多电极组合电提取离子法在某金矿的应用研究

王文龙[1]，肖 力[1]，路彦明[1]，杨拴海[2]

(1. 武警黄金地质研究所，河北 廊坊 065000；2. 武警黄金第二总队，河北 廊坊 065000)

摘要：从电解质溶液的“离子氛”理论及配阴离子理论出发，以降低目标离子运移过程中的阻力为目的，提出多电极组合电提取离子法。电提取离子法和直流激电相结合，可同时测量目标离子提取量（ΔC，指示电极上目标离子含量）、极化率（η_s）、视电阻（ρ_s）、自然电位（ΔV）。测量这些参数，能提高对异常属性的判断力，缩短电提取离子法的工作时间，提高工作效率。

关键词：金矿；多电极组合；直流电法；离子氛；有效提取域

中图分类号：P618.51；P632　　文献标识码：A　文章编号：1006-558X（2001）04-0052-04

电提取离子法自 20 世纪 80 年代引进我国后，各有关单位进行了大量的研究与应用，取得了一定的成果。但是，由于方法本身存在着设备笨重、工作效率低、送样周期长、难以开展面积性工作等缺点，使该方法的研究与应用遇到了很大的困难。为了克服这些困难，提高工作效率，笔者设想出多电极组合电提取离子法。多电极组合后形成纵、横向电场，纵向电场用来驱动目标离子，横向电场用来破坏目标离子的配阴离子键，同时也破坏液体中的离子氛[1]。减少目标离子运移过程中的阻力，促进目标离子快速运移，使矿体附近的 Au 离子大量富集，为现场快速分析打下基础。另外，在多电极组合电提取离子法工作过程中，适当增加一些电法设备，还可以做直流激电工作，可测量电阻率、极化率和自然电位，使电提取离子法和直流电法工作结合起来，起到一举多得的作用。

1 提取机理

在电解质溶液中，由于静电引力的结果，任一中心离子都被反号电荷的球形离子氛所包围。在稳定情况下，离子氛的电荷是以中心离子为中心呈球形对称，此时电荷密度以紧靠中心离子处为最大，随着与中心离子距离的增大而减小。在无限稀释的溶液中，离子之间的距离极大，不发生静电作用，所以没有离子氛，离子移动不受其他离子的影响。但是带有离子氛的中心离子在外加电场的作用下移动时，将主要由于下述两种阻力而使速度减慢。

1.1 松弛力

以中心阳离子和外围的阴离子氛为例，在外加电场的作用下，中心离子向负极移动，外围离子氛则有向正极移动的趋势。这时，对称的离子氛就被破坏，中心离子后面的离子氛的电荷密度比前面的要大一些，也就是在中心离子后面出现了多余的反号电荷。只要离子一直在移动着，这种不对称的离子氛就一直存在，由于静电吸引力的作用，对中心离子的移动产生一种静电阻滞

收稿日期：2001-05-08。李杰美编辑。

作者简介：王文龙（1963-），男，陕西渭南人，武警黄金地质研究所高级工程师，大学，从事地球物理勘探研究工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

力, 称为松弛力[1]。它使离子的移动速度变小, 因而使当量电导降低, 使电提取离子法的有效提取量变小。不对称的离子氛有力图恢复球形对称的趋势, 如果中心离子停止了移动, 离子氛会很快地重新建立对称平衡。离子氛对称的破坏或恢复所需的时间称为松弛时间。

1.2 电泳力

在外加电场的作用下, 中心阳离子与其溶剂化分子向负极移动, 而其阴离子氛有同溶剂化分子一起向正极移动的趋势。这一趋势是阻滞中心离子在溶液中移动的另一个因素。其作用相当于增大溶剂的粘度, 与胶体颗粒在电场中移动时所遇到的溶剂的阻滞力相类似, 所以称为电泳力[1]。电泳力也使离子的移动速度降低, 因而使当量电导变小, 使电提取离子法的有效提取量变小。

通过多电极组合后, 形成纵、横向提取电场, 纵向电场驱动目标离子向指示电极运动, 横向电场则破坏离子氛, 减少松弛力和电泳力, 使目标离子快速移向指示电极, 缩短电提取离子法的提取时间, 扩大电提取离子法的有效提取域[2], 使电提取离子法的有效提取量变大, 提高工作效率。

2　已知金矿体上的试验结果

笔者在某金矿区九号矿体的 1 号线分别做了电提取离子法和多电极组合电提取离子法试验。已知矿体是角砾岩筒型, 地表的投影宽度约 60 m, 处于 19 与 31 号点之间 (图 1), 矿体中心在地表的投影位于 25 号点上。矿体向右下方倾斜。两种方法的测线完全重合, 在同一个测点上先做电提取离子法工作, 后做多电极组合电提取离子法。从图 1 来看, 在已知矿体正上方有一单点电提取离子法异常, 异常幅度高达 420×10^{-9}, 由此可以说虽然电提取离子法在九号矿体上有一个单点异常, 而且异常幅度很大。但是, 该方法所反映矿体的几何形态与实际矿体形态相差太远。如果在未知区做出这样的电提取离子法异常, 笔者首先想到的是脉状矿体引起的异常, 这样就大错特错了。

