



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 18252—2020/ISO 9080:2012  
代替 GB/T 18252—2008

## 塑料管道系统 用外推法确定热塑性塑料 材料以管材形式的长期静液压强度

Plastics piping and ducting systems—Determination of the long-term hydrostatic  
strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation

(ISO 9080:2012, IDT)

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
塑料管道系统 用外推法确定热塑性塑料  
材料以管材形式的长期静液压强度  
GB/T 18252—2020/ISO 9080:2012

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2020年11月第一版

\*

书号: 155066 • 1-65907

版权专有 侵权必究

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 18252—2008《塑料管道系统 用外推法确定热塑性塑料材料以管材形式的长期静液压强度》，与 GB/T 18252—2008 相比，主要技术变化如下：

- 删除了所有关于寿命的提法(见 2008 年版的引言、5.2、5.3)；
- 修改了引言；
- 修改了观察数据的数量和分布要求(见 4.2, 2008 年版的 4.2)；
- 增加了对数据进行手工分类的要求(见 5.1.3)；
- 在聚烯烃外推时间因子的确定中, 将不发生降解破坏的第二分支活化能, 修改为第三分支(降解破坏)的表观活化能(见 5.2, 2008 年版的 5.2)；
- 在氯乙烯基聚合物外推时间因子的确定中, 将第二分支的活化能, 修改为第三分支(降解破坏)的表观活化能(见 5.3, 2008 年版的 5.3)；
- 将“附录 A 数据的收集和分析方法”修改为“附录 A 分析方法”(见附录 A, 2008 年版的附录 A)；
- 将部分公式中  $\hat{c}$  改为参数  $c$ (见附录 A)；
- 修改了拐点自动检验的模型[见式(B.1), 2008 年版的式(B.1)～式(B.5)]；
- 修改了对拐点检验模型适用性进行 F-检验的  $F$  统计量算式[见式(B.2), 2008 年版的式(B.6)]；
- 修改了附录 C 的标题, 对其中的观察数据进行了修改, 使其符合本标准规定, 并据此按照 3 参数模型更新了回归计算结果(见附录 C, 2008 年版的附录 C)；
- 修改了附录 D 的标题, 并按照 4 参数模型进行了回归分析(见附录 D)；
- 增加了适用于本标准的两种软件包的信息(见附录 E)。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 9080:2012《塑料管道系统 用外推法确定热塑性塑料材料以管材形式的长期静液压强度》。

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 6111—2018 流体输送用热塑性塑料管道系统 耐内压性能的测定(ISO 1167-1:2006, ISO 1167-2:2006, ISO 1167-3:2007, ISO 1167-4:2007, NEQ)；
- GB/T 8802—2001 热塑性塑料管材、管件 维卡软化温度的测定(eqv ISO 2507:1995)；
- GB/T 8806—2008 塑料管道系统塑料部件 尺寸的测定(ISO 3126:2005, IDT)；
- GB/T 18475—2001 热塑性压力管材和管件用材料分级和命名 总体使用(设计)系数(eqv ISO 12162:1995)；
- GB/T 19466.3—2004 塑料 差示扫描量热法(DSC) 第 3 部分: 熔融和结晶温度及热焓的测定(ISO 11357-3:1999, IDT)。

本标准做了下列编辑性修改：

- 为公式增添了编号；
- 用我国法定计量单位“MPa”代替国际标准中的“bar”，并据此修改了公式(1)中的系数；
- 将附录 A 的公式(A.9)、公式(A.12)中的“ $-1$ ”修改为上标“ $-1$ ”，表示矩阵求逆的运算符号；
- 将附录 D 的表 D.9 中 82 °C 时  $t_c$  计算值 47 245 h、5.39 a 更正为 52 495 h、5.99 a，以与标准中公式相符。

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这些专利的责任。

本标准由中国轻工业联合会提出。

本标准由全国塑料制品标准化技术委员会(SAC/TC 48)归口。

本标准起草单位:北京工商大学(轻工业塑料加工应用研究所)、华创天元实业发展有限责任公司、中国石油化工股份有限公司北京化工研究院、亚大塑料制品有限公司、永高股份有限公司、中国石油天然气股份有限公司石油化工研究院、浙江伟星新型建材股份有限公司、广东联塑科技实业有限公司、山东胜邦塑胶有限公司、北京北化高科新技术股份有限公司、天津军星管业集团有限公司。

本标准主要起草人:项爱民、李鹏、孙晋、王志伟、黄剑、卢晓英、李大治、孙秀慧、景发岐、程红原、吴晓芬、赵启辉、谢建玲、徐海云。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 18252—2000、GB/T 18252—2008。



# 引 言

## 0.1 总则

塑料材料的力学破坏与温度、载荷大小和受载时间有关。塑料压力管的正确使用需要考虑温度( $T$ )和管内压力介质在管壁内产生的静液压应力( $\sigma$ )与管材破坏时间( $t$ )的关系。一般说来, $T$  升高或 $\sigma$  升高,都导致 $t$  减少。

塑料压力管道设计使用年限通常需达到数十年甚至 100 年。本标准用高温下管材在较短时间(通常仍需 1 年)的静液压应力破坏试验结果,来外推几十年甚至 100 年使用时间内管材材料耐受静液压应力的能力。

本标准建立了一种标准外推法(Standard Extrapolation Method, SEM),目的是以管状试样评价材料的长期静液压强度。产品标准将根据应用需求明确规定材料的物理力学性能要求。本标准并不否定已有的一些用于确定塑料材料设计应力、或确定管道许用压力的方法。

## 0.2 原理

一种塑料材料是否适用于压力管道,取决于其在静液压应力下的长期性能,该性能是在考虑了预计工况(例如温度)的条件下,以管状试样进行压力试验获得的。对设计而言,通常用长期静液压(环)应力来表示这种性能,其物理意义是:在以水为试验介质,环境温度为 20 °C 条件下,由该材料制造的塑料管工作 50 年所能承受的应力。测试时,管外介质可以是水或空气。有些情况下,还需要确定材料在较高温度或(和)较短设计年限下的静液压强度。本标准设计的分析计算方法,为内插和外推在不同于常规(20 °C, 50 年)工作条件下的应力破坏特性提供了系统性的计算基础(见 5.1.5),能够满足上述两种计算需求。

本标准采用的多元线性回归分析以速率过程理论中的  $\log_{10}\sigma$  与  $\log_{10}t$  关系模型为基础。计算过程包括对不同温度试验数据进行多元线性回归分析以及对使用温度下的长期特性进行外推。所得结果可在有关产品标准中用于按相应程序确定具体材料的设计应力。

为了评价回归模型得到的应力预测值的可信度,使用了“长期静液压强度的预测下限(Lower Prediction Limit, LPL)”的概念,它是在规定温度下与预计破坏时间的 97.5% 置信下限对应的应力值。确定预测值和预测下限需要使用统计方法。

在计算长期静液压强度时,对选用哪一个变量——时间还是应力作独立变量(自变量)进行过反复考虑,因为本方法需要解决的基本问题,可以归纳为下面两种形式:

- a) 在给定的温度和时间,一种管材形式的特定材料能够耐受的最大应力(或压力)是多大;
- b) 在给定的温度和应力条件下,特定材料管材试样的预计破坏时间是多长。

以上两个问题是相关的。如果所考察的管材试样的试验数据没有离散性,且材料也恰好可以用所选定的经验模型完美地描述,则用时间或应力作自变量的回归分析结果是一致的。但实际情况并非如此,因为试验环境不可能是理想情况,材料也不是 100% 均质的,观察值总是有离散性。选择时间或应力作自变量,回归计算结果将是不同的,其差异随离散性增大而增大。可以选择合适的统计分布和概率来表述这一特点,本标准选用的统计分布是在同一  $T$ 、 $\sigma$  下,  $\log_{10}t$  呈正态分布。

通常认为,时间变量的数据离散性更大。因此,本方法在对试验数据作统计处理时,为保证统计处理的合理性,不得不以时间作因变量(随机变量)。不过,由于实际的需要,工业界更倾向于以时间作自变量,而把应力表示为时间的函数。

在以上假设基础上,按以下顺序计算:

- a) 多元线性回归;
- b) 对  $\log_{10} t$  作新观察值预测,同时引入学生氏( $t_{st}$ )分布及预测概率( $\epsilon$ );
- c) 用  $\log_{10} t$  新观察值预测公式作反方向运算求得与一定  $T$ 、 $t$  和  $\epsilon$  相对应的应力,作为静液压强度的预测值。

