地电提取离子异常形成机制探讨

罗 先 熔

（桂林冶金地质学院隐伏矿床预测研究所）

以地电化学成晕理论为基础，据水槽中模拟矿体产生的地电化学溶解现象，阐述了矿体产生电化学溶解导致离子晕形成，论证了在外电场作用下，与矿体有直接关系的成晕离子沿一定方向运移聚集至元素接收器（阴极），为解释地电提取异常形成机制提供了依据。

关键词：地电化学；模拟试验；离子晕；地电提取离子异常

根据地电化学成晕理论可知，隐伏矿体金属离子晕的形成，地电化学溶解迁移起着主导作用。引起矿体产生电化学溶解的主要原因是组成矿体的各种矿物具有不同的电极电位，从而形成许多微观原电池或宏观原电池，在地下水参与下，便会自然并持续地进行着矿体的电化学溶解作用，导致体周围形成与成矿有关元素的离子晕。

矿物的电化学溶解

矿物产生电化学溶解作用，主要是因相邻矿物间存在着电极电位差所致。因此，在具有不同电极电位金属硫化物矿物组成的集合体中，不可避免地会形成原电池。如果一种矿物的电极电位与另一种矿物相比为负，当两种矿物接触时，多余的电子将从第一种矿物向第二种矿物移动。这就使得离子导电介质中的两种矿物界面上的物质交换与电交换的平衡遭到破坏。为了恢复失去的平衡，在近头一种矿物的界面上，不是离子介质中的某种组分发射电子，就是由于固态组分的破坏而释放电子；即产生氧化电极反应，使头一种矿物或周围孔隙水的组分氧化，在上述两种情况下，正电荷均从头一种矿物流向周围介质。第二种矿物界面附近平衡的破坏，或者使正离子放电，并以固态形式沉淀在矿物上，或者使矿物的粒子破坏而负电荷通过边界转移，并在离子介质中形成负离子。也就是发生还原电极反应，使电流的正电荷从孔隙水流向第二种矿物。与此同时，在离子介质中正离子将从头一种矿物的边界移向第二种矿物的边界，负离子则反之。这样在矿体的某一部位便构成一个原电池。

众所周知，矿体是由多种矿物组成的集合体。不同矿物具有不同的电极电位，在矿体各部分只要相邻矿物间存在着电极电位差，就会自然地形成一个微观原电池。相邻两种矿物间的电极电位差值越大，产生的微观原电池的电流强度也就越大，矿体的电化学溶解作用也就越强烈。

前苏联学者B.拉齐麦尔和Ж.普路沃斯特等，曾对黄铁矿、方铅矿、磁黄铁矿、黄铜矿的电化学溶解过程做过全面研究，从理论上解释了电化学成晕的机制。下面以方铅矿为例说明其电化学溶解作用的结果。

实验表明，当反应的电位值在+0.2～+0.4V时，方铅矿阳极溶解的产物是铅离子和呈浅黄色弥散物质（元素硫）的薄膜部分地掩盖在矿物表面，在这一电位值范围内，方铅矿的阳极反应式为：

$$PbS \longrightarrow Pb^{2+} + 2e$$

随着电位值的增高，除铅离子和硫元素外，还会出现硫酸根离子，这说明在电位大于0.4V的情况下，在方铅矿上的电化学过

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

程中除上式外，还发生硫的氧化作用，其反应式为：

$S^{2-} \rightarrow S^0 \rightarrow S_2O_3^{2-} \rightarrow SO_3^{2-} \rightarrow SO_4^{2-}$

硫的全氧化式为：

$S^0 + 4H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 8H^+ + 6e$

在硫的全氧化作用条件下，方铅矿上电化学反应总式为：

$PbS + 4H_2O \rightarrow Pb^{2+} + SO_4^{2-} + 8H^+ + 8e$

在试验中还得知，在电位值较低情况下，方铅矿的电化学溶解作用和铅离子的生成作用最有效，随着电位增高，大部分电量消耗在硫的氧化作用上。

研究矿物的电化学溶解均考虑是在单一的原电池作用情况下进行，如矿物为多种金属硫化物共生时，情况就比较复杂，既有宏观氧化—还原电位引起的宏观原电池，又存在由于各矿物间电极电位差形成的多个微观原电池。就一个矿体而言，总的都发生在一个大的“电解池”中，各自进行着强弱不等的电化学溶解作用，在微观原电池中一般都是电极电位值低的为负极。前苏联学者Г·Б·斯维什尼科夫按室内研究结果列出了电极电位由正到负的硫化物系列为：

