

离子交换树脂从矿石中 回收金银的吸附工艺原理

〔苏〕B. B. 巴尔钦科夫 著

吴筱锦 译

黄金仲 校

《国外黄金参考》编辑部

118
28

离子交换树脂从矿石中回收 金银的吸附工艺原理

《苏》B.B.巴尔钦科夫著

吴筱锦译

黄金伟校

《国外黄金参考》编辑部

内 容 提 要

本书由苏联“МЕТАЛЛУРГИЯ”出版社1982年出版的《ОСНОВЫ СОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ИЗ РУД》一书翻译的。

苏联首创矿浆中树脂吸附金银的新工艺，使从矿石和精矿中(特别是粘土质和炭质矿)回收金银的技术经济指标大为提高。

本书深入浅出地阐述了树脂吸附金银工艺的基本理论，总结了苏联金银吸附厂丰富的实践经验。原书是为满足苏联采金工业的干部，工程技术人员和技术工人掌握这一新工艺的迫切需要而编写的。对我国从事金银冶炼专业的大专院校师生、科研设计单位和工厂中的工程技术人员及技术工人，也是一本颇有价值的参考书。

前

言

矿石中金品位比其他金属低得多，这就大大增加了金回收的难度。到目前为止、从矿石中提金的主要方法之一是氰化和随后用锌粉从澄清的氰化浸出液中沉淀金的工艺。这方法应用多年，十分成熟，并已充分研究过。不过，它有一系列重大缺点：1)时间长(24~72小时)；2)在氰化矿浆（特别是粘土质矿浆）过滤时，溶解的金洗涤不完全，因而部分金随未洗涤好的尾矿损失掉；3)在氰化时，矿石中与金共存的有色金属（铜、锌、砷、锑等）生成可溶性的氰化络合物、使金的溶解过程减慢，并在一定条件下增大氰化物耗量。同时往往使金回收率下降；4)矿浆中细泥的存在使氰化矿浆的浓密和洗涤操作大为困难；5)必须过滤大量矿浆。

此外，高品位金矿储量日趋减少，因而随着时间的推移，就开始处理较低品位金矿石，这就要求扩大矿物原料的处理规模。

所有这一切都要求寻找强化从矿石中回收金过程的新途径。这种途径之一就是采用离子交换。此法与氰化过程和其他选矿方法相结合就可提高贵金属总回收率，从工艺流程中取消不利的矿浆过滤工序、并确保产出贵金属成色高的成品(达95~97%)。

二十世纪初，就试图用离子交换法回收金属，但是直到近三十年才开始着手研究。在此期间，工业上积累了用离子交换进行水脱盐和从矿石中回收铀工艺方面的丰富经验。因此，离子交换法用于金湿法冶金的实验室研究和随后

用于采金工业的试验就进展相当快。

五十年代在苏联科学院通讯院士 M.H. 帕拉克辛领导下，莫斯科加里宁有色金属和黄金学院的科研组对湿法提金的离子交换过程研究作出了重大贡献。其后由苏联科学院通讯院士 B.H 拉斯科林领导这项研究工作。这些研究者的共同努力，试验了许多合成的离子交换树脂，研究了吸附过程的规律性，并探索了树脂解吸和再生的方法。

某矿床的粘土质的金矿是采金工业上第一批工业应用吸附工艺的矿山之一。由于矿浆过滤的巨大困难，使这矿石处理复杂化。矿石中含有大量原生粘土($\geq$ 矿石总量的80%)。

在上述矿石研究的基础上，制定了无过滤的吸附回收金的工艺流程。为了检验用吸附法处理粘土矿的效果和确定最佳的工艺制度，在1967年建成了苏联第一个大型离子交换工业试验装置，矿石处理能力达200吨/昼夜。

此装置历时三年的试验结果、证明了用吸附法从粘土矿石中回收金是有效的。并把试验所得技术经济指标作为某提金厂采用吸附工艺的改建设计依据。该厂改建时生产厂房不变，而使矿石处理能力增大一倍多、并提高了工艺指标。

