

## 综述

## 重金属离子吸附剂的研究进展

雷国元\*

**摘要** 本文介绍了水处理中重金属离子吸附剂的种类、吸附容量、吸附机理和研究概况。

**关键词** 重金属离子 水处理 吸附剂 吸附

## 引言

重金属离子是有毒的,在环境中不易转化。环境中的重金属离子通过各种途径而进入水体,经过水体中各种生物链的富集,最终由水产品进入人体,并对人的健康产生危害。

除去水中的重金属离子的方法很多。传统的方法有:活性炭吸附、离子沉淀、离子交换树脂吸附等手段。近十几年来,许多研究者在探索廉价高效的吸附剂,其中包括:天然矿物、工业副产物、单宁类、壳聚糖、黄药类、有机复合材料和生物吸附剂等。根据实际情况选择适宜的吸附剂,对于经济地处理含重金属离子的废水具有重要意义。

## 1 矿物类吸附剂

许多非金属矿物具有吸附重金属离子的功能,已发现的矿物有:蒙脱石、海泡石、坡缕石、沸石、蛭石、石墨、伊利石、绿泥石、高岭石、凹凸棒石<sup>[1]</sup>、麦饭石、蛇纹石、长石类、钙十字石、明矾石、三水铝石<sup>[2]</sup>,此外还有磷灰石<sup>[2]</sup>、硫铁矿、天然磁黄铁矿<sup>[1]</sup>等。涉及的机理主要有:离子交换吸附、表面配合作用、层间配合作用和共沉淀作用<sup>[2]</sup>。在适当的条件下,这些非金属矿物处理含重金属离子的废水,一般都可达到排放要求。

部分金属矿物也对重金属离子有吸附作用,如铁的氧化物。笔者曾用细粒磁铁矿吸附 Cu( )、Zn( )和 Ni( )。在近中性条件下,重金属离子的除去率近 100%。此外,它还对水中的微量 Mn( )、Fe( )有吸附作用。近年来,有些研究者在砂粒上

罩盖铁氧化物,来除去水中的重金属离子,就是利用铁氧化物的吸附功能。

## 2 单宁类吸附剂

许多工农业加工的副产物都富含单宁,单宁中的聚羟基和聚酚基团是吸附重金属的活性组分,重金属离子与苯酚中羟基上的氢原子发生离子交换,形成络合物而被吸附。含有单宁的植物原料因其中酚溶解而使水的色度增加是其缺点,因此需要化学改性。如用酸化甲醛和酸、碱或甲醛来处理,实现在吸附容量不损失的前提下消除色度化合物的流失,这种预处理会增加成本。许多工农业副产物(含有单宁)对重金属离子的吸附容量很大,如黑橡胶树皮:25.9 mgCd/g、400 mgHg/g 和 153.3 mgPb/g;冷杉树皮:100 mgHg/g;甲醛聚合后的花生皮:74 mgCd/g、205 mgPb/g;哈氏豆属比纳它树皮 34 mgCd/g;红木树皮 27.6~32 mgCd/g、250 mgHg/g、6.8~182 mgPb/g;锯末 4.44~16.05 mgCr( )/g;欧洲松树皮 8.69~9.77 mgCr( )/g。此外废弃咖啡、茶叶、核桃壳对 Cd( ),Cr( )的吸附容量也在 1.42~1.63 mg/g 之间<sup>[3]</sup>。

## 3 木素类吸附剂

木素是从造纸废液中提出来的,提取费用 60 美元/t,其吸附容量很大,对 Pb( )和 Zn( )分别为 1865 mg/g 和 95 mg/g,硫酸木素对 Hg( )为 150 mg/g<sup>[3]</sup>。吸附基团是其表面的多元酚或其它基团,机理可能是离子交换取代后而产生的重金属络合作用。

\* 武汉科技大学

## 4 壳聚糖类的吸附剂

甲壳质是仅次于纤维素的第二大丰富资源,壳聚糖是甲壳质脱乙酰基的产物。脱乙酰基暴露了第五碳原子的氨基。其吸附重金属离子主要靠其第二碳原子上的 - OH 基,第五碳原子上的 - NH<sub>2</sub> 基中的 H 原子与重金属离子发生离子交换,形成络合物来吸附重金属,其吸附容量很大,报道值为:甲壳质:100 mgHg/g;壳聚糖:558 mgCd/g,92 mgCr( )/g、27.3 mgCr( )/g、815 - 1123 mgHg/g、796 mgPb/g;壳聚糖粉末和球珠对 Cd( ) 的重量分别为 420 和 518 mg/g<sup>[3]</sup>。

