

腭式破碎机生产能力的分析^①

刘省秋

(中南工业大学机械系, 长沙 410083)

摘 要 在综述腭式破碎机生产能力计算的基础上, 着重分析了影响腭式破碎机生产能力的几个重要因素, 指出了提高其生产能力的有效途径, 可供腭式破碎机设计、改造和使用时参考。

关键词 腭式破碎机 生产能力 提高途径

腭式破碎机自 1858 年问世以来, 由于它具有结构简单、制造容易、工作可靠、能破碎坚硬物料、维修量少、设备和生产费用较低等特点, 至今仍被广泛地用于许多基础工业部门, 而且每年还有数以千计的新设备投入工业生产各部门。

所以, 探讨提高腭式破碎机生产能力, 以适应国民经济建设高速度发展的需要是具有积极现实意义的。

1 生产能力的计算

腭式破碎机生产能力就是指在一定给料和排料粒度条件下单位时间内所能处理的物料量。它与许多因素有关, 例如, 待破物料性质, 破碎机型式和规格, 动腭悬挂高度和运动特性, 破碎机结构和工艺参数, 破碎机制造质量和操作条件、管理水平等等。关于腭式破碎机生产能力的计算, 大体上可以分为两类, 即理论计算和经验计算。

腭式破碎机生产能力通常以动腭往复摆动一次, 从破碎腔中排出一个松散棱柱体积的物料作为其计算依据。

一方面, 因为腭式破碎机的机构是采用一种由典型的曲柄摇杆机构派生而来的偏心机构, 其肘板具有急回运动的特性。从这一特性

出发, 并考虑到物料从破碎腔中落下最大可能的高度—由设备的几何学条件确定的高度, 由图 1 可知, 腭式破碎机动腭往复摆动一次, 从破碎腔中排出的质量生产能力^[1, 2]为:

$$Q = (120 \sim 150) n_0 L s d_p \cdot \left(\frac{B}{B-b} \right) [1 + 10 \cdot 9^{-90s/B}] \cdot \beta \gamma \varphi(\xi) \varphi(\zeta) \varphi(n/n_0) \quad t/h \quad (1)$$

式中 B, L —给料口的宽度和长度, m; b —排料口宽度, m; s —动腭下端点水平摆动行程, m; d_p —排出产物的平均粒度, m, 其值为:

$$d_p = \frac{2b+s}{2}$$

γ —被破碎物料的固体密度, t/m^3 ; β —考虑被破碎物料表面摩擦特性的系数, 其值与物料类别有关, 花岗岩、石英岩等的 $\beta=1.0$, 煤和

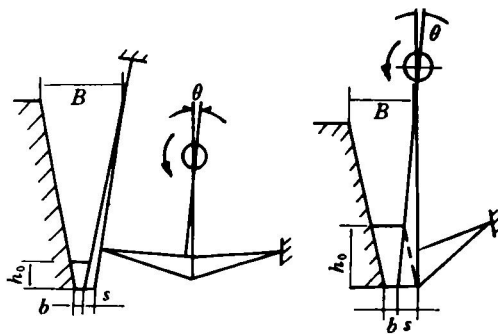


图 1 破碎腔几何尺寸

① 收稿日期: 1994-04-29

焦炭等的 $\beta=0.5$; $\varphi(\xi)$ —与给入破碎机的物料粒度分布参数 ξ 有关的函数, $\varphi(\xi)$ 与 ξ 的关系曲线如图 2 所示, 参数 ξ 按如下定义给出:

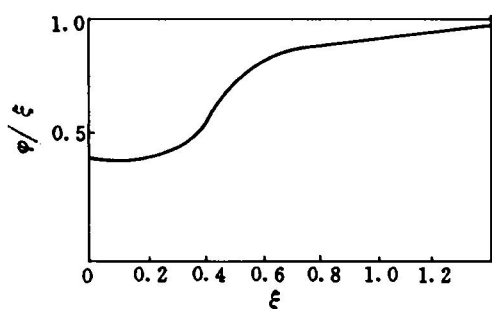


图 2 $\varphi(\xi)$ 与 ξ 的关系曲线

$$\xi = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_p}$$

在此 $D_{\max}$ —给入物料中的最大粒度, m; $D_{\min}$ —给入物料中的最小粒度, m; D_p —给入物料的平均粒度, m。

$\varphi(\zeta)$ —与通过破碎腔的物流有关的参数 ζ 有关的函数, 参数 ζ 是破碎机排料口宽度 b 与给入物料的平均粒度 D_p 之比值, 即

$$\zeta = b/D_p$$

通常破碎机排料口宽度 b 总是小于给入物料平均粒度 D_p 的 $1/2$, 故 $\varphi(\zeta)$ 可选取为 1.0; n_0 —考虑腭式破碎机机构具有急回运动特征, 且能获得最大生产能力时动腭的摆动次数, 其值可由下式得出^[3]:

$$n_0 = (27 \sim 30) \frac{K}{K+1} S^{-1/2} \cdot \left(1 - \frac{b}{B}\right)^{1/2} g^{1/2} \quad \text{r/min} \quad (2)$$

