

盘式加压过滤机用滤布的再生实验研究

孟令冰¹, 谭蔚^{1*}, 杨世亮², 汪洋¹, 刘颖¹, 王越², 崔直²

(1. 天津大学化工学院, 天津 300072; 2. 中国黄金集团内蒙古矿业有限公司, 内蒙古 满洲里 021400)

摘要:在对铜精矿加压过滤所用滤布堵塞机理分析基础上, 配制了化学清洗剂, 研究了清洗剂对不同污染程度滤布的清洗效果以及再生性能, 进而确定了清洗剂的配比。结果表明, 化学清洗剂的最优配比为 2.0 mol/L 醋酸 + 0.5 mol/L HF + 0.1% (φ) 的 JFC-E。随滤布污染程度增加, 旧滤布的相对透过度先降低再升高而后趋于稳定, 滤布在使用到 8 d 时污染程度最严重, 此时使用所配制清洗剂能使滤布的相对透过度从 9% 提高至 63%, 避免了滤布因堵塞而不得不更换的问题。

关键词:铜精矿; 过滤; 加压过滤机; 滤布; 清洗剂; 相对透过度

中图分类号: TQ051.8

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2015)06-0128-04

Experimental study on the recycling of filter cloth for disc pressure filter

MENG Ling-bing¹, TAN Wei¹, YANG Shi-liang², WANG Yang¹, LIU Ying¹, WANG Yue², CUI Zhi²

(1. School of Chemical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. China Gold Inner Mongolia Mining Co., Ltd., Manzhouli 021400, China)

Abstract: The effect of chemical cleaning compound on the used filter cloth and the water permeability of filter cloth used for different days are studied, respectively, based on the analysis of the clogging particles composition on the filter cloth for copper concentrate pressure filter. The results show that the optimal combination of the chemical cleaning compound is 2.0 mol/L acetic acid + 0.5 mol/L hydrofluoric acid + 0.1% JFC-E. The relative permeability of the used filter cloth is reduced at first and then increased, at last tended to be a stable state, with the increase of the used time. When the filter cloth is used for 8 days, the relative permeability is the lowest. The cleaning agent can improve the relative permeability of used filter cloth from 9% to 63% and avoid the frequent replacement of filter cloth for blockage.

Key words: copper concentrate; filtration; pressure filter; filter cloth; cleaning compound; relative permeability

过滤过程是利用过滤介质将物料中的固液两相分开, 以充分回收目的产物。圆盘式加压过滤机作为一种新型过滤设备, 具有处理量大、高效、节能、环保、连续工作、全自动化等特点, 近年来逐渐受到有色金属行业的青睐^[1]。但由于有色金属选矿时工况的特殊性, 盘式加压过滤机在实际生产中常遇到滤布使用寿命短, 再生效果不佳等问题。究其原因是因为浮选后矿浆碱性较强, 导致滤布易板结; 且矿石粒度小, 导致滤布易堵塞, 增加了生产成本且制约了实际生产的连续性^[2]。针对内蒙古某铜矿浮选浓缩后的铜精矿浆加压过滤所用滤布因堵塞而造成其更换频繁问题, 笔者在分析滤布堵塞物质的基础上, 对滤布的清洗再生工艺进行了研究, 为实际应用提供了参考和依据。

过滤介质的堵塞是指固体颗粒在介质内孔隙中的滞留, 使孔隙的有效面积减小, 导致流体透过介质时的阻力增大以致无法使用。过滤过程的总阻力对渗透通量 J (m/s) 的影响可由 Darcy 定律得出^[3]:

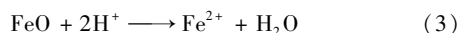
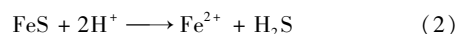
$$J = (1/A)(dV/dt) = \Delta P / \mu R_t = \Delta P / [\mu(R_m + R_f)] \quad (1)$$

式中, A 为过滤面积 (m^2), dV/dt 为滤液体积的变化率 (m^3/s), ΔP 为跨膜压差 (Pa), μ 为滤液动力黏度

($Pa \cdot s$), R_t 为过滤总阻力 (m^{-1}), R_m 为纯膜阻力 (m^{-1}), R_f 为膜污染阻力 (m^{-1})。随颗粒在滤布孔隙中滞留, 膜污染阻力 R_f 增大^[4]。在过滤压差及纯膜阻力 R_m 不变的情况下, 渗透通量 J 逐渐减小。

