

检验夹具设计

谢 诚 编著



机械工业出版社

本书对检验夹具设计的基本原理和方法作了较全面的介绍,主要内容有:工件在检验夹具上的定位及其误差;检验夹具所用的各种传递机构、辅助装置及杠杆传递机构的误差分析;检验夹具的设计方法和设计实例,以及测量误差分析的实例。

本书对采用各种量仪的检验夹具,包括可调检验夹具、组合检验夹具的结构作了详细的介绍;并对自动检验机的结构及在加工中主动测量的有关问题也作了一定介绍。本书具有较大的实用性和参考价值。

本书可供检验夹具的设计、使用人员及有关人员使用,也可供机械制造专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

检验夹具设计/谢诚编著.—北京:机械工业出版社,
2000.12

ISBN 7-111-08468-3

I. 检… II. 谢… III. 检验-夹具-设计
IV. TG750.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第54286号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:张亚秋 版式设计:霍永明 责任校对:李汝庚

封面设计:方芬 责任印制:郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年2月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·16.75印张·410千字

0 001—3 500册

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

前 言

在现代机械制造中，特别是在批量生产中，为保证产品质量，检验夹具是一种重要的测量工具。但是，长期以来国内缺少全面系统介绍检验夹具设计的专著。这一方面，使需要设计检验夹具、特别是初次从事这方面工作的人员在工作中很不方便；另一方面，也说明检验夹具的应用和发展及其设计原理的普及、提高，还落后于机械制造业其他装备领域。

为向检验夹具设计及其有关人员提供设计指导和参考资料，促进检验夹具的应用和发展，作者根据工作中的体会和有关资料编写了本书。书中对检验夹具设计及其相关的各个方面作了较全面的叙述，希望本书对读者有较大的帮助。

由于水平所限，书中可能存在一些缺点和错误，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

前言	
第 1 章 检验夹具概述	1
第 2 章 工件的定位与夹紧	3
2.1 工件以平面定位	4
2.2 工件以外圆表面定位及其误差	5
2.3 工件以内孔表面定位及其误差	16
2.4 工件以螺纹表面定位	29
2.5 工件以组合基准定位	31
2.6 工件必要的夹紧	33
第 3 章 检验夹具用测量指示器和量仪	36
3.1 界限指示器	36
3.2 可显示被测参数误差值的仪表	37
第 4 章 检验夹具用传递装置及其误差	50
4.1 直线传递装置	50
4.2 杠杆传递装置	52
4.3 双向杠杆传递装置	63
4.4 测量传递装置的误差	65
第 5 章 检验夹具用其他装置和元件	70
5.1 测量指示器紧固装置	70
5.2 百分表支架和护罩	73
5.3 检验用顶尖座	74
5.4 运动件导向装置	76
5.5 检具的底座	85
5.6 检具的校准件	87
第 6 章 检验夹具设计	93
6.1 采用检具的必要性	93
6.2 对产品要求、制造工艺的了解和分析	94
6.3 测量方法的选择	95
6.4 利用封闭原则测量形位公差	97
6.5 仪表的选择	98
6.6 检具结构设计中的几个问题	99
6.7 检具的测量精度	101
6.8 检具设计实例	103
第 7 章 各种检验夹具的结构	120
7.1 采用机械式仪表的检验夹具	120
7.2 采用气动量仪的检验夹具	154
7.3 采用电动量仪的检验夹具	185
7.4 采用光学量仪的检验夹具	191
7.5 可调及组合式检验夹具	200
第 8 章 自动检验机和加工中的主动测量	221
8.1 自动检验机	221
8.2 加工中的主动测量	231
第 9 章 检验夹具的调整和使用	243
9.1 检具的调整和确定其精度	243
9.2 检具测量部分调整的有关问题	246
9.3 检具的使用	254
附录	256
参考文献	261

第1章 检验夹具概述

在机械制造中，为保证产品加工质量，达到产品图样的要求，检验工件的线性尺寸、角度和形状与位置误差是一项重要的工作。检验工作量约占机械加工总工作量的15%，而其中尺寸和形位公差的检验量又占检验总工作量的85%，测量工具的总费用约占工艺装备总费用的20%。

加工后检验效率是一个很重要的问题。例如，在大批量生产中，当需要对有些工件进行100%检验时，如果效率低，就不能适应整个生产周期的要求；在多品种和中小批量生产中，零件检验的快慢直接影响机床的利用率（特别是高效机床）；即使在自动化生产系统中，虽然可采用主动测量装置，但加工后的检验仍占重要地位。

生产检验主要是判断工件是否合格，一般不需要测量出具体值，为了判断工件是否合格或属于哪一组，在生产车间中使用的测量工具主要有以下几种：

1. 各种通用量具、仪表和坐标测量机。
2. 光滑极限量规和样板。
3. 检验夹具。
4. 自动和半自动检验机。

随着测量技术的发展，光滑量规在检验工具中的比重呈下降趋势。在大量生产中，把一般通用量具直接用于检验，在经济上不够合理，测量效率也低。目前自动检验机的应用范围并不广泛。本书所讲的检验夹具是生产检验用的专用测量工具的总称。通常把一般用于检验的专用工具称为检验夹具，而把有些测量精度较高又有一定通用性的检验工具称为测量仪。例如，把检验轴类工件径向圆跳动用的顶尖座称为振摆仪，把综合检验齿轮的检验工具称为综合检验仪等。所以，本书所讲的检验夹具，有些也可称为测量装置、测量仪等。

通用量具、量仪和坐标测量机有专业厂生产，光滑极限量规的设计已标准化，在检验夹具中除少数通用性检具有专业厂生产外（例如轴类工件振摆仪、齿轮双面啮合检查仪等），大多数检具需要专门设计制造。因此，检验夹具在生产准备中占有重要的地位。

自动和半自动检验机是检验夹具自动化的发展，检验夹具是自动检验机的组成部分。在加工中通过主动测量对工艺过程进行控制，对提高产品质量有很大作用，但并不能代替加工后的检验。在实际工作中，检验夹具设计者也会遇到自动检验机和主动测量装置的有关问题，因此本书也作一定介绍。

