



中华人民共和国国家标准

GB/T 40721—2021/ISO 15113:2005

橡胶 摩擦性能的测定

Rubber—Determination of frictional properties

(ISO 15113:2005, IDT)

2021-10-11 发布

2022-05-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 原理	2
5 仪器设备	2
6 试验表面	3
7 试样准备	4
8 试样调节	5
9 试验步骤	5
10 试验轨道的清洁或更新	6
11 程序 A(初始摩擦测量)	6
12 程序 B(工况运行)	6
13 程序 C(添加润滑剂或污染物的试验)	7
14 粘-滑	7
15 结果表示	7
16 试验报告	10
附录 A(资料性) 设计原理	11
附录 B(资料性) 球-面形状	13
附录 C(资料性) 静摩擦力与“黏附”	14
附录 D(资料性) 其他参数	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。

本文件使用翻译法等同采用 ISO 15113:2005《橡胶 摩擦性能的测定》。

与本文件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)。

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。

本文件由全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会通用试验方法分技术委员会(SAC/TC 35/SC 2)归口。

本文件起草单位：双星集团有限责任公司、赛轮集团股份有限公司、广州合成材料研究院有限公司、高特威尔科学仪器(青岛)有限公司、常州毅立方圆复合材料科技有限公司、江苏明珠试验机械有限公司、上海瀚海检测技术股份有限公司、贵州轮胎股份有限公司、上海弘埔仪器技术有限公司、威海君乐轮胎有限公司、北京橡胶工业研究设计院有限公司。

本文件主要起草人：郭菲、肖茂颜、杨文真、谢宇芳、黄泰祐、于龙、宋雅婷、闫毅、张美玲、包达飞、曾斓、杨转青、冯萍、苟登峰、金柱银、王尧文、谢君芳、孙斯文。

引 言

在测量摩擦力时,可使用各种几何组合,但每种组合都可能给出不同的摩擦系数值 μ 。在特定情况下,每种组合可能都是适用的,但是在进行材料比较时,就需要使用一些指定试验条件的标准方法来进行试验。

片状橡胶试样最易于获得,并且在两个平面表面之间的测量更接近于实际使用状态,因此,这是最广泛使用的几何形状。对于这种几何形状,使用的测试装置需精心设计,以确保两个表面之间的接触可重复进行,这在附录 A 中进行讨论。

在具备橡胶模压条件时,一些人更倾向于使用半球形橡胶滑块和平面试验轨道。如果摩擦面不包含测力传感器和拖曳力的作用线,则会给出一个更明确的接触面积,并将相关误差最小化。然而,使用这种几何形状时,摩擦力与法向载荷不成正比(见附录 B),且接触面积是通过橡胶模量来估算的,因此在引用摩擦系数值时应注意。该方法的缺点是试样需要专用模具来制备,无法直接使用橡胶成品。而且,由于某种程度上磨损和摩擦是不可分割的,持续的测试将在半球形测试滑块上产生一个“平面”。因此建议经常检查测试表面,以确保保持初始接触时的几何形状。

另一种“球-面”几何组合是将一个硬球在平坦的橡胶表面上进行滑动,这两种“球-面”组合不能完全等效。硬球通过橡胶表面时发生犁沟效应,会产生能量滞后损失,导致测得的摩擦系数结果偏高。然而,在某些情况下,这可能是一个更适用的方法。

尽管在“平面-平面”几何组合的接触面积上可能会出现一些不确定性,本文件仍采用这种几何形状的原因是它具有广泛的实用性。但是,需强调,必须有一个设计合理的装置,使得传感器的作用方向在试样的接触平面内(见附录 A)。该方法可适用于其他接触几何组合,以适应特定成品,包括附录 B 中列出的“球-面”几何组合。

本文件是基于直线运动,并在附录 A 中给出了试验布局的指导。由于摩擦产生热量,通常会将测试速度限制在 1 000 mm/min 以下,以避免在界面上出现较大温升。如果使用条件涉及高速,则如附录 A 所述,一种基于旋转运动的完全不同的方法更为适用。此处列出的试验方法能够以一系列固定速度测量动摩擦力。当最低速度降至运动几乎不可见,将给出近似零速度的摩擦行为(静摩擦)。这可能不同于附录 C 中所讨论的一些涉及黏合(黏附)因素的启动摩擦。该方法仅适用于测量初始摩擦力,前提是设备具有均匀加载的装置和足够灵敏的负荷传感器。在附录 C 中给出了关于静摩擦的讨论和正确的测量方法。

橡胶摩擦是复杂的,摩擦系数取决于接触几何形状、法向载荷、速度、温度以及橡胶的成分。这些参数以及影响测量的其他因素在附录 D 中进行了讨论。

橡胶 摩擦性能的测定

1 范围

本文件提供了摩擦系数的测量原理,描述了橡胶与标准测试平面、橡胶材料本身或橡胶与其他指定表面之间摩擦系数的测定方法。

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 17200—2008 橡胶塑料拉力、压力和弯曲试验机(恒速驱动)技术规范(ISO 5893:2002, IDT)

