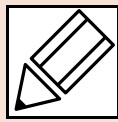


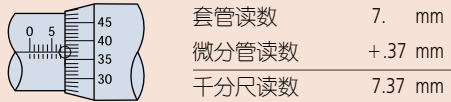
# 精密测量仪器的小常识



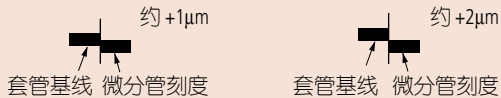
## 千分尺篇

### 刻度的读法

- 标准刻度时 (分度值 0.01mm)

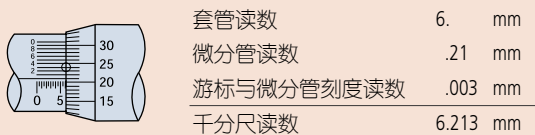


通常情况下, 可以像上图那样读取到分度值 0.01mm, 也可以像下图所示那样, 读取分度值到 0.001mm。

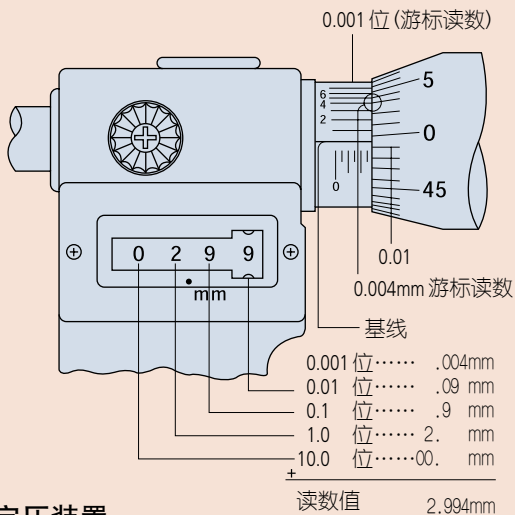


- 带有游标时 (刻度 0.001mm)

带游标的千分尺在套管基线的上面有游标刻度。



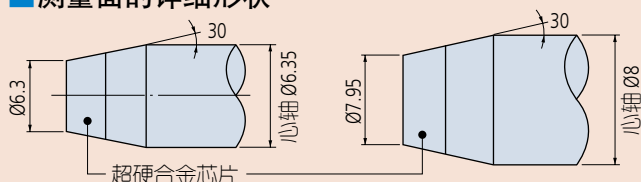
- 带计数时 (分度值 0.001mm)



### 定压装置

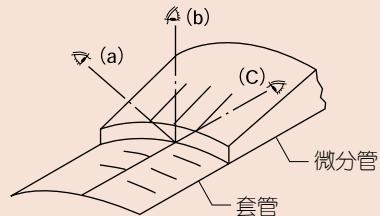
	有无声音	单手操作	备注
	有	不适合	一般
	无	适合	没有发出声音时的冲击, 很稳定。
	有	适合	可以通过声音确认已经加压。
	有	适合	可以通过声音确认动作。

### 测量面的详细形状

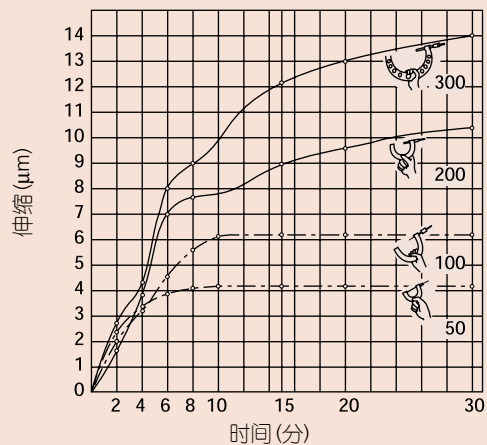


### 因视差而引起的误差

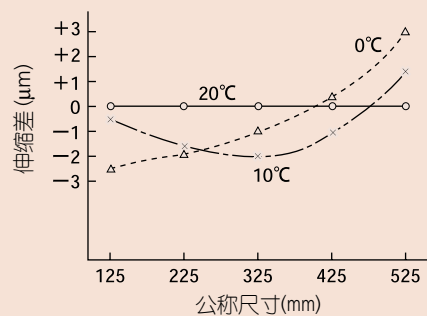
因为两个刻度面的阶差, 当对齐刻度线来读取数据时, 由于眼睛的位置关系, 看到的读数线位置不同而引起的误差。



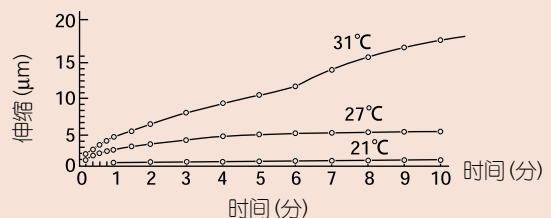
### 因温度变化产生的测量误差



### 因温度变化产生的千分尺与基准杆的伸缩差



### 因温度变化产生的基准杆的伸缩 (相对于 200mm 20°C)



以手心温度为 21°C, 27°C, 31°C 的 3 人, 分别手握基准杆, 测量其伸缩变化为例。

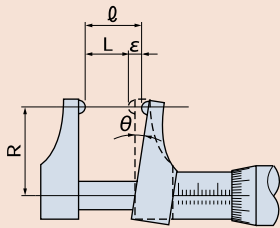
## ■ 改变支撑位置情况下的变化 (单位: $\mu\text{m}$ )

支点位置	支撑下部与中间	仅支撑中间
位置		
最大测量长度 (mm)		
325	0	-5.5
425	0	-2.5
525	0	-5.5
625	0	-11.0
725	0	-9.5
825	0	-18.0
925	0	-22.5
1025	0	-26.0

支点位置	横向支撑中间	向下用手支撑
位置		
最大测量长度 (mm)		
325	+1.5	-4.5
425	+2.0	-10.5
525	-4.5	-10.0
625	0	-5.5
725	-9.5	-19.0
825	-5.0	-35.0
925	-14.0	-27.0
1025	-5.0	-40.0

## ■ 阿贝原理

$$\varepsilon = \varrho - L = R \tan \theta \approx R \theta \quad (\tan \theta \approx \theta)$$



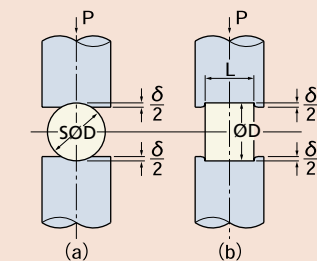
“被测量物与标准尺在测量方向上必须置于一条直线上”。例如左图所示, 当测头离开特殊的千分尺的刻度轴线时 (R), 容易产生误差 ( $\varepsilon$ ), 因此需要特别注意测力。

## ■ 虎克定律

往具有某一长度与断面的物体上施加负荷时, 在弹性限度内引起伸缩位移量的定律。

## ■ 赫兹公式

赫兹公式给出了在弹性范围内两个表面 (平坦表面、圆柱面或球型) 在某种作用力相互挤压时表面的变形度, 并且作为计算测力引起的工件变形的重要公式使用。



两平面间的球体 两平面间的圆柱

假设材料是钢质时  
弹性系数:  $E=1.96 \times 10^5 \text{ (Pa)}$   
变化量:  $\delta \text{ (}\mu\text{m)}$   
球体或圆柱的直径:  $D \text{ (mm)}$   
圆柱的长度:  $L \text{ (mm)}$   
测力:  $P \text{ (N)}$   
a) 挟有球体时  
 $\delta 1 = 0.82 \sqrt[3]{P^2/D}$   
b) 挟有圆柱时  
 $\delta 2 = 0.094 \times (P/L) \sqrt[3]{1/D}$

## ■ 螺纹千分尺的主要测量误差

误差的原因	可能产生的最大误差	消除误差的注意事项	即使加以注意也无法消除的误差
千分尺的进给误差	$3\mu\text{m}$	1. 补正后使用	$\pm 1\mu\text{m}$
测砧与心轴的角度误差	半角误差为 15分 $\pm 5\mu\text{m}$	1. 测量角度误差后补正 2. 用与被测量物相同的螺纹量规调整	推定半角测量误差为 $+3\mu\text{m}$
测砧与心轴的错位	$+10\mu\text{m}$		$+3\mu\text{m}$
测力的影响	$+10\mu\text{m}$	1. 尽量使用低测力的量具 2. 必须使用棘轮锁紧 3. 用螺距相等的螺纹量规调整	$\pm 3\mu\text{m}$
基准规的角度误差	$\pm 10\mu\text{m}$	1. 进行补正计算 (角度) 2. 补正长度误差 3. 用与被测量物相同螺距的量规调整	$\pm 3\mu\text{m}$
基准规的长度误差	$\pm (3 + L/25)\mu\text{m}$	1. 进行补正计算 2. 用与被测量物相等的螺纹量规调整	$\pm 1\mu\text{m}$
测量物角度误差	JIS 2 级半角误差 $\pm 229$ 分 $-91\mu\text{m}$ $+71\mu\text{m}$	1. 制作时尽量减小角度误差。 2. 测量角度误差, 进行补正计算 3. 角度误差较大时用三针法	半角误差 $\pm 23$ 分 $\pm 8\mu\text{m}$
综合测量误差	$(\pm 117 + 40)\mu\text{m}$	可能发生的误差累计值	$+26\mu\text{m}$ $-12\mu\text{m}$

## ■ 三针装置

有效直径的计算公式:  
米制螺纹、统一标准螺纹时 (60°)

$$E = M - 3d + 0.866025P$$

惠式螺纹时 (55°)

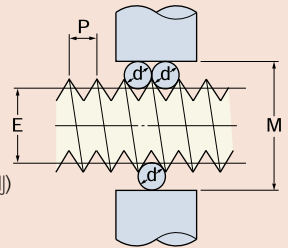
$$E = M - 3.16568d + 0.960491P$$

但是 P: 螺纹的间距 (为统一标准螺纹时, 将英制换算为公制)

d: 三针径

E: 有效直径

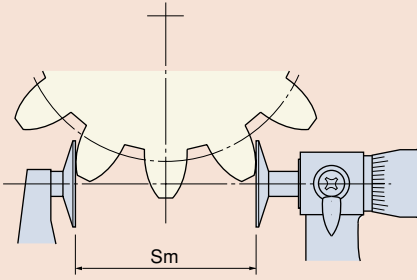
M: 包含三针的外径测量尺寸



## ■ 三针法的主要测量误差

误差的原因	消除误差的注意事项	可能产生的误差	即使加以注意也无法消除的误差
螺距误差 (被测量物)	1. 进行螺距误差的补正 $\delta p = \delta E$ 2. 测量几个点, 取平均值。 3. 减少单一螺距误差。(工作)	螺距误差为 $0.02\text{mm}$ 时 $\pm 18\mu\text{m}$	$\pm 3\mu\text{m}$
半角误差 (被测量物)	1. 使用最佳针径。 2. 无需补正	$\pm 0.3\mu\text{m}$	$\pm 0.3\mu\text{m}$
三针径的误差	1. 使用最佳针径。 2. 在侧面使用接近平均直径的测头。	$\pm 8\mu\text{m}$	$\pm 1\mu\text{m}$
测力的影响	1. 使用符合螺距的规定的测力。 2. 按照测量端面的面积规定。 3. 应为稳定的测力。	$-3\mu\text{m}$	$-1\mu\text{m}$
综合测量误差	可能发生的误差累计值	最坏的情况 $+20\mu\text{m}$ $-35\mu\text{m}$	谨慎测量时 $+3\mu\text{m}$ $-5\mu\text{m}$

## 公法线齿厚



公法线齿厚 (Sm) 的计算公式:

$$S_m = m \cos \alpha_0 \{ \pi (Z_m - 0.5) + Z \operatorname{inv} \alpha_0 \} + 2 \chi m \sin \alpha_0$$

公法线齿数 (Zm) 的计算公式:

$$Z_m' = Z \cdot K(f) + 0.5 \text{ (设 } Z_m \text{ 为最接近 } Z_m' \text{ 的整数)}$$

在这里  $K(f) = \frac{1}{\pi} \{ \sec \alpha_0 \sqrt{(1+2f)^2 - \cos^2 \alpha_0} - \operatorname{inv} \alpha_0 - 2f \tan \alpha_0 \}$

但是,  $f = \frac{\chi}{Z}$

m : 模数

$\alpha_0$  : 压力角

Z : 齿数

$\chi$  : 变位系数

$S_m$  : 公法线齿厚

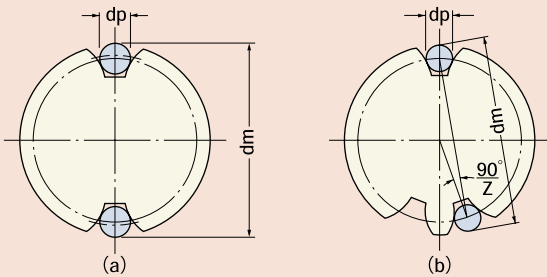
$Z_m$  : 公法线齿数

$$\operatorname{inv} 20^\circ \approx 0.014904$$

$$\operatorname{inv} 14.5^\circ \approx 0.0055448$$

## 齿轮的测量

滚柱法



偶数齿时:

$$d_m = d_p + \frac{d_g}{\cos \theta} = d_p + \frac{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta}$$

奇数齿时:

$$d_m = d_p + \frac{d_g}{\cos \theta} \cdot \cos \left( \frac{90^\circ}{z} \right) = d_p + \frac{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta} \cdot \cos \left( \frac{90^\circ}{z} \right)$$

但是

$$\operatorname{inv} \theta = \frac{d_p}{d_g} - \frac{\chi}{z} = \frac{d_p}{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0} - \left( \frac{\pi}{2z} - \operatorname{inv} \alpha_0 \right) + \frac{2 \tan \alpha_0}{z} \cdot \chi$$

$\theta$  (inv $\theta$ ) 用渐开线函数表来求得

z : 齿数

$\alpha_0$  : 工具压力角

m : 模数

$\chi$  : 变位系数

## V型槽(奇数槽)丝锥的中径测量法

用V型槽千分尺的单针法测量丝锥的中径(E)时,先用V型槽千分尺的单针测量法测量出丝锥的测量值 $M_1$ ,用公式(1)计算出M。

然后把M代入公式(2),计算有效直径E。

$$\left. \begin{aligned} \text{三个槽 } M &= (3M_1 - 2D) \\ \text{五个槽 } M &= (2.2360M_1 - 1.23606D) \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{米制螺纹}(60^\circ) \text{ 时 } E &= M - 3d + 0.866025P \\ \text{惠式螺纹}(55^\circ) \text{ 时 } E &= M - 3.16567d + 0.96049P \end{aligned} \right\} (2)$$

螺纹的形式	指针的最佳针径
米制螺纹(60°)	0.557p
惠式螺纹(55°)	0.564p

但是

E : 有效直径(mm)

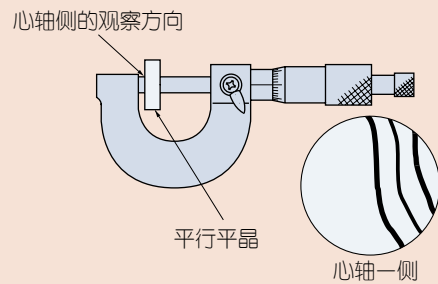
p : 丝锥的螺距

d : 针径(mm)

$M_1$  : 千分尺读数(mm)

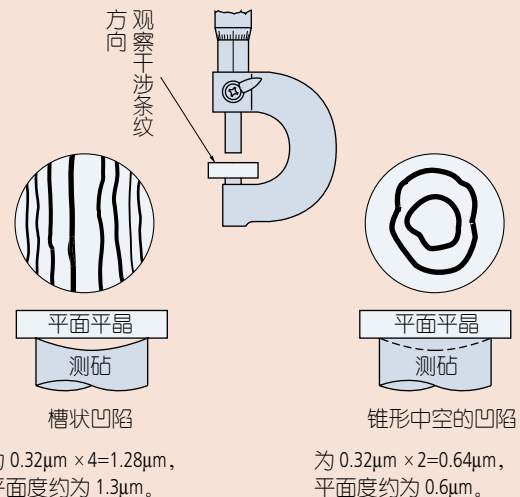
D : 丝锥的外径(mm)

## 通过平行平晶干涉条纹可检测平行度



首先使平行平晶紧贴测砧的测量面。观察在测力作用下心轴方向由白色光产生的红色干涉条纹的数量。在上图中为 $0.32\mu\text{m} \times 3 = 0.96\mu\text{m}$ , 平行度约即为 $1\mu\text{m}$ 。

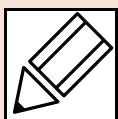
## 通过平面平晶的干涉条纹可检测平面度



为 $0.32\mu\text{m} \times 4 = 1.28\mu\text{m}$ , 平面度约为 $1.3\mu\text{m}$ 。

为 $0.32\mu\text{m} \times 2 = 0.64\mu\text{m}$ , 平面度约为 $0.6\mu\text{m}$ 。

# 精密测量仪器的小常识



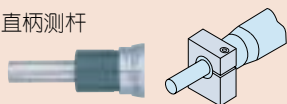
## 微分头篇

### 选择的要点

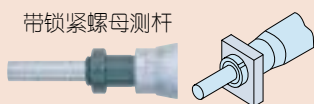
选择的要点有测量范围、测量面、测杆部、读取、套管的大小等。请参考相关内容，选择符合目的的千分尺。

#### ■ 测杆

直柄测杆



带锁紧螺母测杆



- 支撑微分头的部位，按形状可分为直柄型和带锁紧螺母型两种。测杆的大小是以适合微分头主体的最佳尺寸而设计的。测杆的直径轴尺寸允许误差采用的是 h6。
- 带锁紧螺母的测杆安装方法简单而且牢固。直柄测杆虽然需要加楔或焊接，但是优点是使用范围广、最终安装时前后方向上可作少许调整。
- 作为单卖品，备有常用的多种类型的安装部件。

#### ■ 测量面



平面

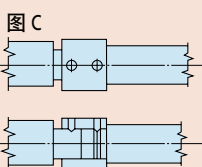
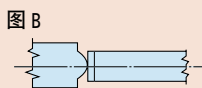
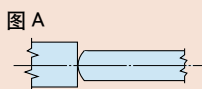


球面



防止旋转装置

- 作为测量装置平面型较常用。
- 作为进给装置使用时，采用球面型可以最大限度地减少微分头安装部分的倾斜所引起的误差(图 A)。同样的方法还有将心轴作成平面型，在测砧上安装超硬球体的方法(图 B)。
- 相对位置关系不稳定或需要更高的精度时，推荐使用防止旋转装置(图 C)。
- 需要象制动器那样的耐久性时，首推平面对平面型。



#### ■ 非旋转心轴

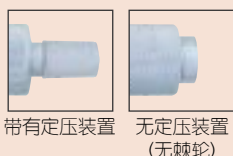
- 非旋转心轴不会对测量物产生扭力，从而可以防止测量物的旋转，减少变形和磨损。

#### ■ 心轴螺距

- 标准件 (0.5mm 螺距)
- 1mm 螺距  
可以用定位等来完成快速设置。另外还可以防止 0.5mm 的误读。由于螺纹牙较大，具有优良的耐负荷性。
- 0.25mm、0.1mm 螺距  
便于微动进给和细微的位置调整。

#### ■ 定压装置

- 当作测量器使用时，推荐带有定压装置的设备。
- 当作制动器使用时，在优先考虑节省空间的情况下，可以使用没有定压装置的设备。



带有定压装置

无定压装置  
(无棘轮)

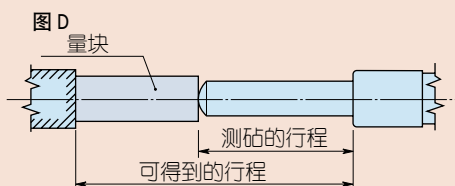
#### ■ 夹具

- 将微分头当作制动器，使用带有夹具的微分头可以防止由于松动而引发的事故。此外通过夹具的操作还可以防止心轴的位置发生变化，从而可以放心使用。



#### ■ 测量范围(行程)

- 请选择大于所预料行程的测量范围。标准型中准备了从 5mm-50mm 的 6 个等级。
- 即使所预料的行程只有 2mm-3mm 大小，在有足够的安装空间的情况下，选择 25mm 的机型，比较实惠。
- 需要超过 50mm 的长行程时，可以通过与量块的并用来解决(图 D)。
- 在本书中，用虚线表示套管的可动范围(行程极限)。在行程极限的情况下，请在设计夹具时考虑到套管将会移动到虚线的位置。



#### ■ 极微动

- 备有操纵装置微动操作时所需的专用品。

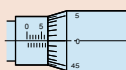
#### ■ 套管外径

- 套管的直径会对操作性以及细微的定位产生很大的影响。直径小的套管能很快定位。直径大的套管细微定位后可以读数。另外，有的机型还在大直径套管上加装了调速装置，提高了操作性能。

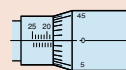


#### ■ 读取

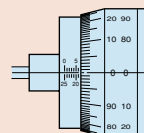
- 当作测量器使用，或被指定了移动量的时候，需要注意刻度的规格。
- 与外侧千分尺相同的刻度规格为“正刻度”，是标准型。它增加了心轴在拉入方向上的刻度值。
- 相反，在心轴推出方向上增加刻度数值的是“反刻度”规格。
- 正反两方向都可以轻松读取的是“正反刻度”规格，分别用黑、红来表示数字的颜色，读取变得轻松简单。
- 还有可以直接读取测量值的，带有计数器和数字显示的机型。数字显示的机型不但不会误读还可以通过将测量数据输出，进行测量数据的记录和统计演算。



