

第八届选矿年评报告文集

大会秘书处

1997年10月

北 京

第八届选矿年评报告文集

大会秘书处

1997年10月

北 京

主 办 单 位

- 1、国家金属矿产资源综合利用工程技术研究发展中心
- 2、中国矿业协会选矿委员会
- 3、中国有色金属学会选矿学术委员会
- 4、北京金属学会
- 5、北京矿冶研究总院
- 6、中国选矿科技情报网
- 7、中国有色金属工业选矿科技信息网

(单位名次不分先后)

第八届选矿年评报告

目 录

一、选矿综合年评	中南工业大学矿物工程系 (1)
1. 浮选	覃文庆 (1)
2. 磁选	冯五定 (14)
3. 重选	黄 枢 (26)
二、矿种年评	
1. 铅、锌选矿年评	东北大学 薛向亚等 (40)
2. 锡选矿年评	昆明理工大学 文书明 (56)
3. 钨选矿年评	北京有色冶金设计研究总院 李怀先等 (63)
4. 镍选矿年评	北京矿冶研究总院 李成必等 (70)
5. 稀土选矿年评	包头稀土研究院 赵建春 (86)
6. 黄金选矿年评	沈阳黄金学院 金镜潭等 (95)
三、专题年评	
1. 破碎、磨矿年评	东北大学 陈炳辰等 (121)
2. 超细粉碎与分级技术年评	清华大学 盖国胜等 (138)
3. 选矿药剂述评	长沙矿冶研究院 阙焯兰等 (158)
4. 辐射分选年评	核工业北京化工冶金研究院 汪淑慧 (178)
5. 超导分选年评	北京有色金属研究总院 孙兴来 (187)
6. 选矿设备的回顾与展望	北京矿冶研究总院 王宏勋 (192)
7. 选矿数模及控制和计算机应用	北京矿冶研究总院 陈子鸣 (216)
8. 能源经济与矿物工程年评	核工业北京化工冶金研究院 孙 宇 (231)
9. 矿物工程与海洋矿产资源开发	核工业北京化工冶金研究院 孙 宇 (246)
10. 加拿大选矿年评	东北大学 韩跃新等 (248)
11. 俄罗斯卡契卡纳尔采选联合企业介绍	长沙矿冶研究院 张宏福等 (255)
四、1994~1995 年选矿论文题录	东北大学 暴学珠 (265)

选矿综合年评

中南工业大学矿物工程系

第一部分 浮 选

(章文庆)

从1993年至今,浮选理论和工艺都有了长足的发展。近二年来,在有关学术会议和学术刊物上发表了大量浮选方面的论文。1993年在澳大利亚悉尼召开了第十八届国际选矿会议,有多篇浮选论文。浮选作为矿物加工工程方面的一项主要技术已发展到了一个新的水平。本文从浮选理论与工艺、浮选药剂和浮选设备三个方面对1993年以来的浮选进展进行评述。

一、浮选理论与工艺

关于浮选理论与工艺,近二年来仍旧着重于硫化矿、氧化矿和细粒选矿三个方面的研究,在这些方面都有一系列研究的报道。

浮选电化学的研究仍旧是硫化矿浮选领域的重要方向和趋势,包括研究硫化矿物的电化学反应特性、无捕收剂浮选、电化学调控浮选技术,以及各类药剂与硫化矿作用的电化机理的解释和运用。

硫化矿表面的氧化及其氧化程度是浮选分离的决定因素,其氧化还原过程是一个电化学反应过程。研究发现^[1],黄铜矿、磁黄铁矿与磨矿介质之间的电化学反应与其浮选关系密切,硫化矿物与低碳钢之间存在电蚀交互作用。凡口铅锌矿、赤马山铜矿的矿石在磨矿过程中,与介质起电化学反应,调节磨矿时的电位 E_n ,可以减少介质和能量的损耗^[2]。Kelebek研究了加拿大萨德伯里地区的镍铜矿物浮选,发现磨矿后的磁黄铁矿预先氧化后,其浮选选择性提高^[3]。澳大利亚的Shannon研究发现^[4],在有方铅矿和一种金属络合物离子存在的条件下,可以实现黄铁矿的无捕收剂浮选,这是由于来自方铅矿的表面氧化生成了元素S所致。而Matin则认为^[5],黄铁矿的无捕收剂浮选取决于其表面所吸附的疏水物和亲水物的相对量,在硫化钠不存在的黄铁矿浮选中,如果有含 Fe^{3+} 的螯合物或其它 Fe^{2+}/Fe^{3+} 螯合物,则可以使黄铁矿表面氧化产生疏水性的元素 S^0 。波兰的Nagardj等发现^[6],黄铁矿的阻抗特性与其自诱导浮选关系密切,通过静电位测定和阻抗测定得出,低腐蚀电流的黄铁矿易浮,而高腐蚀电流的黄铁矿则难浮。丁敦煌等人用量子化学CNDO/2方法研究了硫化矿表面的共价键特征和接收电子的能力^[7],得出了这些因素与浮选的关系。

硫化矿的浮选电化学重点在其无捕收剂浮选,包括自诱导浮选和硫化钠诱导浮选。孙水裕等人对黄铜矿、黄铁矿等几种硫化矿的无捕收剂浮选进行研究^[8~13],在无硫化钠存在时,通过表面氧化的热力学计算和电化学测试,建立了这些硫化矿物的电化调控浮选机理和模型;以量子化学为基础从电荷转移的微观层次统一解释了氧在浮选中的作用。同时还对硫化矿-溶液界面的电子转移用分子轨道理论作出了解释^[14];利用量子化学方法计算了方铅矿、黄铁矿的半导体能带,得出了半导体能带图,画出了半导体与分子氧的能级图,

认为N型方铅矿和P型黄铁矿具有良好的自诱导可浮性^[15]。同时提出了在硫化矿表面存在 $[S^0]/[OH^-]$ 平衡关系的说法,氧化产生的 $[S^0]$ 越大则表面疏水, $[OH^-]$ 高则表面亲水^[16,17]。

硫化钠(Na_2S)加入对硫化矿浮选有不同的影响,从电化学的角度来说, Na_2S 水解产生的 HS^- 的氧化和吸附,导致了硫化矿表面的亲水或疏水。 Na_2S 在碱性矿浆中以 HS^- 组分为主导^[18];孙水裕等人研究了黄铜矿、黄铁矿、砷黄铁矿和方铅矿四种硫化矿物在有 Na_2S 存在时,其表面的疏水—亲水平衡关系^[16,17],以 $[S^0]/[OH^-] + [HS^-]$ 来表征这种关系,认为 $[S^0]$ 是导致硫化矿表面疏水的主要因素,而 $[OH^-] + [HS^-]$ 则共同造成硫化矿表面较大的亲水性。由于 HS^- 离子的最高占据轨道HOMO与黄铁矿表面最低空轨道LUMO对称性匹配且能量相近, HS^- 离子HOMO上的电子可以转移到黄铁矿表面的LUMO上,然后再转移至分子氧的反 π 键 π^* 上,其结果使得 HS^- 离子在黄铁矿表面氧化生成 S^0 并吸附其表面,使其变得疏水^[19]。而对于黄铜矿和方铅矿, HS^- 离子的HOMO能量低于Ev, HS^- 离子难以在它们的表面氧化,故它们的疏诱导可浮性很差^[15]。对 HS^- 离子在这些硫化矿表面的反应及吸附机理也进行了讨论, HS^- 离子的氧化和吸附与浮选时的矿浆pH值和矿浆电位有关^[20]。

