

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 26749—2011/ISO 10618:2004(E)

---

## 碳纤维 浸胶纱拉伸性能的测定

Carbon fiber—Determination of tensile properties of resin-impregnated yarn

(ISO 10618:2004(E), IDT)

2011-07-20 发布

2012-03-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 和 GB/T 20000.2—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 10618:2004(E)《碳纤维 浸胶纱拉伸性能的测定》，技术内容上与后者完全一致，仅作了下列编辑性修改：

- 用小数点“.”代替数字中的符号“,”；
- 删除了 ISO 引言；
- 用“本标准”代替“本国际标准”；
- 按照在正文中出现的顺序，附录 C 与附录 D 互换。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 2918—1998 塑料试样状态调节和试验的标准环境(ISO 291:1997, IDT)；
- GB/T 1040.1—2006 塑料 拉伸性能测试 第一部分：总则(ISO 527-1:1993, IDT)；
- GB/T 7690.1—2001 增强材料 纱线试验方法 第 1 部分：线密度的测定(ISO 1889:1997, IDT)。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国玻璃纤维标准化技术委员会(SAC/TC 245)归口。

本标准起草单位：南京玻璃纤维研究设计院。

本标准主要起草人：黄英、王玉梅、陈尚、葛敦世、方允伟、汪辉。

## 碳纤维 浸胶纱拉伸性能的测定

### 1 范围

本标准规定了浸胶纱拉伸强度、拉伸弹性模量和最大载荷时的应变的测定方法。  
本标准适用于复合材料增强用碳纤维纱(连续纱和定长纱)。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 291 塑料 调节和试验用的标准大气压(Plastics—Standard atmospheres for conditioning and testing)

ISO 527-1 塑料 拉伸性能测试 第1部分:总则(Plastics—Determination of tensile properties—Part 1;General principles)

ISO 1889 增强纱线 线密度的测定(Reinforcement yarns—Determination of linear density)

ISO 10119 碳纤维 密度的测定(Carbon fibre—Determination of density)

ISO 10548 碳纤维 尺寸的测定(Carbon fibre—Determination of size content)

### 3 术语和定义

ISO 527-1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

碳纤维纱的横截面积( $A_f$ ) cross-sectional area of carbon-fibre yarn

碳纤维纱的线密度与密度之比。

注:以平方毫米( $\text{mm}^2$ )表示。

### 4 符号

本标准使用下列符号:

$\sigma_t$  —— 拉伸强度,单位为兆帕(MPa);

$F_t$  —— 最大拉伸载荷,单位为牛顿(N);

$A_t$  —— 纱线横截面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );

$\rho_t$  —— 纱线密度,单位为克每立方厘米( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$T_u$  —— 纱线的线密度,单位为特克斯(tex);

$T_n$  —— 浸胶纱的线密度,单位为特克斯(tex);

$E_t$  —— 拉伸弹性模量,单位为吉帕(GPa);

$L_0$  —— 引伸计两钳口之间的初始距离,单位为毫米(mm);

$\Delta L$  —— 对应于载荷增量  $\Delta F$  两钳口之间试样的变形量,单位为毫米(mm);

$\Delta F$  —— 对应于两钳口之间试样的变形量  $\Delta L$  的载荷增量,单位为牛顿(N)。

## 5 原理

纱线均匀浸胶并固化后,在适当的机械装置的匀速加载下,拉伸至断裂。根据拉伸应力-应变曲线,计算拉伸强度,拉伸弹性模量和最大载荷时的应变。

拉伸模量是应力变化量与对应的应变变化量之比。碳纤维纱的应力-应变呈非线性关系,因此应定义割线模量。方法 A 为用两个应变点来定义;方法 B 为用两个载荷值来定义。线密度和浸润剂含量应独立测得。

注:方法 A 和方法 B 测得的数据认为具有相同的精度。然而,对于应力应变非线性相关的碳纤维,两种方法得到的模量平均值会有些差异的,没有比较的必要性。方法 B 或其他方法,可用于供需双方的协议或质量保证。

## 6 设备和试剂

### 6.1 树脂

树脂应与纱线和浸润剂具有相容性,树脂粘度应能够保证纱线充分且均匀地浸渍。树脂的断裂应变应至少是纤维的两倍,三倍更适宜。就这点,热固性环氧树脂系统在浸渍过程中低于 1 000 mPa·s 的粘度是适合的(参见附录 A),因为任何一种配方的树脂都能使试样满足本标准的要求。树脂配比应有详细的规定,并取得生产方和使用方的一致同意。

