



中华人民共和国国家标准

GB/T 47233—2026

仿生干黏附材料黏附性能测试方法

Test methods for adhesion performance of bionic dry adhesive materials

2026-02-27 发布

2026-09-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测试原理 2

5 测试条件 2

6 试样 2

 6.1 试样种类和数量 2

 6.2 试样尺寸 2

 6.3 试样表面清洁 2

 6.4 试样状态调节 3

7 测试装置 3

 7.1 法向黏附力测试装置 3

 7.2 切向黏附力测试装置 4

 7.3 剥离力测试装置 5

8 测试步骤 5

 8.1 法向黏附力性能测试 5

 8.2 切向黏附力性能测试 6

 8.3 剥离力性能测试 6

9 试验数据处理 7

 9.1 法向黏附强度与黏压比 7

 9.2 切向黏附强度 7

 9.3 剥离强度 8

10 测试报告 8

附录 A（资料性） 测试数据图示例 9

 A.1 法向黏附力测试数据图示例 9

 A.2 切向黏附力测试数据图示例 9

 A.3 剥离力测试数据图示例 9

附录 B（资料性） 测试报告示例 11

参考文献 13

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。

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国仿生学标准化技术委员会(SAC/TC 598)归口。

本文件起草单位：南京航空航天大学、北京机械工业自动化研究所有限公司、浙江工业大学、清华大学、北京机电工程总体设计部、四川大学、武汉大学、北京理工大学、西安交通大学、南京艾德恒信科技有限公司、南京神源生智能科技有限公司、浙江泛力新材料科技有限公司、中能国研(北京)电力科学研究院。

本文件主要起草人：姬科举、戴振东、秦修功、宋逸、田煜、洪义强、夏爽、邹华维、薛龙建、彭志龙、田洪森、郭慧、王喜鹏、吴建铭、黄世龙、姜江、姚举禄、邓凯、孙一宸、赵钊。

仿生干黏附材料黏附性能测试方法

1 范围

本文件描述了仿生干黏附材料黏附性能的测试方法。

本文件适用于测试仿生干黏附材料的法向黏附强度、切向黏附强度以及 90°和 180°剥离强度,同时为其他类似仿生材料的界面接触力学测试提供参考。

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 16825.1—2022 金属材料 静力单轴试验机的检验与校准 第 1 部分:拉力和(或)压力试验机 测力系统的检验与校准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

仿生干黏附材料 bionic dry adhesive materials

以壁虎、甲虫、蜘蛛等陆生生物的足部微纳黏附结构为仿生原型的表界面黏附功能材料。

3.2

接触面积 area of contact

仿生干黏附材料试样与被黏表面接触时的整个表观面积。

注:实际接触面积可能比这个表观面积小。

[来源:GB/T 40721—2021,3.2,有修改]

3.3

预压力 preload force

为使仿生干黏附材料试样与被黏表面形成良好接触而施加的垂直于接触面的法向压力。

3.4

法向黏附力 normal adhesive force

在一定条件下,仿生干黏附材料试样与被黏表面形成黏附接触界面,其黏附接触界面所表现出来的抵抗垂直于接触界面分离的能力。

3.5

切向黏附力 shear adhesive force

在一定条件下,黏附接触界面所表现出来的抵抗平行于接触界面分离的能力。

3.6

剥离力 peel force

在一定条件下,黏附接触界面所表现出来的抵抗剥离的能力。

3.7

法向黏附强度 normal adhesive strength

在一定条件下,平均单位面积的黏附接触界面所表现的最大法向黏附力。

注:计算方式为最大法向黏附力(3.4)与接触面积(3.2)的比值。

3.8

切向黏附强度 shear adhesive strength

在一定条件下,平均单位面积的黏附接触界面所表现的最大切向黏附力。

注:计算方式为最大切向黏附力(3.5)与接触面积(3.2)的比值。

3.9

剥离强度 peel strength

在一定条件下,单位宽度的黏附接触界面所能承受的平均剥离力。

[来源:GB/T 2792—2014,3.1,有修改]