＋白铁矿→黄铁矿→黄铜矿→毒砂→斑铜矿→辉铜矿→磁黄铁矿→方铅矿→镍黄铁矿→辉钼矿→闪锌矿－

从该系列可以看出，闪锌矿无论与何种矿物共生，无疑都是负极，其电化学溶解作用最为强烈。这就是为什么在进行电提取时Zn^{2+}往往是所有离子晕中含量最高的原因。

在水文地球化学分散晕形成的试验研究中，也发现矿物发生电化学溶解的佐证，当把方铅矿(PbS)与黄铁矿(FeS_2)粉末放在一起时，铅在溶液中的含量达50mg/L，而只有方铅矿一种粉末进行溶解时，水中铅含量仅4mg/L，说明方铅矿与黄铁矿两种矿物构成一个原电池，使其产生电化学溶解而释放出大量铅离子；又如闪锌矿（ZnS）与黄铁矿粉末放在一起，溶液中锌含量高达7～12mg/L，而只有闪锌矿单矿物粉末时，溶液中锌含量一般为3～6mg/L。

在方铅矿、闪锌矿、黄铜矿及黄铁矿混合在一起时，溶液中含Cu、Pb、Zn、不含Fe，而Cu的含量不超过0.2mg/L，Pb含量达1.4mg/L，Zn含量高达10mg/L。

从上述例子可以看出，矿体产生电化学溶解时，能释放大量离子并形成离子晕是客观存在的。

离子晕的迁移与提取

矿体产生电化学溶解后，在其周围聚集着高浓度的金属离子晕；在电场力作用下，离子晕便按照一定规律进行迁移；若迁移过程中未遇到与金属离子能形成难溶化合物的阴离子，金属离子晕便在大地电场作用下不断向上迁移，直至矿体上方近地表的疏松沉积层中，并形成动态平衡的离子晕。当对滞留这些离子晕的介质施加一定的人工电场，成晕离子便沿一定方向迁移到所设置的阴极提取器中，随着人工电场的加大和供电时间的加长，处于动态平衡的离子就象接力赛跑一样一个接一个的往上迁移。即每个单元体积内移出的离子，必须由相邻单元体积内的离子移入来补充，以保持自身的动态平衡。只要在所施人工电场范围内的深部存在大的离子源（矿体），便会有离子源源不断地进入到地表所设置的阴极提取器中积累起来，直至达到新的动态平衡。因此，元素接收器内所提取的离子不仅与近地表次生晕有关，而且反映了逐步来自深部与矿体有关的离子晕，提取是先浅后深的连续过程。通过分析元素接收器中的离子浓度，便会发现地电提取离子异常从而达到找盲矿的目的。

模拟试验

为了进一步探讨矿体产生电化学溶解形成离子晕的机制，以及离子进入元素接收器

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

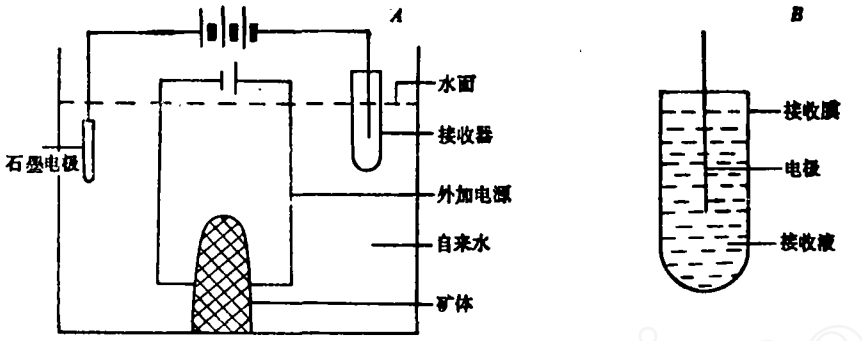


图 1 模拟实验装置（A）和元素接收器（B）示意图

中的有关问题，在实验室内做了硫化矿体的电提取模拟试验，为该方法的应用提供理论依据。

1．实验装置

（1）在室内设置一长2m，宽1.5m，高1m的水泥槽，槽内放置一长40cm，直径20cm的人造柱状模拟矿体(主要是破碎成小块的闪锌矿和方铅矿)，在模拟矿体两端加一电压为50V，电流200mA的激发电源，以自来水为电解液放入水泥槽中，通电使矿体产生电化学溶解。

