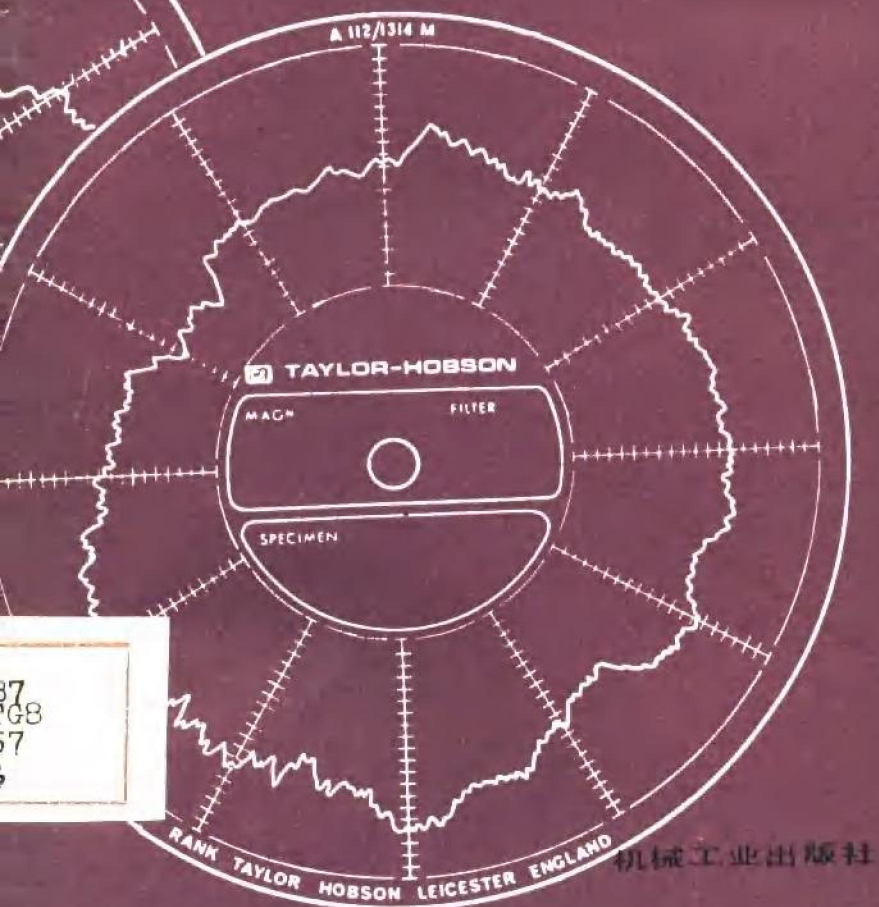


谈谈圆度

[英] H. 达格诺尔 著



机械工业出版社

“当你能够测量你所谈论的物体，并能用数字加以描述时，你就对它有所了解；而当你不能测量，不能用数字来表达时，你的知识就是贫乏的，不能令人满意的。”

凯尔文勋爵

(1824~1907)

目 录

第一章 绪言	1
圆度为什么重要 有关圆度的其它方面 圆度是如何测量的 测量尺寸与有效尺寸之间的差异 产生不圆度的原因	
第二章 在工作台上测量圆度	9
第三章 几个试验	13
模型 试验 1 试验 2 试验 3 试验 4 试验 5 试验 6	
第四章 圆度测量仪	17
圆度仪的类型 两种圆度仪的比较 圆度仪的主要部件 圆度 仪其它性能 回转传感器式圆度仪 回转工作台式圆度仪 其它 圆度仪 圆球度干涉仪	
第五章 测量方法	44
工件的整体几何形状 水平表面 直线度 间断表面 测头 几种应用	
第六章 记录图和对记录图的解释	55
记录图怎样代表被测表面 怎样从记录图上求取圆度 使用对 板 用数字表示不圆度 滤波器 辅助评定装置 标准化 圆度 未来发展	
第七章 几个有关圆度的术语和定义	78
测量几何形状 仪器术语	
结束语	76

第一章 绪 言

据说人类最大的得益来自两大发明，第一是字母的发明，第二是轮子的发明。确实，没有轮子的发明，就没有技术，也没有迄今为止我们所谓的文明。

环顾四周，想一想人的生活是如何依赖于装有旋转部件的机械的，不仅你所使用的汽车，而且从最小的手表到最大的电站都是如此。在任何机械工厂中都可以看到，许多机器正在加工圆形的工件——轴、轴承、齿轮、轴套、球轴承、轮子等。所有这些工件都有一个共同的特点——即都是圆形的。但圆到何种程度呢？这就是写这本书的目的。本书将要告诉你如何来回答这一问题，特别是通过测量，得出一个数值来表示圆度。用凯尔文勋爵的话来说，就是“你对它有所了解。”

测量不圆度（或如通常为了方便起见而称之为圆度）不是最近的发明，在工厂车间中及检测台架上已经进行了很长的时间。很多技术人员曾经而且仍旧把工件置于V形块上或顶尖之间旋转，用千分表测量其跳动量而求取圆度（如图1）。这种方法虽然对某些工件的检测很有用，却有其局限性，而且有可能得到错误的结果，因而抵消了其所具有的使用简单的优点。

