

综 合 评 述

硫化矿浮选中滑石抑制剂的研究进展

严海军¹, 罗仙平^{2,3,4}, 朱贤文^{2,3}, 翁存建^{2,3}, 张文谱⁴, 冯博⁴

1. 肃北县博伦矿业开发有限责任公司, 甘肃 酒泉 736301;
2. 青海省高原矿物加工工程与综合利用重点实验室, 青海 西宁 810006;
3. 青海省有色矿产资源工程技术研究中心, 青海 西宁 810006;
4. 江西理工大学 江西省矿业工程重点实验室, 江西 赣州 341000

中图分类号: TD923⁺.14 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)01-0138-07
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.01.016

摘要 许多硫化矿常与滑石等镁硅酸盐矿物共存, 滑石因其良好的可浮性影响硫化矿浮选分离, 影响硫化矿选矿综合指标, 对于这类硫化矿常通过抑制滑石实现二者的浮选分离, 故对滑石抑制剂及其作用机理进行研究有着重要的意义。本文综述了滑石抑制剂研究进展, 滑石抑制剂分为无机类和有机类, 无机抑制剂如水玻璃、六偏磷酸钠等在硫化矿浮选中被广泛应用, 其抑制机理主要为水解后形成的物质吸附于滑石表面, 从而使得滑石亲水; 高分子有机抑制剂如 CMC、古尔胶等对滑石抑制能力较强, 选择性较好, 此类药剂主要是通过羟基、羧基与滑石形成氢键、化学键, 使滑石亲水, 实现硫化矿与滑石的浮选分离。采用有效的高分子抑制剂是今后实现滑石与硫化矿浮选分离的主要方向, 而高分子抑制剂中 -OH 与 -COOH 是抑制滑石的主要官能团, 这为滑石抑制剂的改性、设计与开发提供了依据。

关键词 滑石; 浮选; 抑制剂; 机理

随着经济的发展, 对矿产资源的开发力度越来越大, 易分选的铜、镍、钼等硫化矿资源几乎消耗殆尽。而一些大型的铜、镍、钼等硫化矿山常赋存有滑石等镁硅酸盐矿物, 如我国甘肃金川硫化铜镍矿和安徽铜陵冬瓜山硫化铜矿等, 以滑石为主要脉石矿物的硫化矿浮选分离时, 因其良好可浮性造成分离困难, 难以获得优良的选矿指标; 滑石泥化较严重, 碎磨产生的大量易浮微细粒矿泥黏在浮选泡沫表面, 导致泡沫发黏, 消耗过多的浮选药剂, 恶化浮选环境, 致使滑石在硫化矿浮选精矿中的含量过高, 影响精矿品位, 增加后续冶炼成本^[1-5]。

在含滑石硫化矿浮选分离时, 针对滑石具有可浮性好、泥化严重等特点, 一般有三种途径可实现硫化矿和滑石的分离: 预先浮选脱除滑石; 利用选择性抑制剂抑制滑石再浮选硫化矿; 让其自然进入精矿然后

再用酸浸法除之^[6]。对含滑石型硫化矿进行浮选回收金属硫化矿时, 预先浮选的工艺虽可脱除大部分滑石, 却也会部分损失目的矿物; 如让滑石进入精矿再酸浸处理, 则需要大量的酸液, 对设备要求也严格, 故此方法很少被运用; 因此, 仍需要采用滑石的高效选择性抑制剂来实现二者的有效分选。

目前常用的滑石抑制剂分为无机抑制剂与有机抑制剂。无机类主要有水玻璃、六偏磷酸钠^[7]、氟硅酸钠^[8]等, 有机抑制剂如羧甲基纤维素及其衍生物^[7], 古尔胶、木质素磺酸盐等, 另还有氨基类抑制剂。无机类抑制剂的研究比较成熟、统一, 有机类抑制剂因结构复杂、官能团较多, 对该类抑制剂对滑石抑制的机理等缺乏系统的总结, 为此, 本文对硫化矿浮选中对滑石抑制剂研究进展进行综述。

收稿日期: 2019-07-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1900400); 青海省重大科技专项项目(2018-GX-A7)

