

复合药剂煤泥浮选试验研究

于海选,杨世诚,张玉德,马名杰

(河南理工大学材料科学与工程学院,河南焦作 454000)

摘要:为改善煤泥浮选效果,以煤油和芳烃类试剂AR为原料制备复合药剂,通过正交试验确定传统药剂与复合药剂的最佳浮选试验条件,分析了捕收剂的煤泥浮选作用机理。结果表明,复合药剂的最佳浮选条件为煤浆质量浓度100 g/L,捕收剂用量1000 g/t,起泡剂用量100 g/t,此时精煤产率59.87%,精煤灰分12.10%,浮选完善指标为67.51%。传统药剂的最佳浮选条件为煤浆质量浓度60 g/L,捕收剂用量1200 g/t,起泡剂用量120 g/t,此时精煤产率57.97%,精煤灰分11.91%,浮选完善指标65.83%。复合药剂的精煤产率提高1.90%,浮选完善指标增加1.68%,各项指标明显优于传统药剂。X射线衍射分析和红外光谱分析表明,复合药剂对石英和煤粒的分离效果优于传统药剂。复合药剂吸附在煤粒表面,改变了煤泥表面润湿性,从而增强煤粒可浮性,使煤粒与无机矿物分离,处理后精煤中的无机矿物石英、白云母和高岭石等含量减少。

关键词:煤泥;复合药剂;传统药剂;精煤产率;浮选完善指标

中图分类号:TD94

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2015)05-0008-06

Application of compound reagent in slime flotation

YU Haixuan, YANG Shicheng, ZHANG Yude, MA Mingjie

(School of Materials Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: To improve effects of slime flotation, the best flotation conditions of compound reagent which was the mixture of kerosene and aromatic AR reagent was investigated through orthogonal test. The flotation mechanism was introduced. The experimental results showed that, for compound reagent, when the flotation pulp concentration, dosage of collector and frother were 100 g/L, 1000 g/t and 1000 g/t respectively, the clean coal yield, ash of clean coal, flotation perfect index could reach 59.87%, 12.10% and 67.51%. For traditional reagent, when the flotation pulp concentration, dosage of collector and frother were 60 g/L, 1200 g/t, 120 g/t, the clean coal yield, ash of clean coal, flotation perfect index could reach 57.97%, 11.91%, 65.83%. Compound reagent was more superior to the traditional reagent in improving clean coal yield (1.90%) and flotation perfect index (1.68%). Through X ray diffraction analysis and infrared spectrum analysis, the separation effects of the compound reagent on quartz and coal particles was better than that of traditional reagent. The attachment of compound reagent on surface of coal particle changed its wettability and improved flotability. After flotation, the content of quartz, mica and kaolinite in clean coal decreased.

Key words: coal slime; compound reagent; traditional agent; clean coal yield; flotation perfect index

0 引 言

随着进口煤大量涌入和国内煤炭供过于求,煤炭形势日益低迷,但国家环保要求日益严格,提高能

源利用效率,降低加工成本势在必行。随着采煤机械化程度的提高,原煤中煤泥比例越来越高,煤泥质量恶化。对于煤泥分选效果最好、最经济的方法是浮选^[1]。轻柴油、煤油作为煤泥浮选捕收剂,疏水

收稿日期:2014-11-06;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.05.002

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51104060);国家自然科学基金重点资助项目(51034006);河南理工大学博士基金资助项目(72515/375);校青年骨干教师计划项目(72105/089);省青年骨干教师计划项目(72107/052)

作者简介:于海选(1990—),男,河南南阳人,硕士研究生,从事洁净煤技术方面的科研工作。E-mail: yuhaixuan521@163.com。通讯作者:张玉德(1976—),男,湖南浏阳人,副教授,博士,从事矿物加工与矿物材料应用方面的研究工作。E-mail: zhangyude@hpu.edu.cn

引用格式:于海选,杨世诚,张玉德,等.复合药剂煤泥浮选试验研究[J].洁净煤技术,2015,21(5):8-13,18.

YU Haixuan, YANG Shicheng, ZHANG Yude, et al. Application of compound reagent in slime flotation [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(5): 8-13, 18.

