

破碎機械的主要指標計算

389



重工業出版社

粉碎機械的主要指標計算

中央建築材料工業管理局編譯科 摘譯

重工業出版社

粉碎機械的主要指標計算

Механическое оборудование керамических и стекольных заводов

原 著 者: А. П. Ильевич

原出版者: Промстройиздат (1953 г.)

中央建築材料工業管理局翻譯科摘譯

重工業出版社(北京東交民巷26號)出版 中國圖書發行公司發行

25開本 · 共70面 · 定價3,500元

初版(1—7,000冊) 一九五三年十二月北京市印刷一廠印

目 次

(一)	物料粉碎總論.....	(1)
(二)	顎式破碎機.....	(7)
(三)	錐式破碎機.....	(22)
(四)	雙滾式壓碎機.....	(28)
(五)	輪輥機.....	(39)
(六)	錘式破碎機.....	(49)
(七)	球磨.....	(54)

附錄 蘇聯標準篩規格

(一) 物料粉碎總論

在建築材料工業中，各種原料粉碎，常常利用許多種不同的破碎或磨碎機械。粉碎率，一噸成品的能量消耗及一噸成品的經營費用是這些機械的主要經濟技術指標，這個指標又隨機械型式不同而異。

粉碎率：粉碎前物料大小與粉碎後物料大小之比。

$$i = \frac{D}{d} \quad (1)$$

i —粉碎率。

D —粉碎前物料大小。

d —粉碎後物料大小。

原料的粉碎可按成品大小分為破碎（粗碎）及磨碎（細碎）。

當粗碎時 i 值 = 2~15 或更大些。

當細碎時 i 值可大於 100。

依成品大小，破碎又可分為下列幾種：

破碎種類	成品大小（公厘）
粗破碎.....	100
中破碎.....	30
細破碎.....	3
精破碎（更細些）.....	0.5

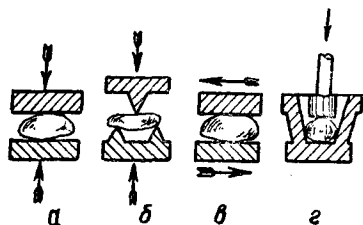
同樣磨碎也可分為兩類：

磨碎種類	成品大小（公厘）
粗磨.....	0.1—1.3
細磨.....	<0.1

已有的粉碎機械中，一般用下列方法進行粉碎（圖1）。

有時候是用各種不同方法組合起來進行粉碎。採用某種粉碎方式是根據原料的物理性質、原來的大小與需要粉碎的程度來決定。

當粉碎原料時，所加的外力要勝過物料微粒間的結合力。物料機械強度的大小



第一圖 粉碎方式圖解：
a壓碎。b劈碎。c剪碎。d擊碎。

第一表

某些物質的硬度試驗表

物 料	容 重 噸/立方公尺	硬 度 極 限				
		壓 力 公斤/平方公分		彎 曲 力	剪 力	衝 擊 力
		乾樣品	飽和樣品	公斤/公分	公斤/公分	公斤·公分/公分
片麻岩	2.0	3155	2566	248	0.35	103.0
石灰石 (大理石)	2.69	1375	1453	318	1.45	65.6
石灰石	2.63	1324	975	189	1.24	53.4
花崗石	2.63	3477	2905	238	0.15	65.7
石英	2.64	5133	2846	—	0.18	117.0
砂岩	2.28	447	589	—	3.00	15.0
輝綠岩	5.08	3500	—	500	0.29	560.0
碧石	2.73	5825	—	—	0.06	18.0
高爐礦渣	2.73	1500	—	—	0.06	18.0
馬丁爐渣	3.7	1500	—	—	—	—
已煨燒的泥土	0.6—1.5	60—150	2060	—	—	—
建築用的紅磚	1.6—2.1	75—160	—	—	—	—
砂磚	1.7—1.9	130	—	—	—	—
耐火粘土製品	1.7—2.1	100	—	—	—	—
耐火矽酸質製品	3	90—150	—	—	—	—
煤	0.8—0.85	17—47	—	—	—	—
無煙煤	0.8—0.95	→90	—	—	—	—

