

物料粉磨功指数的测定与计算

伍洪标, 韩建军, 冯小平

(武汉理工大学材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:用 Excel 软件进行粉磨功指数的计算, 把人工计算容易出错的复杂计算变为迅速、正确的计算, 大大提高了岩石与人造矿物的易磨性测定速度。

关键词:岩石与人造矿物; 粉碎; 易磨性

中图分类号:TP317.3 **文献标识码:**A

文章编号:1008-5548(2002)06-0010-03

Measuring and Calculating on
Bond Index of MaterialWU Hong-biao, HAN Jian-jun,
FENG Xiao-ping(School of Materials Science and Engineering,
Wuhan University of Technology, Wuhan, 430070, China)

Abstract: By using the Excel to the calculation of Bond index, this complicated calculation becomes rather efficient and precise instead of getting a wrong result by hand. By this method, the measuring speed of the grindability of rock and artificial mineral can be greatly improved.

Key words: rock and artificial mineral; grinding; grindability

粉磨功指数(有时称为 Bond 功指数)表示物料易磨性。在原材料研究与生产中, 测定物料粉磨的难易程度是十分重要的, 既可根据测定数据研究原材料的性能, 又可为原材料的加工提供工艺参数。在设计物料的粉碎装置时, 必须知道欲加工物料的性质与粉碎量, 并设定粉碎产物的粒度或颗粒形状等要求, 还要考虑物料的粉碎过程。如果没有实际生产的粉碎数据, 就要以实验室的粉碎试验结果来推断确定所需的动力。Bond 根据(在美国 Allis-Chalmers 公司)多年积累的实际生产资料和实验数据, 整理得出工作指数的概念和易磨性测定计算方法, 在实验室的粉碎试验、粉碎装置的设计方面很有指导意义。

1 计算基础

测定粉磨功指数的实质, 是用 Bond 功指数磨将某一指定给料粒度的物料研磨至平衡(即粉磨至某一要求粒度)后, 用粉磨时所消耗的功表示物料粉磨的难易程度。

根据 Bond 粉碎功耗定律, 粉磨功指数的算式为

$$W_i = \frac{44.5 \times 1.10}{P^{0.23} G_{bp}^{0.82} \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)} \quad (1)$$

式中 W_i ——粉磨功指数, kW·h/t;

P ——粉碎实验用成品筛网的孔径, 80 μ m;

G_{bp} ——实验用球磨机每转一圈在 P 筛下的成品量, g/r;

P_{80} ——成品 80%通过的筛网孔径, μ m;

F_{80} ——进磨试料 80%通过的筛网孔径, μ m。

由(1)式可见, 粉磨功指数的计算涉及 P 、 F_{80} 、 P_{80} 、 G_{bp} 4 个参数的计算, 其中后 3 个是十分复杂的计算。

2 试验过程及数据记录

2.1 进料粒度的测定

取经过缩分的试样约 200 g, 用托盘天平测量其质量, 精确到 0.5 g。采用筛网孔径为 2.0, 1.0 mm 和 500, 250, 150, 125, 90, 63 μ m 的一组标准筛, 以电动摇筛机将试样筛分 5 min。筛分结束后分别收取各层筛的筛上物与筛下物, 在托盘天平称量其质量, 记录在表 1 中(为了叙述方便, 本文以表 1~3 所示的一组试验数据为例来说明其计算方法)。

2.2 物料粉磨粒度的测定

(1) 700 mL 进料的采取

取经缩分及适当组合的物料 700 mL 左右, 装入 1 000 mL 的量筒内。当接近 700 mL 时, 在桌上轻轻敲击, 并加试料填充, 至料层表面不再下沉时, 再以试料来对齐最后的刻度, 以量程为 500 g 的托盘天平测定其质量 Q_0 , 记入表 2 中。