3.10

黏压比 ratio of normal adhesive force to preload force

在规定的测试条件下,经过测试和计算得到的最大法向黏附力(3.4)与预压力(3.3)的比值。

4 测试原理

通过特定的预压力使仿生干黏附材料试样表面和被黏表面相互接触后,由机械设备使仿生干黏附材料试样与被黏表面形成接触的两个面发生相对位移(分离或滑动),监控和记录该分离过程中的力的变化。

5 测试条件

测试应在以下条件下进行:

- 压强:标准大气压;
- 环境温度: $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 相对湿度: $(50 \pm 5)\%$ 。

6 试样

6.1 试样种类和数量

试样种类包括法向黏附试样、切向黏附试样和剥离试样。每类试样数量应不少于三个。

6.2 试样尺寸

法向黏附试样和切向黏附试样应为边长 $1.00\text{ cm} \pm 0.02\text{ cm}$ 的正方形。

剥离试样应为长条形,厚度应小于 1.00 cm ,宽度应为 $2.40\text{ cm} \pm 0.05\text{ cm}$,长度应为 $30.00\text{ cm} \pm 0.05\text{ cm}$ 。

试样的边长或长宽尺寸应为具有仿生微纳结构区域的包络尺寸。

6.3 试样表面清洁

警示——清洗溶剂甲苯、丁酮、丙酮、异丙醇、无水乙醇为危化品,使用时应在通风环境操作,避免明火并佩戴防护用具。

6.3.1 制备的仿生干黏附材料试样和被黏表面应保持洁净干燥。若发生污染,应对两个表面进行清洁。

6.3.2 仿生干黏附材料试样和被黏表面被灰尘或其他细微颗粒、碎屑污染时,用干净、干燥的空气或类似气体吹去表面污染物,或选用干净、干燥、柔软的无尘布擦拭,但不应损伤试样表面或被黏表面。

6.3.3 仿生干黏附材料试样和被黏表面被油脂或类似污染物污染时,应从以下列项中选择一种溶剂清洗,且选择的溶剂不应溶解或溶胀被清洁的表面,溶剂纯度应使用分析纯及以上等级:

- a) 加入少量洗涤剂的蒸馏水;
- b) 纯蒸馏水;
- c) 无水乙醇;
- d) 异丙醇;
- e) 丙酮;
- f) 丁酮;
- g) 四氯乙烯;
- h) 甲苯。

6.3.4 清洗后应用干净、干燥的空气或类似气体吹去试样和试验基底表面所有液体,当仿生干黏附材料试样或被黏表面水分较大时,宜在温度为 $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的真空(压强小于 100 Pa)环境下放置 2 h 及以上,去除表面的水分。

6.4 试样状态调节

测试前,应将仿生干黏附材料试样在第 5 章规定的测试条件下静置调节不少于 3 h 。

7 测试装置

7.1 法向黏附力测试装置

该装置用于法向黏附力性能测试,以衡量法向黏附试样性能,法向黏附力测试装置示意图如图 1 所示,装置各部件的功能和要求如下。

- a) 可移动部件:应能以固定速率(通常在 $0.5\text{ mm/min} \sim 1\text{ }000\text{ mm/min}$ 之间)和特定角度进行直线运动,运动速率应由符合 GB/T 16825.1—2022 的试验机(恒速驱动)施加。
- b) 载荷传感器:能实时反馈力值,示值误差应不超过 1% 。
- c) C 形连接件:为左右对称结构,两侧分别装有可上下移动位置的锁紧滑块,C 形连接件及锁紧滑块的总质量应为 $100\text{ g} \pm 1\text{ g}$ 。
- d) 锁紧滑块:可通过调节锁紧滑块位置使驱动线绳的水平方向力作用线在接触界面中。
- e) 自适应结构:法向黏附试样和被黏表面应至少有一个表面具有自适应特性,表面自适应特性的形成可通过引入万向球头自适应结构[图 1b)]、弹簧自适应结构[图 1c)]等部件实现,C 形连接件与自适应结构的总质量应不超过 500 g 。
- f) 重物:质量应为 $100\text{ g} \pm 1\text{ g}$ 。
- g) 被黏表面:应平整不变形,对于柔性的被黏表面,应固定在刚性平面上,尺寸应小于刚性平面尺寸并大于法向黏附试样的长宽尺寸,被黏表面应为可替换的平面材料,需进行比对试验时,宜选择下列其中一种材料,并记录被黏表面的粗糙度值 R_a :
 - 1) 表面抛光或研磨的浮法玻璃;
 - 2) 表面抛光或研磨的硅片;
 - 3) 特殊的表面抛光或研磨的不锈钢;
 - 4) 表面研磨到规定光洁度的铸铁;

