



“十三五”普通高等教育本科部委级规划教材
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
教育部普通高等教育精品教材

纺织材料学

(第5版)

姚 穆◎主编 孙润军◎副主编

FANGZHI CAILIAOXUE



中国纺织出版社有限公司

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

第五节 纤维的吸湿性

纤维材料能吸收水分,不同结构的纺织纤维,其吸收水分的能力是不同。通常把纤维材料在大气中吸收或放出气态水的能力称为吸湿性。纺织纤维的吸湿性是关系到纤维性能、纺织工艺加工、织物服用舒适性以及其他物理力学性能的一项重要特性。另外,在纤维和纺织品贸易中,须充分考虑到吸湿对重量产生的影响,以决定成本结算,故吸湿对商贸中的重量与计价有重要影响。

一、纤维的吸湿平衡

纤维材料的含湿量随所处的大气条件而变化,在一定的大气条件下,纤维材料会吸收或放出水分,随着时间的推移逐渐达到一种平衡状态,其含湿量趋于一个稳定的值,这时,单位时间内纤维材料吸收大气中的水分等于放出或蒸发出的水分,这种现象称为吸湿平衡。需要进一步指出的是所谓的吸湿平衡是一种动态平衡状态。如果大气中的水汽部分压力增大,使进入纤维中的水分子多于放出的水分子,则表现为吸湿,反之则表现为放湿。纤维的吸湿或放湿是比较

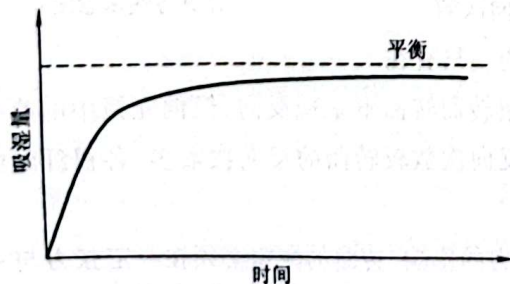


图 2-10 纤维材料的吸湿平衡

敏感的,一旦大气条件变化,则其含湿量也立即变化,由于纺织材料的性质与吸湿有关,所以在进行物理力学性能测试时,试样应趋于吸湿平衡状态(图 2-10)。纤维的吸湿、放湿是呈指数增长的过程,严格地说达到平衡所经历的时间是很长的,纤维集合体体积越大,压缩越紧密达到平衡的时间也就越长。一般单纤维或 3mg 以下的小束,6s 将基本平衡;50g 的块体达到平衡约要 1h

或更多;100kg 的絮包达到平衡约要 4~12 个月。

二、纤维的吸湿指标

1. 回潮率与含水率 纤维及其制品吸湿后,含水量的大小可用回潮率或含水率来表示。回潮率 W 是指纤维材料中所含水分的重量占纤维干重的百分数;含水率 M 则是纤维材料所含水分的重量占纤维湿重的百分数。纺织材料吸湿性的大小,绝大多数用回潮率表示。设试样的湿重为 $G(g)$,干重为 $G_0(g)$,则有下列计算式:

$$W = \frac{G - G_0}{G_0} \times 100 \quad (2-30)$$

$$M = \frac{G - G_0}{G} \times 100 \quad (2-31)$$

回潮率与含水率之间的关系为:

$$W = \frac{M}{100 - M} \times 100 \quad \text{或} \quad M = \frac{W}{100 + W} \times 100 \quad (2-32)$$

两者与纺织材料重量的关系为:

$$G = G_0 \times \frac{100}{100 - M} \quad (2-33)$$

$$G = G_0 \times \frac{100 + W}{100} \quad (2-34)$$

2. 平衡回潮率 平衡回潮率是指纤维材料在一定大气条件下,吸、放湿作用达到吸湿平衡时的回潮率。表 2-7 为几种常见纤维在不同相对湿度下的吸湿平衡回潮率。

3. 标准回潮率 由于各种纤维的实际回潮率随温湿度条件而改变,为了比较各种纺织材料的吸湿能力,在统一的标准大气条件下,吸湿过程达到平衡时的回潮率称为标准回潮率。

标准大气亦称大气的标准状态,它的三个基本参数为温度、相对湿度和大气压力。在 1 标准大气压力(86~106kPa)下的大气状态,国际上有多种规定,我国规定为温度 20℃,相对湿度 65%;而允许的误差,各国略有不同,我国对此颁布的有《纺织材料试验标准温湿度条件规定》,见表 2-8。