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

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

摩擦系数 coefficient of friction

在规定的试验条件下,两个平面表面之间阻碍运动的摩擦力与其法向力的比值。

注:摩擦系数是无量纲的,并且它的值也不局限于小于1的数字。

3.2

接触面积 area of contact

两个试验表面(试验轨道和试样)之间的整个表观面积。

注:实际接触面积(见3.3)可能比这个面积小。

3.3

实际接触面积 real area of contact

两个试验表面全部微小接触面积的总和。

3.4

试验速度 velocity of test

一个表面相对于另一个表面的驱动速度。

注:如发生了粘-滑(见3.5),该速度将是一个表面相对于另一个表面的平均速度。

3.5

粘-滑 stick-slip

由于两个表面间的实际相对速度在试验速度的两个极值间振荡,导致被测摩擦力产生相应振荡的状态。

3.6

试验轨道 test track

与测试橡胶接触的表面。

注：试验轨道可以与测试橡胶材料相同，也可以不同。

3.7

试验温度 temperature of test

试验装置及其所处环境的温度。

注：由于摩擦产生热量，因此试验温度可能与一个或两个试验表面的实际温度不同。

3.8

润滑剂 lubricant

加入两个表面之间降低摩擦系数的物质。

注：润滑剂通常是一种液体，但某些情况下会使用固体粉末，比如滑石粉。试验中通常会特意加入润滑剂。

3.9

污染物 contaminant

在任一试验表面上出现的非自身成分的物质。

注：污染物可起到润滑剂的作用，但在通常情况下，污染物是无意中引入的。

3.10

黏附 stiction

当外部的法向载荷减小到 0 时，使一个表面相对另一个表面发生移动需要的力。

注：这明显是一个摩擦力，但因为法向力为 0 导致无法计算摩擦系数。参见附录 C。

3.11

静摩擦 static friction

开始运动需要的摩擦力（即零速度时的摩擦力）。

注：有外部法向载荷时可计算出静摩擦系数。静摩擦经常包含一些黏附作用的因素。见附录 C。

4 原理

在一定的法向载荷作用下，把两个试验面结合在一起。用机械装置拖动一个表面以一定速度在另一个表面上滑动，监控和记录该过程阻力的大小。在任何情况下，摩擦力与法向载荷的比值是对应的摩擦系数。因为试验本身会改变表面状况以及结合面的温度，因此测得的摩擦系数在测量过程中可能会变化。

在理想装置中，测力设备的作用线位于两个接触面的平面上。这一平面可以是水平的，也可以是垂直的。

5 仪器设备

5.1 装置

可附加两个摩擦表面，并能够在两个表面之间以一系列的固定速度（通常在 0.5 mm/min~1 000 mm/min 之间）提供通常为 100 mm 距离的直线运动。可使用专用设备，也可选用符合要求的拉力试验机。

5.2 施加多个指定法向载荷的方法

表面之间的法向载荷在 1 N~200 N 之间。当试验轨道是水平的，可使用合适的砝码来提供法向载荷；当试验轨道是垂直的，应使用一个曲柄杠杆装置将垂直的重力转化为水平的法向力。

5.3 传感器

使用一系列载荷传感器或单个具有多量程的载荷传感器,至少符合 GB/T 17200—2008 中的 1 级测力精度,连接在一个记录输出设备上,并将其固定在一个摩擦面上。在整个测量区间内,用范围值或其他方式表征摩擦力,精确到 $\pm 1\%$ 。

注:与 5.2 中所述的法向载荷范围相对应,测量的摩擦力很可能在 0.1 N~1 kN 之间。

5.4 环境箱(当研究温度的影响时)

将试验装置和两个表面(除传感器)放在环境箱中,测量并记录温度,精确到 0.5 °C。环境箱内表面不应与任何移动部件进行物理接触。

注 1:从试验环境中排除冷凝的空气是极其困难的,只能通过观察在试验表面形成的冰晶、颗粒或薄膜来进行评估。

注 2:为了避免在 0 °C 或低于 0 °C 的温度进行测试时形成冰的情况,需要非常干燥的空气(例如:相对湿度 5% 到 10%)。

5.5 避免粘-滑的方法

整个装置(包括传感器)需要尽可能的坚固,所有的连接都应用杆,而不是用线。如果装置设计为与拉力机相连接,则应选择具有高刚度的拉力机。实际上,这意味着拉力试验机的负载能力比被测最大摩擦力大约 20 倍。

5.6 分离被测表面的方法

在每次测量后将仪器复位到其初始位置。这是必要的,因为表面历程对摩擦测试影响很大。

注:表面分离可手动或自动进行。

6 试验表面

6.1 总则

每次测试应用到两个试验表面,一个表面是试验橡胶材料,另一个(试验轨道)表面可用试验橡胶相同材料或者其他指定的可选材料。

6.2 试验轨道

试验轨道应近似平面,但可选用带有纹理的表面。

试验轨道材料的两个线性尺寸都应比试样大(见 6.3)。

较长方向的尺寸应满足至少 50 mm 的线性行程。

试验轨道可是经双方协商同意的任一表面。需进行比对试验时,宜选择下列其中一种:

- a) 表面模压、片取或抛光的试验橡胶;
- b) 表面抛光或研磨的浮法玻璃;
- c) 特殊的表面抛光或研磨的不锈钢;
- d) 表面研磨到规定光洁度的铸铁;
- e) 规定粒度的树脂胶合纸。

注:测得的摩擦系数不仅取决于材料,还取决于试验轨道表面的光洁度(见 D.1)。

6.3 试样

模压成型的试样或从成品切割的试样都可使用。试样数量应为三个。

当使用平面试样时,试样尺寸应小于所选的试验轨道(见 6.2),使其可在两个表面之间进行至少 6 s 的线性运动,同时在整个试验过程中保持与整个橡胶表面的接触(表观接触)。

试样的厚度一般应在 1 mm~8 mm 之间。当试验表面较薄时,应用黏合剂将其黏附在足够厚度的支撑物上。

注 1: 在某些情况下,接触面积可能会受到支撑物模量的影响,因此最好尽可能地使试样表面与支撑物的模量相匹配。

试样在安装时不应被拉伸。

任何使用的黏合剂都不应过度溶胀或对试样产生其他不利影响。

为避免试样表面边缘有褶皱或坑洞,应对所有试样的边缘进行打磨倒圆角。

注 2: 为尽可能减少粘-滑,建议将低模量试样的厚度控制在 4 mm 以下。

若试样是由成品制成的,可能很难切割出一个尺寸合适的平面。因此一个合适的试样可通过从成品中截取许多小件组合在一起制成(以雨刮条为例,取多段一定长度的雨刮条,构成一个平面)。

