

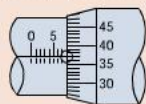
精密测量仪器的小常识



千分尺篇

刻度的读法

● 标准刻度时 (分度值 0.01mm)



套管读数 7. mm
微分管读数 +.37 mm
千分尺读数 7.37 mm

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。



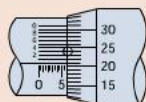
约 +1μm
套管基线 微分管刻度



约 +2μm
套管基线 微分管刻度

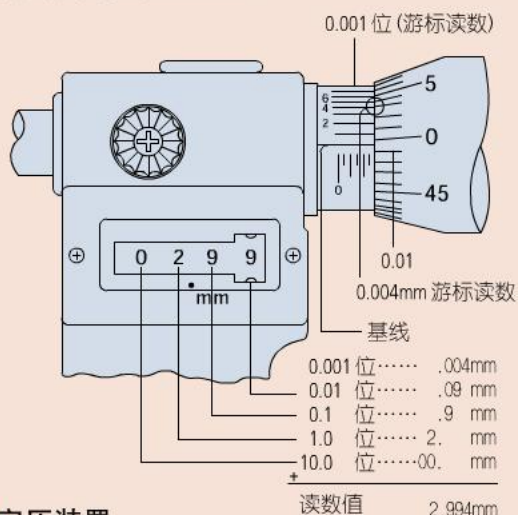
● 带有游标时 (刻度 0.001mm)

带游标的千分尺在套管基线的上面有游标刻度。



套管读数 6. mm
微分管读数 .21 mm
游标与微分管刻度读数 .003 mm
千分尺读数 6.213 mm

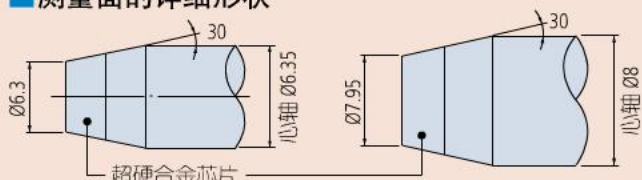
● 带计数时 (分度值 0.001mm)



定压装置

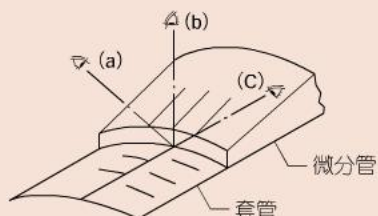
	有无声音	单手操作	备注
棘轮锁紧	有	不适合	一般
摩擦套管 (F 型)	无	适合	没有发出声音时的冲击，很稳定。
棘轮套管 (T 型)	有	适合	可以通过声音确认已经加压。
棘轮套管	有	适合	可以通过声音确认动作。

测量面的详细形状

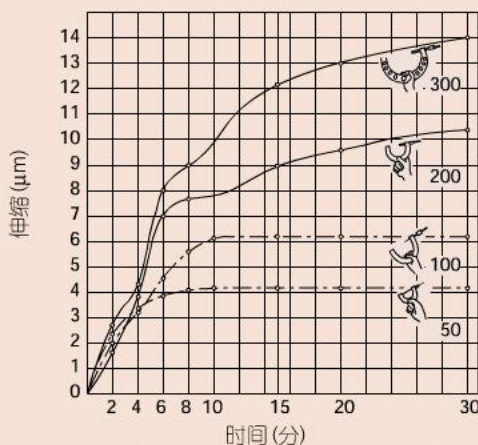


因视差而引起的误差

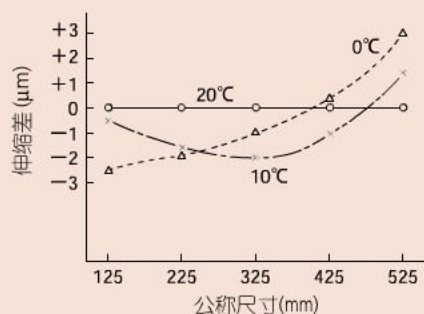
因为两个刻度面的阶差，当对齐刻度线来读取数据时，由于眼睛的位置关系，看到的读数线位置不同而引起的误差。



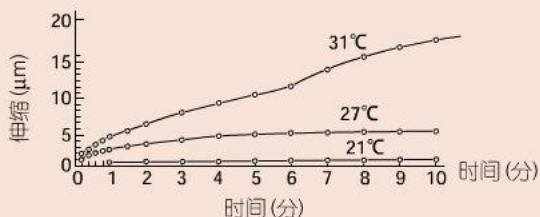
因温度变化产生的测量误差



因温度变化产生的千分尺与基准杆的伸缩差

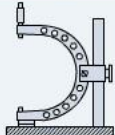
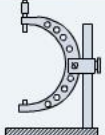


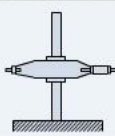
因温度变化产生的基准杆的伸缩 (相对于 200mm 20°C)



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。

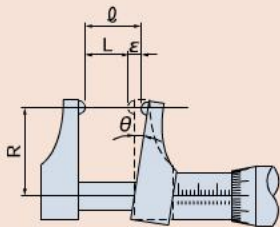
■ 改变支撑位置情况下的变化 (单位: μm)

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

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



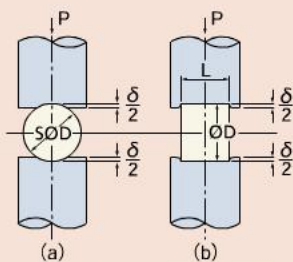
“被测物与标准尺在测量方向上必须置于一一条直线上”。例如左图所示,当测头离开特殊的千分尺的刻度轴线时(R),容易产生误差(ε),因此需要特别注意测力。

