Aerofall Mill について*

島 村 欣 一**

On the Aerofall Mill

Kinichi SHIMAMURA

Aerofall Mill は自生粉碎ミル(Autogenous Grinding Mill)の一つであることは既に大方のご承知のことであつて、この自生粉碎については去年(1964年)の秋、京都における本会の第33回例会の特別講演として、京大の若松貴英先生が、これの発展過程や、各種 Autogenous mill の概貌をお話くだされ、浮選誌第25号にもこれが集録されている。私はこの Autogenous mill の中の、Aerofall mill についてだけ、私が知り得た知識の範囲内で述べたいと思う。

Aerofall mill はカナダの David Weston という人によつて開発され、カナダのトロント市にある Aerofall mills Limited が世界各国に工業権を持つているようであるが、現在はカナダ、アメリカ、メキシコの3ヶ国を除いた各国の工業権を、イギリスの Ashmore Benson Pease という会社に譲つてある。

このミルが David Weston によつて開発されたことと述べたが、これに至るまでには、Western High Speed Mill とか、Revised Dry-grinding Hadsel Mill などと呼ばれた、かなりこの Aerofall Mill に近い形のもので出来ていたことは、若松先生のお話にもある通りである。

Aerofall Mill の大体の形は第1図に示すように直径に対して巾の狭い、丁度「たらい」を横にしてトラニオンを附したような形をしており、巾に対する直径の比率は約、2.2~4.0位になつている。そして周囲はセルライナーとクラッシングバーと称しているリフターによつて内張りされてあり、内側面にはデフレクターまたはキーイングアクションメンバーと呼ばれる断面山形をしたリングが、出入両口を取巻き 相対して2重に取付いている。このキーイングメンバーがこのミルの大きな特色の一つであつて、この点についてはまた後で少し詳しく触れてみたいと思う。

このようにしてこのミルがクリティカルスピードの約82~92%の速さで回転し、ミル内に供給された鉱石を粉碎する訳であるが、このミルは専ら Air Swept による

第1図 エロフォールミル外觀

乾式粉碎をなすものであつて、湿式の方法はとらない。第4図に最も典型的なエロフォール粉碎装置の系統図を示したが、Aerofall Mill を主体として、ここに示すような附属機器を必要とする。まづ定量の原料を供給するためのフィーダ、それからミルによつて粉碎された産物を捕集する1次セパレータ、2次セパレータ、サイクロンコレクタ等。次に空気を循環させるためのメインファン・また一部放出空気に対する空気清浄器と排気ファン。そしてもし原料が湿つてゐる時は空気加熱器が必要である。それからこれらの機器が有機的に連繫を保ち、ある定められた条件にセットされれば常にこの条件に合うように自動的に調整されながら運転させる電子制御装置などを含むものである。

* 昭和40年6月23日 浮選研究会第34回例会において講演

** 大塚鉄工株式会社 技師長

Aero fall Mill の粉碎機構の基調としている処は、

- (1) 圧縮と圧縮解放を伴う衝撃破砕
- (2) 転動粒子間の摩擦
- (3) ミル内における鉱石の粒度的に限定される配置と循環、

であつて、第2図、第3図でミルの作動の模様を説明すると、原鉱石はフィーダにより入口トランシオンを通じ、ミル内にフィードされる。この鉱石は適当の大きさに採掘されたものならば、そのままの大きさ、すなわち Run of mine の物で良いのであるが、普通一次破碎機の破碎産物 250~300mm 位のものを供給する。しかし 600~750 mm またはそれ以上のものを供給した例もあるそうである。ミル内にフィードされた鉱石は、ミルの回転によつて鉱石自身お互の衝撃と磨擦によつて微粉にまでなるのであるが、ここで重要なことは、Aerofall mill の場合、

A—A₁、B—B₁、C—C₁: 破碎作用部
D: 給鉱用シュート E: 吸引空気流
F: オーバーサイズ (重力によりミルに戻す)

