



# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

## 塑料 断裂韧性的测定 J-R 曲线法

Plastics — Determination of J-R curves — Fracture toughness

(ISO/TS 28660:2022, IDT)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2025-04-25)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 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、定义和符号 ..... 1

    3.1 术语和定义 ..... 1

    3.2 符号 ..... 3

4 原理 ..... 3

5 设备 ..... 4

    5.1 试验设备 ..... 4

    5.2 位移传感器 ..... 5

    5.3 夹具 ..... 5

6 试样 ..... 5

    6.1 通则 ..... 5

    6.2 形状和尺寸 ..... 6

    6.3 试样制备 ..... 7

    6.4 预制裂纹 ..... 8

7 试验步骤 ..... 8

    7.1 通则 ..... 8

    7.2 试样厚度和宽度 ..... 8

    7.3 状态调节 ..... 8

    7.4 试验速度 ..... 8

    7.5 试样数量 ..... 8

    7.6 试验过程 ..... 8

    7.7 裂纹长度和裂纹扩展长度测量 ..... 8

    7.8 压痕校正 ..... 10

8 结果计算及表示 ..... 10

    8.1 通则 ..... 10

    8.2 J 积分的计算 ..... 10

9 结果有效性 ..... 12

    9.1 一般要求 ..... 12

    9.2 J-R 曲线的构造 ..... 12

10 试验报告 ..... 13

11 精密度 ..... 13

    11.1 通则 ..... 13

    11.2 能量分解 ..... 13

附 录 A （资料性） 形状函数、裂纹前缘的标记和识别、精密度说明及推荐的试验报告表格. 14

A.1 形状函数 ..... 14

A.2 裂纹前缘的标记和识别 ..... 14

A.3 精密度说明 ..... 14

A.4 推荐的试验报告表格 ..... 15

参 考 文 献 ..... 18

## 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。

本文件等同采用ISO/TS 28660:2022《塑料 J-R曲线的测定 断裂韧性》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 为与现有标准协调，将标准名称改为《塑料 断裂韧性的测定 J-R 曲线法》；
- 增加了资料性附录 A 的标题。

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/TC15）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 塑料 断裂韧性的测定 J-R 曲线法

## 1 范围

本文件规定了根据J-R曲线测定塑料断裂韧性的方法。

本方法适用于塑性和半塑性聚合物及其共混物，但不适用于无法区分裂纹前缘与裂纹尖端塑性变形的材料。本方法不适用于纤维增强的聚合物。

注：通过本方法生成的J-R曲线，可用于表征无法通过GB/T 41932线弹性断裂力学法测定的裂纹扩展阻力。

## 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 39812 塑料 试样的机加工制备（GB/T 39812—2021，ISO 2818:2018，IDT）

GB/T 16825.1 金属材料 静态单轴试验机的校准和验证 第1部分：拉伸/压缩试验机 力测量系统的校准和验证（GB/T 16825.1—2022，ISO 7500-1:2018，IDT）

GB/T 12160 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 41932 塑料 断裂韧性（ $G_{IC}$ 和 $K_{IC}$ ）的测定 线弹性断裂力学（LEFM）法（GB/T 41932—2022，ISO 13586:2018，MOD）

ASTM D6068 测定塑料材料J-R曲线的标准试验方法

## 3 术语、定义和符号

### 3.1 术语和定义

GB/T 41932、ASTM D6068-96界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**J 积分 J-Integral**