性强,来源易得,但药剂耗量大^[2]。为降低选煤成本,改善轻柴油、煤油的浮选效果。目前,捕收剂的研究正朝2个方向发展:一是开发研制高效、低毒(或无毒)、价廉、低耗、原料广泛的新型捕收剂;二是对现有捕收剂进行合理搭配、组合使用。新型捕收剂的研制周期长、难度大;组合使用捕收剂已成为提高某些矿物浮选性能的重要途径^[3]。目前,关于复合药剂的研究越来越广泛,也取得了不错的效果。李哲等^[4]以由二环和三环组成并含有芳烃的化合物洗油为主要原料,与燃料油按一定比例混合制成复合浮选药剂,在煤浆质量浓度 100 g/L,捕收剂与起泡剂质量比 4:1,药剂用量相等的条件下进行浮选试验。结果表明,复合药剂浮选精煤产率比煤油提高了 5.55%,精煤灰分降低了 0.04%,可燃体回收率提高了 6.19%。陈衍庆^[5]分别以 TDS 复合药剂和轻柴油为捕收剂在兴隆庄选煤厂进行小浮选和工业性试验,结果表明,TDS 捕收剂具有选择性强、浮选速度快、药耗低,同时具有精煤产率高和精煤灰分低的优势。解维伟等^[6-8]将柴油、水和表面活性剂按一定比例混合,经过强力搅拌、超声波乳化作用制得 ZFC 型浮选药剂。浮选试验表明,精煤灰分相近时,ZFC 乳化油的精煤产率比柴油提高 5%,节油率高达 70%,减轻了浮选过程中的跑粗现象,经济效益显著。但关于复合药剂对煤种的适应性及复合

药剂适应机理或作用机理的研究还很少。笔者以传统捕收剂、煤油和芳烃类试剂 AR 复配得到的复合捕收剂为试验药剂,通过正交试验分析传统药剂与复合药剂的最佳浮选条件,探讨了煤泥浮选过程中的作用机理,以期改善煤泥浮选效果。

1 试验部分

1.1 试验原料

试验试剂主要有煤油、仲辛醇、芳烃类药剂 AR。煤样采自古汉山选煤厂煤泥晾干场,经粗碎、筛分后 <0.5 mm 煤样作为试验用样。

按照 GB/T 212—2008《煤的工业分析方法》对煤泥进行工业分析,通过元素分析仪和测硫仪测得煤泥中基本元素含量,煤泥工业分析和元素分析见表 1。由表 1 可知,煤泥灰分为 38.90%,硫含量仅为 0.29%,属于高灰低硫煤泥。按照 GB/T 477—2008《煤炭筛分试验方法》对煤泥进行筛分试验,煤泥粒度组成见表 2。由表 2 可知,各粒级灰分均较高,>0.25 mm 灰分为 41.41%,0.074~0.045 mm 灰分为 42.35%,<0.045 mm 灰分高达 50.71%,均高于煤泥平均灰分;而 <0.074 mm 产率高达 40.80%,且灰分远高于平均灰分。因此,试验煤泥中高灰细泥污染严重。浮选过程中,高灰细泥黏附在煤粒表面,抢先吸附药剂,阻碍煤粒与气泡接触,从而影响浮选效果。

表 1 煤泥工业分析和元素分析

工业分析/%				元素分析/%				
M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	FC_{ad}	$w(C_d)$	$w(H_d)$	$w(O_d)$	$w(N_d)$	$w(S_d)$
1.15	38.90	9.59	56.31	55.93	2.18	1.26	0.99	0.29

表 2 煤泥粒度组成

粒级/ mm	质量/ %	产率/ %	灰分/ %	累计产 率/%	平均灰 分/%
0.5~0.25	43.30	21.78	41.41	21.78	41.41
0.25~0.125	39.20	19.72	33.47	41.50	37.64
0.125~0.074	35.20	17.70	31.53	59.20	35.81
0.074~0.045	54.80	27.57	42.35	86.77	37.89
<0.045	26.30	13.23	50.71	100.00	39.59
合计	198.80	100.00	39.59		

1.2 试验仪器

XFD III 型单槽浮选机,多功能真空过滤机,马弗炉,德国 Elementar Vario Macro Cube 元素分析仪,干燥箱,分析天平,标准筛,微量进样器,滤纸,称量瓶,

