化合繊製造における省エネルギー*

奥 山 峻**

1. はじめに

化合繊は繊維工業の中では最もエネルギー多消費型のプロセス工業であり、省エネルギーへの期待と必要性は非常に高い。そして省エネルギーは、コストダウンのための第一番の武器となっている。はじめに、化合繊工場のエネルギー面での特色につき概要を述べ、次いで装置種類に従い省エネの進め方につき述べる。

当社宇治工場はナイロン部門とレーヨン部門とから成り、ユーティリティ部門は、隣接したフィルム工場および研究所にも供給している。化合繊の一例として、このナイロン、レーヨン両部門の工程毎のエネルギー消費量(金額換算)の比率を見ると次のようになる。

ナイロンでは、重合：紡糸：延伸＝7：5：3、レーヨンでは、原液：紡糸：精練＝1：7：3、また製造部門で消費するエネルギーの内4は、ユーティリティ部門(発電所、浄水場、窒素製造所など)において、工場にとって一次エネルギーである電気(受電)、燃料から、二次エネルギーである電気(発電)、蒸気、水、冷水、窒素などに変換されたものである。

このように見て来ると、化合繊工場の省エネルギーを推進するための力の配分は、おのずから明らかである。すなわちナイロンでは重合、レーヨンでは紡糸が重点工程であり、ユーティリティ部門も更に重要である。省エネルギーのやりやすさという面からも、ナイロンの紡糸、延伸のような、同種の機械の多い繊維工業的な部門より、重合——中でもラクタム回収のように化学プラント的な部門の方が、改善の余地が多いように思われる。

またユーティリティ部門について見ると化合繊工場の特長は、多くの場合熱併給発電所を持っていることであり、背圧または抽気復水タービンにより発電して、いわば廃蒸気をプロセスへ送り、総合エネルギーコストを下げている。背圧タービンによる発電出力は、プロセスの蒸気消費量に従って変動するので、これを調整するために蒸気加熱吸収式冷凍機を使用する。この冷凍機も含め

て発電所の運用をシステム化し、効率化することによって省エネルギーがはかれる。

次に現場における省エネルギーについて、以下事例をまじえながら述べることにする。

2. 電気の省エネルギー

2.1 可変速電動機

可変速電動機にも多くの種類があるが、今まではその選定に際し、初期の設備費と速度制御精度のみに注目するくらいがあった。現在のようにエネルギー価格の高い時代には、もっとランニングコストを重視して、トータルコストの最も安い設備を選定しなければならない。

〔事例〕合繊紡糸前工程の押出機の駆動に電磁継手式電動機が使われているが、この形式の電動機は効率が回転数にはほぼ比例しているの、なるべく高い回転数で運転するようにしなければならない。約50台の押出機に対し70個のプーリを追加購入し、紡糸条件が変わればプーリを取替えて常にトップスピード近くで運転するようにした。購入費95万円で電力費を年間300万円(300MW・hr)節減できた。

2.2 誘導電動機

一般に電動機の省エネルギーは、そのユーザであるポンプ、送風機などの負荷を小さくすることによって、消費電力を節減するのが本筋であるが、電動機だけの範囲では次のようなことが考えられる。

誘導電動機の効率がよいのは、負荷率70～100%の間であり40%以下になると急に悪くなるので、使用点が負荷率50%以下の場合は、適正容量の電動機に取替えることを検討する。ただし購入して取替えても採算の合う場合は少ないので、予備電動機の利用や順送りを考えるとよい。

コンベヤなどの物流装置は、旧式の制御方式では電動機が連続運転になっているので、シーケンスコントローラなどを導入して、不要時はきめ細かく停止するような制御方式に改善する。

* Energy-Saving in Synthetic Manufacturing Process.

** T. Okuyama, ユニチカ 宇治工場 設備部長

〔事例〕原料風送用のターボブロワが24hr連続運転になっていた。このブロワは構造上起動停止回数が多いとトラブルを起こすので、改造も計画したが、結局ルーツブロワに取替えた。これによって原料を送っていない時間はブロワを止められるようになった。設備費1700万円に対し、電力費の節減額は年間721万円であった。なおこの場合は老朽化したブロワを更新する意味もあった。

2.3 電気加熱設備の保温

電熱による加熱は、燃料・蒸気による加熱に比べてカロリー当り単価が高いので、保温も厚くするべきである。特に電気料金値上があったときなどは、保温の施工基準を再検討し、保温をやり直しても採算に乗る場合がある。もちろん電熱を他の安価な熱源（蒸気、灯油、ガスなど）に転換できればそれも考える。

