



2020 年浮选药剂的进展

朱一民

(湖南有色金属研究院, 湖南 长沙 400100)

摘要: 本文收集了 2020 年国内核心期刊发表部分浮选药剂的信息, 分硫化矿捕收剂、氧化矿捕收剂、调整剂、浮选药剂的结构与性能和废水处理五个方面介绍并略加评论。

关键词: 浮选药剂; 硫化矿; 氧化矿; 捕收剂; 调整剂; 浮选药剂的结构与性能; 废水处理

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.02.019

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 02-0102-17

本文总结了 2020 年我国选矿工作者有关浮选药剂的研究成果, 分硫化矿捕收剂、氧化矿捕收剂、调整剂、浮选药剂的结构与性能、废水处理 5 部分介绍给大家, 以利于大家参考与应用。

1 硫化矿捕收剂

1.1 新型铜钴捕收剂 BK404B

某硫化铜钴矿属铜钴矿带典型的硫化铜钴矿, 矿石含铜 1.50%、钴 0.48%。根据矿石中铜钴矿物具有难以浮选分离的矿物特性, 研究者采用“铜钴混合浮选”的原则流程, 结合新型高效选择性捕收剂 BK404B 及铜钴活化剂 BKNA, 采用“一粗两扫三精-粗精矿再磨”的工艺流程, 浮选闭路实验获得含 Cu 26.93%, Co 7.24%, 铜回收率 93.70%, 钴回收率 78.42% 的铜钴精矿^[1]。

1.2 新型铜捕收剂 PJ-9

有人针对某铜矿山在高碱条件下采用丁胺黑药进行强压强拉选铜, 存在的铜回收率偏低、选矿药剂成本高等问题, 研究了在不改变现场工艺流程结构及磨矿细度的前提下, 采用新型铜捕收剂 PJ-9, 在低碱条件下实现了该矿山铜硫矿物的

有效分离, 闭路实验获得铜精矿含铜 25.22%、金 4.60 g/t、银 90.80 g/t, 铜回收率 92.03%、金回收率 39.51%、银回收率 49.41% 的结果, 比相同条件下采用丁胺黑药作捕收剂时, 铜精矿铜品位高 2.77%、铜回收率高 2.15 个百分点, 石灰用量减少 800 g/t^[2]。

1.3 乙硫氮、丁胺黑药、25# 黑药组合捕收剂

有研究者针对某低品位银铅锌矿选矿回收率较低现状, 以现场生产原矿作为实验给矿开展了实验研究。通过优化磨矿细度, 控制石灰用量, 采用乙硫氮、丁胺黑药、25# 黑药组合捕收剂代替单一捕收剂, 硫酸锌、亚硫酸钠代替单一抑制剂, 在原矿含铅 0.79%, 含锌 1.51%, 含银 95.04 g/t 时, 获得了含铅 48.65%, 铅回收率 89.87%, 含银 4012 g/t, 银回收率为 61.60% 的银铅精矿, 含锌 46.21%, 锌回收率 90.43%, 含银 891 g/t, 银回收率为 27.70% 的银锌精矿, 铅、锌、银精矿品位和回收率较生产指标提高明显^[3]。

1.4 酯类捕收剂 PZA

研究者在某硫化铜矿浮选过程研究中, 进行了酯类捕收剂 PZA 与丁基黄药、丁胺黑药、Z 200 等对比研究, 发现 PZA 对铜、银具有良好的选择

收稿日期: 2021-02-08

作者简介: 朱一民 (1955-), 男, 教授级高工, 主要从事选矿选矿工艺, 药剂研发与管理等工作。

性,与丁基黄药组合效果更佳。原矿铜、银品位分别为0.28%和8.50 g/t情况下,采用铜硫混浮-铜硫分离工艺流程,最终获得了铜精矿中Cu品位21.58%、回收率83.94%,Ag品位500.10 g/t、回收率62.99%的技术指标^[4]。

1.5 Z-200和丁铵黑药混用

针对高硫矽卡岩金铜矿中黄铁矿含量高、难抑制特点,采用对黄铁矿捕收能力非常弱的Z-200和丁铵黑药作为浮选捕收剂,在低碱度条件下(pH值9.5)实现了铜与金的综合回收。闭路实验获得混合精矿铜品位为21.15%、金品位为24.11 g/t,铜和金的回收率分别为93.92%和83.73%^[5]。

1.6 EP2铜捕收剂

某斑岩型硫化铜矿中铜、钼、金的含量分别为0.68%、0.006%和0.16 g/t,以相同的粗磨抛尾、粗精矿再磨浮选的原则流程,通过采用高效捕收剂EP2并添加粗选调整剂的新药剂条件,小型闭路实验获得指标为铜精矿铜品位为24.62%、钼品位0.15%、金品位4.08 g/t,相对应的回收率分别为93.24%、60.82%、67.86%,铜精矿铜品位略低0.45个百分点,而铜精矿中铜、钼、金回收率分别提高2.44、5.46、6.37个百分点^[6]。

1.7 铈矿混合浮选捕收剂A83

针对某汞铈矿尾矿库中堆存有大量的低品位汞铈尾矿,采用汞铈混浮-再磨脱药-汞铈分离的浮选工艺流程,应用新型铈矿混合浮选捕收剂A83,强化了低品位复杂汞铈资源的高效综合回收,配合混合精矿再磨脱药工艺,实现了低用量重铬酸钾条件下汞铈矿物的高效分离。在原矿(汞铈尾矿库尾矿)汞品位0.084%、铈品位0.21%的条件下,小型闭路浮选实验获得汞精矿中汞品位46.89%,汞回收率50.243%,铈中矿中铈品位15.01%,铈回收率47.17%的较好指标^[7]。

1.8 BK-404与1801组合捕收剂

有研究者对某含Cu、Au、Fe分别为2.09%、

3.86 g/t、24.60%铜金铁矿进行研究,采用优先浮选铜金-磁选铁的工艺流程。实验确定的较佳工艺条件为:磨矿粒度为-74 μm 90%,采用BK-404与1801组合作捕收剂,闭路实验可以获得含Cu 23.23%、Au 40.81 g/t、Ag 91.50 g/t的铜金银混合精矿,铜、金、银回收率分别达到了95.72%、89.45%与87.79%;获得了含Fe 66.90%、回收率26.71%的铁精矿^[8]。

1.9 铜捕收剂BK916

研究者采用选择性铜捕收剂BK 916结合快速浮选工艺流程,对某铜矿含铜1.09%、含硫1.63%,伴生金、银品位分别为0.14 g/t和10.87 g/t的矿样进行研究,实验结果表明,采用该药剂可获得铜品位24.03%、铜回收率93.68%的铜精矿,其金、银回收率分别为45.33%和68.31%,相比常规浮选流程及药剂选矿指标明显提高^[9]。

1.10 丁铵黑药与丁基黄药混用

为提高某低品位矿中金的回收率,采用浮选-氰化工艺流程,在原矿磨矿细度-74 μm 74.65%,pH值=9.0,调整剂氧化钙用量1000 g/t、活化剂硫酸铜用量200 g/t、捕收剂丁铵黑药60 g/t、丁基黄药用量120 g/t、起泡剂松醇油用量60 g/t时,采用1粗2精2扫闭路实验流程,获得金品位24.30 g/t,金回收率72.17%。进一步对浮选尾矿氰化浸出,金浸出率可达92.31%^[10]。

1.11 黄药酯与Z-200混用

采用某铜渣选矿厂现场浮选工艺流程,针对捕收剂Z-200价格昂贵,生产成本高的问题,开展不同捕收剂使用效果的探索实验。在相同工艺流程下,采用捕收剂Z-200、KHL 500、KHL 325、乙硫氮、黄药酯以及黄药酯与Z-200协同混合、黄药酯与Z-200分段混合,分别进行了开路浮选实验。实验结果表明:相对捕收剂Z-200,黄药酯增加用量、黄药酯与Z-200协同混合使用以及黄药酯与Z-200分段混合使用均获得较好指标。综合药剂用

量和价格分析,采用黄药酯与 Z-200 协同 1:1 混合使用处理每吨原矿可节约 0.39 元,闭路实验下可获得 23.21% 的铜精矿、0.22% 的含铜尾矿,铜回收率为 92.96%^[11]。

1.12 Z-200+ 乙硫氮作为组合捕收剂

有人针对某矿业公司经混合浮选-优先浮选流程得到的硫化铜铅锌混合精矿表面附着大量药剂、现场生产无法实现三者分离的问题,进行了浮选分离实验研究。采用脱药-铜铅混合浮选工艺,以硫化钠为脱药剂,然后以硫酸锌+亚硫酸钠作为组合抑制剂、Z-200+ 乙硫氮作为组合捕收剂,最终获得铜品位 14.32%、铜回收率 84.12%、铅品位 25.36%、铅回收率 69.55%,且锌含量 7.86% 的铜铅混合精矿以及锌品位 52.29%、锌回收率 95.85% 的锌精矿^[12]。

1.13 BK 916 作铜捕收剂、BK 906 作铅捕收剂

针对某富含金银等贵金属的复杂铜铅锌多金属硫化矿。以 BK 916 作铜捕收剂、BK 906 作铅捕收剂,采用铜优先浮选-铅浮选-锌硫混合浮选-锌硫分离工艺回收主要有价元素,获得了铜精矿铜品位 24.26%、回收率 58.21%,铅精矿铅品位 70.75%、铅回收率 86.55%,锌精矿锌品位 51.53%、锌回收率 89.44%,硫精矿硫品位 39.84%、回收率 38.03% 的良好选矿指标;4 种精矿产品中金总回收率 92.16%、银总回收率 89.44%^[13]。

1.14 PG-20 做脱硫捕收剂

某高硫高硅铝土矿 Al_2O_3 含量为 58.36%, S 含量为 1.85%, 硅含量为 11.37%, 铝硅比为 5.13, 属典型的高硅高硫铝土矿。在磨矿细度为 -0.074 mm 76.18% 条件下,以 Na_2CO_3 为调整剂, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 为活化剂,无机高分子聚合硅酸盐为抑制剂,PG-20 为脱硫捕收剂,胺类混合捕收剂为脱硅捕收剂,2# 油为起泡剂。采用 1 粗 2 精 2 扫闭路流程处理,可得到 Al_2O_3 含量为 64.68%、S 含

