

煤泥浮选药剂研究现状及发展趋势

崔广文,于文慧,张 玉,李 琳

(山东科技大学 化学与环境工程学院,山东 青岛 266590)

摘要:为提高煤泥浮选效果,实现浮选药剂的高效低耗,阐述了捕收剂、起泡剂、复合药剂和调整剂的分类、性能及应用情况,并对比分析了传统浮选药剂和新型浮选药剂的特点,最后对煤泥浮选药剂的发展趋势进行展望。结果表明:传统煤泥捕收剂存在药耗大、分散性差等缺点,通过乳化、引入极性基团等方法对传统捕收剂进行改性,可提高煤表面疏水性,增大油滴在水中的分散性,从而提高浮选效果。天然起泡剂和工业副产品起泡剂存在用量大、泡沫易碎、流动性差等缺点,人工合成起泡剂弥补了以上2种起泡剂的不足。复合药剂是集捕收性能、起泡性能于一体的多功能浮选药剂,具有浮选速度快、药耗少、使用方便等优点,但对煤质有一定选择性。未来应从研制低药耗、低成本浮选药剂,保证药剂使用方便、易于调节,注重绿色环保、实现废物利用3方面着手,开发高性能、低成本、低消耗、绿色环保、适应性强的新型浮选药剂。

关键词:煤泥浮选;捕收剂;起泡剂;调整剂;复合药剂

中图分类号:TD943⁺.1

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2015)01-0015-05

Status and development trend of coal slime flotation reagents

CUI Guangwen, YU Wenhui, ZHANG Yu, LI Lin

(College of Chemical and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: In order to improve coal slime flotation efficiency and decrease flotation reagents consumption, the classification, characteristics and application of collector, frother, compound reagents and regulator were introduced. The traditional and new flotation reagents were compared. At last, the development of coal slime flotation reagents were forecasted. The results showed that, the disadvantages of traditional flotation reagent were high consumption and poor dispersibility. Its hydrophobicity and dispersibility could be improved by emulsifying or introducing polar groups. The consumption of natural frother and industrial by-product frother were large, the bubble was fragile, the liquidity was poor. The synthetic frother covered the above shortages. With the frothing and collecting properties, the compound reagent had the advantages of less consumption, faster flotation speed and easier operation, while they had less effects on some coal. At last, the paper pointed out that, the low consumption and cost, high properties, environment friendly flotation reagents were the key of research in the future.

Key words: coal slime flotation; collector; frother; regulator; compound reagent

0 引 言

煤泥浮选是依靠煤与矸石表面润湿性的差异,在相界面实现分离的过程。由于煤与矸石天然表面性质的差异无法有效分离,在浮选过程中往往需要加入浮选药剂来改变煤表面的疏水性,提高煤的可浮性,实现煤与矸石的有效分离^[1]。

浮选药剂主要包括捕收剂、起泡剂和调整剂。目前国内外已得到广泛应用的浮选药剂种类繁多,但也存在不少问题。如捕收剂分散性差、捕收性和选择性弱等,最终影响煤泥浮选效率和产品质量。王建平等^[2]、黄波等^[3]通过乳化柴油的方法,提高柴油在水中的分散性;也有通过加入表面活性剂对捕收剂进行改性。传统起泡剂则存在原料

收稿日期:2014-10-23;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.01.004

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51474140)

作者简介:崔广文(1963—),男,黑龙江宾县人,副教授,博士,主要从事矿物加工专业的教学和研究工作。E-mail:cuiguangw@sina.com

引用格式:崔广文,于文慧,张 玉,等.煤泥浮选药剂研究现状及发展趋势[J].洁净煤技术,2015,21(1):15-19.

CUI Guangwen, YU Wenhui, ZHANG Yu, et al. Status and development trend of coal slime flotation reagents[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(1): 15-19.