■ 虎克定律

往具有某一长度与新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
 $\delta 1 = 0.82 \sqrt{P/D}$
b) 挟有圆柱时
 $\delta 2 = 0.094 \times (P/L) \sqrt{1/D}$

■ 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 $\pm 229 \text{ 分}$ 惠式螺纹时 (55°) $-91\mu\text{m}$ $+71\mu\text{m}$	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 $\pm 23 \text{ 分}$ $\pm 8\mu\text{m}$
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°)

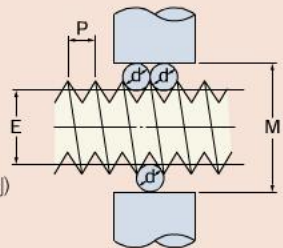
$$E = M - 3.16568d + 0.960491P$$

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

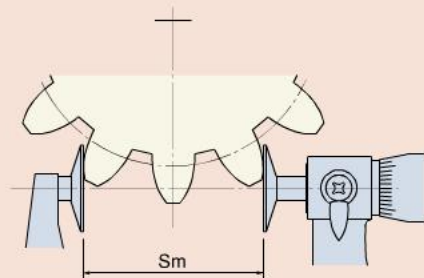
M: 包含三针的外径测量尺寸



■ 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 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 (S_m) 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 (Z_m) 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

α_0 : 压力角

Z : 齿数

χ : 变位系数

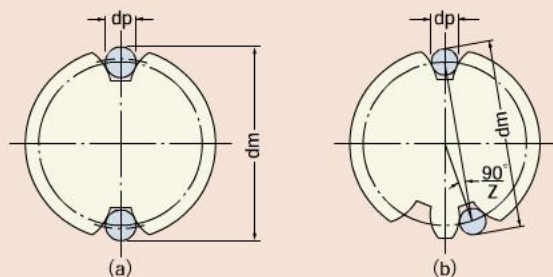
S_m : 公法线齿厚

Z_m : 公法线齿数

$$\begin{aligned} \operatorname{inv} 20^\circ &\approx 0.014904 \\ \operatorname{inv} 14.5^\circ &\approx 0.0055448 \end{aligned}$$

■ 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

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

$\theta (\operatorname{inv} \theta)$ 用渐开线函数表来求得

Z : 齿数

α_0 : 工具压力角

m : 模数

χ : 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 。

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

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

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)

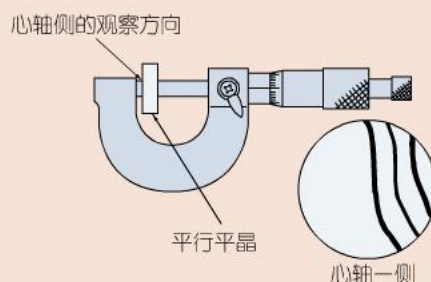
p : 丝锥的螺距

d : 针径 (mm)

M_1 : 千分尺读数 (mm)

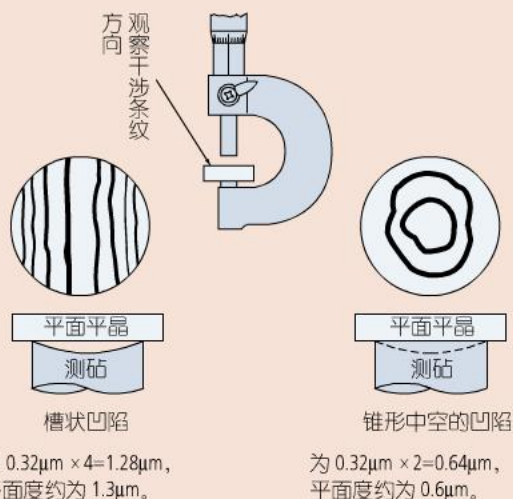
D : 丝锥的外径 (mm)

■ 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



- 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

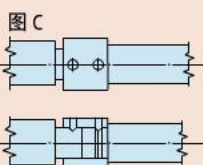


球面



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)

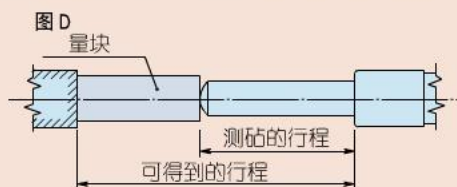
■夹具

- 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。

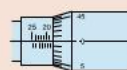


■读取

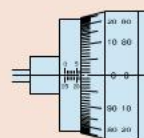
- 当作测量器使用，或被指定了移动量的时候，需要注意刻度的规格。
- 与外侧千分尺相同的刻度规格为“正刻度”，是标准型。它增加了心轴在拉入方向上的刻度值。
- 相反，在心轴推出方向上增加刻度数值的是“反刻度”规格。
- 正反两方向都可以轻松读取的是“正反刻度”规格，分别用黑、红来表示数字的颜色，读取变得轻松简单。
- 还有可以直接读取测量值的，带有计数器和数字显示的机型。数字显示的机型不但不会误读还可以通过将测量数据输出，进行测量数据的记录和统计演算。



正刻度



反刻度

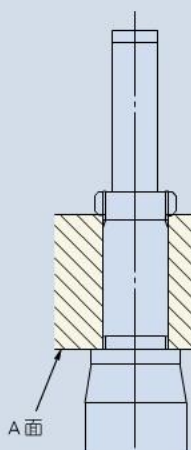
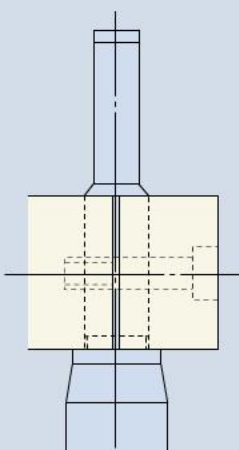
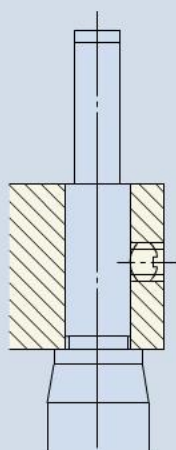


