

物探与化探

WUTAN YU HUATAN

一九七八年 第六辑

国家地质总局地球物理探矿研究所编

地 质 出 版 社

物 探 与 化 探

WUTAN YU HUATAN

一九七八年 第六辑

国家地质总局地球物理探矿研究所编

地 质 出 版 社

《物探与化探》
一九七八年 第六辑
国家地质总局地球物理探矿研究所编
(限国内发行)

★
国家地质总局书刊编辑室编辑
地质出版社出版
地质印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

★
1978年12月北京第一版·1978年12月北京第一次印刷
印数1—7,750册·定价0.60元
统一书号: 15038·新338

目 录

中子活化测井测定铜元素含量试验成果..... 山东地质局物探队 (1)

航磁数据处理中应用频率滤波法的若干问题讨论..... 仇铭华 (14)

经验交流

研究区域物探资料发现大盐矿..... 安徽省地质局物探队 (33)

从几个矿区找矿史谈物探找铁..... 吴功建 (43)

方法技术

岩石、土壤和水系沉积物光谱定量快速分析方法

..... I. 尼科尔 J. C. 汉德森—汉密尔顿 (48)

小阶梯光栅光谱仪在光谱分析法中的应用

..... P. N. 凯利赫 C. C. 沃勒斯 (52)

物性研究

岩石电阻率测定的基本实验..... 乘富一雄 锅谷祐夫 (59)

无电极法电阻率测定..... 乘富一雄 锅谷祐夫 (65)

日本重视岩矿物性的研究..... 张南海 (71)

学习园地

X-射线荧光方法的原理..... 成都地质学院核子地球物理研究室 (72)

携带式X-射线荧光仪的基本构造和使用

..... 成都地质学院核子地球物理研究室 (78)

小 资 料

中子电池..... (47)

《物探与化探》一九七七年和一九七八年总目录 (82)

中子活化测井测定 铜元素含量试验成果

山东地质局物探队

为适应国民经济发展的需要,为实现四个现代化提供足够的矿产资源,地质工作必须加快步伐。直接在钻孔中测定岩矿石有用元素含量,配合地质钻探实现部分钻孔不取心钻进,是物探测井扩大应用范围和提高找矿效果的重要课题。遵照毛主席“独立自主、自力更生”的教导,我队职工因陋就简,克服困难,开展了中子活化法在钻孔中测定铜元素含量的试验工作。经几年的试验研究,证明中子活化测井可在钻孔中测定铜元素含量,其重复相对误差可按化学分析规定衡量。用它所求铜元素含量所代表的范围比岩心大得多,用来作储量计算,更接近矿体实际储量。

(一) 中子活化测井的基本原理

中子活化分析是一种核物理分析方法,其特点是灵敏度高,准确度高,可进行非破坏性分析。此法早已广泛地用于分析工作中。所谓中子活化,就是用中子照射某些元素,中子与元素的原子核产生核反应,生成放射性同位素。用仪器测定放射性同位素所放出的 γ 射线,按能量特征(或半衰期)确定是何种元素,按射线的强度计算元素的含量。将该法应用于钻孔中直接测定金属元素的品位,就是中子活化测井。

众所周知,中子所产生的核反应是很多的,因为对中子来说,势垒不存在,中子可以自由地透入任一核,直到最重的核。中子带进核内的能量等于其动能加上7—8兆电子伏的结合能,故在俘获时复核是处于强烈的激发状态,经转化由激发态跃迁至稳定态时放出能量。与中子活化测井有关的中子所致的核反应有: (n, γ) 、 (n, p) 、 (n, α) 以及 $(n, 2n)$ 等反应。 (n, γ) 反应,对于热慢中子,反应截面较大,如 $^{27}\text{Al}(n, \gamma)^{28}\text{Al}$ 、 $^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{64}\text{Cu}$ 等。 (n, p) 反应,一般在慢中子范围不能实现。因复核内要放出质子,要求中子有较大能量,一般超过3兆电子伏的中子可产生该反应,如 $^{28}\text{Si}(n, p)^{28}\text{Al}$ 、 $^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$ 等反应。 $(n, 2n)$ 反应,只有当中子能量足够大时,才能使核内的另一中子获得能量,从核内释放出来。例如,实现 $^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$ 反应,中子能量需大于12兆电子伏。

测井工作中采用同位素中子源(或井中中子发生器)产生的中子轰击元素的原子核,使其产生核反应,生成放射性同位素,如 $^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{64}\text{Cu}$ 。 ^{64}Cu 在衰变过程中放出 β^- 、 β^+ 粒子,同时放射出能量为1.34兆电子伏的 γ 射线,在 β^+ 衰变时产生电子湮没,放出0.511兆电子伏的光量子。其衰变图如图1所示。

表 1

生成的核 (及半衰期)	原子核 (及丰度%)	产生方式	生成放射性 能量 (兆电子伏)	生成的核 (及半衰期)	原子核 (及丰度%)	产生方式	生成放射性 能量 (兆电子伏)
^{28}Al (2.3分)	^{27}Al (100)	(n, γ)	1.78	^{66}Cu (5.1分)	^{65}Cu (31)	(n, γ)	1.04
^{28}Al (2.3分)	^{28}Si (92)	(n, γ)	1.78	^{66}Zn (28)	^{66}Zn (28)	(n, p)	1.04
^{29}Al (6.6分)	^{29}Si (4.7)	(n, p)	2.43	^{62}Cu (9.7分)	^{68}Cu (69)	$(n, 2n)$	2.24 0.85
^{27}Mg (9.4分)	^{27}Al (100)	(n, p)	1.015				0.66 0.51
	^{30}Si (3)	(n, α)	1.015	^{68}Zn (38分)	^{64}Zn (49)	$(n, 2n)$	0.69 0.511
^{24}Na (15小时)	^{23}Na (100)	(n, γ)	2.753		^{64}Zn (49)	(n, α)	1.11 0.511
	^{24}Mg (79)	(n, p)	2.753	^{65}Zn (245天)	^{64}Zn (49)	(n, α)	1.11 0.511
^{55}Mn (2.58小时)	^{55}Mn (100)	(n, γ)	1.810	^{106}Ag (24分)	^{107}Ag (52)	$(n, 2n)$	0.62 0.513 0.511
	^{56}Fe (92)	(n, p)	0.845				
^{42}K (12.4小时)	^{41}K (6.9)	(n, γ)	1.52	^{38}K (7.7分)	^{39}K (39)	$(n, 2n)$	2.16 0.511
^{65}Ni (2.56小时)	^{64}Ni (1.1)	(n, γ)	1.46		^{46}Ti (3.1时)	$(n, 2n)$	0.511
			1.11	^{58}Fe (8.7分)	^{54}Fe (5.8)	$(n, 2n)$	0.38 0.511
^{75}As (26.8小时)	^{75}As (100)	(n, γ)	0.56	^{49}Cr (42分)	^{50}Cr (4.3)	$(n, 2n)$	0.015
^{101}Mo (14.6分)	^{101}Mo (7.6)	(n, γ)	0.59	^{57}Ni (36小时)	^{58}Ni (68)	$(n, 2n)$	1.90 1.37 0.511
			0.51				
^{52}V (3.8分)	^{52}Cr (8.4)	(n, p)	1.44				
	^{55}Mn (100)	(n, α)	1.44				
^{64}Cu (12.8小时)	^{68}Cu (69)	(n, γ)	1.34 0.511				
	^{65}Cu (31)	$(n, 2n)$	1.34 0.511				
	^{64}Zn (49)	(n, p)	1.34 0.511				

