石炭浮選プロセスの自動化試験*

鎌 田 宏**・山下 忠彦***
川 口 博 司**・油 布 貞 男***
小野寺 次 郎**

Experiments for the Automation Control of the Coal Flotation Process

Hiroshi KAMADA, Tadahiko YAMASHITA
Hiroshi KAWAGUCHI, Sadao YUFU
and Jiroh ONODERA

1. 緒 言

当所では、選炭工程の自動化を目標に、1) 重液サイクロンによる自動化試験 (39~40年, 吉隈炭鉱)¹⁾, 2) 含油微粉炭製造試験 (38~42年, 釧路炭鉱他)²⁾, 3) 混炭の自動化試験 (42年, 三池炭鉱)³⁾, 4) 空気動ジグの自動化試験 (43年, 大夕張炭鉱)⁴⁾, 5) 選炭水の完全循環試験 (51~53年, 芦別炭鉱)^{5~7)}, 6) ⁵⁵Fe, RI 線源による灰分・硫黄分測定試験 (53年, 三池炭鉱)^{5,8)} 等各種の試験研究を実施してきたが、これらに 1) 浮選, 2) 塊重選を加えれば、個別のプロセス自動化は選炭工程のはば全域をカバーできよう。

石炭採掘の機械化が年々進行し、選炭工程に入る原炭に占める微粉の割合の漸増に伴い、微粉回収工程である浮選プロセスの重要性も増大しているが、これまで自動化・計装化はあまり行われていない。そこで石炭資源の有効利用ならびに精炭品質の向上・安定化を目指す立場から、昭和55年度より石炭技術振興費補助金の交付を受けて、浮選プロセスの自動化試験を三池選炭工場内で、3カ年度にわたり実施した^{9,10)}。本稿では、試験研究結果のうち計装関係とくに各種検出器の適用状況を中心に報告する。

2. 実験方法および装置

2.1 実験方法¹⁰⁾

三池選炭工場の No. 5 浮選系統を主たる対象に、流

* 昭和58年6月9日本会第70回例会において発表

** (財)石炭技術研究所第2研究部

*** 三井石炭鉱業株式会社三池鉱業所炭務部

昭和58年4月18日受理

量計・濃度計・ベルトひょう量機・流量制御弁・可変速電動機・灰分計の信号伝送器・薬注ポンプ・水位計・記録計・積算計・調節計その他を設置し、1) 検出器類の信頼性、2) 制御機器の信頼性、3) 最適制御方式の選定の3点を開発のポイントに、下記のような各種の試験研究を実施した。すなわち、

- (1) 粗選原液流量または濃度一定制御
- (2) 粗選原液の流量・濃度または固体量に対応した、粗選条件さうへの浮選試薬薬注制御
- (3) 粗選原液に即した粗選空気量制御
- (4) 精選原液 (粗選原液と粗選テールの差) に応じた精選条件さうへの浮選剤の分割添加
- (5) 精選フロス (精選原液と精選テールの差) の流量・濃度・固体量または液面による、フロスフィルタ回転数の制御。
- (6) フロスケーキの流量または「炭分流量」の測定。

浮選システム概念図を第1図に示す。混合さうおよび条件さうは何れも $2.1\text{ m}\phi \times 2\text{ m}^2$ 、浮選機は FW-30 型で $1.4\text{ m} \times 1.4\text{ m} \times 1\text{ m}^2$ 、動力 11 KW、粗選系統は 3 区 3 列、精選系統は 4 区 4 列である。混合さう入口のスピゴット流量は約 $150\text{ m}^3/\text{h}$ 、濃度約 15% Solid、灰分約 25%、粒度は 0.5 mm 以下である。

実験条件を各種調節計のキーボードにより設定した後 30 min 経過した時点で、原液・粗選フロス (精選原液)・精選フロス・粗選テールおよび精選テールを 10 min 間隔で 3 回試料採取し、合併して分析用試料とし、所定の方法により濃度と灰分を求め、歩留り Y その他の浮選成績を算出した。

2.2 実験装置

- (1) 電磁流量計 (東芝・山武ハネウエル) 坑内水お

第2図 ガンマ線密度計配置図

m³/h で密度計 (管内径 25φ, SUS 製, ベローズで力学的に外部と絶縁) に通し, 10 m 上のヘッドタンクに排出する (第3図)^{9,11,12)}。

