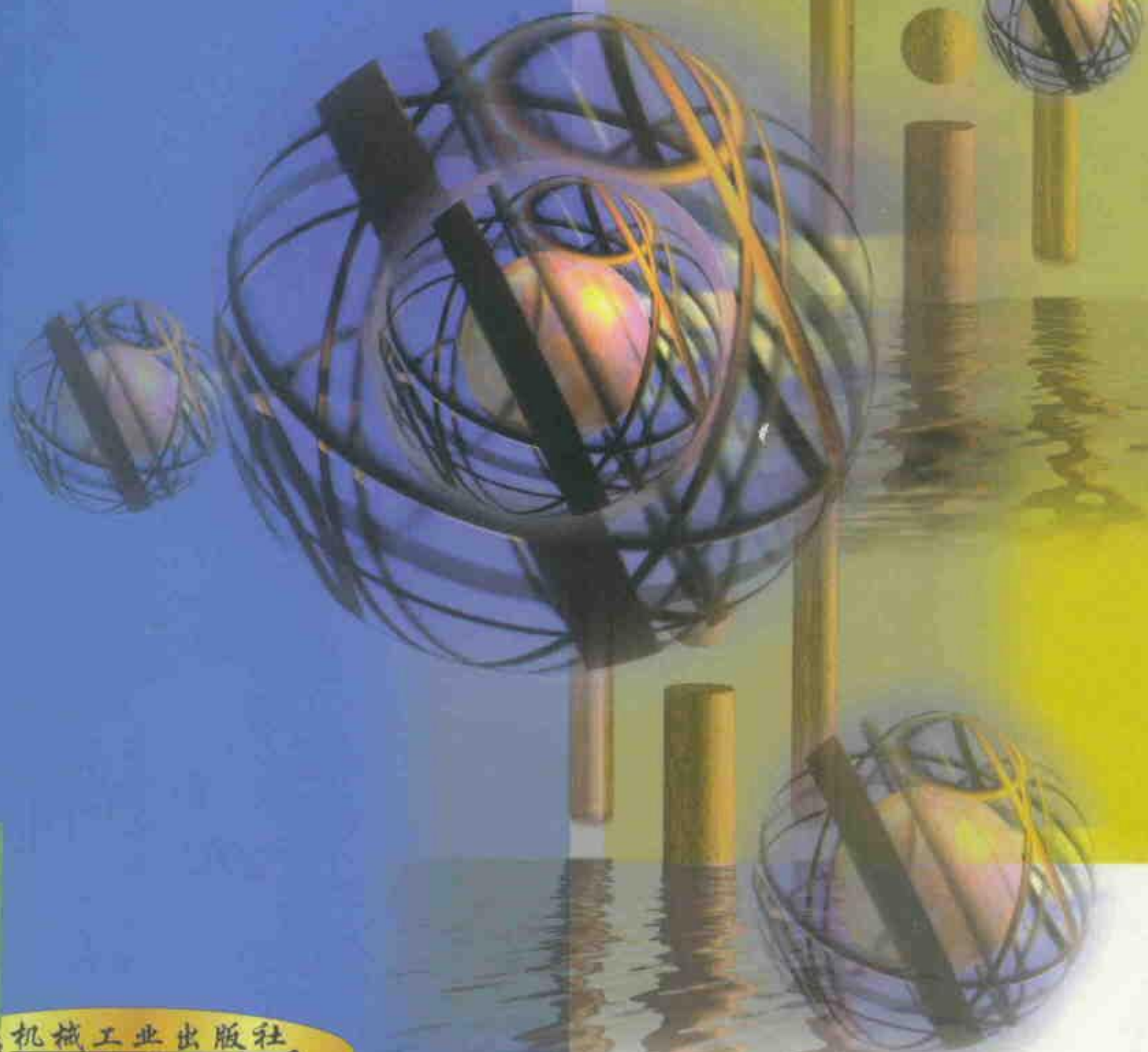


检验夹具设计

谢诚 编著



.02



机械工业出版社
China Machine Press

CHINA

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

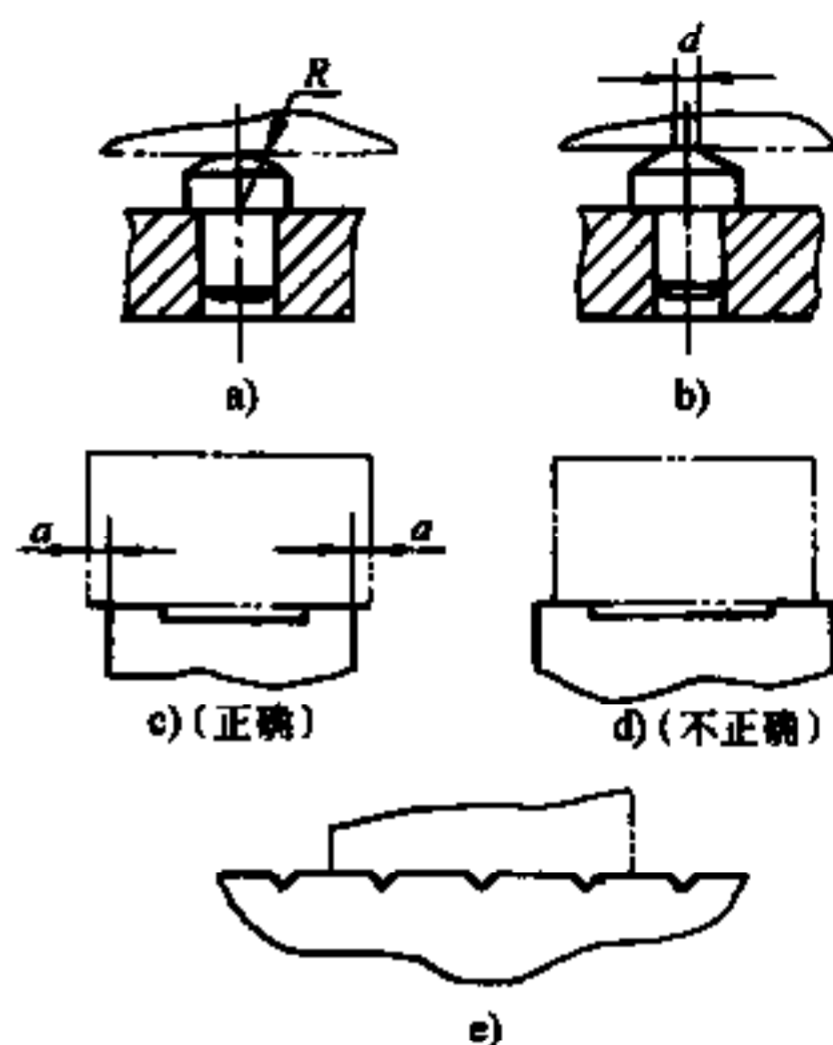


图2-1 平面定位支承

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	$0.707\Delta_d$	$0.577\Delta_d$

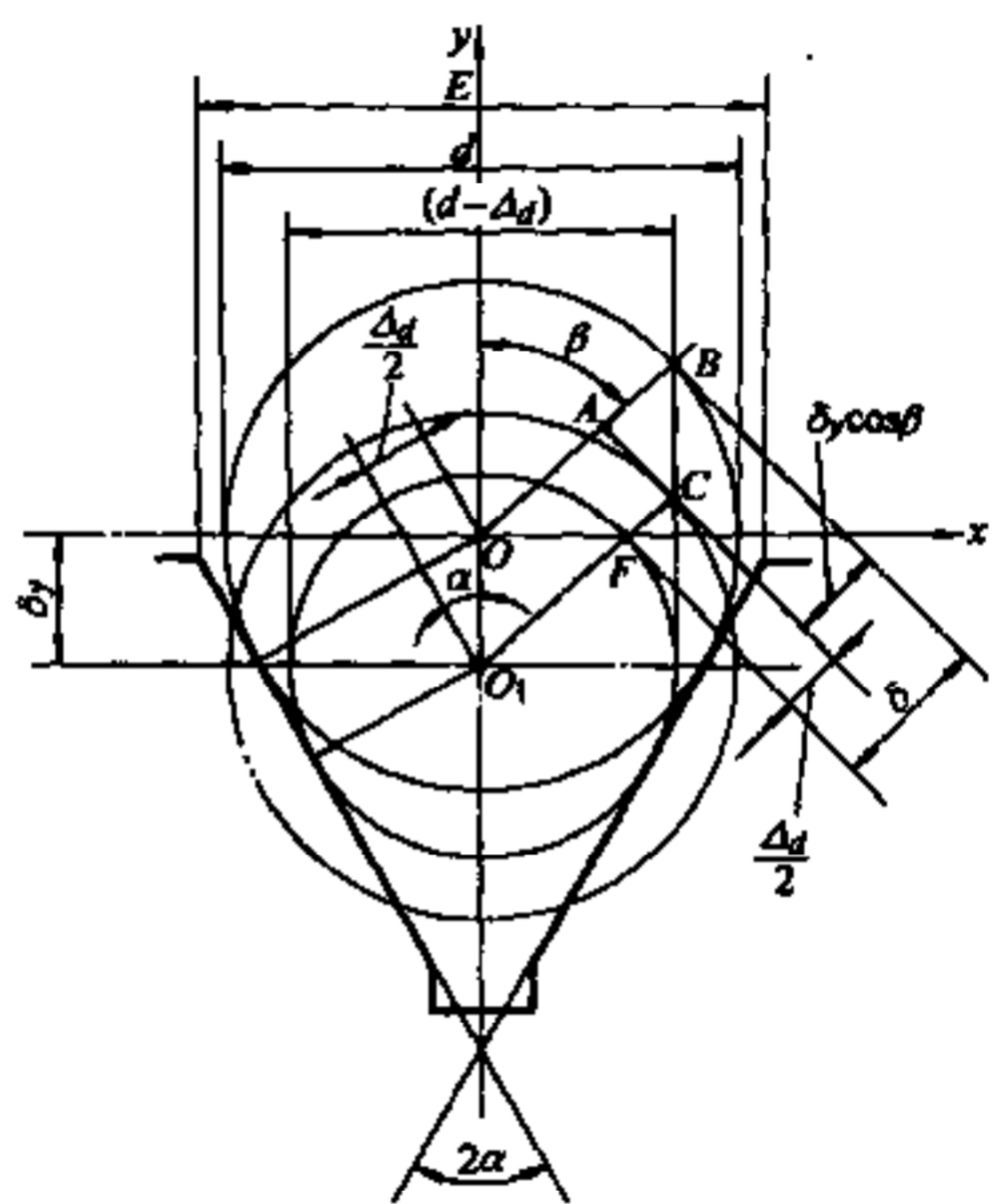


图 2-2 工件以外圆在 V 形块上定位

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°	60°	1.50	1.20	0.50	0.50
	90°	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

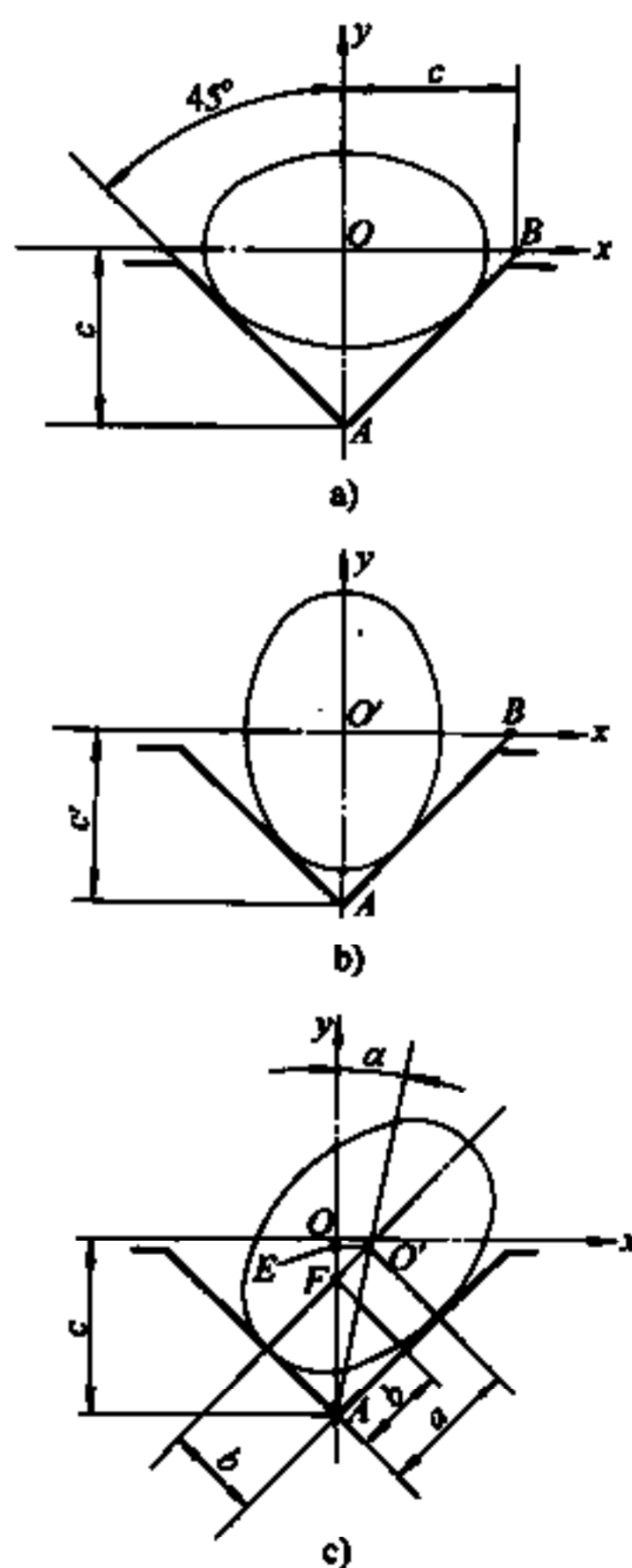


图 2-3 椭圆在 $2\alpha = 90^\circ$ V 形块上定位中心的变化

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

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

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

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

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \tag{5}$$

$$\frac{x}{c_1} + \frac{y}{Kc_1} = 1 \tag{6}$$

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

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

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

由 $B^2 - 4AC = 0$, 得

$$c_1 = \frac{\sqrt{K^2a^2 + b^2}}{K} \tag{8}$$

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

$$\delta_y = O_1O_2 = K(c_1 - c_2) \quad (2\alpha = 60^\circ)$$

$$\delta_y = O_2O_1 = K(c_2 - c_1) \quad (2\alpha = 120^\circ)$$

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: $\delta_y = \Delta_r$ ($2\alpha = 60^\circ$); $\delta_y = 0.6\Delta_r$ ($2\alpha =$

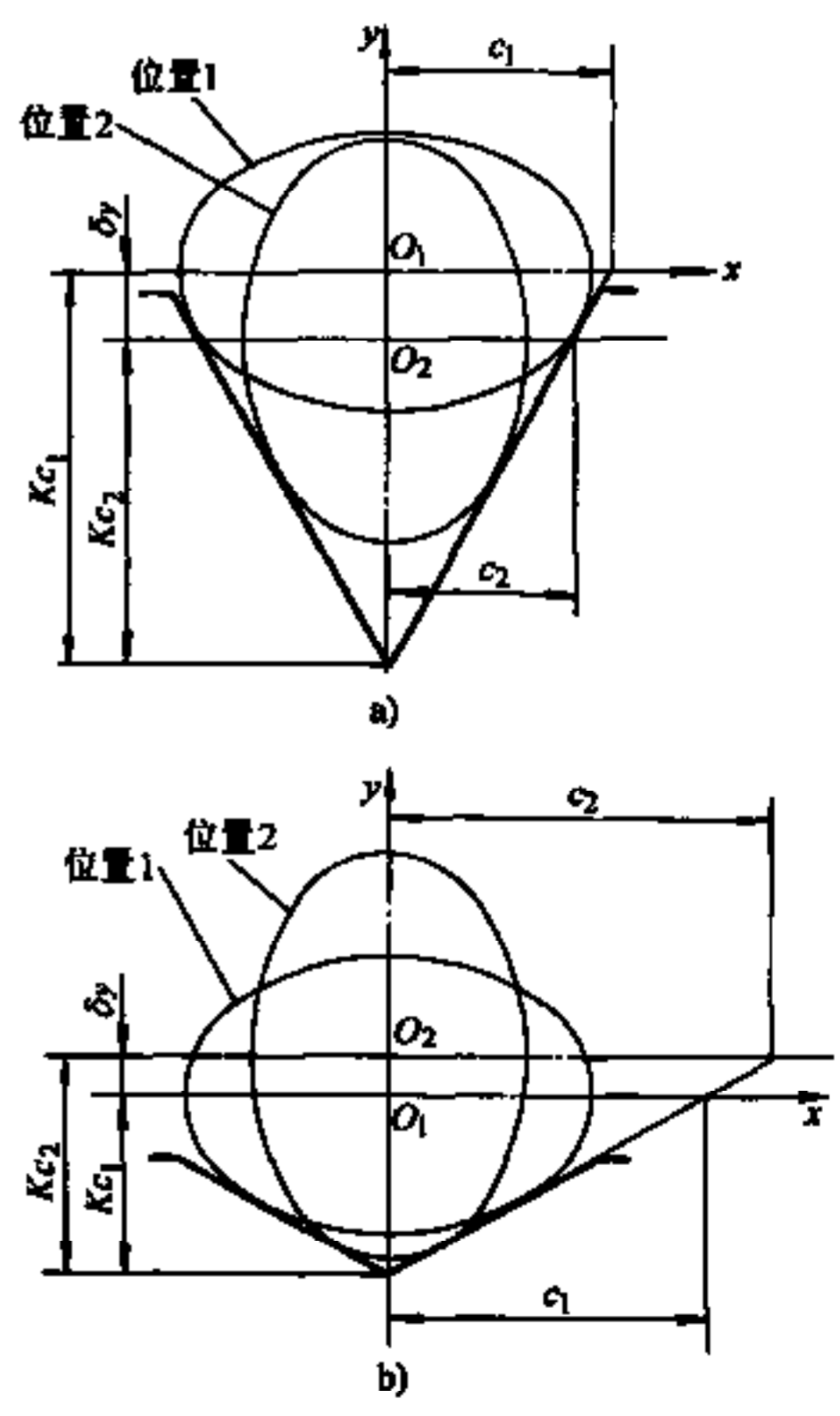


图 2-4 椭圆在 $2\alpha = 60^\circ$ 和 120° V 形块上定位中心的变化

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° 和 $102^\circ 52'$ 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° 、 90° 、 180° 和 270°) 时其中心相对图 2-5 原始位置 O_1 的水平 and 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)。

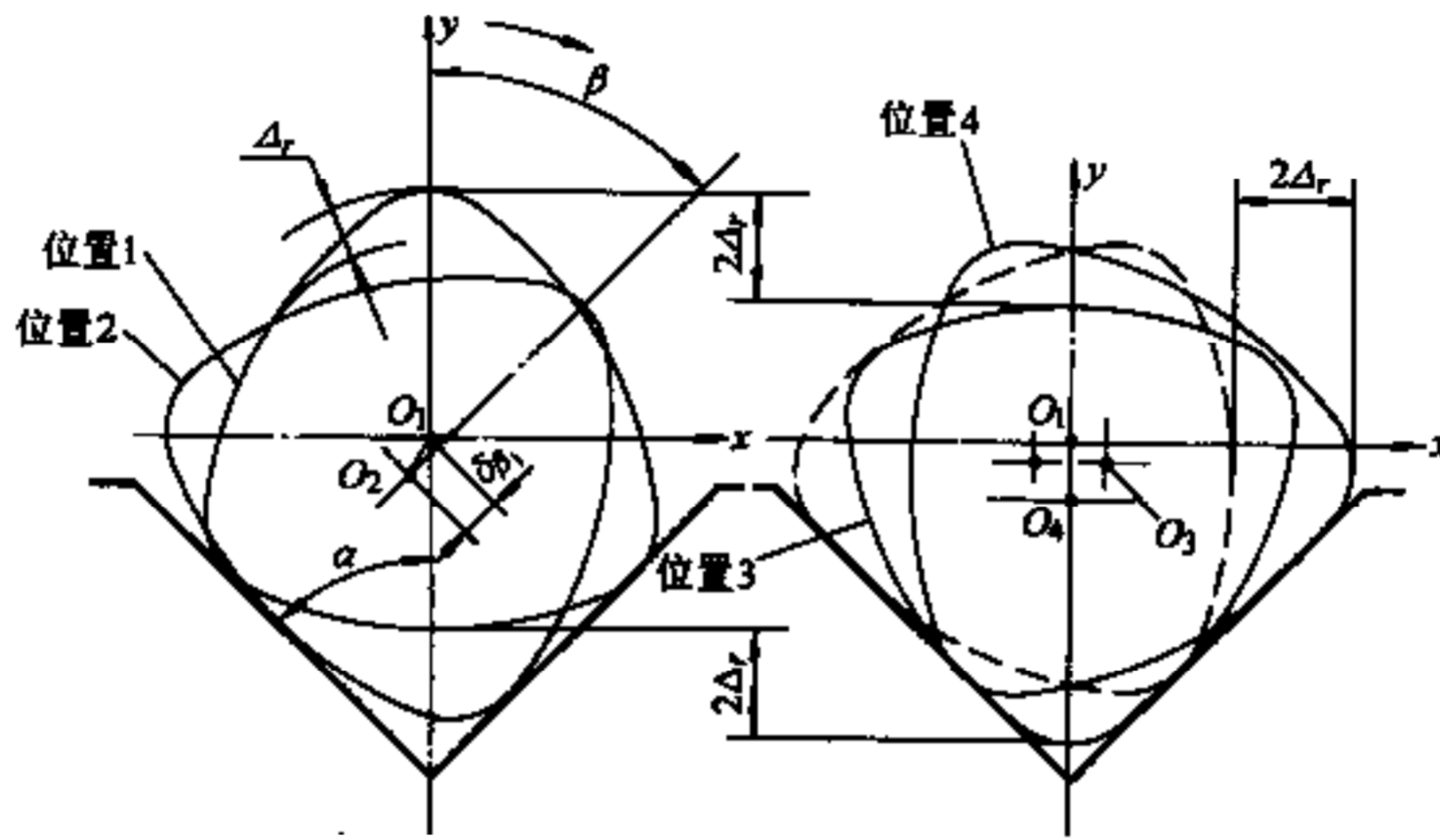


图 2-5 具有圆度误差的外圆在 V 形块上定位时中心的偏移

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
中心偏移系数												
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 (按绝对值)	2α	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 2α	0°	45°	90°	180°	通过棱圆中心且 垂直于 V 形面方向	备 注
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，定位元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 $OC=e$ ， $OO_1=\delta_y$

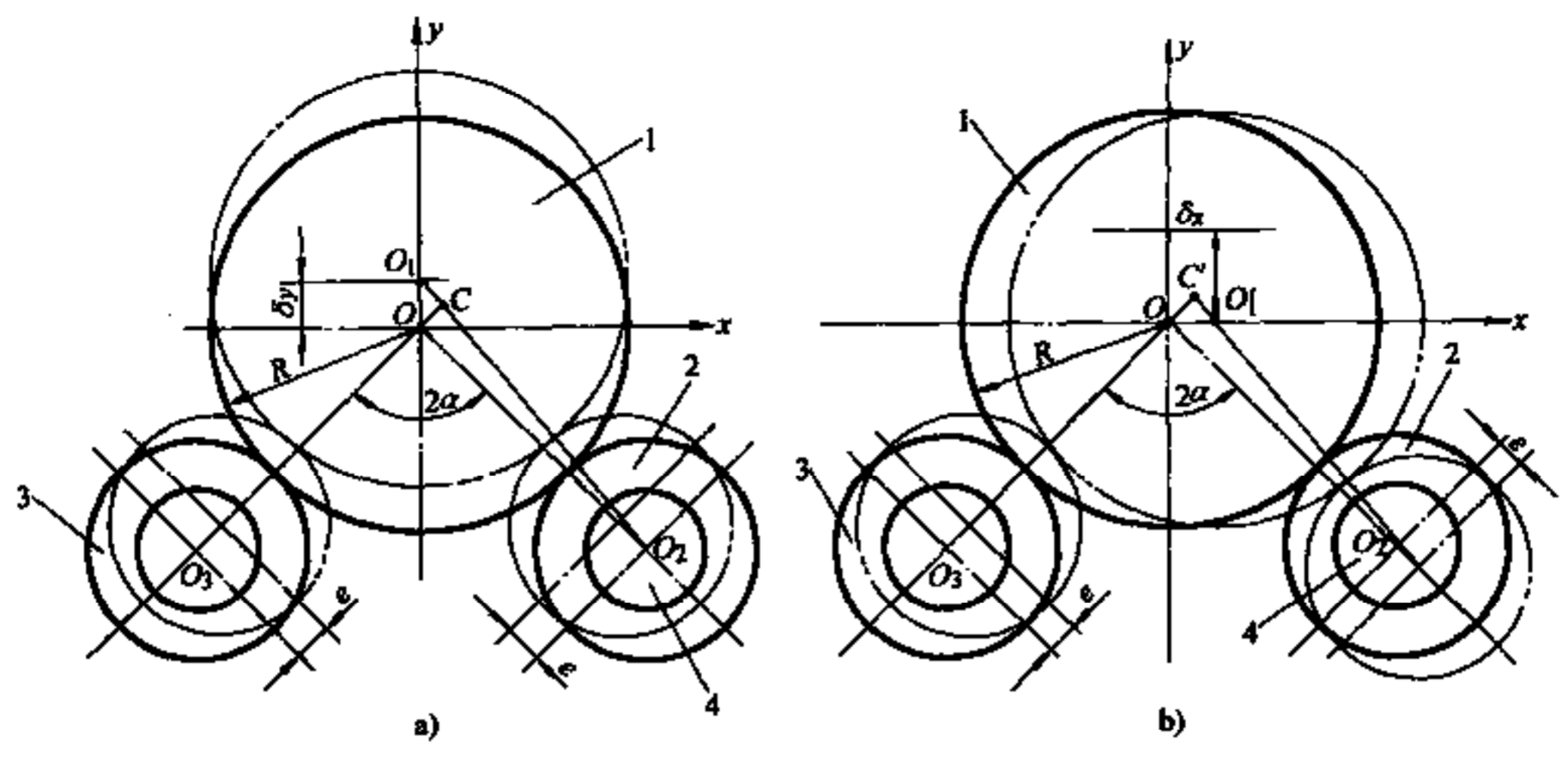


图 2-6 工件以外圆在两滚轮上定位
1—工件 2、3—滚轮 4—回转轴

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

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。

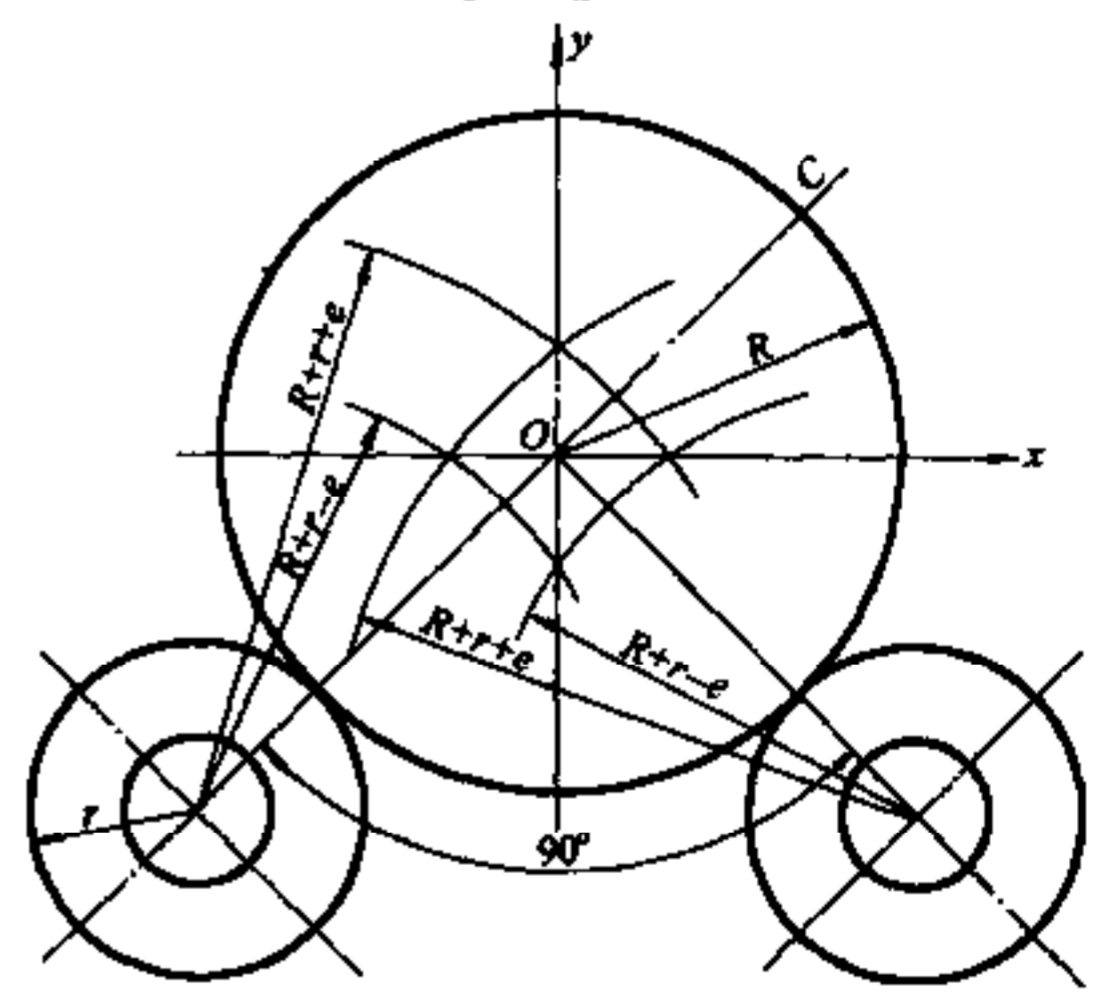


图 2-7 外圆在两滚轮上定位时中心偏移范围

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

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

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

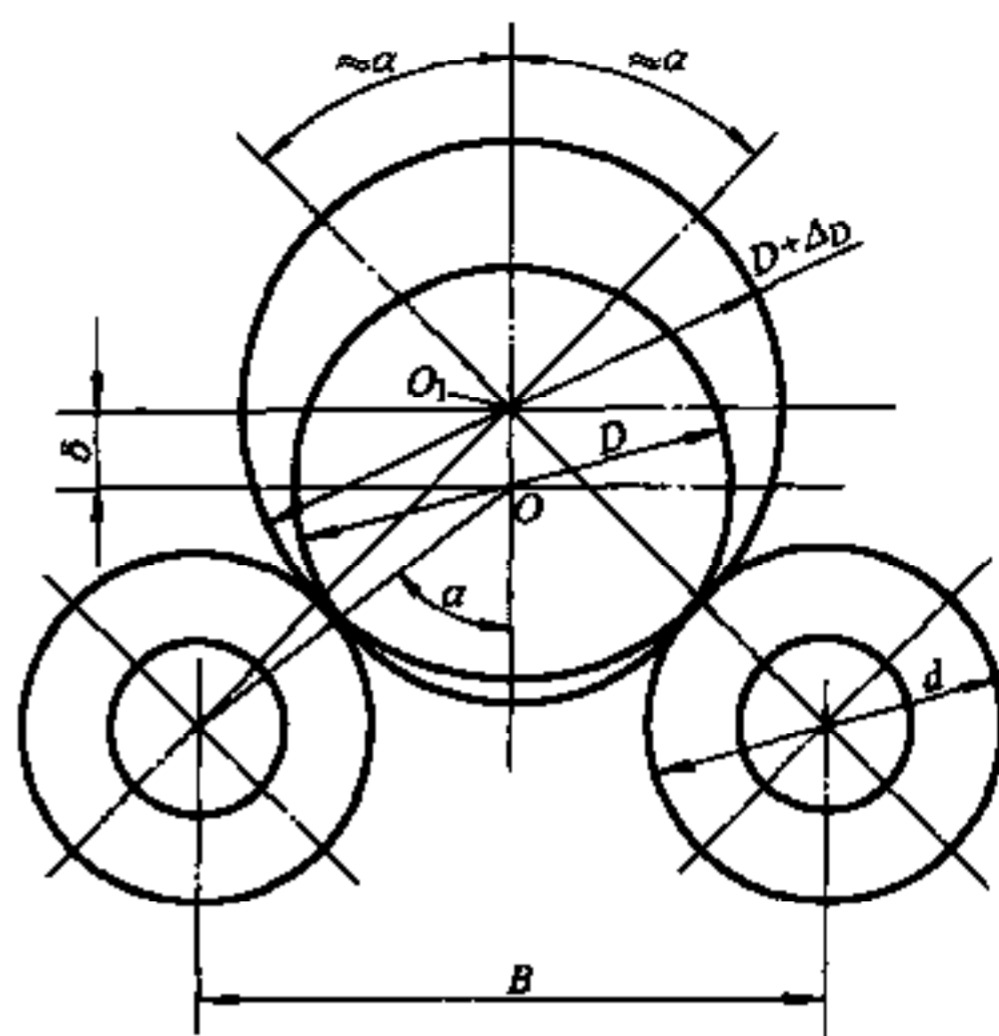


图2-8 工件外圆直径变化时其中心的偏移

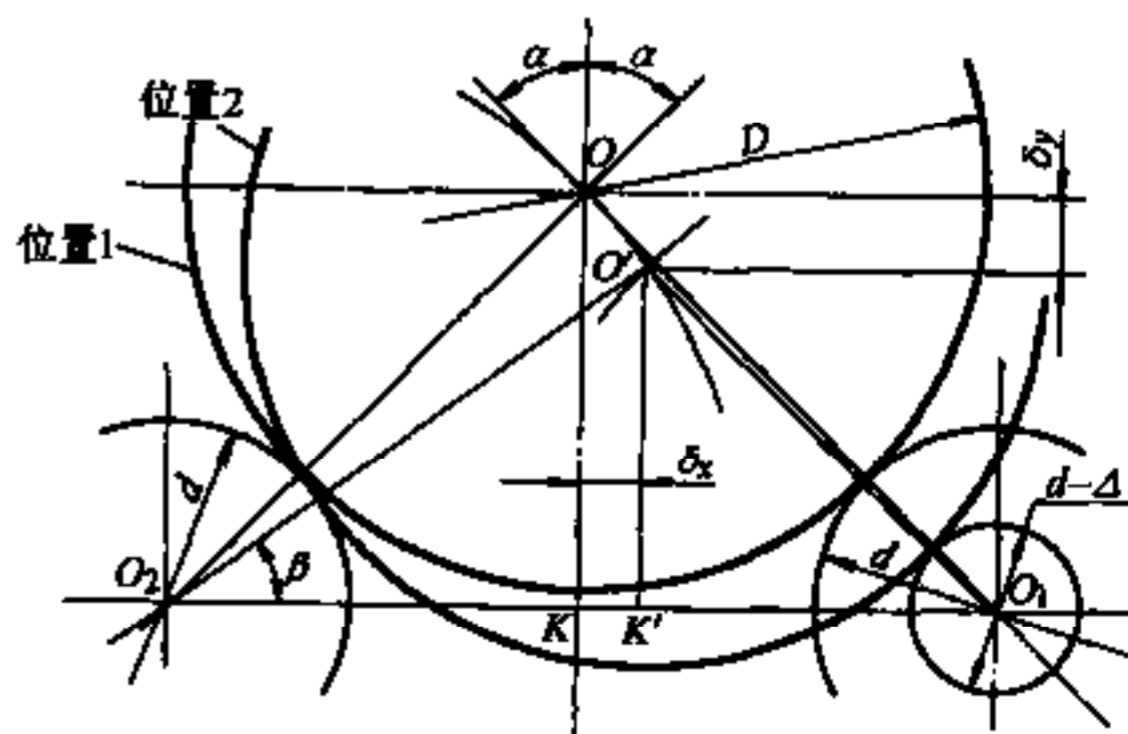


图2-9 由于两滚轮直径差工件中心的偏移

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 $0.21\Delta_d$ 。

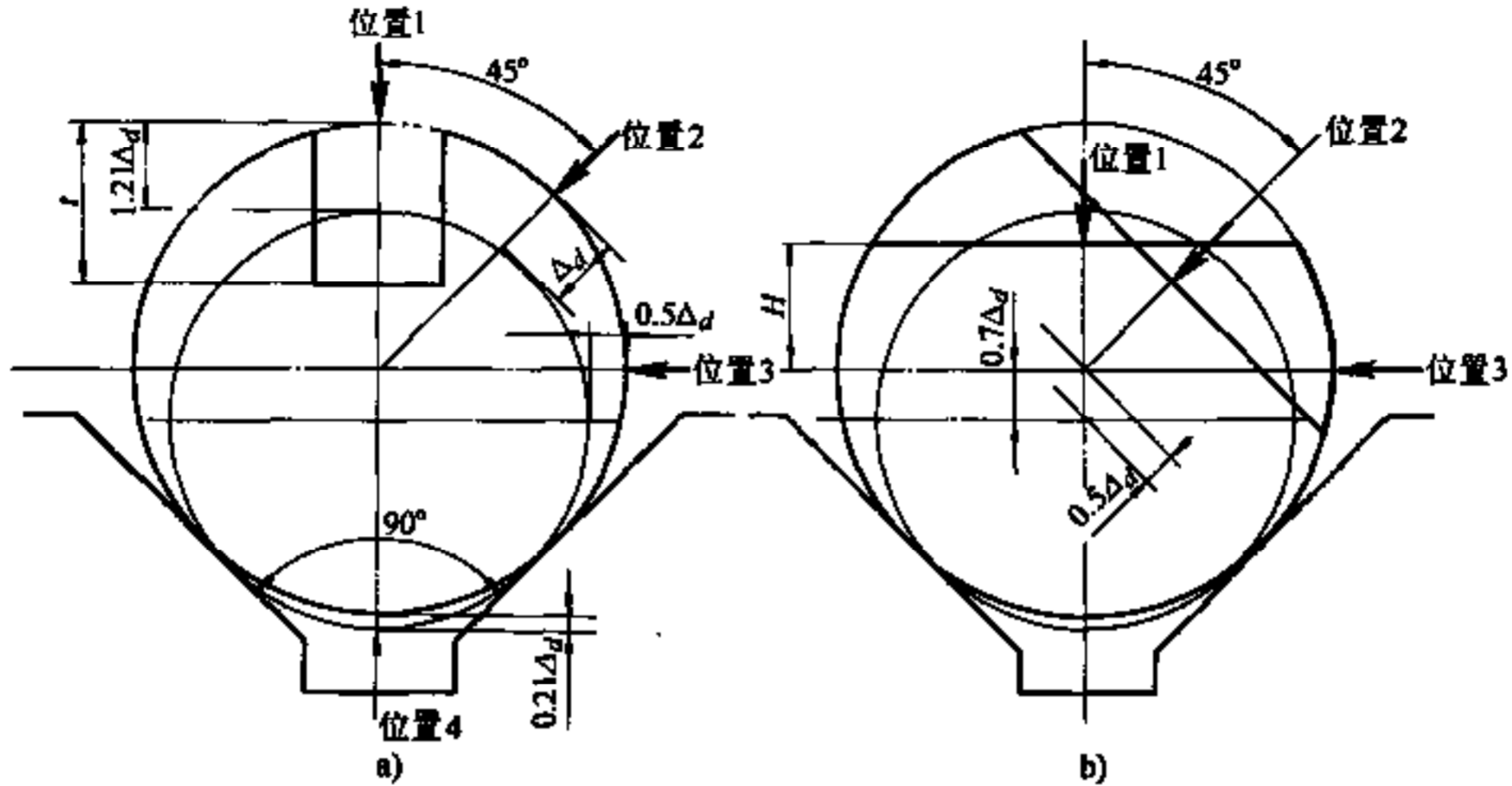


图 2-10 工件在 V 形块上的测量误差

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)。

当工件以两端外圆表面公共轴线定位时，理论上应采用两刃口状 V 形块定位，但为了避免测量过程中在工件上产生明显的痕迹（例如当检验项目多，需要多次转动工件时），实际上也应采用具有一定宽度（一般 10mm 左右）的窄 V 形块（图中未示）。

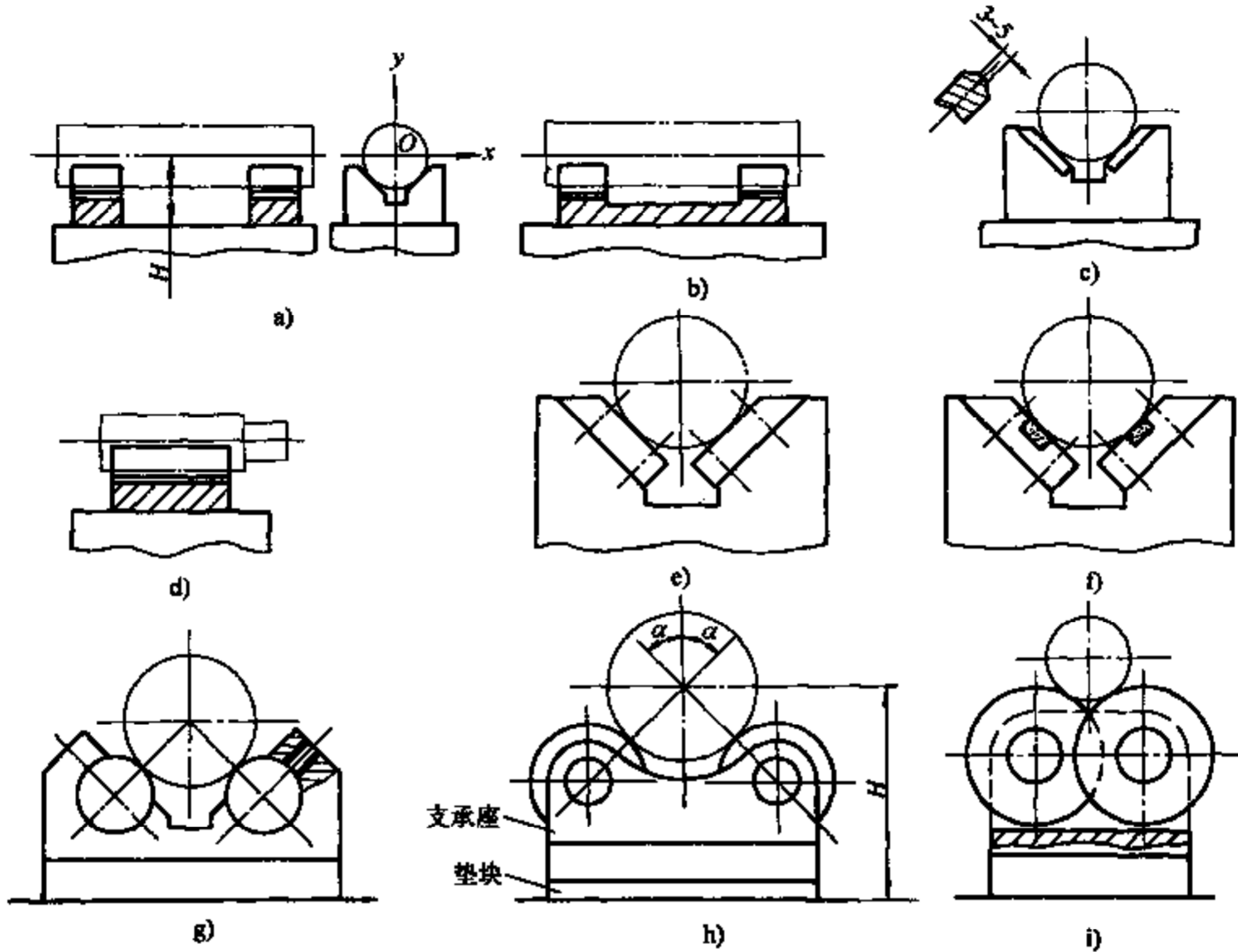


图 2-11 V 形块和滚轮的结构

一般要求 V 形块工作表面的硬度为 60~64HRC，有时（特别对于尺寸较大的 V 形块）可在 V 形面上镶装淬硬钢块或在其上粘结硬质合金块（图 2-11e 和 f），磨损后只要更换镶块即可。采用硬质合金镶块可显著提高 V 形工作表面的耐磨性，但不适合重型工件的定位。

图 2-11g 为在 V 形块体上装有两淬硬定位轴，并用螺钉将其固定。这种结构的优点是，当定位轴局部磨损后，将其旋转一个角度即可恢复精度。

V 形块的底面和两 V 形面的相互位置，例如尺寸 H （图 2-11a）、V 形面对底面的平行度等，应有较高的精度要求；用两 V 形块时，两块 V 形面应保持一致，为此往往需要同时磨出（或通过在 V 形块下布置调整垫板达到）。

工件以外圆表面在两滚轮上定位的结构简图见图 2-11h。两滚轮的外圆直径尺寸和形状应具有高精度，滚轮在轴上转动时的径向圆跳动也应有严格要求。为提高工件转动灵活性，应使滚轮外径适当增大，不能过小。这样使工件转一周滚轮只转过一定角度，可减小滚轮圆跳动对定位精度的影响。可直接选用适当尺寸和精度的滚动轴承作为滚轮，但有时结构尺寸受到限制或满足不了精度要求，需要专门设计滚轮机构。

当采用较大直径的滚轮时，可将两滚轮在轴向相互错开布置（图 2-11i）。

两滚轮上的素线对支承座底面的平行度和尺寸 H 应有高精度要求。对于用两 V 形块和两滚轮定位都可在支承座与检具底座之间增加垫块，通过配磨垫块尺寸使两 V 形块或滚轮

的尺寸 H 等高。

用两固定滚轮定位的通用性比用 V 形块定位小，因为工件外圆公称直径相差大，角 2α 将有变化。为使两滚轮定位有较大的适用范围，可将一个滚轮做成固定的，将另一个滚轮做成位置可调的（图中未示出）。

2.2.5 其他按外圆定位的方法

当轴类工件两端有中心孔时，在两顶尖座上定位是常用的方法。

以工件外圆表面模拟轴线还可采用各种自定心机构，例如各种高精度结构的弹性膜片盘、三爪夹盘和液性塑料薄壁套筒等。为检验有些零件的端面、锥面或球面等的跳动，采用自定心机构，使用方便，检验效率高，并且有些机构还具有一定的通用性，弹性膜片盘和塑料套筒的定心精度达 $0.005\sim 0.010\text{mm}$ 。但为了检验工件的跳动，必须有回转机构，定位机构的轴线与回转机构的轴线应同轴。这一方面增加了检具的复杂性，也增加了定位环节，增加了定位误差，不像采用 V 形块定位那样，工件回转精度不受其他机构影响。下面举一应用实例。

图 2-12 采用弹性膜片盘定位和回转机构，以检验工件球面和内孔对定位外圆轴线的圆跳动。在主轴 1 上固定有弹性膜片盘 2，其上有 6 个夹爪，6 个夹爪在自由状态时的内径应小于工件外圆的最小直径。安装工件前，转动手柄 4，推杆 3 推动膜片盘使夹爪张开，将工件放入。使手柄 4 反转撤消推力，利用膜片弹性使夹爪夹住工件外圆，实现工件按外圆表面定位。转动手轮 5 即可对工件进行转动测量。为保证定位精度，在膜片盘 2 直径 D_2 上装上预张环，使预张量为 $0.2\sim 0.3\text{mm}$ ，再将夹爪直径 D 磨削到工件定位孔的平均直径。膜片中间部分的厚度 b 为 $0.04D_1$ (D_1 为膜片盘直径)，厚度差在 $\pm 0.1\text{mm}$ 内；夹爪的悬伸量一般为 $(0.3\sim 0.4)D_1$ 。膜片盘用 65Mn, 30CrMnSi 等钢制造，硬度 $45\sim 50\text{HRC}$ 。

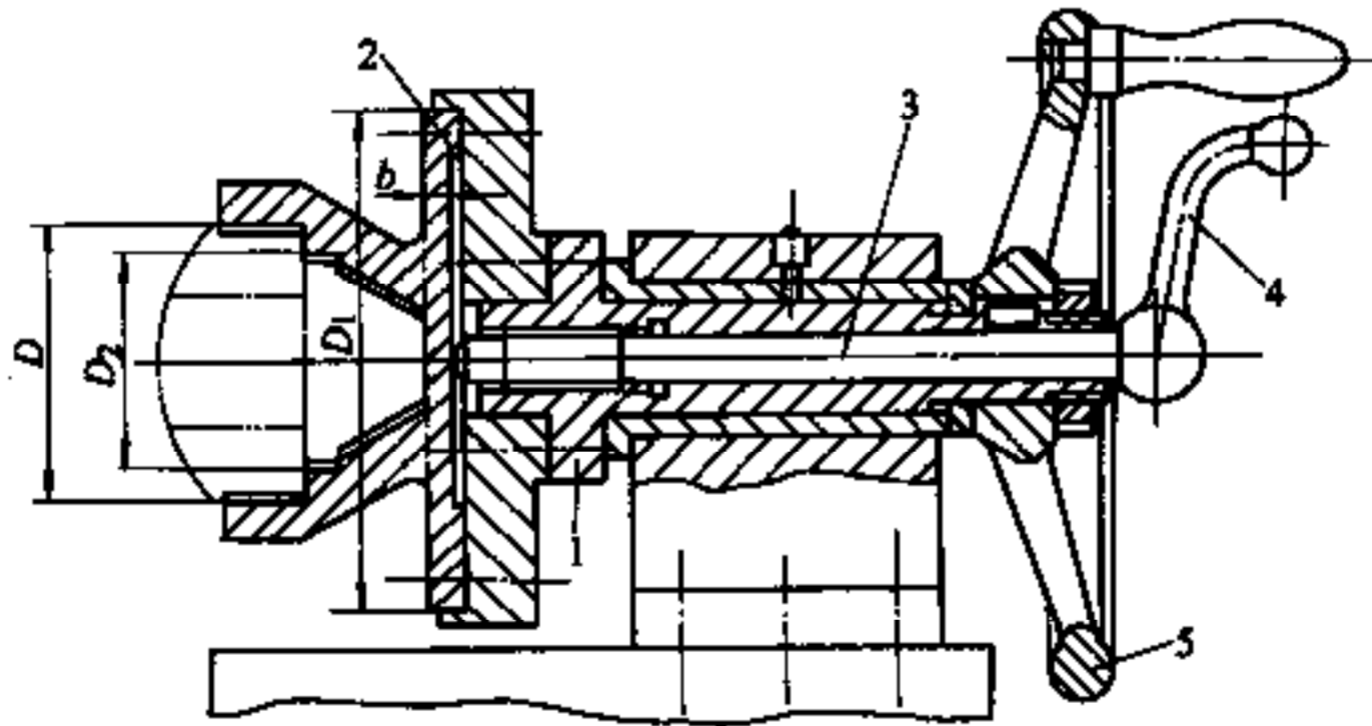


图 2-12 采用弹性膜片盘定位机构

1—主轴 2—弹性膜片盘 3—推杆 4—手柄 5—手轮

工件以 V 形块定位相当于用两固定点使外圆表面定位。由试验和理论分析可知^[4]，如果以两固定点作为铰链轴，在每个铰链轴上装上具有两个浮动支点的摆动件，这时共有 4 个浮动支点与工件外圆表面接触；如果再以这 4 个浮动支点作为铰链轴，在每个第二级铰链轴上又装上具有两个浮动支点的摆动件，这时共有 8 个浮动支点与工件外圆表面接触。采用多级自定心方法可显著提高工件的定心精度，特别适合于测量大直径工件的圆度，国外已有应用。

2.3 工件以内孔表面定位及其误差

工件以内孔表面定位是在检具中另一种常见的定位方法。

2.3.1 用圆柱心轴定位

当用圆柱心轴使工件按内孔表面定位时，由于被测孔与心轴之间有间隙，误差较大，往往不能满足测量精度的要求。若将工件内孔的公差分成若干组，制造几根（最多不超过3~5）圆柱心轴，供使用时选择，则可能达到所需的定位精度。但这种方法操作不方便，检验效率低。

2.3.2 用锥度心轴定位

用锥度心轴使工件按内孔表面定位的应用较多，特别适合于检验套类、齿轮等中、小型工件的端面和径向圆跳动，心轴的锥度使工件的定位误差在允许值以内，使用时将心轴安装在检具的两顶尖上。这种心轴的优点是定位精度较高，其缺点是工件与心轴轴向相对位置不固定。

由于心轴有很小的锥度，所以工件安装到心轴上后会产生倾斜，使工件在轴向产生定位误差 δ_1 ，在径向产生定位误差 δ_2 （图 2-13a），定位误差对测量精度的影响要作具体分析。

如果在点 P_1 附近测量端面圆跳动，将产生测量误差 $\delta'_1 = 2\delta_1$ （图 2-13b）；如果在点 P_1 附近测量径向圆跳动，将不会产生测量误差（ ≈ 0 ）；如果在点 P_2 附近测量径向圆跳动，将产生测量误差 $\delta'_2 = 2\delta_2$ 。这说明，当靠近工件与心轴大端接触直径测量径向圆跳动时，可减小锥度心轴锥度对测量精度的影响。

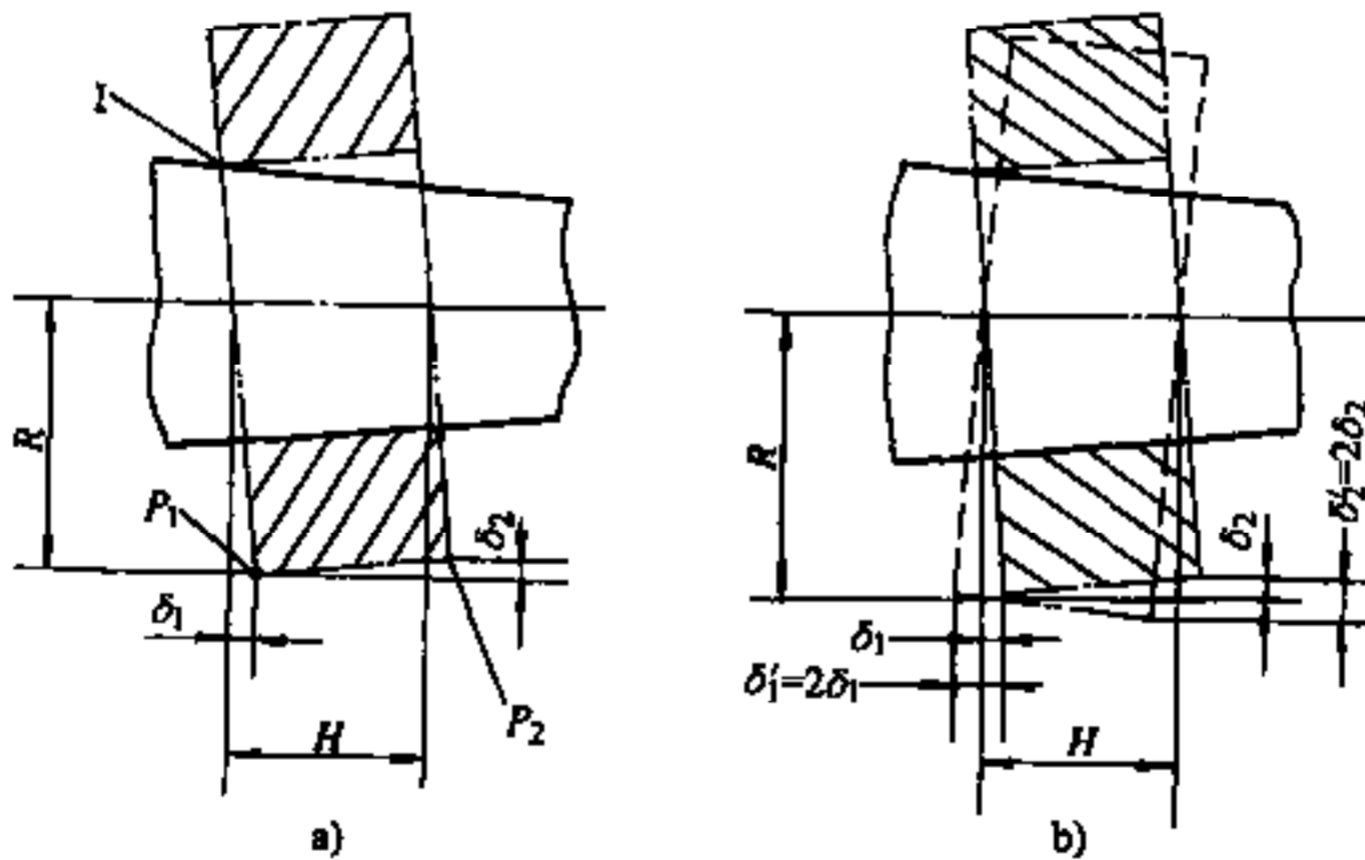


图 2-13 锥度心轴的定位和测量误差

下面以检验工件端面和外圆表面对内孔轴线的端面和径向圆跳动为例说明锥度心轴的设计方法。

设产品图要求工件在半径 R 上的端面圆跳动允差 Δ_1 ，外圆表面在全长上的径向圆跳动允差 Δ_2 。

一般设计计算锥度心轴时，按工件内孔只在一个截面沿整个圆周与心轴接触（见图 2-13a 中的 I），但由于金属弹性变形，工件内孔与锥度心轴有一定长度为整个圆锥面接触，该接触长度与心轴锥度的大小、材料的硬度、工件的形状和尺寸等因素有关。所以锥度心轴

实际产生定位误差比按下述方法的计算值要小，考虑到这个因素，同时也避免长度过大会使心轴刚度降低，所以锥度心轴定位误差 δ_1 和 δ_2 一般不取得太小，通常取

$$\delta_1 = 0.1\Delta_1 \quad \text{和} \quad \delta_2 = 0.1\Delta_2 \quad (\delta_1 \text{ 和 } \delta_2 \text{ 为定位误差, 见图 2-13})$$

$$\text{或 } \delta'_1 = 0.2\Delta_1 \quad \text{和} \quad \delta'_2 = 0.2\Delta_2 \quad (\delta'_1 \text{ 和 } \delta'_2 \text{ 为测量误差})$$

为保证端面圆跳动的测量精度，心轴的斜度应为 δ_1/R ，所以其锥度为

$$C_1 = 2\delta_1/R = \delta'_1/R$$

(R 见图 2-13)

为保证径向圆跳动的测量精度，心轴的斜度应为 δ_2/H ，所以其锥度为

$$C_2 = 2\delta_2/H = \delta'_2/H = 0.4\Delta_2/H$$

(H 见图 2-13)

当用一个锥度心轴检验多个参数时，应取最小的锥度值作为心轴的锥度 C。一般 C 值在 1/1000 ~ 1/10000 范围内，并将锥度计算值中的分母圆整到 500 的倍数 (分子始终为 1)。在确定了 C 值后，按下述方法计算心轴的结构尺寸 (见图 2-14a)。

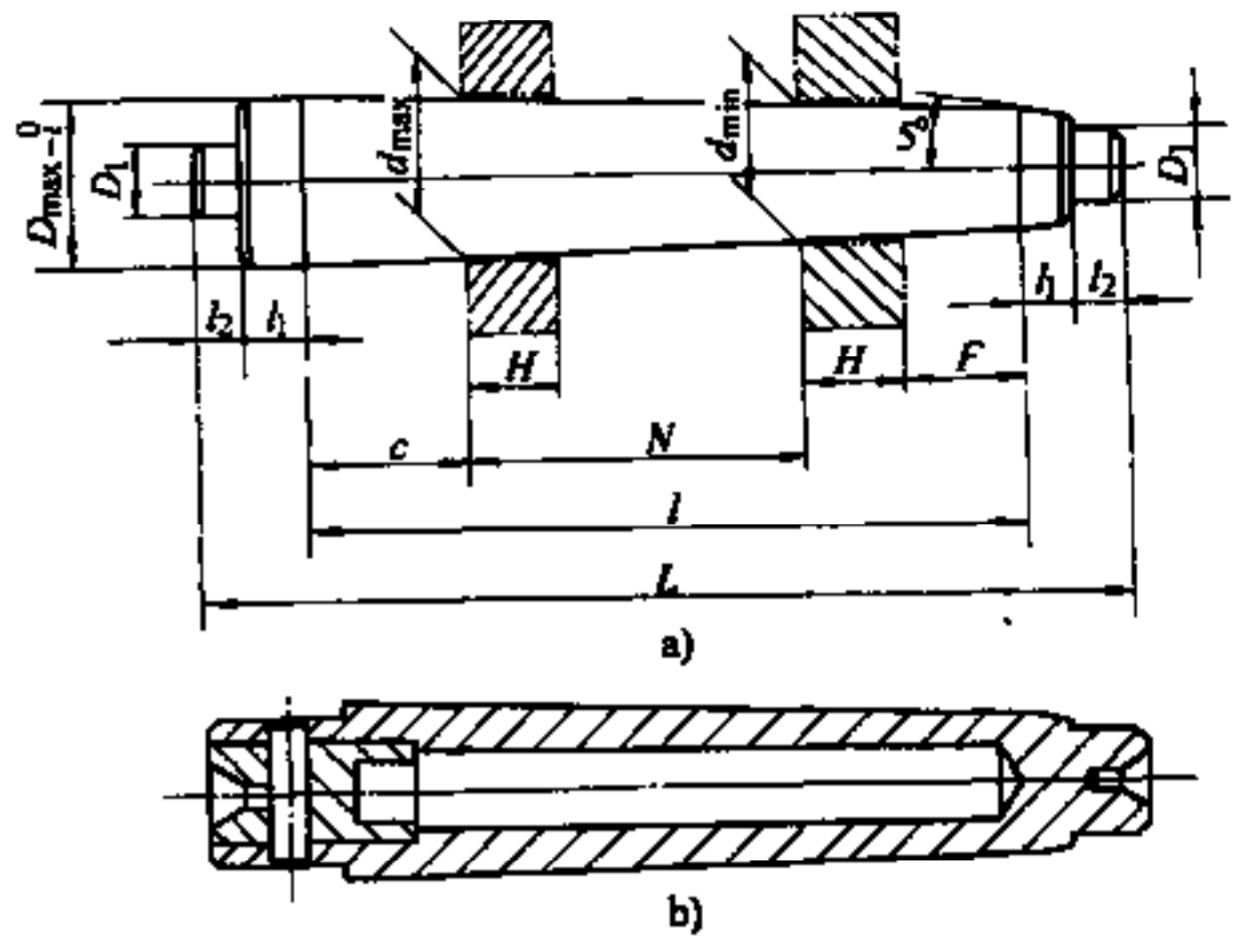


图 2-14 锥度心轴的结构

$$N = \Delta_d/C = (d_{\max} - d_{\min})/C$$

式中 d_{\max} 、 d_{\min} —— 工件定位孔的最大和最小直径；

Δ_d —— 工件定位孔的制造公差。

为保证锥度心轴最大直径 D_{\max} 对工件内孔最大直径有一定的储备长度 c ，取

$$D_{\max} = d_{\max} + 0.2\Delta_d + t$$

式中 t —— 心轴直径 D_{\max} 的制造公差 (见表 2-5)， t 随锥度减小而减小是为了不使心轴尺寸 c 过大。

$$c = (D_{\max} - d_{\max})/C$$

心轴锥度部分全长为

$$l = c + N + H + F$$

式中 H —— 工件长度；

F 值见表 2-5。

尺寸 D_1 、 l_1 、 l_2 和中心孔直径见表 2-6。

表 2-5 锥度心轴尺寸

心轴锥度	(1/500 ~ 1/3000)	(1/3500) ~ (1/7000)	(1/7500) ~ (1/10000)
t/mm	+0.012	+0.008	+0.005
F/mm	15	25	40

在锥度心轴的小端做出斜角为 5° 的导向段 l_1 。

表 2-6 锥度心轴尺寸

(mm)

D_{\max}	~9	>9~12	>12~15	>15~20	>20~25	>25~30	>30~40	>40~50	>50
D_1	7	8	10	12	16	20	20	32	42
l_1	5	5	6	6	8	8	12	12	14
l_2	10	10	12	12	15	15	20	20	25
中心孔直径	1.5	2	2.5	3	4	5	6	6	8

检验用锥度心轴 l 与 D 之比应小于 12, 当计算出的长度过长时, 可将工件定位孔的公差分组, 设计 2~3 根心轴。但在使用时不方便, 所以有时根据具体情况, 再适当放大锥度心轴的定位误差, 例如对图 2-13a 使 $\delta_1 = (0.15 \sim 0.175)\Delta_1$, 这样可缩短心轴长度。

锥度心轴可做成实心的, 当直径大于 45mm 时, 为减轻重量可将心轴做成空心的, 在轴的一端或两端装入堵头, 图 2-14b 是在一头装入堵头的结构。

要求锥度心轴的锥面对两端中心孔的径向圆跳动一般不超过被测公差的 1/10, 但考虑制造可不小于 $2 \sim 3\mu\text{m}$; 心轴锥度 C 的偏差为 $\pm C/10$, 例如对于锥度为 $1/3000$ 的心轴, 实际锥度允许在 $0.9/3000 \sim 1.1/3000$ 范围内。

检验心轴 (锥度和圆柱的) 一般用 20 钢或 20Cr 钢, 渗碳淬火硬度 $58 \sim 62\text{HRC}$; 对用于工件材料为有色金属等软材料的检验心轴, 用 45 钢制造, 淬火硬度 $45 \sim 50\text{HRC}$ 。

〔例 1〕如图 2-15a 所示, 工件用锥度心轴以内孔定位进行检验。端面对内孔轴线在半径 $R = 40\text{mm}$ 上的端面圆跳动, 允差 $\Delta_1 = 0.08\text{mm}$; 外圆表面对内孔轴线在长度 $H = 20\text{mm}$ 上的径向圆跳动, 允差 $\Delta_2 = \phi 0.05\text{mm}$ 。内孔直径 ($d^{+\Delta_d}$) 为 $25^{+0.023}_0$ 。

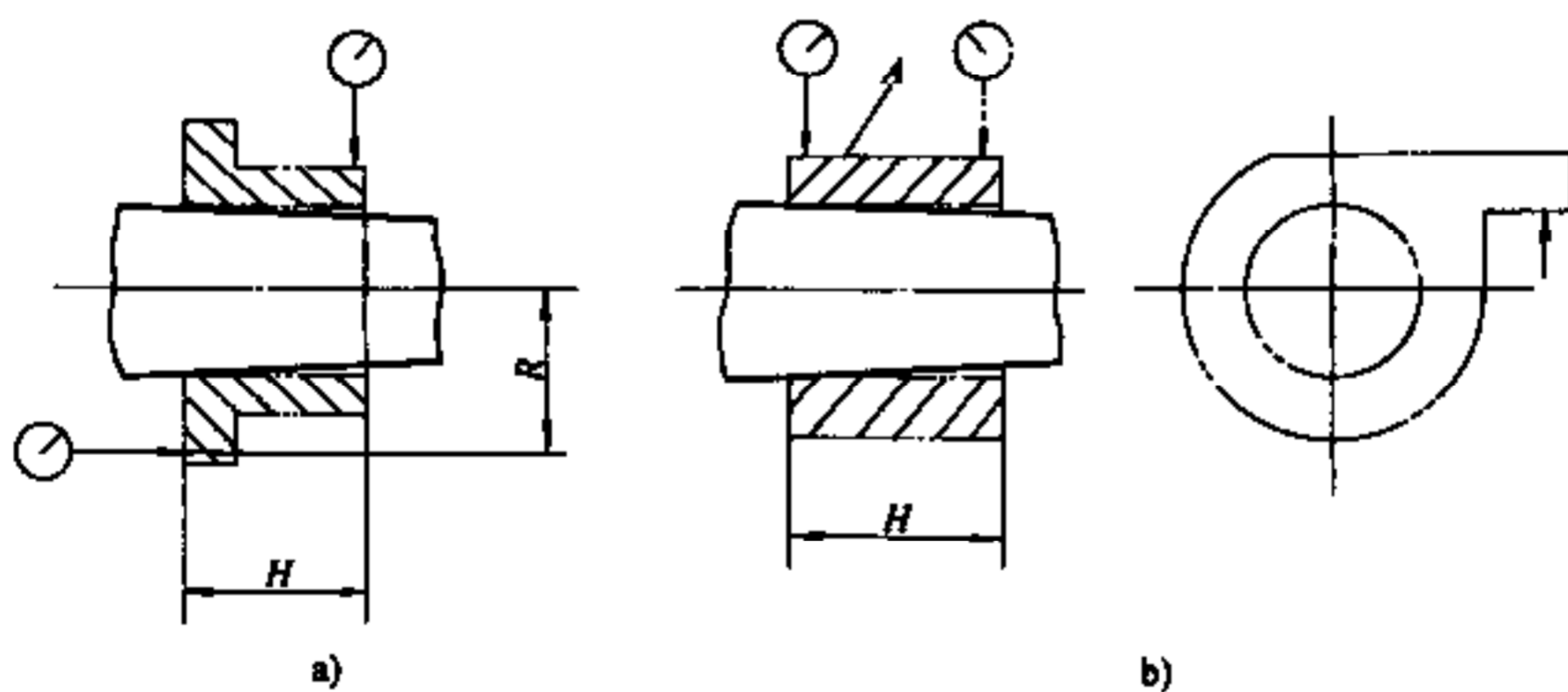


图 2-15 锥度心轴计算实例图

按图 2-13b 计算测量端面圆跳动时所需心轴的锥度 C_1

$$C_1 = 2\delta_1/R = 2\left(\frac{0.1\Delta_1}{R}\right) = 0.016/40 = 1/2500$$

按图 2-13a 计算测量径向圆跳动时所需心轴的锥度 C_2

$$C_2 = 2\delta_2/H = 2\left(\frac{0.1\Delta_2}{H}\right) = 0.1/20 = 1/2000$$

所以心轴锥度应为 $C = 1/2500$

锥度心轴主要结构尺寸计算如下 (见图 2-14)

$$N = \Delta_d / C = 0.023 \times 2500 \text{mm} = 57.5 \text{mm}$$

工件内孔最大直径 $d_{\max} = (23 + 0.023) \text{mm} = 23.023 \text{mm}$

$$\begin{aligned} \text{心轴最大直径 } D_{\max} &= d_{\max} + 0.2\Delta_d + t = (23.023 + 0.046 + 0.012) \text{mm} \\ &= 25.0396 \text{mm} \approx 23.040 \text{mm} \end{aligned}$$

D_{\max} 的制造公差为 $t = 0.012 \text{mm}$

$$\begin{aligned} c &= (D_{\max} - d_{\max})C = (23.040 - 23.023) \times 2500 \text{mm} \\ &= 42.5 \text{mm} \end{aligned}$$

$$l = c + N + H + F = (42.5 + 57.5 + 22 + 15) \text{mm} = 137 \text{mm}$$

$$L = l + 2(l_1 + l_2) = [137 + 2(8 + 15)] \text{mm} = 183 \text{mm}$$

对该心轴的主要技术要求：锥度表面对两顶尖孔的径向圆跳动允差 $\phi 0.005 \text{mm}$ ；锥度应在 $(0.9 \sim 1.1) / 2500$ 范围内。

〔例 2〕 如图 2-15b 所示，工件用锥度心轴以内孔定位进行检验。平面 A 对内孔轴线的平行度允差 $\Delta = 0.05 \text{mm}$ ，内孔直径 ($d_{\text{内}}^{+A}$) 为 $45^{+0.027}_0$ ，工件长度 $H = 30 \text{mm}$ 。

取由于定位而产生的测量误差 $\delta' = 0.2\Delta = 0.01 \text{mm}$ 。

心轴的锥度为

$$C = \delta' / H = 0.01 / 30 = 1 / 3000$$

其他尺寸计算同上例，不再重复。

2.3.3 用阶梯心轴定位

采用圆柱心轴使内孔定位时，在工件内孔与心轴之间会产生较大定位间隙，这往往是不允许的。如果将用圆柱心轴时的最大间隙公称值分为若干组，并将心轴的圆柱部分做出同样数量的窄圆柱带，则可提高定位精度，使用也较方便。分组数量根据具体情况而定，要求相邻两窄圆柱带的直径差不小于 $0.007 \sim 0.010 \text{mm}$ 。例如工件内孔直径 $D = \phi 50^{+0.03}_0$ ，采用圆柱心轴时直径为 $\phi 49.995_{-0.005}^0$ ，这时孔与心轴之间的最大间隙公称值（不考虑心轴的制造公差）为 $(50.030 - 49.995) \text{mm} = 0.035 \text{mm}$ 。为提高定位精度采用阶梯心轴，将间隙 0.035mm 分为 3 组，每组差取 0.012mm ，在心轴上做出 3 个窄圆柱带（见图 2-16），其直径分别为 $d_1 = \phi 49.995_{-0.005}^0$ 、 $d_2 = \phi 50.007_{-0.005}^0$ 和 $d_3 = \phi 50.019_{-0.015}^0$ 。导向部分的直径 $d_0 = \phi 49.90_{-0.02}^0$ 。

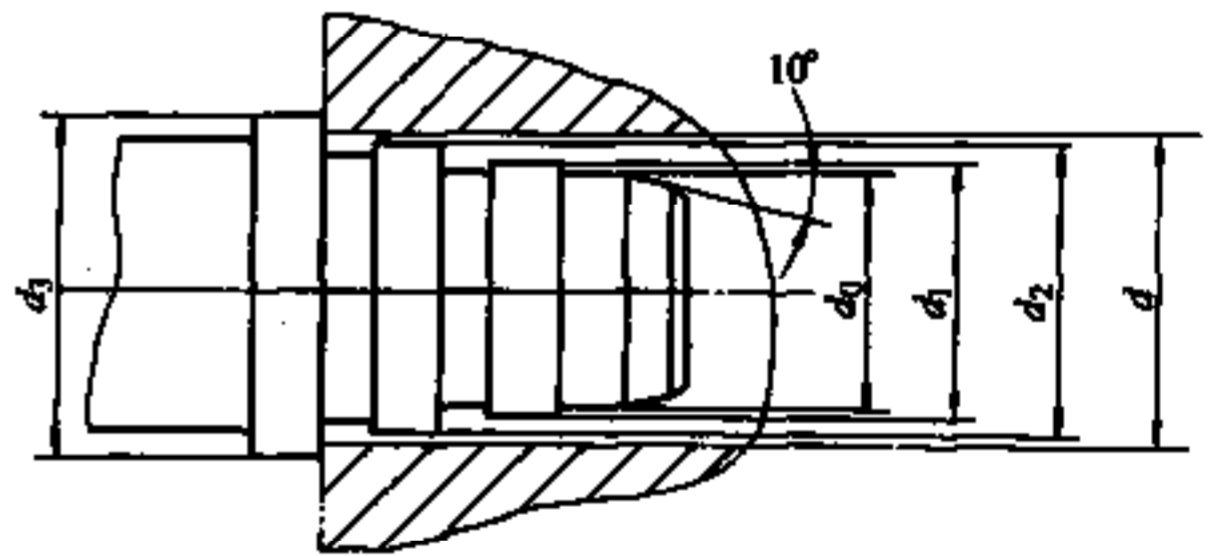


图 2-16 用阶梯心轴定位

由于在阶梯心轴上的圆柱带很短，只用孔的一端定位不稳定，所以这种心轴多用于工件以孔的两端或两孔公共轴线定位，以及用于作为复合心轴的定中部分。

2.3.4 用复合心轴定位

当工件定位孔的长度较长采用锥度心轴定位时，如果 $HC \geq \Delta_d + s$ ，则应采用复合心轴，其优点是定位精度与锥度心轴相当或较高，轴向位置变化量小。这里 H 为定位孔长度（图 2-17）； C 为采用锥度心轴时的锥度； Δ_d 为工件定位孔的制造公差； $s = d_{\min} - d_{1\min}$ ($d_{\min} = d$, $d_{1\min} = d_1 - \Delta_1$, Δ_1 为复合心轴圆柱部分的制造公差)。下面说明复合心轴的

设计。

图 2-17 所示工件的端面 A 对 $d = 40^{+0.025}_0$ 内孔 (长度 $H = 120\text{mm}$) 轴线在 $R = 30\text{mm}$ 上的端面圆跳动允差 $\Delta = 0.05\text{mm}$ 。在工件孔中插入心轴, 然后测量部件在心轴上转动测量端面圆跳动 (图 2-17b)。先考虑用锥度心轴定位, 计算如下 (参考图 2-13)。

端面圆跳动允许测量误差

$$\delta' = 0.2\Delta = 0.2 \times 0.05\text{mm} = 0.010\text{mm}$$

所以锥度

$$C = \delta' / R = 0.01 / 30 = 1/3000$$

这时锥度心轴在定位孔中的轴向位置的变化量为

$$N = 0.025 \times 3000\text{mm} = 75\text{mm}$$

这样大的值使测量部件在锥度心轴上的布置比较困难。

当采用圆柱圆锥复合心轴时, 若取圆柱部分的直径 $d_1 = \phi 40^{-0.005}_{-0.010}\text{mm}$, 则工件定位孔最小直径与复合心轴圆柱部分最小直径的

差值 $s = d_{\min} - d_{1\min} = [40 - (40 - 0.010)]\text{mm} = 0.010\text{mm}$ 。由于 $HC = 120 \times 1/3000 = 0.04$, 而 $\Delta_d + s = (0.025 + 0.01)\text{mm} = 0.035\text{mm}$, 即 $HC > \Delta_d + s$, 所以应采用复合心轴。

用复合心轴时, 心轴在工件定位孔中的倾斜度为 $\frac{1}{2}(\Delta_d + s)/H$, 相当于锥度为 $C_1 = (\Delta_d + s)/H = 1/3428$ 的心轴, 说明这时采用复合心轴的定位精度比采用 $1/3000$ 的锥度心轴的定位精度高; 说明复合心轴有较大的精度储备, 耐用度高。

圆锥圆柱复合心轴的锥度部分的锥度通常取 $1/50$ 或 $1/100$, 所以心轴在工件定位孔中的轴向变化量仅为 $1.25 \sim 2.5\text{mm}$, 给测量部分的结构设计带来方便。

上述复合心轴的锥度定心部分也可用阶梯圆柱心轴的形式代替, 即做成同时具有阶梯圆柱表面和一般圆柱表面的复合心轴。

2.3.5 按定位心轴外圆上的素线定位

在有些情况下, 并不一定要求工件的轴线与定位心轴的轴线重合, 例如测量工件外圆表面对内孔轴线的径向圆跳动, 可只要求在工件转动过程中工件内孔表面与心轴上一条或两条素线接触即可 (图 2-18a)。又如将检验心轴放在工件孔中检验两孔在水平方向的轴线距离, 只要求定位时能保证心轴的轴线在垂直方向对称于工件内孔轴线。这种定位方法的实质是消除工件内孔与定位心轴之间的间隙对测量的影响, 是以内孔上的一条或两条素线模拟其轴线。

1. 按定位心轴一条素线定位 图 2-18a 是按定位心轴上一条素线定位的圆柱心轴, 心轴直径比工件内孔最小直径小 $0.01 \sim 0.03\text{mm}$, 既保证工件能顺利装

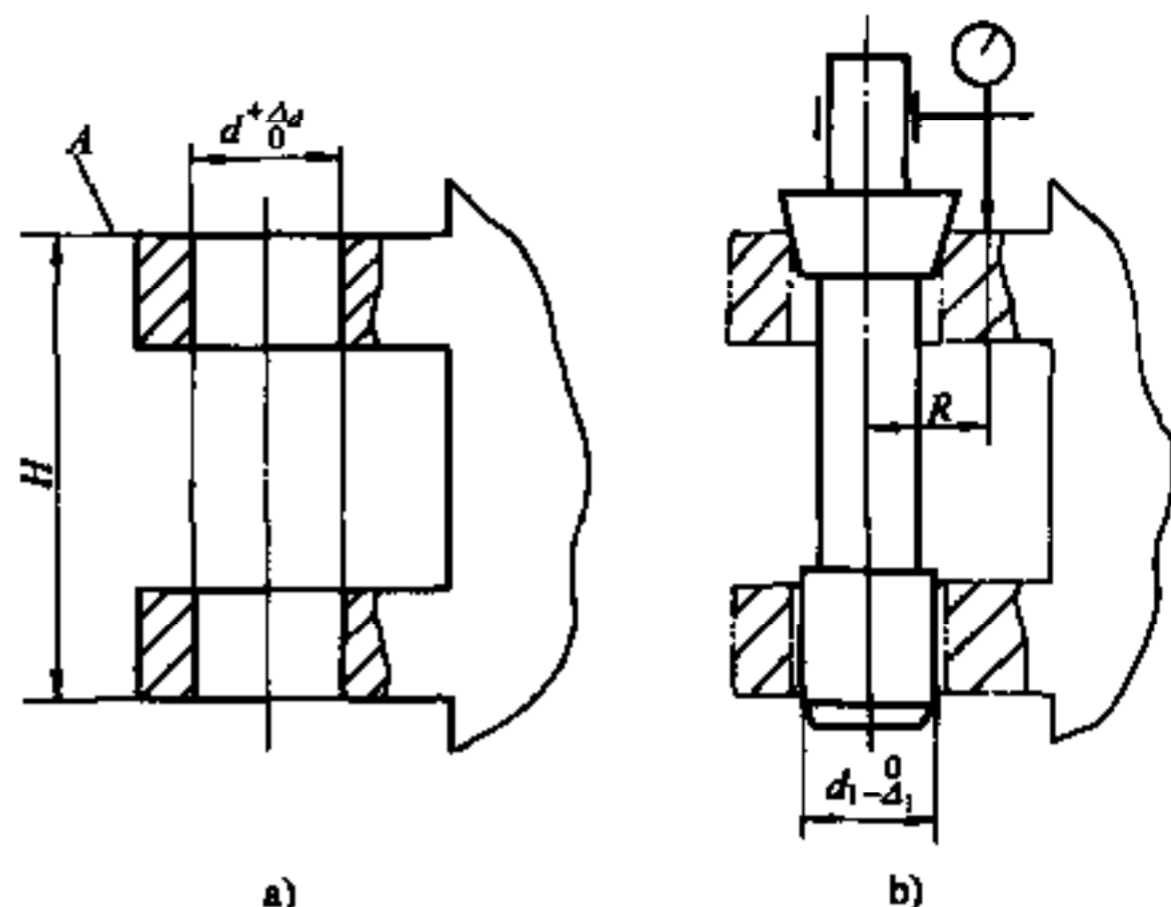


图 2-17 用复合心轴检验端面对孔轴线的圆跳动

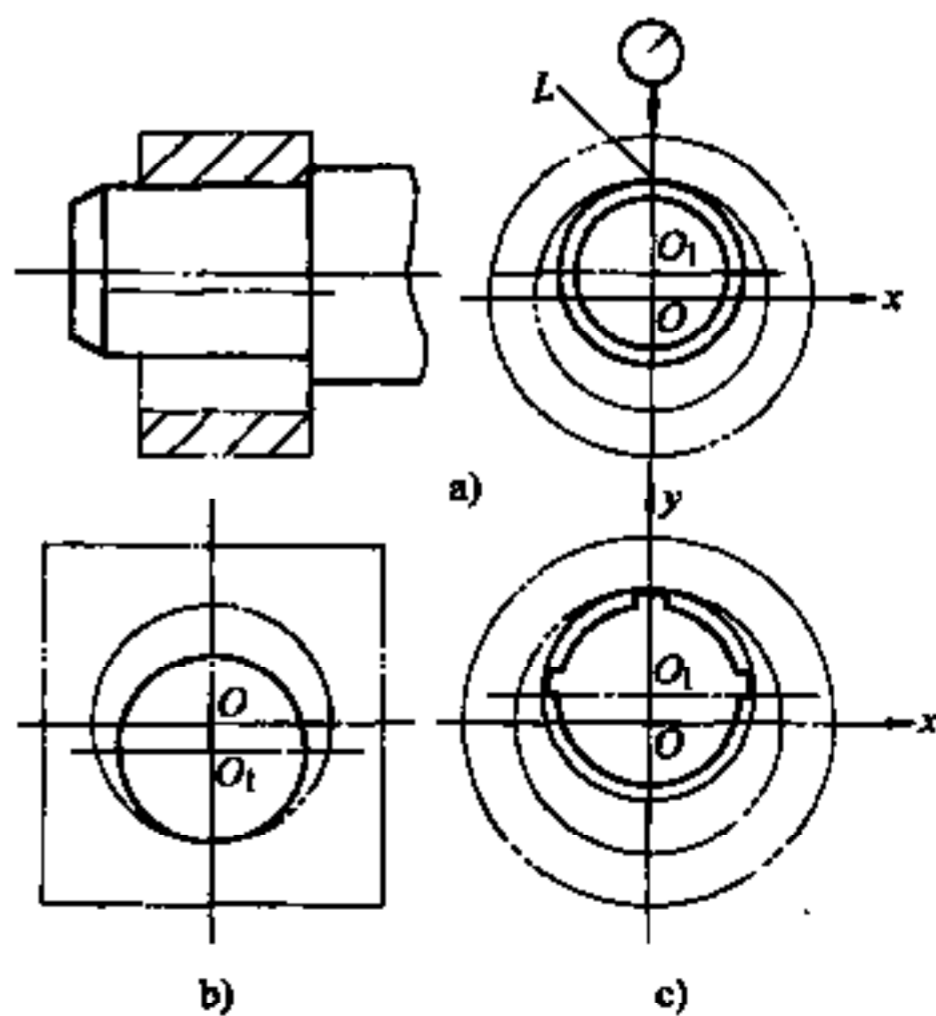


图 2-18 工件内孔在心轴一条素线上定位

到心轴上，又使工件左右摆动量不大，不影响在 y 轴方向的测量精度，但在其他方向测量时会有影响。这时工件靠本身重量或外力（用手或弹性力）使其内孔表面与心轴上一条素线 L 接触。这时虽然工件中心 O 与心轴中心 O_1 不重合，但在 y 轴方向测量外圆表面对内孔轴线的径向圆跳动没有影响。用心轴上一条素线定位，内孔的圆度误差将 1:1 反映到测量误差中。

这种心轴也可放到箱体类工件的孔中，靠心轴的自重或外力使心轴上一条素线紧靠孔的表面，在心轴两端素线上测量，可检验孔的轴线对工件底面的平行度（图 2-18b）。

当工件孔的直径较大和检验重量较大的工件时，特别是当工件需要以一个短孔和一个端面组合定位时（这时工件在检具上大多倾斜 $15^\circ \sim 25^\circ$ 安装），为便于安装工件和使工件易于转动，可采用三凸台定位，即将定位心轴做出三个扇形凸台（图 2-18c）。工件内孔表面靠自重或外力靠在中间凸台的圆弧面上，使工件在 y 方向上定位，另两个凸台限制工件在 x 方向上的摆动（关于三凸台的位置的布置见图 2-32 的说明）。

2. 按定位心轴两条素线定位 图 2-19a 是按定位心轴上两条素线定位的圆柱心轴，在心轴上做出扁平面 A （也可做成其他形式），工件靠本身重量使其内孔表面靠在心轴的两条素线 L 上，使工件定位稳定。这种方法与外圆表面在 V 形块上定位相类似，可称为反 V 形块或内 V 形块。这时工件轴线在 x 方向没有偏移，达到精确定中；在 y 方向则产生偏移 δ_y 。由于定位稳定，可在多个方向上布置测量点，并且工件内孔与心轴直径之差大一些也不影响定位，所以一个心轴可用于内孔直径在一定范围内的多个工件检验，这时定位支承角 2α 应保持在适当范围内。

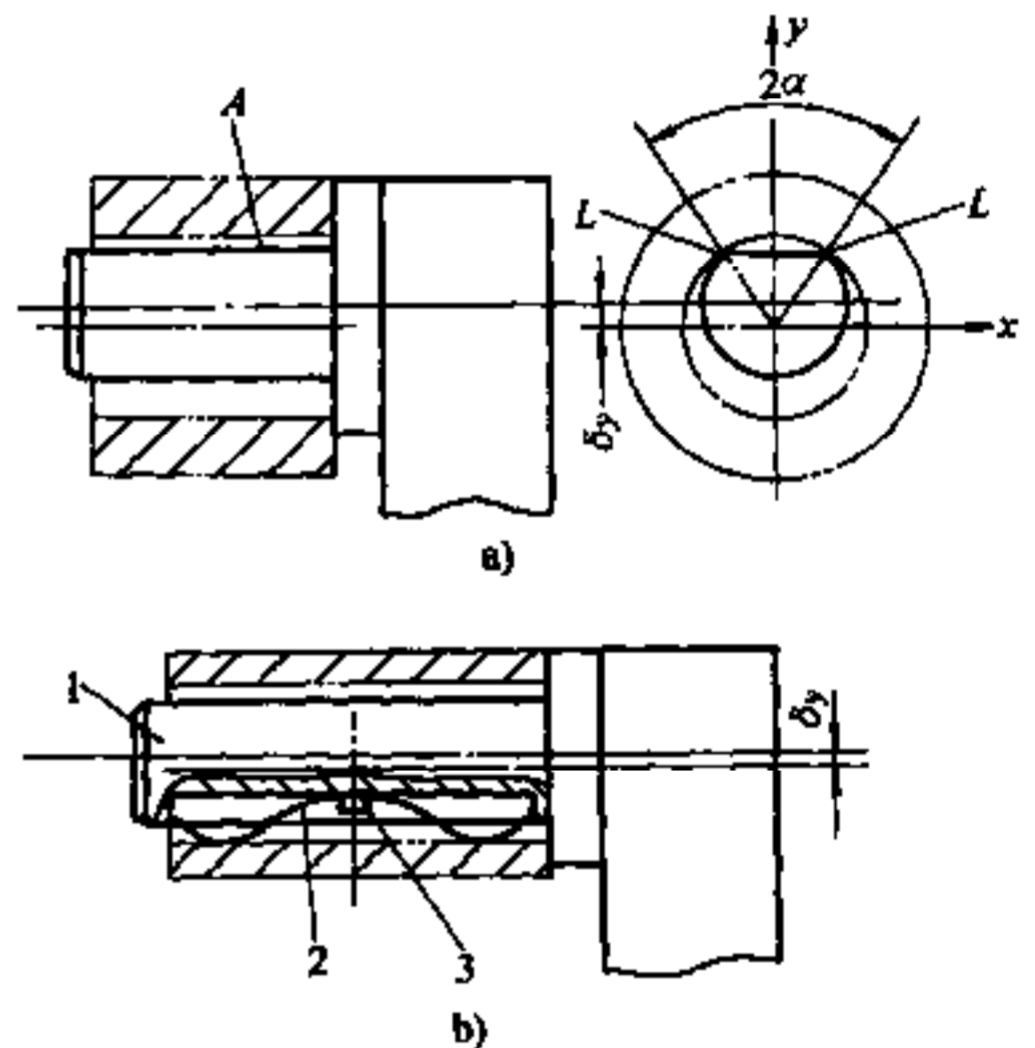


图 2-19 工件内孔在心轴两条素线上定位

1—心轴 2—板簧 3—螺钉

在不适合利用工件或心轴的重量使工件内孔表面靠在心轴的两条素线上定位的情况下，需要用机械方法使工件在心轴两条素线上定位。图 2-19b 是利用板簧使工件内孔表面靠在定位心轴两素线上，这种方法适合于套类等轻型工件。将工件放在心轴 1 上，用螺钉 3 固定在轴上的板簧 2 将工件向下压，使工件与心轴之间的间隙偏向下方，从而使工件内孔表面靠在心轴扁平面的两素线上，实现定位。这时工件可在轴上转动，在 x 轴方向精确定位，在 y 轴方向内孔轴线相对心轴轴线偏移 δ_y 。还可采用其他各种方法。图 2-20a 是弹簧滚珠定位心轴，在心轴未进入工件定位孔之前，滚珠被弹簧向心轴外压出，在进入定位孔后，工件内孔表面将滚珠向心轴内压入，在弹簧力作用下使滚珠顶点 B 和心轴扁平面 A 上的两条素线靠在内孔表面上，实现定位。这种结构多用于工件必需在心轴上转动的情况，检验时应在工件转过一定角度后再观察仪表示值，因为在转动过程中定位不够稳定。应指出，对于这种心轴（包括其他用弹簧压出活动件的定位心轴），由于弹簧可能受压使工件内孔表面离开心轴扁平面，工件与心轴的轴线不仅在 y 轴方向，而且可能在 x 轴方向也有一定的相对偏移。这时应有足够的弹簧力使工件在心轴上定位牢靠。当然，弹簧力也不宜过大。这种结构主要适合于轻型工件。若检验时工件固定不动，心轴装在

工件孔中，则应注意心轴重量不宜过大，以减少所需弹簧力。

图 2-20b 是采用锥端螺钉和滚珠的心轴，靠拧紧螺钉使滚珠压出，实现定位。这时如果需要工件转动，则应在结构上使心轴与工件能一起转动（图中未示出）。

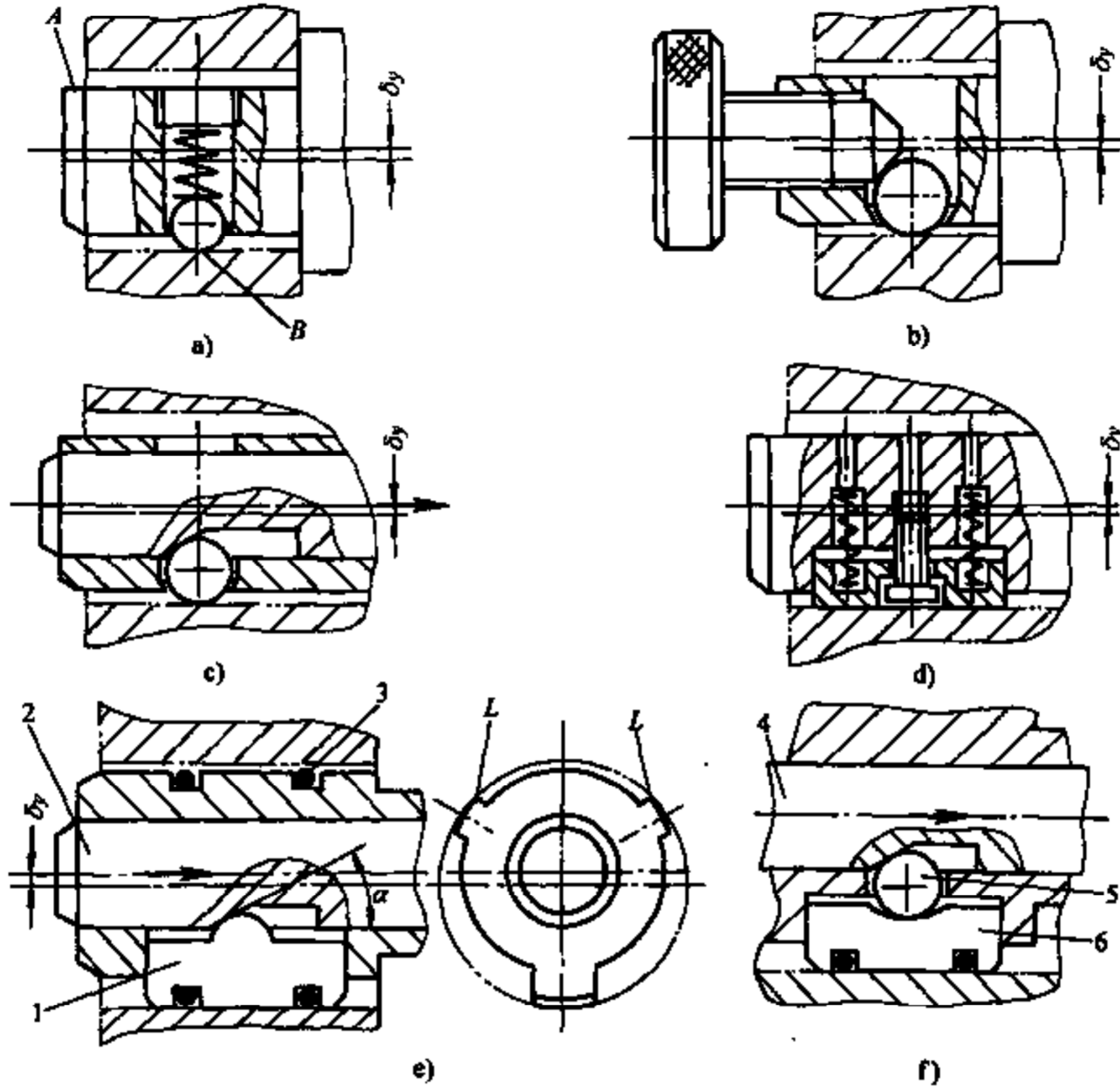


图 2-20 以两素线定位的各种心轴结构

图 2-20c 是采用拉杆和滚珠的心轴，拉杆向右移动时， $\alpha = 20^\circ \sim 30^\circ$ 的斜面将滚珠压出，实现定位。

采用滚珠作为活动定位件，优点是结构简单，缺点是在工件内孔表面上有压痕，但一般工件还是允许的。

图 2-20d 是采用弹簧和滑块的定位心轴，其优点是滑块与工件内孔表面的接触面积大，不会在内孔表面上留下压痕，同时工件可以转动。

图 2-20e 和 f 是带滑块定位心轴的结构。当直径不大时采用图 2-20e 所示的结构。在心轴上做出两个圆柱凸台，当杆 2 移动时，与轴线成 α 角的斜面使滑块 1 向心轴外移动，紧靠在工件内孔表面上，使两圆柱凸台上的素线 L 靠在工件内孔表面上，实现定位。为防止滑块脱落采用装在轴槽上的螺旋弹簧圈 3，弹簧圈还可在杆 2 反向移动时使滑块 2 退回，以便装卸工件。一般弹簧圈取钢丝直径为 0.3mm，弹簧外径为 3mm，其长度视具体结构确定。当直径较大时采用图 2-20f 所示的结构，这时为不使杆 4 直径过大，在杆 4 与滑块 6 之间有滚珠 5 或具有球形端头的圆柱销（图中未示出）。滑块 1、6 嵌入定位心轴的槽中，在槽宽度方向的配合为 H7/f7，在槽长度方向的配合为 H8/f8，在槽长度方向有适当的间隙可保证滑块 1、6 在与工件内孔表面贴合时有一定的浮动。

当工件以两孔组合定位时，采用具有两个伸缩滑块 1 和 2 的定位心轴，如图 2-21 所示。这种结构适用于以在同一轴线距离较大的两孔同时定位。杆 3 和套 7 上斜面的方向由螺钉 4 和 6 定向。转动螺母 8，杆 3 和套 7 对向移动，直到两滑块 1、2 和心轴 9 两定位外圆表面上的凸台（图中未示）都靠在工件两定位内孔表面上，实现定位。松开螺母时，弹簧 5 使杆 3 和套 7 反向移动，滑块在弹簧圈 10 的作用下退回。

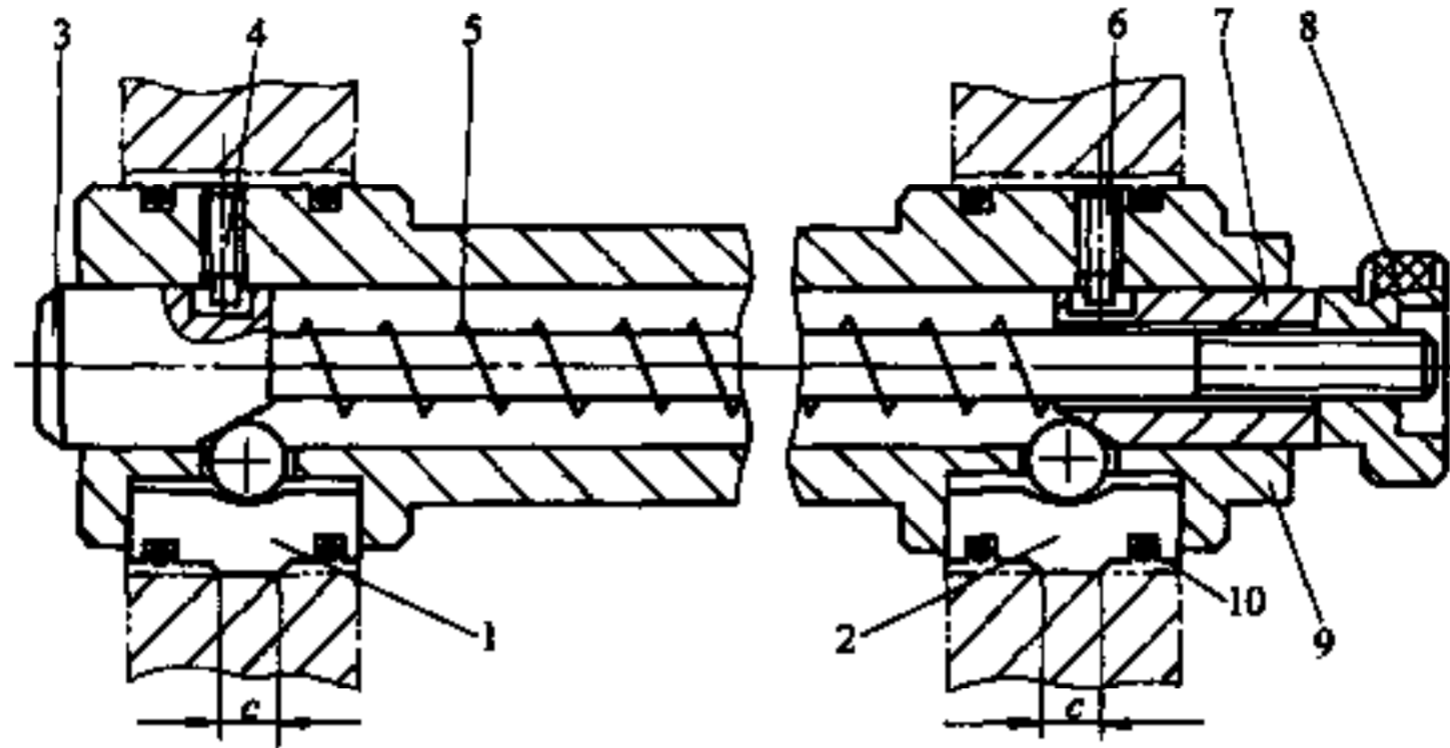


图 2-21 工件按两孔在心轴两条素线上定位

1、2—滑块 3—杆 4、6—螺钉 5—弹簧 7—套 8—螺母 9—心轴 10—弹簧圈

采用这种结构时，定位心轴起定位作用的长度 c 应适当取短些，以减小两孔形状误差对定位的影响。滑块定位部分的外圆表面应在装配后与心轴两固定凸台的外圆表面一起磨出。两固定凸台一般相距 120° 。定位心轴的公称直径应比工件孔的最小直径小 Δ_0 ， Δ_0 的推荐值见表 2-7。

表 2-7 在心轴两素线上定位时定位直径减小值 Δ_0 (mm)

被检孔的公差	定位孔直径尺寸	Δ_0
$\leq IT7$	≤ 50	0.01~0.03
	$> 50 \sim 100$	0.03~0.05
$> IT7$	≤ 50	0.02~0.04
	$> 50 \sim 100$	0.04~0.06

由于定位心轴凸台的半径与工件定位内孔的半径相差很小，考虑弹性变形凸台与内孔表面实际上有一定接触面积，不像图 2-20a 所示的那样只是一条素线接触。

当在定位心轴两条素线上定位时，被测孔的轴心与心轴的轴心在 y 方向有偏移 δ_y ， δ_y 可由图 2-22a 求出，图中：

- O_1 —— 被检验工件定位孔轴心；
- O —— 定位心轴外圆的轴心；

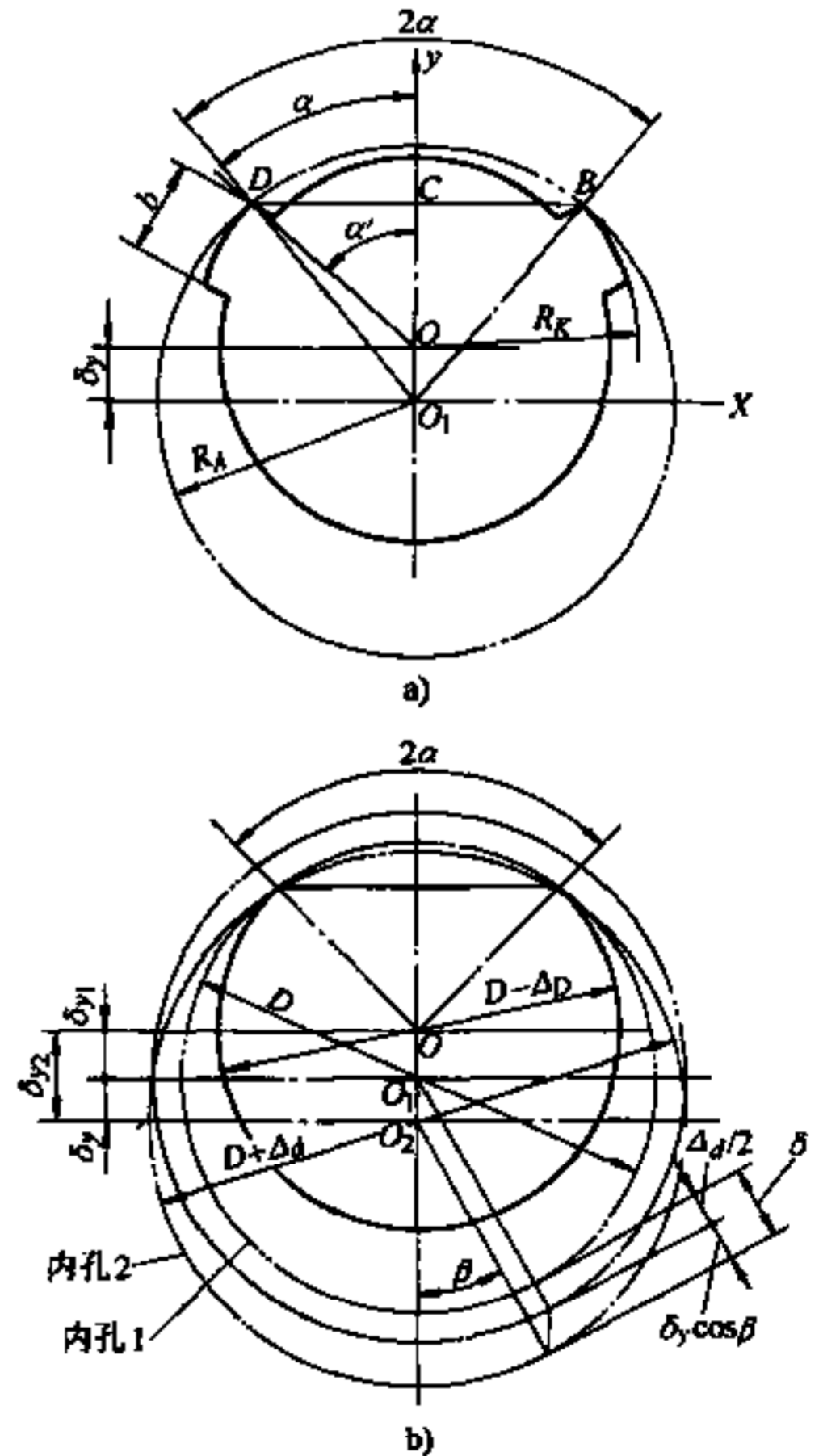


图 2-22 在心轴两条素线上定位时工件圆心的偏移

D_A 、 R_A ——工件定位内孔的直径和半径；

D_K 、 R_K ——定位心轴凸台圆柱表面的直径和半径；

2α ——定位心轴的支承角，一般 $2\alpha = 90^\circ \sim 60^\circ$ 。

一般先确定支撑角 2α ，即 α 为已知，由于 δ_y 很小，所以 $\alpha \approx \alpha'$

$$BC = R_K \sin \alpha$$

$$O_1C = \sqrt{R_A^2 - R_K^2 \sin^2 \alpha}$$

$$OC = R_K \cos \alpha' = R_K \cos \alpha$$

设 $D_A - D_K = \Delta_D$

$$\text{所以 } \delta_y = O_1C - OC = \sqrt{R_A^2 - \left(R_A - \frac{\Delta_D}{2}\right)^2 \sin^2 \alpha} - \left(R_A - \frac{\Delta_D}{2}\right) \cos \alpha$$

当 $D_A = 80\text{mm}$ ， $\Delta_D = D_A - D_K = 0.02\text{mm}$ 、 0.03mm 、 0.04mm 和 0.50mm 时， δ_y 的计算结果列于表 2-8。

表 2-8 在心轴两条素线上定位时工件圆心偏移值 δ_y (mm)

Δ_D \ 2α	60°	90°	120°
0.02	0.0115	0.0141	0.020
0.03	0.0173	0.0212	0.030
0.04	0.0231	0.0282	0.040
0.50	0.289	0.357	0.497

由表 2-8 可知：在一定 Δ_D 范围内 $2\alpha = 60^\circ$ ， $\delta_y \approx 0.577\Delta_D$ （与外圆在 $2\alpha = 120^\circ$ V 形块上定位相同）； $2\alpha = 90^\circ$ ， $\delta_y \approx 0.707\Delta_D$ （与外圆在 $2\alpha = 90^\circ$ V 形块上定位相同）； $2\alpha = 120^\circ$ ， $\delta_y \approx \Delta_D$ （与外圆在 $2\alpha = 60^\circ$ V 形块上定位相同）。

由图 2-22b 可得到当工件内孔在定位心轴两素线上定位时，由于工件内孔直径变化 Δ_d 使工件内孔圆心产生的偏移值 δ_y ，在图 2-22b 中

O ——定位心轴（直径为 $D - \Delta_D$ 外圆）的轴心；

O_1 ——工件内孔（直径为 D 时）的轴心；

O_2 ——工件内孔（直径为 $D + \Delta_d$ 时）的轴心。

对圆心为 O_1 的工件内孔 1，其对心轴轴心 O 的偏移值为

$$\delta_{y1} = K\Delta_D$$

（ K 由 2α 角确定； $2\alpha = 60^\circ$ ， $K = 0.577$ ； $2\alpha = 90^\circ$ ， $K = 0.707$ ； $2\alpha = 120^\circ$ ， $K = 1$ ）

对中心为 O_2 的工件内孔 2，其对心轴中心 O 的偏移值为

$$\delta_{y2} = K(\Delta_D + \Delta_d)$$

所以由于工件直径变化 Δ_d 使工件内孔圆心产生的偏移值为

$$\delta_y = \delta_{y2} - \delta_{y1} = K\Delta_d$$

下面分析内孔按心轴两素线定位的情况（见图 2-22b）。

直径为 $(D + \Delta_d)$ 的内孔 2 与直径为 D 的内孔 1，对应两点在不同方向上的相互偏移值（素线定位重合度）为 δ

$$\delta = \frac{\Delta_d}{2} + \delta_y \cos\beta$$

表 2-9 列出在不同支承角 2α 、与对称轴线夹角为 β 条件下的关系系数 ξ ，这时 $\delta = \xi\Delta_d$ 。

由表 2-9 可知，当 Δ_d 在一定范围内时， $2\alpha = 90^\circ$ 的各 ξ 值与表 2-2 中 $2\alpha = 90^\circ$ 时相同，而 $2\alpha = 60^\circ$ 和 120° 的各 ξ 值分别与表 2-2 中 $2\alpha = 120^\circ$ 和 60° 时相同，这说明了外、内 V 形的互补性（参见表 2-2 列出的外圆在 V 形块上定位时的 ξ 值）。

表 2-9 直径相差 Δ_d 的两孔上点的相互偏移系数 ξ

2α	β	0°	45°	90°	180°
60°	ξ	1.07	0.90	0.5	0.08
90°		1.21	1.0	0.5	0.21
120°		1.50	1.2	0.5	0.50

下面分析工件内孔圆度误差对在心轴两条素线上定位的影响。

图 2-23 所示为几何椭圆形的内孔在心轴上的定位情况，图中

O_0 ——定位心轴外圆的轴心；

O ——工件内孔椭圆长径处于水平位置时的椭圆中心；

O_1 ——工件内孔椭圆长径处于垂直位置时的椭圆中心；

a ——工件内孔椭圆长径的一半；

b ——工件内孔椭圆短径的一半；

b_0 ——定位心轴扁平面宽度的一半， $b_0 = \frac{d}{2} \sin\alpha$ ；

d ——定位心轴外圆的直径（ $d =$ 工件内孔最小直径 $- \Delta_0$ ， Δ_0 见表 2-13）；

2α ——定位心轴两素线的支承角。

可用下述方法求出 δ_y ，在图 2-23a

中（椭圆中心为 O ），对于 A 点有

$$\frac{b_0^2}{a^2} + \frac{h'^2}{b^2} = 1$$

由上式可得

$$h' = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - b_0^2}$$

在图 2-23b 中（椭圆中心为 O_1 ），

对于 B 点有

$$\frac{b_0^2}{b^2} + \frac{h^2}{a^2} = 1$$

由上式可得

$$h = \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - b_0^2}$$

所以 $\delta_y = h - h'$ ($2\alpha = 120^\circ$, δ_y 为负值, 即 $h' > h$)

设 $b = 20\text{mm}$, $a = 20.005\text{mm}$ 、 20.010mm 、 20.015mm 和 20.10mm , $d = (40 - 0.03)$

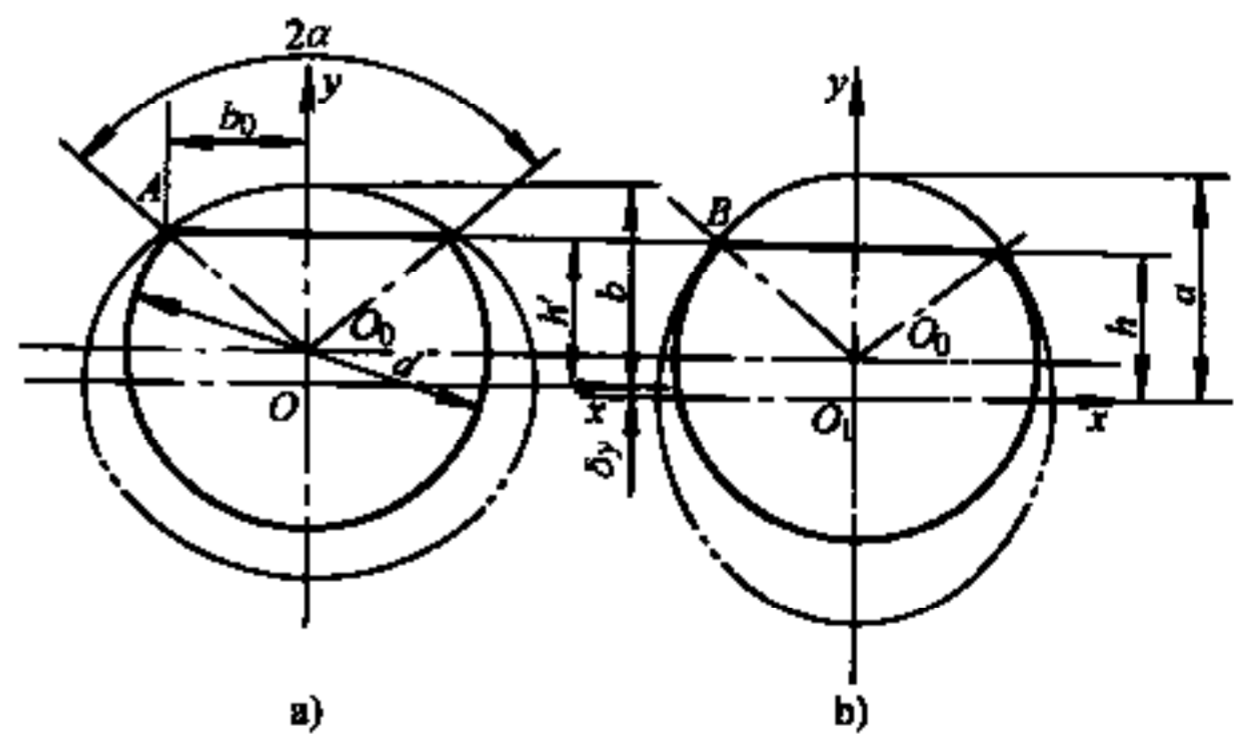


图 2-23 有圆度误差内孔在心轴两条素线上定位时中心的偏移

mm = 39.97mm, $2\alpha = 60^\circ$ 、 90° 和 120° , 现将 δ_y 的计算结果列于表 2-10。

表 2-10 椭圆在心轴两素线上定位时其中心在垂直方向的移动值 (mm)

2α	$\Delta_r(a-b)$	h	h'	δ_y
60°	0.005	17.32917	17.32628	$0.00289 \approx 0.003$
	0.010	17.33350	17.32772	$0.00578 \approx 0.006$
	0.015	17.33783	17.32916	$0.00867 \approx 0.009$
	0.10	17.41146	17.35342	$0.05804 \approx 0.060$
90°	0.005	14.15627	14.15626	$0.00001 \approx 0$
	0.010	14.15981	14.15978	$0.00003 \approx 0$
	0.015	14.16335	14.16330	$0.00005 \approx 0$
	0.10	14.22350	14.22259	$0.00091 \approx 0$
120°	0.005	10.02497	10.02993	$-0.00496 \approx -0.005$
	0.010	10.02748	10.03739	$-0.00991 \approx -0.010$
	0.015	10.02998	10.04483	$-0.01485 \approx -0.015$
	0.10	10.07258	10.16971	$-0.09713 \approx -0.10$

由表 2-10 可知, 几何椭圆形内孔表面在心轴两素线上定位, 在一定圆度 Δ_r 范围内, 在支撑角 $2\alpha = 90^\circ$ 时, $\delta_y = 0$, 这与椭圆表面在 $2\alpha = 90^\circ$ V 形块上定位时的情况相同。同样, 由作图分析还可知, 在一定圆度范围内, 椭圆形内孔在心轴两素线上定位, 当支撑角 $2\alpha = 60^\circ$ 和 120° 时, δ_y 值分别与椭圆表面在 $2\alpha = 120^\circ$ 和 60° V 形块上定位的 δ_y 值相同。即对于图 2-23, $2\alpha = 60^\circ$, $\delta_y = 0.6\Delta_r$; $2\alpha = 90^\circ$, $\delta_y = 0$; $2\alpha = 120^\circ$, $\delta_y = \Delta_r$ 。对于 $n = 3.5$ 和 7 正棱圆内孔在心轴两素线上定位也存在与对应外圆在 V 形块上定位误差相应的情况。

应指出, 内孔在心轴两素线上定位时, 心轴在横截面两素线上的点连线为一固定弦, 内孔表面始终与心轴上固定点接触。这种情况与外圆在 V 形块上定位有所不同, 外圆表面由于直径公差或形状误差可与 V 形面上的不同点接触。但在直径公差和形状误差不大时两者情况可认为是相同的。

当采用内孔在心轴两条素线上定位时, 应注意其安装方向。例如, 测量外圆表面对内孔轴线的圆跳动, 适合于将两素线水平布置 (见图 2-22), 这样可利用工件的重量靠在心轴两素线上。又如, 当检验两孔的轴线距离时, 应使心轴两定位凸台沿垂直方向挤向被测孔表面, 以使工件与心轴圆心偏移值 a_1 和 a_2 对测量两孔中心距 A 不产生影响 (图 2-24a); 而不应按图 2-24b 那样布置, 这时对于中心距 A 的测量将产生 $(a_1 + a_2)$ 的误差。

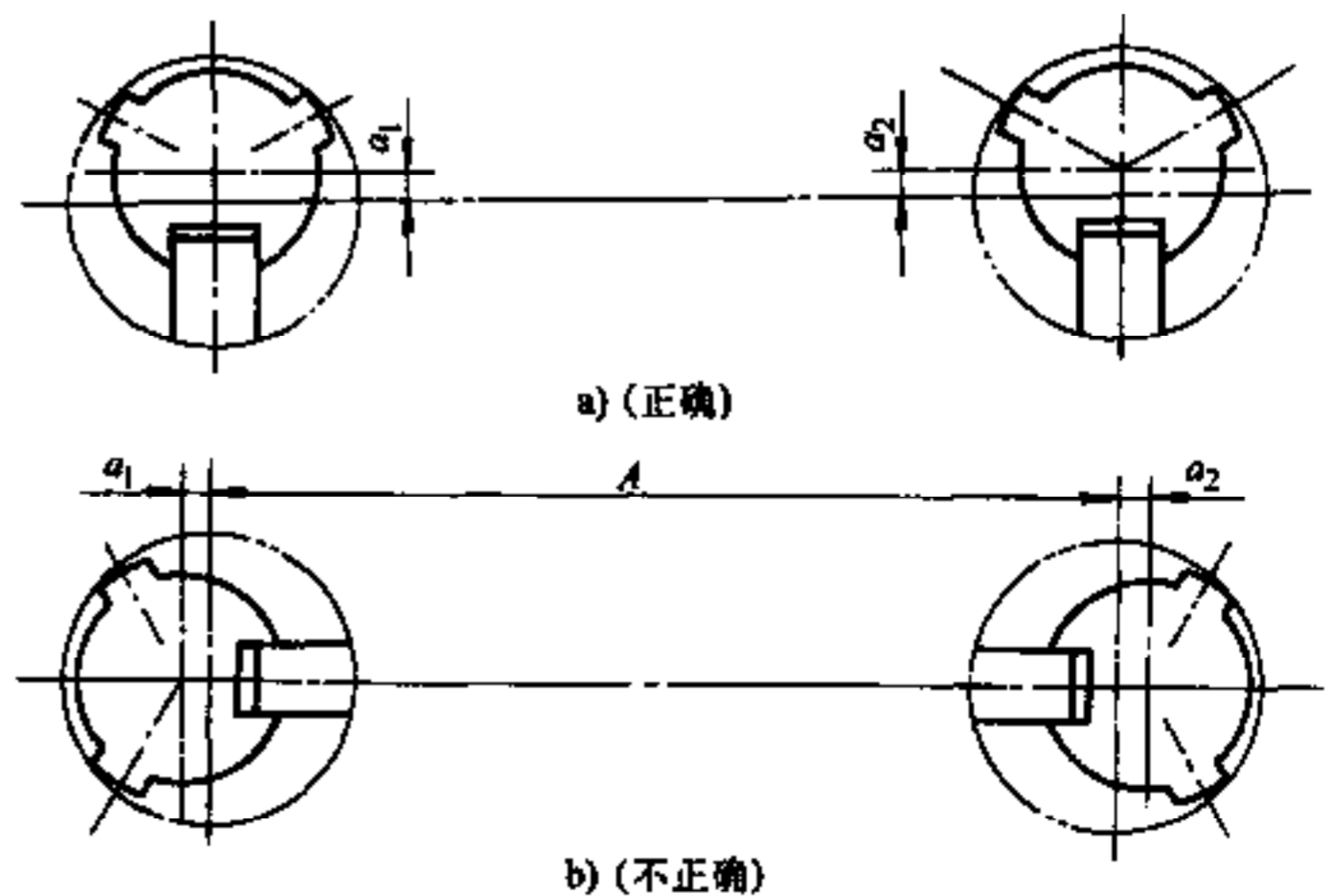


图 2-24 测量两孔轴线距离两凸台位置的布置

再如，为测量图 2-25 所示两孔中心连线到 A 面的距离 L ，工件在检具上定位时，必须使工件两孔中心连线与检具两定位销轴中心连线重合。若采用两个圆销（或一个圆销和一个菱形销）定位，则可能使工件两孔中心连线相对检具两定位销中心连线倾斜 α 角，产生定位误差（图 2-25a），因为这时在工件孔与定位销之间有间隙 s_1 和 s_2 ，使测量方向与尺寸 L 方向不一致，并且测量误差与测量位置有关；既使工件两孔以同一方向的侧素线靠在两定位销上，由于有间隙 s_1 和 s_2 ，仍然有测量误差。若采用两单面削扁销定位，其布置方向如图 2-25b 所示，一个销是固定的，另一个销在弹簧力作用下可移动。这样两销扁平面上的素线紧贴在两孔件孔表面上，实现工件按两孔中心连线方向上精确定位，消除了定位误差。这种结构又可补偿工件两孔轴线距离的制造误差。

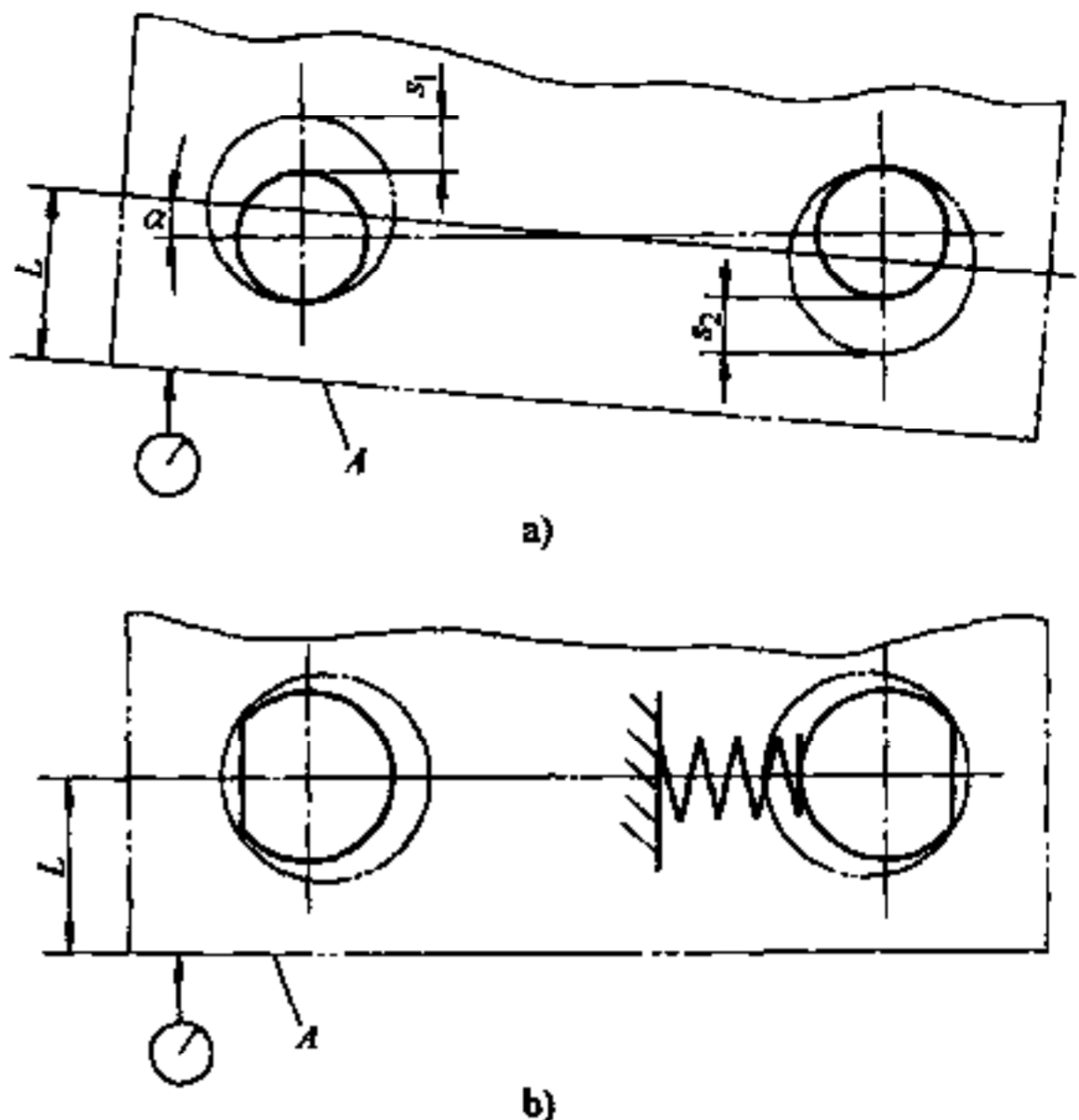


图 2-25 测量两孔中心连线到平面距离

2.3.6 其他以内孔定位的方法

工件用内孔表面定位，还可采用其他方法：液性塑料心轴、碟形弹簧、波纹套筒和滚珠等定位方法；也可采用空气静压定心方法，这种方法如与气动测量相结合，使用较为方便。

液性塑料心轴的定心精度达 0.005~0.010mm；碟形弹簧与工业用一般碟形弹簧不同，在外圆和内孔沿圆周相互交错开有很多小槽，心轴定心精度达 0.01~0.02mm；波纹套定心精度达 0.01mm；空气静压心轴度达 0.005mm。但这些结构及其制造比较复杂。

图 2-26 是滚珠检验心轴，在轴 1 上装有锥环 5 和支承环 2、螺母 4、滚珠 3 和卡环 6（各 2 个）。在每个圆周上有 3 个滚珠，滚珠装在弹性保持器 7 上，保持器扭弯的一端卡在锥环 5 的槽中。用螺母 4 以适当的力使锥环 5 推动滚珠靠在工件两端孔的表面上，实现按两孔公共轴线定位。这种结构具有一定的通用性。

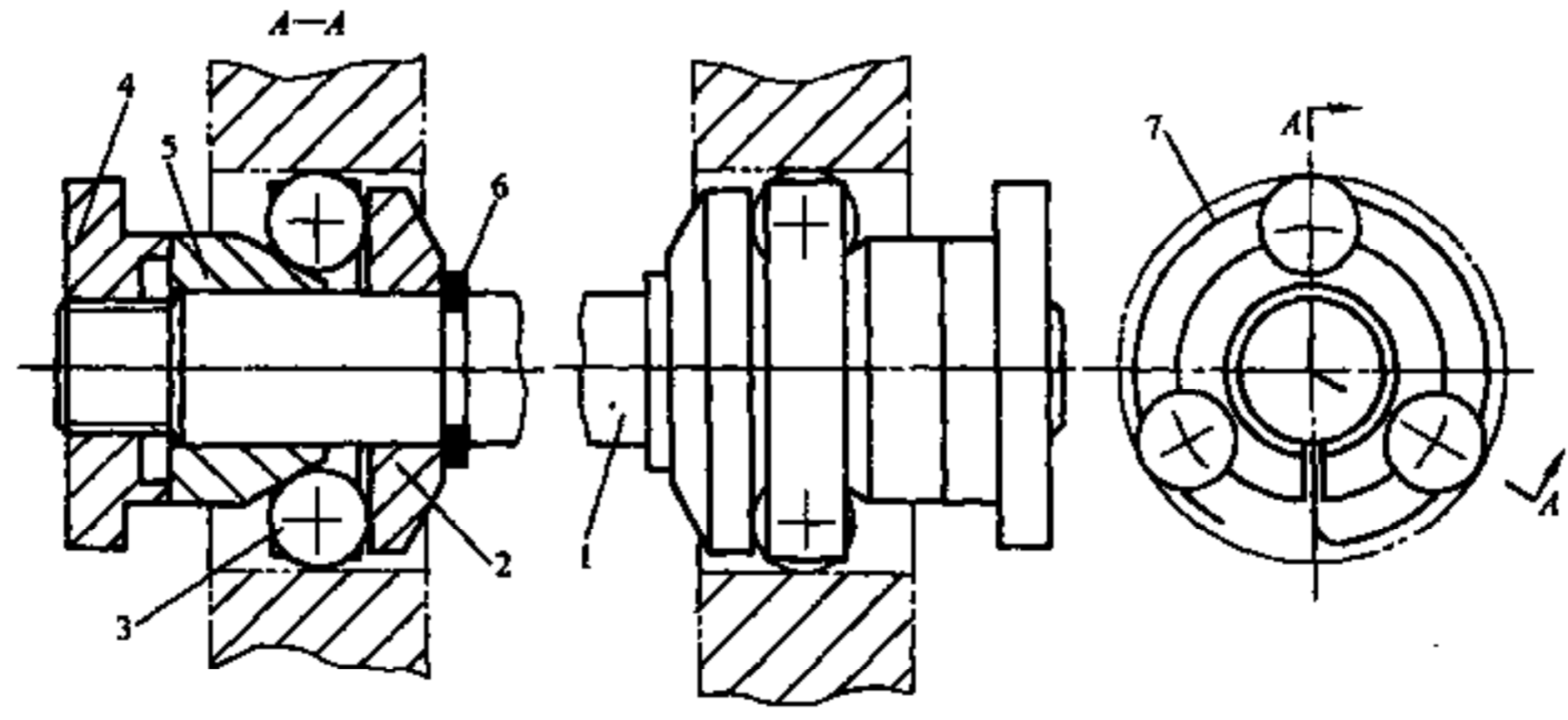


图 2-26 滚珠和碟形弹簧检验心轴

- 1—轴 2—支承环 3—滚珠 4—螺母 5—锥环 6—卡环 7—弹性保持器

也可采用密集式滚珠检验心轴，与密集式回转导向的结构相类似（参见第5章）。

图2-27c是碟形弹簧检验心轴，这种结构适合于以工件的短孔定位。在心轴15上有一组碟形弹簧17靠在支承环16上，转动螺钉19通过压紧套18使碟形弹簧的外径增大（根据直径的大小，外径可增大0.15~0.40mm），实现工件按内孔表面定位。心轴装配后，预压碟形弹簧，再精磨碟形弹簧的外径（与工件孔的配合为过渡配合），以保证可靠的定心。碟形弹簧的内径与心轴15的配合为H7/f6或H7/g6。作为检具的碟形弹簧厚度一般为0.75~1.25mm，材料为65Mn、60Si2A或30CrMnSi，热处理硬度35~40HRC。

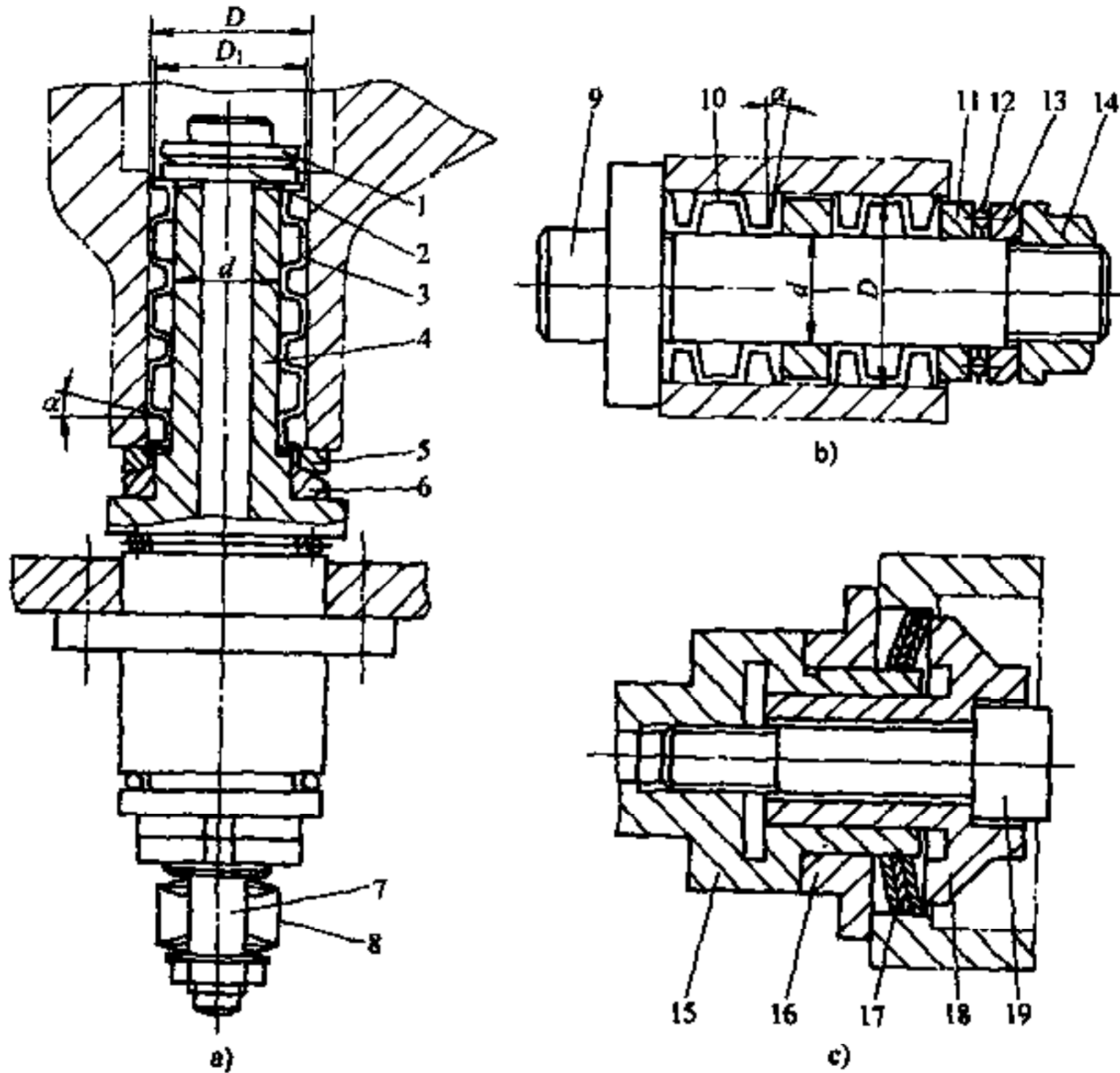


图2-27 波纹套检验心轴

1、2、5、6—球面垫圈 3、10—波纹套 4—回转轴 7—拉杆 8、17—碟形弹簧

9、15—心轴 11、13—垫圈 12—滚珠 14—螺母 16—支承环 18—压紧套 19—螺钉

图2-27a是用多环带波纹套检验心轴定位的检具，壳体工件以孔定位检验其他表面的圆跳动，适合于将工件孔垂直安装。波纹套3装在回转轴4上，靠碟形弹簧8的力使拉杆7向下，波纹套轴向产生变形，从而使其外圆表面贴在工件孔的表面上，实现定位。转动工件即可进行检验。通过偏心轮控制杠杆（图中未示出）使拉杆7压缩碟形弹簧8，即可装卸工件。

球面垫圈5和6是为了补偿工件下端面对孔轴线的垂直度误差；球面垫圈1和2则是为了补偿各定位元件的误差，以保证波纹套受力均匀。

波纹套可由T10A、65Mn、38CrSiA等材料制造，热处理45~50HRC，波纹套直径最大变化量 $\Delta_D \leq 0.003D$ （ D 为波纹套外径），实际应用时 Δ_D 应有一定储备量。因此， $D \leq 35\text{mm}$ ，工件定位孔的公差不大于IT7； $D > 35\text{mm}$ ，不大于IT8。波纹套主要用于高精度定

位, 所以一般定位孔的精度也较高。 Δ_D 应大于工件孔、波纹套内径、外径的制造公差和波纹套工作时应有的过盈量之和。

工件孔与波纹套外径的配合为 H7/f7 或 H8/f7, 而波纹套孔与心轴的配合为 H7/h6, 或相互配作间隙为 0.010~0.015mm。波纹套在受到轴向力时, 外圆和内孔表面都有变形, 其外径扩大, 而其内径缩小。外圆 D_1 是工件安装时的导向部分。波纹套内外径之比一般取为 2/3~3/4, 角度 $\alpha = 8^\circ \sim 15^\circ$ 。

波纹套工作部分的厚度 t 按下述方法选择: 在直径 150mm 内, $L > \frac{D}{2}$, $t = (0.02D + 0.5)\text{mm}$; $\frac{D}{4} < L < \frac{D}{2}$, $t = (0.015D + 0.5)\text{mm}$ (L 为波纹套单个环带的长度)。

为使拉杆 7 在波纹套上的作用力均匀, 以保证定位精度, 在拉杆头部有球面垫圈 1 和 2, 但不能用一般的球面垫圈, 其表面粗糙度应较小, 最好采用全是球面的两垫圈, 其表面配合良好转动灵活。

图 2-27b 是由两单个环带波纹套 10 组成的检验心轴, 该结构的特点是螺母 14 产生的轴向力通过垫圈 13、各个滚珠 12 和垫圈 11 均匀传到波纹套。对各个垫圈螺母工作端面的平行和垂直度应有要求。这种结构的波纹套易于加工, 但层次较多。对波纹套内外径表面及端面的精度应有要求, 其同轴度和轴线与端面垂直度在 $\phi(0.005 \sim 0.010)\text{mm}$ 内。

波纹套的壁厚差应在 $\pm 0.05\text{mm}$ 内, 为便于测量壁厚可在波纹套上加工出 6~8 个槽 (图中未示)。

为保持波纹套的精度, 在装配时应使其只承受轴向力, 不能承受额外的力矩, 并防止其磕碰和变形。

2.4 工件以螺纹表面定位

在检验工作中, 有时会遇到需要以工件螺纹表面定位, 模拟螺纹的轴线。

如果采用圆柱外螺纹心轴使工件按螺纹孔表面定位, 这时心轴外螺纹的公称中径应等于工件内螺纹中径的最小值, 其制造要求可参考通端塞规的设计来确定。由于工件内螺纹中径有一定公差, 所以心轴外螺纹轴线相对工件的内螺纹轴线将会产生平移或倾斜。由于螺纹中径公差较大, 不适合采用分组螺纹心轴或锥度螺纹心轴。

通常用螺纹表面定位, 实用的方法是设法消除工件螺纹与定位元件螺纹之间的间隙对定位精度的影响。一种方法是, 使工件螺纹各牙的一个侧面与定位元件螺纹各牙同一方向的侧面单面接触, 达到定位目的; 另一种方法是, 使工件螺纹各牙的两个侧面与定位元件螺纹各牙的两个侧面同时双面接触, 这时采用两个剖开的螺纹定位件。

不管是各牙同时单面接触还是双面接触, 只有在内外螺纹的螺距和半角完全一致的情况下才能达到, 但实际上存在牙距和螺距误差, 考虑弹性变形在旋合长度上只能有部分的牙接触, 因此定位精度也会受到影响。一般工件以螺纹表面定位, 被检验参数的精度不高于 IT9。

图 2-28 是将工件旋紧在定位螺柱 2 和 3 上, 反时针旋转螺母 5, 杆 1 向左移动, 通过销 6 使螺柱 2 的外牙形的左侧面靠在工件内牙形的右侧面上, 并带动工件移动, 直到工件内牙形的左侧面靠在螺柱 3 外牙形的右侧面上为止, 使工件按螺纹表面定心。定位时, 两螺柱端

面保持一定的间隙 s 。两螺柱的螺纹应在该检验装置两螺柱端面之间没有间隙的情况下同时加工出，以使工件能旋入两个螺柱。定位螺柱的螺纹尺寸可参考通端塞规尺寸设计，但中径公差可适当放大。

将套 4 的外圆放在 V 形块上可检验工件外圆表面或端面对内螺纹轴线的圆跳动，这时要求套 4 的外圆表面与螺柱螺纹中径同轴，并要求 L 有适当的长度；或以杆 1 两端中心孔放在顶尖座上检验工件，这时 L 可较短。检验完工件后，顺时针旋转螺母，直到两螺柱端面靠上，即可取下工件。

图 2-29a 所示的结构，用螺母 1 通过球面垫圈将工件内牙形的右侧面靠在定位心轴 2 外牙形的左侧面上，使工件定位，心轴的使用方法与图 2-28 相同。采用这种方法时，心轴螺纹部分的长度应适当长些，以减小可能产生的倾斜，为保证工件按两端牙接触，在心轴螺纹部分的中间做出槽，将螺纹分成两段。

图 2-29b 是工件以外螺纹定位的机构，将工件拧入内螺纹定位套 3 中。转动螺钉 4，其头部顶在工件的轴线上使工件牙形的左侧面靠在定位套内牙形的右侧面上，使工件定位。将定位套放在 V 形块上，即可检验工件其他外表面的圆跳动。定位套内螺纹的尺寸可参考通端环规尺寸设计，但中径公差可适当放大。

图 2-30a 是将内螺纹定位套在整体加工后剖开成两部分 3 和 2，套的下部 2 固定在座 1 上，套的上部 3 固定在可绕轴 6 摆动的铰链 5 上。当套的上、下部分松开时，将工件外螺纹拧入，适当转动螺钉 4 使铰链 5 向下摆动，使套上部的内螺纹压在工件外螺纹上。这样就消除了工件外螺纹与定位套内螺纹之间的间隙。注意，应使工件定位，但不要压得太紧。转动

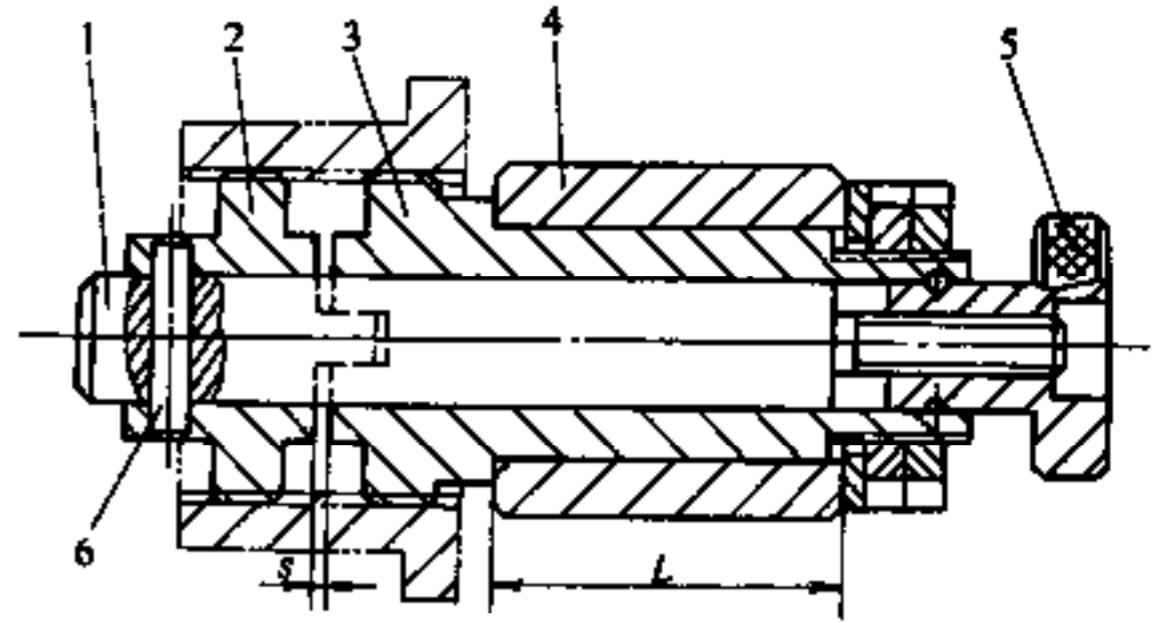


图 2-28 轴向消除间隙的螺纹定位装置
1—杆 2、3—螺柱 4—套 5—螺母 6—销

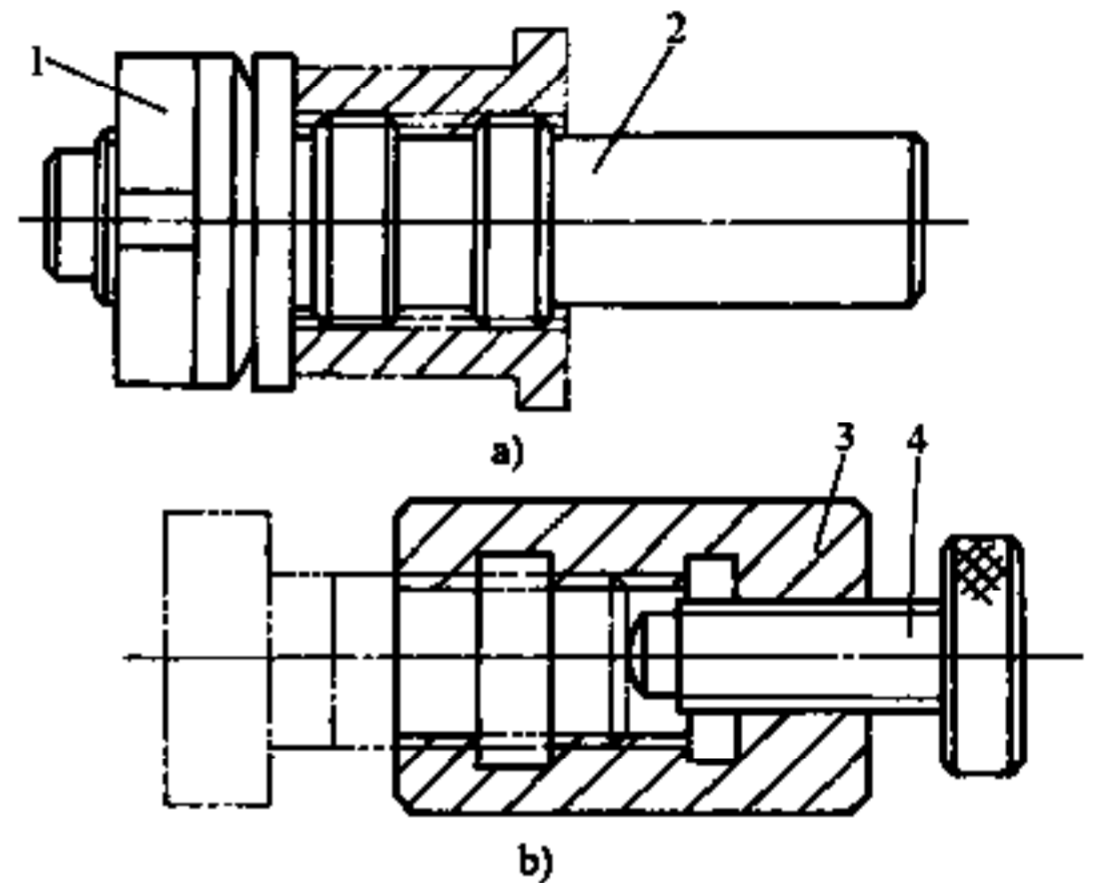


图 2-29 轴向消除间隙的螺纹定位装置
1—螺母 2—心轴 3—定位套 4—螺钉

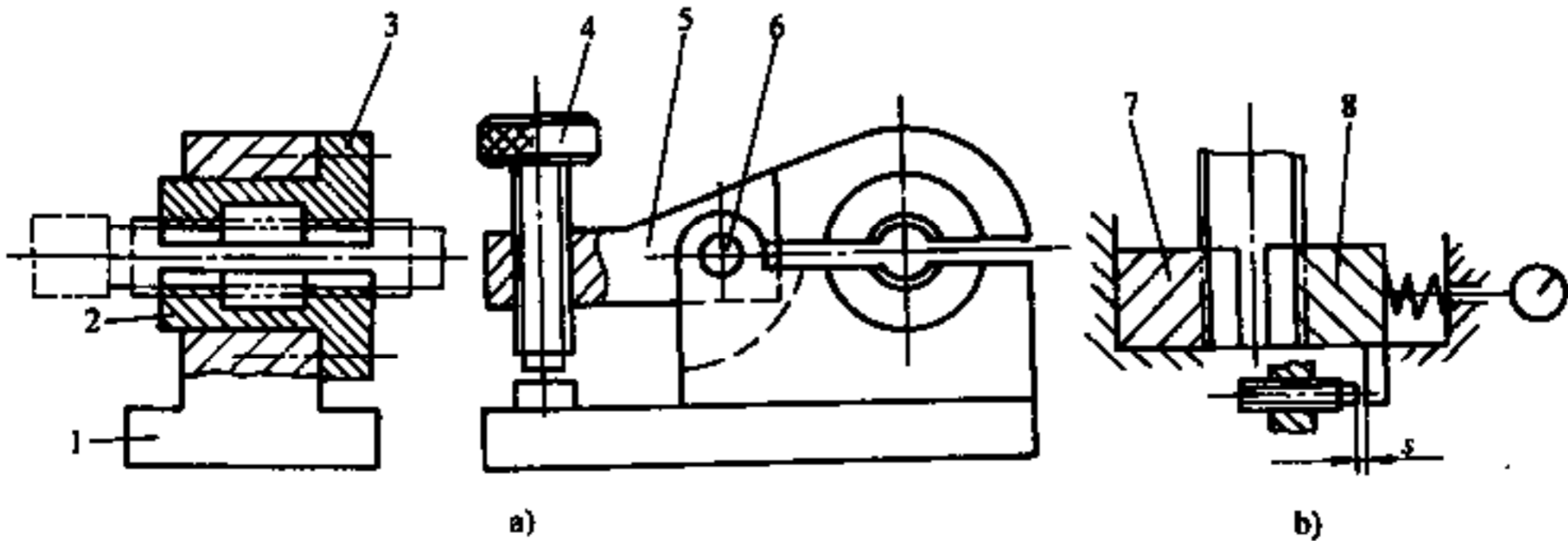


图 2-30 径向消除间隙的螺纹定位装置

1—座 2、3—定位套 4—螺钉 5—铰链 6—轴 7—定位块 8—移动块

工件即可测量工件其他外表面对外螺纹轴线的跳动。

铰链 5 和座 1 与定位套外圆的配合孔及贴合面应一起加工出。定位套整体装到铰链 5 和座 1 上，并在上下部分的位置各用两个螺钉和一个定位销固定；然后在整体套上加工内螺纹，加工好后将套切开成上下两部分。

图 2-30b 是以定位块 7 上的螺纹中径作为基准，以移动块 8 上的螺纹中径作为测量部分，测量外螺纹中径。

上面所介绍的各种结构，对定位元件螺纹部位的中径尺寸公差要求不高，其硬度也可低些，可采用 45 或 40Cr 钢制造，螺纹表面硬度 40~45HRC。在没有螺纹磨床的条件下，为便于直接用车削加工出螺纹，螺纹定位件允许硬度为 35~40HRC 或采用调质硬度 217~255HB。

2.5 工件以组合基准定位

图 2-31 表示工件被测要素需要用组合基准(两个外圆或内圆表面,多个平面等)来测量。

图 2-31a 所示的工件，可用两个刃口状的 V 形块实现组合定位；图 2-31b 所示的工件，可用图 2-21 所示的结构实现组合定位；图 2-31c 所示的工件，则需要以 4 个平面作为基准。

以上各例，都是工件图样对被测部位的形位公差标注就是用组合基准。在实际工作中有时会遇到，虽然产品图样并未要求，但也需要用组合基准定位的情况。例如图 2-32 所示的工件，要检验直径为 d 的外圆表面对直径为 D 的外圆表面轴线的径向圆跳动。这时因为

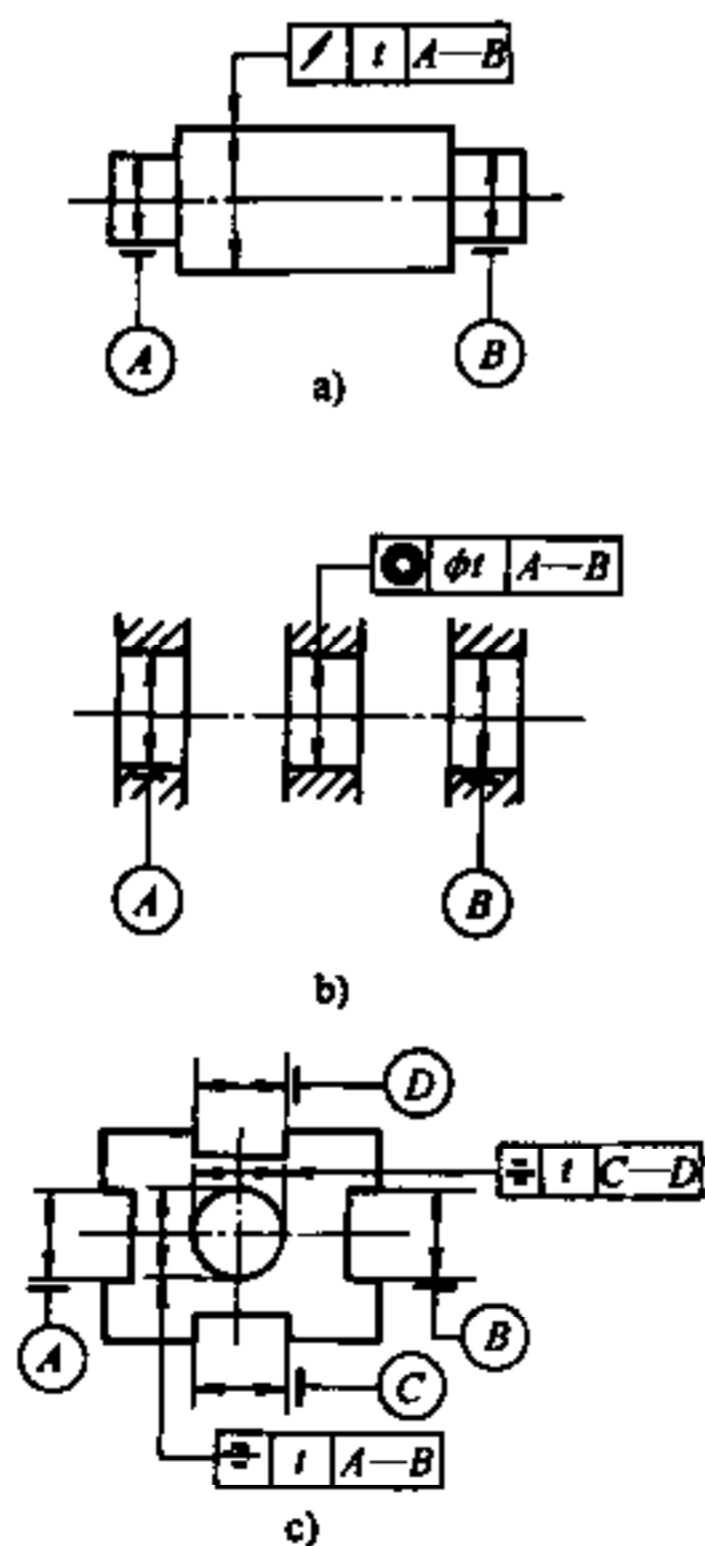


图 2-31 工件以组合基准定位

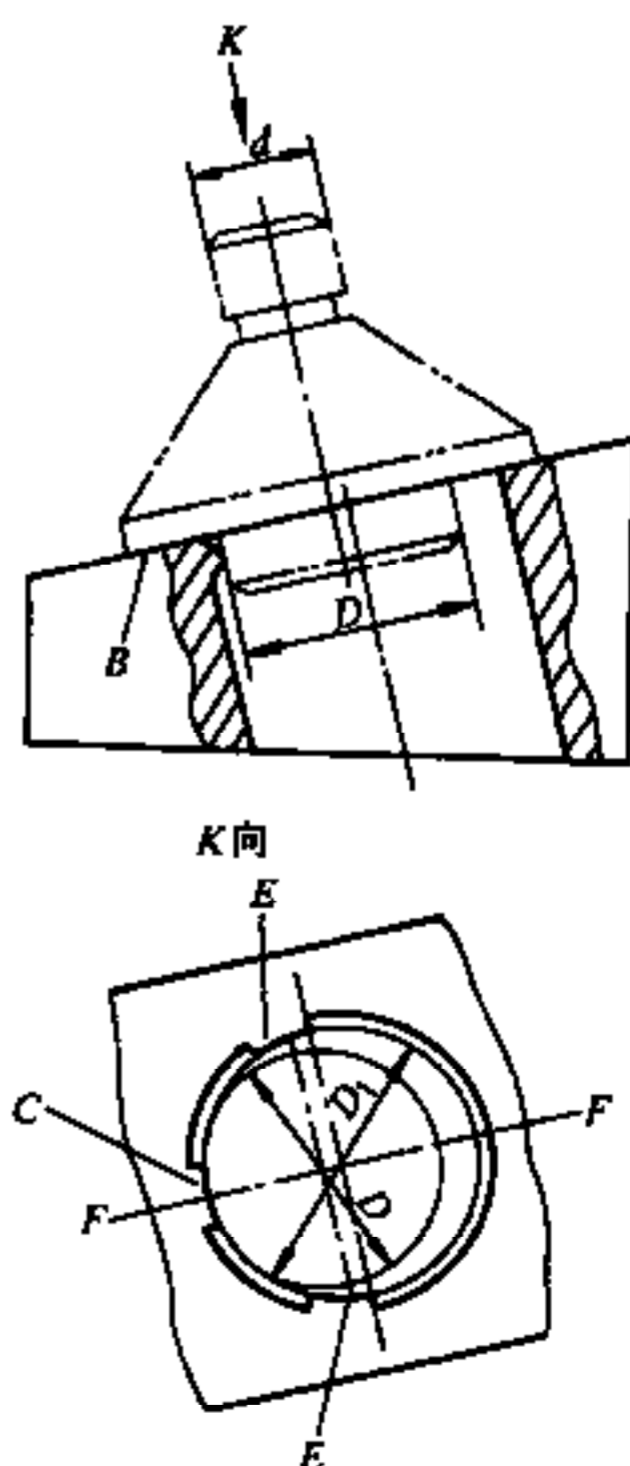


图 2-32 工件以短外圆和端面组合定位

定位外圆的长度短，不适合只用该外圆作为定位基准，需要同时用外圆和端面 B 组合定位，才能使工件可靠定位，这种工件往往在装配时也是以组合基准定位。

这种情况适合采用三凸台定位，即在定位内孔中做出三个凸台，三个凸台的公称直径为 $D_1 = D + (0.01 \sim 0.03)\text{mm}$ ，三个凸台的位置按图 2-32 所示，主要用中间凸台 C 定位，两边的凸台用于限制工件侧面移动。为使工件易于安装，两凸台 E 布置在对称方向朝凸台 C 的一侧，这样可使工件安装时略有平移，当工件放斜时不易卡住。工件靠本身重量靠在定位凸台 C 的圆弧上，通常在 $F-F$ 方向进行测量。

采用组合定位时应注意，端面 B 对外圆 D 轴线的垂直度应小，使所产生的定位误差对测量的影响在允许范围内。这类工件的短外圆和端面大多在同一工序上加工，可保证较小的垂直度误差。在设计检具时，可对具体情况进行分析。

图 2-33a 以外圆 A 和端面 C 组合定位，工件外圆 A 与定位凸台在一点 E 处接触，测量外圆 B 对外圆 A 轴线的同轴度。如果工件外圆 A 对 B 同轴，但由于工件端面 C 对定位外圆 A 有垂直度误差 Δ_1 ，使在高度 h 处测出有同轴度误差 $\phi\Delta_2$ （工件转动时轴线两极限位置为 L_1 和 L_2 ），即产生测量误差为 Δ_2 ，由几何关系得

$$\Delta_2 = 2\left(\frac{h}{D}\right)\Delta_1$$

一般， Δ_2 应为工件被测参数允许偏差的 $1/5 \sim 1/10$ ，否则不适合用组合定位，或采用组合定位时要消除 Δ_2 的影响。

在同样的 Δ_1 情况下，如果 D 较大， h 较小，则可减小 Δ_2 值。所以，轴承圈和轴承盖等零件适合采用组合定位。

由图 2-33a 可知，凸台与外圆 A 在一点 E 接触时，所产生的测量误差是 Δ_2 ，但如果凸台有一定的长度 l （图 2-33b），则轴线 L_2 还要多平移 Δ_3 ，使轴线 L_1 与 L_2 的位置距离增大，即测量误差增大为 $(\Delta_2 + \Delta_3)$ （见图 2-33b），所以凸台的长度 l 应取较小值。

在采用组合定位时，根据工件形状，可采取措施以减小或消除由于定位孔轴线对端面垂直度误差而产生的测量误差。例如，为检验图 2-34 所示工件 B 孔轴线对 C 孔轴线的同轴度，采用以 C 孔和端面 A 组合定位（图 2-34a）。工件靠自重使 C 孔紧靠在定位轴定位点 E 上。如果 C 孔轴线垂直于端面 A ，则由工件回转时百分表最大与最小示值差，即可确定 B 孔轴线对 C 孔轴线的同轴度误差。下面分析 C 孔轴线对端面 A 有垂直度误差的情况。

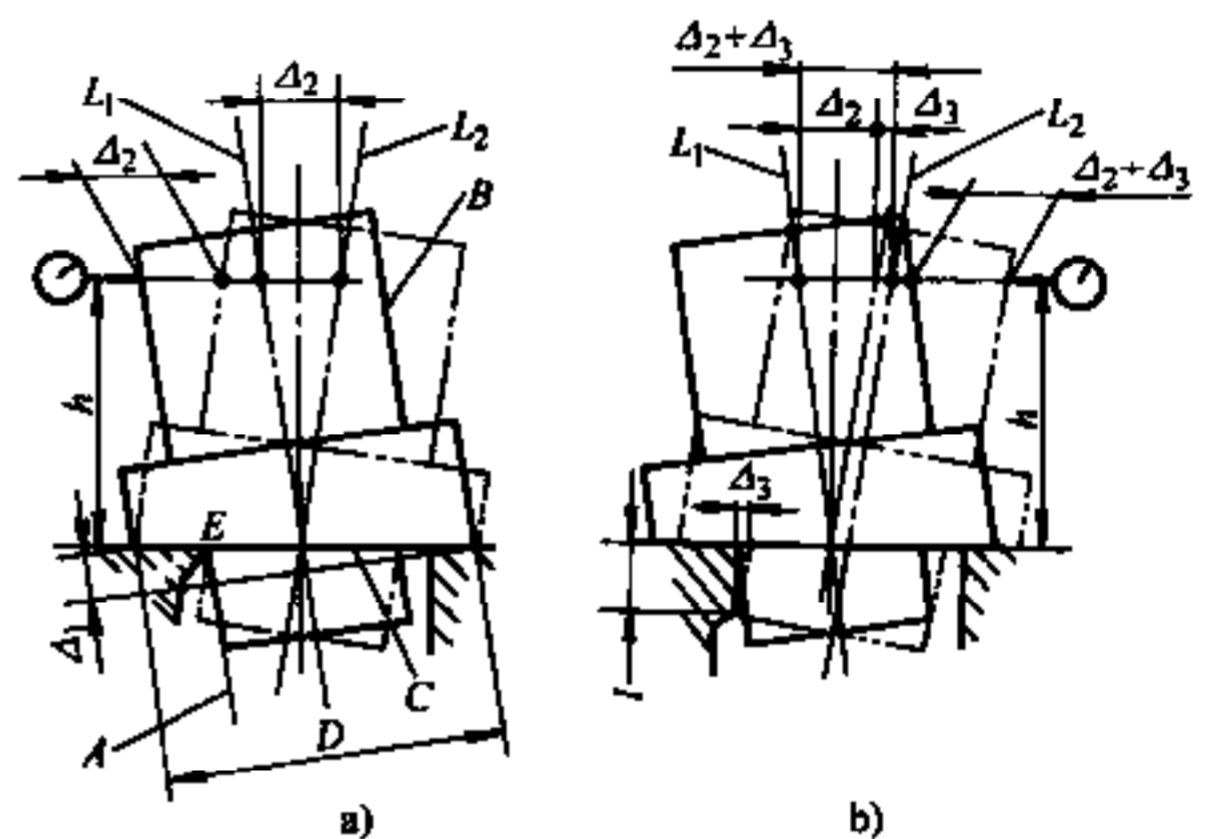


图 2-33 以短外圆和端面组合定位时的误差

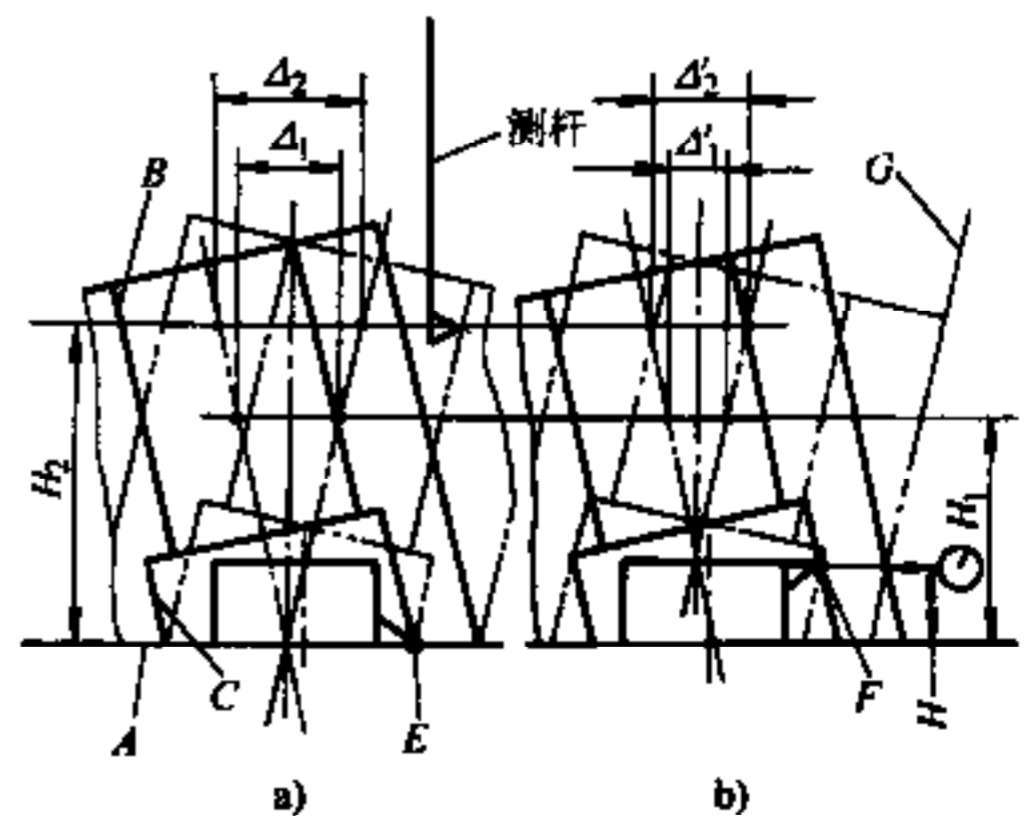


图 2-34 测量同轴度时减小定位孔对端面垂直度误差的影响

由图 2-34a 可以看出, 定位点 E 的位置靠近 A 面, 为简化分析假设点 E 就在 A 面上, 则由于孔 C 轴线对端面 A 有垂直度误差, 百分表在高度为 H_2 的测量横截面上产生测量误差 Δ_2 , 在高度 H_1 上测量误差减小为 Δ_1 ; 如果把定位点 E 向上移到 F (图 2-34b), 则在 H_2 和 H_1 两个位置的测量误差分别减小为 Δ'_2 和 Δ'_1 。应指出, 定位凸台实际上不是一个点, 而是有一定长度, 凸台的长度应取小值。

由图 2-34b 还可知, 若外圆 G 与内孔 C 同轴, 则应在高度 H 上测量外圆 G 对内孔 C 的同轴度, 因为这样不会由于孔 C 轴线对端面 A 有垂直度误差而产生测量误差, 这点对轴承圈等工件内孔与外圆同轴度或径向圆跳动的测量很有利。

图 2-35 所示的检具方案, 可消除由于定位孔轴线对端面有垂直误差而产生的测量误差, 在该方案中增加了同时测量定位孔对端面垂直度的机构。

当工件转动时, 如果定位孔轴线垂直于端面 A, 则百分表 1 的示值不变, 百分表 2 的示值变化就是被测孔轴线对定位孔轴线的同轴度误差。如果定位孔轴线对端面 A 有垂直度误差, 百分表 1 的示值变化为 δ_{H_1} , 反映在百分表 2 的测量误差为

$$\delta_{H_2} = \delta_{H_1} \frac{H_2}{H_1}$$

若百分表 2 的示值变化为 δ , 则被测孔对定位孔同轴度误差 Δ 按下列不同情况处理。

(1) 若 δ_{H_1} 与 δ 的最大值在同一方向上, 则

$$\Delta = \delta - \delta_{H_2}$$

(2) 若 δ_{H_1} 与 δ 的最大值的方向相反 (相差 180°), 则

$$\Delta = \delta + \delta_{H_2}$$

(3) 若 δ_{H_1} 与 δ 的最大值的方向相互垂直, 则

$$\Delta = \delta$$

(4) 若 δ_{H_1} 与 δ 的最大值方向的夹角为 α , 则

$$\Delta = \delta - \delta_{H_2} \cos \alpha$$

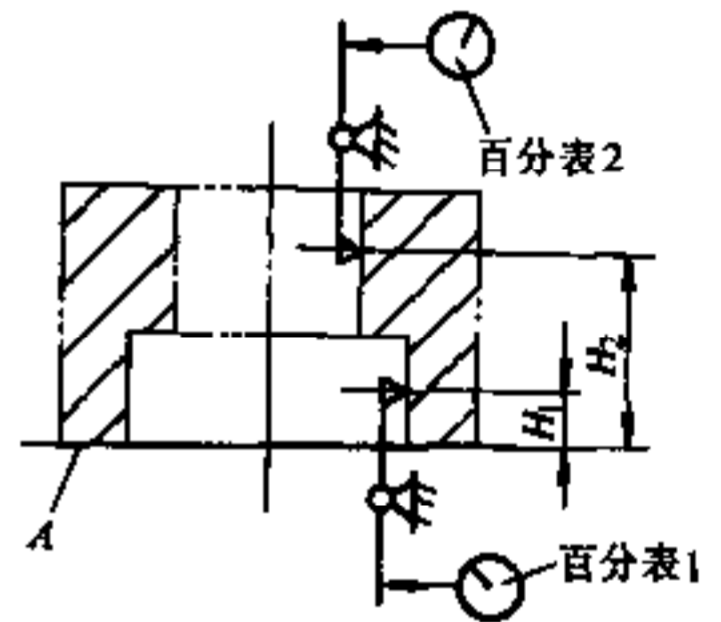


图 2-35 测量同轴度时消除定位孔对端面垂直度误差的影响

2.6 工件必要的夹紧

在检具中, 并不是所有检具都需要有夹紧的装置。在多数情况下, 工件的自重能保证可靠地定位和测量的稳定性。只有当必需通过外力夹紧工件才能保证定位和测量的稳定性, 或为满足其他要求时 (例如要求工件转动时连续读取示值), 夹紧才是必要的。在手动检验时一般不要求连续读取仪表的示值。

当需要夹紧时, 其夹紧力应适当, 不能过大以避免工件和检具相关部件变形, 影响测量精度, 并且要求夹紧机构操作方便、迅速。为防止被检验工件表面上产生压痕, 可在压紧端装上各种垫块, 以增大接触面积。为防止工件变形, 应适当布置压紧点, 例如使压紧点对着支承点, 或在刚性较大的截面上压紧等。当工件需要转动时, 应采用弹性压紧。

下面介绍在检具中常用的夹紧装置。

1. 螺栓夹紧 对检具的效率要求不高, 可采用螺栓夹紧。常用两种夹紧螺栓: 当要求

夹紧力不大时，采用带网纹圆形头部的螺栓；当要求夹紧力较大时，采用带网纹翼形或星形头部的螺栓，对于螺纹直径为 6mm、8mm、12mm 和 16mm 的夹紧螺栓，其头部直径分别推荐为 30mm、40mm、60mm 和 70mm。

2. 翻转式弹簧夹紧装置 图 2-36 是翻转式弹簧夹紧装置，结构简单，操作方便、迅速。这种装置夹紧力适当，不会引起工件变形，适合于压紧轴类工件。检验轴类工件时，工件往往需要转动，弹簧 3 能补偿工件外圆的几何形状误差（例如圆度误差、径向圆跳动等），使在杠杆 2 上的滚轮 1 绕轴 4 有微小的摆动。

3. 枪式夹紧装置 图 2-37 是枪式夹紧装置，夹紧杆 3 上有手柄 4，在夹紧杆外圆表面上开有一个槽，一段是直线，一段是螺旋槽，其螺旋角为自锁角，螺钉 2 的头部嵌入槽中。图示位置是螺钉位于槽直线段的左端头，这时杆 3 处于松开位置。当夹紧工件时，使杆 3 向左移动，螺钉 2 的头部进入螺旋端，转动手柄使压块 1 的端面与被夹紧工件的端面接触，继续转动手柄，产生夹紧力，将工件夹紧。

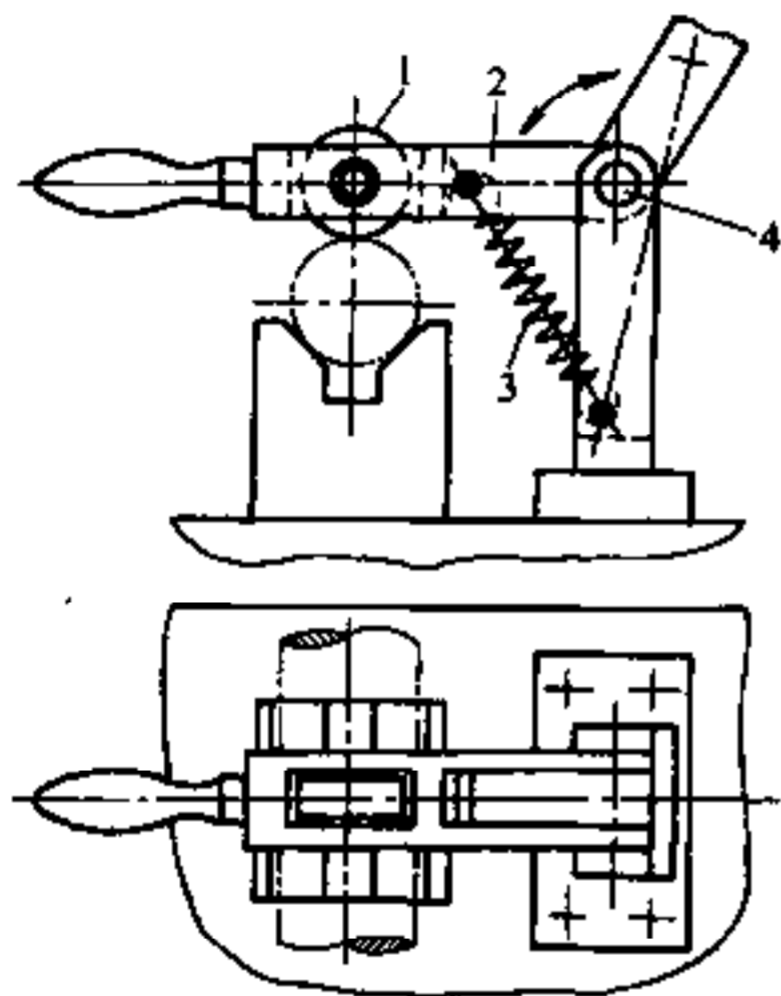


图 2-36 翻转式弹簧夹紧装置
1—滚轮 2—杠杆 3—弹簧 4—轴

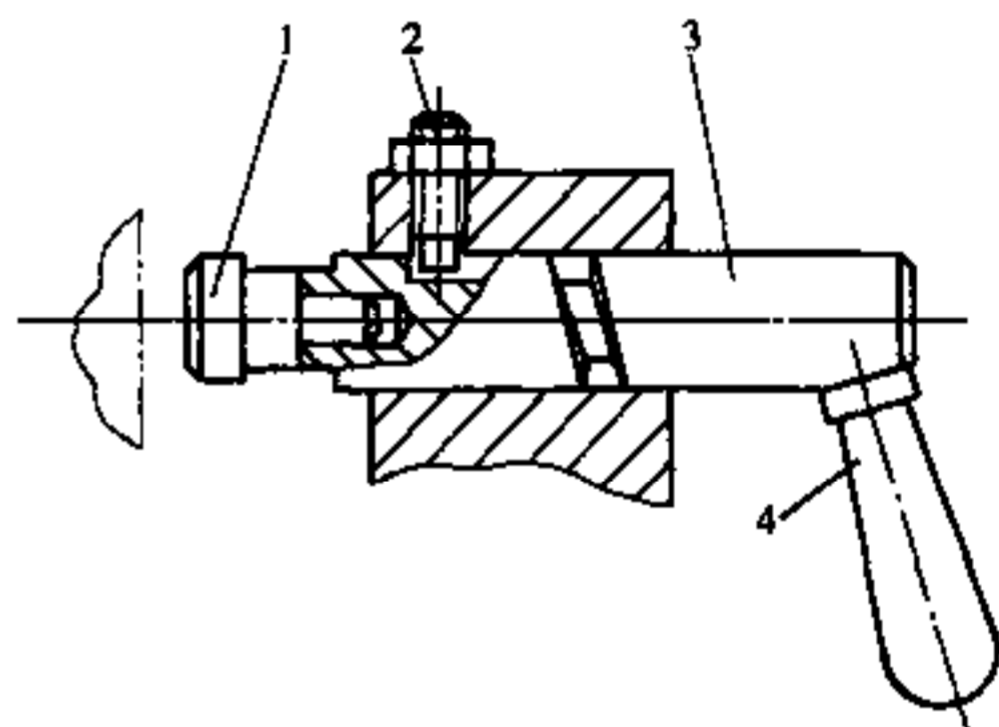


图 2-37 枪式夹紧装置
1—压块 2—螺钉 3—夹紧杆 4—手柄

这种夹紧装置的优点是，不但纵向移动距离长，而且能快速接近和离开工件，操作方便、迅速，适用于夹紧力不大的情况。

4. 铰链杠杆夹紧装置 图 2-38a 是铰链杠杆夹紧装置，该装置操作方便、迅速，工作可靠，是一种应用较多的夹紧装置，该装置主要由手柄 10、两连接杆 7 和压板 4 组成。连接杆 7 可在轴 2 上相对手柄 10 转动，连接杆 7 通过轴 6 可使压板 4 绕轴 5 转动，手柄 10 通过轴 1 与支架 9 铰链连接。在压板 4 上有螺钉 3。螺钉与工件的接触面的形状根据需要确定，可以是平面或球面；当要求接触面大时，头部可做成具有球面垫圈的结构。

图 2-38a 中双点划线的位置是非工作位置，这时手柄 10 靠在销 8 上。当装置从非工作位置顺时针转动时，通过连接板 7 使压板 4 向下，螺钉 3 压上工件。螺钉的位置应这样调整：使压板 4 向下压时稍有变形 δ （见图 2-38b），即压紧力适当；继续转动手柄，则手柄超过止点碰到压板上的挡块 A，以防止反向松开。

铰链杠杆夹紧装置适合于压紧公差在 0.5mm 以内的工件表面，当公差大于 0.5mm（例如压紧毛坯表面）时，可采用图 2-38c 所示的弹簧压紧螺栓代替刚性固定的螺栓。

