

要求化探分析不仅要有与化探找矿相应的生产能力,还要有相当的研究力量,引进新方法手段,解决现有设备改造更新、样品处理、进样自动化

及手段方法配套,以适应数量大、元素多、测试任务重的要求。

## 一种新的金矿找矿法——地电化学取样测金

徐邦梁 费锡铨 王和平

金矿体周围常形成含金的离子或络离子水溶液的离子晕。在电场作用下,晕中金的离子沿电场方向向负极运移,负极得电子而形成金的电解镀层。测定负极上的金含量,藉以寻找金的盲矿体,这就是本文提出的地电化学法找金矿所依据的原理。室内外实验证明,这种方法理论上是正确的,方法是可靠的:是一种快速有效的普查金矿的方法。

### 金矿体周围的离子晕

从金的地球化学性质可知,自然界中金能溶于含氯化物或含氧化剂如 $O_2$ 、 $MnO_2$ 、 $Fe_2O_3$ 的硫酸溶液中;在氧化条件下,还能溶于腐植酸之中。在大多数金矿床中,金常与硫化物,特别是黄铁矿共生。硫化物的氧化,为硫酸的形成提供了大量的来源。此外,岩石和矿物中也含有一定量的氯。超基性岩含氯量为85 ppm,基性岩为60 ppm,中性岩为520 ppm,酸性岩为130~200 ppm;云母、角闪石等常为携带氯的矿物,含有较高的氯。这些岩石和矿物风化后,氯成为盐类并被带入地下水中,不难理解,在金矿体的周围,特别是在氧化条件下,随着风化作用的进行,必然产生具有溶解金的硫酸和氯化物,并成为形成金盐或金的络合物的物质来源。这就有可能导致在金矿体的周围形成了一个含金离子或金络合离子水溶液的离子晕,特别是处于氧化带中金的矿体部分。

为了研究在酸性溶液中、氧化条件下金的溶解情况,我们进行了以下实验:

将含金量为60克/吨的金矿石(浙江八宝山)粉末(200目)各1克,分别与黄铁矿、黄铜矿、

方铅矿、闪锌矿、毒砂、磁铁矿、磁黄铁矿、软锰矿、硬锰矿九种矿物放入9个烧杯中,注入1:20稀硫酸10毫升,浸泡72小时后,测量各稀硫酸溶液中的金含量和各矿物的电极电位(见表)。

不同矿物和金矿石在1:20硫酸中金的含量与电极电位表

矿 物	溶液中金 的含量*	矿物的电极 电位(mV)
黄铁矿	++	-300
黄铜矿	++	-300
闪锌矿	++	+90
磁黄铁矿	+	-310
磁铁矿	+	-350
软锰矿	+	-500
方铅矿	痕 迹	-90
毒 砂	痕 迹	-300
硬锰矿	未查到	-750

\*溶液蒸发浓缩后,用光谱法测定金含量:++为 $0.0\% \sim 0.1\%$ ;+为 $< 0.0\%$ 。南京地质学校徐晋恒测定。

### 实验表明:

1.在硫酸介质中,金与黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、方铅矿、毒砂等硫化物接触后,产生电化学作用,有助于金的溶解。从表可以看出一种趋势,即电极电位越高的矿物,对金的溶解能力越强。

2.在硫酸介质中,有磁铁矿、软锰矿等强氧化剂矿物参与时,亦能促进金的溶解。

在证实了金可呈离子态溶于水后,可否采用和地电化学找铜<sup>[1]</sup>的同样方法找金呢?我们选用了上述浸泡黄铁矿的溶液,以3伏、0.2毫安的电压和电流,用铂金丝为负极,进行了电提取

金离子实验。通电30分钟后，铂金丝上产生极微量金的镀层（分析证实）。

随后，我们选择了江苏溧水某含金硫化物石英脉和安徽五河某蚀变破碎带金矿进行野外实验；发现金矿脉及其附近，金在负电极上的富集量较高（从 $n \sim 100$ 多ppm）。从而证明在金矿床及其周围，确实存在着含有金离子溶液的离子晕。这个晕的范围不大，它分布在金矿体中或其外数至十余米以内。