(5) 空気流量計 (東芝) 粗選機各そののシャフトにオリフィスブロックおよび流量制御弁 (バタフライ弁) を接続し, 空気量 2.5 m³/min (20°C, 1 atm) に対してオリフィスの差圧 144 mmH₂O を生じ, 差圧伝送器 (Rosemount) により 4~20 mADC の出力信号を得た。流量調節にはコントロールモータを用いた。

(6) 薬注ポンプ (日機装) ミルフローポンプのストロークを 11 mm (50%) とした場合, 浮選試薬 (捕収剤と起泡剤の容積比 = 5 : 1) の吐出量は, VS モータの回転数が 1,500 rpm (調節計の制御出力, MV = 100%) のとき 56.2 l/h であった。回転数制御は, 現場操作盤による手動運転も調節計からの自動運転も可能とした。

(7) 容積式流量計 (日東精工) 浮選剤乳化液の通過量に比例して回転子が運転し, その回転数がパルスとして検出される。流量 100 l/h を定格とした。

(8) フロート式水位計 (東芝) フロスフィルタと接続した円筒にフロート (200φ, SUS 製) を浮かべ, フロートとおもりを回転ドラムに吊す。測定範囲は 1 m で

第3図 振動型液体密度計配置図

第4図 調節型 (211型)

ある。

(9) コンベヤスケール (日新電子工業) フィルタケーキベルト (幅 600 mm, 速度 63 m/s) に設置した, キャリヤーローラ吊下, ロードセル式, ベルト速度検出器付きであり, 制御部にはマイクロプロセッサを内蔵し, 0~60 T/H に対しパルスまたは 4~20 mADC の出力が得られる。

(10) スピードセッタ (住友重機械工業) フロスフィルタ回転数制御用のバイエル無段変速機のパイロットモータを操作し, タコゼネレータの信号をフィードバックとして閉回路を形成する。

(11) 灰分計の信号伝送器 (YHP・東芝) 灰分硫黄分測定装置^{5,8)} の X 線分析灰分値 0~20% を信号変換して電流出力 4~20 mADC を得る。

(12) 流量制御弁 (日本工装) スピゴット (200φ) および稀釈水 (100φ) の制御にはボール弁を, また精選試薬薬注用にはグローブ弁を使用した。

(13) 調節計 (東芝) 分散型デジタル工業計器としてのワンループコントローラを, 各種流量制御弁・加変速電動機の制御に使用した。各種機能を備え, キーボードから試験条件設定・データの読出し・警報指示その他が可能であり, また調節計間の信号伝送もできる (第4図)。

3. 結果および考察

3.1 粗選原液流量一定制御

(1) スピゴット流量制御弁は, 長期連続運転によるパイプの閉そくを考慮して, 弁開度下限値を 50% に制限している。

(2) 電磁流量計は, 坑内水の測定では問題ないが, スラリの場合は指示値が大幅に変動したので, システムフ

第5図 粗選原液密度の指示値と実測値の比較

第6図 粗選テール密度、測定試験結果

フィルタを設置し、流量指示値の安定化を図った。

(3) 稀釈水流量制御弁を、比例帯25%, 積分時間が0.1 min のPI動作による流量一定制御とした場合、粗選原液の流量のバラツキは認められないが、スピゴット流量計の時定数が小さいと稀釈水添加にサイクリングが生じた。このため、現在これを3 min としている。

3.2 スラリー濃度測定における気泡対策¹¹⁾

(1) ガンマ線密度計の場合、混合そう出口のメインフローに250 H のセキを設置して気泡除去を図るとともに、測定用管路下流を40φの縮流板で絞った結果、第5図に示すように、スラリー密度指示値 δ_i と実測値 δ_m の偏差が $\pm 2 \text{ kg/m}^3$ に収まった。

(2) 振動型液体密度計を粗選テールに適用する場合、起泡剤を多量に含むため気泡除去がとくに困難であった。そこで、スラリーポンプの回転数を2,200→2,010 rpm に落とし、エキスペラシールのエア抜きを図り、粗選テールタンク出口に200φ×1,500 H のサブタンクを設置するとともに、ヘッドタンクへのスラリー排出口に16φの縮流板を取付けたところ、 δ_i と δ_m の偏差が $\pm 3 \text{ kg/m}^3$ 以内に減少した(第6図)。

