

# 关于纤维集合体干燥速率的研究

戴杜雁 黄文敏 徐红梅

(天津纺织工学院)

**【摘要】** 本文通过六种试样的试验数据,找出纤维集合体在 30℃,相对湿度 57%条件下,不同干燥阶段的干燥速率变化规律及其影响因素。从而,揭示出多孔性织物的干燥特性和干燥机理。提出上述条件下六种试样的第一临界含水率及第二临界含水率的数值,为服装加工选料、干燥装置的设计提供数据。

## 一、实 验

试验选择了纯棉、纯粘胶、纯涤纶、涤/粘、涤/棉(厚)、涤/棉(薄)六种织物。各种试样的性质列于表 1。将试样剪成 15×15 厘米的正方形,去掉边纱,用清水洗净,除去可溶性杂质和易脱落的绒毛。然后以苯和甲醇为溶剂在李氏萃取器中分别萃取 10 小时以上。最后用 0.1~0.3%NaOH 水溶液煮沸 30 分钟左右,再用清水洗净晾干,试验备用。经处理的试样,具有良好的均匀吸水性能。

表 1 试样性质  
Table 1 Sample Property

样 品	经纬细度 (特数)	经纬密度 (根/10厘米)	混纺比	厚度 (毫米)	重 量 (克/厘米 <sup>2</sup> )
棉	29×29	236×236	-	0.62	0.0425
粘胶	19.5×19.5	228×224	-	0.32	0.0348
涤纶	5.55(长丝)	60×60	-	0.34	0.0355
涤/粘	22.5×22.5	935×205	65/35	0.59	0.0741
涤/棉(薄)	21×21	124×65	65/35	0.24	0.0330
涤/棉(厚)	13×13	100×90	65/35	0.41	0.0552

试验用烘箱,温度控制在 30±2℃,相对湿度为 57±3%。试样在室温下用清水浸泡 45~60 分钟,取出后用滤纸轻轻地吸去多余的水分,挂在烘箱内,记录试样在干燥过程中重量变化及所对应的时间,直至试样在烘箱内与相对湿

度达到平衡为止,取出后求取试样的绝干重量。改变烘箱温度分别为 89℃, 45℃, 48℃ 重复上述实验。

## 二、结果与讨论

图 1 为纯粘胶试样的重量、温度、干燥速率对时间的变化曲线。从图 1 可见,织物干燥过程分为恒速干燥和降速干燥两阶段,由恒速

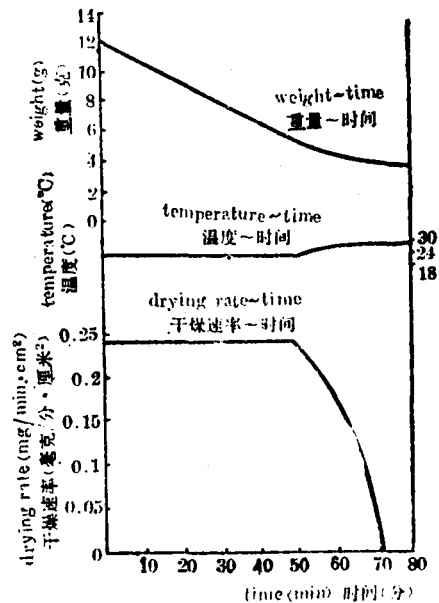


图 1 粘胶试样重量、温度、干燥速率与时间的关系  
Fig. 1 The relationship between weight, temperature and drying rate of viscose sample to time

收稿日期: 1988年1月25日。

段向降速段的转折点称为临界点。因织物的降速段又分为第一降速段和第二降速段，故上述转折点在本文内称为第一临界点。降速第一段与第二段之间的转折点称为第二临界点。临界点处织物的含水率称为临界含水率。