正反刻度

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			
												
	A 面											
注意点												
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。

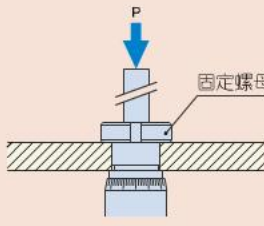
(1) 推荐最大载重限度

		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(用差动装置)	至 2kg 左右

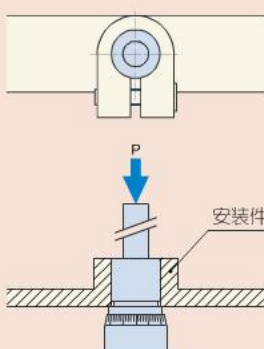
* MHF 到 2kg 左右

(2) 微分头的静负荷实验 (实验时，使用了 MHS)

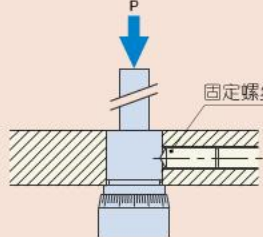
①螺母固定方式



②铣口固定方式



③螺丝固定方式



《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 (70-110kgf) 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。

4. 指定符号型

可以用指定符号显示。

- 标准
- 反刻度
- 竖刻度
- 反竖刻度
- 指点 0 点刻度
- 只有刻度

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。

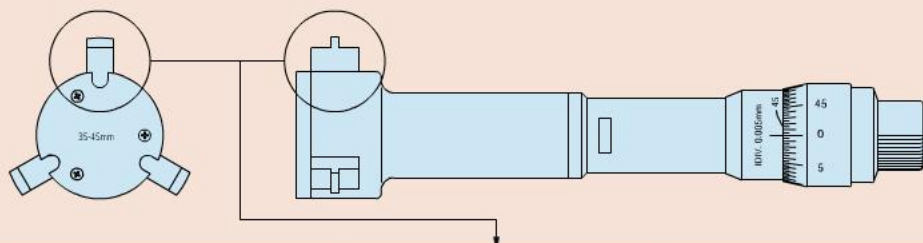
精密测量仪器的小常识



内径千分尺 / 内径表篇

■ 特别订制品 (Holtest Borematic)

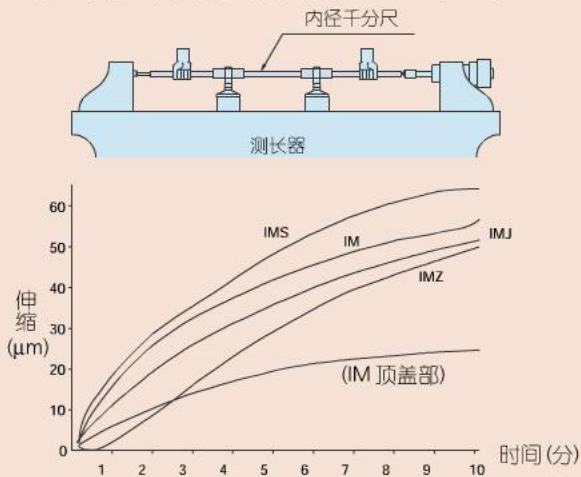
- 特殊形状的内径测量仪可以从一台起订制，欢迎咨询。
但是，有时同时需要保证精度用的量规，这一点请大家了解。(有关量规，也可以使用客户已持有物，欢迎咨询。)



种类	被测量物的形状 (例)	测砧顶端的形状 (例)	备注
角槽			● 特殊形状槽的内径可测。 ● 可以订制的内径： 约 $\varnothing 16\text{mm}$ 以上 (随着被测量物的形状的不同而变化) ● 阶差 R W = 2mm 以下时： $\varnothing = 2\text{mm}$ 以下 W = 2mm 以上时： 以 $\varnothing = 2\text{mm}$ 为标准值，可以根据用途变更。 ● 花键测砧、锯齿形的槽数只限于 3 的倍数。 ● 订制时，请提示被测量物的形状。 ● 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。
圆槽			
花键测砧			
锯齿形			
螺丝			

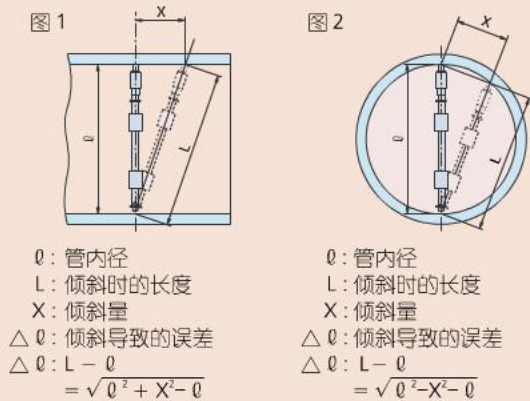
- * 可以根据其他的用途来订制。
- * 价格及交货期会随着订制的内容而变化。
- * 有需要时，请与距离您最近的三丰公司营业所联系。

■ 测量因手握引起的伸缩 (1000mm 以上)

