



中华人民共和国国家标准

GB/T 27800—2021

代替 GB/T 27800—2011

静密封橡胶制品使用寿命的 快速预测方法

Determination of the life for static sealing rubber products

2021-05-21 发布

2021-12-01 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。

本文件代替 GB/T 27800—2011《静密封橡胶制品使用寿命的快速预测方法》，与 GB/T 27800—2011 相比，除结构调整和编辑性修改外，主要技术变化如下：

- a) 增加规范性引用文件 GB/T 1683、GB/T 1690、GB/T 5720(见第2章)；
- b) 规范性引用文件 GB/T 7759 变更为 GB/T 7759.1(见第2章,2011年版的第2章)；
- c) 增加了“术语和定义”一章(见第3章)；
- d) 试样中增加了 GB/T 1683 中的压缩永久变形试样(见5.1)，O形圈试样改为引用 GB/T 5720 中的试样(见5.1、5.2,2011年版的4.2)；
- e) 每个试验温度的第一次性能测试，压缩永久变形的变化从“不应高于20%”改为“不应高于10%”，压缩应力松弛的变化从“不应低于初始值的80%”改为“不应低于初始值的90%”(见7.3.2,2011年版的6.1.2.3)；
- f) 增加了回归方程的显著性检验(见9.3)；
- g) 增加了性能的预测(见9.4)；
- h) 增加了考虑置信水平下性能的上限计算(见9.5)。

本文件由中国石油和化学工业协会提出。

本文件由全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会(SAC/TC 35)归口。

本文件起草单位：西北橡胶塑料研究设计院有限公司、新兴铸管股份有限公司、西安向阳航天材料股份有限公司、成都盛帮密封件股份有限公司、青岛海力威新材料科技股份有限公司、广东天诚密封件股份有限公司、南京利德东方橡塑科技有限公司、马鞍山宏力橡胶制品有限公司、上海如实密封科技有限公司、南京东润特种橡塑有限公司、卡勒克密封技术(上海)有限公司、际华三五一七橡胶制品有限公司、河北友联橡胶制品有限公司。

本文件主要起草人：魏浩、曹元礼、王恩清、叶长青、范德波、刘中国、何洪、王亮燕、高法训、李恩军、江文养、曾建华、曾轶、苏风森、李志辉、樊艳艳、信绍广、冀建波、王少波、黄首彬、周慧、黄良根、王敏、张小妹、周江帆、韩平。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2011年首次发布为 GB/T 27800—2011；

——本次为第一次修订。

静密封橡胶制品使用寿命的 快速预测方法

1 范围

本文件规定了静密封橡胶制品使用寿命的快速预测方法。

本文件适用于预测静密封橡胶制品在压缩(径向压缩 12%~25%,轴向压缩 15%~40%)状态下,在与各种介质和空气接触时的使用寿命,也适用于预测自由状态下的橡胶制品的贮存期。

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 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定

GB/T 1683 硫化橡胶 恒定形变压缩永久变形的测定方法

GB/T 1685 硫化橡胶或热塑性橡胶 在常温 and 高温下压缩应力松弛的测定

GB/T 1690 硫化橡胶或热塑性橡胶 耐液体试验方法

GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验

GB/T 5720 O形橡胶密封圈试验方法

GB/T 7759.1 硫化橡胶或热塑性橡胶压缩永久变形的测定 第1部分:在常温及高温条件下

GB/T 15905 硫化橡胶湿热老化试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

临界值 threshold value

橡胶制品在贮存或使用条件下由于受到环境应力的综合作用,使其某一关键性能下降,当该关键性能下降至导致橡胶制品失效时的性能值。

4 原理

静密封橡胶制品在贮存及使用条件下的性能变化,主要是由于热、氧、机械应力和接触的油、水等介质的综合作用。在一定的温度范围内,静密封橡胶制品的高温加速老化与使用条件下的老化机理是相同的,老化速度常数与温度的关系符合阿伦尼乌斯方程。利用高温加速老化试验得到的数据,可外推计算使用温度下的使用寿命。

静密封橡胶制品使用寿命的预测,试验项目宜选择积累压缩永久变形或压缩应力松弛;橡胶制品贮存期的预测,试验项目宜选择拉伸伸长率。

5 试样

5.1 试验项目选择压缩永久变形时,试样应符合 GB/T 1683、GB/T 7759.1 或 GB/T 5720 的要求;试验项目选择压缩应力松弛时,试样应符合 GB/T 1685 或 GB/T 5720 的要求。