收稿日期: 2002-06-03 修回日期: 2002-11-01

第一作者简介: 伍洪标(1947-), 男, 副教授。

表1 进料粒度

Bond工作指数测定 (粒度测定)				
样品名称 宝钢钢渣		测试日期 2000.12.14.		实验中心
粒度分析结果				
标准筛孔径 (μm)	筛 料		PI 筛 下	
	筛上残留量 (g)	筛上累积 (%)	各筛上残留量 (g)	筛上累积 (%)
2000	70.3	35.17		
1000	31.7	51.03		
500	36.8	62.43		
250	14.4	76.64		
150	14.1	83.69	3.7	3.74
125	5.2	85.22	10.6	14.44
90	6.5	88.54	23.9	28.59
63	2.4	90.25	21.2	60.00
43	11.5	5.75	39.6	40.00
合计	199.9		99.00	
P_{150}	$R_F=0.837$		$1-R_F=0.163$	

表2 700mL 进料的测试数据

Siem指数测定结果 (预测值)											
样品名称 宝钢钢渣		测试人		实验中心		测试日期		2000.12.14.			
筛分次数		筛分孔径		筛上残量		筛下残量		筛分次数		筛分孔径	
筛分次数	筛分孔径	筛上残量	筛上累积	筛下残量	筛下累积	筛分次数	筛分孔径	筛上残量	筛上累积	筛下残量	筛下累积
1	2000	307	1120	1432	0.784	8	300	397	0.784	0.784	0.784
2	1000	304	1022	309	0.781	9	250	397	0.781	0.781	0.781
3	500	307	1022	600	0.781	10	200	426	0.781	0.781	0.781
4	250	424	1022	988	0.781	11	150	426	0.781	0.781	0.781
5	125	426	1022	1008	0.781	12	100	426	0.781	0.781	0.781
6	90	426	1022	1008	0.781	13	75	426	0.781	0.781	0.781
7	63	426	1022	1008	0.781	14	60	426	0.781	0.781	0.781
8	45	426	1022	1008	0.781	15	40	426	0.781	0.781	0.781
9	30	426	1022	1008	0.781	16	30	426	0.781	0.781	0.781
10	20	426	1022	1008	0.781	17	20	426	0.781	0.781	0.781
11	15	426	1022	1008	0.781	18	15	426	0.781	0.781	0.781
12	10	426	1022	1008	0.781	19	10	426	0.781	0.781	0.781
13	7.5	426	1022	1008	0.781	20	7.5	426	0.781	0.781	0.781
14	6.0	426	1022	1008	0.781	21	6.0	426	0.781	0.781	0.781
15	4.5	426	1022	1008	0.781	22	4.5	426	0.781	0.781	0.781
16	3.0	426	1022	1008	0.781	23	3.0	426	0.781	0.781	0.781
17	2.0	426	1022	1008	0.781	24	2.0	426	0.781	0.781	0.781
18	1.5	426	1022	1008	0.781	25	1.5	426	0.781	0.781	0.781
19	1.0	426	1022	1008	0.781	26	1.0	426	0.781	0.781	0.781
20	0.75	426	1022	1008	0.781	27	0.75	426	0.781	0.781	0.781
21	0.60	426	1022	1008	0.781	28	0.60	426	0.781	0.781	0.781
22	0.45	426	1022	1008	0.781	29	0.45	426	0.781	0.781	0.781
23	0.30	426	1022	1008	0.781	30	0.30	426	0.781	0.781	0.781
24	0.20	426	1022	1008	0.781	31	0.20	426	0.781	0.781	0.781
25	0.15	426	1022	1008	0.781	32	0.15	426	0.781	0.781	0.781
26	0.10	426	1022	1008	0.781	33	0.10	426	0.781	0.781	0.781
27	0.075	426	1022	1008	0.781	34	0.075	426	0.781	0.781	0.781
28	0.060	426	1022	1008	0.781	35	0.060	426	0.781	0.781	0.781
29	0.045	426	1022	1008	0.781	36	0.045	426	0.781	0.781	0.781