受限、不易降解、污染环境等问题,马澄亮^[4]通过人工合成起泡剂解决了这些弊端。有学者对不同调整剂在煤泥浮选中的影响进行了详细研究,通过加入 pH 调整剂和分散剂等使浮选效果更好^[5]。笔者对传统浮选药剂和新型浮选药剂的性能和应用效果进行分析,并对煤泥浮选药剂的发展趋势进行展望,以期提高煤泥浮选效果,实现浮选药剂的高效低耗,为国内外学者开展相关研究提供参考。

1 捕收剂

捕收剂是重要的浮选药剂,按离子性质可分为阴离子型、阳离子型、两性型和非离子型。非极性烃类油是目前选煤用主要捕收剂,国内外选煤厂常用捕收剂有煤油、柴油等石油产品,占捕收剂用量的 80%~90%,以及一些人工合成的非极性烃类油,如 BET、FS 系列捕收剂等。其中,煤油、柴油虽应用普遍,但用量大,药剂在水中分散性差,使得煤泥浮选效率较低,且煤油用量过大还有明显的消泡作用,不利于浮选。因此煤油、柴油等通常作为易选或中等可选煤泥的浮选捕收剂^[6],对于低阶难浮煤泥效果不明显。而天然气冷凝油只在西南地区的选煤厂得到利用。BET 具有很强的选择性,是一种性能优良的浮选药剂,其浮选效果要优于普通煤用捕收剂,尤其用于高硫煤浮选时^[7-8]。FS 系列捕收剂包括 FS-201、FS-202 捕收剂,其主要成分是轻质烷基苯,捕收性能比煤油高,用量比煤油低 30%~40%^[9]。

由于传统煤泥捕收剂存在药剂消耗量大、分散性差等缺点。国内外学者采用多种方法合成新型捕收剂,如通过乳化、引入极性基团等提高煤表面疏水性,增大油滴在水中的分散性,从而提高浮选效率,降低药耗。

1) 乳化型捕收剂。乳化型捕收剂是将油、水、乳化剂及助乳化剂按一定比例混合,制成微乳液、油包水型乳化油或水包油型乳化油等,使其在水中更容易分散。ZFC 乳化油是柴油、水和表面活性剂按照质量比 27 : 70 : 3 合成的一种水包油型乳化油。ZFC 乳化油在云南盘翼选煤厂的工业性试验表明,使用 ZFC 乳化油后浮选精煤产率提高了近 5%^[10]。WL 捕收剂为半透明微乳液,油滴粒级为 0.005 ~ 0.1 mm,浮选过程中,WL 捕收剂在水中高度分散,除具有捕收性能外,还兼有起泡、分散、增溶的功

能^[11],屯兰矿选煤厂的工业性试验表明,WL 捕收剂与煤油的耗油量、浮选效果相当,但成本相对较低。

2) 改性高效捕收剂。制备捕收剂时加入适量表面活性剂,可增加非极性烃类油组分在煤浆中的分散性,改变煤表面的疏水性,从而达到优化浮选的目的。由河南省中能石化有限公司生产的 ZNX-K07 捕收剂加入了油溶性的非离子表面活性剂和水溶性的阴离子表面活性剂,增强捕收剂活性^[12];加入有机抑制剂,使煤中黏土矿物质的亲水性增强,从而抑制细泥上浮。ZNX-K07 捕收剂在大屯选煤厂的工业应用结果表明,浮选精煤产率、精煤灰分、尾煤产率、综合药耗等指标达到最优,泡沫流动性好,无“跑煤”现象,浮选精煤脱水速度加快,达到了选煤厂生产要求^[13]。

N9836 捕收剂和 C12 捕收剂中含有多种有机物质,如非极性烃油类、脂肪酸、脂肪酮以及表面活性剂等。这些物质增强了捕收剂的捕收性和选择性。大武口选煤厂的应用实践表明,与传统柴油相比,在分选出合格精煤灰分的前提下,N9836 捕收剂的浮选精煤产率提高了 3.17%,是一种选择性好,用量少,适于泥化煤泥的高效捕收剂^[14]。C12 捕收剂选择性好,捕收能力强,药耗小,能有效改善浮选效果^[15]。

