

干态剑麻叶片及其复合板材拉伸性能研究

Study of Tensile Properties of Dry Sisal Leaf and its Composite Board

徐卫林/XU Wei-lin, 崔卫钢/CUI Wei-gang, 李文斌/LI Wen-bin, 易长海/YI Chang-hai

武汉科技学院纺织研究所, 武汉 430073

Textile Research Center, Wuhan University of Science and Engineering, Wuhan 430073, China

[摘要] 探讨了以干态剑麻叶片作为增强材料与环氧树脂复合后制成复合板材的拉伸性能。研究表明,剑麻叶片自身可视为一种定向增强的复合材料,与环氧树脂复合后,在定向拉伸性能上可以得到进一步改善。

[关键词] 拉伸性能;剑麻;复合材料;环氧树脂

[中图分类号] S563.8, TQ323.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)05-0055-04

Abstract: In this essay, dry sisal leaf was used as reinforced material and was combined with epoxy resin to produce reinforced composite board, and the tensile properties of the composite board were studied. The study indicated that dry sisal leaf itself could be used as a kind of directional reinforced material, and the directional tensile properties of the composite board were improved greatly.

Key Words: tensile properties; sisal; composite material; epoxy resin

CLC Numbers: S563.8, TQ323.5

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)05-0055-04

1 前言

剑麻(*Agave Sisalana Perrine*; 英文名: Sisal; 别名: 西沙尔麻), 属石蒜科龙舌兰属多年生草本, 原产墨西哥尤卡坦半岛, 其叶片如剑, 并因此得名。剑麻叶片呈剑形, 硬而狭长, 叶片一般长为 100~140 cm, 宽 13~15 cm, 灰绿至蓝绿色。与一般麻类作物不同, 剑麻可供观赏, 人们所用剑麻纤维来自其叶片。它的叶纤维粗壮, 拉力强、耐水浸, 可用于造纸或编制船缆, 其副产品还广泛应用于国防、工矿、农商、医疗多方面, 譬如其叶汁可提出皂素, 其中海柯吉宁和替告吉宁等皂甙元可制成字体激素, 用于治疗皮炎或是作为避孕药物等。

目前全世界在剑麻的利用上主要局限于对剑麻叶片中纤维的利用, 如加工成缆绳、抛光轮等, 也有使用剑麻纤维作为热塑性和热固性复合材料中增强材料使用的。但剑麻纤维中纤维素成分只占 6% 左右, 其余大量为水分、果胶、木质素、灰分等, 在纤维制取过程中, 大量的其他成分被当作废弃物处理, 即使利用也只利用了其中很少的部分, 导致大量的资源浪费。我们成功研制的剑麻叶片加工方法, 制作出干态剑麻叶片。作为探索性的研究, 我们采用剑麻叶片作为直接的增强材料制作了环氧树脂和聚丙烯树脂基的复合材料, 并且与剑麻叶片的性能进行了对比。

2 材料和方法

2.1 干态剑麻叶片复合材料制备

2.1.1 干态剑麻叶片增强普通环氧树脂复合材料

将环氧树脂 E-44 与低分子聚酰胺树脂 650 放入 80℃ 的烘箱中加热 30 min, 使其软化, 降低其粘度, 增加它们在干态剑麻叶

片中的浸透性。当加热到达设定时间后, 迅速将上述两种树脂取出, 分别称取 20 g, 然后放入同一烧杯中迅速搅拌, 使之均匀混合, 并将两种混合均匀的树脂均匀涂敷在干态剑麻叶片上, 然后放入 80℃ 的烘箱中固化 3 h, 最后在室温下固化 24 h, 测其重量。

2.1.2 干态剑麻叶片增强硬酯酸钙环氧树脂

环氧树脂、聚酰胺树脂的热处理如上所述, 分别称取环氧树脂 E-44、低分子聚酰胺树脂 650 各 25 g、12 g, 然后倒入烧杯均匀混合, 再称取 2.1 g 硬酯酸钙, 与两种树脂搅拌, 使之均匀混合, 同样涂敷在干态剑麻叶片上, 然后放入 80℃ 的烘箱中固化 3 h, 最后在室温下固化 24 h, 测其重量。

