抄紙機乾燥部の換気の改良

荏原製作所 磯田清蔵

Improvement of Ventilation on Dryerpart of Paper Machine

Seizō Isoda

Ebara Manufacturing Co., Ltd.

は し が き

抄紙機乾燥部の設計および操作上、もっとも注意すべき点は、

1. 湿紙の乾燥を適確に行ない、乾燥部全体の熱効率上昇を図ること。
2. 紙匹の幅方向の含有水分を均一にし、いわゆる乾燥むらをなくすこと。
3. 製品の含有水分を所定のものにすること。
4. ドレーンの排出を確実にしない、フラッシュタンクよりの再蒸発蒸気を有効に活用すること。
5. 乾燥部フード内の空気の流れ、給気、排気の釣合、その他換気全体に留意すること。
6. フードより出る排気から、できるだけ熱回収を行ない、熱経済に努めること。
7. カンパスの品質、張りなどを調べ、抄物の品質に合うようなものを選定すること。

紙の乾燥には蒸気を多量に使用し、その製品コストに占める割合は一般に5～10%である。また乾燥部の機械代は抄紙機全体に対して、約35～45%であり、かなり高価である故⁽¹⁾、設計が適切でなければならない。

乾燥部の基本的設計には、次のことを注意する。

1. 乾燥伝熱面積（乾燥筒の径および本数）
2. ドレーンの排出機構
3. フード内の換気システム

上記は乾燥の良否に大きく影響を与える。これらの要所要所の設計が適切に行なわれていれば、乾燥は経済的にしかも良好に行なわれる。

ドライヤーの乾燥面積については、いろいろな参考書⁽²⁾⁽³⁾があり、ドレーンの排出機構については、いろいろな製作所（清水熱管理研究所、武田製作所、エムエス熱学工業、藤原製作所、宮脇式スチームトラップ製作所など）があるが、本題ではこれを避けて、おもに乾燥部の換気について論ずることとする。

図1 エハラ熱回収装置フローシート

1. 熱回収装置

抄紙機用熱回収装置とは、乾燥部から出る高温多湿の排気を利用して、乾燥用の新鮮空気を加熱する空気対空気の熱交換器があり、さらに熱交換器を出た排熱を利用して、冷水を温める空気対水の熱交換器（撒水塔）を備え、同時に空気対空気の熱交換器を通った新鮮空気をマシン室内の換気設備に利用する方法である。代表的なフローシートは図1に示すとおりである。

(1) 蒸発量と排気量

熱回収装置の要項は、その抄紙機の蒸発量の大小およびフード排気の露点により決定される。

フード内の蒸発量は抄造量および抄紙機入口、出口の水分%により次式で示される。

$$E = P \frac{W_1 - W_2}{100 - W_1} \quad (1)$$

ここで E : 蒸発量 kg/h

P : 紙通過量 kg/h

W_1 : 入口水分 (wet base) %

W_2 : 出口水分 (wet base) %

なおサイズプレスがある場合には、添加水分だけ増すことになる。

一方、排気ファンの風量はフード内の露点により左右される。露点と抄紙の蒸発水分から、排気量は次式

で与えられる。

$$G = \frac{E}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

ただし

G : 排気空気重量 kg/h

x_2 : フード出口露点に対する絶対湿度 kg/kg

x_1 : フードに供給される新鮮空気の絶対湿度 kg/kg

この式で蒸発量 E を一定とすると、 x_1 は季節とともに変化する値である、夏季に大きく、冬季に小さい。 $x_2 = 0.0862$ (露点 50°C) と仮定して、夏季と冬季の排気量を比較してみると、夏季の方が冬季より約 30 % 多いことがわかる。(図2 参照)

一方、 x_2 は操業上変化させることができ、大きくするにしたがって排気量 G は少なくて済む、すなわち排気の露点をできる限り高く保つことが、ファン動力費および抄紙機の蒸気単位を減少させ、同時に水分ムラの補正に役立つわけである。密閉フード内を高露点に保つことにより、乾燥部ポケット内の中央と両端の空気中の蒸気圧の差が小さくなり、紙からの蒸発速度が均一になる。換言すれば、抄紙機を階上および階下ともに完全におおうことにより、フード内の空気の動きが少なくなり、開放フードのように、階下や側面からの空気の流れ込みがまったくなくなるので、紙の両端の過乾燥が防止できる。最近の傾向としては、排気露点温度を 53°C 以上に設定できるようになっている。

