

Mitutoyo

精密量仪·量具的小知识



IP65 COOLANT PROOF
0-25mm 0.001mm
Mitutoyo

| | |
|------------------------------|----|
| 符号含义 | 02 |
| 符合CE标志、RoHS指令、WEEE指令和REACH法规 | 03 |
| 品质管理 | 04 |
| 千分尺 | 06 |
| 测微头 | 12 |
| 内径千分尺 | 16 |
| 通用卡尺 | 18 |
| 卡尺 | 20 |
| 高度卡尺 | 24 |
| 深度尺 | 28 |
| 量块 | 29 |
| 指针表和杠杆指示表 | 30 |
| 光栅式测微仪 | 35 |
| 电子测微计 | 38 |
| 激光测径仪 | 39 |
| 直线栅尺 | 41 |
| 投影仪 | 44 |
| 显微镜 | 45 |
| 影像测量仪 | 47 |
| Surftest(表面粗糙度测量仪) | 50 |
| Contracer(轮廓测量仪) | 56 |
| Roundtest(圆度、圆柱形状测量仪) | 58 |
| 硬度试验机 | 62 |
| 三坐标测量机 | 64 |

符号含义

ABSOLUTE™

ABSOLUTE 是三丰公司的注册商标。

IP65

IP66

IP67

IP 是三丰公司的注册商标。



www.tuv.com
ID 000045042

ABSOLUTE线性编码器

三丰公司的技术已经将绝对定位方法(绝对法)变为现实。拥有这种方法,您在关闭系统后再重新打开时,不必再将系统重新调零。每次都可以读取刻度上所记录下的位置信息。现有以下三种绝对编码器:静电电容型,电磁感应型以及将静电电容和光学方法相结合的类型。这些编码器被广泛地应用在长度测量系统等多种测量仪器中,可以生成具有极高可靠性的测量数据。

优势:

1. 即使您快速移动尺框和测微螺杆,也不会发生计算错误。
2. 关闭系统后再重新打开时,不必再将系统重新调零*1。
3. 这种编码器所需能量要少于增量编码器,因此通常使用的情况下电池寿命可延长至大约5年(连续操作18,000小时)*2。

*1: 电池被取出的情况除外。

*2: ABSOLUTE数显卡尺。

IP防护等级

这些编码是基于IEC标准(IEC 60529: 2013)和JIS C 0920: 2003,描述产品防止外来固体、灰尘和液体进入的电气性能防护等级。

[IEC: 国际电工委员会]

IP (IP: 国际防护)

| 防护等级 | 外来固体异物防护等级 | | 防护等级 | 防水等级 | |
|------|----------------------|----------------------------------|------|--------------|-------------------------|
| | 防护范围 | 说明 | | 防护范围 | 说明 |
| 0 | (无防护) | — | 0 | (无防护) | — |
| 1 | 防护直径为50mm及以上的固体外来物 | 直径为50mm的球体或固体,不应完全侵入*1 | 1 | 水滴防护 | 垂直落下的水滴不应引起损伤 |
| 2 | 防护直径为12.5mm及以上的固体外来物 | 直径为12.5mm的球体或固体,不应完全侵入*1 | 2 | 防护倾斜15°落下的水滴 | 从垂直到倾斜15°以内落下的水滴不会产生影响 |
| 3 | 防护直径为2.5mm及以上的固体外来物 | 直径为2.5mm的球体,不应完全侵入*1 | 3 | 防护溅出的水 | 从垂直到60°落下的水不会产生影响 |
| 4 | 防护直径为1.0mm及以上的固体外来物 | 防护直径为1.0mm及以上的固体外来物 | 4 | 防护喷水 | 防护各方向的喷水不会产生影响 |
| 5 | 防尘 | 虽不能完全防止灰尘进入,但侵入的灰尘量并不会影响仪器的正常工作。 | 5 | 防护喷射 | 防护各方向的水喷射不会产生影响 |
| 6 | 密封防尘 | 完全防止外物侵入,且可完全防止灰尘进入。 | 6 | 防护强喷射 | 防护各方向的水强喷射不会产生影响 |
| | | | 7 | 防护渗水 | 在规定压力下短时渗入水中时,不应有影响 |
| | | | 8 | 防护潜水 | 可在比等级7更严格的条件下渗入水中,不应有影响 |

*1: 固体物不能全直径穿过外围开口部分。

各保护等级的试验条件详情请参考IEC60529: 2013、JIS C0920: 2003

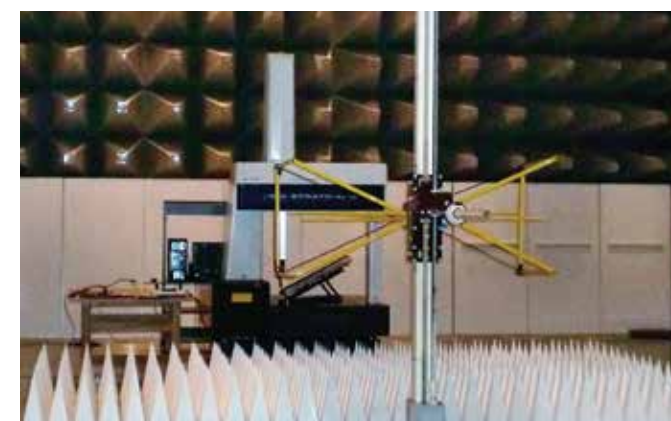
关于TUV Rheinland认证标志

所有带有左侧所示标记的产品均已通过德国认证机构莱茵集团TUV Rheinland的IP合格认证。

符合CE标志、RoHS指令、WEEE指令和REACH法规

符合CE标志

为提高安全性,每个工厂都有用于符合机械指令、EMC指令、低压指令和RoHS指令的程序。还应满足符合CE标志所需的要求。CE代表“欧洲统一”。CE标志表明产品符合相关欧洲健康、安全和环保法规的基本要求。



CE标志(EMC指令)的符合性评定

有关三丰产品的主要欧盟指令

| EU指令的名称 | 适用范围 |
|----------------|--|
| 机械指令 | 至少有一个机器部件可能会因为随执行器(如电机)的运动而移动,进而对人体造成伤害。 |
| EMC指令(电磁兼容性指令) | 容易产生电磁干扰的产品或性能容易受到此类干扰影响的产品。 |
| 低电压指令 | 使用50至1000V的交流电压或75至1500V的直流电压的设备(装置)。 |
| 无线设备指令 | 所有有意发射和接收频率低于3000 GHz的无线电波的电气和电子设备。 |
| RoHS指令 | 限制在电气和电子设备中使用某些有害物质。受限物质以及按重量可允许的最大浓度值: · 铅(0.1%) · 镉(0.01%) · 汞(0.1%) · 六价铬(0.1%) · 多溴联苯(PBB)(0.1%) · 多溴联苯醚(PBDE)(0.1%) · 邻苯二甲酸二酯(2-乙基己基)0.1% · 邻苯二甲酸丁酯0.1% · 邻苯二甲酸二丁酯0.1% · 邻苯二甲酸二异丁酯0.1% * 三丰公司的产品属于第9类(监视和控制设备),并于2021年7月22日生效。 |

对WEEE指令的响应

WEEE指令*1是要求对电气和电子设备垃圾进行适当的收集和回收的指令。

该指令的目的是增加这些产品的再利用和回收利用,并寻求环保的产品设计。

为区分设备垃圾与生活垃圾,在产品上设置了带叉号的带轮垃圾桶标志。

我们将促进产品的环保设计。

*1 WEEE指令: 欧洲议会和理事会关于废弃电子电气设备的指令2012/19/EU。

对REACH法规的响应

REACH法规*2是管理欧洲化学物质注册、评估、授权和限制的法规,所有产品均受其管制,如物质、混合物和制品(包括附件和包装材料)。

禁止出售经科学证明对人体健康和全球环境有害的化学物质(高度关注的物质(SVHC)),或在欧洲强制要求披露有关这些物质的信息。

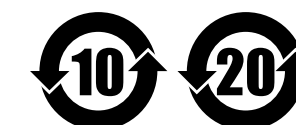
如果我们发现产品包含任何所列物质,我们将积极披露有关这些产品的信息,并提供替代产品。

*2 REACH法规: 欧洲议会和理事会关于化学品注册、评估、授权和限制的(EC) No1907/2006条例

电子信息产品污染控制管理方法的响应(中国RoHS2)

将中国RoHS2产品和标识规定的环保使用期限设置在右侧,并附上所含物质清单。

*3 环保使用期限并不是产品保修期。



环保使用期限标识

质量控制 quality control (QC)

为经济实惠地制造品质符合客户要求的产品或服务而采取的方法体系。

制程控制 process quality control

降低并维持制程所输出的产品的分散度的活动。通过这些活动，可促进制程的改进和标准化以及技术积累。

统计制程控制 statistical process control (SPC)

采用统计性方法进行的制程控制。

母群体 population

为改进并管理制程和产品质量而考察的所有具备特性的对象的群体。基于样本进行处理的组通常为样本所代表的群体。

批次 lot

在相同条件下生产的产品的集合。

样品 sample

从群体中取出的一项或多项产品，以调查其特性。

样品量 sample size

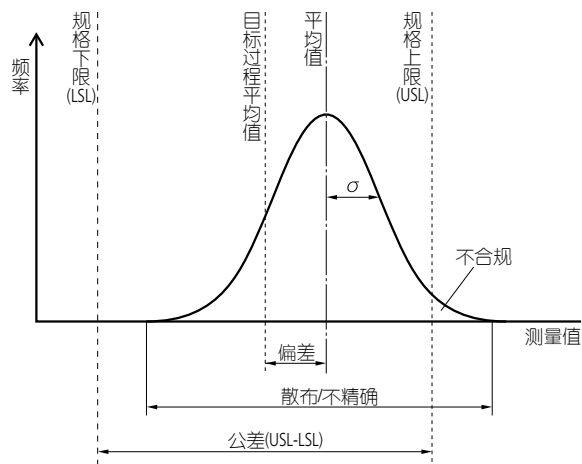
样品中包含的采样单位数。

偏差 bias

进行多次测量时测量值的平均值减去真值的差值。

散布 dispersion、imprecision

目标特性值相对于平均值的变化。通常使用标准偏差来表示在均值附近的散布。



直方图 histogram

该图将最大测量值与最小测量值之间划分为多个区分，并以条形图的形式显示各部分中的值数(出现频率)。通过该图能更容易理解大致平均值或近似散布程度。钟形对称分布被称为正态分布，由于它具有易于计算的特性，因此在理论示例中得到广泛运用。但需要注意的是，许多实际过程不符合正态分布，如果假定符合，则会导致错误。

制程能力 process capability

在制程充分标准化、消除了任何故障原因且制程处于统计控制状态时，所呈现的制程特定性能。当制程的质量特性输出显示正态分布时，制程能力用平均值±3σ或6σ表示。σ(sigma)表示标准偏差。

制程能力指数 process capability index ((Cp或Cp))

衡量制程在目标特性的公差范围内的运行效果。该指数应始终明显大于1。指数值通过将目标特性公差除以制程能力(6σ)来计算。在单向公差情况下，通过将平均值(X)与标准值之差除以3σ所计算的值可用于表示该指数。制程能力指数假定特性遵循正态分布。

注：如果特性遵循正态分布，则99.74%的数据在与平均值相差±3σ的范围内。

双向公差

$$Cp = \frac{USL-LSL}{6\sigma}$$

USL: 规格上限
LSL: 规格下限

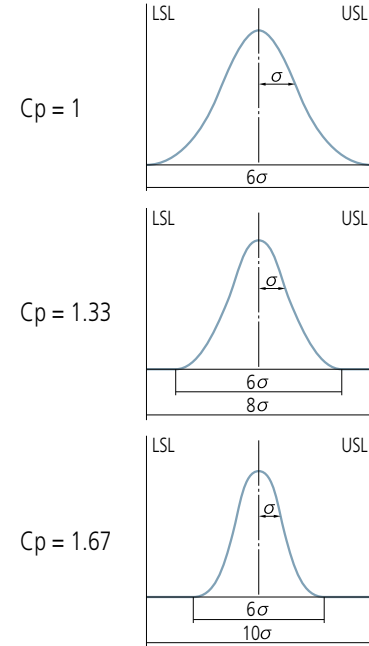
单向公差...如果只规定了上限

$$Cp = \frac{USL-\bar{X}}{3\sigma}$$

单向公差...如果只规定了下限

$$Cp = \frac{\bar{X}-LSL}{3\sigma}$$

制程能力指数的具体实例(Cp)(双向公差)



由于6σ的制程极限与公差极限一致，因此是几乎无法实现的制程能力。

制程能力为通常可以接受的最小值，因为它与公差极限的差异不小于1σ。

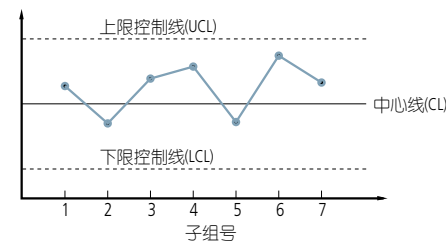
制程能力足以满足要求，因为它与公差极限的差异不小于2σ。

请注意，Cp仅表示公差极限与过程偏差之间的关系，而未考虑过程平均值的位置。

注：将过程平均值与目标过程平均值之间的差异考虑在内的制程能力指数通常被称为Cpk，即上公差(USL减去平均值)除以3σ(制程能力的一半)或下公差(平均值减去LSL)除以3σ，以较小者为准。

控制图 control chart

通过将过程变化分为由于偶然原因和由于故障引起的变化来控制过程。控制图由一条中心线(CL)以及在其上方和下方(UCL和LCL)合理确定的控制限制线组成。可以说，在绘制表示过程输出的特征值时，如果所有点都在无明显趋势的控制上限线和控制下限线以内，则过程处于统计控制状态。控制图是控制过程输出以及质量的有用工具。



偶然原因 chance causes

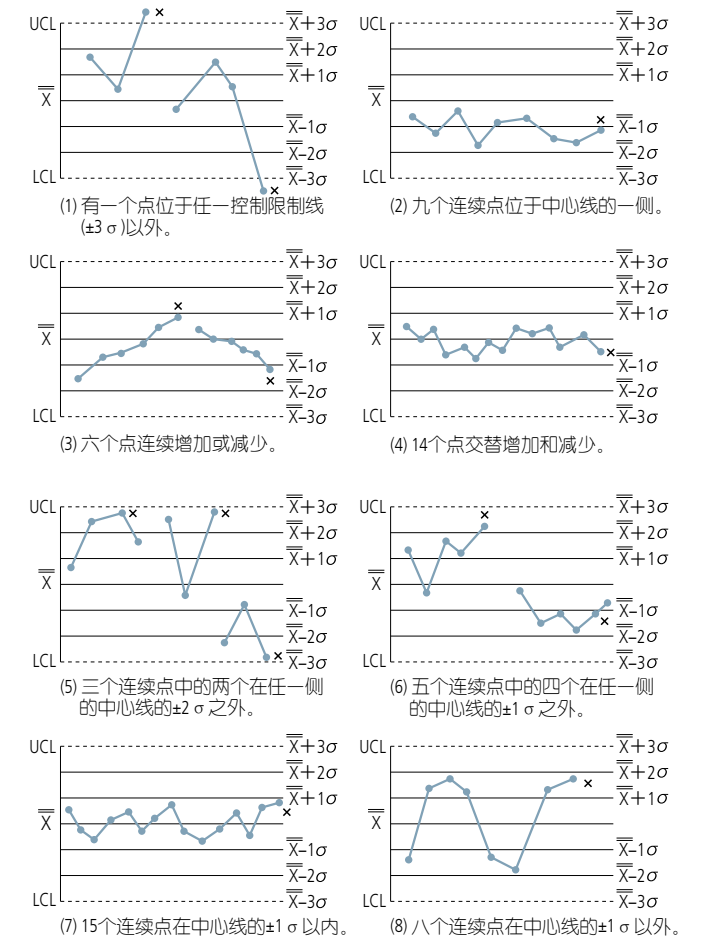
这些变化原因的重要性相对较低。即使可以找到原因，也无法从技术或经济上消除原因。

X-R控制图

用于过程控制的控制图，它提供了有关过程的大部分信息。X-R控制图由X控制图和R控制图组成，前者使用每个控制子组来监控过程平均值的异常变化，后者使用控制范围来监控异常变化。这两个图通常一起使用。

如何读取控制图

下图显示了控制图中不希望出现的连续点位置典型趋势。这些趋势被认为是影响过程输出的“特殊原因”，并需要过程操作人员采取措施来纠正这种情况。这些确定规则仅提供指导。在实际制定确定规则时，需要考虑过程具体的变化。假设控制上限和下限离中心线3σ远，则将控制图以1σ的间隔划分为六个区域，适用应用以下规则。这些规则适用于X控制图和X控制图。需要注意的是“行为趋势规则”在假设正态分布的情况下制定。可通过制定规则来适应任何其他分布。



注：三丰根据自己对日本标准协会出版的《JIS品质管理手册》的解读编写了“精密测量仪器的快速指南”(第4和第5页)的这一部分。

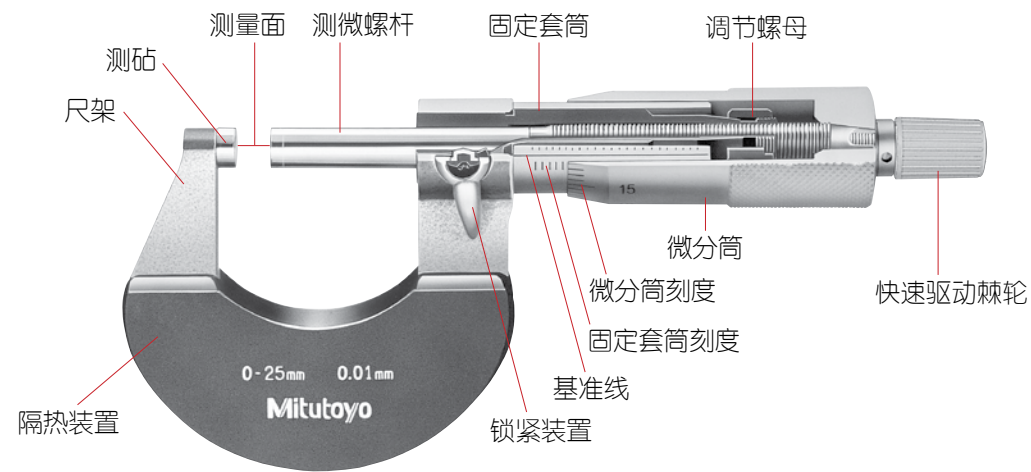
参考 - JIS品质管理手册(日本标准协会)

- Z 8101: 1981
- Z 8101-1: 1999
- Z 8101-2: 1999
- Z 9020: 1999
- Z 9021: 1998

千分尺

术语

标准外径千分尺

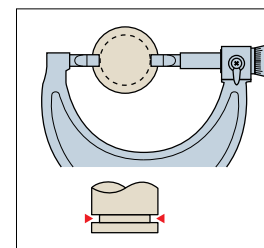


Digimatic外径千分尺



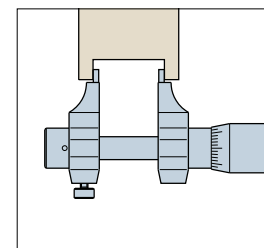
专用千分尺

薄片型千分尺



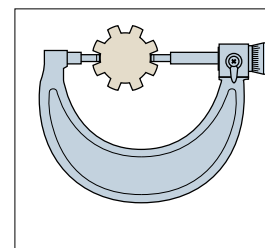
用于窄槽内径测量

卡尺型内径千分尺



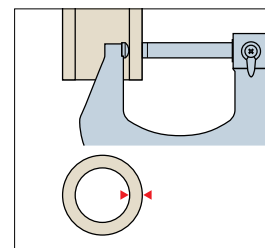
用于较小内径和凹槽宽度测量

花键千分尺



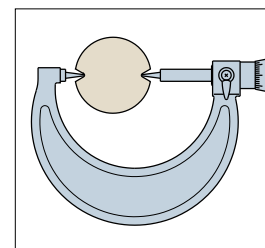
用于花键轴直径测量

壁厚千分尺



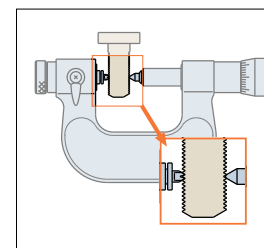
用于管壁厚度测量

尖爪千分尺



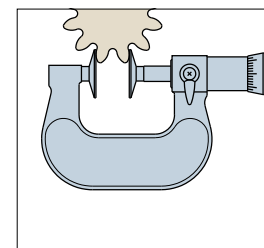
用于齿根直径测量

螺纹千分尺



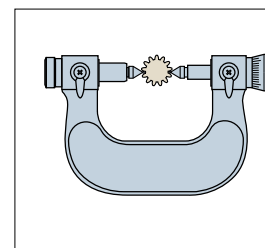
用于有效螺纹直径测量

公法线千分尺



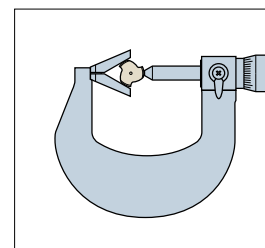
用于正齿轮和斜齿轮的齿根切线测量

球形齿厚千分尺



用于齿轮的滚柱外母线直径测量

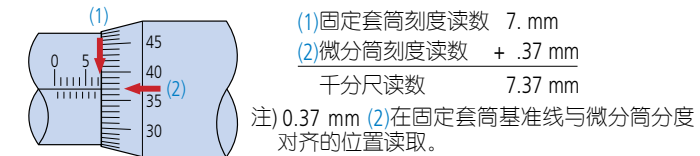
V型千分尺



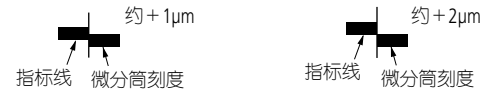
用于奇数丝锥、绞刀外尺寸测量

刻度的读取方法

带有标准刻度的千分尺(分度值: 0.01 mm)

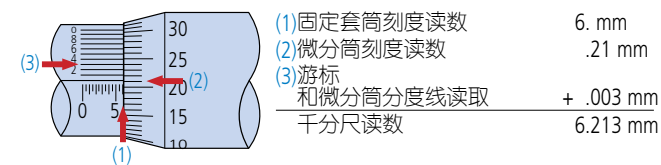


微分筒刻度可直接读取0.01 mm, 如上所示, 但当线几乎重合时, 也可以估读到0.001 mm, 因为线的粗细为它们之间的间距的1/5。



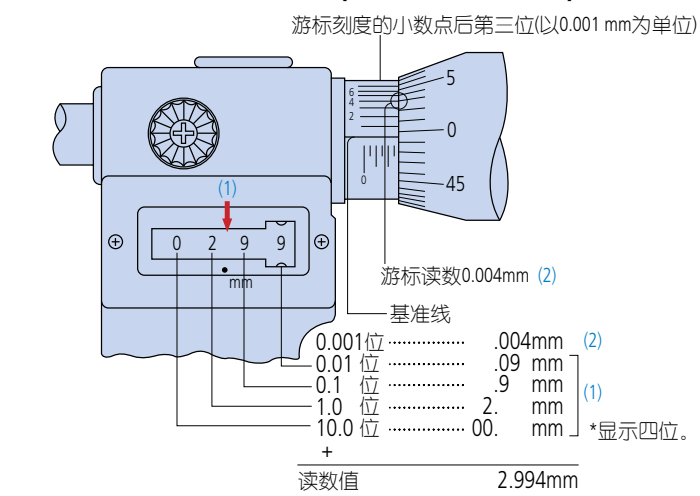
带有游标刻度的千分尺(分度值: 0.001 mm)

固定套筒刻度线上方的游标刻度允许直接读取到0.001 mm以内。



注)0.21 mm (2)在刻度线位于两个分度之间的位置读取(在这种情况下为21和22)。0.003 mm (3)在其中一个游标分度与其中一个微分筒分度对齐的位置读取。

带有机械数字显示的千分尺(分度值: 0.001 mm)

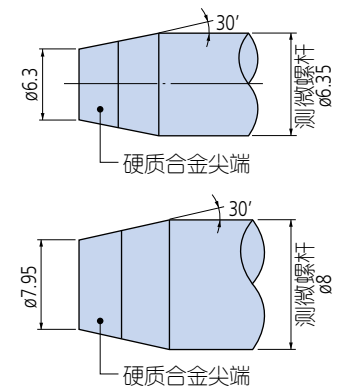


注)0.004 mm (2)在游标分度线与其中一个微分筒分度线对齐的位置读取。

测力装置

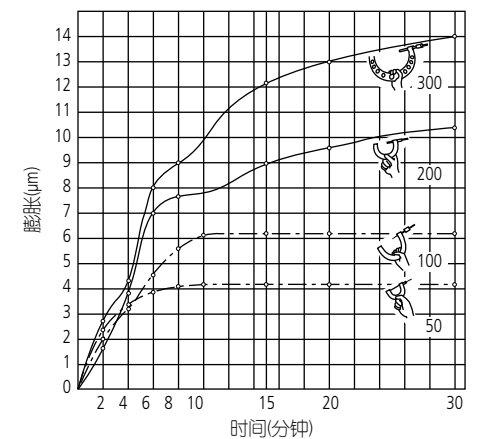
| | 操作可听见声音 | 单手操作 | 备注 |
|-----------|---------|------|----------------|
| 棘轮锁紧 | 有 | 不适合 | 可听见咔哒声的操作会引起微震 |
| 摩擦套管 (F型) | 无 | 适合 | 无冲击或声音的平稳操作 |
| 棘轮套管 | 有 | 适合 | 操作声音可用于确认测力恒定 |

测量面细节



上图仅用作说明, 并未按规定比例绘制。

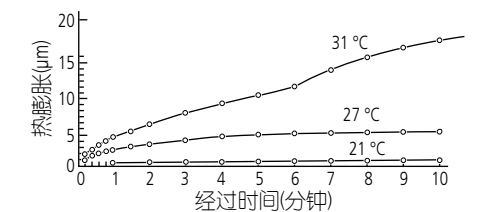
徒手握持框架导致千分尺膨胀



上图显示了徒手握持千分尺框架时, 手向框架之间的热传递所导致的千分尺框架膨胀, 可以看出, 温度引起的膨胀可能导致明显的测量误差。如果在测量过程中必须用手握持千分尺, 则应尽量减少接触时间。如果采用隔热材料, 则可以大大减轻这种情况, 也可以戴上手套。(请注意, 上图显示是比较典型的影响结果, 并不确保仅限于此。)

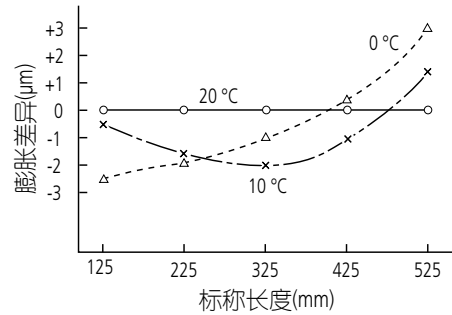
量杆随温度变化而膨胀

(200mm量杆在20°C下)



以上实验图显示了在20°C的室温下, 当手温不同的人(如图)握住特定千分尺量杆的端部时, 该量杆是如何随时间膨胀的。该图表明, 不要直接通过握住千分尺量杆来设置千分尺, 而尽量戴上手套或通过其隔热材料轻轻支撑长度量杆时进行调整很重要。在进行测量时, 还请注意, 膨胀的千分尺量杆需要花一段时间才能恢复原始长度。(请注意, 图形值不是保证值, 而是实验值。)

千分尺和量杆之间的热膨胀差异



在上述实验中，将千分尺及其量杆在20 °C的室温下放置约24小时以使温度稳定后，使用千分尺量杆调整起点。然后，将千分尺及其量杆在0 °C和10 °C下大约放置相同时间，并测试起点是否偏移。上图显示了在各种温度下，从125到525 mm的每种尺寸的结果。该图表明，在调整起点之前，千分尺及其量杆须至少在同一位置放置几个小时。(请注意，图形值不是保证值，而是实验值。)

胡克定律

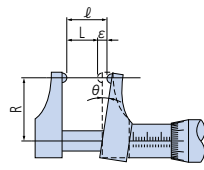
胡克定律指出，只要应变保持在弹性材料的弹性极限以内，弹性材料的应变就与引起该应变的应力成比例。

改变支撑方法和方向的影响 (单位: μm)

调零后更改支撑方法和/或千分尺方向也会影响后续测量结果。下表强调了在“在底部和中央部支撑”的情况下将千分尺调零后，其他三种情况下的预期测量误差。这些实际结果表明，最好使用相同的方向和支撑方法进行基点设置和测量。

| 支撑方法 | 在底部和中央部支撑 | 仅在中央部支撑 |
|------------|-----------|---------|
| 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 |
| 支撑方法 | 在横向中心支撑 | 通过手向下支撑 |
| 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 |

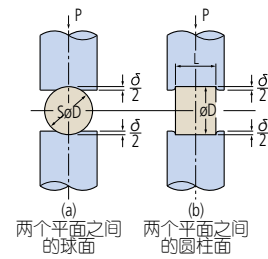
阿贝原理



阿贝原理指出“当标尺与测量轴相同时，可获得最大精度”。这是因为仪器(如卡爪型千分尺)上的活动量爪的相对角度(θ)的任何变化均会产生无法在仪器刻度上测量到的位移，这就是阿贝误差(图中的 $\epsilon = l - L$)。测微螺杆的直线度误差，测微螺杆的操纵或测力的变化均可能导致(θ)变化，并且误差随R增大。

赫兹公式

赫兹公式表明，在平面之间测量时，弹性压缩会使球体和圆柱体的直径明显减小。这些公式对于确定点和线接触情况下的测力引起的工件变形非常有用。



假设材料为钢且单位如下：
弹性模量：E = 205 GPa
形变量：δ (μm)
球体或圆柱体直径：D (mm)
圆柱体长度：L (mm)
测力：P (N)
a) 球体直径明显减小 $\delta_1 = 0.82 \sqrt{P/D}$
b) 圆柱体直径明显减小 $\delta_2 = 0.094 \cdot PL \sqrt{1/D}$

螺纹千分尺的主要测量误差

| 误差的原因 | 可能产生的最大允许误差 | 消除误差的注意事项 | 即使遵循注意事项也可能无法消除的误差 |
|-----------|--------------------------------------|---|-----------------------|
| 千分尺的进给误差 | 3 μm | 1.使用前校准千分尺。 | ±1 μm |
| 测砧角度误差 | 假设半角误差为15分，则为 ±5 μm | 1.测量角度误差后进行校准。 2.使用与被测工件相同的螺纹塞规调整千分尺。 | ±3 μm的半角预期测量误差 |
| 接触点未对准 | +10 μm | | +3 μm |
| 测力产生的影响 | ±10 μm | 1.尽可能使用低测力的产品。 2.必须使用棘轮止动器。 3.使用等螺距的螺纹塞规调整千分尺。 | +3 μm |
| 标准量规的角度误差 | ±10 μm | 1.进行校准计算(角度)。 2.校准长度误差。 3.使用与被测工件相同的螺纹塞规调整千分尺。 | +3 μm |
| 标准量规的长度误差 | $\pm(3 + \frac{L}{25}) \mu m$ | 1.进行校准计算。 2.使用与被测工件相同的螺纹塞规调整千分尺。 | ±1 μm |
| 工件螺纹角误差 | JIS 2级半角误差 ±229分 -91 μm +71 μm | 1.尽可能缩小角度误差。 2.测量角度误差并进行校准计算。 3.对于大角度误差，请使用三针法。 | 假设半角误差为 ±23分，则为 ±8 μm |
| 累积误差 | (±117+40) μm | 可能产生累积误差 | +26 μm -12 μm |

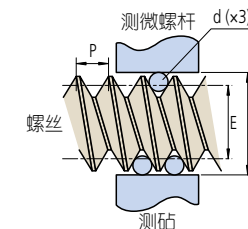
螺纹中径测量

● 三针法

如图所示，螺纹中径可使用三针进行测量。通过公式(1)及(2)计算中径E。

公制螺纹或统一螺纹(60°)
 $E = M - 3d + 0.866025P \dots\dots(1)$
惠氏螺纹(55°)
 $E = M - 3.16568d + 0.960491P \dots\dots(2)$

d = 三针径
E = 螺纹中径
M = 包含三针的外径测量尺寸
P = 螺距间距
(统一螺纹将英寸换算为毫米)



| 螺纹类型 | D的最佳针径 |
|----------------|--------|
| 公制螺纹或统一螺纹(60°) | 0.577P |
| 惠氏螺纹(55°) | 0.564P |

三针法的主要测量误差

| 误差的原因 | 消除误差的注意事项 | 可能误差 | 即使遵循注意事项也可能无法消除的误差 |
|----------|---|---------------------------|----------------------|
| 螺距误差(工件) | 1.校准螺距误差(δp = δE) 2.测量多个位置取平均值。 3.缩小单个螺距误差。 | 假设螺距误差为0.02 mm，则为 ±18 μm。 | ±3 μm |
| 半角误差(工件) | 1.使用最佳量针直径。 2.无需校准。 | ±0.3 μm | ±0.3 μm |
| 由于测砧不同 | 1.使用最佳量针直径。 2.在单针一侧使用接近平均直径的量针。 | ±8 μm | ±1 μm |
| 量针直径误差 | 1.使用适合螺距的预定测力。 2.使用预定宽度的测量边缘。 3.使用稳定的测力。 | -3 μm | -1 μm |
| 累积误差 | | 最坏的情况为 +20 μm -35 μm | 仔细测量时 +3 μm -5 μm |

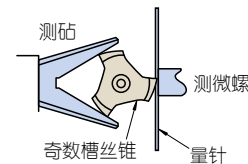
● 单针法

奇数槽丝锥的中径可借助V型千分尺使用单针进行测量。求出测量值(M₁)，通过公式(3)或(4)计算出M。

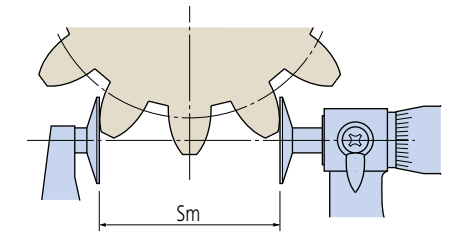
M₁ = 单针测量时千分尺的读数
D = 奇数槽丝锥的直径

三槽丝锥：M = 3M₁ - 2D(3)
五槽丝锥：M = 2.2360M₁ - 1.23606D(4)

然后，将M代入公式(1)或(2)中计算中径(E)。



公法线长度



公法线长度(Sm)计算公式：

$Sm = m \cos \alpha_0 \{ \pi (Zm - 0.5) + Z \operatorname{inv} \alpha_0 \} + 2Xm \sin \alpha_0$

公法线长度(Zm)内的齿数计算公式：

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

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

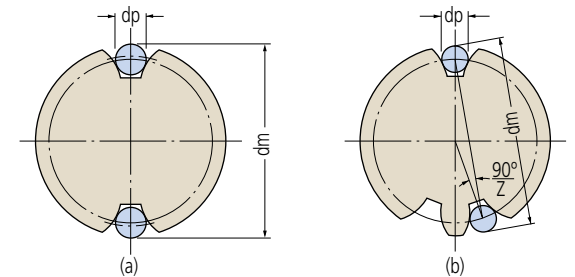
并且， $f = \frac{X}{Z}$

$\operatorname{inv} 20^\circ \approx 0.014904$
 $\operatorname{inv} 14.5^\circ \approx 0.0055448$

m: 模数
α₀: 压力角
Z: 齿数
X: 变位系数
Sm: 公法线长度
Zm: 跨齿数

齿轮的测量

跨棒距测量法



对于齿数为偶数的齿轮：

$dm = dp + \frac{dg}{\cos \theta} = dp + \frac{Z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta}$

对于齿数为奇数的齿轮：

$dm = dp + \frac{dg}{\cos \theta} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{Z} \right) = dp + \frac{Z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{Z} \right)$

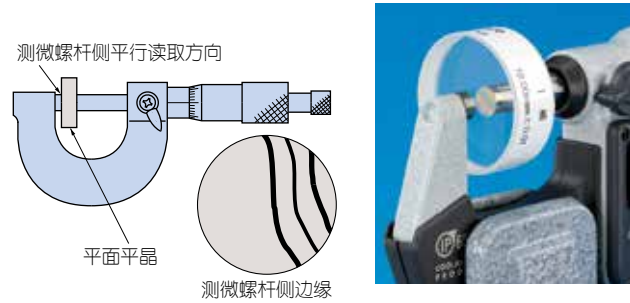
但是，

$\operatorname{inv} \theta = \frac{dp}{dg} - \frac{X}{Z} = \frac{dp}{Z \cdot m \cdot \cos \alpha_0} - \left(\frac{\pi}{2Z} - \operatorname{inv} \alpha_0 \right) + \frac{2 \tan \alpha_0}{Z} \cdot X$

