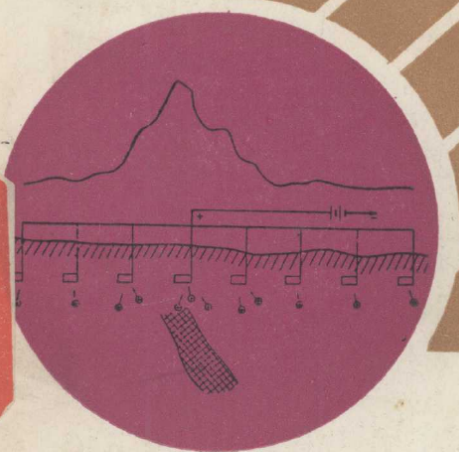




中等专业学校地质矿产类规划教材

电提取离子法

费锡铨 编著



地 质 出 版 社

中等专业学校地质矿产类规划教材

电 提 取 离 子 法

费 锡 铨 编著

(京)新登字 085 号

* * *

本书由於崇文、袁方主审，经地质矿产部中专地球物理勘探课程教学指导委员会于1991年9月广州会议审定，同意作为中等专业学校教材出版。

* * *

中等专业学校地质矿产类规划教材

电 提 取 离 子 法

费锡铨 编著

*

责任编辑：岑峰

地质出版社出版

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所发行

*

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：4.0625 字数：102000

1992年3月北京第一版·1992年3月北京第一次印刷

印数：1—800册 定价：1.20 元

ISBN 7-116-00960-4/P·823

前 言

近几年来，电提取离子法在我国受到了广泛的重视。地质、有色、核工业、冶金、化工等各系统的科研、教学、生产部门都已从不同角度对该方法进行了研究和应用，参加的人员包括物探、化探和地质等各方面的科技人员，涉及学科之多、适用面之广也与日俱增。

由于该方法涉及多学科，而各学科科技人员是从不同角度认识和处理问题的，所以对若干理论问题的认识和对方法技术问题的处理尚有不同的见解。例如各种矿体形成相应离子的条件、离子运移机制、离子晕的形成和特点、人工点源场对离子的提取半径，人工电场对矿体的电化学溶解作用程度、影响勘探深度的因素等问题，以及能否通过延长供电时间、加大供电电流、增大电极距来加大勘探深度？怎样认识和处理人为离子化和碱化现象？该方法能否发现掩埋的深部矿体？与常规化探方法有无本质区别等等。关于上述诸问题认识上的深化，无疑对该方法的深入发展是十分重要的，否则将阻碍该方法在我国的进一步推广应用。要使该方法进一步得到深入发展和广泛应用，必须多学科的科技人员共同协作、集思广益、互相交流、取长补短。

为了有利于电提取离子法在我国迅速发展，作者把十几年对该方法的研究、应用成果和对一些理论问题的认识，以及方法技术的改进和思路，写成这本小册子，与对电提取离子法感兴趣的物探、化探、地质等方面的科技人员商榷。本书是在作者为南京地质学校所写的“地电化学勘探方法”教材的基础上，经修改、补充而写成的，因此也可以供中专物探、化探专业学生作为教材使用。由于作者水平有限，又受专业的限制，错误和不足之处在所难免，恳请读者指正。

本书引用的绝大多数资料 and 所有实例，均属作者主持的南京地质学校和国家三〇五项目 VI₁₋₂ 专题的科研、生产成果。少数资料如温差迁移效应实验资料和碱化实验资料，是引用别人的，已在书中说明，并在此表示感谢。

参加作者主持的科研和生产工作的还有王和平、付经章、夏建平、李飞等同志。在科研和生产过程中，得到了孙文柯、徐邦樑、王淑芳、傅良魁等同志以及国家三〇五项目办公室的指导、支持和鼓励；本书初稿经於崇文、袁方同志审阅，提出了宝贵的意见；作者所在单位南京地质学校对该方法的研究和本书的出版，给予了极大的支持，在此一并表示衷心的感谢。