もちろん開放フードの排気量も (2) 式を使って求めることができるが、この場合、排気露点が密閉フードの排気露点に比べてかなり低いので、排気量も大幅に増すことになる。

(2) 熱回収装置の性能

性能を示すには次の2つの考え方がある。

(i) 抄紙機の乾燥部の蒸気原単位で表わす方法

$$\frac{\text{蒸気消費量 (t/h)}}{\text{紙通過量 (t/h)}}$$

(ii) 蒸発量当りの蒸気消費量で表わす方法、即ち

$$\frac{\text{蒸気消費量 (t/h)}}{\text{蒸発量 (t/h)}}$$

(i) この方法は、乾燥部の紙通過量 1 t 当りの必要蒸気量を示すものであり、全密閉フードでは約 2 と考えてよい。(しかし抄紙機によって、使用されている蒸気圧が異なるため、一概にこの蒸気原単位で抄紙機の性能を決めることはできない。すなわち供給蒸気圧によって、蒸気消費量も変ってくる。このため圧力を一定の蒸気圧に換算した値を用いるので妥当である。たとえば大気圧に換算した蒸気原単位がよく使われている)。

図2 露点と排気量の関係

図3 乾燥部の蒸気原単位

また蒸気原単位は、図3で示すように入口水分によって大幅に変動し、フード型式、すなわち開放型フードあるいは密閉型フードによっても変化するので、一概に原単位のみで性能を表わすことはできない。それで(ii)の方法を合せて考える必要がある。

(3) 蒸発率について

抄紙機の乾燥能力は、単位時間当りのドライヤーの表面積に対する蒸発量で表わすことができ、これを蒸発率という。

$$K = \frac{E}{N \cdot B \cdot \pi \cdot D} \quad (3)$$

ただし N : 紙ドライヤー本数 本

B : 抄幅 m

D : ドライヤーの直径 m

E : 蒸発量 kg/h

K : 蒸発率 kg/h m²

すなわち蒸発率 K はドライヤー表面積 1 m² 当りの蒸発量を表わす。 B の値をドライヤー面長で表わすこともあるが、抄幅で表わす方がより妥当である。

この蒸発率は、ドライヤーの乾燥能力を表わすのに特に重要であり、紙の種類、坪量、フリーネス、蒸気圧などによって左右される。

蒸発率に関しては、拙著、紙・パルプ工業の熱利用⁽²⁾ p. 197~203 の乾燥部の能力に多数の表と図で説明してある。

以上のことから熱回収装置の性能を考える場合、蒸発量当りの蒸気量、蒸気圧力、蒸発率を総合的に見る必要がある。

熱回収装置は抄紙機を密閉フードでおおうことにより、フード内を高温にして乾燥速度を上昇させ、同時に排気風量を開放フードの1/2~1/3に減少させて、フード内露点を高め、その結果蒸気原単位が向上する。

従来から密閉フード内露点は露点調節計により調節されていたが、これだけではフード給気量を排気量と釣合せて運転することが非常に困難であった。荏原製作所では、フード内の微圧を内圧調節計により検出する方法を考案し、これにより給気量を理想的に調節することができるようになったので、密閉フード内の空気がフード外に漏出するのが防止され、その結果、理論計算には近い蒸気原単位の実績が得られるようになった。たとえばポケットベンチレーション(後出)が充分に行なわれている場合には、高速新聞用紙抄紙機では蒸気原単位は入口水分65%の場合で、約2.0kg/紙kg、62%の場合で約1.8kg/紙kgの優秀な運転値が出ており、これは計算値とほとんど一致している。上記の数値は露点温度52~53℃の場合である。また給気対排気の熱交換器の効率も重要なキーポイントであり、当社は送風機の動力費、熱交換機の伝熱係数などに慎重な考慮を払い、最も経済的な設計を行なっている。

2. 乾燥筒間のポケット換気

乾燥筒間ポケット内での湿紙からの蒸発は、図4のような乾燥サイクルにおいて、主にⅠ、Ⅲ、Ⅳ相での蒸発が関係するが、最も影響が大きいのはⅣ相である。この層での水分蒸発の動作は非常に複雑であるが、

図 4 乾燥サイクリング

図 5 乾燥筒より蒸発の状態

乾燥筒表面からの輻射，ポケット内の空気の状態，あるいは乾燥筒から離れる紙匹の温度などの関係により，ある程度明確にされている。しかし乾燥を大きく左右するのは空気であり，乾燥媒体である空気の使用次第で大きな差を生じる。このようにポケット内での蒸発機構は重要であるが，ポケット換気として注目されるようになったのは，1960年代である。しかし荏原製作ではこの問題に早くから取り組み，多くの貴重な経験をえて今日に至っている。

