

材料摩擦系数的正确检测以及注意事项

摘要: 本文针对摩擦系数以及塑料薄膜的摩擦系数检测进行了详细的介绍, 更以兰光实验室的材料检测经验为基础,

列出了一些进行摩擦系数检测时应多加注意的事项, 以帮助读者进行正确的测试, 提高测试效率。

关键词: 摩擦系数, 摩擦力, 添加剂, 温度, 试验制备

摩擦系数是考察包装薄膜的一项重要指标。因为在包装过程中的摩擦力常常既是动力又是阻力, 因而其大小应控制在适当的范围内。在研究摩擦系数时, 应特别注意温度对摩擦系数的影响很大, 因此不仅要检测包装材料在常温下的摩擦系数, 还应考察其在实际使用环境温度下的摩擦系数。

1 摩擦系数

1.1 摩擦系数介绍

摩擦系数是各种材料的基本性质之一。当两个相互接触的物体之间有相对运动或相对运动趋势时, 其接触表面上产生的阻碍相对运动的机械作用力就是摩擦力。某种材料的摩擦性能可以通过材料的动静摩擦系数来表征。静摩擦力是两接触表面在相对移动开始时的最大阻力, 其与方法向力之比就是静摩擦系数; 动摩擦力是两接触表面以一定速度相对移动时的阻力, 其与方法向力之比就是动摩擦系数。摩擦系数是针对一组摩擦副来讲的, 单纯说某种材料的摩擦系数是没有意义的, 同时必须指明组成摩擦副的材料种类, 并说明测试条件(环境温湿度、载荷、速度等)以及滑动材料。

多数学者认为摩擦力的本质是由两物体接触面上的分子间内聚力引起的。然而事实上, 对于两个相互接触的物体来讲, 只有在表面间的微观凸起才相互接触, 而大多数地方是不接触的, 因此实际接触面积远小于表观接触面积(即我们所测定的试样面积)。摩擦阻力与实际接触面积成正比(不是与表观接触面积成正比), 一般实际接触面积又与表面上的正压力成正比, 因此摩擦力与正压力成正比。不同材料间接触面上分子间的内聚引力不同, 这将影响到物体间的摩擦力, 因此不同材料间的摩擦系数也就不同。

1.2 塑料薄膜的摩擦系数

高分子聚合物在软包装行业中获得了广泛的应用, 材料表面的摩擦系数是包装机器运行速度以

及包装物易开启性的主要影响因素之一，在制作过程中加入添加剂（如爽滑剂和抗粘连剂）是一种调节塑料表面摩擦系数的常见方式。

爽滑剂按照功能分为内爽滑剂和外爽滑剂两类：内爽滑剂能促进聚合物大分子链或链段相对运动，从而改善物料流动性；外爽滑剂则是与聚合物基团相容性差的极性有机化学品，在聚合物链的布朗运动作用下，这些分子迁移到薄膜表面形成一层油性表面，从而起到改善薄膜表面性能的爽滑作用并降低材料表面的摩擦系数。

抗粘连剂一般是粒径 $2\ \mu\text{m}\sim 4\ \mu\text{m}$ 的固体粉末，加进薄膜表层可以形成许多凸起，使薄膜层与层之间的实际接触面积减少，从而降低粘结力，相互滑动就会比较容易，有利于摩擦系数的降低。

此外，由于静电吸附力不但会影响薄膜之间的摩擦系数，还会影响材料的多种物理性能，因此抗静电剂也是常用的添加剂的一种。

不过不同种类的添加剂与薄膜结构的兼容性不一样，迁移到材料的表面并对材料的表面起到一定的润滑作用的添加剂存在时间及保存环境的依赖性，而且添加剂对材料表面的作用均匀性也往往并不是完全一致的，所以材料表面的摩擦系数会表现出不一致的特点。在进行材料摩擦系数的比较试验时应注意试验要同时进行，除非是进行材料老化效果的研究。

2 材料摩擦系数的正确检测以及注意事项

2.1 摩擦系数的检测

摩擦系数的检测方法相对来讲比较统一：使用一个试验板（安置在水平操作台上的），将一个试样用两面胶或其他方式固定在试验板上，另一试样裁切合适后固定在专用滑块上，然后将滑块按照具体操作说明放置在试验板上第一个试样的中央，并使两试样的试验方向与滑动方向平行且测力系统恰好不受力。通常采用如下形式的检测结构。

