



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 1687.1—2016/ISO 4666-1:2010  
代替 GB/T 15584—1995

## 硫化橡胶 在屈挠试验中温升和耐疲劳 性能的测定 第1部分:基本原理

Rubber, vulcanized—Determination of temperature rise and resistance to  
fatigue in flexometer testing—Part 1: Basic principles

(ISO 4666-1:2010, IDT)

2016-12-13 发布

2017-07-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准

硫化橡胶 在屈挠试验中温升和耐疲劳  
性能的测定 第1部分:基本原理

GB/T 1687.1—2016/ISO 4666-1:2010

\*

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

服务热线:400-168-0010

2016年12月第一版

\*

书号:155066·1-54956

版权专有 侵权必究

## 前 言

GB/T 1687《硫化橡胶 在屈挠试验中温升和耐疲劳性能的测定》拟分为以下四部分：

- 第1部分：基本原理；
- 第2部分：旋转屈挠试验；
- 第3部分：压缩屈挠试验(恒应变型)；
- 第4部分：恒应力屈挠试验。

本部分为 GB/T 1687 的第1部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 15584—1995《硫化橡胶 在屈挠试验中温升和耐疲劳性能的测定 第1部分：基本原理》，与 GB/T 15584—1995 相比，主要技术变化如下：

- 更新了规范性引用文件(本版第2章)；
- 将第4章调整至第6章，并进行重新编辑，增加了温度测量要求(本版第6章，1995年版第4章)；
- 将第5章调整至第4章并重新编辑，增加了试验温度要求(本版第4章，1995年版第5章)；
- 将第6章调整至第5章，并进行重新编辑(本版第5章，1995年版第6章)；
- 将第7章内容进行重新编辑(本版第7章，1995年版第7章)；
- 增加了测试报告(本版第8章)。

本部分使用翻译法等同采用 ISO 4666-1:2010《硫化橡胶 在屈挠试验中温升和耐疲劳性能的测定 第1部分：基本原理》。

与本部分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 2941—2006 橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序(ISO 23529:2004, IDT)；
- GB/T 9870.1—2006 硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第1部分：通则(ISO 4664-1:2005, IDT)。

本部分由中国石油和化学工业联合会提出。

本部分由全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会(SAC/TC 35)归口。

本部分起草单位：三角轮胎股份有限公司、风神轮胎股份有限公司、广州市华南橡胶轮胎有限公司、贵州轮胎股份有限公司、北京橡胶工业研究设计院、扬州市明珠试验机械厂、江苏新真威试验机械有限公司。

本部分主要起草人：许秋焕、倪淑杰、任绍文、麻天成、梁亚平、陈宇涛、冯萍、谢君芳、李静、朱牧之、沈克会。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 15584—1995。

## 引 言

由于橡胶的黏弹性,所有橡胶在周期性变形作用下会吸收一部分变形能并将其转换成热能。热能的产生导致温度升高,由于橡胶的导热性能差,由形变所产生的热导致较厚橡胶部件内部温度达到相当高的程度。在周期性变形很大或者温升很高时,橡胶通过疲劳引发破裂,导致损坏。这种损坏开始发生在橡胶内部,然后扩展到外部,最终可能导致橡胶件完全破坏。

本部分所规定的试验,可以得到在给定试验条件下橡胶的温升数据或疲劳寿命。可利用一系列疲劳寿命的测量结果来确定橡胶耐疲劳变形能力的极限或疲劳应力的极限。本部分所用仪器通常称为屈挠试验机,该试验机可使试样经受恒定应力的周期形变或恒定应变的周期形变。

本部分规定的疲劳试验不适用于对薄形试样进行拉伸变形或弯曲变形的疲劳试验。在这种疲劳试验中,由于发热迅速消散,升温通常是可忽略不计的,而且损坏是由于裂口产生、增长,最后使试样断裂而造成的。在 ISO 132 中规定了用德默西亚试验机测定屈挠龟裂和裂口增长的方法。ISO 6943 中规定了橡胶抗拉伸疲劳的测定方法。



# 硫化橡胶 在屈挠试验中温升和耐疲劳性能的测定 第1部分:基本原理

## 1 范围

GB/T 1687 的本部分规定了屈挠试验的一般原理和所涉及的术语及其定义。

屈挠试验适用于预测橡胶制品(如轮胎、橡胶轴承、橡胶支座、V形带和绳轮插入环等)在受到动态屈挠时的耐久性能。然而,由于橡胶制品使用条件的差异较大,不能假定其使用特性与 GB/T 1687 各部分规定的加速疲劳试验存在简单的相关性。

