アルゼンチンにおける鉄鉱石選鉱プラントの建設について*

北 尾 昭 夫**

Construction of Iron Ore Beneficiation Plant in Argentina

Akio KITAO

ま え が き

本プラントは低品位の鉄鉱石から磁選と浮選の操作により、脱リンと鉄品位向上を行なう事を目的とするもので、1973年7月、アルゼンチン共和国の国営企業であるHIPASAM (Hierro Patagonico de Sierra Grande) と三井物産株式会社が契約、当社がこの技術部門を全面的に受けもち、設計製作、現地工事、保証運転、HIPASAM要員のトレーニングを含むフルターンキーベースで進められた。そして1979年3月に最終引渡しが行われたのである。

以下に本プラントの特長と設備内容、建設および試運転の経過について説明する。

1. 経 過 の 概 要

1972年6月に国際入札、技術審査を経て同年12月29日に契約調印、L/C開設、政府認可をまて1973年7月4日に正式契約発効となった。

本契約は円建てと現地通貨のペソ建てとからになっており、まずアルゼンチンで手配されるベルトコンベヤ等の機器の製作、土木建築、据付、電気パネルおよび配線工事等の下請業者との契約にはじまり、工事が進められたが、1974年の石油危機に直面し、物価の上昇率が契約上の政府公認の係数 (Escalation index) をはるかに上まわる超インフレとなり、かつセメント、鋼材等が不足となって工事がおくれ、又ヤミ資材調達もやむなき状態も生じた。くわえて政局不安から労働ストライキもあってさらに工事のテンポが乱された。

この悪条件を経て、1976年6月ようやくプラントは完成したが、電力の支給が行われなかったため試運転が出来ず、電力支給があるまで一時中断期間をおくことに

* 昭和56年11月18日本会第67回例会において発表

** ㈱栗本鉄工所機械事業部機械技術部
昭和56年9月17日受理

合意せざるを得ない過程を経たものである。そして1977年4月に工事再開となり、2回の保証運転を実施して1979年3月28日に最終引渡しを行ったものである。

2. プラントの内容

2.1 プラントの基本計画について

HIPASAM がスウェーデンのコンサルタント会社である SWECO 社に基礎試験として実験室ならびにパイロットテストを依頼し、このデータをもとにして同社にプラントの基本設計の一切を立案させ、これにもとづき国際入札が行われたのである。

当方はこのテストレポートを唯一の資料として検討、応じたもので、交渉過程においてきびしい保証条項を要求されたが、他の入札業者の追いつきもあり、ある程度受けざるを得ず、急遽調印にふみきったのである。

2.2 プラントの位置

首都ブエノスアイレス (南緯35度) の南方約 1290 km のリオネグロ州のシェラグランデ村 (南緯42度) から約 15 km の地点に鉱床があり、ここに他グループによる破碎、予磁選プラントにつづいて当選鉱プラントが建設された。当選鉱プラントからの精鉱は約 40 km はなれた海岸に建設されたペレタイジングプラントまでパイプ流送され、ここからペレットにして船積みされるものである。

2.3 鉱山の概要

鉱床はマグネタイト (Fe_3O_4) を主体とする鉄品位が 54.8% の鉄鉱石で約 6500 万 ton の埋蔵量もち、地質学的にその鉱床規模は何億 ton とも云われている大規模のものである。

年間 350 万 ton の粗鉱を坑内掘りで採鉱、当初はトラック輸送により地上に搬出し、1次、2次破碎プラントにて破碎後、中間ストックヤードに貯蔵する。さらに予磁選プラントにて乾式磁選および3次破碎により年間量 50 万 ton 程の脈石、ヘマタイトを除去したあと年間量 300 万 ton を当選鉱プラントに供給するものである。

現在は立坑により鉱石の搬出が行われている。

2.4 プラントの目的および条件

本プラントは脱リンと鉄品位の向上を主目的とし、同時にペレット製造に適した粒度（比表面積）をもつ精鉱を生産するものである。

	原 鉱	精 鉱
プラント処理量（年間）	300万 ton	200万 ton
（1日当）	1万 ton	6600 ton
鉄品位	54.8%以上	68.5%以上
リン品位	1.5%以下	0.18%以下
精鉱粒度（計画）	-44 μ (325 mesh)	95%
比表面積値（Svenson 法）	1900~2400 cm ² /g	
鉄採取率	82%以上	
原鉱マグネタイト量	デービスチューブ（Davis tube Test）にて鉄の採取率が86%以上	
ユーティリティ 水	1.29 m ³ /精鉱 ton 以下	
電力	71.5 KWH/精鉱 ton 以下	