在三角形的三个角安装三个小试样,形成一个平面。对于安装更多试样的情况,需要通过额外的抛光或研磨来形成一个平面。或者使用附录 A 中所描述的几何形状。

7 试样准备

7.1 总则

材料可在接收时的状态下进行测试,但进行比对时应对其表面进行一定程度的标准调节。表面纹理很重要,一般来说,在干燥情况下,粗糙表面的摩擦系数要小于光滑表面的摩擦系数,但在潮湿的情况下,要高于光滑表面的摩擦系数。因此,不同的制备方法将得到不同的摩擦系数。

7.2 表面纹理

采用浮法玻璃或镜面金属制成的试验轨道应进行清洁,不需要进行其他处理(见 7.3)。

其他需要研磨的表面应使用规定粒度的砂纸进行机械研磨、抛光或手工研磨。

一般来说,从剖层机上片取的试样,除清洗外,无需再做其他处理。

7.3 表面清洁

如果实际使用中存在污染情况,并且是商定试验条件中的一部分(见第 13 章),污染物予以保留,但在准备过程中造成的污染,应尽可能去除。

污染物不一定能完全去除,有时摩擦系数会因残留的污染物而发生永久性变化。例如,完全去除硅油是不可能的,因此,应选择合理的制备方法。如果研磨需要润滑剂,宜选择水性的,而不是油性的。

同样,当用黏合剂组合试验件时,应确保试验表面不受黏合剂的污染。还应注意避免手上的油污污染测试表面。

在污染发生时,按以下所述操作:

用干净、干燥的空气或类似气体吹掉表面所有散落的碎屑。

注 1: 管道压缩空气通常含油含水,不适合使用。

此外,选用干净的、干燥的、柔软的刷子刷掉碎屑。

当有污染物,如油脂,附着在表面上时,从下面的列项中选择合适的溶剂:

- a) 加入少量洗涤剂的蒸馏水;
- b) 纯蒸馏水;
- c) 自来水;

- d) 乙醇;
- e) 异丙醇;
- f) 丙酮;
- g) 丁酮;
- h) 四氯乙烯;
- i) 甲苯。

选择的溶剂不应溶解或过度溶胀被清洁的表面。

注 2: 使用这些溶剂时要遵守健康和安全规则。

通常情况下,需要高纯度的溶剂,因为使用不洁净的溶剂很容易造成进一步的污染。同样,用于清洗的任何布或纸都不应接触储存容器的颈部,以避免污染容器内的溶剂。用湿的、有少许溶剂的亚麻布或纸巾(不应受溶剂影响),仅向一个方向擦拭试验表面。丢弃用过的布或纸巾,使用新的纸巾和溶剂重复该过程两次。

当使用含有洗涤剂的蒸馏水后,再用蒸馏水洗涤表面三次去除洗涤剂。

在已知自来水非常纯净的地方,可在水龙头下进行冲洗。

注 3: 如果污染物是水溶性的,该清洁方法是最有效的。

保持表面垂直,从而排除多余的溶剂,并使表面在空气中干燥。

佩戴手套以避免表面沾上油脂,处理时仅接触试样的边缘。除试验表面外,不要将准备好的测试面与其他任何表面接触。

根据第 8 章所规定的程序,对试样进行调节。

8 试样调节

8.1 硫化与试验的时间间隔

所有的试验,硫化和试验之间应至少间隔 16 h。对非成品试验,硫化和试验之间最长不应超过 28 d,为确保试验可比,试验应尽可能在同一时间间隔内进行。对于成品试验,硫化和试验之间不应超过 90 d。在其他情况下,应在收到样品之日起 60 d 内进行测试。

8.2 样品和试样的保存

在硫化与试验之间的时间间隔内,样品和试样应尽可能完全地加以防护,避免可能导致其损坏的外来影响,例如光、热、灰尘。

注: ISO 2230 给出了附加指南^[1]。

8.3 调节

准备好的试样在标准实验室温度下调节不少于 3 h。

如样品需要打磨,打磨和试验之间的时间间隔应不小于 16 h,不超过 72 h。

除标准实验室温度外的试验,按照 ISO 23529 对试样进行足够时长的调节,使试样达到平衡。

9 试验步骤

9.1 总则

关于试验条件对摩擦特性影响的指导,见附录 D。

9.2 试验温度

试验应在标准实验室温度下进行,或按 ISO 23529 规定,选择双方协商同意的其他温度进行。

注:在低于露点的温度下,水分会在试验表面凝结,会严重影响摩擦力的测试结果。为避免这种情况,需在湿度较低的环境中进行试验。同样的,为避免在 0℃ 结冰的现象,需在非常干燥的环境中进行试验。

9.3 试验速度

除另有规定外,试验应在 50 mm/min 速度下进行。

注:速度加倍或减半,对摩擦力影响较小。在研究范围内,试验速度宜按 10 倍进行变化。当速度超过 1 000 mm/min,摩擦生热较大,不可忽略。

9.4 法向载荷

所选法向载荷应适合实际应用。

注:在实际应用未知的情况下,宜选载荷为 10 N、50 N 和 100 N。

10 试验轨道的清洁或更新

每次试验新试样时,试验轨道应清洁或更新。

注:随着试验的进行,轨道表面会发生变化,摩擦系数也会发生变化。在一系列涉及负载、温度和速度变化的试验中,更新测试轨道是不实际的。然而在更换试样时,可更新或清洁试验轨道,这是最低要求。如条件允许,频繁地清洁或更新试验轨道更为合适。

11 程序 A(初始摩擦测量)