是以加壓時屈服點的強度來度量。當原料很堅硬時，此值超過 500 公斤/平方公分，而一般硬度的原料則在 100—500 之間，對軟的原料說來則在 100 公斤/平方公分以下。原料的一般屈服點強度見表四；從該表中可以看出：不同物料對於機械力的抵抗也不同。

由於原料大小及性質有多種多樣，並且粉碎成品要求也不同，因此，粉碎機械的型式也是多種多樣的。

§ 1. 粉碎原理

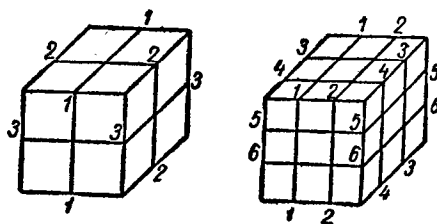
粉碎過程是非常複雜的，它與一系列的因素有關，在這些因素中，被粉碎原料的性質（均一性、平滑程度、黏度、硬度、原料塊子的形狀、溫度以及另一些難測得或難統計出的性質）是一個主要的因素。

蘇聯的科學家們對於粉碎原理曾作了許多的研究。在這些研究中，弗·爾·克爾皮才夫教授、爾·布·雷凡松教授、支·布·康脫諾維奇教授、格·格·葉高諾夫教授、弗·潑·羅烏吉教授等的主要著作較之外國科學家的成績具有更大的價值。

在已有的一些學說中，有兩種最切實際的學說。

表面積學說：粉碎物體所需的功與新生成的表面積成正比。

假設粉碎每邊為一公分的立方體需要功 4 公斤×公分，要粉碎到每邊為 $\frac{1}{2}$



第二圖 立方體粉碎圖

公分的立方體，必須沿三面分割，同時得到八個立方體，功為 3^4 公斤×公分。同樣，若分為更小的立方體，每邊為 $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, ..., $\frac{1}{n}$, ..., $\frac{1}{m}$ 公分，則得到 $3^3, 4^3, 5^3, 6^3, \dots, n^3, \dots, m^3$ 個立方體，而分出的面為 6, 9, 12, ..., 3(n-1), ..., 3(m-1)。

這樣，分成每邊為 $\frac{1}{n}$ 公分立方體所需功為

$$A_n = 3^4(n-1) \text{ 公斤} \cdot \text{公分}$$

而分成每邊為 $\frac{1}{m}$ 公分立方體所需功為

$$A_m = 3A(m-1) \text{ 公斤} \cdot \text{公分}$$

兩功之比為：

$$\frac{A_n}{A_m} = \frac{3A(n-1)}{3A(m-1)} = \frac{(n-1)}{(m-1)} \quad (2)$$

當 n 與 m 值相當大時：

$$\frac{(n-1)}{(m-1)} = \frac{n}{m}$$

故

$$\frac{A_n}{A_m} = \frac{n}{m} \quad (3)$$

即：粉碎率很大時，粉碎所需功與粉碎率成正比。

用表面積學說不能求出粉碎所需的絕對功，但可以比較在各種粉碎度下能量的消耗。

(例) 求粉碎每邊為 1 公分的立方體為每邊為 $\frac{1}{100}$ 公分的立方體所需的功比粉碎為每邊 $\frac{1}{10}$ 公分立方體所需之功大多少倍？由公式(3)得：

$$\frac{A_n}{A_m} = \frac{n}{m} = \frac{100}{10} = 10$$

體積學說：В.Л.克爾皮才夫教授是這個學說的創始人。體積學說的主要內容是：物料受外力而變形，此外力使物料內部產生應力，相當於抗壓強度，外力達到極限值時，物料就破碎了。故物料粉碎所需要的功消耗在使物料變形上面。

為了簡化體積理論的解說，假設：

- 1) 被粉碎物料是稜形或圓柱形，又壓力的作用方向垂直於物體的橫斷面。
- 2) 被粉碎物料合於直綫變形法則：

$$\lambda = \frac{PL}{FE} \quad \text{或} \quad \varepsilon = \frac{\lambda}{L} = \frac{\sigma}{E} \quad (4)$$