第 2 図

第 3 図

第 4 図

ミル内の鉱石が破碎、粉碎されるのは、単にミルの回転につれて互にぶつかり合い、こすれ合つて粉碎されるのではないといわれている処である。それは粉碎機構の(1)に挙げた“圧縮と圧縮解放を伴う衝撃破砕”作用で、この点はエロフォールミル会社の最も強調している処である。もちろん鉱石相互間のアプレジョンによる効果は大きく、最後の微粉生成はこれによるもので、粉碎機構の(2)にも挙げてあるが、前述のように、このミルの側壁の出口、入口を囲み相対して断面山形状のキーイングアクションメンバーと呼ぶリングが2重に置かれていて、供給された鉱石はメンバーの A~A' 面によつて粒度的な片寄りなくミル底部にバラ播かれる。そして第3図において真足と記された区域には供給鉱石が集中し、メンバーの両斜面 B~B'、C~C' およびミル本体の間でブリッジを形成し、重力と遠心力の合力で相互間に強力な圧縮力を生じ、これが上部に上つて崩れる時圧縮力が急に解放される。この力の繰返しが主な破碎力となり、また単体分離し易くなる要因ともなるといわれている。

圧縮状態から解放された種々の大きさの粒子は第3図に示した矢印の方向に沿つて再び真足、虚足の区域に戻る。この部分が破碎帯域として最も圧縮力を強く受ける部分で、塊の大きい程この破碎帯域に戻るのに要する時間は短く、中間サイズのは磨砕帯域で崩れ落ちて循環し、最も激しいアプレジョンが行なわれる。小粒子はさらに上部まで上げられて、中心部を通つて降下するので濡布帯域といわれている。このようにして粉碎された細粒子はミルの中心部の濡布帯域を落下するが、この間に、ある大きさ以下に砕かれた粒子は、ミルの軸線方向に通過する空気の流れに乗せられて、ミルの外に運び去られる。そして一次セパレータに入り、分級されて希望粒度より大きい粗粒子はここで落されてミルに返され、細粒子は2次セパレータに入り、ここで大部分の粒子を捕集するが、なお捕え切れなかつた微粒子を次のサイクロンコレクタで捕集する。これらの通気を司るために吸引用のメインファンがあり、空気を循環させるが、この循環

回路を常に同一空気が循環していると、空気中に湿気や熱が蓄積するので、これを防ぐためと、循環回路をつねに負圧の状態に保つために、空気の一部を放出し、その分だけ新しい空気を入れて交替させる。この放出空気中に前の3段の捕集装置で捕え切れない微粉があると、大気を汚染し、したがって工場環境を汚すので、空気清浄機を置いてこれを防ぐ。この放出する空気の量は循環空気量の約20～25%位で、交替新空気はフィード口から制御されて入りまた回転部の間隙などから漏洩して入るものもある。

このようにして空気の大部分はミルを通じて循環式になつていて、回路全体が大気に対して負圧の状態に保つているので、間隙やダクト等から漏れて吹出すようなことではない。

それからもし取扱う鉱石が濡れていると、粉碎効率を下げ、もしくは粉碎不能となる場合もあるので、このような場合は鉱石を乾燥しながら粉碎を行なうという手段をとる。これには空気加熱器を設け、循環空気を加熱して鉱石の湿気を蒸発させる。乾燥しながら粉碎できる限度は、12%位といわれている。

キーイングアクションメンバーの効果について比較実験した数字を第1表に示す。これは1958年スキーデンの

第1表 キーイングメンバーの効果

		KEYあり	KEYなし
A 鉱石	実 動 力 kw	2.66	2.92
	単位重量当り表面積 (1)	6,717	4,544
	時間当り表面積 (2)	9,720	7,310
	kw 当り表面積 (3)	2,525	1,555
B 鉱石	実 動 力 kw	7.17	8.64
	単位重量当り表面積 (1)	3,636	2,840
	時間当り表面積 (2)	2,180	1,628
	kw 当り表面積 (3)	507	329

- (1) 単位重量当り表面積はガス透過法による測定値である。比較のみで良いのであるから cm^2 等に換算してない。
- (2) 時間当り表面積は計算値であつて、単位重量当りの表面積に単位時間当り処理量を乗じたものである。
- (3) kw 当り表面積は計算値であつて、単位重量当りの表面積をトン当り電力量で除したものである。

