

# 激光用于兔毛表面改性的实验研究

杨兆萍

谢 辉 潘大任

(四川省纺织工业研究所, 成都)

(四川大学, 成都)

**摘要:** 使用XeCl准分子激光和CO<sub>2</sub>激光对兔毛纤维进行了表面改性研究。实验证明用这两种激光在空气中直接辐照兔毛都能改变纤维的表面形状, XeCl激光更适合用于兔毛的表面改性。

## Experimental study on laser surface-modification of rabbit hair fibers

Yang Zhaoping

Xie Hui, Pan Daren

(Sichuan Institute of Industry Textile)

(Sichuan University)

**Abstract:** CW CO<sub>2</sub> and XeCl excimer laser surface-modification of rabbit hair is studied, respectively. Experiments show that both of the lasers directly radiating rabbit hair in air can change their fiber surface, XeCl excimer is more suitable for laser surface-modification of rabbit hair.

### 一、引 言

兔毛是一种珍贵的特种动物纤维。它柔软、光滑、质轻,保暖性和吸湿性好,是一种优良的纺织原料。

我国兔毛产量占全世界总产量的90%以上。但由于兔毛纤维的鳞片包裹紧密,表面光滑,摩擦力和抱合力小,造成可纺性差,加工困难,织物掉毛严重,使兔毛纤维的开发和利用受到限制。近年来改善其可纺性的研究主要沿着两个方向进行<sup>[1,2]</sup>,其一是采用化学湿法处理,虽有成效但反应过程难以精确控制,生产工序长,耗能大,易造成环境污染。其二是采用物理办法处理,在此方面低温等离子体改性处理的报导较多,可使纤维摩擦系数增大,卷曲数增加,使其可纺性改善,但是低温等离子设备价格昂贵,工艺上也难以适应大批量连续处理的要求,因而此技术尚未能实用。

激光作为现代科学中的新兴技术近年来已经跨入了纺织工业领域,80年代初期西德首先制造了激光扫描器用于检验坯布,继后又有激光雕刻机用于印花筛网雕刻,用激光测定各种化学纤维的直径、折射率和双折射率。在纤维处理方面,也有用红外激光对聚酯纤维进行热处理定型及用紫外激光使聚酯,和聚酰胺66纤维表面结构化等工作的报导<sup>[3,4]</sup>。我们认为,利用激光具有改性速度快,无污染,利于连续生产等优点,对兔毛这种蛋白质纤维进行有利于改善其可纺性的表面改性是完全可能的,因此在下述工作中对此作了初步的探索。

## 二、实 验

### 1. 试样与主要设备

试样为四川省二级兔毛，平均细度 $11.95\mu\text{m}$ ，主要设备有激光器，显微设备和纤维摩擦系数测试设备。

本实验中使用了两种激光器：JZ-1型 $\text{CO}_2$ 激光器，输出波长 $10.6\mu\text{m}$ 的连续波红外激光，最大功率为20W。ELA-1型XeCl准分子激光器，输出波长为 $0.308\mu\text{m}$ ，脉宽约15ns的紫外激光脉冲序列，最大重复频率10Hz。

显微设备为日本UNION公司VJSOLATOR光学显微镜，放大率75倍~1000倍；日立公司S-450型扫描电子显微镜，放大率20倍~200000倍。

纤维摩擦系数测定使用Y-151型摩擦系数仪，纤维在 $20^\circ\text{C}$ ，RH65%条件下放置24h后测定。

### 2. 实验方法

$\text{CO}_2$ 激光实验装置如图1所示。其中使用分束器一方面是为了用可见的He-Ne激光指示不可见的 $\text{CO}_2$ 红外激光的光斑位置以利于放置兔毛样品，另一方面也是为了监测实际使用的 $\text{CO}_2$ 激光的强度。实验中激光器的输出功率多在8W~16W内调节，斩波器最大转速为30r/min。选用不同焦距的透镜或改变样品的位置即可改变光斑线度。减小光斑线度或增大激光输出功率都可增加照射到样品上的激光功率密度，调节斩波器转速即可控制激光照射样品的时间。

XeCl准分子激光实验装置如图2所示。和图1不同的是，由于准分子激光本身即为脉冲输出，所以省去了斩波器，激光单脉冲最大能量为0.15J，实验中脉冲重复频率多在1Hz~3Hz内调节。

