

地电化学测量找寻隐伏矿床的研究及找矿预测

罗先熔 杨 晓

(桂林冶金地质学院隐伏矿床预测研究所)

对不同景观条件下的隐伏Pb、Zn、Sn、Au和As等多金属矿床开展了电提取测量技术、找矿效果、找矿预测等方面的研究,取得了明显的找矿效果。在未知区的找矿预测中发现多处有意义的电提取综合异常,有的异常已验证见矿,说明该方法是有应用前景的。

关键词: 电提取测量; 找矿研究; 应用效果; 找矿预测

从1987年起,我们先后在新疆哈密、山西繁峙、广东韶关、广西平桂等矿区开展了地电提取方法技术、应用效果、找矿预测等方面的研究。对隐伏金矿、铅锌矿、钨锡矿、砷多金属等矿种的研究表明,地电提取法对找寻隐伏矿效果是好的。在上述矿区外围的找矿预测,发现了多处电提取异常,其中有的异常已验证见矿,取得了一定找矿效益,预计在其他几个电提取异常区也有可能见到隐伏矿体。

方法基本原理

地电提取测量的基础是物质的电化学反应的组份,在电流作用下运移,使元素在测点产生积累,达到测定积累量,藉以找寻隐伏矿。

方法实际是利用多个阴极(元素接受器)及一个阳极(无穷远极)组成回路,在人工电场的作用下,使覆盖层及深部矿体附近处于孔隙溶液中与固相形成动态平衡的离子产生两极分化,即阳离子向地表阴极运移,而阴离子向地表阳极运移。离子在进入阴极元素接收器时,每一单元体积内离子的移出必须由相邻体积内离子的移入来补充。因此,只要在阴极和阳极周围产生的电极反应产物没有达到相应体积,其中离子的运动就不会使成份改变。在电极周围地带运移来的组份逐渐积累,其积累的增加与供电时间

及介质中离子浓度和离子本身的迁移速度成正比。

矿体元素在地壳岩层中可以有以下几种分布迁移状态:离子状态、络合物凝结状态、原子状态、分子状态、金属状态。矿体纯离子状态分布不广,大多数是与当量的其他元素形成络合凝结状态,即络合离子。这些络离子在人工电场或自然电场的作用下发生电离和电解产生解离作用,地电提取法就是运用这种电场对络合离子集合体的解离作用,人工的使某种元素富集到元素接收器里,经分析接收器中元素的含量达到找矿目的。

现在的找矿方法大多数是消极原地测量元素的含量大小,而电提取法是人工积极地促使所要找的元素运移富集到地表元素接收器里。因此,不能认为元素接收器内所提取的离子仅仅与近地表的次生晕有关,而是反映了部分来自深部与矿体有关的离子晕。最初接收的是溶解在水中和疏松沉积层中分散状态的矿物离子,而后逐渐接收在人工电场作用下,来自深部与矿体有关离子。这就是地电化学提取法的基本原理。

时量曲线的绘制及解释

当供电达到一定时间后,按一定时间间隔从元素接收器内等量抽取元素接收液进行分析,按分析结果绘制每种元素含量与提取

时间的相关曲线——地电化学提取时量曲线。

用时量曲线可确定元素的进入时间和它的富集增长速度。富集增长速度可用于确定覆盖层、岩矿石的金属元素含量；而提取时间可用来确定提取地点与矿化间的距离。一般而言，在含量均匀的背景介质中，绘制的提取时量曲线为一条直线，而当深部存在足够的离子或矿体时，则为一条折线。

工作方法

地电化学提取野外工作主要采用剖面测量。剖面的设置首先应考虑测区的成矿特征，还应尽量选择在地形起伏不太大、植被不太发育、土壤层分布均匀且较厚的地段。剖面位置选定后，主要有以下工作。

1. 元素接收器的埋设

每个元素接收器即为测量剖面的一个测点。埋设时首先在测点挖一深30~50cm的坑，然后将元素接收器用细土小心埋实，加人在室内配制好的接收液（接收液根据要找的矿种而配制），盖上塑料盖，插入电极并留出引线。最后在接收器顶部罩上一塑料袋，以防灰尘及雨水进入。

2. 无穷远极的设置

在元素接收器埋设的同时，按剖面长的2倍距离将“无穷远极”埋设在低洼潮湿接地良好的地点。经实践对比，选择长2m，宽0.5m，厚0.1cm的薄铜板作“无穷远极”效果良好。布设时，先挖一条2×0.5×0.5~0.8m(长×宽×深)的槽，然后把铜板电极置入槽底并留出引线，适当浇水，用土埋实即可。