在实际工作中可以根据试验要求,选择不同标准级别(如一级用于仲裁检验,二级用于常规检验,三级用于要求不高的检验)。

4. 公定回潮率 在贸易和成本计算中纺织材料并不处于标准状态,为了计量和核价的需要,各国依据各自的具体条件,对各种纺织材料的回潮率作统一规定,称为公定回潮率。公定回潮率为折算公定(商业)重量时要加到干燥重量上的水分量对干燥重量的百分数。通常公定回潮率接近于标准状态下的实际回潮率,但不是标准回潮率,一般稍高于标准回潮率或取其上限。

表 2-7 几种常见纤维的吸湿平衡回潮率(%)

纤 维	空气温度 20℃, 相对湿度为 φ		
	$\varphi = 65\%$	$\varphi = 95\%$	$\varphi = 100\%$
原 棉	7 ~ 8	12 ~ 14	23 ~ 27
苧麻(脱胶)	7 ~ 8		
亚麻(打成麻)	8 ~ 11	16 ~ 19	
黄麻(生麻)	12 ~ 16	26 ~ 28	
黄麻(熟麻)	9 ~ 13		
无毒大麻(汉麻)	10 ~ 13	18 ~ 22	
槿(洋)麻	12 ~ 15	22 ~ 26	
绵羊毛	15 ~ 17	26 ~ 27	33 ~ 36
桑蚕丝	8 ~ 9	19 ~ 22	36 ~ 39
普通黏胶纤维	13 ~ 15	29 ~ 35	35 ~ 45
富强纤维	12 ~ 14	25 ~ 35	
醋酸纤维	4 ~ 7	10 ~ 14	
铜氨纤维	11 ~ 14	21 ~ 26	
锦纶 6	3.5 ~ 5	8 ~ 9	10 ~ 13
锦纶 66	4.2 ~ 4.5	6 ~ 8	8 ~ 12
涤纶	0.4 ~ 0.5	0.6 ~ 0.7	1.0 ~ 1.1
腈纶	1.2 ~ 2	1.5 ~ 3	5.0 ~ 6.5
维纶	4.5 ~ 5	8 ~ 12	26 ~ 30
丙纶	0	0 ~ 0.1	0.1 ~ 0.2
氨纶	0.4 ~ 1.3		
氯纶	0	0 ~ 0.3	
玻璃纤维	0	0 ~ 0.3(表面含量)	

表 2-8 标准温湿度及允许误差

级 别	标准温度(℃)		标准相对湿度(%)
	A 类	B 类	
一 级	20 ± 1	27 ± 2	65 ± 2
二 级	20 ± 2	27 ± 3	65 ± 3
三 级	20 ± 3	27 ± 5	65 ± 5

注 A 类为温带测试标准, B 类为热带测试标准。

各国对于纺织材料公定回潮率的规定并不一致,我国常见的几种纤维的公定回潮率见表2-9。

表 2-9 几种常见纤维及其制品的公定回潮率

种 类	公定回潮率(%)	种 类	公定回潮率(%)
✓原 棉	8.50	棉 纱	8.50
棉织物	8.50	精梳毛纱	16.00
✓同质洗净毛	16.00	粗梳毛纱	16.00
异质洗净毛	15.00	精梳落毛	16.00
干梳毛条	18.25	油梳毛条	19.00
山羊绒	15.00	毛织物	14.00
骆驼绒	14.00	兔 毛	15.00
✓桑蚕丝	11.00	牦牛绒	16.00
柞蚕丝	11.00	绢纺蚕丝	11.00
✓苧 麻	12.00	亚麻(精干麻)	12.00
黄麻(生麻)	14.00	槿(洋)麻产品	14.00
黄麻(熟麻)	14.00	黏胶纤维及长丝	13.00
汉(大)麻	12.00	涤 纶	0.40
✓涤纶纱及长丝	0.40	✓腈 纶	2.00
✓棉 纶	4.50	✓维 纶	5.00
✓丙 纶	0.00	玻璃纤维	2.50(石蜡乳剂含量)
二醋酸纤维	9.00	三醋酸纤维	7.00
铜氨纤维	13.00	✓氯 纶	0.50

