

徐迺霆著

粉碎機械



商務印書館



2527

557

粉 碎 機 械

徐 迺 震 著

商 務 印 書 館 出 版

序

一九四一年春，作者爲嘉華水泥公司設計全部粉碎機械之餘，將各方搜集之有關資料，加以整理，是爲本書之初稿。至一九四六年秋，復根據數年來管理粉碎機械之經驗，並參考國外新版書籍與各名廠之最近樣本，將原稿修改增正，而成是篇。

夫粉碎手續，在化學工程及選礦工程上，至屬重要。粉碎工作所需之機械，多係較重之設備。本書之主要目的，即在供給設計或選擇各種粉碎機械時之參考。

本書分十五章，按粗碎機、中級粉碎機、磨細機、加料器、篩分器及粉碎程序等項，依次將各機之構造、性能及應用管理諸事，詳爲說明，復佐以圖表，以節省文字之述敘。書中插圖凡一百七十餘幅，其中除少數照片及圖解外，大部爲各種粉碎機之切面圖。各圖之比例，在繪製時皆力求準確，以備於必要時可作設計製圖者之參考藍本。

本書資料，除作者個人經驗及取自各名廠之樣本者外，多取材於下列各書：

Badger and McCabe: Elements of Chemical Engineering.

Emil Raymond Riegel: Chemical Machinery.

John H. Perry: Chemical Engineer's Handbook.

A. F. Taggart: Handbook of Ore Dressing.

R. H. Richard: Ore Dressing.

Hofman: General Metallurgy.

Meade: Portland Cement.

國人對於工程名詞之翻譯，尙未一致，故本書中所有工程名詞之後，皆註以原文，以資對照。

一九四七年八月 徐迺霆序於上海

目次

序

第一章 緒論	1
第一節 粉碎之目的	1
第二節 粉碎之方法	2
第三節 粉碎機械	2
第四節 粉碎機械之選擇	4
第五節 粉碎程序	6
第六節 細度之測驗	7
第七節 粉碎原理	9
第二章 顎式壓碎機	16
第一節 布雷克顎式壓碎機	16
第二節 道奇顎式壓碎機	35
第三節 滾嚙軌碎機	38
第三章 環動軋碎機	40
第一節 環動軋碎機之分類及編號法	41
第二節 環動軋碎機之式樣	48
第三節 環動軋碎機與顎式壓碎機之比較	56
第四章 圓盤碎鑊機及錐形碎鑊機	58
第一節 圓盤碎鑊機	58
第二節 錐形碎鑊機	62
第五章 滾碎機	67
第一節 雙滾軋碎機	67
第二節 單滾軋碎機	85
第三節 轉心滾碎機	86
第六章 錘碎機、鼠籠破碎機	88
第一節 錘碎機	88
第二節 鼠籠破碎機	104

第七章 搗碎機.....	107
第一節 重力搗碎機.....	108
第二節 重力搗碎機各部之構造.....	110
第三節 搗碎機之開動.....	115
第八章 盤磨、搓磨及迴轉粉碎機.....	120
第一節 盤磨.....	120
第二節 搓磨.....	125
第三節 迴轉粉碎機.....	128
第九章 圈滾磨.....	132
第一節 機器本身無篩分設備.....	132
第二節 粉碎機附有篩網.....	135
第三節 粉碎機有風篩機.....	141
第十章 球磨及筒磨.....	149
第一節 球磨.....	149
第二節 筒磨.....	160
第十一章 管磨機.....	166
第十二章 槍磨、錐形球磨、棒磨.....	185
第一節 槍磨.....	185
第二節 錐形球磨或錐形卵石磨.....	191
第三節 棒磨.....	195
第十三章 噴射粉碎機、膠體磨.....	199
第一節 噴射粉碎機.....	199
第二節 膠體磨.....	201
第十四章 自動加料器及篩分器.....	209
第一節 自動加料器.....	209
第二節 篩分器.....	216
第十五章 循環粉碎.....	229
第一節 循環粉碎.....	229
第二節 乾法循環粉碎.....	231
第三節 濕法循環粉碎.....	236

