

低碱度铜硫分离高效抑制剂的研究

詹信顺¹, 钟宏², 刘广义²

(1. 江西铜业集团公司, 江西 贵溪 335424; 2. 中南大学, 长沙 410083)

摘要: 对有机抑制剂 DP-1、无机抑制剂 DP-2 和 DP-3 浮选分离德兴铜矿一段铜硫混合精矿进行了试验研究。结果表明, DP-1、DP-2 和 DP-3 都是铜硫分离时硫的有效抑制剂, 但 DP-3 的综合性能要优于 DP-1 和 DP-2 抑制剂。闭路浮选试验结果表明, 当 DP-3 总用量为 500g/t 时, 可获得铜精矿中铜品位 28.43%、铜回收率 97.71% 和钼品位 0.212%、钼回收率 80.56% 的二段分离指标, 与石灰工艺相比, 铜、钼、金、银的回收率分别提高了 0.75%、31.38%、2.76% 和 8.31%, 表明低碱度浮选工艺对于伴生金属的回收具有十分明显的优势。生产综合样验证试验进一步证明捕收剂 Mac-12 和抑制剂 DP-3 可望实现德兴铜矿铜硫低碱度高效浮选分离。

关键词: 抑制剂; 铜硫分离; 浮选回收率

中图分类号: TD923.14; TD952.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-9492(2009)02-0036-05

德兴铜矿二段铜硫分离采用以石灰为硫抑制剂的高碱流程, 造成铜硫分离时铜、金、钼的损失^[1-4]。最近, 泗洲选矿厂在一段铜硫混浮时采用高选择性铜捕收剂 Mac-12 替代大部分丁基黄药, 降低了二段铜硫分选石灰用量近 2/3, 提高了铜精矿中铜、金、钼的综合回收率^[5-6]。但二段铜硫分选矿浆 pH 值仍然在 11 以上, 钼、金等伴生金属回收率仍然有提升的空间。因此, 研究新型高效抑制剂, 进一步降低 Mac-12+少量丁基黄药工艺中铜硫分离的矿浆 pH 值, 可望进一步提高钼、金等伴生金属回收率。

1 矿样性质及试验方法

1.1 矿样性质

德兴铜矿属特大型斑岩铜矿^[7-8], 矿石类型以细脉浸染型硫化矿为主。矿石中铜矿物主要为黄铜矿, 其次为辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、黝铜矿-砷黝铜矿等, 少量孔雀石、斑铜矿等。主要金属硫化物为黄铁矿, 其次为极少量的磁黄铁矿。钼的独立矿物为辉钼矿, 金主要以自然金存在, 其次为银金矿。脉石矿物主要有石英、绢云母、绿泥石、水白云母、伊利石、黑云母等。

1.2 试验方法

试验所用矿样为泗洲选矿厂磨一工段 2 号系统

的一段浮选粗精矿, 其一段浮选的生产工艺条件见图 1。铜硫分选用 1L XFD-63 型单槽浮选机, 精选用 0.5L XFD-63 型单槽浮选机。闭路试验矿样为生产综合样, 其含铜 0.42%, 含硫 1.72%, 含钼 0.012%, 含金 0.18g/t, 含银 1.2g/t, 具有代表性。闭路流程试验两次粗选浮选泡沫合并精选, 以保证精选的浓度, 其流程如图 1 所示, 为现场生产流程。

试验所用浮选捕收剂 Mac-12、丁基黄药、丁基铵黑药均为工业品, 起泡剂为 111 号, 其为石油副产物, 试验所用新型铜硫分离抑制剂见表 1。

表 1 新型铜硫分离抑制剂代号及其主要组成

Table 1 The main compositions of depressants for flotation separation of Cu/Fe sulfide minerals %

抑制剂代号	DP-1	DP-2	DP-3
主要组成	有机脲和过氧乙酸类	过硫酸盐类	次氯酸盐类

2 试验结果与讨论

2.1 不同种类抑制剂浮选试验

不同种类抑制剂浮选一段粗精矿的试验流程见图 2, 试验条件及其结果见表 2。表 2 的试验结果表明, 有机抑制剂 DP-1 对铜硫分离具有一定的分离效果, 在无石灰的条件下能获得品位 24% 以上的