3. 送風機の省エネルギー

ブロワやポンプの回転数が変化する場合、速度を N とすると、およそ

$$\text{風量, 水量} \quad Q \propto N$$

$$\text{風圧, 水圧} \quad H \propto N^2$$

$$\text{軸動力} \quad P \propto QH \quad \therefore P \propto N^3$$

すなわち送風機の必要風量が変動する場合は、速度を制御することによって、軸動力は回転数の3乗に比例するから大幅に電力を節減できる。速度制御の方法としては、VVVF（可変電圧可変周波数インバータ）、電磁継手、2次抵抗制御などが一般的に使われている。回転数の条件が合えば極数変換誘導電動機が構造簡単でよい。このような速度制御装置はかなりの設備費がかかるので、100 kW程度以下では採算の合うケースが少ない。風量の変動が時間的変化ではなく季節的変動であるならば、プーリ取替えによって回転数を変える方法が、最も設備費が安く採算がよい。

必要風量、風圧が送風機の定格に対して小さい場合は、ランナをカットして定格を下げる。違いが大きいときは新品を購入した方が有利な場合もあるので、比較検討して改造が新品か決める。送風機はメーカおよび形式による効率の差が大きいので、購入時には注意が必要がある。

〔事例〕190 kWの空調用送風機駆動電動機は速度制御をVVVFで行うように改造し、設備費750万円で年間620万円の電力費を節減できた。この送風機は24 hr運転で、電動機軸直結型であるためプーリによる方法是不可能であった。VVVFは改造工事が簡単である。

4. ポンプの省エネルギー

ポンプは水から化学薬品までいろいろな流体の輸送

に、あらゆる場所で使われており、最も一般的な機械であるといえよう。このポンプも送風機と同様に、インペラカット、速度制御などによって省エネルギーが可能である。前項と同じく $P \propto QH$ であり、流量と圧力を下げれば、それぞれに比例して動力費は下がる。ポンプについてのチェックポイントを箇条書きにして次に示す。

- (1) 数台併列運転の場合、1台減らせないか。
- (2) ヘッドタンクに揚水している場合、むだにオーバーフローしていないか。
- (3) 反応に対し、必要以上の液量を循環していないか。
- (4) いつもバルブを絞って運転していないか。
- (5) 配管がスケールで詰って細くなり、圧損が増えていないか。
- (6) フィルタの圧損が過大になっていないか。
- (7) 配管を太くして自然流下にできないか。
- (8) 流量、圧力が変動する場合は、ポンプの速度制御または台数制御を検討する。
- (9) ポンプを購入するときは、価格とともに効率をよく調べる。

5. 空調、冷凍機の省エネルギー

合繊維工場においては、空調およびプロセス冷却用の冷凍機のエネルギーはかなりの比重を持っている。つまり省エネルギーの一つのポイントである。

5.1 ターボ冷凍機

ターボ冷凍機の効率も家庭用エアコンディショナと同じく年々向上しているの、メーカと機種を選べば、旧型の冷凍機を新型に取替えるだけでかなりの省エネルギーになる。各メーカとも熱交換器などに工夫をこらし、可変速の省エネルギー型冷凍機も開発されている。

季節によって冷凍負荷が軽い場合、一般にはダンパによる容量制御を行い、制御不能範囲ではon-off運転を行う。この場合冷凍機の効率のあまり下がらない点すなわちダンパ開度50%程度以上で、on-off運転した方が省エネルギーになる。

5.2 吸収式冷凍機

電力料金制度に季節別料金（夏が高い）が取入れられるのも近いようであるし、冷凍機の運転時間が短い場合は、ターボ冷凍機のランニングコストは20～30円/冷凍 $t \cdot hr$ とかなり高いものになる。最近ではビル用には灯油またはガス焚き吸収式冷凍機が多く使われているようであるが、これも燃料費の値上がりの影響を大きく受けている。そこで今後はターボ冷凍機またはヒートポンプと、蓄熱槽の組合せによる深夜電力の利用が、省エネルギー型ということになろう。

抽気または背圧タービン式自家発電装置を有する工場

においては、低圧の背圧蒸気による吸収式冷凍機を使用して、発電と冷熱の総合コスト メリットを得ることが多い。この場合背圧をなるべく下げて、発電量を増やすように努力しているが、一方蒸気式二重効用吸収式冷凍機の所要蒸気圧力は $7 \sim 8 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ が普通であった。日立製作所では最低 $2 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ まで使用できる二重効用吸収式冷凍機を開発し実用化している。一重効用式に比べ50%近い蒸気の節減になる。