$J$

围绕裂纹前缘从一个裂纹表面到另一个裂纹表面的路径上的曲线积分或曲面积分，用于表征裂纹前缘周围的局部应力-应变场。

注1：见参考文献[5]。

注2：以千焦每平方米(kJ/m<sup>2</sup>)为单位。

#### 3.1.2

**J-R 曲线 J-R curve**

$J-\Delta a_p$

以阻力对稳定物理裂纹扩展量作图得到的曲线。

#### 3.1.3

**净厚度 net thickness**

$B_N$

有侧槽试样中两侧槽底部之间的距离。

注：以毫米(mm)为单位。

### 3.1.4

**厚度 thickness**

$B$

试样两侧面之间的距离。

注1：以毫米(mm)为单位。

注2：见图2和图3。

### 3.1.5

**试样宽度 specimen width**

$W$

试样矩形截面的较大初始尺寸。

注1：以毫米(mm)为单位。

注2：见图2和图3。

### 3.1.6

**初始裂纹长度 original crack size**

$a_0$

试验开始时的裂纹长度。

注1：以毫米(mm)为单位。

注2：见图2和图3

### 3.1.7

**初始未裂韧带 original uncracked ligament**

$b_0$

初始裂纹前缘到试样后边缘的距离。如下式所示：

$$b_0 = W - a_0$$

注：以毫米(mm)为单位。

### 3.1.8

**裂纹长度 crack size**

$a_p$

基准线与观察到的最终裂纹前缘的距离。

注1：以毫米(mm)为单位。

注2：为沿裂纹前缘测量的多个值的平均值，见图6和图7。

### 3.1.9

**裂纹扩展量 crack extension**

$\Delta a_p$

裂纹长度的增加量，由下式给出：

$$\Delta a_p = a_p - a_0$$

注：以毫米(mm)为单位。

### 3.1.10

**试样跨距 specimen span**

$S$

两个滚轮之间的距离。

注1：以毫米(mm)为单位。

注2：见图1。

### 3.1.11

**校正后能量 corrected energy**

$U$

裂纹扩展所需的能量。

注1：以焦耳(J)为单位。

注2：见8.1。

### 3.1.12

**位移 displacement**

$f$

由传感器或引伸计测量的位置移动量。

注1：以毫米(mm)为单位。

注2：见图8。

### 3.1.13

**斜率 slope**

$\alpha$

载荷-位移曲线线性部分的倾斜程度。

注：见图8。

### 3.1.14

**形状函数 geometrical functions**

$\eta_{el}, \eta_{pl}$

表征缺口深度影响的函数。

注：见8.2.4。

## 3.2 符号

$l$  试样的总长度（见图2和图3）

$U_{Tel}$  总能量 $U_T$ 的弹性部分，由载荷-位移曲线下方的面积确定（见图8）

$U_{Tpl}$  总能量 $U_T$ 的塑性部分，由载荷-位移曲线下方的面积确定（见图8）

$U_T$  总能量，以焦耳(J)为单位

$U_{el}$  扩展裂纹所需的校正后能量 $U$ 的弹性部分，以焦耳(J)为单位

$U_{pl}$  扩展裂纹所需的校正后能量 $U$ 的塑性部分，以焦耳(J)为单位

$f_{el}$  位移的弹性部分，以毫米(mm)为单位

$f_{pl}$  位移的塑性部分，以毫米(mm)为单位

## 4 原理

本方法描述了使用多试样法测定聚合物材料J-R曲线的技术，在J控制裂纹扩展条件下以J积分对裂纹扩展量作曲线得到J-R曲线（见图9）。本方法在每次试验后使用光学方法测量断裂表面上的裂纹长度和裂纹扩展量。

试验时有两种可选的试样：三点弯曲（**SENB**）试样和用销钉加载的紧凑拉伸（**CT**）试样。从三点弯曲试样获得的**J-R**曲线可作为从紧凑拉伸试样获得的**J-R**曲线的估值下限。

宜使用尺寸尽可能大的具有代表性微观结构的样品。随着试样厚度的增加，**J-R**曲线倾向于表现出更低的斜率。

试样需预制裂纹，并在低位移速率下进行试验。

使用不同尺寸或不同预制裂纹的试样，或在不同条件下制备的试样的可导致试验结果不可比较。其他因素，如试验速度或试样的状态调节，也会影响试验结果。因此，当需要数据比较时，应严格控制和记录这些因素。

5 设备

5.1 试验设备

5.1.1 一般要求

试验机应符合GB/T 16825.1和GB/T 12160的要求，并符合5.1.2和5.1.3的规定。

5.1.2 试验速度

拉伸试验机应能达到表1所规定的试验速度

表1 推荐的试验速度

| 试验速度 (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 载荷指示装置

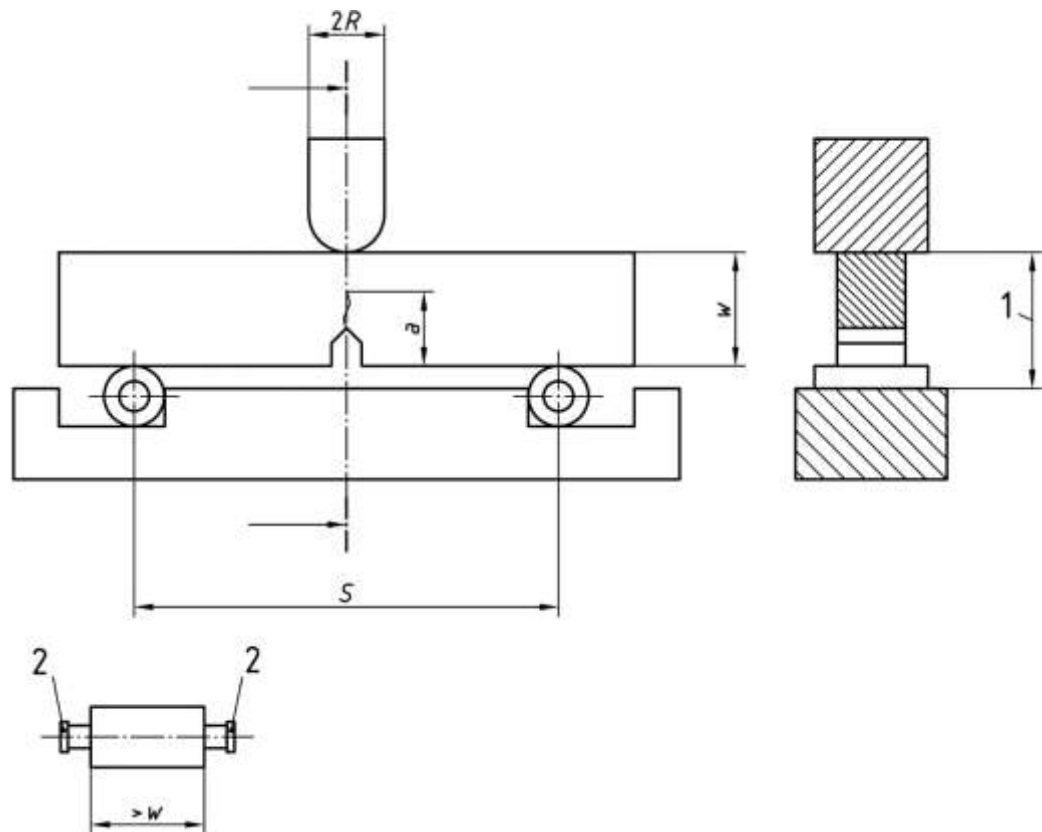
载荷指示装置应符合GB/T 16825.1定义的1级。

5.2 位移传感器

记录试验过程中的位移。在所选试验速度下，位移传感器不应有惯性滞后，其测量精度应不低于GB/T 12160规定的2级。位移传感器对载荷测量的影响应可忽略不计（即小于1%），否则应予以校正。