费锡铨

1991 年 6 月

目 录

序言.....	(1)
第一章 电提取离子法原理	(7)
§ 1.1 自然环境中物质赋存形态	(7)
一、物质形态	(7)
二、离子态与分子态物质的差异	(7)
§ 1.2 离子的形成和运移	(8)
一、常见矿物的溶解	(8)
二、金属矿物形成离子的条件	(11)
三、离子的运移机制和离子晕	(12)
四、影响离子运移的因素	(19)
§ 1.3 一些基本概念	(22)
一、两类导体	(22)
二、电极电位	(24)
三、离子淌度	(29)
四、电解	(30)
五、极限电流密度	(32)
六、离子的放电顺序及共同放电	(35)
§ 1.4 涉及方法技术的几个基本问题.....	(37)
一、点电源电流场的特征	(37)
二、人工点电源场作用下离子的迁移速度和提取半径	(40)
三、关于人为离子化问题	(43)
四、碱化现象的产生及其后果	(45)
五、接地电阻	(46)
§ 1.5 两种提取手段	(50)
一、原理	(50)
二、电解法	(51)
三、浓缩法	(52)
四、应用	(53)

第二章 仪器设备和 method 技术	(54)
§ 2.1 仪器设备	(54)
一、供电系统	(54)
二、电极	(55)
三、导线	(57)
四、其他辅助设备和材料	(57)
§ 2.2 野外工作方法	(58)
一、野外工作布置	(58)
二、供电	(60)
三、收工电流的测量	(62)
四、采样与样品测试	(63)
五、分子态物质干扰和污染	(66)
§ 2.3 几种新的方法手段	(67)
一、屏蔽电极法	(67)
二、井中电提取离子法	(69)
三、无源提取法 (电极电位提取法)	(70)
四、离子选择测定法	(75)
§ 2.4 关于相对勘探深度	(80)
一、电极距与相对勘探深度	(80)
二、提取半径与相对勘探深度的关系	(80)
三、影响相对勘探深度的因素	(81)
四、加大相对勘探深度的措施	(82)
第三章 地质效果和应用实例	(83)
§ 3.1 方法有效性和独特效果的分析	(83)
一、有效性的理论依据	(83)
二、能取得独特效果的原因	(83)
§ 3.2 实例	(84)
一、方法有效性的实例	(84)
二、方法的独特效果实例	(88)
三、合理用电提取离子法和综合应用的实例	(96)
四、电提取离子法也有局限性的实例	(107)
第四章 成果分析和解释	(111)

§ 4.1 影响异常强度的因素	(111)
一、离子运移机制对异常强度的影响	(111)
二、矿体因素	(111)
三、环境因素	(111)
四、人为因素	(112)
§ 4.2 可靠异常的指标和矿与非矿异常的区分	(113)
一、可靠异常的指标	(113)
二、矿与非矿异常的区分	(113)
§ 4.3 影响提取量曲线形态的因素	(114)
一、矿体产状对曲线形态的影响	(114)
二、离子运移机制的影响	(114)
三、围岩离子通道发育程度不均匀的影响	(115)
四、地形倾斜	(115)
五、测线与矿体走向斜交	(115)
六、人为因素	(116)
§ 4.4 有关矿体产状要素的判断	(117)
一、判断矿体埋深大小的方法	(117)
二、矿体倾向的判断	(118)
三、矿体位置与异常的对应关系	(119)
四、矿体规模的判断	(119)
结束语——前景展望	(120)
一、加强理论研究	(120)
二、改进方法技术	(120)
三、扩大应用范围	(120)
四、区分贫、富矿的可能性	(121)
参考文献	(122)

序 言

电提取离子法是一种以离子晕为物质基础的物理、化学相结合的找矿方法，即用人工电场分离、提取并富集自然状态下微量离子晕中的离子态元素，以达到直接找矿或区分物化探异常源性质或解决其它问题的目的。它是一种电化学找矿方法。

