

表面活性剂溶液对织物 浸渍渗透的机理探讨

高来宝 任桂芳

(天津纺织工学院)

【提要】 通过表面活性剂溶液对被浸织物的渗透实验发现,在溶液的表面张力、静态接触角、前进接触角等因素中只有液体在毛细管内的前进接触角才是影响渗透速度的决定因素。本文还从表面现象原理和数学分析两个方面讨论了为什么仅由前进接触角就能决定渗透速度的大小。通过归纳实验数据还发现,前进接触角与渗透时间的关系可用一个指数函数表示。

一般认为,液体在多孔性织物内渗透速度的快慢除了与织物本身的特性有关外,主要取决于液体的表面张力、对纤维表面的接触角、粘度等物理化学特性。如液体在水平毛细管内运动速度可用公式 $v = dl/dt = \sigma \cdot \cos\theta \cdot r/4l\eta$ 表示。式中: v 为液体运动速度; σ 为表面张力; θ 为接触角; r 为毛细管半径; l 为液体进入毛细管的长度; η 为液体的粘度。由于织物毛细管结构很复杂,要用一个简单的公式表示液体在织物内的渗透速度是非常困难的。有人作过这样的试验,将一定量的液体滴在织物上,观察液体在织物中的渗化速度并得到经验公式。然而,浸渍在溶液内的织物其渗透速度与溶液各物理化学参数有何关系? 尚未见到有关报道。

我们从织物在不同浓度的各种表面活性剂溶液中的渗透实验发现,渗透速度的快慢与表面张力 σ 、静态接触角 $\theta_{\text{静}}$ 或 $\sigma \cdot \cos\theta_{\text{静}}$ 等因素的关系比较紊乱,而与溶液在毛细管内以一定速度运动时的前进接触角 $\theta_{\text{前进}}$ 却有很好的对应关系。此关系还可用一个指数函数的形式表示。也就是说只有溶液在毛细管内的前进接触角才是决定渗透速度的主要因素(溶液粘度的大小可不必考虑,因为表面活性剂稀溶液的粘度与纯水的粘度相近)。

一、实验方法及结果

1. 将市售工业用 JFC、OP-10、平平加、渗透剂 M (天津纺院研制) 等表面活性剂分别配成浓度为 0.5%、0.25%、0.1%、0.05% 的溶液。

2. 用 JZHY-180 型表面张力仪分别测出各溶液的表面张力。

3. 用 JY-82 型接触角测定仪测定以上各溶液在内壁涂蜡的毛细管内的静态接触角和前进接触角(因未经处理的纤维表面有一层蜡质或油性物质,所以溶液在织物内的渗透与在内壁涂蜡的毛细管内流动情况很相似)。

蜡管的制作及接触角测定:

(1) 先将石蜡放在烧杯内加热熔化,把熔融蜡液的温度保持在 165°C 左右,将内径为 0.7 毫米的毛细管的一端插入蜡液,另一端用吸耳球迅速吸上,并马上将蜡液吹出,使毛细管内壁很快涂上一层薄层蜡质。选取一批涂层均匀的毛细管待测定用。

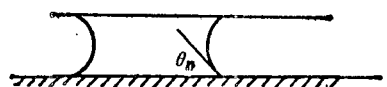


图1 静态接触角

(2) 取一根内壁涂蜡的毛细管，从一端吸取一点待测的表面活性剂溶液，使液体在管内的长度为1厘米。将该毛细管放到接触角测定仪的载物台上，调节水平位置，按图1测定 $\theta_{静}$ 。

(3) 旋转载物台使毛细管发生倾斜，管内液体开始流动，当液体运动速度约为0.15毫米/秒时，按图2用标尺跟踪的方法测定

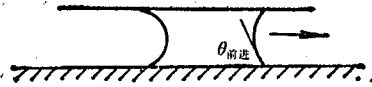


图2 前进接触角

$\theta_{前进}$ (因液体的运动速度对前进接触角有影响，所以在比较各溶液的前进接触角时需规定同一运动速度。我们用0.15毫米/秒作为统一速度的理由是：①我们做了溶液在单根纱线水平方向的渗透实验，发现其速度大都在每秒钟零点几毫米的范围内；②如速度太快，前进接触角的测量误差较大)。

