

复合材料实验(应用型)

张 娜 王晓瑞 张 骋 编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

前 言

复合材料的显著特点是材料设计与成型工艺一体化,复合材料实验能很好地体现一体成型的优势。“复合材料实验”是提升材料类专业学生实践能力的一门课程,在国内很多院校均有开设。《复合材料实验》一书是在工程专业认证理念的基础上,充分了解新工科背景对人才的需求以及应用型复合材料专业人才培养目标的前提下,由我校复合材料专业教师、实验员及相关行业专家共同编写的一本具有树脂基复合材料专业特色的教材。

此教材着重提高学生的动手能力以及用相关理论解释实验结果的能力,包括组成复合材料的单一材料性能,以及复合材料的设计、成型、性能等。首先是复合材料前驱体性能的测试,包括树脂材料的基本性能、增强材料的基本性能以及界面性质的测试,此部分主要以验证性实验为主。然后是复合材料成型工艺实验,要求学生选择合适的成型工艺制备复合材料,此部分包括自行设计实验和验证性实验。之后是复合材料性能测试实验,包括复合材料的力学、热学以及燃烧等物理性能检测等,这类实验与复合材料基体性能以及制备工艺相呼应,让学生从结构、设计、制备以及性能四要素中掌握影响复合材料性能的关键因素。最后为复合材料结构设计实验,此部分主要根据大学生创新、创业、创意(三创)要求进行开放式设计。所有这些实验需要学生以项目的形式进行,由学生掌握实验进程,最终提供一份合格的总结报告或者写一篇小论文。

本教材充分体现了教师引导、学生为中心的教学理念,融合了学科竞赛、科创项目等内容;增加了理论分析模块,培养学生通过文献、课本、网络等资源集中精力攻克某一问题的能力;具有创新教学理念,能充分调动学生的积极性;充分体现了专业特色(热塑性树脂基复合材料),实现教、学、做一体化育人。

本书的构思和撰写是上海应用技术大学复合材料教学团队共同努力的结果。张娜负责全书的统编和定稿工作;王晓瑞和张骋参与了复合材料实验的设计、复合材料性能检测等相关内容的编写;郑晓虹参与了本书中学科竞赛实验的编写,并协助完成校稿工作;张英强参与了复合材料原材料性能测试等相关内容的编写;张建勇审阅了部分章节的内容,并在绘图等方面给予了大力支持;上海玻璃钢研究院有限公司的沈利新和马辉提供了复合材料工艺实验中的技术标准和要求。本书的编写得到了上海应用技术大学复合材料实验室以及上海玻璃钢研究院有限公司分析检测中心的大力支持。实验室人员的积极参与对提高本书中实验项目的可操作性和合理性提供了有力保障。在本书编写过程中,徐家跃、田甜、周鼎给予了大力支持和悉心指导。编者在此对他们表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有漏误之处,敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章	复合材料实验的基本知识	1
1.1	复合材料实验的重要性	1
1.2	实验方法标准化的必要性	1
1.3	影响实验结果的因素	1
1.4	材料实验与产品实验的差异性	2
1.5	复合材料性能实验方法总则	2
1.6	实验要求	4
1.7	安全守则	4
第 2 章	复合材料增强材料及基体的性能测试	5
实验 1	纤维主要性能测试	5
实验 2	树脂基本性能测试	14
第 3 章	复合材料界面性能测试	28
实验 3	表面处理及表面张力的测定	28
实验 4	纤维与稀树脂溶液之间接触角的测定	31
第 4 章	复合材料成型工艺实验	34
实验 5	复合材料手糊成型工艺实验	34
实验 6	真空辅助成型工艺实验	36
实验 7	缠绕成型工艺实验	38
实验 8	复合材料模压成型工艺实验	41
实验 9	复合材料层压成型工艺实验	45
实验 10	复合材料注塑成型工艺实验	47
实验 11	喷射成型工艺实验	50
实验 12	树脂传递模塑(RTM)成型工艺实验	53
第 5 章	复合材料物理化学性能测试	58
实验 13	复合材料力学性能测试	58

实验 14	复合材料电阻率的测定	69
实验 15	复合材料导热系数的测定	72
实验 16	复合材料耐燃烧性能的测定	74
实验 17	复合材料加速老化实验	81
实验 18	复合材料耐腐蚀性实验	83
实验 19	弯曲负载热变形温度的测定	86
第 6 章	基于学科竞赛的“三创”实验	89
实验 20	复合材料模型的设计与制作	89
实验 21	线性酚醛树脂的制备	94
实验 22	不饱和聚酯树脂的制备	96
实验 23	环氧树脂的制备与改性	97
附录		104
附录 A	黏度计参数选择	104
附录 B	标准氢氧化钾溶液浓度的校验	104