围绕在金矿体周围的金离子晕，在自然电场、浓差扩散、离子对流和离子迁移（随地下水活动）等作用下，虽然金的离子淌度（电位梯度为1伏/厘米时的运移速度）很小，但经过漫长的地质年代，金离子（或络合离子）能逐渐运移到地表松散层中。然而，当其随地下水向晕外迁移时，因溶液中金离子浓度逐渐减小，氧化还原电位和pH值的变化，溶液中金的络合物或金盐也随之被破坏，呈离子状态的金属转变为极细的自然金粉，从溶液中析出。因此，在晕外不能保持离子态的金。但在金矿体上方近地表附近及其周围的溶液中，由于矿体源源不断提供金离子而使溶液中金离子的浓度保持在较高水平上。这样有可能在金矿体及其周围形成含金离子的离子晕，就为地电化学找金提供了前提。

### 野外实验及其成果

作者在江苏溧水某地和安徽五河某地金矿区进行了地电化学找金实验，现将这两矿区的地质概况与实验结果分述于后：

1. 溧水某地金矿地电化学找矿实验 该金矿为含金硫化物石英脉，产于上侏罗统大王山组中段的粗安质熔角砾凝灰岩的断裂破碎带中。矿体呈脉状，脉宽1~1.5米，走向北东70°，倾向北西，倾角75°。矿石中除少量自然金、碲金矿、银金矿外，主要金属矿物为黄铁矿，脉石矿物主要为石英，次为绢云母、重晶石。围岩蚀变有硅化、绢云母化、黄铁矿化、高岭石化和碳酸盐化。

垂直含金石英脉所作的地电化学金含量剖面见图1。

### 2. 安徽五河某地金矿地电化学找矿实验

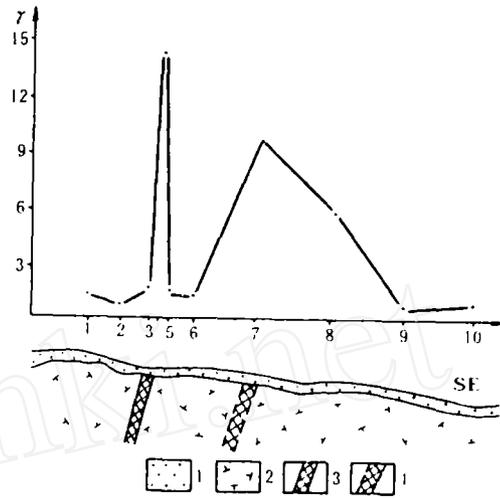


图1 溧水某含金石英脉地电化学金含量剖面

- 1—残坡积物； 2—粗安质熔角砾凝灰岩；
- 3—已知含金石英脉； 4—地电化学异常推测的隐伏金矿化脉

矿区位于五河—凤阳断块交汇的地台边缘。矿体产于下元古界五河群西固堆组变粒岩的断裂破碎带的蚀变岩中。矿体呈脉状，脉宽约5米，走向北北东，倾向南东，倾角约70°。金属矿物有细粒自然金、黄铁矿等，脉石矿物主要有石英（常呈细脉或网脉状）、褐铁矿、绢云母等。围岩蚀变为硅化、强烈的褐铁矿化和绢云母化。