λ —物料長度的減少。

E —物料的彈性係數。

P —壓力。

ε —相對壓縮。

L —最初物料長度。

σ —物體到破碎時的壓力強度，

F —被粉碎物體橫斷面面積。

即受壓力時屈服點強度。

由已知的物體抗壓表中可知，在比例極限時，變形所需功

$$A_1 = \sum_0^{l_1} P \cdot \Delta l = \int_0^{l_1} P \, dl = \int_0^{P_1} \frac{L}{FE} dP = \frac{L}{FE} \int_0^{P_1} P \, dP = \frac{LP_1^2}{2FE} \quad (5)$$

或由圖解：

$$A_1 = \sum P \cdot dl = \text{三角形 } OP_1l_1 \text{ 的面積。}$$

三角形面積（圖3）

$$OP_1l_1 = \frac{P_1 l_1}{2} = \frac{P_1}{2} \cdot \frac{P_1 \cdot L}{FE} = \frac{P_1^2 L}{2FE}$$

以 F 乘分子與分母；以 σ 代 $\frac{P_1}{F}$ ， V 代 LF （ V —變形塊的體積）得：

$$A_1 = \frac{\sigma_1^2 \cdot V}{2E}$$

故粉碎所需功

$$A_{\partial p} = \frac{\sigma_{\partial p}^2 \cdot V}{2E} \quad (5a)$$

式中 $\sigma_{\partial p}$ —加壓時物料的屈服點強度。

當粉碎某些性質相同而尺寸和體積不同的物質時，粉碎功：

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots + A_n \\ &= \frac{\sigma_{\partial p}^2 \cdot V_1}{2E} + \frac{\sigma_{\partial p}^2 \cdot V_2}{2E} + \frac{\sigma_{\partial p}^2 \cdot V_3}{2E} + \dots + \frac{\sigma_{\partial p}^2 \cdot V_n}{2E} \\ &= \frac{\sigma_{\partial p}^2}{2E} (V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n) = \frac{\sigma_{\partial p}^2 \cdot V}{2E}, \end{aligned} \quad (6)$$

式中 V —所有塊的總體積

因之，按體積學說言：“在相同的技術條件下，將幾何外形相似的物體粉碎成形狀亦相似的成品時，所需之能量與其體積或重量成正比。

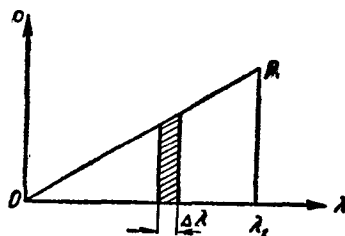
（例）求粉碎 1 立方公分石英所需之功：

石英的彈性係數 $E=600000$ 公斤/平方公分， $\sigma_{\partial p}=1200$ 公斤/平方公分

根據體積學說，由公式(6)得：

$$A_{\partial p} = \frac{1200^2 \cdot 1}{2 \cdot 600000} = 120 \text{ 公斤} \cdot \text{公分}$$