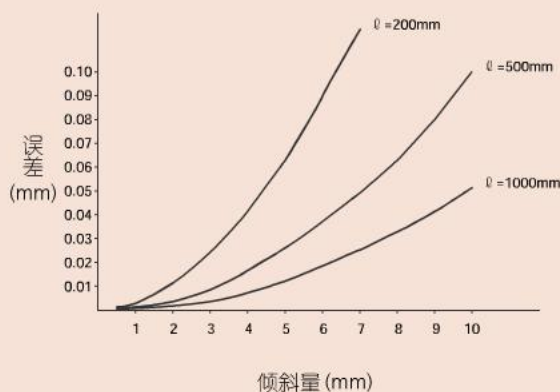


IMS: 可换测杆型内径千分尺
IM: 柱型内径千分尺 (单机型)
IMJ: 接杆式内径千分尺
IMZ: 延长杆式内径千分尺

■ 因倾斜产生的尺寸偏差

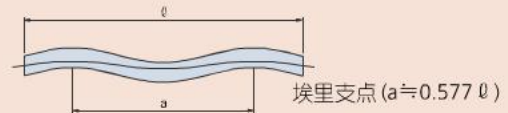


按图 1 所示, 计算出向孔轴方向倾斜的偏差, 可得出下图的曲线。图 2 中相对轴孔向左右倾斜的偏差, 与下图的曲线大致相同, 呈现负值。

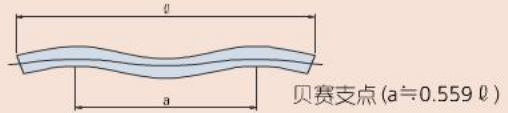


■ 埃里支点、贝赛支点

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。



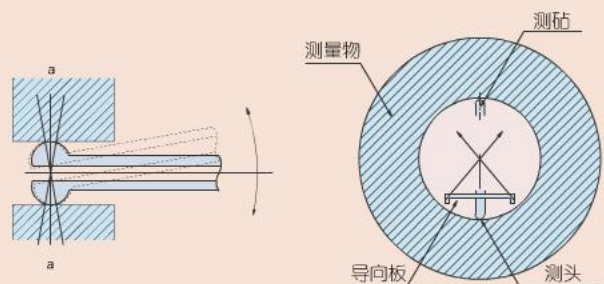
埃里支点是指在两点支撑的情况下, 两个测量面最为平行的支撑点。



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。



精密测量仪器的小常识



卡尺篇

■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 1mm ，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 0.1mm 。一般来说，卡尺可以读取的游标刻度的最小值是 0.05mm 。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

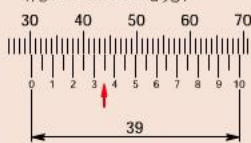
(将 19mm 20 等分)



1.45mm

●长游标卡尺刻度

(将 39mm 20 等分)



30.35mm

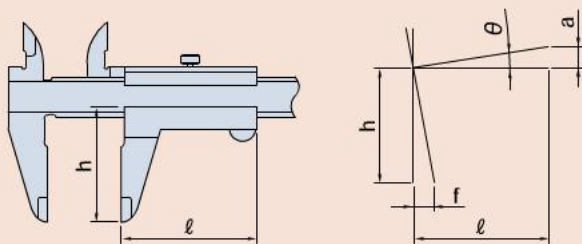
■卡尺误差的主要原因

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。

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



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 40mm 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。

精密测量仪器的小常识



量块篇

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

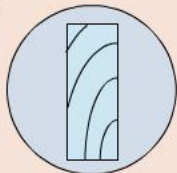
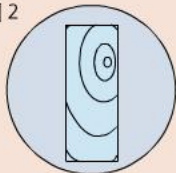


图 2

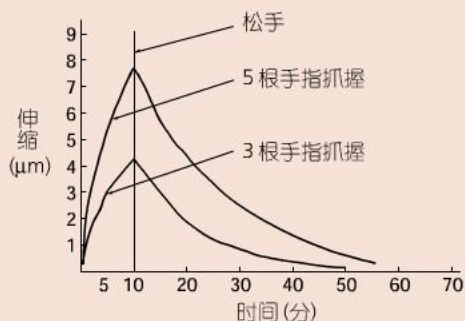


- 将测量面擦拭干净。
- 将光学平面轻轻地放到量块上。
- 轻轻地滑动光学平面，会看到干扰条纹。
判断 1：如果此时看不到干扰条纹，则可以认为测量面上有较大的毛刺或污物。
- 轻按光学平面，确认干扰条纹消失。
判断 2：干扰条纹如果消失，则没有毛刺。
判断 3：如果局部残留有条纹，则有毛刺。这时，稍稍移动光学平面的位置，如果干扰条纹也一起移动，则表明光学平面上有毛刺。
- 请按照 281 页的方法去除毛刺。

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

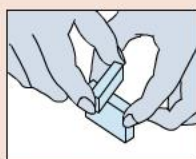
下图显示的是直接用手握持 100mm 钢制量块时的尺寸变化。



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。

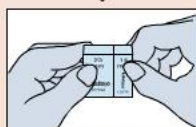
a. 厚量块相互研合



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。

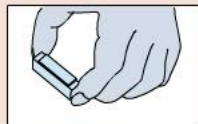


使测量面一致

b. 厚量块与薄量块的研合



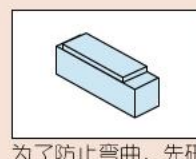
将薄量块的一端重叠在厚量块的一端



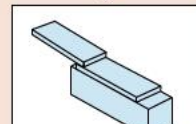
按住重叠的部分，滑动量块使测量面重合。



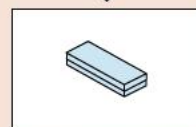
c. 薄量块相互研合



为了防止弯曲，先研合一块厚的量块

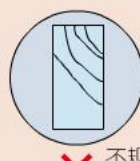
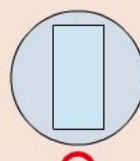