灰皿,挥发分坩埚,秒表等。

1.3 试验方法

1) 传统药剂浮选试验。以煤油为捕收剂,仲辛醇为起泡剂,参照 MT/T 144—1997《选煤实验室分步释放浮选试验方法》进行传统药剂浮选正交试验,以浮选完善指标为标准选择传统药剂的最佳浮选试验条件。

2) 煤泥分步释放试验。参照 MT/T 144—1997《选煤实验室分步释放浮选试验方法》在传统药剂的最佳浮选条件下进行煤泥分步释放浮选试验,分步释放浮选试验流程如图 1 所示。

3) 复合药剂浮选试验。通过单因素试验确定煤油和芳烃类试剂 AR 的最佳复合比例。在最佳比

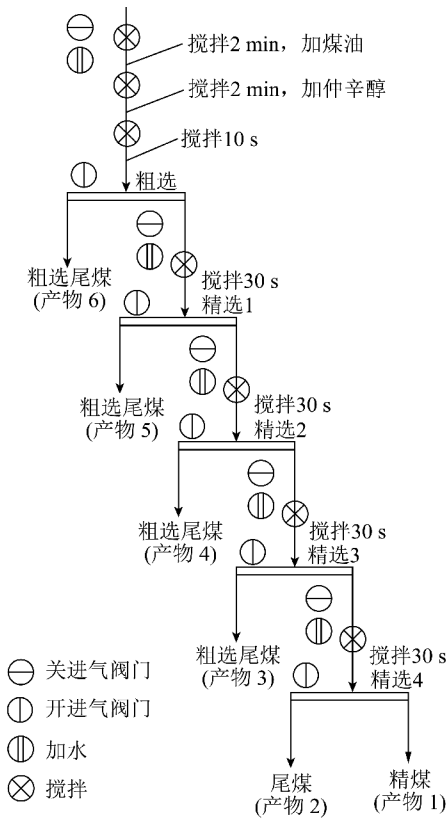


图1 分布释放浮选试验流程

例条件下,参照 MT/T 144—1997《选煤实验室分步释放浮选试验方法》进行复合药剂浮选正交试验确定最佳浮选试验条件,并与传统药剂最佳浮选条件进行对比。

2 结果与讨论

2.1 传统药剂浮选试验

2.1.1 最佳浮选条件的确定

以煤油为捕收剂,仲辛醇为起泡剂进行传统药剂浮选试验。浮选机叶轮转速 1800 r/min,刮泡器转速 30 r/min,煤浆质量浓度 60、80、100 g/L。煤油用量 800、1000、1200 g/t,仲辛醇用量 80、100、120 g/t。正交试验因素水平表见表 3,正交试验结果见表 4,极差分析见表 5。

表3 正交试验因素水平表

水平	因素 A 煤浆质量浓度/(g·L ⁻¹)	因素 B 捕收剂用量/(g·t ⁻¹)	因素 C 起泡剂用量/(g·t ⁻¹)
1	60	800	80
2	80	1000	100
3	100	1200	120

表4 传统药剂正交试验结果

试验编号	煤浆质量浓度/(g·L ⁻¹)	捕收剂用量/(g·t ⁻¹)	起泡剂用量/(g·t ⁻¹)	精煤产率/%	精煤灰分/%	尾煤产率/%	尾煤灰分/%	浮选完善指标/%
1	60	800	80	52.42	11.41	47.58	67.19	60.63
2	60	1000	120	57.48	12.40	42.52	73.35	64.09
3	60	1200	100	57.98	13.49	42.02	72.77	61.99
4	80	800	120	51.48	11.62	48.52	66.20	59.09
5	80	1000	100	53.29	12.87	46.71	66.67	58.36
6	80	1200	80	50.49	10.20	49.51	66.79	60.97
7	100	800	100	48.20	9.73	51.80	64.69	59.16
8	100	1000	80	51.21	10.18	48.79	67.22	61.88
9	100	1200	120	57.52	12.79	42.48	73.42	63.19

