

DHKFC-1 型
静、动摩擦因数测试仪

使
用
说
明
书

杭州大华仪器制造有限公司

静、动摩擦因数的测定

动、静滑动摩擦因数（又称摩擦系数）测试系统，它可以对不同材料之间的静滑动摩擦因数 f_s 和动滑动摩擦因数 f_d 进行测试，我们做了许多实验之后，得出对于静滑动摩擦因数小的材料，它的动滑动摩擦因数与之十分接近的结论，也就是用 f_s 等同于 f_d ，是可以接受的，见附录表 1 所示。又对于静滑动摩擦因数大的材料，发现动滑动摩擦因数 f_d 就不能随便用静滑动摩擦因数 f_s 来替代，而必须用实测数据才能在工程中使用。

【实验目的】

- 1、同种材质之间的静、动摩擦因数的测量；
- 2、不同材质之间的静、动摩擦因数的测量；
- 3、观测物体由静止状态到运动状态的摩擦力的变化情况。

【实验原理】

1、最大静摩擦力

如图 1 所示，当斜面的倾角较小时，滑块因摩擦力的作用将不会沿斜面滑下，此时物体受力平衡，可知此时的静摩擦力为：

$$F_s = mg \sin \varphi$$

静摩擦因数：
$$f_s = \frac{F_s}{N} = \frac{mg \sin \varphi}{mg \cos \varphi} = \tan \varphi$$

随着倾角的逐渐增大，最终滑块将克服摩擦阻力发生滑动，此时的摩擦力称为最大静摩擦力，此时对应的角度为最大静摩擦角 φ_1 。

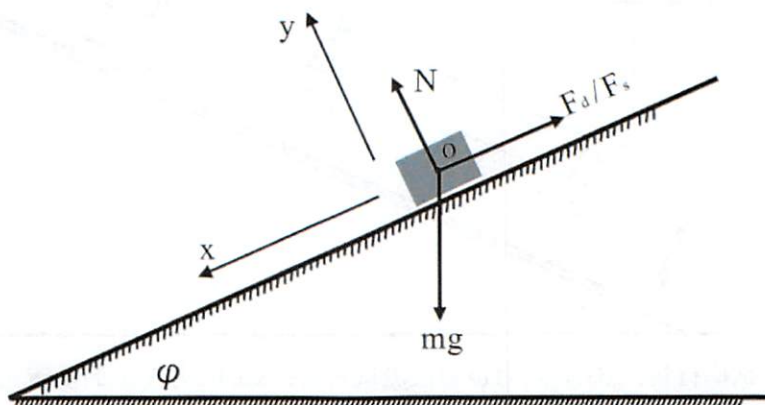


图 1

2、动滑动摩擦因数

物块在斜面上不能平衡时，就会发生因重力作用而沿斜面滑下的运动现象，此时两种平面接触材料之间的相对运动会产生动滑动摩擦，工程上需要表述不同表面状态的不同材料之间动滑动摩擦作用的大小，采用动滑动摩擦因数 f_d 表示，它的定义是：