理论和实验研究结果证实, 每种同位素都具有特定的半衰期和 γ 射线能量。根据测定的 γ 射线能谱可确定是何种元素, 根据 γ 射线的强度可确定元素的含量。

确定元素含量有两种方法, 即绝对测量和相对测量(对比法)。绝对测量比较复杂, 往往也很难测准, 所以实际上很少用它, 而都采用对比法。中子活化测井也是选用对比法。

对比法是取标准样品和待测样品在相同的条件下进行活化和测量, 其含量可按下列公式计算:

$$\frac{W_x}{W_s} = \frac{A_x}{A_s}$$

式中 W_x ——待测元素的含量; W_s ——标准元素的含量; A_x ——待测样品的放射性强度; A_s ——标准样品的放射性强度。

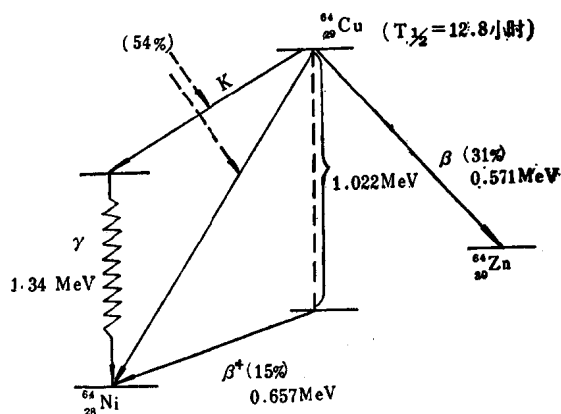


图 1

(二) 试验工作方法技术

根据中子活化分析特点, 结合地质条件, 试验工作分室内野外两部分。室内主要是化学试剂、岩矿石样品和模型井试验。目的是研究未经化学分离样品的铜元素的核反应及其能谱曲线特征; 各种同位素对铜元素的干扰情况; 各种抑制干扰和测定铜品位的方法等。野外试验利用了室内工作的试验技术和条件, 目的是试验方法的地质效果。室内和野外试验工作采用了 Po—Be 和 Am—Be 中子源。

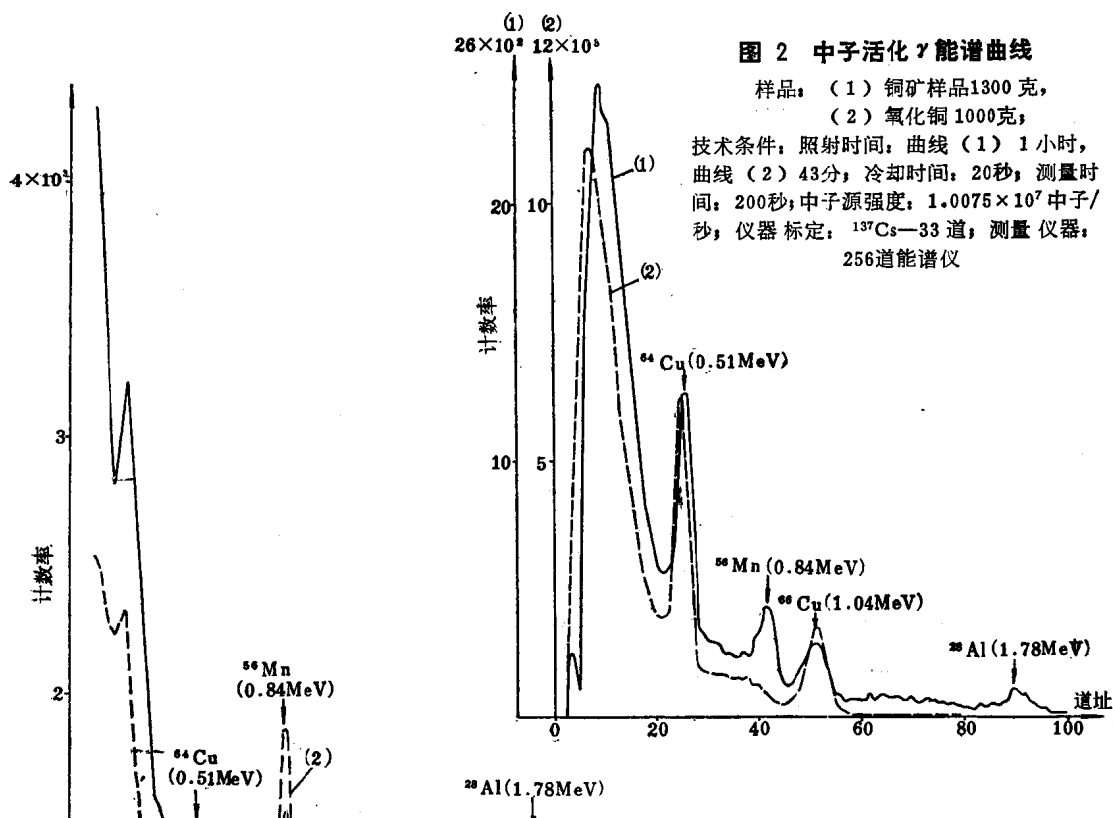


图 2 中子活化 γ 能谱曲线

样品: (1) 铜矿样品1300克,
(2) 氧化铜 1000克;

技术条件: 照射时间: 曲线 (1) 1 小时,
曲线 (2) 43 分; 冷却时间: 20 秒; 测量时
间: 200 秒; 中子源强度: 1.0075×10^7 中子/
秒; 仪器标定: ¹³⁷Cs—33 道; 测量仪器:
256 道能谱仪

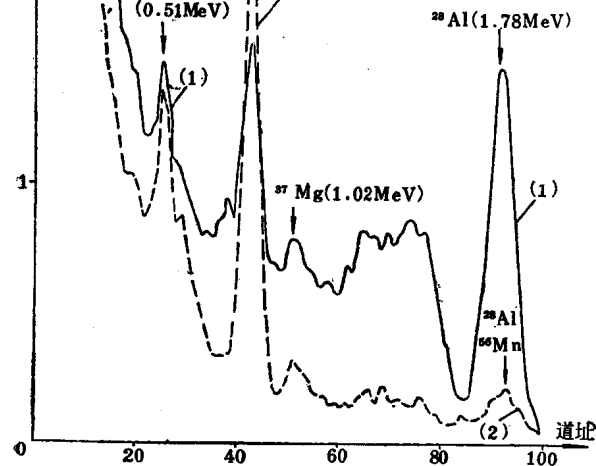


图 3 中子活化 γ 能谱曲线

样品: 某铜矿 526 孔 11 号 样品;