粉 碎 機 械

第一章 緒論

第一節 粉碎之目的

將大塊固體物料破而碎之，碎至極細，化爲齏粉，此種手續，謂之粉碎。粉碎之目的有三：

(1) 增加物料之暴露面積——當一固體物料受外界影響而起化學反應時，必先自其表面開始。故欲縮短其化學反應時間，必須將該物料破而碎之，或磨爲細末，以增加其接觸面積。例如固體之溶於液體者，或兩種固體之互相化合如水泥之製造者，或固體與氣體之作用如煤粉之燃燒者，皆明徵也。

(2) 將性質不同而互相黏合之礦石分開——有用之礦物，常與無用之岩石相黏結，欲使二者分開，必須將其粉碎而選別之，此種手續，謂之選礦 (ore dressing)。例如黏結頁岩之煤塊，只須粗碎，即可分出。有許多金屬礦石，往往須磨至極細，始能選別乾淨。

(3) 兼使兩種或兩種以上之物料混合均勻——例如磨製水泥生料時，不但將石灰石及黏土砂子等物粉碎，且兼使其混合均勻。在製造油漆時，亦常將固體原料，在油內研磨，以混合之。

總之，粉碎工作，在近代化學工業及選礦工程上，爲極要之手續，其方法之適宜與否，及其效率之高低，影響生產成本至鉅。是以粉碎方法，

有縝密研究之必要。

第二節 粉碎之方法

按動力之來源，粉碎方法可分為兩種：一為手工粉碎；一為機械粉碎。按所碎成品之粗細，可分為粗碎(coarse crushing)、中碎(intermediate crushing)及磨細(fine grinding)三步。人工粉碎，其法至簡，隨時隨地皆可為之。尤以我國各地，人工低廉，故採用此法者尤多。手工打碎之料，細末極少，在某種情形下，如作混凝土之石子，及碎石舖敷路面之時，尤為適合。所用之工具，有各式鐵錘及鑿子，作粗碎之用；有鐵臼、石臼，作中碎之用；有石磨、石碾，作磨粉之用。此等工具，遠在數千年前，吾先民即已用之，但至今仍多沿用之者。然近世工業，皆趨於大規模生產，欲作大規模生產，則一切工作，皆走向機械化之途，粉碎工作，自亦不能例外。良以渺小人力，不能與偉大之機械力量相抗衡也。故各種粉碎機械之出現，日新而月異焉。

第三節 粉碎機械

粉碎機械之種類甚多，大別之有三：一曰粗碎機，其所碎之料塊，直徑率為2吋以上。粗碎機能容納之料塊，最大者竟達60吋之立方。二曰中碎機，其所碎之料塊，直徑約自2吋至 $\frac{1}{2}$ 吋。三曰磨細機，能將直徑 $\frac{1}{2}$ 吋以下之料塊，磨成極細之粉末。事實上粗碎與中碎，及中碎與磨細之間，很難劃一嚴格界限。各種粉碎機械按此分類，常見者計有下列各種：