2.5 プラントの内容

主選鉱場は 77 m×54 m×高さ 20 m の鉄筋コンクリート製ブロック積みの建家内に収められ、粉碎、磁選、浮選設備が3系列となっている。この建家に外接して3階建ての電気室、ケーブル室、抵抗器室があり、又4階建ての建物には操作室、試薬調合供給室、試験測定室、分析室、事務室、会議室、作業員更衣室、エレベータ等が設備されている。

本選鉱場にならんで 3000 ton のコンクリート製鉱石サイロ4基、1800 ton の水サイロ1基が建設され、サイロ上部には鉱石とペブルを選別するスクリーン、同建家、

ベルトコンベヤ、エレベータ等が設備されている。

又用水ポンプ、尾鉱輸送ポンプ等を設備したポンプ室、精鉱、尾鉱用シクナが設置されている。

全体の配置およびフローシートを図1、図2に、主機械仕様を表1に示す。

2.5.1 篩分設備

前工程の破碎、予磁選プラントにおいて、-75 mm に整粒された鉱石をベルトコンベヤにて受入れ、サイロ上まで輸送、スクリーン①にて1次磨鉱原料（-25 m/m）と2次磨鉱で使用する鉱石ペブル（75~25 m/m）とに選別し、それぞれベルトコンベヤおよびシュートにて4本のサイロに貯蔵する。この鉱石とペブルとの使用比率は約4:1と計画されている。

2.5.2 粉碎、磁選および浮選設備

(1) 1次粉碎と1次磁選

鉱石サイロからベルトフィーダ②により定量をロッドミル③に給鉱、ミル内バルブ濃度約70%にて1 mm 以下97~99%に粉碎する。この産物をバルブ分配器④を経て2列の1次ドラム磁選機④に分配供給、リンおよび脈石等の不純物を尾鉱としてとり除くことにより、鉄品位61~62%、リン品位0.9~1.0%の1次磁選精鉱を得る。

ロッドミル処理量は1系列で 116 T/H、1次磁選精鉱量は約 93 T/H でその鉄採取率は91%の計画となっている。

(2) 2次粉碎

1次磁選精鉱をペブルミル⑥に供給、湿式サイクロン⑦との閉回路によりさらに 44 μ 以下 95%程度に微粉碎する。

Fig. 1 General layout

Fig. 2 Flow sheet

Fig. 3 General view

Fig. 4 Grinding section

Table 1 Spcification

単位 mm

No.	名 称	台数	仕 様	モータ出力 kW
1	スクリーン	1	2400×6000 2床式	45
2	ベルトフィーダ	6	800×1600	3.7
3	ロッドミル	3	3900×5200	1000, 30
4	1次磁選機	6	SALA 916×1800 2ドラム型	4/ドラム
5	電磁フィーダ	6	FH-22 BDT	
6	ペブルミル	3	5900×10500	2400×2, 55
7	サイクロン	39	Krebs 15型	
8	2次磁選機	6	SALA 916×2400 6ドラム型	5.5/ドラム
9	コンディショナ	9	3000×3000	37
10	浮選機(粗選)	3	SALA 12.8m ³ ×3区	22×2/区
11	〃(清掃)	2	〃 〃 ×2区	〃
12	〃(精選)	3	〃 3.2m ³ ×4区	7.5/区
13	〃(再精選)	3	〃 〃 ×2区	〃
14	3次磁選機	3	SALA 916×900 1ドラム型	2.2/ドラム
15	ボールミル	3	2100×2800	150
16	4次磁選機	3	SALA 916×900 2ドラム型	2.2/ドラム
17	マグネタイジングブロック	1	10-48型 3列 1000 ガウス	
18	精鉱シックナ	1	Dorr 25000	5.5, 2.2
19	尾鉱シックナ	1	〃 75000	11
20	サイクロン	12	Krebs 15型	
21	5次磁選機	2	SALA 916×1800	4
22	オートマチックサンブラ	5	615 ストローク型及ベジン型	0.2, 0.4
23	エアブローア	3	80 m ³ /min 2200 mmAg	30×2
24	ベルトコンベヤ	3	ベルト巾 1000	
25	〃	3	〃 800	
26	〃	5	〃 600	
27	エアブローア	1	340 m ³ /mm 250 mmAg	30
28	ダストコレクター	1	エアタンブラ WH-10	
29	エアコンプレッサ	1	6 m ³ /min 10 kg/cm ²	37
30	フロスポンプ	18	150 φ	7.5~15
31	スラリーポンプ	54	75 φ, 150 φ, 200 φ, 300 φ	7.5~175
32	パルプ分配器	7	2000 φ	1.5
33	試薬ミキサ	11	1200, 1500, 3000 φ	0.75~7.5
34	試薬ポンプ	5	ダブルロータ型	0.4~0.75
35	試薬定量ポンプ	45	日機装 ダイヤフラム型	0.4~1.5
36	コンベヤスケール	7	ベルト巾 1000, 800, 600	
37	水ポンプ	16	38, 65, 150, 200, 300 φ	11~250