3. 布线

剖面选定后，在其附近避雨的地点设置测站。由测站向各元素接收器，无穷远极布设供电导线。布线时尽量避开人畜通行过频的路口、水田及池塘等，以防断路或漏电。线路连接好后，可检查接地电阻（正常情况

500~5000Ω），若太大则应采取措施降低。在上述工作完成后，便可开始通电。在新区首先要通过作地电化学时量曲线确定提取最佳时间和最佳供电电流。

4. 取样分析

供电达到最佳提取时间后，断电并将各提取器中的提取液分别倒入编有点号的塑料瓶或玻璃瓶中送分析。由于样品为液体，可直接用原子吸收、化学光谱、极谱等方法进行分析。

找矿效果

1. 找寻隐伏金矿的效果

(1) 新疆哈密金离子金矿 金窝子矿区位于天山地槽与北山地槽交界处，靠北山地槽一侧的星星峡区域成矿带中，为破碎带蚀变岩型金矿。矿体赋存在火山碎屑沉凝灰岩和凝灰质砂砾岩的层间破碎带中。主要金属矿物为自然金、黄铁矿及少量白钨矿。金矿体多呈透镜状，沿破碎带的走向及倾向均呈不连续的串珠状分布。选择过210矿脉的5号勘探线进行地电提取找矿效果研究。剖面范围全由戈壁覆盖，多为岩屑、砂砾石残积物，洪积物及风积物类型的含砾亚砂—亚粘土层。覆盖层厚为几~几十m。剖面长200m，矿体埋深几十m。按矿体的分布情况，采取不等距布点，供电电压220V，供电电流400mA，以供电8、12、16、20、24小时抽取接收液作分析绘制时量曲线，决定

210矿脉地电提取金含量增长情况

提取时间 (小时)	Au 含量 (ppm)	Au 含量增长 率 (ppm/h)	反映深度
0	0	0	浅部次生晕
8	0.04	0.0050	
12	0.21	0.0175	过渡带
16	0.37	0.0231	深部矿体周 围离子晕
20	0.53	0.0265	
24	0.70	0.0292	

最佳提取时间,估算提取所达到的深度(表、图1)。

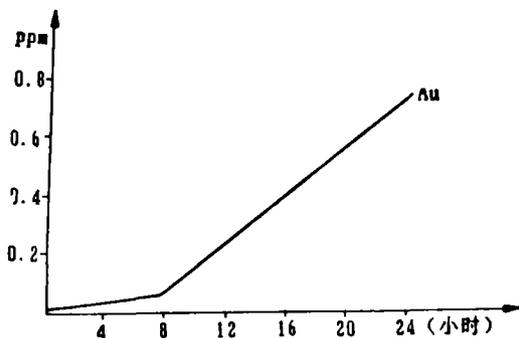


图1 210脉地电化学提取时量曲线

从表和图1可知,提取液中的Au随着时间的增加,金含量亦逐渐增加,且不同时间内的增长速度是不同的。从图2可见,在8小时出现一拐点或称速率突变点,说明在供电开始到8小时以前提取的为覆盖层中的金含量,其含量增长率很低,仅0.005ppm/h,8小时至12小时之间为过渡期,其含量增长率增至0.0175ppm/h,而到16小时以后其含量增长率达0.0231ppm/h,这时已反映出深部金矿体周围的离子晕的金含量,其后增长率达0.0292ppm/h,并逐步趋于平衡的稳定状态。

从实测剖面(图2)可看到,供电16小时、24小时提取分析的Au异常,十分清晰地指出了覆盖层下隐伏的金矿体赋存位置。在该剖面还作了同点次生晕采样分析对比研究,结果在隐伏金矿体上有微弱的异常出现,其金含量仅有0.001~0.08ppm,而电提取金含量一般都在0.2ppm以上,高出次生晕两个数量级。这充分说明用人工电场经过长时间、大电流的供电后,深部的离子被运移到地表元素接收器中。也就是说,元素接收器内所提取的离子,一部分来自浅部与矿体有关的次生晕;另一部分来自深部与矿体有关的离子晕。因此,该方法具有找矿深度大、能区分真假异常等优点。