技术条件: 照射时间: 60 分; 冷却时间:
曲线 (1) 40 秒, 曲线 (2) 11 分 30 秒;
测量时间: 曲线 (1) 40 秒, 曲线 (2) 8
分; 中子源强度: 1.185×10^8 中子/秒; 仪
器标定: ¹³⁷Cs—33 道; 测量仪器: 100 道
能谱仪

1. 室内样品测定

采用化学试剂对两个矿区的岩矿石和钻孔中岩心样品作了试验。测定结果见图 2、图 3。

选 ^{64}Cu 作测铜元素的指示同位素。利用岩矿心样品的 ^{64}Cu 0.511 兆电子伏光电峰的面积与样品铜品位，作出光电峰面积—品位曲线。曲线呈线性关系，证明可以用中子活化测定 ^{64}Cu 光电峰面积，求出未经化学分离的岩矿样品的含铜品位。

2. 模型井测定

根据中子活化对比法要求，在室内模拟与井中条件相同的模型井，研究其活化能谱特征与铜品位的关系。模型井试验得出：

(1) 中子活化法的测定范围：由图 4 分析得出沿井轴方向为 25 厘米，垂直井轴方

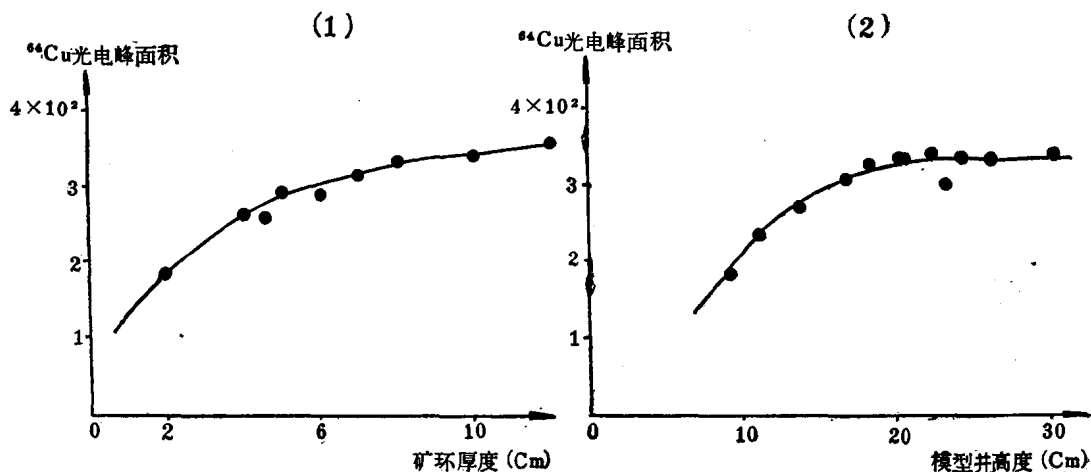


图 4 1—矿环厚度与 ^{64}Cu 光电峰面积关系曲线；2—模型井纵向高度与 ^{64}Cu 光电峰面积关系曲线

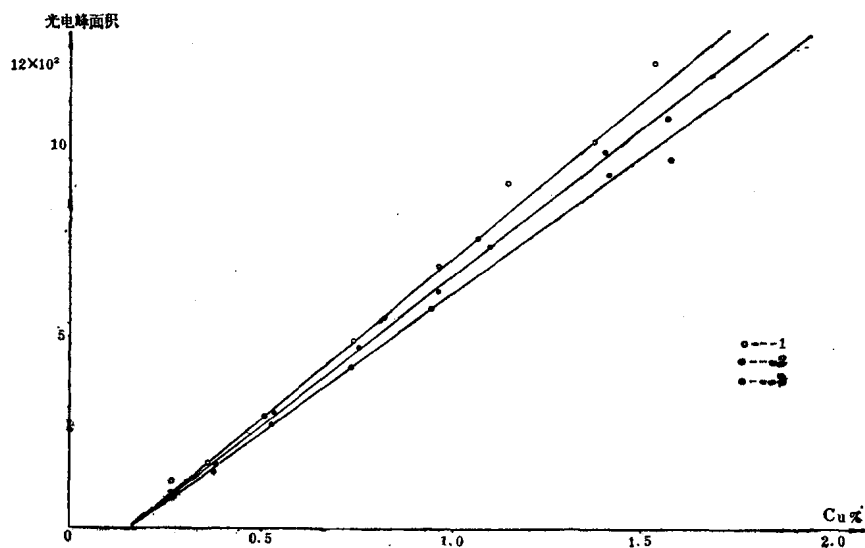


图 5 不同井径的模型 ^{64}Cu 光电峰面积与铜品位的关系

1—井径为 108 毫米；2—井径为 127 毫米；3—井径为 146 毫米

向（由井壁向外扩）为6~8厘米的一个圆柱体为其测定范围。所求得铜品位即为该体积的平均百分含量。

（2）岩矿石结构构造影响：中子活化测井测定的是某一体积的平均铜品位，如果铜元素在该体积内相对是均匀的，对测定结果无影响，特别是星散、细脉浸染、条带状等构造，均可视为均匀的。

当矿石为致密块状时，如仪器靠到某一边（即井壁测量方式时），对测量有影响。如果仪器处于轴心上，则块状构造影响可消除。

（3）密度影响：试验结果表明，岩矿石密度对铜含量的测定影响不大。

（4）钻孔井径的影响：由于钻孔井径的变化改变了中子减速、 γ 射线吸收和散射及探测的条件，因此严重影响测量结果。需通过试验，制定校正方法。图5即为不同井径的测量结果，据此可作不同井径的校正。

（三）中子活化测井方法技术

1. 与试验工作有关的矿区地质特征

该区是以铜锌为主的铜矿区，其矿石类型有硅化石墨大理岩型铜矿、伟晶岩型铜矿。围岩主要是硅化石墨大理岩。根据矿区地质勘探的结果，分述如下：

（1）原生矿石的物质成分

本矿区主要有用元素为：Cu、Zn、S，伴生元素有Ag、Se、Te、In、Cd等，其他有：Fe、Mn、Al、Si、Mg、Na等及放射性元素K。

（2）岩矿石结构构造

块状构造：矿石中硫化物集合体致密排列，无一定规律。此种构造类型局部可见，与浸染状构造呈渐变关系。

浸染状构造：有细脉浸染和星点浸染两种，为本矿区主要矿石构造。

条带状构造：矿石中硫化物的集合体与非金属矿物集合体的条带交互出现。此种构造主要发育在围岩石墨大理岩、钙镁硅酸盐和铝硅酸盐大理岩矿石里。

角砾状构造：围岩或矿石遭动力作用破碎形成角砾，又被后期的硫化物胶结。

2. 中子活化测井的野外工作

中子活化测井的井场工作与一般金属矿测井基本相同，只需外加能谱测井一套工作方法。

（1）能谱测量所需要的仪器设备：为测量 γ 射线的能量和强度，采用了碘化钠晶体探测器和脉冲幅度分析器（或称多道能谱仪）。其基本原理是，当 γ 射线通过晶体时产生光电效应（也有康普顿和电子对形成等作用），使晶体发光。光的强度与 γ 射线的能量成正比。晶体产生的闪光由光电倍增管转换成电脉冲，经放大后输入地面能谱仪，记录成为 γ 能谱曲线，该曲线可显示出 γ 射线的能量与强度关系。