作者简介: 严海军(1975-), 男, 高级工程师, 副总经理, 主要从事金属选矿、冶炼生产与管理, E-mail: 258690458@qq.com。

通信作者: 冯博(1986-), 男, 博士, 副教授, 主要从事有色金属回收及清洁生产研究, E-mail: 315450646@qq.com。

1 滑石性质、晶体结构及浮选行为

1.1 滑石的物化性质

滑石是一种常见的层状含镁脉石矿物,常呈现浅黄、粉红、浅褐色,其外观颜色取决于所含的杂质种类及含量的多少;解理面上呈珍珠光泽;硬度为 1,是目前已知最软的矿物;相对密度 2.58~2.83;{001}面解理完全;手触有滑腻感;层与层间易解理,因此常呈鳞片状或块状;导电导热性能差;收缩率低,吸油能力强,白度高同时具有较好的干润滑性、吸附性、悬浮性,耐热性和流变性^[9]。滑石作为一种比较常见的矿物,在人们的日常生活以及经济发展中被广泛应用,根据它的不同性能可以制成不同的材料,被广泛应用于油漆、塑料、屋面材料、陶瓷等行业。

滑石化学式为 $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$,以氧化物表示为 $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$,理论上 MgO 占 31.72%、 SiO_2 占 63.12%、 H_2O 占 4.76%。滑石晶格中的镁常被别的金属元素所代替后形成不同成分的滑石,如铁滑石 $Fe_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ 、镍滑石 $Ni_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ 等;其化学性质较稳定,一般不与酸碱作用^[10]。

1.2 滑石的晶体结构和表面性质

滑石晶体结构是典型的非极性 TOT 型层状结构,犹如“夹心饼干”,由三个基本结构层堆砌而成,其晶体结构如图 1;中间层为氢氧镁石层,上下两外层为尖端彼此相对的硅氧四面体层,整个结构层与层由范德华力结合在一起^[11],其层状结构决定了具有良好可浮性。

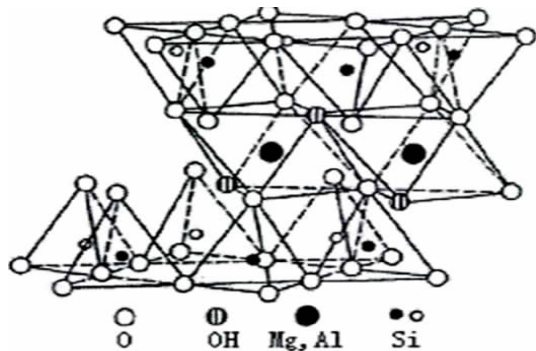


图 1 滑石晶体结构

Fig. 1 Crystalline structure of talc

在滑石结构中硅氧四面体层互相联结形成连续的六方网状层;其中的活性氧朝外,每 6 个网状层的活性氧相向,通过 1 层“氢氧镁石”层连结构成双层^[12]。层与层之间的连接靠较弱的范德华力。滑石四面体的硅氧面组成基本的解理面,结构内部由非极

性的 $-Si-O-Si-$ 连接而成,因而疏水^[13]。滑石双层内部各正负离子保持平衡,联结稳定、牢固;滑石 TOT 结构中双层之间不牢固,靠微弱的余键相连,所以滑石沿着双层之间容易解离,表面为非极性,具有天然疏水性^[14]。滑石解离时,双层间为较弱的范德华力作用,因而层面表现为低能表面;端面产生的 $SiOH$ 和 $MgOH$ 具有强的氢键,因而端面表现为高能表面^[15]。滑石的双层表面正负电荷相抵而显中性,但其棱边暴露有较强的键合羟基能力的 Si^{4+} 及 O^{2-} ,因此导致滑石在很宽的 pH 值范围内荷负电。由于滑石层面疏水,边棱和端面亲水,导致层面和边棱对药剂的吸附方式不同^[16]。

黄晓毅^[7]等通过对滑石晶体结构和可浮性的研究发现,对三层结构的滑石,三层夹心为电中性,范德华力使其晶体结合在一起。滑石解离过程中,其 TOT 夹心层破裂,晶体结构被破坏,表面仅剩非极性键,因而表现出良好的疏水性。 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 和 Cr^{3+} 等金属离子在滑石层面和端面的吸附存在一定的差异^[17]。这些金属离子的加入,会使滑石的 Zeta 电位由负变为正,但该吸附发生在极性面,对疏水面并不产生影响,从而对滑石的天然疏水性亦无影响。在靠近金属氢氧化物沉淀的 pH 值和滑石的零电点之间,滑石的非极性表面才变得亲水而被抑制,表明金属离子在高碱环境中抑制滑石是因氢氧化物沉淀在滑石的表面并产生了多相凝聚^[18]。

