

磨矿流变效应研究^①

杨小生 吕桂芝

(中南工业大学矿物工程系, 长沙 410083)

张 麟

(大冶有色公司丰山铜矿, 湖北 435000)

摘 要 对不同磨矿条件下的磨矿速率进行了测定, 并采用旋转粘度计对磨矿煤浆进行了流变性测定, 分析了煤浆流变性因素对磨矿速率的影响。为提高磨矿速率, 采用了两种助磨剂, 并对其作用机理进行了分析。

关键词 磨矿速率 流变效应 助磨剂

随着对磨矿机理的深入研究, 人们已不再把磨矿看成一个单纯的机械力学过程, 而将注意力转移到磨矿的物理化学效应的研究上^[1]。

磨矿物理化学环境作用的研究, 近年来越来越受到重视, 表现在人们通过人工调节粉碎环境, 如添加助磨剂^[2-4], 以及改变粉碎过程气氛和压力^[5-8]等来改善粉碎效果。但这一领域的研究尚未形成统一的观点, 以 Rehinder^[9]、Somasundaran^[10]、Westbrook^[11]和 Westwood^[12]等人为代表, 认为物理化学环境改变了物料的机械特性和可磨度; 而 Hartley 等人^[13]的研究则表明, 通过改善矿浆的流动性来提高磨矿效率具有很大的潜力, 因为矿浆的流动性决定了颗粒进入磨矿区域的机会。这一观点认为, 磨矿环境对矿浆流变性产生影响, 从而改变磨矿效率是不能忽视的因素。近年来, 磨矿的“流变学效应”观点受到很多学者^[14-15]的关注。本文以煤作磨矿物料, 研究其磨矿动力学流变效应及提高磨矿效率的途径。

1 试验与测定

1.1 磨矿试验

试验采用 d 150 mm 小型球磨机, 磨机容积 1350 mL, 磨矿介质由 d 20、13 和 10 mm 三种球组成, 钢球充填率 34.4%。

磨矿试样为某洗煤厂精煤, 灰分 < 10%, 密度约 1.2 g/cm³, 粒度分布如表 1 所示。

表 1 试样的粒度组成

粒 级/mm	重量含量/%	正累积含量/%
+0.5	0.4	0.4
-0.5+0.25	5.3	5.7
-0.25+0.11	30.8	36.5
-0.11+0.074	20.8	57.3
-0.074+0.040	36.7	94.0
-0.040	6.0	100.0
合计	100.0	

本试验对 -0.25+0.11 mm 单粒级进行磨矿动力学分析。磨矿中保持给矿体积一定, 分别对四种不同重量浓度(40%、50%、60%和 63%)的煤浆进行了不同磨矿时间(2、4、7 和 10 min)的条件磨矿试验, 求出相应的 +140 目(+0.11 mm)和 -360 目(-0.040 mm)粒级含量, 结果如表 2 所示。

1.2 煤浆粘度测定

试验中采用了两种不同型号的圆筒旋转粘度计, ZNN-D₆ 型六速旋转粘度计和 NXS-11 型旋转粘度计。ZNN-D₆ 型六速旋转粘度计适合于较低粘度测定, 最大允许粘度一般小于 300 mPa·s。转速与对应的剪切速率为: 600 r·min⁻¹/1 022 s⁻¹; 200 r·min⁻¹/340 s⁻¹ 和 6 r·min⁻¹/10 s⁻¹。设转子旋转角度为 θ , 对应剪切应力为 $\tau = 0.051 \theta$ (N/m²), 视粘度 $\eta_{app} =$

① 国家科委博士后基金项目 收稿日期: 1994-08-23; 修回日期: 1994-11-07

$1/2\theta_{600}$ (mPa·s)。NXS-11 型旋转粘度计适用范围较宽, 试验选择 A 系列, 转速档、转速与对应剪切速率见表 3。

表 2 煤浆(浓度 50%)磨矿试验及粘度测定结果

磨矿时间 /min	+140 目含量 /g	-360 目含量 /g	浆体粘度 /mPa·s
0	163.6	0	22
	55.0		
2	$\frac{W(t)}{W(0)} = 0.34$	48.5	23
	29.0		
4	$\frac{W(t)}{W(0)} = 0.178$	62.0	40
	10.0		
7	$\frac{W(t)}{W(0)} = 0.063$	67.5	53
	1.5		
10	$\frac{W(t)}{W(0)} = 0.01$	80.5	40