不仅传统的精密制造业，而且现代的技

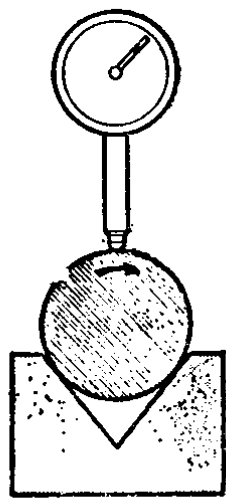


图 1

术工程都要求更精密的圆度公差及更精确的圆度测量。换句话说，即要求更严格地控制圆形表面的几何形状。现在，测量圆度的仪器及与其有关的参数均已被研制出来，并且被广泛应用。对于任何从事技术工作的人，不论是设计者，机床操作者，还是检验人员，对这些仪器的原理、性能、局限性，以及对测量出的数据有个基本的分析和理解，都是非常重要的。所测量出的结果，不仅可以用来检验工件的圆度是否合格，而且还可以用来监测机床的性能和刀具的磨损程度，并用来分析不良操作所产生的影响。

圆度为什么重要

让我们来看一看轴与滑动轴承的配合情况（图2）。只要两者都是圆的，而且配合不松不紧，轴就能平稳地转动。如果加以润滑，则转动就会更好。但这是否就够了呢？当轴和轴承承受较大的负荷，或者在使用数年之后，轴和轴承是否还能令人满意的继续运转呢？另外，润滑剂是否能够最有效地发挥润滑作用呢？

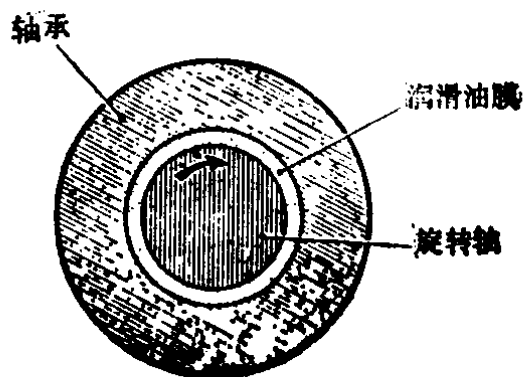


图 2

要回答这些问题必须根据“圆”的含义。用肉眼看上去，轴或轴承可能是圆的，甚至当我们用千分尺测量时其直径也是一致的。但是，如图3所示，用高倍数放大镜观看工件的形状就可以清楚地看出，当轴在滑动轴承中旋转时，轴体表面上用字母A所标示的凸棱部位将承受大部分负荷。要使润

滑油起到预定的润滑作用，必须保持一定的油膜厚度，而在图 3 中， B 点的油膜厚度将会大大超过 A 点的油膜厚度。同样，轴承的内径也不是一个真圆，它可能如图 4 所示（放大图），稍稍有点椭圆。这样也将产生同样的结果。在上述任何一种情况中，轴和轴承组合件的运转效果，都不会象设计者所预期的那样好。

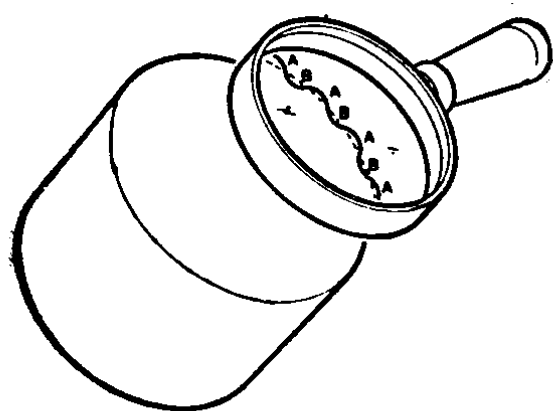


图 3

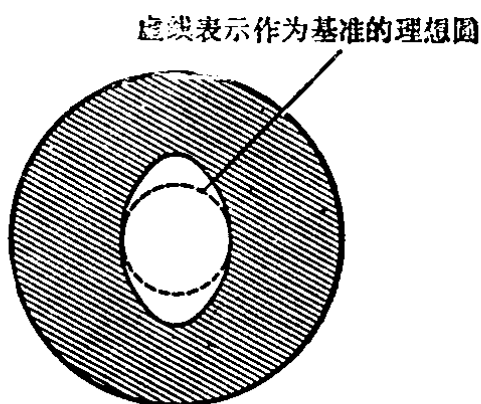


图 4

有关圆度的其它方面

到目前为止，我们只谈了轴和轴承，而且，仅仅从单一横截面的角度讲述了圆度。但是，我们还要了解有关机械零件圆形特性的其它资料。如图 5 所示，我们可能要检测：

- a) 两个不同的直径部分是否同心；
- b) 管件的孔径与外径是否同轴；
- c) 孔（的轴线）是否直；
- d) 横端面是否与轴线相垂直；
- e) 台肩和缩径部位是否与轴线相垂直，台肩和缩径部位的上下表面是否平行。