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目 (2007BAB22B01)

收稿日期: 2008-11-07

作者简介: 詹信顺 (1960-), 男, 江西抚州人, 高级工程师。

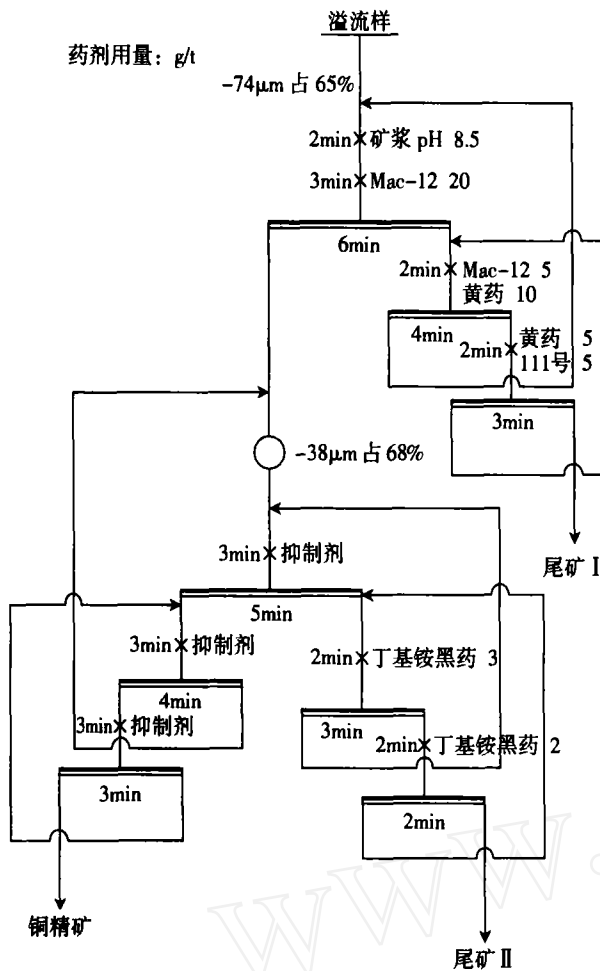


图1 德兴铜矿泗洲选矿厂混浮工艺试验流程

Fig. 1 The flowsheet of bulk flotation followed by separation in Sizhou Mineral Processing Plant of Dexing Copper Mine

铜精矿, DP-1 与 DP-2 或 DP-3 组合使用能显著提高铜精矿品位, 分别达到 28.05% 和 29.17%。但由于 DP-1 价格贵 (4.2 万元/t), 在试验用量下成本过高, 故而未作进一步研究。

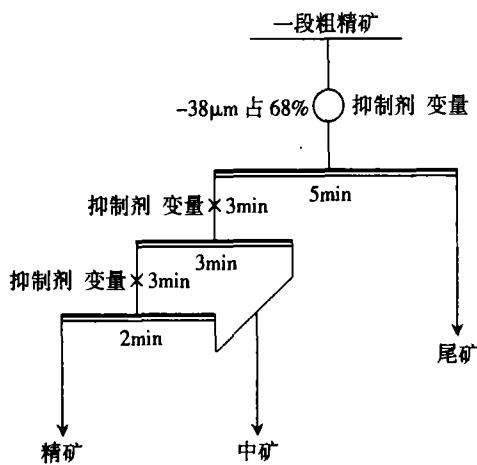


图2 二段铜硫分离抑制剂开路试验流程

Fig. 2 The flowsheet of open flotation tests for separation of Cu/Fe sulfide minerals

表2 DP-1 及其与 DP-2 或 DP-3 组合对铜硫分离的影响

Table 2 The flotation results of separation operation using depressants DP-1, DP-2 or DP-3 %