滑石层与层间可解离完全,碎磨后以沿层面解离形成“基面”,同时因具有较低的硬度,造成滑石片断裂而形成“端面”。研究表明,过磨的滑石端表面可达总表面积的 21% 左右^[3,19-20],因此,滑石极易被易过粉碎而泥化。

1.3 滑石的浮选行为

在广泛 pH 值条件下,滑石的表面荷负电性而易形成水化膜,该水化膜影响滑石的可浮性,可通过添加可溶性金属无机盐提高滑石可浮性,因金属离子荷正电,与滑石表面的负电荷中和而破坏滑石表面的水化膜^[22]。郑水林^[23]处理吉林浑江某品级较差的滑石矿石,仅添加金属无机盐和起泡剂便获得优良指标,使该滑石白度提至 86%, Fe_2O_3 含量降为 0.26%,达到一级品标准。

矿浆中的金属离子可促使滑石的表面电位向正电性偏移,当开始形成对应金属的氢氧化物沉淀时正电性最高,此后,电性逐渐下降;因此,随着 pH 值的增大,矿浆中的金属逐步以离子、羟合金属络离子、金属氢氧化物沉淀的形式在滑石表面发生吸附,继续提高矿浆 pH 值后,形成的金属氢氧化物表面也荷负电,与

滑石表面互相排斥而脱落^[22]。

滑石在无捕收剂时就可上浮,且浮选泡沫较脆;滑石粒度对其浮选的影响较大,粒度越小,滑石的泡沫稳定性越好;起泡剂种类对滑石的浮选影响不大,滑石的泡沫较为稳定^[24]。

煤油是滑石浮选常用的捕收剂^[25],煤油可以通过范德华力在滑石表面产生物理吸附,同时煤油也会吸附在气泡表面,使泡沫变脆,易破裂,起消泡剂的作用,因此,在实际生产中需要严格控制煤油的用量。刘玉林等^[26]针对豫西南地区某低品位难选滑石矿,进行了试验研究。结果表明,滑石捕收剂选用煤油,抑制剂选用水玻璃,采用一粗两精、中矿集中返回的闭路流程,获得了优良指标。

研究发现胺类捕收剂在中性或者酸性条件下对滑石的捕收效果最佳,脂肪胺、醚胺是阳离子捕收剂,可以通过静电物理作用吸附在滑石矿物的表面,进一步提高滑石的可浮性,醚胺类捕收剂与起泡剂配合使用可获得较好的指标^[25]。油酸类捕收剂对滑石浮选的效果不太理想,滑石与油酸的作用主要是疏水性基面与油酸分子的物理吸附,在研究中检测到油酸与滑石表面起化学作用的量是很少的。

滑石具有天然疏水性,只添加起泡剂即可浮出,而硫化矿需要添加对应的捕收剂使其变得疏水,在大量硫化矿山中,伴生的滑石含量往往较多,造成硫化矿的回收困难,因此,需要高效的滑石抑制剂来提高硫化矿的浮选指标。

2 无机类抑制剂

无机类抑制剂是硫化矿浮选中常用的调整剂,铜镍钼等硫化矿与滑石浮选分离中最常用的无机抑制剂为水玻璃与六偏磷酸钠,以及两者的组合。目前采用该类抑制剂对脉石的抑制机理研究也比较广泛、观点较统一。

2.1 水玻璃

水玻璃是常用的硅酸盐类抑制剂,是一种类似呈胶体状的硅酸钠盐,其黏度比较高,在水溶液中易溶解,一般由较活泼的金属与氧的化合物与硅酸化合而成,在选矿领域,常用于分散矿浆及对脉抑制石矿物^[27-28],特别是含有滑石、蛇纹石等微细粒级矿物的选别中经常加入一定量水玻璃,可以有效改善其浮选效果。滑石的硅氧层状结构易成为硅胶体聚合物的聚合中心,水解后的 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 和 $\text{SiO}_2(\text{OH})_2^{2-}$ 可吸附在矿物表面,因此能够吸附活化硅胶体而使得矿物强烈亲水,达到抑制效果;另外,硅酸胶粒及 $\text{SiO}_2(\text{OH})_2^{2-}$ 离子与矿物表面的捕收剂可发生竞争吸附,