量为 0.2%、 SiO_2 含量为 8.96%、铝硅比为 7.22、 Al_2O_3 回收率为 84.92% 的铝土矿精矿,脱硫率达到 91.67%,铝硅比提高了 2.09^[14]。

1.15 Z-200 为捕收剂优先浮选硫化铜矿物

某矽卡岩型低品位铜锌硫化矿,铜品位为 0.38%,锌品位为 1.26%,采用优先浮选铜,选铜后的尾矿再浮选锌的工艺,在磨矿细度为 -0.074 mm 74.60% 的条件下,选用石灰为矿浆 pH 值调整剂,硫酸锌和亚硫酸钠为组合抑制剂,Z-200 为捕收剂优先浮选硫化铜矿物;对选铜尾矿继续采用石灰调节矿浆 pH 值,硫酸铜活化被抑制的锌矿物,丁基黄药为捕收剂浮选硫化锌矿物的药剂方案,经“2 粗 2 精”选铜、“1 粗 3 精 2 扫”选锌的闭路实验,最终获得铜精矿铜品位和回收率分别为 22.55%、85.19% 和锌精矿锌品位和回收率分别为 44.83%、74.36%,有效地实现了铜锌硫化矿的分离与回收^[15]。

2 氧化矿捕收剂

2.1 丁基黄药和 EF105 作为氧化锑捕收剂

对氧化锑矿物占 60.31%,硫化锑矿占 39.69% 的混合锑矿,开展活化剂、抑制剂和捕收剂种类和用量实验,采用混合浮选工艺可实现氧化锑矿和硫化锑矿同时回收。研究结果表明,以改性水玻璃-302 为抑制剂,丁基黄药和 EF105 作为捕收剂,硝酸铅作为活化剂,2 号油为起泡剂,在较佳用量条件下,采用一粗两扫二精的浮选流程,可获得锑品位为 16.01%,锑回收率为 72.86% 的锑精矿^[16]。

2.2 油酸钠 (NaOL) 与十六烷基三甲基溴化铵 (CTAB) 混合捕收剂

研究者采用油酸钠 (NaOL) 与十六烷基三甲基溴化铵 (CTAB) 混合捕收剂进行磁铁矿与角闪石的浮选分离研究。结果表明,在 pH 值 = 5.5, CTAB 与油酸钠的摩尔比为 2:1 的条件下,混合捕收剂较单一捕收剂具有更好的选择性。Zeta 电位和红外光谱结果表明,单一捕收剂 CTAB 和

油酸钠分别以物理吸附与化学吸附的形式吸附在矿物表面,混合捕收剂中油酸钠的存在一定程度上抑制了CTAB在磁铁矿表面的吸附,但不影响CTAB在角闪石矿物表面的吸附^[17]。

2.3 地沟油改性

选择食堂废弃的地沟油为研究对象,通过控制水解条件,获得不同性质的地沟油改性捕收剂。研究者分别探究了温度、催化剂、乳化剂用量等因素对地沟油水解的影响规律,确定其较佳的改性条件。采用接触角测定表征地沟油的改性效果,通过比较地沟油改性捕收剂在固废浮选方面的应用效果。结果表明地沟油改性剂具有一定的捕收作用,在浮选分离领域,可替代传统脂肪酸类捕收剂及非极性烃类捕收剂^[18]。

2.4 DZY-10 稀土捕收剂

以四川典型稀土矿为研究对象,根据矿石性质,以自行开发的DZY-10为捕收剂,获得了TREO品位为60.24%,TREO回收率为66.58%的稀土精矿,为该类型矿石高效利用提供技术参考^[19]。

2.5 锡石浮选高效捕收剂GX-4和辅助捕收剂P86

针对某氧化脉锡矿选厂泥矿,在含锡0.546%、铁11.54%、氧化钙38.82%, $-10\mu\text{m}$ 40%的情况下,采用两段分级脱泥、锡石浮选的工艺,锡石浮选高效捕收剂GX-4和辅助捕收剂P86组合药剂制度,获得了锡精矿品位8.15%,作业回收率85.57%的闭路实验指标。小试成果应用于工业生产,替代了原重选工艺流程,取得了与小试吻合的生产指标^[20]。

2.6 N-异丙基丙烯酰胺和N-[3-二甲氨基丙基]甲基丙烯酰胺

用一种温敏型聚合物捕收剂($p[\text{NIPAM-co-DMAPMA}]$),它是N-异丙基丙烯酰胺(NIPAM, N-isopropylacrylamide)和N-[3-二甲氨基丙基]甲基丙烯酰胺(DMAPMA, N-[3-(Dimethylamino)

propyl] methacrylamide)两种单体通过共聚而制备的一种聚合物。将该聚合物用于某地的细粒锂瓷土进行浮选实验,并在同等条件下与十二胺以及十二胺/油酸钠混合捕收剂的浮选实验进行了对比。结果表明,当 $p[\text{NIPAM-co-DMAPMA}]$ 用量为200 mg/L时,对于 Li_2O 含量为1.4%的细粒锂瓷土原矿,浮出精矿品位 Li_2O 含量为2.80%,回收率33.1%,相对于传统的胺类或者混合捕收体系,温敏型聚合物捕收剂对锂云母的选择性更高,浮选效果更佳。抑制剂和起泡剂的使用,能够对温敏聚合物捕收剂起到一定的增强浮选效果^[21]。

2.7 锂云母捕收剂ZL-01

研究者以ZL-01作捕收剂不脱泥直接浮选锂云母矿物,浮选尾矿采用螺旋溜槽粗选-摇床精选的重选工艺回收钽铌矿物,重选尾矿采用弱磁-强磁联合的磁选工艺对长石矿物进行除杂提纯。在原矿含0.42% Li_2O 、0.004% Ta_2O_5 、0.008% Nb_2O_5 的情况下,获得了 Li_2O 品位3.38%、回收率为73.50%的锂云母精矿, Ta_2O_5 品位18.530%、 Nb_2O_5 品位24.120%,钽回收率48.89%、铌回收率36.98%的钽铌精矿,TFe含量(质量分数)0.090%、白度72.40%的长石精矿^[22]。

2.8 GY10为捕收剂浮选磷

某风化型铌铁磷多金属矿为风化壳复合烧绿石矿,原矿含 Nb_2O_5 0.62%、含 P_2O_5 8.28%,含Fe13.91%,矿石风化严重,含泥量较高。原矿首先经螺旋溜槽重选可以抛除产率为73.61%的尾矿,重选精矿磨细至 -0.074 mm 78%,在磁场强度为0.45 T条件下,经弱磁选铁,获得了Fe品位61.69%,回收率38.83%的铁精矿,选铁尾矿以碳酸钠为调整剂、GY10为捕收剂,经1粗2精2扫磷浮选,获得了 P_2O_5 品位为37.59%,回收率为47.88%的磷精矿,选磷尾矿以SH为调整剂、GSC为捕收剂,经1粗2精2扫铌浮选,获得了 Nb_2O_5 品位37.56%, Nb_2O_5 回收率65.73%的铌精矿^[23]。

2.9 常温磷灰石捕收剂 DN-6

东北大学研制了一种常温磷灰石捕收剂 DN-6。单矿物浮选实验结果表明,在矿浆 pH 值 7.6,矿浆温度 28 ℃,DN-6 用量为 166.7 mg/L 的浮选条件下,捕收剂 DN-6 对磷灰石单矿物的浮选回收率可达 97.59%。Zeta 电位和傅里叶变换红外光谱分析表明,pH < 4 时,DN-6 在磷灰石表面发生键合吸附^[24]。

2.10 磁化油酸钠

有人对油酸钠溶液进行磁化处理,探究磁化对溶液的 pH 值、吸光度、表面张力和电导率等物化性质的变化,并研究磁化处理对矿物浮选结果的影响。实验结果表明,在磁感应强度 320 mT、磁化时间 10 min 条件下,磁化处理油酸钠溶液后,溶液的 pH 值、吸光度和电导率较未磁化时分别提高了 0.53、0.113 和 1.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$,表面张力下降了 14.44 mN/mT;方解石、萤石的 Zeta 电位绝对值较未磁化时分别降低了 2.90 mV 和 7.41 mV;方解石、萤石的浮选回收率较未磁化时分别提高了 19.77%、12.81%;方解石、萤石表面的油酸钠吸附量较未磁化时分别增加了 0.236 mg/g、0.189 mg/g^[25]。

2.11 十二烷基胺类阳离子捕收剂

研究者为了考察取代基种类和数量对十二烷基胺类阳离子捕收剂浮选性能的影响,通过浮选实验研究了含不同取代基的捕收剂对石英、赤铁矿单矿物的捕收性能,以及对石英/赤铁矿人工混合矿的分选能力。研究表明,甲基取代基的引入不利于阳离子捕收剂对石英和赤铁矿的捕收,随着甲基取代基数量的增加,石英和赤铁矿的浮选回收率均逐渐降低,但赤铁矿回收率降低速率更快;甲基的引入,有助于提升阳离子捕收剂的浮选选择性;随着取代基数量的增加,人工混合矿的分选效率逐渐增大。向阳离子捕收剂分子结构中引入含羟基(-OH)或胺基(-NH₂)的官能团有利于其对石英的捕收,但引入含胺基的取代基

以后,赤铁矿回收率也相应提高;向十二胺极性基中引入含羟基或胺基的取代基,能够提高人工混合矿分选效率,但引入含胺基的取代基后,人工混合矿分选效率增加效果不如引入含羟基取代基时明显^[26]。

2.12 油酸为捕收剂脱镁

采用反浮选,以水玻璃为分散剂、油酸为捕收剂,浮选脉石矿物中的氧化镁,最终尾矿中氧化镁含量低于 1%,达到了尾矿烧结砖的要求^[27]。

2.13 十二胺为捕收剂浮选锂矿

有人对某萤石浮选尾矿中的锂进行了综合回收利用实验研究。矿样重选脱泥后,以十二胺为捕收剂、六偏磷酸钠为抑制剂,经一次粗选、二次精选和二次扫选,可获得 Li₂O 品位 3.89%、回收率 56.69%(作业回收率 67.89%)的锂精矿^[28]。

