



中华人民共和国国家标准

GB/T 1458—2023

代替 GB/T 1458—2008

纤维缠绕增强复合材料环形试样 力学性能试验方法

Test method for mechanical properties of ring of filament-winding
reinforced composites

2023-09-07 发布

2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 1458—2008《纤维缠绕增强塑料环形试样力学性能试验方法》，与 GB/T 1458—2008 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了拉伸试验的适用范围(见第 1 章)；
- 增加了纤维缠绕增强复合材料管制样的要求(见 5.5)；
- 增加了纤维缠绕增强复合材料管试样的型式和尺寸(见 5.6.2)；
- 增加了剪切试验夹具上压头半径公差和表面硬度的规定(见 6.2.3)；
- 增加了剪切试验的典型破坏形式(见 6.3.5)；
- 删除了“拉伸试样尺寸”图(见 2008 年版的图 8)；
- 增加了拉伸试验 II 型夹具(见 7.2.3)；
- 增加了纤维缠绕增强复合材料管试样的加载速度(见 7.2.4)；
- 增加了纤维缠绕增强复合材料管试样尺寸测量的规定(见 7.3.3)；
- 增加了夹具上安装纤维缠绕增强复合材料管试样的规定(见 7.3.4)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国建筑材料联合会提出。

本文件由全国纤维增强塑料标准化技术委员会(SAC/TC 39)归口。

本文件起草单位：哈尔滨玻璃钢研究院有限公司、哈尔滨石油学院、北京玻璃钢院检测中心有限公司、黑龙江省科学院石油化学研究院。

本文件主要起草人：王宝瑞、魏程、韩蓉、李刚、张海雁、刘野、匡乃航、辛婷婷、李洪江、张明睿、李金儒、樊慧娟。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1978 年首次发布为 GB/T 1458—1978《纤维缠绕增强塑料环形试样拉伸试验方法》，1988 年第一次修订。
- 2008 年第二次修订时，并入了 GB/T 1461—1988《纤维缠绕增强塑料环形试样剪切试验方法》(1978 年首次发布为 GB/T 1461—1978《纤维缠绕增强塑料环形试样剪切试验方法》，1988 年第一次修订)、GB/T 2578—1989《纤维缠绕增强塑料环形试样制作方法》(1981 年首次发布为《纤维缠绕增强塑料环形试样制作方法》，1989 年第一次修订)的内容。
- 本次为第三次修订。

纤维缠绕增强复合材料环形试样 力学性能试验方法

1 范围

本文件规定了纤维缠绕增强复合材料环形试样力学性能试验的方法原理、试样制作、剪切试验、拉伸试验和试验报告。

本文件适用于测定单向纤维缠绕增强复合材料环形试样的层间剪切强度、拉伸强度、拉伸弹性模量、纤维拉伸强度,以及纤维缠绕增强复合材料管的环向拉伸强度。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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。

GB/T 1446 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 2577 玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法