在已知矿脉和未知矿脉的实验结果见图2、3。

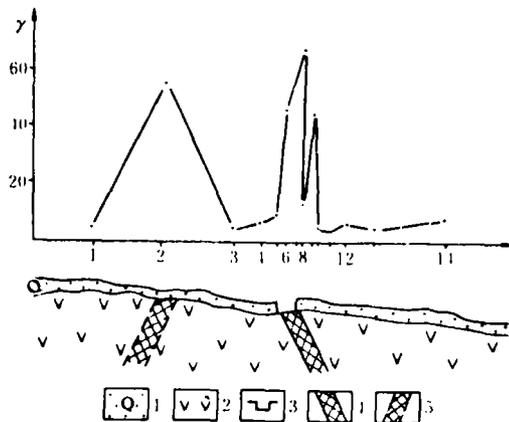


图2 5号勘探线地电化学金含量剖面

- 1—冲积物； 2—变粒岩； 3—采矿坑； 4—已知金矿脉； 5—地电化学发现的隐伏矿体

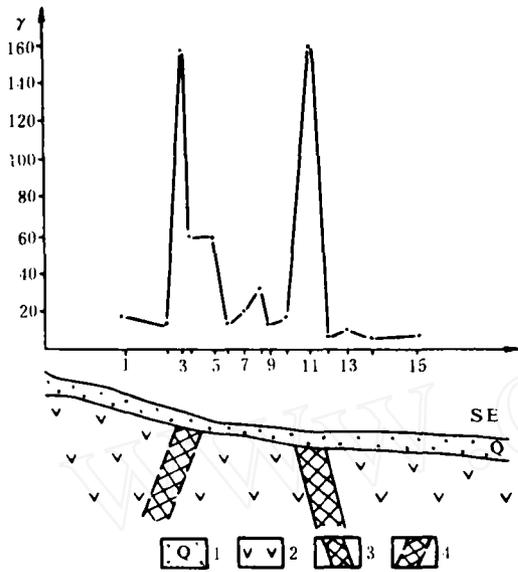


图3 13号勘探线地电化学金含量剖面

1—冲积物；2—变粒岩；3—钻探控制的隐伏金矿脉；4—地电化发现的隐伏金矿脉

由这两个矿区的三条地电化学金含量剖面来看，在已知金矿脉上金含量均较高。这说明地电化学法所显示的金异常峰值与已知含金矿脉对应得十分吻合。图2左边异常点金含量为58γ，图3左边金异常峰值为160γ，槽探揭露证实，这两个异常都是由隐伏金矿脉引起。

## 地电化学找金的工作方法

### 1. 野外工作方法

(1) 电极 为了便于分析，收集极（各测点上所用的负电极）采用碳电极（小者可用光谱分析的8×60mm碳棒，大者可用长8cm、直径2cm的碳棒）。实验表明，大小电极均能获得较好的效果。无穷远电极（正极）用一般铁电极即可。铁电极根数视总电流大小而定，以保证电流稳定为原则，接地电阻越小越好。

(2) 布板方法 如图4所示，无穷远极接电源正极，与各测点的距离应大于5倍的反映深度，以保证各测点电流场在反映深度范围内不受无穷远极的影响。各测点的指示电极埋入潮湿的松散土中，或放入装水的瓦罐中，再将瓦罐埋入松散土中即可（最好用半渗透性的薄膜）。电极埋深应

大于20厘米，埋深越大受表层干扰越小。通过土壤的松紧程度调节接地电阻，以使各电极电流一致。测量调节各电极电流时，应将各测点单独接低压电源进行调节（图5）。为了保证各电极的面电流密度一致，还要求各电极表面积一致。电极全部埋好后，用并联方式接电源的负极，整条测线所有测点组成一个排列，同时供电。这样可以保证各测点的供电时间和电压的一致性。

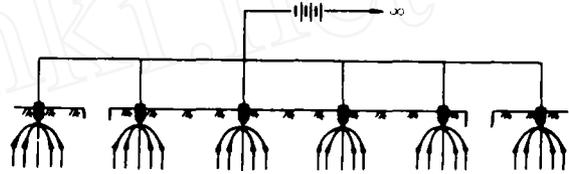


图4 布板方法示意图

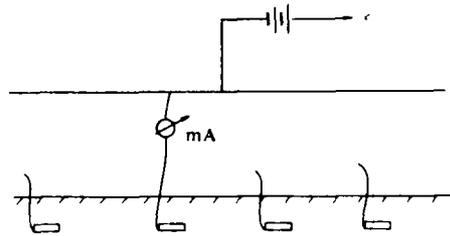


图5 测量调节电流示意图

(3) 供电时间、电压及电流 电流传递信息很快，但是作为完成电荷传递的电子或离子运动速度却十分缓慢。一般金属离子淌度为 $10^{-4}$ 厘米/秒。因此，电极上收集到的金，不可能是当时直接来自深部矿体的金离子，而是来自与矿体有关的地表离子晕中的金离子。

离子迁移距离主要取决于电极周围的电场强度和供电时间。电极上收集电解产物的数量，同样主要取决于供电电流强度的大小和供电时间的长短。因此，为了加大反映深度，应该主要靠长时间供电和加大电极周围介质中的电场强度。在均匀介质中，点电源的电场强度是极不均匀的，靠近电极处很强，随着距离的增大则迅速下降（图6）。然而，只有加大离电极较远处介质中的电场强度，才能达到加大反映深度的目的。为此，可通过两个途径：一是加大供电电流（包括加大供电电压和加大电极与土壤的接触面积）；二是减