第1章

复合材料实验的基本知识

1.1 复合材料实验的重要性

复合材料以其优良的性能让世人瞩目,近二十多年来快速发展,并在很多高新技术领域得到广泛应用。但从设计和应用的角度看,复合材料仍有如下几个问题需重视。

(1) 复合材料的原材料、组成、制造方法的多样性使其性能难以稳定,表现为材料性能分散性较大。

(2) 影响复合材料性能的因素很多,有关性能的设计资料难以或几乎不可能十分完备。

(3) 由于复合材料是各向异性的,这使得其在水产品设计、性能计算及检验等方面都存在很大困难。

因此,发展和建立复合材料实验技术体系,使原材料的选择、性能设计、结构设计、工艺设计、实验检测成为一个完整的总体显得尤其重要。从培养复合材料专业人才的角度考虑,没有经过实验课训练的学生不能算是合格的、全面发展的毕业生。

1.2 实验方法标准化的必要性

实验是检验选材、设计和工艺效果的手段。为了保证原材料质量和成型过程中的质量控制,使每一次检验结果可靠并具信息资料交流的可信性,以及使同一性能实验数据具有可比性,有必要对实验方法建立统一的规范,包括实验方法总则、每一个具体实验要遵循的规定,以及某个实验的操作准备、实验步骤、结果计算等应遵守的规定。实验课训练严格按照国家实验标准进行,为将来在工作研究和生产实践中坚持实验标准化奠定基础。实际上,国家标准是一种法规,复合材料实验依据的是有关复合材料实验方法的国家标准,因此,实验过程要严格按照相应的国家标准进行。

1.3 影响实验结果的因素

科学的实验训练除了强调实验方法的标准化外,还应正确认识和处理影响实验结果的各种因素。

(1) 我国地域广阔,东西、南北跨越几千公里,气候、风沙、温湿度等环境条件相差很大,这势必对试样制作和实验结果带来一定的影响。因此,在重要的实验中,例如仲裁实验,往往应注明实验时的气候、温度和相对湿度,以便参考。

(2) 实验方法和仪器设备状态不一定尽善尽美,标准也是由少数人员制定的,难免有不合理、不科学的地方,因此,实验中要认真观察,深入分析,不盲目跟从,也不轻易否定,要不断总结经验 and 积累数据。

(3) 系统误差和过失误差是可以减少或避免的,这取决于实验者技能熟练程度和对待实验的态度。实验中想的办法越周密、态度越认真,则实验结果中发生过失误差的概率就越小。因此,在实验中要注意培养自己严格、缜密的作风,认真负责,细心操作,手脑并用。

(4) 要科学和合理地处理测试数据,对于某些偏低或偏高数据不能随意取舍,除确属粗心过失造成的较大偏差以外,一般都须仔细观察和分析。任何测试数据都是通过一系列劳动才获得的,尊重客观事实是所有实验的第一准则。造成反常数据和反常现象的原因可能有两种:一是测试系统(含实验者和试样)出了问题;二是这就是事物本来面目的反映,其中有过去未被人注意和研究的新现象或新规律。如果确属后者,而实验者随便就舍弃了,就会与一个新发现失之交臂。

1.4 材料实验与产品实验的差异性

材料实验不能代替产品实验。一方面,材料实验的试样与产品试样在形状、尺寸、环境条件和边缘效应等方面不相同;另一方面,虽然原材料可能完全相同,但材料试样和产品试样的成型条件也不完全相同。因此,复合材料制品应做必要的产品实验。产品实验在很多情况下无国家标准可循,这就需要实验者建立合理的、能充分反映产品使用性能的实验方法。