I. 粗碎機

A. 顎式壓碎機(jaw crushers)。

(1) 布雷克式(Blake type)。

(2) 道奇式(Dodge type)。

B. 環動軋碎機(gyratory crushers)。

II. 中碎機

A. 滾碎機(roll mills)。

B. 圓盤碎礦機(disc crushers)。

C. 錐形碎礦機(cone crushers)。

D. 錘碎機(hammer mills)。

E. 搗碎機(stamps)。

F. 鼠籠式破碎器(squirrel-cog disintegrator)。

III. 磨粉機

A. 碾輪磨(edge runner)。

(1) 智利磨(Chilean mill)。

(2) 乾盤或濕盤(dry pan or wet pan)等。

B. 石盤磨(mill stone)。

C. 司蒂汎轉錐磨(Sturtevant cone mill)或咖啡磨(coffee mill)。

D. 圈滾粉碎機(ring roll mill)。

(1) 司蒂汎圈滾磨(Sturtevant ring-roll mill)。

(2) 格雷芬磨(Griffin mill)。

(3) 雷蒙滾磨(Raymond roller mill)。

(4) 福利海磨(Fuller lehigh mill)等。

E. 球磨(ball mill)。

F. 管磨機(tube mill)。

G. 複式球磨(compound ball mill)。

H. 錐形球磨(conical ball mill)。

I. 棒磨(rod mill)。

J. 噴射粉碎器及膠體磨(jet pulverizer and colloid mill)等。

第四節 粉碎機械之選擇

選定粉碎機械之時，須顧及下列各因子：

(1) 物體之硬度 (hardness)——此因子關係機械壓軋部分之磨損及整個機器之力量問題。欲比較兩種鑛石之硬度，可使二者互相刻劃，其受刻而有痕跡者，則硬度必較小。丹納 (Dana) 曾將各種鑛石之硬度，分為十級，依次排列如下。

1. 滑石 (talc)、肥皂石 (soapstone) 等。
2. 岩鹽 (rock salt)、石膏、純石墨 (pure graphite) 軟煤等。
3. 方解石 (calcite)、大理石、軟石灰石及熟石灰等。
4. 螢石 (fluorite)、磷酸鹽 (phosphate)、石灰石等。
5. 磷灰石 (apatite)、硬磷酸鹽 (hard phosphate)、硬石灰石等。
6. 長石 (feldspar)。
7. 石英 (quartz)、花崗石 (granite)、砂石 (sand stone) 等。
8. 黃寶石 (topas) 等。
9. 藍寶石 (sapphire)、剛玉 (corundum)、金剛砂 (emery) 等。
10. 金剛石 (diamond)。

級號愈大者，硬度亦愈大。一般說來，前四級視為軟性鑛石，後六級視為硬性鑛石。

(2) 物料之抗壓強度——據試驗結果，岩石之抗壓強度，與其形狀有密切關係，與料塊之大小關係甚微。同一種類之岩石，其尺寸之大小雖相同，而形狀不同時，則其抗壓強度各不相同。如石塊之表面平滑而整齊，則壓軋機加於石塊之壓力，必平均分佈於表面，此時其抗壓強度必較大。是以顎式壓碎機之牙板上，常鑲以有尖稜之摺板 (wearing plate)。成頁層之岩石，如所加之壓力，其方向與頁層面垂直，則其抗壓強度較

大。反之，如所加壓力之方向，與頁層面平行，則較易於破碎。

(3) 鑛石質地構造——因鑛石結晶體及顆粒生成之不同，有脆性者，有韌性者，有綿性者 (fibrous)。此外有許多鑛石，或因風化而自碎，或因加熱或受凍而變鬆。又有許多岩石，係由極硬之小顆粒與較軟之大塊岩石黏結成塊者。此種岩石，雖易於粗碎，但極難磨細。

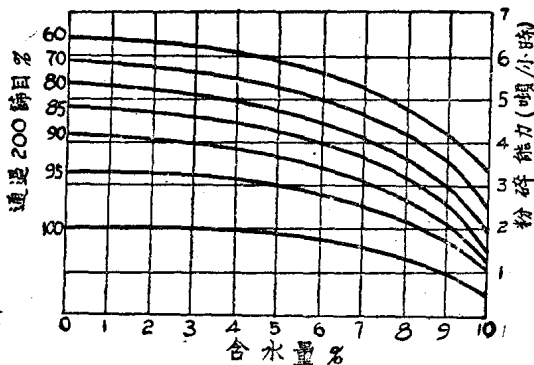
(4) 鑛石所含水分之多少——鑛石所含水分之多少，在粗碎時影響甚小，但在中碎及磨細時，影響甚大。例如用西蒙式圓盤軋碎機 (Simons disc crusher) 時，岩石所含之水分，不宜超過百分之六。用球磨或管磨機乾法磨粉時，料中水分不宜超過百分之二。水分太多之料，須預先烘乾，或再增加更多之水，用濕法粉碎之。濕法粉碎時，其所加之水分，不可少於 55%。第 1 圖及第 2 圖，表示因鑛石中水分之增加而影響其機器之粉碎能力。

