



中华人民共和国国家标准

GB/T 1040.1—2025

代替 GB/T 1040.1—2018

塑料 拉伸性能的测定 第1部分：总则

Plastics—Determination of tensile properties—Part 1: General principles

(ISO 527-1:2019, MOD)

2025-03-28 发布

2025-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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。

本文件是 GB/T 1040《塑料 拉伸性能的测定》的第1部分。GB/T 1040 已经发布了以下部分：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：模塑和挤塑塑料的试验条件；
- 第3部分：薄膜和薄片的试验条件；
- 第4部分：各向同性和正交各项异性纤维增强复合材料的试验条件；
- 第5部分：单向纤维增强复合材料的试验条件。

本文件代替 GB/T 1040.1—2018《塑料 拉伸性能的测定 第1部分：总则》，与 GB/T 1040.1—2018 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了宽度、厚度、拉伸强度和拉伸标称应变的术语和定义(见 3.2、3.3、3.6.2 和 3.8, 2018 年版的 3.2、3.3、3.6.2 和 3.8)；
- b) 增加了“拉伸强度标称应变”的术语和定义(见 3.8.2)；
- c) 更改了 20 mm~50 mm 较小标距对引伸计精度的要求(见 5.1.5.1, 2018 年版的 5.1.5.1)；
- d) 更改了测定模量时对于不同标距引伸计的精度要求(见图 2, 2018 年版的图 2)；
- e) 增加了“使用带有测量头/刀刃的工具以便在所需位置更精确测量试样尺寸”(见 5.2)；
- f) 增加了“拉伸引起标线的变宽不应影响应变的测量”(见 6.3)；
- g) 增加了对与注塑试样可接受的拔模角、凹痕和纯光学效应的要求(见 6.4)；
- h) 增加了对于有凹痕和拔模角的注塑试样用尺寸测量装置测量宽度和厚度时测量方法(见图 3)；
- i) 删除了“由于拉伸试验数据的变化是受试材料性能变化的函数,因此,不能因为其他任何原因而随意舍弃数据”(见 2018 年版的 3.2)；
- j) 更改了测量试样宽度和厚度的方法(见 9.2, 2018 年版的 9.2)；
- k) 增加了对宽度和厚度测量精度的要求(见 9.2)；
- l) 删除了“使用测量的宽度和厚度的平均值来计算试样的横截面”(见 2018 年版的 9.2)；
- m) 将 GB/T 1040.1—2018 中 10.2.2.1“夹具位移按照试验机柔量对其的影响来进行修正”更改为本文件 10.2.2.1 中注的内容(见 10.2.1.1, 2018 年版的 10.2.2.1)。

本文件修改采用 ISO 527-1:2019《塑料 拉伸性能的测定 第1部分：总则》。

本文件与 ISO 527-1:2019 的技术差异及其原因如下：

用规范性引用的 GB/T 2918 替换了 ISO 291(见第 8 章)、GB/T 2941 替换了 ISO 23529(见 5.2 和 9.2.1)、GB/T 12160 替换了 ISO 9513:1999(见第 5 章和附录 C)、GB/T 16825.1 替换了 ISO 7500-1:2004(见 5.1.1 和 5.1.4)、GB/T 37426 替换了 ISO 20753(见 4.2.1)和 GB/T 44535 替换了 ISO 16012(见 5.2),以适应我国的技术条件、增加可操作性。

本文件与 ISO 527-1:2019 相比做了下述结构调整：

- a) 9.2 对应 ISO 527-1:2019 中 9.2.1 和 9.2.2 的内容；
- b) 根据附录引用的顺序,本文件对附录进行了重新排序(见 5.1.5.1、10.4、附录 B 和附录 C, ISO 527-1:2019 中的 5.1.5.1、10.4、附录 B 和附录 C)。

本文件做了下列编辑性改动：

用资料性引用的 GB/T 17037.1 替换了 ISO 294-1(见 6.4 中的注 2、9.2 中的注)。

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。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由全国塑料标准化技术委员会(SAC/TC 15)归口。

本文件起草单位：中蓝晨光成都检测技术有限公司、成都产品质量检验研究院有限责任公司、山东京博聚烯烃新材料有限公司、浙江新力新材料股份有限公司、浙江新和成特种材料有限公司、承德市金建检测仪器有限公司、高铁检测仪器(东莞)有限公司、苏州旭光聚合物有限公司、唐山中浩化工有限公司、宁夏瑞泰科技股份有限公司、重庆云天化天聚新材料有限公司、青岛优派普环保科技股份有限公司、北京市科学技术研究院分析测试研究所(北京市理化分析测试中心)、广东宏拓仪器科技有限公司、宁波福天新材料科技有限公司、万华化学集团股份有限公司、承德市精密试验机有限公司、江苏君华特种高分子材料股份有限公司、中石化(北京)化工研究院有限公司、江苏汤臣新材料科技有限公司、鲁西化工集团股份有限公司、宁波塑之华塑化有限公司、济南思克测试技术有限公司、河北尚华新材料股份有限公司、浙江嘉民新材料有限公司、广州鲲鹏仪器有限公司、浙江长鸿生物材料有限公司、北京华塑晨光科技有限责任公司、金发科技股份有限公司、中国石油天然气股份有限公司兰州化工研究中心、新疆吐鲁番自然环境试验研究中心、中化泉州能源科技有限责任公司、浙江森士智能工业股份有限公司、山东万达化工有限公司、奥瑞邦(厦门)新材料有限公司、上海瀚海检测技术股份有限公司、广州标际包装设备有限公司、汕头经济特区雄伟塑料包装材料有限公司、宁波鸿雁包装材料有限公司、绍兴宏润消防器材有限公司、江苏诺贝尔塑业股份有限公司、佛山市本嘉新材料科技有限公司、杭州东光科技有限公司、江苏纽泰格科技集团股份有限公司、湖北华城科技有限责任公司、广州市花都联华包装材料有限公司。

本文件主要起草人：王泊恩、李聪、袁文博、陈万早、梁初燕、任雨峰、陈雍典、王海利、李国忠、范长春、普雪涛、张群甲、郭霞、钟从岗、杜良坤、牟光银、王新华、李军、刘云鹏、汤宏强、张艳君、陈涛、张目清、杜敬亮、张有生、冯晓永、滕明才、陈宏愿、庞承煥、张景玲、郭春云、高杜娟、向理、张雪娜、王慧敏、李望成、侯会峰、吴映江、张亚芬、李俊、王克福、谢丰鸣、吴龙解、朱禹、何晓婵、贝楠、李玉斌、李玉浜、殷震宇、万诚、莫家豪、张义、林华明、朱晓敏。