粉末状壳聚糖孔隙率低,比表面积小,在水中容易溶解或被生物降解,因此需要将粉末状壳聚糖制成多孔球状,以便装柱吸附。其步骤为:1) 制备 N - 酰化壳聚糖。将壳聚糖溶于醋酸的水溶液中,混合后,将混合液倒入吡啶中,再用氯乙酰来对壳聚糖的部分胺基(仅占总量的 7%)进行酰化,之后将酰化的壳聚糖加到醋酸乙酯中,形成 N - 酰化壳聚糖的悬浮液,过滤后,再用丙酮/水(7/1)来清洗,得到海绵状白色的 N - 酰化壳聚糖。2) 造珠。将壳聚糖或 N - 酰化壳聚糖溶于醋酸中,若要使球珠有磁性,则在此步加入细粒磁铁矿。之后将壳聚糖的醋酸溶液加入 NaOH 溶液,使壳聚糖凝胶化,产生凝胶球珠。3) 交链。将壳聚糖球珠加入到戊二醛溶液中,使凝胶球珠发生交链,产生交链化的凝胶球珠。4) 冷冻干燥脱水。产生具有一定孔隙度和机械强度,在酸性条件下不溶的壳聚糖交链球珠,在 Cd( ) 浓度超过 1000 mg/g 时,N - 酰化的壳聚糖球珠的吸附容量(216 mgCd/g)大于非酰化的壳聚糖球珠(169 mgCd/g),交链后的壳聚糖球珠的吸附容量为 136 mgCd/g<sup>[4]</sup>;Cd( ) 浓度较低时,N - 酰化的壳聚糖球珠的吸附容量较低。

国内外许多研究者在壳聚糖上嫁接特定基因,以提高其对重金属的吸附容量,或增加其对不同重金属的选择性吸附。

## 5 人工合成的吸附剂

黄原酸盐吸附剂的合成一般利用有机基质(如淀粉,纤维素等)在 NaOH 溶液中与二硫化碳反应而制成,吸附重金属的机理是重金属离子与吸附剂上的硫原子螯合。已报道的几种黄原酸盐对重金

属离子的吸附容量分别为,纤维素黄原酸盐:19.88 mgCd/g、19.67 mgCr( )/g、0.637 mgHg/g;难溶性淀粉黄原酸盐 33.27 mgCd/g、17.57 mgCr( )/g、1.149 mgHg/g;锯末黄原酸盐:21.4 mgCd/g、30.1 ~ 40.1 mgHg/g、31.1 ~ 41.4 mgPb/g<sup>[5]</sup>。

采用不同种类的多胺或聚乙烯亚胺与二硫化碳反应,合成重金属离子螯合剂,合成时,二硫化碳置换多胺分子中 N 原子上的活性 H 原子。吸附重金属也是靠重金属离子与药剂分子上 S 原子的螯合作用。试验表明<sup>[5]</sup>:这类螯合剂对 Cr( )、Cu( )、Ni( )、Hg( )、Zn( )、Cd( ) 等的捕集效率多在 99% 以上,处理后的工业废水基本达到排放标准。这种药剂的优点有:污滤量少,沉降快,捕集效率受 pH 值影响小。用高铈铵硝酸盐引发剂,在纤维素上嫁接缩水甘油基异丁酸聚合物(GMA),然后用聚乙烯二胺(PEI)与之反应引入氮配位体,产生重金属离子吸附剂 CGMAPEI;也可把聚胺类螯合物引入到多孔的纤维素载体上,过程涉及到纤维素与甲醇钠,3 - 氯 - 1,2 - 环氧丙烷和聚乙烯二胺反应,并发生聚乙烯二胺与纤维素基体的交联,产生纤维素 - PEI 吸附剂。在适当的反应条件下,CGMAPEI 吸附剂对重金属离子的吸附量(30.3 mgCu/g)大于纤维系 - PEI 的吸附量(19.20 mgCu/g)。柱试验时,可使 Cu( )、Co( ) 的浓度由 10 ppm 降至 0.1 ppm 以下<sup>[6]</sup>。