1.5 复合材料性能实验方法总则

本总则适用于本教材中涉及的聚合物基复合材料的力学和物理性能的测定。

1) 机械加工法制备试样

(1) 试样的取位区应距板材边缘(已切除工艺毛边)20~30 mm。若取位区有气泡、分层、树脂淤积、皱褶、翘曲、错误铺层等缺陷,则应避免。

(2) 若取位区有其特殊性,需要在实验报告中注明。

(3) 聚合物基复合材料为各向异性,故应按各向异性材料的两个主方向或预先规定的方向(如板的纵向和横向)切割试样,且应严格地保证纤维方向和铺层方向与实验要求相符。

(4) 实验样条应采用硬质合金刀具或砂轮片等加工,加工时要防止试样产生分层、刻痕和局部挤压等机械损伤。

(5) 加工试样时,采用水冷却(禁止用油)方法;加工后,应在适宜的条件下对试样及时进行干燥处理。

(6) 对试样的成型表面尽量不要加工。如必须要加工时,一般对单面进行加工,并在实验报告中注明。

2) 试样筛选和数量要求

(1) 实验前,试样需经外观检查,如有缺陷和不符合尺寸制备要求者,应予以作废。

(2) 测试材料的性能时,每组试样应多于5个,也就意味着同批材料应该有5个有效样条。

3) 实验标准环境条件

实验温度为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$;相对湿度为45%或55%。

注:① 实验前,将试样在实验标准环境条件下至少放置24 h;② 若不具备实验标准环境条件,实验前,试样可在干燥器内至少放置24 h;③ 特殊状态调节条件按需要而定。

4) 试样测量精度

(1) 试样尺寸小于和等于10 mm时,应精确到0.02 mm;大于10 mm时,精确到0.05 mm。

(2) 试样其他测量精度应按有关实验方法中的规定执行。

5) 实验设备

(1) 力学性能用实验设备应符合以下要求:

① 实验机载荷相对误差不得超过 $\pm 1\%$;② 机械式和油压式实验机使用吨位的选择应使试样施加载荷落在满载的10%~90%范围内(尽量落在满载的一边),且不得小于试验机最大吨位的4%;③ 电子拉力实验机和伺服液压式实验机使用吨位的选择应参照该机的说明书;④ 测量变形的仪器仪表的相对误差均不得超过 $\pm 1\%$ 。

(2) 测量物理性能所用实验设备应符合相关标准的规定。

6) 实验结果数据处理

(1) 记录每个试样的性能值: $X_1, X_2, \dots, X_n$,必要时应说明每个试样的破坏情况。

(2) 算术平均值 $\bar{X}$ 计算到三位有效数字。

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1-1)$$

式中, X_i 为每个试样的性能值; n 为试样数。

(3) 标准差 S 计算到两位有效数字。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1-2)$$

(4) 离散系数 C_v 计算到两位有效数字。

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (1-3)$$

7) 实验报告

实验报告的内容包括以下全部或部分项目:① 实验项目名称;② 试样来源及制备情况,材料品种及规格;③ 试样编号、形状、尺寸、外观质量及数量;④ 实验温度、相对湿度及试样状态调节;⑤ 实验设备及仪器仪表的型号、量程及使用情况等;⑥ 实验结果给出每个试样的性能值(必要时,给出每个试样的破坏情况)、算术平均值、标准差及离散系数。若有要求,可参考《试验结果的统计分析(ISO2602—80)》给出一定置信度的平均值置信区间。

1.6 实验要求

- (1) 实验室是培养学生理论联系实际、分析和解决问题的能力以及养成科学作风的重要场所,爱护实验室是学生科学道德的一部分。
- (2) 学生进入实验室应自觉遵守实验室的各种规章制度,严禁在实验室内抽烟、打闹。
- (3) 实验前认真阅读实验教材和实验指导书,做到有准备,未预习者不得开始实验。
- (4) 在规定时间内进行指定内容的实验。
- (5) 在教师指导下严格按仪器操作规程进行实验,如实记录实验数据。
- (6) 实验中注意人身安全,一旦出现异常情况要及时向指导教师报告。
- (7) 实验完毕,应将各种仪器开关旋回初始位置,认真填写仪器使用登记表,打扫室内卫生,教师检查合格后方可离去。
- (8) 实验中注意节约用品,不准将实验物品私自带出实验室外。
- (9) 听从指导教师的安排,违反规定不听劝阻者,教师应酌情批评,直至停止其实验。

1.7 安全守则

- (1) 进入复合材料实验室前须接受防火、防人身事故的安全教育。
- (2) 实验室中易燃、易爆化学物质应远离明火及高温场地存放。
- (3) 复合材料实验室中的化学药品多数具有毒性,应注意正确使用,尤其不要将过氧化物与促进剂简单混合,应适当间隔放置。
- (4) 防止将短纤维弄入眼内,造成不必要的伤害。
- (5) 实验室应备有专用工作服,进出实验室要换外衣,以免短纤维造成皮肤瘙痒。
- (6) 认真、小心操作机械设备,防止机件、模具损伤以及机械碰伤。