可解吸矿物表面已经吸附的捕收剂,这是水玻璃抑制矿物的主要原因^[29]。马晶^[30]等对水玻璃和硫酸锌作滑石的组合抑制剂进行了研究,发现水玻璃水解后生成 H_2SiO_3 胶体,而 Zn^{2+} 等金属离子在碱性环境下与氢氧根离子反应生成对应的氢氧化物等胶体,这两种胶体混合黏附在滑石表面,从而对滑石产生抑制。葛平江等^[31]曾用水玻璃做抑制剂,在某含泥量高的硫化矿浮选中获得了较高的选矿指标。

2.2 六偏磷酸钠

六偏磷酸钠又称磷酸钠玻璃体,是常用的磷酸盐类抑制剂,在选矿领域的应用也比较广泛,常被用作分散剂及抑制剂。六偏磷酸钠可以在硅酸盐矿物外层表面发生吸附,分子中的阴离子基团能够结合含镁矿物中的阳离子而改变硅酸盐矿物表面电性,有些矿物的表面阳离子能够与六偏磷酸钠发生化学反应,这些条件均使矿物变得亲水^[32-33]。六偏磷酸钠的用量对选矿指标影响较大,冯博^[34]等进行对新疆某含滑石型铜镍矿石浮选工艺研究时,利用六偏磷酸钠及CMC综合调浆,最终得到铜、镍品位分别为4.27%和10.89%,铜、镍回收率分别为85.03%和81.61%的铜镍混合精矿,混合精矿中氧化镁含量降至6.8%以下,达到冶炼要求。

水玻璃和六偏磷酸钠作为最常用的有机抑制剂,其水解产生的物质吸附在滑石表面后,增加滑石表面电位的绝对值,可使颗粒间出现强烈的位阻效应,使滑石变得亲水。这两种抑制剂在抑制滑石时选择性较差,其用量往往也较大。

3 有机类抑制剂

一些天然高分子抑制剂具有许多优于其他浮选药剂的特点,如对环境无污染、可生物降解、来源广、无毒无害。有机抑制剂主要以多糖类为主,另有木质素磺酸盐、氨基类等。

3.1 多糖类抑制剂

3.1.1 CMC

CMC是羧甲基取代基的纤维素衍生物^[35],是一种常用的有机高分子抑制剂,其结构见图2,常用来抑制滑石等脉石矿物^[36]。张锁君^[19]进行了CMC对滑石抑制的机理研究,更多的被认为CMC分子中的羟基与滑石形成氢键,羧基与滑石表面的金属离子形成化学键。CMC的聚合度严重影响其对滑石的抑制作用,其聚合度大小跟CMC分子量大小、黏度和负电性强弱密切相关。吸附在滑石表面的CMC分子中的大

量极性基羟基和羧基与水作用,从而使滑石表面变得亲水。欧乐明^[37]等认为 CMC 对滑石的抑制效果受浮选环境的影响较大,如矿浆酸碱度、离子强度、离子种类和药剂本身的特性等,CMC 的用量对滑石的抑制效果变化不大,其在低用量时便可强烈抑制滑石的上浮。Shortridge P G^[38]等认为由于高分子聚合物附着在矿物表面后存在静电斥力,且附着量越大,该静电斥力越大,由此导致 CMC 在滑石表面的吸附速度极慢。在广泛的 pH 值范围内,滑石表面荷负电,且碱度越大,电荷负值越大;CMC 的加入使其表面的负电性更强。潘高产^[39]研究了 CMC 对滑石浮选的影响,研究表明,矿物颗粒间存在静电力,根据同种电荷相斥原理,在碱性环境中有利于分散滑石颗粒;CMC 的加入可以增大滑石颗粒间的静电斥力,利于增加其在矿浆中的分散,从而为硫化矿浮选提供了良好的环境。青海某硫化铜镍矿滑石含量较高,影响铜镍混合精矿中主金属铜、镍的品位,含镁超标,对此,罗春华^[11]等采用 CMC 为抑制剂使滑石得到了很好的抑制,最终得到的混合精矿中铜、镍品位分别为 1.18%、5.94%,回收率分别为 79.93%、82.23%,MgO 降至 2.93%,取得理想的选矿指标。