CGMAPEI 吸附容量大于纤维素 - PEI 的吸附容量,原因在于其中配位体的柔软性和排列情况较好所致。

## 6 聚乙烯硅胶 - 聚乙烯胺复合材料<sup>[7]</sup>

聚乙烯硅胶 - 聚乙烯胺复合材料与目前的复合材料相比,具有使用寿命长,成本低,吸附能力强的优点。根据废水的性质,在合成过程中加入适当的官能团,如 - COOH、- SH、- CN、- NH<sub>2</sub>、- NHR、- NHR<sub>1</sub>R<sub>2</sub>、- C = NH、- RR<sub>1</sub>R<sub>2</sub>、- SCN、- NCS、- NCO、- OCN 等,这样材料表面就有活性吸附点。适当地选择官能团,不仅可以有效地除去水中的重金属离子或络合重金属离子,而且可以从多金属离子的废水中选择性地分离回收某些重金属。

这种复合材料的吸附容量(0.7 - 0.85 mmolCu/g)与聚胺硅胶(0.4 - 0.5 mmolCu/g)和聚

苯乙烯树脂螯合物(0.3 - 0.4 mmol/g)相比较,而且循环使用 3000 次后,吸附容量没有变化,但聚胺硅胶使用 500 次后即失去吸附作用,聚苯乙烯树脂螯合物的容量随使用次数增加而逐渐下降。该材料的 D2P - PVA 可以从含铜铁的废水中选择性地回收铜,试验时,溶液中铜铁含量分别为 722 ppm 和 2078 ppm,结果表明 89% 以上的铜与吸附剂结合,铁却通过吸附柱,被结合的铜用酸回收,回收到的铁仅 3%。用该材料的 WP - 1 为填料对工业酸性废水(Cu, 13 ppm)进行浓缩回收,解吸出的铜浓度可达 1536 ppm,浓缩倍数为 1181,洗出液 pH 由 2.5 上升到 7.5;此外,WP - 1 还可使水中的 Cd( )由 150 ppb 降至 10 ppb, Cr( )由 50 ppb 降到 0(在处理 250 倍以内的滤床体积的水时)。用 WP - 2 处理水时,可将 Pb( )浓度降至 0~20 ppb。用 WP - 3 为填料可以除去水中的汞、铜、铅、镉,可将其含量降至 1 ppb。这类吸附剂还可以用于富集回收酸性矿山废水中的有色金属。

## 7 微生物吸附剂

### 7.1 细菌和真菌

微生物细胞壁的聚合物中存在许多对重金属离子有吸附作用的活性基因,吸附机理涉及到:吸附、离子交换、配位、螯合和微沉淀等。目前,对微生物吸附剂的研究主要集中在真菌和藻类,主要原因在于它们的吸附容量较大。

发酵工业废弃物为我们提供了大量的真菌,许多真菌对重金属离子有很强的吸附能力,部分真菌的吸附容量如下:R. arrhizas: 0.56 mmolCd/g、0.61 mmolPb/g、0.60 mmolCu/g、0.53 mmolZn/g; A. orgzae: 0.38 mmolCd/g; R. oligosporus: 0.37 mgCd/g; R. Orgzae: 0.31 mmolCd/g。这四种真菌中以 R. arrhizas 的吸附容量最大,活菌体经硝酸钙处理,去离子水清洗和 100 的加热处理,吸附容量都会增加<sup>[8]</sup>。其它真菌如 F. vesiculosus、P. chrysogenus、H. opuntia 对 Cd( )的吸附容量也分别达到 0.45、0.25、0.46 mmol/g,与以上四种基本相似,而 P. chrysogenus 对于 Pb( )的吸附容量却达到 116 mg/g<sup>[3]</sup>。

白腐真菌对重金属离子的吸附容量很大。用 Phanerochaete 的活菌丝球来吸附废水中的铜,其最大容量达 3.9 mmol Cu/g,吸附后用 HCl(1 N)溶液