$$f_d = \frac{(\text{动滑动摩擦力})F_d}{(\text{正压力})N}$$

如图 1 为质量为 m 的物体在倾角为 φ 的斜面上的受力分析图，根据力学理论 $\sum Y = 0$ 得：

$$N = mg \cos \varphi \quad (1)$$

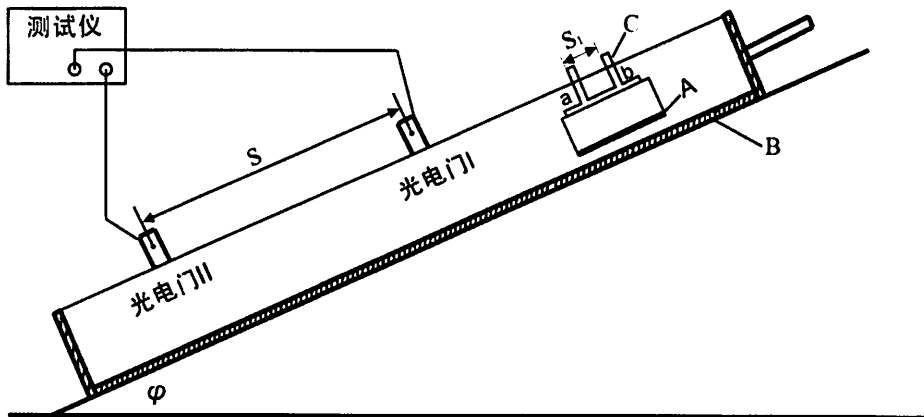
其中 g 是重力加速度。由牛顿第二定律得：

$$ma = mg \sin \varphi - Nf_d \quad (2)$$

将 (1) 式代入 (2) 式，动摩擦因数表示为：

$$f_d = \tan \varphi - \frac{a}{g \cos \varphi} \quad (3)$$

由 (3) 式可见，动摩擦因数是 φ 和 a 的函数，而在不同倾角 φ 时，物体下滑的平均速度是不同的，加速度 a 又和平均速度有关，所以 (3) 式中隐含着动摩擦系数与平均速度之间的关系。



A: 某试块材料； B: 倾角为 φ 的被测试材料； C: 试块 A 上的不透光挡光片间距 $S_1=30\text{mm}$

图 2 测试装置简图

如图 2 为测试装置的简图。滑块 A 以某一速度从斜面上滑下，它依次通过光电门 I 和光电门 II 后，测试仪显示如下值：

t_1 为试块 A 经过光电门 I 时通过路程 S_1 所需时间；

t_2 为试块 A 经过光电门 II 时通过路程 S_1 所需时间；

假设 t_s 为试块 A 经过光电门 I 到光电门 II 之间路程 S 所需时间，则测试仪上显示的 t_3 为最终修正值，定义为： $t_3 = t_s + \frac{1}{2}(t_2 - t_1)$ 。

滑块 A 经过光电门 I 和 II 的平均速度分别为：

$$v_1 = \frac{S_1}{t_1} \quad v_2 = \frac{S_1}{t_2} \quad (4)$$

其中 S_1 为滑块 A 上两挡光片的间距（本仪器 $S_1=30\text{mm}$ ），所以滑块在斜面上 S 距离间的平均加速度为：

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_3} \quad (5)$$

将（4）式代入（5）式，得平均加速度为：

$$a = \frac{(t_1 - t_2)S_1}{t_1 t_2 t_3} \quad (6)$$

将（6）式代入（3）式得动摩擦因数的公式为：

$$f_d = \tan \varphi - \frac{S_1}{g \cos \varphi} \frac{t_1 - t_2}{t_1 t_2 t_3} \quad (7)$$

g —为重力加速度 9.80m/s^2 ；

φ —为试块斜面的倾斜角，它比最大静摩擦角 φ_1 略大一些。

由上式可知，只要固定一个倾角 φ ，测出各时间量，便可以得出测试样品间的动摩擦因数。这里选用有应用价值的材料进行测试：①不锈钢块与铝合金板之间进行相对滑动；②不锈钢块与不锈钢板之间进行相对滑动；③铝合金板与铝合金板之间进行相对滑动。对这些材料搭配进行动滑动摩擦因数测试，并对每种情况的每次测试结果填入表内，并按随机数据进行处理，获得最终结果。