本文件及其所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 1039, 1979年首次发布, 1992年第一次修订, 2006年被GB/T 1040.1全部代替;
- GB/T 1040, 1989年首次发布, 1992年第一次修订, 2006年被分为GB/T 1040.1、GB/T 1040.2、GB/T 1040.3和GB/T 1040.4, 2018年为GB/T 1040.1的第二次修订;
- 本次为GB/T 1040.1的第三次修订。

引 言

GB/T 1040《塑料 拉伸性能的测定》规定了测定塑料材料和复合材料拉伸性能的方法。拟由以下部分构成。

- 第1部分：总则。目的在于规定测定塑料材料和复合材料拉伸性能的一般原则；
- 第2部分：模塑和挤塑塑料的试验条件。目的在于规定测定模塑和挤塑材料拉伸性能的试验条件；
- 第3部分：薄膜和薄片的试验条件。目的在于规定测定厚度小于1 mm的塑料薄膜或薄片拉伸性能的试验条件；
- 第4部分：各向同性和正交各项异性纤维增强复合材料的试验条件。目的在于规定测定同性和正交各项异性纤维增强复合材料的试验条件；
- 第5部分：单向纤维增强复合材料的试验条件。目的在于规定测定单向纤维增强复合材料的试验条件。

中国塑协硬质PVC发泡制品专业委员会
www.pvcfoam.com.cn

塑料 拉伸性能的测定 第1部分：总则

1 范围

本文件规定了在规定条件下测定塑料和复合材料拉伸性能的一般原则。本文件的其他部分规定了不同类型材料的不同类型试样拉伸性能测定方法。

本文件用于研究试样的拉伸性能及在规定条件下测定拉伸强度、拉伸模量和其他方面的拉伸应力-应变关系。

本文件适用于下述材料。

- 未填充的、填充的和增强的硬质和半硬质(见3.12和3.13)热塑性模塑、挤塑和浇铸材料；硬质和半硬质热塑性片材和薄膜。
- 硬质和半硬质热固性模塑材料，包括填充的和增强的复合材料；硬质和半硬质热固性板材，包括层压板。
- 单向或非单向纤维增强热固性和热塑性复合材料，增强材料如毡、织物、无捻粗纱、短切原丝、混杂纤维增强材料、无捻粗纱和破碎纤维等；预浸渍材料制成的片材(预浸料坯)。
- 热致液晶聚合物。

本文件一般不适用于硬质泡沫材料(见ISO 1926)或含微孔材料的夹层结构。

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 2918 塑料 试样状态调节和试验的标准环境(GB/T 2918—2018, ISO 291:2008, MOD)

GB/T 2941 橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序(GB/T 2941—2006, ISO 23529:2004, IDT)

GB/T 12160—2019 金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定(GB/T 12160—2019, ISO 9513:2012, IDT)

GB/T 16825.1 静力单轴试验机的检验 第1部分：拉力和(或)压力试验机测力系统的检验与校准(GB/T 16825.1—2022, ISO 7500-1:2018, IDT)

GB/T 37426 塑料 试样(GB/T 37426—2019, ISO 20753:2018, IDT)

GB/T 44535 塑料 试样的线性尺寸测定(GB/T 44535—2024, ISO 16012:2015, MOD)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

标距 gauge length

L_0

试样中间部分两标线之间的初始距离。

注 1: 单位为毫米(mm)。

注 2: GB/T 1040 各部分中不同类型试样的标距值表示相应的最大标距。

3.2

厚度 thickness

h

试样中间部分矩形截面较小边的初始尺寸。

注: 单位为毫米(mm)。

3.3

宽度 width

b

试样中间部分矩形截面较大边的初始尺寸。

注: 单位为毫米(mm)。

3.4

截面积 cross-section

A

试样初始宽度和厚度的乘积, $A = bh$ 。

注: 单位为平方毫米(mm²)。

3.5

试验速度 test speed

v

夹具的分离速度。

注: 单位为毫米每分钟(mm/min)。

3.6

拉伸应力 tensile stress

σ

在试样标距内, 每单位原始截面积上所受的法向力。

注 1: 单位为兆帕(MPa)。

注 2: 为便于与试样实际截面积相关的真实应力区分, 此应力也称工程应力。

3.6.1

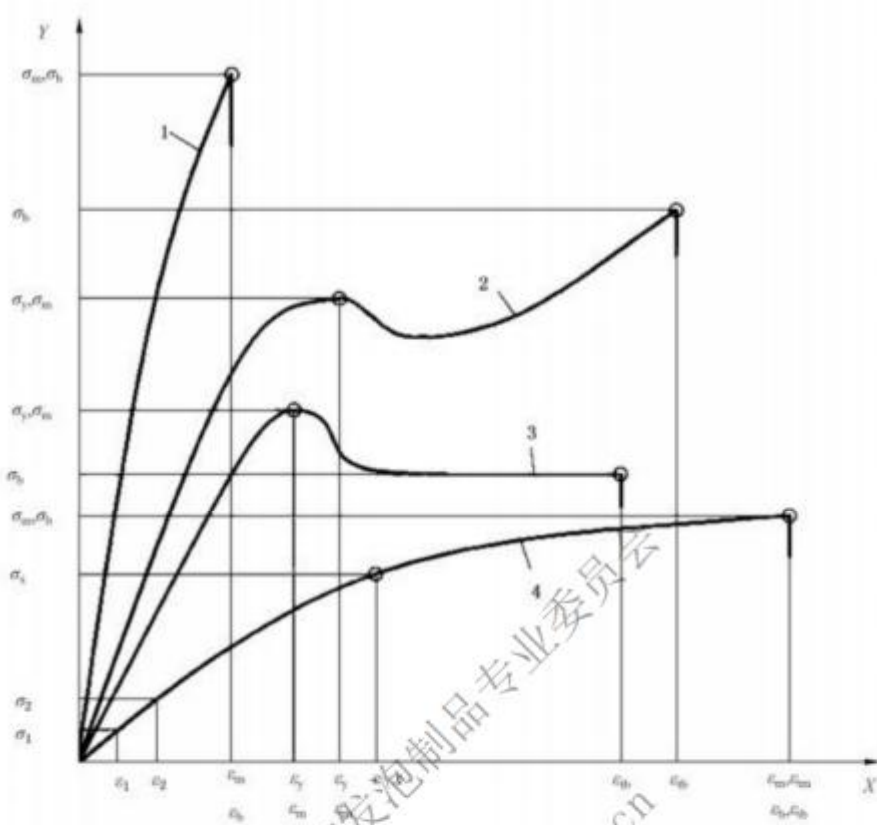
拉伸屈服应力 tensile stress at yield

σ_y

拉伸屈服应变对应的应力。

注 1: 单位为兆帕(MPa)。

注 2: 该应力值可能小于能达到的最大应力值(见图 1 中的曲线 2)。



标引序号说明：

X —— 应变和/或标称应变；

Y —— 应力；

1 —— 曲线 1 为脆性材料，其断裂应变低并且无屈服，曲线 4 为类似橡胶的柔软材料，其断裂应变较大(>50%)；

2,3 —— 曲线 2 和曲线 3 为在屈服后应力增加(曲线 2)和应力没有增加(曲线 3)的有屈服点的材料。曲线 2 和曲线 3 为到屈服点的“应力-应变”曲线和屈服点后的“应力-标称应变”曲线。