从渐开线函数表获取α(invθ)。

Z: 齿数
α₀: 齿压力角
m: 模数
X: 变位系数

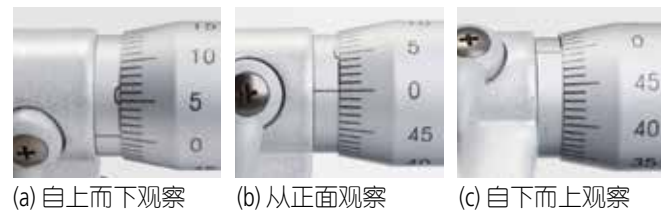
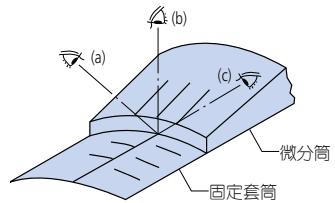
千分尺测量面的平行度测试



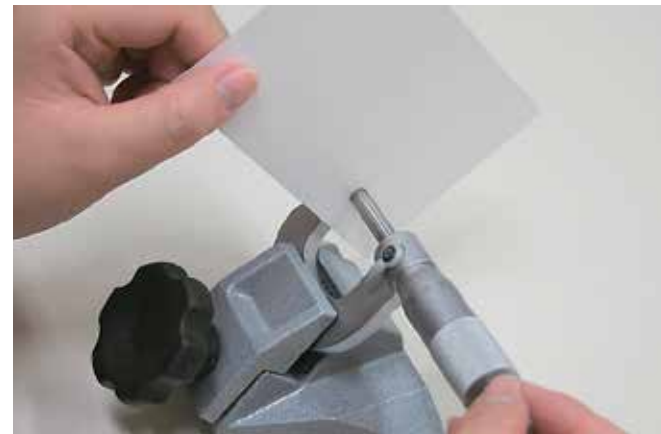
可使用固定在两个面之间的平面平晶来估计平面度。首先，使平面平晶与砧测量面研合。然后，使用正常的测力锁定平行面上的测微螺杆，并记录在白光下可在测微螺杆测量面上看到的红色干涉条纹的数量。每个条纹均代表高度中的一个半波长偏差(红色条纹为 $0.32\ \mu\text{m}$)。在上图中，通过 $0.32\ \mu\text{m} \times 3 = 0.96\ \mu\text{m}$ ，获得了大约 $1\ \mu\text{m}$ 的平行度。

使用千分尺的一般注意事项

1. 仔细检查类型、测量范围、精度和其他规格，以选择适合您的应用的适当型号。
2. 测量前，将千分尺和工件在室温下放置足够长的时间，以使其温度均匀，然后再进行测量。
3. 在读取微分筒刻度线时，请直视基准线。如果从某个角度查看分度线，则会因为视差而无法读取分度线的正确对齐位置。

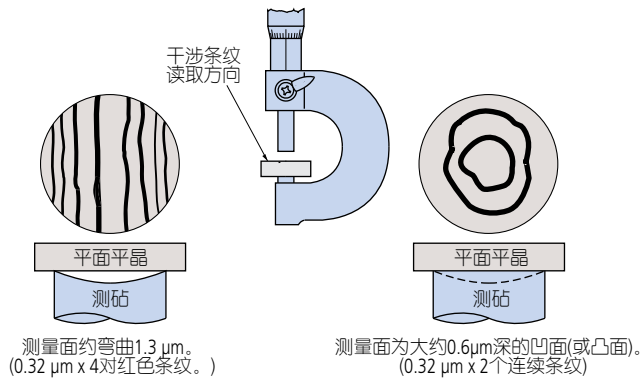


4. 在测量之前，用无尘纸擦拭测砧和测微螺杆的测量面，并设置起点(零点)。

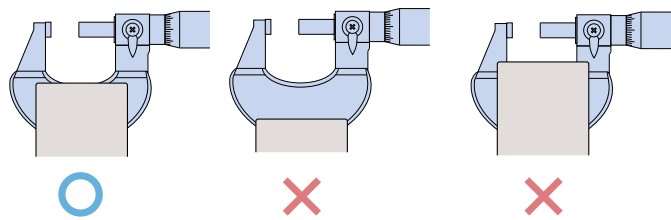


千分尺测量面的平面度测试

可通过抵靠在面上的平面平晶(或平行面)来估计平面度。计算在白光下在测量面上看到的红色干涉条纹的数量。每个条纹均代表高度中的一个半波长偏差(红色条纹为 $0.32\ \mu\text{m}$)。



5. 作为日常维护措施，请将测微螺杆外周与测量面上的灰尘、切屑等擦拭干净。并用干布将附着在各部分的污渍和指纹擦拭干净。
6. 请正确使用恒定测力装置，以正确的测力进行测量。
7. 在千分尺支架上安装千分尺时，请固定于千分尺框架的中央部，但不要过紧。



8. 请勿使千分尺掉落或与任何物体发生碰撞。另外，请勿拧转千分尺到产生反作用力的程度。如果您认为千分尺可能由于意外误操作而损坏，在继续使用前务必检查千分尺的精度。

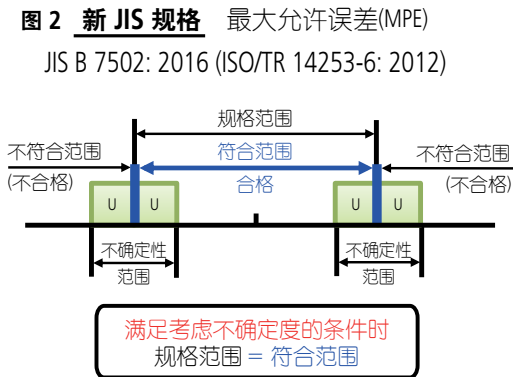
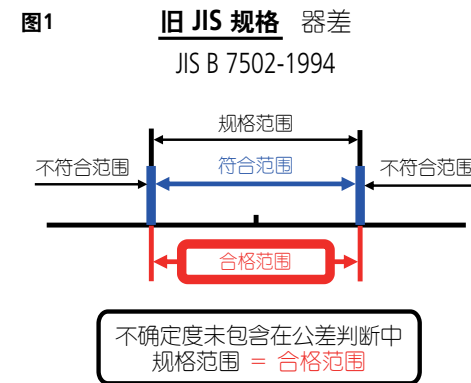
9. 长期存放后，或在看不到防护油膜时，请用在防锈油中浸泡过的布擦拭千分尺，以在其上面轻轻地涂抹一层防锈油。

10. 存放时的注意事项：
 - 避免将千分尺存放在阳光直射的地方。
 - 将千分尺存放在湿度低且通风的地方。
 - 将千分尺存放在灰尘少的地方。
 - 将千分尺存放在箱子中或其他容器中，勿将其放在地板上。
 - 存放千分尺时，在测量面之间始终留出 0.1 至 $1\ \text{mm}$ 的间隙。
 - 请勿在夹紧状态下存放千分尺。

千分尺性能评估方法

作为千分尺的日本工业标准，JIS B 7502于2016年修订并发布，并且已将用于指示千分尺误差的“器差”更改为“指示的最大允许误差(MPE)”。

旧JIS“器差”采用规格范围(精度规格)等于合格范围的规格标准，并且OK/NG判断不包括测量不确定度(图1)。新JIS的“指示的最大允许误差(MPE)”采用了OK/NG判断的基本概念，同时考虑了ISO标准(ISO 14253-1)中采用的不确定性。当规格范围与符合范围相同时，明确规定合格与不合格验证使用国际认可的验收标准(简单验收)，如果满足考虑不确定性的给定条件，则可以接受规格范围等于合格范围。上述国际认可的验收标准为ISO/TR14253-6:2012(图2)。下文介绍了包括JIS 2016修订内容的标准检查方法。



全测量面接触误差的最大允许误差 J_{MPE} [JIS B 7502:2016]

外径千分尺的总测量表面接触误差是一个示值误差，该误差通过使整个测量面与要在测量范围中的任意点测量的物体接触来测量。通过使用具有最小千分尺测量长度的恒定测力装置调整参考点，并在测量面之间插入JIS B 7506中规定的0级或1级量块，或者同等或更高级别的量块(图3)，然后从使用恒定测力装置时的千分尺指示值减去量块尺寸，可获得该值。

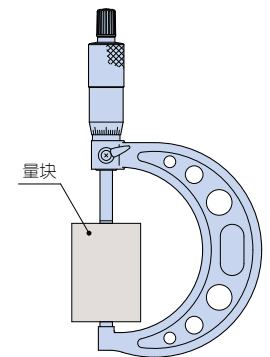


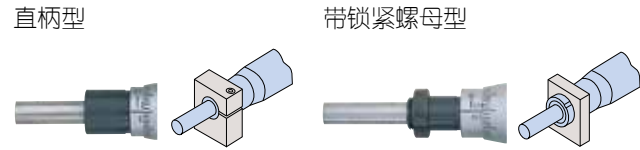
图3: 全测量面接触误差的测量

测微头

选型要点

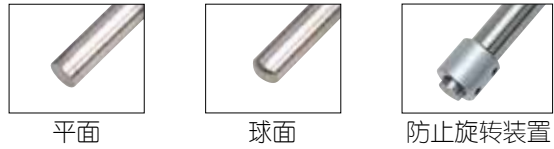
选择测微头的关键要素在于测量范围、测量面、轴套、分度、微分筒直径等。

轴套

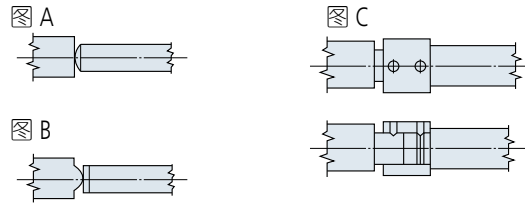


- 如上图所示，用于安装测微头的轴套分为“直柄型”或“带锁紧螺母型”。轴套直径采用公制或英制，公差为h6。
- 带锁紧螺母型轴套可快速安全地夹紧测微头。直柄型轴套的优点在于应用范围更广，并在最终安装时可在轴向进行细微的位置调整，尽管它确实需要使用分体式夹紧装置或粘胶来固定。
- 通用安装夹具作为可选附件提供。

测量面



- 在测量应用中使用测微头时，通常会指定平测量面。
- 将测微头用作进给装置时，球面可最大限度地减少未对准所引起的误差(图A)。或者，测微螺杆一端使用平面型，接触面安装硬质合金球体也可以实现。
- 如果必须避免在工件上产生扭曲作用，则可以使用非旋转测微螺杆型测微头或测微螺杆上配有防旋转装置的测微头(图C)。
- 如果将测微头用作挡块，测微螺杆和接触面推荐平面对平面型，可以提高耐久性。



直进式测微螺杆

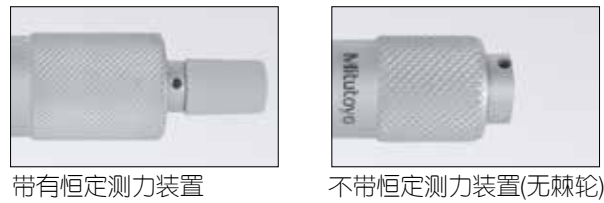
- 非旋转测微螺杆型测头不会对工件产生扭曲效应，从而可以防止测量物的旋转，减少变形和磨损。这在某些应用中可能为一个重要因素。

心轴螺距

- 标准型测头的间距为0.5mm。
- 1mm间距型：设置起来比标准型更快，并可以避免0.5mm读取误差的可能性。由于螺纹较大，因此具有出色的承重性能。
- 0.25mm或0.1mm间距型：这种类型最适合精细进给或精确定位应用。

恒定测力装置

- 对于测量应用，建议使用配有恒定测力装置(棘轮或摩擦微分筒)的测微头。
- 如果将测微头用作挡块，或优先考虑节省空间，推荐使用没有恒定测力装置的设备。



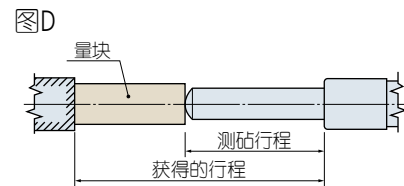
心轴锁

- 如果将测微头用作挡块，则最好使用配有轴锁的测微头，这样即使在反复的冲击载荷下，设置也不会改变。



测量范围(行程)

- 为测微头选择测量范围时，请根据预期测量行程留出足够的余量。标准测微头具有5至50mm的六个行程范围。
- 即使预期行程很小，如2mm至3mm，只要留出足够的安装空间，选择25mm行程的型号具有成本效益。
- 如果需要超过50mm的长行程，同时使用量块可以扩大有效测量范围。(图D)



- 在本指南中，微分筒的范围(或行程末端)用虚线表示。对于行程末端，在设计夹具时，考虑将微分筒移至直线所示位置。

超精细进给应用

- 专用测微头可用于需要超精细进给或操纵装置微动。

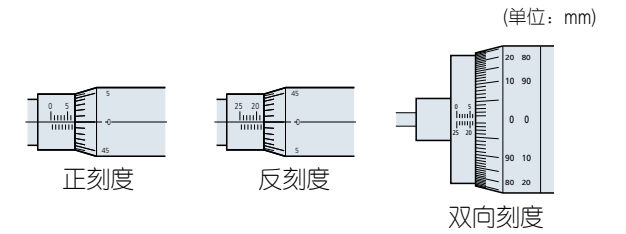
微分筒直径

- 微分筒直径会极大影响其可用性及其定位“精度”。小直径微分筒可快速定位，而大直径微分筒可精确定位，并易于读取分度。某些型号通过在大直径微分筒上安装粗进给微分筒(调速装置)来将两者的优点相结合。



刻度规格

- 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。
- 与外径千分尺的样式相同的“正刻度”样式为标准型。对于这种样式，当测微螺杆缩进主体时，读数会增加。
- 与之相反的是，在“反刻度”样式中，随着测微螺杆从主体伸出，读数会增加。
- “双向刻度”样式旨在通过用黑色数字来表示正常操作，用红色数字表示反向操作，以方便任一方向上的测量。
- 也提供带机械或电子数字显示屏的测微头，这些测微头也可以直接读取测量值。这些类型没有误读错误。另一个优点在于电子数字显示型可实现基于计算机的存储和测量数据统计处理。



自制夹具的要领

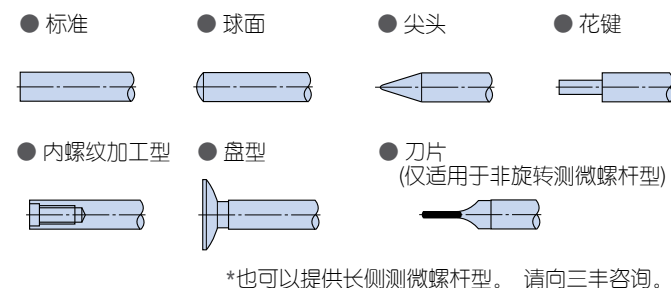
安装测微头时需要固定轴套，而且精度稳定，不会使内部承受过大压力的方法。具有代表性的安装方法有以下3种，但不推荐使用方法3。请尽可能采用方法(1)或(2)。

| 安装方法 | (1) 螺母固定方式 | | | | (2) 夹钳固定方式 | | | | (3) 螺丝固定方式 | | | |
|---------|---|-----|---------------------|-----|----------------------|-----|---------------------|-----|---|-----|----------------|-----|
| 注意点 | | | | | | | | | | | | |
| 轴套直径 | 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至+0.020 | | G7 +0.006至+0.024 | | G7 +0.005至+0.020 | | G7 +0.006至+0.024 | | H5 0至+0.006 | | H5 0至+0.008 | |
| 注意事项 | 需要注意A面相对于安装孔的垂直度。垂直度在0.16/6.5以内，即可顺利固定。 | | | | 消除因开孔操作而在安装孔内壁产生的毛刺。 | | | | 固定螺丝的合适尺寸约为M3 × 0.5或M4 × 0.7。在固定螺丝下方使用黄铜塞(如果夹具厚度允许，以免损坏轴套)。 | | | |

特别订制(制作示例介绍)

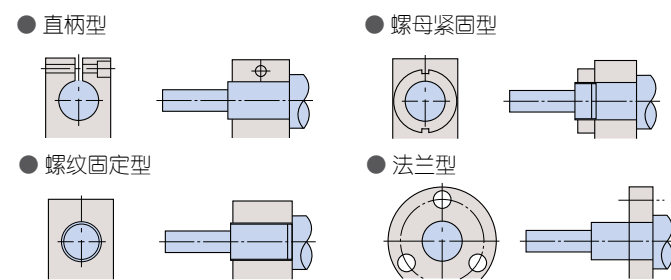
测微头已应用于许多科学和工业领域，三丰公司提供许多标准型号来满足客户需求。但是，在标准产品不适用的情况下，三丰可为您定制具有更适合您的特定应用的功能的测微头。即使只需要一件定制产品，您也可以随时与三丰联系。

1. 测微螺杆端部类型



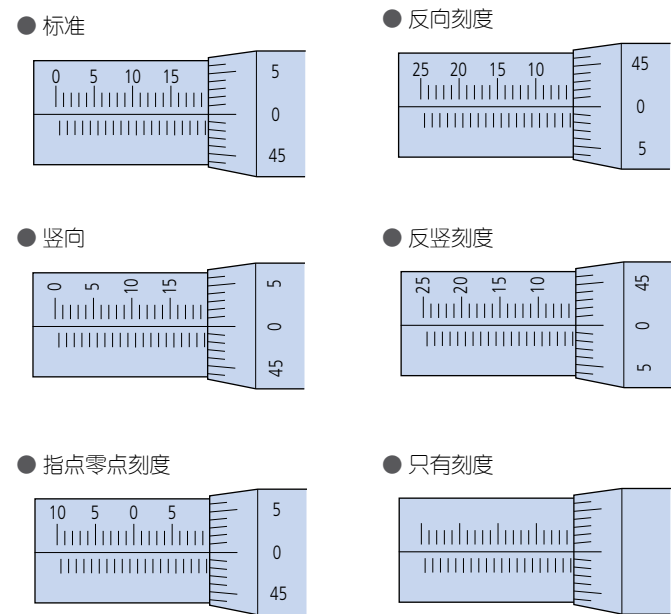
2. 轴套类型

可制造定制轴套，以适应安装夹具。



3. 刻度加工方案

可使用各种测量筒和微分筒刻度加工方案，如反向刻度和垂直刻度。接受定制，敬请与我们联系。



4. Logo雕刻

可根据需要雕刻特定徽标。

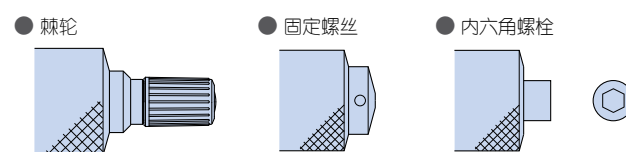
5. 电机联轴器

可设计为测头提供驱动力的电机联轴器。



6. 微分筒安装

可通过棘轮、固定螺丝和内六角螺栓安装微分筒。



7. 测微螺杆螺距加工

可用1mm螺距(快速进给)或0.25mm(精细进给)来替代0.5mm的标准螺距。还支持加工英制螺距。详情请咨询三丰。

8. 测微螺杆螺纹润滑剂

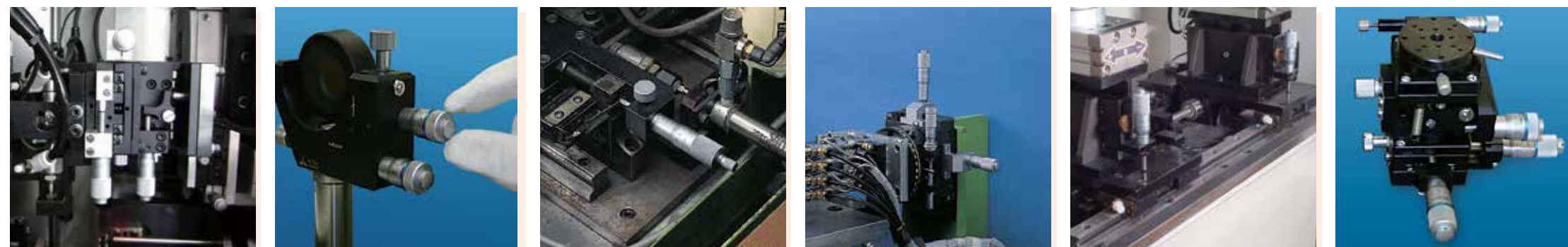
可根据客户的指定提供相应的润滑剂。

9. 全不锈钢制

测头的所有组件均可以用不锈钢制造。

10. 简易包装

大量订购的测微头可以简单包装形式交付，以满足OEM需求。



测微头的最大承载能力

测微头的最大承载能力主要取决于安装方法以及负载为静态还是动态(如用作挡块)。因此，无法明确规定每种型号的最大承载能力。三丰建议的承载极限(如果用于可保证精度的范围内的测量，则应少于100,000转)和使用小测微头测得的静态负载测试结果如下。

1. 推荐最大承载极限

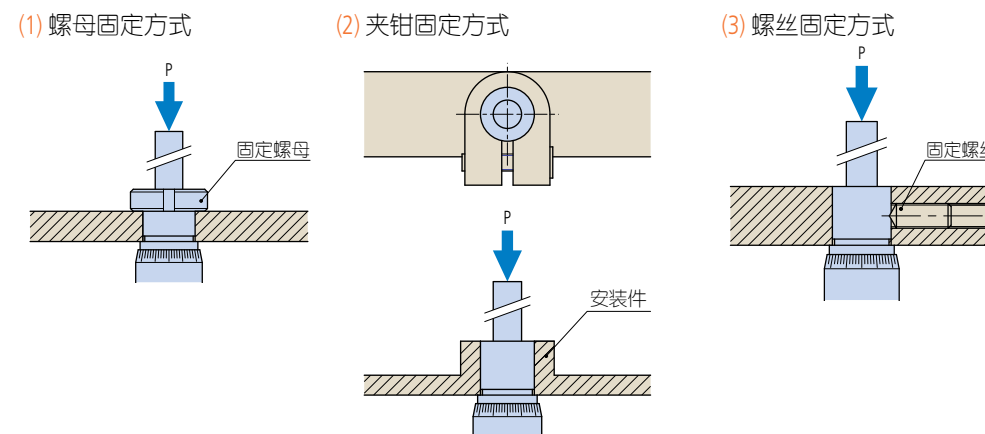
| 标准型 | 测微螺杆螺距: 0.5mm | 最大承载极限 |
|------|---------------------------|----------------|
| 标准型 | (测微螺杆螺距: 0.5mm) | 39.2N (4kgf) * |
| 高性能型 | 测微螺杆螺距: 0.1mm/0.25mm | 19.6N (2kgf) |
| | 测微螺杆螺距: 0.5mm | 39.2N (4kgf) |
| | 测微螺杆螺距: 1.0mm | 58.8N (6kgf) |
| | 非旋转测微螺杆 MHF超微动用(带差动机构) | 19.6N (2kgf) |

* 约高达2kgf, 仅限MHT

2. 测微头静态负载测试(使用MHS型号测试)

测试方法

按图示设置测微头，然后测量沿方向P施加静态负载时导致测微头损坏或被推出夹具的力。(测试中未考虑可保证精度的范围。)

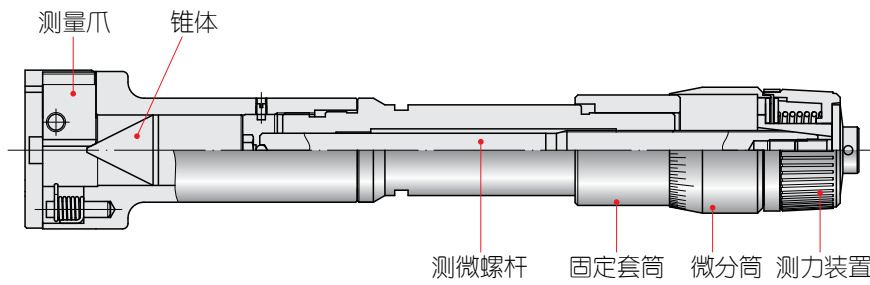


| 安装方法 | 破损/脱落负载* |
|------------|----------------------------------|
| (1) 螺母固定方式 | 8.63~9.8kN(880~1000kgf)时主体破损。 |
| (2) 夹钳固定方式 | 0.69~0.98kN(70~100kgf)时从安装配件上脱落。 |
| (3) 螺丝固定方式 | 0.69~1.08kN(70~110kgf)时固定螺丝破损。 |

* 这些负载值仅供参考。

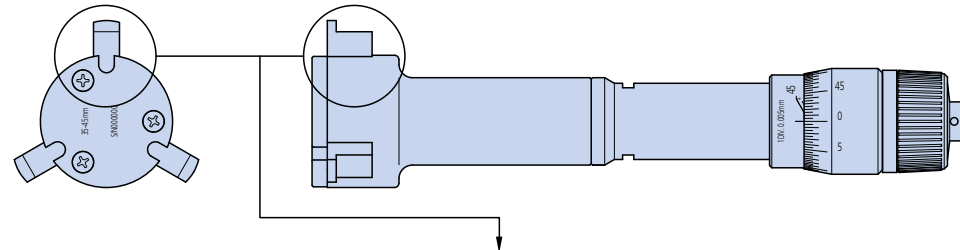
内径千分尺

术语



定制产品(Holtest 孔径千分尺/ Borematic 内径表)

三丰可定制更适合特定应用的内径千分尺。即使只需要一件定制产品，您也可以随时与三丰联系。请注意，根据情况，这种千分尺通常要与环规一起使用，以确保精度。(定制的千分尺是否与客户提供的环规兼容。请向三丰咨询。)

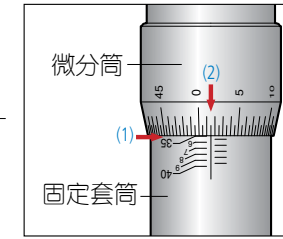


| 类型 | 工件轮廓(示例) | 测砧顶端轮廓(示例) | 备注 |
|----|----------|------------|--|
| 方槽 | | | <ul style="list-style-type: none"> ●可测量各种形状的内槽和花键的直径。 ●最小可测量凹槽直径约为16mm(根据工件轮廓而有所不同)。 ●尺寸<i>l</i>应如下： 对于W=2mm以下：<i>l</i> = 小于2mm 对于W=2mm或以上：<i>l</i> = 2mm的标准值，可根据情况修改。 ●花键或锯齿的数量限于3的倍数。 ●在下达定制订单时，应提供工件轮廓的详细信息。 ●如果应用需要的测量范围与标准内径千分尺的测量范围不同，则需要投入购买主环规的成本。 |
| 圆槽 | | | |
| 花键 | | | |
| 锯齿 | | | |
| 螺纹 | | | |

刻度的读取方法

分度值 0.005mm

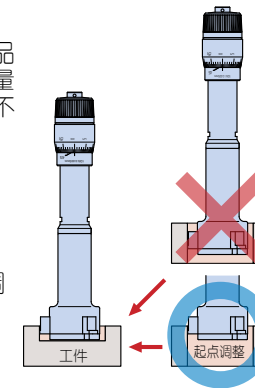
| | |
|----------|-----------|
| (1) 固定套筒 | 35 mm |
| (2) 微分筒 | 0.015 mm |
| 读数 | 35.015 mm |



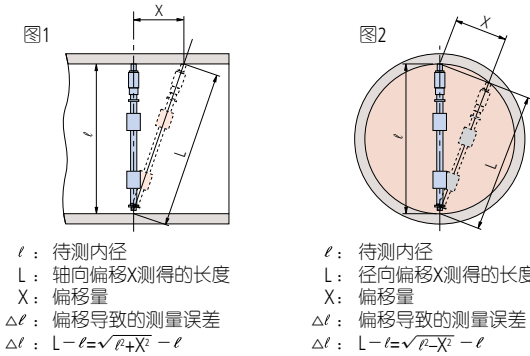
不同测量点的测量值变化

使用Holtest孔径千分尺时，由于产品构造的原因，用测量爪全面接触测量与仅用测量爪尖端测量的测量值是不同的。测量之前，在相同条件下调整起点。

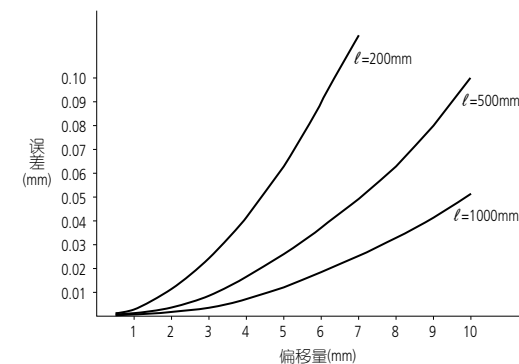
使用测量爪尖端进行测量时，请调整使用测量爪尖端时的起点。



尺寸偏差

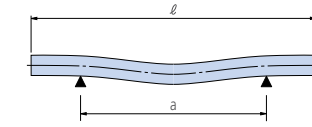


如图1和2所示，在进行测量时，如果管内径千分尺的轴向或径向偏移量为*X*，则测量将会有误差，如下图所示(根据上面给出的公式计算)。该误差对于轴向未对准为正，对于径向未对准为负。



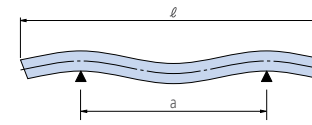
艾利和贝塞尔支撑点

当量杆或内径千分尺水平放置并尽可能简单地支撑两个点时，它会在自重作用下弯曲，弯曲形状取决于这些点的间距。点之间有两个距离，以便以有效方式控制变形，如下所示。



艾利支撑点($a \approx 0.577l$)

“艾利支撑点”通常用于确保量杆的两端彼此平行，以便明确定义长度。

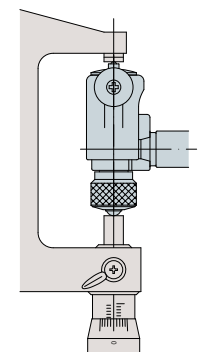


贝塞尔支撑点($a \approx 0.559l$)

如上所示，可通过对称地设置两个支撑点的间距来最大限度地减小弯曲引起的量杆(或内径千分尺)长度变化。这些点被称为“贝塞尔支撑点”，在使用长内径千分尺时可能会有用。

调零(2点量规)

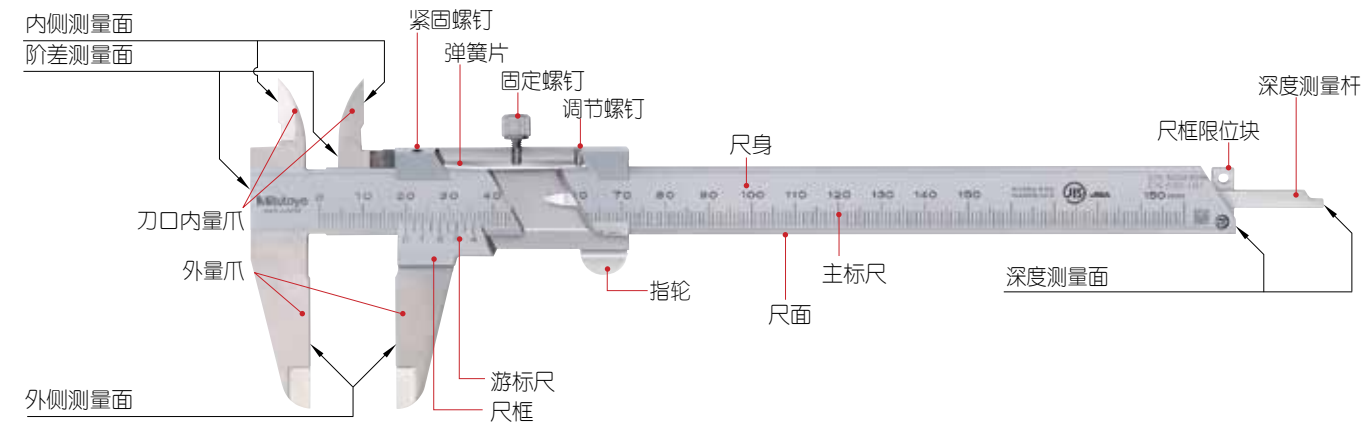
- 使用环规或圆柱标准器来调零：将内径表插入环规中，垂直或水平摆动内径表，并将零点设为指示器读数最大的点。(旋转表盘标尺的表盘面，并进行数显指示器的预设或调零。)
- 使用外径千分尺调零
 - 1) 使用量块调零
将量块(参考尺寸)固定在千分尺的测量面之间，就像在测量量块那样。夹紧千分尺的测微螺杆，然后拉出量块。将内径表插入千分尺的测量面之间。将内径表调节到指示器读取最小的位置，然后通过旋转外圈将指针读数设为零(或所需的预设值)。
 - 2) 不使用量块调零
以垂直姿态固定千分尺，使其微分头方向(测微螺杆方向侧)朝下，然后将测量面之间的距离调整为参考尺寸。此时，请勿锁紧千分尺测微螺杆。将内径表插入千分尺的测量面之间。将内径表调节到指示器读取最小的位置，然后通过旋转外圈将指针读数设为零(或所需的预设值)。由于没有自定心作用，用千分尺调零需要一定程度的灵活性，正如使用定位规那样。除外径千分尺以外，还可以使用量块、高度卡尺或内径表检测器执行相同的步骤进行调零。



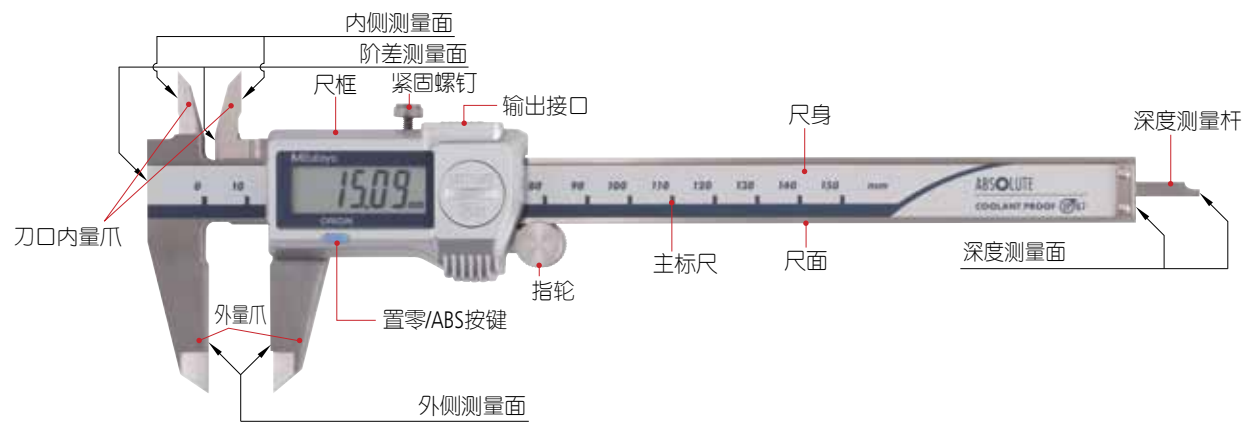
通用卡尺

术语

M型标准游标卡尺

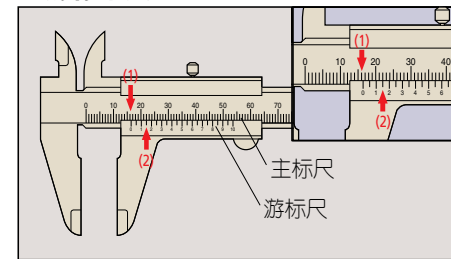


ABS数显卡尺



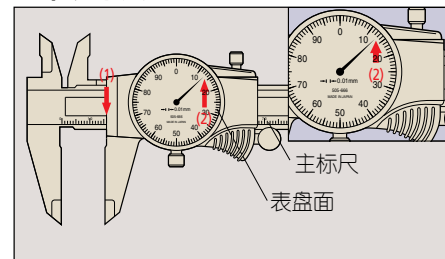
刻度的读取方法

游标卡尺



| | |
|---------|----------|
| 分度值 | 0.05 mm |
| (1) 主标尺 | 16 mm |
| (2) 游标尺 | 0.15 mm |
| 读数 | 16.15 mm |