11.1 如试验温度不是标准实验室温度,将环境箱设置为指定温度,并使设备达到该温度。

11.2 将试样安装在仪器上,用机械方式或黏合剂进行固定。如果在一个温度范围内进行试验,应在整个温度范围内使用相同的固定方法。

11.3 使用垫片或任意方式调整试样,使传感器的力和驱动设备的力作用线都位于试样与试验轨道的接触面内。若偏移,记录偏移量,精确到 0.5 mm。

11.4 将试样放在起始位置,并选择测试速度。

11.5 选择并施加法向载荷。

注:使用水平装置时,法向载荷包括试样和底座的重量。

11.6 操作装置,使接触面分离。

11.7 将设备的力值记录范围设置到所需量程(力的范围约等于所加法向载荷)并检查零点。

11.8 将调节后的试样与试验面贴合,并在 5 s 内启动设备。

11.9 试验结束后,再次将两个表面分开,并将设备恢复到初始位置。

注:返回速度无需和试验速度相同。

11.10 按步骤 11.8 和 11.9 重复两次,共进行 3 次测试。

11.11 如试验轨道或试样有方向性纹理,则反转试验轨道或试样,重复步骤 11.1 到 11.10。

11.12 如要进一步测量,可选择合适的速度、温度和法向载荷,重复步骤 11.1 到 11.10。

12 程序 B(工况运行)

12.1 随着试验的进行,试样表面和试验轨道发生变化,摩擦系数也随之变化。如与工况运行相对应,

后期的摩擦系数值可能比早期的值更有相关性。在这种情况下,按照 12.2 到 12.4 的步骤进行。

12.2 按照 11.1 到 11.10 步骤进行。

12.3 启动设备并重复 11.8 到 11.9 步骤 50 次或相关方同意的次数。

12.4 启动记录装置并重复 11.8 到 11.10 步骤,再记录 3 次轨迹(见图 2)。

13 程序 C(添加润滑剂或污染物的试验)

13.1 执行步骤 11.1 到 11.6。

13.2 通过喷雾、涂抹或其他合适的方法,将指定的润滑剂或污染物涂到两个试验表面的任意一个上。

注:典型的润滑剂或污染物是水,如添加了清洁剂、油或油脂的水。

13.3 执行步骤 11.7 到 11.9。

注:在一个垂直的试验轨道上,可能有必要将润滑油或污染物连续喷涂到试验轨道上。

13.4 重复步骤 13.2 和 13.3 两次,共进行 3 次测试。

13.5 如要进一步测量,应选择合适的纹理方向、速度、温度和法向载荷,重复步骤 13.1 到 13.4。

13.6 拆卸设备,彻底清洗试验表面和安装试样的支架表面。如前所述,由于某些污染物,如硅油,不可能完全去除。这种情况下,将试验轨道放置在一个标明污染物类型的密封的聚乙烯袋中,保留这个特殊的轨道用于后面的同类试验。不应用于常规的摩擦测试。

14 粘-滑

14.1 测试过程中不能消除所有粘-滑现象,但是,如振荡超过力值范围 30%,按照 14.2 到 14.7 中给出的步骤将其降低。

14.2 检查机械传动装置和传感器的力作用线是否都位于试样与试验轨道的接触平面内。调整纠正所有偏差。

14.3 使用较高刚度的载荷传感器,即使有较大的量程,也要接受该特定传感器的小负荷下的精度。

14.4 所有连接采用硬连接,避免松动。

14.5 如果机器框架易变形,增加交叉支撑。

14.6 减小试样的厚度,确保边缘足够圆。

14.7 如果这些措施无效,以原来测试速度的 2 倍到 10 倍进行试验,并在试验报告中注明。

15 结果表示

15.1 概述

除试验中涉及的两种材料的样品编号和其他数据外,还要记录每组试验过程的法向载荷、试验速度和试验温度。

15.2 结果计算和表述(程序 A 和程序 C)

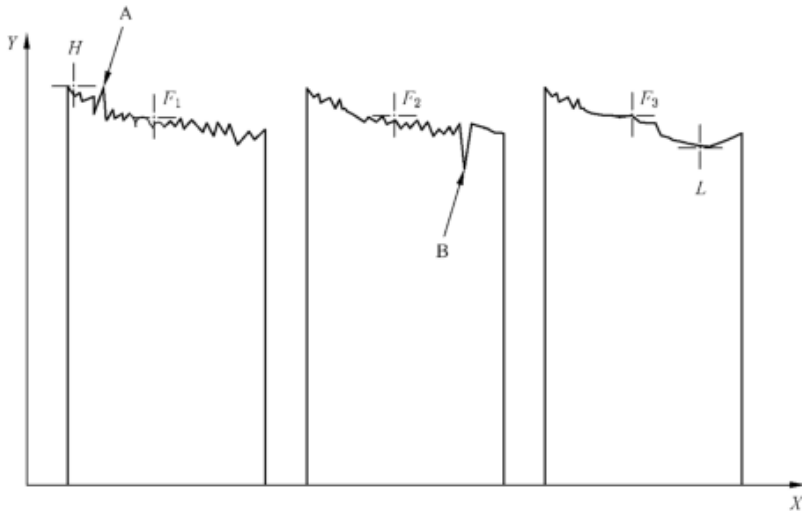
典型的重复轨迹如图 1 所示。表面很少是完全均匀的,随着测试的进行,摩擦的一些变化是不可避免的。此外,橡胶是一种粘弹性材料并随时间及施加的力而变化。这说明摩擦力通常取决于物体表面接触以及运动时间的长短。因此,摩擦系数的重现性不好。这实际反映,随着测试的进行,接触的区域、测试后表面的纹理和条件都随之变化。因此,在规定条件下,对两种材料之间的摩擦系数给出一个预期

值的范围是必要的。

检查记录 11.10 或 13.4 中的三个轨迹。标记并记录在不同情况下的中点摩擦力值(图 1 中 F_1 , F_2 和 F_3)。将测量的三个轨迹中的任一摩擦力除以所对应的法向载荷,作为摩擦系数,结果保留两位小数。对三个试样分别重复进行,给出所有 9 个值(对于表面带有方向纹理的试样,会有 18 个值)。