小靠近电极附近介质的电阻率。

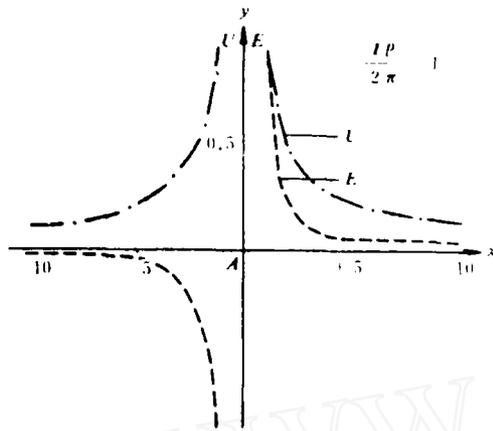


图6 地面点源(A)电场沿剖面分布曲线

$E$ —电场强度;  $x$ —研究点到A点的距离;  $U$ —电位

电流过大对金元素的提取量,并不存在线性关系;因为金的活动顺序在铜、汞、银之后,随着供电电流的增加,只能使电极上电解产物(除金以外的元素)总量成正比的增加,而无益于金元素的提取。在五河金矿区实验,在供电时间相同的情况下,我们采用大电流(500 mA)和小电流(20 mA)所提取的金量,并无显著的差异。所以我们主张用长时间、高电压、小电流供电。在漂水某金矿实验,我们采用200伏供电电压,每个指示电极的电流为20 mA,供电时间为60小时;在五河某金矿的实验,采用200伏供电电压,每个指示电极仍用20 mA,而供电时间延长为96小时。

(4) 取样 供电一定时间后,即可断电取样。取样前应和供电前一样,单独测量并记录各测点的供电电流,以了解其变化情况,供解释时参考。断电后将各电极挖出,装入编有线号的软纸袋中。注意不要把附着在电极上的电解产物擦掉。

## 2. 金的色层分析

为了配合地电化学找金野外工作的需要,我们参考有关资料<sup>[2]</sup>,提出金的纸上色层快速分析法。此方法的基本原理是:先将电极上富集的金溶于王水,得含金离子试液。移试液于滤纸条上,以醋酸丁脂展开。醋酸丁脂经过试液,携带并驱赶试液中的金离子向滤纸条上端扩散运移,使金离子与其它金属离子分离,并将金离子富集于

醋酸丁脂上升晕的前锋。然后以联苯胺为显色剂显色。根据蓝色条带的深浅和宽窄与标准样对比,从而确定金的含量。为了辨别是否有铁的干扰,可用 $\text{SnCl}_2$ 溶液显色校正, $\text{SnCl}_2$ 溶液与 $\text{Au}^{3+}$ 作用后呈棕色,加热后棕色变深。此法的灵敏度为0.0 nppm。用地电化学找金,样品往往大于金在土壤或岩石中的含量几个数量级,所以采用快速的色层分析法是有效的。其具体操作方法如下:

(1) 将负电极上的镀层附着物全部刮下(直至表层碳粉),碎至100目为试样,所有试样重量为 $Z$ ,分析试样的用量为 $S$ ,视金含量高低, $S$ 可为全部试样 $Z$ ,也可为1克或0.5克。将分析试样置于10毫升烧杯中,加入稀王水( $\text{H}_2\text{O}:\text{HCl}:\text{HNO}_3 = 4:3:1$ )1毫升,搅拌均匀后,在电热板上低温(50~60℃)蒸干。

(2) 加稀盐酸(1:4)于上述试样中,搅拌均匀,加盖密封静置24小时,取上面的清液为试液。稀盐酸的用量为 $m$ , $m$ 用量视样品多少而定,可为1毫升或0.5毫升。

(3) 滴0.02毫升试液于定性滤纸下端约2厘米处,滤纸长7厘米,宽1厘米。如果金含量极微,加联苯胺显色不清时,可滴试液0.04毫升于滤纸上;即先滴0.02毫升试液于滤纸上,在50~60℃烘干后,再滴0.02毫升于先滴的试液上,待滤纸上的试液吸附扩散后,在50~60℃烘干。滤纸上所用试液的毫升量为 $n$ , $n$ 可为0.01毫升、0.02毫升或0.04毫升。