30	0.030	426	1022	1008	0.781	37	0.030	426	0.781	0.781	0.781
31	0.020	426	1022	1008	0.781	38	0.020	426	0.781	0.781	0.781
32	0.015	426	1022	1008	0.781	39	0.015	426	0.781	0.781	0.781
33	0.010	426	1022	1008	0.781	40	0.010	426	0.781	0.781	0.781
34	0.0075	426	1022	1008	0.781	41	0.0075	426	0.781	0.781	0.781
35	0.0060	426	1022	1008	0.781	42	0.0060	426	0.781	0.781	0.781
36	0.0045	426	1022	1008	0.781	43	0.0045	426	0.781	0.781	0.781
37	0.0030	426	1022	1008	0.781	44	0.0030	426	0.781	0.781	0.781
38	0.0020	426	1022	1008	0.781	45	0.0020	426	0.781	0.781	0.781
39	0.0015	426	1022	1008	0.781	46	0.0015	426	0.781	0.781	0.781
40	0.0010	426	1022	1008	0.781	47	0.0010	426	0.781	0.781	0.781
41	0.00075	426	1022	1008	0.781	48	0.00075	426	0.781	0.781	0.781
42	0.00060	426	1022	1008	0.781	49	0.00060	426	0.781	0.781	0.781
43	0.00045	426	1022	1008	0.781	50	0.00045	426	0.781	0.781	0.781
44	0.00030	426	1022	1008	0.781	51	0.00030	426	0.781	0.781	0.781
45	0.00020	426	1022	1008	0.781	52	0.00020	426	0.781	0.781	0.781
46	0.00015	426	1022	1008	0.781	53	0.00015	426	0.781	0.781	0.781
47	0.00010	426	1022	1008	0.781	54	0.00010	426	0.781	0.781	0.781
48	0.000075	426	1022	1008	0.781	55	0.000075	426	0.781	0.781	0.781
49	0.000060	426	1022	1008	0.781	56	0.000060	426	0.781	0.781	0.781
50	0.000045	426	1022	1008	0.781	57	0.000045	426	0.781	0.781	0.781
51	0.000030	426	1022	1008	0.781	58	0.000030	426	0.781	0.781	0.781
52	0.000020	426	1022	1008	0.781	59	0.000020	426	0.781	0.781	0.781
53	0.000015	426	1022	1008	0.781	60	0.000015	426	0.781	0.781	0.781
54	0.000010	426	1022	1008	0.781	61	0.000010	426	0.781	0.781	0.781
55	0.0000075	426	1022	1008	0.781	62	0.0000075	426	0.781	0.781	0.781
56	0.0000060	426	1022	1008	0.781	63	0.0000060	426	0.781	0.781	0.781
57	0.0000045	426	1022	1008	0.781	64	0.0000045	426	0.781	0.781	0.781
58	0.0000030	426	1022	1008	0.781	65	0.0000030	426	0.781	0.781	0.781
59	0.0000020	426	1022	1008	0.781	66	0.0000020	426	0.781	0.781	0.781
60	0.0000015	426	1022	1008	0.781	67	0.0000015	426	0.781	0.781	0.781
61	0.0000010	426	1022	1008	0.781	68	0.0000010	426	0.781	0.781	0.781
62	0.00000075	426	1022	1008	0.781	69	0.00000075	426	0.781	0.781	0.781
63	0.00000060	426	1022	1008	0.781	70	0.00000060	426	0.781	0.781	0.781