可以完全解吸,解吸后的菌丝球吸附容量无变化<sup>[9]</sup>。用白腐真菌中的 Polyporus versicolor 和 Phanerochaete chrysosporium 的活菌体进行了吸附 Cu( )、Cr( )、Cd( )、Ni( )、Pb( )的试验,发现这两种菌对重金属离子都有吸附效果,对 Pb( )吸附容量最大,分别为 57.5 和 110 mg Pb/g,重金属容量的顺序分别为: Pb( ) > Ni( ) > Cr( ) > Cd( ) > Cu( ) 和 Pb( ) > Cr( ) > Cu( ) = Cd( ) > Ni( )<sup>[10]</sup>,因为吸附容量与溶液 pH 值、重金属离子含量和离子强度等有关,所以不同研究者报道的容量值不同。

酵母菌的吸附容量稍低,如 Saccharomyces uvarum、C. utilis、Saccharomyces cerevisiae 对 Cd( )的吸附容量分别仅为 0.13、0.13 和 0.10 - 0.40 mmol/g<sup>[8]</sup>。

有的研究者预处理假单胞菌(Pseudomonas putida 5 - x)的菌胶团后,将其在细粒磁铁矿上固定,来吸附工业废水中的 Cu( ),在浓度高至 100 ppm 时,除去率可达 96%,用酸解吸,可以回收 95% 的铜,预处理可以增加吸附容量<sup>[11]</sup>。

国内有人用光能异养微生物外红硫螺菌属(Shaposhnikovii)形成的胞外聚合物来吸附重金属,在 pH 6 - 7, Cu( )、Zn( )浓度为 100 mg/l 的废水中,两种离子的除去率达 99.7%<sup>[12]</sup>。

厌氧的脱硫细菌对重金属及放射性元素有吸附作用,若溶液中无铁磁性重金属离子(Fe<sup>3+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Co<sup>2+</sup>、Ni<sup>2+</sup>),则添加之,使细菌磁性化,磁性细菌吸附完成后,用高梯度磁滤器回收它们,此工艺可将废水中的重金属离子或放射性元素的含量由 10 - 100 ppm 降到 10 - 100 ppb,在 10 年前已有这样的试验厂在运行<sup>[13]</sup>。

### 7.2 藻类

藻类来源丰富,对重金属离子的吸附容量大,是廉价的吸附剂。用 9 种海生大藻(Ascophyllum nodosum(1)、Ascophyllum nodosum(2)、Lessonia flavicans、Lessonia nigrescense、Laminaria japonica、Laminaria hyperborea、Ecklonia maxima、Ecklonia radiata、Durvillaea potatorum)对 Cd( )、Cu( )和 Pb( )进行吸附试验,其最大吸附容量分别为 0.8 - 1.2、1.0 - 1.2 和 1.0 - 1.6 mmol/g<sup>[14]</sup>。用三种微藻(Chlorella vulgaris、Scenedesmus obliquus、synechocystis Sp.)对 Cu( )、Ni( )和 Cr( )进行吸

附,其容量在 18.7 - 70 mg/g<sup>[15]</sup>。其它的藻如 *Spirulina platensis*、*Ascophyllum nodosum*、*Scenedesmus quadricauda*、*Fucus vesiculosus*、*Cladophora crispata* 等对重金属离子的吸附容量也与三种微藻相近<sup>[15]</sup>。值得注意的是绿藻中的 *Chlorella minutissima* 对 Cr( ) 的吸附容量达 162.23 mg/g,但对 Cd( ) 和 Pb( ) 仅为 11.14 和 9.74 mg/g<sup>[3]</sup>,看来同一种藻对不同重金属离子的吸附容量差异很大。

有研究者根据马尾藻 (*Sargassum*) 对 Cu( ) 的吸附容量 (2.3 mmol/g) 大,而对 Ca( ) 和 Fe( ) 的吸附容量却依次降低,利用该藻从含亚铁的废液里分离出铜<sup>[16]</sup>。

### 7.3 生物体的固化及其它生物吸附剂

死生物体吸附重金属有优点,因为它们对废水的毒性不敏感,不需要营养物,但其遇水会膨胀或解离,这样的生物体吸附剂不能应用于柱内,因此必须对其固定化。例如可在酸性条件下用丁二烯砜和甲醛对 *A. nodosum* 进行交联固化,但交联固化后其吸附容量却由 215 mg Cd/g 降为 149 mg Cd/g<sup>[3]</sup>。