这一套计算方法即称为标准外推法。它建立了  $T$ 、 $\sigma$ 、 $t$ 、 $\epsilon$  四个变量之间的关系,可以解决前述的两类问题。

本标准得到的静液压强度预测下限(LPL),实际上是在  $T$ 、 $t$  下,且置信水平不低于  $\epsilon$  时,保证  $\log_{10} t$  是该置信水平对应的置信下限时应控制的应力上限。通常取  $\epsilon=0.975$ ,相应的应力记为  $\sigma_{LPL}$ 。为了保证管材在该应力下不破坏,材料应该至少具有与上述应力值相当的强度,所以也把  $\sigma_{LPL}$  简称为“静液压强度的预测下限”,作为材料的长期力学性能。它是管材设计应力、最大允许工作压力、压力等级和壁厚的计算基础。

由于国际贸易的需要,本标准中静液压强度  $\sigma_{LTHS}$  和  $\sigma_{LPL}$  的定义按其在 ISO 9080:2012 中的定义给出。在一些其他文件中,预测下限(LPL)曾被定义为置信下限(LCL),LCL 是平均静液压强度 97.5% 置信区间的下限。

### 0.3 方法的应用

本外推法的目的是为了估计以下参数:

- a) 以水或空气为恒温介质,试验温度为 20 °C 条件下,由所考察材料制造的管材能够耐受 50 年的应力预测下限(对应预测概率为 97.5%)。根据 ISO 12162 的规定,该预测下限经圆整后作为材料分级的依据,定义为 MRS。
- b) 在其他设计时间和/或其他温度的应力预测下限(对应预测概率为 97.5%)。根据 ISO 12162 的规定,该预测下限经圆整后定义为  $CRS_{0,t}$ ,可用于设计目的。

现在有多种外推模型,它们有不同的项数。本标准只使用 2 参数、3 参数、4 参数模型。

增加模型的项数可以改善拟合效果,但同时会使预测的不确定度增大。

不论是否出现拐点(见附录 B),本标准外推法都可以估计对应于 97.5% 概率的预测下限。拐点是 A 型数据向 B 型数据的转化点。

为保证本方法的适用性,材料应制成管状试样进行试验。

对于特定的材料,本标准外推法得到的最后结果是在指定温度和指定时间下,以环应力表示的、对应于 97.5% 概率水平的静液压强度预测下限。

对于多层管材,其长期耐静液压强度的确定方法按 ISO 17456 规定执行。

对于复合以及增强的热塑性塑料管,应用本方法需遵循相关产品标准的说明。

对于具有长期强度参照线的特定材料,其长期强度由相应产品标准给出。

其他热塑性材料,例如矿物填充的热塑性材料、玻纤增强热塑性材料、增塑的热塑性材料、共混物或合金等,如果要对其以管材形式的长期强度进行预测,可能还要考虑其他因素,这些因素应在相关产品标准中考虑。

对管材施压的介质不应应对管材有不良影响。一般认为水是合适的介质。

# 塑料管道系统 用外推法确定热塑性塑料 材料以管材形式的长期静液压强度

## 1 范围

本标准规定了一种用统计外推法评估热塑性塑料材料的长期静液压强度的方法。

本方法适用于在其适用温度下的各种热塑性塑料管道材料。本方法建立在管状试样试验数据基础上。

## 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 1167-1 流体输送用热塑性塑料管材、管件及其组合件 耐内压能力的测定 第1部分:通用方法(Thermoplastics pipes, fittings and assemblies for the conveyance of fluids—Determination of the resistance to internal pressure—Part 1: General method)

ISO 1167-2 流体输送用热塑性塑料管材、管件及其组合件 耐内压能力的测定 第2部分:管材试样的制备(Thermoplastics pipes, fittings and assemblies for the conveyance of fluids—Determination of the resistance to internal pressure—Part 2: Preparation of pipe test pieces)

ISO 2507-1:1995 热塑性塑料管材与管件 维卡软化温度 第1部分:通用测试方法(Thermoplastics pipes and fittings—Vicat softening temperature—Part 1: General test method)

ISO 3126 塑料管道系统 塑料管道组件 尺寸测量与确定(Plastics piping systems—Plastics piping components—Measurement and determination of dimensions)

ISO 11357-3 塑料 差示扫描量热法(DSC) 第3部分:熔融和结晶温度及热焓的测定[Plastics—Differential scanning calorimetry (DSC)—Part 3: Determination of temperature and enthalpy of melting and crystallization]

ISO 12162 热塑性压力管材和管件用材料 分级、命名和设计系数(Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications—Classification, designation and design coefficient)

ISO 17456 塑料管道系统 多层管 长期强度的确定(Plastics piping systems—Multilayer pipes—Determination of long-term strength)

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**内压 internal pressure**

$p$

管内介质施加在单位面积上的力,单位为兆帕(MPa)。

### 3.2

**应力 stress**

$\sigma$

内压引起的管壁环向(周向)单位面积上的力,单位为兆帕(MPa)。

注：用简化公式(1)由内压计算应力  $\sigma$ ：

$$\sigma = \frac{p \times (d_{em} - e_{y,min})}{2e_{y,min}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $p$  —— 内压,单位为兆帕(MPa)；
- $d_{em}$  —— 管材的平均外径,单位为毫米(mm)；
- $e_{y,min}$  —— 测定的管材最小壁厚,单位为毫米(mm)。

3.3

**试验温度 test temperature**

$T_t$

测定应力破坏数据时所采用的温度,单位为摄氏度(℃)。

3.4

**最高试验温度 maximum test temperature**

$T_{t,max}$

测定应力破坏数据时所采用的最高温度,单位为摄氏度(℃)。

3.5

**使用温度 service temperature**

$T_s$

预计的管材使用温度,单位为摄氏度(℃)。

3.6

**破坏时间 time to failure**

$t$

管材发生泄漏时的试验时间,单位为小时(h)。

3.7

**最长测试时间 maximum test time**

$t_{max}$

由 5 个最长破坏时间对数平均值计算得到的试验时间,单位为小时(h)。

3.8

**外推时间 extrapolation time**

$t_e$

允许外推的时间极限,单位为小时(h)。

3.9

**长期静液压强度 long-term hydrostatic strength**

$\sigma_{L,THS}$

一个与应力有相同量纲的量,它表示在温度  $T$  和时间  $t$  预测的平均强度,单位为兆帕(MPa)。

3.10

**静液压强度预测值的置信下限 lower confidence limit of the predicted hydrostatic strength**

$\sigma_{L,PL}$

一个与应力有相同量纲的量,它表示置信度为 97.5%时,对应于温度  $T$  和时间  $t$  的静液压强度预测值的下限,单位为兆帕(MPa)。

注： $\sigma_{L,PL}$  由公式(2)给出：

$$\sigma_{L,PL} = \sigma(T,t,0.975) \dots\dots\dots (2)$$

## 3.11

拐点, A 型数据, B 型数据 knee, data type A, data type B

同一温度下,材料长期静液压强度曲线两个分支的交点。用于计算第一个分支的数据称为 A 型数据,计算第二个分支的数据称为 B 型数据。

## 3.12

分支 branch

在  $\log_{10}\sigma$  对  $\log_{10}t$  图上斜率不变的线段,每个分支代表一种破坏模式。

## 3.13

外推时间因子 extrapolation time factor

$k_e$

计算外推时间时用到的系数。

## 4 试验数据的获得

## 4.1 试验条件

按 ISO 1167-1 和 ISO 1167-2 的规定,测定管材应力破坏数据,试验样品为直管。

按 ISO 3126 测量每根试样的平均外径和最小壁厚。

在所有计算中,试样应为同批材料以相同工艺一次制造的同一规格的管材。

对于现有的按照 GB/T 18252—2008、GB/T 18252—2000 或 ISO/TR 9080:1992 评价过的材料,允许采用其他批次的同规格管材测试补充数据,以满足 4.2 的要求。此时,所补充的数据应在每个温度规则分布,并在试验报告中注明。

## 4.2 内压水平与时间范围的分布

4.2.1 对每个选定的温度,在整个测试时间范围内,至少应得到 30 个观察值。所选定的试验内压,应使至少 4 个观察值的破坏时间超过 7 000 h,至少 1 个观察值的破坏时间超过 9 000 h(另见 5.1.5)。当需要对第二分支进行预测分析时,第二分支至少应有 20 个观察值,其中每个温度最少有 5 个观察值。

4.2.2 任何温度下,破坏时间在 10 h 以内的观察值都应舍弃。

4.2.3 温度  $\leq 40$  °C 时,如果剩余的观察值数量满足 4.2.1 的要求,可以选择一个不超过 1 000 h 的时间,舍弃破坏时间不超过该时间的观察值。这时,该温度下所有不超过该选定时间的观察值均应舍弃。