（2）按金属矿测井的要求，进行综合测井，根据此结果，确定出用中子活化测井定量计算的井段。

中子活化测井按室内模型井制作标准品位曲线的技术条件进行。选用的照射时间为25'，冷却时间为11'30''，测量时间为8'，按25厘米一个点（或50厘米）进行测量。采

用量板法剥锰处理。一般可在井场上给出矿层的含铜品位。

(四) 资料整理及解释

钻孔中测得的数据，减去自然基底，即得某点的活化值。经过剥锰处理后，得到纯活化值。用此数据绘制铜光电峰谱线，并根据纯铜光电峰的“峰谷比值”，选定铜峰的左谷点位置，作与横坐标平行的线，即得到一三角形。求出其面积，再由光电峰面积一品位曲线上查出相应的品位值。图 6 即为解释示意图。如果所测点处井径值与模型井有差异，必须进行井径校正。

1. 剥锰的方法

因中子活化测井是在钻孔中进行的，若 γ 射线散射增强，所测谱线的基值被抬高，有的较弱的光电峰被其湮没（见图 7）。要得到较为清晰的光电峰，必须增加照射时间，这就使工效降低。为解决问题，需结合试验矿区条件，研究能量较高的 ^{56}Mn 0.84 兆电子伏 γ 射线的影响。根据实测研究，制作了剥锰量板，使用效果较好。图 8 是剥锰前后的曲线。

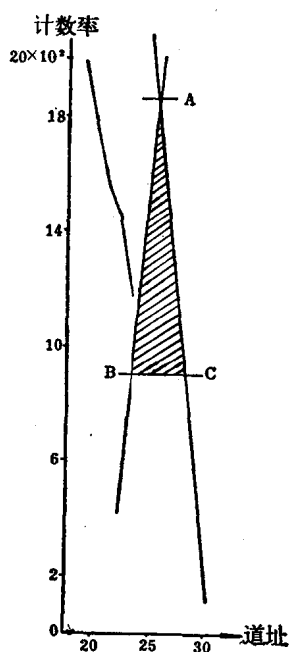


图 6

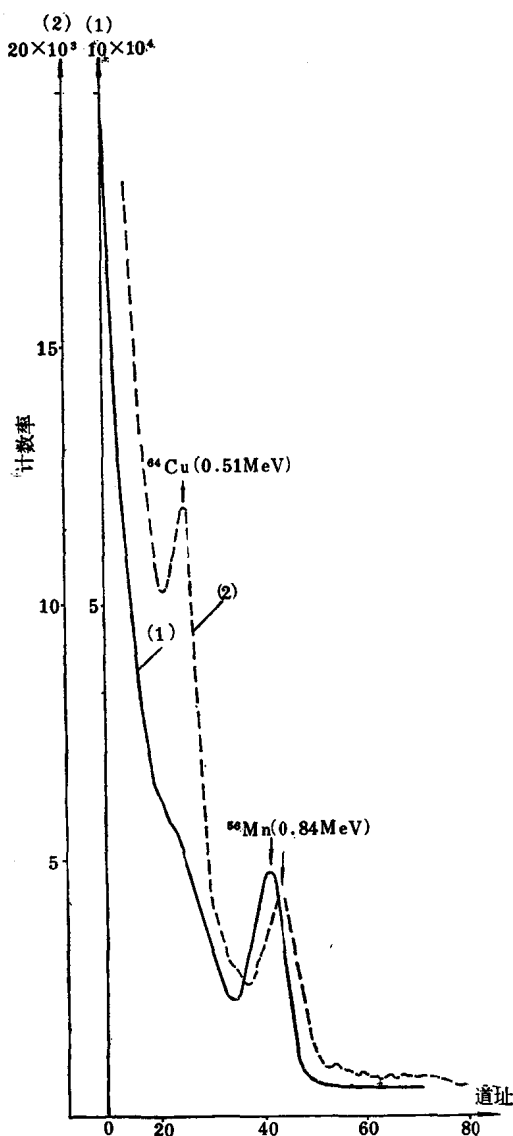


图 7 中子活化 γ 能谱曲线

三十九号模型：含铜 3.74%；
技术条件：照射时间：1 小时；冷却时间：(1) 73 分，
(2) 34 分；测量时间：8 分；模型并眼中放入钢管照射；
曲线 (1) 有钢管测量，曲线 (2) 去掉钢管测量；中子
源强度： 1.185×10^6 中子/秒；仪器标定： ^{137}Cs —33 道；
测量仪器：100 道能谱仪

下面简要说明量板剥锰方法。首先确定钻孔中活化谱线反映 ^{56}Mn 0.84 兆电子伏光电峰的强度及其峰位（即所处谱线上的道数）。图 9 所示的量板横坐标为 ^{56}Mn 0.84 兆电子伏峰强度，曲线模数为 ^{56}Mn 0.84 峰的峰位，而模数括号内数值为校正铜峰位相应的道数。查出 15 道至 30 道（这几道即是 ^{64}Cu 0.511 兆电子伏所处的道址）纵坐标之数值，即为欲校正的 ^{56}Mn 峰的散射“贡献”值。将原始记录中 ^{64}Cu 15~30 道值减去自然基底，再减去 ^{56}Mn 散射“贡献”值，剩下数值即可绘制铜峰谱线。