64	0.00000045	426	1022	1008	0.781	71	0.00000045	426	0.781	0.781	0.781
65	0.00000030	426	1022	1008	0.781	72	0.00000030	426	0.781	0.781	0.781
66	0.00000020	426	1022	1008	0.781	73	0.00000020	426	0.781	0.781	0.781
67	0.00000015	426	1022	1008	0.781	74	0.00000015	426	0.781	0.781	0.781
68	0.00000010	426	1022	1008	0.781	75	0.00000010	426	0.781	0.781	0.781
69	0.000000075	426	1022	1008	0.781	76	0.000000075	426	0.781	0.781	0.781
70	0.000000060	426	1022	1008	0.781	77	0.000000060	426	0.781	0.781	0.781
71	0.000000045	426	1022	1008	0.781	78	0.000000045	426	0.781	0.781	0.781
72	0.000000030	426	1022	1008	0.781	79	0.000000030	426	0.781	0.781	0.781
73	0.000000020	426	1022	1008	0.781	80	0.000000020	426	0.781	0.781	0.781
74	0.000000015	426	1022	1008	0.781	81	0.000000015	426	0.781	0.781	0.781
75	0.000000010	426	1022	1008	0.781	82	0.000000010	426	0.781	0.781	0.781
76	0.0000000075	426	1022	1008	0.781	83	0.0000000075	426	0.781	0.781	0.781
77	0.0000000060	426	1022	1008	0.781	84	0.0000000060	426	0.781	0.781	0.781
78	0.0000000045	426	1022	1008	0.781	85	0.0000000045	426	0.781	0.781	0.781
79	0.0000000030	426	1022	1008	0.781	86	0.0000000030	426	0.781	0.781	0.781
80	0.0000000020	426	1022	1008	0.781	87	0.0000000020	426	0.781	0.781	0.781
81	0.0000000015	426	1022	1008	0.781	88	0.0000000015	426	0.781	0.781	0.781
82	0.0000000010	426	1022	1008	0.781	89	0.0000000010	426	0.781	0.781	0.781
83	0.00000000075	426	1022	1008	0.781	90	0.00000000075	426	0.781	0.781	0.781
84	0.00000000060	426	1022	1008	0.781	91	0.00000000060	426	0.781	0.781	0.781
85	0.00000000045	426	1022	1008	0.781	92	0.00000000045	426	0.781	0.781	0.781
86	0.00000000030	426	1022	1008	0.781	93	0.00000000030	426	0.781	0.781	0.781
87	0.00000000020	426	1022	1008	0.781	94	0.00000000020	426	0.781	0.781	0.781
88	0.00000000015	426	1022	1008	0.781	95	0.00000000015	426	0.781	0.781	0.781
89	0.00000000010	426	1022	1008	0.781	96	0.00000000010	426	0.781	0.781	0.781
90	0.000000000075	426	1022	1008	0.781	97	0.000000000075	426	0.781	0.781	0.781
91	0.000000000060	426	1022	1008	0.781	98	0.000000000060	426	0.781	0.781	0.781
92	0.000000000045	426	1022	1008	0.781	99	0.000000000045	426	0.781	0.781	0.781
93	0.000000000030	426	1022	1008	0.781	100	0.000000000030	426	0.781	0.781	0.781
94	0.										