4.2.4 超过 1 000 h 未破坏的试样,其试验时间可视同于观察值用于多元线性回归计算以及拐点判断。如果除此之外的其他观察值已经满足 4.2.1 要求,则宜舍弃上述视同观察值。

## 5 步骤

## 5.1 数据收集与分析

## 5.1.1 总则

本方法基于多元线性回归分析,详细计算过程见附录 A。本方法要求在两个或多个温度下试验,试验时间不少于 9 000 h。不论是否出现拐点,本方法都适用。

## 5.1.2 试验数据要求

在至少两个温度  $T_1, T_2, \dots, T_n$  下试验,所得数据应符合第 4 章和下列条件要求:

- a) 每两个相邻试验温度最少相差 10 °C,最多相差 50 °C;
- b) 其中一个试验温度为 20 °C 或 23 °C;

- c) 对玻璃态无定形聚合物,最高试验温度  $T_{t,max}$  不高于按 ISO 2507-1:1995 测得的维卡软化温度  $VST_{B50}$  减去  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对半晶型聚合物,  $T_{t,max}$  不超过按 ISO 11357-3 测得的熔点减去  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- d) 每个温度下的观察值数量和内压水平分布符合 4.2;
- e) 为了得到  $\sigma_{LPL}$  的最佳估计值,试验温度范围包括管材使用温度或使用温度范围。  
如果剩余观察值的数目满足 4.2.1 要求,可舍弃受有害因素影响而破坏的试验结果。  
所有有效数据点都应参与计算。  
对大多数材料,试验环境和温度都在相关产品标准中规定。

5.1.3 拐点检验以及数据和模型的适用性

按附录 B 的步骤检验拐点是否存在。

对每个特定的温度,如果发现拐点,则将数据分成两组,一组属于第一分支(数据类型 A),一组属于第二分支(数据类型 B)。

将各个温度下属于第一或第二分支的所有观察值,分别按附录 A 进行多元线性回归。

检验拐点时,应注意所考察数据中是否有降解破坏点。降解破坏的常见特征是破坏时间几乎与应力无关,通常可以肉眼识别。降解破坏时间只能用于确定外推时间(见 5.1.5),不应用于回归分析计算。

如果自动拐点检验结果与图表的直观目测存在明显差异,可以对预计拐点附近的数据类型(A 或 B)重新进行手工分类,以使拐点位置更好地符合试验数据。重新分类需要确定 A 型数据向 B 型数据转换的应力值,破坏应力高于该应力值的所有数据都应作为 A 型数据,低于该应力值的都为 B 型数据。手工分类后不再进行自动拐点检验,但应重新进行回归和外推分析。对这种情况,建议增加试验以获得更多破坏时间超过预计拐点的数据点。

测试报告应对采用手工程序进行分类的原因以及由此导致的变更细节做出说明,见第 7 章。

5.1.4 直观检验

在  $\log_{10}\sigma/\log_{10}t$  坐标系内绘出所得观察值的散点图,做出  $\sigma_{LTHS}$  线性回归线和  $\sigma_{LPL}$  曲线。

5.1.5 外推时间和外推时间因子

根据以下信息和步骤确定外推时间  $t_e$ 。

外推计算允许的时间极限  $t_e$  与温度有关。外推时间因子  $k_e$  是  $\Delta T$  的函数。 $\Delta T$  如公式(3)所示:

$$\Delta T = T_t - T \quad \dots\dots\dots (3)$$

- 式中:
- $T_t$  ——准备对其最长试验时间乘以外推因子  $k_e$  的试验温度,  $T_t \leq T_{t,max} (^{\circ}\text{C})$ ;
  - $T_{t,max}$  ——最高试验温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );
  - $T$  ——计算得出外推时间的温度,  $T_s \leq T (^{\circ}\text{C})$ ;
  - $T_s$  ——使用温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )。

按公式(4)计算外推时间  $t_e$ :

$$t_e = k_e \times t_{max} \quad \dots\dots\dots (4)$$

通过计算 5 个最长破坏时间的对数平均值,得到最长试验时间。这 5 个破坏试样的试验应力不一定要相同,但试验温度应一致。计算  $t_{max}$  允许使用尚未破坏试样的数据,这些数据应包括在分析计算所采用的总样本中。

最高试验温度下的试验数据可以不参与回归模型分析,而只用于确定最大试验时间  $t_{max}$  以及外推时间  $t_e$ 。此时应在试验报告中说明选择这种处理方式的原因。不允许在高出回归模型温度范围的温度上进行外推。

如果材料不发生状态改变(例如玻璃化转变),可以利用试验数据对低于最低试验温度  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  以内的强度进行预测。

注 1：建议试验温度包括需要预测的最低温度，以更好反应材料性能。

外推时间因子的应用示例见图 1～图 3。图 2 是仅在最高试验温度出现拐点的情况，图 3 是在较高的多个温度出现拐点的情况。外推时间因子  $k_e$  的取值见 5.2 和 5.3。

注 2：在图 2 所示的只在最高温度出现拐点的情况中， $t_{\max}$  取拐点破坏时间。

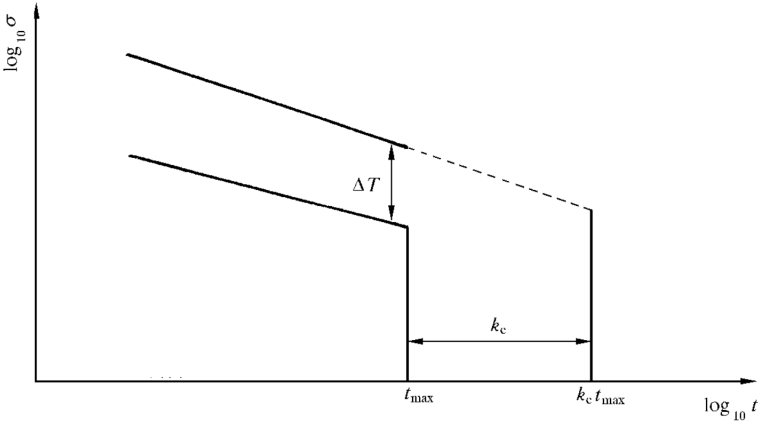


图 1 最高试验温度无拐点时作外推的外推时间

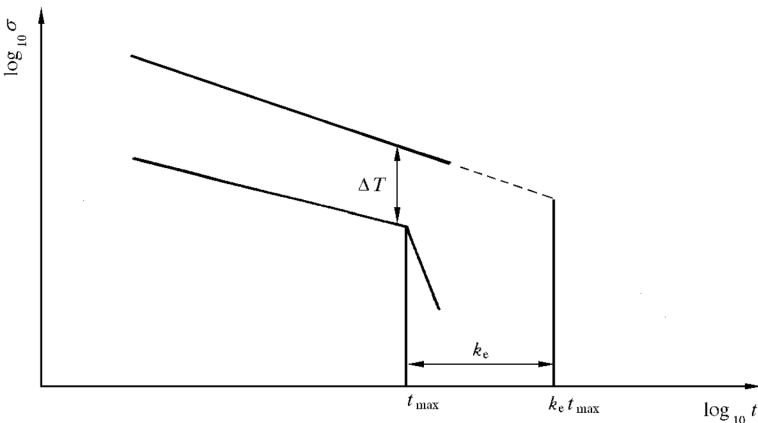


图 2 仅在最高试验温度有拐点时作外推的外推时间

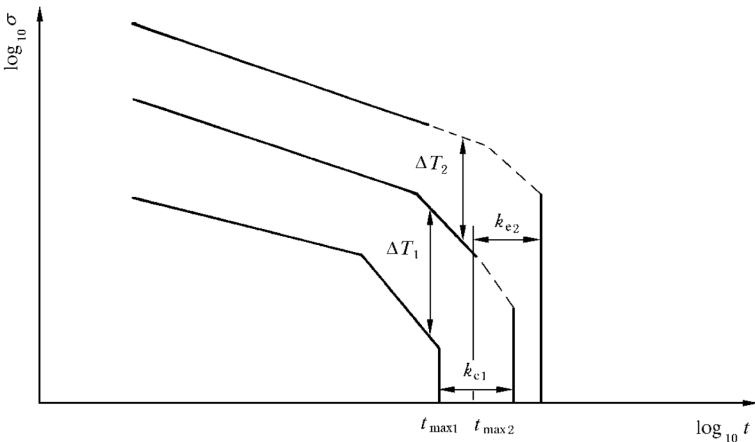


图 3 在不同试验温度有拐点时作外推的外推时间

5.2 聚烯烃(半晶态聚合物)的外推时间因子

在聚烯烃破坏数据的外推计算中,外推时间是基于其最高试验温度下的试验破坏时间和描述温度依赖关系的 Arrhenius 方程来确定的,其中表观活化能取 110 kJ/mol。该活化能是经稳定处理的聚烯烃发生降解破坏(对应于长期静液压曲线上第三分支)的表观活化能的保守估计值。所得外推时间因子  $k_e$  如表 1。