再研合另一个量块。

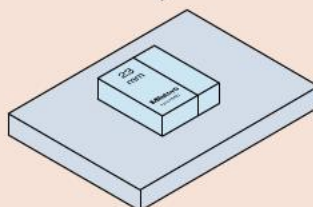


撤下开始的那个厚量块。

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



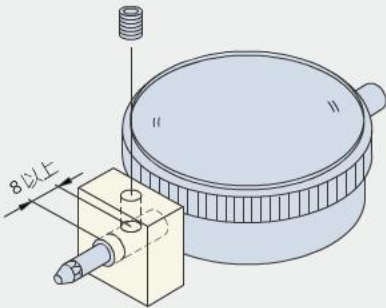
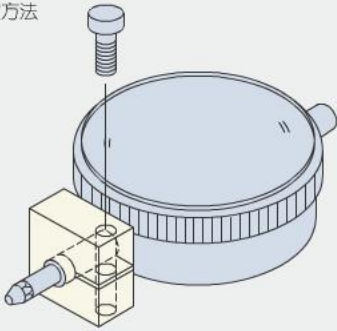
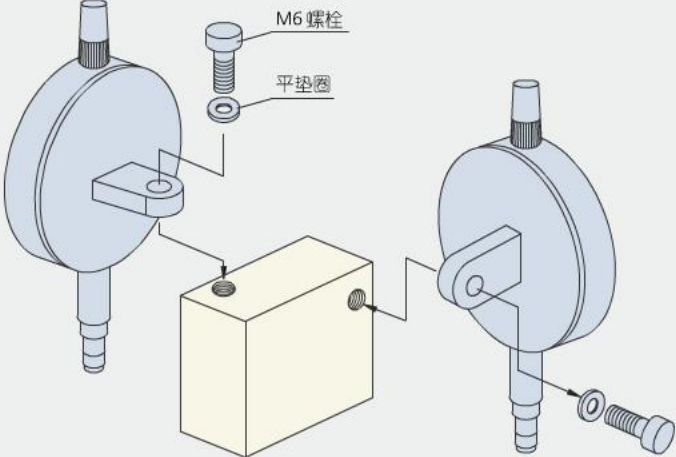
擦拭测量面，等待温度习惯 (恒定)。

精密测量仪器的小常识



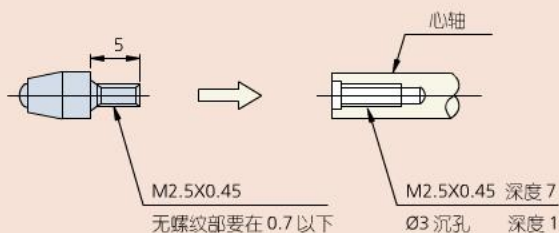
千分表、杠杆千分表篇

千分表的安装方法

测杆安装方法	安装方法	测杆的螺丝固定方法 	测杆的铣口固定方法 
		● 安装孔公差: $\varnothing 8G7(+0.005 \sim -0.02)$ ● 固定螺丝: M4~M6 ● 固定位置: 距测杆下端 8mm 以上 ● 最大扭矩: M5 螺丝 1 点固定时 150N•cm ● 扭矩过大引起心轴的动作不畅, 须注意。	● 安装孔公差: $\varnothing 8G7(+0.005 \sim -0.02)$
耳夹安装方法	安装方法		
		● 可以根据不同的用途, 将耳夹的方向改变 90°。(出厂时为纵向) ● 但是, 系列 1 中的一部分机型 (No.1911, 1913-10, 1003) 不能变为横向。 ● 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。	

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 0.5μm 以下，仪器误差为 ±1μm 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 1μm 以下，仪器误差为 ±1μm 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)

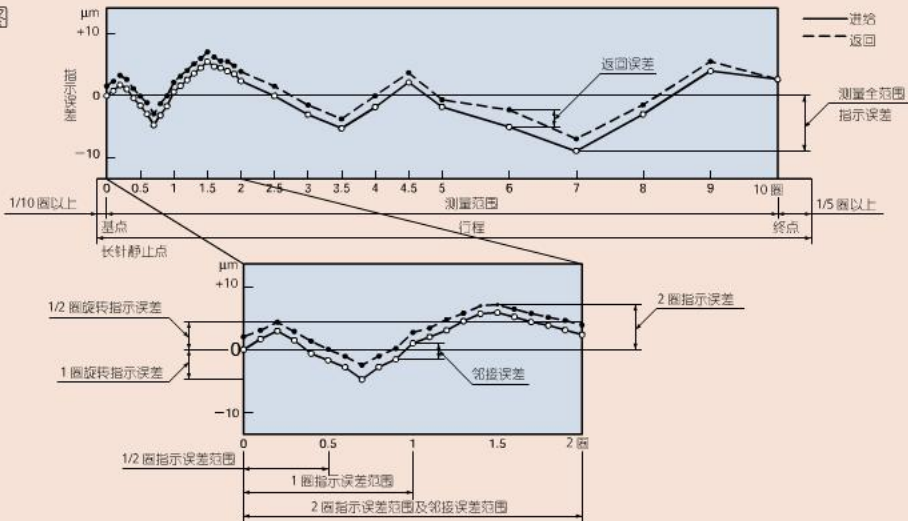
● 指示值的最大允许误差 单位: μm

测量范围	分度值及测量范围					
	0.001mm	0.002mm		0.001mm		
测量范围	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	5	2.5	4	5
	1/2 圈	±9	±5	±3	±5	±6
	1 圈	±10	±6	±4	±6	±7
	2 圈	±15	±6	±4	±6	±8
	全测量范围	±15	±7	±5	±7	±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。		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	(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。		
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 保持千分表的测针平行于测量台上方的状态, 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、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。