(4) 将烘干后的滤纸下端垂直浸入醋酸丁脂中。滤纸浸入0.3厘米,勿让试液直接与醋酸丁脂接触(醋酸丁脂预先加入 $\text{HNO}_3$ 和 $\text{KClO}_3$ 处理。方法是用醋酸丁脂85毫升,浓硝酸10毫升,水5毫升,氯酸钾0.2克,先将氯酸钾溶于水后再倒入硝酸中,最后与醋酸丁脂混合、搅拌,待分层后,取上面的醋酸丁脂备用)此时醋酸丁脂即向滤纸上方扩散展开,逐渐上升,待醋酸丁脂上升超过试液2~3厘米时,从醋酸丁脂中取出滤纸。

(5) 将经过醋酸丁脂展开后的滤纸在50~60℃下,使醋酸丁脂挥发,烘干滤纸。

(6) 加一滴0.05%的联苯胺溶液(溶于10%。

醋酸中)于离醋酸丁脂上升端前锋上面(外面)约0.5厘米处,让联苯胺溶液扩散,并逐渐与醋酸丁脂前缘接触。若有金离子存在,则接触处显蓝色条带。根据条带的颜色深浅和宽窄,与标准样品进行对比,求出金含量 $R$ 。

(7) 制备0.02 $\gamma$ 、0.04 $\gamma$ 、0.06 $\gamma$ 、0.08 $\gamma$ 、0.1 $\gamma$ 、0.2 $\gamma$ 等标准金溶液,做对比定量之用。

(8) 整个样品金含量 $\gamma$ 的计算:

$$\gamma = R \cdot \frac{m}{n} \cdot \frac{Z}{S}$$

## 讨 论

一般化探找金是分析岩石或某风化产物中金含量及与其有关的间接指示元素,如As、Ag、Sb、Pb等;根据其含量异常评价矿床。无疑,化探方法在金矿的普查找矿中已取得一定的成效。但是在许多实例中,存在着不少非矿异常或假异常,怎样判别有矿异常和无矿异常,在较大范围的异常中怎样确定金矿体的空间位置,是在化探找金中存在的难度较大而又必须解决的问题。

一般化探找金的原生晕和次生晕主要是分子态金和极微量离子态金含量的综合反映。在地表氧化带中,金主要以机械形式迁移分散,因此原生金矿床往往形成较大范围的次生晕。在此大范围的次生晕中,由于地貌、岩性、构造等条件的不同,会形成局部的富集假异常,使评价金矿异常的难度增大。原生晕主要是分析岩石中的分子态金。从金在岩石中分布规律可知,各类岩石中金分布量是不均匀的,就是同一个岩体、同一类岩石也是如此。有的岩体边缘和中心部分金含量就有显著的差异,含金量高的岩石又不一定能形成金矿床,这些都为原生晕找金矿带来许多复杂的假象。

地电化学找金是在电场作用下,以电极直接从金矿体周围形成的金离子晕中提取金,并根据其含量的异常来确定金矿体。它是物探和化探相

结合的找金方法。地电化学的金异常与相应的金离子晕有关。金离子晕与金矿体的关系极为密切,并能直接反映矿体的位置。只要能形成金离子晕的金矿床,我们认为都可以用地电化学法找矿。

综上所述,与其他物化探找金方法相比,本方法有以下优点:

1. 它的异常指示了金离子晕的存在,而金的离子晕又不可能远离金矿体存在,所以减少了异常的多解性。

2. 所采样品中的金是在电场作用下高度富集的。这样,既可使样品分析方法简单,又可以发现常规物化探所不能发现的异常。

3. 尽管离子在电场作用下的运移速度很慢,但随供电时间的增加和供电电压的增大,反映深度有所增加。目前情况下,有可能提取几至十几米深处的金离子,这也是与常规化探不同点之一。

4. 野外工作方法简单,容易掌握,功效也不低,1.5千瓦的电源每次可布置200~300个点,用多套电源设备,可采用流水作业方式提高效率。

5. 样品分析方法简单,经济、快速,适于普查。

6. 在寻找脉状矿体时,需有足够密的点距。这给大面积普查带来一定困难。但在常规化探圈定的成矿远景区和地质上确定的成矿有利部位上,确定是否由金矿体引起的异常,或在已知金矿区寻找盲矿体等方面较为合适,并可能在定位上优于其他方法。

这一方法不够完善之处,仍有待进一步研究、探索和改进。

朱家珍、傅经章老师以及董平、朱晓峰等同志参加了野外实验工作,在此谨表感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 费锡铨,物探与化探,1984, No 3
- [2] Arthur S. Ritchie, Chromatography in Geology. Elsevier Publishing Company 1964, p. 96-98