(5) 原料塊之大小及需要之成品細度 (fineness)。

(6) 所需機器之容量 (capacity)。

至於粉碎機器本身應具備之條件，則為：

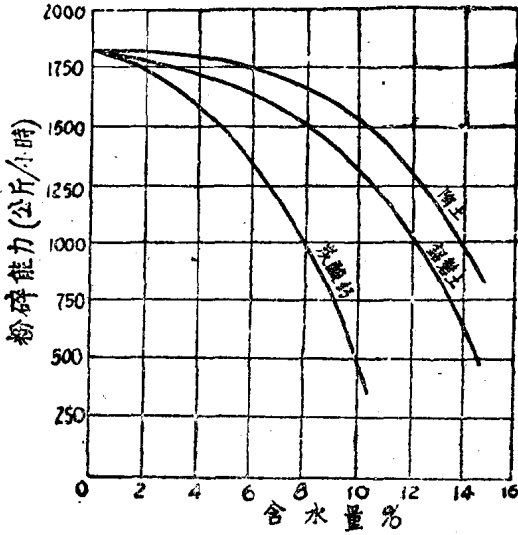
(1) 機械效率高，維持費省，管理須簡易。



第 1 圖

(2) 必須耐用而少修理,其必須修配之件,應易於從事。

(3) 使用時絕對安全。

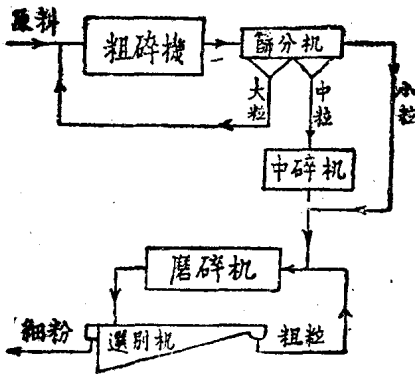


第 2 圖

第五節 粉碎程序

粉碎程序,分為兩種,一為單程粉碎(open-circuit grinding),一為

循環粉碎(closed-circuit grinding)。單程粉碎者,即物料依次經過粗碎機、中碎機及磨粉機,一次磨至需要之細度;簡言之,即物料在粉碎過程中,並不走“回頭路”也。循環粉碎者,物料經每級粉碎之後,以篩分機分析之,細者通過,粗者重行“回頭”粉碎之。第3圖表示一循環粉碎之路線。



第 3 圖

如將此二種粉碎程序加以比較，則見單程粉碎較為簡單。然欲使成品全部能達到某種細度，則其中必有一部分成品成爲過細之粉末。此過細粉末之生成，自然要浪費動力，且有時發生其他損失與消耗。在循環粉碎程序中，則無此弊。然物料所經之路線，則遠較單程粉碎爲繁複。且篩分器及輸送器，亦消耗相當動力，而篩分器又極易發生故障，或日久而效能低落，因而影響全部粉碎工作。概括言之，小規模粉碎工作，宜採用單程粉碎，以其設備簡單，開辦費省，且管理容易也。大規模粉碎工作，宜用循環粉碎法，以其成品均勻，動力費省也。

第六節 細度之測驗

測驗粉碎成品之細度，普通用過篩分析法(screen analysis)行之。所用之篩子，係鐵絲布或銅絲布製成。篩網之目數(mesh)表示鐵絲布或銅絲布每吋內經線或緯線之數目。例如8網目篩子之篩網，每吋內有8根經線或8根緯線，即每平方吋面積內，有篩孔 $8 \times 8 = 64$ 個。篩孔之大小，固與經緯線數有關，更與其織成之銅絲或鐵絲有關。例如同爲30網目之篩布，因銅絲直徑之不同，其篩孔之淨寬可自0.0163吋至0.0253吋不等。故僅稱若干網目之篩子，而不註明其篩絲之直徑或篩孔之淨寬者，實無意義也。以此之故，吾人須定一組標準篩布，作測量細度之用。現時最通行者，爲泰拉(Tyler)標準篩子。此組篩子中，其200網目篩絲之直徑爲0.0021吋，篩孔爲正方形，每孔淨寬爲0.0029吋，即每孔之淨面積爲 0.0029^2 平方吋。每粗一號，則每單位面積內各篩孔之淨總面積約加大一倍。即兩鄰號網目中，其篩孔之淨寬度成 $1:\sqrt{2}$ 之比例。第1表所列者，爲泰拉全套標準篩子之網目數號、篩孔及篩絲之尺寸。注意在此表中，兩原有鄰號之間，又補加一號，備作更詳細之測量。如此則兩鄰號之間其篩孔淨寬度之比例變爲 $1:2^{\frac{1}{4}}$ 矣。本書以下所謂之網目

