广令坡矿段的X荧光数据进行了数理统计分析(表2),据经验方法,建立了统一的元素地球化学异常准则(表3)。

表2 广令坡矿段X荧光测量的数理统计参数( $\times 10^{-6}$ )

统计参数	As	Cu	CP	Au
中位数(Me)	178.372	52.166	395.811	0.407
均方差(S)	164.615	29.936	251.913	0.391

表3 上芒岗地区红色粘土型金矿找矿的元素地球化学异常标准( $\times 10^{-6}$ )

异常等级	0级	1级	2级	3级	4级
异常标准	Me ~ Me + S	Me + S ~ Me + 3S	Me + 3S ~ Me + 5S	Me + 5S ~ Me + 7S	> Me + 7S
As	178.372 ~ 342.987	342.987 ~ 672.217	672.217 ~ 1 001.447	1 001.447 ~ 1 330.677	> 1 330.677
Cu	52.166 ~ 82.102	82.102 ~ 141.974	141.974 ~ 201.846	201.846 ~ 261.718	> 261.718
CP	395.811 ~ 647.724	647.724 ~ 1 151.550	1 151.550 ~ 1 655.376	1 655.376 ~ 2 159.202	> 2 159.202
Au	0.407 ~ 0.798	0.798 ~ 1.580	1.580 ~ 2.362	2.362 ~ 3.144	> 3.144

注:考虑到所选择的基准为已知矿段,因此,采用的元素地球化学异常分级标准较大面积化探异常分级的常用方案提高一级

根据表3所列指标,对广令坡、麦窝坝及勐莫三个地段X荧光测量成果的As、Cu及CP进行元素地球化学异常分级处理,将As、Cu、CP的一级以上地

球化学异常叠加,分别得到广令坡、麦窝坝及勐莫的多元素地球化学异常组合图。广令坡和勐莫的多元素地球化学异常组合如图3、4。

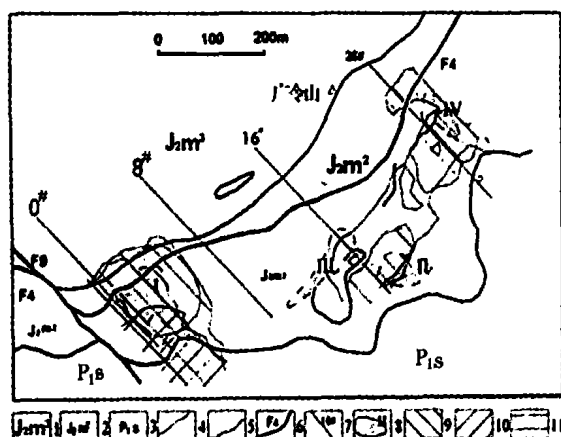


图3 广令坡矿段元素地球化学异常组合图

1. 中侏罗统勐嘎组上段;2. 中侏罗统勐嘎组中段;3. 下二叠统沙子坡组;4. 地层界线;5. 地层不整合界线;6. 断层及编号;
7. 勘探线及编号;8. 金矿体及编号;9. As异常带;10. Cu异常带;
11. CP异常带

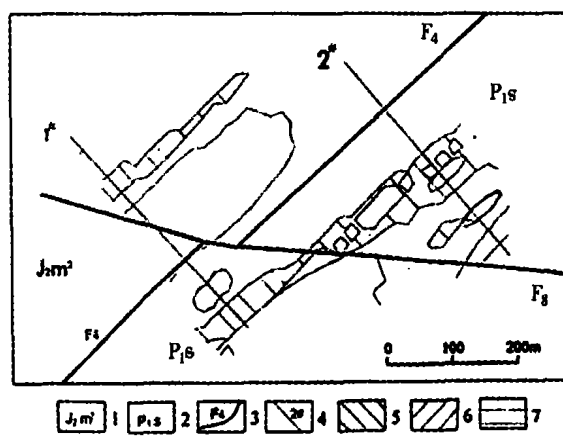


图4 勐莫地段元素地球化学组合图

1. 中侏罗统勐嘎组中段;2. 下二叠统沙子坡组;3. 断层及编号;
4. 勘探线及编号;5. As异常带;6. Cu异常带;7. CP异常带

### 3.4 对地球化学异常的工程验证

根据对找矿预测靶区勐莫地段的X荧光测量处理结果(图4),圈定出了两条金的地球化学异常带及两个一级异常叠合区,在异常带初步进行了浅井工程验证,打了数十口浅井,按勘查规范垂直刻槽取样,化验结果表明深部层位金含量大都达到工业品位,证实下部有矿体存在,在这一区域初步预测获得可观的资源量。

先达核测控设备公司虔先国博士在研究中给予大力协助,特致谢忱!

### 参考文献:

- [1] 杨竹森,高振敏,饶文波,等.滇西上芒岗红色粘土性金矿成因研究[J].矿床地质,2000,19(2):126-143.
- [2] 金景福,陶瑛,赖万昌,等.湘中锡矿山式锡矿成矿规律及找矿方向[M].成都:四川科学技术出版社,1999.126-143.
- [3] 曹利国.能量色散X射线荧光方法[M].成都:成都科技大学出版社,1998.300-309.
- [4] A.A.斯梅斯洛夫,等.地球化学预测与找矿[M].阎立本译.北京:地质出版社,1985.98-105.

致谢:成都理工学院核工系赖万昌副教授,成都