



2018年浮选药剂的进展

朱一民, 周菁

(湖南有色金属研究院, 湖南 长沙 400100)

摘要: 本文收集了2018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、起泡剂、浮选药剂的结构与性能和废水处理六个方面介绍并略加评论。

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

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.04.001

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2019) 04-0001-010

2018年我国在选浮药剂研发和生产成绩斐然, 在世界选矿界有着重要影响并处于领先地位。本文总结了2018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、起泡剂、浮选药剂的结构与性能、废水处理6部分介绍, 以利于大家参考与应用。

1 硫化矿捕收剂

云南某多金属低品位铜锌矿采用部分混合浮选工艺和采用新型铜捕收剂OL-IIA替换现场原铜组合捕收剂, 取得显著效果。新药剂制度下铜精矿品位16.48%、铜的回收率45.81%, 精矿含锌6.95%。原药剂制度下铜精矿品位15.80%、铜的回收率42.61%, 精矿含锌11.04%。相比而言, 新药剂条件下铜回收率提高了3.20%, 铜精矿含锌相比原药剂降低了4.09%、银含量增加了32.33%。笔者按经验推断该药剂为酯类捕收剂^[1]。

对金品位为1.55 g/t的氧化矿采用非氰药剂DZC进行浸金的工艺研究, 确定该金矿适宜的非氰浸出条件: 磨矿细度-74 μm 69.90%、石灰用量4 000 g/t、矿浆液固比为2:1、浸出药剂浓度0.08%、浸出时间8 h, 可获得金的浸出率为93.33%的良好指标。DZC为金字头浸出剂^[2]。

采用丁基铵黑药和Z-200的组合用药, 强化含金硫化铜矿的浮选。在选铜指标相近的情况下, 金的回收率提高了7.11%^[3]。

黑龙江多宝山铜钼矿石生产进行了Z-200捕收剂和CSU 31捕收剂比较试验研究, 考察了浮选水质、药剂制度、药剂添加点对选铜指标的影响。试验结果表明, Z-200捕收剂合适多宝山矿石性质, 同等药剂用量下采用Z-200所获得的铜粗精矿指标优于CSU 31, 生产应用表明, Z-200添加在球磨机处其浮选指标好于添加搅拌槽中^[4]。

采用乙基黄药和Z-200作为混合捕收剂, NaHS和CMC分别作为调整剂和抑制剂, 对刚果(金)某硫化铜钴矿铜品位为1.16%, 钴品位为0.27%的原料, 生产出铜钴混合精矿, 再采用石灰调节矿浆pH值在12.5以上扩大含铜矿物与含钴黄铁矿间的可浮性差异进行铜钴分离, 得到的铜精矿铜品位为36.59%, 钴品位仅为0.91%, 铜回收率达到了80.40%, 而分离出来的钴精矿钴品位达到了9.69%, 铜品位仅为7%, 钴回收率达到了较高的80.95%, 技术经济指标获得了大幅提升^[5]。

在刚果(金)某含铜5.20%、钴2.59%的酸浸渣, 选矿试验制定了浮选-磁选联合工艺技术路线, 以碳酸钠作为分散剂, 以选择性好、捕收力强的Z-200与丁基黄药的混合药剂作为捕收剂, 同时应用新型高磁场对极式强磁选设备高效回收了浮选难以富集的钴矿物。试验获得总精矿含铜品位12.38%, 回收率96.69%, 钴品位5.94%, 回收率93.12%^[6]。

对锌浸出渣中含银228.24 g/t的矿样, 在pH

收稿日期: 2019-01-15; 改回日期: 2019-04-02

作者简介: 朱一民(1955-), 男, 研究员, 主要从事选矿工艺、选矿药剂机理研究及管理工作。

值 5.47 的条件下,以六偏磷酸钠为分散剂,丁基铵黑药为捕收剂, MIBC 为起泡剂,采用一次粗选两次扫选浮选工艺流程,可获得含银 3439 g/t,回收率为 76.54% 的浮选精矿^[7]。

大红山铜矿西部矿体将丁基黄药与丁基铵黑药以 3:1 组合使用,总用量为 60 g/t 时,闭路试验可获得铜精矿铜品位 30.12%,回收率 96.95% 的优良指标。与目前的工艺条件相比,铜精矿品位提高了 6.93%,铜回收率提高了 1.09%^[8]。

采用乙基黄药(150 g/t)、丁基铵黑药(100 g/t)、TS-3(150 g/t)联合捕收剂,硫酸铜(250 g/t)、硅酸钠(300 g/t)联合活化剂,选矿回水温度 10℃,浮选机线速度 6.93 m/s、浮选浓度 35% 的条件下,对秘鲁铁矿石脱硫可获得产率 73.07%、回收率 89.23%、含铁 66.5%,硫 0.43% 的优质铁精矿^[9]。

对某高砷含碳低品位难选金矿采用碳酸钠和水玻璃为调整剂,实现了矿泥分散和脉石矿物的选择性抑制;采用 Y 89-0 为捕收剂,在磨矿细度 -0.074 mm 80% 条件下,采用一粗二精三扫闭路浮选流程,在原矿金品位 2.36 g/t 时,可获得精矿金品位 36.08 g/t、回收率 86.77% 的良好指标^[10]。

烯丙基异丁基硫氨酯(ATC)是新一代酯类选矿药剂,它对黄铜矿捕收力强,黄铁矿捕收力弱,是铜硫分离的优良捕收剂。研究表明 ATC 在黄铜矿表面是化学吸附,在黄铁矿表面是物理吸附^[11]。

青海某含钼铅矿石在磨矿细度为 -0.074 mm 70% 时,以乙硫氮+柴油为捕收剂,对 1 粗 2 精 1 扫混合浮选铅钼,铅钼混合精矿再磨至 -0.037 mm 80% 的情况下,以硫化钠+磷诺克斯为铅抑制剂,1 粗 3 精 1 扫抑铅浮钼,最终获得了铅品位为 70.30%、铅回收率为 86.98% 的铅精矿和钼品位为 45.68%、钼回收率为 84.67% 的钼精矿^[12]。

以异丙基钠黄药、苄基氯、乙胺、二硫化碳和氢氧化钠为原料合成苄基三硫代碳酸钠(BTTC)和乙硫氨酯(IPETC)捕收剂,对黄铜矿的捕收性能优于异丁基钠黄药(SIBX)和苄基钠黄药(BzX)^[13]。

以正己酸和氨基硫脲为原料,加热回流条件下得到己酰胺硫脲中间体,该中间体在碱溶液中成环并酸化制得 5-戊基-1,2,4-三唑-3-硫酮(PETT)。研究表明 PETT 是黄铜矿的优良捕收剂^[14]。

以二正丙胺、二硫化碳、丙烯酸甲酯等为原料,采用不饱和烃加成一步法合成出了 N, N-二丙基二硫代氨基甲酸丙烯酸甲酯,得到的优化的工艺条件为:(二正丙(二硫化碳):丙烯酸甲酯)(摩尔比)=1.1:1:1.1,反应温度控制在 40℃,反应时间 1.5 h 条件下合成产率为 93.15% 以上的 N, N-二丙基二硫代氨基甲酸丙烯酸甲酯产品。将其应用于国内某铜矿,与现场药剂相比较,铜精矿铜品位提高 0.91%,回收率提高了 1.89%^[15]。