式为

$$F_{80} = \frac{X - X_2}{X_1 - X_2} Y_1 + \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} Y_2 = \frac{80 - 48.97}{64.83 - 48.97} \times 2\,000 + \frac{80 - 64.83}{48.97 - 64.83} \times 1000 = 2956 \quad (2)$$

用 Excel 进行计算的方法及结果如表 4 所示。

表 4

P80= 112 F80= 2956 P= 150			
Qp= 1.012			
Wt= 20.12			
X1= 64.83	Y1= 2000	X2= 48.97	Y2= 1000
X= 80			
F80= 2956			
XX1= 96.26	YY1= 150	XX2= 85.56	YY2= 125
XX= 80			
P80= 112			

3.2 球磨机转数的计算

在实验中在第 1 次粉碎后,要预测下一次转数。球磨机转数由下式进行计算

$$N_{(n+1)} = N_{(n)} \cdot \frac{\ln(R_{N(n+1)}/R'_{F(n+1)})}{\ln(R_{N(n)}/R'_{F(n)})} \quad (3)$$

式中 $N_{(n)}$ —— 上一轮的转数;

R_N —— 试验用筛(150 μm)筛上物占试样量的质量分数,每次粉碎时的数值不同, %;

R_F —— 试验用筛(150 μm)筛上物的累积质量分数,第一次粉碎由进磨物料 200 g 的全分析得出,其后的每次粉碎都要进行计算, %。

这种计算十分繁琐,而且容易出错。用 Excel 进行计算就可以避免这些问题,其计算公式、计算结果如表 2 所示。

3.3 G_{bp} 及其平衡值的计算

在实验中,每次粉碎、筛分后都要计算 G_{bp} , 见表 3。该表不用输入数据,利用 Excel 的单元格引用功能,直接调用本工作簿中表 1 和表 2 的数据进行计算。其计算公式为

$$G_{bp} = \frac{Q_p - Q_F(1 - R_F)}{N} \quad (4)$$

式中 Q_p —— 物料筛上量;

Q_F —— 物料添加量;

R_F —— 物料筛上累积率,由 200 g 进磨物料全分析得出。

在实验后期, G_{bp} 值将逐渐靠近,达到稳定值后,最后 3 次 G_{bp} 的平均值就是公式(1)的要求值。

3.4 P_{80} 的计算

手工计算时 P_{80} 用图解法求出,但精度不高。

用 Excel 的作图功能,根据表 1 数据所作的 P_{80} 图解如图 2 所示。从图 2 可见,“筛孔尺寸—筛上累积率”曲线近似直线, P_{80} 的值可用插值法求出,其计算公式为

$$P_{80} = \frac{XX - XX_2}{XX_1 - XX_2} YY_1 + \frac{XX - XX_1}{XX_2 - XX_1} YY_2 = \frac{80 - 85.56}{96.26 - 85.56} \times 150 + \frac{80 - 96.26}{85.56 - 96.26} \times 125 = 112 \quad (4)$$

用 Excel 进行计算的方法及结果如表 4 所示。

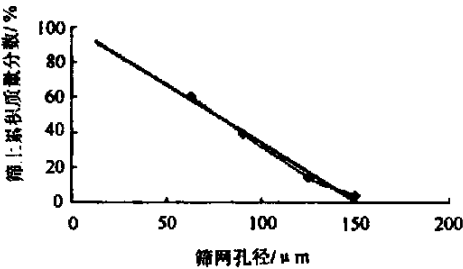


图 2 F_{80} 的图解

3.5 W_i 的计算

公式(1)中所要求的参数值都求出之后,计算 Bond 功指数 W_i 就十分简单了,公式(1) 变成:

$$W_i = 44.5 / (\text{POWER}(H6,0.23) * \text{POWER}(C8,0.82) * (10/\text{SQRT}(C6) - 10/\text{SQRT}(F6)))$$

输入表 4 中的 C11 单元格,调用本表所计算出的参数值即可算出结果($W_i = 18.29$),如表 4 所示。

4 结束语

用手工计算粉磨功指数是十分繁重的工作,同时容易出错,由做图法求出的 F_{80} 、 P_{80} 等参数的精度也有限,用这些参数计算得到的粉磨功指数可信度不高。用 Excel 做曲线图十分方便,计算粉磨功指数十分迅速,结果准确。电子表格做好之后,只要修改表中的实验数据,立即可得另一试样的测试结果。

【参考文献】

[1] (日)三轮茂雄,日搞重助·杨 伦,谢淑娴译.粉体工程实验手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1987.
[2] 国家标准 GB9964—88.水泥原料易磨性试验方法[S].1988.
[3] 日本工业标准 JIS M4002—1976.粉磨功指数试验方法[S].1976.
[4] 川北公夫·罗秉江译.粉体工程学[M].武汉:武汉工业大学出版社,1991.
[5] 北京东方人华科技有限公司·Excel 2002[M].北京:清华大学出版社,2001.