以上这些工件都是相当简单的，下面我们将谈到曲轴(图

6)。曲轴不同承载面的相关联的几何形状是非常重要的。正象我们以后将要看到的，这类几何形状的检测工作的很大部分是圆度测量。

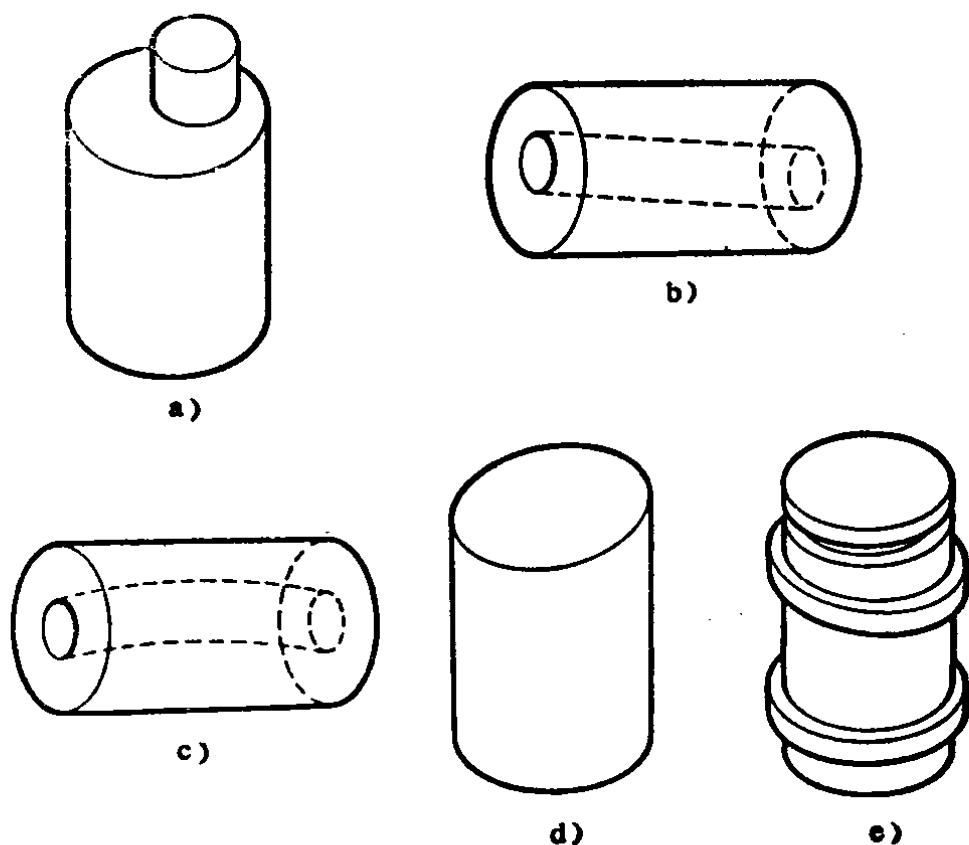


图5 可以检测的一些形状误差

圆度是如何测量的

一般说来，在工件的横截面上如果有一个点（即圆心），从这一点至圆周上各点的距离相等，我们则说这个工件是圆的，而这个横截面就是一个真圆（图7）。如果这一横截面不是一个真圆（如图8所示为三棱形），其不圆度 $\ominus$ 规定为其中心至圆周上各点的距离之差。即：如果 r_1 为其中心至圆周的最大距离， r_2 为其中心至圆周的最小距离，则不圆度等于 $r_1 - r_2$ 。