第 2 章

复合材料增强材料及基体的性能测试

实验 1 纤维主要性能测试

实验 1.1 单丝强度和弹性模量的测定

1. 实验目的

- (1) 了解单丝强力仪的工作原理和操作方法。
- (2) 掌握单丝强度和弹性模量的测试方法。

2. 实验原理

与材料力学实验的试样相比,单丝试样的尺寸较小,因此,其测试设备也较小,但两者的拉伸过程极为相似,计算拉伸强度和弹性模量的方法也相似。

在拉伸实验中,从开始拉伸到拉伸结束过程中试样所受的最大拉伸应力为拉伸强度。

材料在弹性变形阶段,其应力和应变成正比,即符合胡克定律,此比例系数为材料的弹性模量 E :

单丝拉伸强度 σ_b 和弹性模量 E 的计算公式分别为

$$\sigma_b = \frac{4D}{\pi d^2} \quad (2-1)$$

式中, D 为断裂载荷(N); d 为单丝直径(mm)。

$$E = \frac{\sigma_a}{\epsilon_a} = \frac{\frac{4P}{\pi d^2}}{\Delta L / L_0} = \frac{4PL_0}{\pi d^2 \Delta L} \quad (2-2)$$

式中, σ_a 和 ϵ_a 分别为单丝弹性变形阶段结束时 a 点的应力和应变; P 为该点处的载荷(N); L_0 为拉伸前单丝的伸直长度(mm); $\Delta L = L_a - L_0$, 为该点单丝的伸长量(mm)。

3. 实验仪器与设备

单丝强力仪、带微米刻度的显微镜或杠杆千分尺、秒表、镊子。其中,单丝强力仪是一台小型电子万能实验机,由主机、控制器和记录仪三部分组成,单丝负荷和伸长量均可显示在仪器上。它的主要技术参数有 7 个: 负荷量程为 0~0.98 N; 最小伸长读数为 0.01 mm; 下夹持器下降速度为 2~60 mm/min, 有级变速 11 档; 最大行程为 100 mm; 最小负荷感应量为 10^{-4} N;

走纸速度误差不大于 1%；工业电源电压为 220 V，频率为 50 Hz。

4. 实验步骤

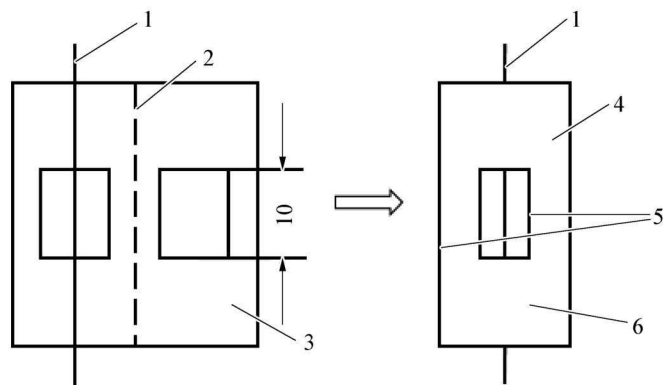
(1) 将单丝强力仪的主机、控制器和记录仪用 19 芯和 5 芯连线连接，通电预热 30 min。

(2) 检查强力仪的“上升”和“下降”开关工作是否正常，看下夹持器运动是否正常。用 100 g 砝码调满负荷(0.98 N)，然后去砝码将负荷调零，再用 50 g 砝码校验负荷显示数是否为中间值(0.49 N)。如有误差可反复调零和调满，同时调好记录仪纵向零位和满格位。

(3) 将纤维单丝放在显微镜物台上测量单丝的直径 d ，或用杠杆千分表测 d 值。

(4) 将拉伸速度设置为 2 mm/min。

(5) 按图 2-1 所示将单根碳纤维或玻璃纤维放在纸框中位粘好。至少选择 10 个试样，并编号。



1—单丝；2—折叠处；3—纸框；4—上夹头夹处；5—剪短处；6—下夹头夹处。

图 2-1 单丝试样制作纸框图

(6) 依编号将纸框夹在主机上夹头处。慢慢上升下夹持器，使之正好夹住纸框下端。小心地剪断纸框两边，记录上下夹持器的距离 L_0 。

(7) 放下记录笔和走纸阀，同时按下“下降”按钮进行拉伸。用秒表校核记录仪的走纸速度，一般要求在 20 s 之内将纤维拉断。数码管自动显示最大负荷数和断裂伸长值。记录仪记录负荷-伸长曲线。