式中 K —腭式破碎机机构的行程速比系数, 通常 $K=1.15 \sim 1.25$; g —重力加速度, m/s^2 ; n —腭式破碎机动腭的实际摆动次数, r/min ; $\varphi(n/n_0)$ —与腭式破碎机动腭摆动次数有关的函数, 其值由下面的关系给出:

$$\text{对于 } n < n_0, \varphi(n/n_0) = n/n_0;$$

$$n = n_0, \varphi(n/n_0) = 1;$$

$$n > n_0, \varphi(n/n_0) = n_0/n.$$

另一方面, 假定动腭作平移运动, 忽略动腭在摆动过程中啮角变化的影响, 那么动腭往

复摆动一次, 从破碎腔中排出的质量生产能力 (图 3) 可按参考文献[4]提出的公式适当变换予以计算。

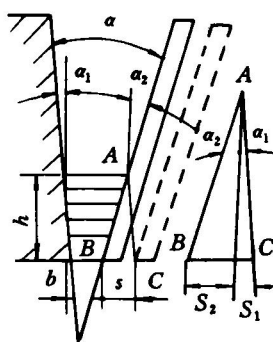


图 3 腭式破碎机生产能力计算

$$Q = \frac{60nLSd_p\gamma\mu}{\text{tg}\alpha_1 + \text{tg}\alpha_2} \quad (3)$$

式中 α_1, α_2 —定腭破碎板和动腭破碎板倾斜安装的角度, $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha$ 称为腭式破碎机的啮角; μ —被破碎物料的松散系数, 一般情况下, 取 $\mu=0.3 \sim 0.7$, 破碎坚硬物料时取小值, 破碎不太硬的物料时可取大值; 其它符号的意义和单位同前。

若 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha/2$, 则有

$$Q = \frac{30nLSd_p\gamma\mu}{\text{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad \text{t/h} \quad (4)$$

若 $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = \alpha$, 则

$$Q = \frac{60nLSd\gamma\mu}{\text{tg}\alpha} \quad \text{t/h} \quad (5)$$

以上从不同的角度出发, 给出了腭式破碎机生产能力的理论计算公式(1)、(3)、(4)、(5)等, 但它们都各自有其局限性, 只可作为定性计算时使用。为了获得一种较为满意的腭式破碎机生产能力, 还必须根据生产实际予以校正。故下面再推荐几个经验公式供选用。

Taggart A F 公式

$$Q = 0.093Lb \quad \text{t/h} \quad (6)$$

或

$$Q = 0.084 A/i \quad \text{t/h} \quad (6a)$$

式中 L, b —破碎机排料口长度和宽度, cm; A —给料口面积, cm^2 , $A = L \cdot B$; B —给料口

宽度, cm; i —破碎比, $i=D/b$; D —给料粒度; cm。

О. ГЕРБЕРТ В. А. 公式

$$Q=K_1K_2K_3q_0b \quad \text{t/h} \quad (7)$$

式中 K_1 —给料特性(或破碎难易程度)系数, 详见表 1; K_2 —物料密度校正系数, $K_2=\delta/1.6$; δ —破碎物料的松散密度, t/m^3 ; K_3 —物料粒度校正系数, 见表 2; q_0 —排料口单位宽度的生产能力, $\text{t/h} \cdot \text{mm}$, 见表 3; b —排料口宽度, mm。

表 1 给料特性系数 K_1

物料强度	抗压强度/MPa	普氏硬度系数 f	K_1
硬	160~200	16~20	0.90~0.95
中硬	80~160	8~16	1.00
软	<80	<8	1.10~1.20

表 2 物料粒度校正系数 K_3

给料最大粒度 $D_{\max}$ /给料口宽度 B	0.85	0.60	0.40
K_3	1.0	1.1	1.2

表 3 排料口单位宽度的生产能力 q_0

破碎机规格 $B \text{ mm} \times L \text{ mm}$	250×400	400×600	600×900
$q_0/\text{t} \cdot (\text{h} \cdot \text{mm})^{-1}$	0.40	0.65	0.95~1.00
破碎机规格 $B \text{ mm} \times L \text{ mm}$	900×1200	1200×1500	1500×2100
$q_0/\text{t} \cdot (\text{h} \cdot \text{mm})^{-1}$	1.25~1.30	1.90	2.70