5) 规定粒度的树脂胶合纸。

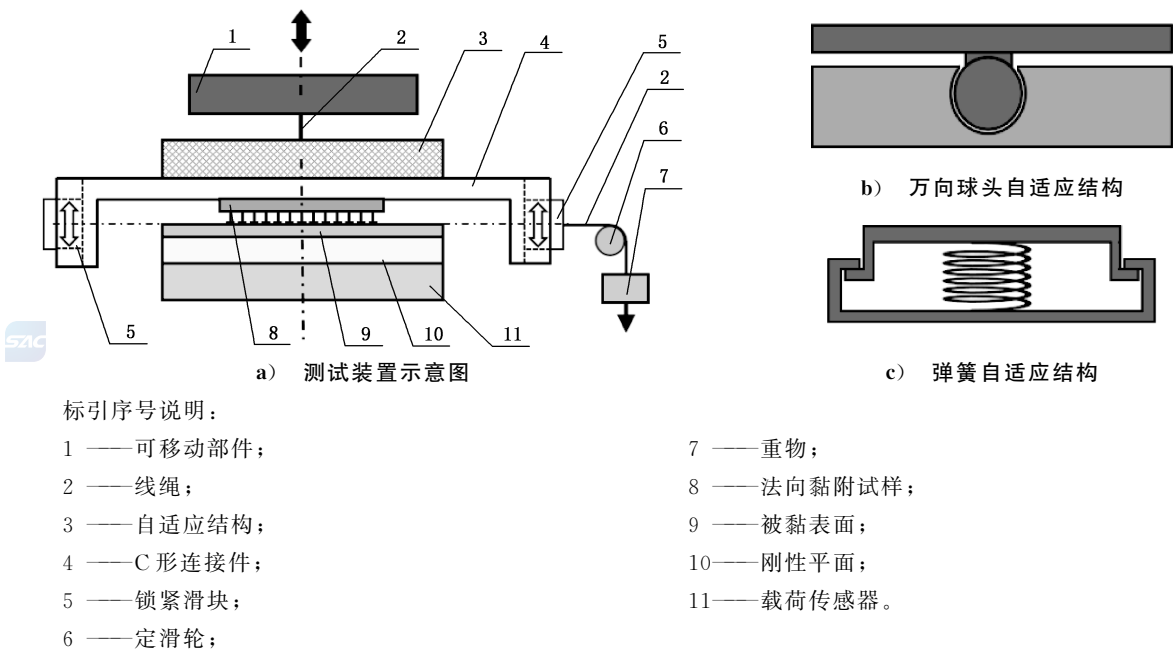


图 1 法向黏附力测试装置示意图

7.2 切向黏附力测试装置

该装置用于切向黏附力性能测试,以衡量切向黏附试样性能,切向黏附力测试装置示意图如图 2 所示,装置各部件功能和要求如下:

- a) 重物:质量应为 $200\text{ g}\pm 5\text{ g}$;
- b) 可移动部件、C 形连接件、锁紧滑块、载荷传感器与被黏表面的要求同 7.1 法向黏附力测试装置中所述。