5.3 加载夹具

三点弯曲（SENB）试验使用图1所示的带有固定滚轮或移动滚轮的试验夹具。使用直径较大（>W/4）的滚轮来将试样的压痕减至最小，位移的测量应在跨距S的中心进行。



标引序号说明：  
 $S$ ——滚轮间跨距  $S = 4W \pm 0.1W$ ；  
 $R$ ——半径  $W/8 \leq R \leq W/2$ ；  
1——位移传感器测量区域；  
2——移动滚轮上用于固定橡皮筋的箍。  
注：也可使用符合GB/T 9341标准的带有固定支座的装置。

图1 三点弯曲（SENB）试验用的带两个滚轮和位移传感器的装置

对于紧凑拉伸试验，试样通过试样孔中的两个销加载。在试验过程中，通过销附近的卡规等测量器具测量受力点的位移。

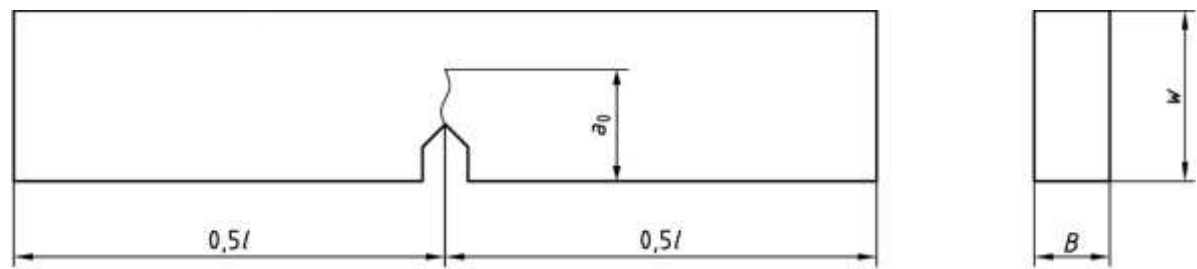
6 试样

6.1 通则

推荐使用可得到的最大尺寸试样进行测试，以获得裂纹扩展量范围更大的J-R曲线和裂纹扩展阻力最保守的估计值。得到的J-R曲线仅适用于与被测样品相同厚度的材料。

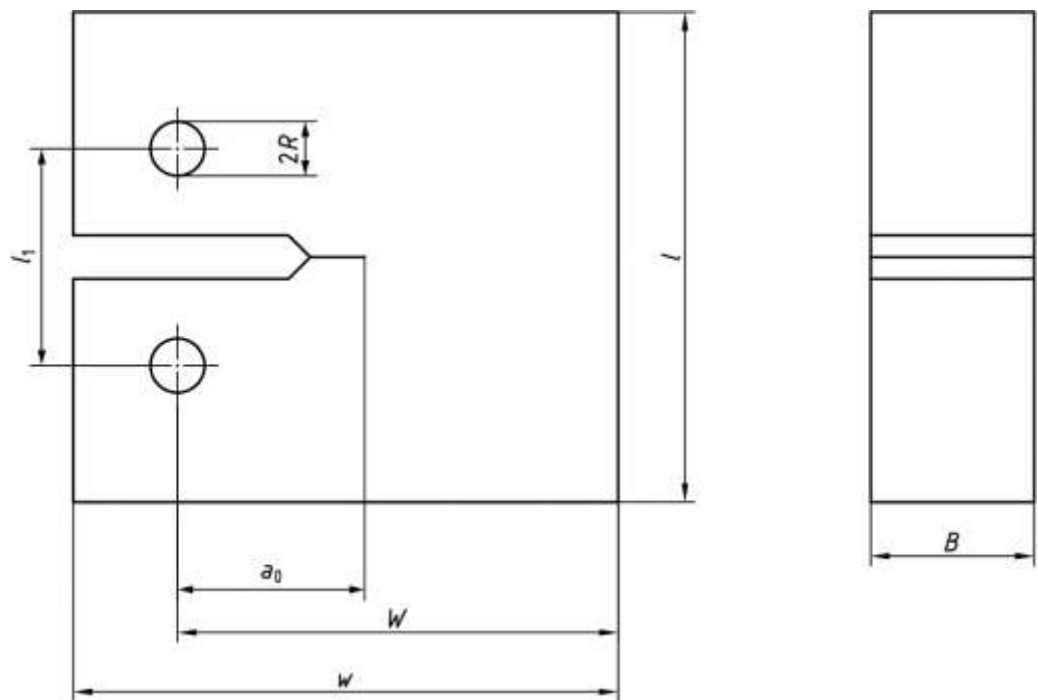
6.2 形状和尺寸

三点弯曲试验（SENB）和紧凑拉伸试验（CT）的试样应分别按照图2和图3制备。使用板材原厚作为试样厚度B可使制样更加方便，也可按GB/T 39812的规定制备试样。所有垂直于厚度方向的尺寸都与试样宽度W成正比（见图2和图3），试样宽度的最小值W=25 mm（满足9.2的要求）。制备无缺口试样用于测定压痕位移和能量校正（分别见图4和图5）。



标引序号说明：  
W——宽度；  
l——长度  $l > 4.2 W$ ；  
B——厚度  $W/4 \leq B \leq W/2$ ，优选厚度  $B = W/2$ ；  
 $a_0$ ——裂纹长度  $0.45W \leq a_0 \leq 0.55W$ 。

图2 单边缺口弯曲（SENB）试样



标引序号说明：  
w——总宽度  $w = 1.25W \pm 0.01W$ ；  
W——宽度；  
l——长度  $l = 1.2W \pm 0.01W$ ；

$l_1$ ——相对于裂纹平面 $\pm 0.005W$ 对称的两个孔中心之间的距离  $l_1 = 0.55W \pm 0.0005W$ ；  
 $R$ ——半径  $R = 0.125W \pm 0.005W$ ；  
 $B$ ——厚度  $W/4 \leq B \leq W/2$ ，优选厚度  $B = W/2$ ；  
 $a_0$ ——裂纹长度  $0.45W \leq a_0 \leq 0.55W$ ；