1973年某厂碳质金精矿氰化和吸附浸出车间投产，几年后又投产了处理金银矿石的吸附厂。在1975~1980年间回收金的吸附工艺又在三个厂获得应用。

因此，离子交换法在湿法冶金处理含金矿石的生产实践上得到了相当广泛的应用。目前此法与其他选矿方法相结合已成为回收贵金属主要方法之一。

目 录

第一章	基本化学概念.....	(1)
第 1 节	原子—分子论基础.....	(1)
第 2 节	化学反应和方程式.....	(3)
第 3 节	氧化物、碱、酸和盐、及其组成和性质.....	(4)
第 4 节	溶液及其浓度.....	(6)
第 5 节	酸、碱和盐在水中的离解.....	(7)
第 6 节	溶液中氢离子浓度 (pH) 的概念.....	(10)
第 7 节	有机化合物.....	(11)
第 8 节	络 合 物.....	(13)
第二章	金和银的简要特点.....	(15)
第 1 节	贵金属的应用.....	(15)
第 2 节	金开采和回收发展史简介.....	(16)
第 3 节	金的物理化学性质.....	(18)
第 4 节	银的物理化学性质.....	(19)
第 5 节	矿石中金和银的赋存状态.....	(20)
第三章	贵金属在氰化物溶液中的溶解.....	(22)
第 1 节	金和银溶解过程的特点.....	(22)
第 2 节	各种因素对金和银溶解的影响.....	(21)
第 3 节	氰化物溶液的水解和保护碱.....	(28)
第 4 节	氰化过程的速度.....	(29)
第 5 节	含碳矿石和精矿的氰化.....	(31)

第四章	离子交换过程的理论基础	(34)
第 1 节	离子交换剂和离子交换过程的概念	(34)
第 2 节	离子交换树脂的组成和结构	(35)
第 3 节	离子交换机理	(38)
第 4 节	离子交换树脂的性质	(40)
第 5 节	离子交换的速度	(44)
第 6 节	AM—2B 阴离子交换树脂的特性	(47)
第五章	金和银的吸附浸出工艺	(49)
第 1 节	吸附等温线和逆流吸附原理	(49)
第 2 节	吸附浸出过程的特点	(52)
第 3 节	吸附过程中的离子交换反应	(54)
第 4 节	吸附过程的工艺参数	(55)
第 5 节	吸附工段所采用的金矿处理工艺流程	(90)
第 6 节	浮选精矿吸附处理的特点	(63)
第 7 节	用吸附法从矿石中回收银	(64)
第六章	离子交换树脂的再生	(72)
第 1 节	离子交换树脂再生的目的和功用	(72)
第 2 节	离子交换树脂再生过程的基本原理	(73)
第 3 节	树脂再生的工艺流程	(78)
第 4 节	饱和银离子交换树脂再生的特点	(83)
第 5 节	树脂再生制度	(85)
第 6 节	树脂再生过程的调节和控制	(86)
第七章	吸附过程的设备形式	(88)
第 1 节	吸附设备的特点	(88)
第 2 节	帕丘克槽结构和操作原理	(89)

第3节	再生柱结构和操作原理·····	(94)
第4节	吸附和再生工段中辅助设备结构和操作原理·····	(98)
第5节	吸附和再生工段设备连接图·····	(104)
第6节	吸附设备的操作以及设备使用和维护规则·····	(108)
第7节	吸附设备操作中的安全技术·····	(112)
第八章	金和银的电解·····	(115)
第1节	从贵液中沉淀金和银的方法分类·····	(115)
第2节	关于电解的概念和电极过程·····	(118)
第3节	硫脲溶液中金和银的电解规律·····	(119)
第4节	金和银电解工艺制度·····	(121)
第5节	大表面积的电极·····	(123)
第6节	电解设备的结构和操作原理·····	(125)
第7节	电解过程的安全技术·····	(129)
第九章	炼金厂工业氰化物污水的净化·····	(131)
第1节	吸附法提金厂含氰化物工业污水的成分·····	(132)
第2节	含氰化物矿浆净化方法的特点·····	(134)
第3节	用漂白粉净化氰化矿浆的工艺和设备·····	(138)
第4节	用液氯和生石灰净化含氰化物的工业污液·····	(144)
第5节	使用漂白粉和液氯时的安全技术·····	(147)
第十章	工厂的试剂配制间·····	(150)
第1节	吸附工艺中所用试剂的作用和特点·····	(150)
第2节	各种试剂水溶液和一定浓度溶液的配制·····	(153)