2.14 硫化钠浮选铜冶炼渣

研究者为了回收铜冶炼渣中的铜,在实验室开展了浮选回收铜的实验研究。结果表明,在磨矿细度 -43 μm 80%,浮选矿浆浓度 40%,石灰用量 1000 g/t,粗选硫化钠用量 300 g/t、扫选 1 硫化钠用量 100 g/t 条件下,采用一次粗选、二次扫选闭路浮选,可获得铜品位 27.64%、回收率 94.25%的铜精矿^[29]。

2.15 辛基异羟肟酸、苯甲羟肟酸、水杨羟肟酸浮选黑钨

有人以 WO₃ 含量 97% 的黑钨矿为研究对象,通过单矿物实验考查了辛基异羟肟酸、苯甲羟肟酸、水杨羟肟酸等捕收剂对细粒黑钨矿的捕收性能;通过 Zeta 电位、红外光谱及吸附量测试等方法研究了捕收剂与黑钨矿的作用机理。结果表明,辛基异羟肟酸、苯甲羟肟酸、水杨羟肟酸的浮选较佳 pH 值分别为 10、9 和 9,捕收剂主要以阴离子形式在矿物表面发生化学吸附;3 种捕收剂中辛基异羟肟酸在细粒黑钨矿表面的吸附量最大,浮选效果较好^[30]。

2.16 金属配位离子苯甲羟肟酸类 Pb-BHA 捕收剂浮选钨

针对某含钨多金属矿原有加温选钨工艺流程长、能耗大、钨回收率低、回水循环利用困难等问题，以金属配位离子苯甲羟肟酸类 Pb-BHA 为捕收剂、Al-SBL 聚合物为抑制剂，采用“一粗四精两扫”常温浮选新工艺，可使精矿 WO_3 品位达到 40%、回收率 65%，大大降低了生产成本^[31]。

2.17 醚胺类捕收剂 DXY-1

有人研究醚胺类捕收剂 DXY-1 对石英的捕收性能和机理，首先进行了单矿物浮选实验，之后对药剂与矿物吸附前后的 Zeta 电位进行检测并用 MS 软件模拟计算。结果表明，捕收剂 DXY-1 在常温下对石英有良好的捕收能力，pH 值为 10 时浮选回收率较佳，可达 98.0%。基于 MS 软件的 CASTEP 模块计算了捕收剂 DXY-1 与石英矿物表面的吸附作用能，其值为负值且低于 OH^- 在石英表面的吸附能，说明 DXY-1 在石英表面可以发生吸附且与 OH^- 相比，捕收剂 DXY-1 对石英的吸附作用更强。结合药剂与矿物吸附前后的 Zeta 电位检测和 MS 模拟布居数的计算结果表明，捕收剂 DXY-1 与石英 (101) 表面的吸附方式为静电吸附和氢键吸附^[32]。

2.18 磁化水和磁化油酸钠

有人为了提高微细粒赤铁矿浮选的分选效果，分别对浮选用去离子水和油酸钠溶液进行磁化预处理，再研究其了对微细粒赤铁矿和石英浮选效果的影响。结果表明，磁化水和磁化药剂均能显著提高微细粒赤铁矿的浮选回收率，且对石英有一定的抑制作用。在 pH 值为 9、磁场强度 400 mT 时磁化水 7 min，赤铁矿浮选回收率最高达到 83.15%，比未磁化时提高了 10.79 个百分点；在 pH 值为 9、磁场强度 100 mT 时磁化药剂 7 min，赤铁矿浮选回收率最高达到 80.14%，比未磁化时提高了 7.78 个百分点，说明磁化水对赤铁矿浮选的影响要大

于磁化药剂^[33]。

2.19 捕收剂 DTL-1 磁选铁精矿反浮选脱铝

阴离子捕收剂 DTL-1 是东北大学悬浮焙烧—磁选铁精矿反浮选脱铝工艺中研制的新型捕收剂，通过捕收剂 DTL-1 对三水铝石单矿物悬浮焙烧后的铝矿样以及铝矿样和赤铁矿单矿物悬浮焙烧—磁选后的铁矿样组成的人工混合矿进行浮选实验，以检验捕收剂 DTL-1 的脱铝效果。结果表明：在常温条件下，DTL-1 对铝矿样的捕收效果较好，当 pH 值为 8.0 时，单矿物浮选实验可获得 Al_2O_3 回收率 91.21% 的指标，人工混合矿（铁矿样与铝矿样的质量比为 15.67 : 1， Al_2O_3 品位约为 5.95%）浮选实验可获得 TFe 品位 70.67%，TFe 回收率 76.11%， Al_2O_3 品位 1.93%，铝的脱除率为 74.72% 的选别指标^[34]。

2.20 十二胺盐酸盐浮选长石

某地长石矿 K_2O 品位 6.34%， Na_2O 品位 2.51%， Fe_2O_3 含量 0.68%，磨矿细度 -0.074 mm 62.00%，不同用量的十二胺盐酸盐溶液作为捕收剂，硫酸溶液作为调整剂，最终得到 K_2O 品位 7.85%、回收率 64.50%， Na_2O 品位 3.09%、回收率 64.31%， Fe_2O_3 含量 0.13%， TiO_2 含量 0.03% 的长石精矿，满足工业合格品要求^[35]。

2.21 锂云母捕收剂 ZL-01

研究者针对某地低品位锂云母矿，开发了以 -CO-NH- 为主要作用官能团的高选择性锂云母捕收剂 ZL-01，实现了在易于泥化的复杂矿浆体系中锂云母矿物的高效捕收。以 ZL-01 作捕收剂不脱泥直接浮选锂云母矿物，浮选尾矿采用螺旋溜槽粗选—摇床精选的重选工艺回收钽铌矿物，重选尾矿采用弱磁—强磁联合的磁选工艺对长石矿物进行除杂提纯。在原矿含 0.42% Li_2O 、0.004% Ta_2O_5 、0.008% Nb_2O_5 的情况下，获得了 Li_2O 品位 3.38%、回收率为 73.50% 的锂云母精矿， Ta_2O_5 品位 18.530%、 Nb_2O_5 品位 24.120%，钽回收率

48.89%、铌回收率 36.98% 的钽铌精矿，TFe 含量 0.090%、白度 72.40% 的长石精矿，实现了低品位钠长石化花岗岩蚀变锂云母资源的高效综合回收^[36]。

3 浮选调整剂

3.1 Na₂S、NaHS

硫铜钴矿纯矿物在不同药剂条件下的浮选行为表明，调整剂 Na₂S、NaHS 在硫铜钴矿浮选中均表现出低用量活化、高用量抑制效果，总体而言 NaHS 活化效果要优于 Na₂S，电位测试表明相同质量浓度的 NaHS 比 Na₂S 对矿浆电位的影响更大^[37]。

3.2 甲基纤维素抑制滑石

有人的研究表明，低用量的甲基纤维素可有效抑制滑石，但对黄铜矿抑制效果很弱，可实现黄铜矿与滑石的浮选分离。甲基纤维素作为滑石的抑制剂浮选分离黄铜矿和滑石混合矿，人工混合矿 Cu 品位为 15.19% 时，可以获得铜精矿 Cu 品位为 24.08%，回收率达 74.68% 的指标^[38]。

3.3 ZY 锌抑制剂

有人研制 ZY 为锌抑制剂，实现了铜锌矿物的有效分离，并降低了有用矿物中有害元素砷的含量。实验室最终获得的分选指标如下：铜精矿品位 22.14%，回收率 87.45%。锌精矿品位 45.61%，回收率 90.14%。银在铜精矿中的品位为 890 g/t，回收率 66.45%，在锌精矿中的品位为 105 g/t，回收率 12.27%，银总回收率为 78.72%^[39]。

3.4 MZ2 活化白钨矿

某半风化钨矿原矿含钨 2.65% 且钨以白钨矿为主，采用微泡浮选柱强化微细粒白钨的回收，选用 MZ2 活化剂，以油酸钠 + 氧化石蜡皂作为捕收剂，分别得到高品位钨精矿和低品位钨精矿，使钨的综合回收率达到 72.80%^[40]。

3.5 CMC 作 MgO 脉石的抑制剂

研究者针对某铜镍矿铜镍品位低，铜镍矿物嵌布粒度微细，共生关系复杂，蛇纹石含量高等特征，开展了选矿工艺实验研究。实验结果表明，采用预先脱除脉石 - 铜镍混合浮选流程，通过对含 Ni 0.51%、含 Cu 0.20%、含 Co 0.02% 的原矿进行选择磨矿，利用 MIBC 预先脱除部分易浮脉石，碳酸钠作矿浆 pH 值调整剂，CMC 作 MgO 脉石的抑制剂，硫酸铜和丁基黄药分别作铜镍矿物的活化剂和捕收剂，全流程浮选闭路实验获得了含 Ni 7.78%、Cu 2.91%、Co 0.24%，回收率分别为 Ni 72.98%、Cu 66.57%、Co 51.29% 的铜镍混合精矿^[41]。

3.6 苛性淀粉为重晶石抑制剂

某稀土尾矿中含 CaF₂ 15.33%，含 BaSO₄ 13.27%，属于伴生低品位萤石 - 重晶石矿产资源，具有一定的回收价值。研究者针对试样组成性质，在磨矿细度 -0.074 mm 72.61%，采用碳酸钠为 pH 值调整剂、水玻璃为抑制剂、油酸钠为捕收剂，进行“1 次粗选、2 次精选、2 次扫选”的萤石 - 重晶石混合浮选流程，得到萤石与重晶石混合精矿，混合精选采用水玻璃为分散剂，苛性淀粉为重晶石抑制剂，油酸钠为捕收剂浮选萤石，经“1 次粗选、2 次扫选、6 次精选”的浮选闭路实验流程，最终得到了 CaF₂ 品位 96.83%、回收率 89.36% 的萤石精矿，获得 BaSO₄ 品位 91.22%，回收率 70.31% 的重晶石精矿，较好地实现了该尾矿中萤石与重晶石的综合回收^[42]。