图3 紧凑拉伸 (CT) 试样

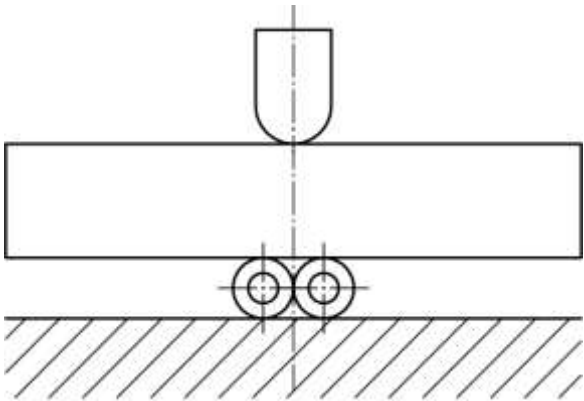


图4 确定弯曲试样压痕位移的示意图

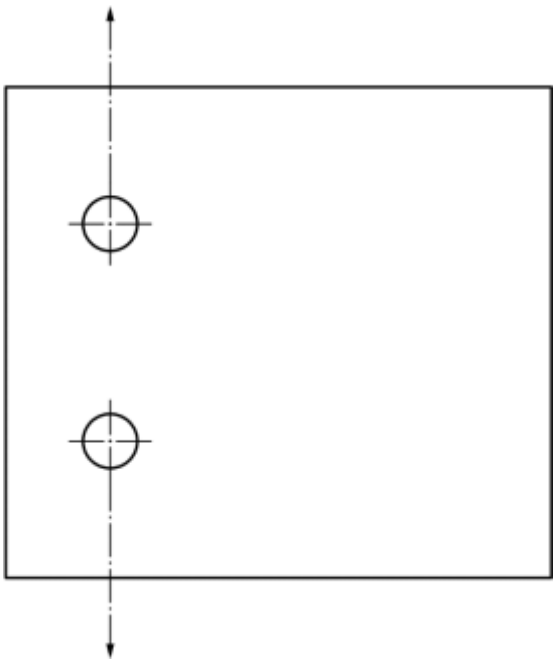


图5 确定紧凑拉伸试样压痕位移的示意图

可在试样上开侧槽以使裂纹前缘更加笔直。侧槽的深度应相等，夹角为 $45^\circ \pm 5^\circ$ ，底部半径为 $0.25 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ 。侧槽导致的试样总厚度减少不必超过 $0.20 B$ 。

6.3 试样制备

试样的制备应符合相关材料标准和GB/T 39812的要求。对于各向异性的试样，注意在每个试样上标注参考方向。

## 6.4 预制裂纹

可用下列方法来预制裂纹：

- 使用锯或高速铣刀在试样上加工出一个深度为  $0.5W$  的缺口，然后通过轻敲缺口中新刀片来产生自然裂纹。由此产生的裂纹长度不应小于预制裂纹总长度  $a$  的 5%，并且应大于原始缺口尖端半径的四倍；
- 疲劳法预制裂纹。按照 ASTM E1152 中推荐的条件进行<sup>[3]</sup>。由于疲劳生热可能破坏试样，所用频率宜低于 4 Hz。

## 7 试验步骤

### 7.1 通则

本试验步骤的目的是得到一条由多个裂纹扩展量  $\Delta a_p$  及其对应的  $J$  积分构成的  $J$ - $R$  曲线（见 9.2）。在多试样法中，每个试样都提供  $J$ - $R$  曲线上的一个点。通过控制横梁或引伸计的位移将一系列试样加载至不同的位移，对产生的裂纹前缘进行标记（见附录 A），并在断裂表面测量裂纹扩展量。另外，还需要进行单独的压痕测量以校正非断裂相关的能量耗散，然后根据断裂压痕校正能量计算得到  $J$  值。经过上述步骤，每个试样提供一组  $J$ - $\Delta a_p$  值用于绘制  $J$ - $R$  曲线。

### 7.2 试样厚度和宽度

按照 ISO 16012 的规定测量每个试样的厚度  $B$ 、 $B_N$  和宽度  $W$ ，精确到 0.02 mm。

### 7.3 状态调节

除非另有规定（例如在高温或低温下试验），试样应按照相关材料标准中规定的条件进行状态调节。缺少相关资料时，应采用 GB/T 2918 规定的适宜条件并至少调节 16 h。

优选条件是温度  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度  $(50 \pm 10)\%$ 。若已知材料特性对湿度不敏感，可不进行湿度控制。

### 7.4 试验速度

从表 1 中选取试验速度，优选试验速度为 1 mm/min。

### 7.5 试样数量

至少使用 7 个试样生成用于指数方程拟合的数据点。所有试样都应被机加工成相同的尺寸，初始预制裂纹长度应一致，以使载荷-位移曲线的初始部分尽可能相同。

### 7.6 试验过程

将每个试样加载至预定的位移，以产生在  $J$ - $R$  曲线的期望位置上的裂纹扩展量（见 9.2）。控制横梁或卡规的位移量，以控制裂纹扩展量并尽量降低裂纹扩展的不稳定性。