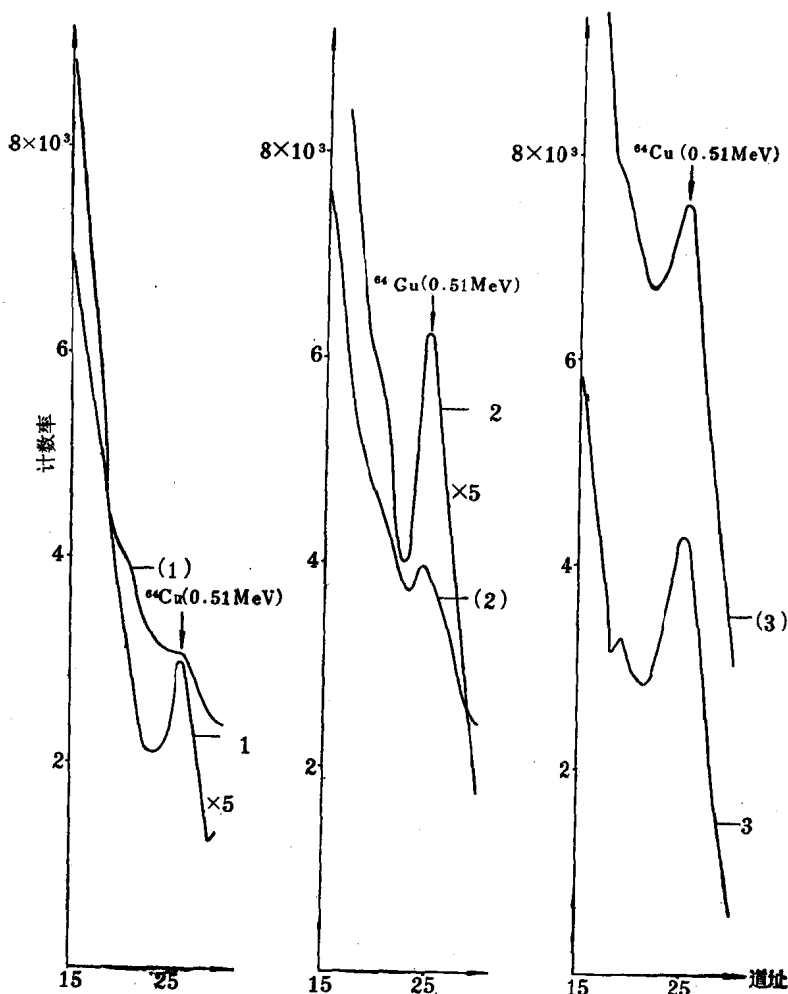


图 8 中子活化 γ 能谱原始谱线与减去 ^{56}Mn γ 谱干扰的 ^{64}Cu γ 谱线对比图

曲线 (1)、(2)、(3) 为未去掉 ^{56}Mn 干扰的曲线；曲线 1、2、3 为去掉 ^{56}Mn 干扰的相应曲线

注： $\times 5$ 表示曲线已放大 5 倍

2. 误差问题

中子活化测井灵敏阈规定为 0.1%。误差以相对误差衡量，其计算公式为：

$$\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$$

规定如下：铜品位在 0.1~0.5% 时，相对误差 $\leq \pm 15\%$ ；铜品位在 0.5~3% 时，相对误差 $\leq \pm 10\%$ ；铜品位在 3% 以上时，相对误差 $\leq \pm 7\%$ 。

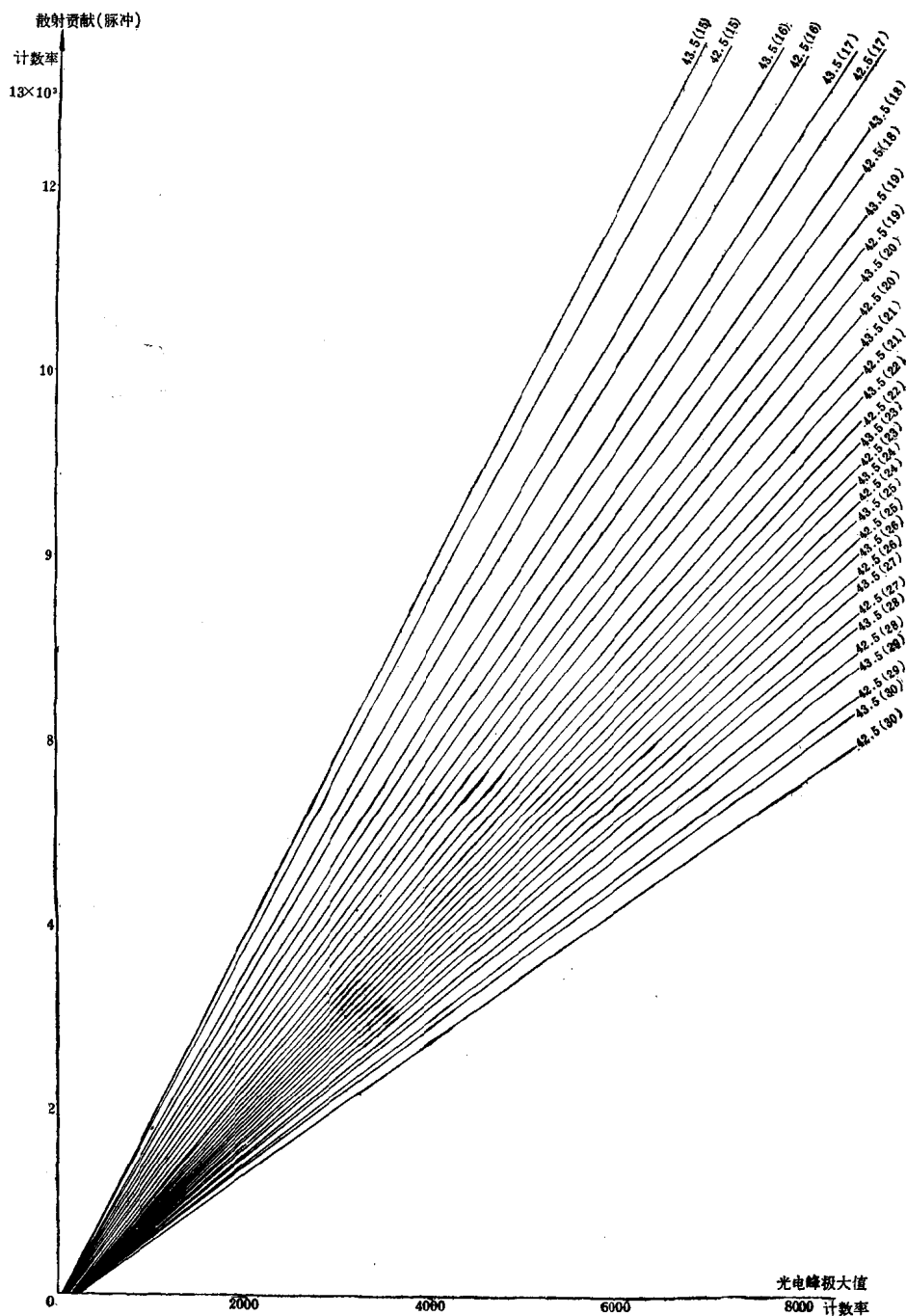


图 9 锰—56 散射贡献校正量板

3. 矿区内矿石组分对测铜元素的干扰情况

本区常见的元素都可产生表 1 列举的一些核反应，因此铜的干扰元素较多。测铜是通过 $^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{64}\text{Cu}$ 反应，测定半衰期为 12.8 小时的 ^{64}Cu 的 0.511 兆电子伏光电峰，此反应的热中子反应截面为 4.5 靶。而 ^{64}Zn 通过快中子 (n, p) 反应也产生 ^{64}Cu ，对于 14 兆电子伏中子，此反应截面为 200 靶。虽然在本矿区锌与铜含量相当，但由于 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 、