4. 渗透时间的测定：将白帆布剪成直径为35毫米的圆片，按图3装置将圆片浸入溶液之中，记录从浸入溶液到开始下沉的时间 t ，并以 t 作为织物渗透快慢的指标。

以上实验均在 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 的温度下进行。

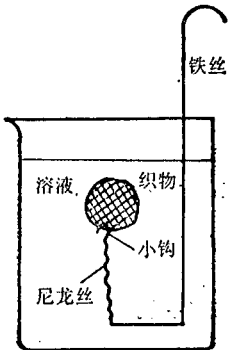


图3 测定渗透时间的装置

5. 实验结果：所测数据用图形表示。由图4~7可见，以表面张力、静态接触角或

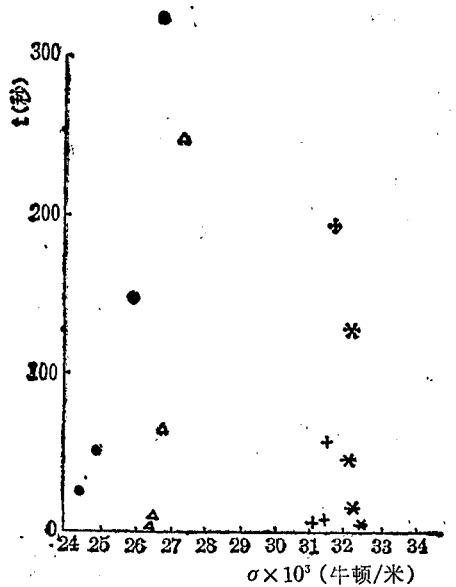


图4 表面张力与渗透时间的关系
 Δ -JFC; \bullet -渗透剂M; $*$ -OII-10; $+$ -平平加
 (以下各图皆同)。

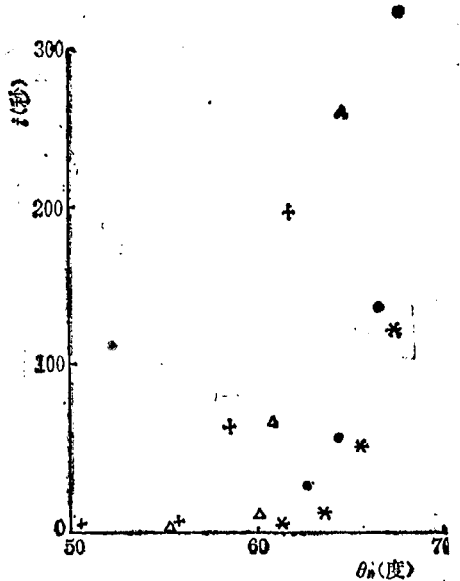


图5 静态接触角与渗透时间的关系

$\sigma \cdot \cos\theta_{静}$ 对渗透时间作图所得点均比较分散，而只有以前进接触角对渗透时间作图所得的点才有规律地落在一条光滑曲线的附近。考虑到测定接触角的方法本身误差较大，我们对 $\theta_{前进}$ 相近的溶液还反复进行比较，未发现有矛盾的现象。