2.1.3 干态剑麻叶片增强邻苯二甲酸二辛酯改性环氧树脂

环氧树脂、聚酰胺树脂的热处理如上所述, 分别称取环氧树脂 E-44、低分子聚酰胺树脂 650、邻苯二甲酸二辛酯各 11 g、11 g、12 g, 将三者均匀混合, 然后将均匀的树脂均匀涂敷在干态剑麻叶片上, 放入 80℃ 的烘箱中固化 3 h, 然后在室温下固化 24 h, 测其重量。

2.1.4 干态剑麻叶片编织后增强环氧树脂板材

将干态剑麻叶片分割成长 14 cm、宽 1 cm 的剑麻叶条, 然后把叶条编织成长、宽均为 14 cm 的平纹结构剑麻板材。将环氧树脂、低分子聚酰胺树脂分别放在 80℃ 烘箱中加热 30 min, 以降低其粘度。然后再在电子天平上称取环氧树脂 48 g, 低分子聚酰胺树脂 23 g, 并使其按质量比 2:1 均匀混合, 均匀涂敷在上述编织的剑麻板材上。

2.2 实验方法

2.2.1 剑麻叶片中纤维力学性能与剑麻叶片力学性能的关系测量

收稿日期: 2005-09-26

基金项目: 湖北省青年杰出人才基金项目(2002AC007)

作者简介: 徐卫林, 男, 武汉市洪山区纺织路 1 号武汉科技学院, 教授, 研究方向为有机分子材料纺织研究所;