## 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 4664-1 硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第1部分:通则(Rubber, vulcanized—Determination of temperature rise and resistance to fatigue in flexometer testing—Part 1: Basic principles)

ISO 23529 橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序(Rubber—General procedures for preparing and conditioning test pieces for physical test methods)

## 3 术语和定义

ISO 4664-1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**负荷 loading**

使试样承受预定的静态或周期性应力或应变。

### 3.2

**预应力 pre-stress**

$\sigma_p$

试验中试样所受到的恒定静态应力。

注1: 预应力单位为 Pa。

注2: 该预应力可模拟产品的要求,也可直接把试样固定在仪器上。

注3: 术语“平均应力”(见 ISO 4664-1)与“预应力”意义相同或相近。

### 3.3

**预应变 pre-strain**

$\epsilon_p$

试验中试样上被预加的恒定静态应变。

注1: 该预应变可模拟产品的要求,也可直接把试样固定在仪器上。

注2: 术语“平均应变”(见 ISO 4664-1)与“预应变”意义相同或相近。

3.4

**周期性应力振幅 cyclic stress amplitude**

$\sigma_a$  或  $\tau_a$

在预应变或预应力上叠加的周期性作用力幅值与试样原始尺寸之比。

注 1: 周期性应力振幅的单位为 Pa。

注 2: 术语“最大应力振幅”(见 ISO 4664-1)与“周期性应力振幅”意义相同或相近。

3.5

**周期性应变振幅 cyclic strain amplitude**

$\epsilon_a$  或  $\gamma_a$

在预应变或预应力上叠加的周期性形变幅值与试样原始尺寸之比。

注 1: 对某些屈挠试验机而言, 周期性应变振幅小于预应变的振幅。

注 2: 在压缩屈挠试验机上, 预应力  $\sigma_p$  作用方向与周期应变振幅  $\epsilon_a$  相同。在转动屈挠试验机上, 周期剪切应变  $\gamma_a$  或周期剪切应力  $\tau_a$  与轴向压缩预应变  $\epsilon_p$  或压缩预应力  $\sigma_p$  相垂直。

注 3: 术语“最大应变振幅”(见 ISO 4664-1)与“周期性应变振幅”意义相同或相近。

3.6

**生热 heat generation**

试验期间, 试样通过吸收能量而产生的总热量。

注: “生热(heat generation)”宜与已不常使用的“升热(heat build-up)”这一表述相区别, “升热”通常与试样的温升有关。

3.7

**温升 temperature rise**

试样温度的增高。

注: 温升被认为是试验过程中在规定时间内和指定试样部位上所测得的温度与试验开始时的温度或环境温度之差。

3.8

**疲劳破坏 fatigue breakdown**

在应力和温度的共同作用下, 试样的化学、物理结构和组分变化。

3.9

**疲劳寿命 fatigue life**

$N$

在一定的静态和周期性动态负荷作用下, 材料产生破坏或断裂所需的压缩次数。

3.10

**疲劳变形 fatigue deformability**

与一定的疲劳寿命相对应的周期性应变振幅。

3.11

**疲劳应力 fatigue stress**

与一定的疲劳寿命相对应的周期性应力振幅。

3.12

**极限疲劳变形 limiting fatigue deformability**

$\epsilon_\infty$  或  $\gamma_\infty$

当疲劳寿命曲线变得与  $\log N$  轴基本平行时相应的周期性应变振幅(见图 1)。

3.13

**极限疲劳应力 limiting fatigue stress**

$\sigma_\infty$  或  $\tau_\infty$

当疲劳寿命曲线变得与  $\log N$  轴基本平行时相应的周期性应力振幅(见图 1)。

## 4 试验条件

不同模量橡胶应采用不同类型负荷来评价:

- a)  $\sigma_p$  和  $\sigma_n$  或  $\tau_n$  恒定;
- b)  $\sigma_p$  和  $\epsilon_n$  或  $\gamma_n$  恒定;
- c)  $\epsilon_p$  和  $\sigma_n$  或  $\tau_n$  恒定;
- d)  $\epsilon_p$  和  $\epsilon_n$  或  $\gamma_n$  恒定。