带表卡尺

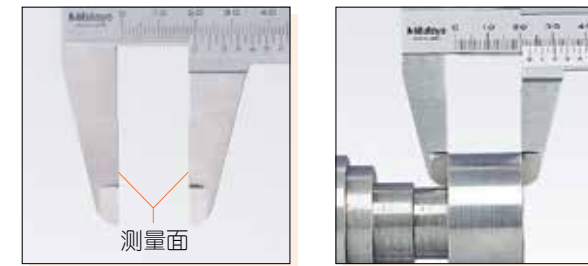


| | |
|---------|----------|
| 分度值 | 0.01 mm |
| (1) 主标尺 | 16 mm |
| (2) 表盘面 | 0.13 mm |
| 读数 | 16.13 mm |

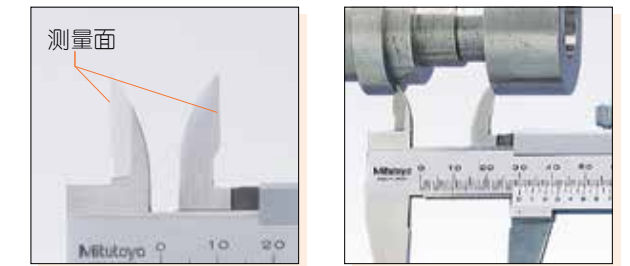
注) 左上方的0.15 mm (2)在主尺刻度与游标刻度重合的位置读取。

测量示例

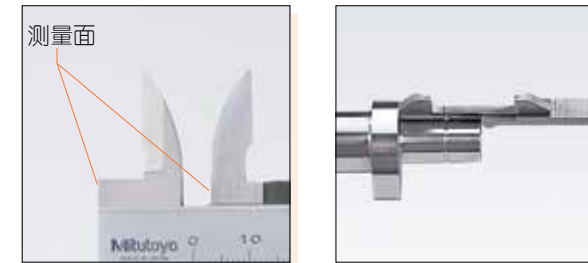
外尺寸测量



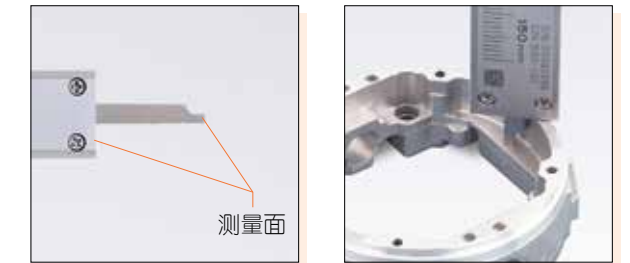
内尺寸测量



阶差测量

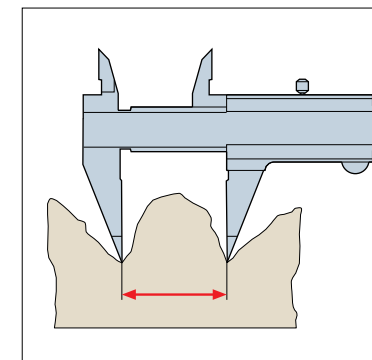


深度测量



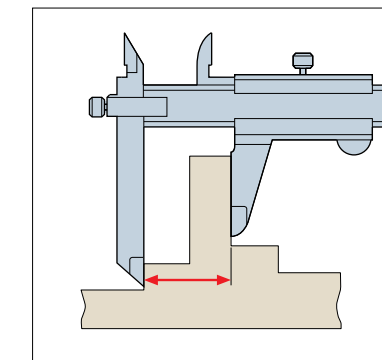
专用卡尺应用

尖爪型



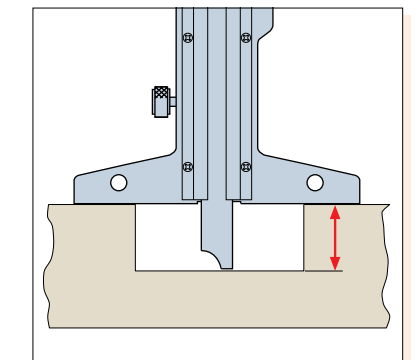
用于不规则位置的尺寸测量

偏置爪型



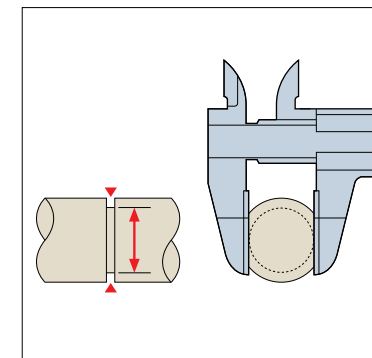
用于阶梯式特征测量

深度测量型



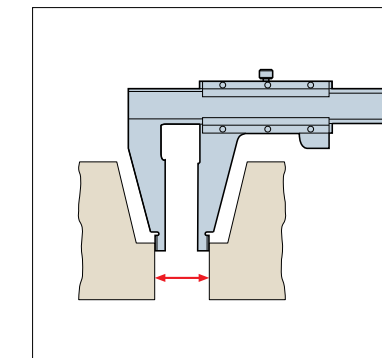
用于深度测量

薄片型



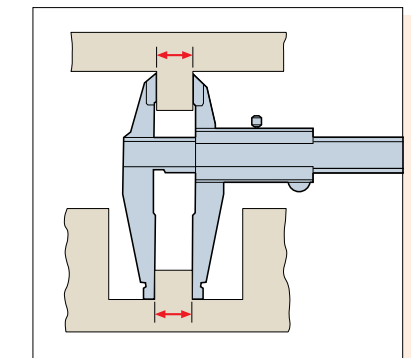
用于窄槽直径测量

C型



用于外径测量，如凹槽厚度

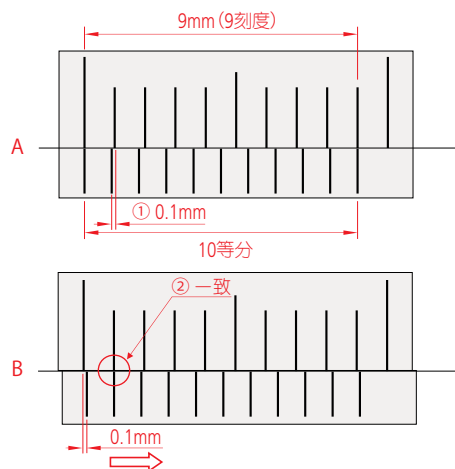
CN型



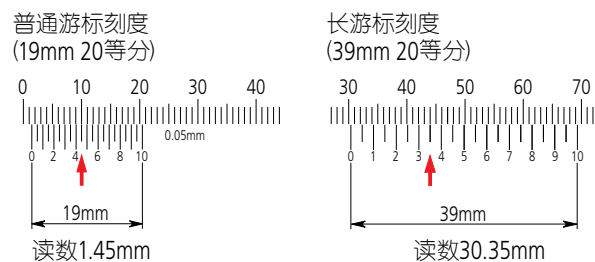
用于管壁厚度测量

游标刻度

游标尺连接到卡尺尺框上，并且该游标尺上的每个刻度比主标尺刻度1mm短0.05mm。这意味着，随着卡尺量爪打开，每次连续移动0.05mm均会使后续游标尺线与主标尺线重合，所以计数单位为0.05mm(尽管为方便起见，刻度以mm为单位计数)。或者，可使一个游标分格比主尺的两个分格短0.05mm，以形成长游标尺。这使刻度更易读，但原理和分度仍相同。见①如B图滑块向右方移动0.1mm时，与主标尺第2根刻度重合...进行步骤②，读取单位可以到0.1mm。



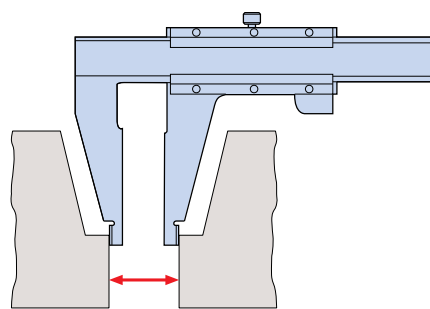
初期的游标卡尺是将主尺的19个刻度全部20等分，每一个分度为0.05mm，但是在狭窄的范围内寻找一致的线非常烦琐，因此，自20世纪70年代起通常使用的是将主尺的39个刻度全部20等分的长游标刻度。



为了读取比0.05mm更小的单位，也曾出现过将主尺的49个刻度均50等分，每一个分度为0.02mm类型的游标卡尺，不过，因数数码显示为0.01mm的数显卡尺的出现，现在这种类型的游标卡尺很少了。

关于长卡尺

钢尺通常用于粗略测量大型工件，但如果需要更高的精度，则长卡尺能够胜任。长卡尺非常方便用户使用，但在使用时须谨慎。首先，意识到分辨率与精度无关很重要。有关详细信息，请参阅我们产品样本中的值。由于分辨率是固定的，因此可获得的精度会因卡尺的使用方式而显著不同。由于主横梁变形会造成大量测量误差，因此精度会根据当时的卡尺支撑方法有很大差异，所以该仪器的测量方法是一个值得关注的问题。另外，使用外部测量面时，注意不要使用过大的测力，因为这些测量面离尺身最远，所以此处的误差最大。使用长量爪卡尺的外侧测量面尖端时，也必须使用该预防措施。



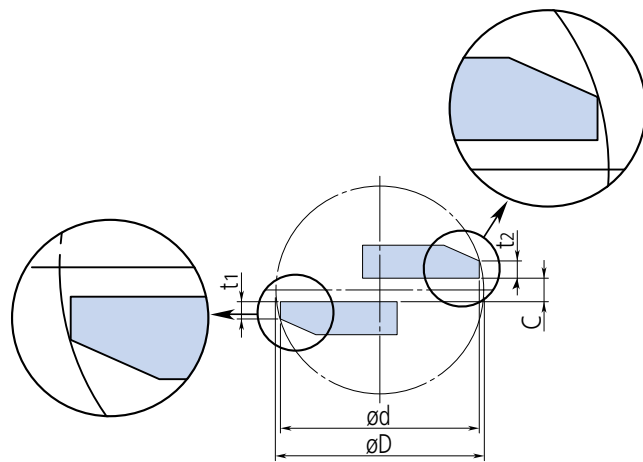
使用M型卡尺进行小孔测量

测量小孔内径时会出现结构性误差。

实际内径(øD: 5mm)

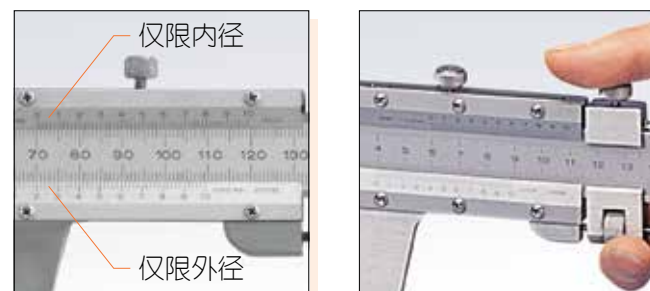
| | | | |
|----|-------|-------|-------|
| H | 0.3 | 0.5 | 0.7 |
| Δd | 0.009 | 0.026 | 0.047 |

øD : 真实内侧值
 ød : 实测内侧值
 t1, t2 : 内侧测量爪的厚度
 C : 内侧用测量爪的间隔
 Δd : 测量误差 øD-ød



使用CM型卡尺进行内部测量

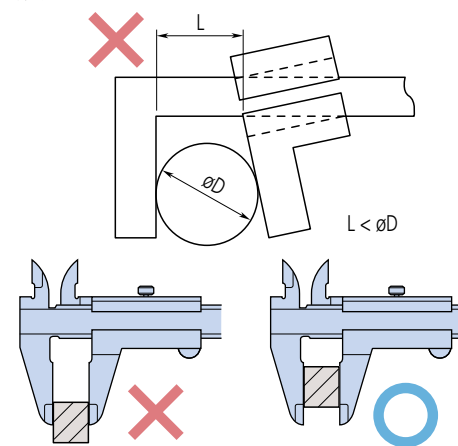
由于CM型卡尺的内部测量面位于量爪的尖端，因此测量面的平行度受测力的影响很大，这成为影响测量精度的重要因素。与M型卡尺相比，由于受阶梯式量爪尺寸限制，CM型卡尺无法测量非常小的孔径，通常这不会带来不便，因为必须用这类卡尺测量非常小的孔的情况很不寻常。当然，内部测量面上的曲率半径总是足够小，以便能够进行最低限度的正确孔径测量(量爪闭合)。三丰CM型卡尺在滑动部上提供了一个用于内部测量的额外刻度尺，因此可以像外部测量那样直接读取刻度，而无需计算。这项有用的功能消除了必须在单刻度卡尺上添加内部量爪厚度校准量时发生错误的可能性。



使用卡尺的一般注意事项

1.潜在误差原因

使用卡尺测量时，各种因素可能导致错误。主要因素包括视差效应、卡尺不符合阿贝原理而导致测力过大、卡尺与工件之间的温度差导致不同的热膨胀，以及在测量小孔直径时，刀口量爪厚度和这些量爪之间的间隙的影响。尽管也存在其他误差因素，如分度精度、基准边缘直线度、主标尺量爪的平面度和量爪垂直度，但这些因素均包含在仪器的允许误差内。因此，只要卡尺满足仪器允许误差，这些因素就不会引起问题。已将处理注意事项添加到JIS中，以便消费者在使用前可了解卡尺结构所引起的误差因素。这些注意事项与测力有关，并规定“由于卡尺无恒定测力装置，因此必须以适当的均匀测力测量工件。用量爪的根部或尖端测量时要格外小心，因为这种情况下可能会出现大误差。”



2.内尺寸测量

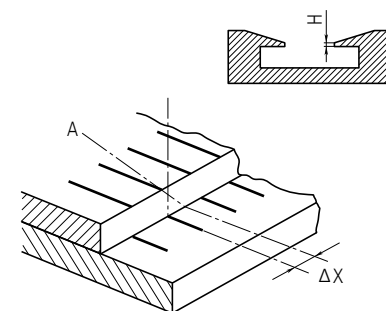
测量之前，请尽可能深地插入内部量爪。在内部测量期间读取最大指示值。在槽宽测量期间读取最小指示值。

3.深度测量

在深度测量期间读取最小指示值。

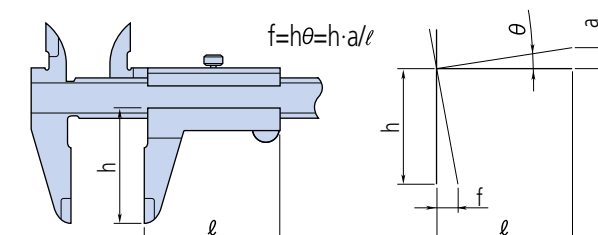
4.读取刻度时的视差

检查游标分度线与主尺分度线是否对准时，请直视游标分度线。如果从倾斜方向(A)查看游标分度线，则会由于游标分度与主尺分度面之间的阶梯高度(H)产生的视差效应，而导致明显的对准位置畸变ΔX(如下图所示)，从而造成测量值的读取误差。为避免该误差，JIS规定阶梯高度不得超过0.3 mm。



5.基准端面的弯曲

如果由于在尺框上施加过大的力或尺身的基准边缘的直线度不足，而导致与固定量爪平行的移动量爪倾斜，则会出现如图所示的测量误差。如果卡尺不符合阿贝原理，该误差可能很高。



示例：假设尺框倾斜导致50mm时的量爪倾斜误差为0.01mm，而外部量爪的深度为40mm，则误差(量爪尖端)计算公式为(40/50)×0.01mm = 0.008mm。如果导向面磨损，则即使使用正确的测力，也可能存在误差。

6.测量与温度之间的关系

卡尺的主标尺雕刻在(或安装在)不锈钢上，尽管线性热膨胀系数与最常见的工件材料(钢)相同，即(10.2 ± 1) × 10⁻⁶ / K，但请注意，其他工件材料、室温和工件温度可能影响测量精度。

7.操作

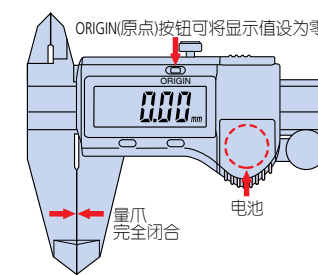
卡尺量爪很锋利，因此必须小心操作仪器，以免造成人身伤害。避免损坏数显卡尺的刻度，并且不要用电子记号笔在上面雕刻识别号或其他信息。避免让卡尺受硬物撞击或跌落在工作台或地板上，以免损坏卡尺。

8.滑动面与测量面维护

在使用卡尺之前，请用干软布擦去滑动面和测量面上的灰尘和污垢。

9.使用前检查并设置原点

通过在外部量爪之间夹一张干净的纸，然后将其慢慢拉出，可清洁测量面。使用卡尺之前，合上量爪并确保游标尺(或显示)的读数为零。使用数显卡尺时，请在更换电池后重设原点(ORIGIN按钮)。



10.使用后的处理

使用卡尺后，请彻底擦去水和油。然后，轻轻涂抹防锈油，晾干后再存放。还要擦去防水卡尺上的水，以免卡尺生锈。

11.存放时的注意事项

在存放期间，避免阳光直射、高温、低温和高湿度。如果数字卡尺超过三个月不使用，请在存放前取出电池。在存放期间，切勿使卡尺量爪完全闭合。

卡尺的性能评估方法

作为卡尺的日本工业标准，JIS B 7507于2016年修订并发布，并且已将用于指示卡尺误差的“器差”更改为“指示的最大允许误差(MPE)”。旧JIS“器差”采用规格范围(精度规格)等于合格范围的规格标准，并且OK/NG判断不包括测量不确定度。(图1)新JIS的“指示的最大允许误差(MPE)”采用了OK/NG判断的基本概念，同时考虑了ISO标准(ISO 14253-1)中采用的不确定性。当规格范围与合格范围相同时，明确规定符合与不符合验证使用国际认可的验收标准(简单验收)，如果满足考虑不确定性的给定条件，则可以接受规格范围等于合格范围。(图2)在这种情况下，国际认可的接受标准为ISO/TR 14253-6:2012。(图2)下文介绍了包括JIS 2016修订内容的标准检查方法。

图1 旧 JIS 规格 器差 JIS B 7507-1993

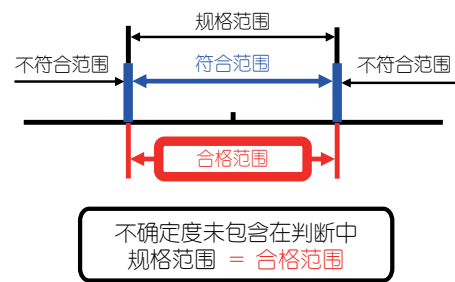
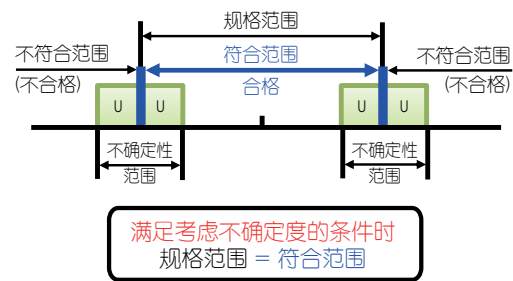


图2 新 JIS 规格 最大允许误差(MPE) JIS B 7507: 2016 (ISO/TR 14253-6: 2012)



局部测量面接触误差的最大允许误差 E_{MPE} [JIS B 7507:2016]

卡尺的局部测量面接触误差是应用于外部测量的指示误差。表1显示了局部测量面接触误差指示值的最大允许误差 E_{MPE} 。通过在外测量面之间(图3)插入量块、同等量块或更高级别的量块，并在测量范围内的任意位置沿量爪测量不同位置，然后从指示值减去量块尺寸，可得出该值。

刻度偏移误差 S_{MPE} [JIS B 7507: 2016]

如果使用外部测量面以外的其他测量面，则卡尺中的刻度偏移误差为内部测量、深度测量的指示误差。内部测量指示值的最大允许误差 S_{MPE} 等于表1中指示的值。通过将表1中指示的值加0.02 mm，可获得深度测量的最大允许误差 S_{MPE} 。通过在测量范围内的任意位置(图4)测量量块、同等量块或更高级别的量块的内部测量面的内径，然后从指示值减去量块尺寸，可获得内部测量指示误差。

单位: mm

| 测量长度 | 刻度间隔、分度或分辨率 | |
|---------------|-------------|--------|
| | 0.05 | 0.02 |
| 50或以下 | ± 0.05 | ± 0.02 |
| 超过50, 100或以下 | ± 0.06 | ± 0.03 |
| 超过100, 200或以下 | ± 0.07 | |
| 超过200, 300或以下 | ± 0.08 | ± 0.04 |

注: E_{MPE} 包括测量面的直线度、平坦度和平行度测量误差。

表1: 局部测量面接触误差的最大允许误差 E_{MPE}

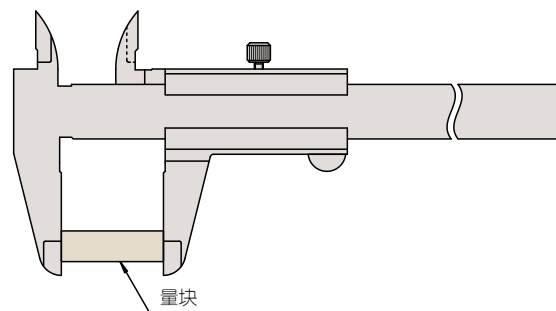


图3: 局部测量面接触误差的测量

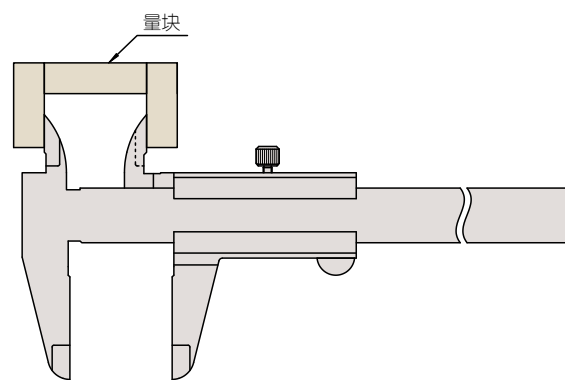


图4: 刻度偏移误差测量(内部测量)

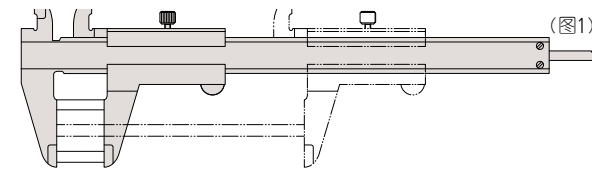
支持ISO13385-1: 2019版

卡尺的ISO标准ISO13385-1于2019年8月作为ISO13385-1:2019进行了修订并发布。这次修订的最大亮点是卡尺精度的标记方法和检查方法等使用了更具体的数值化方式。当然关于数值化内容的测量、检查手段是按照一定的方法和基准标准制定的，并不影响常规卡尺的质量。这里对修订后的ISO13385-1:2019的重点和变更部分进行说明。

局部测量面接触误差 E_{MPE}

卡尺的局部测量面接触误差是应用于外部测量的指示误差。在修订后的ISO-2019版中，针对至今为止委托给制造商的基准的测量点、测量数量、测量配置等试验方法和基准，按照测量范围进行了数值化。(图1、表1)

例) 测量范围150mm的卡尺需要5个以上的测量点。



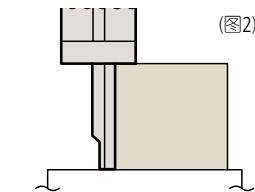
局部测量面接触误差的测量点的数量(表1)

| 测量范围(mm) | 最少测量点 |
|----------|-------|
| 150 | 5 |
| 300 | 6 |
| 1000 | 7 |
| 1000以上 | 8 |

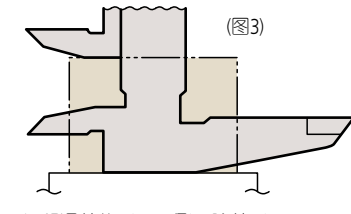
新修订中规定了，作为测量配置可对产品测量范围90%以上的点进行测量，包括最大/最小点的测量和量爪的底部和尖端的测量，所以按照新规定的标准进行测量是非常重要的。如150mm型的测量示例，在ISO-2019版中，卡尺测量范围150mm的情况下，最少需要5个以上的测量点。(表1)为了符合ISO-2019标准，需要5个以上的测量点。这5个以上的点要包括最大/最小点的测量和量爪的底部和尖端的测量。合计测量数量为5个点。

偏移误差 S_{MPE}

卡尺的偏移误差是外部测量面以外的指示误差。在ISO-2019年版中，外部测量误差(E_{MPE})以外的测量误差(内侧、深度、阶差、内径测量误差)全部为偏移误差(S_{MPE})。为使偏移误差中包含的误差种类更加具体，重新规定了测量点数量和测量点的数值。(图2、图3、表3)



偏移误差的测量示例—深度测量



偏移误差的测量示例—阶差测量

【示例】阶差/深度测量
【ISO13385-1: 2019规格】 (表3)

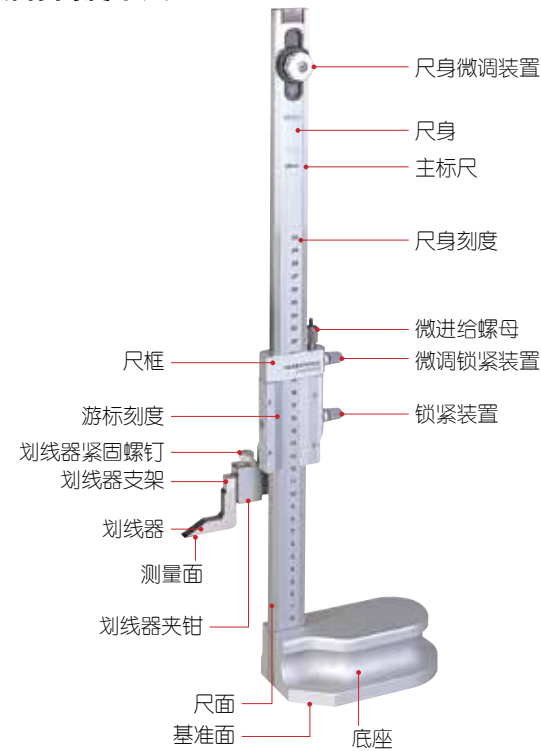
| 测量点数 | 测量点 | 基准器 |
|------|---------|-----|
| 1 | 50 mm以下 | 量块 |

以深度测量和阶差测量为例，具体规定了测量点数量1点以上，测量点50mm以下，测量配置使用量块等内容。(参照表3)

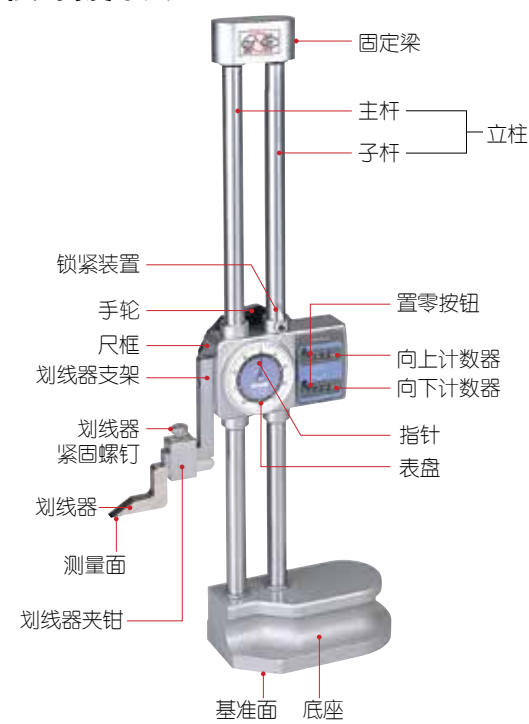
高度卡尺

术语

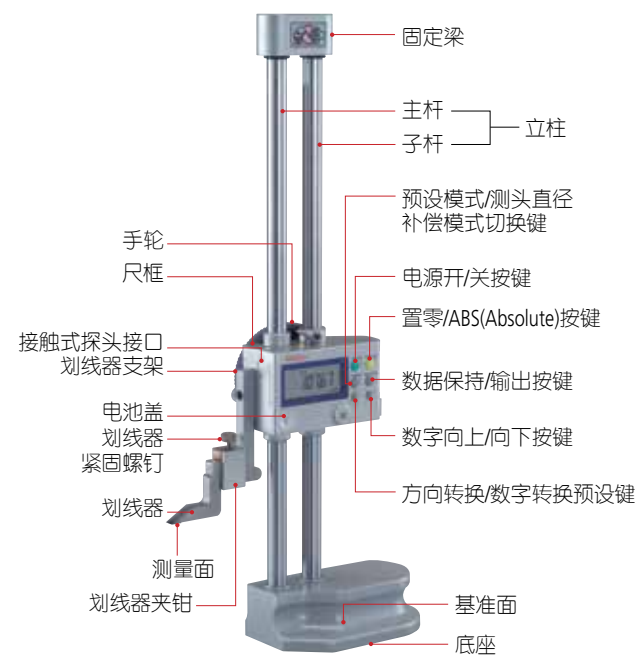
游标高度卡尺



带表高度卡尺



Digimatic高度卡尺



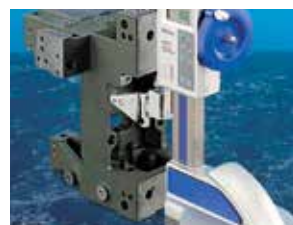
带有可选附件和其他测量工具的高度卡尺应用



测试指示器附件



接触式测头附件



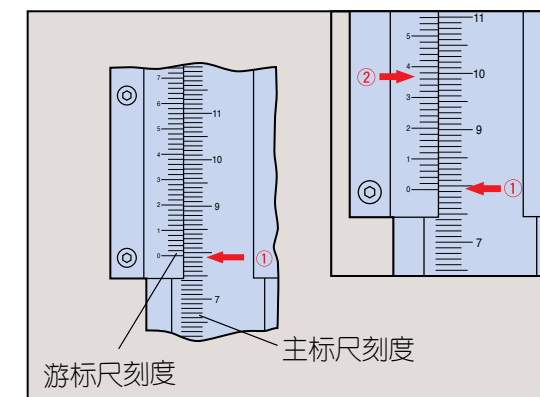
中心测头附件



深度规附件

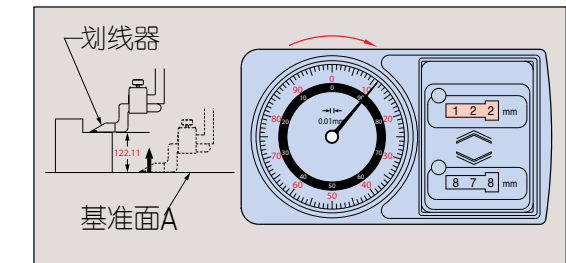
如何读取

游标高度卡尺



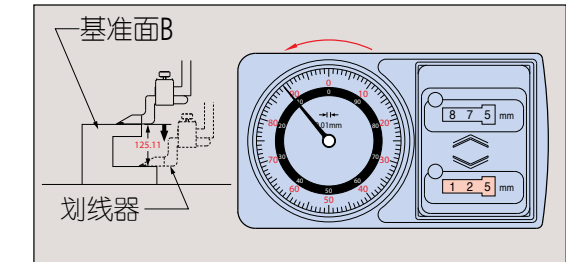
| 分度值 | 0.02mm |
|-----------|----------|
| ① 主标尺刻度读数 | 79.00 mm |
| ② 游标尺刻度读数 | 0.36 mm |
| 读数 | 79.36 mm |

带表高度卡尺 从基准面A向上测量



| | |
|-------|-----------|
| ① 计数器 | 122.00 mm |
| ② 表盘 | 0.11 mm |
| 读数 | 122.11 mm |

从基准面B向下测量



| | |
|-------|-----------|
| ① 计数器 | 125.00 mm |
| ② 表盘 | 0.11 mm |
| 读数 | 125.11 mm |

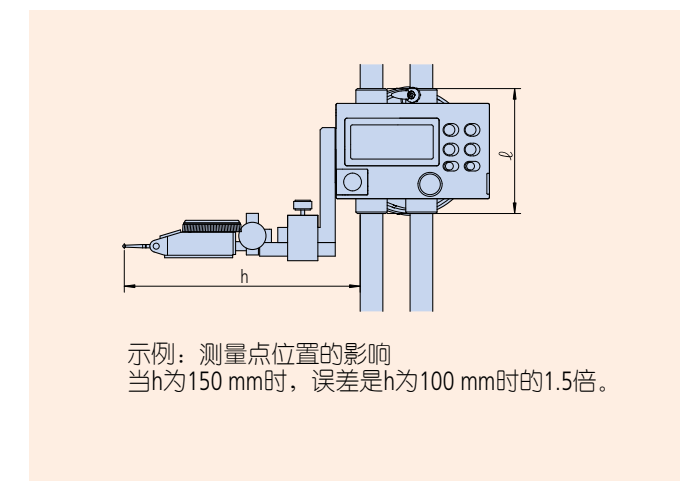
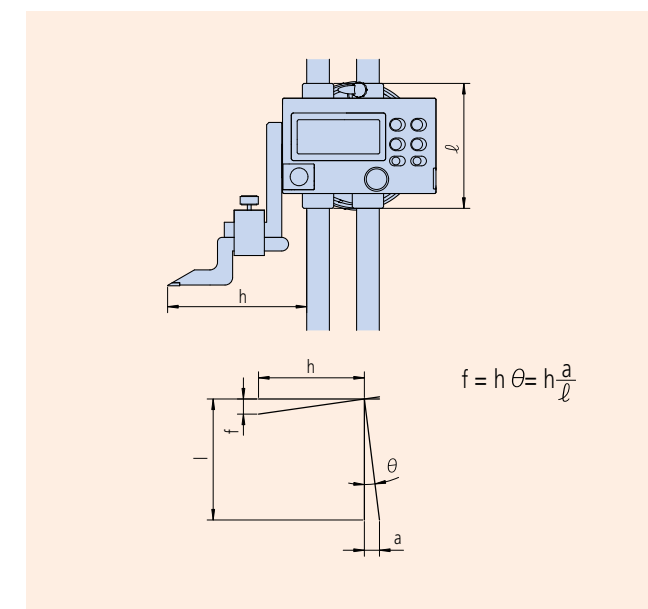
使用高度卡尺的一般注意事项

1. 潜在误差原因

像卡尺那样，所涉及的误差因素包括视差效应、测力过大而引起的误差(由于高度卡尺不符合阿贝原理)以及高度卡尺和工件之间的温差引起的差分热膨胀。高度卡尺的结构还会引起其他误差因素。特别是，在使用前，应研究与下述翘曲基准边和划线器安装有关的误差因素。

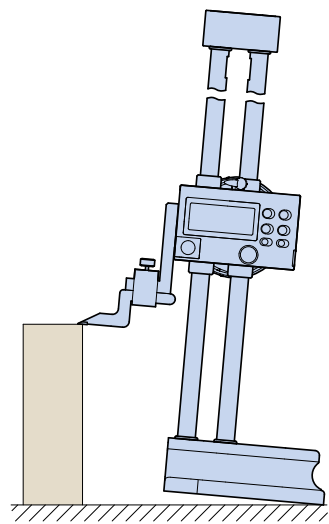
2. 基准端面(立柱)翘曲和划线器安装

正如卡尺那样，如下图所示，使用高度卡尺时，如果引导滑块的基准立柱翘曲，则会引起测量误差。对于因不符合阿贝原理而引起的误差，可用相同的计算公式来表示该误差。安装划线器(或杠杆指示表)需要仔细考虑，因为这会通过在上述公式中增加尺寸h，而影响基准立柱翘曲所引起的任何误差的大小。换言之，如果使用了可选的长划线器或杠杆指示表，则测量误差会变大。



3.底座的上翘

通过量块堆栈或工件特征设置划线器高度时，如果在滑动部上施加过大的向下力，则底座可能从平台上抬起，这会导致测量误差。为精确设置，在量块表面(或特征面)上来回移动划线器尖端时，请缓慢向下移动滑动部。正确设置的方法是，当划线器在表面边缘之上移动时，仅轻轻接触。使用前，还必须确保平台和高度卡尺底座基准面无灰尘或毛刺。



4.主尺(立柱)倾斜而引起的误差

根据JIS标准，立柱基准端面与底座基准面的垂直度应优于：

$$\left(0.01 + \frac{L}{1000}\right) \text{ mm} \quad L \text{ 表示测量长度(单位: mm)}$$

这不是一个非常繁琐的规范。例如，当L为600 mm时，允许的垂直极限为0.61mm。这是因为，与翘曲立柱不同的是，该误差系数的影响较小，而且不会改变滑动部的倾斜度。