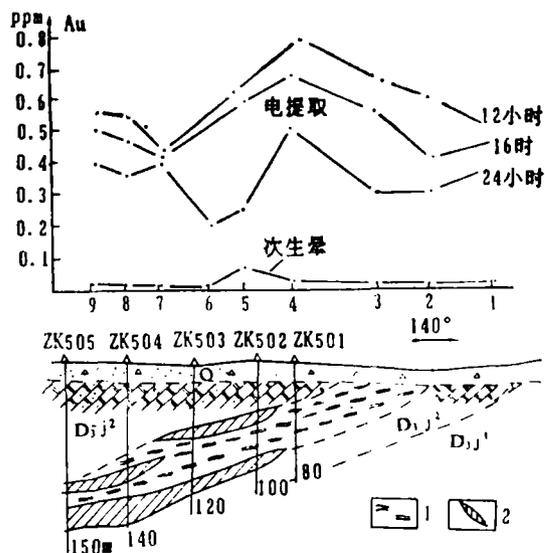


图2 金窝子金矿区5线地电提取Au异常剖面

Q—第四系; D_3j^2 —金窝子组中段; D_3j^1 —金窝子组下段; 1—糜棱岩; 2—金矿体

(2) 山西繁峙耿庄金矿 矿床位于区域庄旺滩基底复式倒转向斜之北翼,耿庄—红安断裂之中部。金矿体产于断裂交叉部位或沿断裂带产出。矿石类型主要为金银多金属硫化物。主要金属矿物有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿及金银系列矿物。围岩蚀变主要有黄铁绢英岩化、绢云母化、硅化,其中与矿化关系较密切的是黄铁绢英岩化和硅化。

在该区选择了典型厚层黄土覆盖条件的11号线进行试验研究,在该剖面金矿体赋存于爆破角砾岩体中,受隐爆角砾岩中后期次级裂隙群控制。矿体埋深40~200m,矿体平均厚3~5m, Au平均品位5g/t。

试验剖面长800m,按不等距布点,供电电流0.3A,不同供电时间取样分析,结果(图3上)显示:在15~20小时取样分析的金异常清晰地反映了下伏金矿体的赋存部位。

为了研究供电前后次生晕的变化情况,同一测点在供电前、后分别采样分析Au的含量,结果(图3下)表明,供电前、后次

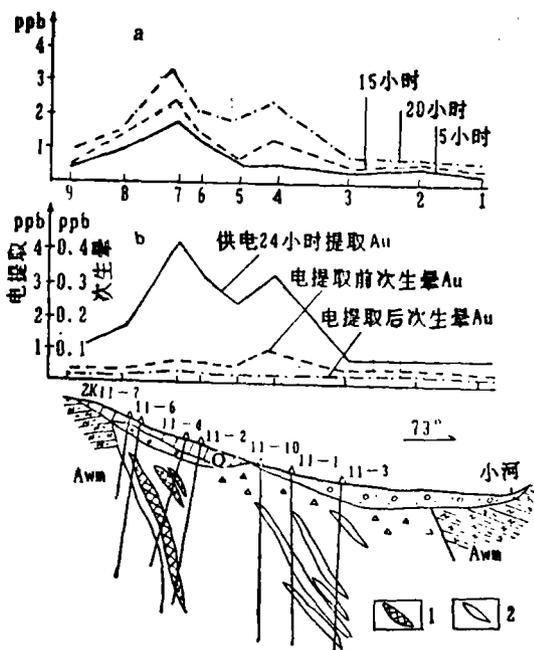


图3 耿庄矿区电提取及同点次生晕Au异常剖面

Q—第四系; Awm—五台群; 1—金矿体; 2—铅锌矿体

生晕Au含量都非常低, 在0.01~0.09ppb范围内波动, 仅反映背景变化。在矿体上方均无明显异常。而电提取(24小时)Au含量高达4.2ppb, 高出次生晕含量两个数量级。

2. 找寻隐伏铅、锌、砷多金属矿的效果

(1) 广东韶关一六砷、铅、锌多金属矿 矿区位于观音山背斜北西翼, 重阳断裂西南段。矿床类型为砷多金属矿床。主要金属矿物为毒砂、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿。

在该区选择了15线进行研究, 试验剖面地段被 $n \sim n \times 10m$ 厚的第四系外来堆积物(水稻田)覆盖。隐伏矿体分布零散, 呈透镜状产出, 埋深70~170m。电提取供电电流为0.35A, 供电时间20小时, 分析Cu、Pb、Zn、As等元素, 结果(图4)几种元素的异常都清晰地反映隐伏矿床的赋存部位。Cu异常强度为0.1~0.4ppm(背景0.05ppm), Pb异常强度为2~4ppm(背景1ppm), Zn

