# 磁性炭浆(MIP)工艺及磁性炭研究

李德良 邱冠周 王淀佐

(中南工业大学矿物系)

【摘要】本文详细分析了当今CIP/CIL工艺中存在的问题及磁性炭浆(MIP)工艺的技术优势和经济竞争优势，采用较简单的办法制备了一种硬度高、耐磨性好的磁性炭，其吸附金速度和吸附量均与原炭相当，实验发现磁炭解吸率高且再生方便，从杂质离子的影响实验说明Cu(Ⅱ)和$SCN^-$对磁炭的吸附性能影响很小，而Zn(Ⅱ)则强烈地降低磁炭的吸附速度，但Fe(Ⅲ)的存在明显地促进磁炭的吸附过程。

关键词：磁性炭；磁炭工艺；吸金

## 一、前言

1973年在美国南达科他州霍姆斯特克金矿试验成功的炭浆工艺，由于省掉了传统工艺中能耗物耗很高的固液分离工序，使投资大幅度下降，同时改善了氰化浸出速度和浸出率，因此备受黄金矿山的欢迎，炭浆法在全球不断推广普及，仅我国目前就建成了40多家炭浆厂，炭浆工艺由碎矿⟶磨矿⟶搅拌浸出⟶炭吸附⟶解吸⟶电积⟶炭再生等工序组成，一般磨至-200目占90%以上，目的在于使金单体解离和便于从矿浆中筛出活性炭，因为只有细磨才能减少矿粒阻塞筛孔的机会，所用炭一般为+16目椰壳炭或杏核炭，它们的高硬度保证了炭的耐磨性，但同时也降低了其活性且使生产成本增加，目前国产杏核炭售价达14000元/t，椰壳炭17000元/t，大大高于一般工业用炭，即使如此，这类炭仍免不了因过筛的机械碰撞摩擦而破损；除屑的目的在于筛除粗砂、硬渣、塑料及轮胎碎片特别是必须有效地清除木屑，它通过炭再生后将变成易碎的活性炭，返回吸附回路后将形成细粒载金炭而流失于尾矿中，炭浆工业实践中反映出的问题有：

1. 磨矿粒度不一定最佳，可能出现过磨，对易单体解离的金矿石尤其如此。

2. 对含泥重的粘土矿，载金炭筛分困难，若增大液固比无疑会增加废水处理和矿山环保的负担。

3. 细粒载金炭流失而造成金损失，炭磨损一般为每吨矿石100g，有时高达300g，一方面炭磨损造成炭活性降低，因为磨损的部位正好是那些活性高的部位，另一方面炭磨矿造成金损失，对100t/d的炭浆厂，一年(300d)将损失细粒炭 $300\times100\times100g=3t$，设其吸附量为5kg/t，则一年损失黄金15kg，可见炭浆法中金的损失是不容忽视的。

4. 活性炭选择难，炭浆法中炭的粒度和硬度的要求是十分苛刻的，这无疑导致炭价格高昂，炭浆厂成本上升。

5. 炭筛效率低，维护难。

## 二、磁性炭浆法(MIP)特点

传统CIL/CIP工艺的主要问题是采用过筛来达到载金炭与矿浆分离的效果不够理想，因此如果能找到一种更好的分离炭的方法就能解决现有CIP/CIL工艺中的问题，解决问题的思路之一是改变活性炭的性质，使炭改性后再回收的方法是很多的，一种方法是增加炭的疏水性而采用浮选方法来回收载金炭，但该法至少有两个问题不能回避：1)浮选的选择性不高，含炭浮选精矿中杂质无法排除，不论采用常规浮选还是无捕收剂浮选，要彻底地从矿浆中回收炭则其它伴生硫化矿也跟着一起上浮，如果氰化前进行预

浮选来排除杂质则成本将上升到矿山无法承受的程度，2)浮选药剂的存在会大大降低活性炭的活性并影响解吸再生回路的正常运转，B. D. Young[1]的研究指出乙基黄药在炭上的吸附容量大大超过〔$Au(CN)_2$〕$^-$的吸附量，浮选流程无疑意味厂房和设备投资将大幅度增加，浮选药剂消耗肯定导致成本上升，因此通过浮选来改进CIL/CIP工艺，看来不易解决。使炭改性的另一种方法是使炭带上磁性而用磁选机来回收载金炭，磁性炭浆法〈Magchar In Pulp〉即MIP工艺的原则流程如图1