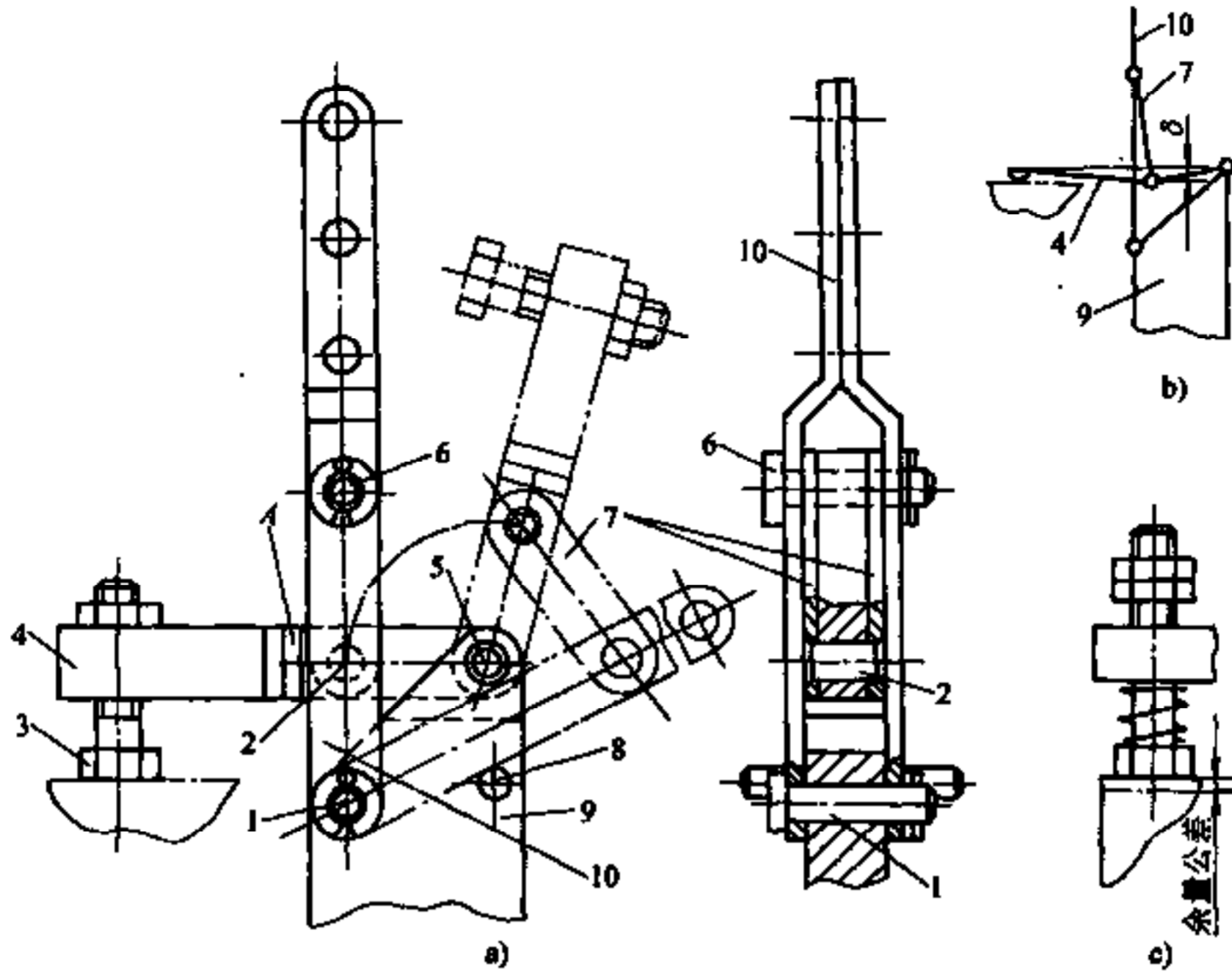


图 2-38 铰链杆杆夹紧装置

1、2、5、6—轴 3—螺钉 4—压板 7—连接杆 8—销 9—支架 10—手柄

5. 其他夹紧装置 在检具中也可采用其他夹紧装置，例如偏心、气动等快速夹紧，在应用时要考虑检具的特点。

第3章 检验夹具用测量指示器和量仪

为检验工件是否合格，在检具上要有指示测量结果的指示器或量仪。一般选用通用的指示器和量仪，有时则需要设计专用的指示器和量仪。

3.1 界限指示器

界限指示器就是能反映测量结果是否在允许公差范围内的装置，这种指示器不能指出具体误差数值，只反映工件被测参数的公差是否在允许范围内。

图 3-1a 是一种界限指示器，测杆 1 在套 3 中移动，在弹簧 2 的作用下测杆 1 与工件被测表面接触，销 4 用于防止测杆转动和限制其移动距离。在套 3 上端有尺寸为 a 的台阶， a 值等于被测参数的公差，被测表面的位置是否合格由人工目测杆 1 的上端面是否处于台阶范围内来评定。所以套 3 上端面距工件定位面的距离尺寸和测杆 1 的全长应保持一定关系：当工件尺寸为最大值时，测杆 1 的上端面应与套 3 的上端面重合。这种指示器适合于检验尺寸公差 $\geq 1\text{mm}$ 的参数，例如铸锻毛坯件。

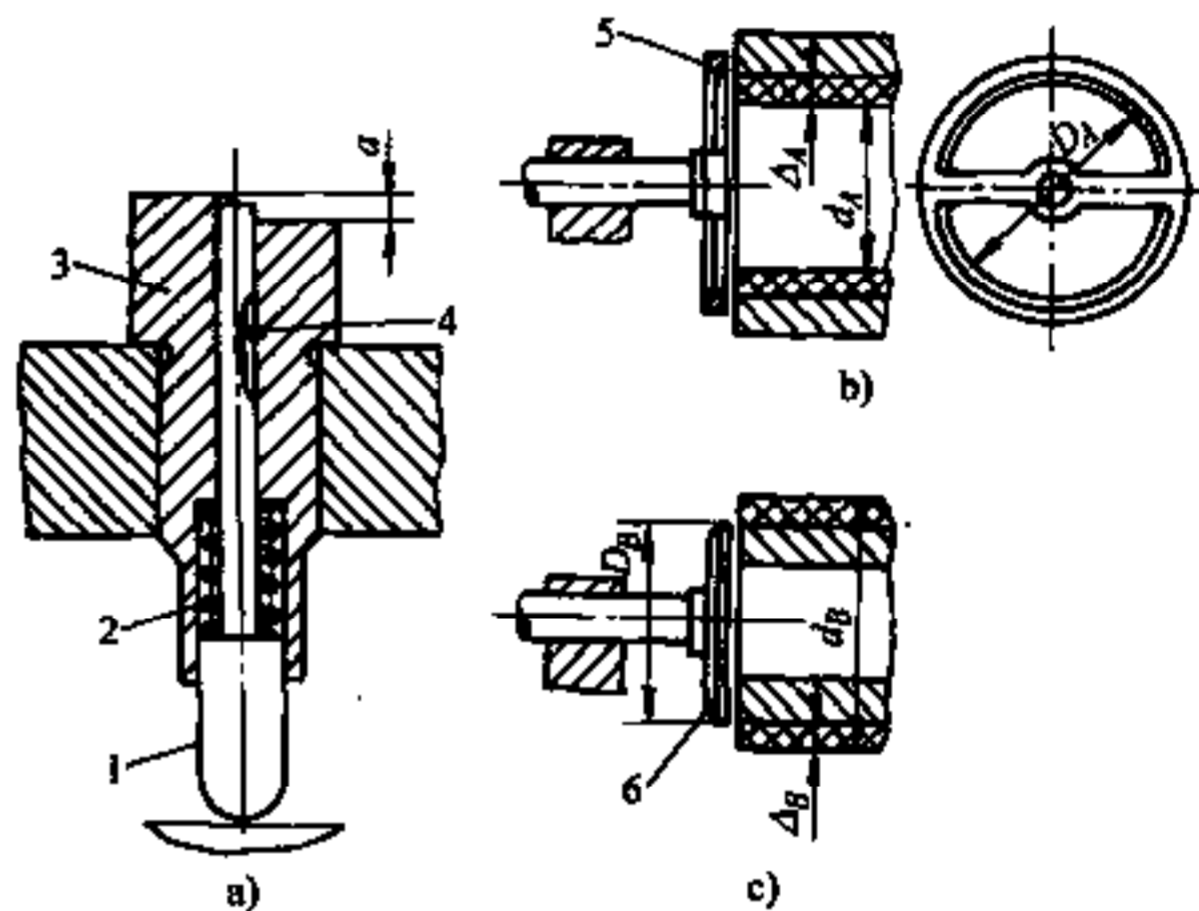


图 3-1 界限指示器

1—测杆 2—弹簧 3—套 4—销 5、6—样板

检验毛坯孔的加工余量可采用图 3-1b 所示的样板；检验毛坯外圆的加工余量可采用图 3-1c 所示的样板；也可做成同时检验内孔和外圆加工余量的样板（图中未示）。

对于图 3-1b，样板 5 的内径 D_A 按下式计算

$$D_A = d_A + 2\Delta_A$$

对于图 3-1c，样板 6 的外径 D_B 按下式计算

$$D_B = d_B - 2\Delta_B$$

式中 d_A ——毛坯孔的最小直径；
 d_B ——毛坯轴的最大直径；
 Δ_A ——毛坯孔半径最大加工余量；
 Δ_B ——毛坯轴半径最大加工余量。

用样板目测检验，如果毛坯孔的直径在样板孔直径 D_A 的范围内，或毛坯轴的直径 d_B 大于样板轴的直径 D_B ，则毛坯合格。检验时，毛坯孔或轴的轴线应与样板的轴线对准，由检具保证。这种样板只是单方向检验加工余量不大于或不小于一定值。

电接触式传感器是一种常用的界限指示器，这种指示器有几种类型，如图 3-2 所示。单

界限式传感器（图 3-2a）用于测量不超过一定限度的工件尺寸；双界限式传感器（图 3-2b）用测量在一定公差范围内的工件尺寸，其应用较多；多界限式传感器可发出多个信号，可用于尺寸分组（图 3-2c）；幅值式传感器（图中未示）用于测量一定界限内的圆跳动量或全跳动量。

成都量具刃具厂生产的双界限电接触式传感器的主要技术指标如下：测量范围0~1mm；灵敏度0.5 μ m；测量误差1 μ m（3 σ ）；读数值2 μ m；量杆行程 \geq 3mm；测量力1.5~2.5N；触点电压50V；触点电流0.2mA；外形尺寸125mm \times 70mm \times 190mm。

国外还有测量范围为0~3mm的大量程电接触传感器，刻度值为5 μ m，测量误差为2 μ m；测量范围为0~0.4mm的小型电接触传感器，刻度值为1 μ m，示值误差为0.5 μ m。

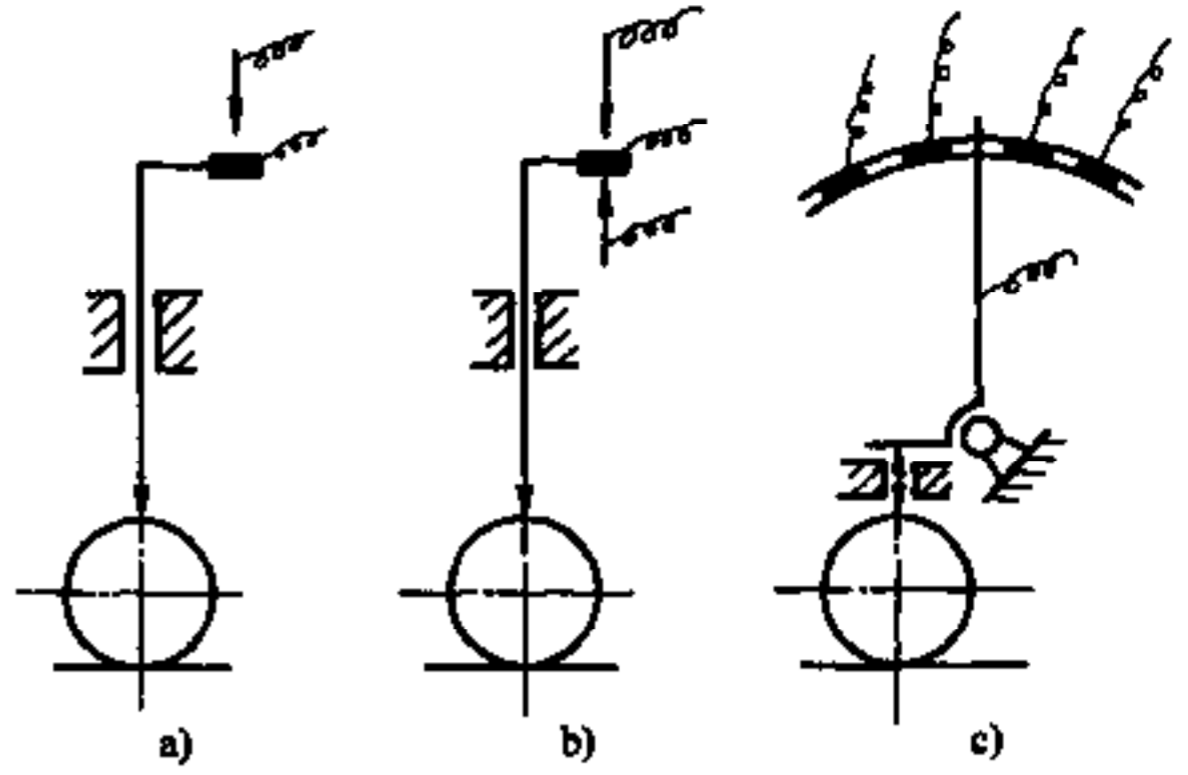


图 3-2 各种电接触式传感器示意图
a) 单界限式传感器 b) 双界限式传感器
c) 多界限式传感器

3.2 可显示被测参数误差值的仪表

在检具中最常用的是比较测量，根据仪表的示值确定工件是否合格或属于哪个尺寸组别，所以设计检具应了解各种能显示读数的仪表，下面介绍在检具中常用的和比较常用的各种仪表。

3.2.1 机械式仪表

图 3-3 是一种粗刻度指示器，适用于测量尺寸或形位公差大于 1mm 的毛坯件，其主要

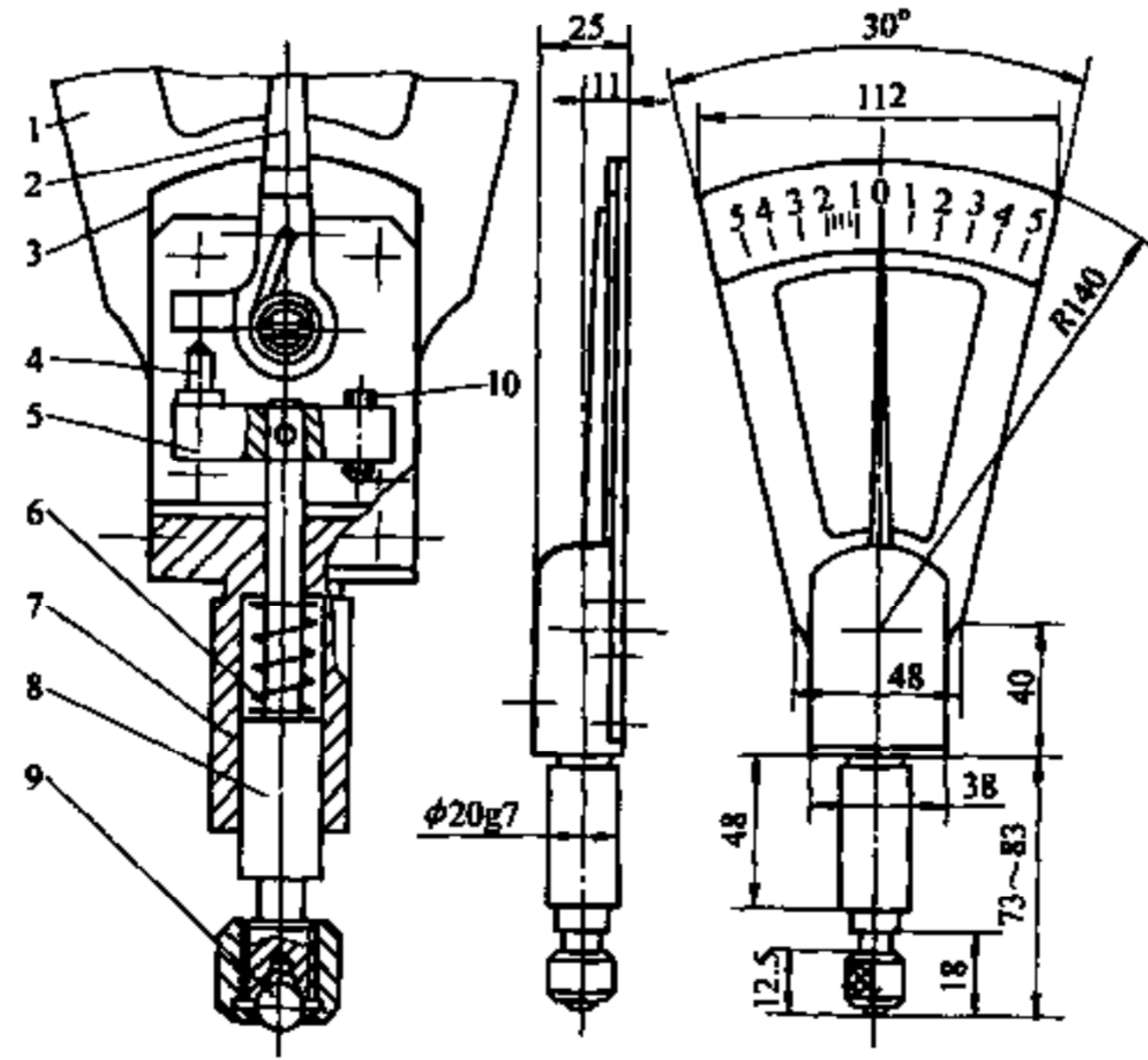


图 3-3 粗刻度指示器
1—刻度盘 2—摆针 3—盖 4—销 5—横板 6—弹簧
7—本体 8—测杆 9—钢珠 10—调整螺钉

技术性能是：刻度值 0.2mm；测量范围 10mm；放大倍数 10；测量力 4N；示值误差在 1mm 内 0.2mm，在全范围内 0.4mm。该指示器不属于通用仪表，需专门制造，其结构简单，如图 3-3 所示。

测杆 8 在本体 7 的孔中移动，在测杆的上端固定有横板 5。销 4 靠在摆针 2 的短臂上，摆针相对刻度盘摆动。弹簧 6 向下压测杆，产生测量力。调整螺钉 10 可限制测杆向下的移动量，又可使摆针能在全刻度上摆动。采用可换的淬硬钢珠 9 与工件接触，用盖 3 将指示器的内部结构盖上。

百分表和千分表是在手动检具中应用最多的仪表，图 3-4 是百分表和千分表的外形图，其尺寸见表 3-1，主要技术数据见表 3-2 和表 3-3。

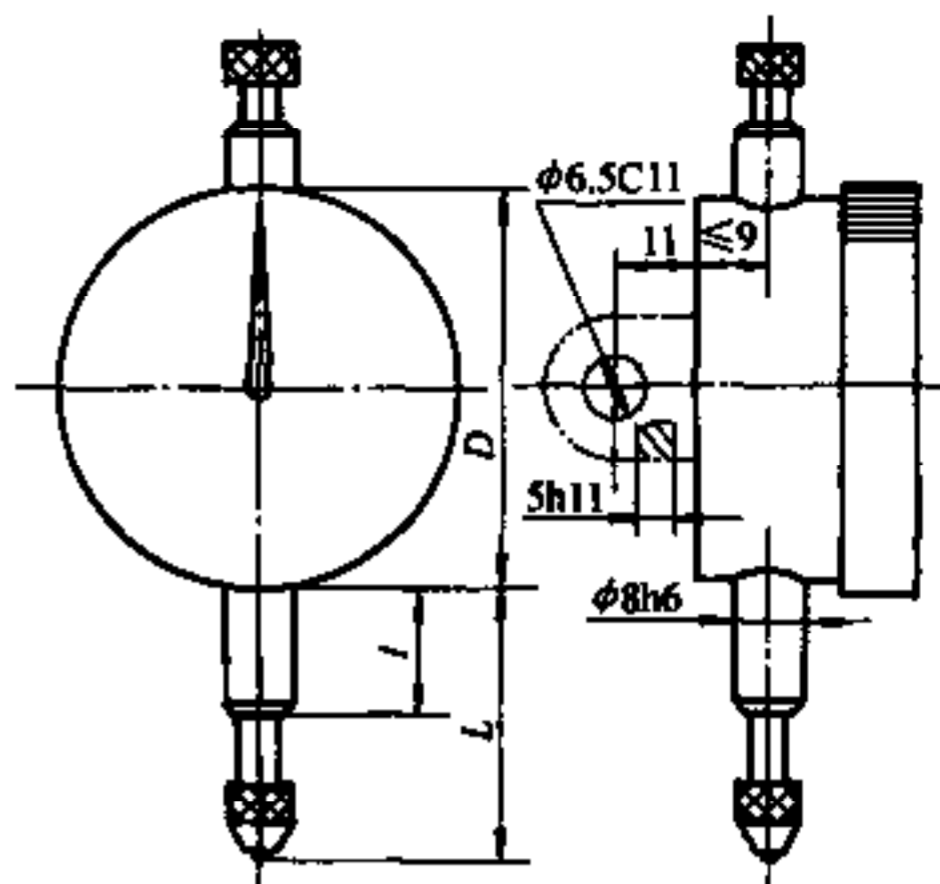


图 3-4 百分表和千分表

表 3-1 千分表、百分表外形尺寸

	外形尺寸/mm			测量力/N
	D	L ± 2	l ≥	
百分表 (GB/T1219—1985)	42	24	11	1.5~0.9
	60	40	16	
千分表 (GB/T6309—1986)	42	24	11	1.5~1.0
	58	40	16	
	70			
	80			

表 3-2 百分表主要数据

测量范围/mm	分度值/mm	百分表示值误差/μm						回程误差
		在任意 0.1mm 内	在任意 0.5mm 内	在任意 1mm 内	在任意 2mm 内	在全程内	示值变动性	
0~3	0.01	5	8	10	12	14	3	3
0~5						16		
0~10						18		

表 3-3 千分表主要数据

测量范围/mm	分度值/mm	千分表示值误差/μm					回程误差
		在任意 0.05mm 内	在任意 0.2mm 内	在初始 1mm 内	在全行程内	示值变动性	
0~1	0.001	2.0	3.0	—	4	2.0	0.3
0~2		2.5			3.5		
0~3			5.0	8		2.5	
0~5				9	0.5		

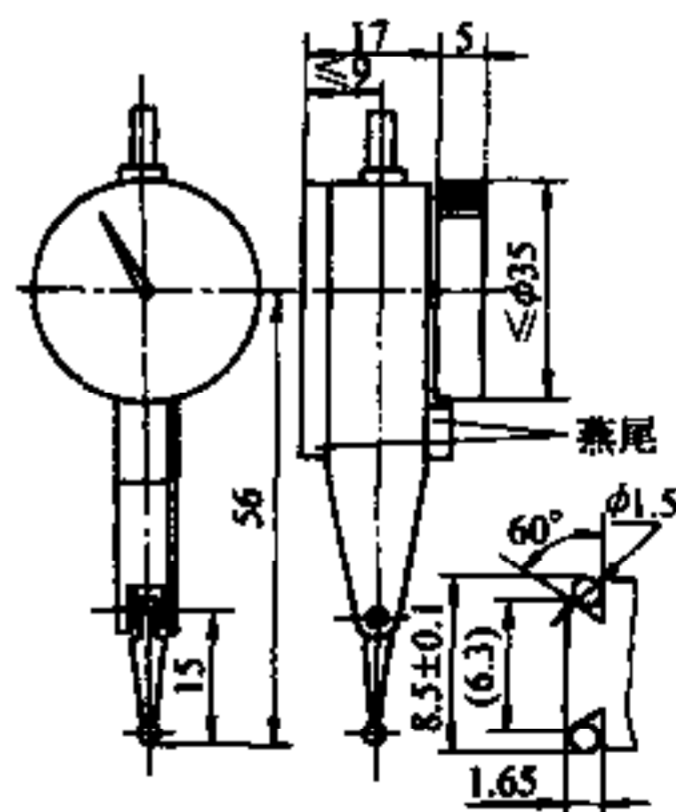


图 3-5 杠杆百分表和千分表

图 3-5 是杠杆百分表和千分表的外形图，其主要技术数据见表 3-4。

表 3-4 杠杆百分表、千分表主要技术数据 (GB/T8123—1998)

	测量范围/mm	分度值/mm	示值误差/μm				测量力/N
			分段	全程	示值变动性	回程误差	
杠杆百分表	0~0.8	0.010	4 (在任意 0.05mm 内)	8	3	3	0.2~0.4
杠杆千分表	0~0.2	0.002	2 (在任意 0.02mm 内)	3	5		

表 3-5、表 3-6 和表 3-7 分别列出大量程百分表、扭簧比较仪和杠杆齿轮比较仪的主要技术数据。

表 3-5 大量程百分表 (GB/T6311—1986) 主要技术数据

测量范围 /mm	示值误差/ μm			
	在任意 1mm 内	在全程内	示值变动性	回程误差
0~30	15	30	5	7
0~50		40		8
0~100		50		10

表 3-6 扭簧比较仪 (GB/T4755—1984) 主要技术数据

分度值 / μm	示值范围/ μm			夹持部分外圆 直径/mm	测量力/N
	± 30 分度值	± 60 分度值	± 100 分度值		
0.1	± 3	± 6	± 10	28h8	0.17~0.20
0.2	± 6	± 12	± 20		
0.5	± 15	± 30	± 50		
1	± 30	± 60	± 100		
2	± 60				
5	± 150				
10	± 300				

表 3-7 杠杆齿轮比较仪 (GB/T6920—1982) 主要技术数据

型式	分度值/ μm				夹持部分外圆 直径/mm	测量力/N
	0.5	1	2	5		
	示值范围					
大型	$\pm 15; \pm 50$		± 60	± 150	28h7	0.12~0.2
小型	± 25				8h6	0.08~0.12

由于体积较小, 便于夹持, 钟式百分表和千分表在检具中得到广泛应用, 其应用范围见表 3-8。

表 3-8 钟式百分表、千分表应用范围

	刻度值/mm	被测工件的公差等级 (GB/T1800.3—1998)	
		适用范围	合理使用范围
百分表	0.01	IT6~IT16	IT6~IT10
千分表	0.001	IT5~IT9	IT5~IT6
	0.005	IT5~IT13	IT5~IT7

采用大量程百分表可使凸轮形状和阶梯轴等的检验显著简化; 杠杆齿轮比较仪和扭簧比较仪通常要安装在支架上, 供精密测量工件尺寸或形位公差用。

国外已生产出电子数显百分表和千分表, 具有模拟和数字显示。

机械式测微仪表不仅可在检具上用比较法直接测出参数的误差，而且通过杠杆结构可进行差动测量（和差演算），现举例说明。图 3-6 是一种差动测量原理图，当两测头与工件（锥形轴）接触时，用百分表 1 可测出两直径之和的平均值，百分表 2 可测出两直径的差值，测量前需要用样件校准两百分表的示值。

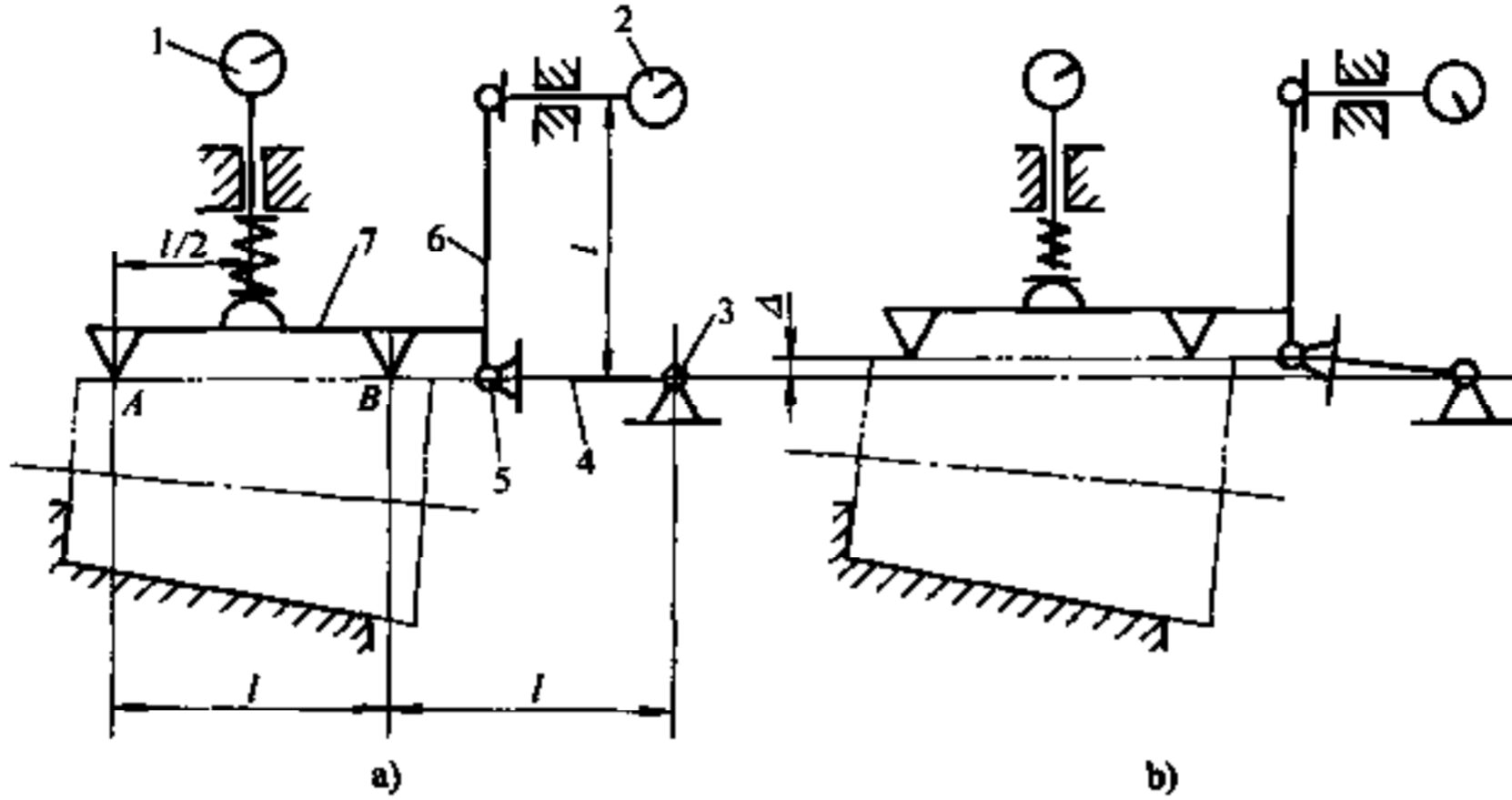


图 3-6 通过杠杆实现差动测量原理图

1、2—百分表 4、6、7—杆 3、5—铰链

假设按锥度和直径均为公称值的样件调整后，杆 7 和 6 处于图 3-6a 所示的水平 and 垂直位置。若被检验工件的锥度也为公称值，但直径增大 Δ ，这时由于杆 4 可绕铰链 3 转动，使杆 7 上的 B 点绕铰链 3 顺时针转一微小弧度 (Δ/l)，同时杆 6 也顺时针转过同样弧度。由于测量力要保证杆 7 上的 A 点也靠上工件表面，所以杆 6 又必须绕铰链 5 反时针转过同样弧度 (Δ/l) (因为 \overline{AB} 也等于 l)，结果杆 7 仍处于水平位置，但上升了 Δ 值 (图 3-6b)，百分表 1 将显示平均直径的变化。此时杆 6 仍处于垂直位置，百分表 2 的示值不变，说明锥度为公称值。如果工件的直径和锥度相对公称值均发生变化，也完全可由百分表 1 和 2 测出，不再赘述。

3.2.2 气动量仪

气动测量是利用当从测量喷嘴向被测表面喷射空气流时，所产生的节流效应与两者之间的间隙（在一定范围内）有一定线性关系这一原理来测量工件的。气动量仪将被测量尺寸的微小变动量转变为流量、压力或流速的变化，通过测量该变化并用显示器显示出来，作为量仪的示值或信号。采用气动测量可实现非接触测量，也可实现接触测量。应指出，通常所说的气动非接触测量，一方面是指没有机械触头与工件的直接接触；另一方面是指测头的喷嘴有一定的下沉量，喷嘴端面不直接与被测表面接触。但气动测头的导向部分与工件的接触一般是不可避免的，其磨损对测头的耐用度有很大影响。

气动测量易于实现和差演算，抗干扰能力强，对环境的要求比光、电测量低。工作压力大于 0.03MPa 的量仪可吹除被测表面的灰尘和冷却液。适用于测量各种尺寸和形位公差，特别是内孔（包括小孔）和采用其他量仪不易测量的部位；适合用于测量软材料的工件（包括橡皮、纸等），对有涂层表面工件的测量具有特别的重要性；在有强磁场的场合用气动测量稳定性大。

气动量仪与机械式测微仪比较，放大倍数高，精度高，刻度值间隔大，便于观察。我国第一汽车制造厂最早曾采用光学比较仪对活塞销进行分组，劳动强度大，特别是损害检验员

的视力，而改用水柱式气动量仪后，由于放大倍率提高到1万倍，示值清晰，提高检验效率3倍以上，改善了检验员的劳动条件。

气动量仪的缺点是测量范围小（采用引射节流喷嘴、射流和声学传感器的气动量仪可显著扩大测量范围，但并未获得广泛的应用），反映速度比电动量仪慢。对于一般较高精度的测量，气动量仪的测量范围还是能满足要求，必要时也可通过一定的测量机构使测量间隙扩大；对于静态测量，反映速度不是主要问题。所以，气动量仪适合于在检具上使用。随着电子技术的发展，电动量仪比以前获得较多的应用，但即使在工业发达国家气动量仪仍应用较多，不能认为电动量仪将取代气动量仪。

气动量仪的另一缺点是对空气的净化要求高。

我国目前常用的各种气动量仪见表3-9。

表3-9 各种气动量仪的性能

量仪类型	量仪型号	放大倍数	喷嘴直径/mm	分度值/ μm	测量范围/ μm	气源压力/MPa	工作压力/MPa	全分度示值误差/ μm	最大测量间隙/ μm	零位测量间隙/ μm	示值稳定性/ μm	反应速度/s	可发电信号数	生产单位		
流量式	浮标气动量仪 QEB或QFB	2000	2	2	90	0.3~0.6	0.07	2	150	105	1.2	1.5		中原量仪厂		
		5000		1	35			1.5	90	63	0.8	1.8				
		10000		0.5	18			0.8	60	54	0.4	2				
		20000		0.2	10			0.4		0.2						
流速式	水柱气动量仪 24-240C (倍率可调)	2000	双喷嘴 1.6, 单喷嘴 2		100	0.3~0.4	0.1	2.5				1		第一汽车制造厂		
		3000			70			1.4							570	535
		5000			40			0.4							460	450
		10000			20			0.2							270	250
压力式	薄膜气动量仪	BMQ-2	2	1	50	0.45~0.6	0.35~0.4	2	150	125	0.4	2.5	4	成都量具厂		
		BMQ-3			80			200	160							
	波纹管普通型气动量仪	BQY-220	3140	2	2	100	0.35~0.6	0.2	2	240	190	1	1	3	成都工具研究所	
		BQY-210	6280	1	50	0.15	1	175	120	0.5						
		BQY-205	12600	0.5	25	0.1	0.5	103	90	0.3						
	差动测量型	BQY-420	3140	2	2	100	0.35~0.6	0.2	2.5	240	190	1	1.5	3		
		BQY-410	6280	1	50	0.15	1.2	175	120	0.5						
		BQY-405	12600	0.5	25	0.1	0.6	103	90	0.3						
峰值型	BQY-520	2000	1.5	2	100	0.4~0.6	0.2	4	220	200	3	2~3	4 (其中一个 是幅值信号)			
	BQY-510	4000	1	50	0.15	2	175	150	1.5							

注：1. 以上数据根据有关资料编制供参考，具体使用时以量仪说明书为准；

2. 零位间隙是量仪的平均测量间隙，这时量仪指示在刻度值零位；

3. 气动量仪工作压力 $\leq 0.01\text{MPa}$ 为低压，工作压力 $> 0.01\sim 0.05\text{MPa}$ 为中压；工作压力大于 0.05MPa 为高压。

浮标和水柱气动量仪主要用于静态测量，加上光电转换装置也可用于自动测量。浮标量仪应用较多，但其测量间隙较小，反应速度较低；水柱气动量仪的测量间隙较大。浮标和水柱量仪可多管并合使用。

薄膜和波纹管气动量仪可发出电信号，多用在加工中测量，例如在磨床上用来控制加工，也可在自动检验机上使用。这两种量仪主要起到界限触发作用，波纹管气动量仪的反映速度比薄膜气动量仪高。

在波纹管差动测量型量仪上有两个性能完全相同的支路（普通波纹管量仪也是利用两测量支路的压力差，但两支路的性能不要求完全相同），可测量两个尺寸的和差（锥度、平行度等）、孔和轴的自动配磨或装配时选配，也可用于只测量一个尺寸和形位公差（圆度等）。在差动量仪上测量一个尺寸时，全分度示值误差与普通型相同，表 3-9 中波纹管差动量仪的全分度示值误差是对差动测量而言。

峰值量仪可用于同时测量某一尺寸及其最大与最小之差（例如圆度等）。BQY-5 型气动峰值量仪有 4 个气电转换器，3 个用于尺寸测量，1 个用于幅值测量。国外生产有触点数为 6 或更多的气动量仪。

应指出，非差动气动量仪也可测量 2 个尺寸的和或差，例如图 3-7a，尺寸 a 的变化使 s_1 的变化方向（ a 增大， s_1 减小）与尺寸 b 的变化使 s_2 的变化方向（ b 增大， s_2 增大）相反，所以量仪反映间隙 $(s_1 - s_2)$ 的示值，即测出了尺寸差 $(a - b)$ 。

图 3-7b 所示为直接用差动气动量仪测量两尺寸差 $(a - b)$ ，这时尺寸 b 和 a 的变化对间隙 s_2 和 s_1 的影响方向一致，量仪反映间隙 $(s_1 - s_2)$ 的示值。

3.2.3 气电转换

为充分发挥气动测量的优点，应靠气电转换技术将气动测量与电子技术和计算机技术结合起来，发展数显气动量仪和智能化气动量仪。

把用气动测头测得尺寸的变化转换为电量变化的转换器件称为气电转换器。气电转换器是气动测量用于高精度和主动测量的一个重要基础元件，气电转换器的应用原理如图 3-8 所示。

压缩空气经气路系统 1 进入气电转换器 2，通过气动测头 3 的喷嘴。气电转换器将间隙 s 的变化转为电能（例如电感）的变化，所以与气电转换器 2 接通的电动量仪 4 就反应间隙 s 的变化，达到测量尺寸的目的。这时应注意，气动测头与气电转换器，气电转换器与电动量仪在性能上应匹配。

中原量仪厂生产的波纹管差压型气电转换器的主要技术性能见表 3-10。

波纹管差压型气电转换器反应速度较慢，在很多情况下不能满足自动检验机和在加工中

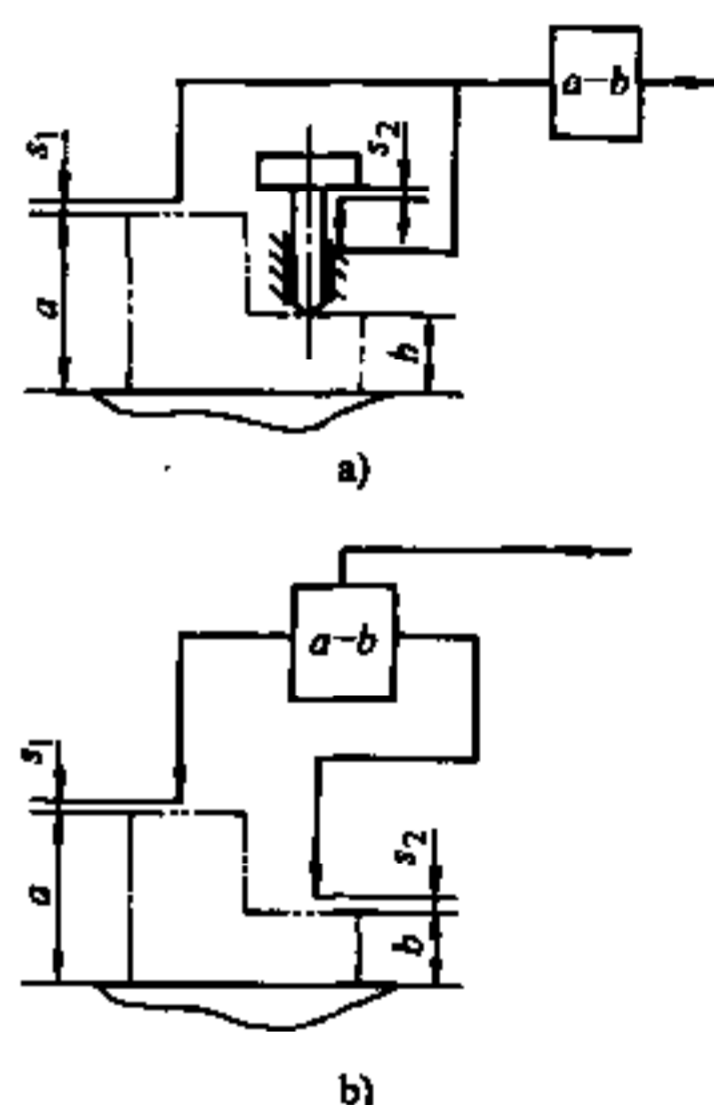


图 3-7 用非差动和差动气动量仪测量两尺寸差

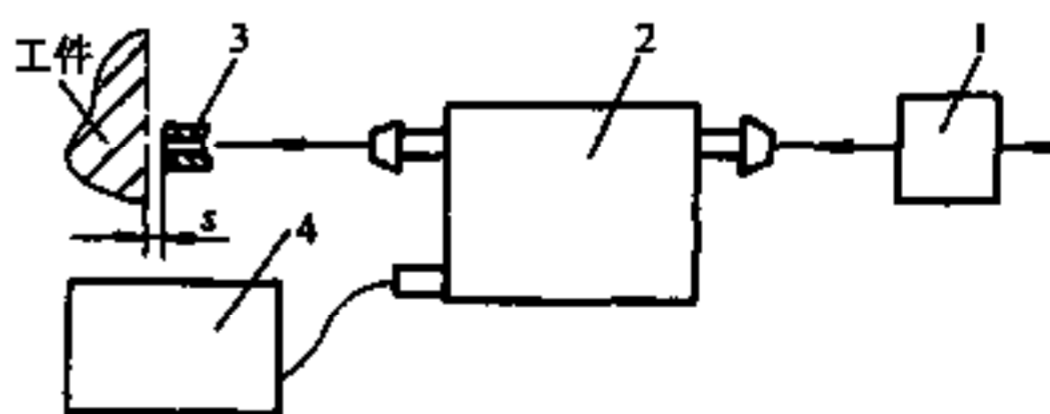


图 3-8 气电转换器应用原理
1—气路系统 2—气电转换器
3—气动测头 4—电动量仪

表 3-10 气电转换器性能

产品型号	QH-A1			QH-A3		
	测量范围/ μm	20	60	120	20	50
分度值/ μm	0.5	1.0	2.0			
示值误差/ μm	0.5	1.0	3.0	0.05	0.2	0.7
工作间隙/ μm	75~95	90~150	110~230	140~160	125~175	100~200
工作压力/MPa	0.15	0.15	0.15			
气动测头喷嘴直径/mm	1.5	1.5	1.5			
反应时间/s	2-1	2-1	2-1			
外形尺寸/mm	83×31×10					
重量/kg	0.3					

注：以上数据供参考，以说明书为准。

测量的需要。国外已生产采用小直径平面金属膜片使测量室的容积减小到 2cm^3 的气电转换器，反应速度达 $0.05\sim 0.3\text{s}$ 。

中原量仪厂还生产 DZL-3（普通型）气电转换式和 DZL-4（精密型）微机控制气电转换式的电子柱量仪，其主要技术参数为：示值范围 $\pm(10\sim 50)\mu\text{m}$ ；示值误差 $\pm(0.2\sim 2)\mu\text{m}$ ；示值重复性 $0.2\mu\text{m}$ ；精密型量仪可测量峰值，峰值示值误差 $\pm 0.3\mu\text{m}$ 。量仪有 3 个指示灯，可发出合格和正负超差信号；精密型量仪还有 2 个正负警告指示灯，各指示灯可触发输出信号。这两种量仪可与该厂生产的气动测量头配套。

此外，采用压阻式压敏半导体代替传统的浮标、波纹管等弹性元件制造的气电转换量仪已在国内外获得应用。这种量仪的特点是在同样测量范围内测量间隙比普通气动量仪大，这给检具设计带来很大方便，而且这种量仪的测量范围也较大，可达 0.15mm ，精度高，其技术参数见表 3-11。

表 3-11 压阻式压敏半导体气电量仪技术性能

	测量范围 /mm	测量间隙 /mm	分辨率 / μm	示值误差 / μm	重复性 / μm	反应时间 /s	工作压力 /MPa
高精度	0.06	0.08~0.14	0.1	± 0.3	0.1	积分式数显 1	0.15
普通型	0.10	0.10~0.20	1	± 1	1	输出模拟电压 反应时间 0.1	0.15~0.2
		0.20~0.30					
		0.30~0.40					
0.40~0.50	± 2						
	0.15	0.10~0.25	1	± 1	1		

注：资料来源：机械部第三设计研究院研制的数显气动量仪性能介绍。

3.2.4 电动量仪

最早的电动量仪以电子管为基础，可靠性差，因此其应用很少。随着微电子技术的发展，电动量仪的应用明显增多。电动量仪是利用将微小的位移量通过传感器转换为电路中某一参数（例如电感、电容等）的变化，从而引起电路中输出电压（或电流）的变化这一原理来测量工件的。输出电压经放大、运算，用指示器指示出来。电动量仪精度和稳定性高，反

应速度快，易于实现自动测量。电动量仪便于修理，有时更换相应的电路板即可修复，不致因修理量仪而影响工作。

电动量仪按工作原理不同有电接触式、电感式、电容式和电阻式等。目前应用最广的是电接触式和电感式，电接触式量仪在 3.1 节中已作了介绍。电感式量仪比电接触量仪的精度高，测头体积小，抗干扰能力强（但电感式量仪工作时应远离磁场），不仅能指示工作尺寸的极限误差，而且能连续测量工件尺寸的变化。量仪有输出插口，可与多位转换、和差演算、继电控制、自动记录装置等组合使用，实现多尺寸测量，发出多分组信号。中原量仪厂生产的 DGB-4 和 DGF-4 型电感量仪的主要技术参数见表 3-12。

表 3-12 DGB-4 和 DGF-4 电感量仪技术性能

型 号	档 次	测量范围 / μm	刻度值 / μm	示值误差 / μm	配套电感测量头		外形尺寸 / mm	重量 / kg
					轴向	旁向		
DGB-4 电感量仪	普通 测量	—	± 10	0.5	DGC-8ZP/B 或 DGC-8ZG/A	DGC-6PG/A	230×160 $\times 150$	3.4
		二	± 30	1				
		三	± 100	5				
		四	± 300	10				
	差 动 测 量	—	± 10 ± 100	0.5 5	0.4 2.0			
		二	± 30 ± 200	1 5.0	1.2 5.0			
三	± 100 ± 300	5 10	4.0 8.0					
	普通 测量	具有与 DGB-4 普通测量情况下同样的功能			DGC-8ZP/B 或 DGC-8ZG/A	DGC-6PG/A	305×235 $\times 143$	5
差 动 测 量		可分别指示出检验结果中的 Λ （正峰值）、 V （负峰值）、 $(\Lambda - V)$ （峰峰值）和 $[(\Lambda + V)/2]$ ，并具有记忆和保持测值的功能，示值误差见注 1						

注：1. DGF-4 量仪差动测量时，在 Λ 、 V 、 $(\Lambda - V)$ 各档示值误差不大于满刻度的 2%；在 $[(\Lambda + V)/2]$ 档，各量程档的示值误差：测量范围为 $10\mu\text{m}$ 、 $30\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ 和 $300\mu\text{m}$ 时，分别为 $0.8\mu\text{m}$ 、 $2.4\mu\text{m}$ 、 $8\mu\text{m}$ 和 $24\mu\text{m}$ 。

2. 中原量仪厂还生产有 DGB-4A 和 DGF-4A 大量程精密电感量仪（测量范围 $\pm 2\text{mm}$ ）；SDY-1 数显电感量仪，其配套轴向测头 SDGC-8ZG。

DGC-8ZP/B 轴向电感测量头（即电感传感器）和 DGC-6PG/A 旁向电感测量头如图 3-9 所示，主要技术性能见表 3-13。

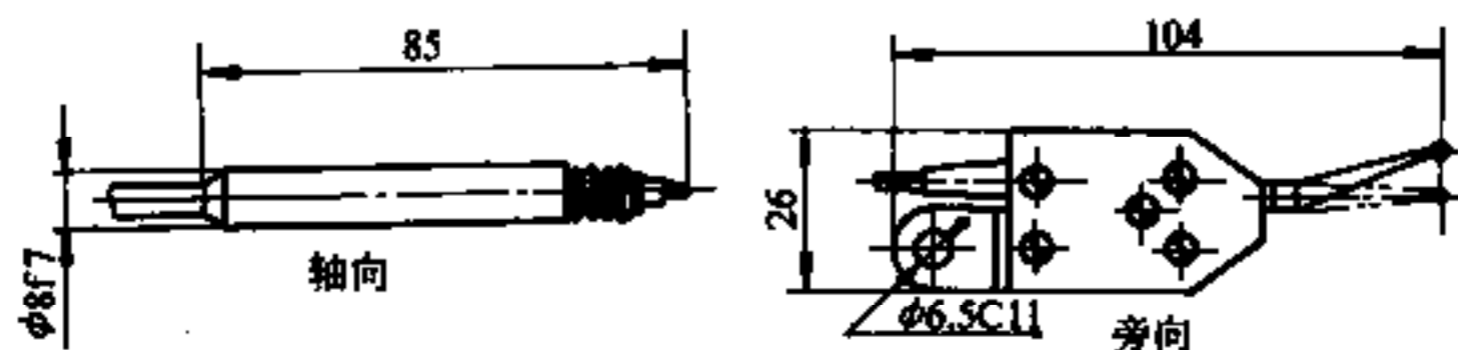


图 3-9 轴向和旁向电感测头

表 3-13 电感测头的技术性能

型 号	(1) DGC-8ZP/B (轴向) (2) DGC-8ZG/A	DGC-6PG/A (旁向)
重复测量误差/ μm	(1) 0.2; (2) 0.03	0.05
测量力/N	0.45~0.65	0.12~0.18
前行程/mm	0.45~0.65	0.35~0.55
外形尺寸/mm	$\phi 8 \times 85$	$104 \times 15 \times 26$
重量/g	30	90

与 DGB-4A 和 DGF-4A 大量程电感量仪配套的大量程电感测量头的型号为 DGC-8ZG/B (重复测量误差 $0.03\mu\text{m}$)，还有微型电感测量头 (外形尺寸为 $\phi 8\text{mm} \times 37\text{mm}$ ，重复测量误差 $0.1\mu\text{m}$ ，行程 $1.4 \sim 1.5\text{mm}$ ，测量范围 $\pm 0.3\text{mm}$)。微型电感测量头为在安装空间小的部位布置测头提供了方便。

中原量仪厂还生产有 DZL-1 普通型和 DZL-2 精密型电感电子柱量仪，这两种量仪与该厂生产的电感传感器配套。DZL-1 型量仪有 3 个信号指示灯，发出合格和正负超差信号；DZL-2 型量仪可自动回零、自动校准放大倍数，具有和差演算和峰值测量的功能。精密型量仪除有 3 个信号灯外，另有 2 个正、负警告指示灯，各指示灯可触发输出信号。这两种量仪的主要技术性能：示值范围 $\pm (10 \sim 1000)\mu\text{m}$ ；示值误差 $\pm (0.2 \sim 20)\mu\text{m}$ (DZL-1 型)， $\pm (0.05 \sim 10)\mu\text{m}$ (DZL-2 型)；示值重复性 $0.2\mu\text{m}$ 和 $0.03\mu\text{m}$ ；和差演算误差 $\pm 0.15\mu\text{m}$ ；峰值示值误差 $\pm 0.2\mu\text{m}$ 。

电动测量也可进行非接触测量，可采用具有电感或电容等传感器的量仪。电容传感器最早作为测微量仪的一种传感器，由于其电容量小，输出阻抗大，受环境影响大，所以应用较少。随电子技术的发展和高精度位移测试的需要，近十多年已能采取措施克服所存在的缺点，电容传感器获得新的发展，其结构简单、灵敏度和分辨率高 ($0.01 \sim 2\mu\text{m}$)，可实现非接触测量和高精度位移测量。电涡流传感器也可实现非接触测量，测量范围可达 1mm ，国内已用于检验电度表圆盘的端面跳动，显著提高了检验效率和精度 (分辨率 $1\mu\text{m}$)。

图 3-10 是一种外形小 ($16\text{mm} \times 37\text{mm}$) 非接触式电感传感器。

该传感器有黄铜本体 9；铁氧体磁芯 3 和 5；在两磁芯上装有同样的线圈，即测量线圈 2 (W_1) 和微调线圈 6 (W_2)；绝缘垫 4 和 7；微调衔铁 8 和螺钉 10。线圈 2 和 6 按半桥线路连接，传感器的工作原理是：线圈 2 和 6 之间的电感关系随测量线圈 2 上的磁芯 3 与磁性材料被测工件 1 表面之间的工作间隙 δ 而变化。工作间隙 δ 在 $0.1 \sim 1.0\text{mm}$ 范围内。试验表明，即使在最大工作间隙 1.0mm 情况下，被测表面尺寸在 $\pm 0.05\text{mm}$ 内变化时，传感器的静态特性仍是

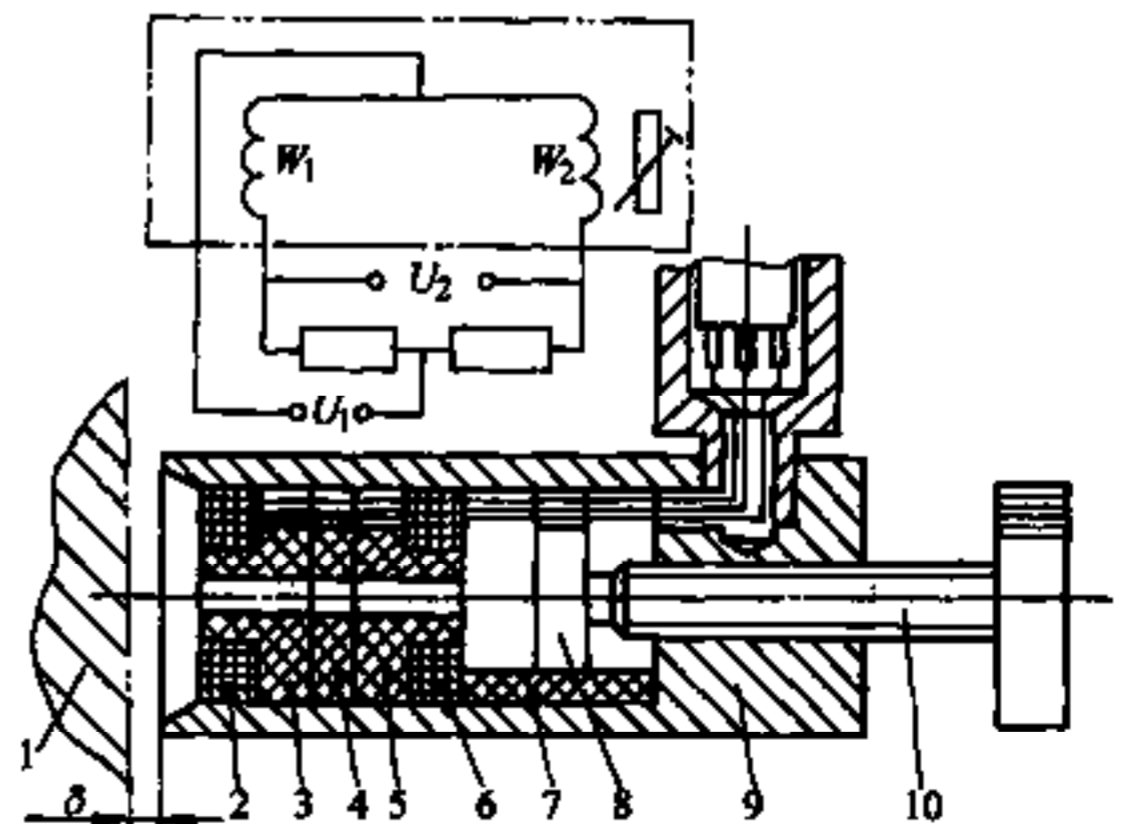


图 3-10 非接触测量用小型电感传感器

1—工件 2—测量线圈 3、5—磁芯 4、7—绝缘垫
6—微调线圈 8—微调衔铁 9—本体 10—螺钉

线性的；在低频范围内（400Hz内）其动态特性没有明显变化，传感器灵敏度不变。这种传感器的测量范围为 $\pm(0.1 \sim 600)\mu\text{m}$ ，不需要专门的放大和计数器，可与任何形式的应变放大器相连，可用于静态或动态高精度测量，特别是机床部件和机构的检测。

按对向布置两电感传感器非接触测量工件（轴）的直径的原理如图3-11所示。这时工件是两线圈 L_1 和 L_2 的衔铁，当工件直径改变时，由于两线圈的电感发生改变，即可测量工件尺寸的变化。

对这种测量方法，要求由于工件材料磁性变化而产生的测量误差在测量精度许可范围内，即传感器对间隙 δ_1 和 δ_2 变化的灵敏度要比对测量磁通变化的灵敏度大得多。具有软磁性材料矩形铁芯的传感器能满足上述要求，这种传感器比具有同样材料圆形铁芯的传感器测量误差小，比具有电工钢片铁芯的传感器测量误差更小。

采用这种传感器时，两传感器相对被测轴的定位误差在 $\pm 0.05\text{mm}$ （即 δ_1 与 δ_2 之差为 0.10mm ）以内时，测量误差达 $0.5 \sim 1.0\mu\text{m}$ ；当定位误差为 $\pm 0.15\text{mm}$ 时，测量误差为 $2\mu\text{m}$ 。一般定位误差不应超过 $\pm 0.15\text{mm}$ 。

将上述传感器接入具有辅加电感的交流电桥中，即可按标准件精确调整电桥。

3.2.5 光学量仪

光学量仪最早多在计量室内应用，随着生产的需要和检测技术的发展，光学量仪（主要是自准直光管类量仪）已在车间生产条件下应用，多用于重型机床、汽轮机和大型柴油机等生产中，检验零部件的平面度、平行度和同轴度等。

采用光学量仪，易于实现非接触测量，测量精度高，测量范围大，与电子技术结合可实现数字显示、自动打印和记录等功能。光学测量应注意环境，例如对温度变化和振动的影响有一定要求，在生产车间应布置适当。采用光学量仪可使检具设计简化，只需设计专用靶标和其他附件等。

常用的光学准直量仪有：

1. 测微准直望远镜 用于提供一条从零到相当远的光学基准，其光轴调焦直线性精度很高（在 10m 内不超过 0.025mm ），外镜管的圆度和母线直线度小于 0.005mm ，光轴与外镜管的同轴度小于 0.005mm ，以外镜管为基准时即严格确定了光轴的位置。

2. 工具经纬仪 主要供空间定位用。工具经纬仪有竖轴和横轴，瞄准镜管可在水平方向作 360° 方位转动，也可在垂直面内作大角度的俯仰。其主要技术性能：调焦直线性在 3m 内小于 0.03mm ；光学测微器示值误差不超过 $0.005\text{mm} + 2\%$ 位移量；视线与横轴、横轴与竖轴、侧镜反射面与横轴的垂直度误差均小于 $2''$ 。

3. 光学直角头 可精确地建立与望远镜光学视线相垂直的视线，其误差不超过 $\pm(1 \sim 2)''$ 。光学直角头常用的有：零距和偏距光学直角头，光学直角和三向光学直角头（可建立空间直角坐标系）。

4. 平面扫描仪 可用于测量面积大的平面和倾斜平面的平面度，其误差为 $0.0025\text{mm} + 2\%$ 位移量。

5. 自准直仪 可用于测量平面度、垂直度等，加上附件可测量多个孔的同轴度、孔轴

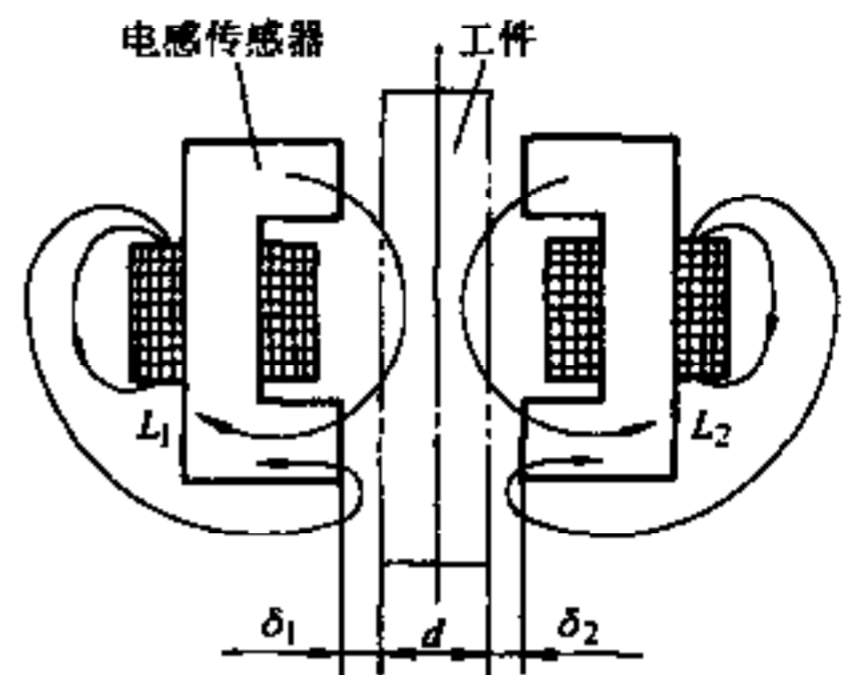


图3-11 用电感传感器非接触测量轴的直径原理

线对端面的垂直度等。国产几种自准直仪的主要技术数据见表 3-14。

表 3-14 国产自准直仪的主要技术参数

型 号	42J	JZC	YZZ1
测微鼓轮读数值	1"		
测量范围	0~10'		
测量工作距离	0~9m		0~25m
测量误差	在 1' 内不大于 $\pm 1''$ ，在 10' 内不大于 $\pm 2''$	在 3' 内不大于 $\pm 1''$ ，在 5' 内不大于 $\pm 1.5''$ ，在 10' 内不大于 $\pm 3''$	在 5' 内不大于 $\pm 2''$
生产厂	上海光学仪器厂	长春第一光学仪器厂	云南光学仪器厂

用光电瞄准代替人眼瞄准可提高测量精度和生产率，国内生产的两种光电自准直仪的主要技术数据见表 3-15。光电自准直仪是在一般自准直光管的基础上加上光电瞄准，既可目测瞄准，又可同时进行光电瞄准来进行测量。

表 3-15 国产光电自准直仪的主要技术数据

型 号	43J	702
最小读数值	0.1"	0.1"
测量范围	0~10'	
测量工作距离	0~9mm	0~6mm
测量误差		
在 1' 内不大于	$\pm 0.8''$	
在 5' 内不大于		$\pm 0.5''$
在 10' 内不大于	$\pm 2''$	$\pm 2''$
生产厂	上海光学仪器厂	北京计量仪器制造厂

激光与普通光比较具有良好的方向性、空间相干性、单色性和时间相干性，以及高的亮度，可完成光电接收以实现测量数字化和自动化。在各种激光准直量仪中，最有代表性的是激光准直仪，在激光准直仪的基础上配上相应的附件可组成其他类型的准直仪。激光准直量仪的最大测量范围可达 100~200m，激光束在水平面内与视准轴的误差为 $\pm (2'' \sim 4'')$ ，在垂直面内为 $\pm (4'' \sim 6'')$ ，在这种条件下准直精度在测量距离 10~70m 范围内为 0.05~0.20mm。采用激光准直仪可提高测量精度和效率。

一般光学量仪的光轴易受空气扰动而造成测量误差，测量距离愈大，误差愈大。对于激光准直量仪，虽然也存在空气扰动问题，但通过光电接收靶接收信号，再经过运算电路可以明显减小这种影响。用目测法时，如果配以适当的接收靶（例如象限光电接收靶），当测量范围为 60m 时，测量精度可提高到 0.10mm，分辨率灵敏度可提高到 0.01mm，重复精度达 0.05mm。

光纤传感器可用于非接触检验磁盘的端面跳动，光纤传感器的技术特性：测量基准（间距）0.05~3mm（即可限位测量），测量线性段为 0~1mm；可静态校准，对电磁干扰不敏感。

3.2.6 坐标测量机

在很多文献中把坐标测量机列入量仪的范畴。坐标测量机确实是一台高效量仪，但不是一般的量仪，功能齐全的坐标测量机可以说是一台通用的检验机。本节对坐标测量机用于检验的情况作一简单介绍。

在现代化生产中，由于机械加工自动线、数控机床和柔性加工系统的发展，传统的测量方法已不能满足生产的需要。例如，对于数控机床和某些高效设备，“首件”和在加工中抽样检验的快慢对这些设备效率的充分发挥有很大影响。

坐标测量机是具有足够柔性和高效率的测量设备，可有2~6个坐标，能在三维空间内完成各种测量，通过测量头测出各被测点的位置，经过数学运算可计算出各被测部位的尺寸和相互偏差，特别适合于测量箱体、齿轮、凸轮和汽车车身等形状复杂的零件。近年来，为适应车间和小工厂的需要，开发了小型和价格低的坐标测量机。

坐标测量机检验工件与传统的方法相比其主要优点是：测量范围大，可达0.6~2m或更大；测量结果为数字量，便于处理的多样性；测量精度高或较高，在1m测量范围内的测量误差（按 $\pm 2\sigma$ 计算）高精度为 $\pm 5\mu\text{m}$ ，中等精度 $\pm (5 \sim 15)\mu\text{m}$ ，低精度大于 $15\mu\text{m}$ ；测量速度快（可参见表3-16），一次定位即可测量所有几何参数；能显著减少专用量、检具的数量。

表 3-16 传统方法与坐标测量机测量时间对比

被测工件	测量时间/h		
	传统方法	数显型坐标测量机	带计算机的坐标测量机
汽缸体	4	1.15	0.33
齿轮箱	5.3	1.50	0.14
凸 轮	7	2	0.12

坐标测量机的测量范围大和精度高是由于采用了各种精密的机械式（精密丝杠加微分鼓轮或精密齿轮齿条）、光学式（光学读数刻度尺，光电显微镜加金属刻度尺，莫尔条纹光栅，光学编码器或激光干涉仪）和电气式（感应同步器等）测量系统。同时坐标测量机的测量误差可用不同的方法进行修正，例如用合适精度的量块对测量机进行校验，将所得到的校正值得储存到计算机中，当测量工件时即可进行修正。

坐标测量机的检验效率与测量头（可视为传感器）密切相关，测量头有机械式（硬测头）、光学非接触式和接触电气式等。

机械式测头是一般手动时用的测量头，其形状很多，主要有圆柱形、圆锥形、盘形、球形、凹圆锥形、V形、直角形，以及回转式半圆柱面、回转式1/4柱面和点测头等，根据被测参数的情况选用。

光学非接触式测头用于测量薄的、软的、脆的以及光学刻线非常方便的制件。对于不能用机械测头和电测头测量的工件，也用光学非接触测量头。

接触式电气触头主要有：电触测头，用于瞄准；二向电感式测头，用于完成X-Z坐标和Y-Z坐标上的测量；三向电感式测头，可完成三维空间的测量。

坐标测量机的类型主要有：数字显示和打印型，主要用于几何尺寸的测量，数字显示和打印出测量结果，一般为手动测量；带小型电子计算机型，操作仍为手动，但由计算机处理

数据；计算机数字控制型，可实现测量自动化。

采用手动测量方便直观；采用自动测量可在测量过程中控制测量力、测量速度和测量方位，从而提高整个测量精度，适用于测量大型工件和精度要求高或对测量力有一定要求的零件（如非金属软材料及薄壁件等）。

在生产车间通常采用中等和中等以下精度的坐标测量机检验各种工件，这时测量机应安装在专门的恒温（ $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ）、防振和防尘的室内，温度波动小于 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，相对湿度在 40%~50% 范围内，应避免阳光照射和气流直吹，并应配有应急电源。

选择坐标测量机时，不仅要考虑坐标移动量，还要考虑测量触头的长度，例如测量深孔。选择坐标测量机的配置形式，应综合考虑。例如龙门式精度高，但不能测量高度大的工件，为测量高度大的工件需要选用立柱式坐标测量机。如果工件上有长度大的水平孔，测量机上应有卧式顶尖套；如果工件上的孔分布在不同角度上，则应有回转工作台。

选择坐标测量机时，还应确定成套测量头的型式、规格和数量。为测量简单的几何参数和其相互位置可只用“零位”头（接触头），为跟踪连续测量复杂的表面必须采用偏差头。在生产车间适合于采用具有机械式、感应同步器式测量系统的坐标测量机，其价格和对环境的要求较低。对于小批和成批生产的检验，采用数控型坐标测量机比较合适；对于精度不高和批量不大的生产，适合采用手动坐标测量机。计算应用的发展，使坐标测量机的功能迅速扩大，所以计算机数控型坐标测量机的使用比例将增大。

正确使用和组合测量触头是坐标测量机应用中的一个重要问题。当检验某些工件时，现有测量触头的品种、规格和数量可能满足不了测量的要求，这时可自行设计和制造所需要的测量触头。当检验批量工件时，有时为使工件在测量机上处于比较方便的测量位置，以简化测量和计算，提高检验效率，在测量机上需要配备工件定位或同时夹紧工件用的辅助检验夹具。

采用坐标测量机必须有经过专门训练的熟练操作人员和维修保养人员，在使用数控机床有经验的工厂，这将不是很大的困难。没有好的日常保养和及时的维修会过早地使精度下降，有时会引起长时间停机。

应合理使用坐标测量机，比较简单的、用一般手工或检具能测量的零件不宜于上机，表面粗糙度大的零件不易于上机。上机的零件不得有毛刺、铁屑、油污，并且应为精加工后的零件。应根据本单位具体情况，制定坐标测量机使用管理条例。

根据需要，经济上允许，又具备使用条件，采用坐标测量机能取得很好的效果。虽然一次性投资较高，但由于其优点多，最终在经济上是合算的。目前，坐标测量机在国内外仍占总检验工具的少数，即使到应用较为广泛时，其他各种型式的量具、检具和自动检验机等仍将占有自己的地位。

国内生产坐标测量机的单位有：上海机床厂，昆明机床厂，北京机床研究所，航空部 303 所，青岛前哨精密机械公司等；国外生产坐标测量机的主要有：DEA 公司（意大利），Zess 公司（德国），Sip 公司（瑞士），Brown & sharp 公司（美国）、三丰公司（日本）等。

第4章 检验夹具用传递装置及其误差

在检具中应避免工件安装时直接碰撞百分表等接触式仪表的触头；为便于人眼观察，有时需要改变被测量参数误差传递到仪表的方向；而有时需要将测量参数的误差放大（或缩小）后传递给仪表。所有这些情况都需要在检具上采用各种结构的传递装置。

4.1 直线传递装置

在检具中广泛采用图 4-1 所示的百分表直线传递装置，这种装置可作为一个部件固定在检具上。

在弹簧力的作用下，始终与被测表面接触的测销 1 在螺纹套 2 中定向（利用销 1 右端头部的扁平面和螺纹套上的槽），螺纹套 2 用螺钉 3 锁紧。用螺钉 4 将百分表紧固在开口衬套 5 中，用螺纹套 2 可调整测销 1 的测量力，保证在测销与工件接触时有间隙 s （例如 0.5mm），并保证工件安装和取下时百分表测杆的移动较小。

该装置有两种固定形式，图 4-1a 是用螺钉将传动装置固定在检具上，图 4-1b 是用直径为 d 的轴颈固定。根据不同的用途，测销可做成图 4-2 所示的不同形状：图 4-2a 为尖劈形，用于测量圆柱面，可减小在纵向剖面上的对中误差；图 4-2b 为圆头形，用于测量平面或圆柱面，应用较多；图 4-2c 为平头形，用于测量球面；图 4-2d 为尖端形，用于不适合采用圆头形的场合，但易于磨损。

一般测销的材料采用 T10A，热处理 60~64HRC，测销头部也可采用硬质合金或红色人造刚玉触头（其尺寸见表 4-1 和表 4-2）。有时为

了制造方便，可选用百分表或电感测头上所用的触头，其上有硬质合金或红色人造刚玉触头，直接用螺纹拧在测销上，如图 4-2e 所示，图上的尺寸是触头尺寸。

图 4-3 是能使测销让开的直线传动装置，用手按下杠杆，测销便退回一段距离。这时要求测销的行程应适当，以免百分表压缩过多，当然这时要采用行程较大的百分表。

有时百分表必须布置在距被测表面较远的位置，这时需采用长测销（图 4-4a）。为避免长测销在两导向套 1 和 2 中歪斜和卡住，在两导向套上做出很短的接触部分，这样比在导向套全长上导向可降低对两导向套同轴度的要求。该装置可作为一个整体，以圆柱部分 d 夹

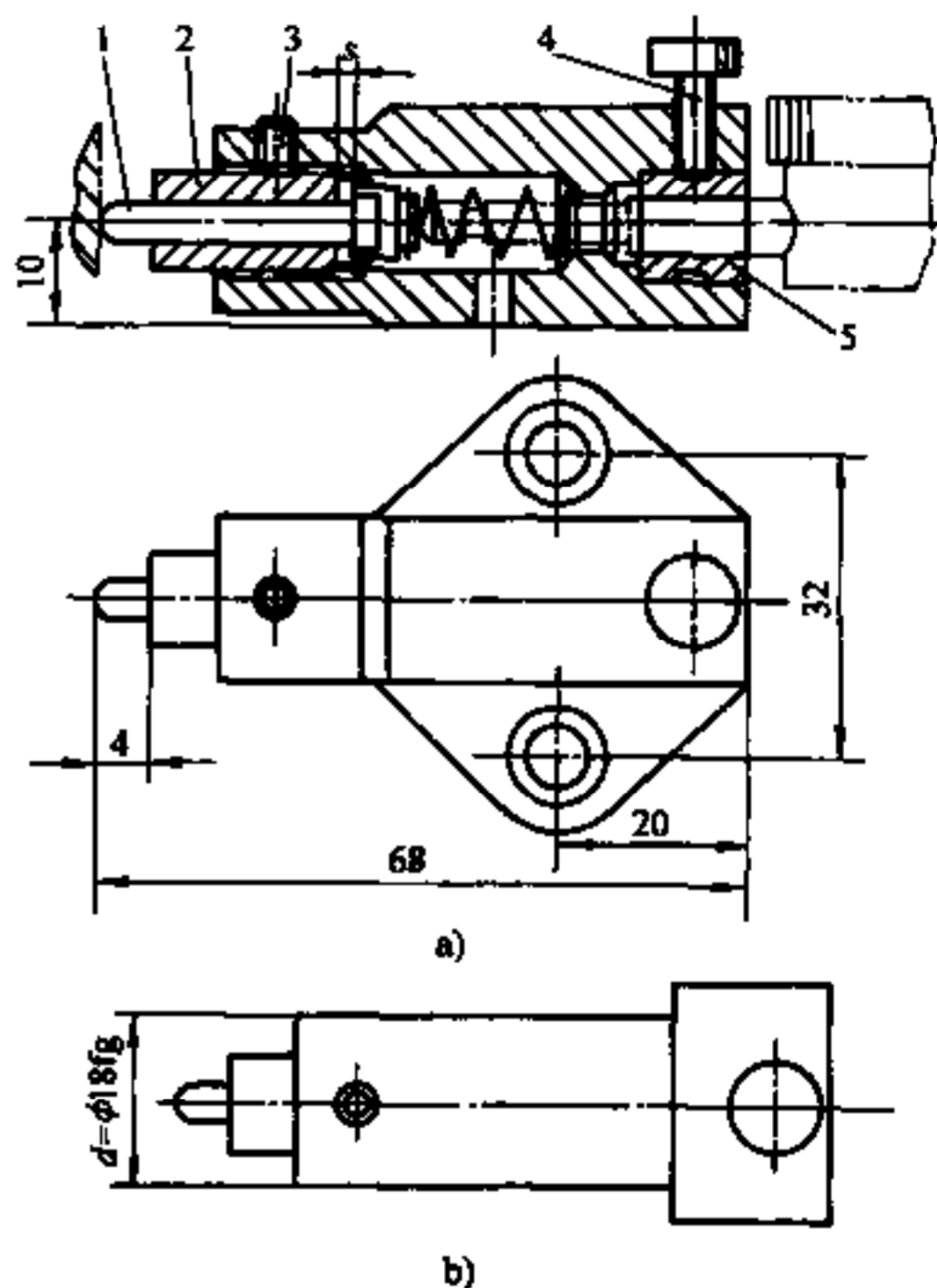


图 4-1 直线传递装置

1—测销 2—螺纹套 3、4—螺钉 5—衬套

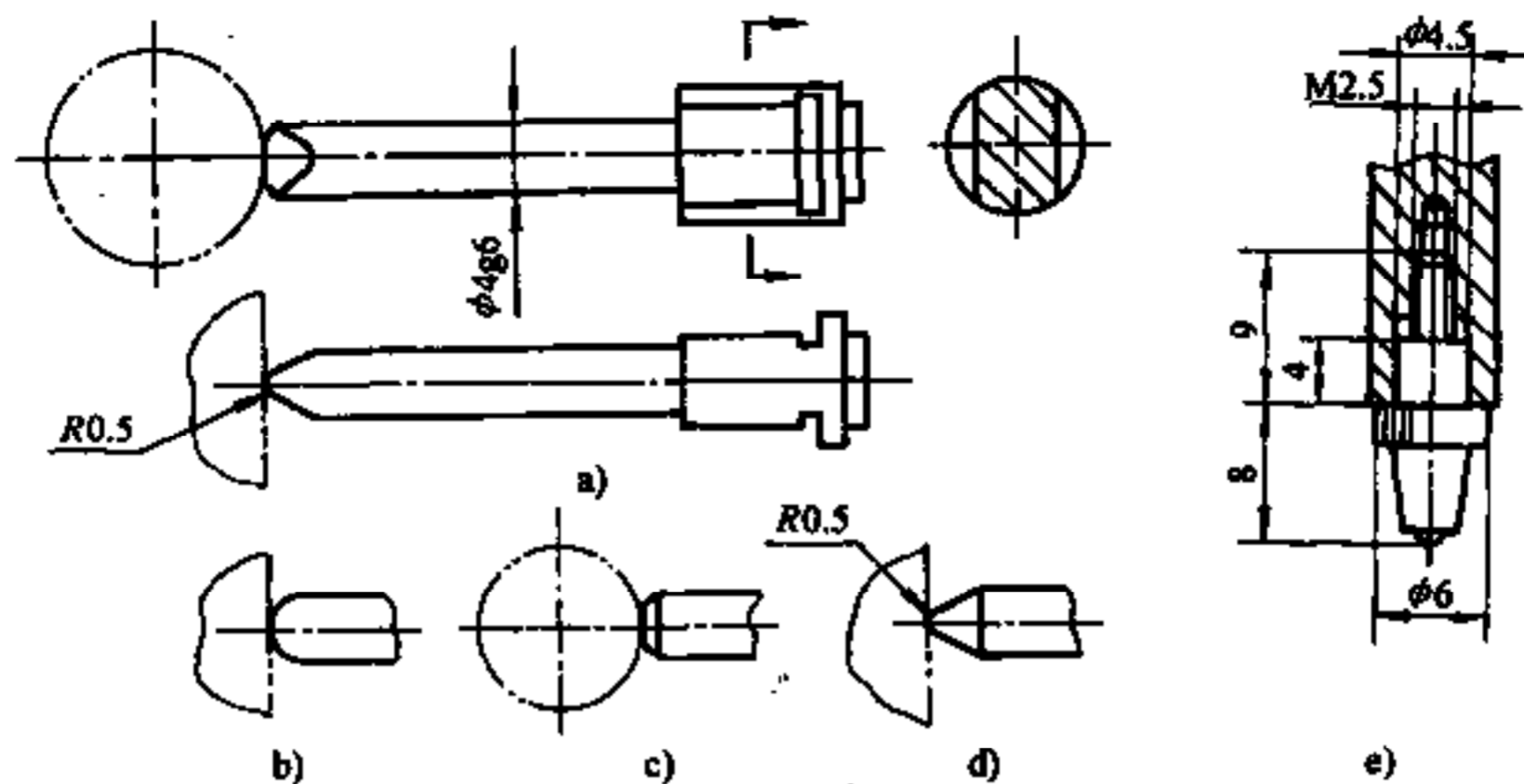


图 4-2 测销 (测量触头) 的各种型式

表 4-1 红色人造刚玉触头规格

(mm)

型 号	刚玉触头		D	H	R
CTG		基本尺寸	1.5-3	2-6	1-3
		极限偏差	+0.02 0	±0.05	±0.10

注: 1. 硬度 HV 大于 15691N/mm²;
 2. 球面粗糙度 0.05μm;
 3. 生产厂: 四川仪表八厂。

表 4-2 硬质合金圆柱规格

(mm)

型 号	D × L
F301	3.5 × 10
F303	4.5 × 12
F305	5.5 × 15

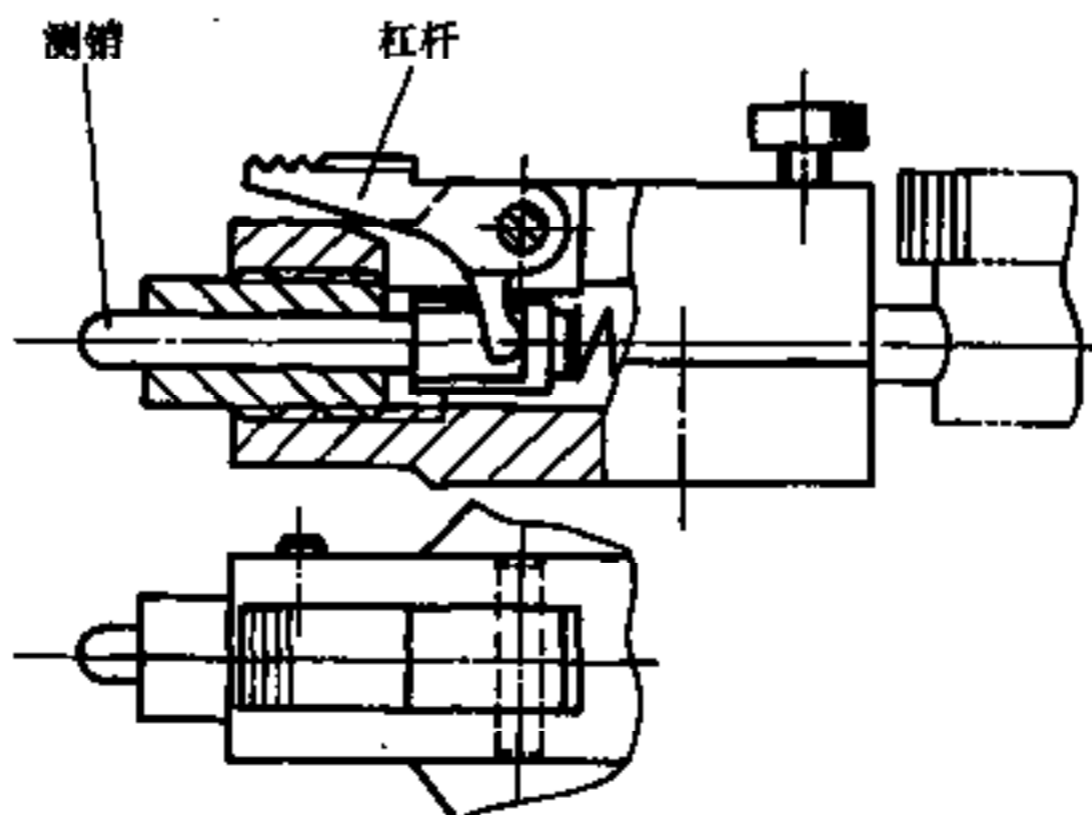


图 4-3 能使测销让开的直线传动装置

持在检具或支架上。

当传递距离很大时,可采用图 4-4b 所示的结构。在与被测表面接触的测杆 3 和百分表触头接触的测杆 5 之间有中间加长杆 4,杆 4 两端的头部分别伸入到测杆 3 和 5 的孔中,接触部分应具有高的硬度并经抛光。为减小摩擦和提高灵敏度,可采用滚珠直线传递结构(图 4-4c)。

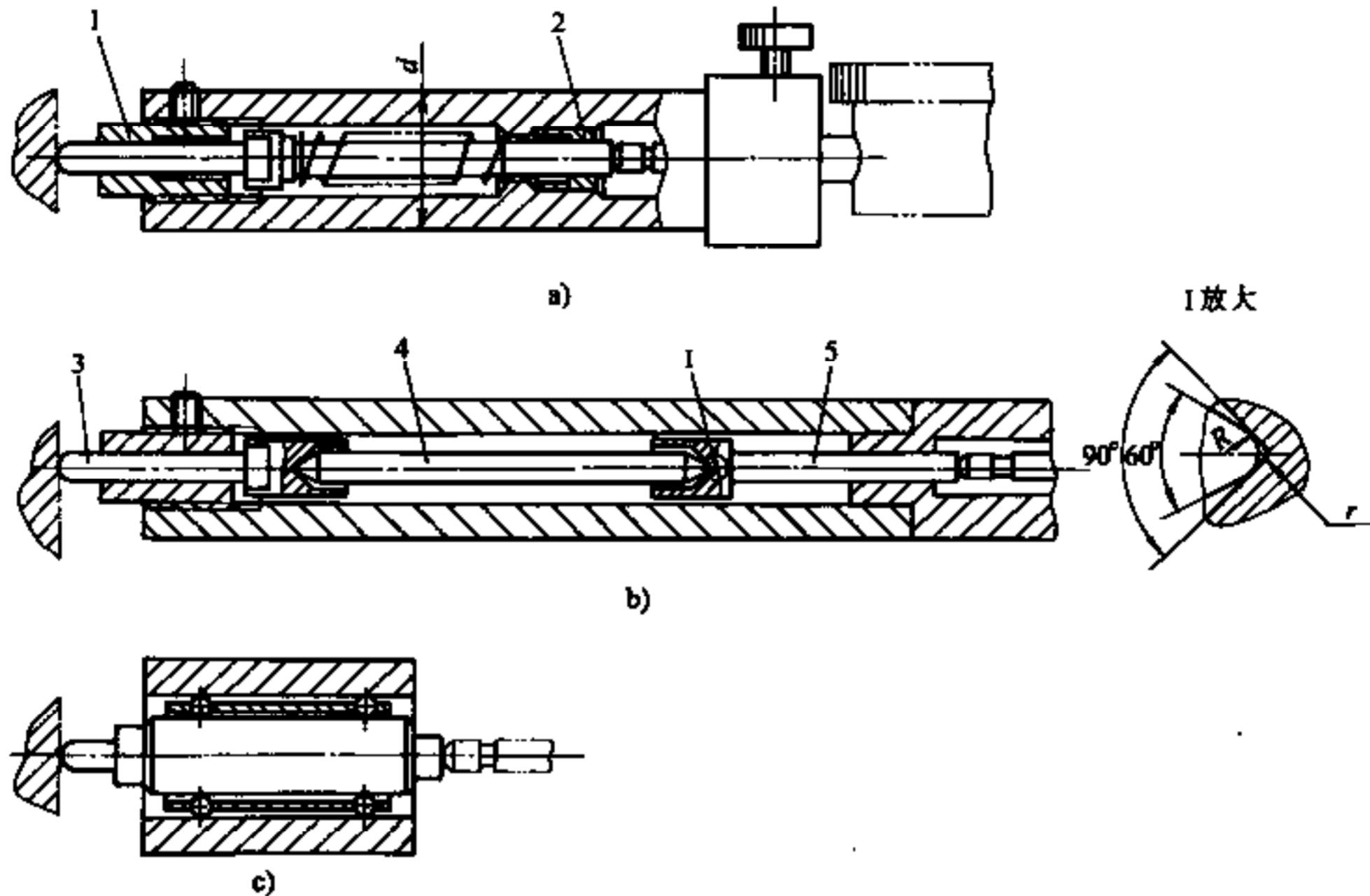


图 4-4 传递距离大的以及滚珠直线传递装置

1、2—导向套 3、5—测杆 4—加长杆

4.2 杠杆传递装置

当不能采用直线传递,即需要百分表安装方向与测量方向不一致时,需要采用各种形式的杠杆传递装置,以改变传递方向。当需要放大被测参数的误差示值时,也要使用杠杆。一般当公差较小(例如 0.03mm)时,允许用传递比大于1的杠杆,但应避免采用过大的传递比,一般放大比取1.5、2和3。由于增大放大比时传递误差也增大,所以在采用大传递比的检具中,应选用精度高的测量仪表,例如用刻度值为 $2\mu\text{m}$ 的千分表代替刻度值为 $10\mu\text{m}$ 的百分表。当检验公差较大时,为保证便于观察百分表,不致产生粗大误差,需要保证被检验参数公差的整个范围使百分表指针的指示范围不超过 120° ,这时需要采用传递比小于1的传递装置。

一般,杠杆的一端与工件表面接触,另一端与百分表触头接触,但有时杠杆的任一端也可与检具上其他传递件(中间测销等)接触,而其他传递件再与工件表面或百分表接触。

杠杆的形状根据工件的形状和检具的具体结构来决定,图 4-5 为常见的杠杆形式,杠杆两端触头的形状也可有各种形式(见图 4-2)。杠杆的两臂可以是直线的(图 4-5c 和 i),也可以是成一夹角(图 4-5 其余各种形式)。两臂可以是不等长的(图 4-5h 传递比大于1,图

4-5i 传递比小于 1)。图 4-5j 是两端触头单独制造的杠杆，其与杠杆的连接方法可用过盈配合，也可用粘结的方法。当选择硬质合金或红色人造刚玉触头时，由于其硬度高且较脆，则应该用粘结方法。图 4-5k 是用钢珠作为触头的杠杆，可用螺钉固定钢球；图 4-5l 是用圆柱作为触头的杠杆，可利用弹性槽紧固圆柱。在图 4-5 中，各杠杆的平面 A（只在图 4-5e 上注出，其他各图省略）与百分表接触，而各球面 B 与被测表面接触（应指出，在实际检具结构中杠杆两臂触头的形状视具体情况而定）。

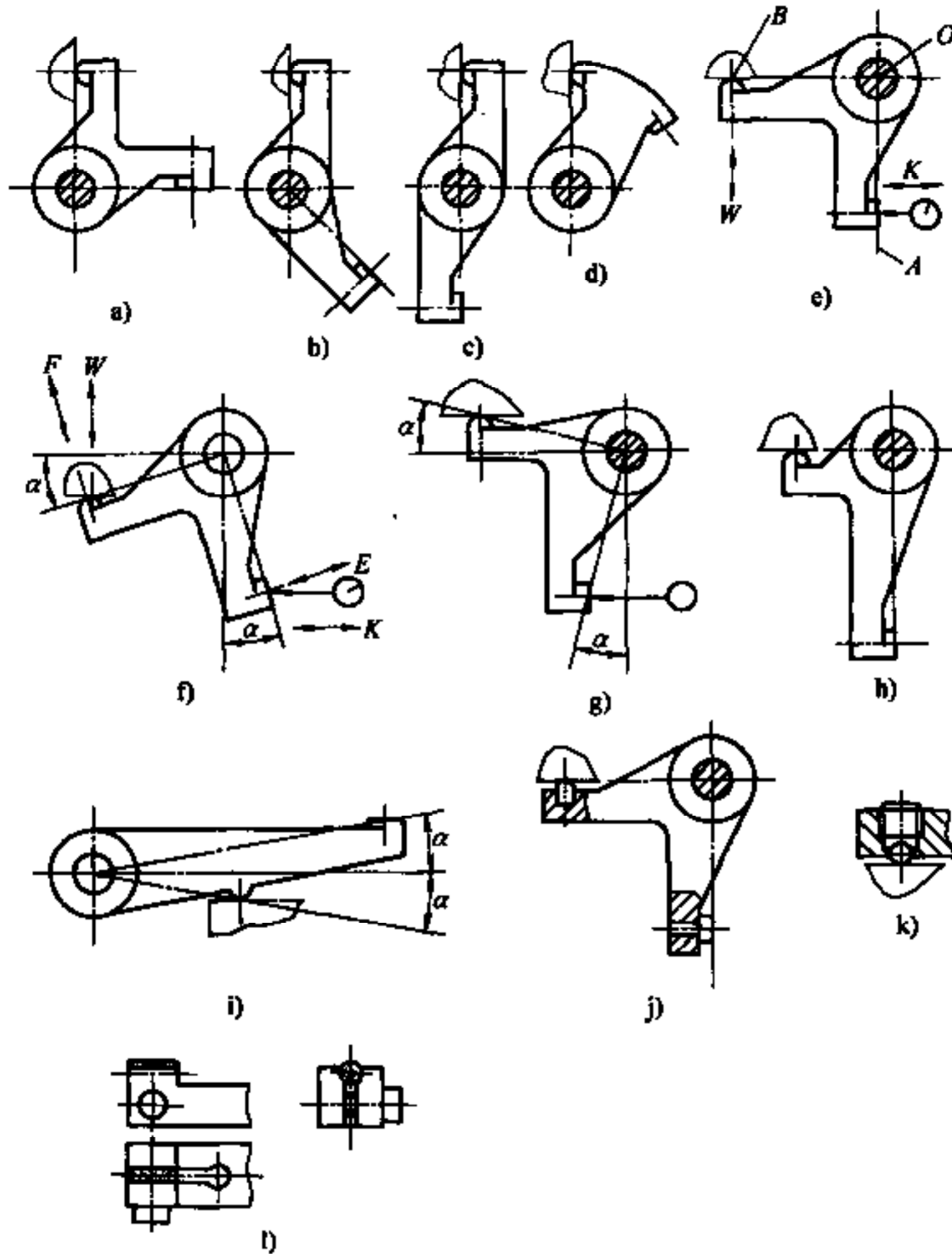


图 4-5 常见的杠杆结构形式

为避免杠杆与被测工件表面和百分表触头产生滑动而使磨损加快，以图 4-5e 为例，一般应使平面 A 通过销轴中心 O、并垂直于百分表移动方向 K；而小球面的顶点 B 与铰链中心 O 的连线 BO 应垂直于测量方向 W。在这种情况下，被测尺寸的变化经过杠杆传递按与百分表测杆运动方向 K 一致的方向传到百分表。

对于有些情况，必须将杠杆一个臂的触点偏移，一般这时另一个臂的触点也应作同样的偏移（见图 4-5f、g 和 i）。这时被测尺寸变化方向 W 与其传递方向 F 不同，被测尺寸变化传递方向 E 与百分表移动方向 K 也不相同（见图 4-5f）。这样布置会在杠杆与被测面和百分表接触处产生滑动，但由如下分析可知这时并不会产生较大的传递比误差。

首先分析杠杆转一小角度和杠杆两端点布置在不同位置时两端点位移的情况。

图 4-6a 表示杠杆两臂的触点相对回转轴中心 O 都偏移 a ，且方向相反，当杠杆由实线位置转到双点线位置时（这时 A 点沿测量方向的移动量为 s ， A_1 点沿百分表移动方向的移动量为 s_1 ），由几何关系可知：

$s = s_1$ ，说明这种情况的传递比为 1:1。并由图可得

$$\varphi = \arctan(a/l)$$

$$OA = OA' = \sqrt{a^2 + l^2}$$

$$\beta = \arcsin[(a + s)/\sqrt{a^2 + l^2}]$$

所以 $\alpha = \beta - \varphi$

$$= \arcsin[(a + s)/\sqrt{a^2 + l^2}] - \arctan(a/l)$$

这时 $s_1 = s = l \sin \beta - a$

图 4-6b 表示杠杆左臂触点 A 的位置与图 4-6a 相同，而其右臂触点 B 对回转中心 O 不偏移，若 A 点在测量方向的偏移量为 s ，则 B 点在百分表移动方向的偏移量为 $s_2 = l \sin \alpha$ ，这时杠杆的传递比不为 1:1。

图 4-6c 表示杠杆两臂的触点偏移方向相同，这时若 A 点在测量方向的偏移量为 s ，则点 B 在百分表移动方向的偏移量为 s_3 ，由图 4-6c 可知

$$OB = OB' = \sqrt{a^2 + l^2}$$

$$OK \perp BB'$$

$$B'K = OB' \sin(\alpha/2) = (\sqrt{a^2 + l^2}) \sin(\alpha/2)$$

$$BB' = 2B'K = 2(\sqrt{a^2 + l^2}) \sin(\alpha/2)$$

$$\angle DBB' = \angle OBB' - \angle OBD$$

$$= (90^\circ - \frac{\alpha}{2}) - (90^\circ - \varphi) = \varphi - \frac{\alpha}{2}$$

所以 $s_3 = BB' \cos \angle DBB' = 2(\sqrt{a^2 + l^2}) \sin(\alpha/2) \cos(\varphi - \frac{\alpha}{2})$

下面列出当 $l = 30\text{mm}$ 、 $s = 0.5\text{mm}$ 和 1.0mm 、 $a = 5\text{mm}$ 和 10mm 时， s_2 和 s_3 的计算结果，见表 4-3。

表 4-3 对图 4-6b 和 c 所示杠杆传递误差计算值

s/mm	a/mm	α	$\varphi - \frac{\alpha}{2}$	s_2/mm	$(s_2 - s)/s$	s_3/mm	$(s_3 - s)/s$
0.5	5	0°59'20"	8°30'26"	0.5004	0.1%	0.501	0.8%
	10	0°57'27"	17°28'39"	0.5013	0.3%	0.503	0.6%
1.0	5	1°54'55"	7°22'51"	1.003	0.3%	1.006	0.6%
	10	1°55'15"	16°30'51"	1.006	0.6%	1.013	1.3%

由上表可知，当 a 和 s 较小时，传递相对误差较小，在 a 和 s 较大的情况下（ $s = 1.0\text{mm}$ 和 $a = 10\text{mm}$ ），其相对误差最大为 1.3%，而且这种传递误差是系统误差。所以，在设计传递杠杆时应尽量附合图 4-5 所示的各种形式，若结构不允许也可将杠杆做成特殊的形式，必要时并核算其相对误差。

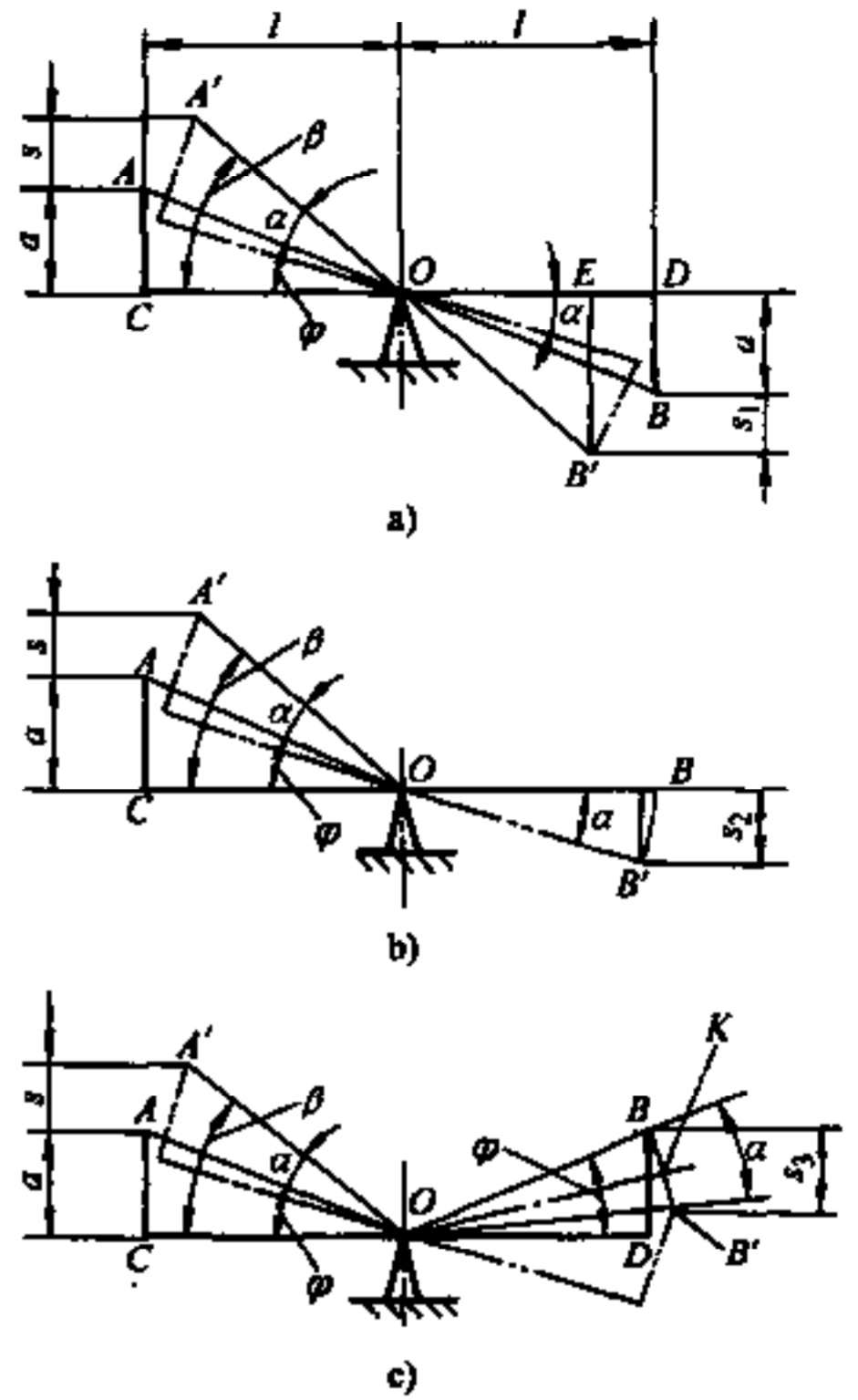


图 4-6 杠杆传递误差分析

由以上分析可知，杠杆的结构具有较大的灵活性，适应性强。应指出，上面的分析是把接触点作为一个理想的几何点，实际上杠杆是以球面（例如工件是平面时）或平面（例如工件是圆柱、球面或百分表触头是平面时）与工件和百分表触头接触的，即在测量过程中接触点的位置会随着杠杆的转动而发生变化，但触点位置的变化一般很小，对测量精度的影响不大，具体分析见 4.4 节。

杠杆传递装置的结构可有以下几种。

4.2.1 销轴安装在检具固定本体中

这是常用的方法，适合于一般精度的测量。杠杆装在销轴上有两种方法：通常销轴 1 与本体 2 的孔为过盈配合，而杠杆 3 的孔在销轴上转动（图 4-7a，图中配合间隙放大绘出）；也

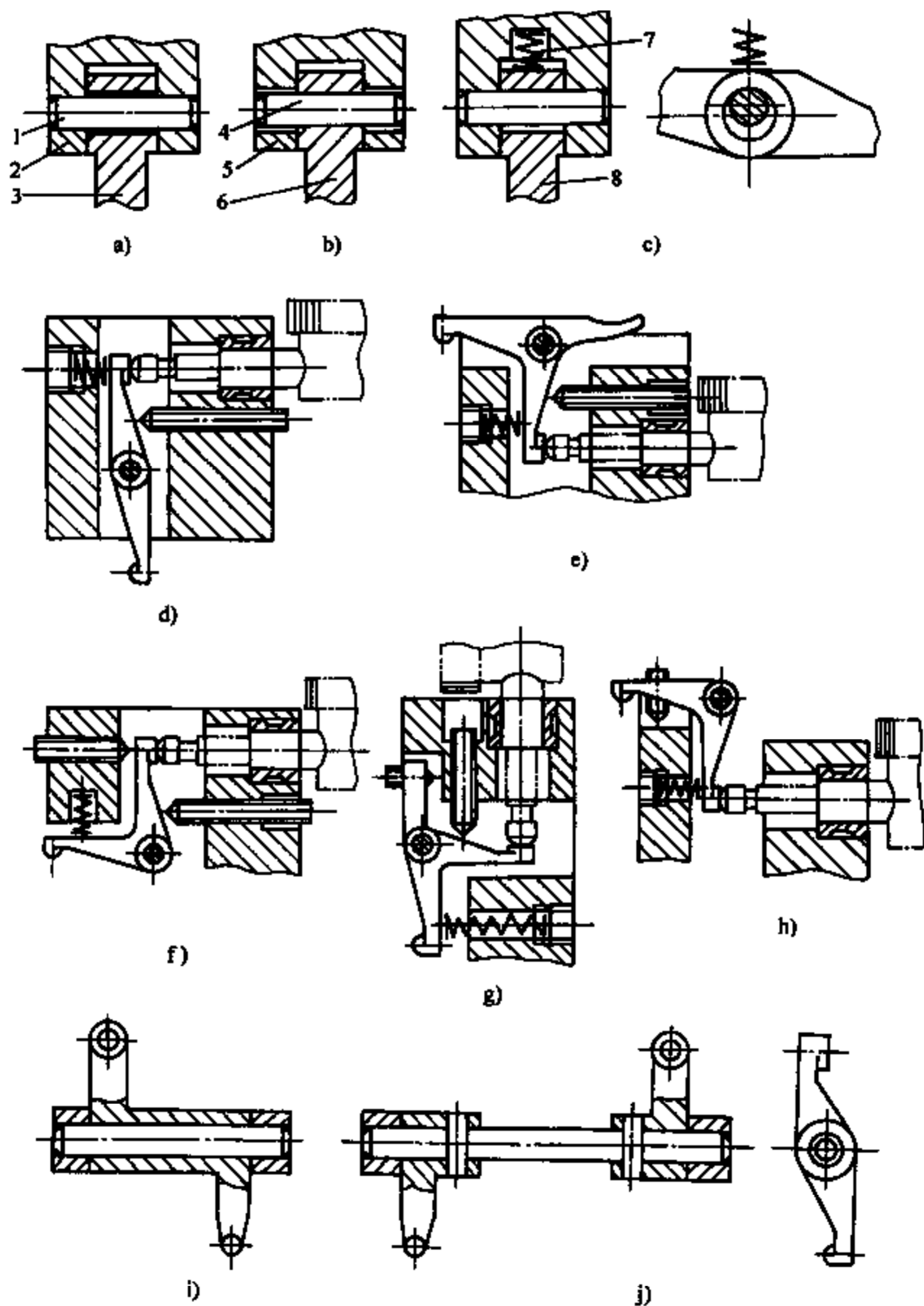


图 4-7 杠杆销轴的安装形式和杠杆传递装置

1、4—销轴 2、5—本体 3、6、8—杠杆 7—弹簧

可以是销轴 4 与杠杆 6 的孔为过盈配合，而销轴在本体 5 的两孔中转动（图 4-7b）。转动部分的销轴和孔表面应有一定硬度，以保持精度。这种结构的缺点是转动部分必须有一定间隙，为保证较高的精度，销轴与孔的间隙应为 $3\sim 5\mu\text{m}$ ，通过配研达到。

为消除杠杆孔与销轴之间的间隙对测量精度的影响，可在适当位置用弹簧 1 使杠杆 8 在弹簧力的作用下保持与销轴单边接触，使杠杆的位置保持稳定（见图 4-7c）。

销轴安装在固定本体上的杠杆传递装置包括有：杠杆、百分表紧固套及其紧定螺钉、保证杠杆以一定测量力与被测表面接触的弹簧和一个或两个限位螺钉（图 4-7d~h）。选择弹簧力时应注意，有时弹簧力的作用方向与百分表测量力方向一致（如图 4-7f），都使杠杆紧贴工件被测表面；有时则相反（图 4-7d、e、g 和 h），即弹簧的作用力被百分表测量力抵消一部分。弹簧可用压缩弹簧或拉伸弹簧，采用压缩弹簧的优点是易于调整弹簧力，装卸也比较方便。为避免弹簧侧向移动，应使弹簧定位良好，以免弹簧干扰杠杆活动的灵活性，导致影响测量精度。

调整限位螺钉使杠杆在弹簧作用下的行程适当，不使百分表压缩过多，保护百分表不会受到冲击。限位螺钉一般布置在本体上，也可布置在杠杆上（图 4-7h）或杠杆的辅助臂上（图 4-7g）。可采用一个限位螺钉，这时只限制杠杆一个方向的转动；也可采用两个限位螺钉（图 4-7f），限制杠杆两个方向的转动。

有时为了便于安装工件，在杠杆上做出辅助臂（图 4-7e），当用手按下辅助臂时，杠杆与工件表面接触的触头抬起。

在有些情况下，由于结构限制，必须将杠杆的一个臂相对另一个臂在轴向错开，即两臂不在同一平面上。当两臂轴向距离较小时，两个臂可作为单独的零件安装在轴上，可做成一体（图 4-7i）；当两臂轴向距离较大时，可做成装配式的（图 4-7j）。

有时由于结构关系，不能将杠杆设计成前述通常采用的简单形状，而需要将杠杆设计成特殊形状，其传动比只与两触点到转轴中心距离之比有关，而与其中间过渡形状无关。设计时，为绕开障碍物，形状根据具体情况选择，这时应考虑工艺性且不能使杠杆过重，因为质量大则惯量增大，会降低灵敏度，这也是对各种杠杆设计的要求。图 4-8a 是特殊形状杠杆的一个实例，只要尺寸 $A=B$ ，即可保证传递比为 1:1。

当由于检具结构或工件的形状，只采用一个杠杆不能解决传递问题时，则需要采用具有中间传递元件的多级传递。图 4-8b 是工件与杠杆之间增加传递销；图 4-8c 是在百分表与杠杆之间增加传递销；根据需要也可在工件和百分表与杠杆之间都增加传递元件（图中未示）。

多级传递虽然在结构上并不很复杂，但增加了制造难度，而且会使传递误差增大，所以中间传递级数不应过多。

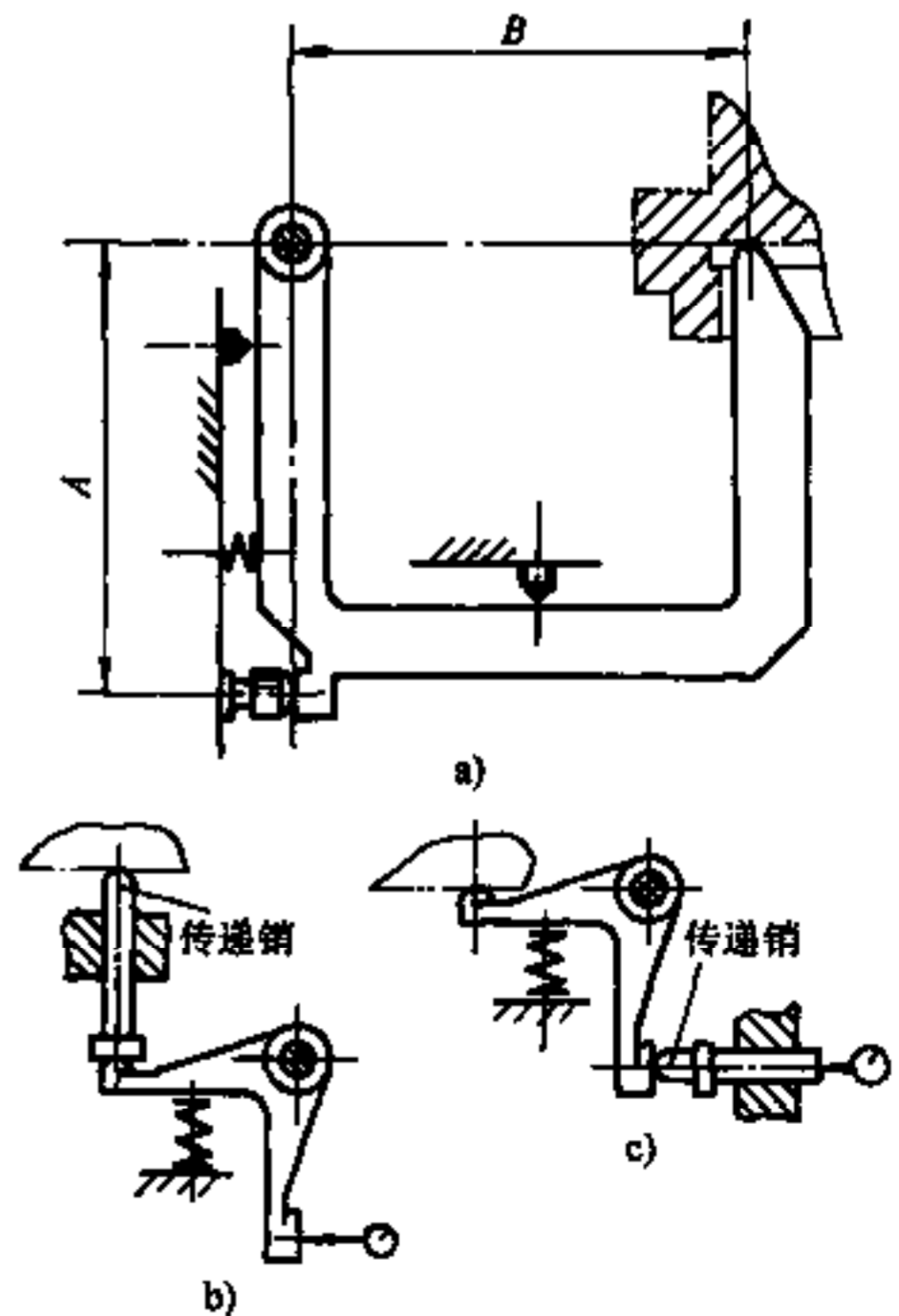


图 4-8 复杂形状的传递杠杆

图 4-9a 所示为一种可通过卡箍 1 夹住直径 d 装在专用或通用支架 2 上的通用杠杆传递装置 3, 杠杆可做成直角形 (A 型) 或直线形 (B 型)。图 4-9b 为具有放大比 (图示为 2:1, 也可为 3:1) 的杠杆传递装置, 该装置作为一个组件用螺钉固定在检具上 (图中尺寸 a 推荐为 18mm)。

4.2.2 销轴安装在两顶尖上

若测量精度较高, 可采用销轴装在两顶尖上的结构, 如图 4-10 所示。杠杆与销轴连为一体在两顶尖上转动, 通过调整可使销轴与顶尖的间隙接近于零, 同时转动灵活, 灵敏度高, 磨损后可调整, 使用期限长。

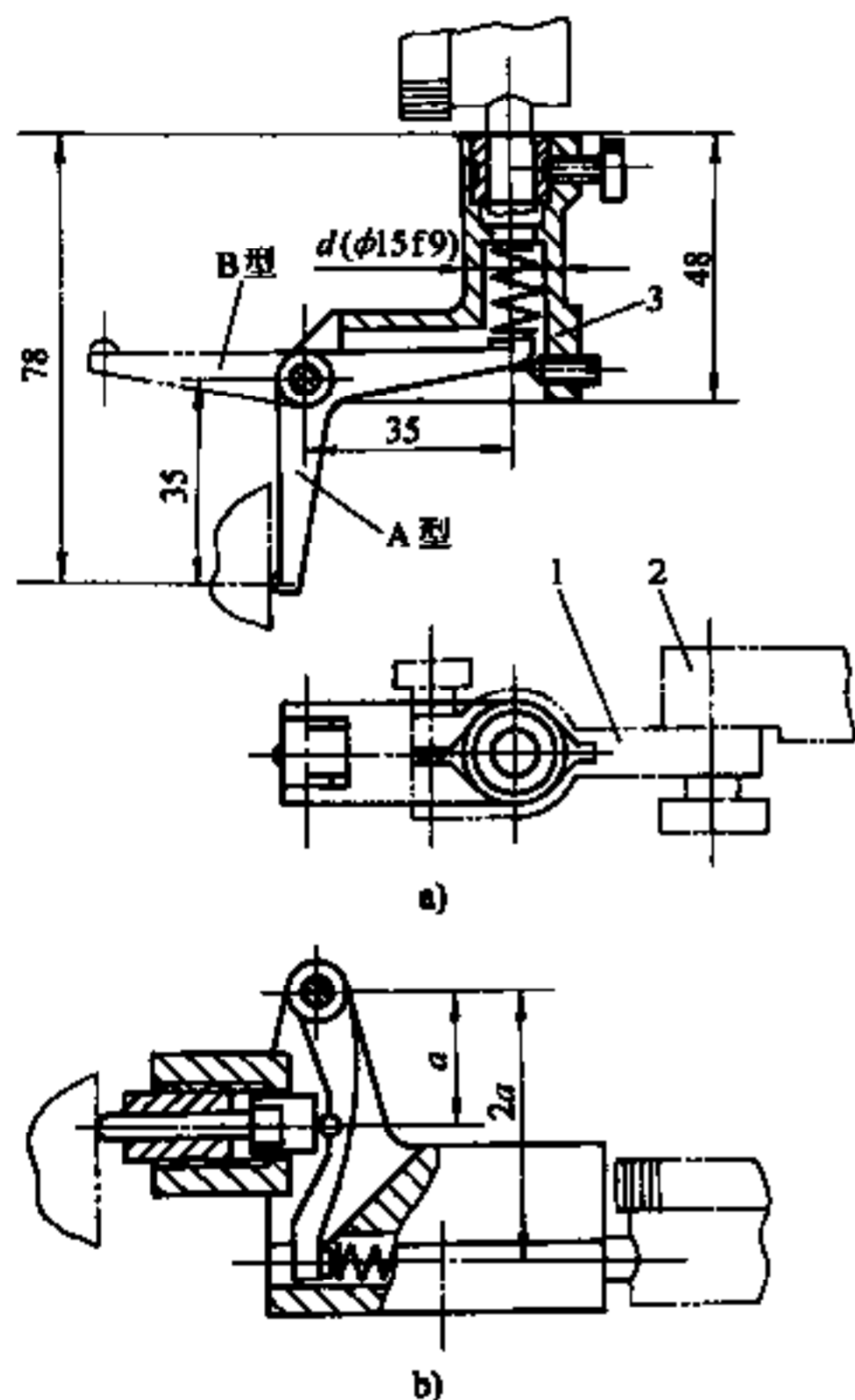


图 4-9 通用杠杆传递装置
1—卡箍 2—支架 3—杠杆传递装置

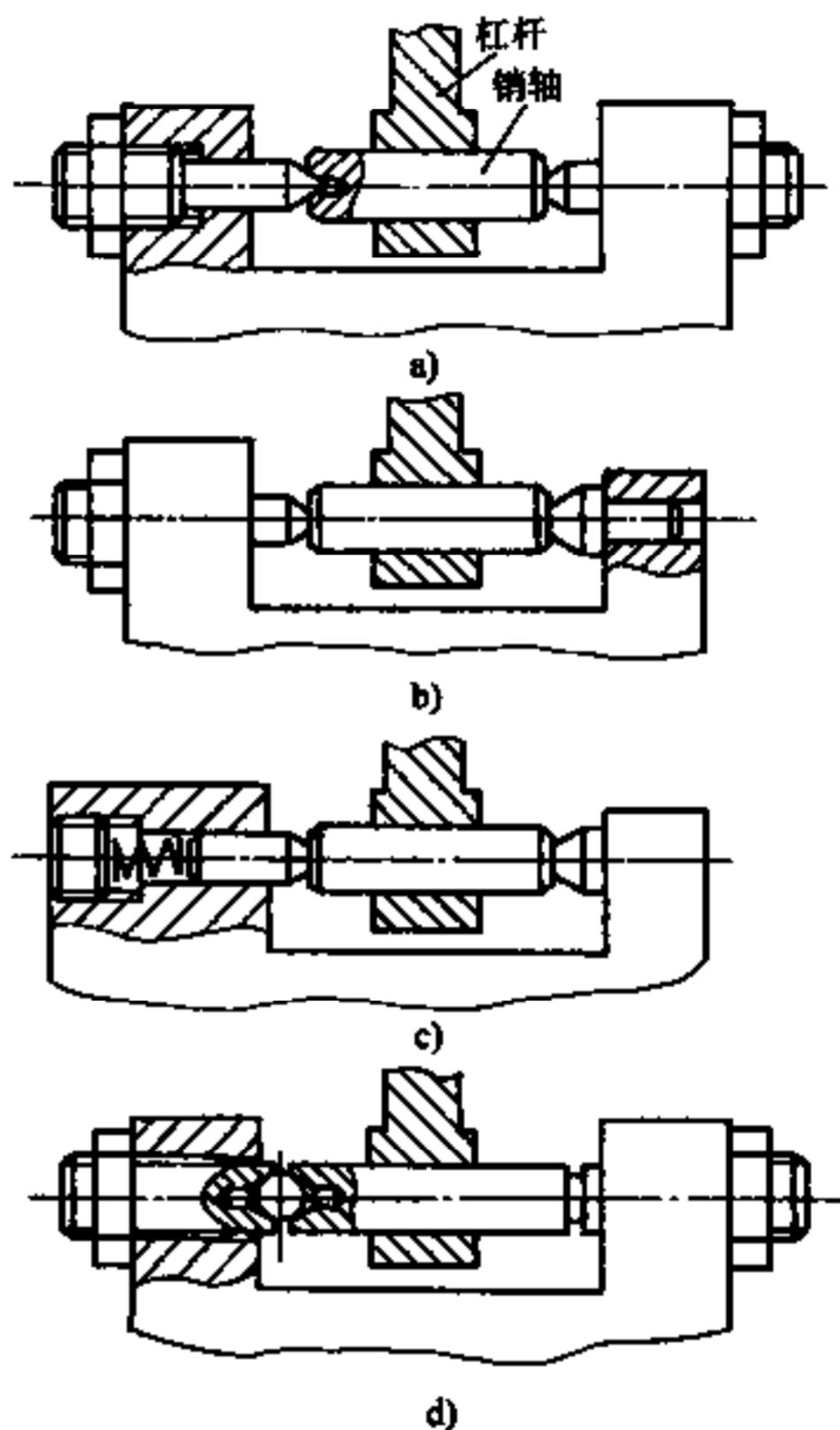


图 4-10 销轴装在两顶尖上的杠杆传递装置

顶尖和中心孔表面的表面粗糙度应低, 并且硬度高, 顶尖的硬度比中心孔略高, 以保证顶尖在使用中有良好的贴合性, 减少在顶尖锥孔上出现磨损的可能性。销轴中心孔与顶尖表面配合质量应良好, 两顶尖应同轴, 螺纹应为细牙螺纹。顶尖在检具上除了有螺纹部分与本体连接外, 还必须有圆柱部分与本体孔精密配合。

图 4-10a 是两个可调顶尖, 图 4-10b 是一个固定顶尖和一个可调顶尖, 图 4-10c 是一个固定顶尖和一个弹簧顶尖, 图 4-10d 是杠杆在两滚珠上转动 (这时定位螺杆可不需要圆柱导向, 这种结构灵敏度高, 但磨损较快)。当安装工件对杠杆有冲击时, 不适合采用销轴装在两顶尖上的结构。

4.2.3 销轴安装在 V 形槽上

另一种消除杠杆传递转动间隙的方法是将销轴装在 V 形槽上, 当销轴固定在杠杆上时,

靠弹簧力用压板（图 4-11a）或直接用两弹簧片（图 4-11b）使销轴紧靠在 V 形槽面上；当销轴固定在本体上时，可采用图 4-11c 所示的结构，用弹簧使杠杆上的 V 形紧靠在轴上。

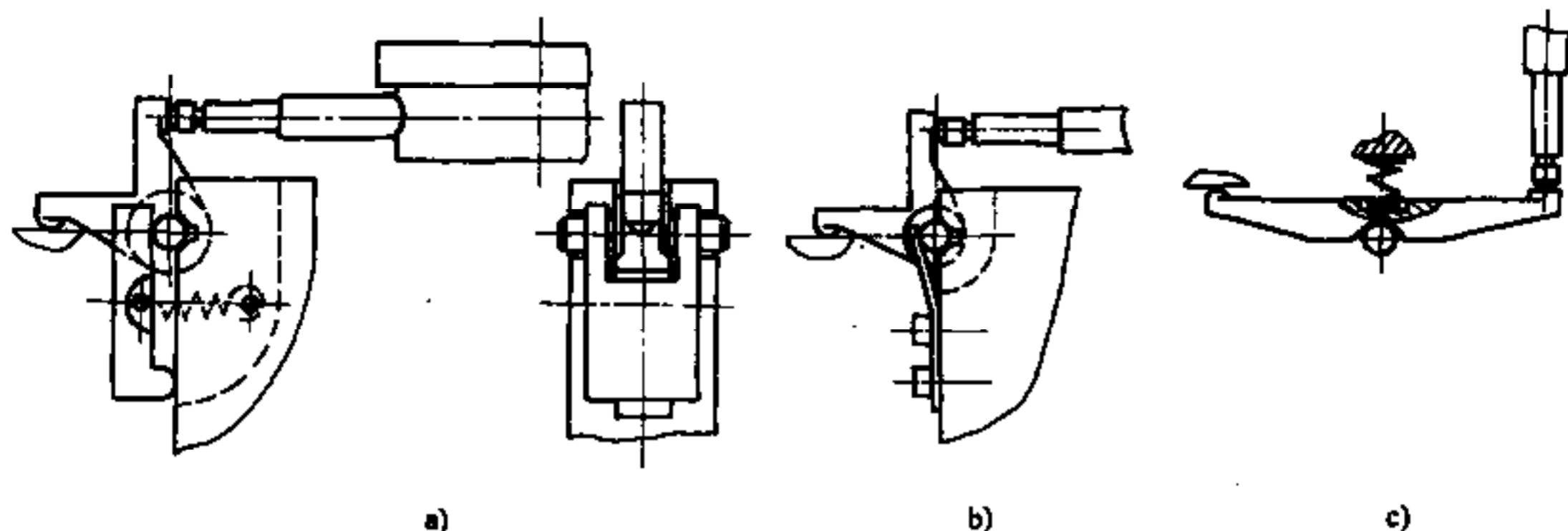


图 4-11 销轴装在 V 形上的杠杆传递装置

4.2.4 销轴安装在轴承上

为消除销轴与杠杆孔之间的间隙，在杠杆外形尺寸允许条件下，可将销轴装在精度高、游隙小的滚珠轴承上，轴承与本体孔和杠杆孔均为无间隙配合。也可采用图 4-12 所示的结构，在本体 1 的孔上开有通槽，用螺钉 2 夹住轴承 3 的外圆，这样可通过夹紧力的大小适当调节游隙。销轴装在轴承上，可使杠杆具有高的灵敏度。

4.2.5 杠杆安装在片簧上

利用片簧的弹性变形可传递精密位移，根据该原理可设计各种在片簧上摆动的杠杆结构作为检具测量的传递装置。这种传递装置的优点是杠杆与片簧之间不存在有间隙和磨损的问题，精度稳定性高；其缺点是只适合于测量范围较小的情况（一般在 0.15mm 内）。

将杠杆或其他传动件安装在一个片簧上，结构比较紧凑，在电接触传感器中就采用这种结构。其优点是灵敏度高，其缺点是杠杆转动轴线具有不确定性，片簧悬伸长度越大，不确定性也越大。另外，这种结构在受到侧向力时，铰链会产生扭曲。因此，在检具中一般不采用一个片簧的结构。下面介绍在检具中常用的片簧传递装置。

1. 平行片簧直线传递装置 图 4-13 是具有两平行片簧的直线传递装置，图 4-13a 用于测量外表面，图 4-13b 用于测量内表面。为保证测量触头与被测表面接触，图 4-13b 必须有弹簧，以使活动块触头可靠地与工件被测表面接触；而图 4-13a 可有弹簧，也可没有弹簧。

当上面活动块 2 相对固定块 1 纵向移动距离为 Δ_x 时，片簧 5 绕在固定块 1 紧固部位产生小的弯曲（见图 4-13c），使活动块不仅有纵向移动 Δ_x ，而且在垂直方向也移动了 Δ_y 。但当 Δ_x 很小时， Δ_y 更小（ $\Delta_y = L - \sqrt{L^2 - \Delta_x^2}$ ），完全可忽略，所以可把活动块 2 的运动看成是直线的。为提高传递精度和保持正确的平行四边形，用两夹板 4 将片簧夹住。在片簧每个固定端，为使片簧横向有足够的刚性，防止片簧绕固定螺钉转动，片簧 7、9 应固定在限位槽内（见图 4-13d 和 e），片簧宽度与槽宽应有一定配合（例如 H8/h8），并用压板 6、8 压住。

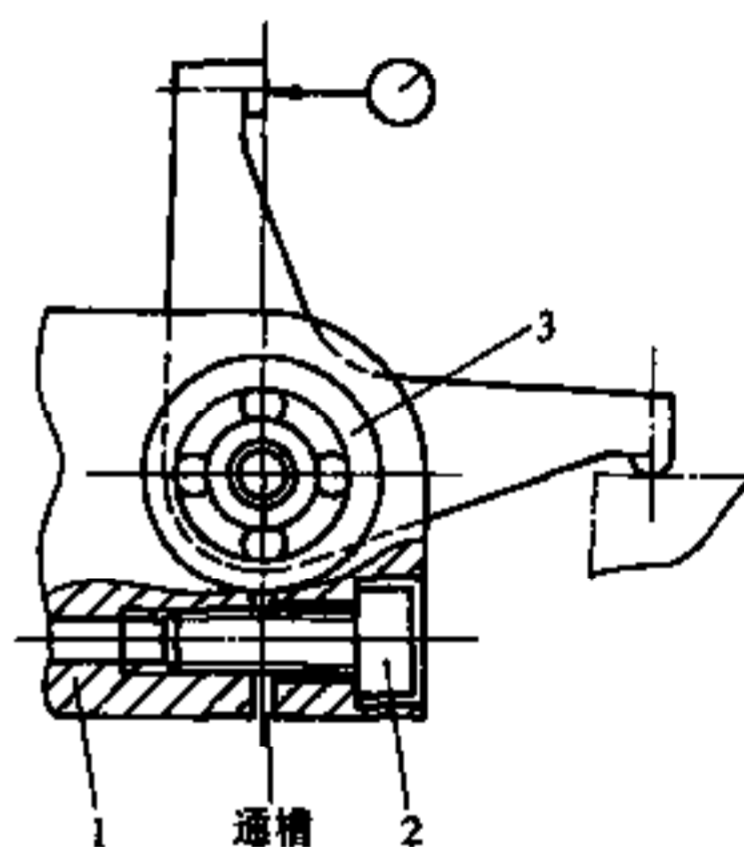


图 4-12 销轴装在滚珠轴承上的杠杆传递装置

1—本体 2—螺钉 3—轴承

图 4-14 是具有 4 个平行片簧 3 的直线传递装置，并给出推荐尺寸，这种结构的横向刚度较大，但外形也较大。直角形座 2 紧固在检具本体 1 上，片簧 3 的两端用螺钉和压板分别固定在直角形座 2 和移动块 5 上。在移动块 5 上有悬伸的杆 6 与百分表接触；在可滑动块 4 上的触头 7 与被测工件的表面接触，触头的位置在 0~5mm 范围内可调。直角形座 2 的紧固臂可朝外（如图中实线所示），也可以朝内（如图中双点划线所示）。

可用模拟试验或类比方法确定片簧的厚度，也可采用计算法或计算与模拟法相结合。平行片簧传递装置是一种常用的传递装置，片簧的位移按下述方法计算。

由材料力学可知，对图 4-15b 所示的单个片簧悬伸梁，在 $AB=l$ 处的弹性变形 λ_B 为

$$\lambda_B = \frac{4l^3}{Ebh^3} F$$

式中 F ——作用力；
 E ——拉压弹性模量；
 b, h 和 l ——片簧的宽度、厚度和长度。

所以，对于图 4-15a 所示具有 2 个平行片簧的传递装置，在力 F 的作用下移动块所产生的位移量 λ 为

$$\lambda = \frac{4l^3}{Eb(2h)^3} = \frac{Fl^3}{2Ebh^3}$$

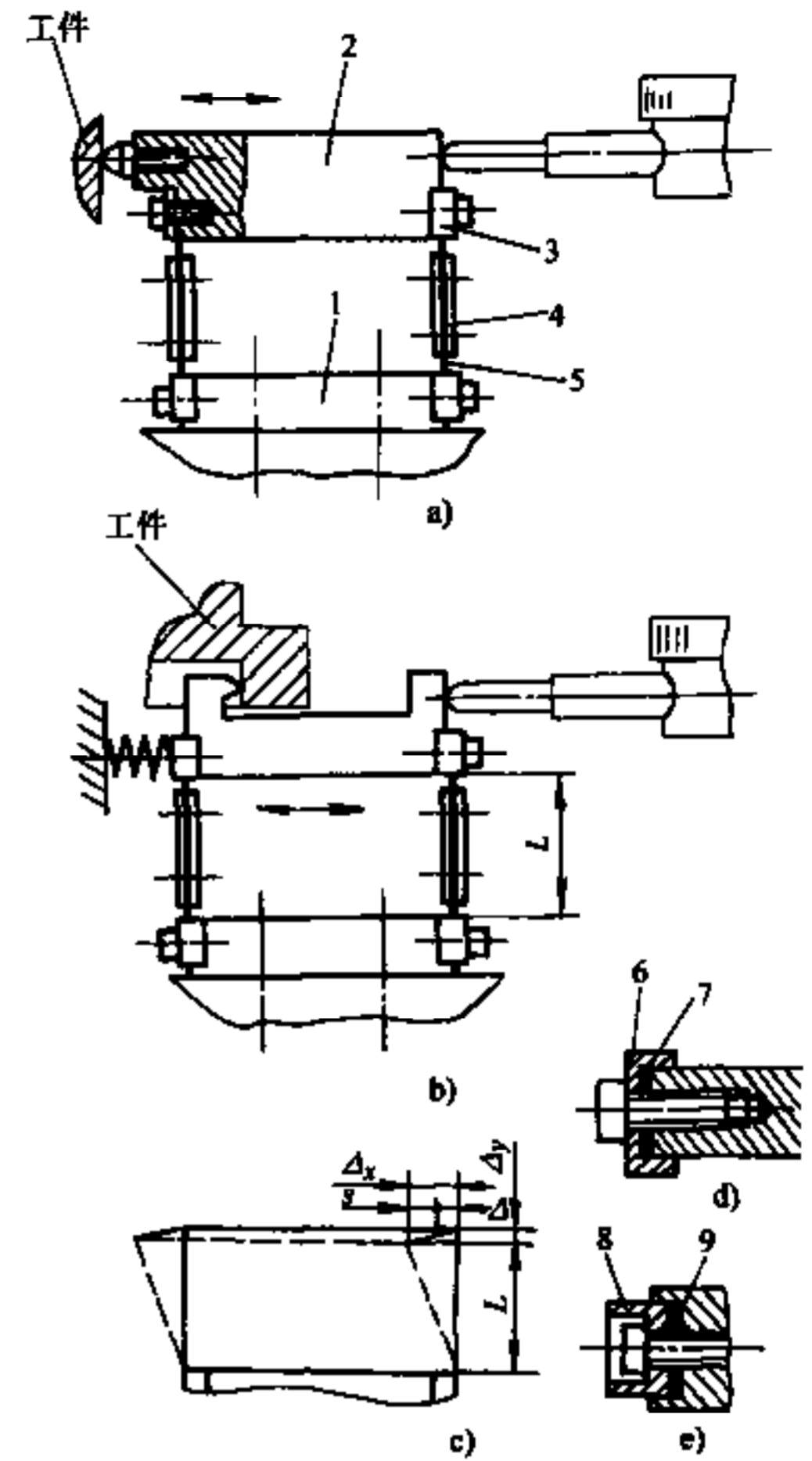


图 4-13 具有两平行片簧的直线传递装置
 1—固定块 2—活动块 3、6、8—压板
 4—夹板 5、7、9—片簧

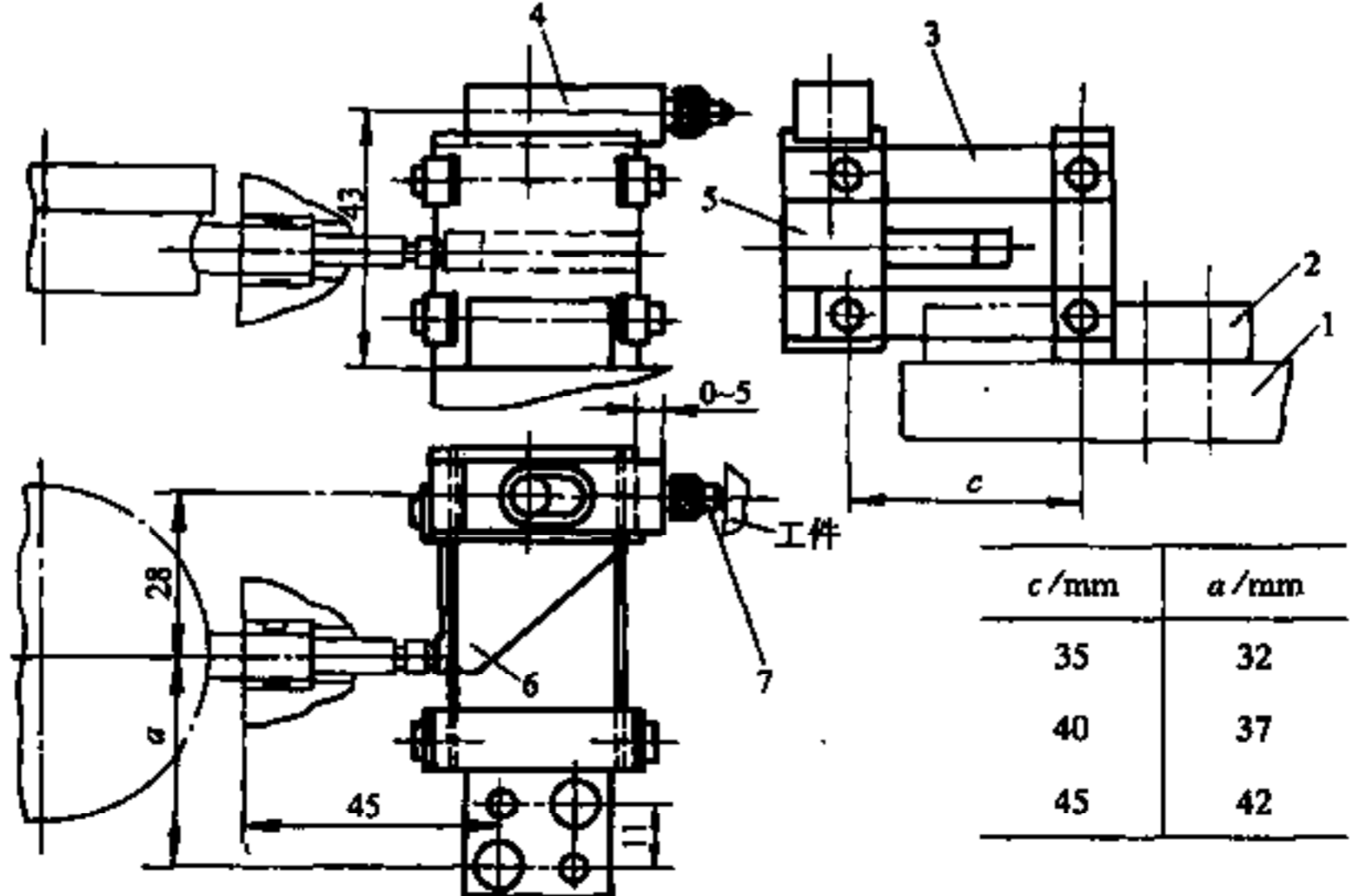


图 4-14 具有四个平行片簧的直线传递装置
 1—本体 2—直角形座 3—片簧 4—滑动块 5—移动块 6—杆 7—触头

对于图 4-14 具有 4 个平行片簧的传动装置

$$\lambda = \frac{4l^3}{E(2b)(2h)^3} = \frac{Fl^3}{4Ebh^3}$$

平行片簧在固定点产生的弯曲应力 σ_b 值为

$$\sigma_b = M/W$$

式中 M ——在固定点片簧承受的弯曲力矩 (Fl);

W ——抗弯截面系数, 对矩形片簧为 $bh^2/6$ 。

对于图 4-15a

$$\sigma_b = \frac{6Fl}{bh^2} \leq [\sigma_b]$$

对于图 4-14, 具有 4 个片簧的传递装置

$$\sigma_b = \frac{3Fl}{bh^3} \leq [\sigma_b]$$

$$[\sigma_b] = \sigma_B/n$$

式中 $[\sigma_b]$ ——材料的许用应力;

σ_B ——材料的强度极限;

n ——安全系数, 对静载荷取 $n=2\sim 2.5$, 对变载荷取 $n=3\sim 4$ (一般检具可取 $n=2\sim 3$)。

由上述关系, 可根据力 F (测量力)、位移 λ (应等于或大于被测尺寸公差 Δ 与预压量 s 之和, 见图 4-13b) 和片簧长度 l 计算出片簧的尺寸 b 和 h , 然后再校核许用应力。但通常可根据结构需要先确定片簧的尺寸 b 、 h 、 l 和位移值 λ , 只校核测量力 F 的大小, 如力不合适, 适当变动片簧的尺寸, 直到力 F 合适为止。因为测量力一般不超过 10N, 所以许用应力对于检具用的片簧不是主要问题。但考虑可能出现的冲击, 也应尽可能提高刚性, 在满足测量要求的情况下应选择 l 较小和 h 较大的结构方案。

2. 十字形片簧直角传递装置 十字形片簧传递装置, 一般不采用两个片簧, 因为其刚性小, 易产生扭曲。图 4-16 是具有按十字形布置片簧的直角传递装置的示意图, 将 3 个片簧 (图 4-16a) 或 4 个片簧 (图 4-16b) 交错布置成十字形, 并使片簧 2 的两端分别按图示安装: 一端固定在本体 1 上, 另一端固定在直角形传动杠杆 3 上。具有 4 个片簧的传递装置, 其横向刚性比具有 3 个片簧的大, 适用于杠杆臂较长和有较大侧向力的情况。

对于十字形片簧的结构, 杠杆 3 的回转轴线可认为就是片簧的交叉线 $O-O$, 当交叉线 $O-O$ 的位置就在固定端时 (图 4-16a 和 b), 在工作时回转轴线是固定不变的。但当交叉线 $O-O$ 距固定端有一定距离时 (图 4-16c), 则当杠杆回转时回转轴线的偏移随悬伸距离 l 和 l/L 比值的增大而增大, 所以应尽量减小 l 和增大 L 。由于用片簧的测量范围不大, 所以回转轴线的偏移量也不大, 通常不影响测量精度。

3. 两片簧成一夹角的传递装置 图 4-17 是两片簧按一夹角布置的传递装置, 该夹角的大小视具体结构而定。该装置的固定块 8 紧固在检具本体上, 两片簧 1 的一端分别用螺钉 6 和压板 7 (其上有与片簧宽度相同的槽) 紧固在固定块 8 上, 两片簧的另一端共用螺钉 3 和压块 4 压紧在杠杆 5 上。

这种结构的优点是宽度小、结构紧凑, 适合用于当采用其他结构形式位置不够的情况。

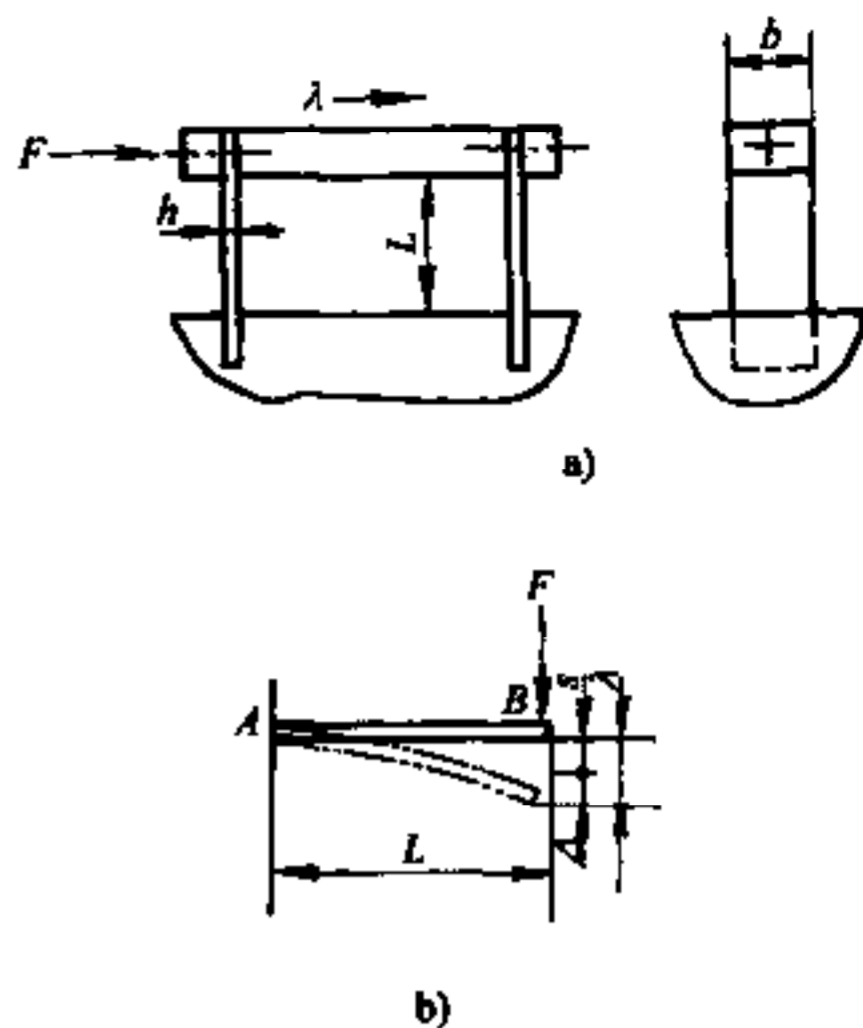


图 4-15 平行片簧的计算

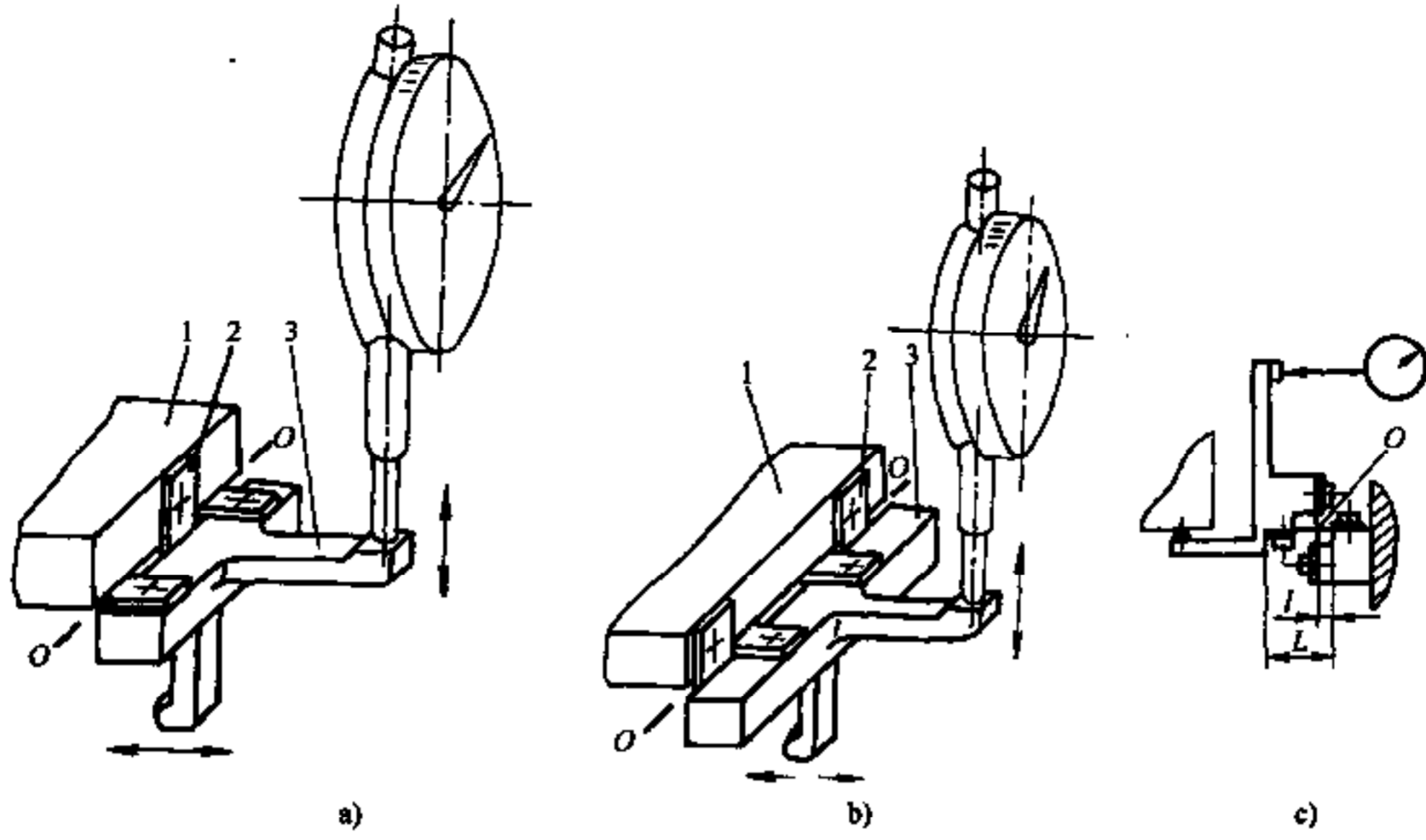


图 4-16 十字形片簧直角传递装置
1—本体 2—片簧 3—杠杆

其缺点是由于回转轴 O 远离固定端，在杠杆回转时两片簧变形不同，所以回转轴 O 的位置有一定不确定性，只允许用于更小的测量范围（推荐 0.05mm ），因为测量时杠杆只适合于摆动很小的角度。使用这种装置时，要求触头 2 的预压量不能过大（在 $0.05 \sim 0.10\text{mm}$ 内），以免工件送进时杠杆承受较大的横向力，因为较大的横向力对这种结构不利。

片簧的材料见表 4-4。

片簧在工作时，其实际特性曲线与理论特性曲线不完全一致，这是由于存在弹性误差，而产生弹性误差的主要原因是材料的弹性滞后（加上

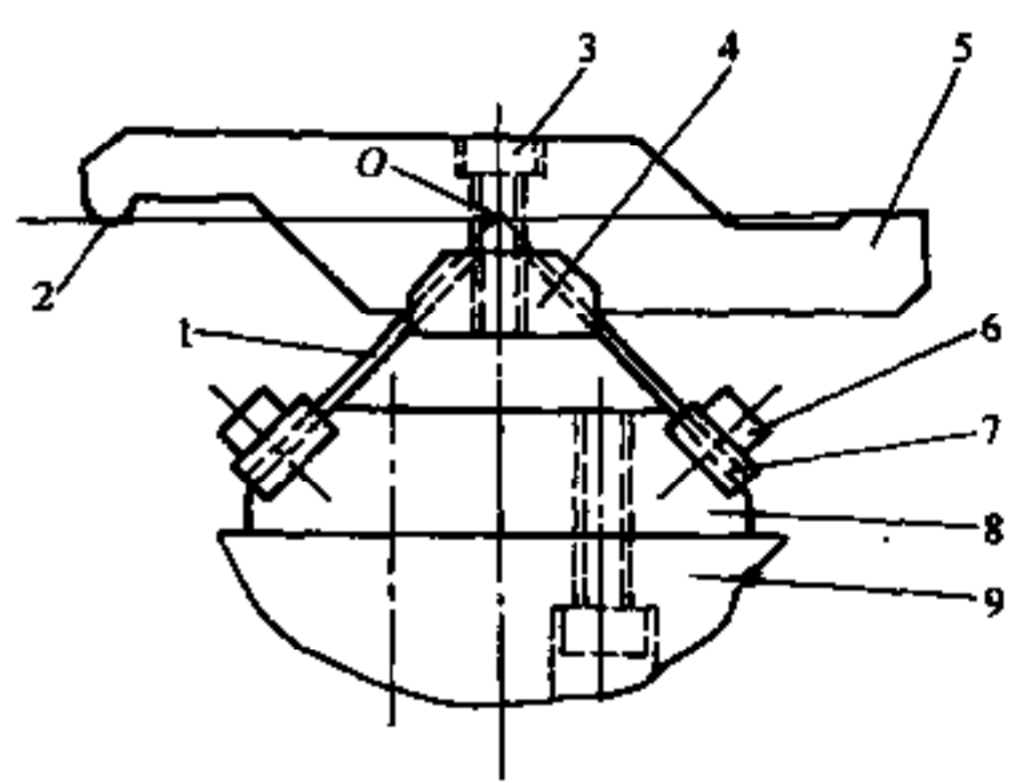


图 4-17 两片簧成一夹角的传递装置
1—片簧 2—触头 3、6—螺钉 4—压块 5—杠杆 7—压板 8—固定块 9—本体

表 4-4 片簧的材料^[5]

材料名称及代号	强度极限/MPa	抗压弹性模量/MPa	伸长率 (%)
碳素工具钢 T7A、T8A、T8MnA、 T9A、T10、T11、T12、 T13、T10A (GB/T1298—1986)	I 级 1274~1568 II 级 1578~1863 III 级 >1863	20×10^4	1
锡青铜 QSn4-3 (GB/T5233-1985)	硬 540~686	12.4×10^4	3
铝青铜 QA17 (GB/T5233-1985)	硬 637	12×10^4	5

(续)

材料名称及代号	强度极限/MPa	抗压弹性模量/MPa	伸长率 (%)
铍青铜 QBe2 (GB/T5233-1985)	软 (淬火的) 390~590 硬 (淬火后冷轧) 637 (淬火后时效) 1128 (冷轧后时效) 1177	13×10^4	3 ($\leq 130\text{HV}$) 2.5 ($\leq 170\text{HV}$) 2 ($\leq 320\text{HV}$) 1.5 ($\leq 360\text{HV}$)
白铜 B19 (GB/T5234-1985)	硬 392 特硬 550	14×10^4	3
锌白铜 BZn15-20 (GB/T5234-1985)	硬 540~686 特硬 637	12.6×10^4	1.5 1
黄铜 H62 (GB/T5232-1985)	硬 412 特硬 588	10×10^4	1.0 2.5

载荷和去掉载荷时的特性曲线不重合) 和弹性后效 (载荷改变后不立刻完成相应的变形, 而要经过一个瞬时才能完成), 所以应选择弹性滞后和后效小的材料制造片簧。最早在检具上曾采用过 65Mn 或碳素工具钢板 (带) 制造片簧, 效果不理想, 后来采用铍青铜效果较好, 推荐使用这种材料, 在表 4-4 中列出了铍青铜的 4 种工作状态。

温度对材料的弹性模量也有影响, 但通常在一般检具上可认为温度不变。铍青铜弹性模量的温度系数为 -3.1×10^{-4} , 而碳素工具钢为 -4×10^{-4} , 铍青铜也优于碳素工具钢。

在检具上常用片簧、压板和固定槽的尺寸如图 4-18 所示。

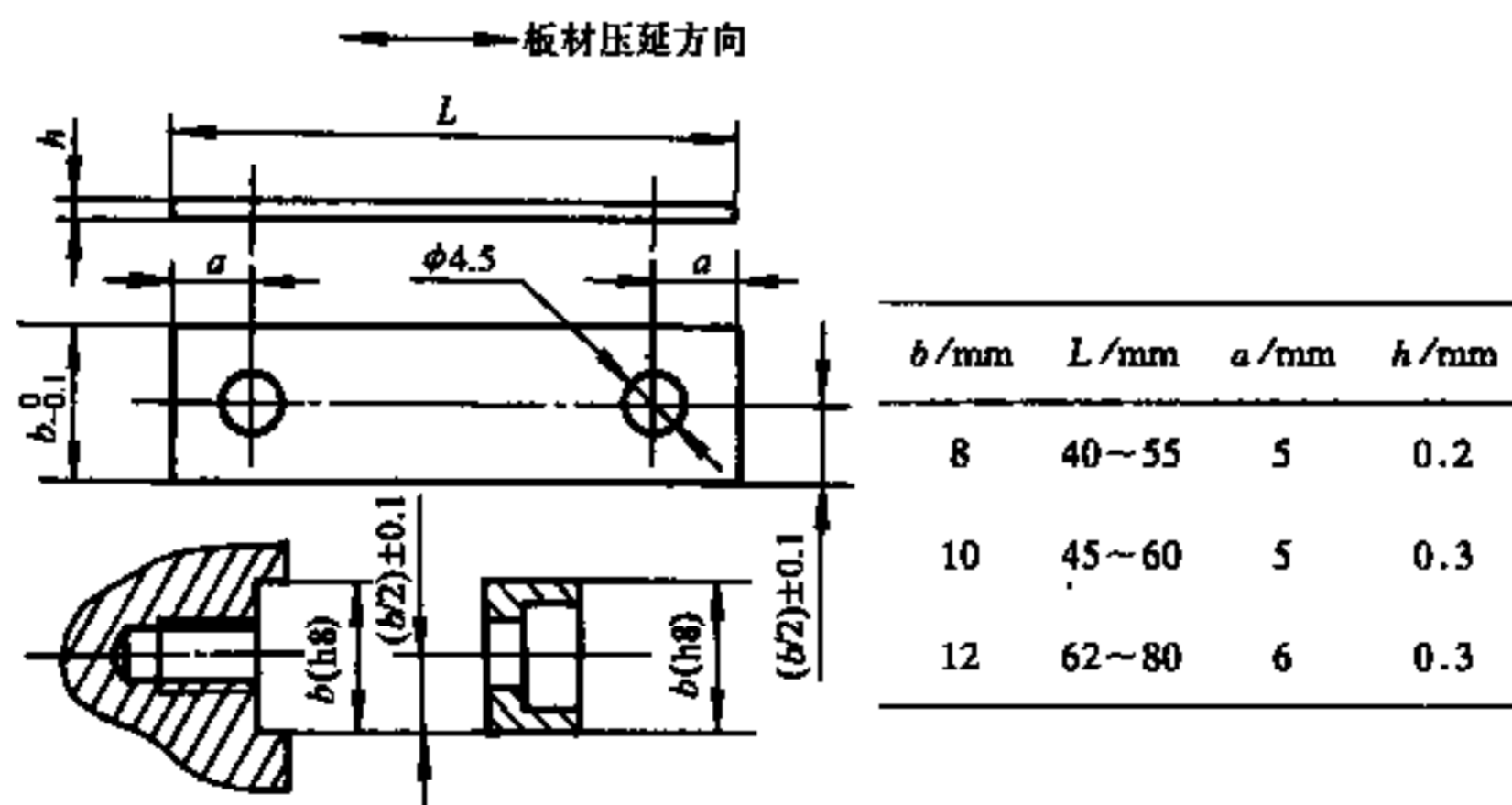


图 4-18 片簧的推荐尺寸

还应注意, 制造片簧时其材料的压延方向必须是顺着长度的方向 (如图 4-18 所示); 片簧及其固定用元件的边缘均应作成圆角以防应力集中。

4.2.6 弹性杠杆

图 4-19 是弹性杠杆的原理图, 图 4-19a 是工件以外圆定位, 利用弹性杠杆测量工件外圆的直径; 图 4-19b 是当工件以轴线定位时采用两点法和差法电感测量工件的外圆直径。弹性杠杆的上下位置可调, 采用弹性杠杆的优点是其刚度比杠杆装在片簧上高得多。

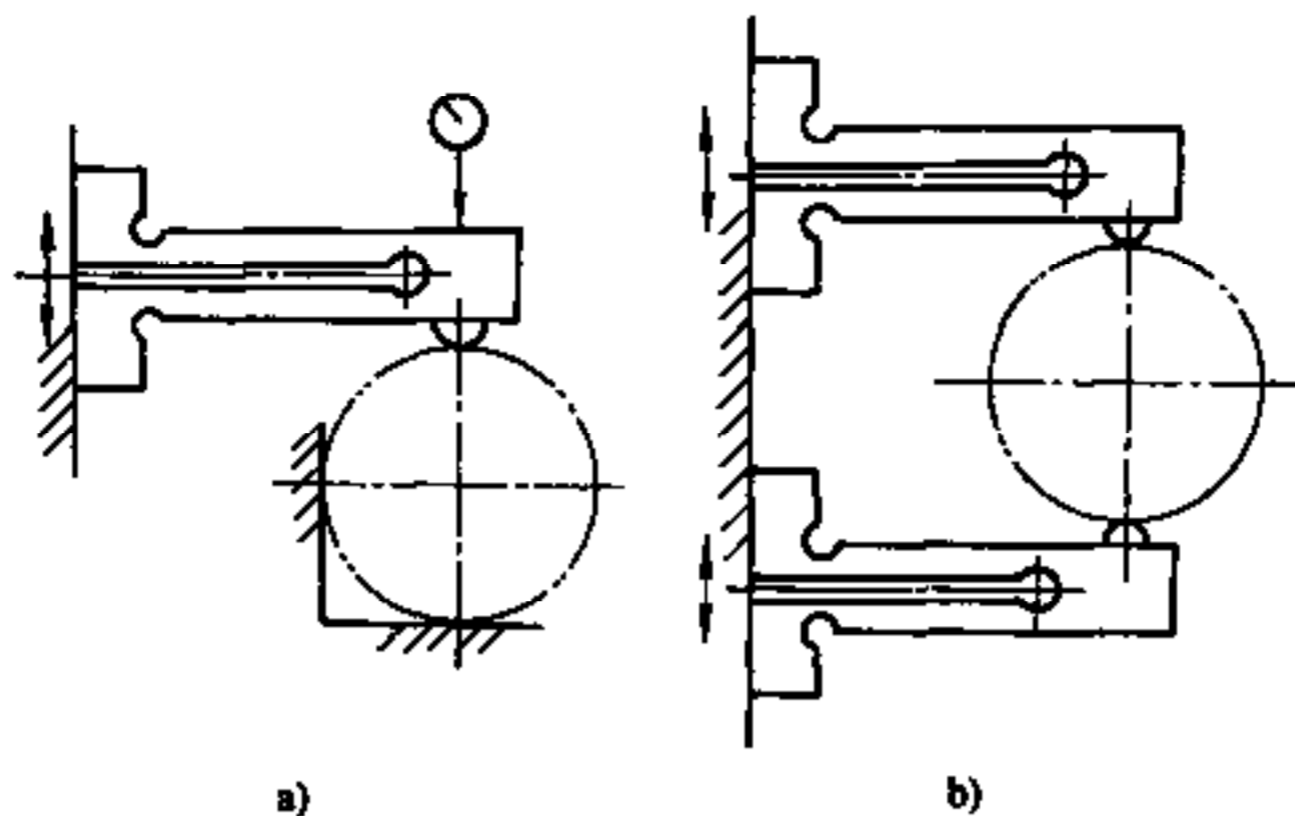


图 4-19 用弹性杠杆测量外径

4.3 双向杠杆传递装置

有时需要用一个测量部件检验工件方向相反的两个面（图 4-20a 为测量轴肩两端面的跳动），这时若用一般传递装置的测量部件先在位置 I 测量 A 面，若再用同一部件测量 B 面，则需要将部件放到对角的位置 II，或者使部件翻转 180°（即上、下面对调，这时还要求百分表的安装方向改变，以便观察）放到位置 III 才能测量。但在很多情况下，将测量部件从位置 I 放到位置 II 很不方便；而从位置 I 翻转 180° 到位置 III，要求测量部件上平面与底平面相对百分表测杆轴线对称，才能在翻转后测量另一面，这样操作也不方便，有时受到结构限制不能采取这种方法。

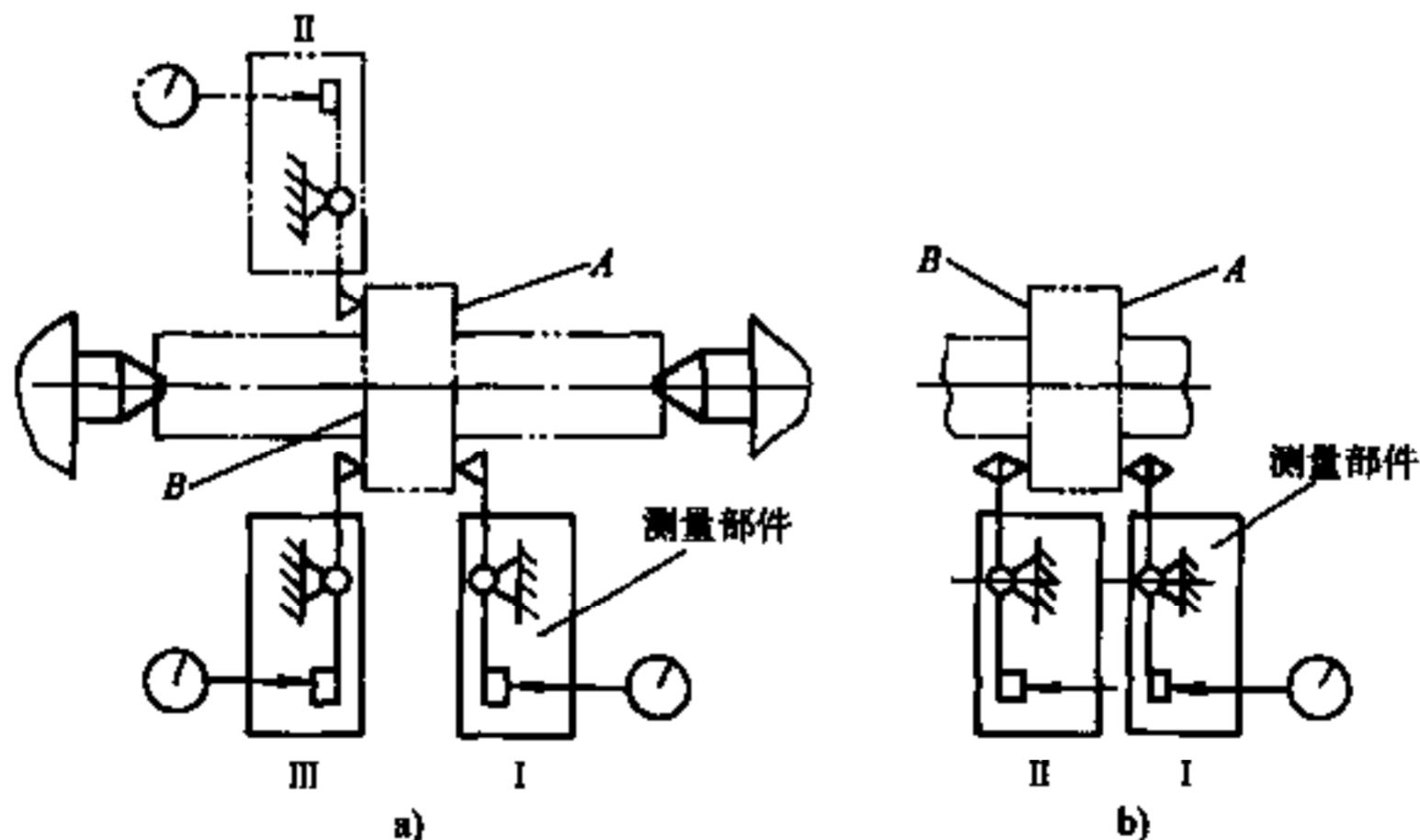


图 4-20 检验工件方向相反的两个面的情况

采用双向杠杆传递装置可解决上述问题，只要把具有双向传递杠杆的测量部件从位置 I 平移到位置 II，即可由测量 A 面转为测量 B 面（图 4-20b）。

图 4-21a 是一种双向杠杆传递装置，该装置是一个独立的部件，利用耳柄固定在检具上，采用其他形状也可用螺钉固定在检具上（杠杆传递部分也可直接布置在检具结构上）。该装置有两个测量杠杆 1 和 2，其尺寸关系如图 4-21a 所示。图中所示为杠杆 1 和 2 处于中间位置，触头相对中间位置可向上或向下移动。

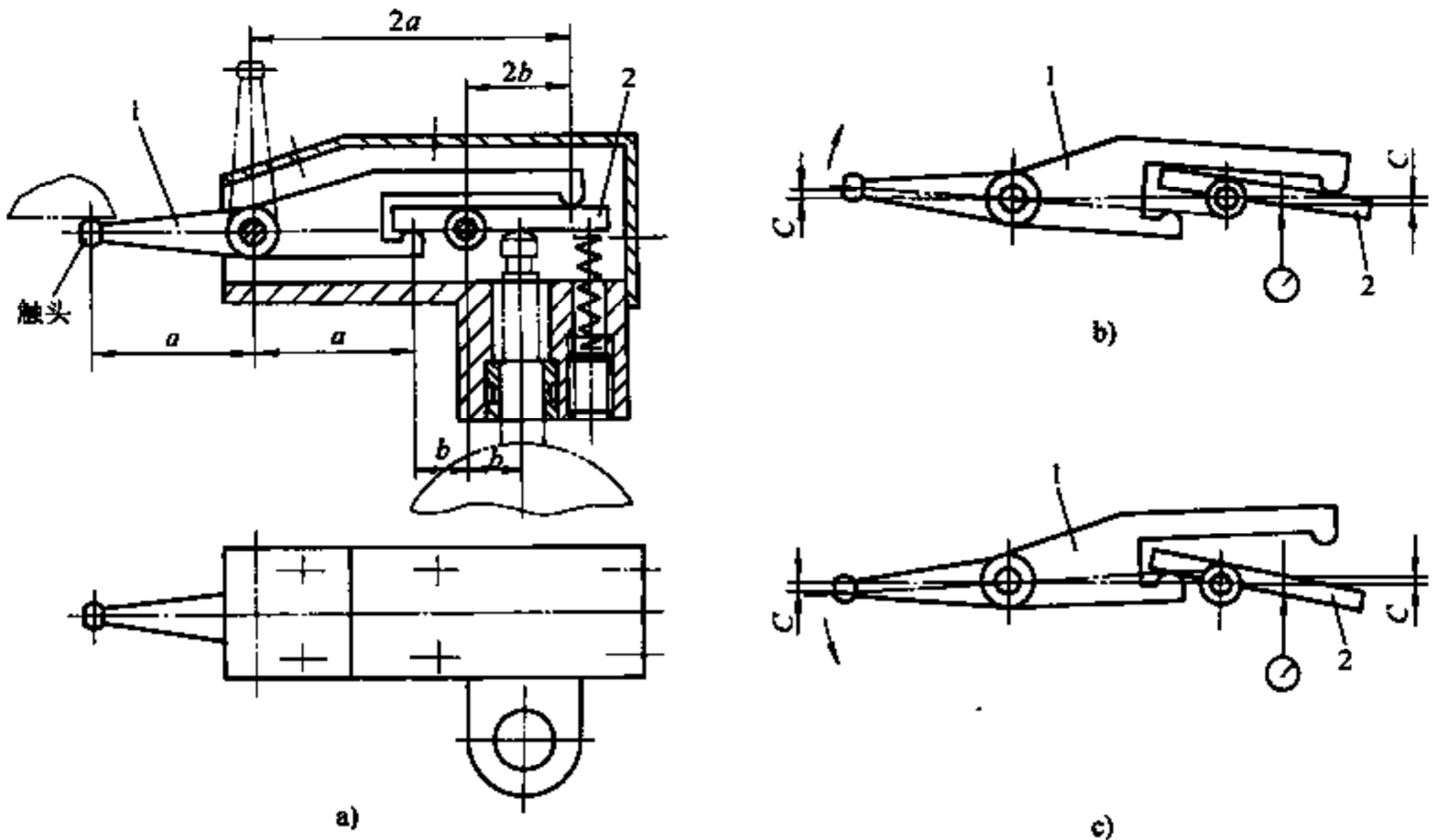


图 4-21 一种双向杠杆传递装置
1、2—杠杆

当测量时，若球形触头 M 相对中间位置向上（杠杆 1 顺时针转动）移动一段位移 C （图 4-21b），杠杆 1 又使杠杆 2 顺时针方向转动，从而使百分表触头向下移动，其值为

$$C \times \frac{2a}{a} \times \frac{b}{2b} = C$$

当测量时，若触头相对中间位置向下移动一段位移 C （图 4-21c），杠杆 1 也使杠杆 2 顺时针方向转动，百分表触头也向下移动，其值为

$$C \times \frac{a}{a} \times \frac{b}{b} = C$$

在图 4-21a 中，杠杆 1 触头也可布置在其他位置，例如图中双点线所示。

图 4-22 是另一种双向杠杆传递装置，可作为标准通用装置，用耳座上 $\phi 6.5\text{mm}$ 的孔固定在检具上或通用表架上。

轴 9 可在本体 5 两端孔中转动，杠杆 7 的孔套在轴 9 上，杠杆 7 的孔比轴 9 的直径大 1~2mm，弹簧 8

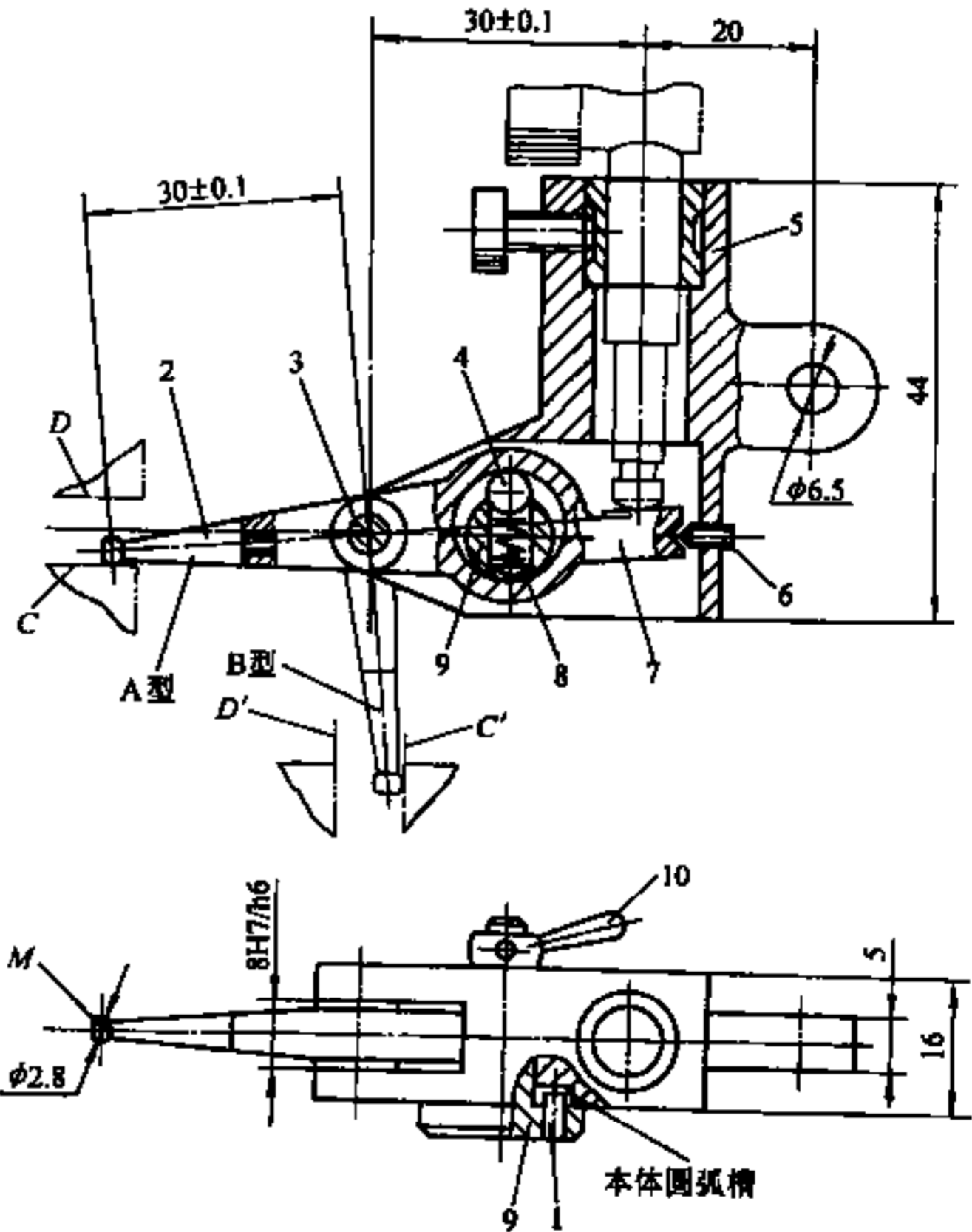


图 4-22 另一种双向杠杆传递装置
1—销 2—测杆 3—销轴 4—钢球 5—本体
6—螺钉 7—杠杆 8—弹簧 9—轴 10—手柄

装在轴 9 的小孔中使钢球 4 靠在杠杆 7 孔的上素线上 (如图示)。销轴 3 固定在本体 5 上, 杠杆 7 可在轴 3 上转动, 用螺钉 6 限制杠杆 7 的转动范围。测杆 2 用螺纹拧在杠杆 7 上。

杠杆 7 有两种形式: A 型 (直线的) 和 B 型 (直角的)。A 型杠杆借助弹簧 8 的力可使杠杆 7 的触头 M 靠向被测表面 C; B 型杠杆则可使触头 M 靠向被测表面 C'。当需要测量 D 面和 D' 面时, 用手柄 10 使轴 9 按图示位置转 180°, 即使钢球 4 靠在杠杆 7 孔的下素线上 (图中未示), 轴 9 转动时销 1 从本体圆弧槽的一端转到另一端, 这样就可使杠杆的触头在弹簧力的作用下靠向 D 面和 D' 面。

采用这种结构, 当 C 和 D 面实体都增大时, 百分表示值变化的方向相反, 所以使用时应注意, 但对于测量圆跳动则无关。

4.4 测量传递装置的误差

4.4.1 直线传递装置的误差

直线传递时, 测杆在导套中滑动, 一般测杆的直径为 4~5mm。当没有间隙 (或间隙很小时) 时, 测杆轴线的方向与导套孔的轴线方向一致 (图 4-23 中实线位置), 工件尺寸的变化准确传到百分表。当测杆在导套孔中有间隙 (一般不应超过 0.02mm) 时, 则测杆轴线产生的最大倾斜角

$$\beta = \arctan[(D_1 - D)/H]$$

这时测杆的轴线 O_1O_1 不通过被测工件的中心 O, 在测量过程中, 测杆的倾斜角可从零到 β 之间变化, 由此产生测量误差 Δ_1 , 由图 4-23 可知

$$\Delta_1 \approx AB - AO_1 = AO_1 \left(\frac{1}{\cos\beta} - 1 \right)$$

当 $D_1 - D = 0.02\text{mm}$, $H = 15\text{mm}$ 时,

$$\beta = \arctan(0.02/15) = 4', \cos\beta = 1.000$$

所以 $\Delta_1 = 0$

测量时若百分表触头的轴线相对测杆导套孔偏移 e , 则产生测量误差 $\Delta_2 = e \tan\beta$, 如果 $e = 0.5\text{mm}$, 则

$$\Delta_2 = 0.5 \times \frac{0.02}{15} \text{mm} = 0.0006\text{mm} (\text{很小, 一般可忽略})$$

这说明, 对于直线传递装置, 只要控制导套孔与测杆的配合间隙, 选择合适的导向长度, 在检具结构上保证百分表触头轴线与导套孔轴线和工件被测尺寸方向对准的情况下, 就能避免产生明显的测量误差。

4.4.2 杠杆传递装置的误差

1. 由于杠杆作用臂长制造误差而产生的测量误差 图 4-24 是一个杠杆传递装置的示意图, 图中粗实线为直线杠杆, 细实线表示直角杠杆。如果要求使工件被测量尺寸的变化按 1:1 准确地传递到百分表, 要求从百分表安装孔轴线到杠杆转轴轴线的距离 l_1 应等于杠杆与工件的接触点 B 到杠杆转轴的距离 l_2 , l_1 和 l_2 称为杠杆的作用臂长。

