

81172
111

粉碎工程

山口吉郎著 曹萃文譯



機械工業出版社

粉 碎 工 程

山 口 吉 郎 著
曹 萃 文 譯



機 械 工 業 出 版 社

1953

出版者的話

粉碎工程是原料工業和選礦的重要過程，無論是軟的物質如穀、麥、甘蔗等，或是堅硬的礦石，在作為原料用的時候，都需要經過粉碎。

本書是從日文‘化學工學講座’選譯的，雖然專述礦石的粉碎，但是其他物質的粉碎方法和原理也大致相同，所以也可以說是一般粉碎機械的論述。可供工程技術人員參考。

本書根據日本化學工學講座第十一本‘粉碎、混合及分離、固體輸送’（山口吉郎著，共立社1937年第一版）一書‘粉碎’部份譯出。

* * *

著者：山口吉郎 譯者：曹萃文

文字編輯：高曉楓 責任校對：應鴻祥

1952年12月發排 1953年3月付印 1953年4月初版

書號0051-0-47 31×43¹/₂₅ 38印刷頁 1—3,500冊 定價6,400元(甲)

機械工業出版社(北京盛甲廠17號)出版 中國圖書發行公司總經售

目 次

第一章 總論	1
1 粉碎的目的——2 粉碎與物質的關係——3 礦物的單體分離——4 碎礦機與粉碎機——5 粉碎的方法——6 粉碎的三個階段——7 乾式粉碎與濕式粉碎	
第二章 粗碎	9
8 粗碎用碎礦機的種類——9 顎式碎礦機——10 卜雷克碎礦機——11 顎式碎礦機的挾角——12 卜雷克碎礦機的構造——13 卜雷克碎礦機的能力——14 碎礦機的成績——15 道濟式碎礦機——16 圓錐式碎礦機——17 各部機件的材 料——18 顎式與圓錐式碎礦機的比較——19 圓錐式碎礦機的成績——20 圓盤式碎礦機——21 圓盤式碎礦機的優點——22 圓盤式碎礦機的成績	
第三章 中碎	27
23 中碎用碎礦機的種類——24 西孟司式圓盤碎礦機——25 西孟司式圓錐碎礦 機——26 范式旋轉碎礦機——27 范式旋轉碎礦機的成績——28 紐好斯碎礦機 29 滾碎機——30 滾碎機的挾角, 滾子尺寸, 破碎物的大小, 與滾子間開度的關 係——31 克爾尼士滾碎機——32 克魯姆滾碎機——33 計算滾子的圖表——34 滾碎機的成績——35 高速滾碎機——36 固定式滾碎機——37 帶齒滾碎機	
第四章 粉碎	42
38 粉碎機的種類——39 智利式碾子——40 滾邊磨(哈亨頓式磨)——41 搗碎 機——42 加利福尼亞搗碎機——43 搗碎機的操作管理——44 蒸汽搗碎機 ——45 圓筒式磨碎機——46 長筒式磨碎機——47 長筒式磨碎機的筒襯—— 48 長筒式磨碎機的破碎體——49 長筒式磨碎機的旋轉速度——50 長筒式磨 碎機的尺寸——51 球磨機——52 溢流磨碎機——53 球磨機的襯——54 粉碎 機和分級器的連結——55 格子式磨碎機——56 帶篩磨碎機——57 圓錐式磨 碎機——58 棍式磨碎機	
中外名詞對照表	66

第一章 總論

1 粉碎的目的 粉碎工作是原料工業常用的重要作業，更是礦業中選礦和冶煉工程的一個重要部門。

粉碎的目的有二：（1）在大塊的物質不能使用時，將它破碎成適用的細粒；（2）在塊狀的混合物包含種種物質需要把各種成分分離提出時，先破碎成所要求的細粒。就第（1）項來說，在使物質發生化學作用時，例如要使固體溶於液體等情況時，就需要粉碎。因為在使物質發生化學反應時，如果是把固體溶於液體，固體與液體的接觸面愈大，愈易溶解，破碎後可增加接觸面積。在熱處理時，固體的粒子愈小，熱愈容易傳到內部。在短時間內使大量的固體完成反應，也須破碎到所要求的細粒。

在使固體與固體、固體與液體或氣體互相密切混合時，固體的粒子愈小，混合得愈密切。以上所舉的都是在破碎到一定的細粒即可達到目的，應該屬於第（1）項。在第（2）項就不僅是粉碎，還必須進一步分離提出一定的物質，問題比較複雜。

一般的粉碎工程，無論軟硬物質都包括在內，如磨碎木材、黍、豆、穀、麥等，不過這些都另成專門部門，工作較為簡單，不屬於本門範圍。現在專門敘述關於礦石、岩石以選礦為主的硬質物質的粉碎工程。

在粉碎工作中，首先須將下列事項詳細分析，然後選定最適當的設備：（1）物質的性質，特別是硬度與所含水分；（2）原料最大塊的尺寸；（3）所需要的粒子最大尺寸；（4）處理數量；（5）每日工作時間；（6）原料供應情況。

粉碎工程雖然是準備工作的性質，因為在選礦工程中是極重要的部門，而且需要動力、經費等，也應該慎重考慮。

總之粉碎工程是以所粉碎物質的性質及所要達到的目的兩點為基礎，來選定適當的方法與粉碎設備的。

2 粉碎與物質的關係 表 1 是按石灰岩為 1 作標準時，各種岩石對炸藥爆破力的抵抗力比例，也可以作為用粉碎機破碎時的參考資料。

表 1 岩石的破碎抵抗力

岩 石	韌性	岩 石	韌性	岩 石	韌性
石灰石	1.0	石板岩	1.2	流紋岩	2.0
白雲石	1.0	花崗岩	1.5	角閃花崗岩	2.1
角閃片麻岩	1.0	石灰砂岩	1.5	閃綠岩	2.1
輝石正長岩	1.0	黑砂岩	1.5	角閃片岩	2.1
黑雲母花崗岩	1.0	斑麻岩	1.6	玄武岩	2.3
雲母片岩	1.0	長石砂岩	1.7	變質輝綠岩	2.4
角閃岩	1.0	變質玄武岩	1.7	砂石	2.6
安山岩	1.1	輝閃綠岩	1.9	火星石英岩	2.7
花崗片麻岩	1.2	黑雲母片麻岩	1.9	新輝綠岩	3.0
橄欖岩	1.2	石英岩	1.9		