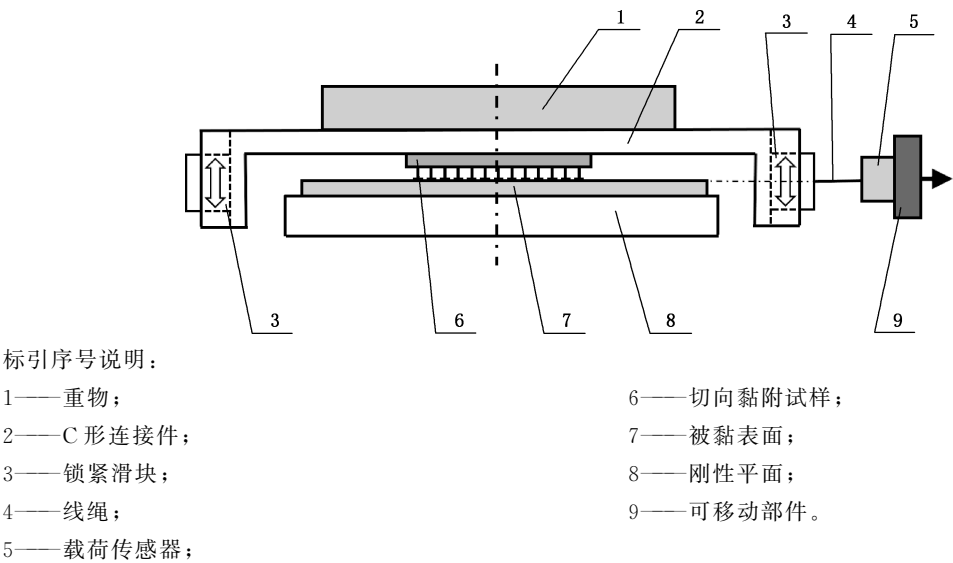
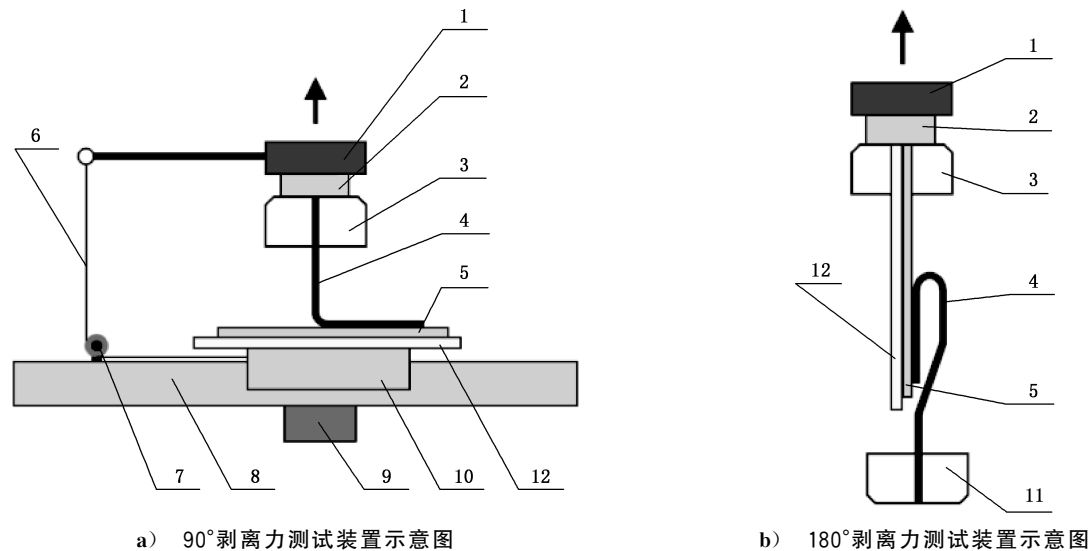


图 2 切向黏附力测试装置示意图

7.3 剥离力测试装置

该装置用于剥离性能测试,以衡量剥离试样性能,剥离力测试装置示意图如图 3 所示,装置各部件功能和要求如下:

- a) 滑块:用于固定刚性平面,仅产生水平滑动;
- b) 夹头:用于固定剥离试样,可安装至载荷传感器上;
- c) 可移动部件、载荷传感器与被黏表面的要求同 7.1 法向黏附力测试装置中所述。