藻酸盐是从褐海藻中提出来的,它是重金属离子的吸附剂,吸附时重金属离子与其中的金属离子(如 Na<sup>+</sup>) 发生离子交换,试验测定,藻酸钠对 Cu( ) 的吸附容量为 107 mg/g<sup>[3]</sup>。

稻壳是粮食工业的副产物,具有与绿藻相似的结构,但其对 Cr( ) 和 Pb( ) 的吸附容量却是绿藻的近两倍,分别达到 164.31 和 11.40 mg/g,对 Cd 也达到 21.36 mg/g<sup>[3]</sup>。

## 8 工业废物吸附剂

许多工业废物具有吸附重金属离子的能力。炼铝工业中碱浸残渣(也称红泥),其中主要矿物成份为铝硅酸钠、高岭石、鲕绿泥石、铁氧化物或氢氧化物。因其碱度较高,预处理时用水清洗使其到中性,之后加 CaSO<sub>4</sub> (8%) 干燥,再破碎,后轻轻捏合含水混合物,获得 0.01 - 5 mm 的团粒,用此团粒来吸附重金属离子,接触 48 h 后,最大吸附容量为 19.72 mg Cu/g、12.59 mg Zn/g、10.57 mg Cd/g 和 10.95 mg Ni/g; 装柱过滤城市二级出水,对 Ni( )、Cu( )、Zn( ) 的除去率分别达到 100%、68% 和 56%<sup>[17]</sup>。

电厂的煤灰中含有铝硅非金属矿物及铁的氧化物,它对重金属离子的吸附容量很大,如细粒煤灰

(99% - 74 μm) 的饱和容量却高达 220 mgCd/g、207 mgCu/g 和 530 mgPb/g<sup>[18]</sup>。

钢铁工业废渣也有吸附重金属离子的能力,高炉除尘灰中富含氧化铁矿物和焦炭,-40 μm 的除尘灰在 20 - 40 时,对重金属离子的饱和吸附量分别为 64.17 - 68.23 mgPb/g、16.07 - 18.43 mgCu/g、9.55 - 9.46 mgCr( )/g、6.74 - 7.39 mgCd/g、4.26 - 6.72 mgZn/g<sup>[19]</sup>。炼铁高炉产生的粒状炉渣,用其中的 0.1 - 5.0 mm 的团粒来吸附 Pb( )、在适当条件下,Pb( ) 的除去率可达 97 - 98%<sup>[20]</sup>。

金属加工中产生大量的铁粒,如铸铁时产生 0.05 - 2 mm 的铁粒。在水中,这些铁粒表面会形成铁羟基络合物,处理废水时,重金属离子取代络合物上的氢原子而被络合到颗粒表面上。在 pH 4 - 7 的范围内,对重金属离子 Pb( )、Zn( )、Cd( ) 达到最大吸附量,5 - 10 h 内即可吸附溶液中 90% 以上的重金属离子<sup>[21]</sup>。

工业废物吸附重金属离子可能涉及以下几个机理:表面沉积、表面铁铝羟基络合物的絮凝吸附、表面化学吸附和离子交换。工业废物中的细颗粒及其发达的微孔结构可能会有利于重金属离子的沉淀和吸附。

## 9 其它吸附剂

### 9.1 泥煤<sup>[3]</sup>

泥煤比表面积大 (> 200 m<sup>2</sup>/g),孔隙率高 (95%),主要成份是单宁和纤维素,含有许多极性基团,吸附重金属离子主要靠络合和离子交换。改性可以大大地提高其吸附容量,例如嫁接与重金属结合能力强的硫代基,其容量达到 90 - 230 mgPb/g、104 mgZn/g、114 mgCu/g、76 mgCr/g 和 132 mgNi/g,用酸处理后,泥煤的吸附容量比原来高。

### 9.2 天然产物及其改性

许多天然植物成份具有很高的吸附容量,如松树叶:175 mgHg/g; 红木树叶:175 mgHg/g; 干活性污泥:460 mgHg/g、95.3 mgPb/g; 改性羊毛:87 mgHg/g、135 mgPb/g、17 mgCr/g; 苔藓:46.5 mgCd/g; 橙子皮:275 mgCr/g; 蕃泻叶:250 mgCr/g。为提高吸附容量,可以嫁接某些基团,例如,可在羽毛、羊毛和棉花等上面嫁接巯基或胺基,用聚乙烯二胺对羊毛进行改性,容量可达到 330.97 mgHg/g; 对

