

声速法测定纤维取向度和模量

所属实验课程：《高分子物理实验》、《综合性课程设计》

一、概述

纤维的取向度和模量是表征纤维材料超分子结构和力学性能的重要参数，测定取向度是生产控制和纤维结构研究的一个重要课题。测定取向度的方法有 X 射线衍射法、双折射法、二色性法和声速法等。

二、实验目的

1. 加深对纤维取向原理的理解。
2. 了解声速法测定纤维取向度的基本原理。
3. 了解声速仪装置的基本结构，学会声速测量仪的使用。
4. 掌握声速法测定纤维的取向度和模量的实验技术。

三、实验原理

声速法是通过测定声波在纤维中传播速度的测定，来计算纤维的取向度。其原理是基于纤维材料中因大分子链的取向而导致声波传播的各向异性，即在理想的取向情况下，声波沿纤维轴方向传播时，其传播方向与纤维的大分子链平行，此时声波是通过大分子内的主价键的振动传播的，其声速最大；而当声波传播方向与纤维分子链垂直时，则是依靠大分子间价键的振动传播的，此时声速最小。实际上，大分子链不总是沿纤维轴成理想取向的状态，所以各种纤维的实际声速值总是小于理想的声速值，且随取向度的增大而增高。

当声波以纵波形式在试样中传播时，由于纤维中大分子链与纤维轴有一个交角（取向角） θ ，如果假设声波作用在纤维轴上的作用力为 F ，则 F 将分解为两个互相垂直的分力。其中，一个力平行于大分子链轴向，为 $F \cdot \cos \theta$ ，这个力使大分子内的主价键产生形变；另一个力垂直于大分子链轴向，为 $F \cdot \sin \theta$ ，使分子的次价键产生形变。

如以 d 表示形变， K 表示力常数，则 $K = F/d$ ；如以模量 E 代替常数 K ，则基本意义不变。因此，由平行于分子链轴向的分力 $F \cdot \cos \theta$ 所产生的形变为 $F \cdot \cos \theta / E_m$ ，由垂直于分子链轴向的分力 $F \cdot \sin \theta$ 所产生的形变为 $F \cdot \sin \theta / E_t$ 。其中

E_m 为平行于分子链轴向的声模量； E_t 为垂直于分子链轴向的声模量。

根据Moseley理论，总变形 d_a 为：

$$d_a = \frac{F}{E} = \frac{F \cdot \overline{\cos^2 \theta}}{E_m} + \frac{F \cdot \overline{(1 - \cos^2 \theta)}}{E_t} \quad (16-1)$$

根据声学理论，当一个纵波在介质中传播时，其传播速度 C 、传播介质密度 ρ 及其模量 E 的关系如下：

$$C = \sqrt{E/\rho} \quad (16-2)$$

上式可改写为 $E = \rho C^2$ (模量关系式)。将式 16-1 中各项的 E 值以 ρC^2 代入，并消去 F 和 ρ ，则得：

$$\frac{1}{C^2} = \frac{\overline{\cos^2 \theta}}{C_m^2} + \frac{\overline{1 - \cos^2 \theta}}{C_t^2} \quad (16-3)$$

式中： C 为声波沿纤维轴向传播时的速度； C_m 为声波传播方向平行于纤维分子链轴式的声速； C_t 为声波传播方向垂直于纤维分子链轴时的声速。

在式 (16-3) 中，由于 $C_m \gg C_t$ ，因此右端第一项可看做零，则式 (16-3) 变为：

$$\frac{1}{C} = \frac{\overline{1 - \cos^2 \theta}}{C_t^2}$$

$$\text{即：} \quad \frac{C_t^2}{C^2} = \overline{1 - \cos^2 \theta} \quad (16-4)$$