【实验仪器】

1、图 3 所示为 DHKFC-1 型静、动摩擦因数测试仪，主要由磁悬浮导轨实验智能测试仪和静、动摩擦因数测试架组成。

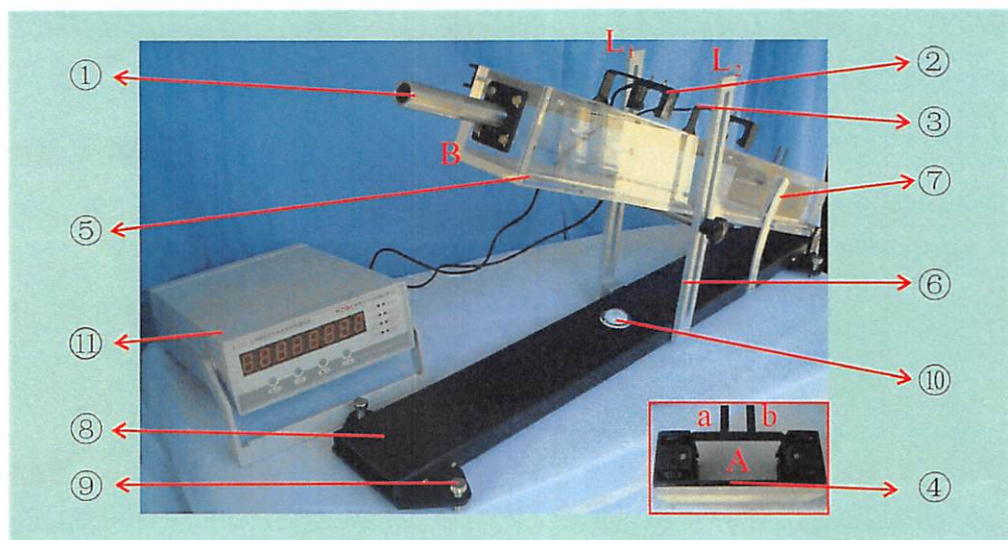


图 3 DHKFC-1 型静、动摩擦因数测试仪（以实物为准）

- ① 升降手柄（提高或调倾斜角抬起用）；
- ② 光电门 I（有可调旋钮在导轨上移动并固结在某位置）；
- ③ 光电门 II（也有可调旋钮在导轨上移动并固结在某位置）；
- ④ 试块 A（底板上有一种试验材料，依靠四个螺钉可更换为另一种材料或嵌入布料）；
- ⑤ 成倾斜角为 φ （与水平底板）的有机玻璃槽 B 底面内有几种被测材料供选一种；
- ⑥ 倾角 φ 升降槽的固定杆（有左右二根，通过之间横轴支撑斜面，左右各有固结的黑色旋钮）；
- ⑦ 量角器（指示斜面倾角大小）；
- ⑧ 基板，安装后要用水平器调水平；
- ⑨ 四颗水平调节螺钉；
- ⑩ 水平器；
- ⑪ 磁悬浮导轨实验智能测试仪（详细说明见附录 2）。

2、仪器工作条件及尺寸参数

(1) 工作条件

1.1 电源电压及频率：(220±10%) V，(50±5%) Hz；

1.2 功率≤20VA；

1.3 工作温度范围 0~40℃。

(2) 技术指标

2.1 静、动摩擦仪测试架几何尺寸 (98×24×40) cm³;

2.2 DHKFC-1 测试仪几何尺寸 (28×25×17) cm³。

3、安装次序

(1) 小心开启装有仪器的包装箱，取出整件仪器。

(2) 先安装⑥中的左、右二根升降用槽杆，用左手将手柄①提起成合适的角度，将支撑斜面的横轴套入槽杆（内有小铜轴承）在合适高度时将左、右两个黑色旋钮固紧。

(3) 调节光电门 II 与最下端位置约 250mm 左右，再将光电门 I 调节到与光电门 II 的间距为 250mm。

(4) 试块 A 备有三种板材料（不锈钢、铝、有机玻璃，也可以嵌入各种柔软面料等，确定要试验的材料）。

(5) 有机玻璃槽内也有三种材料（不锈钢片、铝片、塑料片等，也可以在片材上包以布料），确定要试验的材料装在底部。

(6) 将光电门 I 和 II 的引线分别与磁悬浮导轨实验智能测试仪面板上的两个插口连接（次序不能搞错）。

【实验步骤】

1、最大静摩擦力，静摩擦系数的测量

将测试小车放置在导槽内，缓慢抬起导槽，当小车由静止开始下滑时，记录此时的抬起倾角，代入公式计算相关的最大静摩擦力和静摩擦系数。多次测量求取平均值。

2、动摩擦系数的测量

(1) 测试仪挡光片宽度参数设置

开启测试仪电源，按‘功能’键选择工作模式，使测试仪显示为“00”，等待数秒钟，‘加速度’和‘碰撞’指示灯都灭后开始设置；按‘翻页’按钮设置十位数字，按‘开始’按钮设置个位数字，将该参数设定为 30mm，低二位数码管显示当前设定的宽度值，对应前面所述对应 $S_1=30\text{mm}$ ，设定好后再按‘功能’键确定即可。（仪器默认参数值为 30，测试仪详细使用说明见附录 2）；

(2) 按‘功能’键，选择工作模式为加速度模式，即使‘加速度’指示灯点亮，再按‘开始’键等待测试；

(3) 将试块 A 的材料选择为不锈钢，被测试材料 B 选择为铝合金；调节玻璃槽的倾角使大于最大静摩擦时的倾角并记录 φ ；将试块 A 从有机玻璃槽斜面的高端某确定位置自由释放，经过光电门 I 和 II 下滑到下端被缓冲弹簧接住为止；