摩擦系数结果取 9 个值的平均值,并保留两位小数。对方向性纹理的表面,分别给出两个方向获得的平均值。

记录以上 9(18)个轨迹的最大值和最小值(见图 1 中 H 和 L)。同样,用这些值计算摩擦系数。这些值给出了两个表面摩擦系数所在的范围。



标引序号说明:
X —— 时间;
Y —— 摩擦力。

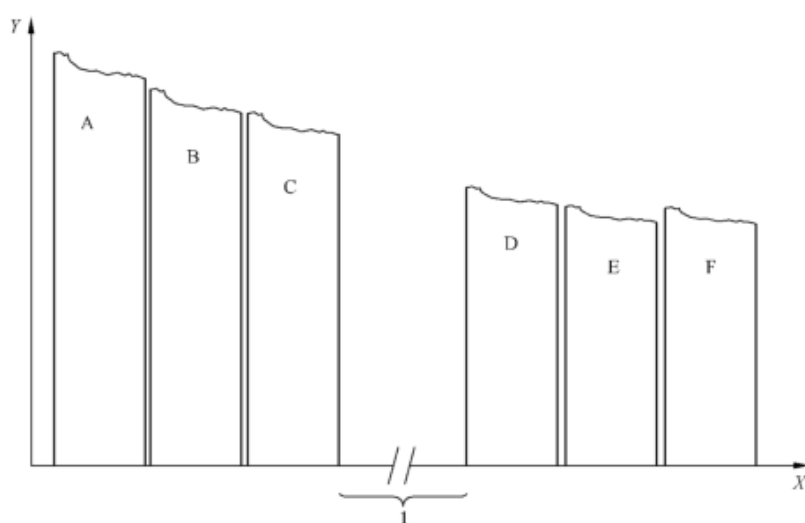
图 1 显示高点和低点的典型摩擦轨迹

单一向上的峰值,如图 1 中 A 所示,通常是由于轨道上高摩擦材料的“介入”或者是点状污染导致的,例如,一种黏合剂。而单一的瞬间谷值,如 B 所示,通常是由于一小部分的润滑污染或轻微的表面不规则造成的。忽略这些短暂的偏移,因为它们实际上不是被测表面的属性,并计算剩余轨迹的结果。如有疑问,或者有多个尖峰、尖谷,则用新材料重新试验。

15.3 结果的计算和表示(程序 B)

程序 B 得到的典型轨迹如图 2 所示。通常,从第一个试验到最后一个试验有一个向上或向下的趋势,第一个和第三个轨迹(A 和 C)之间的变化通常要比在最后三个轨迹(D, E 和 F)中观察到的摩擦水平变化大得多。

因为这个试验是模拟工况实际运行,当轨道和试样发生交叉污染,最后三个轨迹更有意义。忽略轨迹 A、B 和 C,根据 15.2 中的步骤处理 D、E 和 F。



标引序号说明：
 X —— 时间；
 Y —— 摩擦力；
 1 —— 50 次循环。

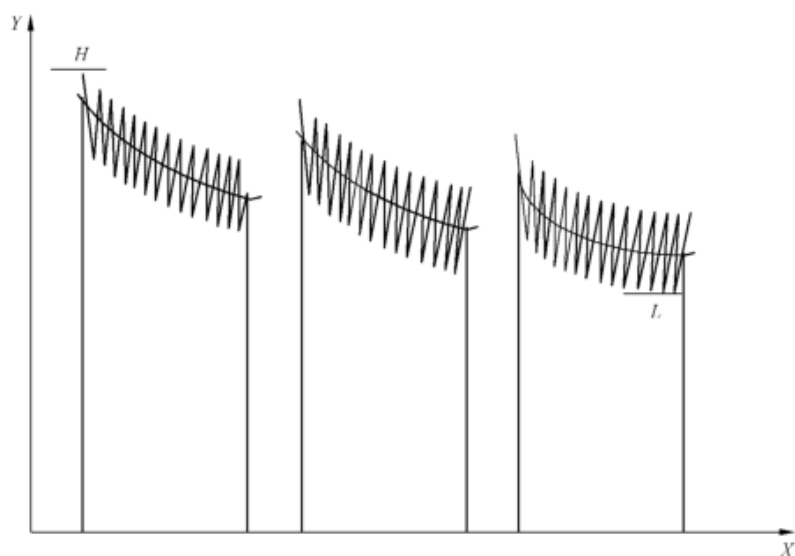
图 2 在持续测试中典型的结果趋势

15.4 粘-滑的处理

在每条轨迹上,画出粘-滑的中点轨迹。用与图 1 中相同的方式处理这些轨迹。根据 15.2 中给出的步骤,计算每条轨迹的平均摩擦系数,计算得到 9(18)个值的平均值。

然而,对最大值和最小值,则使用粘-滑的极限范围,如图 3 中的 H 和 L 点进行计算。计算与 H 和 L 力值相对应的摩擦系数并作为极限值的范围。在此试验条件下,预期摩擦系数将处于该范围内。

注:粘-滑的振幅不仅仅是试验表面的特性,它还明显地依赖于装置固有的弹力。通过加固设备和传感器,可减少过多的粘-滑。因此, H 和 L 的计算值既是材料的属性也是设备的属性。



标引序号说明：
 X —— 时间；
 Y —— 摩擦力。

图 3 典型的粘-滑轨迹

16 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 试样的详细说明：
 - 1) 被测橡胶和所用试验轨道的详细说明；
 - 2) 混炼胶及硫化条件,若已知；
 - 3) 试样的制备方法,例如模压或裁切；
 - 4) 表面的处理方式,以及已知的表面粗糙度(如使用树脂胶合纸的测试轨道,则用砂纸粒度表示)。
- b) 试验方法和试验说明：
 - 1) 本文件编号；
 - 2) 使用的程序(A、B或C)；
 - 3) 使用仪器的类型；
 - 4) 试验条件,包括法向载荷、速度、温度和任何使用的润滑剂或污染物；
 - 5) 试验前试样调节的时间与温度；
 - 6) 任何与常规试验程序的差异,如两个试验表面接触平面与传感器的位移线间的偏移量。
- c) 试验结果：
 - 1) 摩擦系数平均值和9(18)个摩擦轨迹中摩擦系数的最大值和最小值；
 - 2) 表面有方向性纹理的试验方向；
 - 3) 如果需要,完整的摩擦轨迹图形；
- d) 试验日期。