### 6.2 浸胶装置

只要能得到浸胶均匀、平滑的试样,可以用任何的方法来制备试样。

这些方法包括单试样和多试样的制备,多试样浸胶装置可包括:

- 6.2.1 纱筒固定装置:带有纱线张力调节器;
- 6.2.2 浸胶槽:带有温控器、浸胶辊或纱线张力棒;
- 6.2.3 外表包覆织物、纸或毡的辊轮,或钢模,以便除去纱线上多余的树脂;
- 6.2.4 浸胶纱卷绕框架:最好是木制的或金属材质包覆橡胶制成的,参见附录 B。

### 6.3 温控固化炉

带有循环风的温控固化炉,以便使树脂均匀固化。

### 6.4 拉伸试验机

6.4.1 有恒定速率的拉伸试验机,配有载荷和伸长曲线的记录装置。载荷读数的精度应高于测定值的 1%。夹具系统应确保试样中心线与试验机中心轴一致。

6.4.2 拉伸试验机应配有引伸计,与一个连续记录装置相连接,以自动记录钳口内试样的伸长。引伸计宜轻,以使其施加给试样的应力可以忽略不计。

引伸计的标距应至少是 50 mm,最佳是 100 mm,测量误差小于±1%。

在规定的测量范围内,引伸计的线性度偏离允差不超过 0.1%。

推荐的引伸计参见附录 C。如果合适,可用其他应变测试仪,如光学或激光应变仪。

### 6.5 天平

用最小分度值为 0.1 g 的天平称量浸胶纱试样,测定其线密度。

## 6.6 尺

量程不小于 500 mm 的刻度尺或其他测量装置,精度为 $\pm 1$  mm。

## 7 试样

### 7.1 试样数量

准备足够的试样,以确保四个有效数据。若试样在夹具内或加强片内破坏,或由于引伸计引起的破坏,应予以作废,重取另一个试样。

### 7.2 试样长度

带加强片的试样:加强片之间的试样长度也应为 $(150\pm 5)$ mm 或 $(200\pm 5)$ mm。

不带加强片的试样:试样长度应为 $(250\pm 5)$ mm 或 $(300\pm 5)$ mm(至少是引伸计长度与两倍夹持长度之和)。

若有争议,带加强片试样,加强片之间的试样长度应为 $(150\pm 5)$ mm;不带加强片试样,试样长度应为 $(250\pm 5)$ mm。

### 7.3 试样浸胶

7.3.1 按下列步骤使用 6.2 中的浸胶装置:

7.3.2 将纱筒置于纱筒固定装置(见 6.2.1)上;

7.3.3 将树脂倒入浸胶槽(见 6.2.2)中,调节温度及粘度至规定值;

7.3.4 将纱线通过浸胶槽和辊轮或钢模(见 6.2.3),保证充分浸胶;

7.3.5 调节卷绕张力,卷绕张力应取决于每个实验室的经验;

7.3.6 将浸胶纱依次间隔卷绕在框架(见 6.2.4)上;

7.3.7 将框架放入温控固化炉(见 6.3)内;

7.3.8 按树脂制造商要求固化树脂;

7.3.9 树脂固化后,从温控固化炉中取出框架,剪取足够数量的浸胶纱试样;

7.3.10 按 7.5 的规定选择试样。

### 7.4 纤维其他性能的测定

7.4.1 为计算第 10 章中的拉伸强度和拉伸弹性模量,应测定 7.4.2~7.4.5 规定的性能。

7.4.2 纱线的线密度,按 ISO 1889 进行测定。

7.4.3 纱线浸润剂含量,按 ISO 10548 进行测定。

7.4.4 碳纤维密度,按 ISO 10119 中的一种方法进行测定。

7.4.5 浸胶纱的线密度,用尺(见 6.6)测量试样的长度,在剪取规定长度的试样之后及粘贴加强片之前,用天平(见 6.5)称取试样的质量。通过质量除以长度来计算浸胶纱的线密度,单位为克每千米, g/km(tex)。

注:不需要测定每个试样的线密度。

### 7.5 试样的选择

7.5.1 使用适合的规具检查每个试样,是否平直的,并检查外观是否均匀,没有下列缺陷:

- 断纱；
- 树脂脱落；
- 纤维错位。

7.5.2 试样的树脂质量含量应不低于 30%。按式(1),根据浸胶纱试样的线密度和纱线的线密度计算试样树脂含量:

$$W = \frac{T_u - T_f}{T_u} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- $W$  ——试样的树脂含量, %;
- $T_u$  ——浸胶纱试样的线密度,单位为特克斯(tex);
- $T_f$  ——纱线的线密度,单位为特克斯(tex)。

对每批树脂,应核实每种纱线的参比样的树脂含量。如果树脂含量在接受范围限外,则应核实该批中的每组试样的树脂含量。

7.5.3 纱线应均匀浸胶。

### 7.6 带加强片试样的制备

若试样在夹具内破坏,则试验结果无效。试样带加强片有助于减少这类情况的发生,也能确保试样在夹具内垂直排列。

试样可以带加强片或不带加强片进行试验。

若需要带加强片,设备的选择取决于加强片的种类。在使用加强片的情况下,夹持长度应至少 30 mm,加强片及加强片制备装置参见附录 D。

## 8 调湿和试验环境

调湿和试验环境按 ISO 291 规定的温度为  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,相对湿度为  $(50 \pm 10)\%$  的标准试验环境进行。

## 9 拉伸试验操作

9.1 设置试验速度,推荐最大速度为 250 mm/min,实际的最大速度受数据采集速度的限制。

注:推荐试验速度 10 mm/min。

9.2 对于带加强片的试样,安装适合于加强片的夹具,调节夹具间的距离至规定值(见 7.2)。

对于不带加强片的试样,夹具的夹持面粘贴弹性适度,摩擦系数高的片材,例如硬质橡胶板。如试验中发现试样滑移,在试样和夹具之间可插入砂纸。

因为试样是脆性材料,建议采用气动夹具。

9.3 将试样放入夹具内夹紧。

9.4 小心将引伸计固定在试样上。

9.5 启动记录仪和试验机,给试样加载,直至试样破坏。

9.6 若试样在夹具内或加强片内破坏,或由于引伸计引起的破坏,则舍弃该试验结果,重取另一个试样。

10 结果表示

10.1 拉伸强度

10.1.1 按式(2)计算每个试样的拉伸强度

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_t} \dots\dots\dots(2)$$

$$A_t = \frac{T_d}{\rho_t} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$\sigma_t$  ——拉伸强度,单位为兆帕(MPa);

$F_t$  ——最大拉伸载荷,单位为牛顿(N);

$A_t$  ——纱线横截面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>);

$T_d$  ——按 ISO 1889 测定的不含浸润剂的纱线线密度,浸润剂含量按 ISO 10548 进行测定;

$\rho_t$  ——按 ISO 10119 测定的纱线密度,单位为克每立方厘米(g/cm<sup>3</sup>)。

若浸润剂含量足够低,其带来的误差可忽略不计,则纱线的线密度和密度可在不去除浸润剂的情况下进行测定。

10.1.2 计算拉伸强度的算术平均值作为报告值,若产品规范或试验委托方要求,则用统计学方法计算标准差和变异系数。

10.2 拉伸弹性模量(图 1)

10.2.1 方法 A

拉伸弹性模量按式(4)计算:

$$E_t = \frac{\Delta F}{A_t} \times \frac{L_0}{\Delta L} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

$E_t$  ——拉伸弹性模量,单位为吉帕(GPa);

$\Delta F$  ——对应于表 1 中给出的应变范围内的载荷增量,单位为牛顿(N);

$A_t$  ——纱线横截面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>)(见式 3);

$L_0$  ——引伸计两钳口之间的初始距离,单位为毫米(mm);

$\Delta L$  ——对应于表 1 中的应变范围,试样在引伸计两钳口之间的长度变化量,单位为毫米(mm)。

表 1 纤维类别和应变范围的关系

百分率

纤维的典型断裂应变值	应变范围
$e \geq 1.2$	0.1 至 0.6
$0.6 \leq e < 1.2$	0.1 至 0.3
$0.3 \leq e < 0.6$	0.05 至 0.15

注:典型的断裂应变值(最大载荷时的伸长率)可以由引伸计测定,也可以由典型拉伸强度和拉伸模量值来计算。

10.2.2 方法 B

拉伸弹性模量按式(5)计算:

$$E_t = \frac{\Delta F}{A_t} \times \frac{L_0}{\Delta L} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