试验条件/(g·t ⁻¹)	产品	产率	品位		回收率	
			Cu	S	Cu	S
分选:DP-1 50	精矿	18.24	18.24	29.44	86.38	22.00
精一:DP-1 20	中矿	7.70	7.70	19.67	4.21	6.21
精二:DP-1 20	尾矿	74.06	74.06	23.66	9.41	71.79
	原矿	100.0	100.0	24.41	100.0	100.0
分选:DP-1 20, DP-2 200	精矿	13.51	29.17	29.54	79.31	16.19
精一:DP-1 10, DP-2 100	中矿	9.33	5.01	20.07	9.41	7.60
精二:DP-1 10, DP-2 100	尾矿	77.16	0.727	24.34	11.29	76.21
	原矿	100.0	4.969	24.644	100.0	100.0
分选:DP-1 20, DP-3 400	精矿	9.86	28.63	28.95	57.72	12.22
精一:DP-1 10, DP-3 200	中矿	11.32	10.75	25.47	24.88	12.35
精二:DP-1 10, DP-3 200	尾矿	78.82	1.08	22.35	17.40	75.43
	原矿	100.0	4.891	23.35	100.0	100.0

2.2 无机抑制剂浮选试验

表2的试验结果表明无机抑制剂 DP-2 或 DP-3 和有机抑制剂 DP-1 的组合能取得比单用有机抑制剂 DP-1 更高的铜精矿品位, 于是进行了无机抑制剂浮选分离铜硫的试验研究, 试验流程如图2, 试验条件及其结果见表3。结果表明, 在单用石灰 (1800g/t) 作抑制剂时, 铜精矿品位达到 33.27%, 回收率 70.96%。单独使用 DP-2 250g/t 作抑制剂完全取代石灰时, 可获得品位 33.05%、铜回收率 75.51% 的分离指标。而单独使用 DP-3 500g/t 作抑制剂时, 可获得品位 32.96%、铜回收率 75.14% 的分离指标。DP-3 抑制剂与部分石灰联合使用时, 其分离效果更佳, 可获得品位 32.91%、铜回收率 77.35% 的分离指标, 说明该抑制剂与石灰具有良好的配伍性。

由于 DP-2 和 DP-3 均为无机氧化剂, 其水溶液的稳定性是影响其应用性能的主要因素, 因此, 进行了抑制剂稳定性试验。将 DP-2 和 DP-3 分别配制成 10% 的质量浓度, 分别放置 24、48 和 72h 后进行浮选分离试验, 试验流程见图2, 试验结果见表4。试验结果表明, 该两种药剂具有良好的稳定性, 放置 3d (72h) 基本上不影响其抑制性能。

2.4 二段铜硫低碱度浮选分离闭路试验

在上述试验的基础上, 进行了新型抑制剂 DP-2 和 DP-3 分别完全取代石灰的二段铜硫分离闭路试验。试验流程见图3, 试验条件见表5, 试验结果见表6。其表明, 使用 Mac-12 为捕收剂, 配合使用 DP-3 或 DP-2 均可实现二段铜硫的无石灰低碱度分离。当 DP-3 总用量为 500g/t 时, 可获得铜精矿品位 28.43%、回收率 97.71% 的二段分离指

表3 DP-2和DP-3抑制剂对铜硫分离的影响

Table 3 The flotation results of separation operation using depressants lime, DP-2 or DP-3 %