2 氧化矿捕收剂

通过浮选试验、动电位以及表面张力测定等方法研究了油酸钠(NaOL)与十二烷基苯磺酸(SDBS)复配对白钨矿浮选的有强化作用^[16]。油酸钠、脂肪酸甲酯磺酸钠两种捕收剂及其组合对锂辉石的浮选性能结果表明:单一捕收剂在一定浓度下都能较好的浮选锂辉石,其中 MES 的捕收性能强于 NaOL,组合捕收剂浮选效果明显优于单一捕收剂^[17]。

以油酸钠为捕收剂,以木薯原淀粉、取代度为 0.026 和 0.21 的羧甲基淀粉、取代度为 0.0065 和 0.055 的磷酸酯淀粉作为抑制剂,考察了赤铁矿和石英的可浮性。结论是控制 Ca^{2+} 和油酸钠的用量在最佳范围,增加变性淀粉的取代度可提高其在赤铁矿脱硅反浮选中的抑制性能^[18]。

湖北枣阳某难选低品位金红石矿 TiO_2 含量 3.08%, -0.074 mm 95%,采用苯乙烯膦酸与正辛醇以 2:3 混合作捕收剂(总用量 800 g/t),氟硅酸钠作脉石矿物抑制剂,水玻璃作分散剂,获得了金红石精矿品位和回收率分别为 53.7%、75.2% 的理想指标^[19]。

采用羟胺法合成特戊羟肟酸,研究其对铝硅矿物的浮选行为及作用机理。单一捕收剂浮选一水硬铝石时,特戊羟肟酸的浮选效果优于苯甲羟肟酸;将特戊羟肟酸和油酸钠按 1:1 进行复配,结果表明,复配捕收剂既能提高一水硬铝石的回收率,又能降低伊利石和高岭石的回收率,具有更好的选择性; pH=7,复配捕收剂浓度 60 mg/L 时,一水硬铝石回收率可达 86.8%^[20]。

以乳化煤油为增效剂,金红石与石榴石单矿物和人工混合矿为浮选对象,对改善水杨羟肟酸(SHA)的捕收能力进行了试验。单矿物浮选试验

表明: 经 Tween80 乳化的煤油改善 SHA 浮选性能的效果最好; 相比乳化煤油与 SHA 混合一步添加, 分步添加的浮选效果更佳; 增大乳化剂用量能提升金红石的上浮率, 乳化剂 Tween80 与煤油较好的质量比为 3.0%。人工混合矿浮选试验表明: 以铅离子为活化剂、乳化煤油为捕收增效剂、MIBC 为起泡剂, 浮选矿浆 pH=6.3 附近时, 较低用量的 SHA 就能实现金红石与石榴石的高效分离^[21]。

研究了捕收剂苯乙烯磷酸 (SPA)、活化剂硝酸铅、抑制剂氟硅酸钠、矿浆 pH 值对金红石和石榴石浮选行为的影响, 并对金红石与石榴石的人工混合矿进行了浮选分离工艺条件研究。纯矿物浮选结果表明: SPA 对金红石和石榴石都具有捕收能力, 硝酸铅对金红石和石榴石均具有活化作用, 氟硅酸钠能选择性抑制石榴石; 人工混合矿浮选试验表明: 在矿浆 pH=6, 捕收剂 SPA 浓度为 1×10^{-5} mol/L, 活化剂硝酸铅浓度为 1×10^{-4} mol/L, 抑制剂氟硅酸钠浓度为 2.5×10^{-4} mol/L 情况下, 可高效浮选分离金红石和石榴石的人工混合矿, 得到金红石含量达 73.83%、回收率达 86.62% 精矿^[22]。

以水杨羟肟酸为捕收剂浮选锌浸出渣中的铅矾研究对象, 考察了 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 对水杨羟肟酸捕收铅矾的影响。结果表明: 无水杨羟肟酸作用时, 铅矾几乎不上浮; 水杨羟肟酸用量为 160 mg/L 时, 铅矾回收率为 92.5%; 矿浆 pH 值 = 4 ~ 12 范围内, 以水杨羟肟酸为捕收剂浮选铅矾, 铅矾回收率均在 90% 以上; 铅矾天然可浮性差, 水杨羟肟酸对铅矾具有较强的捕收性能, $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 存在时, 以水杨羟肟酸为捕收剂浮选铅矾, 铅矾回收率下降明显。 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 抑制铅矾上浮的原因是 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 在矿浆中与水杨羟肟酸发生螯合反应, 消耗了水杨羟肟酸^[23]。

以乙二胺磷酸盐 + 硫化钠为组合活化剂, 丁基黄药为捕收剂, 1 粗 2 精 1 扫流程浮选氧化铅矿物, 以及铅品位为 30.88%、含银 561.24 g/t、铅回收率为 56.74%、银回收率为 57.58% 的氧化铅精矿^[24]。

在 -0.074 mm 83.2% 的情况下, 以油酸钠 + 水杨羟肟酸 (质量配合比为 1 : 1) 为捕收剂, 总用量为 1200 g/t, 以氯化铁为活化剂, 用量为 100 g/t, 采用 1 粗 1 扫 3 精、中矿顺序返回浮选流程富集锂辉石, 1 次弱磁选 (磁场强度为 198.94 kA/m) 流程脱铁, 最终获得 Li_2O 品位为 6.16%、含铁 0.45%、

Li_2O 回收率为 85.43% 的锂辉石精矿^[25]。

阳离子捕收剂十二胺 (DDA) 和阴离子捕收剂油酸钠 (NaOL) 及其组合捕收剂在白钨矿和方解石浮选分离中的作用, 结果表明, 当 pH 值为 7 左右, DDA 和 NaOL 组合捕收剂总用量为 1.5×10^{-4} mol/L、组合比为 9 : 1 时, 白钨矿回收率达到 95%, 比单独使用 DDA、NaOL 以及 DDA 和 NaOL 组合比为 1 : 9 时明显提高^[26]了。提高镍钼矿中镍矿物浮选回收率, 对其进行了浮选分离试验研究。分子动力学模拟结果表明, 十六烷基吡啶在氧化镍表面的吸附能为 -443.04 kJ/mol, 小于在氟磷灰石表面的吸附能 (-420.16 kJ/mol), 可作为氧化镍和氟磷灰石浮选分离的捕收剂。酒石酸与 Ca^{2+} 形成络合物, 络合物附着于氟磷灰石表面, 影响捕收剂与氟磷灰石接触, 可以作为浮选抑制剂。该镍钼矿石镍含量 4.52%, 经浮选可以得到镍回收率 89.06%、尾矿中镍含量低至 0.71% 的良好指标^[27]。

新型的表面活性剂 -N- 丁氧基丙基 -S-[2-(胍基) 丙基] 二硫代氨基甲酸酯 (BOPHPDT), 可浮选孔雀石^[28]。4 种 N- 羟乙基脂肪酸酰胺类捕收剂, 分别为 N- 羟乙基亚油酸酰胺 (ELOA)、N- 羟乙基油酸酰胺 (EOA)、N- 羟乙基蓖麻油酸酰胺 (EROA)、N- 羟乙基硬脂酸酰胺 (ESOA)。用该 4 种捕收剂对湖南凤凰 - 花垣地区低品位碳酸锰矿进行浮选试验, 当锰品位为 11.49% 的原矿, 通过一次粗选工艺后, 捕收能力顺序为: $\text{ELOA} \approx \text{EOA} > \text{EROA} > \text{ESOA}$ ^[29]。