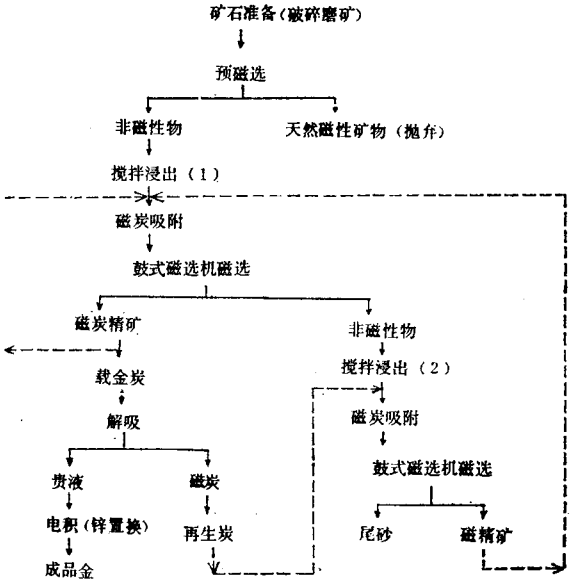


**图 1 MIP 工艺原则流程图**

不难看出，MIP流程具有以下优点：

(1) 由于不必靠过筛分来离载金炭，因此炭的磨损可降至最低值，即损失在尾砂中的金最少。

(2) 磨矿费用可达最合理的低值[2]。

(3) 磁炭比重可灵活调节，因此可避免炭粒在矿浆表面漂浮的现象，改善吸附的传质过程，使浸出时间缩短。

(4) 磁炭粒度和硬度可由生产过程控制，如采用粘合的办法使炭带上磁性则磁炭的硬度可通过粘合剂的性质和多少来调节，其结果是使得原料炭的来源十分广泛，泥煤炭、木屑炭和果核炭都可用来生产磁炭，因此磁炭的价格可大大低于现行的椰壳炭，具有经济竞争优势。

(5) 对于细泥含量特别高和粘性大的矿浆，MIP工艺具有独一无二的优势

(6) MIP 工艺不但是提金的先进技术而且在矿山环保领域有着非常广泛的开发应用前景，黄金选厂的含氰污水处理采用MIP流程既可使 $CN^-$含量达标，又可以磁炭上解吸氰化物而使其循环利用，浮选厂的浮选药剂和重金属离子污水若采用 MIP 处理流程后也将起到变废为宝的事半功倍之功效。

## 三、磁性炭研究

### 1. 磁性炭研制

原料炭选自北京光华木材厂的16—A型活性炭，磁性材料采用纯度为90%的磁铁矿(－200目)，粘合剂为长沙水玻璃厂生产的中性水玻璃。三种原料先混合均匀，搅拌(100 r/min)1h 后用大孔布氏漏斗抽滤分离去多余的料浆(料浆可循环使用)，固体混合物经干燥后进行筛分测得粒径分布为－28＋150目，此即磁性炭(Magnetic Activated Carbon)粗产物，粗产物用 1:10HCl 浸泡 2h 后进行固液分离，废液弃去，固体物于104℃烘至恒重，再置于磁选机上在 1200GS 的磁场强度下分离出磁精矿——磁性炭，磁选尾渣返回到制备工序以便循环使用，所得磁性炭外观黑色，外形呈不规则形状。

### 2. 磁性炭的硬度测定

提金用炭的首要参数是它的硬度大小，硬度的大小直接反映了炭的耐磨性能，虽然南非学者 D. Mc Arther[3]建议用所谓滚瓶实验来测量炭的硬度和耐磨性，但我们觉得进行搅拌破碎实验来检查炭的硬度和耐磨性更接近于 CIP 过程的实际情况，具体做法如下：取10.000g 磁性炭或原炭置于1000 ml 搅拌浸出槽中，倒入 pH≥10 的水溶液500.0ml(pH值用石灰调节)，在恒定转速(650r/min)下连续搅拌 10h，然后水析筛分使＋150目组份和－150目组份分离，－150

目组份在 104℃下烘至恒重后准确称量，用－150目所占的相对含量来表示耐磨性的大小，这种相对含量值(即破碎率)越高，则炭的耐磨性越差，其硬度越小，反之亦然。实验结果如表 1 所示：

磁性炭与原炭的耐磨性比较　　表1

| 炭种类 | 表观现象 | －150目生成量(g) | 破碎率 |
|---|---|---|---|
| 磁性活性炭 | 无混浊 | 0.1025 | 1% |
| 原料活性炭 | 黑色混浊 | 0.4505 | 4.5% |