一般，检验夹具由底座、定位和测量元件等组成，但有些简单的检验工具（例如检验心轴等）也列入检验夹具的范围内。

在车间生产条件下，使用检验夹具检测工件的形位误差不同于精密测量，一般不考虑被测表面的形状误差，因为一般形状误差较小，可忽略。但这时由于位置误差中包括了被测表面的形状误差，提高了对工件的要求，在必要时（例如在分析误差产生原因时需要将两种误差分开等情况）才借助其他手段消除被测表面的形状误差。在设计检验夹具时，对于定位基准表面形状误差对测量精度的影响应进行分析。

我国目前自行设计制造的检验夹具大多是手动带机械式指示表（百分表或千分表），也有小部分带气动、电动和光学量仪。总的来说，我国的检验水平还比较落后，有些单位对于生产上采用必要的检验夹具还不够重视，用于这方面的投资也较少，而在生产中需要解决的质量问题却不少。检验夹具的标准化与系列化工作也落后于生产的发展。

发展和改进检验夹具的基本方向是：重视检验夹具的开发与研究，包括其标准化与系列化；提高检验夹具的精度、检验可靠性和耐用度，提高检验效率，以适应加工精度和生产率的不断提高；研制适合于多品种的通用检验夹具和由可重复利用元件所组成的通用组合检验夹具，以适应产品更新换代周期加快的要求，减少检验夹具设计和制造的时间。

第 2 章 工件的定位与夹紧

工件在检验夹具（以下可简称为检具）上或检具在工件上的定位有自己的特点。一般工件在机床夹具上需要限制全部 6 个自由度，而在检具上根据具体情况需要少限制几个自由度。例如，当检验旋转体工件表面对轴线的径向圆跳动时，需要工件在检具上转动；又如，对有些重量不大的工件，当检验顶面对底面的平行度时，一般使百分表支架固定不动，而使工件在定位平板上沿一个或几个方向移动。本章主要讨论测量基准要素的定位问题，至于工件在检具上所需的其他辅助定位等不再作专门的介绍。

在检具上多采用以下方法体现测量基准。

1. 模拟法 采用具有足够精确形状的表面体现基准点、基准轴线和基准平面。例如，用相互垂直的两个 V 形块靠在球头上模拟球心；用直径比孔小的轴紧贴在孔素线上模拟孔的素线；用 V 形块靠在轴上模拟轴的轴线；用轴孔间隙极小的轴放入孔内，模拟孔的轴线；用精度高的平面紧贴工件的平面模拟平面等。

采用这种方法时，基准实际要素（工件的定位表面）与模拟基准要素的接触可能形成稳定的接触，例如当工件定位面为中凹时，这时两者的接触符合最小条件的相对位置关系；也可能形成不稳定的接触，例如当工件定位面为中凸时，这时两者的接触可能有多种位置状态。

对不稳定的接触状态，通过调整才能使两者的接触符合最小条件的相对位置，但在大量和成批生产中一般不做这种调整，而为避免工件定位面中凸形成不稳的接触，在检具定位面的中间部分应做出凹槽。

2. 直接法 当基准实际要素具有足够的形状精度时，可直接作为基准。例如，测量两平面的平行度，有时可直接以其中一个面作为基准面，在其上装上测量装置测量另一个面的平行度，既方便又可省去制造模拟基准元件。

3. 目标法 这种方法用于基准要素的形状误差较大或不宜由整个要素作为基准时，这时应规定由基准要素上若干点、线、面作为基准。例如，当工件以毛坯表面作为基准，或产品图规定了定位点、线和面的位置时，这时可用球端支承、刃口状支承或适当直径的轴和具有与规定形状相应的平面支承分别体现点、线和面目标。

工件在检具上的定位误差与检具定位元件（单个或多个）和工件定位要素的尺寸和形状误差有关，通常对检具定位元件规定较高的精度，由其引起的定位误差较小，一般可忽略。在本章中将只对工件本身定位要素的尺寸和形状误差对定位精度的影响进行分析。

应正确选择基准，一般测量基准应与产品设计和工艺基准重合：在最终检验时与设计基准重合；在工序检验时与工艺基准重合；在检验毛坯时与随后加工用的工艺基准重合。对于需要更换基准的情况（例如设计基准面不稳定），则应在检具设计中与产品设计和工艺人员共同协商解决。

定位支承元件应具有高的精度、耐磨性、强度和刚性。

一般在检具上不需要夹紧装置，只有在必要时才采用快速夹紧装置。

2.1 工件以平面定位

以平面定位是最常见的定位方式。工件以平面定位理论上只需要采用相互距离尽量远的3个点支承（工件重心在该三点所形成的三角形内），在检具结构中通常按下述方法考虑。

若工件以未加工面作为基准面应采用3个球面支承钉（图2-1a）定位，但也可采用与工件接触面积不大的小平面支承钉（图2-1b）或小平面支承板代替球面支承，这与采用球面支承相比，仍能保持足够的定位精度，而其耐磨性得到显著提高，保证各支承在一个平面上的工艺性也得到提高。为增加定位的稳定性，也可采用4个支承定位，其中两个支承是固定的，另两个支承是联动的。

若工件以经过加工的平面（包括经压铸、冲压等方法达到一定精度的平面）作为基准面，可采用3块或3块以上适当大小的支承板模拟定位平面定位；当工件定位平面的面积不大时，也可采用平面支钉代替支承板。

在以经过精加工过的平面作为基准面时，可利用与整个工件平面接触的支承面作为定位面，特别是当工件定位基面也是装配基面时，采用与整个工件平面接触的支承面定位可模拟工件使用时的条件。但这时为减小工件定位平面的形状误差对定位的影响，应使定位支承平面中间部分低1~2mm，只在四周保留一定宽度的支承面；并且还应使工件的定位面略超出检具的支承面一段距离 a （图2-1c），否则会使检具定位支承面在与工件接触边缘处产生不均匀磨损，影响定位精度（图2-1d）。

各定位支承元件的工作面应在同一平面上，在设计检具时应尽量使各定位支承的布置便于同时磨出或研磨，以达到检具的要求。当然，在条件允许情况下（例如定位精度要求不高），在各定位支承制造好后，通过装配直接就达到要求，这种方法比较方便。

对于一些小型工件（例如轴承内外环、气缸套等）用的通用检具，需要用一个较大的定位支承面，以使工件在其上移动，这时在支承面中间就不能做出凹下部分。在大的定位面上应做出小槽，以排除工件定位面上的油污和灰尘（图2-1e），各槽相互平行或相交成 90° ；对于圆环形支承面在径向做出小槽。