药剂十六烷基三甲基氯化铵与辛醇 (CTAC/OCT) 组合作为捕收剂时可浮选捕收云母矿^[30]。十二烷基磷酸酯钾可浮选捕收菱锌矿, 十二烷基磷酸酯钾与菱锌矿表面存在化学吸附^[31]。

通过油脂脂肪酸组成分析、浮选试验、zeta 电位测定、捕收剂表面张力测定、捕收剂溶液化学分析, 研究了硬脂酸、猪油、花生油、大豆油、橡胶籽油 5 种油脂在 20℃ 时对硅质胶磷矿浮选性能, 研究结果表明, 几种油脂不饱和度大小顺序为橡胶籽油 > 大豆油 > 花生油 > 猪油 > 硬脂酸, 且该次序与 5 种油脂对胶磷矿捕收能力大小一致; 随着浮选温度的增加, 不饱和度较小的油脂捕收能力明显增强, 不饱和度较高的油脂有利于胶磷矿浮选^[32]。以十二烷基苯磺酸钠为捕收剂, 植酸为调整剂, pH 值为 11, -0.074 mm 75%, 经过 1

次粗选 1 次扫选 3 次精选开路试验,可获得滑石含量 98.18%,回收率 55%,杂质透闪石含量仅为 0.49% 的浮选产品,产品达到了滑石粉一级品原料的要求^[33]。

将正十二醇、酒石酸反应合成一种表面活性剂,复配到此棉油酸皂中,得到一种新型的复配型捕收剂,用于低品位胶磷矿的浮选试验证明该复配型捕收剂对胶磷矿具有较强的捕收能力和较好的选择性^[34]。

对原矿是固定碳含量仅为 53.30% 的隐晶质石墨,选用水玻璃为抑制剂, MIBC 作为起泡剂,乳化柴油作为捕收剂,能较好地抑制脉石的泡沫夹带。经过一次粗选四次精选中矿两次再选,可得到固定碳含量为 84% 和 70% 以上的两种产品,产品综合回收率为 81.12%^[35]。

3 浮选调整剂

对某白钨浮选尾矿 WO_3 含量为 0.11%,以白钨矿为主,钨金属主要分布在微细粒级, $10\ \mu\text{m}$ 以下达 41.38%,采用常规浮选法,白钨精选采用水玻璃和氢氧化钠作组合抑制剂,最终获得 WO_3 含量为 25.92%,回收率为 63.40% 的钨精矿指标^[36]。

铅离子活化的经典理论及新进展将“金属离子配位调控分子组装”引入矿物浮选过程中金属离子活化或抑制领域,为全面理解金属离子对矿物浮选行为的影响提供参考,并为新型金属有机配合物浮选药剂的开发提供新的思路^[37]。

丁基铵黑药浮选体系中 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Ca^{2+} 对铜蓝和黄铁矿可浮性的影响结果表明,四种离子对铜蓝、黄铁矿的可浮性的影响很大,均表现出不同程度的抑制作用,尤其相同浓度下 Fe^{3+} 的抑制作用最为显著。此外,金属离子氢氧化物沉淀是其抑制矿物的有效组分^[38]。

智利某铜矿矿石采用羧甲基瓜尔胶抑制剂的选矿试验研究结果表明,羧甲基瓜尔胶是滑石的有效抑制剂,药剂用量 120 g/t 原矿条件下,羧甲基取代度为 0.12、分子量为 174 万的瓜尔胶表现出的选择性抑制作用最明显,其抑制作用强于羧甲基纤维素钠^[39]。

应用 2, 3-二羟基丙基二硫代碳酸钠取代重铬酸钠,对西藏隆子县柯月铜铅锌矿进行了浮选分离试验研究,闭路试验获得了含铜 20.57%、含

锑 12.76%、含银 5695.0 g/t、铜回收率 78.08%、锑回收率 20.67%、银回收率 48.53% 的铜锑混合精矿,含铅 53.02%、含锑 9.90%、含银 1177.0 g/t、铅回收率 92.54%、锑回收率 62.04%、银回收率 38.80% 的铅锑混合精矿和锌品位 49.35%、锌回收率 82.63% 的锌精矿^[40]。

为了了解 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对细粒赤铁矿絮凝行为的影响,以巴西某细粒赤铁矿石为研究对象, Na_2CO_3 和 NaOH 为 pH 值调整剂,考察 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对细粒赤铁矿絮凝行为的影响。结果表明,矿浆中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 均能促进细粒赤铁矿的絮凝,随着 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度的增大,促进效果增强。pH 值调整剂为 Na_2CO_3 时,随着矿浆 pH 值升高,未达硬水浓度的 Ca^{2+} 对细粒赤铁矿絮凝行为的促进效果均增强,而 Mg^{2+} 对细粒赤铁矿絮凝行为的促进作用先增强后减弱;pH 值调整剂为 NaOH 时,随着矿浆 pH 升高, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对细粒赤铁矿絮凝行为的促进作用逐渐增强。矿浆中添加 Ca^{2+} 与添加 Mg^{2+} 相比,同等水硬度下, Ca^{2+} 对细粒赤铁矿絮凝行为的促进作用优于 Mg^{2+} 。相同试验条件下,使用 NaOH 作 pH 值调整剂时的细粒赤铁矿絮凝效果强于使用 Na_2CO_3 作 pH 值调整剂时^[41]。

对白钨浮选尾矿 CaF_2 、 CaCO_3 含量分别为 12.33% 和 9.79%,进行了详细的选矿试验。结果表明,酸性水玻璃+腐植酸钠组合使用可在浮选萤石时有效抑制方解石等脉石矿物。在氧化石蜡皂 731 总用量为 1150 g/t,酸性水玻璃+腐植酸钠总用量为 (2 750+275) g/t 的条件下,采用 1 次粗选、粗精矿再磨后 6 次精选、粗选尾矿和精选 1 尾矿各 2 次扫选流程处理试样,最终获得 CaF_2 品位 95.26%、回收率 85.37% 的萤石精矿,较好地实现了从白钨尾矿中综合回收萤石的目标^[42]。

某氧化铅矿石铅品位为 3.14%, Ag 含量为 56.24 g/t。-0.074 mm 91.1%,以石灰为矿浆 pH 值调整剂、水玻璃为矿泥分散剂、丁铵黑药+乙硫氮为捕收剂,1 粗 2 精流程浮选硫化铅矿物,以乙二胺磷酸盐+硫化钠为组合活化剂,丁基黄药为捕收剂,1 粗 2 精 1 扫流程浮选氧化铅矿物,最终获得铅品位为 53.21%、含银 1003.54 g/t、铅回收率为 33.38%、银回收率为 35.15% 的硫化铅精矿,以及铅品位为 30.88%、含银 561.24 g/t、铅回收率为 56.74%、银回收率为 57.58% 的氧化铅精矿,铅总