$\ominus$ 我国称为圆度误差——译者注。

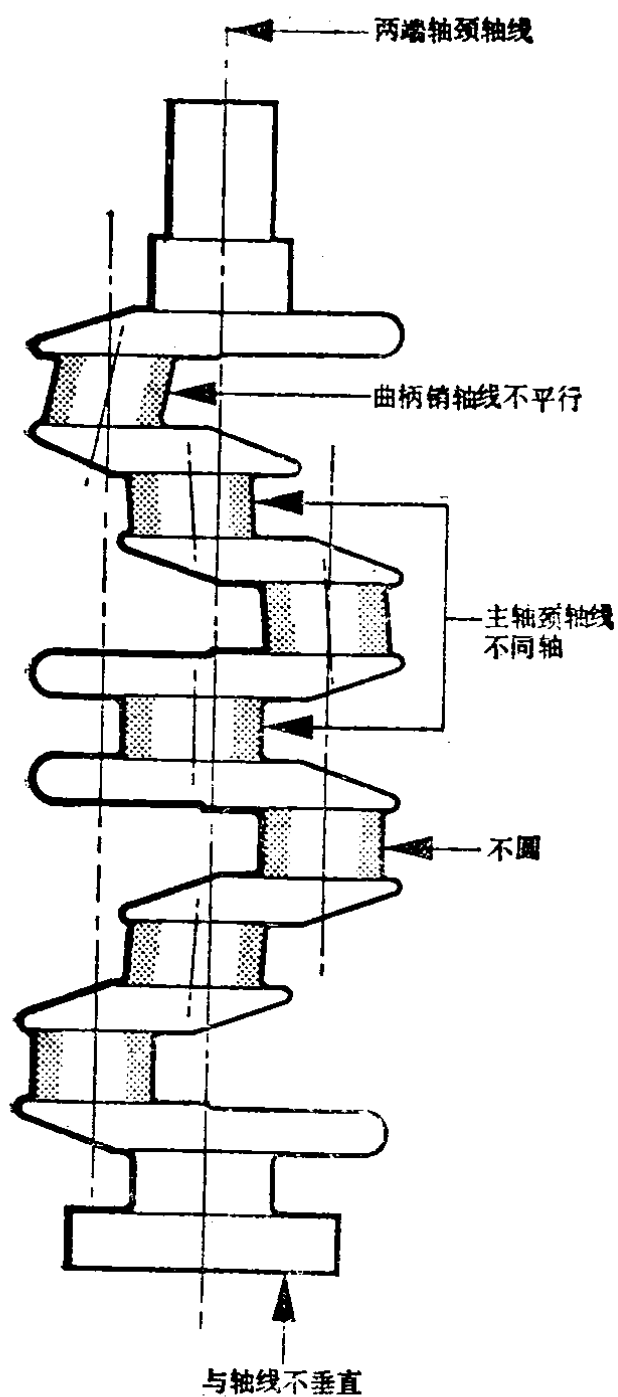


图6 曲轴几何形状的可能误差

当截面轮廓图形对称时，这一数值很容易求出。而对于不规则的轮廓图形（图9），如果要用这种方法测量其不圆度，只有当我们能够在图形上找到一个中心点时才有可能。但

是，中心点何在呢？任取一个看起来接近中心的点 A ，不圆度等于 $r_1 - r_2$ ，但是我们取另一个中心点 B ，则不圆度为 $r_3 - r_4$ 。因此，找出一个中心点，并以此点为基准测量轮廓的变化，是评定圆度的重要部分。对此，以后还将要进一步加以论述。

圆度不能与直径相混淆，应该分别以颇不相同的方法测量这两者。不仅测量的方法不同，而且所使用的测量仪器也不相同。要测量圆度，必须要进行旋转；而对于直径的测量则总是在静止的状态下进行的，例如，用千分尺来测量。

虽然圆度和直径是两个截然不同的参数，但圆度（或称为不圆度）对直径测量的确有着实际上的影响，而且可能会把这种测量工作引入歧途。对此，我们将加以论述。

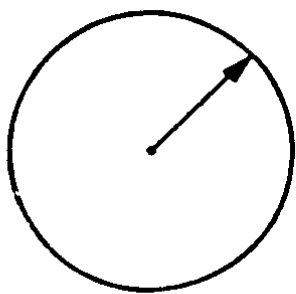


图 7

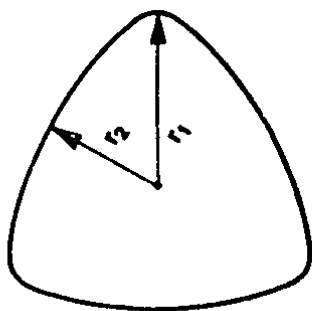


图 8

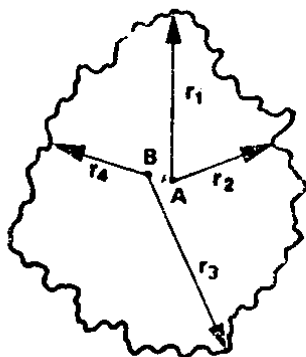


图 9

测量尺寸与有效尺寸之间的差异

这里所谓的测量尺寸是指在一对相互平行的平面之间测量出的“直径”，例如用千分尺或卡规进行测量。如图10所示的三棱形工件，其精确的测量直径为25mm，因此，人们认为能够把它装入直径为25mm的孔内。但实际上却装不进去，而需要装入一个直径为28.9mm的孔才行（图11）。如果你认为这不可信，在第三章中列举了一些试验，可以使你相信这

是真实的。同样，一个三棱形的孔（图12），其测量直径为25mm时是装不进直径为25mm的真圆轴的。可以装入这一孔内的最大的轴的直径应为21.1mm。因此，虽然两个工件的