正刻度



反刻度

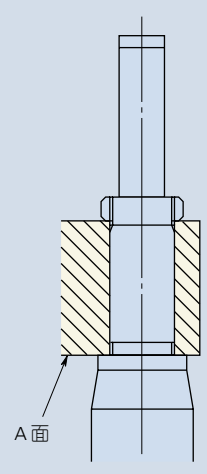
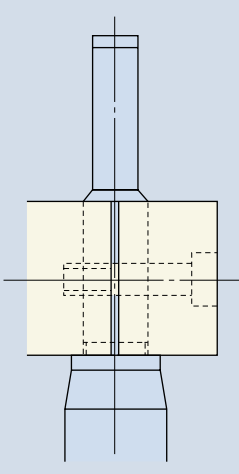
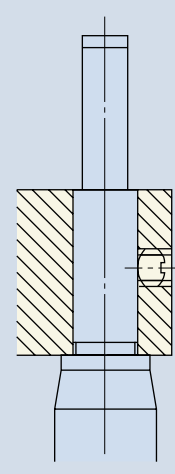


正反刻度

## 自制安装件的要领

安装微分头，需要固定测杆部位。要求采用精度稳定、内部无阻抗的方法。典型的安装方法有以下三种，但是不特别推荐方法③，请尽量采用方法①和②。

(单位: mm)

安装方法	①螺母固定方式				②铣口固定方式				③螺丝固定方式			
												
测杆直径	Ø9.5	Ø10	Ø12	Ø18	Ø9.5	Ø10	Ø12	Ø18	Ø9.5	Ø10	Ø12	Ø18
安装孔配合公差	G7 +0.005~+0.020		G7 +0.006~+0.024		G7 +0.005~+0.020		G7 +0.006~+0.024		G7 0~+0.006		G7 0~+0.008	
注意事项	需要注意 A 面与安装孔的直角度 如果直角度在 0.16/6.5 以内，可以无障碍地加以固定。				请注意安装孔内壁出现的毛刺 (铣口加工部位)				固定螺丝的大小以 M3×0.5, M4×0.7 为妥。 测杆部位的铆口加工应在 90°×0.5 以内， 加工时要特别注意不要引起测杆的变形。			

## 微分头的最大载重

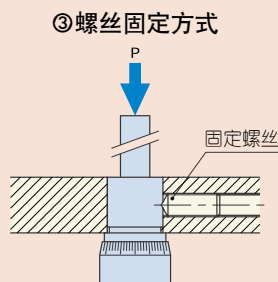
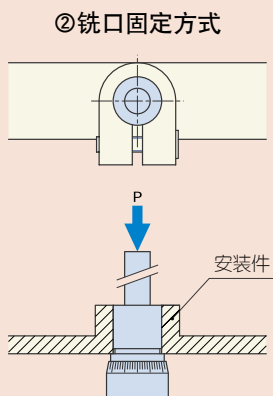
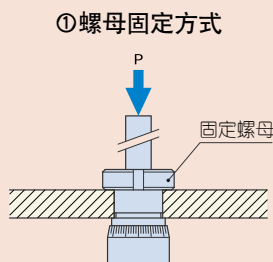
微分头的最大载重会因安装方法的不同而发生很大变化。另外，还会因为是静负荷还是动负荷、是运转起来使用还是作为制动器来使用等条件的不同而出现很大的变化。因此，无法将其定量为多少 kg。在此，介绍使用三丰公司推荐的最大载重限度(在保证精度的范围内作为读取装置使用时，手动 10 万转以内)和小型微分头进行的静负荷试验的结果。

### (1) 推荐最大载重限度

	最大载重限度
标准型 (心轴螺距 0.5mm)	至 4kg 左右*
高性能型 心轴螺距 0.1mm/0.5mm	至 2kg 左右
心轴螺距 0.5mm	至 4kg 左右
心轴螺距 1.0mm	至 6kg 左右
心轴螺距直接推进式	至 2kg 左右
MHF 微动用(带差动装置)	至 2kg 左右

\* MHF 到 2kg 左右

### (2) 微分头的静负荷实验(实验时，使用了 MHS)



#### 〈试验方法〉

如图所示，设置微分头的主体，用材料试验机测量自 P 方向加载负荷至破损或脱落为止时的负载值(试验没有考虑精度保证范围，加载负荷直至破损或脱落为止)。



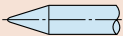
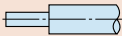
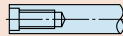
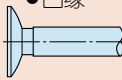
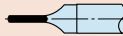
安装方法	破损、脱落负重
①螺母固定方式	在 8.63-9.8kN (880-1000kgf) 时主体破损
②铣口固定方式	在 0.69-0.98kN (70-100kgf) 时安装件脱落
③螺丝固定方式	在 0.69-1.08kN (70-110kg) 时固定螺丝破损

\* 破损、脱落时的负重仅作参考。

## 特别订制品 (产品举例介绍)


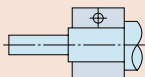
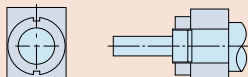
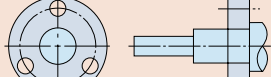
微分头可用于非常广泛的领域，为了满足客户的需要，三丰公司备有丰富的机型。另外为了满足用户的特殊需要，我们还承接制作各种定制产品。数量可从一个起，随时欢迎咨询。

### 1. 心轴测砧形状举例

- 标准  

  - 顶端球面  

  - 点  

  - 花键  

  - 内螺纹加工  

  - 凸缘  

  - 刀片 (非旋转心轴型)  

- 也可制成长心轴测砧，欢迎咨询。

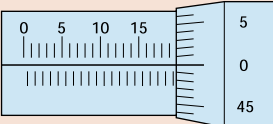
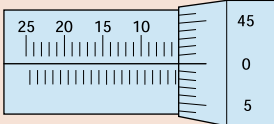
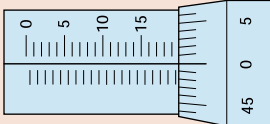
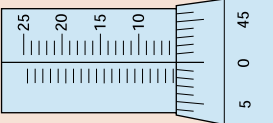
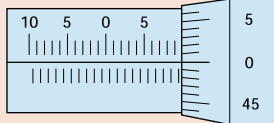
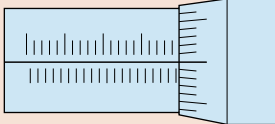
### 2. 测杆形状举例

可以制作各种测杆以适应安装方法和安装部位形状的要求。

- 直线  

- 带螺母  

- 总螺丝  

- 凸缘  


### 3. 刻度加工例

可以进行反刻度、竖刻度等各种各样的刻度加工。即使是加工例中没有的物品，也欢迎与我们联系。

- 标准  

- 反刻度  

- 竖刻度  

- 反竖刻度  

- 指点0点刻度  

- 只有刻度  


### 4. 指定符号型

可以用指定符号显示。

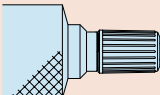

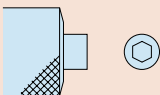
### 5. 安装联轴节的例子

可以对应安装电机驱动器的联轴节。



### 6. 微分管安装方法

微分管的安装方法可有棘轮、固定螺丝、带六角孔的螺栓等。

- 棘轮  

- 固定螺丝  

- 带六角孔的螺栓  


### 7. 心轴螺距加工

虽然心轴螺距的标准是0.5mm，但是可以做成能够快进的1mm，和可以微动进给的0.25mm，0.1mm。此外还可以加工成英制间距，欢迎咨询。

### 8. 螺丝部位润滑油

可以根据客户的指定，提供相应的润滑油。

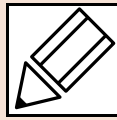
### 9. 全不锈钢

可以根据要求，制作全不锈钢的微分头。

### 10. 简易包装

如果大量订购OEM等情况，交货之际可以进行简易包装。

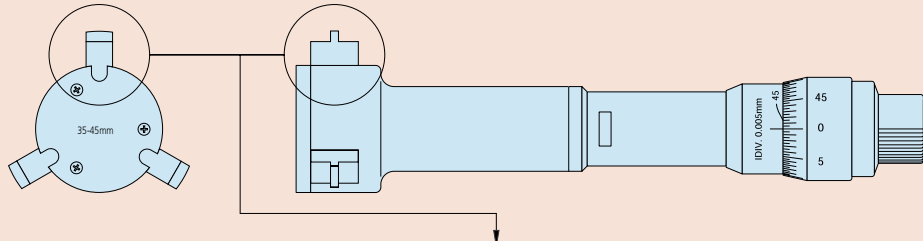
# 精密测量仪器的小常识



## 内径千分尺 / 内径表篇

### 特别订制品 (Holtest Borematic)

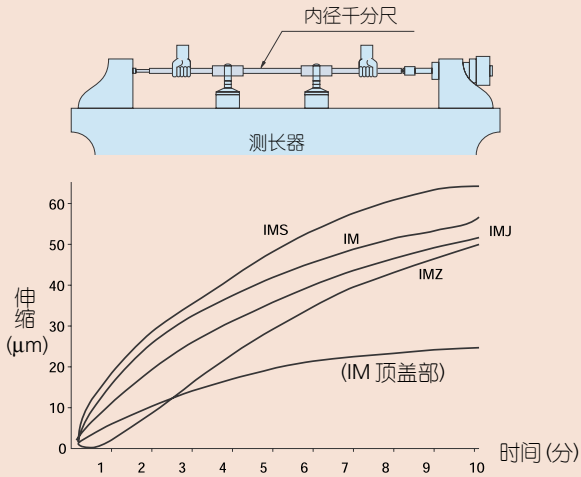
- 特殊形状的内径测量仪可以从一台起订制，欢迎咨询。  
但是，有时同时需要保证精度用的量规，这一点请大家了解。(有关量规，也可以使用客户已持有物，欢迎咨询。)



种类	被测量物的形状(例)	测砧顶端的形状(例)	备注
角槽			<ul style="list-style-type: none"> <li>● 特殊形状槽的内径可测。</li> <li>● 可以订制的内径： 约 <math>\phi 16\text{mm}</math> 以上 (随着被测量物的形状的不同而变化)</li> <li>● 阶差 R W = 2mm 以下时： <math>\phi = 2\text{mm}</math> 以下 W = 2mm 以上时： 以 <math>\phi = 2\text{mm}</math> 为标准值，可以根据用途变更。</li> <li>● 花键测砧、锯齿形的槽数只限于 3 的倍数。</li> <li>● 订制时，请提示被测量物的形状。</li> <li>● 测量范围与标准件不同时，另外需要检查用量规的初期费用。</li> </ul>
圆槽			
花键测砧			
锯齿形			
螺丝			

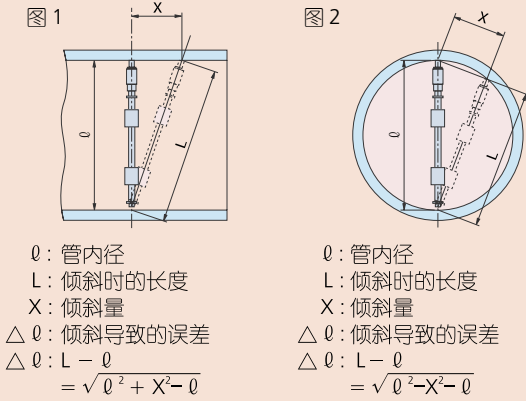
\* 可以根据其他的用途来订制。  
\* 价格及交货期会随着订制的内容而变化。  
\* 有需要时，请与距离您最近的三丰公司营业所联系。

## ■ 测量因手握引起的伸缩 (1000mm 以上)

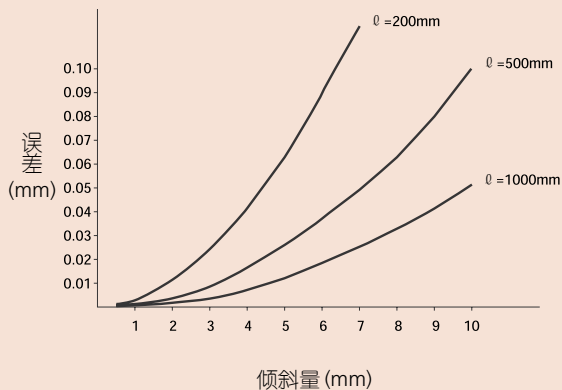


IMS: 可换测杆型内径千分尺  
 IM: 柱型内径千分尺 (单机型)  
 IMJ: 接杆式内径千分尺  
 IMZ: 延长杆式内径千分尺

## ■ 因倾斜产生的尺寸偏差

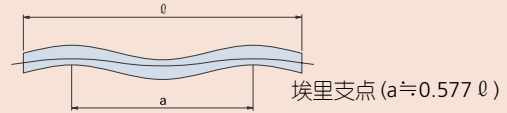


按图 1 所示, 计算出向孔轴方向倾斜的偏差, 可得出下图的曲线。图 2 中相对轴孔向左右倾斜的偏差, 与下图的曲线大致相同, 呈现负值。

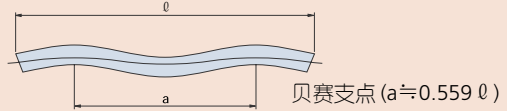


## ■ 埃里支点、贝赛支点

水平方向支撑基准杆和柱式千分尺时, 会因为自重而出现弯曲。



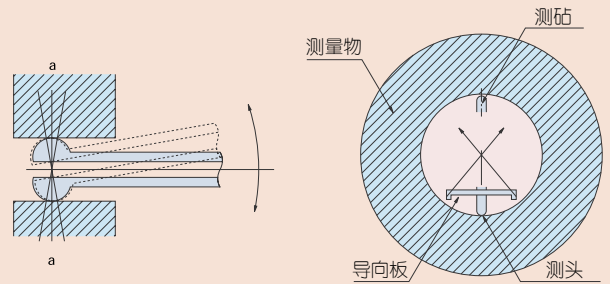
埃里支点是指在两点支撑的情况下, 两个测量面最为平行的支撑点。



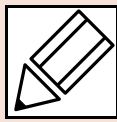
贝赛支点是指在两点支撑的情况下, 全长的误差最小的支撑点。

## ■ 内径表的导轨

- 三丰公司生产的小口径内径表曲率较大, 延图中箭头方向移动时, 直径 (a-a') 是相一致的, 因此读取值为千分表指示值的最大值。
- 三丰公司生产的内径表, 除了小口径的模式以外, 均根据导轨的指向, 使内径表的直径与内径表的测砧相一致方式进行测量。





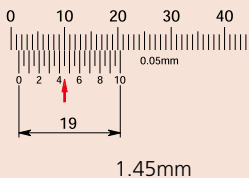


### ■ 各种游标刻度

游标刻度有顺向游标刻度和逆向游标刻度之分。一般来说，顺向游标刻度使用比较广泛。而顺向游标刻度中又有普通游标刻度和长游标刻度两种。普通游标刻度用的最多，这是将主刻度尺的  $(n-1)$  刻度  $n$  等分而成的。例如，主刻度尺的一个格的长度为  $1\text{mm}$ ，将主刻度尺  $9$  个刻度  $10$  等分后，游标刻度可以读取的最小值即为  $0.1\text{mm}$ 。一般来说，卡尺可以读取的游标刻度的最小值是  $0.05\text{mm}$ 。最近，将游标刻度的一个刻度格的间隔扩大，更加易于读取的长游标刻度得到了广泛的使用。

#### ● 游标卡尺刻度

(将  $19\text{mm}$  20 等分)



#### ● 长游标卡尺刻度

(将  $39\text{mm}$  20 等分)



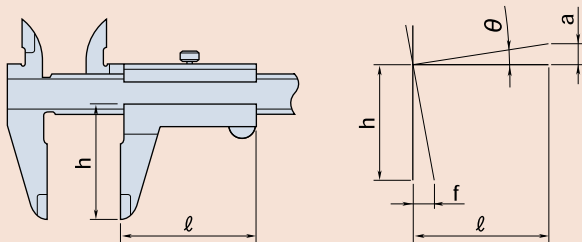
### ■ 卡尺误差的主要原因

卡尺误差的原因有很多，主要有视差引起的误差；由于是反阿贝原理的测量器，会因加载测力过大产生误差；还有卡尺与测量物的温度差导致的热膨胀引起的误差；测量小孔的内径时，内侧测量面的厚度与内侧测量面之间的间隙引发的误差等等。此外，虽然还有刻度精度、基准端面的垂直度、主刻度尺面的平面度、量爪的直角度等引起的误差，但是由于这些原因是应该被控制在仪器误差之内的，因此，对于满足仪器误差要求的卡尺则不成问题。为了在使用时能充分了解因卡尺的结构产生的误差原因，在 JIS 中添加了使用时的注意事项，“卡尺因为没有定压装置，所以必须正确地、并且测力均衡地来测量。尤其用卡尺量爪的根部或爪尖部测量时，出现误差的可能性增大，因此需要特别注意。”这是与测力有关的注意事项。

### ■ 基准端面的弯曲

如图所示，卡尺滑块的导向基准端面如果有弯曲，会成为测量误差的原因。这一误差可以用与不符合阿贝原理的误差相同的计算公式来表示。

$$f = h\theta = h \frac{a}{l}$$



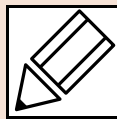
例) 假设导向面的弯曲引起的滑块摆动为  $0.010\text{mm}/50\text{mm}$ ，外径量爪前端为  $40\text{mm}$  来计算， $f = 40\text{mm} \times 0.01 \div 50 = 0.008\text{mm}$   
导向面因磨损或使用不慎出现变形等情况，其影响不可忽视。

### ■ 关于长卡尺

在测量很大的测量物时，通常遵循某一法则 (Rules) 进行测量，在精度要求很高，但又没到需要使用千分尺的程度时，可以使用长卡尺。尽管用起来简单方便，但是需要注意以下事项。首先不要误解的是最小读数与精度无关。其次，使用长卡尺关键在于测量方法。就是说，卡尺本身的弯曲是导致的误差的主要原因，测量值会由于卡尺的持法而发生很大的变化。另外，内径测量面距离基准端面最远，需要注意测力。外径测量面在使用长卡尺时，也会出现同样的情况。

### ■ CM 型卡尺的内径测量

CM 型卡尺的内径测量面在量爪的前端，因此需要注意测力。同时，测量面的平行度、量爪的错位等会成为问题。另外，测量面的圆弧半径必须在内径测量部组合尺寸的  $1/2$  以下。与 M 型卡尺不同，CM 型卡尺无法测量低于组合尺寸的小孔。但是，由于极少用长卡尺测量小孔，所以不会感觉不方便。三丰公司卡尺的内径测量的读取由于是 2 段式，上段刻度为内径专用，可以直接读取。无需计算，也就减少了错误。



### 米的定义

在 1983 年第 17 次国际度量衡大会上，对米的概念作了如下规定：“米是 1 秒的 299792458 分之 1 的时间内光在真空中传播的长度”。

### 研合方法

① 组合量块的选择 (参照 255 页) 选择量块时请注意以下几点。

- 尽量减少组合的个数。
- 尽可能地选取较厚的量块。
- 尺寸从未位数选取。

② 用清洗液将量块洗干净。

③ 确认测量面没有毛刺。用光学平面按照以下的顺序检查毛刺。

图 1

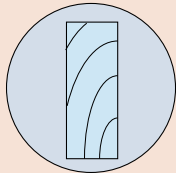
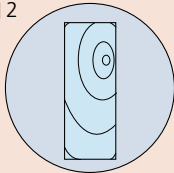


图 2

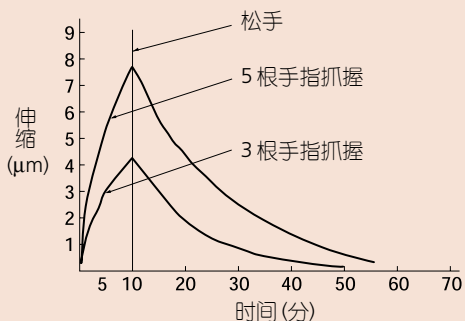


- 将测量面擦拭干净。
- 将光学平面轻轻地放到量块上。
- 轻轻地滑动光学平面，会看到干扰条纹。  
判断 1：如果此时看不到干扰条纹，则可以认为测量面上有较大的毛刺或污物。
- 轻按光学平面，确认干扰条纹消失。  
判断 2：干扰条纹如果消失，则没有毛刺。  
判断 3：如果局部残留有条纹，则有毛刺。这时，稍稍移动光学平面的位置，如果干扰条纹也一起移动，则表明光学平面上有毛刺。
- 请按照 281 页的方法去除毛刺。