以上兩種學說皆不能適合於極複雜的實際情況，但許多經驗證明：體積學說



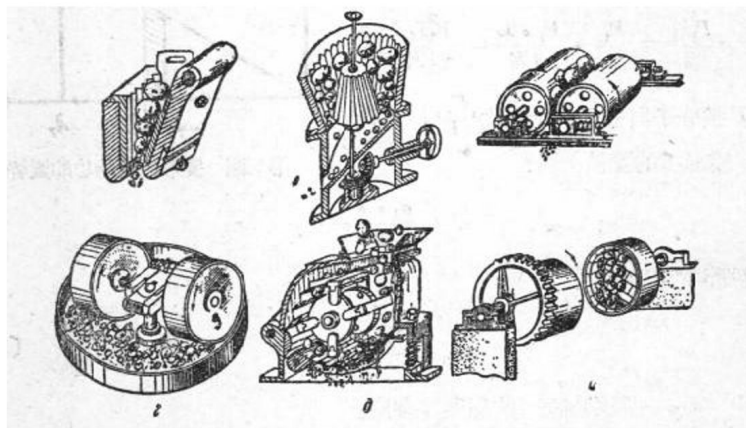
第三圖 變形需要的功的圖解

比較接近於粗碎，而表面積學說比較接近於細碎。

在實際粉碎過程中，要很注意粉碎程度的要求，因為若已粉碎好的物料仍留在機器中，一則是多餘粉碎，二則消耗了不必要消耗的能量。為了避免這種現象，採用各種不同的調合器，循環粉碎，及通風裝置等。

§ 2. 粉碎機械分類

根據作功原理及構造特性分下列主要幾種：



第四圖 粉碎機械的種類。

顎式破碎機：由於活動顎板對於固定顎板作週期性往復運動，物料在兩顎板間被壓碎。（圖4a）

錐式破碎機：外錐形體是固定的，內錐體作偏心旋轉，物料在兩錐體間受壓力與彎曲力而破碎，（圖4b）。

雙滾式壓碎機：物料在兩個相反方向旋轉的滾筒間壓碎，並有部份被磨碎。（圖4c）。

輪輻機：物料在平面（盤子）及圓柱面（滾子）之間被磨碎與壓碎（圖4d）。

錘式破碎機：物料被快速旋轉的以活動關節固定於轉盤上的錘子所擊碎（圖4e）。

筒形磨（球磨）：物料被自由落下的研磨介質（鋼球，圓砂石，或柱體）所引起的衝擊力及磨損力所破碎（圖4f）。

根據技術操作的任務不同又可分為：

1) 第一次粉碎機械：原料直接由採石場或倉庫入粉碎機械。

2) 第二次粉碎機械：粉碎第一次成品者。

粉碎可以分為乾法及濕法（加水）兩種。

(二) 顎式破碎機

§ 1. 總論

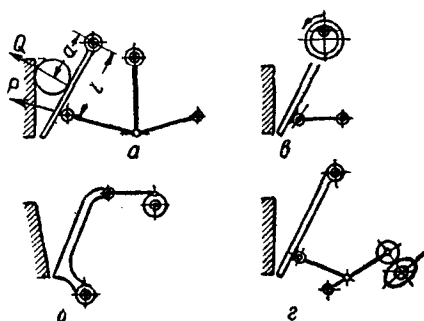
在建築材料工業中，原料的第一次粉碎（粗的）應用顎式機者很普遍。顎式機粉碎時，活動顎板對於固定顎板作週期性往復運動，時而靠近，時而分開，原料在兩顎板間被壓碎。顎式機可按下列主要特點分類：