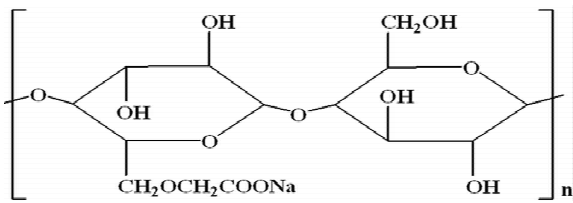


图 2 羧甲基纤维素钠结构式

Fig. 2 The formula of sodium carboxymethyl cellulose

3.1.2 古尔胶

古尔胶是一种天然的高分子非离子型分枝多糖,其结构见图 3。J·W^[40]等研究了古尔胶在滑石固-液界面的吸附机理。研究表明,古尔胶在滑石上的吸附量并未受矿浆 pH 值、离子强度的变化而影响,由此证实了静电力不是控制古尔胶在滑石表面进行吸附过程的主要作用力;通过动电位测试发现古尔胶只降低了滑石表面的电位负值,并未改变电荷符号;古尔胶未从矿物表面解吸下来,说明了古尔胶在滑石表面的吸附是一种化学吸附,牢固附着在滑石表面;氢键是古尔胶吸附在滑石上的主要作用力。古尔胶吸附在滑石表面,固-液界面上不存在疏水性区域。通过研究表明,古尔胶分子量是对滑石浮选抑制的一个重要因素,分子量与对滑石的抑制强度成正相关。矿浆 pH 值对古尔胶在滑石表面上的吸附无影响,而对古

尔胶在硫化矿表面的吸附影响较大,因为硫化矿表面金属元素的存在形式取决于矿浆 pH 值。古尔胶通过氢键作用吸附于滑石表面,减弱了滑石表面的负电性,从而降低了其可浮性,实现了滑石与硫化矿的浮选分离。潘高产^[39,41]等通过浮选试验及几种检测手段研究了瓜尔胶对滑石浮选的作用及机理,通过浮选试验结果可知,滑石回收率随古尔胶用量增加而迅速下降,当古尔胶用量为 50 mg/L 时,滑石回收率仅为 5.4%,表明低用量古尔胶可对滑石起强烈的抑制作用,古尔胶是通过分子中的 -OH 吸附在滑石表面而达到抑制作用。

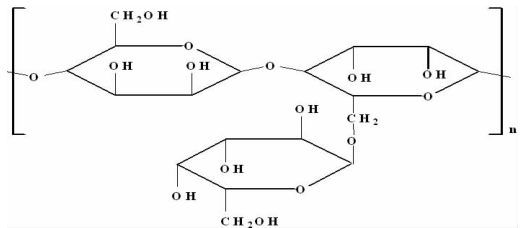


图 3 古尔胶结构式

Fig. 3 The structural formula of gourd gum

除了 CMC 和古尔胶,淀粉也被用来抑制滑石,陈代雄^[42]等在滑石与硫化矿浮选分离中,采用羧甲基淀粉作滑石抑制剂,并适当添加 $AlCl_3$,研究发现, Al^{3+} 增强了羧甲基淀粉对滑石的抑制;羧甲基淀粉中的羟基能够通过氢键作用吸附在滑石表面,而 Al^{3+} 吸附在滑石表面后与羧甲基淀粉产生螯合物,从而使滑石亲水而抑制。还有阿拉伯树胶、果胶、黄原胶、黄薯树胶等抑制剂也有研究。这些新型药剂可在黄铜矿与滑石表面均发生吸附,但在滑石表面强于黄铜矿表面,通过红外光谱和 XPS 检测,此类抑制剂在滑石表面发生吸附是氢键和疏水作用的结果。

多糖类抑制剂分子中含有大量羟基和羧基,这两种基团的存在是该类有机物可用作抑制剂的主要原因^[43],其中的羟基是聚合物链中唯一可用的极性基团,它们的吸附是非选择性的,主要是由氢键引起的。CMC 和古尔胶作为滑石的抑制剂时,其选择性较强,抑制效果显著,但此类药剂的可溶性较差,黏度较大,在实际应用中,其配制浓度较低。

3.2 木质素类抑制剂

木质素是一种高分子聚合物,在自然界中含量很大,属于可再生天然有机物^[44],经由亚硫酸盐法制浆得到的木质素磺酸盐,近年来也被应用于矿冶领域^[45-46]。X·Ma^[47]等利用浮选、吸附、电声测量等技术手段研究了不同性质的木质素磺酸盐对滑石浮选的行为,研究结果表明,在强碱条件下(pH=11),滑石被

木质素磺酸盐抑制效果最佳,且其在滑石表面的吸附量大小决定抑制强弱。滑石表面荷负电,木质素磺酸盐为强阴离子聚电解质,二者之间产生静电斥力,减弱了木质素磺酸盐在滑石表面的吸附,从而对滑石的抑制作用降低。综合结果说明, Ca^{2+} 促进了木质素磺酸盐抑制的滑石,滑石表面上的钙有助于增强木质素对滑石的吸附。由此可知,在采用木质素磺酸盐作滑石抑制剂时,矿浆中适当添加 Ca^{2+} ,可提高对滑石的抑制效果。木质素类药剂来源广,可溶性好,以木质素磺酸盐为滑石抑制剂时,其抑制效果较CMC与古尔胶弱。