表 1 聚烯烃的  $\Delta T(=T_i - T)$  和  $k_e$  的关系

$\Delta T/^\circ\text{C}$	$k_e$
$10 \leq \Delta T < 15$	2.5
$15 \leq \Delta T < 20$	4
$20 \leq \Delta T < 25$	6
$25 \leq \Delta T < 30$	12
$30 \leq \Delta T < 35$	18
$35 \leq \Delta T < 40$	30
$40 \leq \Delta T < 50$	50
$50 \leq \Delta T$	100

5.3 玻璃态无定形氯乙烯基聚合物的外推时间因子

对氯乙烯基聚合物破坏数据进行外推计算时,外推时间是基于其最高试验温度下的试验破坏时间和描述温度依赖关系的 Arrhenius 方程来确定的。最高试验温度取维卡软化点以下 15  $^\circ\text{C}$ 。活化能取 178 kJ/mol。该活化能是氯乙烯基聚合物在第三分支(降解破坏)的活化能估计值。所得外推时间因子  $k_e$  见表 2。

表 2 以氯乙烯为基础的聚合物的  $\Delta T(=T_i - T)$  和  $k_e$  的关系

$\Delta T/^\circ\text{C}$	$k_e$
$5 \leq \Delta T < 10$	2.5
$10 \leq \Delta T < 15$	5
$15 \leq \Delta T < 20$	10
$20 \leq \Delta T < 25$	25
$25 \leq \Delta T < 30$	50
$30 \leq \Delta T$	100

对改性 PVC 材料,若其连续相为氯乙烯基聚合物,应使用表 2 的外推时间因子。

5.4 未包括在 5.2 和 5.3 中的其他聚合物的外推时间因子

对本标准未提及的聚合物,应采用表 1 的外推时间因子。若有试验证据表明,某一特定聚合物具有其他更合理的外推时间因子,允许使用这些外推时间因子代替表 1 给出的因子。

6 计算示例与软件的验证

按第 5 章步骤对半晶型聚合物进行拐点检验和回归曲线计算的示例参见附录 C。

按第 5 章步骤对氯乙烯基聚合物回归曲线进行计算的示例参见附录 D。



附录 C 中 C.1 和附录 D 中 D.1 给出的数据组可作为软件有效性的验证数据组。如果使用附录 E 推荐之外的其他软件,则用上述数据组进行验证计算应得出与附录 C 或附录 D 相同的结果,准确至小数点后第 3 位。

## 7 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 本标准编号;
- b) 材料与样品的完整信息,例如制造商、材料种类、牌号、批号、来源以及可能经历的重要历史;
- c) 试验用的管材规格;
- d) 试验用的管外测试环境和管内介质;
- e) 观察值表,对每个观察值包括:试验温度( $^{\circ}\text{C}$ ),试验压力(MPa)、环应力(MPa)、破坏时间(h)、对破坏类型的肉眼判断(韧性、脆性或未知)、数据类型(A 或 B)、试验日期以及其他相关内容;
- f) 因破坏时间小于 1 000 h 而舍弃的数据散点数目,相应温度,破坏时间和破坏类型;
- g) 适用时,数据点的重新分类结果以及重新分类说明;
- h) 用于估计  $\sigma_{\text{LTHS}}$  和  $\sigma_{\text{LPL}}$  的模型;
- i) 对每一分支分别列出参数  $c_i$  的估计值及其标准差  $s_i$ ;
- j) 观察到的破坏数据的散点图,  $\sigma_{\text{LTHS}}$  线性回归线图和  $\sigma_{\text{LPL}}$  曲线图;
- k) 用于计算的软件包的信息;
- l) 可能影响结果的各种因素,包括任何意外情况或本标准中未规定的操作细节。

## 附录 A (规范性附录) 分析方法

### A.1 一般模型

本标准使用的一般模型为公式(A.1)所示的 4 参数模型:

$$\log_{10} t = c_1 + c_2 \frac{1}{T} + c_3 \log_{10} \sigma + c_4 \frac{\log_{10} \sigma}{T} + e \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$t$  ——破坏时间,单位为小时(h);

$T$  ——温度,单位为开尔文(K)( $^{\circ}\text{C} + 273.15$ );

$\sigma$  ——环应力,单位为兆帕(MPa);

$c_1 \sim c_4$  ——模型中所用的参数;

$e$  ——误差变量,服从正态分布,平均值为 0,方差恒定。假设误差独立。

注:本附录公式中的温度  $T$  均转换为绝对温度(开尔文温度)。

如果  $c_3$  的概率水平大于 0.05,4 参数模型应简化为 3 参数模型。这时有  $c_3 = 0$ ,即为公式(A.2):

$$\log_{10} t = c_1 + c_2 \frac{1}{T} + c_4 \frac{\log_{10} \sigma}{T} + e \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

若所有数据都在同一温度下获得,则简化为公式(A.3)的 2 参数模型:

$$\log_{10} t = c_1 + c_3 \log_{10} \sigma + e \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

4 参数模型的计算过程如下所述。从模型中除去相应的项可以得到 3 参数模型或 2 参数模型的计算过程。由于求逆矩阵时可能发生矩阵病态问题,需要使用计算机双精度运算(14 位有效数字)。求逆矩阵的运算按经典的 Gauss-Jordan 法进行。

注:Gauss-Jordan 方法可参考文献[1]。

使用公式(A.4)~公式(A.4)所列的矩阵记号:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{T_1} & \log_{10} \sigma_1 & \frac{\log_{10} \sigma_1}{T_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \frac{1}{T_N} & \log_{10} \sigma_N & \frac{\log_{10} \sigma_N}{T_N} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} \log_{10} t_1 \\ \vdots \\ \log_{10} t_N \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_N \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$N$  ——观察值总数。

使用公式(A.7)表示参数向量:

$$\mathbf{c} = (c_1, c_2, c_3, c_4)^T \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

$T$  ——转置运算符。

模型(A.1)可简写为公式(A.8):

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{c} + \mathbf{e} \quad \dots\dots\dots (\text{A.8})$$

参数的最小二乘法估计值为公式(A.9):

$$\hat{\mathbf{c}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad \dots\dots\dots (\text{A.9})$$

残余方差估计值为公式(A.10):

$$s^2 = (\mathbf{y} - \mathbf{X}\hat{\mathbf{c}})^T (\mathbf{y} - \mathbf{X}\hat{\mathbf{c}}) / (N - q) \quad \dots\dots\dots (\text{A.10})$$

式中:

$q$ ——模型中参数的个数。

在给定温度  $T$ , 与破坏时间  $t$  相应的预测应力值为公式(A.11):

$$\log_{10} \sigma = \left( \log_{10} t - c_1 - \frac{c_2}{T} \right) / \left( c_3 + \frac{c_4}{T} \right) \quad \dots\dots\dots (\text{A.11})$$

为了计算在温度  $T$ , 与破坏时间  $t$  相应的  $\sigma_{\text{LPL}}$ , 由公式(A.12)作反方向运算:

$$\log_{10} t = c_1 + c_2 \frac{1}{T} + c_3 \log_{10} \sigma + c_4 \frac{\log_{10} \sigma}{T} - t_{\text{st}} s [1 + \mathbf{x}(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{x}^T]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots (\text{A.12})$$

式中  $t_{\text{st}}$  是自由度为  $N-4$  的学生氏  $t$  分布上与 0.975 概率水平相应的分位数。

记号  $\mathbf{x}$  表示向量  $\left( 1, \frac{1}{T}, \log_{10} \sigma, \frac{\log_{10} \sigma}{T} \right)$

结果是公式(A.13):

$$\log_{10} \sigma_{\text{LPL}} = \frac{-\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha} \quad \dots\dots\dots (\text{A.13})$$