3.7 海藻酸钠

有人研究了海藻酸钠在丁铵黑药捕收剂体系对方铅矿和黄铜矿的抑制作用，并通过动电位、红外光谱、X 射线光电子能谱等考察了海藻酸钠对黄铜矿及方铅矿的作用机理。结果表明，海藻酸钠能在不影响黄铜矿浮选行为的同时对方铅矿产生强烈抑制作用，使方铅矿浮选回收率从 87.68% 降至 8.7%^[43]。

3.8 石灰 + 羧化壳聚糖抑制硫

有人采用硫化钠预先活化,“石灰+羧化壳聚糖”作黄铁矿和磁黄铁矿抑制剂,粗选pH值为8.5,经一粗两精三扫优先浮选流程可得到含铜24.63%、含金3.41 g/t、含银952.05 g/t,铜回收率84.45%、金回收率32.58%、银回收率75.70%的铜精矿。羧化壳聚糖为清洁高效有机高分子化合物,能高效选择性抑制硫铁矿,在提高主金属铜回收率的同时,伴生金银矿物得到了高效综合回收^[44]。

3.9 磷酸抑制石英

有人研究了油胺体系中磷酸对石英浮选的影响,并结合红外光谱测试、Zeta 电位分析等手段研究了其作用机理。结果表明,磷酸及其电离产物在酸性条件下可通过氢键吸附及物理吸附作用于石英表面,形成亲水性薄膜,并吸引溶液中部分 RNH_3^+ 聚集在磷酸亲水性薄膜外围,这导致油胺与石英作用效果减弱,使石英浮选受到抑制^[45]。

3.10 BK 512(无机盐类组合抑制剂)抑制方铅矿

研究者为了有效分离某微细粒铜铅混合精矿中的铜、铅矿物,进行了铜铅混合精矿无氰无铬分离工艺研究。结果表明:以活性炭+硫化钠作为脱药剂,以BK 512(无机盐类组合抑制剂)作为方铅矿抑制剂,以Z-200作为黄铜矿捕收剂,可以实现铜铅混合精矿中黄铜矿和方铅矿的有效分离。采用“抑铅浮铜”分离工艺流程方案,闭路实验经过1次粗选、2次扫选、3次精选,最终获得铜品位22.62%、铜回收率80.04%的铜精矿,以及铅品位60.14%、铅回收率97.17%的铅精矿^[46]。

3.11 FS 活化黄铁矿

某选矿厂铁精矿硫含量较高,达1.07%,明显高于入炉原料硫含量要求。为确定铁精矿的合理脱硫工艺,进行了浮选实验。结果表明,实验以FS为活化剂、异丁基黄药为捕收剂、2[#]油为起泡剂,在粗选用量分别为(2000、200、30) g/t,精选用量分别为(500、100、20) g/t的情况下,采用1粗1精闭路流程处理试样,最终获得了铁

品位为64.53%、铁回收率为97.13%、含硫0.21%的铁精矿^[47]。

3.12 LY 抑制黄铁矿

有人采用石灰和LY作为硫抑制剂,通过6种动力学模型,分别考察了低碱和高碱环境下铜、银和铁的浮选回收率及动力学行为。结果表明,6种动力学模型均可较好地拟合实验数据。石灰选择性较差,在低碱性介质中对黄铁矿的抑制效果较弱,在强碱性介质中不利于铜和银矿物的回收;而LY在铜硫分离过程中表现出良好的选择性,它可以在低碱和高碱环境下强烈抑制黄铁矿,并在弱碱性矿浆中实现铜硫的高效分离,同时诱导独立银矿物定向富集至铜精矿产品中^[48]。

3.13 LY-3 抑制黄铁矿

研究者以某高硫铅锌矿的铅硫混合精矿为研究对象,在电位调控浮选思路指导下,采用NaOH作为矿浆pH值及电位调整剂,以新型易溶高效黄铁矿抑制剂LY-3替代石灰,对选矿厂铅硫混合精矿进行铅硫浮选分离,实验技术指标良好,成功实现了对石灰的全替代,降低了回水处理成本,同步提高了银综合回收率^[50]。

3.14 瓜尔豆胶

有研究者开发了环保、高效和价格低廉的新型辉钼矿抑制剂——瓜尔豆胶,研究了该药剂对辉钼矿可浮性的影响及其作用机理。研究结果表明,瓜尔豆胶表面具有丰富的含氧官能团,能紧密吸附于辉钼矿表面并改变辉钼矿的表面润湿性,可显著降低辉钼矿可浮性。当瓜尔豆胶用量为30 mg/L时,即使向浮选体系中加入大量煤油也不能再恢复辉钼矿的可浮性。瓜尔豆胶具有优异的适应性,在广泛的pH值范围内均对辉钼矿有良好的抑制效果,可作为辉钼矿抑制剂实现铜钼矿石分选中铜钼的高效分离^[51]。

3.15 有机和无机组合抑制剂抑制毒砂

研究者以云南某高银高砷铜粗精矿为研究对

象,采用有机抑制剂与无机抑制剂组合抑制毒砂,选择性捕收剂强化回收银矿物,进行提质降杂。在给矿铜、砷、银品位分别为 1.71%、7.54% 和 41.46 g/t 条件下,可以获得铜精矿中铜品位和回收率分别为 19.16% 和 80.31%、银品位和回收率分别为 268.22 g/t 和 46.37%、砷含量 0.81% 的指标^[52]。

3.16 酸化水玻璃和 ATM

研究者对某白钨矿伴生高钙萤石进行了综合回收实验研究。以其白钨粗精矿为研究对象,通过反浮选预先脱除碳酸钙、再综合回收萤石的新工艺流程,使得伴生萤石资源得以高效回收利用。使用水玻璃作为预精选萤石抑制剂、氧化石蜡皂作为粗选捕收剂、酸化水玻璃和 ATM 作为精选抑制剂,经过一预一粗七精浮选流程,得到 CaF_2 品位 93.95%、回收率 24.15% 的萤石精矿。依据实验结果进行了 50 t/d 的半工业实验,得到萤石精矿平均品位 90.52%、平均回收率 21.82%^[53]。

3.17 单宁

有人研究了不同捕收剂体系下,多种抑制剂对重晶石、方解石、白云石、蒙脱石和石英纯矿物的抑制效果,结果表明:无论是组合脂肪酸捕收剂体系还是组合烷基硫酸盐捕收剂体系,以单宁酸为抑制剂时,重晶石与含钙碳酸盐矿物、含硅矿物都有较好的浮选差异,并且在组合脂肪酸捕收剂体系下,当单宁酸用量为 2.5 mg/L 时,方解石回收率从 71.26% 下降至 5.98%,白云石及含硅矿物的回收率均保持在 5% 左右,此时重晶石回收率为 86.64%。机理研究结果表明:单宁酸在重晶石、方解石、白云石表面均有吸附;可以通过控制单宁酸用量,使单宁酸在重晶石表面的吸附远远弱于在含钙碳酸盐矿物表面的吸附^[54]。

3.18 CF 抑制剂

某高滑石型钼铁矿直接使用白钨选矿回水进行脱泥浮选,造成钼损失过大;使用白钨选矿回水磨矿后将矿浆 pH 值调至 6,对脱泥粗精矿产品

添加 CF 抑制剂进行脱泥精选,最终闭路实验得到钼损失率 4.52%、钼粗精矿品位 4.23%、回收率 75.85% 的良好指标,白钨选矿回水得以利用^[55]。

3.19 硫酸铵活化氧化铜

研究者通过单矿物浮选实验,考察硫酸铵对蓝铜矿硫化浮选的影响。结果表明,硫酸铵用量为 200 mg/L 时使蓝铜矿硫化浮选回收率由 44.15% (未添加时)增加至 60.03%,X 射线光电子能谱分析表明,硫酸铵使蓝铜矿矿物表面铜和硫含量增加,碳和氧含量减少,改善了矿物表面硫化效果,增加了矿物表面疏水性和丁基黄药吸附量。通过 Material studio 模拟计算结果表明,硫酸铵降低了丁基黄药以及硫化剂在蓝铜矿表面的吸附能,增加了丁基黄药和硫化钠在矿物表面的吸附稳定性,对蓝铜矿的硫化浮选具有活化作用^[56]。

3.20 改性聚丙烯酰胺

为强化絮凝剂聚丙烯酰胺 (PAM) 的絮凝性能,在 PAM 分子链上引入无机阳离子胶体基团进行有机-无机杂化改性。通过沉降实验研究了所合成絮凝剂对高岭土的絮凝沉降性能。结果表明,当絮凝剂用量均为 70 g/t 时, $\text{Al}(\text{OH})_3$ -PAM、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -PAM 的前 10 s 初始沉降速度分别为 7.713 mm/s、11.181 mm/s,800 万阳离子聚丙烯酰胺 (CPAM) 初始沉降速度为 3.923 mm/s; $\text{Al}(\text{OH})_3$ -PAM、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -PAM 作用下的絮团较 CPAM 产生的絮团小而密实;杂化改性聚丙烯酰胺絮凝性能显著优于 CPAM 及铝盐、镁盐分别与 300 万分子量阴离子 PAM 的复配絮凝剂,分子量高的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -PAM 絮凝沉降性能更佳^[57]。

3.21 海水

研究者采用海水代替淡水作为浮选媒介。但海水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子易形成亲水沉淀,影响颗粒-气泡附着过程,分散剂可以有效缓解沉淀物质对黄铜矿浮选的不利影响。通过三相泡沫稳定性、接触角、Zeta 电位、XPS 及 DLVO 理论计算、

动力学计算、分子动力学模拟等手段，研究了黄铜矿的表面性质，解释了六偏磷酸钠（SH）和硅酸钠（SS）两种分散剂的作用机理。结果表明：纯水中分散剂几乎不影响黄铜矿浮选回收率；海水和0.05 mol/L $MgCl_2$ 体系中，分散剂使黄铜矿颗粒和氢氧化镁之间的吸引力转变为排斥力，阻止了氢氧化镁在黄铜矿表面的吸附，进而增加黄铜矿的可浮性。动力学计算表明，海水和0.05 mol/L $MgCl_2$ 中加入分散剂后，浮选速率常数 k 和理论最大回收率 R 均显著提高，且SH效果优于SS^[58]。