④ 在测量面上滴微量油脂并涂匀 (擦拭至油膜几乎消失)。一般可以使用润滑油、心轴油、凡士林等。

### 温度习惯 (恒定) 的时间

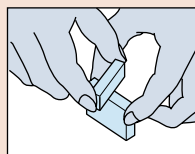
下图显示的是直接用手握持 100mm 钢制量块时的尺寸变化。



⑤ 轻轻地将两面研合于一体。

根据研合的尺寸不同可有如下三种方法。

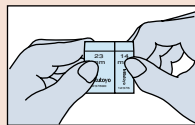
a. 厚量块相互研合



使测量面的中央呈 90° 交叉

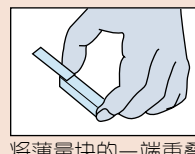


用轻微的力量使其旋转。使之滑动时会感觉到研合到一起。

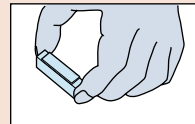


使测量面一致

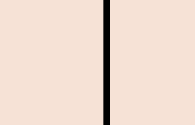
b. 厚量块与薄量块的研合



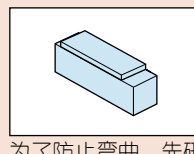
将薄量块的一端重叠在厚量块的一端



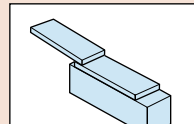
按住重叠的部分，滑动量块使测量面重合。



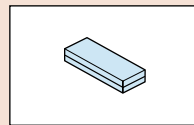
c. 薄量块相互研合的研合



为了防止弯曲，先研合一块厚的量块

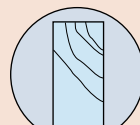
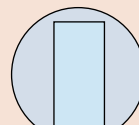


再研合另一个量块。

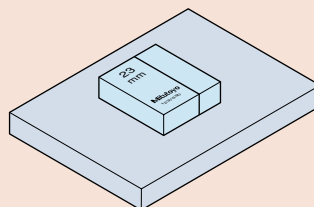


撤下开始的那个厚量块。

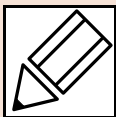
将光学平面抵在薄量块的表面，确认其研合状态。



不规则的干扰条纹



擦拭测量面，等待温度习惯 (恒定)。

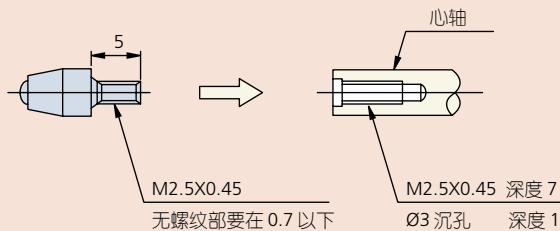


### 千分表的安装方法

测杆安装方法	测杆的螺丝固定方法 	测杆的铣口固定方法 
	注意 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 安装孔公差: <math>\varnothing 8G7(+0.005 \sim 0.02)</math></li> <li>● 固定螺丝: M4~M6</li> <li>● 固定位置: 距测杆下端 8mm 以上</li> <li>● 最大扭矩: M5 螺丝 1 点固定时 150N•cm</li> <li>● 扭矩过大会引起心轴的动作不畅, 须注意。</li> </ul>	注意 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 安装孔公差: <math>\varnothing 8G7(+0.005 \sim 0.02)</math></li> </ul>
耳夹安装方法	安装方法 	
注意	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 可以根据不同的用途, 将耳夹的方向改变 90°。(出厂时为纵向)</li> <li>● 但是, 系列 1 中的一部分机型 (No.1911, 1913-10, 1003) 不能变为横向。</li> <li>● 请相对测量面将心轴呈直角固定。倾斜过大会造成测量误差。</li> </ul>	

### 千分表测针

- 螺丝的尺寸统一为 M2.5 × 0.45 (长度 5)。
- 制作测针时, 螺丝根部无螺纹部位应在 0.7 以下。



## 千分表 B 7503-1997(JIS/ 日本工业规格选萃)

编号	项目	测量方法	讲解图	测量工具
1	指示误差	保持千分表的心轴垂直在下方，以千分表的刻度读数为基准进行如下操作。		对于分度值为 0.001mm 及分度值为 0.002mm，测量范围在 2mm 以下的千分表，用分度值为 0.5 $\mu$ m 以下的微分头或测长器和支撑台。对于上述以外的千分表，则使用分度值在 1 $\mu$ m 以下，仪器误差为 $\pm 1\mu$ m 的微分头或测长器和支撑台。
2	邻接误差	从基点开始，每次转动 1/10 圈至 2 圈，每次转动 1/2 圈至 5 圈，5 圈以上则每次转动一圈。将心轴推进到测量范围的终点，在此状态下一边使心轴反方向退回，一边测量与推进时所测的相同的测量点，根据得到的两个方向的误差线图求得。(附图 1)。		
3	返回误差			
4	重复精度	将测针垂直抵在测量台上面，在测量范围的任意位置或急或缓地使心轴动作 5 次，求每次指示值的最大差。		测量台 支撑台
5	测力	是千分表保持心轴垂直且置于下方的姿态，连续地缓慢地上下移动心轴，测出测量范围的基点、中央以及终点的测力。		支撑台 上表盘式弹簧秤 (分度值 2g 以下) 或测力计 (灵敏度 0.02N 以下)

### ● 指示值的最大允许误差

单位:  $\mu$ m

测量范围	分度值及测量范围						
	0.001mm	0.002mm			0.001mm		
	10mm 以下	2mm 以下	2mm 以上 10mm 以下	1mm 以下	1mm 以上 2mm 以下	2mm 以上 5mm 以下	
返回误差	5	3	4	3	3	4	
重复精度	5	0.5	1	0.5	0.5	1	
指示误差	1/10 圈 *1	8	4	5	2.5	4	5
	1/2 圈	$\pm 9$	$\pm 5$	$\pm 6$	$\pm 3$	$\pm 5$	$\pm 6$
	1 圈	$\pm 10$	$\pm 6$	$\pm 7$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 7$
	2 圈	$\pm 15$	$\pm 6$	$\pm 8$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$
	全测量范围	$\pm 15$	$\pm 7$	$\pm 12$	$\pm 5$	$\pm 7$	$\pm 10$

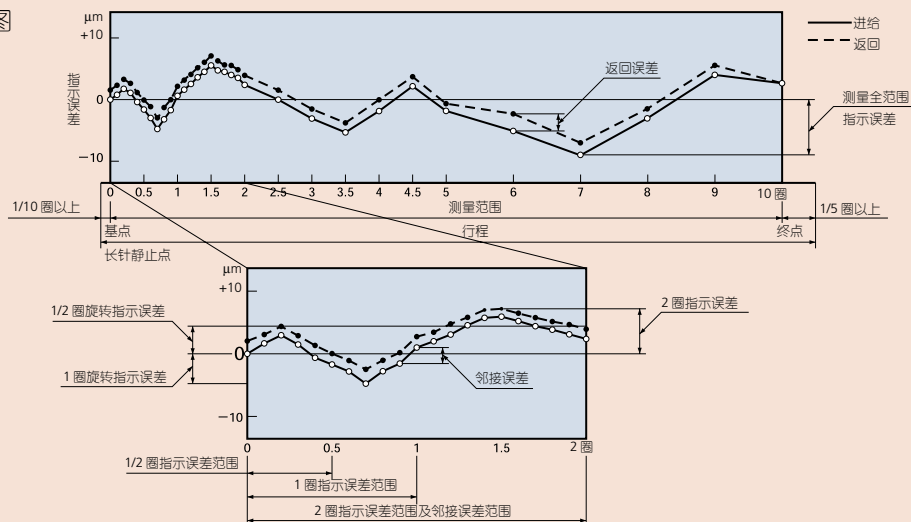
\*1: 邻接误差

备注 上表中的数值是温度在 20°C 时的数值。

性能: 最大允许误差, 千分表的最大允许误差引据上表。

指示值的允许误差, 通过内侧估算校正的不确定性来评价。

指示误差线图  
(附图 1)



## ■ 杠杆式千分表 B 7533-1990 (JIS/ 日本工业规格选萃)

编号	项目	测量方法	讲解图	测量工具
1	宽范围进给精度	(1)分度值为 0.01mm 的千分表, 以刻度的读数为基准, 将测针按顺时针方向从基点到测量范围终点每次移动 0.1mm, 根据由指针读数减去测量工具读数所得的差而画出的误差线图来求得。 (2)分度值为 0.002mm 的千分表, 以刻度的读数为基准, 将测针按顺时针方向从基点到测量范围的终点每次移动 0.02mm, 根据由指针读数减去测量工具读数所得的差而画出的误差线图来求得。测量时, 补足测量工具的仪器误差。		微分头或测长器 (分度值在 1μm 以下, 仪器误差在 ±1μm 以内), 支撑台
2	邻接误差			
3	返回误差	测量进给精度完成后, 在此状态下一边将测针反方向退回, 一边测出与测量宽范围进给精度时相同的测量点, 根据得到的进给、返回的误差线图来求得。		
4	重复精度	a		测量台、支撑台、JIS B7506 (量块) 中规定的 1 级量块。
		b	将测针平行贴在测量台上方的量块, 在测量范围内的任意位置上下前后左右移动量块, 求得指示值的最大差。 	
5	测力	保持仪器的位置或测杆的姿态, 连续且缓慢地向进给和返回的方向移动, 在测量范围的基点、中央以及终点处测量测力。  ●性能 进给方向的最大测力不可超过 0.5N。相对于测力同一方向的最大值和最小值的差, 不可超过 0.2N (20gf)。此外, 测力应尽量小。		上表盘式弹簧秤 (分度值在 2g 以下) 或测力计 (灵敏度在 0.02N 以下)

### ● 指示值的精度

杠杆式千分表的指示精度的误差允许值根据下表。

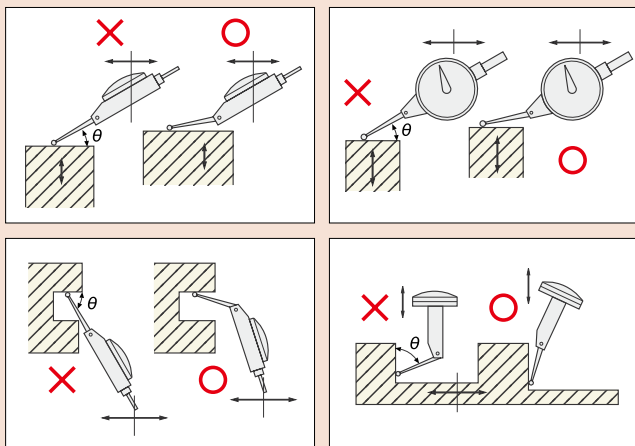
单位: μm

分度值 (mm)	测量范围 (mm)	宽范围进给精度	邻接误差	重复精度	返回误差
0.01	0.5	5	5	3	3
	0.8	8			4*1
	1.0	10			
0.002	0.2	3	2	1	2
	0.28				

\*1: 适用于测针长度超过 35mm 的。

备注 上表中的数值是温度在 20°C 时的数值。

## ■ 杠杆千分表的角度误差



杠杆千分表会由于测针与测量面之间的角度而出现误差。将测针抵住测量面时, 应尽量减小图上的角度  $\theta$ 。测量值会因为  $\theta$  的值而不同。按照图表根据  $\theta$  的值对测量值进行修正。  
〔实际值 = 测量值 × 修正值〕

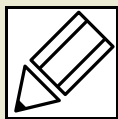
### 角度修正

角度	修正值
10°	0.98
20°	0.94
30°	0.87
40°	0.77
50°	0.64
60°	0.50

### 修正例

杠杆千分表的读数为 0.002mm 时  
 $\theta = 10^\circ$  0.002mm × 0.98 = 0.00196mm  
 $\theta = 20^\circ$  0.002mm × 0.94 = 0.00188mm  
 $\theta = 30^\circ$  0.002mm × 0.87 = 0.00174mm

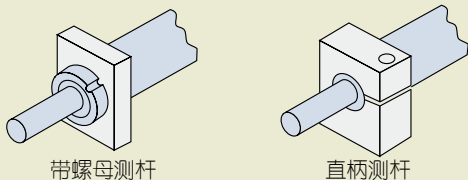
● 使用渐开线测针测量,  $\theta$  角度在 30° 之内无需修正。  
(可以按客户的订购制作)



### 测头

#### 直柄测杆和带螺母测杆

支撑线性测微计测头的部位，按形状分为直柄测杆型和带螺母测杆型两种。安装方法以带螺母测杆型的固定简单而又牢固。直柄测杆型虽然需要铣口等加工，但是适用的范围广泛，具有可以在最终安装时进行前后方向的少许调整的优点。但是需要注意的是不可固定过紧。



带螺母测杆

直柄测杆

#### 测力

测量时作用于测量物的力，线性测微计的行程终端位置的力用牛顿(N)来表示。

#### 比较测量

测量超出测头测量范围的物体时，制成作为测量物基准尺寸的量规，并比较测量物与此尺寸有多大的差，从而得知本来的尺寸一种方法。

#### 防护等级

IP54 防护等级

种类	等级	内容
人体的接触以及针对异物进入的防护	5: 防尘	防止有害尘埃的进入
针对水的防护	4: 防溅水	无论从哪个方向有溅落的水，都不会产生不良影响

IP66 防护等级

种类	等级	内容
人体的接触以及针对异物进入的防护	6: 无尘	完全防止尘埃进入
针对水的防护	6: 防喷水	无论水从哪个方向直接喷射，都不会有水进入内部

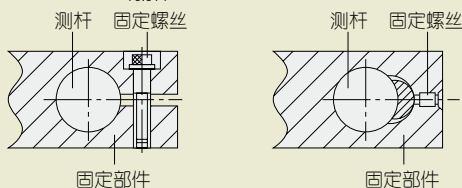
#### 安装测头时的注意事项

- 将测杆插入测量装置的安装部位或者支架内固定。
- 须注意如果将测杆部位拧得过紧，会妨碍设备的正常移动。
- 绝不可以把螺丝直接顶在测杆上来固定。
- 绝不能在测杆以外的部位来固定。
- 测微计要垂直于测量面，装斜了会产生测量误差。
- 注意不要让电缆给测微计加力。

#### 安装激光全息测微计时的注意事项

固定激光全息测微计，要把测杆插在专用的支架或其他装置上。

固定处的推荐孔径:  $15\text{mm} \begin{matrix} +0.034 \\ -0.014 \end{matrix}$



固定部件

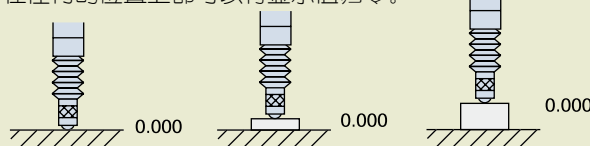
固定部件

- 加工固定用孔要平行于测量方向。倾斜安装会产生测量误差。
- 固定时，如果将测杆拧得过紧的话，将不能顺利滑动，注意不要拧得过紧。
- 如果采用移动激光全息测微计的测量方法，那么在安装时需注意电缆不要受到牵扯，以至于施力于测微计。

### 显示部

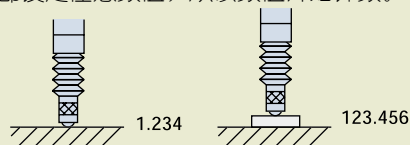
#### 调零

在任何的位置上都可以将显示值归零。



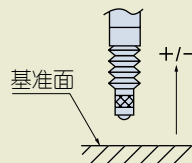
#### 预置

在显示部设定任意数值，从该数值开始计数。



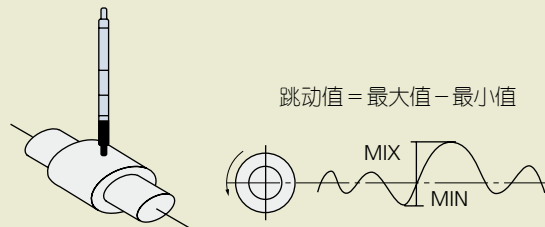
#### 方向转换

测微计的移动方向可设置为 (+)/(-)



#### 设定 MAX, MIN, TIR

保持测量中的最大值、最小值、(最大 - 最小) 值。



#### 公差设定

按照测量的数值是否在公差内来分类的时候，需要将公差值设定在各种显示部位。这种临界点的设置叫做公差设定。

#### 开路集电极输出

通过晶体管的集电极输出来驱动外部负荷的信号。

#### 继电器输出

输出开 / 关状态的触点信号。

#### Digimatic 编码

这是连接三丰的各种数据处理装置与测量仪器输出的通讯形式，能与进行各种统计演算处理、生成柱状图的 Digimatic 微型处理器 DP-1VR 相连接。

#### BCD 输出

用 2 进制编码表示 10 进制的数据输出方式。

#### RS-232C 输出

可以在 EIA 规格的串行通信接口双向传输数据。关于传输方法，请确认各仪器的规格。

## RS 连接功能 可以连接数台 EF/EV 计数器，实现多点测量。

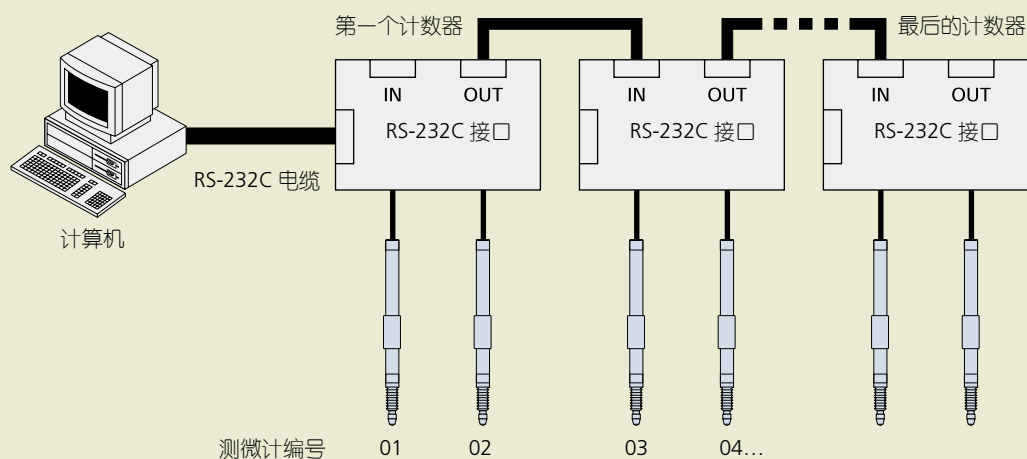
### ■使用 EF 计数器时

最多可连接六台计数器，最多可达 12 个频道的多点测量。

使用专用的 RS 连接电缆 No.02ADD950 (0.5m)、

No.936937 (1m) 或 No.965014 (2m) 连接。

(RS 连接线在整个系统中最长为 10m)



### ■使用 EF 计数器时

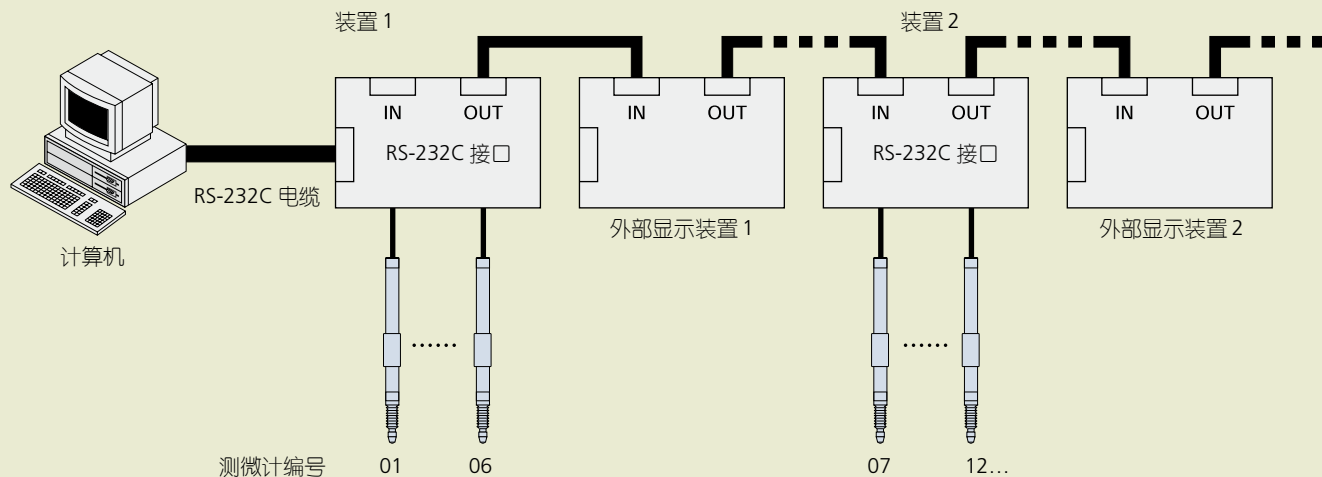
最多可连接 10 台计数器，最多可达 60 个频道的多点测量

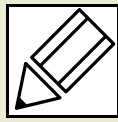
使用专用的 RS 连接电缆 No.02ADD950 (0.5m)、

No.936937 (1m) 或 No.965014 (2m) 连接。

(RS 连接电缆在整个系统中最长的是 10m。)

\*混用 EF 计数器时，最多可连接 6 台。





### 测头

用于变换长度的变化量，利用线圈与铁心之间产生的电流变化。

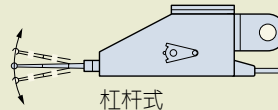
### 杠杆式与平行移动式

拉杆式测头的测量方法中有“杠杆式”与“平行移动式”两种。“杠杆式”中另有“自动变速式”。

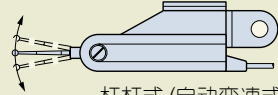
“杠杆式”以板簧为支点，测针做圆弧运动。因此，测量误差会随着测量范围而增大。

“自动变速式”由于测针位于测量行程的中心，所以可以从正/反任何方向测量。“自动变速式”也会受到圆弧误差的影响。

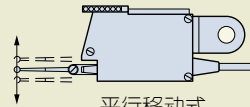
“平行移动式”由于测针平行移动，因此没有圆弧误差。



杠杆式  
MLH-321 (可以用正反拉杆进行上下测量)  
MLH-322 (仅可以单侧测量)