4 —— 根据使用的仪器，曲线 4 为应力-应变或应力-标称应变。

图 1 典型应力/应变曲线

3.6.2

拉伸强度 tensile strength

σ_m

在拉伸试验过程中，观测到的首个峰值拉伸应力。

注 1：单位为兆帕(MPa)。

注 2：该值也可能是试样在屈服或断裂时的应力(见图 1)。

3.6.3

x% 拉伸应变应力 tensile stress at x% strain

σ_x

在应变 ϵ 达到规定值(x%)时的拉伸应力。

注 1：单位为兆帕(MPa)。

注 2：用于应力-应变曲线上无明显屈服点的情况(见图 1 中的曲线 4)。

3.6.4

拉伸断裂应力 tensile stress at break

σ_b

试样破坏时的拉伸应力。

注 1: 单位为兆帕(MPa)。

注 2: 试样断裂前应力-应变曲线上的最大应力值,如裂纹导致的负荷陡降前。

3.7

拉伸应变 tensile strain

ϵ

原始标距单位长度的增量。

注: 用无量纲的比值或百分数(%)表示。

3.7.1

拉伸屈服应变 tensile strain at yield/tensile yield strain

ϵ_y

拉伸试验中初次出现应力不增加而应变增加时的应变。

注 1: 用无量纲的比值或百分数(%)表示。

注 2: 见图 1 中的曲线 2 和曲线 3。

注 3: 见附录 A 计算机控制测定屈服应变。

3.7.2

拉伸断裂应变 tensile strain at break

ϵ_b

对断裂发生在屈服之前的试样,拉伸应力(3.6)下降至小于或等于拉伸强度(3.6.2)的 10%之前最后记录的数据点对应的应变。

注 1: 用无量纲的比值或百分数(%)表示。

注 2: 见图 1 中的曲线 1 和曲线 4。

3.7.3

拉伸强度拉伸应变 tensile strain at tensile strength

ϵ_m

拉伸强度(3.6.2)对应的应变。

注: 用无量纲的比值或百分数(%)表示。

3.8

拉伸标称应变 nominal tensile strain

ϵ_l

按照 10.2.2 规定的其中一个方法,使用横梁位移和夹持间距离(3.11)计算得到的拉伸应变(3.7)。

注 1: 用无量纲的比值或百分数(%)表示。

注 2: 用试验开始时夹具间距离的位移来计算。如果是用引伸计来测定应变(优选多用途试样),允许通过屈服点后横梁位移的增量来计算。

3.8.1

拉伸断裂标称应变 nominal tensile strain at break

ϵ_{lb}

当试样断裂发生在屈服之后时,拉伸应力(3.6)下降至小于或等于拉伸强度(3.6.2)的 10%之前最后记录的应力对应的标称应变。

注 1: 用无量纲的比值或百分数(%)表示。

注2：见图1中的曲线2和曲线3。

3.8.2

拉伸强度标称应变

ϵ_{tm}

拉伸强度(3.6.2)对应的拉伸标称应变。

注1：用无量纲的比值或百分数(%)表示。

注2：见图1中的曲线2、曲线3和曲线4。

3.9

拉伸弹性模量 tensile modulus/modulus of elasticity under tension

E_t

应力-应变曲线 $\sigma(\epsilon)$ 上应变 $\epsilon_1 = 0.05\%$ 与应变 $\epsilon_2 = 0.25\%$ 区间的斜率。

注1：单位为兆帕(MPa)。

注2：用弦模量或此区间(见图1中的曲线4)线性最小二乘回归线的斜率来计算。

注3：此定义不适用于所有薄膜。

3.10

泊松比 Poisson's ratio

μ

在纵向应变对法向应变关系曲线的起始线性部分内,垂直于拉伸方向上两坐标轴之一的拉伸形变量 $\Delta\epsilon_x$ 与拉伸方向上的形变量 $\Delta\epsilon_l$ 之比的负值。

注1：用无量纲的比值表示。

注2：因为横向应变 $\Delta\epsilon_x$ 的变化为负值,纵向应变 $\Delta\epsilon_l$ 的变化为正值,所以3.10定义的泊松比为正值。

3.11

夹具间距离 gripping distance

L

夹具间试样部分的初始长度。

注：单位为毫米(mm)。

3.12

硬质塑料 rigid plastic

在规定条件下,弯曲弹性模量或拉伸弹性模量(弯曲弹性模量不适用时)大于700 MPa的塑料。

3.13

半硬质塑料 semi-rigid plastic

在规定条件下,弯曲弹性模量或拉伸弹性模量(弯曲弹性模量不适用时)在70 MPa~700 MPa之间的塑料。

4 原理和方法

4.1 原理

沿试样纵向主轴方向恒速拉伸,直到试样断裂或其应力(负荷)或应变(伸长)达到某一预定值,测量在这一过程中试样承受的负荷及其伸长。

4.2 方法

4.2.1 本方法适用于采用模塑制备的和采用机加工、切割或冲裁等工艺从成品或半成品(如模制件、层压板、薄膜和挤出或浇铸板)上制备的试样。试样类型及其制备见GB/T 1040的相关部分。对于多用

途试样和小型试样见 GB/T 37426。

4.2.2 GB/T 1040 的相关部分规定了试样的优选尺寸。不同尺寸的试样或在不同条件下制备的试样其试验结果无可比性。另外,如测试速度和试样的状态调节条件也会影响试验结果。因此,在进行数据比对时,应严格控制这些因素并记录。

5 设备

5.1 试验机

5.1.1 一般要求

试验机应符合 GB/T 16825.1 和 GB/T 12160 以及 5.1.2~5.1.6 的规定。

5.1.2 试验速度

试验机在规定的允差内应能保持表 1 所规定的试验速度。

表 1 推荐的试验速度

速度 v /(mm/min)	允差/%
0.125	±20
0.25	
0.5	
1	
2	
5	
10	
20	±10
50	
100	
200	
300	
500	

5.1.3 夹具

夹具用于夹持试样与试验机相连,使试样的主轴方向与通过夹具中心线的拉力方向重合。夹具应能稳定夹持试样并使试样不出现相对夹持面的滑动。夹具不能导致试样与其接触部分的过度挤压或过早破坏。