E-mail: weilin_xu@wuse.edu.cn

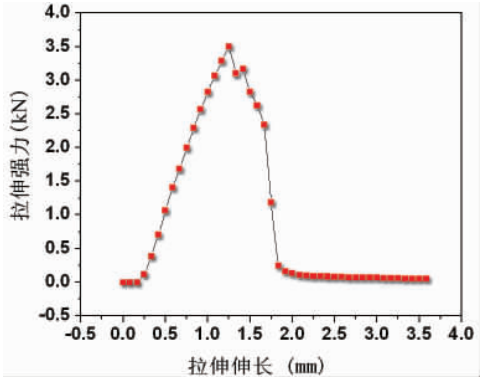


图 1 干态剑麻叶片的拉伸曲线
Fig. 1 Force elongation curve of dry sisal leaf

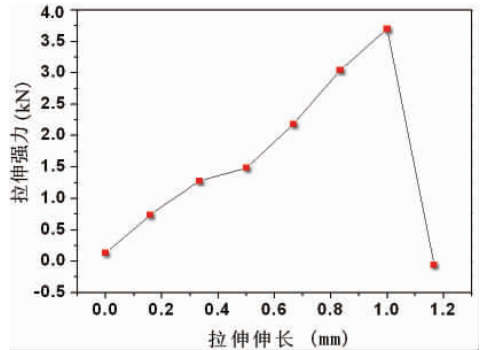


图 2 剑麻细纤维的拉伸曲线
Fig. 2 Force elongation curve of fine sisal fiber

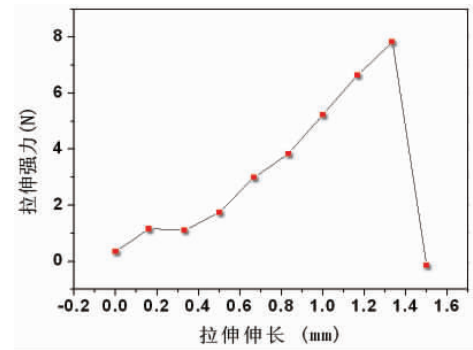


图 3 剑麻粗纤维的拉伸曲线
Fig. 3 Force elongation curve of coarse sisal fiber

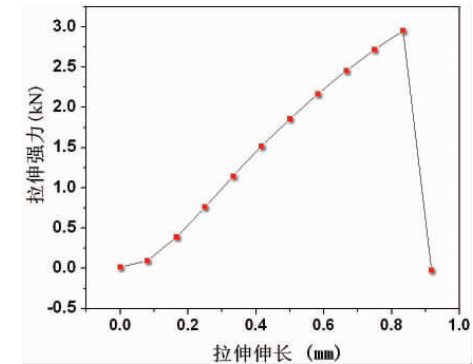


图 4 对照样的拉伸曲线
Fig. 4 Force elongation curve of control sample

表 1 剑麻叶片及其纤维的拉伸性能				
Tbl. 1 Tensile properties of sisal leaf and fibers				
试样	断裂强力(N)	断裂伸长率(%)	断裂功(J)	纤维或者叶片根数(片、根)
剑麻叶片	3 506.80	6.30	1.318	1
粗纤维	8.00	5.60	0.005	227
细纤维	4.00	4.90	0.001	316

注：粗纤维和细纤维的性能测试结果是随机选取相类似的纤维30根，测试结果取平均值以代表粗纤维或者细纤维的拉伸性能。

表 2 剑麻叶片增强环氧树脂与对照样(相类似的剑麻叶片)的各项参数						
Tbl. 2 Parameters of epoxy resin reinforced by sisal leaf and the control sample						
试样	叶片重量(g)	复合板材重量(g)	长度(mm)	宽度(mm)	厚度(mm)	处理后厚度(mm)
剑麻叶片增强环氧树脂	5.41	20.45	145	90	0.80	1.10
对照样(相类似的干态剑麻叶片)	5.30	-	150	75	0.80	-

表 3 剑麻叶片增强环氧树脂板材与对照样(干态剑麻叶片)的拉伸性能				
Tbl. 3 Tensile properties of epoxy resin boardreinforced by sisal leaf and the control sample				
试样	拉伸断裂比强度(N/mm ²)	拉伸断裂伸长率(%)	杨氏模量(N/mm ²)	断裂功(J)
剑麻叶片增强环氧树脂板材	91.6	9.16	10.0	5.674
对照样(干态剑麻叶片)	49.3	4.61	10.7	1.218

取干态剑麻叶片(广西剑麻集团)中部长 200 mm、宽 86 mm 的部分作为研究对象,试样重量为 8.04 g。在拉伸隔距为 20 mm 的状态下测试试样的拉伸强度,拉伸设备为 INSTRON-5566。然后将未经拉伸破坏的纤维逐根完好无损地取出,测试纤维的强度。为了减少测试的工作量,将叶片中的纤维大致地分为粗纤维和细纤维两种。

2.2 干态剑麻叶片复合板材性能测量
在 INSTRON-5566 上测其各项拉伸指标,隔距 20 mm。

3 结果与讨论
3.1 剑麻叶片中纤维力学性能与剑麻叶片力学性能的关系分析
叶片的拉伸曲线以及纤维的拉伸曲线分别见图 1、图 2、图 3 所示。而它们的拉伸性能测试结果见表 1。

从表 1 中可以看出,构成叶片的纤维和叶片具有非常接近的断裂伸长。为了明确纤维强度总和与所构成叶片强度之间的关系,我们将所有纤维的强度计算总和如下:

$$P=F_1\times N_1+F_2\times N_2$$

式中: F_1 为粗纤维束的平均强力; F_2 为细纤维束的平均强力; N_1 为粗纤维束的根数; N_2 为细纤维束的根数。计算构成叶片的纤维强度的总和为 3 086 N,而整个叶片的强度总和为 3 508.6 N,说明叶片强度明显高于构成叶片的纤维强度的总和,叶片中的半纤维素以及其它的粘接成分明显地起到了力的补强作用,达到了一种类似复合材料的增强作用机理,说明剑麻叶片在其本身的结构上可以被视为一种优质的天然复合板材,具有定向增强的特点。

3.2 干态剑麻叶片增强普通环氧树脂复合材料
剑麻叶片增强环氧树脂板材与对比叶片的参数如表 2 所示。剑麻叶片增强环氧树脂的板材与干态剑麻叶片的拉伸曲线如图 4、5 所示。测试结果的对比如表 3 所示,