第 3 节	氰化物溶液的配制·····	(155)
第 4 节	石灰乳配制的工艺和设备·····	(158)
第 5 节	碱和硫酸工作溶液的配制·····	(159)
第 6 节	硫脲工作溶液的配制·····	(160)
第 7 节	使用试剂过程中的安全技术·····	(160)
第十一章	进一步改进用吸附法回收金 和银工艺流程的途径·····	(164)
参考文献	·····	(166)

第一章 基本化学概念

从矿石中吸附回收贵金属是湿法冶金过程之一。而湿法冶金的原理是用浸出的方法把矿石或某种工艺的产物中的金属转入溶液，然后使金属从溶液中析出来。为弄清这些过程进行的实质和机理，必须通晓和掌握在不同生产条件下各种无机和有机物化学的基本规律性，各种盐、酸和碱水溶液的性质和行为。

由于必须使用阐明吸附工艺问题时所用的化学定律和术语，我们引用水溶液、有机物和络合物化学的基本概念。

第一节、原子—分子论基础

所有物质均由分子和原子组成。分子就是保持该种物质组成和化学性质的物质最小微粒。要不改变物质的性质，分子就不可再分。分子间存在相互吸引力。物质不同，此引力也不同。同时分子间有距离。在外界条件作用下，物质体积的变化就与分子间距有关。

任何物质的分子都在不断运动，扩散现象就是分子运动证据之一。

分子由原子所组成，而原子是化学上不可分的粒子。原子是保持元素性质的化学元素的最小粒子。原子随化学性质和质量上的不同而各异。具有相同核电荷，因而在原子壳层中有同样电子数的原子种类，称为化学元素。同种元素的原子只可能在质量上有差异(即同位素)。

化学元素的概念既适用于游离态的，又适用于含在化合

物组成中的这种元素的原子。元素化合物用化学式表示。化学式就是用化学符号表示物质组成的式子。化学式表示物质的分子，及其质和量上的组成。例如，水分子 H_2O 表明，分子组成中包含两个氢原子和一个氧原子。

根据分子由同一种元素的原子或由不同元素的原子组成，可把一切物质分为简单物质和复杂物质。分子由一种元素的原子组成的物质叫简单物质(单质)。单质分子可由一个(He , Ne 等)、两个(O_2 , N_2 等)或更多数目的同种元素的原子所组成。

分子由两种或更多种元素的原子组成的物质叫复杂物质或化合物。例如：水 H_2O ，碳酸气 CO_2 ，苏打 Na_2CO_3 等。化合物中各个原子并非一成不变。不同分子中的原子，所处的状态也不同。因此，决不可把复杂物质的分子认为是该物质组成中各元素的原子简单加和。

原子和分子非常小。它们都不能直接观察。但是用间接的科学方法不仅证明了其存在，而且测量了其大小和质量。因这些数值都很小，实际上不用绝对的，而用相对的原子和分子量。

原子量是以氧单位表示的某元素的质量。例如，金原子量197.这意味着，金原子质量为氢原子的197倍，而氢原子质量等于氧原子质量的 $1/16$ 。

分子量就是以氧单位表示的某些物质分子的质量。它等于包含在分子组成中所有原子的元素原子量的总和。

物质发生的任何变化称现象或效应。效应有物理的和化学的。

引起物质形状、集合状态、温度变化，而不影响其组成

的效应，称物理效应。物理效应的结果不改变物质的化学成分。例如，水可变成冰，但化学成分依然如故。

引起物质组成和性质根本变化的效应叫做化学效应。由于化学效应，一种物质转化为另一种物质，即分子组成改变，生成新物质的分子。在化学变化中原子仍然不变。煅烧时方解石的分解可作为例子：



化学效应又称化学反应。所有化学反应都伴随着吸热(吸热反应)或放热(放热反应)。单质和包含在复杂物质组成中的元素均能参加反应。此时这些化合物中一种元素的质量与另一种元素质量之间的比值都成简单的整数比。这比例关系就是倍比定律。