定位支承面的平面度误差将影响工件的定位精度，由于其误差所产生的测量误差应为被测量参数公差的 $(1/5) \sim (1/10)$ 。

支承钉和支承板的结构尺寸可参考夹具设计有关资料，但检具支承板无需排屑槽，可开小的排污槽。

一般定位支承钉的材料，在直径小于12mm时用T8A、T10A等工具钢（淬硬至55~65HRC）；在直径大于12mm时用20或20Cr钢（渗碳淬硬至55~65HRC）、45或40Cr钢（淬硬至45~50HRC）。定位支承板的材料多采用20和20Cr或T8A、T10A钢等。

定位支承元件工作表面的硬度可按被测量参数的精度等级（按GB/T1800—1998）确

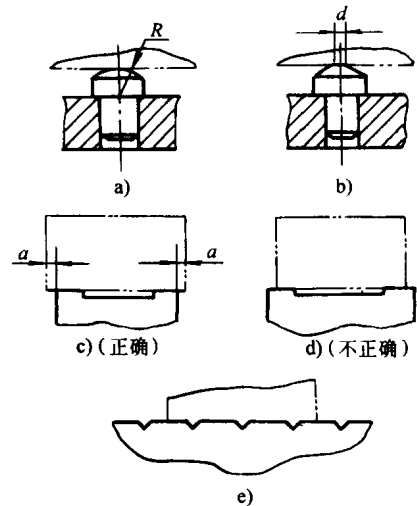


图2-1 平面定位支承

定：

精度为 IT9~IT11 级，硬度 45~50HRC；

精度为 IT7~IT9 级，硬度 55~60HRC；

精度为 IT5~IT7 级，硬度 60~65HRC。

2.2 工件以外圆表面定位及其误差

工件以外圆表面（模拟其轴线）定位也是常见的定位方式

2.2.1 用 V 形块定位

工件以外圆表面定位最常用的是 V 形块，这种方法简单，使用方便。下面首先分析用 V 形块定位时的定位误差。

1. 工件外圆直径误差对定位的影响 用 V 形块定位时，由于工件直径有公差 Δ_d ，对不同直径的工件在定位时轴线的位置沿 y 坐标向下偏移 δ_y （图 2-2），但工件轴线在 x 坐标方向没有产生位置误差，这一特点在检具上很有用处。

由图 2-2 可知

$$\delta_y = OO_1 = \frac{\Delta_d}{2\sin\alpha}$$

表 2-1 列出不同的 V 形角 2α 对应的 δ_y 值表达式

表 2-1 2α 对应的 δ_y 值

2α	60°	90°	120°
δ_y	Δ_d	$0.707\Delta_d$	$0.577\Delta_d$

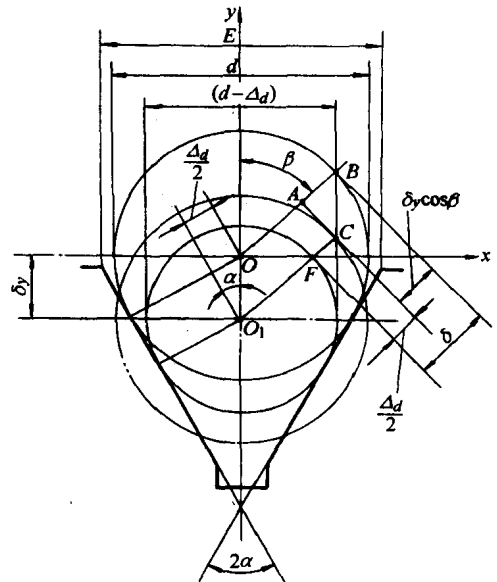


图 2-2 工件以外圆在 V 形块上定位

在实际测量时，经常是通过测量外圆上各点来实现具体的测量，因此还应分析外圆表面在各个方向上点的定位情况。由图 2-2 还可知，直径为 d 的外圆与直径为 $(d - \Delta_d)$ 的外圆对应两点 B 和 F 的相互偏移（外圆点定位误差）为 δ

$$\delta = FC + AB$$

$$AB = \delta_y \cos \beta = \frac{\Delta_d \cos \beta}{2\sin \alpha}$$

$$FC = \Delta_d / 2$$

所以

$$\delta = \frac{\Delta_d}{2} \left(1 + \frac{\cos \beta}{\sin \alpha} \right)$$

表 2-2 列出不同的 V 形角 2α 和与 y 坐标轴夹角 β 对应的 δ 值与 Δ_d 的关系系数 ξ ，这时 $\delta = \xi \Delta_d$ 。

由表 2-2 可知：

(1) 用 V 形块定位时，由于定位外圆的直径公差而产生的外圆上各点定位误差在不同的方向其值不相同；

表 2-2 直径相差 Δ_d 的两外圆上点的相互偏移系数 ξ

2α	β	0°	45°	90°	180°
60°	ξ				
		1.50	1.20	0.50	0.50
		1.21	1.0	0.50	0.21
120°		1.07	0.90	0.50	0.08

(2) 在同样 β 角情况下, $2\alpha = 120^\circ$ 的 ξ 值最小 (但由于稳定性不如 $2\alpha = 90^\circ$, 一般采用 $2\alpha = 90^\circ$);

(3) 对所有 2α 值, $\beta = 90^\circ$ 的 ξ 值都比较小, 而 $\beta = 180^\circ$ 的 ξ 值最小。

2. 圆度误差对定位的影响 工件定位外圆在横剖面上有一定圆度误差, 当工件外圆表面在 V 形块上转动时, 工件的圆心会产生偏移, 产生定位误差。实际工件的圆度误差很少是完全无规则的, 一般以近似棱圆的状态出现, 其中又以边数等于 2、3、5 和 7 的棱圆为多见。

为分析方便, 假设边数等于 2 的棱圆形为几何椭圆形, 下面首先分析当工件外圆表面形状为几何椭圆形时的定位情况。当 V 形角 $2\alpha = 90^\circ$ 、椭圆的原始位置为长径处于水平位置时, 椭圆相对原始位置转动, 椭圆中心 O 的偏移情况如图 2-3 所示。