表5 传统药剂极差分析

项目	精煤产率/%			精煤灰分/%			浮选完善指标/%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
K ₁	167.88	152.11	154.12	37.30	32.76	31.79	186.71	178.88	183.48
K ₂	155.26	161.98	159.47	34.69	35.45	36.09	178.42	184.33	179.51
K ₃	156.93	165.99	166.48	32.70	36.48	36.81	184.23	186.15	186.37
H ₁	55.96	50.70	51.37	12.43	10.92	10.6	62.24	59.63	61.16
H ₂	51.75	53.99	53.16	11.56	11.82	12.03	59.47	61.44	59.84
H ₃	52.31	55.33	55.49	10.90	12.16	12.27	61.41	62.05	62.12
极差	4.21	4.63	4.12	1.53	1.24	1.67	2.76	2.42	2.29

注:K_i 为某个因素第 i 个水平的试验指标之和;H_i 为 K_i 的平均值。

由表5可知,从精煤产率的极差分析得出影响精煤产率的主次因素依次为B、A、C,即捕收剂、煤浆质量浓度、起泡剂,以精煤产率为指标的最佳条件为 $A_1B_3C_3$;影响精煤灰分的主次因素为C、A、B,即起泡剂、煤浆质量浓度、捕收剂,以精煤灰分为指标的最佳条件是 $A_3B_1C_1$;影响浮选完善指标的主次因素依次为A、B、C,即煤浆质量浓度、捕收剂、起泡剂,以浮选完善指标为指标的最佳条件是 $A_1B_3C_3$ 。浮选完善指标是对浮选精煤产率和精煤灰分的综合评价,因此,以浮选完善指标为准,确定浮选最佳条件是煤浆质量浓度60 g/L,捕收剂用量1200 g/t,起泡剂用量120 g/t,此时精煤产率为57.97%,精煤灰分为11.91%,浮选完善指标为65.83%。

2.1.2 煤泥分步释放浮选试验

煤泥分步释放浮选试验结果见表6。由表6可知,产品6产率为34.53%,灰分高达81.70%,产品4灰分降到12.78%,产品1~产品3灰分均低于10%,中间产物相对较少,经过5次分选精煤灰分达到5.12%,产率为26.53%。

表6 煤泥分步释放浮选试验结果

产品	产率/%	灰分/%	累计产率/%	平均灰分/%
1	26.53	5.12	26.53	5.12
2	7.80	7.28	34.33	5.61
3	9.78	8.28	44.11	6.20
4	8.44	12.78	52.55	7.26
5	12.92	42.82	65.47	14.28
6	34.53	81.70	100.00	37.56
合计	100.00	37.60		

2.2 复合药剂浮选试验

2.2.1 最佳比例的确定

对芳烃类药剂AR和煤油进行不同比例的配

比,考虑到成本因素,在AR与煤油质量比为1:1、1:4、1:7、1:10、1:13、1:15时进行浮选试验,试验结果见表7。

表7 AR和煤油配比浮选试验结果

AR和煤油质量比	精煤产率/%	精煤灰分/%	尾煤产率/%	尾煤灰分/%	浮选完善指标/%
1:1	61.76	13.97	38.24	76.81	64.77
1:4	60.76	15.52	39.24	73.19	59.76
1:7	62.28	12.54	37.72	80.59	66.40
1:10	59.02	13.25	40.98	73.89	63.70
1:13	52.91	12.70	47.09	66.45	58.33
1:15	52.58	13.63	47.42	65.38	55.91

由表7可知,芳烃类药剂AR与煤油作为复合药剂,其配比为1:7时,精煤产率、浮选完善指标最高为62.28%和66.40%,精煤灰分最低为12.54%,因此1:7为复合药剂的最佳配比。

2.2.2 最佳浮选条件的确定

在复合药剂最佳配比下进行浮选正交试验,正交试验因素水平表见表3,正交试验结果见表8,极差分析见表9。

由表9可知,以精煤灰分为指标的最佳条件是 $A_3B_2C_3$;以精煤产率为指标的最佳条件是 $A_3B_1C_2$;以浮选完善指标为指标的最佳条件是 $A_3B_2C_3$,煤浆质量浓度对浮选的影响最大,其次是捕收剂和起泡剂。煤泥最佳浮选条件按浮选完善指标定为 $A_3B_2C_3$,即煤浆质量浓度100 g/L,捕收剂用量1000 g/t,起泡剂用量120 g/t,此时精煤产率为59.87%,精煤灰分为12.10%,浮选完善指标为67.51%。