(3) しかしながら、スラリー配管を分岐して濃度測定を実施する場合はスラリーの偏析が生じ易く、また固体の真密度 ρ_s も時々刻々に変動するため、これらの課題を抜本的に解決する必要がある。

3.3 粗選原液濃度一定制御

当初、混合そう(容積7 m³)出口で測定したため、約3 min の1次遅れが生じ、原液濃度15%Solidのとき濃度幅約3%Solidのサイクリングが周期約6 mmで観察され、PI動作をサンプル値PI制御に変えても効果的ではなかった。そこで、混合そう入口のスピゴット濃度を

測定して所要の稀釈水量を算出して目標値とするフィードフォワード制御に変更したところ、濃度のバラツキは幅0.3%Solidに収まった。

3.4 粗選空気量の制御

(1) 通常の運転条件下の空気量は、各列とも第1区が0.3 m³/min (0.15 m³/m²・min)、第2区が約1.0 m³/min (約0.5 m³/m²・min)、第3区が約1.3 m³/min (約0.65 m³/m²・min)である。

(2) 第1区を0.3 m³/minに固定して第2区の空気量を調節するとき、空気量 A が多いほど、イ) フロス流量 Q の増加および濃度 V の低下、ロ) 第2区フロス固体量 S が $A=0.6 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上で横ばい、また「炭分」(あるいは可燃物)の流量が $A=0.7 \text{ m}^3/\text{min}$ で最大、ハ) 第2区フロス炭分 C_2 は $A=1.0 \text{ m}^3/\text{min}$ で最大、またテール炭分 t は A とともに低下する傾向がある(第7図)。

(3) 第1・2区を0.3および1.0 m³/minに固定して第3区の空気量を調節したところ、空気量 A とともにテール炭分 t が上昇した。

以上を総合すると、空気量には最適値が存在し、多過ぎると気泡からの石炭粒子の脱落またはスライムの巻込みを生ずることが推察される。

3.5 浮選試薬濃度一定制御

(1) 薬注制御は、濃度比例・流量比例または固体量比例いずれでも可能であるが、浮選成績の低下を考慮して、粗選条件そうへの薬注量下限値を20 l/hとしている。

(2) 粗選原液流量を150 m³/hに制御しつつ浮選試薬濃度比例添加を実施した場合、薬注比率0.9 (1.0 l/T 固体量) 付近に最適値が存在するように見うけられるが、薬注量を減少しても浮選成績の著しい低下は見られない。

第7図 粗選空気量制御試験結果の1例

(3) 薬注制御開始以来、粗選フロス灰分 c のバラツキが小さくなった。とくに固体量比例添加の場合、12~15% に収まった (第8図)。

(4) 精選条件さうへの浮選剤の分割添加を行った結果、精選薬注量が多いほど、精選フロス灰分および濃度は変化しないが、イ) 精選テール灰分が上昇し、したがって、

第8図 浮選剤添加自動制御試験結果の1例

ロ) 見かけの脱灰率・分離効率が上昇する傾向があり* 全体として浮選成績が向上し、浮選剤の多点添加の効果があるように見うけられる。

3.6 フロスフィルタ回転数制御

No. 1 フロスフィルタ (3.0 mφ×3.6 m², 処理能力, 55 T/H, 変速機回転数 73 rpm でろ布速度 14 cm/s, 真空圧約 5,000 mmH₂O) は、他系統からの精選フロスをも処理するため、No. 5 浮選単味の成績評価は出来ないが、フィルタ回転数の液面による制御または精選フロスの流量・濃度・固体量による制御は適用可能である。

(1) フィルタ周速が速いほど、イ) ケーキ層厚が薄くなる、ロ) ケーキ湿分が若干増加する傾向が認められるが、粒度分布、ケーキ灰分はとくに有意差はなく、また真空圧による影響も、バラツキのため明確でない (第9図参照)。

(2) フィルタ周速が速いほど、回収固体量が増加する傾向が認められる。したがって、ケーキ湿分増加を考慮しつつ精選フロス固体量により周速を制御することは十分有意義なものと推察される。