负荷类型和大小都应由橡胶的预期用途所决定。在生热试验中,负荷应足够大以充分鉴别所产生的温升,但又不至于高到引起破坏。

在疲劳寿命试验中,要选择能够产生可分辨结果的负荷。

注:在恒定应变条件下,也能进行试验。

## 5 试样

### 5.1 形状与尺寸

试样应为圆柱体,其尺寸应按所采用试验方法确定。

### 5.2 制备

应该按照 ISO 23529 规定进行试样的制备和储存。试样可用模具直接硫化,也可从胶板或成品上通过切割、钻取、打磨后得到,如果试样是从成品上切取,应在试验报告中注明。

### 5.3 硫化与试验之间的时间间隔

见 ISO 23529。

对所有试验,硫化与试验之间的最短时间间隔为 16 h。

对于非成品试验,硫化与试验之间的最长时间间隔为 4 周。如果是以评估为目的的比对试验,应尽量在相同的时间间隔内进行。

对于成品试验,硫化与试验之间的时间间隔不应超过 3 个月。在其他情况下,试验应在收到用户产品之日起两个月内进行。

### 5.4 调节

试验前,试样应按照 ISO 23529 的规定,在标准实验室温度下调节至少 3 h。

### 5.5 试样数量

为了测量指定负荷下的温升或疲劳寿命,每种胶应制备两个试样。如果为了确认极限,则需更多的试样。如需绘制疲劳寿命曲线,应至少准备 5 个试样,最好 10 个。

## 6 试验机

### 6.1 概要

本部分只规定试验机(屈挠试验机)的一般要求,典型的设备在 ISO 4666-2、GB/T 1687.3 和 ISO 4666-4中分别进行描述,但是只要能够满足本部分的基本要求,可以使用其他试验机。在进行比对



试验时,应使用同类型试验机。

试验机结构应坚固而精密。对于同一系列测试所选用的试验条件应是固定的,但对于不同系列测试可根据需要选用不同的试验条件。

为使读数或记录更精确,所采用机械、光学或电气装置,应具有足够的灵敏度。

## 6.2 温控箱

为能够在高温下进行试验,应设有符合 ISO 23529 中所要求的恒温箱。

## 6.3 温度测量

测量温升时,应尽量减少通过测试设备传导而导致的热损失,例如与试样接触的表面应采取绝热措施。

可以采用两种方法测量试样温度。温度测量的允许误差为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。所使用的测试方法在本标准的相关部分进行规定。

试样内部温度的测量可通过针状测温传感器刺入试样内部进行。在测试过程中,为确保试样能够与针状测温传感器充分接触,应该选择当试样处于卸载状态时插入测温传感器。也可以通过在试样内部植入温度传感器持续进行温度测量。

另外一种方法可以选择在试样表面(或与试样接触的某一个表面)进行温度测量。

这两种温度测量方法的根本区别在于橡胶的热导率和表面辐射率以不同的方式计入测量值。

## 7 程序

### 7.1 概述

具体试验步骤根据相应的测试方法而定:旋转屈挠试验在 ISO 4666-2 中描述;压缩屈挠试验在 GB/T 1687.3 中描述;恒定应力屈挠试验在 ISO 4666-4 中描述。7.2~7.7 的基本原则适用于所有的试验方法。

### 7.2 试验温度

试验通常应在 ISO 23529 规定的一种温度下进行。

### 7.3 温升测量

用于比对试验的所有试样,其初始温度应是试验温度。为准确测得试样规定点的温升,温升的测量应在试样预热至达到热平衡后进行。

### 7.4 疲劳寿命的测定

试样应经受规定负荷类型及大小(见第 4 章),并记录每个试样破坏所需周期数。应采用适当的方法来判断破坏的开始,而且在比对试验时应采用同一判断方法。在任何情况下,试验终止后都应通过目测检查试样的断面,以确认破坏程度是可以进行比较的。

在试验过程中不应改变试验条件,当对几种橡胶进行对比时,试验条件应相同。如果仅按一组试验条件测定疲劳寿命,那么所施加的周期应变振幅或应力振幅通常应大于橡胶的极限疲劳变形或极限疲劳应力。

### 7.5 极限疲劳变形和极限疲劳应力的测定

为测定橡胶的极限变形或极限应力,应在一系列周期应变振幅或周期应力振幅下测定其疲劳寿命



包括疲劳寿命很长实际上是无限长的那个区域。为此,应使几个试样依次承受有适当间隔的不同负荷,并测量每一负荷下试样破坏的周期数。

以上述方法所得的疲劳寿命作为周期应变振幅 $\epsilon_a$ 或周期应力振幅 $\sigma_a$ 的函数,并作出关系曲线图(见图1)。极限疲劳变形和极限疲劳应力则分别为疲劳寿命曲线变得基本平行于疲劳寿命轴线时的周期应变振幅和周期应力振幅。