荀海鑫等^[16]研究的 AO 捕收剂是将一定质量的表面活性剂、直链烷烃、环烷烃、芳香烃混合,在一定条件下反应制得,其颜色为浅黄色,不易挥发,略有气味,无毒。AO 捕收剂应用试验表明,其适于难浮煤泥的浮选,效果优于煤油、柴油。其与难浮煤泥作用的润湿热、接触角及等电点变化值均大于煤油、柴油,证明 AO 捕收剂能更好地提高难浮煤的疏水性。

ECS-9800 捕收剂也是通过加入表面活性剂改性的一种新型高效煤泥捕收剂。试验研究表明,ESC-9800 捕收剂具有选择性好、分选效率高等特点,与煤油相比,在精煤灰分相同的条件下,可节省药耗 3/4 以上,经济效益显著^[17]。

3) 其他捕收剂。邹城市吸宝化工有限公司生产的 TDS 捕收剂是一种不溶于水的兼具捕收和起泡双重作用的棕色油状液体。与轻柴油相比,TDS 捕收剂具有用量省、浮选速度快、使用方便、选择性好等优点,目前在兴隆庄煤矿选煤厂得到较成功的应用^[18]。MG 高效捕收剂在永川选煤厂应用实践表明,其捕收性能强,选择性较好,大幅提高精煤产品

质量和精煤产率。在入浮条件基本相同的情况下,精煤灰分基本不变,精煤产率提高 7.76%,尾煤灰分提高 5.15%^[19]。

2 起泡剂

起泡剂是一种表面活性剂,由亲水的极性基和疏水的非极性基组成。目前常用起泡剂主要有天然起泡剂、工业副产品起泡剂和人工合成起泡剂 3 种。

1)天然起泡剂。包括桉叶油、松醇油(2号油)、松针油和樟油等,其主要成分均为萜类化合物,其中应用广泛的是松醇油,占起泡剂用量的 95%以上。

2)工业副产品起泡剂。包括 GF 油、杂醇、仲辛醇、混合醇等,主要为不同碳链长度的醇类,其中分子质量较小、碳链较短的杂醇生成的泡沫易碎,用量较大,但选择性好;仲辛醇、C₆~C₈混合醇和酯油等分子量较大,碳链较长,起泡性能较强,用量较少;GF 油不仅起泡能力强,用量少,选择性好,还兼有一定的捕收性能,在我国选煤厂应用广泛。

3)人工合成起泡剂。人工合成起泡剂包括合成醇类起泡剂和 MIBC 等。4号油,又称丁醚油,无色油状液体,是 20 世纪 60 年代由北京矿业研究总院开发的一种人工合成起泡剂,成分为三乙基氧基丁烷。与 2 号油相比,其具有价格低、纯度高、起泡性强、选择性好、气泡大而均匀、流动性强等优点^[4]。HC 型起泡剂由临涣焦化股份有限公司生产,分别在芦岭选煤厂、临涣选煤厂、百善选煤厂、朱仙庄选煤厂、淮北选煤厂、石台选煤厂等进行工业应用试验,结果表明,对于高灰分、细粒煤泥,HC 型起泡剂比 GF 油、仲辛醇等传统起泡剂更具优势,且来源广,价格低,可降低选煤成本^[20]。X-316 起泡剂是不溶于水的棕色油状液体,在晋阳选煤厂得到较好应用,具有起泡性能较强,用量少,浮选速度快,泡沫多、易破碎,易于过滤等优点^[21]。MIBC 亦称甲基戊醇,无色透明液体,是丙酮经缩合脱水和常压加氢制得,选择性好,生成的泡沫细且脆,流动性好,用量少,每吨煤泥仅用 MIBC 20~40 g。MIBC 在美国应用较广泛,由于丙酮取自粮食,国内只作为实验室浮选标准起泡剂,尚未在工业上应用。