GB/T 3855 碳纤维增强塑料树脂含量试验方法

3 术语和定义

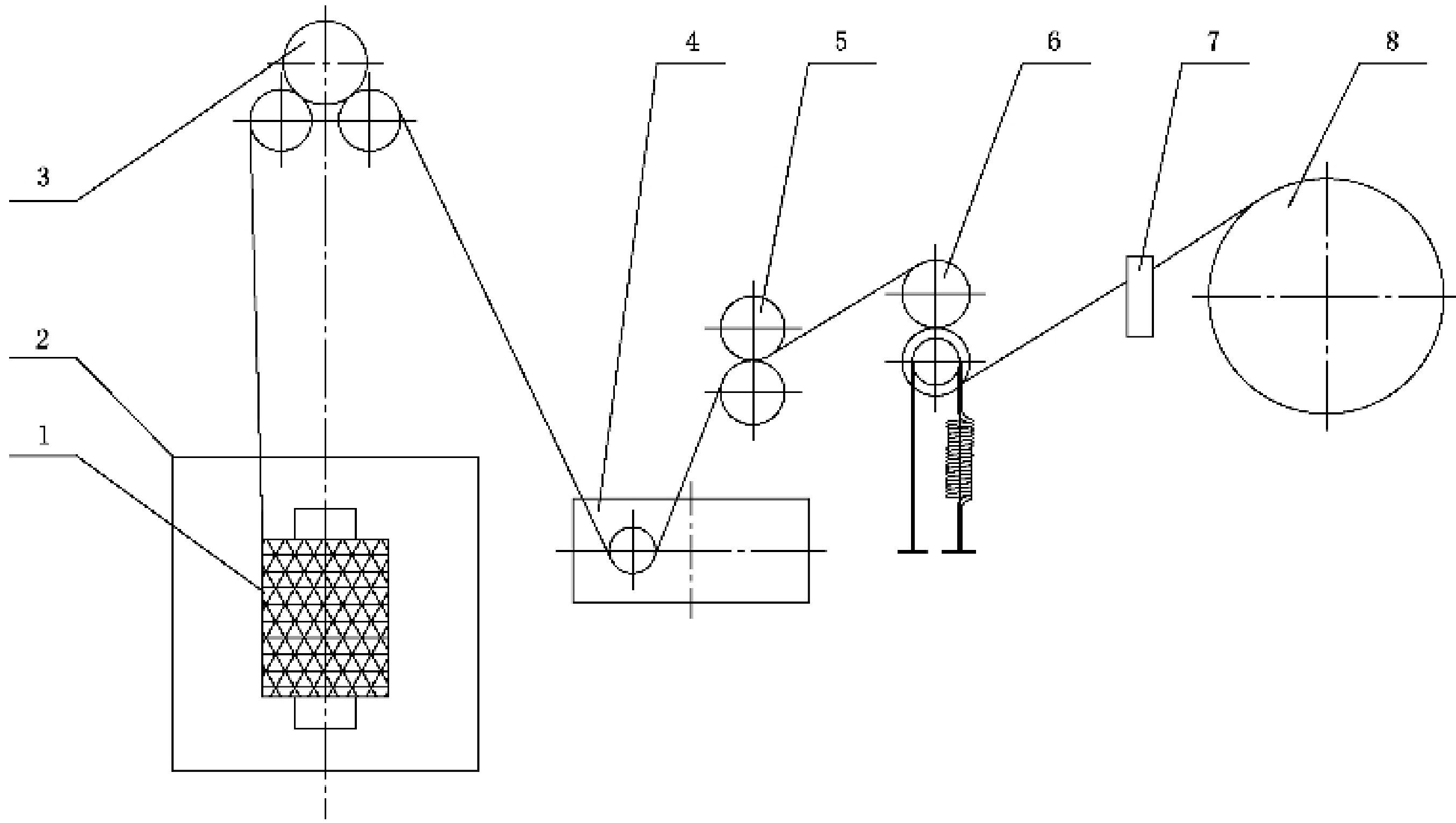
本文件没有需要界定的术语和定义。

4 方法原理

4.1 试样制作方法

4.1.1 概述

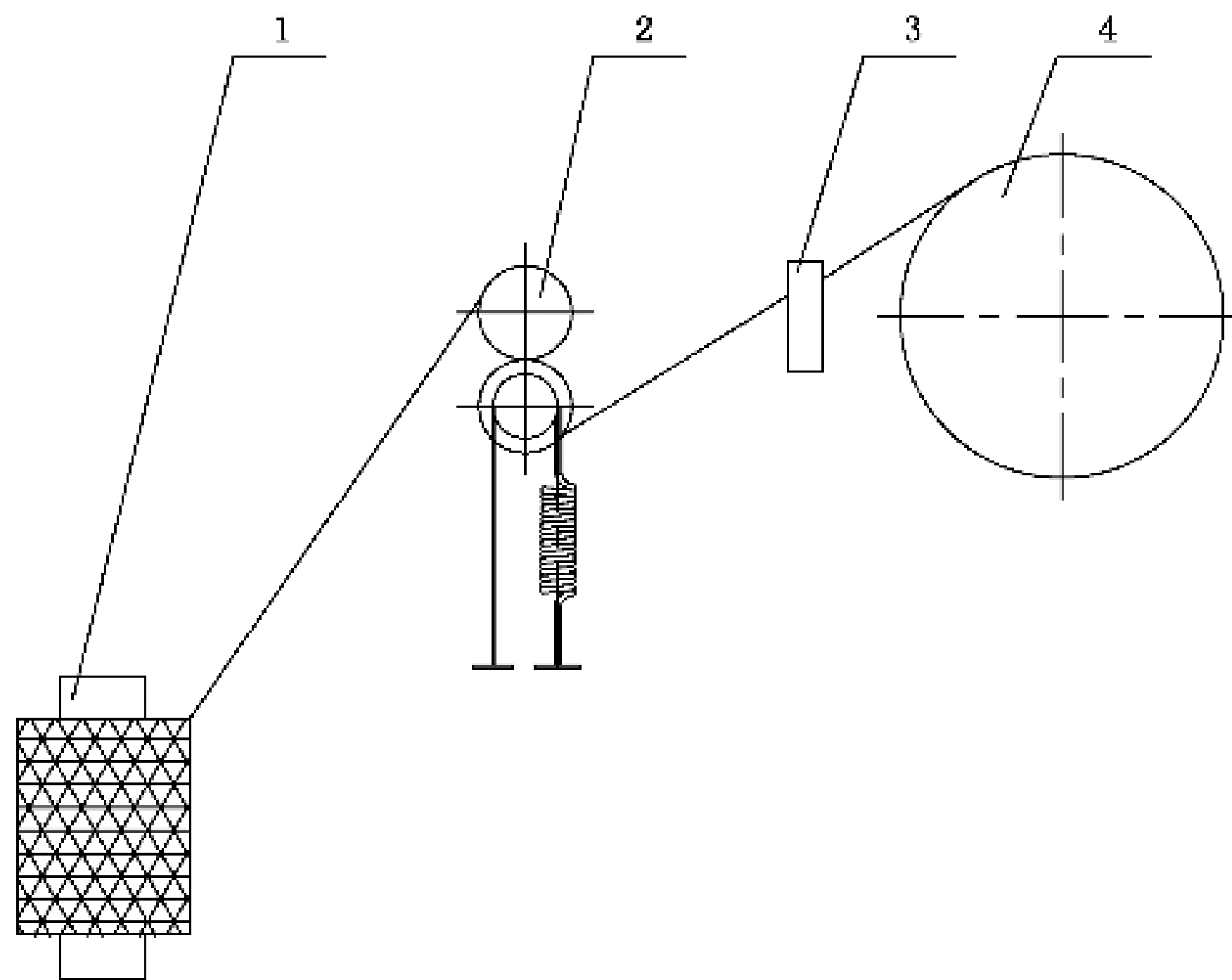
单向纤维缠绕增强复合材料环形试样采用单环缠绕法或圆筒切环法制作,此两种方法可采用湿法缠绕或预浸法缠绕,两种缠绕工艺分别见图 1 和图 2。纤维缠绕增强复合材料管试样是直接从纤维缠绕增强复合材料管上切割下环形试样,再进行机械加工制作。



标引序号说明：

- | | |
|-----------|----------|
| 1——纱团； | 5——挤胶辊； |
| 2——干燥箱； | 6——张力装置； |
| 3——干纱张力辊； | 7——导丝孔； |
| 4——胶槽； | 8——模具。 |

图 1 湿法缠绕示意图



标引序号说明：

- | |
|----------|
| 1——预浸带团； |
| 2——张力装置； |
| 3——导丝孔； |
| 4——模具。 |

图 2 预浸法缠绕示意图

4.1.2 单环缠绕法

单环缠绕法按规定的试样内径尺寸,用单环模具在缠绕机上绕制,经固化、外表面加工、脱模,制作环形试样。

4.1.3 圆筒切环法

圆筒切环法按规定的试样内径尺寸,用圆筒芯模在缠绕机上绕成圆筒,经固化、外表面加工、脱模、切割,制作环形试样。

4.2 剪切试验方法

试样采用三点弯曲的加载方式,以规定的加载速率施加载荷,直至试样破坏,记录破坏载荷,计算剪切强度。

4.3 拉伸试验方法

将试样装在试验机的拉力盘上,以规定的加载速率施加拉伸载荷,直至试样破坏,记录破坏载荷,计算拉伸强度等。

5 试样制作

5.1 设备

5.1.1 缠绕机

缠绕机由纱架、胶槽、张力控制装置、导丝孔和驱动机构等部分组成。

5.1.2 模具和芯模

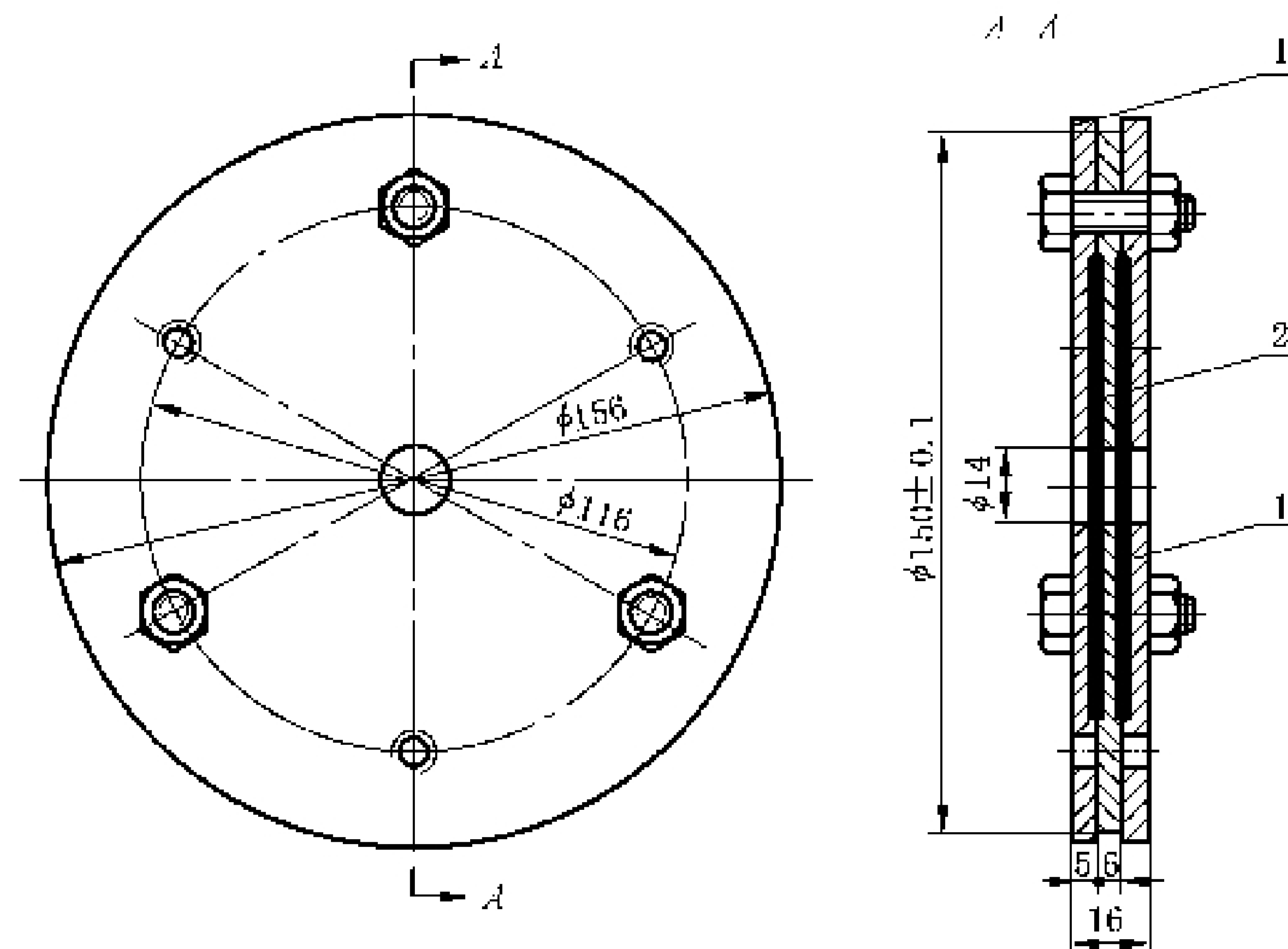
单环模具见图 3。圆筒切环法的芯模两端应留有适当的接轴,以利于模具装配到缠绕机上。