在图 2-3 中: a 为椭圆的长半径; b 为椭圆的短半径。对图 2-3a 的中心 O , 椭圆方程和 V 形面 AB 线的截部方程分别为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

$$\frac{x}{c} + \frac{y}{c} = 1 \quad (2)$$

由图 2-3a 知, AB 线必与椭圆相切, 由式 (1) 和式 (2), 得

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

对图 2-3b 的中心 O' 分别有

$$\frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1 \quad (3)$$

$$\frac{x}{c'} + \frac{y}{c'} = 1 \quad (4)$$

同理, 得

$$c' = \sqrt{a^2 + b^2}$$

所以 $c = c'$, 说明几何椭圆从长径处于水平位置转 90° 后中心的位置不变。

当几何椭圆从长径处于水平位置转 45° 后, 椭圆中心从 O 移到 O' (图 2-3c), 由图可知

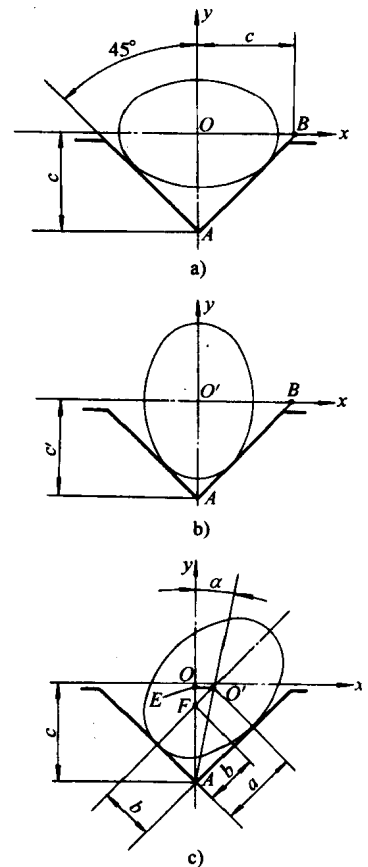


图 2-3 椭圆在 $2\alpha = 90^\circ$ V 形块上定位中心的变化

$$AO' = \sqrt{a^2 + b^2} = c = AO$$

$$\delta_x = EO' = EF = (a - b)/\sqrt{2} = 0.707(a - b)$$

$$\delta_y = OE = AO - AE = c - c\cos\alpha$$

由于 $(a - b)$ 值很小, 所以 α 很小, $\delta_y \approx 0$ 。

当 V 形角 $2\alpha = 60^\circ$ 和 120° 时, 椭圆从长径处于水平位置 1 转过 90° 到位置 2, 其中心从 O_1 到 O_2 (见图 2-4a 和 b)。由图可得到在位置 1 时的椭圆方程和 V 形面直线 AB 的截部方程式分别为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (5)$$

$$\frac{x}{c_1} + \frac{y}{Kc_1} = 1 \quad (6)$$

式中, K 为 1.732 ($2\alpha = 60^\circ$) 和 0.577 ($2\alpha = 120^\circ$)。

由方程 (6) 得 $y = K(c_1 - x)$ (7)

将方程 (7) 代入方程 (5) 得二次方程式

$$(K^2 a^2 + b^2)x^2 - 2K^2 a^2 cx + K^2 a^2 c_1^2 - a^2 b^2 = 0$$

设 $A = K^2 a^2 + b^2$, $B = -2K^2 a^2 c$, $C = K^2 a^2 c_1^2 - a^2 b^2$

由 $B^2 - 4AC = 0$, 得

$$c_1 = \frac{\sqrt{K^2 a^2 + b^2}}{K} \quad (8)$$

因为 b 是短半径, 将 $b = (a - \Delta_r)$ 代入方程 (8), 并略去 Δ^2 项, 得

$$c_1 = \frac{\sqrt{(K^2 + 1)a^2 - 2a\Delta_r}}{K}$$

在位置 2 时的椭圆方程和 V 形面 AB 线的截部方程式分别为

$$\frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1$$

$$\frac{x}{c_2} + \frac{y}{Kc_2} = 1$$

同样可得

$$c_2 = \frac{\sqrt{a^2 + K^2(a^2 - 2a\Delta_r)}}{K}$$

椭圆从位置 1 转到位置 2, 中心从 O_1 移到 O_2 , 移动量为

$$\delta_y = O_1 O_2 = K(c_1 - c_2) \quad (2\alpha = 60^\circ)$$

$$\delta_y = O_2 O_1 = K(c_2 - c_1) \quad (2\alpha = 120^\circ)$$

由于工件的椭圆度误差是个微量, 由图 2-4 和计算可知, δ_y 值与长短半径之差 Δ_r 有下列关系: $\delta_y = \Delta_r (2\alpha = 60^\circ)$; $\delta_y = 0.6\Delta_r (2\alpha =$

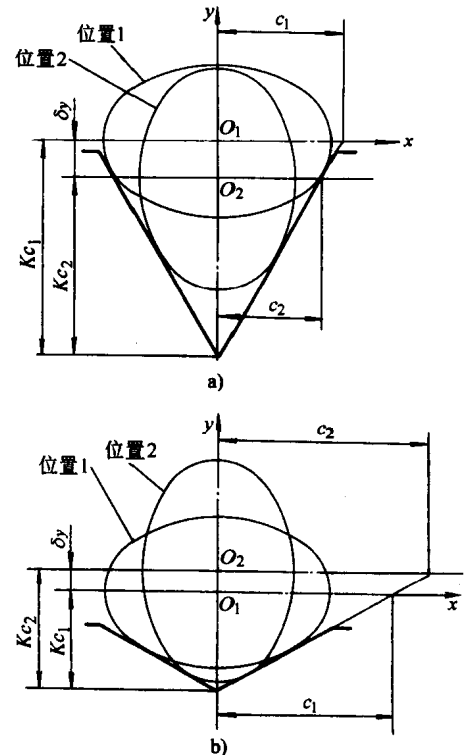


图 2-4 椭圆在 $2\alpha = 60^\circ$ 和 120° V 形块上定位中心的变化

120°)。

下面再分析下边数 $n=3、5$ 和 7 的正棱圆形在 V 形块上的定位情况。由作图（这里从略）分析可知，当将 $n=3、5$ 和 7 的正棱圆分别放在 V 形角 $2\alpha=120^\circ、72^\circ$ 和 $102^\circ52'$ 的 V 形块上时，具有 $n=2$ 的正椭圆在 $2\alpha=90^\circ$ 的 V 形块上定位的特点，即正棱圆在 V 形块上转动时，其中心在垂直方向的偏移 δ_y 接近于零。