天然起泡剂和工业副产品起泡剂存在用量大、泡沫易碎、流动性差等缺点,而且天然起泡剂的主要成分萜烯醇难以生物降解,会对尾煤水造成污染。人工合成起泡剂由于弥补了以上 2 种起泡剂的不足而备受青睐。

3 复合药剂

复合药剂是集捕收性能、起泡性能于一体的多功能浮选药剂,有些复合药剂还兼具分散、增溶的功效。复合药剂具有浮选速度快、药耗少、使用方便等优点,但其对煤质有一定选择性。

1)FJ 复合浮选剂。安征等^[22]通过实验室和工业试验对新型 FJ 系列复合煤用浮选剂进行了较全面研究。研究表明,FJ 复合浮选剂兼有起泡和捕收性质,具有良好的选择性,是细粒煤浮选的优良促进剂,吨煤浮选药剂费用较常规药剂降低 30%~50%,且性能稳定、无污染。

2)ZX 系列复合浮选药剂。20 世纪 90 年代由株洲选煤厂生产的 ZX 系列浮选药剂是一种新型的高效浮选药剂。与传统药剂相比,该药剂浮选速度快,药耗少,选择性好,精煤产率高,兼具起泡与捕收性能,不仅适用于瘦煤、气煤、焦煤、肥煤,对细粒氧化煤也有理想浮选效果^[23]。

3)MJ 复合药剂。MJ 复合药剂以煤焦油为主要原料,加热蒸馏收集 320 ℃ 以下馏分后加入表面活性剂制得。杨兵乾等^[24-25]以王陶肥煤、难选的木瓜矿焦煤和庞塔矿焦煤为研究对象分别对 MJ 复合药剂的性能进行分析,结果表明,在满足现场生产要求的情况下,MJ 复合药剂与煤油浮选效果接近,但药剂用量低于煤油,可用于处理难选煤。

4)ZH 型复合浮选剂。ZH 型复合浮选剂是以原 ZX-II 型复合浮选剂为基础,加入轻柴油、起泡剂和 2 号油等原料后在一定条件下制得。ZH 型复合浮选剂在田庄选煤厂的应用结果表明,该浮选剂在选煤厂自行配制使用,可根据煤质变化及时调整油比,可降低药剂耗量,改善浮选效果^[26]。

5)ZF 合成浮选剂。以山东胜利炼油厂煤油为原料,在常压下液相催化氧化制得的 ZF 合成浮选剂兼具有起泡性和捕集性,适合单独使用。工业性试验表明,ZF 合成浮选剂具有较好的活性和选择性,用量仅为捕收剂和起泡剂总量的一半,能有效降低精煤水分,且其原料来源广,加工方便。

6)FO 合成浮选药剂。成浩等^[27]对适于细粒级难选煤的 FO 合成浮选药剂进行研究,结果表明,该药剂活性强,选择性好,各项技术及经济指标均优于传统浮选药剂。在相同浮选条件下,药剂耗量下降 40%以上,精煤产率提高 5%以上,效果相当显著。

7)ME 复合药剂。利用乙醇和环己烷制取环己

酮的工艺中产生的大量酸性废料合成羧酸酯,以合成的羧酸酯为起泡剂,制得复合型浮选药剂 ME。平顶山气煤浮选应用结果表明,ME 复合药剂可提高精煤产率,改善浮选效果,选择性优势明显^[28]。

8) KJ 复合药剂。首先将定量阴离子型表面活性剂、非离子型表面活性剂混合,加入水,在一定恒温条件下制得 KJ 表面活性剂;然后将定量捕收剂(煤油)、起泡剂(仲辛醇)与 KJ 表面活性剂混合制得 KJ 复合药剂。孔小红等^[29]研究表明,KJ 复合药剂的浮选效果优于煤油、仲辛醇,当 KJ 表面活性剂添加量为 2% 时,KJ 复合药剂的浮选效果最好。

