

球磨机模拟计算的新方法——转换系数法^①

陈炳辰^②肖文才^③

(东北工学院)

(成都岩矿测试中心)

提 要

用量纲分析法得出邦德球磨功指数 W_i 、磨机比生产率 q 及其能量效率 e 之间存在某种相互转换关系之后,又用新组装的矿石可磨度装置进行试验,证实了这种转换关系的存在,并求出了转换系数 ξ 。所推荐的模拟算法不仅可以用来计算磨机的规格、产量和产品的粒度分布,而且较其它算法精确、简单。

关键词: 矿石可磨度, 磨矿常数, 转换系数, 转换系数法

1 概 述

磨机的模拟计算是选矿界非常重视的研究领域。目前,球磨机的选择、计算方法有两大类:(1)常规算法;(2)模拟算法。这两类算法都存在一定的缺陷和有一定的局限性。

常规算法的实质是在实验室测得矿石的可磨度,然后根据试验磨机和工业生产磨机的条件差异,乘上一系列修正系数得出工业生产磨机的型式、规格和产量。矿石可磨度,实质上是选择、计算磨机用的“磨矿常数”,其意义为在不同磨矿条件下不变或按某一比例变化的特定指标值。目前最常用的磨矿常数有三类,即:(1)“容积常数”, q (t/m^3h),又称比生产率;(2)“功率常数”,如邦德功指数 W_i ($kW.h/t$),或能量效率 e ($t/kW.h$);(3)“面积常数”,如汤普孙(Thompson C F)指数。磨机的常规算法根据所采用的磨矿常数的不同又分为容积法,邦德功指数法,能量效率法和汤普孙法;最常用的为前三种^[1, 2]。常规算法的优点是简单,易行;缺点是不能算出

磨矿产品的粒度分布,同时所采用的修正系数又随算法的不同而有不同的取值和较大的计算偏差。

为了克服常规算法的缺点,本世纪60年代以后,出现了模拟算法^[3]。该法的基本指导思想是通过试验求得破裂函数 B 、选择函数 S 、物料在磨机中滞留时间分布函数 RTD ,闭路磨矿时还需求分级函数 C ;然后根据磨矿动力学或总体平衡动力学进行磨矿模拟计算。这种模拟计算可以求出包括产品粒度分布在内的磨矿回路诸指标,但是这种算法由于存在下述主要缺陷而很难推广应用:(1) B 、 S 函数值与矿石性质、操作因素有关,很难求出符合实际的准确值,且试验工作量很大。此外,虽有6~7种求法^[4],但结果都不理想,以致计算时还需进行修正调整;(2)由于测得的 B 、 S 、 RTD 、 C 函数值是一定条件下的近似值,计算中也需采用5~6个修正系数进行调整。这使模拟算法试验工作量大、计算繁多,而精度不高。

综上,常规算法虽有一些缺陷,但仍不啻

①本文为国家教委高等学校博士学科点专项科研基金资助项目,于1990年11月15日收到

②教授;③硕士

为较简单的方法, 如能研究出更合适的可磨度测试和模拟过渡方法, 则有可能找出一种较常规及模拟算法都好的新方法。

2 转换系数法理论基础

功指数 W_1 、比生产率 q 及能量效率 e 是分别从不同角度描述某种矿石的可磨度指标, 因此它们之间必有内在联系。如能找到这种内在联系, 必能建立新的磨矿算法。

从量纲分析得知

$$[q/e] = [t/m^3 \cdot h] / [t/kW \cdot h] = [kW/m^3]$$

$$[q \cdot W_1] = [t/m^3 \cdot h][kW \cdot h/t] = [kW/m^3]$$

因此 q/e 和 qW_1 的比值为一无量纲常数, 根据 W_1 、 q 、 e 定义和量纲分析可以求得此无量纲常数^[4, 5, 6]。

$$W_1 = W_x / \left(\frac{10}{\sqrt{P_x}} - \frac{10}{\sqrt{F_x}} \right) \quad (1)$$

$$q = Q(\beta - \alpha) / V \quad (2)$$

$$e = Q(\beta - \alpha) / N \quad (3)$$

(1)式中比功率 W_x 的定义为

$$W_x = N / Q \quad (4)$$

由以上得:

$$q/e = N/V = \xi \quad (5)$$

$$q \cdot W_1 = \frac{N}{V} \frac{\beta - \alpha}{\frac{10}{\sqrt{P_x}} - \frac{10}{\sqrt{F_x}}} = K\xi \quad (6)$$

$$K = (\beta - \alpha) / \left(\frac{10}{\sqrt{P_x}} - \frac{10}{\sqrt{F_x}} \right) \quad (7)$$