(4) 试块滑下后，测试的时间、速度、加速度等数据将按照测试仪面板右边指示灯指示次序 $t_1 \rightarrow v_1 \rightarrow t_2 \rightarrow v_2 \rightarrow t_3 \rightarrow a$ 轮流显示，数码管显示对应数据，观察并记录 t_1 、 t_2 、 t_3 （单位均为 ms），将测试数据计入表 1；

(5) 再按‘开始’等待测试，将试块 A 从有机玻璃槽斜面的高端上次确定位置自由释放，再次记录数据；重复上述步骤……。因为动滑动摩擦有随机性，理论上是泊松分布，所以要在相同情况下测试多次，对其数据进行计算整理，并用统计方法算得结果，填入表 1；

表 1 不锈钢与铝合金平面之间

测试次数	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	φ (°)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

(6) 更换试块材料 A 为不锈钢和被测试材料 B 为不锈钢，重复步骤 (1-5)；

(7) 更换试块材料 A 为铝合金和被测试材料 B 为铝合金，重复步骤 (1-5)；

(8) 研究更换其它试块材料 A 和被测试材料 B，重复步骤 (1-5)。

【数据处理】

表 2 不锈钢与铝合金平面之间

$S_1 = 30 \text{ mm} = 0.03\text{m}$

测试 次数	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	φ (°)	$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	$\frac{S_1}{g \cos \varphi} \frac{t_1 - t_2}{t_1 t_2 t_3}$	f_d
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

动摩擦因数的统计平均值（去掉一个最大值和一个最小值，然后取平均）：

表 3 不锈钢与不锈钢平面之间

$S_1 = 30 \text{ mm} = 0.03\text{m}$

测试 次数	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	φ (°)	$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	$\frac{S_1}{g \cos \varphi} \frac{t_1 - t_2}{t_1 t_2 t_3}$	f_d
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

9								
10								
动摩擦因数的统计平均值（去掉一个最大值和一个最小值，然后取平均）：								

表 4 铝合金与铝合金平面之间

$S_1 = 30 \text{ mm} = 0.03\text{m}$

测试 次数	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	φ (°)	$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	$\frac{S_1}{g \cos \varphi} \frac{t_1 - t_2}{t_1 t_2 t_3}$	f_d
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
动摩擦因数的统计平均值（去掉一个最大值和一个最小值，然后取平均）：								

【问题与思考】

- 1、从附表 1 中观察出哪些材料的 $f_d \approx f_s$ ，哪些材料 f_d 与 f_s 差距较大。
- 2、为什么同一材料同样的表面状态进行实验时，还需要在相同条件下（同一个实验者、同一个环境、同一个起始调节……）进行？动摩擦因数实验得出的数据是确定的还是随机的？若是随机的，是什么类型随机的？

附录 1:

附表 1 一些材料实测得到的比较数据

材 料	静滑动摩擦因数 f_s	动滑动摩擦因数 f_d
氯化铵对金属板	0.76-0.85	0.46-0.60
膨胀石墨对钢板	0.19-0.20	0.16-0.17
经过喷砂的钢板对钢板	0.58-0.72	0.57-0.63
钢板对铜板 (已喷砂及 NaCl 腐蚀)	0.56-0.61	0.41-0.43
麦尔顿呢对羽纱布	0.60-0.63	0.59-0.56
聚四氟乙稀对聚四氟乙烯	0.111	0.109
C10 水泥块对美国旗赛 HKPE 防渗膜	0.406	0.386
C10 水泥块对外包无纺布的防渗膜	1.13	0.87
杭纺对美丽绸	0.41	0.391
棉布对美丽绸	0.52	0.460
杭纺对羽纱	0.32	0.303
棉布对羽纱	0.531	0.481
杭纺对尼龙纱	0.310	0.304
棉布对尼龙纱	0.538	0.490
皮革对实木地板 (体育馆用)	0.766	0.691

附录 2：磁悬浮导轨实验智能测试仪 使用说明书

1、概述

DHSY 型磁悬浮导轨实验智能测试仪是根据磁悬浮导轨实验专门设计研制的实验装置。同时可实现十组加速度测量存储和十二种碰撞实验。本测试仪基于微控制器嵌入式设计，具有测量精度高、读数清晰、使用方便等特点。

2、性能

测量值	范围	精度
光电门挡光时间 t_1/t_2	0.00ms ~ 99999.99ms	0.01ms
两次挡光时间差 t_3	0.00ms ~ 99999.99ms	0.01ms
速度 v_1/v_2	0.00cm/s ~ 600.00cm/s	0.01cm/s
加速度 a	0.00cm/s ² ~ 600.00 cm/s ²	0.01cm/s ²