式中:

$$\alpha = \left( c_3 + \frac{c_4}{T} \right)^2 - t_{\text{st}}^2 s^2 \left( K_{33} + \frac{2K_{43}}{T} + \frac{K_{44}}{T^2} \right) \quad \dots\dots\dots (\text{A.14})$$

$$\beta = 2 \left( c_1 + \frac{c_2}{T} - \log_{10} t \right) \left( c_3 + \frac{c_4}{T} \right) - 2t_{\text{st}}^2 s^2 \left[ K_{31} + (K_{41} + K_{32}) \times \frac{1}{T} + \frac{K_{42}}{T^2} \right] \quad \dots\dots (\text{A.15})$$

$$\gamma = \left( c_1 + \frac{c_2}{T} - \log_{10} t \right)^2 - t_{\text{st}}^2 s^2 \left( K_{11} + \frac{2K_{21}}{T} + \frac{K_{22}}{T^2} + 1 \right) \quad \dots\dots\dots (\text{A.16})$$

$K_{ij}$  是矩阵  $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$  中与模型(A.1)的参数  $c_i$  和  $c_j$  对应的元素。

$\sigma_{\text{LPL}}$  的值由公式(A.17)计算:

$$\sigma_{\text{LPL}} = 10^{\log_{10} \sigma_{\text{LPL}}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.17})$$

## A.2 简化的模型

对 3 参数模型( $c_3 = 0$ ), 删去原  $\mathbf{X}$  中的第三列得到一个新的矩阵, 此时  $K_{ij}$  是以新矩阵计算的  $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$  中与参数  $c_i$  和  $c_j$  对应的元素。可以得到公式(A.18):

$$\log_{10} \sigma = \left( \log_{10} t - c_1 - \frac{c_2}{T} \right) \times \frac{T}{c_4} \quad \dots\dots\dots (\text{A.18})$$

以及

$$\alpha = \left( \frac{c_4}{T} \right)^2 - t_{\text{st}}^2 s^2 \frac{K_{44}}{T^2} \quad \dots\dots\dots (\text{A.19})$$

$$\beta = 2 \left( c_1 + \frac{c_2}{T} - \log_{10} t \right) \times \frac{c_4}{T} - 2t_{\text{st}}^2 s^2 \left[ \frac{K_{41}}{T} + \frac{K_{42}}{T^2} \right] \quad \dots\dots\dots (\text{A.20})$$

$$\gamma = \left( c_1 + \frac{c_2}{T} - \log_{10} t \right)^2 - t_{\text{st}}^2 s^2 \left( K_{11} + \frac{2K_{21}}{T} + \frac{K_{22}}{T^2} + 1 \right) \quad \dots\dots\dots (\text{A.21})$$

此时  $t_{st}$  的自由度为  $N-3$ 。

对于 2 参数模型 ( $c_2=0, c_4=0$ )，删去原  $\mathbf{X}$  中的第二列和最后一列，得到一个新的矩阵，此时  $K_{ij}$  是以新矩阵计算的  $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$  中与参数  $c_i$  和  $c_j$  对应的元素。可以得到公式(A.22)：

$$\log_{10} \sigma = (\log_{10} t - c_1) / c_3 \quad \dots\dots\dots (A.22)$$

以及

$$\alpha = c_3^2 - t_{st}^2 s^2 K_{33} \quad \dots\dots\dots (A.23)$$

$$\beta = 2(c_1 - \log_{10} t) c_3 - 2 t_{st}^2 s^2 K_{31} \quad \dots\dots\dots (A.24)$$

$$\gamma = (c_1 - \log_{10} t)^2 - t_{st}^2 s^2 (K_{11} + 1) \quad \dots\dots\dots (A.25)$$

此时  $t_{st}$  的自由度为  $N-2$ 。

### A.3 拐点存在时计算 $\sigma_{LTHS}$ 和 $\sigma_{LPL}$

如附录 B 所述，假设两种破坏机理都存在，每种破坏机理发生在各自的温度范围和破坏时间范围。应对这两组与不同破坏模式相应的数据分别进行拟合。为此，应将可用的试验数据分为两组，每组数据与一种破坏模式对应。

对每组数据，如果数据的数量足够，且其在温度范围内的分布是合适的（见 4.2 和 5.1.2），就能够用上述的一般步骤分别计算出  $\sigma_{LTHS}$  和  $\sigma_{LPL}$ 。

按附录 B 所述，对每一个温度分别进行拐点的自动检验。按拐点的自动检验结果将数据分成两组。按本附录所述一般步骤对这两组数据分别进行拟合。

### A.4 拟合检验

为检验模型对数据的拟合效果，使用公式(A.26)表示的统计量：

$$F = \frac{(SS_H - SS_e) / (\nu_H - \nu_e)}{SS_e / \nu_e} \quad \dots\dots\dots (A.26)$$

式中：

$F$  ——Fisher 统计量；

$SS_e$  ——每一观察值与其平均值的差的平方和。该平均值是在同一试验条件下重复试验所得各观察值的平均值。其计算与使用何种模型无关；

$SS_H$  ——每一观察值与其预测值的差的平方和。该预测值是在相应观察值的试验条件下用拟合模型得出的预测值；

$\nu_e$  —— $SS_e$  的自由度，等于观察值的数目减去不同的试验条件的数目；

$\nu_H$  —— $SS_H$  的自由度，等于观察值的数目减去所用模型中参数的数目。

如果用该模型对数据的拟合是正确的，则上述统计量服从分子自由度为  $\nu_H - \nu_e$ ，分母自由度为  $\nu_e$  的  $F$ -分布。

由  $F$ -分布的数据表或计算机程序，可得到数值超过按上式计算所得  $F$  值的区间的概率。将该概率与显著性水平 0.05 比较，如果概率大于该水平，则接受“模型是正确的”这一假设。否则，否定“模型是正确的”这一假设。

注 1：本检验只能被视为模型对观察值拟合效果的一种指示。

注 2：采用 2 参数模型对表 C.1 中 20 ℃ 观察数据进行回归分析，拟合度检验如下：

$F(13;15)$  的值为 0.478。具有上述自由度的  $F$ -分布超过 0.478 的概率(Pr)为：

$$\Pr[F(13;15) > 0.478] = 0.906$$

当显著性极限定为 0.05 时，上述概率超过此限值，表明模型可以接受。

## 附录 B

### (规范性附录)

### 拐点的自动检验

#### B.1 原理

本附录用计算的方法分别检验每个温度下是否存在拐点。

本方法假设,对于给定的温度和数据类型,在管材试样的  $\log_{10} \sigma$  和  $\log_{10} t$  之间存在线性关系。 $\sigma$  是管材试样受到的静液压应力, $t$  是管材试样的破坏时间。还假设破坏时间的测定误差服从随机误差分布。

本方法建立的基本理念是:静液压应力决定数据类型。应力值在拐点以下的数据点为 B 型,在拐点以上的数据为 A 型。

#### B.2 步骤

表达上述假设,考虑两种破坏类型的模型如公式(B.1):

$$\log_{10} t = \begin{cases} c_1 + c_{31} (\log_{10} \sigma - \log_{10} \sigma_k) + e_i & \text{A 型} (\sigma > \sigma_k) \\ c_1 + c_{32} (\log_{10} \sigma - \log_{10} \sigma_k) + e_i & \text{B 型} (\sigma < \sigma_k) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中  $\sigma_k$  是与拐点相应的应力, $c_1$  是拐点对应破坏时间的对数, $c_{31}$  和  $c_{32}$  是两个分支的斜率, $e_i$  是误差变量。

注:假设误差独立,呈正态分布,方差恒定。

应用上述模型对测量值进行拟合从而检验拐点的实际步骤是:在应力值的试验范围内扫描  $\sigma_k$ ,按每次假定的  $\sigma_k$  值进行拟合,对每次拟合结果计算残差平方和。残差平方和最小时,对应的  $\sigma_k$  即为拐点应力值。统计软件对此线性拟合给出的自由度为  $N-3$ ,但由于拐点的  $\sigma_k$  已经得到(通过“扫描”方式预估),所以实际自由度为  $N-4$ 。正确的  $s_k^2$  值等于残差平方和除以  $N-4$ 。

通过比较有拐点模型的残余方差  $s_k^2$  和无拐点模型的残余方差  $s^2$  进行  $F$ -检验。按公式(B.2)计算 Fisher 统计量  $F$ :

$$F_{2,N-4} = [(N-2)s^2 - (N-4)s_k^2] / 2s_k^2 \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

当无拐点假设成立时,上述统计量服从分子自由度为 2,分母自由度为  $N-4$  的  $F$ -分布, $N$  是试验数据个数。

如果在  $F$ -分布上超过  $F$  计算值的区间概率大于 0.05,则在概率水平 5% 接受无拐点假设。否则排除无拐点假设,承认拐点存在。

附 录 C  
(资料性附录)