图 2-5 表示正三棱圆（圆度为 Δ_r ）在 $2\alpha=90^\circ$ 的 V 形块上转过 β 角时，其中心相对原始位置 1（一个棱顶处于垂直向上的位置）时的偏移情况：当转过 $\beta=45^\circ$ 时，其中心在 O_2 ；当转过 $\beta=90^\circ$ 时，中心在 O_3 ；当转过 $\beta=180^\circ$ 时，中心在 O_4 。由作图法可得到 $n=2、3、5$ 和 7 的正棱圆在不同 V 形角 2α 的 V 形块上转过 β 角（ $45^\circ、90^\circ、180^\circ$ 和 270° ）时其中心相对图 2-5 原始位置 O_1 的水平和垂直方向的偏移系数 ξ_x 和 ξ_y （其中完全由图解得到的是近似值），这时的中心沿 x 和 y 轴方向的偏移值分别为 $\xi_x\Delta_r$ 和 $\xi_y\Delta_r$ （见表 2-3）。

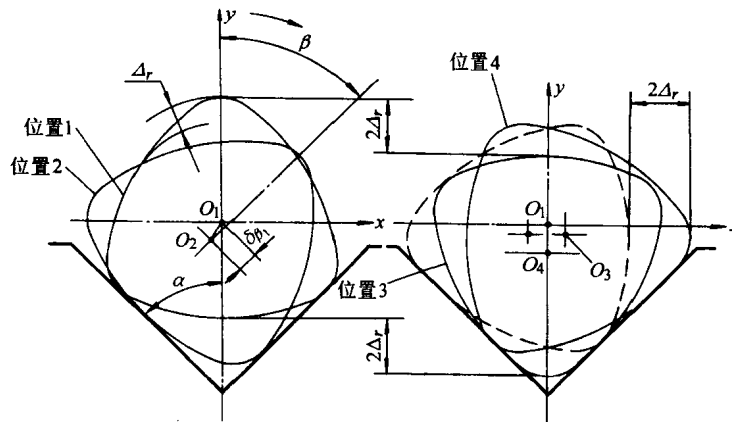


图 2-5 具有圆度误差的外圆在 V 形块上定位时中心的偏移

表 2-3 正棱圆形在 V 形块上转动其中心的偏移系数

V 形角 2α	90°		60°		120°		90°		60°		120°	
	ξ_x	ξ_y	ξ_x	ξ_y	ξ_x	ξ_y	ξ_x	ξ_y	ξ_x	ξ_y	ξ_x	ξ_y
棱边数 n	2						3					
转角 β												
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45°	+0.7	0	+0.5	+0.7	+0.9	-0.3	-0.3	-0.8	0	-1.7	-0.7	0
90°	0	0	0	+1	0	-0.6	+0.5	-0.5	0	-0.9	+0.9	0
135°	-0.7	0	-0.5	+0.7	-0.9	-0.3	-0.3	-0.1	0	-0.2	-0.7	0
180°	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-2	0	0
225°	+0.7	0	+0.5	+0.7	+0.9	-0.3	+0.3	-0.1	0	-0.2	+0.7	0
270°	0	0	0	+1	0	-0.6	-0.5	-0.5	0	-0.9	-0.9	0
315°	-0.7	0	-0.5	+0.7	-0.9	-0.3	+0.3	-0.8	0	-1.7	+0.7	0

(续)

V形角 2α		90°		60°		120°		90°		60°		120°	
中心偏移系数		ξ_x	ξ_y	ξ_x	ξ_y	ξ_x	ξ_y	ξ_x	ξ_y	ξ_x	ξ_y	ξ_x	ξ_y
转角 β	棱边数 n	5						7					
	0°		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45°		-0.4	-0.9	-0.2	+0.7	+0.7	-0.5	-0.3	0	+0.3	0	-0.2	0
90°		+0.3	-0.6	+0.3	+0.3	-0.7	-0.1	-0.2	0	+0.2	+0.1	0	-0.5
135°		-0.3	-0.4	-0.4	0	+0.2	0	-0.3	+0.7	+0.2	+0.5	-0.6	-0.7
180°		0	-1	-0.4	0	0	-1	0	+1	0	+1	0	-1
225°		+0.3	-0.4	+0.4	0	-0.2	0	+0.2	0.7	-0.2	+0.5	+0.6	-0.7
270°		-0.3	-0.6	-0.3	+0.3	+0.7	-0.1	+0.2	0	-0.2	+0.1	0	-0.5
315°		+0.4	-0.9	+0.2	+0.7	-0.7	-0.5	+0.3	0	-0.3	0	+0.2	0
ξ_x 和 ξ_y 平均值 (按绝对 对值)	2 α	平均值	转角 β										
			0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°			
	90°	ξ_x	0	0.4	0.25	0.4	0	0.4	0.25	0.4			
		ξ_y	0	0.4	0.25	0.3	0.75	0.3	0.25	0.4			
	60°	ξ_x	0	0.25	0.10	0.3	0.1	0.3	0.10	0.25			
		ξ_y	0	0.8	0.6	0.35	0.7	0.35	0.6	0.8			
	120°	ξ_x	0	0.6	0.4	0.6	0	0.6	0.4	0.6			
		ξ_y	0	0.2	0.3	0.25	0.5	0.25	0.3	0.3			

注：1. 平均值为对 $n=2, 3, 5$ 和 7 时的 ξ_x 和 ξ_y 值按绝对值求出平均值。

2. 本表表示当原始位置为一个棱圆顶在 y 轴方向朝上（见图 2-5，此时中心为 O_1 ）的正棱圆顺时针转过 β 角时，其中心相对原始位置 O_1 的变化系数（一部分是图解近似值）。