卸载试样，标记裂纹前缘，打断试样以暴露断裂表面（见附录 A）。

### 7.7 裂纹长度和裂纹扩展长度测量

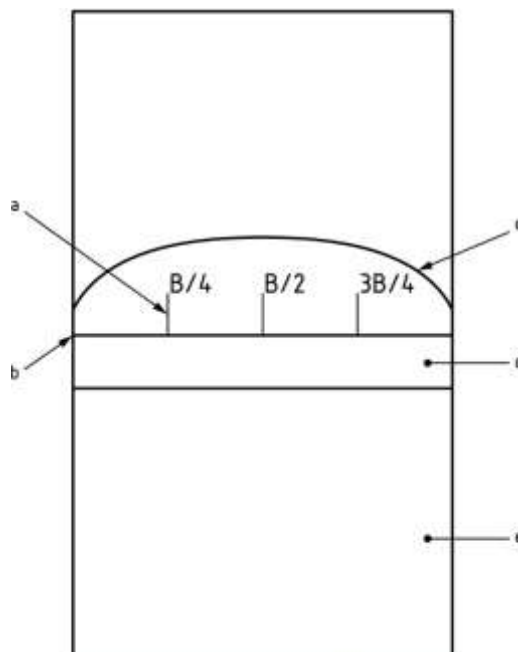
在断裂表面上测量初始裂纹长度  $a_0$  和裂纹扩展量  $\Delta a_p$  的单个值，精确到 0.01 mm。

沿着初始裂纹前缘，测量距试样一侧表面  $B/4$ 、 $B/2$  和  $3B/4$ （对于开侧槽试样为  $B_N/4$ 、 $B_N/2$  和  $3B_N/4$ ）三处的初始裂纹长度单个值，计算三个值的平均值作为初始裂纹长度。

沿着稳定裂纹扩展区域的前缘，测量以样品中线为中心的五个等距点处的裂纹长度，其中最外侧的两个点距离无侧槽试样的表面或开侧槽试样的侧槽根部 $0.005W$ （见图6和图7）。按照如下方法计算平均裂纹长度 $a_p$ ：计算两个靠近表面的测量值的平均值，将计算结果与其余三个测量值合在一起，计算这四个值的平均值。

按照式(1)计算裂纹长度：

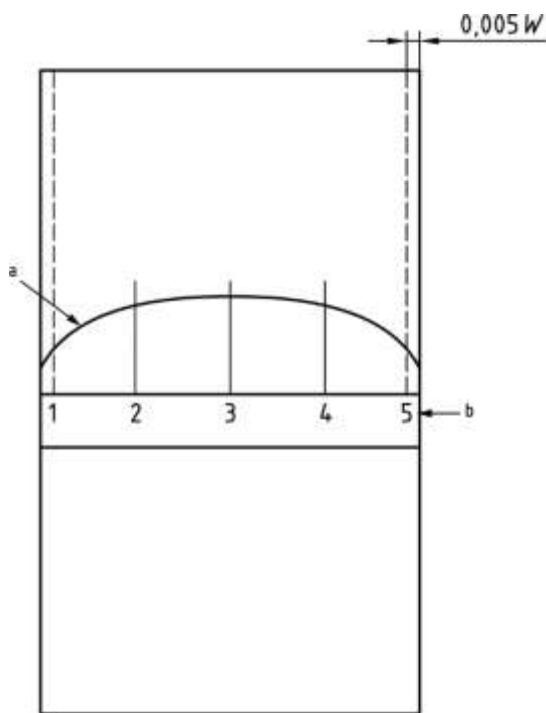
$$\Delta a_p = a_p - a_0 \dots \dots \dots (1)$$



标引序号说明：

- a——测量点；
- b——初始裂纹长度（ $a_0$ ）；
- c——最终裂纹前缘；
- d——使用刀片产生的尖锐裂纹区域；
- e——机加工得到的缺口。

图6 初始裂纹长度( $a_0$ )的测量



标引序号说明：  
a——最终裂纹前缘；  
b——测量点。

图7 裂纹扩展量( $\Delta a$ )的测量

7.8 压痕校正

使用无缺口的试样（见图4和图5）进行压痕校正。对于三点弯曲装置，将滚轮并在一起以尽可能地减少弯曲变形（见图4）。压头的几何形状应与裂纹扩展试验中的相同。对于无缺口的CT试样，应使用与裂纹扩展试验中几何形状相同的U形钩。

加载试样到比所有裂纹扩展试验中的最大载荷至少大10%的载荷，记录载荷-位移曲线。对于所有裂纹扩展试验，从读取的位移中扣除压痕柔量。压痕校正和裂纹扩展试验的加载速率和试验温度应相同。

注：对于SENB试样，无缺口试样的长度可以更短（最小值为 $2W$ ）。

8 结果计算及表示

8.1 通则

使用扩展裂纹所需的能量 $U$ 计算 $J$ 。总能量 $U_T$ 由每个试样的载荷-位移曲线（ $F-f$ ）下方的面积确定，它是 $U$ 与压痕能量 $U_i$ 之和，见式(2)：

$$U = U_T - U_i \dots\dots\dots (2)$$

通过对压痕试验的载荷-位移曲线（ $F-f$ ）积分得到每个裂纹扩展试验的压痕能量 $U_i$ ，积分上限为压痕试验的载荷-位移曲线上对应于该裂纹扩展试验中最大载荷的位移。