标引序号说明:

- | | |
|-----------|-----------|
| 1——可移动部件; | 7——定滑轮; |
| 2——载荷传感器; | 8——滑轨; |
| 3——夹头; | 9——固定支架; |
| 4——剥离试样; | 10——滑块; |
| 5——被黏表面; | 11——固定夹头; |
| 6——线绳; | 12——刚性平面。 |

图 3 剥离力测试装置示意图

8 测试步骤

8.1 法向黏附力性能测试



法向黏附力性能测试步骤如下:

- a) 测量法向黏附试样的长度、宽度与厚度,记录数值,计算接触面积并记录;
- b) 将法向黏附试样测试面朝下固定在 C 形连接件底部,法向黏附试样安装时不应被拉伸,若使用双面胶或黏合剂固定法向黏附试样时,双面胶或黏合剂不应对法向黏附试样产生溶胀或其他影响;
- c) 将 C 形连接件固定在自适应结构上,自适应结构通过线绳与可移动部件连接;
- d) 将被黏表面固定在正对的刚性平面上,刚性平面固定至载荷传感器上,法向黏附试样在竖直方向的投影应全部落在被黏表面上,法向载荷的作用线应与法向黏附试样表面的形心在同一直线内(见图 1);
- e) 在法向黏附试样与被黏表面未接触时,检查载荷传感器调至零点,控制可移动部件向下移动对

被黏表面施加 5 N 法向预压力,使法向黏附试样与被黏表面产生紧密接触(对于法向黏附力的产生依赖于切向拉力的试样,放置在被黏表面上后,还应通过定滑轮在 C 形连接件侧面悬挂重物施加切向拉力,同时上下调节锁紧滑块,使切向拉力作用线在接触界面内),法向预压过程持续 10 s 为宜;

- f) 控制可移动部件撤去法向预压力,施加均匀的法向拉力,使法向黏附试样以 $30\text{ mm/min} \pm 3\text{ mm/min}$ 的恒定速率脱离被黏表面,通过载荷传感器采集法向运动过程中的力值;
- g) 按步骤 e)~f)再重复两次,记录测试结果;
- h) 更换新的法向黏附试样,按照步骤 a)~g)重复测试步骤,共计测试三个法向黏附试样。

注:如需多次重复测试法向黏附性能,可按步骤 e)、f)重复到设定的次数,记录每次法向黏附力结果。切向黏附性能、剥离性能的重复性测试以此类推。

8.2 切向黏附力性能测试



切向黏附力性能测试步骤如下:

- a) 测量切向黏附试样的长度、宽度与厚度,记录数值,计算接触面积并记录;
- b) 将切向黏附试样的测试面朝下固定在 C 形连接件底部,被黏表面固定在正对的刚性平面上,切向黏附试样在垂直方向的投影应全部落在被黏表面上(见图 2);
- c) 上下调节锁紧滑块,使线绳施加的载荷作用线在黏附接触界面中;
- d) 在 C 形连接件上放置重物,重物的重心与切向黏附试样形心在同一直线内,重物提供的法向预压力使切向黏附试样与被黏表面产生紧密接触,法向预压过程持续 10 s 为宜;
- e) 撤去重物,检查载荷传感器调至零点,刚性平面保持固定,控制可移动部件驱动线绳,使切向黏附试样以 $50\text{ mm/min} \pm 5\text{ mm/min}$ 的恒定速率相对被黏表面运动,通过载荷传感器采集切向相对运动过程中的力值;
- f) 按步骤 d)、e)再重复两次,记录测试结果;
- g) 更换新的切向黏附试样,按步骤 a)~f)重复测试步骤,共计测试三个切向黏附试样。

注:相对位移速率对切向黏附力具有一定影响,一般相对速率越大,黏附力越大,最大切向黏附力往往发生在产生宏观的相对位移之前,和界面的最大静摩擦力几乎是混淆的。

8.3 剥离力性能测试

8.3.1 90°剥离测试

90°剥离测试步骤如下:

- a) 测量剥离试样的长度、宽度与厚度,记录数值;
- b) 将被黏表面固定在刚性平面上,刚性平面固定在滑块上,将滑块利用线绳通过定滑轮连接至可移动部件,在被黏表面垂直方向上设置一个夹头,夹头运动方向与被黏表面垂直[见图 3a)];
- c) 将剥离试样的一端贴附在被黏表面上,贴附长度应不小于 125 mm,剥离试样自由端用夹头固定,调整夹取位置,使剥离试样自由端与被黏表面呈 90°角;
- d) 施加一定的预压力使剥离试样与被黏表面紧密贴合,预压力的施加方式宜采用 GB/T 2792—2014 中 5.3.4 的施加方式,或采用投影面积大于剥离试样的重物(均匀,且底部平整)提供预压力,预压力大小宜为 30 N,保压 30 s;
- e) 撤去预压力,检查载荷传感器调至零点,可移动部件驱动夹头以 $200\text{ mm/min} \pm 10\text{ mm/min}$ 的恒定速率运动,使剥离试样从被黏表面上连续剥离,持续记录剥离过程中的力值,直至剥离试样从被黏表面上完全剥离,撤去预压力后的剥离试验应在 1 min 内完成;
- f) 按步骤 c)~e)再重复两次,记录测试结果;
- g) 更换新的剥离试样,按步骤 a)~f)重复测试步骤,共计测试三个剥离试样。

8.3.2 180°剥离测试

180°剥离测试步骤如下：

- a) 测量剥离试样的长度、宽度与厚度，记录数值；
- b) 将被黏表面固定在刚性平面上，刚性平面固定在固定夹头上，在被黏表面平行方向上设置另一夹头，夹头运动方向与被黏表面平行[见图 3b)]；
- c) 将剥离试样的一端贴附在被黏表面上，贴附长度应不小于 125 mm，用夹头将剥离试样的自由端反向折叠固定，调整夹取位置，使剥离试样自由端与被黏表面呈 180°角；
- d) 施加一定的预压力使剥离试样与被黏表面紧密贴合，预压力的施加方式宜采用 GB/T 2792—2014 中“5.3.4 机动或手动压辊”施加方式，或者采用投影面积大于剥离试样的重物(均匀，且底部平整)提供预压力，预压力大小宜为 30 N，保压 30 s；
- e) 撤去预压力，检查载荷传感器调至零点，可移动部件驱动夹头以 200 mm/min±10 mm/min 的速率恒定运动，使剥离试样从被黏表面上连续剥离，持续记录剥离过程中的力值，直至剥离试样从被黏表面上完全剥离，撤去预压力后的剥离试验应在 1 min 内完成；
- f) 按步骤 c)～e)重复两次，记录测试结果；
- g) 更换新的剥离试样，按步骤 a)～f)重复测试步骤，共计测试三个剥离试样。

9 试验数据处理

9.1 法向黏附强度与黏压比

对于每个试样，从法向力和时间的关系曲线上得到两个表面分离时的法向力，选取测试时段内的最大力值作为最大法向黏附力，最大法向黏附力测试数据图示例见附录 A 中图 A.1，由公式(1)可得出法向黏附试样的法向黏附强度，并由公式(2)计算试样的黏压比。

每个试样取三次法向黏附强度的算术平均值作为该试样的测量结果，取三个试样测量结果的算术平均值作为该项测试的测量结果，测量结果保留 2 位小数。

$$\sigma_{na} = \frac{F_{na}}{A} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- σ_{na} ——法向黏附强度，单位为牛每平方米(N/cm²)；
- F_{na} ——最大法向黏附力，单位为牛(N)；
- A ——接触面积，单位为平方厘米(cm²)。

$$\rho = \frac{F_{na}}{F_p} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- ρ ——黏压比；
- F_p ——预压力，单位为牛(N)。

9.2 切向黏附强度

对于每个试样，从切向力和时间的关系曲线上得到两个表面分离时的切向力，选取测试时段内的最大力值作为最大切向黏附力，最大切向黏附力测试数据图示例见图 A.2，由公式(3)计算相应的切向黏附强度。