关于几种纤维的混合原料,其公定回潮率的计算,可根据各原料重量混合比加权平均。设 $W_1, W_2, \dots, W_n$ 分别为各原料的公定回潮率, $P_1, P_2, \dots, P_n$ 为各原料的干燥重量百分率,则混纺材料的公定回潮率 W 为:

$$W = \frac{P_1 W_1 + P_2 W_2 + \dots + P_n W_n}{100} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n W_i P_i \quad (2-35)$$

5. 公定重量 纺织材料在公定回潮率时的重量称为公定重量(G_k),是交付结算的依据。

纺织材料的标准重量与实际回潮率 W_k 下的称见重量 G_k 之间的关系为:

$$G_k = G_s \times \frac{100 + W_k}{100 + W_s} \quad (2-36)$$

在生产上对于标准重量的计算,在折成干燥重量(G_0)进行计算,公式如下:

$$G_k = G_0 \times \left(1 + \frac{W_k}{100}\right) \quad (2-37)$$

当两种纤维混纺时,成品的干重混纺比百分数折算成投料时湿重混纺比百分数的算法如下。设甲纤维的回潮率为 W_1 ,湿重混纺比百分数为 g_1 ,干重混纺比百分数为 g_0 ,乙纤维的回潮率为 W_2 ,湿重混纺比百分数为 $(100 - g_1)$,干重混纺比百分数为 $100 - g_0$,则可得到:

$$\frac{g_1}{100 - g_1} = \frac{g_0(100 + W_1)}{(100 - g_0)(100 + W_2)} \quad (2-38)$$

例:涤纶的实际回潮率为 0.3%,黏胶纤维的实际回潮为 12%,为了使涤黏干重混纺比的百分数为 65/35,问涤黏湿重混纺比百分数应为多少?

代入公式(2-38),可得出:

$$\frac{g_1}{100 - g_1} = \frac{65 \times (100 + 0.3)}{35 \times (100 + 12)} \frac{6519.5}{3920.0} = \frac{6519.5 + 3920.0}{3920.0} = \frac{62.45}{37.55}$$

即涤黏的湿重混纺比百分数应为 62.45/37.55, 才能使干重混纺比百分数为 65/35。

三、纤维的吸湿等温线

在一定的大气压力和温度条件下, 分别将纤维材料预先烘干, 再放在各种不同相对湿度的空气中, 使其达到吸湿平衡回潮率, 可以分别得到各种纤维在不同相对湿度下与平衡回潮率的相关曲线, 即“吸湿等温线”, 如图 2-11 所示。由图可见, 虽然不同纤维材料的吸湿等温线并不相同, 但曲线的形状都是反 S 形, 这说明它们的吸湿机理本质上是一致的。当相对湿度小于 15% 时, 曲线斜率比较大, 说明在空气相对湿度稍有增加时, 平衡回潮率增加很多, 这主要是因为开始阶段, 纤维中极性基团直接吸附水分子; 当相对湿度在 15% ~ 70% 时, 曲线斜率比较小, 由于纤维自由极性基团表面已被水分子所覆盖, 再进入纤维的水分子主要靠间接吸附, 并存在于小空隙中, 形成毛细水, 所以纤维在此阶段吸收的水分比开始阶段减少; 当相对湿度很大时, 水分子进入纤维内部较大的空隙, 毛细水大量增加, 特别是由于纤维本身的膨胀, 使空隙增加, 表面的吸附能力也大大增强, 进一步增加了回潮率上升的速率, 故表现在曲线的最后一段, 斜率又有明显地增大。