岩石、礦石中有比較軟的、中等的、比較硬的和很硬的岩石，更有硬而脆的與軟而韌的，因此各種岩石的破碎情況不同。又因為要破碎的原礦的塊也有很大的，也有的是碎塊，要破碎到更細的粒的，所以各種情況所需要的動力也不同。必須先將要破碎的物質的粒子大小和大小塊的比例（即篩析），物質的軟硬、脆韌以及其他各種性質逐步加以研究分析。

3 礦物的單體分離 粉碎的重要目的之一，是由礦脈母岩中將所要的有用礦物游離分析出來。用物理方法將相互附着的物質分離，只有破碎一種方法。天然的有用礦物，絕對沒有單體存在的，都是和其他礦物、脈石、母岩相結合的。它的構造形式也極多，必須將這種組織破碎成一定的細度，直到能達到有用礦物的單體分離的限度為止。粉碎得太細，即所謂過碎，也是不必要的。所以有的粉碎到塊徑 10 公厘即可，有的必須碎到 200 篩眼（塊徑 0.074 公厘）以下。

圖 1 是含銅硫化鐵礦的金屬顯微鏡照像，顯示黃鐵礦、黃銅礦、脈石的相對位置，黃鐵礦結晶因受侵蝕，角稜都已鈍而圓了，也有一部分已被黃銅礦置換了。在黃鐵礦結晶間，有光輝而形狀不規則的就是黃銅礦，其間的填充物就是脈石。

圖 2 是鉛銅礦石的金屬顯微鏡照像，有顯著邊緣的白色部分是黃鐵礦，並有被其他物質侵蝕的殘跡，濃灰色部分是硫砷銅礦，暗黑的是石英，都混在方鉛礦中（光亮的灰色地子中有三角劈縫的部分）。

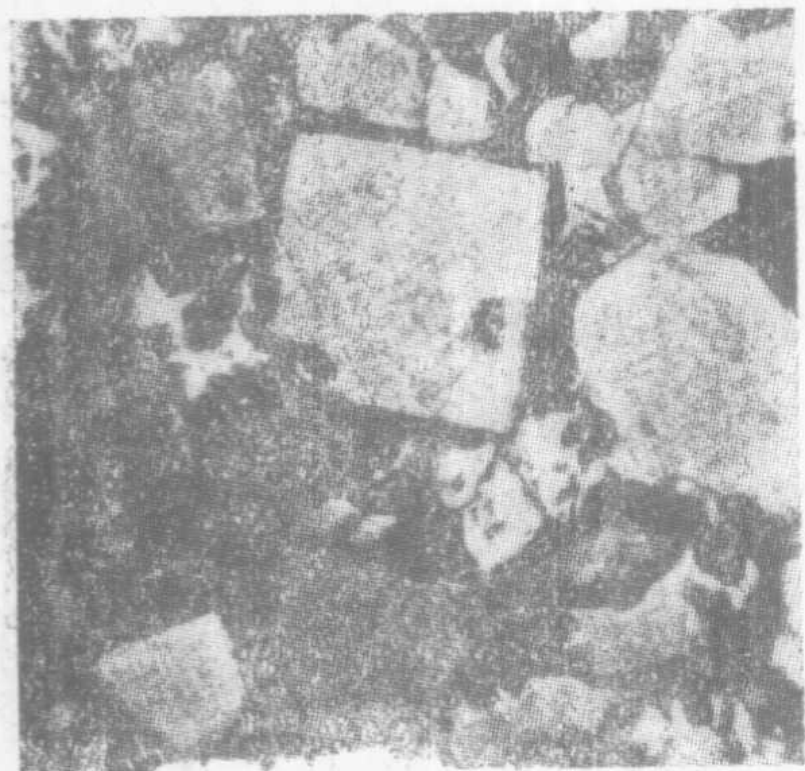


圖 1 含銅硫化鐵礦的顯微鏡照像(20倍)



圖 2 鉛、銅礦的顯微鏡照像(17倍)

從這些礦石中將有用礦物如銅、鐵、鉛等分離提出，必須先將礦石破碎。破碎的程度，以使礦物能成單體分離的程度為度，並與組成礦石的各種礦物的大小和它的相對位置都有密切關係，須視粒子粗細，相對位置是單純的或是複雜的而定。

4 碎礦機與粉碎機 一般的礦石由大塊破碎到一定的細粒，不可能一次達到目的，多半是先經粗碎後，再反復粉碎，才能達到所需要的大小。所用的機器可分兩類：(1)碎礦機或粗碎機專門用以破大塊的礦石；(2)粉碎機或粉磨機，用以粉碎小塊的礦石。

各種碎礦機和粉碎機各有特殊的性能，是按破碎物質的性質，根據不同的原理製造的。不論礦石的性質（如硬度大小，強韌或脆弱，粗粒或細粒）如何，都要求達到最高的破碎效率。

粉碎和碎礦所用的力也有種種不同的性質，如彎曲、壓縮、扭斷、衝擊、研磨、刺穿、切斷、劈開等等。有的是只用一種力，有的同時應用兩種以上的力。一般的情況在比較軟的物質用銳刃，比較硬的就用鈍鋒和重壓力。現在市場上的碎礦機和粉碎機，種類很多，所以選定最適當的類型是很重要的。

5 粉碎的方法 如前節所述，由大塊到粉末，一次破碎是不能完成

的，由於機器性能的限制，必須先破碎成中間製品，再經過兩三次的破碎才能逐漸達成。破碎 300 公厘的大塊與 3 公厘的細粒，所用的機器和方法自然不同。

供給碎礦機和粉碎機的礦石最大塊的尺寸，與破碎後最大粒子尺寸的比，叫做碎礦比，碎礦的階段數，是由碎礦比決定的。實際經驗證明碎礦比在 4 : 1 時成績最好，普通 3 : 1，2 : 1 是常用的。因此由大塊粉碎成小粒，必須按照這樣的碎礦比分成幾個階段進行。

更須注意的是在破碎時要求得到多大的塊。要求 1 公厘的塊徑，不

可能得到全部都是 1 公厘的。爲了製 1 公厘的塊，一定會得到許多 1 公厘以下的碎末，必須研究如何使接近 1 公厘的塊佔最多數，但是不適用的粒子仍舊是不能完全避免的。

因此逐次分段破碎是必要的，也就是在一次破碎之後，用適當的篩眼篩過，再經過次一階段的破碎，逐步達到所要的大小。

分段破碎就是在一次破碎後用一定的篩眼過篩，篩上的大塊叫篩上塊，與篩下塊分開後，再破碎一次，再篩分，篩分後再破碎。這樣逐步破碎的方法就是現在常用的分段破碎，今舉實例詳述如下。