由于离子比较活跃（容易迁移、沉淀、还原）而且带电，使得以离子晕为基础的电提取离子法具备以下四个特点：①和常规物化探异常相比离子晕异常与矿体相关关系更密切，因为只有得到来自矿体的离子源不断补充的情况下，矿体上方近地表松散层中的离子才能保持一定的离子浓度，从而使该方法减少了多解性；②由于离子态物质比分子态物质活跃，在各种自然运移机制作用下，有可能从更深的矿体处运移到地表，因而，虽然人工电场在短时间内对离子的提取半径不大，但其相对勘探深度却可以很大，从而使该方法减少了局限性；③由于离子带电或具有某种物理、化学性质，因此，有可能利用电场或其它物理、化学手段，将微量离子晕中的离子分离、提取并富集起来，从而避开高背景分子态物质的干扰，便于发现离子晕异常，并降低对测试灵敏度的要求；④除金属外，只要是能形成离子晕的对象，均能运用电提取离子法解决问题。

常规物探方法是通过观测被寻找对象与围岩的物理性质存在差异而形成的异常场，来发现地下异常源的存在，但是这种异常源属什么元素是无法直接判断的。比如磁异常只能反映地下有磁性体存在，可能是磁性矿体，也可能是磁性岩体；电异常场只能说明地下有电性不均匀体存在，不能肯定是否有矿体。常规化探方法可以指示地表某种元素的富集，但有时由于机械或化学搬运的原因，无矿地段也可能在地表形成次生晕或次生富集带，因而

引起无矿化探异常，故有时化探也难以区分矿与非矿异常；另外由于分子态物质不像离子态物质那样活跃，不容易从更深的矿体处运移到地表上来，而可达到地表的微量离子晕中的离子浓度，又比高背景分子态物质含量小得多，因此，常规化探用测试某种元素总含量的方法不能发现深部矿体。

上述多解性和局限性的情况是经常出现的，图1是某铜镍矿区的激电、化探工作结果，图中90号点附近化探、激电均有异常显示，为矿体引起的；在98号点附近也有600 ppm左右的铜、镍异常和10%以上的激电异常，但这一异常不是矿体引起的，化探异常是由来自矿体方向的洪积层引起的，激电异常是由含碳粉砂岩引起的。

图2是某铜镍矿区124线的化探、激电工作结果，由于矿体埋藏深度达400~500m，化探无异常显示，激电15%左右的高背景为出露在地表的超基性岩体引起的。

以上两个例子说明，有时采用了常规物化探综合方法也不一定能圆满地解决问题，因此有必要研究一些利用新手段取得新参数的方法。电提取离子法就属于这样一种新方法，它充分利用了离子态元素信息和离子态物质比分子态物质活跃而且带电的特点，从地表获取更深部的元素信息，从而减少了多解性和局限性。

理论和实际资料证明，所有金属矿（包括金矿在内），在自然环境中或多或少有一部分溶解于地下水成为离子，这些离子在各种自然运移机制作用下，从深部矿体处运移到近地表松散层中，形成离子晕。由于离子带电，所以又有可能利用人工电场将电极附近的离子单独提取富集起来进行测试，从而发现某种离子晕异常，达到找矿或解决其它地质问题的目的。

地电化学方法是利用电化学反应（即电能转化为化学能或化学能转化为电能）过程中所产生的一些电化学反应现象来解决有关问题的。可分为两大类，一类是观测与物质成分或物理化学性质有关的电信息；一类是采集与物质成分有关的元素信息。例如自然