3.22 硫铁矿活化剂QH

某复杂含金铜硫矿石中铜、金和硫的品位分别为0.82%、1.20 g/t和11.30%。针对该矿石特点，在低碱度条件下应用铜硫优先浮选原则工艺流程。闭路实验结果表明，在磨矿细度-74 μm 85%的条件下，以氧化钙为硫铁矿抑制剂（矿浆pH值为9~10），Z-200为铜矿物捕收剂，经1次粗选、1次扫选和2次精选的铜浮选流程可获得铜品位为18.42%、铜回收为84.97%，含金15.52 g/t、金回收率为48.78%的铜精矿；浮铜尾矿再添加硫铁矿活化剂QH，以丁基黄药为捕收剂经1次粗选、1次扫选和2次精选的硫浮选流程可获得硫品位为45.42%、硫回收率为65.33%的硫精矿^[59]。

3.23 石灰+硫酸锌+亚硫酸钠抑制铅

有人针对某铜铅锌多金属矿铜铅混合浮选获得的混合精矿，进行了铜铅浮选分离实验研究，考察了脱药预处理及浮选主要因素对铜铅分离的影响。结果表明：铜铅混合精矿使用活性炭脱药可取得较好的实验效果，合适的用量为200 g/t，脱药搅拌时间为10 min。使用组合抑制剂进行抑铅浮铜，合适的用量为800 g/t，搅拌时间为10 min，之后依次添加石灰400 g/t、硫酸锌400 g/t、亚硫酸钠300 g/t、丁基黄药+丁胺黑药（5+5）g/t、2#油10 g/t。在优化的实验条件下，最终可分别获得铜品位为24.15%、铜回收率为80.57%的铜精矿及铅品位为

31.63%、铅回收率为65.35%的铅精矿，铜铅分离效果较好^[60]。

3.24 漂白粉+过硫酸钠抑制硫

有人开发了自然pH值下硫化铅锌矿浮选分离技术，用漂白粉和过硫酸钠代替石灰作用，进行了铅的浮选回收实验。结果表明：在磨矿细度为-0.074 mm 85%，以Z200+乙硫氮为捕收剂，漂白粉+过硫酸钠为抑制剂，经过1粗2精2扫流程铅锌混浮，铅锌精矿以硫酸锌+亚硫酸钠为抑制剂，以Z200+乙硫氮为捕收剂，经1粗2精2扫流程选铅，选铅尾矿经1粗2精2扫选锌，最终获得铅品位51.26%、铅回收率82.0^[61]。

3.25 柠檬酸

有人通过纯矿物浮选实验、zeta电位测定、红外光谱测试及实际矿物浮选中应用，考察柠檬酸在磷矿反浮选中的作用机理。结果表明，在pH值为3.86，油酸钠作捕收剂，柠檬酸作抑制剂时，柠檬酸对磷灰石和方解石都表现出较好的抑制效果；对磷灰石和方解石的混合矿物表现出较好的选择性抑制效果，优先抑制磷灰石^[62]。

4 浮选药剂的结构与性能

4.1 铝土矿捕收剂设计

研究者针对中低品位铝土矿浮选脱硅过程中存在的一系列问题，以铝土矿工艺矿物学为基础，根据矿物表面，物理化学性质差异，结合浮选药剂分子设计理论，对铝土矿浮选捕收剂的极性基、非极性基进行重新设计，使药剂基团易于与矿物结合后形成环状螯合物，增强捕收性能，强化药剂选择性能，开发出用量较小、选择性强、泡沫量少的铝土矿新型正浮选捕收剂^[63]。

4.2 十二烷基磷酸酯分子结构特性

研究者采用量子化学模拟手段，研究了十二烷基磷酸酯分子结构特性及其在氟磷灰石晶体表面的作用机理。采用Materials Studio软件的

CASTEP 模块, 首先对分子态和离子态十二烷基磷酸酯的分子结构进行了优化, 得到十二烷基磷酸酯分子及其阴离子的净电荷、Mulliken 电荷布居、偶极距及最高占据轨道 (HOMO) 组成和能量。结果表明, 相对于十二烷基磷酸酯分子, 十二烷基磷酸酯阴离子有更强的供电子能力、范德华作用能力和反应活性。对十二烷基磷酸酯阴离子在氟磷灰石表面的相互作用模型进行了模拟计算, 得到十二烷基磷酸酯与氟磷灰石之间的作用模型和吸附能, 十二烷基磷酸酯阴离子与氟磷灰石表面之间的吸附能为负值, 二者之间能够自发发生吸附作用, 并形成化学键。通过单矿物浮选实验验证了模拟计算结果, 即十二烷基磷酸酯可以作为氟磷灰石的浮选捕收剂^[64]。

4.3 建立带有混合效应的非线性模型

研究者基于缺失数据填补技术采用融合建模的方法在原矿性质、浮选指标及药剂消耗之间建立带有混合效应的非线性模型, 并预测 7 d、30 d、365 d 的浮选药剂消耗量。预测结果与生产数据对比表明, 该模型实现了对选厂浮选药剂用量的短期精确预测。实际数据显示该方法对生产实践具有指导意义^[65]。

4.4 不同头基尺寸捕收剂组合研究

通过单矿物浮选、动电位测试以及荧光探针检测对比研究了不同头基尺寸捕收剂组合油酸钠/十二胺和油酸钠/溴代十六烷基吡啶在菱锌矿表面的吸附特性及其对矿物浮选行为的影响。单一捕收剂体系浮选实验结果表明, 3 种捕收剂体系下, 随着捕收剂浓度增加, 矿物浮选回收率均呈现先增加后下降的趋势, 油酸钠、溴代十六烷基吡啶、十二胺分别在 pH 值为 5.8、8.4 和 10.1 处达到最大回收率, 3 种捕收剂对菱锌矿的捕收能力顺序为油酸钠 > 溴代十六烷基吡啶 > 十二胺。混合捕收剂体系中, 固定油酸钠浓度为 2×10^{-4} mol/L, 加入适量的十二胺可以大幅促进矿物浮选, 而加入溴代

十六烷基吡啶几乎没有影响。动电位测试结果表明, 在 pH=6 时经 2×10^{-4} mol/L 油酸钠溶液处理的菱锌矿表面电位为 -30.5 mV, 随着十二胺用量增加, 已吸附油酸钠的菱锌矿表面电位逐渐上升, 在十二胺浓度 2×10^{-4} mol/L 时其表面动电位升高到接近菱锌矿在纯水中的动电位值 22.3 mV, 这是由于十二胺阳离子在已吸附了油酸钠阴离子的菱锌矿表面发生吸附; 而溴代十六烷基吡啶的加入对菱锌矿表面电位几乎没有影响, 说明溴代十六烷基吡啶阳离子基本没有在矿物表面吸附, 这与浮选实验结果一致。矿物表面微极性测试结果验证了上述推论, 在此基础上给出了两种组合捕收剂在菱锌矿表面的吸附模型^[66]。

4.5 十二胺、十四胺、十六胺与癸醚胺中不同的分子结构对泡沫浮选性能的影响

为了研究十二胺、十四胺、十六胺与癸醚胺中不同的分子结构对泡沫浮选性能的影响, 借助高速摄像机等检测设备, 对气-液两相体系下气泡大小, 气-液-固三相体系下捕收剂的起泡性、单位体积泡沫带矿量和泡沫水回收率等参数进行测量。结果表明: ① 在 15 ℃、pH=6.0 及药剂用量低于临界兼并浓度的条件下, 达到临界兼并浓度时气泡索特直径由小到大依次为: 十二胺 < 癸醚胺 < 十四胺 < 十六胺; ② 随药剂用量的增加, 十二胺、十四胺、癸醚胺与石英作用后产生的泡沫体积先增大后减小, 十六胺产生的泡沫体积随药剂用量的增加而减小; ③ 十二胺的单位体积泡沫带矿量几乎不随药剂用量的改变而改变, 十四胺、十六胺、癸醚胺单位体积泡沫带矿量呈先增加后下降的趋势, 其中十六胺的变化速率最快, 明显高于十二胺和十四胺; ④ 随着药剂用量的增加, 十二胺、十四胺、十六胺与石英矿物颗粒形成的泡沫水回收率逐渐增加, 癸醚胺逐渐下降。⑤ 碰撞几率 P_c 随气泡索特直径的减小而增加, 减小气泡直径是增加浮选回收率的有效手段, 但泡沫水回收率随

之增加,使得脉石夹带现象严重^[67]。

5 选矿废水处理

5.1 响应面回归分析法应用于磷矿浮选回水领域

研究者将响应面回归分析法用于分析动态条件下磷矿浮选回水结垢行为和分析阻垢剂 HEDP、PBTCA 与 ATMPA 阻垢性能的影响因素是否存在交互作用。单因素实验表明循环时间、回水流速和温度对结垢行为和阻垢剂的阻垢性能影响显著。响应曲面分析:循环时间、回水流速和温度两两之间交互作用不显著。回归分析拟合结果与实验实测值相关性高。通过响应曲面回归分析法对动态条件下结垢行为影响因子及其交互作用进行评价,不仅可减少实验工作量,还可对连续变量建立直观的响应曲面模型,以此为磷矿浮选回水回用领域结垢与阻垢的研究提供参考意义^[68]。

5.2 用响应曲面法对 Fenton 氧化法处理选矿废水的工艺进行优化

以某选厂选矿废水为研究对象,采用响应曲面法对 Fenton 氧化法处理选矿废水的工艺进行优化。以反应 pH 值、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 用量、 H_2O_2 用量为影响因素,COD 去除率为响应值,通过 Box-Behnken 响应曲面法建立因素与响应值之间的数学模型,得到较佳工艺条件为:反应 pH 值 2.98、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 用量 446.76 mg/L、 H_2O_2 用量 457.66 mg/L,该条件下验证得 COD 去除率为 76.55%,与模型预测值偏差仅 1.65 个百分点,证明了响应曲面法用于优化 Fenton 氧化法处理选矿废水工艺的可行性和有效性^[69]。

