総 説

石油精製工業における省エネルギー

古 田 峰 夫

日本石油精製株式会社根岸製油所（横浜市磯子区鳳町1番1号）

Energy Conservation in the Petroleum Refining Industries

Mineo FURUTA

Negishi Refinery, Nippon Petroleum Refining Co.,
Ltd. (1-1, Otori-cho, Isogo-ku, Yokohama)

1 はじめに

世界的な原油価格の上昇，供給の不安定化等，エネルギー事情の急変により，省エネルギー化がますます重要なものとなっている。

2 当所での省エネルギー概要

当所でも，昭和 50 年より積極的に省エネルギー対策に取り組み，昨年までに，対 49 年燃料消費量で約 22% の節減という大きな効果をあげ，さらに今年度より 4 年間で 10% の節減を目標として省エネルギー対策を推進している。

省エネルギーの方法は，図-1 に示すように，運転管理改善と設備改善の 2 つに大別される。初期には前者が主体であったが，年々その余地は少なくなり，また原油の高価格化が推進力となり，次第に設備改善の比重が高まっている。とはいえ，設備改善により運転管理目標が，よりち密になっていくこともあり，今後とも運転管理改善は重要な位置を占めると考えられる。

図-1 省エネルギーの方法

省エネルギー対策は，個別にその効果が現れるものから，各プラントにわたって効果が現れるものまで様々であるが，当所での省エネルギー実績を対策領域別にまとめたのが図-2 である。

本稿では対象領域別に省エネルギーの着眼点，実施状況等に触れてみたい。

図-2 省エネルギー実績の内訳

3 省エネルギー各論

3-1 加熱炉

加熱炉における省エネルギーは，炉効率のアップのための種々の方法が実施される。加熱炉における熱バランスを図-3 に示した。

従って，炉効率は $\eta\%$ 次式で求めることができる。

$$\eta(\%) = Q_{\text{abs}} / (Q_{\text{comb}}) \times 100$$

$$= (Q_{\text{comb}} - Q_{\text{stack}} - Q_{\text{wall}}) / (Q_{\text{comb}}) \times 100$$

ここで， Q_{wall} は約 3% であり， Q_{stack} の低減が省エネルギーのターゲットとなる。 Q_{stack} は過剰空気率と温度によって決まり，その低減効果は図-4¹⁾ で示される。過剰空気率の低減には，ダンパー，レジスター操作等の運転管理が重要である。この補助手段のため， O_2 メーター，ドラフト計，ダンパー操作器のオンボード化を当所では実施している。さらにはダンパー操作の自動制御システム，低過剰空気燃焼バーナーの採用， CO メーターの設置等も実施あるいは検討中である。

図-3 加熱炉における熱バランス

次に、排ガスの温度低下すなわち熱回収も重要であり、このためには設備投資が必要となってくる。排ガスの熱回収方法としては、(1) コンベクションのスタッド化、フィン化、(2) エアプレヒーター設置、(3) 廃熱ボイラー、(4) 廃熱ボイラー、発電機の組み合わせ等が考えられ、トータルとしての効率数は数%～十数%の効率アップが見込まれる。どの方法を採用するかは、経済性、装置の特性、電力・スチームバランス、 NO_x 排出量等を総合的に判断する必要がある。

図-4 加熱炉における燃料節減

3.2 蒸留塔

蒸留塔には常圧蒸留塔、減圧塔、ストリッパー、スプリッター、スタビライザー等、種々のものがある。これら蒸留塔に共通する省エネルギーのポイントは、(1) リフラックス比の低減、(2) 圧力の低下、(3) ストリッピングスチームの低減であり、いずれも留出油の性状に影響しない範囲で実施されるものである。

リフラックスにより奪われる熱は、潜熱であるためその熱量は非常に大きい但其の温度レベルが低いので、熱回収されにくく、通常は冷却水、空気によって放散されてしまう。従って、リフラックス比の低減は大きな省エネルギーとなり、例えば LPG 系でのリフラックス 1 kl/h の低下は約 $350 \times 10^6 \text{ kcal/年}$ のロス低減になる。しかし、リフラックスは精留を維持するために不可欠のものであり、原料組成等の外乱に対応するためどうしても過大になりがちである。そこで、シビアーな運転管理を達成するため自動制御システム導入によるインターナルリフラックス制御、プロセスアナライザーの導入等を実施している。

また、塔頂リフラックスの他にフラッシュゾーンにおけるオーバーフラッシュの低下も図っている。常圧蒸留装置では重質軽油と常圧残さ油との切れを良くするためにオーバーフラッシュメーターが設置されるが、既設の場合にはトレイ等の改造が必要であり困難であるため図-5 のように重質軽油のもどし量で代用する方法も可能である²⁾。

図-5 オーバーフラッシュメーター

圧力の低下はリボイラー型式の蒸留塔では塔底油温度の低下をもたらすばかりでなく、中圧スチームから低圧スチームへの変更のようにリボイラー熱源変更を可能にする場合もある。また常圧蒸留装置ではフラッシュ温度の低下による張り込み加熱炉の負荷軽減が可能となり、その関係を図-6²⁾ に示した。常圧蒸留装置では張り込み量が多いため 0.1 atm 程度の圧力低下でも大きな省エネルギーとなる。なお圧力低下のためには運転管理目標の他にオーバーヘッドクーラーの掃除、増強等によって実施される。