2.3 对比分析

传统药剂的煤泥分步释放浮选试验曲线如图2

表8 复合药剂正交试验结果

试验编号	煤浆质量浓度/(g·L ⁻¹)	捕收剂用量/(g·t ⁻¹)	起泡剂用量/(g·t ⁻¹)	精煤产率/%	精煤灰分/%	尾煤产率/%	尾煤灰分/%	浮选完善指标/%
1	60	800	80	45.72	12.92	54.28	59.44	49.98
2	60	1000	120	51.54	12.10	48.46	65.59	58.11
3	60	1200	100	46.08	12.44	53.92	60.23	51.30
4	80	800	120	59.17	11.76	40.83	75.98	67.57
5	80	1000	100	56.99	12.59	43.01	71.88	63.08
6	80	1200	80	52.09	14.92	47.91	63.51	52.56
7	100	800	100	60.12	11.72	39.88	78.62	68.75
8	100	1000	80	59.26	12.00	40.74	75.92	67.07
9	100	1200	120	58.68	13.25	41.32	73.17	63.33

表9 复合药剂极差分析

项目	精煤产率/%			精煤灰分/%			浮选完善指标/%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
K_1	143.34	165.01	157.07	37.46	36.40	39.84	159.39	186.29	169.60
K_2	168.26	167.78	163.19	39.27	36.69	36.75	183.21	188.26	183.13
K_3	178.06	156.85	169.39	36.97	40.61	37.11	199.14	167.19	189.01
H_1	47.78	55.00	52.36	12.49	12.13	13.28	53.13	62.10	56.53
H_2	56.09	55.93	54.40	13.09	12.23	12.25	61.07	62.75	61.04
H_3	59.35	52.28	56.46	12.32	13.54	12.37	66.38	55.73	63.00
极差	11.57	3.64	4.11	0.77	1.40	1.03	13.25	7.03	6.47

所示。由图2可知,与复合药剂最佳浮选条件的精煤灰分12.10%相同时,传统浮选药剂的精煤产率为58.24%,尾煤产率为41.76%,尾煤灰分为75.08%。

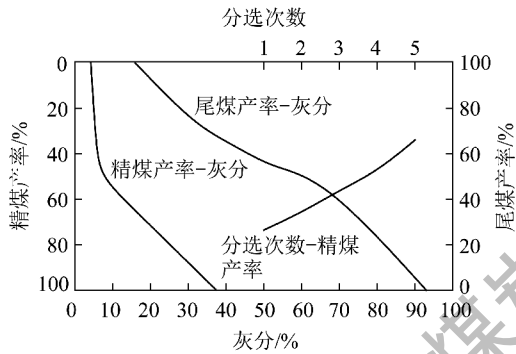


图2 煤泥分布释放浮选曲线

对比分析不同药剂的浮选试验结果,见表10。

表10 不同药剂的浮选试验对比

项目	精煤产率/%	精煤灰分/%	尾煤产率/%	尾煤灰分/%	浮选完善指标/%
MY	57.97	11.91	42.03	74.08	65.83
FH	59.87	12.10	40.13	76.52	67.51
TH	58.24	12.10	41.76	75.08	65.67

注:MY表示煤油为捕收剂的最佳浮选条件;FH表示复合药剂为捕收剂的最佳浮选条件;TH表示与复合药剂最佳浮选条件的精煤灰分相同时,传统药剂分步释放浮选试验的浮选指标。

由表10可知,以煤油为捕收剂的最佳浮选条件下的精煤产率为57.97%,精煤灰分为11.91%,浮选完善指标为65.83%;以复合药剂为捕收剂的最佳浮选条件下的精煤产率为59.87%,精煤灰分为12.10%,浮选完善指标为67.51%。复合药剂的最佳条件和传统药剂的最佳条件相比,除了灰分略升高外,复合药剂的其他浮选指标均优于传统药剂。精煤灰分相同时,传统药剂的精煤产率为58.24%,