异常强度为2~4.3ppm(背景1ppm), As异常强度为40~110ppm(背景为20ppm)。

在该剖面做了同点次生晕Zn、As分析(图4), 在剖面西南段全是废矿石堆, 次生晕样品Zn、As含量都很高, 显然是由污染引起的干扰异常。而电提取Cu、Pb、Zn、As异常则能很好的排除干扰, 在隐伏矿体上方出现清晰的矿致异常。说明用电提取方法评价物化探异常是行之有效的。

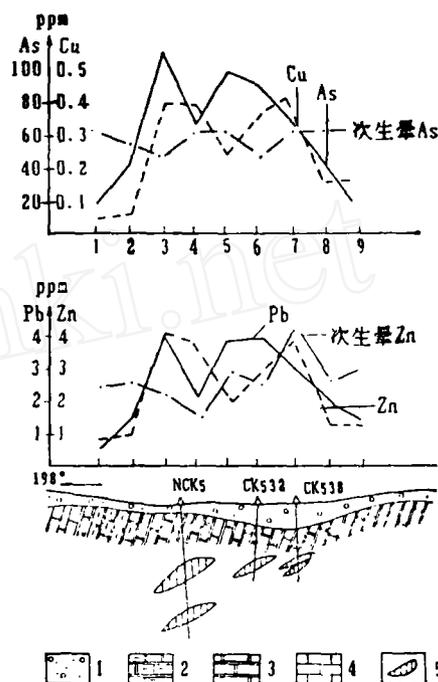


图4 15线电提取及次生晕异常剖面图

1—第四系; 2—泥质大理岩; 3—大理岩; 4—灰岩; 5—矿体

(2) 山西繁峙耿庄铅锌矿 耿庄铅锌矿与耿庄金矿床共生, 在进行电提取找金试验时, 把剖面延长至隐伏铅锌矿赋存地段, 同时做了提取铅锌试验研究。结果在隐伏的铅锌矿体上, 测出了清晰的Pb、Zn异常(图5), 而且在金矿体上也出现了弱Pb、Zn异常。在铅锌矿体最富集地段提取的Pb、Zn分别达3和4ppm, 其背景分别为0.5和

1ppm。

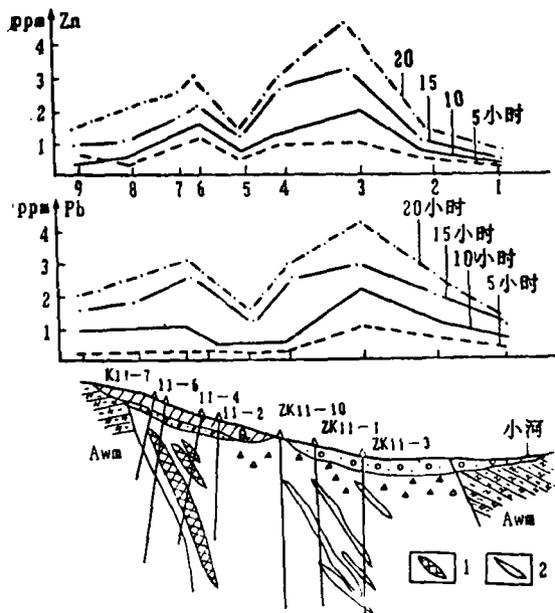


图5 耿庄矿区11线电提取Pb、Zn异常剖面

Q—第四系；Awm—五台群；1—金矿体；2—铅
锌矿体

3. 找寻隐伏钨锡矿的效果

(1) 广东韶关一六白钨矿 该矿床位于一六矿区大赦一带，金属矿物有白钨矿、褐铁矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿。在该矿床选择了8线进行试验，已知其下有两组隐伏矿体赋存在夕卡岩及大理岩化夕卡岩中。矿体埋深50~100m。按供电电流0.3A，供电时间25小时，提取分析了Cu、Pb、Zn、W、Sn等元素，结果(图6)在两组钨矿体上均测出了清晰的Cu、Pb、Zn、Sn异常。由图6可以看出，在CK1控制的矿体上方Cu、Pb、Zn、Sn异常集中在2~4点之间，CK7、CK9控制的矿体上方Cu、Pb、Zn异常集中出现在剖面的6~7点之间。但未测出W异常(W含量0.05~0.08ppm)，是因分析原因造成，还是因为W的地球化学行为或存在形式使之不易被提取到元素接收器所致，有待进一步研究。