Po—Be 中子源所发射的中子经岩石慢化后, 快中子成分不大。经实测说明铀在当前这种技术条件下影响很小。

本矿区还有一些元素也产生 0.511 兆电子伏光电峰。含量较高的元素如 Na、Al, 采用延长冷却时间的方法消除 Al 的影响 [$^{27}\text{Al}(n, \gamma)^{28}\text{Al}$ 半衰期 2.3 分], 实际上采用了 11 分 30 秒的冷却时间, 为 ^{28}Al 半衰期的五倍。其放射性强度减小 32 倍, 因此未能测到。此外对 Na 的干扰进行了实测, 在测定技术条件下, 不足以影响铜的测定。

Mo 和 As 元素的干扰, Mo 有 $^{100}\text{Mo}(n, \gamma)^{101}\text{Mo}$ 反应, 其半衰期比铜短 50 多倍, 热中子反应截面为 0.2 靶, 比铜小 20 多倍, 放射性强度小 9 倍, 且矿区含 Mo 甚微, 对铜可视为无影响。As 有 $^{75}\text{As}(n, \gamma)^{76}\text{As}$ 反应, $T_{1/2}=26.8$ 小时, ^{75}As 丰度为 100%, 反应截面为 41 靶, ^{76}As 主要 γ 射线能量为 0.559 兆电子伏, 放出率为 100%。在本矿区 As 含量一般为 10^{-3} 数量级, 因此 ^{76}As 对 ^{64}Cu 的测定是一个值得重视的干扰因素。但在本试验技术条件下, 未观察到 ^{76}As 对 ^{64}Cu 的严重干扰。

另外 Zn 元素的其他反应如 $^{64}\text{Zn}(n, \gamma)^{65}\text{Zn}$, 热中子反应截面为 0.78 靶, 用 25 分的照射时间, 未能测到。 $^{68}\text{Zn}(n, \gamma)^{69\text{m}}\text{Zn}$, $T_{1/2}=13.8$ 小时, 热中子反应截面为 0.072 靶, γ 射线丰度比铜小 60~70 倍, 一般认为无影响, 但是 Zn 品位高时, 要注意其能量为 0.438 兆电子伏的光电峰对 ^{64}Cu 左谷点的影响。为此, 我们利用纯铜模型井所作的 ^{64}Cu 0.511 兆电子伏光电峰作为标准, 将其峰与左谷的比值大小用于解释中参考。

(五) 矿区钻孔中子活化测井试验结果

野外共测 8 个钻孔进行试验研究, 现以 2 个钻孔测量结果为例, 说明钻孔中子活化分析的地质效果:

1. ZK 526 孔 (图 10)

该孔深 540 多米, 主要铜矿有两层, 第一层是硅化石墨大理岩型铜矿。矿石构造为星散浸染状和细脉浸染状, 富矿主要为团块状。矿石组分主要为黄铜矿和闪锌矿。孔壁完整, 孔径 140 毫米左右, 矿心采取率在 91% 以上, 多数地层为 100%。试验条件较好。

在该孔中作过两次试验, 一次是井下仪处于自由状态。第二次加了扶正装置, 井下仪居中。测量技术条件均相同。

第一层共取十个矿心样品。相应地段四十个测点进行了活化测井, 第一次测量和第二次测量的平均铜品位与岩心化学分析结果基本相同。该段两次活化测量结果在某些点上是有差别的, 如 474.5 米第一次测量铜元素无显示, 第二次测量铜品位为 1.54%, 重复测量为 1.62%。经反复核对, 测量质量是可靠的, 其差别可能是由于矿石矿物分布不均匀造成的。

第二层共取十二个矿心样品。在相应的位置上进行中子活化测井, 第一次测量和第二次测量结果相差不大, 但是矿心分析与中子活化测井结果相差较大。在四个高品位段, 活化测井铜品位都低于矿心分析结果。在黄铜矿化硅化石墨大理岩部位, 深度为 488、488.25 和 491.05 米的三个点, 活化测井铜品位高于矿心分析结果。这可能是由于两种分析方法所分析范围不同 (当矿石矿物分布不均匀时) 或矿心取样深度搞错所致。