號數，除另有說明者外，皆指此標準篩子而言。

第 1 表 泰拉標準篩子尺寸

網 目 數		篩 孔 淨 寬(吋)	篩 孔 淨 寬(釐)	篩 絲 直 徑(吋)
原 有	補 加			
—	—	1.050	26.67	0.148
—	—	0.883	22.43	0.135
—	—	0.742	18.85	0.135
—	—	0.624	15.85	0.120
—	—	0.525	13.33	0.165
—	—	0.441	11.20	0.105
—	—	0.371	9.423	0.092
—	2½	0.312	7.925	0.088
3	—	0.263	6.680	0.070
—	3½	0.221	5.613	0.065
4	—	0.185	4.699	0.065
—	5	0.156	3.962	0.044
6	—	0.131	3.327	0.036
—	7	0.110	2.794	0.0328
8	—	0.093	2.362	0.032
—	9	0.078	1.981	0.033
10	—	0.065	1.651	0.035
—	12	0.055	1.397	0.028
14	—	0.046	1.168	0.025
—	16	0.0390	0.991	0.0235
20	—	0.0328	0.833	0.0172
—	24	0.0276	0.701	0.0141
28	—	0.0232	0.589	0.0125
—	32	0.0195	0.495	0.0118
36	—	0.0164	0.417	0.0122
—	42	0.0138	0.351	0.0100
48	—	0.0116	0.295	0.0092
—	60	0.0097	0.246	0.0070
65	—	0.0082	0.208	0.0072
—	80	0.0069	0.175	0.0056
100	—	0.0058	0.147	0.0042
—	115	0.0049	0.124	0.0038
150	—	0.0041	0.104	0.0026
—	170	0.0035	0.088	0.0024
200	—	0.0029	0.074	0.0021
270	—	0.0021	0.053	0.0016
400	—	0.0015	0.037	0.0010

作過篩分析時，須用一組標準篩子，將定量料末放於篩內，按規定標準方法搖打篩子，用規定之力量至規定之時間，然後將篩內餘物（即留於篩面上而未通過之料末）取出秤之。已篩過之料末，復用細一號之篩子用同一樣方法篩分之。第 2 表所示者，即一種過篩分析之標準紀

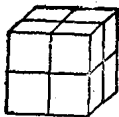
錄。注意表中除載明篩子號數外，尚須註明篩孔之淨寬度。由此過篩分析紀錄表中，可以看出各該粉碎機械之工作性能。

第2表 過篩分析紀錄

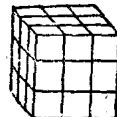
篩 號	篩 孔 淨 寬(吋)	篩 餘 重 量(%)	篩 餘 重 量 累 計 (%)
6	0.131	0.0	0.0
8	0.093	0.6	0.6
10	0.065	11.3	11.9
14	0.046	29.3	41.2
20	0.0328	29.5	70.7
28	0.0232	18.5	89.2
35	0.0164	7.6	96.8
48	0.0116	2.4	99.2
65	0.0082	0.7	99.9
100	0.0058	0.1	100.0