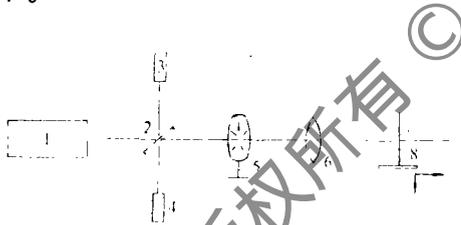


图1  $\text{CO}_2$ 激光实验装置

- 1— $\text{CO}_2$ 激光器 2—分束器 3—功率计 4—He-Ne激光器 5—斩波器  
6—聚焦镜 7—试样 8—X-Y平动台

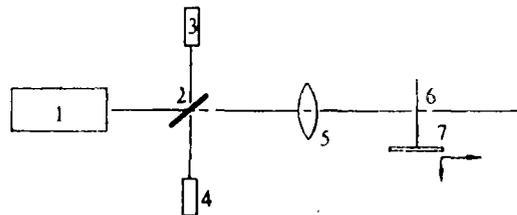


图2 XeCl准分子激光实验装置

- 1—准分子激光器 2—分束器 3—能量计 4—He-Ne激光器 5—透镜组  
6—试样 7—X-Y平动台

激光辐照后的样品用光学显微镜初检后，在电子显微镜下观察表面结构，然后进行纤维摩擦系数等物理性质的测定。

## 三、实验结果与分析

### 1. $\text{CO}_2$ 激光的表面改性

随着 $\text{CO}_2$ 激光的增强，被照射的兔毛渐渐由外形无变化到表面产生皱纹，超过某一定值后兔毛变黄以至烧焦。在图3、图4的兔毛纤维的电子显微镜相片中，图3是辐照前的兔毛纤

维,鳞片排列整齐,表面光滑,而图4是激光能量密度达 $16\text{J}/\text{cm}^2$ 时辐照后的纤维,在与纤维轴垂直的方向上产生了皱纹。

$\text{CO}_2$ 激光波长在红外波段。一般有机物对红外辐射的吸收系数都比较高,激光能量几乎可以立即转化为热能,因此加热过程非常迅速。 $\text{CO}_2$ 激光处理兔毛的过程可以视为一种整体的加热过程。由于兔毛的皮质层结构是正副皮质层随机分布,髓质层由充满空气的干燥细胞组成多孔结构<sup>[5]</sup>,兔毛纤维在红外激光辐照下整体温度急剧升高,辐照停止后温度下降,但由于结构的差异使其表面各部分的散热情况不同,膨胀和收缩速度不一致,从而导致原来光滑的兔毛表面产生变形或皱纹。

纤维表面产生形变和皱纹后,必然使摩擦系数增大,纤维产生如图4的形变后,摩擦系数比辐照前增加了8%。但兔毛纤维是细度仅 $10\mu\text{m}$ 数量级的蛋白质纤维,很容易因过热而变黄烧焦,因此要在不损坏纤维的情况下提高兔毛的摩擦系数,辐照需在精密控制 $\text{CO}_2$ 激光能量的情况下进行。

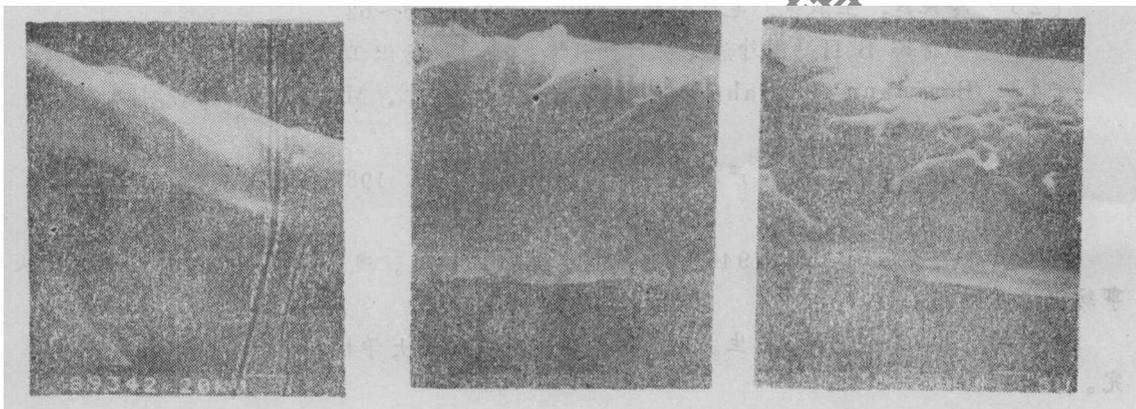


图3 未经辐照的兔毛 (1200 $\times$ )

图4  $\text{CO}_2$ 激光辐照后的兔毛 (2000 $\times$ )