空気が乾燥に影響するのは，盛んに蒸発が行なわれているところが多い。紙匹の水分が空气中に蒸発する場合，蒸発速度は，一般に次式のように表わされる。

$$\frac{dw}{A d\theta} = K_G (P_s - P_w) \quad (4)$$

ここに

$$\frac{dw}{A d\theta}; \text{単位面積当りの蒸発速度 } \text{kg/m}^2\text{h}$$

K_G ; 圧力基準空気境膜係数 $\text{kg/m}^2\text{h mmHg}$

P_s ; 境界層での水蒸気分圧，ほぼ紙匹表面温度の飽和蒸気圧に一致する。 mmHg

P_w ; 空気中の水蒸気分圧 mmHg

A ; 蒸発面積 m^2

(4) 式から考えられることは， K_G は紙匹の表面の条件により決められるが，紙匹と空気との空気境膜の熱伝達係数に対して一定の関係があり，一定の条件のもとにおいて熱伝達係数に比例する。すなわち紙匹表面の空気速度を増すことにより K_G を増すことができる。また K_G は空気が紙匹表面に直角に吹きつけられた時に最大になる。次に $(P_s - P_w)$ をより大きくするには，紙匹に作用する空気の湿度をさげることが必要であり，したがってポケット内の換気が重要となる。紙匹の温度は乾燥筒から離れると急に降下し，表面の水蒸水膜が停滞したままであると，凝縮する結果となるので，蒸発した水蒸気は速やかに除去する必要がある。また空気温度を蒸発温度より高くし，紙匹の表面温度を上げて P_s の減少を少なくすることも必要である。さらに重要な点は蒸発面積である。I～III相

A; グレピン装置 B; クロスパイプ装置
C; ドクタ型ブロー装置 D; PC サプライ装置
E; ロール・ドライヤー装置

図 6 ポケット乾燥の種類

では蒸発は乾燥筒側からカンバス側へと進むが、Ⅳ相では紙匹の両面から蒸発するので、通常の抄紙機においては、Ⅳ相はⅠ～Ⅲ相の蒸発面積とはほぼ同程度の場合が多い。したがってⅣ相の乾燥は非常に重要な部分を占めているといえる。

実際にポケット換気を行なっている方法を簡単に分類すると図6に示す通りである。

- (1) ノズルにてポケット内に熱風を吹きこむ方法
(いわゆるグレビン装置)
- (2) ポケット内全幅に吹出管を設け、熱風を紙匹に直接吹きつける方法(荏原製作所のクロスパイプおよびドクタ・ブロー装置)
- (3) プラスチック・カンバスに熱風を吹きつけて貫通させて、ポケット内に熱風を吹きこむ方法(荏原のPCサブライ装置)
- (4) 従来のカンバスロールの位置から熱風を吹き出し、綿またはプラスチックのカンバスを貫通させて、ポケット内に吹きこむ方法(荏原・ロール・ドライヤー装置)

上記の方法を簡単に説明すると、(1)の方法は、ノズルが小口径高速型と大口径中速型との2つがあり、これらはいずれも紙の種類により使いわけらるべきである。運転データによるとおよそ5%前後の乾燥能力の増加が認められる。ただしこれらは乾燥部が密閉されている場合で、開放フードの場合にはあまり推奨できない。それは図7のグレビンの実験によってもわかるように、ノズルから吹き出す熱風は乾燥筒周囲の空気を10～20倍誘引できる。雰囲気温度が比較的低い場合は、ポケット内に入る空気温度も低くなるので、余り良い結果は期待できない。

またノズルの風速を上げ誘引率を上げると、低のバタツキが始まる。紙力の弱いウェット側ではバタツキによる紙切れを特に注意する必要がある。この装置はポケット内の湿度を下げ、中央の停滞水蒸気を吹きと

ばすことで、わずかに中央の水分率が減少するということから、水分ムラに対しても使用されているが、効果的にするためには調整がむずかしいようである。しかし設備費が少ないので使用されているところも多い。荏原製作所では通常小口径高速型ノズルはドクタ・ブロー装置、大口径中速型ノズルはクロスパイプ装置と併用して使用する。