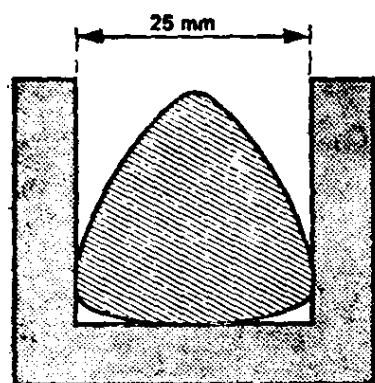


图 10

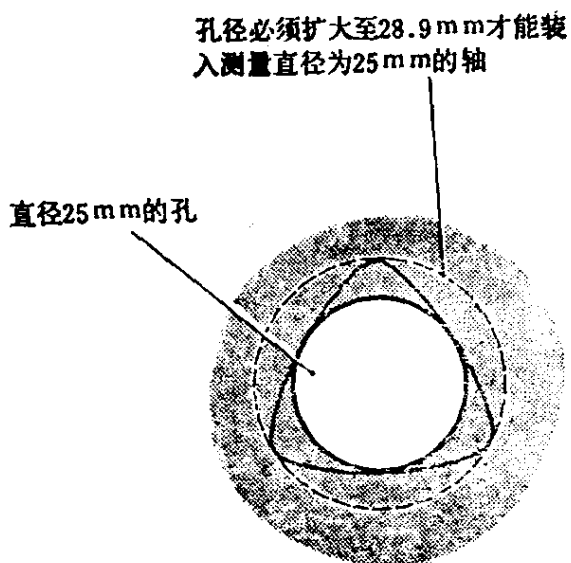


图 11

测量直径都是25mm，但轴与孔的有效直径却分别为28.9mm和21.1mm。具有任意奇数凸棱的工件的测量直径与有效直径之间均有类似的差别（图13）。因此，用一般方法测量直径时，工件的形状（圆度）会影响所测出的尺寸。

产生不圆度的原因

既然要确定任何圆度都必须测量

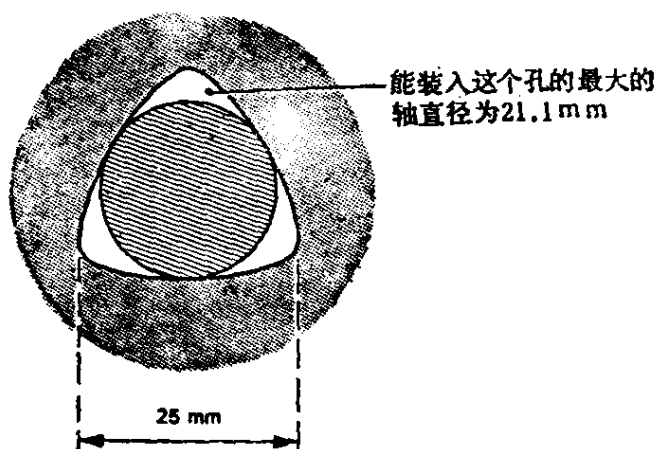


图 12

工件的不规则形状（通常定义为波纹或波峰和波谷）以及凸棱（即规则分布的波纹，通常数目很少），那么，认识到名义上的圆形工件确实存在有波纹或凸棱，则是很重要的。这绝不仅仅是个理论概念，而是一切机械加工的重要特性（然而，这一点可能尚未被察觉）。

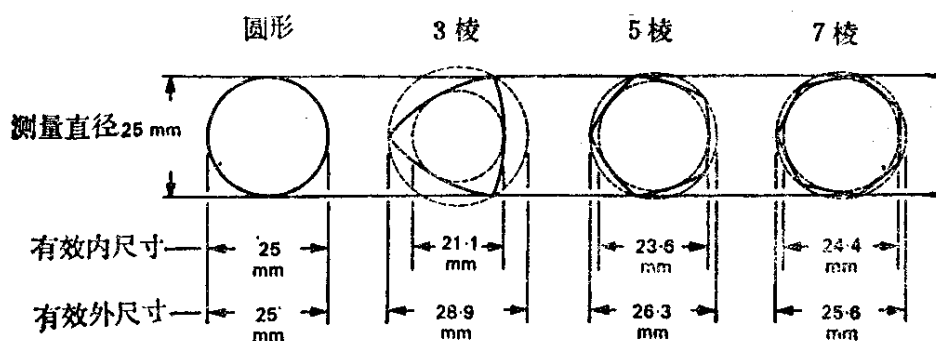


图 13

在许多机械加工中，很难避免产生凸棱。当在三爪或五爪卡盘上装卡棒形或环形工件进行磨加工或车加工时，由于在工件和卡盘的接触点上（图14），工件受到压迫，材料的应力增大。因此即使工件在机床上已经被加工成精确的圆形，但当把工件从卡盘上取下来以后，金属的应力随之消失，工件就会产生三个或五个凸棱。