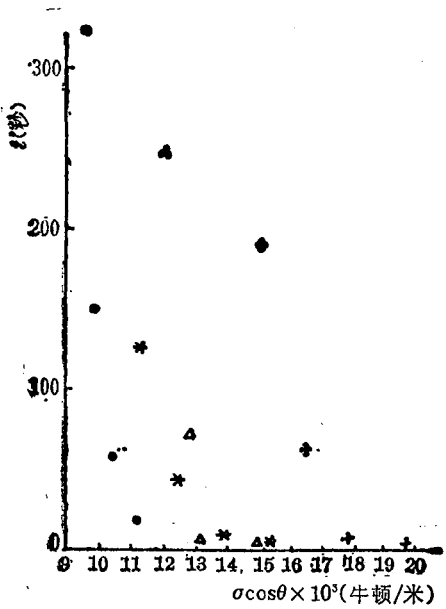


图6 $\sigma \cos \theta_{静}$ 与渗透时间的关系

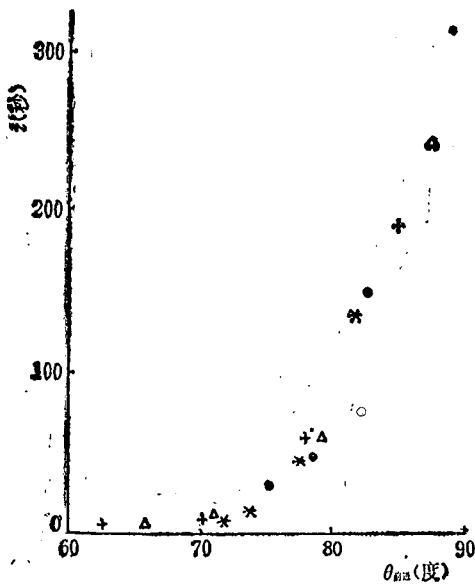


图7 前进接触角与渗透时间的关系

二、数学分析

首先分别考虑 $\theta_{前进}$ 、 $\theta_{静}$ 、 σ 、 $\sigma \cos \theta_{静}$ 等因素与渗透时间 t 之间的相互关系。从图象分析和数据计算可得：

1. $\theta_{静}$ 、 σ 、 $\sigma \cos \theta_{静}$ 与 t 之间都没有相关关系。

2. $\theta_{前进}$ 与 t 之间的关系由实验数据进行曲线拟合可得到 $t = e^{0.22(\theta_{前进} - 62)}$ 。

一般讲渗透时间 t 应该是 $\theta_{前进}$ 、 $\theta_{静}$ 、 σ 等因素综合影响的结果。为了分析这些因素对 t 影响的大小，先建立它们之间的非线性回归关系：

$$t = a_0 + a_1 e^{\theta_{前进} - 62} + a_2 \theta_{静} + a_3 \sigma$$

但由于非线性关系得到的正规方程求回归系数很困难，故可根据实验数据将非线性部分近似为 $e^{0.22(\theta_{前进} - 62)}$ 而得：

$$t = a_0 + a_1 e^{0.22(\theta_{前进} - 62)} + a_2 \theta_{静} + a_3 \sigma$$

$$\text{再令：} x_1 = e^{0.22(\theta_{前进} - 62)}$$

$$x_2 = \theta_{静} \quad x_3 = \sigma$$

可将非线性回归方程化为线性回归方程：

$$t = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$$

求出回归系数后得回归方程为：

$$t = -187.6362 + 0.8407x_1 + 2.9875x_2 + 1.1473x_3$$

进行方差分析和显著性检验：

$$\text{回归平方和 } U = 129145.746$$

$$\text{剩余平方和 } Q = 20346.134$$

$$\text{复相关系数 } R = 0.9295$$

$$\text{检验统计量 } F = 25.3894$$

因 $F_{3,12}^{0.01} = 5.95$ ， $F > F_{3,12}^{0.01}$ ，故回归在 0.01 水平上高度显著。

为了分析 x_1 、 x_2 、 x_3 对 t 影响的大小，由偏回归平方和： $P(1) = 77549.9415$ ， $P(2) = 2616.0272$ ， $P(3) = 174.4786$ 。

进行显著性检验： $F_1 = 45.738$ ，

$$F_2 = 1.543, F_3 = 0.103。$$

由于 $F_{1,12}^{0.01} = 9.33$ ，只有 $F_1 > F_{1,12}^{0.01}$ ，即只有 x_1 是影响 t 的主要因素，剔除各次要因素建立 x_1 与 t 的回归关系：

$$t = 24.7257 + 0.956x_1$$

相关系数 $R = 0.9274$ ，检验回归显著。

即可得到渗透时间与前进接触角的关系为：

$$t = 24.7257 + 0.956e^{0.22(\theta_{前进} - 62)}$$

三、讨 论

为什么前进接触角能成为被浸织物渗透快慢的决定因素呢？

1. 因为前进接触角越小，被浸织物表面排气处越多，从而液体取代织物毛细管内的空气所需行走的路程也越短，织物渗透速度必然加快。

由于弯月面附加压力的作用，在图8情况下流体将自动地按箭头所指方向流动。同理织物在渗透过程中表面活性剂溶液将由孔径较小的毛细管口流入，而织物内的空气将由大孔径毛细管口排出。实验证明在织物的表面上能排出气体的大孔径毛细管口并不多，即使使用很好的渗透剂，每平方米也只有十几处，而绝大多数是孔径较小的管口，液体从这些小口径处进入织物内部。