回收率为 90.12%、银总回收率为 92.73%^[43]。

某低品位高硫铝土矿石含 Al_2O_3 59.79%, SiO_2 13.06%, S 1.82%, 铝硅比为 4.58; 矿石中的含铝矿物主要为一水硬铝石, 一水软铝石少量; 硅酸盐矿物种类较复杂, 主要有绿泥石、高岭石、伊利石和石英等; 硫主要以黄铁矿的形态存在。矿石中高岭石、伊利石、绿泥石等共生关系密切, 且与一水硬铝石的嵌布关系较复杂, 黄铁矿晶形较规则、嵌布粒度较粗。试验结果表明, -0.075 mm 77%、矿浆 pH 值=8.5, 碳酸钠为 pH 值调整剂, 无水硫酸铜为活化剂, 无机高分子聚合硅酸盐为抑制剂, 丁基钠黄药为脱硫捕收剂, 松醇油为起泡剂, 自主研发的多胺类组合药剂为脱硅捕收剂, 采用 1 粗 2 扫 1 精、中矿顺序返回流程处理, 可获得 Al_2O_3 含量为 65.35%、S 含量为 0.19%、 SiO_2 含量为 9.85%、铝硅比为 6.63、 Al_2O_3 回收率为 83.47% 的铝精矿^[44]。

对低品位白钨矿石 WO_3 含量为 0.20% 白钨矿与脉石矿物共生关系紧密矿样进行了选矿试验研究, 结果表明, -0.074 mm 65% 的情况下 1 次浮选脱硫, 然后以碳酸钠为矿浆 pH 值调整剂、水玻璃+栲胶为脉石矿物组合抑制剂、731 为白钨矿浮选捕收剂, 经 1 粗 2 精 1 扫浮选预富集钨、预富集精矿水玻璃强化调浆后 1 粗 2 精 1 扫常温浮选选钨、常温钨精矿 90℃ 下水玻璃强化调浆后 1 粗 5 精 1 扫加温浮选选钨, 最终获得 WO_3 品位 50.23%、 WO_3 回收率为 70.32% 的白钨精矿^[45]。

对羟硅铍石矿 BeO 品位 0.47%, 脉石矿物主要是石英、长石、云母等硅酸盐类矿样采用浮选的方法对其进行试验研究。最终在 -0.074 mm 90%, 调整剂氟化钠用量 400 g/t、碳酸钠用量 1500 g/t、硫化钠用量 2000 g/t、六偏磷酸钠用量 50 g/t, 捕收剂油酸 900 g/t+GYB 100 g/t 的条件下, 进行了一次粗选、一次扫选、四次精选的闭路浮选试验, 可获得 BeO 品位 8.31%、回收率 84.56% 的铍精矿^[46]。

通过单矿物浮选试验、浮选溶液化学计算和红外光谱分析的方法, 考察丁铵黑药浮选体系中 Fe^{3+} 对蓝辉铜矿可浮性的影响。结果表明: Fe^{3+} 可强烈抑制蓝辉铜矿的浮选, 且氢氧化铁沉淀是其抑制蓝辉铜矿浮选的有效组分。适量的柠檬酸钠能使蓝辉铜矿表面的氢氧化铁沉淀解吸, 有利于丁铵黑药在蓝辉铜矿表面的吸附, 从而活化蓝辉

铜矿的浮选^[47]。

通过滑石纯矿物试验, 考查钙离子作用下羧化壳聚糖对滑石可浮性影响。结果表明: 滑石天然可浮性较好, 在 pH 值为 2~12 时以 MIBC 为起泡剂进行浮选, 回收率均在 90% 以上; 酸性条件下 (pH < 5) 羧化壳聚糖对滑石的抑制效果显著, 随着 pH 值的升高羧化壳聚糖对滑石的抑制能力逐渐减弱。而钙离子作用时, 碱性条件下羧化壳聚糖对滑石的抑制效果显著^[48]。研究以羟肟酸为捕收剂浮选稀土时 Ce^{3+} 离子对萤石的活化作用机理。结果表明: 矿浆中 Ce^{3+} 离子浓度低于羟肟酸时在 pH 值=6~12 对萤石都具有活化作用^[49]。

以田菁胶、氢氧化钠、一氯乙酸为原料, 通过醚化反应合成一种浮选抑制剂羟甲基田菁胶 (SCMG), 通过矿物浮选试验研究结果表明: SCMG 具有良好的选择抑制性, 可显著抑制蒙脱石上浮^[50]。

采用 "优先浮碳-铅锌依次优先浮选" 的工艺流程对内蒙古某含碳低品位铅锌矿进行了选矿试验研究。结果表明, 以铁铬盐木质素为铅精选抑制剂、以硫酸铜和某盐为锌粗选活化剂可有效回收铅锌, 最终铅精矿中铅品位为 44.77%、锌品位为 6.85%、铅回收率为 68.10%、锌回收率为 2.75%, 锌精矿中锌品位为 49.21%、铅品位为 0.63%、锌回收率为 82.45%、铅回收率为 4.00%, 并且铅和锌在碳质中的损失率较低^[51]。

选择油酸钠试剂作为捕收剂、木质素磺酸钙为活化剂、NaOH/HCl 为 pH 值调整剂, 进行含硼尾矿的泡沫浮选研究。在含硼尾矿 B_2O_3 品位为 2.76%, 矿浆 pH 值为 11.5~12.5, 油酸钠用量为 800 g/t, 木质素磺酸钙浓度为 1.5 kg/t 时, 通过泡沫浮选的方法可获得良好指标^[52]。

以某难选鲕状赤铁矿为研究对象, 探索 PAM、阳离子醚化淀粉、玉米淀粉、油酸钠絮凝剂的絮凝效果以及这些絮凝剂的药剂用量和相互作用的效果。试验结果表明, -0.045 mm 100%, pH 值为 12.50, 硅酸钠与六偏磷酸钠协同用药作为分散剂, 用量为 100 g/t(1:3), 阳离子淀粉作为絮凝剂, 用量为 275 g/t, 进行选择絮凝试验, 最终得到絮凝精矿品位为 46.07%, 回收率为 76.99%, 絮凝尾矿品位为 36.20%^[53]。

研究了刺槐豆胶在铜硫浮选分离中的作用,

结果表明:当 pH 值小于 9 时,黄铜矿及黄铁矿可浮性均较好,难以浮选分离。刺槐豆胶在黄铜矿及黄铁矿表面均发生了吸附,使二者的电位发生变化,并产生抑制作用,但刺槐豆胶对黄铜矿和黄铁矿的抑制强度及吸附方式都不同:刺槐豆胶在黄铜矿表面的吸附方式是化学吸附,而与黄铁矿是通过物理吸附方式作用。加入刺槐豆胶后,在 pH 值 =3 ~ 11 条件下,黄铁矿的浮选回收率均较低;而当 pH 值小于 9 时刺槐豆胶对黄铜矿抑制效果差, pH 值 =11 时对黄铜矿抑制效果极强。在 pH 值 =7 时使用刺槐豆胶对铜品位为 15.58% 的混合矿进行浮选分离后,获得的铜精矿铜品位为 21.67%、回收率为 82.13%^[54]。