冲压成形或挤压成形的工件的形状取决于模具的形状，因而，检测工件的圆度不仅能够揭示模具的磨损变形，而且还能显示出在模具上能够对工件的表面造成划伤的任何缺陷。

车制工件上的刀花，通常不属于不圆度的范畴，但是，刀具磨损或装卡不当时均有可能在工件上造成振痕。在测量圆度时，可以测出这种振痕。

产生凸棱的另一个普通的原因是进行无心磨削，特别是

当待磨削的工件形状不规则时。这些不规则形状可能是由于上一道工序采用三爪卡盘进行车加工所造成的。在第三章的末尾将要介绍一个模拟无心磨削的简单试验来证明这一论述。

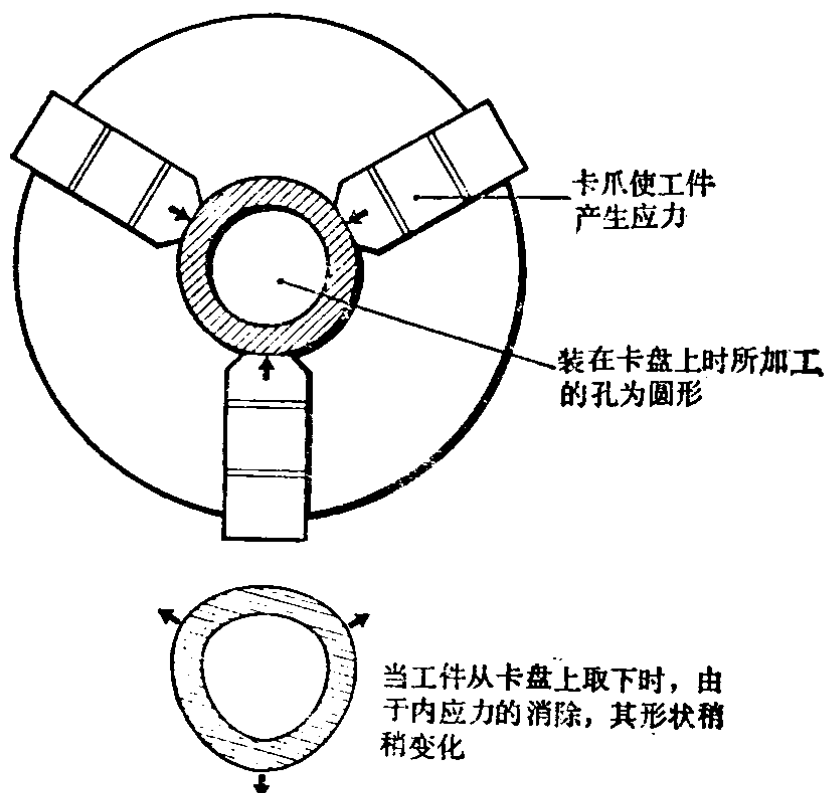


图 14

第二章 在工作台上测量圆度

既然不能用千分尺来测量圆度，我们就必须采用其它的方法。要记住，测量圆度总是需要旋转。

最简单的方法是将工件放在V形块上，并转动工件，使

工件与千分表（或类似的量仪）测头相接触（图1）。用手小心地慢慢转动工件，注意不要扰动V形块或千分表支座，并确保工件一直靠在V形槽的两侧上。如果工件是真圆的，千分表的指针则不动；如果工件不圆，其不规则部分与V形槽侧面相接触时，就会使工件上、下移动（图15），而且，当不规则部位经过千分表测头时，就会使千分表的测头移动。

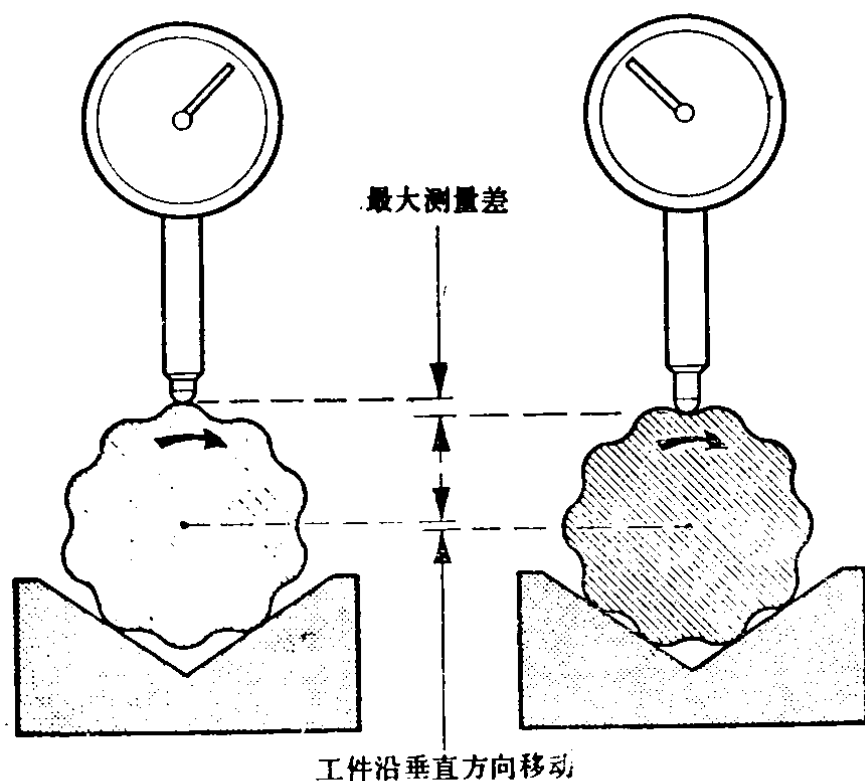


图 15

千分表指针的移动量取决于不规则形状的高度（波峰和波谷），还取决于不规则形状相间的角度和V形块的角度。当波峰或波谷同时与千分表测头和V形块两壁相接触时，指针移动量最大（图16a）。而当波谷与测头相接触，波峰与V形块相接触时，指针移动量最小（图16b）。反之亦然。

用V形块测量圆度的方法基本上是一种三点测量法。这

种方法有几种不同的应用。对于大型工件,有时使用一种倒置的机构(图17),千分表与仪表V形块的两侧支架装在一个可绕工件移动的框架上。类似的框架也可以用于测量大孔的圆度(图18)。测量长轴时,可以将轴体支承在两个相同的V形块上,而将千分表置于两个V形块之间进行测量(图19),但是,所得到的读数值将会受到轴体下垂和长轴直线度误差的影响。