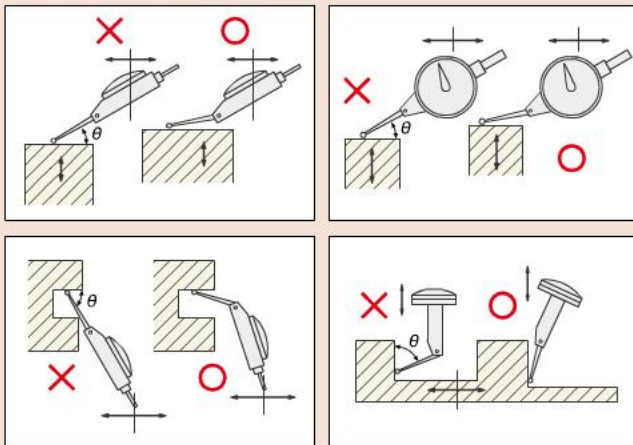
单位: μm

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 θ 。测量值会因为 θ 的值而不同。按照图表根据 θ 的值对测量值进行补正。

〔实际值 = 测量值 × 补正值〕

角度补正

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

补正例

杠杆千分表的读数为 0.002mm 时

$\theta = 10^\circ$ $0.002\text{mm} \times 0.98 = 0.00196\text{mm}$

$\theta = 20^\circ$ $0.002\text{mm} \times 0.94 = 0.00188\text{mm}$

$\theta = 30^\circ$ $0.002\text{mm} \times 0.87 = 0.00174\text{mm}$

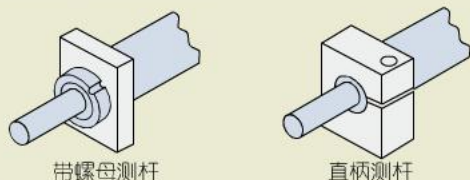
● 使用渐开线测针测量, θ 角度在 30° 之内无需补正。
(可以按客户的订购制作)



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。



■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

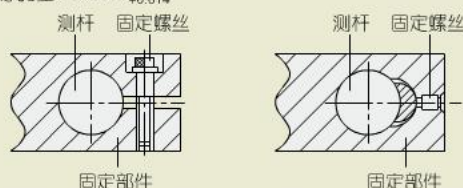
■安装测头时的注意事项

- 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: $15\text{mm} \begin{smallmatrix} +0.034 \\ +0.014 \end{smallmatrix}$

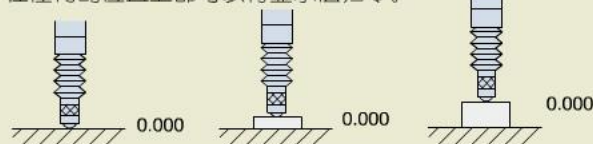


- 加工固定用孔要平行于测量方向。倾斜安装会产生测量误差。
- 固定时，如果将测杆拧得过紧的话，将不能顺利滑动，注意不要拧得过紧。
- 如果采用移动激光全息测微计的测量方法，那么在安装时需注意电缆不要受到牵扯，以至于施力于测微计。