(8) 依编号拉伸单丝，并记录每根单丝的直径、拉伸前单丝的伸直长度、断裂载荷，弹性变形阶段某点的载荷以及该点的拉伸长度。

5. 实验结果

(1) 将每根单丝的直径、拉伸前单丝长度、断裂载荷、弹性变形阶段载荷以及该点的拉伸长度记录在表 2-1 中。

(2) 依据式(2-1)和式(2-2)计算单丝拉伸强度 σ_b 和弹性模量 E 。

(3) 计算单丝拉伸强度和弹性模量的算术平均值、标准差和离散系数，并记录在表 2-1 中。

6. 思考题

拉伸实验前后测量单丝直径有何差别？

表 2-1 数据记录及计算

试样名称: _____

序号	直径 /mm	断裂载荷 D/N	a 点载荷 /N	单丝起始伸直 长度 L_0/mm	a 点长度 L_a/mm	拉伸强度 /(N/mm^2)	弹性模量 /(N/mm^2)	备注
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
平均值								
标准差								
离散系数								

实验 1.2 丝束(复丝)表观强度和表观模量的测定

1. 实验目的

- (1) 了解万能实验机的使用方法。
- (2) 掌握丝束表观强度和表观模量测定方法。

2. 实验原理

丝束(复丝)是一个多元体,如果直接加载拉伸,则丝束中的纤维断裂参差不齐,不容易表征其强度和模量。因此,需要将丝浸上树脂,让其黏结为一个整体,再测试其表观强度和表观模量。纤维和树脂掺杂组成的整体不是一个均匀体,该测试仅能说明丝束的基本性能。

按下式分别计算丝束的表观强度 σ_t 、表观模量 E_a 和股强度 f :

$$\sigma_t = \frac{D}{A} = \frac{D\rho}{t} \quad (2-3)$$

$$E_a = \frac{P}{A} \cdot \frac{L_0}{\Delta L} \quad (2-4)$$

$$f = \frac{D}{n} \quad (2-5)$$

式中, D 为断裂载荷(N); ρ 为纤维线密度(玻璃纤维和碳纤维的线密度分别为 2.55 g/cm^3 和 1.87 g/cm^3); t 为丝束的线密度, $t = m/L$ (g/mm 或 g/m), L 为丝束长度, m 为丝束质量; A 为丝束的横截面积(mm^2), $A = t/\rho$; L_0 为测试规定的标距(mm); P 为弹性变形结束时的载荷值(N); L_a 为该点处丝束拉伸后的长度(mm); ΔL 为该点丝束的伸长量(mm), $\Delta L = L_a - L_0$, n 为丝束中所含纱的股数。

3. 实验仪器和材料

万能试验机、牛皮纸、环氧树脂及固化剂。

4. 实验步骤

1) 丝束试样准备

选定已知支数和股数的玻璃纤维或碳纤维,使之浸渍于常温固化的环氧树脂和固化剂的混合物(如 E-51 型环氧树脂 100 g、丙酮 20 g、二乙烯三胺 10 g)中。然后将已浸树脂的丝束剪成长度为 360 mm 左右的试样(共 10 根),并排放在脱模纸上,保证丝束有 200 mm 长的平直段,用夹子夹住丝束两头,并拴一小重物使丝束伸直,在两头粘上牛皮纸(30 mm)加强(见图 2-2),放置 8 h 固化定型。

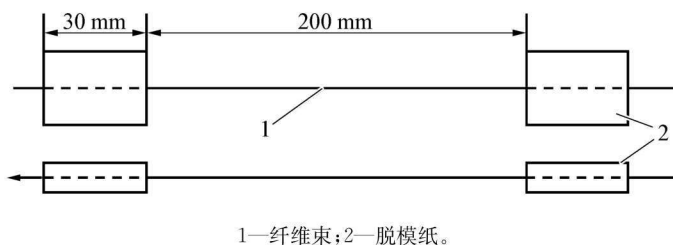


图 2-2 纤维束拉伸试验试样

2) 丝束基本物理性质的测定

- (1) 用万分之一电子天平称量丝束的质量 m , 用千分尺测量丝束的伸直长度 L_0 。
- (2) 将万能试验机的量程设为 $0 \sim 500 \text{ N}$, 拉伸速度设为 2 mm/min 。
- (3) 将试样上的牛皮纸加强部位夹在试验机的上下夹头处。取规定的标距(标距长度视仪器配置的应变片卡而定), 精确到 0.5 mm 。用应变片卡或位移计和记录仪记录拉伸时的伸长量。
- (4) 记录每个样品的断裂载荷 D 和负荷变形曲线。注意断裂在夹头处的样品作废, 有效试样数不能低于 5 个。
- (5) 依编号拉伸, 记录每个丝束的直径、原始长度、断裂载荷、弹性变形阶段结束时 a 点丝束所承受的载荷和丝束此时的长度。
- (6) 学生可以测定一组不浸胶丝束的强度, 观察断裂模式的不同。