1) 活動顎板的支持方法：上部支持與下部支持兩種。上部支持如圖 5 a, i, o, 下部支持的如圖 5 b。

2) 活動顎板的運動方式：簡單運動（圖 5 a, o, i）與複雜運動（圖 5 b）。

3) 活動顎板的傳動機械：連桿傳動（圖 5 a）與凸輪傳動或偏心傳動（圖 5 o, i）。

上端支持的顎式機在粉碎時，作用點低，故粉碎大塊原料的力量要大些，根據槓桿原理：

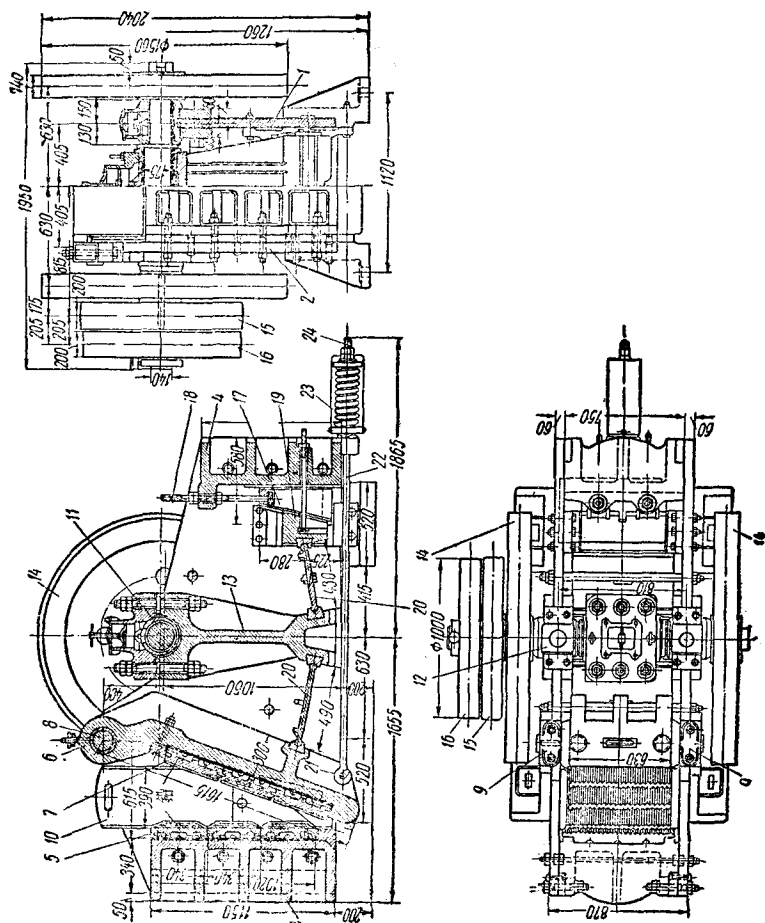


第五圖 顎式機作用原理

$$Q = \frac{P \cdot l}{a} \quad (7)$$

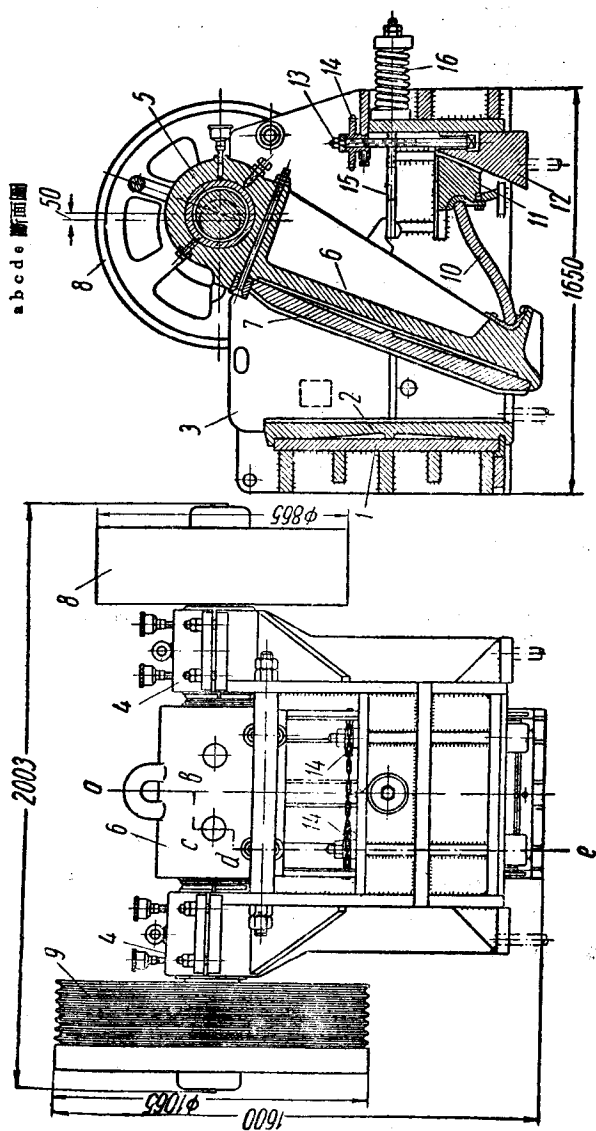
由公式 (7) 可以看出，顎板頂頭部分力量最大。這樣就減輕了粉碎所需的功，同時減小了偏心軸的負荷。上端支持的顎式機生產出的成品不均勻，下端支持的顎式機則可得到較均勻的成品，然而粉碎時需要較大的作用力，因此在能量上不太經濟。所以，在建築材料工業中不大用後者。