注：煤浆粘度用 ZNN-D₆ 型六速旋转粘度计测定； $W(t)$ 及 $W(0)$ 分别为磨矿时间 t 时和磨矿开始时+140 目的含量。

表 3 转速档、转速与对应的剪切速率

转速档 n	转速/ $r \cdot \min^{-1}$	剪切速率/ s^{-1}	单位粘度 η_0
2	28	77.48	3.57
3	38	105.1	2.63
4	50	138.4	2.00
5	65	179.9	1.54
6	90	249.0	1.11

设转子转角数为 α , 则对应视粘度为:

$$\eta_{app} = \eta_0 \cdot \alpha (\text{mPa} \cdot \text{s})$$

对应剪切应力为:

$$\tau = \tau_m \cdot \alpha / 1\,000 \quad (N/m^2)$$

其中 τ_m 为对应系列下满刻度 100 时对应的剪切应力。两种型号的粘度计测定结果基本相符, 因为浓度为 63% 的煤浆粘度较高, 故采用了第二种类型粘度计。

2 磨矿动力学分析

物料中某粒级 j 的一阶破碎速率动力学关系为^[16]:

$$dW_j(t)/dt = -S_jW_j(t)$$

或 $\lg(W_j(t)/W_j(0)) = -S_jt/2.3 \quad (4)$

式中 $W_j(t)$ 、 $W_j(0)$ 分别是磨矿时间 t 时和磨

矿开始时 j 粒级重量; S_j 是该粒级比破碎速率。因为没考虑其它粗粒级破碎后进入该粒级的量, 所以 j 粒级实际上是最大粒级。所有粒级重复破碎批次磨矿一阶动力学公式为^[17]:

$$dW_i(t)/dt = -S_iW_i(t) + \sum_{j=i+1}^{i-1} b_{ij}S_jW_j(t),$$

$$i \geq j \geq 1 \quad (5)$$

式中 b_{ij} 是分布函数, 由颗粒的起始破碎(或单次破碎)分布获得。若已知初始条件 $W_j(0)$ 、破裂函数 S_j 、分布函数 b_{ij} , 则由(5)式可以得到磨矿时间 t 时的产品粒度组成。

重量浓度 40%、50%、60% 和 63% 的该煤的 -0.25+0.11 mm 粒级的破碎速率曲线如图 1 所示。由图可看出, 低浓度(40% 和 50%)时, 磨矿速率是线性的, 即符合一阶动力学公式; 而当浓度增大到 60% 时, 速率曲线开始偏离线性关系; 当浓度达到 63% 时, 速率曲线明显为非线性的, 即成为非一阶磨矿动力学关系。

由磨矿速率值 SW 可知: 低浓度时, 磨矿速率随浓度的增加而增大, 这时磨矿是线性的; 当磨矿浓度较高时, 磨矿速率随浓度的增加而降低, 这时磨矿出现明显的非线性。不同浓度磨矿产品的细粒级 -0.040 mm (-360 目) 含量随时间增加的曲线如图 2 所示。由图可知, 浓度不同, -360 目细粒级含量增加的速率则不同, 浓度较低其含量增加速率较快。

3 磨矿流变效应

磨矿浆体粘度由 NXS-11 型粘度计测定, 浆体粘度与浓度的关系如图 3 所示。由图可见, 浆体浓度在 40%~60% 范围内时, 粘度随浓度增大缓慢; 而当浓度超过 60% 时, 浆体粘度急剧增大, 即粘度的增大有一临界浓度, 超过此浓度, 浆体粘度迅速增大。

由试验确定的不同浓度浆体的流变曲线如图 4 所示, 不同浓度浆体流变性符合 Herschel-Bulkley 方程。由图可见: 浆体屈服应力随浓度的增大而增大, 尤其当浓度达到 63%