5.1.3 脱模装置

可采用合适的压机。

5.1.4 固化装置

固化装置应具有适当的可控的温度范围,温度控制精度为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。



标引序号说明:

1——外模;

2——中模。

图3 单环模具示意图

5.2 原材料的贮存和处理条件

5.2.1 贮存

纤维、树脂和固化剂等原材料应按技术要求进行验收和贮存。

5.2.2 处理条件

5.2.2.1 纤维在缠绕前应进行干燥处理。玻璃纤维置于 $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的烘箱内,干燥 8 h。在不影响表面处理剂条件下,可采用 $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$,干燥 2 h。制备环形试样时,纤维经干燥处理后,放置环境的相对湿度不大于 65%。

5.2.2.2 碳纤维和芳纶纤维置于 $105^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$ 的烘箱内,至少干燥 2 h。将处理后的纤维置于温度保持在 $70^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 的烘箱内。

5.3 湿法缠绕工艺制样

5.3.1 模具准备

把处理干净的模具或芯模涂上脱模剂。

5.3.2 纱团安装

纱团置于纱架上,纤维从纱团拉出时,保持捻度不变,并施加轻微的张力,以防其晃动。

5.3.3 浸胶

纤维从纱团引出,经过导辊,进入有加热装置的胶槽。纤维从胶槽拉出时,在尽量减少纤维磨损的情况下,用挤胶辊或刮胶板等装置将多余的胶除去。

5.3.4 张力控制

把浸过胶的纤维经过一系列导辊,对纤维施加所需的张力。缠绕张力:玻璃纤维为纤维断裂强力的5%~8%;芳纶纤维为纤维断裂强力的3%~4%;碳纤维按工艺要求,以不使纤维损坏为宜。

5.3.5 排纱

纤维排布应均匀,不应有堆积、离缝等现象。使纤维浸渍均匀,张力稳定,缠绕速度以不大于60 r/min为宜(线速度则为28 m/min)。

5.3.6 固化

环形试样缠绕完毕后,按规定的固化制度进行固化。同批绕制的环形试样固化前存放时间不应超过8 h。

5.3.7 加工和脱模

固化后的单环试样,先卸去两侧外模,串在一起用磨削或精车进行表面加工。加工后,用压机脱去中模。

固化后的圆筒,先磨削或精车进行表面加工,再切环脱模。

5.4 预浸法缠绕工艺制样

预浸法制备试样的程序与湿法缠绕工艺基本相同,但模具的预热温度及预浸带的烘烤条件、缠绕张力、缠绕速度等,需按预浸带规定的技术条件确定。

5.5 纤维缠绕增强复合材料管制样

试样直接从纤维缠绕增强复合材料管上切割,再进行机械加工,两个缩减面在相距180°的位置,横断面在相对于试样宽度的中心位置。

5.6 试样的型式和尺寸

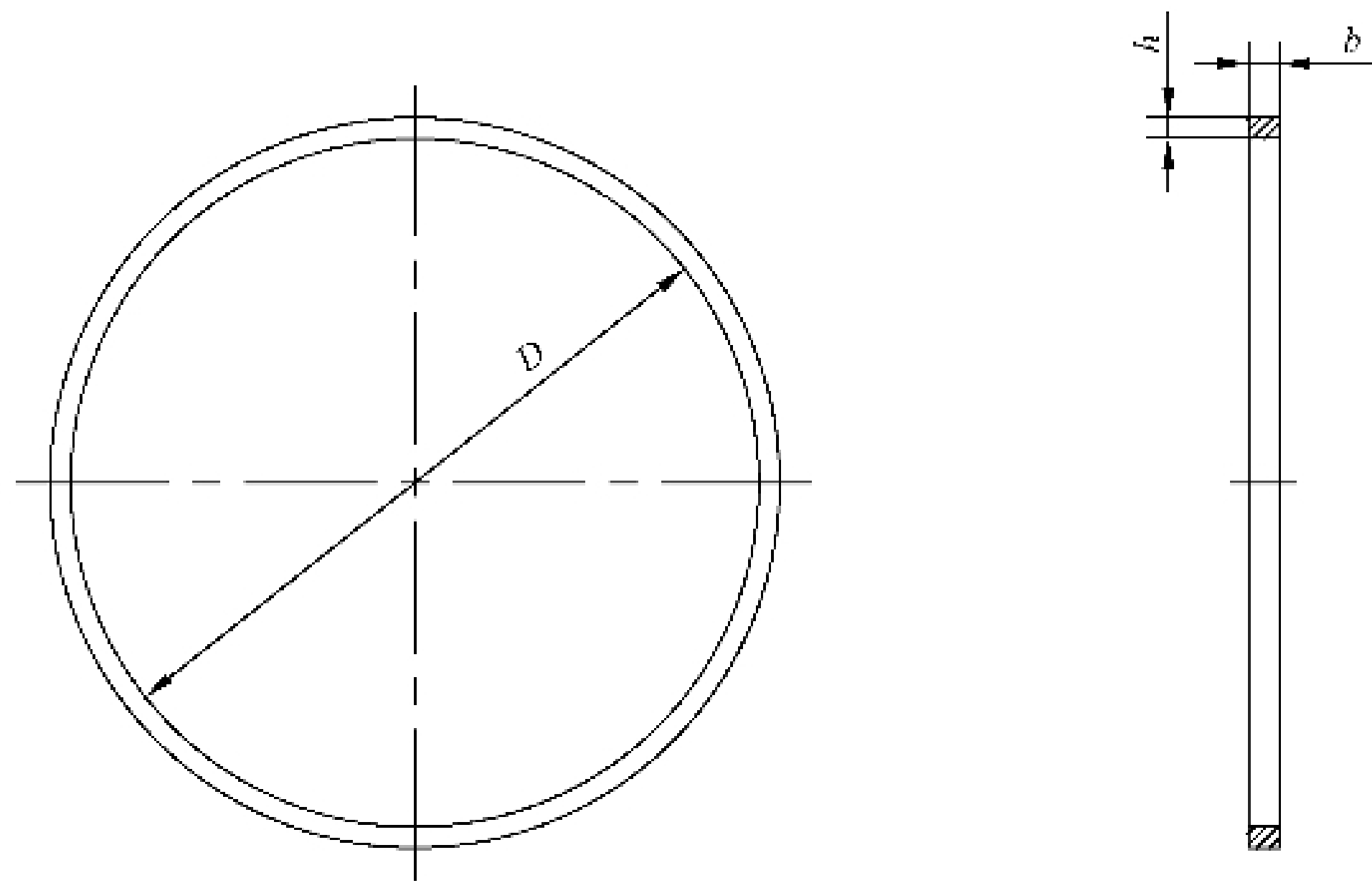
5.6.1 湿法缠绕或预浸法缠绕制作的试样,分别为剪切试样和单向拉伸试样两种型式,见表1和图4。

5.6.2 纤维缠绕增强复合材料管制作的试样,缩减面半径 r 不小于9 mm,缩减面最小宽度 l 不小于14 mm,试样宽度 L 不小于23 mm,见图5。

表1 试样规格

单位为毫米

| 型式 | 尺寸 | | |
|--------|---------|-------|---------|
| | D | b | h |
| 剪切试样 | 150±0.2 | 6±0.2 | 3±0.1 |
| 单向拉伸试样 | 150±0.2 | 6±0.2 | 1.5±0.1 |