浮选完善指标为65.67%,各项指标均低于复合药剂浮选指标。

煤油作为捕收剂的最佳浮选条件是煤浆质量浓度60 g/L,捕收剂用量1200 g/t,仲辛醇用量120 g/t,药剂消耗量为1320 g/t;而复合药剂作为捕收剂的最佳浮选条件是煤浆质量浓度100 g/L,捕收剂用量1000 g/t,仲辛醇用量120 g/t,药剂消耗量为1120 g/t。复合药剂最佳浮选条件下的煤浆质量浓度增加40 g/L,药耗比煤油降低200 g/t,说明复合药剂不仅增加了单位时间煤浆的处理量,提高了生产效率,还降低了浮选药剂用量。

综上所述,与传统药剂相比,复合药剂对古汉山矿煤泥的浮选效果更好,精煤产率、浮选完善指标均明显提高,增加了单位时间煤浆的处理量,降低了浮选药剂用量。

2.4 机理分析

2.4.1 X射线衍射分析

采用日本理学D/max-2500-18 kW转铜靶衍射仪对原煤泥及浮选后精煤进行X射线衍射(XRD)试验。原煤泥与传统药剂、复合药剂浮选精煤的XRD分析如图3所示。

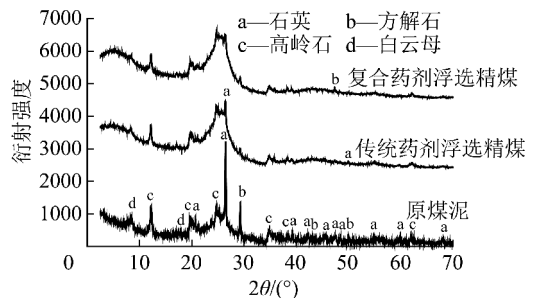


图3 原煤泥与传统药剂、复合药剂浮选精煤的XRD分析

由图3可知,煤泥中的矿物质主要有石英、高岭石、方解石和白云母等。与原煤泥相比,传统药剂浮选的精煤中很多矿物的特征峰明显变弱,如衍射角

位于 20.68° 、 26.48° 、 49.98° 、 59.80° 、 67.98° 处的石英峰 (a) 减弱非常明显^[9]; 衍射角位于 29.40° 、 47.5° 、 48.5° 处的方解石峰 (b) 峰强度明显变弱; 高岭石 (c) 位于 12.21° 、 20.59° 、 25.06° 、 35.12° 、 35.92° 的衍射峰也有所减弱; 白云母 (d) 位于 8.67° 、 17.68° 、 26.67° 处的衍射峰减弱但变化不明显。说明传统药剂浮选过程中, 对无机矿物中石英和方解石的去除效果显著, 对高岭石和白云母效果不明显, 可能是因为高岭石和白云母易泥化而粒度过细, 其表面能显著增强, 在一定条件下, 矿物微粒之间容易发生互凝作用而形成非选择性聚集, 微粒黏着在煤粒表面形成矿泥罩盖; 且微粒质量小易被水流机械夹带和泡沫机械夹带进入浮选精煤, 导致对高岭石和白云母的浮选效果不显著。

与复合药剂浮选精煤相比, 传统药剂浮选精煤中高岭石 (c) 和云母 (d) 的衍射峰变化不显著。但衍射角位于 26.48° 和 49.98° 的石英峰 (a) 在复合药剂浮选精煤中的强度明显低于煤油浮选精煤, 而衍射角 47.5° 的方解石 (b) 峰在复合药剂浮选精煤中的强度明显高于煤油浮选精煤。说明复合浮选药剂对高岭石、白云母的分选效果与传统药剂并无显著差别, 复合药剂浮选精煤对石英的分选效果优于传统药剂, 传统药剂对方解石的分选效果优于复合药剂。

2.4.2 红外光谱分析

采用德国布鲁克 TENSOR 27 傅里叶变换红外光谱仪对浮选前后煤泥的表面结构进行表征, 结果如图 4 所示。

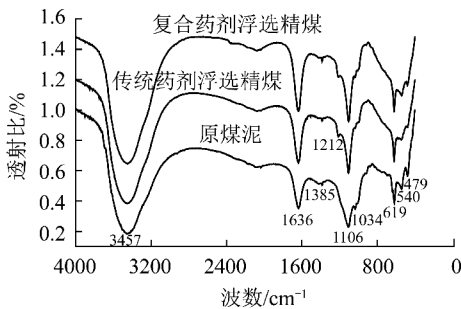


图4 原煤泥和浮选后精煤的红外光谱分析

由图 4 可知, 原煤泥波数 3457 cm^{-1} 左右的强吸收峰为 —OH (缔合) 的伸缩振动, 1636 cm^{-1} 左右的强吸收峰为芳环的骨架振动, 1385 cm^{-1} 为 —CH_3 中 C—H 的弯曲振动, 1106 cm^{-1} 处的强吸收峰为脂肪醚的 $\text{—CH}_2\text{—O—CH}_2\text{—}$ 的伸缩振动, 1034 cm^{-1} 处的吸收峰为烷基醚 $\text{—CH}_2\text{—O—CH}_2\text{—}$ 的伸缩振