第二节、化学反应和方程式

化学反应用化学方程式表示。化学方程式由等号联系起来的两部分组成。参加反应的物质化学式写在左边，反应结果生成的物质化学式写在右边。

借助于化学元素符号和化学式，并用加号和等号联系起来而构成的化学反应表达式，称为化学反应方程式。它表示反应过程质量和数量上的变化，其构成的基础是物质质量守恒定律。

先写出参加反应的和反应结果生成的物质的化学式，然后给各种物质的原子和分子求出系数。当系数配平后，参加反应物质中各种原子数应等于反应后得到物质的原子数。例如，金属锌和盐酸相互作用反应方程式最后可写为：



化学反应有如下四种类型。

化合反应：在此反应中，由两种或更多种物质的分子得到一种物质分子。原始反应物可为单质和复杂物质，例如：



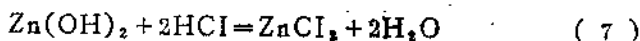
分解反应：在此反应中一种物质的分子生成几种物质的分子。最终产物可为单质和复杂物质，例如：



置换反应：单质的原子置换复杂物质分子中某元素的原子。反应结果生成新的单质或化合物：



交换反应：在此反应中，各种化合物的分子交换各自的组成部分：



从矿石中吸附浸出金银过程中发生的离子交换反应属最后一类反应。

第三节、氧化物、碱、酸和盐，及其组成和性质

一切复杂的无机物质分为四组或四类：氧化物、碱、酸和盐。

氧化物：在其分子组成中含有氧原子和某种其它元素原子的化合物，叫氧化物。与另一元素是金属或非金属有关，氧化物分为碱性和酸性的两类。

相应的水化物属于碱类的金属氧化物称为碱性氧化物。 Na_2O 、 K_2O 、 CuO 、 BaO 等均属这类氧化物。如果第二个元素是高价的非金属或金属，则这样的氧化物称酸性氧化物。

CO_2 , SO_3 , P_2O_5 , Mn_2O_7 等均属此类。氧化物的化学性质由它们与水的关系来决定。碱性氧化物溶于水，并与水反应而生成碱：

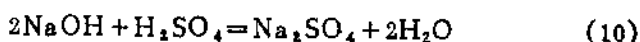


酸性氧化物与水相互作用而生成酸：



碱：其分子由金属原子和一个或几个氢氧根组成的化合物称为碱或氧化物的水化物。碱分子中氢氧根数由金属原子价所决定，并等于价数。例如， KOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Au}(\text{OH})_3$ 均是如此。

一切碱都是有不同颜色的固体物。某些碱易溶于水（ NaOH , KOH 等），而大多数碱则不溶于水。溶解于水的碱叫做强碱。碱与酸性氧化物相互作用，也与酸起反应，生成相应的盐和水。碱与酸相互作用称为中和反应，因为反应完成后，介质变成中性。许多企业在酸性或碱性污水处理中广泛应用这一反应，例如：

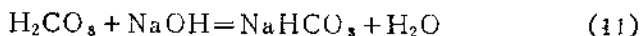


酸：凡分子组成中含有能被金属取代或交换的氢原子的化合物叫做酸。根据酸分子中氢原子数的不同，它们可能是一元、二元和三元酸。除氢之外的酸分子部分叫做酸根。酸与许多无机物、有机物、金属、碱和盐起反应。

盐：凡其分子由金属原子和酸根组成的化合物叫做盐。盐是酸中氢原子完全或部分被金属取代的产物。盐分为下面几类：a) 中式盐，就是酸中所有氢原子都被金属取代的产物，例如 Na_2CO_3 , K_3PO_4 等；b) 酸式盐，酸中部分氢被金属取代的产物，例如 NaHCO_3 , CaHPO_4 等；v) 复盐，酸

中的原子不是被一种，而是被两种金属取代的产物。只有在与二元酸反应时，才生成复盐，例如， $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 。

当酸不完全被碱中和，即碱量不足以完全中和酸时，生成酸式盐，例如：



第四节、溶液及其浓度

在金和银的湿法冶金中，一切过程均在水溶液中进行。溶液的组成和性质是千差万别的。如果一种物质以极细颗粒形态分散在另一物质中，则所得体系就成为分散系。在其中分散某种物质的物质叫做介质或溶剂，而被分散的物质叫做分散相或溶质。如分散相是固体物，则此体系称悬浮液。矿石在磨矿机中湿磨得到的矿浆可称为典型的悬浮液。

