

# 纺织厂烘燥设备的节能和废热回收

张善道  
(上海市纺织工业局)

**【提要】** 本文将烘燥设备中的热能消耗,分为蒸发织物中水分的热量、加热通过的空气的热量、加热织物的热量、烘燥箱体蒸汽漏失的热量、烘燥箱体散失的热量等五部分,分别讨论了各部分热耗的计算和减低热耗的方法。最后还讨论了废热回收的问题。

在纺织业中,织物烘燥工艺所消耗的热量,占总用热量相当大的一部分,例如,印染行业烘燥用热就占全厂蒸汽供热的25~60%。因此,提高烘燥设备的热量有效利用率,对国民经济有重大意义。兹就管见所及,提出一些不成熟的意见。

在连续运转的烘燥设备上用来蒸发织物中水分的全热量 $Q$ ,消耗在下列几个方面:

$q_1$ ——蒸发水分所必需的热量(热量的有效部分),这部分热量从烘燥设备排湿管道排出;

$q_2$ ——加热通过烘燥设备空气的热量;

$q_3$ ——加热织物所需的热量;

$q_4$ ——通过设备的轴封和其它不严密部分漏失的热量;

$q_5$ ——烘燥设备箱体散失到周围的热量。

## 一、减少热耗,提高热利用率

现在从上述耗热的五个方面来讨论如何减少热耗,以提高热利用率。

1. 减少蒸发织物中水分所需要的热量 $q_1$

虽然 $q_1$ 越大,烘燥设备的热效率越高,但其绝对热量仍要求尽量降低,才合乎节能原则。如能最大限度地减少织物烘燥前所带有的水分,如织物在甩水工序甩得干些,洗

轧等工序的轧余率低些, $q_1$ 就可以降低。

例如:某种烘干织物出轧辊的水分轧余率为93.2%,出烘燥设备的回潮率为8.5%,烘布车速为4260米/小时,布的绝对干重为0.088公斤/米,耗用蒸汽为520公斤/小时,则烘去的水分:  $4260 \times 0.088 (0.932 - 0.085) = 317.5$  公斤/小时。这时烘去一公斤水所需蒸汽为  $\frac{520}{317.5} = 1.6377$  公斤。如轧

余率降低10%,即织物出轧辊的轧余率为83.2%,烘后的回潮率不变,则应烘水分:  $4260 \times 0.088 (0.832 - 0.085) = 280$  公斤/小时,可少烘水分  $317.5 - 280 = 37.5$  公斤/小时。按上述水汽比为1:1.64计,则可少用蒸汽  $37.5 \times 1.64 = 61.5$  公斤/小时。

2. 减少加热空气所需热量 $q_2$

加热通过烘燥设备的空气所需的热量,可由下式确定:

$$q_2 = l [C_B (t_2 - t_0) + 0.001 d_0 (i_2' - i_0'')] \quad (1)$$

式中: $l$ 为蒸发每公斤水分所需的干空气(公斤/公斤); $C_B$ 为空气的比热,取0.246大卡/公斤·℃; $t_2$ 为排出的水汽和空气混合物温度(℃); $t_0$ 为进入烘燥设备的空气温度(℃); $d_0$ 为进入烘燥设备的空气的含湿量(克/公斤干空气); $i_2'$ 为从烘燥设备排出空气中水汽的热焓(大卡/公斤); $i_0''$ 为进烘燥

设备空气中水汽的热焓(大卡/公斤)。

$i''_n - i''_0$  的近似计算:

$$i''_n - i''_0 = 595 + 0.47t_2 - 595 - 0.47t_0 = 0.47(t_2 - t_0) \quad (2)$$

将  $C_B$  及  $i''_n - i''_0$  代入(1)式,整理得

$$q_2 = 0.246l(t_2 - t_0) + 0.00047d_0l(t_2 - t_0) \quad (3)$$

从我国大多数地区温湿度资料看,  $d_0$  最低在 5 克/公斤干空气左右, 室外空气约在 10~20 克/公斤干空气, 则  $0.00047d_0$  在  $0.00235 \sim 0.0094$  之间, 平均约为 0.006。因此, 等式右边第二项比第一项小很多, 可略去不计, (3) 式可写成:

$$q_2 = 0.246l(t_2 - t_0) \quad (4)$$

进入烘燥设备的空气量必须满足吸收织物所蒸发的全部水分, 因此蒸发一公斤水分需要干空气量为:

$$l = 1000 / (d_2 - d_0) \quad (5)$$

式中:  $d_2$  为烘燥设备排出的空气中水分的含量(克/公斤干空气)。把(5)代入(4)式, 得

$$q_2 = 246(t_2 - t_0) / (d_2 - d_0) \quad (6)$$

由上式可看出, 从烘燥设备排出的空气中热量损失和温度差成正比, 和通过烘燥设备的空气含湿量之差成反比。

从烘燥设备排出的空气的热量损失, 约占总耗热量的 7~25%。要使  $q_2$  达到最小, 自式(6)得知, 如  $d_0$  和  $t_2$  保持不变, 那么提高  $t_0$ , 则加热空气用的热量消耗将减少。如  $t_0 = t_2$ , 则  $q_2 = 0$ 。又如增大  $d_2 - d_0$  的差数, 也可减小  $q_2$ 。

从室外吸取空气, 可降低初始的含湿量  $d_0$ , 但同时也降低  $t_0$  的平均值, 即提高排出空气的热损失。

如设备是既可取室外空气, 又可取室内空气, 排出空气温度取 60°C 和 80°C, 室外空气条件为  $d_0 = 5$  克/公斤干空气,  $t_0 = 8^\circ\text{C}$ ; 室内空气条件为  $d_0 = 15$  克/公斤干空气,  $t_0 = 25^\circ\text{C}$ 。根据这些数据, 按不同的排出空气含湿量  $d_2$ , 用(6)式进行计算, 可绘成曲线如图 1。

从图 1 可看出,  $q_2$  依  $d_2$  而定, 当  $d_0$ 、 $t_0$  和  $t_2$  已知时, 可从曲线中发现, 只有在排出空气含湿量低的范围内, 从室外吸取空气才对降低  $q_2$  稍有利。当  $t_2 = 60^\circ\text{C}$  时, 相应的曲线 1 和 3 相交于 A 点, 这点相应的  $d_2 = 34$  克/公斤干空气; 而当  $t_2 = 80^\circ\text{C}$  时, 曲线 2 和 4 交于 B 点, 这点  $d_2 = 46$  克/公斤干空气。过 A、B 点, 即 A、B 点左边, 以取室外空气稍有利。实际上烘燥设备所排出空气的  $d_2$  往往大于 34~46 克/公斤干空气, 从曲线看, 以自室内吸取空气为宜。

从图 1 中可见, 在排出空气的含湿量不大的区域, 曲线陡峭上升, 也就是说  $q_2$  迅速增加。 $d_2$  增加超过 140~160 克/公斤干空气

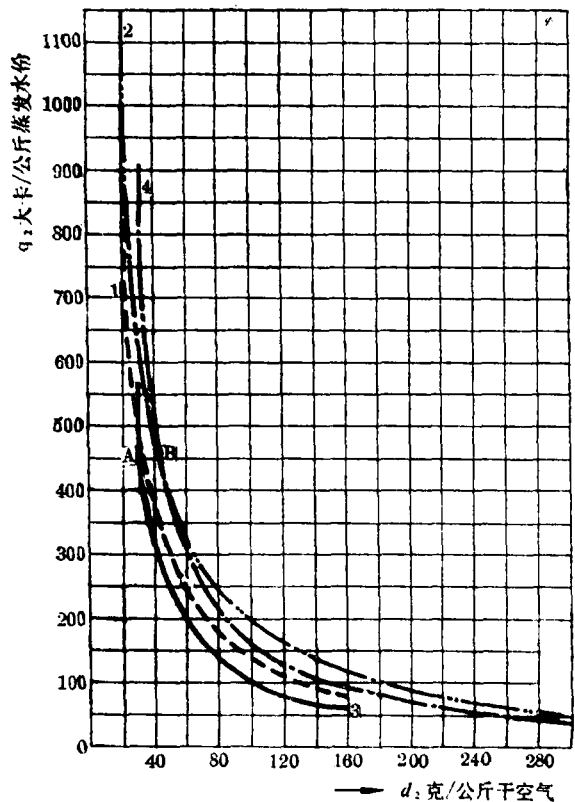


图 1  $q_2$  与  $d_2$  及  $t_2$  关系图

1.  $d_0 = 5$  克/公斤干空气,  $t_0 = 8^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ ;
2.  $d_0 = 5$  克/公斤干空气,  $t_0 = 8^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 80^\circ\text{C}$ ;
3.  $d_0 = 15$  克/公斤干空气,  $t_0 = 25^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ ;
4.  $d_0 = 15$  克/公斤干空气,  $t_0 = 25^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 80^\circ\text{C}$ 。