需要指出的是, 滤布孔隙滞留颗粒的同时常伴有滤布因变形或磨损而造成孔隙自身的形变, 导致纯膜阻力 R_m 的变化, 从而难以断定其可透过性的变化是颗粒堵塞还是滤布变形或磨损所致, 这也影响滤布是否可再生。

实验所用滤布用于呈碱性的铜精矿浆中, 其固体堵塞颗粒主要为 Cu、Fe 的硫化物和氧化物等^[5], 多数可溶于酸, 笔者采用化学清洗方法^[6-7], 并在初步实验的基础上配制一种较优的清洗剂组合, 反应方程式如下:



渗透剂 JFC 全称为脂肪醇聚氧乙烯醚, 属非离子表面活性剂, 具有固定的亲水亲油基团, 能使表面张力显著下降, 从而促进各类材料对纤维的渗透, 改

善工序效果^[8-9]。

1 实验

1.1 材料与试剂

滤布来源于内蒙古某铜矿加压过滤所用滤布,滤布编织方式及材质为复丝尼龙,平均鼓泡孔径为 40.4 μm ,加压过滤机过滤压力为 0.3 MPa,所滤浆液 pH 为 11.97;醋酸、硫酸、硝酸、氢氟酸均为实验室级分析纯用酸,由天津市江天化工技术有限公司提供;渗透剂脂肪醇聚氧乙烯醚(JFC-E)由江苏海安石油化工厂提供;实验用水为去离子水。

1.2 实验装置与分析仪器

滤布的透水性能以其透水率表征,滤布透水率测试装置如图 1 所示。装置分别由储水单元、测试单元和计量单元 3 部分组成。储水单元提供实验用水,由泵输送至测试单元并回收测试单元剩余水。测试单元是整套装置的核心组成,带有溢流口的测试罐和底座经卡箍固定,内置滤布。计量单元由滤液接收罐和天平组成,记录滤液质量随时间的变化。

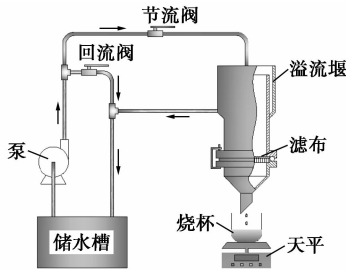


图 1 透水率测试装置示意图

利用英国马尔文公司生产的 MASTERSIZER-2000 激光粒度分析仪测量浆液中颗粒的粒度分布;利用德国布鲁克 AXS 有限公司生产的 Bruker S4 D8-Focus 型 X 射线衍射仪分析粉体的物相组成;利用日本日立公司生产的 HITACHI S-4800 型扫描电子显微镜观察样品表面形貌。

1.3 实验方法

1.3.1 滤布污染的评价方法确定

介质的相对透过度为污染介质的透过度 B_F' 与清洁介质透过度 B_F 之比,用 β 表示,即:

$$\beta = B_F' / B_F \quad (4)$$

如果 B_F' 和 B_F 的测试条件相同,则有:

$$B_F' / B_F = v / v_0 \quad (5)$$

式中, v 为污染介质的透水率, v_0 为清洁介质的透水率。

由式(4)、式(5)得:

$$\beta = v / v_0 \quad (6)$$

从式(6)可以看出,只要计算出介质污染前后的透水速率,则可求得污染介质的相对透过度。显然, β 值越低,表示介质堵塞越严重,当 $\beta = 0$ 时,介质完全被堵塞,流体无法从介质中的孔隙内透过。

1.3.2 透水率的测量

实验主要包括对滤布的清洗及透水率的测量。清洗滤布时,裁取使用天数的相同滤布试样,分别在清水及所配制的清洗剂中浸泡 1 h,取出后在一定压力下清水冲洗 3 min。测量时,裁取 $\phi 90$ mm 的圆形滤布试样,置于透水性能测试罐与其底座间,并用卡箍卡紧。调整节流阀开度使罐中水保持溢流。打开口阀,记下每透过一定量水所用的时间。根据所测数据计算滤布的平均透水率。