条件 (g/t)	产品	产率	品位		回收率	
			Cu	S	Cu	S
分选: CaO 1000	精矿	15.77	15.77	31.34	70.96	26.37
	中矿	3.97	3.97	22.45	7.87	4.75
	尾矿	80.26	80.26	16.09	21.17	68.88
精二: CaO 300	原矿	100.0	100.0	18.748	100.0	100.0
分选: CaO 1000	精矿	17.00	17.00	30.62	72.88	29.00
	中矿	5.91	5.91	20.2	10.27	6.65
	尾矿	77.09	77.09	14.98	16.84	64.35
精二: DP-2 50	原矿	100.0	100.0	17.947	100.0	100.0
分选: CaO 500, DP-2 50	精矿	17.66	17.66	31.24	75.20	29.56
	中矿	6.41	6.41	21.28	11.14	7.31
	尾矿	75.94	75.94	15.51	13.67	63.13
精二: DP-2 50	原矿	100.0	100.0	18.657	100.0	100.0
分选: DP-2 150	精矿	17.32	17.32	31.26	75.51	28.98
	中矿	6.15	6.15	21.11	11.77	6.95
	尾矿	76.53	76.53	15.64	12.72	64.07
精二: DP-2 50	原矿	100.0	100.0	18.682	100.0	100.0
分选: DP-2 300	精矿	16.58	16.58	31.44	72.85	27.91
	中矿	4.52	4.52	20.75	9.41	5.02
	尾矿	78.90	78.90	15.88	17.74	67.07
精二: DP-2 100	原矿	100.00	100.00	18.680	100.00	100.00
分选: CaO 1000	精矿	17.39	17.39	31.55	75.01	29.13
	中矿	4.35	4.35	18.73	8.21	4.32
	尾矿	78.26	78.26	16.02	16.77	66.55
精二: DP-3 100	原矿	100.0	100.0	18.839	100.0	100.0
分选: CaO 500, DP-3 100	精矿	18.23	18.23	31.37	77.35	30.52
	中矿	3.98	3.98	20.17	8.31	4.28
	尾矿	77.79	77.79	15.71	14.34	65.20
精二: DP-3 100	原矿	100.00	100.00	18.743	100.00	100.00
分选: DP-3 150	精矿	18.65	18.65	31.55	75.34	31.59
	中矿	4.13	4.13	21.33	8.27	4.73
	尾矿	77.22	77.22	15.36	16.39	63.68
精二: DP-3 50	原矿	100.0	100.0	18.626	100.0	100.0
分选: DP-3 300	精矿	17.74	17.74	31.98	75.14	30.07
	中矿	4.21	4.21	22.31	8.31	4.98
	尾矿	78.05	78.05	15.7	16.55	64.95
精二: DP-3 100	原矿	100.0	100.0	18.867	100.0	100.0

标, 与石灰工艺相比, 铜精矿品位基本相当, 铜、钼、金、银的回收率分别提高了 0.75%、31.38%、2.76%和 8.31%, 尤以钼回收率提高最为显著, 达到 80.56%, 表明低碱度浮选工艺对于伴生金属的回收具有十分明显的优势。DP-2 抑制剂也获得了铜精矿品位 28.68%、回收率 97.74%的二段分离指标, 但钼、金、银的回收率略低于 DP-3 抑制剂, 综合考虑药剂来源、成本及指标, 推荐采用 DP-3 抑制剂。

2.5 全流程闭路浮选试验

为了验证上述二段低碱度铜硫分离结果, 用生

表4 抑制剂稳定性试验结果

Table 4 The effects of the storage time of DP-2 or DP-3 in aqueous solution on their depressant performances %