1. 恒速阶段

干燥开始时织物表面比较湿润，重量随时间呈直线变化，此时织物表面温度较低且恒定在环境的湿球温度上(23℃)，干燥速率  $V_0$  为一常数。表 2 为六种试样恒速阶段的干燥速率，该数据是将同一织物的三个试样分别测取三组数据，消去参差量大于最大均方根误差的各值，再求取平均值而得到的。数据处理在 Apple-II 计算机上进行。

图 2、3 是改变环境温度分别为 39℃, 45℃, 48℃ 涤/棉薄型试样的干燥速率曲线。

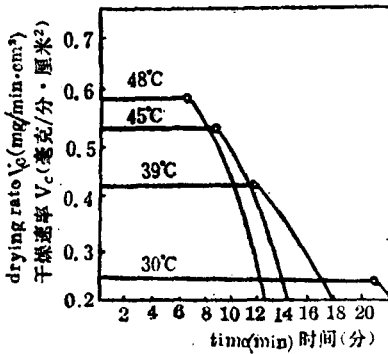


图 2 不同温度下干燥速率随时间变化曲线

Fig. 2 The curves of drying rate variance with time under different temperature

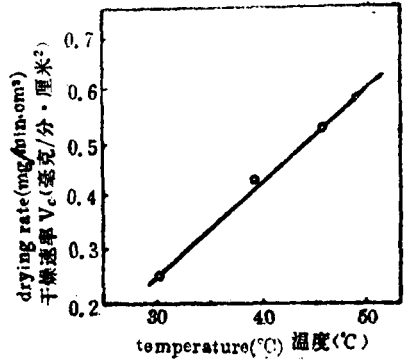


图 3 涤/棉薄织物恒速干燥速率与温度关系

Fig. 3 The relationship between constant drying rate and temperature of thin polyester/cotton fabric

从以上结果可以看出，当环境温湿度一定时，恒速干燥速率大致相等；当环境温湿度增高时，其值显著增大。

按通常的干燥理论<sup>[1]</sup>，干燥开始，织物内外水分较多，此时从织物表面汽化的水分应是与织物没有相互作用力的非结合水分，故汽化时所需要的能量都等于同温度下纯水的汽化潜热。为了证实这一点，用涤/棉薄织物在不同温度下的干燥速率值作阿雷尼乌斯图如图 4 所示，因恒速阶段的干燥速率与织物中水分浓度无关<sup>[2]</sup>，故可以从图上直线斜率求出水分汽化所需要的活化能， $E_a = 2200$  千焦/千克，它相当于水分向织物表面的饱和水蒸汽薄层汽化时的汽化热。故不同温度恒速干燥速率大体相

表 2 六种试样的测试结果

Table 2 The testing results of six types of samples

样 品	恒速干燥速率 $V_0$ (毫克/分·厘米 <sup>2</sup> )	第一临界含水率 $X$ (毫克水/毫克绝干料)	降速第一段干燥速率数学模型 $V_{f1} = C_1 X^{n_1}$		降速第二段干燥速率数学模型 $V_{f2} = C_2 X^{n_2}$	
			$C_1$	$n_1$	$C_2$	$n_2$
纯粘胶	0.248	0.60	0.328	0.326	1.26	1.01
纯棉	0.240	0.50	0.264	0.230	1.23	0.90
涤/粘	0.235	0.40	0.321	0.300	1.25	0.86
涤/棉(薄)	0.240	0.36	0.320	0.270	5.98	1.43
涤/棉(厚)	0.241	0.36	0.284	0.154	21.90	1.39
纯涤纶	0.236	0.21	0.347	0.250	10.33	1.14