溶液：由溶剂、溶质及其相互作用产物所组成的单相体系称为溶液。溶液是一种混合物，因为溶剂和溶质量可在相当广范围内变化。但是这混合物是稳定的。无论放置多久，都不会自发地分相。溶液是单相体系，在这点上它与化合物相似。而溶液组成不定，不符合倍比定律，这点上又与化合物不同。

溶解(即溶液的制备过程)是自发的过程。就拿蔗糖发生溶解为例来说吧，为配制蔗糖溶液，把适量糖块放入水中。由于水分子和糖分子的相互作用，糖分子脱离晶体表面，并借扩散作用均匀地散布于溶液中。糖分子离开晶体是由于水分子的引力和糖分子的振动运动两者造成的。

但是溶解过程不是单向的。被溶解的物质分子不仅转入溶液，而且碰撞未溶解物质的晶体，又转入晶体组成中。因

此，同时进行两种过程：溶解和结晶。这过程一直进行到平衡，两种过程速度相等时为止。开始溶解过程占优势。然后，溶液浓度越高，结晶过程进行得越快。当达平衡时，转入溶液中的被溶解的物质质量不变。实际上溶解就停止。

实际上在许多体系中，特别是矿石中各金属溶解时，溶解过程要复杂得多。在一定条件下被溶解物质不再溶解于溶液，这样的溶液就叫饱和溶液。溶液中溶质含量低于此极限，则任何这样的溶液都属于不饱和溶液。

溶液用浓度来定量表示。溶液浓度由含于一定质量或体积的溶液或溶剂中的物质质量所决定。有各种不同的浓度表示法：百分浓度、摩尔和当量浓度。

溶液的百分浓度由在 100 克溶液中溶质的克数来表示。例如，100 克 5% 食盐溶液中含 5 克盐和 95 克溶剂（水）。

摩尔浓度由 1 升溶液中的溶质摩尔数来表示。体积摩尔浓度用大写字母 M 来表示。如果 1 升溶液中含 1 摩尔溶质，此溶液就叫体积摩尔溶液，如 1 升溶液中含两摩尔溶质，该溶液就称二体积摩尔溶液，其他可以此类推。

溶液的当量浓度以 1 升溶液中所含溶质的克当量数表示。当量浓度以带引号的小写字母“ n ”来表示。在溶液浓度及其密度之间有一定的关系。

第五节、酸、碱和盐在水中的离解

水溶液中的许多复杂物质都离解为带正负电荷的粒子——离子。借溶剂的作用，物质离解为各种离子的过程叫电离或离子化。物质离解为离子的能力与溶质本性和溶剂本性均有关。正电荷离子叫阳离子，负电荷离子叫阴离子。分子离解

为离子可由水分子和物质分子间的静电作用来解释。

离解过程可如下解释。水分子是极性的，而酸、碱和盐均为离子键或极性键化合物。如这类化合物放到水中，则水分子与此物质的相反电荷离子相吸引。如此相互作用力足够大到将离子与晶体分开时，则离子就转入溶液。就这样，离子一个接一个转入溶液。

转入溶液中的离子往往仍与水分子结合在一起，形成水化离子。例如，氢离子在溶液中并不以游离态存在，它总是与水分子结合，生成离子 H_3O^+ （水合氢离子）。但是为简便起见，氢离子和其他离子写为： H^+ ， K^+ ， OH^- 等。因为物质离解度与溶质和溶剂本性均有关，所以一种物质离解为离子多些，另一种物质离解为离子少些。此外，离解度还与外部因素（温度、溶液浓度等）的作用有关。离解过程用离子型式的化学方程式表示，只不过用箭头代替等号就是了。箭头表明离解过程是可逆的：



因为离解是可逆过程，就在离解的进程中建立起动力学平衡：单位时间内有多少分子离解为离子，就有同样数量的分子由离子而生成。离解过程用离解度定量地表示。离解度就是液溶中离解为离子的分子数占总分子数的比率。离解度用希腊字母 α 表示：

$$\alpha = b/B$$

式中 b —离解的分子数； B —溶解的分子总数。离解度往往用百分数表示。

如果在水溶液中离解为离子的物质溶液通过电流，就称之为电解。根据物质在溶液中离解为离子和通过电流的能