例如在拉伸模量的测定中,应保持应变速率恒定,不能因夹具的移动而改变,特别是在使用楔形夹具时。

注:预应力对于试样的对中(见 9.3)和避免出现应力-应变曲线开始阶段的“脚趾”区(见 9.4)是很有必要的。

5.1.4 负荷测量系统

负荷测量系统应符合 GB/T 16825.1 定义的 1 级的精度要求。

5.1.5 应变指示装置

5.1.5.1 引伸计

接触式引伸计在测量的应变范围内应满足 GB/T 12160 中 1 级的精度要求。也可使用非接触式引伸计,但要确保其满足相同的精度要求。

引伸计应能测量试验过程中试样标距的变化。可自动记录测量数据,且在规定的试验速度下基本上无惯性滞后。

在测定拉伸模量时,引伸计应能测量试样标距长度的变化。对于标距长度为 50 mm 或更大的标距,引伸计可以 $\pm 1\%$ 或更高的精度测量试样标距内产生的位移。标距长度为 50 mm 时引伸计绝对精度要求为 $\pm 1\ \mu\text{m}$,标距长度为 75 mm 时引伸计绝对精度要求为 $\pm 1.5\ \mu\text{m}$ 。

20 mm~50 mm 之间的较小标距,引伸计绝对精度为 $\pm 1\ \mu\text{m}$ (见图 2 和按照附录 B 执行)。

注:基于使用的标距,1%的精度要求转为测定标距内伸长率的不同绝对精度要求。测量标距变化的恒定绝对精度导致标距长度 25 mm 的相对精度为 2%,标距长度 20 mm 的相对精度为 2.5%(见图 2)。

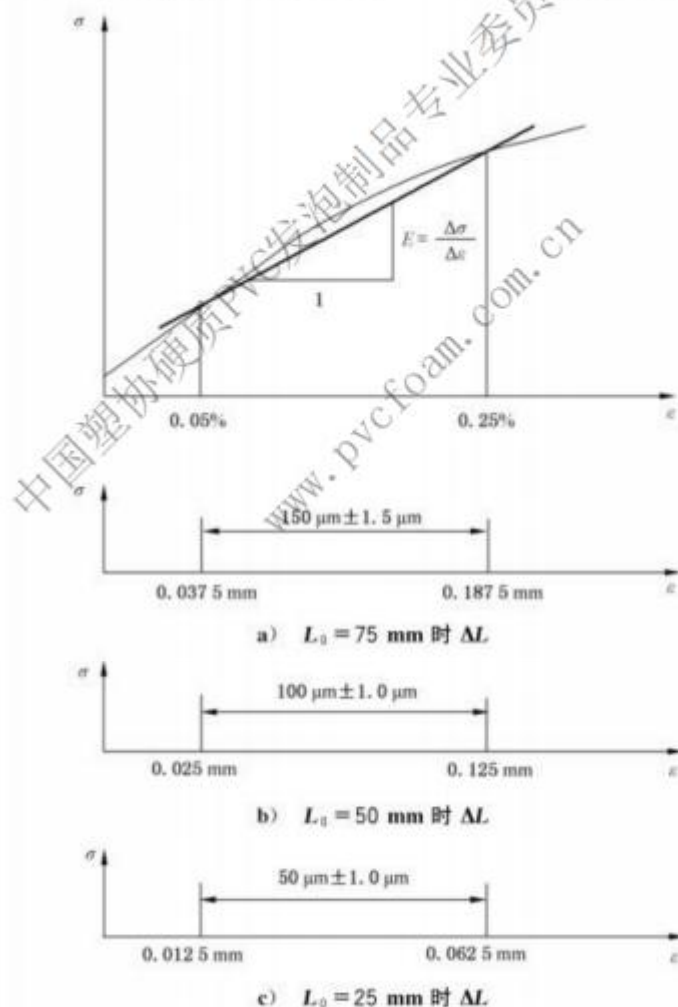


图 2 不同标距时拉伸模量测定的引伸计精度要求

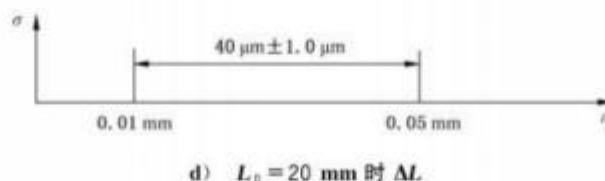


图2 不同标距时拉伸模量测定的引伸计精度要求(续)

常用光学引伸计记录试样宽度方向单侧表面产生的形变;测试单侧应变应确保低应变不会受到来自试样微小的错位、初始翘曲和在试样的相对面产生不同应变弯曲的影响。宜采用相应背对背平面应变平均化的测量方法。此方法适用于测定拉伸模量,但不适于较大应变的测量。

5.1.5.2 应变片

可使用纵向应变片测量拉伸应变,其精度应为相关值的1%或更优。相当于测量模量时应变精度为 20×10^{-6} 。应变片、试样表面处理方法和黏接剂的选择应以能充分体现被测材料的性能为宜。

5.1.6 数据的记录

5.1.6.1 总则

记录数据(负荷、应变和伸长率)的数据采集频率宜足够高以满足要求的精度。

5.1.6.2 应变数据的记录

从传感器到指示器的整体传输的最小数据采集频率 $f_{\min}$,按公式(1)计算:

$$f_{\min} = \frac{v}{60} \times \frac{L_0}{\phi r} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$f_{\min}$ ——最小数据采集频率,单位为赫兹(Hz);

v ——试验速度,单位为毫米每分钟(mm/min);

$\frac{L_0}{L}$ ——标距和夹具初始距离的比值;

r ——获得准确数据应变信号的最小分辨率,单位为毫米(mm)。一般为精度的一半或更优。

试验机的采样频率应至少与最小数据采集频率 $f_{\min}$ 相同。

5.1.6.3 负荷数据的记录

采样频率的要求是基于试验速度、应变范围、精度和夹具间的初始距离来确定的。拉伸模量、试验速度和夹具间距离决定负荷增长率。负荷增长率与所需精度的比值决定采样频率。

负荷增长率按公式(2)计算:

$$\dot{F} = \frac{E_t \cdot A \cdot v}{60 L} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\dot{F}$ ——负荷增长率,单位为牛顿每秒(N/s);

E_t ——拉伸模量,单位为兆帕(MPa);

A ——试样截面积,单位为平方毫米(mm²);

v ——试验速度,单位为毫米每分钟(mm/min);

L ——夹具间距离,单位为毫米(mm)。

假定相关负荷的测量精度在1%以内,对于引伸计,在拉伸模量范围内,同样以负荷的差值与其精度要求的比值来确定数据采集频率,则可用公式(3)~公式(5)计算得到:

拉伸模量测定范围内负荷的差值:

$$\Delta F = E \cdot A \cdot (\epsilon_2 - \epsilon_1) = E \cdot A \cdot \Delta \epsilon \quad \dots\dots\dots (3)$$