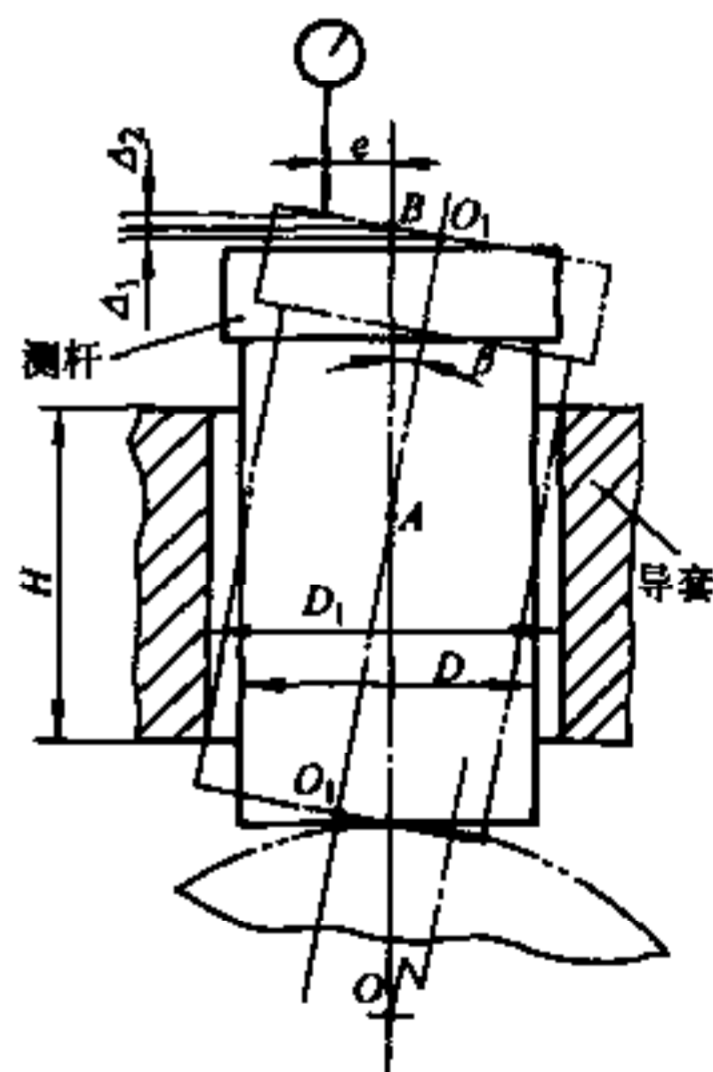


图 4-23 直线传递测杆的传递误差

当 $l_1 \neq l_2$ 时, 若工件尺寸变化为 a , 则百分表的示值为 al_1/l_2 , 即产生测量误差

$$\Delta = a(1 - l_1/l_2)$$

如果 $l_1 = (30 - 0.2)\text{mm}$, $l_2 = (30 + 0.2)\text{mm}$ 和 $a = 0.50\text{mm}$ 时, $\Delta = 0.007\text{mm}$, 这时相对误差为 $(\Delta/a) = 1.4\%$ 。可知, 对杠杆作用臂长并不要求严格的制造公差, 但在设计时要注意这个问题, 提出适当的公差要求 (通常 l_1 和 l_2 的公差取为 $\pm 0.2\text{mm}$ 以内)。为保证实际作用臂长相等还要求: 对于直线杠杆, 要求平面 A、中心 O 和点 B 应在一个平面上, 偏差在 0.2mm 内; 对于直角杠杆要求 A 面通过中心 O, BO 垂直于 OC, 允差 0.2mm 。

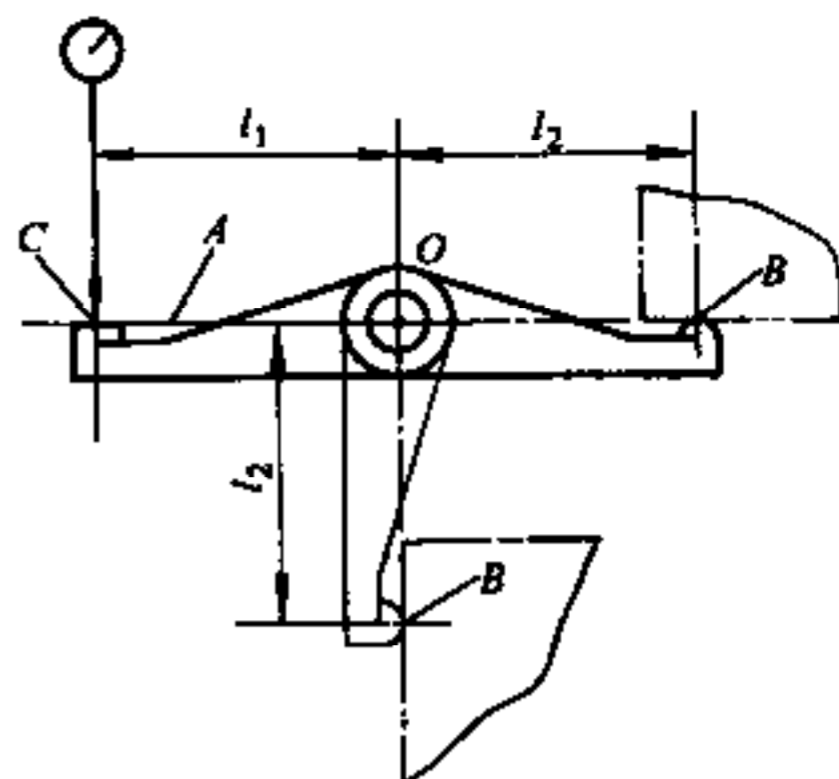


图 4-24 杠杆的作用臂长

2. 由于杠杆两端触头形式而产生的测量误差 杠杆工作触头与工件或其他元件表面的接触不是理想点接触, 杠杆两端触头可以都是球面的, 也可以都是平面的。大多数为一端是球面与工件被测表面接触, 另一端是平面与百分表触头接触。图 4-25 是几种杠杆两端触头的配置形式。

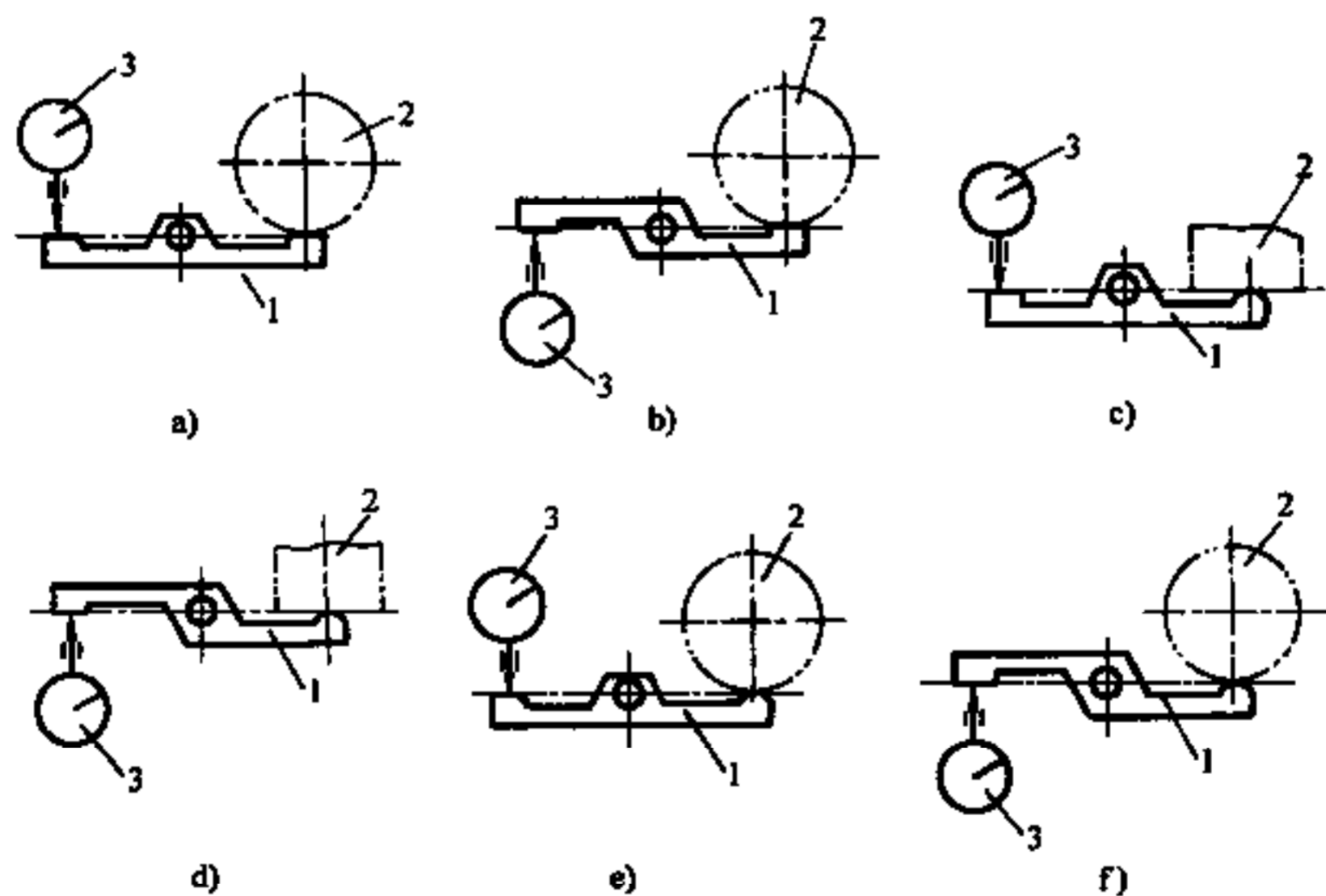


图 4-25 杠杆两端触头的配置形式

1—杠杆 2—被测工件 3—百分表

下面分析图 4-25 中各传递杠杆由于两端触头接触形式而产生的测量误差, 图 4-26 中各个图形分别与图 4-25 各杠杆对应, 图中:

l —— 杠杆两作用臂长;

s_1 —— 工件被测尺寸的变化;

s_2 —— 百分表示值的变化;

α —— 杠杆转过的角度;

r_1 和 r_2 —— 杠杆右端和左端触头的球面半径;

R_1 ——被测工件圆柱表面的最小半径。

图中有关尺寸：

$a = r_2 \sin \alpha$ (只在图 4-26a 中表示, 也适用于图 4-26c 和 e);

$b = r_2 - r_2 \cos \alpha = r_2(1 - \cos \alpha)$ (只在图 4-26a 和 b 中表示, 也适用其他各图);

$c = r_1 - r_1 \cos \alpha = r_1(1 - \cos \alpha)$ (只在图 4-26c 中表示, 也适用于图 4-26d)。

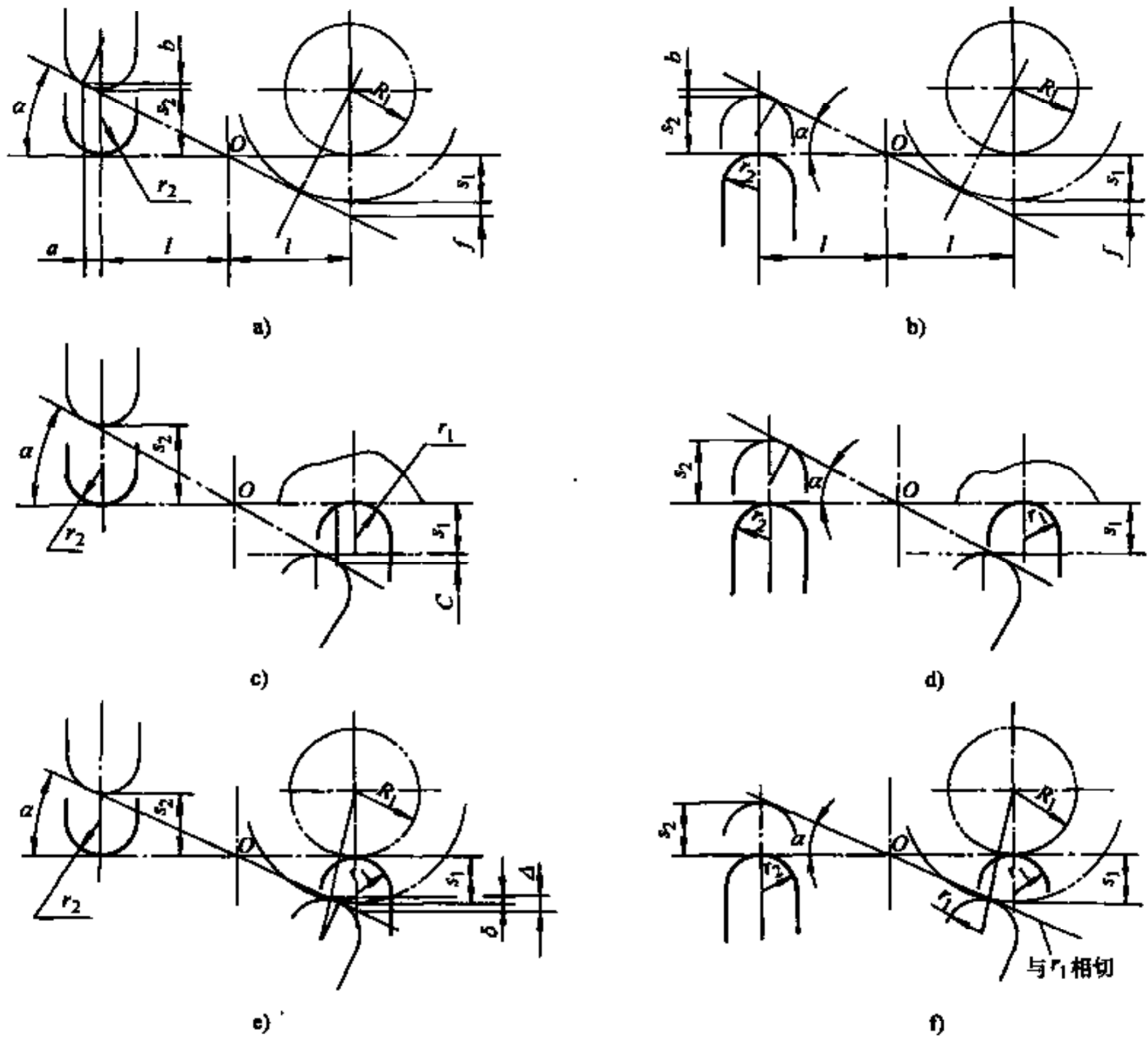


图 4-26 由于两端触头接触形式产生的测量误差

对于图 4-26a、b、e 和 f, 因为一般实际上尺寸变化 s_1 相对 R_1 很小, 为简化计算, 在以下计算中用 R_1 代替 $(R_1 + s_1)$, 即相当于半径为 R_1 的圆柱表面向下移动了 s_1 , 所以

$$f = \frac{R_1 + s_1}{\cos \alpha} - (R_1 + s_1) = \frac{R_1}{\cos \alpha} - R_1 = R_1 \left(\frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha} \right)$$

由几何关系可推导出 s_1 和 s_2 的关系式, 例如对于图 4-26a

$$s_2 = (l + a) \tan \alpha - b = (l + r_2 \sin \alpha) \tan \alpha - r_2(1 - \cos \alpha)$$

$$s_1 = l \tan \alpha - f = l \tan \alpha - R_1 \left(\frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha} \right)$$

这时测量误差为

$$\Delta_s = s_2 - s_1 = (R_1 + r_2) \left(\frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha} \right)$$

对于图 4-26c

$$s_2 = (l + a)\tan\alpha - b = (l + r_2\sin\alpha)\tan\alpha - r_2(1 - \cos\alpha)$$

$$s_1 = l\sin\alpha - c = l\sin\alpha - r_1(1 - \cos\alpha)$$

$$\Delta_s = s_2 - s_1 = (l\sin\alpha + r_2 + r_1\cos\alpha)\left(\frac{1 - \cos\alpha}{\cos\alpha}\right)$$

对于图 4-26e

$$s_2 = (l + a)\tan\alpha - b$$

$$= (l + r_2\sin\alpha)\tan\alpha - r_2(1 - \cos\alpha)$$

$$s_1 = l\tan\alpha - \Delta + \delta (\Delta \text{ 和 } \delta \text{ 的推导见下面})$$

由补充图 4-27 可知

$$\beta = \arctan\left(\frac{r_1}{l}\right)$$

$$AB = l - l\cos(\alpha + \beta)$$

$$\gamma = \arcsin\frac{AB}{R_1 + s_1 + r_1} = \arcsin\left(\frac{AB}{R_1 + r_1}\right)$$

$$= \arctan\frac{l[1 - \cos(\alpha + \beta)]}{R_1 + r_1}$$

$$CD = (R_1 + s_1)\sin\gamma = R_1\sin\gamma (\text{由于 } s_1 \text{ 相对 } R_1 \text{ 很小})$$

$$\delta = (R_1 + s_1) - (R_1 + s_1)\cos\gamma = R_1(1 - \cos\alpha)$$

$$\Delta = CD\tan\alpha = R_1\sin\gamma\tan\alpha$$

所以对于图 4-26e,

$$s_1 = l\tan\alpha - R_1\sin\gamma\tan\alpha + R_1(1 - \cos\alpha)$$

$$\Delta_s = s_2 - s_1 = (R_1\sin\gamma + r_2\sin\alpha)\tan\alpha - (R_1 + r_2)(1 - \cos\alpha)$$

Δ 和 δ 只在图 4-26e 中表示, 也适用于图 4-26f。

对于其余情况的推导从略, 现将图 4-26 所示各杠杆的 s_1 和 s_2 的关系式列于表 4-5。

表 4-5 各杠杆 s_1 和 s_2 的关系式

图 4-26	参数	s_2	s_1
a		$(l + r_2\sin\alpha)\tan\alpha - r_2(1 - \cos\alpha)$	$l\tan\alpha - R_1\left(\frac{1 - \cos\alpha}{\cos\alpha}\right)$
b		$l\tan\alpha - r_2\left(\frac{1 - \cos\alpha}{\cos\alpha}\right)$	$l\tan\alpha - R_1\left(\frac{1 - \cos\alpha}{\cos\alpha}\right)$
c		$(l + r_2\sin\alpha)\tan\alpha - r_2(1 - \cos\alpha)$	$l\sin\alpha - r_1(1 - \cos\alpha)$
d		$l\tan\alpha - r_2\left(\frac{1 - \cos\alpha}{\cos\alpha}\right)$	$l\sin\alpha - r_1(1 - \cos\alpha)$
e		$(l + r_2\sin\alpha)\tan\alpha - r_2(1 - \cos\alpha)$	$l\tan\alpha - R_1\sin\gamma\tan\alpha + R_1(1 - \cos\alpha)$
f		$l\tan\alpha - r_2\left(\frac{1 - \cos\alpha}{\cos\alpha}\right)$	$l\tan\alpha - R_1\sin\gamma\tan\alpha + R_1(1 - \cos\alpha)$

为了对图 4-26 各杠杆传递误差 Δ_s 的大小进行比较, 设触头的半径 $r_1 = r_2 = 2\text{mm}$, 被测

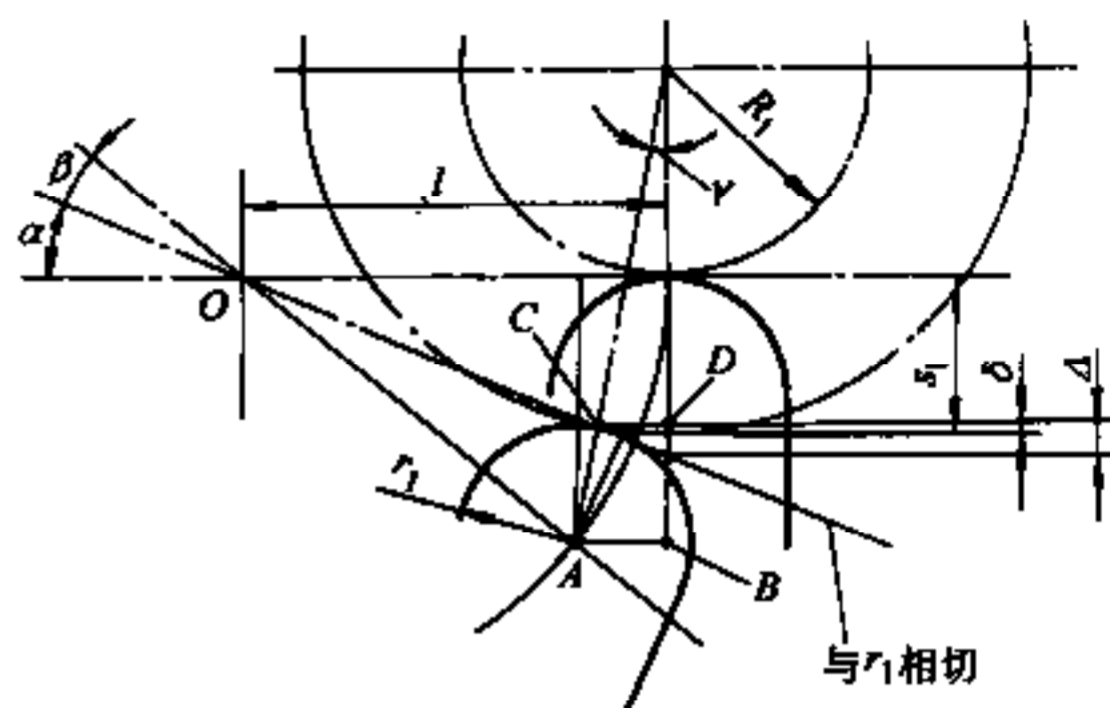


图 4-27 图 4-26e 补充图

工件圆柱的半径 $R_1 = 50\text{mm}$ 、杠杆 $l = 30\text{mm}$ 。如果工件尺寸变动 0.50mm ，杠杆回转角 $\alpha \approx \arctan \frac{0.5}{30} = 58'$ ，表 4-6 列出图 4-26 各杠杆在转过角 $\alpha = 58'$ 后， s_2 、 s_1 和 Δ_s 值，并列出了相对误差 (Δ_s/s_1) 值 (计算中： $\cos\alpha = 0.99986$ ， $\sin\alpha = \tan\alpha = 0.01687$ ； $\beta = 50'$ ， $\gamma = 7'$ ， $\sin\gamma = 0.00203$)。

表 4-6 各种情况杠杆传递误差计算

图 4-26 参数	a	b	c	d	e	f
s_2	0.50639	0.50582	0.50639	0.50582	0.50639	0.50582
s_1	0.49910	0.49910	0.50582	0.50582	0.49740	0.49740
Δ_s ($s_2 - s_1$)	0.00729	0.00672	0.00057	0	-0.009	-0.0087
Δ_s/s_1	1.46%	1.35%	0.11%	0	1.8%	1.6%

由表 4-6 可知：

(1) 表 4-6 是根据所选参数得到的，而所取的参数是留有余地的。例如杠杆臂长 l 取 30mm 并不算大，一般 l 在 $20 \sim 50\text{mm}$ 范围内；被测工件表面尺寸变化取 $s_1 \approx 0.50\text{mm}$ 则较大，因为通常在检具中被测尺寸公差很少大于 0.2mm (毛坯检具除外)，这样取值使杠杆由于被测量尺寸变化而产生的转角达 $58'$ ，而实际在检具上测量时转角一般比上例小得多，而转角 α 越小，测量误差也越小。

(2) 杠杆用球形触头测量工件的平面 (图 4-26c 和 d)，其测量误差最小；杠杆用球形触头测量工件外圆表面 (图 4-26e 和 f)，其测量误差比用平面触头测量外圆表面的误差大 (图 4-26a 和 b)。

(3) 由对各种杠杆的比较可以看出，最大相对误差 (Δ_s/s_1) 1.8% 是较小的相对误差 0.11% 的 16 倍，说明各种杠杆接触形式不同将引起不同的误差。但总的来说，各种杠杆的传递误差都很小，对测量的影响一般可忽略不计。

以上对产生杠杆传递误差的主要情况作了分析。由分析可知，对杠杆作用臂长不要很高的制造精度，杠杆触头接触形式的多样性并不妨碍杠杆准确地将工件尺寸的变化传给百分表，这给设计者带来很大的方便和灵活性。通过分析，主要是使设计者对这些情况有清楚的了解，以便在设计时对传递装置提出必要和适当的技术要求，对个别特殊的传递装置进行必要的分析。如果传递环节较多，应对各个环节传递误差作合成计算，求出总误差。

第 5 章 检验夹具用其他装置和元件

5.1 测量指示器紧固装置

测量指示器示值的正确性不仅与其本身的精度有关，而且与其在检具上安装的正确性和紧固可靠性有关。

测量指示器的紧固元件应便于操作，既要紧固可靠，又不能夹紧力过大，以免指示器元件变形。例如夹紧时不应使百分表或电感测头内部测量机构有卡住现象，其测杆应移动平稳灵活。

钟式百分表和千分表是检具中使用最广泛的测量指示器，常用的紧固元件是带开口槽的衬套 1（图 5-1），衬套 1 装在检具或支架本体 2 中，用 M4 的螺钉 3 紧固。衬套 1 的材料为 45 钢，热处理 35~40HRC。

另一类较常用的夹紧百分表的元件是各种形式的开口夹杆（图 5-2），多用于百分表直接与测量表面接触的情况。一般可将夹杆的尾部（圆柱部分）压入支座的孔中，百分表用螺钉夹持在杆上开槽的 $\phi 8H8$ 孔中，图 5-2a 用于百分表水平放置；

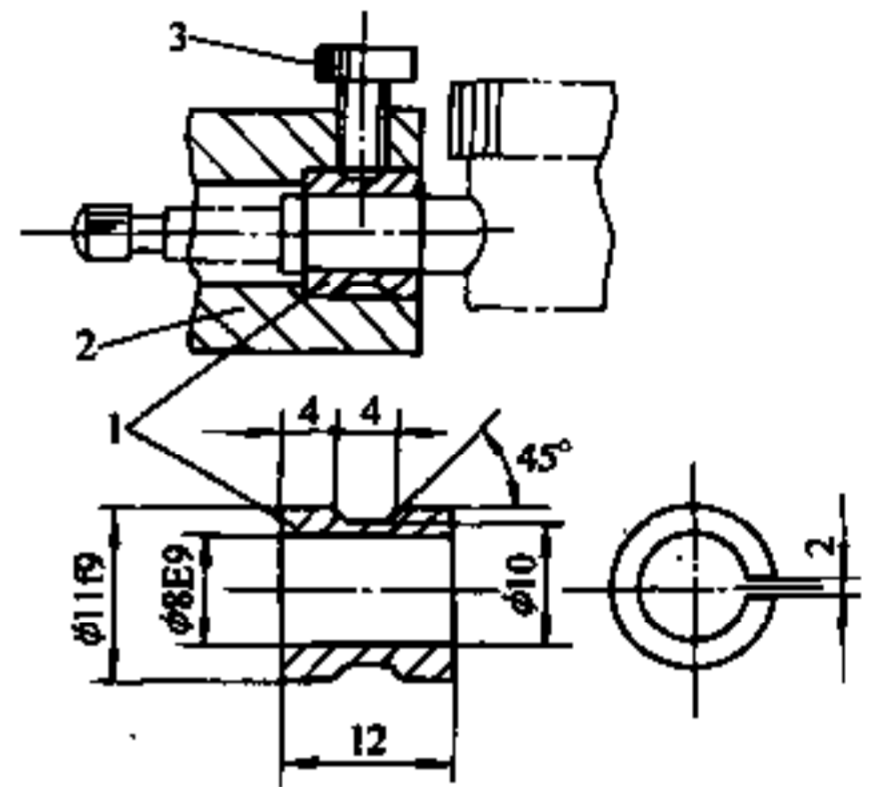


图 5-1 用带开口槽的衬套紧固百分表
1—衬套 2—本体 3—螺钉

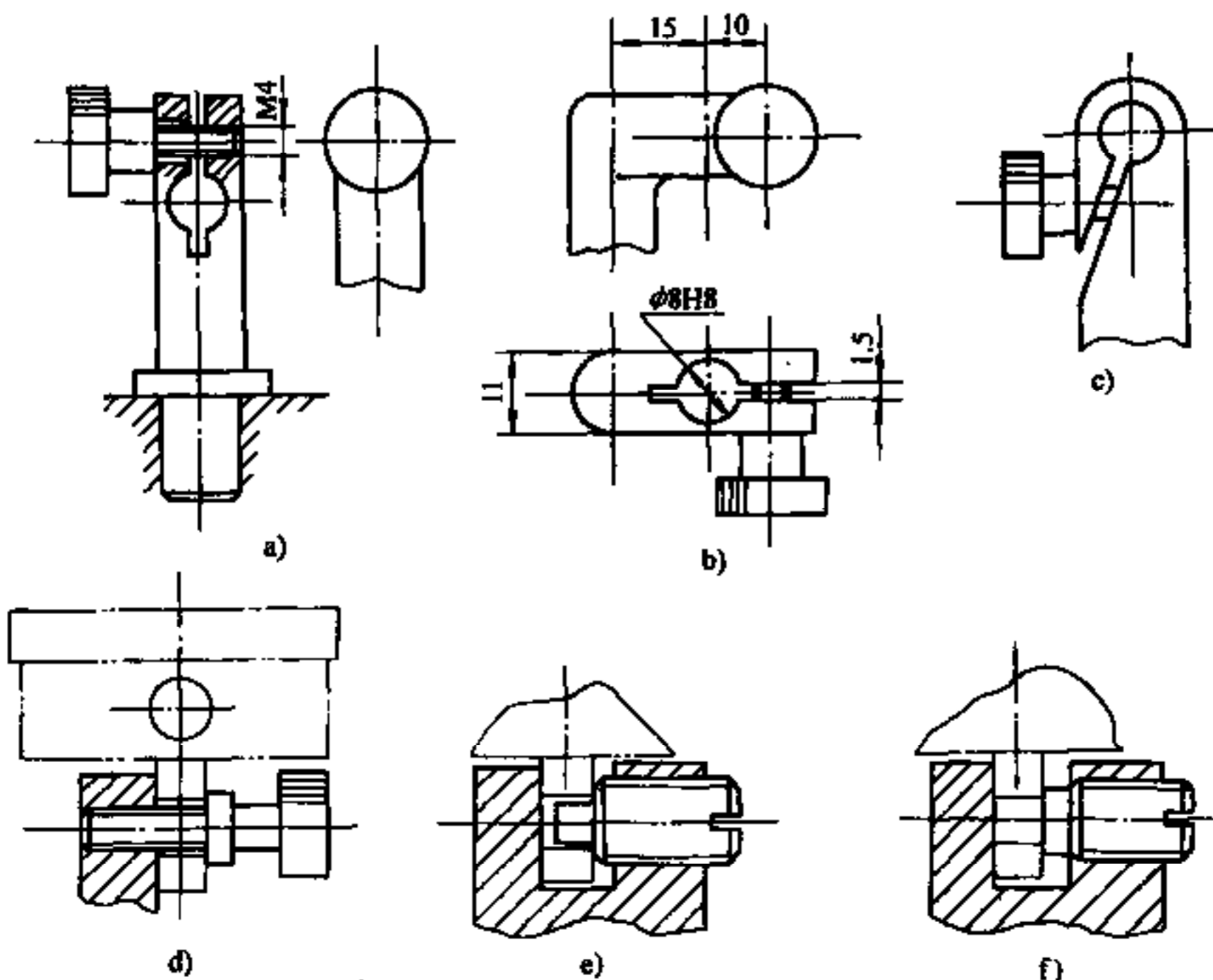


图 5-2 用开槽夹杆和耳环夹紧百分表

图 5-2b 用于百分表垂直放置；图 5-2c 所示的结构较为紧凑，而且弹性更好。开口槽夹杆的材料为 45 钢，硬度 30~35HRC。

也可用百分表上的耳环固定百分表，如图 5-2d~f 所示。与用开槽衬套固定的方法比较，这种方法不易保证百分表的纵向定位和测量时选择百分表的工作段。这种方法的优点是简单，不必担心紧固时使百分表内部机构卡住。

紧固杠杆齿轮式测微仪等，最简单可靠的方法是用螺钉在开口的孔中紧固。在图 5-3a 所示的结构上，只沿孔的长度在中间一段上开槽，而两端仍是整圆孔，这样既可将测微仪紧固，又有良好的导向，但这种结构制造较麻烦。

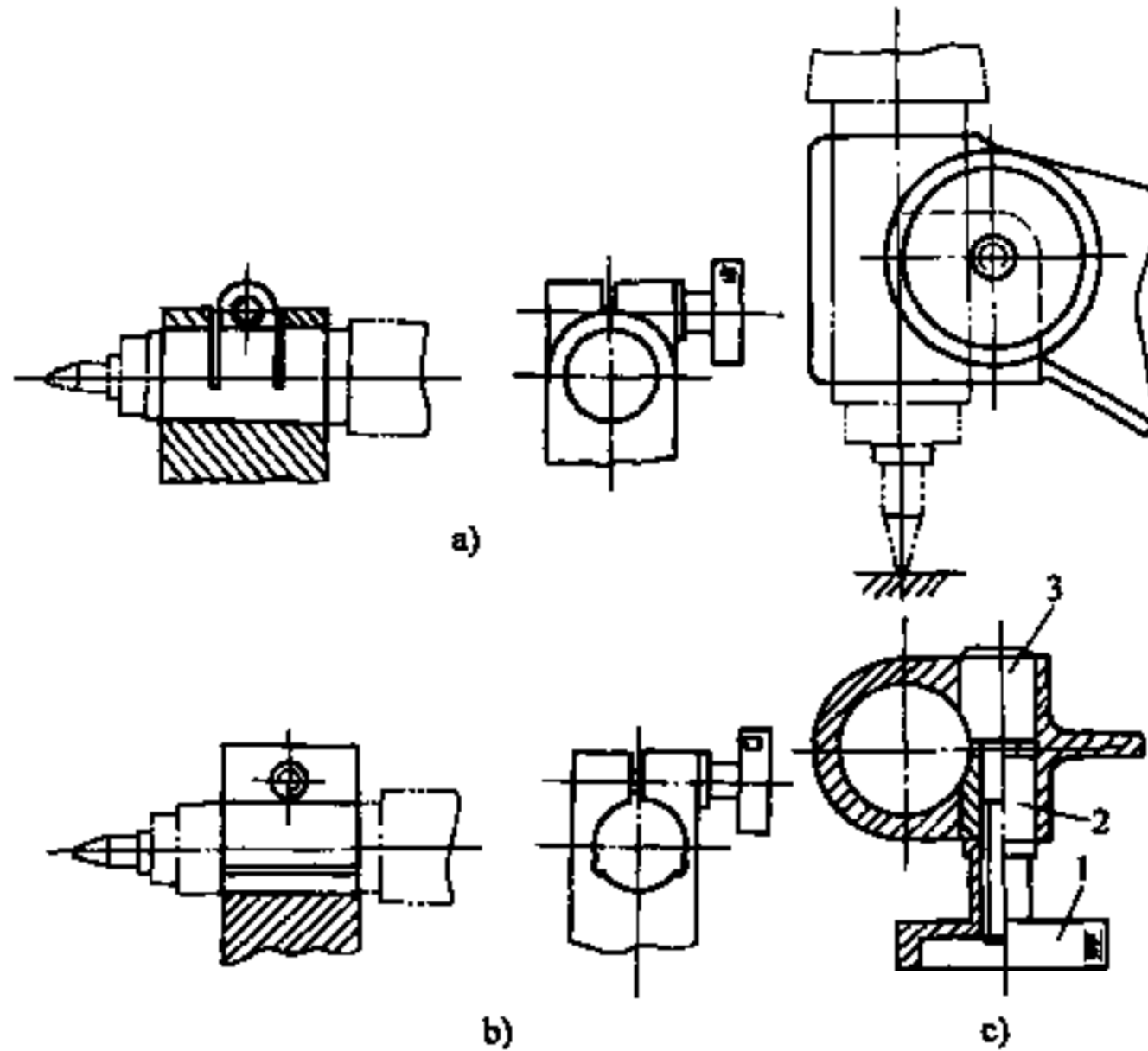


图 5-3 杠杆齿轮式测微仪的紧固

1—螺母 2—夹紧套 3—轴

图 5-3b 所示是沿孔的全长上开槽，并在孔中有两个辅助的浅槽，这种结构孔的长度可短些。也可采用图 5-3c 所示的结构，用滚花螺母 1 旋紧，通过夹紧套 2 和轴 3 将测微仪紧固。

图 5-4a 是用螺母 2 通过弹簧夹套 1（其上开有 6 个槽）紧固测微仪。图 5-4b 是用锥形开口套 7 紧固测微仪，具有内锥孔的衬套 8 可在支座 9 的孔中移动，开口套 7 装在衬套 8 的锥孔中，并用螺钉 4 防止衬套 8 转动，拧紧螺母 6 将测微仪紧固，调整两螺母 3、5 可改变测微仪的位置是这种结构的优点。

图 5-4c 是在侧面调整比较仪轴向位置的紧固装置，使用时先用螺钉 14 将测微仪紧固在卡箍 13 的孔中，然后转动螺母 11 精确调整测微仪相对支座 10 的位置，最后拧紧螺钉 15 将测微仪紧固。也可采用图 5-4d 所示在轴向调整比较仪轴向位置的紧固装置，使用时先用螺钉 18 将测微仪紧固在卡箍 17 中，卡箍装在支座 22 的孔中，然后转动螺母 16 精确调整测微仪相对支座 22 的位置，最后用螺母 19 将测微仪紧固。

当采用轴向电感测头与工件或传递件接触时，较简单的方法是，用 M4 螺钉直接顶在轴向电感测头 $\phi 8$ mm 杆部适当部位（图 5-5a）；也可用紧固百分表的方法来紧固电感轴向测头。由于电感轴向测头杆部较长，夹紧长度可适当增大到 15mm。

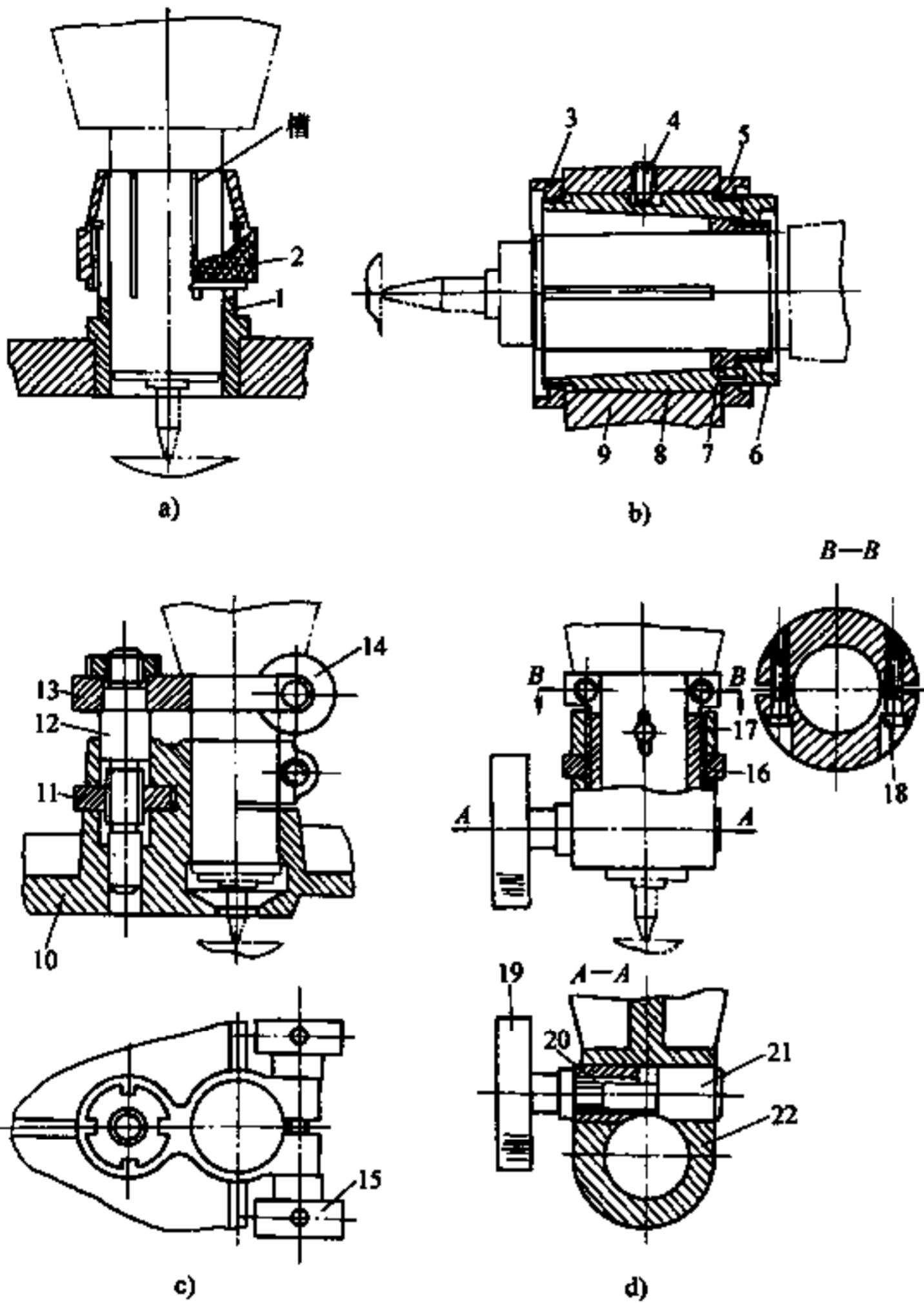


图 5-4 弹簧夹套及可调夹紧测微仪

- 1—弹簧夹套 2、3、5、6、11、16、19—螺母
 4、14、15、18—螺钉 7—开口套 8—衬套 9、10、22—支座
 12—调整轴 13、17—卡箍 20—销紧套 21—销紧轴

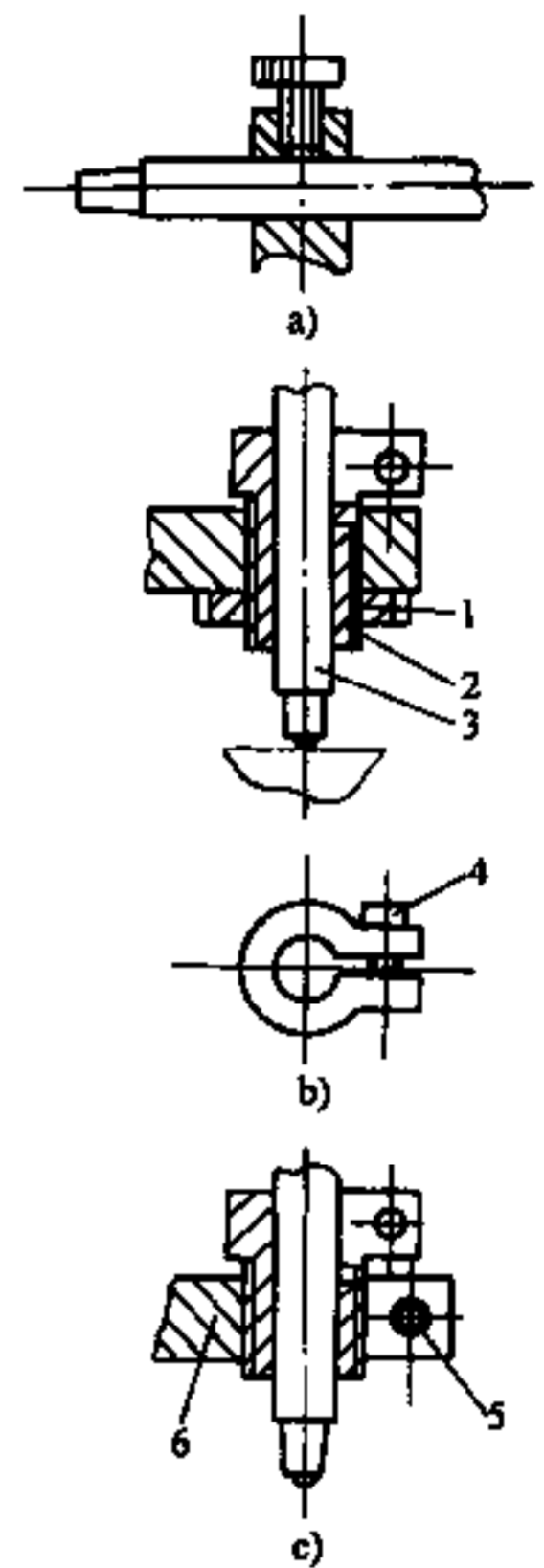


图 5-5 电感轴向测头的夹紧

- 1—锁紧螺母 2—螺纹套
 3—测头 4、5—螺钉 6—臂

紧固电感轴向测头时，应夹持在其中间部位的 $\phi 8$ mm 杆部外壳上（电感测头两端在一定长度上不能夹持），并要求夹紧力不能过大，以免影响测杆的灵活性和测量精度，甚至损坏测杆。

电感轴向测头总行程 3~4 mm，测量行程范围比百分表和千分表都小得多，测杆前有一段非工作的前行程段（0.45~0.65 mm），因此用手工精确调整测头的位置比较麻烦。为操作方便、迅速，可采用微调机构，根据不同的使用情况可用各种微调机构。

在检具上可采用图 5-5b 所示的结构，把电感测头 3 装在具有外螺纹的套 2 内，拧紧螺钉 4 通过套 2 上的开口槽夹紧电感测头。转动螺纹套 2 可调整电感测头的轴向位置，调好后锁紧螺母 1。这种结构的缺点是锁紧时螺纹套会有微量变动，不够稳定。采用图 5-5c 所示的结构，用螺钉 5 通过在臂 6 上的开口槽夹紧螺纹套可避免上述缺点。

5.2 百分表支架和护罩

在生产车间中，有些工件经常可在平板上用通用百分表支架检验，百分表支架作为检具的组成部分，可采用通用支架（外购），也可根据某项测量的需要设计专用支架，其结构一般比通用的可简化。

图 5-6 是一种通用百分表支架，杆 1 的高度、角度位置和伸出距离均可调。杆 1 有两种型式：I 型（直径 13mm）用于直接固定带耳板的百分表，通过卡箍 2 夹持百分表杆部；II 型（直径 18mm）用于通过卡箍 3 夹持带不同型式中间传递杠杆的通用杠杆传递装置 4。卡箍 2 和 3 在杆 1 上的位置可转动，所以用百分表支架可实现不同的测量。传递装置 4 和 5 夹持在卡箍 3 的孔中。直线传递装置 4 的结构见图 4-9，卡箍 2 和 3、杆 1 和传递装置 4 的结构尺寸见附录。

图 5-7 是一种固定式回转百分表支架，可做成图 5-7a 或图 5-7b 的形式。套 1 固定在检具本体上，在套的上端面上有两交叉成 90° 的径向 V 形槽，转动轴 2，固定在轴 2 上的销 3 从一个 V 形槽的斜面向上滑出（这时压缩弹簧 4），随后落到另一个 V 形槽中（图中未示），使百分表从测量位置迅速地转到装卸工件的位置。根据需要在套 1 端面上可有多多个 V 形槽，并且各 V 形槽的高度也可略有差异，以便转到不同位置时可测量高度有差异的平面。

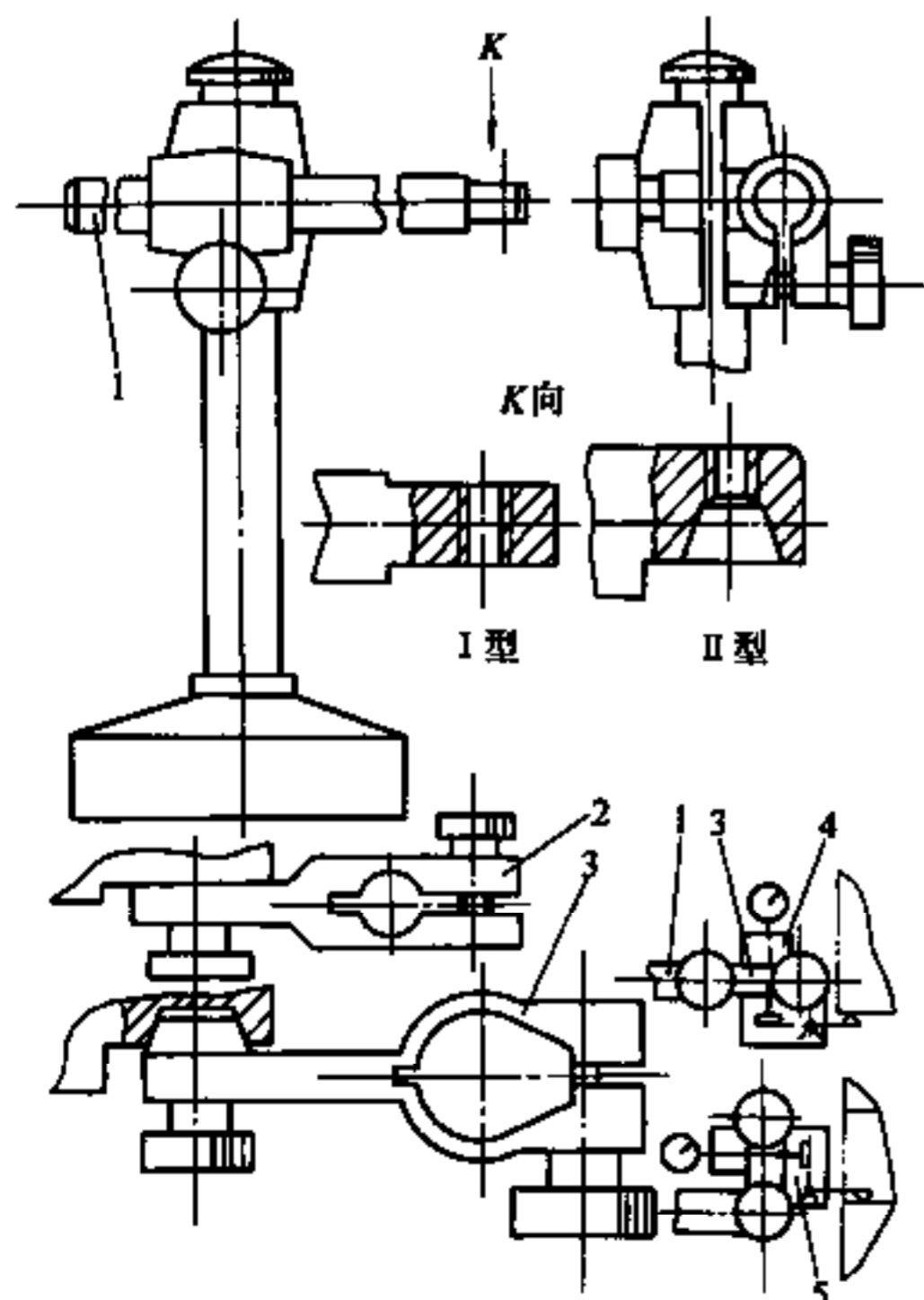


图 5-6 一种通用百分表支架

1—杆 2、3—卡箍

4—直线传递装置 5—直角传递装置

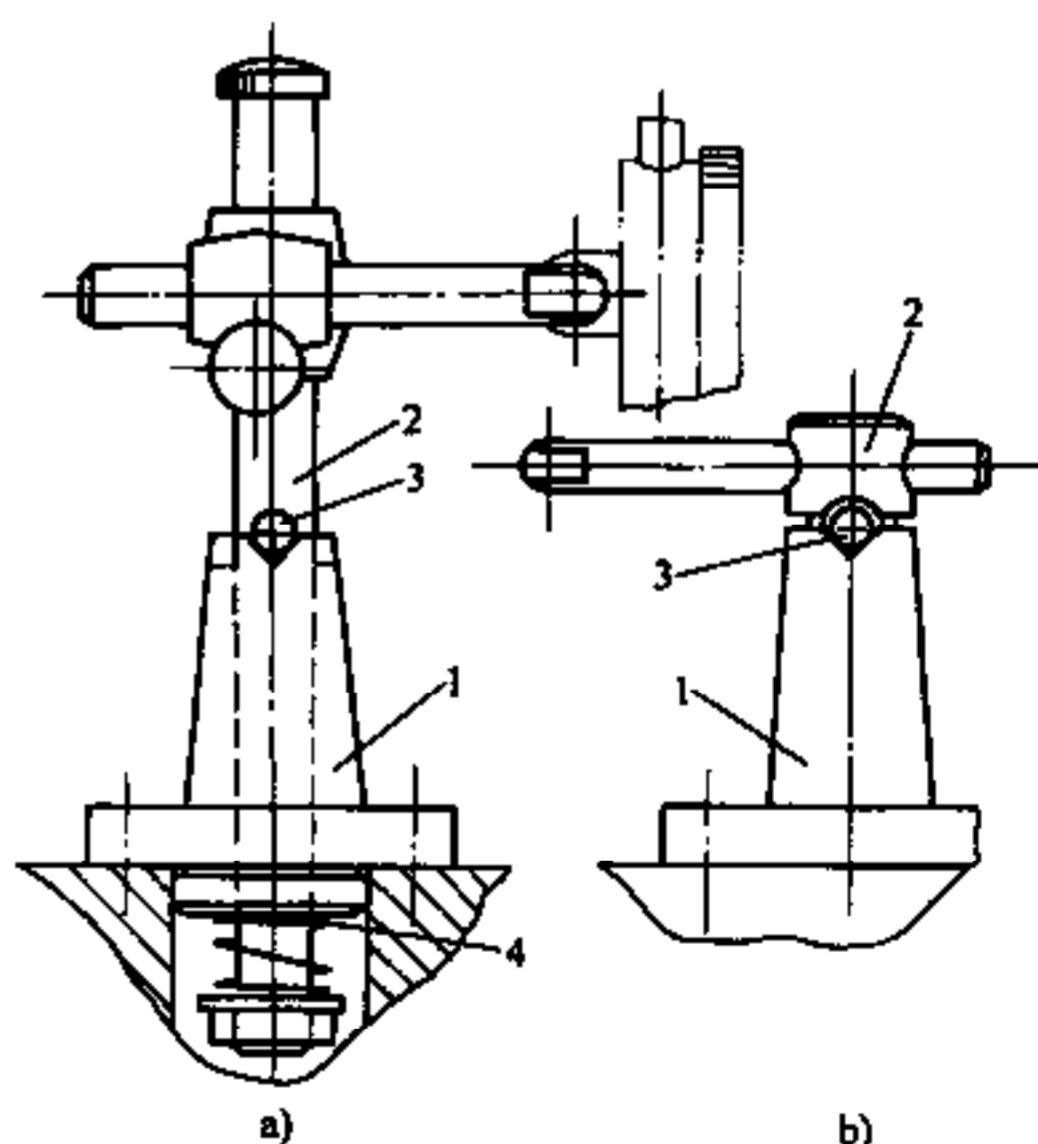


图 5-7 回转百分表支架

1—套 2—轴 3—销 4—弹簧

图 5-8 是固定式铰链百分表支架，其结构与铰链杠杆夹紧装置相似，调整螺纹支钉的高度使杠杆在测量时处于自锁位置。这种结构的优点是，只要翻转手柄即可使百分表让开被测

工件，动作简单迅速。

一般在检具中不采用百分表护罩，但当检验尺寸多、工件重量大、形状复杂的工件时，为保护百分表不被碰撞，需要百分表护罩，其结构见图 5-9。图 5-9 表示为两种百分表（分别用于百分表外径 $D=42\text{mm}$ 和 60mm ）护罩的尺寸，在护罩两侧壁上有两个缺口，以便旋转百分表刻度盘。

百分表 2 的护罩 3 可通过叉形角座 1 固定在检具上，这时叉形角座 1 插在检具 4 上，在两侧用沉头螺钉紧固（图 5-10a）；护罩也可通过角铁 5 固定在检具上（图 5-10b）或用三个沉头螺钉直接固定在检具上（图中未示）。百分表护罩与角座 1 或角铁 5 可用沉头螺钉和螺母连接，也可用铆钉铆接。

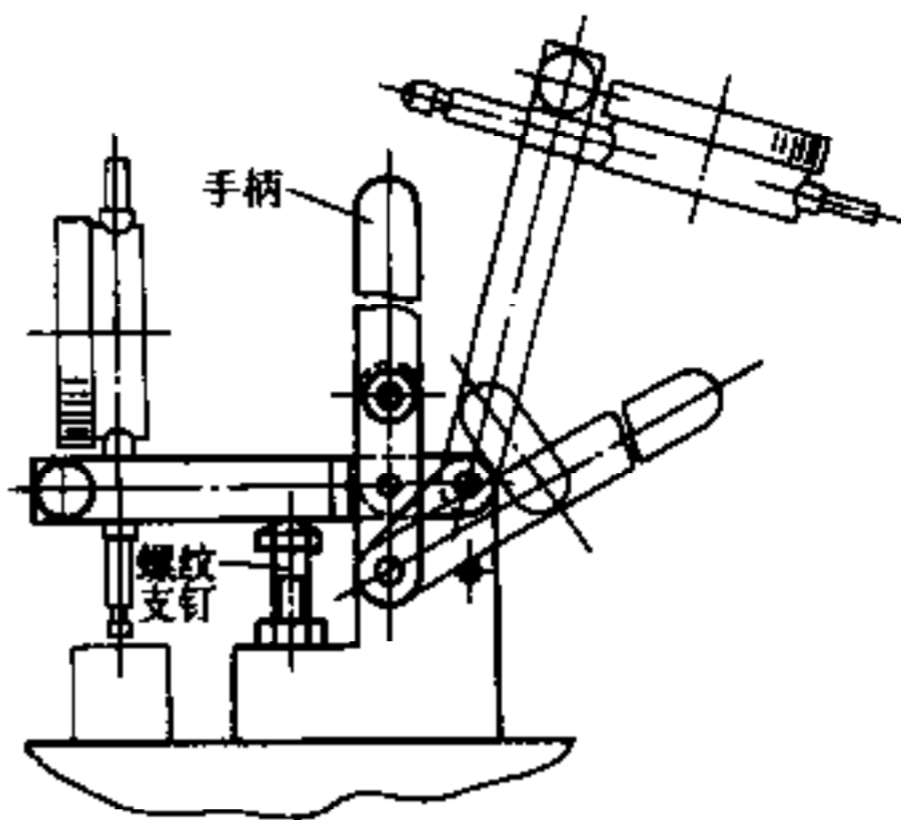


图 5-8 铰链百分表支架

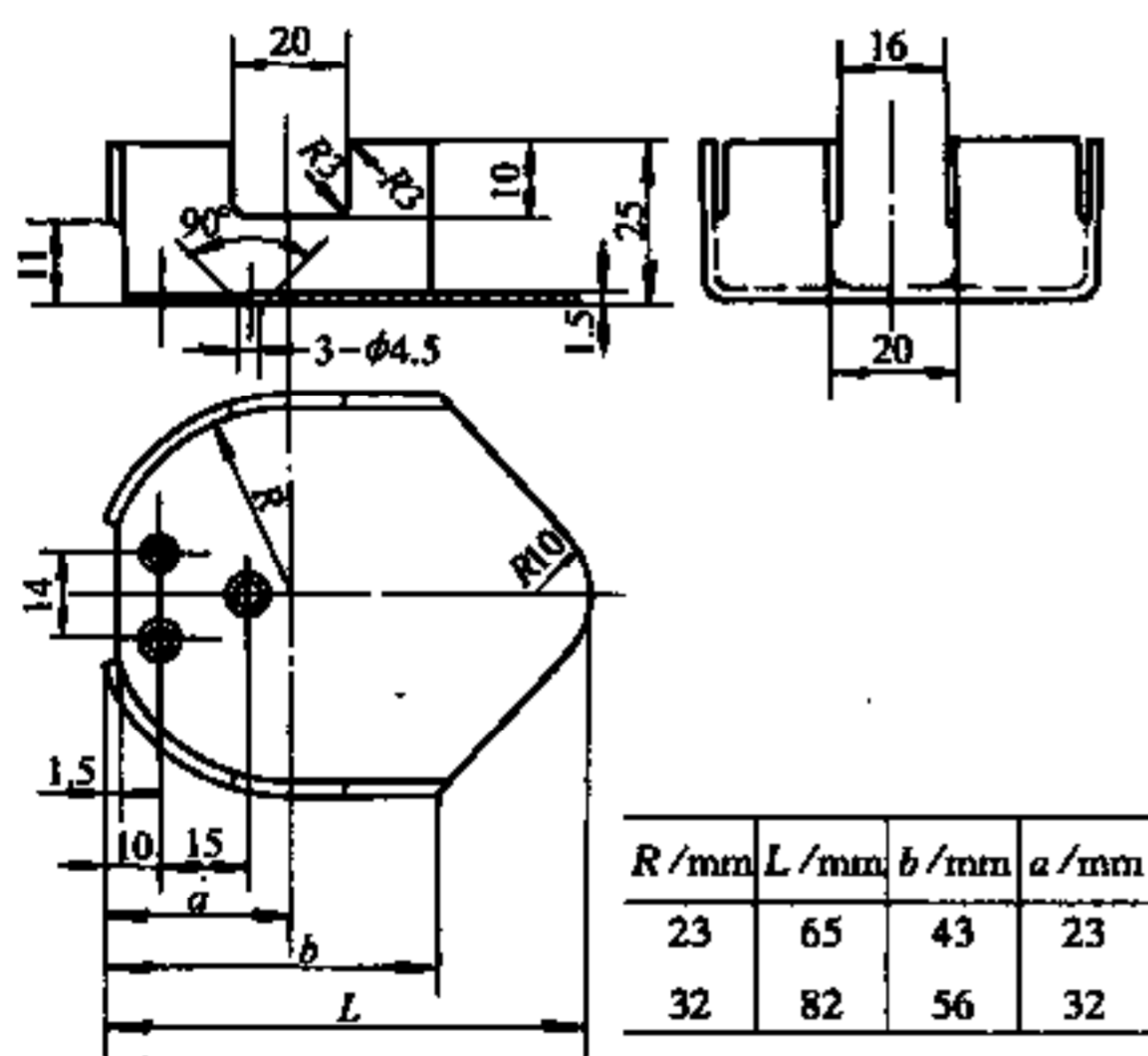


图 5-9 百分表护罩

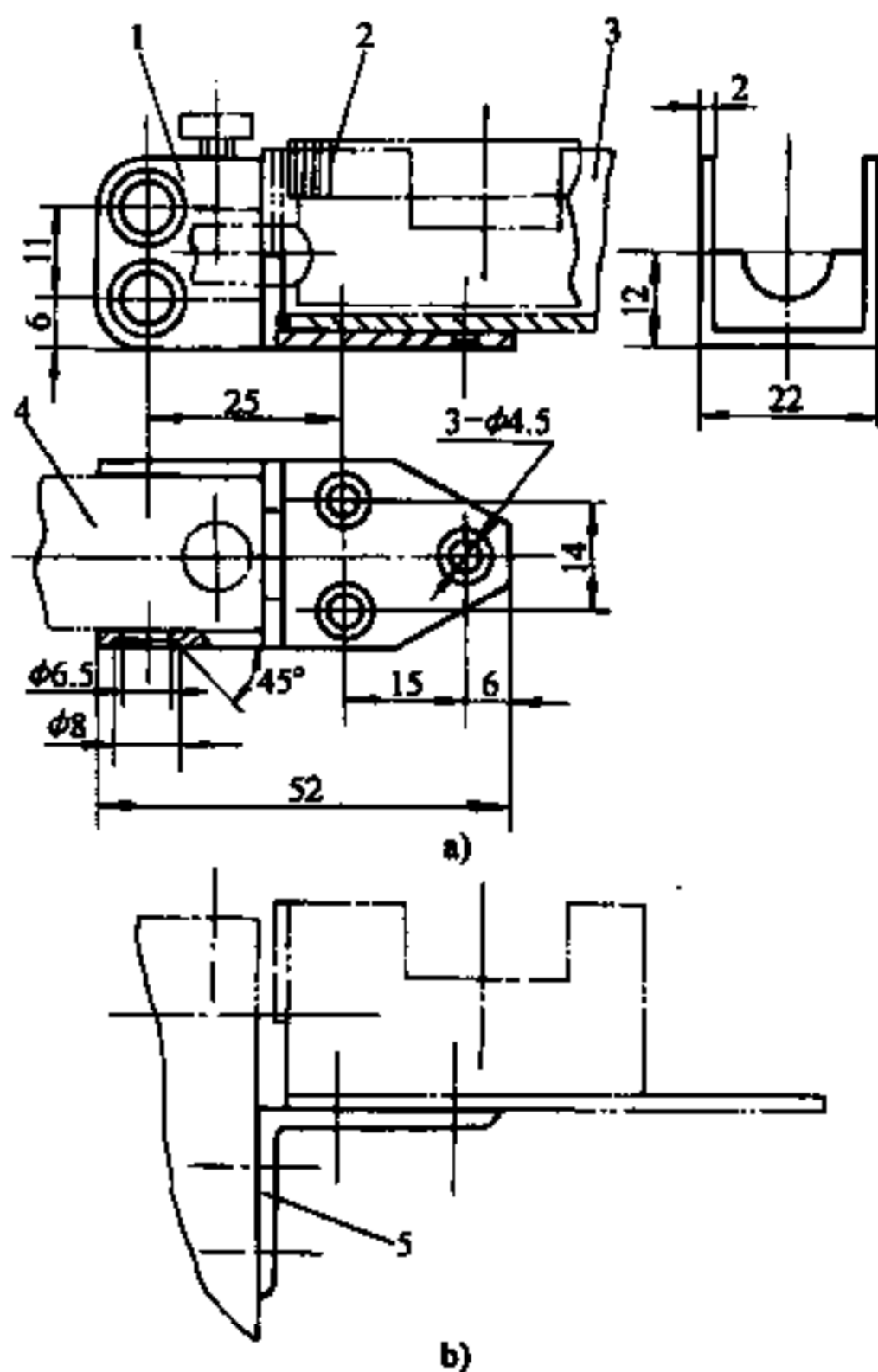


图 5-10 百分表护罩固定元件

1—叉形角座 2—百分表 3—护罩 4—检具 5—角铁

5.3 检验用顶尖座

在生产检验中经常用顶尖座检验轴类工件，可用通用顶尖座（外购）或专门设计顶尖座。

图 5-11a 是一种固定顶尖座，结构简单；图 5-11b 是在莫氏锥套内装入顶尖的固定顶尖

座。固定顶尖座可用螺钉和销固定在基座上（图 5-11a）；也可用键定位，并用螺钉固定（图 5-11b）。

活动顶尖座根据其用途可做成不同的结构。

最简单和具有高精度的活动顶尖座，用手将顶尖送到工作位置和使其退出（图 5-12），在工作位置用手柄通过弹性槽锁紧顶尖。这种结构适用于轻型工件的定位。

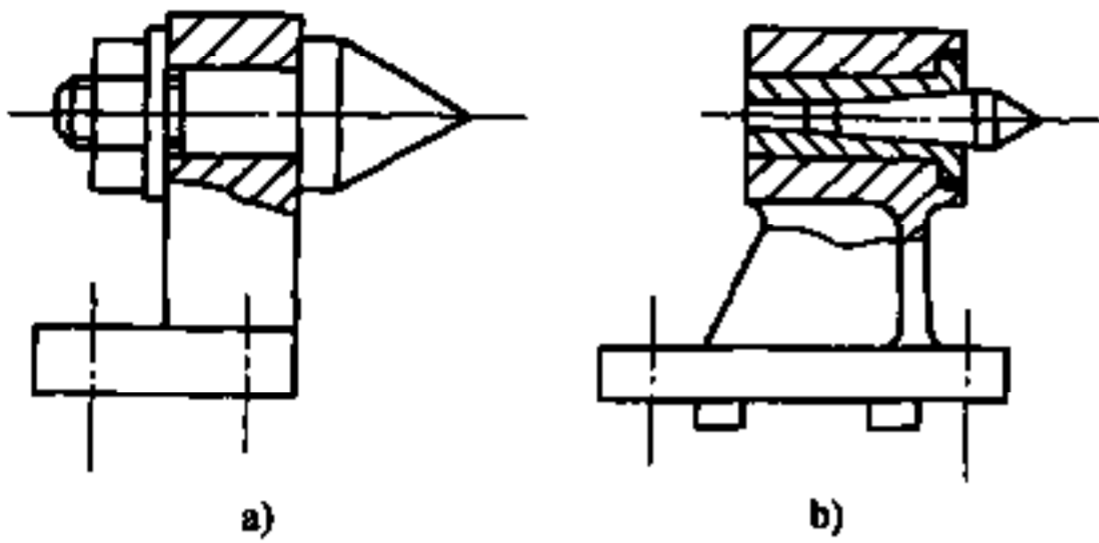


图 5-11 固定顶尖座

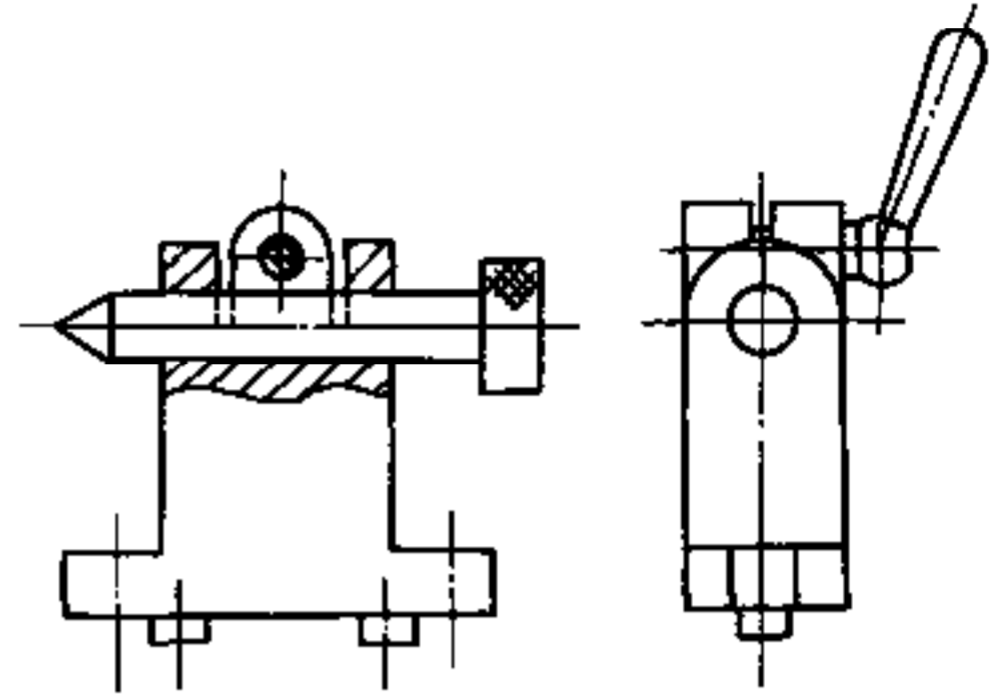


图 5-12 简单的活动顶尖座

为使轻型工件定位，也可采用图 5-13a 所示结构的活动顶尖座，装工件时先用手柄使顶尖让开工件，工件初步定好位后，靠弹簧使顶尖进入工件中心孔，这种结构较简单，但不便更换不同的顶尖。图 5-13b 是可更换顶尖、并有较大弹簧力的活动顶尖座。这两种结构都是用手柄在切向将顶尖套筒抱紧或松开（图中未示，类似图 5-4d 所示的结构）。

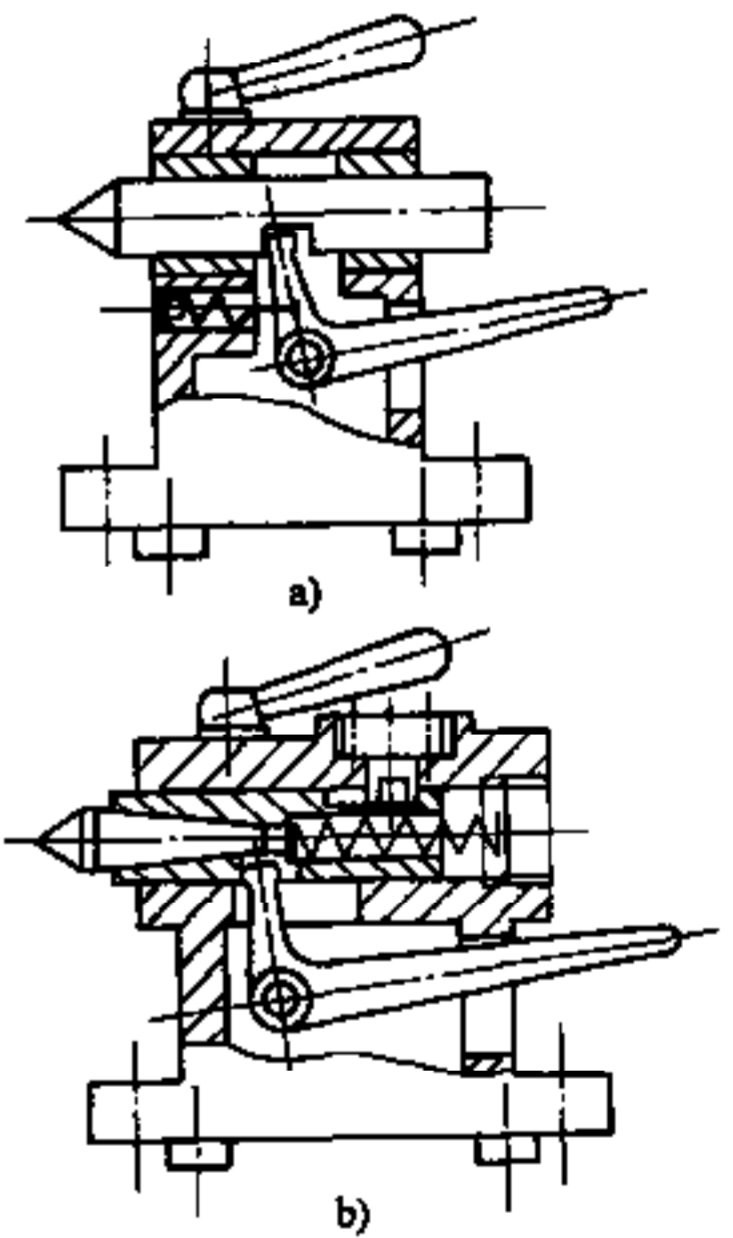


图 5-13 轻型工件用弹簧活动顶尖座

以上几种活动顶尖座的缺点是，检验员的一只手要操作手柄使顶尖让开工件，只能用一只手安装工件，有时不够方便。采用图 5-14 所示的结构可以克服这个缺点，这时利用偏心手柄使活动顶尖离开工件中心孔，这样就可先用两手将工件放在固定顶尖上，然后用一只手托住工件，再用另一只手操作手柄，使活动顶尖顶在工件中心孔上。

图 5-15 是重型工件用的活动顶尖座，转动手轮通过丝杠带动顶尖套筒使顶尖靠上工件中心孔。但要注意，对于细长的工件和检验心轴，不能使用这种顶尖座，因为手轮转动时产生大的顶紧力，致使工件或心轴产生弯曲而产生测量误差。顶尖套筒沿切向可用手柄抱住或松开。

在有些情况下，在固定顶尖座上需要配备有分度机构，如图 5-16 所示。在主轴 10 上固定有分度盘 14，分度盘与轴按锥度配合，分度盘直径应取较大的值以保证高的分度精度。

楔形定位块 6 在封闭的矩形导轨中移动，用螺钉 7 压住镶条 9 以减小矩形导轨的侧面间隙。定位块 6 的导轨装在摆杆 13 上，摆杆的内孔与主轴 10 尾端外圆精密配合定中，但不妨碍主轴的转动。

螺钉 4 和 8 用于调整摆杆 13 的角度位置，使定位块 6 对准分度盘上的定位槽。这样借助整个定位机构的转动，使主轴达到平稳和精确的角度定位。通过卡箍使被检验工件定位在

原始位置，然后用螺钉 12 锁死定位机构。转动分度盘时，用手柄 5 使定位块 6 离开分度盘。在定位过程中，弹簧 3 使定位块有一定的贴合力。

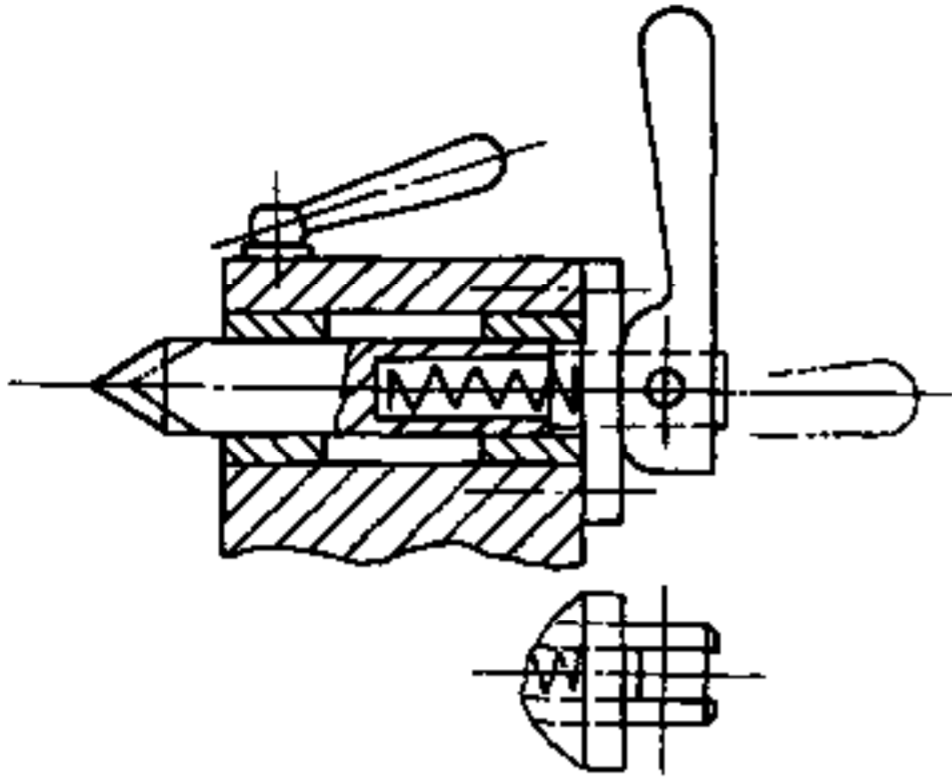


图 5-14 可锁定退回位置的活顶尖座

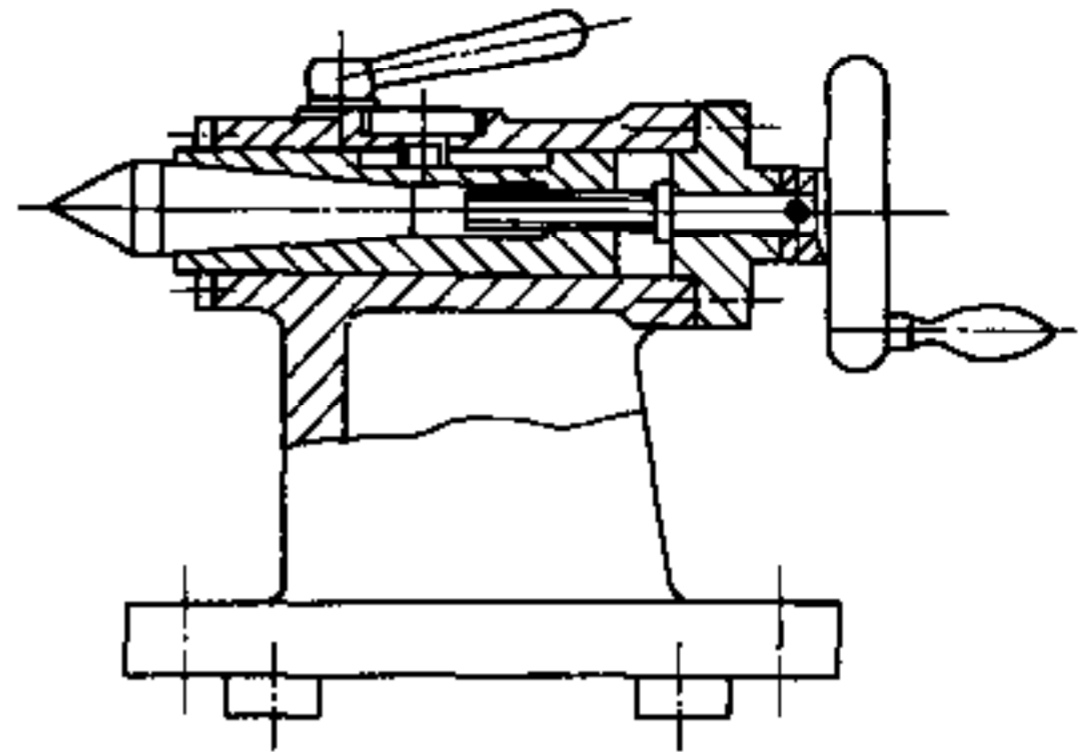


图 5-15 重型工件用的活顶尖座

图 5-17 是专用立式顶尖座，工件以下端球面凹部用球头支承 1 定位，工件上端以中心孔用活顶尖 2 定位，测量时工件可旋转。用手柄 4 通过齿轮齿条机构使顶尖伸缩，用手柄 3 锁死。顶尖座在双圆柱轨上的位置可调，调好后用手柄 5 锁死。

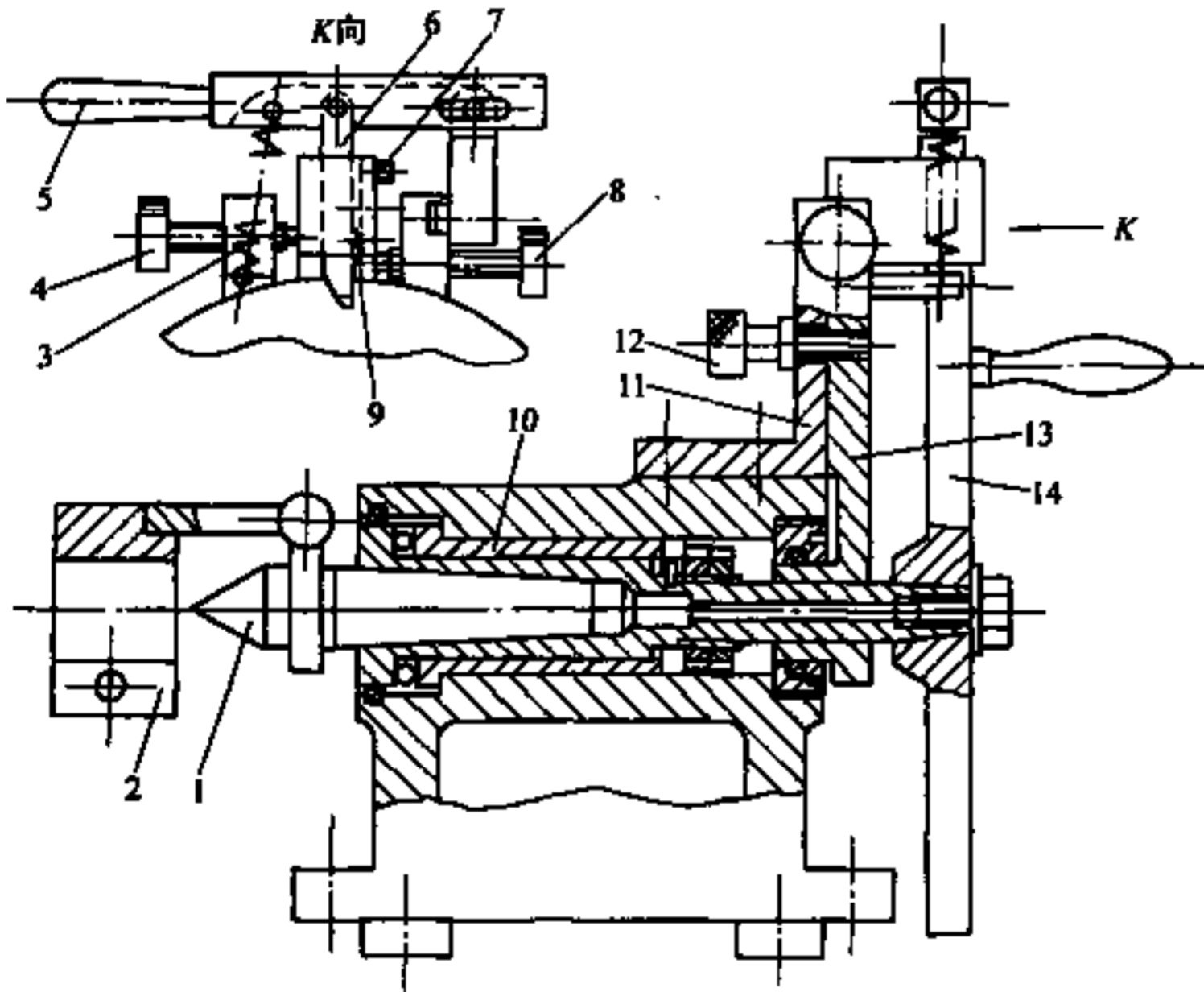


图 5-16 带分度机构的固定顶尖座

1—顶尖 2—卡箍 3—弹簧 4、7、8、12—螺钉 5—手柄
6—定位块 9—键条 10—主轴 11—角铁 13—摇杆 14—分度盘

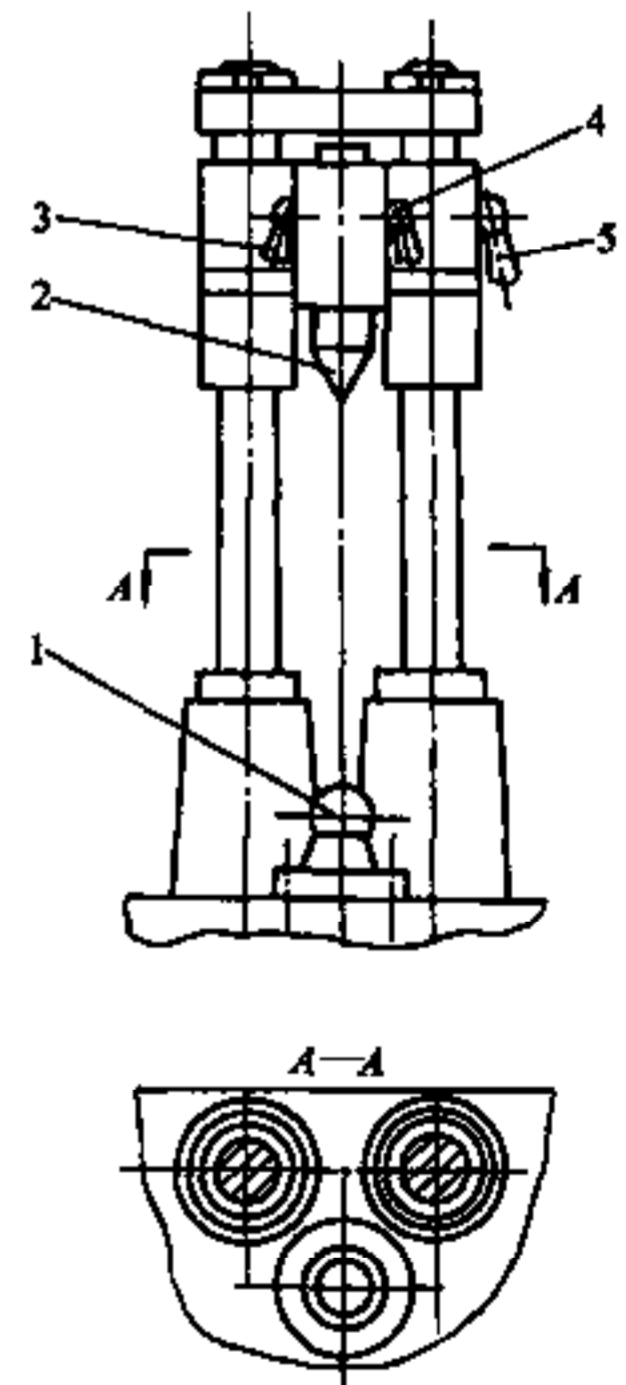


图 5-17 专用立式顶尖座

1—球头支承 2—顶尖 3、4、5—手柄

5.4 运动件导向装置

很多检具需要运动件导向元件和装置，以实现测量部件按一定精度作旋转或直线运动。

导向装置应保证一定的精度，但导向的精度是否影响检具的测量精度和影响的大小要作具体分析，应根据具体情况对导向装置提出适当的要求。

对导向装置的其他要求是：刚性好，耐磨，运动灵活和平稳。普通滑动导轨的滑动面直接与运动件滑动面接触，二者之间为半干摩擦，摩擦系数较大，灵敏度低，有爬行现象。但由于其结构简单、工艺性好，设计制造比较容易，所以仍是普遍应用的导轨，特别由于检具的运动速度低，移动距离一般不大，除特殊要求灵敏度高的以外，大多采用普通滑动导轨。

滑动导轨的材料对其耐磨性和运动件的平稳性有影响，为提高耐磨性，同时为避免运动件卡住，固定导轨和运动件导轨应尽量采用不同的材料和不同的硬度。固定导轨的硬度应比运动件导轨的硬度高，前者为后者的 1.1~1.2 倍为宜，这样磨损量小，导轨精度保持时间长。在检具中固定导轨与移动件导轨通常采用下列材料的组合：

- (1) 铸铁与铸铁；
- (2) 淬硬铸铁与铸铁；
- (3) 淬硬钢导轨与淬硬铸铁或铸铁；
- (4) 淬硬或调质钢与铜合金；
- (5) 淬硬或调质钢与硬度较低的钢。

各种材料摩擦面之间的摩擦系数见表 5-1。由表 5-1 可知，采用 Δf 小的摩擦副材料可减小爬行程度和消除爬形。

表 5-1 摩擦副材料的性能^[6]

摩擦副材料 固定导轨—移动导轨	静摩擦系数 f_0	动摩擦系数 f_d	f_0 与 f_d 平均值之差 Δf
铸铁—铸铁	0.25~0.27	0.15~0.17	0.10
钢—铸铁	0.20~0.25	0.05~0.15	0.12
钢—钢	0.13~0.16	0.05~0.10	0.07
铸铁—青铜	0.20~0.25	0.15~0.17	0.06
钢—青铜	0.15~0.20	0.10~0.15	0.05

注：试验条件：压强 0.02 MPa；润滑油——L-AN68 润滑油。

对于滑动导轨，具有良好的润滑条件很重要，在检具中由于速度低，多采用在导轨上开油槽润滑的方法。应采用质量好的润滑油，根据需要选用导轨防爬油可比用普通润滑油显著减小摩擦系数，例如可使铸铁—铸铁摩擦面之间的静摩擦系数下降到 0.075~0.09。

下面介绍在检具中常用的导向装置。

5.4.1 旋转运动导向装置

图 5-18a 是最简单的旋转导向装置，轴 1 在一个或两个轴套 2 中转动。根据精度需要，轴套 2 与轴 1 可选择 H7/f6、H8/f7 等配合。当要求精度高，并且转动速度低时，轴与套应研配，使其配合间隙小于一定值（直径在 60 mm 内间隙不超过 4~6 μm ），这时对孔和轴的圆度和圆柱度将有高的要求；配合面表面粗糙度为 $R_a 0.2\sim 0.4 \mu\text{m}$ 。这种导向装置在良好的润滑条件下转动轻便。

为防止轴 1 轴向窜动，用两个端面磨平的螺母 5 锁紧。在轴 1 上有销 4，销 4 的一端插在垫圈 3 的槽内，当轴 1 转动时，销 4 带动垫圈 3 一起转动，垫圈与螺母之间没有相对转

动，也起到防止螺母松动的作用。

主轴在轴向的定位精度与主轴轴肩和导套接触的两个端面对回转轴线的垂直度误差有关：若两接触面有一个端面对回转轴线垂直，则主轴回转时没有轴向位移；若两接触面对回转轴线的垂直度误差相等，则轴向位移为垂直度误差的两倍；若两接触面垂直度误差不相等，则轴向位移为较小垂直度误差的两倍。

图 5-18b 所示的旋转导向装置与图 5-18a 所示的基本相同，不同的是轴 7 与套 8 采用锥度配合，通过调整垫 6 的厚度使轴能在套内转动，并使间隙很小。锥度的选择与回转精度有关，要求回转精度高则锥角应小，但正压力增大，摩擦力也增大，可能造成转动不灵活，一般取锥角 $4^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。当由于磨损使间隙增大后，可通过磨薄垫 6 的厚度修复。当采用锥角为 6° 时，其锥度为 1:10，若径向间隙增大 $1\mu\text{m}$ ，需要磨去垫的厚度为 $10\mu\text{m}$ 。

当承受轴向负载时，可采用立式旋转导向装置。为减小摩擦，根据负载大小可布置多个（图 5-19a）或 1 个（图 5-19b）滚珠。图 5-19a 是工件尺寸和重量较大的结构。由于工件重量可消除工作时的轴向间隙，因此下端螺母的作用只是保护轴在有些情况下（例如取出工件时）不会从孔中脱出，所以螺母与定位套端面之间的间隙可以较大。图 5-19b 所示的结构用于负载较小的情况。

对于图 5-19a 和 b 这两种结构，主轴的定位部分在导套中转动，几乎没有径向负载，这有利于定位。轴支承在滚珠上，而滚珠支承在硬度高的支承垫 1（图 5-19a）和支承在圆柱 2 上（图 5-19b）。

图 5-19c 是由一个滚珠支承的锥形轴旋转导向装置，其上的套 5 在装配时找正位置，使轴 4 在套 5 和套 3 中转动灵活，但间隙很小，再用螺钉和销将套 5 固定，其回转精度可达 $(0.2 \sim 0.5)\mu\text{m}$ 。

把定位部分与支承部分分开，既能保证高的定中精度，又可保证主轴转动轻便。为减小主轴端面跳动，对多滚珠结构各滚珠的尺寸应相同，其差异应尽量小。在检具上采用这种结构时，一般不用标准的端面轴承，因为标准轴承达不到高精度的要求，而且结构尺寸过大。

径向滚珠旋转导向装置可显著提高回转精度，若滚珠几何形状误差在 $0.1 \sim 0.2\mu\text{m}$ 内，回转精度可达 $0.1 \sim 0.2\mu\text{m}$ 。图 5-20a 是滚动摩擦的旋转导向装置简图，其径向精度由定位套 1 的内孔、主轴 2 的外圆以及两排滚珠的尺寸和形状保证，轴向精度由定位套和主轴的端面及其上的滚珠的精度保证。径向滚珠装配后，其作用外径与定位套内径的配合可选为过渡

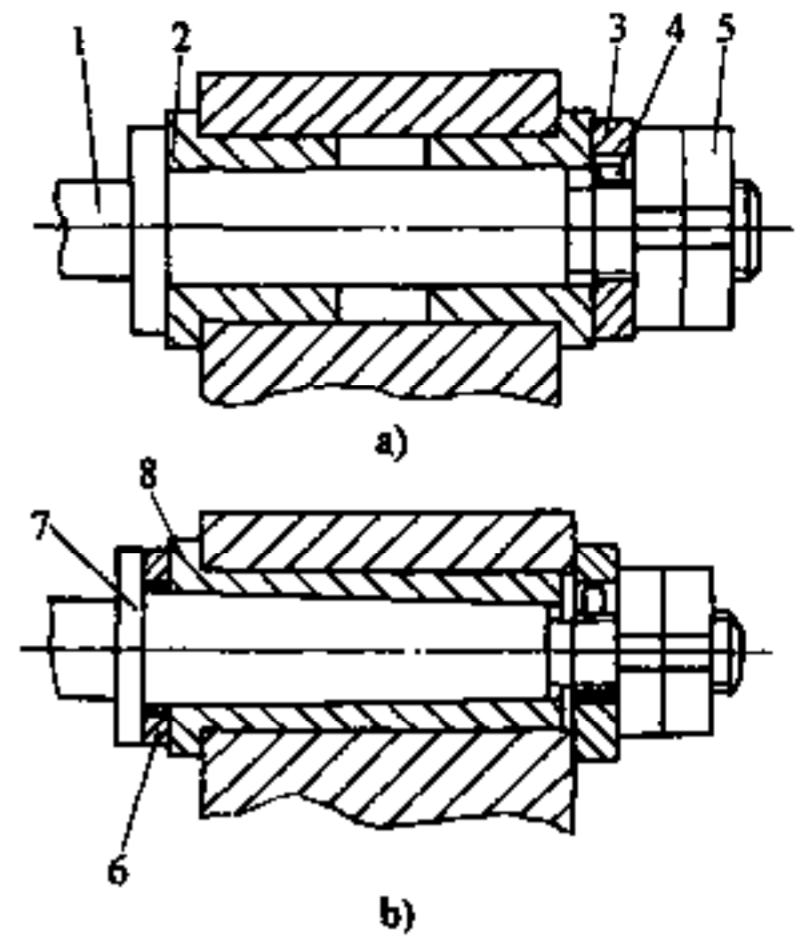


图 5-18 滑动旋转导向装置

1、7—轴 2—轴套 3—垫圈
4—销 5—螺母 6—垫 8—套

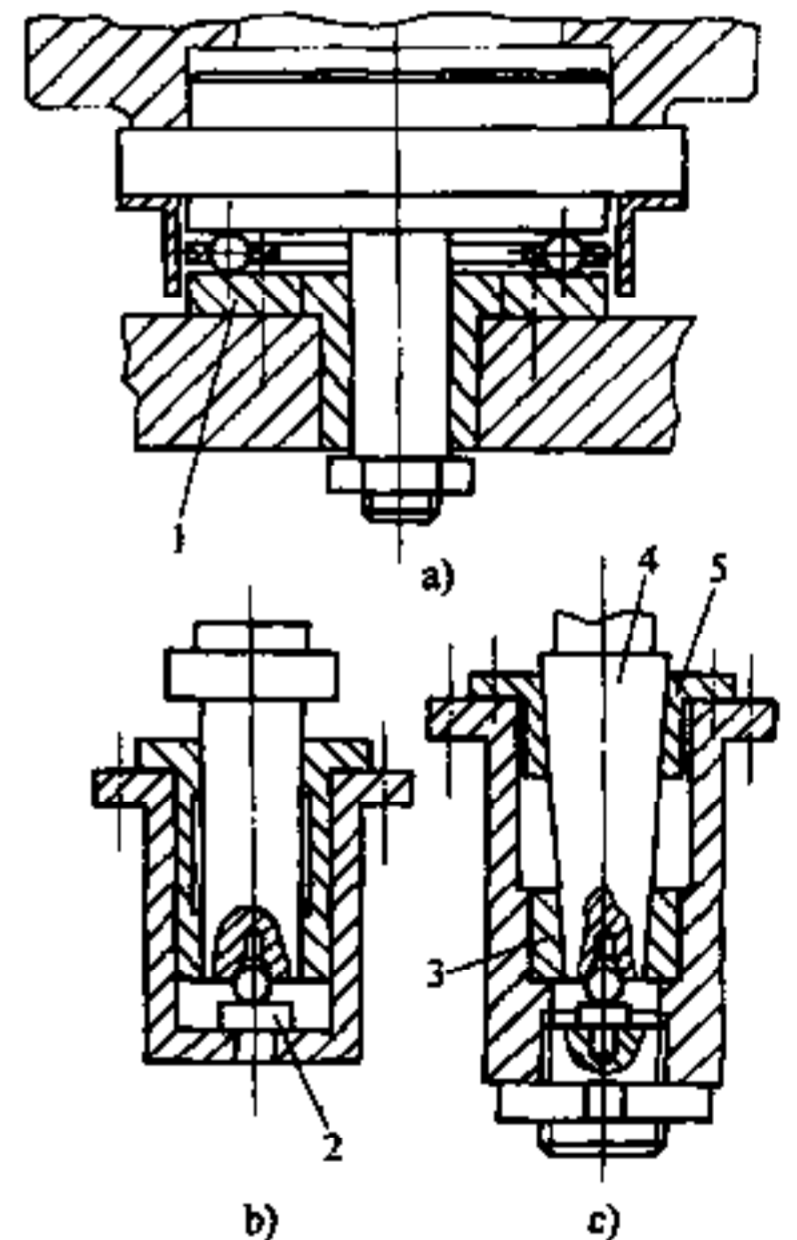


图 5-19 滑动加滚动旋转导向装置

1—支承垫 2—圆柱 3、5—套 4—轴

配合（例如 H7/m6）。

图 5-20b 是滚珠密集布置的旋转导向装置的示意图，主轴 4、轴套 3 及滚珠应有高的尺寸和几何形状精度，并通过滚珠的密集分布（近似多头螺旋排列，每个滚珠公转时沿一定滚道，互不重复）和过盈配合（一般 2~4μm），保证高的回转精度。这种结构的优点是其刚性比滚珠单列布置的装置大；滚珠密集起平均效应作用，有利于回转精度的提高。

设计滚珠密集旋转导向时应考虑，滚珠的排数和每排的个数应适当，排数少影响主轴回转精度，但如果过多将增加制造复杂性并使摩擦力矩增大。滚动密集旋转导向的总变形量 Δ 包括轴套 3 孔的变形量 δ₁、主轴 4 的变形量 δ₂ 以及滚珠与轴套孔和主轴接触变形量 δ 的总合

$$\Delta = \delta_1 + \delta_2 + 4\delta$$

过盈量 Δ 的大小与轴套、主轴的直径和加工误差、滚珠的直径和形状误差以及所承受的负载有关。过盈量是保证主轴回转精度的关键，没有过盈，精度将降低，起不到密集滚珠的作用；但过盈量也不能过大，否则对主轴回转精度不利，在装配时会使轴套和主轴的工作面产生塑性变形，破坏零件原有的几何精度。

密集式旋转导向滚珠在径向和端面上的排列应使各个滚珠的滚道互不重叠且在直径方向上对称。

当需要按工件大直径孔的倒角定位，或轴向负载较大时，可采用图 5-20c 和 d 所示的旋转顶尖结构，回转轴线的定位精度由圆柱配合部分通过研配控制配合间隙来达到，轴向负荷由各滚珠承受，各滚珠的直径应相同。

对于在检具中的滑动旋转导向，由于其转速一般较低，轴套和轴用 20、20Cr、T10A 或 45、40Cr 等钢制造，其优点是选材方便，易于研磨控制回转间隙，便于镀铬修复磨损件。

5.4.2 直线运动的导向装置

1. 滑动直线运动导轨 图 5-21a 是最简单的开式单面直线导轨，多用于百分表移动支架或其他测量部件的导向，其优点是能快速安装和取出支架，其缺点是只在一个方向导向，在测量时需用手使移

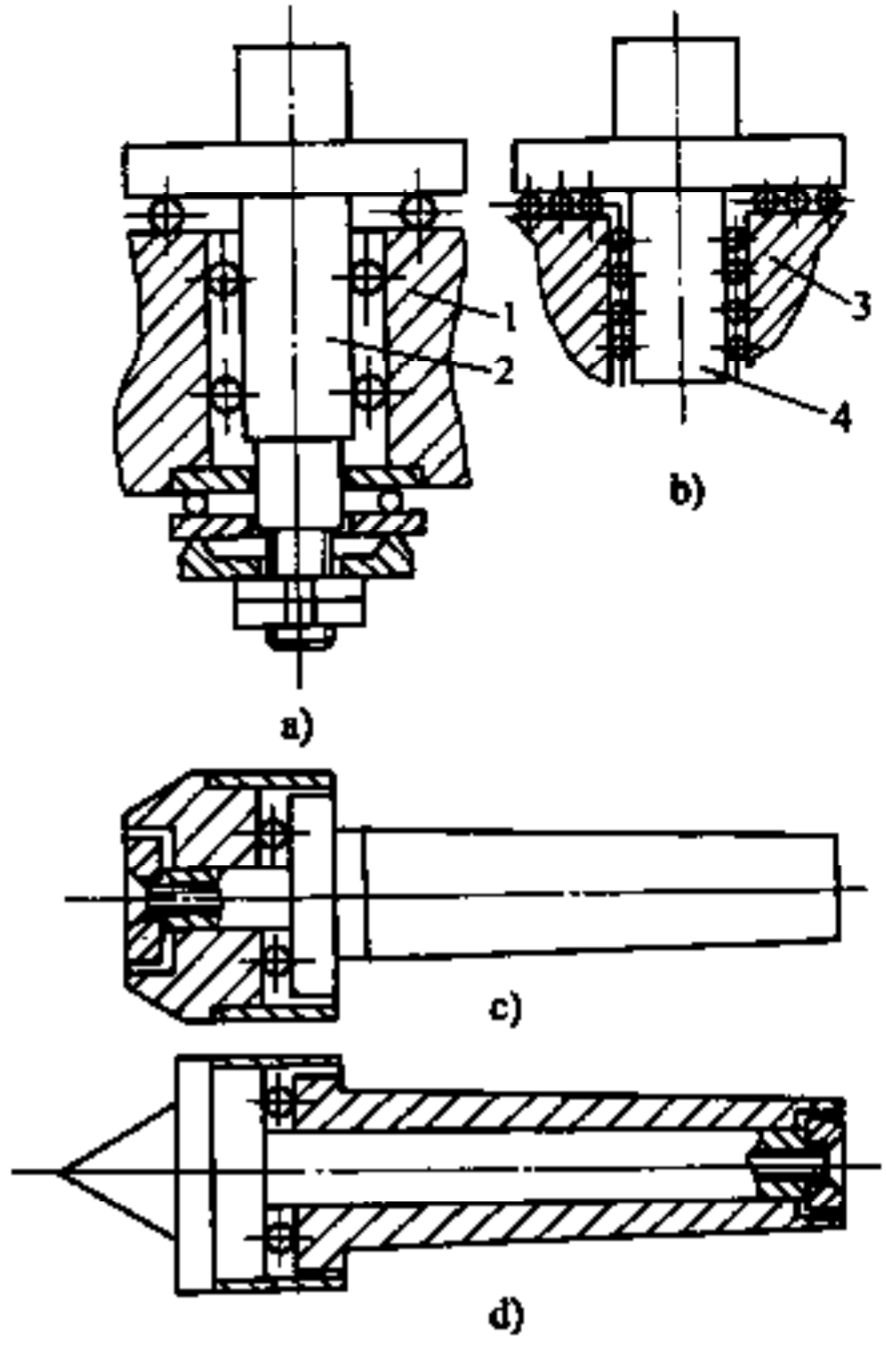


图 5-20 滚动旋转导向和旋转顶尖
1—定位套 2、4—主轴 3—轴套

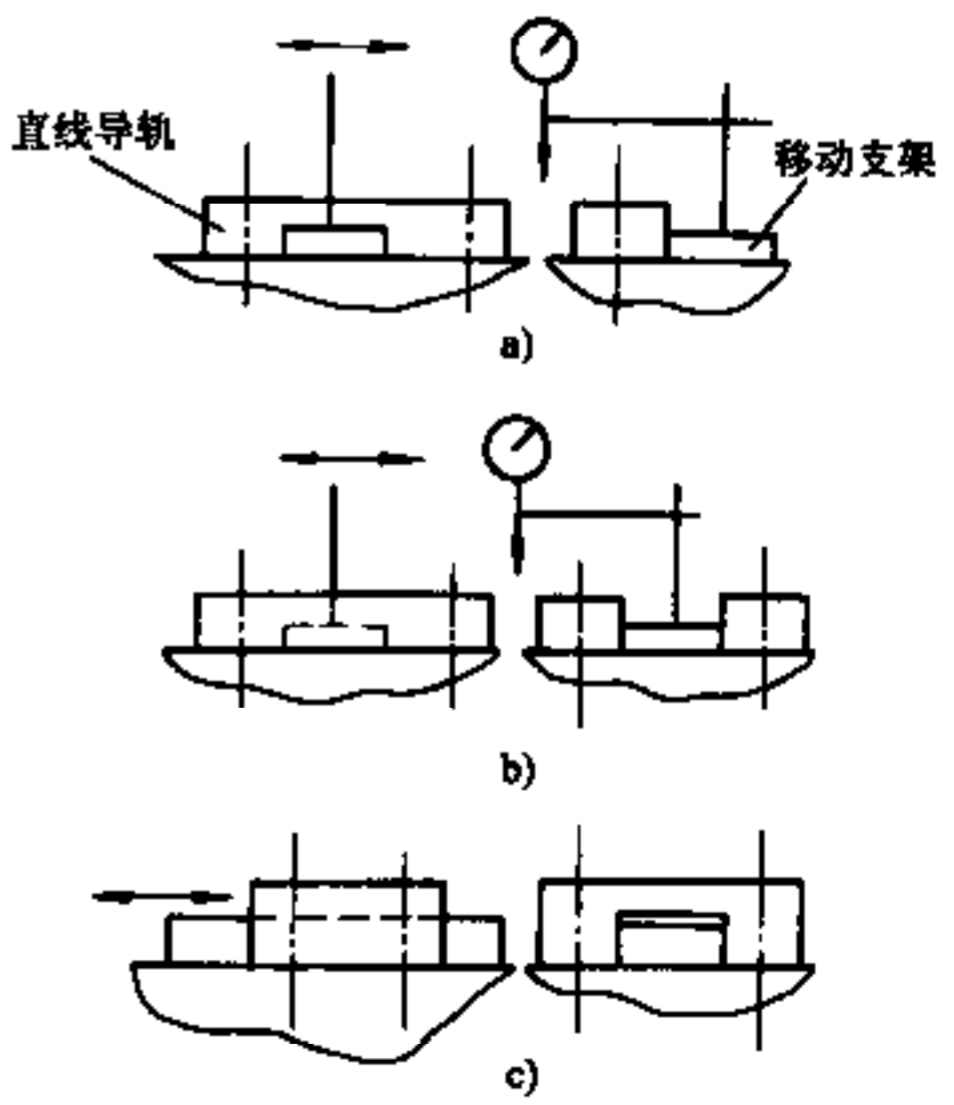


图 5-21 单面和双面开式直线运动导轨

动支架紧贴导向面。

图 5-21b 和 c 是开式双面直线运动导轨，结构简单，使用方便。这种结构限制了移动支架的两个侧面，但没有限制向上的移动，在测量时也要用手稍向下按住。

没有防护，易落上灰尘污物，是开式导轨的缺点。

为克服开式导轨的缺点，可采用图 5-22 所示的结构。图 5-22a 是一种简单的半封闭式矩形直线导轨的示意图，导轨与移动件在两个侧面和阶台高度上都有配合，其缺点是没有调整环节，磨损后无法调整。图 5-22b 所示结构增加了调整楔块 1，用在导轨两端水平布置的两个螺钉 2 调整侧面配合间隙（一般侧面间隙是主要的），然后用螺钉 3 将楔块拉紧。矩形导轨的优点是工艺性好，适用于对运动精度和灵敏度要求不高的情况。

图 5-22c 是一种封闭式直线运动导轨，在本体 5 上做出凹槽，运动件 6 在槽中移动。在本体 5 上固定有盖 4，运动件与本体和盖在两侧面和高度上都有精密配合。在本体长度方向两端面上固定有毛粘压盖（图中未示），以防止灰尘等污物进入导轨。这种结构在磨损后，运动件 6 的宽度可镀铬修复，而高度方向可通过磨低本体 5 槽的深度和磨小运动件高度修复。

如果采用图 5-22d 所示的梯形（类似于三角形）运动件 8，则磨损后只要磨低本体 7 的 A 面即可修复。采用这种结构时，为避免活动件在槽中楔住，取 $\beta = 15^\circ \sim 22.5^\circ$ 。这种结构的定位精度比矩形导轨高，但摩擦力较大且工艺较复杂。应指出，对于图 5-22d 所示结构，修复时在高度方向需要磨去的量比矩形导轨大得多，应考虑对检具的使用是否有影响。

在检具中还可采用各种结构的圆柱直线导轨，采用圆柱面作为直线导轨很方便，工艺性好且运动灵敏度较好；其缺点是不能调整间隙，需要限制轴的转动。轴角度的定位精度视具体使用要求而定。

当移动轴的角度定位精度要求不高，只需大致限制轴的转动时，可采用图 5-23a 所示简单的圆柱面直线导轨。当移动

轴的角度定位要求高时，可采用图 5-23b 所示的结构，在该结构中，用具有轴肩和定位圆柱的键 1 使移动轴的角度定位，并用两个螺钉将键固定在本体 2 上。键的圆柱部分与本体孔可为过渡配合，而键宽与移动轴上的槽为精密滑动配合。在键上端面中间有螺孔（图中未示），用于将键从本体中取出。这种结构的缺点是键磨损后不便于修复。

图 5-23c 是便于制造时调整和磨损后修复的圆柱面直线导轨，可通过修磨键轴肩下垫圈 3 的厚度，使键的 V 形（ 60° ）面与轴上的 V 形槽达到所需的配合间隙。当对运动件角度定位要求较高时，可采用这种结构。

图 5-23d 是通过固定在本体 5 上的定向板 4 与运动轴扁平面之间的精密滑动配合（其间隙应尽量小）未实现运动轴的角度定位。这种结构的优点是，由于不用加工槽，所以工艺性

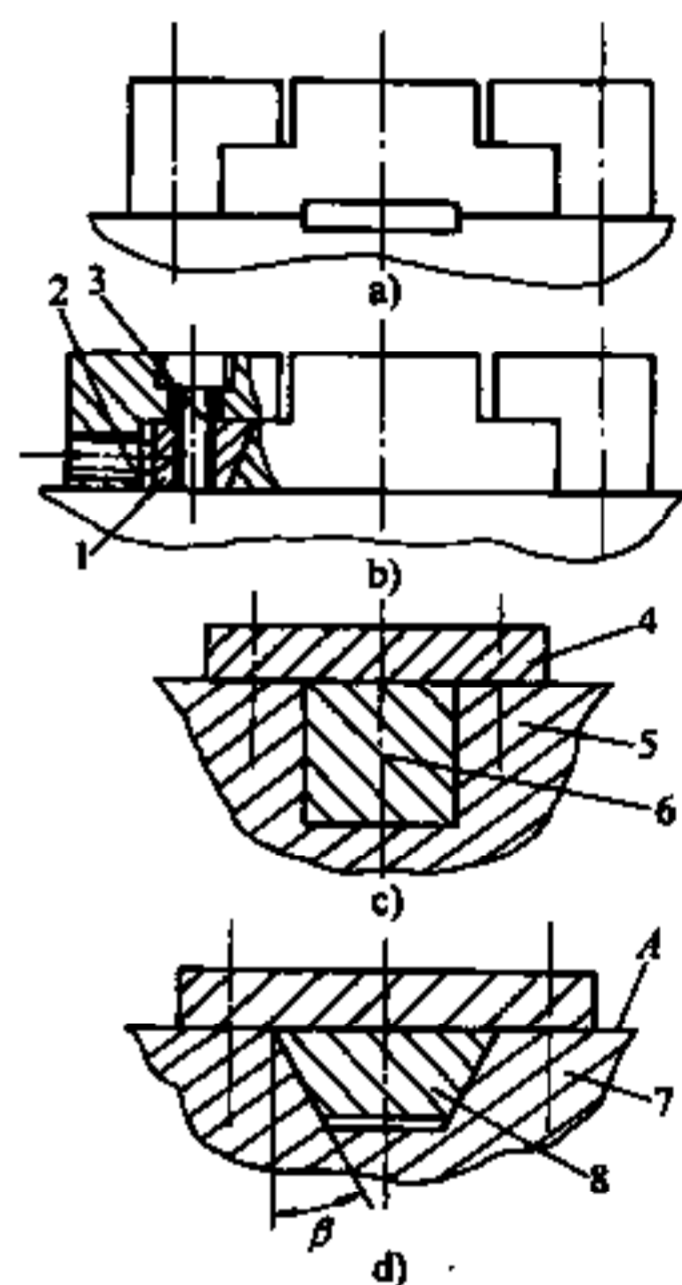


图 5-22 半封闭和封闭式
直线运动导轨

1—调整楔块 2、3—螺钉
4—盖 5、7—本体
6—运动件 8—梯形运动件

较好，防尘性也较好。

以上几种圆柱面直线导轨的定向键或板都是固定在本体上，也可将定位板 7 固定在移动轴 6 上（图 5-23e）。这时定位板的平面在本体较宽的平面 A 上滑动（两平面之间的间隙尽量小），所以移动轴的角度定位精度得到提高。这时本体上的滑动面应有高的硬度（或镶块）。为防尘埃，可加防护罩。

有时为提高定位精度，可采用图 5-23f 所示的结构，主要导轨的圆柱直径大，小直径圆柱作为定向件。这时要求移动件两轴之间和本体上两孔之间的轴线距离应相等，该距离误差和轴与孔的形状误差及其配合的正确选择，既能保证一定的定位精度，又能保证滑动的灵活性。定向圆柱也可做成菱形，以弥补两轴线的偏差。为保证定位精度和运动的灵活性，两轴与两孔轴线距离的一致性在结构上也可通过装配保证。当检验工件大或活动部分移动距离大时，也可采用两直径相同的双圆柱导轨或其他型式的导轨，包括各种导轨的组合。

滑动导轨表面粗糙度可按下述方法选取：对于精密移动导轨， $R_a = 0.4\mu\text{m}$ 或 $0.8\mu\text{m}$ ；对于一般移动导轨， $R_a = 0.8 \sim 1.6\mu\text{m}$ ；包容导向件的表面粗糙度比被包容表面的粗糙度可放宽一级。当两导轨配合面为刮研表面时，对于精密移动导轨，在 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 面积上接触点数为 16；对于一般移动导轨接触点数为 8~10。当两导轨配合面为磨削表面时，需要用涂色法检验两表面接触情况，对于精密移动导轨在全长上接触不小于 75%~80%，在全宽上不小于 60%~70%；对于一般移动导轨，在全长上接触不小于 65%~70%，在全宽上不小于 50%。

滑动导轨表面直线度和平面度误差通常可在下列范围内选取：对于精密移动导轨（0.01~0.02）mm/500mm；对于一般移动导轨（0.02~0.03）mm/500mm。两滑动导轨工作面的平行度误差可在下列范围内选取：对于精密移动导轨（0.02~0.03）mm/500mm；对于一般移动导轨（0.03~0.05）mm/500mm。

滑动直线导轨材料的选择：铸铁一般用 HT200 或 HT300，表面淬硬 45~55HRC，可提高耐磨性 3~4 倍，而且可显著减小摩擦系数；铸铁表面也可不淬硬，而采用镀铬，硬度达 68~72HRC；在铸铁表面上喷涂钼或含铬合金也可达到提高表面硬度的效果。在采用镀铬时只在固定导轨上进行，移动件滑动面的硬度适当降低，否则会产生卡死现象。

钢导轨材料一般选用 20、20Cr、18CrNiMo 和 18CrMnTi 等，表面硬度 60~65HRC；或选用 45、40Cr 等，表面硬度 250~300HB（调质）或 52~58HRC（高频或火焰淬火）；也可采用渗氮钢 38CrMoAlA、40CrV 和 30CrNiMoA，渗氮深 0.5mm，58~62HRC。

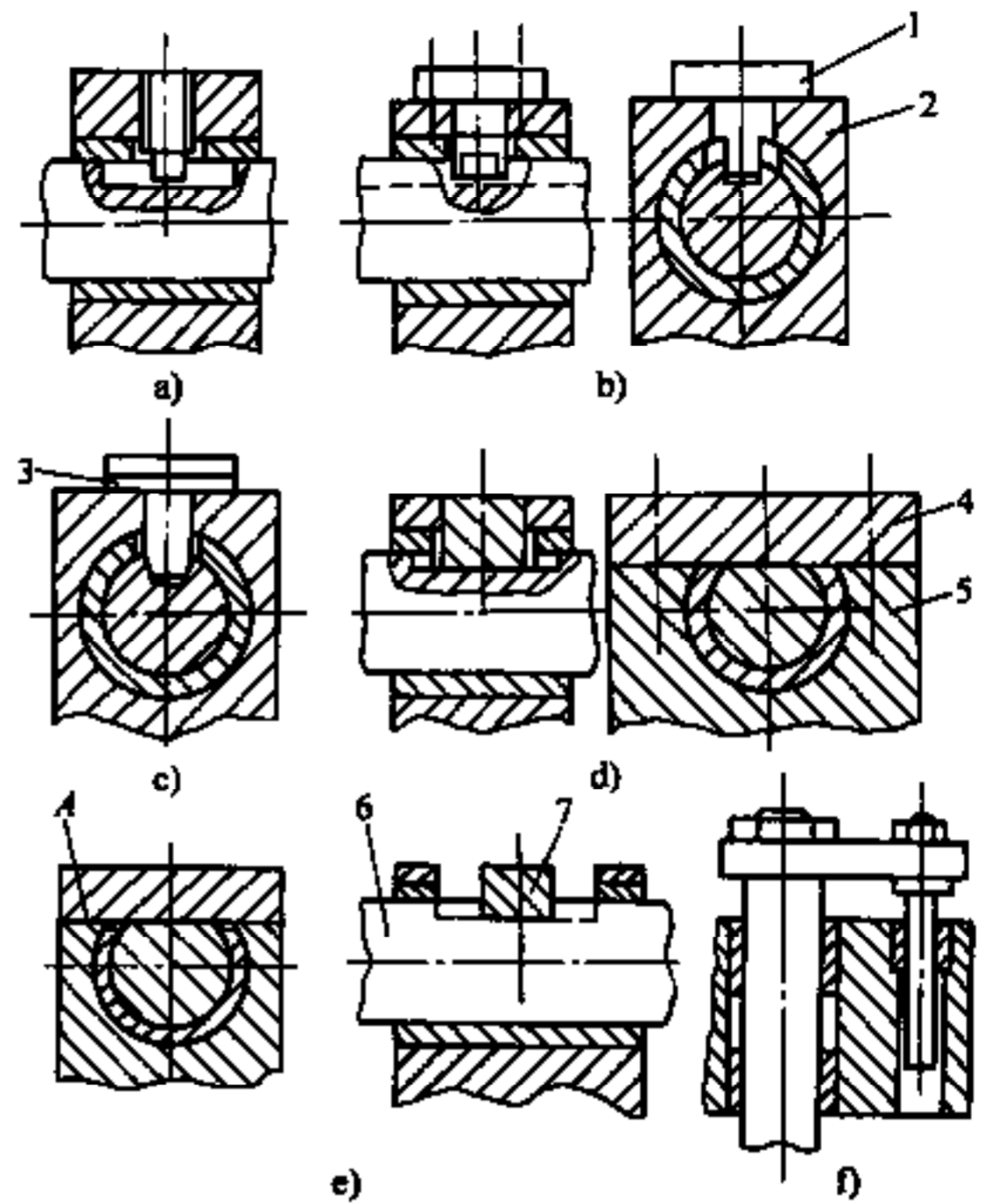


图 5-23 各种圆柱形直线运动导轨

1—键 2、5—本体 3—垫圈
4—定向板 6—移动轴 7—定位板

对于运动距离大的双圆柱导轨，为保证不发生卡住现象，应选用减摩材料（例如锡青铜）的轴套在钢制轴上移动，而不能像单圆柱直线导轨那样选用钢轴套。

塑料具有摩擦系数较低、动静摩擦系数相差不大、能在无润滑条件下工作、吸振性好和易于加工等优点，在导轨中的应用日益广泛。其缺点是耐热和导热性较差，热膨胀系数比金属大，所以用作导轨的塑料层较薄（1~3mm）。但塑料的缺点不影响其在一般检具上的应用。广州机床研究所、上海新江机器厂等单位生产有塑料抗摩软带和环氧型耐磨涂层。一般在运动的短导轨上粘结塑料软带或涂层。应注意在粘结或涂层前，导轨面的表面粗糙度 R_a 需在 $1.6 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 内，或预先加工出一定的浅槽，其相配件的表面粗糙度 R_a 应为 $0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

在检具上，滑动导轨所承受的负载一般可近似认为是均布的，在导轨面上的平均比压 p

$$p = \frac{P}{F} \leq [p]$$

式中 P ——作用在导轨上的负载；

F ——导轨面的支承面积；

$[p]$ ——允许平均比压。

检具允许的平均比压通常可参考磨床的 $[p]$ 值确定，可取：铸铁对铸铁 $[p] = 0.025 \sim 0.04 \text{MPa}$ （导轨承受集中载荷 $[p] = 0.05 \sim 0.08 \text{MPa}$ ）；铸铁对钢或钢对钢 $[p]$ 可增大 20%~30%；对于高精度检具 $[p] = 0.01 \sim 0.02 \text{MPa}^{[7]}$ 。

滑动导轨的运动精度取决于导向长度和其侧面间隙的大小；其灵敏度取决于两相对运动导轨材料的摩擦系数、导轨的长度 L 与宽度 B （或圆柱导轨的直径，或在组合导轨中两导轨对称轴线的距离）的比值以及运动力的作用点和方向。

在设计滑动直线导轨时，一般应使运动牵引力与导轨摩擦合力在同一直线上。对于截面对称的导轨（例如圆形、矩形和燕尾导轨），摩擦合力的方向与导轨对称轴线重合；对于截面形状不对称的导轨，则应根据两截面形状不同的摩擦力确定摩擦合力的位置。例如，当采用半角为 45° V 形导轨与平面导轨组合时（图 5-24a），摩擦合力的位置应在距 V 形导轨对称轴线的 $0.414B$ 处，牵引力作用在 A 点。

有时在结构上不能使牵引力与摩擦合力的作用点和方向一致，这时应使由此产生的使导轨倾斜的力矩尽量小，即使牵引力作用点和方向对摩擦合力的偏移和倾斜应尽量小，否则会降低导轨的灵活性和产生磨损不均。

为使导轨不产生卡住现象，对于圆柱形导轨， $h/L < 1.5$ （图 5-24b）；对于矩形导轨， $h/L < 2$ ；对于燕尾导轨， $h/L < 1$ 。

当牵引力方向与运动方向成一夹角 α 时（图 5-24c），要求 $(L/h) > \frac{2f \tan \alpha}{1 - f' \tan \alpha}$ （ f' 为当量摩擦系数）。对于圆柱形导轨面， $f' = 4f/\pi$ ；对于矩形导轨面， $f' = f$ ；对于燕尾导轨和 V 形导轨面， $f' = f/\cos \beta$ （ f 为滑动摩擦系数， β 为燕尾轮廓角或 V 形导轨 V 形角）。

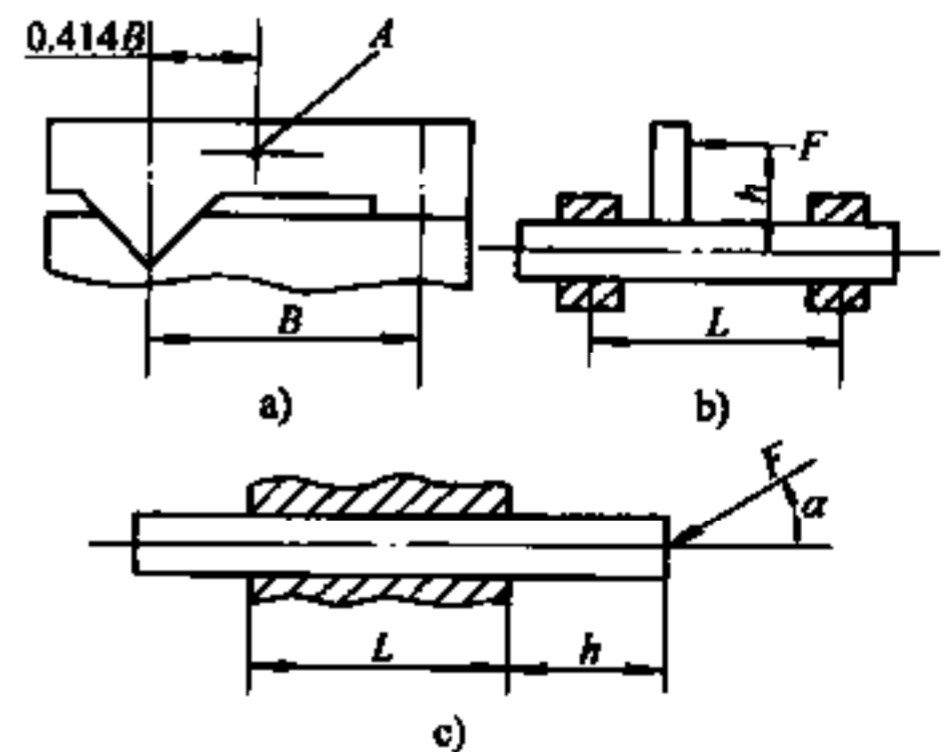


图 5-24 运动件在导轨上的运动条件

在采用镶钢导轨时，应注意由于用螺钉将其固定在基座上会产生变形，所以为保证精度，镶钢导轨在装配后往往需要修研，特别当精度要求高时。加工方法对导轨的内应力有影响，用单刃刀具刨削导轨和其镶条的工作面所引起的变形小，而铣削导轨所引起的变形大。

2. 滚动直线导轨 上述滑动直线运动导轨主要用在检具上灵敏度要求不高的运动件。为传递精度高的尺寸变化，需要采用滚动直线导轨，其优点是摩擦系数（0.005~0.01）远小于滑动导轨，无爬行；定位精度高，重复定位精度可达1~2 μm （滑动导轨一般为10~20 μm ）。但滚动导轨，特别是滚珠导轨的刚度低，负载能力小，抗振性差，适用于轻载负荷和灵敏度高的导轨。

在检具中使用较多的是滚珠导轨，图5-25a是利用螺钉预紧的双V形滚动导轨的示意图。在运动件2的两侧有V形槽（90°），导向板1固定在本体上，可调导向板3的位置可用在导向板3纵向长度上两端的螺钉5调整导轨的预紧，并使各滚珠在全长上保持均匀的过盈量（通常为5~6 μm ），以保持一定的刚度，调好后用螺钉4固定可调导向板3的位置。这样，既可保证运动件移动灵活，又没有在滑动导轨中存在配合间隙，但由于滚珠与V形槽面是点接触，容易磨损，特别是在使用初期磨损较大，随后当在V形面上磨出小圆槽后，磨损开始减慢，这种导轨在使用中应定期调整。这种结构对两V形槽角度差值的要求不高，工艺性较好，可承受不大的颠复力矩。

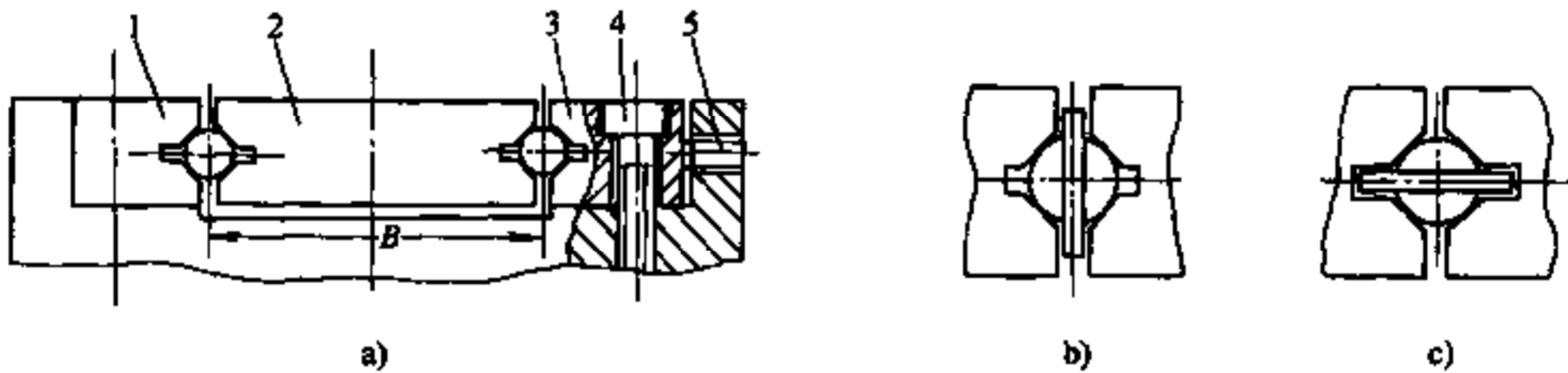


图 5-25 双 V 形滚珠导轨

1—导向板 2—运动件 3—可调导向板 4、5—螺钉

在V形槽中，长度方向上两端头滚珠的距离 $L \geq (1.5 \sim 2) B$ (B 为在宽度方向上两滚珠的距离)。为防止滚珠窜动，将各滚珠放在厚度为0.6~1.0mm的保持板的各孔中，保持板上孔的直径比滚珠直径大0.2mm，保持板与运动件一起移动。保持板可垂直布置（图5-25b），也可水平布置（图5-25c）。为防止保持板和在其孔内的滚珠脱落，在运动件的两端面加上挡板挡住保持板（图中未示），而又不影响运动件的移动。

检具一般负载较小，根据运动件的尺寸和重量，在每个V形槽中可有2~3个滚珠。当负载大和运动件重量大时，其滚珠的数量 z 可由下式确定

$$z \leq \frac{P}{9.5 \sqrt{d}}$$

式中 P ——每个V形导轨运动件承受的力 (N)；

d ——滚珠直径 (mm)。

当滚珠数量适当多时，不会产生过定位，只要数量合适还会对导轨加工中的误差起均化作用，可提高导向精度。根据导轨精度的要求，各滚珠直径差应小于0.5~2 μm 。

为提高双V形滚珠导轨的精度和接触刚性，可采用一根直径与滚珠直径相同的铸铁棒

对导轨面进行研磨，在V形面上形成一窄条圆弧浅槽，使接触面增大。这样既提高了耐磨性，又可修正直线度误差，从而提高导向精度，这种方法适用于较高精度的导轨。

图5-26a是利用拉簧3使上下导轨工作面紧贴在滚珠上的滚动导轨示意图，在运动件1上有两V形槽，在本体2上有一个V形槽和一个平面。如果运动件1的重量和负载之和较小，可采用图示3个滚珠作为定位支承，拉簧布置在3个滚珠支承点所构成的三角形重心A上。但如果运动件和负载较大，考虑导轨的变形和运动的可靠，应采用4个或4个以上的滚珠支承，并在对称位置布置弹簧。对于尺寸较大的运动件和本体，可在滚珠滑动面上装上淬硬钢垫，在V形导轨上安装时可在两端用半圆柱形压板5压住钢垫4和6（见图5-26b），这种结构的工艺性好，对以后的修理也方便。

这种结构与图5-25所示结构相比，其优点是磨损后能自动消除间隙，其缺点是没有限制运动件向上的自由度，不能承受颠复力矩。

在设计滚动导轨时，滚珠直径应选择适当，以保证滚珠的强度和导轨的刚性足够大。如果选择过小，还会使导轨的磨擦力较大；而选择过大，则使导轨尺寸过大。

一个滚珠所承受的最大负荷 P_{max} 应不超过其许用载荷

$$P_{max} = p_{max} t B \leq [p]$$

式中 p_{max} ——把滚动导轨当作滑动导轨计算时的最大压强 (N/cm^2)，见表5-2；

t ——两滚珠球心在长度方向上的距离（节距）(cm)；

B ——两滚珠球心在宽度方向上的距离 (cm)。

表5-2^[8] 滚珠许用载荷

滚珠直径 /mm	每个滚珠许用载荷 $[p]$ /N	
	淬火钢导轨 60HRC	铸铁导轨 200~220HB
6	22	0.7
8	38	1.3
10	60	2
12	88	2.9
15	140	4.5
20	240	8

导轨表面粗糙度对滚动导轨的刚度有很大影响，一般滚动导轨表面的粗糙度 R_a 为 $0.4\mu m$ 或 $0.2\mu m$ ，刮研导轨表面的接触斑点在 $25mm \times 25mm$ 面积上应达到20点以上，磨

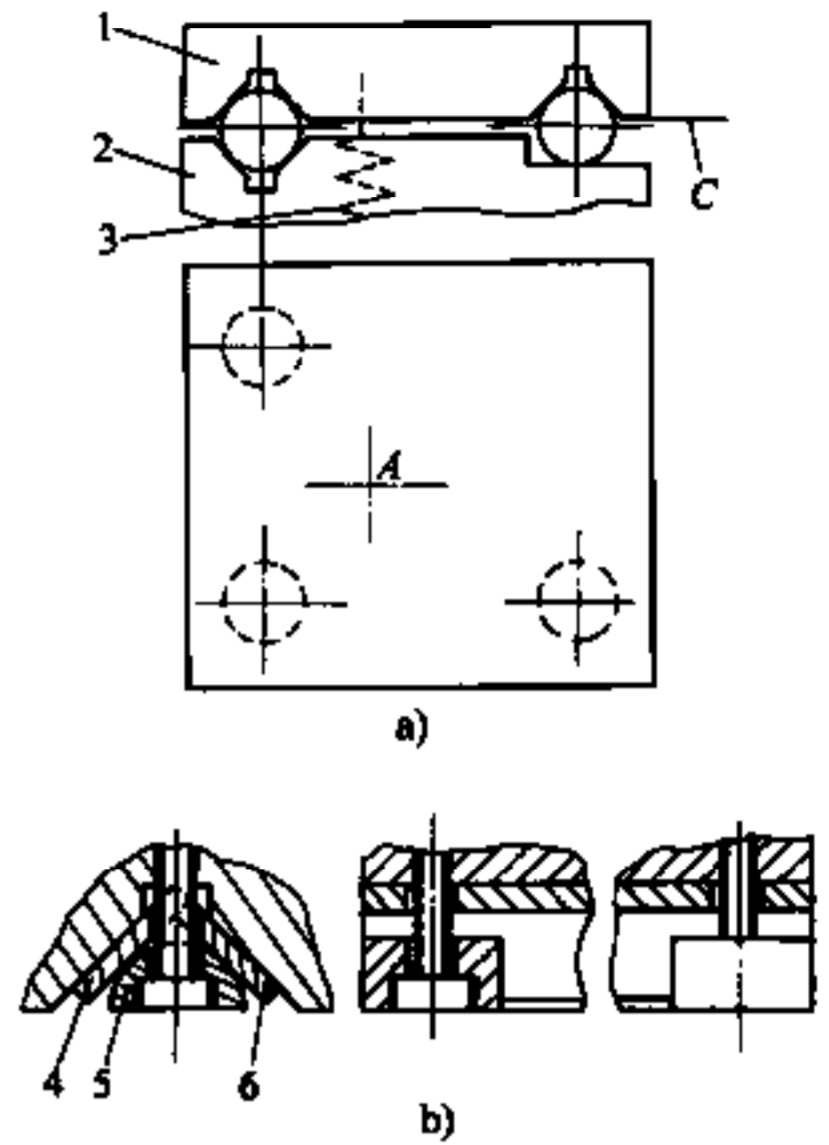


图5-26 滚珠在水平导向上移动的导轨
1—运动件 2—本体 3—弹簧
4、6—钢垫 5—半圆柱形压板

削导轨表面的接触面积不小于 80%。导轨表面的直线度和平面度为 0.01mm/500mm，两滚动导轨面的平行度 (0.008~0.015)mm/500mm 内选取。

检具的滚珠导轨一般用于负载不大的场合，若负载大应采用滚柱导轨，其刚性比滚珠导轨大，承载能力比滚珠导轨提高 20~30 倍，但工艺性差。

运动导轨和固定导轨的长度 (见图 5-27) L 和 L' ，应为

$$L = l + 2l_0 + s_{\max};$$

$$L' = L + s_{\max}$$

式中 l —— 固定导轨两端头滚珠的中心距离；

l_0 —— 固定导轨两端面到两端头滚珠的中心距离；

s_{\max} —— 运动导轨在固定导轨上最大移动距离 (这时滚珠移动 $s_{\max}/2$)。

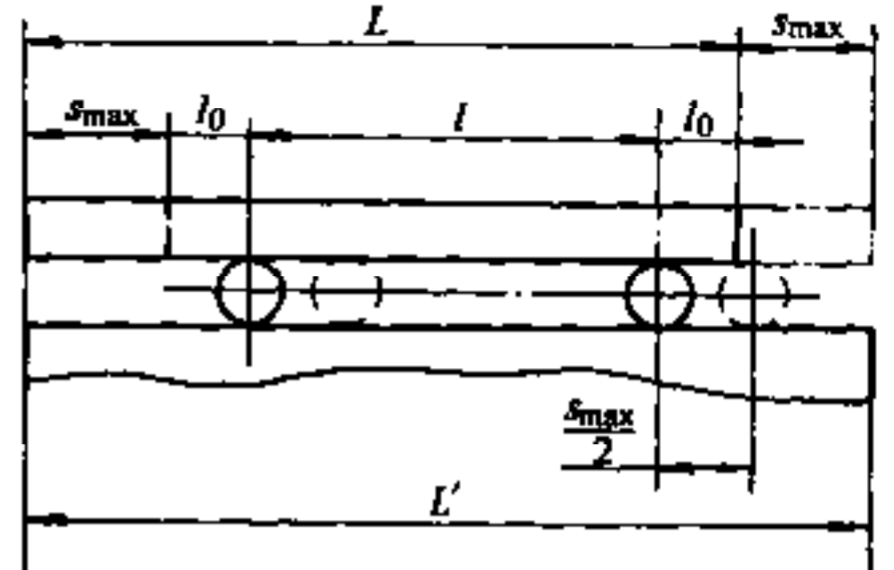


图 5-27 滚动导轨的长度尺寸关系

滚动导轨滚珠保持板的材料可采用黄铜 HP659-1 或 H62、青铜 QA110-3-15、硬铝 LY11 和酚醛布板等。

在检具上也可采用密集式滚珠直线导轨 (圆形和四方形)，其特点是摩擦系数小于 0.005、精度高，其刚性也能满足要求。近年来滚动体循环的直线轴承 (由导轨体、滑块、滚珠、保持架和端盖等组成) 已获应用，由生产厂装配成单元部件，使用时将导轨体固定在不动的支承上，滑块固定在运动件上，当滑块沿导轨移动时，滚动体自行循环。国内南京工艺装备厂、汉江机床厂等单位生产有直线轴承导轨。

5.5 检具的底座

很多检具都有底座 (本体)，底座承受本身和其他部件的重量，是检具的基础。底座的强度和刚性对保证检具的精度有重要作用，设计时应正确选择截面形状和尺寸。一般根据结构和造型的需要确定底座外形尺寸，其尺寸不能过大或过小。尺寸过大没有必要，既浪费材料，又增加了重量；过小影响刚性，因为横截面积不变，适当增大外形尺寸和减小壁厚可增大刚性，有时外形尺寸过小影响检具造型美观。

根据工件安装的方式，检具的底座多为卧式或倾斜式矩形结构，其内部有加强肋。为提高强度和刚性，要求合理地确定壁厚和加强肋的尺寸和形状。图 5-28 是一般铸铁底座，其尺寸可参考表 5-3。

图 5-28 中肋的布置是十字形，一般可满足使用要求，铸造工艺简单。根据需要，铸造底座也可采用“×”或“*”形肋，其中“*”形肋刚性最好。注意各肋交接处的铸造结构应合理，防止铸造时材料局部的积聚 (对于图 5-28，垂直肋也可错开布置，图中未示)。

底座的材料一般采用 HT200 或 HT300，铸件应经时效处理，精度高的底座在精加工前和后还应时效处理，要求保温时间足够长冷却速度足够慢，以避免产生二次应力。

底座也可由钢材焊接而成，与铸铁底座相比，焊接底座可缩短制造周期，在达到同样刚性的条件下，焊接底座的壁厚可稍薄，因为钢的弹性模量为铸铁的 2~2.4 倍，所以重量也可比铸铁底座减轻 25%~50%。

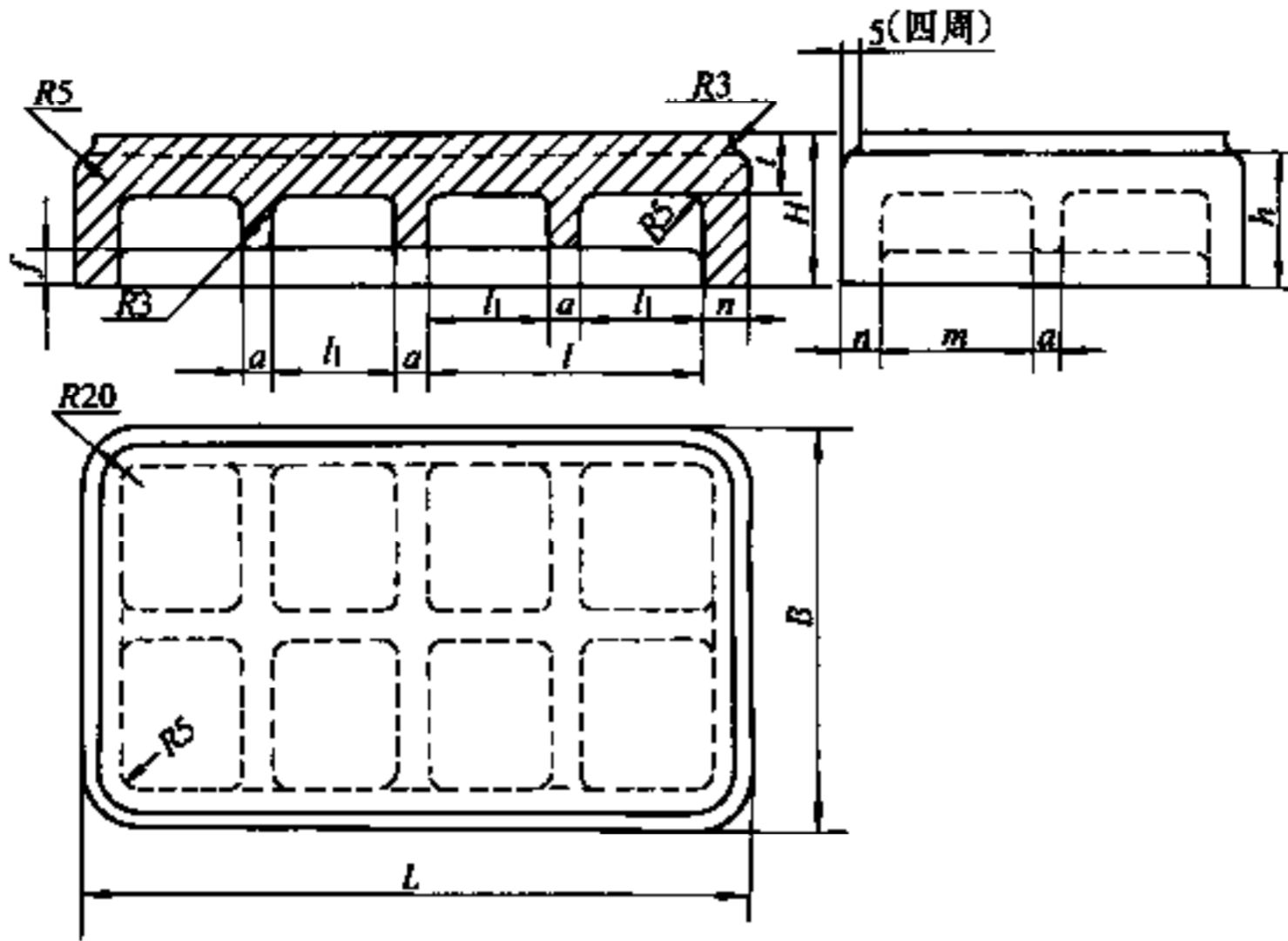


图 5-28 一般铸铁底座

表 5-3 铸铁底座推荐尺寸 (见图 5-28)

(mm)

L	B	H	h	ϵ	f	n	l	l_1	m	a
200	160	45	40	20	12	10	86			8
280	200	50	45	22	12	10	126			8
400	300	60	52	25	12	12		86.5	133	10
500	360	70	60	30	15	15		110	160	10
600	420	80	68	35	18	18		132	186	12

通常可用 8~12mm 厚的钢板作为基板, 用 4~8 mm 的钢板作为肋板; 采用一部分型钢或利用板材弯曲成所需形状的待焊零件可显著减小焊接工作量; 有时可采用钢管作为支柱。

设计焊接底座时, 应适当增大截面尺寸, 以增大刚性; 应合理布置肋条, 一般要求对称布置, 但应避免焊缝过分集中, 图 5-29a 为合理的结构, 而图 5-29b 为不合理的结构。在焊接工艺性方面还要求: 在保证质量情况下, 为避免发生未焊透、咬边缺陷, 焊接宽度、焊角高度、坡口等尺寸不宜过大; 对于受载荷的焊接件, 接头处应防止截面突变; 使肋的受力合理, 受力的焊缝不能放在弯折处; 受弯曲时应将焊缝底面强度较弱的一边放在受压的一边, 图 5-29c 为合理的结构, 而图 5-29d 为不合理的结构。

对于焊接底座, 还应考虑合理的加工工艺性, 尽量减少焊后的机械加工量。设计者应绘制详细的焊接总图和零件图, 有些零件在焊接前就应适当加工。底座焊好后和精加工前应退

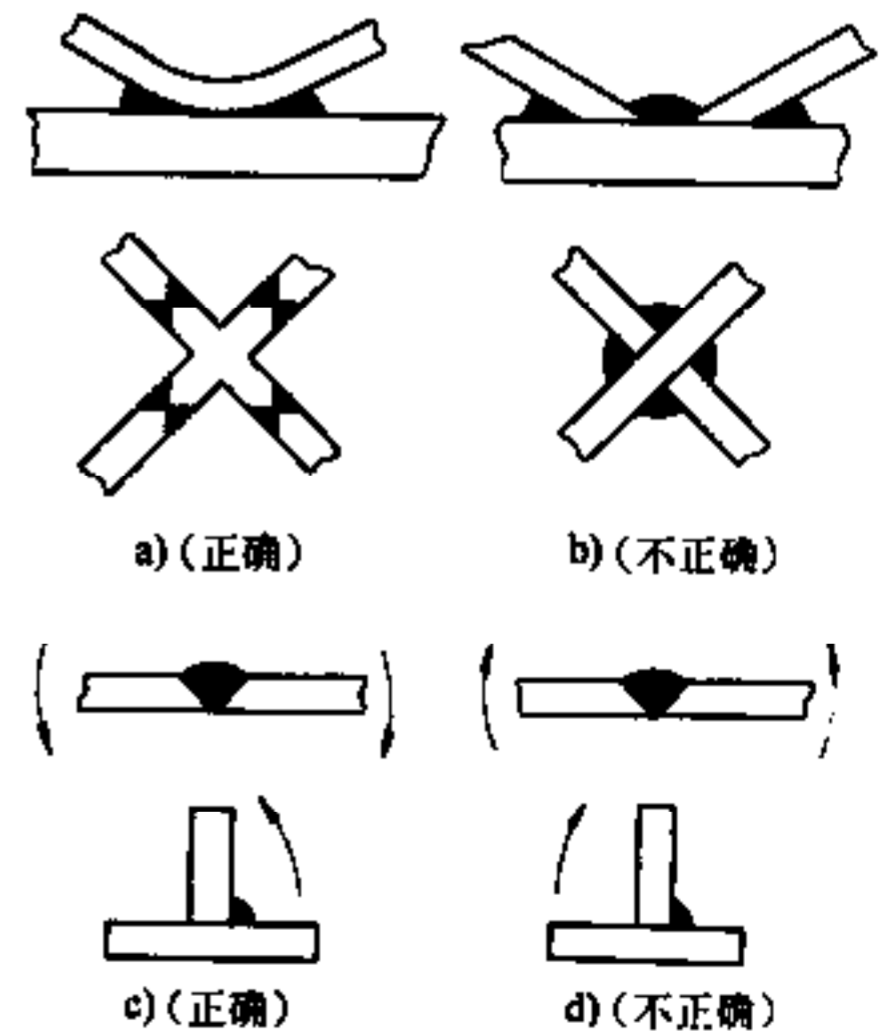


图 5-29 焊接结构的正确性

火。

检验大型工件时，有时需要将检具放到工件上，为减轻检具底座的重量，可用铸造铝合金，其重量约为铸铁的 $1/3$ 。铸造铝合金毛坯应退火，以消除内应力；为提高强度，铸造铝合金应进行淬火和时效，对于尺寸精度要求高的需要进行稳定回火。

检具底座的工作面的表面粗糙度一般 R_a 为 $0.8 \sim 0.4 \mu\text{m}$ ，对刮研工作面接触斑点在 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 上应有 $12 \sim 16$ 点。

5.6 检具的校准件

5.6.1 校准件在检具中的应用

校准件（或称为标准件，样件）是用来校准检具测量指示仪表和量仪示值的元件，是度量的基准。校准件还可方便地检查检具的工作状态，揭示出在使用一段时间后是否需要重调。

为校准仪表示值的零位，要求校准件对公称尺寸的误差在工件公差的 $1/10$ 以内，这时在校准件上可刻上公称尺寸，也可刻上精密测量的实际值（准确到小数点后一定位数）。如果工件被测量尺寸的公差较小，校准件对公称尺寸的误差控制在工件尺寸公差 $1/10$ 以内有困难，或有时由于制造原因校准件的尺寸误差超出设计允许偏差时，必须在校准件尺寸所在方向刻上精确的实际值。

当用相对方法测量形位公差时（例如平面度、平行度和垂直度）可用通用测量工具（平板、直角尺等）或用专用校准件校准检具仪表。

在测量有些尺寸和形位公差时，利用校准件有下列优点。

1. 利用校准件能使难以测量的尺寸便于测量 例如在大量生产条件下，测量图 5-30a 所示的尺寸 $L \pm 0.1\text{mm}$ ，这时如果在轴上放滚珠直接测量尺寸 L 有一定困难，所以用图 5-30b 所示的检具（示意图）测量。

安装工件时，先将工件右端的中心孔放在活顶尖 1 上，在工件直径 D 外圆下面的 V 形块 2 使工件按直径 D 粗定位。然后使具有球面触头（其公称直径等于滚珠直径 d ）的测杆向左移动，这时一方面使工件按两端中心孔定位，而在工件直径 D 外圆表面与 V 形块两 V 形表面之间有一适当间隙；另一方面又使工件的端面 A 靠在 V 形块的右侧面上，实现工件的轴向定位。在 V 形块 2 上固定有测量块 3，直线传递机构的测杆 4 与测量块的 B 面接触。

先用校准件（见图 5-30c）校准百分表的零位，在测量工件时，百分表示值的变化就是尺寸 L 对公称值的误差。

采用这种方法时，校准件中心孔的尺寸和形状应加工准确，保证标准滚珠到 A 面的距离尺寸 $L \pm 0.01\text{mm}$ 。

测量工件时，用测杆 5 上的球面触头代替滚珠，这时球面触头的公称直径 d_1 应等于滚珠直径 d 。测杆球面触头的直径 d_1 对公称直径的误差可以适当放大，并不影响测量精度，因为校准件制造时已按公称直径为 d 的滚珠控制了中心孔的尺寸和保证了尺寸 $L \pm 0.01\text{mm}$ 。由于是比较测量，即使用与 d 有差异的直径为 d_1 的球头按校准件校准百分表零位，仍然可以达到与用直径为 d 的球头比较测量同样的效果。这点对制造测杆球头很有利，因为要求使测杆球头的精度达到与滚珠相同的精度是比较困难的。

由以上可以说明，由于有了校准件既可使测量易于校准，又可使球形测头尺寸公差适当放宽，便于制造。

2. 利用校准件可使复杂的测量简化，提高检验效率 例如在车间大量生产条件下，为测量平面度可采用一测量板，根据被检表面的形状布置一定数量的百分表或千分表。测量时，先将各百分表按标准平面（专门设计的校准件或适当级别的通用平板）校准零位，然后把检具放到工件的被测面上，各百分表的示值最大差值，就是所测得的平面度误差。采用这种方法检验平面度比较简单实用，效率较高。

3. 利用适当形式的样件可简化对检具精度要求的复杂性 例如图 5-31a 是测量工件端面 A 到孔轴线距离尺寸 $L \pm 0.02\text{mm}$ 的检具示意图。由于端面到孔的上素线的距离很小，不便布置测量装置，所以采用图示的测量方法。

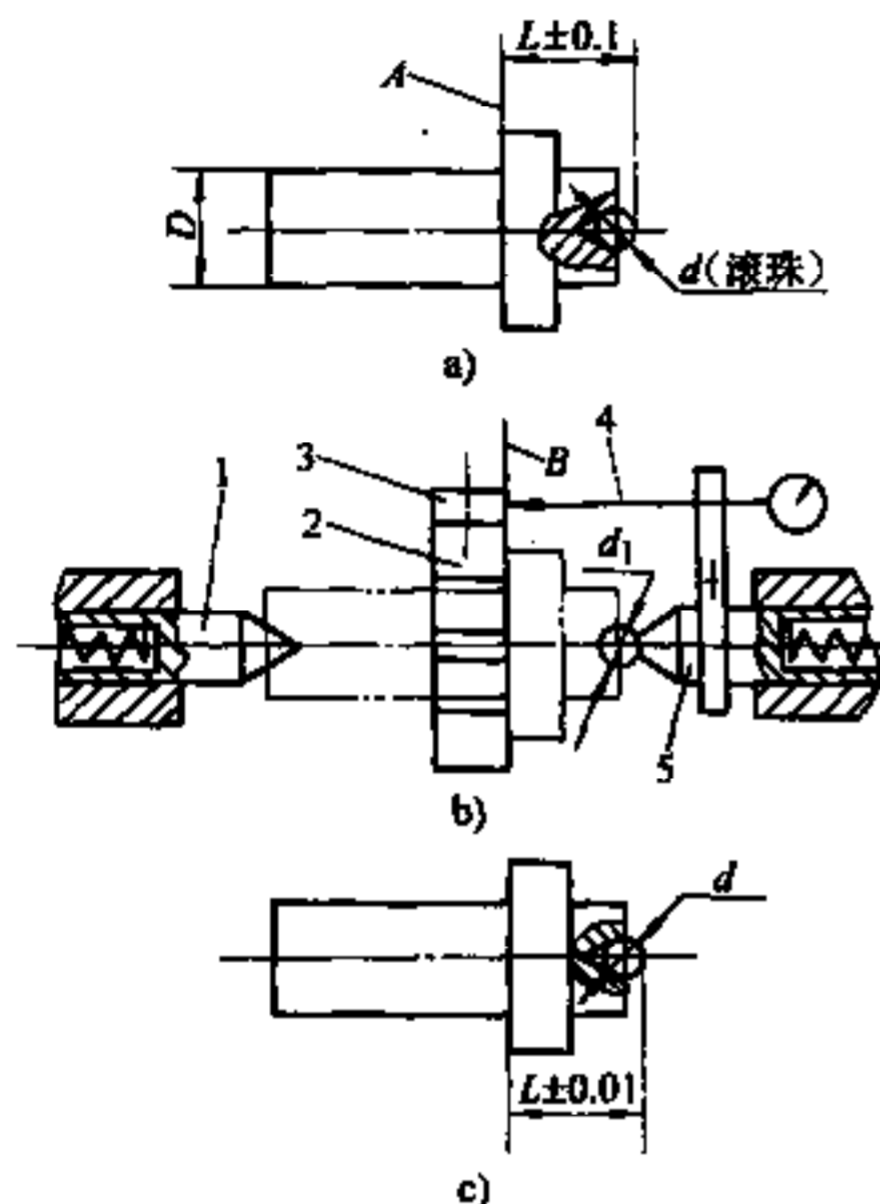


图 5-30 利用校准件方便测量

1—活顶尖 2—V形块 3—测量块 4、5—测杆

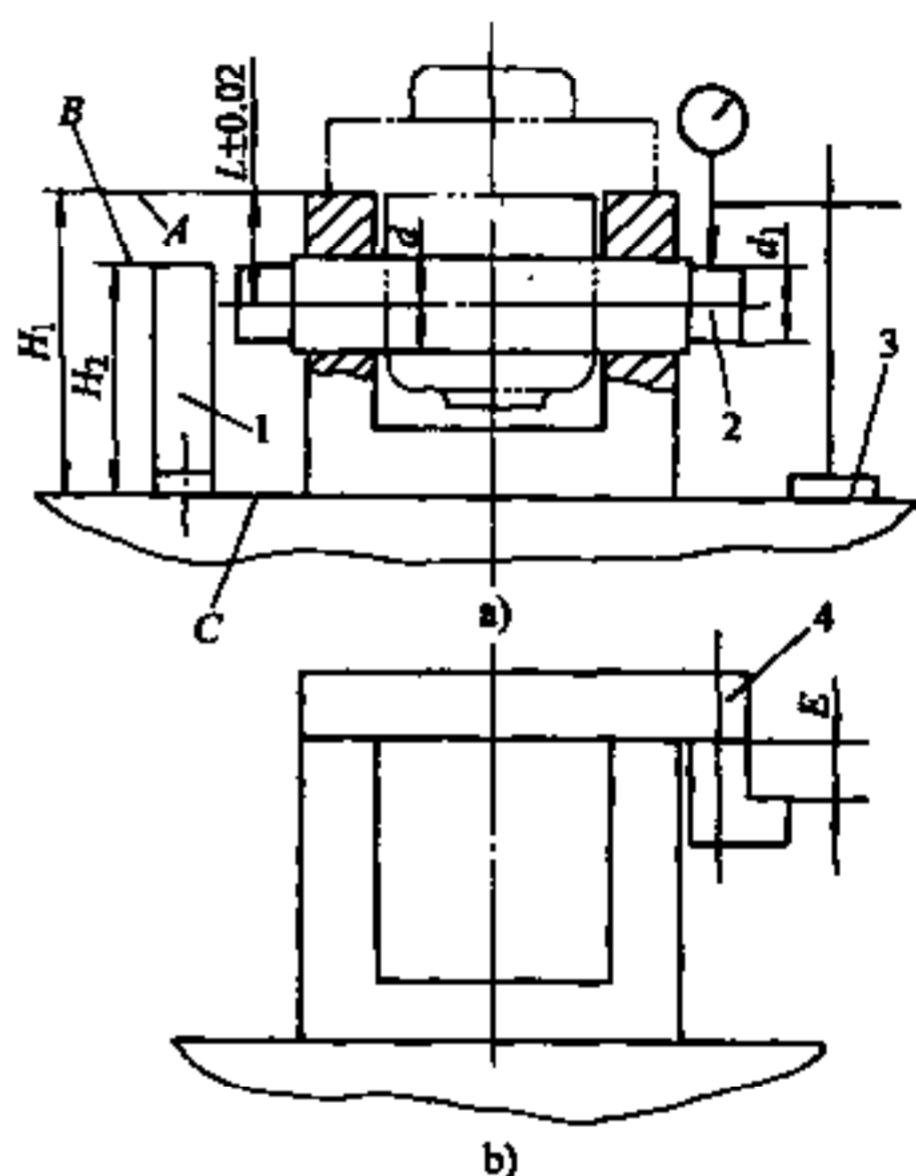


图 5-31 利用适当形式校准件简化对检具精度的要求

1、4—校准件 2—心轴 3—支座

工件以端面 A 在检具上定位，在工件孔中插入适当直径 d 的心轴 2（按孔的公差分组有若干个心轴），心轴两端的直径 d_1 比 d 略小，各个心轴的 d_1 值应一致。如果在检具上安装校准件 1，要求尺寸 $H_1 - H_2 = L - \frac{d_1}{2}$ ，这时 A 面和 B 面对 C 面的平行度都有高的要求。测量时，先用校准件 1 的 B 面校准百分表的零位，然后再用支座 3 在心轴 2 的上素线上打表，百分表的示值变化就是尺寸 L 的误差。由于 L 的公差较小，所以在心轴的两端都要测量。这种方法对在检具上的尺寸 $(H_1 - H_2)$ 的制造精度要求很高。

如果采用图 5-31b 所示的校准方法，校准件 4 单独制造，其尺寸 $E = L - \frac{d_1}{2}$ 。这时对检具的精度要求将简化只要求检具的 A 面对 C 面平行，工艺性得到改善。

5.6.2 校准件的设计

1. 根据使用情况选择校准件的形式 当从工件中挑选校准件或用工件的毛坯制造校准

件时,校准件与工件的形式完全相同。但由于对校准件的硬度、精度、刚性和表面粗糙度等要求较高,所以一般(特别对于精度较高的测量)不适合从工件中挑选校准件。

校准件的形状可与工件的形状基本相同。校准件应包括工件在检具上全部有关的部位:定位基准面、在检具上测量的各个表面,有时还包括工件在检具上的压紧面等有关部位;至于工件在检具上的无关部位,在校准件上可适当简化。例如在检具上测量气缸套各个直径(图 5-32a)用的校准件(图 5-32b),气动测量连杆两孔(图 5-32c)直径及其轴线平行度的校准件(图 5-32d)就是属于这类校准件。这类校准件与工件相似,但结构尺寸不同,增大了刚性。

校准件的形状可与工件的形状部分相同,也可与工件的形状完全不同;校准件可以是一个零件,也可由若干零件组成。应根据具体情况选择适当形式的校准件,一般应使其简化,并考虑工艺性,使样件既有足够的刚性,又尽量减轻其重量。

例如,对于复杂的阶台轴类工件,在最终检验时需要在检具上测量多个轴颈的直径和径向跳动,测量若干轴向长度尺寸,这时适合于采用与工件形状基本相同的校准件。但是,如果在工序间检验,检验项目少,则应考虑校准件的简化问题。

图 5-33a 是在检具上测量轴的端面 A 到左端的距离 $L \pm 0.1\text{mm}$ 和直径为工序尺寸的外圆 C 表面对两端定位轴颈径向圆跳动的检具示意图,这时外圆 C 的直径已用量具控制,不在检具上测量。工件在两 V 形座上定位,轴端面 A 靠在右 V 形座 5 的左端面上。支座 2 沿导向板 1 垂直于两 V 形面公共轴线的端面 B 移动,使其上的百分表 3 的触头与工件左端面接触,由百分表的示值与用校准件校准时的示值差,即可得到尺寸 L 的偏差。用百分表 6 测量外圆 C 表面的跳动。

校准件可做成图 5-33b 所示的形状,在校准件上包括工件两定位轴颈表面和尺寸 L 的两端面,但不包括外圆 C 的表面,因为测量跳动的百分表不需要校准零位。

考虑尺寸 L 的公差较大 ($\pm 0.1\text{mm}$),允许在检具上布置一个辅助基准。将检具两 V 形座右端面之间的距离 L_1 做基准,这样通过测量工件左端面到检具端面 D 的距离 $L_2 = L - L_1$ 即可保证尺寸 L。在这种情况下,校准件的形状如图 5-33c 所示。使用时校准件的 E 面靠在 V 形座 4 的端面 D 上,百分表触头与校准件 F 面接触。该校准件比图 5-33b 所示的结构简单,便于制造。

2. 考虑校准件的工艺性 校准件的精度一般都较高,为便于制造和达到制造精度,应充分考虑校准件的工艺性。在校准件设计中,应适当减小精加工面积,例如对于轴类校准件,需要经过精磨和研磨加工才能达到要求的外圆表面,其精加工长度可比工件适当短些,只要能满足使用要求即可。又如对于图 5-33c 所示的校准件应设计成图 5-33d 所示的形状,既保证校准件的 E 面比较大,与检具接触稳定,又使校准百分表用的 F 面的面积适当减小,使尺寸 $L_2 \pm 0.004\mu\text{m}$ 的研磨比较容易。

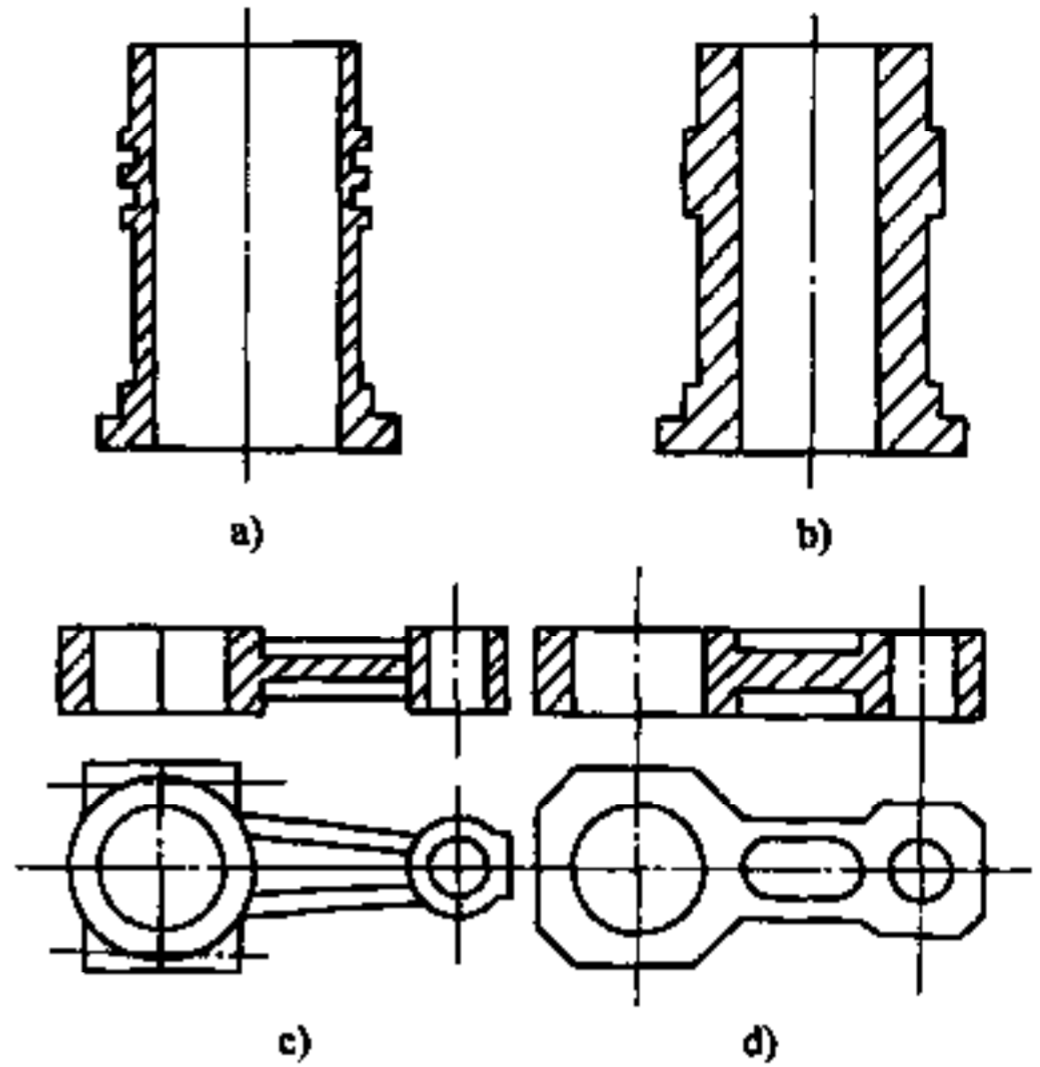


图 5-32 与工件形状基本相同的校准件

为便于制造，有时将校准件做成装配式的，例如为检验图 5-34a 所示工件的尺寸 L 和 H ，校准件可做成图 5-34b 所示的结构，由三个基本零件装配而成。

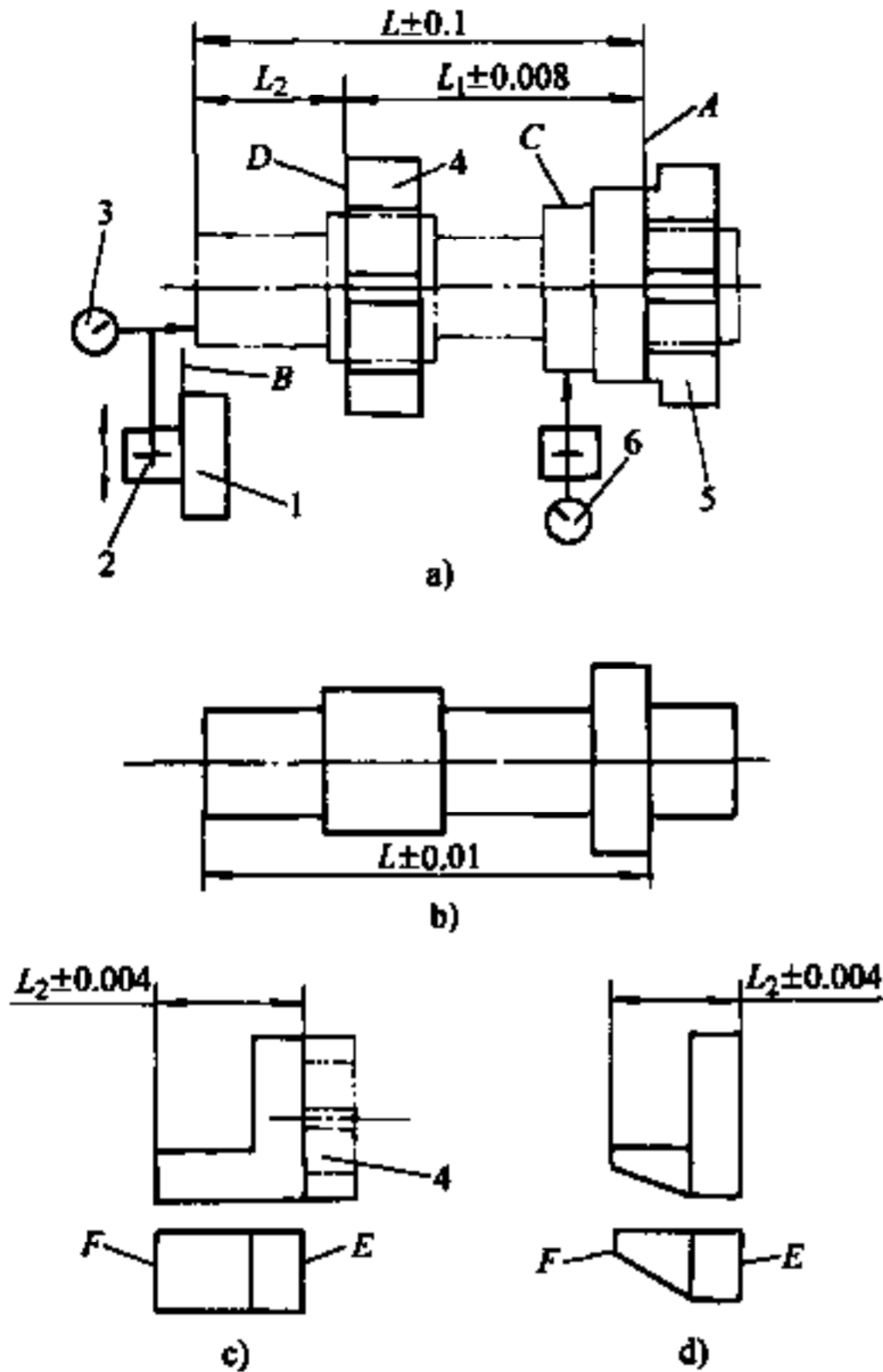


图 5-33 校准件形式的选择

1—导向板 2—支座 3、6—百分表 4、5—V形座

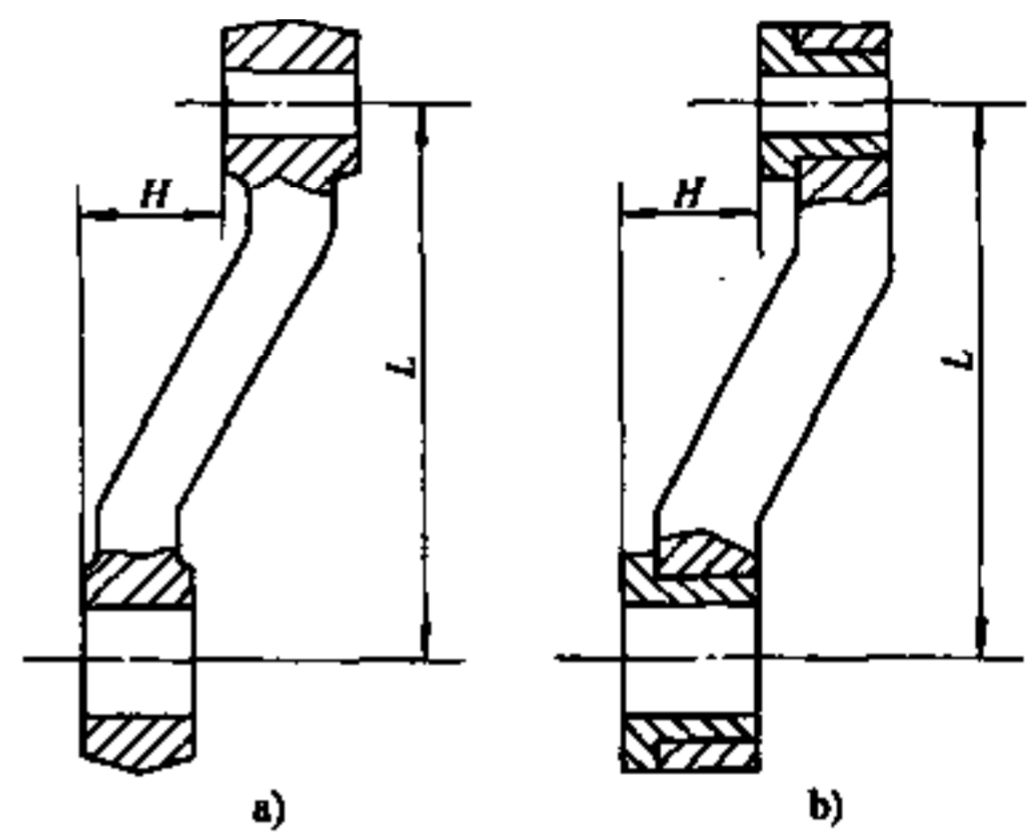


图 5-34 装配式校准件

校准件精密尺寸的部位可做成装配式和可调式的，这种结构可解决较复杂校准件尺寸不易加工的问题，还可使校准件本体不用淬硬。在工作面上设置硬度高的元件，磨损后也易于修理和更换。

例如，为检验曲轴各主轴颈端面的轴向尺寸 $L_1 \sim L_6$ （见图 5-35a），工件以两端主轴颈 d 和端面 A 定位，工件尺寸的变化通过传递装置传到百分表，根据百分表与用校准件校准时的示值差，即可确定各轴向尺寸的误差（检具结构图中未示）。图 5-35b 是校准件简图，各测量件 3 装在空心轴 4 的扁平面上，轴的两端有定位轴颈 d 。各校准用的端面到基准面 A 的轴向尺寸，由控制基准面 A 到各测量柱 2 表面 B 的轴向尺寸达到，这些尺寸可通过配磨调整垫圈 1 的厚度达到。这样便于制造，不需要精密加工校准件的整个圆环端面，量柱 2 的端面足够校准百分表用。尺寸调好后在螺母上涂上石蜡。

3. 校准件的技术要求及其材料和热处理 对校准件的基本要求是：

(1) 尺寸和形状的精度高，并能长期保持稳定。校准件的尺寸公差一般是工件公差的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{5}$ ，校准件的形状误差应是其尺寸公差的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ ，但如果校准件尺寸公差很小 ($\leq 2\mu\text{m}$)，其形状误差允许在尺寸公差范围内。形状误差小的校准件在检具上应用有较大的方便性。

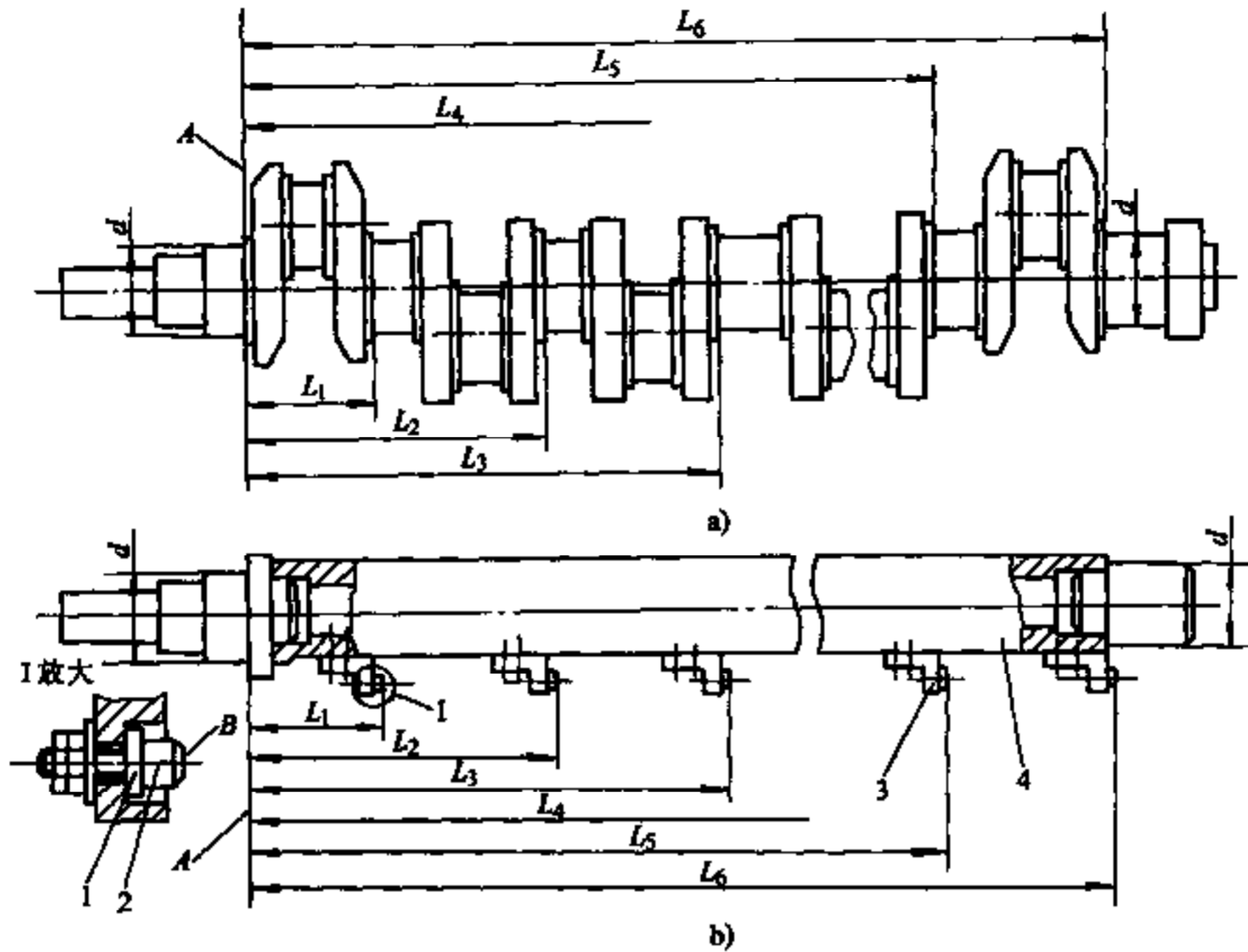


图 5-35 曲轴各端面轴向尺寸装配式校准件

1—调整垫圈 2—测量柱 3—测量件 4—空心轴

- (2) 表面硬度高，一般为 60~65HRC，对于精度要求较低的校准件允许适当降低。
 (3) 表面粗糙度小，可按表 5-4 确定。

表 5-4 校准件表面粗糙度

工件公差等级 GB/T1800—1998	校准件表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
IT7~IT9	0.025 或 0.05
IT10~IT12	0.1 或 0.2
IT13 以上	0.4 或 0.8

为达到上述要求，对于尺寸精度要求高和形状复杂的校准件可采用 GCr15、CrWMn、9CrSi 或其他低碳合金钢和高碳不锈钢制造；对于一般精度的简单校准件也可采用 20、20Cr 和 T10A 等钢制造。

对于精度高的校准件，在加工过程中应多次消除内应力，以确保其尺寸的稳定性。例如校准内孔直径的环规、气动测量连杆两孔轴线平行度等的校准件用 GCr15 钢制造，在粗加工后经如下热处理：850℃ 淬油——75℃ 冷处理 1h—150℃ 回火 70min，进行两次——75℃ 冷处理 1h—150℃ 回火 70min——75℃ 冷处理 1h—120℃ 时效 48h。在精磨后（研磨前），再进行如下时效处理：120℃ 时效 10h——30℃ 冷处理 1h—120℃ 时效 10h。