5.2 试验项目选择拉断伸长率时,试样应符合 GB/T 528 或 GB/T 5720 的要求。哑铃状试样的规格应与生产橡胶制品的混炼胶初始性能指标测试时的试样规格保持一致。

6 试验仪器

6.1 热空气老化箱

热空气老化箱应符合 GB/T 3512 的规定。

6.2 湿热试验箱

湿热试验箱应符合 GB/T 15905 的规定。

6.3 拉力试验机

拉力试验机应符合 GB/T 528 的规定。

6.4 压缩应力松弛仪

压缩应力松弛仪应符合 GB/T 1685 的规定。

7 试验条件

7.1 试验温度

7.1.1 老化试验温度不应少于 5 个,相邻温度间隔不少于 10 ℃。

7.1.2 试验温度的上限因生橡胶、硫化体系不同而异。推荐的试验温度上限参见附录 A 的表 A.1。试验时间允许的情况下,降低试验温度,可提高预测的准确度。

7.2 试验湿度

考虑相对湿度影响的加速老化试验,试验时的相对湿度与使用环境下的相对湿度相一致。

7.3 试验时间

7.3.1 每个试验温度下试验数据不应少于 10 个。时间间隔可根据性能变化的情况而定。对于压缩永久变形,两次试验结果之差控制在 10% 以内;对于应力松弛和拉断伸长率,两次试验结果之差应控制在原始值的 10% 以内。

7.3.2 每个试验温度的第一次性能试验时,压缩永久变形的变化不应高于 10%,压缩应力松弛的变化不应低于原始值的 90%,拉断伸长率的变化不应低于原始值的 90%。

7.4 压缩率

对于试验项目为压缩永久变形或压缩应力松弛的老化试验,试样的压缩率应与静密封橡胶制品使用条件下的压缩率一致。也可按照 GB/T 7759.1、GB/T 1683、GB/T 5720 或 GB/T 1685 进行选取。

8 试验步骤

8.1 加速老化试验

通常加速老化试验应按 GB/T 3512 进行；如需考虑相对湿度影响时，加速老化试验应按 GB/T 15905 进行；如是浸泡在液体中使用时，加速老化试验应按 GB/T 1690 进行。易水解橡胶材料（如硅橡胶、丙烯酸酯橡胶）的加速老化试验，应按 GB/T 15905 进行。

8.2 加速老化试验过程中性能的测定

8.2.1 压缩应力松弛的测定

8.2.1.1 压缩应力松弛的测定按 GB/T 1685 进行。将试样压缩到规定的压缩率后，在标准试验室环境下停放 3 d 后，测定的应力值为初始应力。经加速老化试验（见 8.1）后，将夹具从老化箱中取出，在标准试验室环境下停放 1 d 后测试并记录的应力为老化后的应力，计算其压缩应力松弛。

8.2.1.2 再次将夹具放入老化箱，进行下个周期的老化，并再次测定、记录和计算经老化后的压缩应力松弛。如此循环多次测定、记录和计算压缩应力松弛。

8.2.1.3 5 个温度中的 3 个较高温度的试验，压缩应力松弛达到临界值（见 9.6.1）或小于原始值的 30% 时，终止试验；另两个较低温度的试验，压缩应力松弛小于原始值的 50% 时，终止试验。

8.2.2 压缩永久变形的测定

8.2.2.1 压缩永久变形测定按照 GB/T 7759.1 进行。将试样压缩到规定的压缩率后，在标准试验室环境下停放 3 d，然后打开夹具，再停放 1 d 后测定其高度为初始高度。试样经加速老化试验（见 8.1）后，从老化箱中取出夹具并去掉负荷，在标准实验室条件下停放 1 d 后测定并记录其试样高度，计算其压缩永久变形。

8.2.2.2 把试样重新放入夹具并送回老化箱中进行下一个周期的老化，再次测定、记录和计算压缩永久变形。如此循环多次。

8.2.2.3 对于 5 个温度中的 3 个较高温度的试验，压缩永久变形达到临界值（见 9.6.1）或大于 70% 时，终止试验；另两个较低温度的试验，压缩永久变形大于 50% 时终止试验。