精度(1%的一半):

$$r = 5 \times 10^{-3} \times \Delta F = 5 \times 10^{-3} \times E \cdot A \Delta \epsilon \quad \dots\dots\dots (4)$$

采样频率:

$$f_{\text{force}} = \frac{\dot{F}}{r} = \frac{E_t \cdot A \cdot v}{E_t \cdot A \cdot \Delta \epsilon \cdot 60 \cdot L \cdot 5 \cdot 10^{-3}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

示例: $v = 1 \text{ mm/min}$, $\Delta \epsilon = 2 \times 10^{-3}$, $L = 115 \text{ mm}$, 则采样频率 $f_{\text{force}} = 14.5 \text{ Hz}$ 。

5.2 试样宽度和厚度测量设备

宽度和厚度测量设备应满足 GB/T 44535 和 GB/T 2941 的要求(如适用)。使用带有测量头/刀刃的工具以便在所需位置更精确测量试样尺寸。

6 试样

6.1 形状和尺寸

见本文件与 GB/T 1040 的其他部分。

6.2 试样制备

见本文件与 GB/T 1040 的其他部分。

6.3 标线

见本文件与标距长度条件有关的部分。

如果使用光学引伸计,特别是对于薄片和薄膜,应在试样上标出规定的标线,标线与试样的中点距离应相等($\pm 1 \text{ mm}$),两标线间距离的测量精度应达到1%或更优。

标线不应刻划、冲刻或压印在试样上,以免损坏试样,标线应对试样无影响且相互平行,标线宽度宜尽量窄。

拉伸引起的标线变宽不应影响应变的测量。

6.4 试样的检查

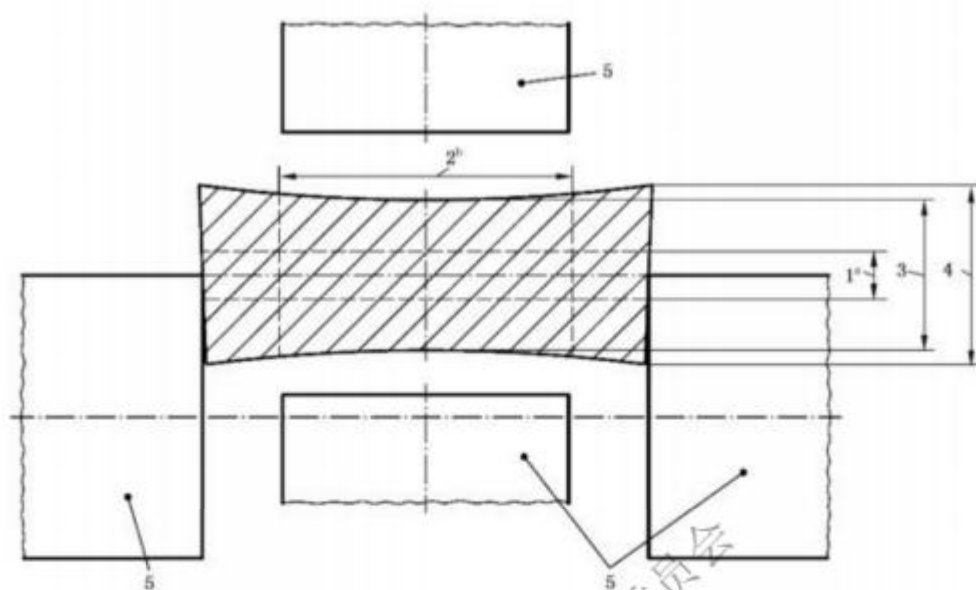
试样应无扭曲,相邻的平面间应相互垂直(见注1、注2和图3)。表面和边缘不应存在可能影响测试结果的缺陷,如划痕、空洞、凹陷和毛刺。对于注塑试样,可接受不超过 2° 的拔模角和 $\Delta h \leq 0.1 \text{ mm}$ 厚度差异,以及不影响测试结果的纯光学效应。

可将其紧贴在直尺、三角尺或平板上,用目视法或用测微卡尺对试样进行检查。

有一项或几项不符合要求的试样应予以舍弃。测试不符合要求的试样时应在试验报告中说明。

注1: 注塑试样通常有 1° (标距部分)~ 2° (肩部)的拔模角以方便脱模。此外,由于冷却过程的影响,注塑试样可能存在凹痕,试样中间厚度值一般比边缘小。

注2: GB/T 17037.1—2019 中附录D给出了如何降低注塑试样凹痕的方法。



标引序号说明：

1——测定宽度；

2——测定厚度；

3——最小厚度， $h_{\min}$ ；

4——最大厚度， $h_{\max}$ ；

5——千分尺。

^a 千分尺尖端的边缘应在距试样中心 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 的范围内与其接触。

^b 千分尺尖端应在距试样中心 $\pm 3.25 \text{ mm}$ 范围内与其接触。

注： $\Delta h = h_{\max} - h_{\min} \leq 0.1 \text{ mm}$ 。

图3 有凹痕和拔模角的注塑试样横截面(放大图)与千分尺尖端

6.5 各向异性

见本文件与 GB/T 1040 的其他部分。

7 试样数量

7.1 每个受试方向应至少测试 5 个试样。如需更准确的平均值，测试数量可多于 5 次。可用置信区间 (95%，见 ISO 2602) 来估值。

7.2 应废弃在夹具内断裂或打滑的试样并另取试样重新试验。

8 状态调节

除非相关方另有商定(例如在高温或低温下试验)，应按照相关材料标准或规范对试样进行状态调节。否则，应选择 GB/T 2918 中的适当条件并调节至少 16 h。

优选 $23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $(50 \pm 10)\%$ 相对湿度条件对试样进行状态调节，若材料性能对湿度不敏感，则无需进行湿度控制。

9 试验步骤

9.1 试验环境

除非相关方另有商定(例如在高温或低温下试验),应在与试样状态调节条件相同的环境下进行试验。

9.2 试样尺寸的测量

在图3所示的范围内,按照GB/T 44535或GB/T 2941(若适用)规定的方法测量试样的宽度和厚度(见9.2.2),宽度精确至0.1 mm,厚度精确至0.01 mm。

不应在试样的边缘和中心位置测量厚度(见注)。用矩形或刃形的测量端面时,测量厚度时端面的长边应平行于宽度方向,测量宽度时应平行于厚度方向。

注:对于注塑试样,其最大和最小厚度通常分别位于边缘和中心。按照GB/T 17037.1制备的注塑试样通常会有 $\Delta h = h_{\max} - h_{\min} \leq 0.1$ mm的厚度差异(见图3)。