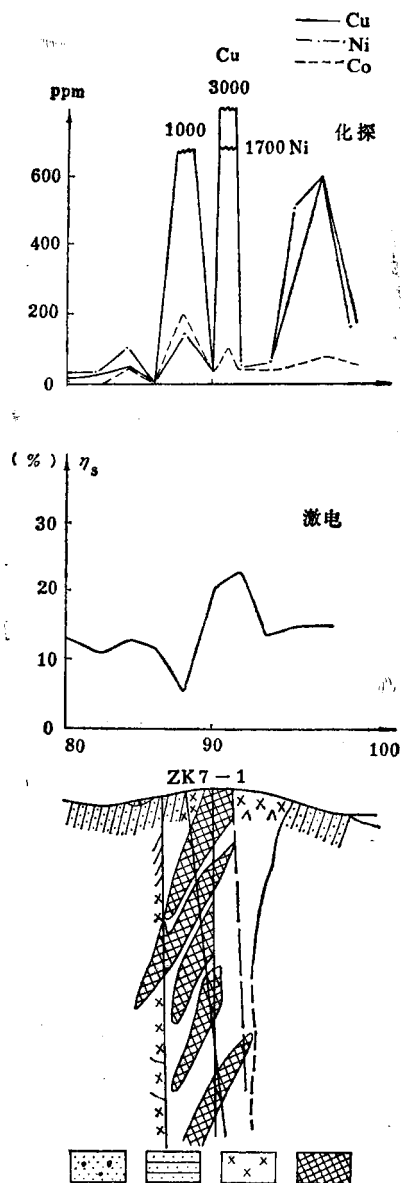


图 1 某铜镍矿区 72 线综合剖面图

1—洪积砂砾；2—含碳粉砂岩；3—角闪橄榄岩；4—铜镍矿

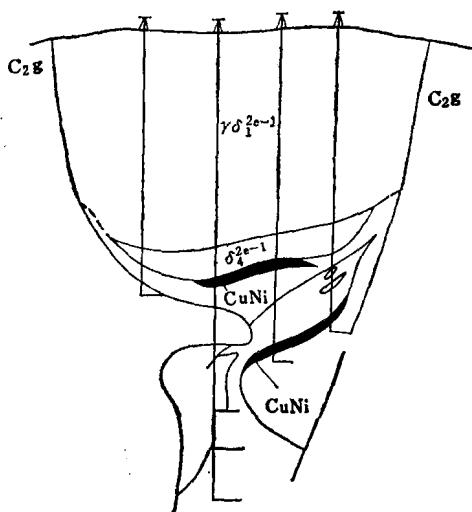
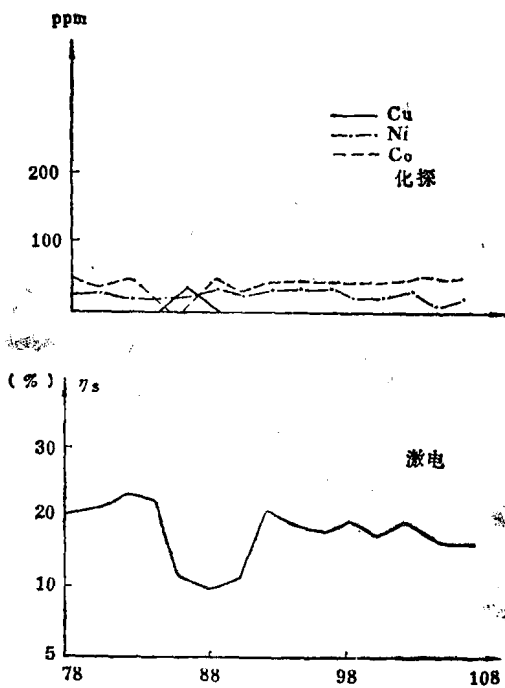


图 2 某铜镍矿区 124 线综合剖面图

电场法、激发极化法、电极电位法、土壤电导率法等等均属于前者；电提取离子法、离子选择测定法等则属于后者。作者的研究思路始于观测电化学反应过程中所产生的电信息，进而过渡到获取元素信息。