1.3.3 分析检测方法

为了分析滤布堵塞机理,分别对新滤布及使用后滤布的 SEM 进行对比,并对铜精矿固体颗粒的粒度进行测量。

在 SEM 测取时,分别剪取 5 mm \times 5 mm 的滤布试样,用导电胶粘固定后喷金,在放大倍数同为 100 倍时照相。采用湿法测量铜精矿粒度,具体步骤参照 MASTERSIZER-2000 激光粒度分析仪操作规程。

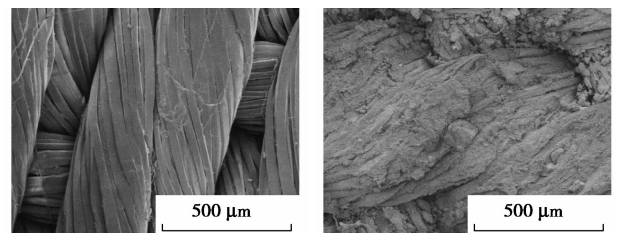
1.3.4 数据处理

配置不同组合清洗剂,测出不同清洗剂清洗下滤布的透水率,根据式(6)计算滤布的相对透过度。选择相对透过度大的一组清洗剂,设置正交实验,按 L9(3³) 正交表安排实验,确定清洗剂配比。

2 实验结果与讨论

2.1 滤布堵塞情况分析

新滤布及使用后的旧滤布 SEM 对比如图 2 所示。由图 2 可知,使用后的滤布表面镶嵌或黏附有大量固体颗粒,使滤布丝线间及丝线的纤维间发生堵塞,降低了滤布的过滤性能。



(a) 新滤布

(b) 使用后滤布

图 2 使用前后滤布表面 SEM 对比

根据 Andreasen 连续颗粒尺寸分布与堆积理论^[10-12],颗粒尺寸分布范围越宽,颗粒堆积的孔隙

率越低,因此矿浆中固体粒度分布也是影响滤布堵塞的重要因素。由 MASTERSIZER-2000 激光粒度分析仪分析测得浆液中颗粒粒度分布如表 1 所示。由表 1 可知,浆液中有小于 1 μm 的颗粒,也有大于 100 μm 的颗粒,较宽的粒度范围造成了较大颗粒形成的单颗粒架桥堵塞时小颗粒的填充堵塞,使滤布孔隙堵塞致密。

表 1 固体颗粒粒度分布

$d/\mu\text{m}$	1	$1 \leq d < 10$	$10 \leq d < 50$	$50 \leq d < 100$	≥ 100
百分比/%	4.43	38.68	41.74	12.09	3.07

2.2 清洗剂的配制

2.2.1 不同组合清洗剂

滤布的堵塞失效包括滤布丝线间堵塞、丝线的纤维间堵塞及纤维内部的堵塞^[13],常规物理清洗难以去除纤维间及纤维内部颗粒。为了进一步提高清洗效果,配制化学清洗剂,采用纺织印染行业中常用的脂肪醇聚氧乙烯醚(JFC-E)作为渗透剂,并设计促进剂及清洗酸的组合,如表 2 所示。

表 2 不同组合清洗剂

序号	Component		
	酸	促进剂	渗透剂
1	CH_3COOH	HNO_3	JFC-E
2	H_2SO_4	HNO_3	
3	HNO_3	HF	
4	CH_3COOH	HF	
5	H_2SO_4	HF	
6	CH_3COOH		

由表 2 可知,分别以清洗酸 2.5 mol/L、促进剂 0.5 mol/L 及渗透剂 0.2% 配置 6 种清洗剂。裁取污染程度相同(相同使用天数)的滤布,清洗后测其透水率,从而算出相对透过度。结果如表 3 所示。由表 3 可知,第 4 组即 HF + 醋酸 + JFC-E 的效果最佳。