$E_t$  ——拉伸弹性模量,单位为吉帕(GPa);

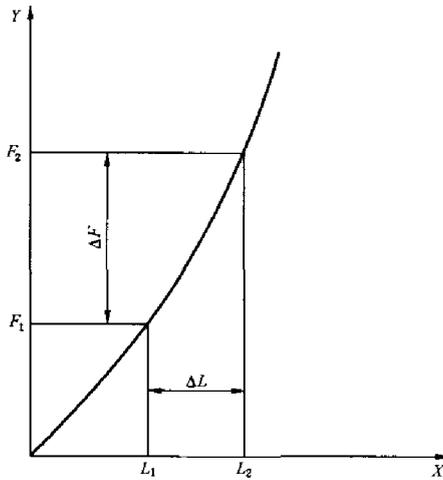
$\Delta F$  ——在 400 mN/tex 至 800 mN/tex 的范围内的载荷增量,单位为牛顿(N);

$A_t$  ——纱线横截面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>);

$L_0$  ——引伸计两钳口之间的初始距离,单位为毫米(mm);

$\Delta L$  ——对应于载荷增量  $\Delta F$ ,试样在引伸计两钳口之间的长度变化量,单位为毫米(mm)。

10.2.3 计算拉伸弹性模量的算术平均值作为报告值,并注明使用的方法,是 A、B 或其他方法。若产品规范或试验委托方要求,则用统计学方法计算标准差和变异系数。



说明：

X——位移(mm);

Y—— 载荷(N)。

图 1 拉伸试验过程中的载荷和位移曲线

10.3 最大载荷时的应变(破坏时的伸长百分率)

10.3.1 最大载荷时的应变由引伸计测得或由拉伸强度和拉伸弹性模量计算得到,用百分率表示。

10.3.2 由引伸计测得的最大载荷时的应变按式(6)计算：

$$\epsilon_E = \frac{L_U - L_0}{L_0} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

式中：

$\epsilon_E$  ——引伸计测得的最大载荷时的应变,%;

$L_U$  ——最大载荷时引伸计两钳口之间的距离,单位为毫米(mm);

$L_0$  ——引伸计两钳口之间的初始距离,单位为毫米(mm)。

10.3.3 由拉伸强度和拉伸弹性模量得到的最大载荷时的应变按式(7)计算：

$$\epsilon_c = \frac{\sigma_t}{E_t} \times 0.1 \dots\dots\dots(7)$$

式中：

$\epsilon_c$  ——计算得到的最大载荷时的应变，%；

$\sigma_t$  ——拉伸强度，单位为兆帕(MPa)；

$E_f$  ——拉伸弹性模量，单位为吉帕(GPa)(见 10.2)。

10.3.4 计算应变的算术平均值作为报告值。若产品规范或试验委托方要求，则用统计学方法计算标准差和变异系数。

## 11 精密度

由于没有实验室间的比对数据，该试验方法的精密度未知。在取得这些数据后，在下一版本中追加精密度这部分。

## 12 试验报告

试验报告包括以下各项内容：

- a) 采用本标准；
- b) 所有有关试验用纱线的必要的详细资料；
- c) 纱线的线密度；
- d) 纱线的密度；
- e) 最大载荷时的应变是计算得到的还是引伸计直接测定的；
- f) 试样数量，包括废弃数量；
- g) 最大载荷时的拉伸强度，拉伸弹性模量和应变(伸长百分率)，如要求，则给出单值；
- h) 拉伸弹性模量计算方法；
- i) 其他可影响试验结果的任何细节。