等,且等于该温度下纯水的汽化潜热,但由于亲水性纤维的实际汽化表面积比计算值大,则不同织物的实验值略有差异,随着温度的升高,传热推动力加大,干燥速率显著增大。

2. 第一

临界含水率  
所谓临界含水率是指恒速阶段的终点或降速阶段的起点处织物具有的含水率(干基)。从这一点开始,织物表面温度逐渐升高,包围织物表面的饱

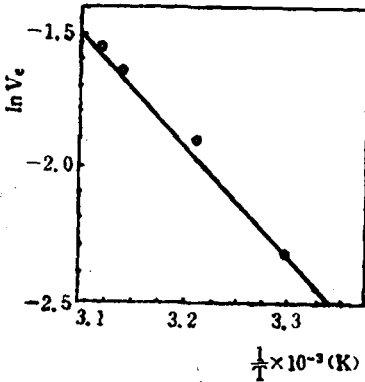


图4 干燥操作的阿雷尼乌斯图  
Fig. 4 The diagram of drying operation

和水蒸汽层内的蒸汽压开始下降,它是水分传递到织物表面并保持表面充分润湿的最后一点。从这个意义上讲,该值应与相同温度,100%相对湿度下织物的平衡脱湿率相等。该值越大,意味着恒速阶段越短,降速阶段越长,干燥织物所需要的总时间越长。

六种试样的第一临界含水率见表2,其顺序是:纯粘胶织物>纯棉织物>涤/粘织物>涤/棉(薄、厚)织物>纯涤纶织物,不难看出,当环境温湿度一定时,不同种类试样的临界含水率不同。以棉和粘胶比较,粘胶的结晶度小于棉,无定型区大,水分子易进入。又粘胶的聚合度小,不到棉的1/20,相对来说,羟基数目较多,与水分子的结合力大。受它的影响致使水分子在毛细管内移动速度缓慢。所以亲水性纤维的第一临界含水率高,当环境温湿度改变时,对同类织物温度越高,第一临界含水率也越高。该值的大小反映织物的快干程度,是服装加工及干燥装置设计中不可缺少的重要参数。

3. 降速阶段

第一临界点以后干燥进入降速阶段。织物内部的水分沿毛细管移动至干燥表面而汽化扩

散。干燥面不断向内部推移,故阻力增大,干燥速率随时间的增长而逐渐减小。六种试样的降速曲线几乎都存在两个阶段,有的较为明显,如棉,涤纶,涤/棉织物;有的不太明显。如图5所示。曲线的这一形状表明降速阶段内水分由内部向干燥面移动受三种力的左右<sup>[1]</sup>:一是毛细管力,二是环境的蒸发力,三是纤维与水的结合力。降速第一段起主要作用是毛细管力,所谓毛细管力即是毛细管中新月面上的表面张力,它取决于毛细管直径大小的分布。纤维集合体除纤维本身内部有毛细管外,表面上由于毛羽及加工过程中的加捻编织等都会使试样表面形成直径大小不等的毛细管。这就是纤维集合体的多孔性。当干燥面由织物表面向内部移动时,其速度随毛细管截面大小不同而不同。大孔道中的水分一方面因汽化而减少,另一方面由于毛细管压力使一部分水分后移,物料表面不能再为水分所润湿,出现不饱和表面干燥现象。随着干燥的进行,大孔道中的液面仍不断后退到孔道中直径较小的蜂腰处,这时液面的曲率与小孔道中液面曲率相当。此后小孔道中液面也开始后移,表面上更多孔隙中的水分失去,不饱和表面在总表面中占的比例逐渐增加,

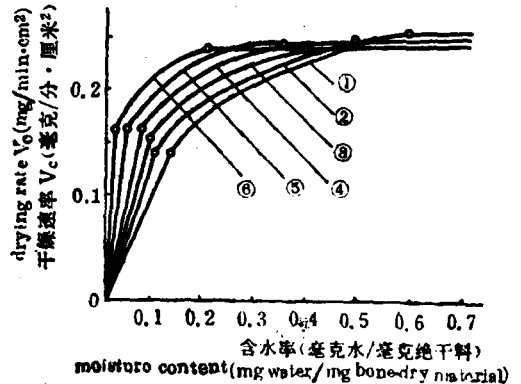


图5 30°C,57%条件下六种试样的干燥速率曲线  
1-粘胶; 2-纯棉; 3-涤/粘; 4-涤/棉(薄); 5-涤/棉(厚); 涤纶。  
Fig. 5 The drying rate curves of six types of samples under the condition of 30°C,57% R.H.  
1-Viscose; 2-Cotton; 3-Polyester/Viscose; 4-Polyester/Cotton(thin); 5-Polyester/Cotton(thick); 6-Polyester.