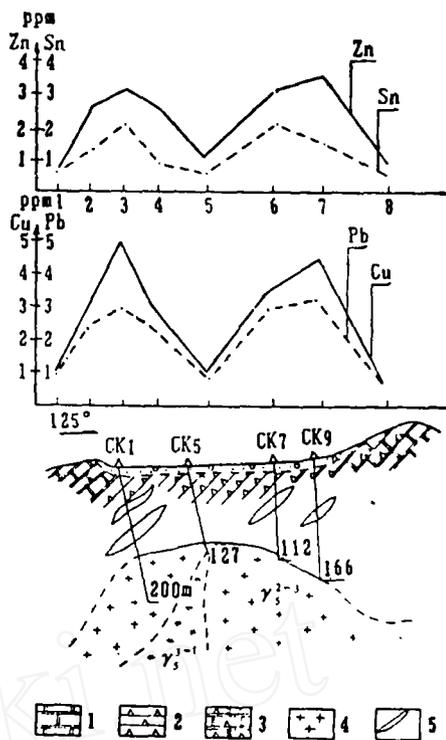


图6 一六钨矿地电提取异常剖面图

1—大理岩；2—夕卡岩；3—夕卡岩化大理岩；
4—花岗岩；5—矿体

(2) 广西白面山六合坳细脉浸染型锡矿 六合坳锡矿位于广西新路矿田中部，矿体沿花岗岩与玢岩的接触带或灰岩与玢岩接触带的夕卡岩中产出。主要金属矿物有锡石、黄铁矿、磁黄铁矿，黄铜矿。

在该矿床选择了4线，按供电电流0.4A，供电时间26小时，提取分析Cu、Pb、Zn、Sn等元素，结果见图7。几种元素异常集中反映在剖面的2~5点之间，异常宽度都在80余m，几种元素异常峰值复合部位正是埋深100余m矿体的赋存部位。由于延长了供电时间(26小时)和加大了供电电流(0.4A)，所获Cu、Pb、Zn、Sn异常强度较其他剖面要大，说明加大电流和延长供电时间能增加元素的相应提取量。

不同厚层覆盖区的 找矿预测

1. 新疆戈壁覆盖区

在新疆哈密某金矿区外围一个测区全为戈壁覆盖，前人在该区发现有原生Au、As、Hg异常。为了详细弄清区内找矿前景，进行了电提取的查证找矿，结果在区内发现了几处很好的电提取Au异常（图8）。

从图8a可见，Au异常强度为0.11~0.25ppm，在剖面上出现两个峰值点，剖面的东南端由于无测点控制，异常峰值未下降。图8b的Au异常强度达0.29ppm，同样是在剖面的东南端无测点控制到异常峰值的下降。在该剖面做了同点次生晕分析对比，结果次生晕Au含量在0.05ppm以下，相当于电提取的背景含量。两条线电提取Au异常均较次生晕金反映高数倍，异常分布的地质位置十分吻合，异常均有向东南方向继续延伸的趋势。在异常范围内发现有含Au石英脉数条，品位在0.13~18.928g/t。因此