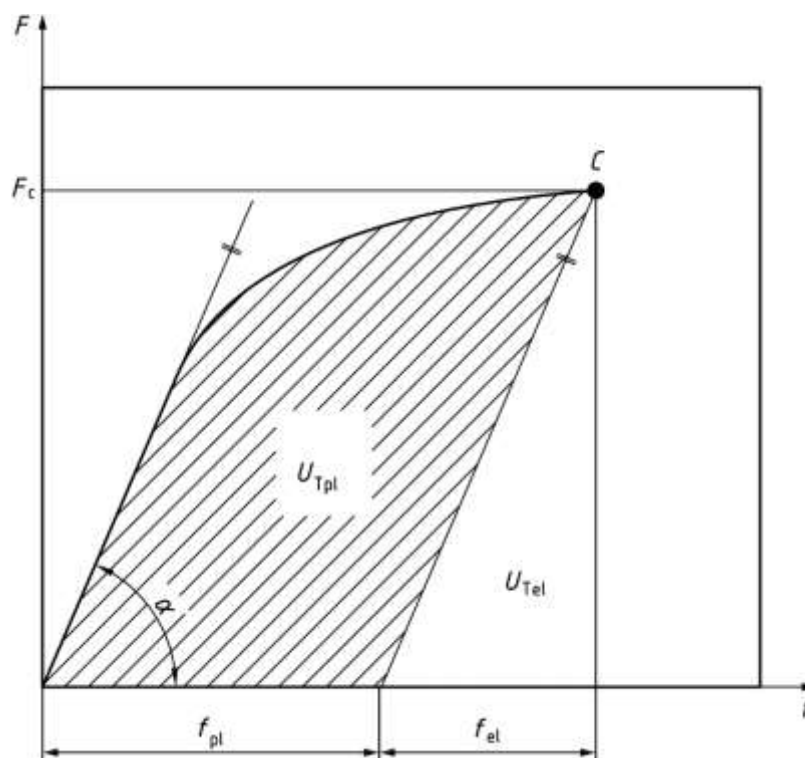
8.2 J 积分的计算

8.2.1 斜率的估算

使用适当的算法估算载荷-位移曲线起始部分的斜率（见图8）。

## 8.2.2 总能的分解

将总能量 $U_T$ 分解为两部分（见图8）



标引序号说明：

$U_{Tel}$ ——弹性能；

$U_{Tpl}$ ——塑性能；

$f_{el}$ ——弹性位移；

$f_{pl}$ ——塑性位移；

$F_C$ ——最大载荷；

$f_C$ ——最大位移；

$C$ ——最大值点；

$\alpha$ ——曲线斜率对应的倾斜角；

$F$ ——(kN)；

$f$ ——(mm)。

图8 J积分和能量计算示意图

## 8.2.3 校正后能量的计算

根据式(2)计算校正后能量 $U$ 。根据式(3)和式(4)估算校正后能量的弹性和塑性部分：

$$U_{el} = U \times \frac{U_{Tel}}{U_T} \dots\dots\dots (3)$$

$$U_{pl} = U \times \frac{U_{Tpl}}{U_T} \dots\dots\dots (4)$$

注：如果试验机配备了可进行压痕校正的软件，可以不使用式（3）和（4）而直接分解能量 $U$ 。用 $U$ 代替 $U_T$ ， $f$ 代替

$f$ , 能量 $U$ 的值即可直接被分解为 $U_{el}$ 以及 $U_{pl}$ 。

## 8.2.4 计算J积分

根据式(5)计算 $J$ 积分的值:

$$J = \eta_{el} \times \frac{U_{el}}{B \times (W - a_0)} + \eta_{pl} \times \frac{U_{pl}}{B \times (W - a_0)} \times \left[ 1 - \frac{(0.75 \times \eta_{el} - 1) \times a_0}{(W - a_0)} \right] \dots\dots\dots (5)$$

附录A中给出了两种试样的 $\eta_{el, SENB}$ 、 $\eta_{el, CT}$ 和 $\eta_{pl}$ 的值。

## 9 结果有效性

### 9.1 一般要求

在 $B/4$ 、 $B/2$ 、 $3B/4$  (见7.7) 处测得的初始裂纹长度单个值与平均值 ( $a_0$ ) 的差值不应超过5%。

测得的裂纹扩展量 $\Delta a_p$ 的单个值不应小于平均值的50%。对于后续测试, 可在6.2推荐的参数范围内调整侧槽的尺寸。

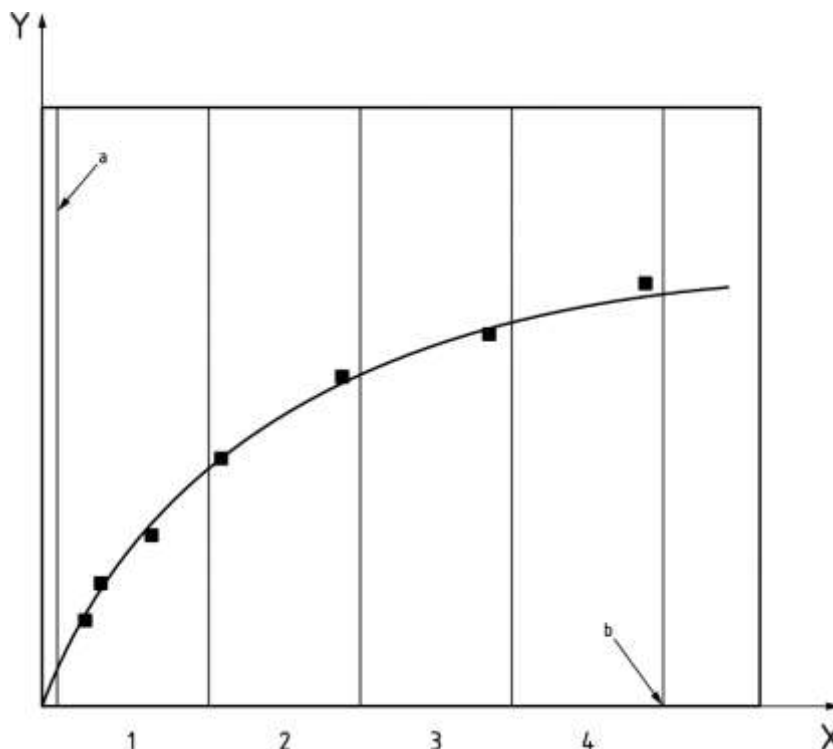
最小裂纹扩展量应 $>0.05\text{mm}$ 。最大裂纹扩展量应 $<0.1b_0$ 。