5.精度与温度之间的关系

高度卡尺由多种材料制成。请注意，如果不通过执行校准计算来允许这种影响，则某些工件材料、室温 and 工件温度组合可能会影响测量精度。

6.高度卡尺划线器的尖端非常锋利，为避免造成人身伤害，必须小心操作。

7.请勿用电子记号笔在数字高度卡尺标尺上雕刻识别号或其他信息，以免损坏标尺。

8.小心操作高度卡尺，以免掉落或撞到任何东西。

使用高度卡尺的注意事项

- 1.使引导滑动部的立柱保持干净。如果灰尘或污垢积聚在上面，则滑动将变得困难，从而导致设置和测量错误。
- 2.划线时，使用提供的夹紧装置将滑动部牢牢锁定在适当位置。建议在夹紧后确认设置，因为某些高度卡尺上的夹紧动作可能会稍微改变设置。如果出现这种情况，在设置时必须为该效应留出余量。
- 3.划线器测量面和底座基准面之间的平行度应为0.01 mm或更高。测量前安装划线器或杠杆指示表时，请去除安装面上的任何灰尘或毛刺。在测量过程中，将划线器和其他部件牢牢固定在适当位置。
- 4.如果高度卡尺的主尺可移动，请根据需要移动，以设置零点，然后牢牢拧紧固定螺母。
- 5.视差引起的误差不可忽略。读取值时，请始终直视分度。
- 6.使用后的处理：彻底擦去任何水和油。轻轻地涂抹一层薄薄的防锈油，晾干后再存放。
- 7.存放时的注意事项：
在存放期间，避免阳光直射、高温、低温和高湿度。
如果数字高度卡尺超过三个月不使用，请在存放前取出电池。
如果提供了保护盖，请在存放期间盖上保护盖，以免灰尘粘在立柱上。

高度卡尺的性能评估方法

作为高度卡尺的日本工业标准，JIS B 7517于2018年修订并发布，并且已将用于指示高度卡尺误差的“器差”更改为“指示的最大允许误差(MPE)”。

旧JIS“器差”采用规格范围(精度规格)等于合格范围的规格标准，并且OK/NG判断不包括测量不确定性。(图1)

新JIS的“指示的最大允许误差(MPE)”采用了OK/NG判断的基本概念，同时考虑了ISO标准(ISO 14253-1)中采用的不确定性。

当规格范围与合格范围相同时，明确规定符合与不符合验证使用国际认可的验收标准(简单验收)，如果满足考虑不确定性的给定条件，则可以接受规格范围等于合格范围。

在这种情况下，国际认可的接受标准为ISO/TR 14253-6:2012。

(图2)

下文介绍了包括JIS 2018修订内容的标准检查方法。

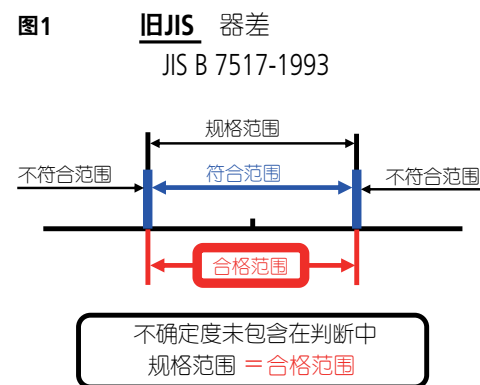
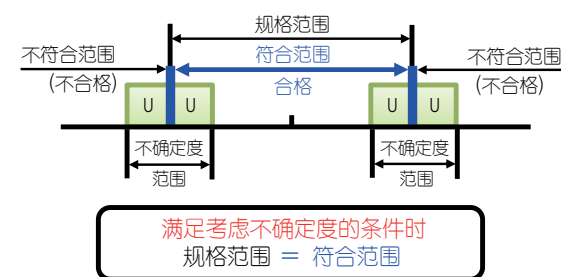


图2 新JIS 最大允许误差MPE
JIS B 7517: 2018 (ISO/TR 14253-6:2012)



高度测量的最大允许误差测量 E_{MPE} [JIS B 7517: 2018]

高度卡尺中的高度测量误差是指当参考边(列)垂直于基本参考表面并且接触方向向下时的指示误差。表1列出了最大允许的高度测量误差 E_{MPE} 。

通过在精密面板(图3)上用高度卡尺测量量块或等效物，然后从测得的尺寸中减去量块的尺寸，可以得到任何所需高度的 E_{MPE} 。

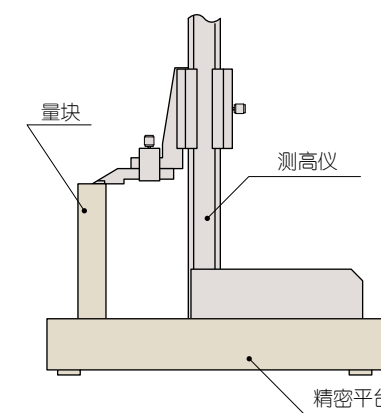
表1：常规高度卡尺的最大允许高度测量误差 E_{MPE}

单位: mm

| 测量高度 | 刻度间隔, 分度或分辨力 | |
|---------------|--------------|-------------|
| | 0.05 | 0.02 或 0.01 |
| 50以下 | ±0.05 | ±0.02 |
| 大于50, 小于100 | ±0.06 | ±0.03 |
| 大于100, 小于200 | ±0.07 | |
| 大于200, 小于300 | ±0.08 | ±0.04 |
| 大于300, 小于400 | ±0.09 | |
| 大于400, 小于500 | ±0.10 | ±0.05 |
| 大于500, 小于600 | ±0.11 | |
| 大于600, 小于700 | ±0.12 | ±0.06 |
| 大于700, 小于800 | ±0.13 | |
| 大于800, 小于900 | ±0.14 | ±0.07 |
| 大于900, 小于1000 | ±0.15 | |

注意： E_{MPE} 包括由于测量的直线度，平面度而造成的测量误差曲面和与参考曲面的平行度。

图3：高度测量误差的测定



深度尺的性能评估方法

作为深度尺的日本工业标准, JIS B 7518于2018年修订并发布, 并且已将用于指示深度尺误差的“器差”更改为“指示的最大允许误差(MPE)”。

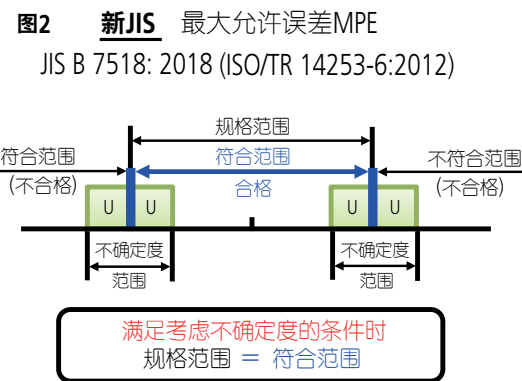
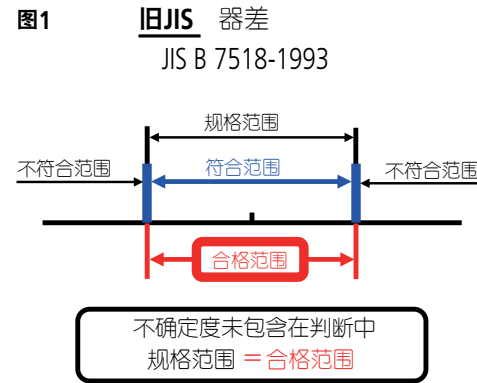
旧JIS“器差”采用规格范围(精度规格)等于合格范围的规格标准, 并且OK/NG判断不包括测量不确定性。(图1)

新JIS的“指示的最大允许误差(MPE)”采用了OK/NG判断的基本概念, 同时考虑了ISO标准(ISO 14253-1)中采用的不确定性。

当规格范围与合格范围相同时, 明确规定符合与不符合验证使用国际认可的验收标准(简单验收), 如果满足考虑不确定性的给定条件, 则可以接受规格范围等于合格范围。

在这种情况下, 国际认可的接受标准为ISO/TR 14253-6:2012。(图2)

下文介绍了包括JIS 2018修订内容的标准检查方法。



深度测量的最大允许误差测量 E_{MPE} [JIS B 7518: 2018]

深度尺的最大允许误差 E_{MPE} 是指应用于深度测量的指示误差。表1显示出了局部测量表面接触误差的指示值的最大允许误差 E_{MPE} 。

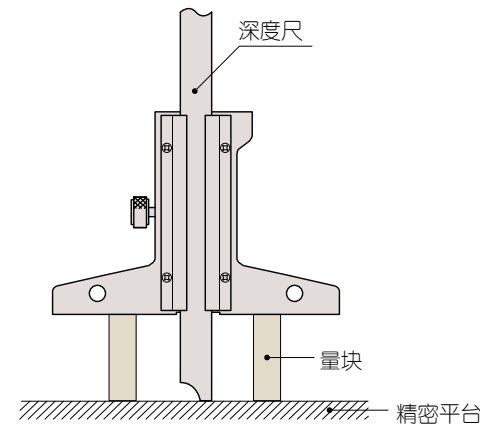
通过在精密面板(图3)上用深度尺测量两个等长的量块或等效物的高度, 然后从测量的尺寸中减去量块的尺寸, 可以得到任意高度的 E_{MPE} 。

表1: 常规深度尺的最大允许误差 E_{MPE}

| 测量深度 | 标度间隔, 刻度或分辨率 | |
|--------------|--------------|-------------|
| | 0.05 | 0.02 或 0.01 |
| 50以下 | ±0.05 | ±0.02 |
| 大于50, 小于100 | ±0.06 | ±0.03 |
| 大于100, 小于200 | ±0.07 | |
| 大于200, 小于300 | ±0.08 | ±0.04 |
| 大于300, 小于400 | ±0.09 | |
| 大于400, 小于500 | ±0.10 | ±0.05 |
| 大于500, 小于600 | ±0.11 | |

注意: E_{MPE} 包括由于测量平面的平直度, 平面度和与参考平面的平行度而造成的测量误差。

图3: 深度测量误差的测定



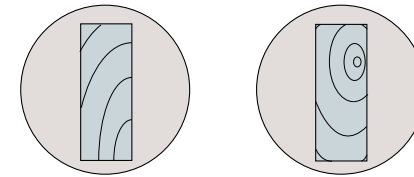
米的定义

1983年的第17届度量衡大会确定了米单位的新定义, 即在1/299 792 458秒的时间内, 光在真空中的行进路径长度。量块是该单位的实际实现, 因此广泛用于整个行业。

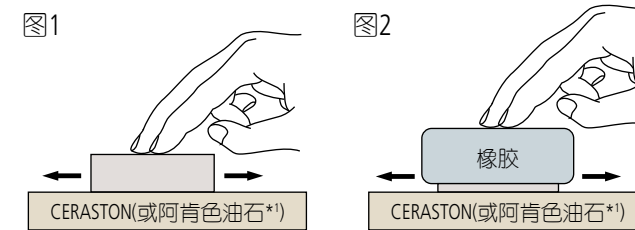
量块研合的选择、准备和组装

选择要组合的量块, 以构成研合所需的尺寸。

- 选择量块时, 要考虑以下几点。
 - 尽可能最大限度地减少量块的使用数量。
 - 尽可能选择厚量块。
 - 选择具有所需最低有效位的量块尺寸, 然后依次选择有效位更高的量块尺寸。
- 用适当的清洗液清洁量块。
- 按以下方式使用平面平晶检查测量面是否有毛刺:

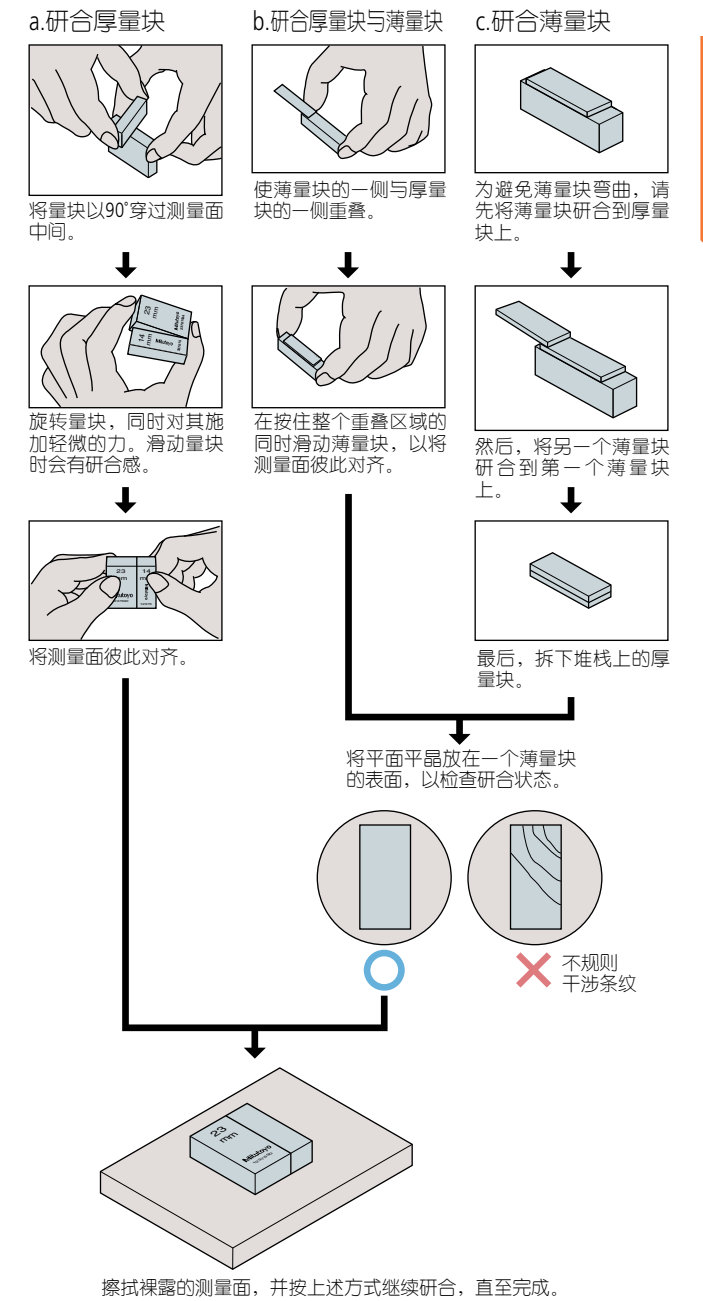


- 擦净每个测量面。
- 轻轻地将平面平晶放在量块测量面上。
- 轻轻地滑动平面平晶, 直至出现干涉条纹。
 - 判断1: 如果没有出现干涉条纹, 则认为测量面上存在大毛刺或污染物。
 - 判断2: 如果干涉条纹消失, 则说明测量面上不存在毛刺。
 - 判断3: 如果轻轻来回移动平面平晶时, 局部残留一些干涉条纹, 则说明测量面上存在毛刺。如果条纹随平面平晶移动, 则说明平面平晶上存在毛刺。
- 轻轻按压平面平晶, 以检查干涉条纹是否消失。
 - 判断2: 如果干涉条纹消失, 则说明测量面上不存在毛刺。
 - 判断3: 如果轻轻来回移动平面平晶时, 局部残留一些干涉条纹, 则说明测量面上存在毛刺。如果条纹随平面平晶移动, 则说明平面平晶上存在毛刺。
- 使用平坦的研磨石去除测量面上的毛刺(如果有)。有关步骤, 请参见下图。



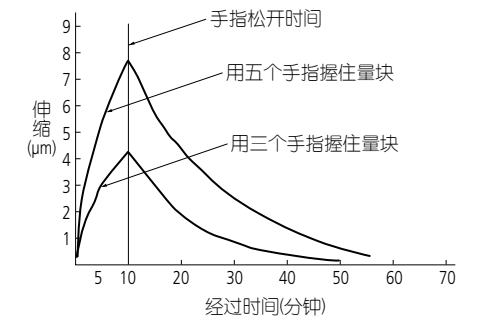
- 用溶剂擦掉量块和Ceraston(或阿肯色油石)上的所有灰尘和油膜。
- 将量块放在Ceraston上, 使具有毛刺的测量面位于磨石的研磨面上轻压量块, 将量块来回摩擦约十次(图1)。在薄量块中使用块状橡胶, 以获得均匀的压力(图2)。
- 用平面平晶检查测量面是否有毛刺。如果尚未去除毛刺, 请重复步骤(2)。如果毛刺太大, 则无法用磨石去除。请更换量块。
*1 三丰不提供阿肯色油石。
- 在测量面上涂抹少量的油脂并将其均匀地涂抹在测量面上。(擦拭测量面, 直至几乎完全清除油膜。)通常使用润滑油、测微螺杆油、凡士林等。

- 轻轻覆盖要研合在一起的量块表面。根据所研合的量块尺寸, 可使用三种方法(如下所示的a、b和c):



温度恒定时间

下图显示了徒手操作100mm钢制量块时的尺寸变化程度。



指针表和杠杆指示表

术语

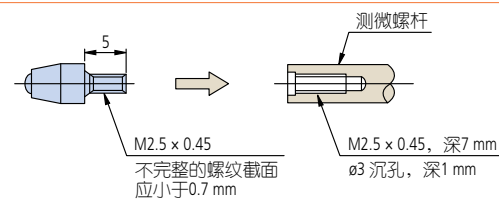


指示表安装方法

| | | | |
|------|----|---|--|
| 轴套安装 | 方法 | <p>直接用螺丝夹紧轴套</p> | <p>通过夹钳固定轴套</p> |
| | 注 | <ul style="list-style-type: none"> • 安装孔公差: $\phi 8G7(+0.005$至$0.02)$ • 固定螺丝: M4至M6 • 固定位置: 距轴套下边缘8 mm或更远 • 最大扭矩: 用单个M5螺丝固定时为150 N·cm • 请注意, 扭矩过大可能会引起测杆的动作不良。 | <ul style="list-style-type: none"> • 安装孔公差: $\phi 8G7(+0.005$至$0.02)$ |
| 凸耳安装 | 方法 | <p>M6螺丝 平垫圈</p> | |
| | 注 | <ul style="list-style-type: none"> • 根据应用, 可将耳夹的方向改变90度。(出厂时为纵向) • 但是, 某些1系列型号(No.1911T-10、1913T-10&1003T)的耳夹不能更改为水平。 • 相对测量面将测杆呈直角固定, 倾斜过大会造成测量误差。 | |

指示表测针

- 采用M2.5 x 0.45的标准化螺纹(长度: 5 mm)。
- 制作测头时, 螺丝根部的不完整螺纹截面应小于0.7 mm。

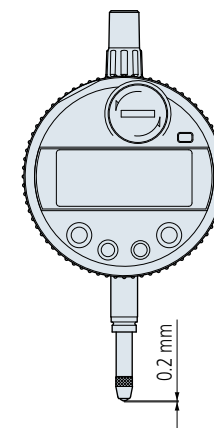


测量方向

| 位置 | 备注 |
|-----------------|---|
| 垂直位置 (接触点朝下) | — |
| 横向位置 (主轴水平) | 如果以横向位置或倒置位置进行测量, 则测力小于垂直位置的测力。在这种情况下, 务必检查指示器或数字显示屏的操作与可重复性。有关根据数字指示器和表盘标尺的位置的保证操作规格, 请参见一般目录中的产品说明。 |
| 倒置位置 (接触点朝上) | |

设置数显指示表的原点

- 对于数显指示表, 无法保证距行程终点0.2 mm的范围内的规格。设置零点或预设特定值时, 务必将测微螺杆从行程末端至少抬起0.2 mm。



测杆使用注意事项

- 请勿润滑测杆。否则可能导致灰尘积聚, 从而导致故障。
- 如果测杆移动不良, 请用干布或浸有酒精的布擦拭测杆上下面。如果清洁后仍无法改善移动, 请联系三丰进行维修。
- 在进行测量或校准之前, 确认测杆是否能顺畅地上下移动, 以及零点的稳定性。

指针表和杠杆指示表

指示表标准B7503: 2017(摘自JIS/日本工业标准)

| 项目 | 型号 | 测量方法 (零点固定) | 评估方法 (通过移动零点进行性能评估) | 测量示例 |
|------|--------------|--|--|--|
| 示值误差 | 整个测量范围内的指示误差 | 将指针式指示表固定在支架上,并在逐渐缩回测杆的同时读取下一点的指示误差*1。 -前两转为每次1/10转*2 -第二转到第五转为每次半转 -第五转到第十转为每次一转 -第十转到第五十转为每次五转 -50转后为每次十转 接下来,在使测杆回缩三个长指针分度以上后,逐渐伸出测杆,并在缩回方向的相同测量点上读取指示误差。 | 从缩回和伸出方向获取所有测量点指示误差的最大和最小值之间的差值。 |  |
| | 1/10转指示误差 | | 在回缩和伸出方向的前两转期间,获取相邻测量点每1/10转的指示误差的最大差值*3。 | |
| | 1/2转指示误差 | | 在回缩和伸出方向的前五转期间,获取整个测量范围每1/2转的最大和最小指示误差的最大差值。 | |
| | 1转指示误差 | | 在回缩和伸出方向的前十转期间,获取整个测量范围每转的最大和最小指示误差的最大差值。 | |
| 回程误差 | 单转或多转指示表 | | 根据同一测量点在正向和反向上的指示误差,获取所有测量点的最大差值。 | |
| 重复精度 | | 将指示表固定在支架上,将测微螺杆回缩至测量范围内的所需位置。然后,快速和慢速伸出测微螺杆三次,并读取每个值。 | 获取五个指示值的最大差值。 |  |
| 测力 | 单转或多转指示表 | 将指示表固定在支架上,连续并逐渐伸出和缩回测微螺杆,然后读取零点和终点的测力。 | 获取同一测量点的最大测力、最小测力以及缩回和伸出方向的测力差值。 |  |

*1: 对于如何读取指示误差,可读取长指针与分度对准时的测量仪器输入量,或根据测量仪的移动量读取指示表的指示值。
*2: 对于单转指示表,每10个分度读取一次指示误差。
*3: 对于单转指示表,可以相邻10个分度的间隔获取指示误差的最大差值。

最大允许误差

| 分度(mm) | 按测量特征的最大允许误差(MPE) --外圈直径为50 mm或以上的指示表 | | | | | | | | 按测量特征的最大允许误差(MPE) --外圈直径为50 mm或以下的指示表以及 后部柱塞式指示表 | | | | | | | | | | |
|----------|--|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|--|------|----------|----------|------|----------|----------|-----------|------|------|-------|
| | 0.01 | | | | 0.005 | 0.001 | | | | 0.01 | | | | 0.005 | 0.002 | | | | 0.001 |
| 测量范围(mm) | 1或以下 | 大于1, 直至3 | 大于3, 直至5 | 大于5, 直至10 | 大于10, 直至20 | 大于20, 直至30 | 大于30, 直至50 | 大于50, 直至100 | 5或以下 | 1或以下 | 大于1, 直至2 | 大于2, 直至5 | 1或以下 | 大于1, 直至3 | 大于3, 直至5 | 大于5, 直至10 | 5或以下 | 1或以下 | 1或以下 |
| 回程误差(μm) | 3 | 3 | 3 | 5 | 7 | 8 | 9 | 9 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3.5 | 2.5 | 2 |
| 重复精度(μm) | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 0.5 | 0.5 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 指示误差 | 任意1/10转(μm) | 5 | 5 | 5 | 8 | 10 | 10 | 12 | 5 | 2 | 2 | 3.5 | 8 | 8 | 8 | 9 | 6 | 2.5 | 2.5 |
| | 任意1/2转(μm) | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 12 | 12 | 9 | 3.5 | 4 | 5 | 11 | 11 | 12 | 12 | 9 | 4.5 | 4 |
| | 任意一转(μm) | 8 | 9 | 10 | 10 | 15 | 15 | 15 | 10 | 4 | 5 | 6 | 12 | 12 | 14 | 14 | 10 | 5 | 4.5 |
| | 整个测量范围(μm) | 8 | 10 | 12 | 15 | 25 | 30 | 40 | 50 | 12 | 5 | 7 | 10 | 15 | 16 | 18 | 20 | 12 | 6 |

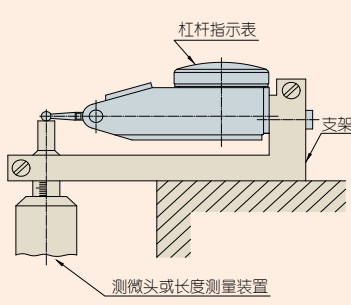
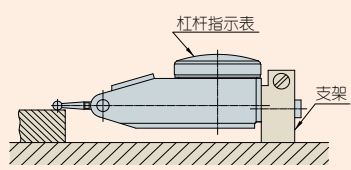
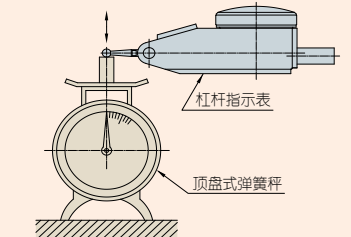
单转式指示表的MPE未定义任意1/2和1转的指示误差。

* 单转式指示表的最大允许误差(MPE)未指定任意1/2转和1转的指示误差。
* MPE表示20 °C时的值, JIS B 0680将该值定义为标准温度。
* 如果制造商未指定测量特征, 则指示表的测量特征必须在任何姿态下, 在测量范围内的任何位置满足最大允许误差(MPE)和测力允许限制(MPL)。

指示表B 7503: 2017

- 我们通过以垂直位置检查成品来保证其精度。标配的检查成绩单包括检验数据。
- 如果需要, 我们可签发针对水平或相反姿态的提供有偿检查成绩单。
- 据说, 为评估与规格的兼容性, 应采用JIS B 0641-1标准或国际认可的规格范围与合格范围相同的标准。另外, 最好根据ISO 14253-2和ISO/IEC指南98-3来评估不确定度。因此, 我们一如既往地对手表进行包括校准不确定度在内的运输检查。

杠杆指示表B7533: 2015(摘自JIS/日本工业标准)

| 序号 | 项目 | 测量方法 | 测量点 | 评估方法 | 图解 |
|----|------------------|--|-----------------------|---|--|
| 1 | 整个测量范围内的指示误差(正向) | 握住杠杆指示表, 在指示值和指示误差被设为零的接触点静止点附近定义参考点。然后, 向前移动接触点, 并读取每个测量点的指示误差。接下来, 从测量范围的末端将接触点移动超过三个分度后, 向后移动接触点, 并在正向的相同测量点读取指示误差。(正向是与杠杆指示表接触点的测力相反的方向, 而反向则为测力施加方向。) | 从参考点到终点的正向和反向的每10个分度。 | 从正向获取所有测量点指示误差的最大和最小值之间的差值。 |  |
| 2 | 10个分度指示误差 | | | 从参考点到终点的正向方向上, 获取每10个分度的相邻测量点的指示误差的最大差值。 | |
| 3 | 1转指示误差 | | | 从参考点到终点的正向方向上, 通过零点固定法, 获取在整个测量范围内通过零点固定法读取的每1转的最大和最小指示误差的最大差值。 | |
| 4 | 回程误差 | | | 根据在所有测量点中的正向和反向的同一测量点的指示误差, 获取最大差值。 | |
| 5 | 重复精度 | 握住杠杆指示表, 使其测针与测量台的顶面平行, 在测量范围内的所需位置快速和缓慢移动接触点五次, 并读取每个点的指示值。 | 在测量范围内的任意点 | 获得五个测量值的最大差值。 |  |
| 6 | 测力 | 握住杠杆指示表, 向前和向后连续逐渐移动接触点, 并读取测量范围内的测力。 | 测量范围内的参考点和终点 | 获取与测力有关的最大值和最小值。 |  |

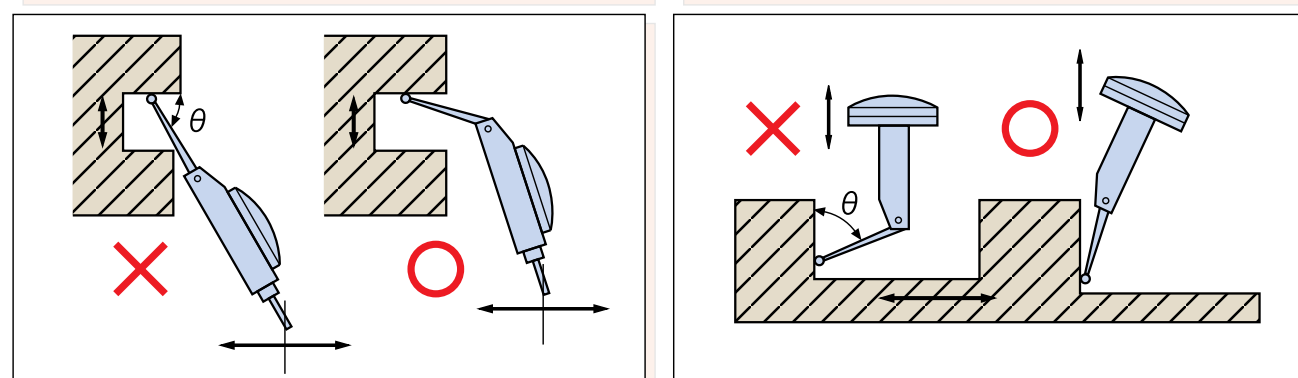
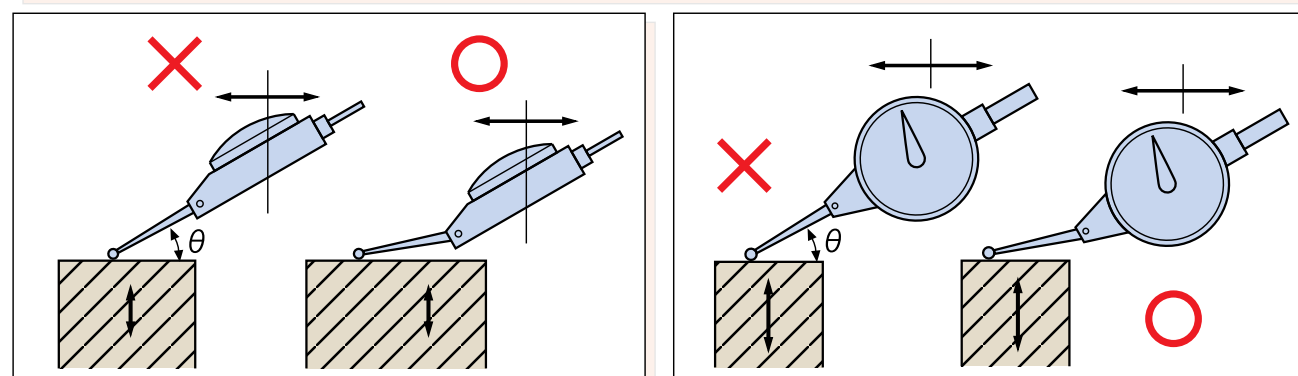
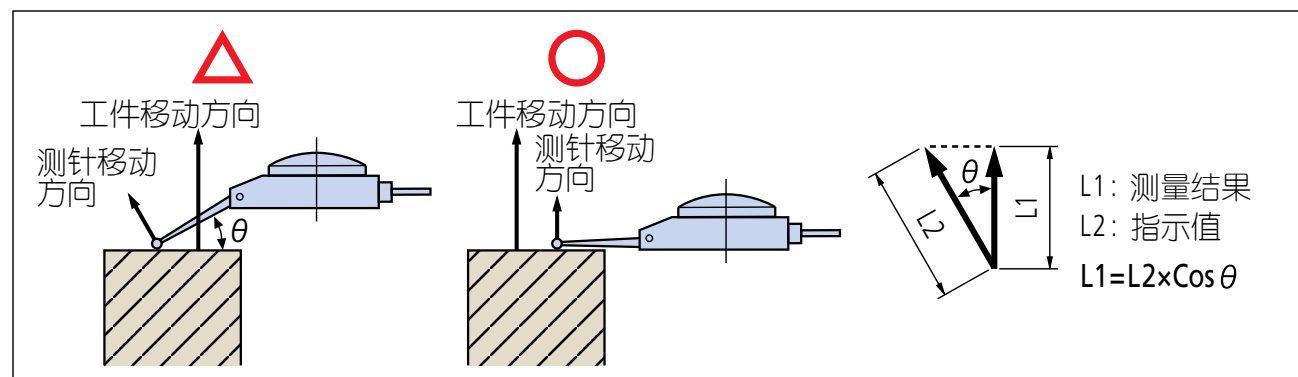
最大允许误差和误差允许值

| 分度值(mm) | 0.001/0.002 | | | | 0.01 | | | |
|----------|-------------|--|--------------|--------------|---------|---|--------------|--------------|
| | 1回程 | | 多回程 | | 1回程 | | 多回程 | |
| 回程数 | 0.3或以下 | | 大于0.3, 直至0.5 | 大于0.5, 直至0.6 | 0.5或以下 | | 大于0.5, 直至0.6 | 大于1.0, 直至1.6 |
| 测量范围(mm) | L1 < 35 | | 35 < L1 | | L1 < 35 | | 35 < L1 | |
| | 4 | | 6 | 7 | 6 | 9 | 10 | 16 |
| 指示误差(μm) | — | | 5 | 5 | — | | 10 | |
| | 2 | | 2 | 2 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 回程误差(μm) | 3 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 重复精度(μm) | 1 | | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 测力(N) | 0.5 | | 0.5 | 0.5 | 0.5 | | 0.5 | 0.5 |
| | 0.01 | | 0.01 | 0.01 | 0.01 | | 0.01 | 0.01 |

指针表和杠杆指示表

杠杆指示表的角度误差

使用期间，在移动方向尽量减小角度。



如果任何指示器的测量方向与预期测量方向不一致(余弦效应)，则其读数不能代表精确测量结果。由于指示表的测量方向与通过接触点和测针枢轴绘制的直线成直角，因此可通过将测针设为最小角度 θ 来最大限度地减轻这种影响(如图所示)。如有必要，可通过使用下表来补偿表盘读数的实际 θ 值，以获得测量结果。

测量结果 = 测量值 \times 补偿值

角度补偿

| 角度 | 补偿值 |
|-----|------|
| 10° | 0.98 |
| 20° | 0.94 |
| 30° | 0.86 |
| 40° | 0.76 |
| 50° | 0.64 |
| 60° | 0.50 |

补偿示例

如果在表盘上指示各种 θ 值下的0.200 mm测量值，则测量结果为：

如果 $\theta = 10^\circ$ ，则 $0.200 \text{ mm} \times .98 = 0.196 \text{ mm}$

如果 $\theta = 20^\circ$ ，则 $0.200 \text{ mm} \times .94 = 0.188 \text{ mm}$

如果 $\theta = 30^\circ$ ，则 $0.200 \text{ mm} \times .86 = 0.172 \text{ mm}$

●杠杆指示表B 7533: 2015

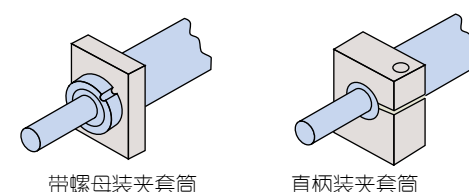
- 在成品检验中，使用表盘面朝上的水平、倾斜和垂直式指示表以及将表盘面设在垂直位置的平行式指示表来保证精度。标配的检查成绩单包括检验数据。
- 除上述姿态以外，还可以有提供检查成绩单。
- 据说，为评估与规格的兼容性，应采用基于JIS B 0641-1或ISO/TR14253-6的标准。另外，优先根据ISO 14253-2和ISO/IEC指南98-3来评估不确定度。因此，我们一如既往地对手表进行包括校准不确定度在内的运输检查。
- 对于通用型和袖珍型，我们根据JIS B 7533-1990执行成品检验。

光栅式测微仪

测微头

直柄装夹套筒和带螺母装夹套筒

支撑光栅式测微仪测微头的部位，按形状分为直柄装夹套筒型和带螺母装夹套筒型两种。从安装方法上讲，带螺母装夹套筒型的固定简单牢固。直柄装夹套筒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

这是在测量过程中，通过光栅式测微仪的接触点施加在工件上的力，单位为牛顿。

比较测量

这是在测量超出测微头的测量范围的物体时，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。

IP防护等级

IP54防护等级

| 类型 | 级别 | 说明 |
|-----------|--------|-------------------------|
| 保护人体和防止异物 | 5: 防尘 | 防止有害粉尘 |
| 防止与水接触 | 4: 防溅型 | 从任何方向飞溅到外壳上的水均不应造成有害影响。 |