附录 A

(资料性)

设计原理

当一个表面滑过另一个表面时,会产生阻碍运动的摩擦力。摩擦力的大小取决于表面作用力的大小(法向力或法向载荷)。

摩擦力与法向载荷的比值称为摩擦系数。

测量摩擦力的大小,有必要在物体表面之间提供相对运动,并通过传感器进行监测。

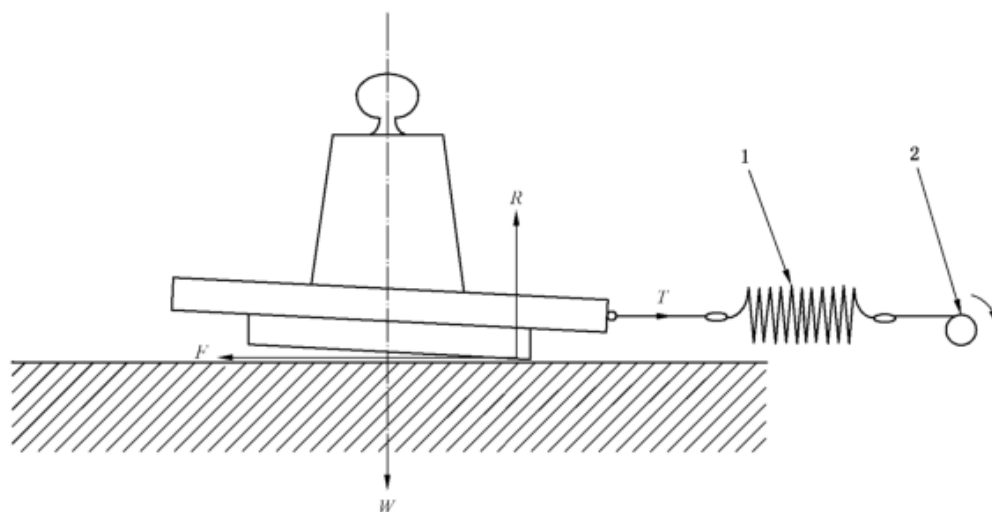
图 A.1 中给出了一个典型的看似令人满意的简单设计。

然而,阻碍运动的摩擦力是在摩擦平面内的,而拖曳力 T 则在上面。这就产生了一个顺时针的扭矩,只有靠滑块向前倾斜才能平衡,如图 A.1(放大)所示。逆时针的力偶是由重力 W 和滑块的支撑力 R 提供的(为了更清晰进行了放大)。

从试验来说,这是一个非常差的布局,因为接触发生在一个较小的、不确定的和不可界定的区域。这种布局也不稳定,容易发生剧烈的粘-滑。

因此,设计仪器时,应确保传感器与驱动装置的力作用线都在两个平面的接触面中。如图 A.2 所示,很明显,这是一种比图 A.1 所示更合理的布局。它的优势是大大减少了粘-滑。在 James 和 Newell 的论文中,有一个更全面的讨论^[3]。

然而,这种布局设计限制了可使用的法向载荷和试验速度,并且对于某些成品来说,其他的试验参数可能更重要。例如,轴承材料需要一个高速旋转的测试配置。同样的,V带能产生相对较高的法向载荷,最好在专门用于这类成品的设备中进行测试。

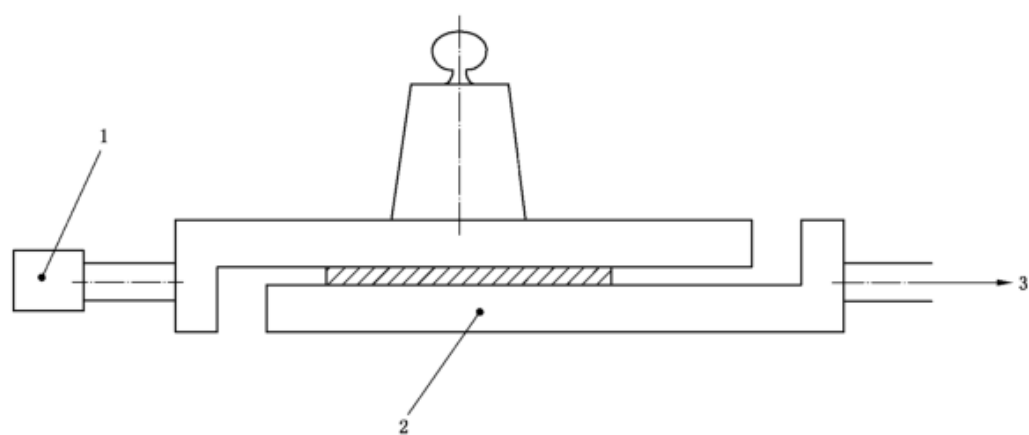


标引序号说明:

1——载荷传感器;

2——驱动。

图 A.1 拖曳力和摩擦力之间的偏移效应



标引序号说明：

1——载荷传感器；

2——轨道；

3——驱动方向。

图 A.2 拖曳力与传感器作用线在同一摩擦平面的结构组合

附录 B

(资料性)

球-面形状

在平面轨道上使用橡胶球是一种克服平面表面接触面积潜在问题的方法。如果已知橡胶的应力-应变特性,就可计算出接触面积。

根据 Hertz(赫兹)的观点^[4],当光滑的弹性球接触光滑的平面时,接触的半径 a 由式(B.1)给出:

$$a^3 = \frac{9}{16} \times W \times \frac{R}{E} \quad \text{..... (B.1)}$$

式中:

R —— 球半径;

W —— 负荷;