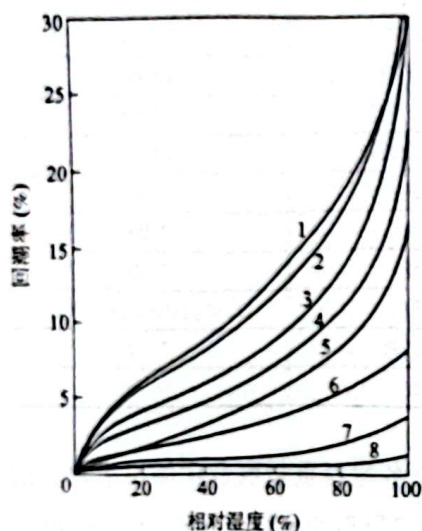


图 2-11 各种纤维的吸湿等温线

- 1—羊毛 2—黏胶纤维 3—蚕丝
4—棉 5—聚酯纤维 6—锦纶
7—腈纶 8—涤纶

纤维吸湿等温线的形状说明了纤维吸湿的阶段性和阶段性, 同时也说明了纤维吸湿, 绝不是一种机理在起作用。由图可知, 在相同的相对湿度条件下, 不同纤维的吸湿平衡回潮率是不相同的, 这表明不仅不同纤维的吸湿性能有差异, 而且它们的吸湿机理也不完全相同, 可能偏重于某一种吸湿方式。如吸湿性较高的纤维, S 形比较明显; 吸湿性差的纤维, S 形不明显, 这说明纤维开始形成水合物的差异比较大。另外, 需要指出的是: 吸湿等温线与温度有密切的依赖性, 故其一般均在标准温度下试验而得, 如果温度过高或过低, 即使是同种纤维, 吸湿等温线的形状也会有很大的不同。

四、吸湿滞后现象

相同的纤维在一定的大气温湿度条件下, 从放湿达到平衡和从吸湿达到平衡时, 两种平衡回潮率是不相等的, 且放湿达到的平衡回潮率大于吸湿达到的平衡回潮率, 这种现象称为纤维的吸湿滞后性。如图 2-12 所示, 纤维吸湿达到平衡所需要的时间和放湿达到平衡所需的时间是不同的。

纤维的吸湿滞后性, 更明显地表现在纤维的吸湿等温线和放湿等温线的差异上, 纤维的放

湿等温线,是指一定的纤维在温度一定,相对湿度为 100% 的空气中达到最大的回潮率后,再放在各种不同相对湿度的空气中,所测得的平衡回潮率与空气相对湿度的关系曲线,如图 2-13 所示。同一种纤维的吸湿等温线与放湿等温线并不重合,而形成吸湿滞后圈。滞后值与纤维的吸湿能力有关。一般的规律是吸湿性好的纤维差值比较大,而涤纶等吸湿性差的合成纤维,吸湿等温线与放湿等温线则基本重合。有资料表明,在标准状态下几种常见的纤维因吸湿滞后性造成的误差范围羊毛为 2.0%,黏胶纤维为 1.8%~2.0%,棉为 0.9%,锦纶为 0.25%。

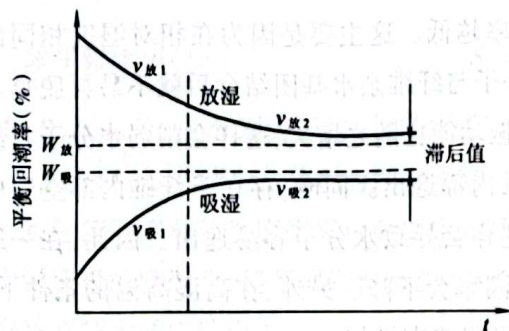


图 2-12 纤维吸湿与时间的关系

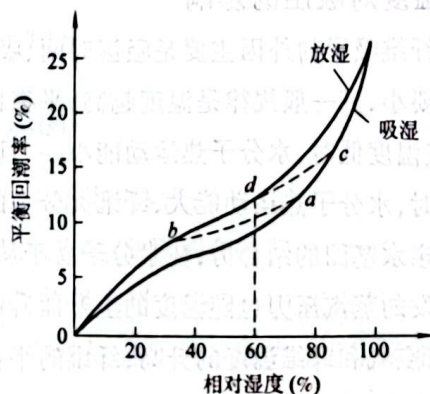


图 2-13 纤维的吸湿滞后现象

纤维因吸湿滞后性造成的差值并非常数,其值还与纤维吸湿或放湿前原有的回潮率有关,如图 2-13 所示,如果纤维并未完全润湿,而是在某一回潮率 a 时,放入相对湿度较低的大气中,纤维进入放湿过程,这时纤维的平衡回潮率和相对湿度的关系曲线如 ab 所示,这段曲线在吸湿等温线与放湿等温线之间;当纤维具有某一回潮率 c 时,由放湿状态重新吸湿时,它的平衡回潮率和相对湿度的关系曲线如 cd 所示,也位于吸湿等温线和放湿等温线之间,由此可见,在同样的相对湿度下,纤维的实际平衡回潮率是在吸湿等温线和放湿等温线之间的某一数值,这一数值与纤维在放湿或吸湿前的历史有关,因此,一般提到纤维的平衡回潮率时,是指它的吸湿平衡回潮率。