IP66防护等级

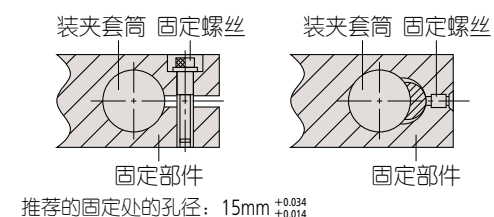
| 类型 | 级别 | 说明 |
|------------|--------|---------------------------|
| 防止与人体和异物接触 | 6: 防尘 | 防止灰尘进入完全防接触 |
| 防止与水接触 | 6: 防水型 | 从任何方向直接喷射到外壳上的水均不应造成有害影响。 |

安装测微头时的注意事项

- 将装夹套筒插入测量装置的安装部位或者支架内固定。
- 须注意如果将装夹套筒部位拧得过紧，会妨碍设备的工作。
- 切勿使用通过与螺丝直接接触将轴套夹紧的安装方法。
- 切勿在装夹套筒以外的部位来固定。
- 测微仪要垂直于测量面，与该方向成一定角度则会导致测量误差。
- 注意不要通过电缆给测微头施加力。

安装LGH系列时的注意事项

要固定LGH系列，请将轴套插入专用支架或夹具中。

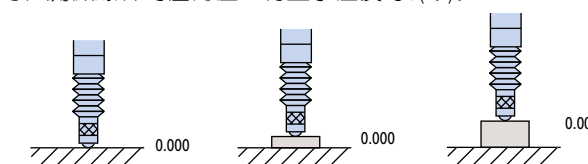


- 加工固定用孔需要与测量方向平行若倾斜安装会导致测量误差。
- 固定时，如果将装夹套筒拧得过紧的话，将不能顺利滑动，注意不要拧得过紧。
- 如果采用移动LGH系列的测量方法，那么在安装时需注意电缆不要受到牵扯，不能施加强力于测微头。

显示部

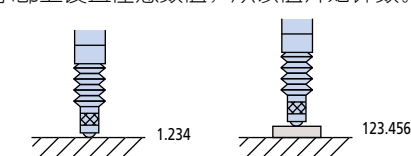
调零

可在测微螺杆的任何位置将显示值设为0(零)。



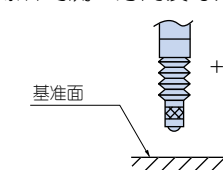
预设

可在显示部上设置任意数值，从该值开始计数。



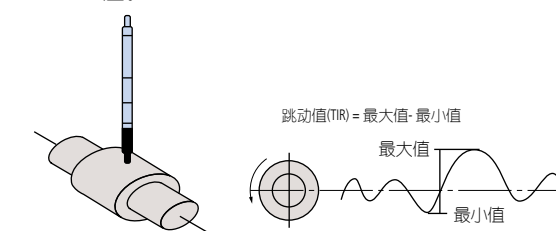
方向转换

可将量规测微螺杆的测量方向设为计数的(+或-)。



最大值、最小值、TIR设置

在测量过程中，显示部可保持最大值(MAX)和最小值(MIN)以及MAX - MIN值。



光栅式测微仪

测微头

公差设置

可在各种显示部中设置公差极限，以自动指示测量值是否在这些极限之内。

继电器输出

输出打开/关闭状态的触点信号。

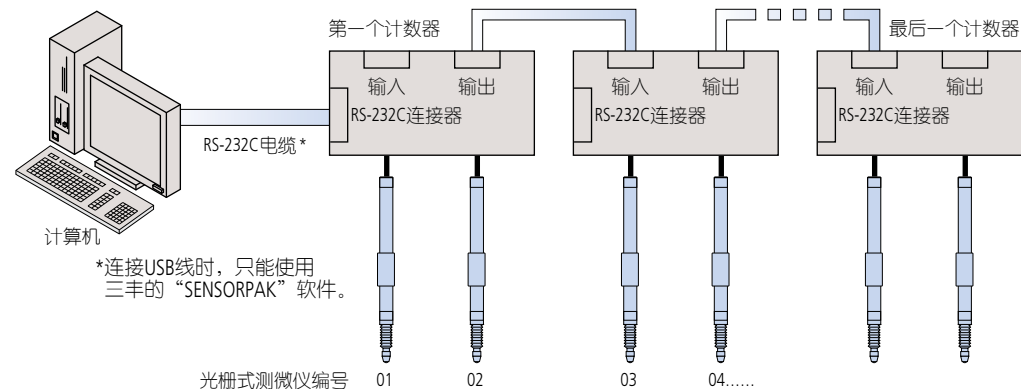
Digimatic编码

一种用于将测量工具的输出与各种三丰数据处理单元连接在一起的通信协议。通过该通信协议可将输出连接至Digimatic微型处理器DP-1VA LOGGER，以执行各种统计计算和创建直方图等。

RS连接功能 通过用RS连接电缆连接多个EH计数器，可执行多点测量。

用于EH计数器的RS连接

最多可连接10个计数器装置，一次最多可处理20个通道的多点测量。对于该连接，请使用专用的RS连接电缆**No.02ADD950** (0.5m)、**No.936937** (1m)或**No.965014** (2m)。(整个系统允许的RS连接电缆的总长度最长为10m。)



BCD输出

一种以二进制记数法输出数据的体系。

RS-232C输出

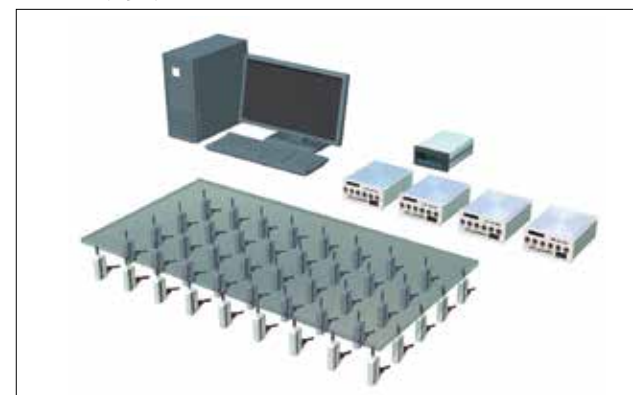
数据可根据EIA标准在其中进行双向传输的串行通信接口。有关传输步骤，请参阅各测量仪器的规格。

测量实例

■ 辊缝检测



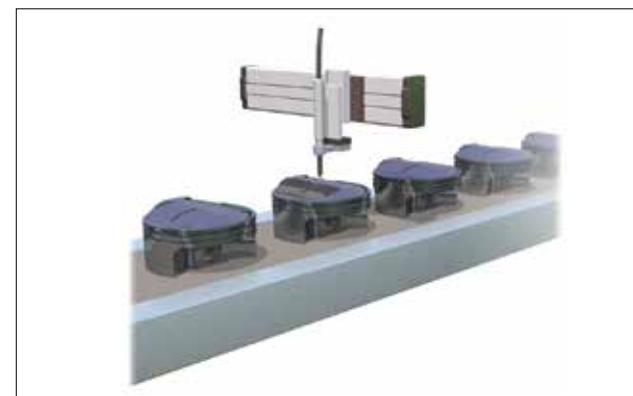
■ FPD板多点测量



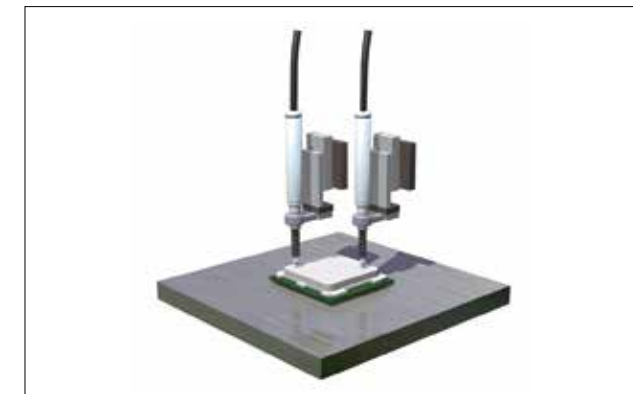
■ 刹车盘多点测量



■ 工件识别



■ 芯片平行度测量



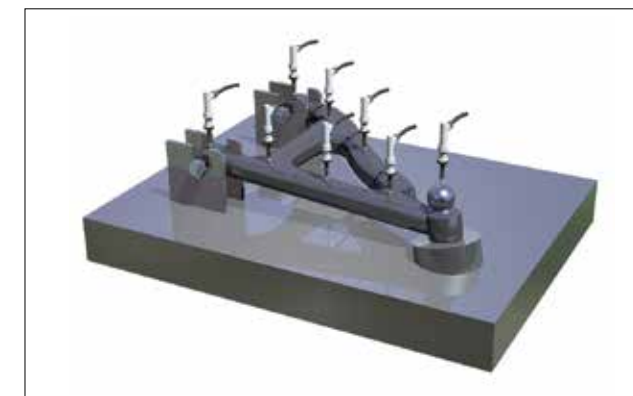
■ 凸轮轴位移测量



■ 加工刀具长度测量



■ 检查夹具



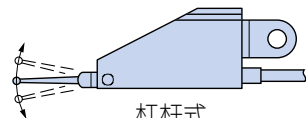
电子测微计

测微头

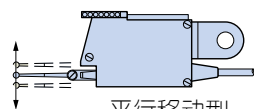
将测针或柱塞上的接触点运动转换为电信号的传感器。

杠杆式与平行移动式

杆测头有两种类型。最常见的类型采用旋转测针，因此接触点以圆弧移动；这类测针受余弦效应影响，因此，如果测量方向与接触点的移动方向有很大区别，则可能需要对测量进行线性校准。较不常见的类型采用平行移动弹簧片机构，因此接触点的移动是线性的，这种类型无需校准。



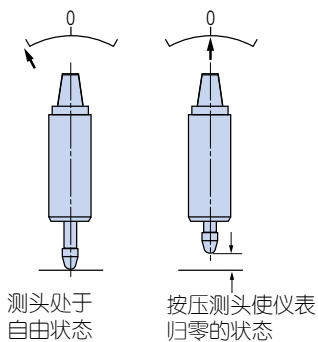
杠杆式
MLH-521(可使用上/下杆切换测量方向)
MLH-522(测量方向不可切换)



平行移动式
MLH-326(可使用上表盘切换测量方向)

预行程

从第一次接触工件到测量指示器读数为零的距离。



测头处于自由状态
按压测头使仪表归零的状态

测力

指示器读数为零时，通过测针施加到工件上的力。该力以牛(N)表示。

Digimatic编码

是连接三丰各种数据处理装置和测量仪输出的通讯形式，采用三丰产品专用的格式。

集电极开路输出

该信号通过晶体管的集电极输出驱动外部负载。

比较测量

一种测量方法，该方法通过测量工件与代表工件公称尺寸的标准规之间的尺寸差来获得工件尺寸。通常在要进行的测量超出仪器的测量范围时使用此方法。

线性度

测头输出与测量距离之间的比例。如果线性度不是可接受范围内的常数，则需要进行校准。

0(零)点

比较测量中的标准规上的参考点。

灵敏度

所选测量范围决定了可用分辨率。较小的范围可增加分辨率，反之亦然。由于刻度尺的长度有限，Mu-Checker提供多个范围，而数字版只需提供两个范围。

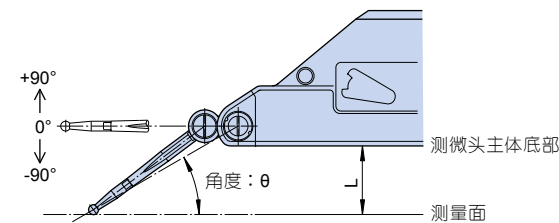
公差设定

可在电感测微头上设置公差极限，以自动判断测量值是否在公差范围内。

■杠杆式测微头的角度

测量前请务必确认测微头的灵敏度调整完成。由于改变测头的倾斜度会导致显示值产生差异。因此，必须在调整测头的灵敏度的情况下进行测量。如果条件无法实现，可以不改变角度(角度=0°)的情况下调整灵敏度，并根据测量时测头的实际倾斜度来修正显示值(显示值x修正值)。

Tips 通过修正值修正出的精度劣于调整灵敏度时的精度。



| 角度: θ | 到测量面的距离: L^{*1} | 修正值 |
|--------------|-------------------|-------|
| 0° | — | 1.00 |
| 10° | 约3.1 mm | 约0.98 |
| 20° | 约8.8 mm | 约0.94 |
| 30° | 约13.9 mm | 约0.87 |
| 40° | 约18.3 mm | 约0.77 |
| 50° | 约21.6 mm | 约0.64 |
| 60° | 约23.8 mm | 约0.50 |

※1: 使用出厂时装配的直径为 $\phi 2$ 的硬质合金测针。使用直径为 $\phi 1(\phi 3)$ 的硬质合金测针时，请从 $\phi 2$ 减去(增加)球体直径差值的1/2。

激光测径仪

兼容性

激光测径仪已经与测量单元随附的ID单元一起进行过调节。ID单元与测量单元具有相同的代码和序列号，必须将其安装在显示单元中。这意味着，如果更换了ID单元，则可以将测量单元连接至另一个相应的显示单元。

工件和测量条件

根据激光是否可见、工件形状和表面粗糙度，可能产生测量误差。在这种情况下，请使用尺寸、形状和表面粗糙度与要测量的实际工件类似的标准工件进行校准。如果测量条件导致测量值偏差较大，请增加用于获取平均值的扫描次数，以提高测量精度。

噪声干扰政策

为避免操作误差，请勿将本设备的信号电缆和中继电缆与会产生浪涌噪声的高压线或电缆连接在一起，请一定要接地线(接地)。

连接至计算机

通过RS-232C将激光测径仪和电脑连接时，请确认连接器信号和引脚编号。

激光安全

三丰激光测径仪使用低功率可视激光进行测量。激光为Class2 JIS C 6802(激光产品的安全性)设备。警告和注释标签，如下图所示。

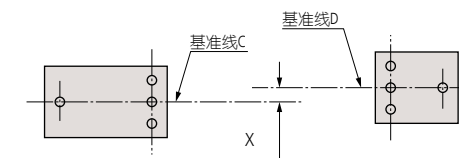


从基座拆卸后重新组装

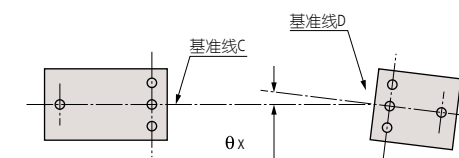
重新组装发射单元和接收单元时，请遵守以下步骤，以最大限度地减小激光光轴与接收单元未对准所引起的测量误差。

■ 水平面内的光轴对齐

a. 基准线C和D之间的平行偏差: X(横向)

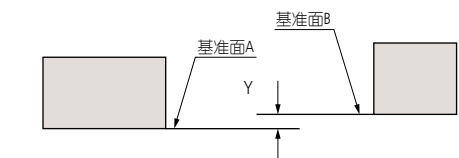


b. 基准线C和D之间的角度偏差: θx (角度)

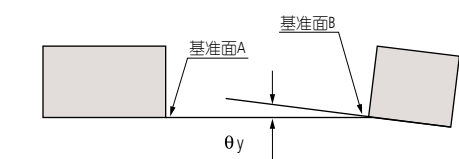


■ 水平面内的光轴对齐

c. 基准面A和B之间的平行偏差: Y(高度)



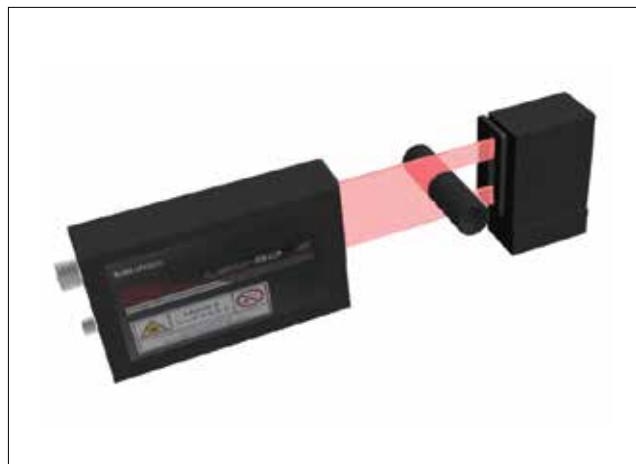
d. 基准面A和B之前的角度偏差: θy (角度)



光轴对齐的允许范围

| 型号 | 发射单元与接收单元之间的距离 | X和Y | θx 和 θy |
|----------|----------------|----------|-------------------------|
| LSM-501S | 68mm 或以下 | 0.5mm 以内 | 0.4° (7mrad)以内 |
| | 100mm 或以下 | 0.5mm 以内 | 0.3° (5.2mrad)以内 |
| LSM-503S | 130mm 或以下 | 1mm 以内 | 0.4° (7mrad)以内 |
| | 350mm 或以下 | 1mm 以内 | 0.16° (2.8mrad)以内 |
| LSM-506S | 273mm 或以下 | 1mm 以内 | 0.2° (3.5mrad)以内 |
| | 700mm 或以下 | 1mm 以内 | 0.08° (1.4mrad)以内 |
| LSM-512S | 321mm 或以下 | 1mm 以内 | 0.18° (3.6mrad)以内 |
| | 700mm 或以下 | 1mm 以内 | 0.08° (1.4mrad)以内 |
| LSM-516S | 800mm 或以下 | 1mm 以内 | 0.09° (1.6mrad)以内 |

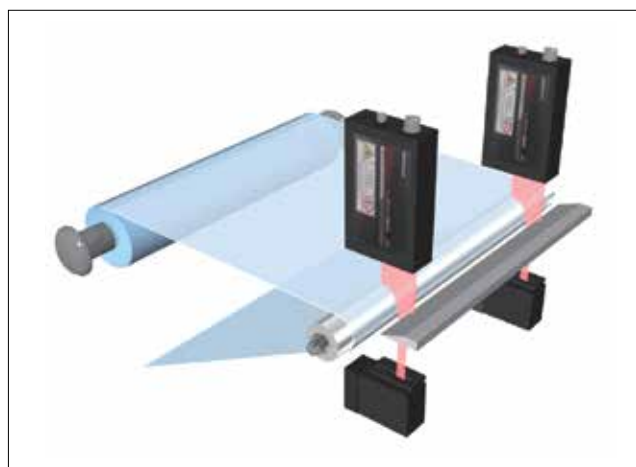
胶辊外径测量



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)



辊子缝隙的测量



测量胶片、薄板的厚度



测量超大外径的双机测量系统



绝对系统

相对于固定的原点进行每个点测量的测量模式。

增量系统

相对于某个存储的参考点进行每个点测量的测量模式。

原点偏置

使坐标系的原点从固定的原点平移到另一个偏移点的功能。为使此功能起作用，系统需要永久存储原点。

原点恢复

通过集成式限位开关减速并将机器的每个轴准确地停在机器特定位置的功能。

顺序控制

按指定顺序依次执行控制步骤的控制类型。

数字控制

借助于计算机(CNC)创建和实现的编码命令来控制机器运动的控制方式。通常，一系列命令构成了“部件加工程序”，该程序指示机器对工件执行完整的操作。

二进制输出

是指以二进制形式(一和零)输出数据，该形式将数字表示为2的整数幂。

RS-232C

一种接口标准，该标准在不平衡的传输线上使用异步串行数据传输方法在彼此相对靠近的发射器之间进行数据交换。它是一种主要用于连接个人计算机与外围设备的通信方式。

线路驱动输出

该输出功能具有数十到数百纳秒的快速运行速度以及数百米的相对长传输距离。差分电压表线路驱动器(兼容RS422A)在直线栅尺系统中用作NC控制器的I/F。

BCD

一种通过四位二进制序列来表示十进制数字各位的数字0到9的表示法。数据传输是借助TTL或开路集电极的单向输出。

RS-422

一种在平衡传输线上使用差分形式的串行位传输的接口标准。RS-422具有出色的数据传输特性，并且只能通过+5V的单电源运行。

精度

在20°C下，在该标尺范围内的任意点上，根据指示位置与真实位置的最大预期误差来给出标尺精度规格。由于测长装置中没有像ISO那样的国际标准，因此每个制造商都有指定精度的特定方法。产品目录表示值是以激光测长仪为基准求出的三丰公司的标尺精度表示方法。

窄范围精度

标尺单元上的标尺格子通常采用20μm的间距，尽管这因标尺类型而异。窄范围精度是指在分辨率极限(例如1μm)下通过测量每个格子的一个间距而确定的精度。

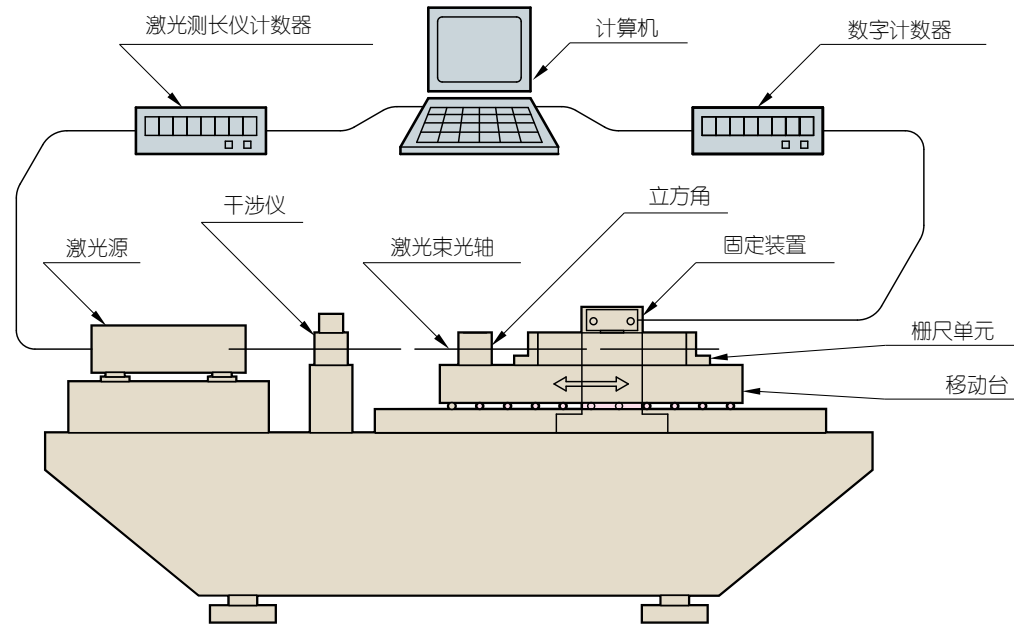
直线栅尺

指示精度

位置指示精度

通过使用如下图所示的精度检查系统，定期将直线栅尺的指示值与激光测长机的相应值进行比较，可确定直线栅尺的精度。由于检验环境的温度为20℃，因此标尺精度仅适用于该温度环境。为符合内部标准，可使用其他检验温度。

精度检查系统概率图：



根据使用以下公式计算的误差值来定义每个点的刻度精度：

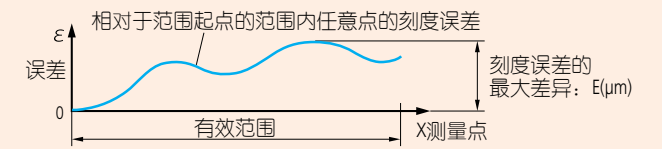
$$\text{误差} = \text{激光检测系统的指示值} - \text{直线栅尺的测量值}$$

使用有效定位范围内的各点绘制的图被称为精度图。可使用两个方法来指定标尺精度，即平衡法或不平衡法，如下所示。

(1) 不平衡精度规格 - 最大误差减最小误差

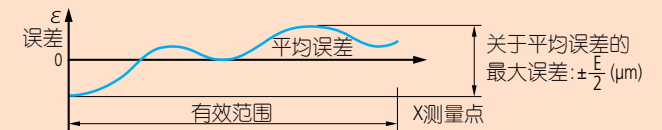
该方法仅从精度图中指定了最大误差减最小误差，如下所示。其形式为： $E = (\alpha + \beta L)\mu\text{m}$ 。L为有效范围(mm)， α 和 β 是为每个模型指定的因数。

例如，如果特定标尺类型的精度规格为 $(3 + \frac{3L}{1000})\mu\text{m}$ ，有效范围为1000 mm，则E为6 μm 。



(2) 误差的最大值与最小值的范围大小为±E/2

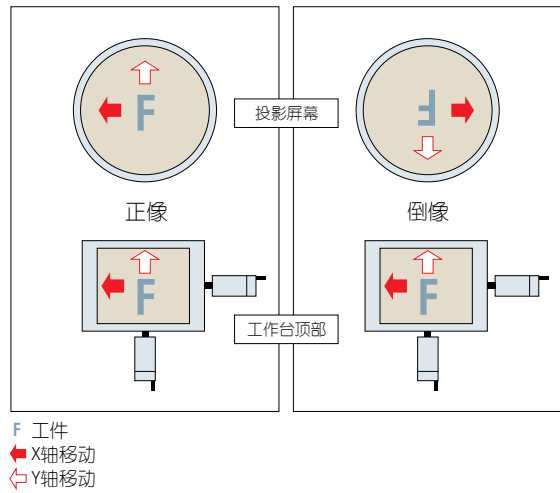
该方法从精度图中指定了相对于平均误差的最大误差。其形式为： $e = \pm \frac{E}{2} (\mu\text{m})$ 。这主要用于分离式(改装)标尺单元规格中。



直线栅尺根据固定间距的分度来检测位移。通过检测分度来获得与分度具有相同间距的两相正弦信号。通过这些信号内插到电路中，可通过生成与所需分辨率相对应的脉冲信号来读取小于分度值的值。例如，如果分度间距为20 μm ，则内插值可产生1 μm 的分辨率。该处理的精度并非无误差，因此被称为内插精度。直线栅尺的整体位置精度规格取决于分度的间距误差和内插精度。

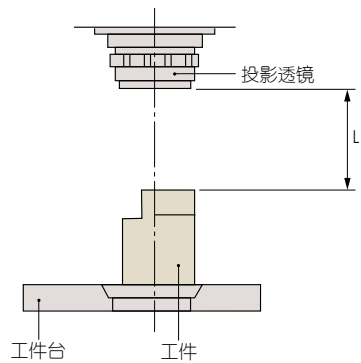
正像和反像

如果投射在屏幕上的图像与工作台上的物的方向相同，则投射图像为正像。如果相对于工作台上的物移动时(如下图所示)，图像从上到下、从左到右反转，则将该图像称为倒像(也可以叫做反像，这种叫法可能更准确)。



工作距离

是指从投影透镜面到对焦工件表面的距离。它以下图中的L表示。



放大倍率精度

通过投射参考对象的图像，并将在屏幕上测得的该对象的尺寸与预期尺寸(根据标记的镜头放大倍率计算)进行比较，可获得使用特定镜头时投影仪的放大倍率精度，以产生放大倍率精度百分比图，如图所示。参考对象通常为小分度玻璃标尺，它被称为“镜台测微尺”或“标准标尺”，其投影图像通过更大的玻璃标尺(被称为读数标尺)来测量。(请注意，放大倍率精度与测量精度不同。)

$$\Delta M(\%) = \frac{L - \ell M}{\ell M} \times 100$$

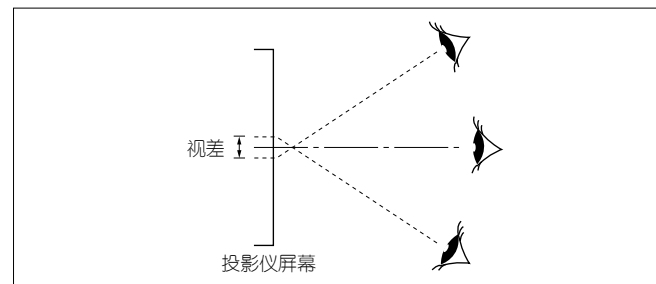
$\Delta M(\%)$: 放大倍率精度以公称镜头放大倍率精度的百分比表示。
 L: 屏幕上测得的参考对象投影图像长度
 ℓ : 参考对象长度
 M: 投影透镜的放大倍率

照明类型

- 轮廓照明: 一种通过透射光观察工件的照明方法，主要用于测量工件的放大轮廓图像。
- 同轴表面照明: 通过将光同轴传送至透镜来照亮工件，以观察/测量表面的照明方法。(需要使用半反射镜或内置半反射镜的投射透镜。)
- 斜表面照明: 倾斜地照亮工件表面的照明方法。该方法可提供增强反差图像，从而能以三维角度清晰地观察图像。但是，请注意，使用这种照明方法容易出现尺寸测量误差。(需要一个斜镜。PJ-H30系列中的型号随附斜镜。)

视差

观察者的位置变化以及对对象和背景平面的有限分离所引起的对象相对于固定背景的位移。



视场直径

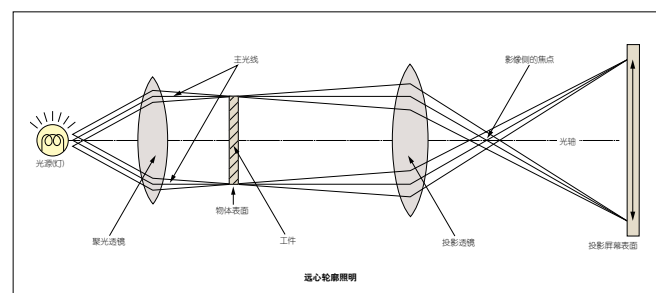
可使用特定透镜投射的最大工件直径。

$$\text{视场直径(mm)} = \frac{\text{投影仪的屏幕直径}}{\text{使用的投射透镜的放大倍率}}$$

示例: 如果将放大倍率为5X的透镜用于屏幕为 $\phi 500\text{mm}$ 的投影仪:
 视场直径为 $\frac{500\text{mm}}{5} = 100\text{mm}$

远心光学系统

基于通过将透镜光阑放置在影像侧的焦点位置上使主光线与光轴平行这一原理的光学系统。其功能特征为，由于物体沿光轴移动，尽管图像也会模糊，但图像尺寸不会变化。对于测量投影仪和测量显微镜，通过将灯丝放在聚光透镜的焦点上，而非透镜头上，以使用平行光束照射对象，这样就能获得相同的效果。(参见下图。)



数值孔径(NA)

NA值很重要，因为它表示物镜的分辨能力。NA值越大，可见细节越高。NA值较大的透镜也可以收集更多的光，与NA值较小的透镜相比，通常可在焦深较窄的情况下提供更明亮的图像。

$$NA = n \cdot \sin \theta$$

上述公式表明，NA取决于物镜前端和工件之间的介质折射率n(对于空气， $n=1.0$)以及可进入透镜的光线的最大锥半角 θ 。

分辨本领(R)

两个图像点之间的最小可检测距离，表示分辨率极限。分辨能力(R)取决于数值孔径(NA)和照明波长(λ)。

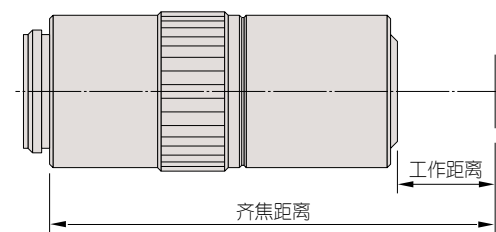
$$R = \frac{\lambda}{2 \cdot NA} \text{ (}\mu\text{m)} \\ \lambda = 0.55\mu\text{m} \text{ 通常用作参考波长}$$

工作距离(W.D.)

显微镜物镜的前端与工件表面之间的距离，在该距离下可实现最清晰的对焦。

齐焦距离

显微镜物镜的定位面与工件表面之间获得最清晰聚焦的距离，安装在同一转台上的物镜应具有相同的齐焦距离，以便在切换另一个物镜时，轻微调焦即可。

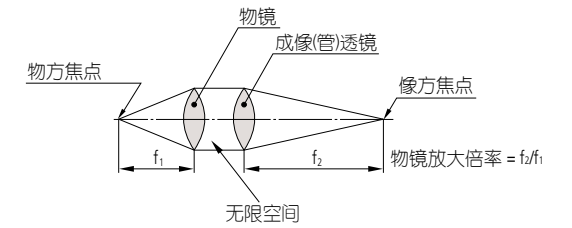


焦点

平行于会聚透镜系统的主光轴传播并通过该系统的光线将会聚(或聚焦)在轴上的某个点上，该点被称为后焦点或图像焦点。

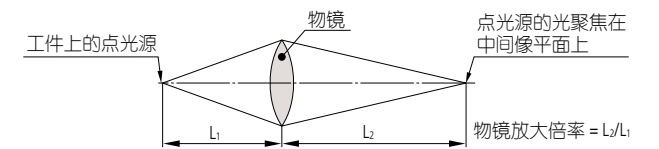
无限远校正光学系统

物镜在无限远处形成其图像并通过在物镜与目镜之间的主镜筒中设置镜筒透镜来形成中间图像的光学系统。在穿过物镜后，与光轴平行的光线通过所谓的“无限空间”有效地传播至镜筒透镜，可在无限空间中放置辅助组件，如微分干涉对比(DIC)棱镜、偏振镜等，以最大限度地减轻对焦点和像差校正的影响。



有限校正光学系统

使用物镜在有限位置形成中间图像的光学系统。穿过物镜的工件光抵达中间图像平面(位于目镜的前焦平面上)并会聚在该平面上。



焦距(f)

从镜头主点到焦点的距离: 如果 f_1 表示物镜焦距， f_2 表示成像(镜筒)透镜的焦距，则放大倍率取决于两者之间的比率。(在无限校正光学系统的情况下。)

$$\text{物镜放大倍率} = \frac{\text{成像(镜筒)透镜的焦距}}{\text{物镜焦距}}$$

示例: $1X = \frac{200}{200}$ 示例: $10X = \frac{200}{20}$

显微镜

焦深(DOF)

这是两个平面之间的距离(沿光轴方向测量), 该距离定义了将显微镜聚焦在物体上时可接受的图像清晰度的极限。随着数值孔径(NA)的增加, 焦深变浅, 如以下表达式所示:

$$DOF = \frac{\lambda}{2 \cdot (NA)^2} \quad \lambda = 0.55\mu\text{m} \text{通常用作参考波长}$$

示例: 对于M Plan Apo 100X透镜(NA = 0.7) 该物镜的焦深为 $\frac{0.55\mu\text{m}}{2 \times 0.7^2} = 0.6\mu\text{m}$

明场照明和暗场照明

在明场照明中, 物镜将整个锥形光束聚焦在工件表面上。这是光学显微镜的正常观察模式。使用暗场照明时, 光锥的内部区域将被遮挡, 从而仅通过斜角光线来照亮表面。暗场照明非常适合检测表面划痕和污染。

复消色差物镜和消色差物镜

复消色差物镜是校准三种颜色(红色、蓝色、黄色)的色差(颜色模糊)的透镜。消色差物镜是校准两种颜色(红色、蓝色)的色差的透镜。

放大倍率

光学系统产生的放大对象图像与该对象的尺寸比率。放大倍率通常为横向放大倍率, 尽管也可以表示纵向、垂直或角度放大倍率。

主光线

从光轴外的物点发出并穿过透镜系统中的孔径光圈的中心的光线。

孔径光圈

用于控制穿过透镜系统的光量的可调圆形光圈。它也被称为孔径光阑, 其大小会影响图像亮度和焦深。

视场光阑

用于控制光学仪器视场的光阑。

远心系统

光线与物(和/或者)像空间的光轴平行的光学系统。这意味着放大倍率在个工作距离范围内几乎恒定, 因此几乎消除了透视误差。

正像

上下左右方向以及移动方向与工作台上的工件方向相同的图像。

视场数(FN)、实际视场和显示器显示放大倍率

单位: mm

样品表面的观察范围取决于目镜的视场光阑直径。该直径的值(以毫米为单位)被称为视场数。相比之下, 实际视场是实际放大并用物镜观察时工件表面上的范围。可通过以下公式计算实际视场:

(1) 显微镜可观察的工件范围(直径)

$$\text{视场} = \frac{\text{目镜FN}}{\text{物镜放大倍率}}$$

示例: 1X透镜的实际视场为 $24 = \frac{24}{1}$
10X透镜的实际视场为 $2.4 = \frac{24}{10}$

(2) 显示器观察范围

$$\text{显示器观察范围} = \frac{\text{相机图像传感器的尺寸(对角线长度)}}{\text{物镜放大倍率}}$$

● 图像传感器尺寸

| 格式 | 对角线长度 | 长度 | 高度 |
|------|-------|-----|-----|
| 1/3" | 6.0 | 4.8 | 3.6 |
| 1/2" | 8.0 | 6.4 | 4.8 |
| 2/3" | 11.0 | 8.8 | 6.6 |

(3) 显示器显示放大倍率

$$\text{显示器显示放大倍率} = \text{物镜放大倍率} \times \frac{\text{显示器上显示的对角线长度}}{\text{相机图像传感器的对角线长度}}$$

