国内外铜钼分离工艺的现状

摘要：我国铜钼共伴生矿产资源丰富，常伴生于斑岩型矿床中，因两种矿物具有极其相近的可浮性而成为选矿过程中矿物分离的一个难题。本文在阐述黄铜矿和辉钼矿的表面润湿性等物理化学特性的基础上，对常规的铜钼分离工艺进行介绍，同时对铜钼浮选分离未来的发展进行了展望。

关键词：硫化铜矿；辉钼矿；铜钼分离；浮选工艺；抑制剂

引言

铜和钼均为重要的战略金属资源，广泛应用于钢铁、化工和机械制造以及日常生活的各个领域中。黄铜矿和辉钼矿是工业上铜、钼两种金属的最主要来源，常共伴生于斑岩型铜钼矿床中。据不完全统计，世界上近75%的铜和50%的钼均产自于斑岩型铜钼矿矿石。许多选矿技术如重选、磁选和浮选等，均被用于辉钼矿与黄铜矿的分离。但是由于两种矿物密度接近，导致重选并不能达到很好的分离效果；而磁选只适用于预处理，并不能得到合格的铜精矿和钼精矿；到目前为止，浮选仍然是应用最广和最具经济效益的铜钼分离技术。近年来国内外对矿业开发的环保要求越来越高，如何绿色高效地进行铜钼分离，已成为铜钼资源选冶领域的重大研究课题。本文在阐述了两种矿物的物化性质差异和总结铜钼分离技术研究现状的基础上，对铜钼分离技术领域存在的不足和进一步的研究方向进行了探讨。

## 辉钼矿和黄铜矿的表面性质

### 1.1辉钼矿表面性质

矿物在碎磨过程中，被微弱范德华力连接的S-Mo-S层很容易在应力或剪切力的作用下断裂，因此辉钼矿颗粒表面有两种类型：(1)沿S-S面优先解离，为非极性表面，表面化学活性弱，对水分子吸引力弱，润湿性较差，因而可浮性较好。(2)由强共价Mo-S键断裂形成的表面，此表面极性较强，为亲水性表面，因而可浮性较差。多数情况下，辉钼矿中前者远远多于后者，因此辉钼矿表现出良好的天然可浮性。

### 1.2 黄铜矿表面性质

至于黄铜矿，其本身的疏水性并不强，但是天然黄铜矿由于微弱氧化作用而形成硫化物，因此促进了黄铜矿表面的自诱导疏水性，使黄铜矿获得较为良好的疏水性，因此具有良好的天然可浮性。

## 2铜钼分离工艺研究现状

铜钼分离工艺一般分为两大类：第一类是磁选工艺，该方法利用黄铜矿与辉钼矿的磁性差异，对二者进行分离；第二类是浮选工艺。铜钼浮选工艺主要分为混合-分离浮选、优先浮选、等可浮浮选三种，其中混合-分离浮选是工业上应用最广泛的技术常用的浮选工艺，即利用铜钼硫化物具有良好的天然可浮性的特点进行混合浮选，然后再进行铜钼的分离，该方法可以获得较高品位和回收率的铜精矿和钼精矿。目前，浮选工艺具有较好的分离效果和经济指标，是当今铜钼分离技术的首选工艺。

2.1 混合-分离浮选工艺  
混合浮选就是先将铜钼作为整体浮出，得到铜钼混合精矿，然后再分离混合精矿得到铜精矿和钼精矿。混合浮选工艺具有工艺成本低、指标稳定且流程简单易于控制的优点，是目前使用最广泛的铜钼浮选工艺。简胜等人[31] 对西藏某铜钼矿，采用混合-分离浮选工艺开展试验研究，最终获得的铜精矿品位 20.91%、回收率63.69%、含钼 0.24% 和钼精矿品位 47.17%、回收率63.66%、含铜 1.21% 的良好指标。然而铜钼混浮之后，混合精矿表面会残存的捕收剂等会导致铜钼的可浮性差异进一步减小，影响后续分离浮选的效果，这也是铜钼分离困难的原因之一。因此，在后续分离前应该进行脱药处理[32]。常见的脱药方式有混合精矿再磨、硫化钠脱药、加温脱药和活性炭解吸等。

### 2.2 优先浮选工艺

优先浮选即将黄铜矿和辉钼矿按不同次序依次浮出，因此有优先浮钼和优先浮铜两种选择。由于抑钼难度较高，抑铜浮钼是目前常用的优先浮选技术。刘水红[35] 针对某低品位斑岩型铜钼矿，采用优先浮选工艺，在石灰作 pH 调整剂、BK404 为捕收剂、BK202为起泡剂的药剂制度下，最终获得了铜品位 22. 45%、铜回收率 87. 29%、含钼 1. 69% 的铜钼混合精矿。但是优先浮选面临着黄铜矿或辉钼矿在被抑制后很难活化的难题，导致浮选指标偏低，因此国内外很少使用此工艺。

### 2.3 等可浮工艺

等可浮工艺即先浮出辉钼矿以及一部分易浮的黄铜矿，然后再进行铜钼矿物的分离，最后回收剩下的铜矿物。等可浮工艺相较于其他工艺，避免了对铜矿的强烈抑制，因而减少了抑制剂的用量，使得后续分离作业受残留药剂的影响小，改善了浮选指标。林清泉等人[] 对江西某铜钼多金属矿采用等可浮的工艺流程来回收其中的铜钼，最终获得了铜品位 18.27%、铜回收率81.03%，钼品位 0.45%、钼回收率 59.83% 的铜钼混合精矿，实现了铜钼的综合回收。但是此类工艺流程复杂，操作难度高，成本高，如今很少实际应用。

## 3 铜钼浮选分离药剂

### 3.1 捕收剂

#### 3.1.1 黄铜矿捕收剂

黄铜矿捕收剂能捕收硫化矿物，而对脉石矿物则基本没有浮选能力。根据捕收剂中官能团的不同，可以大概将黄铜矿捕收剂分为黄药、黑药、硫氮类以及它们各自的衍生物等几类

#### 3.1.2 辉钼矿捕收剂