(2)の方法は荏原で13～14年前から開発してきたものであり、 K_G を増すために紙匹に直角に近い角度に近い角度で吹付け、平行に流すもので、高温の乾いた熱風が直接紙匹に接するので、熱伝達もよく、紙の表面の停滞水蒸気膜を除去することができる。(1)のノズル型も空気を紙に平行に流すわけであるが、紙の両端から紙に近づけて平行に吹かせると、バタツキが起こり十分に使用できないので、ポケットの中央で吹くことが多い。しかし紙の表面を流れる空気速度は小さいので、やはり(2)の方が良いことがわかる。10年前までは風速をあまり上げることはむずかしかったが、今では各種の紙に対して適切な風速、風量などのデータを得ることができ、ここにポケット換気の明かな効果を知ることができた。クロスパイプ装置は水分ムラに対して、きわめて有効で、乾燥の悪い部分により多くの熱風を供給し、乾燥を上げて水分を均一にすることができる。またこの方法は開放フードあるいは密閉フードにかかわらず効果的で、5～10%の乾燥能力の増加が認められている。

(3)のドクタ型ブロー装置は乾燥筒のドクターにノズルを設けて、紙に直接熱風を吹きつけるもので、原理はクロスパイプ装置と同じであるが、新聞用紙などのように高速の場合、あるいはドクタに加工可能なものについて行なわれている。クロスパイプ装置およびドクタ型ブロー装置は荏原製作所の特許である。

最近プラスチックカンバス(ファブリック)の使用が盛んになり、乾燥に対する影響も種々検討されている。ファブリックは通気度が非常に良く、従来の綿カンバスに対しておよそ50～300倍もあるので容易に空気を貫通させることができる。

(3)のPCサブライ装置は、このことを利用し熱風をポケット内に送る装置で、直接高温の空気をポケットに入れることができる。しかも紙匹のバタツキもなく、ポケット換気として非常に良いと同時に、ファブリックの目づまり、その中の停滞水蒸気を除去するためにも効果的である。今後いろいろな方法でファブリックとの併用は検討されていくであろうと思われるが、空気量が比較的多くなるため、エアーステム全体の効果的なバランスを取るべきであると思う。

図7 グレビンノズルの実験

(4)は荏原製作所ではロール・ドライヤーとっているが、一般にはPVロールとっている。これは10年前から用いている方法で、綿あるいはプラスチックにかかわらずカンバスを貫通した熱風がポケット換気を行なうということで、カンバスの乾燥とあわせて、最近もっとも重要視されている。ロールドライヤーについては別項で詳細に述べるので重複はさけるが、カンバスの乾燥向上およびポケット換気の向上による乾燥能力の増加は15%以上期待できる。また水分ムラについても良好な結果がでている⁽⁴⁾。

以上のようにポケット換気の種類について述べたが、次に紙の水分ムラについて少し触れてみる。紙の水分分布は流れ方向のムラは少なく、幅方向の水分ムラが問題になる。一般には紙製品用途によりおよそその水分%の範囲がきまるが、変動の要素が多いので、常に均一に調節することは非常にむずかしい。最近ではポケット換気などにより、ポケット以外の原因で生じた水分ムラも矯正しようという考え方が多くなったようである。実際に幅方向の水分ムラの起こる原因となる要素をあげると次のようになる。

(1) 乾燥部より以前に生ずる原因

- (イ) 坪量、厚さ、繊維構成などの変動
- (ロ) プレスニップ圧、毛布汚水、紙匹のバラツキなどによるプレスパートでのバラツキ

(2) 乾燥部で生ずる原因

- (イ) 乾燥部表面温度の変動幅方向のバラツキ
- (ロ) 乾燥部表面のスケールの状態（特に古い抄紙機ではウェット側でさびついている場合も見受けられる。）
- (ハ) カンバスの乾燥不良および不均一乾燥
- (ニ) ポケット換気の不良
- (ホ) 紙の乾燥筒に接している時間の相違（薄葉紙で紙が乾燥筒から離れるとき中央部が5~8cm早く離れる場合をみかける。）
- (ヘ) 全体のエアシステムのアンバランス。

ポケット内で生ずる水分ムラの原因は、幅方向の中央付近で紙匹から蒸発した水蒸気が停滞しやすいので、中央の水蒸気の分圧が高くなり、乾燥が悪くなることから起こるが、この場合は中央高の一般的な水分ムラで、是正もむずかしくなく、ポケット換気により相当よくなる。