圖 3 是日本某銅礦的粉碎設備系統圖，由礦坑內採出的原礦有 100 公厘以上的大塊，也有 10 公厘的小塊，需要破碎到 48 篩眼

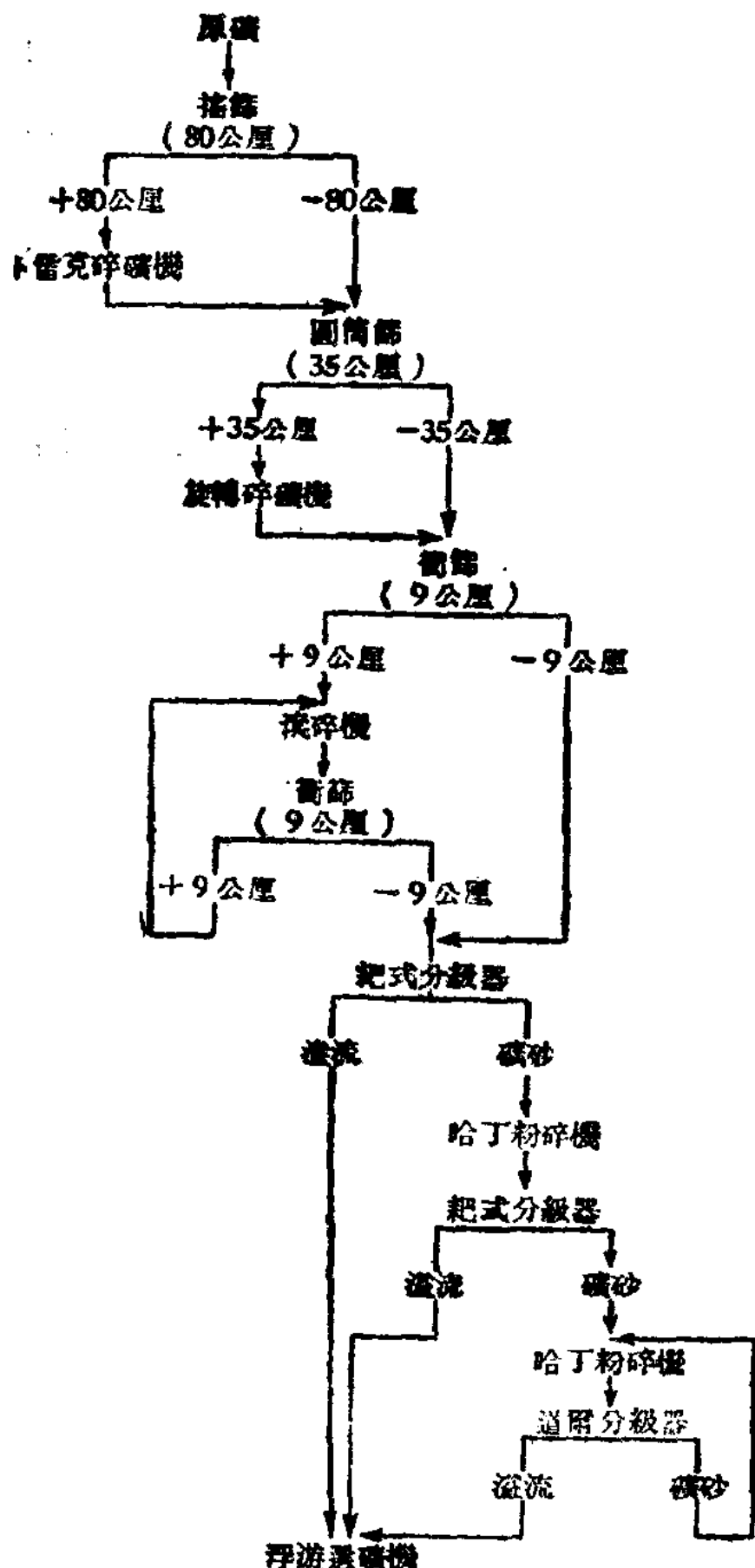


圖 3 礦山粉碎系統圖

以下的礦砂,才能用浮游選礦機選出精銅礦,因為在粗碎工程中,採用手工選礦,選出了一些精礦塊,所以粗碎塊的大小,能受些影響,但是為使 80 公厘以上的大塊全部變成 48 篩眼以下的碎礦,必須經過下列的手續;即按→篩→卜雷克碎礦機→篩→范氏旋轉碎礦機→篩→滾碎機→篩→分級器→哈丁粉碎機→分級器→哈丁粉碎機→分級器等,使成碎礦機或粉碎機與篩或分級器的交互作業,經六七段的過程才能達到粉碎的目的。

由系統圖可以看出是採用下列兩種方法:

第一方法(圖 4)是第一段工作,由 80 公厘以上的大塊破碎到 35 公厘以下的碎塊,先用卜雷克碎礦機粗碎,所得的碎礦還有 35 公厘以上的大塊,再用范氏旋轉碎礦機破碎成 35 公厘以下的碎礦。在這種方式中,兩個碎礦機是串連的,即第一碎礦機,篩,第二碎礦機,篩依次排列的,礦石不反復循環,所以叫開鏈連結法。第二方法在上例中是第二段工作(圖 5),是從 9 公厘以上的塊破碎成 9 公厘以下的塊,供給的礦石先用滾碎機破碎,再用 9 公厘眼篩篩過,大塊的再返回滾碎機重行破碎,這樣篩子和碎礦機互成一循環系統,礦石反復循環,叫閉鏈連結法。在第三段工作中(圖 6)的前一段是開鏈連結法,後段是閉鏈連結法。就