每个试样取三次切向黏附强度的算术平均值作为该试样的测量结果，取三个试样测量结果的算术平均值作为该项测试的测量结果，测量结果保留 2 位小数。

$$\sigma_{sa} = \frac{F_{sa}}{A} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

σ_{sa} ——切向黏附强度，单位为牛每平方米(N/cm²)；

F_{sa} ——最大切向黏附力，单位为牛(N)；

A ——接触面积，单位为平方厘米(cm²)。

9.3 剥离强度

对于每个剥离试样，从剥离力和剥离长度的关系曲线上得到两个表面分离时的剥离力，剥离测试力值稳定后，忽略剥离试样前 25 mm 长度的测试结果，从 25 mm 处开始取至少 50 mm 长度的平均剥离力作为该剥离试样的一次测试值，剥离力测试数据图示例见图 A.3，由公式(4)计算相应的剥离强度。

每个试样取三次剥离强度的算术平均值作为该试样的测量结果。取三个试样测量结果的算术平均值作为该项测试的测量结果，测量结果保留 2 位小数。

$$\partial = \frac{F_{pf}}{B} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

∂ ——剥离强度，单位为牛每厘米(N/cm)；

F_{pf} ——平均剥离力，单位为牛(N)；

B ——试样宽度，单位为厘米(cm)。

以 90°剥离测试得到的剥离强度记为 90°剥离强度，以 180°剥离测试得到的剥离强度记为 180°剥离强度。

10 测试报告

测试报告应包括以下部分，测试报告示例见附录 B：

- a) 本文件标准编号及标准名称；
- b) 测试所用的仿生干黏附材料的说明，包括编号、材质、厚度、尺寸；
- c) 被黏表面的说明，包括材质、尺寸和表面粗糙度；
- d) 仪器设备品牌型号和参数；
- e) 测试前试样前处理的时间、温度、湿度、清洁方式；
- f) 测试条件，包括施加的载荷、移动速率、环境压强、环境温度和环境湿度；
- g) 测试结果，黏附力值及算术平均值，计算结果；
- h) 完整的黏附力曲线图；
- i) 任何偏离本文件的测试细节说明；
- j) 实验室及测试人员信息；
- k) 测试日期。