杠杆式 (自动变速式)  
MLH-327 (能上下测量)



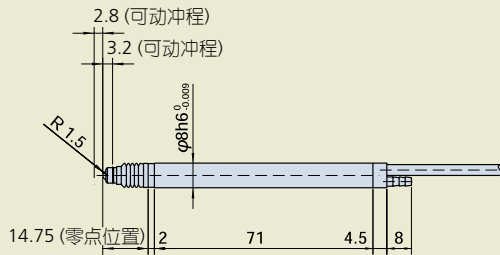
平行移动式  
MLH-326 (能用上面的表盘切换测量方向)

### 空气驱动式测头 MCHP-341

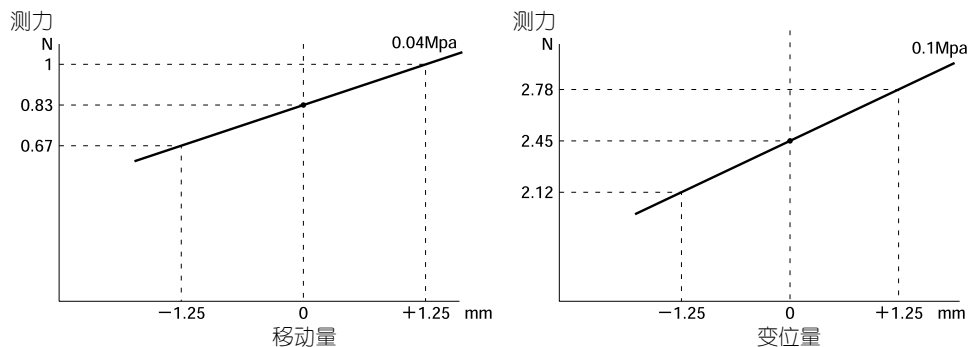
筒形测头 MCHP-341 (No.519-341) 是空气驱动型。

#### ●与气动相关的规格

1. 测头驱动方式 压缩空气
2. 驱动压力 0.05MPa
3. 测力 0.9N (0.05MPa 时)
4. 空气供给口  $\varnothing 2.5\text{mm}$  (空气管内径)

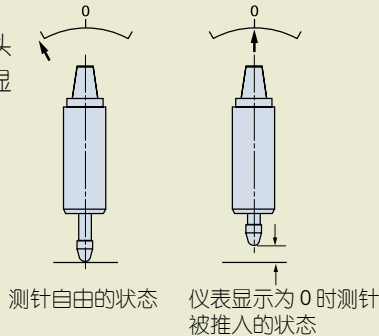


#### ●空气压力与测力



### 预行程

是指电子千分尺用测头的测针从自由状态到显示 0 的距离。



### 测力

测头作用到测量物上的力，电动千分尺的显示值为 0 时测头作用到测量物上的力用牛顿 (N) 来表示。

### Digimatic 编码

连接三丰公司各种数据处理装置和测量仪器输出的通信形式，是三丰公司商品专用的格式。

### 开路集电极输出

通过用晶体管的集电极输出来驱动外部负荷的信号。

### 继电器输出

输出开/关状态的触点信号。

### 比较测量

这是在用直线范围较窄的测量仪器准确地测量直线范围以上的尺寸时，制作成为测量物基准尺寸的量规，并比较测量物与此尺寸有多大的差，从而得知本来的尺寸一种方法。

### 直线度

相对测头所给出的位移量，是否成比例显示的程度。

### 零点

是指要测量物体的基准点，在比较测量中指的是基准量规的基准值。

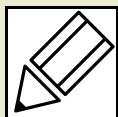
### 灵敏度

指的是相对于电子千分尺的放大器的输入信号的输出信号比。在如实显示出所给的位移量时，可以说是正常的灵敏度。

### 公差设定

按照测量的数值是否在公差内来分类的时候，需要将公差值设定到电子千分尺中。这种临界点的设置叫做公差设定。





### 激光扫描测微计

#### ■ 互换性

本装置因为同附属于测头的 ID 装置做配套调整，所以请务必将序列号相同的 ID 装置安装在显示部后使用。另外，由于是 ID 装置和测头之间的调整，因此显示部与测头具有互换性。与 500S 系列、旧机型 (LSM-3000, 3100, 4000, 4100, 400, 500, 500H 系列) 没有互换性。

#### ■ 测量物与测量条件

可视激光与不可视激光的区别、测量物的形状和表面的粗糙程度等均会造成测量误差。这时要尽量使用已知的形状与表面粗糙程度等值的量规 (master)，并一定要进行补正。因测量条件不同引起测量值有较大差异时，可以通过尽可能增加测量次数来获得精度较高的测量。

#### ■ 噪音对策

为了防止误动作，不要将本装置的信号电缆和中转电缆同高压线或产生冲击噪音的电缆铺设在一起。并且，请一定要接地线。

#### ■ 和计算机的连接

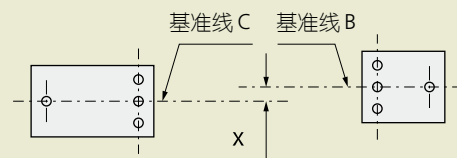
用 RS-232C 将本装置同计算机相连接时，请确认接口的信号名称和针编号。

#### ■ 卸下基座之后的再安装

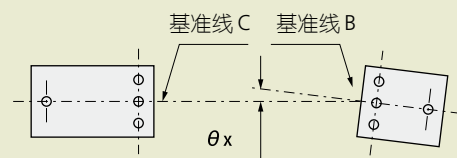
为了尽量缩小因发光装置与受光装置之间的激光轴偏离导致的测量误差，请按照如下方法安装发光装置和受光装置。

##### ● 水平面内的光轴对合

- a. 基准线 C 和 D 的平行偏差  
→ X (横向)

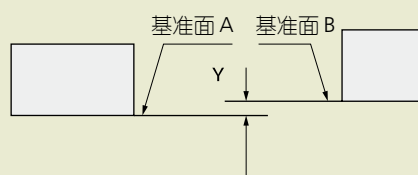


- b. 基准线 C 和 D 的角度偏差  
→  $\theta_x$  (角度)

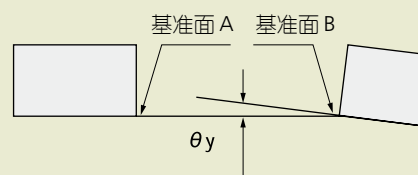


##### ● 水平面内的光轴对合

- c. 基准面 A 和 B 的平行偏差  
→ Y (高度)



- b. 基准面 A 和 B 的角度偏差  
→  $\theta_y$  (高度)

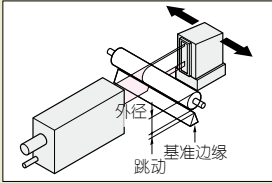


##### ● 各光轴对合的允许范围

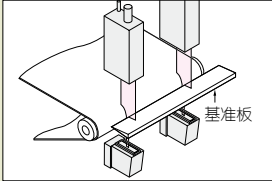
使用机型	发光装置 - 受光装置间的距离	X 和 Y	$\theta_x$ 和 $\theta_y$
LSM-501S	68mm 以下	0.5mm 以内	0.4° (7 mrad) 以内
	100mm 以下	0.5mm 以内	0.3° (5.2 mrad) 以内
LSM-503S	135mm 以下	1 mm 以内	0.4° (7 mrad) 以内
	350mm 以下	1 mm 以内	0.16° (2.8 mrad) 以内
LSM-506S	273mm 以下	1 mm 以内	0.2° (3.5 mrad) 以内
	700mm 以下	1 mm 以内	0.08° (1.4 mrad) 以内
LSM-512S	321mm 以下	1 mm 以内	0.18° (3.6 mrad) 以内
	700mm 以下	1 mm 以内	0.08° (1.4 mrad) 以内
LSM-516S	800mm 以下	1 mm 以内	0.09° (0.9 mrad) 以内

## ■ 测量例

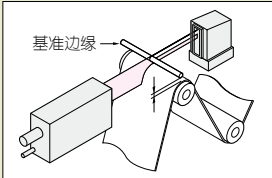
滚筒的外径与跳动的同时测量



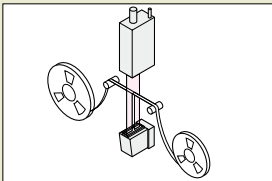
胶片、薄板的厚度不均匀程度的测量(同时测量)



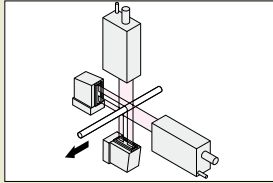
胶片、薄板的厚度测量



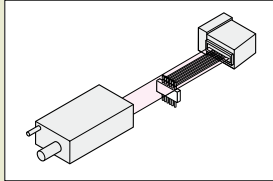
胶带宽度的连续测量



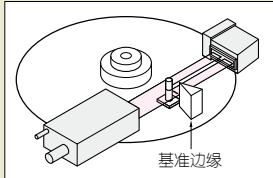
电线、光纤电缆、滚筒的XY同时测量



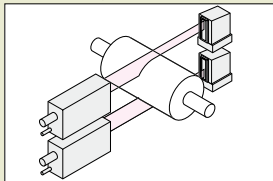
IC 部件的脚间距、宽度、间隙的测量



光盘、磁盘磁头移动量的测量



测量超大外径的双机测量系统

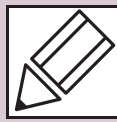


## 激光扫描测微计 LSM

### ■ 安全上的注意事项

本装置测量时使用了低输出的可视激光，相当于 JIS C6802 《激光产品的放射安全基准》的 2 级。如图所示，在测量部位贴有 2 级的警告和说明标签。





### 光栅尺的评价实验方法

#### 1. 工作温度范围试验

确认工作状态及各信号是否符合规格，无异常。

#### 2. 温度循环(动态特性)试验

确认在通电状态下各项性能是否符合规格，无异常。

#### 3. 振动试验(Sweep test 扫频试验)

确认在 3G 恒定、30Hz-300Hz 的条件下是否有异常。

#### 4. 振动试验(加速度试验)

确认作为特定的频率，夹具上的非共振频率是否无异常。  
(10G 左右)

#### 5. 噪音试验

根据：

EMC 指令

EN55011：1991 组别 1，级别 B

EN50082-1：1992

#### 6. 包装坠落试验

根据 JISZ0200 (重物坠落试验)。

### 用语解说

#### ■ 绝对

是指与当前测量时的坐标值无关，从固定的原点开始测量所有位置坐标的测量系统。

#### ■ 增量

是指从当前测量的位置开始，测量所有位移的测量系统。

#### ■ 原点偏置

能够将坐标系的原点从某个固定的原点，移位的功能。这时，需要对永久的原点进行记录。

#### ■ 原点复位

利用机器上安装的限位开关线，一边减速，一边使各轴精确地停止在机器固有的位置上的功能。

#### ■ 顺序控制

按照预先指定的顺序，对各个阶段逐项进行控制。

#### ■ 数值控制

以相应的数值控制指令，控制对测量物进行测量的工具的位置。

#### ■ 二进制输出

以 2 倍单位，指数递增而产生的 2 进制数 ( $2^0, 2^1, 2^2, 2^3 \dots$ )。

#### ■ RS-232C

为近距离传送装置之间进行数据交换的串行通信接口的一种，是 1969 年在美国的 EIA 制定的规则。是主要用于计算机与外部设备连接的通信手段。

#### ■ 线驱动器输出

特点是工作速度快至数十到数百 nsec，传送速度长至数百 m。在光栅尺系统中，与 NC 控制器的 I/F 上可以使用差动电压计线驱动器(根据 RS422A)。

#### ■ BCD

用 4bit 的 2 进制来表示 10 进制数的各位 0-9 数值的方式。数据为单方向输出，输出形态为 TTL 或者开路集电极。

#### ■ GP-IB

作为测量仪器相互之间以及测量仪器与计算机之间连接的通用接口，已经实现了标准化。这是美国电气电子学会(IEEE)的规格。

(1) 即使是不同厂家的测量仪器，如果规格同为 GP-IB，则可以作为 GP-IB 系统构成网络。

(2) 即使是数据传送速度不同的仪器，也可以使用相同的网络系统。

(3) 可以从一台仪器向多台仪器传送数据。与 RS-232C、Centronics (并行接口)、BCD 不同，传送数据不仅限于一对一的仪器之间。

#### ■ RS-422

平衡型的接口规格。平衡型是指往返完全对称的构造。RS-422 的传送性能优良，电源使用 +5V 单项电源即可，这也是其优点之一。

#### ■ 指示精度

是指将标尺送至最大行程时的(测量值) - (实际值)的最大值。由于测长装置中没有象 ISO 那样的国际规范，因此各厂家采用的是不同方式的精度表示。产品目录的表示值是以激光测长仪为基准求出的敝公司的标尺精度表示方法。

#### ■ 窄范围精度

量尺上的刻度格会因种类不同而不同。通常情况下使用的是每格 20 $\mu$ m。将这个刻度格用可分辨的刻度间隔(如 1 $\mu$ m)来测量出的精度。

#### ■ 防护等级

##### IP53 防护等级

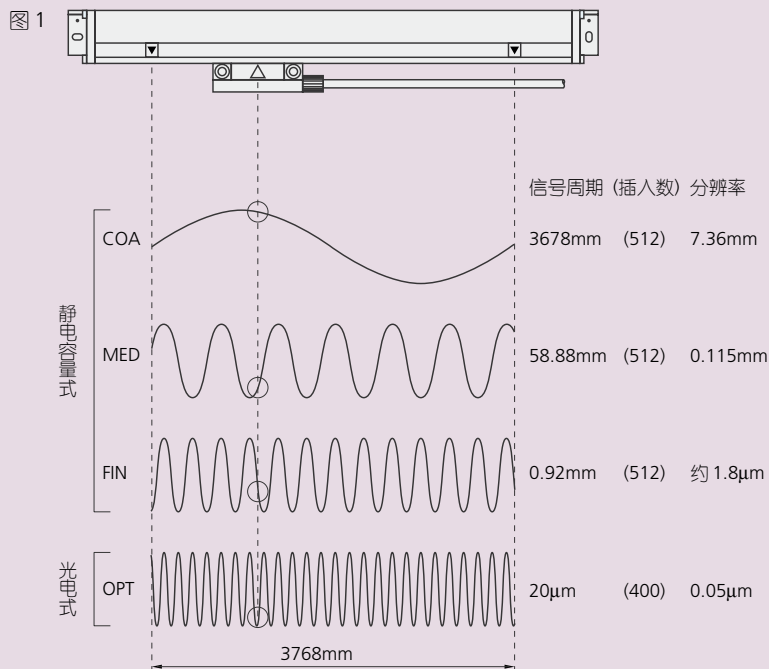
种类	等级	内容
人体的接触以及针对异物进入的防护	5: 防尘	防止有害尘埃的进入
针对水的防护	3: 防淋水	垂直至 60 度落下的雨水，都不会产生不良影响

##### IP54 防护等级

种类	等级	内容
人体的接触以及针对异物进入的防护	5: 无尘	防止尘埃进入和人体接触
针对水的防护	4: 防溅水	无论从哪个方向有水滴溅落，都不会产生不良影响

## 完全绝对方式光栅尺的原理

(例: AT300, 500)

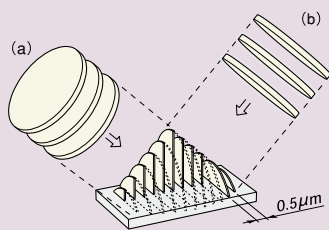


如图1所示,光栅尺通电后进行COA信号的位置检测,根据位置信息检测出位于MED的哪个波长周期的哪个位置上。同样,对FIN和OPT进行位置检测,通过微处理器最终得出0.05 $\mu$ m的分辨率的绝对值。

## 激光全息光栅尺为什么能进行高精度的测量?

### 1. 利用光的波长。

在光栅尺标尺的格子里,使用了栅距为0.5 $\mu$ m的全息影像衍射格子。与以前普遍使用的缩小露光方式的平版印刷格子相比要细腻1/15-1/200,是获得高分辨率测量仪不可或缺的技术要素。



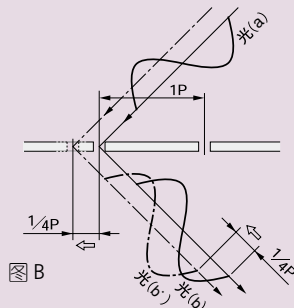
图A

如图A那样,使(a)(b)两条平行的激光光线相互交叉,交汇的部分会出现三维的光干涉(INTERFERENCE)现象,产生干涉条纹。干涉条纹的间距大致与光源的波长相等,三丰激光全息光栅尺上会精确地显示为0.5 $\mu$ m,通过对它的记录作成极小间距的标尺。

### 2. 利用衍射的测长系统。

利用光的衍射现象把光栅尺的移动量通过光的相位变化检测出来。这种光的相位变化量与全息影像格子的栅距相同,因而形成了以0.5 $\mu$ m的栅距检测出光栅尺移动量的精确的测长系统。

前进的光波中途遇到细微的方格状的东西后便会折入阴影方向,引起衍射(DIFFRACTION)现象。

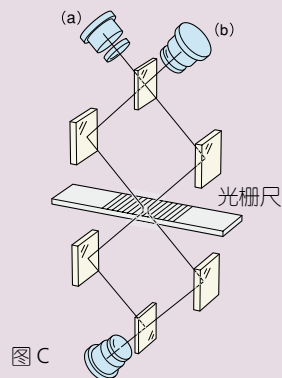


图B

图B中,光线(a)因为全息影像格子发生衍射现象,成为光线(b)的衍射光。此时,如果光栅尺移动1/4栅距,那么同样衍射光也像光线(b)那样出现1/4栅距的相位变化。

### 3. 用完全正弦波信号检测。

通过干涉衍射光,作为全息影像格子的1/2'栅距(0.25 $\mu$ m)的明暗信号被检测。此信号不是普通光栅尺那样的近似正弦波,而是完全正弦波,因此分割误差极小,是高分辨率的决定因素。

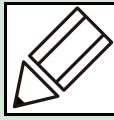


图C

用现在的技术难以直接读取光的相位变化,因此像图C那样,通过干涉两条衍射光,使之变化成明暗信号来读取。将得到的信号分割25份,可以测量0.01 $\mu$ m的长度。

另外,由于光栅尺不同的移动方向,安装(a)(b)两个受光装置,将每一侧的信号光以90°的光学相位差信号来检测。

# 精密测量仪器的小常识

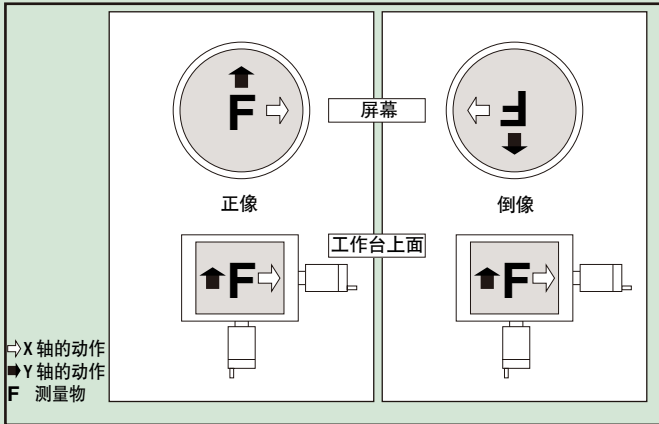


## 投影仪器篇

### ■ 正像和倒像

正像是指屏幕上的投影图像与工作台上的测量物、上下左右的方向以及移动方向完全一致的图像。

像下图那样上下左右的方向及移动方向相反的图像叫做倒像。



### ■ 倍率精度

用一个具有公称倍率的投影镜头，将基准尺寸（基准尺的使用长度）放大投影到屏幕上时，投影图像的实测值与基准尺寸的比率，称为倍率精度，可以用下列公式算出。（与测量精度不同）

$$\Delta M (\%) = \frac{L - IM}{IM}$$

$\Delta M$ : 倍率精度  
 $L$ : 屏幕上基准物图像的实测点  
 $l$ : 基准尺寸（基准尺的使用长度）  
 $M$ : 投影镜头的倍率

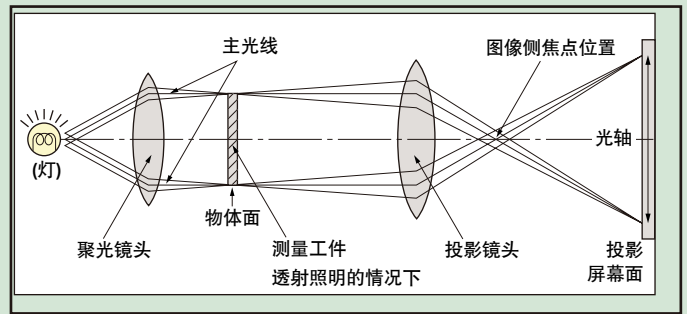
公称倍率：投影镜头所表注的倍率（也叫设计倍率）

### ■ 照明方法

- 透射照明…用透射光观察测量物的照明方法。特别适用于轮廓的放大投影和测量。
- 垂直反射照明…让光垂直照射在测量物表面的照明方法。用于观测和测量表面形状。（同时使用半透镜或内置半透镜式投影镜头）
- 斜向反射照明…使光斜向照射测量物表面的照明方法。图像的对比度得到强调，能够更加立体而清晰地观察。但是需要注意的是在测量尺寸时容易产生误差。（与斜向反射镜合用，PJ-H30 系统主机标准）