用 SEM 分析半晶聚合物应力破坏数据的示例

C.1 观察值表

某半晶(部分结晶)聚合物在 20 ℃、40 ℃和 60 ℃的应力破坏数据见表 C.1、表 C.2 和表 C.3。

表 C.1 20 ℃时的应力破坏数据

温度/℃	应力/MPa	时间/h	温度/℃	应力/MPa	时间/h
20	15.0	10	20	13.6	680
20	15.0	14	20	13.5	411
20	14.5	32	20	13.5	412
20	14.5	24	20	13.5	3 368
20	14.3	46	20	13.5	865
20	14.1	111	20	13.5	946
20	14.0	201	20	13.4	1 220
20	14.0	260	20	13.3	1 112
20	14.0	201	20	13.3	2 108
20	13.9	250	20	13.2	4 524
20	13.7	392	20	13.0	5 137
20	13.7	440	20	13.0	7 651
20	13.7	512	20	12.8	7 760
20	13.7	464	20	12.8	8 240
20	13.7	536	20	12.7	10 837

表 C.2 40 ℃时的应力破坏数据

温度/℃	应力/MPa	时间/h	温度/℃	应力/MPa	时间/h
40	11.1	10	40	11.0	1 912
40	11.2	11	40	11.0	1 856
40	11.5	20	40	11.0	1 688
40	11.5	32	40	11.0	1 114
40	11.5	35	40	10.8	54
40	11.5	83	40	10.5	5 686
40	11.2	240	40	10.5	921
40	11.2	282	40	10.5	1 145

表 C.2 (续)

温度/℃	应力/MPa	时间/h	温度/℃	应力/MPa	时间/h
40	10.5	2 445	40	8.5	7 357
40	10.0	5 448	40	8.5	5 448
40	10.0	3 488	40	8.0	7 233
40	10.0	1 488	40	8.0	5 959
40	10.0	2 076	40	8.0	12 081
40	10.0	1 698	40	7.5	16 920
40	9.5	1 238	40	7.5	12 888
40	9.5	1 790	40	7.5	10 578
40	9.5	2 165	40	6.5	12 919
40	9.5	7 823	40	6.0	11 606
40	9.0	4 128	—	—	—
40	9.0	4 448	—	—	—

表 C.3 60 ℃时的应力破坏数据

温度/℃	应力/MPa	时间/h	温度/℃	应力/MPa	时间/h
60	9.6	10	60	8.5	513
60	9.5	13	60	8.5	585
60	9.5	32	60	8.5	719
60	9.5	34	60	7.5	423
60	9.5	114	60	7.5	590
60	9.5	195	60	7.5	439
60	9.2	151	60	7.5	519
60	9.0	242	60	7.5	351
60	9.0	476	60	7.0	734
60	9.0	205	60	7.0	901
60	9.0	153	60	7.0	1 071
60	9.0	288	60	7.0	1 513
60	8.9	191	60	6.5	1 042
60	8.5	331	60	6.5	538
60	8.5	296	60	6.0	4 090
60	8.5	249	60	6.0	839
60	8.5	321	60	6.0	800
60	8.5	344	60	5.5	339
60	8.5	423	60	5.5	2 146
60	8.5	686	60	5.5	2 048

表 C.3 (续)

温度/℃	应力/MPa	时间/h	温度/℃	应力/MPa	时间/h
60	5.5	2 856	60	4.0	6 345
60	5.0	1 997	60	3.5	15 911
60	5.0	1 647	60	3.4	7 841
60	5.0	1 527	60	3.4	8 232
60	5.0	2 305	60	2.9	15 090
60	5.0	2 866	60	7.5	351

C.2 自动检验拐点的示例

以下示例对表 C.2 中 40 ℃ 的观察值进行拐点检验。

首先假设拐点不存在,用一条直线拟合全部数据散点。所得残余方差为 0.409 15,自由度为 36。

然后假设存在拐点,用扫描  $\sigma_k$  的方法确定拐点位置。扫描方法是:在试验应力的对数值( $\log_{10}\sigma$ )范围内,规则地分隔出 50 个“对数应力”,依次将它们作为假设的拐点应力( $\log_{10}\sigma_k$ ),按(B.1)分别进行两个分支的回归拟合。计算各次拟合的残余方差之和,其最小值对应的应力为 10.57 MPa(应力对数  $\log_{10}\sigma=1.024$ ),对应破坏时间为 1 985 h( $\log_{10}t=3.298$ )。此时残余方差之和为 7.941 90,则残余方差  $s_k^2=7.941\ 90/34=0.233\ 6$ ,自由度为 34。

用于检验拐点是否存在的 Fisher 统计量  $F$  等于 14.528。在分子自由度为 2、分母自由度为 34 的 Fisher 统计分布上,与大于 14.528 的区间相应的概率为 0.000 027 5。由于  $0.000\ 027\ 5<0.05$ ,故可认为存在拐点。

数据分类的结果见表 C.4。

表 C.4 数据分类结果

温度/℃	应力/MPa	时间/h	破坏类型	温度/℃	应力/MPa	时间/h	破坏类型
40	11.1	10	A	40	10.5	2 445	B
40	11.2	11	A	40	10.0	5 448	B
40	11.5	20	A	40	10.0	3 488	B
40	11.5	32	A	40	10.0	2 076	B
40	11.5	35	A	40	9.5	1 790	B
40	10.8	54	A	40	9.5	2 165	B
40	11.5	83	A	40	9.5	7 823	B
40	11.2	240	A	40	9.0	4 128	B
40	11.2	282	A	40	9.0	4 448	B
40	11.0	1 688	A	40	8.5	7 357	B
40	11.0	1 114	A	40	8.5	5 448	B
40	11.0	1 912	A	40	8.0	7 233	B
40	11.0	1 856	A	40	8.0	5 959	B
40	10.5	921	B	40	8.0	12 081	B
40	10.0	1 488	B	40	7.5	16 920	B
40	10.0	1 698	B	40	7.5	12 888	B
40	9.5	1 238	B	40	7.5	10 578	B
40	10.5	1 145	B	40	6.5	12 912	B
40	10.5	5 686	B	40	6.0	11 606	B

注：该示例说明了拐点自动检验的具体算法。上述内容在计算机程序中可以有不同的表达方式。



C.3 应力破坏数据的回归计算示例

C.3.1 参数估计(见图 C.1)

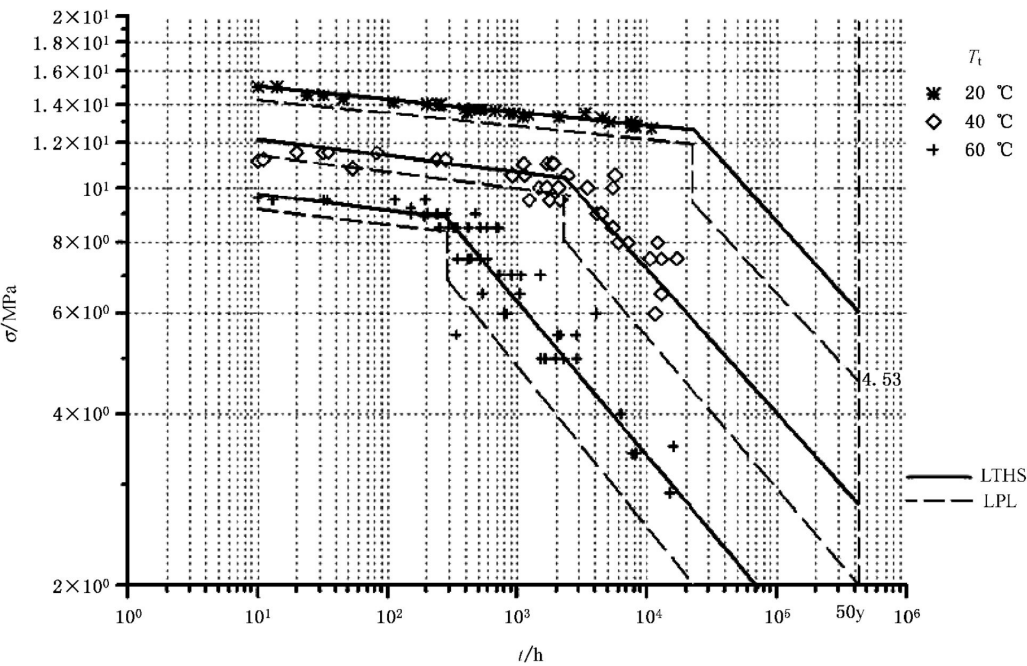
C.3.1.1 所用模型

由于采用四参数模型时  $c_3$  的概率水平超过 0.05,模型简化为三参数模型,如公式(C.1):

$$\log_{10} t = c_1 + c_2 \frac{1}{T} + c_4 \frac{\log_{10} \sigma}{T} + e \dots\dots\dots (C.1)$$