利温生公式

$$Q=150nLSd_p\delta \quad \text{t/h} \quad (8)$$

式中 各长度单位以“m”计入, 其余各符号的意义及单位同前。

上述计算公式原则上只适用于简摆腭式破碎机, 即它们没有能够反映出不同型式的腭式破碎机与生产能力之间的关系。但实践证明, 由于破碎机动腭摆动行程 S 的大小和方向, 以及运动轨迹的差别, 各种型式的腭式破碎机的生产能力是不同的。据国外对相同规格的三种不同型式的腭式破碎机在排料口宽度 b 、动腭摆动次数 n 和啮角 α 等相同条件下的试验证实, 复摆腭式破碎机较简摆腭式破碎机提高生

产能力 20%~30%, 综合摆动腭式破碎机较简摆提高 90%~95%。因此, 在计算简摆以外的腭式破碎机生产能力时, 必须乘以一个大于 1 的型式修正系数 K_0 。

2 生产能力的影响因素分析

以上介绍的几个腭式破碎机生产能力的计算公式揭示了腭式破碎机生产能力与其结构参数(动腭下端点的水平摆动行程 S 、给料口尺寸 $B \times L$ 、排料口宽度 b)、工艺参数(动腭摆动次数 n 、啮解 α)和物料性质(密度 γ 、松散系数 μ)等之间的函数关系, 为提高腭式破碎机生产能力提供了科学依据。

下面分析提高腭式破碎机生产能力的几种途径, 供设计、改造和使用者借鉴。

2.1 适当提高腭式破碎机动腭摆动次数是提高其生产能力的重要途径之一

从公式(1)、(3)、(4)、(5)可以明显看出, 腭式破碎机理论生产能力是随着动腭摆动次数 n 的增高而增大的; 从公式(1)还可看出, 当动腭摆动次数 n 增高至某一最佳数值 n_0 时, 破碎机能够获得最大的生产能力; 当动腭在超最佳摆动次数下摆动时, 其生产能力将随着动腭摆动次数的增高而降低。同时, 实验研究的结果也证明了这一规律。然而, 现有腭式破碎机动腭的摆动次数都选择得比较低, 特别是大型简摆腭式破碎机 and 小型复摆腭式破碎机。但因腭式破碎机具有较大的运动质量, 如果动腭的摆动速度过快, 所产生的惯性力就会比较大, 这又将使机器及其基础发生振动, 使偏心轴回转不均匀, 同时所消耗的功率也较大, 并可能引起轴承发热, 故其速度也不能过高。

因此在破碎机其它有关参数不变化的情况下, 适当增高现有腭式破碎机动腭摆动次数 n 以提高其生产能力是可能的。其增高幅度建议在原有破碎机摆动次数的基础上增高 10%~15%, 大型破碎机取小值, 中小型取大值。

2.2 适当减小腭式破碎机啮角 α 是提高其生产能力的又一重要途径

由公式(3)、(4)、(5)可知,腭式破碎机生产能力在一定条件下与啞角 α 的正切成反比。同时,从Bond F C 理论可知,腭式破碎机生产能力与其啞角 α 成直线关系,即破碎机的相对生产能力随修正系数 K_a 成正比例变化:

$$K_a = 1 + 1.4327(0.384 - \alpha) \quad (9)$$

式中 α 为腭式破碎机的啞角, rad

由参考文献[5]可知,将腭式破碎机的定腭破碎板和动腭破碎板都倾斜安装,并尽量使二者倾斜安装的角度 α_1 和 α_2 接近相等,可使其生产能力的相对值提高4%左右。

由国内外有关实验证明,适当减小啞角 α 亦可提高腭式破碎机生产能力。因为啞角 α 减小,物料在破碎腔中完全被破碎所需要的动腭挤压次数减少了,并使得破碎腔上部区域的处理能力比从排料口排出的能力增大,这样破碎腔中总备有需要排出的产品,而不致因破碎不及时而影响排料。例如,原苏联学者巴乌曼 B A 用 400×600 腭式破碎机破碎抗压强度为 300 MPa 的花岗岩时,将啞角 α 由 $21^\circ 40'$ 改为 $17^\circ 30'$ 后,生产能力提高了 $20\% \sim 40\%$; 吉斯金和高登等都分别进行了减小啞角的试验,认为啞角 α 的大小对破碎机的生产能力有很大的影响,具体结果见表4。