3.3 氨基类抑制剂

通过聚合所得的丙烯酰胺及其聚合物,对滑石具有一定的抑制效果^[48-49],经吸附等温线、Zeta电位、接触角、吸附层厚度、单矿物浮选试验等测试发现,聚丙烯酰胺对滑石表面具有较强的吸附能力,每个聚合链面积的不同导致吸附量的不同。经羟基取代的聚丙烯酰胺对滑石的吸附能力更强,可能由于聚代程度高而产生分子内氢键结构。加入180 mg/L羟基取代的聚丙烯酰胺后滑石浮选回收率由95%降至62%左右,达到抑制滑石的效果。聚丙烯酰胺等合成药剂一般有毒性,使用过程中需要加以控制。

4 结论

(1)滑石是一种层间可完全解离的层状结构矿物,硬度低,性质稳定。天然疏水性良好,甚至强于硫化矿,在浮选中不受pH值的影响;易磨且易泥化而罩盖在硫化矿表面,造成与硫化矿浮选分离困难,因此,需要高效的抑制剂抑制滑石而提高硫化矿的选矿综合指标。

(2)水玻璃和六偏磷酸钠等常规无机抑制剂,主要是通过水解产生的物质吸附在滑石表面使得滑石表面结构发生改变,或与捕收剂在滑石表面发生竞争吸附,减弱捕收剂在滑石表面的作用;此类药剂作滑石抑制剂时选择性较差,其用量往往也较大,可辅助高效有机抑制剂组合使用。

(3)有机抑制剂主要通过羧基、羟基与滑石形成氢键或化学键,从而吸附在滑石表面,使得滑石亲水,实现滑石与硫化矿间的浮选分离。高分子有机抑制剂中基本存在 $-\text{COOH}$ 与 $-\text{OH}$ 两种官能团,这两种官能团也是该类抑制剂抑制滑石的主要官能团,这为今后有机抑制剂分子改性、设计、开发高效抑制剂提供了研究方向。

虽然滑石与硫化矿浮选中高效分离难度较大,但随着检测技术、表征技术、研究理论不断发展,相信

此类技术难题都能得到进一步解决,为高效抑制剂对滑石的抑制及其机理进行全面解释,通过对抑制剂化学结构与性质的深入研究,为滑石高效抑制剂的改性、设计、筛选提高理论指导,为矿产资源的综合利用做贡献。

参考文献:

- [1] 李萍,刘文磊,杨双春,等.国内外滑石的应用研究进展[J].硅酸盐通报,2013,32(4):668-671.
- [2] 邓敦彪.浅谈永丰滑石矿开发与利用[J].矿产保护与利用,1995(4):16-18.
- [3] Beattie D A, Le H, Kaggwa G B, et al. Influence of adsorbed polysaccharides and polyacrylamides on talc flotation[J]. International Journal of Mineral Processing, 2006, 78(4): 238-249.
- [4] Shortridge P G, Harris P J, Bradshaw D J, et al. The effect of chemical composition and molecular weight of polysaccharide depressants on the flotation of talc[J]. International Journal of Mineral Processing, 2000, 59(3): 215-224.
- [5] Jenkins P, Ralston J. The adsorption of a polysaccharide at the talc-aqueous solution interface[J]. Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects, 1998, 139(1): 27-40.
- [6] 任叶叶,张俭,严俊,等.应用X射线衍射-红外光谱等技术研究滑石在机械力研磨中的形貌和晶体结构变化及影响机制[J].岩矿测试,2015,32(2):181-186.
- [7] 黄晓毅,罗小新,张兴旺.两种层状硅酸盐矿物的晶体结构与可浮性研究[J].重型机械,2010(s2):105-108.
- [8] 冯其明,刘谷山,欧乐明,等.铁离子和亚铁离子对滑石浮选的影响及作用机理[J].中南大学学报,2006,37(3):476-480.
- [9] 马建青,刘星.甘肃金川铜镍矿石中 MgO 对浮选的影响[J].云南地质,2005(25):402-406.
- [10] 董兴旺,刘俊,郑力,等.铜镍硫化矿浮选预脱泥的试验研究[J].矿产保护与利用,2003(2):28-30.
- [11] 罗春华,张秀品,苏晓晖.抑制剂CMC在青海某硫化铜镍矿浮选中的应用研究[J].有色金属工程,2017,7(1):55-59.
- [12] 彭小平.滑石之应用与分析[J].陶瓷研究,1995,10(2):89-95.
- [13] Michot J, Villieras F, Francois M. Structuralmicroscopichydrophilicityoftalc[J]. Langmuir, 1994, 10(10): 3765-3773.
- [14] 郭梦熊.浮选[M].徐州:中国矿业大学出版社,1989:293-295.
- [15] 陆现彩,尹琳,赵连泽,等.常见层状硅酸盐矿物的表面特征[J].硅酸盐学报,2003,31(1):60-65.
- [16] Chamay C, Lagere S. Assessment of the surface heterogeneity of talc materials[J]. Colloid and Interface Science, 2001, 233(2): 250-258.
- [17] Fuerstenau M C, Lopez-Valdivieso A, Fuerstenau D W. Role of hydrolyzed cations in the natural hydrophobicity of talc[J]. International Journal of Mineral Processing, 1988, 23(3): 161-170.
- [18] 刘谷山,冯其明,欧乐明,等.铜离子和镍离子对滑石浮选的影响及作用机理[J].硅酸盐学报,2005,33(8):1018-1022.
- [19] 张锁君.羧甲基纤维素对抑制滑石浮选的作用机理[J].洛阳师范学院学报,2014(5):62-64.