以上诸式中, F_x 、 P_x 分别为磨机给料和产品中物料 80% 过筛的粒度, μm ; Q 为磨机按新给入量计的生产率, t/h ; V 为磨机有效容积, m^3 ; α 、 β 分别为磨机给料和产品中小于某计算级别的含量, 小数; N 为磨机功率, kW 。

由(5)、(6)式知, 如果已知转换系数 ξ 及比例常数 K , 则测知任一磨矿常数 (或 q 、或 W_1 、或 e), 即可求出其它磨矿常数。

由(5)式知, 转换系数 ξ 实质上是磨机功率 N 与磨机有效容积的比值。磨机功率 N , 如按有用功率 N_e 计, 可用下式表示^[4]:

$$N_e = \lambda \Delta V \sqrt{d} f(\varphi, \psi), kW \quad (8)$$

式中 λ 为磨机型式系数, 格子型 $\lambda = 1.16$, 溢流型 $\lambda = 1.0$; Δ 为磨矿介质松散密质, d 为磨机直径; $f(\varphi, \psi)$ 为功率系数, 它为与磨机转速 ψ 和介质充填率 φ 有关的二元函数^[4]。将(8)式代入(5)式后得到

$$\xi = N_e / V = \lambda \Delta \sqrt{d} f(\varphi, \psi) \quad (9)$$

如果选用一直径为 d_0 的标准磨机, 并规定其标准操作条件为 Δ_0 、 φ_0 、 ψ_0 , 则可求得标准转换系数 ξ_0 , 由此可得任意规格磨机 $d_x \times l_x$ 在标准条件下的转换系数 ξ_{x0} 及任意条件下的转换系数 ξ_x 。

$$\xi_{x0} = \lambda_x \xi_0 (d_x / d_0)^{0.5} (\Delta_x / \Delta_0) \quad (10)$$

当 $\Delta_x \approx \Delta_0$ 时, 上式为:

$$\xi_{x0} = \lambda_x \xi_0 (d_x / d_0)^{0.5} \quad (11)$$

$$\xi_x = \lambda_x \xi_0 (d_x / d_0)^{0.5} (\Delta_x / \Delta_0) \times f(\varphi_x, \psi_x) / f(\varphi_0, \psi_0) \quad (12)$$

式中 λ_x 为任意规格磨机的型式系数; $f(\varphi_x, \psi_x)$ 和 $f(\varphi_0, \psi_0)$ 分别为任意规格磨机在任意 φ_x 、 ψ_x 条件和标准条件下的功率系数, 二者的比率称为动力相似系数^[4], 以 $K_{\varphi, \psi}$ 表之, 即

$$K_{\varphi, \psi} = f(\varphi_x, \psi_x) / f(\varphi_0, \psi_0) \quad (13)$$

由此得

$$\xi_x = \xi_{x0} K_{\varphi, \psi} \quad (14)$$

由于邦德球磨功指数的测定程序和标准磨机 $d305 \times 305 mm$ 为国内外广泛应用, 故选用该磨机为标准磨机, 测定邦德球磨功指数的条件定为标准条件, 由此可求出标准转换系数 ξ_0 。

3 试验验证

选用 $d305 \times 305 mm$ 邦德球磨功指数磨机为标准磨机, 同时安装用单板机控制的功率测试仪, 测定磨机有用功耗 N_e 。这样利用新组装的可磨度测试装置可同时得到标准条件下

的 q_0 、 W_{10} 及 e_0 。

试验的标准条件为： $d305 \times 305$ mm 磨机，光滑衬板，有效容积 $V_0 = 0.02227 \text{ m}^3$ ；磨机转速 $n_0 = 70 \text{ r/min}$ ，转速率 $\psi_0 = 91.2\%$ ；按规定配比装球 20.26 kg ，充填率 $\varphi_0 = 18.9\%$ ，钢球松散密度 $\Delta_0 = 4.81 \text{ t/m}^3$ 。