表 3 不同组合清洗剂清洗效果

序号	1	2	3	4	5	6
β (相对透过度)	0.933	0.928	0.972	1.000	0.935	0.834

2.2.2 最优组合清洗剂配比

通过多因素相互作用实验,选择了以 HF 为促进剂,醋酸为清洗酸及渗透剂 JFC-E 的最优组合。通过配制不同浓度的清洗剂洗涤滤布,按正交表 $L_9(3^4)$ 设计正交试验,探究清洗剂的最优浓度组合。正交实验设计如表 4 所示,实验结果如表 5 所示。正交实验极差分析如表 6 所示。

表 4 正交实验设计

Level	A	B	C
	$C(\text{CH}_3\text{COOH})/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	$C(\text{HF})/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	$w(\text{JFC-E})/\%$
1	1	0.5	0.1
2	1.5	1	0.3
3	2	1.5	0.5

表 5 正交实验结果

Exp.	A	B	C	β (相对透过度)
	CH_3COOH	HF	JFC-E	
1	1	1	1	1.004
2	1	2	2	0.959
3	1	3	3	0.969
4	2	1	2	0.982
5	2	2	3	0.977
6	2	3	1	1.006
7	3	1	3	1.033
8	3	2	1	0.977
9	3	3	2	0.992

表 6 正交实验极差分析

β (相对透过度)	A	B	C
	$C(\text{CH}_3\text{COOH})/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	$C(\text{HF})/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	$w(\text{JFC-E})/\%$
平均值 1	0.977	1.006	0.996
平均值 2	0.988	0.971	0.978
平均值 3	1.000	0.989	0.993
极差	0.023	0.035	0.018
排列	HFCH ₃ COOHJFC-E		
最优水平	A3	B1	C1
最优组合	A3B1C1		

由表 6 可看出:

(1) 各因素对滤布清洗效果的影响强弱次序为:促进剂 HF 浓度 > 醋酸浓度 > 渗透剂质量分数。

(2) 清洗剂的最佳配方为 A3B1C1,即醋酸浓度为 2.0 mol/L,促进剂浓度为 0.5 mol/L,渗透剂质量分数为 0.1%。

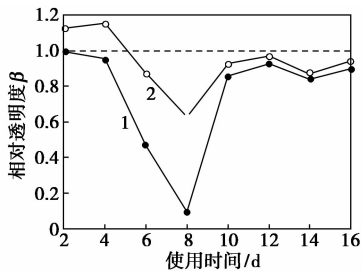
(3) 增加醋酸浓度、降低促进剂浓度和缓释剂质量分数有利于提高清洗效果,促进剂可明显提高滤布的清洗速度。

2.3 滤布再生效果讨论

滤布的寿命主要由其变形、堵塞和磨损状况决定,此 3 种失效机制间又相互影响。例如滤布的拉伸变形和磨损可使滤布变薄,相对孔隙增大,从而抵消部分堵塞带来的影响;拉伸变形与磨损又共同作用,使滤布更易破损出现孔洞等。因此滤布在整个

使用寿命中,其过滤及自身性能是一个动态变化的过程。对于盘式加压过滤机,矿浆在高压状态下进行固液分离,滤布又在高压反吹风作用下卸料,滤布从一开始就承受双重力的作用,因此其拉伸变形也从一开始就存在,而滤布的堵塞和磨损则是一个由少至多逐渐加深的过程。

为了探究不同阶段滤布的使用性能,减少因堵塞而更换滤布的频率,分别选取已用2、4、6、8、10、12、14、16 d的滤布,用清水、复合清洗剂清洗,分别测得透水速率并与新滤布对比,结果如图4所示。