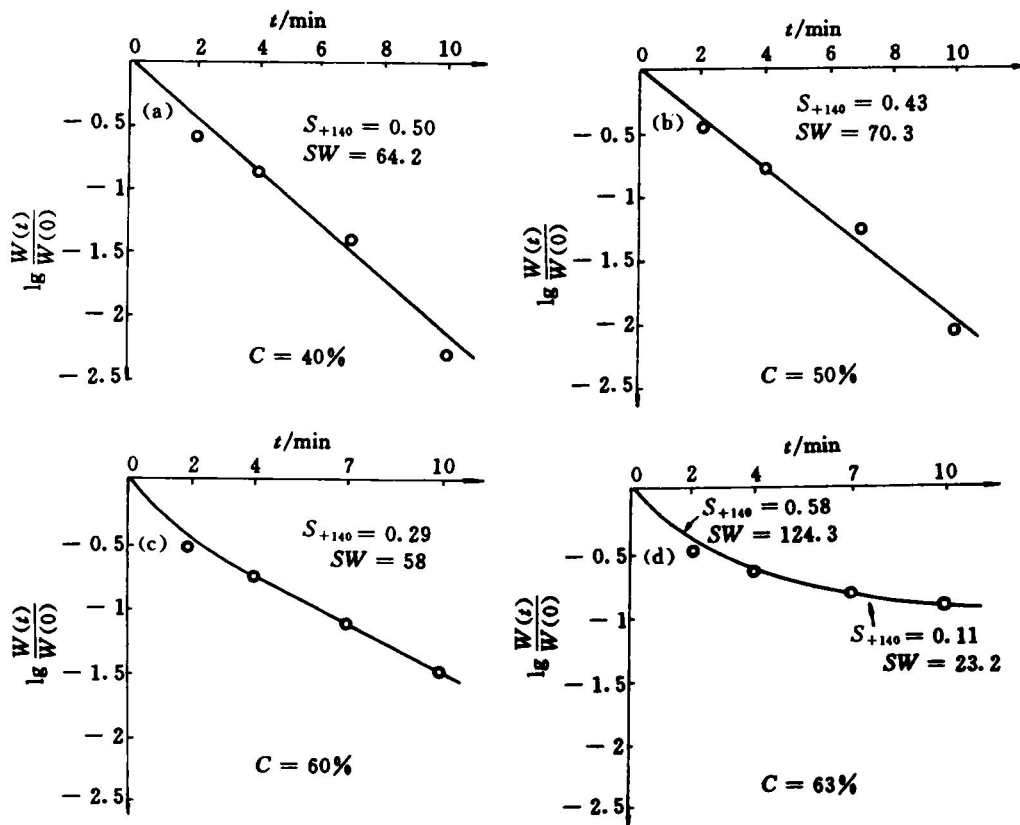


图 1 不同浓度 (C) 磨矿动力学曲线
(S_{+140} 单位: min^{-1} ; SW 单位: $\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$)

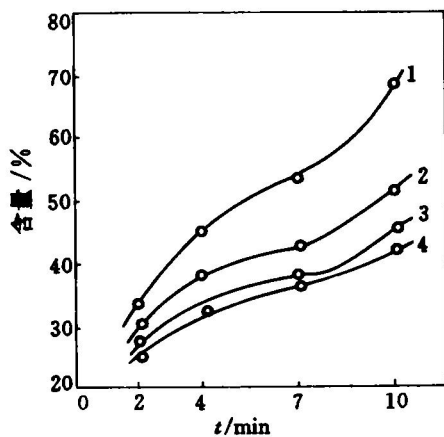


图 2 -360 目含量与磨矿时间关系
1—40%; 2—50%; 3—60%; 4—63%

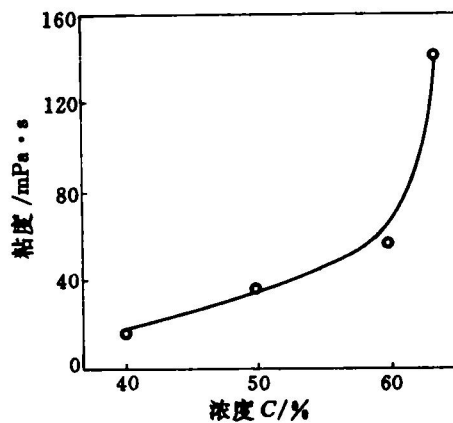


图 3 浆体粘度与浓度关系

时,屈服应力迅速增大。可以认为浓度 63% 时粘度的急剧增大是由巨大的屈服应力造成的。由浆体的流变测试结果与图 1 的磨矿试验结果相比较可以发现:浆体浓度大于 60% 时,其磨矿速率降低,并且不符合一阶动力学关系,浆体粘度及屈服应力的急剧增大是一个重要因素。粘度决定了浆体的流动性,而屈服应力阻止了球体与颗粒的碰撞。