用下述方法对 (5) 及 (6) 式进行验证：

(1) 在标准条件下测定三种不同铁矿石的球磨功指数(按 N_{e0} 计) W_{10} 及比生产率 q_0 ；

(2) 测定功指数的同时还应测定 $d305 \times 305$ mm 磨机的有用功率 N_{e0} ，经多次测定得 $N_{e0} = 121.06 \times 10^{-3} \text{ kW}$ ；于是求得标准转换系数：

$$\begin{aligned}\xi_0 &= N_{e0} / V_0 \\ &= 121.06 \times 10^{-3} / [(\pi / \lambda)(0.305)^3] \\ &= 5.435 \text{ kW} / \text{m}^3\end{aligned}$$

(3) 利用下述三个公式分别计算 q_0 、 e_0 及 W_{10} 为

$$\begin{aligned}q_0 &= (60n_0 G_0) / (10^6 V_0) \\ &= 4.2 \times 10^{-3} (G_0 / V_0), \text{ t} / \text{m}^3 \cdot \text{h} \quad (15)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e_0 &= (60n_0 G_0) / (10^6 N_{e0}) \\ &= 4.2 \times 10^{-3} (G_0 / N_{e0}), \text{ t} / \text{kW} \cdot \text{h} \quad (16)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{10} &= W_{x0} / (10 / \sqrt{P_x} - 10 / \sqrt{F_x}) \\ &= (N_{e0} / Q_0) / (10 / \sqrt{P_x} - 10 / \sqrt{F_x}) \\ &= N_{e0} / (4.2 \times 10^{-3} G_0) [(\beta - \alpha) / \\ &\quad (10 / \sqrt{P_x} - 10 / \sqrt{F_x})], \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t} \quad (17)\end{aligned}$$

式中 G_0 为按邦德法测得的矿石可磨度， g/r ； W_{x0} 为 305×305 磨机按有用功率计算的比功耗， $\text{kW} \cdot \text{h} / \text{t}$ ； W_{10} 为 305×305 mm 磨机按有用功率计算的功指数， $\text{kW} \cdot \text{h} / \text{t}$ 。需要指出的是 W_{10} 与 W_1 不同，后者是根据 305×305 mm 磨机作试验求矿石可磨度 G_0 、控制筛孔 P_i (μm) 及按邦德公式(18)算出的功指数^[1, 2]，它相当于直径 2.44 m 溢流型磨机按小齿轮功率计算的功指数

$$\begin{aligned}W_1 &= 49.04 / [P_i^{0.23} G_0^{0.32} \cdot (10 / \sqrt{P_x} - \\ &\quad 10 / \sqrt{F_x})], \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t} \quad (18)\end{aligned}$$

表 1 列出了实测 305×305 mm 功指数磨机的转换系数 ξ_0 ，其实测值与按(5)式计算的转换系数 ξ_{01} 值的偏差仅为 1.7% ，见表 2。

(4) 根据实测数据得出(7)式的经验计算公式

$$K_i = -1.515 + 0.533 \ln P_i \quad (19)$$

若已知邦德球磨功指数测试时的控制筛孔 P_i ，利用(19)式即可求出比例常数 K_i 。其试验值〔按(7)式〕与按(19)式计算的值比较，偏差不大于 1.5% 。

(19)式适用于按标准程序测定球磨功指数时的给料粒度，即 $F_0 \approx 6$ 网目；当 F_0 为其它值，例如对于中矿或两段连续磨矿的第二段磨机给料就不适用。为此求得适用于任意给料粒度 F_x 时计算 K_i 的公式如下

$$\begin{aligned}K_i &= (2237 / F_x)^{0.14} \times \\ &\quad (-1.515 + 0.533 \ln P_i) \quad (20)\end{aligned}$$

由此得

$$\begin{aligned}W_{10} &= N_{e0} / (4.2 \times 10^{-3} G_0) \times \\ &\quad [(2237 / F_x)^{0.14} (-1.515 + \\ &\quad 0.533 \ln P_i)], \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t} \quad (21)\end{aligned}$$