4 调整剂

煤泥浮选时除加入捕收剂和起泡剂外,有时还需要添加一些调整剂,如 pH 调整剂、乳化剂、促进剂、分散剂、絮凝剂等。

1) pH 调整剂。介质 pH 值调整剂影响煤与矿物杂质的可浮性。各种浮选药剂实现效能最高、用量最小,就必须保持煤浆 pH 值在一定范围内。常用的介质 pH 值调整剂有石灰、硫酸、碳酸钠等。

2) 乳化剂。乳化剂是将煤油、柴油等浮选药剂进行乳化,使其在煤浆中充分分散,增加油膜总面积,更好发挥药剂性能,减少捕收剂消耗的同时,改善浮选选择性,提高选煤效率和浮选速度。目前选煤厂应用的乳化剂有 RP 乳化剂、DR 乳化剂等^[30-31]。

3) 促进剂。促进剂是一种能改善捕收剂和起泡剂效果的浮选药剂,多数为表面活性剂,可与多种起泡剂兼容,也可溶于轻柴油,提高难浮煤产率,降低其他浮选剂用量,同时改善粗粒煤的浮选效果。张秀梅等^[32]研制了 MA 促进剂,在其作用下,捕收剂与煤粒的吸附更容易、牢固、稳定,可促进难浮煤和氧化煤的浮选;MA 同样也适用于非难浮煤的浮选,节油效果明显。崔广文等^[33]利用松香、油酸等制备了 CG 促进剂,具有较强的表面活性,稳定性高。试验表明,加入 CG 促进剂可明显降低捕收剂用量,提高精煤产率。黄波等^[34]利用棉籽油制备了 PA 促进剂,马头煤泥和钱家营煤泥浮选试验表明,在煤油中加入 PA 促进剂后,在捕收剂用量相近的条件下,精煤产率可提高 4% 左右,精煤灰分略有增加;在精煤质量相近的条件下,捕收剂用量是原煤油用量的 50%。

4) 分散剂。要使煤浆中煤粒处于分散状态,除

机械搅拌外,有时还需加入分散剂。分散剂的作用是增强煤粒表面负电性,增大煤粒之间的排斥力,使煤粒表面呈现强亲水性,阻止煤粒聚结。目前常用分散剂有水玻璃、苏打、聚磷酸盐、单宁等^[35]。

5) 絮凝剂。絮凝剂主要用于处理浮选尾煤泥水,可加速颗粒沉降。高分子絮凝剂可分为有机高分子絮凝剂和无机高分子絮凝剂 2 种,前者应用较多。有机高分子絮凝剂又可分为天然型和人工合成型 2 种。天然高分子絮凝剂有淀粉加工产品及其衍生物、纤维素的衍生物、腐植酸钠等;人工合成高分子絮凝剂种类很多,按其官能团分类主要有阴离子型、阳离子型和非离子型 3 大类。在人工合成的高分子絮凝剂中,应用最广的是聚丙烯酰胺(PAM)及其衍生物^[36]。

5 煤泥浮选药剂发展趋势

随着采煤机械化程度的提高和煤层的变化,煤粉量相对增大,煤泥可浮性变差,导致浮选工艺普遍存在浓度低、粒度细、流量大、药耗高等问题,导致煤泥浮选成本增加,经济效益受到影响。因此,制备高性能浮选药剂势在必行。

1) 研制低药耗、低成本浮选药剂。国内外选煤厂用于浮选的捕收剂绝大多数是石油产品。煤油、轻柴油属于短缺物资,为了减少供需矛盾,改善浮选药剂性能,减少其用量是必然趋势。因此,今后一方面可以进一步研究稳定性好、抗冻性强的乳化浮选药剂,以减少柴油用量,提高其适用区域;另一方面,可以利用价格低廉的化工副产品合成浮选药剂,以取代石油制品的浮选药剂,降低生产成本。