4 助磨剂作用机理分析

在 63% 高浓度煤浆中分别加入十二烷基苯磺酸钠和作者开发的 ZX-1 型药剂,测定其粘度,测定结果如图 5 所示。由粘度曲线可以看出,加药后浆体粘度明显降低,尤其在低剪切率时,粘度降低幅度更大,说明药剂的作用使浆体的屈服应力显著降低。ZX-1 型药剂的降粘效果好于十二烷基苯磺酸钠。十二烷基苯磺酸盐是一种浆体分散剂,它通过改变颗粒表面电性使颗粒分散,从而改善浆体的流动性。ZX-1 型药剂是根据煤的表面特性自行开发的一种表面活性剂,它对于煤浆是很有效的降粘剂。图 5 表明,用量 0.5% 的 ZX-1 型药剂使浆体粘度低到原来的十分之一以下,并且浆体成

为牛顿流体。

加药剂后的磨矿试验结果如图 6 所示。由图可见,两种添加剂均有助磨效果,ZX-1 型药剂的助磨效果更佳,磨矿时间 10min 内的平均磨矿速率比未加药剂提高 7 倍以上。

通过以上加药剂后浆体的流变性和助磨效果的分析,可以证明助磨剂具有显著改变浆体流动性的作用。

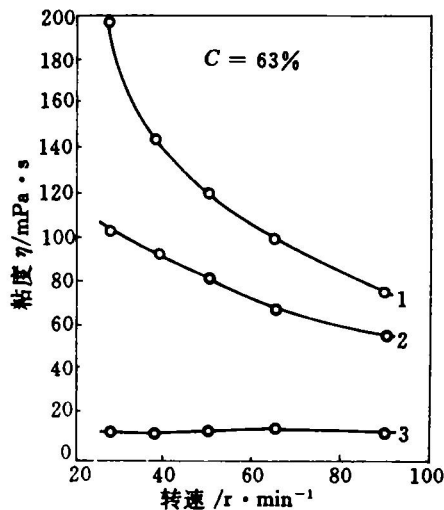


图 5 加药剂后浆体粘度变化

1—未加药剂; 2—0.5% 十二烷基磺酸钠; 3—0.5% ZX-1

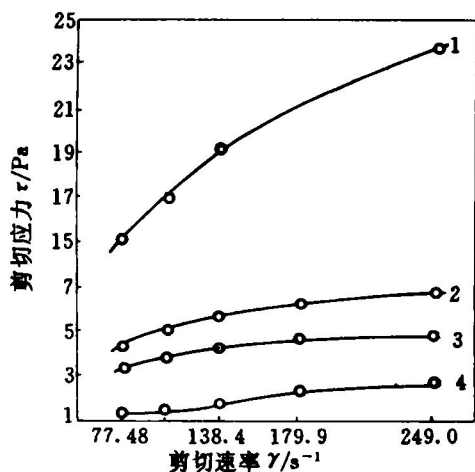


图 4 不同浓度浆体流变曲线

1—63%; 2—60%; 3—50%; 4—40%

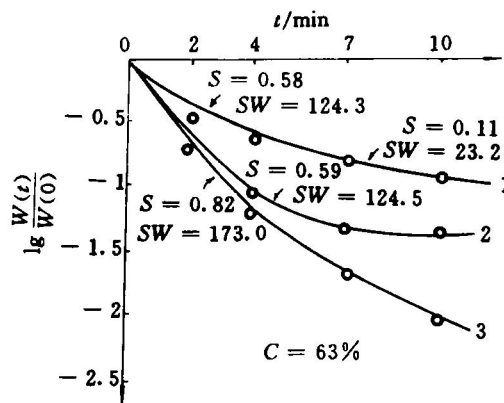


图 6 药剂的助磨试验曲线

(S 单位: min^{-1} ; SW 单位: $\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$)