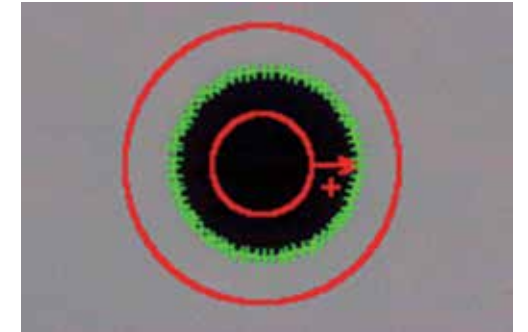
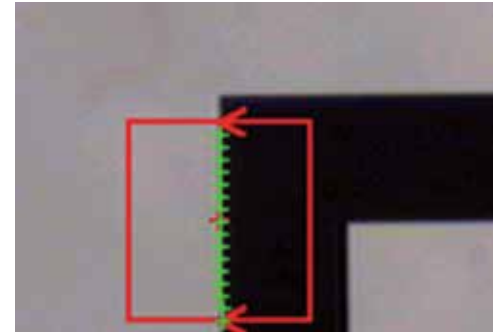
影像测量仪

影像测量

影像测量仪主要提供以下处理能力。

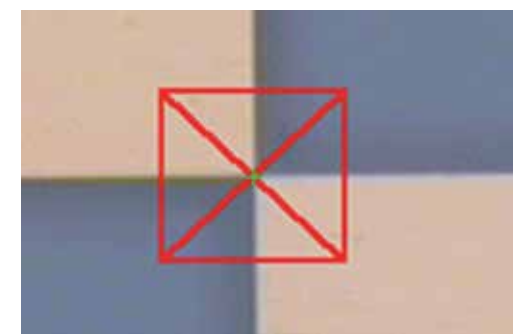
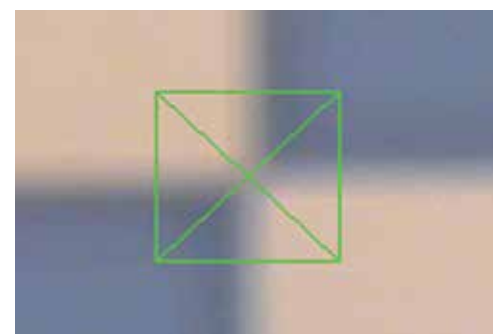
■ 边缘检测

在XY平面中检测/测量边缘



■ 自动对焦

对焦和Z测量

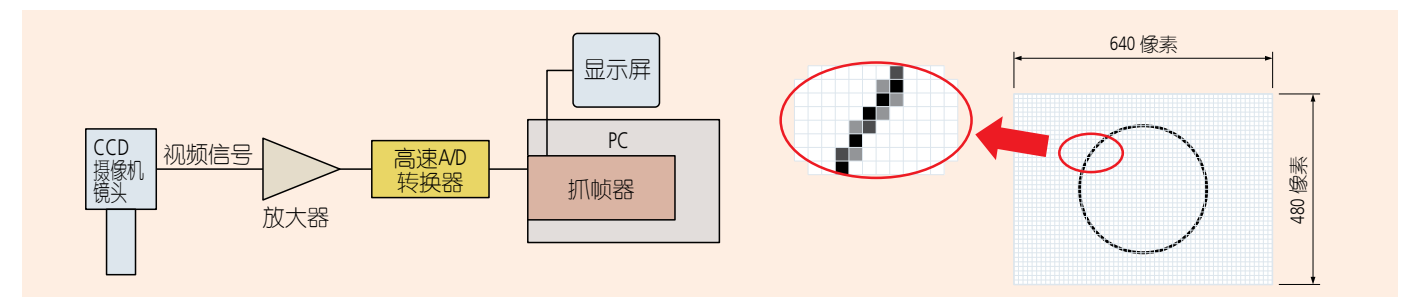


■ 图案识别

对准、定位和检查特征

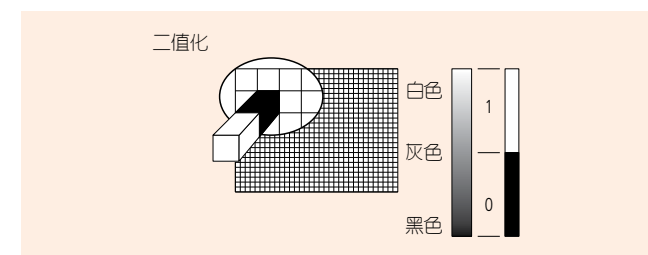
影像存储

图像由规则的像素阵列组成。这就像通过在精细的方格绘图纸的每个方格中填充不同内容来绘制图形。

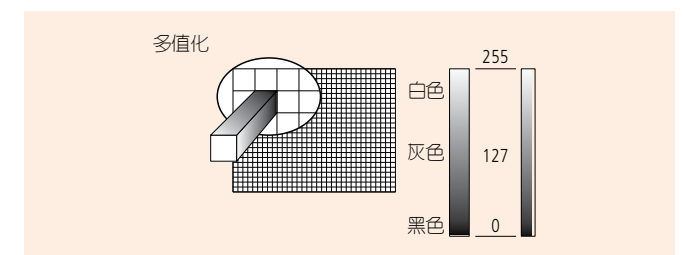


灰度

PC在内部将图像转换为数值后存储图像。数值被分配给图像的每个像素。图像质量取决于数值定义了多少个灰度等级。PC提供两种灰度: 两级和多级。图像中的像素通常以256级灰度显示。



图像中比给定级别更亮的像素显示为白色, 所有其他像素显示为黑色。

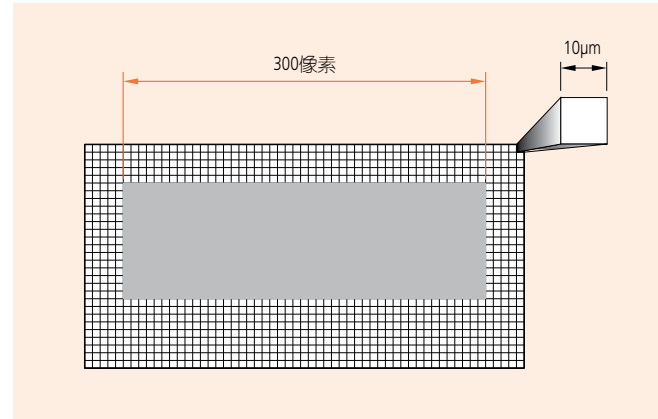


每个像素显示为黑白之间的256个级别之一。这样就可以显示高保真图像。

影像测量仪

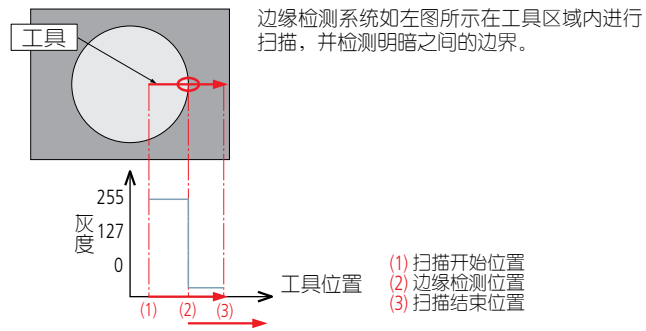
尺寸测量

图像由像素组成。如果对要测量部分中的像素数进行计数并乘以像素大小，则可以将截面转换为长度数值。例如，假设方形工件的横向尺寸中的像素总数为300像素，如下图所示。如果在成像放大情况下的像素大小为 $10\mu\text{m}$ ，则工件总长度为 $10\mu\text{m} \times 300\text{像素} = 3000\mu\text{m} = 3\text{mm}$ 。



边缘检测

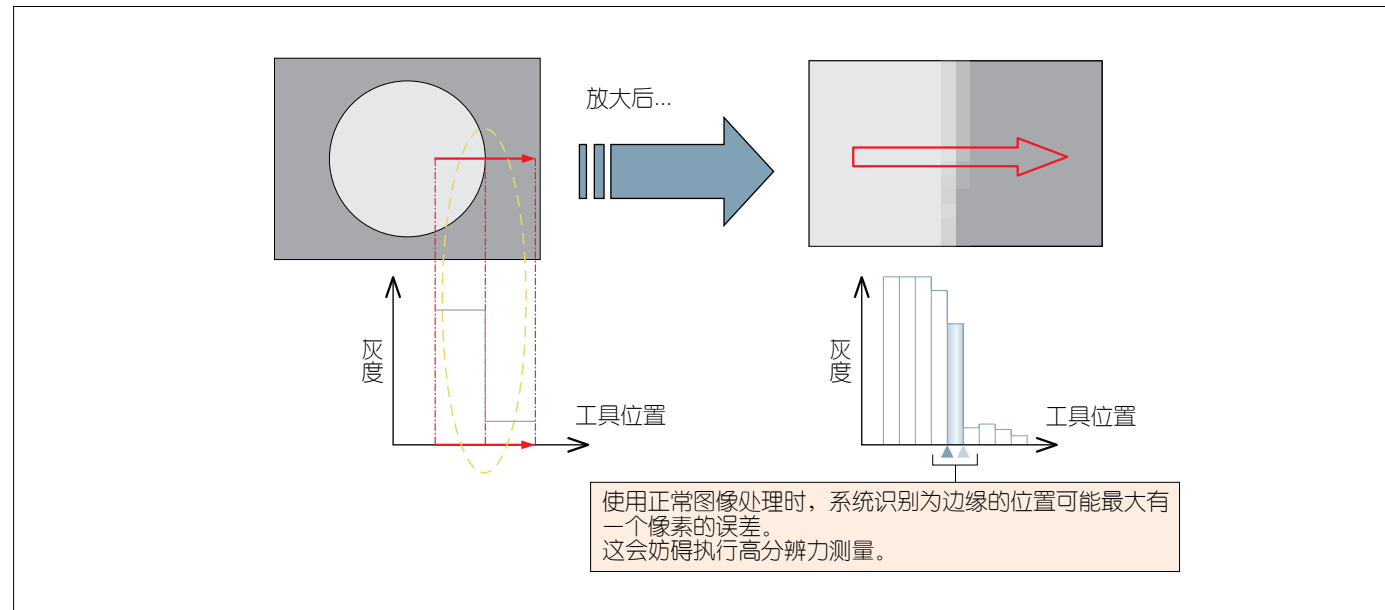
以下面的黑白图像为例介绍如何实际检测图像中的工件边缘。在给定的域内进行边缘检测。从视觉上定义该域的符号被称为工具。通过提供多种工具来适应各种工件形状或测量数据。



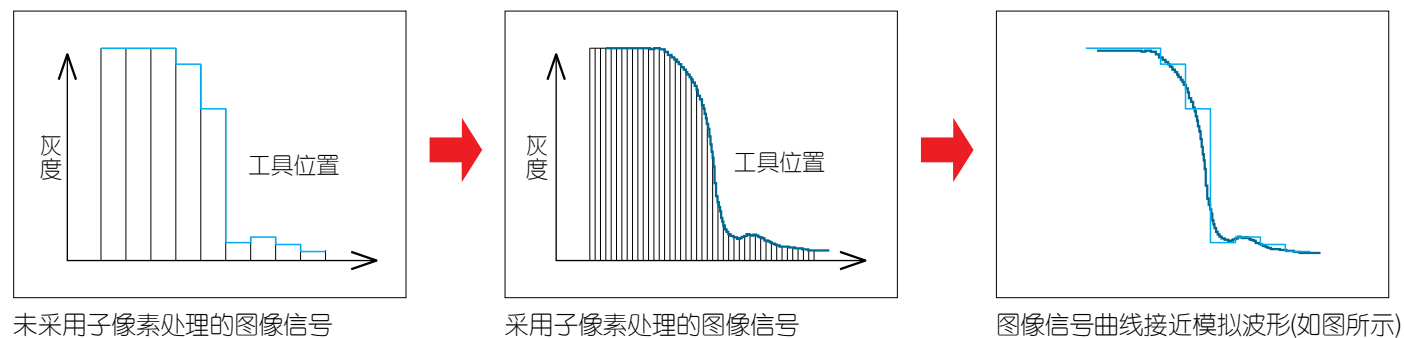
| | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 244 | 241 | 220 | 193 | 97 | 76 | 67 | 52 | 53 | 53 |
| 243 | 242 | 220 | 195 | 94 | 73 | 66 | 54 | 53 | 55 |
| 244 | 246 | 220 | 195 | 94 | 75 | 64 | 56 | 51 | 50 |

在工具上分配给像素的数值示例

高分辨力测量

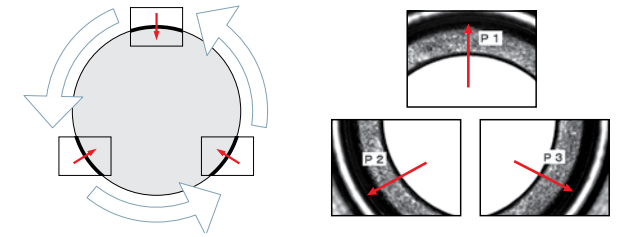


使用子像素的影像处理，提高边缘检查精度。通过从相邻像素数据确定插补曲线来检测边缘，如下所示。从而能以高于1个像素的分辨率进行测量。



多画面测量

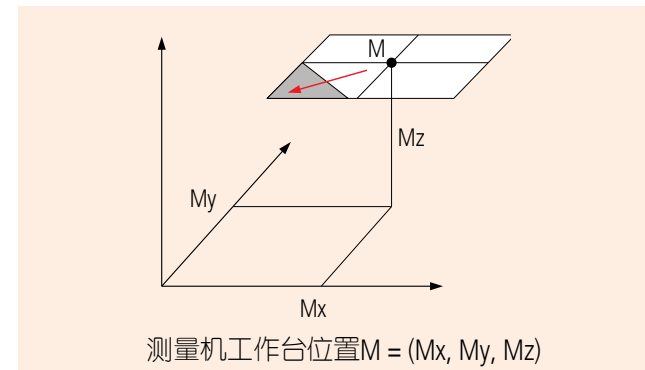
必须通过精确控制传感器和载物台的位置来测量一个屏幕无法包含的大特征，以定位独立图像中的每个参考点。通过这种方式，该系统甚至可通过跨圆周各部分移动载物台时检测边缘来测量大圆，如下所示。



确定测量点

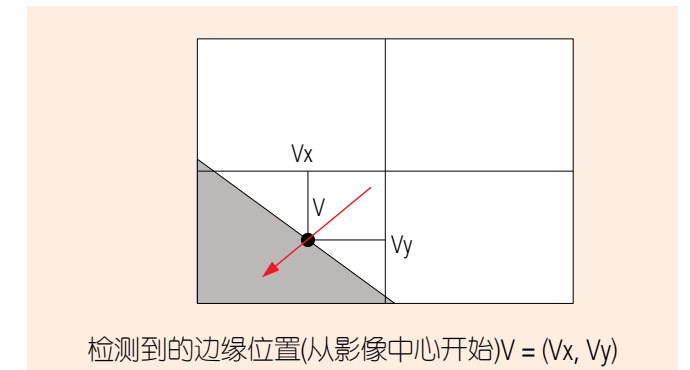
由于测量是在存储各个测量位置的同时执行的，因此系统可以毫无问题地测量一个屏幕中无法包含的尺寸。

机器坐标系



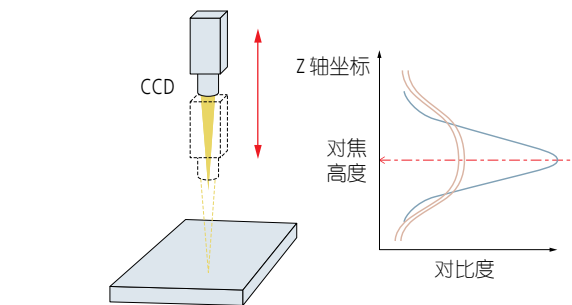
实际坐标的计算公式分别为 $X = (M_x + V_x)$ 、 $Y = (M_y + V_y)$ 和 $Z = M_z$ 。

影像坐标系



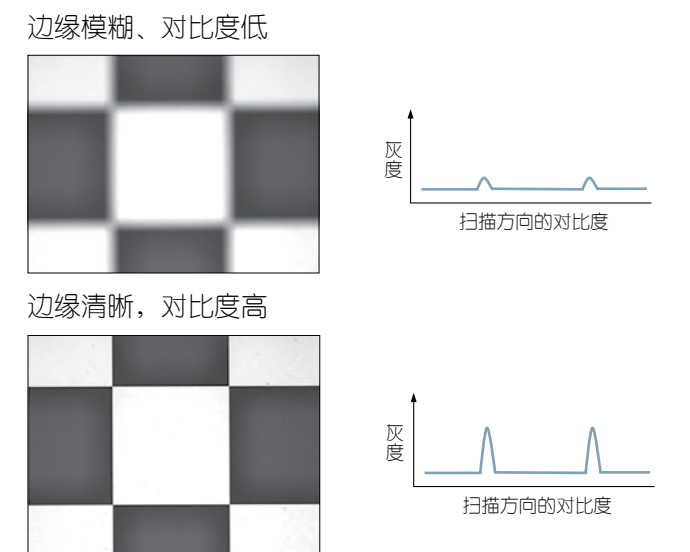
自动对焦原理

系统可执行XY平面测量，但无法仅使用CCD相机图像来进行高度测量。该系统通常配有用于高度测量的自动对焦(AF)机构。下文解释了使用通用图像的自动对焦机构，尽管某些系统可能采用对焦激光。



对焦系统在沿Z轴上下移动相机的同时分析图像。在图像对比度分析中，对焦清晰图像将显示峰值对比度，焦点未对准的图像将显示低对比度。因此，图像对比度峰值高度为焦点刚好对准的高度。

取决于对焦条件的对比度变化



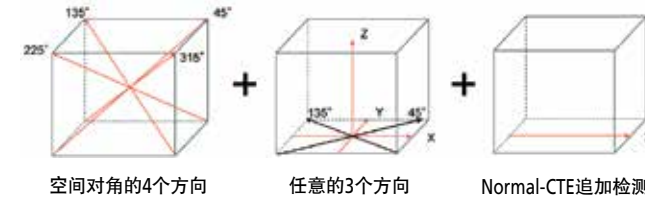
ISO 10360-7(JIS B7440-7.2015)概述

ISO10360-7(产品几何技术规范(GPS) -- 坐标测量机(CMM)的验收和验证测试 -- 第7部分: 配备成像探测系统的坐标测量机)于2011年6月1日发布。

ISO10360-7中列出了一些检查项目。下文总结用于确定长度测量误差(E)和探测误差(P_{FD})的测试方法。

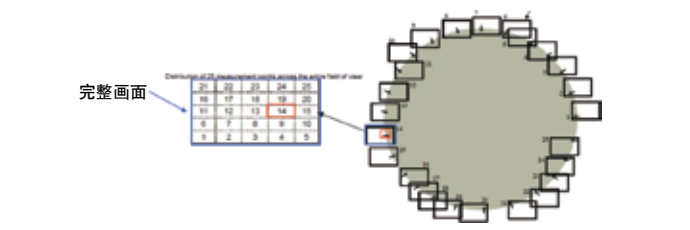
长度测量误差E

在7个不同位置重复3次测量5个不同长度(共105次)的测量位置。在测量空间对角的4个方向和任意的3个方向(初期设置: 与各轴平行 E_x 、 E_y 、 E_z)尺寸标准器的热膨胀系数 α 在 $2 \times 10^{-6}/K$ 以下时，追加了 $8-13 \times 10^{-6}/K$ 的标准器的测量。



探测误差 P_{FD}

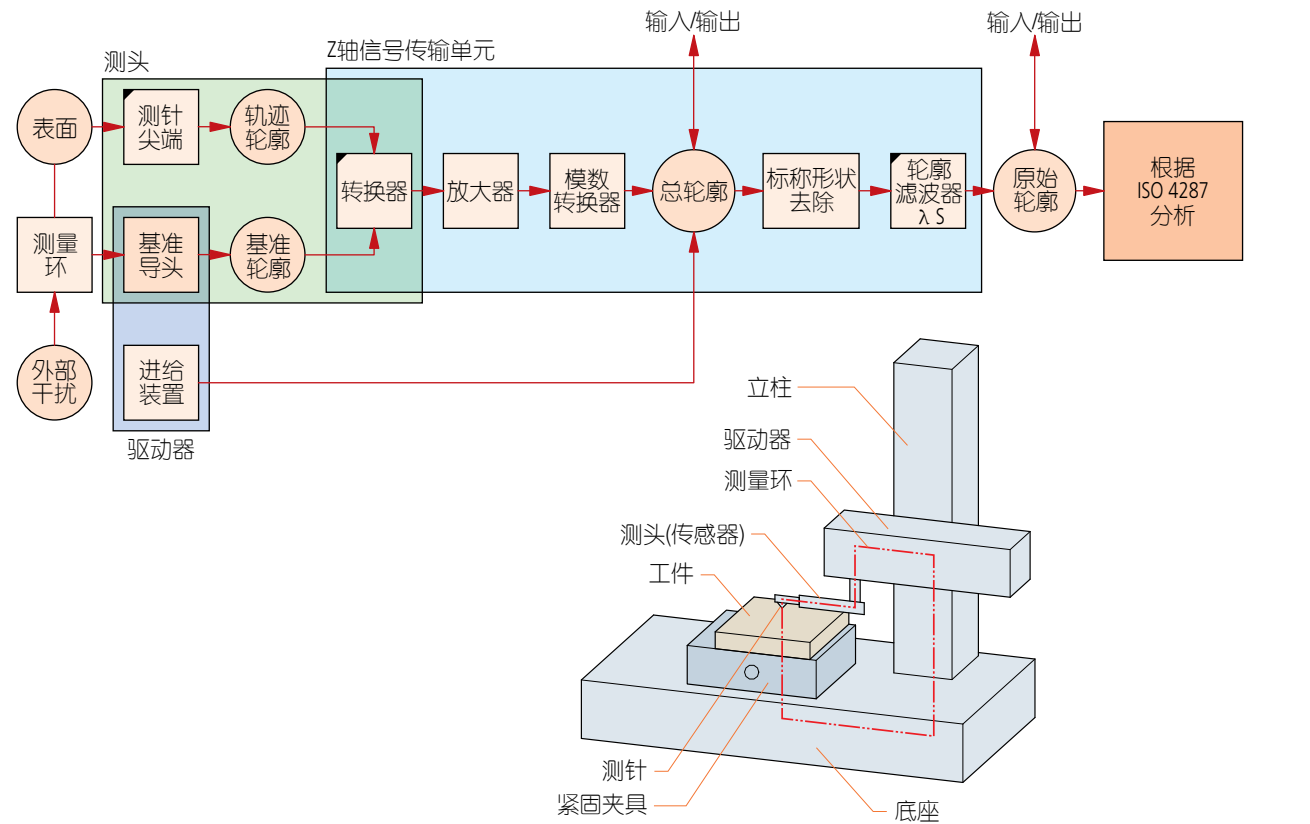
用视野内的25个不同的位置，测量基准圆25均分点(14.4°间距)的时候，计算从25个点最小二乘圆的中心到各测量点的距离宽度($R_{max}-R_{min}$)。



Surftest(表面粗糙度测量仪)

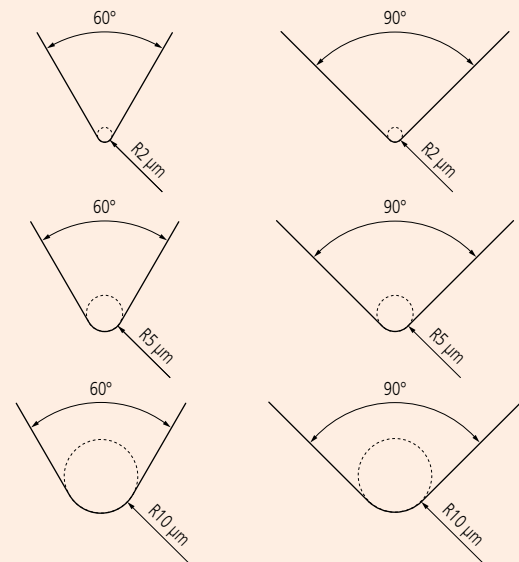
ISO 4287: 1997(等同GB/T3505-2009)产品几何技术规范(GPS)-表面结构: 轮廓法-术语、定义和表面纹理参数
 ISO 11562: 1996(等同GB/T18777-2009)产品几何技术规范(GPS)-表面结构: 轮廓法-相位修正滤波器的计量特性
 ISO 4288: 1996(等同GB/T10610-2009)产品几何技术规范(GPS)-表面结构: 轮廓法-表面结构评估的规则和程序
 ISO 3274: 1996(等同GB/T6062-2009)产品几何技术规范(GPS)-表面结构: 轮廓法-接触(测针)仪器的标称特性

触针式表面粗糙度测量仪的构成 ISO 3274: 1996



触针形状

测针尖端的典型形状为带球形尖端的圆锥形。
 尖端半径: $r_{tip} = 2\ \mu\text{m}$ 、 $5\ \mu\text{m}$ 或 $10\ \mu\text{m}$
 锥角: 60° 、 90°
 在典型表面粗糙度测试仪中, 除非另有说明, 否则测针尖端的锥角为 60° 。



静态测力(JIS B 0651)

| 针尖的公称 曲率半径: μm | 测针平均位置的静态 测力: mN | 静态测力变化的 公差: mN/ μm |
|------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| 2 | 0.75 | 0.035 |
| 5 | 0.75 (4.0) 注1 | 0.2 |
| 10 | | |

注1: 对于特殊结构的测头(包括可更换测针), 测针平均位置处的静态测力的最大值为4.0mN。

截止波长值与针尖半径之间的关系

下表列出了粗糙度轮廓截止值 λ_c 、针尖半径 r_{tip} 以及截止率 λ_c / λ_s 之间的关系。

| λ_c mm | λ_s μm | λ_c / λ_s | 最大值 r_{tip} μm | 最大取样长度 μm |
|-------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 0.08 | 2.5 | 30 | 2 | 0.5 |
| 0.25 | 2.5 | 100 | 2 | 0.5 |
| 0.8 | 2.5 | 300 | 2 注1 | 0.5 |
| 2.5 | 8 | 300 | 5 注2 | 1.5 |
| 8 | 25 | 300 | 10 注2 | 5 |

注1: 对于 $R_a > 0.5\ \mu\text{m}$ 或 $R_z > 3\ \mu\text{m}$ 的表面, 即使 $r_{tip} = 5\ \mu\text{m}$, 测量中通常也不会出现明显的误差。

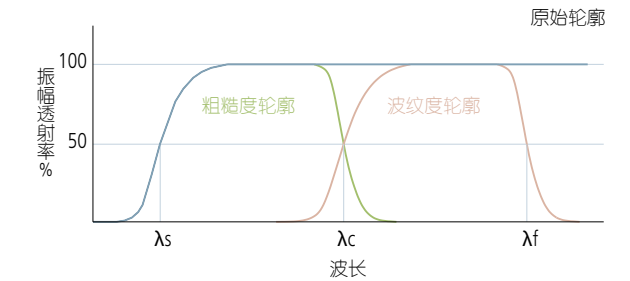
注2: 如果截止值 λ_s 为 $2.5\ \mu\text{m}$ 或 $8\ \mu\text{m}$, 则由于具有推荐针尖半径的测针的机械过滤效应, 会在粗糙度轮廓通频带以外出现机械过滤效应。因此, 针尖半径或形状中的小误差不会影响通过测量计算的参数值。如果需要特定截止率, 则必须定义比率。

相位修正滤波器的计量特性

ISO 11562: 1996 (JIS B 0632: 2001)

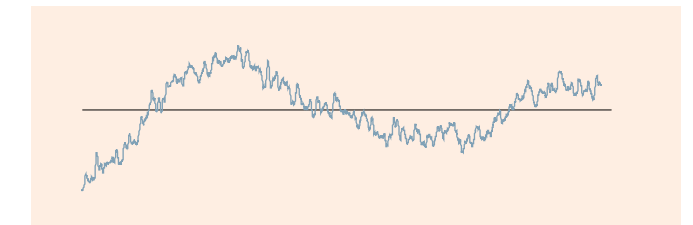
轮廓滤波器是无相位延迟的相位修正滤波器(轮廓失真与波长有关)。相位修正滤波器的加权函数显示正态(高斯)分布, 其中的截止波长下的振幅透射率为50%。

表面轮廓 ISO 4287:1997



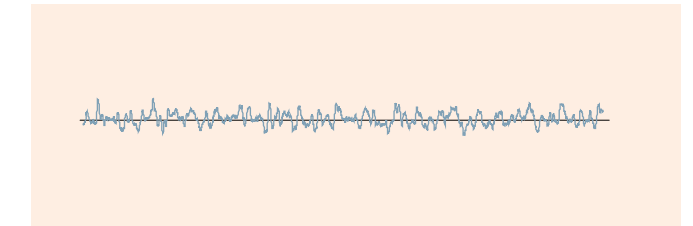
原始轮廓

通过应用截止值为 λ_s 的低通滤波器, 从测得的轮廓获得的轮廓。



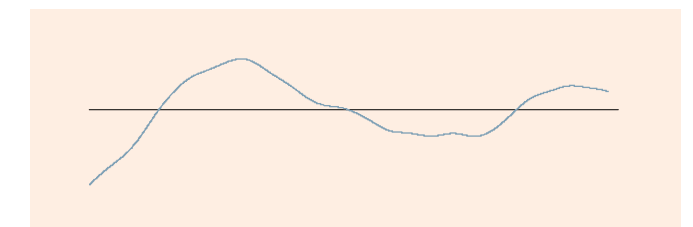
粗糙度轮廓

通过使用截止值为 λ_c 的高通滤波器来抑制较长的波长分量, 从原始轮廓获得的轮廓。

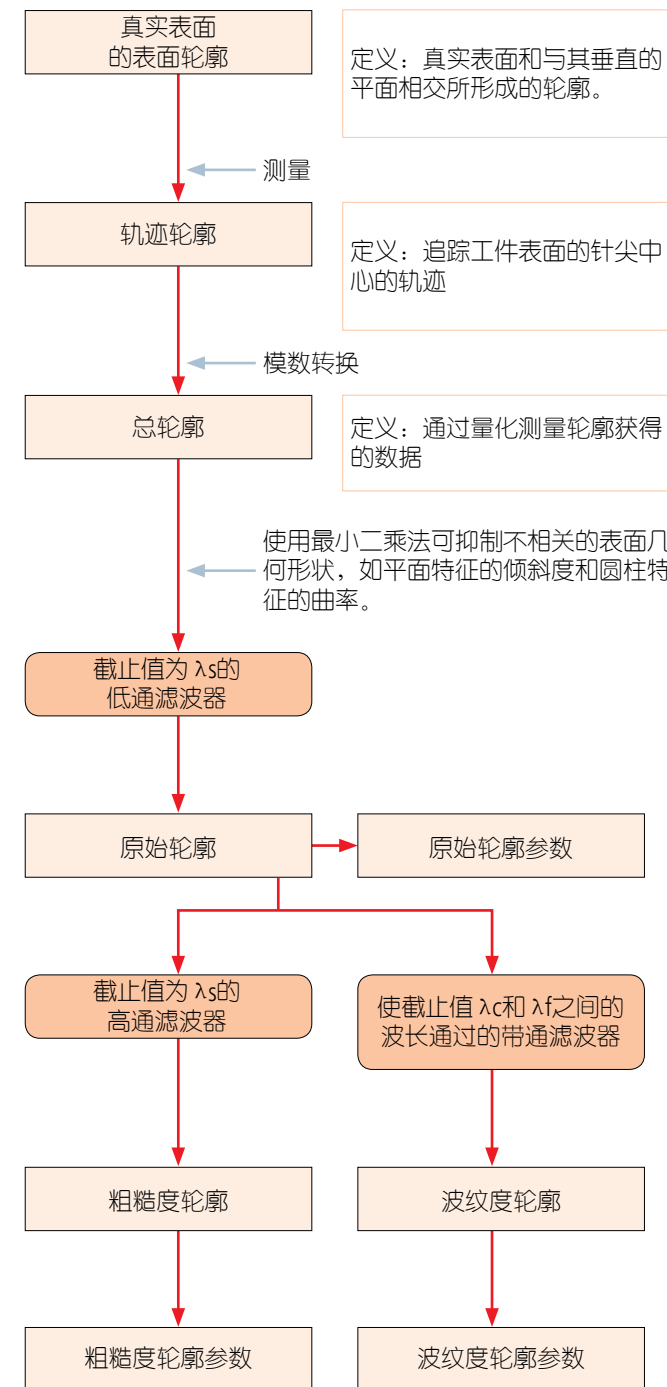


波纹度轮廓

通过将低通滤波器应用于原始轮廓来删除高于 λ_f 的较长波长以及低于 λ_c 的较短波长而获得的轮廓。



数据处理流程



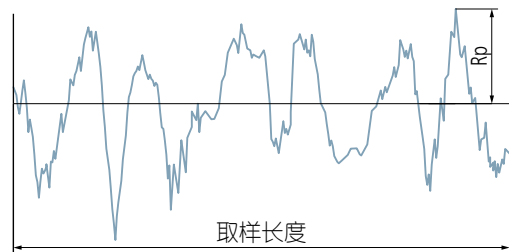
Surftest(表面粗糙度测量仪)

参数定义

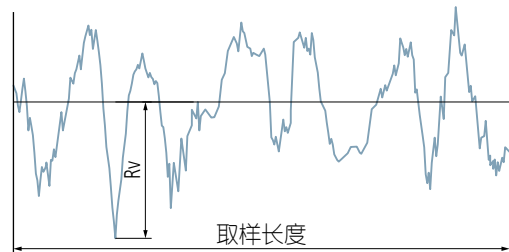
ISO 4287: 1997, Amd.1 :2009

振幅参数(峰值和谷值)

- 原始轮廓的最大峰值高度 P_p
- 粗糙度轮廓的最大峰值高度 R_p
- 波纹度轮廓的最大峰值高度 W_p
- 取样长度内的最大轮廓峰值高度 Z_p

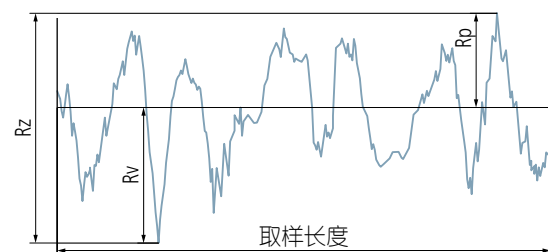


- 原始轮廓的最大谷值深度 P_v
- 粗糙度轮廓的最大谷值深度 R_v
- 波纹度轮廓的最大谷值深度 W_v
- 取样长度内的最大轮廓谷值深度 Z_v



- 原始轮廓的最大高度 P_z
- 粗糙度轮廓的最大高度 R_z
- 波纹度轮廓的最大高度 W_z

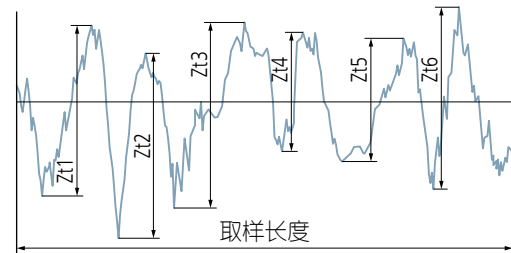
取样长度内的最大轮廓峰值高度 Z_p 与最大轮廓谷值深度 Z_v 的高度之和。



⚠️ 在旧JIS和ISO 4287-1: 1984中, R_z 用于表示“微观不平度十点高度”。必须小心, 因为根据现有标准和旧标准获得的结果之间的差异并非总是微不足道。(务必检查图纸说明是否符合现有标准或旧标准。)

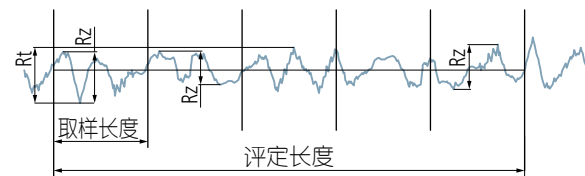
- 原始轮廓元素的平均高度 P_c
- 粗糙度轮廓元素的平均高度 R_c
- 波纹度轮廓元素的平均高度 W_c
- 取样长度内轮廓元素高度 Z_t 的平均值

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti}$$



- 原始轮廓的总高度 P_t
- 粗糙度轮廓的总高度 R_t
- 波纹度轮廓的总高度 W_t

评估长度内的最大轮廓峰值高度 Z_p 与最大轮廓谷值深度 Z_v 的高度之和。



振幅参数(纵坐标平均值)

- 原始轮廓的算术平均偏差 P_a
- 粗糙度轮廓的算术平均偏差 R_a
- 波纹度轮廓的算术平均偏差 W_a
- 取样长度内绝对纵坐标值 $Z(x)$ 的算术平均值