研究了以水杨羟肟酸为捕收剂时 Fe^{3+} 及 Fe^{2+} 对铅矾浮选行为的影响,并探讨其影响机理。水杨羟肟酸对铅矾有较强的捕收能力, Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 均对铅矾的浮选存在明显的不利影响,其中极少量的 Fe^{3+} 即可强烈抑制铅矾上浮^[55]。

4 起泡剂

针对冬瓜山铜硫铁矿的矿石性质,用几种不同起泡剂进行了优先浮铜、磁尾选硫的选矿试验,结果表明, MIBC(甲基异丁基甲醇)和丁基醚醇具有起泡性能好,泡沫层厚度高,用量少等特点,可取得较好的选矿指标,对于优先浮铜作业,使用丁基醚醇作起泡剂时选别效果最好,药剂成本最低;对于磁尾选硫作业,使用 MIBC 作起泡剂可取得较好的选矿指标,同时单位药剂成本最低^[56]。

为改善细粒煤产品水分指标偏高问题,通过试验分别研究了不同种类表面活性剂对细粒煤过滤脱水助滤作用的研究结果表明:非离子表面活性剂 Span-80 助滤效果较好,且以煤油做溶剂所复配成的助滤剂其助滤效果明显优于单一的药剂,复配药剂作为助滤剂出现了协同效应,能更有效地降低滤饼水分,含水率较不加药剂下降 6%^[57]。

应用正交筛选试验设计方法对鞍千赤铁矿石进行了助磨剂筛选试验,并对正交筛选试验设计的结果应用 SPSS19.0 软件进行分析,确定了影响赤铁矿石磨矿效果的助磨剂。结果表明:对赤铁矿石磨矿起助磨作用的药剂有:六偏磷酸钠、焦磷酸钠、氟硅酸钠、羧甲基纤维素钠(CMC)、NM-3、油酸钠、醋酸铵;助磨效果由好到坏分别为:NM-3,油酸钠,

醋酸铵,焦磷酸钠,六偏磷酸钠,CMC,氟硅酸钠;起阻磨作用的药剂为:水玻璃、碳酸钠、聚丙烯酸钠、十二烷基磺酸钠、十二烷基硫酸钠;阻磨效果由好到坏分别为:十二烷基磺酸钠,碳酸钠,十二烷基硫酸钠,水玻璃,聚丙烯酸钠^[58]。

通过铅锌选矿试验对起泡剂 BK212 与松醇油进行了浮选特性的对比研究,同时采用生物呼吸曲线法对两种起泡剂进行了可生物降解性对比研究。研究结果表明:起泡剂 BK212 不仅浮选速度快,药剂用量少,而且可生物降解性好^[59]。

5 浮选药剂的结构与性能

探索了人工神经网络在浮选药剂制度优化中的应用。研究通过浮选药剂三因素三水平正交试验采集具有一定代表性的试验数据,然后采用 BP 人工神经网络,建立了输入为 pH 值调整剂碳酸钠的用量、抑制剂硅酸钠的用量和捕收剂的用量,输出为选矿效率的 BP 人工神经网络模型,并通过样本检验模型的准确性。试验结果:F 检验确定的药剂制度为 pH 值调整剂用量 4 kg/t、抑制剂用量 3 kg/t、捕收剂用量 1 kg/t,选矿效率为 19.75%,BP 人工神经网络确定的药剂制度为 pH 值调整剂用量 4 kg/t、抑制剂用量 2.3 kg/t、捕收剂用 0.9 kg/t,选矿效率为 19.47%,两种药剂制度的选矿效率差别很小,但 BP 网络确定的药剂制度药剂用量更少。结果表明利用 BP 人工神经网络可用于浮选药剂制度的优化,可减少试验量,增加样本代表性,优化神经网络的学习过程^[60]。

单矿物试验、动电位、接触角、吸附量等方法可明确药剂与矿物的作用强度及矿物可浮性;通过 IR、UV、XPS、SIMS、AES 等手段可分析浮选药剂与矿物的作用方式;利用分子模拟技术可以从微观层面模拟药剂与矿物的作用过程,得出作用规律。借助各种研究测试方法为研究矿物表面的结构,理解矿物与浮选药剂之间作用过程,探讨作用机理提供了有力的工具。指出分子模拟技术必将广泛地应用于浮选药剂作用机理的研究中,在提高研究效率及新型浮选药剂的开发中起到重要作用^[61]。

考察了异极矿的成矿规律、结构特征以及异极矿与浮选药剂之间的作用规律,详细分析了影响异极矿可浮性的重要因素,总结了国内外与异

极矿相关的浮选药剂与异极矿之间的作用规律, 研究表明: 在成矿的前期阶段, 异极矿易与粘土矿物混杂, 采用浮选法进行回收时含锌矿物易损失于矿泥中, 从而使得异极矿的浮选回收率较低; 胺类捕收剂的极性基团 $-NH_2$ 中 N、H 原子与异极矿表面的 Zn、Si、O、H 等原子之间并未形成有效的化学键, 捕收剂与异极矿之间的作用方式仅为静电吸附; 由于异极矿中 SiO_4^{4-} 的体积比 Zn^{2+} 更大, 在与浮选药剂发生作用时, 矿物表面的 Zn^{2+} 往往被 SiO_4^{4-} 屏蔽, 使得矿物溶解度降低, 从而使得 S^{2-} 、 HS^- 等起硫化作用的离子很难与 Zn^{2+} 结合, 硫化时间增长; 螯合剂法有望成为异极矿浮选新的高效选别方法^[62]。

采用电子态密度研究了黄药、黑药和硫氨酯等硫化矿浮选捕收剂的电子结构与性能的关系。结果表明: 电子态密度的离域性和轨道杂化作用较好地反映浮选药剂捕收性和选择性的强弱; 黄药分子中双键硫原子的态密度最活跃, 而黄药离子中单键硫原子的态密度最活跃; 直链黄药(C2~C5)的态密度随烷基碳链的增长逐渐增强; 丙基黄药和丁基黄药异构体的态密度强于相应的正构体的态密度, 而正戊基黄药的态密度稍强于异戊基黄药的态密度; 黑药中 3418A 的电子态密度相对最大, 表现出更强的电子活性; 不同结构的硫氨酯其氮原子的态密度变化比硫原子的大, 这有利于改善硫氨酯捕收剂的螯合能力^[63]。

利用基于片段的分子组装技术, 采用筛选确定先导化合物、先导化合物片段拆分再组装调控的方法, 结合计算机辅助分子技术研发高效抑制剂 BK511。MS 软件计算该药剂与黄铜矿的相互作用能显著大于硫化钠、巯基乙酸钠等, 且与辉钼矿的相互作用能大于零, 实现选择性高效抑铜浮钼。铜钼矿山工业应用表明, BK511 对铜抑制能力强, 用量少, 可以替代硫化化钠(硫化钠), 药剂用量为硫化化钠用量的 10%~20%, 可大幅降低药剂成本, 并显著改善车间操作环境, 工业应用中可以大幅度降低选矿厂尾水中的硫化物含量^[64]。

采用密度泛函理论计算 O-异丙基-N-丙基硫氨酯(IPP)和 O-异丙基-N-乙基硫氨酯(Z-200)的电子结构, 结合 Klopman 的普遍化微扰理论, 预测新型硫氨酯 IPP 的浮选性能。计算结果表明, IPP 的最高占据轨道能量、最低空轨道能量均高于