5.3 絮凝剂 NHX 处理选矿废水

有人对对某镍钼矿选矿废水进行了回用实验研究。结果表明,镍钼矿选矿废水直接回用于浮选效果较差;废水经絮凝剂 NHX 沉降处理后,固体悬浮物含量由 839.6 mg/L 降为 17.7 mg/L, COD 也大幅下降。处理后废水回用对镍钼矿浮选指标

影响不大,符合回用标准^[70]。

5.4 微电解 Fenton 法处理硫铵酯-苯甲羟肟酸-苯胺黑有机废水

研究者采用微电解 Fenton 法处理硫铵酯-苯甲羟肟酸-苯胺黑有机废水。考察了初始 pH 值、铁屑及活性炭投入量、曝气量、 H_2O_2 用量、催化剂 MnO_2 加入量和反应时间对废水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和色度去除率的影响。较佳条件为:初始 pH 值为 3、铁屑用量 70 g/L、活性炭用量 80 g/L、 H_2O_2 用量 7 mg/L、 MnO_2 用量 8.0 g/L、曝气量 500 mL/(min·L)、反应时间 20 min,此时废水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和色度的去除率达 88.21%、93.57% 和 98.68%。通过多因素正交实验确定了影响 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和色度去除率的因素强弱顺序为:铁屑投入量 = 活性炭投入量 > H_2O_2 用量 > pH 值 > MnO_2 用量^[71]。

5.5 金属离子调控淀粉大分子结构-磁絮凝高效沉淀分离净化技术

有人针对淀粉废水有机物含量高、难降解等特点,研究者提出了金属离子调控淀粉大分子结构-磁絮凝高效沉淀分离净化技术路线,研究了不同金属离子与淀粉的配位组装行为及磁分离技术对淀粉废水的净化作用机制。结果表明:金属离子与淀粉作用可形成金属离子-淀粉高分子络合沉淀物,当铁离子、铝离子或铅离子用量分别为 4.2 g/L、5.65 g/L 和 2.5 g/L 时, COD 去除率均可达 90%;不同金属离子调控淀粉分离净化效率的顺序为: $\text{Fe}^{3+}=\text{Pb}^{2+}>\text{Al}^{3+}>\text{Ca}^{2+}$ 。沉降实验和粒度分析结果表明,金属离子-淀粉颗粒粒度极细、部分呈胶态结构,沉降分离效率很低;金属离子-淀粉颗粒可与磁性晶核发生异相凝聚形成具有磁性的核壳状包裹体,在磁场中实现快速沉降分离。金属离子的配位调控分子组装和磁分离技术为高浓度淀粉废水的高效净化提供了新的解决方案^[72]。

5.6 聚合硫酸铁沉降+ZJYH03 氧化法

针对某矿多金属矿选矿废水量大、难沉

降、pH 值高、COD 高等特点,研究了石灰沉降+ZJYH 03 氧化法、石灰沉降+漂白粉氧化法、石灰沉降+NaClO 氧化法、聚合硫酸铁沉降+ZJYH03 氧化法和石灰沉降+生物氧化法等废水处理工艺,并对比分析了各工艺的处理效果和药剂成本,结果表明:聚合硫酸铁沉降+ZJYH03 氧化法取得了较好的处理效果,该方法具有工艺简单、水质无色透明、药剂成本低等特点^[35]。

6 结 语

(1) 硫化矿浮选捕收剂的研究主要是朝混合作用药方向发展。

(2) 氧化矿捕收剂出现了金属配位离子苯甲羟肟酸类 Pb-BHA 捕收剂,并在工业上获得成功标志着我国氧化矿捕收剂研究处于世界领先地位。磁化油酸的应用对提高氧化矿的回收率有明显的作用。

(3) 海水用于浮选,将有助于解决浮选厂用水紧张问题。

(4) 调整剂的研发是近期浮选药剂研究的重点,研究成果被引起广泛的关注。黄铁矿的抑制剂已经不再是石灰的一统天下,无铬的铜铅分选抑制剂的研究值得关注。

(5) 浮选药剂的结构与性能研究继续活跃,浮选药剂与矿物在浮选过程中的作用机理研究经久不衰。

(6) 选矿厂废水处理仍是矿山生产建设的重要课题,越来越多的有效的废水处理技术有待于应用在矿山废水处理的研究中。

参考文献:

- [1] 胡志强,王立刚,朴永超,等.刚果(金)某硫化铜钴矿选矿工艺技术研究[J].有色金属(选矿部分),2020(1):24-30.
- [2] 陈晓芳.新型捕收剂PJ-9在某硫化铜矿浮选中的应用[J].有色金属(选矿部分),2020(1):113-117.
- [3] 张磊,戴惠新,杜五星.铜锌硫化矿分离工艺现状[J].矿产综合利用,2019(1):1-6.
- [4] 汪泰.采用酯类捕收剂PZA提高铜、银回收率的选矿试验研究[J].有色金属(选矿部分),2020(2):110-114.
- [5] 刘璇遥,赵艳宾,于鸿宾,等.某高硫矽卡岩型金铜矿选矿试验研究[J].有色金属(选矿部分),2020(3):19-23.
- [6] 梁泽跃,彭远伦,李崇德.提高普朗铜矿一期斑岩型铜矿石选矿指标的试验研究[J].有色金属(选矿部分),2020(3):24-28.
- [7] 任琳琳,王李鹏,郭海宁.西北某低品位汞锑尾矿选矿试验研究[J].有色金属(选矿部分),2020(4):123-126.
- [8] 朱一民,周菁.2018年浮选药剂的进展[J].矿产综合利用,2019(4):1-10.
- [9] 罗思岗,赵志强,路亮,等.选择性铜捕收剂BK916在某铜矿快速浮选中的应用[J].有色金属(选矿部分),2020(5):117-121+135.
- [10] 王青丽,吕超飞,苏晨曦,等.国外某低品位氧化矿浮选-氰化法回收金的试验研究[J].有色金属(选矿部分),2020(5):117-121+135.
- [11] CHEN X F. Application of new collector PJ-9 in sulfide copper flotation [J]. Non-ferrous Metal (Minerals Processing Section), 2020 (1): 113-117.
- [12] ZHANG L, DAI H X, DU W X. Research progress of copper-zinc sulfide ore separation technology [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019 (1): 1-6.
- [13] LIU X Y, ZHAO Y B, YU H B, et al. Experimental research on skarn gold-bearing copper with high sulphur content [J]. Non-ferrous Metal: Minerals Processing Section, 2020 (3): 19-23.
- [14] LIANG Z Y, PENG Y L, LI C D. Experimental study on improving beneficiation index of Phase I porphyry copper ore in pulang copper mine [J]. Non-ferrous Metal: Minerals Processing Section, 2020 (3): 24-28.
- [15] REN L Z, WANG L P, GUO H N. Experimental study on mineral processing of a low grade mercury-antimony Tailings in Northwest China [J]. Non-ferrous Metal (Minerals Processing Section), 2020 (4): 123-126.
- [16] ZHU Y M, ZHOU J. The development of flotation reagent in 2018 [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019 (4): 1-10.
- [17] LUO S G, ZHAO Z Q, LU L, et al. Application of selective copper collector BK916 in rapid flotation of copper Ore [J]. Non-ferrous Metal (Minerals Processing Section), 2020 (5): 117-121+135.
- [18] WANG Q L, LYU C F, SU C X, et al. Experimental study on gold recovery from low-grade oxidized ore flotation-cyanidation [J]. Non-ferrous Metal (Minerals Processing Section), 2020 (5): 117-121+135.

(6):71-76.

WANG Q L, LV C F, SU C X, et al. Experimental Study on gold recovery from a foreign low-grade oxide ore by flotation and cyanidation [J], Non-ferrous Metal(Minerals Processing Section), 2020 (6) :71-76

[11] 庞杰, 郑永兴, 戈保梁, 等. 难选氧化铜矿选冶联合技术研究现状与进展 [J]. 矿产综合利用, 2019 (5): 1-5.

PANG J, ZHENG Y X, GE B L, et al. Research status and development of the dressing-metallurgy combination processing of refractory copper oxides[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019 (5):1-5.

[12] 高钦, 葛英勇, 刘顺兵, 等. 铜铅锌多金属混合精矿浮选分离试验研究 [J]. 矿冶工程, 2020 (3): 72-74+78.

GAO Q, GE Y Y, LIU S B, et al. Flotation separation of copper-lead-zinc polymetallic bulk concentrate [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020.(3) : 72-74+78

[13] 冯晓燕, 姜涛, 赵志强, 等. 某铜铅锌多金属硫化矿选矿试验研究 [J]. 矿冶工程, 2020 (5): 53-57.

FENG X Y, JIANG T, ZHAO Z Q, et al. Beneficiation tests of a copper-lead-zinc polymetallic sulfide ore [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020 (5) :53-57

[14] 石贵明, 周意超. 四川某细碧岩型铜矿选矿试验研究 [J]. 矿产综合利用, 2019 (1):34-38.

SHI G M, ZHOU Y C. Study on beneficiation of a spilite type copper ore in Sichuan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019 (1):34-38.

[15] 邹勤, 龙冰, 雷小明, 等. 国外某低品位铜锌硫化矿浮选分离试验研究 [J]. 金属矿山 2020 (9): 111-117.

ZOU Q, LONG B, LEI X M, et al. Experimental study on flotation separation of a low grade copper zinc sulfide ore from abroad [J]. Metal Mines. 2020 (9) : 111-117.

[16] 陈京玉, 陈志国, 康卫刚. 新疆某伴生铜钴矿降砷回收工艺研究 [J]. 矿产综合利用, 2019 (1):51-56.

CHEN J Y, CHEN Zh G, KANG W G. Research on reducing arsenic and recovering mineral processing technology of certain arsenic-bearing copper ore in Xinjiang[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019 (1):51-56.

[17] 刘婧, 杨志超, 滕青, 等. CTAB 与油酸钠混合捕收剂浮选分离磁铁矿与角闪石的研究 [J]. 有色金属 (选矿部分), 2020 (3) :119-125.