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

根据情况, 将 l 设为 l_p , l_r 或 l_w 。

- 原始轮廓的均方根偏差 P_q
- 粗糙度轮廓的均方根偏差 R_q
- 波纹度轮廓的均方根偏差 W_q
- 取样长度内坐标值 $Z(x)$ 的均方根值

$$P_q, R_q, W_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$$

根据情况, 将 l 设为 l_p , l_r 或 l_w 。

- 原始轮廓的偏斜度 P_{sk}
- 粗糙度轮廓的偏斜度 R_{sk}
- 波纹度轮廓的偏斜度 W_{sk}

取样长度内, 纵坐标值 $Z(x)$ 的平均立方值分别与 P_q , R_q 或 W_q 的立方的商

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^3(x) dx \right]$$

上述方程式定义了 R_{sk} 。 P_{sk} 和 W_{sk} 以类似方式定义。 P_{sk} , R_{sk} 和 W_{sk} 用于衡量纵坐标值概率密度函数的不对称性。

- 原始轮廓的陡度 P_{ku}
- 粗糙度轮廓的陡度 R_{ku}
- 波纹度轮廓的陡度 W_{ku}

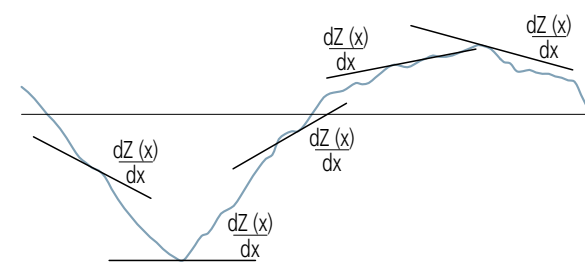
取样长度内, 纵坐标值 $Z(x)$ 的均方根值分别与 P_q , R_q 或 W_q 的四次方的商

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^4(x) dx \right]$$

上述方程式定义了 R_{ku} 。 P_{ku} 和 W_{ku} 以类似方式定义。 P_{ku} , R_{ku} 和 W_{ku} 用于衡量纵坐标值概率密度函数的清晰度。

混合参数

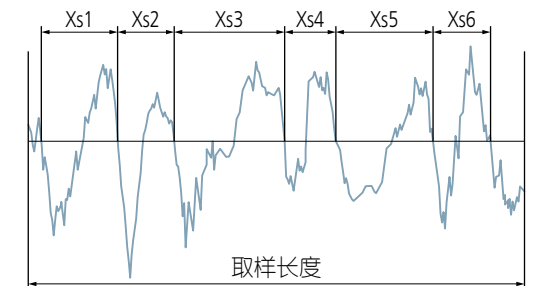
- 原始轮廓的均方根斜率 $P_{\Delta q}$
- 粗糙度轮廓的均方根斜率 $R_{\Delta q}$
- 波纹度轮廓的均方根斜率 $W_{\Delta q}$
- 在取样长度内纵坐标斜率 dZ/dx 的均方根值



间距参数

- 原始轮廓元素的平均宽度 P_{Sm}
- 粗糙度轮廓元素的平均宽度 R_{Sm}
- 波纹度轮廓元素的平均宽度 W_{Sm}
- 取样长度内轮廓元素宽度 X_s 的平均值

$$P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si}$$

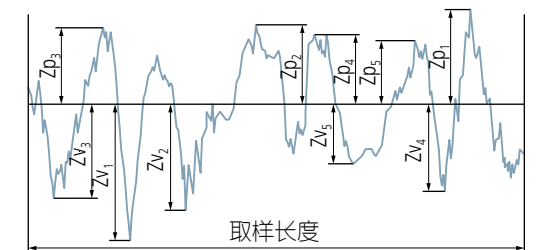


JIS特定参数

微观不平度十点高度, $R_{z_{JIS}}$

五个最高轮廓峰值的绝对平均高度与五个最深轮廓谷值的绝对平均深度之和, 从粗糙度轮廓的取样长度内的平均线测得。通过使用截止值为 l_c 和 l_s 的相位校准带通滤波器从原始轮廓获得该轮廓。

$$R_{z_{JIS}} = \frac{(Z_{p1} + Z_{p2} + Z_{p3} + Z_{p4} + Z_{p5}) + (Z_{v1} + Z_{v2} + Z_{v3} + Z_{v4} + Z_{v5})}{5}$$



| 符号 | 所用的轮廓 |
|-----------------|--------------------------|
| $R_{z_{JIS2}}$ | 测得的表面轮廓 |
| $R_{z_{JIS94}}$ | 使用相位校准高通滤波器从原始轮廓得出的粗糙度轮廓 |

轮廓的算术平均偏差 $R_{a_{75}}$

在粗糙度轮廓的取样长度内, 轮廓与平均线偏差绝对值的算术平均值(75%)。使用衰减系数为 12db/octave 和截止值为 λ_c 的模拟高通滤波器从测量轮廓获取该轮廓。

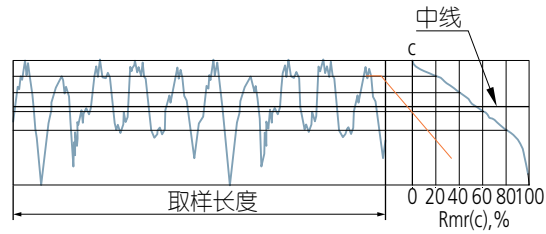
$$R_{a_{75}} = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} |Z(x)| dx$$

Surftest(表面粗糙度测量仪)

曲线、概率密度函数及相关参数

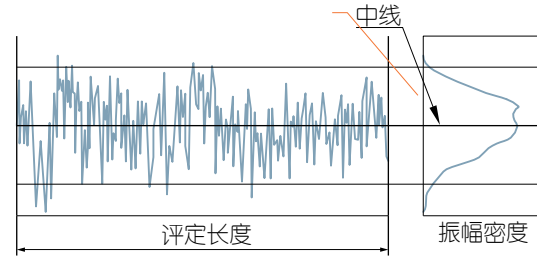
轮廓的材料比率曲线(Abbott-Firestone曲线)

该曲线表示轮廓材料比率与截面层c的函数关系



概率密度函数 (轮廓高度振幅分布曲线)

评估长度内的纵坐标Z(x)的样品概率密度函数



原始轮廓的材料比率 Pmr (c)

粗糙度轮廓的材料比率 Rmr (c)

波纹度轮廓的材料比率 Wmr (c)

在评估长度的给定层c下，轮廓元素MI(c)的材料长度与评估长度的比率

$$Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c) = \frac{MI(c)}{ln}$$

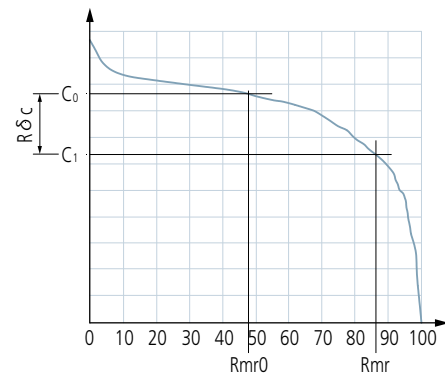
原始轮廓的算术平均偏差 Pδa

粗糙度轮廓的算术平均偏差 Rδa

波纹度轮廓的算术平均偏差 Wδa

给定材料比率下的两个截面层之间的垂直距离

$$R\delta c = c(Rmr1) - c(Rmr2); Rmr1 < Rmr2$$



原始轮廓相对支撑长度率 Pmr

粗糙度轮廓相对支撑长度率 Rmr

波纹度轮廓相对支撑长度率 Wmr

在一个轮廓水平截面Rδc确定的，与起始零位c0相关的支撑长度率。

$$Pmr, Rmr, Wmr = Pmr(c1), Rmr(c1), Wmr(c1)$$

其中 $c1 = c0 - R\delta c(P\delta c, W\delta c)$
 $c0 = C(Pmr0, Rmr0, Wmr0)$

非周期性轮廓的粗糙度取样长度 ISO 4288: 1996 (JIS B 0633: 2001)

表1: 非周期性轮廓粗糙度参数(Ra、Rq、Rsk、Rku、RΔq)的取样长度、材料比率曲线、概率密度函数及相关参数

| Ra μm | 取样长度lr mm | 评估长度ln mm |
|---------------------|--------------|--------------|
| (0.006) < Ra ≤ 0.02 | 0.08 | 0.4 |
| 0.02 < Ra ≤ 0.1 | 0.25 | 1.25 |
| 0.1 < Ra ≤ 2 | 0.8 | 4 |
| 2 < Ra ≤ 10 | 2.5 | 12.5 |
| 10 < Ra ≤ 80 | 8 | 40 |

表2: 非周期性轮廓粗糙度参数(Rz、Rv、Rp、Rc、Rt)的取样长度

| Rz, Rz1max. μm | 取样长度lr mm | 评估长度ln mm |
|-----------------------------|--------------|--------------|
| (0.025) < Rz, Rz1max. ≤ 0.1 | 0.08 | 0.4 |
| 0.1 < Rz, Rz1max. ≤ 0.5 | 0.25 | 1.25 |
| 0.5 < Rz, Rz1max. ≤ 10 | 0.8 | 4 |
| 10 < Rz, Rz1max. ≤ 50 | 2.5 | 12.5 |
| 50 < Rz, Rz1max. ≤ 200 | 8 | 40 |

1) Rz用于测量Rz、Rv、Rp、Rc和Rt。

2) Rz1max.仅用于测量Rz1max.、Rv1max.、Rp1max.和Rc1max.。

表3: 用于测量周期性粗糙度轮廓粗糙度参数以及周期性或非周期性轮廓参数Rsm的取样长度

| Rsm mm | 取样长度lr mm | 评估长度ln mm |
|--------------------|--------------|--------------|
| 0.013 < Rsm ≤ 0.04 | 0.08 | 0.4 |
| 0.04 < Rsm ≤ 0.13 | 0.25 | 1.25 |
| 0.13 < Rsm ≤ 0.4 | 0.8 | 4 |
| 0.4 < Rsm ≤ 1.3 | 2.5 | 12.5 |
| 1.3 < Rsm ≤ 4 | 8 | 40 |

用于确定取样长度(如果未指定)的步骤

图1 用于确定非周期性轮廓取样长度(如果未指定)的步骤。

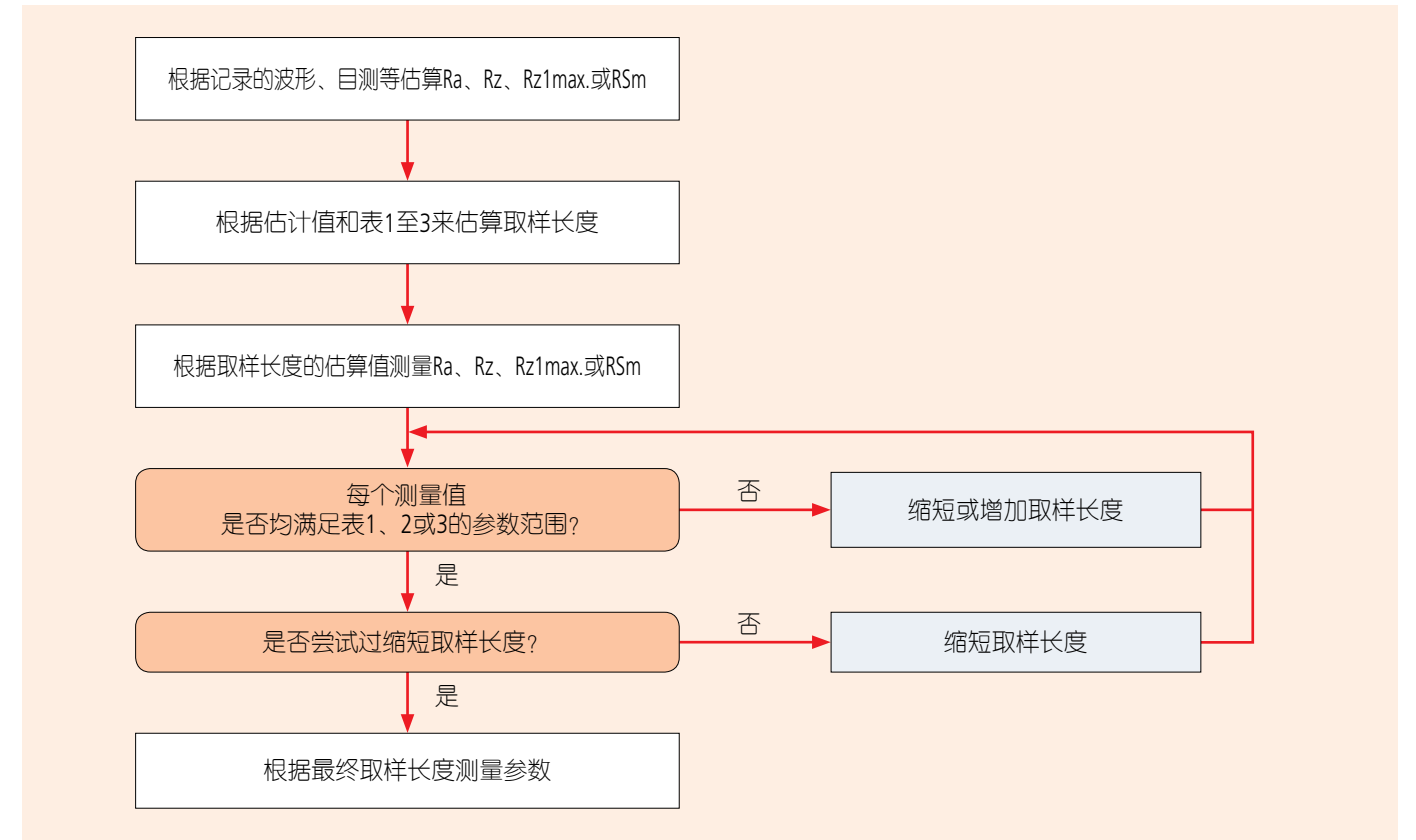
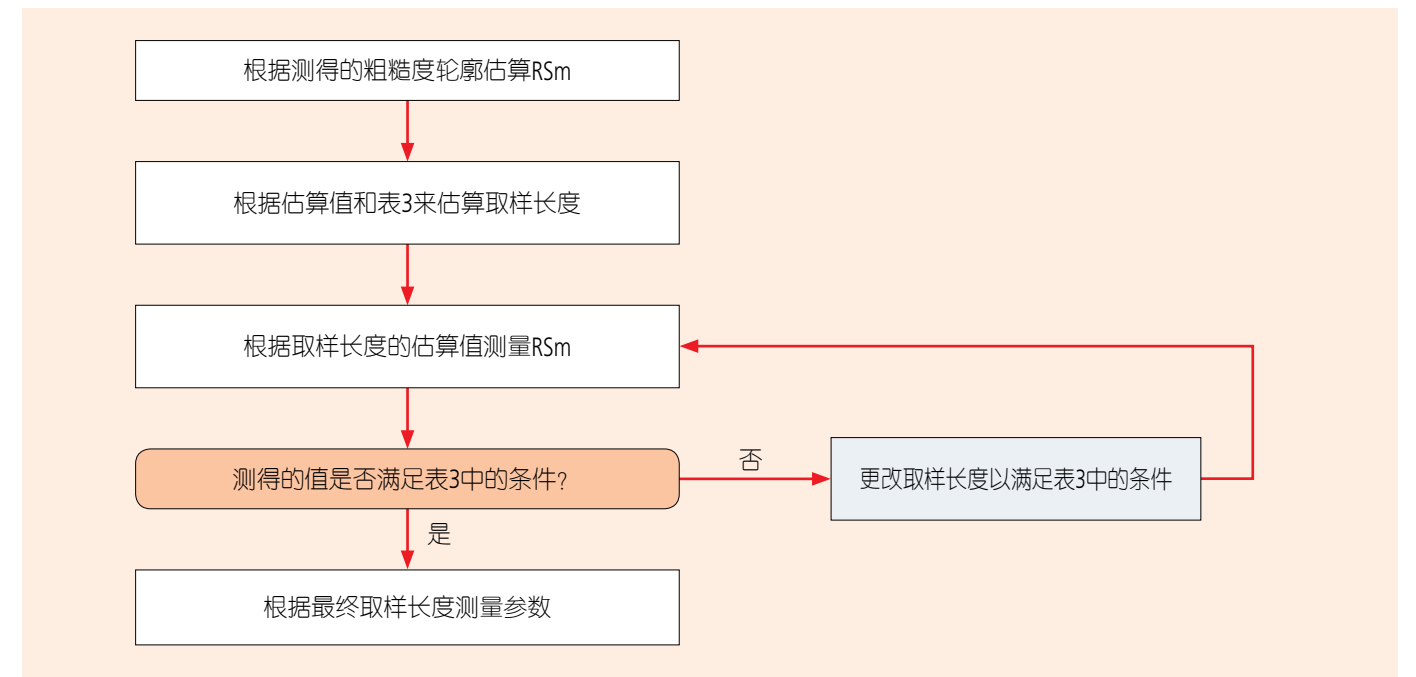


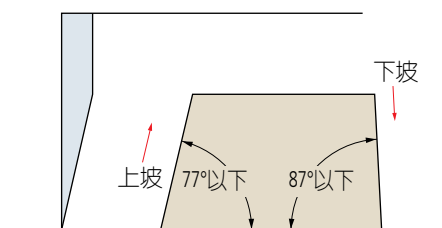
图2 用于确定周期性轮廓取样长度(如果未指定)的步骤。



Contracer(轮廓测量仪)

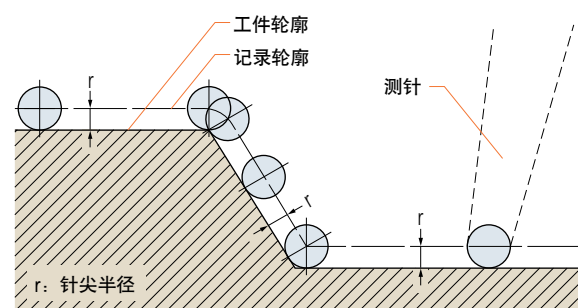
跟踪角度

在测针行进方向，沿工件轮廓，测针可向上或向下跟踪的最大角度被称为可跟踪角度。针尖角度为12°(如上图所示)的单面尖针最大可跟踪77°的上升角度和87°的下降角度。对于圆锥形测针(锥度为30°)，可跟踪角度较小。受表面粗糙度影响，角度为77°或总体更小的上行斜面实际上可能包括大于77°的角度。表面粗糙度也会影响测力。



测针针尖半径补偿

记录的轮廓表示测球尖中心在工件表面上的滚动轨迹。(典型半径为0.025mm。)显然，这与实际表面轮廓并不相同，因此，为获得准确的轮廓记录，必须通过数据处理来补偿针尖半径的影响。



如果通过模板或标尺从记录器读取轮廓，则必须根据应用的测量放大倍率事先补偿针尖半径。

精度

由于X轴和Z轴的检出器配置了标尺，因此放大倍率精度未按百分比显示，而是按每个轴的指示精度显示。

圆弧运动·直线运动

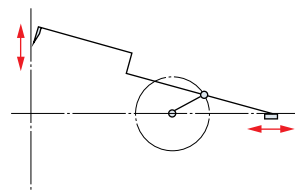
随着测针上下动作，描绘针尖划出的轨迹，有圆弧和直线两种方式。

做直线运动时，机械构造复杂，做圆弧运动时，如果测针的上下移动量较大，会由于圆弧变形(δ)而导致记录图形出现偏差。(参见下方的图)

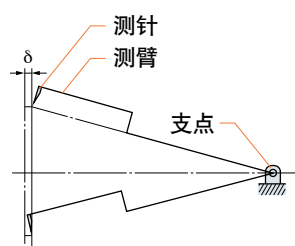
圆弧形变

测针做圆弧运动时，会在记录图形的X轴方向上出现变形导致偏差的产生。作为补偿圆弧的变形方法有3种：

1: 机械补偿



2: 电子补偿



δ : 圆弧形变

3: 软件处理。为了以高精度测量在垂直方向上具有大位移的工件轮廓，需要实现这些补偿方法之一。

Z轴检测方式

尽管通常采用的X轴测量方法为借助数字光栅尺，但Z轴测量分为模拟方法(使用差动变压器等)和数字光栅尺方法。模拟方法的Z轴分辨率取决于测量放大倍率和测量范围。数字光栅尺法具有固定的分辨率。数字光栅尺法通常比模拟法的精度更高。

安全装置

如果对针尖施加过大的力(过载)，这可能由于针尖在工件特征上遇到过陡的斜坡或毛刺等，安全装置会自动使操作停止并发出蜂鸣警报。这类仪器通常配有用于跟踪方向(X轴)负载和垂直方向(Y轴)负载的独立安全装置。如果测臂从检出器支座上脱落，则安全装置将起作用。

轮廓分析法

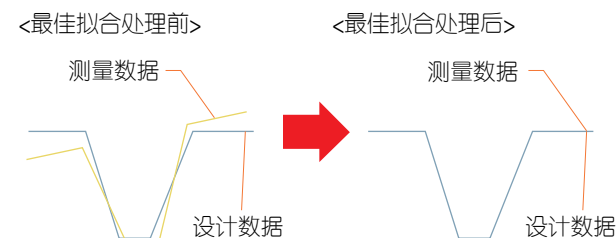
完成测量操作后，可以使用以下两种方法之一分析轮廓。

数据处理装置和解析程序

实时输入数据处理系统和一个专门的程序使用鼠标或键盘进行分析，从而完成轮廓测量。角度、半径、步骤、间距和等会用数值直接显示进来。另外还可以轻松地结合坐标系进行解析。记录图形经测针半径补偿后绘图器和激光打印机输出。

最佳拟合

如果有用于表面轮廓数据的标准，则根据标准进行设计数据公差分析。如果没有标准，或只希望进行形状公差分析，则可以执行设计数据和测量数据之间的最佳拟合。



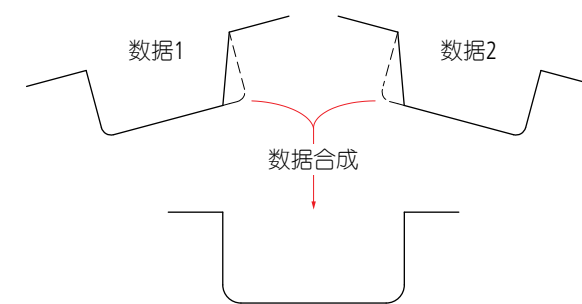
最佳拟合从两组数据来求偏差量，求偏差平方和为最小值的坐标系，使测量数据与设计数据重合。

与设计数据比对

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影响时使用较多。

数据合成

由于测针追踪角度的限制，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，也可以进行各种解析。



测量示例



非球面透镜轮廓



轴承的内圈/外圈轮廓



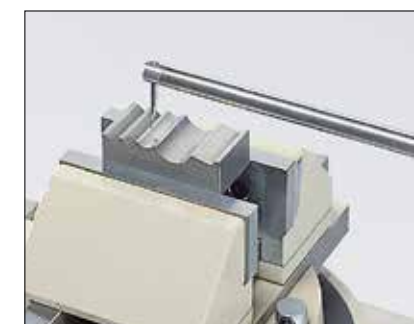
内齿轮齿形测量



内螺纹形状



外螺纹形状测量



量规轮廓

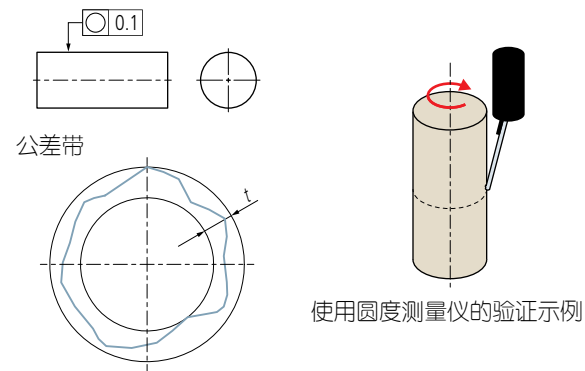
Roundtest(圆度、圆柱形状测量仪)

ISO 4291:1985圆度偏离评估方法 -- 测量半径变化
ISO 1101:2012产品几何技术规范(GPS) -- 几何公差分析 -- 形状、方向、位置和跳动公差

○ 圆度

任何圆周线均必须包含在半径为t的两个共面圆之间所形成的公差带内

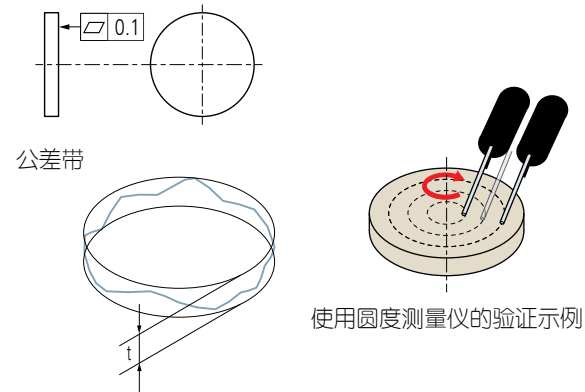
表示法示例



▭ 平面度

表面必须包含在相距为t的两个平行平面之间所形成的公差带内

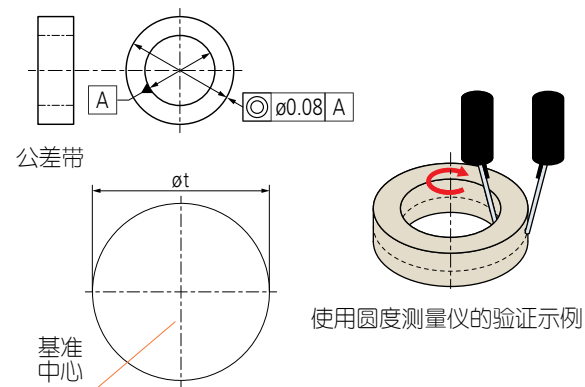
表示法示例



◎ 同心度

中心点必须包含在与基准同心的直径为t的圆所形成的公差带内

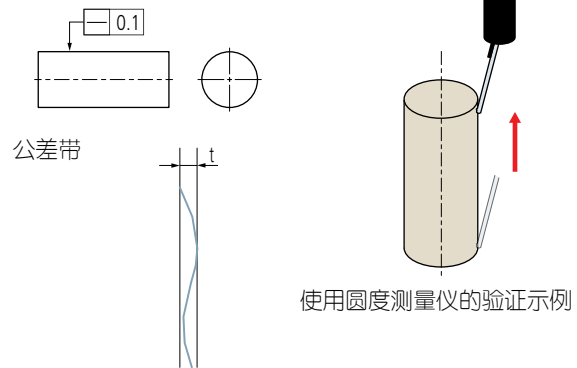
表示法示例



— 直线度

表面上的任何一条线均必须位于沿指定方向相距为t的两条平行直线之间的公差带内。

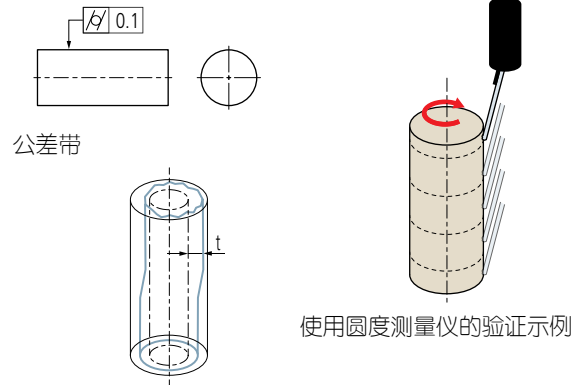
表示法示例



∅ 圆柱度

表面必须包含在半径为t的两个同轴圆柱体之间所形成的公差带内

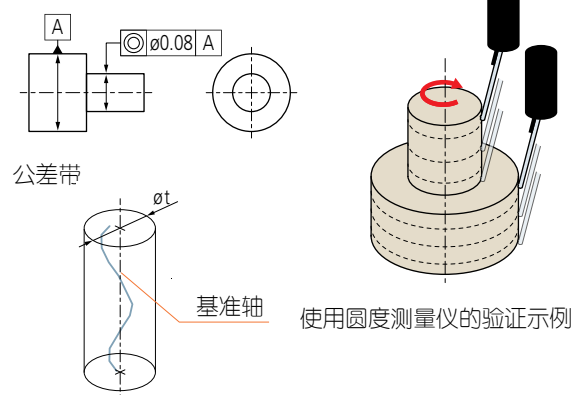
表示法示例



◎ 同轴度

轴必须包含在与基准同心的直径为t的圆柱体所形成的公差带内

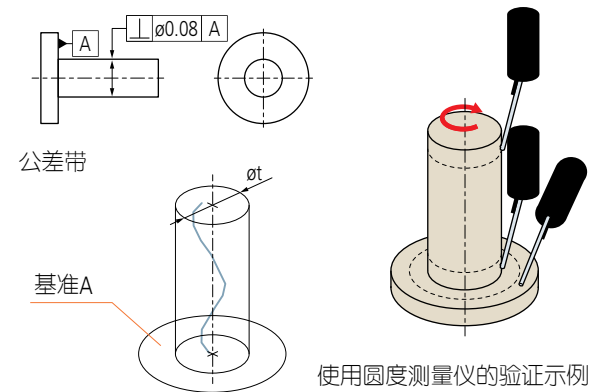
表示法示例



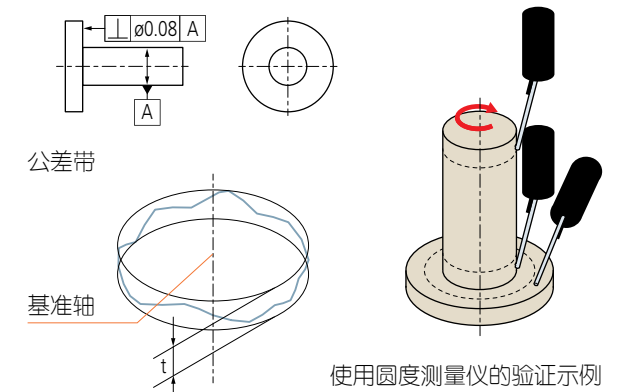
⊥ 垂直度

线或表面必须包含在相距为t且与基准垂直的两个平面之间所形成的公差带内

表示法示例



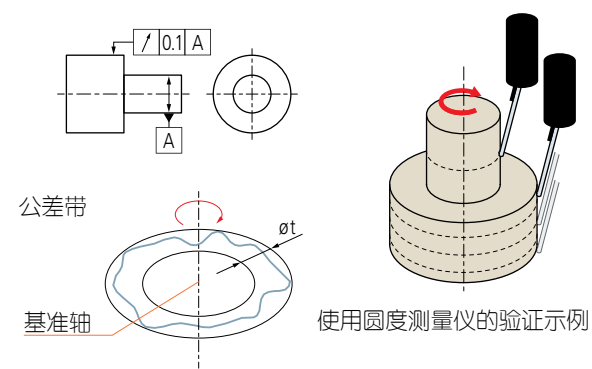
表示法示例



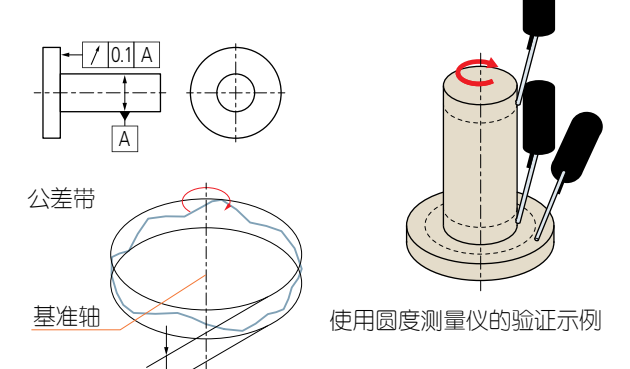
/ 圆跳动(径向和轴向)

线必须包含在相距为t且与基准同心或垂直的两个平面和/或同心圆之间所形成的公差带内

指定方向：径向方向 与基准轴向直线相交并垂直于基准轴线的方向



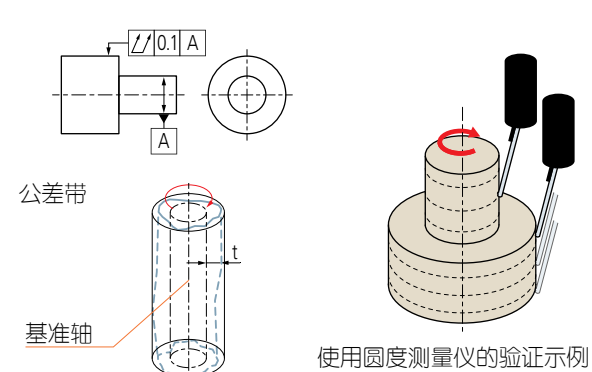
指定方向：径向方向 与基准轴向直线相交并垂直于基准轴线的方向



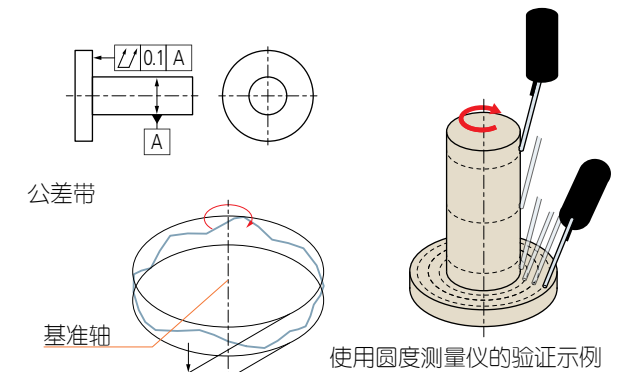
// 全跳动(径向和轴向)

表面必须包含在与基准同心或垂直的半径相差为t的两个同轴圆柱体之间或间距为t的两个平面之间所形成的公差带内

指定方向：径向方向 与基准轴向直线相交并垂直于基准轴线的方向



指定方向：径向方向 与基准轴向直线相交并垂直于基准轴线的方向



Roundtest(圆度、圆柱形状测量仪)

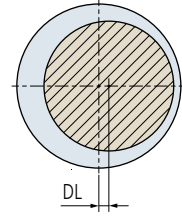
测量前的调整 ISO 4291: 1985

调心

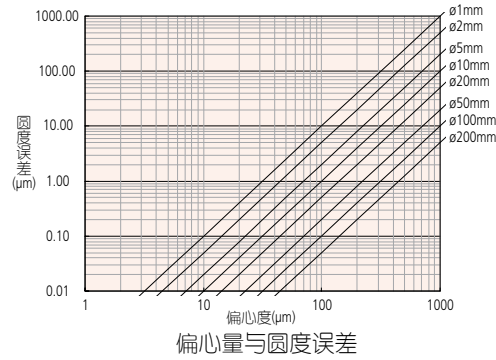
Roundtest的旋转工作台轴与工件轴之间的位移偏移(偏心量)会导致被测形状变形(limaçon误差),从而使计算的圆度值出现误差。

偏心量越大,计算出的圆度误差越大。

因此,在测量之前,应利用limaçon误差纠正功能对工件进行定心(轴重合),以便进行精确测量。下图显示了此功能的效果。

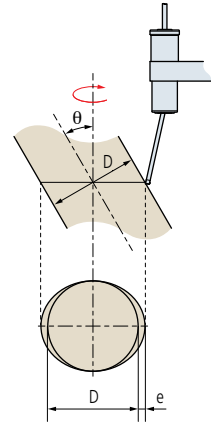


偏心补偿功能的效果

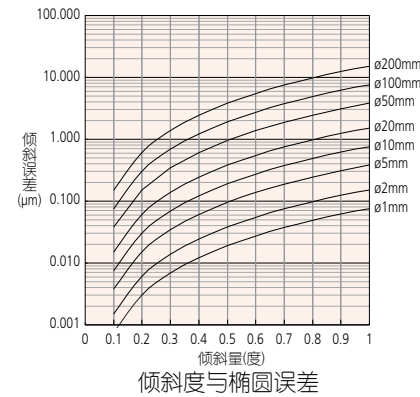


调水平

工件轴相对于测量仪器旋转轴的任何倾斜均会引起椭圆误差。必须进行调平,以使这两个轴充分平行。



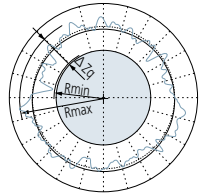
倾斜度与椭圆误差



评定圆度误差的方法 ISO 12181-1: 2011, ISO 4291: 1985

粗糙度测试仪使用测量数据来生成参考圆,其尺寸定义了圆度值。有四种方法可用于产生这些圆,如下所示,每种方法都有其各自的特征,因此应选择适合工件功能的方法。每种方法都会导致参考圆的中心位置不同,因此会影响所测圆形特征的轴向位置。