一般に行なわれている水分調節の方法としては、

- (1) 乾燥部蒸気圧調節
- (2) 高速乾燥筒による方法
- (3) ポケット換気による方法
- (4) 過乾燥の後、所定の水分まで調湿する方法

があげられる。乾燥筒蒸気圧調節の場合は、幅方向のムラは是正できない。高速乾燥筒は集中的に水分調節とする場合に使用されるが、運転操作がむずかしいこと、わずかばかり設備費が多いことなどから、他の装置の方が安易であるため、すぐれてはいるが余り用いられていない。(3)のポケット換気による方法が最も多く一般的であり、とくに良い点は乾燥部のどの部分でも均一水分であることが理想的であるから、実用的にはこの目的に充分にかなうことができる。

以上のようにポケット換気について、いろいろな見地から記したが、湿紙の乾燥に大きな影響を及ぼすところから、われわれさらに検討を加えて行く必要があると思う。

3. 熱風吹出しロール

最近の抄紙機械は、従来のカンバスロールの位置に熱風を吹き出せるロールを採用し、カンバスドライヤーをもたない抄紙機が一般的となってきた。これはカンバスロール、カンバスドライヤーおよびポケット換気の役を兼ねているもので、最近は見覚えの脚光を浴びている。荏原製作所で作る熱風吹出しロールはエハラ・ロール・ドライヤーとっている。

(1) エハラ・ロール・ドライヤーの構造、形状

構造は保守、点検、分解、組立てを容易にするため、非常に簡単である。大別すると回転部分と固定部分の2つからなる。回転部分は鋼管に鋼板を放射状に溶接したものである。

ロール・ドライヤーの性能を充分に発揮させるためには、抄紙機の抄速、大きさ、さらには蒸発率、蒸発量を吟味した上で、ロール・ドライヤーを計画してはならない。最も納入実績の多い網幅145インチ（約370cm）抄紙機では、ほぼ従来のカンバスロール径と同じである。

最近乾燥部にプラスチックカンバスを用いることが目立ってきた。荏原ではプラスチック・カンバス用のロール・ドライヤーも納入している。

(2) エハラ・ロール・ドライヤーの能力および水分ムラの是正

ロール・ドライヤーが乾燥能力増加のために不可欠な手段であることは、乾燥サイクルの全相にわたって好影響を及ぼしているからといえる。

まずⅡ相のカンバスが乾燥筒上でシートに接触している時は、乾燥筒上に来る前のロール・ドライヤーで熱風によって水分が蒸発されている。そのためカンバスは非常に乾いた、吸湿性の富んだ状態になっている。カンバス中には不飽和の空気孔が無数に生ずるわけで

図8 圧搾部を出た後の紙の水分を含む状態の3例

図9 ロールドライヤー横方向の熱風吹出し速度分布例

ある。またロール・ドライヤー通過前後でのカンバスの温度を測定してみると、通過後の方が5～10%ぐらい低くなっている。これはあたかも紙匹かドライヤーから離れた瞬間に温度が下がるのと同じ理由である。そして温度の低くなったカンバスが乾燥筒上に行くと蒸気の温度との差が大きいため、紙により多くの熱が伝わり、蒸発温度を上げるのに助力している。

またIV相についてのロール・ドライヤーの果す大きい役割は次のことである。温めったカンバスを貫通して来た熱風は、湿度から85～40%ぐらいであって、不飽和空気である。したがって中央部から多量に吹き出た熱風は、ポケット内の蒸気を吸収しながら、マシン前後に流れて行くから、ポケット換気と同じ役目をしていることになる。

ロール・ドライヤー1本当りの乾燥能力を求めるため、各工場でのった運転時のデータをもとに解析すると、その能力は乾燥筒1本の15～20%に相当することになる。

ロール・ドライヤーの設置目的としては、乾燥能力増加のほか水分ムラの是正がある。ロール・ドライヤー

ーの本数、配置については生産量、ドライヤー蒸気圧、発熱量などを、細かく解析した上で決定する。

プラスチック・カンバスを用いた時、ロール・ドライヤーが水分ムラの補正に大きい威力を発揮するということは、図8および図9をみればはっきりわかる。これは紙の幅方向におけるプラスチックカンバスを通過した後での風速である。

最近ではカンバス自身の透過性もプラスチック製カンバスに段々近づいており、抵抗係数は小となって来たから、ますます水分ムラ改良に画期的なものとなる¹⁾と確信している。