国内某石矿将 PEF- 400×600 腭式破碎机的啞角在原设计的基础上减小 $3^\circ 22'$, 其生

产能力亦提高了 20% 。

表4 啞角对生产能力影响的实验结果

啞角 $\alpha / (^\circ)$		26	25	24	23
相对生产能力 K_a	吉斯金实验	1.00	1.03	1.06	1.09
	高登实验	1.00	1.05	1.10	1.15
啞角 $\alpha / (^\circ)$		22	21	20	
相对生产能力 K_a	吉斯金实验	1.12	1.15	1.18	
	高登实验	1.21	1.27	1.34	

由上述分析和实验结果可以看出,适当减小啞角 α 是提高腭式破碎机生产能力的又一重要途径。但是,必须注意:啞角 α 的减小会导致破碎比减小,使破碎产品粒度相应增大,因此,减小啞角 α 还必须认真考虑破碎工段对物料粒度的要求。

其具体实施方法,应视具体情况而定。如对新设计的腭式破碎机可广泛参考国内外的实践经验,在保证满足破碎粒度要求的前提下,尽量将啞角 α 选择得小一点,国外就曾经选取到 $\alpha = 15^\circ$ 左右。如对现有腭式破碎机进行改造,可采用普通碳素钢锻制成数条斜铁(其条数视破碎机规格大小而定),将其按定腭板纵向筋布置,用焊接方法固定于机架前壁的内侧,于是腭式破碎机的啞角将从 α 减小至 α_0 (图4)。

当定腭破碎板垂直安装时,改造后的相对

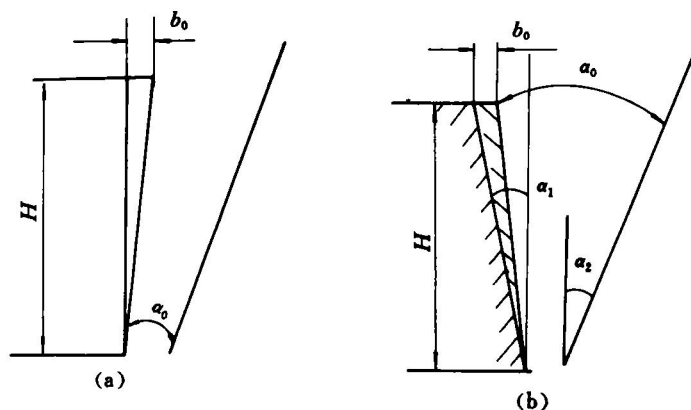


图4 啞角对生产能力之影响

(a)一定腭破碎板垂直安装;(b)一腭破碎板倾斜安装

生产能力 K'_s 可按式确定。

$$K'_s = \frac{\operatorname{tg} \alpha (1 + \frac{b_0}{H} \operatorname{tg} \alpha)}{\operatorname{tg} \alpha - \frac{b_0}{H}} \quad (10)$$

如果腭式破碎机的两破碎板都倾斜安装, 啞角 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$, 那么其相对生产能力 K'_s 则为:

$$K'_s = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2}{\pm \operatorname{tg} \alpha_1 \mp \frac{b_0}{H} + \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (11)$$

式中 当斜铁大头的尺寸 b_0 小于 $H \operatorname{tg} \alpha_1$ 时, 分母中 $\operatorname{tg} \alpha_1$ 取“+”, b_0/H 取“-”; 反之, b_0 大于 $H \operatorname{tg} \alpha_1$ 时, 分母中 $\operatorname{tg} \alpha_1$ 取“-”, b_0/H 则取“+”。

2.3 适当增大破碎机排料口宽度 b 和动腭下端点水平摆动行程 S 是提高其生产能力的重要途径之三

从破碎机生产能力的计算公式亦可明显看出, 生产能力与排料口宽度 b 和动腭下端点水平摆动行程 S 有着极为密切的关系, 即随着 b 和 S 的增大, 生产能力也是明显提高的, 而且已为实践所证实。因此, 在设计、选择和改造腭式破碎机时, 可以通过合理确定排料口宽度 b 和摆动行程 S 以提高腭式破碎机生产能力, 特别是用于二次破碎的腭式破碎机更应该在这方面下功夫来提高其生产能力。但是, 这与传统的“排料口尺寸一般与破碎产品的尺寸大体相同或小一些”的观念是相对立的, 因此, 具体实施时, 必须完全满足下述条件:

(1) 适当增大排料口宽度 b , 其增大范围可定为破碎机破碎腔长度 L 的 $0.025 \sim 0.05$ 倍;

(2) 适当增大动腭下端点水平摆动行程 S , 其增大量可控制在 $0.05 \sim 0.10 L$ 范围内;

(3) 在同时满足上述两条件的基础上, 必须使给入破碎机的物料量大致等于破碎机的通过量, 以保证破碎机破碎腔中的物料形成层状密实充填的流动状态, 一边连续不断地给入被破碎物料, 一边利用动腭的摆动所产生的压缩作用给予破碎腔中的物料以充分的压实度和高压比使之破碎。

这种方法的破碎机理是以料层压缩现象为基础的, 采用后不仅可以获得小粒度, 接近立方状的破碎产品, 而且能使破碎成品数量成倍地增加。

不过, 在应用这种方法时还必须注意: 其一, 物料的松散密度与其真实密度之比值不能超过 80% , 否则就不能被压缩, 破碎机也就不能运转; 其二, 通过破碎机的物料要经过适当筛分, 使大于所需尺寸的物料再返回破碎机进行破碎, 直至破碎成所需要的产品。

2.4 将破碎腔形状改造为曲线型破碎腔是提高其生产能力的重要途径

腭式破碎机的破碎腔形状是决定其生产能力的重要因素之一。破碎腔的形状有直线型和曲线型。直线型破碎腔是指定、动腭上敷设的破碎板纵断面都为直线, 其啞角为恒定; 曲线型破碎腔则是将定、动腭破碎板或者其中之一的纵断面设计为曲线, 且曲线从上往下按啞角逐渐减小的原则设计, 即称为变啞角破碎腔。在变啞角的曲线型破碎腔中, 各连续水平面间形成的梯形断面的体积, 从破碎腔中部往下是逐渐增加的, 因而物料间的空隙也增大, 这样有利于物料的排出。同时, 由于曲线型破碎腔的排料口附近有一段接近于平行的区间, 因而破碎机的堵塞点也会由排料口往上移动一段平行区间的长度, 这不仅保证了在排料口附近不易发生堵塞现象, 加快已破碎物料的流通, 而且破碎板的使用寿命也将延长。因此, 采用曲线型破碎腔可显著地提高其生产能力。这已为国内外大量的实践所证实。

曲线形状有多种多样, 实验研究的结果表明, 在啞角许可范围内, 将定、动破碎板之一的上、下部设计成对称的 Causs 曲线, 其中部采用直线, 另一破碎板则设计成直线(图 5), 这被认为是破碎物料的理想条件。其曲线方程式为:

$$y = C \cdot \exp(-\frac{1}{2} k x^2) \quad (12)$$

$$C = (b + s) \cdot \exp[\frac{\ln(\frac{B}{b+s})}{1-m^2}] \quad (13)$$

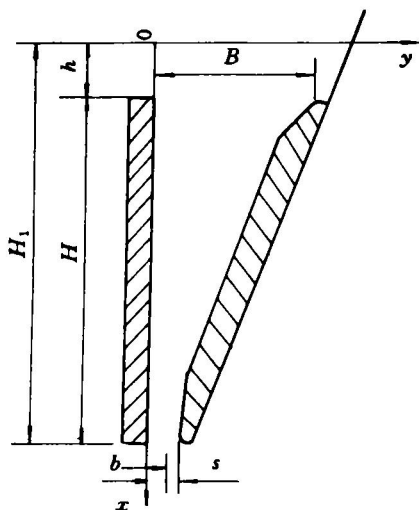


图5 曲线型破碎腔

$$k = \frac{2 \ln \left(\frac{B}{b+s} \right)}{H_1^2 (1-m^2)} \quad (14)$$

$$m = h/H_1 \quad (15)$$

$$H_1 = H + h \quad (16)$$

式中 H —破碎腔高度, mm; h —动腭悬挂点至给料口水平的高度, mm; 其它符号的意义同前, 单位为 mm。

参考文献

- 1 刘省秋. 有色金属, 1986, (1): 36.
- 2 Rose H E, English J E. Inst Min Met Trans C, 1967, 76 (724): 32-43.
- 3 刘省秋. 矿山机械, 1993, (7): 23-25.
- 4 周恩浦等(编). 矿山机械. 北京: 冶金工业出版社, 1979.
- 5 刘省秋. 有色金属, 1982, (5): 33-38.
- 6 ГОСТ13757-80, 腭式破碎机腭板技术条件.
- 7 村田博之. JP 58-20313. 1983.
- 8 戴少生. 矿山机械, 1988, (7): 26.