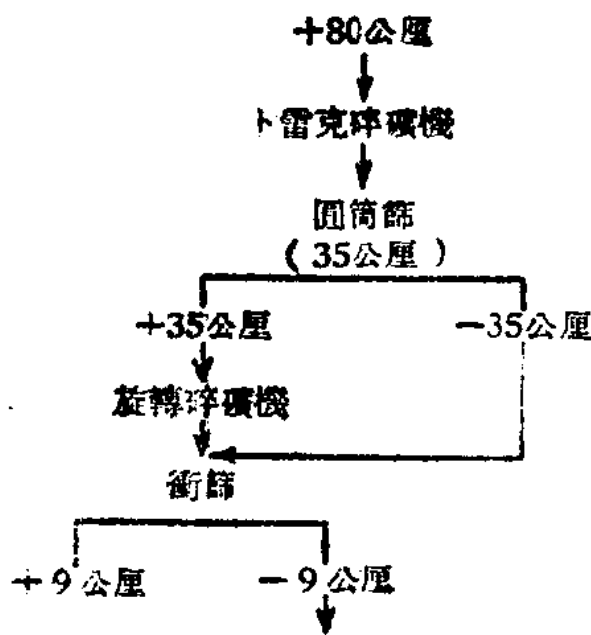


圖 4 第一段工作

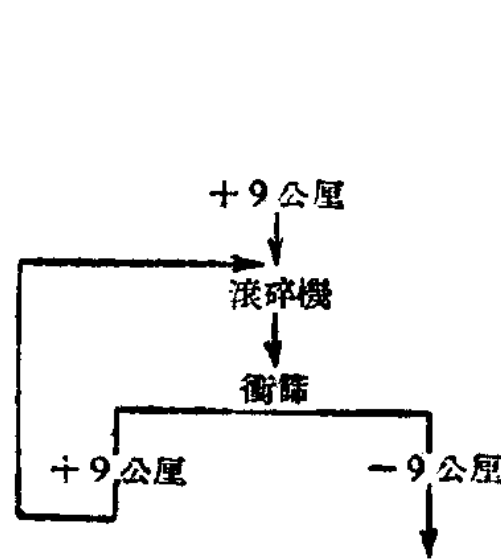


圖 5 第二段工作

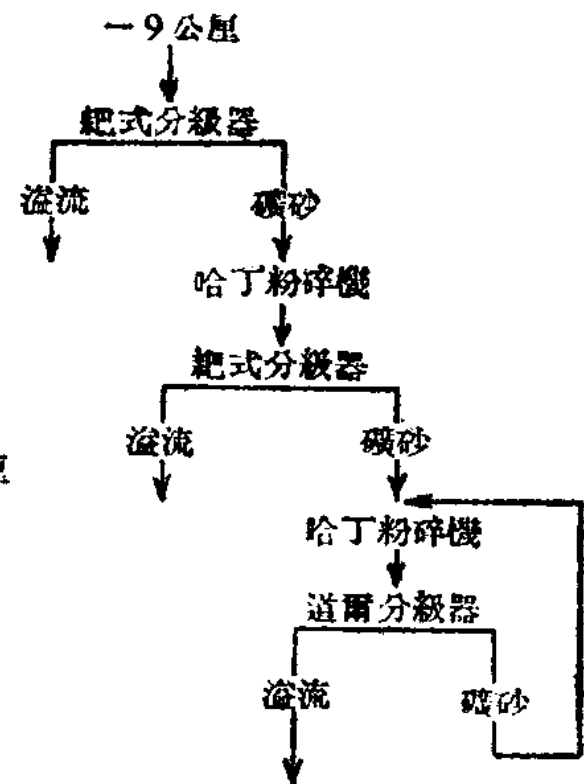


圖 6 第三段工作

是在前一階段,由耙式分級器出來的 9 公厘以下的塊直接到哈丁粉碎機,其中未破碎到所要程度的塊,再經第二個哈丁粉碎機粉碎,即分級

器和粉碎機是串連的。在後段工程中，由哈丁粉碎機下來的礦石經道爾分級器，大的再返回哈丁粉碎機，所以碎礦機和篩子是閉鏈連結的。礦石經如此反復數段，逐步破碎到所要的細塊。

因此在破碎和粉碎作業中必須有適當的篩析設備，前述系統中各種篩子和分級器都是必要的。

爲決定礦塊的大小，常用一定的標準。現在英制所常用的是泰勒的篩子標準，篩眼的比例是按照萊亨哥的標準定的，各篩眼間的比例，成幾何級數，即相鄰的篩子，篩眼尺寸成一定的比例，按直徑(圓孔)的比例來算是 $\sqrt{2} = 1.44$ 。表2是英制泰勒的標準篩規格。表3是德國公制

表2 泰勒標準篩規格

篩眼號數	篩眼尺寸		篩絲直徑	篩眼號數	篩眼尺寸		篩絲直徑
	公厘	吋	吋		公厘	吋	吋
—	26.670	1.050	0.148	14	1.168	0.0460	0.0250
—	18.850	0.742	0.135	20	0.833	0.0328	0.0172
—	13.330	0.525	0.105	28	0.589	0.0232	0.0125
—	9.423	0.371	0.092	35	0.417	0.0164	0.0122
3	6.680	0.263	0.070	48	0.295	0.0116	0.0092
4	4.699	0.185	0.065	65	0.208	0.0082	0.0072
6	3.327	0.131	0.036	100	0.147	0.0058	0.0042
8	2.362	0.093	0.032	150	0.104	0.0041	0.0026
10	1.651	0.065	0.035	200	0.074	0.0029	0.0021

表3 德國公制標準篩規格

篩號	每平方公	眼徑	篩絲直徑	相當的英制	篩號	每平方公	眼徑	篩絲直徑	相當的英制
眼數	分眼數	(公厘)	(公厘)	篩眼號數	眼數	分眼數	(公厘)	(公厘)	篩眼號數
4	16	1.5	1.00	10	20	400	0.300	0.20	48
5	25	1.2	0.80	14	24	576	0.250	0.17	
6	36	1.02	0.65	—	30	900	0.200	0.13	65
8	64	0.75	0.50	20	40	1,600	0.150	0.10	100
10	100	0.60	0.40	28	50	2,500	0.120	0.08	
11	121	0.54	0.37		60	3,600	0.102	0.065	150
12	144	0.49	0.34		70	4,700	0.088	0.055	
14	196	0.43	0.25	35	80	6,400	0.075	0.050	200
16	256	0.385	0.24		100	10,000	0.066	0.040	

標準篩的規格。

6 粉碎的三個階段 粉碎工程一般分成三個階段：(1)粗碎，(2)中碎，(3)粉碎。

粗碎一般都是準備工作，在不能直接用大塊來作次一階段的處理時，先破碎成一定的小塊，所以一般的粗碎是為便利下一階段作業的準備工作。

中碎是接續粗碎更進一步的破碎作業，目的是為了製造塊和粉粒的中間塊粒。但若是選礦，在這一階段可施行單體分離，選出一些有用礦物。按這種塊的大小選定適當選礦機，才能達到目的。