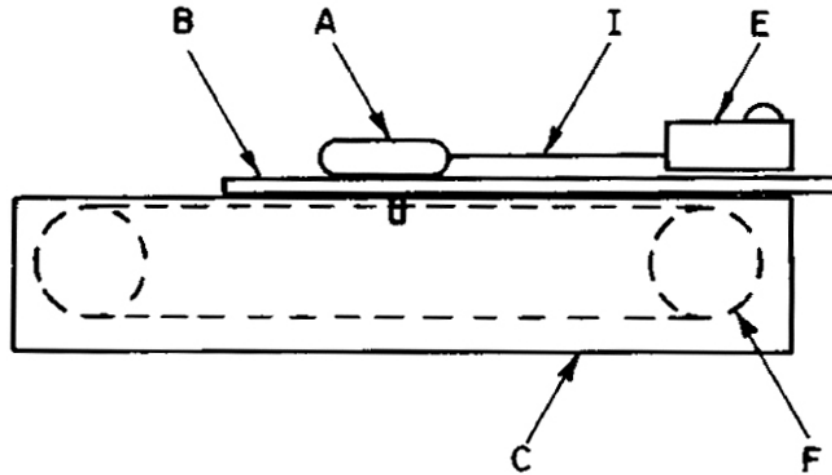


图 1. 检测方法示意图

注: A. 滑块; B. 试验板; C. 支持底座; E. 测力系统; F. 恒速驱动系统; I. 尼龙丝

对于摩擦系数试验有以下几点需要说明:

首先,对于薄膜摩擦系数的检测方法标准以 ASTM D1894 和 ISO 8295(GB 10006 等效采用 ISO 8295) 为主,其中,对试验板(又称试验台)的制作工艺要求很高,不但要保证台面的水平及光滑,并且要求用非磁性材料制作。标准不同,对于试验条件的要求也不相同。例如对于试验速度的选择,ASTM D1894 中要求是 $150 \pm 30 \text{mm/min}$,但是 ISO 8295(GB 10006 等效采用 ISO 8295)中要求是 100mm/min ,试验速度不同会明显影响试验结果。

第二,加温试验可以实现,需要注意的是在进行加温试验时要保证滑块的温度是室温,仅对试验板进行升温,这点在 ASTM D1894 标准中有明确说明。

第三,同样的测试结构也可以用来检测金属以及纸张等材料的摩擦系数,但是对于不同的试验对象,滑块的重量、行程、速度等参数都是不同的。

第四,采用这种方法时需要注意由于运动物体的惯性给试验带来的影响。

第五,通常,材料的摩擦系数是小于 1 的,但是有些文献中也提到了摩擦系数大于 1 的情况,例如橡皮与金属间的动摩擦系数就在 1~4 之间。

2.2 摩擦系数试验的注意事项

2.2.1 温度

随着温度的升高, 部分薄膜的摩擦系数会表现出上升的趋势, 一方面这是由高分子材料自身的特性决定的, 另一方面与薄膜制造时所采用的润滑剂有关 (润滑剂很有可能已经接近其熔点而变得粘结), 温度升高后, 测力曲线波动幅度增大, 直至出现“粘滑”现象。

笔者对 5 种试样进行了动静摩擦系数的升温试验, 使用测试速度为 100mm/min, 使用设备 Labthink FPT-F1 摩擦系数/剥离试验仪, 测试温度范围 18°C ~ 60°C。部分试验数据详见表 1。

表 1. 不同温度下的摩擦系数数据

试样名称	试样厚度	试验数据 ¹	试验温度						备注
			18°C	23°C	30°C	40°C	50°C	60°C	
AL (铝箔)	25 μm	μ _s	0.384	0.465	0.45	0.4	0.446	0.432	
		μ _k	0.371	0.456	0.399	0.381	0.429	0.416	
BOPP	25 μm	μ _s	0.342	0.329	0.343	0.355	0.409	0.496	
		μ _k	0.323	0.328	0.345	0.321	0.377	0.442	
复合膜 1#	75 μm	μ _s	0.238	0.238	0.247	0.289	0.305	0.353	进行 60°C 试验时, 试样受热有点变形。
		μ _k	0.189	0.198	0.192	0.234	0.22	0.252	
复合膜 2#	90 μm	μ _s	0.174	0.197	0.206	0.247	0.249		进行 60°C 试验时, 试验出现粘滑现象, 50°C 后试样受热变形。
		μ _k	0.106	0.117	0.104	0.136	0.141		
PE 黑白膜	100 μm	μ _s	0.302	0.384	0.417	0.416	0.464	0.484	进行 50°C、60°C 试验时, 试样受热有点变形。
		μ _k	0.214	0.312	0.297	0.331	0.389	0.464	