冯其明等人则从硫化矿表面氧化动力学角度研究了硫化矿矿浆电化学浮选分离^[21],用电流密度 I_{corr} 表示氧化速度,发现在碳酸钠介质中,利用毒砂和黄铁矿氧化速度的差异,实现了二者的分离。

孙水裕等人研究了硫化矿无捕收剂浮选的工艺因素和工业实践^[9];研究了一系列复杂硫化矿的无捕收剂浮选,利用硫化矿的自诱导浮选,疏诱导浮选技术取得了成功,并提出微捕收剂浮选的新工艺^[22~25]。孙水裕根据硫化矿物共生关系和元素赋存状态,设计和实验了不同的无捕收剂浮选方案^[26],它们都具有较强的浮选选择性分离;用电化学调控浮选实现了方铅矿和黄铁矿的无捕收剂分选。

澳大利亚马塔比矿山公司在小型浮选机内连续地进行无捕收剂浮选工业试验^[27],取得了成功,对Cu、Pb、Zn硫化矿的无捕收剂浮选由实验室放大到了工业规模,矿浆电位在0~280mV内变化,pH在9~11之间,成功地使Cu-Pb硫化矿选择性分离。美国专利报道^[28],将含有硫砷铜精矿的辉铜矿用氧化剂(双氧水、臭氧和过硫酸盐)调节,将矿浆电位控制在0mV左右,优先浮选了铜砷精矿;德国的卢基台尔公司研制了一种用于复杂硫化矿的浮选方法——conox工艺,调整电化学环境,实现Cu-Zn分离^[29]。

Wang则提出了硫化矿及黄金电化学调控浮选另一种研究方法^[30],测定电极过程热效应及电极过程对硫化矿和黄金表面润湿性的影响,对它们在浮选过程中的热效应量化,改进确定矿物接触角的测定方法,考察了电化学与润湿性之间的关系。结合电化学测定和电子能谱测定对金在无捕收剂体系和有捕收剂(黄药)体系浮选过程中,表面形成亲水/疏水平衡结构做了详细的探讨^[31]。

关于硫化矿捕收剂与硫化矿物之间的作用机理,近年来也有一定的进展。日本的Yamaguchi利用量子化学分子轨道法,从微观电子的角度研究了硫醇苯噻唑在黄铁矿表面的吸附,解释了电子轨道转移的微观机理,电子转移导致了化学吸附的产生^[32];美国的R·Yoon则总结了黄药类捕收剂在硫化矿和贵金属矿表面上的吸附机理^[33],认为药剂吸附包括化学吸附、电化学作用、催化氧化的产生和易位置换四种形式,而且这四种作用机理是同时产

生的。澳大利亚的 Hanson 研究了黄药在黄铁矿表面的吸附^[34], 提出了吸附过程的速度和产物, 以及吸附量和浮选之间的关系。美国的 Gases 则用细磨的黄铁矿在黄药体系中研究它们之间的相互作用, 提出了黄药在新鲜的和氧化的黄铁矿表面的作用方式^[35]。张永光等人则用高纯度 ($>95\%$) 的黄铁矿晶体制成矿物电极, 测定黄铁矿在黄药体系中的电极过程, 提出了黄铁矿在介质中自吸附黄药和发生反应的动力学模型和吸附速率方程^[36]。澳大利亚的 Woods 研究了乙基黄原酸钾在铜电极上的吸附量^[37]。澳大利亚的 Ralston 讨论了方铅矿表面黄原酸根离子的氧化和吸附作用机理^[38], 认为黄原酸根离子的浓度是方铅矿表面发生吸附及反应的重要因素。研究表明, 低浓度下才能反应生成黄原酸铅并吸附于方铅矿表面; Mcneil 通过波谱分析发现^[39], 在镍黄铁矿表面, 戊基黄药能被催化氧化生成双黄药, 并以乙烷萃取测定了镍黄铁矿表面的双黄药吸附量; 澳大利亚的 Richardson 研究了被 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 离子活化了的闪锌矿表面电化学特性, 得出了在黄药体系中闪锌矿表面的氧化曲线, 并解释了氧化生成物的产生机理^[40]; 同时对方铅矿的表面氧化用光电化学进行了研究^[41], 得出了表面氧化与浮选回收率的关系, 发现 n 型方铅矿半导体中存在氧化阳极光电流; 俄罗斯的 Schukarew 则研究了烷基黄药在方铅矿表面的吸附^[42], 认为是亚单分子层吸附, 并以量子化学从分子轨道理论的角度解释了这种化学吸附。

盐类矿物表面活性和耐盐性质决定了盐类矿物在浮选体系的溶解组分, 各种矿物之间溶解成分的复杂以及它们之间的交互作用使得它们的浮选分离困难。采用微热量计测定法可以考察 $[\text{H}^+]/[\text{OH}^-]$ 在盐类矿物及氧化矿、高岭土和长石表面的作用^[43], 把 H^+/OH^- 的吸附密度和等电点测定法进行对比分析, 同时对钙离子形成的沉淀所导致的表面活性剂的损耗进行了测定。张浩元通过对方解石和萤石浮选过程的热力学计算及分析, 提出矿物表面溶解及其组分之间的相互转化是造成浮选分离复杂的重要原因^[44]。Q·XU 用离子型和非离子型表面活性剂提高了高岭土、硅石和石墨的表面性质, 使得这些矿物在水溶液中的分散性、溶解性和可浮性变好^[45]; Hui 利用双液浮选法处理高岭土, 用液态氨和硫酸铵缓冲溶液的添加等办法, 改变了高岭土和氧化铁矿的表面性质, 增加两者之间的表面疏水性差异^[46]。加拿大 Rao 讨论了以阴/阳离子捕收剂混合使用的溶液化学以及石英和长石的浮选分离^[47], 结果表明, 带相反电荷的捕收剂通过电荷中和而形成表面活性高的分子络合物, 有利于长石与石英的选择性分离。胡岳华等人用溶液平衡计算讨论盐类矿物的表面性质, 从而可以确定控制盐类矿物浮选分离的方案^[48]。马蒂斯则认为^[49], 在不同的分离条件下, 白云石、菱镁矿与药剂的反应不一, 随着浮选 pH 值的升高白云石 CaCO_3 组分溶解度迅速减少, 油酸根离子与 Ca^{2+} 离子之间的亲和力比与 Mg^{2+} 离子之间的亲和力大, 因此选择性分离白云石和菱镁矿是可能的。林海等人发现^[50], 抑制剂与重晶石表面的 Ba^{2+} 离子会反应形成亲水层, 从而使表面阳离子活性质点减少。