粉碎是將中粒更進一步的破碎，以達到粉碎的最終目的的工作。一般講粉碎都是廣義的，包括上列三個階段的全部工作，就是由大塊碎成粉末的全部作業。有時粉碎僅指第三段工作，即狹義的粉碎，在文字上不免造成混亂，廣義的粉碎是指破碎而言，狹義的粉碎可改為磨粉。

7 乾式粉碎與濕式粉碎 粉碎又分乾式及濕式兩類，乾式粉碎是把物質在乾的狀況下進行粉碎的，用濕式粉碎時，無論物質原來是乾的或者濕的都沒有關係，在粉碎的時候加適量的水，在濕潤狀態下進行工作，以上兩類方法各有特點。

乾式粉碎的特點：(1)物質本來是乾的，或者本來是濕的，經過乾燥後才粉碎的。(2)粉碎的產品是乾燥的，所以凡是需要乾燥的產品，或破碎不可潤濕的物質時，必須用這種方法。(3)在粉末能沾污工廠設備有礙衛生的地方，必須遮蓋機器，防護飛粉，或裝設集塵設備，收集飛末。(4)在細磨時磨碎的效率低。(5)在含水量超過一定量時，粒子黏結，粉碎不可能進行。(6)非用特殊方法如用空氣吹出或吸出等方法，不能使細末脫離粉碎機。

濕式粉碎的特點：(1)原來濕潤的可以不經烘乾直接處理。礦坑內採掘出來的礦石多半是濕的，含有水份，挾帶泥沙，直接處理較為便利。(2)所製成的濕料，如果必須乾燥才能用，或下一段加工前必須經過乾燥的礦石，仍須烘乾。(3)粉碎過的材料，可自動隨水流出，粉碎效率高。(4)粉碎後的材料，可用桶斗自動流下，搬運方便。(5)工場不起塵

埃。(6)分粒,分級比較簡單。(7)不許浸濕的或能溶解於水的物質不適用這種方法。例如粉煤不能加水,可溶性鹽類也不能用濕式粉碎。

以上兩種粉碎法各有優缺點,須按照物質的性質和產品的用途,根據上述特點比較研究來決定。在選礦工程中,粗碎多用乾式,細粒粉碎多用濕式。

第二章 粗碎

8 粗碎用碎礦機的種類 在碎礦時先將大塊的礦石破成一定的中塊，再逐步分段壓碎，才能達到粉碎的目的。粗碎是其中第一段工作。這一段工程，塊的大小範圍很廣，有專破特大塊的，碎礦機的入口達84吋×60吋的每小時可生產10吋的塊400噸，這種機器是專門處理特別大塊的。所以叫劈塊碎礦機，也是屬於粗碎的範圍。

粉碎在選礦工作中，以分離有用礦物為目的，所以破碎的粗細須以能分離有用礦石所必需的碎度為限。在這種工作中仍需要粗碎作為準備工作。有用礦石能否分離不是粗碎工程的重要目的，但須研究將分離了的一部有用礦石收回的方法，實際上也都採用了收回的方法。因此粗碎工程是次一段工程的準備工作，以達到下一段所需要的大小為主要目的。

在這一段工程因為破碎的塊大，所需要的力也大，震動、衝擊也劇烈，必須用能夠勝任的堅強的重型機器。這種機器是很大的，圖7是德國克虜伯公司製造的84吋×64吋劈塊碎礦機，自重235噸。

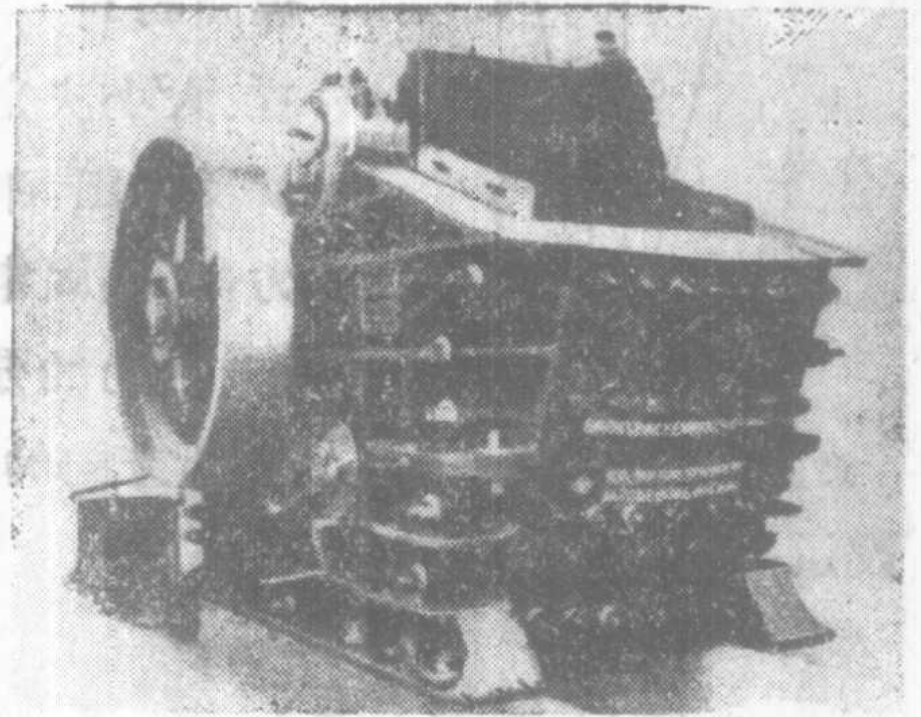


圖7 84吋×60吋大型劈塊碎礦機

現在常用的粗碎機（或碎礦機）有下列幾種：（1）顎式碎礦機或往復式碎礦機（2）圓錐碎礦機或旋轉碎礦機（3）圓板碎礦機或回轉碎礦機。

9 顎式碎礦機 這種碎礦機是藉固定顎和移動顎來挾持礦石，在移動顎前進的時候壓碎礦石，在移動顎後退的時候，碎塊漏下，新塊陸續滾入顎中。

顎式碎礦機有兩種：一是卜雷克式，一是道濟式。

10 卜雷克碎礦機 圖 8 中， J_1 是固定顎， J_2 是移動顎。移動顎以 E 為中心，可以旋轉， CD, CB 都是臂板， A 是偏心輪， CA 是搖桿。臂板 CB 可繞固定點 B 旋轉，在搖桿繞偏心軸上下移動時，臂板 CD 的另一端 D 就左右移動。所以在皮帶輪帶動偏心軸轉動時，使搖桿臂板推動移動顎前進，將物質 M 壓碎。在搖桿和臂板所成的角接近 90° 時，臂板幾乎成一直線，壓力最大，能將礦石擠碎。偏心軸再向前轉動，搖桿和臂板所成