干燥速率不断下降直达到第二临界点。此时表面水分已干竭，干燥面后移到试样内的某一面，于是干燥进入降速第二阶段。所以第二临界点是保持不饱和表面的最后一点。

降速第二段曲线几乎都接近于直线，其斜率的大小只与纤维性质有关，受环境温湿度的影响极小。干燥终了时少量水分间断地分散在小孔隙中与环境温湿度平衡。

降速阶段干燥速率的计算，两个阶段的值有明显差异。第一段比第二段变化缓慢。将实验数据在 Apple-II 计算机上处理，用最小二乘法拟合数学模型，其经验式表示如下<sup>[3]</sup>：

$$V_f = CX^n$$

式中： $V_f$  为降速阶段的干燥速率； $X$  为织物干基含水率； $c$ 、 $n$  为常数，与织物的物理化学结构有关。

六种试样的结果见表 2。

为了检验该经验式的正确性，将等式两边取对数，其形式转换成：

$$\lg V_f = \lg c + n \lg X$$

以  $\lg V_f$  对  $\lg X$  作图，代入实验值得图 6，可以看出均为直线。证明该数学模型能表达实验数据中所蕴藏的规律性。

### 三、结 论

1. 各种纤维集合体的干燥过程都呈现两个阶段，即恒速阶段和降速阶段。降速阶段又分为降速第一段和第二段。

2. 恒速阶段的干燥速率随环境温湿度的变化而明显变化，湿度一定，温度升高，则干燥速率增大；另外与纤维集合体的表面状态有

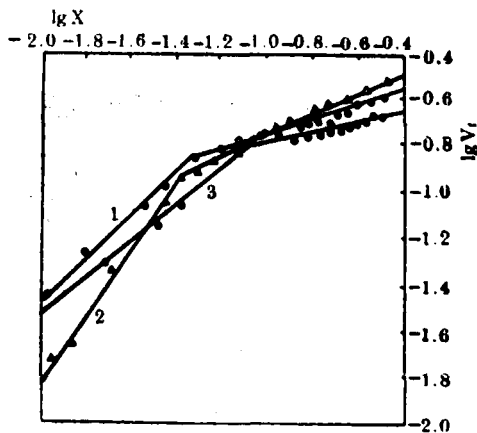


图 6  $\lg V_f$  与  $\lg X$  关系图

1-涤/粘；2-涤/棉(薄)；3-棉。

Fig. 6 The relative diagram of  $\lg V_f$  and  $\lg X$

1-Polyester/Viscose; 2-Polyester/Cotton (thin); 3-Cotton.

关，与织物化学组成无关。

3. 影响第一临界含水率的因素主要是环境蒸发能力。蒸发能力大者含水率值高；其次是纤维与水的亲合力，亲水性纤维的临界含水率高于疏水性纤维；对于混纺织物取决于混纺比，与织物的松密薄厚程度无关。

4. 两个降速段的干燥速率在数值上变化较大，一般说来，降速第一段较第二段变化缓慢；两个降速段干燥速率的计算式，可用  $V_f = CX^n$  形式的经验式表示。

### 参 考 资 料

- [1] 谭天恩等编，《化学工程》(下)，化学工业出版社，1984年。
- [2] 《纤维学会志》，1983, Vol 39, P. T-105。
- [3] 江体乾著，《化工数据处理》，化学工业出版社，1984年。