8.2.3 拉断伸长率的测定

8.2.3.1 拉断伸长率测定按照 GB/T 528 进行。老化前的拉断伸长率取 10 个哑铃状试样结果的平均值，试样经加速老化试验（见 8.1）后拉断伸长率取 5 个哑铃状试样结果的平均值。记录所有的老化周期的拉断伸长率值。

8.2.3.2 对于 5 个温度中的 3 个较高温度的试验，拉断伸长率达到临界值（见 9.6.1）或小于原始值的 30% 时，终止试验；另两个较低温度的试验，拉断伸长率应小于原始值的 50% 时终止试验。

9 结果处理

9.1 老化系数 y 与老化时间 t 和试验温度 T 之间的关系

老化系数 y 与老化时间 t 和试验温度 T 之间的关系可用公式(1)描述：

$$\log \left[-\log \left(\frac{y}{B} \right) \right] = b_0 + b_1 \log t + b_2 \frac{1}{T} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- y —— 老化系数;
 B —— 理论上等于 1 的常数;
 t —— 老化时间,单位为天(d);
 T —— 试验温度,单位为开尔文(K);
 b_0, b_1, b_2 —— 待定系数。

注 1: 老化系数 y 与老化时间 t 和试验温度 T 之间的关系的推导参见附录 B。

注 2: 对于应力松弛,老化系数为老化时间 t 时的应力 f 与老化前的初始应力 f_0 的比值, f/f_0 ; 对于拉伸伸长率,老化系数为老化时间 t 时的伸长率 L 与老化前的伸长率 L_0 的比值, L/L_0 ; 对于压缩永久变形,老化系数为 1 减老化时间 t 时压缩永久变形率 $C\%$, $1-C\%$ 。

9.2 公式参数的计算



9.2.1 系数矩阵的计算

令公式(1)中的 $\log\left[-\log\left(\frac{y}{B}\right)\right]=Y$, $\log t = X_1$, $\frac{1}{T} = X_2$, 公式(1)变为公式(2):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

对公式(2)进行二元回归即可求得参数 b_0, b_1, b_2 。

$$\text{令 } X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} \\ 1 & X_{12} & X_{22} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

其中 X_{1n}, X_{2n}, Y_n 分别为第 n 组试验数据转换后的 X_1, X_2 和 Y 。

根据二元回归算法可知,系数矩阵 $\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y$, 通过矩阵运算即可得到系数矩阵 $\hat{\beta}$, 即得到 b_0, b_1, b_2 。回归方程的表述见公式(3):

$$\hat{Y} = X \hat{\beta} \quad \dots\dots\dots (3)$$

9.2.2 参数 B 的确定

公式(1)中的参数 B 采用逐次逼近的方法求解。逼近的准则是令 B 估计精确到小数点后三位时,使公式(4)的计算结果最小。

$$I = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- y_i —— 第 i 个老化性能指标的试验值;
 $\hat{y}_i$ —— 第 i 个老化性能指标通过二元回归计算的预测值。

9.3 回归方程的显著性检验

对回归方程的显著性检验,可通过计算统计量 F 来进行, F 值的计算式见公式(5):

$$F = \frac{S_R/2}{S_e/(n-2-1)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- n —— 试验数据的点数;
 S_R —— 回归平方和, $\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$;

S_e ——残差平方和, $\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ 。

对各自变量的显著性检验, 可通过计算统计量 F_j 来进行, F_j 值的计算式见公式(6):

$$F_j = \frac{\hat{b}_j^2}{c_{jj} \hat{\sigma}^2} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\hat{b}_j$ ——回归系数;

$\hat{\sigma}$ ——剩余标准差;

c_{jj} ——从公式(7)的矩阵 C 计算得出。

$$C = L^{-1} = \begin{vmatrix} l_{11} & l_{12} \\ l_{21} & l_{22} \end{vmatrix}^{-1} \dots\dots\dots (7)$$