多电极组合电提取离子法在已知矿体正上方有一多峰异常 (图 1), 最大值达 300×10^{-9}, 并且异常最大值和电提取离子法异常最大值重合于 25 号点。异常由 12 个点组成, 点距 5 m, 宽度达 55 m, 接近已知矿体在地表的投影宽度。并且多电极组合电提取

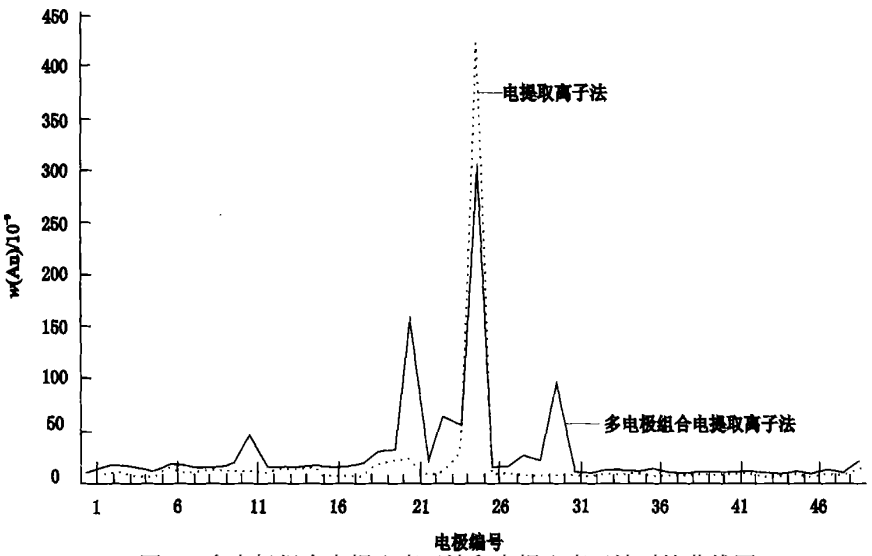

图 **1**　多电极组合电提取离子法和电提取离子法对比曲线图

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www

离子法异常不对称，左边陡，右边缓，显示出矿体左边浅，右边深的产状特征。由此可以说多电极组合电提取离子法所显示的异常和实际情况更接近。从图 1 中可以看出多电极组合电提取离子法的绝大多数测点上的提取量都大于电提取离子法在各点上的提取量。这样就为数显离子选择化学传感器在电提取离子法中的应用打下了基础。

在极化体上可做出一条反对称极化率曲线（图 2），异常极大点从极化体上顶向倾斜方向有位移；沿倾斜方向异常下降较陡，且有明显的负极小值；极化体在地表投影点正是极化率的 0 值点，或者 $\eta_s(0) = 0$。由于九号矿体是低电阻极化体，所以吸引电流，使极化体内总场电流偏向长轴，改变了极化方向，使激电异常曲线呈现出反对称曲线形态。在极化体上可做出一条反对称自然电位（梯度）曲线（图 3），异常极大点从极化体上顶向倾斜方向有位移；沿倾斜方向异常下降较陡，且有明显的负极小值；极化体在地表投影点正是自然电位（梯度）的 0 值点，或者 $\Delta V(0) = 0$。这是因为矿体上端为负离子集中区，故在矿体上方所测得曲线为一条反对称自然电位曲线（梯度法）。

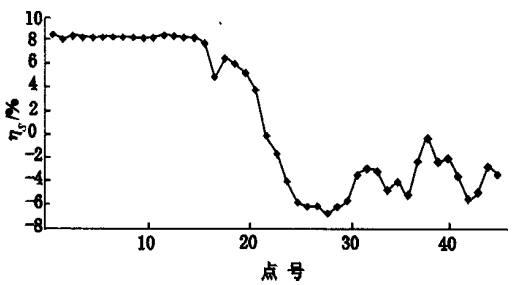

图 2 多电极组合电提取离子法极化率曲线图

在矿体上方出现了较宽的明显一次电位低值异常曲线（低阻 ρ_s 异常，图 4），中心处有极小值，两侧有极大值，曲线基本对称。这是因为横向电场方向与矿体斜交，吸引电流的能力较强，致使矿体倾斜方向的近地表处电流密度 j_{MN} 减小（小于 j_0），根据