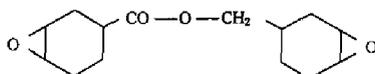
附录 A  
(资料性附录)  
热固性树脂体系

热固性树脂体系见表 A.1。

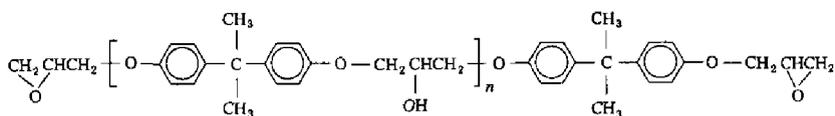
表 A.1 热固性树脂体系

序号	树脂体系	质量/g	固化条件
1	3,4 环氧基环己基 3,4 环氧基环己基羧酸酯(见注 1)	100	125 °C 1 h 或 130 °C 30 min
	三氟化硼乙胺(BF <sub>3</sub> MEA)	3	
	2-丙酮或乙醇	4	
2	双酚 A 二缩水甘油醚(见注 2), 25 °C 时粘度为 11 000 mPa·s 至 14 000 mPa·s, 环氧当量为 184 g/mol 至 194 g/mol	100	室温 10 h, 90 °C 2 h 再 150 °C 4 h 或室温 10 h, 100 °C 2 h 再 150 °C 2 h
	甲基纳迪克酸酐(见注 3)	90	
	二甲基苄胺	1 至 2	
	2-丙酮	5	
3	双酚 A 二缩水甘油醚(同 2)	100	80 °C 2 h, 200 °C 1 h 或 80 °C 2 h, 150 °C 4 h
	甲基四氢邻苯二甲酸酐	90	
	二甲基苄胺	3 至 4	
4	双酚 A 二缩水甘油醚(同 2)	100	70 °C 3 h 或 80 °C 2 h
	二甲基二氨基环己基甲烷	30	
	溶剂	适量	
5	双酚 A 二缩水甘油醚(同 2)	100	80 °C 1 h, 200 °C 2 h
	4-氨基砒	20	
	三氟化硼单乙胺(BF <sub>3</sub> MEA)	1.5	
	溶剂	适量	
6	双酚 A 二缩水甘油醚(同 2)	100	200 °C 40 min
	三氟化硼单乙胺(BF <sub>3</sub> MEA)	3	
	2-丁酮	20	

注 1: 结构如下:



注 2: 结构如下:



注 3: 甲基降冰片烯二酸酐。

附录 B  
(资料性附录)  
浸胶设备

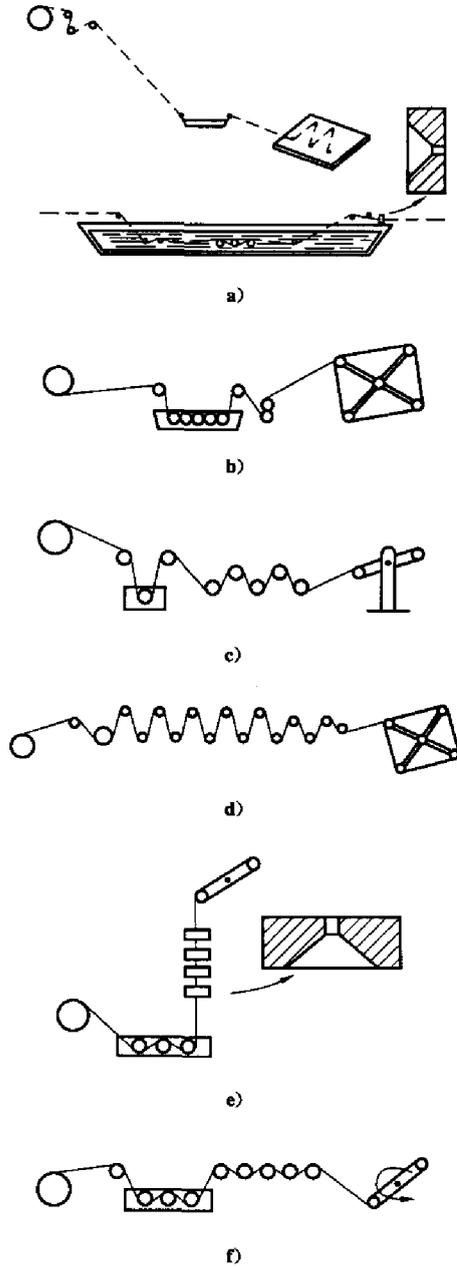


图 B.1 浸胶设备

附录 C  
(资料性附录)  
引伸计

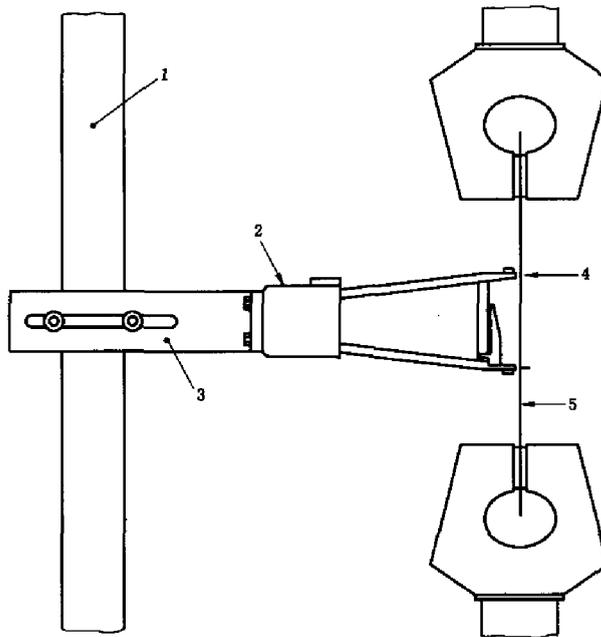
试样是树脂浸渍碳纤维增强塑料棒,直径大约是 0.3 mm(1 000 根单丝构成)至 1 mm(12 000 根单丝构成)。

引伸计通常是夹在圆形试样或矩形试样上,夹在浸胶纱上较困难,原因如下:

- 引伸计对小直径的试样来说太重;
- 引伸计的刀口,弹簧或橡皮圈很难牢牢地固定在这么细小的试样上。

推荐使用下列引伸计:

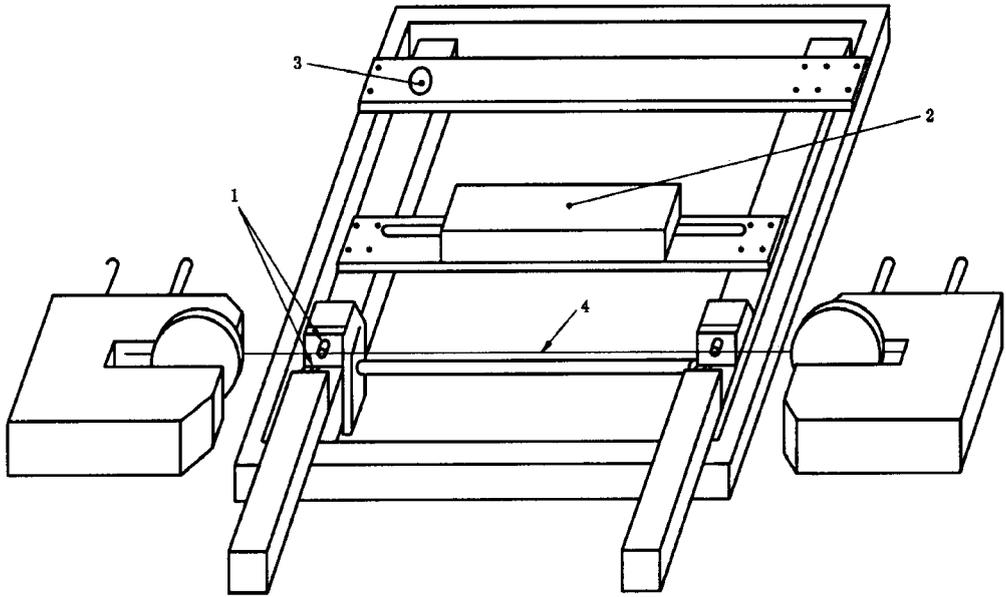
- 固定在拉伸试验机上的自动伺服引伸计;
- 通过安装托架固定在拉伸试验机上的引伸计,见图 C.1;
- 如图 C.2,引伸计内置于水平的拉伸试验机上(其中一个夹具固定不动,另一个是可移动的,连接在一个测定位移的光学仪器上)。



说明:

- 1——拉伸试验机的支架;
- 2——引伸计;
- 3——安装托架;
- 4——弹簧或橡皮圈;
- 5——试样。

图 C.1 固定在拉伸试验机上的引伸计



说明：

- 1——引伸计的刀口；
- 2——测定位移的光学仪器；
- 3——支点；
- 4——试样。

图 C.2 连接在测定位移的光学仪器上的引伸计

附录 D

(资料性附录)

加强片和加强片制备装置示例

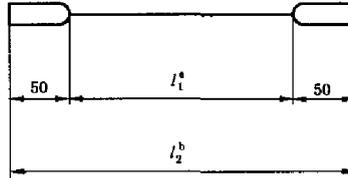
多种加强片和加强技术是可行的,推荐使用以下几种:

- 纸板;
- 金属板;
- 树脂浸渍纺织纤维布;
- 热固性树脂浇注体;
- 热塑性材料。

也可用其他材料。

要求使用加强片(图 D.1~图 D.4)的情况下,选择的方法要保证试样平直。

单位为毫米



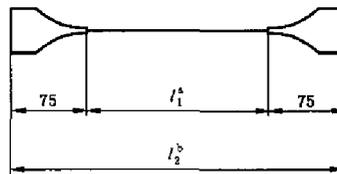
<sup>a</sup>  $l_1$  为  $(150 \pm 5)$  mm 或  $(200 \pm 5)$  mm;

<sup>b</sup>  $l_2$  为  $(250 \pm 5)$  mm 或  $(300 \pm 5)$  mm。

注: 要求有制备加强片的模子。

图 D.1 热塑性树脂加强片

单位为毫米



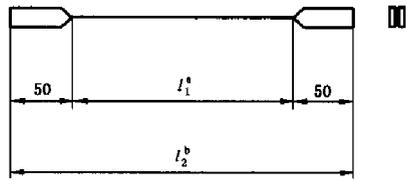
<sup>a</sup>  $l_1$  为  $(150 \pm 5)$  mm 或  $(200 \pm 5)$  mm;

<sup>b</sup>  $l_2$  为  $(300 \pm 5)$  mm 或  $(350 \pm 5)$  mm。

注: 要求有制备加强片的模子。

图 D.2 热固性树脂加强片

单位为毫米



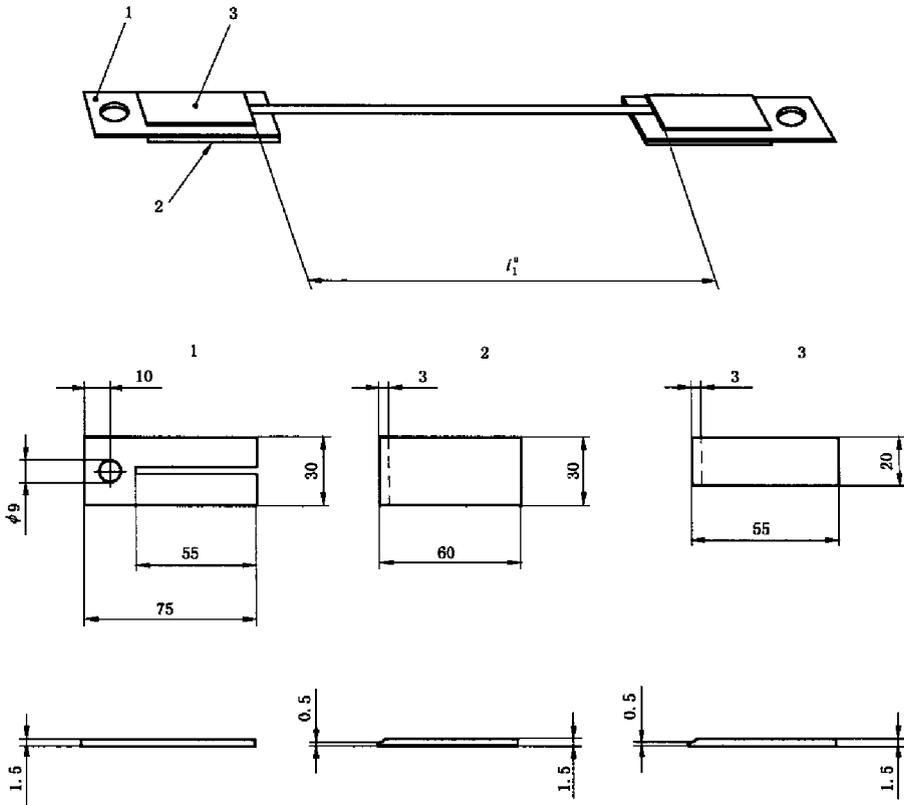
<sup>a</sup>  $l_1$  为  $(150 \pm 5)$  mm 或  $(200 \pm 5)$  mm;

<sup>b</sup>  $l_2$  为  $(250 \pm 5)$  mm 或  $(300 \pm 5)$  mm。

注：不需要特别装置。

图 D.3 纸板加强片

单位为毫米



<sup>a</sup>  $l_1$  为  $(150 \pm 5)$  mm 或  $(200 \pm 5)$  mm。

注：不需要特别装置。

图 D.4 金属加强片