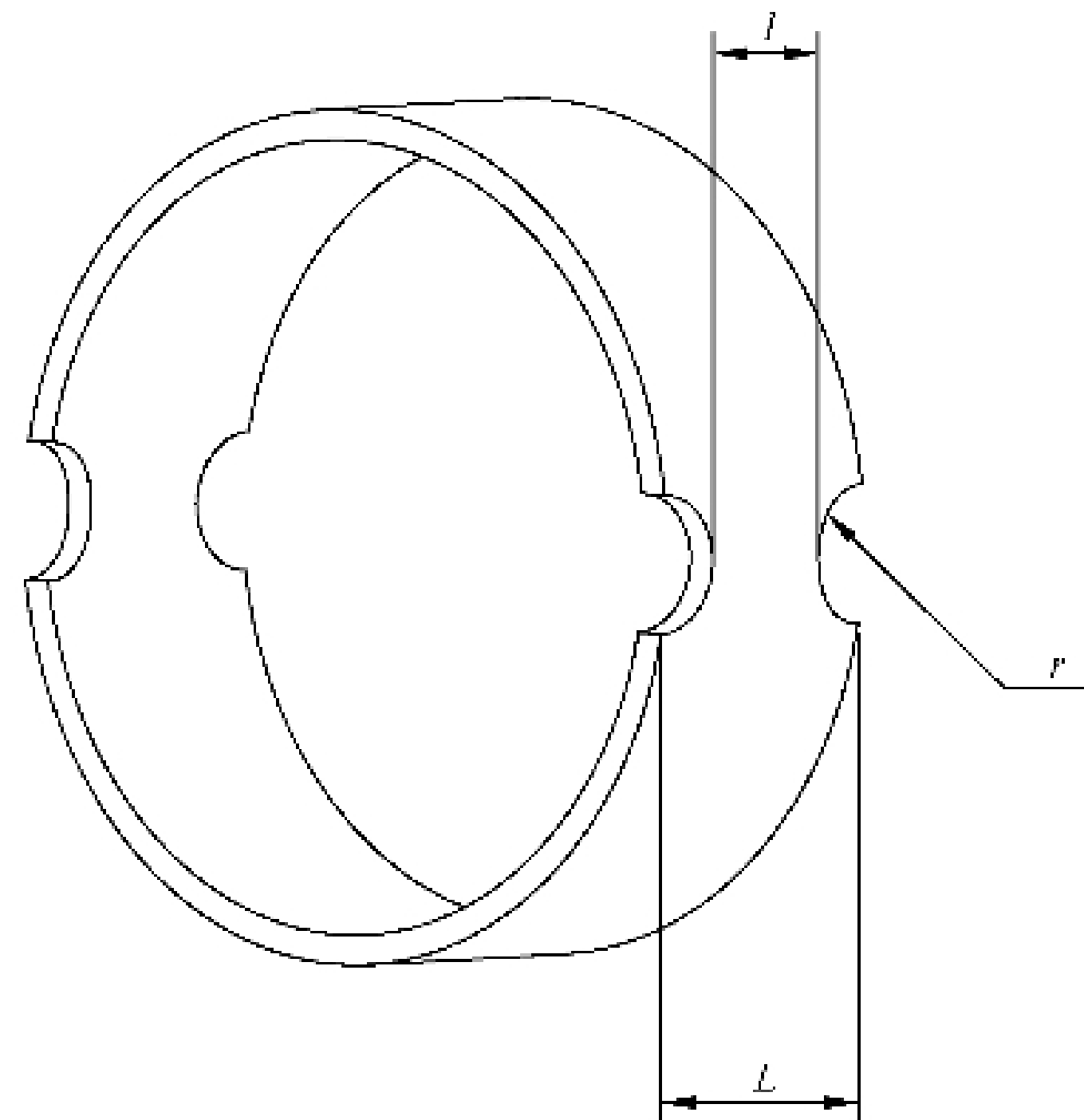
标引序号说明：

D —— 内径；

b —— 宽度；

h —— 厚度。

图 4 湿法缠绕或预浸法缠绕试样



标引序号说明：

r —— 缩减面半径；

l —— 缩减面最小宽度；

L —— 试样宽度。

图 5 纤维缠绕增强复合材料管试样

6 剪切试验

6.1 剪切试样

6.1.1 试样尺寸

剪切试样尺寸见图 6。试样长度 L ：玻璃纤维增强复合材料为 21 mm~30 mm，碳纤维和芳纶纤维

增强复合材料为 18 mm~21 mm。

单位为毫米

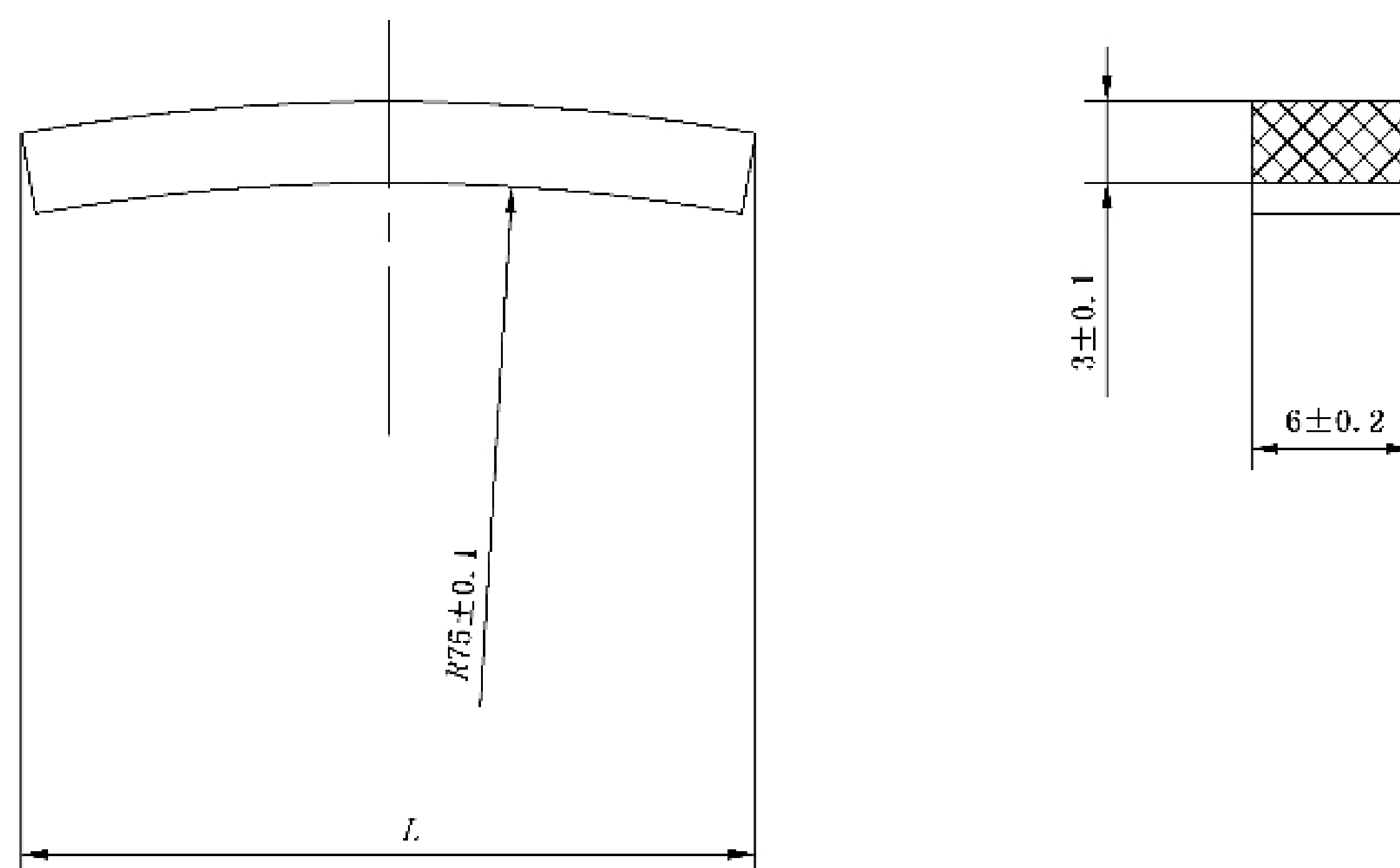


图 6 剪切试样尺寸

6.1.2 试样制作

试样制作按第 5 章的规定。剪切试样由环形试样径向切取,且等量地由 3 个环中切取。