注: 1. μ_s是静摩擦系数, μ_k是动摩擦系数。

由表 1 中数据可以看出, 对于试样 BOPP、复合膜 1#、复合膜 2#以及 PE 黑白膜来讲 (这 4 种

试样都是高分子聚合物材料), 随着温度的上升, 材料的动静摩擦系数都有一定增长, 但是增长的幅度并不一样。由表 1 中的部分数据绘制图 2, 其中有 AL (铝箔)、复合膜 2#、PE 黑白膜的摩擦系数随温度的变化曲线。温度变化对高分子材料的摩擦系数有一定的影响, 然而并非所有材料的摩擦系数受温度的影响都很显著, 复合膜 2# 的摩擦系数随温度的变化就比较小。温度对摩擦系数的影响是高分子聚合物的一个特点, 而温度对金属等材料的影响就非常小, 如图 2 中 AL (铝箔) 的摩擦系数随温度的上升基本保持稳定。

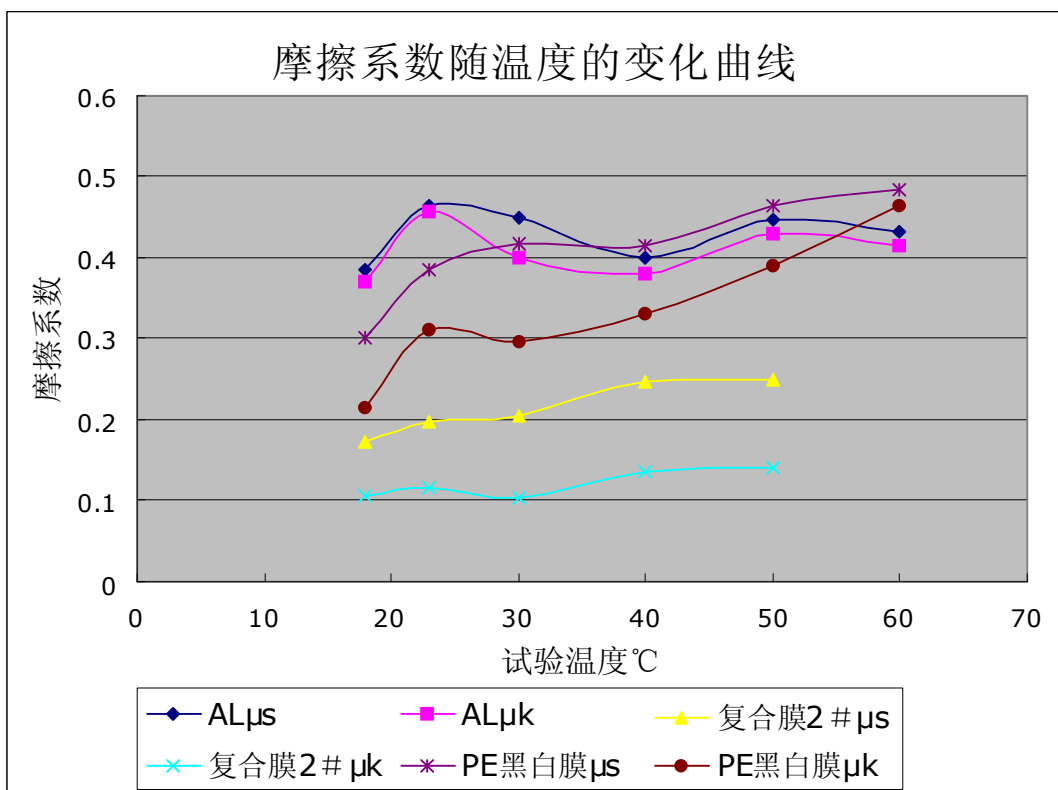


图 2. 摩擦系数随温度的变化曲线

在自动包装过程中, 设备的实际温度由于元件运转散热会比室温高出一些, 因此有必要在实际的包装环境温度下检测薄膜的摩擦系数。例如用烟膜包装香烟时, 薄膜外面在下膜通道、成型轮槽、折叠板、烙铁、导轨等金属部件上滑动运行, 应该将薄膜外面对金属的摩擦系数控制在较低的水平上。由于这些金属部件大都是在 50°C 以上的高温条件下运转, 所以控制高温条件下的薄膜对金属的摩擦系数更加重要, 这样才能确保薄膜在热金属部件上滑动运行顺畅。因此需要在高温条件下检测薄膜外面对金属的摩擦系数, 仅凭借常温下的摩擦系数数据来判断高温环境下的摩擦性能是不可取