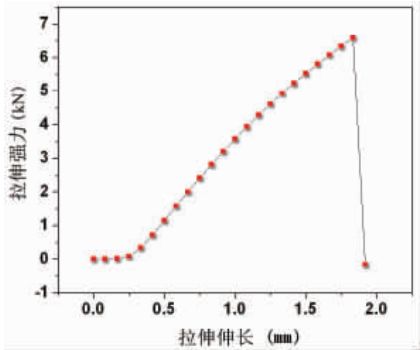


图 5 剑麻叶片增强板材的拉伸曲线

Fig. 5 Force elongation curve of board reinforced by sisal leaf

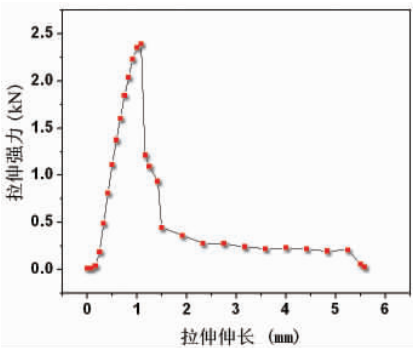


图 6 对照样(干态剑麻叶片)的拉伸曲线

Fig. 6 Force elongation curve of control sample

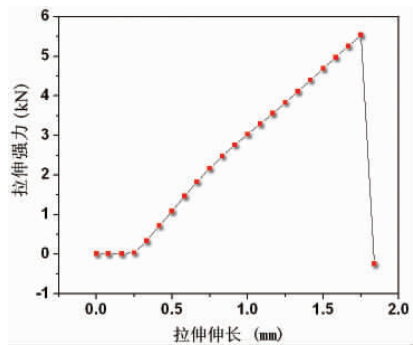


图 7 剑麻叶片增强环氧树脂(硬脂酸钙作为填料) 板材的拉伸曲线

Fig. 7 Force elongation curve of epoxy resin reinforced by sisal leaf (modified by calcium stearate)

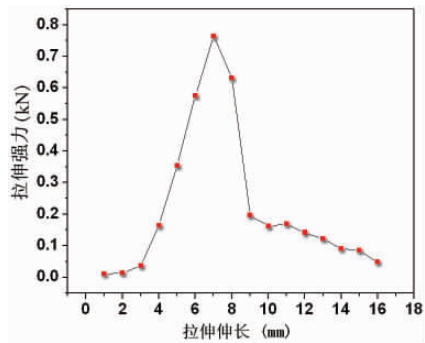


图 8 对照样(干态剑麻叶片)的拉伸曲线

Fig. 8 Force elongation curve of control sample

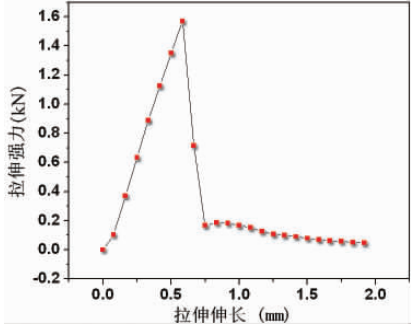


图 9 剑麻叶片增强环氧树脂的拉伸曲线

Fig. 9 Force elongation curve of epoxy resin reinforced by sisal leaf

表 4 剑麻增强环氧树脂与干态剑麻叶片的各项参数

Tbl. 4 Parameters of epoxy resin reinforced by sisal leaf and dry sisal leaf

试样	叶片重量 (g)	复合板材重量 (g)	长度 (mm)	宽度 (mm)	厚度 (mm)	处理后厚度 (mm)
剑麻叶片增强环氧树脂	5.25	17.58	150	75	0.80	1.50
对照样(相类似的干态剑麻叶片)	4.82	—	155	90	0.80	—

表 5 剑麻叶片增强环氧树脂(硬脂酸钙作为填料) 与对照样(干态剑麻叶片)的拉伸性能

Tbl. 5 Tensile properties of epoxy resin reinforced by sisal leaf (modified by calcium stearate) and the control sample