氧化矿通常用脂肪酸类和磺酸盐类捕收剂浮选回收。刘亚川等人通过研究认为^[51], 油酸根离子在石英表面的吸附, 主要是静电作用的结果, 而在长石表面, 油酸根离子除静电作用之外, 还产生了化学吸附, 形成了油酸钙。Jaklin 采用表面沉积法研究了氧化矿浮选体系中静电作用的相互性, 认为当沉淀物和矿物颗粒之间发生团聚时, 矿物即变得好浮^[52]; 丁浩等人的研究表明^[53], 在烷胺双甲基磺酸浮选金红石的体系中; 由于钙质矿物的溶解作用产生了 Ca^{2+} 离子, 对石英有活化作用, 其活化机理是通过在石英表面生成并吸附了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 所致。王文梅等人发现^[54], 油酸钠、十二胺等药剂对赤铁矿和霓石的作用机理是通

过化学吸附和静电物理吸附。刘奇等人采用吸附量测定及光电子能谱技术研究了糊精在改性了的石英表面和金红石表面的吸附机理,是通过与矿物表面的金属羟基络合物作用而吸附的,矿物表面的疏水性对这种吸附不起主导作用,但可提高吸附的协同效应^[55]。铬铁矿浮选时,其表面的零电位向矿物的氧化物状态转移^[56],正电荷的晶格是在 $\text{pH}=11$ 的条件下,大量羟基络合物的产生而形成的。在某些碱土金属离子存在的情况下,用烷基磺酸盐浮选石英和长石时,阳离子磺酸盐络合物如 $\text{Ca}(\text{OH})\text{RSO}_3$ 是一种中性成分的半胶束化表面沉淀^[57]。方和平研究了^[58]硅灰石和石榴石的表面化学特性和浮选行为之间的关系,用油酸钠、 FeCl_3 和 FD_1 等药剂作浮选药剂实现了二者的选择性分离。

L·Zhang 等人则对一些氧化铜矿进行了研究,考察了它们的硫化浮选行为,并建立了 $\text{Cu}-\text{S}-\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Cu}-\text{C}-\text{S}-\text{H}_2\text{O}$ 体系的 $\text{Eh}-\text{pH}$ 图^[59]。A·J·Rodrigues 则对巴西的几种磷灰石进行晶体化学特性的研究,建立了晶体化学特性和可浮性的关系^[60]。朱丹等人则研究了羟肟酸对锡石的浮选行为,并测定了不同温度下的吸附常数和速度^[61]。

细粒矿物的分选是选矿领域面临的一大难题,在细粒浮选过程,矿粒与泡沫的粘附,细粒不仅受重力作用,而且受到长程表面力的作用,颗粒间的相互作用决定了致密团聚体或絮凝体的形成及破坏、浮选工艺和分级技术。

Schimmouer 建立 3 颗粒—气泡捕集的混合流体动力—表面力模型^[62],预测在静态浮选矿浆中矿粒被气泡捕集的概念,用扩展的 DLVO 理论推导了矿粒表面的疏水力,并以实验证明了该模型的准确性。Hewitt 研究了 $5\sim 80\mu\text{m}$ 石英颗粒间气泡粘附效率,以及与颗粒粒径、接触角和离子强度的关系^[63],增加离子强度可以对粘附效率产生影响。

胡岳华等人系统地研究了异类颗粒间的范德华力、静电力及界面极性相互作用^[64],可能产生吸引或排斥,矿粒的凝聚和分散由界面的相互作用决定。矿物在已知表面能参数的液体中,如果确定了接触角,就可以确定矿物的表面能参数^[65],对赤铁矿/石英、方解石/石英体系的凝聚、分散行为也作了研究和考察^[66]。

絮凝和团聚是细粒分选中的一种重要方法,近二年在这方面也有长足的进展。

钟志勇讨论了菱铁矿疏水絮凝和复合絮凝的作用机理,以实验和理论计算为依据得出了,疏水作用势能在菱铁矿疏水絮凝过程起支配作用的结论^[67]。宋少先等人研究了疏水絮凝后絮团的粒度分布与结构,认为单一絮团随着非极性乳状液的加入变得紧密,形状变为球状^[68];卢毅屏等人研究了以聚丙烯酰胺为絮凝剂,油酸钠为捕收剂时,细粒黑钨矿的絮团浮选行为和特点^[69],并对絮团浮选的形成和机理进行了讨论^[70],认为,聚合物和捕收剂的联合团聚作用是决定絮团粒度和浮选行为的主要因素。钟宏发现^[71],苯胺树脂是一种新型的阳离子聚合物表面活性剂,对细粒石英具有絮凝和捕收双重作用。

英国的 Weissenborn 从铁矿石的尾矿中选择性絮凝回收 $\sim 10\mu\text{m}$ 的超细粒铁矿石^[72],以淀粉和聚丙烯酰胺作絮凝剂时,絮凝过程的最优化参数亦得到了确定。Palmer 等人考察了三种细粒煤的疏水性絮凝^[73],所用的絮凝沉淀法能回收三种细粒煤;Hogg 等人则研究了聚合物作絮凝剂絮凝细粒矿石时,化学和物理因素的变化情况^[74],并据此提出了合理的絮凝设计方案。王卫星等人探讨了聚丙烯酰胺和淀粉对细粒锰精矿絮凝沉降行为的影响,并建立了这二种絮凝利用量与矿粒沉降速度之间的一元非线性回归模型,为药剂量添加提供了定量依据^[75]。康勇研究了絮凝以及凝聚浆体沉降—沉积的内在规律^[76],发现絮凝与细粒矿物的平均粒径有关。另有报道发现,白云石、磷酸钙进行絮凝时,其沉淀特性与矿物的

ξ 电位有关, 矿粒之间不是静电相互作用起主导作用, 而是取决于一定的化学相互作用⁽⁷⁷⁾。英国的 Misra 研究了 M·P 作絮凝剂和捕收剂浮选细粒赤铁矿和石英的条件⁽⁷⁸⁾, 还发现这种药剂可以通过细粒煤之间的疏水作用选择性吸附于煤上, 选择性絮凝细粒煤⁽⁷⁹⁾。Pradip 采用选择性分散剂和絮凝剂对印度高铝铁矿泥进行了选别⁽⁸⁰⁾。日本的 Maksimov 则采用选择性絮凝解决浮选中的粗细粒问题⁽⁸¹⁾, 降低了细粒和粗细粒连生体的损失。H·Ye 研究了细粒高岭土、石英和地开石的浮选及凝聚行为^(82~85), 认为三种矿物在酸性介质中异质凝结是不可避免的, 用 HCl 预调节, 加强油酸钠在地开石表面的化学吸附, 可以从石英中浮出地开石; CaCl_2 和 KCl 的加入可以减少预调节时间, $+2\mu\text{m}$ 的地开石和石英可以选择性分离; 如果在 CaCl_2 和稀释的 HCl 溶液中预调节, 并加入 SeparamAp30 聚合物絮凝剂进行选择絮凝则可以使 $-2\mu\text{m}$ 的地开石和石英分离。