図-6 運転圧力の影響

ストリップングスチームは通常デザイン値の半分程度に低減することは可能であり、留出油の性状を確認しながら低減する必要がある。

3.3 熱交換器

蒸留塔からの留出物は熱交換器により熱回収されるが、この熱回収率は伝熱面積と温度差の2要素によって決定されるため、伝熱面積見直しによる増設と温度差見直しによる再配列の2つのアプローチ法がある。前者の場合はフィード～ボトム熱交換器の増設であり、後者の場合は常圧蒸留装置の原油予熱交換器群のように被加熱流体が一種類で加熱流体が各留出油、サイドリフラックス等、数多くある場合に問題となる。従って、複雑な熱交換器群に熱交換器を増設する場合には温度差も考慮に入れなければならないのはいうまでもなく、その例を図-7に示した。

(a) 熱交換器増設前フロー

H_1, H_2, H_3 ; 加熱流体
I, II, III; 増設可熱交換器

(b) 熱交換器増設例

図-7 熱交換器増設例

石油加熱炉で消費される燃料のうち 15~20% が廃ガス損失として失われ、残りの大部分が熱交換器で回収しきれない温度レベルの低い熱であり冷却水、空気中で放散される。図-8 に示したように、冷却器放散熱量の約 80

% が 100℃ 前後の流体によるものである。

図-8 冷却器放散熱量の割合

当所でもプラント間のダイレクトチャージ、プラント廃熱をボイラー側で利用する等、ヒート・インテグレーションにより廃熱を極力減少しているが、今後の課題は 100℃ 以下の廃熱をいかに経済的に回収するかであろう。

3.4 反応系

接触改質、脱硫等の反応系装置における省エネルギーは低圧化、 $H_2/(HC)$ モル比の低減等による動力エネルギーと加熱炉負荷軽減が主であるが、これは触媒の開発に負うところが大きい。

例えば接触改質装置においては、表-1³⁾に示すように従来のモノメタリックからバイメタリック、マルチメタリック触媒への変更は省エネルギー化のみならず運転条件等にも大きく貢献している。

また縦型熱交換器の採用により装置の圧力損失を減少させることも行われる⁴⁾。

表-1 接触改質装置の運転条件

原料油; 中東系ナフサ, 比重; 58.8°API
初留点; 178°F, 終点; 339°F

再生方式	半再生式	半再生式	半再生式	連続再生式
リサーチオクタン価 (単味)	98.0	98.0	98.0	98.0
触媒	R-12 (モノメタリック)	R-16 (白金-レニウム系)	R-20 (バイメタリック)	R-20 (バイメタリック)
反応圧	高	中	中	低
水素/炭化水素比	高	中	中	低
触媒量	多	中	中	少
生成物収率				
C_5 (wt%)	8.15	5.98	5.55	3.81
iC_4/nC_4 (wt%)	9.90	7.28	6.76	4.65
C_5^+ (wt%)	71.44	78.17	79.88	85.34
C_5^+ (LV%)	67.11	72.80	74.39	79.00
H_2 (scf/bbl)	604	854	884	1,084

3.5 電力・スチーム

電力・スチームの省エネとしては回転機器の適正化、低圧スチームの昇圧利用、タンク保温、タンク油温の適正化、スチームトラップのタイプ変更等、多方面の対策が実施され、当所でもボイラーの集約化を達成するまで進んでいる。しかしスチーム削減は自家発電量を低下させるため、電力・スチームバランスにひずみをもたらす。従って今後は排熱利用発電設備、ガスエキパンダー等により発電増加対策を進めるほかに、電力消費節減も進めて電力・スチームバランス適正化を図っていく必要がある。

回転機器の適正化は 図-9 のように進められるが、ポンプ台数が多く条件がおおの異なるため難しい課題である。

図-9 回転機器の適正化

図-10 に示すようにポンプ揚程の 20~50% は調節弁での圧力損失となってしまう。このエネルギーロスは次式で求められる。

$$L \text{ (kW)} = 0.163 r Q (H_1 - H_2) / (\eta_p \cdot \eta_T)$$

Q_1 : 吐出量 (m^3/min)

r : 比重量 (kg/L)

H_1 : ポンプのヘッド (m)

H_2 : 必要ヘッド (m)

η_p, η_T : ポンプ・タービンの効率

図-10 調節弁の圧力曲線

この調節弁によるエネルギーロスを減少させるための方法が、インペラーの小サイズ化、手動回転数制御でありその効果には限りがある。従って最大限の効果を得るた

めには調節弁を使用しない自動回転数制御を採用する必要があるが、モーターの場合は負荷変動の大きなものでないと経済性が劣る。しかしタービンの場合には 図-11³⁾ の方式で安価に大幅な省エネルギーが達成できる。

図-11 スチームタービンの自動回転数制御

低圧スチームの昇圧利用とは 図-12⁶⁾ のようにエジェクターの原理により中圧スチームを得る方法であり、従来は高圧スチームの減圧で得ていた中圧スチームを一部低圧スチームで振り替えることができる。

図-12 高圧蒸気による低圧蒸気の昇圧

4 ま と め

いままでに述べてきたように、省エネルギーの方法、技術と対象機器は非常に多くあり、また省エネルギーは運転管理の密化、複雑化となる場合もあり、安全性の向上、公害防止にも配慮しなければならない。

しかし省エネルギーは今後ますます重要となることは確実であり、これらの問題を克服して着実に推進していかなければならないテーマである。

(昭和 56 年 2 月 28 日受理)

文 献

- 1) D.C. Cherrington, H.D. Michelson, *Oil Gas J.*, **72** (35), 59 (1974)
- 2) 斎藤 博, 上条和祥, 分離技術投稿中, “常圧蒸留装置における省エネルギー”
- 3) 久保俊彦, 橋本 彰, ベトロテック, **3** (8), 721 (1980)
- 4) J.C. Barbier, *Hydrocarbon Processing*, **56** (9), 85 (1977)
- 5) 時広幹雄, 第 6 回省エネルギー 推進全国大会予稿集, 53 (1981)
- 6) 田尻忠昭, 省エネルギー, **32** (4), 31 (1980)