对于一般精度、简单的校准件，例如尺寸较小的校准外圆直径的样柱、校准量仪用的量块和样板式的校准件，在粗加工后的热处理可简化为：淬火、稳定性处理（120℃ 时效 10h——30℃ 冷处理 1h—120℃ 时效 10h）。对于大直径外圆样柱，为减轻重量做成具有一定

壁厚的轴套式样件，则应按环规的要求进行热处理。

对于复杂的大型校准件，例如箱体工件等的校准件，如果由工件的铸坯制造样件，则毛坯、粗加工后的半成品应经时效处理。为使样件的使用部位具有高的硬度，可采用不同的方法：表面淬火 50~55HRC、镀铬（厚度 0.025~0.050mm）68~72HRC、喷涂钼或含铬的合金，也可在使用部位镶装硬度高的钢制零件，这些零件也应经稳定性处理。

第6章 检验夹具设计

本章介绍设计检具时应考虑的一些主要问题和检具设计的实例，以说明检具的设计方法和步骤以及对检具设计的基本要求。

6.1 采用检具的必要性

通常选择这种或那种检验工具是在拟订加工工艺时确定的，选择哪种检验工具与生产的组织形式、所要求的检验效率、被检验参数的特性、测量精度和经济效益等因素有关。是否需要采用专用检具与生产批量的大小、工艺的稳定性、工件被检参数测量的难易程度以及生产单位现有通用测量工具和设备的有关情况等因素有关。

对于一般简单和精度不高的工件，在小批量生产条件下，可用通用测量工具测量，不需要专用检具。在大量生产条件下，对于精度不高的尺寸和工序尺寸，如果工艺稳定可用抽检方法控制质量，不需要检具或采用简单的检具；但如果工艺不稳定，则应考虑采用检具。在大量生产条件下，对于精度高、需要100%检验的尺寸，为提高检验效率应采用检具。

对于较复杂的中、大型工件，如果测量项目用通用测量工具测量有一定困难，即使是小批量生产也应考虑用必要的简单检具或辅助工具，以辅助通用量具进行测量。在大量生产条件下，则应采用一定数量效率高的检具。

对于工件重要的配合尺寸，例如气缸体气缸孔直径、气缸套内径和外径、曲轴主轴颈和连杆轴颈的直径以及轴承圈内外直径等，一般均需100%检验。有时需要在装配前对零件尺寸和几何形状进行100%检验。对于高精度轴的测量不适合采用光滑卡规，而应采用电子、气动卡规或检具来测量。在大量生产条件下，效率高的检具是不可少的。

应指出，在加工机床上配备主动测量系统，在动态情况下控制加工尺寸的变化，对保证加工质量有积极的作用。这时并没有对工件按两极限尺寸进行检验，所以不能代替加工后静态的检验。

工件的形位公差主要由所采用加工设备（机床、夹具等）的精度决定，加工设备的精度在一定时期内是稳定的，所以对于形位公差一般可采用抽检。由于形位公差的测量比一般尺寸测量复杂，除少量检验项目可采用通用检验装置（如V形块、振摆仪等）外，大多需要采用专用检具；对于复杂的工件即使是抽检，检具也是必需的。

采用检具在经济上应是合理的。采用检具后，检验生产率应比采用检具前有显著提高，可减少检验员的数量，降低检验人员的劳动强度（包括减轻人眼的疲劳）或改善其劳动条件，用比较简便的和客观的检验代替繁琐的和主观的检验，测量精度得到显著提高。

工序间检验主要是检验加工过程的正确性，为评价工艺和设备的状态服务，防止废品发生和防止废品流入下道工序而设置。这时一般多为抽检。

最终检验是对工件的质量进行全面检验，对重要尺寸应100%检验，主要目的是将批量生产中的废品排除。最终检验的组织形式可以是多样的，并不一定要在最后检验时检验工件

的全部尺寸，也可以在工序检验时就对某些重要尺寸进行 100% 检验，以减少最后检验的工作量。必须注意，工件加工时温度升高，降温后尺寸会有变化。为控制产品质量，工序检验与最终检验应很好协调，包括检具的配备。

6.2 对产品要求、制造工艺的了解和分析

在确定需要设计检具后，设计者除应仔细了解被检验零件的产品图和所提出的检验要求外，同时还应当了解该零件的工艺特点（毛坯情况、所用加工设备和加工方法等）、使用特点（在机器中的装配情况）和生产情况（若该零件已生产过，则应了解其检验情况和所存在的问题）等方面，这对制定合理的检具方案是必要的。

了解毛坯的情况，不但对于设计检验毛坯的检具，而且对于检验成品和半成品的检具都是需要的。例如，当需要利用工件的毛坯轮廓布置工件的定向时，就要了解铸锻毛坯的分模面等情况。

所用加工设备对测量内容也有一定影响。例如在普通外圆磨床上磨出的轴类工件需要 100% 检验，通常根据轴的长度需要在 2~3 个截面（两端和中间）上测量每个截面的直径，因为圆度比较稳定，只需抽检即可；而在无心磨床上磨出的工件，除在 2~3 个截面上测量每个截面的直径外，至少还应在一个截面上检验圆度。又如，当用螺纹梳刀加工螺纹时，主要检验螺纹直径；而当用车刀加工螺纹时，还要检验螺纹角度和螺距。

了解工件加工时的工艺基准和工件使用时的装配基准，有利于正确选择检具的定位基准和定位点（支钉或定位支承板的布置）。应尽量使检验基准与工艺和装配基准重合，定位点的选择具有一致性或基本一致。

在拟定产品工艺时，对于在一台检具上检验多个项目或多个零件在一台检具上检验的可能性，以及其他有关问题，并不总是能预先考虑到，所以检具设计者应全面了解情况并进行分析，提出合理的设计方案。

在设计检具时，还应对产品图上的要求进行分析，如果原设计有不适当或不合理的规定应予提出，并与产品设计和工艺设计等有关部门协商。

图 6-1 所示的细长轴是一高精度零件，主要是中间圆柱部分，两端是 1:50 的锥度，原设计要求两锥度相对两端中心孔公共轴线的径向圆跳动为 0.002mm（图 6-1a）。图上的标注方法虽然体现了检验基准与工艺基准的一致性，但经过分析发现，从测量观点来看，实现这种要求有困难。这是因为，为保证测量精度，中心孔锥面的圆度偏差应小于 $0.5\mu\text{m}$ ，但由于中心孔很小，很难测量其圆度偏差。

因此，将图 6-1a 所示的规定改为图 6-1b 所示的规定。修改后，以圆柱部分两端头一定长度 5mm（其长度足够放在短 V 形块上）

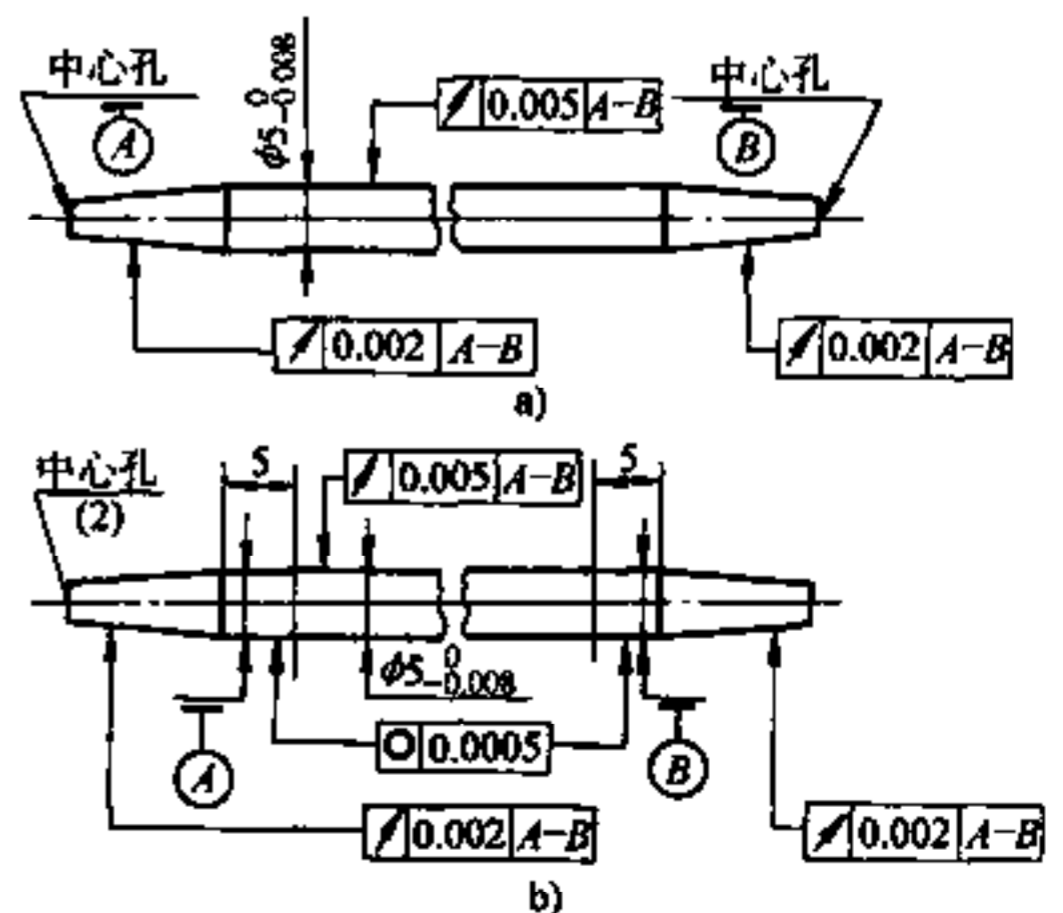


图 6-1 产品原设计基准的变动

作为基准，只对基准圆柱部分的圆度要求高 ($0.5\mu\text{m}$)，而不用对圆柱部分在全长上都提出严格的形状误差。为使检验和工艺基准一致，对加工工艺是这样安排的：先以两中心孔磨削轴的圆柱部分，这时两端定位轴颈 (A 和 B) 长度上圆度误差就容易测量了；然后在夹具上再用轴两端定位轴颈定位，磨削两端锥度部分。

6.3 测量方法的选择

按照测量理论，测量方法包括在完成测量时所采用的方法、量仪以及各种测量条件（校准件、工件的定位、测量接触特性和温度等）的总和。本节只讨论测量方法的某些特征。

在生产检验中，从不同的角度测量方法可分为以下几种：按比较方式分为绝对测量和相对测量；按获得测量结果的方式分为直接测量和间接测量；按接触与否分为接触测量和非接触测量；按检验参数的数量分为单参数测量和多参数测量；按各单项是否单独逐项测量分为逐项测量和综合测量。

1. 绝对测量和相对测量 绝对测量是用可直接读出被测参数值的测量工具对被测参数进行测量。在检具上测量工件的几何形状误差（跳动、圆度、平行度等）时多采用这种方法，这时通常无需校准零位。

相对测量是通过被测尺寸与标准量（校准件）进行比较，从而得出被测尺寸的误差。在检具上测量各种线性尺寸多采用这种方法。相对测量方法也可用于测量形位公差。例如检验平面度时，用平面度很小的校准件校准检具各千分表的零位，实现被检平面与标准平面的相对比较测量；又如当用气动测量装置检验两孔轴线平行度时，用两孔轴线平行度误差很小的校准件校准气动量仪的零位，实现工件与校准件两孔轴线位置的比较测量。

可通过测量在一定距离上两个直径值来确定轴的锥度，这是绝对测量方法；也可以一个直径为基准，测量另一直径与基准直径的差值来确定轴的锥度，这是相对测量方法，其测量精度比绝对测量的精度高。例如国外为测量油泵体孔的直径和形状误差采用了下述方法和专用量仪^[31]。

油泵体孔由四段被槽隔开的窄圆柱面构成，气动塞规上四对喷嘴通过气电转换器与四管 Mercer Electroline EL83PM 显示器相连。第一个显示器检验基准直径（在孔的一端）误差是否在 $\pm 0.012\text{mm}$ 内，其余三个显示器检验对基准直径的偏差是否在 $\pm 0.002\text{mm}$ 内。测量基准直径显示器的测量范围为 $\pm 0.015\text{mm}$ ，其余三个显示器为 $\pm 0.005\text{mm}$ 。这种测量方法，比所有显示器都单纯测出直径来确定孔的形状误差，精度要高。因为测量直径的显示器放大率低，而采用这种方法时测量直径差的显示器放大率较高，使每个测量项目都具有高的灵敏度。

2. 直接测量和间接测量 直接测量是直接测量被测参数，其值由仪表直接读出，在检具上多采用这种方法。间接测量是通过测量与被测参数有一定函数关系的一个或几个参数，并通过计算确定被测参数的值或其误差，在检具中这种情况不多。

3. 接触测量和非接触测量 接触测量是测量装置的触头（或量块）直接与被测表面接触，这种方法在检具上的应用多。非接触测量是测量时测量装置没有触头与被测表面接触，气动、光学量仪属于这种方法。

为保证测量精度，接触测量时的测量触头应以一定的测量力与被测表面接触，这样才能

接触可靠。但测量力也不能过大，测量力过大将使被测表面局部产生大的压缩变形，不但影响测量精度，甚至会使被测表面产生压痕，这是不允许的；测量力过大还会加快测量触头的磨损。

可根据工件被测量参数的公差按表 6-1 选择测量力。表 6-1 所列测量力应是测量触头作用在被测表面上的力，该力一般由传递机构的弹簧力和百分表（或电感测头等）的测量力所组成，应注意弹簧力与百分表力的方向，二者有时相同，有时相反。

表 6-1 测量力的选择^[1]

被测量参数的公差/ μm	测量力/ N
≤ 2	< 2.5
$> 2 \sim 10$	< 4
> 10	≈ 10

有时需要根据被检验参数的具体情况，采用特殊形状的测量触头。例如为测量圆柱齿轮的径向圆跳动，通常采用锥角为 2α （ α 为原始齿条轮廓角）的圆锥形触头，而检验内齿圈的径向圆跳动用球形触头，这种方法适合于检验用滚齿方法加工的齿轮，触头制造比较简单。这时测量触头与齿槽为点接触，只能反映一个截面的情况，为反映整个齿槽的径向圆跳动，对精度较高的外齿轮和内齿轮应分别采用图 6-2a 和 b 两种形式的触头。

当检验大锥度工件时，采用球面触头将产生较大的误差，这时可采用精密回转滚轮作为测量触头。如果按图 6-2c 所示的方法，由于滚轮与工件只有一个边接触，易使滚轮与工件产生磨损和变形，将产生测量误差，所以应采用图 6-2d 和 e 所示的方法布置滚轮。

对于图 6-2d，一般滚轮宽度较小，在滚轮沿工件素线移动后，摆动节点位置的变化引起的测量误差可忽略。对于图 6-2e，当工件锥度 α 为 $10^\circ \sim 20^\circ$ ，在滚轮沿工件素线移动后， β 角的变化实际上对测量精度没有影响；当 $\alpha > 20^\circ$ 时，对测量误差应作具体分析，再决定是否可采用这种方法。

非接触测量不存在测量触头的磨损问题。

对于气动非接触测量，气动喷嘴的端面不直接与工件被测量表面接触，但量规的导向部分与工件被测表面接触，存在导向部分磨损的问题，并且其磨损对气动塞规的耐用度和测量精度有影响，在大量生产中气动量规的消耗是很大的。例如测量气缸套 $\phi 95\text{H7}$ 孔（长度 210mm）的气动塞规，测量 2~3 万个气缸套后就报废了；而对于高精度的气动塞规，耐用度约为 1 万次。提高气动塞规的耐用度是生产中的一个实际问题。

采用光学量仪测量时，定位靶标也存在一定程度的磨损问题。

在生产检验中，是根据具体情况选择非接触测量的。例如：软材料工件精度较高的尺寸，适合于采用气动测量；用机械量仪测量不方便的形位公差（例如两孔平行度，箱体各孔同轴度等），适合于采用气动和光学量仪测量。在大量生产条件下采用气动塞规在三个截面

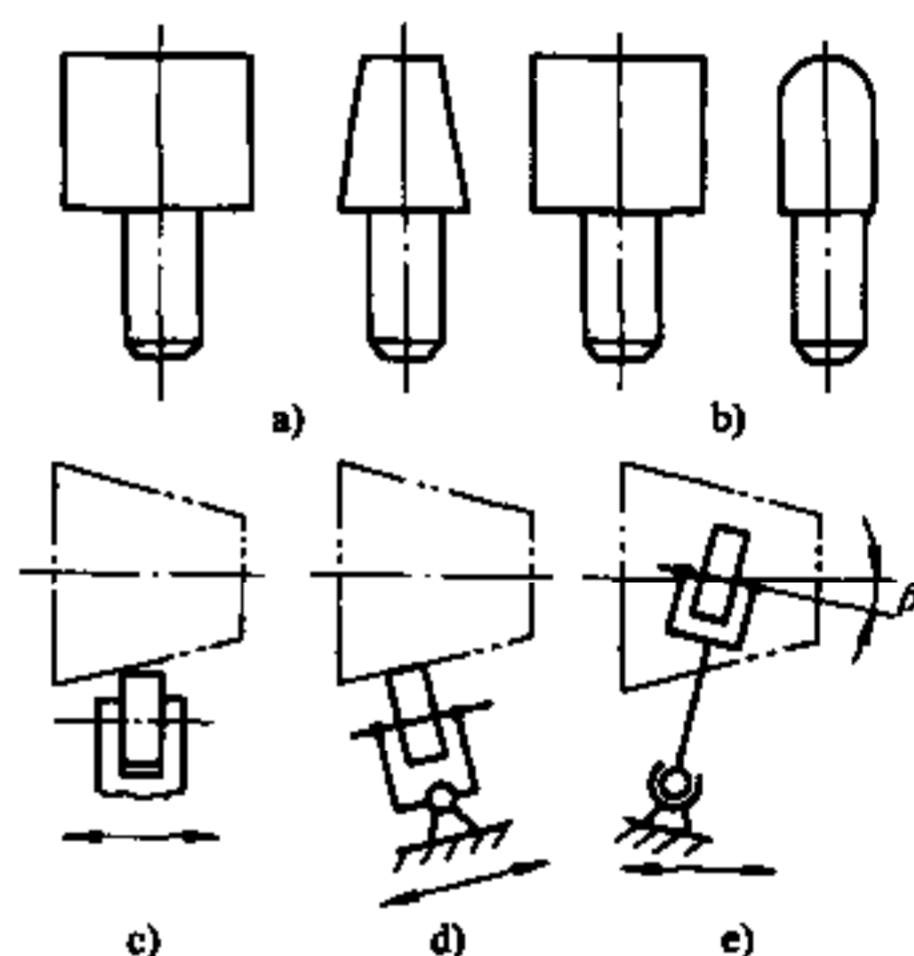


图 6-2 特殊形状的测量触头

测量气缸套内孔的直径，比用内径千分尺测量的效率高 3~5 倍，测量精度和稳定性也得到提高。

4. 单参数测量和多参数测量 除了检验简单零件，以及对于复杂零件有些参数只适合于单独检验等情况外，一般在最终检验工件的检具上采用多参数测量，这样只一次安装工件就可检验多个项目，既可提高检验效率，又可减少检具的数量。

对于复杂零件，在一台检具上测量参数的数量与其在检具上布置的情况有关，一般不要过多。特别是对于大量生产，测量参数过于集中会使检具复杂，使用调整和观察仪表繁琐，检验员易于疲劳，可能出现差错。应合理布置检验项目，例如对于复杂的轴类工件，可用一台检具检验各轴颈的外圆直径和圆度，用另一台检具检验各轴颈的端面和径向圆跳动。这样可使检验员的操作简单、思绪稳定，不易出现差错。

多参数测量检具的发展趋势，是配备能自动快速显示测量结果和数据的装置。根据需要可只显示工件被测量项目的状态（用发光二极管显示合格、超上限和超下限），也可同时显示出被测尺寸的数值，提供图形和打印等。这时不仅能测量各个单项尺寸，而且可利用电子计算技术处理相关尺寸的关系，从而扩大测量范围。

5. 逐项测量和综合测量 逐项测量是被测量工件的各个参数分别单独进行测量，并得到各个参数的测量结果，在检具上普遍采用这种方式。

综合测量是被测量工件相关的各个参数可通过一个综合性参数来测量，以保证工件在装配中的功能和互换性等要求，而并不对各个项目单独检验。例如在齿轮双面啮合检具上，被测量齿轮与标准齿轮无间隙啮合，当齿轮转过一齿和一周时，通过两齿轮中心距的变化来综合测量齿轮的各项误差（齿厚，周节，齿向和径向圆跳动等）。

6.4 利用封闭原则测量形位公差

在圆分度测量中，可利用所有夹角之和等于 360° 这一自然封闭特性，在没有高精度圆分度测量工具的情况下，利用封闭特性也可达到高精度测量的目的。在设计测量形位公差的检具时，应尽量利用封闭原则，现举例说明如下。

图 6-3 是测量内孔轴线在图示剖面上对底面（图中未标注）垂直度检具的示意图，可有三种测量方法。

第一种方法如图 6-3a 所示：先将测量支座 2 上的百分表用校准件 1 的 A 面调零，校准件的 A 面对其底面的垂直度误差相对被测垂直度误差很小。测量时将一心轴放入工件的孔内，模拟孔的轴线，然后使测量支座上的固定定位点 B 靠上心轴，百分表的变化量即为在长度 l 上的垂直度误差。

第二种方法如图 6-3b 所示：在检具上有垂直于工件定位面的立柱 3（其误差相对被

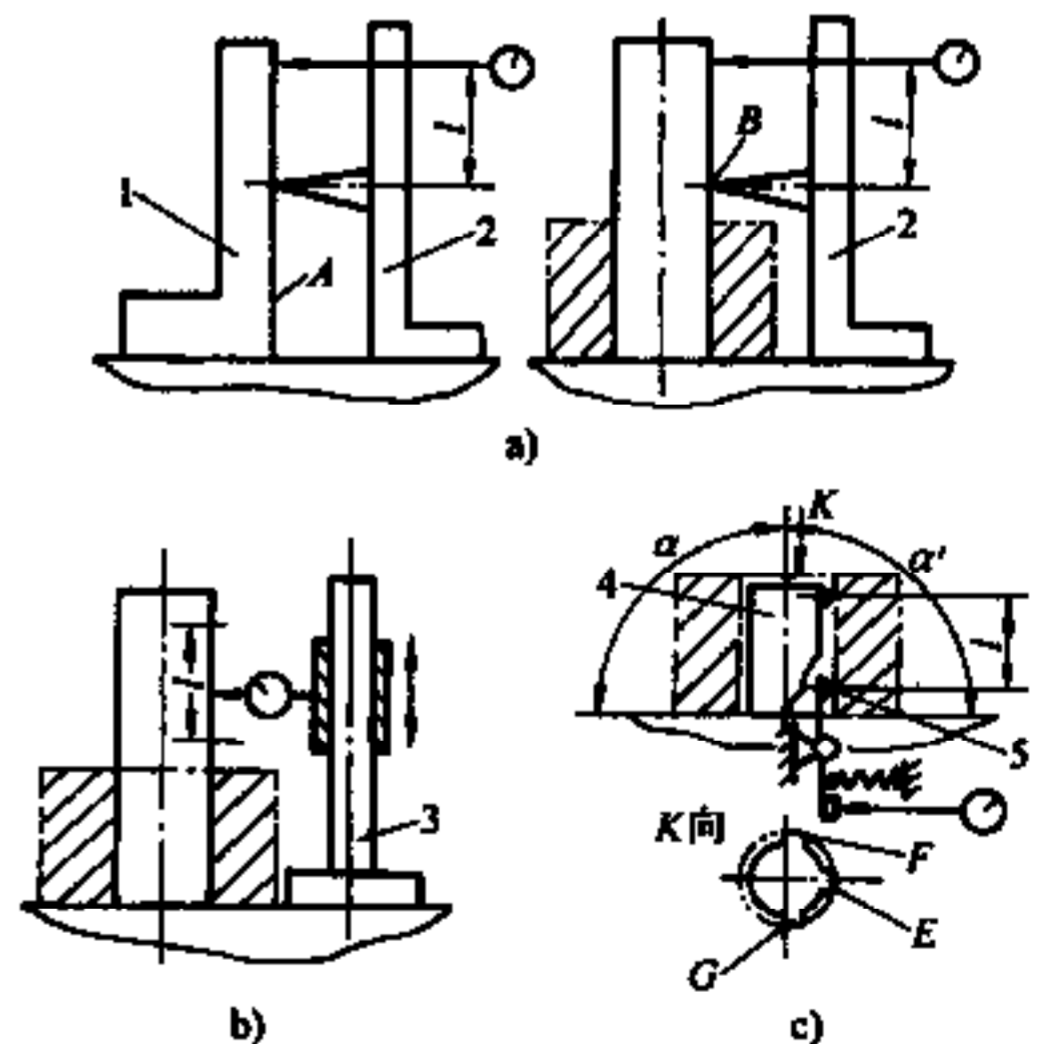


图 6-3 利用封闭原则测量孔轴线对底面的垂直度

1—校准件 2—支座

3—立柱 4—定位心轴 5—测量触头

测垂直度很小), 测量时将心轴放入工件的孔内, 然后使百分表靠在心轴表面上, 并使其沿立柱移动, 则百分表在长度 l 上的两次读数差就是被测孔轴线对底面的垂直度误差。

第三种方法如图 6-3c 所示: 在检具定位心轴 4 的上面有三个固定定位凸块 E、F 和 G (见 K 向视图); 而在心轴下面的杠杆测量触头 5 在弹簧的作用下与工件内孔接触。测量时, 将工件紧靠在心轴的凸块 E 上, 按图示剖面在相差 180° 的两个位置上测量, 百分表两次读数差就是被测孔轴线在长度 l 上垂直度误差的 2 倍。

第一种和第二种方法是相对测量方法, 分别需要高精度的校准件或垂直导向立柱。采用这两种方法时, 若被测孔有锥度会使心轴产生倾斜, 产生测量误差; 心轴本身的锥度和校准件的误差也会产生测量误差。

第三种方法是利用孔轴线与基面的两个夹角 α 与 α' 互补的封闭原则, 此时 $\alpha - \alpha' = 2\Delta\alpha$ ($\Delta\alpha$ 为垂直度误差的角度值)。采用这种方法时无需制造精度高的样件或导向件, 这点很有利, 因为校准件 (特别是复杂的校准件) 不但成本高, 而且制造困难。这说明有时利用校准件是必要的, 但有时则省去较好。采用第三种方法时, 工件内孔锥度不会影响测量精度, 通过两次测量使系统误差得到消除。

当然, 对于图 6-3a 所示的方法也可以不用校准件, 而采用工件和心轴一起转 180° 两次比较的测量方法, 但测量精度不如图 6-3c 所示的方法高; 对于图 6-3c 所示的方法也可以用校准件, 采用一次测量的方法, 但其缺点一是增加了校准件, 二是测量精度不如两次比较测量方法高。

又如检验两孔平行度, 可在工件两孔中分别插入两定位心轴 1 和 3 (图 6-4a), 然后将测量装置 4 放上, 该装置的固定测量触头 B、C 和平面 A 分别靠在心轴 1 的上素线和侧素线上, 而装置的平面 E (与平面 A 在同一平面上) 靠在心轴 3 的侧素线上, 这样就使装置 4 在两个心轴上完全定位。

在弹簧力的作用下, 测杆 2 上的活动测量触头 F 和 G 靠在心轴 3 的下素线上。如果预先已用两孔轴线平行的校准件校准百分表零位, 则百分表的示值就是两孔在长度 l 上的平行度误差, 这种方法需要制造校准件。

如果不用校准件, 而利用封闭原则测量两次, 则在图 6-4a 的位置测量完后, 使装置 4 转 180° 到图 6-4b 的位置再测量一次, 百分表两次的示值差就是两孔轴线平行度在长度 l 上误差的 2 倍。这种方法是利用 $\alpha - \alpha' = 2\Delta\alpha$ (图 6-4c) 的关系 ($\Delta\alpha$ 为平行度误差角度值)。

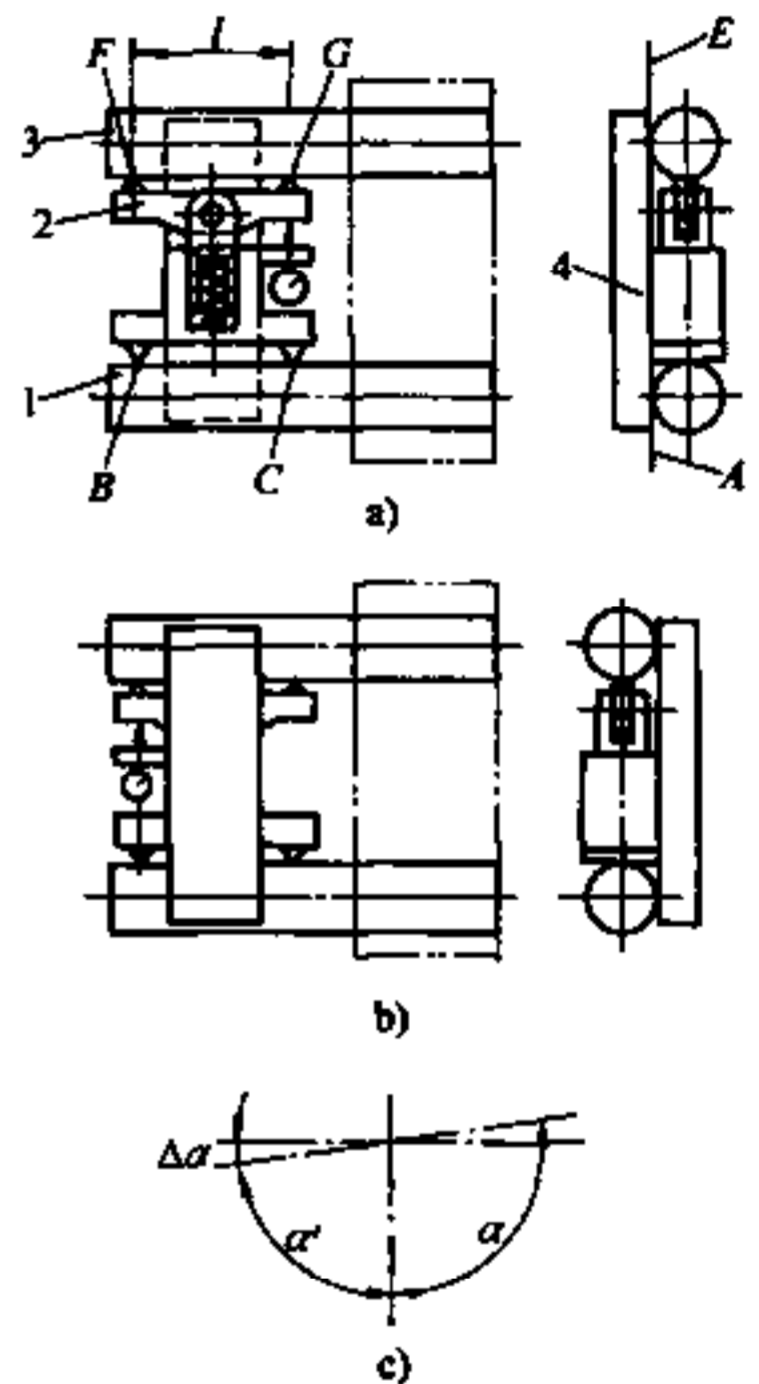


图 6-4 利用封闭原则
测量两孔轴线平行度
1、3—定位心轴
2—测杆 4—测量装置

6.5 仪表的选择

在第 3 章对检具用测量指示器及仪表已作了较详细的介绍, 现对如何选择仪表的问题作

适当补充。

设计检具时应合理地选择仪表和量仪，仪表的选择与工件的形状、被测量参数的精度和数量、检验速度、仪表的成本、用户的使用条件和经济性等有关。

钟式百分表是检具中应用最多的仪表，百分表具有一定的精度和较大的测量范围，且价格低。当被检验工件的精度高时，需采用千分表。但这时根据检具的结构，如果检具采用具有放大比的传递杠杆，则仍可用百分表，这样在经济上比采用千分表合适。

当需要提高检验效率、改善检验工作条件、完成一些特殊测量和实现显示自动化时，可采用数显电子百分表、千分表，或其他各种量仪。这将使检具的成本增加，应分析由于采用某种量仪所达到综合效果，以确认投资的有效性和必要性。

当同时检验多个较精密的尺寸时（例如检验轴的多个直径），为提高检验效率可采用多管气动和电子柱量仪。浮标、水柱和电子柱量仪结构紧凑，适于多管组合。

一般电感量仪是单通道的，即只能测量一个尺寸。为实现多个尺寸测量，增加电感量仪的数量，将导致成本增大，又不便于布置。这时可采用多位转换装置，即用一台量仪和多个电感测头实现多尺寸测量，但这种方法的检验效率较低。如果采用专用多通道电感量仪，则可实现同时测量多个尺寸。这种专用量仪虽然是专门为某个工件设计的，但也可用于其他类似情况，即有一定的通用性，在设计时，也应适当考虑其通用性。

对于需要进行和差运算的测量（例如圆度、两孔轴线距离、平行度等），应采用由气动或电动量仪与相应测量装置组成的检具，比采用心轴打表法可显著提高检验效率和精度。

如果不仅需要确定工件是否合格，还要了解被测参数的实际值，那么应采用数字显示量仪，读数方便，分辨率高。对于精密测量分组，特别是分组数较多时，如果根据刻度值判定组别，检验员的注意力和视觉相当紧张，容易产生误差，也应采用数显量仪。当需要得到被测参数误差的变化曲线时，可采用具有数模转换的数字量仪。

当用统计检验方法控制工艺过程时，可采用能显示图像的量仪。未来的发展是利用统计检验控制工艺，在检具上测量多个参数，并能快速处理各测量结果并向工艺系统提供信息，这时需要把高精度量仪与小型电子计算机相结合。

6.6 检具结构设计中的几个问题

在上述各章中已对检具的一些结构作了介绍，现对在检具设计中应重点考虑的几个问题补充如下。

1. 保证测量精度 检具的结构应首先能保证所要求的测量精度，为此分析所采用的测量方法和检具的测量误差是检具设计的一个重要问题（详见6.7节）。

为保证检具的测量精度，一般应使其测量部分的结构附合阿贝原则，即被测尺寸线和仪表反映尺寸变化的直线在一条直线上。有时由于在结构上有困难，不能做到这点，则应采取减小或消除由于不附合阿贝原则而产生的测量误差。测量部分结构的构件数量应尽量减少，即测量链应最短，减少中间环节。

检具精度的丧失，往往是由于在使用过程中整个检具底座或其他零件的变形所引起，因此正确选择底座等零件的结构、材料、热处理对保证测量精度非常重要。

为保证精度，设计者应在检具总图和相关零件上标注出技术要求，对重要的尺寸和形位

公差还应规定磨损极限。必须保证检具零件制造和装配的质量（包括清洁度）。

2. 主要零件应有足够的强度和刚性 底座是检具的基础，在设计时应注意使其具有足够的刚性。如果底座的高度与其面积的大小相比过小，将导致刚性不足。变形将使底座定位平面的平面度达不到要求，检具的精度就失去了保证。

同样，检具的其他零件（例如支座、立柱、检验心轴、定位和测量元件、校准件等）也都应保证相应的强度和刚性。对于有些在使用中需要用手搬动的零件，为了既保证足够的刚性，又能减轻重量，在结构设计上应予以仔细考虑。

3. 应具有良好的工艺性 一般检具是专用的，属于单件生产，不可能像大量生产的产品，可以通过试制、鉴定和修改等过程来完善设计（当然对于较复杂的检具可进行必要的试验），所以在设计中应注意对工艺性的考虑，使检具较便于加工、装配、测量和维修。考虑工艺性与保证检具的精度密切相关，因为只有所设计出的检具零部件具有良好的工艺性，才能从结构上保证检具达到所要求的精度。

考虑工艺性的一个重要方面是，对检具零部件规定合理的制造精度。通过合理的调整环节，可降低对检具零件的精度要求，但易损零部件定位基准面的尺寸和形位公差应保持一定精度，以保证今后在更换易损件或维修时有可靠的基准面，使调整环节最少；而不能在制造时单纯为达到检具装配精度的要求，在一些中间环节不规则地布置一些垫片或薄垫，给以后更换易损件或维修带来困难。

在设计检具时，应考虑测量的可能性和方便性，必要时应在检具上做出测量基准（平面或工艺孔），这对检具的制造和检具本身的检验都是必要的。

4. 合理选择材料和热处理要求 对检具主要零件的材料和热处理，在第2、4和5章中已有相应的介绍，现补充如下。

在检具中，一般零件通常选用普通碳素结构钢，对形状复杂、精度高和截面变化大的零件应选用合金钢，例如40Cr、40CrNi、20Cr、18CrMnTi等，这样可保证在使用中不变形，避免热处理时产生开裂和变形。

提高直接与被检工件接触的检具元件的硬度特别重要，有时可选用CrWMn或CrMn钢，淬火到62~66HRC。也可采用镶有硬质合金的元件，YT5硬质合金的耐磨性高；在有冲击负载时，采用YG8硬质合金。当结构不允许采用硬质合金时，可采用渗氮钢，硬度达68HRC。

当前，工程陶瓷、工程塑料等非金属材料以及铝合金等材料在量具量仪中的应用得到进一步发展，其应用范围还将逐步扩大，这些材料可解决移动式检具采用一般材料重量过大的问题。

5. 经济性 采用检具后能取得技术和经济效益是最大的经济性，但检具结构的设计也应考虑经济性。合理选择材料、合理规定检具及其零部件的精度和工艺性等都与经济性有关。在保证使用性能的前提下，应使检具的结构简单，应考虑在一台检具上检验多种同类型工件，以减少检具所需的数量。

6. 操作方便、检验效率高 检具的结构应便于操作，仪表的位置应易于观察。如果在检具上有几个百分表，则要求尽可能靠近，并且其刻度盘应尽量朝同一方向，以避免产生粗大误差。

工件应易于安装和取下，必要时应增加辅助装置。例如当检验重量大的工件或将基准孔

直径大的工件安装到配合间隙小的圆柱定位轴上时，应有粗导向限位，使重量大的工件在安装过程中不会碰撞检具的定位或测量元件，使工件不会产生倾斜和卡住。

对于通用检具，应考虑更换品种时调整的方便性。为提高检验效率，检具的局部操作可实现机械化和半自动化。

7. 外观造型 检具是在生产车间条件下使用的具有一定精度的测量装置，一个车间（或工厂）应具有与其生产规模相适应数量的检具，这些检具良好的使用性能和外观造型可反映出车间工艺技术、质量管理的水平和文明生产的程度。

在设计检具时，除应保证使用性能外，还应注意检具的造型设计（造型设计是一门新的学科，详见有关书籍和文献）。为搞好造型设计，应多观察、多比较，注意匀称、曲线、圆角、直角、棱边挺度等问题，造型应美观、大方和新颖。

对于一般检具，应考虑其底座长度 L 和宽度 B 的比例适当，通常采用黄金分割比例，即 $\frac{L}{B} = \frac{L+B}{L}$ ；也可采用均方根比例，即 $L = B\sqrt{2}$ 。

当检验多尺寸采用专用量仪时，应考虑专用量仪面板和机箱（安装量仪部分和控制电路系统）的造型，考虑机箱与检具连接的美观和照明装置的布局等。量仪显示装置应能使人正确地感受指示信号和刻度，不宜采用耀眼的灯光色彩，灯光应柔和均匀。照明灯的照度也不宜过强和过弱，以均匀适度接近日光照明为宜。

当采用气动测量或在检具上有气动系统时，气路管路应布置整齐，避免杂乱，影响外观效果。为使外观美观，对外观件还需装饰，可采用机械精整加工、涂料装饰和电化学处理等方法，检具的非工作面应比机床夹具同样表面的粗糙度小。

6.7 检具的测量精度

测量精度包括准确度、精密度和精确度三种含义。

测量准确度是检具系统误差 Δ 的反映，它表示在检具上以足够多的次数（一般可取 10~20 次，对于高精度检具可取 15~25 次）测量工件尺寸时所得到的算术平均值 L_0 与工件实际尺寸 L 的偏差为 Δ ，如图 6-5 所示。

测量精密度（又称为测量的不确定度）是检具随机误差的反映，它表示在检具上多次重复测量工件所得到的各次测得值相对其算术平均值 L_0 的分散范围 $\pm 3\sigma$ （ σ 为均方根误差）。

测量精确度（又称为示值误差，示值精度，测量精度）是检具系统误差和随机误差的综合反映，它表示在检具上测量工件尺寸所得值 L_0 与工件实际尺寸 L 的偏差和分散范围。对于图 6-5， $L_0 = L + \Delta \pm 3\sigma$ 。在检具上通常只测量一次，这时并不一定出现最大的分散值。

只有当测量准确度和测量精度都高时，测量的精确度才高。

系统误差 Δ 的大小和方向相对固定，或按一定规律变化。检具制造好后，在调整时可通过一定方法发现系统误差，在使用检具时消除其影响或从测量结果中予以消除，所以在设计检具时应尽量采用能消除系统误差影响的结构。但实际上系统误差不可能完全消除，通常

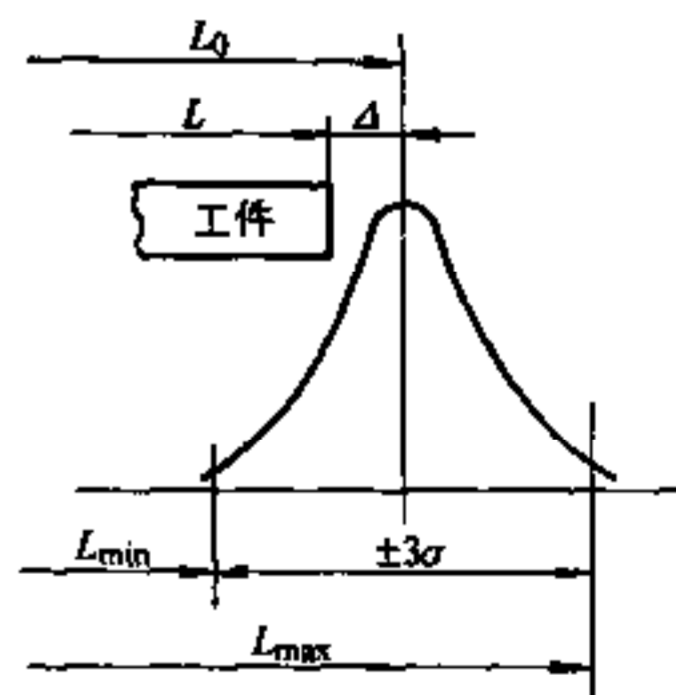


图 6-5 检具的测量精度

应消除到与随机误差同一量级，而残余系统误差就按随机误差处理。

随机误差是由一些未知规律和不便控制的微小因素综合引起的，其大小和方向预先无法知道，但一般服从正态分布。

误差合成的原则是：常值系统误差按代数和法合成；变值系统误差只知其大小而不知其方向时一般按绝对和法合成；随机误差按均方根法合成；对未知系统误差（例如在设计阶段，有些元件的实际误差是未知的，只能估算）按随机误差合成。

在检具上产生系统误差主要与下列因素有关：

检具定位元件工作面的尺寸对公称尺寸的制造误差；

检具定位工作面的形状位置制造误差；

校准件作用尺寸对公称尺寸的制造误差；

传递装置传递比对公称值的误差；

百分表或其他仪表的示值系统误差；

检具结构和测量方法的系统误差。

在检具上产生随机误差主要与下列因素有关：

被检验工件的定位表面与检具定位元件工作表面不完全贴合；

被检验工件测量表面的尺寸和形状误差；

校准件的形状误差（需说明，虽然有时应在校准件规定方向上校准，但总会有一定误差，而且由于经常只在一个方向上使用，校准件磨损较快，也会产生一定误差）；

测量力、夹紧力的不稳定性；

检验员从百分表或其他仪表上的读数误差；

检具测量装置与工件的温度差异，这点当检验刚加工好的工件时应注意，有时又不能等到工件的温度完全降下来再检验。

以上列举了在检具上产生系统误差和随机误差，一些常见的因素。在实际对检具进行分析时，应根据具体情况确定产生测量误差的因素。

由于上面列举的因素而产生的系统误差，只有在检具制造好后才能确定。例如，检具定位元件工作面尺寸对公称尺寸的误差，在制造后才可实际测出，在设计阶段设计者只能规定其尺寸对公称尺寸的公差。对产生系统误差的某些其他因素也有类似情况。因此，在设计阶段为估算检具的精确度，把这些系统误差也作为随机误差处理。

假若，预先确定检具各组成部分原始误差，反映到测量示值方向的极限误差分别为 Δ_{lim1} 、 Δ_{lim2} 、 \dots 、 Δ_{limn} ，并且各组成部分误差按正态分布，则可估算检具示值的极限误差（精确度）为 Δ_{lim}

$$\Delta_{lim} = \pm \sqrt{\Delta_{lim1}^2 + \Delta_{lim2}^2 + \dots + \Delta_{limn}^2}$$

在机械制造中，随机误差多数遵循正态分布，但也有例外。由于事先估计各原始误差的具体分布比较困难，所以一般仍按上式估算检具的极限误差，这样会使估算出的值偏小。但由于在应用上式时， Δ_{lim1} 、 Δ_{lim2} 等值是根据各组成部分公差或误差极限值确定的，而公差和误差的极限值一般大于检具制造后的实际值，同时考虑检具使用时经调整还可消除大部分系统误差，所以在设计阶段按上式估算是可行的。

对于检具，主要考虑的不是绝对测量误差，而是测量精度系数 K （也称为相对测量误

差), 测量精度系数是指检具测量极限误差 (Δ_{lim}) 占被测参数公差 (T) 的百分比。检具的测量精度系数通常取 10%~20%, 当被测量参数的精度较高时也可取到 33%。

检验线性尺寸时可参考表 6-2 确定测量精度系数 K。

表 6-2 测量线性尺寸时的测量精度系数 K^[1]

工件公差等级 IT (GB/T1184—1996)	轴	5	6	7	8~9	10	11	12~16
	孔	6	7	8	9			
K (%)		32.5	30	27.5	25	20	15	10

检验形位公差时可参考表 6-3 确定 K 值。

表 6-3 测量形位公差时的测量精度系数 (GB/T1958—1980)

被测量形位公差等级 (GB/T1184—1996)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
K (%)	33			25			20			16		12.5		10

在设计检具时, 应考虑对检具测量精度有影响尺寸的磨损问题, 在实际工作中可按下述情况分别处理。如果条件允许, 应尽量取表 6-2 和 6-3 规定的数值作为到达磨损极限时的测量精度系数, 即新制造的检具的测量精度系数应小于表中的数值, 检具经一定使用期后才达到表中的数值。但对于被检验公差小的检具, 以及有些检具根据其结构、制造误差和耐用度综合考虑, 检具磨损后的测量精度系数也可适当超过表中的数值。

6.8 检具设计实例

本节介绍几个实例, 说明检具的设计过程。

6.8.1 气门盘锥面斜向圆跳动和杆部直线度检具

1. 设计前有关情况的了解 气门的产品简图如图 6-6 所示。

在所设计的检具上需要检验以下

项目:

(1) 气门盘锥面对杆部外圆轴线的斜向圆跳动允差 0.05mm (相当于 GB/T1184—1996 8 级精度);

(2) 杆部外圆轴线的直线度在 100mm 长度上允差 $\phi 0.03$ mm (8 级精度)。

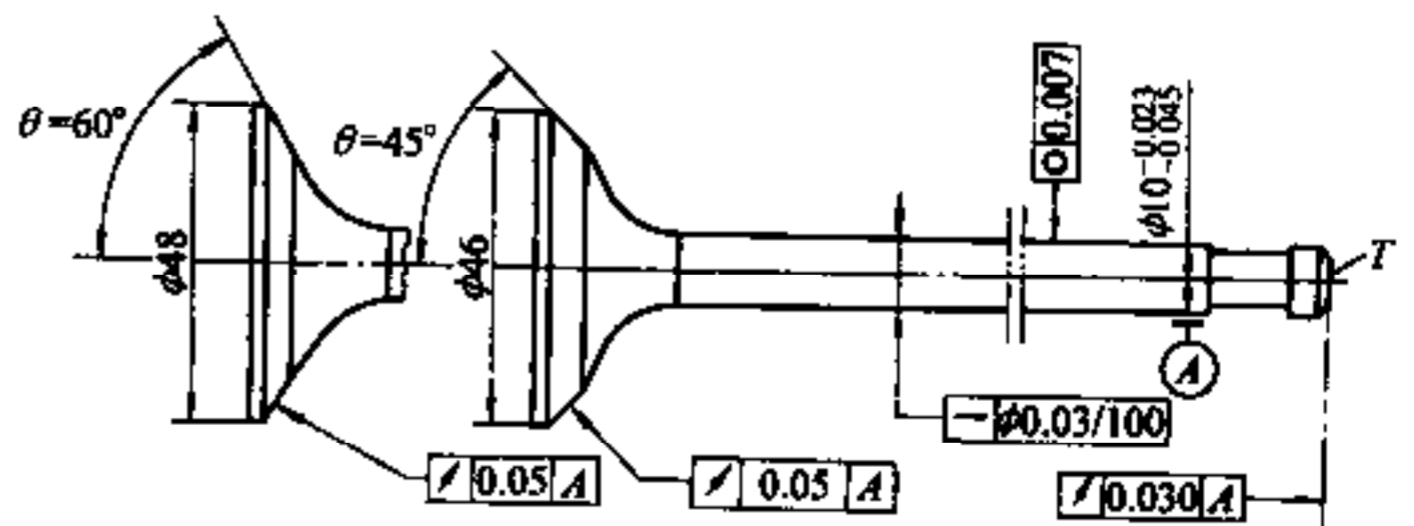


图 6-6 气门产品图

由气门产品图可知, 两种气门杆部直径相同, 不同处是气门盘直径 ($\phi 46$ mm、 $\phi 48$ mm) 和锥面斜角 θ (45° 和 60°)。由于两种气门分批生产, 在车间同一检验点检验, 所以应设计成在一台检具上检验两种气门, 并能方便地由检验一种气门转变到检验另一种气门。由于这

两个项目比较重要，所以为 100% 检验。

2. 制定检具方案 由于气门杆部长度与其直径之比较大，杆部有直线度误差，所以气门以杆部两端短外圆表面定位，两端支承距离为 100mm，如图 6-7 所示。

为检验气门盘锥面斜向圆跳动，气门的轴向定位可采用三种不同的方案：

(1) 气门杆部端面靠在与定位 V 形块体现的轴线严格垂直的限位平面上 (图 6-7a)；

(2) 气门杆部端面靠在与杆部轴线同轴的限位点上 (图 6-7b)；

(3) 气门盘锥面靠在测量点径向对面的限位点上 (图 6-7c)。

若检具上的限位面 A 对定位 V 形块体现的轴线 (用心轴模拟) 的垂直度误差相对气门盘锥面的跳动很小，可忽略，则图 6-7a 所示的方案能达到高的定位精度。因为气门转动时其杆部端面总是以最高点与限位面 A 接触，不会产生轴向移动，气门杆端面本身对其轴线的垂直度误差不影响定位精度。这个方案的缺点是，限位面不均匀磨损后将引起测量误差。

图 6-7b 所示的方案也能达到高的定位精度，因为气门以杆部端面的中点与限位点 A 接触，杆部端面的垂直度误差和限位点的磨损对定位精度没有影响。

图 6-7c 所示方案的特点是，由于气门盘锥面靠在限位点 A 上，当气门转动时百分表显示两倍的圆跳动值，便于观察。这个方法的缺点是，限位点的位置不在定位 V 形块体现的轴线上，在测量过程中气门可能倾斜，使百分表示值不可靠。因此读取百分表读数时，必须用手使其定位牢靠。

如果在水平面上测量气门盘锥面的斜向圆跳动，由于杆部定位外圆有圆度误差 $\Delta_r = 0.007\text{mm}$ ，气门圆心 (轴线) 的位置有变化，将产生测量误差。如果杆部圆度误差形状是未知的，则按表 2-3 的平均值作为估算误差的依据。由表 2-3 可知，当 $2\alpha = 90^\circ$ 、 $\beta = 90^\circ$ 和 270° 时，杆部定位外圆的圆心在水平方向上平均偏移值 $a = (2 \times 0.25) \Delta_r = 0.5\Delta_r$ (见图 6-7a)，该值反映到垂直于气门盘锥面方向上为 $b = \pm 0.5\Delta_r \cos\theta = \pm 0.0012\text{mm}$ ($\theta = 45^\circ$) 或 $\pm 0.0009\text{mm}$ ($\theta = 60^\circ$)。由此使测量气门盘锥面斜向圆跳动产生的测量误差最大为 0.0024mm ，该值占锥面允许斜向圆跳动 0.05mm 的 5%，因此在水平面上测量锥面斜向圆跳动是可行的。

考虑到气门杆部外圆轴线的直线度误差主要是由于杆的弯曲所致，所以本检具采用测量气门杆部中间截面对两端定位外圆公共轴线的径向圆跳动，来检验杆部外圆轴线的直线度。这时百分表在径向位置的布置有三种方案 (见图 6-7d)，并按气门杆在各个截面上的形状相同 (即圆度误差的大小和方向均相同) 来讨论。

将百分表布置在位置 I，虽然比较方便，但由于气门杆部圆度误差使外圆上点的位置不

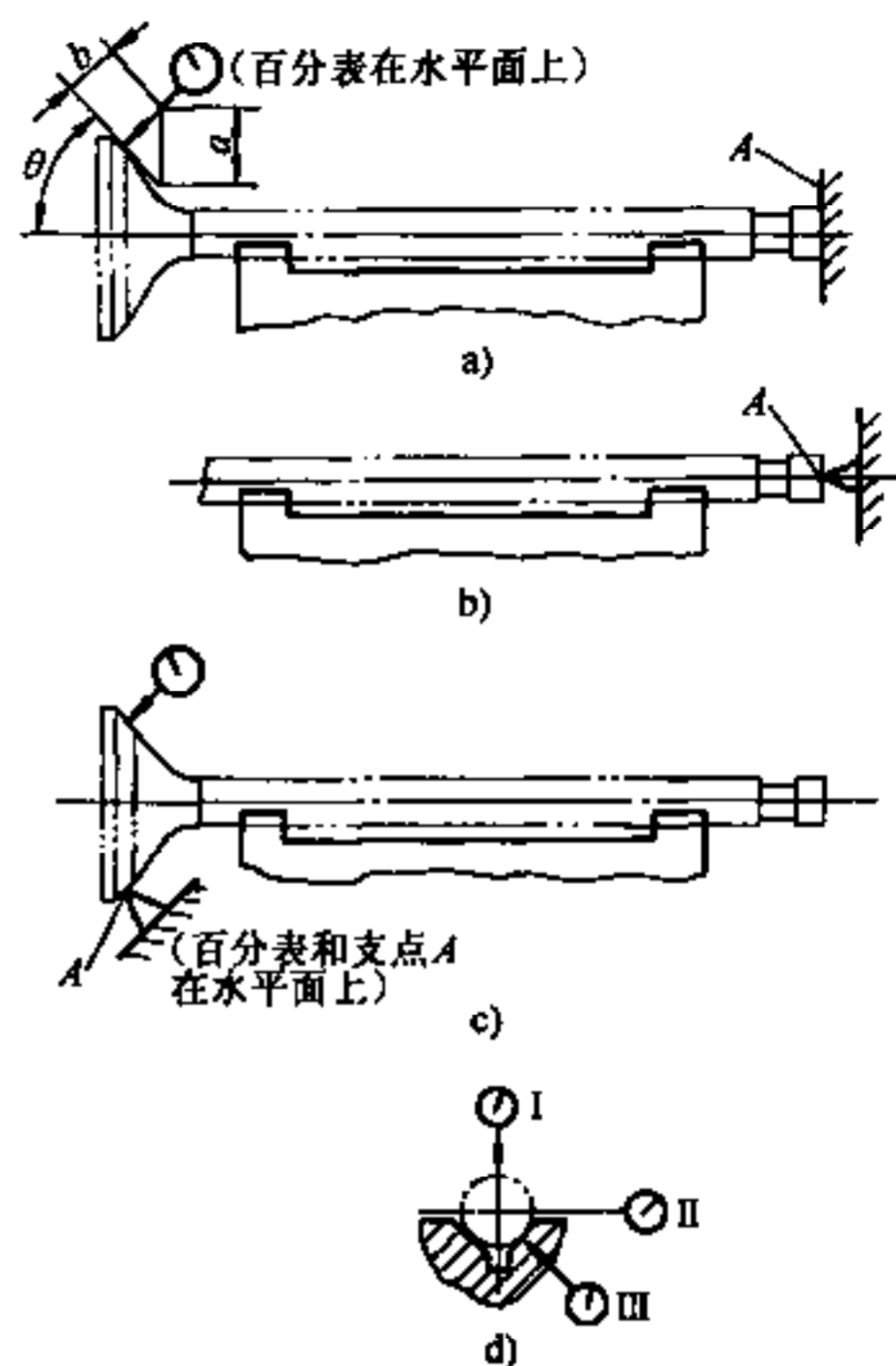


图 6-7 测量气门盘锥面斜向圆跳动的几种方案

稳定, 既使当气门杆部外圆只有圆度误差而没有直线度误差时, 气门转动一周百分表的示值也将产生变化, 从而产生测量误差。由表 2-4 可知, 当 $2\alpha = 90^\circ$, 在位置 I 测量 ($\beta = 0^\circ$) 外圆上点位置的变化值平均为 $1.5\Delta_r = 1.5 \times 0.007\text{mm} = 0.010\text{mm}$, 该值占直线度允差 $\phi 0.03\text{mm}$ 的 33%, 显然过大, 所以不能在位置 I 测量。

同样, 如果在位置 II 测量, 由于杆部圆度误差使外圆上点位置在水平面上的变化值平均为 $1.7\Delta_r = 0.012\text{mm}$ (见表 2-4, $2\alpha = 90^\circ$, $\beta = 90^\circ$), 占直线度允差的 40%, 更不适宜。

将百分表布置在位置 III 比较合理, 这时由于杆部圆度误差使外圆上点在垂直于 V 形面方向的变化平均为 $0.23\Delta_r = 0.0016\text{mm}$ (见表 2-4), 占直线度允差的 3%, 所以采用将百分表布置在位置 III 的方案。

根据上述, 初步将检具设计成如图 6-8 所示, 检具由底板 3、V 形块 2、挡柱 1 和其上分别有百分表 5、6 的两百分表夹持器 4 组成。

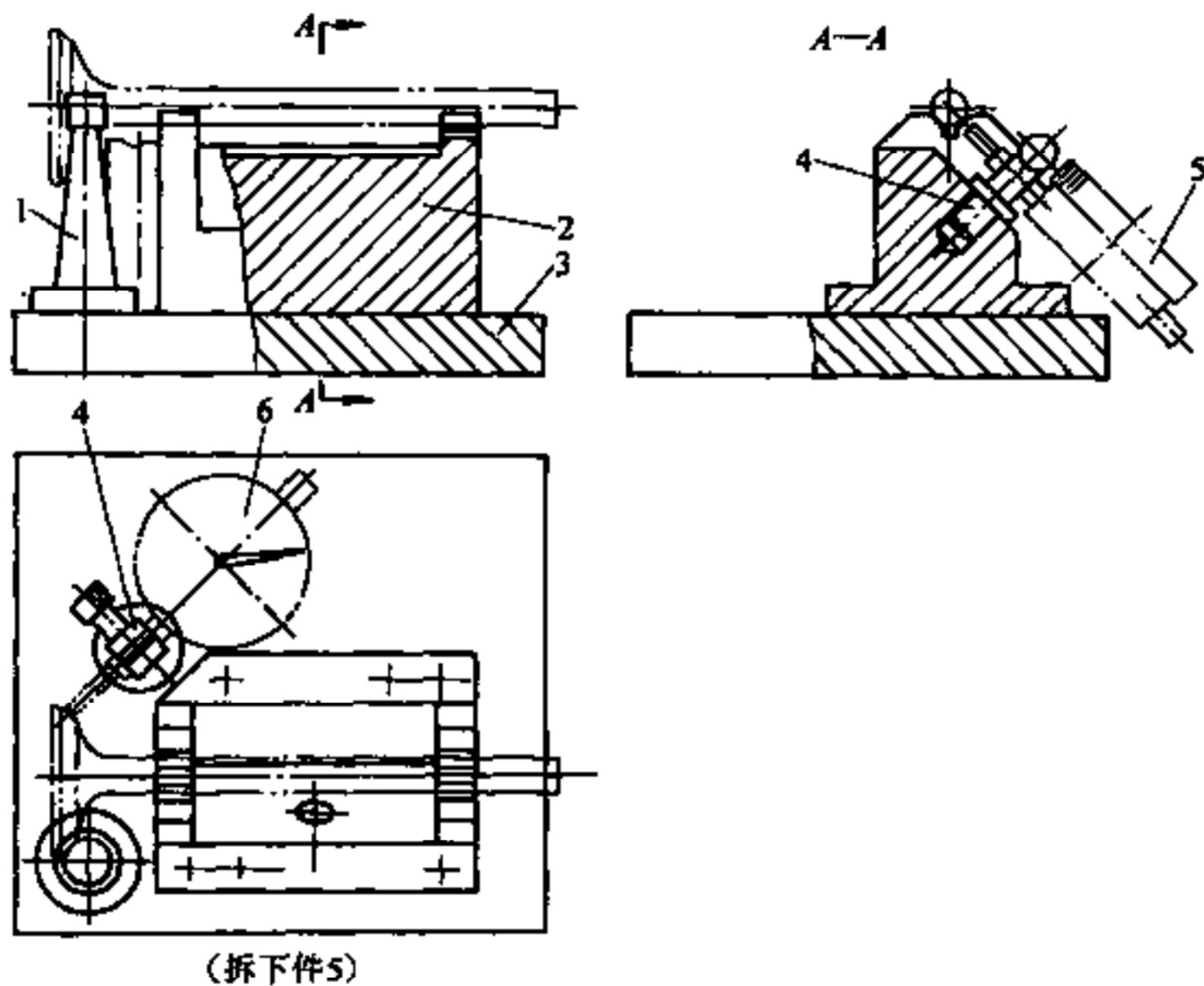


图 6-8 气门检具初步设计方案

1—挡柱 2—V形块 3—底板 4—夹持器 5、6—百分表

检验时, 气门在两短 V 形上定位, 轴向靠在挡柱 1 上。气门转动一周, 百分表 6 的示值差就是气门盘锥面对杆部外圆轴线跳动的两倍 (这时百分表示值范围大, 便于观察), 而百分表 5 的示值差是气门杆部的直线度误差 (因支承长度为 100mm , 允许误差值就是 0.03mm)。实际检验时, 气门要至少转动二周, 以分别观察百分表 5 和 6。

图 6-8 所示的初步设计方案, 结构比较简单, 但不能满足高的生产率, 不适合在大量生产中连续地检验气门; 此外, 这种结构只能满足一种气门的需要, 因此对检具的结构还需进一步完善。

在检具上手转动气门不方便, 而且用手转动气门会挡住观察百分表的视线, 因此应解决气门转动不方便的问题, 以提高检验效率。为使气门转动, 可采用图 6-9 所示的结构方案, 在主动轴的一端有橡皮垫圈与气门盘端面接触, 在主动轴的另一端有手轮, 手轮转动时即可带动气门转动。利用该结构, 还可使气门靠在限位件上。

采用图 6-9 的结构, 再用图 6-8 中的挡柱 1 作为轴向限位件就不合适了, 因为挡柱会使

气门在测量时产生倾斜，影响测量精度，因此在最后确定结构时，应将轴向限位件放在气门轴线上（见图 6-7b）。

采用使气门转动的机构要求在转动过程中气门可靠地定位，因此应增加压紧气门的两滚轮并用两定位滚轮代替图 6-8 中的两个短 V 形块。

采用图 6-9 的结构，还应解决当气门靠在轴向限位件上时力的稳定性问题。如果靠手推产生使气门靠上限位件的力，将很不稳定，使气门盘锥面跳动的测量产生测量误差。为避免这种情况，应改为利用弹簧力使气门靠在轴向限位件上。

为在一台检具上测量不同斜角 θ 气门的锥面斜向圆跳动，可采用可调支架。

3. 设计检具总图和零件图 最后设计的检具如图 6-10 所示。

气门在两对滚轮 16 上定位，并以其杆部端面靠在位于杆部轴线上的限位滚珠 7 上。定位滚轮不采用标准滚子轴承，因为其外圆表面径向圆跳动值大，即使是 C 级轴承，其径向圆跳动也达 0.007mm。

在压板体 14 上有在轴 15 上摆动的压板 5，在压板 5 两端有两标准滚子轴承作为压紧滚轮 6。检验时，用手柄使其上有可翻转弹簧 12 的压板体 14 翻向工件，通过两压紧滚轮 6 将气门杆部两端压在两对定位滚轮 16 上。

转动手轮 1 使带橡皮垫圈 4 的主动轴 3 带动气门转动。也可用带轮代替手轮 1，由电动机经减速器带动带轮，实现气门转动机械化。橡皮垫圈靠弹簧 2 的力压在气门盘的端面，所以气门轴向靠上限位滚珠 7 的力是稳定的。

当向上翻开压板体 14 时，轴 13 转动（见 BB 剖面），轴上的螺旋槽使轴在转动的同时沿轴向向左移动，经摆杆 8 使弹簧 2 压缩，并使橡皮垫圈离开气门盘端面，这时可装卸工件。

百分表 17 直接测量杆部的直线度；百分表 11 通过放大比杠杆 9 测量气门盘锥面对杆部轴线的斜向圆跳动，在杠杆 9 的测量端有可换触头。杠杆 9 在可调支架 10 上的两 V 形面上转动（具体结构参见图 4-11）。

通过绕定位轴线 O 回转，可改变支架 10 的位置，以检验两种气门盘的锥面跳动。设计时应保证，当检验两种气门时不但百分表的测量方向垂直于气门盘锥面，而且测量触头也处于所需要的直径位置（见 K 向局部放大图，实线和虚线分别为两种气门的检验情况）。

检具的工作精度与其装配精度有很大关系，因此应对检具总图规定技术要求，主要是：

(1) 在测量时，为避免产生使气门径向离开定位滚轮的力，主动轴 3 应与装在两对定位滚轮上直径为气门平均直径 ($\phi 9.966 \pm 0.002$) 的工艺测量心轴的轴线在心轴全长上同轴，允差 $\phi 0.03\text{mm}$ ，磨损后允差 $\phi 0.05\text{mm}$ ；

(2) 轴向限位滚珠 7 的中心与主动轴 3 的轴线同轴（图 6-10）允差 $\phi 0.1\text{mm}$ ；

(3) 定位滚轮的径向圆跳动允差 0.003mm，磨损后允差 0.005mm。

在总图绘制完毕后，绘制各零件图。根据总图的精度和使用性能要求，对各相关零件规定相应的技术要求。

4. 精度分析 设计完毕，检具各部分的结构都已最终确定，这时设计者应再仔细分析

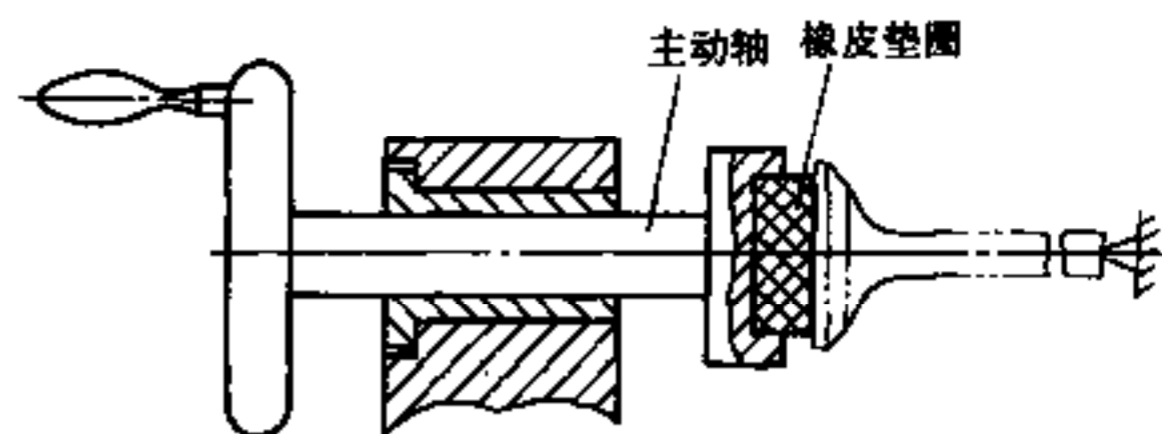


图 6-9 气门转动方案

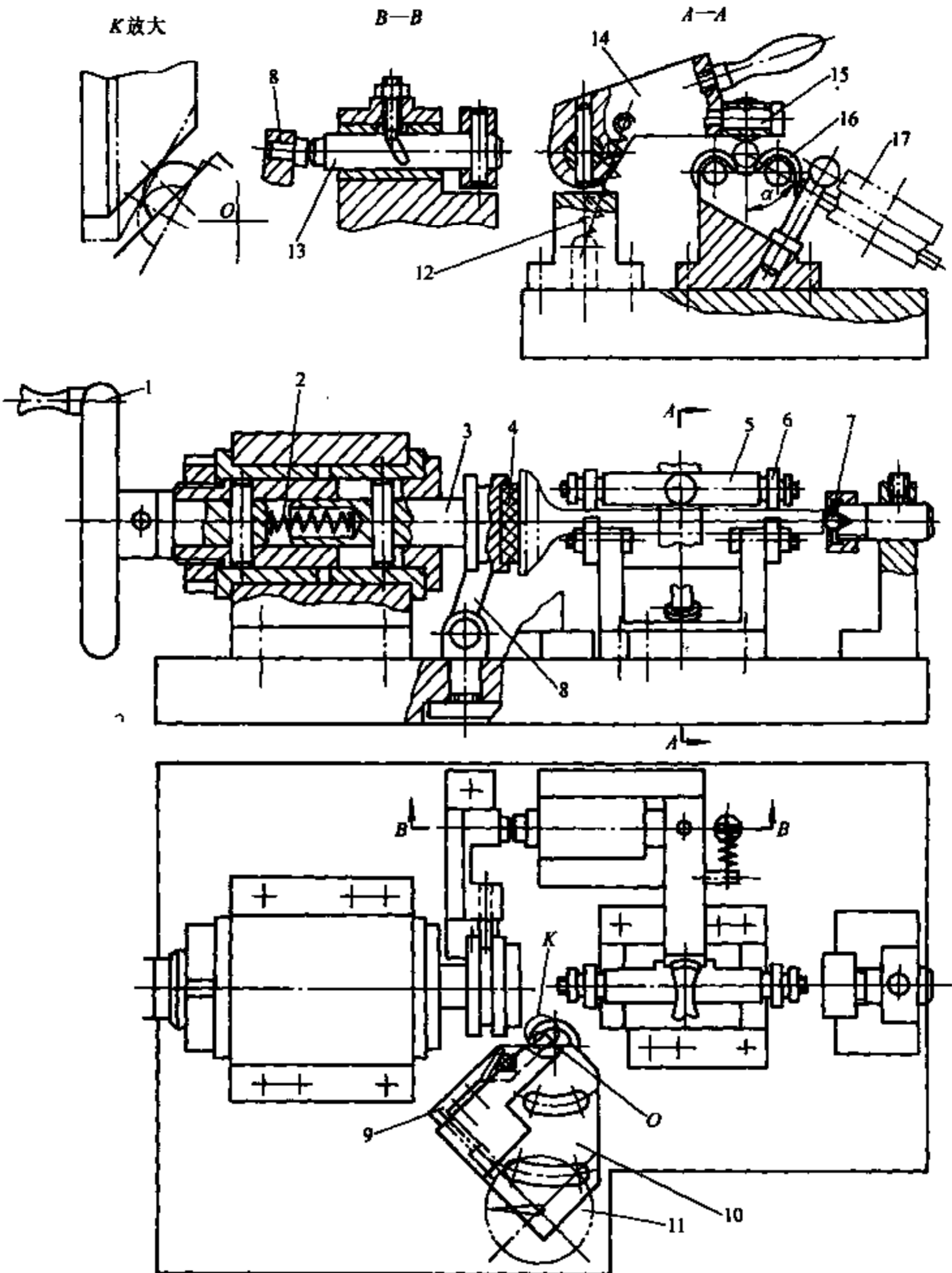


图 6-10 气门检具总图

- 1—手轮 2、12—弹簧 3—主动轴 4—橡皮垫圈 5—压板 6、16—滚轮 7—滚珠
8—摆杆 9—杠杆 10—支架 11、17—百分表 13、15—轴 14—压板体

其精度。

(1) 气门盘锥面斜向圆跳动的测量误差 影响此项测量精度的原始误差有以下几项：

1) 气门杆部外圆表面圆度误差 Δ_r (0.007mm) 在开始拟订检具方案时，按采用 V 形角 $2\alpha = 90^\circ$ 的 V 形块估算过由于杆部圆度误差引起的测量误差，由于现在改为用两对滚轮定位，其结构相当于 $2\alpha = 120^\circ$ 的 V 形，所以应重新估算此项测量误差。由表 2-3 可知，当

$2\alpha = 120^\circ$ ，由于定位外圆圆度误差，其圆心在水平方向的偏移值平均为 $(2 \times 0.4) \Delta_r$ （见表 2-3 中 $2\alpha = 120^\circ$ ， $\beta = 90^\circ$ 和 270° ），即其值为 0.006mm ，该值反映到垂直于气门盘锥面的方向上为 $0.006 \times \cos\theta = 0.004\text{mm}$ ($\theta = 45^\circ$) 和 0.003mm ($\theta = 60^\circ$ ，见图 6-6)。所以由此使测量气门盘锥面斜向圆跳动产生的最大测量误差为

$$\Delta_{\text{lim1}} = 0.004\text{mm}$$

2) 定位外圆表面回转时的径向圆跳动 e (0.003mm) 若使两滚轮的径向圆跳动值相同，并使两滚轮的径向圆跳动方向如图 2-6a 所示，则当在水平方向测量时可消除由于滚轮径向圆跳动而产生的测量误差，但在分析时先不考虑该因素。

由图 2-6 可知，由于滚轮的径向圆跳动使气门杆部定位外圆的中心在水平方向上的偏移值为 $\delta_x = e / \cos\alpha = 0.006\text{mm}$ ($\alpha = 60^\circ$) 该值反映到垂直于气门盘锥面的方向上为 $\delta_x \cos\theta = 0.004\text{mm}$ ($\theta = 45^\circ$) 或 0.003mm ($\theta = 60^\circ$)，由此使测量气门盘锥面斜向圆跳动产生的最大测量误差为

$$\Delta_{\text{lim2}} = 0.004\text{mm}$$

3) 百分表示值的变动性 由表 3-4 可知，百分表示值的变动性为 0.003mm ，即

$$\Delta_{\text{lim3}} = 0.003\text{mm}$$

另外在图 6-10 中，滚珠 7 与主动轴 3 的同轴度允差 $\phi 0.1\text{mm}$ （技术要求 2），由于气门杆部外圆端面 T 对杆部外圆轴线的跳动为 0.03mm ，这样会使气门在轴线方向产生最大的位移为 $s = 0.1 \times \frac{0.03}{10} = 0.0003\text{mm}$ ，该值反映到气门盘锥面上为 $s \cdot \sin\theta = 0.0002$ ($\theta = 45^\circ$) 或 0.00025mm ($\theta = 60^\circ$)，其值很小可忽略。

所以对于新制造的检具，测量气门盘锥面斜向圆跳动的极限误差为

$$\Delta_{\text{lim}} = \sqrt{\Delta_{\text{lim1}}^2 + \Delta_{\text{lim2}}^2 + \Delta_{\text{lim3}}^2} = 0.006\text{mm}$$

测量精度序数 $K = \frac{0.006}{0.050} = 12\%$ （小于表 6-3 中对 8 级精度的规定值 16%）。

滚轮磨损后，其外圆表面径向圆跳动允许增大到 0.005mm ，使 Δ_{lim2}^2 增大到 0.007mm 。所以检具磨损后的测量极限误差为

$$\Delta_{\text{lim磨}} = \sqrt{\Delta_{\text{lim1}}^2 + \Delta_{\text{lim2磨}}^2 + \Delta_{\text{lim3}}^2} = 0.009\text{mm}$$

检具磨损后的测量精度系数为 $K_{\text{磨}} = \frac{0.009}{0.050} = 18\%$ （略大于 16%，可行）。

(2) 直线度的测量误差 影响此项测量误差的原始误差有以下几项。

1) 气门杆部外圆表面圆度误差 Δ_r (0.007mm) 由于直线度是在定位滚轮与气门两中心连线方向上测量，由表 2-4 可知，这时由于圆度误差使外圆上点在两中心连线方向上的位置变化平均为 $0.13\Delta_r$ （见表 2-4， $2\alpha = 120^\circ$ ，垂直于 V 形面），由此产生的测量误差为 $0.13\Delta_r = 0.001\text{mm}$ ，即

$$\Delta_{\text{lim1}} = 0.001\text{mm}$$

2) 定位外圆表面的径向圆跳动 e (0.003mm) 由此产生的测量误差为

$$\Delta_{\text{lim2}} = 0.003\text{mm}$$

3) 百分表示值的变动性 (0.003mm)

$$\Delta_{\text{lim3}} = 0.003\text{mm}$$

对于新制造的检具，测量气门杆部外圆轴线直线度的极限误差为

$$\Delta_{lim} = \sqrt{\Delta_{lim1}^2 + \Delta_{lim2}^2 + \Delta_{lim3}^2} = 0.004\text{mm}$$

测量精度系数 $K = \frac{0.004}{0.03} = 13\%$ (小于 16%)

当检具磨损后，滚轮径向圆跳动允许增大到 0.005 mm，则

$$\Delta_{lim2\text{磨}} = 0.005\text{mm}$$

检具磨损后的测量极限误差为

$$\Delta_{lim\text{磨}} = \sqrt{\Delta_{lim1}^2 + \Delta_{lim2}^2 + \Delta_{lim3}^2} \approx 0.006\text{mm}$$

检具磨损后的测量精度系数 $K_{\text{磨}} = \frac{0.006}{0.030} = 20\%$ (可行)

6.8.2 轴承盖端面和内孔表面圆跳动检具

1. 设计前有关情况的了解 轴承盖的简图见图 6-11。

产品图要求以外圆 D_1 表面的轴线 A 作为基准，由于外圆的直径比其长度大得多，所以同时利用端面 T_1 组合定位。由第 2 章分析已知，当采用这种组合定位时，对轴承盖这类工件（直径大，长度小），端面 T_1 对外圆 D_1 轴线的垂直度误差对测量误差影响很小，所以采用组合定位是可行的。

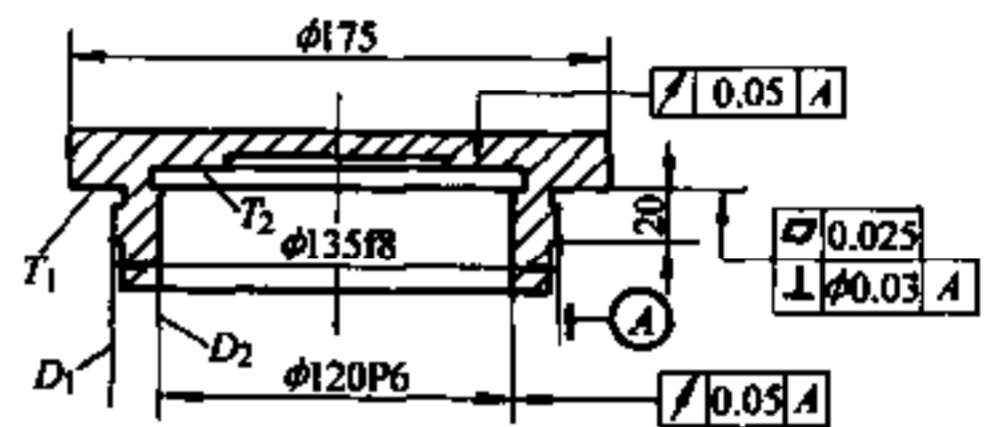


图 6-11 轴承盖简图

在检具上检验以下项目：

- (1) 端面 T_1 的平面度允差 0.025mm (相当于 GB/T1184—1996 7 级精度) (端面 T_1 对外圆 D_1 轴线的垂直度不在本检具上测量)；
- (2) 内孔 D_2 表面对组合基准 A 和 T_1 的径向圆跳动允差 0.05mm (8 级精度)；
- (3) 端面 T_2 对组合基准 A 和 T_1 的端面圆跳动允差 0.05mm (8 级精度)。

由于各表面是一次加工出的，以上各项目为抽验。在检验时应首先检验端面 T_1 的平面度，因为端面 T_1 是工件的重要基准。

2. 制定检具方案 为测量端面 T_1 的平面度，工件以端面 T_1 上的三个最高点与定位环的上端定位支承面接触 (见图 6-12a)，具有放大比 (2:1) 的测量杠杆触头与工件端面 T_1 接触。为布置测量杠杆，在定位环上开有槽口。当工件在定位环上转动时，百分表示值变化表示端面 T_1 在圆周方向上的平面度；当测量杠杆的支座沿径向移动时，可测出径向的平面度。

检验端面 T_2 和内孔 D_2 表面对组合基准 A 和 T_1 的圆跳动可采用图 6-12b 所示的方案，这时在定位环内有三个凸台，三个凸台的位置应如图 6-12c 所示，三个凸台的公称内径 d 比工件外圆 D_1 的直径大 0.04mm，其制造公差为 +0.02mm。检验时，使工件外圆 D_1 表面靠在定位环内中间的凸台上。

为减小组合定位两要素本身垂直度误差对测量精度的影响，凸台的轴向长度应取小值 (如图示)，这样还可以保证在全长上磨损，不会因为其长度超过工件外圆的定位长度，由于磨损不均而产生台阶。可以利用整个检具倾斜、工件本身的重量或用弹簧力，保证工件与中间凸台可靠地接触。

测量内孔 D_2 表面的径向圆跳动应在中间凸台对面测量，用传递装置将被测表面的跳动传到百分表，可采用图 6-13a 所示的铰链杠杆结构。这种结构简单，但由于转动部分有间隙，测量误差较大。采用图 6-13b 所示的平行片簧杠杆机构传递精度高，又可使百分表的位置布置较高，距离工件又较远，以便于观察。

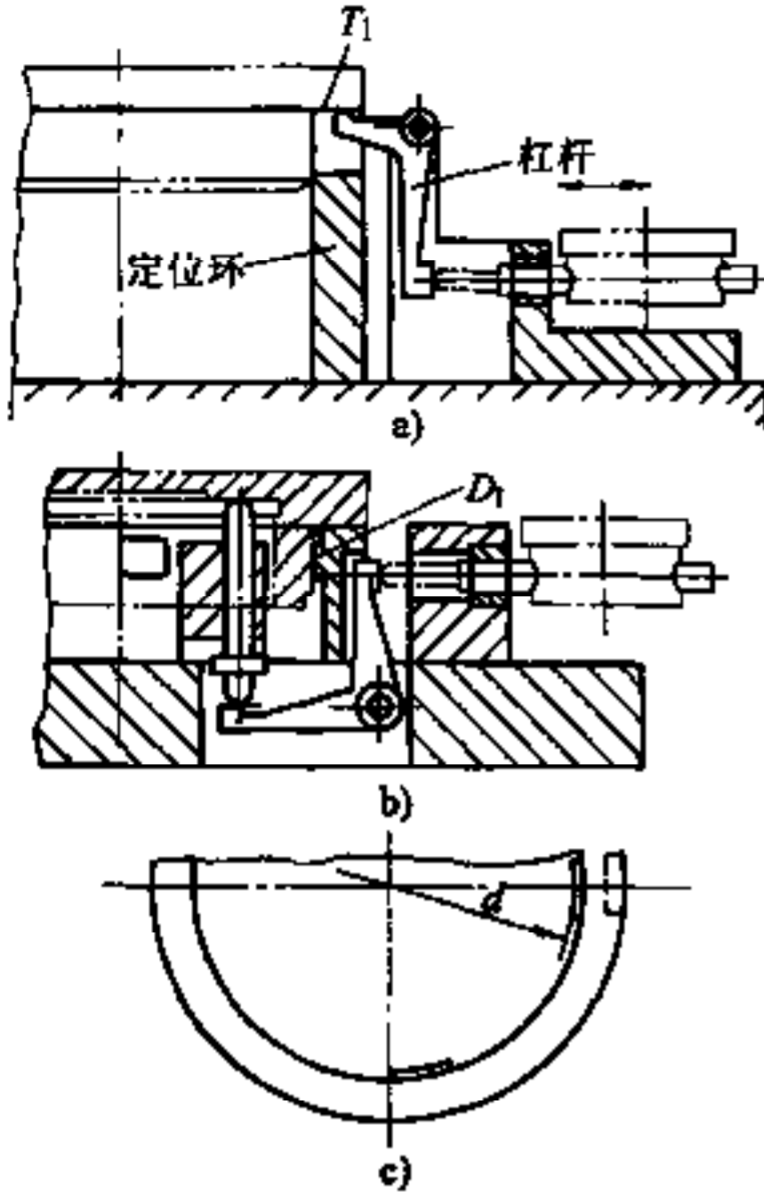


图 6-12 测量轴承盖端面平面度、跳动方案

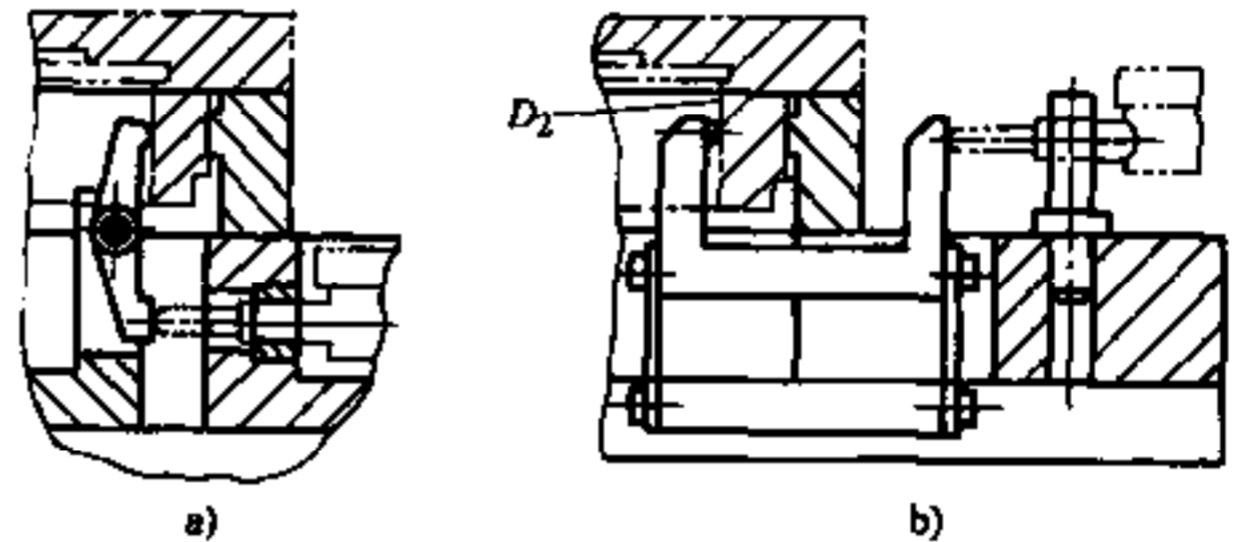


图 6-13 测量轴承盖内孔径向跳的方案

3. 设计检具总图和零件图 最后设计的检具总图如图 6-14 所示。

为便于观察各个百分表，检具未采用倾斜式的，这时为使工件可靠地靠在定位环中间凸台上，在检具上有两个用弹簧顶出的销 17，两弹簧的合力 $P \geq Q\mu$ (Q —— 工件的重量； μ —— 工件与定位环上端面的摩擦系数，约为 0.2)。

由于有弹簧力使工件靠上定位凸台，为方便地取下工件，用推杆 4 将工件推出，用手柄 16 操纵推杆，检验时推杆处于被弹簧压下的位置。

在定位环内孔中间凸台的对面布置有直线传递件 6，其测量触头与内孔 D_2 (图 6-11) 表面接触，另一端平面与百分表 15 的触头接触。传递件 6 装在两片簧 11 上，整个传递机构通过板 12 装在检具基座的下平面 C 上。弹簧 8 的拉力应大于百分表 15 的测量力，以保证传递件 6 的测量触头与工件内孔 D_2 表面可靠地接触，保持一定的测量力。为避免工件装到检具上可能损坏片簧，装有可承受碰撞的罩 7。

检验端面 T_2 跳动的结构也由图 6-12b 改为采用特殊形状的杠杆 10 的结构，百分表 13 布置在检具的后部，用螺钉 9 限制杠杆 10 和百分表 13 测杆的移动范围。

用百分表 18 检验端面 T_1 的平面度，传递比为 2:1 的杠杆 14 的一个工作端与工件端面 T_1 接触，另一个工作端与百分表 18 的触头接触。滑座 3 沿固定在本体上的开式矩形导轨 2 滑动，以沿径向测量端面 T_1 的平面度，用销钉 1 限制滑座向后移动的距离。杠杆 14 装在滑座 3 上，在杠杆的长臂上有限位螺钉。由于采用传递比为 2:1 的杠杆 14，结果使在检验时各个百分表的示值范围刚巧都一样 (0.05mm)，这样对检验员操作比较方便。在观察百分表示值时，应用手使工件端面 T_1 紧靠在定位环 5 的上平面上。

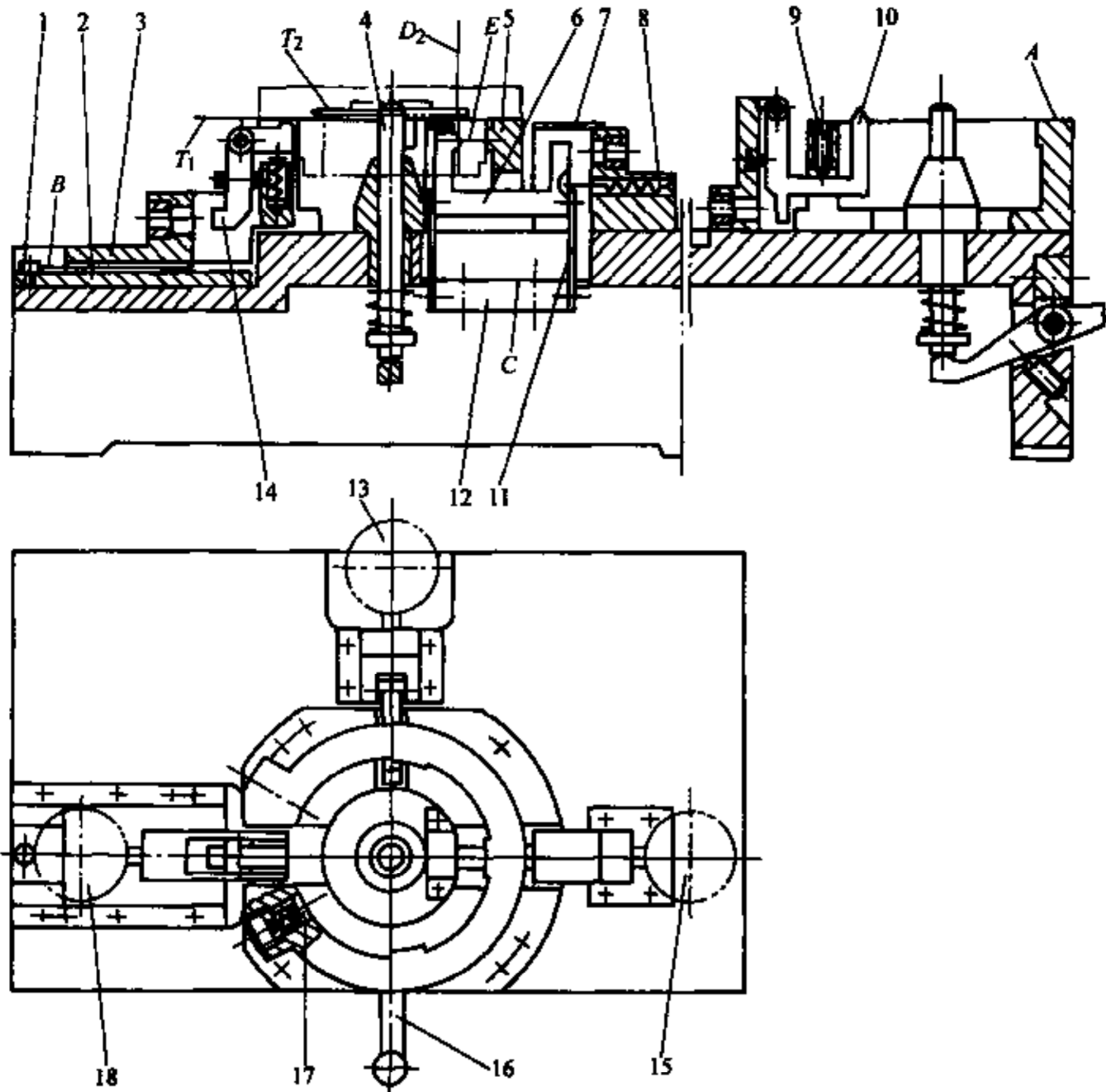


图 6-14 轴承盖检具图

1—销钉 2—导轨 3—滑座 4—推杆 5—定位环 6—传递件 7—罩 8—弹簧 9—螺钉
10、14—杠杆 11—片簧 12—板 13、15、18—百分表 16—手柄 17—销

在检具总图上规定的技术要求主要有：

- (1) 定位环支承平面 A 的平面度允差 0.004mm，允许磨损到 0.006mm；
- (2) 导轨平面 B 对定位环支承面 A 的平行度允差 0.010mm/150mm；在测量端面 T_1 行程范围内（20mm）平行度允差 0.002mm，磨损后允差 0.004mm。

4. 精度分析

(1) 测量端面 T_1 平面度的测量误差 影响此项测量精度的原始误差有：

1) 定位环支承平面 A 的平面度允差 0.004mm 由此产生的测量误差为

$$\Delta_{lim1} = 0.004\text{mm}$$

2) 导轨平面对定位环支承面 A 的平行度误差 在测量端面 T_1 行程（20mm）范围内平行度允差 0.002mm，由此产生的测量误差为

$$\Delta_{lim2} = 0.002\text{mm}$$

3) 百分表示值变动性 由此产生的测量误差为

$$\Delta_{lim3} = 0.003\text{mm}$$

对于新制造的检具，测量端面 T_1 平面度的极限误差为

$$\Delta_{\text{lim}} = \sqrt{\Delta_{\text{lim}1}^2 + \Delta_{\text{lim}2}^2 + \Delta_{\text{lim}3}^2} = 0.005\text{mm}$$

$$\text{测量精度系数 } K = \frac{0.005}{0.025} = 20\%$$

K 值大于表 6-3 中对 8 级精度的规定值 16%，由于有关制造公差已不适合再减小，所以就取 $K = 20\%$

当检具磨损后， $\Delta_{\text{lim}1\text{磨}} = 0.006\text{mm}$ ， $\Delta_{\text{lim}2\text{磨}} = 0.004\text{mm}$ 。

检具磨损后测量极限误差为

$$\Delta_{\text{lim磨}} = \sqrt{\Delta_{\text{lim}1\text{磨}}^2 + \Delta_{\text{lim}2\text{磨}}^2 + \Delta_{\text{lim}3}^2} \approx 0.008\text{mm}$$

检具磨损后的测量精度系数为

$$K_{\text{磨}} = \frac{0.008}{0.025} = 32\% \quad (\text{仍在 } 33\% \text{ 内, 可行})$$

(2) 测量端面 T_2 端面圆跳动的测量误差 由于采用组合基准定位，测量端面 T_2 的端面圆跳动实际上是测量端面 T_2 对端面 T_1 的平行度。影响此项测量精度的原始误差有：

1) 定位环支承平面 A 的平面度允差 0.004mm 由此产生的测量误差为

$$\Delta_{\text{lim}1} = 0.004\text{mm}$$

2) 百分表示值变动性

$$\Delta_{\text{lim}2} = 0.003\text{mm}$$

对于新制造的检具，测量端面 T_2 跳动的极限误差为

$$\Delta_{\text{lim}} = \sqrt{\Delta_{\text{lim}1}^2 + \Delta_{\text{lim}2}^2} = 0.005\text{mm}$$

$$\text{测量精度系数 } K = \frac{0.005}{0.050} = 10\%$$

K 值小于表 6-3 中 8 级精度的规定值 16%

当检具磨损后 $\Delta_{\text{lim}1\text{磨}} = 0.006\text{mm}$

检具磨损后的极限误差为

$$\Delta_{\text{lim磨}} = \sqrt{\Delta_{\text{lim}1\text{磨}}^2 + \Delta_{\text{lim}2\text{磨}}^2} = 0.007\text{mm}$$

检具磨损后的精度系数为

$$K_{\text{磨}} = \frac{0.007}{0.050} = 14\% \quad (\text{小于 } 16\%)$$

(3) 测量内孔 D_2 表面径向圆跳动的测量误差 该项测量在凸台对面，通过在凸台中间截面 E 上测量内孔 D_2 表面对外圆 D_1 轴线的径向圆跳动实现。由第 2 章中对图 2-34 的分析已知，在这样测量条件下，可消除端面 T_1 对外圆 D_1 轴线垂直度误差对测量的影响。因此，除百分表示值变动性外，没有其他因素影响此项测量精度的原始误差，所以此项测量误差的极限误差即为 0.003mm ，其测量精度系数为 $(0.003/0.05) = 6\%$ （显著小于 16%）。

6.8.3 十字轴二公共轴线垂直度和位置度检具

1. 设计前有关情况的了解 十字轴的产品简图如图 6-15 所示。

在检具上需要检验以下项目：

(1) 两轴颈公共轴线 $C-D$ 对基准两轴颈公共轴线 $A-B$ 的垂直度允差 $0.15/195\text{mm}$ （相当于 GB/T1184—1996 9 级精度）。

(2) 两轴颈公共轴线对基准两轴颈公共轴线的位置度允差 $\phi 0.12\text{mm}$ （9 级精度）。

第一个检验项目是检验十字轴两对轴颈的二公共轴线相互垂直度，而第二个检验项目是检验十字轴二公共轴线是否在一个平面上。

在各轴颈上有扁平面，在磨削时使磨量不均匀，所以允许轴颈在有扁平面的方向上直径按公称尺寸减小到0.05mm。

该检具用于加工后最终检验，抽验。

2. 制定检具方案 为检验工件二公共轴线的垂直度，可设计图6-16a所示的简单检具，将工件放在四个窄边平面支承1上。

工件的三个轴颈靠在保持一定位置精度的三个定位销2上，用触头为刀口形的测杆3测量第四个轴颈的侧素线。检验工件二公共轴线的垂直度，应使工件绕A-A轴线翻转180°，这样两次测量都是测量同一轴颈C；而绕B-B轴线翻转两次测量不同的轴颈（C和D），会产生由于轴颈C和D直径不同而产生的测量误差。百分表4的两次示值差就是工件两对轴颈二公共轴线垂直度误差的两倍。

图6-16a所示的方案，工件轴颈是在有扁平面方向的直径上定位，其公差较大，但对绕A-A轴线转动两次测量的定位精度没有影响。采用翻转工件两次测量方法的优点是不用校准件调整检具，百分表两次示值差范围较大，便于观察。

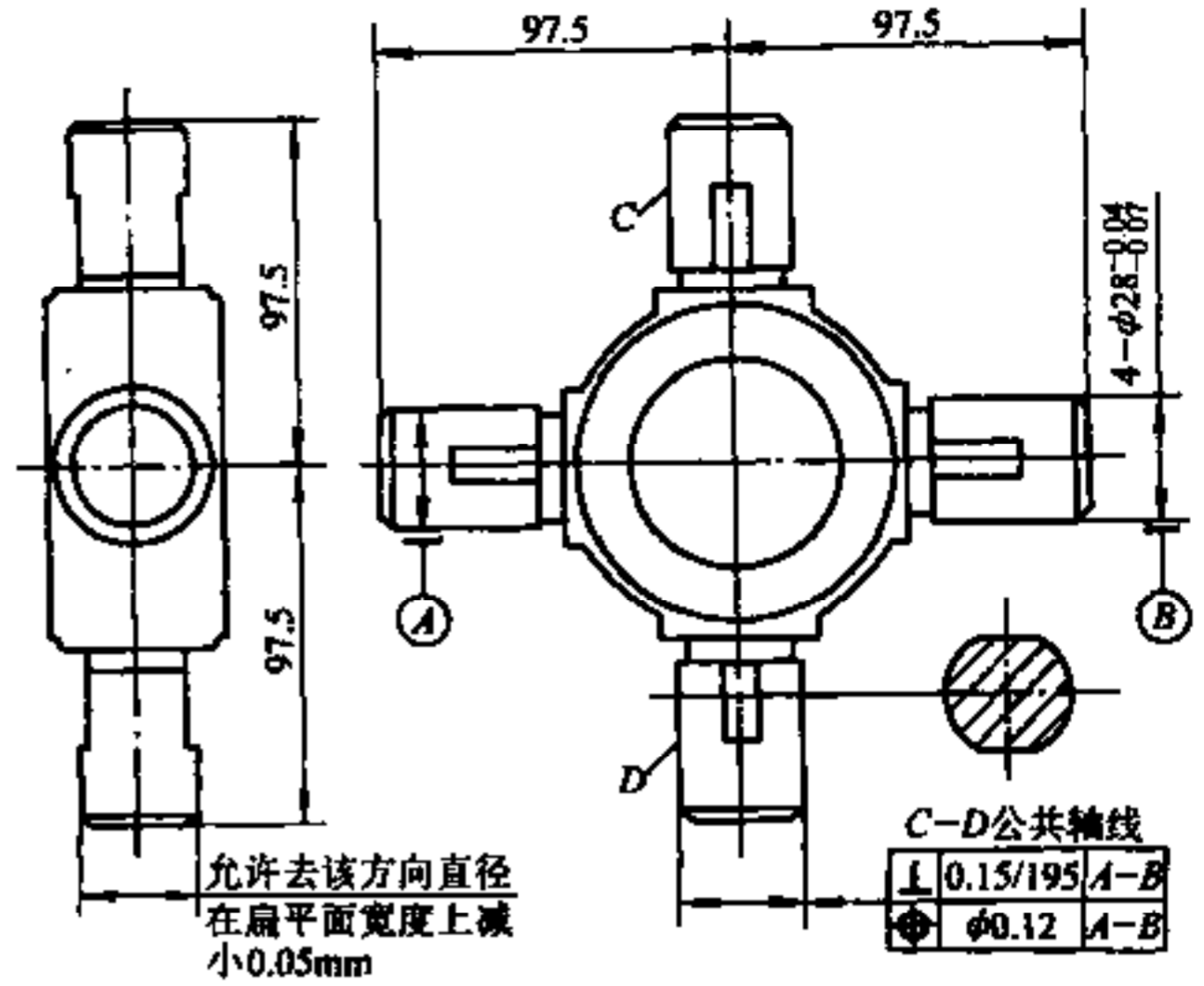


图6-15 十字轴简图

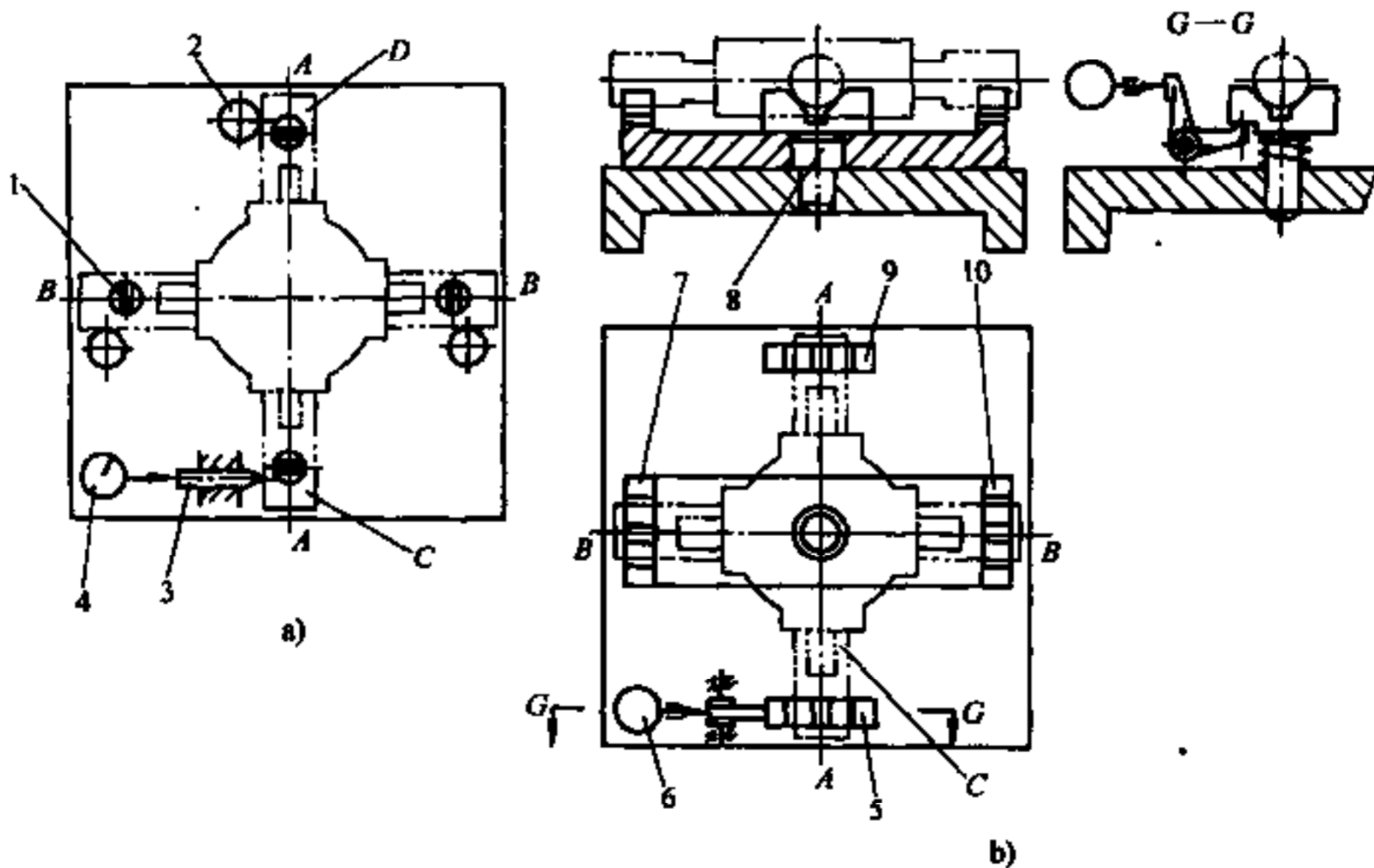


图6-16 测量十字轴二公共轴线垂直度和位置度的方案

1—窄边平面支承 2—定位销 3—测杆 4、6—百分表 5、7、9、10—V形块 8—轴

采用与图 6-16a 同样原理的检具也可检验工件二公共轴线的位置度，在工件轴颈的上素线（有扁平面的方向）上测量，测量方向刚好是工件直径允许局部减小的方向，将产生较大的测量误差。为解决这个问题，应采用 V 形定位，以避免直径减小部分，如图 6-16b 所示。

工件以三个轴颈在三个具有同样高度的窄 V 形块上定位，其中一个 V 形块 9 是固定的，二个 V 形块 7 和 10 做成一体，并可绕轴 8 摆动，以弥补工件二公共轴线垂直度误差。工件第四个轴颈靠在可上下移动的窄 V 形块 5 上，百分表 6 通过测量杠杆显示 V 形块 5 的高度位置。检验工件二公共轴线的位置度，应使工件绕 A-A 轴线翻转 180°，因为这样两次都是测量轴颈 C，不致由于测量不同直径的轴颈而产生测量误差。这种方法的测量原理是，把工件三个轴颈的圆心确定在基准平面上，测量第四个轴颈的圆心相对基准平面的误差，以此来确定二公共轴线的位置度误差，这时百分表的示值与二公共轴线位置度误差的关系如图 6-17 所示。

为简化分析，假设工件各轴颈的直径相等，当检验工件二公共轴线的位置度误差为 e 时（图 6-17a），由于在图 6-16b 中 V 形块 1 与两 V 形块 2 和 3 等高，所以工件被测量轴线 L 在检具上的位置如图 6-17b 所示，这时第四个轴颈的圆心 O_4 相对基准面 $O_1O_2O_3$ 向下偏移 $2e$ 。当工件绕 O_1O_4 轴线翻转 180° 时， O_4 相对基准面 $O_1O_2O_3$ 向上偏移 $2e$ （图 6-17c）；如果工件绕 O_2O_3 轴线翻转 180°，其情况也一样，只是 O_1 与 O_4

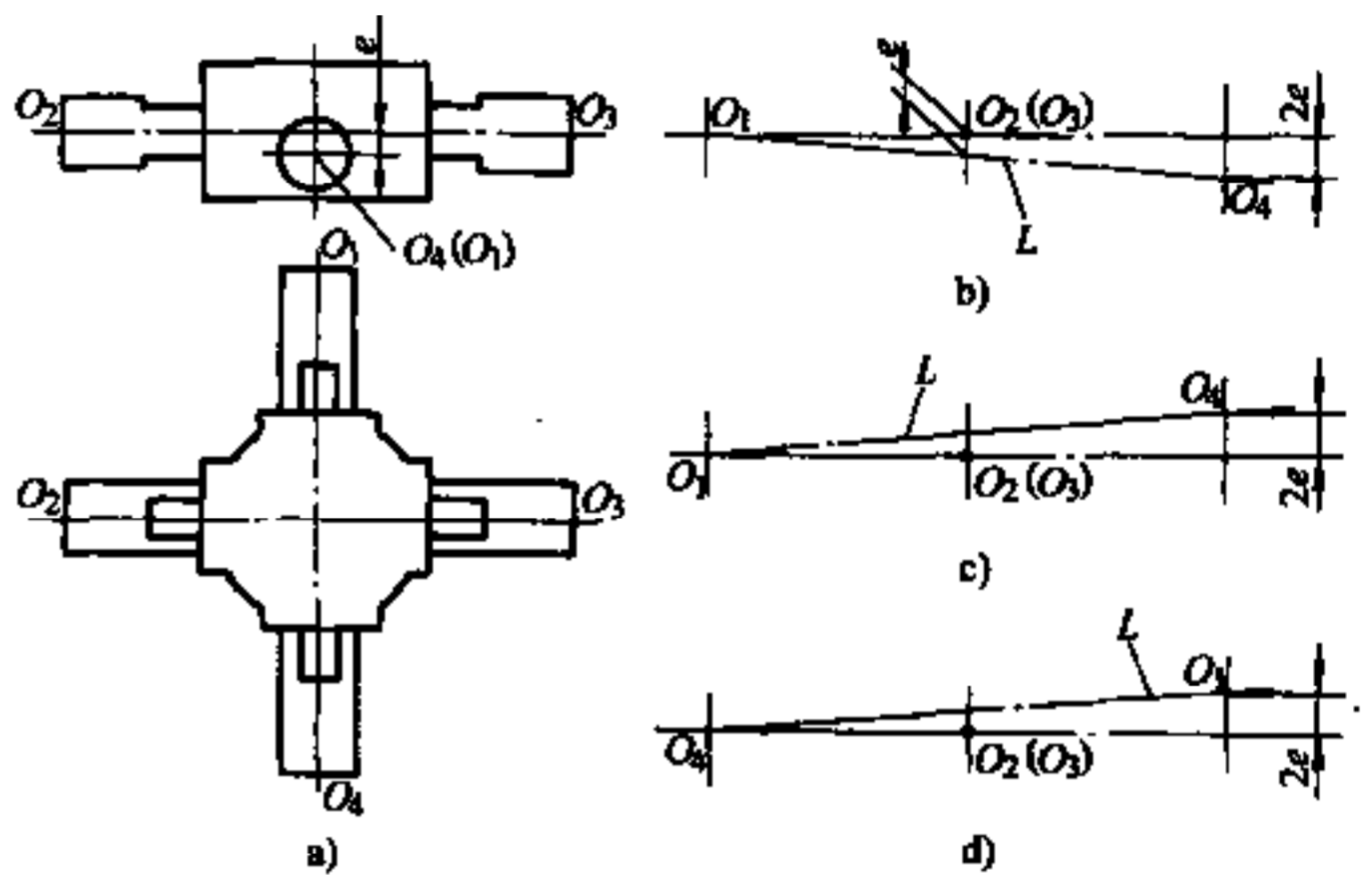


图 6-17 十字轴二公共轴线位置度误差与百分表示值差的关系

的位置互换（图 6-17d）。这时百分表的两次示值差为 $4e$ ，而 e 值应等于或小于 $\frac{1}{2} (\phi 0.12) = 0.06\text{mm}$ ，所以百分表的示值允许不大于 $4e = 0.24\text{mm}$ （ $\phi 0.12\text{mm}$ 是工件二公共轴线的位置度）。

实际上工件各轴颈的直径存在差异，所以上述方法有一定误差，但可通过完善检具结构解决这个问题。对于图 6-16b 所示的方案，如果从结构上能满足同时测量 V 形块 4 的角度变化，则可实现在一台检具上同时检验二个项目。在最后确定设计方案时，考虑了这些问题。

3. 设计总图和零件图 最后设计的总图如图 6-18 所示。

工件以两个轴颈（D 和 C）分别靠在定位 V 形块 7（见 K 向视图）和摆动 V 形块 6（见 G-G 剖面）上，使工件按一公共轴线 BB 定位。V 形块 7 的 V 形面有较长的长度，以作为检具制造时的测量基准，在轴颈定位时只用一小段长度 a ，定位段 a 与制造时的基准部分用宽度为 b 的沉割槽隔开，以保证定位段磨损均匀。平面 T 是工件的粗定位面。工件的另两个轴颈（E 和 F）放在可绕轴 4 摆动的 V 形座 5 上，其上有两个 V 形块。V 形块 7 的对称轴线与 V 形座 5 上两 V 形的对称轴线应等高。对 V 形块 6 的装配要求见下面介绍的技术要求（3）。检具底座的底面为斜面，以保证工件轴颈 C 和 D 可靠地靠在 V 形块 6 和 7 上。

摆动 V 形块 6 既是测量二公共轴线垂直度的定位元件，又是测量二公共轴线位置度的

测量元件，这样使结构简化，减少了传递环节，在 V 形座 5 上压入带扁平面的销 2，其扁平面与百分表 1 的触头接触，摆动 V 形块 6 的伸出臂与百分表 3 的触头接触。

测量时将工件放在检具上，读取百分表 1 和 3 的读数，然后工件绕 AA 轴线翻转 180°，再测量一次，由百分表 1 两次示值差得到工件二公共轴线垂直度误差的两倍，而由百分表 3 两次示值差得到工件二公共轴线位置度误差（见图 6-17）的两倍（ $\phi 2e$ 的两倍）。

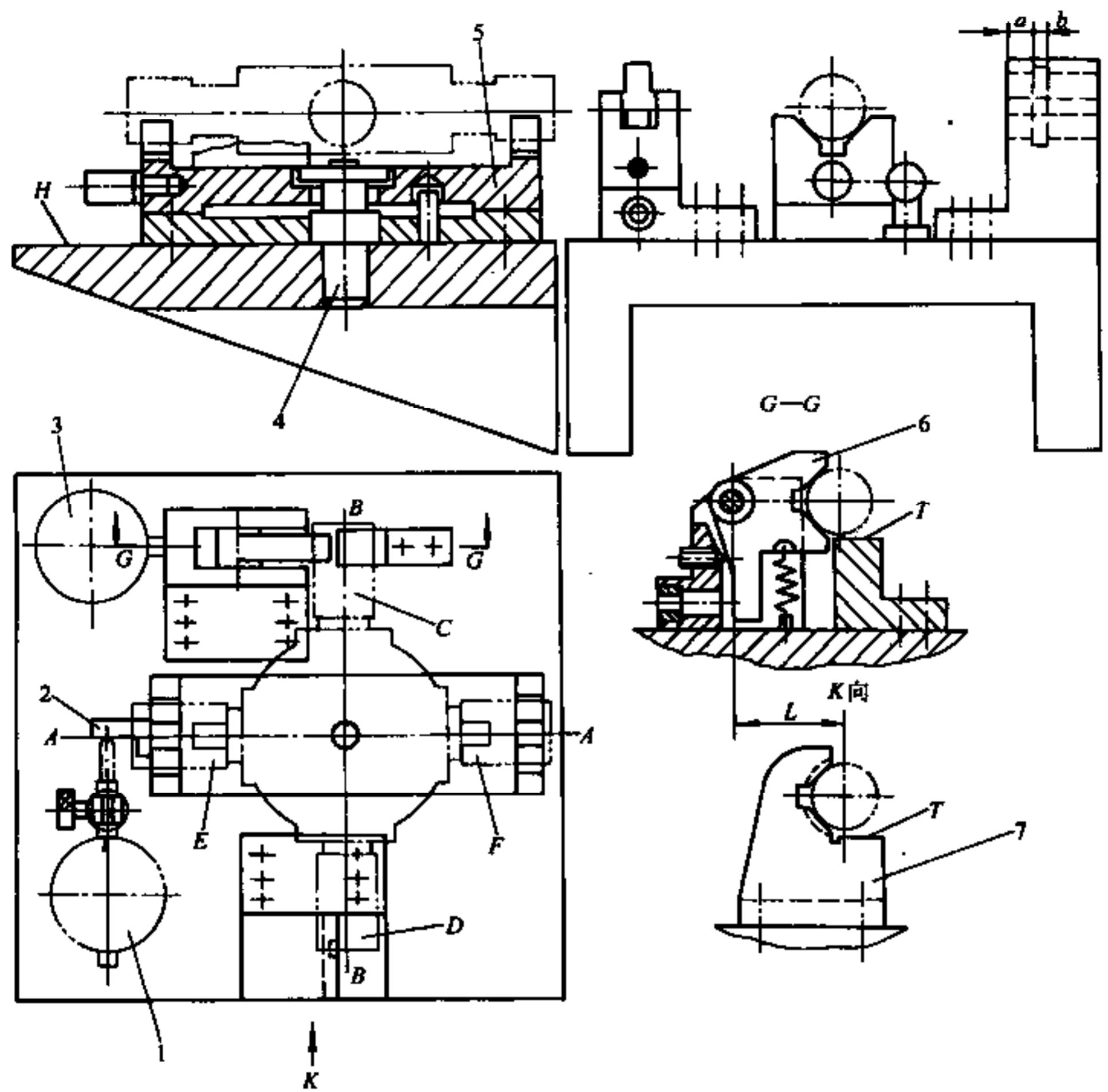


图 6-18 十字轴二公共轴线垂直度和位置度检具

1、3—百分表 2—销 4—轴 5—V形座 6、7—V形块

V 形块 7 和 6 的对称轴线布置在水平面上，这样即躲开了工件轴颈允许局部减小的位置；又可使工件绕 AA 轴线翻转 180°，工件轴颈 C 和 D 的位置对调后，不会由于轴颈 C 和 D 直径的差异而在垂直面上产生定位误差，即不会影响二公共轴线位置度的测量精度。但这时由于轴颈 C 和 D 直径的不同，工件定位公共轴线 BB 在两次测量时在水平面上将产生定位误差，对工件二公共轴线垂直度的测量精度有影响，但由下面的精度分析可知，其影响在允许范围内。

在检具总图上规定的主要技术要求有：

(1) 件 5 两 V 形块的工作面应在同一表面上，相对 H 面的高度应等高，在件 5 两 V 形块上放检验棒，其轴线应平行于 H 面，允差 0.010mm，磨损后允差 0.020mm。

(2) 用相同直径的检验棒放在 V 形块 7 和件 5 两 V 形块上检验棒的圆心应等高, 允差 0.010mm, 磨损后允差 0.02mm。

(3) 当用检验棒放在 V 形块 6 和 7 上时, 两 V 形块各工作面应与检验棒贴合, 允许在 V 形块 6 的一 V 形面有 0.015mm 的间隙, 磨损后允许为 0.022mm。为此, 一是要控制两 V 形块的加工, 二是在装配时控制尺寸 L 。

4. 精度分析

(1) 测量工件轴颈二公共轴线垂直度的测量误差 工件两轴颈 E 和 F 的直径差异不会使工件被测公共轴线 AA 在水平面上产生倾斜, 不影响测量精度。由于检具制造误差, 工件轴颈 C 与摆动 V 形块 6 的两 V 形面不完全贴合而产生的间隙会使工件定位公共轴线 BB 在水平面上的位置有变化。但对某个工件, 如果轴颈 C 和 D 的直径相同, 则工件在绕 $A-A$ 轴线翻转 180° 前后, 轴线 BB 的位置不变, 所以摆动 V 形块与工件轴颈之间的微小间隙也不影响测量精度。因此, 重点要考虑两轴颈 C 和 D 直径的差异对测量的影响。

影响此项测量精度的原始误差有:

1) 在 BB 轴线上轴颈 C 与 D 直径的差异 (最大为 0.03mm) 由于这个差异使轴颈 C 和 D 在 V 形块 6 和 7 上定位时, 两轴颈的圆心产生相互偏移 e , 其值约为 0.02mm (对于 V 形角 90° , $e = 1.4 \times \frac{D-d}{2}$, 图 6-19), 使两次定位产生不确定性, 由此

使测量二公共轴线垂直度产生的测量误差为

$$\Delta_{lim1} = 0.020\text{mm}$$

2) 百分表示值变动性

$$\Delta_{lim2} = 0.003\text{mm}$$

所以对于新制造以及磨损后的检具, 测量工件轴颈二公共轴线垂直度的极限误差均为

$$\Delta_{lim} = \sqrt{\Delta_{lim1}^2 + \Delta_{lim2}^2} \approx 0.02\text{mm}$$

测量精度系数 $K = \frac{0.020}{0.15} = 13\%$

K 值与表 6-3 中 9 级精度的规定值 (12.5%) 接近。

(2) 测量工件轴颈二公共轴线位置的测量误差 前已述及, 由于件 6 和 7 的 V 形对称轴线布置在水平面上 (图 6-18), 轴颈 C 和 D 直径的差异不影响此项测量精度。工件另两个轴颈 E 和 F 直径的差异只使工件在件 5 两 V 形块上定位时, 两轴颈公共轴线 $A-qdA$ 在垂直面上产生倾斜, 在水平面上不会产生倾斜, 所以也不影响此项测量精度。

影响此项测量精度的原始误差有:

1) 由上述技术要求 (3) 已知, 由于检具制造误差使工件轴颈 D 与 V 形块 6 的一个 V 形面不完全贴合而产生的间隙允许为 0.015mm (磨损后为 0.022mm), 这对百分表 3 在垂直方向的示值有 $0.015 \times 1.4 = 0.021\text{mm}$ 的影响 (百分表两次示值允差 0.24mm), 即

$$\Delta_{lim1} = 0.021\text{mm}$$

2) 百分表示值变动性

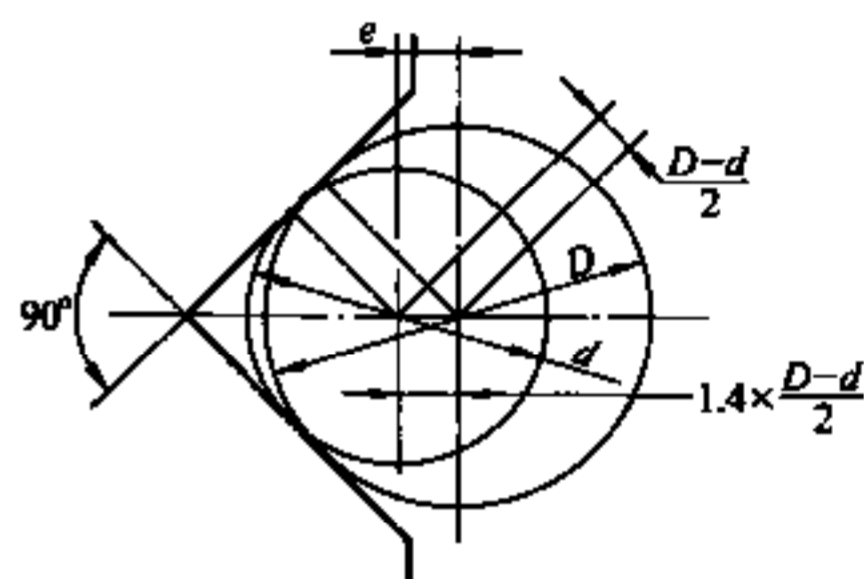


图 6-19 两定位轴颈的差异对在水平面上定位精度的影响

$$\Delta_{lim2} = 0.003\text{mm}$$

所以对于新制造的检具，测量工件轴颈二公共轴线位置时百分表示值的极限误差为

$$\Delta_{lim} = \sqrt{\Delta_{lim1}^2 + \Delta_{lim2}^2} \approx 0.021\text{mm}$$

测量精度系数 $K \frac{0.021}{0.24} = 9\%$

K 值小于表 6-3 中 9 级精度的规定值 (12.5%)。

当检具磨损后， $\Delta_{lim1\text{磨}} = 0.022 \times 1.4\text{mm} = 0.030\text{mm}$

检具磨损后的极限误差为

$$\Delta_{lim\text{磨}} = \sqrt{\Delta_{lim1\text{磨}}^2 + \Delta_{lim2}^2} \approx 0.03\text{mm}$$

检具磨损后的精度系数 $K_{\text{磨}} = \frac{0.03}{0.24} = 12.5\%$ (可行)

6.8.4 拨叉槽距检具

1. 对汽车变速箱拨叉槽 (图 6-20) 的位置要求是：在 XOY 面上应保证尺寸 $29_{-0.5}^0$ 和角度 $15^{\circ+3'}$ ；在 Z 轴方向应保证尺寸 19.6 ± 0.1 。

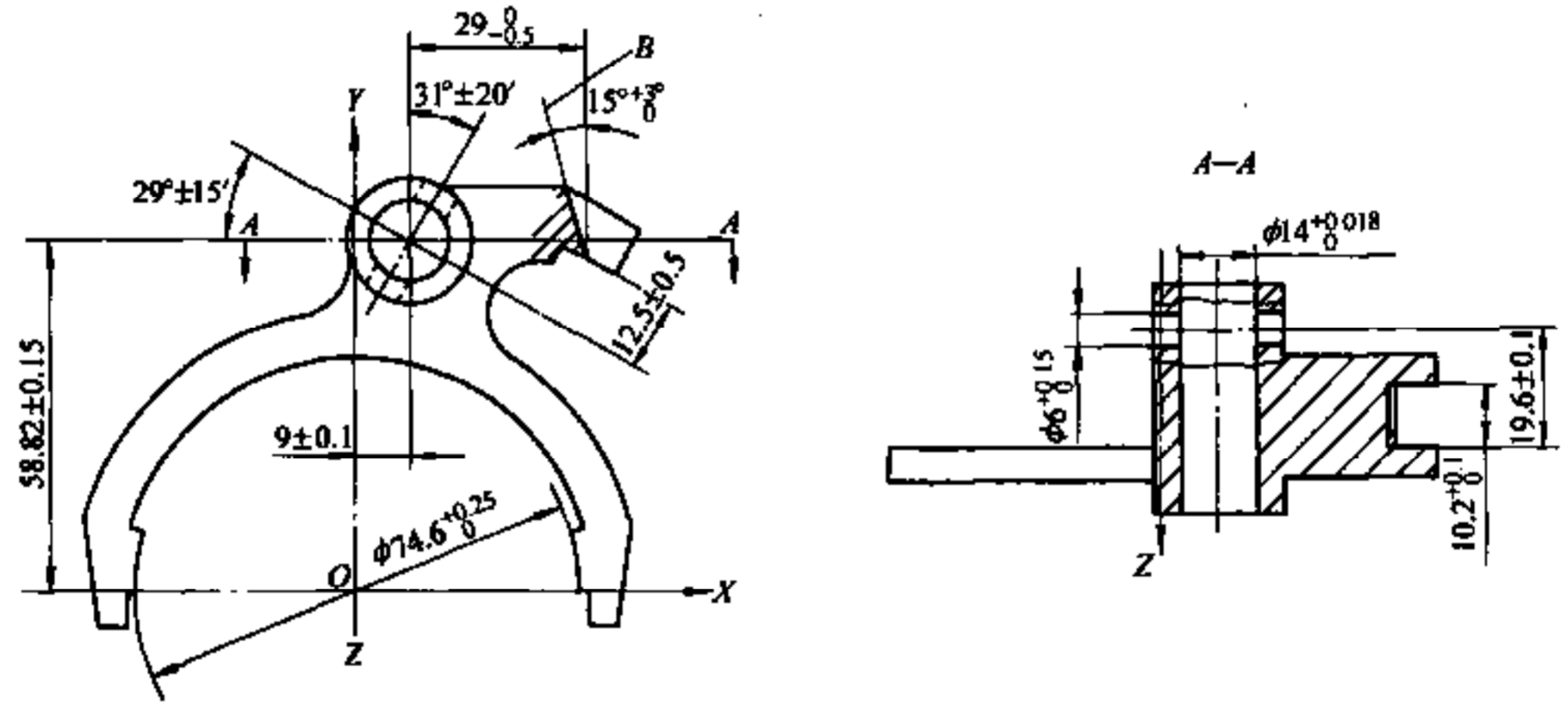


图 6-20 拨叉产品简图

2. 检具的结构 检具的结构如图 6-21 所示，拨叉在检具上的安装位置是这样选择的：当拨叉槽底面 B 的角度为公称值 15° 时 (见图 6-20)，B 面垂直于检具的底面。

用圆柱定位销 3 (直径 $\phi 14_{-0.02}^{+0.01}$) 和扁形定位销 1 (直径 $\phi 74.6_{-0.04}^{+0.02}$) 使拨叉在 XOY 面上定位，采用扁形销可弥补拨叉两孔与检具两定位销中心距的偏差。用菱形圆锥定位插销 2，通过导套 5 插入拨叉 $\phi 6_{-0.15}^{+0.15}$ 的孔中，使拨叉在 Z 轴方向定位。插销 2 菱形的位置应如图示，插销在导套中用键定向。这样既可精确地使拨叉在 Z 轴方向定位，又可弥补拨叉 $\phi 6_{-0.15}^{+0.15}$ 孔轴线对 $\phi 14_{-0.018}^{+0.018}$ 孔轴线的偏移。插销 2 插入后，用锁紧手柄 4 通过拉杆、滑块机构 (图中未示) 抱住插销导向部位，使其位置固定。

在检具上布置综合刚性量规 7 检验拨叉槽的位置，为此在适当位置选择转轴中心 O_2 ，根

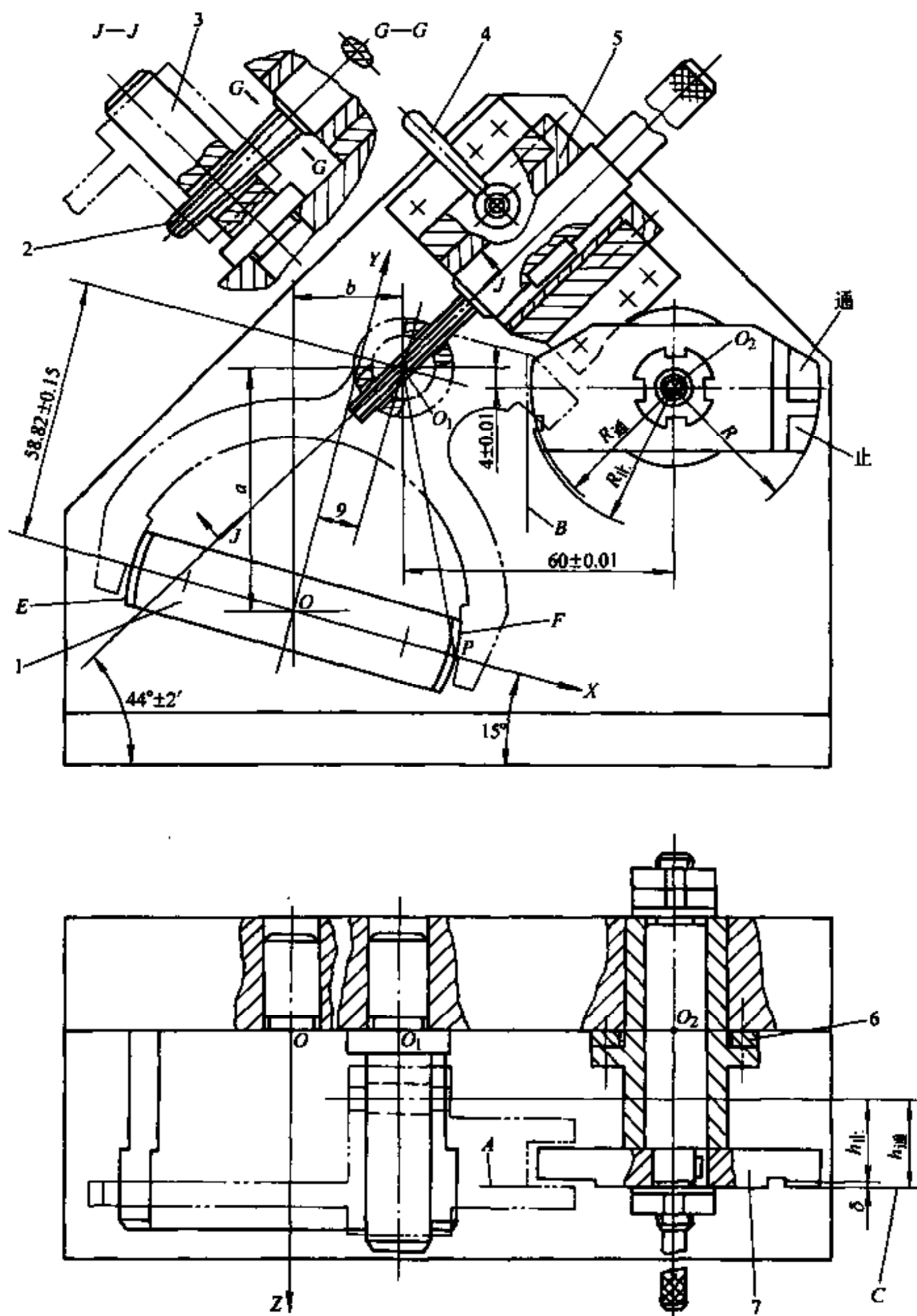


图 6-21 拨叉槽距检具总图

1—扁形定位销 2—插销 3—圆柱定位销 4—锁紧手柄 5—导套 6—调整垫片 7—量规

据所选择 O_2 的位置 (尺寸 (4 ± 0.01) mm 和 (60 ± 0.01) mm) 和产品图有关尺寸, 可计算出 $R_{通}$ 和 $R_{止}$ (详见表 6-4)。 $R_{通}$ 和 $R_{止}$ 分别为按表 6-4 中两种计算依据计算出的由转轴中心 O_2 到拨叉槽 B 面的垂直距离 (见图 6-22a 中的 $O_2J = R_{通}$ 和 $O_2L = R_{止}$)。对合格的拨叉槽距, $R_{通}$ 外圆表面应通过槽的 B 面, 而 $R_{止}$ 外圆表面则应不通过 B 面。

表 6-4 计算出的 $R_{通}$ 、 $R_{止}$ (mm)

拨叉尺寸	计 算 依 据				量规工作尺寸	
					计算出的 公称值	制造公差
	$29_{-0.3}^0$	$15^{\circ+3'}_0$	12.5 ± 0.15	$29^{\circ} \pm 15'$		
$R_{通}$	29	15°	12.65	$28^{\circ}45'$	32.37	+0.061 +0.039
$R_{止}$	28.5	18°	12.35	$29^{\circ}15'$	33.16	0 -0.022

检具装配后应保证量规的端面 C 距导套 5 轴线的距离等于 $h_{通} = 19.7 \pm 0.01$ (这可靠调整垫片 6 的厚度达到), 并保证 $(h_{通} - h_{止}) = \delta = 0.2_{-0.020}^{+0.010}$, 这时 R 应小于 $R_{通}$ 。对于合格品, $h_{通}$ 应通过拨叉槽的 A 面, $h_{止}$ 则应不通过 A 面。

装卸拨叉时, 量规 7 按图示转 90° 。由几何关系可计算出检具上的尺寸 $a = 54.49\text{mm}$ 和 $b = 23.92\text{mm}$, 其制造公差取为 $\pm 0.02\text{mm}$ 。为达到设计要求, 应规定技术要求和磨损极限, 这里不再赘述。

3. 误差分析 因为定位 3 与拨叉孔的间隙最大为 $(0.018 + 0.020)\text{mm} = 0.038\text{mm}$, 相对于被测尺寸 ($29_{-0.5}^0$) 所产生的定位误差 (0.019mm) 很小, 可忽略。

拨叉角度的定位误差由拨叉大孔与扁定位销 1 的最大间隙 $[(0.25 + 0.04)\text{mm} = 0.29\text{mm}]$ 的一半来确定。拨叉大孔与扁定位销 1 在 F 面接触时比其在 E 面接触时的角度定位误差大, 所以按拨叉大孔与扁定位销在 F 面接触来确定角度定位误差, 这时角度定位误差等于 $\arctan \frac{0.145}{O_1P} = 9'$ ($O_1P = \sqrt{58.82^2 + \left(\frac{74.6}{2} - 9\right)^2}\text{mm} \approx 65\text{mm}$, O_1P 见图 6-21) 当拨叉大孔与扁定位销在 F 面接触时, 使拨叉槽的 D 点也绕 O_1 点转过 $9'$ (由 D 到 D' , 见图 6-22b), 其移动量等于 $\Delta = 0.145 \times \frac{29}{O_1P}\text{mm} = 0.065\text{mm}$ ($O_1D \approx 29$, 见图 6-22a), $\Delta_1 \approx 29 - 29\cos 9' = 0$ 。所以定位误差可忽略。

拨叉在 Z 轴方向上的定位误差为 $\pm 0.01\text{mm}$ (即 $h_{通}$ 的工作面距插销轴线距离的制造公差 $\pm 0.01\text{mm}$), 相对被测量尺寸 $19.6\text{mm} \pm 0.10\text{mm}$ 是允许的。

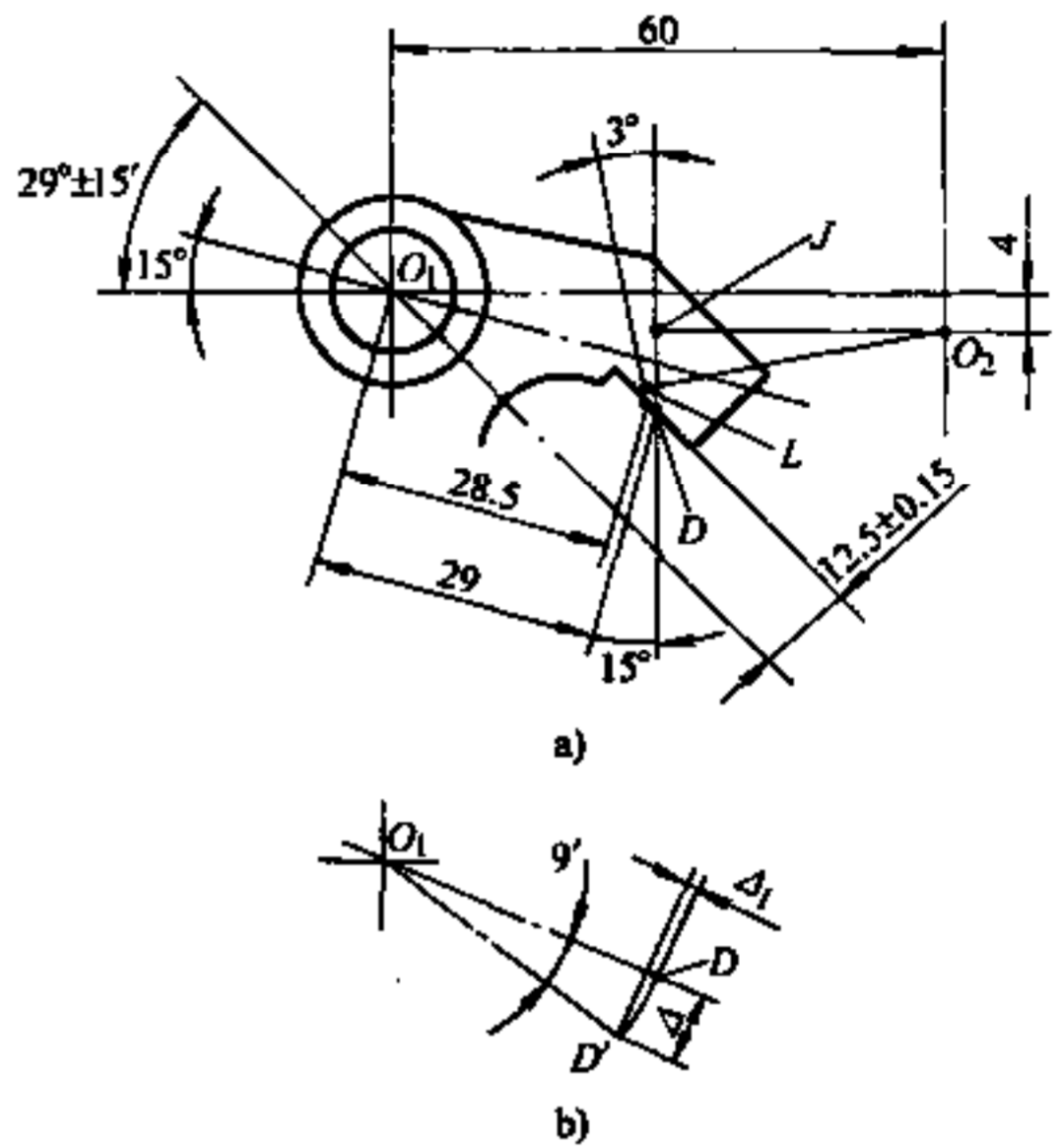


图 6-22 拨叉槽检具误差分析图

第7章 各种检验夹具的结构

为了对检具的各种结构和检具的应用情况等有更全面的了解,本章将介绍各种检具的结构。检具可按各种方法分类,本章按所采用仪表或量仪的种类来分别介绍各种检具的结构和有关问题。

7.1 采用机械式仪表的检验夹具

这里所说的机械式仪表是指不需要附加气源、电源和光源的机械式指示仪表,主要有百分表、千分表和其他机械式测微仪等。

对于检验大公差(1mm以上)的检具,可采用阶台界限指示器和样板,也在本节中介绍。

7.1.1 检验毛坯的检具

检验毛坯的检具主要用于检验毛坯的加工余量和形状位置。对于单件和小批生产,可在划线的同时检验加工余量;而对于成批和大量生产多采用专用机床和工夹具加工,为检验毛坯加工余量应采用检具。一般,毛坯在检具上的定位基准应与毛坯第一道加工工序时的基准重合,检验毛坯多为抽检。

图7-1是汽车转向器壳体毛坯的检具,检验三个轴颈 A_1 、 A_2 和 A_3 上的内孔以及端面 T 和在其上内孔的加工余量。

检具按毛坯第一道机加工工序的定位基准定位,即以两个轴颈 A_1 和 A_2 在V形块 B_1 和 B_2 上定位,支承块4与第三个轴颈 A_3 的素线接触,限制毛坯转动;用可上下浮动的V形块5限制毛坯轴颈 A_1 和 A_2 的纵向移动,靠弹簧14使V形块5始终靠向毛坯。

因为有浮动V形块5,所以毛坯应夹紧,采用气动压紧。当活塞杆向上时,通过活塞杆上的滚轮使杠杆6顺时针转动(具体结构图中未示),固定在杠杆端的销7的端面将毛坯压紧在两V形块 B_1 和 B_2 上。为使压紧稳定,销7轴线与毛坯轴颈 B_1 和 B_2 的轴线错开一段距离 a 。用三位气动阀控制工件的压紧。

用分别装在杆1、13和18上的样板(其设计方法见3.1节)3、12和20分别检验轴颈 A_1 、 A_2 和 A_3 的外圆和内孔的加工余量,杆1、13和18分别装在支座2、15和19的导套中。

当支架9在两导向板17中移动到销16碰上死挡时,用四个界限指示器(见3.1节)10检验端面 T 的加工余量,并用安装在杆11上的样板8检验在端面 T 上孔的加工余量。

图7-2是汽车后轮壳毛坯的检具,检验孔 A_1 、 A_2 和端面 T 的加工余量。

毛坯放在三个平面支钉10上,用三个装在座体14槽中的自定心卡爪19使毛坯按外圆表面 D 定位,座体14固定在底座17上。在每个卡爪上压入销轴16,其上有滑动滚轮15,三个滚轮15分别嵌入圆盘18上三个螺旋槽中。用手柄11顺时针转动圆盘18,使毛坯夹紧,并定心;反时针转动圆盘18,使毛坯松开。板20用于防止污物进入夹紧装置。

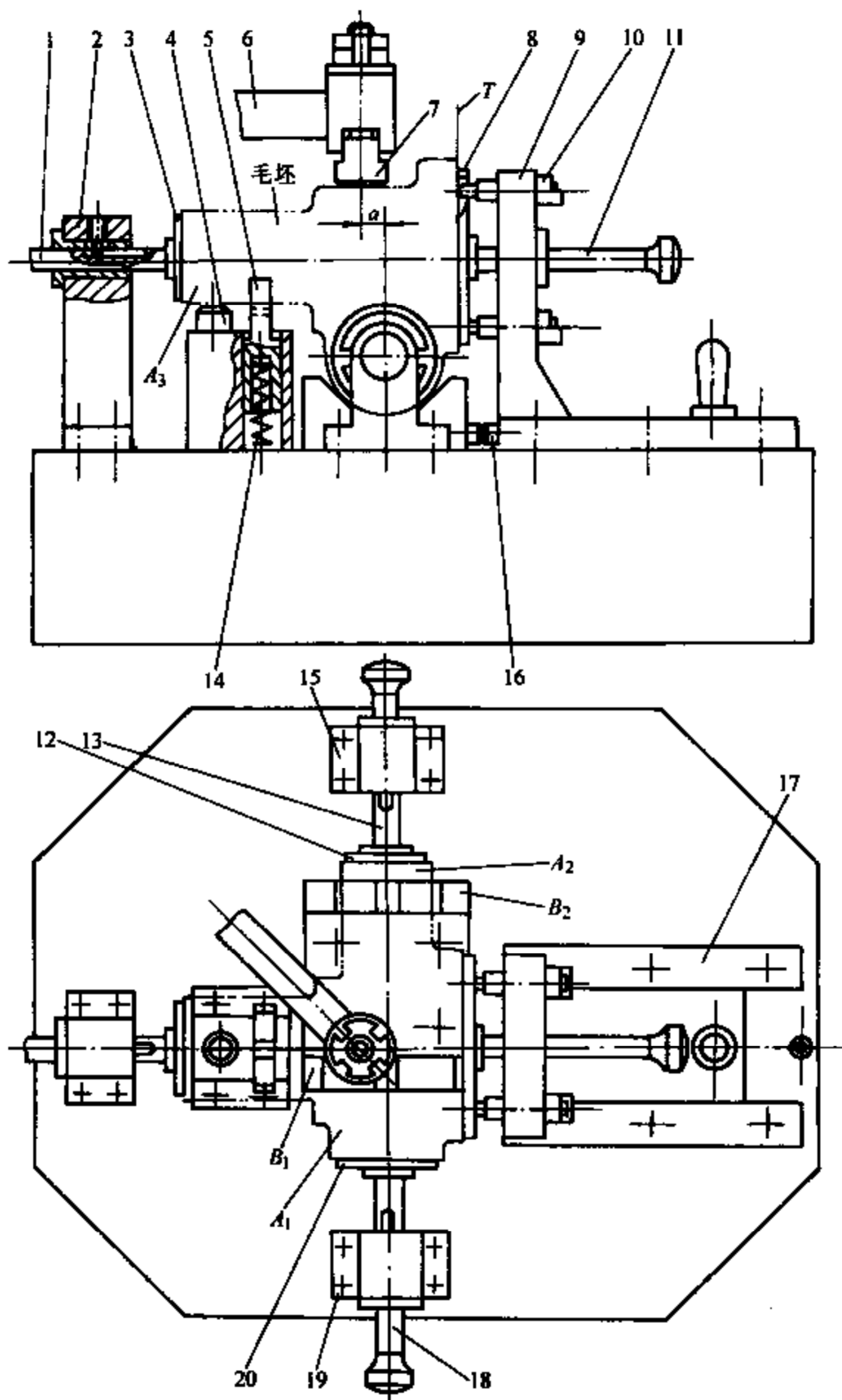


图 7-1 转向器壳体毛坯检具

- 1、11、13、18—杆 2、15、19—支座 3、8、12 20—样板 4—支承块 5—V形块
6—杠杆 7、16—销 9—支架 10—指示器 14—弹簧 17—导向板

当转动心轴 6 时，杠杆 8 上的测量触头 9 绕 A_1 孔轴线转动，通过测杆 7，界限指示器 1 即可反映孔 A_1 的加工余量是否合格。为减小磨损，触头 9 与被测孔表面为滚动接触。

检验孔 A_2 和端面 T 的加工余量时，要将轴 6 和心轴 12 一起从套 13 中取出，而将心轴 5 装到套 13 中。在心轴 5 上有圆形样板 4，用于检验孔 A_2 的加工余量；在心轴 5 上还有带三个界限指示器 2 的圆盘 3，用于检验端面 T 的加工余量。

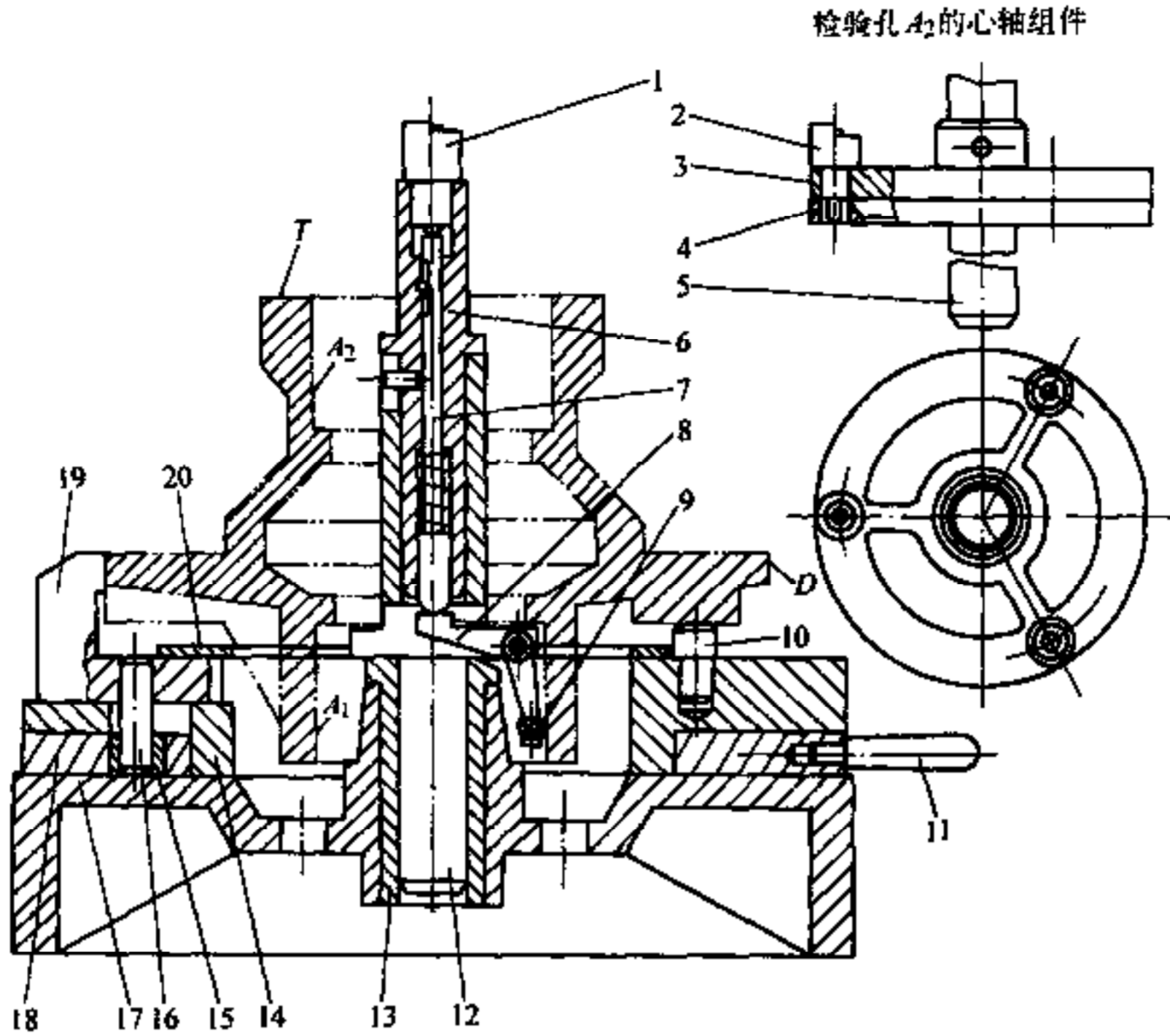


图 7-2 后轮壳毛坯检具

- 1、2—界限指示器 3、18—圆盘 4—样板 5、6、12—心轴 7—测杆 8—杠杆 9—触头
 10—支钉 11—手柄 13—套筒 14—座体 15—滚轮 16—销轴 17—底座
 19—卡爪 20—板

7.1.2 检验尺寸的检具

对于不能用通用测量工具和普通的尺寸量规（塞规、卡规等）测量的尺寸，或为提高检验效率，应采用检验尺寸的检具。

高精度光滑卡规在检验中的应用呈减少趋势，因为卡规的制造工艺性比光滑塞规差，测量卡规尺寸也比较困难，磨损快，消耗量大，所以气动、电子和千分表式卡规获得较多的应用。这些卡规用校准件调整，可测量出轴的实际尺寸，并且可设计成可调或可换测量元件的结构。

图 7-3a 是千分表卡规的一种结构，卡规由本体 2、传递杆 3 和杠杆 1 等传递元件组成，在本体 2 和杠杆 1 上有硬质合金镶块与工件接触，本体 2 的结构应使其重量小，在本体上固定有塑料把柄 4。在本体 2 上固定有小型千分表和护罩，采用小型千分表可适当减小卡规的外形尺寸和重量。该结构比较简单，能满足较高精度的测量。

另一种千分表式卡规的结构如图 7-3b 所示，该卡规用于检验曲轴轴颈 $\phi 50 \begin{smallmatrix} 0.010 \\ 0.025 \end{smallmatrix}$ 直径和圆度。

卡规的本体 5 和 13 用一个定位销 11 和四个螺钉 10 连接，在定位销 11 的中间部分有连接厚度为 s 的扁平面，挡销 12 限制被测量工件外圆的位置。为防止温度变化对测量结果的影响，在本体 13 上用螺钉 9 固定有绝缘材料的夹板 7。在两测量钳口处有硬度 55~60HRC 的熔焊材料。

当尺寸 A 为 50mm 时，两钳口相互平行允差 0.005mm。卡规处于工作状态时，两钳口之间的测量力为 0.039~0.049 MPa，该力的大小用螺钉 8 调节（通过改变连接厚度 s ），这

时卡规有 0.1mm 的预张量。调整好后，用螺母 6 锁紧螺钉 8，并涂上石蜡。卡规的本体 5 和 13 的材料为 45 钢，定位销 11 的材料为 65Mn 钢，当尺寸 s 处松弛后，不需要更换本体，只需更换定位销 11。

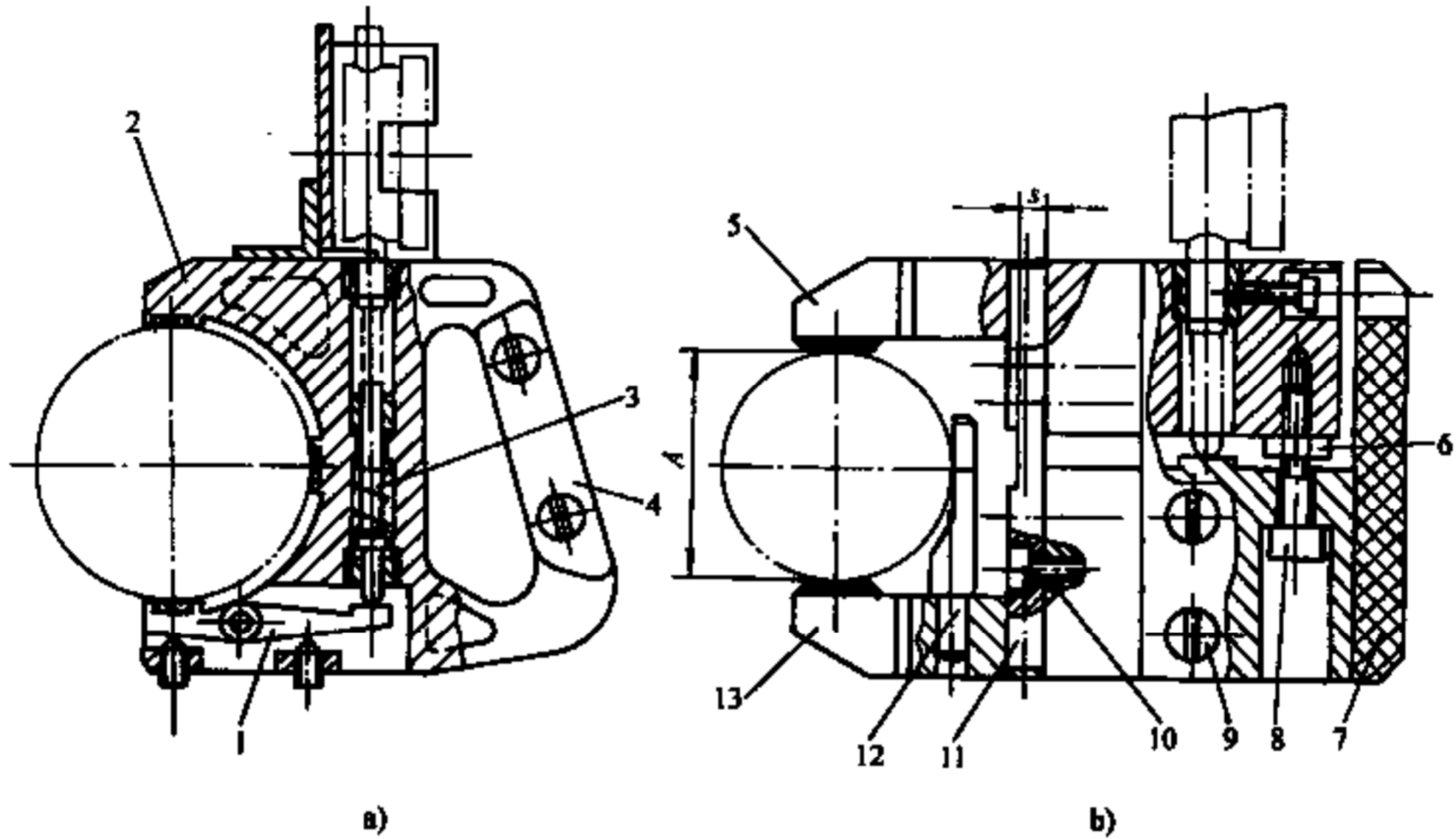


图 7-3 千分表式卡规

1—杠杆 2、5、13—本体 3—传递杆 4—把柄 6—螺母 7—夹板
8、9、10—螺钉 11—定位销 12—挡销

测量环形工件的外圆（图 7-4a）和内孔（图 7-4b）直径（例如轴承圈类工件），适合于采用图 7-4 所示原理的检具。

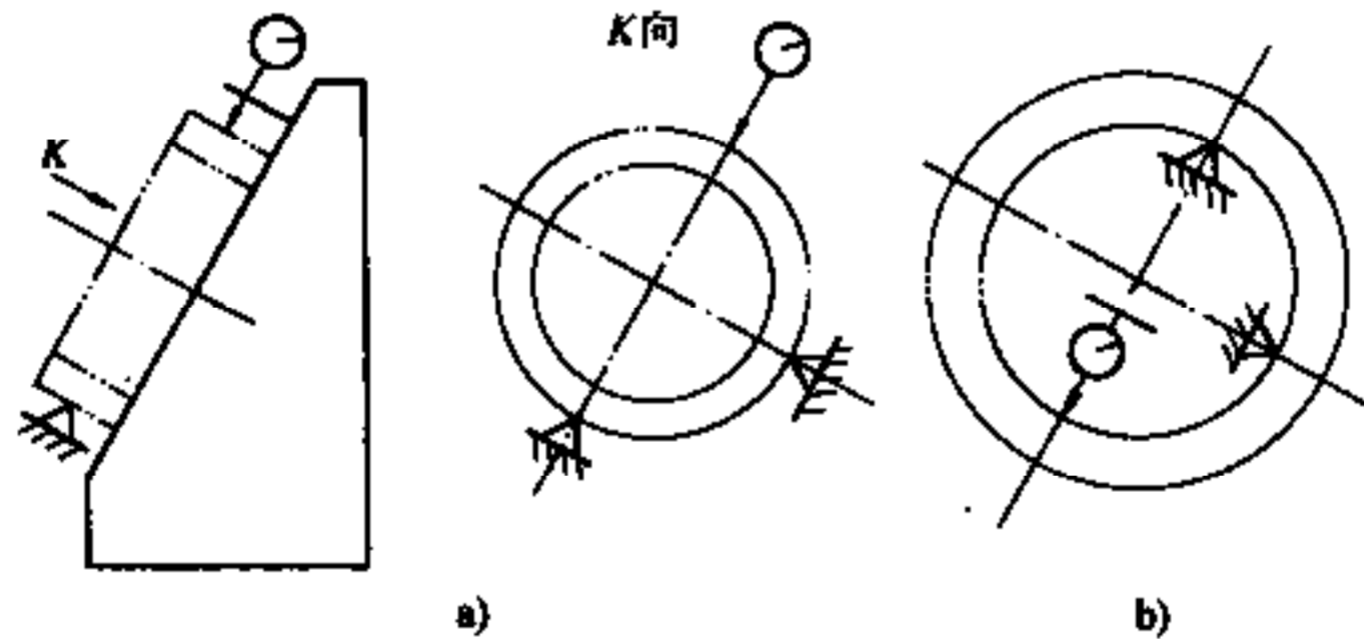


图 7-4 环形工件外圆和内孔直径检具原理图

工件用端面放在平板上，在平板上有两固定支承，工件的外圆或内孔表面靠在两支承上，在其中一个固定点的对面布置活动测点。平板可设计成倾斜式的，使工件靠自重或便于用手靠在两支承上；必要时也可用弹性滚轮压紧装置，使工件靠在两支承上。适当布置百分表或其他测微仪的位置，以便于观察。测量内孔时，活动触点通过传递装置将尺寸变化传到测微仪。

图 7-5a 是测量螺纹中径的检具。

在本体 2 中固定有板 1，在板 1 的两端各开有两对浅槽，四个平行片簧 3 的一端固定在板 1 的浅槽中，而片簧的另一端固定在板 4 的浅槽中。在板 4 平面上有凸台，凸台装在板 5 的矩形槽中。此外，在板 4 和 5 的上面有纵向槽 A，在槽中装有可换螺纹块 6 和 7。

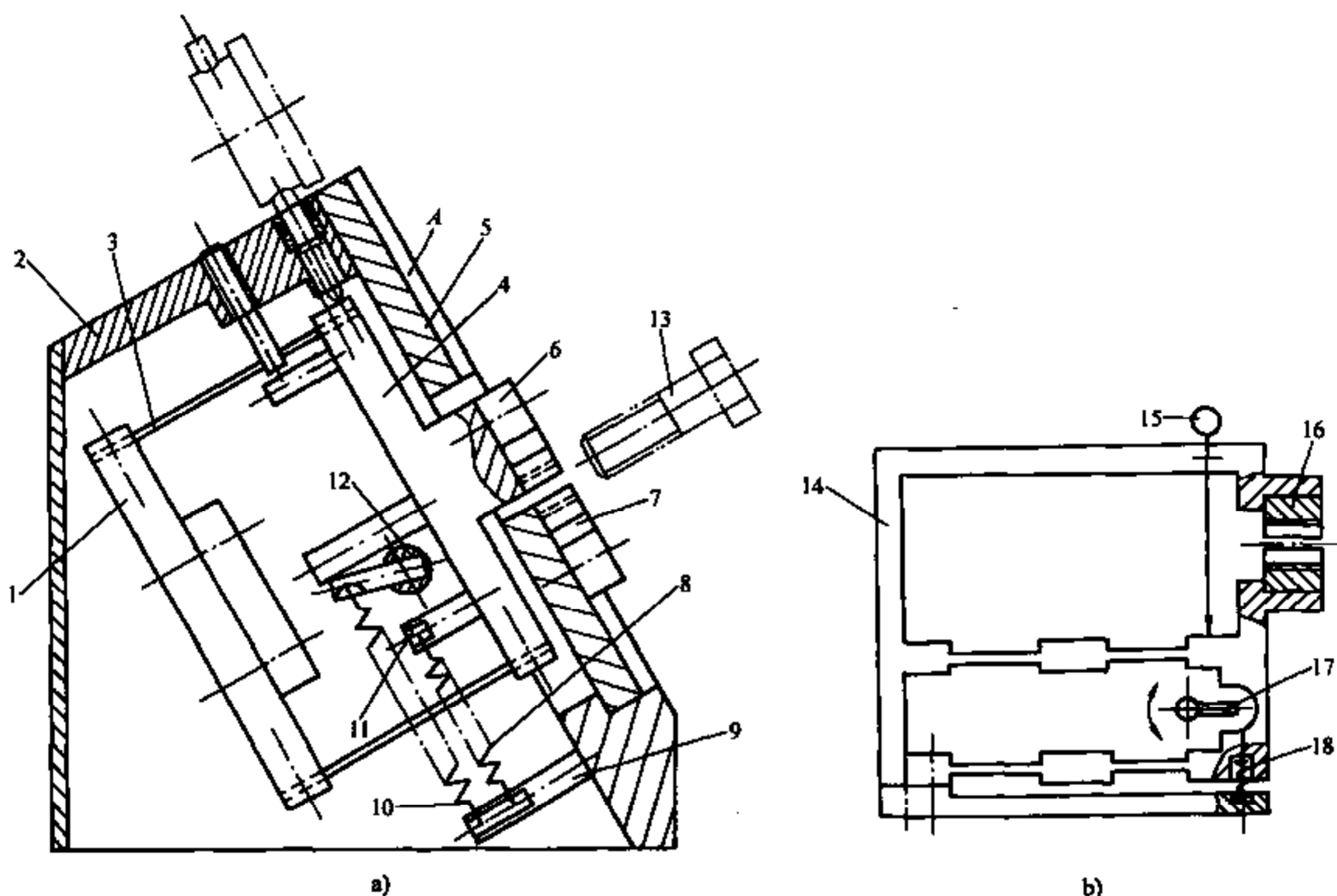


图 7-5 螺纹中径检具

1、4、5—板 2—本体 3—片簧 6、7—螺纹块 8、18—弹簧 9、11—销 10—弹簧
12—轴 13—被测螺栓 14—框架 15—百分表 16—螺纹量规 17—拨块

板 4 可在平行于板 5 上平面的方向上移动。弹簧 8 的一端通过销 9 与本体 2 相连，另一端通过销 11 与板 4 相连，始终拉住板 4。为使板 4 向上移动以取下工件或校准件，应通过手柄（图中未示）使轴 12 顺时针转动。弹簧 10 使轴 12 处于原始位置，这时板 4 处于松动位置。测量时，板 4 的移动量由百分表读出。

将被检验的螺栓 13 拧入两可换测量块之间，测量块的螺纹按通端螺纹环规的基本尺寸制造，这样才能按百分表检验螺纹中径。测量块 6 和 7 上的螺纹应同时加工出，然后再对称切开为两件，测量块螺纹部分的长度应等于通端螺纹环规的长度。

在检验前，应将百分表按校通—通螺纹塞规（或中径尺寸和精度相当的校准件）调零。

该检具也可用于检验内螺纹的中径，这时将上述两可换测量块 6 和 7 换成具有外螺纹（其尺寸相当于通端螺纹塞规）的形式，在检验前按过端环规将百分表调零。

该检具测量部分也可按图 7-5b 所示的原理设计。

由整体毛坯通过机械加工做出框架 14，将螺纹量规 16（图示为环规）固定在框架的孔中（可用粘结法），然后用电腐蚀法在环规上开槽，将环规切成两半，形成弹性平行四边形。将带量规的框架 14 固定在带拨块 17 的支架上，以使两个半环规伸缩。在框架 14 上部固定有百分表 15，在框架下部有弹簧 18，以将被测螺栓夹住。

在检验前，转动拨块 17 使两个半环规张开，将校准件放入，然后反方向转动拨块，使两个半环规在弹簧 18 的作用下压上校准件的外螺纹，将百分表调零；再转动拨块，取下校

准件，以后即可检验工件。

采用图 7-5b 所示原理的检具，其测量精度比图 7-5a 所示的检具高，因为图 7-5b 中的环规在被切成两半后，两个半环规之间没有相对位移。

图 7-6 是测量锥体的检具简图，可测量锥体大、小端直径和在一定长度上的锥度误差，同时还可测量锥体素线的直线度。

该检具由本体 1、两个刀口形定位支承 2 和与支承 2 成 90° 布置的同样两个支承 3 组成，为使被测锥体与四个刀口支承始终接触，分别在两刀口支承的横截面上布置弹性压紧支承（图中未示）。根据被测锥体的精度，可选用百分表或千分表 4，用夹头和螺母将其固定在本体上（具体结构图中未示）。

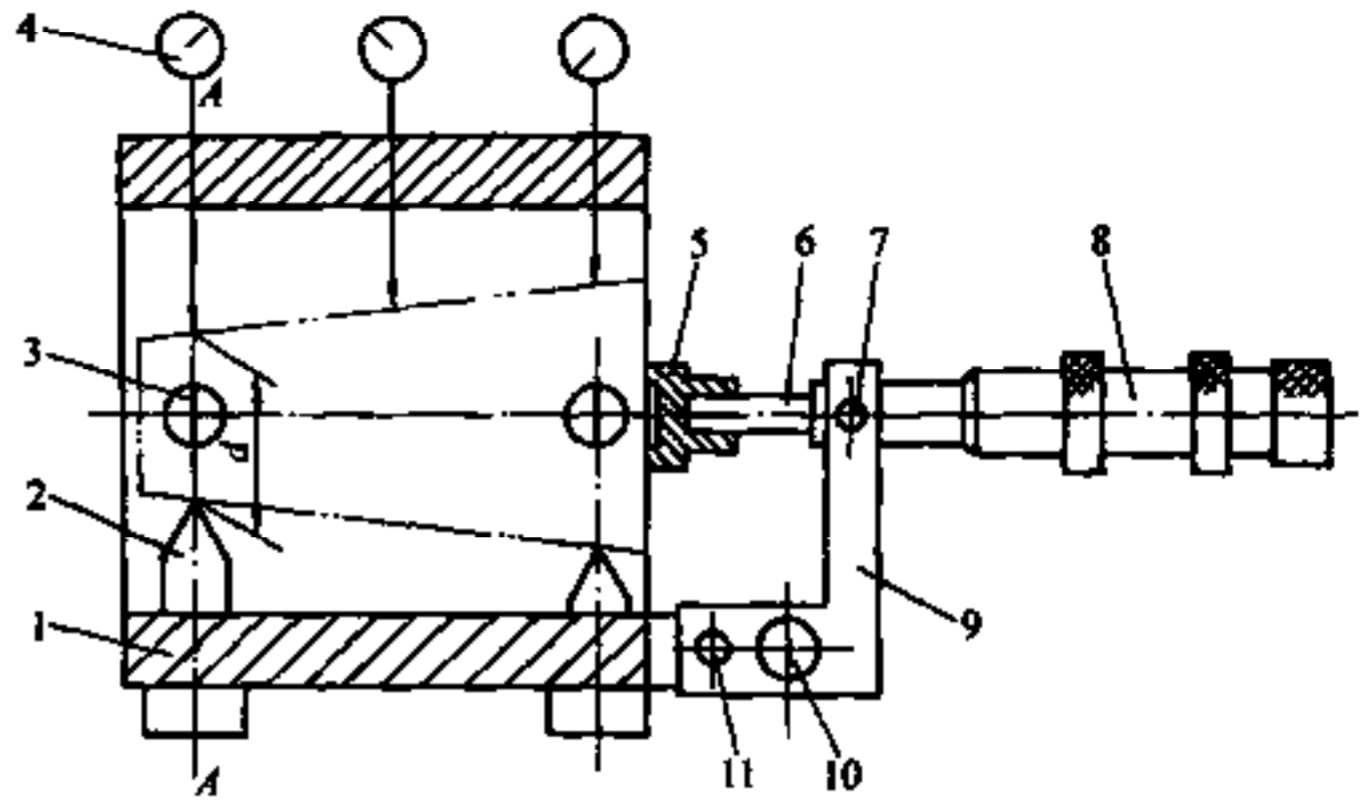


图 7-6 锥体大小端直径、锥度和母线直线度检具
1—本体 2、3—定位支承 4—千分表 5—环形接触块
6—测微螺钉 7—止动螺钉 8—微分筒 9—杠杆
10—螺钉 11—锥销

用测微螺钉 6 使被检验锥体在轴向移动，而测微螺钉通过套装在其上的环形接触块 5 顶靠在被测锥体大端直径的端面上。测微螺钉 6 和紧定螺钉 7 与微分筒 8 一起装在 Γ 形杠杆 9 上， Γ 形杠杆用螺钉 10 和锥销 11 固定在装置的本体上，锥销用以保证测微螺钉组件定位稳定（件 6、7 和 8 采用千分尺上的组件）。

测量前，所有千分表按锥度样件调零。为将锥度样件或被测锥体装到测量位置，松开螺钉 10，将锥销 11 取出，杠杆 9 绕螺钉 10 向下转 90° ，这时测微螺钉组件在自重作用下落下，将锥度校准件从右向左放入，分别使三个千分表压缩一圈并调零。然后使校准件锥体从左向右移动 $0.05 \sim 0.10 \text{mm}$ （按 A-A 截面上的千分表读数），这时再将杠杆 9 处于图示位置，并用测微螺钉使锥体返回零位，这时记下微分筒 8 的读数。

用校准件调整完后，取下锥度校准件，装入被测量锥体，千分表指针不再指零。这时转动测微螺钉，直到在 A-A 截面上的千分表示值为零，记下微分筒和另两个千分表的读数。

按用校准件调整时与测量锥体时微分筒的示值差确定直径 d 的误差，如果第二次读数大于第一次读数，则表示被测锥体的 d 大于校准件的 d ，所以由微分筒两次读数差即可确定被测锥体的直径误差（按一定换算关系）。

第一个与第三个千分表的示值差表示锥角的线性误差，如第三个千分表的示值大于第一个千分表的示值，则说明被测锥角大于校准件的锥角。

中间千分表的读数表示被测锥体素线的形状误差，如果其读数大于其他二个千分表，则表示锥体素线形状为中凸。

根据需要可在多个纵向截面上测量，该检具结构简单，可高精度检验外锥体主要参数的误差。

图 7-7 是测量锥孔的检具简图，可测量内孔的锥度和素线的直线度。

检具的本体 4 是一个锥体，小头做成长度为 L_1 的锥度部分，锥体其余部分比被测锥孔小一段距离 a ，而在锥体的大头做成长度为 L_2 的圆柱部分，具有锥度外圆表面的环 7 在本

体4的圆柱部分上滑动。在环7的孔中有两让开测量件的槽。

在本体4对称方向上开有两纵向槽，在槽中装有可移动的测头5和标准杆6。测头的另一端与直线标准杆6接触，标准杆6安装在两顶尖2上，又可绕顶尖1摆动，标准杆6外圆素线的直线度误差应很小。

两顶尖2装在弹性支架3上，弹性支架（具体结构图中未示）通过杆6始终压住测头5与工件的锥孔表面接触。用螺钉8使支架3在顶尖1上摆动，将两标准杆6的轴线与锥体4的轴线之间的夹角调整到等于被测锥孔的斜角公称值 α （可利用锥体4上的两顶尖孔或用具有公称斜角 α 锥孔的校准件来调整）。通过这样的调整，两标准杆6便组成可测量被测锥孔的标准锥度。

在调好公称斜角 α 后，在两标准杆6靠在各自的调整螺钉8（图中只绘出1个）的情况下，将千分表10和9调零。千分表调零后，螺钉8应适当退回，以保证测量时标准杆6有一定测量范围。

测量时，将检具放入被测锥孔中，直到锥体4小头锥度部分与锥孔小头接触；这时，环7沿锥体4圆柱部分移动，直到环7的锥度外圆与锥孔大头接触，这就保证了检具在锥孔中的精确定心。

当两测头沿锥度全长移动时，由百分表10和9的读数即可确定被测锥孔几何参数的误差，由大头和小头直径偏差的差值确定在一定长度上锥度误差的线性值。若被测锥度等于公称锥度，移动测头将测出直线度误差；若被测锥度不等于公称锥度，将同时测出锥度和直线度误差。

由于千分表10和9在轴向错开布置，所以在读取锥度误差示值时应注意千分表10与9示值是在不同长度上测得的。

图7-7是快速检验工件球面半径的检具。

检具由外径为 D 的圆形测量板1和千分表2组成，千分表紧固在测量板中。测量前，千分表按一定深度尺寸 H 的校对块3调零。测量时，根据千分表读数即可确定检具在被测球面上的尺寸 H ，由下列关系可求出工件球面半径

$$R = \frac{H^2 + D^2}{8H}$$

如按 H 的变化范围，列出不同的 H 值（相隔0.001mm）对应的 R 值的表格，则在实际检验工作中根据 H 值不用通过计算即可查表迅速确定工件球面的半径。

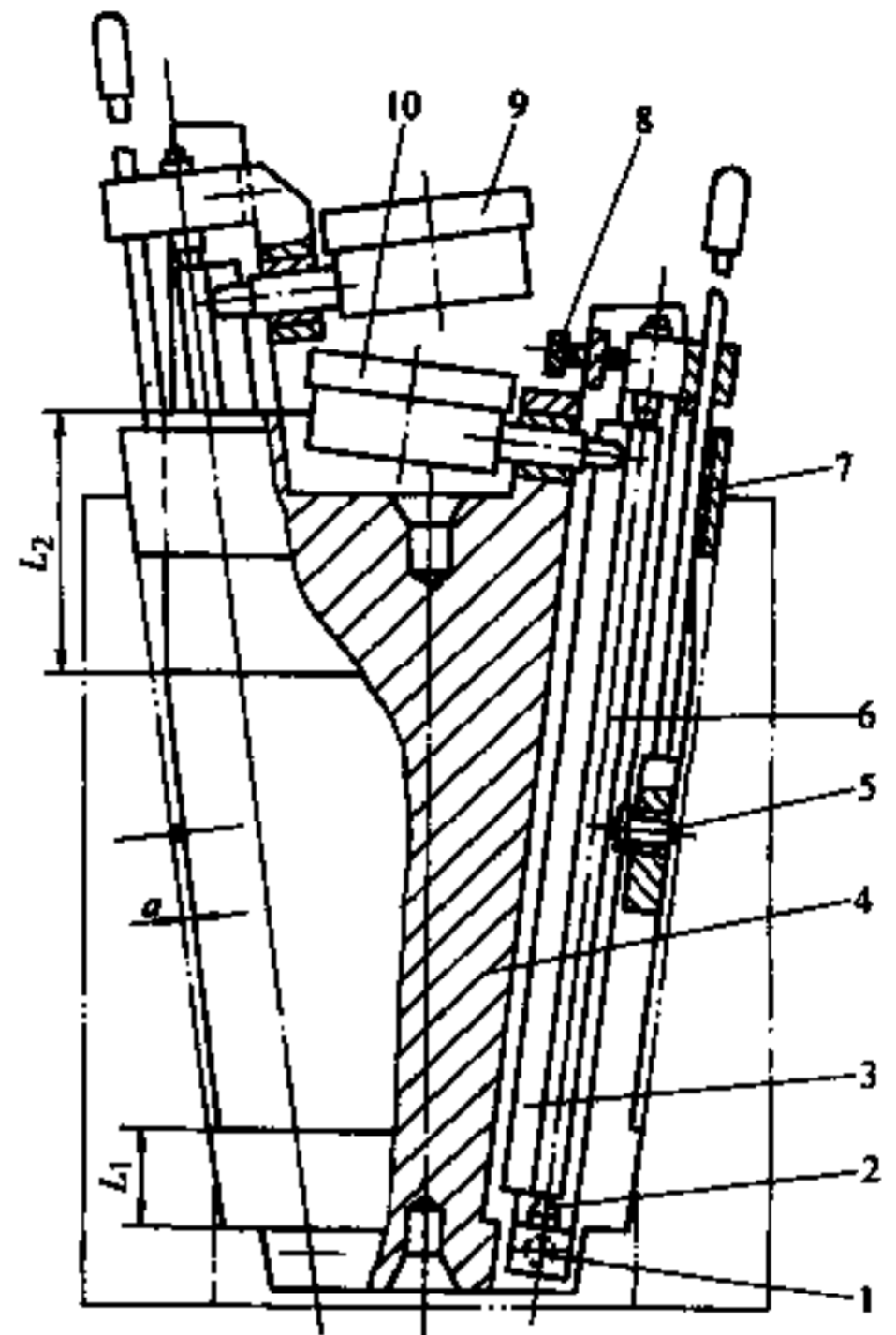


图7-7 锥孔、锥度和素线直线度检具
1、2—顶尖 3—弹性支架 4—本体 5—测头
6—标准杆 7—环 8—螺钉 9、10—千分表

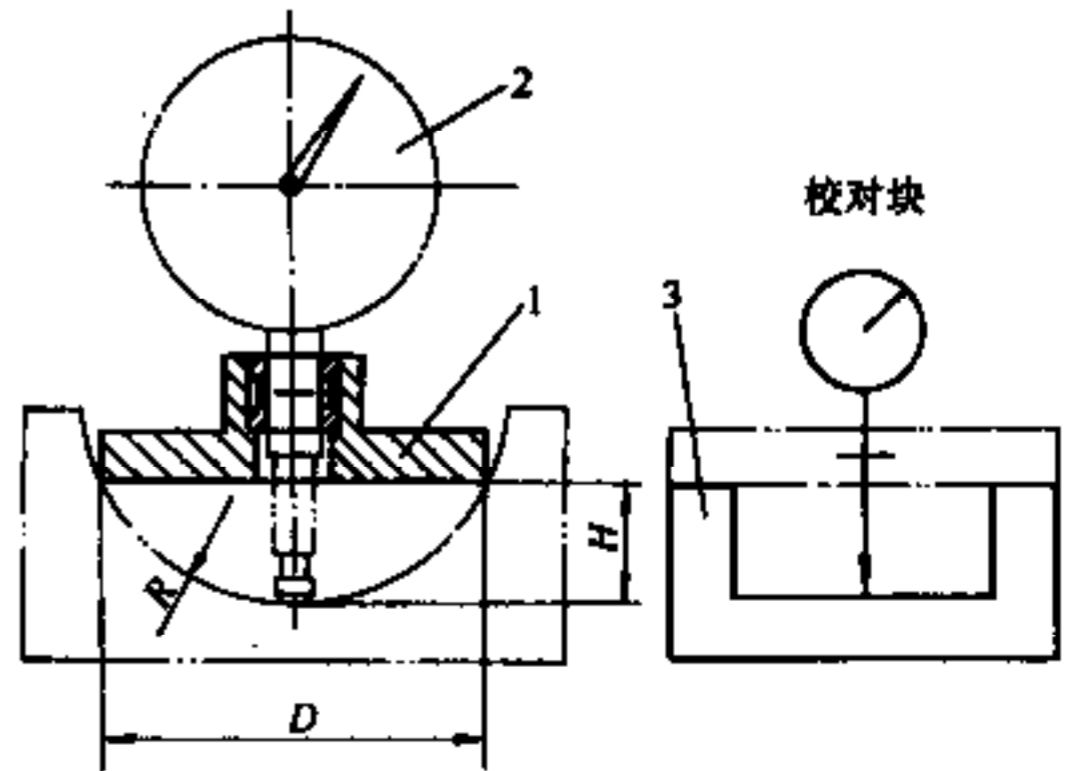


图7-8 球面半径检具
1—测量板 2—千分表 3—校对块

图 7-9a 是大尺寸百分表卡规，采用焊接结构，以减轻重量和保持所需的刚性。

在卡规上装有可在本体 5 上摆动的活动块 3，在块 3 上有两滚轮 4，滚轮与被测外圆表面接触。在卡规的臂 1 上装有可换或可调测量触头 2（也可装上测息头），在臂 7 上装有百分表 6。卡规尺寸按经鉴定的内径规调整，在调整前必须使卡规与内径规的温度一致，最好与卡规使用时的温度一致，因为在大尺寸测量时应考虑温度引起的误差。在本体 5 上粘有木制元件，为防潮涂有耐水涂料。