图5 XeCl激光辐照后的兔毛 (1100 $\times$ )

## 2. XeCl准分子激光的表面改性

用以辐照兔毛的准分子激光脉冲强度很小时,观察不到兔毛辐照后有变化。当激光增强到一定值时,辐照时能观察到激光激发的荧光产生,电子显微镜下可以观察到兔毛表面出现微坑或小丘状的突起,图5即为激光的单脉冲能量密度为 $37\text{mJ}/\text{cm}^2$ ,辐照30个脉冲后兔毛纤维表面的照片。

准分子激光由于波长短,光子具有很高的能量(XeCl激光光子能量为 $\text{CO}_2$ 激光光子的34倍),可破坏有机物高分子链的连接,使分子离解。同时,由于激光脉冲短(为 $10^{-8}\text{s}$ 数量级),激光能量来不及扩散到表层以下,能量在表面层的迅速积累能形成表面的局部熔蚀而形成凹凸不平的微坑。通过对激光辐照能量密度的调节可以将激光作用的深度控制在 $10\text{nm}\sim 100\text{nm}$ 范围内,对于直径为 $10\mu\text{m}$ 数量级的兔毛来说,刻蚀作用造成的去除量很小,不致于对兔毛造成损伤而影响强度,而又因改变了表面的不平度提高了摩擦系数。如图5所示的纤维的静摩擦系数比辐照前增加了12%。

由此可见,使用 $\text{CO}_2$ 激光和XeCl激光都可使兔毛纤维的表面发生形变以增大摩擦系数,但是如前所述,由于 $\text{CO}_2$ 激光改性中对激光能量密度的精度要求苛刻,在待处理的纤维粗细不均时,如何选定合适的激光能量密度更为困难。而相比之下,使用XeCl激光进行兔毛改性

就较为方便,因为和CO<sub>2</sub>激光近似于“整体加热”不同,XeCl激光辐照是多个短脉冲的“逐层剥离”过程。每一短脉冲蚀刻的深度很小,因此激光功率和脉冲个数在有限范围内的偏差对处理结果不会发生致命的干扰。另一方面,从纤维改性所需的激光能量来分析,XeCl激光也较少。比较图4和图5的能量条件不难看出,图4的形变所需的CO<sub>2</sub>激光能量密度为16J/cm<sup>2</sup>,图5对应的XeCl激光能量密度为0.037J/cm<sup>2</sup> × 30 pulse = 1J/cm<sup>2</sup>,前者比后者大得多而所取得的摩擦系数的增加幅度却比后者小。目前正在进一步研究XeCl激光表面改性的最佳实验条件以寻求改善兔毛可纺性的激光改性技术。

本研究得到四川省科委应用基础研究经费的资助,在此表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 金明官,田菊仙,王英梅.毛纺科技,1987;(2):37~39
- [2] 冷纯廷,王淑范.毛纺科技,1990;(1):58~62
- [3] 普特娜 B II.国外涤纶生产新技术.北京:纺织工业出版社,1983:165
- [4] Bossmann A, Bahners T, Schollmeyer E. Melliand, 1987; 68  
(2):136
- [5] 吴安成,宋修彩,严灏景.中国纺织大学学报,1987;(6):11

\*

\*

\*

作者简介:杨兆萍,女,1940年9月出生。高级工程师。现在四川省纺织工业研究所从事纺织化学研究。

谢 辉,男,1959年6月出生。助理工程师。现在四川大学材料研究所从事激光应用研究。

潘大任,男,1944年7月出生。副教授。现在四川大学材料研究所从事激光应用研究。

收稿日期:1990年11月27日。收到修改稿日期:1991年4月11日。

· 简 讯 ·

### 第三届三地区激光学术联合报告会在宜昌召开

第三届中南、西南、西北三地区激光学术联合报告会,由湖北省激光学会主持,于1991年10月6日至11日在宜昌市科协会议中心举行,市科协主席等负责同志到会讲了话。这次会议共收到论文(包括摘要)120多篇,由《光电子·激光》杂志集中专辑出版。来自中南、西南、西北的80多名代表会聚一堂,交流了各单位近两年来的研究成果和今后主攻方向。全体大会共听取了四个特约报告,然后按分会场进行激光基础理论、激光器件与应用和激光医学的报告讨论。大家感到这种形式的联合学术报告会规模不大,生动活泼,学术面适中,收效直接,影响较大,是三地区激光科技工作者学术交流的好形式。会议期间,三地区激光与光学学会的有关负责同志还举行了联席会议,一致决定第四届会议1993年在四川成都地区举行。

(郭振华 供稿)