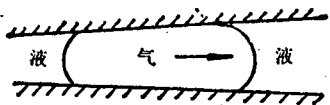


图8 流体在不均匀毛细管内的流动方向

如令进液小毛细管的平均半径为 r ，若现有前进接触角不同的两溶液 A 和 B ，它们的前进接触角分别为 θ_A 、 θ_B 。弯月面的曲率半径分别为 R_A 和 R_B ，见图9。由弯月面附加压力的原理可知，对 A 液体而言只要是半径大于 R_A 的毛细管口就可以排气，然而对 B 液体来说，织物内部的空气必须从半径大于 R_B 的毛细管口排出。所以， A 液体所对应的排气管口数目要比 B 液体多得多。这就是为什么能从前进接触角的大小来决定渗透速度的一个

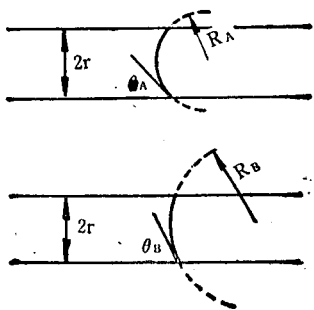


图9 排气机理说明示意图

重要原因。

2. 织物内部的孔径大小是不均匀的，当液体从小孔渗入大孔时必然要经过一个孔径扩大处。由图10可见，如液体的前进接触角很小，在孔径扩大处弯月面仍保持凹形，液体仍能继续前进。若液体的前进接触角较大，如图11，当该液体运动到孔径扩大处时，虽然前进接触角不变，但弯月面的曲率将变得很小，甚至几乎接近平面，液体就不能由此继续前进，而只能绕道从孔径小的地方渗透，这也必然使织物的渗透速度大为降低。

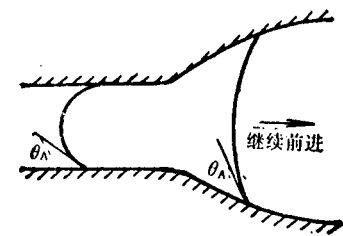


图10 液体在扩孔处继续前进

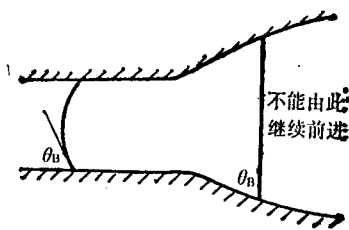


图11 液体在扩孔处不能继续前进

3. 由公式 $v = \sigma \cdot \cos\theta \cdot r / 4l\eta$ 来看，若把式中的 θ 看作前进接触角，在 σ 、 η 、 l 等因素相近的情况下，也是前进接触角越小，运动速度越快。

综合以上分析可知，决定被浸织物渗透速度的排气、液体进入大孔及管内运动等几个关键步骤中，前进接触角都起了决定性的作用。这就解释了为什么可以不考虑表面张力、静态接触角等因素，而仅由前进接触角的大小能决定被浸织物的渗透速度。前进接触角与渗透时间的关系可用一个指数函数表示，公式中的常数与织物的结构等因素有关。

(下转第26页)

(上接第17页)

结构及织物的力学特性提供了信息。拉伸曲线清楚地表明,线圈中纱线的无应力状态是具有某种残余曲率的曲线。残余曲率的存在是导致纱线断裂伸长和弹性回复率提高的最主要原因。针织物的力学特性不仅取决于线圈结构,还取决于编织后纱线的力学特性及纱线的残余曲率。

(上接第21页)

参 考 资 料

- [1] 《纺织学报》, 1984, No.4. p.19~23.
- [2] 《纤维加工》, 1977, VOL.29, No.8, p.23~29, No.9, p.27~29, No.10, p.22~26, No.12, p.30~33.
- [3] J. J. Bikerman: «Surface Chemistry», second edition, 1958, p.23~24, p.359~362, p.47~48.
- [4] A. W. Adamson: «Physical Chemistry Of Surfaces», third edition, 1976, p.4~6, p.461~462.