附录 A
(资料性)
测试数据图示例

A.1 法向黏附力测试数据图示例

按照本文件的方法测得的法向力和时间的关系曲线如图 A.1 所示。

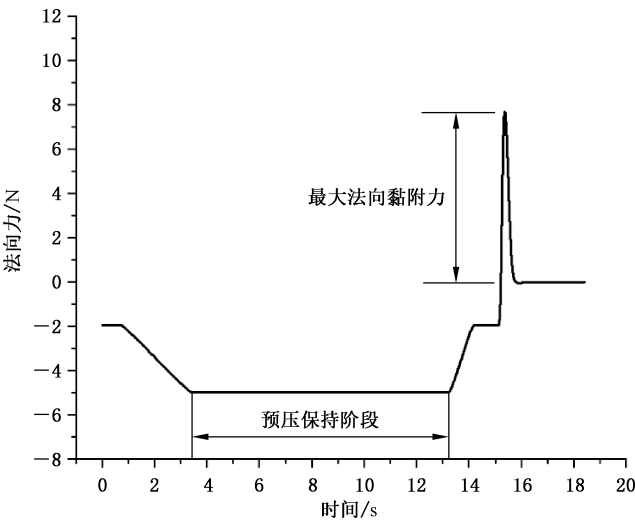


图 A.1 典型的法向黏附力测试曲线

A.2 切向黏附力测试数据图示例

按照本文件的方法测得的切向力和时间的关系曲线如图 A.2 所示。

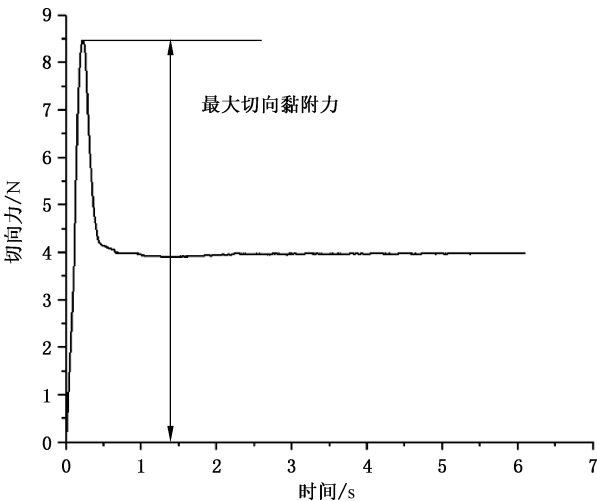


图 A.2 典型的切向黏附力测试曲线

A.3 剥离力测试数据图示例

按照本文件的方法测得的剥离力和长度的关系曲线如图 A.3 所示。

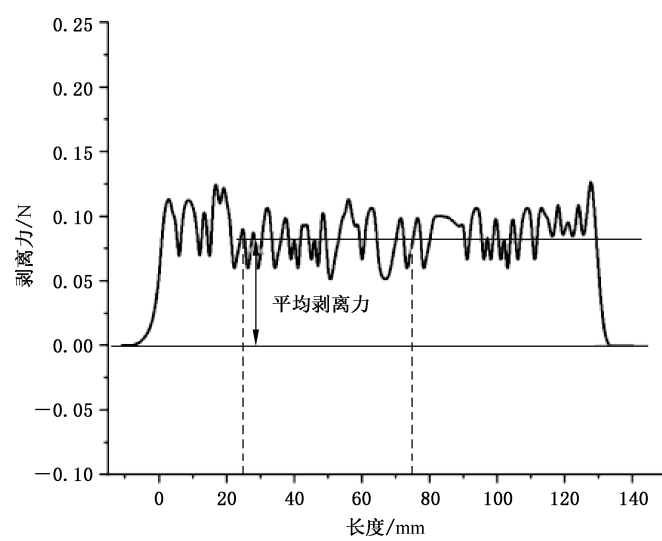


图 A.3 典型的剥离力测试曲线

附 录 B
(资料性)
测试报告示例

仿生干黏附材料黏附性能测试报告示例见表 B.1。

表 B.1 仿生干黏附材料黏附性能测试报告

送样人：送样单位：送样时间：				
序号	项目		内容	
1	测试项目名称			
2	测试依据	标准名称		
		标准编号		
3	试样信息	试样材质		
		试样一	厚度	
			长度	
			宽度	
			面积	
				
		试样 <i>n</i>	厚度	
			长度	
			宽度	
			面积	
4	被黏表面信息	被黏表面样品材质		
		被黏表面长度/宽度/厚度		
		被黏表面粗糙度		
5	仪器设备信息	品牌和型号		
		载荷传感器量程与精度		
6	测试前处理信息	试样处理时间/温度/湿度		
		试样清洁方式		
7	测试条件	环境压强/温度/湿度		
		可移动部件速率		
		预压力/侧向预压力		

表 B.1 仿生干黏附材料黏附性能测试报告（续）

序号	项目		内容	
8	测试结果	试样一	测试值	
			平均值	
				
		试样 <i>n</i>	测试值	
			平均值	
		计算结果		
9	黏附力曲线图			
10	其他测试说明			
实验室信息：				
测试人：		审核人：	批准人：	
测试日期：				

参 考 文 献

[1] GB/T 2792—2014 胶粘带剥离强度的试验方法
[2] GB/T 2918—2018 塑料 试样状态调节和试验的标准环境
[3] GB/T 4851—2014 胶粘带持粘性的试验方法
[4] GB/T 4852—2002 压敏胶粘带初粘性试验方法(滚球法)
[5] GB/T 31125—2014 胶粘带初粘性试验方法 环形法
[6] GB/T 40721—2021 橡胶 摩擦性能的测定