金属电极与水溶液（包括含水土壤和岩石）接触时，产生电极电位，其大小与电极性质、溶液性质、浓度以及温度、压力等因素有关，如果保持电极性质、温度、压力不变，则在各测点观测到的电极电位变化就反映了溶液性质或浓度的变化，从而发现金属硫化矿体，因为在矿体上方近地表松散层中与该矿体有关的离子增多，导致溶液性质或浓度发生变化。已知铜矿上的实验结果，证实了电极电位法的有效性，但这种方法仍然存在多解性，即电极电位的变化虽然能够指示溶液性质或浓度的变化，但不能说明是什么离子增多或减少。电极电位法的另一个不足之处是电极反应是被动的，即只有与电极接触的土壤中离子浓度变化时，才能引起电极电位的变化。为了弥补这一不足，采用了激发电极电位法，即用光谱纯碳棒作电极，对电极通以直流电，把电极附近一定深度范围内的金属离子提取到电极上来产生电解产物，使电极性质发生变化，从而导致供电前后电极电位发生变化，这种利用供电前后电极电位变化大小不同来指示金属离子浓度变化的方法，虽然比较主动，但还是不能指示什么离子浓度变化。为了了解提取到电极上来的离子是什么元素，就必须对电极上的电解产物（或离子）进行样品测试，获取离子态的元素信息，即电提取离子法。

对该方法的研究，我们和苏联均始于 20 世纪 70 年代初，但是，在取得野外实际地质效果和发表文章方面苏联均早于我们，我们到 1979 年才取得实际地质效果，1981 年发表文章。苏联称“部分提取金属法”，而且一直使用有酸性溶液的离子提取器和大电流供电的浓缩法；我们称“电提取离子法”，而且从开始研究就使用碳棒作采样电极和小电流供电的电解法，后来也有人用苏联的浓缩法。在我国从 1984 年开始由作者主讲先后举办了六期

培训班，向全国各系统推广，后来徐邦樑、高云龙等同志又分别举办地电化学找金和地电化学找矿方法培训班，后者推广的是浓缩法。近年来已有几个单位研制了用于浓缩法的仪器设备（也可用于电解法）。电提取离子法目前我国主要用于金属矿，也作了一些非金属矿、能源矿产、水文和工程地质以及环境污染等方面的实验工作，在苏联只限于金属矿。

在我国有人把电提取离子法称为地电化学勘探法。如前所述，电提取离子法只是地电化学勘探法的一种方法，采用科学分类中大类名称来取代电提取离子法这一专用名词是不够确切的。至于“部分提取金属法”一词，我们认为也不确切，因为，从物质成分上讲，它把范围缩小了，即仅限于金属，从物质形态来讲它又把范围扩大了。而电提取离子法则明确指出，只提取离子态物质，而且不仅限于金属离子，凡是能形成离子的所有物质都能提取，所以我们一直主张用“电提取离子法”这个名称，简称“电提取”或“DT法”。

第一章 电提取离子法原理

本章主要阐述离子的形成条件、运移机制、有关电提取离子法的一些基本概念和提取手段。

§ 1.1 自然环境中物质赋存形态

一、物 质 形 态

根据物理条件不同，物质可呈气、液、固三种形态存在。在不同化学条件下，物质又可分为游离态（即零价单质元素）和化合态。不管哪种形态的物质，在水溶液中均或多或少的有一部分被溶解，形成带电的正、负离子或络离子。各种物质的溶解度，除决定于物质的本性外，还取决于溶液的化学性质以及温度、压力等因素。

应该指出，在自然环境中，地下水溶液十分复杂，同时作用时间又是漫长的。因此，不能把实验室条件下的水溶液和野外环境中的地下水溶液对各种物质的溶解能力等同看待，有时某些物质如黄金在纯水中就很难溶解，但在野外自然环境中，金矿在地下水作用下，就会有相当数量的金被溶解成为离子或络离子存在。

对本书所论的方法来说，重要的不是游离态和化合态，而是离子态物质形成和运移条件，及其与分子态物质的差异。

二、离子态与分子态物质的差异

各种物质溶于水溶液后，部分形成带正、负电荷的离子，它与分子态物质相比，更容易运移，它不但可以随着水溶液的流动

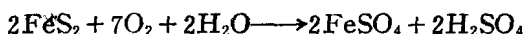
而运移，而且会在水溶液静止不动的情况下，在浓差扩散、电场或温差迁移效应等因素作用下发生运移，但是它的存在和运移条件是水溶液。分子态物质的运移主要靠机械迁移，在流水作用下运移也不像离子态物质那样明显，扩散作用就更微弱。总之离子态物质比分子态物质容易迁移；在地壳中，从数量上看离子态物质比分子态物质少得多，这也是一种不容忽视的差异。