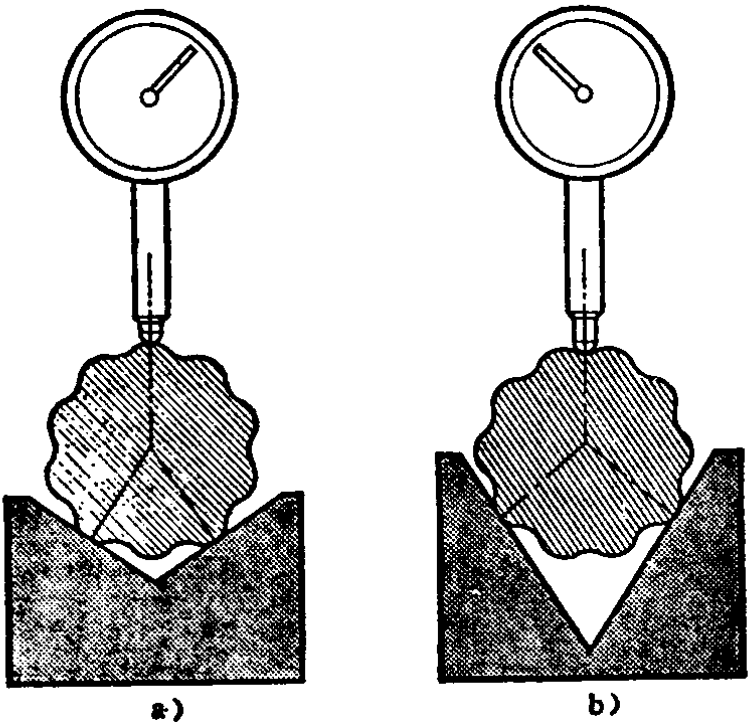


图 16

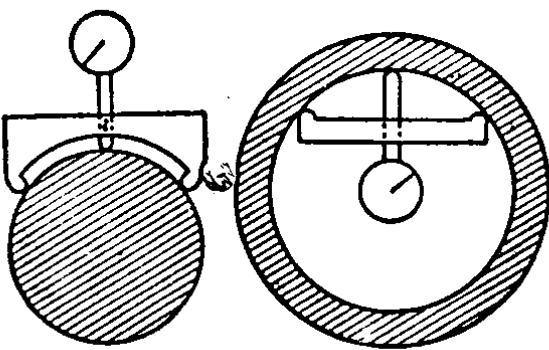


图 17

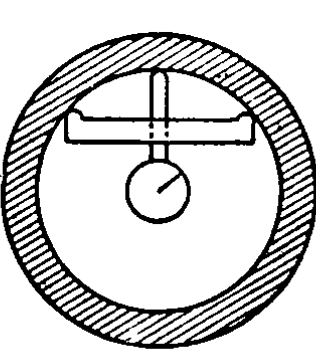


图 18

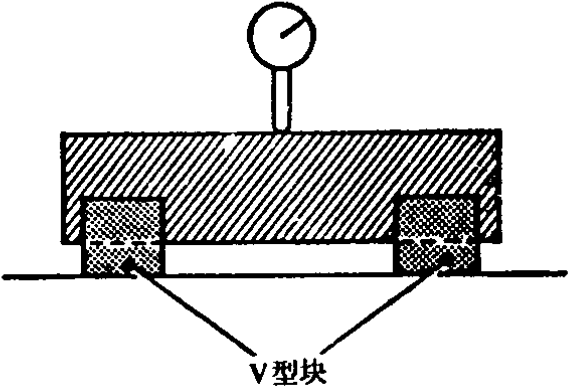


图 19

但是，使用三点测量法，总是会因为V形块的角度以及不规则形状的分布而影响测量结果。而且，当波纹形状规则分布时，还会给人以错误的印象，好象工件旋转时，每一波度都将对千分表有三次影响。当波纹位于测头下时，影响一次；当波纹接触V形块的两个侧面时，各影响一次。但无论如何，这种三点测量法应用简单，而且，车间测量通常使用一块或两块有一定角度的V形块，其读数虽然不十分准确，但只要对圆度的要求不十分严格，经过同意后，可以认为该读数足以证明工件的圆度适合于设计要求。

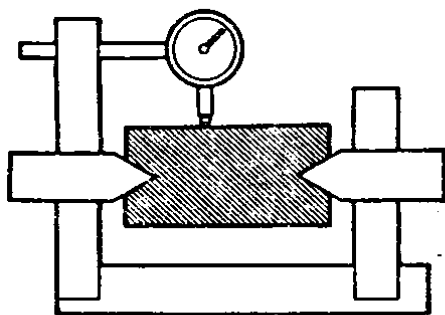


图 20

另一种更精确的方法是把工件放在两个顶尖之间转动(图20)。但这种方法仅适用于用顶尖支承加工的工件或带有足够精确的中心孔的工件。如果千分表按照如图20所示的方法放置，那么读数表示的不仅是不圆度值，而且还包括了由于工件下垂挠曲而引起的变化，以及不准确的调心。把千分表置于靠近工件一端的位置，将会减小由于挠曲形变而产生的测量误差。但是，在这一位置测得的不圆度可能不够准确。