图 7-9b 所示的百分表卡规可测量圆盘形工件和平面上凸台的直径，以及长度尺寸，该卡规为焊接和粘结结构。在锥形管 9 内可填满热塑性塑料，这样既不会增大卡规的重量，又可在管内产生很大的压力，其预加张力使卡规本体的刚性提高。

卡规有与工件端面接触的两支承块 8 和两滑块 10，滑块可在卡规体上移动，以扩大测量范围，在块 10 上装有固定测量触头和百分表（百分表也可通过传递机构与工件接触）。将两滑块 10 调头也可测量内尺寸。

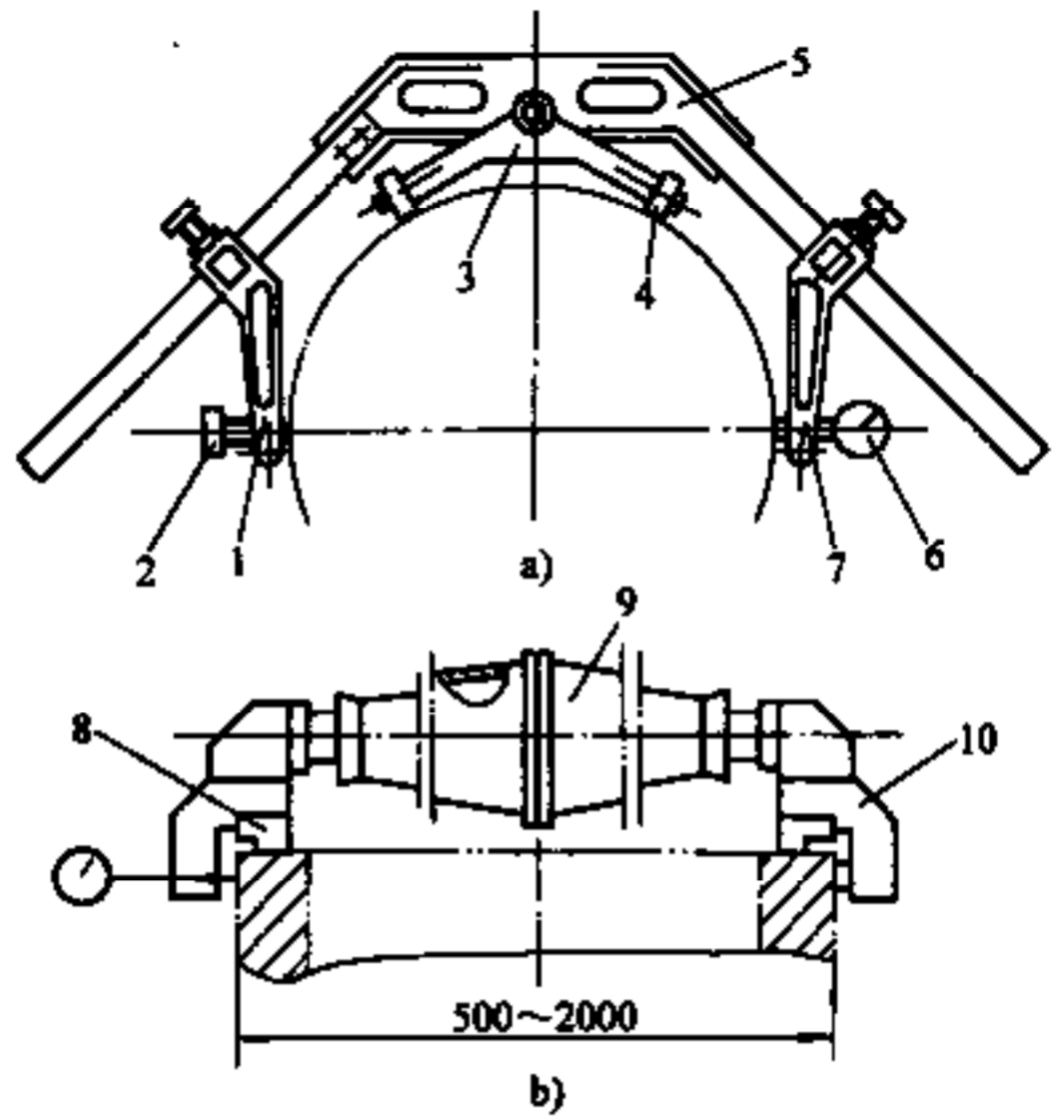


图 7-9 大直径卡规

- 1、7—臂 2—触头 3—活动块 4—滚轮 5—本体
6—百分表 8—支承块 9—锥形管 10—滑块

7.1.3 检验孔轴线距离和平行度检具

图 7-10a 是工件两孔轴线距离检具。

在检具底板 1 上固定有定位销 2、固定在板 1 上的百分表座 3 和内部有矩形导轨的座 5，滑块 4 沿矩形导轨移动，定位销 7 固定在滑块 4 上。该检具采用校准件比较测量，校准时在弹簧力的作用下使两定位销外侧母线与校准件 8 两孔的外侧素线 M 接触，这时记下百分表的示值；然后用手压手柄 6 使两定位销内侧素线与校准件两孔的内侧素线 N 接触，这时记下百分表另一示值，按百分表两次示值的平均值调零。

测量工件时，按上述方法使两定位销外侧和内侧素线分别与工件两孔的外内侧素线接触，百分表两次示值的平均值就是两孔轴线对校准件两轴孔线尺寸的误差。

如果工件两孔的孔距很小，可采用图 7-10b 所示的结构。该结构的特点是销 11 装在杠杆 9 上，为此应将销 11 做成球形的，而销 12 在对应的位置做出窄的定位圆柱部分。当用手柄 10 压杠杆 9 时，使销 12 和 11 靠上工件两孔的外侧素线，

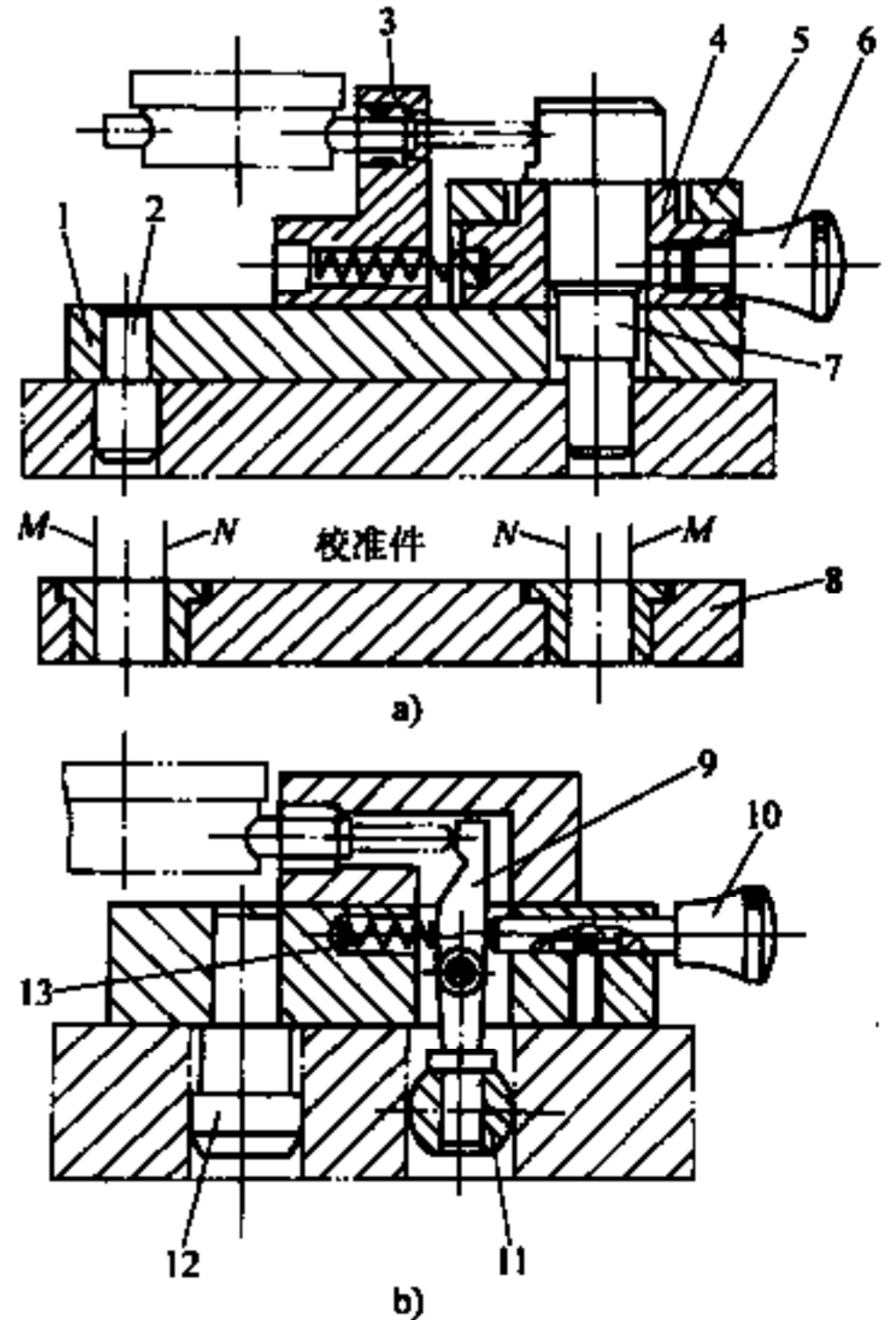


图 7-10 两孔轴线距离检具

- 1—检具底板 2、7—定位销 3—百分表座
4—滑块 5—座 6、10—手柄 8—校准件
9—杠杆 11、12—销 13—弹簧

而当手离开时，在弹簧 13 的作用下，使销 11 和 12 靠上工件两孔的内侧素线，其测量方法与上述相同。如果工件的孔距公差大，而工件孔的公差和销与孔之间的间隙均较小，可不采用两次测量，只测量一次即可。

在测量两孔轴线之间的距离时，往往需要同时测量两轴线的平行度，发动机连杆就是一个有代表性的零件，其测量方法较多，下面介绍两种采用百分表测量的检具。

一种检具的原理如图 7-11 所示，采用按连杆大小头孔分组的定位心轴 7 和测量心轴 3，分别插入连杆大小头孔中。在定位心轴 3 的两端有定位直径 D ，中间部分为分组外圆（直径为 D_1 ）；在测量心轴 3 的两端有测量直径 d ，中间部分为分组外圆（直径为 d_1 ）。将定位心轴 3 放在 V 形块 6 上，测量心轴 3 靠在定位块 4 上。按连杆大小头孔分组公差制造若干个不同直径 D_1 和 d_1 的心轴，而各心轴的直径 d 和 D 相同。

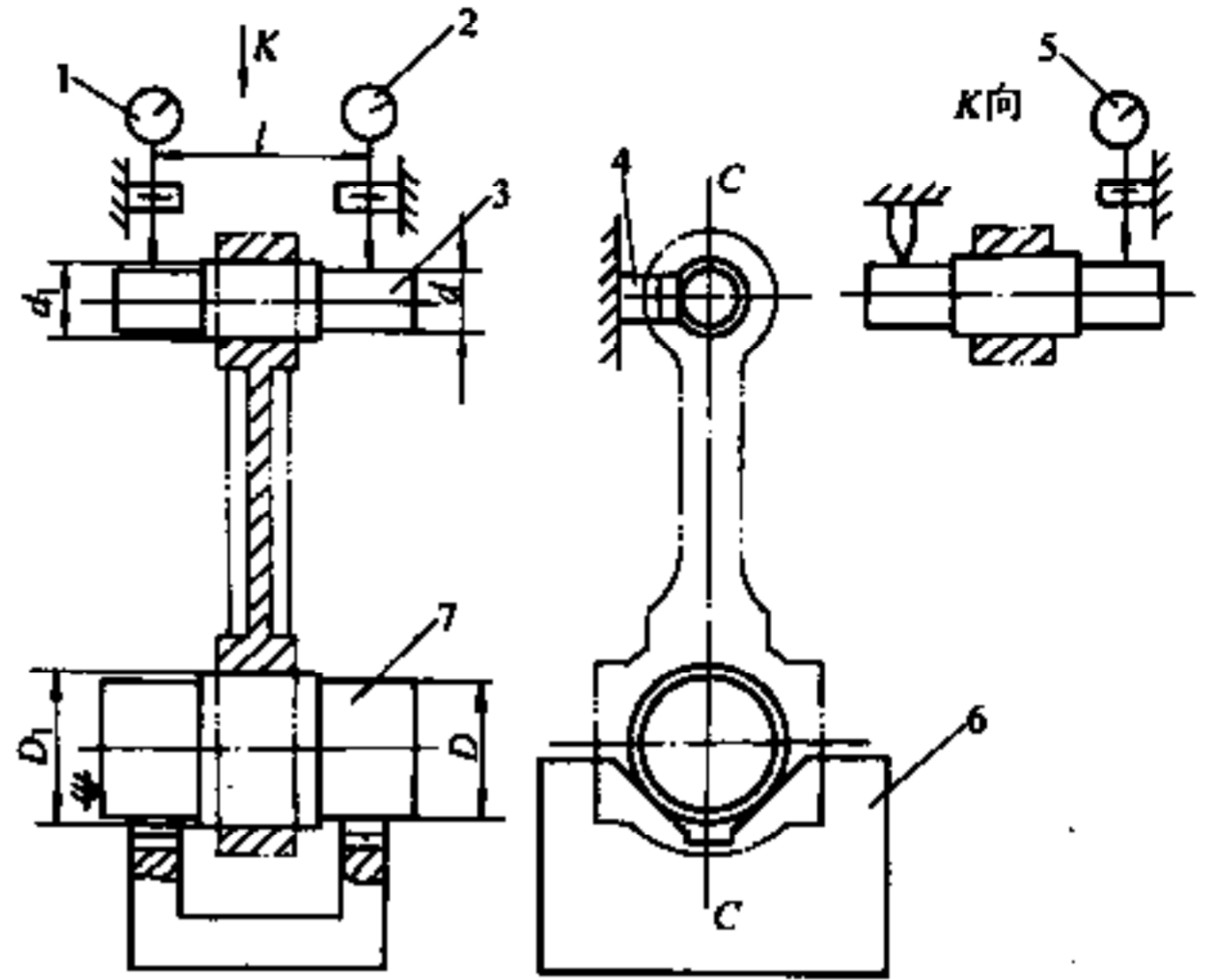


图 7-11 用分组心轴测量连杆两孔
轴线距离和平行度检具

1、2、5—百分表 3—测量心轴 4—定位块
6—V形块 7—定位心轴

测量前用校准件将 3 个百分表调零，3 个百分表的触头均为刀口形。测量时，百分表 1 和 2 的示值差表示连杆大小头两孔轴线在垂直平面 CC 中长度 l 上的平行度误差；而百分表 1 和 2 示值差的平均值则表示大小头两孔轴线距离的误差。百分表 5 的示值表示两孔轴线在水平面上的平行（交叉）度误差。

由于采用分组心轴，可使连杆孔与心轴之间的间隙尽量减小。同时在使用这种检具时，由于连杆垂直安装，利用连杆的重量使其大头孔的上素线紧靠在心轴 7 的上素线上；而用手向下按住心轴 3 使心轴 3 的下素线与连杆小头孔的下素线紧贴，这样可提高测量的稳定性和精度。

当连杆大小头孔有锥度时，按上述贴紧相应素线的方法测量，对测量两孔在 CC 面上的平行度将引起一定的测量误差。为消除此项误差，对于连杆大小头两孔在 CC 面上的平行度的测量应进行两次：在按上述方法第一次测量完后，使心轴 7 两端头在 V 形块 6 上的互调，再按上述方法测量一次。这时取百分表 1 和 2 两次示值差的平均值，作为连杆大小头两孔轴线在 CC 面上、在长度 l 上的平行度误差。

采用分组心轴操作比较烦琐，为解决这个问题可采用图 7-12 所示的结构。

连杆大头孔装在定位心轴 6 上，按图示方向转动偏心轮 1，杆 4 在心轴 6 的孔中向右移动，滑块 7 向外伸出，使连杆大头孔表面按心轴外圆上两凸台面定位（凸台图中未示）。

在连杆小头孔中插入带弹簧 3 和滑块 2 的测量心轴 5，利用弹簧力使心轴按本身两凸台面在连杆小头孔中定位（心轴 6 和 5 的结构见第 2 章）。

测量方法与图 7-11 所示的方法相同，心轴 5 靠在水平方向的死挡上，也采用三个百分表（图 7-12 中未示）。

为使心轴 6 和 5 在合适的位置测量两孔轴线距离，应注意滑块所在的方向。图 7-12 所示两心轴滑块的位置适用于测量连杆大小头两孔轴线在水平面上的平行（交叉）度；为测量两孔轴线在垂直面上的平行度和两孔轴线之间的距离，应使两心轴都按图示方向转 90°，即使滑块 2 和 7 转到水平面上。由 V 形块定位的特点（见第 2 章）可知，按上述滑块方向还可消除工件两孔锥度对测量的影响。

在生产中，采用气动和电动量仪对连杆大小头孔的几何参数和尺寸进行综合检验获得较多的应用，将在以后介绍。

图 7-13 是发动机机体垂直孔轴线到两水平孔公共轴线距离的检具，由于这两轴线不在同一平面上，机体的外形和重量又大，所以用通用测量工具不便测量。

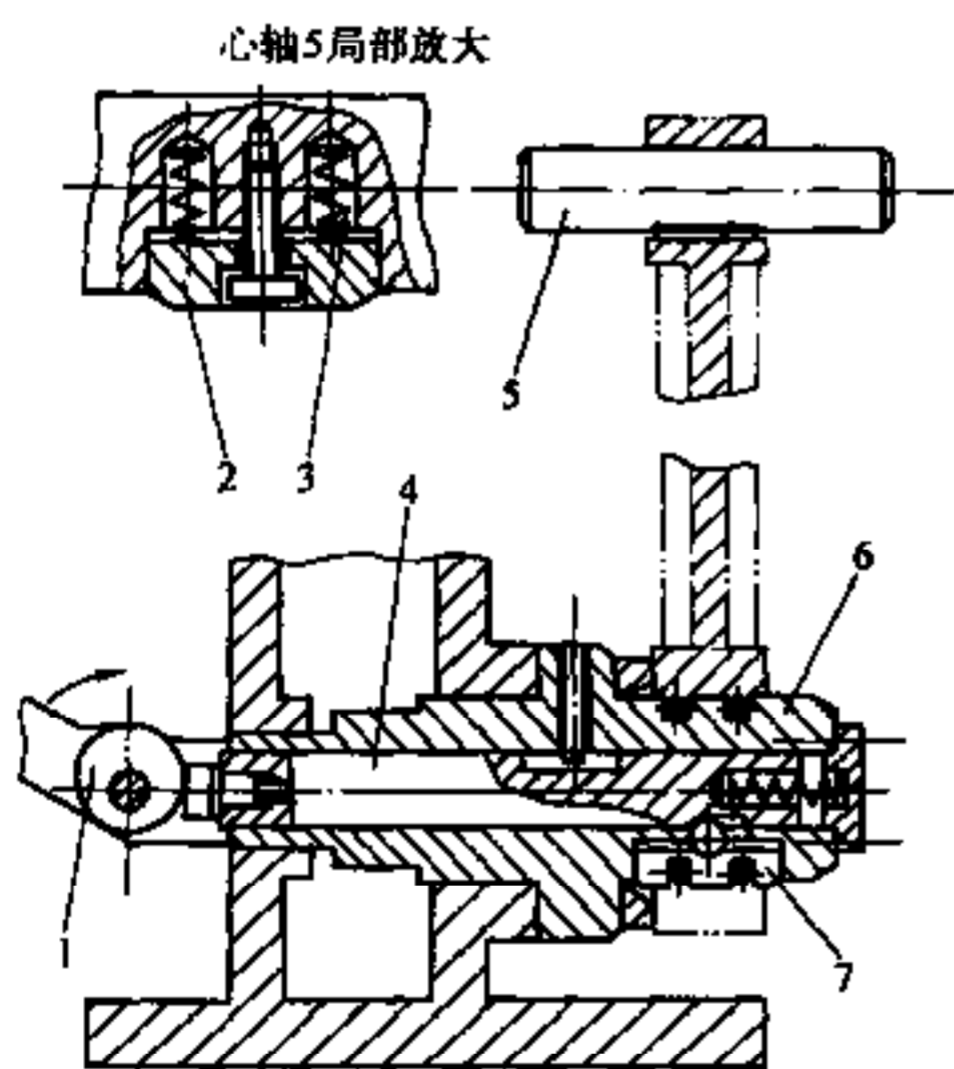


图 7-12 用带滑块心轴测量连杆两孔
轴线距离和平行度检具

1—偏心轮 2、7—滑块 3—弹簧 4—杆 5、6—心轴

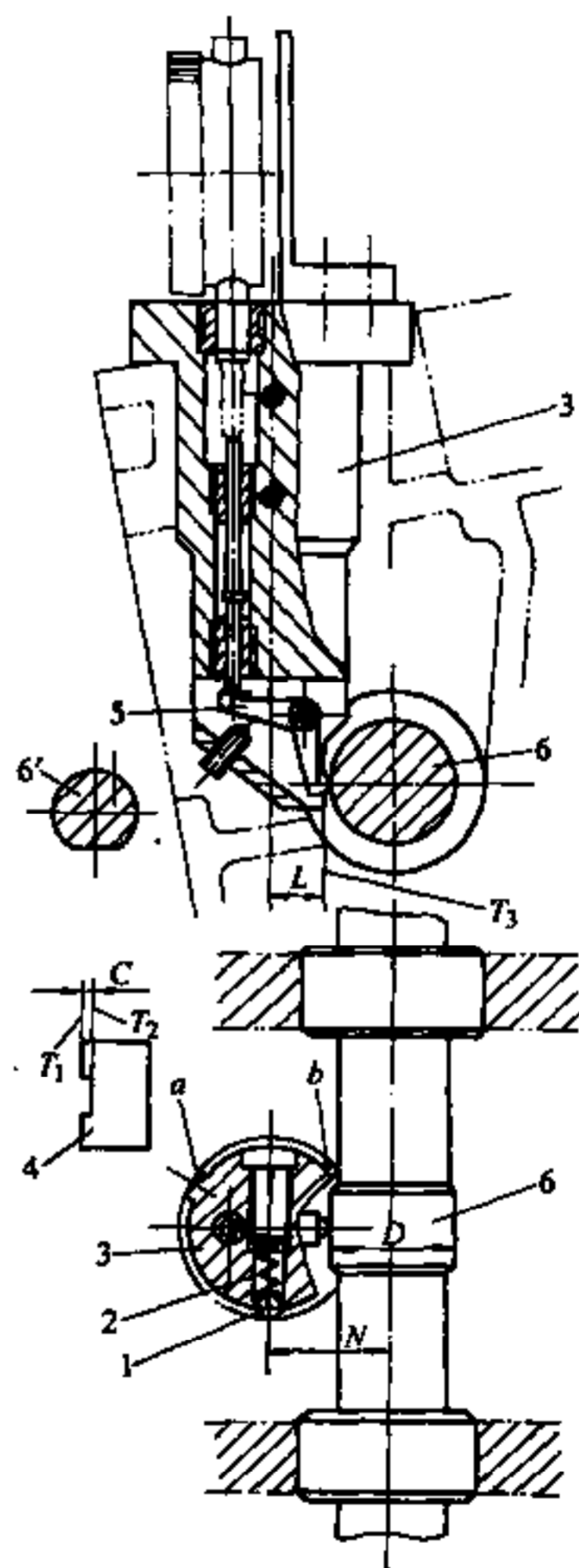


图 7-13 在不同平面上
两孔轴线距离检具

1—滚珠 2—弹簧 3、6—心轴 4—校准块 5—杠杆

心轴 6 以较小间隙插入工件的两个水平孔中，心轴靠本身重量落在工件孔的素线上，使心轴 6 的轴线自动按工件水平两孔定心，对测量轴线距离 N 不会引起测量误差。由于杠杆 5 的测量力小，不会使心轴 6 的位置发生改变。也可将心轴 6 的定位轴颈做成有扁平面的形式（心轴 6'），使心轴 6' 与工件孔按两条素线接触，这样定位更稳定。

心轴 3 插入工件的垂直孔中，在心轴 3 的两个横截面上有窄的凸台 a 和 b ，在弹簧 2 的作用下，使滚珠 1、凸台 a 和 b 紧贴孔壁，消除了孔与轴之间的间隙在测量方向上的定位误差。

测量前用校准块 4 的 T_1 面靠在心轴 3 的定位面 T_3 上(面 T_3 到工件垂直孔轴线的距离为 L)，杠杆 5 的测量触头与校准块 4 的面 T_2 接触，使百分表调零。校准块尺寸 $C = N - L - \frac{D}{2}$ 。

测量时杠杆 5 的触头与心轴 6 接触，百分表示值的变化即为两孔轴线距离尺寸 N 的误差。

图 7-14 是箱体类工件—两端孔公共轴线到另一端孔公共轴线距离和平行度检具。

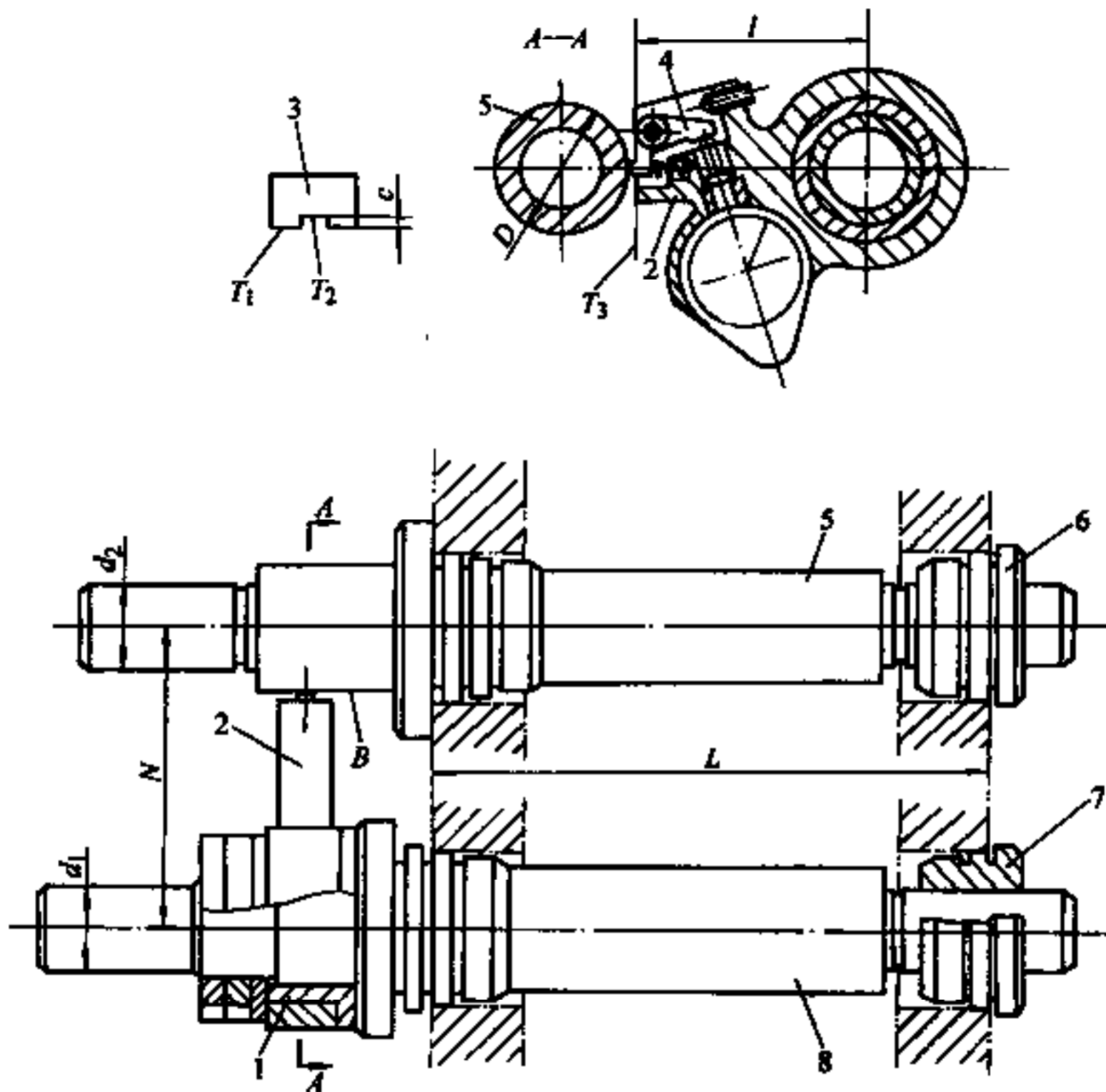


图 7-14 二两端孔公共轴线距离和平行度检具

1—轴套 2—本体 3—校准块 4—杠杆 5、8—心轴 6、7—阶梯轴套

两心轴 8 和 5 左端的阶梯轴分别插入工件的左端孔中，按相应直径的阶梯在孔中定位；阶梯轴套 7 和 6 分别插入心轴 8 和 5，这样就模拟了二公共轴线。因为工件的长度 L 比孔的直径和被测两孔轴线的距离 N 都大几倍，所以两端按相应尺寸的阶梯定位所存在的较小间隙不会产生大的测量误差。

在心轴 8 靠近阶梯轴的一端装有带百分表的测量本体 2，本体 2 在轴套 1 上绕心轴 8 转动。杠杆 4 (见 A-A 剖面) 两触头分别与心轴 5 的外圆表面 B 的素线和百分表的触头接触。

测量前用校准块 3 调整百分表零位，调整时校准块的面 T_1 靠在测量本体 2 的面 T_3 上，面 T_2 靠在杠杆 4 的触头上。本体 2 的尺寸 l 与校准块 3 尺寸 c 应保持下列关系：

$$l + c + \frac{D}{2} = N$$

式中 D ——心轴 5 测量部分的直径；

N ——被检验二公共轴线的公称距离。

利用心轴 8 和 5 直径为 d_1 和 d_2 的外圆表面还可检验二公共轴线的平行度（其测量方法见图 6-4，不再重复）。

图 7-15 是发动机机体凸轮轴承两端孔公共轴线到油泵孔端面 T 距离 A 的检具。

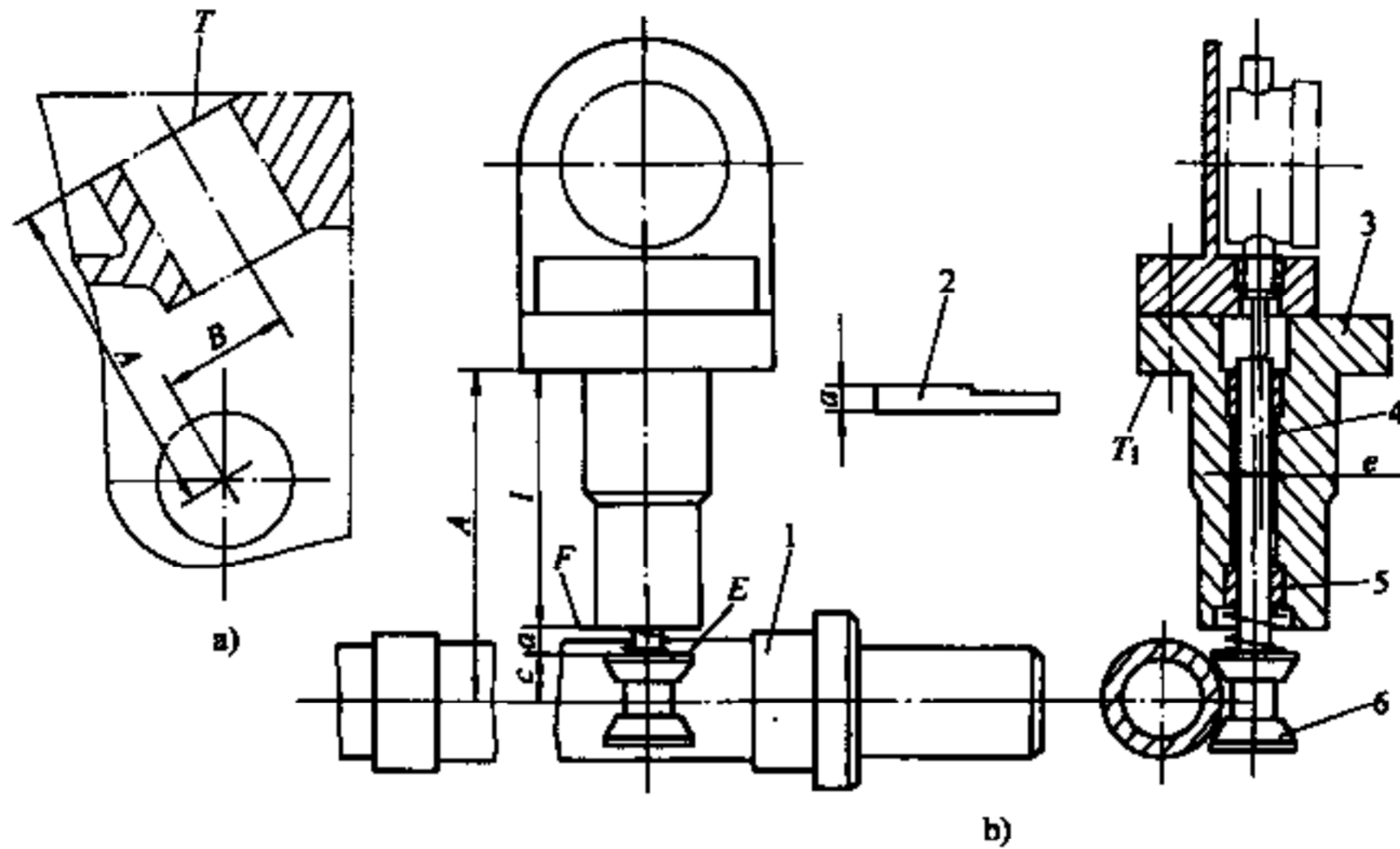


图 7-15 孔轴线到端面距离检具

a) 工件 b) 检具

1—心轴 2—校对规 3—定位套 4—测量杆 5—衬套 6—滚轮

端面 T 与凸轮轴承两端孔公共轴线不在同一平面上，为此设计了专用检具。心轴 1 插入凸轮轴承孔中，定位套 3 的端面 T_1 靠在油泵孔端面 T 上，测杆 4 可沿在套 3 中的两衬套 5 中移动，而测量滚轮 6 装在测杆 4 的下端。当滚轮 6 靠在心轴 1 上定位时，百分表的示值即可确定距离 A 的误差。

测量前用校对规 2 塞在定位套 3 下端面 F 与滚轮上端面 E 之间，使百分表调零，校对规的工作厚度为 a ，检具应保持下列尺寸关系

$$A = c + a + l$$

为弥补中心距 B 的制造误差，保证滚轮 6 的两 V 形面靠上心轴 1，使测杆 4 的轴线相对定位套 3 的轴线（即工件油泵孔的轴线）有一定偏心量 e ，所以在测量时应适当转动定位套 3，使滚轮 6 与心轴 1 接触良好。

利用各种形式的心轴检验两孔轴线之间的距离，虽然可采取措施降低心轴的重量，但仍只适合于孔径较小的孔件，否则心轴的重量过大。为检验在一个平面上大直径孔（ $\phi 150 \sim \phi 400 \text{mm}$ ）轴线之间的距离，例如在减速器生产中，可采用图 7-16 所示原理的检具。

检具由本体 3、测量臂 5、杠杆 12、定中器 14 和 8 组成，测量臂 5 装在本体 3 上，在测量臂 5 和杠杆 12 上各有两个球形触头 4 和 2，两触头 4 和 2 对称于本体 3 孔的轴线，这样就使本体 3 的轴线处于被检验两孔圆心连线的方向上。

装在手柄 10 处的弹簧 11 作用在杠杆 12 上，在本体 3 的孔中有轴 13，定中器 14 固定在轴 13 上，而定中器 8 可在本体 3 上转动和移动。在定中器 8 上装有千分表 6，其触头与固定在轴 13 上的支架 9 的端面接触，支架 9 的端面做成月牙形，并严格垂直于轴 13 的轴线。在

定中器 14 和 8 上有可调球形触头 15 和 7。

测量时先使杠杆 12 脱离接触，将检具装到工件 1 中，使检具的支承与工件的端面接触。当松开杠杆 12 时，在弹簧 11 的作用下两触头 2 和 4 与工件两孔的表面接触，这时定中器 14 和 8 在本身重量的作用下，按两孔在垂直于两孔圆心连线的平面上定中。定中器 14 和 8 按被检验两孔轴线之间的实际距离处于一定位置，预先按校准件调零的千分表 6 即可反映两孔轴线距离的误差。

该检具结构轻便，例如测量直径为 310mm 和 340mm 两孔轴线距离为 450mm 检具的重量为 5.6kg；检验效率高，用校准件调零的时间不超过 1min，每检验一个工件的时间不超过 0.5min。

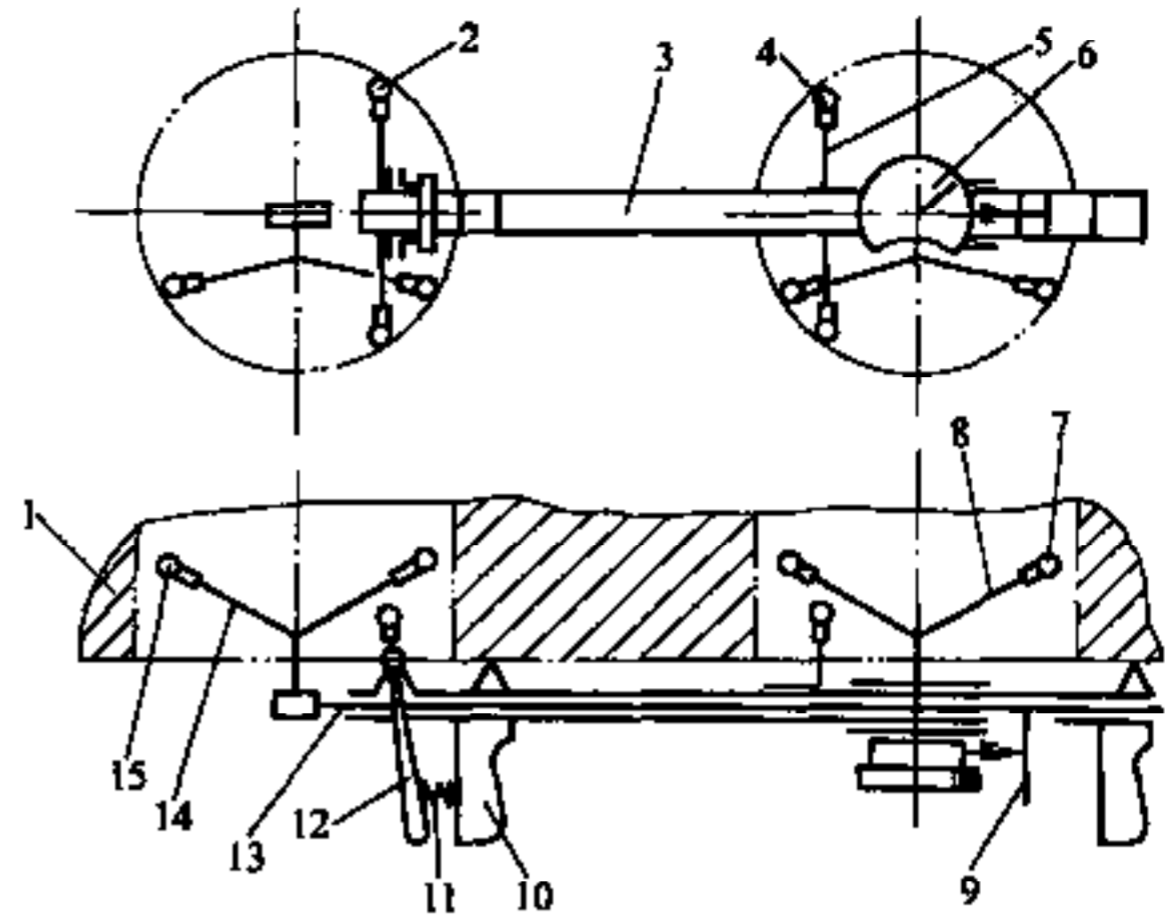


图 7-16 大直径孔轴线距离检具

1—工件 2、4、7、15—触头 3—本体 5—测量臂
6—千分表 8、14—定中器 9—支架 10—手柄
11—弹簧 12—杠杆 13—轴

图 7-17 是工件形状不对称两孔轴线平行度检具，根据两孔的特点，该检具定位心轴采

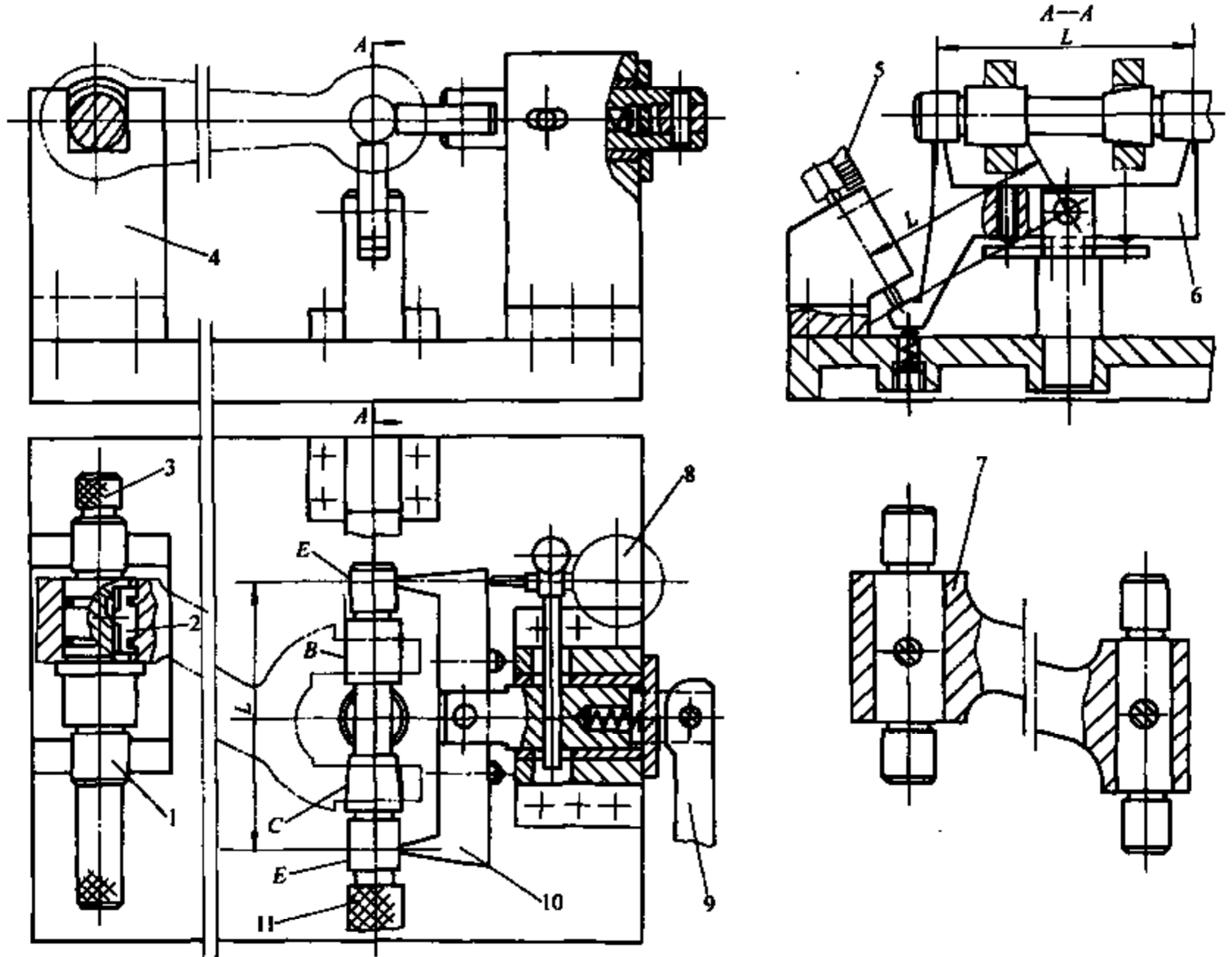


图 7-17 形状不对称两孔平行度检具

1、11—心轴 2—滑块 3—螺母 4—支架 5、8—百分表 6、10—杠杆 7—校准件 9—手柄

用涨块式，而测量心轴采用复合式心轴。由于工件形状不对称，所以不能采用工件翻转 180° 两次比较测量的方法。

在工件的一孔中插入带滑块 2 的心轴 1，并将心轴 1 放在支架 4 的定位槽中；在另一孔中插入前端有圆柱部分 B、后端有锥度部分 C 的心轴 11，心轴 11 两端有测量圆柱部分 E，并与杠杆 6 的两触头接触。当手柄 9 处于图示位置时，杠杆 10 的两触头与心轴 11 接触。转动手柄 9，使杠杆 10 向右移动。图示手柄 9 处于水平位置，为便于操作设计时可适当选择其角度方向。

测量时先用校准件 7 将两百分表调零，校准件两测轴的平行度误差应很小，并已测出其在垂直面和水平面上在长度 L 上的平行度误差。

杠杆 6 反映工件两孔轴线在垂直面上的平行（交叉）度误差，由百分表 5 的示值确定；杠杆 10 反映工件两孔在水平面上的平行度误差，由百分表 8 的示值确定。工件两孔总的平行度误差值为两个方向误差的矢量和。

图示滑块 2 的位置适用于测量在垂直面上的两孔轴线平行度，当测量两孔轴线在水平面上的平行度时应使心轴 1 转 90° ，使滑块 2 的位置在垂直方向上，以消除由于工件孔的锥度而产生的测量误差。

转动螺母 3 可使滑块 2 伸缩（详细结构图中未示出）。

7.1.4 检验平面度和直线度检具

对于精度要求高的平面度和直线度，应按附合最小包容条件的方法测量，例如机床导轨等；对于一般精度的机械零件一般不按最小包容条件考虑，经常采用各种简单的方法。在车间生产条件下，可采用各种通用量具和仪器测量平面度和直线度，但采用通用量具有时不能满足某些零件的要求；在成批和大量生产条件下，经常使用某些通用量具（例如高精度检验平板）在经济上不合适，并且由于操作复杂检验效率低，因此需要采用检具来检验。采用检具检验平面度和直线度通常是使被检验表面与平面度或直线度误差很小的标准平面或直线进行比较。

图 7-18 是工件环形表面平面度检具。

检具由圆盘和百分表等组成，圆盘底面的平面度误差应
为被检验工件表面平面度误差的 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ 。

测量前用校准件或相应精度等级的检验平板使百分表调零。测量时使圆盘在工件上径向移动，并转动，百分表的
最大示值就是工件被检验表面的平面度误差。

对于箱体类较大表面平面度的检验，可采用图 7-19 所示的检具。

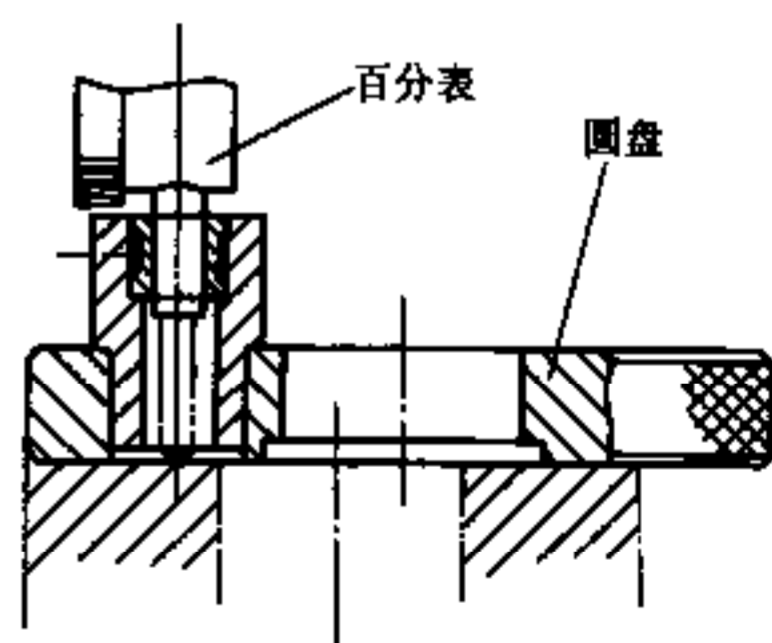


图 7-18 环形表面平面度检具

在检具本体上固定有 4 个定位支承（可用 3 个，为提高稳定性用 4 个），4 个支承的端面 A 应在同一平面上，其误差应很小，各支承的距离应尽量远。根据被检验表面的实际形状（一般不是一个连续的平面）选择若干测量点，在这些位置布置百分表，测量点数不宜过多，一般为 3~6 个，图示为 4 个测量点（图中只表示了一个测点的结构）。

本体的重量不能过大，应有良好的刚性并经稳定性处理。为便于操作，在本体长度两侧应装有提手（图中未示）。

测量前用专用或通用平板使各百分表调零。在将检具装到工件被检验表面上后，在各千分表示值中最大值与最小值之差就是被测表面的平面度误差。例如，如果在测点 B 处千分表的示值为 +0.01mm，比其他各千分表示值都大；在测点 C 处千分表示值为 -0.01mm，比其他各千分表示值都小，则被检表面的平面度误差为 0.02mm。

7.1.5 检验平行度、垂直度和端面圆跳动检具

本节介绍检验平面与平面、平面与轴线、轴线与轴线相互间的平行度和垂直度检具（两孔轴线平行度的检具前面已有介绍）等。

1. 平行度检具 图 7-20a 是圆形工件内部两阶台面平行度检具的示意图。

工件在定位圆盘 1 上定位，底座 3 上平面 A 的平面度应很小，圆盘 1 的定位面应平行于 A 面。检验时支架 2 作径向移动，工件在定位圆盘上转动，百分表的最大示值就是被测面对基面的平行度误差。在定位圆盘上沿径向开有去污浅槽。

图 7-20b 是长轴套两端面平行度检具，由于轴套的长度是外径的几倍，如果在平台上通过测量其高度来评定两端面的平行度，需要用手使下端面与平台贴牢，操作不方便，检验效率低，因此采用检具。

检具由 V 形块 5、滚动挡轮 4、百分表座 7（能让开测销的直线传递装置）和底座 8 组成。装工件前用拨杆 6 使百分表触头退回，装上工件后工件靠自重落在 V 形块 5 上，使百分表触头与工件的一端面接触，同时使工件的另一个端面靠上滚轮 4。检验时工件在 V 形上转动，在几个位置读取百分表的示值，百分表的最大示值差就是被测轴套两端面平行度误差。

图 7-21 是大型旋转体工件的端面 B、C 和 E 对端面 A 的平行度检具，由于各端面的径向宽度相对直径较小，所以采用只在端面的一个圆周测量。面 B 是内部阶台面，工件外径 D 比面 B 的直径大得多。如果采用测量触头与面 B 接触，通过杠杆传递机构将面 B 的形状变化，传到直径 D 以外便于观察处的百分表，在结构上将过于庞大。另外，测量端面 C 和 E 必须考虑工件的装卸方便。为此采用图 7-21 所示结构。

工件的端面 A 放在支承环 1 上，同时以中间孔在轴 2 上定心。测量杆 3 在两轴套中滑动，在杆 3 上有轴 7，测量滚轮 6 在轴 7 上转动，在拉簧 4 的作用下滚轮 6 以一定的测量力始终与端面 B 接触。当工件绕轴 2 转动时，测杆 3 的微小移动传到回转支架上的百分表 8，即可测出端面 B 对端面 A 的平行度误差。

为测量端面 C 和 E 对端面 A 的平行度，在回转支架的轴套 5 上共有三对深度不同的 V

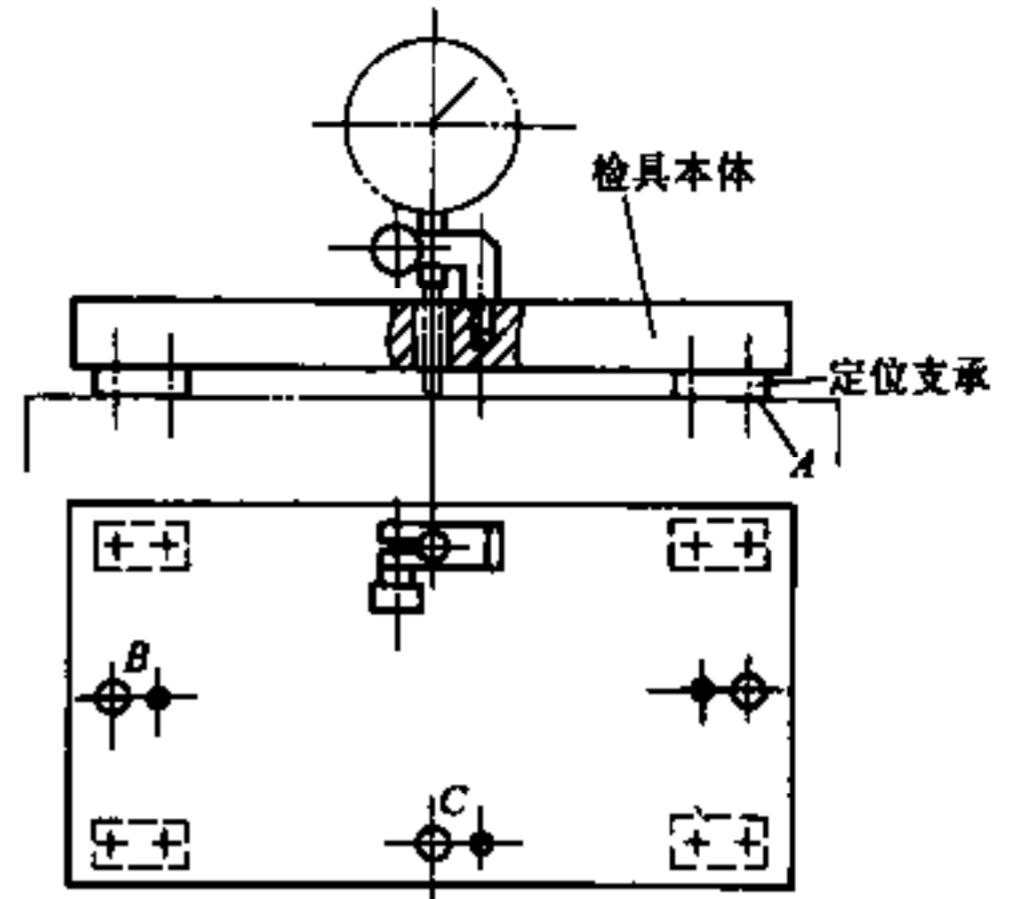


图 7-19 大表面平面度检具

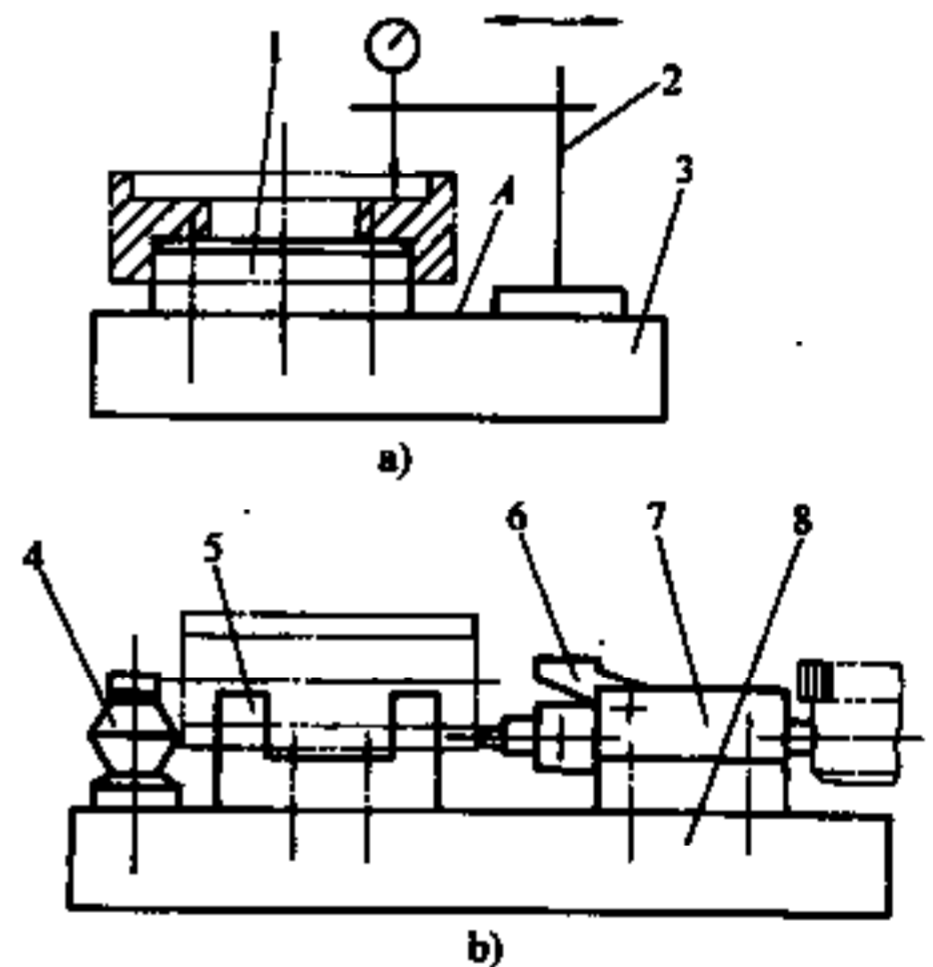


图 7-20 两平面平行度检具

- 1—定位圆盘 2—支架 3、8—底座
4—滚动挡轮 5—V 形块
6—拨杆 7—百分表座

形槽，其角度位置满足测量三个面 B、C 和 E 的需要。K 向视图位置 I、II 和 III 分别为测量端面 B、C 和 E 的位置。测量完毕，使百分表回转支架回转到让开工件的位置 IV，即可取下工件。

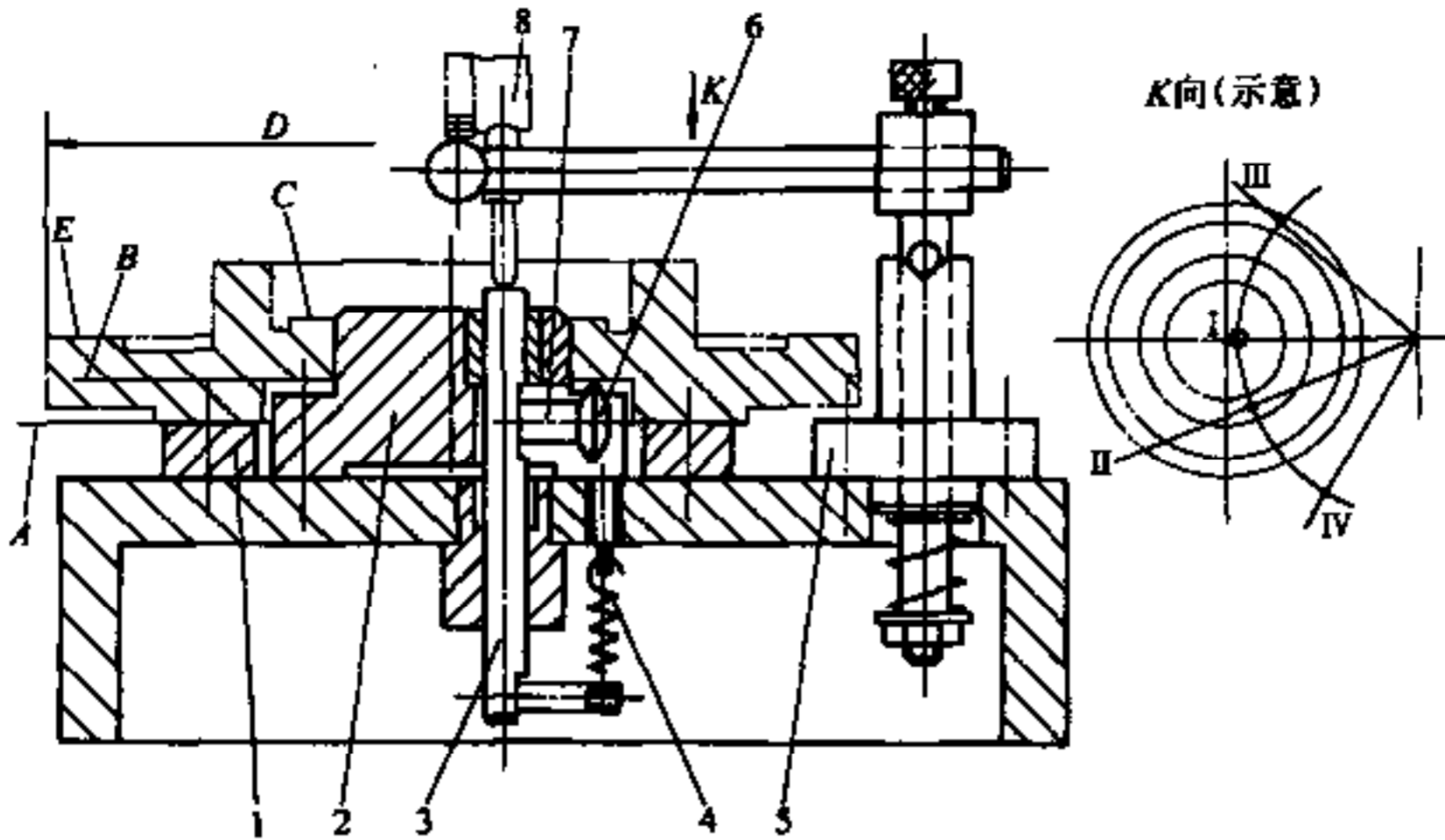


图 7-21 大型回转体工件端面平行度检具

1—支承环 2、7—轴 3—杆 4—拉簧 5—轴套 6—滚轮 8—百分表

2. 面对面、轴线对面垂直度检具 为检验小尺寸工件两平面的垂直度，可采用图 7-22a 和 b 所示的简单检具。

测量前将千分表 4 按标准直角铁调零，测量时将检具装在工件 1 的定位平面上（图 7-22a）或将检具装在一定精度的检验平板 5 上（图 7-22b），使本体 3 上的球面触头 2 与工件

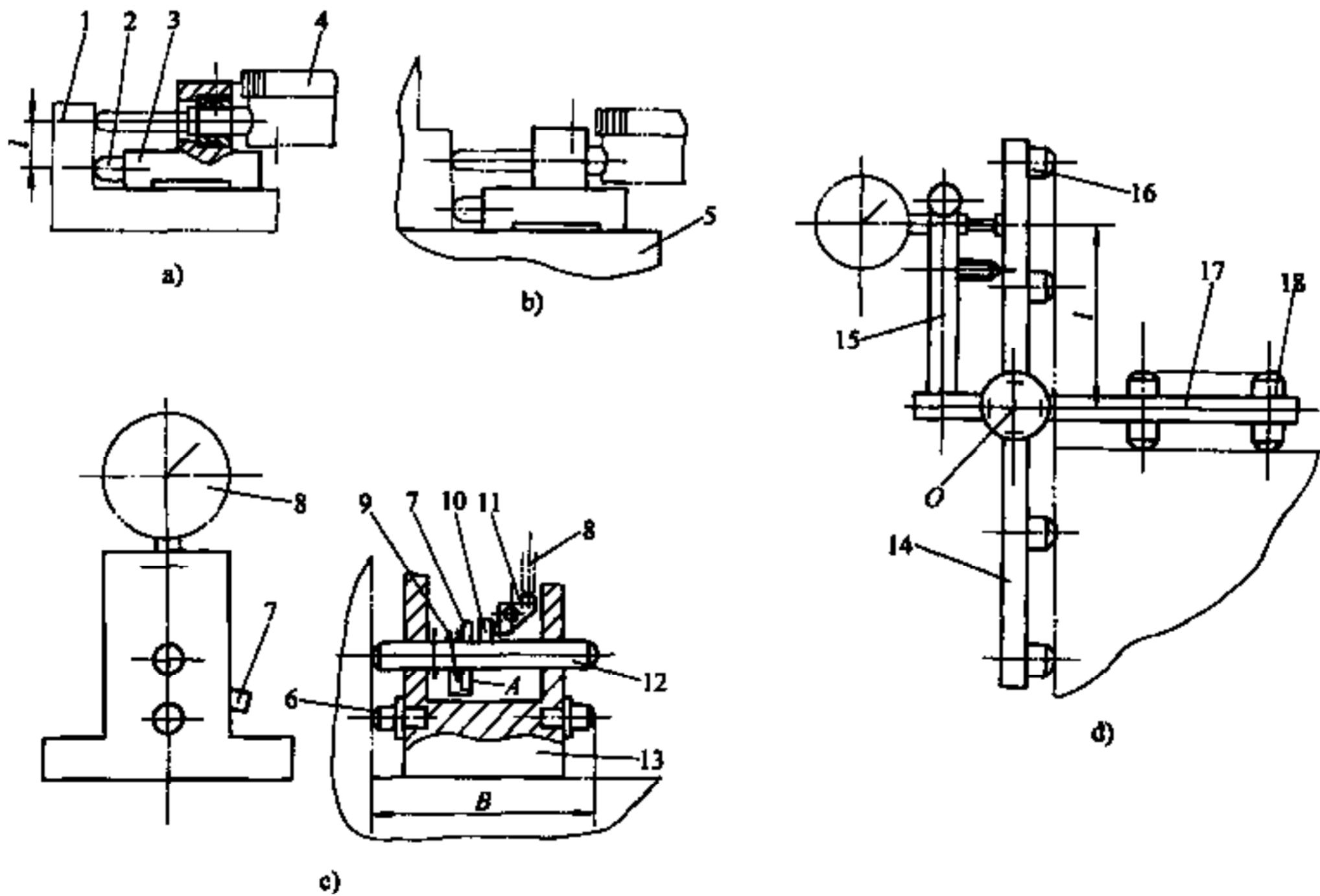


图 7-22 两平面垂直度检具

1—工件 2、6—球面触头 3、13—本体 4、8—千分表 5—检验平板 7—杆 9—弹簧 10—轴头
11—摆动块 12—测杆 14—测量平板 15—百分表支架 16、18—支承 17—定位平板

被测平面接触，这时千分表的示值就是工件被测面在长度 l 上的垂直度误差。当然，这种方法也可用于检验尺寸较大的工件。

为检验中等尺寸工件两表面的垂直度，可采用不需要按标准直角铁使千分表调零的检具，如图 7-22c 所示，其结构简单，使用方便。本体 13 的平面放在工件的定位基面上，本体上的球面触头 6 与被测量表面接触。千分表 8 的测量力通过装在轴上的摆动块 11 和轴头 10 作用在测杆 12 上，（要求测杆 12 的长度与尺寸 B 相等），使测杆 12 的球头也与工件被测量表面接触。这时弹簧 9 处于压缩状态（非工作状态），弹簧 9 的压力通过杆 7 由在本体 13 侧面上的槽的垂直面 A 承受，并在这时将千分表 8 的示值调零。

然后使检具回转 180° ，重新安装在工件上，这时另一个球面触头 6 与工件被测面接触，将杆 7 的位置从图示垂直方向转 90° 到水平方向，使杆 7 从本体 13 的槽中脱出，这样弹簧 9 将压住轴头 10，通过摆动块 11 使压力作用在千分表上。因为轴头 10 和测杆 12 是一个刚性系统，所以弹簧 9 的压力（等于千分表测量力的两倍，以使检具翻转后的测量力仍等于千分表的测量力）使测杆 12 的球头与被测面接触，这时千分表的示值就是被测面在测量长度上的垂直度误差的两倍。如第一次测量时千分表不调零，则垂直度误差将等于千分表两次读数差的一半。

对于有些形状复杂的大型铸造工件，其上的凸台侧面有垂直度要求，由于不方便将定位基面放到平板或检具上，可采用图 7-22d 所示的检具，检验侧面对顶面的垂直度。

检具由定位平板 17、测量平板 14 和百分表支架 15 等组成，在平板 17 的两个平面上各压入三个支承 18，每三个支承应在同一平面上，并且这两个平面应平行。在测量平板 14 的上方和下方各有三个支承 16，各个支承也应在同一平面上。平板 14 可绕轴 O 相对平板 17 转动。各支承的位置根据工件的具体情况而定，但这时平板的宽度不适合过宽，因为检具应较轻便，以利操作。

测量时将检具放在工件上，使平板 17 下面的 3 个支承靠在工件顶面上，并使平板 14 下面的 3 个支承靠在工件侧面上，这时将百分表调零；然后将平板 17 和 14 在垂直方向翻转 180° ，使板 17 原来在上面的 3 个支承和板 14 原来在上面的 3 个支承分别与工件的顶面和侧面接触，这时百分表的示值就是工件被测面对顶面在长度 l 上垂直度误差的两倍。

检验尺寸较大工件孔轴线对端面的垂直度，可采用图 7-23 所示的检具，在该检具中采用拆下定心桥的内径百分表 1，用螺钉 5 将定位块 3 固定在内径百分表杆所需的位置上。

检具的平板 2 放在工件 6 的定位端面上，并沿径向移动，使定位块 3 上的球面触头与工件内孔表面接触，这时内径百分表的测量触头与工件内孔表面接触，并将百分表 4 的示值调零。然后使检具回转 180° ，并使定位块 3 上的球面触头在第一次测量时的对面位置与工件内孔表面接触，这时百分表 4 的示值就是工件内孔轴线对

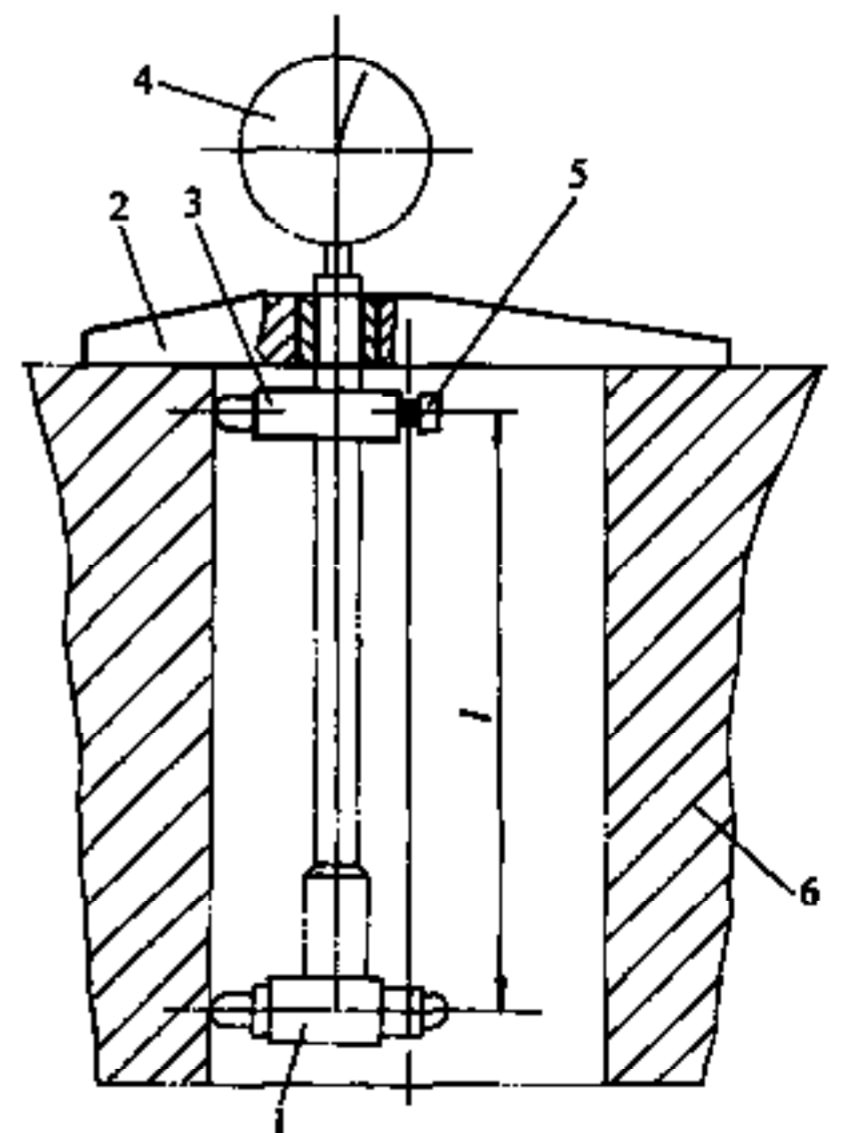


图 7-23 孔轴线对端面垂直度检具
1、4—百分表 2—平板 3—定位块
5—螺钉 6—工件

定位端面在长度 l 上垂直度误差的两倍。

该检具具有通用性，也可用于检验外圆对端面的垂直度。

图 7-24 是工件外圆 E 的轴线对基准端面 F 的垂直度检具，其特点是工件的基准端面和被测外圆的长度较小，不适合采用上述各种方法。

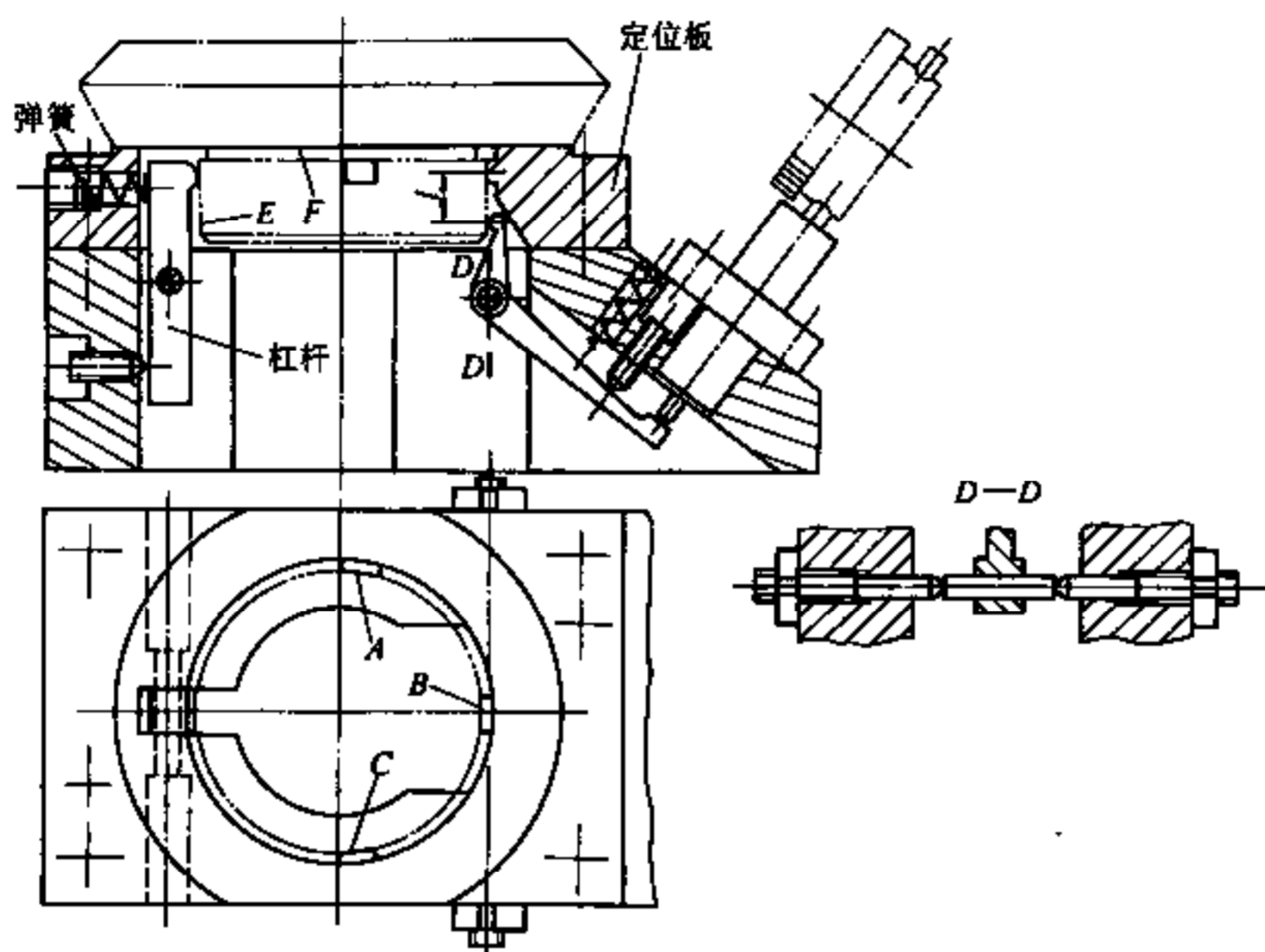


图 7-24 外圆轴线对端面垂直度检具

工件放在定位板上，工件外圆表面按定位板内孔的三个凸块 A 、 B 和 C 定心，弹簧通过杠杆使工件紧靠在主要的定位块 B 上。测量时使工件转动，百分表的最大示值差就是工件外圆 E 的轴线对基准端面 F 在长度 l 上垂直度误差的六倍（其中包括杠杆传递比 3:1）。采用这种方法可消除被测外圆锥度对测量精度的影响。

图 7-25 是圆盘形工件内孔轴线对基准端面垂直度检具，整个检具为倾斜式，以保证工件内孔紧靠在定位套 2 上。

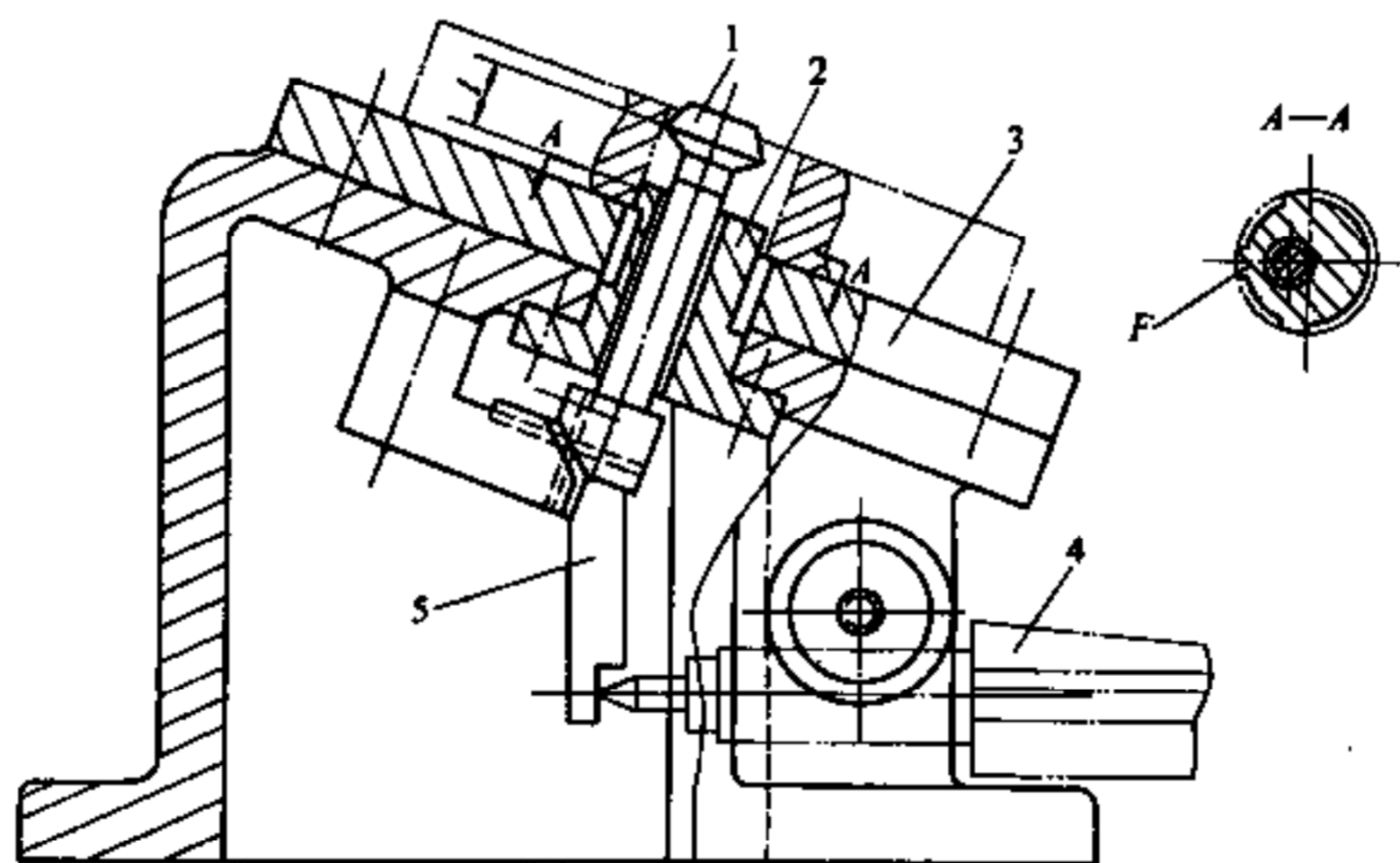


图 7-25 内孔轴线对端面垂直度检具

1—测量元件 2—定位套 3—定位板 4—测微仪 5—杠杆

工件放在定位板 3 上，其内孔的下端靠在定位套 2 的 3 个凸块 F 上。固定在杠杆 5 上的测量元件 1 与工件内孔上端表面接触，杠杆 5 安装在交叉布置的片簧上，杠杆 5 的一端与测微仪 4 的触头接触。测量时使工件转动，测微仪的最大示值差就是工件内孔轴线对基准端面在长度 l 上垂直度误差的两倍。

3. 端面对外圆或内孔轴线的圆跳动和垂直度检具 检验端面对外圆轴线圆跳动常用的方式如图 7-26a、b 和 c 所示，采用哪种方式根据工件的情况决定。

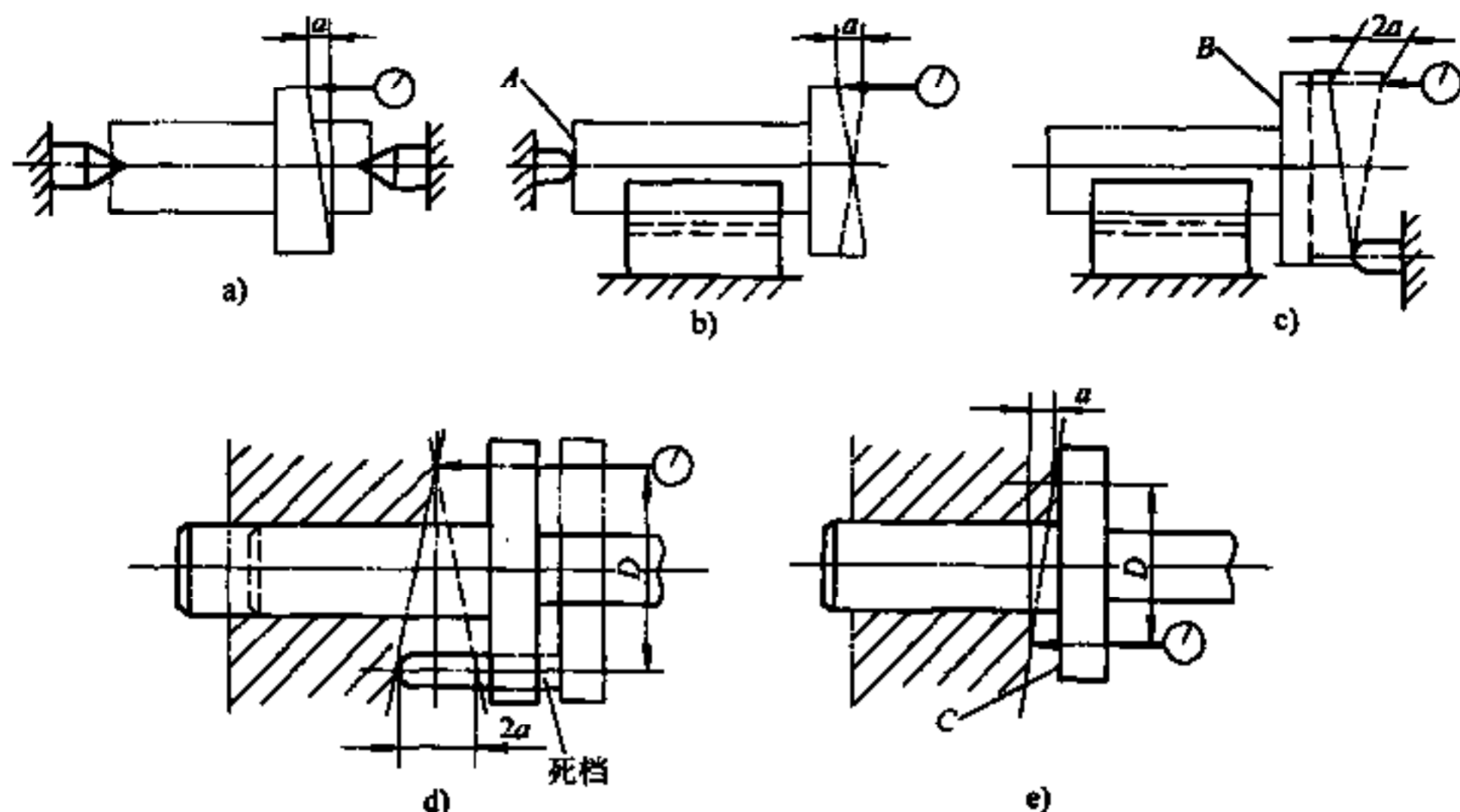


图 7-26 端面对外圆轴线圆跳动的检验方式

当在轴两端有中心孔时，可采用通用或专用带顶尖座的跳动检具（图 7-26a）。当没有或不利用中心孔时可采用带 V 形的检具，图 7-26b 是工件以一端面靠在死挡上。若在面 A 上中间有孔，则可使端面 A 靠在垂直于 V 形的环形平面上。对于图 7-26a 和 b，工件转一周，百分表示值变化的最大值 a 就是端面对外圆轴线的圆跳动值。图 7-26c 是死挡与被测端面的边缘接触，这时工件转一周，百分表示值变化的最大值是端面对外圆轴线圆跳动值的两倍 ($2a$)。同样这时也可使端面 B 靠在与 V 形面垂直的环形面上实现轴向定位。

检验端面对内孔轴线圆跳动常用的方式如图 7-26d 和 e 所示，检验心轴与工件孔的间隙应很小，应选择适当的定位结构。

对于图 7-26d，在检验心轴轴肩外圆边缘处有死挡，心轴或工件转动一周，百分表示值变化最大值就是工件被测端面在直径 D 上圆跳动值的两倍。对于图 7-26e，在心轴轴肩上没有死挡，这时要求心轴轴肩端面 C 必须严格垂直于心轴的轴线，心轴或工件转动一周，百分表示值变化最大值是工件被测端面在直径 D 上的圆跳动值。

在测量端面圆跳动时，应在若干圆柱面上进行，取测得最大圆跳动值作为端面圆跳动值。但如果被测面的平面度公差相对其圆跳动允许值很小，以及当被测面直径不大或是一个小环形面和阶台面时，允许只测量一个圆柱面。如果工件被测端面较大，允许圆跳动值又较小，则应适当增加测量点；如果是测量全跳动，则应使百分表沿径向在整个端面上测量，这时检具在结构上应满足这种要求。对于内外圆表面的径向圆跳动的测量也应考虑这个问题，不再重复。

端面对外圆和内孔轴线垂直度的测量与端面对外圆和内孔轴线圆跳动的测量不同，因为

端面圆跳动为零，不一定没有垂直度误差，所以从形位公差定义出发，不能用测量端面圆跳动的方法来测量端面的垂直度。但如果工件端面的平面度公差相对其对轴线垂直度的公差很小，以及当被测端面是不大的环形面和阶台面时，也可用测量端面圆跳动的方法来测量端面对轴线的垂直度。当然，可用检验端面全跳动的方法来测量端面对轴线的垂直度。

下面介绍几种端面对内外圆轴线跳动和垂直度检具。

工件（见图 7-27）阶台孔端面对基准孔轴线有垂直度要求，由于阶台面的平面度公差（0.01mm）相对其垂直度公差（0.06mm）很小，又由于被测阶台面不大，所以可通过测量端面圆跳动来检验垂直度，结构简单，使用方便。

工件用阶台心轴 1 的小直径轴颈定位，为消除定位间隙对测量的影响，在小直径轴颈中有两弹簧和滚珠。为便于布置百分表，在心轴 1 大直径轴颈上装有滑套 6。套 6 的内孔经研配，与心轴大直径轴颈的配合间隙在 0.005mm 内。测量触头 7 压入套 6 下端面的孔中。用螺钉 2 紧固卡箍 3，用螺钉 5 将百分表 4 紧固在卡箍上。滑套 6 的端面 A 应严格垂直于其孔的轴线。

将检具放入工件孔中，使滑套 6 转动，在多个位置记下百分表的示值，示值的最大差值就是被测面对基准孔轴线垂直度误差。

图 7-28 是汽车差速器壳检具，在该检具上工件以两 $\phi 45h7$ 外圆表面公共轴线定位，检验下列项目：

- ①两 $\phi 60\text{mm}$ 外圆端面 E 的圆跳动允差 0.030mm；
- ② $\phi 180\text{mm}$ 外圆端面 H 的全跳动允差 0.025mm；
- ③ $\phi 120\text{mm}$ 外圆表面的径向圆跳动允差 0.025mm。

检具由底座 10、两 V 形块 9、表架 11 和 6 等组成，工件在两窄 V 形块上定位。当测量端面 E 的跳动时（如 K 向视图所示），工件的端面 E 靠在挡销 8 上（这时端面 C 到挡销 7 的距离为 3mm），表架 11 底座的侧面 G 靠在定位块 4 的平面 A 上，而平面 A 到挡销 8 端面的距离为 L，在这种情况下调整百分表 3，使其处于测量状态。这时即可测量端面 E 的圆跳动（工件在两 V 形块上转动）。

在测量端面 C 的跳动时，工件的端面 C 靠在挡销 7 上，将表架 11 移到使其底座的侧面 G 靠在定位块 2 的平面 B 上（表架 11 如图双点线所示），平面 B 到挡销 7 端面的距离也是 L，百分表 3 仍处于测量状态。

由于定位块 5 的平面 F 到两 V 形公共轴线的距离尺寸 $L_1 = (L + 60)\text{mm}$ ，所以当表架 11 移到其底座的侧面 G 靠上定位块 5 的平面 F 时（这时表架 6 应从图示位置移开），百分表 3 同样处于测量状态，即可测量 $\phi 120\text{mm}$ 外圆表面的径向圆跳动。这样只用一个表架 11，无需经常调整百分表，即可测量三个表面的圆跳动。

测量端面 H 的全跳时，使工件端面 E 和 C 离开挡销 8 和 7，并使端面 H 靠上一可活动挡销（图中未示），并用表架 6 的一个侧面沿定位块 1 的平面 M 移动进行测量，平面 M 应垂直于两 V 形公共轴线。测量完后，将活动挡销退回。

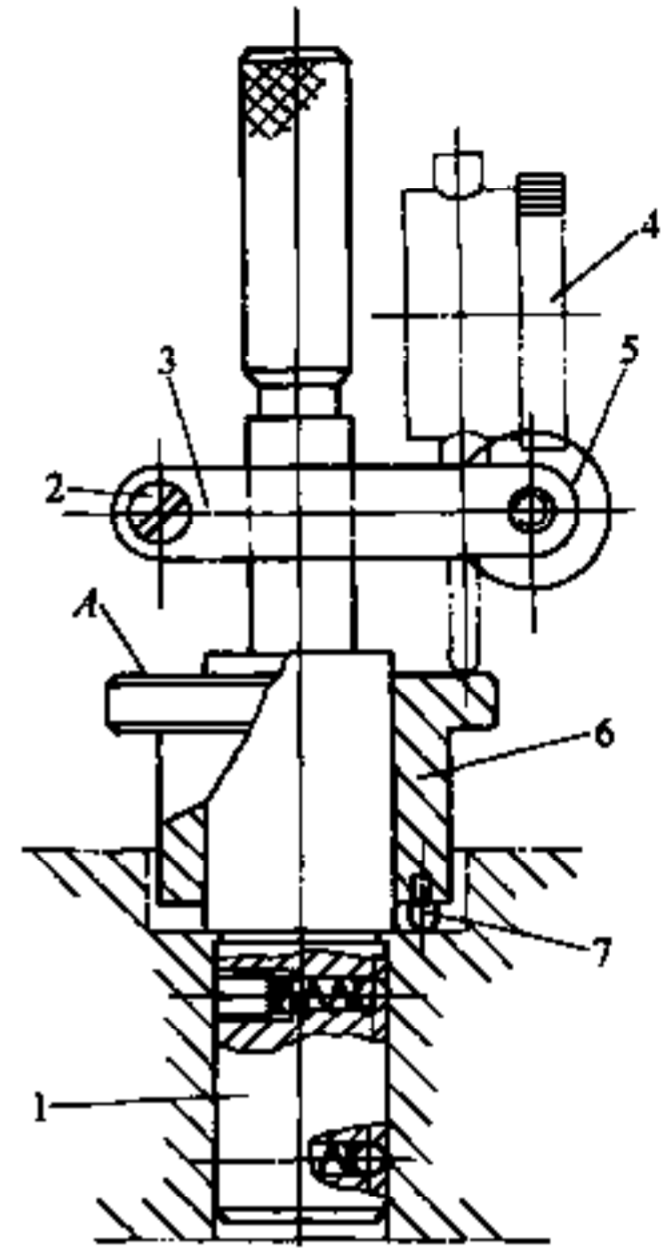


图 7-27 阶台孔端面对孔
轴线垂直度检具

- 1—心轴 2—螺钉 3—卡箍
4—百分表 5—螺钉 6—滑套
7—测量触头

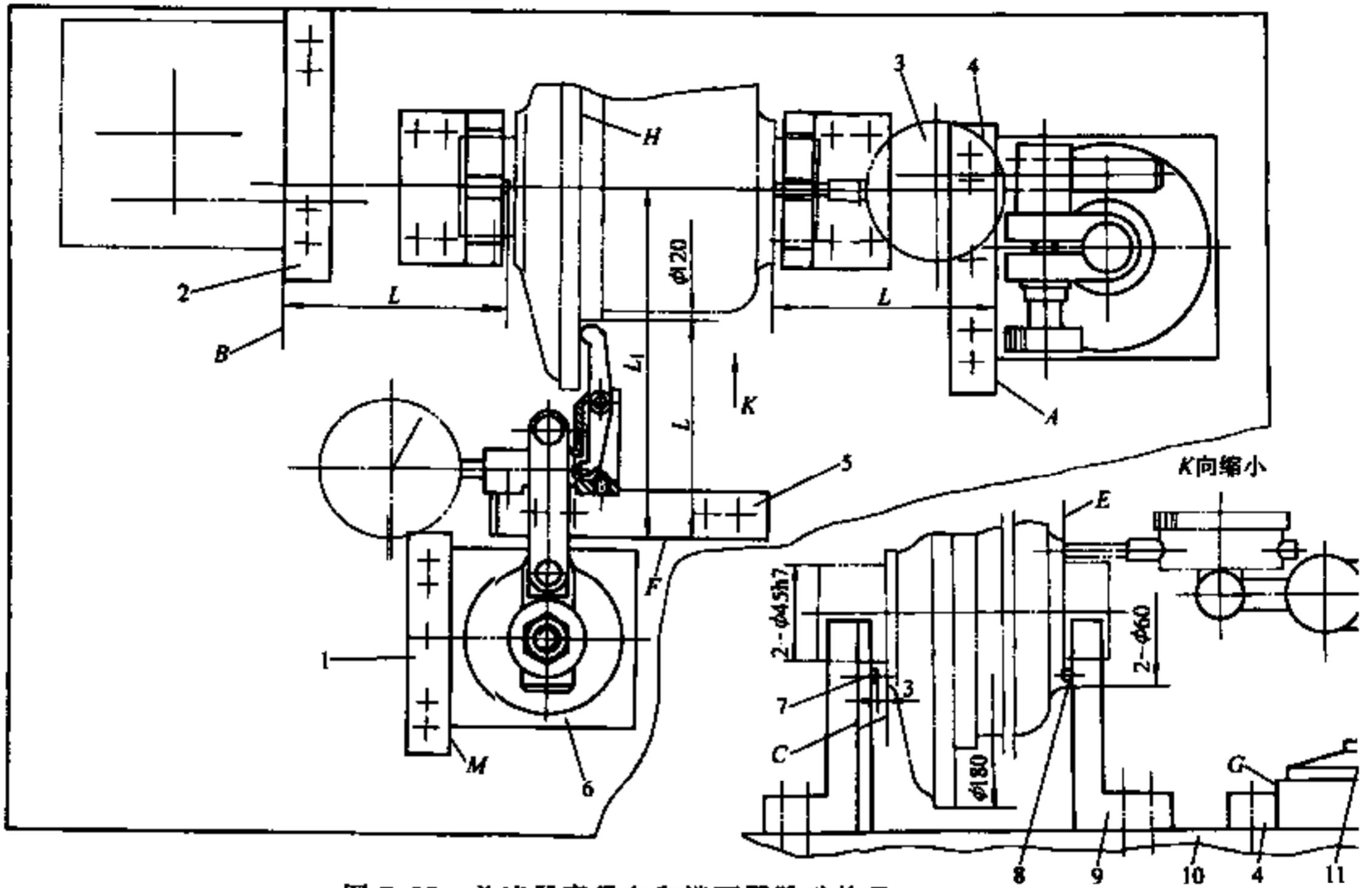


图 7-28 差速器壳径向和端面圆跳动检具

1、2、4、5—定位块 3—百分表 6、11—表架 7、8—挡销 9—V形块 10—底座

图 7-29 是箱体工件两端面 B 对 2 - φ135H7 孔公共轴线端面圆跳动 0.08mm 检具，该检具由带长活动块 4 的定位心轴 1、回转测量座 8 等组成。

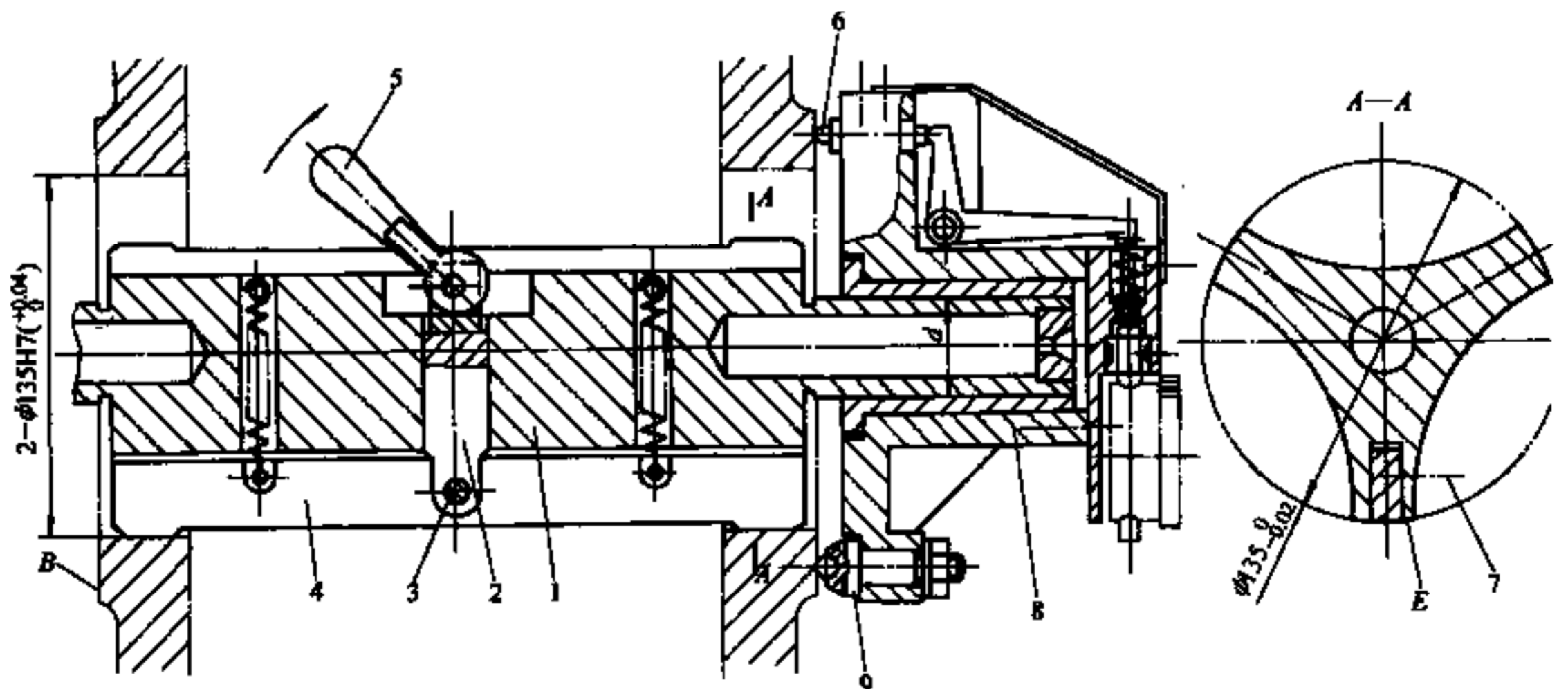


图 7-29 端面对两孔公共轴线跳动检具

1—心轴 2—滑块 3—销 4—长活动块 5—手柄 6—测杆 7—工艺螺钉 8—回转座 9—挡销

长活动块 4 可在销 3 上摆动，回转测量座 8 内径为 d 的孔与心轴 1 的配合轴颈相互研配，间隙为 0.005mm。在回转测量座上有带球面触头的挡销 9、测杆 6 以及杠杆传递机构。为减轻重量，回转座 8 用铝合金制造，心轴 1 做成图示形状。心轴两端直径为 d 的轴颈与心轴 $\phi 135_{-0.02}^0$ 轴颈应严格平行，用两端中心孔磨出。磨 $\phi 135_{-0.02}^0$ 外圆时，应将长活动块用工艺螺钉 7 固定，使其与心轴一起磨出 3 小段 $\phi 135_{-0.02}^0$ 表面 E (见 A-A)。

转动偏心手柄 5，滑块 2 被压出，通过销 3 带动长活动块 4 在心轴槽中向外径向移动，直到长活动块 4 和心轴 1 两端 $\phi 135_{-0.02}^0$ 外圆上两个 E 面分别靠在工件两端孔的表面上，从而实现心轴 1 在工件两孔上的定位。使回转座转动，即可测量一端面的圆跳动；测量另一端面时，将回转座 8 装到图示左边对称位置。

由于工件被测端面相对孔直径为一窄环形面，所以只在 1 个圆上测量端面跳动。

4. 轴线对轴线垂直度检具 图 7-30 是工件垂直孔 A 对两水平孔 B 公共轴线垂直度检具。

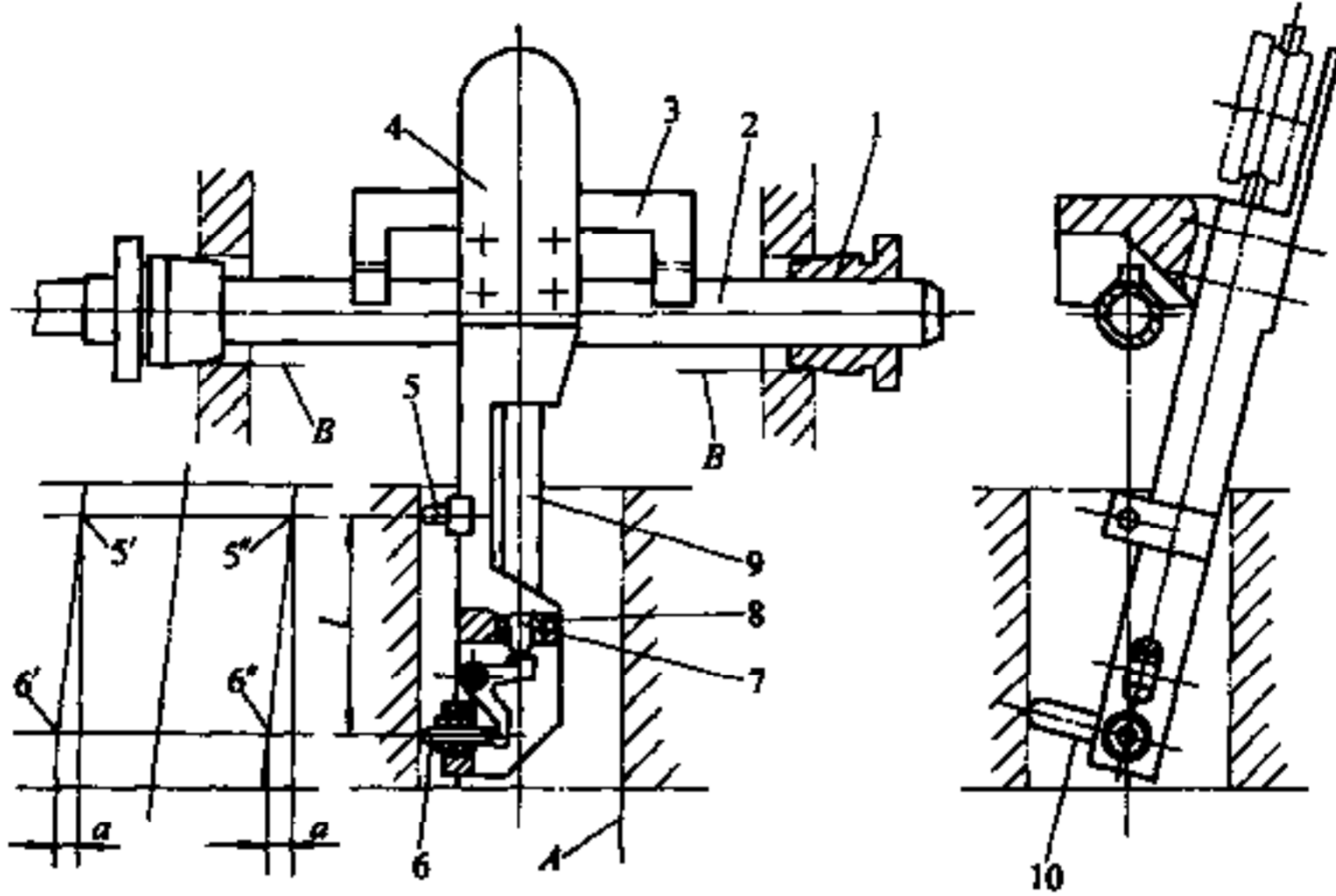


图 7-30 垂直孔对两水平孔公共轴线垂直度检具

1—定位套 2—心轴 3—测量座 4—板 5、10—挡销 6、7—测杆 8—导套 9—套管

在工件的两水平孔 B 中各放入锥度定位套 1，在两套 1 的内孔中穿过心轴 2，套 1 与心轴 2 的配合间隙为 0.005mm，心轴 2 模拟工件两水平孔公共轴线。有两个窄 V 形的测量座 3 放在心轴 2 上，在座 3 的一个侧面固定有板 4，板 4 放在工件被测的垂直孔 A 中。使测量座 3 在心轴 2 上移动，直到固定在板 4 的挡销 5 在测量平面上碰上孔的表面（点 5'）；同时使座 3 的 V 形面在心轴 2 上转动，使固定在板 4 上的挡销 10 在垂直于测量平面的平面上碰上孔的表面，从而实现测量座 3 在心轴上的定位。杆 7 在两导套 8 中滑动，露在外面的部分用套管 9 包住。这时测杆 6 与工件孔表面接触（点 6'），得到百分表的示值。

然后使测量座 3 转动 180°，再按上述方法使座 3 在心轴 2 上定位好，这时挡销 5 将与工件孔的表面在点 5' 处接触，而测杆 6 将与工件孔的表面在点 6' 处接触，并得到百分表的另一示值。两次示值差 (2a) 的一半就是工件垂直孔 A 在长度 l 上对两水平孔公共轴线的垂直度误差 (a)。

图 7-31 是差速器外壳两对半孔公共轴线垂直度

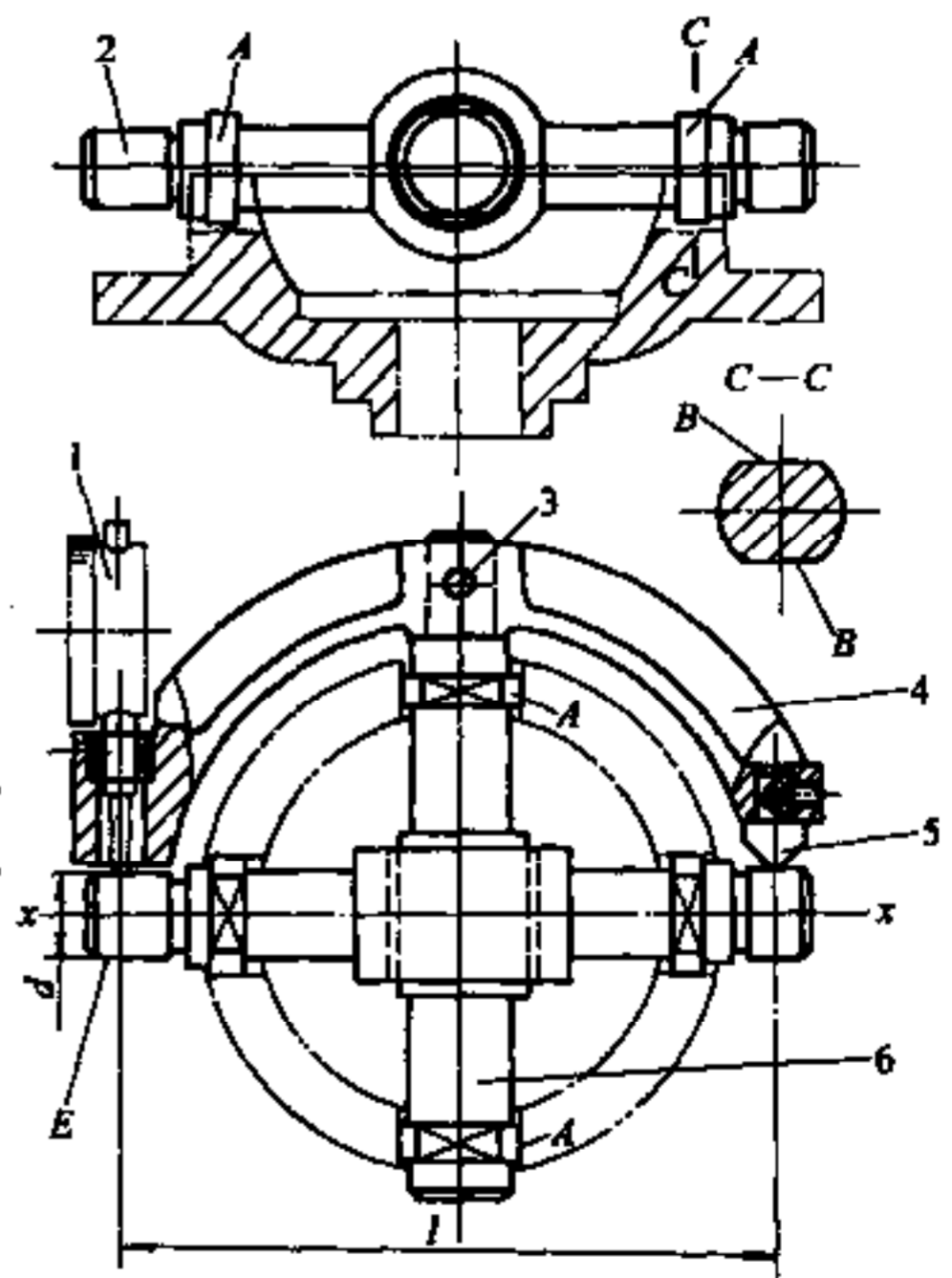


图 7-31 差速器外壳两对半孔公共轴线垂直度检具

1—百分表 2、6—心轴 3—销
4—测量座 5—挡块

检具。

该检具由在心轴 2 和 6 上的各两处窄圆柱带 A 模拟两对半孔的公共轴线，心轴 6 穿过心轴 2 的中间孔，并有一定间隙使两心轴在工件中浮动。在轴 2 和 6 两端圆柱带 A 上有两扁平面 B（见 C-C）。在心轴 6 的一端压入有半圆形测量座 4，并用销 3 与轴 6 固定连接，在座 4 上有刀口形挡块 5 和百分表 1。在心轴 2 的两端有轴颈 E（直径为 d ）。

测量时将心轴 2 和 6 置于工件的两对半孔中，使心轴的扁平面 B 朝下处于水平位置，以使定位稳定。移动心轴 6 使挡块 5 靠在心轴 2 轴颈 E 的圆柱面上，这时百分表与心轴 2 另一轴颈 E 的圆柱面接触，得到百分表的一个示值。

然后将检具按图示位置绕 $x-x$ 方向翻转 180° ，使心轴另一扁平面 B 朝下，按上述方法得到百分表的另一个示值。百分表两次示值差就是两对半孔公共轴线在长度 l 上垂直度误差的 2 倍。

7.1.6 检验同轴度和对称度检具

在生产中可采用通用测量工具如平板、固定和可调支承、百分表支架等，测量同轴度和对称度；有时需配备专用心轴和定位块。在成批和大量生产条件下，为提高测量精度和效率，则应采用检具。

1. 同轴度检具 轴类工件可采用测量径向圆跳动的方法测量同轴度，例如以 1 个或 2 个（一般距离较大）基准外圆表面在 V 形块上定位，转动时可测量其他外圆的同轴度；对于两端有中心孔的工件，可在两顶尖上测量两轴颈相互间的同轴度，这时根据两轴颈对两中心孔径向圆跳动值之差来确定同轴度。

箱体孔同轴度的测量可以是以一个基准孔定位，回转打表测量另一个孔的同轴度；也可以是以两孔公共轴线定位，测量该两孔本身对公共轴线或测量其他孔对公共轴线的同轴度。

采用机械仪表测量箱体类工件孔的同轴度比测量轴类工件外圆的同轴度要复杂，这主要是因为解决以孔定位和在孔内布置测量机构都比较困难，也不易于观察。

下面介绍一种测量发动机机体各中间轴承孔对两端轴承孔公共轴线同轴度检具（图 7-32），该检具利用内径千分表 1 把测量指示仪表移到工件的外边。

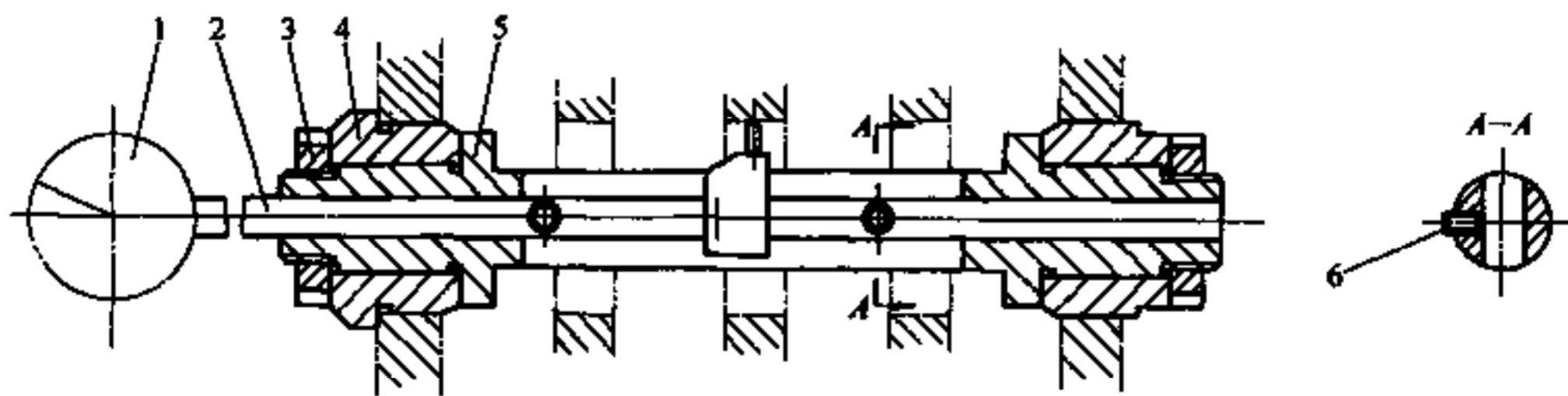


图 7-32 机体各中间轴承孔对两端轴承孔同轴度检具

1—内径千分表 2—表杆 3—螺母 4—定位套 5—心轴 6—螺钉

用两螺母 3 将两端定位套 4 和心轴 5 连成一体，定位套 4 按工件孔的直径公差分成若干组制造多件，使检验时与工件孔的间隙为最小。内径千分表 1（拆去可换测头和定位护桥）的表杆 2 装在心轴 5 的孔中，内径千分表的的活动测头部分可在心轴 2 中间部分的槽中轴向移动，以测量 3 个中间轴承孔。在心轴 5 上有 3 个螺钉 6，测量各孔时用螺钉 6 固定内径千分表的轴向位置。测量时内径千分表测头与工件孔的表面接触，转动心轴 5，千分表 1 最大与最小示值差就是被测孔对两端孔公共轴线同轴度误差的直径值。

可采用工件回转打表法测量轴套类等工件内孔的同轴度，图 7-33 是轴套止口内孔 A 的轴线对两轴承孔 B 和 C 公共轴线同轴度检具。

工件以内孔 B 和 C 分别在心轴 5 上各两个支承 3 上定位，两支承 3 构成内置 V 形。检具底座的底面与其顶面成 10° 夹角，工件靠自重使其大端面靠在死挡 2 上。心轴 5 伸入工件的部分在其下面铣出扁平面 E，以使工件直径为 d 的孔能通过。测量座 4 固定在支座 1 上。

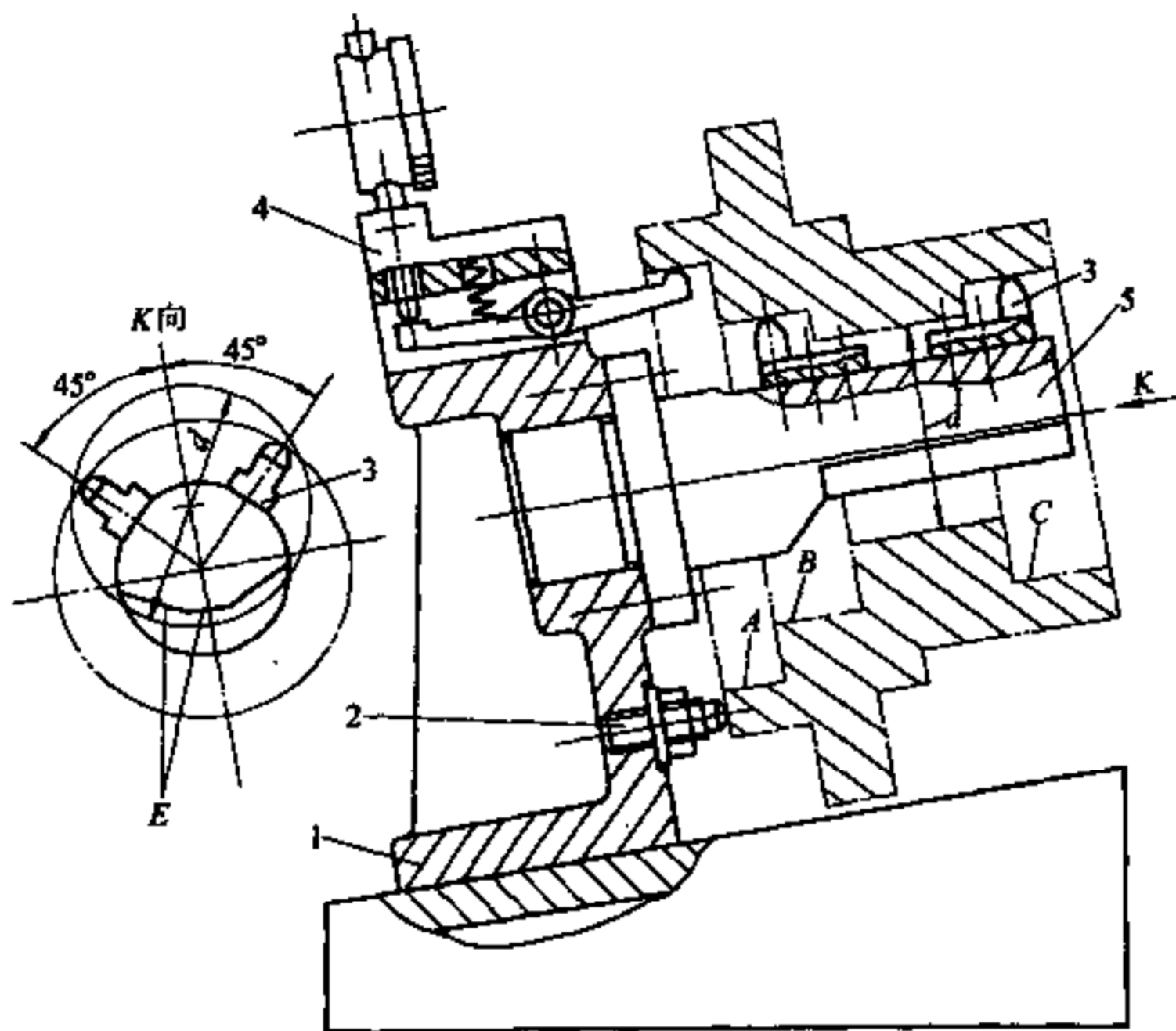


图 7-33 轴套内孔对两孔公共轴线同轴度检具

1—支座 2—死挡 3—支承 4—测量座 5—心轴

当工件在心轴 5 上转动时，百分表最大与最小示值差就是工件止口孔 A 对两轴承孔 B 和 C 公共轴线同轴度误差的直径值。该检具的特点是，两定位孔直径公差对测量精度没有影响。

可采用图 7-34 所示的检具检验工件内环槽孔对外圆和内孔轴线的同轴度。

内环槽孔对外圆轴线同轴度检具（图 7-34a）的测量部分由杠杆 3、本体 4、测量触头 2、平面触头 6 和千分表 5 等组成，使用时将工件放在 V 形座 1 上。本体 4 固定在支座 7 上，支座 7 和 V 形座 1 固定在底座 8 上。工件在 V 形上转动和移动，百分表最大与最小示值差就是工件内环槽孔对外圆轴线同轴度误差的直径值。

内环槽孔对内孔轴线同轴度检具（图 7-34b）由本体 9、其上的测量杠杆 11、3 个定位滚轮等组成，2 个滚轮固定在本体 9 上，1 个滚轮装在杠杆 10 上，杠杆 10 可在固定于本体 9 的轴上摆动。在弹簧力作用下，使活动滚轮和两固定滚轮紧靠在工件基准内孔的表面上，旋转本体 9 即可进行测量。

2. 对称度检具 对称度可以是 2 个面对两基准面、一轴线对两基准面、2 个面对基准轴线以及 1 个或 2 个轴线对基准轴线等的对称度。采用通用量具可用多种方法检验对称度，当采用检具时多采用两次比较的测量方法。例如图 7-35 是活塞销孔轴线对其外圆轴线对称度检具的示意图。

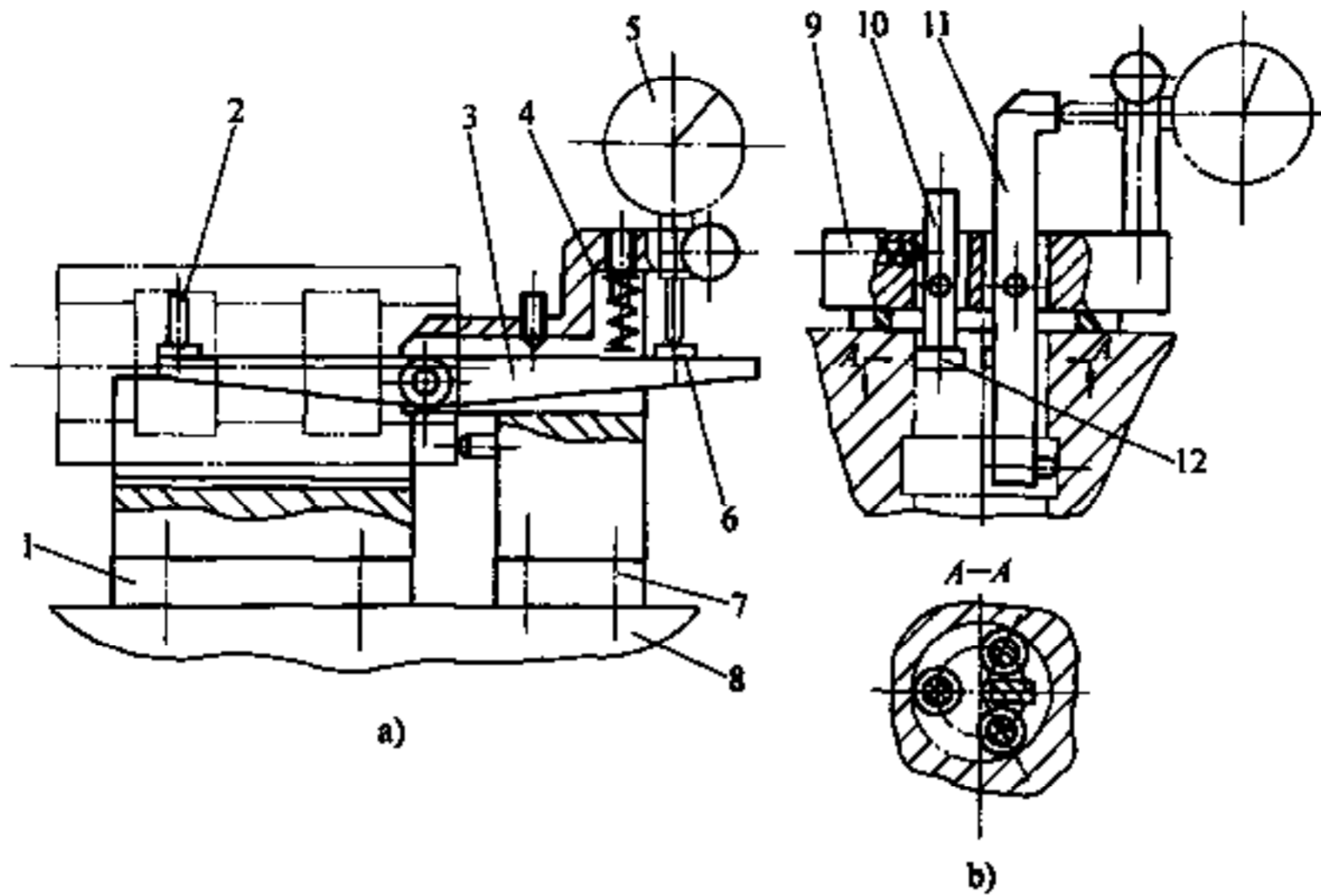


图 7-34 内环槽孔对外圆和内孔轴线同轴度检具

1—V形座 2—测量触头 3、10—杠杆 4、9—本体 5—千分表 6—平面触头
7—支座 8—底座 11—测量杠杆 12—滚轮

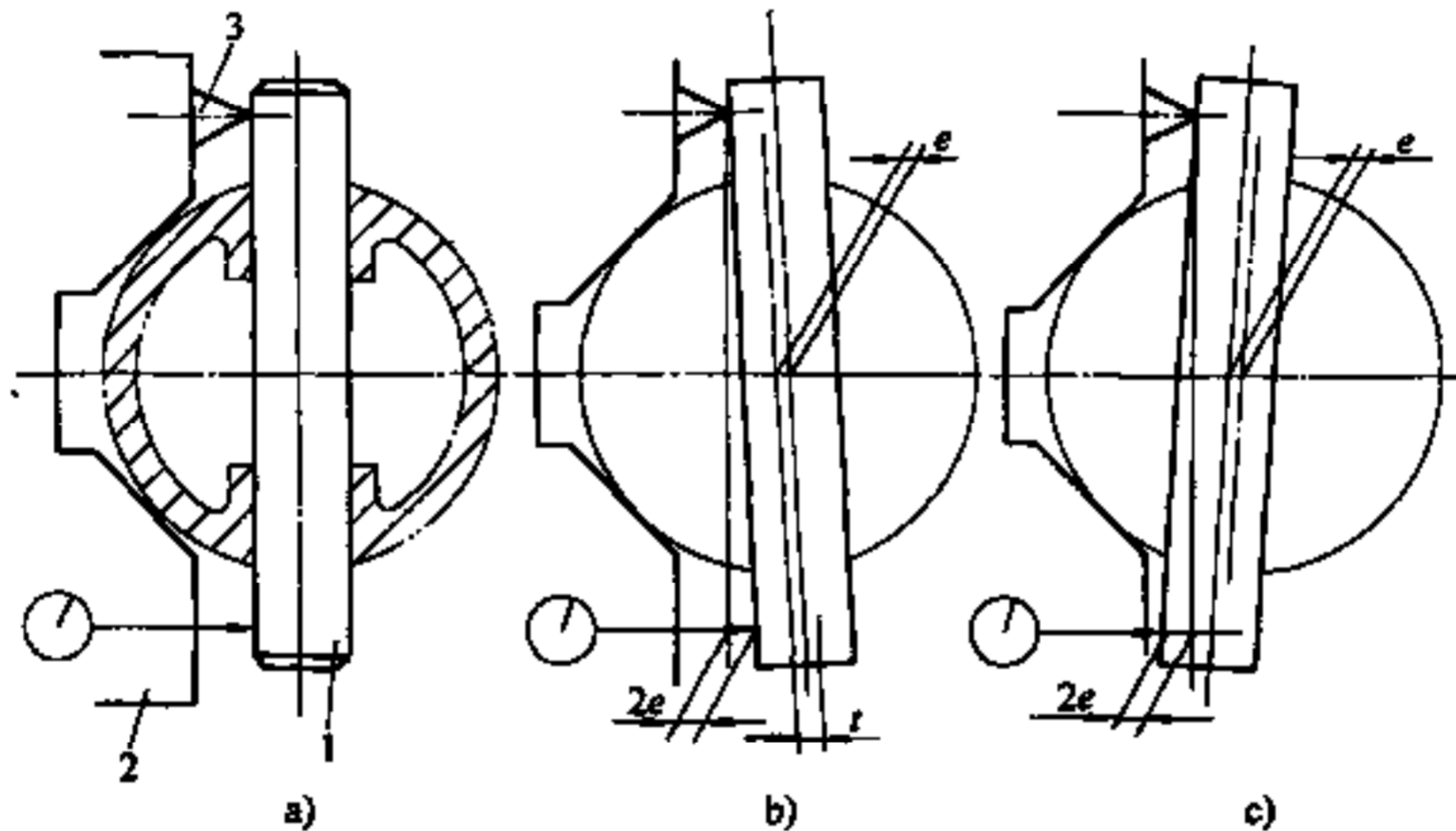


图 7-35 活塞销孔对外圆轴线对称度检具

1—量柱 2—V形块 3—挡销

活塞以下端止口内孔在定位圆盘上定位（图中未示），在销孔中插入适当直径的分组测量柱 1，在检具平板上移动圆盘使活塞外圆靠上定位 V 形块 2，并转动活塞使测量柱 1 靠上挡销 3，记下百分表示值（图 7-35b）；然后使活塞在水平面转 180° ，再靠上 V 形块和挡销，记下百分表另一示值（图 7-35c）。百分表两次示值差就是销孔对外圆轴线对称度误差 t 值的两倍 ($4e$)，而 t 又等于 $2e$ （见图 7-35b）。 t 值应小于产品图规定的对称度公差带（相对基准平面对称配置的两平行平面的距离）， e 为销孔轴线对外圆轴线的实际偏移值。

在对称度检验中，槽对轴颈或内孔轴线对称度是常见的项目。对于长方体工件（图 7-36a），被测量槽两平面的中心平面 B ，对两基准平面中心平面 A 的对称度，可通过测量槽在不同深度上（一般可取上下两处）的尺寸 H_1 和 H_2 ，取最大差值 $(H_1 - H_2) = \Delta$ 作为对称度误差值（图中 $\Delta > \Delta'$ ）， Δ 应不大于对称度公差带。

对于测量键槽对轴颈或内孔轴线的对称度（见图 7-36b）不能简单地以测量值 $\Delta = H_1 -$

H_2 来确定对称度误差，因为轴是圆的，一般方向不固定。这时不应以中心平面 C 作为基准，而应以中心平面 A 作为基准，但可根据 Δ 求出键槽中心平面 B 对轴颈中心平面 A 在轴颈直径 D 上的对称度误差 $a/2$ (a 应当小于或等于图样规定的对称度公差 T)。

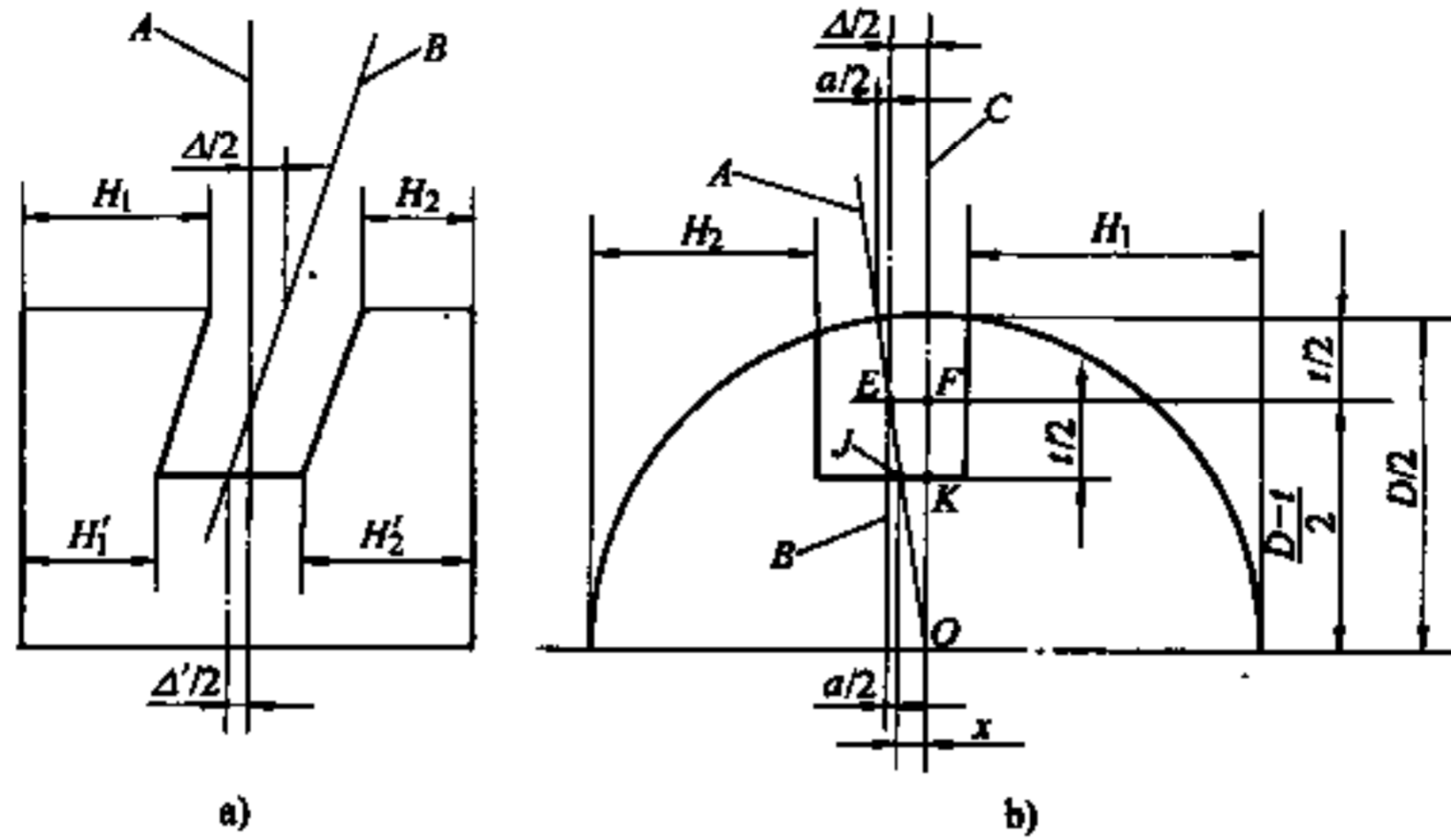


图 7-36 矩形和圆形工件槽对称度的测量

由几何关系可知，对 $\triangle OEF$ 和 $\triangle OJK$ 有下列等式

$$\frac{x}{\frac{D}{2} - t} = \frac{\Delta/2}{\frac{D}{2} - \frac{t}{2}}, \quad x = \frac{\frac{\Delta}{2} \left(\frac{D}{2} - t \right)}{\frac{D-t}{2}}$$

$$\frac{a}{2} = \frac{\Delta}{2} - x = \frac{\Delta t}{2(D-t)}$$

$$a = \frac{\Delta t}{D-t}$$

a 不大于对称度公差 T ，工件为合格。

在实际检验中，通常所采用的方法大多是测量 Δ 值，应注意区别图 7-36 所示的两种情况，不应把 Δ 值理解为键槽对轴颈的对称度误差。

在检验键槽对称度时，还应考虑键槽中心平面对通过轴颈轴线辅助平面的偏斜，即在键槽全长上键槽对称度误差大小不一定相同，所以应在键槽全长上多个截面上进行测量，一般可在两端头测量，按最大的 Δ 值计算对称度误差 a 。

可采用通用量具测量键槽的对称度：在轴上的键槽中插入适当尺寸的定位块，其与键槽的配合间隙应尽量小，使工件轴颈置于 V 形块上，在相隔 180° 两个位置，测量定位块到平板的距离，根据两次测量的距离差 Δ 即可计算出在所测量截面上的键槽对称度误差。但这种方法比较麻烦效率低，特别是对于形状复杂的轴类工件和大型工件不适用。

由于键槽的尺寸较小，特别对于小直径的轴或孔，所以采用检具在设计上也有一定困难，主要是定位面小，机构难于布置。下面介绍几种键槽对称度检具。

图 7-37a 所示的检具由本体 3、半 V 形块 2、定位键 1 和百分表等组成，在本体 1 内有直线传递装置。

测量时先推动柄部使定位键靠在键槽的左侧面上，(如图示) 以测量轴的右侧素线，记下百分表示值；然后使检具按图示位置转 180° ，使定位键靠在键槽的右侧面上，以测量轴的左侧素线，百分表两次示值差就是在所测量截面上的 Δ 值。

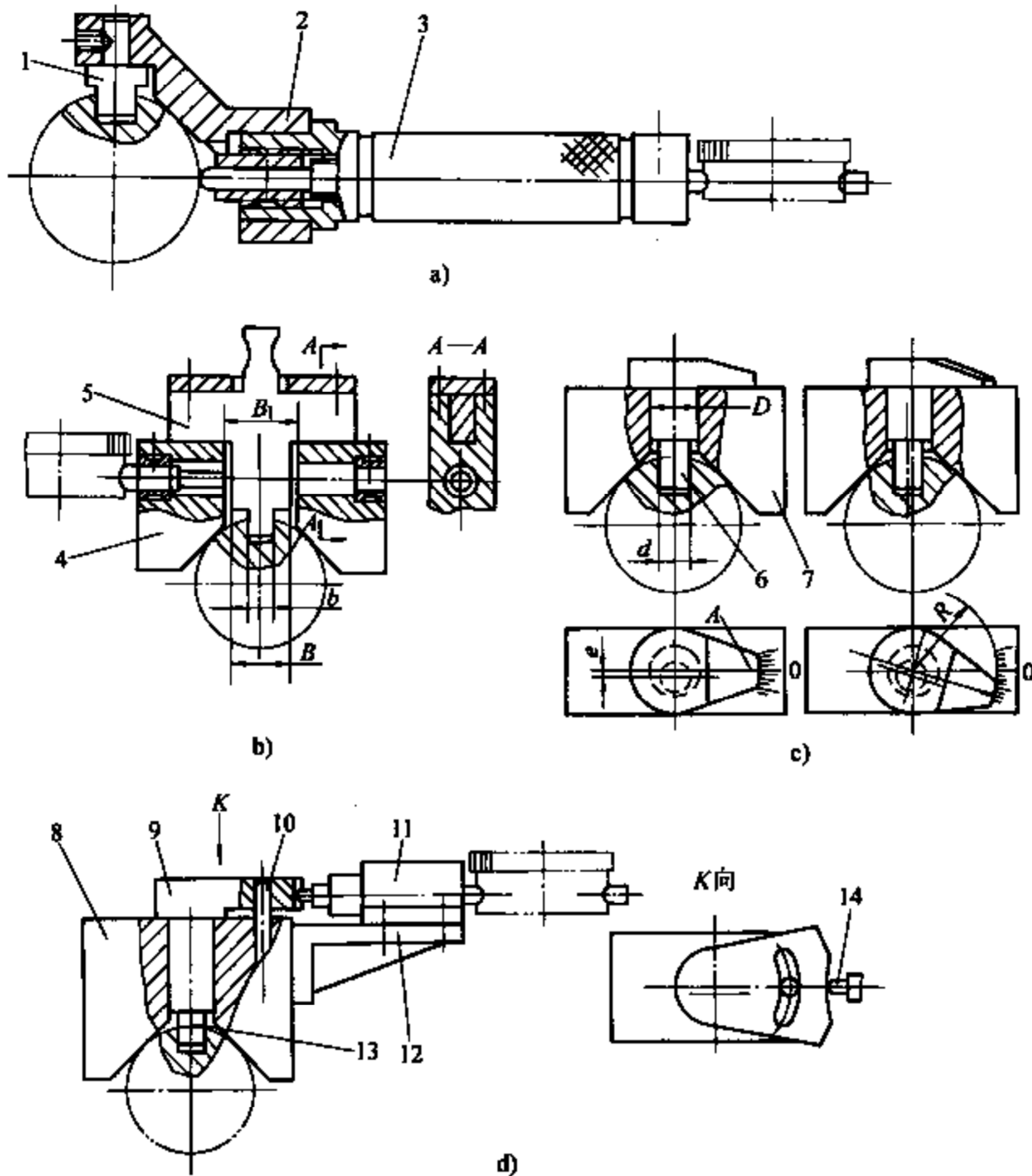


图 7-37 键槽对轴颈轴线对称度检具

1—定位块 2—半V形块 3、4、7、8—本体 5—测量块 6—轴
9—测量板 10—限位销 11—传递机构 12—支架 13—测量轴 14—测杆

图 7-37b 所示的检具可有 3 种测量方法，图示为第 1 种方法。本体 4 的 V 形块放在工件上，并使测量块 5 的键对准键槽，测量块 5 可在本体 4 的槽中移动。测量时先用测量块上的手柄使其上的键靠在键槽的左侧面上（如图示）；然后使检具转 180° ，使测量块上的键靠在键槽的右侧面上，百分表两次示值差就是在所测量截面上测得的 Δ 值（见图 7-36b）。

第 2 种测量方法是在两边都装上百分表，按照上述方法第一次测量时记下两百分表的示值；检具转 180° 后又记下两百分表的示值。这样对每个百分表都得到一个示值差，然后以两个示值差的平均值作为在所测量截面上的 Δ 值，这样可提高测量精度。

采用第 1 种和第 2 种测量方法时，本体 4 的尺寸 B_1 对 V 形中心平面，以及测量块的键宽 b 对尺寸 B 的对称度不需要提出严格的要求。

第 3 种测量方法也是采用两个百分表，但其优点是检具不用转 180° 。为此，要求本体 1 的宽度 B_1 对 V 形块中心平面以及测量块 2 的键宽 b 对尺寸 B 的对称度有严格的要求（ $3\sim 5\mu\text{m}$ ），制造比较困难，其测量方法如下。

测量前，在检具不放在工件上的情况下，使测量块 5 宽度 B 的左侧面靠在本体 1 宽度 B_1 的左侧面上，使左边的百分表调零；然后使宽度 B 的右侧面靠在宽度 B_1 的右侧面上，也使另一百分表调零，这就是说两百分表零位相对 V 形块中心平面处于对称的位置。测量时，按上述方法使测量块 5 键宽 b 的两侧面先后分别靠在工件键槽的两侧面上，根据两百分表的示值差即可确定在所测量截面上的 Δ 值。

图 7-37c 是利用轴 6 的定位轴颈（直径 D ）与测量轴颈（直径 d ）很小的偏心距 e （例如可取 $e = (0.30 \pm 0.01)$ mm）来测量键槽对称度的检具简图。本体 7 孔的轴线对两 V 形面中心平面的对称度应很小，并且本体 7 的孔与轴 6 定位轴颈之间，以及轴 6 的测量轴颈与键槽之间的间隙应尽量小，所以应按工件键槽公差分组制造几个不同直径 d 的轴 6。在轴 6 的上面有图示形状的轴肩，在轴肩上平面上有垂直于偏心距方向的刻线 A。在本体 7 的上平面上有垂直于两 V 形面中心平面的零刻线，以及相当于键槽对称度误差在一定范围内（略超过对称度公差）的若干条刻线（分别表示不同的 $\Delta/2$ 值，见图 7-36）。当 $R = 30$ mm 和 $e = 0.30$ mm 时，两刻线之间的距离 1 mm 表示 $\frac{\Delta}{2} = 0.01$ mm，由于键槽对称度误差值不大，所以这些刻线可以是等距的。

测量时将本体 7 放在工件上，将适当直径 d 的轴 6 放入本体 7 的孔中，适当转动轴 6 直到插入键槽内，这时刻线 A 指示的位置就是在被测量截面上测得的 $\frac{\Delta}{2}$ 值。

图 7-37d 所示的检具与图 7-37c 所示的检具在原理上相同，只是结构不同，测量时根据百分表示值的变化来确定测量结果。该检具由本体 8、测量板 9、限位销 10、支架 12 和固定在其上的百分表直线传递机构 11、以及几个按键槽公差分组制造的测量轴 13 组成。测杆 14 的触头与测量板的凹曲线面接触，应按一定放大关系确定曲线上各点的尺寸，根据可能出现的不同 $\frac{\Delta}{2}$ 值确定曲线上各点的位置，整个曲线的范围略大于可能出现的 Δ 范围。

图 7-38 是适用于大直径（ $\phi 150$ mm 和以上）内孔键槽对内孔轴线对称度检具的结构示意图。

检具包括本体 6，其上有滚柱 9 和滑架 4，用丝杠 5 使滑架 4 在本体 6 的 V 形导轨上移动。套筒 2 可在压入滑架 4 的衬套孔中轴向移动，并可用弹簧滚珠（图中未示）固定在一定位置上。在套筒 2 中有可绕铰链 7 摆动并与百分表 1 接触的杠杆 3，弹簧 11 可避免丝杠 5 的空行程。在滑架 4 上有直线刻度，而在本体 6 上有反映测量距离（键槽侧面到其中心平面的距离）的指示刻度，用百分表 10 可读出 0.01 mm 的读数。

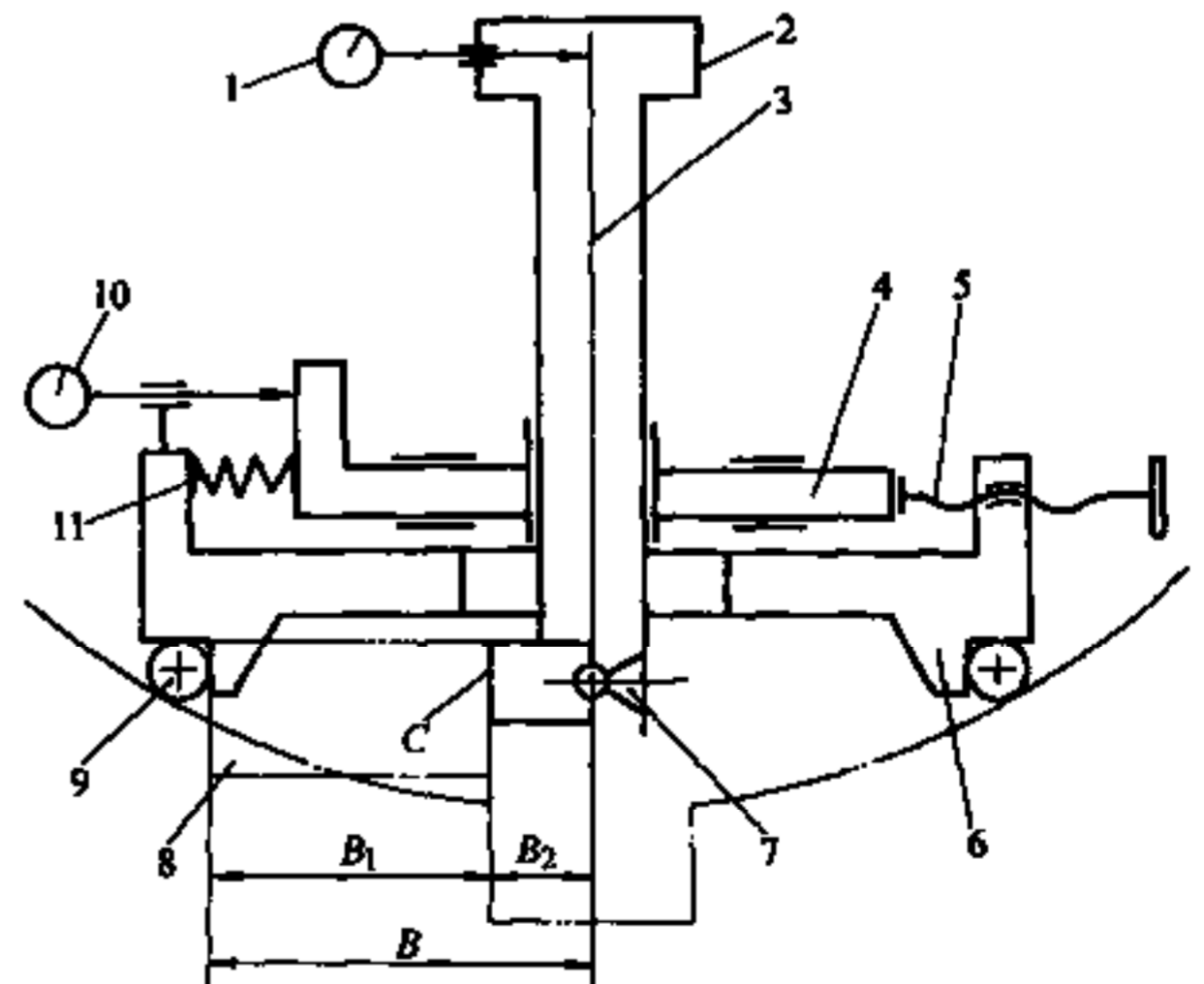


图 7-38 大直径内孔键槽对内孔轴线对称度检具
1、10—百分表 2—套筒 3—杠杆 4—滑架 5—丝杠
6—本体 7—铰链 8—校准块 9—滚柱 11—弹簧

测量前用校准块 8 确定工件键槽宽度一半的距离 $B_2 = B - B_1$ ，这里 B 是两滚柱 9 内侧素线之间距离的一半； B_1 是校准块的尺寸，由滑架上的刻度和百分表 10 确定 B_2 值。用百

分表 1 测量杠杆 3 的表面 C (与工件键槽侧面接触) 对两 V 形导轨 (安装滚柱 9) 中心平面的平行度, 套筒 2 轴向移动时百分表 10 的示值应不变。

测量时先使滑板移动到使杠杆 3 测量面 C 到两滚柱 9 中心平面的距离小于工件键槽宽度的一半, 以便将检具放入工件的孔中, 这时将杠杆放到键槽中, 并将其按槽的深度固定在一定位置。通过转动丝杠, 使本体 6 绕工件中心顺时针摆动, 直到杠杆 3 的测量面 C 与工件键槽的左侧面接触, 记下百分表 10 的示值; 检具转 180°, 使杠杆 3 的测量面 C 与键槽的右侧面接触, 记下百分表 10 的另一示值。百分表两次示值差就是在所测量截面上测得的 Δ 值。

检具可沿键槽方向移动, 测量另一截面上的 Δ 值。

上述原理也可用于测量大型轴类工件键槽的对称度。

7.1.7 检验孔组轴线位置度检具

本节介绍在生产中常见的孔组轴线位置度检具, 一般孔组的孔数大于等于 3。

在机械制造中, 虽然很多孔组的位置度可由工艺设备保证, 但在成批大量生产条件下, 为确保质量和装配生产的顺利进行, 孔位置度检具有时是必要的, 采用检具可及时发现由于夹具导套、刀具的磨损或机床调整不当等原因而使孔位置度超差的情况, 对质量起到监督作用。

对于精度要求高的孔组, 例如机床主轴箱孔组, 要求按独立原则规定位置度, 应采用精确的测量方法, 在检验平板上用通用量具或在三坐标测量机上测量等。

但对于一般精度的孔组, 根据其在产品中的功能情况, 特别是对于最常见的连接两零件用的螺栓孔组, 这时主要是保证装配的互换性, 被测位置度公差和基准要素公差大多按遵守最大实体原则来标注, 本节主要介绍符合这种情况孔组轴线位置度检具的设计。

表 7-1、7-2 和 7-3 是设计孔组轴线位置度检具时需要用的表格。

表 7-1 位置量规公差 (μm)

综合公差 T_i	测量部位		定位部位		导向部位			工作部位位置公差	
	尺寸公差 T_M	允许最小 磨损量 W_M	尺寸公差 T_P	允许最小 磨损量 W_P	尺寸公差 T_G	允许最小 磨损量 W_G	最小间隙 c_{min}	t_P	t_P'
25~40	2.5							4	
>40~63	3							5	
>63~100	4				2.5		3	6	2
>100~160	5				3		3	8	2.5
>160~250	6				4		4	10	3
>250~400	8				5		4	12	4
>400~630	10				6		5	16	5
>630~1000	12				8		5	20	6
>1000~1600	16				10		6	25	8
>1600~2500	20				12		6	32	10

注: 1. 综合公差为被测要素本身位置公差与其尺寸公差之和。

2. t_P' 为量规台阶式测量件 (或定位件) 的测量部位 (或定位部位) 对导向部位的位置公差 (同轴度、对称度)。

3. 工作部位包括定位、测量和导向部位。

4. 根据 GB8069—87 (推荐标准)。

表 7-2 量规测量和定位部位的基本偏差

(μm)

序号	基准类型	量规测量部位的基本偏差类型	综合公差 T_i	25~40	>40-63	>63~100	>100-160	>160-250	>250-400	>400-630	>630-1000	>1000-1600	>1600-2500
				$F_M (F_P)$									
1	无基准	□	固定式	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50
2			活动式	—	—	16	20	25	32	40	50	63	80
3	○	□	固定式	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63
4			活动式	—	—	18	22	28	36	45	56	71	90
5	□ □ □ □	○ ○ ○ ○	固定式	9	11	14	18	22	28	36	45	56	71
6			活动式	—	—	20	25	32	40	50	63	80	100
7	□ □	○ ○	固定式	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80
8			活动式	—	—	20	25	32	40	50	63	80	100
9	○ ○ □	○ ○ □	固定式	11	14	18	22	28	36	45	56	71	90
10			活动式	—	—	22	28	36	45	56	71	90	110
量规定位部的 基本偏差 F_P			固定式	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40
			活动式	—	—	14	18	22	28	36	45	56	71

- 注：1. 零件基准要素几何特征（基准类型）符号：
 □—平面要素；○—中心要素；○○—成组中心要素。
 2. “基准类型”中各组符号只表示基准体系中几何要素的组成，与基准顺序无关。
 3. 根据 GB8069—87（推荐标准）。

表 7-3 位置度量规工作部位尺寸的计算

类别	工作部位为外表面	工作部位为内表面
定位部位	$d_{BP} = D_{MMC}$ (或 $d_{BP} = D_{VC}$) $d_{LP} = d_{BP} - {}^0_{T_P}$ $d_{WP} = d_{BP} - (T_P + W_P)$	$D_{BP} = d_{MMC}$ (或 $D_{BP} = d_{VC}$) $D_{LP} = D_{BP} + {}^0_{T_P}$ $D_{WP} = D_{BP} + (T_P + W_P)$
	$d_{BP} = D_{MMC}$ (或 $d_{BP} = D_{VC}$) $d_{LP} = (d_{BP} + F_P) - {}^0_{T_P}$ $d_{WP} = (d_{BP} + F_P) - (T_P + W_P)$	$D_{BP} = d_{MMC}$ (或 $D_{BP} = d_{VC}$) $D_{LP} = (D_{BP} - F_P) + {}^0_{T_P}$ $D_{WP} = (D_{BP} - F_P) + (T_P + W_P)$
测量部位	$d_{BM} = D_{MMC} - t$ (或 $d_{BM} = D_{MMC}$) $d_{LM} = (d_{BM} + F_M) - {}^0_{T_M}$ $d_{WM} = (d_{BM} + F_M) - (T_M + W_M)$	$D_{BM} = d_{MMC} + t$ (或 $D_{BM} = d_{MMC}$) $D_{LM} = (D_{BM} - F_M) + {}^0_{T_M}$ $D_{WM} = (D_{BM} - F_M) + (T_M + W_M)$

类别		工作部位为外表面	工作部位为内表面
导向部位	台阶式	$d_{BG} = D_{BG}$ $d_{LG} = (d_{BG} - c_{\min}) - \frac{0}{T_G}$ $d_{WG} = (d_{BG} - c_{\min}) - (T_G + W_G)$	D_{BG} 由设计者确定 $D_{LG} = D_{BG} + \frac{T_G}{0}$ $D_{WG} = D_{BG} + (T_G + W_G)$
	无台阶式	$d_{BG} = D_{LM\min}$ (或 $d_{BG} = D_{LP\min}$) $d_{LG} = (d_{BG} - c_{\min}) - \frac{0}{T_G}$ $d_{WG} = (d_{BG} - c_{\min}) - (T_G + W_G)$	$D_{BG} = d_{LM\max}$ (或 $D_{BG} = d_{LP\max}$) $D_{LG} = D_{BG} + \frac{T_G}{0}$ $D_{WG} = (D_{BG} + c_{\min}) + (T_G + W_G)$

注：1. 若有相同代号时，表中代号可加数字注脚予以区别，如 d_{1BP} 、 d_{2BP} 等。

2. 分别检验——用不同位置量规分别检验被测要素的位置公差及其基准要素本身的形位公差。

3. 同时检验——在同一基准体系的条件下，用同一位置量规检验被测要素的位置公差及其基准要素本身的形位公差。

上表中各代号的含义如下：

D_{MMC} 、 d_{MMC} ——零件内、外表面的最大实体尺寸；

D_{VC} 、 d_{VC} ——零件内、外表面的实效尺寸；

t ——零件被测要素或基准要素的形位公差；

D_{BM} 、 D_{LM} 、 D_{WM} 、 d_{BM} 、 d_{LM} 、 d_{WM} ——测量部位的基本尺寸、极限尺寸和磨损极限尺寸；

D_{BG} 、 D_{LG} 、 D_{WG} 、 d_{BG} 、 d_{LG} 、 d_{WG} ——导向部位的基本尺寸、极限尺寸和磨损极限尺寸；

D_{BP} 、 D_{LP} 、 D_{WP} 、 d_{BP} 、 d_{LP} 、 d_{WP} ——定位部位的基本尺寸、极限尺寸和磨损极限尺寸；

F_M 、 F_P ——测量部位和定位部位的基本偏差；

W_M 、 W_P 、 W_G ——测量部位、定位部位和导向部位的允许最小磨损量；

T_M 、 T_P 、 T_G ——测量部位、定位部位和导向部位的尺寸公差；

c_{\min} ——导向部位的最小间隙。

下面通过实例说明孔组位置度检具的设计。

1. 有基准时孔组轴线位置度检具 对于图 7-39a 所示的工件，若工件孔数较少，检具可设计成具有基准部位和与工件孔数相同、位置度精度高的固定测销 1 的型式（图 7-39b），若工件各孔能通过，则各孔位置度合格。当工件孔数较多时，也可设计成有基准部位、4 个位置度精度高的测量导套 5 和 1 个活动测销 3 的型式（图 7-39c），这时应使工件紧靠定位基准（必要时可有夹紧机构），如活动测销能分别通过工件各孔，各孔位置度合格。以图 7-39a 所示的工件为例，说明设计方法。

对于图 7-39b 所示的结构，设计计算如下。

根据综合公差 $T_i = t + T = 0.10 + 0.058 = 0.158\text{mm}$ ，由表 7-1 得： $T_M = W_M = 0.005\text{mm}$ ， $t_P = 0.008\text{mm}$ 和 $t'_P = 0.0025\text{mm}$ 。

根据 $T_i = 0.158\text{mm}$ 和工件以三个平面定位，按固定式查表 7-2 序号 5 确定 $F_M = 0.018\text{mm}$ 。

测销测量部位直径的确定： $d_{BM} = D_{MMC} - t = 8.04 - 0.1 = 7.94\text{mm}$ ，测销直径 $d_{LM} = (d_{BM} + F_M) - \frac{0}{T_M} = (7.94 + 0.018) - \frac{0}{0.005} = 7.958 - \frac{0}{0.005}$ ；磨损极限 $d_{WM} = (d_{BM} + F_M) - (T_M + W_M) = (7.94 + 0.018) - (0.005 + 0.005) = 7.948\text{mm}$ 。

固定测销 1 与本体 2 上的孔配合为 H7/n6，直径 D_1 由设计者确定。

为操作方便和易于确定哪个孔位置度不合格，在条件允许时（例如工件各孔是通孔或工件孔较长又允许测销不通过孔全长）应使各测销的工作长度不完全相同。

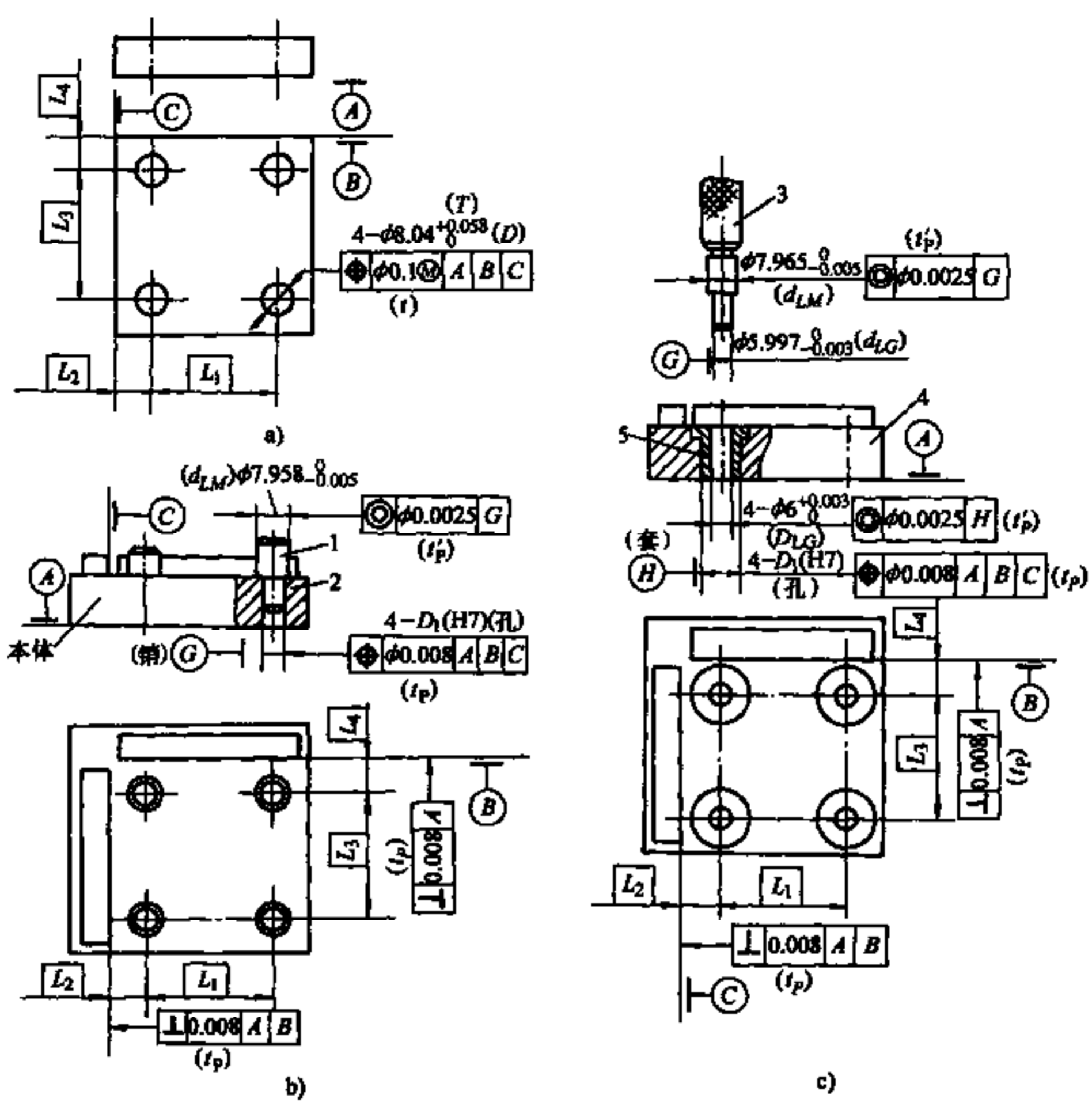


图 7-39 有基准时孔组位置度检具的设计

1—固定测销 2、4—本体 3—活动测销 5—测量导套

对于图 7-39c 所示的结构，设计计算如下。

根据综合公差 $T_i = t + T = (0.10 + 0.058) \text{ mm} = 0.158 \text{ mm}$ ，查表 7-1 得： $T_M = W_M = 0.005 \text{ mm}$ ， $t_p = 0.008 \text{ mm}$ 和 $t'_p = 0.0025 \text{ mm}$ ； $T_G = W_G = 0.003 \text{ mm}$ 和 $c_{\min} = 0.003 \text{ mm}$ 。

根据 $T_i = 0.158 \text{ mm}$ 和工件以三个平面定位，按活动式查表 7-2 序号 6 确定 $F_M = 0.025 \text{ mm}$ 。

活动测销 3 测量部位直径的确定： $d_{BM} = D_{MMC} - t = (8.04 - 0.1) \text{ mm} = 7.94 \text{ mm}$ ， $d_{LM} = (d_{BM} + F_M) - T_M = (7.94 + 0.025) - 0.005 = 7.965 - 0.005 \text{ mm}$ ；磨损极限 $d_{WM} = (d_{BM} + F_M) - (T_M + W_M) = [(7.94 + 0.025) - (0.005 + 0.005)] \text{ mm} = 7.955 \text{ mm}$ 。

一般直径 d_{LM} 不是标准尺寸，为便于制造使导套 5 的孔径为标准直径，将活动测销 3 的测量部位做成阶台式。取 $D_{BG} = 6 \text{ mm}$ ，导套内径 $d_{LG} = D_{BG} + T_G = 6 + 0.003 \text{ mm}$ ；磨损极限 $D_{WG} = (D_{BG} + T_G + W_G) = (6 + 0.003 + 0.003) \text{ mm} = 6.006 \text{ mm}$ 。

活动测销导向部位的直径 $d_{LG} = (d_{BG} - c_{\min}) - T_G$ ， $d_{BG} = D_{BG}$ ，所以 $d_{LG} = (6 - 0.003) - 0.003 = 5.997 - 0.003$ ；磨损极限 $d_{WG} = (d_{BG} - c_{\min}) - (T_G + W_G) = [(6 - 0.003) - (0.003 + 0.003)] \text{ mm} = 5.991 \text{ mm}$ 。

在孔组位置度检具中的导套一般采用带台肩的导套,以防止在使用中受活动测销的冲撞可能产生的松动。导套 5 的外径与本体 4 上的孔配合为 H7/n6, 直径 D_1 由设计者确定。

图 7-40 所示的工件沿圆周有 8 个孔, 下面讨论沿圆周分布各孔位置度的检验。

(1) 在基准和被测要素符合最大实体的原则条件下, 如工件 8 个 $D_0^{+T} = \phi 32^{+0.16} \text{mm}$ 孔对中间孔 C 和底面 H 的位置度 $t = 0.25 \text{mm}$, 这时可采用 8 个固定测销和导套检验各孔的位置度。若能同时通过, 则各孔位置度合格。检具图省略, $D_1 = \phi 215 \text{ (H8)}$ 。

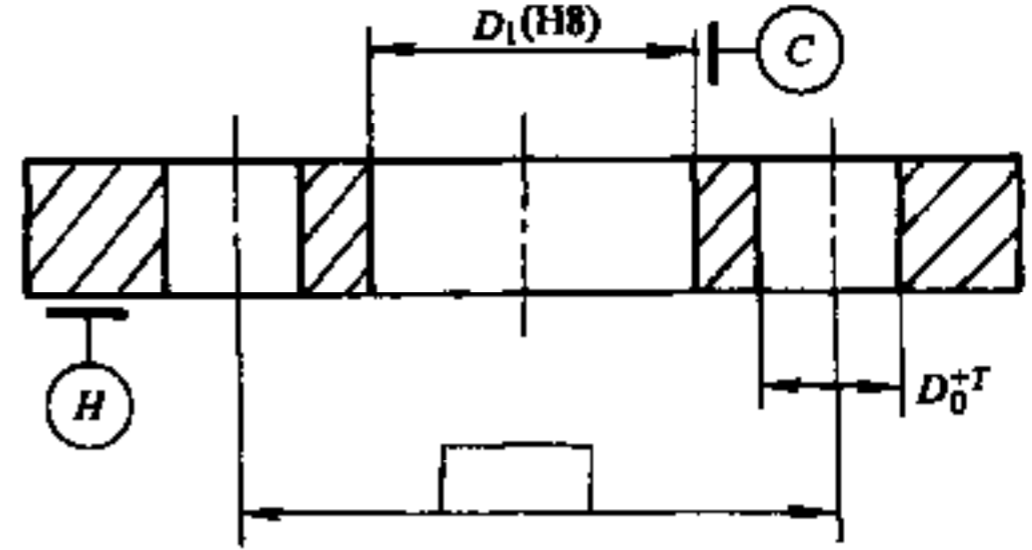


图 7-40 沿圆周分布有 8 孔的工件简图

根据综合公差 $T_i = t + T = (0.25 + 0.16) \text{mm} = 0.41 \text{mm}$, 查表 7-1 得: $T_M = W_M = T_P = W_P = 0.010 \text{mm}$; $t_p = 0.0016 \text{mm}$, $t'_p = 0.005 \text{mm}$ 。

根据量规种类为固定式, 用一中心要素和一平面要素定位, 查表 7-2 序号 3 得, $F_M - F_P = 0.032 \text{mm}$ 。

中间孔定位止口直径 $d_{1LP} = (d_{1BP} + F_P) - \frac{0}{T_P}$, 而按同时检验 $d_{1BP} = D_{1MMC}$, 所以 $d_{1LP} = (D_{1MMC} + F_P) - \frac{0}{T_P} = (215 + 0.032) - \frac{0}{0.010} = 215.032 - \frac{0}{0.010}$; 磨损极限为 $d_{1WP} = [(d_{1BP} + F_P) - (T_P + W_P)] = [(215 + 0.032) - (0.010 + 0.010)] \text{mm} = 215.012 \text{mm}$ 。

固定测销直径 $d_{LM} = (d_{BM} + F_M) - \frac{0}{T_M}$, 而 $d_{BM} = D_{MMC} - t$, 所以 $d_{LM} = (D_{MMC} - t + F_M) - \frac{0}{T_M} = (32 - 0.25 + 0.032) - \frac{0}{0.010} = 31.782 - \frac{0}{0.010}$; 磨损极限为 $d_{WM} = (d_{BM} + F_M) - (T_M + W_M) = [(32 - 0.25 + 0.032) - (0.01 + 0.01)] \text{mm} = 31.762 \text{mm}$ 。

检具底板安装测销各孔对定位基准位置度允差 $t_p = 0.016 \text{mm}$, 固定测销两阶台外圆的同轴度允差 $t'_p = 0.005 \text{mm}$ 。

这时若采用 8 个活动测销方法, 其设计可参考图 7-39, 这时按活动式量规查表 7-2 序号 4 得 $F_M = F_P = 0.045 \text{mm}$; 由表 7-1 得 $C_{\min} = 0.005 \text{mm}$, $T_G = W_G = 0.006 \text{mm}$ 。

对于这种情况, 设计具有灵活性, 例如可在圆周上增加一个固定测销, 再用 7 个活动测销同时插入。

(2) 如果工件沿圆周有 1 孔也是定位孔, 该孔对中间孔 C 比其余 7 个孔有较高的尺寸和位置精度, 则以两个中心要素和一个平面要素定位, 再用一个活动测销分别检验其余 7 孔。这时查表 7-2 序号 6 得 $F_M - F_P = 0.050 \text{mm}$, 并按分别检验确定检具定位部位的尺寸, 详细计算不再赘述。

2. 无基准时孔组轴线位置度检具 当工件孔数较少, 无基准孔组轴线位置度检具设计实例如图 7-41 所示。

根据综合公差 $T_i = t + T = 0.1 + 0.058 = 0.158 \text{mm}$, 查表 7-1 得: $T_M = W_M = 0.005 \text{mm}$, $t_p = 0.008 \text{mm}$, $t'_p = 0.0025 \text{mm}$ 。根据 $T_i = 0.158 \text{mm}$, 按无基准和固定式查表 7-2 确定 $F_M = 0.012 \text{mm}$ 。

测销测量直径 $d_{LM} = (d_{BM} + F_M) - \frac{0}{T_M}$, 而 $d_{BM} = D_{MMC} - t = (8.04 - 0.1) \text{mm} = 7.94 \text{mm}$, 所以 $d_{LM} = (7.94 + 0.012) - \frac{0}{0.005} = 7.952 - \frac{0}{0.005}$; 磨损极限 $d_{WM} = (d_{BM} + F_M) - (T_M + W_M) = [(7.94 + 0.012) - (0.005 + 0.005)] \text{mm} = 7.942 \text{mm}$ 。直径 D_1 由设计者确定。

当工件孔数多时，检验无基准孔组位置度（按符合最大实体条件），从原理上来说，只能采用上述方法，即在检具上有与工件孔数相同数量的测销，当各测销能同时插入工件各孔时才能保证工件各最大实体孔的位置度合格。这时测销测量部位的基本直径为 $(D_{MMC} - t)$ 。

但在生产检验中，有时采用如下方法。在检具本体上有两个固定测销和多个导套，当工件以两孔在两固定测销上定位后，用一个活动测销通过各导套来检验除两定位孔之外的各孔位置度 t ，这时如能顺利通过各孔，则各最大实体孔（直径 D_{MMC} ）的位置度是合格的。显然，如果固定测销和活动测销测量部位的基本直径仍为 $(D_{MMC} - t)$ ，则在检验中由于无基准，工件可在 $(D_{MMC} - t)$ 范围内移动（对最大实体孔而言），以致某些最大实体孔的位置度达到 $2t$ ，而活动测销仍能插入。为解决这个问题，在设计中曾采用一些弥补措施。

(1) 一种措施是将一个固定测销的测量部位做成基本直径为 D_{MMC} 的圆形销（见图 7-42）；另一个固定测销做成四菱形的，其测量部位在两中心连线方向上的基本直径为 $(D_{MMC} - t)$ ，而在垂直于两销中心连线方向上的基本直径为 D_{MMC} （图中未示出 D_{MMC} ）；再用一个基本直径为 $(D_{MMC} - t)$ 的活动测销检验其他各孔的位置度。

用这种方法，一般孔组没有位置度精确的两定位孔，两定位孔是任意选的。由图 7-42 可知，在最大实体条件下，只有当所选择两孔轴线距离为 $(L - \frac{t}{2}) \sim (L + \frac{t}{2})$ 时检具两固定销才能放入，而当所选择两孔轴线距离为大于 $(L + \frac{t}{2})$ 到 L_{max} 和小于 $(L - \frac{t}{2})$ 到 L_{min} 时，两固定销均不能插入位置度为合格的两最大实体定位孔。所以这种方法只从定位来分析就存在问题；而由分析（从略）还可知，对整个孔组这种方法会产生误判，既可能产生对位置度合格的最大实体孔插销不能插入，也可能产生对位置度不合格的最大实体孔插销却能插入。

(2) 另一种措施是使两固定测销和活动测销测量部位的基本直径都取为 $(D_{MMC} - \frac{t}{2})$ ，其理由是使工件放入两固定测销的两最大实体孔相互间可移动 $\frac{t}{2}$ ，工件各最大实体孔相对活动测销相互间又可移动 $\frac{t}{2}$ ，所以工件其他各孔相对两固定测销孔的位置度为 t 。由分析可