5.3 空気調和器

空調のエネルギーで大きいのは、冷凍機と並んで送風機であるが、これは送風機の項を参照願いたい。

5.4 外気等の利用

夏期以外はなるべく冷凍機を使用しないで冷房することを考える。

- (1) 井水の利用——夏に有効
- (2) クーリング タワーで冷水を作りそれで冷房する。
- (3) 冬期低温の河川水で冷房する。
- (4) 外気の温度、湿度を測定し、室内循環空気との比率を制御して空調を行う。この場合、コンピュータでエンタルピを計算してダンパ制御する方法、外気温のみを検出して簡単な温度調節計で制御する方法など、いろいろな方法が考えられる。もちろん手動でも充分操作可能であって、空調設備の規模と要求される精度によって方法を決めればよい。

6. 廃熱の回収

6.1 排ガスの熱回収

ボイラのエア ヒータは代表的な排ガス熱回収装置であるが、小型ボイラ、熱処理炉、加熱炉などでも、空気予熱を設備新設時から考慮すべきである。燃料がガス、灯油などS分の少ないものであれば、熱交換器の腐食に対する配慮が少なく済み、低温まで熱回収ができる。給水予熱が可能であればその方が設備費が安く、採算も有利な場合が多い。

排ガス温度が 400°C 以上で $5\,000 \text{ nm}^3/\text{hr}$ 以上あれば、廃熱回収ボイラによる水蒸気または温水の回収が採算に乗り、 $20\,000 \text{ nm}^3/\text{hr}$ 以上あれば廃ガス吸収式冷凍機が可能となる。これ以下の温度、量でも可能ではあるが採算がむずかしいであろう。 $10^5 \text{ nm}^3/\text{hr}$ 以上あればタービン発電システムが考えられる。温度が 400°C 以下の場合には、フロン サイクル発電システムということになるが、実用化は今一步のようである。

6.2 温排水(液)の熱回収

蒸気ドレンの回収とか温排水の熱回収は、最も初歩的な省エネルギー対策であるが、低温になるに従いエネルギーとしての価値は下がり、使用先も少なくなるものである。その点レーヨン工場、染色工場などでは、比較的低

温の温水を利用できるので、熱回収が容易である。水量が多い($1 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上)場合は 1 km ぐらい配管輸送しても、採算がとれる場合もあるから、広い範囲で回収先を検討するとよい。工場団地などでは、近隣の他企業まで考えて熱回収すれば、双方とも利益が得られる。

7. おわりに

以上設備の種類に従って、その省エネルギー対策を述べてきたが、その効果の大ききの面から考えてみると、現在運転している工場での省エネルギーの実効には、ある限界がある。この壁を破るチャンスは設備の大幅な更新、新設である。設備のエンジニアリングにはいろいろな要素があるが、一番重要なコストについて次のように分類できる。

コスト	初期コスト	エネルギー 労務 保全 物流 原料・消耗品
	ランニング コスト	

この中でエネルギー コストは、化学プラントにおいては最近大きな比重を持つようになった。設計者は特にコストの各要素のバランスのよい設計をしなければならない。機器メーカーも初期コスト重点ではなく、トータルコストの安い機械を作っていただきたいし、ユーザもそれを見抜く目を持たなければならない。

次に技術革新による省エネルギーの一例を紹介する。ポリエステルの重合工程は、バッチ式から TPA 出発の直接連続重合、更にはペレット工程を省略した直接紡糸に変えることによって、10%以上の省エネルギーになる。ナイロンの場合も直接紡糸は10%以上の省エネルギーになる可能性があるが、今のところ多くの問題があると考えられている。このような工程の変革は、エネルギーを始めとしてコスト ダウン効果が非常に大きい。これを見ても省エネルギーは動力担当者だけではなく、すべての生産技術者の本来の仕事であるといえよう。

従来、省エネルギーの進め方として、操業上の工夫による、むだの排除を操業担当者、設備上の改善を動力・保全担当者によってそれぞれ分担するというのが実態としては多いが、省エネルギーの大きな効果をあげるためには、重点テーマを設定し、操業、施設、研究各部門の緊密な協力による総合的なアプローチを強力に進めることが必要と考えられる。

ここでは省エネルギーの進め方の管理方法については割愛したが、本当に大切なのは

- (1) トップの認識と方針
  - (2) (省エネルギー担当者の)人材育成
- であることを付け加えたい。