时,热量消耗渐渐比曲线开始区域减少。

在干燥设备中,排出的空气含湿量应力求达到最大。从I-d图可知,在同一相对湿度情况下,空气温度越高,每公斤干空气的含湿量越大,即吸水量越大,少量的空气就能带走大量的水分。所以在干燥设备运行中要注意调节排风阀门,以达到合理的排放空气量。从式(1)中可看出,  $l$  越小  $q_2$  也越小,但不能过小,否则水分排不尽,就达不到干燥的目的。

如把式(6)以不同的  $t_2 - t_0$  和  $d_2 - d_0$  值与  $q_2$  的关系绘成图2的曲线,并用干湿球温度计测定进出干燥设备空气的干湿球温度,并从I-d图查出相应的  $d_0$ 、 $d_2$ ,用图2曲线即可查出排出空气的热量损失,这就便于在日常运行中控制干燥设备的  $q_2$  值。

在干燥运行过程中,还可从图2曲线中选择能使设备高产和对干燥工艺最有利的条

件。同时,还必须尽力设法将干燥设备内部的蒸汽泄漏减到最小,因为它会增加排出空气-蒸汽混合物的含湿量,干扰通过干燥设备的空气参数。

泄漏蒸气量的测定,可在设备空载加热运转时用干湿球温度计测得进出干燥设备空气的含湿量,得出  $d_2 - d_0$  值,并用风速仪测得通过风管中的空气量,将空气的重量乘  $d_2 - d_0$  即得漏失蒸气量。

### 3. 减少加热织物的热量 $q_3$

工艺上烘干织物的回潮率有一定要求,达不到要求时,就要回烘而浪费能源,但更多发生的是超过工艺规定的过烘情况,不但浪费能源,而且影响质量,造成织物发黄或手感发硬。

加热织物所耗热量  $q_3$ ,也就是织物从干燥设备出来所带出的热量,由下式决定:

$$q_3 = G_2 C_M'' (t_M'' - t_M') / W \quad (7)$$

式中:  $G_2$  为干燥后织物的重量(公斤/小时);  $W$  为蒸发水分重量(公斤/小时);  $C_M''$  为织物在终了湿度  $W_2$  时的比热(大卡/公斤·°C);  $t_M'$ 、 $t_M''$  为织物进出干燥设备的温度(°C)。

从上式可知,  $q_3$  数值与设备的产量、织物的比热、温差  $t_M'' - t_M'$  有关。 $t_M'$  越低,  $q_3$  越大,反之亦然。由此可见,织物用热水洗轧或洗后后立即进行干燥,都有利于降低  $q_3$ 。

### 4. 减少漏泄和壁面散热量 $q_4$ 、 $q_5$

蒸汽漏泄将损失大量热量。在干燥设备内漏泄蒸汽,会增加通过干燥设备空气含湿量,不利于织物的干燥。在干燥设备外部漏泄蒸汽要影响环境,在冬季会造成车间屋顶滴水,更会影响产品质量。

另外,干燥设备壁面如未做到绝热保温或绝热保温不良,会增加热量的消耗。但优质的绝热材料价格较贵,故要兼顾节约能源和投资的回收期来确定绝热层的厚度和选用适当的绝热材料。