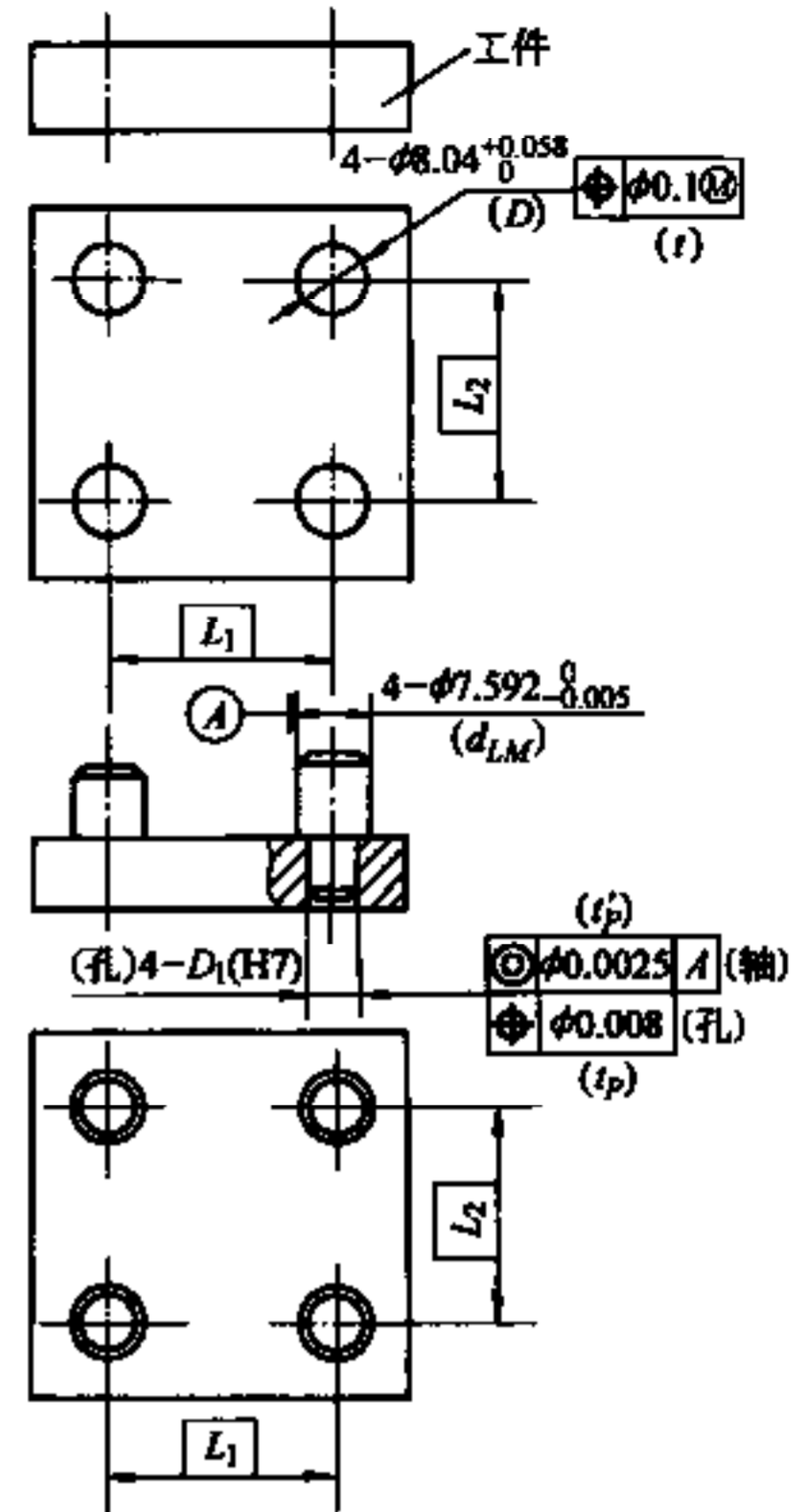


图 7-41 无基准孔组轴线位置度检具

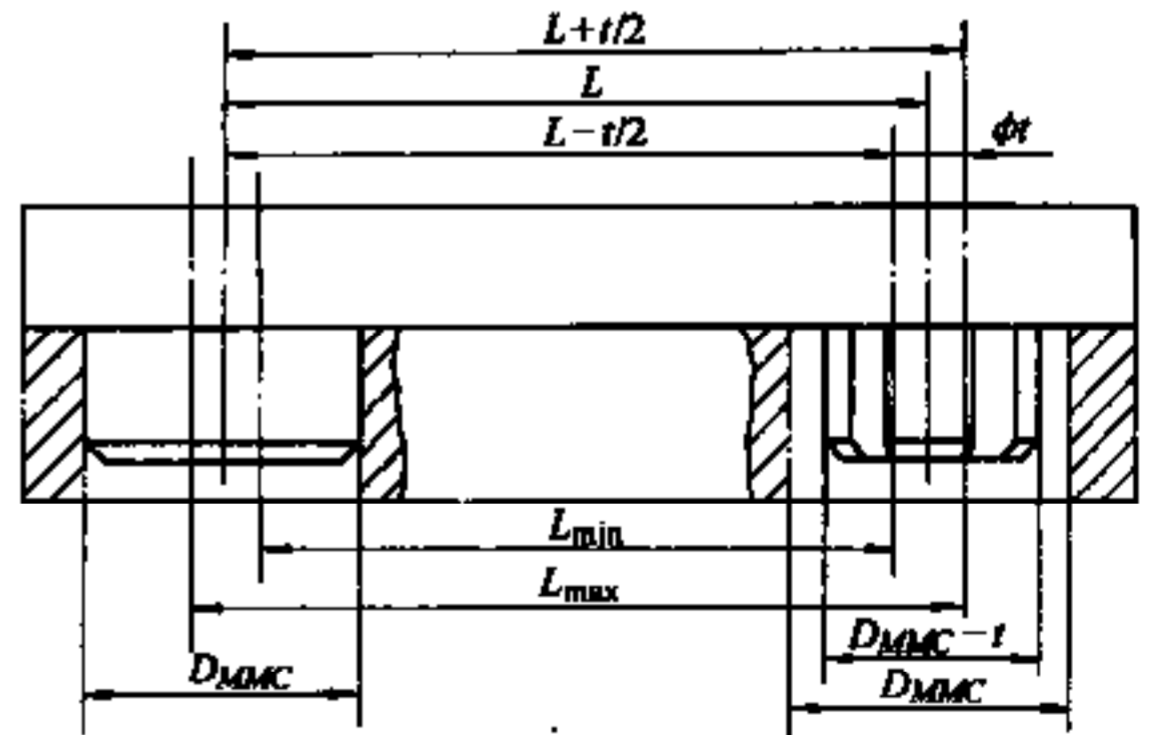


图 7-42 无基准时孔组检具定位销分析

知, 该措施对有些极限情况防止位置度超过 t 可起到弥补作用, 但同时对另一些孔提高了位置度要求, 使位置度合格的孔被认为是不合格。

所以上述两种措施都只能照顾到某方面, 而又忽略了另一方面。从概率观点出发, 由于各孔实际直径不一定做到最小, 而且往往大于最小直径, 各孔位置度相互影响也不一定出现极限情况, 这就是上述两种弥补措施过去在实际中有所应用的原因。

从位置度定义出发, 对按最大实体原则标注的孔组位置度, 在没有规定定位基准和孔数较多时, 原则上仍应采用测销数与工件孔数相同的检具。考虑测销过多, 使用不够方便, 又不易判断哪个孔不合格, 从实用出发推荐除用两个固定测销外, 根据工件的孔数可在工件适当位置的孔中同时通过导套再插入 2~4 个活动插销, 起到综合定位和均化误差的作用, 使工件相对检具的位置误差尽量减小, 其他各孔再用一活动测销依次通过导套检验其位置度。当然也可全部采用活动测销通过导套检验, 而不用固定测销, 这时要同时先在工件适当位置插入 4~6 个活动测销, 再用一活动测销检验其他各孔。采用所推荐的方法时, 测销测量部位的基本直径均为 $(D_{MMC} - t)$ 。

当工件孔组的位置度公差在相互垂直的两个方向上要求不同时, 测销在相互垂直的方向上的直径应分别计算, 这时可做成四菱销, 但其制造不方便; 在工件被检验孔长度允许的条件下, 可将测销沿长度做成具有相互垂直的两个菱形的形式。

3. 粗位置度孔组检具 当工件各孔 (最小直径为 D) 位置度公差 t 值在 0.5mm 以上、且位置度精度等级在 11 级以上时, 可用观察法检验孔组的位置度, 这时在检具上有位置度准确的各观察孔, 其基本直径为 $(D_{MMC} + t)$ 。

当孔组无基准时, 可在检具上布置两固定测销, 其余各孔用观察孔检验; 当孔组有基准时, 则以基准定位, 用与工件孔数相同数量的观察孔检验孔组的位置度。观察孔的直径公差和位置度公差可参考表 7-1, 允许适当放大。观察孔的形状与在第 4 章中介绍的检验毛坯孔加工余量的样板类似, 应考虑便于观察。

7.2 采用气动量仪的检验夹具

在检验夹具中采用气动量仪的优点主要是: 精度高, 便于观察, 可实现非接触测量, 易于实现和差演算和取得平均值, 可测量难以测量的部位等。

对检具的要求是在保证精度的前提下结构简单和操作方便。有些采用机械仪表检验形位公差检具的结构比较复杂, 又很难简化, 而采用气动量仪能使检具结构比较简单, 操作也比较方便, 这是气动测量的一个显著优点。

但采用气动测量必须有气源条件, 测量范围较小, 其价格比一般机械仪表贵, 测量装置和校准件的制造精度高, 因此只有当利用气动测量方法能显著简化测量操作和满足某种需要时 (如提高测量精度或效率等), 采用气动测量才是适当的。

7.2.1 气动测头及其校准件设计要点

气动测头是气动检具的测量部分, 在使用气动测头时需要用内外径校对规、阶台校准块或模拟工件的校准件等, 对气动量仪的工作间隙进行调整, 以进行比较测量。

采用不同的气动测头可测量工件的各种尺寸和形位公差, 图 7-43 是其应用的示意图。

在图 7-43 中: 图 a 表示用一个喷嘴测量高度尺寸; 图 b 表示用两个喷嘴测量孔的直径;

图 c 表示用四个喷嘴测量孔的平均直径，用三个喷嘴可测量孔的三棱度（图中未示）；图 d 表示用二个喷嘴测量孔对端面的垂直度，当工件或测头转动一周，量仪最大与最小示值差的一半就是在两喷嘴距离长度上孔对端面的垂直度误差；图 e 表示用两对喷嘴测量在规定方向上孔对端面的垂直度，测量时不用使工件或测头转动，气路 1 和 2 可分别接到两台非差动量仪或一台差动量仪上，两台非差动量仪的示值差或差动量仪的示值就是在两喷嘴距离长度上垂直度误差的两倍（量仪测量前按孔对端面垂直的校准件调零）；图 f 表示用一个喷嘴测量孔轴线的直线度，测量时使测轴两端与孔可靠接触（有时可利用弹簧力），当工件或测轴转动一周时，量仪最大与最小示值差的一半就是孔的直线度误差；图 g 是用四个喷嘴（接到一个量仪上）测量孔轴线的直线度，测量方法同图 f；图 h 表示用两个喷嘴测量孔轴线的直线度，这时使气路 1 和 2 分别接到差动量仪的两支路上，测量时工件或测轴转动，测轴外圆与工件内孔应可靠接触，差动量仪的最大示值就是直线度的两倍，量仪测量前应按直线度为零或很小的校准件调零；图 i 表示用两对喷嘴测量两孔轴线距离，气路 1 和 2 可分别接到两台非差动量仪或一台差动量仪上，两台非差动量仪的示值差或差动量仪的示值就是两孔轴线距离误差的两倍。量仪测量前应按两孔轴线距离为公称值的校准件调零；图 j 表示用两组四喷嘴测量两孔轴线的平行度，气路连接和测量方法与图 i 相同；图 k 表示，根据需要有时采用杠杆的一端与工件被测面接触，而喷嘴布置在杠杆另一端的对面，实现接触式气动测量。

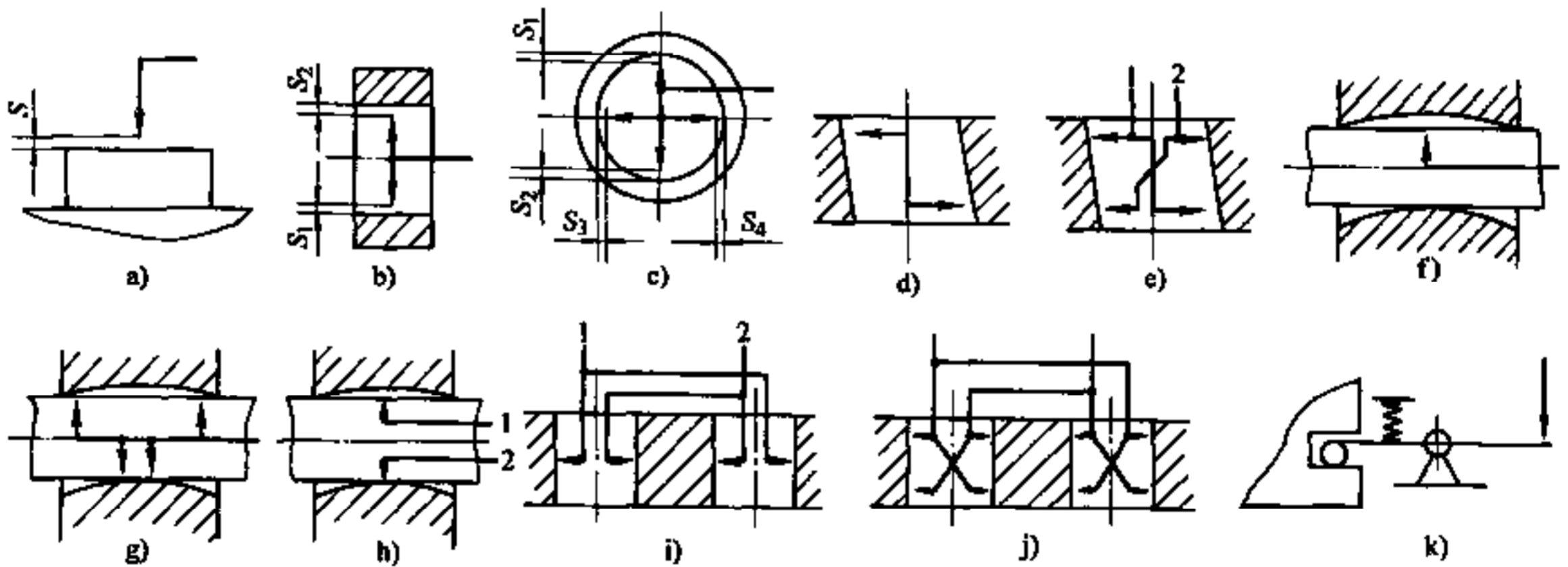


图 7-43 各种气动测头的应用示例

由图 7-43 可以看出，为测量不同的参数，应适当选择气动喷嘴的数量和其在测头上的位置。

在气动量仪的说明书上，所规定的技术性能，包括最大测量间隙，测量范围，刻度值等，是针对直径为规定值 d_1 （一般为 2mm）的单喷嘴而言。当然有的量仪在保证综合倍率不变的情况下可以改变喷嘴的直径，例如浮标式气动量仪，其喷嘴直径可减小到 $(0.44 \sim 0.63) d_1$ 。下面讨论多喷嘴测量与单喷嘴测量的等效问题。

当用直径为 d_1 的单喷嘴测量时（图 7-43a）只要被测参数的公差范围在说明书规定的测量范围内即可，这时的工作间隙为 S ，空气的通面积为 $\pi d_1 S$ 。

当用两个以上喷嘴测量时，应保证与用一个喷嘴挡板测量时等效，这样才能按规定使用量仪。由空气力学可知，从气动量仪通过测量装置测头喷嘴的空气流量，与其通过面积和气动量仪测量室内的压力成正比，所以可由用两个以上喷嘴时气流的通过面积与用一个喷嘴时的通过面积相等来考虑等效。

当用两个直径为 d_2 的喷嘴测量孔直径时 (图 7-43b), 如果每个喷嘴处的测量间隙均在量仪线性段内, 并且两喷嘴处的间隙之和也在量仪线性段内, 则可保持空气通过面积的等效, 即

$$\pi d_2 (S_1 + S_2) = \pi d_1 S, S_1 + S_2 = S, d_2 = d_1$$

所以对于测量孔直径 (或其他类似情况) 用双向喷嘴测量时的喷嘴直径与用单喷嘴时相等。

当用四个直径为 d_4 的喷嘴测量孔的平均直径时 (图 7-43c), 为保持与单喷嘴挡板测量时等效, 应保持

$$\pi d_4 (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) = \pi d_1 S, \text{而 } S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 2S$$

$$\text{则 } 2\pi d_4 S = \pi d_1 S, d_4 = \frac{d_1}{2}$$

所以用四喷嘴测量孔平均直径 (或其他类似情况) 时的喷嘴直径 d_4 , 应等于用单喷嘴测量时的喷嘴直径 d_1 的一半。

同样可得, 为使三个直径为 d_3 的三向喷嘴测量孔的三棱度 (或其他类似情况) 与用直径为 d_1 的单喷嘴挡板测量时等效, $d_3 = \frac{d_1}{1.5} = \frac{2}{3} d_1$ 。

对于图 7-43g 所示的情况, 是用四个喷嘴测量, 喷嘴直径应为 $d_4 = \frac{d_1}{2} = 1\text{mm}$ (当 $d_1 = 2\text{mm}$ 时)。

对于图 7-43i 所示的情况, 每个测量气路有两个喷嘴, 喷嘴直径应为 $d_2 = d_1 = 2\text{mm}$; 而对图 7-43j, 每个测量气路有四个喷嘴, 喷嘴直径应为 $d_4 = \frac{d_1}{2} = 1\text{mm}$ 。

当结构需要 (例如测量面很窄, 需要减小喷嘴直径) 采用单向多喷嘴时, 为使其与用单喷嘴 (直径 d_1) 挡板测量时等效, 应满足 $n\pi d_n S = \pi d_1 S$ (n 为喷嘴数, d_n 为多喷嘴的直径), 则 $d_n = \frac{d_1}{n}$ 。一般 $n=2$, $d_2=1\text{mm}$, 两喷嘴的轴线距离应为二倍喷嘴的直径, 以保持每个喷嘴的独立性。这时也可采用矩形喷嘴代替两个 $\phi 1\text{mm}$ 的单向圆喷嘴, 与直径为 $\phi 2\text{mm}$ 喷嘴等效的矩形喷嘴尺寸为 $2.64\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 或为 $3\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ (考虑 $\phi 2\text{mm}$ 喷嘴有 0.3mm 倒角时)。矩形喷嘴用于测量直径较小的外圆时, 具有当量间隙 (下面将介绍) 小的优点, 但其制造较困难。矩形喷嘴结构尺寸见图 7-44f。

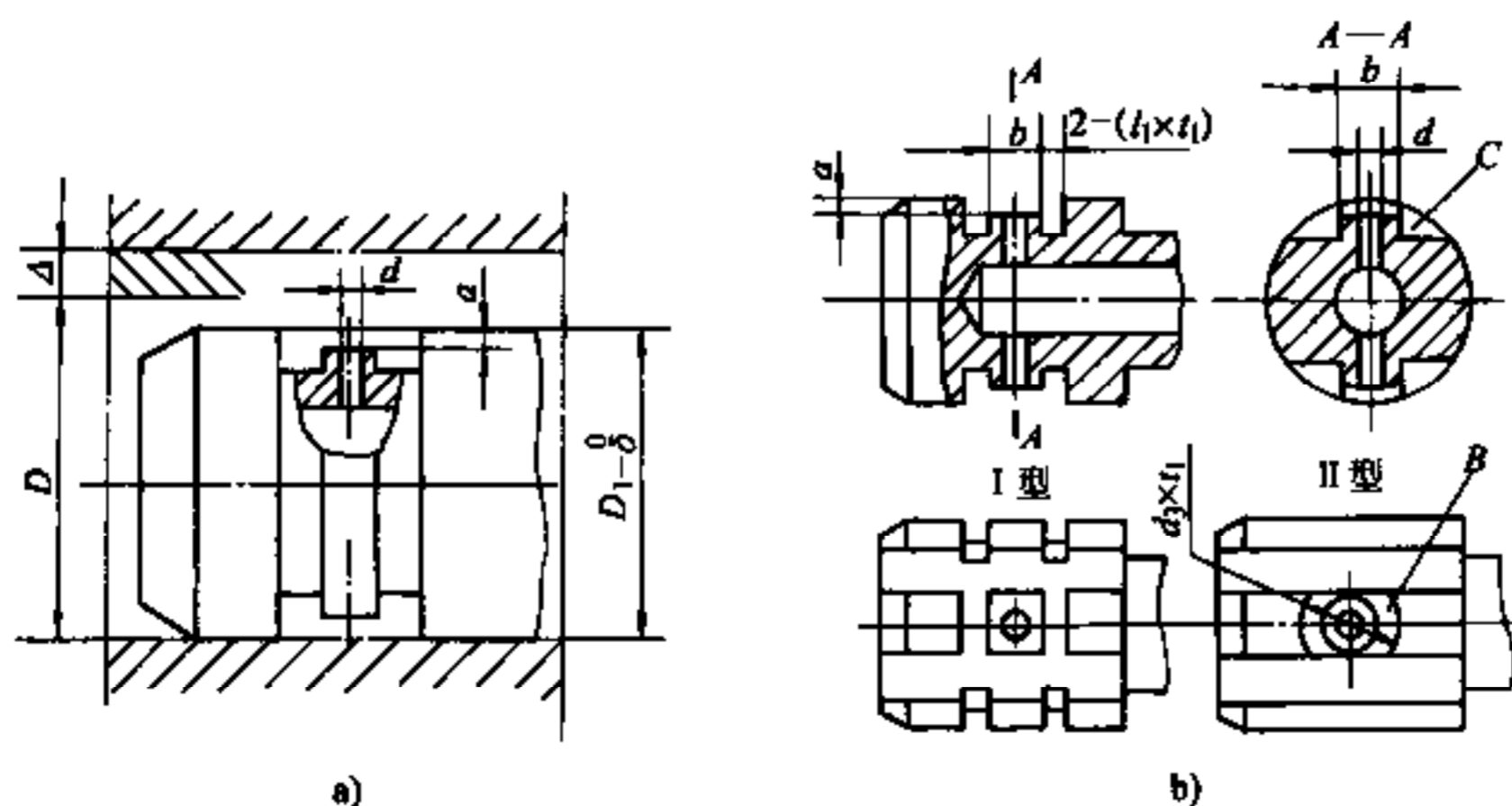


图 7-44 气动塞规的结构尺寸

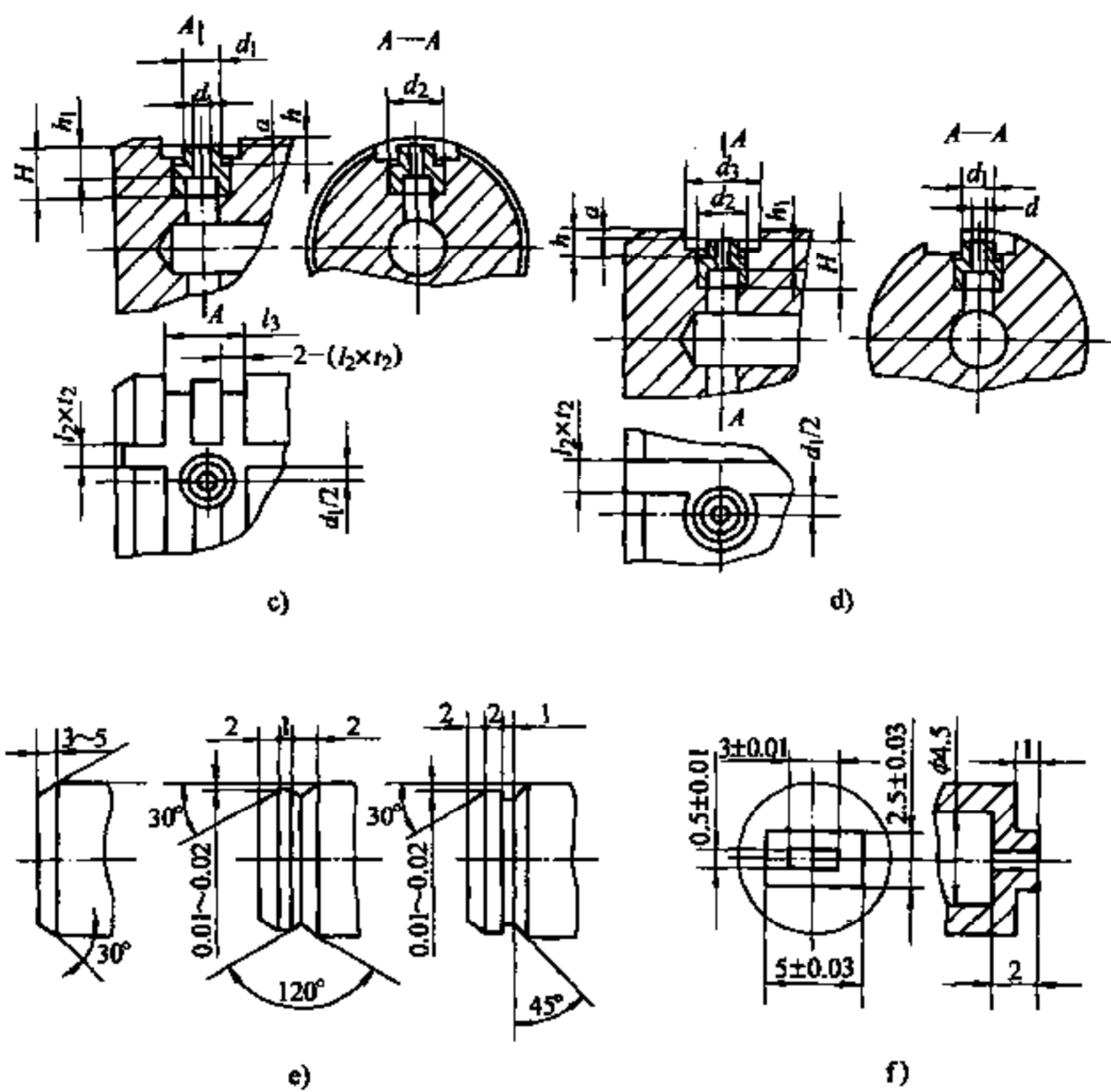


图 7-44 气动塞规的结构尺寸 (续)

在生产中采用气动塞规测量孔直径和用塞规式测头测量形位公差，其应用比采用气动卡规要广泛得多，在气动测头的设计中气动塞规具有代表性。下面以气动塞规为例说明气动测头的设计要点及其相关问题。

在图 7-44a 中：

- D 和 Δ ——被测孔最小直径及其制造公差；
- D_1 和 δ ——气动塞规定位外圆最大直径及其制造公差， δ 一般为 0.010mm；
- a ——气动塞规喷嘴下沉量；
- d ——喷嘴直径。

气动测头的设计要点如下：

- (1) 根据被测量参数的特点确定喷嘴的数量和位置，测量直径的气动塞规，两喷嘴为对向布置，并选择适当的量仪。
- (2) 当工件孔的直径为最小时，塞规应能顺利插入工件，为此 $(D - D_1)$ 应符合表 7-4 的规定。气动塞规的头部应有导向部分，其各种形式见图 7-44e。
- (3) 对于多喷嘴的气动测头，每个喷嘴处的测量间隙都应大于一定数值，使每个喷嘴处的间隙始终在量仪线性段内，以保证在各喷嘴处不等间隙不会引起测量误差或误差很小可忽略。为此测量喷嘴端面应低于气动塞规定位表面一定值 a (下沉量)，下沉量表面与测头定位外圆应同轴，以形成平行挡板。各种量仪要求的 a 值见表 7-4 (供参考，实际设计时以量

仪说明书为准)。

下沉量 a 值可在调整气动测头与气动量仪配套使用时修研, 如图 7-44d 所示的结构; 也可预先在磨床上磨出, 如图 7-44c 所示的结构, 适合于下沉量较大的情况。为使喷嘴工作端面与被测孔表面平行, 在修研下沉量时应注意喷嘴端面为圆弧形。

表 7-4 喷嘴的下沉量 a 和塞规外径 ($D - D_1$) 值

量仪种类	测量范围 / μm	放大倍数	$D - D_1$ / mm	a / mm
浮标式气动量仪	90	2000	0.020~0.030	0.010~0.020
	35	5000	0.010~0.015	0.010~0.015
	18	10000	0.008~0.013	0.010~0.015
薄膜式气动量仪	80		0.020~0.030	0.035~0.045
	50		0.010~0.020	
波纹管式气动量仪	100	3140	0.020~0.030	0.035~0.045
	50	6280	0.015~0.025	0.035~0.045
	25	12600	0.010~0.020	0.025~0.035
流速式水柱气动量仪	70	3000	0.020~0.030	0.23~0.24
	40	5000	0.010~0.015	0.18~0.19
	20	10000	0.008~0.013	0.10~0.11

注: 本表与表 3-9 配套使用。

气动塞规易于实现喷嘴端面与被测孔表面平行, 构成平行挡板机构。当用气动卡规测量外圆直径时, 卡规的定位面与工件外圆表面相切, 而喷嘴端面平行于卡规定位面, 所以喷嘴端面与外圆表面不平行, 没有构成平行挡板机构。在平行挡板条件下, 如果使轴向喷嘴端面直接与被测平面接触, 则测量间隙为零; 但在使轴向喷嘴端面与外圆接触时, 测量间隙并不为零, 这时存在一定的当量间隙 S_R , 所以用双喷嘴气动卡规测量外圆直径时, 下沉量 a 应比表 7-3 规定值小 S_R 。

对于圆喷嘴, 当量间隙 $S_R = \frac{d^2}{8D}$ (d —— 喷嘴直径, D —— 被测外圆直径), 其值列于表 7-5。

表 7-5 当量间隙^[10] (mm)

被测外圆直径 D	喷嘴孔直径 d	当量间隙 S_R
20~30	$2 \times \phi 1$	0.0125~0.0083
>30~60	1.5	0.0094~0.0047
>60~100	2	0.0083~0.005
>100~200	2	0.005~0.0025

注: $2 \times \phi 1$ 表示两个并排的 $\phi 1$ 喷嘴。

对于矩形喷嘴，当量间隙 $S_R = \frac{3a^2b + a^3}{12D(a+b)}$ (a 和 b 为矩形喷嘴的长和宽)。与圆喷嘴等效的矩形喷嘴 (见图 7-44f)，其当量间隙比圆喷嘴小一个量级，所以矩形喷嘴适合于测量小直径外圆。

(4) 所设计气动测头的参数应保证下列关系：

工件被测参数的公差 Δ 应小于量仪的测量范围 S ；

气动测头的最小测量间隙应大于量仪的初始测量间隙 ($S_{\max} - S$)，对塞规应使 $D - D_1 - 2a > S_{\max} - S$ ；

气动测头的最大测量间隙应小于量仪的最大测量间隙 S_{\max} ，对塞规应使 $(D + \Delta) - (D_1 - \delta) - 2a < S_{\max}$ 。

在测量工件的平均尺寸时，测量间隙为 $\frac{1}{2}(2D + \Delta) - (D_1 - 2a)$ ，应尽量使量仪指示在零位附近，即应保证 $\left[\frac{1}{2}(2D + \Delta) - (D_1 - 2a)\right] \approx \bar{S}$ (零位间隙)，则气动塞规直径 $D_1 \approx \frac{1}{2}(2D + \Delta) - \bar{S} + 2a$ 。

设计气动测头时，主要是协调好上述各参数之间的关系。

(5) 对于直径较小的气动塞规 (一般在 25~30mm 以下)，喷嘴直接做在塞规本体上 (图 7-44b)，其结构尺寸见表 7-7。对于直径小于和等于 7mm 的气动塞规，不适合采用直径 2mm 的喷嘴，采用浮标式气动量仪时可按表 7-6 规定，当测量 1~3mm 的小孔时，在浮标量仪与工件之间应增加 QFM-A 型气动放大器。也可采用小孔流量法测量 1mm 以内的小孔，采用环孔流量法测量直径为 1~3mm 的小孔 (具体结构从略)。

表 7-6 直径 ≤ 7 mm 的气动塞规测量喷嘴直径的选择

被测量孔的直径/mm	1~3	>3~4	>4~5	>5~7
喷嘴直径/mm	0.3	1.0	1.2	1.5

测头各喷嘴处应有排气槽，保证排气畅通，以免由于气阻而产生测量误差。图 7-44b 所示排气槽的形式适合于直径小的气动塞规，II 型为平面圆环形槽 B 与纵向槽 C 连通；I 型为在塞规外圆表面上磨出环形槽 $t_1 \times t_1$ 与纵向槽连通。图 7-44c 和 d 所示的排气槽适合于较大直径的气动塞规。

(6) 气动非接触测量是测量工件表面微观几何形状波峰与波谷的平均值，而接触测量是测量表面的波峰。因此当工件表面粗糙度值大于 $R_a 6.3\mu\text{m}$ 、又要求较高测量精度时，则不适合用非接触气动测量。

图 7-45a 是接触式气动塞规，内径尺寸的变化通过固定在本体 1 两纵向槽中的两片簧 4 传递，在片簧上固定有测量触头 2，螺钉 3 限制触头 2 向外伸出的距离，测量时使塞规体 1 上两喷嘴处的间隙发生变化，实现气动测量。

由于工件被测部位的原因不能在测量装置上布置喷嘴时，例如空间不够或面积小于 $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ 等情况；当被测尺寸的公差超出气动量仪的测量范围，需要通过杠杆缩小传递比时；或者其他情况，例如在有些检具上和磨床加工中测量外圆直径，都需要采用接触式气动测量。

表 7-7 喷嘴的结构尺寸^[14,15等]

(mm)

量仪型式	喷嘴直径 d	d_1 (± 0.05)	d_2 (m_6)	d_3	b	l_1	r_1	l_2	r_2	l_3	H	h	h_1		
浮标式	$2^{+0.04}_0$	4	6	8	4	1.5	1.2	1. $D > 10 \sim 40$			8	2	4		
压力式	$2^{+0.02}_0$							1.5	1.5	6.5					
流速式	$2^{+0.03}_0$							2. $D > 40$			12	3	6		
浮标式	$1.5^{+0.04}_0$	3	6	8	3.	1.2	0.8	2	2	7.5	8	2	4		
压力式	$1.5^{+0.02}_0$														
流速式	$1.6^{+0.03}_0$	4						4					12	3	6
	1.3, 1.2	2, 5	5	7	2, 5	1	0.6	1.5	1.5	6.5	6	1.5	3		
	1	2			2		0.4								

注：1. 本表根据有关资料编制，具体设计时 d 、 d_1 、 b 尺寸以量仪说明书的要求为准，其余尺寸为推荐值。

2. 测量阶台孔和盲孔时只能单向排气，排气槽的尺寸按本表适当加大。

3. 对压力式量仪，表中 d_1 的数据适用于多喷嘴测量时，单喷嘴测量 d_1 按下列规定^[15]： $d = 1.5$ ， $d_1 = 2.3$ ； $d = 2.0$ ， $d_1 = 3\text{mm}$ 。压力式气动量仪用单喷嘴测量时在测量间隙线性段内会产生压力跳跃，但用多喷嘴测量时并不产生这种现象。选择适当 d_1 可使单喷嘴测量时压力跳跃发生在线性段之外，由试验可确定 d_1 值。

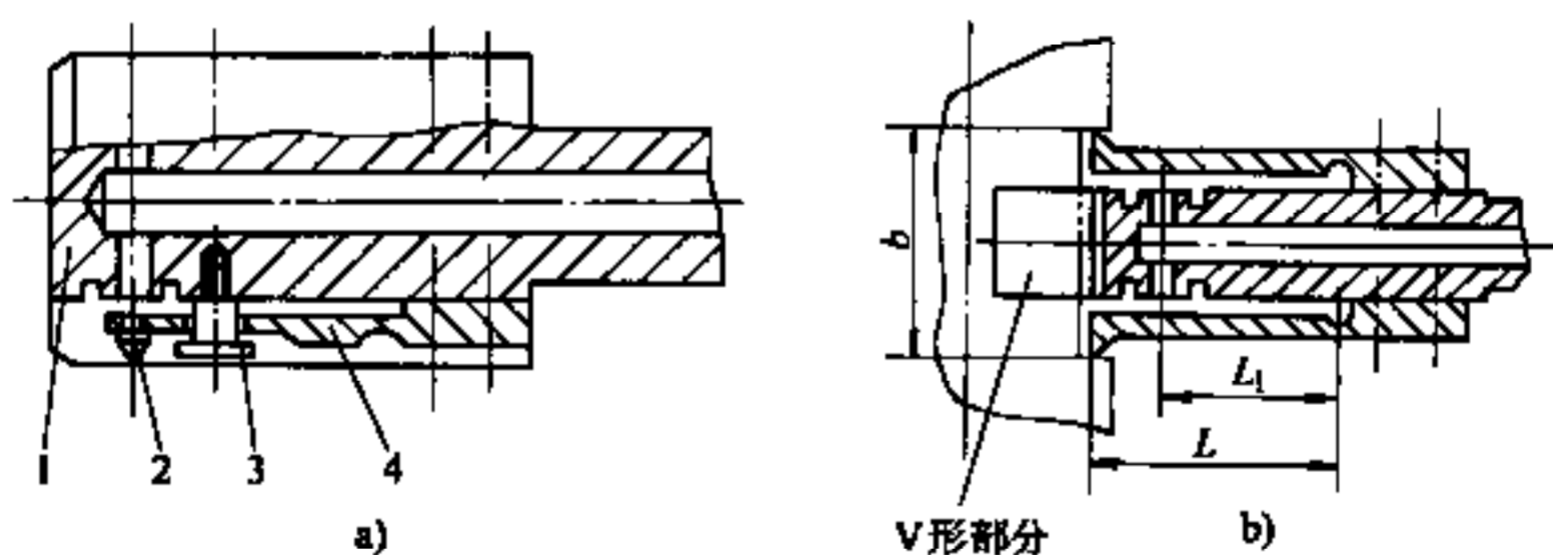


图 7-45 接触式气动测量装置

1—本体 2—测量触头 3—螺钉 4—片簧

图 7-45b 是由于被测部位的空间不够而采用接触式气动测量，该装置用 V 形部分靠在轴上测量尺寸 b ，这时量仪反映尺寸的变化与两对向喷嘴处间隙的变化的比例为 $\frac{L}{L_1}$ ，即气动测量间隙被缩小。但如果量仪倍率可在一定范围内调整，能达到测量所需的倍率（例如浮标式量仪），则仍可使量仪按照 1:1 的关系来读数。

在气动接触式测量中，还可采用各种轴向测头和旁向测头。气动接触式轴向测头有根据喷嘴挡板机构原理设计的（N 型），可完成一般接触式测量；有根据柱孔型阀式机构原理设计的（R 型），用于需要扩大测量范围的场合等。

图 7-46a 是一种气动轴向接触测头（N 型），接头 2 用软管与量仪接通，工件尺寸变化时测杆 1 移动，测量间隙 S 发生变化，即可进行测量。

图 7-46b 是一种气动旁向接触测头 (N 型), 在本体 4 上固定有喷嘴 5, 根据需
 要喷嘴的直径可为 1、1.5 和 2mm。杠杆 8 和 9 的传递比为 1, 杠杆 8 的行程由螺钉 6 和
 12 限位, 当被测量尺寸显著超过公差范围时, 螺钉 6 和 12 可起到卸荷作用。杠杆 9
 可绕轴 10 相对水平位置正或反转 90°, 由
 弹簧 14 与扭簧 11 的作用力之差产生测量
 力, 扭簧固定在轴 7 上, 其自由端作用在
 杠杆 8 的螺钉 13 上。用小手柄(具体结构
 图中未示)转动轴 7 通过改变测量力的方
 向, 不用拆装即可使测头的功能从测量 A
 面改变到测量 B 面, 以满足不同测量的需
 要。当杠杆 9 处于水平位置和从喷嘴处进气
 压力为 0.15MPa 时, 测量力为 0.4~0.6N。
 测头紧固部分 3 的直径为 $\phi 8h7$, 测头外形
 尺寸为 130mm × 61mm × 24mm, 重量
 0.6kg。

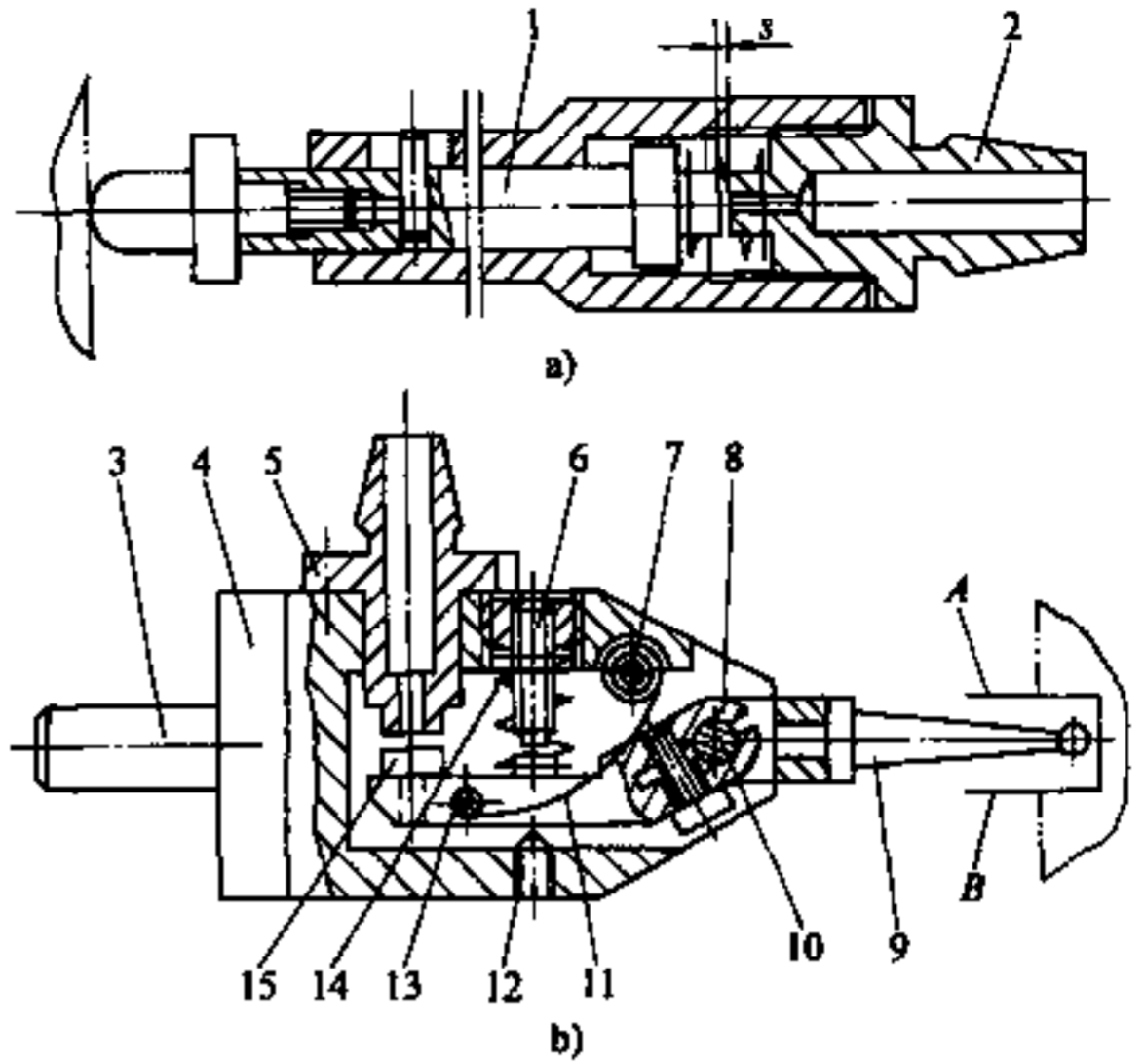


图 7-46 接触式轴向和旁向气动测头
 1—测杆 2—接头 3—紧固部分 4—本体
 5—喷嘴 6、12、13—螺钉 7、10—轴
 8、9—杠杆 11—扭簧
 14—弹簧 15—平面测量挡销

当采用接触式气动测量时, 应考虑测量力的问题。图 7-47 所示是当测头喷嘴直径为
 2mm、在不同的测量间隙 S 和不同的测量压力 p 时, 压缩空气从喷嘴流出时产生的作用力
 F 随测量间隙改变而改变的关系^[4]。

图 7-47 表示出 F 与 S 之间急剧变
 化和由于气流抽汲作用而产生的负压
 力 F 的区间, 图中测量压力只表示到
 0.2MPa, 对大多数气动测头作用力 F
 在 0.2~2N 范围内。应指出当前机械
 式仪表测量触头的力已减小到 0.05~
 0.3N, 所以接触式气动测量中的测量
 力问题在有些情况下应考虑, 该力相
 当于作用在杠杆上的弹簧力。例如,
 对于刚性不好的工件, 采用非接触气
 动测量也应注意力的问题。

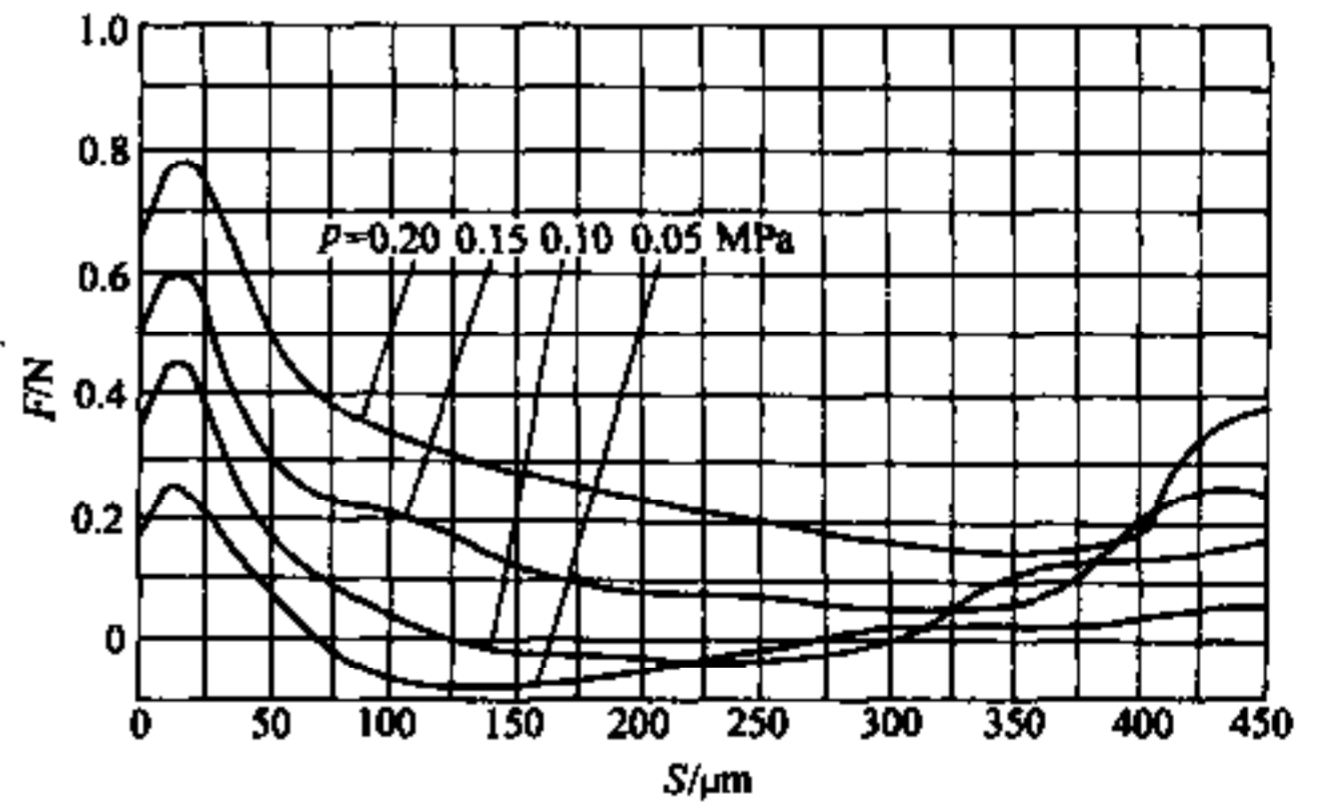


图 7-47 喷嘴直径为 2mm 时的气动测量力

(7) 在使用气动测头时, 必须用校准件对量仪进行调整定标。通常要求校准件的工作表
 面与被测工件表面的形状相同, 以使调整量仪时和测量工件时的工作条件一致。但在有些情
 况下, 例如当测量时由量仪示值差确定测量结果, 或对量仪零位调整的精度要求不高时, 也
 可不用模拟被测表面形状的校准件调整量仪, 而用简单的校准块来调整量仪, 这样可避免制
 造精度高的校准件、校对环规或量柱。

当使用气动塞规时, 需要用两个公称直径为被测孔直径上、下限值的校对环规 (见图
 7-48) 调整量仪, 校对环规的结构尺寸见表 7-8, 其直径和形状制造公差见表 7-9。

表 7-8 校对环规结构尺寸

(mm)

D	D ₀	B	b	c	e	H	b ₁	E	A
3~5	26	10	3	0.5	0.3				
>5~8	26	12	4	0.5	0.3				
>8~14	34	15	4	1	0.5				
>14~20	42	15	4	1	0.5				
>20~26	50	15	4	1	0.5				
>26~32	58	20	3			7			
>32~38	66	20	3			7			
>38~44	74	24	4			8.2			
>44~50	84	24	4	1	0.5	8.2			
>50~65	104	24	4			8.2			
>65~80	124	24	4			8.2			
>80~90	144	30					8	5	10
>95~110	164	30		1.5	0.8		8	6	10
>110~130	192	34					9	7	12
>130~150	220	34					9	8	12

表 7-9 校对环规制造公差 (JB5212—91)

校对环规直径 /mm	上下限校对环规直径差/ μm					形状公差 / μm		
	6	12	25	75	154	圆 度	素 线 平行度	
	校对环规极限偏差/ μm							上 限
	上 限	下 限	上 下 限					
4~10	+1.0	+0.5	± 1.25		—	—	0.5	1.0
>10~18	± 1.0		± 1.5		—			
>18~30	—	± 1.5	± 2.0		—			
>30~50	—	± 2.0			—	0.8	1.5	
>50~80	—	—	± 2.5					
>80~120	—	—	± 2.5		± 3.0	1.0	2.0	
>120~150	—	—	—	± 2.5	± 3.0			

对于测量范围在 0.02mm 内用的校对环规, 应装上绝热套圈。

当使用气动卡规时, 需要用两个公称直径为被测量轴直径上、下限的校对量柱调整量仪, 校对量柱的尺寸和形状制造公差见表 7-10。

在校对量柱上可加工出螺孔, 以便将其固定在底板上, 使用时比较方便, 又可避免手与量柱接触, 起到绝热作用。

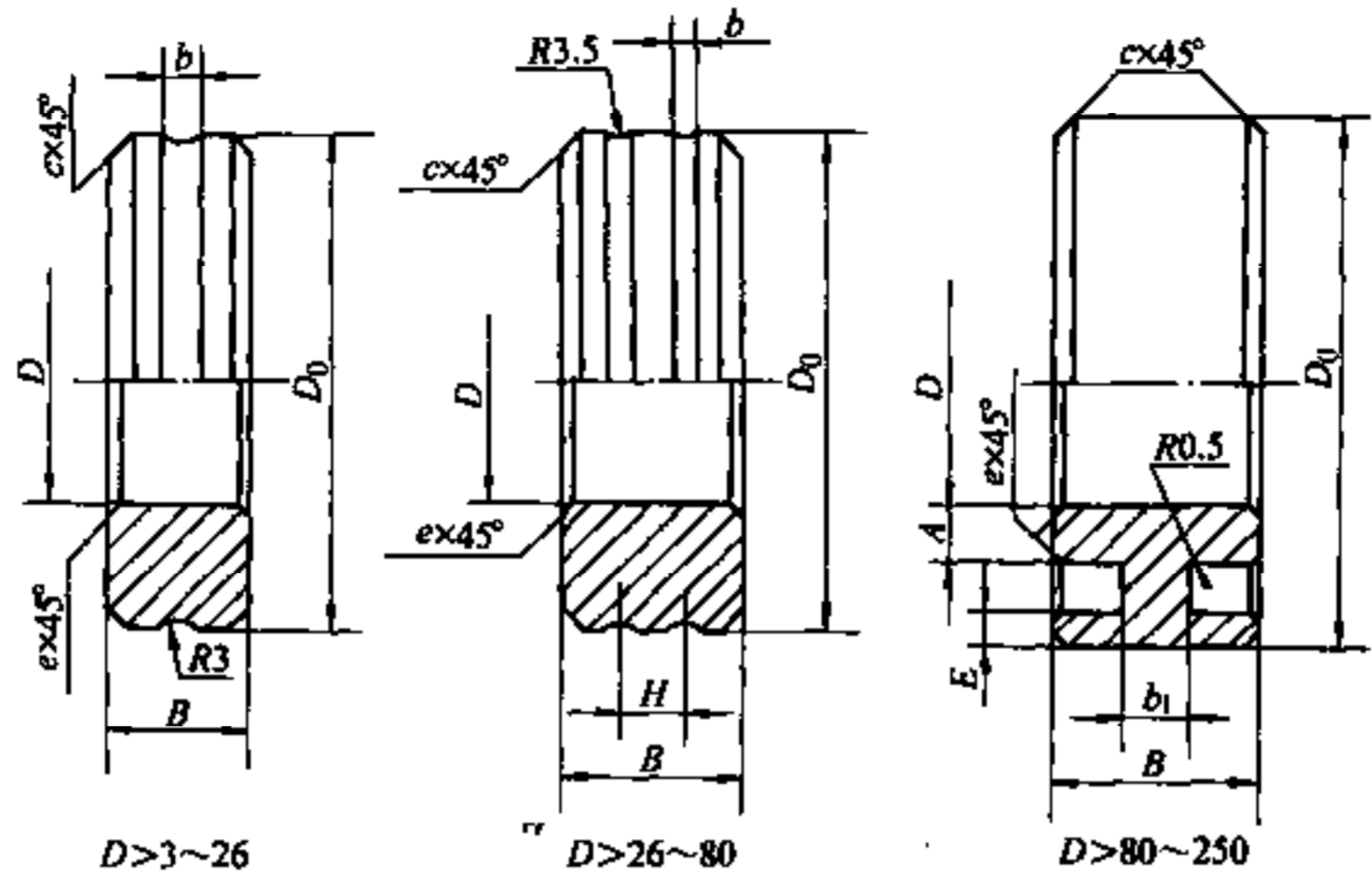


图 7-48 校对环规

表 7-10 校对量柱制造公差 (JB5212—91)

校对量柱直径 /mm	上下限校对量柱直径差/ μm					形状误差 / μm	
	6 12 25 75 154					圆度	素线 平行度
	校对量柱极限偏差/ μm						
	上限	下限	上下限				
4~10	+1.0	+0.5	± 1.25			0.5	1.0
	-0.5	-1.0	—				
>10~18	± 1.0		± 1.5				
>18~30	± 1.0		± 1.5	± 2.0		0.8	1.5
>30~50	—		± 2.0				
>50~80	—		± 2.0	± 2.5			
>80~120	—		—	± 2.5	± 3.0		

对气动量仪用的校对环规和量柱的精度要求高，因为气动量仪本身的精度高，其示值误差随倍率不同一般在 $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$ 范围内。在校准气动量仪时，要求准确地定标在工件直径公差（或其他参数示值范围）的上、下限上，或尽量靠近上、下限的位置，这也是对校对环规尺寸精度要求高的原因。同时也要求校对环规和量柱的圆度误差小，这样在调整量仪时使用方便，如果其圆度误差大，即使在标出方向测出实际值，在使用时也不方便，易产生误差。校对环规和量柱有专业厂生产，如果自行制造，在条件不允许情况下，校对环规和量柱的直径和圆度公差可适当放大，但在标订方向上计量实际值的精度不能降低。

当采用气动量仪测量其他各种参数时，需要用一定形式的校准件调整量仪，在很多情况下仍然可用校对环规和量柱，其上、下限公称直径应根据具体测量项目的情况确定，其确定方法将在以后的实例中介绍。

(8) 气动测头的形状比较复杂，精度和硬度要求高，应采用优质钢制造，通常采用 GCr15，表面硬度 $62 \sim 65\text{HRC}$ ；如采用 45 钢表面渗硼，硬度达 $1500 \sim 2000\text{HV}$ ，相当于硬质合金的硬度，耐用度可提高 $4 \sim 10$ 倍，但制造困难；也可采用工具钢，定位部分镀硬铬，或在定位部分镶装硬质合金条，以提高测头的耐用度。

气动塞规的测量喷嘴用不锈钢 3Cr13 制造，经调质处理 241~286HB。对于独立使用的轴向测量喷嘴，其夹持外径一般为 $\phi 8h7$ ，用 9Cr18 钢制造，硬度 52~55HRC。

关于校准件的材料及热处理在 5.6 节中已介绍。

对于镶装喷嘴的气动塞规有以下主要技术要求：

- 1) 塞规体安装喷嘴孔的轴线对其定位外圆 D_1 (见图 7-44) 轴线的对称度为 Δ (见表 7-11)；
- 2) 塞规体安装喷嘴孔轴线对其定位外圆 D_1 轴线的垂直度允差 0.03/100mm；
- 3) 塞规体两安装喷嘴孔的轴线应同轴，允差 Δ ；
- 4) 测量喷嘴内孔 d 对其与本体孔配合的外圆 d_1 轴线的同轴度允差 $\phi 0.03$ mm；
- 5) 喷嘴内孔 d 的工作端面 A 对其外圆 d_1 轴线的端面圆跳动允差 0.005mm (这点靠修研下沉量或磨出下沉量时保证)；
- 6) 两个喷嘴内孔 d 的直径相差不大于 0.005mm；
- 7) 塞规外圆表面的柱度允差 0.005mm。

表 7-11 塞规体喷嘴孔位置度公差 (mm)

D	<6	6~20	>20~60	>60
Δ	0.02	0.04	0.06	0.10

喷嘴做在塞规体上和矩形喷嘴的气动塞规，对喷嘴也应规定相应的技术要求。

7.2.2 气动测头及其校准件设计实例

本节通过介绍两孔平行度的气动测量及其相关问题，对气动测头及其校准件的设计过程作一详细介绍。

连杆是发动机的重要零件，对连杆两孔的直径和形状、两孔的平行度以及两孔轴线距离的精度有较高的要求，在生产中气动检具（对各个项目在一台检具上检验）获得较多的应用。

1. 两孔平行度气动测量方法的分析

由图 7-49a 可知，在图示剖面上两孔轴线在长度 l 上的平行度误差为

$$\Delta = \frac{1}{2} [(A+B) - (C+D)]$$

$$\text{其中 } A = ab + bd + de + eg + gh$$

$$B = cd + de + ef$$

$$C = de$$

$$D = bd + de + eg$$

$$\text{所以 } \Delta = \frac{1}{2} (ab + cd + ef + gh) \quad (7-1)$$

如果两平行测头的各测量喷嘴按图 7-49b 所示布置，用标准件调整量仪 I~IV 后，可分别测出工件两孔的距离尺寸

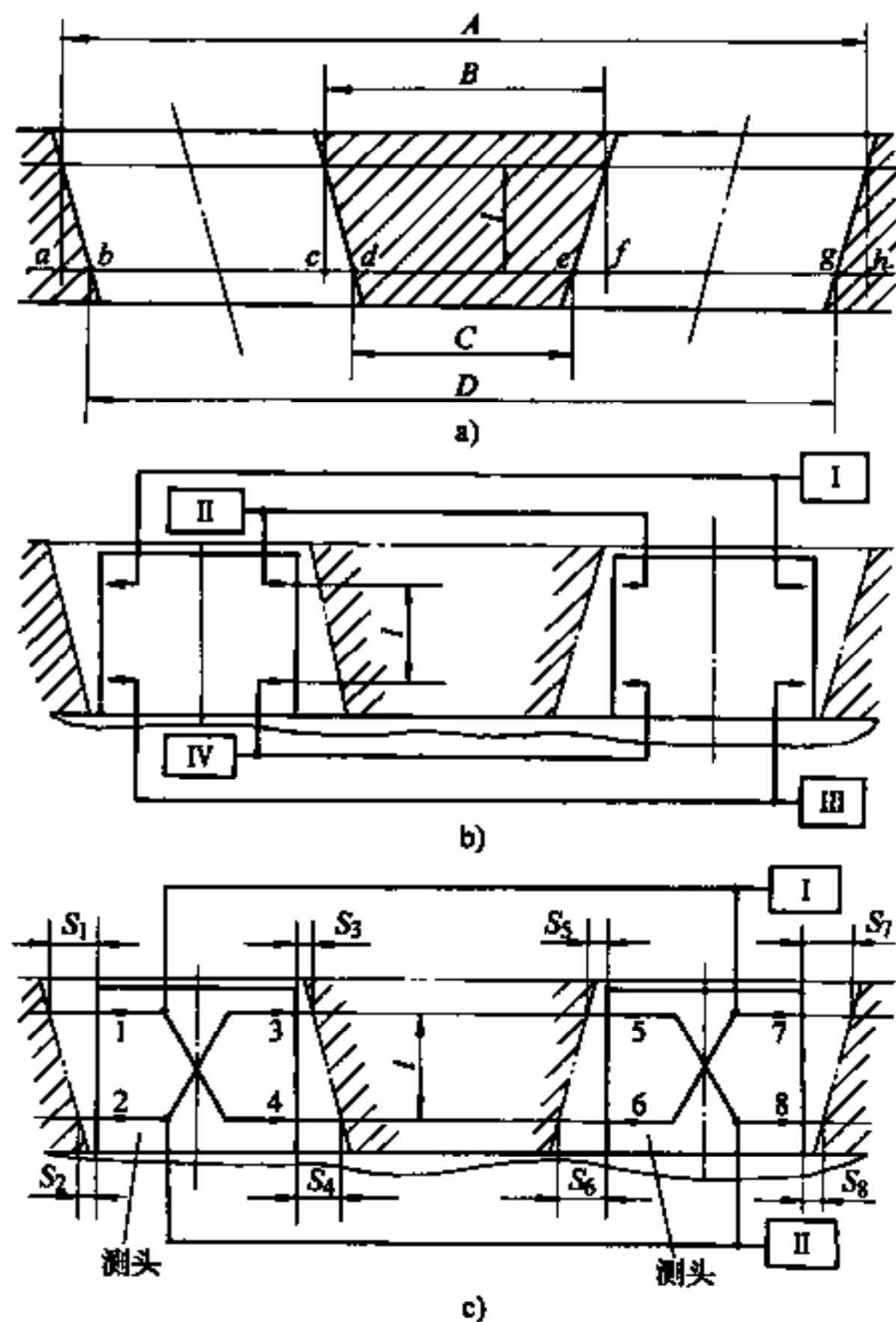


图 7-49 两孔平行度气动测量的方法

A、B、C 和 D，然后通过计算即可求出两孔平行度的误差。这时由于测量尺寸都是用双喷嘴，所以标准件两孔轴线的平行度制造误差不影响测量精度，只需预先将标准件上的尺寸 A、B、C 和 D 的实际值准确地测出，供校准量仪时使用。采用这种方法时，工件孔的锥度对测量精度也没有影响。但这种方法需要用四台量仪，还要进行计算。

在生产中通常采用图 7-49c 所示的方法，在两轴线平行的测头上，喷嘴 1、4 和 6、7 连成一气路，接到量仪 I；喷嘴 2、3 和 5、8 连成另一气路，接到量仪 II。测量前用两孔轴线平行度误差很小的校准件，将两量仪的示值调到零位。测量工件时各喷嘴处的测量间隙分别为 $S_1 \sim S_8$ ，量仪 I 反映间隙 $S_I = (S_1 + S_4) + (S_6 + S_7)$ ；量仪 II 反映间隙 $S_{II} = (S_2 + S_3) + (S_5 + S_8)$ 。由式 (7-1) 可得两孔轴线的平行度误差为

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{1}{2}[(S_1 - S_2) + (S_4 - S_3) + (S_6 - S_5) + (S_7 - S_8)] \\ &= \frac{1}{2}[(S_1 + S_4) + (S_6 + S_7) - (S_2 + S_3) - (S_5 + S_8)] \\ &= \frac{1}{2}(S_I - S_{II})\end{aligned}$$

上式中的 $(S_1 - S_2)$ 、 $(S_4 - S_3)$ 、 $(S_6 - S_5)$ 和 $(S_7 - S_8)$ 分别相当于图 7-47a 中的 ab 、 cd 、 ef 和 gh 。由上式说明，两量仪示值差的一半就两孔轴线在长度 l 上的平行度误差。

采用这种方法，工件孔的锥度对测量精度没有影响，但标准件两孔平行度制造误差将产生测量误差，所以对校准件两孔轴线平行度的制造精度要求高。若将校准件两孔轴线平行度误差的大小记录下来，也可在调整量仪时消除此项误差。

如果需要测量工件两孔轴线在与图 7-49a 所示截面成 90° 方向的平行度（扭曲度），则应在两测头相应纵截面上按同样方法再设置共八个喷嘴（每个测头 4 个）。

2. 连杆两孔轴线平行度测头 下面介绍用两固定式测头检验图 7-50a 所示连杆两孔轴线平行度气动测头的设计，图示连杆大小头的厚度相同，如果小头的厚度小，可在大头端面上放上配重压住连杆大头。

(1) 气动喷嘴布置的形式按图 7-50c 所示，为测量图 7-50a 所示工件在两个方向上的平行度，在两个测头上沿工件的 $x-x$ 截面和垂直于 $x-x$ 截面的方向上分别布置 8 个喷嘴，即共有 16 个喷嘴，这时用 4 台量仪 I ~ IV，每二台量仪为一组（见图 7-50），分别测量两个方向上的平行度。在设计测头时，布置气路通道是一项细致的工作。

(2) 确定两测头的直径 d_1 和 d_2 为使工件能放入两测头中，应考虑由于工件两孔轴线距离的公差和两测头轴线距离的公差等因素，应使气动测头的直径 d_1 和 d_2 比工件孔最小直径减小一定值，该值比普通气动塞规外圆直径比工件孔最小直径的减少值要大。

已知工件两孔轴线在 $x-x$ 截面上的平行度允差 $0.03/100\text{mm}$ 包括在两孔轴线距离公差 $(0.06 \pm 0.03)\text{mm}$ 中，因此只需考虑由于工件两孔轴线距离公差 0.06mm 和两测头轴线距离公差 $(0.02 \pm 0.01)\text{mm}$ 应使测头外径减小的值。这时总的直径减小量为 $(0.06 + 0.02)\text{mm} = 0.08\text{mm}$ 。

如果这时以一个孔定位，则另一孔的测头直径比工件最小直径应减去 0.08mm ，但在气动测量两孔平行度时通常不以一个孔定位，而是把测量间隙均匀或近似均匀地分配到两个测头。现使每个测头减小值为 0.04mm ，取两测头的直径分别为 $d_1 = \phi 80_{-0.055}^{-0.045}$ ， $d_2 = \phi 40_{-0.055}^{-0.045}$ 。

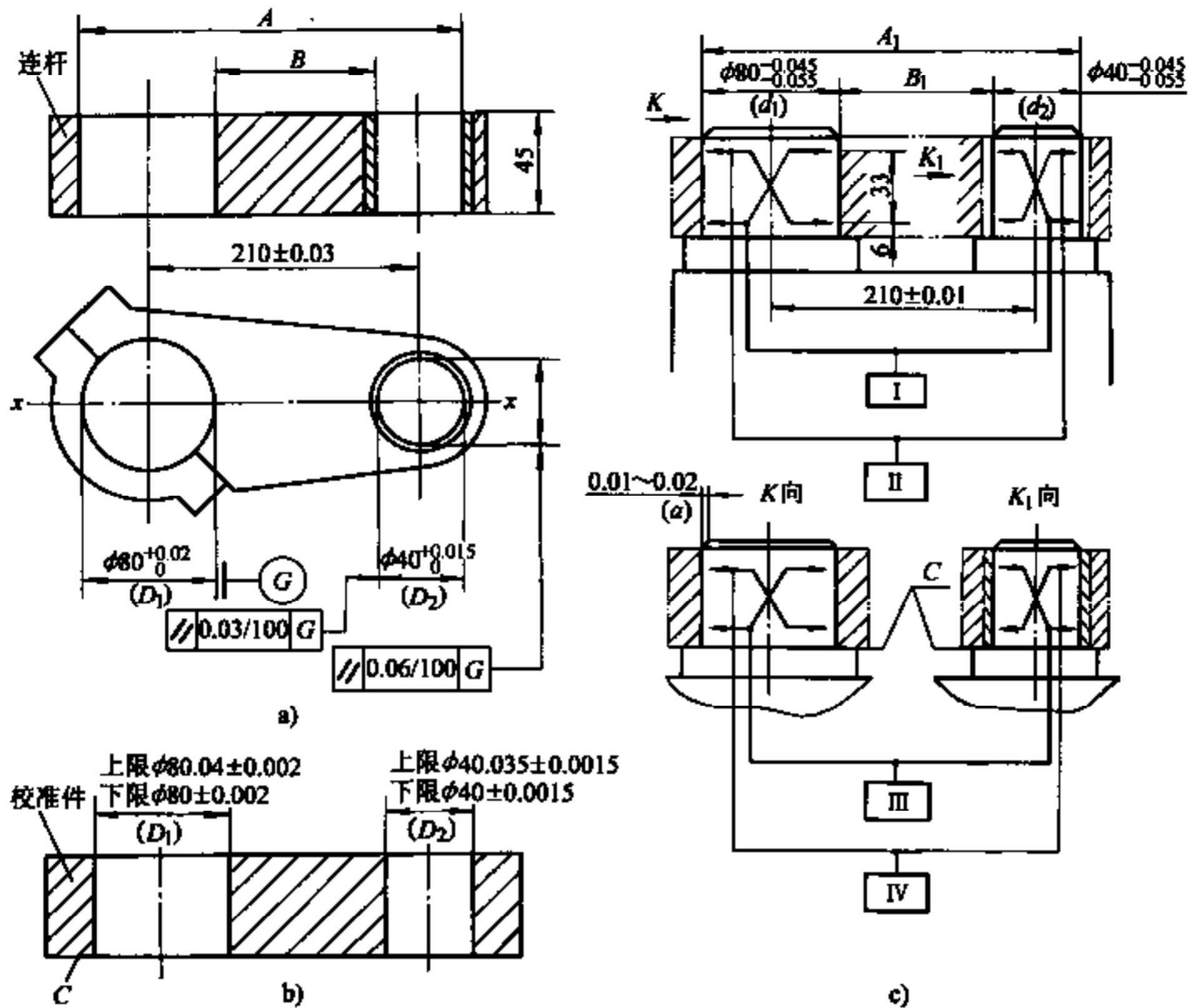


图 7-50 连杆两孔轴线平行度测头示意图

(3) 选择量仪 两喷嘴的距离取为 $l = 33\text{mm}$ ，在 $x-x$ 截面上工件两孔轴线的平行度允差 $0.03/100\text{mm}$ ，所以反映在两喷嘴距离上的允差为 $\Delta_x = \frac{33}{100} \times 0.03 = 0.01\text{mm}$ ；在垂直于 $x-x$ 截面方向上工件两孔平行度允差 $0.06/100\text{mm}$ ，反映在两喷嘴距离上的允差为 $\Delta_y = \frac{33}{100} \times 0.06 = 0.02\text{mm}$ 。

由上可知，测量在 $x-x$ 截面上两孔轴线平行度的两台量仪 I 和 II 的示值差为 $2\Delta_x = 0.02\text{mm}$ ，测量垂直于 $x-x$ 截面上两孔轴线平行度的两台量仪 III 和 IV 的示值差 $2\Delta_y = 0.04\text{mm}$ 。

气动测头的每个气路上有 4 个喷嘴，为使其与浮标式气动量仪 $\phi 2\text{mm}$ 单喷嘴等效，喷嘴直径应为 1mm 。

本装置选用 2000 倍浮标气动量仪，下沉量为 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 。

(4) 验算测量间隙 测头每个气路上有 4 个喷嘴，两个喷嘴在一个被测孔中，而另两个喷嘴在另一被测孔中，所以在—个测量气路中应接在两被测孔中各喷嘴处的间隙之和的一半来计算相当于两 $\phi 2\text{mm}$ 喷嘴对向布置时的测量间隙。

当工件两孔轴线平行度出现最大允差，工件两孔直径为最大值，而测头直径为最小值和下沉量为最大值时，在一个气路上产生的最大测量间隙 S_{\max} 。

对于在 $x-x$ 截面上测量

$$S_{\max} = \frac{1}{2} [(D_{1\max} - d_{1\min}) + (D_{2\max} - d_{2\min}) + 4a_{\max} + 2\Delta_x]$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2}[(0.02 + 0.055) + (0.015 + 0.055) + 4 \times 0.02 + 2 \times 0.01] \\
 &= 0.1175 \approx 0.12 \text{mm}
 \end{aligned}$$

对于在垂直于 $x-x$ 截面上测量, 应以 Δ_y 代替上式的 Δ_x , 所以这时的 $S_{\max} \approx 0.13 \text{mm}$ 。

当工件两孔轴线平行, 工件两孔直径为最小值, 而测头直径为最大值和下沉量为最小值时, 在一个气路上产生最小测量间隙 S_{\min} 。

对于在 $x-x$ 截面上测量

$$\begin{aligned}
 S_{\min} &= \frac{1}{2}[(D_{1\min} - d_{1\max}) + (D_{2\min} - d_{2\max}) + 4a_{\min}] \\
 &= \frac{1}{2}[(0 + 0.045) + (0 + 0.045) + 4 \times 0.01] \text{mm} \\
 &= 0.065 \text{mm}
 \end{aligned}$$

对于在垂直于 $x-x$ 截面上测量, 由于这时工件两孔轴线平行, S_{\min} 也为 0.065mm 。

由以上可知, S_{\max} 小于 2000 倍浮标式气动量仪的最大测量间隙 0.15mm , S_{\min} 大于量仪最大测量间隙与量仪测量范围之差 ($0.15 - 0.09 = 0.06 \text{mm}$)。说明工作时的测量间隙符合所选择量仪的性能。

根据以上计算结果规定两测头直径 d_1 和 d_2 的磨损极限分别为 $\phi(80 - 0.07) \text{mm} = \phi 79.93 \text{mm}$ 和 $\phi(40 - 0.070) \text{mm} = \phi 39.93 \text{mm}$, 这时在两个方向测量的最大测量间隙分别为 0.138mm 和 0.148mm 。

如果验算后, 测量间隙超出量仪范围, 或为了留有较宽的储备, 则可在保证精度下的前提下更换倍率较低的量仪。对本例选用 2000 倍浮标量仪, 已是低倍率。也可采用移动式测头的结构, 即一个测头固定, 另一个测头在导轨上移动, 这样可消除由于工件两孔轴线距离误差使测头直径需要减小的值, 即可显著减小 S_{\max} 。当同时需要检验两孔轴线距离时, 有时采用这种结构。

(5) 工件两孔对两测头通过条件的验算 为保证工件两孔能放到两测头上, 必须保证工件两孔外侧素线的最小距离 A_{\min} 大于两测头外侧素线的最大距离 $A_{1\max}$; 同时应保证工件两孔内侧素线的最大距离 $B_{1\max}$ 小于两测头内侧素线的最小距离 $B_{1\min}$ 。由图 7-50 可求出 (尺寸 A 和 B 见图 7-50a, 尺寸 A_1 和 B_1 见图 7-50c):

$$A_{\min} = [(210 - 0.03) + \frac{1}{2}(80 + 40)] \text{mm} = (270 - 0.03) \text{mm}$$

$$A_{1\max} = [(210 + 0.01) + \frac{1}{2}(80 - 0.045 + 40 - 0.045)] \text{mm} = (270 - 0.035) \text{mm}$$

$$B_{\max} = [(210 + 0.03) + \frac{1}{2}(80 + 40)] \text{mm} = (150 + 0.03) \text{mm}$$

$$B_{1\min} = [(210 - 0.01) - \frac{1}{2}(80 - 0.045 + 50 - 0.045)] \text{mm} = (150 + 0.035) \text{mm}$$

由以上计算可知

$$A_{\min} > A_{1\max}$$

$$B_{\max} < B_{1\min}$$

因此符合通过条件。

(6) 对两测头的技术要求 前面介绍的对气动塞规的要求也适合于测量两孔轴线平行度的测头, 但对测头外圆表面的圆柱度应有更高的要求。因为采用固定式测头测量连杆两孔在

两个方向上的平行度需要在测头两个方向上布置喷嘴（对于连杆综合检验，还需要测量两孔的直径、锥度和两孔轴线的距离等，需要在不同方向布置更多的喷嘴），所以对测头外圆表面的圆柱度要求比普通气动塞规高，一般要求圆度 $0.001 \sim 0.0015\text{mm}$ ，柱度 $0.002 \sim 0.003\text{mm}$ 。

两测头轴肩面 C 应在同一平面上，允差 0.005mm ；为保证校准件和校对环规的定位精度，轴肩面 C 对测头轴线的垂直度允差 0.003mm 。两测头轴线平行度允差 0.003mm 。

(7) 校准件的设计 对于图 7-50c 所示的两固定测头所使用的量仪有以下二种调整方法，调整方法不同，所使用校准件的种类也不同。

1) 一种方法是用两对校对环规（其长度略大于被测孔长度）校准量仪倍率，再用一两轴线平行（或平行度误差很小）的校准件调整量仪的零位，即这时两量仪的示值应相等。

测量两个方向上平行度的量仪所用的校对环规可以统一，调整量仪上限的一对环规的公称直径分别为：

$$D_{\text{上}1} = (D_{1\text{max}} + \Delta_y) = (80.02 + 0.02)\text{mm} = 80.04\text{mm}$$

$$D_{\text{上}2} = (D_{2\text{max}} + \Delta_y) = (40.015 + 0.02)\text{mm} = 40.035\text{mm}$$

调整量仪下限的一对环规的公称直径分别为：

$$D_{\text{下}1} = D_{1\text{min}} = 80\text{mm}$$

$$D_{\text{下}2} = D_{2\text{min}} = 40\text{mm}$$

校对环规的结构尺寸见表 7-8，其孔径和形状制造公差见表 7-9。为保证调整精度，环规在测头上的定位面应垂直于内孔轴线，允差 0.003mm 。

为计算一对校对环规工作时测量间隙的公称值，假设测头的外径和下沉量为平均值，即测头平均外径分别为

$$\bar{d}_1 = 79.95\text{mm}; \bar{d}_2 = 39.95\text{mm}$$

平均下沉量为

$$\bar{a} = 0.015\text{mm}$$

当用两上限和下限校对环规分别套入两测头时，分别把各量仪的示值都调到上限下限，这时测量间隙分别为

$$\begin{aligned} S_{\text{校max}} &= \frac{1}{2} [(D_{\text{上}1} - \bar{d}_1) + (D_{\text{上}2} - \bar{d}_2) + 4\bar{a}] \\ &= \frac{1}{2} [(80.04 - 79.95) + (40.035 - 39.95) + 4 \times 0.015]\text{mm} \\ &= 0.1175 \approx 0.12\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{校min}} &= \frac{1}{2} [(D_{\text{下}1} - \bar{d}_1) + (D_{\text{下}2} - \bar{d}_2) + 4\bar{a}] \\ &= \frac{1}{2} [(80 - 79.95) + (40 - 39.95) + 4 \times 0.015]\text{mm} \\ &= 0.08\text{mm} \end{aligned}$$

所计算出的 $S_{\text{校max}}$ 和 $S_{\text{校min}}$ 供调整量仪用，但由于测头外径和各喷嘴下沉量的实际值预先无法确定，而制造好后实测相当麻烦，而且累积误差大，所以调整时可只按 $S_{\text{校max}}$ 或 $S_{\text{校min}}$ 确定量仪的上限或下限，而另一界限由两对校对环规直径之和的差值来确定，该差值为 $[(D_{\text{上}1} + D_{\text{上}2}) - (D_{\text{下}1} + D_{\text{下}2})]$ 。在校对环规上都刻有经过精密测量的尺寸，故确定

该差值比较方便。但这样不能保证精确的零位调整，由于测量两孔轴线平行度是靠两台量仪的示值差来确定的，所以对每台量仪的零位要求准确；又由于两测头轴线不可能绝对平行，各喷嘴孔径也不可能完全一致，所以还应用一个两孔轴线平行（或平行度误差很小）的校准件来调整量仪的零位。该校准件模拟连杆的形式，校准件两孔的公称直径和制造公差与连杆相同。考虑两测头轴线距离公差为 $\pm 0.01\text{mm}$ ，为使校准件能通过两测头，校准件两孔轴线距离公差应为 $\pm 0.01\text{mm}$ ，两孔轴线对底面的垂直度允差 0.003mm 。校准件的材料和热处理要求见 5.6 节。

在用校对环规调好倍率，并初步定标后，再将校准件装到两测头上，使两量仪的示值相等。

如果由于制造条件限制，校准件两孔轴线的平行度达不到规定的要求，应将经精密测量的实际值和误差方向刻在校准件上，在调整量仪时予以修正。

也可使用经精密测量已知两孔平行度误差大小和方向的工件来调整量仪，其缺点是磨损快，长时间使用有变形。

2) 另一种方法是用两个模拟连杆的校准件，同时校准量仪的倍率和零位。上限和下限校准件两孔的公称直径分别与上述校对环规的直径相同，即上限校准件两孔的公称直径分别为 $D_1 = \phi 80.04\text{mm}$ 和 $D_2 = \phi 40.035\text{mm}$ ，下限校准件两孔的公称直径分别为 $D_1 = \phi 80\text{mm}$ 和 $D_2 = \phi 40\text{mm}$ ，其尺寸和形状精度见表 7-9。校准件两孔轴线平行度允差 0.002mm ，其轴线对底面 C 的垂直度允差 0.003mm ，两孔轴线距离公差 $\pm 0.01\text{mm}$ （校准件见图 7-50b）。

当将上、下限校准件装在两测头上时，使各量仪分别调到上、下限位置，并使两量仪示值相等。

应指出，对于测量直径的气动塞规，用上、下限校对环规校准的量仪位置就是被测直径的上、下限。而对于检验两孔轴线平行度（或其他形位公差）的两测头，用两对上、下限校对环规或两校准件校准量仪的位置，并不是两孔平行度的上、下限。对于图 7-50 所示的情况，在 $x-x$ 截面上两量仪示值差在 0.02mm 以内，平行度为合格；而在垂直于 $x-x$ 截面上两量仪的示值差在 0.04mm 以内，平行度为合格。

3. 气动测量两孔平行度的简化 气动测量两孔平行度的方法可简化为图 7-51a 所示，主要适合于中小型易于翻转的工件，例如中小型连杆等，现仍以图 7-50 所示连杆两孔轴线平行度测头的设计为例来说明。采用这种方法时，其设计与上述基本相同，不同的是为测量某一方向上两孔轴线的平行度只需 1 个四喷嘴气路和 1 台量仪，整个检具由原 4 台量仪减少为 2 台。

测量时，先以平面 A 定位，从量仪 I 得到一个示值；然后使工件翻转 180° ，以平面 B 定位，得到另一个示值，两次示值差的一半就是工件两孔在长度 l 上的平行度误差。采用这种方法时，应使两喷嘴距两端面的距离相等，以保证两次测量在相同的两个截面上进行。

由几何分析可知（见图 7-51b），即使在 A、B 两面平行度误差较大的情况下，其对在

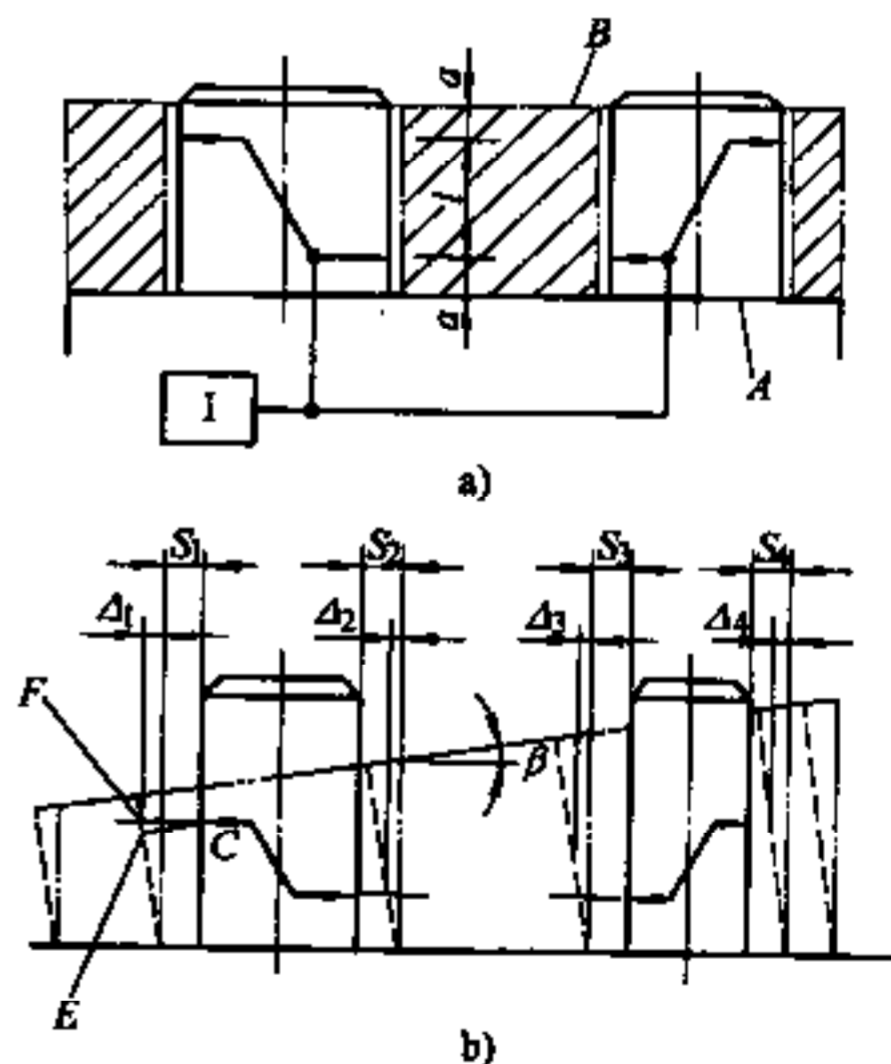


图 7-51 气动测量两孔轴线平行度的简化

水平方向测量间隙的影响完全也可忽略。当工件以 A 面定位时，两孔的位置如图 7-51b 双点划线所示，量仪示值反映测量间隙为 $(S_1 + S_2 + S_3 + S_4)$ ；翻面后工件以 B 面定位，如图 7-51b 虚线所示。假设 A、B 两面的平行度误差为 $0.20/100\text{mm}$ ，这时 $\beta=7'$ ，而 $\cos 7' = 1$ ，所以 $CE = CF \cos 7' = CF$ ，这说明翻面后的测量间隙在水平方向上没有变化，因此翻面后量仪反映的测量间隙为 $[(S_1 + \Delta_1) + (S_2 - \Delta_2) + (S_3 + \Delta_3) + (S_4 - \Delta_4)]$ 。若两孔轴线平行， $\Delta_1 = \Delta_4$ ， $\Delta_2 = \Delta_3$ ，量仪仍反映间隙 $(S_1 + S_2 + S_3 + S_4)$ ；若两孔轴线不平行，则量仪两次示值为 $(\Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_3 - \Delta_4)$ 。说明采用这种方法不影响测量精度，并且对量仪零位的调整要求不高。

采用这种比较测量方法时，用两对校对环规校准量仪的倍率，且不用制造成本高的两孔平行度误差很小的校准件调整量仪零位；两测头的制造也得到简化，如果将两测头做成旋转的，则只用一组气路和一台量仪即可测量两孔轴线在两个方向上的平行度，结构将进一步减化。国外已采用在高精度密集滚珠轴承上的两回转测头，以实现气动测量连杆两孔轴线平行度等参数。

采用这种方法时，由于靠一台量仪的示值差来评定平行度误差，还可避免校准件两孔和两测头轴线平行度误差对测量精度的影响，这些均可提高测量精度。

7.2.3 检验尺寸的气动检具

检验尺寸的气动检具也包括气动塞规、卡规等，在上一节中已以气动塞规为例介绍了其测头的设计，现对其结构补充介绍如下。

测量直径 $3 \sim 10\text{mm}$ 通孔的气动塞规可做成整体式，测头与手柄为一体，软管直接套在手柄上（图 7-52a）；也可做成测头和软管接头与手柄连接的形式（图中未示）。测量直径

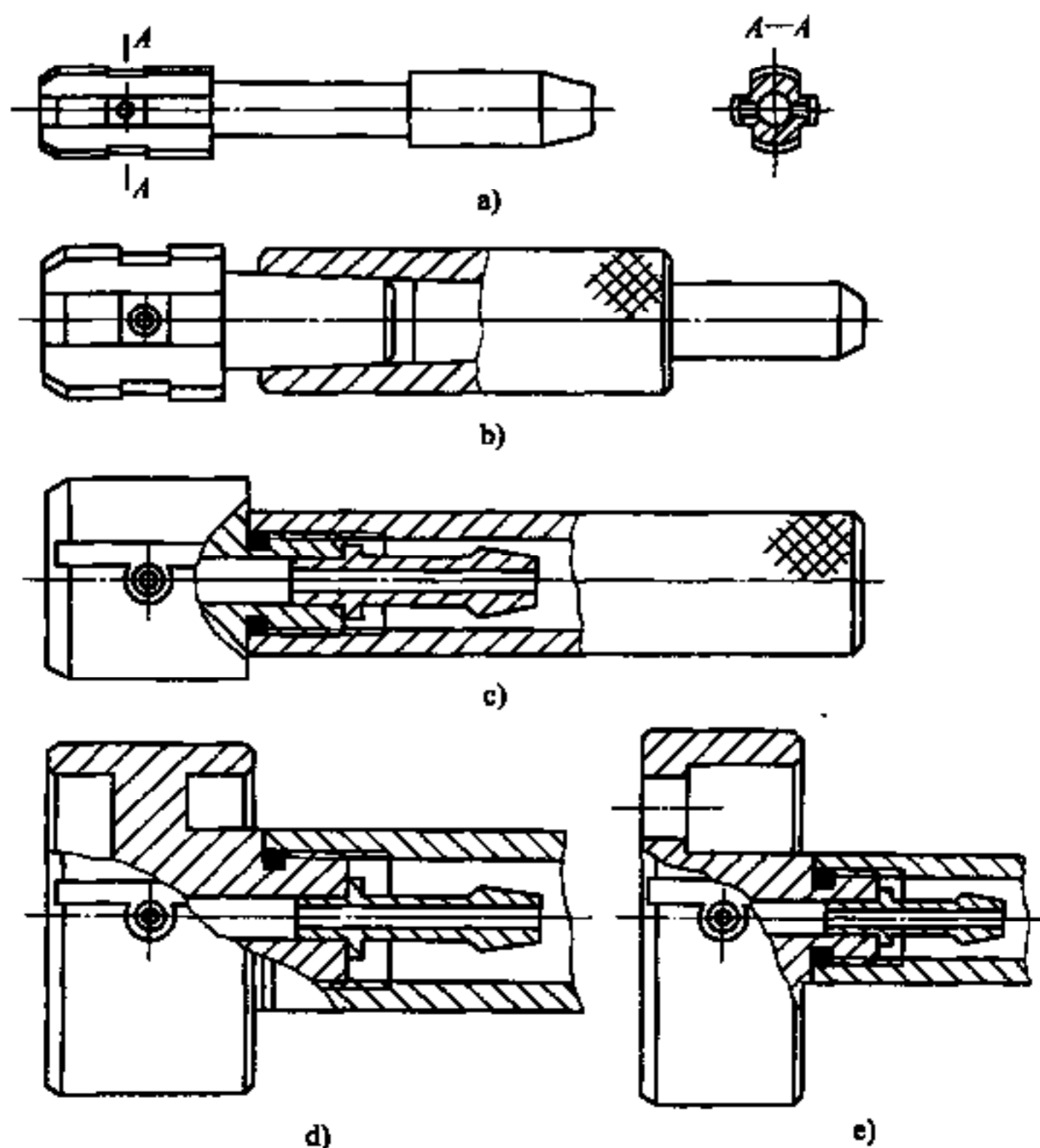


图 7-52 气动塞规的结构形式

10~30mm 通孔的气动塞规可做成锥柄插头的形式 (图 7-52b), 锥度连接应保证密封性; 也可做成测头与手柄用螺纹连接的形式。测量直径大于 30mm 通孔的气动塞规, 通常测头与手柄用螺纹连接, 在其连接端面处有密封圈 (图 7-52c)。对于直径大于 70mm 的气动塞规应考虑减轻重量的问题 (图 7-52d 和 e)。

为提高检验效率或为在加工线上在一个工位同时检验两个孔的直径, 可采用图 7-53a 所示的阶台式气动塞规, 确定这种塞规两定位外圆的直径时, 应考虑工件两孔同轴度误差, 即其外径比普通气动塞规的外径要小一些。当需要使气动塞规沿导向移动以进入工件被测孔时, 可将导向部分与气动塞规做成具有一定浮动量铰链连接的形式。如图 7-53b 所示结构, 两 O 形圈的作用是防止塞规晃动, 浮动时又可变形, 这样可补偿导向部分与被测孔的位置误差。

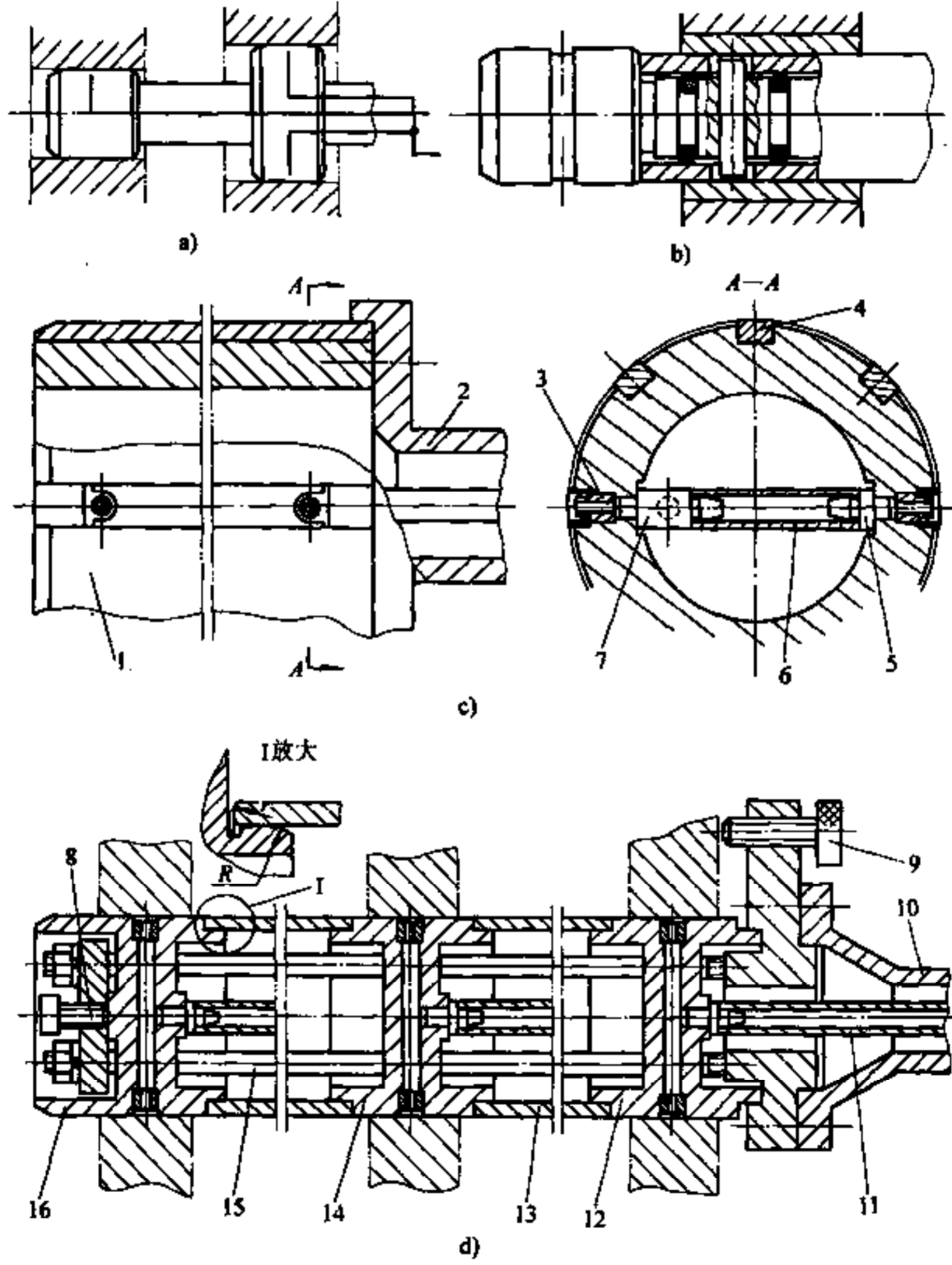


图 7-53 测量多个直径的气动塞规

- 1—本体 2、10—手柄 3—喷嘴 4—镶条 5、7—接头 6、11—软管
- 8、9—螺钉 12、14、16—气动塞规 13—隔套 15—接杆

对于大直径气动塞规，当被测孔长度较大需要在 2~3 个截面布置对向喷嘴同时测量时，为减轻重量和节省优质钢材可采用不锈钢冷拔无缝钢管制造气动塞规，其结构简图见图 7-53c。在本体 1 的外圆表面上加工出 8 条槽，在其上有淬硬钢或硬质合金镶条 4，有喷嘴 3 的槽上为几块短镶条组成以让开喷嘴。各喷嘴孔通过三向接头 7 向外引出，并将每两个喷嘴的接头 7 和 5 用软管 6 合成一路，并用接头 7 接到量仪上。检验时用固定在本体上的手柄 2 将塞规放到工件孔中，塞规可在孔中轻便转动进行测量。

图 7-53d 是检验在同一轴线上多个孔直径的组合式气动塞规，图中 16、14 和 12 是气动塞规，件 14 的数量根据需要确定；13 是隔套；11 是软管；15 是拉杆；9 是死挡螺钉。

塞规止口外圆表面做成中凸圆弧 R 的形状，隔套的端面做成圆弧 r 的形状（见局部图 I），各接通测量喷嘴的软管 11 装在隔套 13 内，并从右端手柄 10 的孔中引出，接到气动量仪上。拉紧螺杆 15，使各塞规与隔套的组合体有必要的刚性和直线度，并能保证当将各气动塞规装到工件各孔上时，隔套 13 能绕塞规止口圆弧 R 表面浮动，各气动塞规连接的松紧程度用螺钉 8 调整。这样就使每个塞规独立地装到各被测孔中，与普通气动塞规没有区别，比采用刚性多孔气动塞规时的测量间隙可显著减小，有利于提高测量精度。

如图 7-54 所示，测量盲孔直径的气动塞规的定位圆柱（直径 D_1 ）一般只能做在喷嘴圆柱（直径 D_2 ）之后，当放入工件产生倾斜时，可能使测量间隙小于规定的下沉量值，以致产生较大的测量误差。为避免这种情况，测量时应满足下面的关系（见图 7-54a）。

$$\frac{(D_1 - D_2)_{\min}}{2} - (B - B_1) \left(\frac{\Delta_{\max}}{L - B} \right) \geq a_{\min} \quad (7-2)$$

式中 Δ_{\max} ——工件孔最大直径与气动塞规定位圆柱最小直径的间隙 ($\Delta_{\max} = D_{\max} - D_{1\min}$)；
 a_{\min} ——气动塞规允许最小下沉量。

例如当测量直径 $D = \phi 80^{+0.02}_0$ 的盲孔时，采用 5000 倍浮标式气动量仪，由表 7-4 可得：下沉量 $a = 0.010 \sim 0.015\text{mm}$ ，即 $a_{\min} = 0.010\text{mm}$ ； $D - D_1 = 0.010 \sim 0.015\text{mm}$ (D 为工件最小直径)。塞规主尺寸确定如下：

定位圆柱直径 $D_1 = (80 - 0.01)\text{mm} = 79.99\text{mm}$ ，制造公差为 -0.01mm 。即 $D_{1\min} = 79.98\text{mm}$ ，而 $D_{\max} = 80.02\text{mm}$

因此 $\Delta_{\max} = (D_{\max} - D_{1\min}) = (80.02 - 79.98)\text{mm} = 0.04\text{mm}$

为保证塞规在最大倾斜状态下实际下沉量不小于 $a_{\min} = 0.010\text{mm}$ ，取当塞规定位圆柱直

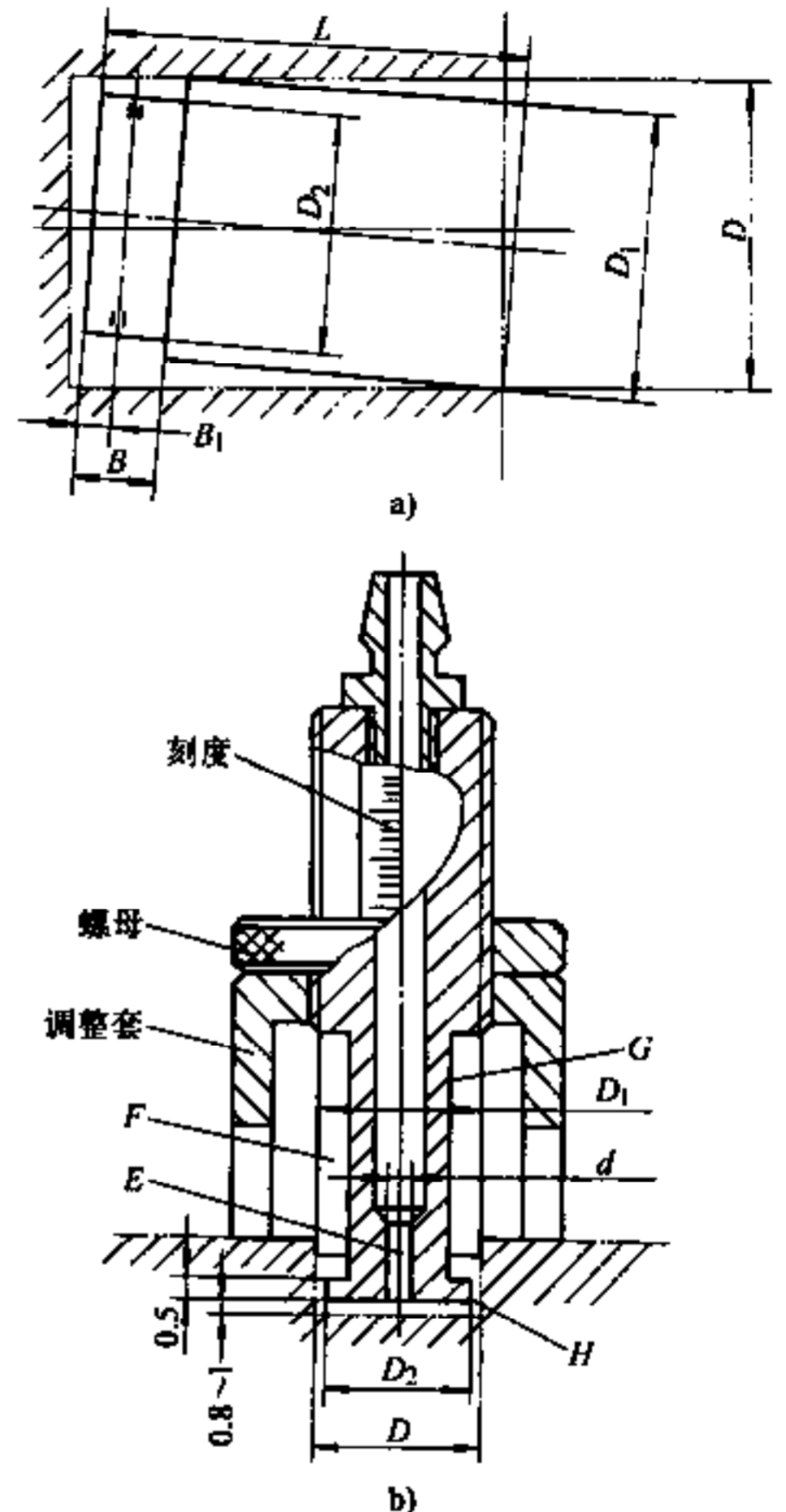


图 7-54 测量浅盲孔的气动塞规

径为 $D_{1\min} = 79.98\text{mm}$ 时的下沉量为 0.015mm ，即这时

$$(D_1 - D_2)_{\min} = (D_{1\min} - D_{2\max}) = 0.03\text{mm}$$

可得 $D_{2\max} = 79.95\text{mm}$

若 $B = 6\text{mm}$ 和 $B_1 = 3\text{mm}$ (见图 7-54a)，则由式 (7-3) 可得

$$\frac{(D_1 - D_2)_{\min}}{2} - \frac{(B - B_1)\Delta_{\max}}{L - B} = \frac{0.03}{2} - \frac{(6 - 3) \times 0.04}{L - 6} = 0.010$$

所以 $L = 30\text{mm}$

说明在上述条件下盲孔的深度不能小于 30mm ，否则会使 $a_{\min} < 0.010\text{mm}$ 而产生较大测量误差。虽然在使用盲孔气动塞规时不一定产生最大的斜度，但在设计时应考虑到这种情况。当测量深度小于计算值时，应在测量时注意监视，或采用带辅助定位的机构，例如用端面垂直于塞规轴线的移动套，或使塞规按被检验孔的端面定位。

采用对向双喷嘴的气动塞规只能测量深度不小于 4mm 的盲孔，被测截面距孔底不小于 3mm ，图 7-54b 是可测量深度大于 1.5mm 盲孔平均直径的气动塞规，在距孔底面距离为 $0.8 \sim 1\text{mm}$ 处测量。

在塞规上有进气孔 E 、测量圆柱带 H 和定位圆柱 G ，在圆柱 G 上有排气槽 F ，调整套、螺母和刻度用于调整测量截面的深度，套 1 还可防止塞规在测量时倾斜。

首先按测量同样直径和公差的一般孔选择和确定气动量仪、气动塞规的喷嘴直径 d 和初始测量间隙 z_0 。然后再确定图 7-54b 所示塞规的尺寸，定位圆柱的最大直径 D_1 与普通气动塞规的 D_1 相同，制造公差为 -0.01mm 。塞规的进气孔直径 d 与普通塞规的喷嘴直径相同。测量圆柱带的直径 D_2 ，根据当被测孔直径为最小时，环形缝隙的通过面积与普通塞规初始间隙为 z_0 、直径为 d 喷嘴的通过面积相等，按下式确定

$$\pi d z_0 = \frac{\pi (D_{\min}^2 - D_2^2)}{4} \quad (D_2 \text{ 为测量圆柱带最大直径})$$

$$D_2 = \sqrt{D_{\min}^2 - 4d z_0}, \text{ 制造公差为 } -0.01\text{mm}$$

同时要求直径为 d 喷嘴的横截面积应大于环形缝的最大面积，即

$$\frac{\pi d^2}{4} > \frac{\pi [D_{\max}^2 - (D_2 - 0.01)^2]}{4}$$

或
$$d^2 > D_{\max}^2 - (D_2 - 0.01)^2$$

图 7-55a 是一种测量轴类工件外径的气动卡规，在卡规体 1 上固定有四块硬质合金板 3、4、5 和 6，用可调垫片 2 调节板 3 和 5 的位置，使卡规靠上工件后工件的轴线对板 4 和 6 的位置对称。为使卡规手柄隔热，在柄部固定有隔热板 8。卡规板 4 和 6 之间的最小距离 D_1 与工件最大直径的差值等于表 7-4 中 $(D - D_1)$ 值，喷嘴 7 的下沉量 a 见表 7-4。

图 7-55b 是一种接触式气动卡规的简图，在卡规体上有弹性槽使一个测量钳口是弹性的，在自由状态下尺寸 D_1 应小于被测外圆的直径。用直径分别等于工件上、下限直径的校对量柱调整量仪的示值和气动轴向测头的位置。

为检验轴的直径，也可将气动卡规固定在底座上，将轴放到卡规上进行测量，这种情况适合于检验长轴多个直径，可提高检验效率。有时为弥补各轴颈的同轴度误差，各卡规可相

对工件浮动。

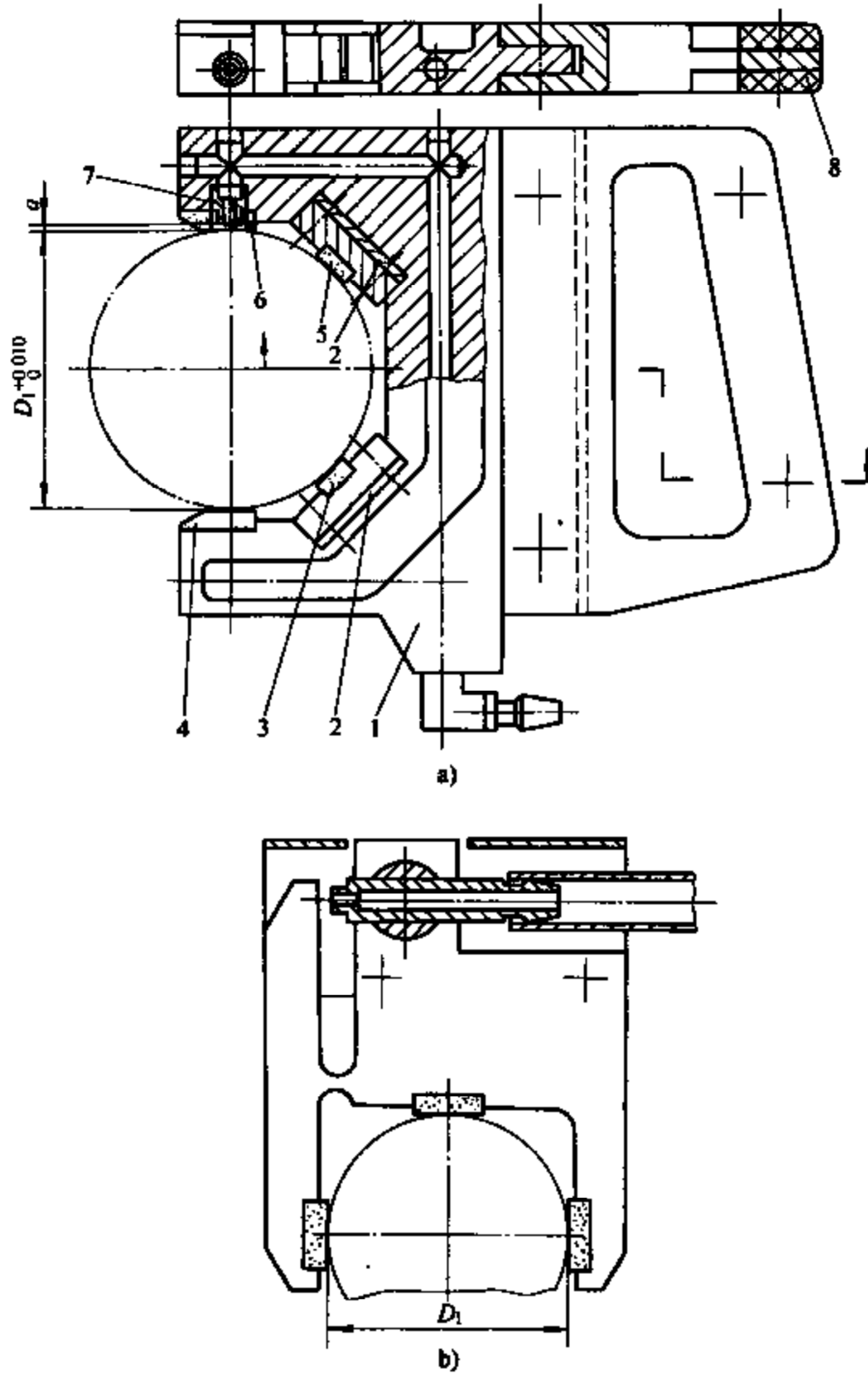


图 7-55 气动卡规

1—卡规体 2—垫片 3、4、5、6—硬质合金板 7—喷嘴 8—隔热板

图 7-56a 是利用可调轴向测头测量工件外圆两端的直径和锥度气动检具的示意图，工件按 V 形块定中（图中未示），轴向测头的位置按校准件调整，调好后固定。

气动轴向测头主要用于测量外表面，有时为防止工件表面与测头偶然的碰撞，防止当工件的实际尺寸超出公差值大于测量间隙时会碰坏轴向测头，或为便于装卸工件可采用图 7-56b 所示的带可移动测量喷嘴的测头。测量喷嘴 5 安装在膜片 2 上，并能在套 3 的孔内移动，当关闭空气通路时，在弹簧 4 的作用下，喷嘴 5 缩到套 3 里面这时可装卸工件；当接通气路时，压缩空气的压力压缩膜片 2，使喷嘴 5 向外移动直到靠上套 3 的端面（如图示），即可进行测量。通过配磨垫片 1 的厚度控制测量间隙 S 。

图 7-56c 是另一种带可移动喷嘴测头的示意图，测量喷嘴 9 安装在套 8 的孔内，其配合

间隙很小，但可轴向移动，分别固定在套 8 和喷嘴 9 上的销 6 和 7 交叉布置。套 8 在支座的轴向位置可调（图中未示）。在压缩空气工作压力的作用下，使喷嘴的端面与被测面之间的距离等于测量间隙 S ，这时销 6 与销 7 在测量方向上为一点接触，不会使喷嘴产生倾斜，提高了定位稳定性。当喷嘴端面偶然碰上工件表面时，喷嘴在接触力的作用下向上移动。这种结构外形尺寸小，便于固定，可用于各种测量装置（包括多尺寸测量）上。

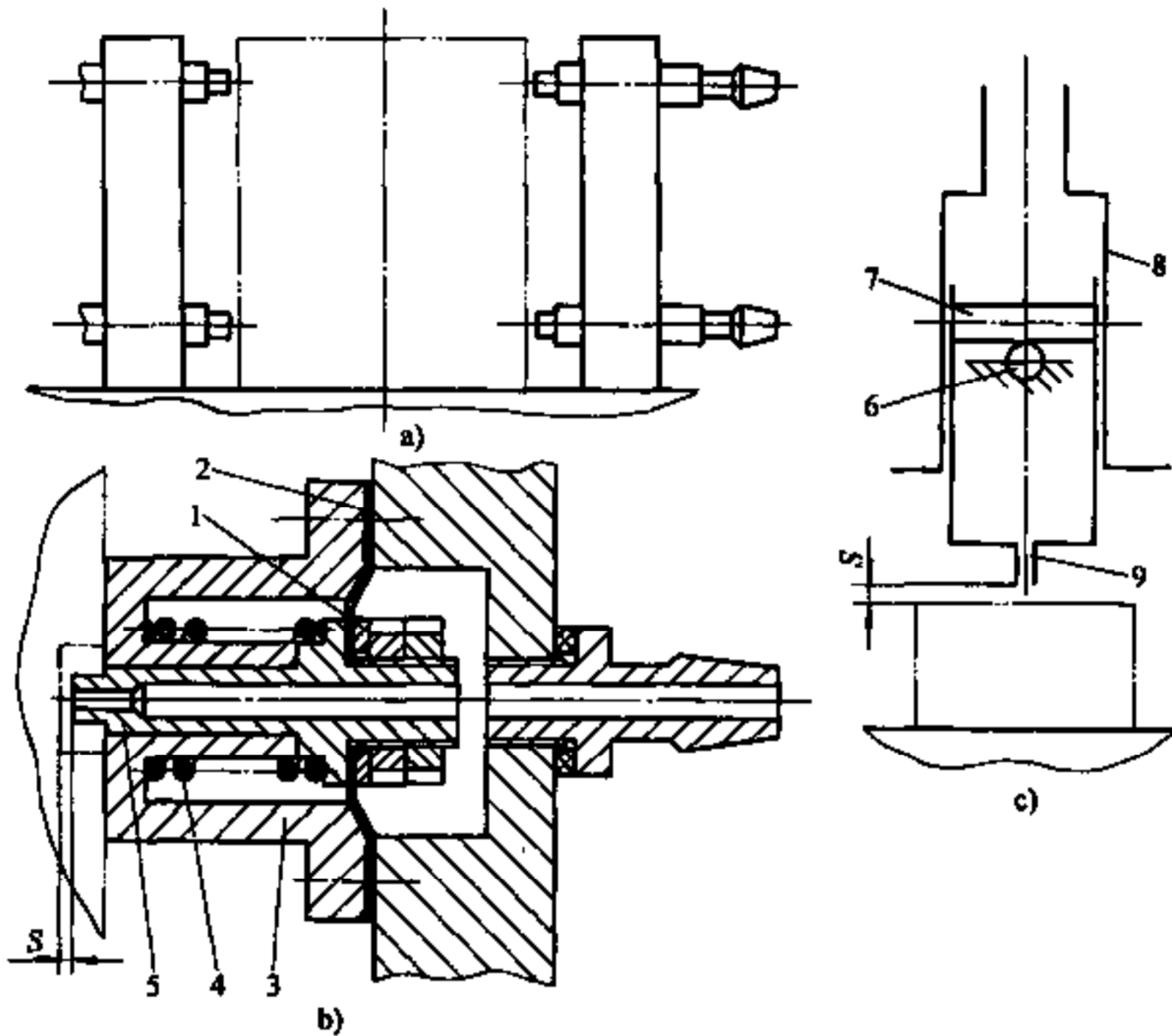


图 7-56 气动轴向测头的应用

1—垫片 2—膜片 3、8—套 4—弹簧 5、9—喷嘴 6、7—销

7.2.4 检验形位公差的气动检具

气动测量用于检验形位公差的优点是，测量精度高，在很多情况下对工件的定位精度要求不高，其结构比采用机械式测量时简单。气动测头本身精度高，气路通道小深孔多，制造比较麻烦，但在技术上并不很困难。在 7.2.2 节中，已对气动测量两孔平行度检具作了介绍。

图 7-57 是测量工件各中间孔对两端孔公共轴线同轴度的气动检具，检具以工件两端孔定位，当检具在工件孔中转动时，由各喷嘴通过量仪进行测量。这种方法比用心轴打表法测量精度高，比用光学自准直仪法操作简单。

根据所测孔径的大小和具体结构情况，定位元件和测量喷嘴可固定在心轴上，也可是通用可换的或可调的。图 7-57 是测量元件可换的测量装置。两定位环 3、各测量环 5 和各隔套装在心轴 4 上，定位环和测量环与心轴为过渡配合，用螺母 2 将各元件连为一体。用螺钉 1 使测量装置在轴向定位，在测量环 5 上各有一个测量喷嘴，测量喷嘴用软管通过手柄与量仪相连。在定位环 3 上有两个刚性定位支承凸台和一个弹性定位滚轮 6，弹簧 8 和滚珠 7 使滚轮靠在工件定位孔表面上。

两定位支承的外圆直径比工件最小孔的直径小 Δ_0 （见表 2-13）。应保证测量环外径

(也是喷嘴工作面的外径, 这种情况可不取下沉量) 在被测孔出现最大同轴度误差时, 其被测孔与喷嘴之间的最大和最小间隙在量仪的工作范围内。计算实例可参考图 7-58 的计算, 但图 7-58 是一个被测孔, 按有下沉量计算的。

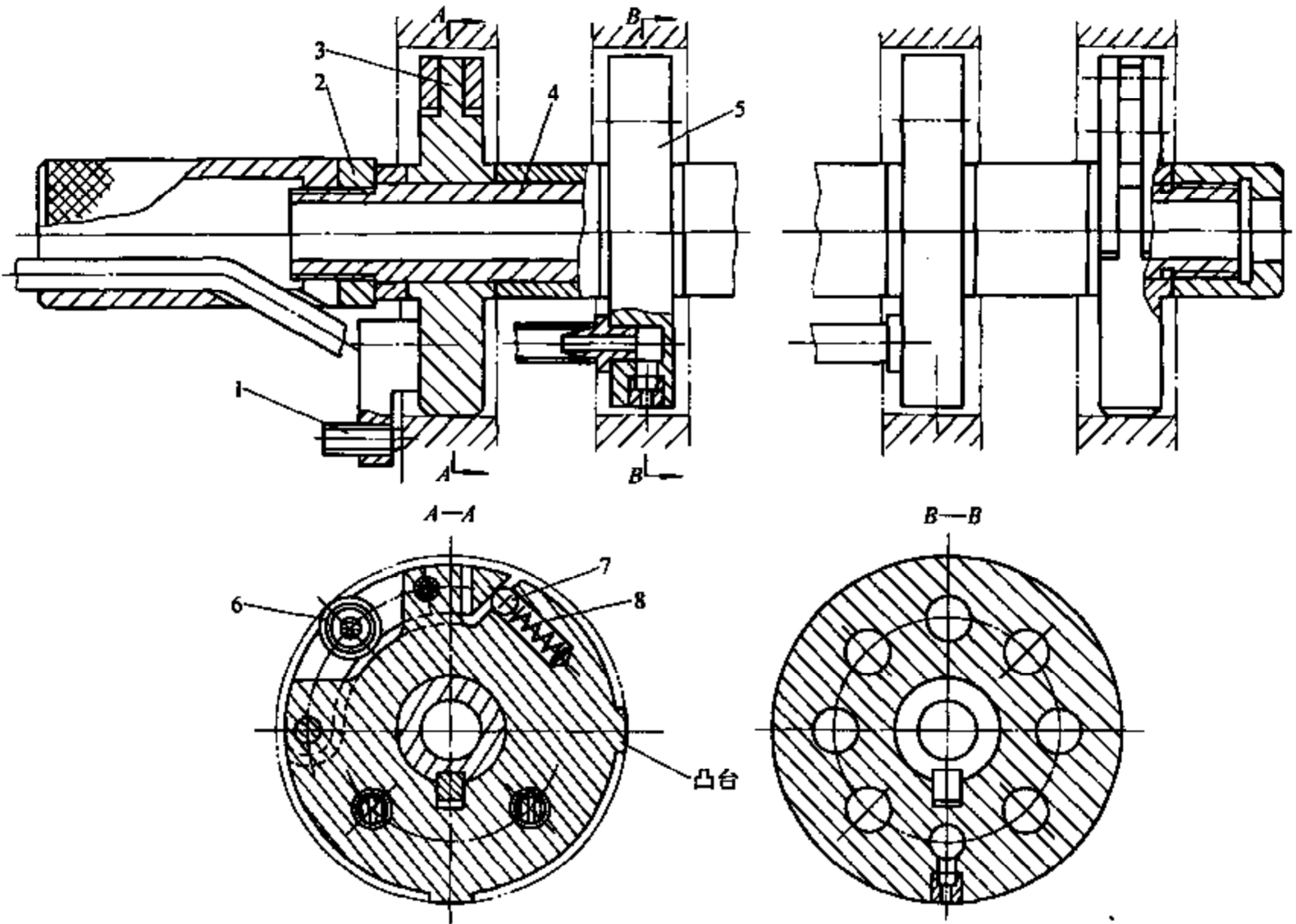


图 7-57 多孔气动同轴度检具

1—螺钉 2—螺母 3—定位环 4—心轴 5—测量环 6—定位滚轮 7—滚珠 8—弹簧

可用两校对环规分别模拟喷嘴的最大和最小测量间隙调整量仪的倍率。调整时将环规内孔的一素线靠在测量环外圆的素线上, 使两者之间的间隙偏在喷嘴的一侧。也可用测微台架代替校对环规调整量仪的倍率。

这种方法可用于检验机床主轴箱孔和发动机机体轴承孔的同轴度。

当被测孔的长度较长时, 为准确地测量同轴度, 各测量环应布置两个喷嘴, 在靠近被测孔两侧端面附近测量两个截面上的同轴度; 并且在定位环上也布置一个喷嘴, 同时测量定位孔对两定位截面公共轴线的同轴度, 这时定位截面应选择在靠近两端定位孔的外侧面附近, 而喷嘴布置在两端定位孔内侧面附近。

当被测孔较多时, 如果每个测量气路接一台量仪, 则量仪数量将过多。这时也可只用一台量仪, 为使各测量气路依次与量仪接通可用多位转换开关, 要求转换开关的密封性要好。测量同轴度是由量仪示值差决定, 对零位的要求不高, 所以采用多位转换开关是可行的。

用一般机械方法测量箱体零件相互距离较远和长度较小的两孔同轴度比较困难, 可采用气动静压方法按一孔定位, 气动测量另一孔的同轴度。图 7-58a 是用于分别检验 195 柴油机两主轴承孔和两凸轮轴承孔同轴度检具的简图。

工件放在底座上, 将检具放入工件。直径为 d_1 的轴颈与工件定位孔之间有一定间隙

S' ，当高压空气（0.4MPa）通过两排沿圆周均匀分布的各个小孔时，定心轴颈便自动按工件定位孔的表面准确确定中。由于有钢球支承在底座平面上，检具可灵活转动。在检具上有测量喷嘴，量仪最大与最小示值差就是被测量孔对定位孔轴线同轴度误差带的直径值。

检具定位轴颈的直径 $d_1 = (d - 0.02) - {}^0_{-0.010} \text{mm}$ (d 为工件定位孔最小直径)。

为提高定位效果，在每个喷嘴处有储气凹穴，其形状如图示，尺寸 t 见表 7-12。

图 7-58b 左半部表示工件被测孔与检具测量轴颈之间产生最大测量间隙 S_{\max} 的极限情况，而右半部表示产生最小测量间隙 S_{\min} 的极限情况，由图可知：

$$S_{\max} = \frac{D_{\max} + \Delta - D_{1\min}}{2} + a_{\max}$$

$$S_{\min} = \frac{D_{\min} - \Delta - D_{1\max}}{2} + a_{\min}$$

式中 D_{\max} 和 D_{\min} —— 工件被测孔最大和最小直径；

Δ —— 工件被测孔轴线对定位孔轴线同轴度公差带的直径；

$D_{1\max}$ 和 $D_{1\min}$ —— 检具测量轴颈的最大和最小直径；

$a_{1\max}$ 和 a_{\min} —— 喷嘴的最大和最小下沉量。

表 7-12 列出了 195 柴油机主轴承孔和凸轮轴承孔的尺寸和同轴度要求，根据此表确定采用 2000 浮标式气动量仪（其最大测量间隙为 0.15mm），取单喷嘴下沉量 $a = 0.02 \sim 0.03 \text{mm}$ ($a_{\min} = 0.02 \text{mm}$, $a_{\max} = 0.03 \text{mm}$)。

先确定 $S_{\min} = 0.035 \text{mm}$ ，即可求出测量轴颈 $D_{1\max}$ ，并取 $D_{1\min} = (D_{\max} - 0.01) \text{mm}$ （即 D_1 制造公差为 0.01mm），再计算出 S_{\max} (S_{\max} 应小于 0.15mm)。

检具的主要参数计算结果也列于表 7-12。

要求测量轴颈对定位轴颈的同轴度允差 $\phi 0.005 \text{mm}$ ，定位轴颈的圆度误差在 0.003mm 内，各定位喷嘴的直径 ($\phi 0.5 \text{mm}$) 应一致，各孔沿圆周均匀分布。

检具定位轴颈以上部分的结构在保证一定刚性的前提下应尽量减轻重量，以增加定位的稳性，保证测量精度。为使转动时不致别劲，进气接头到检具轴线的距离 L 应尽量大，接头与量仪用软管连接的长度应适当。

该检具未设计专用的校准件，而用测微台架按 S_{\max} 和 S_{\min} 调整量仪。该检具测量喷嘴也可不取下沉量，则直径 D_1 的计算将与上述有所不同。

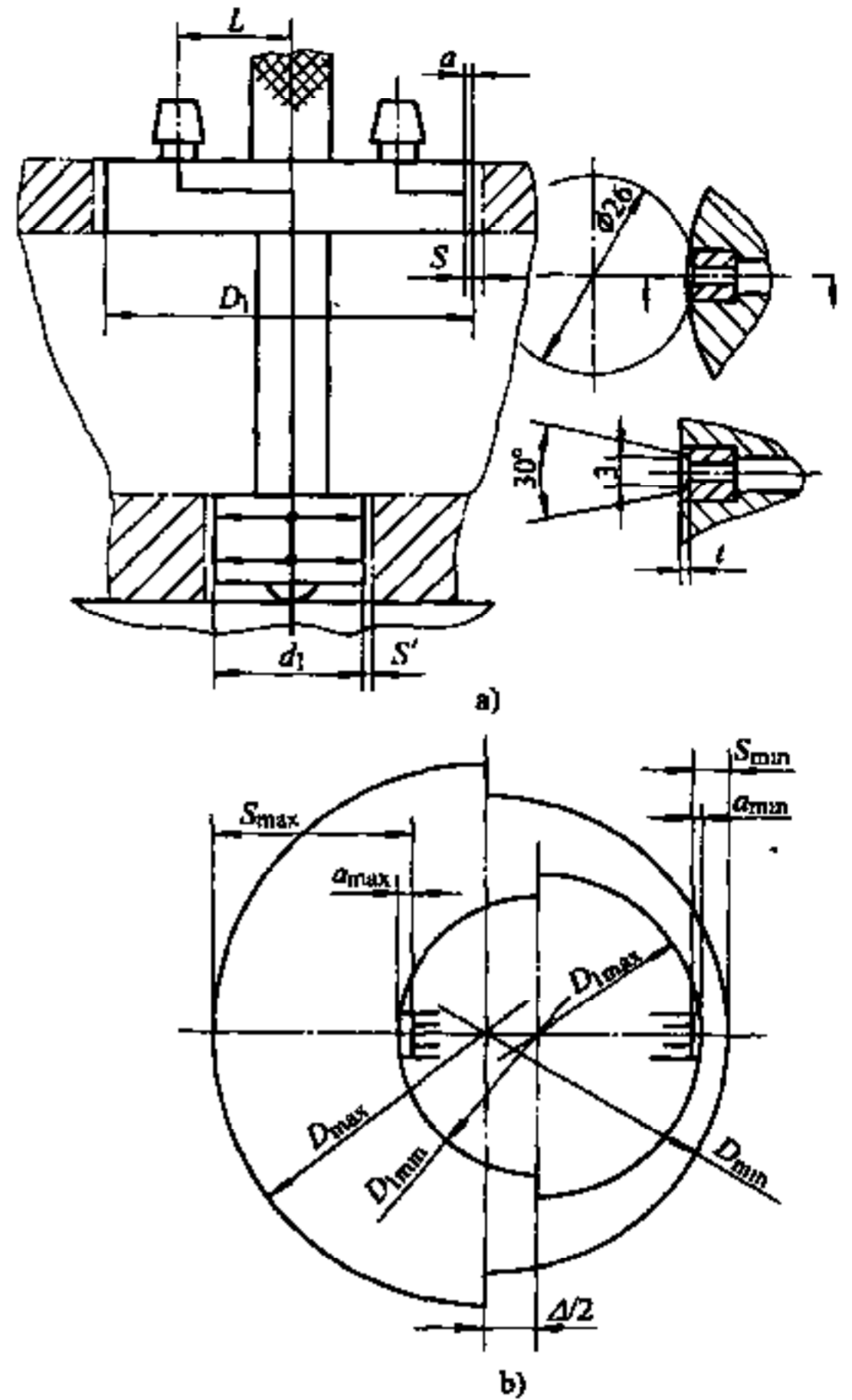


图 7-58 气动测量两距离远的孔同轴度检具

表 7-12 气动测量两孔同轴度参数表

(mm)

		主轴承孔	凸轮轴承孔
工 件	定位孔直径 d	$78 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$52 \begin{smallmatrix} +0.02 \\ -0.01 \end{smallmatrix}$
	被测孔直径 D	$200 \begin{smallmatrix} +0.045 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$80 \begin{smallmatrix} +0.020 \\ -0.010 \end{smallmatrix}$
	同轴度公差带直径 Δ	$\phi 0.030$	$\phi 0.06$
检 具	定位轴颈直径 d_1	$77.98 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.010 \end{smallmatrix}$	$51.97 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.010 \end{smallmatrix}$
	测量轴颈直径 D_1	$199.94 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.010 \end{smallmatrix}$	$79.90 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.010 \end{smallmatrix}$
	每排定位喷嘴数	12	8
	定位喷嘴凹穴深度 t	0.20	0.15
	S_{\max}	0.095	0.125
S_{\min}	0.035	0.035	

该检具的定位精度达 0.001mm，测量重复性误差为 0.001~0.002mm。

气动定位方法也可用于以工件两端孔公共轴线定位，测量各中间孔的同轴度，其定位精度为 0.001mm。这时可在每个孔各布置一排定位喷嘴；为增大定位力，也可在每个定位孔布置两排定位喷嘴，但两排喷嘴的距离应较小，以体现接近似一个截面定位。

对于长孔，若以两端头气动定位，在中间布置若干个测量喷嘴，则可利用测轴测量内孔的圆柱度。

气动测量与气动定位相结合，在使用上比较方便。

为检验各轴颈对两端轴颈公共轴线的径向圆跳动（例如发动机曲轴各主轴颈），采用浮标式或水柱式气动量仪便于观察，读数方便，可提高检验精度和效率。图 7-59 是曲轴各中间主轴颈对两端主轴颈公共轴线径向跳动检具，两端主轴颈在检具两对滚轮上定位（图中未示）。

多拐曲轴的重量大，考虑其在检具上的安装，同时为使测量时各台气动量仪的示值范围都相同，而且只反映各主轴颈的径向圆跳动，不受各主轴颈实际直径不相同的影响，采用图 7-59 所示的接触式浮动气动测量机构。测量机构中的片簧 4 应保证测量套 5 不会由于测量喷嘴喷出空气力的作用和软管连接的轻微别劲而移动，而在测量时又能在测销 2 的推动下顺利移动。

图 7-59 所示为处于测量时的位置，间隙 S 的变化反映被测量主轴颈的径向跳动。检验完后取下工件，由控制气缸（图中未示）通过各拨杆 10 带动滑座 8 使各测量机构向右退回原位。在退回过程中，夹持在测量套 5 上的卡箍 6 碰上弹性销 7，使测量套的喷嘴端面与测销 2 的端面接触，这时间隙 $S=0$ ，而测量间隙为下沉量 a 。在 $S=0$ 的情况下将各量仪的示值调零。

将要检验的曲轴装到检具上，由气缸使各测量机构向左移动到限位螺钉 9 上。调整检具，使测量机构向左移动到螺钉 9 上之前，测销 2 已与被测主轴颈表面接触，即保证在测量时有一定的距离 C 。这时测销 2 与被测表面接触是在任意位置，应先将曲轴转一圈使各主轴颈表面的最高点通过测销 2 将测量套 5 顶到最右边的位置，这时测量间隙为 a ($S=0$)；然后再使曲轴转动一圈，如果各主轴颈表面有径向跳动，则各轴颈测量机构的测销 2 端面与测量套 5 喷嘴端面之间的距离 S 的最大值就分别是各主轴颈表面对两端主轴颈公共轴线的径向跳动值，该值由各量仪显示。采用这种测量机构，可直接从量仪上读出跳动值，而无需记住每台量仪的最大与最小值，可显著提高效率。

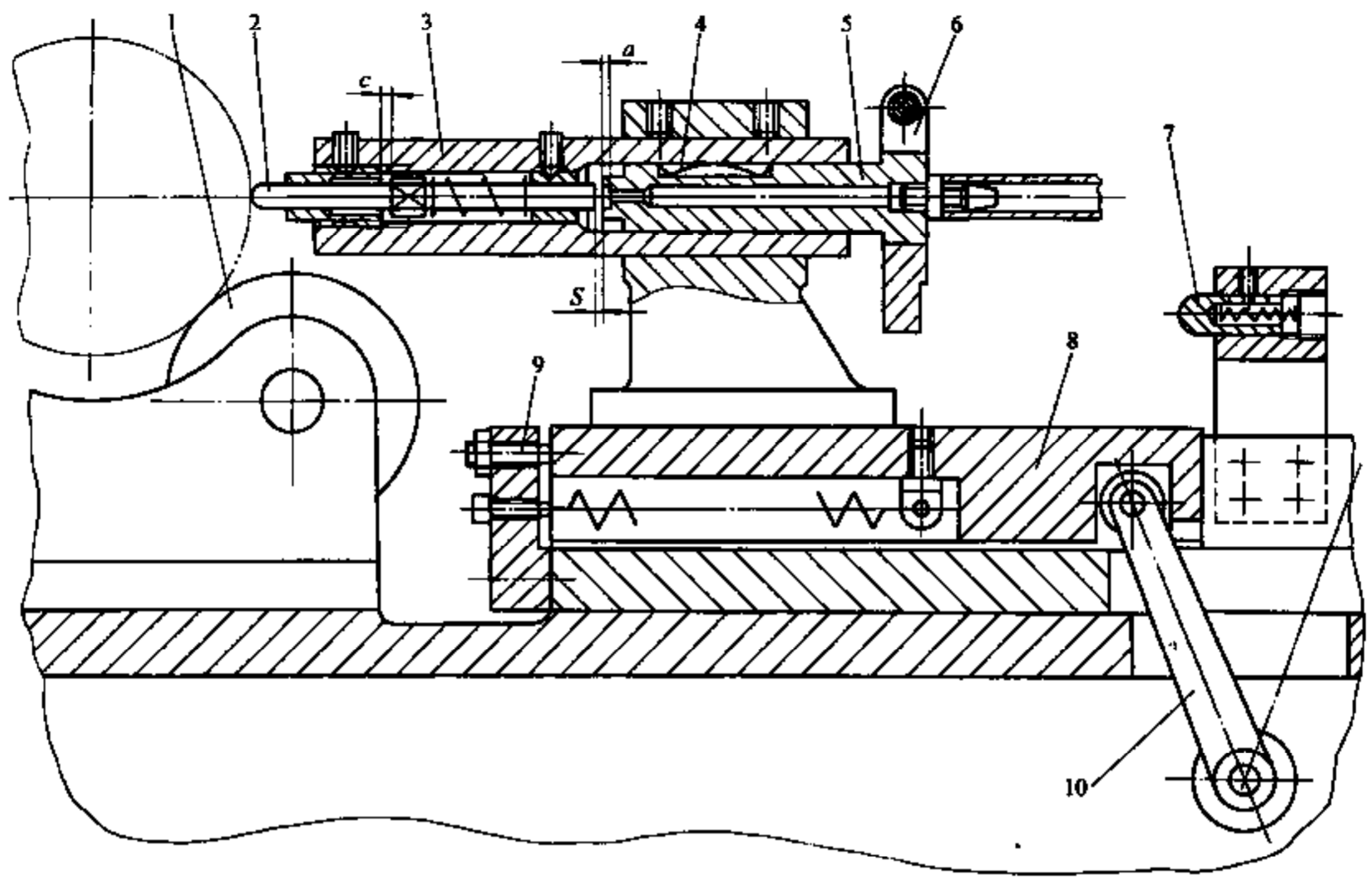


图 7-59 各中间轴颈对两端轴颈公共轴线的径向跳动气动检具
 1—定位滚轮 2—测销 3—可调轴套 4—片簧 5—测量套 6—卡箍
 7—弹性销 8—滑座 9—限位螺钉 10—接杆

在气动测量中有时可采用辅助测量喷嘴消除测量误差。例如图 7-60 是大型回转体工件上端外圆轴线对下端垂直度气动检具的示意图。

由于工件重量大，不适合用人工使其转动测量，因此将工件放在转盘 1 上。工件以大端面 and 止口定位，测杆 7 通过片簧 6 铰接在连接块 4 上，使测杆 7 上的两触头能按被测表面的形状摆动。连接块 4 可在作为无间隙导轨的两平行片簧 2 上平行移动，弹簧 3 使测杆 7 上的两触头始终与被测表面接触，在连接块 4 上有轴向气动测头 5。测量时使转盘转动，喷嘴 5 处的间隙 S_1 反映测量情况。

如果转盘 1 的定位面 A 对回转轴线的垂直度误差很小，则用普通气动量仪观察间隙 S_1 的变化即可得到工件上端外圆对下端面的垂直度误差，但这样对检具的精度有时要求将相当高，在制造上有困

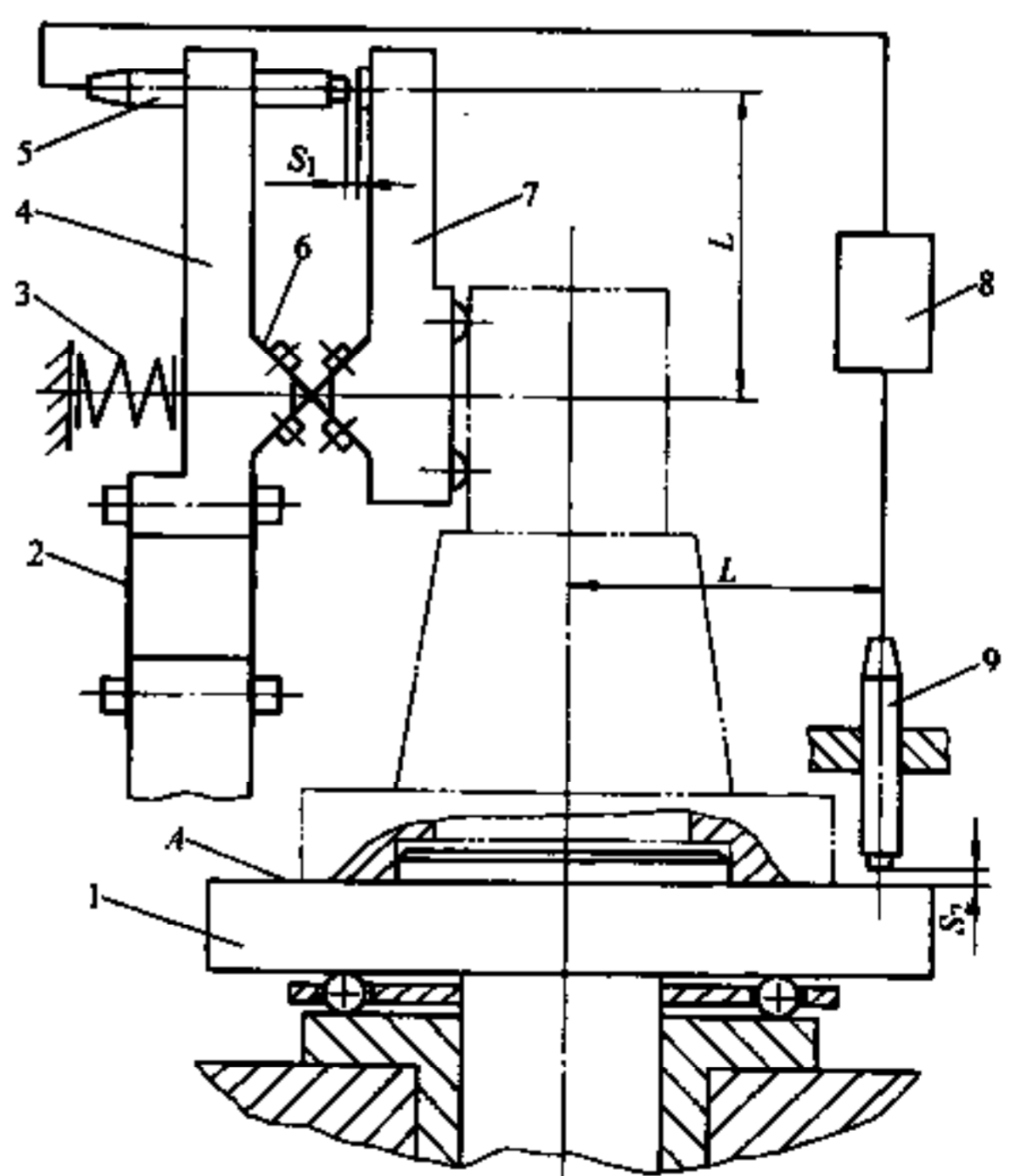


图 7-60 大型回转体工件上端外圆轴线对下端垂直度气动检具
 1—转盘 2、6—片簧 3—弹簧 4—连接块
 5、9—测头 7—测杆 8—气动量仪

难。为解决这个问题，在检具上辅加一轴向气动测头 9，该测头固定在检具上。定位面 A 对回转轴线垂直度误差使间隙 S_2 产生变化。由图可知 S_2 增大或减小，也将使 S_1 增大和减小同样值，即 S_1 与 S_2 之差受定位面 A 垂直度的影响，而只与工件被测外圆轴线本身的垂直度有关。所以将测头 5 和 9 分别接到差动测量型气动量仪 8 的两测量气路上，量仪最大的示值差就是工件上端外圆轴线对下端面对长度 L 上垂直度误差的两倍，并可由量仪发出合格或超差信号。

7.2.5 气动检具的气路系统

气动量仪对压缩空气的要求是：压力露点 1.7°C ；大气露点低于最小工作温度 10°C （一般为 -23°C ）；压缩空气中的含油率小于 10^{-7} ；过滤细度 $1\mu\text{m}^{[11]}$ 。

一个完善的压缩空气站应包括有：在压缩机进口处应有阻力不大的空气过滤器，以避免压缩机生产率降低；压缩空气从空气压缩机进入缓冲罐，使压力平稳，并使部分水分和油沉淀；压缩空气再经冷却装置，使油、水变成滴状被油水分离器收留；压缩空气再经油滤器，进一步滤清水和油分，若采用无油润滑压缩机，则可省去油滤器；压缩空气再进入干燥装置、除尘装置和储气罐，送往用户。但一般工厂的压缩空气站往往不够完善。

一般由工厂压缩空气站供应的气源，虽已经一定的净化处理，但只能供一般气动工具和设备使用，不能满足气动测量的需要，必须经进一步过滤和稳压才能进入量仪。图 7-61 是一般气动检具的测量气路。

图 7-61a 是使用一台量仪或同时使用的量仪数量少的情况，一个空气过滤器和调压阀能供给量仪的数量受到流量的限制。图 7-61b 是同时使用量仪较多的情况，气源经粗过滤器 3 后分为两个或多个测量支路，在每个支路上都有空气过滤器和调压阀，各供给一组量仪使用。一组量仪可同时测量几个单独的参数或几个相关的参数，例如用两台量仪测量平行度。

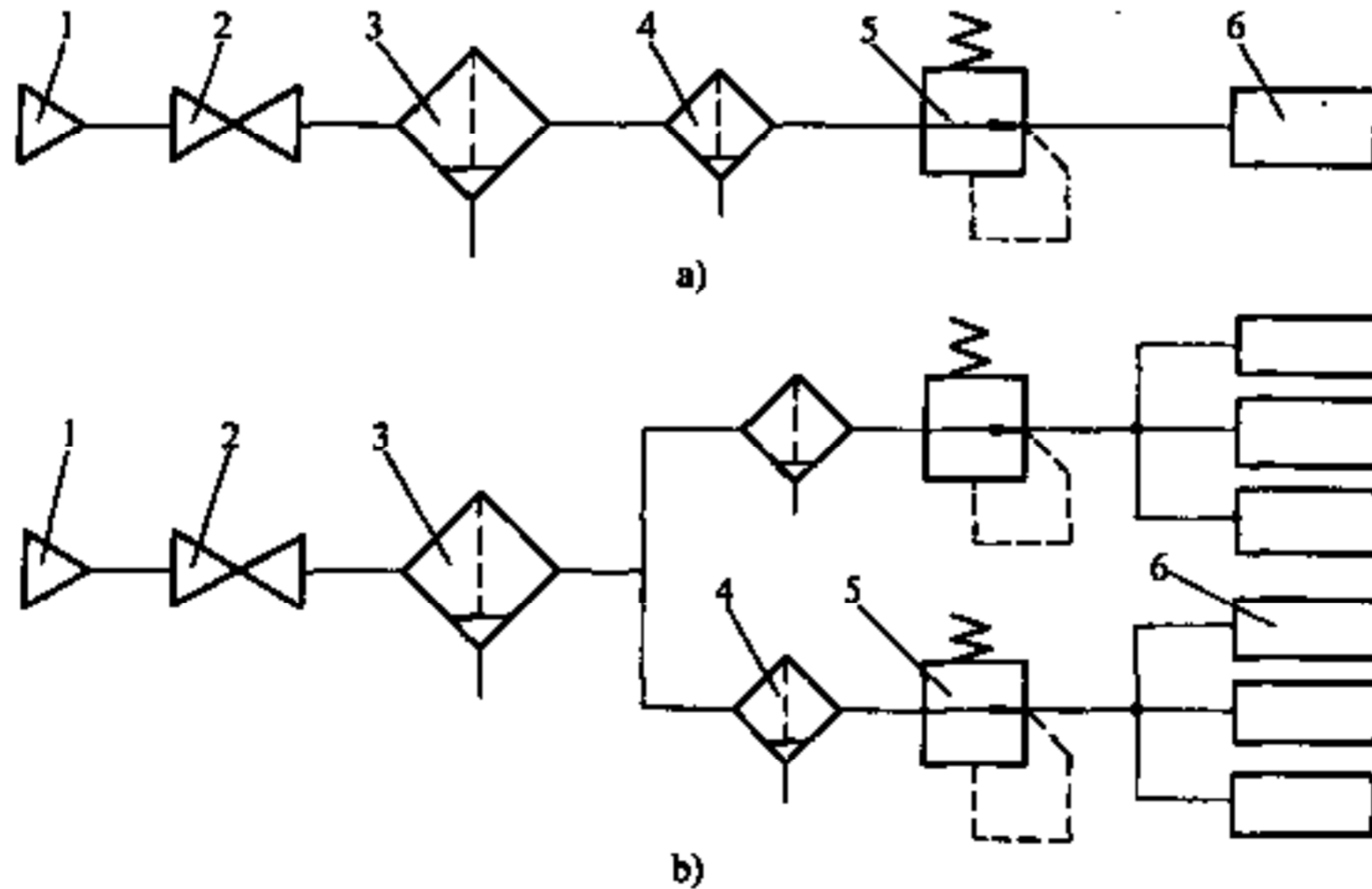


图 7-61 气动测量气路系统

1—气源 2—截止阀 3—粗过滤器 4—空气过滤器 5—调压阀 6—气动量仪

一个空气过滤器和调压阀可供给几台量仪适用于几台量仪同时进行测量。例如对于连杆气动多参数检具，将连杆放入两测头后，多台量仪同时进入工作状态。一个空气过滤器和调压阀不适用于供给分别工作的几台量仪，例如一台量仪测量外圆直径，另一台量仪测量内孔直径。这时可能两台量仪同时处于工作状态，但也可能只一台量仪处于工作状态，而另一台量仪由于操作的不同步处于非工作排空气体的状态，这样将使处于工作状态的量仪产生测量

误差达 $1\sim 2\mu\text{m}$ 或更大。

很多工厂压缩空气站不够完善，所供应压缩空气的质量也不相同，根据所供气源的情况，对图 7-61 所示的气路系统可有所变动。例如如果气源的水分较大，则应增加干燥器（小型的）；如果气源质量较高，则可省去粗过滤器。

以上所述是针对向一个检验点供气，如果在车间使用气动测量的地点较多，则应在压缩空气进入车间后设置总的、较大的粗过滤器和储气罐（必要时设置干燥器），然后再分别输送到各使用地点。这时在气动检具处的测量气路中省去粗过滤器。

对于高精度气动测量，例如精密件的分组，应在图 7-61 的基础上，再增加一个空气过滤器和调压阀，这样可提高气源压力的稳定性达 $\pm 0.001\text{MPa}$ ；在调压阀后和量仪前增设一定容积的储气罐有助于提高测量的稳定性。

在生产中有时在气动测量气路中采用机床夹具气路中所使用的 QSL 型空气过滤器（过滤细度为 $50\mu\text{m}$ ，水分离率 80%）和 QTY 型调压阀（输出压力变化不大于 $0.03\sim 0.05\text{MPa}$ ）。这不合理，因为过滤细度未达到 $1\mu\text{m}$ 的要求，水分离率也低，压力稳定性不够高。在气动测量气路中，应选用精度高的空气过滤器和调压阀，例如 PLA 型精密过滤器，过滤细度达 $0.3\mu\text{m}$ ，水分离率达 99.99%；QGD 型定值器，输出压力变化不大于 0.0015MPa 。当采用两个串联的过滤器或调压阀时，可只后面的一个用精密型的。应指出，有时应用气动测量效果不好，与空气过滤器和调压阀选用不合理有关。

粗过滤器可外购，也可自行设计，粗过滤器属于压力较低的压力容器。图 7-62a 是一种粗过滤器，其中过滤筒 4、气筒 3 和下盖 2 是用汽车上的零件经补充加工制成，其余零件是专门制造的。填料 6、8 和 9 分别采用硅胶、碎毛粘和玻璃丝棉。压缩空气从进气接头 7 进入，经管道沿气筒 3 孔壁旋转，在离心力作用下压缩空气中的污物和水甩向孔壁，随气流旋到筒体下部，压缩空气再经过滤筒 4 至出口管道 5。使用时每天用排水阀 1 排除水和污物。

图 7-62b 是另一种粗过滤器的结构，过滤筒 11 可用不锈钢无缝钢管或普通无缝钢管镀锌制造，其零件用普通钢镀锌制造，在过滤筒 11 中有多孔盘 10 和 12，在盘 10 和 12 之间铺上多层泡沫塑料。

采用过滤和稳压组件将使测量气路系统的安装简化和可缩短气路连接的长度。图 7-63 是原苏联 $\Pi-\Pi\Pi\text{B } \frac{25-16}{10}$ 型压缩空气净化装置，用于进入气动量仪压缩空气的过滤。该装置的两个侧板块 9 由拉紧螺钉拉紧，在两侧板之间布置各功能元件，各元件之间用接头和密封圈连接。压缩空气由截止阀 1 经单向阀 2 沿右侧板块 9 的通道，顺序进入过滤细度分别为 $40\mu\text{m}$ 和 $10\mu\text{m}$ 的空气过滤器 3 和 4，然后再进入精滤器 5 和干燥器 6，精滤器 5 和干燥器 6 的壳体都是利用一种外型尺寸较大的空气过滤器的壳体。精滤器 5 中的可换过滤芯管是由纸板、过滤纺织物和泡沫塑料组成的多层微尘过滤装置。干燥器 6 的结构与精滤器的结构相同，但在芯管与过滤材料之间还要加上活性炭。

压缩空气从干燥器 6 进入调压阀 8、左侧板块 9 和压力继电器 7，继电器 7 的作用是当压力过低时发出信号。净化的压缩空气从左端板块 9 进入压力表 10，再经过三个出口（图中未示）输送到使用点。

该装置的主要技术性能：通道直径 16mm ；公称压力 1MPa ；当压力为 0.63MPa 时空气消耗量 $1\text{m}^3/\text{min}$ ；压力降不大于 0.1MPa ；进入装置的压缩空气污染度不大于 $\text{ГОСТ}17433-$

72 12级 (ГОСТ 共有 0~14 共 15 个级别, 对气动测量空气污染度为 0 级); 过滤公称细度 $0.2\mu\text{m}$; 空气清洁度 99.9%; 出口处不允许含有水分; 在出口处当压缩空气和周围介质不超过 30°C 时油的含量不大于 $0.4\text{mg}/\text{m}^3$ 。

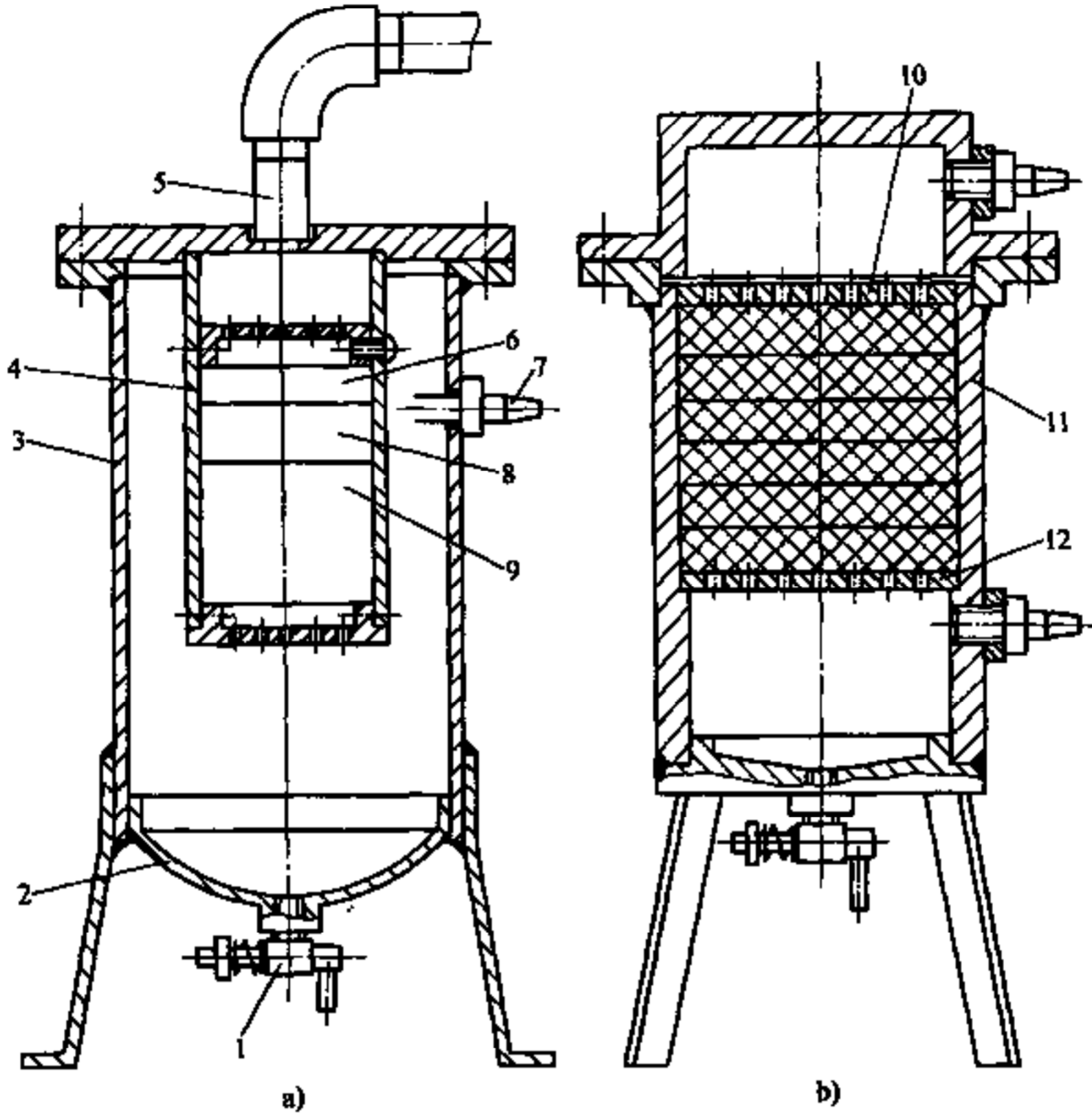


图 7-62 粗过滤器结构

1—排水阀 2—下盖 3—气筒 4、11—过滤筒 5—管道 6、8、9—填料 7—进气接头 10、12—多孔盘

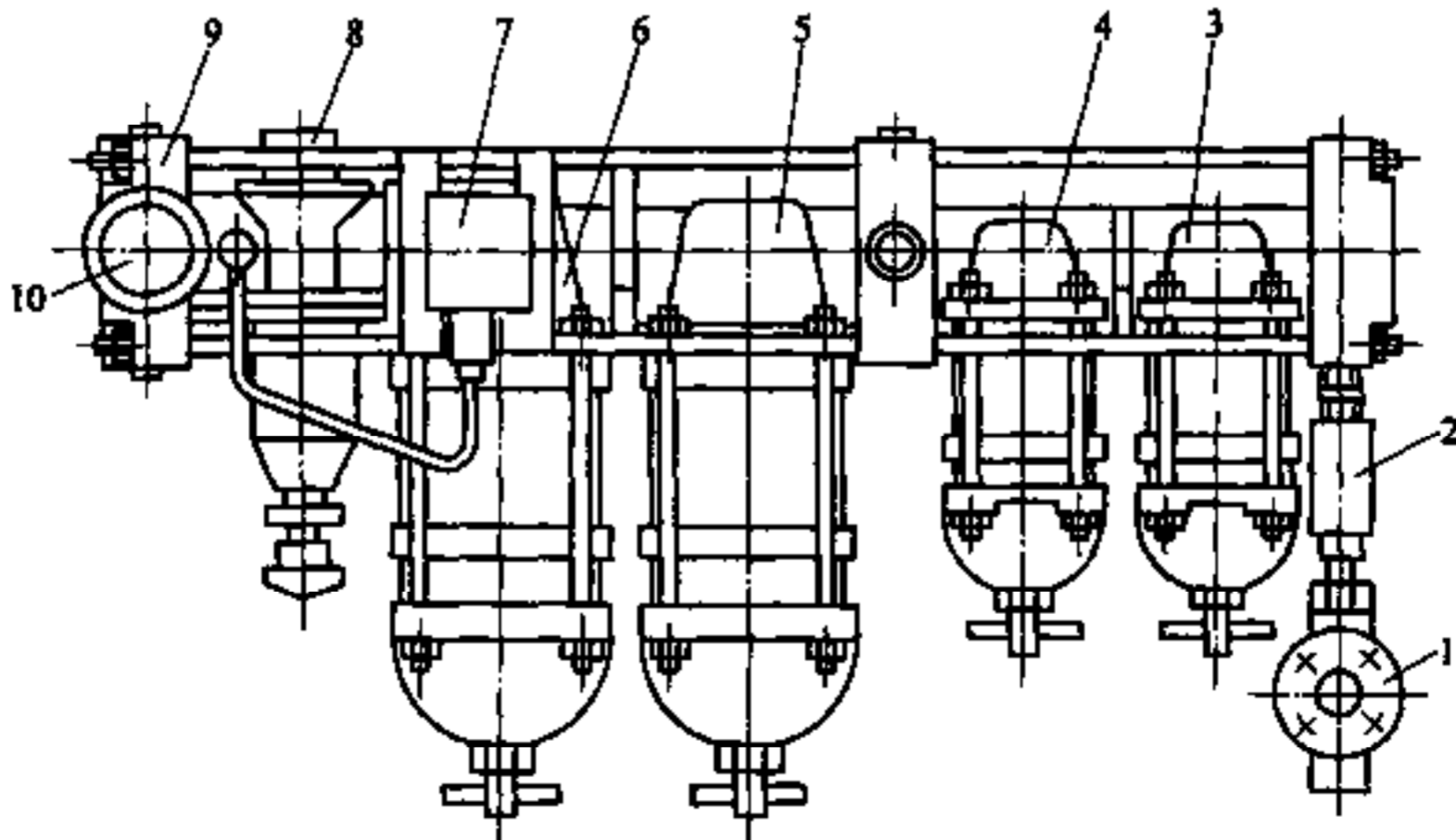


图 7-63 气动测量用过滤和稳压组件

1—截止阀 2—单向阀 3、4—空气过滤器 5—精滤器 6—干燥器
7—继电器 8—调压阀 9—侧板块 10—压力表

一般在测量气路上安装通径为 8 或 10mm 的空气过滤器和调压阀, 其流量分别为 5 和 7m³/h。在多参数测量时需要考虑一个空气过滤器和一个调压阀可同时供几台量仪使用的问题。

当测量喷嘴直径为 2mm、测量间隙为 0.2mm 和工作压力为 0.07MPa 时, 浮标量仪每管的空气流量为 0.92m³/h (0.0153m³/min)。该值可作为估算浮标量仪每管流量的依据, 并有一定储备。

对于图 7-58 两气动同轴度检具, 可以用 1 台浮标量仪, 但需要经常更换检具。为了在检验完主轴承孔同轴度后迅速和方便地检验凸轮轴承孔的同轴度, 应采用 2 台量仪。这时按空气流量可共用 1 个调压阀, 但由于主轴承和凸轮轴承孔同轴度不同时测量, 为防止一台量仪工作、另一台量仪排空而产生相互干扰, 应该用 2 个调压阀。

对于图 7-50 连杆两孔在两个方向上平行度气动检具, 共有 4 个测量气路, 需要 4 台量仪, 每个测量气路相当于两个 $\phi 2\text{mm}$ 喷嘴对向布置, 所以每台量仪的流量为 0.92m³/h, 4 台量仪总的流量为 $4 \times 0.92\text{m}^3/\text{h} = 3.68\text{m}^3/\text{h}$ 。因为这 4 台量仪同时工作, 所以可用一个调压阀。

对其他中高压 (压力大于 0.02MPa) 气动量仪可按图 7-64 估算气动测量时的流量^[14]。该图适用在一个测量气路上有 1~4 个喷嘴。

气动检具一个测量气路上总的测量间隙为 S_{\max} , 如果共有 n 个喷嘴, 并按每个喷嘴处的最大测量间隙 $S_{\max(n)}$ 相等考虑, 即 $S_{\max(n)} = \frac{S_{\max}}{n}$ 。

一般检具在一个气路上的 S_{\max} 与所选用量仪规定的最大测量间隙比较接近, 在这种情况下量仪的实际工作压力约为 $(0.5 \sim 0.8)p$ (p 是量仪规定的工作压力)。为保证流量有一定储备, 又不致使估算的流量过大, 按测量喷嘴直径、每个喷嘴处的最大测量间隙 $S_{\max(n)}$ 和压力 $0.75p$ 查图 7-64 确定每个喷嘴的流量, 再乘以喷嘴数 n , 就得到检具一个测量气路的空气流量 Q_1 。

在考虑空气消耗量时还要考虑气动量仪内部的消耗, 例如对于波纹管 and 薄膜式气动量仪要考虑量仪反压气路上的流量。反压气路流量 Q_2 可按测量喷嘴直径、量仪规定的平均测量间隙 (零位间隙) 和压力 $0.75p$ 查图 7-64 确定。

这样, 一台量仪总的空气流量为 $Q = Q_1 + Q_2$ 。对于多参数气动检具, 各台量仪空气流量之和就是所需要供给的空气总流量。

下面以实例说明图 7-64 的使用。

检验工件孔的两端直径 $D = \phi 50^{+0.025}_0$, 在相互垂直的两个方向上检验孔的圆度和锥度 0.015mm, 并要求发出直径合格、超上差和超下差以及圆度和锥度超差信号, 测量示意图见图 7-65。

为此采用 4 台 BQY-210 型普通波纹管气动量仪 (图中 1、2、3 和 4) 测量直径, 量仪的测量范围为 0.05mm、平均测量间隙为 0.12mm, 工作压力为 0.15MPa, 测量喷嘴直径为 2mm, 可发出 3 个信号; 采用 4 台 BQY-410 差动测量型波纹管气动量仪测量圆度和锥度, 其中量仪 1—2 和 3—4 分别测量孔两端截面的圆度, 量仪 1—3 和 2—4 测量孔的锥度。量仪的测量范围、平均间隙、工作压力和测量喷嘴直径与 BQY-210 相同。

在测头上有 4 对 $\phi 2\text{mm}$ 的测量喷嘴, 1—1 和 3—3 两对喷嘴与 2—2 和 4—4 两对喷嘴相

互垂直布置在同一截面上（图上错开划出）。由表 7-4 可确定测头外径为 $D_1 = 50_{-0.025}^{+0.015}$ ，取下沉量 $a = 0.035 \sim 0.040\text{mm}$ 。

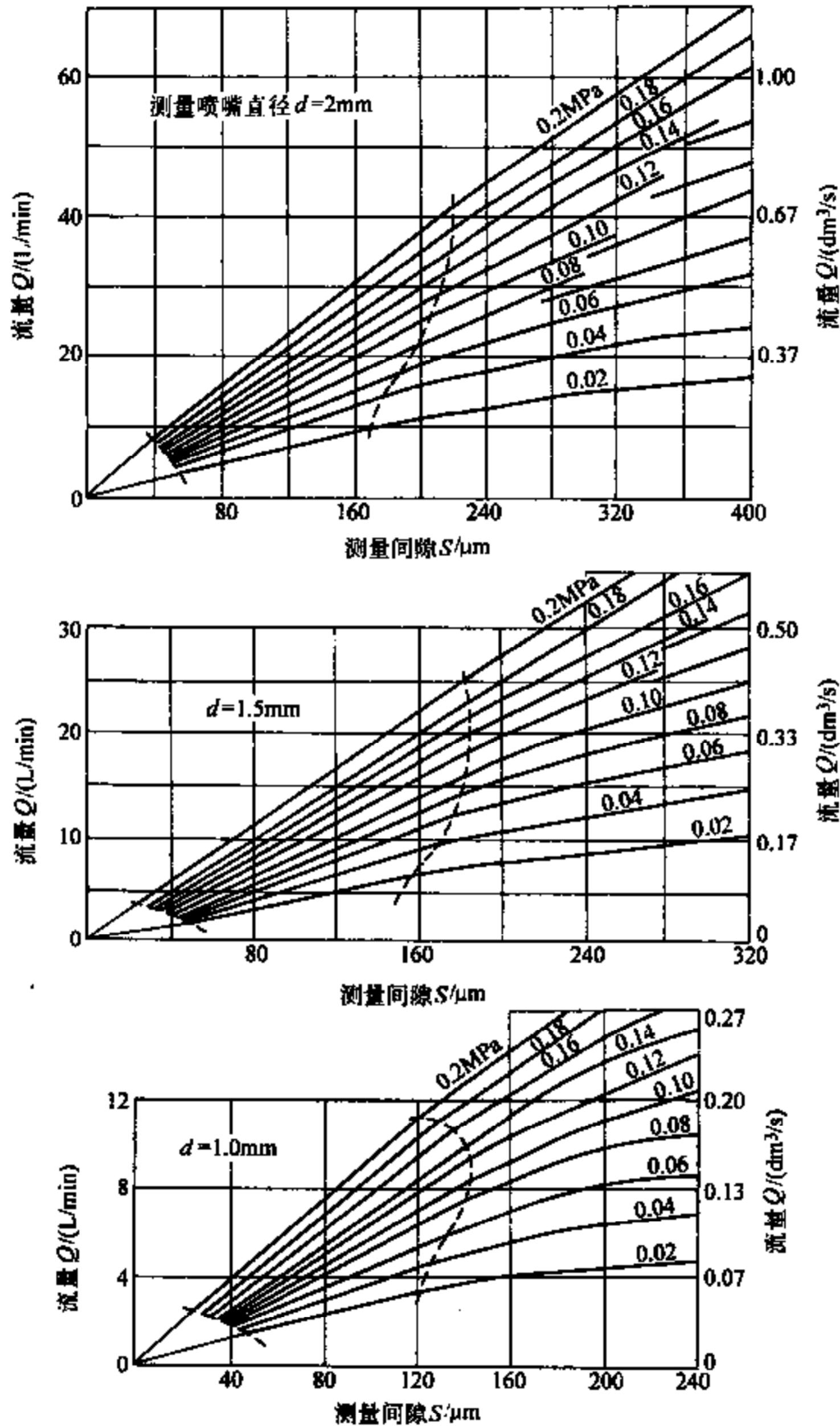


图 7-64 中高压气动测量喷嘴的流量特性

每个测量气路的最大测量间隙 S_{max} 为工件孔最大直径 D_{max} 与两喷嘴工作面最小外径（等于 $D_{1\text{min}} - 2a_{\text{max}}$ ）之差，即

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &= D_{\text{max}} - (D_{1\text{min}} - 2a_{\text{max}}) \\
 &= \{ (50 + 0.025) - [(50 - 0.025) - 2 \times 0.04] \} \text{mm} = 0.13\text{mm}
 \end{aligned}$$

每个测量喷嘴处的最大测量间隙为

$$S_{\text{max}(n)} = \frac{0.13}{2} \text{mm} = 0.065\text{mm}$$

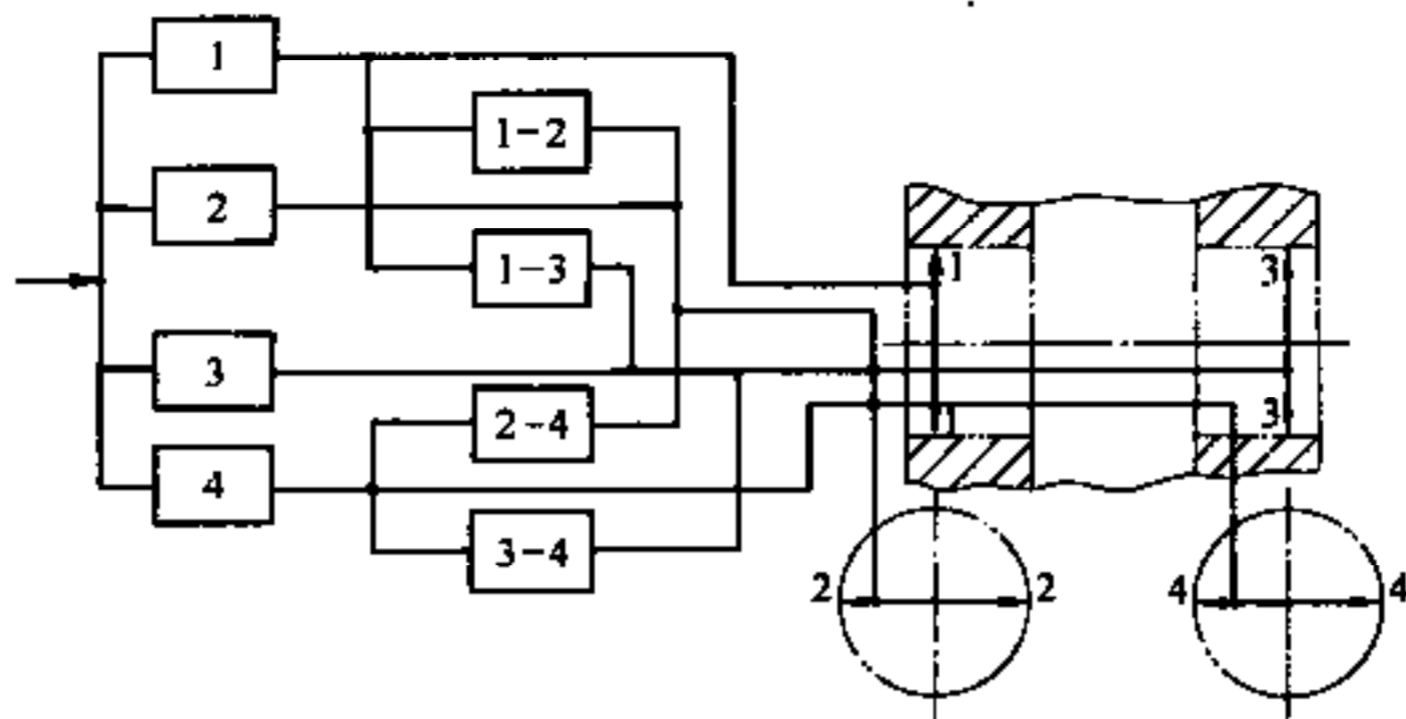


图 7-65 气动测量孔的直径、圆度和锥度

按喷嘴直径为 2mm、压力为 $0.75p = 0.75 \times 0.15\text{MPa} = 0.11\text{MPa}$ 和 $S_{\max(n)} = 0.065\text{mm}$ ，查图 7-64 确定每个喷嘴的流量为 $0.16\text{dm}^3/\text{s} = 0.576\text{m}^3/\text{h}$ ，每个测量气路的流量为 $2 \times 0.576\text{m}^3/\text{h} = 1.152\text{m}^3/\text{h}$ ，4 台 BQY-210 型量仪的流量 $Q_1 = 4 \times 1.152\text{m}^3/\text{h} = 4.61\text{m}^3/\text{h}$ 。

按喷嘴直径为 2mm、压力为 $0.75p = 0.11\text{MPa}$ 和量仪平均测量间隙为 0.12mm，查图 7-64 确定 BQY-210 型量仪反压支路的流量为 $0.20\text{dm}^3/\text{s} = 0.72\text{m}^3/\text{h}$ ，4 台量仪反压支路总的流量为 $Q_2 = 0.72 \times 4\text{m}^3/\text{h} = 2.88\text{m}^3/\text{h}$ 。

以上计算的是 4 台 BQY-210 型量仪的流量。

由于 4 台 BQY-410 型差动测量仪的气路与 BQY-210 型量仪的气路同时共用，不另供气，而且差动量仪两支路零位调整螺钉的开度应很小，其流量可忽略（一般零位螺钉是关闭的）。因此整个检验装置的流量为 $Q = Q_1 + Q_2 = 7.95\text{m}^3/\text{h}$ 。由于 4 个测量气路同时工作，所以可用一个通道为 15mm 的调压阀供气，其流量为 10m^3 。

7.3 采用电动量仪的检验夹具

电动量仪可用于测量工件的尺寸和形位公差，用于精密分选和在加工中测量等。电感量仪是常用的电动量仪，电感量仪可用一个测头（传感器）测量，也可用两个测头进行和差测量。和差测量的优点是在测量时能消除工件的定位误差以及由于测量装置的移动或转动而产生的误差等。

当采用不带和差演算的电感量仪（例如 SDY-1 型数显电感量仪）测量时，轴向电感测头的一端与工件被测表面接触，另一端导线接到量仪上。在带和差演算的电感量仪（例如 DGB-4 型）上，当测量一个尺寸时应将轴向电感测头的导线接到量仪背面的插座 A 上，将量仪选择开关置于位置 A（图 7-66a）；当测量两个尺寸的和或差时，则应将两轴向电感测头的导线分别接到量仪背面的插座 A 和“A+B”或“A-B”上，并将量仪的选择开关置于“A+B”或“A-B”的位置上，图 7-66b 所示为测量“A-B”，通过测量 $(H - H_1)$ 测量气缸套支承肩凸台高度 h 。根据被测参数的公差，选择电感量仪的测量档位。

测量前应检查量仪的零位，如有偏离应进行调整。如果在一台检具上要用量仪两个测量档位，还应检查量仪的平衡，即各档量程的零位应一致，如有故障应进行调整。然后用测微台架或块规、校准件调整量仪的倍率。测量时将被测工件置于测量位置，由电感量仪的示值

即可确定工件被测参数的大小。

为便于观察和提高检验效率，可采用继电控制装置（例如中原量仪厂生产的DKB-2d型继电控制装置），将继电控制装置的导线插到电感量仪背面的输出信号插口，继电控制装置能在电感测量仪的指示范围内任意选定区间发出“合格”、“正超差”和“负超差”等信号。

在多尺寸电感检具上可采用多位转换装置，通过转换开关将多个电感测头所测得的尺寸依次在一台量仪上显示出来，这样用一台量仪即可测量多个尺寸，但效率较低。

在成批和大量生产中，为提高检验效率、便于观察和使整个检具造型合理，应采用统一的综合专用量仪测量多个参数，量仪同时显示各参数的判别结果（合格、超上差、超下差或分组级别等），并有数显口。一般设置一个数显口（当然根据需要也可设置多个），供校准量仪和在测量过程中查询工件各被测参数的实际值。

图7-67是测量发动机曲轴各主轴颈直径和其对两端定位轴颈公共轴线径向圆跳动的电感检具测量部分的示意图。

工件以两端主轴颈定位（图中未示），在各中间主轴颈测量截面上有两测量触头4与被测表面接触，触头4固定在活动块3上，活动块3可在两平行片簧1上移动。弹簧6使两触头4与被测面可靠接触且同时使两电感测头2与支架5表面接触（图7-67a）。

测量前用校准件调整电感量仪。测量时工件转动，由一个电感测头测量被测表面半径的变化，即径向圆跳动；由两个电感测头信号的合成测量被检验轴颈的直径，这时不受被测轴颈轴线位置误差的影响。

若只测量两端定位主轴颈的直径，则只用一个电感测头7即可（图7-67b）。使测头7的触头与固定在左边活动块上的挡销8接触，由电感测头7直接反映被测直径值。为避免安装工件时损坏测量触头，检具应有工件导向装置。

图7-67c是测量曲轴各主轴颈两端面距离尺寸和两端面对两定位轴颈公共轴线端面圆跳动的电感检具示意图。

活动块9、12和14、15分别在各自的两平行片簧上移动，其位置应错开。在各活动块装有各自的电感测头10，在弹簧的作用下测头10与固定的挡销11接触，各活动块上的测量触头13与被测端面接触。测量时工件转动，由活动块9和15上的触头所测得两信号之差的最大值就是工件轴颈端面A对两定位轴颈公共轴线的端面圆跳动，同样由活动块12和14上的触头可得到端面B的径向圆跳动；而由活动块9和12上的触头所测得的两信号之和就是端面A与B之间的距离。

为便于安装工件，测量装置应能沿工件径向移动，测量时进入，测量后退出。该检具采用专用量仪。

电子塞规、卡规和环规在生产中应用，需采用小型电感测头。电子塞规等测量装置由本

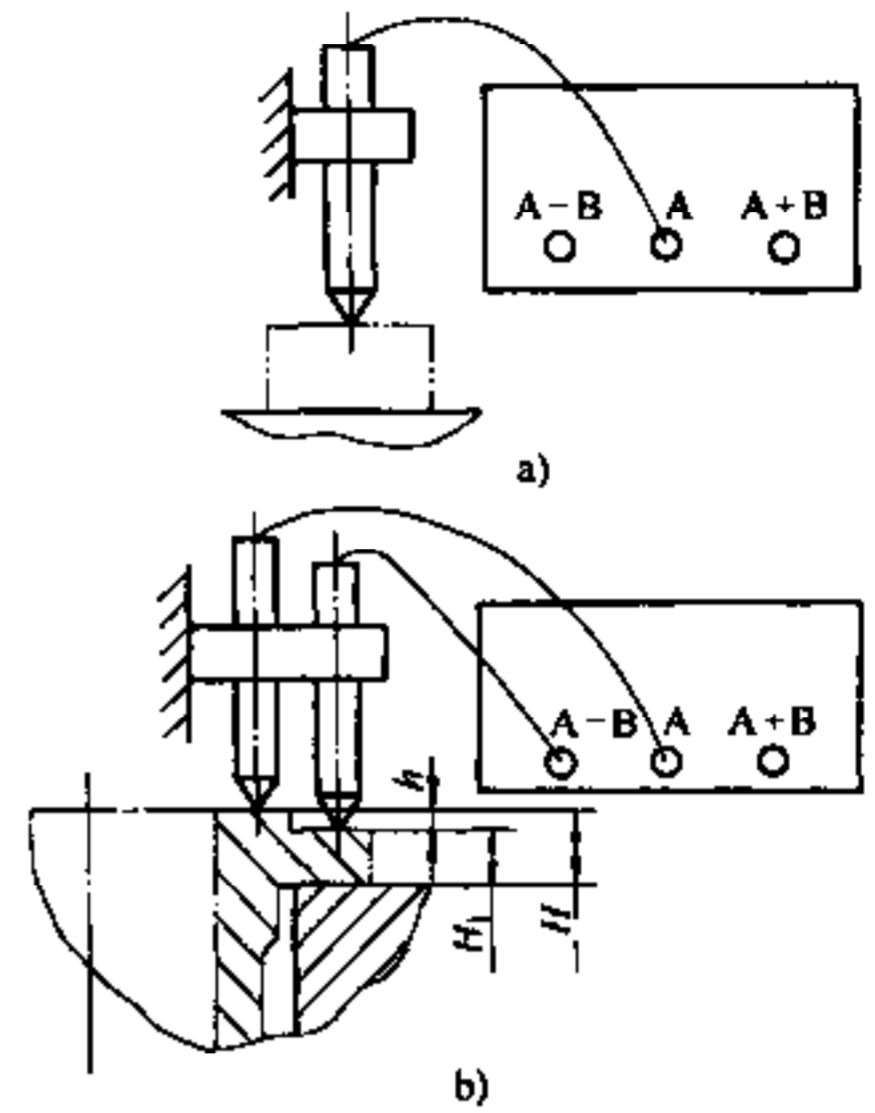


图7-66 带和差演算电感量仪的应用

体组件（包括本体、导套和带硬质合金的触杆）和差动变压器组成。使用这些装置时通常都需要与配套的电子量仪连接，量仪可用表头读数气体发光显示或数字显示，在这些量仪上有可与任何类型逻辑线路相连的插口，可进行复杂的测量。采用电子塞规、卡规等的优点是测量精度高、稳定性好，其触头采用硬质合金不易磨损，磨损后可重新调整。