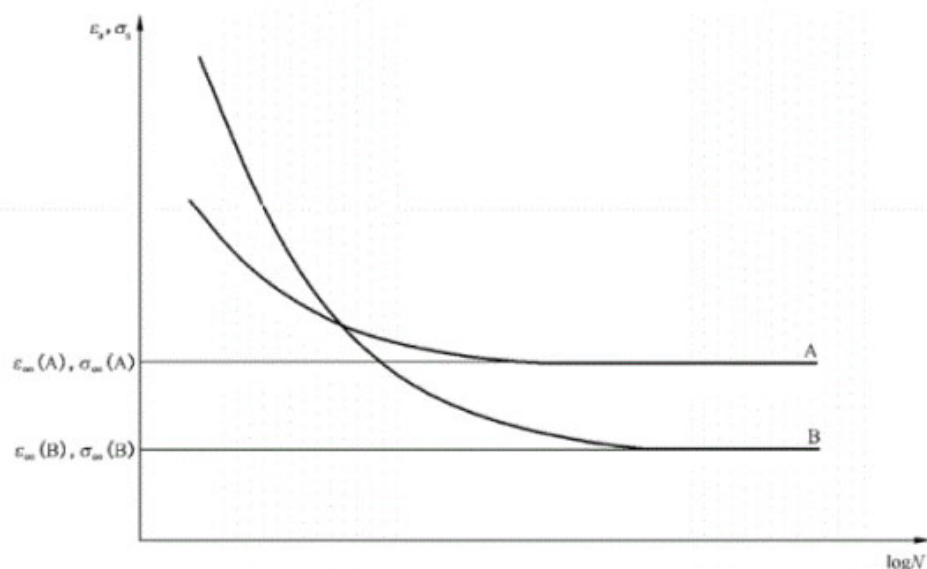
如果需要,可以利用疲劳寿命对周期应变振幅或周期应力振幅的曲线来推算某一确定疲劳寿命的疲劳变形或疲劳应力。在这种情况下,没有必要进行疲劳寿命趋于无限长时的周期应变振幅或周期应力振幅试验。

## 7.6 蠕变测量

如果需要,应对蠕变进行测量并记录。测量是在试验期间,按照适当的时间间隔记录试样高度的变化或接触压板位移的变化。蠕变的计算还与未变形或未受压缩的试样初始高度相关。

## 7.7 永久变形的测量

试样在未变形或未受力状态下的高度与试验结束后并经规定恢复期后的试样高度之差来计算永久变形。并以初始高度的百分比记入报告。选择的恢复期要足够长,以便使恢复基本上达到其渐近值。



说明:

$\epsilon_a$  —— 极限疲劳应变;

$\sigma_a$  —— 极限疲劳应力;

$\epsilon_m(A)$  —— 橡胶 A 的极限疲劳变形;

$\sigma_m(A)$  —— 橡胶 A 的极限疲劳应力;

$\epsilon_m(B)$  —— 橡胶 B 的极限疲劳变形;

$\sigma_m(B)$  —— 橡胶 B 的极限疲劳应力;

A —— 橡胶 A;

B —— 橡胶 B;

N —— 疲劳寿命。

图 1 A 和 B 两种橡胶疲劳寿命曲线

## 8 测试报告

试验结果应按 GB/T 1687 相关部分规定进行报告。

## 附录 A

### (资料性附录)

#### 说明

#### A.1 引言

当橡胶部件受反复变形时,由于能量损耗或滞后而生热。在很薄的橡胶件中,尽管橡胶导热性能差,这种热也能很快消散。但在比较厚的部件中,产生的热量就不易散失,致使橡胶变热。在不发生降解的情况下,温度最终将达到平衡,对此所产生的热量与通过传导、对流和辐射而消散的热量相等。但是,如果温度上升到足以引起橡胶降解,则部件可能逐渐越来越热,最后由于高温强度和耐疲劳性能差而破坏,汽车轮胎的爆破就是一个实例。如果变形期间施加的应力超过了橡胶的机械强度,也会引起破坏。在承受重复变形时,不希望出现的其他特征就是永久变形和蠕变。