根据赫尔曼取向函数式： $\overline{\cos^2 \theta} = 1/3$ 。当试样在无规取向的情况下，即当 $C = C_u$ (C_u 为无规取向时的声速) 时，取向因子 $f = 0$ ，则取向度也为 0，此时 $\overline{\cos^2 \theta} = 1/3$ ，代入 (16-4)，得：

$$C_t^2 / C_u^2 = 1 - 1/3 = 2/3$$

$$\text{即：} \quad C_t^2 = \frac{2}{3} C_u^2 \quad (16-5)$$

式 (16-5) 给出了无规取向时的声速 C_u 与垂直于分子链轴传播时的声速 C_t 之间的关系。将 C_t 与 C 的关系转换成 C_u 与 C 的关系式，即以式 (16-5) 代入式 (16-4)，得：

$$\overline{\cos^2 \theta} = 1 - \frac{2C_u^2}{3C^2} \tag{16-6}$$

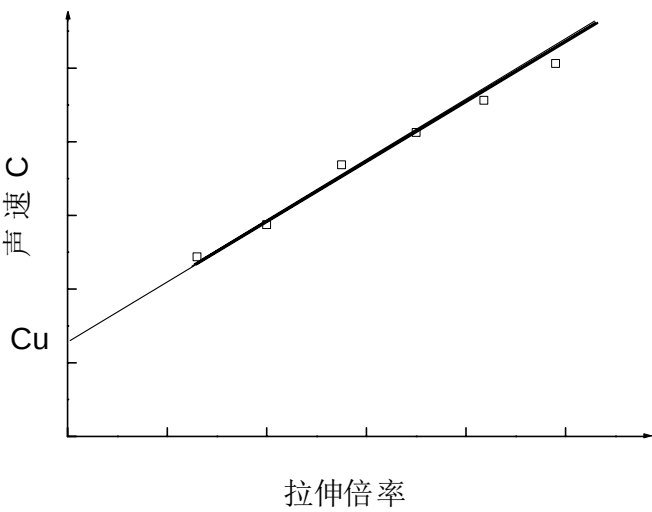
将式（16-6）代入取向函数式 $\overline{\cos^2 \theta} = 1/3$ ，则得声速取向因子 f_s 为：

$$f_s = 1 - \frac{C_u^2}{C^2} \tag{16-7}$$

式中： f_s 为纤维试样的声速取向因子； C_u 为纤维在无规取向时的声速值； C 为纤维试样的实测声速值。

根据Moseley声速取向公式，即式（16-7），求取纤维的 f_s 只需要两个实验量，除了测定试样的声速外，还需要知道该种纤维在无规取向时的声速值 C_u 。

测定纤维的 C_u 值一般有两种方法：一种是将聚合物制成基本无取向的薄膜，然后测定其声速值；另一种是反推法，即先通过拉伸试验，绘出某种纤维在不同拉伸倍率下的声速曲线，然后将曲线反推到拉伸倍率为零处，该点的声速值即可看做该纤维的无规取向声速值 C_u 。



下表列出了几个主要纤维品种的 C_u 值以供参考。

聚合物	$C_u / \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	
	薄膜	纤维
涤纶	1.4	1.35
尼龙 66	1.3	1.3
粘胶纤维	—	2.0
腈纶	—	2.1
丙纶	—	1.45

本实验以涤纶、锦纶和丙纶为试样，采用 SCY-III 声速取向测定仪测定其取向度和模量。

四、实验仪器及样品

SCY-III 声速取向测定仪、涤纶、锦纶、丙纶

五、实验步骤

1. 将纤维进行恒温恒湿处理；如实验室无恒温恒湿设备，则可将试样预先在 25℃ 及相对湿度为 60% 左右的条件下放置 24h，以使纤维试样的含湿量保持平衡，然后将试样取出放在塑料薄膜袋中备用。
2. 开启主机电源与示波器电源开关。
3. 去一定长度的纤维放置在样品架上。
4. 根据纤维的总线密度施加张力。
5. 将标尺移至 20cm，观察示波器上的振动波形；待其稳定，将准备开关切入测量档并按下 20 键，仪器将自动记录时间并送入单片机储存，记录结束再将标尺移至 40cm，重复以上程序，连续 10 次。
6. 用打印机打印结果。

六、实验结果分析与讨论

1. 为保证测试的精确性，每种纤维试样至少取 3 根以上进行测定。试验结果与数据处理可参照下表格式填写。

试样号：		试样名称：				线密度：		张力：				
试样数	长度/cm	读数（t/μs）										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	40											
	20											
2	40											
	20											
3	40											
	20											
4	40											
	20											
5	40											
	20											
Δt(μs)=2t ₂₀ -t ₄₀				C /km·s ⁻¹		f _s				E/N·tex-1		

2. 影响实验数据精确性的关键问题是什么？实验中有何体会？
3. 比较声速法与双折射法，两者各有什么特点？