剪切絮凝是由于双电层相互作用, 以及范德华力、疏水作用和流体动力等原因所致, 聚合物的稳定主要是在于烃链的交迭。美国的 D·W·Fuerstenau 用充分搅拌提高了细粒浮选效果⁽⁸⁶⁾; 日本的 Sivamohan 研究了剪切絮凝与表面罩盖、 ξ 电位之间的关系⁽⁸⁷⁾, 在足够高的剪切强度下, 增大表面罩盖和减少 ξ 电位均能导致絮凝强度的增加。英国的 Pascoe 在高剪切条件下, 絮凝了 $-10\mu\text{m}$ 的超细粒赤铁矿和石英⁽⁸⁸⁾。澳大利亚的专利报道⁽⁸⁹⁾, 含 Cu、Pb、Zn、Ni、Mo 的金属细粒硫化矿, 采用高剪切作用的搅拌槽, 可提高浮选回收率。

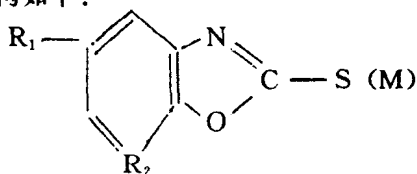
韦大为等人对细粒黑钨矿、锡石油团聚过程的主要影响因素进行了研究⁽⁹⁰⁾。澳大利亚的 Aberfoyle 有限公司用再磨回路工艺及调浆团聚对微细粒的块状硫化矿进行处理得到了较好的结果⁽⁹¹⁾。宣道中等人对微细粒复杂硫化矿采用新工艺分选⁽⁹²⁾, 以 DS 组合抑制剂和快速浮选为特点, 利用粗粒效应、协同效应大大提了细粒铅铁矿的分选。载体浮选时, 紊流条件下粗细粒矿物间的相互作用是研究的方向, “粗粒效应”的提出⁽⁹³⁾, 从粗粒的载体作用、助絮作用和中介作用三个方面进行了机理解释; 陈荃等人则研究了钛铁矿的自载体浮选⁽⁹⁴⁾。

澳大利亚专利报道用微气泡浮选柱可以有效地分离小于 $20\mu\text{m}$ 的超细粒矿物⁽⁹⁵⁾。罗琳、胡岳华则利用浮选的方法对 $10\mu\text{m}$ 以下的微细矿粒进行分级⁽⁹⁶⁾, 获得较好结果。日本的 Kusaka 等人则在无捕收剂存在的条件下, 用液—液置换的方法来回收细粒矿物, 讨论了在不同的无机和有机液相中油—水—固三相的自由能转换⁽⁹⁷⁾, 对 $-44\mu\text{m}$ 的石英、方铅矿进行试验, 在三价金属盐液体中利用液—液置换法可以选择性回收石英⁽⁹⁸⁾。

二、浮选药剂

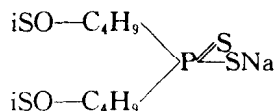
近二年来, 关于新型浮选药剂的研制也有不少报道。

巯基苯𪔐噻唑是硫化矿捕收剂, 也可以用来浮选氧化矿。该药剂具有一个混合的脂肪族—芳香族结构和一些能与 Cu^{2+} 离子形成螯合物的官能团⁽⁹⁹⁾, 如果在它的苯环上接上烷基便可形成新的捕收剂⁽¹⁰⁰⁾。其结构如下:



铅锌硫化矿的捕收剂，合成药剂明显优于戊基黄原酸钾，能在中性条件下使用，而且浮选速率快。巯基苯骈噻唑的衍生物对 Cu、Pb、Zn 硫化矿和黄铁矿也是良好的捕收剂^[101]。合成的 5-甲基-2-巯基苯骈噻唑^[102]对硫化铜矿有很强的选择性。

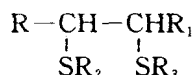
广州有色金属研究院与德兴铜业公司联合研制了一种新型黄药^[103]。通过工业试验表明，可以提高硫化矿中伴生黄金的回收率。用二异丁基二硫代亚膦酸盐作为硫化矿的捕收剂^[104]，它具有以下结构：



这种药剂可溶于水，能有效地捕收硫化铜矿，也能捕收金、银，用量比黄药低 20%~50%。美国氰氨公司用黑药与 N-丙烯基-O-烷基硫逐氨基甲酸脂混合使用，浮选黄金、白银及铂族金属^[105]，其结构如下：



据美国专利报道^[106]，以下结构的捕收剂浮选硫化矿效果好。

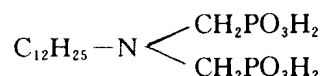


用聚合捕收剂浮选铜铅硫化矿和白钨亦有报道^[107]，该聚合物是丙烯酸的高分子聚合物，经过化学处理后，含有羧基、30%左右的硫代羧基或黄原酸基，该药剂增加了铜铅矿浮选的选择性，并可以提高白钨回收率。用二硫代氨基甲酸酯和其它硫醇类捕收剂用于混合浮选黄铁矿，可以提高浮选的回收率和精矿品位^[108]。苯硫氨酯是复杂多金属硫化矿的选择性捕收剂兼起泡剂^[109]，无论硫化铜矿的入选品位如何变化，都可以获得高质量和回收率的精矿产品，而且用量少，分选效果好^[110]。Kimpel 开发了两类新的捕收剂^[111]，一类是螯合捕收剂，另一类是通过电化学起作用的捕收剂。螯合剂的通式为： $\text{R}_1-\text{S}-\text{R}_2-\text{N}-\text{R}_3-\text{R}_4$ ，用于难浮的硫化矿如闪锌矿、辉铜矿；另一类捕收剂通式如下： $\text{R}_1-\text{S}-\text{R}_2$ 和 $\text{R}_1-\text{C}-\text{S}-\text{C}-\text{R}_2$ ，是选择性浮选黄铜矿、辉钼矿和镍黄铁矿的有效捕收剂。使用氨基甲酸盐和丁基黄药的组合药剂，可以显著提高锑矿的浮选工艺指标^[112]。P-60 是金银及其伴生硫化矿的有效捕收剂^[113]，它是以含硫石油产品为原料合成的含 S 有机化合物。