棉花进行改性,可使其具有吸附重金属离子的能力,吸附容量与胺的含量成正比。

## 10 结 语

重金属离子的吸附剂种类非常多,应用时根据实际情况加以选择,尽可能做到经济地回收重金属。

大多数吸附剂对不同重金属离子的吸附能力有差别,利用这个差别可能有利于重金属离子的分离与回收。

生物吸附剂的固定化技术是生物吸附剂实用化的关键,这方面的研究有待深入。

人工合成的吸附材料中,聚乙烯硅胶-聚乙烯胺复合材料具有重要的实用价值。它为经济地回收废水中的重金属提供了前景。

### 参考文献

- 潘桃槽等. 应用矿物学. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1993, 9, 106 - 108.
- 孙胜龙等. 非金属矿物修复环境机理研究现状. 地球科学进展. 1999, 14(5), 475 - 481.
- Suran E. Bailey et al. Wat. Res. 1999, 33(11), 2469 - 2479.
- Hsien T - Y et al. Sep. Sci. Technol. 1995, 30(12); 2455 - 2475.
- 蒋建国等. 环境科学. 1999, 20(1), 65 - 67.
- Ronald R. Navarro et al. Wat. Res. 1999, 33(9), 2037 - 2044.
- United States Patent. No. 5, 695, 882.
- Pinghe Yin et al. Wat. Res. 1999, 33(8), 1960 - 1963.
- Cho Sing et al. Wat. Res. 1998, 32(9), 2746 - 2752.
- Ulku Yetis et al. Wat. Sci. Tech. 1998, 38(4 - 5), 323 - 330.
- H. Chua et al. Wat. Sci. Tech. 1998, 38(4 - 5), 315 - 322.
- 田建民. 太原理工大学学报. 1999, 30(2), 175 - 177.
- A-S 巴哈伊等. 国外金属矿选矿. 1995, 32(1), 26 - 33.
- Qiming Yu et al. Wat. Res. 1999, 33(6), 1534 - 1537.
- G. Cetinkaya Donmez et al. Process Biochemistry. 1999, 34, 885 - 892.
- David Kratochvil et al. Wat. Res. 1998, 32(9), 2760 - 2768.
- E. Lopez et al. Wat. Res. 1998, 32(4), 1314 - 1322.
- Resat Apak et al. Wat. Res. 1998, 32(2), 430 - 440.
- A. Lopez - delgado et al. Wat. Res. 1998, 32(4), 989 - 996.
- S. V. Dimitrova et al. Wat. Res. 1998, 32(11); 3289 - 3292.
- Edward H. Smith. Wat. Res. 1996, 30(10), 2424 - 2434.

(上接第 24 页)

表 3 用图 8 所示的流程获得的连续分批试验结果

产品名称	产 率 %	品 位 (%)				分布率 (%)			
		SnO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>
锡精选精矿	62.77	91.2	2.20	0.16	0.98	98.2	38.5	40.5	4.2
钽铌精矿 1	5.36	3.10	37.3	2.39	4.10	0.3	55.5	51.2	1.5
锆产品 2	30.97	1.68	0.62	0.06	43.8	0.9	5.2	7.6	93.6
矿 泥	0.90	40.5	2.80	0.20	10.2	0.6	0.8	0.7	0.7
给 矿	100.00	58.3	3.60	0.25	14.5	100.0	100.0	100.0	100.0

注:1 磁性产品;2 重选尾矿

## 3 结 论

处理冲积矿床和风化矿床锡矿石获得的很多锡重选精矿都含有有价的杂质,如钽铌铁矿、锆石和铁。用常规的物理方法(如重选法)不能除去这些杂质,在冶炼中这些杂质进入冶炼渣中,这不仅增加了冶炼的费用,而且使钽铌铁矿损失于冶炼渣中,只能

用昂贵的处理方法才能从渣中回收钽和钼。

我们制订了用浮选脱除大多数杂质的方法。该法的特点是采用了高选择性的捕收剂,它可在较低的 pH 下(pH < 2.0)浮选锡石。该捕收剂也可以在低 pH 下浮选原生的硬锡矿石。

(崔洪山 译 太白 校)