2) 保证药剂使用方便、易于调节。目前普通药剂存在捕收性能弱、不易调节等弊端。复合药剂的出现简化了药剂制度,易于实现自动化,这为药剂的开发提供了新思路。在今后复合药剂的生产中,应研制开发针对不同煤质的新型复合药剂,以增加浮选药剂品种,提高适用性。

3) 注重绿色环保,实现废物利用。利用废弃油脂制备捕收剂充分节约了石油资源,降低成本,提高产率,解决了环境问题。国内外很多学者开辟了一条利用废弃油脂制备煤泥浮选捕收剂的新道路。崔广文^[37-38]等、杨建利等^[39]、李琼等^[40]利用不同催化剂将地沟油进行酯化反应,反应得到的产物与常规捕收剂相比,具有稳定,分散性良好,用量较少,价格便宜等优点,经济效益可观。

6 结 语

新型浮选捕收剂种类繁多,各具特色,效果显著,但也存在其局限性,提高煤种适用性及应用普遍性是下一步研究重点。起泡剂作为重要浮选药剂之一,多数为人工合成的醇类起泡剂,但种类较少,增加起泡剂种类,进一步提高起泡剂性能是提高煤泥浮选效果的关键。复合药剂兼具捕收和起泡双重功能,提高其捕收、选择性能,有效降低药耗,是未来药剂开发的重点。利用地沟油等废弃油脂制备新型煤泥浮选捕收剂是近几年国内外学者开拓的一个新的研究方向,不仅节约了石油资源,解决了地沟油环境污染问题,还提高了精煤产率,具有显著的经济效益,但其大型工业化生产还有待解决。近年来,世界各国都在积极研制利用化工副产品来代替石油制品的浮选药剂,以求降低成本,提高精煤产率;或加入表面活性剂,改善药剂性能,降低药耗。因此开发高性能、低成本、低消耗、绿色环保的新药剂是浮选药剂发展的重要方向。

参考文献:

[1] 黄波.煤泥浮选技术[M].北京:冶金工业出版社,2012.

[2] 王建平,郭志斌,万忠东.乳化捕收剂的浮选效果分析[J].选煤技术,2009(5):44-45.

[3] 黄波,李旭林,赵剑,等.微乳液组分对微乳化捕收剂性质影响的试验研究[J].煤炭技术,2014,33(8):206-208.

[4] 马澄亮.新型合成起泡剂——丁醚油的研究与应用简介[J].江苏冶金,1982(3):31-34.

[5] 文涵睿,王永田,邹文杰,等.调整剂对高灰难选煤浮选效果的影响研究[J].煤炭工程,2011,43(11):95-97.

[6] 吴大为.浮选选煤技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2004.

[7] 胡军,康文泽.浮选药剂 BET 与煤和黄铁矿作用机理[J].北京科技大学学报,2004,26(4):349-352.

[8] 赵本军.浮选过程中捕收剂和起泡剂的综合作用[J].江苏煤炭,2004(2):59-60.

[9] 王湘英,丁大森,向平,等.浮选药剂的应用现状及发展趋势[J].湖南有色金属,2000(1):9-12.

[10] 解维伟,朱书全,吴晓华,等.ZFC 型乳化浮选药剂在煤泥浮选中的应用[J].洁净煤技术,2007,13(5):10-12.

[11] 史建平.WL 浮选捕收剂的研制与应用[J].煤炭加工与综合利用,2009(2):17-21.

[12] 董宪姝,杜圣星.高灰细泥细粒煤浮选技术进展[J].选煤技术,2012(5):80-83.

[13] 张晓华,李紫微.ZNX-K07 捕收剂在大屯选煤厂的工业试验[J].选煤技术,2014(1):27-29.

[14] 高岩,陈刚,汤会峰.N9836 新型捕收剂在大武口洗煤厂的应用[J].选煤技术,2009(5):38-40.

