

纤维单丝横截面积及模量非接触式共振测定仪^{*}

简念保

(中山大学材料科学研究所 聚合物复合材料
及功能材料国家教委开放研究实验室, 广州 510275)

摘 要 报导利用非接触式激发和接收的方法, 精确测定同一根纤维单丝的横截面积和杨氏模量.

关键词 纤维单丝, 横截面积, 杨氏模量, 非接触式激发与检测, 共振法

分类号 TH 873

纤维以其优异的力学性能一直受到材料学家的重视. 但由于大多数天然纤维和合成纤维单丝直径很小, 其横截面积的测量需用高倍显微镜或电子显微镜. 且纤维粗细分散性大, 其横截面呈不规则形状, 这给横截面积以及杨氏模量测量带来很大误差. 因此, 为了提高测试精度, 当前很多纤维研究者都力图找寻一种方法既能直接准确测定纤维横截面积, 又能对同一根单丝测定其杨氏模量.

1 仪器的构造和原理

1.1 原理 单丝上端固定, 下端挂重物. 这时单丝可以看作是两端固定并受到张力的柔软而均匀的弦. 然后激发单丝作垂直于它轴向的横向振动和沿着它轴向的纵向振动, 并分别测出它的横向共振基频 f_T 和纵向共振基频 f_L , 则单丝横截面积 S 和杨氏模量 E 为

$$S = mg / 4d^2 f_T^2 \quad (1)$$

$$E = 4\pi^2 m l f_L^2 / S \quad (2)$$

式中, d 和 l 分别为纤维的密度和长度, m 为重物质量. 只要测定 f_T 和 f_L 就可以分别算出单丝的横截面积 S 和杨氏模量 E .

1.2 仪器结构 动力法面对的最大困难是如何激发单丝振动和如何接收它的振动信号问题. 大多数纤维单丝直径是 $5 \sim 20 \mu\text{m}$, 它的微弱振动信号接收是困扰人们的最大问题. 有学者^[1]用静电方法激发单丝作横向振动, 接收电极直接与单丝接触以接收它的振动信号. 这种接触式接收方法的缺点是接收电极直接与纤细单丝接触将严重干扰它的振动状态. 1986 我们成功地用非接触式代替接触式接收, 以测定碳纤维单丝的横截面积及它的杨氏模量. 从而大大地提高了测试精度 (误差在 0.1% 以下)^[2-4], 而激发电极与接收电极合二而一, 又使得仪器结构可大大简化.

这方法虽然精度很高, 但由于只能测像碳纤维那样的导电单丝. 而大多数合成或天然

^{*} 收稿日期: 1997-01-17 简念保, 男, 59岁, 高级工程师

纤维是非导电的,因此必推广到导电与非导纤维的应用上.改进后的原理如图 1.增加 1 个横向接收电极 A' 和 1 个纵向接收电极 B' . 横向激发电极 A 与 A' 组成一个横向电容 $C_{AA'}$, 这个电容的任何微小变化都将导致某种信号输出.为了激发单丝的横向振动,在 $C_{AA'}$ 间的电场必须是非均匀的.当单丝被这个电场激发振动之后,作为电介质的振动着的单丝对这个非均匀电场显然是一种微小的扰动,从而引起 $C_{AA'}$ 的微小改变.当共振时,其变化最大.检测这种变化的共振频率并利用公式 (1) 计算出单丝横截面积.

杨氏模量测定与上述类似 (图 1), 纵向激发电极 B 激发重物 m 并带动单丝作纵向振动,这个振动被 B' 接收并传到放大器,共振时讯号达最大值.实际上,电极 A 或 B 总与交流激发电源相接,这时即使单丝或重物未处于振动状态仍有交流电流通过 $C_{AA'}$ 或 $C_{BB'}$, C_{Bm} , $C_{B'm}$, $C_{B'm}$ 传到放大器,形成背景干扰,单丝振动时输入放大器的电流实为背景干扰电流与有用信号电流之和.实验证明,背景干扰约为有用信号的 30~40 倍.因此,关键是背景干扰的消除.而图 1 中的背景消除电路是为此而专门设计的.另外,为减少空气阻力的影响,测试必须在真空下进行.实验证明在 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 汞柱压力下,共振频率已基本不变.