5. 实验结果

- (1) 将测得的丝束的质量、直径、原始长度、断裂载荷、 a 点载荷以及 a 点变形量等数据记录在表 2-2 中。

- (2) 依据式(2-3)至式(2-5)计算丝束的表观强度、表观模量以及股强度。
- (3) 计算丝束表观强度、表观模量以及股强度的算术平均值、标准差和离散系数。

表 2-2 数据记录及计算

试样名称：_____ 固化剂：_____ 试验机：_____

序号	丝束线 密度 /tex	原始 长度 /mm	丝束 质量 /g	断裂 载荷 /N	a 点 载荷 /N	a 点 长度 /mm	线密度 /(g/mm)	表观 强度 /(N/mm ²)	表观 模量 /(N/mm ²)	股强 度 /N	备注
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
平均值											
标准差											
离散系数											

6. 思考题

- (1) 分析丝束表观强度与单丝强度的区别,并用实验数据予以说明。
- (2) 丝束浸胶和不浸胶在拉伸实验中有什么不同现象? 对数据分散性有何影响?

实验 1.3 织物厚度、面密度的测定

1. 实验目的

掌握测定玻璃纤维织物或其他纤维织物厚度和单位面积质量的方法。

2. 实验原理

在一定条件下测定织物厚度、单位面积质量有利于了解由经、纬纱松紧不匀或原纱支数不稳定而造成的材料性能波动。因此,这两个物理量常作为玻璃纤维织物技术指标中的主要项目。

织物厚度可在一个规整的织物平面上用测厚仪直接测量得到。

测量织物的单位面积质量时需剪取 100 mm×100 mm 的织物,并称量其质量 *m*,质量与面积的比值为其单位面积质量。

3. 实验仪器及设备

织物测厚仪、分析天平。

4. 实验步骤

(1) 取一卷玻璃纤维织物,在平整桌面上展开,自然铺平,不要拉得过紧或过松。

(2) 在距织物边缘不少于 50 mm 处,用测量圆柱(直径为 16 mm)夹住织物表面,并施加 98 kPa 的压力,同时读取织物厚度值,精确到 0.02 mm;继续在同一卷织物上选择间隔为 10 mm 以上的位置处测量 10~20 个厚度值。

(3) 在自然铺平的织物上距边缘不少于 50 mm 处用 100 mm×100 mm 硬质正方形模板和锐利小刀切取织物,然后在分析天平上称量切取试样的质量,计算其单位面积质量(g/m^2);继续在同一卷织物上间隔 100 mm 以上的位置取样测量,样品数不少于 5 个。

(4) 求织物的平均厚度、平均单位面积质量以及它们各自的标准差和离散系数。

5. 实验结果

(1) 将测得的织物厚度、织物面积以及织物质量记录在表 2-3 中。

(2) 计算并记录织物厚度和单位面积质量的算术平均值、标准差和离散系数。

表 2-3 数据记录及计算

试样名称: _____

序 号	厚度/mm	织物面积/ mm^2	织物质量/g	单位面积质量/ (g/mm^2)	备 注
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
平均值		—	—		
标准差		—	—		
离散系数		—	—		

6. 思考题

(1) 工业生产预浸布时,常在宽度方向左、中、右切取三块 100 mm×100 mm 的试样并称其质量,从而简单判断预浸布的含胶量及左、中、右的含胶分布情况,这样做是否可行?

(2) 已知 T300 3K 的碳纤维线密度为 0.198 g/m,欲制作碳纤维含量为 50 g/m^2 的单向布,3K 碳纤维的排列密度是多少(单位为根/cm)?

实验 1.4 纤维织物拉伸断裂强力和断裂伸长率的测定

1. 实验目的

掌握织物拉伸断裂强力和断裂伸长率的测定方法。

2. 实验原理

用拉伸实验机将织物样条拉伸至断裂,记录所需物理量。初始有效长度为在规定的预张力下,两夹具起始位置钳口之间的试样长度。断裂强力为拉伸试样至断裂时施加到试样上的最大载荷。断裂伸长率为织物受外力作用拉至断裂时,拉伸前后的织物长度变化与拉伸前织物长度的比值,通常以百分数表示,断裂伸长的长度可直接在仪器上读出,也可通过自动记录的力值-伸长曲线得出。

本实验规定了两种不同类型的试样:

I 型试样适用于硬挺织物(如线密度不小于 300 tex 的粗纱织成的网格布,或经处理剂/硬化剂处理的织物);

II 型试样适用于较柔软的织物,以便于操作,减少实验误差。

3. 实验仪器及工具

拉伸试验机、夹具、测力及记录伸长装置、取样模板、剪裁刀等。

1) 拉伸试验机

使用等速伸长(CRE)试验机, I 型试样的拉伸速度为 (100 ± 5) mm/min, II 型试样的拉伸速度为 (50 ± 3) mm/min。该试验机在规定的实验速度下应无惯性,在规定实验条件下,示值最大误差不超过 1%。

2) 夹具

夹具的宽度应大于试样宽度,夹具的夹持面应平整且相互平行,并尽可能平滑,若夹持试样不能满足要求时,可使用衬垫、锯齿形或波形夹具。纸毡、皮革、塑料或橡胶片都可作为衬垫材料。

夹具使试样的中心轴线与实验时试样的受力方向保持一致。对于 I 型试样上下夹具的初始距离(有效长度)应为 (200 ± 2) mm,对于 II 型试样应为 (100 ± 1) mm。

3) 模板

实验时用到的模板如图 2-3 所示,该模板用来从实验室样本上截取过渡试样。I 型试样模板的尺寸为 350 mm×370 mm, II 型试样模板的尺寸为 250 mm×270 mm。模板应有两个槽口用于标记试样中间部分(有效长度)。

实验时用模板截取过渡试样,再从过渡试样上截取试样,然后对试样进行拆边使其达到标准宽度。

4. 实验步骤

1) 试样调湿

将试样放置在温度为 (23 ± 2) ℃、相对湿度为 $(50 \pm 10)\%$ 的标准环境下调湿 16 h。

2) 试样准备

(1) 试样选取。去除待测布卷最外层(至少 1 m),裁取长约 1 m 的布段为实验室样本。I 型试样和 II 型试样的尺寸要求及实验时拉伸速度如表 2-4 所示。对于 I 型试样,试样长度应为 350 mm,确保试样的有效长度为 (200 ± 2) mm。试样去除毛边(试样的拆边部分)后宽度

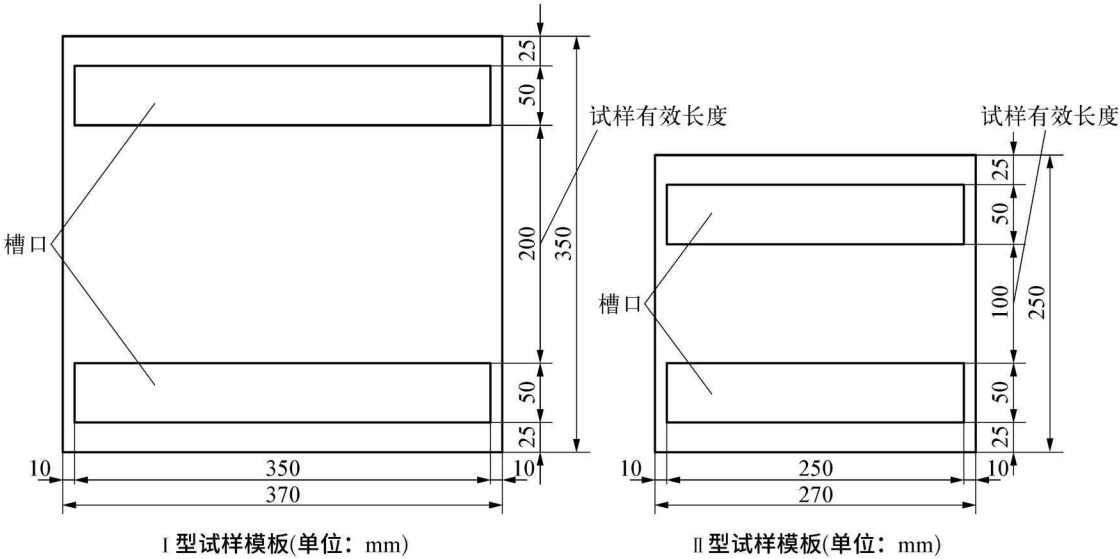


图 2-3 模板示例

应为 50 mm。对于Ⅱ型试样,试样长度应为 250 mm,确保试样的有效长度为(100±1) mm。试样去除毛边后宽度应为 25 mm。

表 2-4 试样和实验参数

实 验 参 数	试 样	
	I 型	Ⅱ 型
试样长度/mm	350	250
未拆边试样宽度/mm	65	40
有效长度/mm	200	100
拆边试样宽度/mm	50	25
拉伸速度/(mm/min)	100	50