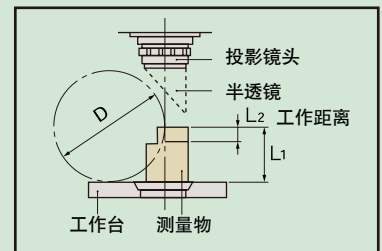
### ■ 远心光学系统

在图像一侧焦点位置上设置光阑，则主光线会与光轴平行。在利用了这一原理的光学系统中，即使将焦点向光轴方向错开，只是图像会变得模糊，而图像中心的大小不会改变。测量投影仪和测量显微镜，通过在聚光镜头的焦点位置放置光源来取代设置光阑的方法，用平行光线照明，可以取得同样的效果。（参照下图）



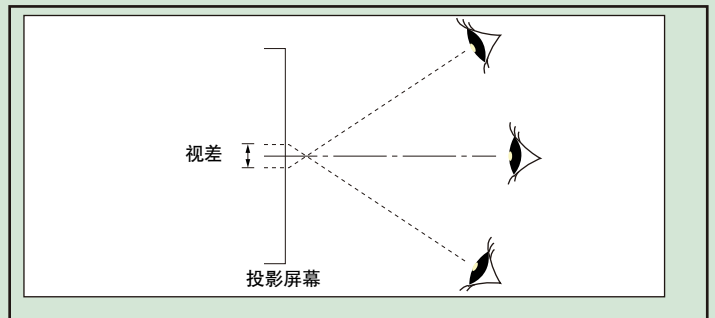
### ■ 工作距离

指对焦时从投影镜头前端到测量物上表面的距离（空间）。在本书中使用的符号为  $L_2$ 。



### ■ 视差

指读取数值时因视线的方向产生的误差。



### ■ 视场直径

指屏幕上映射出的测量物大小的直径、范围。

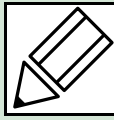
$$\text{视场直径} (\varnothing \text{mm}) = \frac{\text{投影仪的屏幕直径} (\varnothing \text{mm})}{\text{所用投影镜头的倍率}}$$

(例题) 在  $\varnothing 500 \text{mm}$  的屏幕直径上，使用  $5\times$  的投影镜头时

$$(例) \frac{500 (\varnothing \text{mm})}{5 (\times)} = 100 (\varnothing \text{mm})$$

$\varnothing 100 \text{mm}$  的范围会占满整个投影屏幕。

# 精密测量仪器的小常识



## 显微镜篇

### ■ 数值孔径 (N.A.=Numerical Aperture 的略语)

数值孔径 N.A. 是决定物镜分辨率、景深、图像亮度的重要数值。数值孔径 N.A. 通过下列公式来表示, 其数值越大, 就越能得到高分辨率、景深浅的图像。

$$N.A. = n \cdot \sin\theta$$

n 是物镜顶端与工件之间的媒介具有的屈光率, 在空气中 n = 1.0。 $\theta$  是通过物镜最外侧的光线与镜头中心 (光轴) 之间形成的角度。

### ■ 分辨率 (R=Resolving power 的略语)

能够将离得很近的点或线区分开来的最小间隔叫做分辨率, 表示解像度的极限。分辨率 (R) 由数值孔径 N.A. 和波长  $\lambda$  来决定。

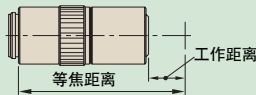
$$R = \frac{\lambda}{2 \cdot N.A.} \quad (\mu\text{m}) \quad \lambda = 0.55\mu\text{m} \text{ (基准波长)}$$

### ■ 工作距离 (W.D.=Working Distance 的略语)

是指对准焦点时从试样上表面到物镜前端的距离。

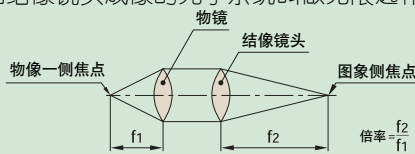
### ■ 等焦距距离

是指对准焦点时, 从试样上表面到物镜安装位置的距离。



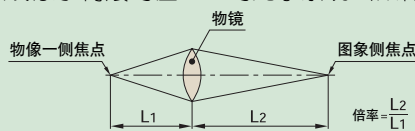
### ■ 无限远补正光学系统

使用物镜和结像镜头成像的光学系统叫做无限远补正光学系统。



### ■ 有限补正光学系统

用物镜单独成像于有限的位置上的光学系统叫做有限补正光学系统。



### ■ 焦距 (f=focal length 的略语)

从像主点到焦点的距离。f1 是物镜的焦距, f2 是结像镜头的焦距。由物镜与结像镜头的焦距比决定倍率 (无限远补正光学系统)。

$$\text{物镜的倍率} = \frac{\text{结像镜头的焦距}}{\text{物镜的焦距}}$$

$$\text{(例) } 1\times = \frac{200 \text{ (mm)}}{200 \text{ (mm)}} \quad \text{(例) } 10\times = \frac{200 \text{ (mm)}}{20 \text{ (mm)}}$$

### ■ 有效视场

(1) 显微镜能观察到的试样的范围 (直径)

$$\text{有效视场 (mm)} = \frac{\text{目镜的视场数}}{\text{物镜的倍率}}$$

$$\text{(例) } 10\times \text{ 镜头的有效视场 } 2.4 \text{ (mm)} = \frac{24\text{mm}}{10}$$

(2) TV 监视器能观察到的试样的范围

$$\text{有效视场 (mm)} = \frac{\text{CCD 照相机的像素大小 (纵} \times \text{横)}}{\text{物镜的倍率}}$$

※ 1/2 英寸 CCD 照相机的像素大小 纵  $\times$  横 = 4.8  $\times$  6.4 (mm)

(例) 1 $\times$  镜头的有效视场 纵  $\times$  横 = 4.8  $\times$  6.4 (mm)

10 $\times$  镜头的有效视场 纵  $\times$  横 = 0.48  $\times$  0.64 (mm)

### ■ 焦点

光学系统中相对于无限远物点的共轭点。

物体空间中有无限远物点的焦点叫做像方焦点。图像空间中有无限远物点的焦点叫做物方焦点。

物方焦点也叫前焦点, 像方焦点也叫后焦点。

### ■ 景深 (DOF=Depth of Focus 的略语)

是指用显微镜对焦时, 将焦点面与该平面前后错位也依然能清晰地看到的范围。孔径越大, 景深越浅。

$$DOF \text{ (mm)} = \frac{\lambda}{2 \cdot (N.A.)^2} \quad \lambda = 0.55\mu\text{m} \text{ (基准波长)}$$

(例) M Plan Apo100 $\times$  的 N.A. 是 0.7

$$\text{此时的景深} = \frac{0.55 \text{ (}\mu\text{m)}}{2 \times 0.7^2} = 0.6 \text{ (}\mu\text{m)}$$

### ■ 亮视场照明和暗视场照明

亮视场照明是通过物镜垂直照明以观察试样的照明方法。

暗视场照明是从物镜外侧照射试样 (用倾斜于光轴的光线照射试样)。没有损伤的平整的部分是黑暗的, 而凹凸不平或有损伤的部分发亮光, 以此来观察试样。

### ■ 复消色差透镜和消色差透镜

复消色差透镜是对三种颜色的光线 (红蓝黄) 进行色像差 (颜色的渗透) 补正的镜头。

消色差透镜是对两种颜色的光线 (红蓝) 进行色像差补正的镜头。

### ■ 倍率

是指光学系统产生的物体放大图像的大小与物体尺寸的比。有横倍率、纵倍率、角倍率等, 通常所说的倍率一般是指横倍率而言。

### ■ 主光线

自光轴外的物点发出, 通过镜头系统的孔径光阑中心的光线。

### ■ 孔径光阑

在镜头系统中, 限制光束的光阑。明暗程度也用光阑来表示。

### ■ 视场光阑

限制光学仪器视场的光阑。

### ■ 远心光阑系统

让主光线穿过焦点的光学系统。由于有对焦的误差, 不会产生结像倍率的变化。

### ■ 正像

指的是光学系统放大的图像与工作台上的测量物在上下左右的朝向上、以及移动方向上完全一致。

### ■ 视场数

目镜视场的大小 (圆的直径) 用 mm 来表示的数值。

### ■ 用于 YAG 激光加工时的注意事项

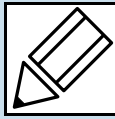
用显微镜进行激光加工的对象是半导体、液晶等精细的薄膜加工, 所以不能从物镜中透射出高强度的激光。因此在使用 YAG 激光时, 请用以下的条件来决定激光强度。

YAG 激光波长	照射能量密度 (输出)	脉冲幅度	适用物镜
1064nm	0.2J/cm <sup>2</sup>	10ns	M Plan NIR
532nm	0.1J/cm <sup>2</sup>	10ns	
355nm	0.05J/cm <sup>2</sup>	10ns	M Plan NUV
266nm	0.04J/cm <sup>2</sup>	10ns	M Plan UV

※ 激光的脉冲幅度变短时, 请按照脉冲幅度比例的平方根降低照明能量的密度。

(例如) 假设脉冲幅度为 1/4 时, 能量密度为 1/2 左右。

注) 让各种激光穿透显微镜和物镜时, 为了防止对设备的意外伤害, 请事先向附近的三丰公司的营业所进行咨询。



■ JIS B 0601: 2001 / B 0610: 2001 / B 0632: 2001 / B 0633: 2001 / B 0651: 2001

■ ISO 3274: 1996 / 4288: 1996 / 11562: 1996 / 4287: 1997

### ● 粗糙度参数定义

#### 振幅参数 (波峰与波谷)

参数种类	曲线种类			解说
	P	R	W	
最高波峰	Pp	Rp	Wp	基准长度内的最高波峰
最深波谷	Pv	Rv	Wv	基准长度内的最深波谷
最大高度	Pz	Rz	Wz	基准长度内的最高波峰与最深波谷的合计
平均高度	Pc	Rc	Wc	基准长度内的 Zt 平均值
最大截面高度	Pt	Rt	Wt	评价长度内的最大 Zp 与最大 Zv 的合计

#### 振幅参数 (纵坐标的平均)

参数种类	曲线种类			解说
	P	R	W	
算术平均高度	Pa	Ra	Wa	基准长度内的最绝对值 Z(x) 的算术平均值
二次平方根高度	Pq	Rq	Wq	基准长度内的 Z(x) 的二次方平均值
偏度	Psk	Rsk	Wsk	基准长度内的 Z(x) 的 3 次方平均分别除以 Pq, Rq, Wq 的 3 次方之后的值
峰度	Pku	Rku	Wku	基准长度内的 Z(x) 的 4 次方平均分别除以 Pq, Rq, Wq 的 4 次方之后的值

### ● 间隔参数

参数种类	曲线种类			解说
	P	R	W	
平均长度	PSm	RSm	WSm	样品长度内的间隔 Xs 的平均值

### ● Hybrld (混合) 参数

参数种类	曲线种类			解说
	P	R	W	
2 次方平均根倾斜	PΔq	RΔq	WΔq	样品长度内的倾斜 dz/dx 的 2 次方平均值

### ● 算术曲线与相关参数

参数种类	曲线种类			解说
	P	R	W	
负荷长度率	Pmr(c)	Rmr(c)	Wmr(c)	在 Wmr(c) 评价长度内分层水平 (c) 的分层长度比
负荷曲线	—	—	—	从评价长度表现分层长度 (负荷曲线)
分层水平差	Pōc	Rōc	Wōc	两个分层长度比之间的高度
相对负荷长度率	Pmr	Rmr	Wmr	从基准分层水平 CO 的道德分层比高度位置的分层长度比
概率密度函数	—	—	—	评价曲线内的 Z(x) 概率分布

#### 测针形状

理想的测针形状是有球形顶端的圆锥形。

● 顶端半径  $r_{tip} = 2\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$

● 圆锥角度  $60^\circ$ 、 $90^\circ$

测量机上没有注明时, 适用  $60^\circ$ 。

#### 静态测力

● 测针平均值测力  $0.00075\text{N}$

#### 滤波器的截止波长的标准值

● ...mm; 0.08mm; 0.25mm; 0.8mm; 2.5mm; 8.0mm; ...mm

过滤器的详细特点见 ISO11562。

#### 粗糙度截止波长 $\lambda_c$ 、顶端半径、粗糙度截止比的关系

$\lambda_c$ mm	$\lambda_s$ $\mu\text{m}$	$\lambda_c/\lambda_s$	顶端半径 (MAX) $\mu\text{m}$	最大取样间隔 $\mu\text{m}$
0.08	2.5	30	2	0.5
0.25	2.5	100	2	0.5
0.8	2.5	300	2	0.5
2.5	8	300	5	1.5
8	25	300	10	5

#### 求粗糙度参数 Ra, Rq, Rsk, Rku, RΔq 用的基准长度

Ra $\mu\text{m}$	粗糙度基准长度 $l_r$ mm	粗糙度评价长度 $l_n$ mm
$(0.006) < Ra \leq 0.02$	0.08	0.4
$0.02 < Ra \leq 0.1$	0.25	1.25
$0.1 < Ra \leq 2$	0.8	4
$2 < Ra \leq 10$	2.5	12.5
$10 < Ra \leq 80$	8	40

#### 求粗糙度参数 Rz, Rv, Rp, Rc, Rt 用的基准长度

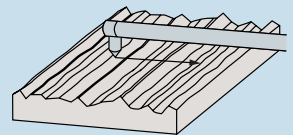
Rz $\mu\text{m}$	粗糙度基准长度 $l_r$ mm	粗糙度评价长度 $l_n$ mm
$(0.025) < Rz \leq 0.1$	0.08	0.4
$0.1 < Rz \leq 0.5$	0.25	1.25
$0.5 < Rz \leq 10$	0.8	4
$10 < Rz \leq 50$	2.5	12.5
$50 < Rz \leq 200$	8	40

#### 求粗糙度参数 RSm 用的基准长度

RSmz mm	粗糙度基准长度 $l_r$ mm	粗糙度评价长度 $l_n$ mm
$0.013 < RSm \leq 0.04$	0.08	0.4
$0.04 < RSm \leq 0.13$	0.25	1.25
$0.13 < RSm \leq 0.4$	0.8	4
$0.4 < RSm \leq 1.3$	2.5	12.5
$1.3 < RSm \leq 4$	8	40

### ■ 测量方向

在被测量面上, 延表面最显粗糙的方向测量。例如, 在机械加工面上与切割痕迹垂直的方向测量。



### ■ 预备长度与评价长度

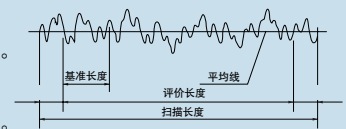
用相位补偿滤波器时, 评价长度的前后需要预备长度。

#### ● 前预备长度

评价长度前面的测量长度。

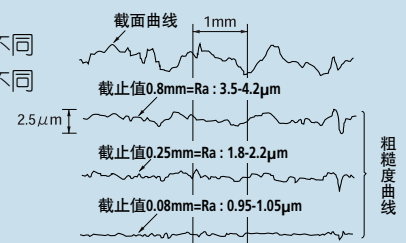
#### ● 后预备长度

评价长度后面的测量长度。



### ■ 截止值的效果

对相同的截面曲线使用不同值的滤波器时, 会出现不同的粗糙度曲线。



### ■ 探针的顶端半径的影响

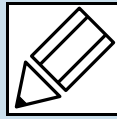
探针的顶端半径根据截止波长定为  $2\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 。即使是相同的测量面, 由于顶端半径不同, 也会得到不同的断面曲线。因此, 需要根据粗糙度的大小选择探针的顶端半径。



	JIS B 0601-1982	JIS B 0601-1994																																																																																																																						
粗糙度参数的种类	Ra、Rmax、Rz	Ra、Ry、Rz、Sm、S、tp																																																																																																																						
求粗糙度参数用的曲线	Ra → 从粗糙度曲线中去掉截止值3倍以上的测量长度求得。 Rmax、Rz → 断面曲线减去基准长度来求得。	6种粗糙度参数，都用粗糙度曲线来求。以基准长度的5倍作为评价长度。																																																																																																																						
粗糙度曲线	从断面曲线上截取了长于所定波长的波形成分的曲线	用相位补偿型高频滤波器从断面曲线上截取了长于所定波长的表面波形成分的曲线。																																																																																																																						
截止值	使用衰减率为-12dB/oct的高频滤波器时，对应周波数增加量为75%的波长。 	对应相位补偿型滤波器周波数的增加为50%的波长。 																																																																																																																						
截止值的标准值	求 Ra 时的截止值·评价长度的标准值 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ra 的范围 (μm)</th> <th rowspan="2">截止值 λc (mm)</th> <th rowspan="2">测量长度 λm (mm)</th> </tr> <tr> <th>超过</th> <th>以下</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>—</td> <td>12.5</td> <td>0.8</td> <td>2.4以上</td> </tr> <tr> <td>12.5</td> <td>100</td> <td>2.5</td> <td>7.5以上</td> </tr> </tbody> </table> 求 Rmax-Rz 时的基准长度·评价长度的标准值 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ra 的范围 (μm)</th> <th rowspan="2">基准长度 λ (mm)</th> <th rowspan="2">测量长度 λm (mm)</th> </tr> <tr> <th>超过</th> <th>以下</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>—</td> <td>0.8</td> <td>0.25</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>6.3</td> <td>0.8</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>6.3</td> <td>25</td> <td>2.5</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>100</td> <td>8</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>400</td> <td>25</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>	Ra 的范围 (μm)		截止值 λc (mm)	测量长度 λm (mm)	超过	以下	—	12.5	0.8	2.4以上	12.5	100	2.5	7.5以上	Ra 的范围 (μm)		基准长度 λ (mm)	测量长度 λm (mm)	超过	以下	—	0.8	0.25	0.25	0.8	6.3	0.8	0.8	6.3	25	2.5	2.5	25	100	8	8	100	400	25	25	(a) Ra <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ra 的范围 (μm)</th> <th rowspan="2">截止值 λc (mm)</th> <th rowspan="2">评价长度 λm (mm)</th> </tr> <tr> <th>超过</th> <th>以下</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(0.006)</td> <td>0.02</td> <td>0.08</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>0.02</td> <td>0.1</td> <td>0.25</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>0.1</td> <td>2.0</td> <td>0.8</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>10.0</td> <td>2.5</td> <td>12.5</td> </tr> <tr> <td>10.0</td> <td>80.0</td> <td>8</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table> (b) Ry,Rz <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ry, Rz 的范围 (μm)</th> <th rowspan="2">基准长度 λ (mm)</th> <th rowspan="2">评价长度 λm (mm)</th> </tr> <tr> <th>超过</th> <th>以下</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.025</td> <td>0.10</td> <td>0.08</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>0.10</td> <td>0.50</td> <td>0.25</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>0.50</td> <td>10.0</td> <td>0.8</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>10.0</td> <td>50.0</td> <td>2.5</td> <td>12.5</td> </tr> <tr> <td>50.0</td> <td>200.0</td> <td>8</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table> (c) Sm,S <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Sm, S 的范围 (μm)</th> <th rowspan="2">基准长度 λ (mm)</th> <th rowspan="2">评价长度 λm (mm)</th> </tr> <tr> <th>超过</th> <th>以下</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.013</td> <td>0.04</td> <td>0.08</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>0.04</td> <td>0.13</td> <td>0.25</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>0.13</td> <td>0.4</td> <td>0.8</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>1.3</td> <td>2.5</td> <td>12.5</td> </tr> <tr> <td>1.3</td> <td>4.0</td> <td>8</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table>	Ra 的范围 (μm)		截止值 λc (mm)	评价长度 λm (mm)	超过	以下	(0.006)	0.02	0.08	0.4	0.02	0.1	0.25	1.25	0.1	2.0	0.8	4	2.0	10.0	2.5	12.5	10.0	80.0	8	40	Ry, Rz 的范围 (μm)		基准长度 λ (mm)	评价长度 λm (mm)	超过	以下	0.025	0.10	0.08	0.4	0.10	0.50	0.25	1.25	0.50	10.0	0.8	4	10.0	50.0	2.5	12.5	50.0	200.0	8	40	Sm, S 的范围 (μm)		基准长度 λ (mm)	评价长度 λm (mm)	超过	以下	0.013	0.04	0.08	0.4	0.04	0.13	0.25	1.25	0.13	0.4	0.8	4	0.4	1.3	2.5	12.5	1.3	4.0	8	40
Ra 的范围 (μm)		截止值 λc (mm)	测量长度 λm (mm)																																																																																																																					
超过	以下																																																																																																																							
—	12.5	0.8	2.4以上																																																																																																																					
12.5	100	2.5	7.5以上																																																																																																																					
Ra 的范围 (μm)		基准长度 λ (mm)	测量长度 λm (mm)																																																																																																																					
超过	以下																																																																																																																							
—	0.8	0.25	0.25																																																																																																																					
0.8	6.3	0.8	0.8																																																																																																																					
6.3	25	2.5	2.5																																																																																																																					
25	100	8	8																																																																																																																					
100	400	25	25																																																																																																																					
Ra 的范围 (μm)		截止值 λc (mm)	评价长度 λm (mm)																																																																																																																					
超过	以下																																																																																																																							
(0.006)	0.02	0.08	0.4																																																																																																																					
0.02	0.1	0.25	1.25																																																																																																																					
0.1	2.0	0.8	4																																																																																																																					
2.0	10.0	2.5	12.5																																																																																																																					
10.0	80.0	8	40																																																																																																																					
Ry, Rz 的范围 (μm)		基准长度 λ (mm)	评价长度 λm (mm)																																																																																																																					
超过	以下																																																																																																																							
0.025	0.10	0.08	0.4																																																																																																																					
0.10	0.50	0.25	1.25																																																																																																																					
0.50	10.0	0.8	4																																																																																																																					
10.0	50.0	2.5	12.5																																																																																																																					
50.0	200.0	8	40																																																																																																																					
Sm, S 的范围 (μm)		基准长度 λ (mm)	评价长度 λm (mm)																																																																																																																					
超过	以下																																																																																																																							
0.013	0.04	0.08	0.4																																																																																																																					
0.04	0.13	0.25	1.25																																																																																																																					
0.13	0.4	0.8	4																																																																																																																					
0.4	1.3	2.5	12.5																																																																																																																					
1.3	4.0	8	40																																																																																																																					
高度方向的基准	在截面曲线或粗糙度曲线的截取部分中，被测量面的具有几何学形状的直线或曲线，并且从该线到断面曲线或粗糙度曲线的误差的平方和为最小值时，以此线为平均线。画一条与粗糙度曲线的平均线平行的直线，该直线与粗糙度曲线围起来的面积在该直线的两侧为相等时，该直线称为中心线。	从截面曲线中除去粗糙度曲线后得到的“滤波波形曲线”，将其作为平均线。																																																																																																																						
面的纹理的图示方法	例 1) 使用 JIS B 0601-1982 的基准长度的标准值  例 2) 使用 JIS B 0601-1982 的基准长的标准值以外的值  作为完成符号，在附录上记载为三角符号(▽)和波形符号(~) 	1) 在旧的 JIS 上添加 Sm、S、tp 的图示方法  2) 在基准长度之外，记载指示评价长度的方法  基准长度(截止值)和评价长度不是标准值 3) 记载了想用旧的 JIS 的滤波器指示 Ra 时的图示方法。  4) 用完成符号(三角符号▽和波形符号~)删除指示方法。																																																																																																																						