#### A.2 屈挠试验的应用

屈挠试验是专门用以测量在动态条件下,橡胶耐温升和耐疲劳破坏性能而设计的。因此,它不同于而且还补充了 GB/T 9870.2 所叙述的试验,后者未考虑疲劳和温升的影响。

GB/T 1687 和 GB/T 9870.2 所涉及的性能有一个重要的共同点,即由于橡胶复杂的粘弹性,其动态性能,例如耐温升和耐疲劳破坏性能对于诸如温度、频率和所施加的静态或周期应力或应变振幅等试验条件非常敏感。例如对各种橡胶进行比较试验,会发现它们的排列顺序会因所用试验条件不同而大不相同。因此,在一系列条件下进行试验并设法使这些条件与某一特定用途或使用条件相关总是可取的。首先要考虑的是在恒定周期应力振幅下还是在恒定周期应变振幅下进行试验。当比较硬度或模量不同的橡胶时,这一点尤为重要。例如,提高炭黑用量引起硬度增高,伴随而来的是滞后作用增强,这会导致在恒定应变振幅条件下进行的试验中温升的提高。然而,如果采用恒定的应力振幅,则硬质硫化橡胶的变形将低于软质硫化胶,因而发热也较少。

测定耐疲劳破坏性能时,也可以观察到类似结果。耐疲劳性能强烈地依赖于所施加的周期应力或应变的振幅。图 1 中疲劳寿命曲线显示了单一条件试验的缺点。在高苛刻度下,橡胶 A 劣于橡胶 B,但在低苛刻度下橡胶 B 又劣于橡胶 A。还发现,随着苛刻度逐渐下降,两种胶的疲劳寿命均开始迅速提高,只要施加的应力或应变振幅不超过特性值,疲劳寿命就变得无限长。这个特性值表示疲劳破坏的极限机械条件,根据所使用负荷的类型适当地表示为橡胶的极限变形能力  $\epsilon_x$  或  $\gamma_x$ ,或极限疲劳应力  $\sigma_x$  或  $\tau_x$ 。

#### A.3 试验程序的说明

##### A.3.1 温升试验

对于温升试验,一般建议选择的试验时间足够长,以使试样生热和散热之间充分达到平衡。当温度仍在上升时进行测量是导致误差的根源。为确保试样内部不出现疲劳破坏,应采用较低的应力和应变。

温升试验特别适用于能够连续记录试样温度的测试方法。例如 GB/T 1687.3 描述的压缩屈挠试验,试样温度是从试样支承表面连续测量的。另外,ISO 4666-4 恒定应力屈挠试验,它是将针状测温传感器通过定位反馈系统刺入试样的中心进行测量的。

对于其他屈挠试验,例如 ISO 4666-2 描述的旋转型屈挠试验,通常是停机后把针状热电偶刺入试样中心测量试样温升。在这种情况下,所记录的温度与橡胶的导热系数和试样表面的热损失率有关。如果两种橡胶具有相同滞后作用,则导热性能较高的橡胶因热损失较快试样中心温度较低。

#### A.3.2 疲劳寿命

在条件允许时,疲劳寿命应在一系列不同苛刻度下进行测定。而且最好试验前估计出极限疲劳变形能力或极限疲劳应力。

疲劳试验中考虑的一项重要因素是评价破坏开始的方法。因为破坏通常在试样内部开始,看不到,所以目前的这种方法只能是间接的。突然出现蠕变或温度变化是破坏开始的标志,不管发生哪一种变化,都应立即停止试验并检查试样内部是否发生变色、气孔或软化等情况。



### 参 考 文 献

- [1] GB/T 1687.3 硫化橡胶 在屈挠试验中温升和耐疲劳性能的测定 第3部分:压缩屈挠试验(恒应变型)
  - [2] GB/T 9870.2 硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第2部分:低频扭摆法
  - [3] ISO 132 Rubber, vulcanized or thermoplastic—Determination of flex cracking and crack growth (De Mattia)
  - [4] ISO 4666-2 Rubber, vulcanized—Determination of temperature rise and resistance to fatigue in flexometer testing—Part 2: Rotary flexometer
  - [5] ISO 4666-4 Rubber, vulcanized—Determination of temperature rise and resistance to fatigue in flexometer testing—Part 4: Constant-stress flexometer
  - [6] ISO 6943 Rubber, vulcanized—Determination of tension fatigue
- 



GB/T 1687.1-2016

版权专有 侵权必究

\*

书号:155066·1-54956