条件 (g/t)	产品	产率	品位		回收率	
			Cu	S	Cu	S
分选: CaO 1000	精矿	20.19	30.63	31.75	72.22	26.07
	中矿	6.74	9.17	29.12	7.22	7.98
	尾矿	73.07	2.41	22.21	20.56	65.95
精二: CaO 300	原矿	100.0	8.563	24.602	100.0	100.0
分选: DP-2 150	精矿	20.22	30.21	32.59	72.42	25.92
	中矿	8.13	5.70	36.51	5.50	11.68
	尾矿	71.65	2.60	22.14	22.09	62.40
精二: DP-2 50	原矿	100.0	8.435	25.422	100.0	100.0
分选: DP-2* 150	精矿	20.45	30.87	32.69	73.40	26.78
	中矿	7.85	6.12	35.96	5.59	11.31
	尾矿	71.70	2.52	21.56	21.01	61.92
精二: DP-2* 50	原矿	100.0	8.600	24.966	100.0	100.0
分选: DP-2** 150	精矿	20.06	30.68	32.86	71.92	26.20
	中矿	7.80	6.68	35.87	6.09	11.12
	尾矿	72.14	2.61	21.86	22.00	62.68
精二: DP-2** 50	原矿	100.0	8.559	25.160	100.0	100.0
分选: DP-2*** 150	精矿	20.63	30.15	32.32	72.86	26.63
	中矿	6.88	5.54	34.83	4.46	9.57
	尾矿	72.49	2.67	22.03	22.67	63.79
精二: DP-2*** 50	原矿	100.0	8.537	25.033	100.0	100.0
分选: DP-3 300	精矿	21.78	29.84	32.92	76.39	28.63
	中矿	6.49	5.31	34.56	4.05	8.96
	尾矿	71.73	2.32	21.79	19.56	62.42
精二: DP-3 100	原矿	100.0	8.507	25.042	100.0	100.0
分选: DP-3* 300	精矿	22.45	29.65	33.10	77.61	29.41
	中矿	6.58	5.13	34.76	3.94	9.05
	尾矿	70.97	2.23	21.91	18.45	61.54
精二: DP-3* 100	原矿	100.0	8.577	25.268	100.0	100.0
分选: DP-3** 300	精矿	22.36	30.08	32.79	79.38	28.44
	中矿	6.73	4.90	34.00	3.89	8.87
	尾矿	70.91	2.00	22.8	16.74	62.70
精二: DP-3** 100	原矿	100.0	8.474	25.787	100.0	100.0
分选: DP-3*** 300	精矿	22.70	29.15	33.4	76.32	29.91
	中矿	6.79	5.2	35.14	4.07	9.41
	尾矿	70.52	2.41	21.81	19.60	60.68
精二: DP-3*** 100	原矿	100.0	8.669	25.345	100.0	100.0

注: DP-2, 新配药剂; DP-2*, 放置 24h; DP-2**, 放置 48h, DP-2***放置 72h; DP-3 药剂与此相同。

产综合样进行了全工艺流程闭路浮选试验。试验流程见图 1, 试验条件见表 7, 试验结果见表 8。其表明, 以 Mac-12 为捕收剂, DP-3 为二段铜硫分离抑制剂的低碱度浮选工艺所获指标明显优于高碱铜硫分离的石灰工艺, 可获得铜精矿品位 24.16%、铜回收率 88.60%、金回收率 57.43%、钼回收率 71.42%、银回收率 63.55%的浮选指标。与高碱铜硫分离的石灰工艺相比, 铜回收率提高 0.54%, 金回收率提高 2.01%, 钼回收率提高 9.64%, 银回收率提高 2.58%。进一步验证 DP-3 为低碱度铜硫浮

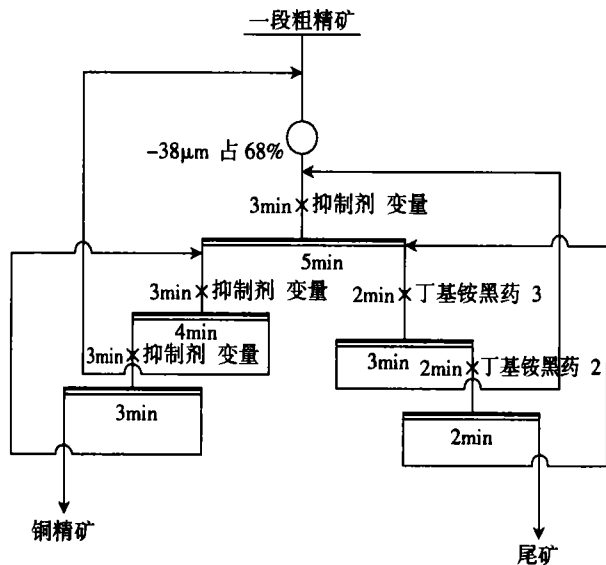


图3 二段铜硫分离闭路试验流程

Fig. 3 The locked cycle tests for flotation separation of Cu/Fe sulfide minerals

表5 二段铜硫分离闭路试验条件

Table 5 The flotation conditions for separation of Cu/Fe sulfide minerals in locked cycle tests g/t