C.3.1.2 数据类型 A

残余方差:0.205 909  
试验散点个数:49  
参数个数:3  
自由度:46



说明:  
 $t$  ——破坏时间,单位为小时(h);  
 $\sigma$  ——应力,单位为兆帕(MPa);  
 $T_i$  ——试验温度,单位为摄氏度(℃)。

图 C.1 本附录中某半晶聚合物的 SEM 分析结果图

A 型数据的参数估计及相关统计量详见表 C.5(有关统计量的更多论述参见文献[2])。

表 C.5 数据类型 A 的参数估计

参数	估计值	标准差	$t$ 值	$\text{Pr}(> t )$
$c_1$	-57.751	5.297	-10.902	0.000
$c_2$	32 021.416	2 950.432	10.853	0.000
$c_4$	-12 596.346	1 255.311	-10.034	0.000

模型适度检验： $\text{Pr}[F(19;27)>3.020]=0.004$ 。

C.3.1.3 数据类型 B

残余方差:0.048 195

试验散点个数:70

参数个数:3

自由度:67

数据类型 B 的参数估计与相关统计量结果详见表 C.6。

表 C.6 数据类型 B 的参数估计

参数	估计值	标准差	$t$ 值	$\text{Pr}(> t )$
$c_1$	-15.794	1.008	-15.673	0.000
$c_2$	7 239.786	365.424	19.812	0.000
$c_4$	-1 219.841	76.695	-15.905	0.000

模型适度检验： $\text{Pr}[F(20;47)>0.741]=0.764$ 。

C.3.2 预测

C.3.2.1 概述

表 C.7、表 C.8、表 C.9 和表 C.10 给出了  $\sigma_{\text{LTHS}}$ 、 $\sigma_{\text{LPL}}$  的计算结果。

表 C.11 和表 C.12 给出了外推时间。

C.3.2.2 数据类型 A

表 C.7 数据类型 A 的  $\sigma_{\text{LTHS}}$ 、 $\sigma_{\text{LPL}}$  计算结果

温度/℃	时间/h					
	1	10	100	1 000	10 000	100 000
	$\sigma_{\text{LTHS}}/\text{MPa}$					
20	15.780	14.956	14.176	13.436	12.735	B
40	12.776	12.065	11.394	10.760	B	B
60	10.344	9.733	9.158	B	B	B
温度/℃	$\sigma_{\text{LPL}}/\text{MPa}$					
	20	14.964	14.221	13.488	12.762	12.046
	40	12.095	11.441	10.796	10.161	B
	60	9.752	9.178	8.616	B	B

表 C.8 数据类型 A 的  $\sigma_{LTHS}$ 、 $\sigma_{LPL}$  计算结果

温度/℃	时间/年				
	0.5	1	10	100	
	$\sigma_{\text{LTHS}}/\text{MPa}$				
20	12.982	12.744	B	B	
40	B	B	B	B	
60	B	B	B	B	
温度/℃	$\sigma_{\text{LPL}}/\text{MPa}$				
	20	12.302	12.087	B	B
	40	B	B	B	B
60	B	B	B	B	

## C.3.2.3 数据类型 B

表 C.9 数据类型 B 的  $\sigma_{LTHS}$ 、 $\sigma_{LPL}$  计算结果

温度/℃	时间/h					
	1	10	100	1 000	10 000	100 000
	$\sigma_{LTHS}/\text{MPa}$					
20	A	A	A	A	A	8.668
40	A	A	A	A	7.140	3.954
60	A	A	A	6.343	3.382	1.803
温度/℃	$\sigma_{LPL}/\text{MPa}$					
	20	A	A	A	A	6.559
	40	A	A	A	5.444	2.934
60	A	A	A	4.787	2.495	1.275

表 C.10 数据类型 B 的  $\sigma_{LTHS}$ 、 $\sigma_{LPL}$  计算结果

温度/℃	时间/年				
	0.5	1	10	100	
	$\sigma_{\text{LTHS}}/\text{MPa}$				
20	A	A	8.948	6.078	
40	8.825	7.387	4.090	2.706	
60	4.237	3.506	1.870	1.205	
温度/℃	$\sigma_{\text{LPL}}/\text{MPa}$				
	20	A	A	6.789	4.533
	40	6.762	5.638	3.041	1.955
60	3.160	2.592	1.326	0.822	

C.3.2.4 外推时间

表 C.11  $T_1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\max} = 13\ 160.5\text{ h}$  时的外推极限

$T/^{\circ}\text{C}$	$\Delta T/^{\circ}\text{C}$	$k_e$	$t_e/\text{h}$	$t_e/\text{年}$
20	20	6	78 963	9.01

表 C.12  $T_1 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\max} = 9\ 966.4\text{ h}$  时的外推极限

$T/^{\circ}\text{C}$	$\Delta T/^{\circ}\text{C}$	$k_e$	$t_e/\text{h}$	$t_e/\text{年}$
20	40	50	498 321	56.89
40	20	6	59 799	6.83

C.3.3 拐点位置

表 C.13 给出了拐点位置。

表 C.13 拐点位置

温度/ $^{\circ}\text{C}$	应力/ $\text{MPa}$	时间/h
20	12.51	21 745
40	10.55	2 183
60	8.90	289

**附 录 D**  
(资料性附录)

**用 SEM 分析氯乙烯基聚合物应力破坏数据的示例**

**D.1 观察值表**

一种氯乙烯基聚合物在 20 ℃、65 ℃、82 ℃和 95 ℃的应力破坏数据见表 D.1、表 D.2、表 D.3 和表 D.4。

**表 D.1 20 ℃时的应力破坏数据**

温度/℃	应力/MPa	时间/h	温度/℃	应力/MPa	时间/h
20	42.08	191	20	35.54	2 059
20	42.08	250	20	35.54	3 949
20	40.96	124	20	35.32	21 025
20	40.96	484	20	35.32	3 306
20	39.62	123	20	35.08	10 512
20	39.62	1 409	20	35.08	25 919
20	38.52	2 486	20	34.86	16 864
20	38.52	2 761	20	34.86	6 383
20	37.48	938	20	34.55	15 078
20	37.48	4 402	20	34.55	24 671
20	37.00	5 294	20	33.99	27 177
20	37.00	953	20	33.99	30 229
20	36.33	907	20	33.49	8 947
20	36.33	8 035	20	33.49	36 166
20	35.80	7 710	—	—	—
20	35.80	12 042	—	—	—

**表 D.2 65 ℃时的应力破坏数据**

温度/℃	应力/MPa	时间/h	温度/℃	应力/MPa	时间/h
65	20.48	370	65	19.14	745
65	20.48	429	65	19.14	865
65	19.93	457	65	18.93	1 010
65	19.93	677	65	18.93	1 542
65	19.58	577	65	18.66	1 854
65	19.58	503	65	18.36	2 850

表 D.2 (续)

温度/℃	应力/MPa	时间/h	温度/℃	应力/MPa	时间/h
65	17.84	3 876	65	16.00	6 373
65	17.10	2 377	65	16.00	7 862
65	17.10	3 383	65	15.78	9 592
65	16.68	4 417	65	15.78	8 533
65	16.68	3 893	65	15.61	9 095
65	16.48	6 543	65	15.61	10 429

表 D.3 82 ℃ 时的应力破坏数据

温度/℃	应力/MPa	时间/h	温度/℃	应力/MPa	时间/h
82	14.85	41	82	9.96	3 955
82	14.85	72	82	9.96	7 752
82	14.16	141	82	9.90	5 474
82	14.16	78	82	9.90	8 325
82	13.54	70	82	9.82	3 784
82	13.54	313	82	9.82	5 638
82	13.04	337	82	9.69	7 434
82	13.04	576	82	9.69	12 778
82	12.43	342	82	9.59	5 557
82	12.43	995	82	9.59	11 945
82	11.72	529	82	9.52	8 622
82	11.72	1 730	82	9.52	8 701
82	10.99	1 313	82	9.42	14 782
82	10.99	2 561	82	9.42	11 789
82	10.72	988	82	9.36	12 258
82	10.72	4 308	82	9.36	13 422
82	10.52	1 077	82	8.94	12 363
82	10.52	2 373	82	8.94	14 230
82	10.37	3 325	82	8.67	17 614
82	10.37	7 750	82	8.58	16 867
82	10.22	5 650	82	8.58	18 442
82	10.22	7 205	—	—	—
82	10.04	5 436	—	—	—
82	10.04	6 154	—	—	—