Z-200, 电负性比 Z-200 小。由此推测 IPP 的捕收能力比 Z-200 强, 选择性弱于 Z-200。之后合成目标分子, 并运用核磁共振波谱(NMR)进行结构表征。通过铜硫矿石的单矿物及实际矿石的浮选试验, 试验结果与前期预测吻合。研究表明: O-异丙基-N-烷基硫氨酯分子中 N 原子上连接的烷基由丙基替代乙基时, 轨道增大, 则该分子的捕收能力强, 选择性弱。前线轨道能量等性质参数可用于预测硫氨酯捕收剂的浮选性能^[65]。

通过动态浮泡法测定接触角, 研究了脂肪酸碳链长度、双键个数、羟基引入、碳链异构对胶磷矿表面润湿性的影响。结果表明, pH 值在 8~10 范围内, 胶磷矿疏水性较好。饱和脂肪酸疏水能力为: 棕榈酸>肉豆蔻酸>硬脂酸>月桂酸, 碳原子数在 12~16 范围内, 胶磷矿疏水性随碳链长度增加而增强。不饱和脂肪酸的疏水能力为: 亚麻酸>亚油酸>油酸, 不饱和程度越高, 胶磷矿表面疏水性越强。脂肪酸烃基中引入羟基和异构的疏水能力为蓖麻油酸>硬脂酸>异硬脂酸, 脂肪酸中同时含双键和羟基可提高胶磷矿疏水性, 烷基正构碳链较异构疏水能力强^[66]。

6 选矿废水处理

研究了白钨选矿废水回用对白钨选矿指标的影响, 并提出一整套白钨选矿废水处理工艺流程, 回水率达 90% 以上, 实现了废水的零排放。总的白钨精矿回收率提高到 76%, 每年多产 $WO_3(65\%)$ 精矿 140 t, 增加年产值近 1120 万元。同时, 每年还可减少使用浮选药剂 238.8 万元^[67]。

开发出分段浓缩-分质回用-末端废水净化处理的选矿废水回用技术并成功应用于工业, 实现了银铅锌多金属选矿废水全部回用, 该技术的应用不仅大幅度减少了末端废水处理量和处理成本, 而且还使废水中的选矿药剂得到充分利用, 降低了选矿药剂消耗, 选矿指标稳定提高, 显著节约了选矿能耗, 大幅度节约了选矿新鲜水的用量, 实现了选矿废水全部回用, 杜绝了环境污染^[68]。

某碳酸盐型金矿选矿厂存在选矿指标偏低、尾矿沉降难、浓密溢流跑浑等问题。该矿中金品位为 4.68 g/t, 主要以粒间金和裂隙金为主, 少量为包裹金。含碳较高为 12.60%, 碳为金的主要载体矿物。根据矿物学研究结果, 针对矿石特性,

开展了药剂对比试验、条件试验、工艺流程对比试验、清水与回水对比试验、生产回水闭路试验。试验结果表明：采用新药剂、新工艺均有助于提高生产指标，回水对选矿指标影响较大，使用净水剂硫酸铁可加快尾矿和矿泥的沉降速度，在添加净水剂硫酸铁条件下使用生产回水进行新工艺闭路试验研究，最终获得金精矿中金品位为 53.93 g/t，金回收率为 84.80% 的较好指标，与现场生产指标相比回收率提高了 14.80%。该试验研究可以作为现场技术改造的依据^[69]。

某硫铁矿选矿废水 COD 偏高，达 220 mg/L，通过将铁氧化物负载于硅藻土上制成非均相 Fenton 法催化剂，用于对该废水进行氧化处理。试验结果表明：非均相 Fenton 法催化剂适宜的制备条件为 Fe^{3+} 浓度 0.03 mol/L，NaOH 与 Fe^{3+} 的物质的量之比 3，焙烧温度 150℃；新型硅藻土负载铁氧化物催化剂非均相 Fenton 法降解废水 COD 的工艺条件为废水初始 pH=5，催化剂投加量为 1.5 g/L， H_2O_2 投加量为 11.79 mmol/L，反应时间为 60 min，废水的 COD 去除率达 85.67%；以资源丰富、负载性能好的硅藻土为原料制备的非均相 Fenton 法催化剂，可高效、低成本降解选矿废水的 COD，处理后的水质符合排放标准^[70]。

浮选废水中残留烷基黄药因其臭味、生物毒性、中碱性下稳定及残留回水对浮选工矿用选别指标的影响而受到严格控制。研究开发电催化内电解技术 (ECIME) 协同电化学和内电解特点，可实现废水中烷基黄药的有效去除。因此，以丁基黄药 (BX) 为模板污染物，采用电化学表征和光谱分析等方法对烷基黄药在 ECIME 体系的降解去除特征、反应机制和产物途径进行探究。循环伏安扫描 (CV) 表明 BX 在碳微电极上能够直接发生氧化还原反应，在电解池的阳极和阴极室均能被降解去除。而复极化粒子电极和内电解效应降低 BX 分解对较低 pH 值的依赖，使其在中性或偏碱性条件下可实现高效降解。电化学直接氧化还原和新生态 $\cdot\text{OH}$ 、 Fe^{2+} 和 $[\text{H}]$ 类等高活性物质间接裂解协同作用是 ECIME 降解 BX 的主要机制。BX 的主要降解历程为 BX 及双黄药 $\rightarrow$ 正丁醇或碳酸二异丁酯和 $\text{CS}_2 \rightarrow$ 有机酸和 $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ 、 CO_2 和 SO_4^{2-} ，正丁醇和碳酸二异丁酯降解应是 BX 降解控制环节^[71]。

采用聚合氯化铝 (PAC) 对选矿回水进行处理，

解决铝土矿选矿回水在生产系统中循环时间的延长，会使脱硅生产指标逐渐恶化，选矿回水的置换外排存在一定的环境污染风险的问题，并考察脱硅指标。结果表明，选矿回水在生产系统中循环使用 25 d 后脱硅指标恶化严重；适量的 PAC 处理可降低选矿回水中絮凝剂残留，提高精矿铝硅比与精矿氧化铝回收率，延长选矿回水的循环使用时间；过量的 PAC 添加会造成絮凝剂含量的上升，进而导致脱硅指标再次恶化^[72]。

以粉煤灰为原料制备聚硅酸铝铁絮凝剂，利用傅里叶红外光谱仪测定该絮凝剂，分析其化学成分及结构。考察不同 pH 值、絮凝剂投入量等对洗煤废水处理效果的影响，结果表明：在 500 mL 洗煤废水中，投入粉煤灰基聚硅酸铝铁絮凝剂 20 mg/L，用 CaO 调节废水起始 pH 值为 9 时，处理后废水的化学需氧量 (COD) 值降低率达到 93.32%，固体悬浮物 (SS) 去除率为 98.21%，COD 值和 SS 分别降至 273.05 mg/L 和 50.26 mg/L^[73]。