Loussavaara-Kiirunavaara 鉱山で行なわれたもので試験鉱石は同鉱山産 A、B 鉱 2 種で、A 鉱は砕け易く、B 鉱は比較的硬い。ミルは $5\text{ft} \times 2\text{ft}$ (1500mm $\times$ 600mm) のエロフォールミルを用い、給鉱粒度は全部 250mm 以下で第1試験は平常状態で行ない、第2試験はキーイングメンバーを外し、他は同一条件のもとに行なつた。

これで判るように粉碎作用に対し、キーイングメンバーはかなりの効果をもっており、kwh当りの表面積はA

第5図 臨界速度パーセントとミル入力及能力の関係

鉱で34%、B 鉱で35%増加している。また所要動力は反対にA 鉱で23%、B 鉱で17%減少している。

ミルの回転数はクリチカルスピードの82～92%のハイスピードで回わされるとされてあつたが、最近カナダのキャロレーキ*にある鉄鉱山で数次の実験の結果によるとクリチカルスピードの70～75%のところが最も能力が出てトン当り kw 数が少ないということが報告されている。第5図はこれを示す。

本機は自生粉碎ミルではあるが、粉碎物によつては、例えば非常にタフな鉱石であるとか、フィードに 100 mm 以上の塊鉱石が少い場合などには、少量のボールを加えることが有効である。この場合ボールはグラインディングメディアとして働くのではなく、前述のキーイング

第6図 ボール装置量 (7½ft エロフォールミル)

* Pilot and Commercial Dry Autogenous Grinding of Laborador Iron Ore-Carol Lake. 7th International Mineral Processing Congress 1964, New York.

アクションを助けるものであるといわれている。その量はミル容量の1~2%程度がよく、それ以上の装入は所要動力が多くなるだけで、能力はかえって下るようで、キャロルレーキ*の実験報告でも第6図のようになっている。この場合実験機は直径7½フィート、エロフォールミルで装入ボール量 600LbS(270kg) はミルの全容積の約1%であつた。この時のボールコンサンプションは0.045~0.065kg/tであつた。また21ftミルで試験したデータは、ボール装入量4,500kg(ミル容積の1.1%)でボールコンサンプションは0.04kg/tであつた。

第7図 空気流量とミル特性 (21ft エロフォールミル)

次に乾式粉碎として重要なことは循環空気量の問題である。ミルから取出す粒子の大きさは、ミルを通過する空気流の速さによって定まる。例えば最大粒14メッシュ程度のもを運び出すには、トラニオンの処で 30~40m/Sec. とされている。空気量が多ければ運び出す量も多くなるが、オーバサイズも多くなるので適当な空気量を扱ばなければならない。この場合風圧には関係ないが、この全回路の全抵抗に打勝つて、必要空気量を通過させる圧力が無ければならぬことは明かである。

第7図はキャロルレーキ*における 21ft ミルによる実験報告である。

エロフォールミルは全自動運転を立て前としているもので、これら一連の装置は予定された条件に合うようにセットされてあると、つねに自動的にその点をトレースしながら運転できる電子制御装置を持っている。

第1にフィードの制御であるが、どのような種類のミルに限らず、フィードを最良の状態に保つことは重要なことである。エロフォールミルではフィードの制御にミ

第8図 電子自動制御装置

ルモータへの入力の変化と、ミルの磨鉢作動の時に発する音の大きさの変化とを利用している。ミルへのフィード量が多くなる時は、それに付随する点までは所要動力は大きくなる。またミル内容物が少くなるとミルの発する音は大きくなり、内容物が多くなると音は小さくなることは一般に知られていることである。処でエロフォールミルのフィード制御には3つの方式がある。

1. モーターの入力によって制御し、音響密度によって監視する。
2. 音響密度によって制御し、モーター入力によって監視する。
3. モーター入力と、音響密度の両方によって制御する。

第8図に電子制御装置のダイアグラムの配線図を示したが、この制御方式では粉碎装置が最良の状態で作動されている時のミルへの入力、またはミルの発する音響密度の信号数値を実験的に求め、この条件でつねにミルが操作されるよう制御回路にこの数値でセットし、これをマスターまたはマスターシグナルといい、一方実際操業中のミル入力、音響密度からの信号を取り出し、これをスレーブまたはスレーブシグナルと称し、このスレーブシグナルをつねにマスターシグナルに近似または等しくなるように調整させるものである。