在簡單運動的顎式機中，活動顎板圍繞固定軸搖動同時繪出圓弧。在複雜運動的顎式機中，活動顎板不但繞軸運動，而且軸自己也在運動。Г格拉努略特 (Гранулятор) 式顎式機即為這種。在這個機器中，活動顎板裝在旋轉偏心軸上。在後種型式的顎式機中，活動顎板上每一點都繪出一封閉的橢圓形曲線；活動顎板接近固定顎板的同時，又沿着固定顎板移動。因此，原料不僅受到壓力，也受到了剪力。



第六圖 簡單運動的連桿傳動式顎式破碎機

1及2—機殼, 3及4—頂壁, 5—工作板(顎板, 一般爲錳鋼的), 6—活動顎板, 7—粉碎板, 8—軸, 9—軸(8)的軸承, 10—護板, 11—偏心軸, 12—軸承, 13—連桿, 14—飛輪, 15—緊輪, 16—鬆輪, 17及19—調節楔子, 18—螺絲, 20—推力平板, 21—軸, 22—拉桿, 23—彈簧。



第七圖 複羅運動的類式機

1—機殼，2—刻槽的固定紗碎板，3—側護放口，4,5—軸承及軸，6—活動顎板，7—破碎板，8,9—飛輪，10—推力平板，11,13—調節楔子，13—螺絲，14—鏈輪，15—拉桿，16—彈簧。

表2是蘇聯維克蘇斯基工廠製造的小型及中型顎式粉碎機性能。最大的粉碎機都是由烏拉爾機器廠出品的，表3係該廠出品的大型名叫奧德若尼賽(Орджоникидзе)顎式機性能。該機器各機座及所有零件皆由鑄鋼製成，而工作部分則為錳鋼製成。顎式機構造如圖6及圖7所示。

§2. 計算方法

定最大有效角(作用角)：兩顎板間之夾角應該是一個定角 α (圖8)如果

此角過大，物料會漏下。若太小，則粉碎程度過分。若不變角的大小而要增加產量，只有加長顎板。

求能使粉碎機正常操作的作用角，由圖8可知：

力 P 作用於兩顎板間的物體，力 P 沿物體與顎板接觸點法線方向向上作用(正壓力)。力 P 可分為兩個分力；垂直分力 $P\sin\alpha$ (物料漏下的力)及水平分力 $P\cos\alpha$ (工作力)。除此以外，力 P 在着力點處產生了摩擦力 F ，其方向沿顎板與物體接觸點切綫方向向下。

$$F = Pf \quad (8)$$

式中 f ——顎板與原料間摩擦係數。

F 力的垂直分力是 $Pf\cos\alpha$ 水平分力是 $Pf\sin\alpha$

與固定顎板接觸點也發生摩擦力 P_1f 。由圖5，中當料塊平衡時在各力 OX 軸

上：

$$\Sigma X = 0 \text{ 或 } P_1 - fP\sin\alpha - P\cos\alpha = 0 \quad (9)$$

$$\text{由上式:} \quad P_1 = P(\cos\alpha + f\sin\alpha) \quad (10)$$

在 OY 軸上：

$$\Sigma Y = 0 \text{ 或 } P\sin\alpha - fP_1 - fP\cos\alpha = 0 \quad (11)$$

$$\text{由上式,} \quad P\sin\alpha = fP\cos\alpha + fP_1 \quad (12)$$

將公式(10)中 P_1 值代入(12)得：

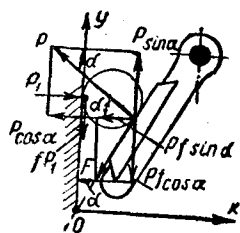
$$P\sin\alpha = fP\cos\alpha + fP(\cos\alpha + f\sin\alpha) \quad (13)$$