1—未加药剂; 2—加十二烷基苯磺酸钠; 3—加 ZX-1 型药剂

5 磨矿细度与浆体粘度关系

以 ZNN-D₆ 型旋转粘度计测定的浆体磨矿细度(时间)与粘度的关系曲线如图 7 所示。曲线表明:磨矿开始时,浆体粘度随磨矿时间增加很快,这是因为浆体细度随磨矿时间不断增加;当磨矿时间超过 7 min 以后,浆体粘度变化很小。这可能是由于浆体粒度达到一定细度时,形成结构型浆体,使颗粒之间靠表面力作用形成弱网络状结构,这时浆体流动性随粒度的降低变化就很小。随着磨矿时间继续增加,粒度变细,表面作用能增加,这种弱结构体就会被破坏而形成絮凝浆体,浆体粘度和屈服应力将显著增大。对于弱絮凝结构浆体,屈服应力由下式计算^[18]:

$$\tau_y = \frac{3C_s n E}{8\pi d^3}$$

式中 C_s 是浆体体积浓度; n 是每个颗粒的平均碰撞数,对紧密堆积结构介于 8~12 之间; E 是使絮凝颗粒分散所需要的能量; d 是颗粒粒径。

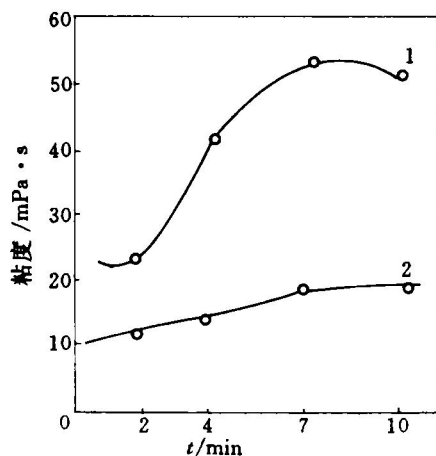


图 7 浆体粘度与磨矿时间(t) 关系曲线
1—50%; 2—40%

6 结论

(1) 试验用煤的磨矿速率在浓度低于 60% 时,符合一阶动力学关系;浓度达到 63% 时,磨矿过程为非一阶动力学。磨矿速率随磨矿时间的增大而明显降低。

(2) 煤浆浓度较高时,磨矿速率的降低是由于浆体粘度和屈服应力显著增大造成的。

(3) 药剂的助磨效果和流变性效应相吻合,说明改善浆体流变性是提高磨矿效率的有效途径。

(4) 随着磨矿时间增长,煤浆粘度增大,当达到一定细度时,粘度变化不明显。

参考文献

- 1 徐秉权. 见:第四届全国粉碎工程技术研讨会专题报告及论文集. 北京:中国选矿科技情报网, 1988: 8-18.
- 2 Klimpel R, Manfroy W. Ind Eng Chem Process Des Dev, 1978, 17(4): 518.
- 3 Katzer M *et al.* Mining Engineering, 1981: 1471.
- 4 Klimpel R. Powder Technology, 1982, 31: 239.
- 5 Cottar W, Rietema K. Powder Technology, 1984, 38.
- 6 Rietema K. Powder Technology, 1984, 37.
- 7 Cottaar W, Rietema K. Powder Technology, 1986, 46.
- 8 Rietema K. Powder Technology, 1987, 50.
- 9 Reh binder P A. Physik, 1931, 72: 191.
- 10 Somasundaran P. Ceramic Processing Before Firing. John Wiley, 1978: 105-123.
- 11 Westbrook J H, Jorgensen P J. Trans AIME, 1965, 233: 425.
- 12 Westwood A R C *et al.* J Appl Phys, 1968, 39: 3401.
- 13 Hartley J N *et al.* E/MJ, 1978: 105.
- 14 Fuerstenau D W *et al.* Int J Mineral Processing, 1985, 15: 251.
- 15 Tangsathitkulchai C, Austin L G. Powder Technology, 1988, 56: 293.
- 16 Austin L G. Powder Technology, 1971, 5: 1.
- 17 Luckie P, Austin L G. Miner Sci Eng, 1972, 4: 24.
- 18 Tadros T F. Chem Ind, 1985, 1: 210.