上述(1)のモーター入力によって制御し、音響密度によって監視する場合は、ミルへの給鉱量は入力スレーブシグナルによって増減される。ミルへの入力があらかじめセットされてある入力マスターシグナル以上に上ると直ちに給鉱を減じ、反対にもし入力がマスターセット以下に下ると給鉱は増加される。一方音響マスターシグナルも同様に最良条件の音響密度に合わせてセットしてあつて、これに音響スレーブが従うようになっているのだが、音響スレーブの方は音響密度の増減で直ちに作動することはなく、給鉱誤差±のある巾までの調整は入力スレーブに任せて置くのだが、なんらかの異状事態でこ

* 前頁脚註と同じ

Aerofall Mill について

の中を越脱するようなことがあると、音響スレーブの方が一寸待つたとこれを引戻して常態に復するよう給鉱量を加減し、つねにこれは監視の位置にあるものである。

(2)の音響密度によつて制御し、モーター入力によつて監視する方法は、第1の場合と全く反対で、常時のコントロールは音響密度シグナルによつて行ない、異状事態の監視を入力スレーブによつてするものである。

(3)の音響密度とモーター入力両シグナルによつて制御する方法は、入力スレーブシグナルが入力マスターセットよりも低いか、音響密度スレーブシグナルが、音響マスターセットより高い時に給鉱量を増加し、この逆の時に給鉱量を減ずるものである。

次に風量のコントロールであるが、これも実験的に得た最良の風量をダンパーによつて定め、この時の入力を入力マスターにセットして、ダンパーは油圧またはモーターで、スレーブシグナルに応じて働かせる。

以上エロフォールミルについて概要を述べてみたが、ここにその特長を列挙してみると、エロフォールミルは

1. 1次破碎から直ちに **Grinding** を遂行し得る。
2. 従て破碎粉碎の **Cost** が低くなる。
3. 建設スペースが少く、建設費が安く上る。
4. 経常費が少い。
 - A. 電力費が少い。
 - B. 消耗部品費が少い。
 - C. 人件費が少い。
5. 単体分離がよい。

6. 金属鉱山で浮游選鉱方式に対して乾式粉碎は不適当という向もあるが、乾式粉碎によつた磨砕鉱を、パルプにする事は、コンディショニングを安定に保つこと。単体分離がよくて破面が汚染されないなどのことから浮選に対して好ましいものといわれている。

第2表 エロフォールミルとロッドミルの単体分離の比較

粒 度 mesh		積 算 粒 度 分 布	
		エロフォールミル	ロッドミル
+	10	3.7	0.2
+	14	7.0	1.0
+	20	22.2	10.2
+	28	38.9	22.6
+	35	49.4	37.2
+	48	62.2	51.4
+	65	72.0	63.5
+	100	79.4	73.5
-	100	20.6	26.5
比 重 選 鉱			
鉄 品 位 %	給	24.30	24.40
	精	60.60	60.65
	尾	7.20	8.80
鉄 富	探 収 率 %	79.9	74.8
	鉱 比	3.12/1	3.32/1

(37頁よりつづく)

Congress (New York) (1964)

- 38) Burkin, Edwards : 6th Intern. Mineral Processing Congress (Cannes) (1963)
- 39) 梅津 : 日鉱誌, 80(917), p. 989 (1964)
- 40) 梅津、戸沢、佐々木 : 日鉱誌, 76 (870), p. 925 (1960)
- 41) 梅津、戸沢、佐々木 : 日鉱誌 (講演要旨)、79 (904), p. 905 (1963)
- 42) Evans, Romanchuk, Mackiw : Can. Min. Met.

Bull., 57 (628), p. 857 (1964)

- 43) 吾妻、後藤、亀谷、森川 : 特許公告、No. 22494 (1964)
- 44) 小野ほか : 選研彙報、7 (1½), p. 3 (1951)
- 45) 小野、亀田、矢沢、小池 : 選研彙報、18(2), p. 147 (1962)
- 46) 矢沢、小池、江口 : 選研彙報、20(1), p. 51(1964)
- 47) Golomzik : 日鉱誌 (摘録)、80(911), p. 473(1964)