(3) 精選テール流量計は、流量 50~90 T/h の範囲では測定誤差は ±1 T/h 以内に収まる。したがって、精

* 精選ミドリングを考慮していない。

第9図 フロスフィルタ制御試験結果の1例

選フロス固体量が計算可能である。

(4) しかしながら、当該フロスケーキベルトには、他のフロスフィルターのケーキも積載されるため、No. 1フロスフィルタ単味のひょう量が出来ず、No. 5浮選系統のみの精選フロス固体量の指示値と実測値を確認するに至っていない。

3.7 灰分計の信号伝送

精炭（原料粉、粒度 -35 mm、湿分約7%）の場合は試料採取から分析結果印字まで約 25 min を要したが^{5,8)}、フロスケーキでは湿分が 20~24% Moist と高く、また微粉のため、ハンドリングならびに乾燥に多数の問題が生じた。しかしながら信号伝送自身は順調で、灰分0~20%に対し 4~20 mADC の出力が得られ、フロスケーキの「炭分」流量も表示が可能となった。したがって、イ）試料採取、ロ）乾燥、等の問題を解決すれば、フロスケーキの灰分測定ならびに信号伝送は短時間に達成しうるものと期待される。

フロスケーキ灰分測定により浮選系統を制御するフィードバック制御では、粗選原液が混合そうを出てから約 10 min の時間遅れが生じ、実用化には幾多の困難が予想されるので、出来れば混合そう入口のスπιゴット灰分のオンライン測定¹⁴⁾によるフィードフォワード制御を実施したい。

4. 結 言

以上、石炭浮選プロセスの自動化試験を三池選炭工場の No. 5 浮選系統を中心に、資源有効利用ならびに精炭品質の向上・安定化等を目標に実施した。その結果、各種の測定機器はほぼ順調に作動し、調節計による各種比例制御も適用可能であることが判明し、フロス灰分もまた安定化することが認められた。しかしながら、スラリの濃度測定には常に偏析の問題が内在し、また気泡を含むためその影響除去に腐心せざるを得ず、さらに原液の性状（灰分等）が時々刻々に変動するのでこれらを早期に検出する必要がある。3カ年間の試験研究を終了するに際し、上記のような未解決の問題が残っており、近い将来これらの問題点を抜本的に解決したいと考えている。

謝辞 本試験研究の遂行に際し、通商産業省資源エネルギー庁石炭部、三井石炭鉱業株式会社本店生産部、三池鉱業所炭務部および選炭工場の諸氏ならびに三菱鉱業セメント株式会社南大夕張電融工場、本宮圭二氏に多大の御協力・御援助を賜った。上記の各位に対し、衷心より謝意を表明する。

文 献

- 1) 石炭技術研究所報告第56号、選炭自動化試験、重液サイクロンによる自動化試験、昭和43年11月
- 2) 同上、第52号、含油微粉炭製造試験、昭和43年1月
- 3) 「混炭の自動化試験」、石炭技研、Vol. 10, No. 11, (Nov. 1970)
- 4) 「空気動ジグの自動化試験」、石炭技研、Vol. 11, No. 1, (Jan. 1971)
- 5) 昭和51~53年度石炭技術振興補助事業成果報告書、「選炭水の完全循環試験」
- 6) 本宮他：日本鉱業会誌、Vol. 95, No. 1099, (Sept. 1979), pp. 679~682
- 7) 本宮：日本鉱業会、プラントの操業自動化に関するシンポジウム講演要旨集、(昭和55年5月) pp. 30~34
- 8) 鎌田他：浮選、Vol. 28, No. 1, (1981), pp. 23~31
- 9) 昭和55~57年度石炭技術振興補助事業成果報告書、「精炭品質安定化等のための装置開発・システム化に関する研究」
- 10) 本宮他：日本鉱業会誌、Vol. 97, No. 1124, (Oct. 1981), pp. 1140~1142
- 11) 鎌田他：日本鉱業会昭和57年度春季大会講演要旨集、pp. 413~414
- 12) 児玉：日本鉱業会誌、Vol. 98, No. 1136, (Oct. 1982), pp. 1066~1067
- 13) 佐々木：日本鉱業会誌、Vol. 96, No. 1112, (Oct. 1980), pp. 722~726
- 14) Lyman, G. J. et al : Proc. 8th Int. Coal Preparation Congr., (Donetsk, 1979), E-1