试样	拉伸断裂比强度 (N/mm ²)	拉伸断裂伸长率 (%)	杨氏模量 (N/mm ²)	断裂功 (J)
剑麻叶片增强环氧树脂板材	92.20	8.75	10.50	4.40
对照样(干态剑麻叶片)	33.20	5.42	6.10	1.27

表 6 剑麻增强环氧树脂与干态剑麻叶片的各项参数

Tbl. 6 Parameters of epoxy resin reinforced by sisal and dry sisal leaf

试样	叶片重量 (g)	复合板材重量 (g)	长度 (mm)	宽度 (mm)	厚度 (mm)	处理后厚度 (mm)
剑麻叶片增强环氧树脂	3.06	7.35	140	70	0.36	0.80
对照样(相类似的干态剑麻叶片)	3.23	—	130	70	0.35	—

从表 3 中可以看出,剑麻叶片经环氧树脂处理前后拉伸强度显著增加,拉伸比强度增强率为 186%。说明环氧树脂中的环氧基在剑麻叶片表面有很好的界面结合强度。

3.3 干态剑麻叶片增强硬脂酸钙环氧树脂

剑麻叶片增强环氧树脂和对照样(干态剑麻叶片)各项参数如表 4 所示,处理样与对照样的拉伸曲线如图 6、7 所示。增强板材与普通剑麻叶片的性能测试结果如表 5 所示。

3.4 干态剑麻叶片增强邻苯二甲酸二辛酯改性环氧树脂

剑麻叶片增强环氧树脂板材和对照样(干态剑麻叶片)各项参数如表 6 所示,增强复合板材与对照样的拉伸曲线如图 8、9 所示。测试结果如表 7 所示。

3.5 干态剑麻叶片编织后增强环氧树脂板材

涂敷后剑麻板材的各项参数如表 8 所示,以拉伸方向与纵向叶片之间的夹角为变化参数,以测试 0°(即与纵向叶片平行方向拉伸)、45°、90°(即与纵向垂直的方向拉伸)的拉伸性能的规律,具体结果见表 9。



表 7 剑麻增强环氧树脂与干态剑麻叶片的拉伸强力
Tbl. 7 Tensile strength of epoxy resin reinforced
by sisal and dry sisal leaf

试样	拉伸断裂比强度 (N/mm ²)	拉伸断裂伸长率 (%)	杨氏模量 (N/mm ²)	断裂功 (J)
剑麻叶片增强环氧树脂板材	62.20	2.9	21.50	0.439
对照样(干态剑麻叶片)	31.20	1.0	31.20	0.128

表 8 干态剑麻叶片编织后增强环氧树脂板材的参数
Tbl. 8 Parameters of epoxy resin board reinforced
and weaved dry sisal leaves

试样	目的	长度(mm)	宽度(mm)	厚度(mm)	重量(g)
1#	0°拉伸	142	52	1.70	13.20
2#	45°拉伸	139	48	1.58	10.96
3#	90°拉伸	91	48	1.60	7.20

表 9 干态剑麻叶片编织后增强环氧树脂板材拉伸性能
Tbl. 9 Tensile properties of epoxy resin board reinforced
and weaved dry sisal leaves

试样	目的	拉伸断裂 伸长率(%)	拉伸断裂 强度(N/mm ²)	杨氏模量 (N/mm ²)	断裂功(J)
1#	0°拉伸	2.900	26.500	9.200	0.675
2#	45°拉伸	4.600	23.800	5.200	0.572
3#	90°拉伸	5.000	24.700	4.900	0.637

从表 8、表 9 可以看出,虽然由于 3 个样品厚度以及重量的不同导致结果有一定的差异,但是剑麻叶片交织后,在纵横向以及 45°的中间方向上的拉伸性能起到了很好的均衡作用,呈现出了一定互相弥补的作用。

4 结论

由以上分析我们可以得出如下结论:

- 1) 干态剑麻叶片本身可以被看作一种自增强复合材料,具有定向增强作用;
- 2) 干态剑麻叶片与环氧树脂复合后,在定向拉伸性能上可以得到进一步改善。

我们这方面的工作目前尚处于探索阶段,受测试手段限制,对干态剑麻叶片及其复合板材的性能分析也主要停留在拉伸性能方面。

参考文献(References)