§ 1.2 离子的形成和运移

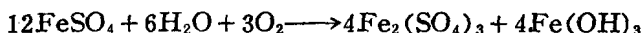
一、常见矿物的溶解

自然界地下水溶液是绝大多数物质形成离子的最基本条件（当然气体在强电场作用下，也会发生电离形成离子，这已超出了我们研究的范围），水溶液对各种物质的溶解能力大小，主要取决于溶液和被溶解物质的化学性质。一般地讲，溶液越偏酸性，溶解能力越强；被溶解物质电化学性质越活泼，越容易被溶解；另外溶解度还与温度、压力等因素有关。下面举例说明几种矿物在地下水溶液中产生可溶物质的情况。

（一）黄铁矿物（ FeS_2 ）



硫酸亚铁在自然界不稳定

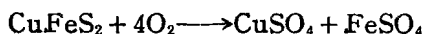


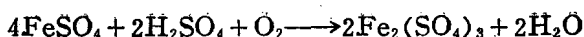
可见黄铁矿在地下水溶液中处于氧化条件下，会产生一定量硫酸，硫酸能够溶解很多金属矿物，同时产生的 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ，它又是很多金属矿物的溶剂。实际上有很多金属矿物都和黄铁矿共生，这样就为金属矿物被溶解形成离子创造了更有利的条件。

（二）铜矿物

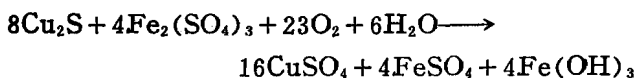
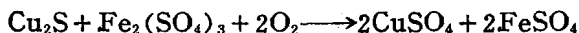
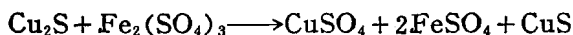
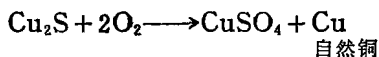
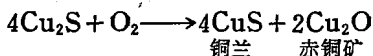
1. 铜矿物在地下水溶液中的氧化作用

（1）黄铜矿（ CuFeS_2 ）

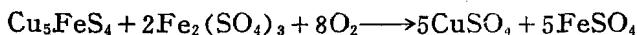
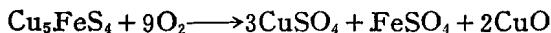
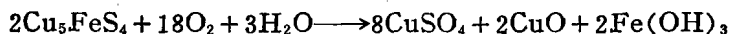




(2) 辉铜矿 (Cu_2S)



(3) 斑铜矿 (Cu_5FeS_4)

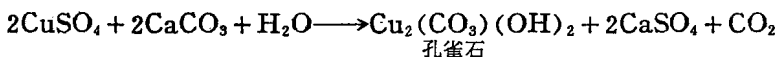
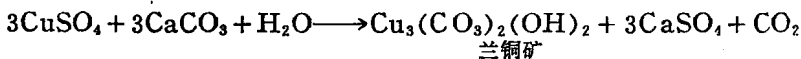


可见大多数铜矿物在地下水溶液中处于氧化条件下，反应后的铜，都有硫酸铜形成。如果铜矿物和黄铁矿共生，黄铁矿产生的硫酸铁 $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$ 对形成硫酸铜更为有利。

2. 硫酸铜的性质

硫酸铜在酸性溶液中比较稳定不再氧化也不再水解，在水溶液中溶解度很大，在 20°C 时可达 172 g/L ，很容易被迁移。

当铜矿的围岩为碳酸盐时，一部分 CuSO_4 与碳酸盐围岩作用，形成孔雀石和兰铜矿，使铜固定下来，不利于迁移



兰铜矿和孔雀石溶解度很小，但是只有在缺少硫酸的情况下，它们才能固定下来。如果有硫酸时，它们又形成硫酸铜，又容易被迁移。

CuSO_4 向地下渗透在缺氧环境中与金属硫化物作用形成铜的次生富集带