关于非硫化矿捕收剂近二年亦有许多研究报道。朱建光等人根据同分异构原理设计合成了烷基氨基羧酸和烷基酰氨基羧酸^[114]，并从中筛选出性能较好的 6RO-12，用它浮选柿竹园的萤石^[115]，效果极好，优于油酸的指标。张敏研制了一种萤石的低温捕收剂^[116]，它是石油炼制过程的副产品，在其基质中加入适量的无机电解质，可降低捕收剂的 cmc（半胶束浓度），在 6~15℃ 的温度范围可以浮选萤石。徐玉琴等人则用表面活性剂增效脂肪酸，这种增效了的脂肪酸可以在低温下浮选萤石^[117]。把氧原子加到羧酸的非极性基上，则成为醚酸，通式 RORCOOH ^[118]，它能在低温下使用，在水溶液中对 Ca^{2+} ， Mg^{2+} 离子不敏感，能在碱性或弱酸性条件下浮选碱土金属。这类捕收剂的捕收能力和选择性均优于油酸^[119]，而且用量少，尤其适用于萤石、方解石和重晶石的分离，A-22 是一种重晶石的捕收剂^[120]，名称为 N-十八烷基-N-1，-2 二羧基乙基磺化琥珀酸酰胺四钠盐，能有效从石英中分离出重晶石。

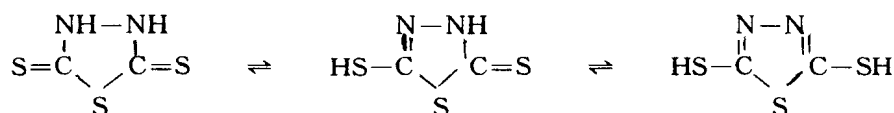
M₂₀₃和EM-2是用于铁矿石浮选的新型捕收剂。M₂₀₃是由磺酸钙(10%)、合成油酸钠(60%)和助剂(10%)三部分组成^[121],用它来处理东鞍山的贫赤铁矿,与原来所用药剂氧化石蜡皂和妥尔油相比,铁的回收率增加13%,为处理这种低品位的赤铁矿提供了一种有效的捕收剂^[122,123]。EM-2是一种含有酚羟基和磺酸基的捕收剂^[124],可以用来浮选赤铁矿。通过工业试验表明,从含Fe35.1%的给矿可以获得含Fe61.1%的铁精矿,回收率达80%左右。

彭勇军等人^[125]研制了一种浮选原生金红石的复合捕收剂,采用苯乙烯膦酸和脂肪醇混合而成,可以取代苄基膦酸在弱酸性条件下,浮选回收金红石。该药剂无毒性,价格低于苄基膦酸。十二烷胺双甲膦酸,其结构式如下:



用来浮选方解石^[126],以Al₂(SO₄)₃作磷灰石抑制剂,用该药剂反浮选出方解石,二者能有效地分离。

有人对棕榈酸进行改性^[127],制得2-乙酰基棕榈酸,用来浮选锡石、赤铁矿、方解石和石英,捕收能力超过棕榈酸。有机螯合捕收剂有利于提高矿物浮选分离的效果。美国的Sommasadaman等人研究了几种不同结构的羟肟酸,浮选硅孔雀石^[128],在水杨醛肟的肟碳上引进了烷基取代物会产生很强的捕收作用,包括O-羟基-丁酰苯肟和O-羟基-乙酰苯肟两种药剂。螯合物捕收剂D₂^[129],其活性成分为2,5-二硫酚,1,3,4-硫代二唑,结构式如下:



它能与多种金属离子生成螯合物,可用于氧化铜(铅、钨、锡)等矿物的浮选,能提高浮选速率,缩短浮选时间,有助于精矿质量和回收率的提高。

戴子林等人用苯甲羟肟酸浮选细粒黑钨矿^[130],在同分异构原理指导下研制的苯甲羟肟酸,与组合药剂AD联合使用,能有效地浮选分离黑钨矿和方解石。羟肟酸是稀土矿、锡石的有效捕收剂,车河选厂采用混合甲苯膦酸、苄基膦酸混合浮选锡石细泥,得到了良好的浮选指标^[131]。F-203是一种用于锡石、黑钨矿细泥的捕收剂,毒性很小^[132],F-203与磷酸丁酯混合使用处理车河选厂锡泥的效果好,可节省药剂费用20%。Kimpel设计了C系列捕收剂浮选赤铁矿、磷矿、金红石^[111]。

K·H·Rao用阴/阳离子混合捕收剂浮选分离长石和石英^[133],十二胺醋酸盐和十二烷基硫酸钠混合使用,可以使天然长石矿中长石和石英选择性分离。J·S·Laskowsk提出了粗粒钾盐矿的捕收剂助剂浮选^[134],以长烃链的AK20胺作捕收剂,以ESSO904油作助剂,可以提高粗粒钾盐的回收率。ECD1274和EM-30是方解石的有效捕收剂^[135],这一种药剂均属于非离子型的表面活性剂,在浮选分离方解石和天青石时,粒度要求比常规浮选小,入选矿石的粒度可大于0.074mm,并能在3~11的pH范围使用。

许善等人研制了一种新型捕收剂BQ₂^[136],采用常压中温催化液循环工艺合成,呈棕黄

色，在八家子铅锌矿和金堆城铜矿使用效果很好。松树明子焦油小于 350℃ 的馏份制成的 104[#] 起泡剂^[137]，称为松轻油，把它催化水合处理后所得产品，含萜烯醇超过 30%、酚类超过 12%，还有醛、酮有机酸物质，使用效果与松醇油相当，但选金效果优于松醇油。11[#] 油是一种化工副产品，也可作起泡剂^[138]，主要成分是 7~11 个碳链的混合醇，外观为浅黄色油状液体可与松醇油互溶，羟值为 390~440KOH/mg，B·P 值为 200~280℃， $D_4^{20}=0.900\sim0.906$ ，在湖北铜录山等铜矿使用，效果良好。RB 系列捕收剂是由一种化工副产品加工而成^[139]，其中 RB₁ 用于桃林铅锌矿，效果良好，能提高锌精矿产品的等级，RB₃ 在水口山使用，用量仅为松醇油的 75%，在保持锌精矿品位不下降的前提下，可以提高锌的回收率^[140]。

关于浮选调整剂，近二年也有新的研究和进展。

吴光浦等人用高锰酸钾和六偏磷酸钠混含使用，代替氰化钠，作为细泥摇床尾矿中硫化钛矿浮选回收时的抑制剂^[141]，改善了生产环境，抑制效果与氰化物相当。碳化钙 (CaC₂) 在不同的条件下能有效地抑制黄铁矿的浮选^[112]，强化黄铁矿的氧化过程，同时可以使闪锌矿活化，其机理是生成铜的碳化物使闪锌矿表面疏水性得到增强。