E —— 杨氏模量(或在橡胶的情况下是非常近似的值)。

摩擦理论表明摩擦力 F 与界面接触面积和界面的剪切强度 S 成正比,其关系由式(B.2)给出:

$$F = \pi a^2 S \quad \text{..... (B.2)}$$

代入上面的 Hertz 方程,摩擦力 F 和垂直负荷 W 之间的关系由式(B.3)给出:

$$F = \pi S \times \left(\frac{9}{16} \times \frac{R}{E} \right)^{\frac{2}{3}} \times W^{\frac{2}{3}} \quad \text{..... (B.3)}$$

摩擦系数 μ 由式(B.4)给出:

$$\mu = \frac{F}{W} = \pi S \times \left(\frac{9}{16} \times \frac{R}{E} \right)^{\frac{2}{3}} \times W^{-\frac{1}{3}} \quad \text{..... (B.4)}$$

然而,在实际使用中很少遇到这种非常理想化的模型。当球面和平面之间接触时,一般认为各自都有一定程度的粗糙度,或者有多个接触点进行接触,Archard^[5]建立了式(B.5)的方程:

$$F \propto W^n \quad \text{..... (B.5)}$$

其中:

$\frac{2}{3} < n < 1$, n 的值随着模型的复杂性而变化。Bowden 和 Tabor 关于摩擦的书中对此进行了更全面的讨论^[6]。圆柱与平面之间的接触可进行类似的分析。

附录 C

(资料性)

静摩擦力与“黏附”

如果当法向载荷降为 0 时,仍然有一种力阻碍运动,即在表面之间有黏合(例如:汽车挡风玻璃上的证件卡套),这种现象通常被称为“黏附”。因为当没有黏性,阻碍的力似乎只有摩擦力。静电电荷和毛细管吸引力也可能产生表面之间的黏合。这相当于增加了外部所施加的法向力。

由于这种黏合力的大小很少为人所知,摩擦系数通常仅根据施加的法向载荷来计算。如果忽略黏合或者把它并入法向力计算,都会得到一个较高的摩擦系数。

通常表面之间的黏附取决于接触时间,一般来说,黏合随时间增加。这说明随接触时间的延长阻碍运动的摩擦力而增加。因为外部的法向力是恒定的,所以在接触时间越长的情况下,摩擦系数也越高。

因此,在任何试验程序的不同试验中,保持接触时间相对恒定是很重要的(最好是短时间,除非正在对黏附的影响进行研究)。这可以通过两种方式来实现:一种是在物体表面被合并之前开始运动;另一种是设定从表面接触到开始运动的限制时间。通常,与粗糙表面相比,光滑表面的黏附问题更大,因此在进行材料比较时,相对于完全光滑的表面,在轻微粗糙度的表面(如,ISO 4287^[2]中定义的粗糙度 $R_z \approx 10\ \mu\text{m} \sim 30\ \mu\text{m}$)上可得到更可靠的结果。开始运动所需要的力称为“静摩擦力”。由于橡胶静摩擦力的数值取决于表面接触的时间以及施加剪切力的上升速率,其静摩擦力很难测量。

通常,橡胶的静摩擦力很小,所以无论施加多小的剪切力,试样都会移动。然而,因此产生的运动速度很小,以至于要花费几周时间才能检测到这些可察觉的运动。

此外,几乎不可能将法向力为 0 的静摩擦力与黏附区分开,通常两者都是混淆的。本文件中描述了利用选择若干的速度测量摩擦力的方法,以仪器的最低速度进行测量可获得一个接近于 0 速度的初始滑动的趋势(与上面提到的缓慢移动相对应)。

测量静摩擦力或黏附的仪器宜基于缓慢上升的梯度力,而不是选定速度。它还需要一个非常灵敏的初始运动指示器。如果这些设施全部具备,这里描述的一般方法可用来测量静摩擦力或初始摩擦力。

附录 D

(资料性)

其他参数

D.1 粗糙度

在一个非常粗糙的轨道上,摩擦系数与平滑轨道上的摩擦系数可能大不相同。这在润滑条件下尤其明显。

如果粗糙程度足以导致橡胶表面的切割(比如采用非常粗糙的石榴石砂纸),那么切割橡胶表面所做的功,在观察者看来是克服摩擦做的功。这就导致了观察到的摩擦系数比未发生切割作用时测得的摩擦系数要高。

同样,如果粗糙度具有波动性(比如,像钢丝网一样),那么橡胶表面就会反复变形。因为橡胶是一种粘弹性材料,能量在变形和恢复过程中损失。这种能量损失又表现为克服摩擦所做的功,导致观测到的摩擦系数增大。这在潮湿的环境中尤其明显。橡胶的滞后损失越大,摩擦力就越大,但是这也带来了不利影响,即滞后损失产生的热量导致橡胶温度升高。随之,温度的升高也将改变摩擦系数的值(见 D.3)。

因此,规定橡胶和试验轨道的表面光洁度很重要,如果有更合适的在报告中给出。请注意 BS 1134 第 1 部分和第 2 部分^{[7][8]},其中提供了对表面结构进行评估的方式和指导。当把一种橡胶与另一种橡胶进行比较时,确保试验条件相同尤为重要。

D.2 法向载荷

在摩擦力和实际接触面积之间存在着一种关系。当法向载荷增加时,实际接触面积会增加,摩擦力也会增大。在较大范围的法向载荷下,摩擦系数基本保持不变(随负荷增大略微降低)。然而,在一个非常高的负荷下实际接触面积将达到一个稳定值,如果法向载荷继续增大,摩擦力将保持稳定。这表明法向载荷非常高时摩擦系数将降低。这样的高载荷通常超出了这里描述的仪器可进行研究的范围。

D.3 速度与温度

在本文件中不可能给出速度与温度之间的数学关系。但是增加速度等同于降低温度。其内在的关系是由 Williams、Landel 和 Ferry 给出的^[9],并且 Grosch 提出了一个关于这个等式应用很好的概述^[10]。