### 9.2 J-R 曲线的构造

绘制 $J$ 对 $\Delta a_p$ 的曲线 (见图9)。

在 $\Delta a_p = 0.05\text{mm}$ 处作一条最小裂纹扩展量线, 在 $\Delta a_p = 0.1b_0$ 处作一条最大裂纹扩展量线。

将最小和最大裂纹扩展量线之间的部分等间距地分成4个区间 (见图9)。第一个区间应至少有三个数据点, 第二个区间应至少有两个数据点, 其余两个区间应各至少有一个数据点。



标引序号说明:

X——裂纹扩展量,  $\Delta a_p$  (mm);

Y——断裂阻力,  $J$  ( $\text{kJ/m}^2$ );

a——0.05 mm排除线;

b—— $\Delta a_{\max}$ 。

图9 J-R 曲线的构造

使用式(6)所示的指数方程拟合数据：

$$J = C_1 \Delta a_p^{C_2} \dots\dots\dots (6)$$

拟合得到的指数项 $C_2$ 应小于1.0。

## 10 试验报告

试验报告应包含以下信息：

- a) 注明引用本文件，即 GB/T XXXXX-XXXX；
- b) 受试材料的完整标识；
- c) 试样形状（SENB 或 CT）和公称尺寸；
- d) 试验日期；
- e) 预制裂纹的方法；
- f) 初始裂纹长度  $a_0$ ；
- g) 裂纹扩展量的标记方法；
- h) 裂纹扩展量  $\Delta a_p$ ；
- i) 初始部分的斜率；
- j) 能量值；
- k)  $J$  积分值；
- l) 指数方程的回归系数  $C_1$  和  $C_2$ ；
- m) 试验过程中的温度和相对湿度；
- n) 试验速度  $v$ ；

## 11 精密度

### 11.1 通则

裂纹长度测量对J-R曲线的偏差贡献最大，需要对裂纹的直线度和裂纹前缘的形状进行控制（见9.1）。对于这部分精密度的说明见附录A。

### 11.2 能量分解

从物理角度来看，将总能量分成两部分是很重要的，较韧的聚合物对于裂纹萌生（对应于 $U_{el}$ ）和裂纹扩展（耗散能量，对应于 $U_{pl}$ ）可能表现出不同的敏感性。

## 附录 A

(资料性)

## 形状函数、裂纹前缘的标记和识别、精密度说明及推荐的试验报告表格

## A.1 形状函数

对于SENB试样,  $\eta_{el} = 0.5 + 5.5 \left( \frac{a_0}{W} \right) - 5 \left( \frac{a_0}{W} \right)^2$

对于CT试样,  $\eta_{el} = 11.30 - 61.42 \left( \frac{a_0}{W} \right) + 198.75 \left( \frac{a_0}{W} \right)^2 - 258.33 \left( \frac{a_0}{W} \right)^3 + 125.00 \left( \frac{a_0}{W} \right)^4$

对于SENB试样,  $\eta_{pl} = 2$

对于CT试样,  $\eta_{el} = 1 + 0.522 \left( 1 - \frac{a_0}{W} \right)$

## A.2 裂纹前缘的标记和识别

直接在每个试样的断裂表面测量稳定裂纹扩展量。

为将裂纹扩展试验加载期间出现的稳定裂纹扩展与打断试样以暴露断裂表面时出现的裂纹扩展区分开来, 需要对裂纹前缘进行标记。推荐将试样预先降温(如使用液氮)或不降温后, 使用高速冲击等方法将试样打断, 最短降温时间为30分钟。为了更好地分辨断裂表面, 可以在裂纹扩展试验卸载前使用合适的染料(例如用酒精从可在塑料上标记的记号笔中提取出的提取物)将裂纹染色。

使用光学显微镜或扫描电子显微镜识别稳定裂纹扩展区域的末端(光学显微镜的最佳放大倍数为20至40倍)。此外, 可以在显微镜上使用斜射照明来照亮断裂表面。

稳定裂纹扩展区域的末端通常由刀片产生或自然产生的裂纹前方的第一条裂纹停止线确定。

## A.3 精密度说明

## A.3.1 通则

第一次实验室间比对于2011年进行, 对PE-HD挤塑材料进行了试验。本次实验室间比对显示J积分的计算值分散性很大, 这主要是因为裂纹长度测量上的困难。第二次实验室间比对于2013年进行, 目的是确定一个统一的测量稳定裂纹扩展量的方法。

2013年的实验室间比对包括一种PE-HD挤塑材料和一种PP-H挤塑材料, 来自三个国家的三个实验室参与了本次比对。每种材料的有12个试样, 由同一个实验室从压塑试片(130×130×10 mm)上制备得到。其中一个实验室先将3+3个试样弯曲至一系列预定的挠度(J-R曲线的区间I和区间IV各有3个试样), 另外两个实验室将3+3个试样弯曲到与第一个实验室相同的挠度。测量稳定裂纹扩展量, 并记录断裂表面。

## A.3.2 统计学评估

注意——由于实验室和材料数量有限, 以下对r的解释只是为了给出考虑该试验方法的近似精密度(重复性)的一种有意义的方法

## r的概念

重复性: 如果由同一个实验室得出的两个试验结果的差大于该材料的r值, 则应判断这两个值不等价。R间隔表示了同一材料的两个试验结果之间的临界差值, 试验结果应由同一操作者使用同一设备在同一实验室中进行测试得出。