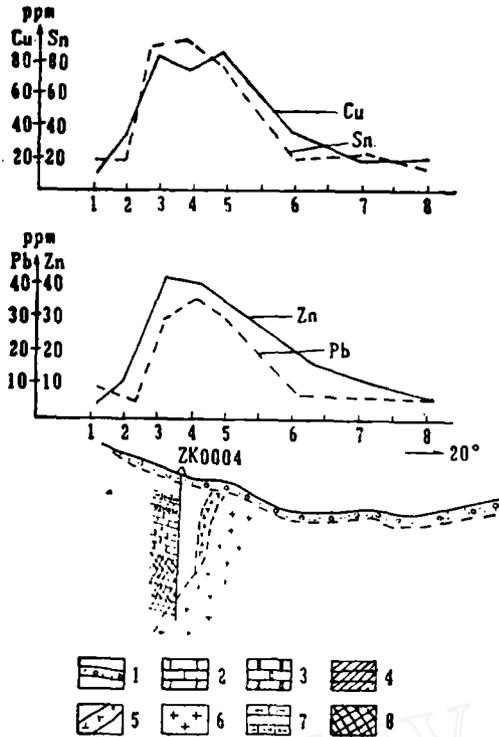


图7 六合塢电提取异常剖面图

1—第四系；2—灰岩；3—硅质岩；4—角岩；
5—闪长玢岩；6—花岗岩；7—夕卡岩；8—矿体

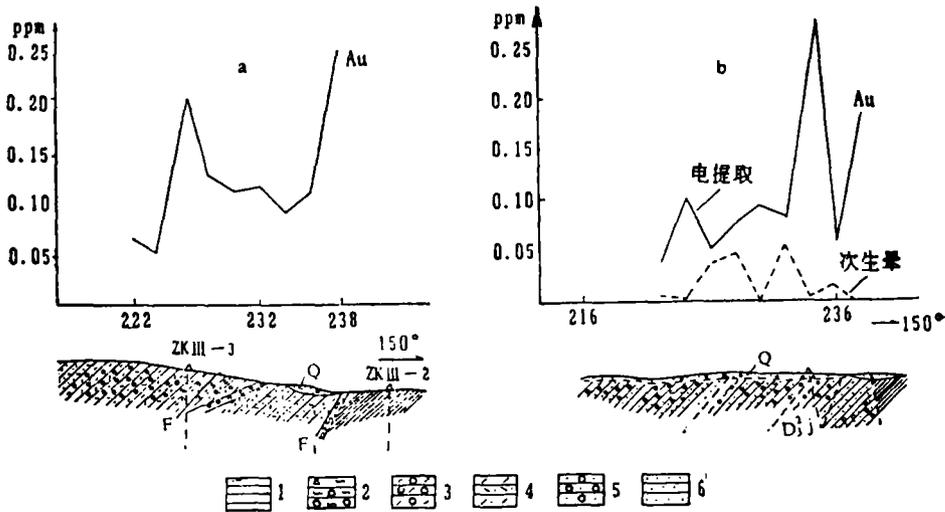


图8 金离子矿区北带B10线(a)、B60线(b)电提取Au异常剖面

Q—第四系；1—灰绿色千枚岩；2~3—石英脉充填的断层破碎带；4—凝灰质中砾岩；5—凝灰质砂岩；6—凝灰质中巨砾砂岩；7—凝灰质中砾细粒砂岩

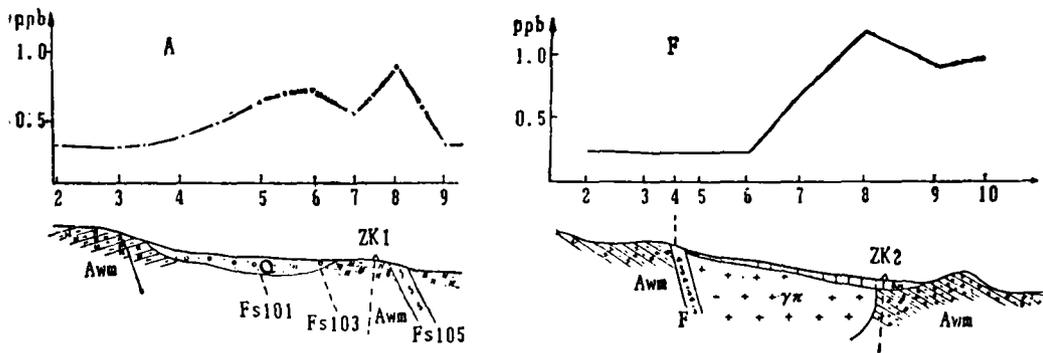


图9 耿庄金矿大麻花—官黄沟(A)及后沟(F)测区电提取Au异常剖面
Q第四系; Awm—五台群; $\gamma\pi$ —花岗岩; F—蚀变断裂带

认为电提取金异常范围内找寻深部隐伏金矿是有可能的。经新疆704队对东南段Au异常进行验证, 结果在160m深处见到4.5m厚的隐伏金矿体。其他金异常待验证。

2. 晋东北厚层黄土覆盖区

测区位于山西繁峙某金矿区外围, 区内出露地层主要为五台群及第四系。五台群主要岩性为黑云母斜长片麻岩及斜长角闪岩等, 第四系主要为厚层黄土, 厚达几~几十m。为了了解厚层黄土覆盖区深部的找矿前景, 在区内作了10条剖面, 长达9000m的电提取测量, 结果发现了两个Au异常, 编号为A和F(图9)。