### 5. 从结构和操作上考虑节约能源

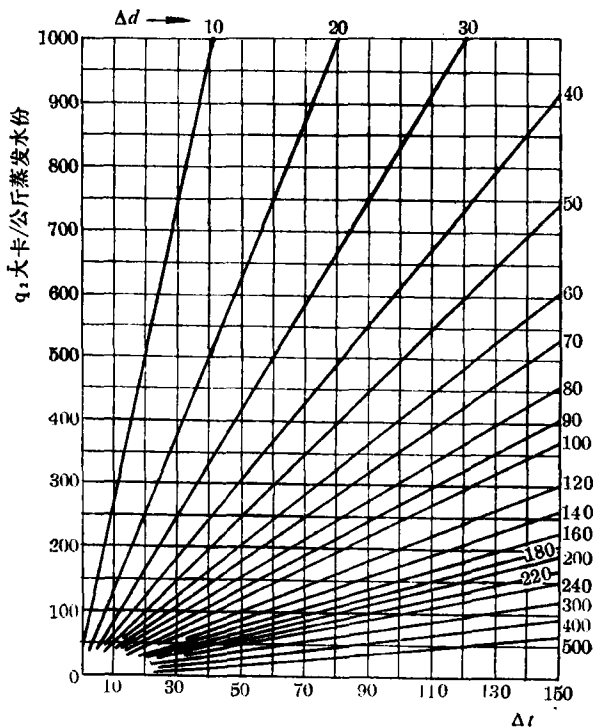


图2 确定  $q_2$  的线算图

干燥设备的烘房温度高,排气湿度大,可提高烘布速度。要达到这一目的,补进的空气必须尽量干燥,如在湿度较大的织物进口处进气,即提高了式(6)中的 $d_0$ 而使 $q_2$ 增大,故应从干处进空气。其次烘房的排风口应装置调节阀,做到排气量少,排湿量大。当然还要提高空气温度(如逐级加热),以达到用少量空气带走较多的水分。总之,干燥设备在结构上要做到气流合理,如箱式热风干燥设备最好是气流方向和被烘物的前进方向相反,即“相互逆流”。在操作时,要经常观察烘房温度,勤于调节排气阀门和车速,不过量排出热空气。在安排生产计划时,要减少开冷车的次数,以减少预热干燥设备本身消耗的热量。

## 二、加强废热回收

### 1. 回收排放的湿热空气中的废热

(1) 将湿热空气通过气-气热交换器进行热交换,将加热后的热空气用作本设备的进风或季节性的空调进风。

在气与气热交换中,热交换过程可分两个区段。第一区段是等湿传热或干区段,它的特点是传热系数不大,热空气从 $t_2$ 冷却到饱和温度 $t_H$ ,而冷空气从 $t_0$ 加热到 $t_x$ 。第二区段是湿区段或饱和区段,热湿空气中蒸汽冷凝放热,将热传给冷空气,热湿空气在此处从 $t_H$ 被冷却到 $t_3$ ,而温度已达 $t_x$ 的空气这时被加热到 $t_1$ 。分区的平均温差为:

$$\Delta t_0 = (t_2 + t_H) / 2 - (t_x + t_0) / 2 \quad (8)$$

$$\Delta t_H = (t_H + t_3) / 2 - (t_1 + t_x) / 2 \quad (9)$$

热交换器干区段传热面 $F_C$ 和饱和区段传热面 $F_H$ 可按下列公式计算:

$$F_C = \frac{L_2(I_2 - I_H)}{5(V_0\gamma_0)^{0.79}\Delta t_0} \left[ 1 + \left( \frac{L_0}{L_2} \right)^{0.79} \right] \quad (10)$$

$$F_H = \frac{L_2(I_H - I_3)}{5(V_0\gamma_0)^{0.79}\Delta t_H} \quad (11)$$

$$\text{总传热面积等于 } F = F_C + F_H \quad (12)$$

式中: $L_0$ 为冷空气量(公斤/小时); $L_2$ 为热空气量(公斤/小时); $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_H$ 分别为热空气进出热交换器和在饱和区开始端的热焓; $V_0$ 为冷空气的平均流速(米/秒); $\gamma_0$ 为冷空气的平均比重(公斤/米<sup>3</sup>)。

如提高排出空气的含湿量 $d_2$ ,干区段的传热面将减少,同时全机的尺寸也将减小,从而使设备紧凑经济。

(2) 湿热空气通过气与水热交换器(管式或喷淋式)和冷水进行热交换,冷水经热交换器加热后用于本车间或其它车间需要热水的地方。

(3) 湿热空气先通过气与水热交换器和冷水进行热交换,然后如必要时再通过气与气热交换器进行热交换,获得热空气以供本机或空调使用。

### 2. 回收织物所带出的热量

在干燥设备出布端可建一小室,将进干燥设备的空气先通过此小室预热,以回收织物从干燥设备带出的热量。

### 3. 回收疏水器排出的热量

回收疏水器排出热量有下列三种方法:

(1) 将疏水器排出的热水直接回用到需用热水的设备中,在冬季可作热水取暖的热源或直接送锅炉房作锅炉的补给水。

(2) 将疏水器排出的热水通过热交换器加热冷水。冷却后的回汽水(软水)可送到锅炉间作锅炉补给水。因回汽水的硬度低或没有硬度,用作锅炉进水可以减少软水器的负担,并减少软水间用盐量。

(3) 将疏水器排出的热水通入膨胀箱产生二次蒸汽,利用二次蒸汽中的潜热作加热或干燥的热源。在膨胀箱中留下的热水,可送到锅炉房作锅炉给水或送到需用热水的地方去使用。(完)