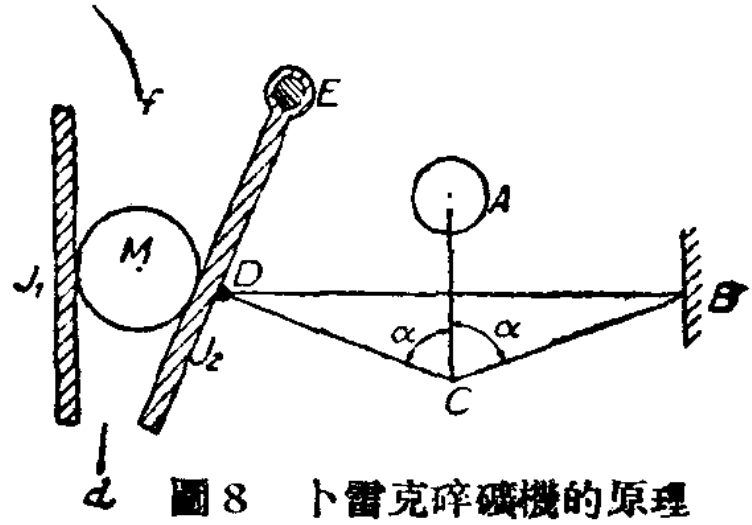


圖 8 卜雷克碎礦機的原理

的角 α 漸次縮小，移動顎後退，擠碎的礦石瀉出，由下方藉自重滾下。

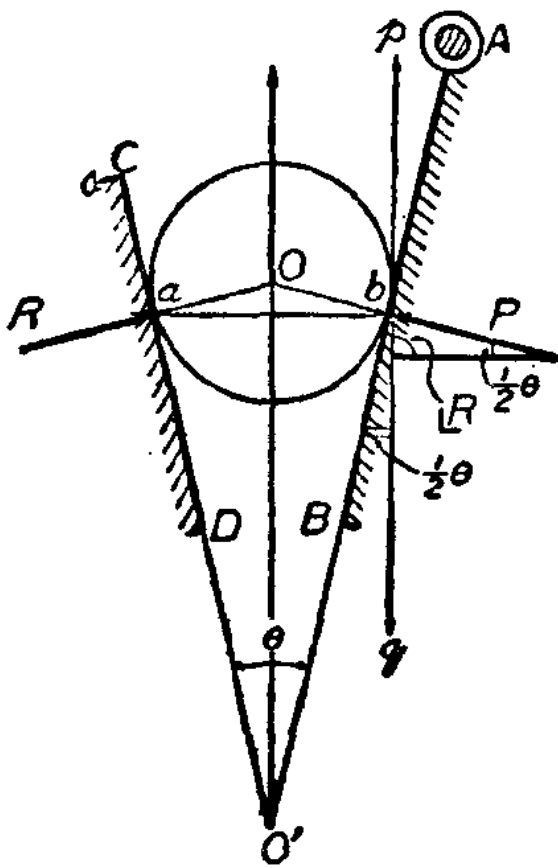


圖 9 顎式碎礦機的挾角

11 顎式碎礦機的挾角 固定顎 (圖 9 CD) 與移動顎 AB 之間挾持礦石塊 O ，礦石與顎的接觸點 a, b 的引長線 CO', AO' 相交於 O' ，兩線間的角 θ ，叫挾角。這種挾角要根據礦石的性質，大小決定。若角太大，兩顎挾不住礦石，礦石就反跳出，不能壓碎它。現在設 P 是移動顎的壓力， R 是固定顎的抵抗力，兩力加到礦塊時，在 a, b 方向的分力是有破碎作用的。同時壓力 P 在 $O'O$ 方向的分力，只能將礦石塊向上推，現在

$$p = \sin P \frac{1}{2} \theta$$

但礦石與顎面之間有摩擦力，設 f 是摩擦係數， F 是摩擦力，則：

$$F = fP$$

這個摩擦力是阻止礦石跳出的，它的有效部分是 OO' 方向的分力，設這個力量為 q ，則：

$$\begin{aligned} q &= F \cos \frac{1}{2} \theta \\ &= fP \cos \frac{1}{2} \theta \end{aligned}$$

所以為使礦石不能跳出壓顎去，必須：

$$p \leq q$$

$$\therefore P \sin \frac{1}{2} \theta \leq f P \cos \frac{1}{2} \theta$$

$$\tan \frac{1}{2} \theta \leq f$$

普通的情況 $f = 0.30$, 就是 θ 不大於 $33^\circ 24'$; 無論何種礦物, 超過這個限度是不能壓碎的, 實際用的挾角都在 $20^\circ \sim 30^\circ$ 的範圍以內。

12 卜雷克碎礦機的構造 圖 10 是卜雷克碎礦機的縱斷面圖(上)