按 $q_0 W_{10} = K \xi$ 计算的转换系数以 ξ_{02} 与实测转换系数平均偏差为 1.92% ，见表 2。

因此，试验证明了 W_1 、 q 、 e 三者存在紧密的转换关系。

4 工业生产球磨机的模型计算步骤

4.1 工业磨机产量计算

由实验室矿石可磨度测试结果往工业过渡，按能量效率 e_0 计算较简单，因它仅考虑两个修正系数，即矿石可磨度系数 K_G 及粒度修正系数 K_{FP} ，其算式为^[4]

$$e_x = e_0 K_G K_{FP}, \text{ t} / \text{kW} \cdot \text{h} \quad (22)$$

当试验与工业磨机处理同一矿石时，(22)式中可磨度系数 $K_G = 1.0$ ；粒度修正系数 K_{FP} 有许多算法，根据我们验证，下式较符合实际，故采用下式^[1, 4]。

表1 三种矿石试验结果

序号	矿石种类	F ₈₀ (μm)	控制筛孔尺寸 P _i		P ₈₀ (μm)	可磨度 G(g / r)	磨机总功 率(W)	磨机有用 功率(W)	ξ ₀ (kW / m ³)	α (%)	β (%)
			网目	μm							
1	东鞍山赤铁矿石	2800	60	380	177	2.043	252.26	123.15	5.529	20.48	100.00
2		2800	70	224	157	1.934	248.63	119.52	5.366	20.00	100.00
3		2800	80	180	139	1.852	252.56	123.45	5.543	18.84	100.00
4		2800	100	154	116	1.609	250.96	121.85	5.471	15.40	100.00
5		2800	120	125	95	1.449	251.00	121.89	5.473	13.62	100.00
6		2800	160	90	64	1.160	248.92	119.81	5.379	10.49	100.00
7		2800	200	77	53	1.002	248.59	119.48	5.364	5.46	100.00
平 均 值							250.42	121.31	5.447		
8	大孤山磁铁矿石	2185	80	180	157	3.688	250.00	120.89	5.428	27.54	100.00
9		2185	120	150	111	2.776	247.30	118.19	5.307	23.80	100.00
10		2185	160	90	76	2.111	251.30	122.19	5.486	19.39	100.00
平 均 值							249.53	120.42	5.407		
11	包钢铁矿石	2225	80	180	143.5	2.748	249.88	120.77	5.422	21.58	100.00
12		2225	120	125	98.5	2.012	253.17	124.06	5.570	17.62	100.00
13		2225	160	90	71.4	1.587	247.67	118.56	5.323	14.97	100.00
平 均 值							250.24	121.13	5.439		
总 平 均 值							250.17	121.06	5.435		

表2 305×305mm磨机处理不同矿石的q₀、W₁₀、e₀、ξ₀值

矿石名称	控制筛孔尺寸 P _i 网目	μm	q ₀ (t / m ³ .h)	e ₀ (t / kwh)	W ₁₀ (kwh / t)	ξ ₀₁ =q ₀ /e ₀ (kw / m ³)	(ξ ₀ -ξ ₀₁) / ξ ₀ × 100%	ξ ₀₂ =q ₀ W ₁₀ /K (kw / m ³)	(ξ ₀ -ξ ₀₁) / ξ ₀ × 100%
东鞍山赤铁矿石	60	280	0.386	0.070	21.036	5.514	-1.45	5.479	-0.81
	70	224	0.365	0.068	19.967	5.368	1.23	5.343	1.69
	80	180	0.349	0.063	20.140	5.540	-1.93	5.632	-3.62
	100	154	0.304	0.055	21.186	5.627	-1.69	5.528	-1.71
	120	125	0.274	0.050	21.170	5.480	-0.83	5.503	-1.25
	160	90	0.219	0.041	21.135	5.341	1.73	5.200	3.22
	280	77	0.189	0.035	23.037	5.400	0.64	5.463	-0.52
						ξ ₀₁ = 5.458	ξ ₀₂ = 5.458		
大孤山磁铁矿石	80	180	0.704	0.128	9.681	5.495	-1.01	5.422	0.24
	190	125	0.530	0.099	10.575	5.372	1.16	5.278	2.89
	160	90	0.403	0.073	11.905	5.554	-2.19	5.427	0.15
						ξ ₀₁ = 5.474	ξ ₀₂ = 5.376		
包钢铁矿石	80	180	0.525	0.096	15.176	5.490	-1.01	5.516	-1.49
	120	125	0.384	0.068	15.202	5.639	-3.75	5.512	-1.42
	160	90	0.303	0.056	15.569	5.389	0.85	5.336	1.82
						ξ ₀₁ = 5.506	ξ ₀₂ = 5.455		
						ξ ₀₁ = 5.478	1.70	ξ ₀₂ = 5.430	1.92

$$K_{FP} = [(P_x F_x) / (P_0 F_0)]^{0.5} \times$$
$$[(F_0^{0.5} - P_0^{0.5}) / (F_x^{0.5} - P_x^{0.5})] \times$$
$$[(\beta_x - \alpha_x) / (\beta_0 - \alpha_0)] \quad (23)$$