1—清水清洗;2—清洗剂清洗

图4 不同使用天数滤布相对透过度曲线

由图4可知,(1)随着使用天数增加,滤布的相对透过度呈先降低再升高而后趋于稳定的状态,且在8 d时达最低值;(2)对比前4 d的滤布,清洗剂清洗后的相对透过度高大于1,说明在这一阶段滤布就已拉伸变形孔隙增大。而用清水清洗的滤布与新滤布接近,说明滤布的堵塞抵消了滤布变形带来的孔隙增大的现象;(3)第4~8 d滤布的相对透过度逐渐降低,说明在这一阶段,滤布的堵塞情况逐渐严重,抵消并超过了滤布因变形导致的孔隙增大、透水率升高;(4)8 d后滤布的相对透过度逐渐升高到一定值后趋于稳定不变,这是由于随滤布使用天数增加,滤布的磨损情况也逐渐严重。磨损导致滤布变薄,透水率增大,从而又抵消了滤布堵塞带来的透水率降低的问题。其相对透过度最终在滤布的变形、堵塞和磨损三者作用下达达到平衡;(5)在整个曲线图中,使用复合清洗剂清洗的滤布相对透过度均高于清水清洗的滤布,说明所配制的清洗剂能有效去除滤布的堵塞物质。以相对透过度最低时使用8 d的滤布为例,清水清洗的滤布相对透过度只能达到约9%,在此之前就会因为堵塞而不得不更换滤布。而使用所配清洗剂清洗的滤布相对透过度为63%,避免了滤布因堵塞而不得不更换的问题。

3 结论

对铜精矿加压过滤所用滤布的使用寿命进行了

研究,在滤布堵塞失效的基础上配制了一种能有效去除滤布间堵塞颗粒的清洗剂。通过对不同使用天数的滤布进行清洗后发现,所配制的清洗剂能有效避免滤布堵塞,延长滤布使用周期,并得到如下结论:

(1)通过不同清洗剂的组合对比,得出 HF + 醋酸 + JFC-E 的清洗效果最好。

(2)由正交试验得出清洗剂的最优组合为醋酸浓度为 2.0 mol/L,促进剂 HF 浓度为 0.5 mol/L,渗透剂 JFC-E 质量分数为 0.1%。

(3)随使用天数增加,滤布的相对透过度呈先降低再升高而后趋于稳定的状态,在使用 8 d 时达最低值。此时使用所配制清洗剂清洗滤布能使滤布的相对透过度从 9% 提高至 63%,有效避免了滤布因堵塞而不得不更换的问题。

参考文献

- [1] 靳建顺,赵云湘,陈永水,等. 加压过滤机的技术发展及实践应用[J]. 煤炭工程,2009,(7):106-108.
- [2] 刘子龙,杨洪英. 加压过滤机在铜铅分离工艺中的应用[J]. 中国铝业,2012,(3):28-33.
- [3] 郑博,唐晓津,张占柱,等. 用于浆态床费托合成的错流过滤数学模型的研究进展[J]. 过程工程学报,2011,11(5):894-900.
- [4] Sletfjerding E, Gudmundsson J S, Sjoen K. Flow experiments with high pressure natural gas in coated and plain pipes, comparison of transport capacity [A]. PSIG 30th Annual Meeting [C]. Denver, Colorado, 1998:28-30.
- [5] 谭蔚,孟令冰,杨世亮,等. 高碱度铜精矿滤布的再生清洗[J]. 金属矿山,2014,457(7):141-145.
- [6] Wang Kefan, Liu Jinfeng, Zou Chongwen, et al. Chemical cleaning of silicon wafer surface[J]. Journal of Vacuum Science and Technology, 2007,27(4):322-326.
- [7] Ji Zhao, Reza Iranpour, Xinyong Li, et al. Identifying membrane foulants in chemical cleaning solutions[J]. Advanced Materials Research, 2013,726:1872-1878.
- [8] 张建军,蔡晓君,刘湘晨,等. 表面活性剂在石油化工设备清洗中的应用[J]. 化学工业与工程技术,2010,31(6):54-57.
- [9] 马红梅,朱志良. 表面活性剂在化学清洗中的应用及研究进展[J]. 清洗世界,2005,21(4):22-26.
- [10] Yideti T F, Birgisson B, Jelagin D. Packing theory-based framework to evaluate permanent deformation of unbound granular materials [J]. International Journal of Pavement Engineering, 2013,14(3):309-320.
- [11] 刘浩斌. 颗粒尺寸分布与堆积理论[J]. 硅酸盐学报,1991,19(2):164-171.
- [12] Zhao S M, Yang W, Sun J, et al. Grain gradation design for Al₂O₃-MgO-C refractories based on close packing theories[J]. Advanced Materials Research, 2012,508:63-66.
- [13] 康勇,胡筱敏,罗茜. 机织过滤介质污染机理的研究[J]. 流体机械,1998,(3):14-16. ■