粉碎媒体としてペブルサイロから振動フィーダ⑤により引きだした鉱石ペブルを使用する。

ペブルミルの運転方式はペブル定量供給でなく、ミルのモータ出力一定式が採用されている。

すなわち粉碎媒体として通常のスチールボールでなく性状の不安定な鉱石を使用するため、もし砕かれやすいペブルの場合早く磨滅してミル外に排出されてミル内のペブル保有量が減り、ミルの粉碎能力が低下する。この現象はミルのモータ消費動力の低下としてあらわれてく

る故これを防止するため、ミルモータの動力が設定値より増、減しようとした時、ペブル供給量を減、増する信号をペブルフィーダ⑤におくり、ミル内ペブルの保有量を常に一定に保持して粉碎粒度の安定化を期しているのである。ペブル供給量は1系列で平均約 29 T/H である。

(3) 2次磁選

粉碎製品であるサイクロン⑦のオーバフロをパルプ分配器⑧を通して2列の6ドラム式2次磁選機⑨に供給、リンおよび脈石等の不純物を分離して鉄品位66.5~67%、

Fig. 5 Separation, flotation section.

リン品位0.35~0.45%の2次磁選精鉱を得る。この精鉱量は1系列で100 T/H, その採収率は93%の計画である。

2次磁選の尾鉱は直接尾鉱シクナ⑩に供給される。

2次磁選精鉱を3台のコンディショナ⑨に試薬とともに供給して十分にコンディショニングする。同時に濃度およびpHコントロールをしてラフファ⑩に供給する。使用する試薬は次の通りである。

a) リンの捕収剤

トールオイル (Tall oil)

燃料油 (Fuel oil)

以上の1対1の混合物のエマルジョン

b) 分散剤および鉄の抑制剤

水ガラス (Na_2SiO_3)

c) pH調整剤

苛性ソーダ (NaOH)

d) 沈降剤

セパラン

ラフファにおいてリンおよび脈石類を捕収してフロスとしてとりだし、そのシンクを次のスカベンジャに流送する。こゝで更に残存しているリン等をフロスとして捕収してコンディショナにもどし、シンクを最終精鉱としてとりだすのである。

ラフファのフロス中にはリン等とともに鉄もまぎれこんでいるため、これをクリーナ⑪により更にリン等をフロスとしてとりだす。このフロスを更にレクリーナ⑫に流送して同様の操作をくりかえす。このレクリーナのフロスを浮選系統の最終尾鉱としてとりだすのである。

クリーナおよびレクリーナのシンクには片刃が存在するため、これを再磨鉱ミル⑬にてさらに -44 μ 97~98%に微粉碎後4次磁選機⑭にてリンおよび脈石を分離する。

クリーナ、レクリーナのシンクは濃度が低いゆえ、濃縮と脱リンもかねて3次磁選機⑭に通している。

4次磁選精鉱は再度コンディショナにもどし浮選操作を繰り返すものである。

2.5.3 精鉱シクナ関係

最終精鉱であるスカベンジャ⑩のシンクを65メッシュのふるいをもつ Derrik スクリーンに供給して、次工程のパイプ流送にとって悪影響をおよぼす粗粒を除き、ふるい下を帯磁機に通して粒子の凝集をおこなわせて後、精鉱シクナ⑩に供給する。ふるい上は粉碎系統にもどして再粉碎する。