对于注塑试样,在试样肩部中间位置5 mm范围内测定宽度和厚度。

对于从多腔模具制备的注塑样品,不同型腔之间的试样尺寸偏差不应超过 $\pm 0.25\%$ 。

从片材或薄膜上通过冲裁制备的试样,在定期进行比对试验的基础上,可认为冲模中间平行部分的平均宽度与试样相应部分的宽度相等。

本文件仅适用于在环境温度下测量用于计算拉伸性能的试样尺寸。因此并未考虑在其他温度下测定拉伸性能时试样的热膨胀效应。

9.3 试样夹持

将试样放到夹具中,应确保试样的长轴线与试验机的轴线在一条直线上。均匀紧固夹具,防止试样在测试过程中滑移和夹具移动。夹持力不应导致试样破裂或受到挤压(见注2)。

注1:在手动操作中止动器有利于试样的对齐。

注2:热老化后的试样可能会在夹具内破裂。高温试验中试样可能会受到挤压。

除非仪器可连续降低热应力,在环境箱内夹持试样时可先紧固一个夹具,待试样温度平衡后紧固另一个夹具。

9.4 预应力的设定

试样在试验前应处于基本不受力状态。但薄膜试样在对中时可能会产生预应力,特别对于较软材料由于夹持压力,也会产生预应力。但上述预应力可避免应力-应变曲线(见5.1.3)出现开始阶段的脚趾区。在测定模量时,试验开始前的预应力满足公式(6),与 $\epsilon_0 \leq 0.05\%$ 的预应变相一致:

$$0 < \sigma_0 \leq \frac{E_t}{2\,000} \quad \dots\dots\dots (6)$$

测定相关应力时,如 $\sigma^* = \sigma_y$ 或 σ_m ,预应力应满足公式(7):

$$0 < \sigma_0 \leq \frac{\sigma^*}{100} \quad \dots\dots\dots (7)$$

若紧固试样后应力超过公式(6)和公式(7)给出的范围,则可用1 mm/min的速度缓慢移动试验机横梁直至试样受到的预应力在允许范围内。

如果用于计算预应力的拉伸模量或相关应力的值未知,则进行预试验以获得这些值的估计值。

9.5 引伸计的安装

施加预应力后,将已校准过的引伸计设置为试样的标距长度安装到试样上并调正,或根据5.1.5所

述,使用纵向应变片测量应变。测量初始距离(标距)。测定泊松比时,则应在纵轴和横轴方向上同时安装两个伸长或应变测量装置。

用光学引伸计测定伸长时,根据仪器的要求,按照 6.3 的规定在试样上标出测量标线。

引伸计应对称放置在试样中间平行部分并在中心线上,应变片应放置在试样的中间平行部分并在中心线上。

9.6 试验速度的确定

应按照相关材料标准或规范来确定试验速度,否则,试验速度应根据表 1 或由相关方商定。

测定拉伸模量时,试验速度应尽可能使应变速率接近每分钟 1% 的标距。本文件与 GB/T 1040 中受试材料相关的部分中给出了适用于不同类型试样的试验速度。

测定拉伸模量、屈服点前后的应力-应变曲线及性能时,可能需要不同的试验速度。在测试完拉伸模量(应变为 0.25%)之后,同一试样可继续用于测试其他拉伸性能。

变更试验速度前宜卸载试样所承受的负荷,也可在拉伸模量测定完毕后不卸载而改变试验速度继续测试。在测试中改变试验速度时,应确保速度变化发生在应变不大于 0.3% 以内。

对于其他测试,不同试样使用不同试验速度。

9.7 数据的记录

记录试验过程中试样承受的负荷及与之对应的标距内或夹具间位移的增量。宜采用三个数据通道来采集数据。若仅有两个通道可用,则记录载荷信号和引伸计位移信号。优选自动记录系统。

10 结果计算和表示

10.1 应力计算

按公式(8)计算 3.6 中定义的应力:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

σ ——应力,单位为兆帕(MPa);

F ——所测得的力值,单位为牛顿(N);

A ——试样原始横截面积,单位为平方毫米(mm²)。

当测定 $x\%$ 应变应力时,应根据相关材料标准、规范或由相关方商定确定 x 值。

10.2 应变计算

10.2.1 引伸计测定应变

对于材料和/或测试条件,试样的平行部分普遍存在相同的应变分布,例如在屈服前和到达屈服点的应变,用公式(9)计算 3.7 中定义的所有应变:

$$\epsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

ϵ ——应变,用无量纲比值或百分数(%)表示;

L_0 ——试样的标距,单位为毫米(mm);

ΔL_0 ——试样标距内长度的增量,单位为毫米(mm)。

只要标距内试样的形变是相同的,则可使用引伸计平均整个标距的应变来测定应变。如果材料开始颈缩,应变分布变得不均匀,使用引伸计测定应变会受到颈缩区域位置和大小严重影响。在此情况下,使用标称应变来描述屈服点后应变的演变。

10.2.2 标称应变

10.2.2.1 总则

当未使用引伸计时用标称应变。例如,使用小型试样或在屈服点后由于区域化(颈缩)使得引伸计测定应变失效时。标称应变是相对于初始夹具间距离的增加量,是记录横梁的位移而不是测量夹具间的位移。可记录横梁的位移来替代测量夹具之间的距离。

注:根据所使用的夹具类型和其他柔量来源(例如载荷传感器和夹具),横梁位移可能与夹具位移不同,尤其是在测试开始时。夹具位移按照试验机柔量对其的影响来进行修正。

可按方法 A(见 10.2.2.2)和方法 B(见 10.2.2.3)来测定标称应变。

10.2.2.2 A 法

记录从试验开始时试验机夹具间的位移,由公式(10)计算标称应变:

$$\epsilon_t = \frac{L_t}{L} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

ϵ_t —— 标称应变,用无量纲的比值或百分数(%)表示;

L —— 夹具间距离,单位为毫米(mm);

L_t —— 试验时夹具间距离的增加量,单位为毫米(mm)。

10.2.2.3 B 法

有屈服和颈缩的多用途试样优选 B 法,其屈服应变已由引伸计精确测定。记录屈服后试验机夹具间的位移,由公式(11)计算标称应变:

$$\epsilon_t = \epsilon_y + \frac{\Delta L_t}{L} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中

ϵ_t —— 标称应变,用无量纲的比值或百分数(%)表示;

ϵ_y —— 屈服应变,用无量纲的比值或百分数(%)表示;

L —— 夹具间距离(见 3.11),单位为毫米(mm);

ΔL_t —— 屈服点之后夹具间距离的增加量,单位为毫米(mm)。

10.3 拉伸弹性模量

10.3.1 概述

用公式(12)和公式(13)其中一个方法计算由 3.9 定义的拉伸弹性模量。

10.3.2 弦斜率法

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

E_t —— 拉伸弹性模量,单位为兆帕(MPa);