- [20] 潘高产. 硫化矿浮选体系中滑石的可浮性研究[J]. 湖南有色金属, 2012(1):14-17.
- [21] 卢烁尘. 滑石的晶体化学研究及其在有色金属硫化矿选矿中的浮选现状和实践[J]. 矿冶, 2010,19(3):8-11.
- [22] 戴子林,高丽霞,李桂英,等. 滑石的矿物结构与浮选性能[J]. 金属矿山,2019(2):1-6.
- [23] 郑水林. 浑江滑石矿三级块滑石的浮选研究[J]. 非金属矿,1989(6):22-24.
- [24] 梁永忠,薛问亚. 滑石浮选泡沫稳定性及浮选行为研究[J]. 非金属矿,1994(4):21-23.
- [25] 郭梦熊,王续良. 药剂对滑石浮选的影响[J]. 非金属矿,1990(2):20-23,54.
- [26] 刘玉林,刘新海,李一波,等. 某低品位滑石矿浮选试验研究[J]. 矿产保护与利用,2013(4):46-48.
- [27] 王成行,童雄,孙吉鹏. 水玻璃在选矿中的应用与前景的分析[J]. 国外金属选矿,2008(10):6-10.
- [28] 张迎棋. 改性水玻璃对铅矿浮选影响[D]. 沈阳:东北大学,2007.
- [29] 印万忠,吕振福,韩跃新,等. 改性水玻璃在萤石矿浮选中的应用及抑制机理[J]. 东北大学学报(自然科学版),2009,30(2):287-290.
- [30] 马晶,李枢本,张文钰. 铅矿选矿[M]. 北京:冶金工业出版社,2008.
- [31] 葛平江,杨延东. 水玻璃在氧化矿和多泥硫化矿浮选中的应用研究[J]. 中国矿山工程,2006,(2):21-24.
- [32] 夏启斌,李忠,邱显扬. 六偏磷酸钠对蛇纹石的分散机理研究[J]. 矿冶工程,2002,22(2):51-54.
- [33] 龙涛,冯其明,卢毅屏. 六偏磷酸钠在硫化铜镍矿浮选中的分散机理[J]. 中国有色金属学报,2012,22(6):1763-1769.
- [34] 冯博,汪惠惠,周利华. 新疆某难选硫化铜镍矿浮选工艺[J]. 有色金属学报,2016(5):85-89.
- [35] 李党国. 羧甲基纤维素钠的性质及其在造纸工业中的应用[J]. 黑龙江造纸,2008,36(3):50-52.
- [36] Jin S, Shi Q, Feng Q, et al. The role of calcium and carbonate ions in the separation of pyrite and talc[J]. Minerals Engineering, 2018, 119: 205-211.
- [37] 欧乐明,齐超. 非极性表面矿物滑石与辉钼矿浮选分离中的多糖抑制[J]. 金属矿山,2015(5):85-89.
- [38] Shortridge P G, Harris P J, Bradshaw D J, et al. The effect of chemical composition and molecular weight of polysaccharide depressants on the flotation of talc[J]. Int. J. Miner. Process, 2000(59):215-224.
- [39] 潘高产. 羧甲基纤维素钠对滑石可浮性及分散性的影响[J]. 金属矿山,2010,39(6):96-100.
- [40] J·W, 罗科华,王荣生,等. 古尔胶在固-液界面上的吸附机理[J]. 国外金属选矿,2006(4):30-33.
- [41] 潘高产,卢毅屏. CMC 和古尔胶对滑石浮选的抑制作用研究[J]. 有色金属(选矿部分),2013(2):74-78.
- [42] 陈代雄,薛伟,杨建文,等. 一种硫化铜矿物与滑石浮选分离方法:CN103008113A[P]. 2013-04-03.
- [43] Liu Q, Zhang Y, Laskowski J S. The adsorption of polysaccharides onto mineral surfaces: an acid/base interaction[J]. International Journal of Mineral Processing, 2000, 60(3):229-245.
- [44] Norgren M, Edlund H. Lignin: recent advances and emerging applications[J]. Curr Opin Colloid Interface Sci, 2014, 19(5):409-416.
- [45] 张保平,郭美辰,刘运,等. 木质素及其衍生物在提取冶金中的研究进展[J]. 生物加工过程,2018,16(6):84-91.
- [46] 张其东. 辉钼矿与滑石可浮性差异调控基础研究[D]. 沈阳:东北大学,2016.
- [47] X·Ma,张裕书,雨田. 木质素磺酸盐对滑石可浮性的影响[J]. 国外金属选矿,2008,45(3):28-33.
- [48] David A, Beattied, Le Huynh, et al. The effect of polysaccharides and polyacrylamides on the depression of talc and the flotation of sulphide minerals[J]. Minerals Engineering, 2006, 19(6-8):598-608.
- [49] Andy leung, James Wiltshire. The effect of acrylamide-co-vinylpyrrolidone copolymer on the depression of talc in mixed nickel mineral flotation[J]. Minerals Engineering,2011(24):449-454.