A号异常宽400m, 强度0.66~0.92ppb, 背景0.3ppb。异常赋存在几组断裂复合部位, 构造条件对成矿非常有利。此外, 物探磁测认为该地段深部可能有隐伏岩体存在。因此, 推测在A号Au异常范围内是找寻构造蚀变岩型金矿的有利地段, 建议施工ZK1孔验证。

F号异常宽达450余m, 异常强度0.6~1.2ppb(背景0.3ppb), 梯度变化亦明显。异常分布在花岗闪长(斑)岩体与五台群的接触带上, 这在本区的找矿研究中属新发现。因此, 推测在该异常范围内找寻岩体接触带型的金矿是一有利地区, 建议施工ZK2

孔。
上述异常区已为山西冶勘公司纳入地勘计划, 正待验证。

3. 广西平桂厚层冲积物覆盖区

测区位于新路盆地南部的金鸡岭脚下, 大部分测区被第四系外来冲积物覆盖, 厚达几~几十m。在区内选择了0.8km², 首先进

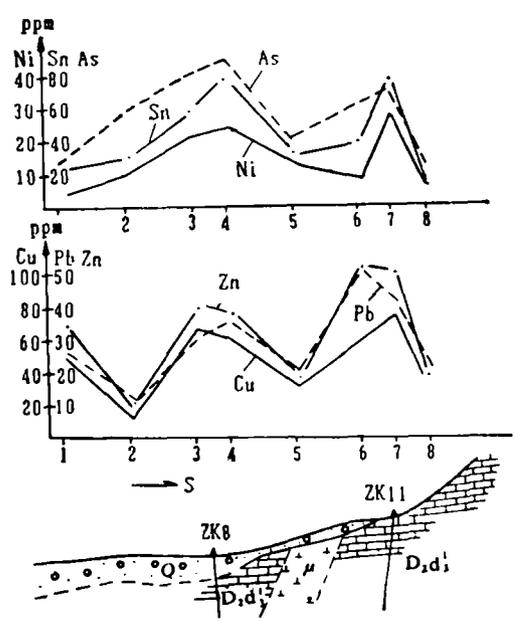


图10 公婆山—孤山测区多元电提取异常剖面
Q—第四系; D₁d₁—东岗岭组灰岩; μ —玢岩脉



行土壤离子电导率和吸附态汞测量扫面工作，然后在所发现的异常范围内，布置了公婆山—孤山电提取查证剖面，结果在电导率和汞异常范围内发现了明显的Cu、Pb、Zn、Sn、Ni、As等多种元素电提取异常(图10)，而且各元素异常吻合很好，都集中在剖面的3~4号点和6~7号点之间。几种元素异常均具一定规模和强度，高出背景值数倍。平桂探矿队根据上述资料，在综合异常范围内施工了ZK8孔和ZK11孔，其中ZK8孔在192.66m处见到隐伏的含锡磁铁矿体，Sn品位为0.53%，ZK11孔在248.83m处见到含锡0.2%的磁铁矿体。

出露地层为泥盆系灰岩、石炭系泥岩，大部分地区被厚层残坡积物所覆盖。在区内设置一条长800m的剖面，进行了电提取找矿预测，结果在剖面中部获得一个相当清晰的Cu、Pb、Zn、As、Sn多元素异常(图11)，Cu异常强度2~6、Pb2~10.2、Zn4~15、As20~73、Sn4~12.6ppm。几种异常吻合很好，峰值部位集中在5~11号点间。其中As异常强度最大，分布宽度亦最大，而在异常临区已有As多金属矿床存在。因此，推测异常中心部位是寻找以As为主多金属隐伏矿床的有利地段。

几点认识

地电化学提取测量方法是电法和化探相结合的一种新方法，在找矿难度较大的厚层覆盖区能获得较好的找矿效果。但就方法本身而言，无论从理论还是实践上均有许多问题值得探讨，下面根据实践中的体会谈几点粗浅认识。

1. 在供电电压220V、电流200~400mA、供电时间25小时的条件下，元素接收器中所接收的金属离子应是来自矿体，但不是当时直接从深部矿体提取所得，而是在漫长地质年代中深部矿体及其周围离子在自然电场、浓差扩散、地下水深循环等综合因素作用下，早已迁移到一定深度的松散层中，并形成一种动态平衡。这些处于相对平衡状态的离子，在人工电场作用下，逐渐往上运移直至进入元素接收器中的元素接收液中。即元素接收器中所获金属离子是来自地表或更深处离子晕，但就这一部分离子晕所提供的信息比测量地表土壤中元素的相对含量指导找矿其可信度要高的多，预测深度也大的多。如果矿体埋深较浅或接近地表，通过加大电流和延长供电时间可直接提取到近矿体的离子。