[15] 赵永忠,武作勇,马志生.新型捕收剂 C12 在晋阳选煤厂的应用研究[J].选煤技术,2010(6):18-20.

[16] 荀海鑫,康文泽,刘松阳.AO 捕收剂对稀难浮煤泥的捕收效果研究[J].煤炭科学技术,2012,40(8):118-120.

[17] 张秀峰,谢广元,邵怀志,等.新型煤泥捕收剂 ECS-9800 的研究[J].煤炭技术,2011,30(2):116-118.

[18] 陈衍庆.TDS 捕收剂在兴隆庄煤矿选煤厂的应用[J].选煤技术,1999(1):25-26.

[19] 章永清,杨廷华.MG 高效捕收剂在选煤厂的应用[J].矿业安全与环保,2004,31(4):34-35.

[20] 张发刚.HC 型起泡剂及其在煤泥浮选中的应用效果[J].煤炭加工与综合利用,2006(1):18-20.

[21] 李亚丽,张亚荣.X-316 起泡剂在晋阳选煤厂的应用[J].煤炭加工与综合利用,2003(5):29-30.

[22] 安征,郭梦熊.FJ 系列复合煤用浮选剂的研究与应用[J].煤炭科学技术,1995,23(6):10-13.

[23] 林麟,沈次媛.ZX 系列新型煤用浮选药剂[J].世界煤炭技术,1994(11):26-28.

[24] 杨兵乾,高忠,阎卫军.MJ 复合药剂的制备与应用研究[J].山西化工,2007,27(2):57-60.

[25] 杨兵乾,朱昆阳,鹿克强,等.MJ 复合药剂在难选煤中的应用研究[J].中国煤炭,2008,34(3):67-69.

[26] 曾庆刚,李继荣.ZH 型复合浮选剂在田庄选煤厂的应用[J].选煤技术,2009(4):47-50.

[27] 成浩,杨亚平,蔡晋强.细粒级难选煤用 FO 合成浮选药剂的研究[J].煤炭加工与综合利用,1998(2):27-31.

[28] 张景来,景永德,路爱军.新型复合浮选药剂 ME 的制备及应用[J].煤炭科学技术,2001,29(1):28-29.

[29] 孔小红,康文泽.KJ 复合药剂的浮选性能[J].黑龙江科技学院学报,2009,19(1):8-11.

[30] 赵鸣,皇甫京华,刘冀州.RP 乳化剂在煤泥浮选中的作用[J].煤炭转化,1998,21(1):94-96.

[31] 吕玉庭,王劲草,吕一波.DR 煤油乳化液的制备与应用[J].选煤技术,2003(6):76-78.

[32] 张秀梅,郭德.难浮煤浮选促进剂的研究[J].煤炭工程,2005,37(1):47-48.

[33] 崔广文,李彦君,刘惠杰.新型煤泥浮选促进剂 CG 的制备与作用机理[J].黑龙江科技学院学报,2012,22(4):368-396.

[34] 黄波,门东坡,刘飞飞,等.新型煤泥浮选促进剂的制备及作用机理[J].洁净煤技术,2011,17(2):3-6.

[35] 谢广元.选矿学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2010.

[36] 张东晨,张明旭,陈清如.煤泥水处理中絮凝剂的应用现状及发展展望[J].选煤技术,2004(2):1-3.

[37] 崔广文,王洁,王京发,等.地沟油制备煤泥捕收剂及其应用效果研究[J].选煤技术,2012(6):1-3.

[38] 崔广文,王京发,王乐明,等.新型煤泥浮选自乳化捕收剂 SEC 的应用研究[J].选煤技术,2014(3):6-8.

[39] 杨建利,杜美利,黄婕,等.地沟油制备煤泥浮选捕收剂的研究[J].中国煤炭,2013,39(6):67-69.

[40] 李琼,叶贵川,朱明,等.废弃油脂制备煤泥捕收剂的研究[J].洁净煤技术,2014,20(1):1-4.