显示部

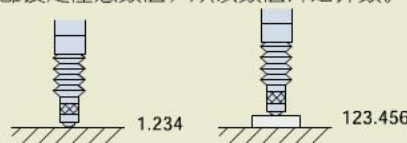
■调零

在任何的位置上都可以将显示值归零。



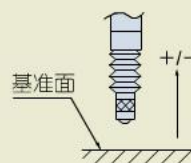
■预置

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。

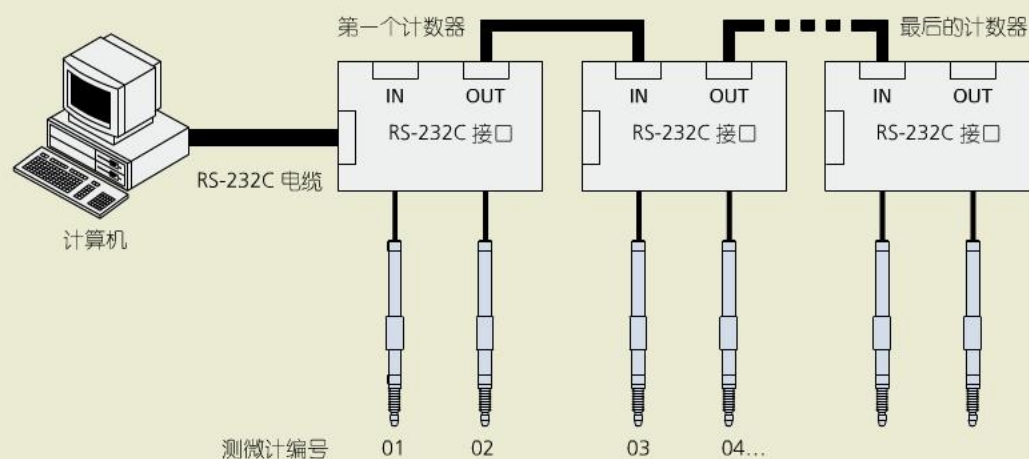
■使用 EF 计数器时

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

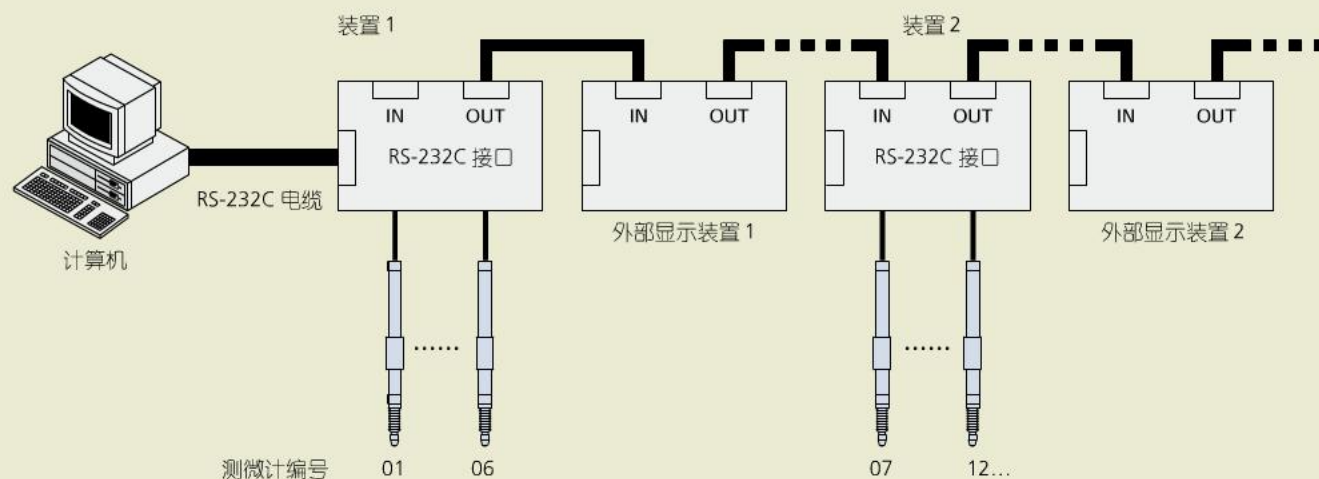
最多可连接 10 台计数器，最多可达 60 个频道的多点测量

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。



精密测量仪器的小常识



电子千分尺篇

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。

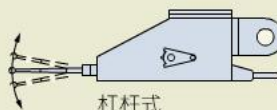
杠杆式与平行移动式

杠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”。

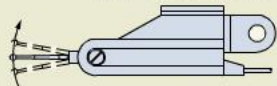
“杠杆式”以板簧为支点，测针做圆弧运动。因此，测量误差会随着测量范围而增大。

“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。

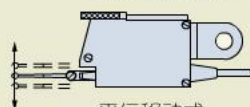
“平行移动式”由于测针平行移动，因此没有圆弧误差。



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)



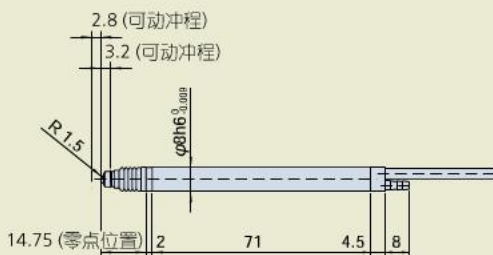
平行移动式
MLH-326 (能用上面的表盘切换测量方向)

空气驱动式测头 MCHP-341

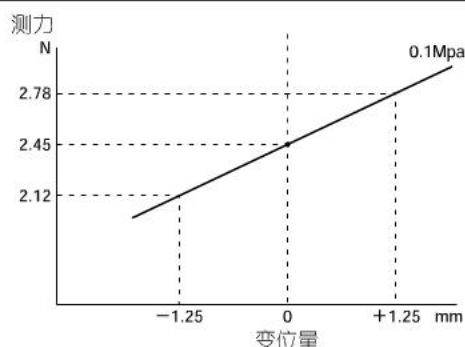
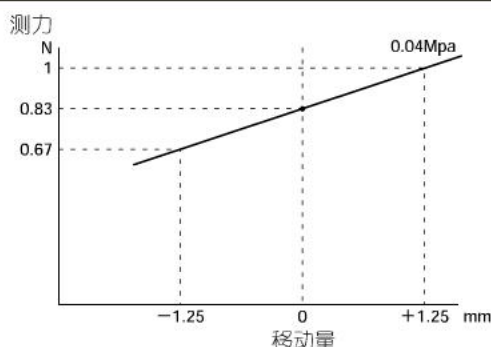
筒形测头 MCHP-341(No.519-341) 是空气驱动型。

●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)

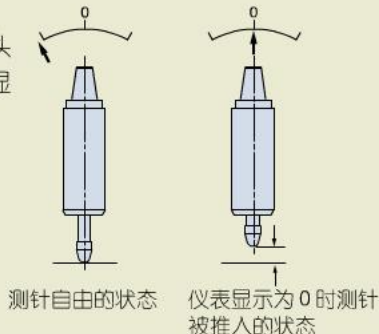


●空气压力与测力



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

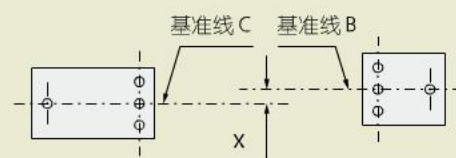
用 RS-232C 将本装置同计算机相连接时，请确认接口的信号名称和针编号。

■ 卸下基座之后的再安装

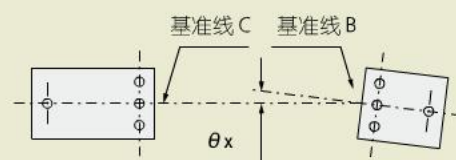
为了尽量缩小因发光装置与受光装置之间的激光轴偏离导致的测量误差，请按照如下方法安装发光装置和受光装置。

● 水平面内的光轴对合

- a. 基准线 C 和 D 的平行偏差
→ X (横向)

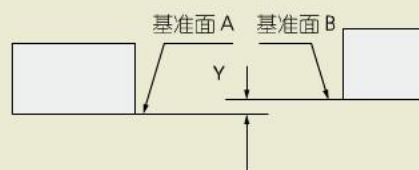


- b. 基准线 C 和 D 的角度偏差
→ θx (角度)

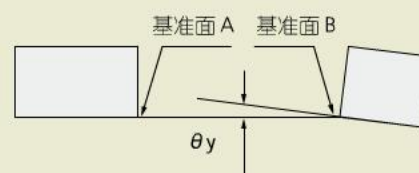


● 水平面内的光轴对合

- 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
→ θy (高度)