表A.1  $\Delta a$  值的精密度数据

| 材料                                                                                                   | $n$ | 区间  | $\Delta a$ mm | $s_r$   | $r$  | $R$  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|---------------|---------|------|------|
| PE-HD                                                                                                | 1   | I.  | 0.222         | 0.003 2 | 0.04 | 0.08 |
|                                                                                                      | 2   |     | 0.182         | 0.018 0 |      |      |
|                                                                                                      | 3   |     | 0.110         | 0.033 3 |      |      |
|                                                                                                      | 1   | IV  | 1.493         | 0.115 6 | 0.32 | 0.52 |
|                                                                                                      | 2   |     | 1.266         | 0.109 8 |      |      |
|                                                                                                      | 3   |     | 0.870         | 0.017 8 |      |      |
| PP-H                                                                                                 | 1   | I.  | 0.145         | 0.006 7 | 0.07 | 0.13 |
|                                                                                                      | 2   |     | 0.147         | 0.034 6 |      |      |
|                                                                                                      | 3   |     | 0.075         | 0.020 1 |      |      |
|                                                                                                      | 1   | IV. | 1.758         | 1.004 3 | 0.53 | 0.89 |
|                                                                                                      | 2   |     | 1.168         | 0.127 0 |      |      |
|                                                                                                      | 3   |     | 0.778         | 0.237 1 |      |      |
| 此表中使用的统计特性为：<br>$\Delta a$ ——平均值<br>$s_r$ ——实验室内标准偏差<br>$r$ ——95%重复性的极限值（=2.8 $s_r$ ）<br>$n$ ——实验室编号 |     |     |               |         |      |      |

A.4 推荐的试验报告表格

GB/T XXXXX推荐的试验报告。

|       |             |
|-------|-------------|
| 组织:   | 试验日期:       |
| 样品名称: | 标准:         |
| 材料:   | 试验温度 (°C) : |
| 批次:   | 相对湿度 (%) :  |

J-R曲线的测定

|                 |    |          |   |   |   |   |   |   |
|-----------------|----|----------|---|---|---|---|---|---|
| 预制裂纹方法:         |    | -原始缺口:   |   |   |   |   |   |   |
|                 |    | -裂纹:     |   |   |   |   |   |   |
| 试验速度 (mm/min) : |    |          |   |   |   |   |   |   |
| 试样编号            |    | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|                 | 尺寸 | $B$ (mm) |   |   |   |   |   |   |

|                    |                       |              |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------|-----------------------|--------------|--|--|--|--|--|--|--|
| 试样类型<br>SENB或CT    |                       | $B_N$ (mm)   |  |  |  |  |  |  |  |
|                    |                       | $W$ (mm)     |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大位移               | (mm)                  |              |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大载荷               | (N)                   |              |  |  |  |  |  |  |  |
| 斜率                 |                       |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $U_T$              | (J)                   |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $U_{Tel}$          |                       |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $U_{Tpl}$          |                       |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $U_i$              |                       |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $U$                |                       |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $U_{el}$           |                       |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $U_{pl}$           |                       |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $a_0$              | (mm)                  | $a_0 (B/4)$  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    |                       | $a_0 (B/2)$  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    |                       | $a_0 (3B/4)$ |  |  |  |  |  |  |  |
| $a_0$ 平均值          | (mm)                  |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $a_0$ 是否有效?        |                       | 是/否          |  |  |  |  |  |  |  |
| $b_0$              | (mm)                  |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $\Delta a_{max}$   | (mm)                  |              |  |  |  |  |  |  |  |
| $a_p$              | (mm)                  | $a_{p1}$     |  |  |  |  |  |  |  |
|                    |                       | $a_{p2}$     |  |  |  |  |  |  |  |
|                    |                       | $a_{p3}$     |  |  |  |  |  |  |  |
|                    |                       | $a_{p4}$     |  |  |  |  |  |  |  |
|                    |                       | $a_{p5}$     |  |  |  |  |  |  |  |
| $\Delta a_p$ 平均值   | (mm)                  |              |  |  |  |  |  |  |  |
| 检验( $a_{pi}-a_0$ ) |                       | 是/否          |  |  |  |  |  |  |  |
| 检验 $\Delta a_p$    |                       | 是/否          |  |  |  |  |  |  |  |
| $J$ 积分值            | (kJ m <sup>-2</sup> ) |              |  |  |  |  |  |  |  |
| 检验J-R曲线的数据点间隔要求    |                       |              |  |  |  |  |  |  |  |

|                  |        |     |  |                       |
|------------------|--------|-----|--|-----------------------|
| 检验各区间内<br>数据点的数量 | 1, ≥ 3 | 是/否 |  | 满足数据点间隔要求?<br><br>是/否 |
|                  | 2, ≥ 2 | 是/否 |  |                       |
|                  | 3, ≥ 1 | 是/否 |  |                       |
|                  | 4, ≥ 1 | 是/否 |  |                       |
| C <sub>1</sub>   |        |     |  |                       |
| C <sub>2</sub>   |        |     |  |                       |
| 检验C <sub>2</sub> | < 1.0  | 是/否 |  |                       |

|       |
|-------|
| 组织:   |
| 样品名称: |
| 材料:   |
| 批次:   |

|             |
|-------------|
| 试验日期:       |
| 标准:         |
| 试验温度 (°C) : |
| 相对湿度 (%) :  |

压痕校正

试验速度:

| 试样编号                  |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 试样类型 SENB<br>或 CT     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                       |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 最大载荷                  | N |   |   |   |   |   |   |   |
| U <sub>i</sub> , CT   | J |   |   |   |   |   |   |   |
| U <sub>i</sub> , SENB | J |   |   |   |   |   |   |   |

## 参 考 文 献

- [1] ISO 178, Plastics — Determination of flexural properties
- [2] ASTM D 6068, Standard Test Method for Determining J-R Curves of Plastic Materials
- [3] ASTM E 1152, Test Method for Determining J-R Curve. Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01
- [4] Polymer Testing, Wolfgang Grellmann, Sabina Seidler, Eds., Carl Hanser Verlag, Munich 2007
- [5] Fracture mechanics of polymers, J.G. Williams, Eds., Ellis Horwood Ltd., Chichester 1984