意大利马波斯（MARPOSS）公司生产的 M1 电子塞规（我国成都工具研究所与意大利合作生产、北京航空工艺研究所也生产）与 E18 电子量仪配套使用（E18 量仪也可单独使用），可放大并显示电子塞规等的信号，E18 量仪的主要技术性能见表 7-13。

为测量外径，马波斯公司生产有 M3 可调式电子卡规；还有 M2 电子卡规，在其上可有 2、4 或 6 个触点，可测量外圆表面的直径、锥度和圆柱度，适用于高生产率的检验。

为测量发动机机体各主轴承孔的直径，使测量装置能从两孔端面之间放入各被测孔，采用如图 7-68 所示的电感测量装置，在该装置上采用电子塞规用的小型电感测头。

图 7-68a 是一种结构，电感测头由导套 1 和测杆 5 组成，导套 1 在本体 4 的空气静压导向 8 中移动，测杆 5 在导套 1 的孔中移动。在导套 1 和测杆 5 的端部有硬质合金测量触头 6，在导套内有两个线圈 2，测杆的中间部分是铁心 3，因此电感测量线路只反映导套 1 与测杆 5 之间的相对位移。从静压导向 8 来的压缩空气通过导套 1 上的孔 7 流入导套与测杆之间的间隙，使两测量触头 6 以一定的测量力（当稳压后的气源压力为 0.2MPa 时测量力为 120g）与被测表面接触，同时可防止污物从外部进入导套内。

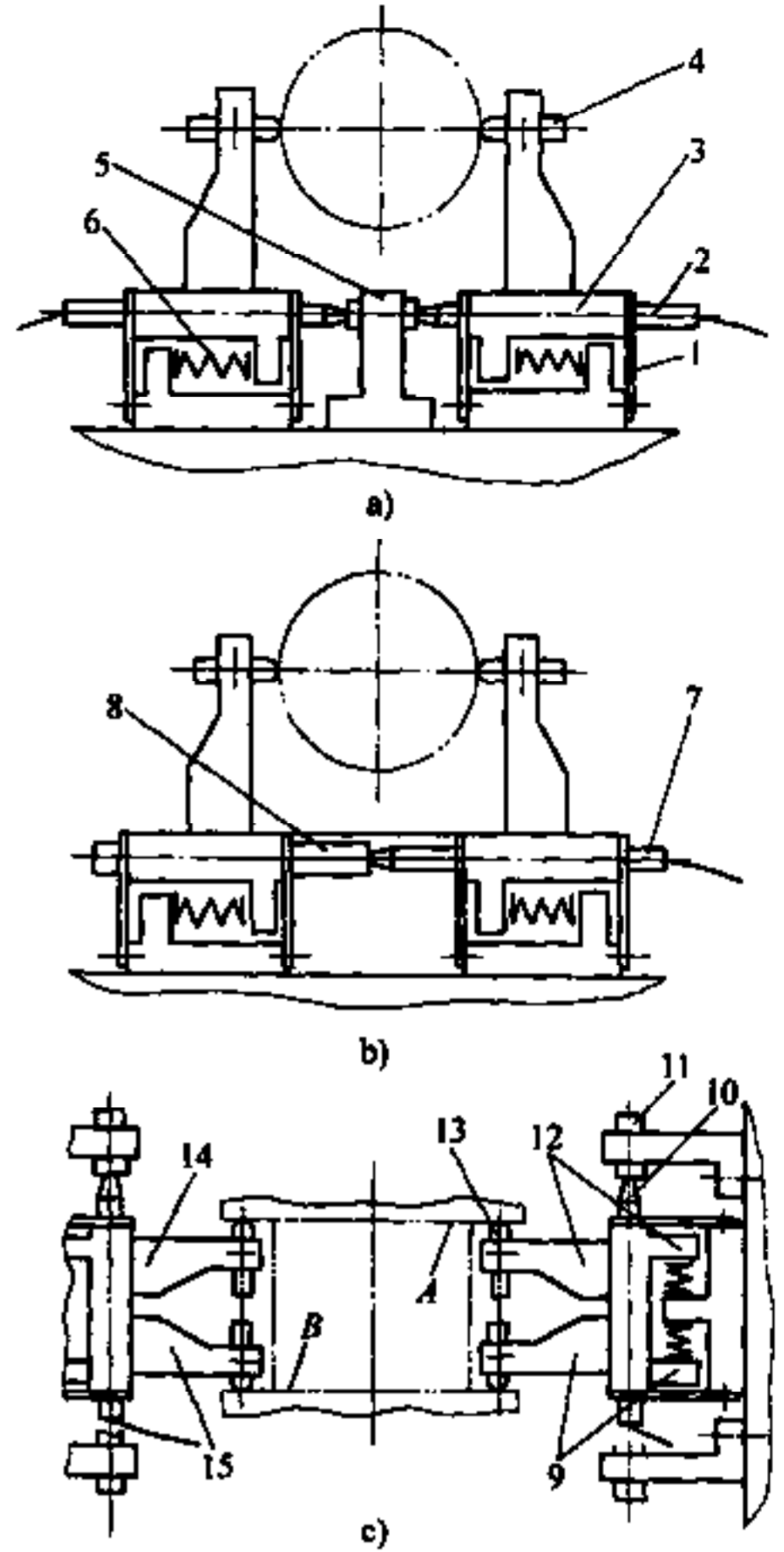


图 7-67 曲轴主轴颈径向和端面圆跳动及距离尺寸电感检具

- 1—片簧 2、7、10—测头
- 3、9、12、14、15—活动块
- 4、13—触头 5—支架
- 6—弹簧 8、11—挡销

表 7-13 E18 电子量仪的主要参数^[21]

(μm)

测量范围	± 10	± 30	± 100	± 300	± 1000
分度值	0.5	1	5	10	50

在垂直于两测量触头公共轴线的平面上有固定定位销 12，它与工件孔的接触点到孔轴线的距离等于工件孔的半径。当压缩空气进入后，可伸缩的定位销 13 伸出，使定位销 12 靠在被测孔表面上，实现测量装置在工件孔中的定中。切断气源后，弹簧 11 使测量触头返回原位，定位销 12 和 13 也返回原位，返回量 1mm。

为便于安装测量部分，将心轴 10 做成沿轴线剖开成两部分，整个测量装置固定在轴 10 基准部分的剖开接合面 A 上（通过两平行片簧 14），在接上气路和电路后，将盖 9 装上，并

用螺钉紧固。

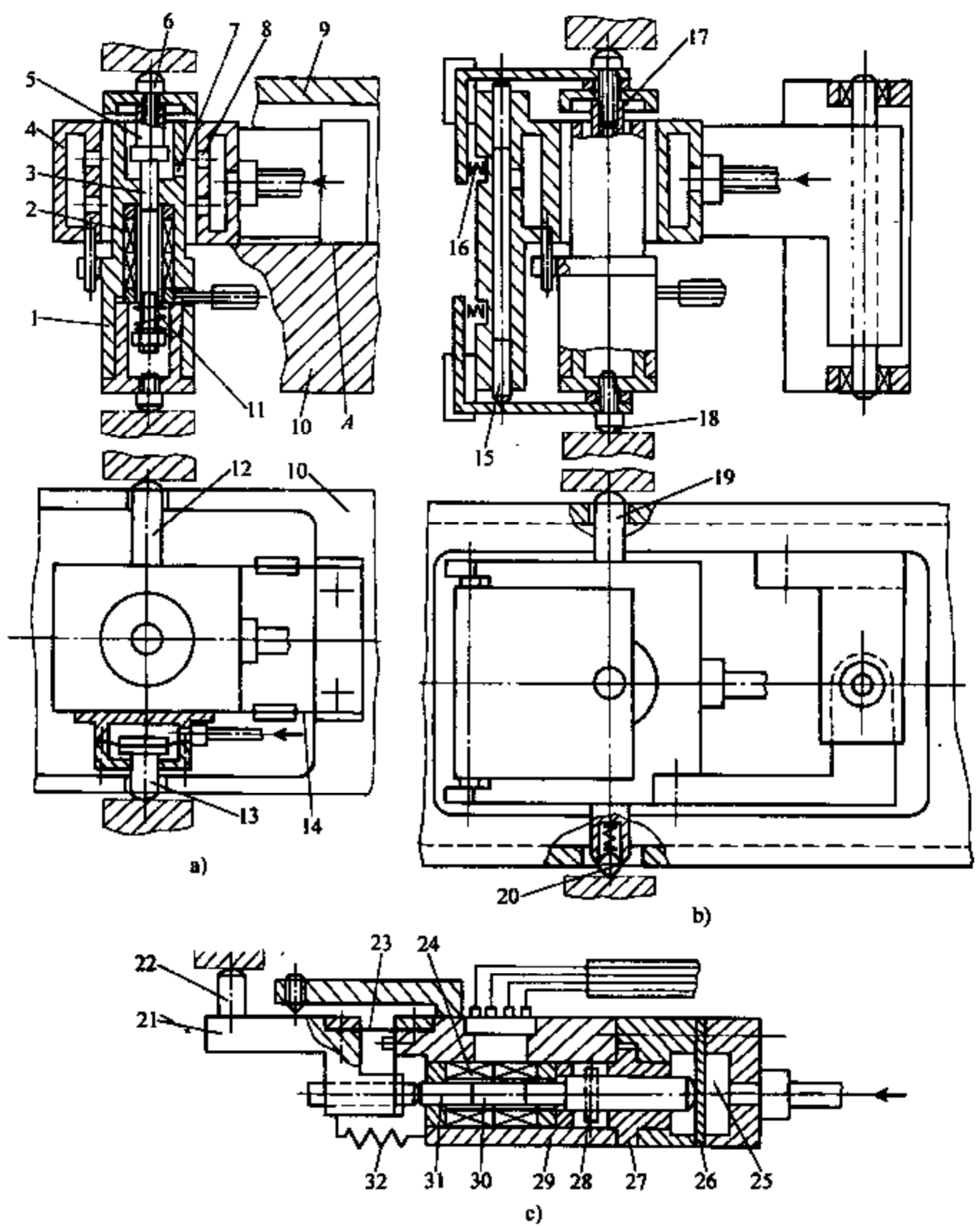


图 7-68 机体各主轴承孔直径电感测量装置

- 1、27—导套 2、24—线圈 3、30—铁心 4、29—本体 5、17、31—测杆 6、18、22—触头
 7—孔 8—静压导向 9—盖 10—轴 11、16、32—弹簧 12、13—定位销 14、23—片簧
 15—柱塞 19—固定销 20—滚珠 21—杠杆 25—室 26—膜片 28—销

轴 10 的长度应小于两孔端面之间的距离。这种结构可测量直径为 50~100mm 的孔，两被测量截面之间的最小距离为 50mm。

图 7-68b 所示的结构与图 7-68a 相类似，不同的是：测量装置装在圆管内，在圆管上有纵向槽；通过弹簧滚珠 20 使固定销 19 与被测孔表面接触，实现测量装置在工件孔中的定中；压缩空气从一个公用接头进入，既控制测杆 17 的移动，又控制柱塞 15 向外压出，使两测量触头 18 以测量力 150g 与被测孔表面接触，切断气源后弹簧 16 使测量触头恢复原位。这种结构可测量直径为 100~150mm 的孔，两被测量截面之间的距离为 150mm。

图 7-68c 是旁向测量装置，其外形尺寸为 $70\text{mm} \times 13.5\text{mm} \times 12\text{mm}$ 。在本体 29 中固定有两线圈 24，中间部分有带铁心 30 的测杆 31，测杆 31 在本体的孔中移动。弹簧 32 始终使测杆的球头端面与杠杆 21 接触，杠杆装在呈十字形的两片簧 23 上，在杠杆上有测量触头 22。压缩空气进入室 25，通过膜片 26 使测杆 31 产生测力（120g），销 28 可在导套 27 的槽中移动，防止测杆转动；切断气源后，弹簧 32 使测量触头 22 返回原位，返回量为 1mm。

这种旁向结构的测量装置可装在塞规或测量心轴的纵向槽中，用小燕尾导向固定在侧面上，可测量内径、外径、厚度和形位公差，还可用于检验深孔，例如检验直径为 30mm、深度为 600mm 的孔。当采用两个测量装置按差动原理检验孔径时，被检验孔的最小直径为 30mm，两被测量截面之间的最小距离为 80mm；如果用一个旁向测量装置、一个刚性测头，则被检验孔的最小直径可减小到 15~20mm。

用压缩空气建立静压导向，使测杆移动和保持一定的测量力，结构较简单，并能保证高的精度。上述各电感测量装置的测量范围为 $\pm 0.10\text{mm}$ ，其示值重复性 $0.2 \sim 0.5\mu\text{m}$ ，可用于手动检验，也可用在检验机上。

电感量仪若用于测量高精度的工件，例如精密轴承分组选配、油泵精密偶件零件，则精度应达十分之几微米，为此采用图 7-69 所示的一种高精度测量内孔直径并分组的电感测量装置。

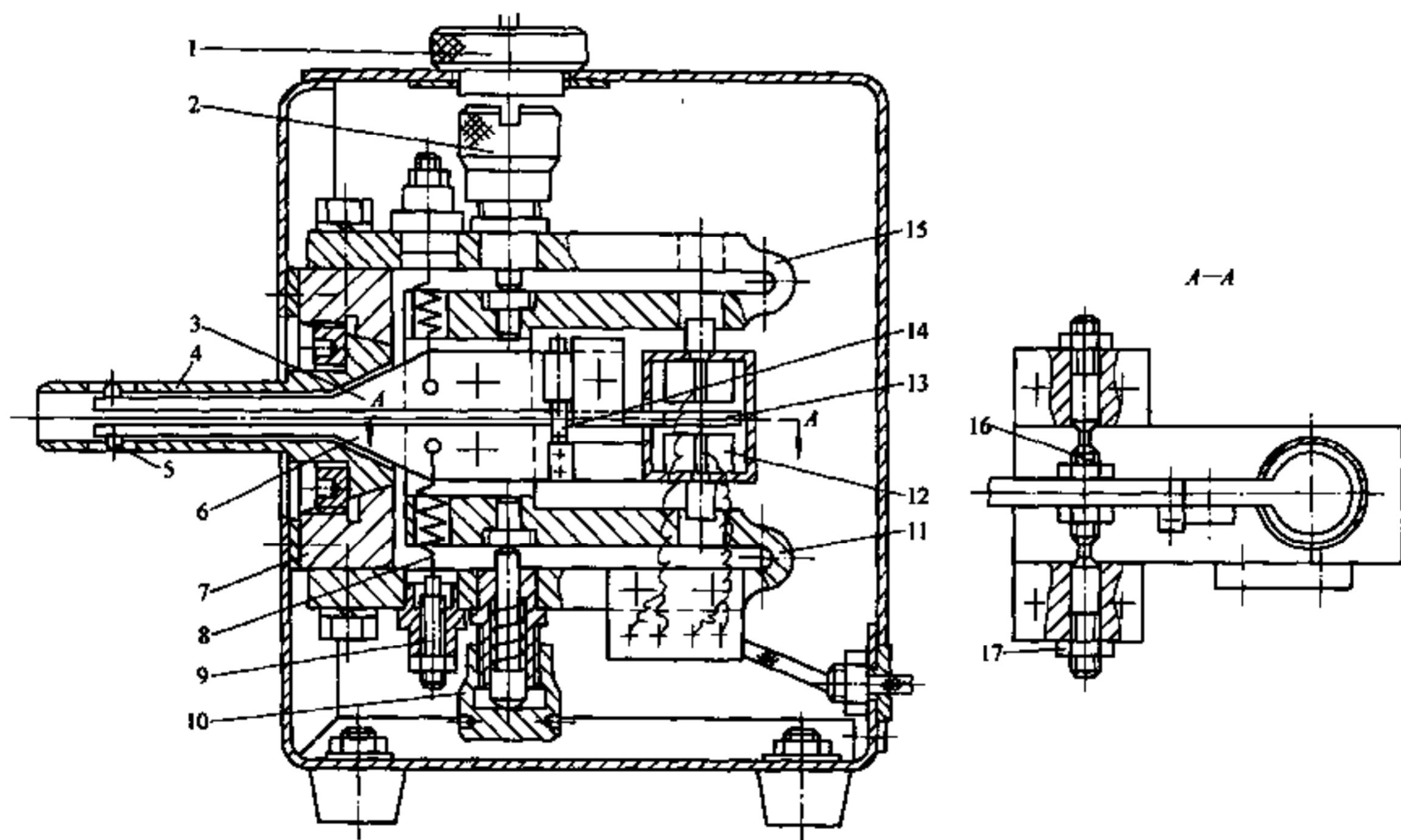


图 7-69 高精度测量内孔直径并分组的电感测量装置

- 1—手柄 2、10—微调螺母 3、6—杠杆 4—定位轴 5—触头 7—板 8—弹簧 9—螺钉
11、15—支架 12—传感器 13—铁心 14—调挡销 16—扭转轴 17—螺母

在板 7 上固定有悬挂支架 11、15 和镶硬质合金的定位轴 4，测量时工件放在整圆的定位轴上。两测量触头 5 的位移由杠杆 3 和 6 传到电感传感器 12 和铁心 13，由弹簧 8 产生测量力，并用螺钉 9 调节。两扭转轴 16 是杠杆 3 和 6 的转轴，杠杆用螺母固定在扭转轴 16

上, 这样可保证杠杆回转过程的稳定性和没有外部的摩擦, 可显著降低测量力和提高灵敏度。杠杆 3 和 6 在基准轴 4 中的间隙位置用两螺母 17 使扭转轴 16 在配合孔中移动来调节。

测量装置尺寸的粗调用微调螺母 2 和 10 实现, 螺母 2 和 10 作用在悬挂支架 11 和 15 的悬臂上, 使其变形从而使杠杆 3 和 6 的轴线移动。当盖上罩时, 用手柄 1 转动微调螺母 2, 手柄 1 也用来作为罩上的盖。

用配套量仪精确调整尺寸, 两测量杠杆的相对移动由电感传感器感受, 传感器元件分别固定在两杠杆的自由端: 在一个杠杆上是铁心 13, 在另一个杠杆上是两线圈 12, 杠杆 3 和 6 的极限位移用可调挡销 14 限制。

测量触头与电感传感器的直线运动关系、杠杆悬挂在扭转轴上和电感传感器的平衡, 保证测量的高精度: 极限随机测量误差 $\pm 0.15\mu\text{m}$, 8 小时内零位漂移为 $0.5\mu\text{m}$ 。

由于分组数可多达 30 组, 每组间隔 $1\mu\text{m}$, 分组误差要求为 $\pm 0.1\mu\text{m}$, 因此应采用数字显示的量仪。但根据数值确定分组号仍然比较麻烦, 所以量仪需要有 2 个显示口, 1 个显示尺寸值, 1 个显示分组号。为保证分组号的正确, 量仪在两组界限处示值不稳定性区间应不超过分组误差 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 。

该测量装置用于检验油泵偶件零件孔的直径和分组, 使用方便, 检验效率高。与采用气动量仪相比, 可降低使用费用。

图 7-70 是具有非接触电感传感器测量轴直径的测量装置简图, 该装置可测量直径为 10~110mm 的轴。

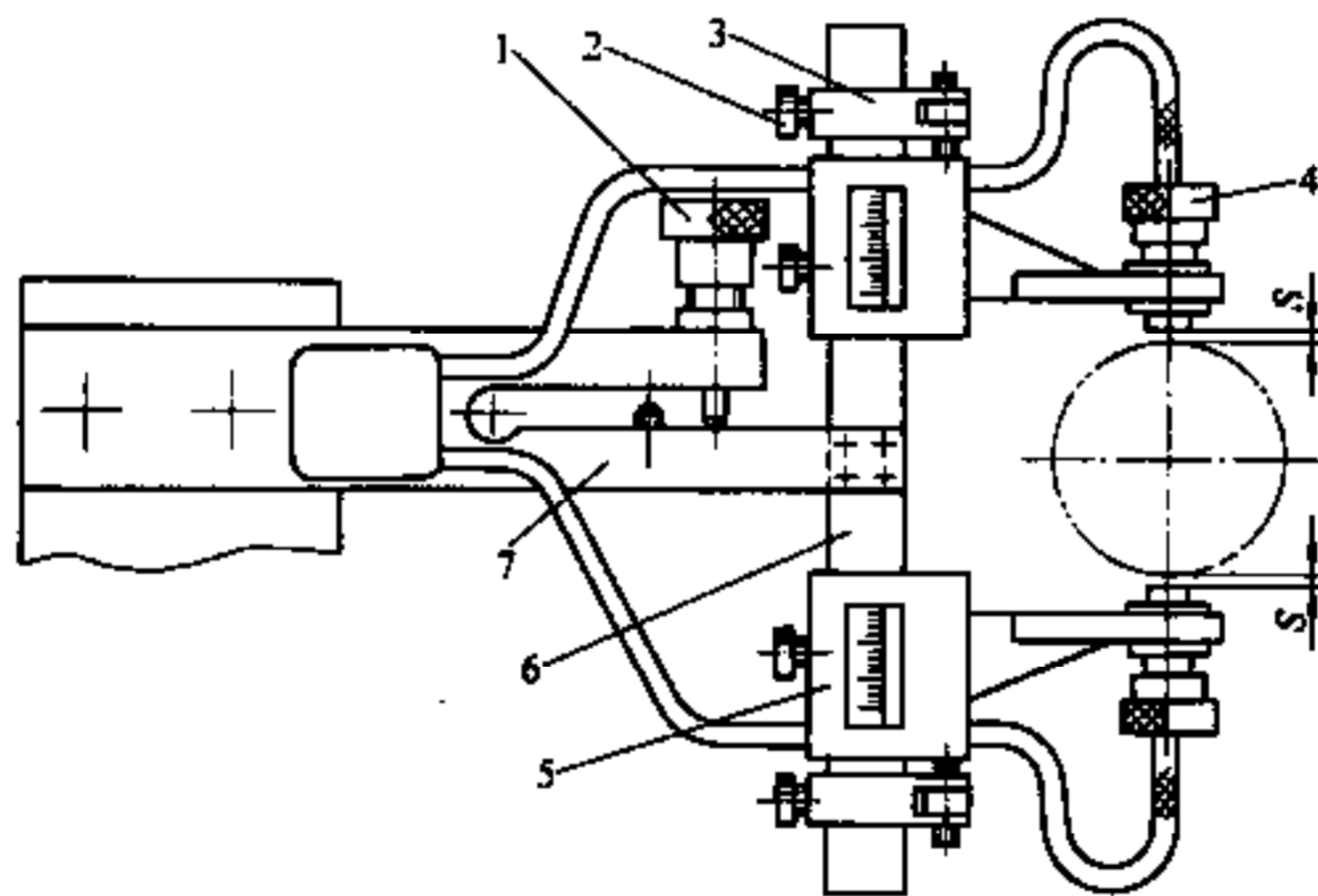


图 7-70 测量轴直径的非接触电感测量装置

1、3—微调机构 2—止动螺钉 4—传感器 5—滑座 6—导轨 7—支架

两电感传感器 4 分别固定在两滑座 5 上, 滑座可在分度值为 1mm 的垂直导轨 6 上移动, 为精确和平稳地调整传感器与工件外圆表面之间的间隙采用两微调机构 3。导轨 6 通过支架 7 固定在基座上, 导轨相对工件的位置用微调机构 1 调整。先使两传感器的距离尺寸大于被测轴的直径, 将校准件固定在检具两顶尖或 V 形块上, 再将测量部分输送到图示位置, 松开止动螺钉 2 使滑座 5 平稳移动到传感器 4 与校准件外圆表面接触, 再用微调机构 3 按游标尺的读数使两传感器与校准件表面之间达到规定的间隙 S , 且两侧相等。调好后拧紧止动螺钉 2, 再将测量部分退出测量位置, 取下校准件, 测量前的准备工作完毕。

为简化测量装置的结构,也可用塞尺调整两传感器与被测表面之间的工作间隙,因为允许定位误差为 $\pm 0.05\text{mm}$ (见3.2.3节),所以用塞尺调整也能达到。

非接触电感测量的优点是:没有测量触头磨损的问题,无需经常调整;测量部分无需弹性悬架,而弹性悬架的耐用度有一定期限;用于加工中测量动态误差小,在加工中测量断续表面的结构比采用电感接触式和气动非接触式测量的结构简单。非接触式电感测量的缺点是:使用中应定期清洗传感器的极泥;其布置不够灵活,所能测量的项目较少。

7.4 采用光学量仪的检验夹具

在车间生产条件下,光学量仪(主要是自准直光管类光学量仪)大多用于检验大型工件的形位公差。大型工件有些形位公差用一般测量方法会导致检具过于庞大,一般大型工件的产量较低,专用检具也不宜多,而采用光学量仪比较简单和方便,通用性强,无需设计复杂的检具。但光学量仪价格较高,保养维护和使用环境要求高;在测量中应避免空气扰动,因为空气扰动会改变空气的折射率,影响测量精度;温度、湿度要求稳定;应没有振动,避免日光照射,测量处的灰尘应尽量少,不能影响光轴视线的观察。

为采用光学量仪,应有各种附件(检具)。

为安装光学量仪(如准直望远镜、自准直仪等),需要有支架,支架应有足够的刚性和稳定性,在支架上一般有调整螺钉,以准确调整使量仪处于要求的位置。

为进行测量,需要有目标器(瞄准器或测量桥),目标器上靶标按功能分类有透射靶标和反射靶标。透射靶标的功能是与测微准直望远镜配合测量被测参数相对于望远镜光学视线的位置偏差。透射靶标透明的背景上有镀铬线条的图案,常用同心圆图案靶标和V形图案靶标,便于区分左右和上下。反射靶标用于一般瞄准对中,在自动准直或自动反射测量时作为反射镜使用,测量被测表面相对于望远镜的垂直度,反射靶标背景上有透明线条组成的图案。

靶标两平面平行度误差有 $2''$ 、 $20''$ 和 $2'$ 三种,当用靶标正面作基准时,可用 $20''$ 反射靶标,一般性测量也可用 $2'$ 靶标;当用靶标背面作基准时,则宜选用 $2''$ 反射靶标。

靶标按用途分类有球体靶标、内孔靶标和带柄部的靶标等。球体靶标用于在球体中建立基准视线,也可装在可调靶标座上使用;内孔靶标供大直径孔定中用,使用时装在内孔目标器的可调支座上。

目标器根据具体测量情况设计,现以内孔用目标器为例说明其设计方法。

图7-71a是三点支承式内孔目标器,在支座2上的3个支承3是活动可调的,将目标器放在孔中,通过调整3个支承的伸出量使靶标1与工件内孔的轴线同轴,用测微仪4测量。图7-71b是4点支承式内孔目标器,通过调整4个支承5的伸出量使靶标6与工件内孔的轴线同轴。图7-71c是带柄部7的靶标,以外圆表面安装在定位座中,通过调整螺钉8调整靶标9的位置。

图7-71d是自定位内孔目标器,其结构尺寸应保证当目标器装在工件孔内时,靶标轴线与直径为公称值的孔的轴线重合。在支座11上有两定位圆柱12,目标器在工件孔中以2个圆柱12定位。两圆柱的素线应平行,允差 $2\mu\text{m}$;靶标10的镜面应垂直于两圆柱相切的平面(放在零级平板上模拟)允差 $2\mu\text{m}$;靶标的轴线对两圆柱的对称度允差 $5\mu\text{m}$ (当作比较测量

时, 如果使用时目标器不调头, 使用方向不变, 此项误差对测量无影响)。这种结构适合放在工件水平孔中使用。图 7-71e 是适合放在工件垂直孔中使用的自定位内孔目标器, 转动螺钉 13 使目标器靠在工件孔的表面上, 从而使目标器定位。

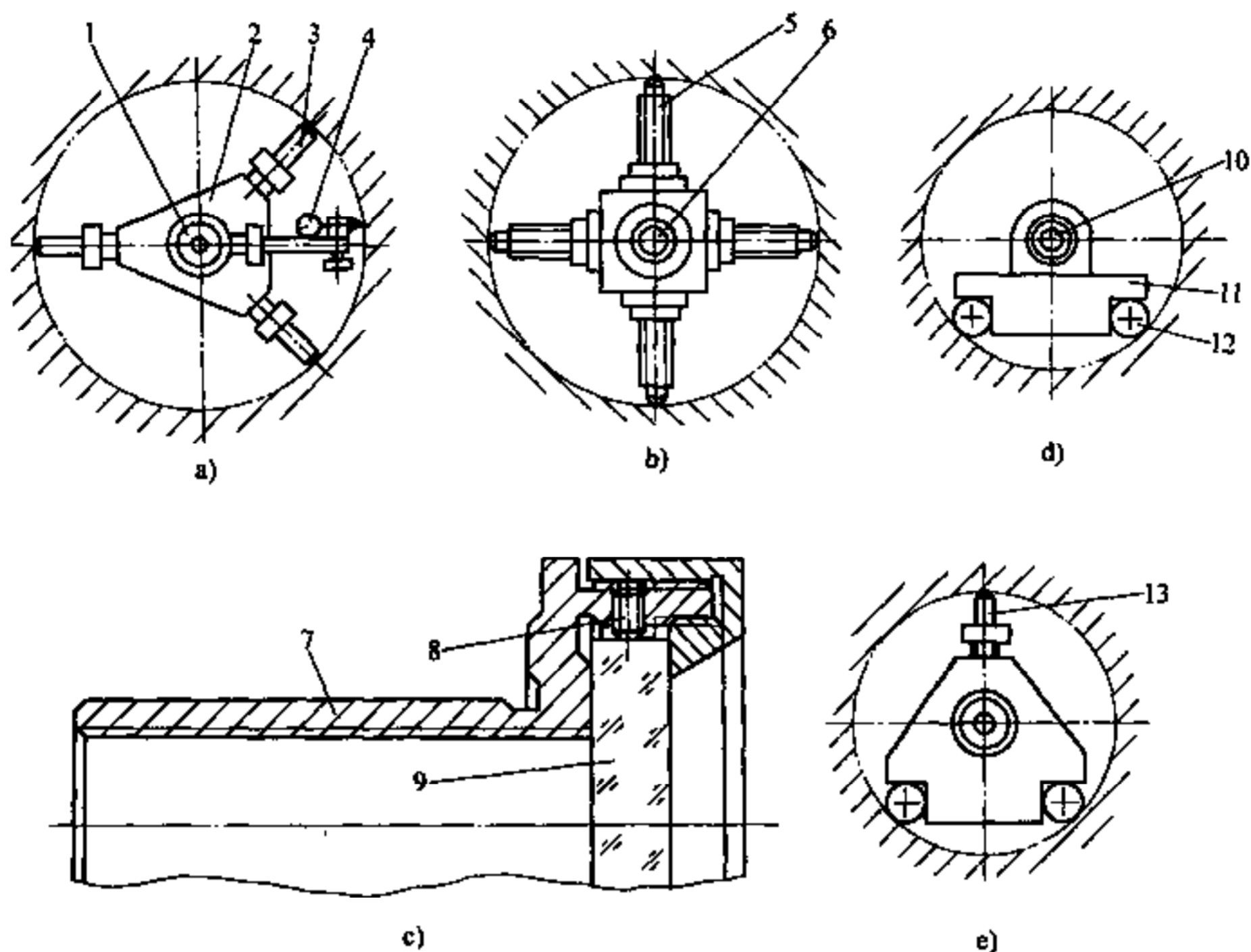


图 7-71 内孔目标器

1、6、9、10—靶标 2、11—支座 3、5—支承 4—测微仪 7—柄部
8—调整螺钉 12—定位圆柱 13—螺钉

激光准直量仪与一般光学量仪在原理上相似, 前者与后者主要区别在于: 以可见的激光代替无形的普通光; 以光电靶标代替普通的玻璃靶标, 但如果用于一般精度检验, 也可采用十字线靶标。

图 7-72a 是光电接收靶, 激光束通过光电接收靶反映到指示仪表 (也称方位显示器), 由指示电表四象限光电元件可指出上下和左右的偏差数。当用目测法确定激光束强度的分布时, 须采用带圆孔的目视靶, 称为十字线靶标 (图 7-72b), 用来截取光束, 并以光束在圆孔周围的强度均匀为准。使用时, 光电接收靶和十字线靶标均应置于可调支座上 (图 7-72c), 在套 3 上有 4 个调节支承 1 (与工件内孔表面接触) 和 4 个微调螺钉 2 (与座 4 外圆表面接触), 在座 4 上有靶标 5 (光电接收靶标或十字靶标)。

采用光学量仪测量工件时, 应建立测量基准。

图 7-73a 表示由测微准直望远镜 1 (或其他准直量仪) 和靶标 2 建立测量基准线, 建立测量基准线时必须正确选择靶标, 靶标的位置应使被测量工件的部位在测微准直望远镜与靶标之间, 以减小测量误差。一般避免通过一个或几个中间靶标瞄准远距离的靶标, 但当必要时, 例如若测微准直望远镜不易稳定放置在基准处, 可增加一个或多个中间靶标。这时需将测微准直望远镜分划板的十字中心与各个靶标中心重合, 并且中间靶标应采用两平面平行度较高的靶标作为中间靶标。

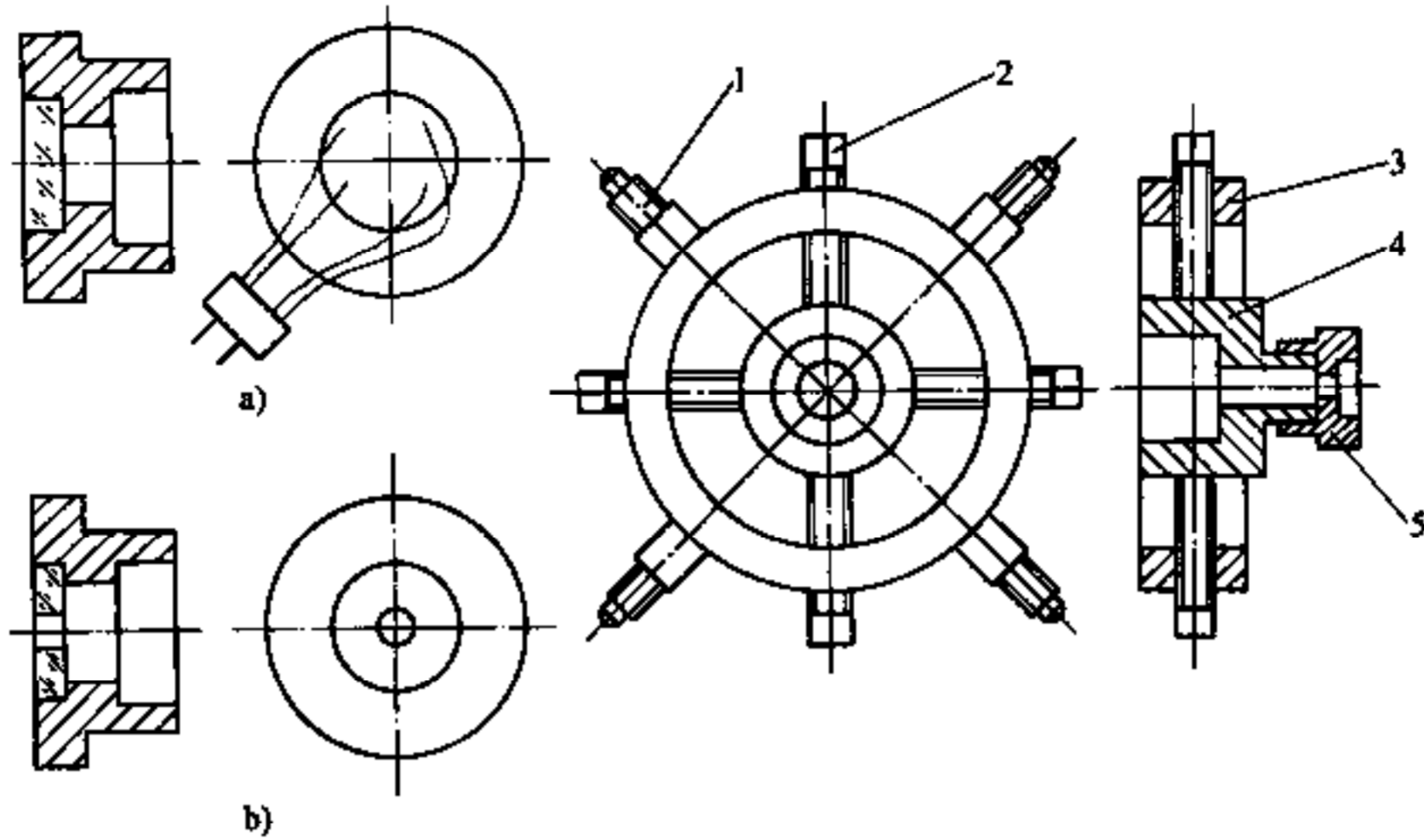


图 7-72 激光准直量仪用靶标

1—调节支承 2—微调螺钉 3—套 4—座 5—靶标

图 7-73b 表示由测微准直望远镜 3、工具经纬仪 4 和靶标 5 建立与基准线 A 垂直的辅助线 B。图 7-73c 表示由测微准直望远镜 6 和两台工具经纬仪 7 建立与基准线 A 平行的辅助线 B。

采用工具经纬仪、水准仪、测微装置望远镜和调平镜或骑式水平器、平面扫描仪可建立基准平面；采用三向光学直角头、专用量杆和工具经纬仪可建立空间直角坐标系。

图 7-74 是大型柴油机气缸套支承肩端面对内孔轴线垂直度检具，采用光学量仪使工件定位，再用机械杠杆表测量。平直度量仪 4 倒置固定在直角弯板 5 上，弯板固定在支架 7 上，在 0 级平板 8 上装有平面平行反射镜 10，调整螺钉 6 使准直仪 4 的平行光与平面平行反射镜 10 垂直。

气缸套 2 装在可调支承圆盘 9 上，将内孔轴线定位测量桥 3 用紧固螺钉轻轻卡在气缸套内孔中。用支承圆盘 9 上的可调螺钉调整圆盘的位置，使定位测量桥 3 上的反射镜面与平直度量仪 4 的平行光垂直，这时即可认为气缸套轴线与零级平板垂直。用杠杆表 1 在多处测量支承肩端面，其中相距 180° 上的最大示值差就是气缸套支承肩端面对内孔轴线的垂直度误差。

图 7-75 是两孔同轴度检具简图，将单足定位靶标放在孔 A 中，两滚柱可自动定孔 A 的轴线，镜面 C 的轴线即表示孔 A 的轴线。调整自准直仪与单足定位靶标的轴线重合，记下自准直仪读数（图 7-75a）。然后取下定位靶标，将双足测量桥放在两孔中（图 7-75b），这时如果自准直仪与双足测量桥镜面 D 的轴线仍重合，则说明两孔同轴；若在垂直或水平方向、或同时在两个方向的读数不同，则调整自准直仪与双足测量桥的镜面 D 的轴线重合，记下准直仪的读数，经数据处理即可确定孔 B 对孔 A 轴线的同轴度误差，见表 7-14。

图 7-76 是大型柴油机机体各轴承孔对两端轴承孔公共轴线同轴度一种光学测量装置简图。

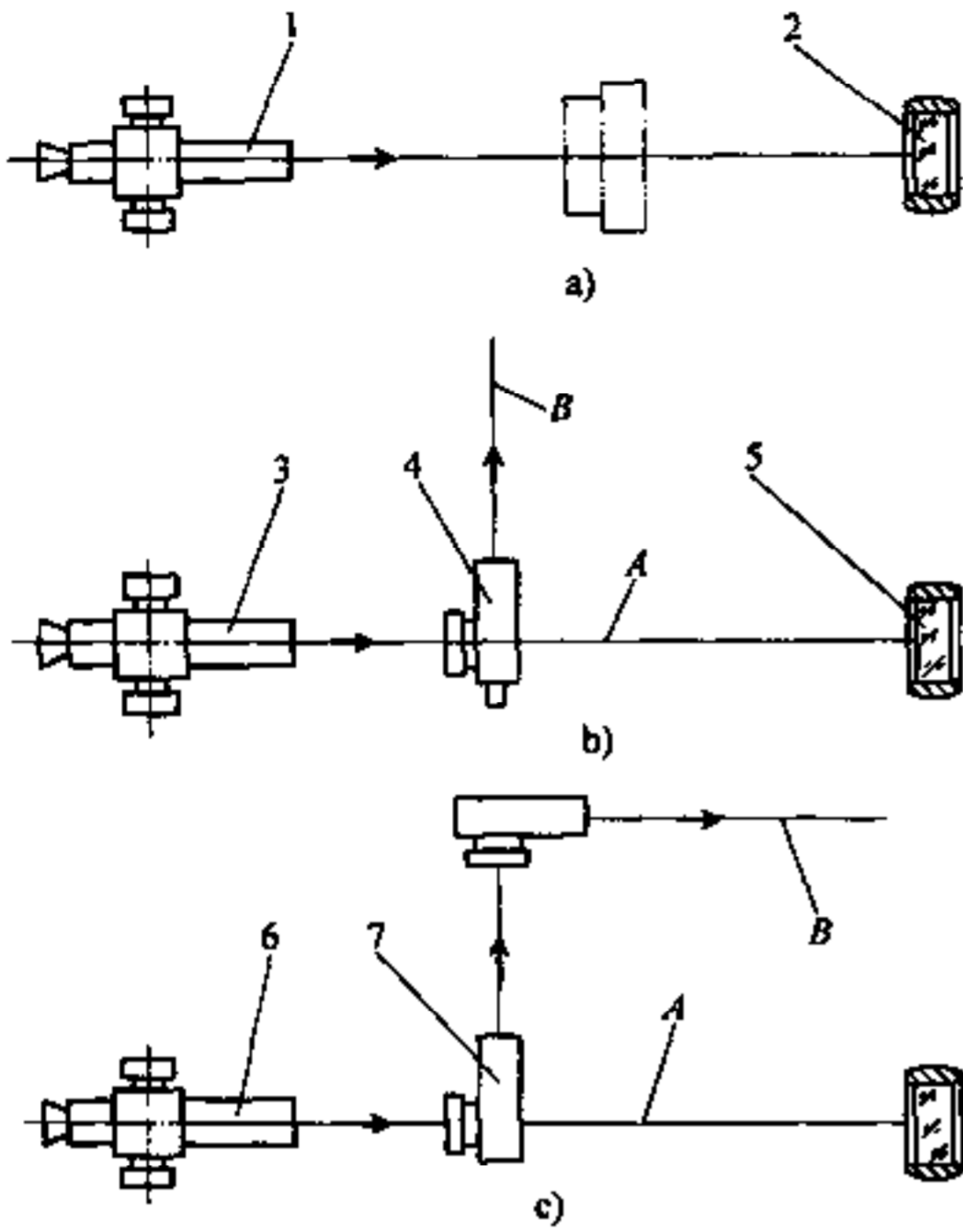


图 7-73 建立光学测量基准

- 1、3、6—测微准直望远镜 2、5—靶标
4、7—工具经纬仪

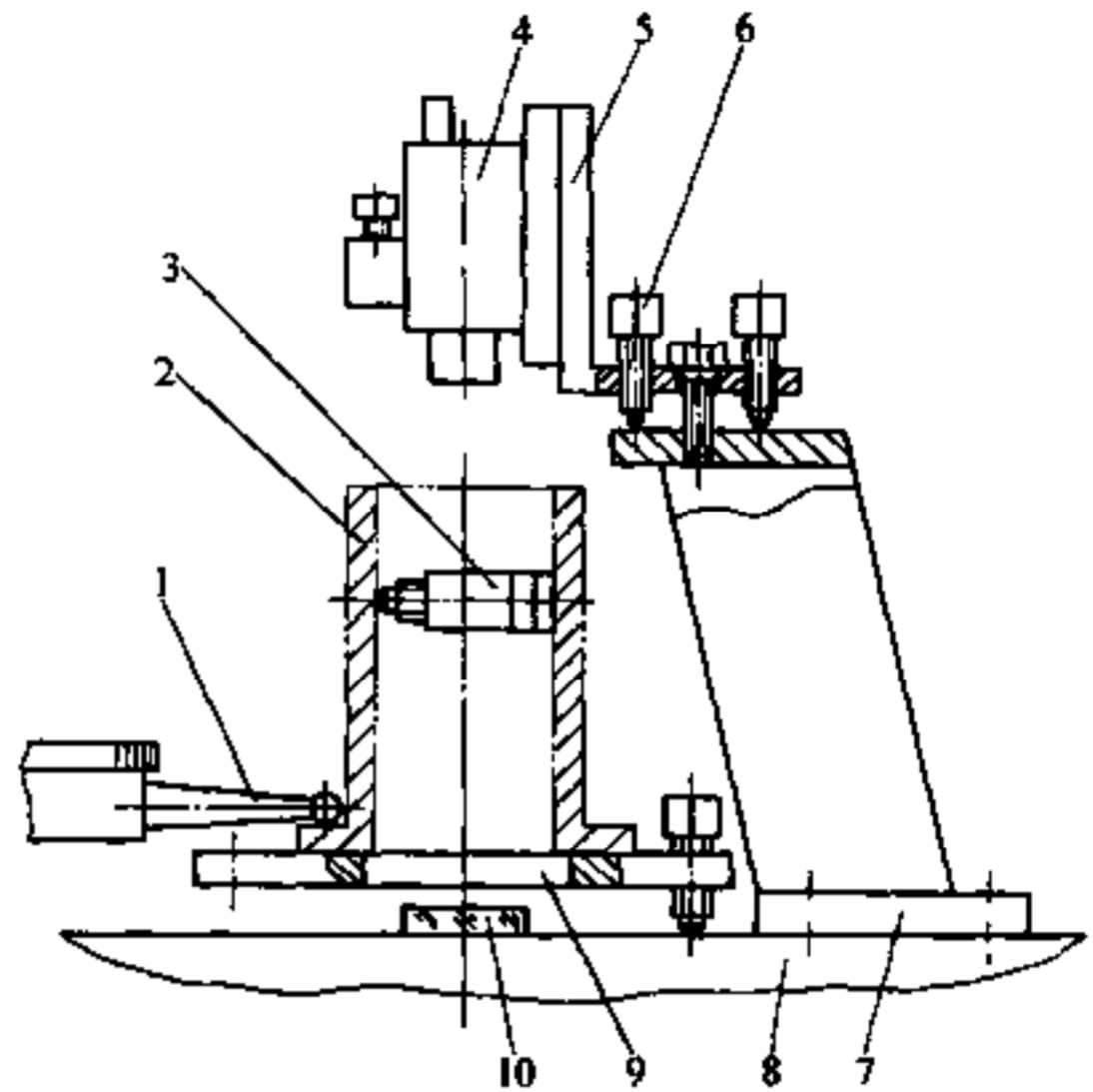


图 7-74 大型气缸套支承肩端面对内孔轴线垂直度检具

- 1—杠杆表 2—气缸套 3—定位测量桥 4—平直度量仪
5—直角弯板 6—调整螺钉 7—支架 8—平板
9—支承圆盘 10—平行反射镜

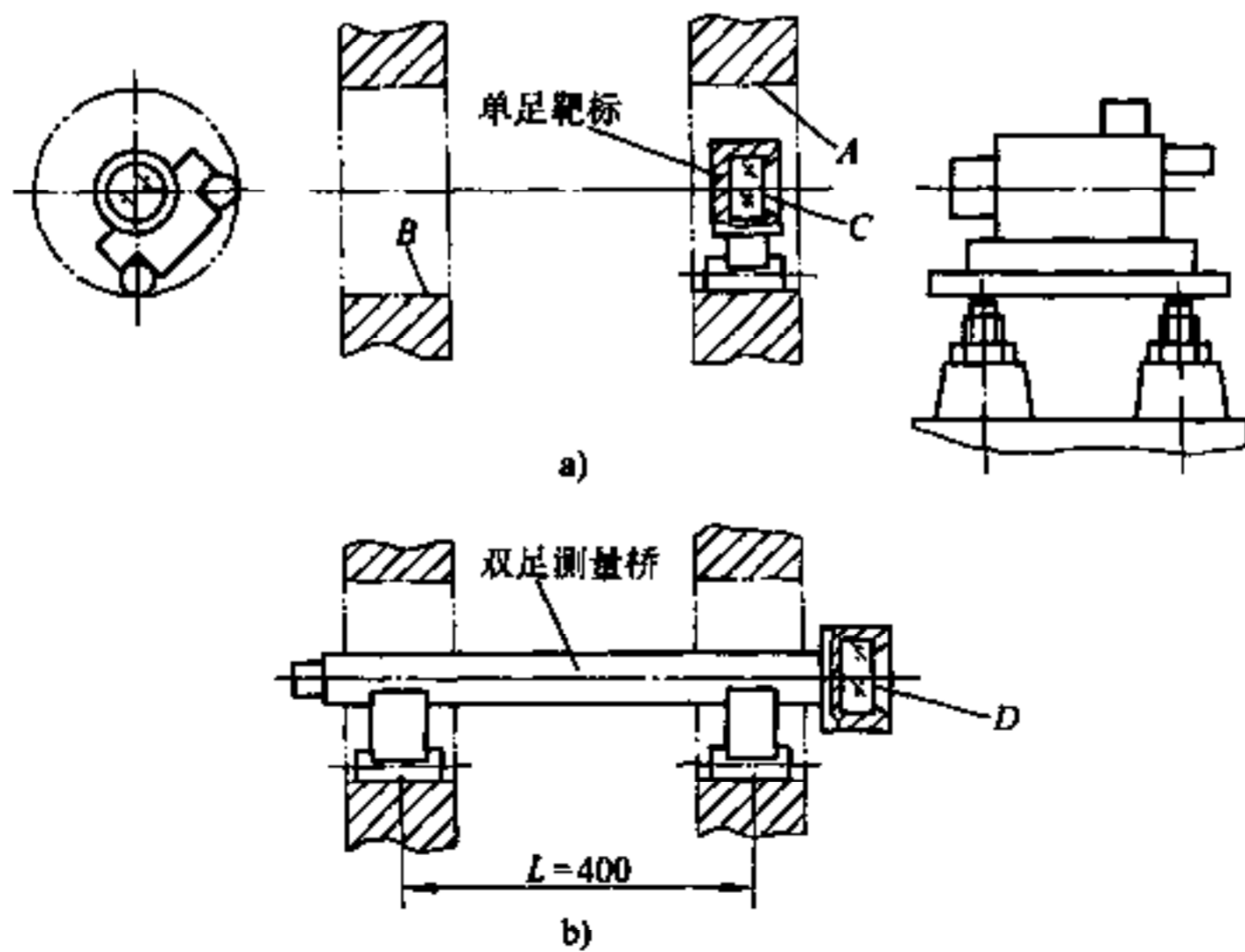


图 7-75 用光学量仪测量两孔同轴度装置

表 7-14 同轴度测量数据处理

测量方向	垂 直		水 平	
	A 孔 (单足)	B 孔 (双足)	A 孔 (单足)	B 孔 (双足)
测量桥安装位置				
平直度测量仪读数 / (")	1000	1008	1000	1006
孔直径对公称直径的实际偏差 δ / mm	$\delta_1 = +0.018$	$\delta_2 = +0.010$	$\delta_1 = +0.016$	$\delta_2 = +0.012$
B 孔直径修正值, 将半径差换算成秒, $\frac{\delta_1 - \delta_2}{2} \times \frac{200^{\text{①}}}{L} / (")$		-2		-1
消除孔半径误差后读数 / (")	1000	1006	1000	1005
两孔测点读数角度差 b / (")		+6		+5
两孔测点读数线值差 $b \cdot \frac{L}{200} / \mu\text{m}$		+12		+10
B 孔对 A 孔同轴度误差 / μm				$\sqrt{12^2 + 5^2} \approx 15$

① L 为双足测量桥两足之间的距离, $L = 400\text{mm}$; 所用的平直度量仪, 当测量桥板支承长度为 200mm 时, 微动鼓轮转一格 (1") 相当于桥板上升或下降 $1\mu\text{m}$ (即测微鼓轮的刻度值为 $0.001/200\text{mm}$)。

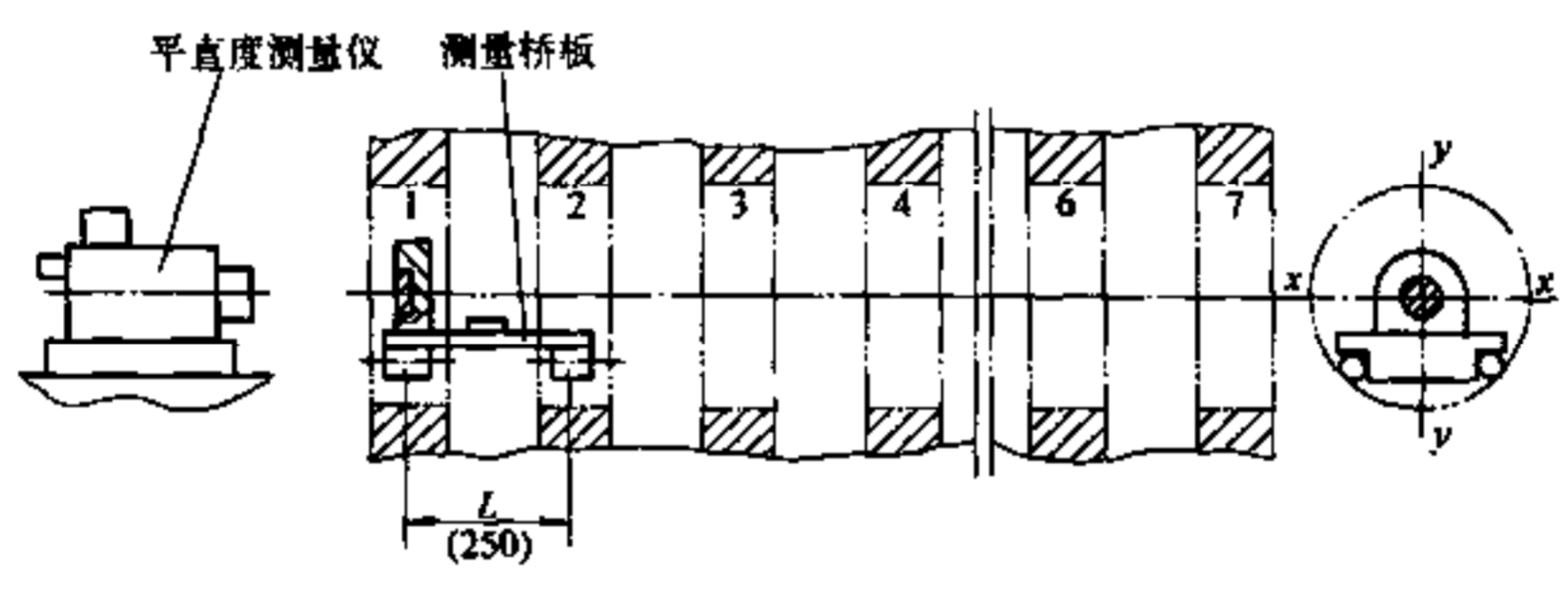


图 7-76 用光学量仪测量多孔同轴度装置

测量大型机体各轴承孔的同轴度, 可将各孔视为一个长孔, 按测量长孔直线度来测量各孔的同轴度, 所以可利用自准直光管类光学量仪来测量在同一轴线上多孔的同轴度。测量同轴度前, 应测量出各孔在垂直方向的直径对公称直径的偏差, 以消除各孔直径不同而产生的测量误差。测量直径应在安装测量桥板的区间上进行, 并在 2 个截面上测量, 取平均值作为计算值。表 7-15 列出在垂直方向各孔直径对公称直径的偏差, 并列以后测量各孔同轴度时各档应修正的值 (线值)。

表 7-15 大型机体各轴承孔在垂直方向的直径偏差及各档修正值 (μm)

孔 号	1	2	3	4	5	6	7
y-y 方向直径对公称直径的偏差	-8	+2	+4	-20	+40	-12	-20
半径偏差 Δ_n ($n=1\sim7$)	-4	+1	+2	-10	+20	-6	-10
各档修正值 (线值)	孔档位	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
	$\Delta = \Delta_n - \Delta_{n+1}$		-5	-1	+12	-30	+26

测量时先将平直度测量仪调整到使测量桥板放在各档位置时，测量桥板上的反射镜均在自准直仪的刻度视线范围内。再将测量桥板依次放在各档上，并按其上的钳工水平仪在圆周方向找水平，为减小测量误差各档水泡位置应尽量一致。由准直仪可测得反射镜在各档位置时沿垂直 ($y-y$) 和水平 ($x-x$) 方向的倾斜角读数。此项测量应进行两次，两次读数应一致，允差在 $2''$ 内 (这时取两次读数的平均值)，否则应查出原因或重新测量。表 7-16 列出测得的数据以及通过数据处理得到的测量结果。

表 7-16 同轴度测量数据处理

测量方向	$y-y$						$x-x$							
	孔档位置	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	
平直度测量仪读数 / ($''$)	1003	1016	1029	985	1036	1012	1027	1030	1037	1039	1031	1031		
对位置 1-2 的差值 δ / ($''$)	0	+13	+26	-18	+33	+9	0	+3	+10	+12	+4	+4		
δ 相当于线值, $\delta \times \frac{L}{200} / \mu\text{m}$	0	+16	+32	-23	+41	+11	0	+4	+13	+15	+5	+5		
半径修正值 $\Delta / \mu\text{m}$ (见表 7-14)	-5	-1	+12	-30	+26	+4	水平方向不作修正							
修正后的线值, $(\delta \times \frac{L}{200} - \Delta) / \mu\text{m}$	+5	+17	+20	+7	+15	+7								
孔号	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
各孔中心相对位置 / μm	0	+5	+17	+20	+7	+15	+7	0	0	+4	+13	+15	+5	+5
累计值 / μm	0	+5	+22	+42	+49	+64	+71	0	0	+4	+17	+32	+37	+42
使孔号 7 为零各孔应减去值 / μm	0	-12	-24	-36	-48	-60	-71	0	-7	-14	-21	-28	-35	-42
对 1-7 孔公共轴线的偏差 δ_y 和 $\delta_x / \mu\text{m}$	0	-7	-2	+6	-1	+4	0	0	-7	-10	-4	+4	+2	0
垂直与水平方向合成误差, 即对 1-7 孔公共轴线的同轴度误差 $\sqrt{\delta_y^2 + \delta_x^2}$ (R 值) / μm	0	10	10	8	4	4	0							

注: 测量桥板跨距 $L = 250\text{mm}$ 。

上述通常测量机体各轴承孔同轴度的光学方法, 是按各孔测量一个截面, 为提高测量精度可按各孔测量两个截面, 这样还可测出两端孔本身对公共轴线的同轴度。

图 7-77 是大型工件两孔平行度光学测量装置简图。

当工件两孔轴线在同一水平面上时 (图 7-77a), 先将模拟内孔轴线的靶标 10 放在孔 A 内, 将支架 5 放在孔 A 的前面, 在三个千斤顶 6 上有平板 7, 在平板上有平直度测量仪 9、合像水平仪 8 和平面反射镜 11, 平直度测量仪 4 放在支架 1 和千斤顶 2 支承的平板 3 上。调整平直度测量仪 9 对准内孔靶标 10 反射镜的中心位置, 并调整目镜中的亮十字线处于满刻度范围的中间位置, 这时平直度测量仪 9 的光轴线即为测量基准轴线。

用合像水平仪和调整千斤顶 6, 使支架 5 的平板 7 处于水平位置; 然后调整千斤顶 2, 使自准直仪 4 对准平面反射镜 11 的中心位置, 这时平直度测量仪 4 的光轴线即为测量辅助线, 并记下自准直仪 4 和 9 在水平垂直两个方向的读数。

然后将内孔靶标 10 移到孔 B 中, 并将支架 5 移动到孔 B 的前面 (如图中单点线所示), 调整自准直仪 9 对准内孔靶标, 这时平直度测量仪 9 的光轴线即为测量辅助线。为使支架 5 的工作面在孔 B 前与在孔 A 前没有角度变化, 这时只能通过调整千斤顶 6 使合像水平仪仍在水平位置 (而不能转动合像水平仪的读数鼓轮), 并使平直度测量仪 4 在水平和垂直两个

方向的读数与支架 5 在孔 A 前的读数相同，并记下平直度测量仪 9 在水平和垂直两个方向的读数。根据平直度测量仪 9 在孔 A 和 B 前的两次读数，经数据处理即可确定两孔轴线在水平和垂直方向的平行度误差，见表 7-17。

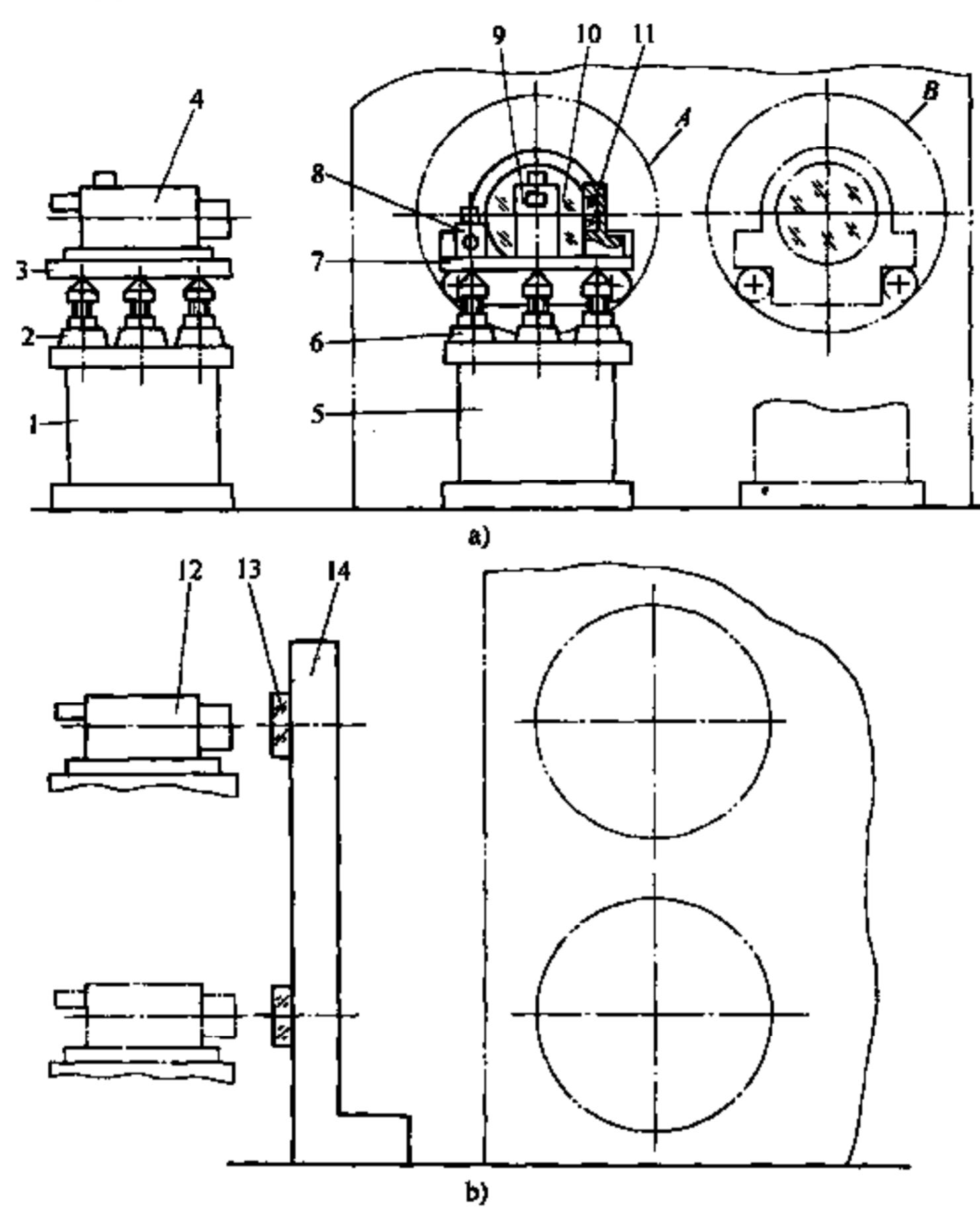


图 7-77 大型工件两孔平行度光学测量装置

- 1、5—支架 2、6—千斤顶 3、7—平板 4、9、12—平直度测量仪 8—合像水平仪
10—靶标 11、13—平面反射镜 14—直角尺

表 7-17 两孔直径的平行度误差

测量方向	垂 直		水 平	
	在 A 孔前	在 B 孔前	在 A 孔前	在 B 孔前
准直仪 8 的读数 / (°)	1000	982	1000	1012
在两孔前的读数差 / (°)		-18		+12
两孔轴线平行度误差				
$b \cdot \frac{L}{200} / \mu\text{m}$		-9		+6

注：L 为内孔靶标支承长度，在本例中 L = 100mm。

当工件两孔为垂直位置时（图 7-77b），其测量方法与两孔为水平位置时基本相同，不同之处主要是当测量装置从上面的孔移到下面的孔时，利用直角尺 14 和平面平行反射镜 13 保证测量支架的工作面在两个孔测量位置没有角度变化，使平直度量仪 12 沿直角尺垂直下降。

图 7-78 是重型曲柄压力机大型齿轮光学检具，在齿轮上有偏心轮，齿轮的外径为 1600mm，偏心轮直径 $D=600\text{mm}$ ，偏心距 $E=125\text{mm}$ ，其重量为 2350kg。在检具上测量偏心轮轴线对通过齿轮定位孔 B 和有标记齿槽 C 轴线的平面的对称度允差 0.4mm ($\pm 0.2\text{mm}$)；同时测量在上述平面方向上的偏心距 E 。

检具包括 (图 a)：在支架 2 上的经纬仪 3，目标器 4，定位直尺 8，基准轴 7 (在上端有锥度瞄准靶尖)，磁压板 6。

目标器 4 包括 (图 b)：本体 12，心轴 13，3 个测微头 9，4 个瞄准靶 11 (采用螺纹千分尺的锥度插头) 和 3 个可调支承 10。

目标器 4 在工件孔中用 3 个测微头 9 定位，在光学分度头上调整目标器，应保证 4 个瞄准靶 11 的尖部相对心轴 13 两中心孔径向位置的误差在 $5\mu\text{m}$ 内，4 个瞄准靶相互夹角 $90^\circ \pm 15''$ ；同时精密测出各瞄准靶之间的距离，将测量结果记下；将 3 个可调支承 10 的支承点调到垂直于心轴 13 两中心孔轴线的平面上；并调整各测微头 9，使 3 个测微头的接触点 F 到心轴 13 两中心孔轴线的距离等于工件定位孔的公称半径。

测量时将被测工件 5 放在检验平板 1 上，将目标器 4 装到工件定位孔中，用测微头消除目标器在定位孔中由于孔制造公差而产生的间隙；用磁压板 6 将基准轴 7 (在齿轮分圆上与齿形接触) 装到有标记的齿槽 C 中。用定位直尺 8 使目标器 4 上 2 个相隔 180° 的瞄准靶和基准轴 7 的瞄准靶尖位于同一直线上。

将工具经纬仪安装在位置 I，使目测管轴线通过 3 个瞄准靶 (基准轴 7 的瞄准靶和目标器 4 上的两个瞄准靶 11) 的尖部，为精确移动经纬仪使用在支架 2 上的通用工作台上的调整螺钉。工具经纬仪的回转轴线应处在垂直于水平面的平面上；如果检验平板不是处在严格的水平位置，应使经纬仪回转轴线平行于在目标器 4 上垂直于测量方向的两瞄准靶尖连线的方向。

用工具经纬仪测量由三个瞄准靶尖和偏心轮两素线形成的角度 α_1 和 α_2 ，偏心轮轴线的横向偏移 Δ 值按下式确定

$$\Delta = L \tan \left| \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \right|$$

式中 L ——经纬仪旋转轴线到偏心轮轴线的距离，mm。

为测量偏心轮轴线到齿轮定位孔轴线之间的距离 (偏心距离 E)，将工具经纬仪放到位置 II，这时目标器 4 固定不动，使目测管轴线与在目标器 4 上的两瞄准靶 11 的连线 (齿轮定位孔 B 的轴线) 重合。因为相邻两瞄准靶的角度为 $90^\circ \pm 15''$ ，所以在位置 II 的测量方向将按在位置 I 转过同样角度，使工具经纬仪垂直轴线也按在位置 I 转过同样的角度。

按水平刻度盘测量齿轮定位孔轴线与瞄准靶标之间的夹角 γ 和定位孔轴线与偏心轮素线之间的夹角 β 。由图可知， $AO' = D/2\cos\beta$ ， $AO = OG\tan\beta = \frac{d}{2} \cdot \frac{\tan\beta}{\tan\gamma}$ ， $E = AO - AO'$ ，所以偏心距 E 由下式确定

$$E = \frac{1}{2} \left(\frac{d \tan\beta}{\tan\gamma} - \frac{D}{\cos\beta} \right)$$

式中 d ——目标器 4 各瞄准靶之间的距离，mm；

D ——偏心轮的实际直径，mm。

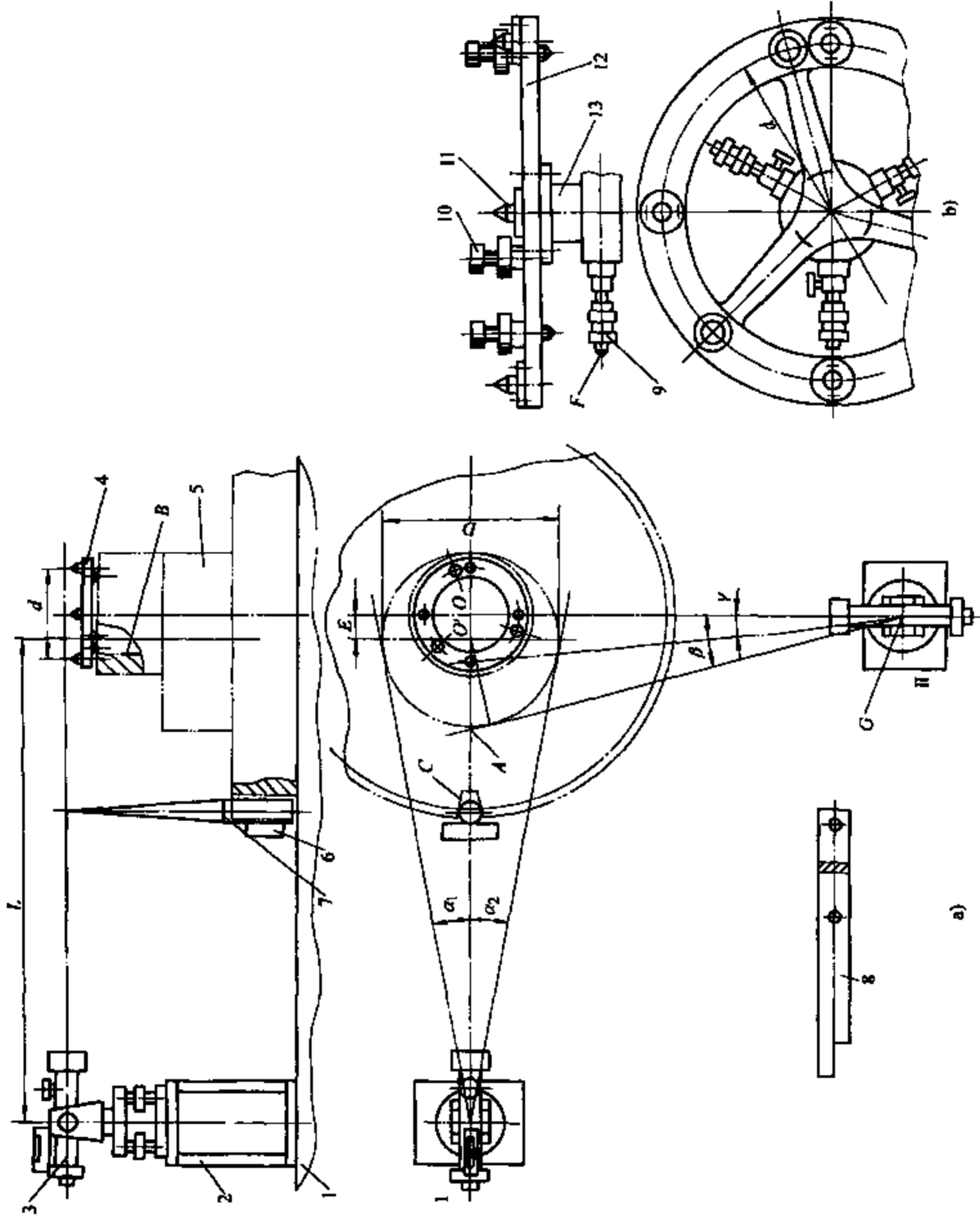


图 7-78 大型内轮光学检具

1—检验平板 2—支架 3—经纬仪 4—目标器 5—被测件 6—磁压板 7—基准轴
 8 定位直尺 9—测微头 10—可调支承 11—瞄准靶 12—本体 13—中心轴

影响测量误差的因素有下列各项：

工具经纬仪测量角度误差在 2000mm 长度上为 $20\mu\text{m}$ ，即 $\Delta_{a1} = \Delta_{a2} = \Delta_{\beta} = 20\mu\text{m}$ ；

各瞄准靶 12 之间距离的测量误差 $\Delta_1 = 5\mu\text{m}$ ；

目标器在分度工作台上在半径 150mm 上的定中误差 $\Delta_2 = 10\mu\text{m}$ ；

由于被测工件基准面对定位孔轴线垂直度误差而产生的误差 $\Delta_3 = 20\mu\text{m}$ ；

由于齿轮齿向误差而产生的误差 $\Delta_4 = 20\mu\text{m}$ 。

所以该检具的测量极限误差为

$$\Delta_{\text{lim}} = \pm \sqrt{\Delta_{a1}^2 + \Delta_{a2}^2 + \Delta_{\beta}^2 + \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2} = \pm 44\mu\text{m}$$

7.5 可调及组合式检验夹具

7.5.1 可调检具

这里所说的可调检具是指，使用一台检具经过调整即可检验同一类型不同规格的各种工件，或检验不同类型工件同一种参数的检具，这种检具有一定的通用性，但仍属专用检具的范畴。采用可调检具可减少所需检具的数量，只需制造一台或少量检具（根据同时需要使用的数量来确定），即可满足当前检验的需要，又可满足今后生产新品种产品的需要，这样可降低生产成本和缩短生产准备周期，可取得较好的技术经济效果。

设计可调检具要考虑的问题，比设计用于单一品种的检具要复杂得多，例如既要在结构尺寸上满足多品种的需要，又不能使检具过于庞大；定位和测量元件、组件需要移动，不能像一般检具那样较多采用装配时调整用定位销固定来保证精度，而需要有一定精度的导向；还应考虑调整迅速方便等。有些专业化可调检具已向测量仪器方面发展。

图 7-79a 是小型工件平面度可调检具，在底座 1 上有平板 2，其工作面经淬硬和研磨，是测量基面。在平板 2 的孔中装有测量滚珠 4，弹簧 13 通过滑柱 5 压住滚珠，滑柱 5 可在套 14 中移动，用螺钉 3 将套 14 固定在平板 2 的下平面上。在板 2 的下平面上有支架 11 和在支架轴上摆动的杠杆 12（传递比 3:1），杠杆的一端与滑柱 5 的下端接触，而另一端靠在千分表 6 的触头上。千分表固定在套 7 的孔中，而套 7 装在底座 1 上用螺母 8 固定。用板 10 将检具的底面封住。

当工件的被测面在平板 2 上移动时，使滚珠 4 与被测面接触由千分表示值的变化即可确定被测面的平面度误差，更换不同尺寸的板 2 即可适用于不同的工件。采用这种检具比通常用塞尺、直尺等方法操作简单、速度快和精度高。

图 7-79b 是测量直径相同或不相同两孔轴线距离用的可调检具。在底座 21 上用螺钉和销固定有长条板 25 和 28，长条板与底座一起组成 T 形槽，在 T 形槽内装有两滑块 26 和 27，滑块上有可换测销 17，测销用螺钉 15、19 通过销 16、18 固定。滑块 26 在测量前用块规调整后用螺钉 23 固定，测量时固定在销 24 上的弹簧 30 使滑块 27 尽量向左，保证两销 17 与工件 31 的两孔按尺寸 a 接触，得到百分表 20 的一个读数；然后用手轻轻地压住手柄销 29，使轴 22 顺时针转动，滑板 26 向右移动，保证两销 17 与工件 31 的两孔按尺寸 b 接触，得到百分表的另一个读数，由两次测量读数的平均值即可确定工件两孔轴线距离 L 对公称值的误差。

图 7-80 是活塞销孔卡环槽距和槽宽可调检具，检具由底座 18、支座 14 和 17、测量轴 9

和 13 等组成。为满足测量多品种活塞的需要，在轴 9 上装有可换轴套 10、11、12 和 4，各轴套的外径比所要测量的若干种活塞的最小销孔直径小 3mm，以使活塞卡环槽能套在两测量环 5 上，各轴套的外径应一致，允差 0.01mm；其两端面的平行度允差 0.01mm；各套长度对公称值的公差 $\pm 0.10\text{mm}$ 。测量环 5 的形状见图 b，因为卡环槽宽度对公称宽度 b 的公差带是正向的，所以环 5 的宽度取为 b ，制造公差允许减小 0.01mm。测量环 5 的外径 D_1 相对内孔偏心 e ，使 $(e + \frac{D_1}{2})$ 等于卡环槽最小半径， D_1 的公差取为 $-\frac{0.03}{0.08}\text{mm}$ 。两环 5 的偏心 e 都朝上，装配时保证。

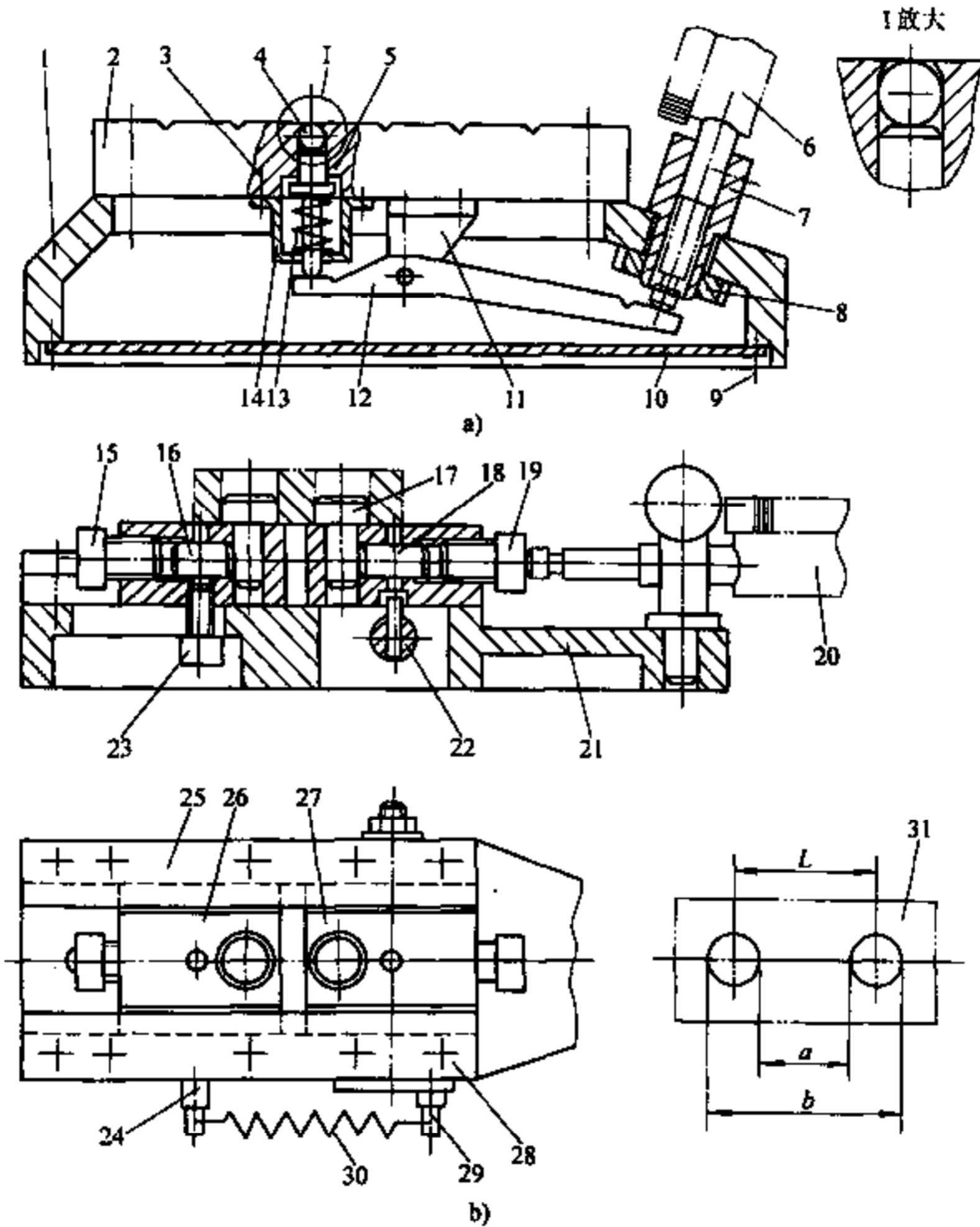


图 7-79 平面度和孔距可调检具

- 1、21—底座 2—平板 3、9、15、19、23—螺钉 4—滚珠 5—滑柱 6—千分表 7、14—套
 8—螺母 10—板 11—支架 12—杠杆 13—弹簧 16、18、24—销 17—测销 20—百分表
 22—轴 25、28—长板条 26、27—滑块 29—手柄销 30—弹簧 31—工件

测量槽距 L 时，用一只手轻轻按住活塞，使活塞销孔的上素线靠在各轴套的上素线上，然后用另一只手向左压住手柄 8，由于在测量轴 9 的端面 T 与导套 3 的右端面有 1mm 的间隙，所以这时轴 9 在导套 3 中向左移动，使两测量环 5 和 7 靠在两环的内侧端面上，即可测量槽距 L （如图示）。测量时如果向外拉手柄 8，则可使两测量环靠在两环槽外侧端面上，

即可测量两环槽外侧端面的槽距 (图中未示)。

在测量轴 9 上有测量臂 2, 测量臂用两螺母 1 固定, 位置可调; 在测量臂上有触头 21, 与百分表 20 接触。测量槽距 L 前, 用校准件 6 使百分表调零, 测量时由百分表 20 的读数确定槽距 L 对公称值的误差。校准件的内孔直径 D_2 应大于测量环 5 的外径 D_1 , 以便校准时套在两测量环之间。

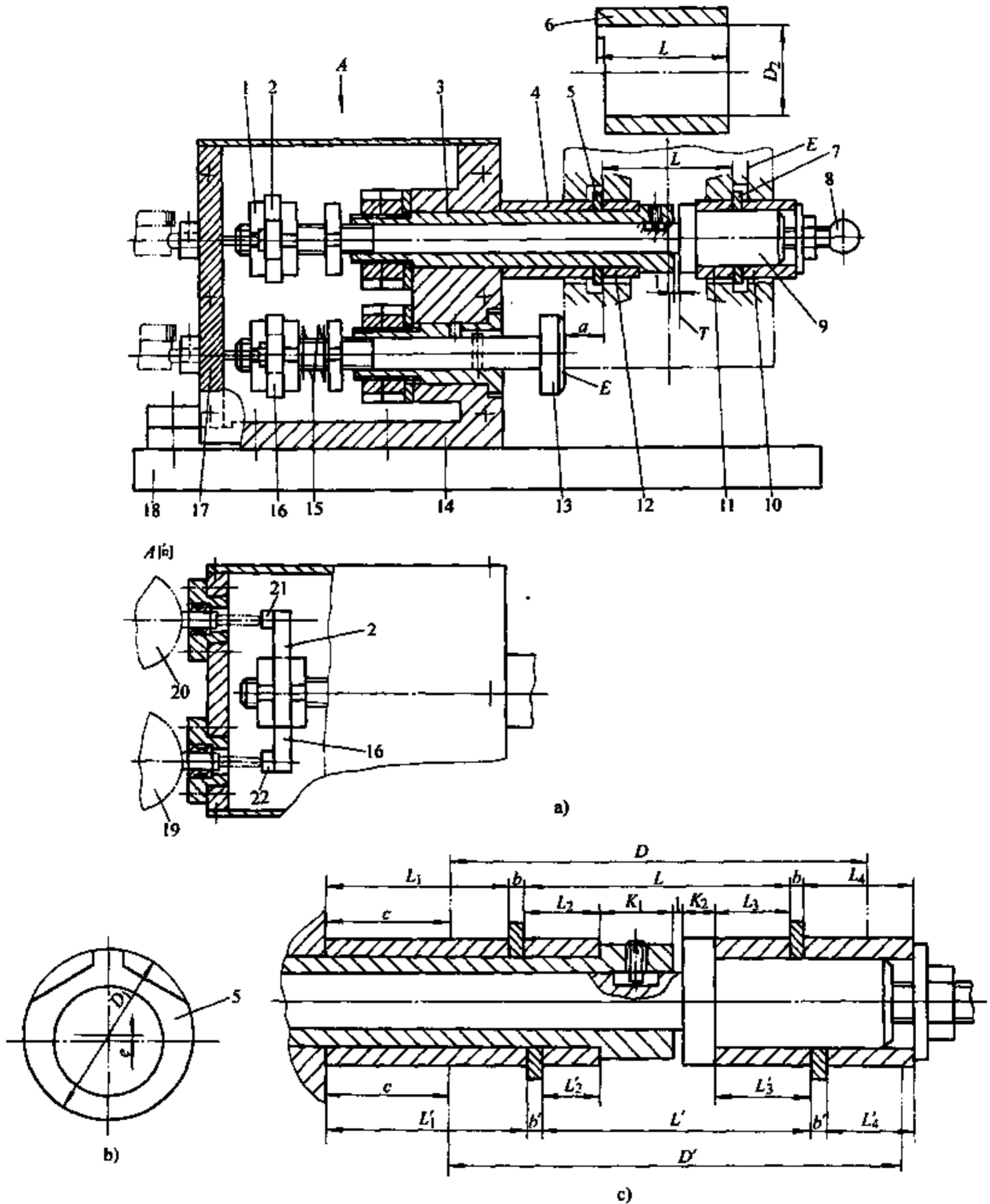


图 7-80 活塞销孔卡环槽距和槽宽可调检具

- 1—螺母 2、16—测量臂 3—导套 4、10、11、12—可换轴套 5、7—测量环 6—校准件
8—手柄 9、13—测量轴 14、17—支座 15—弹簧 18—底座 19、20—百分表 21、22—触头

在测量槽距 L 的同时,也可测量卡环槽的宽度,测量的方法是在测量槽距 L 时,记住百分表 20 的读数,用一只手按住活塞保持活塞位置不变,然后用另一只手通过手柄 8 拉动测量轴 9,只使测量环 7 的右端面靠在活塞卡环槽的右侧端面 E 上,得百分表另一读数。百分表 20 两次读数差就是活塞右边卡环槽宽度对公称尺寸 b 的误差。测量完一个卡环槽的宽度后,将活塞调头,按同样方法即可测量另一槽宽。

在该检具上还可测量两卡环槽对活塞轴线的对称度,在测量轴 13 上也有测量臂 16,其上的触头 22 与百分表 19 接触。测量时用手推动活塞,使左边卡环槽的右侧端面靠在测量环 5 的右端面上,这时测量轴 13 在弹簧 15 适当力的作用下靠在活塞裙部外圆表面的侧素线上,从百分表 19 得到一读数,表示尺寸 a 的大小;然后将活塞调头,测量另一卡环槽的尺寸 a ,得到百分表 19 另一读数。百分表 19 两次读数差就是两卡环槽对活塞轴线的对称度误差。为测量两卡环槽的对称度,预先调整测量轴 13 端面 E 的位置,使弹簧 15 有适当的预压量。

采用两个装配方向不同的测量臂 2 和 16 是为了使两个百分表相互错开,以便观察。

对不同的活塞品种应保持下列尺寸关系(见图 c):

$$L_1 = c + \frac{D-L}{2} - b; L'_1 = c + \frac{D'-L'}{2} - b'$$

$$L_1 + b + L_2 = L'_1 + b' + L'_2$$

$$L_1 + 2b + L_2 + L_3 + L_4 = L'_1 + 2b'_1 + L'_2 + L'_3 + L'_4$$

式中 c ——设计时确定的固定尺寸;

D, D' ——不同品种活塞的裙部直径;

L, L' ——不同品种活塞的卡环槽距离;

b, b' ——不同品种活塞的卡环槽宽度;

L_{1-4} 和 L'_{1-4} ——轴套长度尺寸。

该检具较好地解决了卡环槽距和宽度以及其对称度测量的问题,效率较高,使用效果好。

为提高检验效率和精度,设计制造了气缸套可调检具系列:主要包括湿式气缸套内孔、外圆直径和径向圆跳动及干式气缸套外圆直径可调检具。使用这些检具比采用通常手工检验方法显著提高了效率和测量精度,测量一个工件的时间为 8~10s,检具误差 $\pm 3\sigma \leq \pm 3\mu\text{m}$,并减轻了检验人员的劳动强度。

图 7-81 是湿式气缸套内孔直径可调检具,适用于检验内孔直径为 70~130mm 的气缸套。

检具由基座 11、支座 10、固定在支座 10 上的两 V 形滚动导轨 13、可在导轨 13 上移动的滑座 14、在滑座 14 上轴向位置可调的主轴 6 和浮动接头 4、装在浮动接头上的气动塞规 3,在支座 10 顶面上的两滚轮座 7 (用以支撑钢丝绳滚轮 8)、平衡重 9 (包括基本重量和可调重量)、固定在支座右侧面上的量仪支架 17 和三通道专用气电数显量仪 15 等组成。

在基座 11 上固定有平板 1,在平板 1 上有两位置可调的滚轮 20,滚轮 20 装在移动件 21 上(见图 K-K,两滚轮在主视图中未示出),测量时两滚轮的位置应使被测缸套的腰带外圆靠在两滚轮上,这时气缸套孔的轴线与旋转轴套 12 的轴线对准,允差 $\phi 0.20\text{mm}$ 。由于有浮动接头 4,所以气动塞规 3 很容易进入气缸套孔内。

在轴套 12 上固定有不同品种气缸套需要的可换定位圆盘 2，定位圆盘的上平面高出平板 1 的平面 0.2mm，在定位圆盘上有 15°倒角，使气缸套可从平板上推到圆盘 2 上。

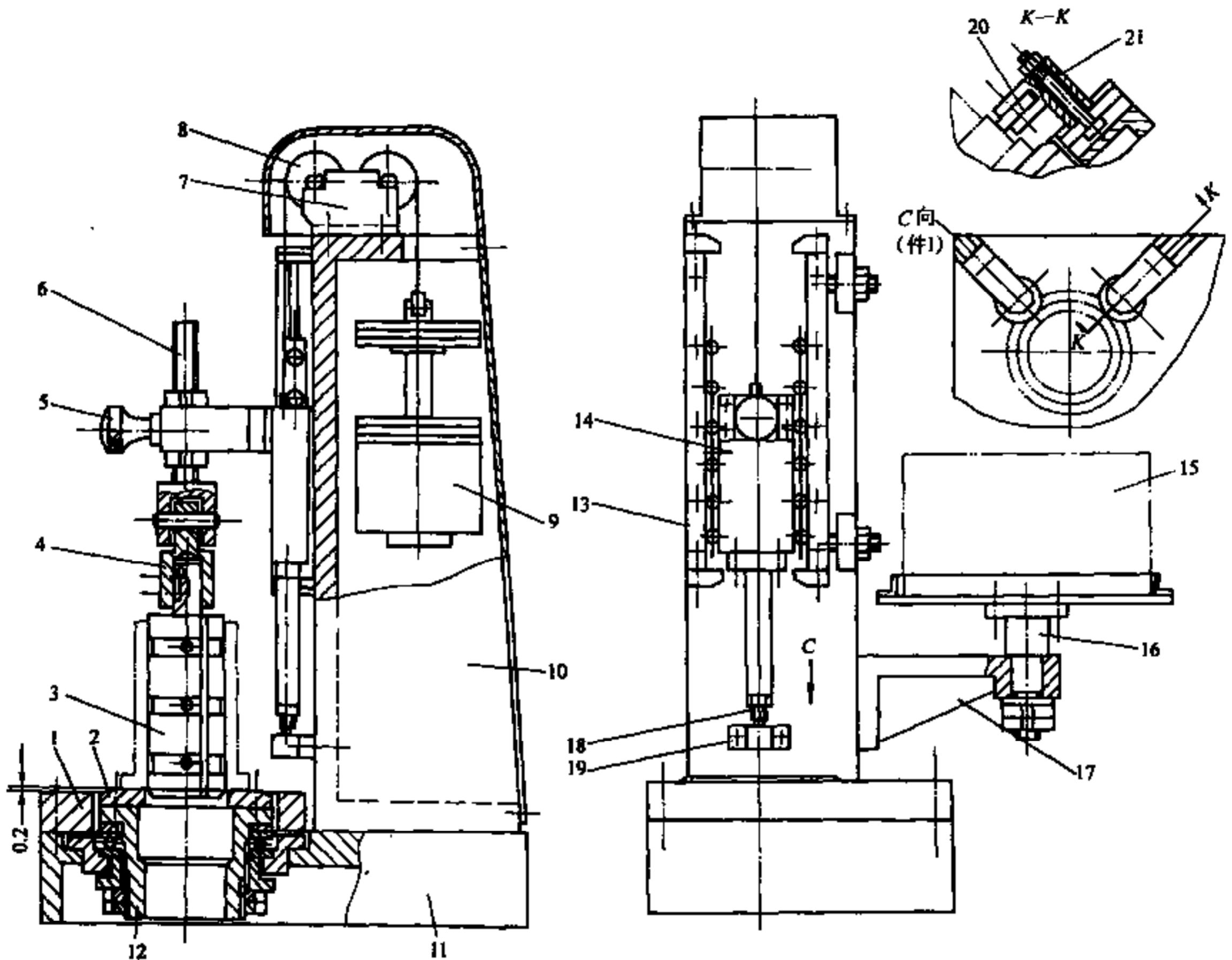


图 7-81 气缸套内孔直径可调检具

- 1—平板 2—定位圆盘 3—气动塞规 4—浮动接头 5—手柄 6—主轴 7—滚轮座
8—滚轮 9—平衡重 10—支座 11—基座 12—轴套 13—导轨 14—滑座
15—气电数显量仪 16—轴 17—支架 18—螺钉 19—死挡 20—滚轮 21—移动件

为提高检验效率，在气动塞规上按气缸套上、中、下 3 个截面位置设置 3 对独立的测量喷嘴，测量时将气动塞规一次送到位。这时滑座 14 上的死挡螺钉 18（位置可调）碰上死挡 19，然后转动气缸套，定位圆盘 2 与气缸套一起在轴套 12 上滚动回转，不用费力，所以转动可平稳进行，这样即可同时测量气缸套上、中、下 3 个截面上的直径和圆度。如果需要检验任意截面的直径和圆度，可利用中、下截面上的两对测量喷嘴，使塞规停在适当的位置进行测量。

滚轮配重机构可使塞规停在任一位置。如果采用一对测量喷嘴的气动塞规，也可按刻度板上的刻线来控制测量上、中、下 3 个截面直径的位置。

为提高气动塞规的耐用度，在 3 对测量喷嘴附近镶有短硬质合金条（图中未示）。气动塞规为整圆结构，在一定直径上沿圆周均布有若干个减轻重量的孔。

由于采用两 V 形滚动导轨 13，所以用手柄 5 轻轻按下即可将气动塞规送入工件。测量完毕

用手稍向上抬靠配重将其返回原位。配重略大于移动部分的重量,但当不稍向下用力时,塞规不会向下移动,这样运动相当平稳。当测量不同品种的气缸套时,应重新调整配重的重量。

该检具采用三通道气电数显量仪,量仪采用硅型差压传感器作为气电转换元件,气动测量间隙为 $0.15\sim 0.25\text{mm}$,示值误差、分辨率和长时间稳定性为 $1\mu\text{m}$ 和 $1\mu\text{m}/\text{h}$,反应时间为 1s 。该量仪工作间隙比一般气动量仪大,对于测量内孔直径为 $\phi 105^{+0.035}_0$ 的气动塞规,其测量部分外圆直径为 $\phi 105_{-0.030}^{0.015}$,两喷嘴处工作面直径为 $\phi 105_{-0.18}^{0.16}$,这时最大测量间隙为 $(0.18 + 0.035)\text{mm} = 0.215\text{mm}$ 。由于测量喷嘴相对塞规外圆表面的单边下沉量较大(大于 0.06mm),所以可采用直接在磨床上磨出的方法;并且塞规外圆表面具有较大的磨损储备,允许磨损到 $\phi(105 - 0.06)\text{mm}$,因此塞规的耐用度高。

专用气电数显量仪可显示气缸套在3个截面上的直径和圆度的测量结果:有全部合格信号灯和分别显示各截面内径超上差或超下差以及圆度超差的信号灯。量仪有数显口一面,供校准量仪和测量时查询任一内径实际值使用。轴16可在支架17的孔中转动,使量仪处于便于观察的适当位置。

当用校对环规调整量仪时,需要在定位圆盘2上安装附件(图中未示),以分别对3对测量喷嘴对应的量仪通道进行调整。为检验不同品种的气缸套,只需更换气动塞规并作相应的简单调整即可。

图7-82是湿式气缸套外圆直径可调检具,适用于检验外径 $80\sim 140\text{mm}$ 的气缸套,可测量气缸套上、下腰(下腰测量2个腰带)和支承肩共4个外圆的直径。

该检具采用专用四通道电感数显量仪,可显示各外径的测量结果:有全部合格信号灯和分别显示各外径超上限或超下差的指示灯。并有数显口一面,供校准量仪和测量时查询任一外径实际值使用。

图7-82a是该检具的测量示意图,气缸套以上腰外圆上的点A和C、下腰外圆上的点B和D定位。A和B是固定定位点,C和D是可调定位点,以适应不同的直径。以A和B点定位直接测量上腰和下腰I的直径,测量支承肩和下腰II直径的双测点机构可绕轴F摆动,工件在轴向以E点定位。

检具的结构见图7-82b,在底座17上有可沿键槽 B_1 移动的两支座16、可沿键槽 B_2 移动的支座14和20各两个,两支座14用于测量上腰和下腰I外圆的直径,其在图7-82bK向视图上的位置未表示出。

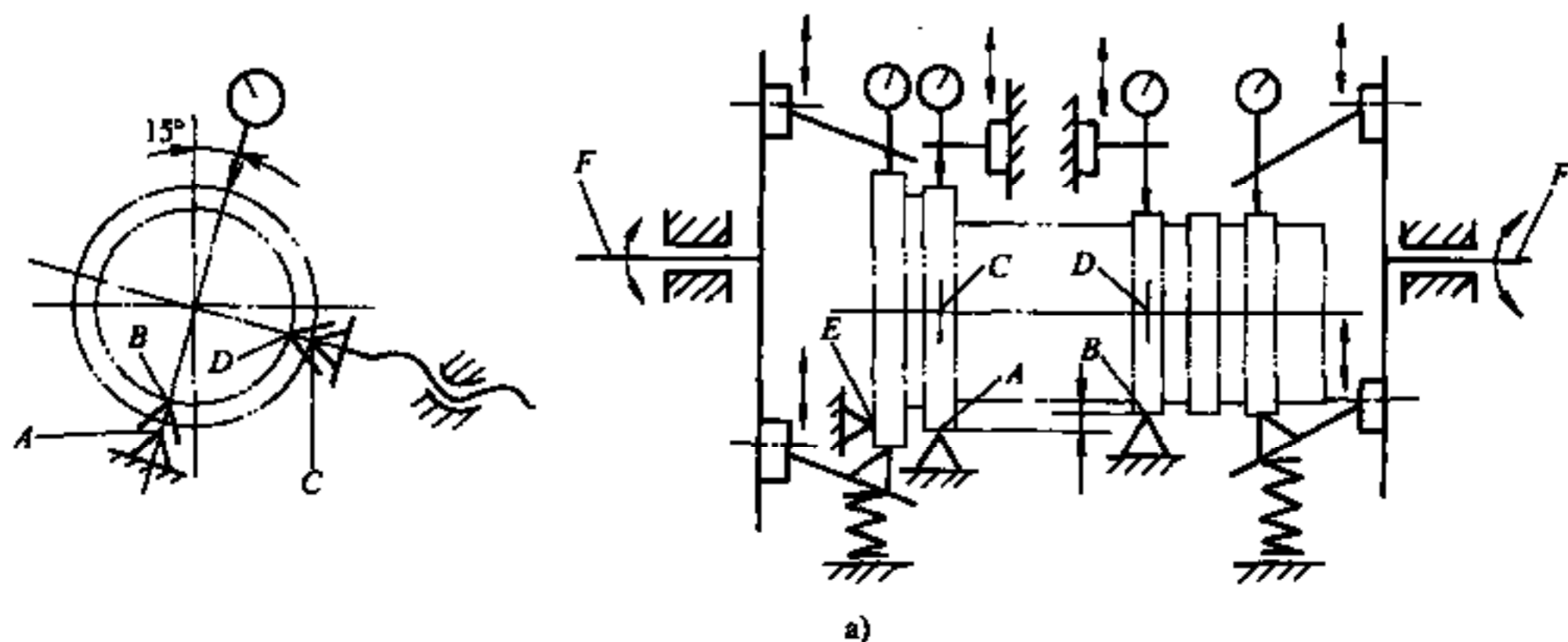


图7-82 湿式气缸套外径可调检具

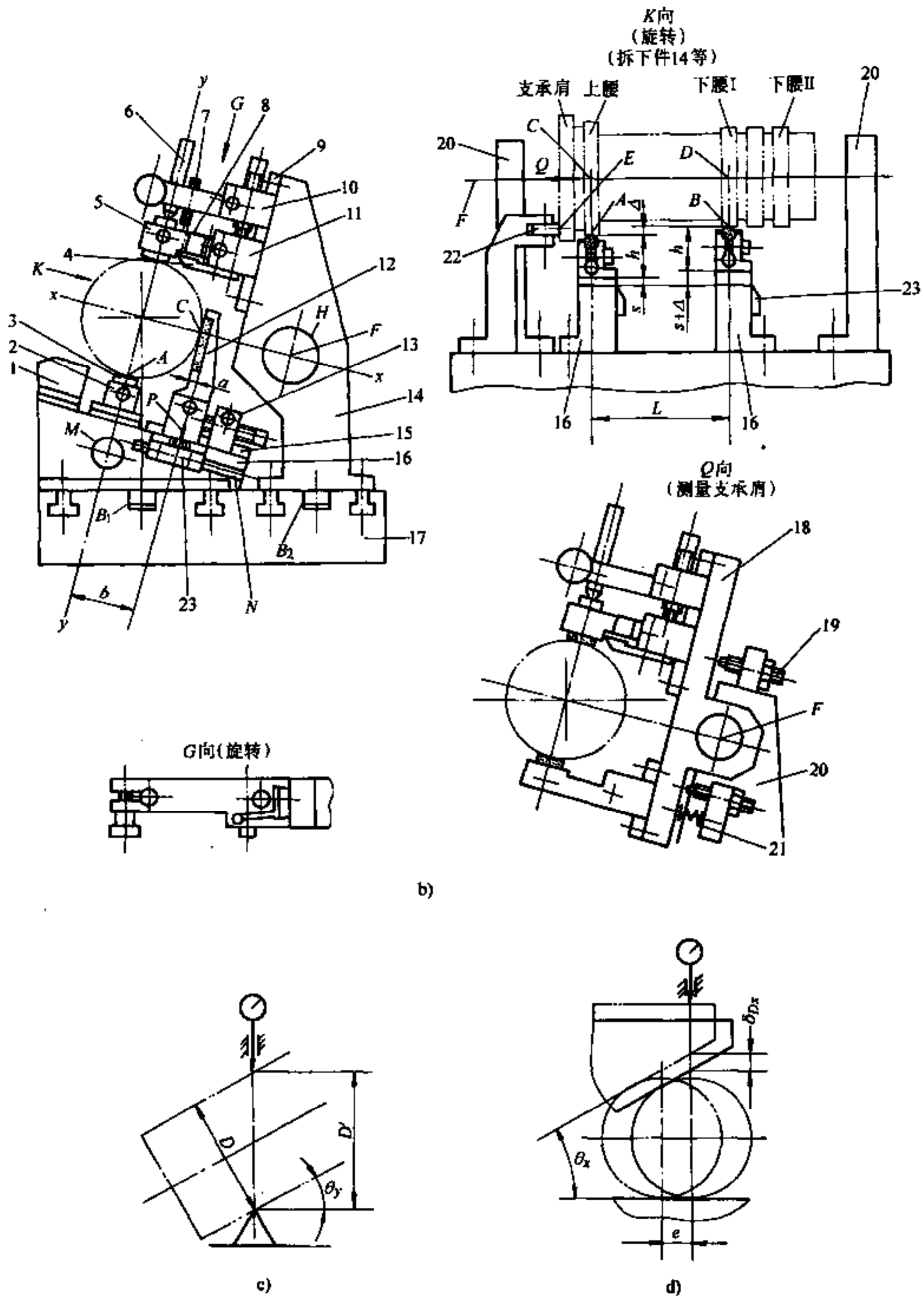


图 7-82 湿式气缸套外径可调检具 (续)

1—导向板 2—定位块 3—量柱 4—限位板 5—活动块 6—电感测头 7、19—螺钉 8—片簧
 9、15—燕尾导轨 10、11、12、13—滑块 14、16、20—支座 17—底座 18—摇摆座 21—弹簧 22—轴承 23—刻线板
 在支座 16 上装有气缸套定位用的组件：带 $\phi 4\text{mm}$ 硬质合金量柱 3 的定位块 2，可在燕尾导轨 15 上移动的滑块 12 和 13。量柱夹持在弹性槽中，磨损后转一角度可继续使用。在滑块

12 上有硬质合金条，条与工件接触处为窄边刀口形，条的长度以及滑块 12 和 13 在导轨上的位置应满足不同工件直径的需要，滑块 12 和 13 在导轨 15 上的结构与图 7-82b 中的 G 向视图所示相同。

在两支座 14 上装有测量上腰和下腰 I 外圆的组件：可在燕尾导轨 9 上移动的滑块 10 和 11，固定在滑块 10 上的电感测头 6。两平行片簧 8 使活动块 5 与滑块 11 相连，限位板 4 和螺钉 7 防止活动块 5 的移动距离过大。本检具不采用电感测头直接与气缸套外圆表面接触，而是通过活动块 5 上的硬质合金量柱与气缸套外圆表面接触，被测直径的变化通过活动块 5 传给电感测头。滑块 10 和 11 的位置应满足工件不同直径的需要，用螺钉通过弹性槽（见 G 向视图）将滑块紧固在导轨上。

在两支座 20 上装有测量支承肩和下腰 II 外圆直径的组件（见 Q 向视图）：在支座 20 上的轴 F（具体结构从略），可在轴 F 上摆动的摇摆座 18。两可调螺钉 19 限制摇摆座的摆动量，靠弹簧 21 使下测点紧靠气缸套外圆表面，这时气缸套的自重比弹簧力大得多，所以不影响气缸套定位。

使用时按被测气缸套将支座 16、14 和 20 置于适当位置，并固定。装工件时，使气缸套上腰和下腰 I 外圆表面沿两导向板 1 滚到定位部分上，并使支承肩端面靠在轴承 22 上，采用轴承作为工件轴向定位可使气缸套转动灵活。

测量上腰和下腰 I 的直径时，由于一个测点就是定位点，所以只需调整上测点的位置。调整时使滑块 10 和 11 初步到位，先将滑块 10 固定，用差动螺钉（在滑块 10 和 11 上螺距不同）微调滑块 11 的位置，使活动测点在放上工件后有一定的预压量，调好后将滑块 11 固定；然后用上、下限校准件校准量仪，这时先使电感测头处于测量范围内，并紧固，再将滑块 10 松开，用差动螺钉微调滑块 10 的位置，使量仪示值与校准件相当，再将滑块 10 固定。

测量支承肩和下腰 II 外圆直径的结构与上述基本相似，只是下测点不是固定的，所以应根据气缸套将下测点调到适当的位置，使下测点有一定的预压量，然后再按上述方法调整上测点的预压量并按校准件调整电感测头的位置。

本检具利用四对量柱 3 的素线同时测量四个外圆直径，要求量柱在全长（12mm）上的直线度为 $1\mu\text{m}$ 。为保证各对量柱素线的平行度，对各有关零件的形位公差提出相应的要求。平行片簧结构可保证量柱的素线平行移动，两素线平行度误差可控制在 0.10mm 以内。

安装量柱的各孔应先按一定的位置精度加工，合格后再在零件上开弹性槽并加工出使量柱局部露出的扁平面。为保证检具的加工和装配精度，各相关件采用工艺孔 M 和 H，孔 H 与轴 F 在同一轴线上。

下面对如何保证测量精度的问题作一介绍和分析。

1) 气缸套在 $y-y$ 面上的定位误差 气缸套上腰直径比下腰直径大，各种气缸套上、下腰半径差（落差）值 Δ 不完全相同，主要有以下几种数值： $\Delta = (0.25, 0.5, 1.0, 1.5)$ mm。为测变化的 Δ 值，采用下述方法：两支座 16 的斜面在同一平面上（允差 0.01mm）；两定位块 2 的底面到量柱的高度 h 应相等（允差 0.01mm）；上腰定位块 2 下面的调整垫板厚度为 S （K 向），而下腰定位块 2 下面的调整垫板厚度为 $(S + \Delta)$ ，垫板厚度允差 0.01mm。这样即可保证两固定测点 A 和 B 的落差值为 Δ ，其对公称值的最大误差为

$$\delta_{\Delta y-1} = \pm (0.01 + 0.01 + 0.01)\text{mm} = \pm 0.03\text{mm}$$

更换气缸套品种时，只需更换下腰处的垫板即可保证不同的 Δ 值。

各种气缸套上、下腰外圆的公差为 $(0.035 \sim 0.054)\text{mm}$ (取 0.054mm 作为计算值),并且公差带位置相同。再考虑气缸套技术要求规定上、下腰外圆表面对内孔轴线的径向圆跳动之差不大于 0.06mm ,若气缸套上腰和下腰I外圆表面出现最大直径差和最大的径向圆跳动之差,则气缸套本身上、下腰的落差值对公称值 Δ 的最大误差为

$$\delta_{\Delta y-2} = \pm \left(\frac{1}{2} \times 0.054 + 0.06 \right) \text{mm} = \pm 0.087\text{mm}$$

所以工件在 $y-y$ 平面上定位时实际落差值对公称值 Δ 的总误差为

$$\delta_{\Delta y} = \delta_{\Delta y-1} + \delta_{\Delta y-2} = \pm 0.117\text{mm}$$

由于有误差 $\delta_{\Delta y}$,气缸套定位时将在 $y-y$ 面上产生倾斜,两定位点A和B之间的距离为 L , L 的最小值为 100mm ,所以气缸套实际轴线相对理想轴线的位置的最大倾斜为 $0.117/100$,相当于倾斜角 $\theta_y = \pm 4'$ 。这时测量的直径不是实际 D ,而是 D' ,而 $D' = D(1/\cos\theta)$ (见图7-82c)。测量误差 $\delta_{Dy} = D' - D$ 。因 $\cos\theta_y \approx 1$,所以 $\delta_{Dy} = 0$,说明气缸套在 $y-y$ 面上的定位误差对测量没有影响。

2)气缸套在 $x-x$ 面上的定位误差 为保证气缸套在 $x-x$ 面上的定位误差,并适应不同品种的气缸套,采用下述方法:两滑块12上有刻线 P ,在两支座16上分别有刻线板23,在测量上腰的刻线板上各刻线应满足 $b = R + a$ (见图7-82b),其中 R 为各种气缸套上腰半径公称值;在测量下腰的刻线板上各刻线应满足 $b = R - \Delta + a$,其中 $(R - \Delta)$ 为下腰半径公称值, a 为刻线 P 与滑块12硬质合金条工作面之间的距离。为便于制造,刻线板23的位置在槽 N 中可调,按某种规格气缸套使刻线板上相应的刻线对准刻线 P 后,将刻线板固定,以后更换品种时只需使刻线 P 对准刻线板上其他相应的刻线即可。在刻线板23上应有标记,说明各刻线对准刻线 P 时缸套相应外圆的直径。

刻线位置精度为 $\pm 0.02\text{mm}$;刻线宽 0.12mm ,刻线板刀口高度 $h_1 = 0.5\text{mm}$,一般明视距离 $d \approx 250\text{mm}$ 和两眼距离 $2b \approx 60\text{mm}$,所以观察刻线视觉误差为 $\pm h_1 \frac{b}{d} = \pm 0.5 \times \frac{30}{250} \text{mm} = \pm 0.06\text{mm}$;由前述已知气缸套本身落差对公称值 Δ 的误差为 $\pm 0.087\text{mm}$ 。所以气缸套在 $x-x$ 面上定位时,实际落差值对公称值 Δ 的误差为

$$\delta_{\Delta x} = \pm (0.02 + 0.06 + 0.087)\text{mm} = \pm 0.167\text{mm}$$

由于该线误差使工件轴线在 $x-x$ 面上对公称位置产生倾斜,在长度 $L = 100\text{mm}$ 上的最大倾斜为 $\pm 0.167\text{mm}$,相当于两被测外圆在 $x-x$ 方向上产生相对偏移 e (见图7-82d),考虑支承肩和下腰II两外圆的轴向距离大于 L ,所以按 $e = 0.2\text{mm}$ 计算测量误差。

如果上、下量柱两素线平行,并不会由于上述偏差 e 而产生测量误差,但由前述已知两量柱素线平行度允差 $0.10/12\text{mm}$,相当于 $\theta_x = 28'$,所以由于定位误差在 $x-x$ 面上产生的直径测量误差为

$$\delta_{Dx} = e \tan \theta_x = 0.0014\text{mm} = 1.4\mu\text{m}$$

在 $x-x$ 和 $y-y$ 面上由于定位误差产生的总的测量误差为

$$\delta_{D1} = \sqrt{\delta_{Dy}^2 + \delta_{Dx}^2} = \delta_{Dx} = 1.4\mu\text{m} \quad (\text{因 } \delta_{Dy} = 0)$$

影响气缸套外径测量误差的因素还有:

由于两量柱素线直线度($1\mu\text{m}$)产生的测量误差

$$\delta_{D2} = \sqrt{1^2 + 1^2} = 1.4\mu\text{m}$$

由于量仪示值误差而产生的测量误差 $\delta_{D3} = 1\mu\text{m}$

校准件的计量误差 $\delta_{D4} = 2\mu\text{m}$

所以在该检具上测量外圆直径总的测量极限误差为

$$\delta_D = \sqrt{\delta_{D1}^2 + \delta_{D2}^2 + \delta_{D3}^2 + \delta_{D4}^2} = 3\mu\text{m}$$

该误差在允许范围内（气缸套外圆直径公差 $0.035 \sim 0.054\text{mm}$ ，支承肩外圆直径公差则更大）。

在气缸套的技术要求中，不但规定了上、下腰外圆表面 A 和 B（见图 7-83a）对内孔轴线的径向圆跳动（对本例以下简称径跳）值（ 0.08mm ），而且对上、下腰两外圆表面的径跳差值作了规定（ 0.06mm ）；此外还规定了支承肩下端 C 对内孔轴线的端面圆跳动（对本例以下简称端跳）值（ 0.03mm ）。

对径跳的测量，大多使气缸套在定位轴上转动，用安装在普通表架上的百分表测量。采用这种方法时，由于一批气缸套外圆的直径各不相同，使百分表的示值范围经常变化；又由于各个气缸套上、下腰外圆直径之差各不相同。通过两只百分表读取两腰外圆表面径跳差值时经常要考虑这种差异，这些因素使测量操作复杂化，易产生判断误差。此外在百分表上读数，特别是读取两径跳差值，观察性差。

为此设计制造了气动可调检具，采用三管 2000 倍浮标式气动量仪测量上述参数。在基座 1 上固定有支座 2，可换定位轴 3 装在轴 4 上（图 7-83a）；测量端跳和径跳的支座 9 和 5 可在键槽 M 和 N 中移动（图 7-83b），使用时按被测气缸套的尺寸将支座 5 和 9 置于适当位置，并用 T 形槽螺钉固定（在图 7-83a 中支座 9 未示出，图 b 的主视图相当于图 a 的 X 向视图）。

在支座 5 两端的孔中各有一衬套 22，轴 21 可在两衬套 22 中转动，用螺钉将轴 21 固定在铰链座 19 上，使铰链座 19 在支座 5 的槽中绕两衬套 22 轴线转动。在铰链座 19 上有燕尾导轨 18，滑座 16 和 20 可在导轨上移动。用差动螺钉 17 使滑座 16 与 20 相连，旋入滑座 16 和 20 的螺钉 17 的螺纹直径分别为 8mm 和 6mm 。测量活动块 27 用两平行片簧 15 与滑座 20 相连，在活动块 27 上有测量平台 35 和 $\phi 4\text{mm}$ 硬质合金量柱 28，用螺钉 36 将量柱夹持在开口槽中（见 H 向视图）。

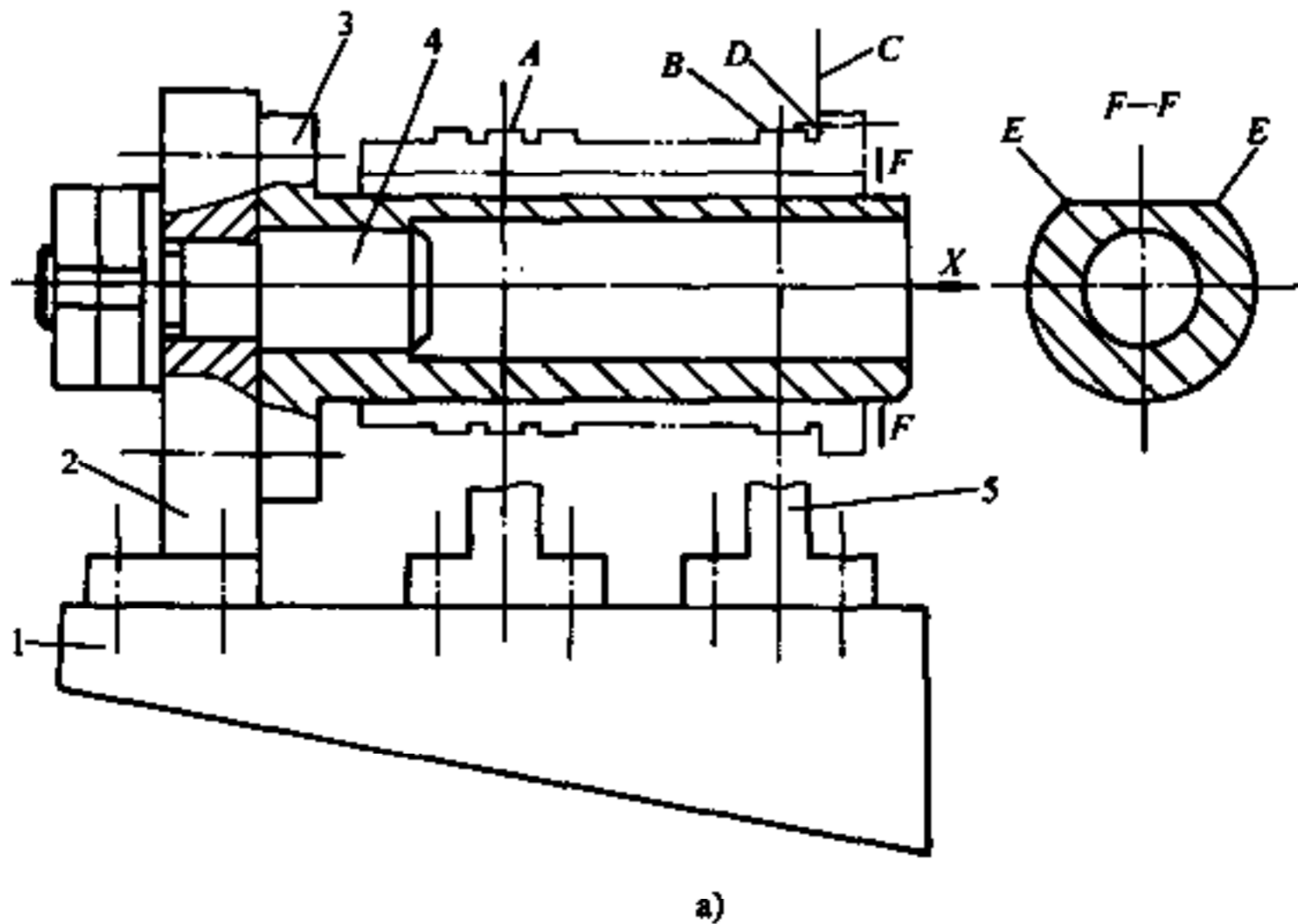
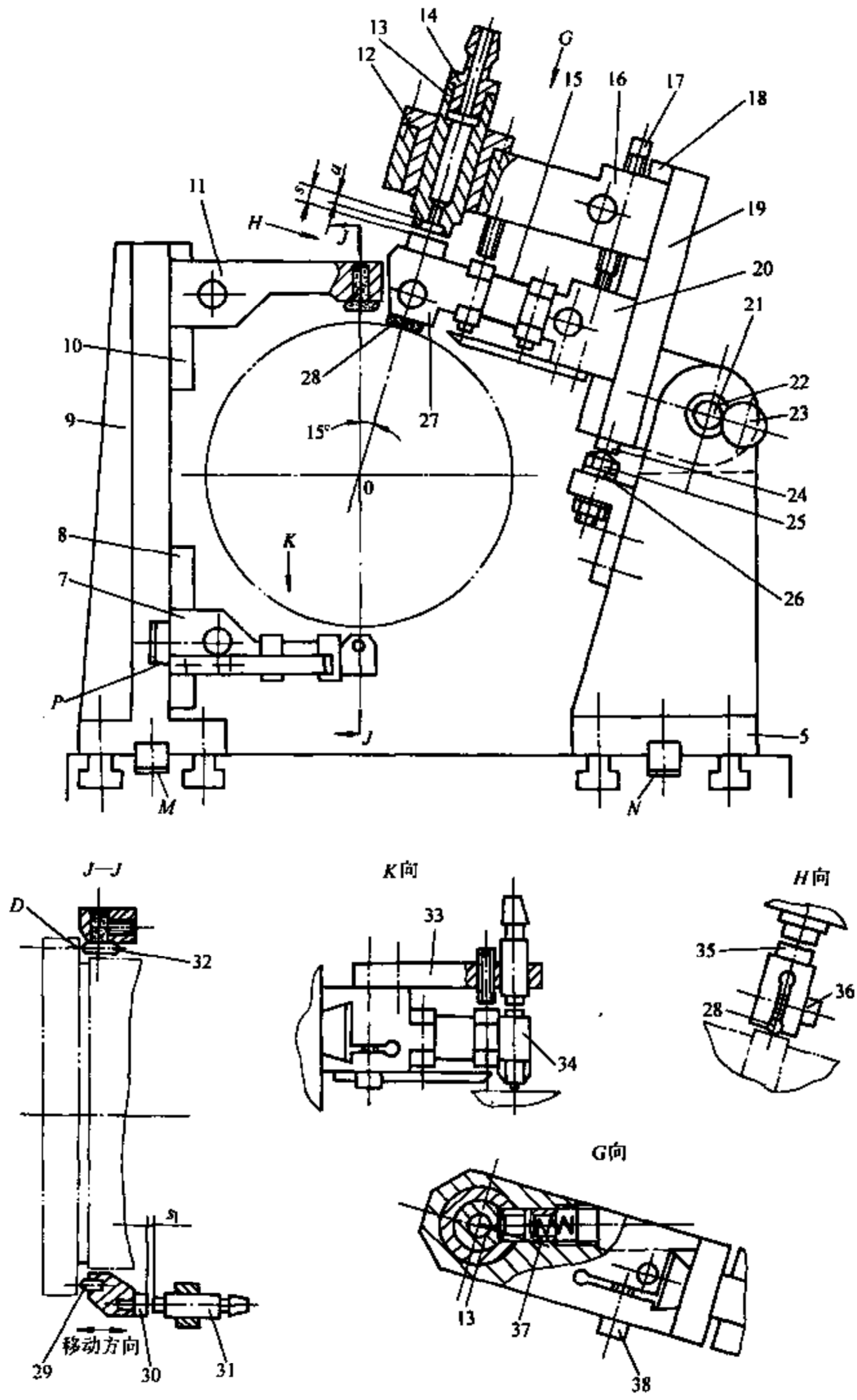


图 7-83 湿式气缸套外圆径跳和支承肩端跳可调检具



b)

图 7-83 湿式气缸套外圆径跳和支承肩端跳可调检具 (续)

- 1—基座 2、5、9—支座 3—定位轴 4、21—轴 7、11、16、20—滑座 8、10—导轨 12—轴套
- 13—测轴 14—接头 15—片簧 17、23、36、38—螺钉 18—燕尾导轨 19—铰链座 22—衬套
- 24—销 25—支承螺钉 26—垫圈 27、34—活动块 28—量柱 29—触头 30、35—测量平台
- 31—测量喷嘴 32—测销 33—连接板 37—滑柱

在滑座 16 上有轴套 12 和测轴 13, 测轴上有接头 14, 滑柱 37 通过弹簧的压力 (可调) 压住测轴 13 (见 G 向视图), 使其在自重和气路软管所产生的较小附加力的作用下不会移动, 要求软管挂好, 不允许对测轴产生过大的力。通过调整配磨垫圈 26 的厚度, 使销 24 靠在支承螺钉 25 上时轴套 12 的轴线通过轴 4 的中心 O。

在支座 9 上有导轨 10 和 8, 滑座 11 和 7 分别在其上沿气缸套的径向移动, 导轨 8 还可在键槽 P 中移动 (利用螺钉长孔, 图中未示), 同时使滑座 7 沿气缸套轴向移动。在滑座 11 上有带台肩的测销 32, 其台肩外圆的形状为圆弧形, 作为测量端跳的定位点 (见 J-J 剖视)。测销 32 用螺钉固定, 磨损后可旋转一角度继续使用。位置可调的气动测量喷嘴 31 通过连接板 33 固定在滑座 7 上, 活动块 34 用两平行片簧与滑座 7 相连 (见 K 向视图), 在活动块 34 上有测量平台 30 和测量触头 29 (粘结在孔中, 可换)。测量平台 30 和测销 32 的材料采用硬质合金; 由于气缸套支承肩下端面很窄, 触头 29 采用仪表厂生产的 $\phi 1.5\text{mm}$ 红宝石 (头部为球面), 其耐用度极高。

为调整检验夹具, 安装气缸套时将铰链座 19 从图示位置翻开, 将气缸套装在定位轴 3 上, 由于检具底座的底面是斜面, 气缸套在自重下使支承肩下端面 C 上的 D 点靠在测销 32 的圆弧形台肩上, 而内孔靠在定位轴 3 扁平面上的两条棱边 E 上 (见 F-F 剖视)。定位轴按某一种气缸套内径 d 设计, 可适用于比 d 大一定范围的气缸套, 根据需要确定定位轴的数量。测量时铰链座 19 的位置可用螺钉 23 锁死。

为测量径跳应按被测气缸套外径调整浮动块 27 的位置, 使气缸套放在定位轴上后浮动块有一定的预压量, 调整方法与图 7-82 所示的检具活动块调整的方法相同, 调好后用螺钉 38 销死。测量时分别将两测轴 13 压在测量平台 35 上, 即 $s = a$, 这时两腰外圆处的测量间隙都等于喷嘴下沉量 $a = 0.03\text{mm}$, 将气动量仪相应两管的浮标调到适当的相同高度。转动气缸套时两腰外圆表面的最高点分别把两测轴 13 顶到最上面的位置, 这时测量间隙仍为 $a = 0.03\text{mm}$ 。由于测轴不会自行落下, 所以工件外圆表面在转过最高点后, 间隙 s 开始大于零, 当腰带外圆表面转到最低点时 s 值最大, 测量间隙也最大。由于气动量仪两管的最小测量间隙均为 0.03mm , 不受两腰外圆直径的影响, 所以只需分别读出量仪两管最大测量间隙的示值, 即可确定上、下腰的径跳值为 $(s_{\max} - 0.03)\text{mm}$ 。

若上、下腰外圆表面的径跳没有差异, 则量仪两管道的示值始终相同, 即在两腰外圆表面处的 s 值始终相同; 反之, 量仪两管的示值将有差异 (即两处 s 值不同), 量仪两管示值差异的最大值就是上、下腰外圆表面的径跳差值。此法读数直观, 量仪指示的位置与气缸套两腰外圆直径的变化无关。

为保证测量径跳的精度, 测量前气缸套必须先转一圈 (可利用这一圈转动先测量支承肩下端面的端跳), 以确保两腰外圆表面的最高点分别将两测轴 13 顶到最上面的位置, 然后气缸套再转一圈测量两腰外圆表面的径跳和径跳差。

为测量支承肩下端面的端跳, 通过调整滑座 11、7 的径向位置和滑座 7 的轴向位置, 应保证气缸套靠在测量销 32 上后, 触头 29 有一定预压量。同时需用无端跳的校准件 (或工件) 调整测量喷嘴 31 的位置, 使测量间隙为 $s_1 = 0.06\text{mm}$ (可用塞尺测量)。由于支承肩下端面最大端跳值为 0.03mm , 考虑气缸套下端面端跳的方向, 可知气缸套测量间隙范围为 $0.03 \sim 0.09\text{mm}$, 在量仪允许范围内。量仪最大与最小示值之差就是支承肩下端面端跳的两倍 (见图 7-26c 的分析)。

通常，只测量一个上腰带即可（图 7-83a 所示为测量中间的上腰带），如需要测量其他上腰带，可移动支座 5。

为解决用千分尺测量薄壁气缸套（干式气缸套）时由于工件变形影响测量精度的问题，同时为提高检验效率，采用了可同时在气缸套三个截面上非接触测量外圆直径的可调检具，如图 7-84 所示。该检具采用三通道专用气电数显量仪，其技术性能与图 7-82 所示检具的量仪性能基本相同。在该检具上同时测量：3 个横截面的平均直径；每个截面的圆度（按最大与最小直径差的一半确定）；外圆表面素线对气缸套轴线的平行度（通过对在 3 个横截面的平均直径进行比较，按最大与最小平均直径差的一半确定，并不允许下端大）；在上述各参数合格的条件下，按中间截面的平均直径对气缸套分组。该检具可测量外径为 70~130mm 和长度在 350mm 内的薄壁气缸套。各测量结果由量仪显示。

在底座 15 上有 3 个可沿键槽 M 移动的支架 10，在支架 10 上有沿导轨 1 和 9 移动的滑座 4、5 和 6，其位置可用螺钉 7 通过夹紧弹性槽固定，滑座 5 和 6 用差动螺钉 8 相连，在滑座 4 和 5 上有气动测量喷嘴。在底座 15 两端还有可沿键槽 M 移动的两滑板 14（见 B 向视图），在两滑板 14 上各有两定位滚轮支架 2 和 11，滚轮支架 2 直接固定在滑板 14 上，而滚轮支架 11 在支座 13 上的位置用差动螺钉 12 可调，支座 13 则固定在滑板 14 上。在两滑板 14 上还分别固定有安装工件的导向件 3 和工件轴向定位用的可调滚动死挡 17（图中示意表示）。

按气缸套外径为 105mm 设计该检具，这时工件中心 O 与两定位滚轮中心 O_1 和 O_2 组成的 $\angle O_1OO_2 = 90^\circ$ ，在这种情况下在 $\overline{OO_2}$ 的延长线上在支架 10 上做出工艺孔（图中未示），作为确定该检具有关尺寸的基准。 A 向视图右边的定位滚轮支架 11 上的刻线 N 对准固定在支座 13 上刻线板 16 上相应的刻线（缸套外径为 105mm 的刻线）。当气缸套外径不等于 105mm 时，由几何关系可计算出该气缸套中心相对直径为 105mm 气缸套中心 O 的水平移动量（支架 2 的滚轮中心 O_1 位置不变），根据经常生产的多种气缸套的外径计算出各水平移动量，并按这些值分别在刻线板上刻出各刻线，并标出相当的公称直径值。这样在更换工件品种时，只需使刻线 N 对准相应的刻线即可，可显著减少调整时间。 A 向视图左边的支架 11 上的刻线 N 对准刻线板 18 的相应刻线。

测量时将气缸套放在两对定位滚轮上，按工件的尺寸将各支架 10、定位滚轮支架 2 和 11 调整到适当的位置，并紧固。本检具所选用的专用量仪的测量间隙为 0.20~0.30mm，单边最小间隙为 $s = 0.10\text{mm}$ ，为保护测量喷嘴取下沉量 $a = 0.020 \sim 0.030\text{mm}$ ，这样可用 $(s - a) = 0.07 \sim 0.08\text{mm}$ 的塞尺按上限校准件调整滑块 4 的位置，并紧固；然后再用差动螺钉调整滑块 5 的位置，使量仪显示上限尺寸，并紧固；然后再用下限校准件使量仪显示下限尺寸。调好检具和量仪后，即可进行检验工作。

使气缸套沿导向板 3 滚下，滚到两滚轮上，并靠上滚动死挡 17，即可实现非接触测量。由于气缸套在两对滚轮上，只要用很小的力就能使其平稳转动，保证测量的稳定性。该检具比采用普通气动卡规的显著优点是测量部位不存在磨损的问题。

7.5.2 组合检具

这里所说的组合检具是指，全部或主要部分的零部件由可重复利用元件和组件组成的检具。开发和研制用于组装检具的元件和组件是检具的一个发展方向，这不但对单件和小批生产以及在维修中有很大的用途，而且对成批和大量生产也有使用价值。采用一般专用检具设

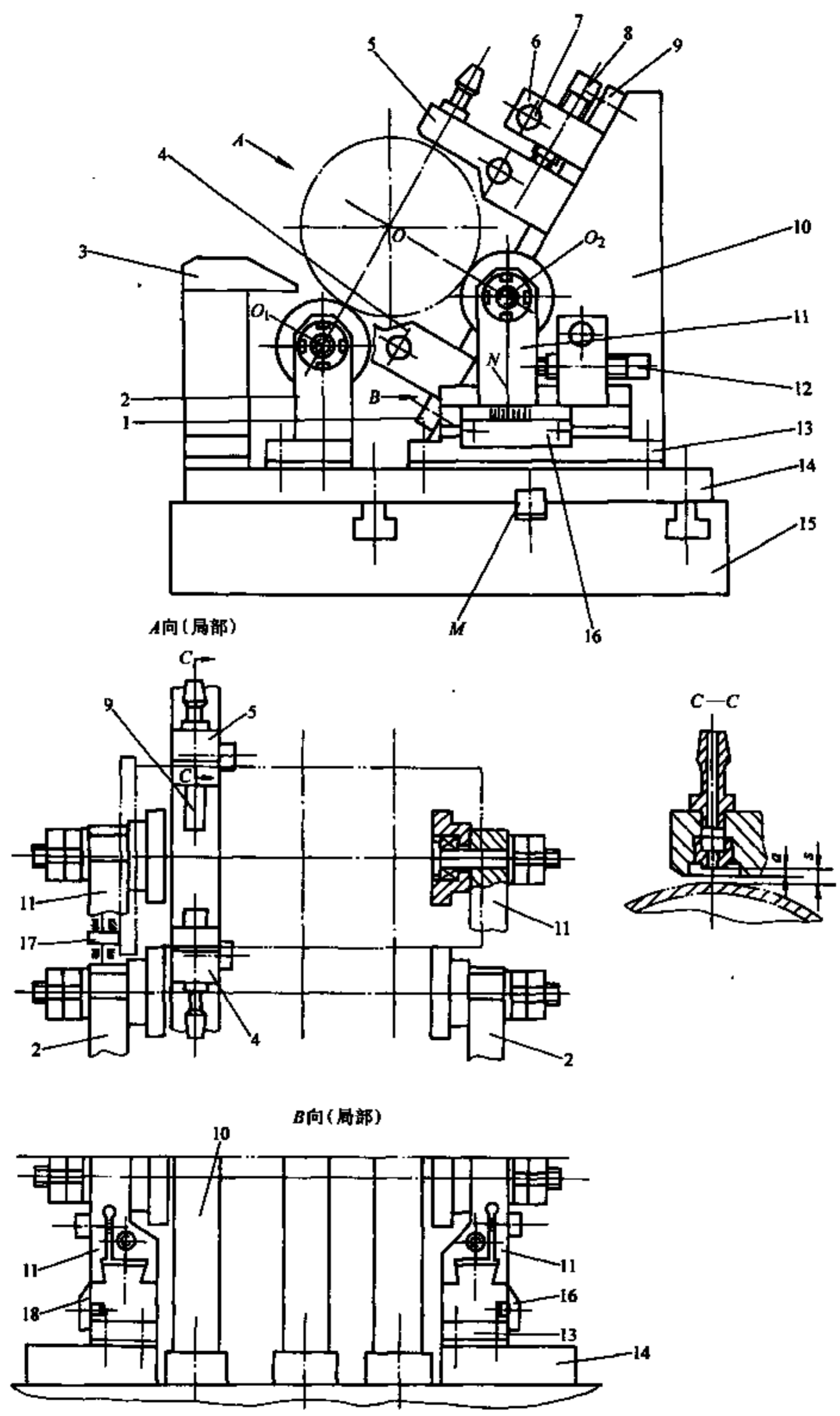


图 7-84 干式气缸套外圆直径测量和分组可调检具

- 1、9—导轨 2、11—滚轮支架 3—导向件 4、5、6—滑座 7—螺钉 8、12—差动螺钉
 10—支架 13—支座 14—滑板 15—底座 16、18—刻线板 17—死挡

计制造周期长，有时满足不了生产的急需。在机械加工中应用组合夹具的经验值得借鉴。

开发和利用组合检具有以下途径。

1. 可利用组合夹具的元件与通用检验工具结合组装成某些检具。例如在修理部门为检验连杆小头孔对大头孔轴线的平行度，采用图 7-85 所示的组合检具。

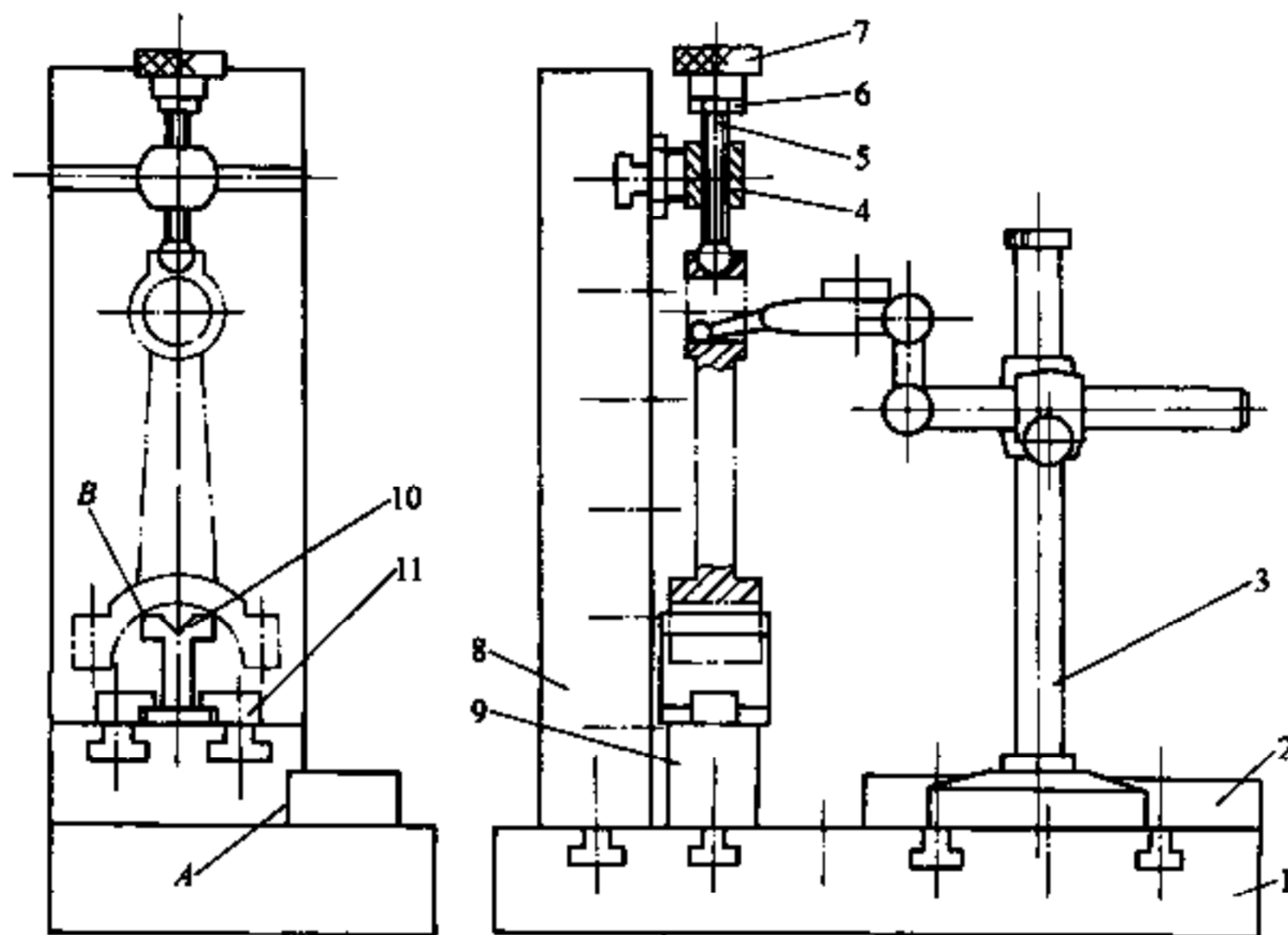


图 7-85 由组合夹具元件和通用检验工具组装的组合检具

1、8—基础板 2—伸长板 3—表架 4—侧支钉 5—球头螺钉 6—薄螺母
7—滚花螺母 9—支承块 10—V形块 11—平压板

检具由基础板 1、长方形支承块 9、基础板 8、侧支钉 4、球头螺钉 5、薄螺母 6、滚花螺母 7、伸长板 2 和平压板 11 等组合夹具元件组成，并采用通用 V 形块 10 和表架 3。组装后，伸长板 2 的 A 面与检验 V 形块 10 两棱边 B 应严格平行。各元件相互用 T 形槽螺钉连接（图中未示出）。

测量时将连杆放在检验 V 形块 10 上，连杆大头孔表面按 V 形块两棱边定位；旋转螺母 7，使螺钉 5 的球头进入连杆小头孔的中心孔，从而使连杆定向。将连杆固定后，使表架 3 沿伸长板 2 的导向面 A 移动，即可用杠杆测微仪测量连杆小头孔对大头孔轴线的平行度。

由于在组合夹具中缺少固定和调节测量装置等的各种元件和组件，所以由组合夹具元件和通用测量工具来组装检具有很大的局限性，因此应开发适合检具使用的组合元件和部件。在开发组合检具成套元件时，也应考虑利用和参考组合夹具元件，例如其基础板和连接板可用于组装检具的底座，其支承件可作为组合检具的辅助件等。

2. 解决一部分工件检具的组合理化。例如为满足轴套类工件检验的需要，组合检具可由下列元件组成：底座、工件定位件、测量传递装置、夹紧装置和其他附件。在设计时应考虑下述问题。

采用几种规格的铸铁平板作为底座，平板有肋的结构保证足够的刚性。为在长度方向上任意位置布置测量装置等，平板的上面和侧面应开有若干梯形槽。在平板下面应有四个螺孔，供安装可调支承螺钉用，以便必要时使平板倾斜一个角度使用。

工件的定位件（组件）有 V 形座和顶尖座，V 形座的 V 形角有 90° 和 120° ， 90° V 形用

于测量工件的直径， 120°V 形用于测量圆度误差（传递比为2），为提高耐磨性在V形上有硬质合金支承块。为使工件在轴向定位，备有其上带垂直槽的支架，在支架上可安装不同的轴向死挡，同时也可安装百分表。

测量装置为其上有夹紧卡箍的支架，在卡箍上有安装百分表的 $\phi 8\text{H}8$ 孔；还有各种手动测量尺寸用的传递装置，其上有不同的测量触头和安装百分表的孔。在传递装置中应考虑一些特殊用途，例如有时需要使测量触头退出，以便装卸工件，这时可采用偏心机构或气动机构，偏心机构一般只控制一个测量触头，而气动机构可同时控制多个测量触头和用于不便操作的场合。

应备有快速弹性压紧工件的组件，该组件可处于敞开位置（以便装卸工件）和压紧位置。

为使工件在V形座上或顶尖上转动，可备有使工件转动的装置，这种装置由中心架和手轮组成，也可起到压紧工件的作用。中心架滚轮轴上有正方形轴端，其上的手轮可带动工件转动，也可用带轮带动滚轮转动，带轮与滚轮轴用弹簧拉住，在工件上形成封闭的弹性系统。必要时也可使滚轮轴线相对工件的轴线倾斜一个角度，以使工件在转动的同时自动靠在轴向死挡上；并能通过杠杆机构使回转装置处于工作和装卸工件两个位置。

附件应包括组装检具所需的工具。

下面以用于轴套类工件组合检具的测量传递装置为例，说明组合检具元件和组件的设计。

图7-86表示轴套类工件常见的部分测量项目：对基面的高度（图a, b）和厚度（图c），平面对基面的平行度（图a, b和d），阶台平面的厚度和平行度（图c），端面对轴线的端面圆跳动（图e），外圆表面的径向圆跳动和素线的直线度（图f），外圆的直径、圆度和

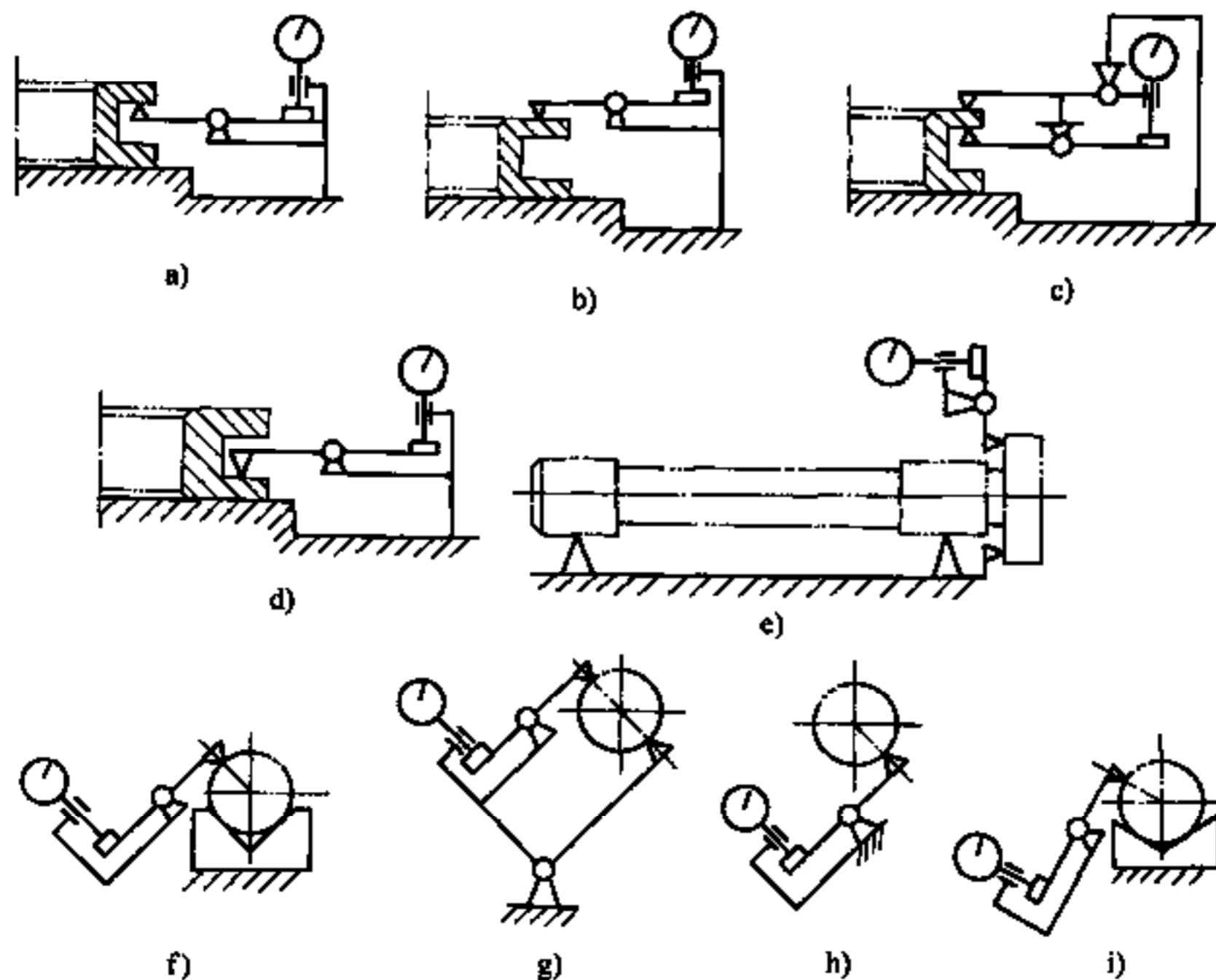


图 7-86 轴套类工件部分常见测量项目

锥度（图 g 表示用两点测量法，图 h 表示用单点测量法，在垂直于 $90^\circ V$ 形座的一个面的方向上测量），在 V 形角为 120° 的 V 形座上测量圆度（图 i 表示在通过工件中心且平行于一个 V 形面的方向上测量，这时可揭示棱边数为 3、5、7 和 9 的多棱度，其值等于仪表最大与最小示值差的一半）。

为满足测量图 7-86 所示的各个项目，设计了如图 7-87 所示的组合检具测量传递装置，这些装置由统一的元件组装而成。

图 7-87a 是用于测量图 7-86b、d、e 和 i 所示项目的测量传递装置，可测量工件的上端面，百分表装在卡箍 5 中，螺钉 4 限制杠杆的摆动。测量时触头 3 脱离限位螺钉，由弹簧 1 产生测量力，用硬质合金触头 2 与被测表面接触。杠杆在轴承轴上摆动。

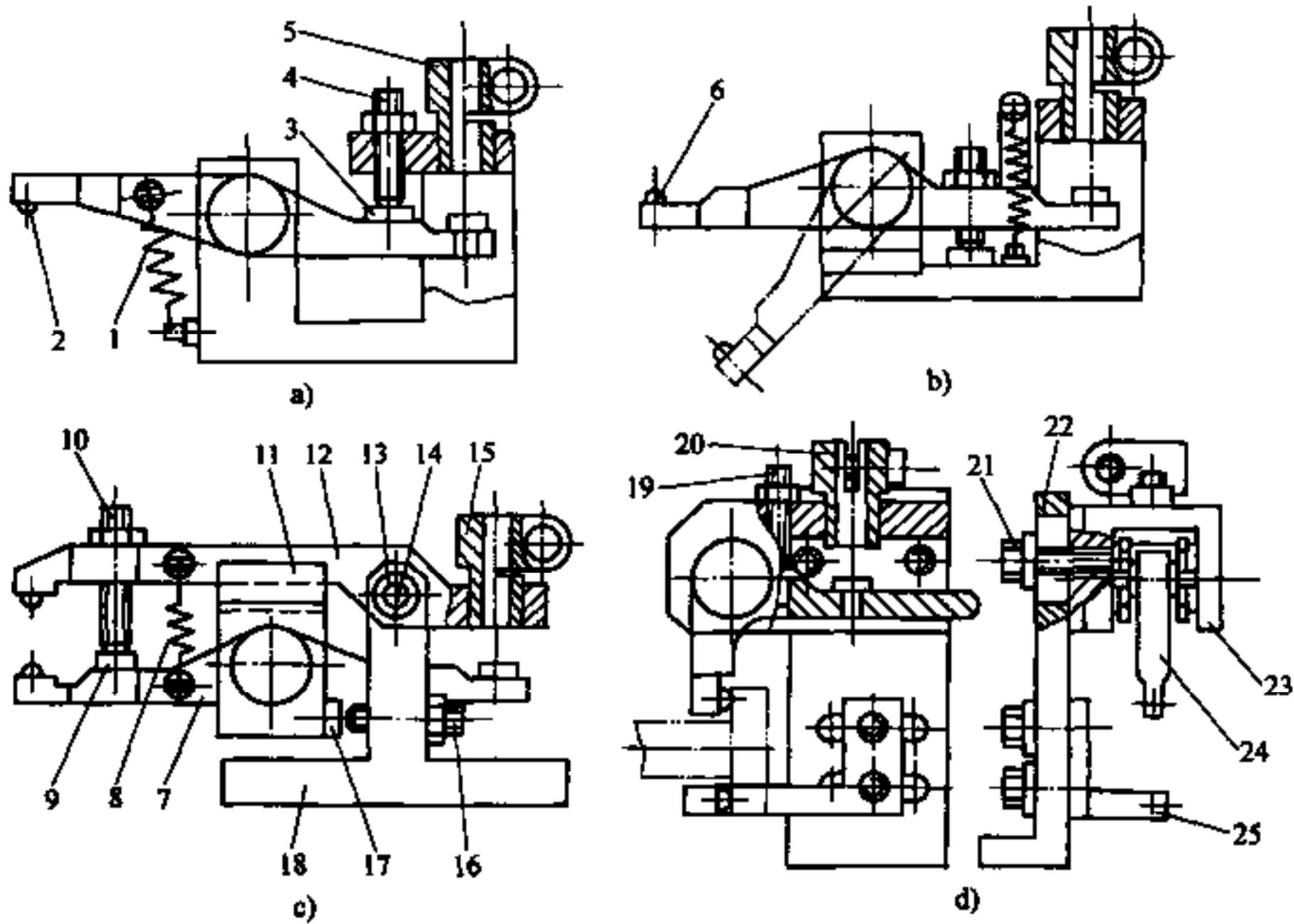


图 7-87 用于轴套类工件组合检具的测量传递装置

1—弹簧 2、3、6—触头 4、10、16、19—限位螺钉 5、15、20—卡箍 7、12—杠杆 8—拉簧
9、17—销 11、22、23—支架 13—套 14—轴 18—本体 21—螺钉 24—测杆 25—刚性支承

图 7-87b 是用于测量图 7-86a、e 和 f 所示的项目（测量工件的下端面），其结构与图 7-87a 相类似，只是触头 6 布置的方向不同。将杠杆形状改为双点线所示，可在 V 形上测量圆度误差。

图 7-87c 是用于测量图 7-86c 和 g 所示的项目，带卡箍 15 的上测量杠杆 12 与固定在杠杆上的轴 14 一起在两压入本体 18 中的青铜套 13 上摆动，在卡箍 15 上装有百分表。其上装有下列测量杠杆 7 的支架 11 与杠杆 12 连接，杠杆 7 在轴承上摆动，用拉簧 8 产生测量力，拉簧的一端固定在上杠杆 12 上，而另一端固定在下杠杆 7 上。限位螺钉 10 在自由状态下与销 9 接触，对上测杆限位；螺钉 16 和销 17 对下测杆 7 限位。测量时杠杆 12 与轴 14 在套 13 中摆动，其触头与工件接触；而杠杆 7 在轴承上摆动，其触头也与工件接触，这时在螺钉 10 与销 9 以及螺钉 16 与销 17 之间都有间隙。

为测量轴的窄环形端面的圆跳动 (图 7-86e), 采用图 7-87d 所示的测量传递装置。在该装置中, 带测杆 24 的 II 形支架 23 用两螺钉 21 固定在直角支架 22 上, 测杆 24 上的轴在轴承上摆动。在支架 22 上有弹簧 (产生测量力, 图中未示)、安装百分表的卡箍 20 和螺钉 19。刚性支承 25 与支架 22 相连, 支承 25 可在水平槽内移动, 以便装配和调整。为增大测量工件的直径范围, 在支架 22 上有长槽, 使测杆 24 的位置可调。

3. 由薄壁钢管 (1.5~1.8mm 厚) 和销轴通过铰链等元件组装成各种组合检具。这种检具主要由杆件 (钢管和轴)、定位元件、固定钢管和轴的元件、固定和可调测量机构的元件组成^[25]。

在这种组合检具成套元件中, 没有起到底座作用的基础件, 其结构均由钢管和铰链组成。在成套元件中包括一套钢管和轴, 其外径有 30mm 和 20mm 两种, 壁厚 1.5~1.8mm。钢管和轴的长度为 100mm 的倍数, 对于直径为 30mm 的钢管, 其长度不超过 2500mm; 对于直径为 20mm 的钢管, 其长度不超过 800mm。钢管由无缝钢管制成。对于直径为 30mm 的轴件, 规定了 6 种规格尺寸, 最大长度为 800mm。轴的材料为 CrWoMn, 淬硬至 56~62HRC, 轴的配合为 h6。一般由直径为 30mm 的钢管组装检具的骨架部分, 并在其上安装所需要的铰链接头, 用以固定直径为 20mm 的钢管, 以加强骨架的刚性。

各种定位元件固定在钢管或轴上, 根据需要可设计各种定位元件, 常用的定位元件 (组件) 如图 7-88 所示, 各种元件基体内孔的直径为 $\phi 30H7$, 对于图 7-88a 和 b 所示的滚动定位组件, 两高精度 (径向跳动不大于 0.005mm) 的滚动轴承分别安装在各自的销轴上, 其外圈可自由转动, 图 7-88a 与 b 的区别仅在于滚动的方向不同。

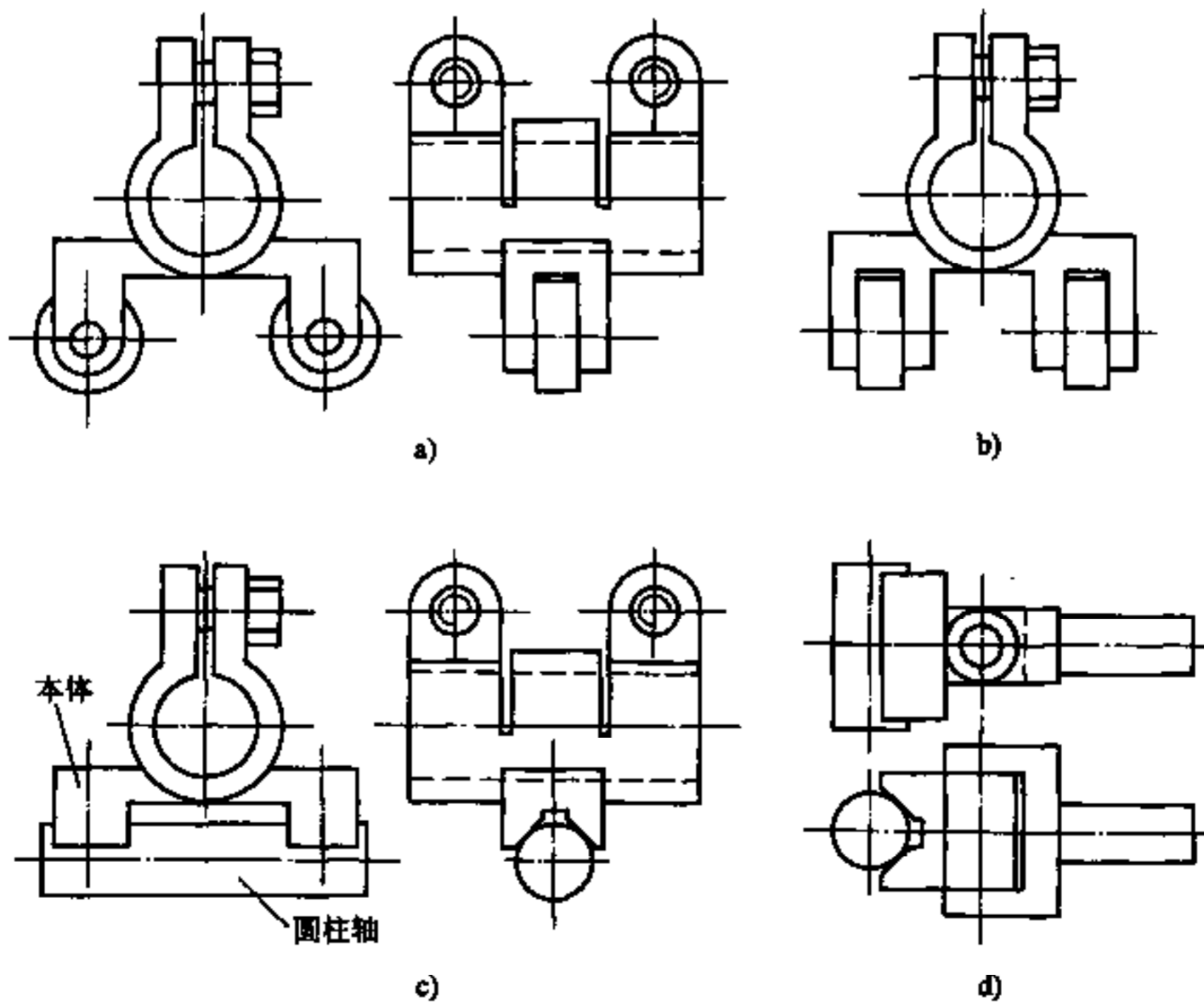


图 7-88 钢管式组合检具的定位元件

图 7-88c 和 d 是二种滑动定位组件，定位件采用圆柱轴（用螺钉固定在本体上）也可采用球头，圆柱轴和球头在组件上应可换。为提高耐磨性，圆柱轴的材料为 20Cr，表面渗碳深 1~1.2mm，淬火至 58~62HRC，圆柱轴外圆表面的粗糙度 $R_a = 2.5\mu\text{m}$ ；球头采用直径 18.5mm 以上的轴承钢球进行补充加工：退火，攻 M8 螺孔，淬硬至 58~62HRC，抛光至 $R_a = 2.5\mu\text{m}$ 。

各种固定元件用于将钢管连接成统一体，起到桥板、立柱等基础件的作用。常用的固定

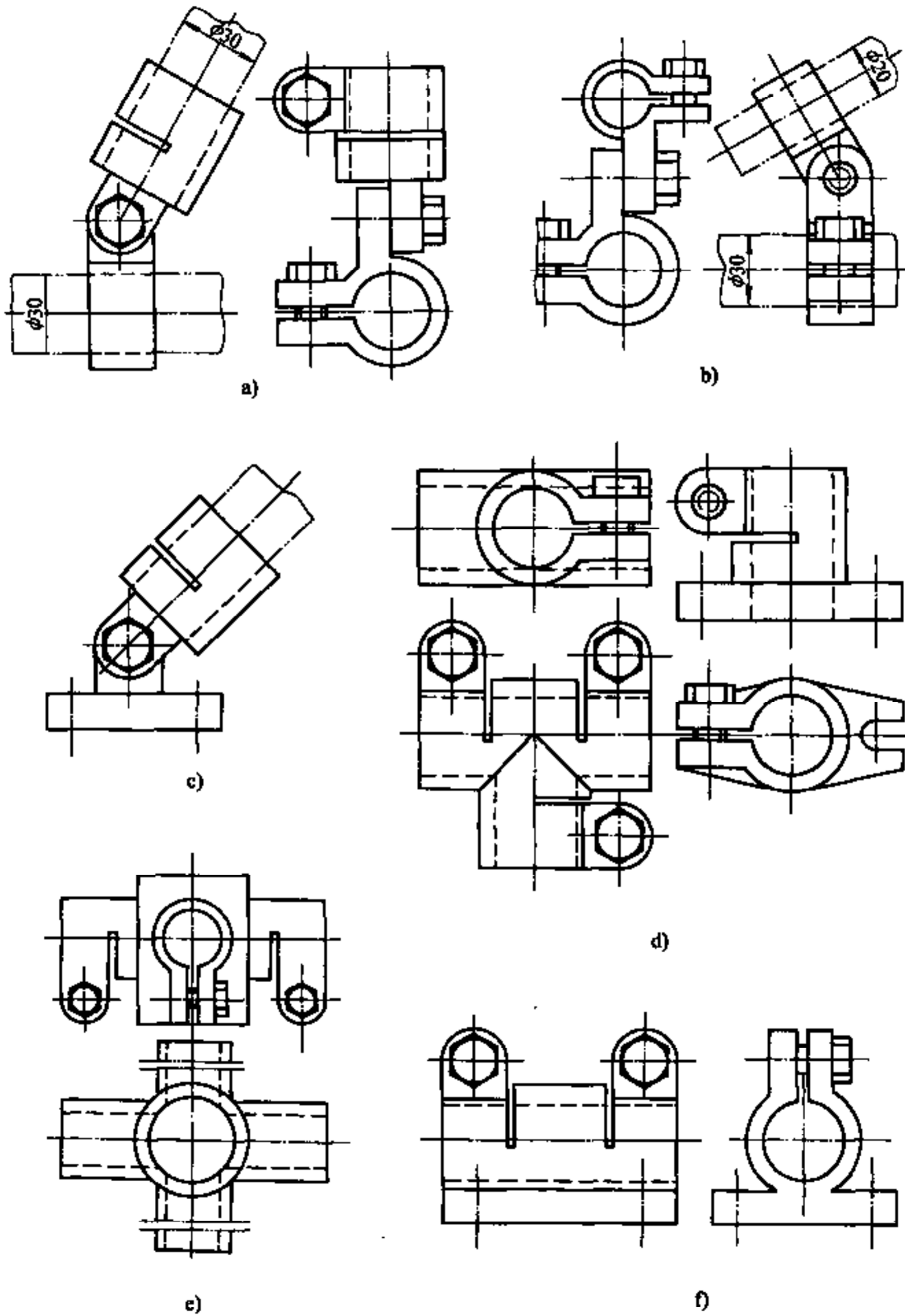


图 7-89 钢管式组合检具的固定元件

元件（组件）如图 7-89 所示，这些铰链固定元件不仅能使直径为 30mm 和 20mm 的杆件彼此相连接，还能使杆与其他元件（例如固定和调整百分表的元件）相连接。图 7-89a 所示的铰链元件用于直径为 30mm 杆件的连接，图 7-89b 用于直径为 30mm 与 20mm 杆件的连接，图 7-89c 用于平面与杆件的连接。当杆件彼此之间或与其他元件之间应垂直布置时，采用图 7-89d~f 所示的各种接头，图 7-89d 和 e 分别为三通和四通接头，图 f 为带支承板的接头。

固定和调整测量仪表的元件用于安装和调整百分表、水平仪、光学仪器和其他测量装置的工作位置。常用的固定和调整百分表的元件，有通常使用的百分表支架上的表杆，而表杆可通过图 7-90 所示的卡箍固定在组合检具的杆件 8 上。卡箍由两个夹板 5 和 7 组成，两夹板之间由铰链轴 6 连接，夹板 5 和 7 的上部开有槽。在表杆夹 3 上开有弹性切口和与其垂直的槽，表杆夹 3 的端面圆凸台插在夹板 5 的止口孔 A 中，使两夹板与表杆架对准，以连成一体。螺钉 2 装在销轴 4 上，而销轴 4 安装在表杆夹 3 上，因此螺钉 2 可绕销轴 4 转动，当卡箍装在杆件 8 上时，表杆夹 3 可绕止口孔 A 的轴线转动，以适应不同的测量角度。将百分表表杆 9 插入表杆夹 3 的孔内，拧紧螺母 1，不仅夹紧了百分表表杆，同时也将卡箍夹紧在杆件 8 上。所以这种卡箍既可在检具杆件上沿轴向调整，又可绕杆件轴线作转动调整；而且表杆也可沿表杆夹持孔轴向移动，又可绕止口孔 A 轴线转动。

还可设计可固定在卡箍或其他连接件上的直线传递组件和杠杆传递组件。

为用拉钢丝方法检验导轨表面的直线度组装的钢管式组合检具，如图 7-91 所示。

该检具主要由轴 1、滑动定位组件 2 和 8、三通接头 7 组装而成。定位组件固定在轴 1 上，杆 9 安装在三通接头的孔中，而固定和调整读数显微镜表架（也是一种成套组件）的基体 13 安装在杆 9 上，杆 9 通过三通接头 7 垂直固定在轴 1 上。

在基座 13 上有燕尾槽，其上有移动座 10，可在垂直方向移动。读数显微镜 4 固定在移动座 10 的孔中，滑块 3 可在基座 13 的导轨中在水平方向移动。读数显微镜的位置按下述方法调整：通过螺钉 6 调整滑块 3，使读数显微镜的目测分划板上的零线与拉伸钢丝对准；转动手轮 5 通过齿条机构使移动座 10 移动，调整读数显微镜的焦距。千分表 12 安装在侧板 11（固定在基体 13 上）上，千分表与滑块 3 接触，并有一定的预压量，千分表可读出被检验表面对拉伸钢丝存在的偏差。

图 7-92 是平面 B 对 A 垂直度钢管式组合检具。

该检具由直径为 30mm 的钢管 5 和 9、直径为 20mm 的钢管 4、铰链接头 6 和 3、三通接头 7 以及三个定位组件 8 组装而成。在铰链接头 3 中固定有直线传递组件 1，百分表 2 固定在组件 1 的孔中。按高精度直角尺或校准件调整百分表零位，测量时由百分表示值即可确定平面 B 对 A 在长度 L 上的垂直度误差。

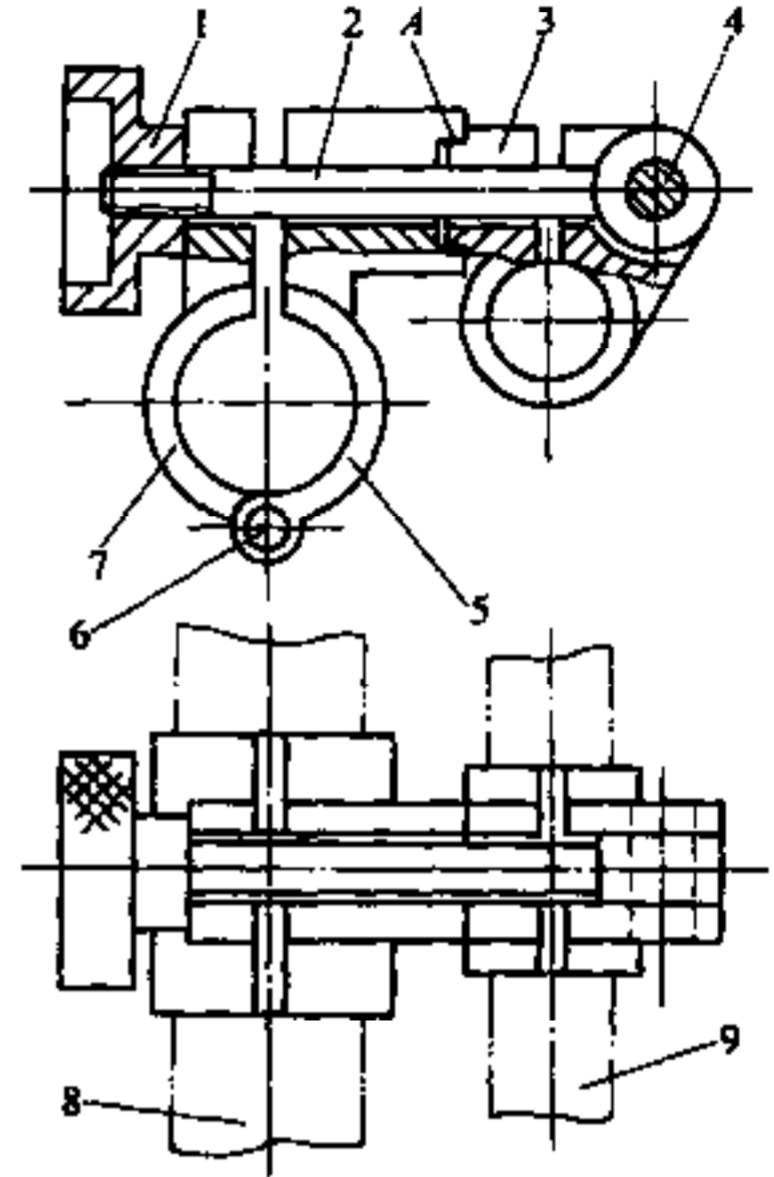


图 7-90 钢管式组合检具
调整表杆用卡箍

- 1—螺母 2—螺钉 3—表杆夹
4—销轴 5、7—夹板 6—铰链轴
8—杆件 9—表杆

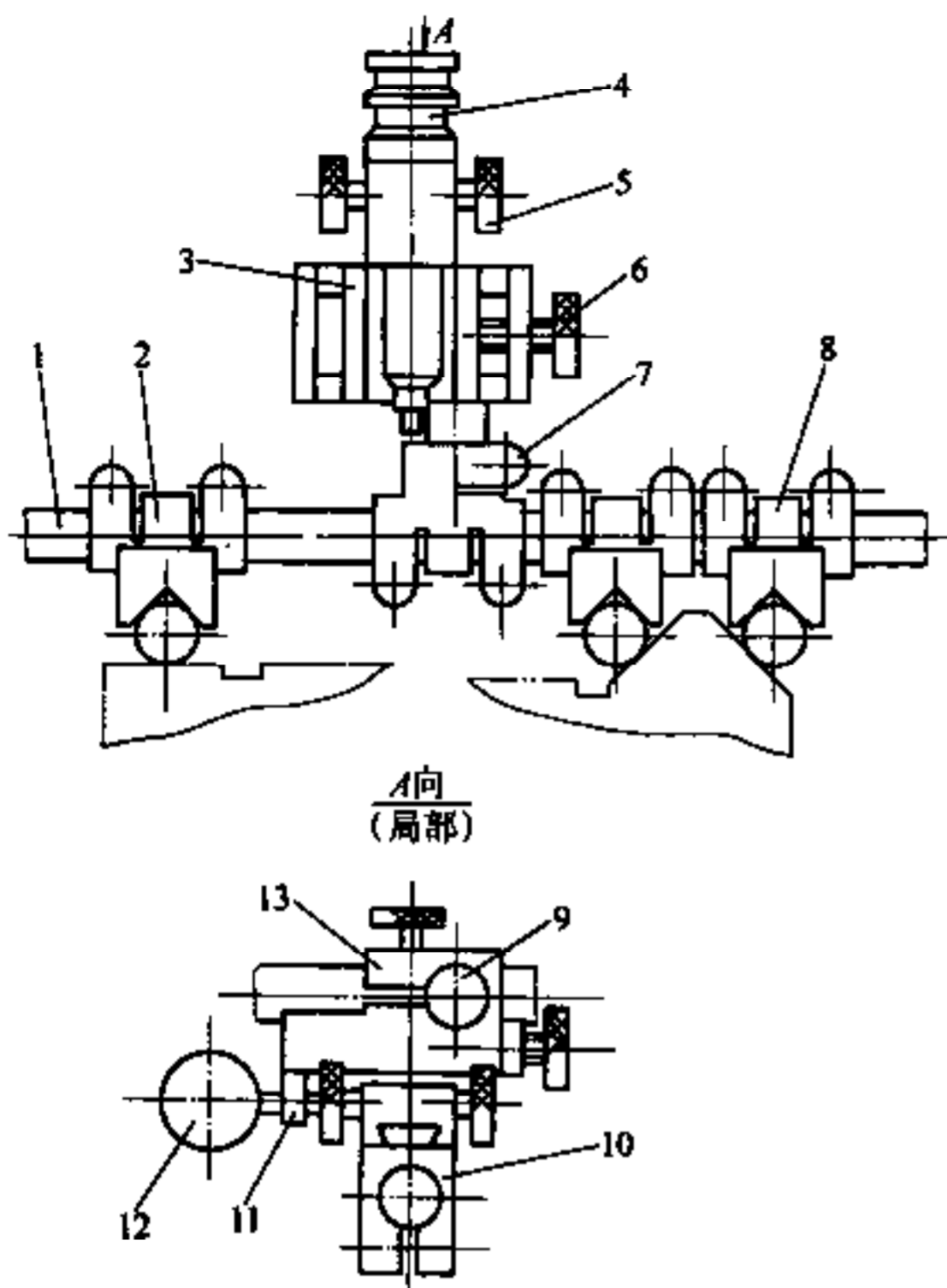


图 7-91 导轨直线度钢管式组合检具
 1—轴 2、8—滑动定位组件 3—调整滑块 4—读数显微镜
 5—手轮 6—螺钉 7—三通接头 9—杆 10—移动座
 11—侧板 12—千分表 13—基体

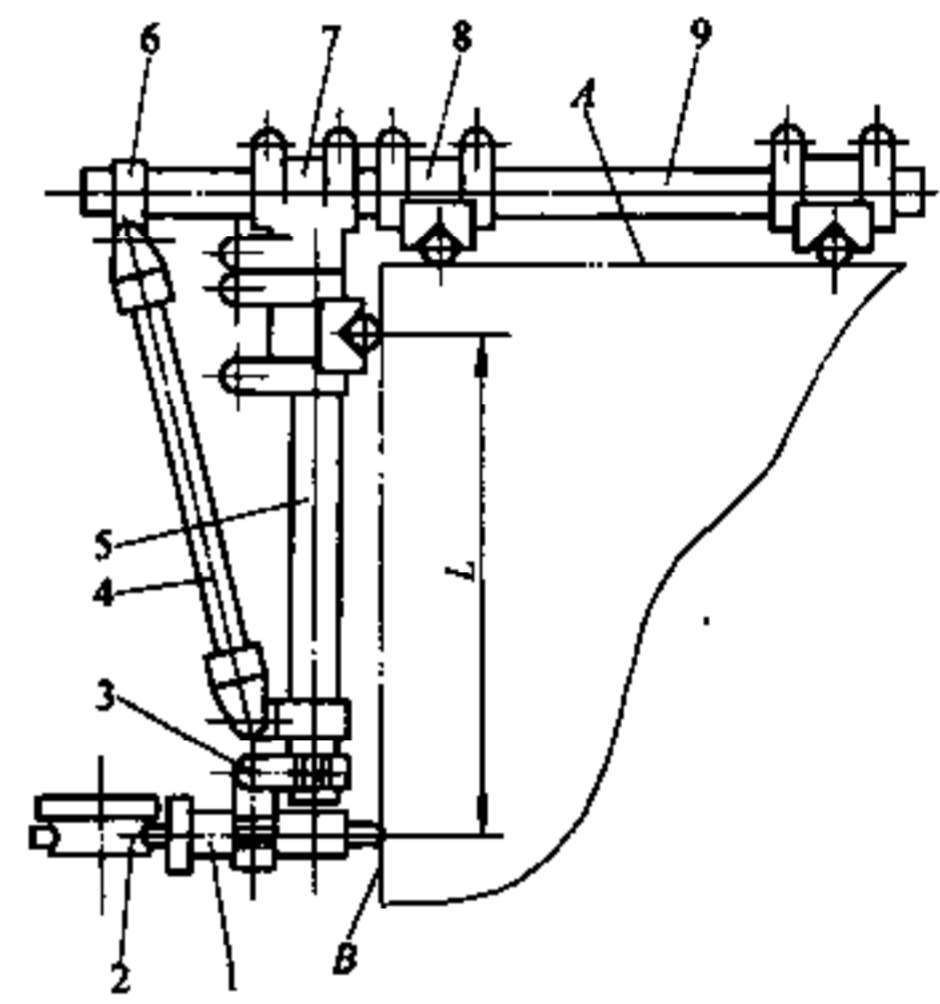


图 7-92 两平面垂直度钢管式组合检具
 1—直线传递组件 2—百分表 3、6—铰链接头
 4、5、9—钢管 7—三通接头 8—定位组件

第 8 章 自动检验机和加工中的主动测量

随着机械加工和装配自动化的发展, 检验过程的自动化和在加工中主动测量已成为生产中的重要环节。在实际工作中, 从事检具设计的人员往往遇到这方面的问题, 所以本章对自动检验机和在加工中主动测量作一基本介绍。

8.1 自动检验机

在大量生产中, 对于精度高又需要 100% 检验的工件和需要选择分组装配的工件, 用人工检验和分组效率低, 检验结果受操作者的熟练程度和视觉判断的影响大, 这也与操作者经常重复某些动作和用眼观察极易引起疲劳有关。为提高检验效率和质量可采用自动和半自动检验机, 自动检验机可实现工件从上料到分选全过程自动化, 而半自动检验机一般只实现测量自动化。自动检验机是复杂的检验设备, 检具是自动检验机的一个重要组成部分。

8.1.1 自动检验机的应用

自动检验机最早在轴承制造中采用, 检验轴承滚动体的直径和形状公差, 随着生产自动化的发展和检验工作的需要, 自动检验机的应用领域有所扩大, 自动检验机已在大量生产的中小型零件 (例如汽车发动机的一些零件) 的检验中获得应用。但用于大型工件的自动检验机比较少, 随着坐标测量机在生产上的应用, 大型工件自动检验的趋势是采用坐标测量机。

在设计和使用自动检验机中应考虑以下几方面问题。

1. 使用方面 自动检验机应安装在清洁干燥、温度没有大的变化、没有振动和磨料等尘埃的地方, 几台检验机可安装在车间专门设置的区间, 对于在自动加工线上的检验机也应考虑安装位置适当。为防止灰尘落入测量部件内, 应备有铰链防护窗罩。

采用自动检验机, 对被检零件的清洁度有比手动检验时更高的要求。当手动检验时, 有可能只将准备测量的部位擦干净即可, 而不一定需要将整个工件擦干净。但为使工件在自动检验机上检验, 则必须将工件整个擦干净, 因为测量方向往往预先不能确定, 如果工件被测表面不清洁, 将直接影响测量精度。例如, 气动测量内孔时由于被测表面不清洁会产生达 $5\mu\text{m}$ 或更大的误差; 如果只将工件局部被测部位擦干净, 其他部位也会使整机的清洁度恶化, 工件在输送和回转过程中也会使测量部分清洁度恶化和使工件的定位基面污浊。这些对测量精度将有很大影响, 所以进入自动检验机的工件应经过清洗和烘干。