[1] 蔡东宏.世界剑麻业历史现状及中国剑麻业发展前景和对策[J].福建热作科技,1999,24(1):4-9.
[2] 皮连根,莫建德.剑麻纤维加工抽出率的探讨[J].热带农业工程,1999(4):24-26.
[3] 钟文惠.世界剑麻产销概况及中国剑麻产业的发展前景[J].热带农业工程,2003(3):2-5.
[4] 彭学成,译.短剑麻纤维增强聚苯乙烯复合材料的拉伸性能[J].国外塑料,1997,15(4):28-38.
[5] 王俊勃.苧麻纤维增强酚醛复合材料的研究[J].纤维复合材料,2001(1):13-15.
[6] 周兴平,解孝林,李国耀.剑麻纤维的表面改性及其复合材料的研究进展[J].工程塑料应用,2000,28(8):44-47.
[7] 中国力学学会.第十一届全国复合材料学术会议论文集[C].合肥:中国科学技术大学出版社,2000.
[8] 杨桂成,曾汉民,李家驹.剑麻纤维/酚醛树脂复合材料研究[J].玻璃钢/复合材料,1997(3):12-14.
[9] 陈华辉等.现代复合材料[M].北京:中国物资出版社,1998.
[10] 杨桂成,曾汉民,章明秋.剑麻纤维/不饱和聚酯环境材料[J].工程塑料,2001,29(1):6-8.
[11] 杨桂成,曾汉民,简念保,等.剑麻纤维与玻纤混杂增强 PVC 复合材料的性能研究[J].塑料工业.1996(1):79-82.
[12] 肖长发.纤维复合材料[M].北京:中国石化出版社,1995.

(责任编辑 王 芷)

·科技智力游戏·

好玩的数学——切蛋糕问题

我们在电视中经常看到这样一则广告:一个孩子要为小伙伴分一块蛋糕,他横竖各切了一刀,把蛋糕平分成 4 块。但是一点人数,有 8 个孩子,怎么办呢?他灵机一动,把刀横着从蛋糕中间切了一刀,把蛋糕分成了均匀的 8 块。这孩子确实很聪明,因为如果不横着切这一刀,把蛋糕分成 8 块至少要切 4 刀,而且很难切得均匀。

但是如果限定只许竖着切,不许横着切,且切得是否均匀没有关系,那么,切 n 刀时最多能把蛋糕分成几块呢(见右下图)?我们可以告诉你以下数列:

2,4,7,11,16,22,29,37,46,56,67...

这个数列就叫做“切蛋糕数列”,它不像我们熟知的反映兔子繁殖速度的斐波那契数列 1,1,2,3,5,8,13,21,34,55...那样有名,但也很有趣。这个数列告诉我们,把蛋糕切 1 刀,最多能切成 2 块;切 2 刀,4 块;切 3 刀,7 块;...图示把蛋糕切 4 刀,最多可以分成 11 块。

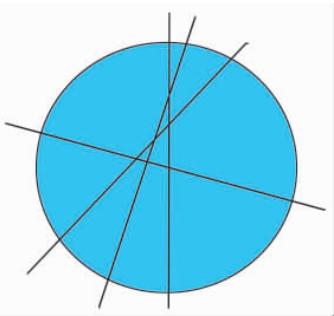
斐波那契数列可以用以下函数描述:

$$y_n = \begin{cases} 1, & n=1, 2 \\ y_{n-1} + y_{n-2}, & n>2 \end{cases}$$

现在要问:1) 切蛋糕数列可用什么样的函数表示? 2) 怎样切 6 刀可以把蛋糕分成 22 块? 答案见下期。

上期“有趣的自守数”答案

从 $(he)^2 = she$ 这个等式可知, he 是一个自守数。自守数的尾数必为 5 或 6。2 位的自守数有 2 个,即 25 和 76。但 76 的平方是 4 位数,所以答案只能是 $he=25, she=625$ 。



(供稿 吴鹤龄 责任编辑 黄永明)