由图 10 可看出, 劈成两半的两块岩心, 每一块的化学分析与同一范围所取样品的活化

测定结果吻合。

本孔90个活化点中,重复了14个(占总测点的15.55%),其测量的重复误差符合要求。

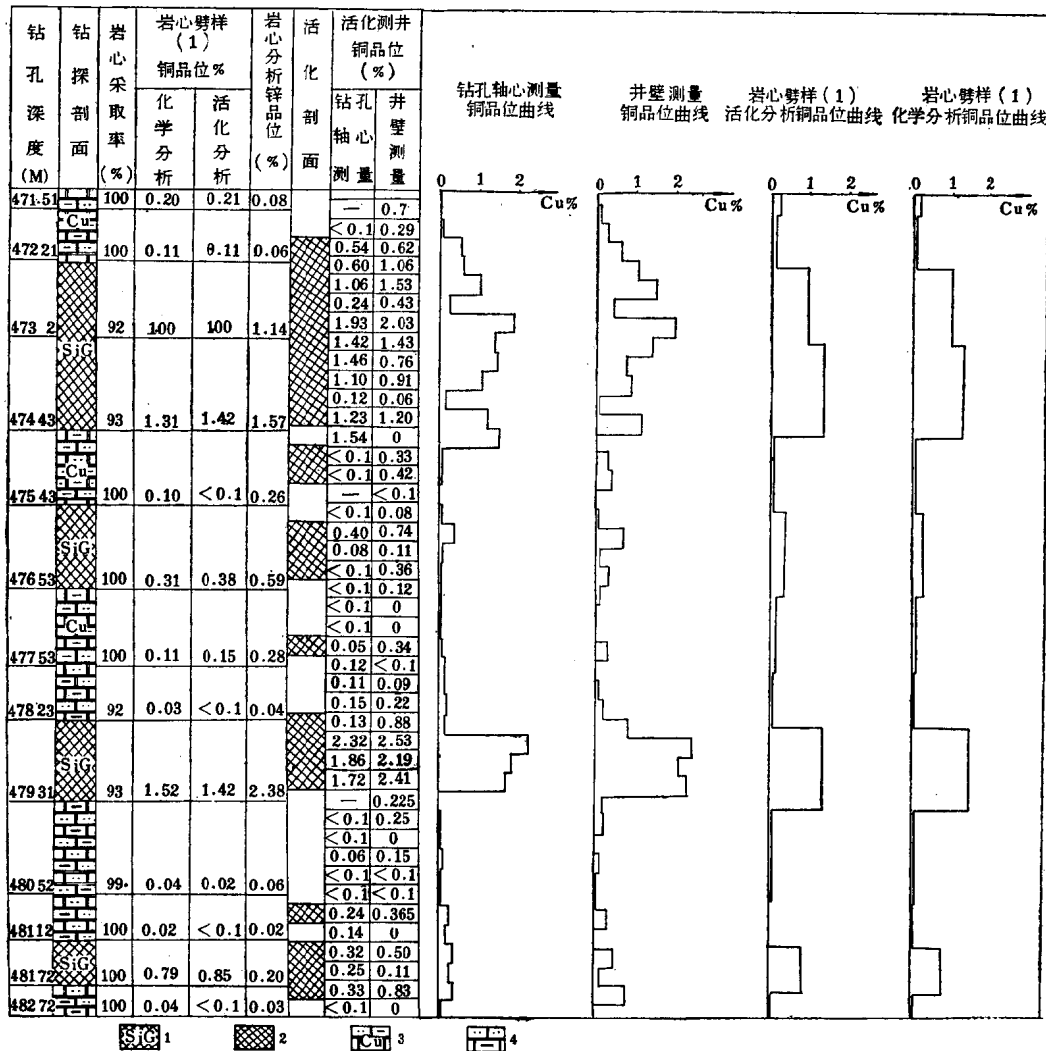


图 10 某铜矿³⁴ZK 526 孔中子活化与岩心分析对比图

1—硅化石墨大理岩型铜矿; 2—活化铜矿层; 3—黄铜矿化硅化石墨大理岩; 4—硅化石墨大理岩

2. ZK 512孔 (图11)

该孔深 400 多米, 有意义铜矿划分为两大层。矿石类型有四种: 硅化石墨大理岩型铜矿、伟晶岩型铜矿、蚀变闪长岩型铜矿和少量白云石英片岩夹变粒岩型铜矿。矿石构造复杂。钻孔直径 140 毫米左右, 孔壁完整。

在 359.51 米~368.8 米, 矿心取四个样, 岩心矿石呈团块状及条带状构造, 分布很不均匀。其平均铜品位比对应位置中子活化测井结果高 0.354%。364.68 米~365.29 米与上段情况相同, 两种方法测定结果差异也较大。说明因矿石矿物分布不均, 造成两种分析方法有差别。其他几段, 矿石构造为条带状和浸染状, 铜元素分布较均匀, 两种分析方法测

定结果吻合。

综合野外钻孔试验结果，中子活化的特点是：

(1) 中子活化测井与地质取样分析所划定的矿段（或矿层位置）和计算的铜品位基本一致。

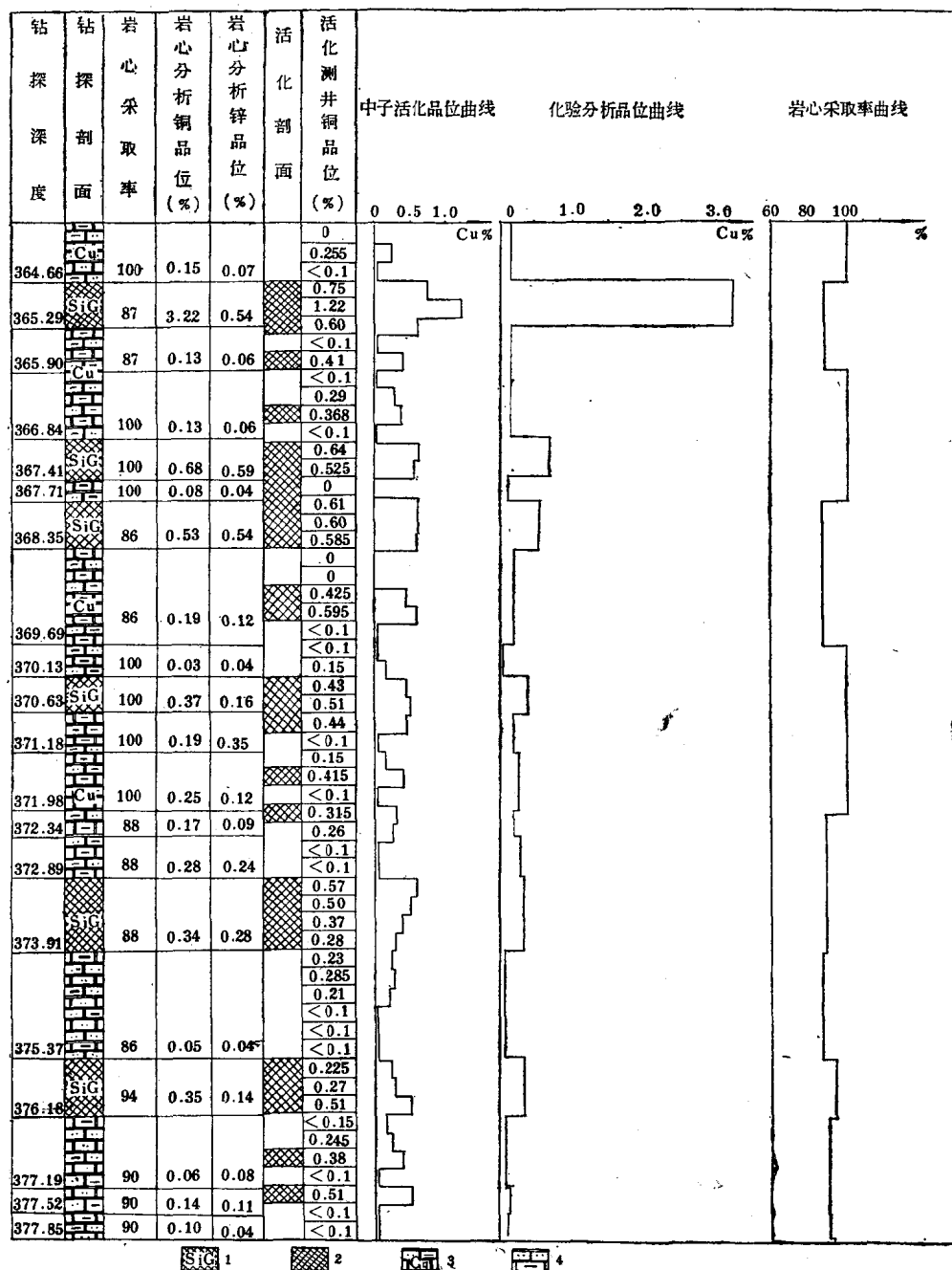


图 11 某铜矿³⁰ZK 512 孔中子活化与岩心分析对比图

1—硅化石墨大理岩型铜矿；2—活化铜矿层；3—黄铜矿化硅化石墨大理岩；4—硅化石墨大理岩

(2) 在矿层铜元素分布均匀时, 两种分析方法所确定矿段(或矿层)的铜品位基本相同。分布不均匀时, 分析结果就不相同。

(3) 中子活化测井, 质量评定应按重复相对误差要求, 不能用岩、矿心化学分析数值衡量。

(六) 中子活化测井验证结果

中子活化测井是新方法, 地质效果需要验证。按要求, 采用两种验证方法: 第一是用钻孔中地质劈样的分析样品(有化验结果)作中子活化测定, 其结果与化学分析值对比; 第二是采用矿区大块矿石打小钻孔进行中子活化测井, 并将测量范围内的岩样取出进行化学分析, 对比两者的结果, 直接验证地质效果。