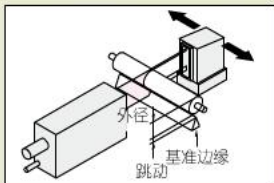


● 各光轴对合的允许范围

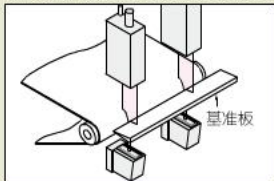
使用机型	发光装置-受光装置间的距离	X 和 Y	θx 和 θy
LSM-501S	68mm 以下	0.5mm 以内	0.4° (7 mrad) 以内
	100mm 以下	0.5mm 以内	0.3° (5.2 mrad) 以内
LSM-503S	135mm 以下	1 mm 以内	0.4° (7 mrad) 以内
	350mm 以下	1 mm 以内	0.16° (2.8 mrad) 以内
LSM-506S	273mm 以下	1 mm 以内	0.2° (3.5 mrad) 以内
	700mm 以下	1 mm 以内	0.08° (1.4 mrad) 以内
LSM-512S	321mm 以下	1 mm 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

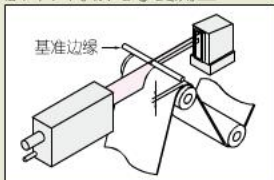
滚筒的外径与跳动的同时测量



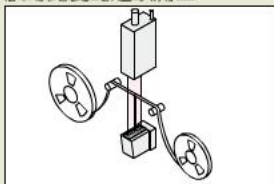
胶片、薄板的厚度不均匀程度的测量(同时测量)



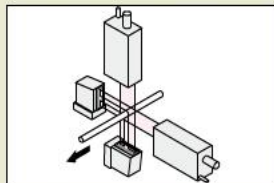
胶片、薄板的厚度测量



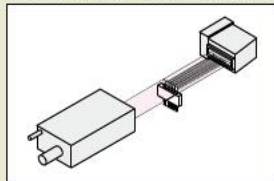
胶带宽度的连续测量



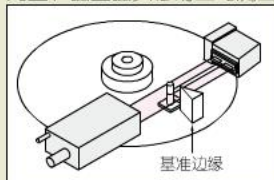
电线、光纤电缆、滚筒的XY同时测量



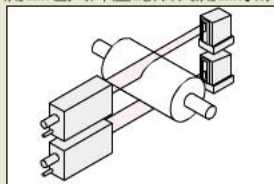
IC 部件的脚间距、宽度、间隙的测量



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 20μm。将这个刻度格用可分辨的刻度间隔 (如 1μm) 来测量出的精度。

■ 防护等级

IP53 防护等级

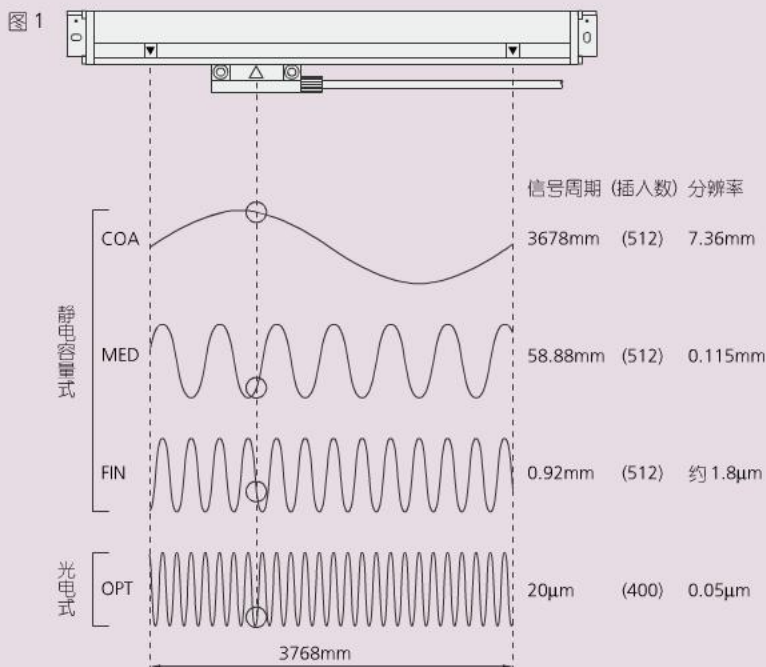
种类	等级	内容
人体的接触以及针对异物进入的防护	5: 防尘	防止有害尘埃的进入
针对水的防护	3: 防淋水	垂直至 60 度落下的雨水，都不会产生不良影响

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 μ 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 μ 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板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。

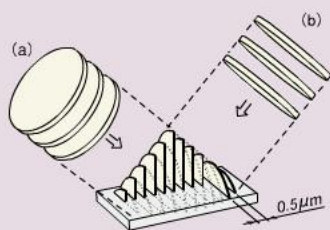


图 A

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 μ 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 μ 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 (DEFFRACTRION) 现象。

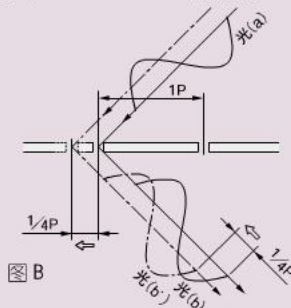


图 B

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 μ 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。

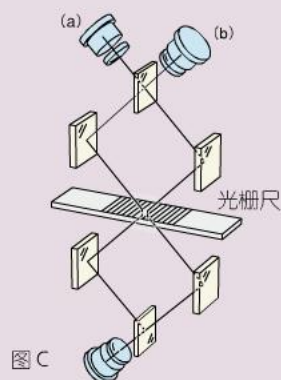


图 C

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 μ 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。