3、测试仪外观



4、操作

*约定：加速度测量时将首先经过的光电门定为光电门 1；碰撞测量时 A 小车位于 B 小车左侧，将导轨左侧光电门定为光电门 1。

一) 加速度测量

1> 按‘功能’按钮，选择工作模式，选择加速度模式，即使‘加速度’指示灯亮。（我们的信号源是从加速度到碰撞依次扫描显示）。

2> 按‘翻页’按钮，可选择需存储的组号或查看各组数据。最高位数码管显示‘0’~

光与第二次挡光的时间间隔 Δt_2 ，运动滑块从第一光电门到第二光电门所经历的时间间隔 $\Delta t'$ (图 3)。根据两档光片之间的距离参数即可运算出滑块上两挡光片通过第一光电门时的平均速度 $v_1 = \frac{\Delta x}{\Delta t_1}$ 和通过第二光电门时的平均速度 $v_2 = \frac{\Delta x}{\Delta t_2}$ 。由于 Δt_1 和 Δt_2 都很小，我

们又可近似地认为在该时间内物体作匀加速运动，因此得出，时间 Δt_1 内的平均速度当作 $\frac{1}{2}\Delta t_1$ 这时刻的瞬时速度 v_1 ；把 Δt_2 时间内的平均速度当作 $\frac{1}{2}\Delta t_2$ 这时刻的瞬时速度 v_2 。

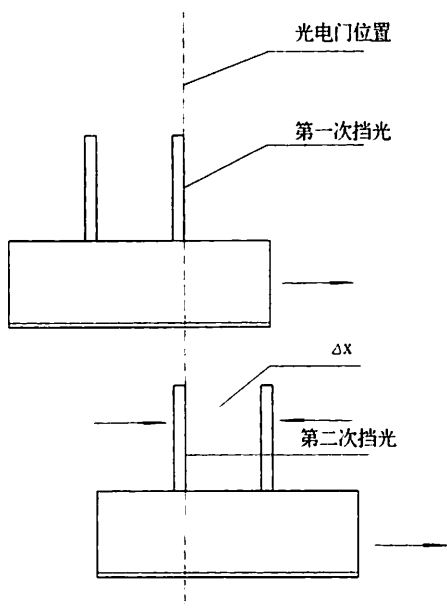


图 2

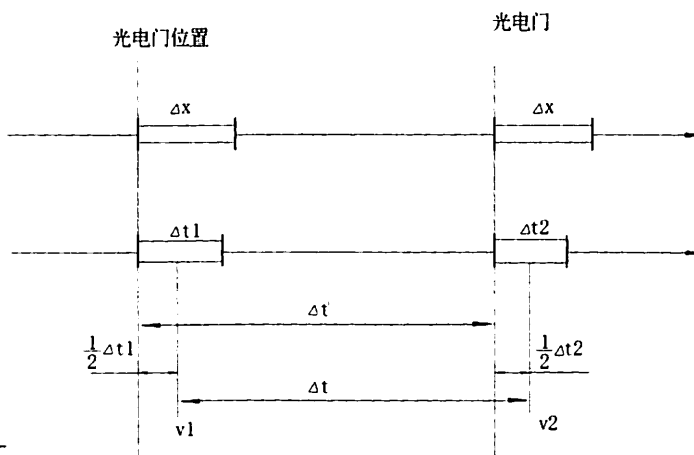


图 3

在本实验测试仪中，已将从 v_1 增加到 v_2 所需时间已修正为 $\Delta t = \Delta t' - \frac{1}{2}\Delta t_1 + \frac{1}{2}\Delta t_2$ ，因此，所测数据为修正值。根据加速度定义，在 Δt 时间内的加速度为：

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

根据测得的 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt 和键入的挡光片间隔 Δx 值，经智能测试仪运算已显示，得 v_1 、 v_2 、 a_0 ；测试仪中显示的 t_1 、 t_2 、 t_3 对应上述的 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt 。

杭州大华仪器制造有限公司

杭州市富阳区东洲工业园区 11 号路 3 号

电话: 0571-58837552(销售)

0571-58837572(售后)

传真: 0571-58837553

邮箱: hzdmail@163.com

网址: www.hzdh.com

邮编: 311401