LIU J, YANG Z C, TENG Q, et al. Separation of hornblende and magnetite by reverse flotation with CTAB and NaOL [J], Non-ferrous Metal(Minerals Processing Section), 2020 (3) : 119-125.

[18] 王磊, 徐智达, 申晓毅. 中低品位氧化锌矿综合利用试验 [J]. 矿产综合利用, 2019 (2):37-41.

WANG L, XU Z D, SHEN X Y. Experimental research on

comprehensive utilization of a low-grade zinc oxide ore by sulfate acid leaching[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019 (2):37-41.

[19] 喻福涛, 余新文, 商容生, 等. 四川典型稀土矿高效回收稀土试验研究 [J]. 有色金属 (选矿部分), 2020 (4) :22-27.

YU F T, YU X W, SHANG R S, et al. Experimental study on high-efficiency recovery of rare earths in typical Sichuan rare earth mines[J], Non-ferrous Metal: Minerals Processing Section, 2020 (4) :22-27.

[20] 仇云华, 张慧, 王焯, 等. 难选氧化脉锡矿细粒锡石浮选工艺研究及生产实践 [J]. 有色金属 (选矿部分), 2020 (4) :28-33.

QIU Y H, ZHANG H, WANG Y, et al. Process research and production practice of fine cassiterite flotation on refractory oxidized type vein tin ore [J], Non-ferrous Metal(Minerals Processing Section), 2020 (4) : 28-33.

[21] 肖坤明. 云南某低硫化物金矿可选性试验研究 [J]. 矿产综合利用, 2019 (2):57-59.

XIAO K M. Experimental study on beneficiation of a low sulfide gold ore in Yunnan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019 (2):57-59.

[22] 周贺鹏, 耿亮, 郭亮, 等. 江西宜春低品位锂云母矿综合回收工艺研究 [J]. 非金属矿, 2020 (4) : 59-61+98.

ZHOU H P, GENG L, GUO L, et al. Study on comprehensive recovery process of low grade lepidolite ore in Yichun, Jiangxi [J], nonmetallic ore, 2020 (4) : 59-61+98

[23] 邹坚坚, 胡真, 杨凯志, 等. 非洲某风化型铌铁磷多金属矿选矿研究 [J]. 金属矿山, 2020 (4) : 84-88.

ZOU J J, HU Z, YANG K Z, et al. Mineral processing of a weathered Nb Fe P polymetallic ore in Africa [J]. Metal Mines. 2020, (4) 84-88

[24] 南楠, 朱一民, 韩跃新, 等. 新型常温捕收剂 DN-6 对磷灰石的捕收性能研究 [J]. 金属矿山, 2020 (4) : 89-92.

NAN N, ZHU Y M, HAN Y X, et al. Study on the collection performance of a new ambient temperature collector dn-6 for apatite [J]. Metal Mines. 2020 (4): 89-92

[25] 周文波, 李赛, 陶黎明, 等. 磁化对油酸钠溶液物化性质和矿物浮选的影响 [J]. 金属矿山, 2020 (4): 93-98.

ZHOU W B, LI S, TAO L M, et al. Effect of magnetization on physicochemical properties of sodium oleate solution and mineral flotation [J]. Metal Mines. 2020 (4): 93-98.

[26] 王本英, 徐新阳, 陈熙, 等. 十二烷基胺类捕收剂的取代基基因特性对其浮选性能的影响研究 [J]. 金属矿山, 2020 (5): 31-35.

WANG B Y, XU X Y, CHEN X, et al. Effect of substituent gene characteristics of dodecylamine collectors on their flotation performance [J]. Metal Mines. 2020 (5): 31-35.

- [27] 白成庆, 颜顺德, 潘仁球. 某铅锌矿尾矿降镁试验研究[J]. 矿冶工程, 2020(4): 78-80.
- BAI C Q, YAN S D, PAN R Q. Experimental study on magnesium reduction for lead-zinc ore tailings [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020 (4): 78-80.
- [28] 杨尚坤, 阳天鸣, 阳子贵, 等. 萤石浮选尾矿中锂的分选工艺研究[J]. 矿冶工程, 2020(5): 58-60.
- YANG S K, YANG T M, YANG Z G, et al. Separation of Lithium from Fluorite Flotation Tailings [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(5): 58-60.
- [29] 刘芬, 刘小平, 唐冬梅. 康西铜冶炼渣回收铜可选性试验研究[J]. 矿冶工程, 2020(5): 68-70.
- LIU F, LIU X P, TANG D M. Experimental study on beneficiability of copper resources from copper smelting slags in Kangxi copper smelter [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020 (5): 68-70.
- [30] 魏鹏刚, 任浏祯, 曾维能, 等. 细粒黑钨矿捕收剂的选择及作用机理研究[J]. 矿冶工程, 2020 (6): 47-50+58.
- WEI P G, REN L Y, ZENG W N, et al. Mechanism for selectivity and reaction of hydroxamic acid type collector in fine-grained wolframite flotation [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020 (6): 47-50+58.
- [31] 纪道河, 王若林, 杨勇祥, 等. 湖南某含钨多金属矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2020 (6): 65-67+74.
- JI D H, WANG R L, YANG Y X, et al. Beneficiation of scheelite from tungsten-containing polymetallic ore from Hunan province [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020 (6): 65-67+74.
- [32] 杨雪莹, 朱一民, 李艳军, 等. 捕收剂 DXY-1 在石英表面的捕收性能及机理研究[J]. 金属矿山, 2020 (6): 110-113.
- YANG X Y, ZHU Y M, LI Y J, et al. Study on the collecting property and mechanism of collector dxy-1 on quartz surface [J]. Metal Mines. 2020 (6): 110-113.
- [33] 向军, 周文波, 熊玮, 等. 磁化处理对微细粒赤铁矿浮选的影响与机理研究[J]. 金属矿山, 2020(6): 76-82.
- XIANG J, ZHOU W B, XIONG W, et al. Effect and mechanism of magnetization on Flotation of fine hematite [J]. Metal Mines. 2020 (6): 76-82.
- [34] 朱一民, 王燕, 张婧, 等. 新型捕收剂 DTL-1 对悬浮焙烧三水铝石的浮选试验[J]. 金属矿山, 2020(9): 131-136.
- ZHU Y M, WANG Y, ZHANG J, et al. Flotation test of suspension roasted gibbsite with new collector dtl-1 [J]. Metal Mines. 2020 (9): 131-136.
- [35] 马志军, 程亮, 邵坤等. 辽宁某钾长石选矿试验研究[J]. 非金属矿, 2020(3): 69-71+76.
- MA Z J, CHENG L, SHAO K, et al. Experimental study on Beneficiation of potash feldspar in Liaoning [J]. Nonmetallic ore, 2020 (3): 69-71 + 76.
- [36] 周贺鹏, 耿亮, 郭亮, 等. 江西宜春低品位锂云母矿综合回收工艺研究[J]. 非金属矿, 2020(4): 59-61+98.
- ZHOU H P, GENG L, GUO L, et al. Study on comprehensive recovery process of low grade lepidolite ore in Yichun, Jiangxi. Nonmetallic ore, 2020 (4): 59-61 + 98.
- [37] 潘自维. 新疆难处理铜矿浮选试验研究与应用[J]. 矿产综合利用, 2019(3): 31-35.
- PAN Z W. Experimental study and application of flotation of complex refractory copper ore in Sin Kiang [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3): 31-35.
- [38] 夏亮, 杜淑华, 朱国庆, 等. 安徽某含泥难选铜钼矿选矿试验[J]. 矿产综合利用, 2019(3): 44-47.
- XIA L, DU S H, ZHU G Q, et al. Beneficiation of a refractory Cu-Mo ore containing high-content slimes in Anhui [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3): 44-47.
- [39] 张红新, 郭珍旭, 王甜甜, 等. 某复杂高砷铜锌矿分选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2020 (2): 25-29+37.
- ZHANG H X, GUO Z X, WANG T T, et al. The Flotation Experimental Study on a Refractory High-arsenic Cu-Zn Ore [J]. Non-ferrous Metal (Minerals Processing Section), 2020 (2): 25-29+37.
- [40] 冉银华, 杨茂椿, 肖东升, 等. 云南某复杂混合型铜矿的试验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(3): 52-55.
- RAN Y H, YANG M C, XIAO D S, et al. Experimental study on a complex mixed copper ore in Yunnan [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3): 52-55.
- [41] 祝俊. 某硫精矿铋的回收及资源综合利用[J]. 矿产综合利用, 2019(3): 56-60.
- ZHU J. Comprehensive utilization and recovery of bismuth from a sulfur concentrate [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3): 56-60.
- [42] 付翔; 徐叶果. 某稀土矿尾矿综合回收萤石和重晶石试验研究[J]. 非金属矿, 2020(3): 72-76.
- FU X, XU Y G. Experimental study on comprehensive recovery of fluorite and barite from tailings of a rare earth mine [J]. nonmetallic ore, 2020 (3): 72-76.
- [43] 卜显忠, 丁一豪, 陈帆帆, 等. 铜铅分离中海藻酸钠选择性抑铅作用研究[J]. 矿冶工程, 2020 (1): 46-50.
- BU X Z, DING Y H, CHEN F F, et al. Selective depression of lead by sodium alginate in copper-lead separation [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(1): 46-50.
- [44] 陈慧杰, 蒋升国, 王星, 等. 新疆某大型铁伴生金锌的综合回收试验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(4): 50-54.
- CHEN H J, JIANG S G, WANG X, et al. Comprehensive recovery of gold and zinc associated with a large iron ore in Xinjiang [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,

2019(4):50-54.

[45] 谢志豪, 何东升, 景绍慧, 等. 磷酸对油胺浮选石英的抑制作用[J]. 矿冶工程, 2020(2): 52-54.

XIE Z H, HE D S, JING S H, et al. Depressive effect of phosphoric acid on quartz in oleylamine flotation system [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020.(2): 52-54.

[46] 简胜, 胡岳华, 孙伟. 西藏某低品位铜钼矿选矿工艺研究[J]. 矿产综合利用, 2019(5):32-36.