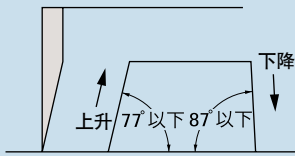


# 精密测量仪器的小常识



## Contracer (轮廓测量仪) 篇

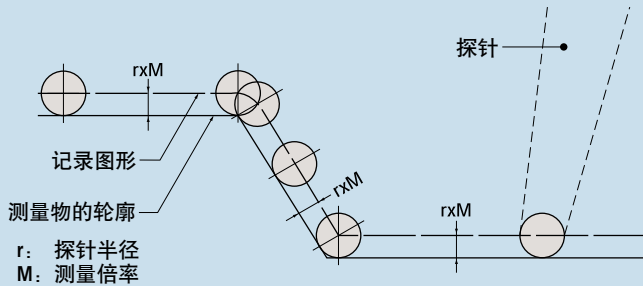
### 跟踪角度



相对探针的进给方向，探针可以按照测量物的形状上升或下降的极限角度叫做跟踪角度。探针顶端角度为 12° 的切面探针 (图) 时，上升角度 77°，下降角度 87°，如果是圆锥形探针 (30° 圆锥) 的话，极限倾斜度会变得缓和。表面上看虽然是 77°，但是，受上行斜面表面粗糙度的影响，会部分存在 77° 以上的斜面，测力也会受到影响。

### 探针半径补正

根据探针的顶端半径 (0.025mm)，记录图形会成为在测量物表面上滚动的球体的中心轨迹。通过对这一探针的顶端半径进行数据处理上的补正，可以得到精确的测量值和形状记录。

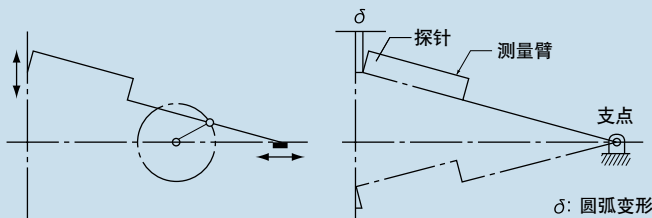


用记录计从模板和刻度上读取轮廓形状时，需要根据测量倍率预先补正测头半径值。

### 圆弧变形

测头做圆弧运动时，会在记录图形的 X 轴方向上出现变形误差。补正圆弧变形的手段有

- ① 机械补正方法
- ② 电子补正方法



③ 有通过软件演算来补正的方法。在对上下方向上移动量较大的测量物进行高精度测量时，需要补正圆弧变形。

### 精度

与模拟记录计的全刻度作比较，多用  $\pm \square \%$  来表示。

(例) 倍率精度 (精度) Z 轴  $\pm 0.25\%$  / 全刻度  
A3 模拟记录计

$$\frac{\pm 0.25\%}{100} \times 250\text{mm} = \pm 0.625\text{mm}$$

(250mm 是 A3 复印纸的纵向长度)

假设记录纸上误差为  $\pm 0.625\text{mm}$ ，测量倍率为 10 倍，那么，读取值则为  $0.625\text{mm}/10$ 。

※如果是用数据处理装置进行解析，并且 Z 轴检测装置上内置光栅尺的机型 (CV-H, CV 系列)，那么倍率精度的显示就不是百分比，而是光栅尺 (X 轴、Z 轴) 各自的指示精度。

### 安全装置

由于轮廓形状的斜面角度大或者有毛刺存在，探针顶端出现超负荷时，为了防止探针损伤，可以自动停止运转，并发出蜂鸣警报。一般按进给方向 (X 轴方向) 的负荷和上下方向 (Z 轴方向) 的负荷分别装备。

### 圆弧运动、直线运动

这是探针上下动作时，测头划出的轨迹，有圆弧和直线两种。做直线运动时，机械构造复杂，做圆弧运动时，探针的上下移动量较大，会由于圆弧变形 ( $\delta$ ) 而导致记录图形出现误差。(参照左下图)

### Z 轴检测方式

X 轴驱动检测一般使用数字光栅尺进行检测。Z 轴检测方式有模拟方式 (差动变压器) 和数字光栅尺方式两种。

模拟方式中，Z 轴分辨率会随测量倍率和测量范围而变化。数字光栅尺方式随光栅尺的分辨率。一般来说，数字光栅尺方式精度较高。

## ■ 轮廓形状解析方法

测量完成后，有以下两种解析轮廓形状的手段。

### ① 记录仪

测量过的轮廓形状依据测量时的测量倍率(参照精度项目)记录在记录仪上。对记录的轮廓形状，可用标尺读取，除以测量倍数求得实际大小。也可以用CAD事先做好的模板{实际大小±公差×测定倍率}贴在记录图形上进行比较测量。无论哪种方法，都要考虑读取时和制作模板时的探针半径修正、读取误差以及人为的不可避免的误差等。

### ② 数据处理装置与解析程序

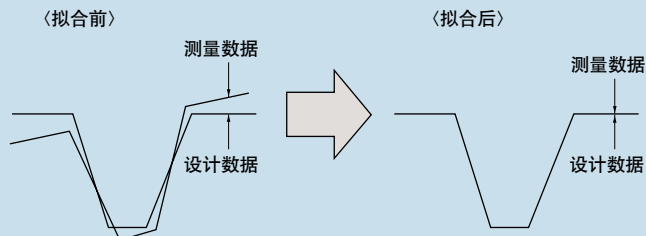
将测出的轮廓形状实时地输入到数据处理装置，用专用解析程序和键盘进行解析。角度、半径、阶差、间距等会用数值直接显示出来，另外还可以轻松地结合坐标系进行解析。记录图形经探针半径修正后通过绘图器和激光打印机输出。

## ■ 设计值检验

与其说对图形显示的尺寸的解析，不如说是作为“形状”与设计数据的比较并显示和记录其偏差。另外，将基准测量物转变成设计的数据与测量数据进行比较。尤其当这一部分的形状影响商品性能的时候，或由于与组合部件的关系产生对形状的影响时使用较多。

## ■ 拟合

当被测量的轮廓形状数据有基准时，要根据基准进行设计值的检验。没有基准或只需检验形状时，可以用设计数据与测量数据进行拟合。

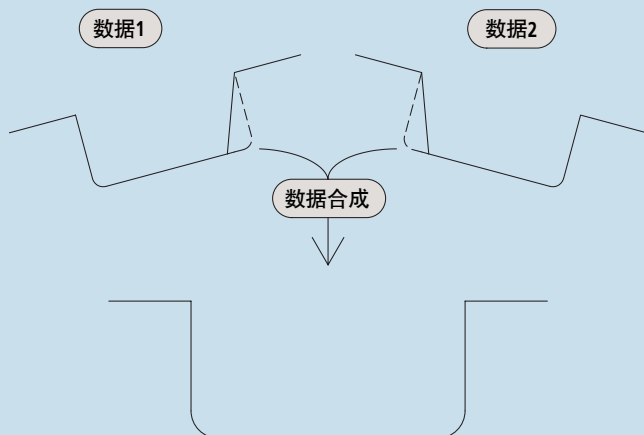


拟合是指从两组数据来求偏差量，求二次方的和为最小值的坐标系，使测量数据与设计数据重合。

## ■ 数据合成

由于探针跟踪角度的限制，把从前分隔成几个部分测量、评价的形状合成为就好像是一个完整的图形的功能。

可以显示实际形状的图形，也可以象往常一样进行各种解析。



## ■ 主要测量举例



非球面镜头形状测量



轴承内外轮形状测量



内齿轮齿形测量



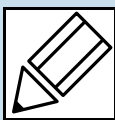
内螺纹形状测量



螺纹槽形状测量



量规测量



### 圆度的定义

日本工业规格 (JIS) B0621-1984 的《几何误差的定义及表示》中规定,“圆度是指圆形与几何学意义上的纯圆的偏离程度的大小”。

另外,作为圆度的表示方法,“圆度为用两个同心的几何学圆从内外两侧移向该圆形,当两个同心圆的间隔为最小值时的两个圆的半径差来表示,表示为圆度  $\square \square \mu\text{m}$  或者圆度  $\square \square \text{mm}$ ”。

### 圆度的评价方法

测量圆度有半径法、直径法、三点法三种方法。半径法被认为最理想的方法,而且在 JIS 中也有定义。圆度测量仪使用的也是半径法。

用半径法评价圆度时,需要明确地定义圆的中心,评价的方法有以下 4 种。

#### ① 最小二乘中心法 (LSC)

对于测量得到的形状,与误差的二次方和最小的圆同心的外接圆和内切圆的半径差作为圆度。

#### ② 最小领域中心法 (MZC)

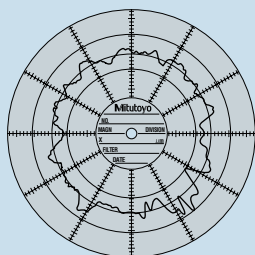
用两个同心圆夹住通过测量得出的形状时,以这些圆的间隔最小时的半径差作为其形状的圆度。

#### ③ 最大内切圆中心法 (MIC)

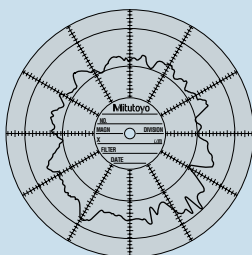
相对于测得的形状的最大内切圆和同心外接圆的半径差,作为其形状的圆度。

#### ④ 最小外接圆中心法 (MCC)

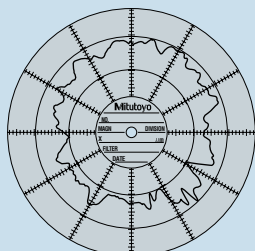
相对于测得的形状的最大外接圆和同心内切圆的半径差,作为其形状的圆度。



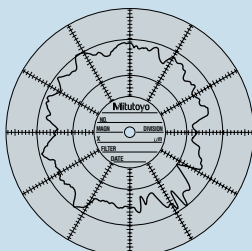
最小二乘中心法 (LSC)



最大内切圆中心法 (MIC)



最小领域中心法 (MZC)



最小外接圆中心法 (MCC)

通常,圆度评价法的显示标志如下。

(JIS B 7451-1997 的《圆度测量机》的推荐)

最小二乘中心法..... LSC 或  $\Delta Z_q$

最小领域中心法..... MZC 或  $\Delta Z_z$

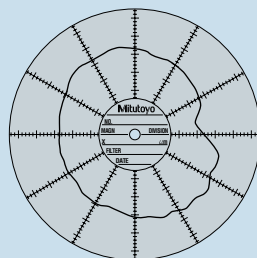
最大内切圆中心法..... MIC 或  $\Delta Z_i$

最小外接圆中心法..... MCC 或  $\Delta Z_c$

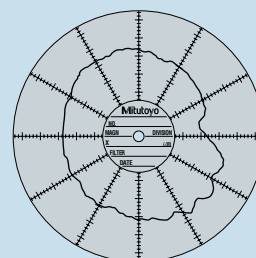
三丰公司的测量机和产品目录采用 LSC、MZC、MIC、MCC 的表示方法。

### 滤波器

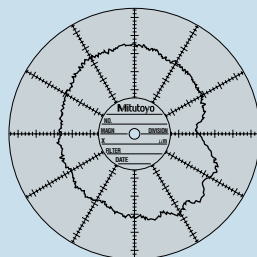
Roundtest 的检测器检测出来的测量物的截面形状上含有椭圆及封闭形状等周期长的成分和周期短的粗糙度成分。根据测量物的用途和性质,有时在判断和评价圆度时最好去除周期短的粗糙度成分,因此,通过叫做 2RC 二次激活滤波器的过滤器将不需要的成分除掉。2RC 二次激活滤波器利用了对于周波数成分的透射率的变化。截止值用旋转一圈的峰数表示。



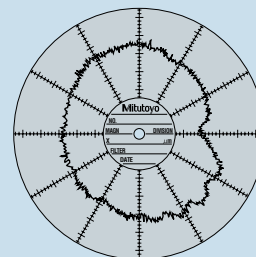
截止值 15



截止值 50



截止值 150

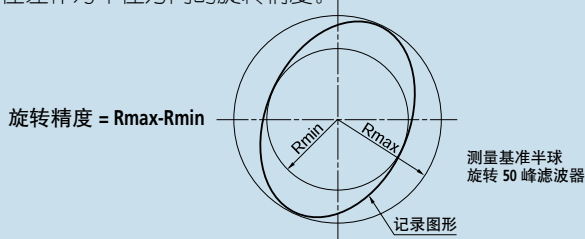


截止值 500

### 旋转精度的评价方法

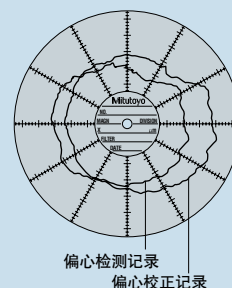
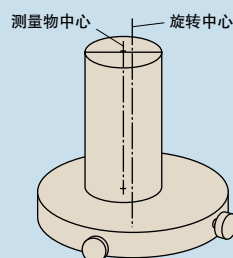
JIS B7451-1997 中规定如下。

“测量标准仪的圆度,以得出的记录图形的内切圆外接圆的半径差作为半径方向的旋转精度。”



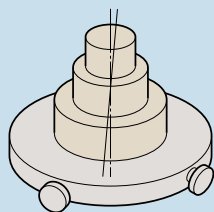
### 自动偏心校正功能

Roundtest 的旋转工作台轴心与测量物的轴心的错位就是偏心。自动偏心校正功能是自动校正这种错位的功能。可以在记录图形上把偏心的检测轮廓自动校正并画在记录纸的中央。



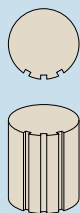
### ■ 自动倾斜校正功能

进行同轴度、圆柱度的测量时，自动校正圆度测试的 Rotary Table (旋转工作台) 轴心与测量物轴心的角度的功能，就是自动倾斜校正功能。



### ■ 带切口物体的圆度

适用于当测量截面不是测量物的全周，圆周的一部分有切口之时。用去掉了切口部分的测量截面评价圆度。



### ■ D.A.T 机构装置 (已申请专利)

采用了强力支持调心、调水平作业的 D.A.T 机构。调心、调水平的调整量会显示在图像上，因此只用安装在工作台上的数字微分头调整即可完成。作调整的工作台的位置不受限制，即使是有“切口”的测量物，D.A.T 机构也可以弹性地予以对应。

### ■ 气浮轴承机构

采用静压气浮轴承，实现了高旋转精度。不会担心因轴承磨损引起精度降低，即使在长时间连续使用的恶劣条件下也可以保持最初的精度。

### ■ 真正的垂直立柱

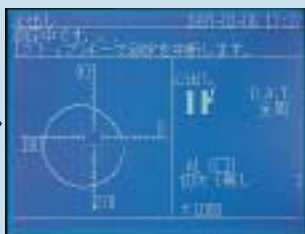
垂直精度是高精度的保证。对测量物的垂直度和复合形状的精度解析最有效。另外，也由于保证了平行度精度的高精度，从而能够真正的进行圆柱形状的测量。



方式选择



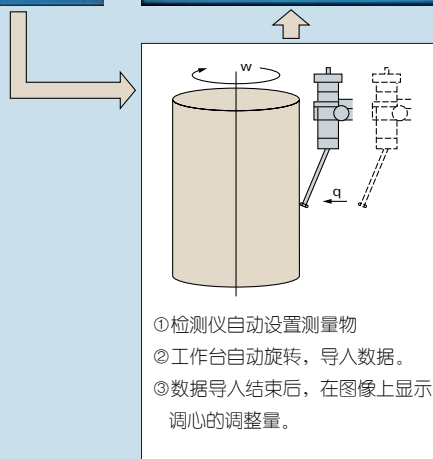
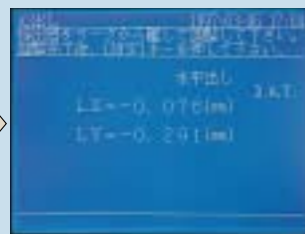
预备测量



调心

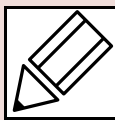


调水平

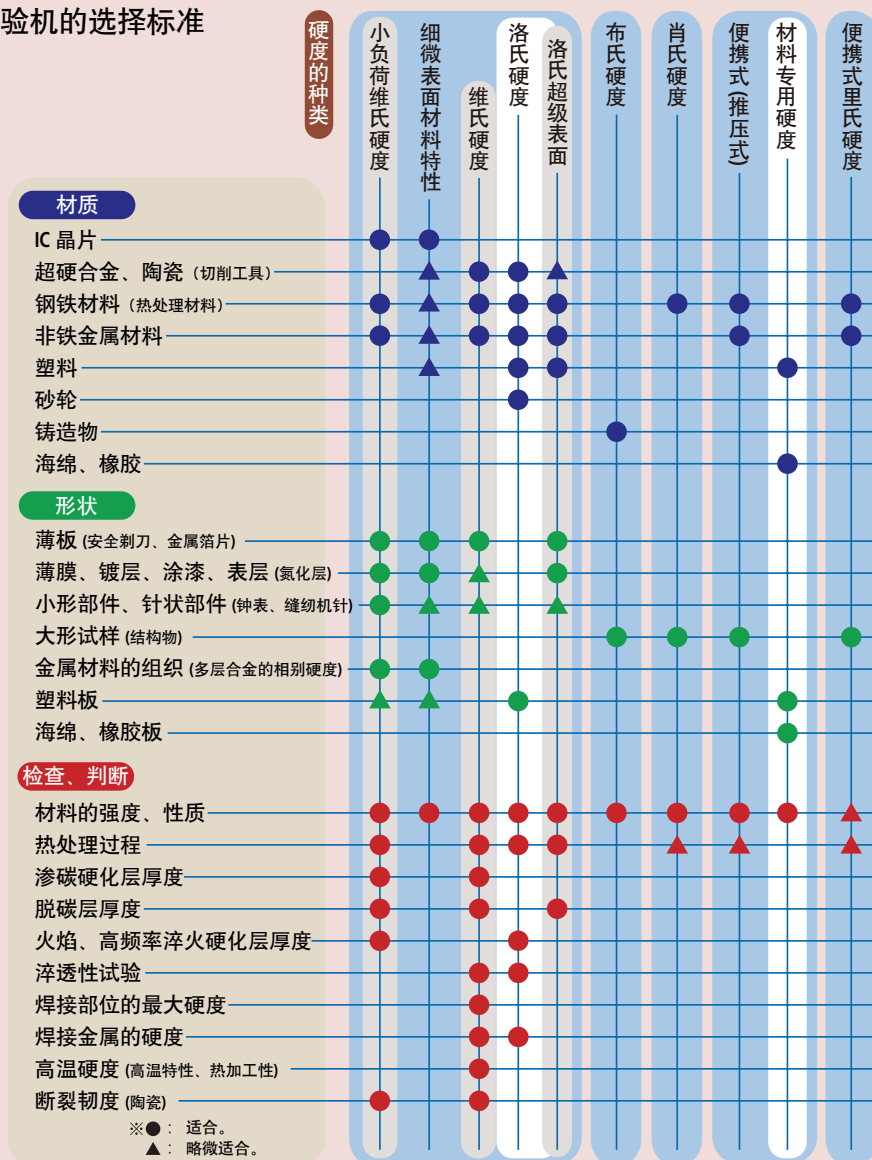


※RA-116D/114D 为手动。

进行调水平作业时，改变了检测位置（高度），再次导入数据时显示水平调整的调整量。



### 硬度的种类与硬度试验机的选择标准



### 硬度的定义

#### (1) 维氏硬度

维氏硬度是可以用任意试验力进行试验的应用范围最为广泛的试验方法。特别在 9.807N 以下的微小硬度领域的应用非常多。维氏硬度是对钻石正四角锥体 (对面角度  $\theta=136^\circ$ ) 施加试验力  $F$  (N), 压入试样之后, 从取出压头时的压痕的对角线长度  $d$  (2 方向的平均、mm) 计算出的压头与试样之间的接触面积  $S$  (mm<sup>2</sup>) 除以试验力  $F$  (N) 得出的值。K 是常数 ( $1/g=1/9.80665$ )

$$HV = k \frac{F}{S} = 0.102 \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad \begin{matrix} F: N \\ d: mm \end{matrix}$$