动, 619 、 540 、 479 cm^{-1} 处的峰均为 Si—O 、 Al—O 的振动峰, 主要以高岭石、石英、白云母等无机矿物的形式存在^[10]。

与原煤泥相比, 浮选后精煤 1636 cm^{-1} 处的芳环骨架振动峰变强, 说明经过复合药剂浮选, 煤粒与无机矿物分离, 精煤中煤的比例增大, 1212 cm^{-1} 处比煤泥多出一个吸收峰, 此处为芳香醚 $\text{—CH}_2\text{—CH—O—CH}_2\text{—}$ 的伸缩振动, 可能是浮选起泡剂与煤粒表面的酚类 —OH 结合形成了芳香醚。 1106 cm^{-1} 处的峰强度增强, 物质纯度提高, 即浮选精煤中脂肪醚含量增加, 是因为浮选过程中, 起泡剂中 —OH 与煤粒发生作用吸附在精煤表面。 619 、 540 、 479 cm^{-1} 处 Si—O 、 Al—O 的振动峰峰面积明显变小, 峰强变弱。这是因为经过复合药剂浮选, 捕收剂吸附在煤粒表面, 改变了煤泥表面润湿性从而增强煤粒的可浮性, 使煤粒与无机矿物分离, 处理后精煤中的无机矿物石英、白云母和高岭石等含量减少。

与传统药剂浮选精煤相比, 复合药剂浮选精煤在 540 、 479 cm^{-1} 处的 Si—O 、 Al—O 的振动峰面积略增大, 验证了之前复合药剂比传统药剂浮选精煤灰分略增加的试验结果。而波数 1636 cm^{-1} 处的芳环骨架振动峰和波数 1106 cm^{-1} 处的脂肪醚的伸缩振动峰的强度都比传统药剂浮选精煤强, 说明复合药剂的浮选效果比传统药剂好。

3 结 论

1) 传统药剂最佳浮选条件为煤浆质量浓度 60 g/L , 捕收剂用量 1200 g/t , 起泡剂用量 120 g/t , 此时精煤产率为 57.97% , 精煤分为 11.91% , 浮选完善指标为 65.83% 。复合药剂最佳浮选条件为煤浆质量浓度 100 g/L , 捕收剂用量为 1000 g/t , 起泡剂用量 120 g/t , 此时精煤产率为 59.87% , 精煤灰分为 12.10% , 浮选完善指标为 67.51% 。复合药剂不仅降低了浮选药剂消耗量, 还增加了单位时间煤浆处理量, 降低了浮选成本, 提高了生产效率。与传统药剂相比, 复合药剂的精煤产率提高 1.90% , 浮选完善指标增加 1.68% 。与复合药剂精煤灰分相同时, 传统药剂精煤产率为 58.24% , 浮选完善指标为 65.67% , 复合药剂各项浮选指标明显高于传统药剂。

2) 煤泥及不同药剂浮选精煤进行 X 射线衍射分析表明, 复合药剂浮选精煤对石英和煤粒的分离

(下转第 18 页)

干燥器受机械载荷和温度载荷作用下的位移及应力见表3。由表3可知,结构的变形主要由热膨

胀引起,温度载荷引起的应力较严重,机械载荷引起的变形只占结构变形的极小部分。

表3 干燥器各种工况下的位移和应力

项目	U_x/mm	U_z/mm	P_L/MPa	$(P_L+P_b)/\text{MPa}$	P_m/MPa	$(P_m+P_b)/\text{MPa}$
机械载荷	3.70	5.10	47.20	76.44	31.40	68.64
温度+机械载荷	44.60	29.50	—	—	61.70	260.40