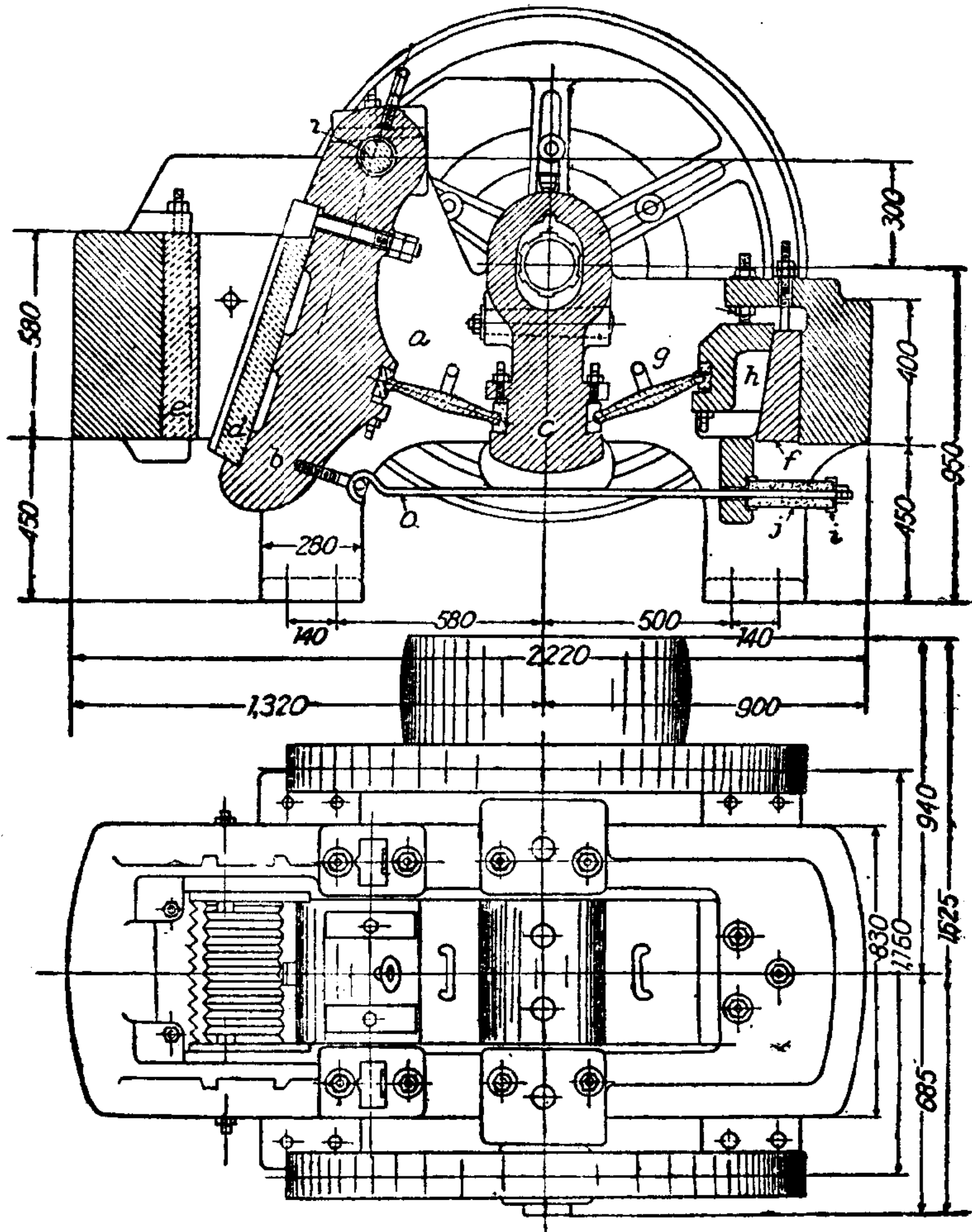


圖 10 卜雷克碎礦機縱斷面圖(上)和平面圖(下)

和平面圖(下);圖 11 是側斷面圖。圖上各字母所表示的機件名稱如下:

a. 機座, b. 移動顎, c. 搖桿, d. 移動顎面板, e. 固定顎面板, f. 調節楔, g. 臂板, h. 調節座, i. 拉桿膠皮座, j. 拉桿膠皮, k. 飛輪, l. 轉動皮帶輪, m. 偏心軸, n. 移動顎軸, o. 拉桿。

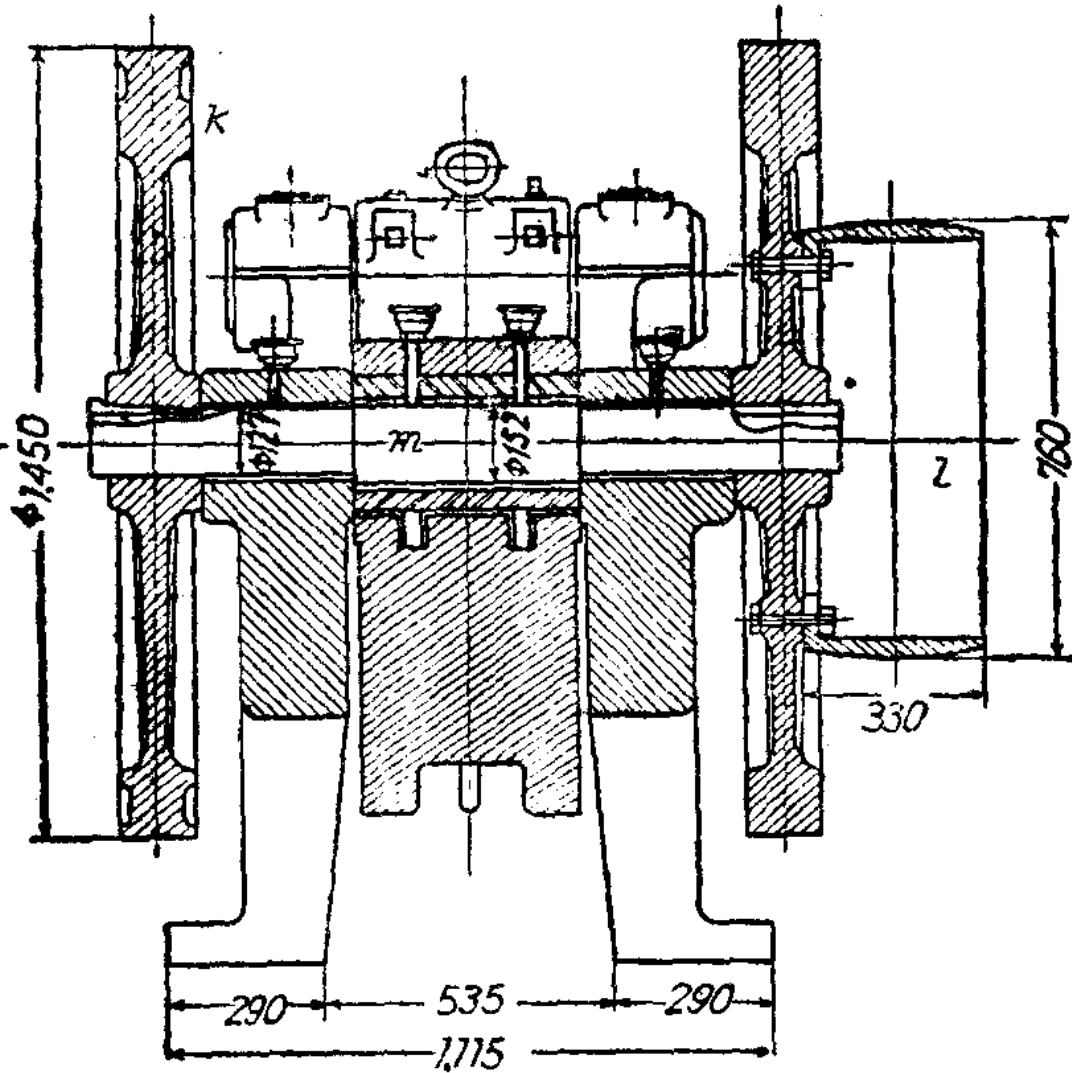


圖11 卜雷克碎礦機側斷面圖

轉動皮帶輪 l 帶動偏心軸 m 使它轉動, 搖桿 c 就隨着上下作往復運動, 在向上的時候帶動臂板 g, 使移動顎向前進, 然後在向下時使移動顎後退。因為移動顎前進時壓破礦石, 後退時無工作, 所以須用飛輪 k 來平衡它。為了緩衝後退時所生的衝擊力, 移動顎的下端連結拉桿 o, 將衝擊力傳到裝在機座上的拉桿膠皮 j 上去。有用彈簧代替膠皮來緩衝這種衝擊力的。