(3) ロール・ドライヤーの蒸気消費量

ロール・ドライヤーには通常100℃ぐらいの熱風を使う。外気を蒸気ヒーターで加熱して、それを送風機でカンバス通過に必要な圧力にまで昇圧している。

蒸気消費量の大小は、蒸気ヒーターでの消費量だけではなく、全体での数値、すなわち乾燥筒で消費の数値をも含めて論ずべきことはいうまでもない。

従来の抄紙機では、カンバスドライヤーの蒸気消費量は全体の20～30%ぐらいである。ところがロール・ドライヤーだけではそれは17%と少なくなっている。これは蒸気による乾燥よりも空気エネルギーによる乾燥の方が効率が良いことを意味している。カンバス乾燥筒方式では最後の乾燥筒を離れたカンバスは、蒸発した蒸気を吸収してカンバス乾燥筒へ行くのであるが、それまでに凝縮し温度降下を伴なう。したがってカンバス乾燥筒ではそれを蒸発温度にまで加熱し、しかも乾燥させなければならない。

カンバスもまたロール・ドライヤーの開発につれて大幅に達歩した。そしてプラスチック・カンバスの登場、さらに今回は綿カンバスとプラスチック・カンバスとの中間品、すなわち高通気性のカンバスの出現とがある。

4. プラスチックカンバス

最近のプラスチックカンバスの普及は目覚ましいものがある。プラスチックカンバスとは、通気性のよい合成繊維製カンバスを指し、dry fabric または dry screen ともいう。その特性は

- 通気度が高い
- 抄速により空気を汲み出す作用をおこすことができる。(図10)
- 吸水性が多くない。
- 汚れにくい。
- 耐久性、寸法安定性に富む。
- カンバスの張力を十分にとれる。

図 10 プラスチックカンバス使用による
空気流通の状態

プラスチックカンバスはその目 (mesh) があらいため、周囲の空気流に種々の影響を与え、またこれが乾燥部換気を改善する1つの要素ともなっている。

すなわちプラスチックカンバス走行により、湿紙およびプラスチックカンバス表面について走る空気層により図 10, A, B 部の圧力が大となるため、 $A \rightarrow A'$, $B \rightarrow B'$ の方向に、プラスチックカンバスを通じて空気の回流が起こる。そしてこのカンバスにより自己換気ができる。

またこれがプラスチックカンバスによる湿紙乾燥の大きな特長で、カンバスロール背後の空気が乾いていれば、湿り側に乾き空気が供給され、乾燥部のポケット部の換気が改善され、湿紙乾燥および幅方向の乾燥むらの是正に役立つ。

反対にカンバスロール背後の空気が湿っていると、ポケット内に湿り空気が入り込み、換気の改善に役立たないのみか、かえって湿紙の乾燥に悪影響を及ぼしかねない。

プラスチックカンバスは走行すると、その表面に空気がついてまわり空気層を形成し、乾燥部の操業に対し種々の影響を与える。

プラスチックカンバス⁽⁵⁾は普通たて糸にポリエステル (テトロン)、よこ糸にポリアミド (ナイロン) あるいはポリエステルを使用したもので、よこ糸に対するポリアミド、ポリエステル使用の比率は半々くらいである。

一般に乾燥部フード内部は乾燥能力を高度に保つた

め、できるだけ高温に維持するよう操業を工夫するのが普通だが、このためフード内の温度があまり上昇すると、綿カンバスまたはポリエステルを主成分とするプラスチックカンバスとも、その寿命をちぢめる懸念を生ずる。

5. キャップ・ドライヤー (高速乾燥機)

(1) 概 説

エハラ・キャップ・ドライヤー⁽⁶⁾は多筒抄紙機の乾燥筒の上部あるいは下部またはヤンキー乾燥筒に設置される一種の高速乾燥機である。

この乾燥方法は、 $150 \sim 250^\circ\text{C}$ の高温電気を風速 $50 \sim 80\text{m/sec}$ の高速度で直接湿紙に吹きつけて、急速に水分を除去するものである。乾燥筒の全幅にわたり、ノズルを等間隔に配置し、同時に空気吸引孔が備えられており、乾燥に使われた排気は速かに排出される構造となっている。

図 11 エハラ・キャップドライヤーのフローシート

湿紙は乾燥筒に導かれると、ノズルからの高温高速の空気流の噴射を全面一様にうけて乾燥されるが、その水分の蒸発量は、湿紙水分、フリーネス、坪量、抄速などによって右左される。