以某锂矿浮选尾水为研究对象，针对锂矿浮选尾水难以直接沉降回用问题进行了相关的研究工作。通过多种不同类型水处理剂的尾水沉降试验研究发现，酸和多价金属盐可实现该尾矿水的快速沉降。沉降后的上清液中残留有一定量的关键离子，直接返回对浮选指标影响较大。进一步处理研究发现，采用硫酸亚铁处理后的上清液，再加碱处理得到 pH 值为 8.65 的回水，返回浮选作业，可获得与采用自来水浮选基本一致的分选指标。该处理工艺环境友好，简单易控制，为现场锂矿浮选尾水回用提供了一种技术途径^[74]。

7 结 语

(1) 根据药剂的协同作用，药剂组合使用，药剂复配及改性，添加辅助表面活性剂是浮选调整剂在解决低品位复杂难选氧化矿解决问题的有效手段。与氧化矿浮选捕收剂一样，几乎是一矿一药方。

(2) 调整剂特别是金属阳离子作调整剂引起广泛的关注。

(3) 浮选药剂的结构与性能再次引起广大研究者的重视，这将为新型高效低毒价廉的浮选药剂开发打下良好的理论基础。浮选药剂与矿物在浮选过程中的作用机理研究经久不衰。

(4) 为配合新的矿业环保政策, 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应用在矿山废水处理的研究中, 期待着工业化的实施, 将有大量的工作可做。提高回水利用率是选厂废水处理的重要研究工作。

(5) 提高浮选药剂研究的知识产权保护, 避免大量非新进步却是用代号的药剂搞乱应用市场。

参考文献:

- [1] 王硕, 曾令明, 欧乐明, 等. 多金属铜锌矿铜精矿降锌工业试验应用研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(2): 12-19.
- [2] 毛素荣, 杨晓军, 钟乐乐, 等. 四川某低品位金矿非氰浸出试验研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(2): 57-59.
- [3] 黄晟, 吕兵超, 廖银英, 等. 提高某多金属矿伴生金回收技术研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(4): 46-51.
- [4] 朱厚生. Z-200 捕收剂在多宝山铜业选矿厂生产应用实践[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(4): 82-84.
- [5] 段景文, 巴红飞, 王宏亮, 等. 刚果(金)某硫化铜钴矿浮选分离试验研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(5): 20-25.
- [6] 巴红飞, 段景文, 陈谱等. 刚果(金)某铜钴酸浸渣选矿工艺研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(6): 12-15, 34.
- [7] 李琛, 韩俊伟, 刘维等. 锌浸出渣银浮选回收试验初探[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(6): 35-39.
- [8] 骆忠, 李娜. 大红山铜矿西部矿体矿石可选性试验研究[J]. 矿冶, 2018, 27(1), 9-13, 17.
- [9] 姜喜盼, 杨炳飞. 秘鲁铁矿脱硫工艺试验研究与工业化[J]. 矿冶, 2018, 27(2), 47-52.
- [10] 姚兰星, 王毓华, 何建璋. 某高硫含碳低品位难选金矿浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2018(2): 38-42.
- [11] 刘学勇, 韩跃新. 捕收剂烯丙基异丁基硫氨酯在硫化铜矿表面的吸附机理[J]. 金属矿山, 2018, 47(1): 88-92.
- [12] 靳建平, 李慧, 吴天娇. 青海某含钼铅矿石选矿试验[J]. 金属矿山, 2018, 47(1): 97-101.
- [13] 马鑫, 王帅, 钟宏. 苄基三硫代碳酸钠的合成及其对黄铜矿的浮选性能[J]. 中国有色金属学报, 2018(5): 1067-1075.
- [14] 牛晓雪, 刘广义, 胡哲, 等. 黄铜矿吸附 5-戊基-1,2,4-三唑-3-硫酮的热力学及机理[J]. 中南大学学报, 2018(8): 1845-1850.
- [15] 王军, 王进龙, 张析, 等. N,N-二丙基二硫代氨基甲酸丙烯酸甲酯的合成及应用[J]. 矿产保护与利用, 2018(1): 81-83+90.
- [16] 王纪镇, 印万忠, 张宇轩, 等. 油酸钠与十二烷基苯磺酸钠复配对白钨矿浮选的强化及机理研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(1): 106-110.
- [17] 刘若华, 孙伟, 冯木, 等. 新型捕收剂浮选锂辉石的作用机理研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(2): 87-90+98.
- [18] 任爱军, 孙传尧. 油酸钠作捕收剂时变性淀粉对赤铁矿及石英可浮性的影响[J]. 矿冶, 2018, 27(3): 1-6+12.
- [19] 王军, 邓冲, 邱廷省, 等. 组合捕收剂强化红柱石浮选回收试验研究[J]. 矿冶工程, 2018(3): 43-45.
- [20] 刘威, 钟宏, 王帅. 特戊羟肟酸的合成及其对铝硅矿物的浮选性能研究[J]. 矿冶工程, 2018(3): 53-57.
- [21] 李洪强, 母顺兴, 张艳情, 等. 乳化煤油在金红石与石榴石浮选分离中的增效作用研究[J]. 金属矿山, 2018, 47(3): 97-101.
- [22] 李洪强, 苗呈佳, 翁孝卿, 等. 金红石与石榴石浮选分离试验研究[J]. 金属矿山, 2018, 47(5): 84-87.
- [23] 崔瑞, 聂新羽, 兰星, 等. $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 对水杨羟肟酸捕收铅矾的影响[J]. 金属矿山, 2018, 47(5): 85-88.
- [24] 江旭, 刘全军, 纪慧超. 云南石屏某氧化铅矿石选矿试验[J]. 金属矿山, 2018, 47(5): 113-117.
- [25] 闫克勤. 贵州某锂辉石矿石选矿试验[J]. 金属矿山, 2018, 47(11): 95-97.
- [26] 董留洋, 覃文庆, 焦芬, 等. 阳离子-阴离子组合捕收剂浮选分离白钨矿和方解石[J]. 矿冶工程, 2018(4): 61-64.
- [27] 刘建东, 孙伟, 刘润青. 镍钼矿中氧化镍和氟磷灰石浮选分离研究及应用[J]. 矿冶工程, 2018(4): 36-39+43.
- [28] 肖静晶, 刘广义, 钟宏. N-丁氧基丙基-S-[2-(肟基)丙基]二硫代氨基甲酸酯浮选孔雀石的疏水机理[J]. 中国有色金属学报, 2018(2): 416-424.
- [29] 陈珈琪, 周俊, 邹义坤, 等. N-羟乙基脂肪酸酰胺类捕收剂对低品位碳酸锰矿的浮选作用及机理[J]. 中国有色金属学报, 2018(5): 1059-1066.
- [30] 杨沁红, 蒋昊, 纪婉颖, 等. 季铵盐与辛醇组合捕收剂浮选云母的机理[J]. 中国有色金属学报, 2018(9): 1900-1907.
- [31] 孙青, 冯其明, 石晴. 十二烷基磷酸酯钾在菱锌矿表面的吸附机理[J]. 中南大学学报, 2018(8): 1845-1850.
- [32] 刘润哲, 冯其明, 张国范. 几种油脂在硅质胶磷矿中的应用研究[J]. 非金属矿, 2018(1): 67-69.
- [33] 郝悦, 代淑娟, 郭小飞. 海城某菱镁矿石反浮选试验研究[J]. 非金属矿, 2018(3): 76-78.
- [34] 罗惠华, 童义隆, 李成秀, 等. 一种新型磷矿捕收剂的研制与浮选性能[J]. 矿产综合利用, 2018(4): 23-27.
- [35] 肖骏, 董艳红, 杨建文, 等. 某难选晶质石墨矿选矿试验研究[J]. 矿产综合利用, 2018(5): 89-92+51.
- [36] 张光斌, 艾光华. 某白钨浮选尾矿钨再回收利用试验研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(1): 65-69.
- [37] 孙伟, 王若林, 胡岳华, 等. 矿物浮选过程中铅离子的活化作用及新理论[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(2): 91-98.
- [38] 张德文. 金属离子对铜蓝和黄铁矿浮选行为的影响[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(3): 92-96.
- [39] 罗彤彤, 孙立田, 陈雁南, 等. 植物胶型抑制剂选矿试验探索研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2018(4): 101-104.
- [40] 丁大森. 2,3-二羟基丙基二硫代碳酸钠在西藏柯月铜铅锌矿的浮选应用研究[J]. 矿冶工程, 2018(2): 61-65.