JIAN S, HU Y H, SUN W. Process study on a low-grade mineral copper-molybdenum ore in Tibet[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(5):32-36.

[47] 耿超, 程伟, 刘志红. 回水中无机离子对硅钙质磷矿石正反浮选的影响[J]. 矿冶工程, 2020(4): 38-41.

GENG C, CHENG W, LIU Z H. Influence of inorganic ions in return water on direct and reverse flotation of silicon calcium collophanite [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020. (4):36-41.

[48] 冉金城, 邱显扬. 铜硫分离中银的选择性导向回收[J]. 矿冶工程, 2020(5): 33-38.

RAN J C, QIU X Y. Selective Recovery of Silver in Cu-S flotation separation [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020.(5): 33-38.

[49] 黄斌. 兰坪氧化铅锌矿选矿试验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(2): 42-46+24.

HUANG B. Experimental study on mineral processing of Lanping lead zinc oxide ore [J], comprehensive utilization of mineral resources, 2020 (02): 42-46+47

[50] 孙亚峰, 贾宝亮, 白新悦. 陕西某细粒难选氧化锑矿的选矿研究[J]. 矿产综合利用, 2019(5):66-69.

SUN Y F, JIA B L, BAI X Y. Experimental study on beneficiation for the fine refractory antimony oxide ore in Shaanxi[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(5):66-69.

[51] 焦跃旭, 姚新, 陈鹏, 等. 新型高效辉钼矿抑制剂及其作用机理研究[J]. 矿冶工程, 2020(6): 30-33.

JIAO Y X, YAO X, CHEN P, et al. Depressing Mechanism of a novel and efficient molybdenite depressant [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(6): 30-33.

[52] 王成行, 时晗, 胡真, 等. 高银砷铜粗精矿提质降杂浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2020(6): 38-41.

WANG C X, SHI H, HU Z, et al. Flotation of high Ag-As copper rough concentrate to improve its quality by reducing impurities therein [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(5): 38-41.

[53] 孔朝鹏, 陈臣, 孙伟. 河南某白钨矿伴生高钙萤石综合回收新工艺研究[J]. 矿冶工程, 2020(6): 42-46.

KONG C P, CHEN C, SUN W. New Beneficiation Process for

comprehensive recovery of high-calcium fluorite ore associated with scheelite in henan province [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(6): 42-46

[54] 温凯, 陈建华. 某含银复杂铜铅锌多金属硫化矿浮选试验[J]. 矿产综合利用, 2019(6):28-32.

WEN K, CHEN J H. Experimental study on flotation of copper, lead and zinc polymetallic sulfide ore containing silver[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(6):28-32.

[55] 肖舜元. 白钨选矿回水在高滑石钼矿选矿中的应用研究[J]. 矿冶工程, 2020(6): 55-58.

XIAO S Y. Recycling of scheelite beneficiation backwater in flotation of high talc type molybdenum ore[J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(6): 55-58.

[56] 万丽, 周少珍, 曾克文, 等. 安徽某铜硫矿选矿工艺优化试验[J]. 矿产综合利用, 2019(6):41-44.

WAN L, ZHOU S Z, ZENG K W, et al. Experimental research on beneficiation technology of a copper-sulfur ore from Anhui[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(6):41-44.

[57] 方子川, 陶乐, 赵婧琳, 等. 有机-无机杂化改性聚丙烯酰胺絮凝性能研究[J]. 金属矿山, 2020(7):115-121.

FANG Z C, TAO L, ZHAO J L, et al. Flocculation properties of organic-inorganic hybrid polyacrylamide [J]. Metal Mines. 2020(6), 2020(7): 115-121.

[58] 李育彪, 杨旭, 朱虹嘉, 等. 六偏磷酸钠及硅酸钠对海水浮选黄铜矿的影响机理[J]. 金属矿山, 2020(10):135-140.

LI Y B, YANG X, ZHU H J, et al. Effect mechanism of sodium hexametaphosphate and sodium silicate on seawater flotation of chalcopyrite [J]. Metal Mines. 2020, (6), 2020(10): 135-140.

[59] 李国栋, 邱廷省, 郭海宁, 等. 铜铅混合精矿浮选分离铜铅试验研究[J]. 金属矿山, 2020(11):95-99.

LI G D, QIU T S, GUO H N, et al. Experimental study on flotation separation of copper and lead from copper lead mixed concentrate [J]. Metal Mines, 2020(11): 95-99.

[60] 蒋万君, 王皓, 王珊, 等. 铜铅混合精矿浮选分离铜铅试验研究[J]. 金属矿山, 2020(11):100-105.

JIANG W J, WANG H, WANG S, et al. Experimental study on flotation separation of copper and lead from copper lead mixed concentrate [J]. Metal Mines, 2020.(11): 100-105.

[61] 梁李晓, 陈建华, 温凯. 云南某硫化铅锌矿低碱条件下浮选分离试验[J]. 金属矿山, 2020(11):119-124.

LIANG L X, CHEN J H, WEN K. Flotation separation test of a lead zinc sulfide ore in Yunnan under low alkali condition [J]. Metal Mines, 2020(11): 119-124.

[62] 汤家焰, 张静茹, 罗惠华, 等. 柠檬酸在磷矿反浮选中的应用及机理分析[J]. 非金属矿, 2020(5):55-58.

TANG J Y, ZHANG J R, LUO H H, et al. Application and

mechanism analysis of citric acid in reverse flotation of phosphate rock [J]. Nonmetallic ore, 2020 (5): 55-58.

[63] 吴国亮, 魏培贺. 中低品位铝土矿新型正浮选捕收剂的开发研究 [J]. 有色金属 (选矿部分), 2020 (2): 115-118.

WU G L, WEI P H. Development and research of new positive flotation collector for medium and low grade bauxite [J]. Non-ferrous Metals (Mineral Processing Part), 2020(2): 115-118.

[64] 南楠, 朱一民, 韩跃新, 等. 基于 CASTEP 模拟的氟磷灰石与十二烷基磷酸酯作用机理研究 [J]. 金属矿山, 2020(5): 99-103.

NAN N, ZHU Y M, Han Y X, et al. Study on the interaction mechanism between fluoroapatite and dodecyl phosphate based on CASTEP simulation [J]. Metal Mines, 2020, (6), 2020(5): 99-103.

[65] 高鹏, 张宁豫, 张臣一, 等. 基于融合建模的浮选药剂消耗预测研究 [J]. 金属矿山, 2020 (5): 131-135.

GAO P, ZHANG N Y, ZHANG C Y, et al. Prediction of flotation reagent consumption based on Fusion Modeling [J]. Metal Mines, 2020(5) 131-135

[66] 王振, 黄少坤, 肖军辉. 组合捕收剂浮选菱锌矿的分子头基尺寸响应 [J]. 矿冶工程, 2020(4): 49-52.

WANG Z, HUANG S K, XIAO J H. Influence of head-group size of combined collectors on their performance in floating smithsonite [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(4): 40-52.

[67] 朱一民, 杨雪莹, 乘舟越洋, 等. 不同胺类捕收剂泡沫性能及其机理研究 [J]. 金属矿山, 2020(7): 99-104.

ZHU Y M, YANG X Y, CHENG Z Y, et al. Study on foam properties and mechanism of different amine collectors [J]. Metal Mines, (6), 2020(7): 99-104.

[68] 张松, 韩正伟. 磷矿浮选废水回用过程中结垢与阻垢试验研究 [J]. 有色金属 (选矿部分), 2020 (4): 49-55.

ZHANG S, HAN Z W. Experimental study on scale formation and scale inhibition in phosphate ore flotation wastewater reuse

[J], Non-ferrous Metal (Minerals Processing Section), 2020 (4): 49-55.

[69] 薛珂, 李文凤, 常庆伟, 等. 基于 Box-Behnken 响应曲面法优化 Fenton 氧化处理柿竹园多金属选矿废水 [J]. 矿冶工程, 2020 (1): 41-45.

XUE K, LI W F, CHANG Q W, et al. Optimization of fenton reaction for treating beneficiation wastewater from shizhuyuan polymetallic concentrator with response surface methodology based on a Box-Behnken design [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(1): 41-45.

[70] 刘建东, 刘三军, 孙伟, 等. 镍钼矿选矿废水处理回用试验研究 [J]. 矿冶工程, 2020 (1): 62-64.

LIU J D, LIU S J, SUN W, et al. Reuse of Ni-Mo ore flotation wastewater after treatment [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(1): 61-64.

[71] 孙磊, 吴江求, 曹学锋, 等. 微电解 Fenton 法处理有机废水可行性研究 [J]. 矿冶工程, 2020 (1): 101-104.

SUN L, WU J Q, CAO X F, et al. Feasibility Study of microelectrolysis-fenton process for organic wastewater treatment [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(1): 101-104.

[72] 侯盼盼, 都淳杰, 韩海生, 等. 基于金属离子配位调控分子组装的淀粉废水磁分离净化技术基础研究 [J]. 矿冶工程, 2020 (2): 43-47.

HOU P P, DU C J, HAN H S, et al. Fundamental research on magnetic separation and purification of starch wastewater based on coordination-driven assembly of metal ions [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(2): 43-47

[73] 龙冰, 许道刚, 陈克锋, 等. 柿竹园多金属矿选矿废水处理试验研究 [J]. 矿冶工程, 2020 (3): 81-83.

LONG B, XU D G, CHEN K F, et al. Treatment of mineral processing wastewater from Shizhuyuan polymetallic mine [J]. Mining and metallurgical engineering, 2020(3): 81-83.

The Development of Flotation Reagent in 2020

Zhu Yimin

(Hunan Research Institute of Non-ferrous Metals, Changsha, Hunan, China)

Abstract: The information about flotation reagents in 2020 were partly collected in this paper. Meanwhile, the five aspects of sulphide mineral collectors, oxide mineral collectors, regulators, the structure and properties of flotation reagents and wastewater treatment were introduced and briefly commented.

Keywords: Flotation reagents; Sulphide minerals; Oxide minerals; Collectors; Regulators; structure and properties of flotation reagents; Wastewater treatments