6.1.3 试样数量

每组试样不少于 9 个,并保证同批有 9 个有效试样。

6.2 试验条件

6.2.1 实验室环境

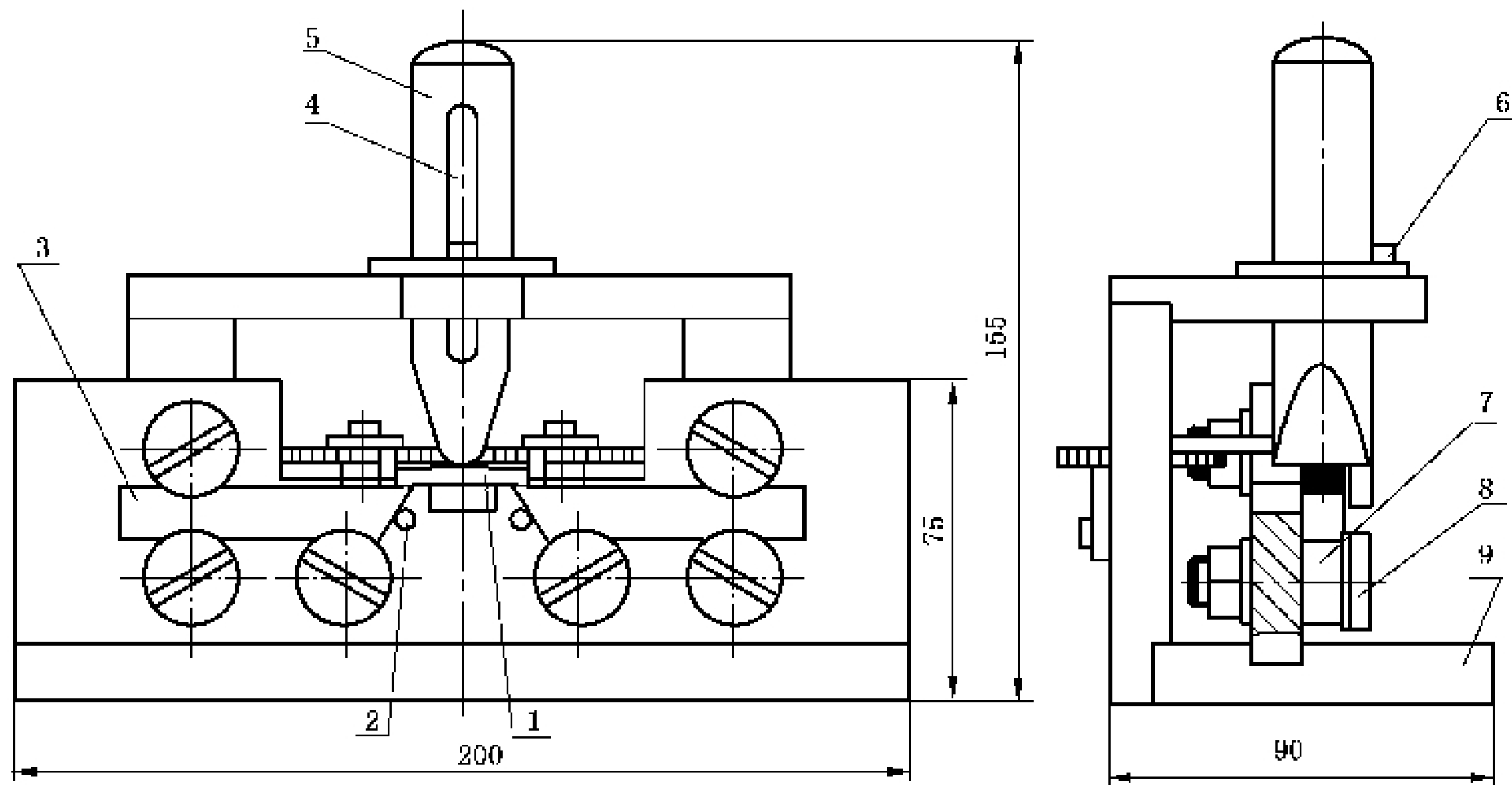
实验室环境条件按 GB/T 1446 的规定。

6.2.2 试验设备

试验设备按 GB/T 1446 的规定。

6.2.3 试验夹具

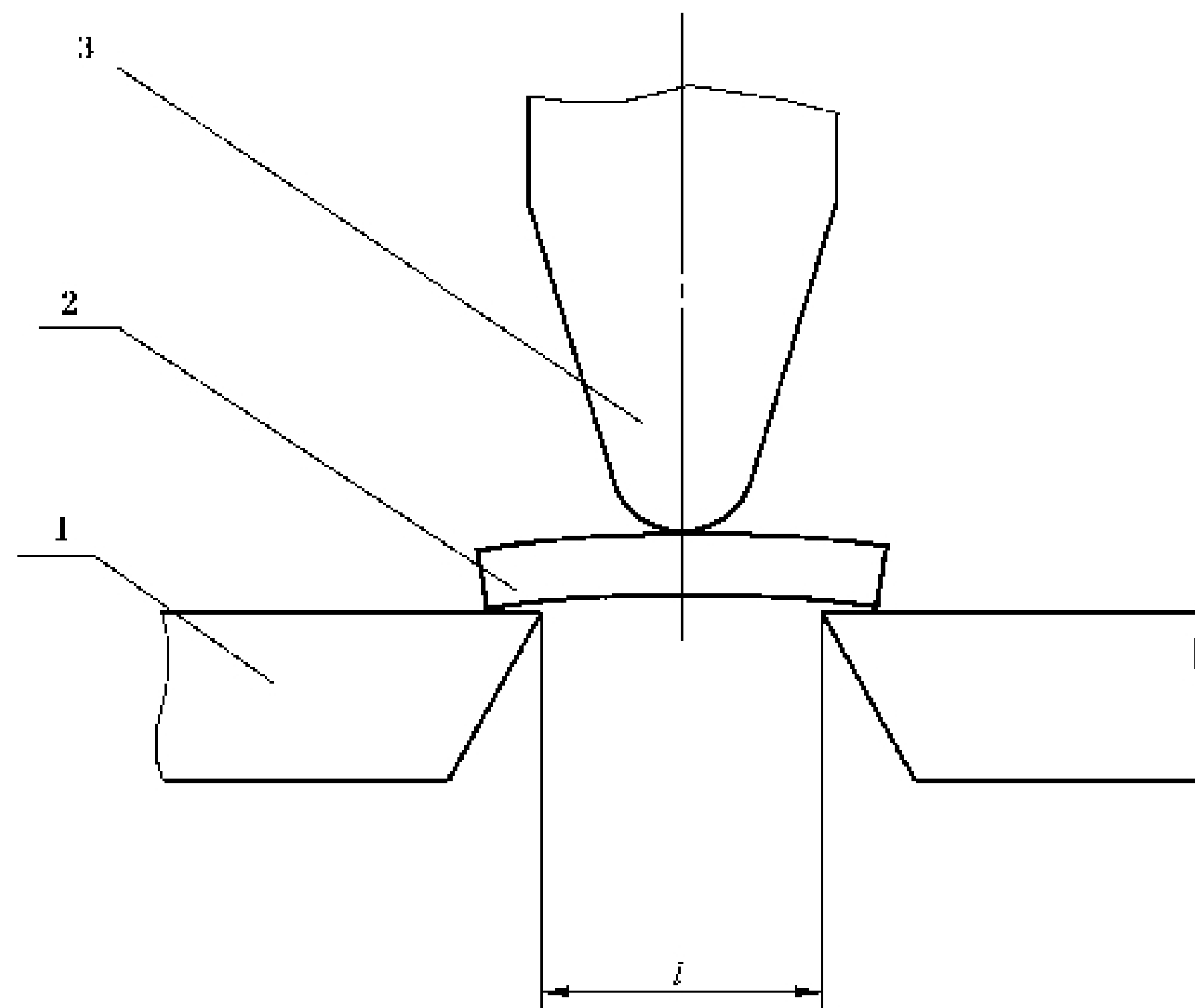
剪切试验夹具应有允许试样自由伸长的滑动支座和自动对中的装置,见图 7。上压头半径为 (3 ± 0.25) mm,硬度为 $(60 \sim 62)$ HRC,表面精细,无压痕和毛刺。滑动支座间距 l :玻璃纤维增强复合材料为 20 mm,碳纤维和芳纶纤维增强复合材料为 11 mm,见图 8。