的。

2.2.2 试样的制备

如果试样正反两面的摩擦性质不同, 应分别进行试验。

对于试样取向的选择应特别注意, 标准中对于试样的测试取向要求非常严格, 尤其是在进行数据比对时, 否则可能会对试验结果产生明显的影响。通常情况下, 试样的长度方向(即试验方向)应平行于样品的纵向(机械加工方向), 当然滑块放置在试验板上后, 滑块上试样的方向应该和之前固定在操作台上的试样取向一致。

这种检测方法并不适用于黏性材料的摩擦系数检测, 而且对于出现“粘滑现象”的试样, 在检测动摩擦系数时需要使用金属丝代替尼龙丝, 并将材料的动静摩擦系数分开检测。

对于试样尺寸的要求各个标准之间存在一定的差异, 操作人员需要按照所执行的标准或者指定要求进行采样及试样的预处理。

2.2.3 摩擦系数和接触时间的关系

有文献指出, 在两物体刚刚接触后的一段时间内, 摩擦系数和摩擦力随接触时间的延长而变化。一方面是由于随着接触时间的延长, 在一定的正压力下两物体表面的实际接触面积会增大, 而且接触面的弹性形变越剧烈, 更有指出接触时间会影响塑性形变的。其实接触时间的增加不仅会影响两材料之间的摩擦系数, 平常我们所使用的塑料薄膜, 如果两层薄膜贴在一起时间较长, 在分离的时候也会存在难度, 当然这主要还是材料本身的特性以及在生产过程中使用的添加剂所起的作用。然而摩擦系数对接触时间的依赖关系具有饱和性。当接触时间延长到使接触面的弹性形变和塑性形变都达到最大限度后, 最大静摩擦力乃至静摩擦系数也相应达到饱和值, 之后就不再随接触时间的延长而增大了。饱和接触时间的长短和接触面的质料有密切的关系。

鉴于接触时间的长短会对材料的摩擦系数产生影响, 而且这种影响会因材料的不同而有所改变, 因此在进行摩擦系数检测时需要统一将滑块放置到试验板上到开始试验的时间间隔, ISO 8295 (GB 10006 等效采用 ISO 8295) 中要求这段时间间隔为 15s。

2.2.4 动摩擦系数与静摩擦系数

通常我们所检测的试样都是动摩擦系数小于静摩擦系数, 但是在进行塑料的摩擦系数试验时会发

济南兰光机电技术有限公司

中国济南市无影山路 144 号 (250031)

总机: (86) 0531 85864214 85953155

传真: (86) 0531 85812140

E-mail: labthink@labthink.cn

网址: <http://www.labthink.cn>

现对于部分塑料（如聚四氟乙烯），其动摩擦系数会与静摩擦系数近似相等，甚至大于静摩擦系数。

标准 ASTM D1894 中就在 TABLE1 中给出了一个试样 M3 (PE) 的摩擦试验结果，其动摩擦系数大于静摩擦系数，不过仅相差 0.01，数据非常接近。

3 总结

理想情况下，对于一定的摩擦副来讲，动摩擦系数和静摩擦系数都是常数，与物体的接触面积无关，也与相对滑动的速度无关。但是由于实际检测中的测试条件总不是完全一致，而且材料均匀性不一，所以不同试验室间的测试数据存在差异也是正常的。

摩擦系数合适与否不但会影响薄膜的生产和使用，也会对包装物的易开启性产生影响，因而是包装材料的基础检测项目之一。虽然这项检测的普及率非常高而且检测原理简单易懂，但是一些试验注意事项仍需要试验人员特别留意。本文中所列出的检测方法特点及注意事项仅是结合兰光实验室的材料检测进行的总结，如果您有任何检测技术上的问题也可以与我们进行探讨。