从表 1 不难看出：无论从定性观察（即表观现象）还是从定量结果都说明所制备出的磁性活性炭比原始活性炭的硬度高、耐磨性好，其原因在于磁性炭的硬度不但决定于原炭也与所用粘合剂的性质和数量密切相关，我们可获得这样一个结论：磁性炭的硬度大小和耐磨性能可通过粘合剂来调节。这种认识给我们带来的启示是：生产磁性炭的原料来源广泛，泥煤炭、木屑炭和果核炭及沥青炭都有可能用来生产磁性炭，因此磁性炭的成本比现有的椰壳炭将低许多。

### 3. 磁性炭的吸金性能

吸附实验是在室温下进行，氰化贵液含金5.00ppm，实验时每次称取 1.000g 磁性炭投入含氰化贵液 500.00ml 的搅拌槽中于恒定转速下进行搅拌吸附（搅拌速度 500r/min)，在0.5,1.0,2.0,3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0,8.0,9.0,10.0,12.0h 取出 5.0ml 溶液送去化验金品位（原子吸收分光光度计测定)，以下式计算载金量：

$$\frac{X}{M}=\frac{(C_0-C_t)V}{M} \qquad (1)$$

$X$—金吸附量 mg

$M$—磁炭或原炭重量 g

$C_0$—原始贵液金浓度 ppm = mg/l

$C_t$—吸附$t_i$小时后贵液金浓度 ppm

$V$—贵液体积 L

为了与原料炭形成对比，在相同的条件取1.000g 得原炭进行上述吸附动力学实验，结果如图 2 所示：

从图 2 容易看出磁炭与原炭的吸金活性

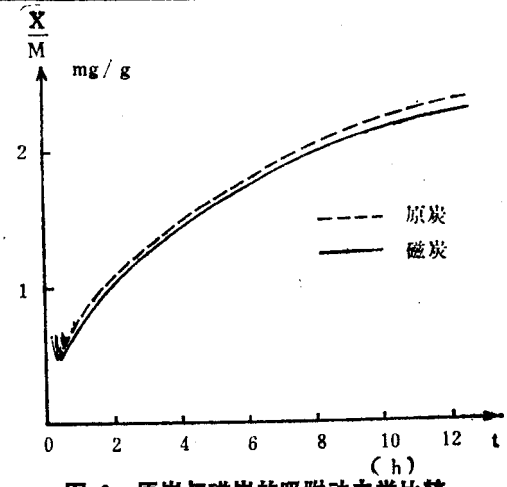


图 2　原炭与磁炭的吸附动力学比较

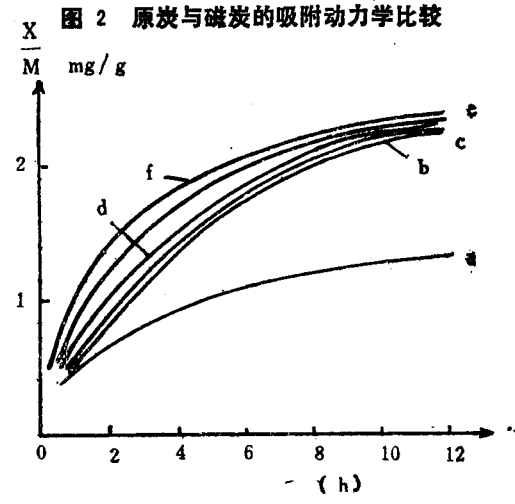


图 3　杂质离子对磁炭吸金动力学的影响

a—150ppmZn　　b—1000ppmSCN⁻

c—200ppmCu　　d—无杂质离子

e—50ppmFe　　f—150ppmFe

几乎一致，尤其是吸附前期(t≤6h)更是如此，因此用磁炭代替原炭而进入CIP过程是不会对CIP流程产生不利影响的；在相似的条件下取1000.00ml 贵液、1.000g 磁炭和原炭间断搅拌48h进行了饱和吸附实验，结果表明磁炭的载金量达4.8kg/t，而原炭载金量达 4.85kg/t；说明磁炭与原炭不但吸附动力学一致，而且饱和吸附量（即吸附热力学)也相近。磁炭组成近似为65%活性炭、20%磁铁粉和15%粘合剂，相同重量的磁炭和原炭在吸附性能上如此接近是由于磁炭的粒度范围（－28＋150目）比原炭（＋16目）宽，且粘合剂为多孔硅胶。