标引序号说明：

- | | |
|---------------|------------|
| 1——试样； | 6——键； |
| 2——支座跨距定位销； | 7——支座滑动轴承； |
| 3——滑动支座； | 8——固定轴承螺帽； |
| 4——保证加载方向的滑槽； | 9——底座。 |
| 5——加载杆； | |

图 7 剪切试验夹具



标引序号说明：

- | |
|---------------|
| 1——滑动支座； |
| 2——试样； |
| 3——上压头； |
| l ——滑动支座间距。 |

图 8 试样加载简图

6.2.4 加载速度

加载速度为 1 mm/min~2 mm/min。

6.3 试验步骤

6.3.1 试样检查按 GB/T 1446 的规定。

6.3.2 试样的状态调节按 GB/T 1446 的规定。

6.3.3 将试样编号。在试样中部和两端共三处,测量试样的宽度和厚度,取算术平均值。测量精确到 0.01 mm。

6.3.4 将试样凸面向上放在支座上,上压头与试样接触的轴线垂直于试样长度方向,见图 8。

6.3.5 均匀、连续地对试样施加载荷,记录破坏载荷。若试样破坏后,失效形式为弯曲、挤压等非层间剪切破坏时,则该试样予以作废。剪切试验的典型破坏形式见图 9。

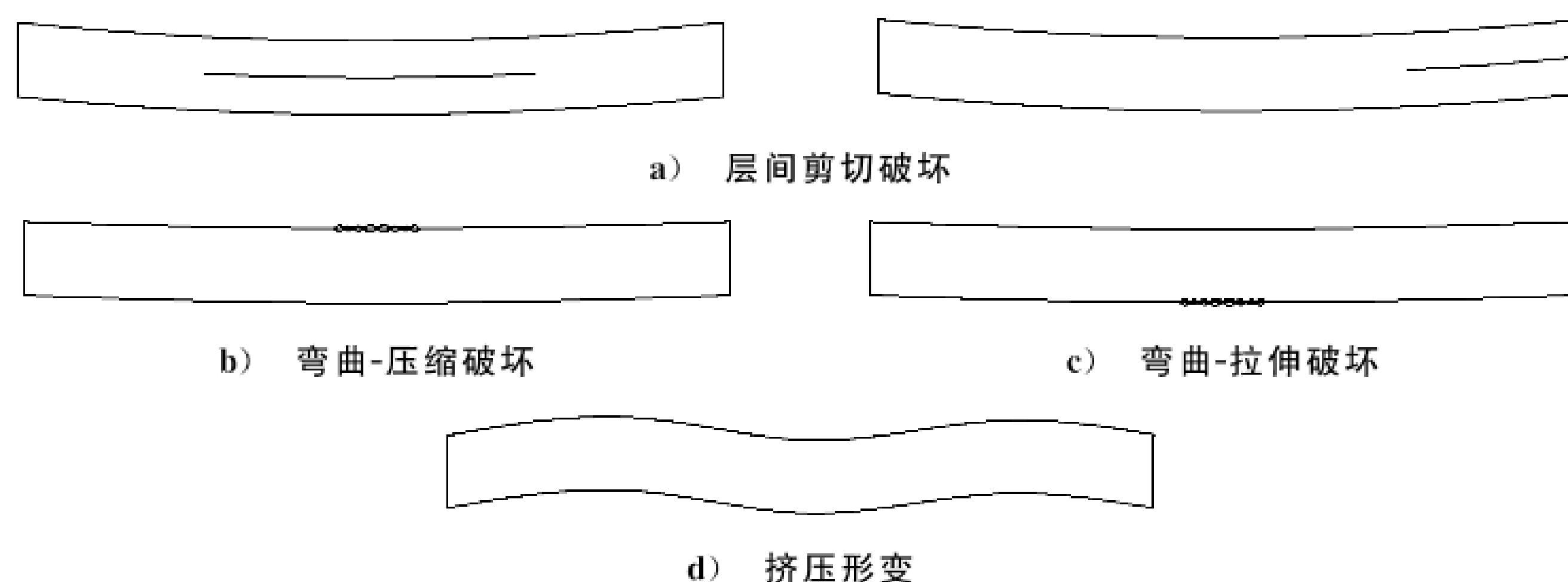


图 9 剪切试验的典型破坏形式

6.4 计算

层间剪切强度按公式(1)计算:

$$\tau_s = \frac{3p_b}{4b \cdot h} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

τ_s ——层间剪切强度,单位为兆帕(MPa);

p_b ——破坏载荷,单位为牛顿(N);

b ——试样宽度,单位为毫米(mm);