理论说明,如果以摩擦力对速度的对数作图,将获得如图 D.1 中曲线(a)。升高温度曲线将向右移动并获得同一图中曲线(b)。实际上,以非常高的速度时,摩擦生热会提高界面的温度,因此这些曲线不能通过试验来确定。随着速度的增加,试验结果从曲线(a)开始到曲线(b)结束,在图 D.2 给出一个曲线(c)所示较宽的峰。

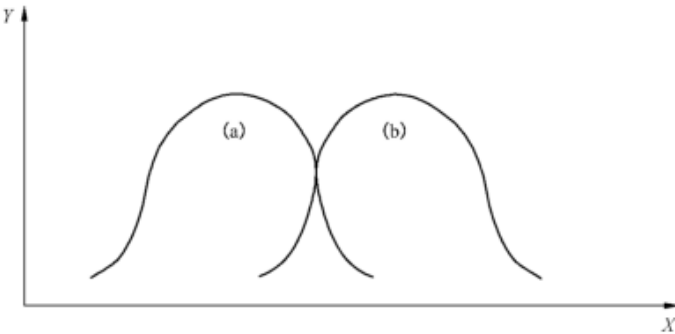
D.4 填料

在橡胶混合物中加入炭黑或其他填充剂会使摩擦系数-速度对数的曲线变平,如图 D.2 中曲线(d)所示。

D.5 玻璃化转变温度 T_g

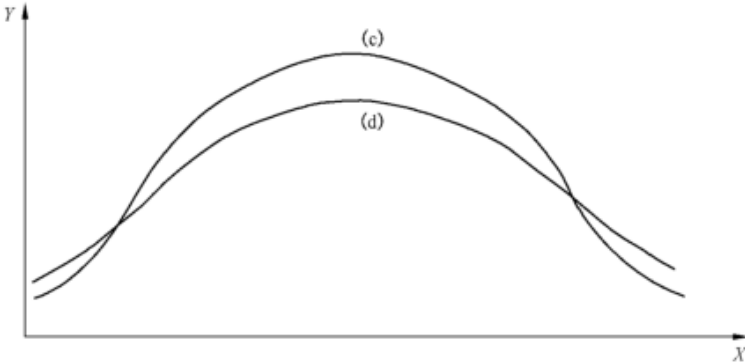
摩擦系数曲线的位置取决于橡胶的玻璃化转变温度。低玻璃化温度的材料出现在右侧,而高玻璃化转变温度的材料出现在相对靠左的位置,如图 D.3 所示。

在室温和本文件中考虑的速度范围内,大多数橡胶摩擦/速度都有正相关特性,并且这些特性使它们在驱动带和类似的应用中非常有用。然而,一种具有相对较高的玻璃化转变温度的橡胶,在相对较低的温度下使用,如 5℃,摩擦/速度可能呈负相关特性,并且在这种情况下,驱动力或抓地力可能是不确定和不稳定的,如图 D.3 所示。在这种情况下,补救办法是选择一种具有较低的玻璃化转变温度的橡胶,尽管这样会有明显的较低摩擦系数。



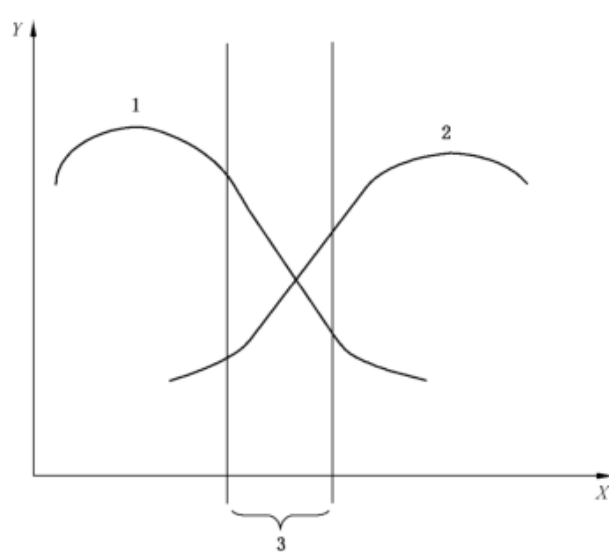
标引序号说明:
X ——速度的对数;
Y ——摩擦系数。

图 D.1 接触面温度升高时在较大范围内速度-摩擦曲线的理论变化



标引序号说明:
X ——速度的对数;
Y ——摩擦系数。

图 D.2 表面温度升高,在较大范围内速度-摩擦曲线的试验性变化



标引序号说明：

X —— 速度的对数；

Y —— 摩擦系数；

1 —— 高 T_g 材料；

2 —— 低 T_g 材料；

3 —— 运行速度范围。

图 D.3 玻璃化转变温度对摩擦曲线的影响

参 考 文 献

- [1] ISO 2230 Rubber products—Guidelines for storage
 - [2] ISO 4287 Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface texture: Profile method—Terms, definitions and surface texture parameters
 - [3] JAMES, D. L., and NEWELL, W. G.; Polymer Testing, 1980, Vol. 1, p. 9.
 - [4] HERTZ, H.; Journal für reine und angewandte Mathematik, 1882, Vol. 92, p. 156.
 - [5] ARCHARD, H. (in Reference [6])
 - [6] BOWDEN, F. P., and TABOR, D.; The friction and lubrication of solids—Part II, Oxford University Press, 1964, p. 243.
 - [7] BS 1134: Part 1; 1988, Assessment of surface texture—Methods and instrumentation
 - [8] BS 1134: Part 2; 1990, Assessment of surface texture—Guidance and general information
 - [9] WILLIAMS, M. L., LANDEL, R. F., and FERRY, J. D.; Journal of the American Chemical Society, 1955, Vol. 77, p. 3701.
 - [10] GROSCH, K. A.; Proceedings of the Royal Society, 1963, Vol. A274, p. 21.
-

中 华 人 民 共 和 国

国 家 标 准

橡胶 摩擦性能的测定

GB/T 40721—2021/ISO 15113:2005

*

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

2021年10月第一版

*

书号: 155066 · 1-68563

版权专有 侵权必究



GB/T 40721-2021