第七節 粉碎原理

雷廷智定理(Rittinger theory)——雷氏曾用數學方法，證明粉碎工作所需之動力，係與新增加之切面積成比例，亦即與料塊直徑之減小成比例。假設有一質地均勻之立方料塊，其體積為1立方吋。欲沿平行於任何一面之平面切為兩塊，假設其所需之功能(work)為A呎磅，則將此1吋立方之料塊切為8塊 $\frac{1}{2}$ 吋立方時，須切三刀，如第4圖所示。



第 4 圖



第 5 圖

其所需之功能當為 $3A$ 呎磅。同理欲將其切成 27 塊 $\frac{1}{3}$ 吋立方時，須切六刀，如第 5 圖所示，其所需之功能當為 $6A$ 呎磅，餘類推。

實際上軋碎之料塊，係成不規則形狀。所謂成品之細度者，係指其能否通過某號網目而言。如以理想之立方體作根基，則實際所需之功能，與切成理想之立方體時所需之功能，當成為一定之比率。令此比率或係數為 K ，如將平均細度為 1 吋之料塊粉碎為平均細度為 $\frac{1}{2}$ 吋時，則每一立方吋體積之原料當需 $3AK$ 呎磅之功能。 K 之數值約為 1.2 至 1.7。

假設立方體原料塊之直徑（嚴格說來，應為內切於立方形內球面之直徑）為 D ，粉碎後成品之直徑為 d ，其碎縮率 (reduction ratio) 為 $\frac{D}{d} = n$ ，則粉碎時必須切 $3(n-1)$ 刀，每一刀所切過之面積為 D^2 ，所費之總功能為 $3AD^2(n-1)$ 。

每一立方吋體積所含之立方形料塊為 $\frac{1}{D^3}$ 塊，故欲將 1 立方吋體積之料塊碎成若干塊較小之立方體時，所需之功能為：

$$\frac{1}{D^3} \times 3AD^2 \left(\frac{D}{d} - 1 \right)$$

或
$$3A \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \dots \dots \dots (1)$$

對於實際上不規則之料塊言，則仍須乘以係數 K ，則 (1) 式變為

$$3AK \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \dots \dots \dots (2)$$

茲舉一例以明上式之應用。將一定量之礦石自 2 吋塊碎為 $\frac{1}{8}$ 吋塊時，需動力 20 馬力，若將 2 吋塊碎為 $\frac{1}{32}$ 吋時，將需若干馬力？

令 x = 所需之馬力，則

$$\frac{20}{x} = \frac{3A \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{2} \right)}{3A \left(\frac{1}{32} - \frac{1}{2} \right)}$$

$$x = 84 \text{ 匹馬力。}$$

欲求得粉碎已知重量之礦石所需馬力，必須先知此礦石之比重 S 或每噸礦石所佔之立方呎數，若其比重為 1，則每噸應有 55320 立方呎。如其比重為 S ，則每噸應佔 $55320 \div S$ 立方呎，如此則粉碎每噸礦石所需之功能為

$$W = \frac{55320}{S} \times 3A' \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right); A' = AK \dots\dots\dots (3)$$

式中 W = 功能，以每噸若干呎磅計。

或

$$W_1 = \frac{\frac{55320}{S} \times 3A' \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right)}{33000 \times 60} \dots\dots\dots (4)$$

式中 W_1 = 所需之功能，以每噸若干馬力小時計。

將(4)式化簡之，得

$$W_1 = \frac{0.08382}{S} A' \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \dots\dots\dots (5)$$

上式中 A 之數值，可預先在實驗室中求出。其法先取同樣礦石少許，作細度分析，然後粉碎之，量其所費之功能，復將已碎之成品作細度分析，由此前後之細度分析中，分別取其平均值作為 D 及 d ，最後將已得之數字代入第(5)式中，即可求得 A 之數值。

更舉一例說明常數 A 之測驗法。今有一堆礦石，係先用顎式壓碎機粉碎一道者，其顎式壓碎機之開口寬度為 $1 \frac{1}{2}$ 吋。此堆礦石之細度分析，詳列第 3 表中，由此表中可見原料塊之平均直徑約為 0.336 吋。此堆礦石，復用一具滾碎機以電動機帶動而粉碎之。其成品之細度分