（2）在水槽内布置电提取装置，即在槽内左侧放置光谱纯石墨电极做正极，右侧放置元素接收器为负极，两极间施加电压220V，电流300mA。

实验总体装置见图1*A*，元素接收器的组成见图1*B*。

2．实验结果

上述装置按装好后开始通电，每隔1小时从元素接收器中取样分析Zn^{2+}含量，据测量数据绘制时量曲线（图2）。

从图2可以看出，在4小时之前进入提取器中的Zn^{2+}量较低，当实验进行至4小时提取器中Zn^{2+}的含量突增至3.8ppm，说明在4小时以前进入接收器中的Zn^{2+}可能来自水的本底含量，或开始放入水时被模拟矿体污染的少量Zn^{2+}，而通电到4小时接收器中的Zn^{2+}突然增加，是由模拟矿体发生电化学



图 2 模拟实验Zn^{2+}提取时量曲线

溶解所产生的大量Zn^{2+}进入到元素接收器中，通电4小时以后接收器中的Zn^{2+}含量基本保持稳定，即逐步达到动态平衡。

实验中还可观测到矿体电化学溶解的宏观现象，在模拟矿体向阳极一侧的槽底，有呈舌状的黄色物质出现，具颜色由深变浅的分带现象，表明模拟矿体产生电化学溶解后，金属阳离子被提取到元素接收器，阴离子S^{2-}向阳极移动，并被氧化，其电离式为：

$$ZnS \rightleftharpoons Zn^{2+} + S^{2-}$$

在电场作用下，S^{2-}向阳极移动，使电离平衡被破坏，导致反应向正方向进行，产生大量的S^{2-}，其在迁移过程中被氧化成元素硫，所以在模拟矿体向阳极一侧的槽底可见到黄色物质的分带现象。

实验室所做矿物的电化学溶解试验及水槽中的模拟实验结果，进一步证明在自然电场或人工电场作用下，能使矿体产生电化学

（下转第56页）

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2．增加了破岩的自由面，有利于岩石的破碎。

3．由于吸渣口数量增加，又有贮存岩渣的功能，所以瞬间相应增大了岩渣的排量。

结　论

1．气举反循环钻进适应的最佳地层为破、脆、碎地层。

2．对于粘、塑性较强的地层，可不必使用气举反循环而以正循环钻进。

3．在第四系松散层进行大口径水文、水井钻探，应采用小口径正循环钻进、气举反循环扩孔成井的工艺。

4．气举反循环钻进规程，与正循环钻进规程不同，尤须注意压力和转数的控制。

5．实现大口径气举反循环正常钻进的关键是钻头及吸渣口的合理设计。

9．破碎的岩渣是否能及时排出而不造成重复破碎，是直接影响钻进效率的主要因素。

参 考 文 献

[1] 屠厚泽等，《探矿工程学》，1988年。
[2] 张永江，探矿工程，1991，第1期。
[3] 姚凤绵，探矿工程，1990，第6期。

A Discussion on Some Problems of Air-Lift Reverse-circulation Large Hole Drilling

Lu Yubei

Dealt with engineering examples, this paper discusses some features of air-lift reverse-circulation large hole drilling and existing main problems. It points out that the reasonable design of the drill bit and the eductor of cuttings is a very important and main factor direct affecting drilling efficiency.

（上接第50页）

溶解，所电离出的金属离子在外电场作用下可源源不断进入到所设置的元素接收器中积累起来。通过测试，可获得地电提取离子异常，从而达到找深部隐伏矿体的目的。《七五》期间，我们应用地电提取法在新疆戈壁覆盖区、晋北厚层黄土覆盖区以及河北、湖北、浙江、广东、广西、云南等省的残坡积物、冲积物、堆积物等覆盖区，寻找Cu、Pb、Zn、W、Sn、Au、Ag、Sb等多金属矿均取得较好的找矿效果，解决了用常规物化探不能解决的一些问题。随着该方法的不断完善，在寻找深部隐伏矿工作中必将会发挥更大的作用。

参 考 文 献

[1] 雷斯，IO. C.，《地电化学勘探法》，地质出版社，1986年.
[2] 地科院水文地质工程地质研究所，《水文地球化学找矿法》，地质出版社，1977年.
[3] 罗先熔等，地质与勘探，1989，第12期.
[4] 江琳才，《物理化学》，人民教育出版社，1979年.

On the Formation Mechanism of the Electical Extraction Ion Anomalies

Luo Xianrong

On the basis of the theory of geo-electrochemical halo formation, and the modelling (in water tank) of geo-electrochemical dissolution caused by ore bodies, the formation of ion anomalies resulted from the dissolution is described. It has been demonstrated that under the effect of applied an electric field, the ore-forming ions directly related to the ores would be migrated to and then concentrated on the ieceiver electrod (cathode). This gives a remark in explaination of our topic.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net