2. 供电期间中断供电不会影响提取效果。这是因为中断供电后，已进入到元素接

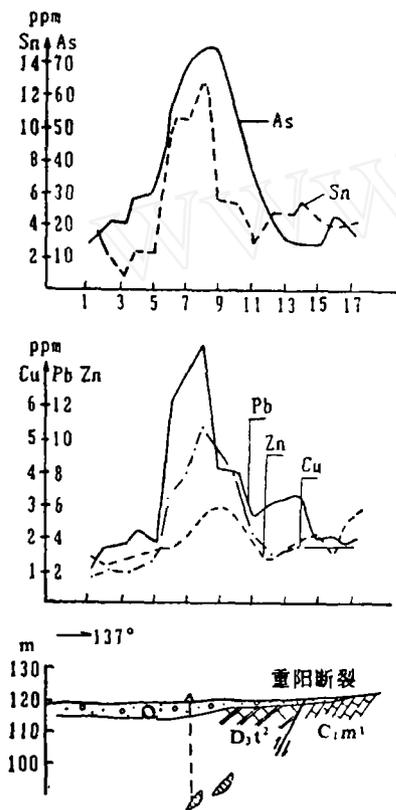


图 11 韶关万乐—冲口坪测区电提取多元素异常

Q—第四系；D₃t¹—天子岭组大理岩；C₁m¹—孟公坳组条带灰岩

4. 广东韶关厚层残坡积物覆盖区

测区位于广东韶关一六矿区南部，区内

收器中的金属离子与接收液中的阴离子形成相对稳定的络离子,不会复出,而提取到一定部位的离子也暂时处于相对稳定的平衡状态。一旦继续供电,元素接收器又会继续接收已提取到一定部位的离子,故中断供电不会影响提取效果。

3. 电提取异常与化探异常有本质区别。电提取异常与离子晕有关,与分子态的金属及其难解离的化合物无关。因离子态的元素较活跃,在介质中要保持一定浓度的离子晕,必须有离子源(矿体)作不断补充才行,而化探次生晕只要存在近地表矿化、人工污染、机械或化学搬运而富集的金属分子及其化合物,都会造成假异常,电提取测量则能排除上述干扰因素。另外,电提取测量所反映的深度远大于化探取样的深度,又具相对富集能力,即所获异常强度高于化探异常。因此,电提取测量与常规化探方法相比具有灵敏度高、预测深度大的优点。

4. 在干旱条件下开展电提取测量需作浇水处理才能取得好效果。如在典型大陆性干旱气候的新疆戈壁滩(年降雨量40~70

mm,而年蒸发量高达3000~3500mm)开展电提取测量埋设元素接收器时,坑挖到几m深仍处干燥状态,这种情况下必须向坑内浇水,并使其充分向地下渗透,与深部潮湿土层沟通,以改善接地条件,才能保证正常供电。

5. 在厚层覆盖区电提取测量比常规物化探方法效果要好。如在我国东北平原、华北平原、西北黄土覆盖区、戈壁滩及南方大部分第四系外来堆积物、冲积物厚层覆盖区,用电提取方法比常规物化探方法效果好、见效快,且能判别矿与非矿异常。

在方法研究过程中,我院王钟副教授,甘柱天、张巨庆讲师、陈树金、吴虹助理研究员、屠刚同志参加了部分野外和室内研究工作。新疆有色704地质队、山西冶勘公司研究所、第六地质队、广东地矿局706队、广西有色204地质队、平桂勘探队、新路矿地质科等单位提供了研究所需的地质基础资料,并在野外工作中给予了大力支持和帮助,在此一并表示衷心地感谢。

Geoelectrochemical Measurement for Concealed Oredeposit Exploration and Prognosis

Luo Xianrong Yang Xiao

Electrolytic extraction measurement technique has been tested for the exploration of concealed multimetalliferous ore deposits of Pb, Zn, Au and As under different landscape conditions, and good exploration achievements were obtained. In some unknown areas many significant anomalies were also discovered by using this technique. Of these anomalies some were tested and proved by drilling. It shows clearly that the electrolytic extraction measurement technique is an effective exploration tool for concealed oredeposit finding.