1. 岩心样品测定

按对比要求, 测定四种样品。第一是 ZK 526 孔与 ZK 506 孔岩心劈样分析样品, 称为劈样(1); 第二是地质保留的另一半岩心样品, 称为劈样(2); 第三为验证小钻孔的岩心样品; 第四是小钻孔井壁所取大样样品。以上样品总数共 140 个。

对比法测量, 标准样品用本矿区的铜精矿和尾矿粉配成。先作化学分析求出铜品位, 然后测量未知样品放射性强度, 并将其与标准样品的放射性强度进行对比, 求出待测元素含量。样品重选 200 克和 500 克, 测量灵敏阈定为 0.1%。

在 140 个样品中, 测量结果可与化学分析对比的样品(含铜大于 0.1%) 共有 103 个。其中含铜在 0.1~0.5% 的有 60 个, 活化分析与化学分析的相对误差平均值为 14%; 铜品位为 0.5~3% 范围的样品有 33 个。两种分析方法相对误差平均值为 8.2%, 其中有 7 个样品相对误差超过 10%; 铜品位大于 3% 的有 10 个, 两者平均相对误差为 7.8%。若以中子活化分析为基本分析, 化学分析作为外检, 103 个样品全部作为外检衡量, 其中 29 个样品超差(按化学分析相对重复误差要求), 合格率可达 71.8%, 符合化学分析内外检规定要求。证明中子活化分析在本矿区不经化学分离可直接测定铜品位, 其测量结果与化学分析一致。活化分析重复测定了 38 个样品, 占总数的 34%, 相对误差超差的只有 5 个, 说明其质量可靠。

进一步分析了 29 个超差的原因, 含铜在 0.1~0.3% 之间, 超差 14 个的原因有两个: 其一是由于样品少, 进行活化分析时, 相对来说干扰大, 所以低品位的解释误差就大; 其二是两种方法分析的样品虽基本一致, 但仍不是同一样品, 也存在误差。

为充分证明矿石矿物分布不均匀所造成的中子活化测井与岩(矿)心化学分析结果的差别, 又测量了同一深度劈成两半的两块岩心的铜品位。将某钻孔劈成两半的两块岩心即劈样(1)和(2)化学分析结果作了对比, 含铜大于 0.1% 的只有 8 个样不超差, 20 个超差。其中有两个样, 劈样(1)不够品位而劈样(2)已达工业开采品位。证实岩心代表性差, 不能用岩心分析品位值衡量测井结果。

2. 小钻孔验证

中子活化测井结果不能用钻孔岩心分析结果对比衡量, 只能专打小钻孔验证, 即在大块矿石上用钻机打出小钻孔(孔径 103 毫米, 孔深 35~50 厘米), 取出岩心进行活化测井。然后取出活化范围内孔壁的大样品做化学分析, 以此验证中子活化测井效果。

小钻孔测井技术条件、资料整理及解释与野外钻孔相同。在打钻施工中，有6个孔是用风钻取样，样品很不规则。后改用大钻头取样，取样大小是按中子活化测井有效范围，由井壁向外扩大6厘米，长度为25厘米。

共打三十个小钻孔，取样不合格的有六个，取得完整资料的有24个(如图12)。结果有十个小钻孔中子活化测井测定的铜品位小于0.1%，其中8个与井壁大样化学分析一致。其他十四个小钻孔的铜品位都大于0.3%，活化测井能谱曲线反映明显，其结果与井壁大样化学分析相对误差最大为28.43%，平均相对误差为10.52%。该两种分析方法相对误差大于20%的有2个，10~20%之间的有5个，小于10%的有7个。在大于10%的7个样品中，有3个因风钻

取样不规则，误差较大。舍去三个点，只有4个相对误差超过10%，说明中子活化测井与井壁大样分析相对误差接近于规定的化学分析误差。分析误差产生的原因如下：

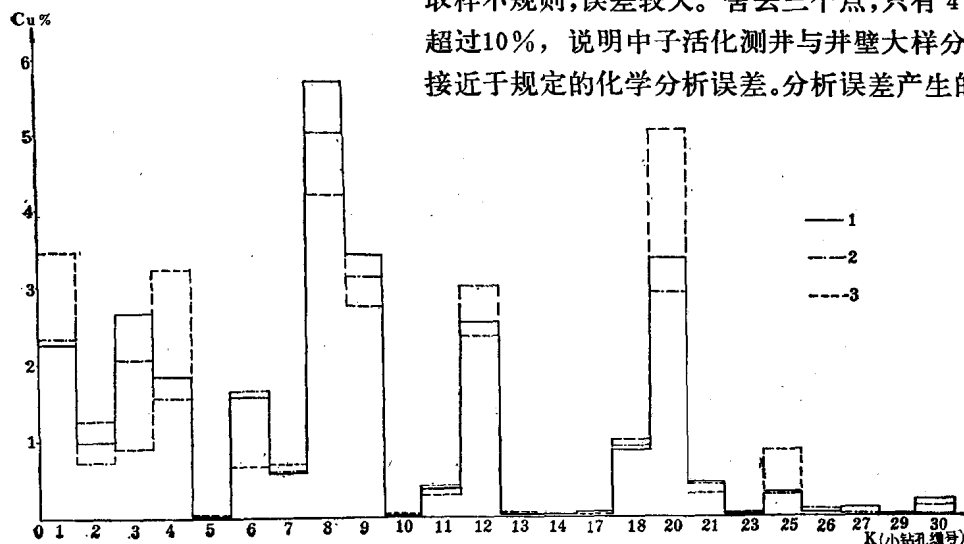


图 12 小钻孔综合方法分析结果对比图

1—井壁样品化学分析；2—活化测井分析；3—岩心化学分析

- (1) 岩矿石中铜元素分布不均匀及物质成分不同，产生干扰；
- (2) 资料数据处理和解释有问题；
- (3) 仪器稳定性不好；
- (4) 其他地质因素。

再分析一下岩心和井壁大样化学分析结果，两者相对误差平均值为31.62%，比中子活化测井和井壁大样化学分析之相对误差(10.52%)大得多。在十四个铜品位大于0.3%的小钻孔中，岩心与井壁大样化学分析相对误差大于20%的有9个，10~20%之间的有5个，基本都超差。因中子活化测井测量的是井壁向外扩6厘米、长为25厘米范围内的大样，其范围远比钻探取的岩(矿)心大得多(大十倍左右)，所求铜品位相当于井壁大样的品位值，所以中子活化测井结果的代表性比岩(矿)心分析的为好。上述分析充分证明，用中子活化测井代替岩心分析更为准确。其结果有可能达到刻槽取样的效果，用于储量计算将更符合于实际情况。

综合上述，中子活化测井测定的铜品位与井壁大样化学分析的结果基本相同，而岩心与井壁大样化学分析结果相差很大，说明中子活化测井的代表性远比岩心分析好，质量可靠，可用于生产。其重复测量误差按化学分析重复相对误差规定衡量。