J·S·Laskowski 认为^[142]，多糖类物质是硫化矿物的调整剂，通过吸附试验，认为糊精能在方铅矿和硫镍矿表面吸附，可使方铅矿与黄铜矿、六方硫镍矿与辉铜矿选择性分离。多硫化钠可以作为硅孔雀石的硫化剂^[143]，五硫化钠是最好的硅孔雀石调整剂，吸附在氧化铜矿表面上的硫离子和 HS⁻ 离子的电化学氧化以及在矿物晶格上的 S²⁻ 的氧化产生疏水体并吸附于矿物表面。有人以波特兰水泥（一种硅酸盐水泥）在黄铁矿浮选时，作为含金砷黄铁矿的抑制剂，当 pH 为 10.5 时，几乎被完全抑制，另外对磁黄铁矿、铁闪锌矿和辉锑矿有抑制作用^[144]。

F-2 是一种组合抑制剂^[145]，由腐植酸钠、亚硫酸钠以及硫酸组成，在浮选分离硫化铜铅混合精矿时，被其抑制的方铅矿在浮选过程中无需活化，用黄药即可回收。在磷矿石的浮选中，以油酸钠为捕收剂，Al₂(SO₄)₃ 和 NaOH 混合使用，可以选择性地浮出方解石^[146]、石英等，使得磷矿精矿的等级提高。独联体的研究报道^[147]，白钨浮选的新药剂厄克索尔-6，具有异醇结构的药剂在钙矿物表层中对油酸钠的固着结构产生影响，从而选择性回收白钨矿。毛矩凡等人以 AlCl₃ 和水玻璃联合使用，作为蓝晶石和石英分选时石英的抑制剂^[148]，它可以在石英表面生成难溶的铝硅酸盐。

三、浮选设备

近二年来，浮选设备的研制也取得了一定的进展，出现许多新的设备和设计方法。

Rubinstein 等设计了新一代的浮选柱^[149]，开展了优化大型浮选柱，以及浮选柱运行时精矿带的流体动力学特性的研究工作。这种具有交变矿浆流（复合对流）的浮选柱已经商业化，它具有独特的多载面，装备了空气动力系统及分级系统的空气提升喷嘴，可控制气泡的大小，使用寿命不低于三年。浮选柱高度为 5~6m，容积有 15、25、40 和 80m³ 四种，在俄罗斯许多矿山使用，成功地处理了铜、钼、锑、镍和煤矿石，效果良好，由此确定了多段浮选柱的最佳参数，开发出了在浮选宏观和微观流体动力学仿真的基础上进行浮选柱比例放大的程序。澳大利亚生产的 Jameson 浮选柱是较出名的，目前它的技术又进步了^[150]，它由下导管和柱体两部分组成，气泡矿化发生在下导管，而不在柱体。下导管的矿

浆气溶率高达 40%~60%，而普通浮选柱仅为 4%~16%。下导管顶部混合头内设喷嘴，设备结构简单，钢耗少，动力设备少。James 浮选机在澳大利亚芒特艾萨铜矿使用^[151]，从铜扫选精矿再磨回路中回收铜，可获得铜品位高于 27% 的铜精矿，回收率大于 50%。T·Meloy 提出了平面浮选柱的概念^[152]，这是一个片状（2 维）的浮选柱，截面为矩形，浮选柱向一侧延伸成一个平面，内有充填板，类似于摇床，分精矿和尾矿带，浮选时在不同的位置获取不同的产品。G·H·Luttrell 等则提出了浮选柱设计与按比例放大的判据^[153]，设计时必须考虑三个重要的方面，即柱几何因素、鼓泡系统和冲洗水的分布网络，浮选柱的几何结构由最大泡沫运载能力（决定柱径）、气泡—矿粒的粘附速率和矿粒延迟时间（决定柱长）决定。苏成德开展了解决填料式静态浮选柱浮选铁矿石堵塞问题的研究^[154]，从填料的材质、捕收剂的种类、吸附沉积物的组成、浮选介质的性质等方面分析研究了造成填料式静态浮选柱堵塞的原因，并提出了解决的途径。

沈政昌等人研制出了一种新型的粗颗粒浮选机^[155]，同时提出了粗颗粒浮选机的设计原则，即采用格子板形成粗颗粒悬浮层，两侧循环通道引导细矿粒和短路循环孔的设计，较好地解决了粗颗粒浮选问题。用这种新型的浮选机处理白钨矿时^[156]，效果良好，生产能力是普通浮选机的 1.4 倍，而电耗比普通浮选机减少 40%。

自吸式机械搅拌浮选机也是一种改进型的浮选机^[157]，采用独特的闭路叶轮结构，在与容积为 1.2m³ 的 SF 常规浮选机的平行对比试验中，指标明显优于 SF-1.2 型。寿王坟铜矿针对 14m³ 的 CHFX 充气浮选机的缺点，改造了容积为 8m³ 的 SF 型自吸式机械搅拌浮选机^[158]，可以使铜矿浮选时 Cu 的回收率提高 3.75%。

T·Yalcin 等人则发明了磁浮机^[159]，利用入选矿石的磁性和可浮性的差异，在常规浮选机的泡沫刮板处增设一个永磁体，泡沫中的磁性产品被带回尾矿，经一段选别后得到含 Fe69.1% 的铁精矿，回收率为 84.8%，而用传统的磁浮联合流程则需要一精三扫方能达到。

水力旋流式浮选机^[160]也是一种新的浮选设备，它以水力旋流器的离心力场强化浮选，采用新型高效的边壁充气式水力旋流器，不仅能降低浮选粒径的下限，而可以大大缩短浮选时间。

参 考 文 献

1. U·S·Patent. No5116487. (1993) .
2. 徐秉权 湖南有色金属, 1995 (3): 21~27.
3. S·Kelebek et al. Proceeding of Xth IMPC 1993, Vol II, 714~718.
4. A·Shannon. International Journal of Mineral Processing. 1994 (4): 286~319.
5. C·A. vol118, 1993, 156769v
6. D·R·Nagardj, et al, Fizykochem. 1993 (25): 59~67.
7. 丁敦煌等, 有色金属, 1993 (4): 24~27.
8. 孙水裕等, 湖南有色金属, 1993 (2): 81~83.
9. 孙水裕, 有色矿冶, 1993 (2): 15~20.
10. 孙水裕等, 有色金属, 1993 (2): 32~35.
11. 孙水裕等, 有色金属, 1993 (4): 43~46.
12. 覃文庆等, 有色矿冶, 1995 (1): 15~18.
13. 孙水裕等, 矿冶工程, 1993 (2): 24~27.