- [41] 曾睿,张芹,苟宝,等;钙镁离子对细粒赤铁矿絮凝行为的影响[J].金属矿山,2018,47(1): 84-87.
- [42] 丁军,黄超军,李少平,等.某白钨尾矿中伴生萤石的选矿试验[J].金属矿山,2018,47(3): 86-89.
- [43] 江旭,刘全军,纪慧超.云南石屏某氧化铅矿石选矿试验[J].金属矿山,2018,47(7): 67-70.
- [44] 周杰强,梅光军,于明明,等.低品位高硫铝土矿反浮选同步脱硫硅试验[J].金属矿山,2018,47(7): 34-36.
- [45] 温胜来,王玲珑,郭亮,等.江西某低品位钨矿石浮选试验[J].金属矿山,2018,47(11): 91-94.
- [46] 耿志强,黄红军,孙伟.某羟硅铍石矿中浮选富集含铍矿物的试验研究[J].矿冶工程,2018(4): 54-56+60.
- [46] 王东,林东,聂光华.某碳酸盐型萤石矿浮选试验研究[J].矿冶工程,2018(4): 40-43.
- [47] 马英强,黄发兰,印万忠,等. Fe^{3+} 对蓝辉铜矿浮选行为的影响及机理[J].中国有色金属学报,2018(4): 817-822.
- [48] 冯其明,张程,张国范,等.钙离子体系下羧化壳聚糖对滑石浮选行为影响[J].中国有色金属学报,2018(6): 1191-1195.
- [49] 王介良,曹钊,王建英,等.稀土矿浮选中 Ce^{3+} 对萤石的活化作用机理[J].中国有色金属学报,2018(6): 1196-1203.
- [50] 徐东方,朱书全,朱志波,等.SCMG对煤和蒙脱石浮选分离的影响[J].中南大学学报,2018(2): 268-274.
- [51] 严群,李涛,陈志勇,等.内蒙古某含碳低品位铅锌矿选矿试验研究[J].矿产综合利用,2018(1): 5-60.
- [52] 付喜林,杨晓军,符寒光,等.浮选法富集低品位含硼尾矿研究[J].矿产综合利用,2018(1): 101-105.
- [53] 王雪,易雕.鲕状赤铁矿选择性絮凝试验研究[J].矿产综合利用,2018(4): 79-83.
- [54] 郭蔚,彭金秀,冯博,等.刺槐豆胶在铜硫分离中的抑制作用及机理分析[J].矿产保护与利用,2018(1): 76-80.
- [55] 李茂林,姜兴科,崔瑞,等.羟肟酸体系下铁离子对铅矾浮选的影响[J].矿产综合利用,2018(6): 149-153.
- [56] 邓禾淼.起泡剂对铜硫铁矿的浮选效果试验研究[J].有色金属:选矿部分,2018(3): 87-91.
- [57] 闫奋飞,齐健,王怀法.表面活性剂在细粒煤过滤脱水中的作用研究[J].矿产综合利用,2018(3): 61-65.
- [58] 徐冬林.基于正交试验的赤铁矿石助磨剂筛选试验研究[J].矿产综合利用,2018(3): 81-84.
- [59] 周高云,陈旭波,胡志强.高效起泡剂的浮选特性及可生物降解性研究[J].矿产保护与利用,2018(1): 72-75.
- [60] 张翼.于正交试验和BP人工神经网络的浮选药剂制度优化[J].有色金属:选矿部分,2018(2): 99-102.
- [61] 刘学勇,韩跃新.浮选药剂与矿物作用机理研究方法探讨[J].金属矿山,2018,47(4): 56-59.
- [62] 章晓林,王其宏,景满,等.异极矿成矿规律及浮选药剂作用机理研究现状[J].中国有色金属学报,2018(3): 406-415.
- [63] 卢绿荣,陈建华,李玉琼.硫化矿浮选捕收剂分子结构与性能的电子态密度研究[J].中国有色金属学报,2018(7): 1482-1490.
- [64] 吴桂叶,刘慧南,刘崇峻,等.片段组装技术研发铜钼分离高效抑制剂[J].矿产保护与利用,2018(3): 22-25,30.
- [65] 翁志财,曹飞,邱仙辉,等.O-异丙基-N-丙基硫氨酯浮选性能的密度泛函研究[J].矿产保护与利用,2018(3): 43-48.
- [66] 沈智慧,张覃,崧松,等.脂肪酸结构对胶磷矿表面润湿性的影响研究[J].矿产保护与利用,2018(3): 05-111.
- [67] 贾鹏飞,田春友,徐福德,等.白钨选矿废水净化处理工艺的研究与应用[J].有色金属:选矿部分,2018(2): 60-61+73.
- [69] 郭艳华,杨俊龙.甘肃某碳酸盐型难选金矿提高生产指标试验研究[J].有色金属:选矿部分,2018(6): 40-45,61.
- [70] 王晨亮,王成行,胡真,等.硅藻土负载铁氧化物催化剂的制备及其对某选矿废水的降解试验[J].金属矿山,2018,47(5): 56-60.
- [71] 聂蕊,李天国,徐晓军,等.浮选废水中烷基黄药的电催化内电解降解特征及机制[J].中国有色金属学报,2018(3): 594-603.
- [72] 霍强,陈致友,陈顺娇,等.聚合氯化铝处理铝土矿选矿回水的试验研究[J].非金属矿,2018(4): 80-82.
- [73] 王玉飞,严龙,荆娜,等.粉煤灰基聚硅酸铝铁絮凝剂处理洗煤废水研究[J].非金属矿,2018(6): 80-82.
- [74] 程仁举,李成秀,刘星,等.川西某锂矿浮选尾水快速处理回用技术研究[J].矿产综合利用,2018(6): 122-126.

The Development of Flotation Reagents in 2018

Zhu Yimin, Zhou Jing

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

Abstract: The information about flotation reagents in 2018 were partly collected in this paper. Meanwhile, the six aspects of sulphide mineral collectors, oxide mineral collectors, regulators, Foaming agent, The structure and properties of flotation reagents and wastewater treatment were introduced and briefly commented.

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