固定顎和移動顎的破碎面, 是最容易消耗或破壞的部分, 所以都鑲有顎面板, 磨耗或破壞之後可以更換, 如圖中(d, e)所示。

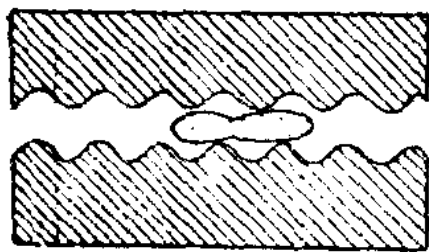


圖12 顎面板波紋的斷面

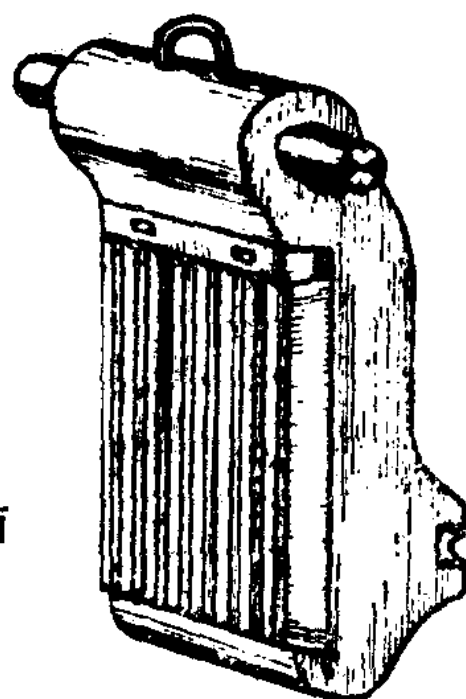


圖13 移動顎的立體圖

為使礦石在破碎時有折斷作用, 可將顎面板製成波紋形的表面。波紋的角度依礦石的硬度而不同, 軟的物質用銳角, 硬的用鈍角。

圖 14 是臂板, 圖 15 是臂板的承座, 臂板的一端插入承座內, 可以圍繞着擺動。

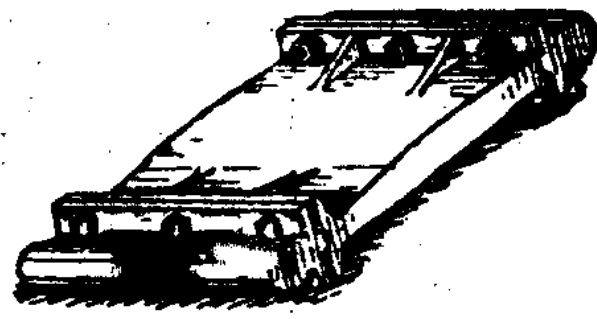


圖14 臂板

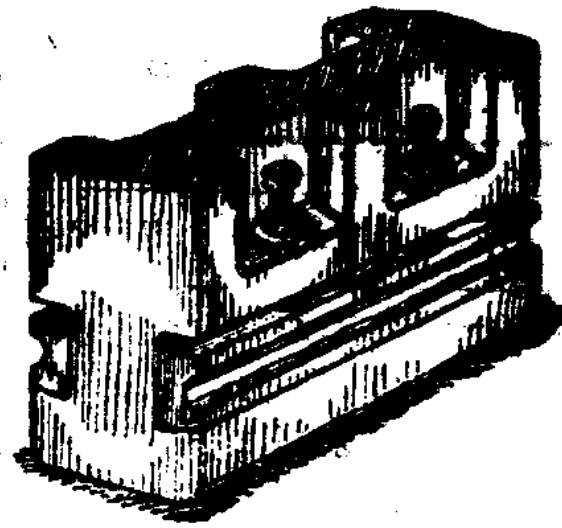


圖15 臂板的承座

表4 卜雷克碎礦機容量表

進口尺寸 (吋)	容 量									
	礦塊 (吋)	噸/小時	礦塊 (吋)	噸/小時	礦塊 (吋)	噸/小時	礦塊 (吋)	噸/小時	礦塊 (吋)	噸/小時
7×10	0.75	1.5~2	1	2.5	1.5	4	2	5~6	—	—
9×15	1	5~6	1.5	5.5~11	2	8~10	2.5	10~12.5	—	—
10×20	1.5	10~15	2	15~17	2.5	17.5~22	3	20	—	—
12×24	1.5	20	2	20~30	2.5	25	3	30	4	35
15×24	1.5	15	2	17~24	2.5	25	3	30~33	4	37.5~45
15×30	2	20~27	3	35~40	4	45	5	50	—	—
18×24	2	24	2.5	30	3	35	7	70	—	—
18×30	2	25~35	3	37~45	4	45	5	50	7	80
18×36	2	40~45	2.5	30~50	3	39~55	3.5	50~60	—	—
24×30	1.5	35	2	40	2.5	45	3	50	7	90
24×36	2	25~50	2.5	38~55	3	41~70	4	60~90	5	75~105
30×36	2.5	48	5	90	6	105~120	7	125	—	—
30×42	3	60~72.5	4	90~115	5	110~145	6	120~175	8	235
30×48	4	100	5	120~125	6	150~190	7	225	—	—
30×72	4	150	5	180	6	220	—	—	—	—
36×42	4	76	5	108	6	144~175	8	235	10	290
36×48	4	100~130	5	130~165	6	150~200	8	260	10	325
42×48	5	118~140	6	150	8	260	10	320	—	—
42×60	5	175~185	6	225	7	245~260	9	320	16	350
48×60	5	175~180	6	175~235	8	230~450	9	290	10	320~713
48×72	6	210~246	7	315	8	280~360	10	350~450	—	—
60×84	6	380	7	235~375	9	360~500	10	450	11	495~625
66×86	8	330~510	9	420	10	415~778	12	495~1,110	13	600
84×120	10	1,340	12	1,970	14	2,840	—	—	—	—