维氏硬度的误差可以用下列公式求得。另外,  $\Delta d_1$  是显微镜的误差,  $\Delta d_2$  是压痕读取的误差,  $a$  是压头顶端的相反面产生的角线的长度,  $\Delta \theta$  的单位是度。

$$\frac{\Delta HV}{HV} \approx - \frac{\Delta F}{F} - 2 \frac{\Delta d_1}{d} - 2 \frac{\Delta d_2}{d} - \frac{a^2}{d^2} \cdot 3.5 \times 10^{-3} \Delta \theta$$

#### (2) 努氏硬度

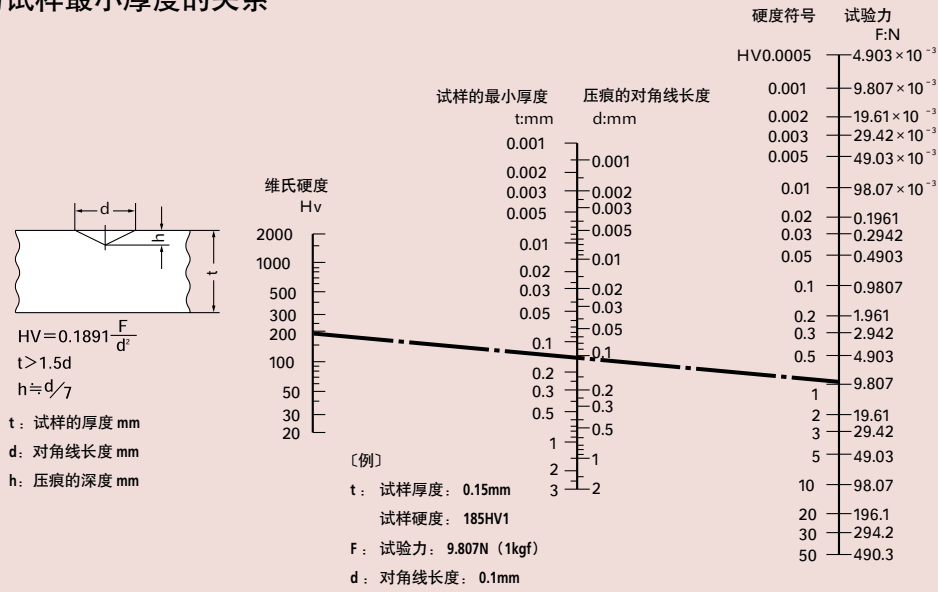
努氏硬度是对角呈  $172^\circ 30'$  和  $130^\circ$  的横断面的菱形钻石四角锥上施加试验力  $F$ , 按入试样后, 取出压头, 从压痕的较长的对角线长度  $d$  (mm) 计算出来的压痕的投影面积  $A$  (mm<sup>2</sup>) 除以试验力得出的值。另外, 努氏硬度可以通过把微小硬度试验机的威氏压头更换成努氏压头来测量。

$$HK = k \frac{F}{A} = 0.102 \frac{F}{A} = 0.102 \frac{F}{cd^2} = 1.451 \frac{F}{d^2} \quad \begin{matrix} F: N \\ d: mm \\ c: 常数 \end{matrix}$$

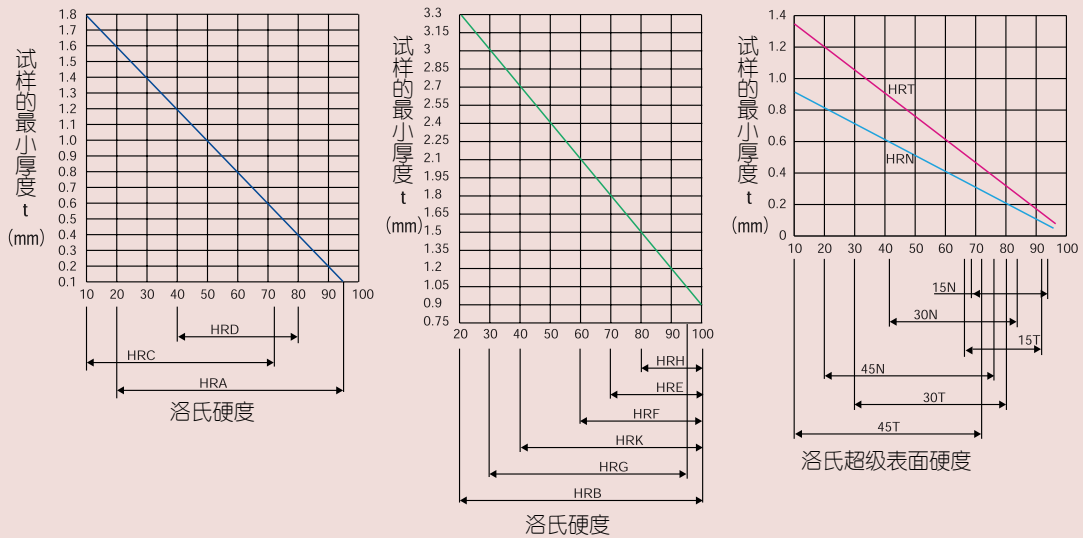
#### (3) 洛氏及洛氏超级表面硬度

洛氏及洛氏超级表面硬度是利用钻石压头 (顶端的圆锥角  $120^\circ$ , 顶端的曲率半径 0.2mm) 或球形压头 (钢球或超硬合金球) 先施加一次试验力, 然后第二次施加试验力, 再返回到第一次的试验力, 根据前后两次试验力造成的压头进入深度的差 ( $\mu$ m) 用硬度计算公式求出。初次的试验力为 98.07N 的时候叫做洛氏硬度, 初次试验力为 29.42N 时叫做洛氏超级表面硬度。此外, 压头的种类、试验力以及硬度计算公式的组合设定有固定符号, 称为等级。在 JIS 中对等级或者硬度都有规定。

## 维氏硬度与试样最小厚度的关系



## 洛氏硬度 / 洛氏超级表面硬度与试样最小厚度的关系

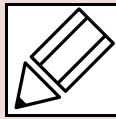


## 洛氏硬度的种类

等级	压头	试验力 (N)	用途
A	钻石	588.4	超硬合金、薄钢板
D		980.7	渗碳钢
C		1471	钢 (100HRB以上~70HRC以下)
F	直径1.5875mm圆球	588.4	轴承合金、退火钢
B		980.7	黄铜
G		1471	硬铝合金、铍铜、磷青铜
H	直径3.175mm圆球	588.4	轴承合金、砂轮
E		980.7	轴承合金
K		1471	轴承合金
L	直径6.35mm圆球	588.4	塑料、铅
M		980.7	
P		1471	
R	直径 12.7mm 圆球	588.4	塑料
S		980.7	
V		1471	

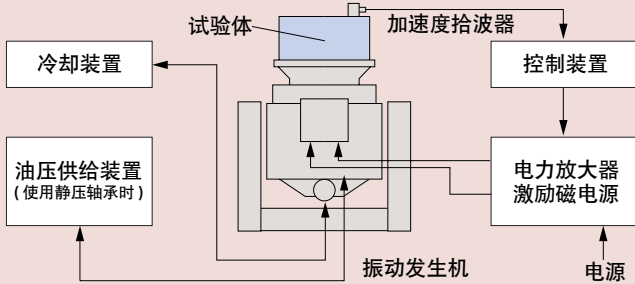
## 洛氏超级表面硬度试验机的种类

等级	压头	试验力 (N)	用途
15N	钻石	147.1	渗碳、渗氮等钢材的表面硬化薄层
30N		294.2	
45N		441.3	
15T	直径1.5875mm圆球	147.1	软钢、黄铜、青铜等的薄板
30T		294.2	
45T		441.3	
15W	直径3.175mm圆球	147.1	塑料、锌、轴承合金
30W		294.2	
45W		441.3	
15X	直径6.35mm圆球	147.1	塑料、锌、轴承合金
30X		294.2	
45X		441.3	
15Y	直径 12.7mm 圆球	147.1	塑料、锌、轴承合金
30Y		294.2	
45Y		441.3	



### 什么是电动式振动试验机

振源用电。基本系统与音响系统结构(扬声器 = 振动发生器, 放大器 = 电力放大器, 调谐器和播放器 = 控制装置)相同。性能的特点是覆盖了从地震的低频振动(几 Hz)到航天设备接受的高频振动的频率(几 kHz)范围。既有从能给几克大小的试验体加振的手掌大小的小型振动试验机, 也有能给人工卫星那样数吨重的大型试验体加振的大型振动试验机, 具有宽泛的加振力领域。



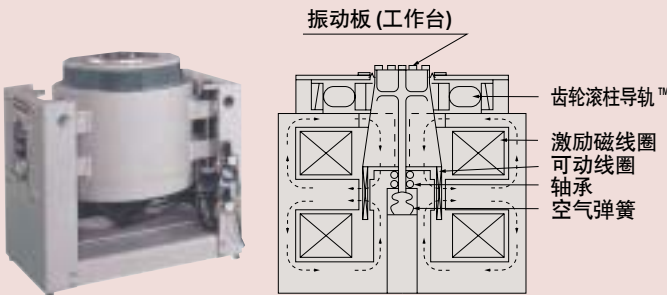
### 结构与动作原理

电动式振动发生机的原理与音响的扬声器完全相同, 遵循弗莱铭左手定则。可动线圈发生的力 $F$ 可以用下面的公式来求。

$$F = Bli$$

- $F$ : 加振力 (N)
- $B$ : 空隙磁力的磁束密度 (wb/m<sup>2</sup>)
- $l$ : 可动线圈的有效长度 (m)
- $i$ : 可动线圈内的流动电流 (A)

在电动式中, 可动线圈发生的力通过振动板传给试验体。

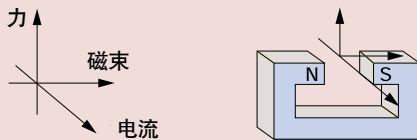


### 电动式振动试验机相关用语的解说

#### 1. 驱动方式

##### ● 电动式:

利用电流通过磁场中的线圈时产生的力(弗莱铭左手定则)。



#### 2. 冷却方式

##### ● 空冷式:

将电流通过可动线圈时发生的焦耳热用冷却风扇强行冷却的方式, 多用于EDS(中型)。

##### ● 水冷式:

可动线圈的线材使用管材, 内部流动纯水的冷却方式, 冷却效率高, 用于EDS(大型)。

#### 3. 激励磁方式

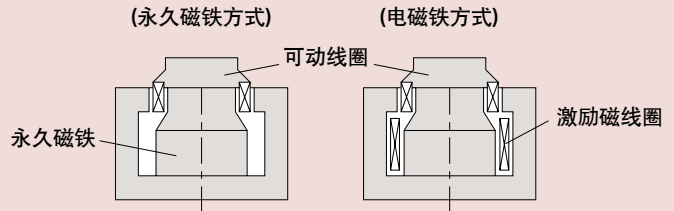
##### ● 永久磁石方式:

为了在可动线圈可以插入的空隙处制造高磁束密度的磁场而使用永久磁铁的方式, 用于MES和EDS的一部分机型。

这种方式振动发生机的结构简单、紧凑, 无须激励磁线圈电源。

#### ● 电磁铁方式:

用激励磁线圈制造磁场的方式。EDS(中型)的一部分机型和EDS(大型)的所有机型均重视经济性, 使用了电磁铁。



#### 4. 可动部位悬架机构

##### ● 板簧导轨:

使用隔膜簧、U型簧、平行板簧等弹簧材料导轨的方式。具有优良的波形再现性。另外, 允许力矩低于其它的导轨机构。用于MES的所有机型和EDS(中型)的一部分机型。

##### ● 滚柱导轨:

横向刚性高, 允许力矩大的导轨机构。EDS(中型)的一部分机型使用了三丰公司特有的改良型滚柱导轨。

##### ● 静压轴承导轨:

体积大、重量大, 试验体多的大型机种使用了刚性极强的静压油压轴承导轨。

### 选择振动试验机的加振力的方法

在选择振动试验机的时候, 需要求出将要进行的试验所需的加振力。

按照以下步骤求需要的加振力。

#### 步骤1、确认试验条件

1. 试验条件中最大的
  - 加速度 (m/s<sup>2</sup>)
  - 速度 (m/s)
  - 位移 (m)
2. 频率范围 (Hz)
3. 试验物体尺寸 (WxDxHmm)、质量 (kg)

#### 步骤2、决定需要的加振力

##### 1. 用下面的公式求加振力。

$$\text{加振力 } F \text{ (N)} = (m_1 + m_2 + m_3) \text{ kg} \times A \text{ (m/s}^2\text{)}$$

在此, 上面公式中的符号如下。

$F$  = 试验所需的加振力 (N)

$m_1$  = 振动发生器可动部位的质量 (kg)

(由于在最初的计算里  $m_1$  未定, 所以假设机型用系统规格栏目中记载的质量来设定)

$m_2$  = 振动台、夹具的质量 (kg) (记载于振动台一项中)

$m_3$  = 试验物体的质量 (kg)

$A$  = 试验的最大加速度 (m/s<sup>2</sup>)

#### 步骤3、选定机型

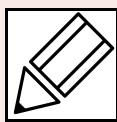
从中选择满足(步骤2)求得的所需加振力的机型。

#### 步骤4、机型选择的调整

1. 如果(步骤3)求得的机型与(步骤2)最初假设的机型的可动部位质量不同, 重复步骤1~3

2. 选定机型后, 确认系统规格栏中记载的最大加速度、最大速度、最大位移是否符合试验条件, 如果满足, 则可选定该机型。

# 精密测量仪器的小常识



## 平衡试验机篇

### ■不平衡与振动、达到平衡的方法

距离处于平衡状态的薄圆板状转子的旋转轴为  $r$  [mm] 的地方有质量为  $m$  [g] 的重物, 如果以  $n$  [min<sup>-1</sup>] 的旋转速度旋转的话, 此时产生的离心力用

$$P = m r \omega^2$$

来表示。这里的  $\omega$  是旋转的角速度 ( $\omega = 2\pi n / 60$ ),  $P$  用 [N] (牛顿) 表示。离心力  $P$  随着转子的旋转方向而改变, 该力通过轴承部位, 反复传递给机器, 从而使机器整体发生振动。

要消除上面的离心力  $P$ , 向  $r$  的反方向加上  $m' r' = m r$  的偏心质量为  $m'$  的物体即可。(当然去除  $m$  也可以得到同样的效果。)

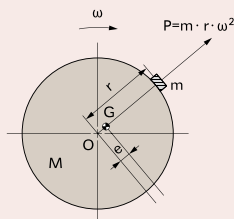


图 1

半径  $r$  的位置放有不平衡重物  $m$ , 质量为  $M$  的圆板上因此产生偏心重心  $e$ , 如果以角速度  $\omega$  使之旋转则会产生离心力  $P$ 。

### ■不平衡的表现

若用数值表示不平衡, 那么用  $P$  的大小表示转子本身的状态是不恰当的, 这是因为离心力  $P$  会因旋转速度而发生变化。因此考虑与旋转速度无关的部分, 即不平衡重物的质量  $m$  和安置位置半径  $r$  乘积,

$$U = m r$$

把  $U$  叫做不平衡 (unbalance)。因此, 不平衡的单位变成  $g \cdot mm$  (也多用  $g \cdot cm$ )。

(不平衡是质量和长度的乘积, 与转矩的  $N \cdot m$  (kgf·m) 的意义不同, 需注意。)

实际上, 与不平衡的大小本身相比, 问题更集中于它的转子对外造成的力学效果的大小。就是说, 对于质量大的转子即使有一定程度的不平衡的存在通常也没什么影响。因此不是单利用转子的质量  $M$ , 可以考虑用不平衡  $U$  和转子质量  $M$  的比

$$e = U / M = m r / M$$

来表示平衡状态的好坏。  $e$  是带有长度成分的矢量, 如果用 [g] 表示  $m$ , 用 [mm] 表示  $r$ , 用 [kg] 表示  $M$ , 那么  $e$  便为 [1/1000mm=1 $\mu$ m]。这个量与因不平衡  $U$  产生的转子的重心移动量 (偏移) 相一致, 所以被叫做偏重心。在现在的 JIS 用语中, 由于有相对于不平衡的转子质量的比的意思, 以“比不平衡” (specific unbalance) 的称呼更为准确。用  $e$  来表示它, 则不管转子大小如何, 都可以对平衡状态的好坏进行判断了。

### ■用语说明 (详细内容请参照 JIS B 7737)

平衡试验机 Balancing machine	以减少旋转机器震动为目的的测量转子不平衡状态设备的总称。平衡试验机有重心式 (非旋转式) 平衡试验机和离心力式 (旋转式) 平衡试验机两种。(如果单说“平衡试验机”, 则多指离心力式。)
转子 rotor	旋转物体的总称。有轴承支撑的部位, 称之为轴颈 (journal)。即使是没有轴颈的圆板形状的旋转体 (飞轮和唱片), 在旋转时, 如果算上其它的连接部件, 也存在轴颈。
硬型平衡试验机 Hard bearing balancing machine	支撑转子的弹簧常数高 (用硬弹簧支撑), 测量旋转速度低于弹簧的固有频率。特点是不需要预备运转进行修正面分离和灵敏度调整。
软型平衡试验机 Soft bearing balancing machine	支撑转子的弹簧常数低 (用软弹簧支撑), 测量旋转速度高于弹簧的固有频率。特点是不易受其他震动 (地板震动等试验机之外的震动) 的影响。
单面平衡试验机 Single-plane balancing machine	用于单面平衡调整的平衡试验机。有重力式和离心力式。
双面平衡试验机 Two-plane balancing machine	用于双面平衡调整的平衡试验机。只限于离心力式。双面平衡试验机面或旋转式平衡试验机也叫动平衡试验机 (dynamic balancing machine)。

### ■决定允许不平衡的步骤

决定允许不平衡, 需要以下关于转子的信息 (数值)。

- 转子的最高旋转速度  $n_{max}$
  - 转子的质量  $m$
  - 转子轴承的位置
  - 修正面的位置
- 更详细的计算
- 需要有转子的质量重心 (重心) 的位置。

1. 根据转子的种类设定平衡度的等级。平衡度等级的数值越小, 平衡调整的精度越高。但是关于 G1 和 G0.4, 需要特别注意 JIS 中的解说内容。

2. 根据转子实际使用中的最高旋转速度求允许残留不平衡比  $e_{per}$ 。这可以用下列公式或 JIS 图来求得。

$$\text{平衡度} = e \cdot \omega$$

$$\text{平衡度} = \frac{e \cdot n}{9.55}$$

3. 根据允许残留不平衡比和转子质量来求允许残留不平衡。

允许残留不平衡

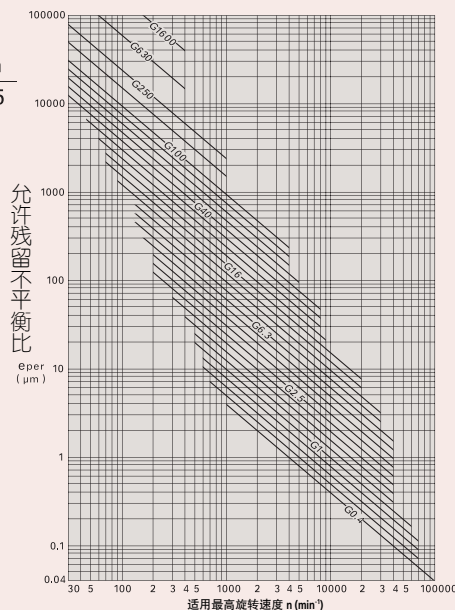
$$U_{per} = e_{per} m \text{ (g} \cdot \text{mm)}$$

4. 将允许残留不平衡

实际分配到修正面的不平衡上。(分配的

计算方法会由于修正面的位置、质量、

质量中心的位置关系而有所不同)