以 $P\cos\alpha$ 除兩端並簡化得：

$$\tan\alpha = \frac{2f}{1-f^2} \quad (14)$$

把 $f = \tan\varphi$ 代入(14)

$$\tan\alpha = \frac{2\tan\varphi}{1-\tan^2\varphi} = \tan 2\varphi \quad (15)$$



第八圖 兩○板間夾角圖解

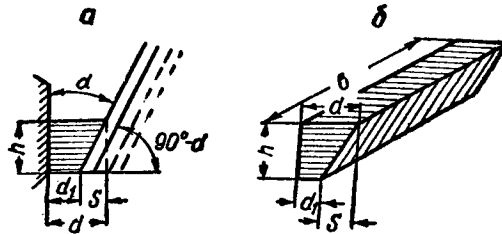
因此：

$$\alpha \leq 2\varphi$$

(16)

即要能正常操作，兩顎板間之作用角應等於或稍小於兩倍摩擦角。實際中用 $15-20^\circ$ 。顎式機一般的粉碎率 i 等於 $4-8$ ，這樣可以保證 $\alpha \leq 2\varphi$ 與進入的原料不會漏出。然而當一些石塊嵌在另一些石塊之中，產生了不均稱現象， $\alpha > 2\varphi$ ，因此石塊會由粉碎機中跳出。

求偏心軸最有效轉速：已粉碎好的物料僅在活動顎板離開固定顎板時（即在偏心軸旋轉半圈時）才出來。設：當活動顎板離開固定顎板時原料自由地落下，實際上摩擦力也很小，因之，爲了簡化可以不計。又設落下的原料爲梯形橫切面之稜形體（圖9）：



第九圖 求偏心軸的轉數及顎式機產量圖

稜形體高(圖9a)：

$$h = \frac{S}{\tan \alpha} \quad [\text{公分}] \quad (17)$$

式中 S ——活動顎板下部離開的長度〔公分〕。

爲了不妨障出料，物料稜形體落下必須要具備一個條件：就是在活動顎板離開的時間 t 內，下降的物體能經過 h 公分的路程。如果活動顎板在一分鐘內作了 $2n$ 次完全振動，則一次離開的時間是：

$$t = 1 : \frac{2n}{60} = \frac{60}{2n} = \frac{30}{n} \quad [\text{秒}] \quad (18)$$

從另一方面，根據自由落體定理，稜形體所經過路程 h 爲：

$$h = \frac{gt_1^2}{2} \quad (19)$$

$$\text{由上式} \quad t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad [\text{秒}] \quad (19a)$$

式中 g ——重力加速度〔981 公分/秒²〕

當活動顎板離開的時間 t 等於高 h 的物體自由降落的時間 t_1 時，振動次數最

有利。

$$t = t_1 \quad (20)$$

把(18)及(19a)中的 t 及 t_1 值代入(20)，得：

$$\frac{30}{n} = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (21)$$

再把(19)中 h 值代入(21)，以數字代 g 並簡化得：

$$n = 665 \sqrt{\frac{\tan \alpha}{S}} \quad (22)$$

$$\text{當 } \alpha = 20^\circ \text{ 時: } n = \frac{400}{\sqrt{S}} \quad [\text{轉/分}] \quad (22a)$$

式中 S ——活動顎板下部離開距離〔公分〕。在粉碎機中顎板振幅為 15—50〔公厘〕，但，往往所採用的 $S=20-25$ （公厘）。

因為在連桿式粉碎機中，兩倍的顎板振動數等於偏心軸轉數，故若要進一步求最有效的轉速也可用這公式。在具有橢圓形凸輪傳動的顎式機中（圖 5a），活動顎板當主軸轉半圈時就作了二次完全振動。