当正棱圆在 V 形块上转动时，其中心沿 x 轴的变化是双向的，即 ξ_x 值有“+”有“-”，而沿 y 轴的变化是单向的，即 ξ_y 值只有“+”或“-”。

由于一般工件棱圆的边数是未知的，设计检具时可按表中 ξ_x 和 ξ_y 的平均值估算工件的定位和测量误差。

当在 y 轴方向测量时，根据表中 0° 和 180° 的 ξ_y 值即可确定棱圆中心的偏移值 δ_y ，例如当 $2\alpha=90^\circ$ ， $n=2$ 时， $\delta_y=0$ ；而当 $2\alpha=60^\circ$ ， $n=5$ 时， $\delta_y=(-1-0)=-\Delta_r$ 。同样，当在 x 轴方向测量时，根据表中 90° 和 270° 的 ξ_x 值即可确定棱圆中心的偏移值 δ_x ，例如当 $2\alpha=90^\circ$ ， $n=5$ 时， $\delta_x=[+0.3-(-0.3)]\Delta_r=0.6\Delta_r$ 。

当在与 y 轴成 β 角方向测量时，棱圆中心偏移量 δ_β 应根据棱圆在 β 和 $(\beta+180^\circ)$ 两个位置时的中心来确定。图 2-5 中的 O_2 点是棱圆在 β 角时的中心，其坐标偏移值为 $\xi_x\Delta_r$ 和 $\xi_y\Delta_r$ ， $\overline{O_1O_2}=\sqrt{(\xi_x\Delta_r)^2+(\xi_y\Delta_r)^2}$ ，由几何关系可求出 δ_{β_1} ；同样可根据棱圆在 $(\beta+180^\circ)$ 角时的中心求出 δ_{β_2} （图中未示出），这样即可由矢量和求出 $\vec{\delta}_\beta=\vec{\delta}_{\beta_1}+\vec{\delta}_{\beta_2}$ 。

按表 2-3 中平均值估算误差的方法：若在水平或垂直方向测量，以 $2\alpha=90^\circ$ 和 270° （或 0° 和 180° ）时的两 ξ_x 或 ξ_y 平均值之和作为偏移系数，再乘以 Δ_r 即得棱圆中心在水平或垂直

方向的偏移值；若在 β 角方向测量，可只按 2α 和 β 时的 ξ_x 和 ξ_y 平均值求出 $\delta\beta_1$ (图 5-2)，取 $\delta_\beta = 2\delta\beta_1$ 作为棱圆中心在 β 角方向的偏移值 (估算值)。

3. 圆度误差对外圆上各点位置的变化 由图 2-5 可知，当 $n=3$ 的正棱圆 (圆度 Δ_r) 在 $2\alpha=90^\circ$ 的 V 形块上定位时，在垂直方向 ($\beta=0^\circ$ 和 180°)，外圆上点位置的最大变化值为 $2\Delta_r$ ；在水平方向产生的最大变化值为 $2\Delta_r$ ；而在 $\beta=45^\circ$ 方向，最大变化值为 $0.6\Delta_r$ (图中未示出)，在通过棱圆中心且垂直于 V 形面的方向最大变化值为 $0.5\Delta_r$ 。由作图 (详图从略) 可得表 2-4，表 2-4 列出 $n=2, 3$ 和 5 的正棱圆在 V 形块上定位时外圆上点在不同方向的偏移系数，这时变化值为 $\xi\Delta_r$ (对于完全由图解得出的是近似值)。

表 2-4 正棱圆在 V 形块上定位时外圆上点在不同方向的最大偏移系数 ξ

n 棱边数	转角 β	0°	45°	90°	180°	通过棱圆中心且垂直于 V 形面方向	备注	
	2 α							
2	90°	1	2	1.6	1	0.2		
	60°	0	1.5	1.5	2	0.3		
	120°	1.5	2	2	0.5	0.2		
3	90°	2	0.6	2	2	0.5		
	60°	3	1.6	0.6	3	0.3		
	120°	1	1	3	0.6	0.2		
5	90°	1.6	0	1.6	1.6	0		
	60°	0.4	1	1	0.4	0		
	120°	1.6	1	0	1.6	0		
平均值	90°	1.5	0.9	1.7	1.5	0.23		平均值为分别对 $n=2, 3$ 和 5 时的值求平均值
	60°	1.1	1.4	1.0	1.8	0.2		
	120°	1.4	1.3	1.7	0.9	0.13		

注：1. 本表与图 2-5 配合。

2. 当工件的棱边数未知时，可取平均值估算。

由表 2-4 可知，外圆上各点的偏移值在通过棱圆且垂直于 V 形面方向较小；随棱边数增多，最大偏移值减小。

2.2.2 用两滚轮定位

工件以外圆表面定位也可放在两滚动外圆表面上，如图 2-6 所示。这种定位方法与用 V 形块定位相似，适合于以轴的两端轴颈组合定位，测量其他各中间轴颈的跳动。这种方法与用 V 形块定位相比，其优点是工件与定位元件的摩擦是滚动摩擦，转动灵活，定位件的摩擦面大耐用度高。这种方法特别适用于检验重量较大的轴类工件 (例如发动机曲轴) 和不宜用较大力使工件转动 (例如薄壁气缸套) 的情况。

1. 由于滚轮径向圆跳动产生的定位误差 假设滚轮 2 和 3 对其回转轴 4 轴线的径向圆跳动均为 $2e$ (单边偏心 e)，若滚轮 2 和 3 的偏心 e 都朝向工件的中心 (图 2-6a)，则中心 O 沿 y 轴向上移到 O_1 (这时两滚轮和工件处于双点划线位置)，而 x 轴方向没有偏移。因为 OO_1 相对 OO_2 和 OO_3 很小，所以 $OC=e$ ， $OO_1=\delta_y$ 。