当织物的经、纬密度非常小时(低于 3 根/cm), I 型试样的宽度可大于 50 mm,Ⅱ型试样的宽度可大于 25 mm。

(2) 试样预处理。为防止试样端部被试验机夹具损坏,有必要对试样进行特殊处理,处理步骤如下所示。

- ① 裁取一片硬纸或纸板,其尺寸应大于或等于模板尺寸。
- ② 将织物完全平铺在硬纸或纸板上,确保经纱和纬纱笔直无弯曲并相互垂直。
- ③ 将模板放在织物上,并使整个模板处于硬纸或纸板上,用裁切工具沿模板的外边缘同时切取一片织物和硬纸或纸板作为过渡试样。对于经向试样,模板上有效长度的边应平行于经纱;对于纬向试样,模板上有效长度的边应平行于纬纱。
- ④ 用软铅笔沿模板上两个槽口的内侧边画线,移开模板。画线时注意不要触碰纱线。
- ⑤ 在织物两端长度各为 75 mm 的端部区域涂覆合适的胶黏剂,使织物的两端与背衬的硬纸或纸板粘在一起,中间两条铅笔线之间的部分不涂覆。可使用以下材料涂覆试样的端部:

a. 天然橡胶或氯丁橡胶溶液;b. 聚甲基丙烯酸丁酯的二甲苯溶液;c. 聚甲基丙烯酸甲酯的二乙酮或甲乙酮溶液;d. 环氧树脂(尤其适用于高强度材料)。也可采用如下方法涂覆试样:将样品端部夹在两片聚乙烯醇缩丁醛片之间,留出样品的中间部分,然后再在两片聚乙烯醇缩丁醛片表面铺上硬纸或纸板,并用电熨斗将聚乙烯醇缩丁醛片熨软,使其渗入织物。

⑥ 过渡试样烘干后,将其沿垂直于两条铅笔线的方向裁切成条件试样。Ⅰ型试样宽度为65 mm,制成尺寸为350 mm×60 mm的试样;Ⅱ型试样宽度为40 mm,制成尺寸为250 mm×40 mm的试样。每个试样包括长度为200 mm(Ⅰ型试样)或100 mm(Ⅱ型试样)无涂覆中间部分以及两端各为75 mm的涂覆部分。

⑦ 细心地拆去试样两边的纵向纱线,两边拆去的纱线根数应大致相同,直到试样宽度符合要求为止。

3) 拉伸实验过程

(1) 调整夹具间距。Ⅰ型试样的间距为 (200 ± 2) mm,Ⅱ型试样的间距为 (100 ± 1) mm。确保夹具相互对准并平行,使试样的纵轴贯穿两个夹具前边缘的中点,夹紧其中一个夹具。在夹紧另一夹具前,从试样的中间或与试样纵轴相垂直的方向切断衬纸板,并在整个试样宽度方向上均匀地施加预张力,预张力大小为预期强力的 $(1 \pm 0.25)\%$,然后夹紧另一个夹具。如果强力机配有记录仪或计算机,可以通过移动活动夹具施加预张力。应从断裂载荷中减去预张力值。

(2) 启动活动夹具,拉伸试样至断裂。

(3) 记录最终断裂强力。当织物分为两个或两个以上断裂阶段时,如双层或更复杂的织物,记录第一组纱断裂时的最大强力,并将其作为织物的拉伸断裂强力。计算每个方向(经向和纬向)断裂强力的算术平均值,分别作为织物经向和纬向的断裂强力测定值(单位为N),保留小数点后两位。

(4) 记录断裂伸长,精确至1 mm,计算每个方向(经向和纬向)的断裂伸长率,结果保留两位有效数字。

(5) 平行测试5组试样。

(6) 如果有试样断裂在与两个夹具中任一夹具接触线距离小于10 mm处时,则在报告中记录实验情况,但计算时舍去该值,并用新试样重新实验。

注:有3种因素可能导致试样在夹具内或夹具附近断裂,如织物存在薄弱点(随机分布);夹具附近应力集中;夹具导致试样受损。

5. 实验结果

(1) 将测得的断裂强力、断裂伸长率记录在表2-5中。

表2-5 数据记录及计算

试样名称: _____
室温: _____℃

实验机型: _____
调湿条件: _____% _____h

序 号	经向/ 纵向	试样 类型	处理 方式	断裂强力 /N	断裂伸长 /mm	断裂伸长率 /%	备 注
1							
2							
3							