### ■各种旋转机器的推荐平衡度等级 (详见 JIS B 0905-1992)

平衡度的等级	平衡度的上限值 mm/s (e_per * ω)	转子种类举例
G4000	4000	● 刚性支撑奇数气缸的船用低速柴油机系统 <sup>注3</sup> 的紧固轴系统 <sup>注4</sup>
G1600	1600	● 刚性支撑大型双循环系统的紧固轴系统 <sup>注4</sup>
G630	630	● 刚性支撑大型 4 循环系统的紧固轴系统 <sup>注4</sup> ● 弹性支撑船用柴油机系统 <sup>注3</sup> 的紧固轴系统 <sup>注4</sup>
G250	250	● 刚性支撑高速 4 缸柴油机系统 <sup>注3</sup> 的紧固轴系统 <sup>注4</sup>
G100	100	● 6 缸以上的高速柴油机系统 <sup>注3</sup> 的紧固轴汽车、卡车以及铁路车辆系统 (汽油或柴油) 的成品
G40	40	● 汽车车轮、轮辋、车轮装置及驱动轴 ● 弹性支撑 6 缸以上的高速 4 循环系统 <sup>注3</sup> ● (汽油或柴油) 的紧固轴系统 <sup>注4</sup> ● 汽车、卡车及铁路车辆系统的紧固轴系统 <sup>注4</sup>
G16	16	● 有特殊要求的驱动轴 (螺旋桨轴、万向轴) ● 粉碎机的部件 ● 农业机械部件 ● 汽车、卡车及铁道车辆 (汽油、柴油) 系统的部件和有特殊要求的 6 缸以上的紧固轴系统 <sup>注4</sup>
G6.3	6.3	● 制炼厂用机器 ● 船用涡轮机齿轮 (商船用) ● 离心分离器滚筒 ● 造纸滚筒、印刷滚筒 ● 风扇 ● 组装后的飞机涡轮机转子 ● 飞轮 ● 水泵叶轮 ● 机床以及一般机械的零部件 ● 无特殊要求的中型及大型 (轴中心高度至少 80mm 以上电动机) 电机 ● 用于震动不敏感处, 已实施振动绝缘的 (主要是量产型) 的小型电机 ● 有特殊要求的装置的零部件
G2.5	2.5	● 燃气轮机、蒸汽涡轮机以及船用主机涡轮 (商船用) ● 刚性涡轮发电机转子 ● 计算机用记忆鼓以及磁盘滚筒压缩机 ● 机床主轴 ● 有特殊要求的中型及大型电机 ● 小型电机 (G6.3 及 G1 条件的除外) ● 涡轮驱动泵
G1	1	● 录音机及音响设备的旋转部件 ● 打磨机的砂轮轴 ● 有特殊要求的小型电机
G0.4	0.4	● 精密打磨机的砂轮轴、砂轮和电机 ● 陀螺仪

注 1:  $\omega = 2\pi n / 60 = n / 9.55$ 。在此,  $n$  为  $\text{min}^{-1}$ ,  $\omega$  为  $\text{rad/s}$ 。

2: 关于允许残留不平衡的修正面的分配请参照 JIS 正文。

3: 在此规格中, 活塞的速度在 9m/s 以下的为低速, 以上的为高速柴油机系统。

4: 紧固轴系统包括紧固轴、飞轮、离合器、皮带轮、挡板、连接杆的旋转部位等全部。

5: 在系统的成品中, 转子的质量指的是属于紧固轴系统的所有的质量的合计。

[参考] 图纸的记载方法: ○ G6.3: 300g·mm



# 精密测量仪器的小常识

## 振动测量仪器篇

### 振动相关用语的说明

振动发送器、振动测量仪器的重要参数说明如下。

① 振动数 (Frequency) 单位: Hz (赫兹) 符号: f

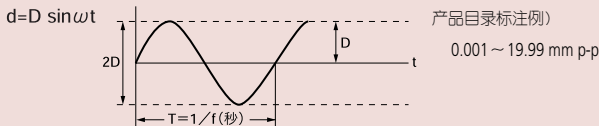
指振动物体在一秒钟之内反复运动的次数。倒数称为周期 (T)。T=1/f (秒)  
振动数有时表示为频率。

处理旋转物体的振动时, 旋转数 (rpm: 一分钟内旋转的次数 revolution per minutes) 与振动数的关系如下。(rpm 为非 SI 单位。SI 单位: min<sup>-1</sup>。)

例如】1200rpm ÷ 60 秒 = 20Hz  
1200 转为 20Hz。

② 位移 (Displacement) 单位: m、mm、μm 符号: D, d

是指振动物体相对于基准位置 (主要是静止时的位置) 所移动的距离。



单说振动幅度时指的是 D。但是习惯上一直用 2D 作为双振幅。

单振幅 D 0-P (zero to peak)

双振幅 2D P-P (peak to peak)

③ 速度 (Velocity) 单位: m/s、cm/s、mm/s 符号: V, v

指振动物体反复运动的速度, 是指单位时间内位移变化的比例。

$$V = \frac{d}{dt} D \sin \omega t$$

产品目录标注例) 0.001 ~ 19.99 cm/s o-p

#### 速度测量的优点

多用于诊断设备的参数, 与构造物的疲劳损坏密切相关。在 ISO 规格中, 作为规定振动激烈程度 (强度) 的参数。

④ 加速度 (Acceleration) 单位: m/s<sup>2</sup>、cm/s<sup>2</sup>、mm/s<sup>2</sup> 符号: A, a

速度是指单位时间内变化的比例。

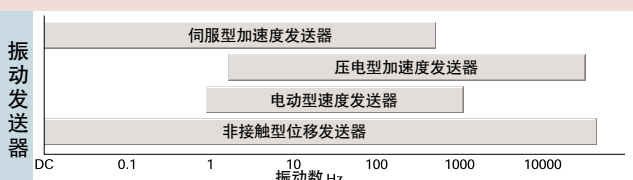
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2}{dt^2} D \sin \omega t$$

产品目录标注例) 0.01 ~ 199.9 cm/s<sup>2</sup> o-p

#### 加速度测量的优点

被看作是有效的处理动态破坏的参数, 尤其广泛地用于处理高速旋转的旋转物体的损坏和故障。

### 振动发送器的选择要点



### 振动图表

使用方法的图解

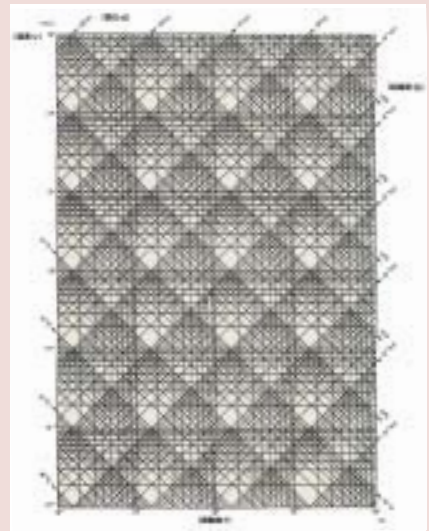
d: 位移 (mm) 单振幅

v: 速度 (cm/s)

G: 加速度 (980 cm/s<sup>2</sup>)

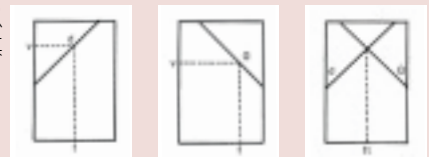
f: 振动数 (Hz)

ft: 已给出位移与加速度时的振动数 (Hz)



● v-f-d 的关系 ● v-f-G 的关系 ● d-G-ft 的关系

※利用振动图表, 可以根据两个参数求其它未知参数的大小。

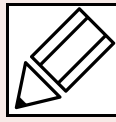


### 选择振动计和振动测量仪机型的要点

振动计的... 使用领域?	... 用途?	... 有关规格的要求事项?	符合目的的振动发送器·振动仪
生产设备 机床	通过监视器监视运动状况的异常振动设备诊断	以测量因使用齿轮和滚动轴承进行旋转和反复运动引起的震动及其高频率的大范围振动领域为目的时。需要对被测量物的振动数特性没有影响的振动发送器的大小时。	压电型加速度发送器·振动仪 尤其在评价轴承时需要高频率特性 (10Hzk)。
高速旋转机械 内燃机		以测量因使用滑动轴承进行旋转运动引起的不平衡和联轴节的异常为目的时。	电动型速度发送器·振动仪
发电厂 涡轮机 发电辅助设备	监视异常振动	以监视通常状态的振动为目的。以测量非接触状态的旋转轴为目的时。测量套管的振动时。通过速度和移动测量相对的低振动数时。	非接触型位移发送器·振动仪 主要电动型速度发送器·振动仪
传送机 汽车、船舶、航空	安全评价 乘坐舒适度的评价	以测量低速振动为目的时。	伺服型加速度发送器·振动仪 电动型速度发送器 (小型)·振动仪
		以测量高频率、噪音级别为目的时。	压电型加速度发送器 (超小型)·振动仪
大型构造物	动态刚性评价 抗震设计数据	输出灵敏度优先于大小, 测量低振动数领域时。	伺服型加速度发送器·振动仪
建筑物	环境测量 抗震诊断		
地盘振动	地震监测 公害振动调查 机器基础调查	50Hz以下的低振动数为主要测量范围, 振动级别也需要在数Gal以下范围内进行精密测量时。(1m/s <sup>2</sup> =100Gal)	电动型速度发送器·振动仪 伺服型加速度发送器·振动仪
各种振动试验	研究开发 动态刚性·振动数 特性评价	需要全振动数领域的发送器时, 需要根据目的选择附属的发送器。以控制机器的运动为目的使用时。	压电型加速度发送器·振动仪 电动型速度发送器·振动仪 伺服型加速度发送器·振动仪

	发送器	便携式振动仪 (地面噪声仪)	振动监视装置
伺服	V405、407	AVT-103/104	AVR-145L
压电	V311TE、TB、SB、TF V301SS、TA、TB、SB、TC、TD V331TB	AVT-CZ、 AVT-3000DZ、 AHV-1000AZ	AVR-145Z
电动	V238J、V231、V233、V237L V240M、V242T U1-FH、U1-FH-S、U1-FMA、 V235B、V241、241M、241T、 V241GV (H)、(L1)、(L2)	AVT-B2、 AHV-1000BU、 AHV-11A	AVR-145、150
非接触	V462B-8、MX	—	AVR-145X

# 精密测量仪器的小常识



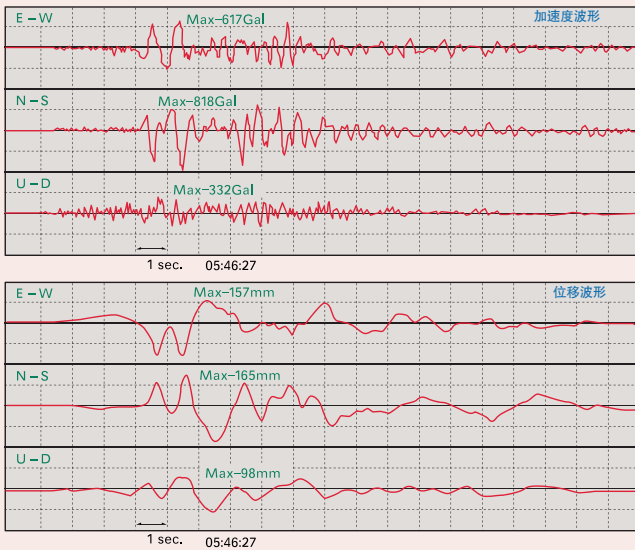
## 地震观测仪器篇

### 地震的基础知识

地震是地壳的破坏产生断层而引发的弹性波在地下传播引起地表振动的现象。地壳破坏引发的振动，有在地层内从震源向各个方向朝着与地震的进行方向相同的方向行进的粗密波(P波: Primary Wave)和与地震的进行方向呈直角摆动行进的横波(S波: Secondary Wave)

根据这些波的性质，P波传播的速度快，S波比P波慢，但是振动幅度比P波大，所以带来灾害的是S波。

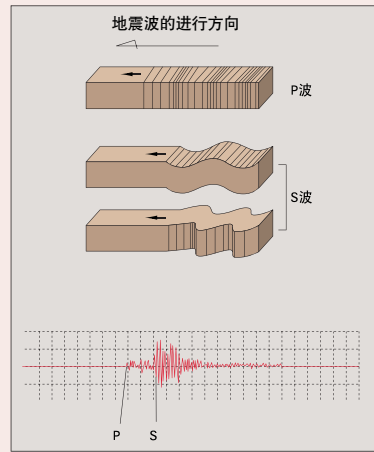
以图1为例，最初的2-3秒间的小的振幅部分是P波，接下来振幅急剧增加的是S波。



1995年兵库县南部地震的波形

### 地震相关用语的说明

伽 (Gal)	加速度的单位 $\text{cm/s}^2$ 、因伽利略而得名的单位
烈度	表示某地地震震动强度。日本气象厅规定了从0到7的十个级别。以前靠身体感觉断定，现在采用地震仪测量。 震级虽小，距离震源较近的话，烈度也比较大。
SMAC型强震仪	在日本用于强震监测的典型的加速度地震仪。取强震测量委员会的字头而得名 (Strong Motion Accelerometer Committee)。
震级	定量表示地震本身的大小 (规模) 的尺度。定义有几种。气象厅发表的日本周边的浅层地震震级 (M) 为 $M = \log A + \log \Delta - 0.83$ 其中、A由最大地震震幅 [ $\mu\text{m}$ ]、 $\Delta$ 由观测点距震中的距离 [km] 的公式决定。震级虽大，但是如果离震源远的话，烈度也较小。



P波、S波的模式

\* 在商品规格栏中，具备Z(上下)灵敏度方向的适用于P波的检测。具备X、Y(水平)方向灵敏度的适合检测S波。

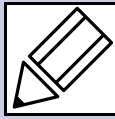
### 根据用途和功能的选择

用途	控制用地震仪	显示用地震仪	计测烈度仪	强震仪
工厂设备的紧急防护	●			
储水罐的紧急防护	●			
高压燃气、燃料罐等的紧急防护	●			
发电厂等电源、供电的防护	●			
OA设备的记忆装置保护电路启动	●			
变压器保护电路的启动	●			
铁路的警报、异常停止	●			
高层建筑的对地震、大风的监测				●
水库、桥梁、河堤的防震监测				●
自治区域的防灾			●	●
公共设施的避难、疏散		●	●	●
与保养、维护手册结合		●	●	●
中、小区域的地震监测网络			●	●
功能				
最大加速度显示	●	●	●	●
最大速度显示			▲	
相当烈度显示		●	●	●
计测震级显示			●	●
SI值显示			●	●
地震波形的收录			●	●
发出警报		●	●	●
输出控制	●	●	●	●
灵敏度方向				
	水平/上下 (因机型而异)	全方向 水平	正交 3方向	正交 3方向

### 气象厅地震烈度“新旧对比”概要一览表

参考加速度	计测震级	烈度	旧烈度 (体感)	加速度 (Gal)
(t: 1sec.)				
0.54		0级	0	0.6
0.7		1级		0.8
0.9			1	1
1.5		2级		2
1.7			2	2.5
2.3		3级		5
2.7			3	8
3.2		4级		15
3.5			4	20
3.7		5级		25
4.3			5	50
4.4		6级		60
4.7		弱5级		80
4.9			6	100
5.0		强5级		110
5.4			7	180
5.4		6级		190
5.7		弱6级		250
5.9			7	320
6.0		强6级		340
6.1			7	380
6.1		7级		400
6.4			6以上	580
6.4			7	600
			根据破坏程度 事后判定	
6.9				1,000

备注：计测震级会由于地震波的频率和持续时间的不同与实际的地震有若干不同。  
加速度与测量烈度之间没有直接的对应关系，请当作大致的标准来使用。



### ■三坐标测量机的性能评价方法

2003年改订了JIS三坐标测量机的性能评价。在新规格的检查项目中追加扫描测量和Rotary Table(旋转工作台)规格。另外,还加入了“不确定性”的想法。2003年进行了规范化,如图1所示。

表 1 JIS B 7440 (2003) 系列

	内容	JIS规格No.	时间
1	用语	JIS B 7440-1(2003)	2003/4
2	尺寸测量	JIS B 7440-2(2003)	2003/4
3	带Rotary Table(旋转工作台)的三坐标测量机	JIS B 7440-3(2003)	2003/4
4	扫描测量	JIS B 7440-4(2003)	2003/4

### ■最大允许指示误差 MPE<sub>E</sub> 【JIS B 7440-2 (2003)】

用尺寸标准器,夹住指定长度的两端,按图1中的7个方向,对5个试验长度各重复3次进行测量。从而可以得到105个含有长度测量不确定性的结果,如果它们都低于制造厂家的给出的规定值,那么三坐标测量机的性能就可以得到验证。这时,虽然最多有五个可以超过规定值(在同一位置的3次测量以内不可以有两个NG),在该位置再反复测量10次,如果所有10次含有不确定性的结果在规范之内,则为合格。最大允许指示误差必须考虑的不确定性有“尺寸标准器校正的不确定性”和“尺寸标准器校准方法的不确定性”两种。(将此二者合成累加而成的不确定性加入整个实验结果的值,必须在规定值以下)这一规格以微米(μm)为单位,用以下3种之中的某一种来表示。

$$\begin{aligned}
 MPE_E &= A + L/K \leq B \\
 MPE_E &= A + L/K \\
 MPE_E &= B
 \end{aligned}
 \left\{ \begin{array}{l} A: \text{生产厂家提供的常数} (\mu\text{m}) \\ K: \text{生产厂家提供的无因次常数} \\ L: \text{测量的长度} (\text{mm}) \\ B: \text{生产厂家提示的规格的上限值} (\mu\text{m}) \end{array} \right.$$

### ■最大允许测量误差 MPE<sub>P</sub> 【JIS B 7440-2 (2003)】

测量检测用标准球上的目标点(图2:25点),并根据所有的测量点计算最小平方球的中心。进而对25个测量点,计算每个点到最小平方球中心的距离R,求出R<sub>max</sub>-R<sub>min</sub>值,这个值再加上“探针头形状的不确定性”和“检测用标准球形状的不确定性”合成的累加不确定性的值,如果得出的值在规定值以下则为合格。

### ■最大允许扫描测量误差 MPE<sub>THP</sub> 【JIS B 7440-4 (2003)】

搭载扫描探针时的精度规格。在JIS B 7440-2 (2003)中初次被规范化。扫描测量检测基准球的4个指定的截面,相对于使用4个截面所有测量点计算出的最小平方球中心,以使用所有测量点的存在范围(图3-A尺寸)和4个截面所有测量点计算出的最小平方球的中心为基准时,被校正的基准球半径值与最大测量点之间的距离,或者与最小测量点之间的距离中较大的值(图3-B尺寸),上述各值分别加上“探针头形状的不确定性”和“检测用标准球形状的不确定性”合成的累加不确定性的值,得出的值如果都在规定值以下则为合格。

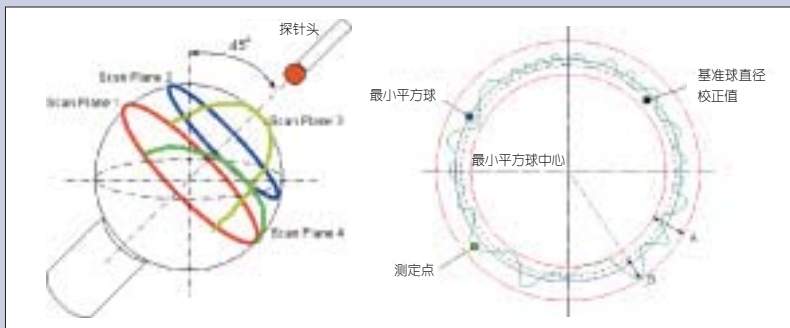


图 3 最大允许扫描测量误差测量目标截面与评价的构思

### ■最大允许旋转轴半径方向误差 MPE<sub>FR</sub>·最大允许旋转轴切线方向误差 MPE<sub>FT</sub>·最大允许旋转轴轴方向的误差 MPE<sub>FA</sub> 【JIS B 7440-3 (2003)】

在Rotary Table(旋转工作台)上像图4那样设置两个基准球,后旋转Rotary Table(旋转工作台)至0°及正方向上7处,负方向上7处,合计15个位置处,分别测量两个基准球的中心坐标。此时,如果基准球中心坐标的半径方向成份、切线方向成份、旋转轴轴方向成份每一方向成份的误差与基准球形状的不确定性数值之和,均在规格值以下时,为合格。

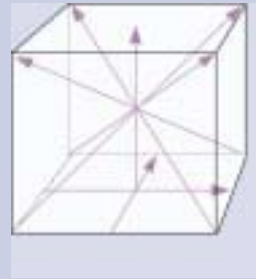


图 1 最大指示误差测量方向

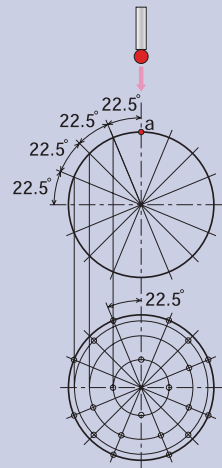


图 2 最大允许测量误差测量目标点

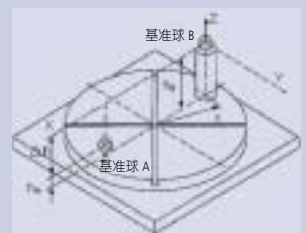


图 4 带 Rotary Table (旋转工作台) 的三坐标测量机的评价