工艺名称	药剂用量		
	分选	精一	精二
DP-3	DP-3 300	DP-3 100	DP-3 100
DP-2	DP-2 200	DP-2 50	DP-2 50
石灰	石灰 1000	石灰 500	石灰 300

选分离的高效抑制剂。

3 结论

1. 不同种类的新型抑制剂浮选分离德兴铜矿一段铜硫混合精矿的试验结果表明, 有机抑制剂 DP-1 和无机抑制剂 DP-2、DP-3 是铜硫分离时硫的有效抑制剂, 其中 DP-3 的综合性能要优于 DP-1 和 DP-2 抑制剂。

表6

二段铜硫分离闭路试验结果

Table 6 The flotation results for separation of Cu/Fe sulfide minerals in locked cycle tests %

工艺名称	产物名称	产率	品位					回收率				
			Cu	S	Mo	Au [*]	Ag [*]	Cu	S	Mo	Au	Ag
DP-3	铜精矿	19.00	28.43	32.27	0.212	17.97	49.10	97.71	25.85	80.56	84.79	71.02
	尾矿	81.00	0.156	21.71	0.012	0.756	4.70	2.29	74.15	19.44	15.21	28.98
	原矿	100.0	5.528	23.716	0.050	4.027	13.136	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
DP-2	铜精矿	17.91	28.68	32.08	0.203	18.01	48.10	97.74	23.92	74.70	84.08	66.87
	尾矿	82.09	0.145	22.26	0.015	0.744	5.20	2.26	76.08	25.30	15.92	33.13
	原矿	100.0	5.256	24.019	0.049	3.836	12.883	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
石灰	铜精矿	17.34	28.74	32.18	0.143	18.23	46.50	96.96	22.65	49.18	82.03	62.71
	尾矿	82.66	0.189	23.05	0.031	0.838	5.80	3.04	77.35	50.82	17.97	37.29
	原矿	100.0	5.140	24.633	0.050	3.854	12.857	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

* 单位 g/t, 下同

表7 全流程闭路试验二段铜硫分离条件

Table 7 The flotation conditions for bulk flotation followed by separation in locked cycle tests g/t

工艺名称	药剂用量		
	分选	精一	精二
DP-3	DP-3 200	DP-3 100	DP-3 100
石灰	石灰 400	石灰 200	石灰 200

2. 以 Mac-12 为捕收剂的泗洲选矿厂一段铜硫混合精矿为入选矿样, 配合使用 DP-3 或 DP-2 均可实现二段铜硫的无石灰低碱度分离。当 DP-3 总用量为 500g/t 时, 可获得铜精矿品位 28.43%, 回收率 97.71% 的二段分离指标, 与石灰工艺相比, 铜精矿品位基本相当, 铜、钼、金、银的回收率分别

表8

全流程闭路试验结果

Table 8 The flotation results for bulk flotation followed by separation in locked cycle tests %

工艺名称	产物名称	产率	品位					回收率				
			Cu	S	Mo	Au [*]	Ag [*]	Cu	S	Mo	Au	Ag
Mac-12+石灰	铜精矿	1.51	24.22	33.54	0.487	6.64	47.60	88.06	29.50	61.78	55.40	60.97
	尾矿 II	6.45	0.184	15.87	0.032	0.481	3.78	2.86	59.62	17.34	17.14	20.68
	尾矿 I	92.04	0.041	0.203	0.0027	0.054	0.235	9.09	10.88	20.88	27.46	18.35
	原矿	100.0	0.415	1.717	0.0119	0.181	1.179	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Mac-12+DP-3	铜精矿	1.53	24.16	33.27	0.553	6.77	48.93	88.60	29.52	71.42	57.43	63.55
	尾矿 II	6.16	0.173	16.34	0.016	0.422	3.60	2.55	58.38	8.32	14.41	18.82
	尾矿 I	92.31	0.04	0.226	0.0026	0.055	0.225	8.85	12.10	20.26	28.15	17.63
	原矿	100.0	0.417	1.724	0.0118	0.180	1.178	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