4 结 论

1)由神华呼伦贝尔1750 t/a干燥器的计算结果可以看出,结构变形及应力主要是由于热膨胀所引起。干燥器筒体部分水封处应力集中严重,但这部分并不承受载荷,强度校核时可忽略,其余区域一次应力满足强度要求,二次应力不满足强度要求。但是水封处的出料桶的应力较严重,需要优化此处结构,降低温度梯度。

2)神华呼伦贝尔1750 t/a干燥器的径向位移最大达到44.6 mm,设计时需考虑水封槽的宽度,避免由于热膨胀导致水封刀和水封槽发生干涉。干燥器的轴向位移最大达到29.5 mm,设计时需考虑导流板和鱼鳞板的距离,并控制刮板高度,避免由于热膨胀导致导流板和鱼鳞板发生干涉,并考虑刮板和鱼鳞板的距离,避免影响料层的厚度从而影响整个工艺性能。

参考文献:

[1] 邵俊杰. 褐煤提质技术现状及我国褐煤提质技术发展趋势初

探[J]. 神华科技,2009,7(2):17-22.

[2] 夏浩,刘全润,马名杰. 褐煤提质技术现状[J]. 洁净煤技术,2010,16(4):56-58.

[3] 白中华,赵玉冰,黄海东. 中国褐煤提质技术现状及发展趋势[J]. 洁净煤技术,2013,19(6):25-29.

[4] 田忠坤. 褐煤干选、干燥、成型一体化工艺技术开发研究[J]. 选煤技术,2011(2):20-23.

[5] 金国森. 干燥设备[M]. 北京:化学工业出版社,2002.

[6] 戴和武,谢可玉. 褐煤利用技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,1998.

[7] John BHarrell, Pittsburgh Pa. Method of treating materials on a rotary hearth; United States Patent, 3998703[P]. 1976-12-21.

[8] 高家驹. 高压干燥器的强度设计评述[J]. 化工装备技术,1990,11(4):23-26.

[9] 王兰生,赵晋平. 圆盘干燥器的设计计算[J]. 化工设备设计,1996,33(4):20-24.

[10] 张智亮,王勇. 加氢反应器裙座支撑区有限元分析及优化设计[J]. 炼油技术与工程,2008,38(3):40-43.

[11] 中国机械工程学会. 中国材料工程大典[M]. 北京:化学工业出版社,2006.

[12] ASME VIII Division1—2007, Boiler and pressure vessel code an international code[S].

(上接第13页)

效果优于煤油浮选精煤;煤油浮选精煤对方解石和煤粒的分离效果优于复合浮选药剂,但复合浮选药剂精煤对高岭石、白云母和煤粒的分离效果比煤油浮选精煤差。红外光谱分析表明,仲辛醇吸附在煤粒表面形成醚,说明在浮选过程中,不仅发生了物理吸附还发生了化学吸附。

参考文献:

[1] 康文泽,刘松阳,张亚革. AO捕收剂浮选稀缺难浮煤实验[J]. 黑龙江科技学院学报,2011,21(2):85-88.

[2] 徐初阳,聂容春,唐明康. 高效复合选煤浮选药剂的研究[J]. 煤炭科学技术,2003,31(6):11-13.

[3] 刘述忠,李晓阳,徐晓军,等. 捕收剂组合使用的研究概况[J]. 云南冶金,2002,31(4):17-20.

[4] 李哲,朱玉,武英刚. 煤泥复合捕收剂的研究[J]. 洁净煤

技术,2008,14(6):14-16.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 黄波,解维伟,赵银荣. 新型高效煤泥浮选药剂的研究[J]. 选煤技术,2007(4):50-52.

[8] Zhu Shuquan, Bai Yana, Xie Weiwei, et al. Research and application of a new emulsified collector on flotation[J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009, 1(1):724-730.

[9] Zhang Yude, Kang Xiaojuan, Tan Jinlong, et al. Influence of calcination and acidification on structural characterization of anyang anthracites[J]. Energy Fuels, 2013, 27(11):7191-7197.

[10] Zhang Yude, Kang Xiaojuan, Tan Jinlong, et al. Structural characterization of H₂O₂ oxidized and HF acidified anthracites by XRD, FTIR and Raman spectra[J]. Applied Spectroscopy, 2014, 68(7):749-757.