其中 l_{11} 、 l_{12} 、 l_{21} 、 l_{22} 从公式(8)计算得出:

$$l_{uv} = \sum (X_{iu} - \bar{X}_u)(X_{iv} - \bar{X}_v) \dots\dots\dots (8)$$

9.4 性能的预测

据 $\log \left[-\log \left(\frac{y}{B} \right) \right] = Y$ (见 9.2.1), 得到性能预测方程:

$$\hat{y} = B \times 10^{\lceil -10(\hat{Y}) \rceil} \dots\dots\dots (9)$$

根据回归计算得到的系数矩阵 A , 可以对一定温度下老化到一定时间的性能进行预测。

如预测 25 °C, 10 年后的性能变化, 计作 $X_0 = [1 \log(10 \times 365) 1 / (273.15 + 25)]$

9.5 考虑置信水平下性能的上限计算

给定的置信水平 $1-\alpha$ 下 $\hat{Y}$ 的预测上限, 见公式(10):

$$\hat{Y}_{\max} = X_0 \hat{\beta} + t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-2-1) \cdot \hat{\sigma} \cdot \sqrt{1 + X_0' (X'X)^{-1} X_0} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

n ——试验数据的点数;

α ——置信水平;

$\hat{\sigma}$ ——剩余标准差。

公式(10)代入公式(9), 得出给定老化温度、老化时间, 置信水平 $1-\alpha$ 下 y 的最大性能变化见公式(11):

$$\hat{y} = B \times 10^{\left\{ -10 \left[X_0 \hat{\beta} + t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-2-1) \cdot \hat{\sigma} \cdot \sqrt{1 + X_0' (X'X)^{-1} X_0} \right] \right\}} \dots\dots\dots (11)$$

9.6 寿命的预测

9.6.1 临界值的确定

9.6.1.1 临界值通过模拟静密封橡胶制品使用条件的考核试验确定。从试验温度中选取一个适宜的温度, 将静密封橡胶制品和标准试样在选定的温度下一起进行加速老化。通过橡胶密封制品的功能模拟试验, 找到静密封橡胶制品密封性能丧失的老化时间, 根据此时标准试样的性能变化, 确定静密封橡胶制品失效的性能临界值 y_0 。

9.6.1.2 也可按静密封橡胶制品技术条件中规定的有关性能的极限允许值作为临界值。

9.6.2 寿命的确定

给定老化温度、置信水平 $1-\alpha$ 下不同老化时间后 y 的最大性能变化可按式(11)计算。尝试输入不同的老化时间,当计算得到的 y 的最大性能变化值刚好为临界值 y_0 的老化时间 t ,即为给定温度下静密封橡胶制品的使用寿命。

10 试验报告

试验报告应包括如下内容:

- a) 本文件编号;
- b) 试样名称和胶料编号;
- c) 试验温度(湿度);
- d) 试验时间;
- e) 试验数据;
- f) $Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$ 公式的参数估计及检验;
- g) 临界值;
- h) 寿命;
- i) 试验人员;
- j) 试验日期。



附 录 A
(资料性)

不同种类橡胶材料加速老化试验温度上限的建议

为了使加速老化试验温度与贮存或使用温度下的老化机理保持一致,尽量选择低的试验温度进行加速老化试验。不同种类橡胶材料的加速老化试验温度上限见表 A.1。

即使是同种类橡胶材料由于配方的差异,耐温性能也会有所不同,试验时可根据性能变化的快慢做适当调整。

不在表 A.1 中的橡胶种类,试验温度的上限可通过温度探索试验来确定。

表 A.1 不同胶种建议试验温度的上限

序号	胶种	温度上限/℃
1	天然和氯丁橡胶	90
2	丁腈橡胶(含氢化丁腈橡胶)、丁苯橡胶、丁基橡胶和顺丁橡胶、丙烯酸酯橡胶	110
3	乙丙橡胶	130
4	氟橡胶、硅橡胶、氟硅橡胶	200

附 录 B

(资料性)

老化系数 y 与老化时间 t 和试验温度 T 之间的关系推导

老化系数 y 与老化时间 t 之间的关系可用公式(B.1)描述:

$$y = Be^{-(kt^\alpha)} \dots\dots\dots (B.1)$$

两边取对数有:

$$\log y = \log B - \log e K t^\alpha \dots\dots\dots (B.2)$$

$$-\log(y/B) = \log e K t^\alpha \dots\dots\dots (B.3)$$

将 $K = Ae^{(-Ea/RT)}$ 代入公式(B.3)有:

$$-\log(y/B) = \log e Ae^{(-Ea/RT)} t^\alpha \dots\dots\dots (B.4)$$

两边再次取对数有:

$$\log[-\log(y/B)] = \log(\log e A) + \alpha \log t - Ea/R \log e 1/T \dots\dots\dots (B.5)$$