式中 F_x、F₀、P_x、P₀ 分别为工业磨机和标准磨机的给料及产品粒度（按 80% 物料过筛

计）；β_x、β₀、α_x、α₀ 分别为上述两种情况下产品和给料中某指定粒级含量%。
按（12）式计算工业磨机转换系数 ξ_x 时，必须先求功率系数 f（φ，ψ）值。按（9）式可得

$$f(\varphi_0, \psi_0) = N_{e0} / (\lambda_0 V \sqrt{d_0} \Delta_0) \\ = 2.044$$

$$\begin{aligned} \text{已知 } \xi_0 &= 5.435 \text{ kW/m}^3, \text{ 于是得} \\ \xi_x &= \lambda_x \times 5.435 (d_x / 0.305)^{0.5} (\Delta_x / 4.81) \times \\ & f(\varphi_x, \psi_x) / 2.044 \\ &= 4.815 \lambda_x (\Delta_x / 4.81) \sqrt{d_x} \times \\ & f(\varphi_x, \psi_x), \text{ kW/m}^3 \end{aligned} \quad (24)$$

当工业磨机介质的松散密度 $\Delta_x = 4.81$ 时, 得

$$\xi_x = 4.815 \lambda_x \sqrt{d_x} f(\varphi_x, \psi_x), \text{ kW/m}^3 \quad (25)$$

据文献^[4]可知任意 φ_x, ψ_x 条件下的功率系数 $f(\varphi_x, \psi_x)$ 值, 由此可得工业磨机的比生产率 q_x 及按新给料计算的生产率 Q_x , 如

$$q_x = \xi_x e_x = \xi_x e_0 K_G K_{FP}, \text{ t/m}^3 \cdot \text{h} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} Q_x &= (q_x V_x) / (\beta_x - \alpha_x) \\ &= (e_x \xi_x V_x) / (\beta_x - \alpha_x), \text{ t/h} \end{aligned} \quad (27)$$

式中 V_x 为工业磨机有容积, m^3

为了计算更加符合实际, 可按多粒级计算 q_{xi} 及 Q_{xi} 值, 然后按下式计算 Q_{xi} 的平均值

$$\bar{Q}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{xi}, \text{ t/h} \quad (28)$$

式中 n 为计算粒级数目

4.2 工业磨机产品粒度分布计算

由 (7) 及 (20) 式可得按 80% 物料过筛计的磨矿产品粒度 P_x 为

$$\begin{aligned} P_x &= \{10 \times [(\beta_x - \alpha_x)(2237 / F_x)^{-0.14} \times \\ & (0.533 \ln P_i - 1.515)^{-1} + \\ & \frac{10}{\sqrt{F_x}}]^{-1}\}^2, \mu\text{m} \end{aligned} \quad (29)$$

又由 (26) 及 (27) 式可得

$$Q_x = (e_0 K_{FP} V_x \xi_x) / (\beta_x - \alpha_x), \text{ t/h} \quad (30)$$

由上式得

$$K_{FP} = (\beta_x - \alpha_x) Q_x / (e_0 V_x \xi_x) \quad (31)$$

由 (23) 及 (31) 式可得求 P_x 的另一算式

$$\begin{aligned} P_x &= F_x \{ (e_0 V_x \xi_x F_x^{0.5}) / [(\beta_0 - \alpha_0) Q_x] \times \\ & [(F_0^{0.5} - P_0^{0.5}) / (F_0 P_0)^{0.5}] + 1 \}^{-2}, \mu\text{m} \end{aligned} \quad (32)$$

由式 (7) 及 (20) 式可得出计算磨矿产品任一粒级的含量值 β_x 的公式

$$\begin{aligned} \beta_x &= \alpha_x + [(2237 / F_x)]^{0.14} (0.53 \ln P_i - 1.515) \\ & \times (10 / \sqrt{P_x} - 10 / \sqrt{F_x}) \end{aligned} \quad (33)$$