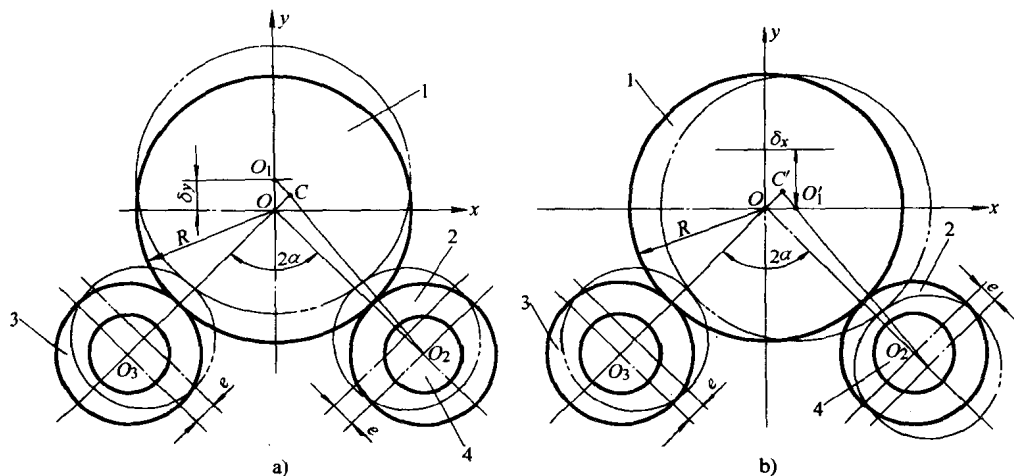


图 2-6 工件以外圆在两滚轮上定位

1—工件 2、3—滚轮 4—回转轴

$$\delta_y = \frac{e}{\cos\alpha}$$

若滚轮 2 和 3 的偏心 e 都离开工件中心，则中心 O 将沿 y 轴向下移动 δ_y (图中未示出)。

若滚轮 3 的偏心 e 朝向工件中心，而滚轮 2 的偏心离开工件中心 (图 2-6b)，则中心 O 沿 x 轴向右移到 O'_1 ，而在 y 轴方向没有偏移，同样 $OC' = e$ ， $OO'_1 = \delta_x$

$$\delta_x = \frac{e}{\sin\alpha}$$

若滚轮 3 和 2 的偏心方向按图 2-6b 的方向互相交换，则工件中心 O 将沿 x 轴向左偏移 δ_x (图中未示出)。若滚轮 2 和 3 的偏心不相等，偏心方向是任意的，则工件中心 O 不但在 x 轴方向、而且在 y 轴方向都将有偏移。对于一般情况，如果两滚轮装配方向是任意的，当两滚轮转动时由于其径向圆跳动不断改变，工件外圆的中心 O 将在图 2-7 所示的 4 个圆弧所围成的区域内，该区域近似于边长等于 $2e$ 的正方形。由图 2-7 可知，在 OC 方向的定位误差小于在 x 轴或 y 轴方向的定位误差，所以单纯考虑这方面工件以两端轴颈在两对滚轮上定位时，应在 OC 方向测量其他中间轴颈的径向圆跳动。

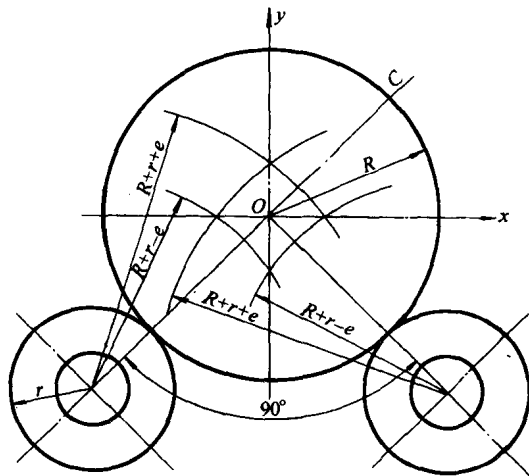


图 2-7 外圆在两滚轮上定位时中心偏移范围

对于图 2-6a，在 x 轴方向测量；对于图 2-6b，在 y 轴方向测量，可避免滚轮径向对测量的影响。所以当需要提高测量精度时，应选择两径向圆跳动相等的滚轮，并定向装配。

2. 由于工件外圆直径公差和圆度误差而产生的定位误差 图 2-8 表示，当工件直径由 D 增大到 $(D + \Delta_D)$ 时，工件中心由 O 移到 O_1 ，其偏移值为 δ 。图中 d 为滚轮直径， B 为两滚轮中心距， R 和 r 分别为工件和滚轮的半径，则

$$B = 2(R + r)\sin\alpha = (D + d)\sin\alpha$$

$$\delta = \frac{1}{2}(\sqrt{(D + d + \Delta_D)^2 - B^2} - \sqrt{(D + d)^2 - B^2})$$

由计算（从略）可知，由于工件外圆直径公差 Δ_D （一般是个微量）而产生的中心偏移量 δ 只与 Δ_D 和 V 形角 2α 有关，而与工件外圆和滚轮的直径无关，其值与用 V 形块定位时基本相同： $2\alpha = 60^\circ$ ， $\delta = \Delta_D$ ； $2\alpha = 90^\circ$ ， $\delta = 0.7\Delta_D$ ； $2\alpha = 120^\circ$ ， $\delta = 0.58\Delta_D$ 。这是因为 Δ_D 是微量，使 α 变化很小。

由以上分析也可知，用两滚轮定位时由于工件外圆圆度误差而产生的定位误差可按 V 形块定位时的分析估算（见表 2-4）。

3. 由于两滚轮外圆直径不一致而产生的定位误差 在图 2-9 中： O_1 和 O_2 是两滚轮回转中心；两滚轮均为直径 d 时，工件外圆处于位置 1（中心为 O ）；当其中一个滚轮直径减小为 $(d - \Delta)$ 时，工件外圆处于位置 2（中心为 O' ）。

由图可知

$$\delta_x = O_2K' - O_2K = 0.5(D + d)(\cos\beta - \sin\alpha)$$

$$\delta_y = OK - O'K' = 0.5(D + d)(\cos\alpha - \sin\beta)$$

$$OO_2 = O'O_2 = (D + d)/2$$

$$O'O_1 = (D + d - \Delta)/2$$

$$O_1O_2 = (D + d)\sin\alpha$$

由余弦定理

$$\cos\beta = \frac{O'O_2^2 + O_1O_2^2 - O'O_1^2}{2(O'O_2)(O_1O_2)}$$

由计算（从略）可知，由于 Δ 是微量，所以 δ_x 和 δ_y 在 2α 一定时与 Δ 保持如下关系： $2\alpha = 60^\circ$ ， $\delta_x = 0.3\Delta$ ， $\delta_y = 0.5\Delta$ ； $2\alpha = 90^\circ$ ， $\delta_x = \delta_y = 0.35\Delta$ ； $2\alpha = 120^\circ$ ， $\delta_x = 0.5\Delta$ ， $\delta_y = 0.3\Delta$ 。