* 单位 g/t

提高了0.75%、31.38%、2.76%和8.31%，尤以钼回收率提高最为显著，达到80.56%，表明低碱度浮选工艺对于伴生金属的回收具有十分明显的优势。

3. 以生产综合样为试验样，Mac-12为捕收剂，DP-3为二段铜硫分离抑制剂的低碱度浮选工艺，可获得铜精矿品位24.16%、铜回收率88.60%、金回收率57.43%、钼回收率71.42%、银回收率63.55%的浮选指标。与高碱铜硫分离的石灰工艺相比，铜回收率提高0.54%，金回收率提高2.01%，钼回收率提高9.64%，银回收率提高2.58%。进一步验证DP-3为低碱度铜硫浮选分离的高效抑制剂。

参考文献

- [1] NAGARAJ DR, WANG SS, FRATTAROLI D R. Flotation of copper sulfide minerals and pyrite with new and existing sulfur-containing collectors. In: LEFielding and ARGordon (Editors), Proc. 13th CMMI Congress Metall[C]. Singapore CMMI and Ausr. Institute of Mining and Metallurgy 1986, 49-57.
- [2] NAGARAJ D R, LEWWLLYN M E, WANG S S, FRATTAROLI D R. New sulfide and precious metals collector: for acid, neutral and mildly alkaline circuits. In: E. Forssberg (Editor), Proc. X VIth international mineral processing congress[C]. Congress. Stockholm, Elsevier, Amsterdam, 1988, 1221-1232.
- [3] 刘广义. 硫化铜矿石的综合利用及新型捕收剂研究[D]. 长沙:中南大学. 2004.
- [4] LIU G Y, ZHONG H, DAI T G. Investigating the selectivity of ethoxycarbonyl thionocarbamates during the flotation of copper sulfides [J]. Minerals and Metallurgical Processing, 2008, 25(1): 19-24.
- [5] 刘广义, 钟宏, 戴塔根, 等. 提高德兴铜矿高氧化率矿石铜金钼回收率的研究. 矿冶工程. 2005, 25(5): 23-27.
- [6] 刘广义, 钟宏, 戴塔根, 等. 用 Mac-12 提高德兴铜矿铜金钼回收率的研究. 金属矿山, 2005, 10: 33-38.
- [7] 朱训, 黄崇轲, 宗瑶. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京: 地质出版社, 1983, 1-18, 152-214.
- [8] 戴犹芳. 德兴铜矿北山伴生金银赋存状态及富集特征的研究[J]. 铜业工程, 1996, 2: 7-12.

STUDIES ON IMPROVED DEPRESSANTS FOR FLOTATION SEPARATION OF Cu/Fe SULFIDE MINERALS AT SLIGHTLY ALKALINE CONDITIONS

ZHAN Xinshun¹, ZHONG Hong², LIU Guangyi²

(1. Jiangxi Copper Corporation, Guixi Jiangxi 335424, China; 2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha, 410083, China)

ABSTRACT

The flotation tests for separation of Cu/Fe sulfide minerals in the rougher concentrates were carried out by using different depressants in Dexing copper mine. The results indicated that three depressants DP-1, DP-2 and DP-3 could realize the flotation separation of Cu/Fe sulfide minerals, while DP-3 showed more superior performance than DP-1 and DP-2. The flotation results of locked cycle tests indicated that the copper cleaner concentrates with recoveries of Cu 97.71%, Mo 80.56% and grades of Cu 28.43%, Mo 0.212% have been obtained under 500g/t DP-3 as depressant against iron sulfide minerals in cleaner operation. Compared with lime system, the DP-3 depressant system increased recoveries of Cu 0.75%, Au 2.76%, Mo 31.38% and Ag 8.31% in the copper concentrates. The complex ore results of locked cycle tests have further confirmed that the flotation separation of Cu/Fe sulfide minerals could be realized at low pH values by using collector Mac-12 and depressant DP-3, which was helpful for recovery of Mo, Au and Ag associated in copper sulfide ores.

Key words: depressant; Cu/S separation; flotation recovery