表 D.4 95 ℃ 时的应力破坏数据

温度/℃	应力/MPa	时间/h	温度/℃	应力/MPa	时间/h
95	9.57	42	95	5.47	2 681
95	9.57	32	95	5.47	2 572
95	8.53	66	95	5.28	3 495
95	8.53	276	95	5.28	8 741
95	7.48	424	95	5.15	9 567
95	7.48	522	95	5.15	6 384
95	6.80	756	95	5.03	8 091
95	6.80	645	95	5.03	10 073
95	6.29	674	95	4.70	9 306
95	6.29	734	95	4.70	9 935
95	5.96	1 179	95	4.60	12 334
95	5.96	1 713	95	4.60	10 802
95	5.73	1 701	—	—	—
95	5.73	2 596	—	—	—
95	5.59	2 708	—	—	—
95	5.59	3 129	—	—	—

D.2 应力破坏数据的回归计算示例

D.2.1 参数估计(见图 D.1)

D.2.1.1 所用模型

由于采用 4 参数模型时  $c_3$  的概率水平低于 0.05,使用 4 参数模型,如公式(D.1):

$$\log_{10} t = c_1 + c_2 \frac{1}{T} + c_3 \log_{10} \sigma + c_4 \frac{\log_{10} \sigma}{T} + e \dots\dots\dots (D.1)$$

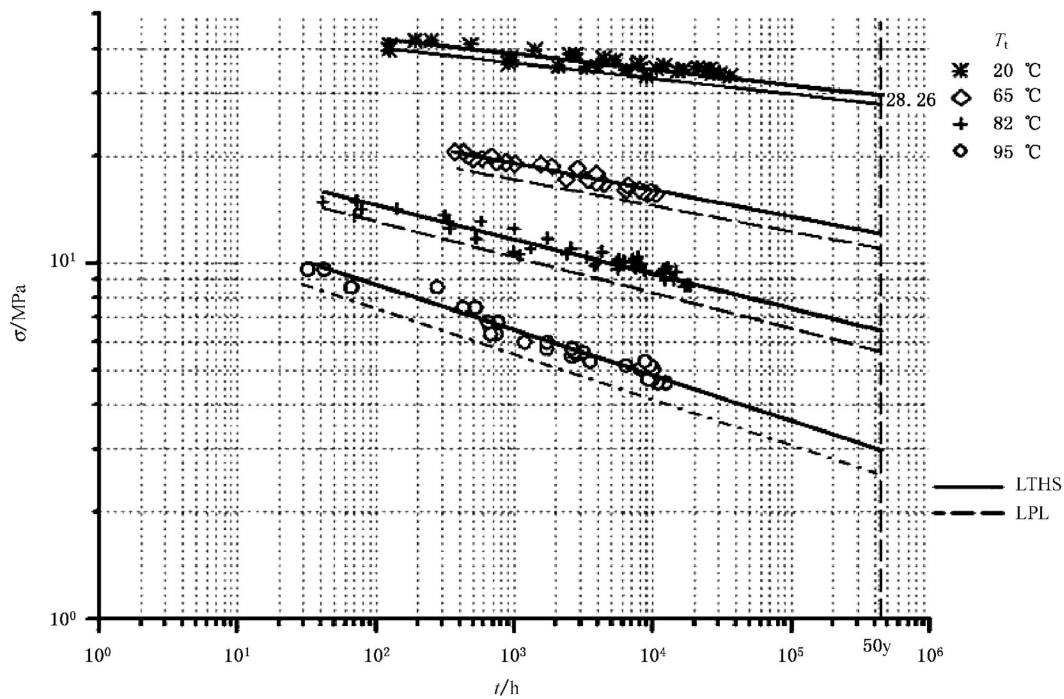
D.2.1.2 数据类型 A

残余方差:0.055 529  
试验散点个数:127  
参数个数:4  
自由度:123  
A 型破坏的参数估计及统计量结果详见表 D.5。  
注:有关统计量的更多论述可参考文献[2]。

表 D.5 数据类型 A 的参数估计

参数	估计值	标准差	$t$ 值	$\text{Pr}(> t )$
$c_1$	-107.824	4.023	-26.801	0.000
$c_2$	43 174.002	1 528.801	28.240	0.000
$c_3$	50.680	2.122	23.881	0.000
$c_4$	-21 585.753	837.454	-25.775	0.000

模型适度检验： $\text{Pr}[F(62;61)>0.724]=0.897$ 。



说明：

$t$  ——破坏时间,单位为小时(h)；

$\sigma$  ——应力,单位为兆帕(MPa)；

$T_t$ ——试验温度,单位为摄氏度(℃)。

图 D.1 本附录中氯乙烯基聚合物 SEM 分析结果的图形表示

D.2.2 预测

D.2.2.1 概述

表 D.6,表 D.7 给出了强度的预测值。

表 D.8,表 D.9 给出了外推时间。



## D.2.2.2 数据类型 A

表 D.6 数据类型 A 的  $\sigma_{LTHS}$ 、 $\sigma_{LPL}$  计算结果

温度/℃	时间/h					
	1	10	100	1 000	10 000	100 000
	$\sigma_{LTHS}/\text{MPa}$					
20	52.333	47.338	42.820	38.733	35.036	31.692
65	32.300	27.113	22.759	19.105	16.037	13.462
82	22.944	18.266	14.542	11.577	9.217	7.338
95	15.420	11.544	8.642	6.469	4.843	3.626
温度/℃	$\sigma_{LPL}/\text{MPa}$					
	1	10	100	1 000	10 000	100 000
	$\sigma_{LPL}/\text{MPa}$					
20	49.681	45.042	40.805	36.933	33.398	30.173
65	29.570	24.902	20.944	17.590	14.751	12.352
82	20.456	16.356	13.056	10.402	8.272	6.565
95	13.334	10.034	7.532	5.639	4.211	3.136

表 D.7 数据类型 A 的  $\sigma_{LTHS}$ 、 $\sigma_{LPL}$  计算结果

温度/℃	时间/年			
	0.5	1	10	100
	$\sigma_{LTHS}/\text{MPa}$			
20	36.319	35.238	31.875	29.716
65	17.076	16.199	13.598	12.032
82	10.002	9.338	7.435	6.339
95	5.373	4.924	3.686	3.011
温度/℃	$\sigma_{LPL}/\text{MPa}$			
	0.5	1	10	100
	$\sigma_{LPL}/\text{MPa}$			
20	34.629	33.593	30.350	28.257
65	15.715	14.902	12.479	11.015
82	8.982	8.382	6.653	5.655
95	4.677	4.283	3.190	2.593

## D.2.2.3 外推时间

表 D.8  $T_t = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\max} = 9\ 059.8\text{ h}$  时的外推时间

$T/^{\circ}\text{C}$	$\Delta T/^{\circ}\text{C}$	$k_e$	$t_e/\text{h}$	$t_e/\text{年}$
20	45	100	876 000	100.00

表 D.9  $T_t=95\text{ }^{\circ}\text{C}$  ,  $t_{\max}=10\,498.9\text{ h}$  时的外推时间

$T/^{\circ}\text{C}$	$\Delta T/^{\circ}\text{C}$	$k_e$	$t_e/\text{h}$	$t_e/\text{年}$
20	75	100	876 000	100.00
65	30	100	876 000	100.00
82	13	5	52 495	5.99

D.2.3 拐点位置

未发现拐点。

附 录 E  
(资料性附录)

按照 ISO 9080 方法分析应力破坏数据的软件

Becetel®(BECETEL vzw, Gontrode Heirweg 130, B-9090 Melle, Belgium, e-mail: info@becetel.be) 和 Pipeson®(PIPESON AB, Herkulesgatan 12, SE-111 52 Stockholm, Sweden, e-mail: info@pipeson.se) 分别开发了针对应力破坏数据进行标准外推的计算软件(SEM 软件包)。上述软件经 ISO/TC 138/SC 5/WG 10 测试认证,符合本标准的要求。

提供上述信息是为了向本标准使用者提供便利,但 ISO 并不对上述软件提供担保或背书。只要满足第 6 章的要求,计算得到相同的结果和精度,可以使用其他的软件。

参 考 文 献

- [1] RALSTON, A., and WILF, H.S., Mathematical Methods for Digital Computers, Volume 1, John Wiley & Sons, 1967
- [2] HENRY SCHEFFE, The Analysis of Variance, John Wiley & Sons, New York, 1959
- 



GB/T 18252-2020

版权专有 侵权必究

\*

书号:155066 • 1-65907