设计或生产中 V_x, F_x, α_x 为已知, ξ_x 可由 (25) 式算出; Q_x (或 $\bar{Q}_x$) 可由 (27) 式或 (28) 式求得。这样可由 (32) 式求得工业生产磨机的产品粒度 P_x , 然后由 (33) 式求得粒度分布 β_x 。

5 计算实例

东鞍山铁矿石 5 号磨机给料按新可磨度测试装置测得的可磨度参数见表 1。该系统一段磨机工作参数和产品粒度分布示于表 3、4 中。

计算步骤: 按表 4 中 $P_i = 77 \mu\text{m}$ 为例:

(1) 按 (16) 式计算 $305 \times 305 \text{ mm}$ 球磨机能量效率

$$\begin{aligned} e_{0i} &= 4.2 \times 10^{-3} \times 1.002 / (119.48 \times 10^{-3}) \\ &= 0.0352, \text{ t/kW} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

(2) 计算粒度修正系数 K_{FP}

对于 $d3.2 \times 3.45 \text{ mm}$ 磨机, 已知其 $F_x = 14700 \mu\text{m}$, $\beta_x = 2.70\%$, $\alpha_x = 1.24\%$, $P_i = 77 \mu\text{m}$, 利用 (29) 式求得 P_{xi} 为:

$$\begin{aligned} P_{xi} &= \{10 \times [(0.27 - 0.1240) \times \\ & (2237 / 14700)^{-0.14} (0.533 \ln 77 - 1.515)^{-1} + \\ & \frac{10}{\sqrt{14700}}]^{-1}\}^2 = 397.6, \mu\text{m} \end{aligned}$$

将 P_{xi} 有关数据代入 (23) 式得

$$\begin{aligned} K_{FPI} &= \left(\frac{14700 \times 397.6}{2300 \times 53} \right)^{0.5} \times \\ & \left(\frac{\sqrt{2300} - \sqrt{53}}{\sqrt{14700} - \sqrt{296.6}} \right) \left(\frac{0.27 - 0.0124}{1 - 0.0546} \right) \\ &= 0.758 \end{aligned}$$

(3) 求工业磨机能量效率 e_{xi}

按 (22) 式得

$$\begin{aligned} e_{xi} &= e_{0i} K_{FPI} = 0.0352 \times 0.758 \\ &= 0.0267, \text{ t/kW} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

(4) 求工业磨机转换系数 ξ_x

由 (25) 式得

$$\begin{aligned} \xi_x &= 4.815 \times 1 \times 2.719 \times 3.0 \\ &= 22.678, \text{ kW/m}^3 \end{aligned}$$

(5) 求工业磨机的比生产率 q_{xi} 及产量 Q_{xi}

由(26)式得

$$q_{xi} = \xi_x e_{xi} = 0.0267 \times 22.678 \\ = 0.606, \text{ t/m}^3 \cdot \text{h}$$

由(27)式得

$$Q_{xi} = (q_{xi} V_x) / (\beta_x - \alpha_x) \\ = (0.606 \times 24.39) / (0.27 - 0.0124) \\ = 57.4, \text{ t/h}$$

(6) 按上述步骤求按不同粒级算出的磨

机平均产量 $\bar{Q}_x$, 如表5

3.2 × 3.45mm 磨机的实测产量 $Q_a = 60.4 \text{ t/h}$ 。故计算值偏差为 2.65%。

(7) 求工业磨机产品粒度分布

根据已知数据按(32)式计算 P_{xi} , 然后根据(33)式计算 β_{xi} , 计算结果示于表6及图1中。由此可以看出计算与实测值甚吻合。

表3 东鞍山烧结一选车间5系统磨机的结构参数和工作参数

磨机 型式	规格 $d \times l(\text{m})$	D_{ef} (m)	V_{ef} (m^3)	ψ (%)	φ (%)	Δ (t/m^3)
溢流型	3.2 × 3.45	3.0	24.39	75	43	4.8

* 下标 ef 表示有效的意思

表4 东鞍山烧结厂一选车间5系统一段磨矿回路的筛下累积产率, %

产物	粒级, μm						
	-280	-224	-180	-154	-125	-90	-77
原矿	2.86	2.53	2.23	2.03	1.77	1.39	1.24
分级溢流	58.8	52.7	47.0	43.0	38.3	31.0	27.0