またこの乾燥機は能率が非常に高いので、乾燥筒の本数を少なくすることができる。さらにこのキャップドライヤーは横方向にいくつかに区切られており、各各の部分が個々に操作できるので、紙の横方向水分調節ができる。なお湿紙はノズルから噴射された高速空気により、乾燥筒表面に押えられているだけであるから、紙の乾燥が進むにつれて自由に収縮できるので、成紙は伸縮性に富んだ弾力性のある紙となる。

キャップ・ドライヤーの簡単なフローシームを示すと、図 11 のようになるが、乾燥に使われた空気の大

部分は再び加熱されて乾燥用空気として循環され、一部が排出される。このようにすると乾燥空気の湿度は高くなるが、高温に加熱されるので、乾燥にはほとんど影響されず、熱損失も少なく熱効率がよくなる。

(2) キャップ・ドライヤーの乾燥理論

キャップ・ドライヤーの乾燥速度は次式で表わされる。

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{C_e(t_s - t_a) + h_a(t_a - t_b)}{\gamma} = K_a(H_b - H_a) \quad (5)$$

ただし

$dw/d\theta$: 乾燥速度 $\text{kg/m}^2\text{h}$

C_e : 乾燥筒の熱伝導率 $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

t_s : 乾燥筒の蒸気温度 $^\circ\text{C}$

t_b : 湿紙蒸発温度 $^\circ\text{C}$

t_a : 空気温度 $^\circ\text{C}$

h_a : 空気熱伝達率 $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

γ : 蒸発潜熱 kcal/kg

K_a : 物質移動係数 $\text{kg/m}^2\text{h}$

H_a : 空気の絶対湿度 kg/kg

H_b : 湿紙表面の絶対湿度 kg/kg

(1) 式から明らかなように、乾燥速度は

(a) 空気の熱伝達係数 h_a

(b) 乾燥筒の胴から湿紙への伝熱量 $C_e(t_s - t_b)$

(c) 湿紙表面と空気の温度差 $t_a - t_b$

(d) 絶対湿度の差 $H_b - H_a$

の4つの要素によって左右される。

この中で乾燥速度を向上させる最も重要な要素は、(a)の熱伝達係数である。この h_a の値は湿紙蒸発面を取りまいて水分の多い空気量によって左右され、この層が薄ければ薄いほど抵抗が少なく、熱伝達がよくなる。この空気層は図12で示すように、乱流層、遷移層、層流層の3つから成っており、この層を高速空気で吹きとばすことは非常に有効である。

この高速空気をうるためにはノズルの形状が問題であり、最も効果的にこれらの層を取除く形状が考慮されなければならない。ノズルの形は大きく分けて、スリット型ノズルと丸孔式オリフィスに分けられるが、

a: 層流層

b: 遷移層

c: 乱流層

図12 紙表面の状態

次の点でスリット型ノズルの方がすぐれている。

1) 紙全幅にわたって流れが一樣で乾燥ムラが少ない。

2) 入口・出口両端のノズルがエアーカーテンの役目をするので電気もれが少ない。

3) 吹出口の圧力損失が少ない。

以上の理由から、荏原製作所のキャップ・ドライヤーのノズルは、すべてスリット型が採用されて、良い成績を納めている。

次にノズルのピッチ、ノズルの開き幅、ノズル先端から紙までの距離が、伝熱係数にいかほど影響するか、考慮する必要がある。スリットノズルの場合、開き幅に対するピッチの割合は開口比と呼ばれるが、この値は約2%前後が適当である。紙とノズル先端の距離、すなわちクリアランスは紙切れのとき、紙通し、掃除などの場合を考慮して決定しなければならないが、クリアランスは狭いほど、熱伝達係数がよくなるので、当社ではリフティング装置を採用して、操業時にはなるべく紙に近づけるようにしている。

クリアランスと熱伝達係数 h_a の関係は図13に示すとおりである。

図13 伝熱係数とクリアランスの関係

(b)の場合は、乾燥筒の胴の性質と使用蒸気圧によって左右されるが、ほぼ一定とみなされてよい。

(c)については空気温度が高ければ高いほど乾燥能力は増加するが、実際には空気温度に制限があるので、あまり高くできない。加熱装置には間接加熱方式と直接加熱方式があり、紙質、坪量、蒸発水分量などによって使いわける必要がある。

(d)の絶対湿度の差は $K_a(H_b - H_a)$ の項についていえることで、これは蒸発速度を物質移動係数 K_a と絶対湿度の差におきかえた方法である。 K_a は h_a の函数で、ルイスの式から容易に求めることができる。