纤维吸湿滞后性产生的原因可以归结为以下的一些方面的影响:在吸湿或放湿的过程中,纤维表面到内部存在着水分子蒸汽压力的势能差,当吸湿时,水汽压力的势能外高内低;当放湿时,水汽压力的势能内高外低。在纤维中的非结晶区或晶区的界面间,纤维大分子链上的亲水基团(如羟基)相互形成横向结合键——氢键,即带有较多的横向联结键。当大气的相对湿度增加时,大气中水分子进入纤维时需要克服这些纤维分子间的氢键力,才能被纤维吸收,由于水分子的挤入,纤维分子间微结构单元间的距离会被拉开。在此基础上,当蒸汽压力减小时,由于已经有较多的极性基团与水分子结合,水分子离开要赋予更多能量,故同一种纤维尽管在相同的温湿度条件下,但处于吸湿中的纤维与处于放湿中的纤维内部结构并不相同,其无定形区大分子的交键数不同,前者大于后者;同时吸湿后水分的进入使纤维内的孔隙和内表面增大,这种变形通常是塑性变形,在应力去除后,回复也不可能是完全的,因而导致吸湿条件的改善,纤维能保持更多的水,阻碍水分的离去,所以纤维从放湿达到平衡比从吸湿达到平衡具有较高的回潮率。

纤维的吸湿滞后性在加工及性能测试中必须予以注意,因纤维的各种物理性质都与纤维的

回潮率有关,故在检验纺织材料的各种物理性能时,为了得到准确的回潮率指标,避免试样由于历史条件不同造成的误差,不仅需要统一在标准大气条件下进行吸湿平衡,还要预先将材料在较低的温度下干燥(一般在温度为40~50℃的条件下去湿0.5~1h),使纤维材料的回潮率远低于测试所要求的回潮率,然后再使之在标准状态下达到吸湿平衡,以尽量减少吸湿滞后性所造成的误差,这一过程被称为试样的预调湿。

五、温度对吸湿的影响

影响纤维吸湿的外因主要是吸湿时间、吸湿滞后和环境温湿度。温度对纤维吸湿的影响比相对湿度要小,其一般规律是温度越高,平衡回潮率越低。这主要是因为相对湿度相同的条件下,空气温度低时,水分子热运动能小,一旦水分子与纤维亲水基团结合后就不易再脱离。空气温度高时,水分子热运动能大,纤维大分子的热振动能也随之增大,这样会削弱水分子与纤维大分子中亲水基团的结合力,使水分子易于从纤维内部逸出。同时,存在于纤维内部空隙中的液态水蒸发的蒸汽压力也随温度的上升而升高,这样会导致水分子容易逸出。因此,在一般情况下,随着空气和纤维温度的升高,纤维的平衡回潮率会下降。另外,在高湿高温的条件下,纤维会因热膨胀,导致内部孔隙增多,故使其平衡回潮率略有增加。

纤维在一定大气压力下,相对湿度一定时,平衡回潮率随温度而变化的曲线,称为纤维的吸湿等湿线。图2-14是羊毛和棉的吸湿等湿线,它们表明了平衡回潮率随温度变化的情况。

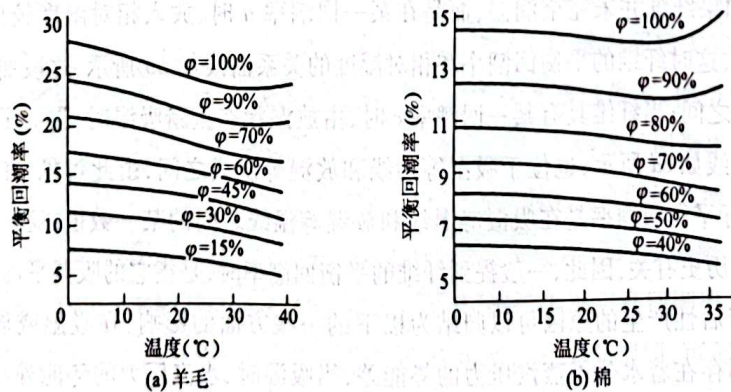


图2-14 羊毛和棉的吸湿等湿线

六、纤维结构与吸湿的关系

纤维吸湿后会使纤维的质量、形态尺寸、密度等发生变化,其间的主要关系分述如下。

1. 对质量的影响 纤维材料吸湿后的重量随吸着水分量的增加而成比例地增加。纺织材料的重量,实际上都是一定回潮率下的重量,因此正确表示纺织材料的重量或与重量有关的一些指标,如纤维或纱线的线密度,织物的面密度等,应取公定回潮率时的重量,即公定重量。