σ_1 ——应变值 $\epsilon_1 = 0.000\ 5$ (0.05%) 时的拉伸应力, 单位为兆帕 (MPa);

σ_2 ——应变值 $\epsilon_2 = 0.002\ 5$ (0.25%) 时的拉伸应力, 单位为兆帕 (MPa)。

10.3.3 回归斜率法

借助计算机, 可用规定测量点间曲线部分的线性回归代替用两个不同的应力-应变点来测量拉伸模量 E_1 。

$$E_1 = \frac{d\sigma}{d\epsilon} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$d\sigma/d\epsilon$ 是在 $0.000\ 5 \leq \epsilon \leq 0.002\ 5$ 应变区间部分应力-应变曲线的最小二乘回归线性拟合的斜率, 单位为兆帕 (MPa)。

10.4 泊松比

将试样宽度或厚度绘制为标距长度的函数, 不包括拉伸模量区域, 标距长度区域可能会受到测试速度和屈服点变化的影响 (如存在)。

用线性最小二乘法回归分析得到宽度 (厚度) 变化对标距变化曲线的斜率 $\Delta n / \Delta L_0$ 。用公式 (14) 计算泊松比:

$$\mu = -\frac{\Delta \epsilon_n}{\Delta \epsilon_1} = \frac{L_0}{n_0} \frac{\Delta n}{\Delta L_0} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

μ ——泊松比, 无量纲;

$\Delta \epsilon_n$ ——纵向应变 $\Delta \epsilon_1$ 增加时横向应变的减少量, 单位为无量纲比值或百分数 (%);

$\Delta \epsilon_1$ ——纵向应变的增加量, 单位为无量纲比值或百分数 (%);

L_0 ——纵向的标距, 单位为毫米 (mm);

n_0 ——横向的标距, 单位为毫米 (mm);

Δn ——试样横向长度的减少量: $n = b$ (宽度) 或 $n = h$ (厚度), 单位为毫米 (mm);

ΔL_0 ——试样纵向标距间长度的增加量, 单位为毫米 (mm)。

按照轴向不同, 泊松比表示为 μ_b (宽度方向) 或 μ_h (厚度方向)。

若使用引伸计, 在应变 $0.3\% \leq \epsilon \leq \epsilon_y$ (见附录 C) 区间测定泊松比。根据 Δn 对 ΔL_0 (在相关区域横向尺寸的变化对纵向尺寸的变化) 的曲线来确定有效的泊松比区域。泊松比由曲线中线性部分的斜率决定。

使用应变片测定泊松比时, 其计算的应变区间可与测定拉伸模量的应变区间一致, 即为 $0.05\% \leq \epsilon \leq 0.25\%$ 。

注: 塑料是黏弹性材料。因此, 泊松比取决测定时应力的范围, 宽度 (厚度) 作为长度的函数可能不是直线。

10.5 统计分析参数

计算试验结果的算术平均值, 如需要, 可根据 ISO 2602 的规定计算标准偏差和平均值 95% 的置信区间。

10.6 有效数字

应力和拉伸弹性模量保留三位有效数字, 应变和泊松比保留两位有效数字。

11 精密度

见 GB/T 1040 中与受试材料有关的部分。

12 试验报告

试验报告应包含 a)~q)规定的信息。在单项和平均性能中“拉伸”加入拉伸一词,见 m)、n)和 o)。

- a) 注明引用 GB/T 1040 的相关部分;
- b) 识别受试材料所需的所有数据,包括已知的类型、来源、制造商代码和历史;
- c) 描述材料(成品、半成品、试板或样品)的性质和形态,包括主要尺寸、形状、制造方法、层合顺序和预处理情况;
- d) 试样类型;
- e) 试样制备及加工方法;
- f) 如果材料是成品或半成品,试样切割的方向;
- g) 试样数量;
- h) 状态调节和测试条件,相关材料标准或规范规定的试样状态调节条件;
- i) 试验机的精度等级(见 GB/T 16825.1, GB/T 12160 和 3.1.5);
- j) 伸长或应变指示装置的类型和标距 L_0 ;
- k) 夹具类型和夹具间距离 L ;
- l) 试验速度;
- m) 每个试样的宽度和厚度以及第 3 章定义性能的试验结果;
- n) 宽度、厚度和被测结果的平均值;
- o) 标准偏差和/或变异系数和/或平均值的置信区间(若需要);
- p) 是否废弃或更换试样的说明及原因,测试不符合要求样品的原因;
- q) 试验日期。

附录 A

(资料性)

屈服应变的测定

一般通过绘制持续记录的应力-应变曲线的水平切线来测定屈服应变。随着计算机控制在试验设备的应用,应力-应变曲线的评估须使用一组基于记录电信号性能的离散数据点。由于信号噪声(电子的或机械的),可用的数据集通常有些分散,在得出性能时需要考虑这些因素。

下列条款对屈服点的测定很重要。

- a) 塑性材料表现出各种不同的应力-应变行为。屈服区域可能是窄峰[例如苯乙烯、丙烯腈、丙烯酸酯类橡胶体(ASA)]或屈服平台[如聚甲醛(POM),潮湿的聚酰胺 6(PA6)]。
- b) 屈服应变的测定包括在屈服区域确认最高数据点(必要条件)。
- c) 但是所选择的点应有物理意义;干扰信号可导致选择的点不适合。
- d) 应设计有意义的决策来选择点。例如,对于有屈服平台的材料,有效的设计界限应为靠近起始阶段而不是在中心位置。

可用不同的方法从数字数据中来确定这些点。

- a) 比较最大值。这是简单的过程,但需要额外检查防止误选噪声相关的最大值。例如,这可能涉及到采用一个移动评估区间,系统决定其宽度。这个意义上的系统是指材料性能和试验装置的综合影响。
- b) 斜率法:此方法包含更大量的计算,但在当前个人电脑(PC)提供的计算能力范围内是可行的。斜率的判断标准包含计算应力-应变曲线回归斜率的移动评估区间。此方法有平滑/滤波效果,可降低噪声影响。此外,必须定义屈服点斜率的判断标准,例如:
 - 斜率初始变成负值的评估区间的中点;
 - 斜率初始达到某极限正值的评估区间的中点。

建议以公式(A.1)为准,应用于移动区间的中点,斜率小于或等于此点应力值:

$$\epsilon_y = \left[\frac{d\sigma}{d\epsilon} \leq \sigma \right] \dots\dots\dots (A.1)$$