h ——试样厚度,单位为毫米(mm)。

6.5 试验结果

试验结果按 GB/T 1446 的规定。

7 拉伸试验

7.1 拉伸试样

7.1.1 试样尺寸

拉伸试样尺寸按 5.6 的规定。

7.1.2 试样制作

试样制作按第 5 章的规定。

7.1.3 试样数量

每组试样不少于 5 个,并保证同批有 5 个有效试样。

7.2 试验条件

7.2.1 实验室环境

实验室环境条件按 GB/T 1446 的规定。

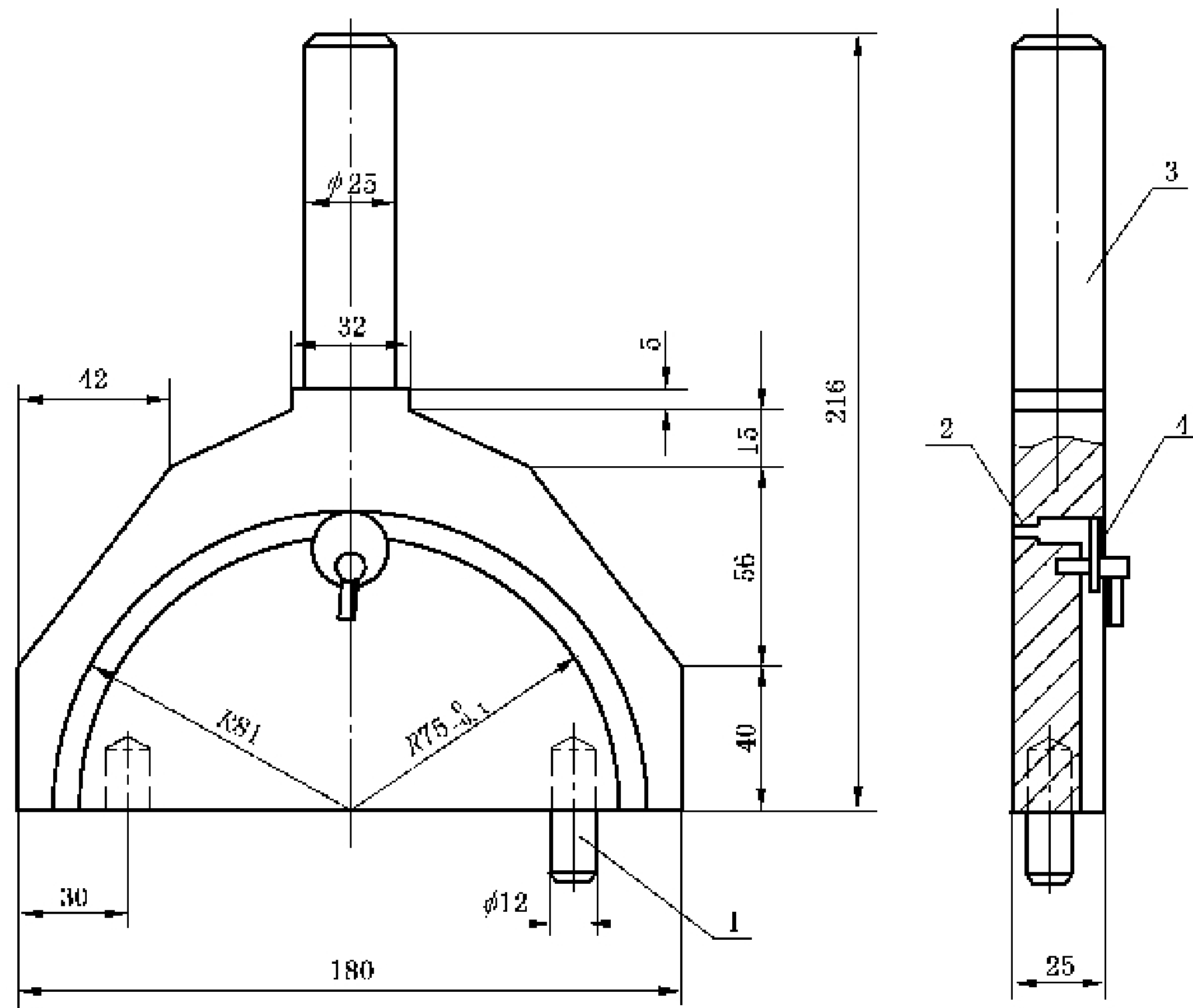
7.2.2 试验设备

试验设备按 GB/T 1446 的规定。

7.2.3 试验夹具

拉伸试验的夹具见图 10。单向纤维缠绕增强复合材料环形试样采用 I 型夹具;纤维缠绕增强复合材料管试样采用 II 型夹具,拉力盘宽度应大于试样宽度,直径与试样内径相近。

单位为毫米



标引序号说明:

- 1——定位销;
- 2——取环孔;
- 3——盘体;
- 4——挡环凸轮。

a) I 型夹具

图 10 拉伸夹具图

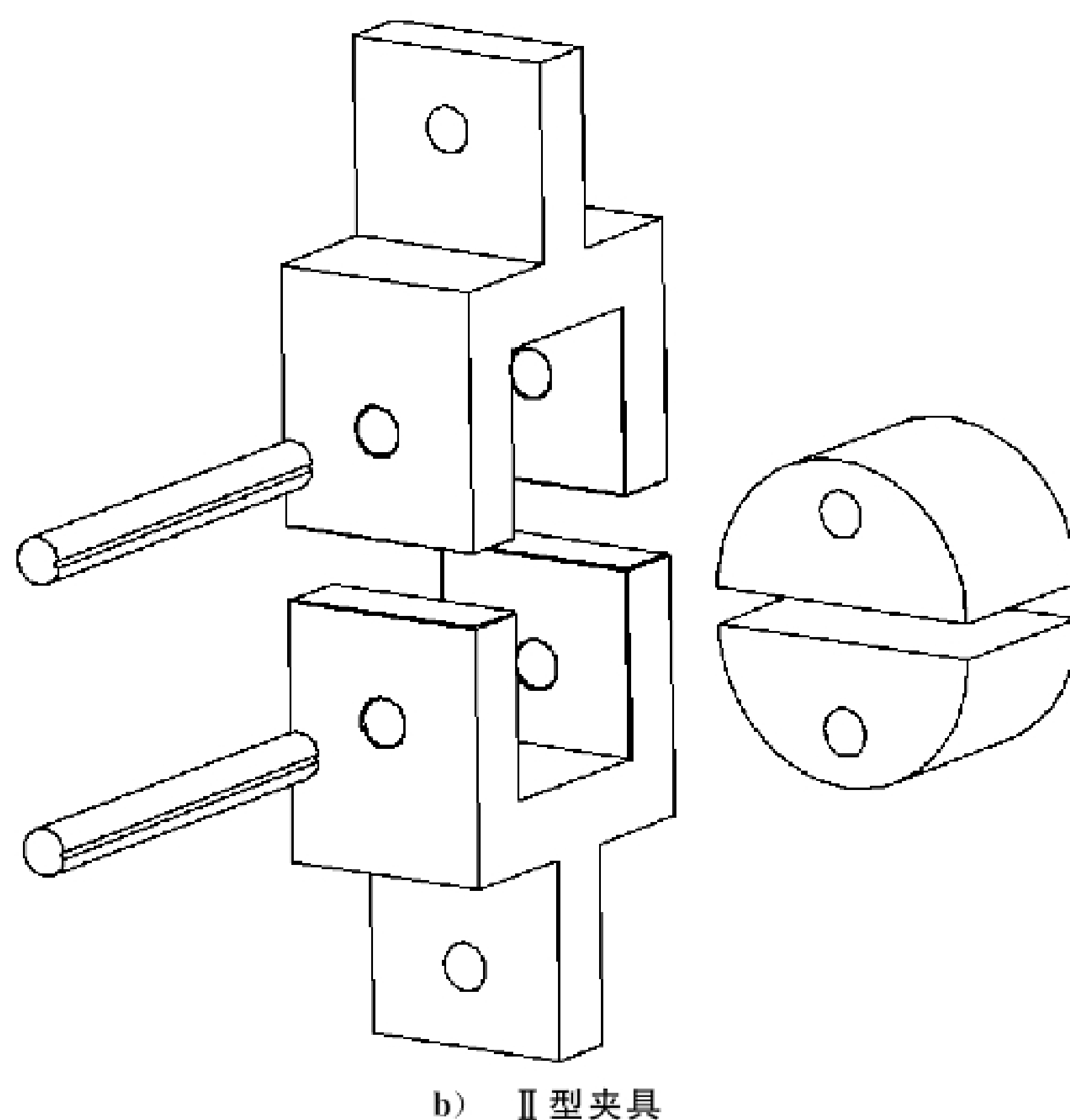


图 10 拉伸夹具图 (续)

7.2.4 加载速度

单向纤维缠绕增强复合材料环形试样的加载速度:玻璃纤维增强复合材料为 3 mm/min~5 mm/min;碳纤维和芳纶纤维增强复合材料为 2 mm/min~3 mm/min。纤维缠绕增强复合材料管试样的加载速度为 2.5 mm/min~12.5 mm/min。

7.3 试验步骤

7.3.1 试样检查按 GB/T 1446 的规定。

7.3.2 试样的状态调节按 GB/T 1446 的规定。

7.3.3 将试样编号。单向纤维缠绕增强复合材料环形试样是通过试样圆心划一直线交于环的两侧,并在该处测量试样的宽度和厚度,每侧各测量两点,取算术平均值;纤维缠绕增强复合材料管试样是测量两缩减面的最小宽度和厚度。测量精确到 0.01 mm。

7.3.4 将试样装在夹具上。单向纤维缠绕增强复合材料环形试样的划线处或纤维缠绕增强复合材料管试样的缩减面处对准拉力盘的缝隙处,试样与夹具的接触表面要加以润滑。

7.3.5 均匀、连续地对试样施加载荷,直到破坏,记录破坏载荷。

7.3.6 单向纤维缠绕增强复合材料环形试样测量拉伸弹性模量按附录 A 的规定进行测定。

7.3.7 玻璃纤维试样的纤维体积含量测定按 GB/T 2577 的规定;碳纤维试样的纤维体积含量测定按 GB/T 3855 的规定。

7.4 计算

7.4.1 拉伸强度

拉伸强度按公式(2)计算:

$$\sigma_t = \frac{p_b}{2b \cdot h} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