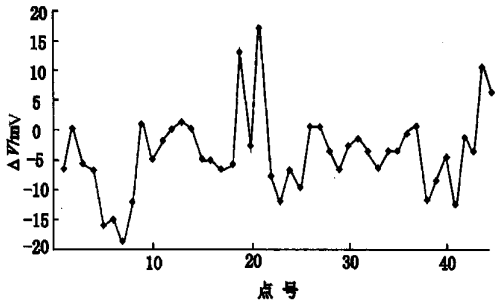

图 3 多电极组合电提取离子法自然电位曲线图

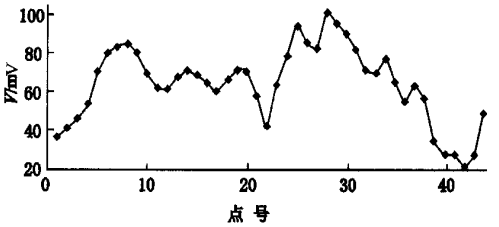

图 4 多电极组合电提取离子法一次电位曲线图

$\rho_s = (j_{MN}/j_0)\rho_{MN}$ 的关系式，应有 $\rho_s < \rho_1$（围岩）的低阻异常。

3 方法的优势

多电极组合电提取离子法是在电提取离子法的基础上增加多个电极和部分直流电法设备而发展起来的一种电提取离子法。目的是实现电提取离子法和直流电法（直流激电）相结合和数显离子选择化学传感器相结合，提高工作效率，缩短送样周期。

在某金矿区邢家沟九号矿体上分别做了经典的电提取离子法和多电极组合电提取离子法，目的是对比两种方法的优劣。对比的结果至少可以说笔者成功地实现了电提取离子法和直流电法（直流激电）的结合，两种方法结合有 4 个优点。

1) 缩短电提取离子法野外工作时间，提高工作效率。

2) 扩大电提取离子法的有效提取域[2]和信噪比，为数显离子化学传感器应用于电提取离子法打下了基础。可以缩短送样周

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

期，提高工作效率。

3) 两种方法结合，形成多信息、多方法组合，找矿信息量增大，大大提高了对异常属性的判断力。

4) 多电极组合电提取离子法比较真实地反映了九号矿体在地表出露的宽度和矿体的倾斜方向，而经典的电提取离子法只有一个点异常，如果用 10、15、20 m 点距工作，很有可能做不出异常，漏掉矿体。

以上讨论的仅仅是倾斜角砾岩筒上多电极组合电提取离子法各参数（目标离子提取量 ΔC、极化率 η_s、视电阻 ρ_s、自然电位 ΔV）的形态特征。对于直立角砾岩筒、球体（高阻体、低阻体）、脉状矿体（高阻体、低阻体、直立、倾斜、水平等）上的多电极组合电提取离子法各参数的形态特征，有待于进一步做室内外的实验与研究。

多电极组合电提取离子法是快速、高效的物化探找矿方法，主要用于解决厚层覆盖区的找矿问题，特别在森林覆盖区更是十分重要的找矿方法。

地电化学法是一项方兴未艾的边缘技术，国外近四十年的成果已经展示出它的独特功能，国内经过 20 年艰苦创业，从无到有，亦尝试到该技术在隐伏矿勘探中的甜头，获得了令人满意的成果。然而目前我们的研究工作所触及的内容甚少，由于受自身水平以及经费、人员、机构等诸多因素困扰而发展缓慢。这种状况若不尽快改善，则很难在短期内取得重大突破性进展，难以满足深部找矿工作的需求。与世界先进水平的差距势必越来越大。为了使地电化学法，尤其是电提取离子法蕴含的潜力充分发挥，促进我国铜、金和其他隐伏矿找矿工作的突破和本学科的发展，地电化学，尤其是电提取技术的研究应摆到重要的位置上，决策部门在现阶段应执行某些倾斜性扶持政策，以便尽快提高研究水平，发展特色研究，从而跻身于世界先进行列，用自身的优势技术渗透国内外地质技术市场。

参考文献：

[1] 于天仁，张效年. 电化学方法及其在土壤研究中的应用 [M]. 北京：科学出版社，1982. 515-516.

[2] 王文龙，王小牛，陈祥，等. 电提取中金的配阴离子运动分析及找矿机理 [J]. 黄金地质，2000，6 (1)：60-64.

Study of application on combinated multi-electrode electric ion method

WANG Wen-long[1]，　XIAO Li[1]，　LU Yan-ming[1]，　YANG Shuan-hai[2]

(1. *Gold Geological Institute of the CAPF，Langfang，Hebei* 065000，*China*；2. *No.* 2 *General Gold Party of CAPF，Langfang，Hebei* 065000，*China*)

Abstract: Based on "ion atmosphere" of electrolyzed solution theory and coordination anion theory, for the aim of reducing resistance in motion process of object ion, the paper puts forward "combinated multi-electrode electric extract ion method". Electric extract ion method combined with direct current could measure extract content of object ions (ΔC, indicates the content of objections on electrode), polarization ratio (η_s), apparent resistivity (ρ_s), and natural potential (ΔV) at the same time. The measuring to these parameters could raise the judgement on anomaly property, shorten the work time of electric extract ion method, and raise the efficiency.

Key words: gold deposit; multi-electrode combination; direct current method; ion atmosphere; valid extract field

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www