此准则的优点在于只确定接近应力-应变曲线初次主斜率变化的屈服应变。但是屈服应变值将会小于目前的方法。此方法对宽屈服峰不太适用。

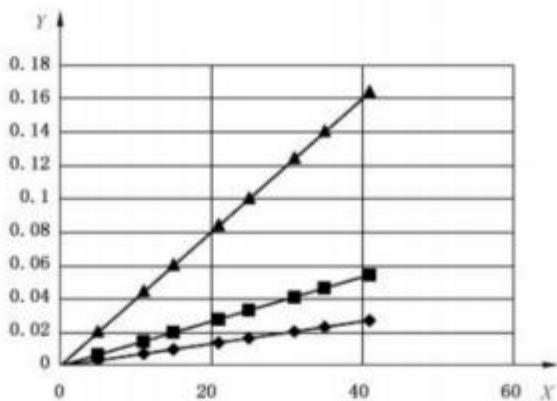
对于斜率法,系统决定评估区间的正确宽度,要求用户对测试方法和材料有彻底了解。

这些示例说明有多种方法来测定屈服应变。原则上为了测试结果的可比性,选择并使用其中一个方法,但现有的机器和不同的软件包会使这种方法无法实施。

一个可行的办法是建立一个验证系统。此验证系统包含专家在相关性能上达成一致的参考数据集(应力-应变曲线)。这些数据集可应用于任何评估软件,用于检查软件是否返回“正确值”,或在哪些参数下返回“正确值”。此系统将确保试验结果的可比性并同时允许不同的评估程序。

已有类似的金属拉伸试验系统。见参考文献[5]。

以分辨率 r 为参数,根据公式(A.2)计算的应变区间为数据点个数的函数(如图 A.1 所示)。



标引序号说明：
X —— 数据点数量；
Y —— 应变区间，%；
◆ —— $r = 0.5 \mu\text{m}$ ；
■ —— $r = 0.1 \mu\text{m}$ ；
▲ —— $r = 0.3 \mu\text{m}$ 。

图 A.1 基于公式(A.2)的应变区间

应变区间宽度的评估可按照公式(A.3)进行计算：

$$\Delta\epsilon = f \Delta t = f \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon} \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

$$\Delta\epsilon = \epsilon \frac{n}{f} = \frac{v}{60L} \frac{n 60L r_c}{v L_0} = \frac{nr}{L_0} \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

式中：
 n —— 数据点数量；
 f —— 机器数据采样率，见公式(1)，单位为每秒(s^{-1})；
 $\Delta\epsilon$ —— 应变区间；
 ϵ —— 应变速率，单位为每秒(s^{-1})；
 v —— 横梁移动速率，单位为毫米每分钟(mm/min)；
 L —— 夹具间距离，单位为毫米(mm)；
 L_0 —— 标距，单位为毫米(mm)；
 r —— 分辨率，单位为毫米(mm)。

附 录 B

(规范性)

测定拉伸模量的校准要求

B.1 概述

本附录规定了检验引伸计是否满足精度要求的校准程序和所需校准设备的性能要求。引伸计检验的通用要求见 5.1.5。若用于测定拉伸模量 E , 引伸计应满足更高的精度要求。

注: GB/T 12160 允许用户定义引伸计校准的不同测量范围。这些范围由每个范围内测量变形的比率来定义。定

义范围 a) 为 $l_{\max}/l_{\min} \leq 10$, 范围 b) 为 $10 < l_{\max}/l_{\min} \leq 100$ 。范围 a) 适用于拉伸模量 ($\frac{l_{\max}}{l_{\min}} = 5$), 范围 b) 适用于高达约 25% 的测量值(在 50 mm 标距下)。

B.2 校准程序

B.2.1 总则

为验证 GB/T 12160, 需在相同时间进行额外验证, 也可单独进行验证。除非另有规定, 校准条件应与 GB/T 12160 中描述的一致。

按 GB/T 12160 中描述的方法为验证系统做准备。

按 GB/T 12160 中描述的方法, 在对应标距 0.05% (初次位移) 和 0.25% (第二次位移) 增加的移动方向上使用两种额外的测量。将两次测量所得两个读数差值的平均值与施加位移的差值进行比较。为满足本文件的要求, 实际位移和指示位移间的相对误差应小于或等于标距长度为 50 mm 及以上时位移的 $\pm 1\%$, 当标距小于 50 mm 时实际位移与指示位移的相对误差应小于或等于 $\pm 1 \mu\text{m}$ (见表 B.1)。

表 B.1 引伸计精度要求

标距 mm	初次位移 μm	第二次位移 μm	位移变化 μm	精度要求 (见 5.1.5) $\pm \mu\text{m}$
75	37.5	187.5	150	1.5
50	25	125	100	1
25	12.5	62.5	50	1
20	10	50	40	1

注: 引伸计的误差限适用于初次和第二次位移间的读数变化。

标距小于 50 mm 时由于难以达到要求的引伸计相对误差, 推荐用 50 mm 或更大的标距来测定模量。

B.2.2 校准设备精度要求

校准设备应满足 GB/T 12160—2019 中表 2 中 0.2 级的要求。

B.2.3 校准报告

校准报告应包含以下信息:

- a) 参照本文件的附录(即本文件附录 B)；
- b) 引伸计系统所有者的姓名和地址；
- c) GB/T 12160 要求的其他信息；
- d) 校准结果。

中国塑协硬质PVC发泡制品专业委员会
www.pvcfoam.com.cn

附录 C

(资料性)

测定泊松比的引伸计精度

不宜在测定拉伸模量的应变区间测定泊松比。

在拉伸模量测定区域,测定标距伸长的精度为1%,例如使用多用途试样,当标距长度为75 mm时,引伸计的测量精度应能达到到 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 以内(见5.1.5和图2)。假定泊松比为0.4(大多数热塑性塑料的代表值),标距为75 mm,标距段长度增加 $150\text{ }\mu\text{m}$ 时宽度减小 $8\text{ }\mu\text{m}$ 。为了与纵向伸长1%的相对测量精度相同,测定横向应变的引伸计应能测到 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以内,此条件较为苛刻。

假定在 $0.3\%\leq\varepsilon<1.5\%$ 范围内测定泊松比,宽度减少 $50\text{ }\mu\text{m}$,需 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 的分辨率才能获得横向应变的精度为1%。

中国塑协硬质PVC发泡制品专业委员会
www.pvcfoam.com.cn

参 考 文 献

- [1] GB/T 17037.1—2019 塑料 热塑性塑料材料注塑试样的制备 第1部分:一般原理及多用途试样和长条形试样的制备
- [2] ISO 294-1 Plastics—Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials—Part 1:General principles, and moulding of multipurpose and bar test specimens
- [3] ISO 1926 Rigid cellular plastics—Determination of tensile properties
- [4] ISO 20753 Plastics—Test specimens
- [5] ISO 2602 Statistical interpretation of test results—Estimation of the mean—Confidence interval
- [6] ASTM D638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics
- [7] RIDES M., LORD J. TENSTAND final report: Computer-controlled tensile testing according to EN 10002-1; Results of a comparison test programme to validate a proposal for an amendment of the standard. National Physical Laboratory, Teddington, 2005.