14. 孙水裕等, 北京矿冶研究总院学报, 1994 (1): 34~38.
15. 孙水裕等, 北京矿冶研究总院学报, 1994 (3): 38~41.
16. 孙水裕等, 金属学报 B 辑, 1993 (9): 389~395.
17. Sun Shuiyu, et al, Journal of CSUT, 1994 (1): 68~73.
18. 覃文庆, 矿产保护与利用, 1995 (3): 36~38.
19. 孙水裕, 湖南有色金属, 1994 (1): 18~20.
20. Sun Shuiyu, et al, Transaction of nonferrous metals Society of China, 1993 (3): 20~26.
21. 冯其明等, 中南矿冶学院学报, 1993 (1): 31~35.
22. 王淀佐等, 中南矿冶学院学报, 1993 (3): 312~317.
23. 孙水裕等, 中南矿冶学院学报, 1993 (4) 471~475.
24. 覃文庆, 矿产保护与利用, 1995 (2): 22~24.
25. 覃文庆, 湖南有色金属, 1995 (4): 16~17.
26. 孙水裕等, 中南矿冶学院学报, 1993 (1): 25~30.
27. S · R · Rao, CIM, Bulletin, 1994 (985): 53~57.
28. U · S · Latent, 5295585A (1993) .
29. Thomas.Chen, Mineral Engineering 1993 (4): 292.
30. HX.Wang, et al, Journal of Electroanalytical Chemistry. 1995 (392): 13~19.
31. HX.Wang, et al, Journal of Electroanalytical Chemistry, 1995 (392): 21~25.
32. Yamaguchi, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol III, 594~501.
33. R · H · Yoon, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol III, 611~618.
34. J · Hanson, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol III, 057~662.
35. J · M · Gases, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol III, 663~668.
36. 张永光等, 金属矿山, 1995 (5): 45~48.
37. R · Woods, International Journal of Minaral Processing, 1994, vol42, No3/4, 215~223.
38. J · Ralston, et al, Mineral Engineering 1994 (5) 715~721.
39. M · Mcneil, et al, Canadian Metallurgical Quarterly, 1994, vol33, NO. 2, 165~167.
40. P · E · Richardson, et al, International Journal of Mineral Processing, 1994, vol41, No1/2, 71~76.
41. P · E · Richardson, et al, International Journal of Mineral Processing, 1994, vol41, No1/2, 77~97.
42. A · U · Schukurew et al, International Journal of Mineral Processing 1994, vol. 41, NO. 1/2, 99~114.
43. 摘自《国外选矿快报》, 1994 (22): 1.
44. 张治元等, 金属矿山, 1995 (4): 38~41.
45. Q · Xu Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol III, 601~605.
46. X · D · Hui, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol V, 1389~1393.
47. H · Rao, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol N, 837~844.
48. 胡岳华等, 有色金属, 1993 (2): 26~29.
49. 马蒂斯, 国外金属矿选矿, 1995 (5): 26~29.
50. 林海等, 有色金属, 1993 (1): 47~49.
51. 刘亚川等, 矿冶工程, 1993 (2): 27~33.
52. M · S · Jaklin, SME Annual Meeting, 1995.
53. 丁浩等, 矿产保护与利用, 1994 (1): 40~42.
54. 王文梅等, 矿冶工程, 1993 (4): 37~39.
55. 刘奇等, 矿冶工程, 1994 (2): 32~36.
56. A · Guney, et al, Proceeding of X VII IMPC 1993, Vol N, 937~940.
57. 摘自《国外选矿快报》1994 (14): 12.
58. 方和平, 矿冶工程, 1994 (3) 37~39.
59. L · Zhang, et al, Mineral Engineering, 1994 No. 71: 927~932.

60. A · J · Rodrigues, et al, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol V, 1478~1484.
61. 朱丹等, 矿冶工程, 93 (4): 41~43.
62. B · K · Schimmoller, et al, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol III, 751~756.
63. D · Hewitt, et al Mineral Engineering, 1994 (5): 657~665.
64. 胡岳华等, 矿冶工程, 1994 (3): 23~28.
65. 胡岳华等, 中南矿冶学院学报, 1993 (6): 749~754.
66. Hu · Yui Hua, et al, Transactions of Non-Ferrous Metals Society of China, 1994 (4): 10~15.
67. 钟志勇, 矿冶工程, 1994 (3): 32~36.
68. 宋少先等, 矿冶工程, 1993 (1): 24~27.
69. 卢毅屏等, 矿冶工程, 1994 (1): 30~33.
70. 卢毅屏等, 矿冶工程, 1994 (2): 37~41.
71. 钟宏等, 矿冶工程, 1993 (4): 23~27.
72. P · K · Weissenborn, International Journal of Mineral Processing, 1994, Vol.42, NO.3/4, 191~213.
73. J · R · Palmes, et al Mineral and Metallurgical Processing, 1993 (3): 218~222.
74. R · Hogg, Mineral and Metallurgical Processing, 1993 (2): 81~86.
75. 王卫星等, 矿冶工程, 1994 (2): 42~46.
76. 康勇, 矿冶工程, 1995 (2): 23~28.
77. 摘自《国外选矿快报》, 1994 (2): 20.
78. M · Misra, et al, Mineral and Metallurgical Processing, 1993 (1): 20~23.
79. M · Misra, et al, Mineral and Metallurgical Processing, 1993 (3): 170~175.
80. Pradip, Proceeding of X VII IMPC, 1993 Vol V, 1289~1294.
81. I · I · Maksimov, et al, Proceeding of X VII IMPC, 1993, vol. III, 685~688.
82. H · Ye, et al, International Journal of Mineral Processing, 1993, Vol. 40, No1/2, 83~87.
83. H · Ye, International Journal of Mineral Processing, 1993, Vol. 40, No. 1/2, 99~108.
84. H · Ye, et al, International Journal of Mineral Processing, 1993, Vol.40, NO1/2, 111~121.
85. H · Ye, et al, International Journal of Mineral Processing, 1993, Vol. 40, No. 1/2, 123~133.
86. D · W · Fuerstenau, 国外金属矿选矿, 1993 (3): 1~8.
87. R · Sivamohan, International Journal of Mineral Processing, 1994 (28): 111~172.
88. R · D · Passcoe, et al, Mineral Engineering 1994, No.1/2, 647~656.
89. Australia latent 9220431-A, (1994).
90. 韦大为等, 有色金属, 选矿部分, 1993 (4): 25~29.
91. G · S · Lane, et al, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol. N, 897~904.
92. 宣道中等, 有色金属, 选矿部分, 1993 (3): 2~8.
93. 邱冠周等, 中南矿冶学院学报, 1993 (6): 743~738.
94. J · Chen, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol.3: 814~820.
95. Australia latent No. 635503, (1993).
96. Hu. Yue Hua, et al, Transaction of Non-ferrous Metals Society of China, 1994 (4): 10~15.
97. K · Kusaka, et al, Mineral Engineering 1994, Vol. 7 No. 1, 39~48.
98. K · Kusaka et al, Mineral Engineering 1995, Vol. 18, No. 7, 817~828.
99. A · Marabini, et al, Proceeding of X VII IMPC 1993, Vol. 3, 561~567.
100. A · Marabini, et al, C. A. Vol. 119, 1993, 185437a.
101. A · Marubini, et al, C. A. Vol. 119, 1993, 207494j.
102. A · Marubini, et al, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol. V, 1375~1383.
103. 江西铜业公司, 黄金, 1993 (8): 51.
104. 摘自《国外选矿快报》, 1993 (12): 9.
105. Roberts. Tiama, et al, C. A. Vol. 118 (1993), 63716P.