精鉱シクナで約65%に濃縮された精鉱をポンプにてパイプ輸送設備に流送する。この間のパイプラインには脱磁機がとりつけられている。

本シクナのオーバフロ水は水サイロにためられ、浮選用水として繰返し使用される。

2.5.4 尾鉱シクナ関係

1次磁選の尾鉱は粗粒で且濃度が低い故、サイクロン⑮により濃縮し、そのオーバフロを2次、4次磁選尾鉱とともに尾鉱シクナ⑩に供給、アンダフロは尾鉱シクナのスπιゴットとともにパルプ分配器⑯を経て5次磁選機⑰に供給、尾鉱中に逃げているマグネタイトをさらに回収し、その精鉱は前述のスクリーンのふるい上と共に粉碎系統にもどし、尾鉱を浮選系統の尾鉱とともに尾鉱ポンプサンプに流送、これからポンプにより1kmはなれた廃さいダムへパイプ輸送する。

なお尾鉱シクナの排出濃度を、その出口にとりつけたガンマ線濃度計により測定、この濃度の変動に応じて排出ポンプの回転数を自動コントロールして、つねに最適濃度で引きだす様設計されている。

本シクナのオーバフロも水サイロにためられ、繰返し用水として使用される。

2.5.5 附帯設備

(1) 給水設備

450 mm パイプにて受水し、500 m³/Hr の水ポンプによりサイロに揚水、事務所、実験室、試薬溶解、その他に又一部は選鉱用水の補充として使用する。

選鉱用水ラインも同じく必要箇所には流量計、電動バルブを設け、操作室から遠隔流量設定および自動流量コントロールができるようになっている。

(2) 試薬調合、供給設備

試薬の溶解、混合タンク、温水ボイラ、輸送ポンプ等一式を設備しており、プラントへの供給はミルフロポンプにより操作室から遠隔流量設定ができるようになっている。

(3) 制御関係

粉碎室に隣接した操作室からの集中遠隔操作方式で、運転管理に必要な、例えばサイロのレベル表示、各フィーダの輸送量設定装置、ベルトコンベヤの輸送量表示、記録装置、ミルモータ KW 表示記録設定装置、スラリー流量、濃度、pH、各種軸受温度の表示、電気室及びベ

ープル室の炭酸ガス自動消火設備等を設けている。

(4) サンプルング

原鉱、精鉱、尾鉱の各スラリ輸送ラインに湿式オートマチックサンプラを設け、又他の必要箇所からのハンドサンプルングのための器具等を附属して、品質管理に十分な配慮がなされている。

3. 負荷試運転について

本プラントの受注に際して、我々の手で実験室テスト等をやっていないため、実験室が完成すると同時に SWECO のテストデータを参考にしてまず実験室テストを先行し、これをもとにプラント運転条件を設定し、1977年7月初より負荷試運転に入った。

3.1 第1次試運転

本プラントの重要点は粉碎粒度、2次磁選、浮選系統にあり、これらの調整を重点的におこなった。

3.1.1 粉碎粒度および比表面積値

鉱石ペブルの自生粉碎ミルにとって、ペブルが媒体として早く安定した状態になることが第一であるが、原石の性状の不安定、予想以上に粉碎性がよい鉱石であったことより、粉碎粒度と必要ペブル保有量および供給量との関係をつかむことに時間を要した。種々の調整の結果、ペブルミルの消費動力約 3300 KW 前後にて目的の 44 μ 以下95%の粉碎製品を得ることが出来た。

しかしペブル粉碎の宿命としてペブル同志のアトリション作用により 5 μ 以下の微粉の発生が多く、このためにミル製品の比表面積値が大きくなり、この粉碎粒度では SWECO のスチールボールを使用したテストにおける比表面積値にあわすことはできなかった。

3.1.2 第1回保証運転

保証運転は10日間連続運転をおこない、この最終3日間の、すなわち9シフトの結果の平均値および8シフトの値がすべて保証値を満足することが条件とされている。

結果は表2に示すごとく、リン品位他保証値を達成することができなかった。表3に試薬使用量を示す。

3.2 第2次試運転

第1回保証運転後、リンを除去出来なかった原因を種々検討した結果、原鉱中の特にロッドミルへの給鉱に多くのスライムが混入されており、このなかに多量の Ca の存在がみられた。これが水に溶出累積して繰り返し用水中の Ca イオンを 100~130 ppm にまで増加していたことが判明した。(新供給水の Ca イオンは約 10~20 ppm)。

したがってリンの捕収剤である トールオイルがこの Ca イオンと反応して、不溶性カルシウム石ケンを生成、このためにトールオイルのリンの捕収力および選択性が低下していたのであった。