の式から、空気絶対湿度は小さいほど乾燥速度が増大することがわかるが、高温であるから露点温度で約55～60°Cが適当である。

(3) キャップ・ドライヤーの能力

この乾燥筒の性能については、荏原のデータから、普通の乾燥筒の約2本分の能力があることが明らかにされている。しかし能力の絶対値としては、前述のように、設置位置、乾燥筒蒸気圧、紙の性質、抄速によって異なるので、一概にあらわすことはできない。

いま乾燥筒を40本と仮定した場合、乾燥能力はロール・ドライヤーを採用したとき約15%増し、すなわち乾燥筒6本分増加し、キャップ・ドライヤーは5%増しとなるので、ロール・ドライヤーと同じ性態を出すには3基必要である。

動力の消費は、両者ともだいたい同じである⁽³⁾。

キャップ・ドライヤーの温度は高ければ高いほど効果的であるが、ロールドライヤーは100～120°Cで充分である。

ロール・ドライヤーはカンバス中の水分を蒸発させることにより、もっぱら乾燥能力増強に使用されるが、キャップ・ドライヤーは中央部はもとより、幅方向の細かい水分調整が可能である。

キャップ・ドライヤーは均一乾燥、能力増加の点から考えても、従来の乾燥方法から1歩進んだ新しい方法と思われる。将来、ロール・ドライヤー、グレビン装置などと共に、紙の乾燥には欠かせないものである。

6. 空気吹きぬけ乾燥機

(Air through dryer)⁽⁷⁾

これは織物工場で用いられた金網ドラム乾燥機と似た構造をもっている。金網を張った有孔筒（または蜂の巣構造筒）上を走行する紙層を通して内から外へ、または外から内へ高温空気を吹きぬく。後者の場合には紙層は筒の内側と外側との圧力差で保持される。内側から空気を吹きつける場合には、乾燥網筒によって

図14 高温空気吹き抜け乾燥機

紙層を筒上に保持しなければならない。図14の左側にその一例を示す。乾燥効率には紙層の有孔度によっても大きく影響されるので、この方法の適用は主に有効性紙層（例えば新聞用紙、パルプなど）に限定される。図14の右側は高温空気は高効率フードの場合と同様に、大部分が再びもとへ戻り、一部が紙層を通過して筒の内部へ吸い込まれる。吹きつけおよび吹きぬけ法の併用により、非常に高い乾燥効率が期待できる。

さらに将来において、乾燥部に乾燥筒乾燥と高温空気吹きぬけ乾燥を併用することが多くなることが期待されるだろう。特殊な紙の場合には空気乾燥だけが使用されることも考えられるだろう。

Papridryer⁽⁸⁾はカナダの Pulp & Paper Research Institute で之が作られ、Dominion Engineering と Ross により市販できるものに開発された。この設計は吹きぬけ空気と衝突空気を、繊維マットをかこむ空気と水との比較的よどんだ境界を減少させるために結びつけている。この境界層を減少させる事により、熱の流れが増し、従って熱の移動が改良されることになる。追加的乾燥が繊維マット内部から湿気を引出すことにより達成される。

7. あとがき

以上、最近の抄紙機の換気の傾向について述べて来たが、少なくとも、次のことは抄紙機の乾燥部換気として考えるべきである。

1. 密閉フード、開放フードいずれの方式をとにしても、ポケット・換気を強化すべきである。
 - (i) クロス・パイプ方式あるいはドクター・ブロー方式の採用
 - (ii) ロール・ドライヤーの採用
 - (iii) プラスチック・カンバスを使用する場合には、必ずPCサプライン装置すること。さらにロール・ドライヤーを一部設置すること
 - (iv) 抄紙室の換気を考える場合は、抄紙室のすべてにわたって考慮せねばならない

参考文献

- (1) 紙パルプ技術便覧 1972 p. 650
- (2) 磯田著 紙パルプ工業の熱利用 昭38
- (3) 石黒著 抄紙機の理論と実際 昭42
- (4) Pulp & Paper Oct. 1971 p. 89
- (5) 紙パルプ技術タイムズ昭46, 2月 石黒氏述 ドライヤー熱風「乾燥」装置について (中)
- (6) エハラ時報 1967, 9月 p. 44
- (7) Wochenblatt für Papierfabrikation 1971 (11月30日号) p. 913～919
- (8) Paper Trade Journal 1971 8月16日号 p.42～45

(原稿受付 昭47.11.14)