106. T. James, C. A. Vol. 118 (1993) 255377e
107. U. S. Latent 5415587A.
108. M. V. Bely, C. A Vol. 118 (1993) 63639J.
109. K. Ping 国外金属矿选矿, 1995 (6): 10~16.
110. 刘如意, 有色金属, 选矿部分, 1995 (1): 5~6.
111. R. Kimpel, et al, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol. 1, 569~576.
112. 摘自《国外金属矿选矿》, 1994 (7): 53.
113. 董贞允等, 有色金属, 选矿部分, 1995 (3): 20~24.
114. 朱建光等, 中南矿业学院学报, 1993 (5): 594~597.
115. 田学达等, 化工矿山技术, 1994 (3): 26~28.
116. 张敏等, 矿冶工程, 1995 (1): 25~27.
117. 徐玉琴等, 金属矿山, 1995 (3): 32~35.
118. 朱建光, 国外金属矿选矿, 1995 (2): 5.
119. 陈让怀, 矿冶工程, 1994 (1): 37~40.
120. 何发钰等, 有色金属, 选矿部分, 1995 (1): 28~32.
121. 李思彬等, 金属矿山, 1994 (1): 37~39.
122. 毛益平, 金属矿山, 1993 (5): 31~34.
123. 杨颖等, 金属矿山, 1993 (12): 39~40.
124. Z. M. Zhai, et al, C. A. Vol. 118 (1993), 84719g
125. 彭勇军等, 有色金属, 1995 (2): 34~40.
126. 丁浩等, 有色金属, 选矿部分, 1993 (5): 19.
127. 李开芳等, 有色金属, 选矿部分, 199 (3): 24.
128. Somasaduran, et al, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol. 5, 1478~1484.
129. 米玉辉, 有色金属, 选矿部分, 1995 (1): 20.
130. 戴子林等, 矿冶工程, 1995 (2): 24~27.
131. 国寿光等, 有色金属, 选矿部分, 1993 (5): 19.
132. 朱玉霜等, 中南矿业学学报, 1994 (1): 22~24.
133. K. H. Rao, et al, Proceeding of X VII, IMPC, 1993, Vol4, 1037~1043.
134. J. S. Laskowsk, et al, Proceeding of X VII IMPC 1993, Vol. 4, 1045~1051.
135. H. B. Castro, Afinidal, 1994 (51): 125~131.
136. 许善, 黄金, 1993 (4): 48~51.
137. 黄耀松等, 有色金属, 选矿部分, 1994 (1): 41~44.
138. 王雅富等, 有色矿冶, 1993 (5): 17~19.
139. 朱建光等, 有色金属, 选矿部分, 1994 (2): 29~32.
140. 朱玉霜等, 矿产综合利用, 1994 (3): 8~11.
141. 吴光浦等, 有色金属, 选矿部分, 1993 (4): 9~11.
142. J. S. Laskowski, et al, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol. 3, 1089~1096.
143. L. A. Glazunov, et al, Proceeding of X VII IMPC, 1993, Vol. 3, 607~609.
144. Jaehyun oh, Proceeding of X VII IMPC 1993, Vol3: 587~592.
145. 黄文振等, 有色金属, 选矿部分, 1994 (6): 26~28.
146. A. K. Amin, et al, Alexandria Engineering Jouranal 1994 (6): 5~10.
147. 摘自《LIB. MET》1993 (1): 60~64.
148. 毛矩凡等, 金属矿山, 1995 (8): 30~33.
149. J. Rubinstein, et al, Proceeding of X VII IMPC 1993, Vol3: 793~804.
150. 陶长林, 中国矿业, 1995 (1): 43~44.
151. B. W. Atkinson, et al, Proceeding of X VII IMPC 1993, Vol3: 823~828.

152. T. Meloy, et al, Proceeding of X VII IMPC 1993, Vol3: 805~812.
 153. G.H. Lutterll, et al, Proceeding of X VII IMPC 1993, Vol3: 785~791.
 154. 苏成德, 国外金属矿选矿, 1995 (3): 40~42.
 155. 沈政昌等, 有色设计与设备, 1994 (3): 36~38.
 156. 沈政昌等, 有色金属, 选矿部分, 1994 (4): 26~29
 157. 刘林等, 有色金属, 选矿部分, 1995 (4) 11~15.
 158. 颜怀银, 有色金属, 选矿部分, 1995 (4): 16~19.
 159. T. Yalcin, et al, Proceeding of X VII IMPC 1993, Vol3: 805~812.
 160. 褚良银等, 国外金属矿选矿, 1993 (11): 6~15.
-

(上接第 39 页)

28. 韩新建、秦立起, 黄金, 1994, 15 (2): 37-41.
29. 吴城材等, 矿产综合利用, 1994, (4): 28-31.
30. 赵鸿文, 金属矿山, 1995, (1): 41-43.
31. 李斌、刘学海, 化工矿山技术, 1994, 23 (5): 26-27.
32. 段国华、有色金属 (选矿部分), 1992, (2): 14-16.
33. 唐仲民, 有色金属 (选矿部分), 1994, (6): 44-45.
34. 刘汉兴, 有色金属 (选矿部分), 1994, (4): 11-13.
35. 邓光荣, 有色矿山, 1993, (6): 48-51.
36. Ferree T. J. CIM Bulletin, 1993, 86 (975): 35-39.
37. 吕永信, 微细与超细难选矿泥射流流膜离心分选法, 冶金工业出版社, 1994.
38. 邹明元等, 国外金属矿选矿, 1994, (5), 42-50.
39. Beniuk V. G., et al., Mineral Engineering, 1994, T (5-6): 577-589.
40. Knelson B, Nones R, Mineral Engineering, 1994, T (2-3): 201-207.
41. Traore A et al., Mineral Engineering, 1995, 8 (7): 767-778.
42. Burt R. O et al., Mineral Engineering, 1995, 8 (8): 859-870.
43. Anon, Engineering and Mining Journal, 1993, 194 (8): 44.
44. Turner J. W. G, Hallelwell M. P, Mineral Engineering, 1993, 6 (8-10): 817-829.
45. 国外选矿快报, 1994, (16): 20.
46. 国外选矿快报, 1994, (7): 19.
47. 国外选矿快报, 1994, (16): 1-3.
48. 孙丽梅, 矿山, 1994, (3): 23.