Research Progress on Talc Inhibitors in Sulfide Ore Flotation

YAN HaiJun¹, LUO Xianping^{2,3,4}, ZHU Xianwen^{2,3}, WENG Cunjian^{2,3}, ZHANG Wenpu⁴, FENG Bo⁴

1. Subei County Bolun Mining Development Co., Ltd., Jiuquan 736301, China;

2. Western Mining Co., LTD, Qinghai Key Laboratory of plateau Comprehensive Utilization and Mineral processing Engineering, Xining 810006, China;

3. Qinghai Nonferrous Mineral Resources Engineering Technology Research Center, Xining 810006, China;

4. Jiangxi Key Laboratory of Mining Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China

Abstract: Many sulphide ore often coexist with magnesium silicate minerals such as talc. Due to its good floatability, talc causes difficulties in flotation separation of sulfide ore, affecting the comprehensive index of sulfide ore dressing. For such sulfide ore, it is often achieved by inhibiting talc. Flotation separation, so it is of great significance to study talc inhibitors and their mechanism of action. In this paper, the research progress of talc inhibitors is reviewed. The talc inhibitors are classified into inorganic and organic. Inorganic inhibitors such as water glass and sodium hexametaphosphate are widely used in sulfide ore flotation. The inhibition mechanism are as follows. The substance formed after hydrolysis is adsorbed on the surface of talc, which makes the talc hydrophilic; high molecular organic inhibitors such as CMC and Gur, have strong inhibition ability on talc and good selectivity. These agents mainly form hydrogen bonds through hydroxyl, carboxyl and talc. The chemical bond makes the talc hydrophilic, and realizes the flotation separation of sulfide ore and talc. The use of effective polymer inhibitors is the main direction for the separation of talc and sulfide ore flotation. In the polymer inhibitors, -OH and -COOH are the main functional groups for inhibiting talc. This is the modification, design and modification of talc inhibitors. Development provides the basis.

Key words: talc; flotation; inhibitor; mechanism

引用格式: 严海军, 罗仙平, 朱贤文, 翁存建, 张文谱, 冯博. 硫化矿浮选中滑石抑制剂的研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2020, 40(1): 138-144.

Yan HJ, Luo XP, Zhu XW, Weng CJ, Zhang WP and Feng B. Research progress on talc inhibitors in sulfide ore flotation [J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(1): 138-144.

投稿网址: <http://kebh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kebh@chinajournal.net.cn