### 4. 杂质离子对磁炭吸附性能的影响

实际氰化贵液常伴生有重金属杂质离子和$SCN^-$，本研究探索了$Cu^{2+}$、$Fe^{3+}$、$Zn^{2+}$和$SCN^-$对磁炭吸金动力学的影响，实验条件与3.的完全相同，实验结果如图3所示。从图3不难发觉：$Cu^{2+}$和$SCN^-$对磁炭的吸金特性影响甚微，但$Zn^{2+}$的存在强烈地减低了磁炭的吸金活性，相反，$Fe^{3+}$却能促进磁炭的吸附过程，这可能是Fe(Ⅲ)与$Au(CN)_2^-$在磁炭的某些微孔中进行了某种共沉积过程，或者Fe(Ⅲ)催化了$Au(CN)_2^-$在磁炭表面的还原过程：

$$Au(CN)_2^- \xrightarrow{FeCN_6^{3-}} Au\downarrow \quad (2)$$

具体机理有待进一步探讨。以上杂质干扰的实验无疑对实际生产中MIP流程的管理是有益的。

5. 解吸及再生试验

取2.000g载金量为2.68kg/t的磁炭加入2.5ml〔4%NaCN+5%NaOH〕的预浸液在室温浸泡1h，然后倒入50ml〔20%EtOH—80%$H_2O$〕溶液于92℃回流9h，磁炭经干燥至恒重后，测得品位降为80.4g/t，算出解吸率达97%，在相同的条件下以原炭（2.87kg/t）进行的实验获得96%的解吸率，说明磁炭解吸方便。

再生实验是通过将解吸后的磁炭置于650℃的马弗炉中处理0.25h，然后按照与（3）相同的条件测量其吸附动力学，结果见图4。

从图4可以看出，磁炭经再生后至少有95%的活性已得到恢复，再生磁炭所作的饱和吸附实验也说明了这点，其饱和吸金量（1.0000g再生磁炭、25℃，1000.0ml 5.00ppm贵液，搅拌48hr）达4.65kg/t。

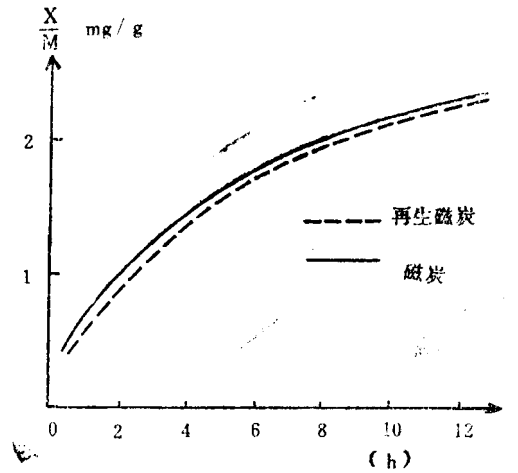


图4 再生磁炭与原磁炭的吸附性能比较

## 四、结语

1. 对MIP流程的分析及与CIP/CIL工艺的对比可知MIP不仅具备诸多技术工艺优点而且也具有卓越的经济优势，因此是一项颇具开发应用前景的新工艺，值得黄金矿山重视。

2. 磁性炭制备过程简单，所得的磁性炭无论在吸附性能方面（吸附速度和吸附量）还是在解吸再生方面，均显示出可与原料炭相抗衡的良好性能。

3. 杂质离子的干扰试验说明$Cu^{2+}$和$SCN^-$对磁炭的吸附活性影响很小，但$Zn^{2+}$严重降低磁炭的吸金活性，$Fe^{3+}$的存在对磁炭吸金过程有明显的促进作用。

4. 磁炭的硬度和耐磨性可通过所用粘合剂的性质和数量来调节，本研究所得的磁炭其硬度明显大于原炭。

## 参考文献

[1] B. D. Young etc "The binary adsorption of gold cyanide and ethyl xanthate onto activated carbon" Hydrometallurg, 26(1991)395—401

[2] Earl Herkenhoff "Magchar: An alternative for gold plants using Magchar-In-Pulp systems" E&MJ Aug(1982)84—87

[3] D. McArther etc《黄金冶金》（原子能出版社，1988）pp161—169

编辑：牛政祺

# Magchar-In-Pulp process and research on Magchar

Li Deliang et al.

*(Department of Mineral Engineering, Central-South University of Technology)*

**Abstract:** The disadvantages of the present CIP/CIL Process and the advantages of the Magchar-In-Pulp ‹MIP› process were discussed in this paper. A Magchar with high hardness was prepared using a simple method. The Magchar shows as good adsorption rate and loading capacity as that of its original carbon. High desorption efficiency and convenient regeneration condition of the Magchar have been observed in the experiments. The tests of the effect of some impurities on the adsorption behavior of Magchar demonstrate that only small effect of Cu (Ⅱ) and $SCN^-$ were found, but Zn(Ⅱ) can strongly decrease the adsorption rate of Mogchar, and the existence of the Fe(Ⅲ) obviously promotes the adsorption kinetics of Magchar.

**Keywords:** Magchar ‹magnetic activated carbon›; MIP ‹Magchar-In-Pulp›; adsorption of gold