当然，可以用电子量仪取代机械式千分表。电子量仪具有多量程开关(图21)，但测量时工件仍然必须用手旋动，而且整套机构仍有上述的精度局限性。



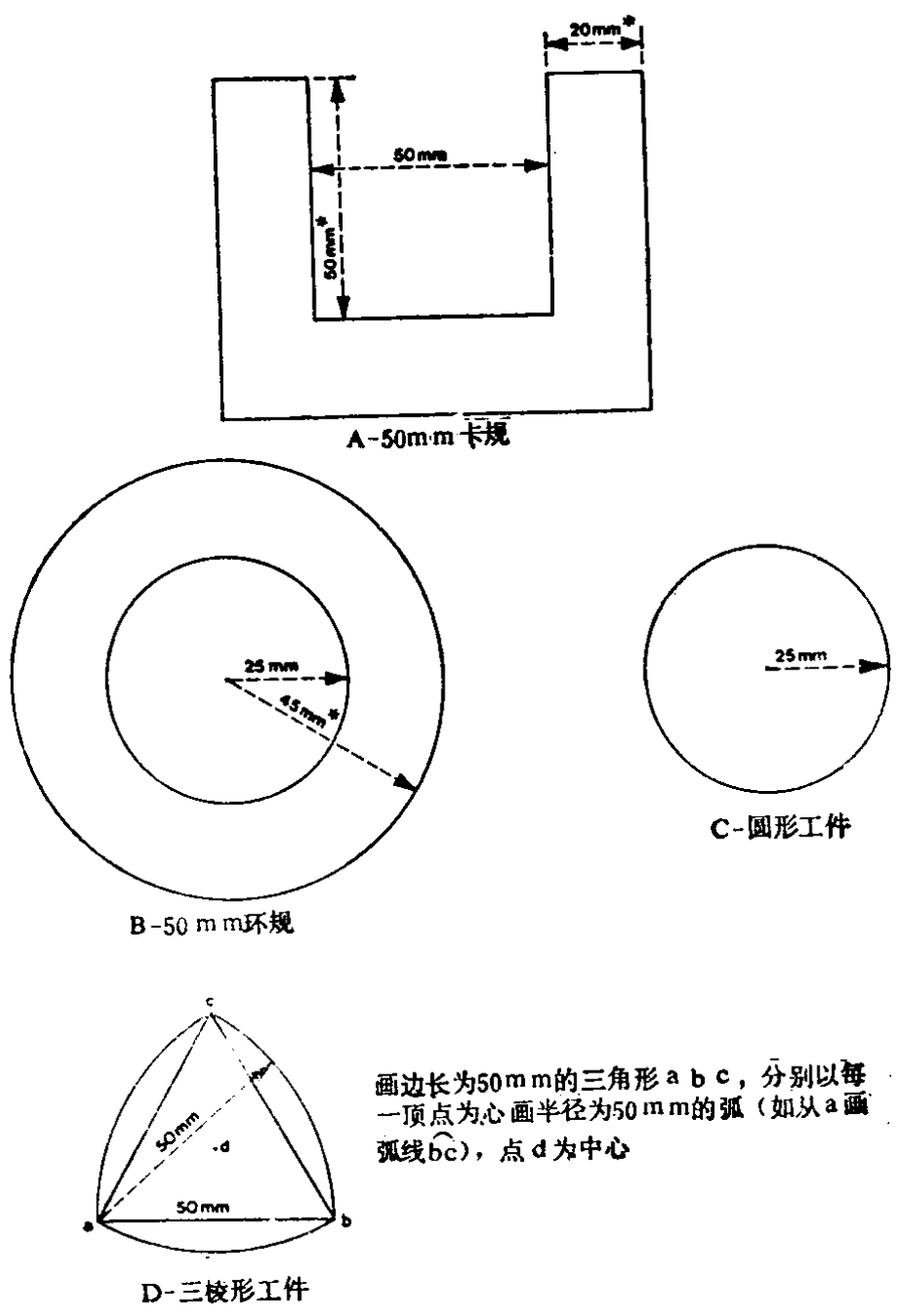
图 21

第三章 几个试验

不难相信,用千分表或卡规测出的各处直径相等的工件,名义上为圆形,实际上与理想圆相差甚远。测量尺寸与有效尺寸之差在第一章中已有说明,而下述的试验借助于简单的模型,将使你自已证明这个差异是真实的。进行这种试验的另一个好处是清楚地证明了圆度测量中存在的问题。

模型

试验是用一套由厚纸板、塑料板(有机玻璃)或金属切割成的各种形状的模型进行的。图22所示为各种模型的图形,



画边长为50mm的三角形 a b c , 分别以每一顶点为心画半径为50 mm的弧 (如从 a 画弧线bc), 点 d 为中心

图22 试验模
带•的尺寸可