2 结果与分析

表 1 包括导电纤维与非导电纤维的测试结果.所有碳纤维和编号为 5, 6 号的玻纤均经丙酮回流 24 h 以除去它们的表面胶层.所测试纤维单丝平均直径范围由 $7 \sim 60 \mu\text{m}$ 之间,所测纤维杨氏模量数据与文献值是相一致的.6 号玻纤直径约为 5 号的 3 倍,但模量比后者小 15%,此结果与纤维直径越大模量越低的规律相符.编号为 10~13 的玻纤未经丙酮回流,

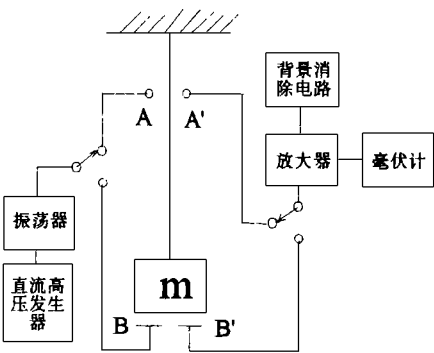


图 1 测试仪器
Fig. 1 An instrument

表 1 各种纤维单丝的横截面积和杨氏模量测试结果

Tab. 1 Cross-sectional area and Young's modulus of various fiber specimens

编号	纤维类别	$S \times 10^{-7} / \text{cm}^2$	$d / \mu\text{m}$	E / GPa
1	碳纤维 (M 40)	3. 61	6. 78	333
2	碳纤维 (T 300)	3. 88	7. 03	209
3	碳纤维 (HTA- 7)	3. 80	6. 96	211
4	碳纤维 (Z- 3R)	4. 27	7. 38	203
5	玻璃纤维	4. 26	7. 67	84. 0
6	玻璃纤维	44. 6	23. 8	73. 1
7	蚕丝	8. 43	10. 4	16. 1
8	人头发	281	59. 8	9. 16
9	黄麻纤维	215	52. 3	35. 1
10	玻璃纤维	3. 94	7. 08	65. 7
11	玻璃纤维	4. 90	7. 90	67. 1
12	玻璃纤维	5. 18	8. 12	68. 0
13	玻璃纤维	5. 54	8. 40	75. 5

所测得的模量偏低。这是由于玻纤外表面的胶层模量比玻纤本身低得多。玻纤单丝与这胶层复合势必导致整体模量降低。并且随着玻纤单丝表观直径增大, 表面胶层在整体比例中降低, 导致整体模量升高, 即由 65.7 GPa 升至 75.5 GPa, 而纯玻纤模量为 84 GPa (5号试样数据)。

3 结 论

① 本仪器由于采用非接触式静电共振法使测试系统对样品的负载和干扰减至最小, 此外还加上真空系统, 消除空气阻尼, 所以测试精度很高。② 因为纤维振动的激发与接收是建立在纤维介电性基础上, 所上不论纤维导电与否均可测量。③ 由于激发电极与接收电极合而为一, 使结构大为简化, 也使测试系统对单丝的负载和干扰进一步降低。④ 本仪器测量范围广, 纤维直径可测范围从几微米到 60 微米以上。⑤ 文献检索显示, 与本仪器类似的仪器仍未见报导。

致谢: 在本工作过程中, 曾汉民教授曾与本文作者进行了有益的讨论, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 李华昌, 细丝. 碳纤维截面积和杨氏模量的共振法测量, 宇航材料工艺, 1983 (2): 30
- 2 简念保, 曾汉民, 章明秋. 碳纤维单丝横截面积及轴向杨氏模量非接触式共振测定仪. 合成纤维工业, 1986 (4): 37
- 3 Jian Nianbao, Zeng Hanmin, Zhang Mingqiu. An instrument for measuring precisely the cross-sectional area and axial Young's modulus of single carbon fiber by resonance method with contactless detection system. In: Proceedings of International Symposium on Composite Materials and Structures. USA: Technomic Publishing Co Inc Lancaster, 1986. 925
- 4 章明秋, 简念保, 曾汉民. 碳纤维单丝几种参量的分布规律及品质因素研究. 合成纤维工业, 1987 (2): 13

An Instrument for Precise Measurement of Cross-Sectional Area and Young's Modulus of Single Fiber by Resonance Method with Contactless Detection System

Jian Nianbao^{*}

Abstract A new method and an instrument for measuring precisely the cross-sectional area and Young's modulus of a single fiber are reported. With the technique of contactless excitation and detection, it is able to determine both the cross-sectional area and Young's modulus of reinforcing fiber simultaneously. The errors existing in the testing methods used currently are eliminated.

Keywords single fiber, cross-sectional area, Young's modulus, contactless detection resonance method

^{*} Materials Science Institute, Lab of Polymer Composites & Functional Materials, The State Education Commission of China, Zhongshan University, Guangzhou 510275