この対策として炭酸ソーダを使用して、Ca イオンを封鎖除外する手法を考え、多くの実験テストを繰返してその可能性を確認した。

ただし CaCO_3 の化学的溶解度から Ca イオンは完全に沈殿するものでなく、用水中に 8~10 ppm は残るため、これが浮選操作を邪魔し、鉄の採収率に悪影響をおよぼすことを両者合意の上、1978年4月に第2回保証運転をおこなった。

3.2.1 第2回保証運転

予備運転において種々フローおよび条件を変更してテ

Table 2 Results of guarantee operations

	原 鉱			精 鉱			鉄採収率 %	消費電力 KWH/T	水消費量 m ³ /T
	Fe %	P %	Davis %	Fe %	P %	比面 cm ² /g			
保 証 値	54.80	1.50	86.00	68.50	0.180	1900~2400	82	71.5	1.29
第 1 回	55.40	1.35	84.83	68.35	0.271	3196	78.4	54.5	1.07
第 2 回	56.48	1.22	86.63	68.86	0.164	2336	71.11	—	—

注) 1) 電力、水消費量は精鉱 Ton 当り

2) 第2回試運転では2系列のみの運転につき電力、水消費量は保証外

Table 3 Reagent consumption

	Tall oil	Fuel oil	Na ₂ SiO ₂	NaOH	separan	Na ₂ CO ₃	Frother
第 1 回	168.2	168.2	226.0	228.4	14.6	—	—
第 2 回	289.3	289.3	748.3	28.9	31.0	1131.0	14.2

ストをおこない、且比表面積値を確保するためペブルミルの粉碎度を 44μ 以下 92~93% を目標とし、モータ出力 2400 kW に設定した。

この結果は表 2 に示すごとく、鉄の採取率を除き他の条件はすべて保証条項を満足できた。

当時ペレタイジングプラントがまだ完成していなかったため、それが稼動できる 1979 年 4 月に鉄の採取率向上のための確認テストを実施することを条件として 1978 年 6 月にプラントの仮引渡しをおこなった。

3.3 確認テスト

ペレタイジングプラントの 1 系列 (全 4 系列) の試運転開始にあわせて当プラントの再試運転が開始された。

ペレタイジングプラントの試運転の結果、前記の精鉱粒度では同プラントのフィタルの脱水が悪く、又焼成時にペレットが割れるという問題が発生した。

このためにペブルミルを 1600 kW~1700 kW で、かつ再磨鉱ミルを使用しないフローで運転がおこなわれた。結果として比表面積値は $1800\text{ cm}^2/\text{g}$ 、鉄の採取率は低下したがペレットの生産は順調になった。

即ち、当初客先から指示された選鉱条件は、現実の原鉱石および用水では適せず、又精鉱粒度もペレタイジングに不適當であることが実プラントテストにより判明し、上記の成績で両者合意の上、1979 年 3 月に最終引渡しをおこなった。

4. その後の運転状況

最近は大磁石の含有量も多い良質の鉄石が処理されており、 -44μ 85~87% (比表面積値 $2150\text{ cm}^2/\text{g}$) の粗い粉碎条件にて、80%以上の鉄採取率が得られてお

り順調に操業が続けられている。

5. む す び

本プロジェクトの実施にあたって、種々の問題が生じたが、これを要約すると、

- 1) エンジニアリング会社がおこなったパイロットテストにもとづく客先側の条件でターンキーベースかつランプサム契約であったこと。
- 2) 建設期間中の現地の政治経済状況が非常に不安定で現地調達に多くの問題を生じたこと。かつエスカレーション条項に対する事前の確認を十分におこなうべきであったこと。
- 3) 採鉱およびペレタイジングプラントはそれぞれ別のコントラクターがおこなったが、客先側の全体計画のコントロールが十分におこなわれず、前後工程のおくれによって当プラントの試運転が大幅におくれたこと。
- 4) 原鉱および用水の性状がパイロットテストの条件と大幅に異なったこと。
- 5) 客先側パイロットテストの段階でペレタイジングとの関連が十分につかまれていなかったこと。

これらのことは今後の海外プラントプロジェクトに対する貴重な経験として大いに役立てたいと考えるものである。

最後に本プロジェクト完遂に御協力して頂いた三井物産株式会社の本社ならびにアルゼンチン三井物産、又技術協力をして頂いた日鉄コンサルタントの方々、更に機器調達に御協力して頂いた各メーカに厚く謝意を表すものである。