应说明，当工件只用一对滚轮定位时， δ_x 和 δ_y 不影响工件回转精度；当用两副滚轮定位时，由于两副滚轮直径不同产生的 δ_x 和 δ_y 将影响轴线纵向定位精度，其误差大小与两副滚轮的距离有关，一般对测量径向圆跳动影响不大。

2.2.3 定位误差对测量精度影响的分析

上述外圆表面在 V 形块或两滚轮上的定位误差对所测量参数的精度是否有影响，要作

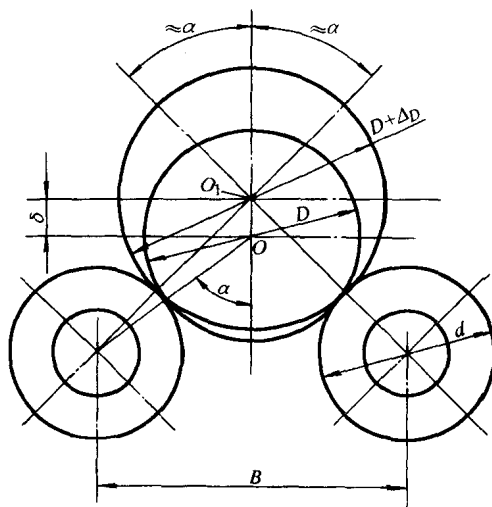


图 2-8 工件外圆直径变化时其中心的偏移

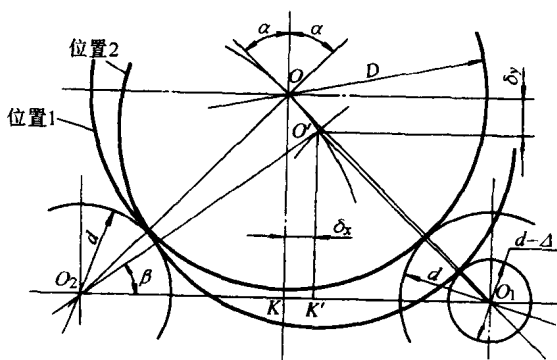


图 2-9 由于两滚轮直径差工件中心的偏移

具体分析。

例如，在 V 形角 $2\alpha = 90^\circ$ 的 V 形块上测量工件外圆素线到槽底的深度 t (图 2-10a)，这时若按工件最大外圆直径调整检具上的百分表，则由表 2-2 可知，当工件外圆直径最小时，在位置 1 的测量误差为 $1.21\Delta_d$ (Δ_d 为外圆直径公差)，在位置 2 的测量误差为 Δ_d ，在位置 3 的测量误差为 $0.5\Delta_d$ ，在位置 4 的测量误差为 $0.21\Delta_d$ 。

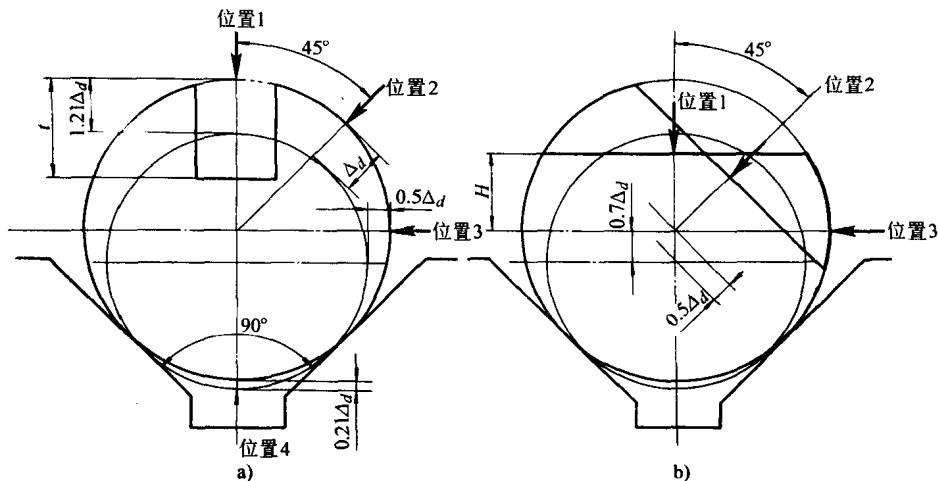


图 2-10 工件在 V 形块上的测量误差

又如，在 $2\alpha = 90^\circ$ V 形块上测量工件外圆扁平面到其轴线的距离尺寸 H (图 2-10b)，这时若按工件最大外圆直径调整检具上的百分表，则当工件外圆直径最小时，在位置 1 的测量误差为 $0.7\Delta_d$ (见表 2-1)，在位置 2 的测量误差为 $0.7\Delta_d \sin 45^\circ = \Delta_d$ ，在位置 3 的测量误差为零。

在实际工作中，应根据由于 Δ_d 所引起的测量误差的大小来选择适当的测量方向。另外，当工件以外圆表面定位测量另一圆表面的径向圆跳动时，应选择适当的测量方向，或使测量方向可调，使由于圆度误差产生的定位外圆中心偏移量为最小或较小。

外圆在 V 形块上定位，其轴线应对称于两 V 形面，并且平行于两 V 形面。当长轴在 1~2 个 V 形块上定位时，由于两定位截面圆度误差大小和方向可能不一致，将使工件轴线相对 V 形面偏斜，产生定位误差。

应指出，轴类工件在 V 形块上定位时，如果不考虑 V 形块本身的误差，则由于轴的锥度误差只使工件的轴线在垂直面 Oy 上 (见图 2-11a) 产生倾斜，而不会在水平面 Ox 上产生倾斜。这是用 V 形块定位的一个特点，这个特点也适合于工件内孔按一条或两条素线在心轴上定位的情况 (关于这点在以后介绍以内孔定位时不再重复)。

2.2.4 V 形块定位和滚轮定位的结构

V 形块的结构与工件的尺寸和精度有关。

当定位外圆有一定长度时，用两个 V 形块模拟工件轴线，这两个 V 形块可以是分开的 (图 2-11a)，也可以是一件 (图 2-11b)。这时，若工件以未加工外圆表面定位， V 形块与工件的接触长度应较小，通常取 3~5mm (图 2-11c)。若工件以加工过的表面定位， V 形块可有适当的接触长度 ($\approx 0.5d$ ， d 为定位外圆直径)，这样可提高 V 形块的耐磨性。若工件以精加工过的外圆表面定位，也可用一个长 V 形块 (图 2-11d)。