表5 按不同粒级计算的磨机产量

指定粒级 $P_i(\mu\text{m})$	$Q_{xi}(\text{t/h})$	误差 $(Q_{xi} - Q_a) / Q_a(\%)$
77	57.4	2.38
90	60.9	-3.57
125	58.6	0.34
154	62.3	-5.95
180	59.4	-1.02
224	58.4	0.38
280	54.8	7.65
平均值	$Q_{xi} = 58.8$	[4.03]

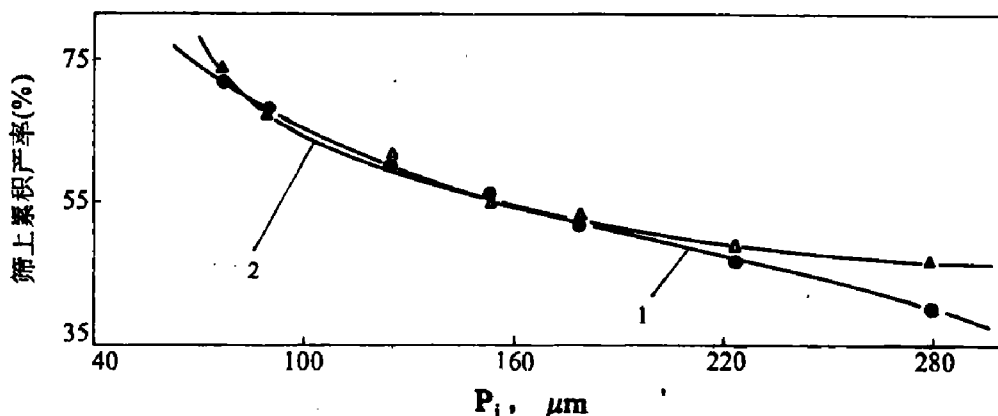


图1 实测粒度曲线与模拟曲线对比

1——实测产品粒度曲线; 2——模拟产品粒度曲线

表7中分别给出了按不同算法算出的工业磨机的产量 Q_x 与实测值 Q_a 的对比。由该表

可以看出, 转换系数法即新模拟算法的计算结果精度最高。

表6 磨矿产品粒度模拟值与实测值对比

粒度 $P_i(\mu\text{m})$	-280	-224	-180	-154	-125	-90	-77
β_{-pi} 实测值(%)	58.80	52.70	47.00	43.00	38.30	31.00	27.00
β_{-pi} 模拟值(%)	52.87	50.96	46.22	44.35	37.16	31.26	25.67
相对误差(%)	10.09	3.30	1.66	-3.14	2.98	-0.84	4.93

表7 四种算法所得到的磨机产量 Q 值对比

实 例	模拟算法名称	Q_a (t/h)	Q_x (t/h)	相对误差 $ Q_a - Q_x / Q_a (\%)$
东鞍山烧结 厂一选车间 5系统磨机	新模拟算法	60.4	58.8	2.65
	容积法	60.4	68.5	13.08
	功耗法	60.4	62.3	3.15
	一般能量效率法	60.4	47.8	20.86
大孤山选矿 厂二选车间 7系统磨机	新模拟算法	43.6	43.1	1.15
	容积法	43.6	50.1	14.91
	功耗法	43.6	42.6	2.30
	一般能量效率法	43.6	33.2	23.85

6 结语

现有的磨机计算方法都有一定的缺陷, 而本文推荐的转换系数法不仅能计算工业磨机产量, 同时又能算出磨矿产品粒度分布, 且试验工作量小, 计算结果精度高。

参 考 文 献

1. Справочник По Овогашению Руда. Раздел IV.

Москва: Издательство Нелра. 1982

2. 《选矿设计手册》. 北京: 冶金工业出版社, 1988
3. Mular A L, et al. Design and Installation of Comminution Circuits. New York: Port city Press, 1982
4. 陈炳辰. 磨矿原理. 北京: 冶金工业出版社, 1989
5. 陈炳辰. 见: 中国选矿科技情报网细粒分选网编. 细粒选矿进展论文集, 1987
6. 肖文才. 硕士论文. 东北工学院, 1989