

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

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

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℃时t。计算值47245 h、5.39 a更正为52495 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。

GB/T 18252—2020/ISO 9080:2012

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。

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(σ)与管材破坏时间(t)的关系。一般说来, T 升高或升高, 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年使用时间下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℃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℃, 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 $\log_{10}t$ 与 $\log_{10}\sigma$ 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 、 σ 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(tgt) 分布及预测概率(ϵ)；
- 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 ϵ 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、 σ 、t、 ϵ 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 ϵ 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 σ_{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 σ_{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 σ_{LThs} 和 σ_{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℃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，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

°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 σ ：

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

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 ,

测定应力破坏数据时所采用的温度，单位为摄氏度(°C)。

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(°C)。

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(°C)。

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

OLTHS

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

OLPL

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: σ_{LPL} 由公式(2)给出:

$$\sigma_{LPL} = a(T, 1.0.975) \dots\dots\dots (2)$$

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 7000 h, 至少 1 个观察值的破坏时间超过 9000 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 $\leq 40^\circ\text{C}$ 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 1000h 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 1000h 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9000 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 ，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_{gso} 减去15℃。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℃；
- 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 σ_{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 $\log_1\sigma/\log_1\sigma_t$ 坐标系内绘出所得观察值的散点图，做出 σ_{LTHs} 线性回归线和 σ_{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 。与温度有关。外推时间因子 k_e 是 ΔT 的函数。 ΔT 如公式(3)所示：

$$\Delta T = T_+ - T \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中：

T_+ ——准备对其最长试验时间乘以外推因子 k_e 的试验温度， $T_+ \leq T_{t,max}(\text{℃})$ ；

$T_{t,max}$ ——最高试验温度，单位为摄氏度(℃)；

T ——计算得出外推时间的温度， $T_s \leq T(\text{℃})$ ；

T_s ——使用温度，单位为摄氏度(℃)。

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°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。

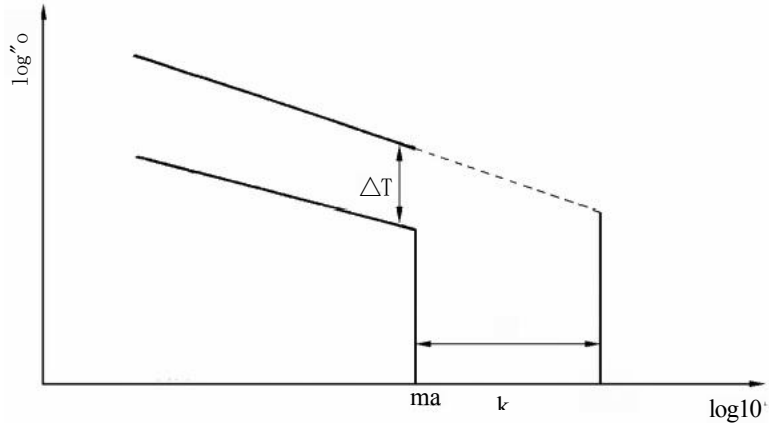


图 1 最高试验温度无拐点时作外推的外推时间

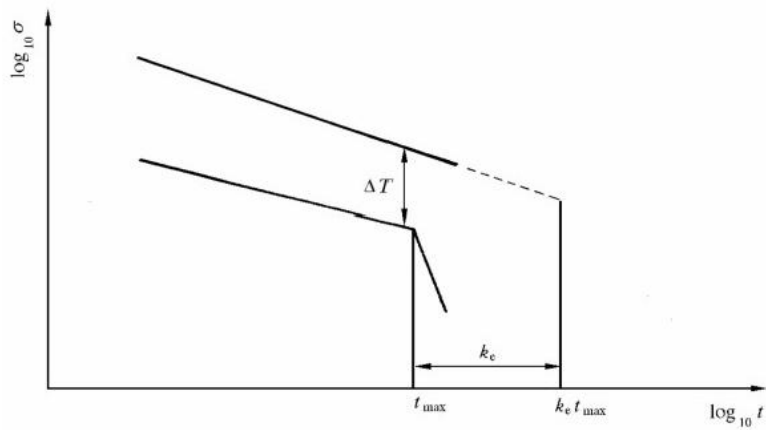


图 2 仅在最高试验温度有拐点时作外推的外推时间

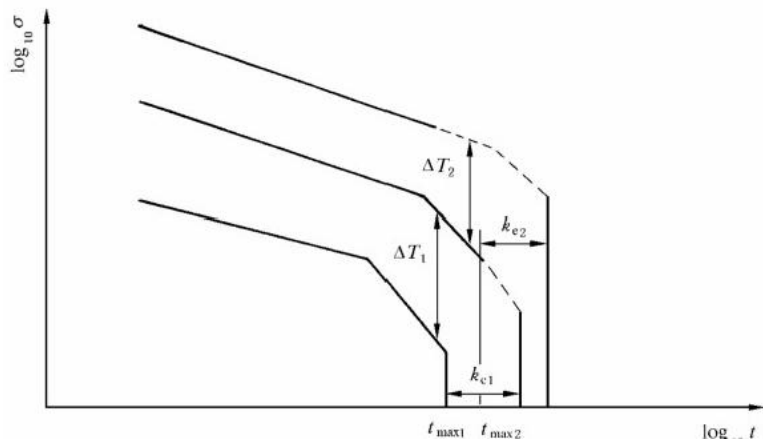


图 3 在不同试验温度有拐点时作外推的外推时间

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，如表1。

表 1 聚烯烃的 $\Delta T(=T_1-T)$ 和 k_0 的关系

$\Delta T/^\circ\text{C}$	k_0
$10 \leq \Delta T < 15$	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℃。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 $\Delta T(=T_1-T)$ 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(°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1000 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 $oLTHs$ 和 $OLpL$ 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, $OLTHs$ 线性回归线图和 oLp 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)(°C+273.15);

σ ——环应力, 单位为兆帕(MPa);

c₁~c₄——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c₃ 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c₃=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:

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

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} \log_{10} t_1 \\ \vdots \\ \log_{10} t_N \end{bmatrix}$$

(A.5)

(A.4)

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

式中:

N——观察值总数。

使用公式(A.7) 表示参数向量:

$$c=(c_1,C2,C_3,c_4)T \dots\dots\dots(A.7)$$

式中:

T——转置运算符。

模型(A.1) 可简写为公式(A.8):

$$y=Xc+e \quad \dots\dots\dots(A.8)$$

参数的最小二乘法估计值为公式(A.9):

$$c=(XTX)^{-1}xTy \quad \dots\dots\dots(A.9)$$

残余方差估计值为公式(A.10):

$$s^2=(y-Xc)T(y-Xc)/(N-q) \quad \dots\dots\dots(A.10)$$

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):

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

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

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

式中 t_{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):

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

式中:

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

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

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

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

OLpL的值由公式(A.17) 计算:

$$OLpL=100g100LP. \quad \dots\dots\dots(A.17)$$

A.2 简化的模型

对3参数模型(c₃=0), 删去原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 $(XTx)^{-1}$ 中与参数c_i;和 c_j;对应的元素。可以得到公式(A.18):

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

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要
下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/478014122112006113>