求出公式(22)時曾假設原料粉碎後自由落下，沒有摩擦力，但實際上也有些影響。由於這樣，公式(22)的值有些大了，一般將它再減少 5—10%。

例：有一座顎式連桿傳動顎式破碎機，顎板振幅為 4 公分，求最有效主軸轉速。

$$\text{按公式(22)得 } n = \frac{400}{\sqrt{4}} = 200 \text{ 轉/分}$$

估計到顎板間的制動作用（即阻止物料下落現象），設减小 5%，故為 190 轉/分。

$$\begin{aligned} \text{若對於具有橢圓形凸輪傳動的顎式機說來，相當的主軸轉速 } n_{\text{主軸}} &= \frac{n}{2} \\ &= \frac{190}{2} = 95 \text{ 轉/分} \end{aligned}$$

求顎式機的生產能力：當活動顎板離開固定顎板時，稜體由破碎機落下，其高度按公式(17)求得，其體積則按下式求：

$$V = \frac{2d_1 + S}{2} \cdot h \cdot b = \frac{(2d_1 + S) \cdot S \cdot b}{2 \tan \alpha} \quad (23)$$

式中 b ——顎板的寬度。

主軸轉速為 n 時，理論產量按下公式求：

$$Q = \frac{(2d_1 + S) \cdot S \cdot b \cdot n \cdot 60}{2 \tan \alpha} \quad [\text{立方公尺/小時}] \quad (24)$$

式中 d_1 , S 及 b 以公尺表示。

實際上物料由破碎機落下不是完全稜形體，而是細碎塊形的，所以真正的生產率要小些，可以從下式求得：

$$Q = \frac{(2d_1 + S) S \cdot b \cdot n \cdot 60 \cdot \mu}{2 \tan \alpha} \quad [\text{立方公尺/小時}] \quad (24a)$$

式中 μ = 鬆度係數（包括天然鬆度及後加鬆度，後者是由於物料加入機器的不連續性所致）。（註）

天然鬆度可以 K_p 表示，後加鬆度則用經驗值 μ_1 表示 ($\mu_1 < 1$)，故 $\mu = K_p \cdot \mu_1$ 。因為求 μ_1 很困難，所以在實際中取用 μ 值的範圍 $\mu = 0.25 - 0.6$ 。

Б. П. 雷凡松教授曾做出：

$$2d_1 + S = 2d \quad (\text{不太精確}) \quad (25)$$

式中 d —— 破碎後料塊大小。

把(25)中 $(2d_1 + S)$ 值代入(24a)，同時取 $\tan \alpha = 0.4$ 得：

$$Q = 150 \cdot n \cdot d \cdot S \cdot b \cdot \mu \quad [\text{立方公尺/小時}] \quad (26)$$

$$\text{或} \quad Q = 150 \cdot n \cdot d \cdot S \cdot b \cdot \mu \cdot \gamma \quad [\text{噸/小時}] \quad (26a)$$

γ — 物料比重 [噸/立方公尺]。

由(26)(26a)可以看出：顎式機的生產能力與成品塊大小成正比，或與粉碎率成反比 [$i = D/d$]。粉碎率大時，應選擇最小的鬆度係數。

例：有一顎式破碎機，產量是 10 [立方公尺/小時]（破碎花崗岩），如原料大小為 20 公分，破碎後大小是 4 公分，鬆度係數 $\mu = 0.5$ ，物料比重為 2.6 噸/立方公尺，顎板振幅 $S = 2$ 公分，求該破碎機顎板寬度。

先照公式(22a)求偏心軸轉數：

$$n = \frac{400}{\sqrt{2}} = 283 \text{ 轉/分，估計入制動損失 } 10\%，\text{ 採用 } n = 250 \text{ 轉/分，由公式}$$

(26)求得：

$$b = \frac{Q}{150 \cdot n \cdot d \cdot S \cdot \mu} = \frac{10}{150 \cdot 250 \cdot 0.04 \cdot 0.02 \cdot 0.5} = 0.67 \text{ 公尺。}$$

公式(24)及(24a)表示出的產量隨出料口面積增大而增加，同時亦隨兩顎板間之夾角減小而增加。這個結論符合於實際情況。圖10是顎式機產量 [噸/小時] 與出口面積 (平方公分) 的關係圖綫，用此表時，先求出出口面積後，就很容易