- σ_t ——增强复合材料拉伸强度,单位为兆帕(MPa)；
- p_b ——破坏载荷,单位为牛顿(N)；
- b ——试样宽度,单位为毫米(mm)；
- h ——试样厚度,单位为毫米(mm)。

7.4.2 单向纤维缠绕增强复合材料环形试样的拉伸弹性模量

拉伸弹性模量计算按附录 A 的规定进行。

7.4.3 单向纤维缠绕增强复合材料环形试样的纤维拉伸强度

纤维拉伸强度按公式(3)计算：

$$\sigma_f = \frac{p_b}{2b \cdot h \cdot V_f} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- σ_f ——纤维拉伸强度,单位为兆帕(MPa)；
- p_b ——破坏载荷,单位为牛顿(N)；
- b ——试样宽度,单位为毫米(mm)；
- h ——试样厚度,单位为毫米(mm)；
- V_f ——纤维体积含量, %。

7.5 试验结果

试验结果按 GB/T 1446 的规定。

8 试验报告

试验报告应包括下列内容：

- a) 试验项目名称及本文件编号；
- b) 原材料的品种及规格；
- c) 环形试样制作时的环境温度和相对湿度；
- d) 缠绕张力、速度；
- e) 模具材料；
- f) 固化制度；
- g) 试样制作人员、日期；
- h) 试样的类型、编号、形状、尺寸、外观质量及数量；
- i) 试验温度、相对湿度及试样状态调节；
- j) 试验设备及仪器仪表的型号、量程及使用情况等；
- k) 试验结果：给出每个试样性能的单值(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；
- l) 试验人员、日期及其他。

附录 A

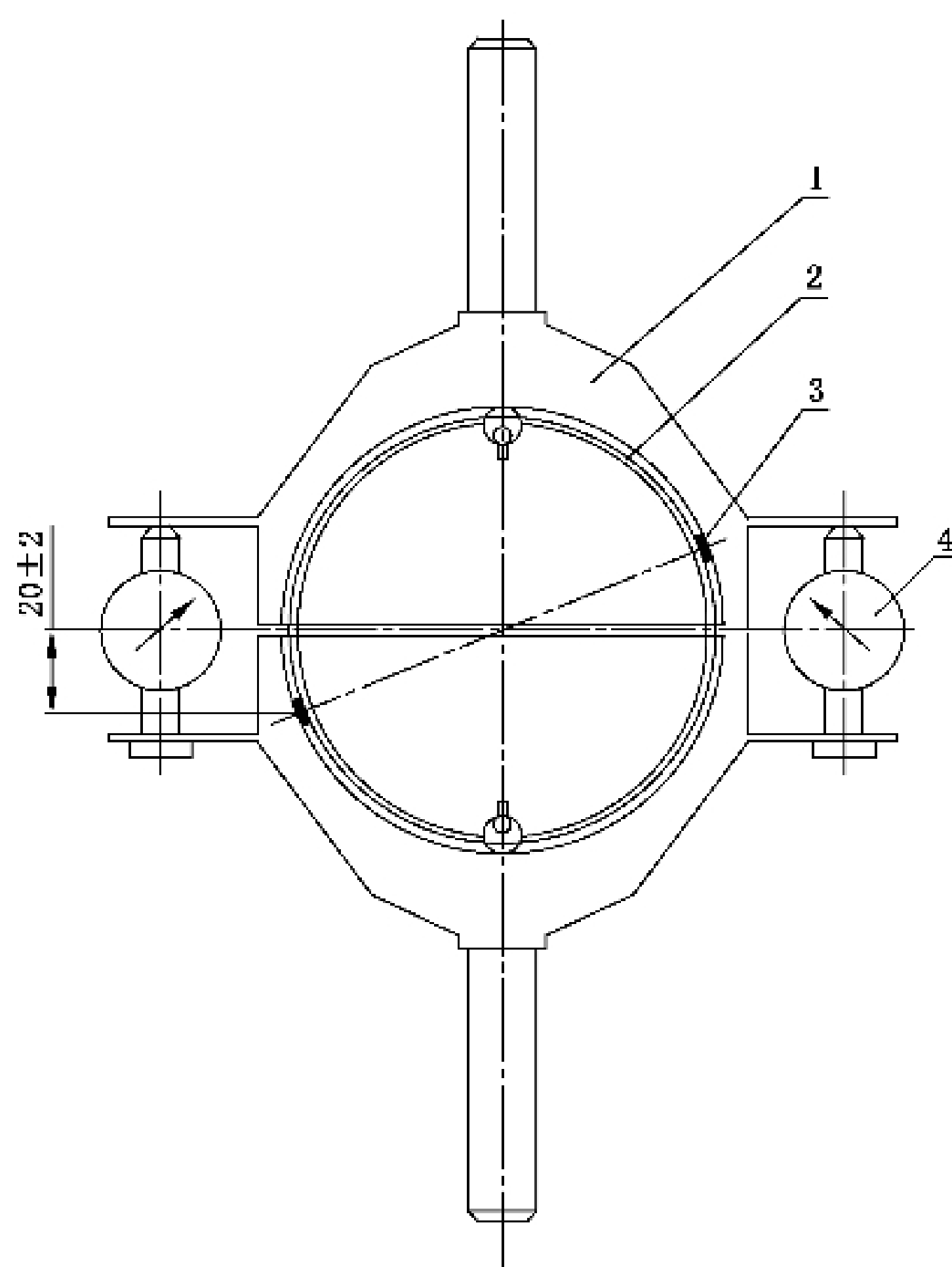
(规范性)

单向纤维缠绕增强复合材料环形试样拉伸弹性模量的测定

A.1 应变片法

A.1.1 在试样上按图 A.1 粘贴应变片。

单位为毫米



标引序号说明：

- 1——拉力盘；
2——试样；
3——应变片；
4——变形计。

图 A.1 粘贴应变片位置示意图

A.1.2 加载速度可按方便测量和读取变形而选取。

A.1.3 安装好测量变形仪表。施加初载(约破坏载荷的 5%)，检查仪表；以一定间隔施加载荷(破坏载荷的 30%~50%)，记录应变。有自动记录装置时，可连续加载。

A.1.4 绘制载荷-应变曲线。

A.1.5 拉伸弹性模量按公式(A.1)计算：

$$E = \frac{\Delta p}{b \cdot h (\Delta \epsilon_1 + \Delta \epsilon_2)} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- E ——拉伸弹性模量，单位为兆帕(MPa)；
 Δp ——载荷-应变曲线上初始直线段的载荷增量，单位为牛顿(N)；

b ——试样宽度,单位为毫米(mm);

h ——试样厚度,单位为毫米(mm);

$\Delta\epsilon_1$ 、 $\Delta\epsilon_2$ ——分别为对应于载荷增量 Δp 的两侧应变增量。

A.1.6 试样数量按 GB/T 1446 的规定。

A.1.7 试验结果按 GB/T 1446 的规定。

A.2 变形计法

A.2.1 在拉力盘缝隙处两侧对称地安装变形计(见图 A.1)。

A.2.2 按 A.1.2, A.1.3 和 A.1.4 的规定进行操作。

A.2.3 拉伸弹性模量按公式(A.2)计算:

$$E = \frac{\pi \cdot D \cdot \Delta p}{2b \cdot h (\Delta l_1 + \Delta l_2)} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

E ——拉伸弹性模量,单位为兆帕(MPa);

Δp ——载荷-应变曲线上初始直线段的载荷增量,单位为牛顿(N);

b ——试样宽度,单位为毫米(mm);

h ——试样厚度,单位为毫米(mm);

D ——试样直径,单位为毫米(mm);

Δl_1 、 Δl_2 ——分别为对应于载荷增量 Δp 的两侧变形增量,单位为毫米(mm)。

A.2.4 试样数量按 GB/T 1446 的规定。

A.2.5 试验结果按 GB/T 1446 的规定。