2. 吸湿膨胀 纤维吸湿后,其长度和横截面均要发生膨胀,体积增大,而且这种膨胀表现了明显的各向异性,即直径方向膨胀大,而长度方向膨胀小。这种各向异性也说明纤维内部分子排列结构在长度方向和横向明显的不同。由于纤维中链大分子沿轴向排列,水分子进入无定

形区,打开长链分子间的联结点(氢键或范德华力),使长链分子间距离增加,使纤维横向容易变粗。至于纤维长度方向,是由于大分子不完全取向,并存在有卷曲构象,水分子进入大分子之间而导致构象改变,使纤维长度有一定程度的增加,但其膨胀率远小于横向膨胀率。

$$\text{直径膨胀率(\%):} \quad S_D = \frac{\Delta D}{D} \times 100 \quad (2-39)$$

$$\text{长度膨胀率(\%):} \quad S_L = \frac{\Delta L}{L} \times 100 \quad (2-40)$$

$$\text{截面积膨胀率(\%):} \quad S_A = \frac{\Delta A}{A} \times 100 \quad (2-41)$$

$$\text{体积膨胀率(\%):} \quad S_V = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \quad (2-42)$$

式中: D, L, A, V ——分别为纤维原来的直径、长度、截面积和体积;

$\Delta D, \Delta L, \Delta A, \Delta V$ ——分别为纤维膨胀后的直径、长度、截面积和体积的增加值。

直径膨胀率和长度膨胀率可分别用显微镜和测长仪测得。表 2-10 列出了各种纤维浸在水中时所得的膨胀率,但不同资料所测得的数据相差很大,除了纤维结构差异原因外,主要是测试方法有较大的实验误差。

表 2-10 各种纤维在水中的膨胀性能

纤维	S_D (%)	S_L (%)	S_A (%)	S_V (%)
棉	20 ~ 30	0.8 ~ 1.4	40 ~ 42	42 ~ 44
蚕丝	16.3 ~ 18.7	1.3 ~ 1.6	19	30 ~ 32
绵羊毛	15 ~ 17	2.9 ~ 3.0	32 ~ 37	36 ~ 41
黏胶纤维	25 ~ 52	3.7 ~ 4.8	50 ~ 114	74 ~ 127
铜氨纤维	32 ~ 53	2 ~ 6	56 ~ 62	68 ~ 107
醋酯纤维	3.0 ~ 3.9	0.1 ~ 0.3	6 ~ 8	6 ~ 8
锦纶	1.9 ~ 2.6	2.8 ~ 6.9	2.6 ~ 3.2	8 ~ 11

3. 对纤维密度的影响 吸湿对纤维密度的影响,开始时是随着回潮率的增大而密度上升,以后又下降。这是由于回潮率小时,吸附的水分子与纤维以氢键结合,而氢键长度短于范德华力的结合长度,故纤维吸附水分子后增加的体积比原来水分子体积小,从而使密度有所增加。实验表明,大多数吸湿性较高的纤维在回潮率为 4% ~ 6% 时密度最大。待水分子大量进入充满孔隙后,纤维的体积显著膨胀,从而使纤维密度反而降低。纤维密度与回潮率间的关系如图 2-15 所示。

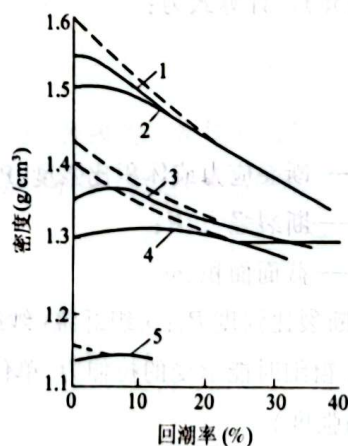


图 2-15 纤维密度与回潮率的关系

1—棉 2—黏胶纤维 3—蚕丝
4—羊毛 5—锦纶