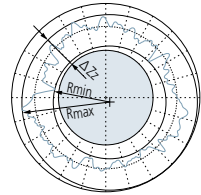
最小二乘圆 (LSC)



$\Delta Zq = R_{max} - R_{min}$
 ΔZq : 通过LSC表示圆度值的符号。

通过将一个圆拟合到所测轮廓,使轮廓数据与该圆偏离的平方和最小。然后,将圆度数字定义为轮廓与该圆的最大偏差(最高峰值到最低谷值之间的差异)。

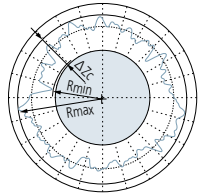
最小区域圆 (MZC)



$\Delta Zz = R_{max} - R_{min}$
 ΔZz : 通过MZC表示圆度值的符号。

通过对两个同心圆进行定位来包围所测轮廓,使其径向差最小。然后,将圆度数字定义为这两个圆的径向间隔。

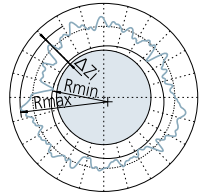
最小外接圆 (MCC)



$\Delta Zc = R_{max} - R_{min}$
 ΔZc : 通过MCC表示圆度值的符号。

创建可包围所测轮廓的最小圆。然后将圆度数字定义为轮廓与该圆的最大偏差。该圆有时被称为“环规”圆。

最大内切圆 (MIC)

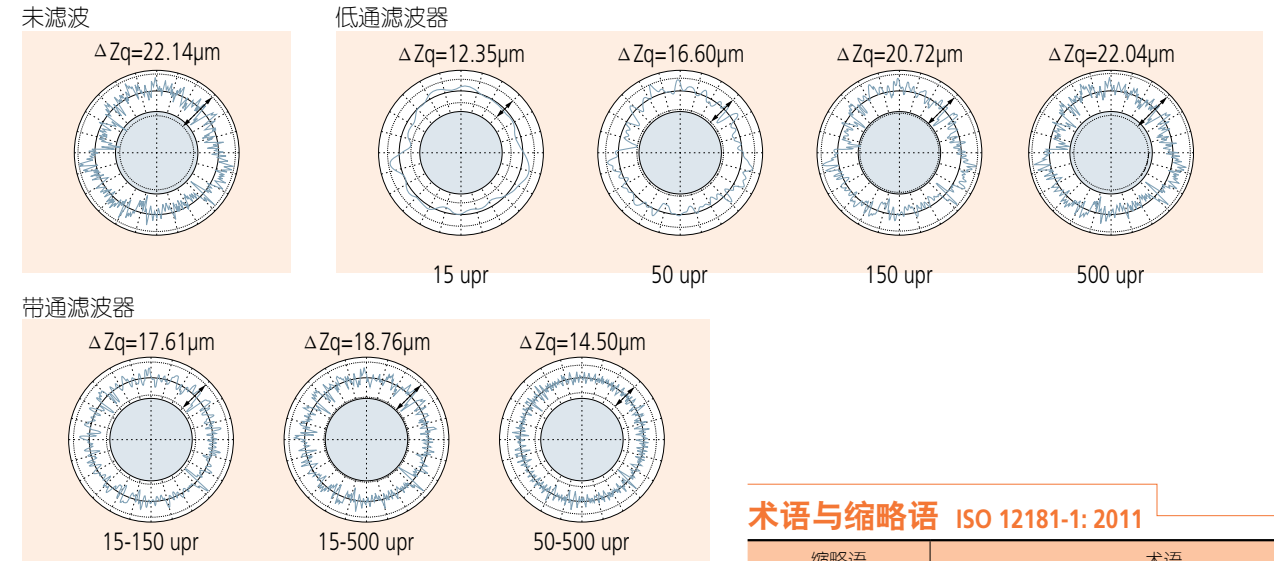


$\Delta Zi = R_{max} - R_{min}$
 ΔZi : 通过MIC表示圆度值的符号。

创建轮廓数据可包含的最大圆。然后将圆度数字定义为轮廓与该圆的最大偏差。该圆有时被称为“塞规”圆。

滤波器设置对所测轮廓的影响 ISO 12181-2: 2011

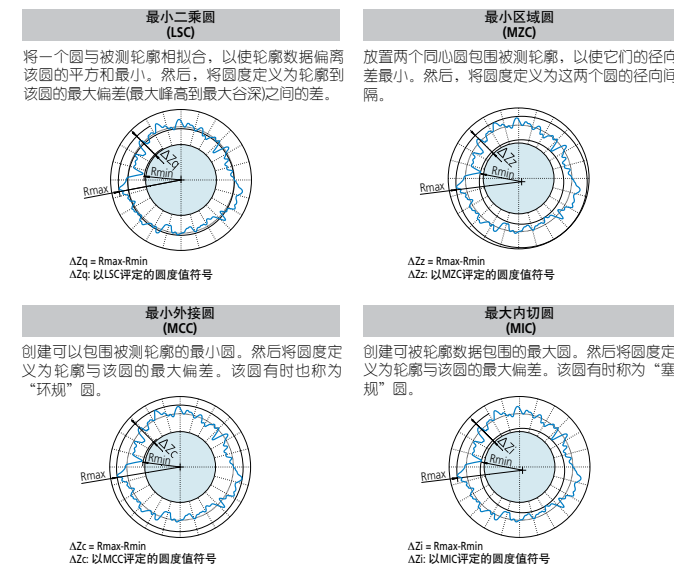
可通过各种方式对轮廓进行滤波,以减少或消除不必要的细节,并根据每转波动(upr)设置截止值。下图显示了不同upr设置的效果,该图说明了随着较低的upr设置逐渐使线条平滑,测得的圆度值如何降低。



评定圆度误差的方法 ISO 12181-1: 2011, ISO 4291: 1985

圆度仪使用测量数据来生成评定基圆,其大小限制了圆度值。生成这些圆的方法有四种,如下所示,每种方法都有其各自的特征,因此应选择适合工件功能的方法。

每种方法都会导致评定基圆的中心位置不同,因此会影响所测圆要素的轴向位置。



滤波

| | 2CR 滤波器 | 高斯滤波器 |
|-----|----------------|-------------------|
| 标准 | ISO 4291: 1985 | ISO 12181-1: 2011 |
| 衰减率 | 75 % | 50 % |

术语与缩略语 ISO 12181-1: 2011

| 缩略语 | 术语 |
|------|-----------|
| LSCI | 最小二乘评定基圆 |
| LSCY | 最小二乘评定基圆柱 |
| LSLI | 最小二乘评定基线 |
| LSPL | 最小二乘评定基面 |
| LCD | 局部圆柱度偏差 |
| LFD | 局部平面度偏差 |
| LRD | 局部圆度偏差 |
| LSD | 局部直线度偏差 |
| MICI | 最大内切评定基圆 |
| MICY | 最大内切评定基圆柱 |
| MCCI | 最小外接评定基圆 |
| MCCY | 最小外接评定基圆柱 |
| MZCI | 最小区域评定基圆 |
| MZCY | 最小区域评定基圆柱 |
| MZLI | 最小区域评定基线 |
| MZPL | 最小区域评定基面 |
| UPR | 每转波数 |

参数与缩略语 ISO 12181-1: 2011

| 缩略语 | 参数 | 评定基圆* | | | |
|-------------------|-----------------------------------|-------|------|------|------|
| | | 最小区域 | 最小二乘 | 最小外接 | 最大内切 |
| CYL _{tt} | 圆柱锥度 (LSCY) | — | ✓ | — | — |
| STR _{sq} | 素线直线度偏差 | — | ✓ | — | — |
| STR _{lc} | 局部素线的直线度偏差 | — | ✓ | — | — |
| CYL _p | 峰-基圆柱度偏差 (LSCY) | — | ✓ | — | — |
| FLT _p | 峰-基平面度偏差 (LSPL) | — | ✓ | — | — |
| RON _p | 峰-基圆度偏差 (LSCI) | — | ✓ | — | — |
| STR _p | 峰-基直线度偏差 (LSLI) | — | ✓ | — | — |
| CYL _v | 峰-谷圆柱度误差 (MZCY, LSCY, MICY, MCCY) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| FLT _t | 峰-谷平面度误差 (MZPL, LSPL) | ✓ | ✓ | — | — |
| RON _t | 峰-谷圆度误差 (MZCI, LSCI, MCCI, MICI) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| STR _t | 峰-谷直线度误差 (MZLI, LSLI) | ✓ | ✓ | — | — |
| CYL _v | 基-谷圆柱度偏差 (LSCY) | — | ✓ | — | — |
| FLT _v | 基-谷平面度偏差 (LSPL) | — | ✓ | — | — |
| RON _v | 基-谷圆度偏差 (LSCI) | — | ✓ | — | — |
| STR _v | 基-谷直线度偏差 (LSLI) | — | ✓ | — | — |
| CYL _q | 均方根圆柱度误差 (LSCY) | — | ✓ | — | — |
| FLT _q | 均方根平面度误差 (LSPL) | — | ✓ | — | — |
| RON _q | 均方根圆度误差 (LSCI) | — | ✓ | — | — |
| STR _q | 均方根直线度误差 (LSLI) | — | ✓ | — | — |
| STR _{sq} | 提取中线的直线度误差 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

* 可应用参数的评定基圆

硬度试验机

硬度的定义

(1) 维氏硬度

维氏硬度是一种适用范围最广的试验方法，可使用任意试验力进行硬度检查。该测试具有非常广泛的应用领域，尤其是对于以小于9.807N (1kgf)的试验力进行的硬度测试。如以下公式所示，维氏硬度是将试验力F (N)除以标准片与压头之间的接触面积S (mm²)所得的值，该面积根据在试验力F (N)下通过压头(四方锥金刚石，相对面角θ=136°)在标准片上形成的压痕的对角线长度d(mm，两个方向长度的平均值)计算。k为常数(1/g=1/9.80665)。

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

以下公式给出了所计算的维氏硬度误差。这里的Δd1、Δd2和“a”分别表示显微镜引起的测量误差、压痕读取误差以及压头尖端相对面产生的边缘线长度。Δθ的单位为度。

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

(2) 努氏硬度

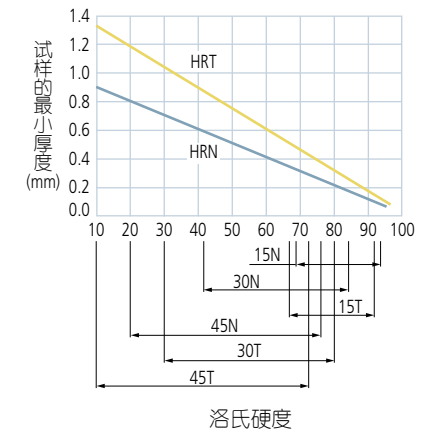
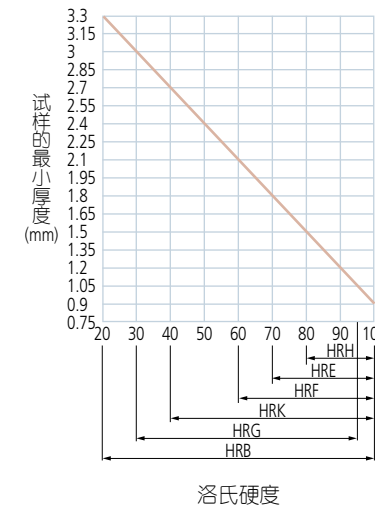
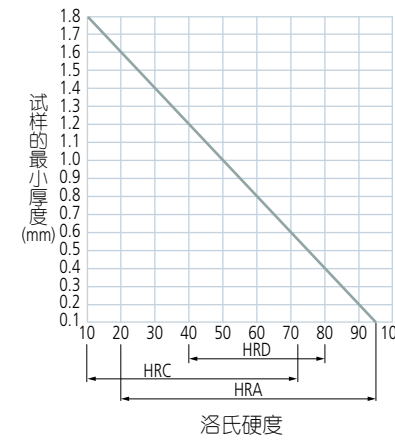
如以下公式所示，努氏硬度是通过将试验力除以压痕投影面积A (mm²)所计算的，该面积根据在试验力F通过按压长菱形金刚石压头(相对面角为172°30'和130°)在标准片上形成的压痕的较长对角线长度d (mm)计算。努氏硬度也可以通过将显微硬度试验机的维氏压头替换为努氏压头来测量。

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

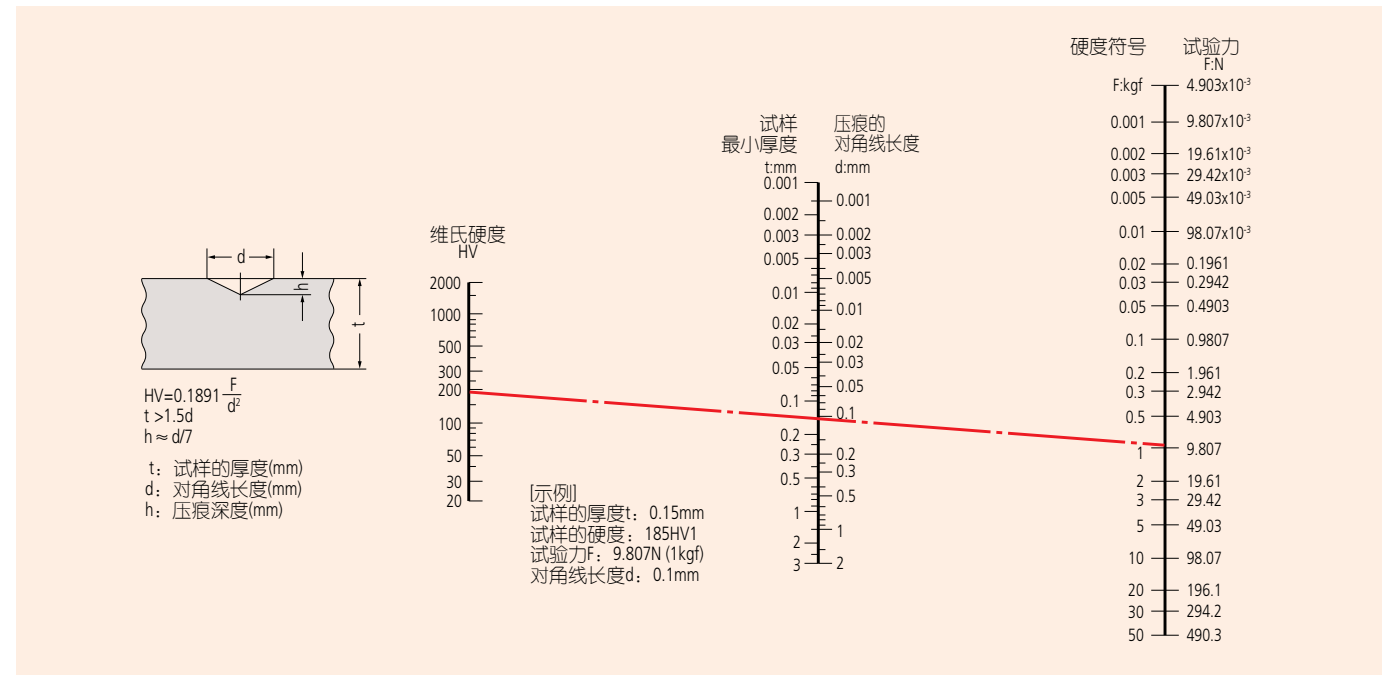
(3) 洛氏与表面洛氏硬度

要测量洛氏硬度或表面洛氏硬度，请先使用金刚石压头(尖端锥角: 120°, 尖端半径: 0.2mm)或球形压头(钢球或硬质合金球)向标准片施加预加载力，然后施加试验力，并恢复预加载力。该硬度值由硬度公式得出，该公式以预加载力和试验力之间的压痕深度h (μm)之差表示。洛氏硬度测试使用98.07N的预加载力，表面洛氏硬度测试则使用29.42N的预加载力。结合压头类型、试验力和硬度公式一起提供的特定符号被称为标尺。日本工业标准(JIS)定义了各种相关硬度标尺。

洛氏/表面洛氏硬度与试样最小厚度的关系



维氏硬度与试样最小厚度的关系



洛氏硬度种类

| 标尺 | 压头 | 试验力(N) | 应用 |
|----|----------------|--------|---------------------|
| A | 金刚石 | 588.4 | 硬质合金、薄钢板 |
| D | | 980.7 | 硬化钢 |
| C | | 1471 | 钢(100HRB以上~70HRC以下) |
| F | 直径为1.5875mm的圆球 | 588.4 | 轴承合金、退火铜 |
| B | | 980.7 | 黄铜 |
| G | 直径为3.175mm的圆球 | 1471 | 硬铝合金、镀锌、磷青铜 |
| H | | 588.4 | 轴承合金、砂轮 |
| E | 直径为6.35mm的圆球 | 980.7 | 轴承合金 |
| K | | 1471 | 轴承合金 |
| L | 直径为12.7mm的圆球 | 588.4 | 塑料、铅 |
| M | | 980.7 | |
| P | 直径为12.7mm的圆球 | 1471 | |
| R | | 588.4 | |
| S | 直径为12.7mm的圆球 | 980.7 | 塑料 |
| V | | 1471 | |

表面洛氏硬度种类

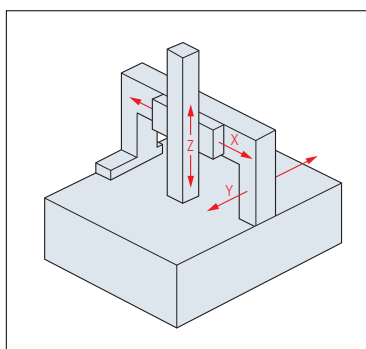
| 标尺 | 压头 | 试验力(N) | 应用 |
|-----|----------------|--------|-------------|
| 15N | 金刚石 | 147.1 | 渗碳、渗氮等 |
| 30N | | 294.2 | 钢的薄表面硬化层 |
| 45N | | 441.3 | |
| 15T | 直径为1.5875mm的圆球 | 147.1 | 低碳钢、黄铜、薄铜片等 |
| 30T | | 294.2 | |
| 45T | 直径为3.175mm的圆球 | 441.3 | 塑料、锌、轴承合金 |
| 15W | | 147.1 | |
| 30W | 直径为6.35mm的圆球 | 294.2 | 塑料、锌、轴承合金 |
| 45W | | 441.3 | |
| 15X | 直径为12.7mm的圆球 | 147.1 | 塑料、锌、轴承合金 |
| 30X | | 294.2 | |
| 45X | 直径为12.7mm的圆球 | 441.3 | 塑料、锌、轴承合金 |
| 15Y | | 147.1 | |
| 30Y | 直径为12.7mm的圆球 | 294.2 | 塑料、锌、轴承合金 |
| 45Y | | 441.3 | |

三坐标测量机

三丰坐标测量机有四种代表性结构，这些结构具有稳定性出色、高精度、高测量速度、方便工件固定等优点。

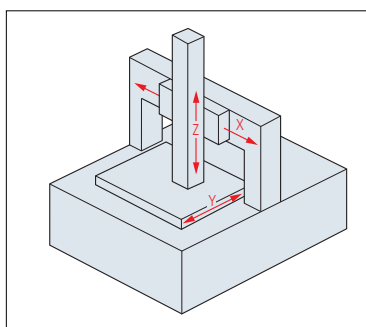
移动桥式CMM

这种类型由安装在滑座上的垂直移动连接杆(Z轴)构成，支架(X轴)在通过基座支撑并水平引导而形成Y轴的桥式结构上水平移动。将工件装载在基座上。三丰CMM大多数型号均采用这种结构，从而实现了高精度、高速度和高加速度。三丰提供从小型到大型多尺寸的丰富产品阵容，对应多种需求。



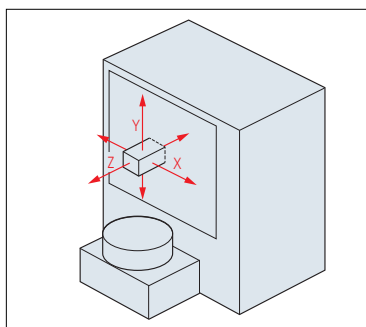
固定桥式CMM

这种类型配有安装在滑座上的垂直移动连接杆(Z轴)，支架(X轴)在固定到基座上的桥式结构上水平移动，工作台(Y轴)在基座上水平移动。将工件装载到移动工作台上。三丰超高精度CNC CMM LEGEX系列采用了这种结构类型，以便通过最大限度地分析和减少误差源，从而实现初项0.28μm的超高精度。



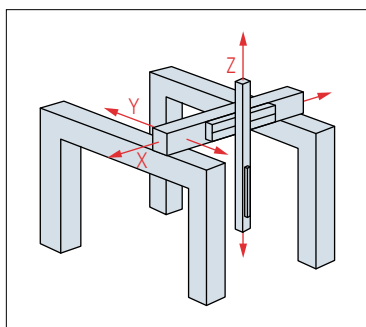
水平臂式CMM

这种类型配有安装在滑座上的水平移动连接杆(Z轴)，支架(Y轴)在基座支撑的立柱上垂直移动，立柱(X轴)在基座上水平移动。将工件装载在基座上。三丰可联入生产线型CNC三坐标测量机MACH-3A系列采用这种结构类型，从而实现了高速定位、节省空间和耐用性，与生产线侧/线内安装兼容。



桥式CMM

这种类型由安装在滑座上的垂直移动连接杆(Z轴)构成，支架(X轴)在由硬地板支撑的双桥结构(Y轴)上水平移动。工件直接放在地板上。三丰的超大型独立引导式CNC CMM采用了这种类型，该类型融入了三丰开发的创新结构(活动桥式落地安装型)。它具有超大的测量范围，可对沉重的大型工件进行高精度测量。



三坐标测量仪的性能评估方法

对于CMM性能评估方法，在2003年发布了ISO 10360系列的修订版，并于2013年进行了部分修订。下文介绍了包括修订内容的标准检查方法。

表1 ISO 10360系列；JIS B 7440(2003)系列

| 项目 | ISO规格 | | JIS规格 | |
|---------------|-------------|------|--------------------|---------|
| | ISO标准 | 时间 | JIS标准 | 时间 |
| 1 术语 | ISO 10360-1 | 2000 | JIS B 7440-1(2003) | 2003/3 |
| 2 长度测量 | ISO 10360-2 | 2009 | JIS B 7440-2(2013) | 2013/10 |
| 3 配备旋转工作台的CMM | ISO 10360-3 | 2000 | JIS B 7440-3(2003) | 2003/3 |
| 4 扫描测量 | ISO 10360-4 | 2000 | JIS B 7440-4(2003) | 2003/3 |
| 5 单测针/多测针测量 | ISO 10360-5 | 2010 | JIS B 7440-5(2013) | 2013/10 |
| 6 软件检查 | ISO 10360-6 | 2001 | JIS B 7440-6(2004) | 2004/3 |

*2013年修订

最大允许长度测量示值误差 $E_{0,MPE}$ [ISO 10360-2:2009/JIS B 7440-2(2013)]

使用带指定测头的标准CMM，如图1所示的7个方向分别对5种不同的试验长度测量3次，共进行105次测量。如果这些测量结果(包括测量不确定性的余量)等于或小于制造商指定的值，则表明CMM的性能符合其规范。判断OK/NG结果时需要考虑不确定因素。测试的最大允许误差(标准值)可用以下三种形式(单位：μm)的任一种来表示。

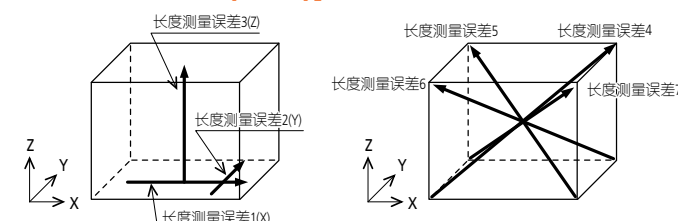


图1 用于获取长度测量误差的测量方向

$$E_{0,MPE}(MPE\epsilon) = A + L/K \leq B$$

$$E_{0,MPE}(MPE\epsilon) = A + L/K$$

$$E_{0,MPE}(MPE\epsilon) = B$$

{

- A: 制造商规定的常数(μm)
- K: 制造商规定的无量纲常数
- L: 测量长度(mm)
- B: 制造商指定规格的上限值(μm)

* ISO 10360-2:2009/JIS B 7440-2(2013)规定必须在4个不同方向上进行测量，并建议平行于每个轴进行测量，而ISO 10360-2:2001/JIS B 7440-2(2013)则规定“在任意7个方向上”进行测量。

ISO 10360-2:2009/JIS B 7440-2(2013)中增加了以下误差定义。

Z轴测针偏移为150mm时的最大允许长度测量误差/长度测量误差 $E_{150,MPE}$ [ISO 10360-2:2009/JIS B 7440-2(2013)]

除了在7个方向上进行长度测量以外，ISO 10360-2:2009/JIS B 7440-2(2013)还指定在YZ或XZ对角面的2条线上测量测头偏移。

注：默认情况下，将测针偏移设为150mm。

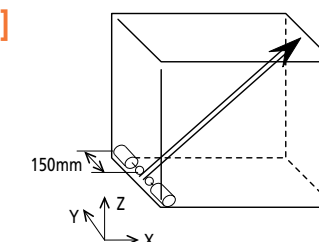


图2 Z轴测针偏移为150mm时的长度测量误差

长度测量重复范围的最大允许界限 $R_{0,MPL}$ [ISO 10360-2:2009/JIS B 7440-2(2013)]

长度测量重复范围的最大允许界限 $R_{0,MPL}$ [ISO 10360-2:2009/JIS B 7440-2(2013)]对给定长度进行3次测量后，评估测量结果偏差。然后，计算可重复性范围 R_0 ，如图3所示。

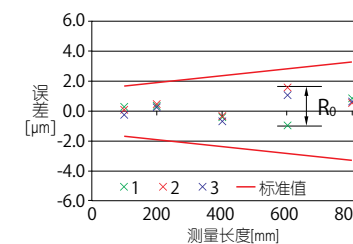


图3 长度测量的重复范围

最大允许径向四轴误差 MPE_{FR} 、最大允许切向四轴误差 MPE_{FT} 和最大允许轴向四轴误差 MPE_{FA} [ISO 10360-3:2000/JIS B 7440-2(2013)]

在该标准下的测试步骤中，将两个标准球体放在旋转工作台上，如图4所示。将旋转工作台旋转至总共15个位置，包括0°、正(+)方向中的7个位置以及负(-)方向中的7个位置，并测量每个位置中的两个球体的中心坐标。然后，将标准球体形状的不确定度添加到两个标准球体中心坐标的径向元素、连接方向元素以及旋转轴方向元素的每个变化(范围)中。如果这些计算值小于指定值，则评估测试合格。

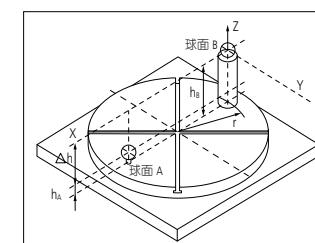


图4 带旋转工作台的CMM评估

三坐标测量机

最大允许扫描测量误差 MPE_{THP} [ISO 10360-4: 2000/JIS B 7440-4(2003)]

搭载扫描测头时的精度规格。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二乘法球中心，以使用所有测量点的存在范围(图5-A尺寸)和4个截面所有测量点计算出的最小二乘法球的中心为基准时，计算校正过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5-B尺寸)，上述各值分别加上“测针尖端形状的不确定度”和“检测用标准球形状的不确定度”合成的扩张不确定度的值，得出的值如果都在规定值以下则为合格。

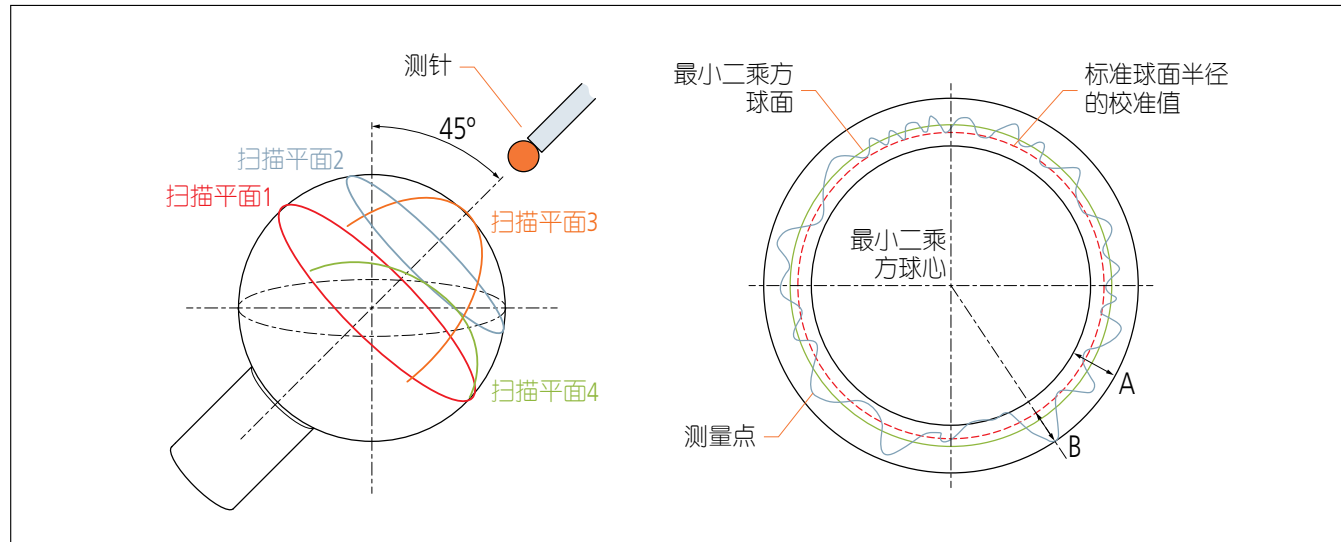


图5 最大允许扫描探测误差的目标测量平面及其评估概念

最大允许探测误差 $P_{FTU, MPE}$ [ISO 10360-5: 2010/JIS B 7440-5(2013)]

本测量包含在ISO 10360-5: 2010的尺寸测量中，在ISO 10360-5: 2010单测针及多测针测量系统的三坐标测量机表述中。关于测量方法没有变更，按下列步骤实施：
测量检测用标准球上的目标点(图6:25点)，并根据所有的测量点计算最小二乘法球的中心。进而对25个测量点，计算每个点到最小二乘法球中心的距离 R ，求出 $R_{max}-R_{min}$ 值，这个值再加上“测针尖端形状的不确定度”和“检测用标准球形状的不确定度”合成的扩张不确定度的值，如果得出的值在规定值以下则为合格。

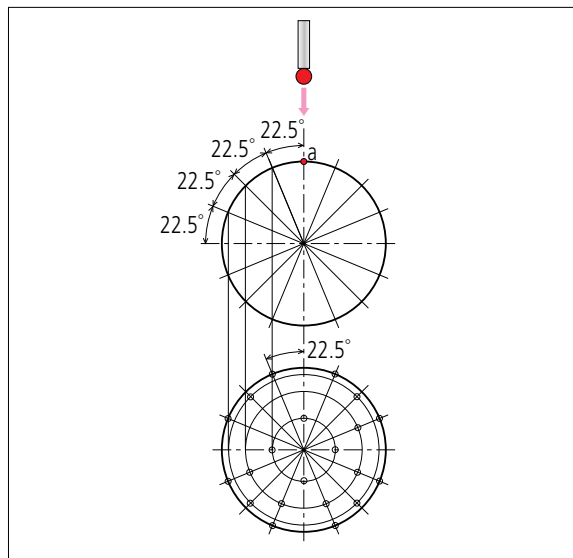
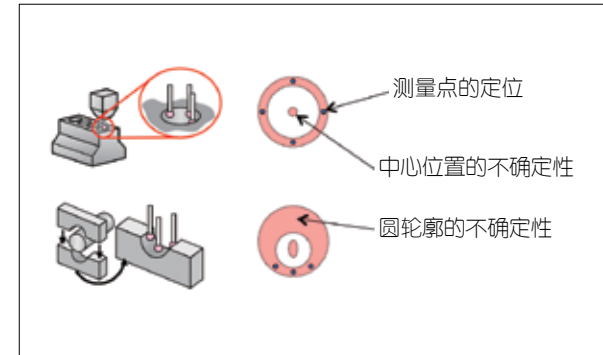


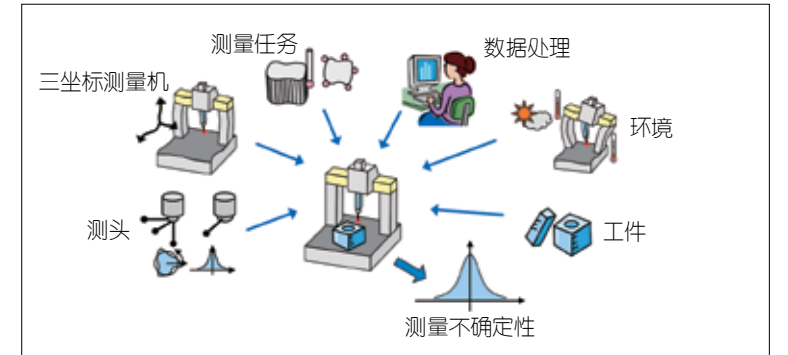
图6 用于确定最大允许探测误差的目标点

三坐标的测量不确定度

测量不确定度用于评价测量结果的可靠性。ISO 14253-1: 1998(JIS B 0641-1: 2001)建议在参考规范评价测量结果时考虑不确定度。然而，用三坐标测量机进行测量时确认测量不确定度并非容易。
为了评价测量的不确定度，需要量化不确定度的每个来源，并将其结合到测量结果中。例如，根据图纸要求或操作者意志自由的进行测量点的分布或定义基准。
三坐标具有如何进行测量的所有类型的设置。此功能使得它更难检测到影响结果的不确定性的来源。以圆测量为例，只相差一个测量点及其分布引起的不确定性计算的必要性。此外，有许多来源的不确定性，被认为是与三坐标测量机和它们相互作用的。由于以上原因，几乎不可能推广到如何估计三坐标测量机的测量不确定度。



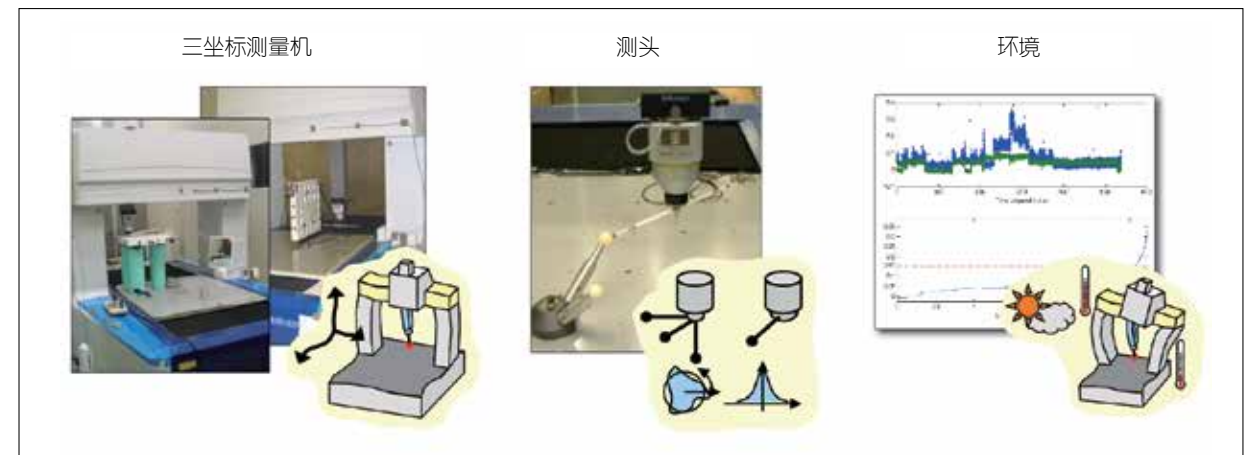
三坐标测量机进行圆测量的示例



引起三坐标测量不确定性的因素

三坐标测量机的测量不确定度与Virtual CMM软件的测量

通过Virtual CMM软件可估算复杂的CMM测量不确定度。该软件根据CMM的机器特性在PC上对其进行仿真，并执行虚拟(模拟)测量。根据操作员创建的部件程序执行模拟测量。根据实际机器的几何特征、探测特征和温度环境等，通过实验值来评估机器特性。可使用Virtual CMM软件包轻松估算CMM的测量不确定度。
ISO15530第4部分(ISO/TS 15530-4(2008))定义了如何使用计算机仿真来验证任务特定测量不确定度的有效性。Virtual CMM符合此规范。



实验三坐标测量不确定性元素的量化