当采用气动测量和气动传动时, 气源净化应予以足够重视。如果压缩空气中有污物, 控制系统的换向阀会产生很大的阻力 (比正常的阻力能增大到几十倍), 这将使检验机不能正常运转。

2. 设计方面 确定自动检验机方案的主要因素是被测量零件的形状、尺寸和重量, 被检验参数的数量和性质, 对测量精度和分组的要求, 检验生产率和通用程度等。

自动检验机可以是单工位的或多工位的, 可以是专用的或通用可调的。可调自动检验机

的一个重要指标是重新调整时间的长短，通常调整自动检验机比调整加工同样零件的自动机床复杂。自动检验机应遵守部件装配的原则，在取下任一部件时不要求取下相邻的部件。

为调整自动检验机，在控制系统中应考虑对同一零件进行多次测量的性能，也应有必要的手动传动装置。自动检验机应有超载保护，例如当未加工好或显著超差的工件进入测量机，或当工件在测量工位没定好位等情况时，应有防止发生事故的自锁装置，以免测量装置损坏。

对在测量系统中影响测量精度的各零件，其材料的线膨胀系数应与被检验零件材料的线膨胀系数相近似。

3. 测量方面 在自动检验机上可采用刚性量规进行测量，例如利用塞规能否进入工件的孔，发出相应的信号，其测量误差达 $3\sim 5\mu\text{m}$ ；利用倾斜式量尺或立式量尺使滚动体在通过时落入相应的通道中，其测量误差为 $0.5\sim 3\mu\text{m}$ 。采用刚性量规和量尺测量结构简单、生产率高，可做成全机械式的自动检验机，但适用范围小。

在自动检验机中多采用电接触式、气电接触式和气动非接触式测量。各种测量方法在自动检验机工作条件下的测量误差一般为：电接触式 $1\sim 2\mu\text{m}$ ，对大量程电接触式为 $2\sim 3\mu\text{m}$ ，测量幅值的电接触传感器根据不同的测量范围为 $2\sim 6\mu\text{m}$ ；气动电感式为 $1\sim 1.5\mu\text{m}$ ；电感式为 $0.7\sim 1\mu\text{m}$ ，高精度可达 $0.2\sim 0.5\mu\text{m}$ 。

电接触传感器的反应速度为 $0.5\sim 2\text{s}$ ；一般气电转换的反应速度为 $1\sim 2\text{s}$ ，采用小型金属膜片和测量室容积在 2cm^3 内的气电转换的反应速度为 $0.05\sim 0.3\text{s}$ ；电感传感器的反应速度不大于 0.05s 。

在自动检验中也可采用光电传感器，可对工件的尺寸进行大量分组，精度达 $0.5\sim 0.8\mu\text{m}$ ，但光电传感器的外形尺寸较大，用于多尺寸测量有一定困难。

在自动检验机中可以通用量仪为主体，附加各种用途的组件，例如灯光信号装置、多分组装置、幅值测量装置、多输入端合成装置和数显装置等；也可采用专用的测量仪（特别在多参数测量时），这种量仪根据需要包括上述各种附加组件的功能，在使用性能相同的情况下这种量仪也具有一定的通用性。自动检验机可按检验机工作一段时间或按检验一定数量的工件后，手动或自动按校准件对量仪和测量系统进行补充调整。

8.1.2 自动检验机的分选误差和重复检验问题

与一般检具不同，自动检验机的测量精度不能完全由测量极限误差 Δ_{lim} 与被测量尺寸公差 T 之比来确定。成功地应用自动检验机与正确评价其精度有很大关系，自动检验机的误差主要表现为分选（将工件分为合格、不合格、返修以及按公差分组）误差，而分选误差不但与本身测量系统（包括量仪、工件的定位、指示控制部分等）的误差有关，而且还与被测量尺寸误差和测量误差的分布规律有关。

在图 8-1 中，曲线 1 是工件尺寸误差分布曲线，曲线 2 是测量误差曲线，曲线 3 是废品分选曲线，直线 4 是公差界限。经自动检验机分选后，在不合格品中有少数实际尺寸接近公差边界的合格品被错判为不合格品（图 8-1a 中的面积 A）；同样在合格品中也有少量实际尺寸接近公差边界的不合格品被错判为合格品（图 8-1a 中的面积 B）。

图 8-2 所示为测量工件尺寸时分选误差曲线，这些曲线是根据下述条件按概率法计算得出的：被测量尺寸实际尺寸误差的分布曲线取三种规律，即正态分布（图 8-2a）等边梯形分布（图 8-2b，两底边比为 2.33）、等概率分布（图 8-2c）；测量误差按正态分布， Δ_{lim}

$= 3\sigma$ 的绝对值与被测量尺寸公差 T 之比取为 $0 \sim 0.3$ ；图中曲线 1 为工件尺寸制造公差 T 等于验收公差 T_1 ，曲线 2 为 $T - T_1 = \Delta_{lim}$ ，曲线 3 为 $T - T_1 = 2\Delta_{lim}$ ；并假设在一批工件中的废品率为 2%。图中 K_1 表示错判为合格品的工件数量占被检零件总数的百分比， K_2 表示错判为废品的工件数量占被检零件总数的百分比。

在大量生产中，一般不会出现工件尺寸实际误差按梯形和等概率分布，在图 8-2 中列出这两种情况只是为了说明—当工件尺寸实际误差分布显著偏离正态分布时，分选误差变化的情况。

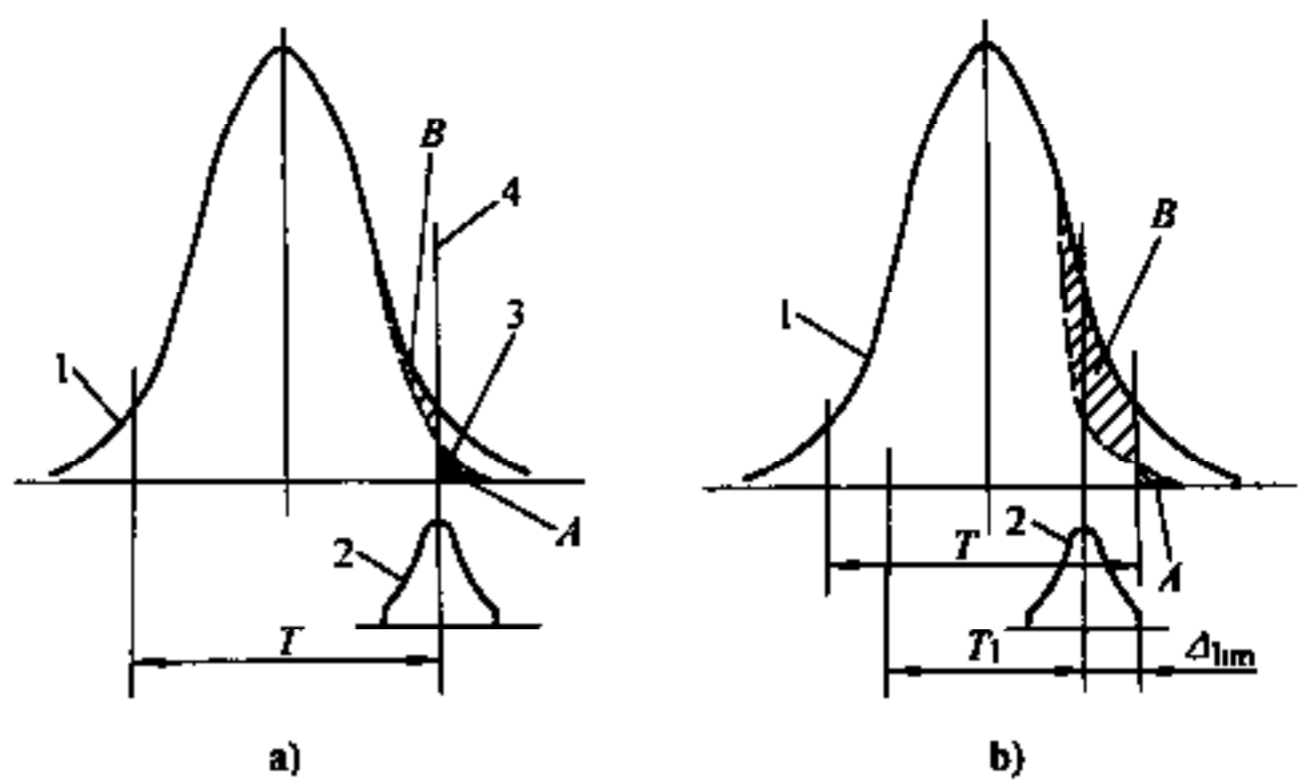


图 8-1 分选误差分布图

a) 公差界限为公称值时 b) 公差界限缩小时

T —工件尺寸公差 T_1 —验收公差 Δ_{lim} —测量极限误差

尺寸误差分布规律	错判为合格品的百分比(K_1)	错判为废品的百分比(K_2)
正态分布 		
等边T形分布 		
等概率分布 		

图 8-2 分选误差曲线

T —工件尺寸公差 T_1 —验收公差 Δ_{lim} —测量极限误差

1— $T = T_1$ 2— $T - T_1 = \Delta_{lim}$ 3— $T - T_1 = 2\Delta_{lim}$

当一批工件中的废品率不是 2% 时，其错判废品率 K 随实际废品率 K_0 而变化的情况见图 8-3a，该图是在被检验尺寸实际误差按正态分布规律和 $\frac{\Delta_{lim}}{T} = 0.2$ 的条件下得到的，曲线 1、2 和 3 的区别与图 8-2 相同。

图 8-3c 和 d 表示测量工件具有单向正值性质误差的形位公差（例如径向跳动、圆度等）时由于测量误差而产生的错判废品率 K_1 （图 8-3c）和错判合格率 K_2 （图 8-3d）与 $\frac{\Delta_{lim}}{T}$ 的关系。这些曲线是根据下述条件得到的：工件形状误差按偏心分布规律分布（见图 8-3b）；测量误差按正态分布；假设一批工件的废品率为 2%；曲线 1、2 和 3 分别表示 $T = T_1$ ， $T - T_1 = \Delta_{lim}$ ， $T - T_1 = 2\Delta_{lim}$ ； $\frac{\Delta_{lim}}{T}$ 取为 0.1~0.3。

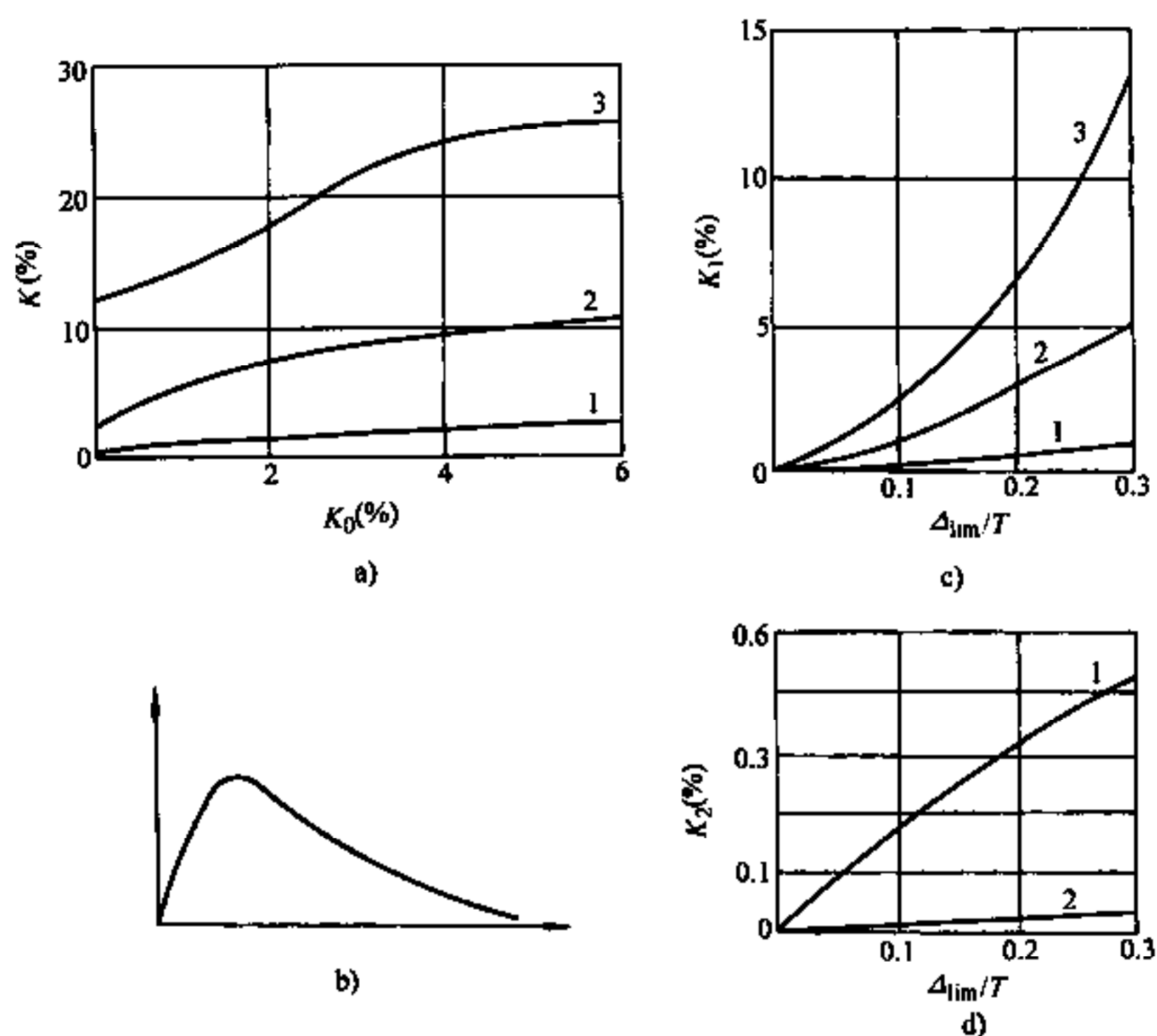


图 8-3 分选误差曲线

a) K 随 K_0 变化曲线 b) 工件形状误差按偏心分布规律
 c) 和 d) —测量单向正值误差时错判废品率 (K_1) 和错判合格率 (K_2) 变化曲线

由于存在分选误差，对任何自动检验机都存在错判的情况，因此存在重复检验的必要。事实上在手动检验时重复检验是经常发生的，当对测量结果有怀疑时，检验员可迅速重复检验，而且有时不只一次，并立即作出是否合格的决定，而这在自动检验机上往往不能及时做到。手动检验时也可及时用校准件校准量仪，但在自动检验机上量仪的零位漂移往往不能像手动检验那样得到及时的纠正。因此一般在自动检验机上错判的数量多于手动检验时错判的数量。

在自动检验机上，可使工件的验收公差 T_1 比工件尺寸的公差 T 小 Δ_{lim} ，即从工件尺寸公差的上、下限分别压缩 Δ_{lim} ，这样就能使不合格的工件进入合格区间的概率接近于零（见图 8-1b），以后只需对不合格品进行重复检验。为把错判为不合格的工件分选出来，减小生

产上的损失，往往需要不只一次、而需要多次重复检验。图 8-4 是多次检验不合格品有效性曲线，这些曲线是根据下列条件得到的：被检验尺寸误差和测量误差均按正态分布，在一批工件中实际不合格率为 2%，工件尺寸的验收公差比工件尺寸公差减小 $2\Delta_{lim}$ 。

如果第一次判为不合格的工件（曲线 1），第二次再通过自动检验机（曲线 2），则确实不合格的工件仍重新判为不合格，而第一次被错判为不合格而实际合格的工件将大部分被改判合格品，废品率 K 将减小，在经第一次（或第二次）重复检验后被判为不合格的工件还可再进行重复检验（曲线 3 和 4）。由图 8-4 可知，重复检验的有效性随重复检验的次数而减小，在成批和大量生产条件下，一般可共进行 1~2 次重复测量，最多不超过 3 次。

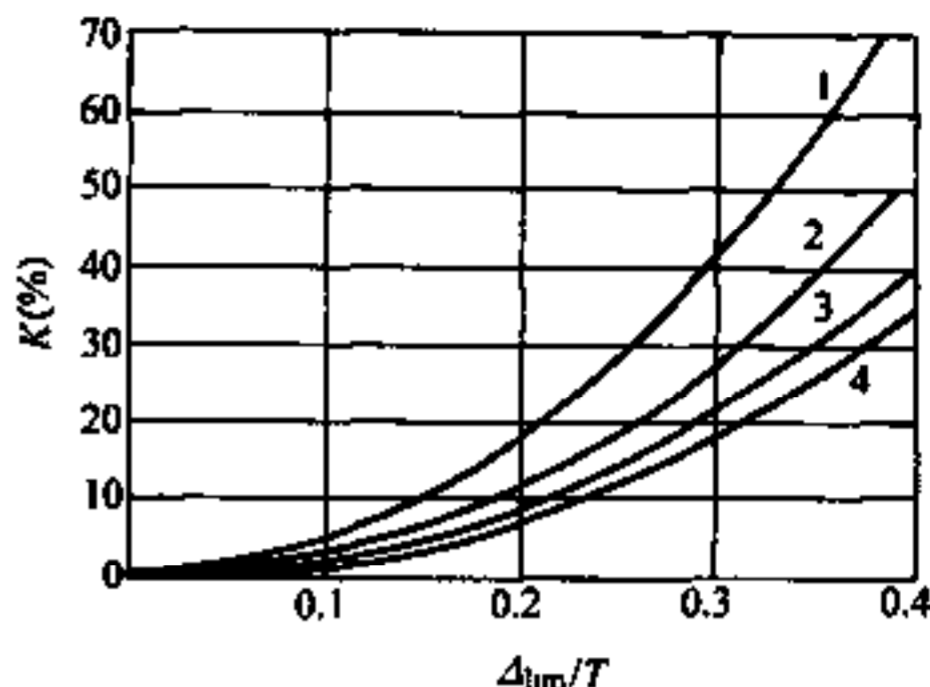


图 8-4 多次重复检验有效性曲线
K—错判废品率

1、2、3 和 4—第一、二、三和四次测量

可采用高精度量具和检具用人工进行重复检验，这样可使自动检验机的结构比较简单。

在自动检验机上进行重复检验可采用不同的方式：

对小型零件，为提高重复检验的有效性，应尽可能不在第一次检验的工位上进行重复检验，而在另一工位或另一台检验机上进行，在这些工位和检验机上的检验速度可比第一次检验时的速度低，而其检验精度应比第一次检验时的精度高（即 Δ_{lim} 更小些）；

图 8-1 和图 8-2 表示当测量工件一个尺寸时的分选误差，如果同时检验一个工件上的几个尺寸，若各个尺寸的错判率相同，则错判工件的总数为

$$M = N \left[1 - \left(1 - \frac{n}{N} \right)^K \right]$$

式中 N ——一批工件数；

n ——测量一个参数时错判工件的数量；

K ——被测量尺寸数。

若各个尺寸的错判率不同，则错判工件的总数为

$$M = N - N \prod_{i=1}^K \left(1 - \frac{n_i}{N} \right)$$

式中 n_i ——第 i 个尺寸错判工件的数量。

8.1.3 自动检验机示例

最简单的自动检验机如图 8-5 所示，该机完全由机械部分组成，结构简单，使用方便，每小时可检验 $(1 \sim 1.5) \times 10^4$ 个滚珠（对每个通道）。

淬硬钢直尺 1 和 2 是测量分组检具，直尺的棱边轻轻倒钝和抛光，以免刮伤滚珠。直尺对水平面倾斜一个角度（一般 $10^\circ \sim 15^\circ$ ），每两个直尺侧面之间形成一个从上至下宽度按分组的要求逐渐增大的通道（楔形量规）。滚

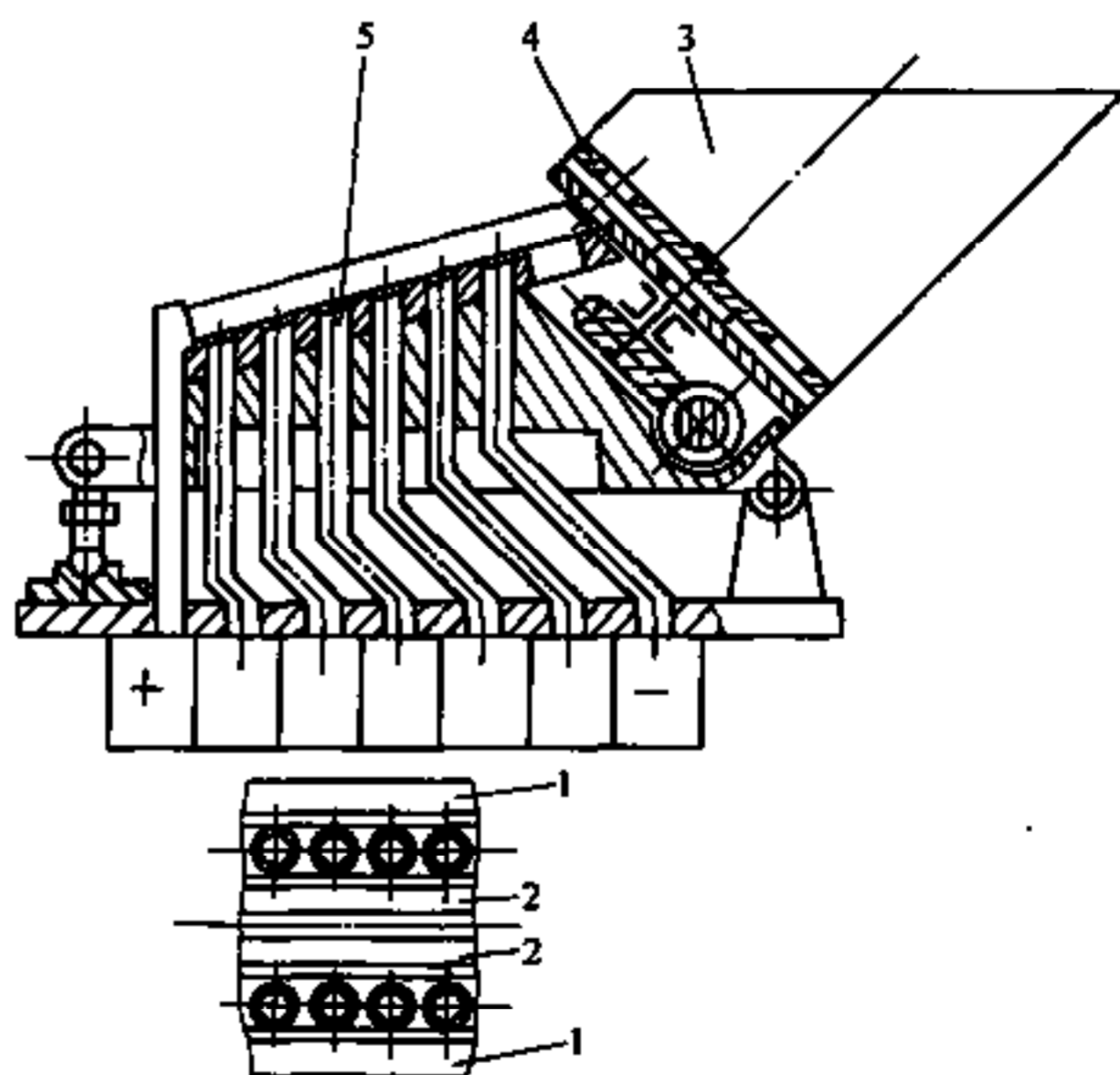


图 8-5 滚珠自动检验机

1、2—直尺 3—料斗 4—转盘 5—孔

珠由料斗 3 通过转盘 4 的落入其中一个通道内，当滚珠落到通道尺寸宽度接近其直径尺寸的位置后，滚珠运动速度减慢，落入相应的孔 5 和接收盒中。这种方法是按滚珠任一方向的直径分组，该机按标准滚珠调整所需的分组区间 ($\geq 0.5\mu\text{m}$)，适用于分选直径为 3~26mm 的滚珠。转盘由传动机构带动 (图中未示)。

图 8-6 是采用可调刚性量规的滚柱自动检验机，用于按直径和长度分组。该机采用平面行星齿轮机构作为输送装置 (其示意图见图 8-6a)，在回转盘上有五个行星齿轮，在每个行星齿轮的轴上装有五个夹爪。圆盘上有 16 个工位：A 是上料工位；H 是调整夹爪工位；L (+)，L (-)，D (+)，D (-) 是分出不合格工件的工位 (L 是工件的长度，D 是工件的直径)；1~10 是合格件分组工位。各工位的工作顺序如图上所示：A → H → L (+) → L (-) → D (+) → 1 → 2 → 3 → ... → 9 → 10 → D (-)。

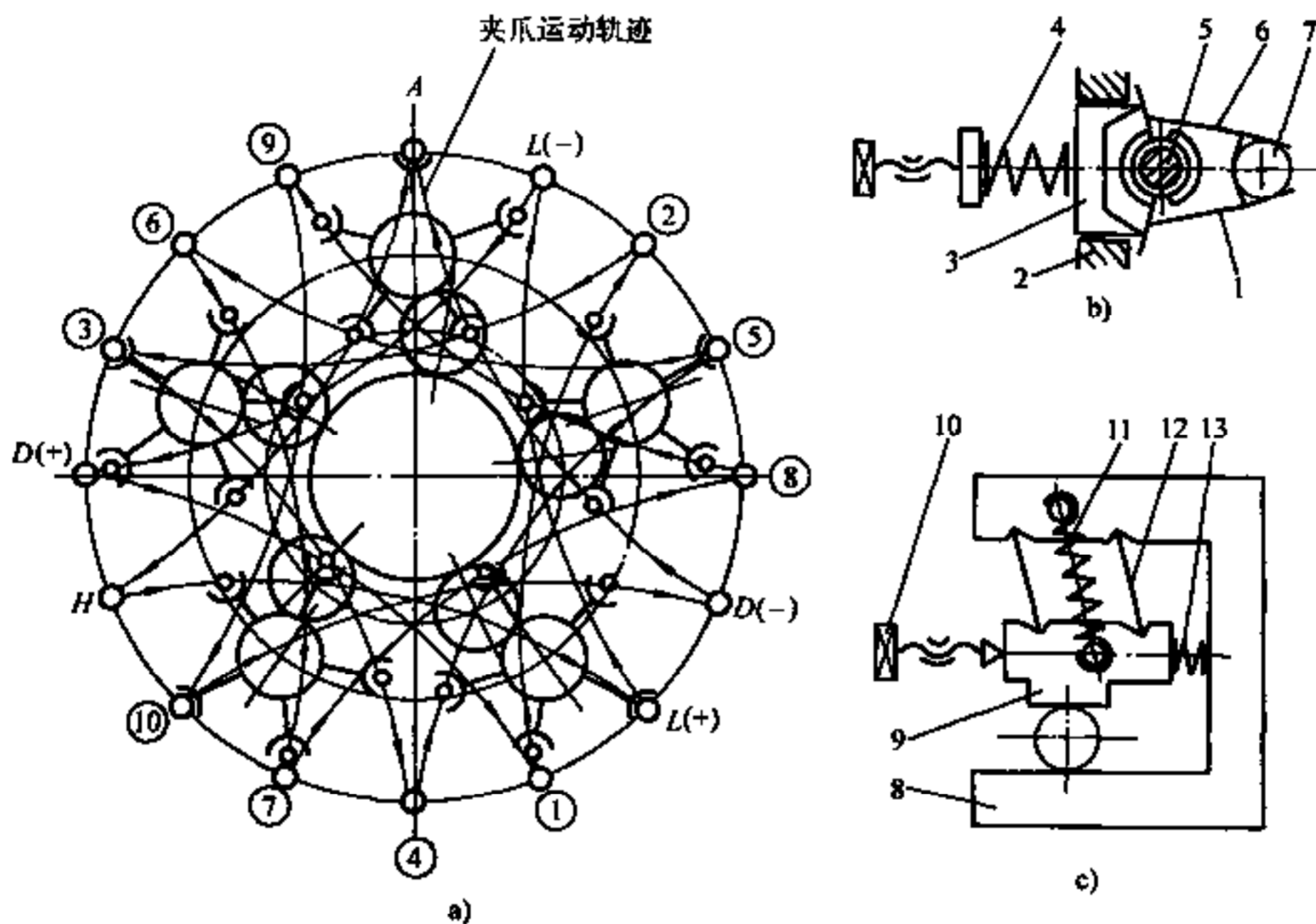


图 8-6 带可调刚性量规的滚柱自动检验机

- 1、6—夹紧臂 2—导向 3—压紧块 4、11、13—弹簧 5—轴 7—工件
8—固定量块 9—活动量块 10—螺钉 12—片簧

各齿轮绕固定不动的中心齿轮滚切时，使各行星齿轮转动，夹爪与工件作摆线运动，使所有执行机构 (送料机构，调整夹爪机构和检验机构) 按顺序动作。

图 8-6b 是夹爪原理图，装在轴 5 上的夹紧臂 1 和 6 可绕轴 5 转动，可调弹簧 4 通过在导向 2 中移动的压紧块 3 压在两夹紧臂的侧面上，结果使工件 7 按夹爪的轴线准确定位，并以一定的力将工件夹住，夹紧力可用调节螺钉调整。

图 8-6c 是检验工位的原理图，工件进入到固定量块 8 与活动量块 9 之间，活动量块 9 可在两平行片簧 12 上摆动，弹簧 11 拉住活动块 9，弹簧 13 将活动量块压向螺钉 10 的端头，用螺钉 10 可调整两量块之间的距离。如果两量块之间的距离大于被测滚柱的直径，则夹爪与工件可顺利通过测量工位；如果两量块之间的距离小于被测滚柱的直径，则使活动块偏斜，滚柱进入测量工位。当夹爪离开测量工位时，只是当量块表面作用在滚柱上的力大于夹

爪的夹紧力时，滚柱才停留在两量块之间，下一个进入该工位的滚柱将上一次停留在两量块之间的滚柱推下，落入相应的储料槽。两量块之间的尺寸按摆线行程的顺序减小。

为调整夹爪和各测量工位，应备有专用测量工具。该自动检验机适用于直径为 4~12mm 和长度为 18~30mm 的滚柱，检验生产率为 $(1.6 \sim 4.8) \times 10^3$ 个/h，直径分组范围为 $0.5 \sim 2 \mu\text{m}$ ，分组误差为 $0.2 \mu\text{m}$ ，外形尺寸为 $860\text{mm} \times 1080\text{mm} \times 1410\text{mm}$ ，重量 700kg。该机具有通用性，但不适于经常变动产品，而应保持较长时间检验一种滚柱。

图 8-7 是医疗注射器内孔自动检验机，用于在 3 个截面上测量孔的直径；在中间截面

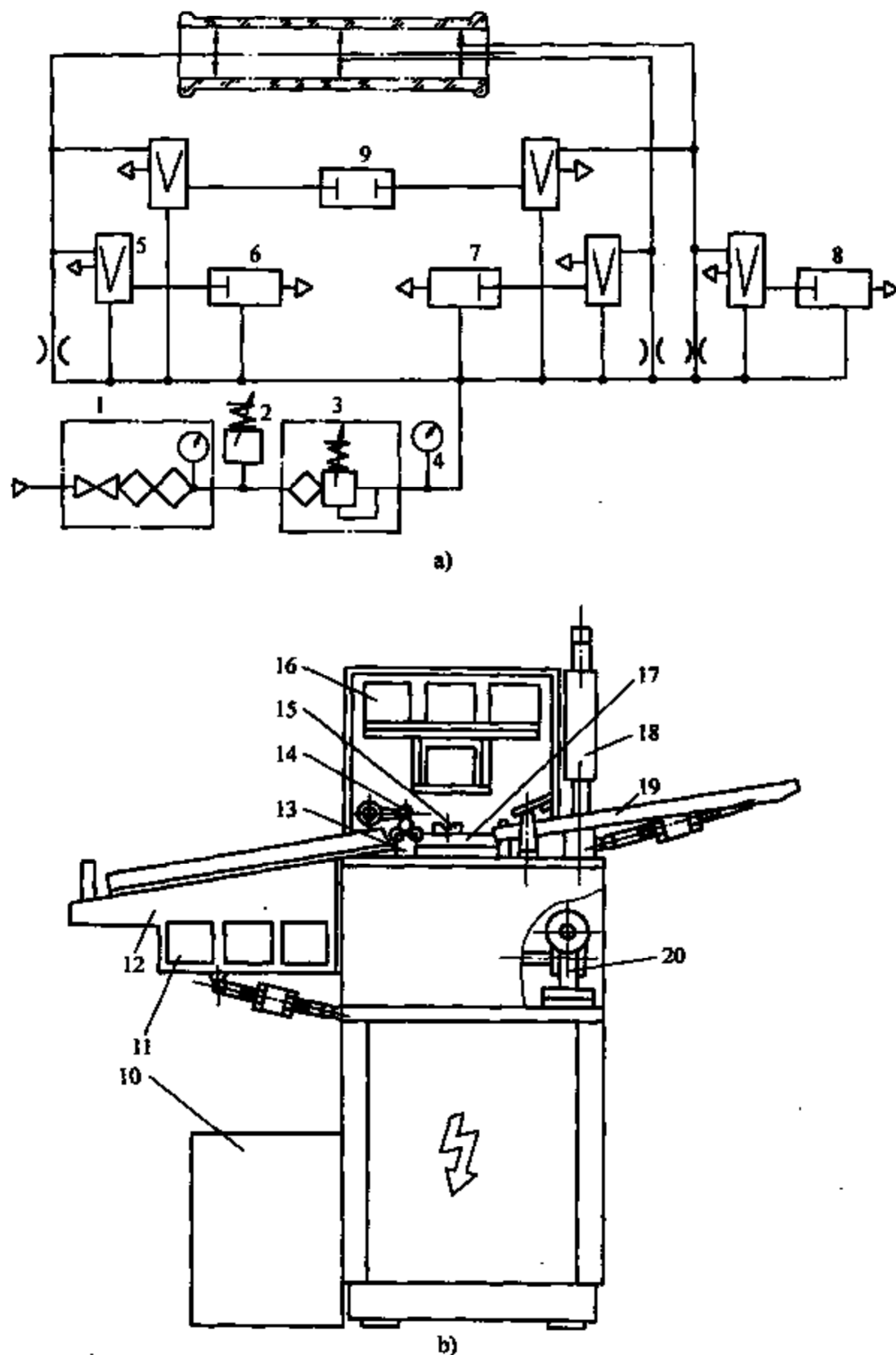


图 8-7 注射器内孔自动检验机

- 1、10—过滤组件 2—压力继电器 3—过滤装置 4—压力表 5—气动功率放大器
 6、7、8、16—气电转换器 9—测量锥度转换器 11—不合格料箱 12—分组槽
 13、15—V形块 14—橡胶轮 17—输送装置 18—控制台 19—上料槽 20—传动装置

上测量孔的圆度；在两端截面距离上测量孔的锥度；将工件分为4组：合格品、返修品、废品和形状误差超差的废品。注射器孔的直径公差为 $3\sim 5\mu\text{m}$ ，孔的形状误差为 $2\sim 3\mu\text{m}$ ，该机采用具有三对喷嘴的气动塞规测量工件的内孔直径。

该机气动测量原理见图8-7a，压缩空气从气源进入过滤组件1、压力继电器2（当压力低于 0.32MPa 时切断气源，以免产生粗大误差），检验机所有测量气路由一个带稳压器的过滤装置3供气，稳压器上有压力表4。用三对喷嘴的气动塞规进行测量。

用成批生产的气电转换器6和8测量内孔在截面I和III上的直径，转换器6和8有两个界限触点，如果直径超出公差界限气电转换器将发出相应的信号；用气电转换器7在工件一转内测量截面II上的直径和圆度，转换器7有两个界限触点和一个浮动触点，可发出直径合格、返修、报废和圆度是否合格的信号。测量锥度转换器9是差动测量型气电转换器，有两个触点可发出锥度合格与否的信号。为减小气电转换器的作用时间，在每个转换器与气动塞规连接的气路中有气动功率放大器5。

图8-7b是自动检验机的总体布置图。人工将工件放在倾斜的上料槽19上，工件滚到挡料器上，挡料器与步进双工位输送装置17可逐个输出工件。输送装置移动一个步距后，工件落在回转V形块15上，并使工件定向；然后将工件输送到两回转滚轮组成的V形块13上，将工件向上抬起，并将其压在橡胶轮14上，橡胶轮可带动工件转动。气动塞规进入工件孔中，在工件回转情况下进行测量。在测量过程中，各转换器16发出相应的指令，气动塞规从孔中退出，V形块13落下使工件落在分组槽12的倾斜面上。

在分组槽斜面上有三个活门，由电磁铁拉开；在分组槽12上有三个不合格品料箱11。合格的工件一直输入到分组槽的端头；如果工件的尺寸和形状都是废品，则输送到“形状报废”的料箱中；如果工件只是直径有正和负超差，则输送到“废品（一）”料箱；如果工件直径只有正超差，则输送到“返修”料箱。

该机采用过滤组件10，电气设备装在检验机的下部，传动装置20装在中部，控制台18装在上部。自动检验机的测量误差为 $0.8\sim 1.4\mu\text{m}$ （直径的）和 $0.5\sim 1.0\mu\text{m}$ （形状误差）；检验机的工作循环周期为 4.5s ；外形尺寸为 $1150\text{mm}\times 1615\text{mm}\times 1660\text{mm}$ ，重量 500kg 。

目前圆柱形工件自动检验机已可实现组合化，其主要部件包括：床身、输送装置、工件回转传动装置、控制台、测量装置、中间工位提升轴和电子装置。图8-8是以这些部件组成活塞销自动检验机的示意图，在该机上测量活塞销的外圆直径和形状误差，并将合格品按直径分成四组（直径公差为 $10\mu\text{m}$ ，分组间隔为 $2.5\mu\text{m}$ ，形状允许误差为 $2\mu\text{m}$ ）。该机采用气电测量系统，既有气动测量的优点，又利用电子技术完成所必需的逻辑操作。该机可单独使用，也可纳入自动生产线。

活塞销以 1.2r/s 的转速在三个截面上测量，按在三个截面上的最大直径分组，外圆表面的锥度按在两端截面的直径 D_1 与 D_3 之差确定，而中凹或中凸按 $\frac{1}{2}\left|\frac{1}{2}(D_1+D_3)-D_2\right|$ 确定。在工件连续一转内确定锥度和中凹（中凸）度，圆度按在中间截面最大与最小直径差的一半确定。

活塞销20各被测量参数在一个工位上用气动卡规19测量。活塞销在两高精度回转轴18上定位，轴18安装在固定于测量工位本体的滚动支承上。每对喷嘴的气路接到各自气电转换器上，形成三个独立的气路系统。用弹性滚轮22使活塞销紧靠两轴18和轴向死挡，为

此滚轮 22 的轴线相对工件轴线倾斜 10° 。固定在测量工位本体上的单个直流电动机 16 通过减速器 17 使轴 18 转动。

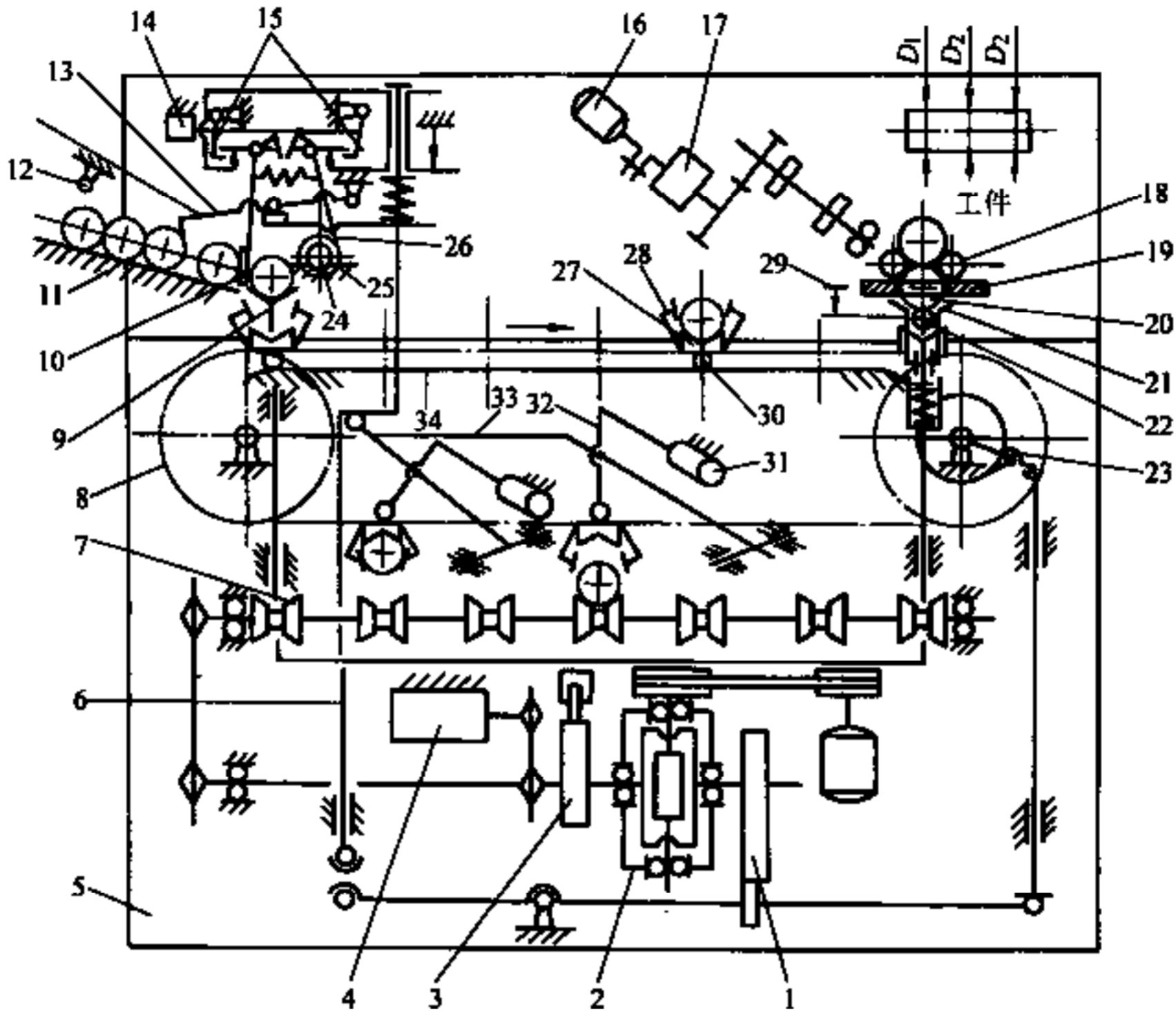


图 8-8 活塞销自动检验机 (气电测量)

- 1、3—凸轮 2—蜗轮减速器 4—指令装置 5—床身 6—杆 7—辊道 8—输送装置
 9、21—升降器 10、13—挡料器 11—上料槽 12—行程开关 14、31—电磁铁 15—摇臂
 16—电动机 17—减速器 18—回转轴 19—气动卡规 20—活塞销 22、30—滚轮
 23—棘轮机构 24—校准件 25—存放处 26—推杆 27—托架 28—夹爪 29—死挡
 32—杠杆 33—框架 34—板

气电转换器发出与被测量直径相当的模拟信号，电子系统将这些信号转变为接通分组电磁铁的脉冲。检验机的部件和机构装在床身 5 中，在床身在上平面上有测量工位和上料槽，在床身内有传动装置、杠杆凸轮机构和链条输送装置。电动机使蜗轮减速器 2 转动，在减速器的副轴上固定有凸轮 3、1 和链轮（与控制电气系统的指令装置 4 相连）。为使输送装置步进移动，采用棘轮机构 23。

测量时将活塞销装在上料槽 11 中，在上料槽中进入 10 个活塞销后，槽上的非接触气动行程开关 12 启动检验机。挡料器 13 和 10 逐个向上料升降器 9 输送工件，升降器使工件下落到其上有托架 27 的输送装置 8 上，经过 9 个（图中未全部绘出）工作循环，一个活塞销被输送到测量工位，升降器 21 将活塞销定位在两回转轴 18 上，并在气动卡规内回转两圈。测量时在活塞销与升降器 21 的 V 形块之间有间隙（V 形块的移动受死挡 29 限制），工件只由滚轮 22 支承。

升降器 21 使测量完的活塞销返回托架 27，当托架位于传动链上面时，靠板 34 端头圆弧的形状使托架 27 上的夹爪 28 处于松开位置；当测量装置离开测量工位，固定在夹爪上的滚轮 30 离开板 34，立即将活塞销夹在托架上。

根据活塞销属于哪个分组，在从测量工位输出活塞销，到落入相应的输出辊道 7 这段时间，检验机经过 4~10 个工作循环。按记忆装置的指令电磁铁 31 作用，使杠杆 32 转动，杠杆 32 与框架 33 一起转动，使夹爪 28 松开，活塞销落在辊道 7 上。

合格的活塞销进入电化学打印装置，不合格的活塞销按预先确定的原则被分别输送到返修品和废品的箱中，每个箱的容量为 60 个活塞销。在箱中有折叠摆动杠杆，防止工件表面损伤。

该机可自动对测量系统进行补充调整，使传感器调到固定值，防止测量系统的零位漂移并保持测量的稳定性。按时间继电器的指令接通电磁铁 14，使摇臂 15 转动和关闭挡料器 10，推杆 26 使校准件 24 进入工作，这些机构的传动由杆 6 实现。升降器 9 使校准件 24 落在输送装置 8 上，在下一循环又恢复自动上料的工作状态。校准件被输送到测量工位，校准件的柄部作用在非接触气动终点开关上。终点开关发出接通调整装置的指令。根据需要，调整装置发出在测量工件时应作补偿的信号，校准件经过一定的循环次数返回原存放处 25。

该检验机测量任一直径的极限误差为 $0.5\mu\text{m}$ ，初始调整值的精度为 $0.1\mu\text{m}$ ，每小时检验 1200 个活塞销，外形尺寸为 $1450\text{mm}\times 915\text{mm}\times 1880\text{mm}$ ，重量为 1100kg。该机可检验直径为 14~50mm 和长度为 50~110mm 的圆柱形工件。

另一种型式的活塞销自动检验机采用电感测量用机械手输送工件，图 8-9 是检验机测量工位的结构简图。

在本体 8 上有两轴 2 和可在滚轮 3 上移动的滑板 4，在滑板 4 上有两测量杠杆 9 和 12，其上有带金刚石球形测量触头的测杆 10。测量杠杆装在滚动轴承 1 上，以实现无间隙转动，在测量杠杆 9 上装有电感传感器 7，在测量杠杆 12 上装有固定触头 6，触头 6 与电感传感器接触，并可用微调机构 5 调整。用装在压紧杠杆 13 上的滚轮 11 将工件弹性压在两轴 2 上（用拉簧 14 产生压力），而用气缸松开工件（图中未示）。电动机通过减速器使轴 2 转动，靠装有反向离合器的杠杆机构使滑块 4 往返移动（图中未示）。

测量时活塞销在两轴 2 上转动，而两个测量触头 10 沿工件轴线移动，沿活塞销外圆表面螺旋线进行测量。电感传感器的测量信号传到电子装置，确定分组号和圆柱度误差等。

采用电子计算机控制有很多优点，例如在凸轮轴加工自动线终端，备有由电子计算机控制的自动检验机，检验项目有：凸轮轴各支承直径在两个截面上的直径，每个截面上的圆度，各支承轴颈的锥度，两端支承轴颈的端面圆跳动，各中间支承轴颈对两端支承轴颈公共轴线的径向圆跳动，各凸轮圆柱部分的径向圆跳动。

检验机通过龙门式上料装置的机械手与加工自动线输送装置相连，上料装置有两个带单独传动装置的料库，料库用于接收合格品和废品，同时

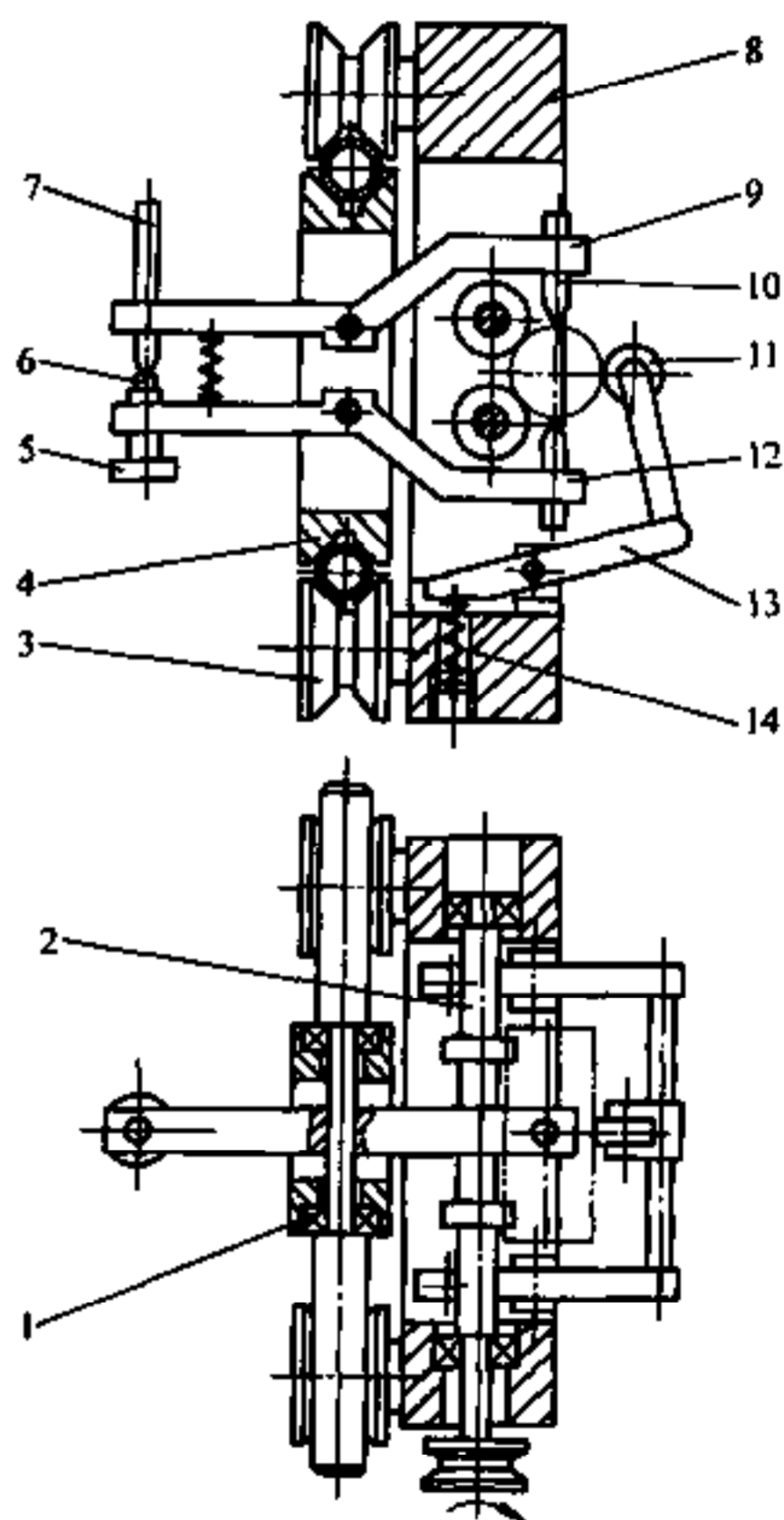


图 8-9 活塞销自动检验机电感测量工位
1—轴承 2—轴 3—滚轮 4—滑板 5—微调机构 6—触头 7—电感传感器 8—本体
9、12—测量杠杆 10—测杆 11—滚轮
13—压紧杠杆 14—拉簧

用于在专用的小车上贮存凸轮轴。小车有多层贮料器，以合理地组织将凸轮轴用叉车输送到仓库。在机械手中，编程控制器保证对所有上下料功能的控制，程序中还规定有使凸轮轴从料库返回检验机以进行重复检验的工作方式，以及使校准件进入测量机以自动重新调整测量系统的工作方式。

检验机为组合式，由各部件和机构组成，并有单独的带电气设备的支柱，各移动部件采用气动传动。为保证操作方便和安全，与通常的检验机不同，上料区间相对测量工位有一定偏移，这样向各个管理和维护设备的位置都打开了合适的通道。

用电感传感器按双点方式测量，两传感器的触头对向布置在凸轮轴的径向平面上。在凸轮轴连续转动一周的时间内处理传感器的信号，按规定的算法计算各参数。由于凸轮轴是在两顶尖上定位，而检验各中间支承轴颈的径向圆跳动按规定应是以两端支承轴颈定位，所以在径向圆跳动的算法中引入必要的补偿修正值。

由计算机控制的检验机具有模拟数字输入的编程控制器，控制器除可实现各独立部件相互工作协调外，还可计算各参数值，在本身运算存储器内存储测量结果，将每个参数的测量结果显示在数显装置的信号盘上。在自动检验机中利用编程控制器；在提高使用可靠性的同时，又可显著扩大其技术性能：直接在工作地点编制控制程序；通过按校准件调零自动进行补充调整；与上一级电子计算机交换信息，根据测量结果向自动线发出补偿控制信号。

在自动检验机中，按一定周期引入校准件对量仪进行补充调整，这样占用了一定测量时间，使检验生产率下降，而且有时不够及时。可采取措施解决这个问题，使每次测量时都能与校准值进行比较，既更能保证测量精度，又不降低检验生产率。例如对于孔的测量，可使测头在进入工件前，先经过校对环规的内孔，这时测量控制系统将校对环规内孔直径值记下，当测头进入被测量内孔时，使被测孔直径与校对环规孔直径进行比较测量。校对环规磨损后，在测量控制系统中自动修正。在非接触光电自动检验机上也可实现每次测量前连续自动进行补充调整。

8.2 加工中的主动测量

在一般手动加工中，操作者经过多次试切，并测量工件以控制加工尺寸，在机床上安装一般的主动测量装置，测量时间与加工时间重合，通过人的目测了解加工信息，以便及时手动控制加工，这就具有一定的主动性；如果把测量结果通过控制系统自动向机床发出相应的指令，可及时自动校正和补偿加工误差，则具有更大的主动性。

8.2.1 主动测量的功能

采用主动测量可提高加工精度和生产率，例如在磨床上用主动测量仪控制磨削加工精度比用定程磨削的加工精度高，在一个班内磨出轴的尺寸分散性由原来的 0.02mm (2σ)减小到 0.008mm 。所以在加工中主动测量不是一般的测量，也是一项工艺措施，其效果是使工艺过程得到及时的控制，从而提高生产率和加工精度。主动测量系统已成为一些机床和自动加工线不可少的组成部分。

主动测量发展的趋势是形成适应控制系统，即用一定的方法对影响工艺系统的各种信息进行测量，跟踪加工条件每一时刻的变化，使工艺参数随时间作随机变化，达到最佳加工效果，实现调节和控制自动化。这时主动测量的内容不但包括尺寸，而且还包括与加工状态有

关的参数（切削力、温度、功率和刀具磨损等）的测量；不但控制刀具的位置，还要控制切削用量等。

应指出，由于加工中与加工后测量条件（温度，动静态，切屑和冷却液等）不同，再考虑在加工中主动测量和控制所达到的实际水平，一般即使在加工中有主动测量且工艺过程比较稳定，也不能代替对工序间尺寸的检验和对成品重要尺寸的 100% 检验，主动测量在很大程度上是一项工艺控制措施，不能代替生产检验。当然，不应把在加工中测量与加工后检验对立起来，应将二者很好地结合。

8.2.2 主动测量的应用

在精加工和半精加工中采用主动测量是机械制造的发展趋势，应用主动测量，应根据具体情况选择适当的方式。国外经验表明，不一定采用全部自动化（尺寸测量，误差补偿，量仪重调等），因为有时这样并不比手工重调量仪方便和可靠。

有些机床（例如外圆和内圆磨床，珩磨机等）已带有主动测量系统。对一般不带主动测量系统的机床，为实现主动测量应增加主动测量系统（包括量仪和测量装置），如果还需要控制机床的动作，则应增加相应的控制系统。例如在磨削过程中，测量仪表或传感器接收尺寸变化，经测量系统转换为控制磨床相应执行机构的信号，使磨床自动执行粗进给磨削——精进给磨削——无进给磨削——砂轮架退回等。

在附加数控装置的普通机床和数控机床上，可精确地测量和控制刀具相对工件的位置，也具有在加工中主动测量的功能。数显装置可减少加工工时 25% ~ 50%，并可提高加工精度，但这时由于受机床刚性、热变形和刀具磨损等因素的影响，为精确地控制加工精度，仍需要在加工中主动测量的装置。

在第 3 章介绍的薄膜式和波纹管式气动量仪以及电感式量仪均可直接用来作为在加工中的主动测量仪，并已在磨床上获得应用；此外 BQY-3 型波纹管式气动量仪可用于对具有断续表面的工件在加工中测量。在应用这些量仪时应另有测量装置与其配套。

中原量仪厂生产的 MZK 型磨削加工自动控制仪和自动测量装置可用在自动和半自动磨床上；无锡量具刃具厂生产的 TGD-03、ZZJ-1 等型号的自动补调仪和测量装置可在镗床上，对加工好的孔进行测量，并可按测量信号补偿刀具的位置。

国外生产有用于内孔磨床、平面磨床、无心磨床等加工中，主动测量连续和不连续表面的气动和电感量仪以及测量装置，包括轴和孔的配磨装置。为在加工中顺序自动测量阶梯轴的各轴颈，应采用大范围量仪和可补偿动态误差和温度误差的量仪。国外在加工中主动测量不仅用于精加工，而且在高生产率无心磨床和强力磨削的平面磨床上也应用主动测量，并有专门的量仪和测量装置。例如在强力磨削的平面磨床上所采用的测量装置，其测量触头在加工开始阶段不与工件表面接触（测杆被制动），当机床发出测量指令后，测量触头才与工件表面接触或保持一定的测量间隙进行测量。

8.2.3 主动测量装置示例

图 8-10a 是在珩磨时用刚性塞规主动测量内孔直径的装置简图，塞规 2 装在珩磨头轴 5 上，在塞规内孔中有弹簧 3，弹簧靠在止推轴承 4 的端面上。塞规在夹具 1 的孔中导向，可绕珩磨轴线转动且在水平面上有一定浮动，同时由于塞规端面有倒角使塞规按被珩磨孔定中。当被珩磨孔达到规定直径时，塞规则进入孔中，其轴肩压下杠杆 6 的触点，结果由控制机构向机床发出指令。

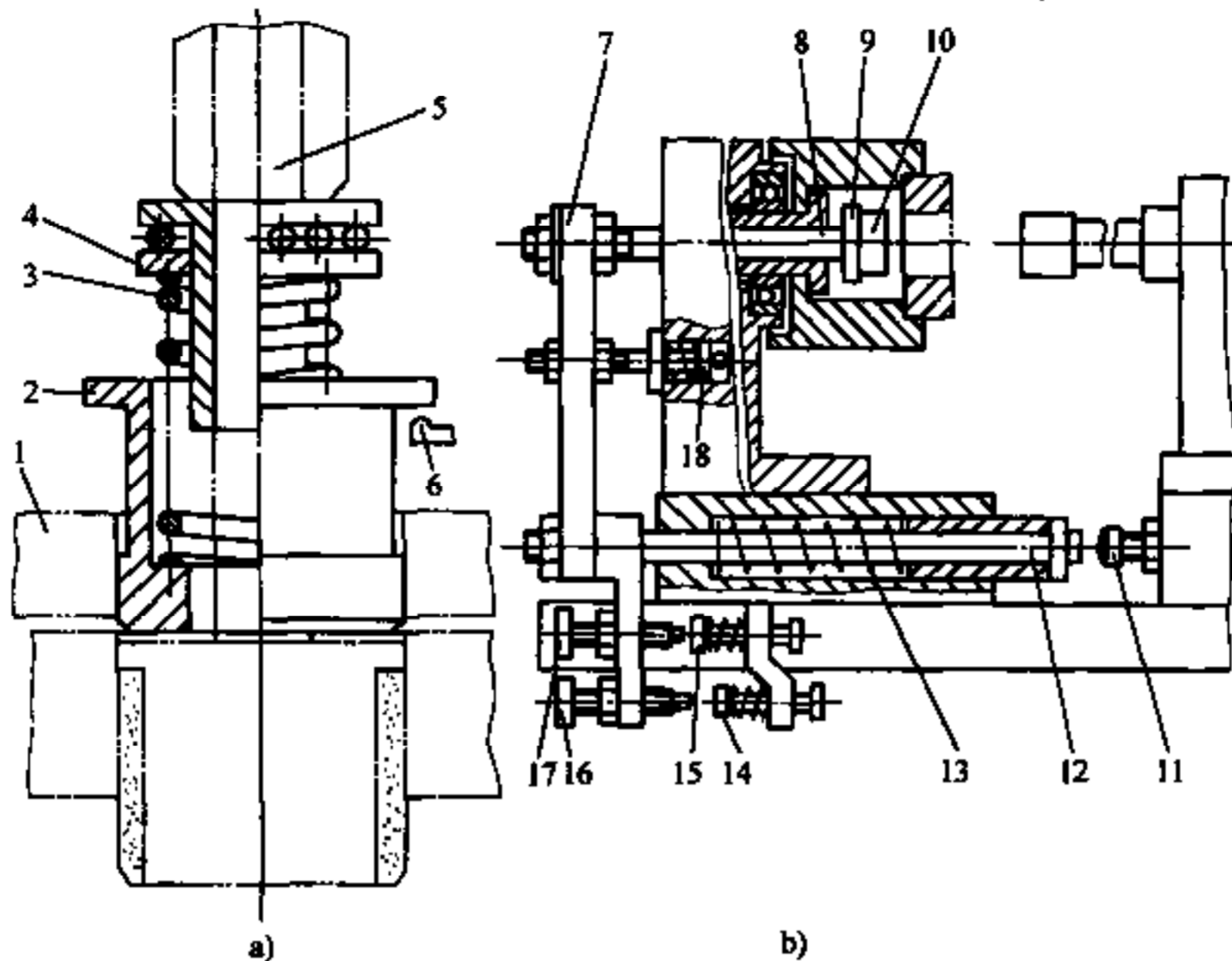


图 8-10 用刚性塞规在加工中测量孔径

1—夹具 2、9、10—塞规 3、13—弹簧 4—轴承 5—轴 6—杠杆 7—板
8、12—杆 11—死挡 14、15—触头 16、17—螺栓 18—液压装置

图 8-10b 是在磨床上磨削内孔时用塞规主动测量内孔直径的装置简图，塞规（10 和 9）固定在杆 8 上，杆 8 与主轴一起转动，杆的外端头固定在托架（板）7 的轴承中。磨削内孔时，在移动工作台上安装有死挡 11，死挡 11 碰到固定在板 7 上的杆 12 的端面，压缩弹簧 13，使塞规远离砂轮。

在整个磨削期间，塞规作往复运动。当内孔被磨削到一定尺寸时，在弹簧 13 的作用下塞规 10 进入孔中，螺栓 17 与触头 15 接触，向机床执行机构发出修正砂轮的信号，然后以小的进给量进行精磨；当内孔达到规定直径时，塞规 9 进入孔中，螺栓 16 与触头 14 接触，向机床发出使砂轮退出工件和停机的信号。机床停机后由液压装置 18 使塞规离开加工好的工件。

采用刚性量规的优点是结构简单，对振动不敏感，可测量断续表面，但磨损快，直观性差（没有示值），只适合工件孔公差不少于 IT8 级的情况。

图 8-11a 是测量轴或孔用的单触点测量装置示意图。这时用一个触点测量半径，优点是结构比较简单，可用于布置双触点有困难的场合，适合于测量小孔。但测量时机床主轴径向圆跳动、机床振动和机床热变形等对测量精度有显著影响，所以只适合于精度要求不高的场合，一般可加工到 IT7 级精度的工件。为消除振动对单触点测量精度的影响，应增大测量力，测量触头应采用耐磨材料。

图 8-11b 是测量轴或孔用的双触点测量装置示意图，这时用一个固定触点和一个活动触点测量直径，或用两个活动触点经过合成反映到仪表来测量直径。双触点测量的优点是测量精度不受单点测量时那些因素的影响，或影响很小。双触点测量装置一般可测量精度到 IT6 级的工件。其缺点是在磨削大直径重型工件时安装工件不方便，有时会使测量装置损坏，所以多用于工件固定，而将测量装置输送到测量位置的场合。

图 8-11c 是测量轴和孔的三触点测量装置示意图，这时用两个固定触点定位，用一个活

动触点或一个固定触点和两个活动触点测量直径，可将测量装置做成悬挂式或鞍式。三触点的优点是结构可靠，其测量精度与双触点相同，通过更换不同的卡规可测量不同直径的工件，便于测量阶梯轴，应用比较广泛。

当采用 V 形测量装置时，量仪示值 S 与工件直径变化 Δ 的比值 $i = S/\Delta$ 与 V 形角 2α 有关，当 $2\alpha = 39^\circ$ 、 45° 、 60° 和 75° 时， i 分别等于 2、1.6、1.0 和 0.63。为使测量不同直径的工件时，避免大行程调整测杆的位置，可采用两活动块（组成 V 形面）在导向件上移动的方法，来扩大测量装置的测量范围。

图 8-12 是三触点主动测量外圆的装置。

图 8-12a 是一种用千分表的结构，测量装置由油缓冲器 6（也可用弹簧作为缓冲器）、托架 3 和可换卡规 1 组成。卡规 1 固定在托架 3 上，触点 a 和 b 是固定的，触点 c 是活动的。为保证测量时使卡规在工件上定位可靠和稳定，触点 b 可不布置在触点 c 的径向平面上，而按图示方向偏斜 15° 。

杆 5 固定在缓冲器 6 回转液压缸的轴上，在杆 5 装有轴套 4，托架 3 与轴套 4 铰链连接。油缓冲器轴上的扭力弹簧使杆 5 向上，使卡规的下触点与工件可靠地接触。

缓冲器内有两油腔，通过小孔与贮油室相连。卡规位置的改变使液压缸转动，油从一个油腔流到另一个油腔，使测量装置工作时的摆动得到缓冲。缓冲器一般装在砂轮架上，安装时应使卡规各测量触点所在的平面垂直于工件的轴线。千分表的传动比 $i =$

$\frac{\sin\alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$ ，为使 $i = 1$ ，通常取 $\beta = 45^\circ$ ， $\alpha = 67^\circ 30'$ 。

用手柄 2 使卡规进入和退出工件。

图 8-12b 是一种用电感传感器的结构，在托架 17 中有固定在片簧 13 和 10 上的测杆 11，在弹簧 12 的作用下使测杆与被测量外圆表面接触，传感器 14 的触头与测杆 11 接触。为使测量装置通过更换卡规 24 即可测量不同直径的工件，用定位销 21 靠在定位 V 形块 20 上，从而使卡规 24 在托架 17 上定位。传感器 14 和测杆 11 相对定位 V 形 20 的位置用微调螺钉 15 和弹性杠杆 16 调整。

在精确调整好传感器触头相对定位 V 形块 20 的位置后，将微调螺钉 15 锁紧和封死。卡规有两种规格，用于测量直径为 2~120mm 的工件。卡规由柄部 A（受板簧力）、本体 C、定位销 21、可调基准支承 8 和 9、锁紧螺钉 7 和 25、精密调整尺寸的螺钉 26、塑料手柄 19 和标注尺寸的铝标牌 23 组成。卡规本体上有镶硬质合金的爪 B，基准支承镶金钢石。

将卡规装在测量装置的托架上，爪 B 靠在托架上的销 22 上。由柄部 A 在拨块 18 的槽中定位时，柄部 A 因板簧产生的力使定位销 21 紧靠在定位 V 形块 20 上，该力稳定可消除

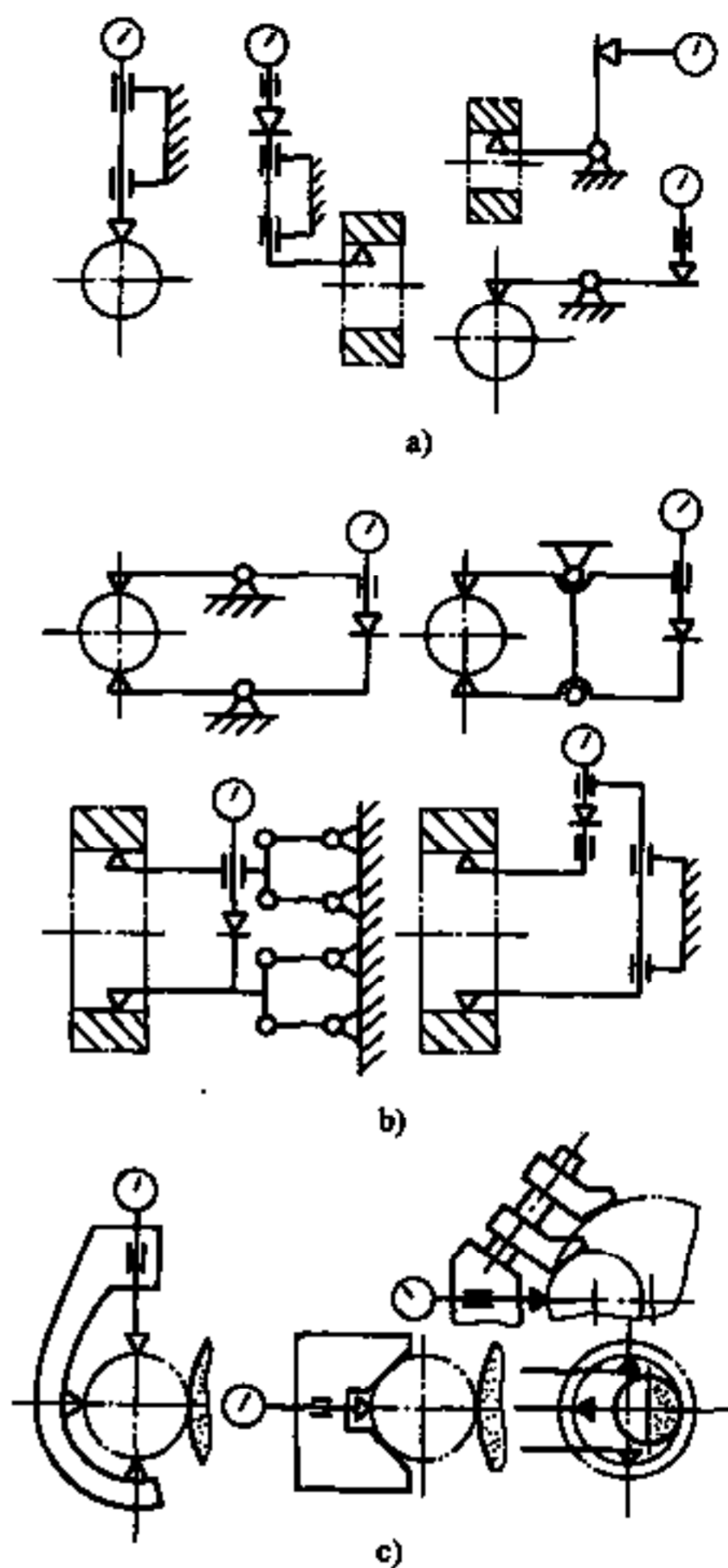


图 8-11 主动测量轴和孔的各种方法

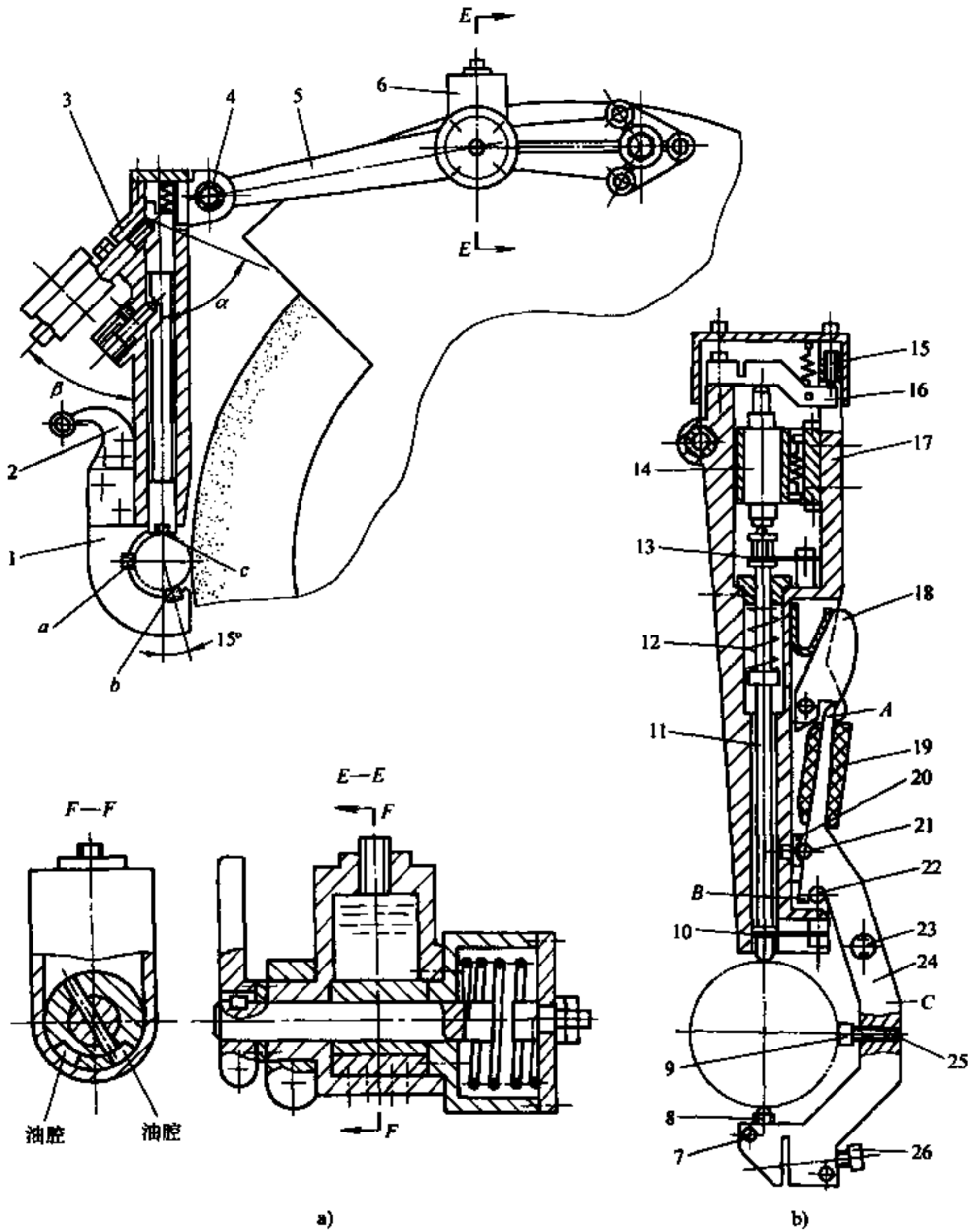


图 8-12 三触点主动测量外圆的装置

- 1—可换卡规 2—手柄 3—托架 4—轴套 5—杆 6—缓冲器 7、25—锁紧螺钉
 8、9—可调基准支承 10、13—片簧 11—测杆 12—弹簧 14—传感器
 15—微调螺钉 16—杠杆 17—托架 18—拨块 19—塑料手柄 20—V形块
 21—定位销 22—销 23—铅标牌 24—卡规 26—螺钉

定位误差。

在外圆磨床上加工小直径（6mm 以下）而且公差又小（例如 IT5 级）的工件时，采用通常用的双点接触卡规的效果不好，这是因为卡规在垂直于测量方向上相对工件轴线的位置有误差，一般用死挡定位对中的精度 $\geq 0.05\text{mm}$ 。由此在直径方向产生约为 $1\mu\text{m}$ 的误差，而 IT5 公差为 $5\mu\text{m}$ （当直径为 6mm 时）。为消除这种误差对测量精度的影响，可把卡规两测量

触头做成平行的圆柱触头，但在生产条件下由于两测量触头磨损不均匀，使其平行度受到破坏，仍然会产生测量误差。为提高在加工中测量小直径零件的精度，设计了一种能自动使卡规的位置不变的测量装置，如图 8-13 所示。

在机床上装有滑板 10，在其上有支架 6，两气动卡规体 3 通过两平行片簧装在支架 6 上。电磁铁 4 和 9 通过支架 5 和 8 与支架 6 相连。卡规体 3 上的气动测量喷嘴与主动测量仪 7 的指令装置相连，当到达规定尺寸时触点 P 闭合，接通电磁铁 4 和 9，电磁铁拉动测爪 1 和 2，使其在垂直方向张开 2~3mm，这样就可取下加工好的工件并装上新的工件。在接通电磁铁的同时，指令装置接通继电器 P_1 ，使电磁铁在发出到达规定尺寸的指令后仍接通。当装上新的工件后，按下控制按钮 K ，切断继电器 P_1 ，使电磁铁断电，两测爪落在工件上。这种方法可避免由于测量装置位置变化而产生的测量误差。

当磨削长轴时，由磨削力而引起的弹性变形使磨出的轴在全长上直径不同，因此用轴一个截面上的直径信息来控制纵向磨削过程是不够的。为提高长轴纵向截面的形状精度，在控制纵向磨削过程中必须有沿轴被磨削表面全长上的信息，以及能在整个磨削长度上保证达到规定尺寸的装置。

如图 8-14a 所示，做成卡规式的测量装置 8 装

在磨头罩上的平面弹簧上，当到达规定尺寸时与砂轮一起退出，而测量时碰在床身的挡块上，以使测量装置相对工件定位。采用成批生产的主动测量仪 9 作为读数指令装置。

控制工作台部件包括在机床床身上带导向件 5 的滑动件 3，滑动件 3 与工作台换向杠杆 4 和板簧 6 相连，并可与装在床身上的两电磁铁 7 和 2 的电枢接通。工作台换向杠杆与工作台换向电控装置 1 的活动触点 14 相连，换向电控装置 1 有两个继电器 P_1 和 P_2 ，当到达规定尺寸时（即当磨削结束指令继电器的触点 12 与量仪时间继电器的触点 11 闭合时，图中未表示出闭合），触点 14 与触点 15 或 16 闭合，这时 P_1 或 P_2 接通，时间继电器 PB 与触点 10 接通，切断电磁铁 13 使磨头自动退出。

当纵向磨削时，在轴全长上达到规定的直径之前，磨床工作台靠固定在床身上的可调挡铁（根据磨削长度确定位置）和靠转向杠杆 11 实现换向。当工作台从左向右运动时，工作台换向杠杆处于左边位置，换向装置 1 转换开关的触点 14 和 16 闭合。当在点 A 处达到规定直径 D 时（图 8-14b），磨削结束指令继电器和主动量仪时间继电器的触点 12 和 11 闭合，继电器 P_1 作用，电磁铁 7 在时间继电器的保证的时间 t_1 内始终是接通的，工作台继续由左向右。这时如果磨削时出现中凸，被测直径增大，主动量仪的触点 12 和 11 以及换向装置 1 的触点 14 和 16 断开，而触点 14 和 15 闭合。

随后在电磁铁 7 的作用下，滑块将工作台换向杠杆 4 移动到图 8-14a 所示的位置，工作台换向由右向左运动，将点 C 处磨到规定直径 D ，当主动量仪的触点 12 和 11 闭合后，继

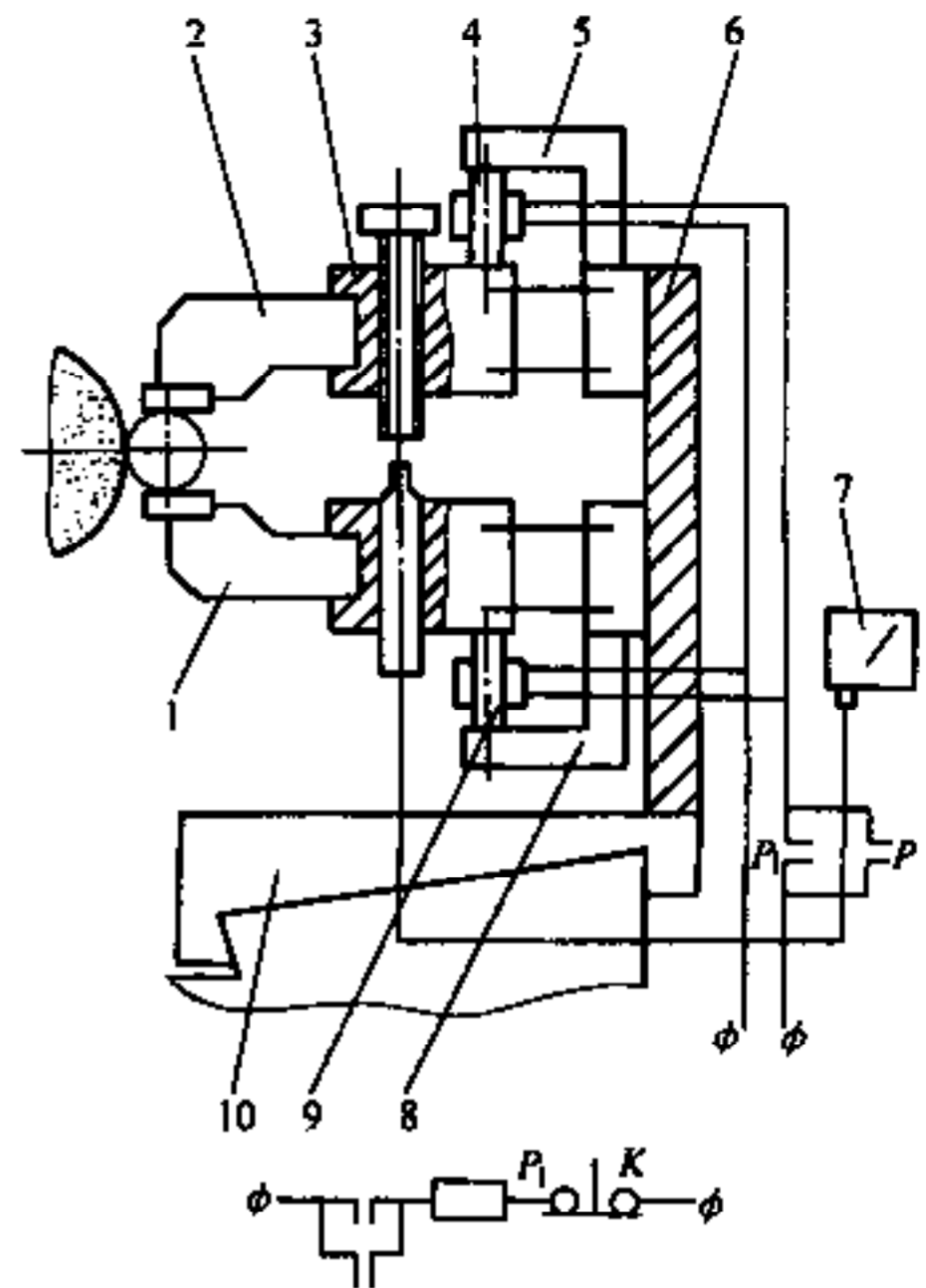


图 8-13 高精度主动测量小直径外圆的装置
1、2—测爪 3—卡规体 4、9—电磁铁
5、6、8—支架 7—主动测量仪 10—滑板

电器 P_2 作用。

当工作台重新由左向右运动时，将点 B 处磨到规定的直径 D 。

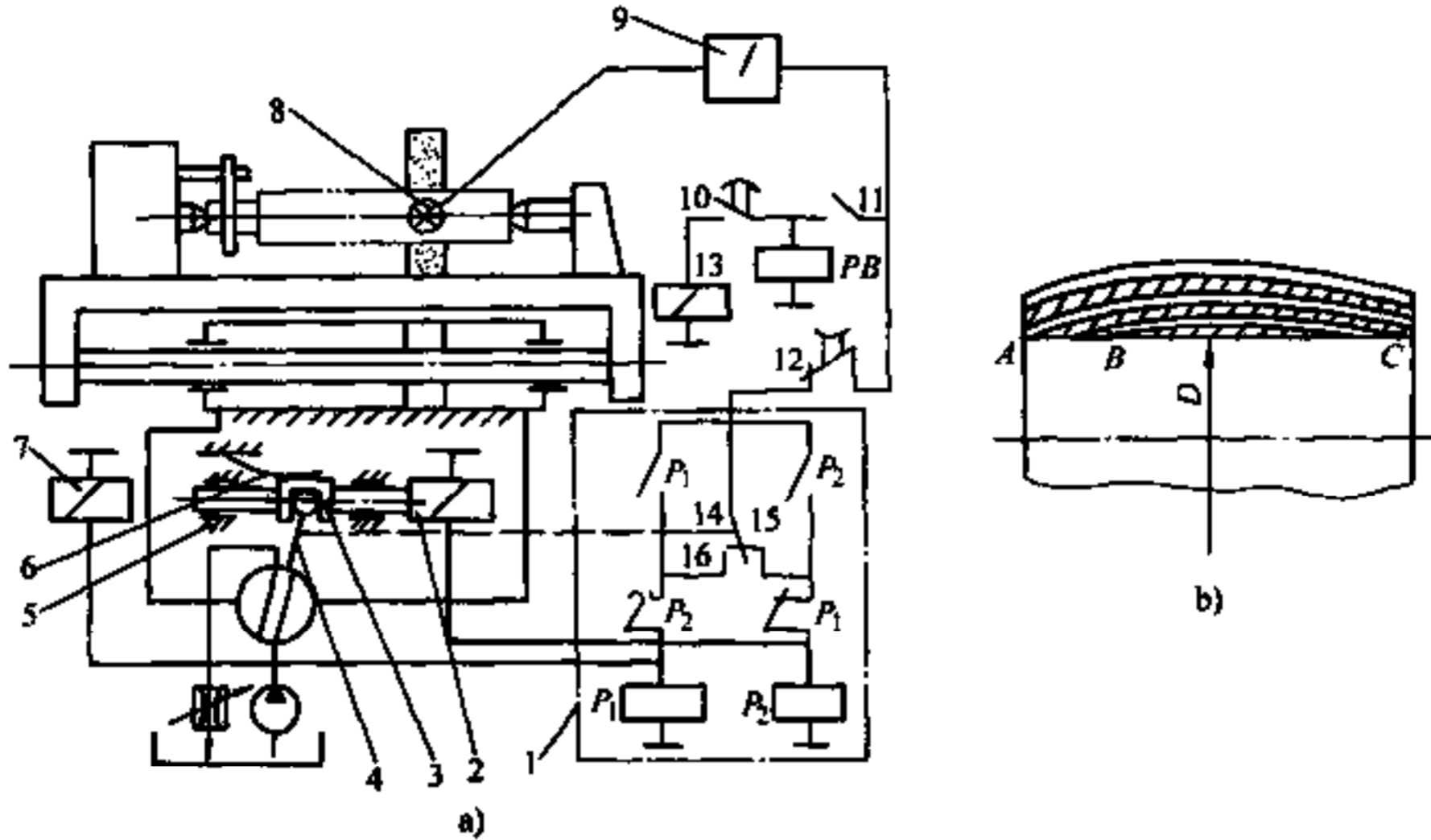


图 8-14 主动测量长轴的装置

1—电控装置 2、7、13—电磁铁 3—滑动物件 4—杠杆 5—导向件 6—板簧 8—测量装置
9—主动测量仪 10、11、12、14、15、16—触点

当轴的表面在全长上都磨到规定的直径时，经过比工作台换向所需时间 t_1 更长的时间 t_2 ，时间继电器 PB 作用，并用触点 10 切断电磁铁 13，使磨头自动离开被磨削轴。

上述是利用可调行程挡铁使工作台多次往返运动，直到轴磨到规定的直径，控制工作台换向也可不用挡铁，这时卡规的测量触头应超出被磨削表面的长度。当卡规超出被磨削表面长度时，磨削结束指令时间继电器和主动量仪时间继电器作用，如上所述，当磨到规定直径时，工作台将由电磁铁 7 和 2 实现换向。

采用上述在加工中主动测量磨削长轴的方法，可省去试磨测量辅助时间，并使总磨削长度减少，同时也可比不用主动测量时减少工作台往返次数，有时甚至可在一个磨削行程内磨到规定的直径。其尺寸误差在磨头两倍横向进给范围内，而纵向形状误差在进给量与量仪测量误差之和范围内。例如，在一个行程内精磨了一批零件（材料为 40Cr，直径为 38mm 的轴），在长度 520mm 上的纵向形状误差不大于 0.008mm，粗糙度 $R_a = 1.7 \sim 2 \mu\text{m}$ ，磨削余量为 0.15mm（直径上）；而当不用主动量仪和控制工作台的装置时，在加工用量相同的情况下，需要 5 次往返行程才磨出同样尺寸精度的工件，而其纵向形状误差却增大到 0.024 ~ 0.030mm。

在以锥度心轴定位磨削带台肩套类工件的直径和端面时，由于其端面位置不固定，其变化范围较大，而磨削这种零件要靠磨头横向运动磨削直径 D 和工作台纵向运动磨削宽度 B 来实现。为实现在加工中主动测量采用图 8-15 所示的主动测量装置，该装置就是具有两个独立测量电路的读数指令装置和一个测量装置的组合。

用三点接触式卡规测量工件的外圆直径，板 12 固定在卡规的活动测杆 13 上，板 12 的触头与电感转换器 11 接触。在卡规上还固定有支架 5，在支架 5 上有电感非接触转换器 6、测量杠杆 8、定位块 10 和弹簧 7。测量直径时用拉簧（图中未示）拉住测杆 13 产生测量力，

而在测量尺寸 B 时，用压簧 7 产生测量力。

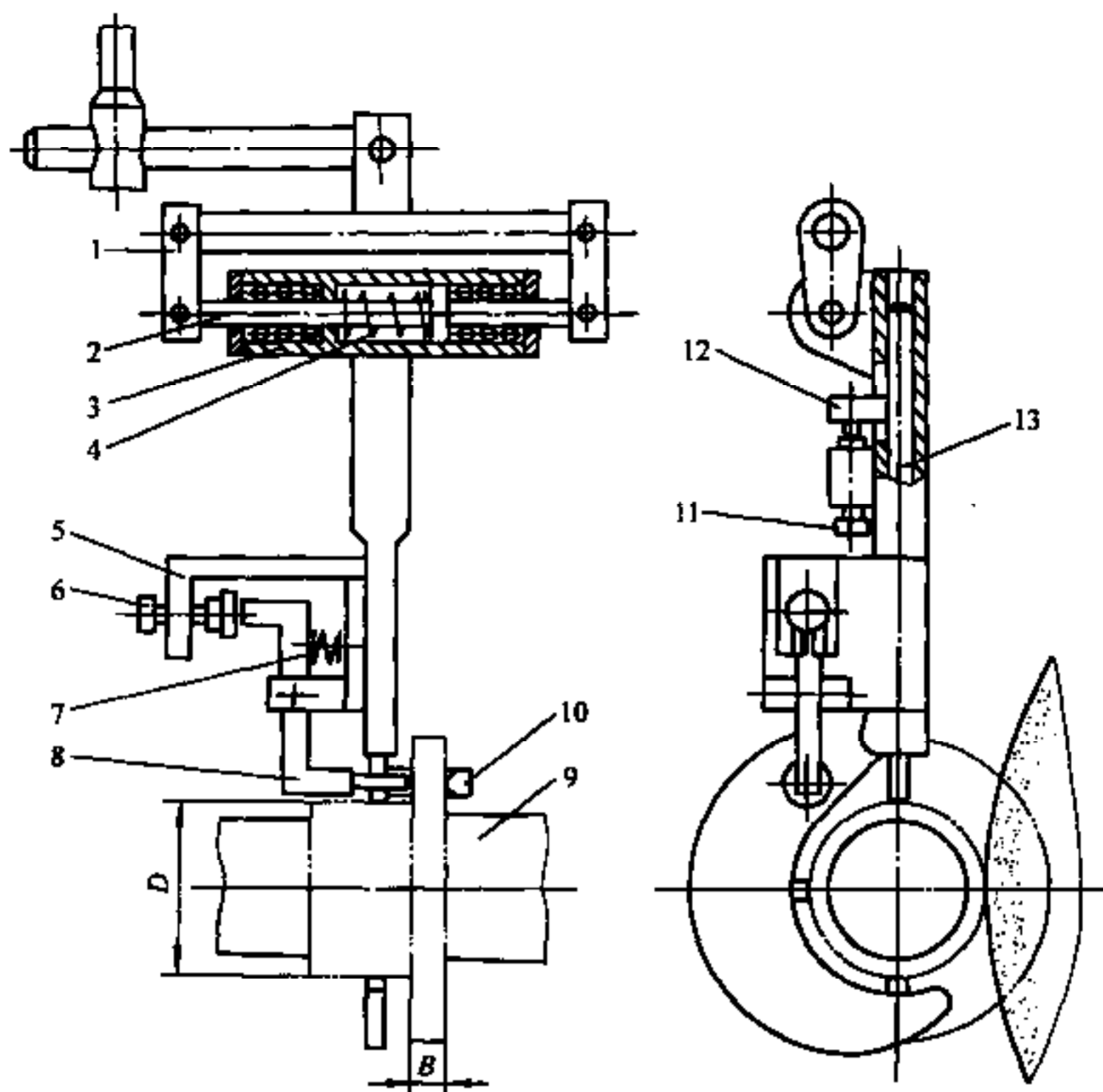


图 8-15 主动测量外圆及其端面的装置

1—构架 2—轴 3—套 4、7—弹簧 5—支架 6、11—转换器 8—测量杠杆
9—心轴 10—定位块 12—板 13—活动测杆

卡规固定在构架 1 上，而构架 1 固定在机床上，其位置可调。卡规可在轴 2 上摆动和直线移动，所需的轴向移动量应达到，靠弹簧 4 使其上有卡规的套 3 与卡规一起移动到定位块 10 与工件端面可靠地接触，这时所产生的接触力将随工件在心轴 9 上的位置而变化。由于测量尺寸 B 的精度主要与作用在杠杆 8 上的测量力的稳定性有关，即只与弹簧 7 的刚性和定位块 10 在轴 2 上的相对位置有关，但后者与接触力没有函数关系，所以定位块 10 与工件端面的接触力对测量精度的影响一般在允许范围内。

在磨削过程中，尺寸 D 和 B 的变化使板 12 和杠杆 8 产生相应的位移，转换器 11 和 6 将相应的模拟信号输入读数指令装置，在读数装置中每一独立的测量电路发出控制某一尺寸加工循环的指令，测量电路的动作用校准件调整。

采用该主动测量装置使直径尺寸的分散性在公差 (0.04mm) 范围的 80% 以内，而端面尺寸的分散性在公差 (0.14mm) 范围的 75% 以内。

图 8-16 是珩磨主动测量及其适应控制机构。珩磨机的控制由带微处理器的控制系统按控制程序实现，珩磨头的原始位置是在标准件 8 的孔内。

电动机 1 通过端面离合器 3 带动齿轮 4 和 17，齿轮 17 使螺杆 14 向下移动（用销 16 防止螺杆转动）并推动锥体 13 向下从而使珩磨条 10 在校准件 8 的内孔中快速张开。同时，固定在齿轮 17 上的齿轮 2 转动时，控制系统记下由传感器 SQ_1 送来的脉冲数。当珩磨条碰到校准件的孔壁时，螺杆 14 停止向下移动，离合器的端面齿打滑使齿轮 4 与圆盘 5 一起向下

移动，这时弹簧6被压缩，圆盘与传感器SQ₂接触，使电动机1停止转动，并向控制系统发

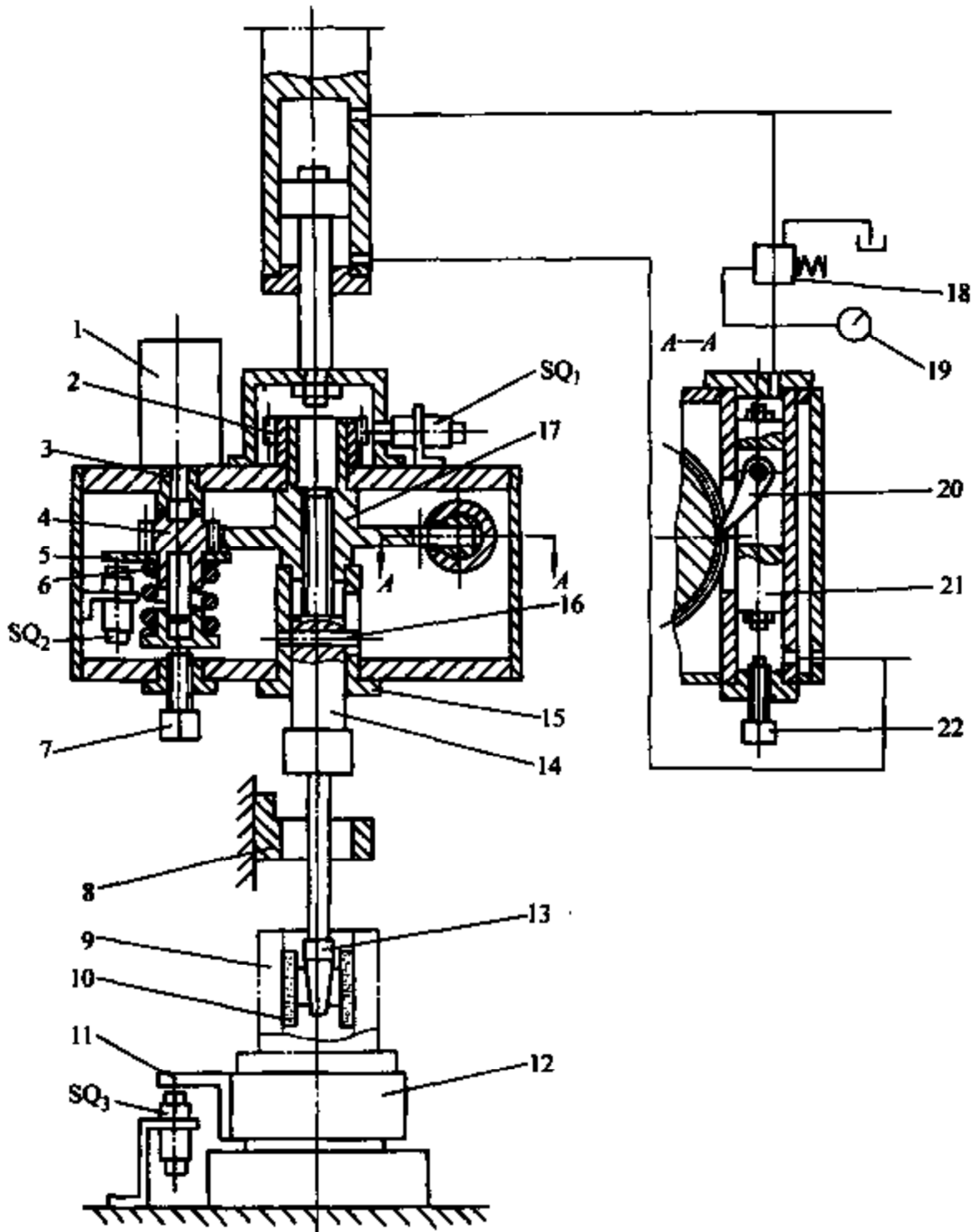


图 8-16 内孔珩磨主动测量及其适应控制机构

- 1—电动机 2、4、17—齿轮 3—离合器 5—圆盘 6—弹簧 7、22—螺钉
- 8—校准件 9—工件 10—磨条 11—片 12—花盘 13—锥体 14—螺杆
- 15—套 16—销 18—减压阀 19—压力表 20—爪 21—柱塞

出指令，即从螺杆处于原始位置珩磨条开始张开（这时销16在套15槽的上端）到珩磨条碰到校准件孔壁为止这段时间内脉冲数。这时接通电动机1反转，珩磨条快速收缩，螺杆14返回原位。

传感器SQ₂切断电动机1，使珩磨条已收缩的珩磨头向下移动，但这时不转动。当珩磨头下降到如图所示磨条10进入被加工工件9孔的下面位置时，珩磨头又从下向上移动，这时接通冷却润滑液，机床主轴转动（主轴传动系统图中未示），珩磨条快速张开到与被珩磨孔壁接触。在珩磨条与被加工孔壁接触时，离合器3的齿开始打滑，结果传感器SQ₂切断电动机1，使珩磨条定量进给。定量进给是这样进行的：柱塞21上有爪20，根据用螺钉22调整好的柱塞行程，爪20使齿轮17转动一个或几个齿，并且主轴每次往复运动定量进给的大小由齿轮17的转动量和螺杆14与锥体13的轴向移动量来确定。定量进给时珩磨条压在孔壁上力的大小（比压）用减压阀18按压力表19调整，切断电动机1的力用螺钉7调整

(改变弹簧 6 的力)。

为使珩磨孔时具有合理过程，在机床中备有实现适应控制珩磨的力矩工作台，当珩磨力矩过大时，工件 9 与力矩工作台花盘 12 克服弹簧力被珩磨条带动一起转动，并使片 11 与传感器 SQ_3 接触，切断定量进给。在珩磨力矩减小和通过传感器 SQ_3 重新接通定量进给，使花盘 12 回到原始位置之前，由于齿轮 17、螺杆 14、锥体 13 和磨条 10 处于拉紧状态，所以珩磨能继续进行，并仍然循环下去。

这就是说在珩磨过程中，在达到所要求的孔径尺寸之前，磨条定量进给将多次自动接通和切断。在珩磨过程中，通过由传感器 SQ_1 发出的脉冲数与其所记忆的珩磨条在校准件孔中张开时的脉冲数进行比较来测量被加工孔的直径，当两者相等或两者差符合规定时表示工件孔已达到规定尺寸，测量精度在 $5\mu\text{m}$ 内。当工件孔达到规定的直径尺寸后，切断定量进给，按定时器经几秒钟后又重新接通电动机 1，这时磨条以较小的压力（由螺钉 7 调整弹簧 6 的力来确定）进行精整珩磨。定时器作用后，电动机 1 反转，珩磨条迅速收缩，销 16 又回到上面位置。随后传感器 SQ_2 作用，切断电动机 1，珩磨条已收缩的珩磨头退出工件返回原始位置，随即切断主轴旋转和冷却润滑液的供应。之后，可取下珩磨好的工件，装上新的工件，重复上述工作循环。

在平面磨床上采用单点测量装置有一定缺点，其测量精度不如双点差动测量的精度高，所以对于精度较高和可能的情况，应采用双点主动测量。国外用于平面磨床的主动测量装置已通用化，采用气动、电接触和电感测量，测头输送装置和安装支架等已成批生产。

图 8-17 是平面磨床双点主动测量装置，图 8-17a 表示输送部件，而图 8-17b 表示测量部件。输送部件将测杆输送到被测工件 1 上，测量完后返回原位。当取下已磨好的一批工件后，再将一批新的工件放在磁性工作台上。

输送部分主要由底板 13、支架 12 和 15 组成，底板用 T 形螺钉 14 固定在机床工作台上，活塞 4 在液压缸 3 中移动，液压缸 3 装在支架 15 和 12 上，在活塞 4 的杆上固定有板 10，在板 10 上固有轴 6，与测量部分 2 连成一体支架 5 上的开槽弹性孔将轴 6 抱住。导向杆 7 在铜套 9 中防止活塞移动时转动，以使测量部分定向。调整螺钉 11 的位置可控制测量部分的工作位置，螺钉 11 的球头与固定在缸体上的 V 形块 8 接触。

为避免磁性工作台对电感测量的影响，测杆 17 和 18 由非磁性材料（黄铜）制成，在测杆上用直径为 $4\sim 5\text{mm}$ 的滚珠作为测量触头，用螺钉将两测杆固定在两活动量爪 20 上，两活动量爪分别与测量部分的支架 5 用两平行片簧 23 相连。在两量块之间有拉簧，以产生测量力，同时有限位螺钉（图中未示）。为使下测杆进入测量位置，在磁性工作台上开有截面为 $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ 和适当长度的槽。

工件在工作台 16 上定位和吸牢后，进行磨削，两测杆周期地进入测量位置，这时将阀的手柄转到“测量”位置，油从主管道进入液压缸 3 的右腔，而从左腔排出。

当卡规被输送到测量位置时，固定在机床工作台上的挡块 19 挡住锥杆 21，锥杆和活塞 22 一起相对量爪向右移动，测杆 17 和 18 的测量触头与被测量工件的表面接触。测量转换器发出信号，操作者根据测量装置的仪表可目测尺寸变化的情况，以合理地控制磨削余量。在确定尺寸大小后，操作者将阀门手柄移动到“离开”位置使测爪退出，在达到规定尺寸之前继续磨削。也可用液压换向阀代替手动阀，以实现上述过程自动化。

为提高在平面磨床上主动测量的精度，防止由于温度变形和调整引起的偶然误差，在测

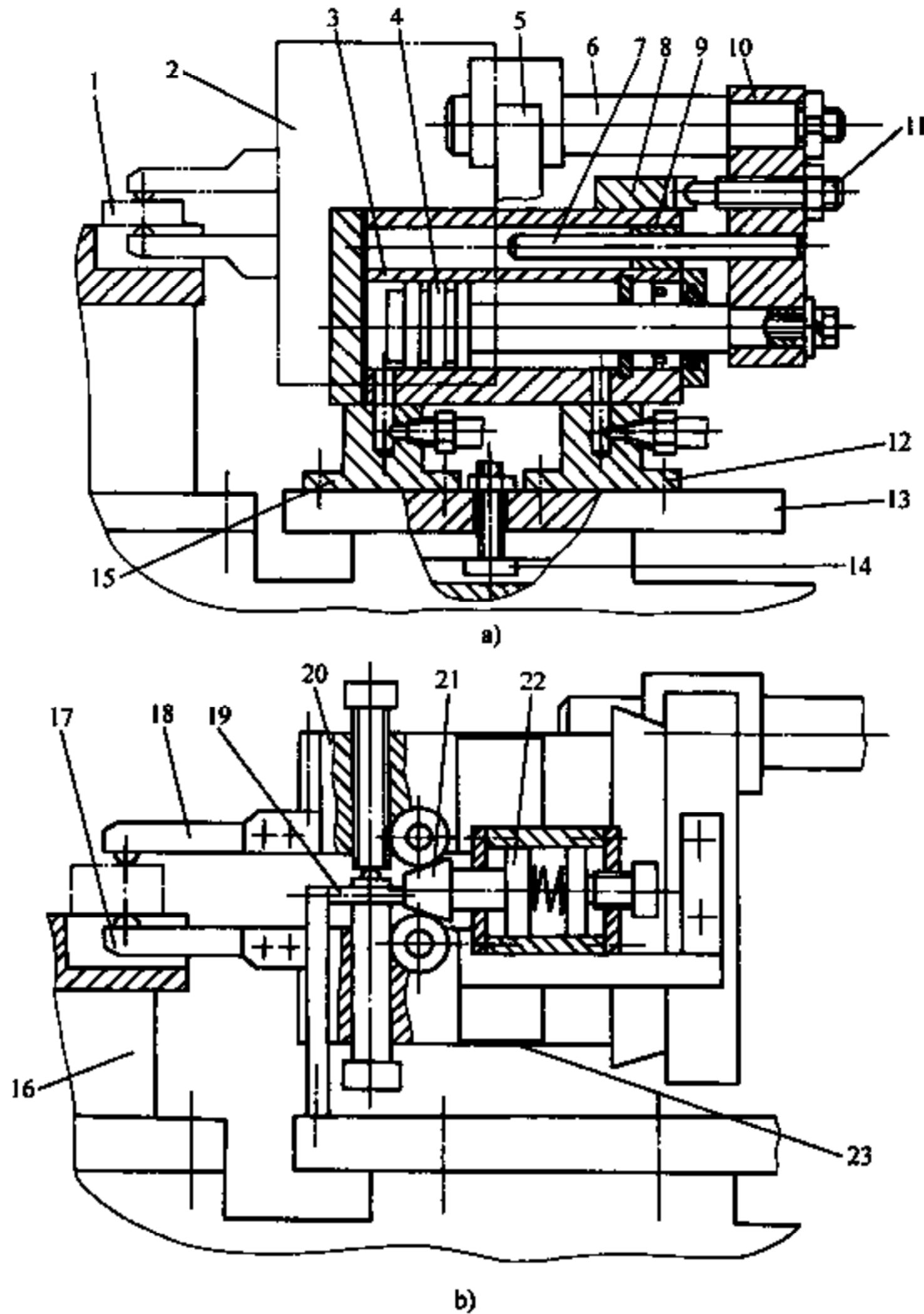


图 8-17 平面磨床双点主动测量装置

- 1—工件 2—测量部分 3—液压缸 4、22—活塞 5、12、15—支架
 6—轴 7—导向杆 8—V形块 9—铜套 10—板 11—调整螺钉
 13—底板 14—T形螺钉 16—工作台 17、18—测杆 19—挡块
 20—活动爪 21—锥杆 23—片簧

量系统中可采用按校准件调整的电路，如图 8-18 所示。在测量系统工作前按校准件 4 调零 (图 8-18a)，在磨削过程中用杠杆 2 和 3 的双触点测量工件 1 的尺寸，电感传感器的信号进入读数指令装置对机床进行控制。当砂轮接近测量的位置时，输送装置 6 使测量杠杆 2 和 3 的触头离开工件而与校准件 4 接触。磨削到一定程度，当尺寸值超过对原始调整值允许误差时，读数指令发出机床停止工作的指令，“呼叫调整”的信号灯亮。

此外，在平面磨床主动测量系统中，还可采用自动保持调整值的方法。当必需补充调整时，读数指令装置向伺服电动机发出信号，伺服机构使零位校准电位器的手柄向相应的方向转动，自动使调整原始值不变。

采用电感传感器时，工作的可靠性与其动态特性有关，机床自动控制信号的失真是由于测杆与工件接触、工作台换向时有振动，以及砂轮不平衡，而最大的失真值 (达 $25\mu\text{m}$) 产

生在工作台换向时。为避免测量系统向机床发出不真实的指令，在系统中应备有工作台换向时信号自锁装置（图 8-18b）。在工作台换向前，即在工作台两次换向的时间间隔内，在测量部分 16 中的电感传感器向读数指令装置 14 发出信号，并通过控制装置 13 和放大器 12 传送到执行机构 11，使砂轮 10 进给一定深度。当换向时，装在工作台上的挡块 8 和 17 将压终点开关 7 和 15，装置 13 使读数指令装置停止向放大器发出信号，而发出另一与换向前相等的信号，这样可避免信号的失真。

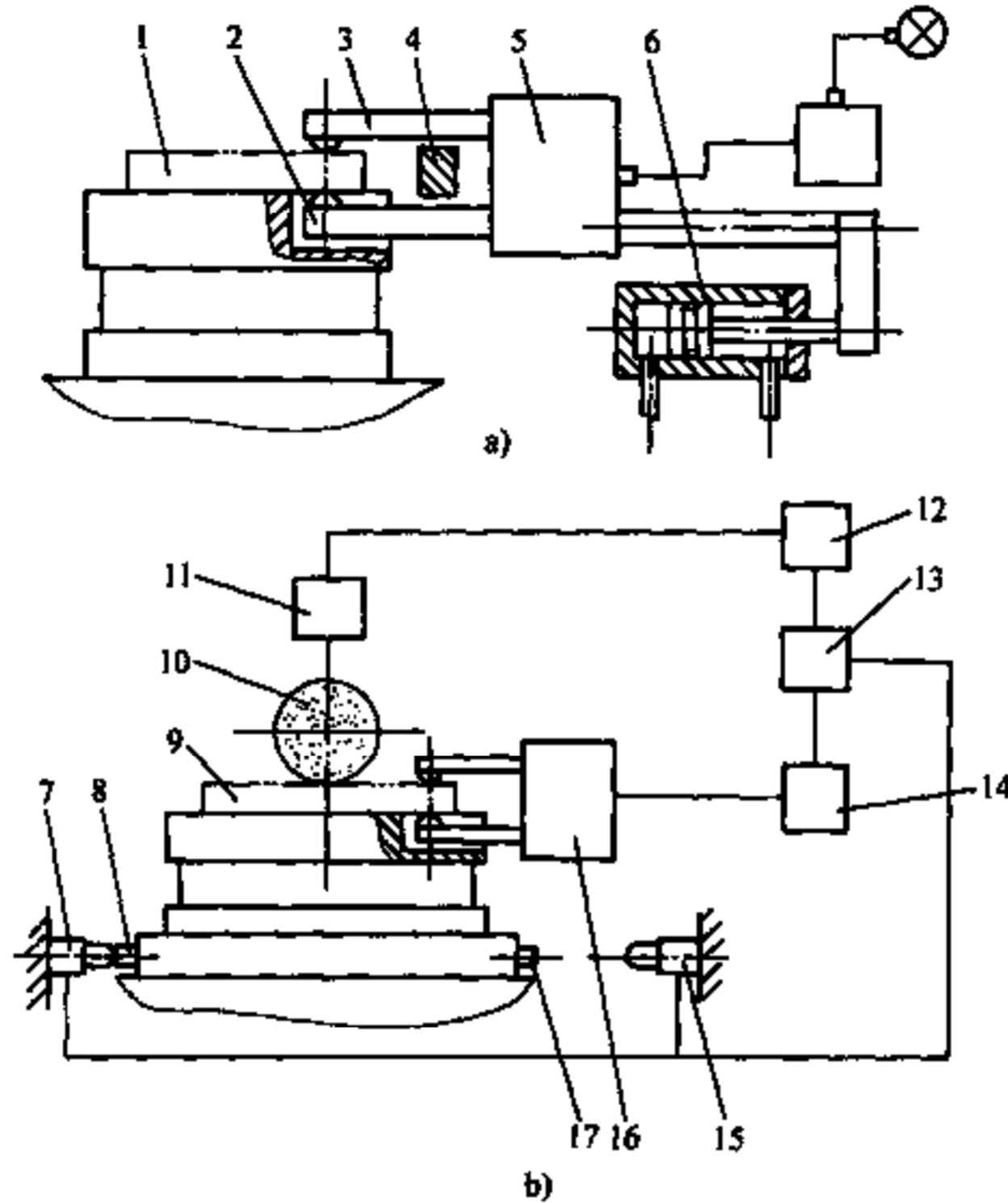


图 8-18 提高在平面磨床上主动测量的精度

- 1、9—工件 2、3—杠杆 4—校准件 5、16—测量部分
6—输送装置 7、15—终点开关 8、17—挡块 10—砂轮
11—执行机构 12—放大器 13—控制装置 14—读数指令装置

第9章 检验夹具的调整和使用

检具在制造后，需经仔细的调整和检定，检具的精度在很大程度上取决于其调整质量。在这个阶段主要有以下工作。

1. 调整前检查 检具的外观应保持良好的，重要的工作面不应有碰伤、锈蚀等缺陷；检具的主要尺寸和形位公差制造的正确性；校准件应有经精密计量的实际尺寸等。

2. 对检具的功能进行检查 各移动和转动部分动作的平稳性和灵活性；测量装置的弹簧力和夹紧机构的弹簧力应适当等。这时可对检具的相应部位作适当的修研，以消除检具制造时某些不完善处。

3. 调整和确定检具的精度。

4. 编写检具的技术文件 一般主要是检具使用说明书和检具周期检定卡。在调试的基础上编写使用说明书，或对在设计检具时初步编写的使用说明进行补充修改，检具使用说明书应对检具的使用方法和注意事项作出说明。检具定期检定卡应规定需要定期检定的项目和检定时所用的测量工具，检定卡可供多次检定记录用。

9.1 检具的调整和确定其精度

检具的示值精度（测量准确度）是由各种综合因素（见6.7节）决定的，在检具制造好后都经制造验收，应符合设计图纸要求，在调整检具前又经检查和一定的修研，所以对于一般常用结构的检具在调整时可不分别确定各部件的精度，而只综合评定检具的测量精度。这时如果测量精度达不到设计要求，又不能直接判断找出原因，则有目的地选择某些部件采用一定方法进行精度调整。对于结构复杂和采用了新结构的某些检具，可先对有关部件的精度按一定方法进行调整，然后再对整个检具的精度进行调整。

为确定检具的精度，应分析其系统误差和随机误差。应指出，在下述确定误差时所采用的测量原始数据应不存在或已剔除测量中可能产生的粗大误差〔剩余误差 $(x_i - \bar{x})$ 大于 $3\sigma_{x_i}$ 的误差〕。

1. 测量工具和校准件 在调整检定检具时，应采用校准件或挑选尺寸和形状精度高的工件进行；所用测量工具的精度一般比检具检验工件时所用的测量工具的精度高，例如检验工件时用分度值为0.01mm的百分表，则在检定时应采用分度值为0.001mm或0.002mm的千分表。但如果检验工件时的测量工具精度相对工件精度较高，例如是分度为0.001mm的测量工具，则也可直接用检验工件时的测量工具（例如气动或电感量仪等）检定检具。

2. 系统误差的发现和消除 为检查检具是否存在系统误差可采用下述方法。

先在检具上对校准件（或高精度工件）进行多次测量，求出算术平均值 \bar{x}_1 ；然后按该算术平均值组合的量块代替被测件放在检具上，再以同样的条件和同样的次数 n 进行测量，求出算术平均值 \bar{x}_2 。若 \bar{x}_2 未超出 \bar{x}_1 的极限误差，即 $(\bar{x}_1 - \Delta_{\text{lim}x_1}) < \bar{x}_2 < (\bar{x}_1 + \Delta_{\text{lim}x_1})$ ，则可认为不存在明显的定值系统误差；若超出上述范围，则前后两次平均值之差 $(\bar{x}_2 - \bar{x}_1)$

即为定值系统误差。

例如，如果对工件的测量平均值 $\bar{x}_1 = 38.035\text{mm}$ ，极限误差 $\Delta_{\text{lim}x_1} = \pm 3\mu\text{m}$ ；而对尺寸为 38.035mm 的量块组在同样条件下的测量平均值 \bar{x}_2 在 $38.035 \pm 0.003\text{mm}$ 范围内，说明这时无明显定值系统误差。如果 $\bar{x}_2 = 38.040\text{mm}$ ，而 $38.040 - 38.035 = 0.005 > 0.003\text{mm}$ ，即 38.040 已大于 $(38.035 + 0.003)\text{mm}$ ，说明有定值系统误差，其值为 $38.040 - 38.035 = 0.005\text{mm}$ ，检具的修正值为 0.005mm 。

对于不能用组合量块在检具上代替校准件的检具，为确定其系统误差则应视具体情况采用其他方法。例如对于检验工件表面圆跳动的检具，可在检具上对工件测量后，再在精度高的测量仪器上（例如圆度仪或坐标测量机）测量，两种方法测得值之差就是检具的系统误差。

3. 随机误差的确定 在检具不存在或已排除显著系统误差的情况下，再确定其随机误差。

确定检具的随机误差主要是确定其示值的分散性，为此在检具上对校准件（或精度高的工件）进行多次测量，可得到各次测量值 x_i 和算术平均值 \bar{x} ，然后计算出在检具上单次测量工件时的标准偏差（ x_i 的均方根误差）为

$$\sigma_{\text{具}} = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

对于新制造的检具，一般每个参数重复测量次数可取 $n = 15 \sim 25$ ，对于较简单的检具也可取 $n = 10 \sim 20$ 。

为确定在检具上测量的稳定性，应进行 $2 \sim 3$ 次抽样（每次抽样重复测量次数为 n ）。在第一次抽样求出标准偏差 $\sigma_{\text{具}}$ 后，先将校准件取下，再按同样条件重新装到检具上，重复 n 次测量，第二次求出 $\sigma_{\text{具}}$ 。同样可进行第三次安装测量。这时可得到下列数据：

三组抽样的测得值分别为

$$x_{1-1}, x_{1-2}, x_{1-3}, \dots, x_{1-n}$$

$$x_{2-1}, x_{2-2}, x_{2-3}, \dots, x_{2-n}$$

$$x_{3-1}, x_{3-2}, x_{3-3}, \dots, x_{3-n}$$

三组抽样中各次测得值的最大分散性为

$$v_1 = x_{1\text{max}} - x_{1\text{min}}$$

$$v_2 = x_{2\text{max}} - x_{2\text{min}}$$

$$v_3 = x_{3\text{max}} - x_{3\text{min}}$$

最大分散性 v_{max} 值与检具的复杂程度有关，通常对简单的检具， $v_{\text{max}} = 5 \sim 7\mu\text{m}$ ；对中等复杂的检具， $v_{\text{max}} = 6 \sim 10\mu\text{m}$ ；对复杂程度高的检具， $v_{\text{max}} = 6 \sim 14\mu\text{m}$ 。

三组抽样被测尺寸平均值分别为 \bar{x}_1 、 \bar{x}_2 和 \bar{x}_3 ；三组抽样求出的标准偏差 $\sigma_{\text{具}}$ 分别为 σ_1 、 σ_2 和 σ_3 。

对于设计合理和调整质量好的检具应有下列关系。^[2]

1) 测得值分散范围的稳定性，以系数 K_v 表示，若 v_1 值最大，则 $K_v = v_1/v_2$ （或 v_1/v_3 等），应不大于 $1.25 \sim 1.5$ 。

2) 算术平均值的稳定性以系数 q 表示， $q = (\bar{x}_{\text{max}} - \bar{x}_{\text{min}}) / T$ （ T 为被测尺寸公差），对被测尺寸精度等级 $\leq \text{IT}7$ ， $q = 0.01 \sim 0.03$ ；对被测尺寸精度等级 $\geq \text{IT}8$ ， $q = 0.02 \sim 0.05$ 。

3) 标准偏差 $\sigma_{\text{具}}$ 的稳定性以系数 K_{σ} 表示, 若 σ_1 值最大, 则 $K_{\sigma} = \sigma_1 / \sigma_2$ (或 σ_1 / σ_3 等)。被测尺寸精度等级 $\leq IT7$, K_{σ} 应不大于 1.25 ~ 1.3; 被测尺寸精度 $\geq IT8$, K_{σ} 应不大于 1.35 ~ 1.5。

K_{σ} 、 q 和 K_{σ} 的稳定性是互相关联的, 如果这些数值不稳定, 则应对产生随机误差的原因进行分析, 例如定位部件的刚性, 各种元件的紧固状态, 夹紧力和测量力是否适当, 定位面的加工质量等。经过调整和修研, 一般都能使其稳定性达到要求。若经仔细调整, 稳定性仍达不到要求, 则应考虑检具设计和制造是否有问题。

4. 确定检具的精度 检具的精度是其系统误差和随机误差的综合反映, 如果未排除明显的系统误差 Δ , 则检具的示值误差为

$$\Delta_{\text{lim具}} = \Delta \pm 3\sigma_{\text{具}} \quad (\text{按可信度 } 99.7\%)$$

一般系统误差在很大程度上可在调整检具时设法消除其影响或从测量结果中剔除, 在这种条件下检具的示值误差将主要由随机误差确定, 这时检具的示值误差 (测量极限误差) 为

$$\Delta_{\text{lim具}} = \pm 3\sigma_{\text{具}}$$

$\Delta_{\text{lim具}}$ 应小于设计时估算的 Δ_{lim} 值, 其值占被测参数公差值的百分比应符合表 6-2 或表 6-3 的规定。

在调整和检定检具过程中, 应将有关数据记录在周期检定卡上, 供以后周期检定检具时对比和参考。

下面举例说明检具精度的确定。

测量直径为 $\phi 50^{+0.03}_0$ 的孔 (相当于 7 级精度) 所得到的原始和计算数据列于表 9-1。

表 9-1 检测数据 (mm)

序 号	第一次抽样			序 号	第二次抽样		
	直径值 x_i	平均 直径 \bar{x}	标准 偏差 σ_1		直径值 x_i	平均 直径 \bar{x}	标准 偏差 σ_2
1	50.023	50.0254	0.00171	1	50.024	50.0244	0.0016
2	50.024			2	50.025		
3	50.026			3	50.022		
4	50.027			4	50.026		
5	50.025			5	50.024		
6	50.027			6	50.025		
7	50.025			7	50.026		
8	50.028			8	50.024		
9	50.026			9	50.025		
10	50.023			10	50.023		

从两次抽样测得的直径值可计算出尺寸分散性稳定系数 K_{σ} ,

对第一次抽样 $v_1 = x_{\text{max}} - x_{\text{min}} = (50.028 - 50.023) \text{ mm} = 0.005 \text{ mm}$

对第二次抽样 $v_2 = (50.026 - 50.022) \text{ mm} = 0.004 \text{ mm}$

$$K_v = v_1/v_2 = 1.25$$

算术平均值分散性系数为

$$q = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / T = [(50.0254 - 50.0244) / 0.03] = 0.033$$

标准偏差稳定性系数为

$$K_\sigma = \sigma_1/\sigma_2 = (1.71/1.6) = 1.07$$

由 K_v 、 q 和 K_σ 值可知，测量是稳定的。

测量直径时可消除系统误差，所以测量示值误差为 $\Delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma_1 = \pm 5\mu\text{m}$ 。

检具测量极限误差与工件孔公差之比为 $(0.005/0.030) = 17\%$ ，小于表 6-2 规定的 7 级孔的测量精度系数 (30%)。

5. 检具的标准偏差 $\sigma_{\text{具}}$ 与检具各组成部分标准偏差 σ_a 、 σ_b 、 σ_c 等的关系

$$\sigma_{\text{具}} = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_c^2 + \dots}$$

同样 $\Delta_{\text{lim具}} = \sqrt{\Delta_{\text{lima}}^2 + \Delta_{\text{limb}}^2 + \Delta_{\text{limc}}^2 + \dots}$ ($\Delta_{\text{lim具}}$ 和 Δ_{lima} 等分别是检具总的和各组成部分的极限误差)。

所以当已知检具各组成部分的误差时，也可计算出检具总的误差。

9.2 检具测量部分调整的有关问题

在检具调整工作中，主要是测量部分的调整，现对比较常见的有关问题介绍如下。

1. 调整采用百分表等机械式指示仪表的检具应注意的事项

1) 调整检具测量部分之前应检查仪表是否夹牢，为此可检查仪表示值的重复性。例如对于百分表，可通过多次提拉和放下其测杆，观察测杆与被测表面接触时示值的重复性。当夹持百分表杆部时，夹紧力也不能过大，以免卡住测杆。

2) 用杠杆百分表或千分表检定检具时，应尽可能使测杆轴线垂直于被测尺寸的方向，若测杆轴线与被测尺寸方向不垂直，则应考虑对测量结果进行修正。

3) 测量部分的弹簧力应适当。弹簧在机构中的压缩或拉伸应自如，不允许被其他零件卡住（例如压缩弹簧被在中间的外螺纹件卡住），应从设计上防止发生这种情况，否则将严重影响测量精度。

4) 百分表和千分表应有 0.3~1mm 的预压量，以保持一定测量力。

2. 采用气动量仪检具测量部分的调整 气动量仪最后的调整应按与其配套的气动测头进行。在很多情况下，气动测头又需要按气动量仪修磨，为此必须先用其他辅助测量工具调整气动量仪。虽然辅助测量工具与气动测头有相似性，但仍有小的差别，所以待气动测头调整修磨完毕，必须再用气动测头调整气动量仪，之后气动测头才能检验工件。

(1) 在调整气动测头之前应检查压缩空气供气系统的完整性，管路不应有漏气现象。其次应调整量仪的倍率。

气动量仪在出厂前已经调试合格，但在与用户气路系统接通后仍须进行倍率调整，才能投入使用，这点与一般机械式仪表的使用不同。

如图 9-1 所示，可用块规 2 放在带轴向气动测头 3 的测量台架 1 上（例如中原量仪厂生产的 PCT-100C 型）调整量仪倍率，即通过更换不同厚度的块规改变间隙 S 来调整量仪；

也可采用专用校对块规代替块规，例如对于中原量仪厂生产的 QFP2000 倍浮标式气动量仪可采用图 9-2 所示的专用校对块。

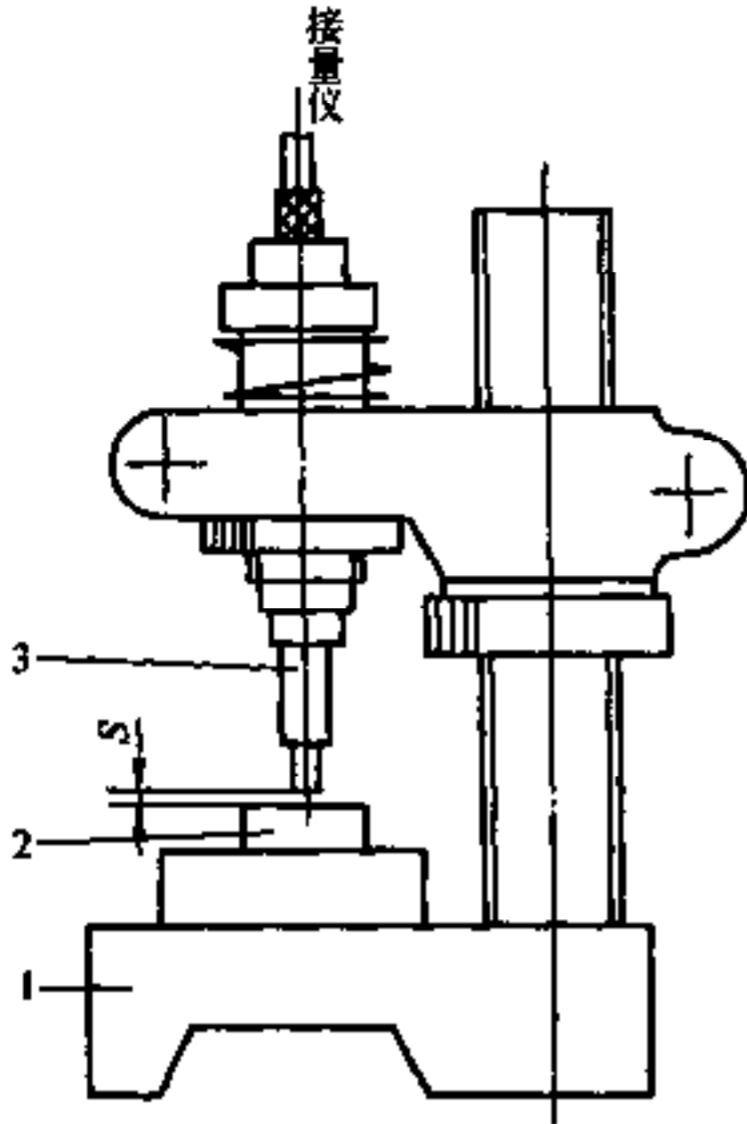


图 9-1 用测量台架和块规
调整气动量仪

1—台架 2—块规 3—测头

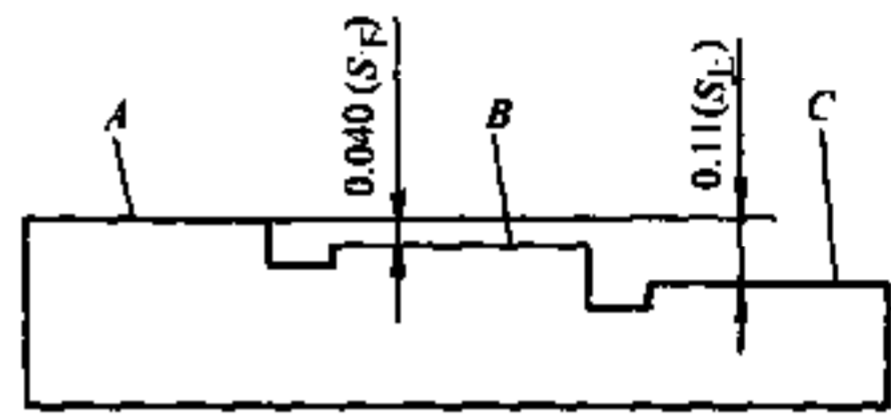


图 9-2 2000 倍浮标气动量仪校对块

2000 倍浮标式气动量仪的刻度情况如图 9-3 所示。

现以 2000 倍浮标量仪为例说明其校对块尺寸的确定和使用。2000 倍浮标量仪的上下基准点位置分别为“+40”和“-30”；气动塞规每个喷嘴的下沉量为 $(0.01 \sim 0.02)$ mm，取平均值 0.015 mm，塞规两个喷嘴总的下沉量为 0.03 mm。由于通用气动轴向喷嘴不取下沉量，所以当 $S = 0.03$ mm 时，量仪示值应为刻度值下限（“-40”），因此为使浮标指示在下基准点（“-30”）， $S_{下}$ 应为 0.04 mm（图 9-2）；为使浮标指示在上基准点（“+40”）， $S_{上}$ 应为 0.11 mm。

调整量仪倍率时，先将校对块的 A 面放在喷嘴下面，使喷嘴端面与校对块 A 面轻轻接触（没有间隙），并紧固气动轴向测头。然后将校准块的 B 面移到喷嘴下面，通过调整量仪零位螺钉使浮标指示在“-30”位置。再将校对块的 C 面移到喷嘴下面，浮标应指示在“+40”位置，如果不在“+40”位置，则调整倍率螺钉使浮标指示在“+40”位置。然后再将校对规 B 面移到喷嘴下面，浮标位置应仍在“-30”位置，如果不在“-30”位置，再调整倍率螺钉使浮标指示在“-30”位置。反复数次上述操作，必要时辅以零位螺钉的调整，使浮标稳定地指示在“-30”和“+40”的位置。

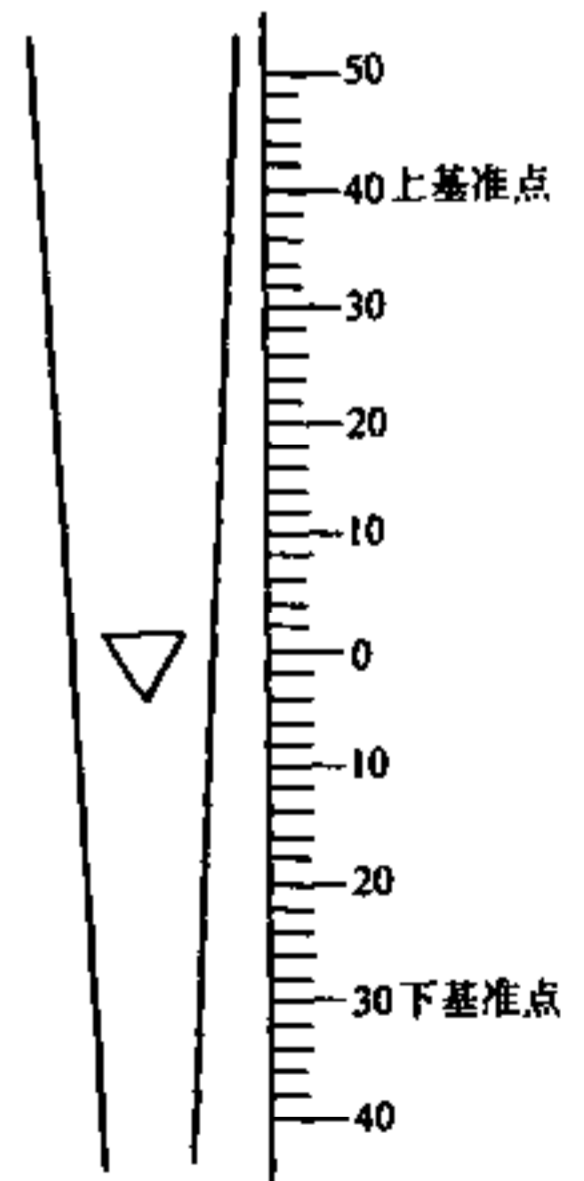


图 9-3 2000 倍浮标式
气动量仪的刻度

也可用微动测量台架（例如中原量仪厂生产的 BCT-5 型）代替块规调整气动量仪的倍

率，其测量精度在 0.01mm 内不大于 $\pm 0.00012\text{mm}$ 。使用应注意：在调整微分装置刻度时要注意消除由于螺纹副间隙而产生的误差，需要反转时必须多转过一些；使用时在工作台面上放上一块规或其他两平面平行的垫块，以防止工作台面磨损和划伤，或由于喷嘴孔喷出的油水使台面生锈。

(2) 气动测头的调整和修磨 采用气动量仪的检具，其测量部分的调整主要是对气动测头的调整和修磨，现以气动塞规为例说明这个问题。气动塞规修磨的主要工作如下。

1) 修磨喷嘴下沉量 一般气动塞规的下沉量需要在调整时手工修磨出。在修磨下沉量前，应检查其气路是否畅通，用油石除去排气槽边上的小毛刺，并用金相砂纸抛光，以防止划伤校对环规。

用 $5\text{mm} \times 5\text{mm} \times 100\text{mm}$ 300° 的精磨油石修磨下沉量，在油石工作端磨出三个斜面。两喷嘴的下沉量应修磨一样，并按规定的最大值留有一定余量，以便在以后消除塞规位置度误差时继续修磨。下沉量的大小可用机械方法测量，将塞规放在 V 形块上，V 形块放在测量台架上，通过与外圆表面比较测量下沉量；也可利用检具所用的气动量仪测量下沉量，测量时先将下限校对环规紧靠在塞规有被测喷嘴一侧外圆的表面上，调整量仪零位螺钉使量仪指示在某一位置，然后捏紧进气软管，量仪示值的变化就是喷嘴下沉量。

2) 修磨喷嘴孔的倒角 在一般工艺条件下，使加工出的各喷嘴孔直径相同，有一定困难。有时可制造较多的喷嘴，然后从中挑选出直径相差在允许范围内的两个喷嘴。但这种方法成本高也不方便，更不适合测量喷嘴与塞规一体的情况。可用开槽铸铁研磨棒对喷嘴孔进行研磨，以使各喷嘴孔直径相同，但这种方法效率较低。在喷嘴上倒角以使各喷嘴作用直径一致的方法，由于效率高而获得广泛的应用。

首先用硬质合金钻头 (90° 、 60° 或 120°) 手工修倒角，再用头部磨成锥体 (角度与钻头相等) 的圆柱油石修光，最后用 M5 金相砂纸抛光倒角和喷嘴端面。倒角修磨的大小根据需要而定，一般在 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 范围内。如果两喷嘴直径相等，可不修磨倒角；如果两喷嘴直径差超过允许值，则应在直径较大的孔上倒较小的角，在直径较小的孔上倒较大的角。开始修磨时要小些，达到两孔一致即可，为在修磨塞规位置度时留有继续修磨的余量。

修磨倒角与下述消除两喷嘴孔位置度误差的工作应结合进行，并用与塞规配套使用的气动量仪来确定两喷嘴测量特性的一致。

3) 气动塞规两喷嘴位置度误差的修磨 气动塞规有位置误差的原因是：气动塞规的制造误差，例如外径和喷嘴孔的公差，两喷嘴孔直径的差异，两喷嘴孔轴线对外径轴线的垂直度和对称度误差；下沉量和倒角修磨不适当等。

为消除或减小位置误差，可在操作时使气动塞规与校对环规和工件的相对位置保持一定，但在批量生产检验中不适用；也可从设计结构上使两者位置保持不变，但由于存在缺点，所以也很少采用。例如如果采用弹簧机构消除间隙，安装工件时易划伤被测表面，塞规磨损也较快。

通常为消除气动塞规的位置误差，必须对其修磨，使气动塞规在不同位置时的测量特性趋于一致，将位置误差降到允许的程度。

气动塞规与校对环规处于校对工作状态时，其相对位置有图 9-4 所示的几种情况：当两者轴线平行时有四种位置，即位置 I、II、III 和 IV；当两者轴线不平行时有两种位置，即位置 V 和 VI。其中位置 I 喷嘴 A 朝上，喷嘴 B 朝下；而位置 II 与位置 I 刚好相反。位置 III 喷

嘴 A 朝左，喷嘴 B 朝右；而位置 IV 刚好与位置 III 相反。应说明，以上各位置除喷嘴位置不同外，校对环规也同步回转，以保持两喷嘴 A 和 B 与所对应的校对环规上的被测点的位置不变，以保持同样的测量条件。

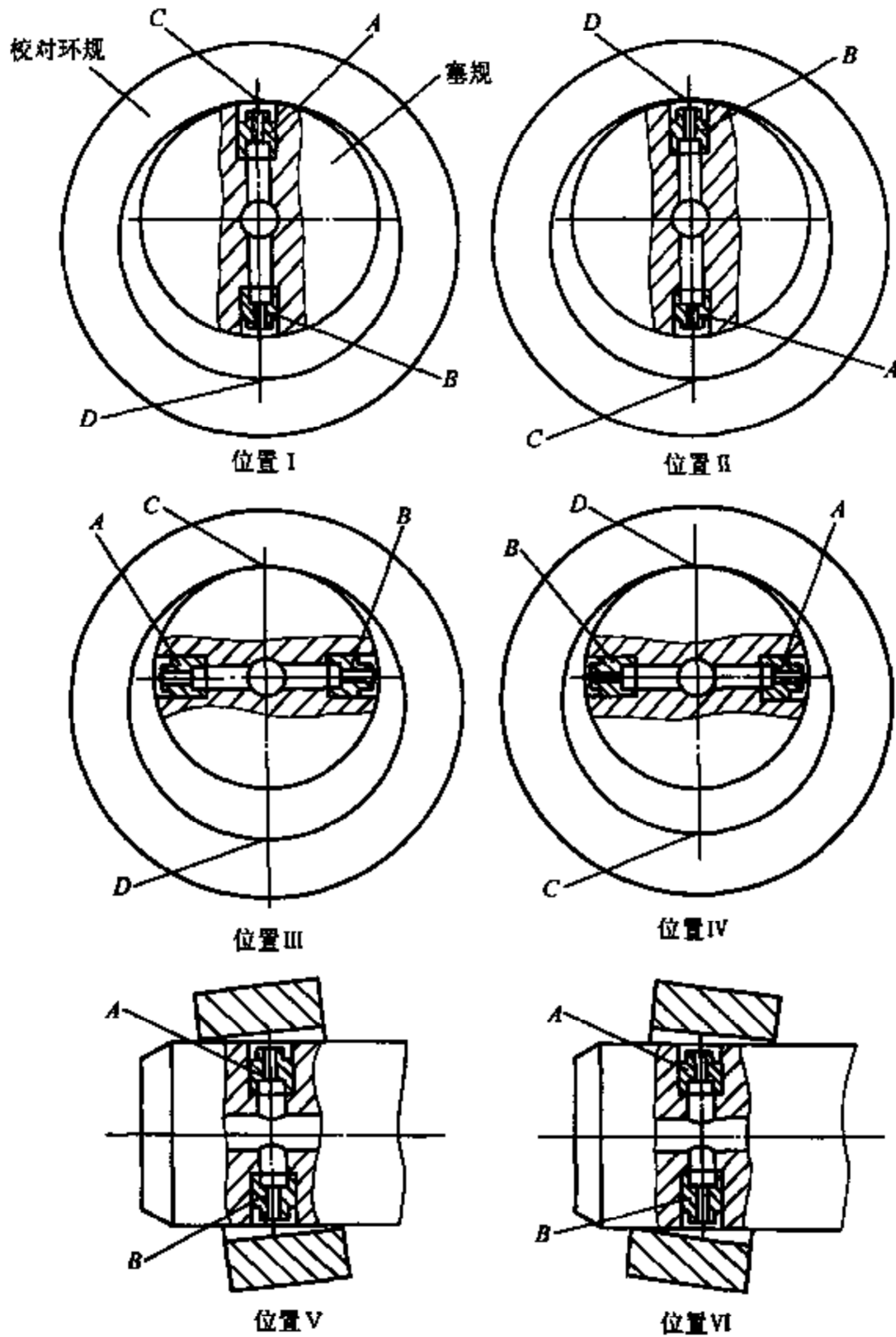


图 9-4 气动塞规与校对环规的相对位置

在修好喷嘴下沉量和修磨喷嘴倒角后，用上、下限校对环规调整量仪的倍率，后用上限校对环规消除喷嘴位置误差。

① 消除塞规两喷嘴处于垂直位置时的误差。当两喷嘴在位置 I 和 II 时量仪的示值差超过表 9-2 规定的允许值时，应修磨相应喷嘴的倒角；如果两喷嘴在位置 II 时的量仪示值小于在位置 I 时的示值，则应适当修大喷嘴 A 的倒角；相反，则应修大喷嘴 B 的倒角。一直修磨到两喷嘴在位置 I 和 II 时量仪的示值差在允许值内，但倒角值不超过最大值。

② 消除塞规两喷嘴处于水平位置时的误差。当两喷嘴在位置 III 和 IV 时量仪的示值差超过允许值时，应修磨喷嘴的半圆倒角；如果两喷嘴在位置 III 时量仪的示值小于在位置 IV 时的

示值, 则应按位置Ⅲ适当修大两喷嘴孔的下半圆倒角; 相反, 如果两喷嘴在位置Ⅲ时量仪的示值较大, 则应按位置Ⅲ适当修大两喷嘴孔的上半圆倒角。一直修到两喷嘴在位置Ⅲ和Ⅳ时量仪的示值差在允许值内, 但倒角值不超过最大值。

表 9-2 位置度示值允许误差 (mm)

最大测量范围	喷嘴在不同位置时示值允许误差
>0.05	0.004
≤0.05	0.002
≤0.025	0.001
≤0.01	0.0005

③ 消除塞规两喷嘴在位置Ⅰ和位置Ⅲ时的误差。在消除塞规两喷嘴在位置Ⅰ和Ⅱ时的位置误差时, 应兼顾消除两喷嘴在位置Ⅰ和Ⅲ时的位置误差。

由于两喷嘴在位置Ⅰ和Ⅱ时的测量间隙总是比两喷嘴在位置Ⅲ和Ⅳ时的测量间隙大, 在未修喷嘴下沉量前, 两喷嘴在位置Ⅰ和Ⅱ时量仪的示值总是大于两喷嘴在位置Ⅲ和Ⅳ时量仪的示值, 这是正常现象。

若塞规已修下沉量, 并已消除两喷嘴在位置Ⅰ和Ⅱ的位置误差, 如果两喷嘴在位置Ⅲ时量仪的示值仍小于两喷嘴在位置Ⅰ时的量仪的示值, 其差值大于表 9-2 的规定值, 则说明下沉量偏小, 应适当修大两喷嘴的下沉量, 但必须保证修磨量在允许范围内。

在调整气动塞规过程中, 两喷嘴在位置Ⅲ时量仪的示值不能大于两喷嘴在位置Ⅰ时量仪的示值, 实际调整时应注意这点。

若两喷嘴在位置Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ时量仪的示值相同, 而在位置Ⅳ时量仪的示值较小, 则应按位置Ⅳ适当修大两喷嘴孔下半圆倒角; 相反, 如果两喷嘴在位置Ⅳ时量仪的示值较大, 则应适当修大两喷嘴 (按位置Ⅳ) 上半圆倒角。

若两喷嘴在位置Ⅲ、Ⅳ和Ⅰ时量仪的示值相同, 而在位置Ⅱ时量仪的示值较小, 则应按位置Ⅱ适当修大上喷嘴 B 的下沉量, 如果达不到要求, 再适当修大该喷嘴的倒角; 相反, 如果在位置Ⅱ时量仪的示值较大, 则应适当修大喷嘴 A (按位置Ⅱ) 的下沉量, 或同时适当修大该喷嘴的倒角 (但都不超过最大值)。

④ 消除气动塞规在校对环规中倾斜时的位置度误差。当塞规两喷嘴在位置Ⅴ和Ⅵ时 (见图 9-4) 量仪的示值差超过表 9-2 的规定时应进行修磨。如果两喷嘴在位置Ⅴ时量仪的示值较小, 则应按位置Ⅴ适当修大喷嘴 A 的孔右半圆倒角和喷嘴 B 的孔左半圆倒角; 相反, 如果两喷嘴在位置Ⅴ时量仪的示值较大, 则应按位置Ⅴ适当修大喷嘴 A 的孔左半圆倒角和喷嘴 B 的孔右半圆倒角, 注意不能超过最大值。

4) 按调整好的气动塞规用上、下限校对环规调整量仪, 对上、下限尺寸定标后, 即可投入使用。

(3) 气动测头调整的几点说明

1) 在没有测微台架等工具条件下, 如果已知校对环规和气动塞规各相关尺寸 (包括直径尺寸和下沉量等), 也可直接用校对环规和气动塞规调整量仪的倍率。采用这种方法时, 所用的已知相关尺寸必须经精密测量。

2) 气动测头的修磨是一项细微的工作, 修磨量很小, 修磨时用修磨工具与喷嘴端面或孔边接触一次到几次。气动测头的各种位置误差互相有关, 实际修磨时应综合考虑, 对某一

测头并不一定同时存在上述各种位置误差。

3) 还应说明, 保证气动测头的制造精度是减少其修磨工作的有效途径。例如对图 7-81 所示的气缸套内孔检具, 其气动塞规的直径为 70~130mm, 由于直径较大, 有些位置度误差影响较小。另外, 由于塞规上安装喷嘴的孔是在镗床上加工的, 位置精度高; 喷嘴孔经钻、铰和研磨, 所采用的气电量仪测量间隙大 (0.15~0.25mm), 环形下沉量是在磨床上磨出的, 所以在调整多个塞规的工作中, 除只对个别塞规的喷嘴孔修磨倒角外, 无需其他修磨工作。

3. 采用电感量仪检具测量部分的调整 以采用通用的电感量仪为例来说明, 专用量仪的调整则按其说明书进行。

(1) 对于新制造检具第一次使用的电感量仪, 在调整检具测量部分之前, 首先应检查和调整量仪的零位、平衡和倍率。新出厂的电感量仪, 各项指标均能达到要求, 但在使用前也应检查。检查和调整量仪可用块规放在带电感测头的测量台架上进行; 也可用微动测量台架进行。现以中原量仪厂生产的 DGB-4 型电感量仪 (图 9-5) 为例说明量仪的检查和调整 (用块规和测量台架)。

1) 零位的检查和调整

① 在接通电源前, 仪表指针应指零, 如有偏离用机械调零螺钉 1 调整, 使指针指零。这时将开关 7 置于“关”的位置。

② 将选择开关 8 置于位置“A”, 将调零旋钮 4 转到中间位置, 并将选择开关 7 置于“300”位置上, 此时接通电源。

选择二组厚度相差 $20\mu\text{m}$ 的基准块规, 先后放在测量台架上 (图 9-6), 并将在检具上所用的电感测头 A 紧固在测量台架上, 并与量仪插座 10 相连 (图 9-5)。使电感测头的测杆触头与块规接触, 这时测杆的行程应处于中间位置附近 (以后不再重复), 这是因为电感测头的测量范围没有机械仪表那样大。

调整台架的支臂升降螺母, 使量仪指针指在刻度范围内, 调整电感测头 A, 使量仪指针指在零刻线附近; 然后将量仪量程开关 7 置于所需要的档位上, 用调零旋钮 4 将指针准确对零。

2) 平衡的检查和调整 当使用量仪两个和两个以上的量程时, 需要做此项工作。例如检具使用“10”和“30” (表示 $10\mu\text{m}$ 和 $30\mu\text{m}$) 两个量程, 检查的方法是: 在调好“10”档位的零位基础上, 再将量程开选择开关 7 置于“30”档位上, 指针也应指零。

① 如果指针不指零 (偏移值超过 $1/4$ 刻度), 则应打开侧盖板 16 (图 9-5), 调整平衡电位器 P, 将指针调过零位约为原偏移值 $1/3$ 处。例如指针原从零位向负方向偏移 1 个刻度, 则将指针调到从零位正向正方向偏移 $1/3$ 刻度处。

② 将开关 7 拨回“10”档位上, 用调零旋钮 4 将指针对准零位。

③ 再将开关拨到“30”档位上, 观察指针是否指零, 如果仍有偏移, 重复上述①和②两项操作, 直到符合要求为止。

3) 倍率的检查和调整 可按检具所选用的测量档位进行此项工作, 但一般只要调好“10”档位的倍率, 其他各档的倍率也都可达到要求, 所以通常在“10”档位上检查和调整倍率。检查倍率应在量仪的零位和平衡检查后进行。

① 将开关 7 置于“10”档位上, 按厚度较小的一组块规使量仪指针对准“-10”的刻线。

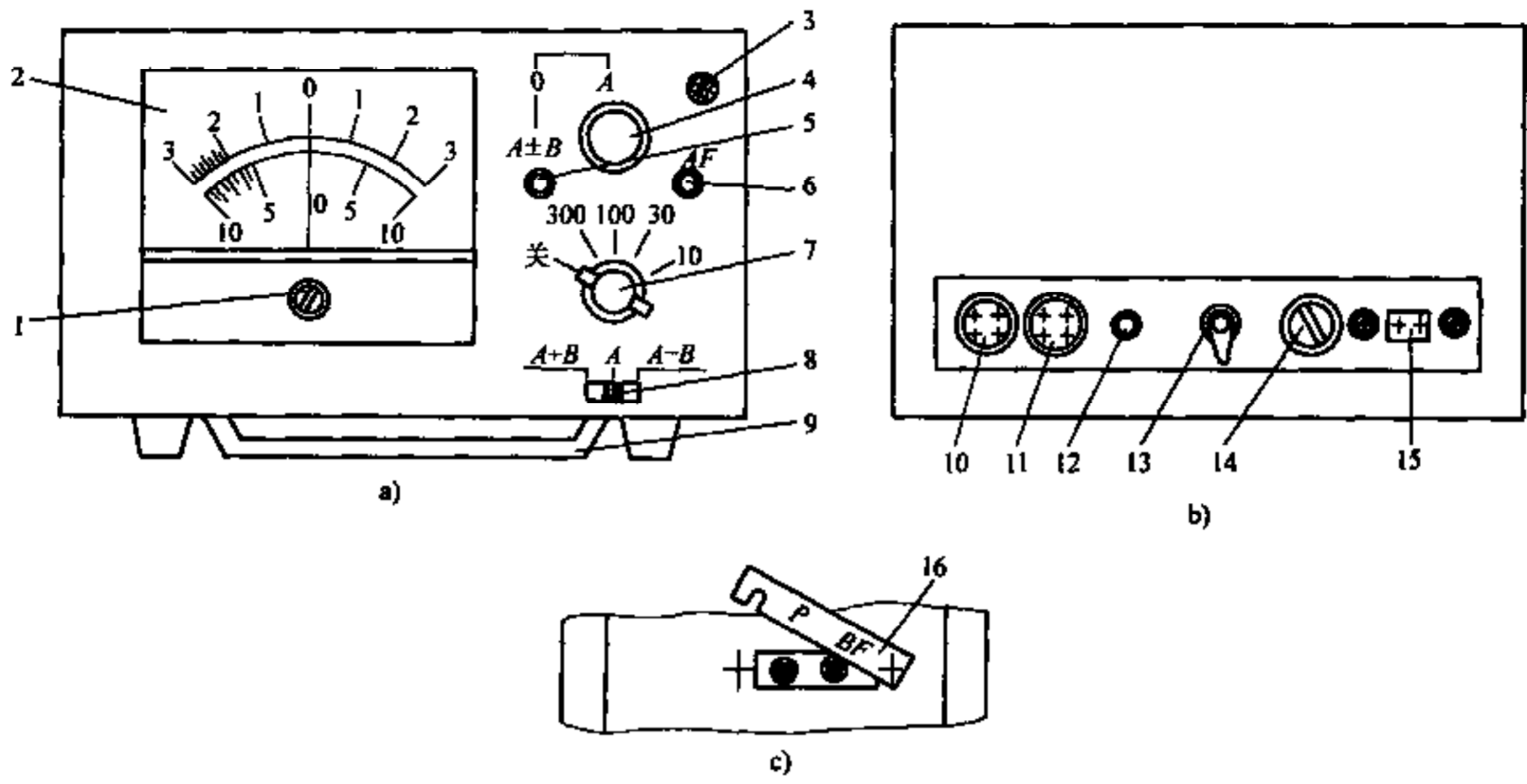


图 9-5 DGB-4 型电感量仪外观简图

a) 正面 b) 反面 c) 侧面

- 1—指示表机械调零螺钉 2—指示表 3—电源指示灯 4—测头 A
- 调零旋钮 5—和差演算调零电位器 ($A \pm B$) 6—测头 A 倍率调整
- 电位器 (AF) 7—量程选择开关 8—测量选择开关 9—支架
- 10—测头 A 插座 11—测头 B 插座 12—输出信号插座 13—指
- 示表断路开关 14—熔断器 15—电源插座 16—侧盖板

② 取下测量台架上的块规，换上另一组厚度大 $20\mu\text{m}$ 的块规，指针应指在“+10”的刻线，如有偏离则转动倍率调整器 6 (AF, 图 9-5) 将指针调到 $1/2$ 偏移值的位置。例如指针向左偏一个刻度，则调整到向左偏半个刻度处。

③ 再换上原来的一组块规，使量仪指针对准“-10”的刻线。

④ 重复②和③两项操作，直到指针在“-10”和“+10”的刻度上都能对准。

4) 示值误差的检查 在平衡和倍率调整好后才可进行。示值误差应符合说明书的规定。应检查满量程即从负满刻度到正满刻度。例如对于量程为 $\pm 30\mu\text{m}$ 可检查七点，上、下限和每隔 $10\mu\text{m}$ 一点；对于量程为 $\pm 100\mu\text{m}$ 可检查五点，上、下限和每隔 $50\mu\text{m}$ 一点，并用相应精度的块规检查。

5) “和” ($A + B$) 测量的检查和调整 上述各项调整是按测头 A 进行的，这时只能进行单个尺寸的测量，为进行“和”测量，在按测头 A 调好平衡和倍率后，再按下述方法调整 (图 9-7)，并假设检具“和”测量范围在 $\pm 30\mu\text{m}$ 范围内。

① 在另一测量台架上装上检具用的另一电感测头 B，并与测量插座 B 相连，在测头 B 下放上块规组。将开关 7 (图 9-5) 置于“30”档位上，按测头 A 下的基准块规组使量仪指针对零 (这时开关 8 仍处于位置“A”)。

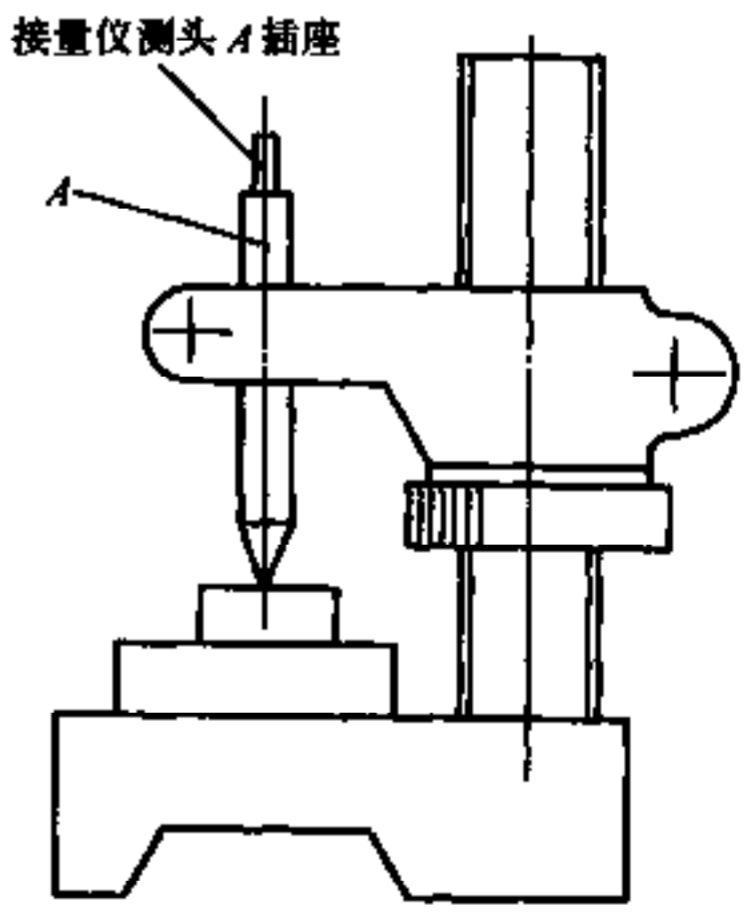


图 9-6 单尺寸测量的调整

② 将开关 8 置于“ $A+B$ ”位置上，此时指针一般偏离零位，调整测头 B 的位置使指针回到零位附近，再用和差演算电位器 5 精调使指针对准零位，这时记下两测头下块规组的厚度值。

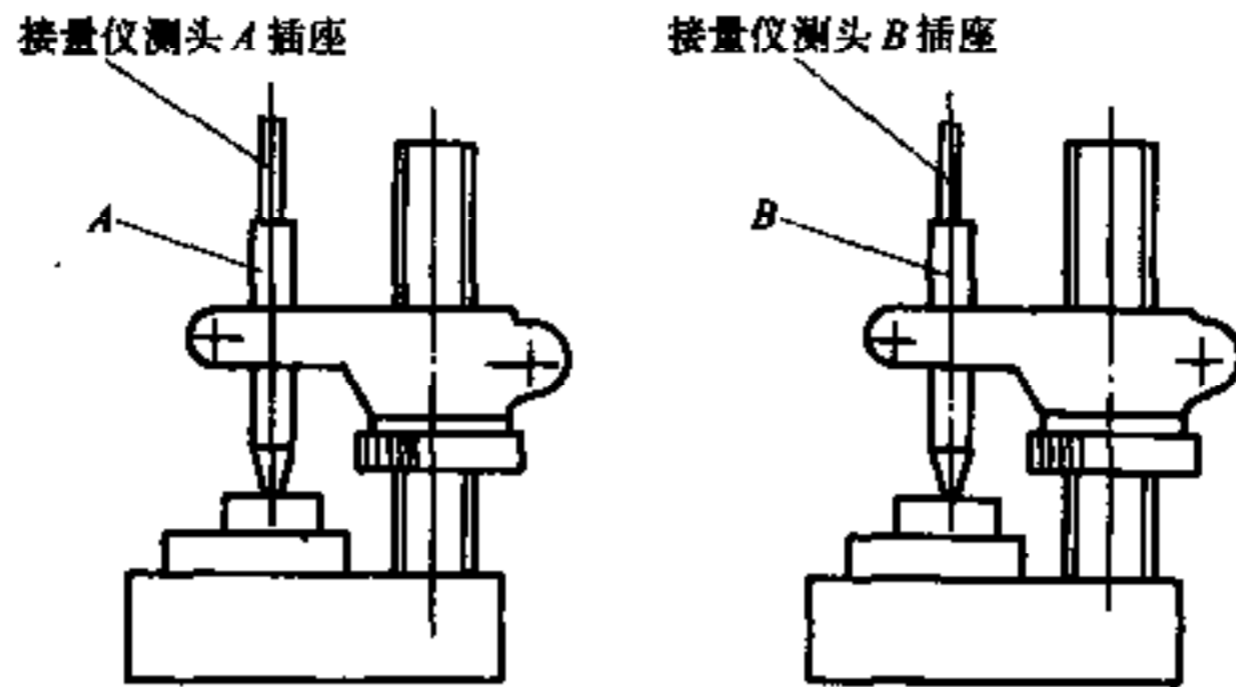


图 9-7 “和”“差”测量的调整

③ 转动量仪电位器 5 使指针对准“-30”的刻线，将测头 B 下的块规组取下，换上厚度比原来大 $60\mu\text{m}$ 的块规组，则指针应指在“+30”的刻线上。如果有偏移，则打开盖板 16 (图 9-5)，调整测头 B 倍率调整电位器 BF，使指针调回偏移值的 $1/2$ ，再换上原来的块规组，用电位器 5 使指针对准“-30”的刻线。如此反复调整，直到指针均能对准“-30”和“+30”的刻线为止，这时说明测头 B 的倍率已调好。

④ 换上原始零位时在两测头下的基准块规组，用电位器 5 使指针回到零位。更换两测头下的块规组：测头 A 下块规组的厚度增大 $200\mu\text{m}$ 和测头 B 下的块规组减小 $200\mu\text{m}$ ；测头 A 下块规组的厚度减小 $200\mu\text{m}$ 和测头 B 下的块规组增大 $200\mu\text{m}$ 。对这两种情况，指针对零位的偏移不超过 $3.5\mu\text{m}$ ，否则应重新检查两测头的各自倍率。

“差”($A-B$) 测量的调整与“和”测量的调整方法基本相同。

(2) 在电感量仪经上述检查和调整后，即可用于测量工件，在测量前应对检具测量部分进行调整。

① 单个尺寸的测量 将电感测头紧固在检具上，并与量仪插座 A 相连，将开关 8 (图 9-5) 置于位置“A”，将开关 7 置于所需要的量程档位（根据工件被测尺寸的公差决定），接通电源。用公差值为中间值的校准件放在测头下面，使测头与工件被测表面接触，用测头 A 的调零旋钮 4 精确调零，检具即可投入使用。

② “和”($A+B$) 测量 图 9-8 是用两电感测头 A 和 B 测量工件外圆直径的检具示意图。工件以 V 形定位，调整时用公差为中间值的校准件，量程按被测直径的公差确定。

电感测头 A 和 B 分别与量仪插座 A 和插座 B 相连，先将开关 8 置于位置“A”，此时调整测头 A 在检具上的位置，使测杆与校准件接触，同时调整测头 A 的调零旋钮 4，使量仪指针对零；再将开关 8 置于“ $A+B$ ”位置，调整测头 B 的位置并同时调整电位器 5，使量仪指针对零。通过以上调整，检具即可投入使用。

③ “差”($A-B$) 测量 图 9-9 是尺寸 h 检具示意图。工件以底面定位，通过测量尺寸 ($H_1 - H_2$) 来确定尺寸 h 是否合格。调整时用厚度为 H_1 和 H_2 的校准件，量程按工件尺寸 H_1 和 h 的公差之和来确定。

在开关 8 处于位置“A”时，用厚度为 H_1 的校准件将测头 A 调好零位后，将开关 8 置

于“ $A-B$ ”位置，用厚度为 H_2 的校准件调整测头 B ，使量仪指针对零，然后检具即可投入使用。

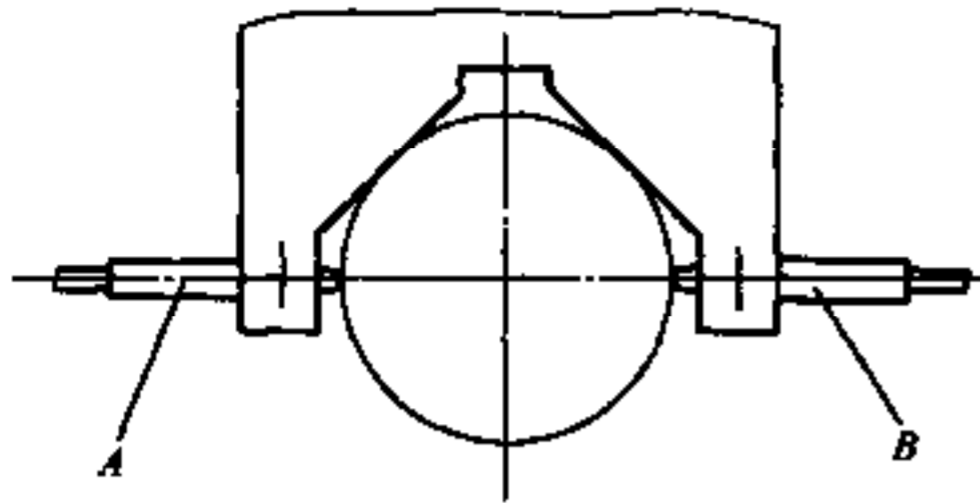


图 9-8 “和” ($A+B$) 测量

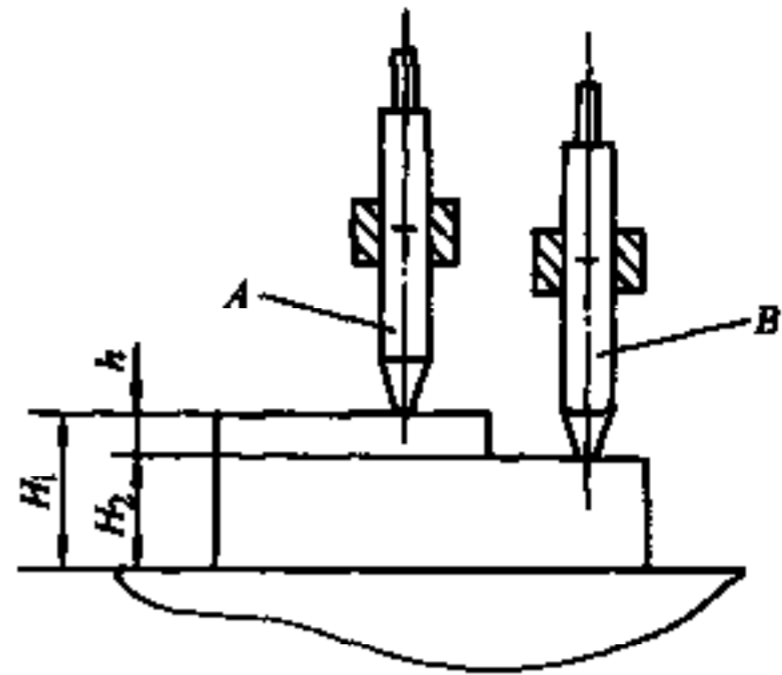


图 9-9 “差” ($A-B$) 测量

(3) 采用电感量仪的检具应注意的问题和有关说明

① 检具应远离磁场，使用前量仪应预热。

② 电感测头的紧固力必须适当，既要牢靠，又要避免其测杆卡住和损坏，并不得受冲击。

③ 电感测头的插座位置必须注意，不能在测量选择开关处于“ $A \pm B$ ”的情况下，拔去测头 B 用测头 A 进行单个尺寸的测量，单个尺寸测量时测量选择开关必须处于位置“ A ”。和差测量时必须先在位置“ A ”调整测头 A ，再在位置 ($A \pm B$) 调整测头 B ，而不能直接在位置“ $A \pm B$ ”调整。

④ 在有些情况下，也可利用检具调整电感量仪。上面介绍的用公差为中间值的校准件调整量仪的零位，也可用上、下限校准件调整量仪。

⑤ 当在一台检具上使用多个电感测头时，这些测头在检具上的工作位置应相对固定，重新安装时应注意。

9.3 检具的使用

检具调整好后，即可投入使用，在使用中应注意下列事项。

1. 检具是专用测量工具，应由检验计量部门统一管理。

2. 注意检具的使用环境和安装使用地点，保持检具的洁净。

3. 应正确使用和保管检具

(1) 在移动和使用检具的过程中要防止碰撞。

(2) 为保持测量的稳定性，应定时检查测量仪表是否有零位漂移，若有则应及时修正。

对采用百分表的一般检具，根据测量精度可在检验 120~200 个零件后检查百分表的零位漂移；对较复杂的检具可在检验 75~100 个零件后检查百分表的零位漂移。

对气动量仪和电感量仪，可每隔 1~2h 检查一次零位漂移。气动量仪的气路系统每天应排水。

(3) 检具在使用一定时间后应进行周期检定。经过一定时间的使用，检具的定位元件、测量部分和校准件等都有一定程度的磨损，对整台检具和检具各部分的检定周期可根据具体情况而定。例如，对测量精度有较大影响的元件（校准件等），其检定周期应短些（2~3 个

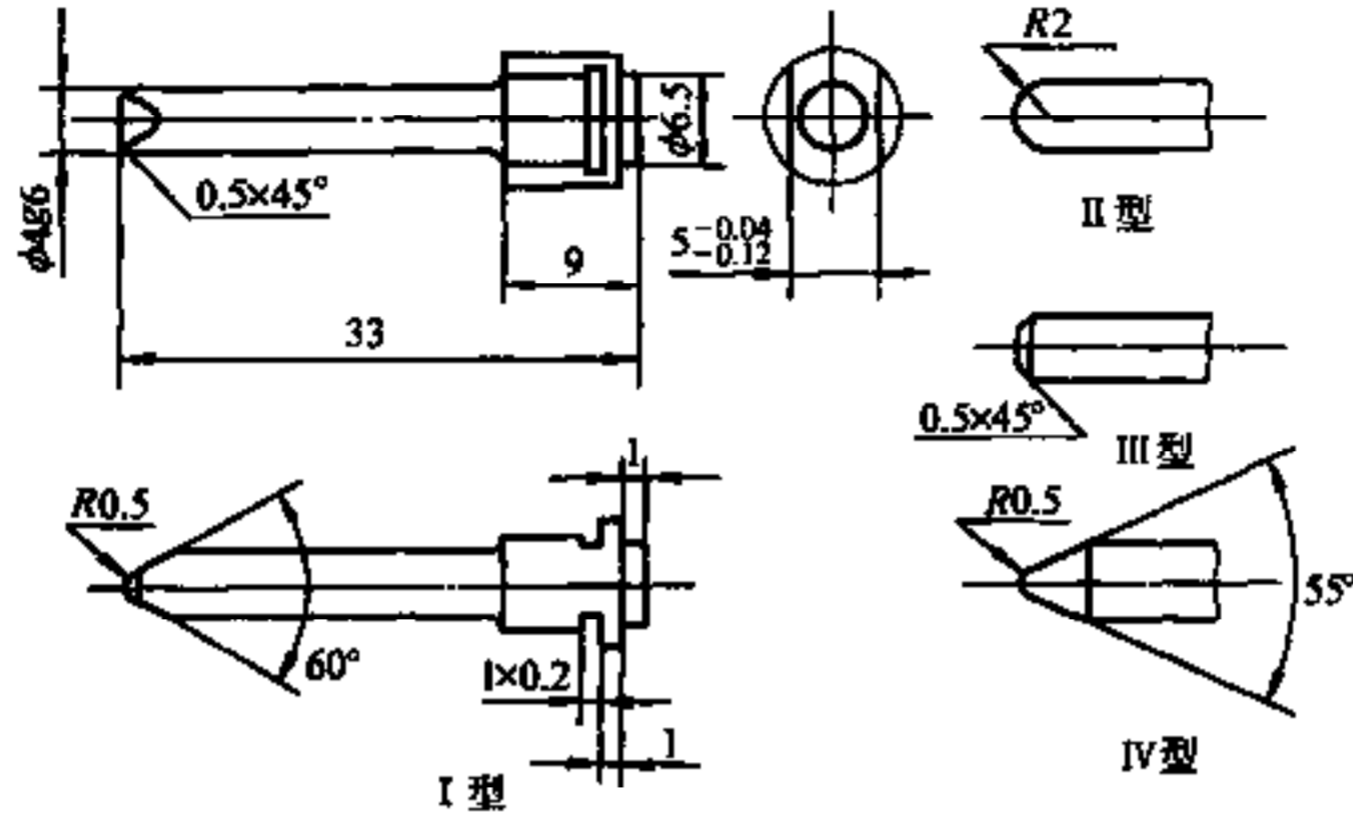
月); 整台检具的检定周期可适当长些 (6~12 个月)。

检具的检定应按周期检定卡和检具主要技术要求进行, 应将校准件等磨损后的尺寸记录在检定卡上, 以便在随后使用检具时作为调整测量仪表的依据。

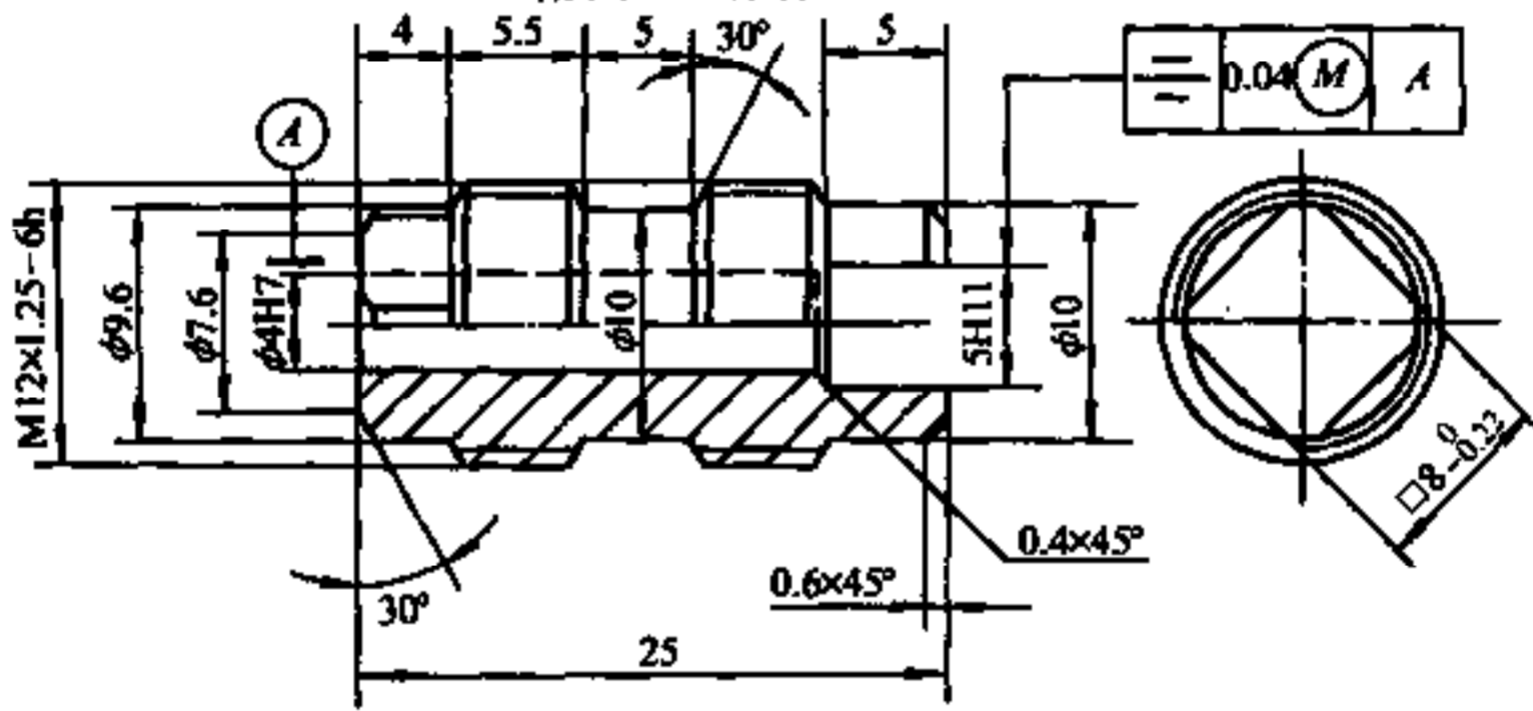
对整台检具的检定, 包括对经修复后的检具, 可不再对检具进行全面的检定, 可只通过一组抽样, 重点检查检具的标准偏差 $\sigma_{\text{具}}$ 。检定整台检具时对所采用的测量仪表也应进行检定。

附录

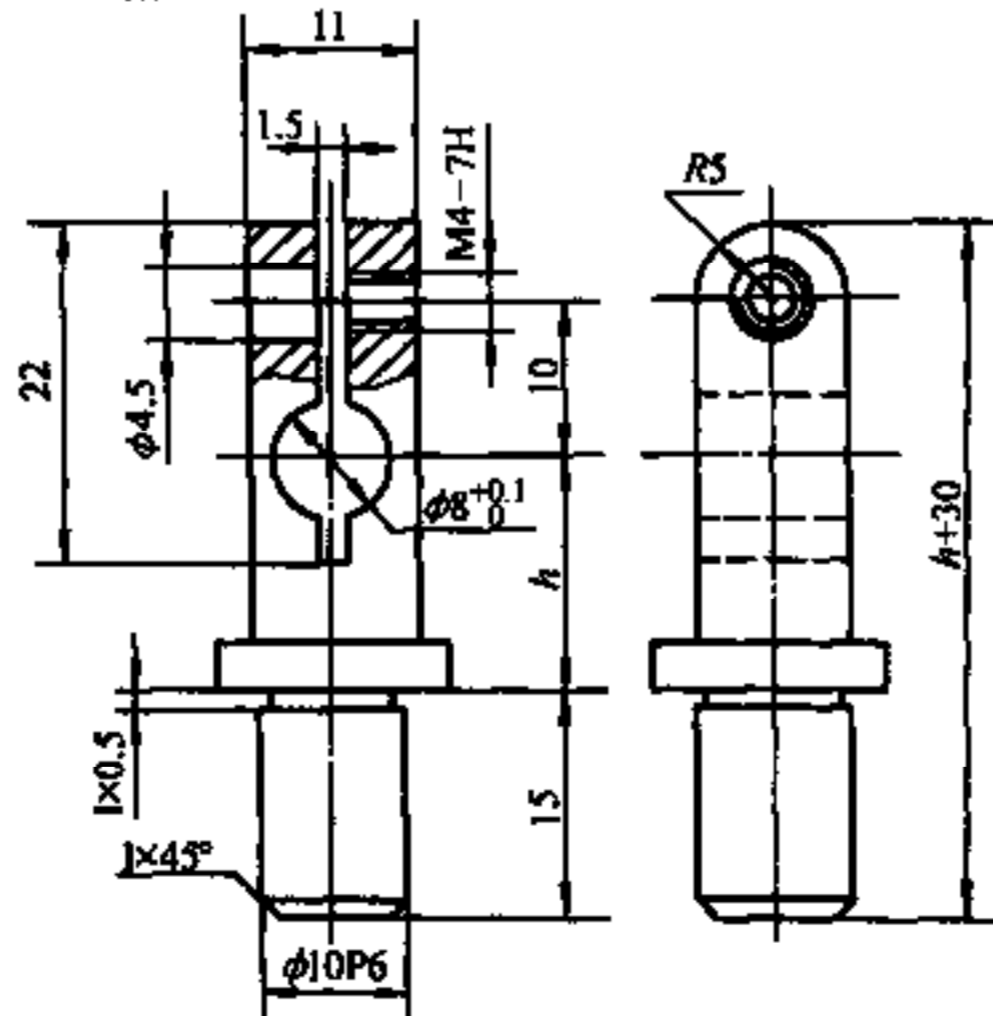
附录中利用附图，介绍一些零件的尺寸，作为对正文的补充，供设计检具时参考。



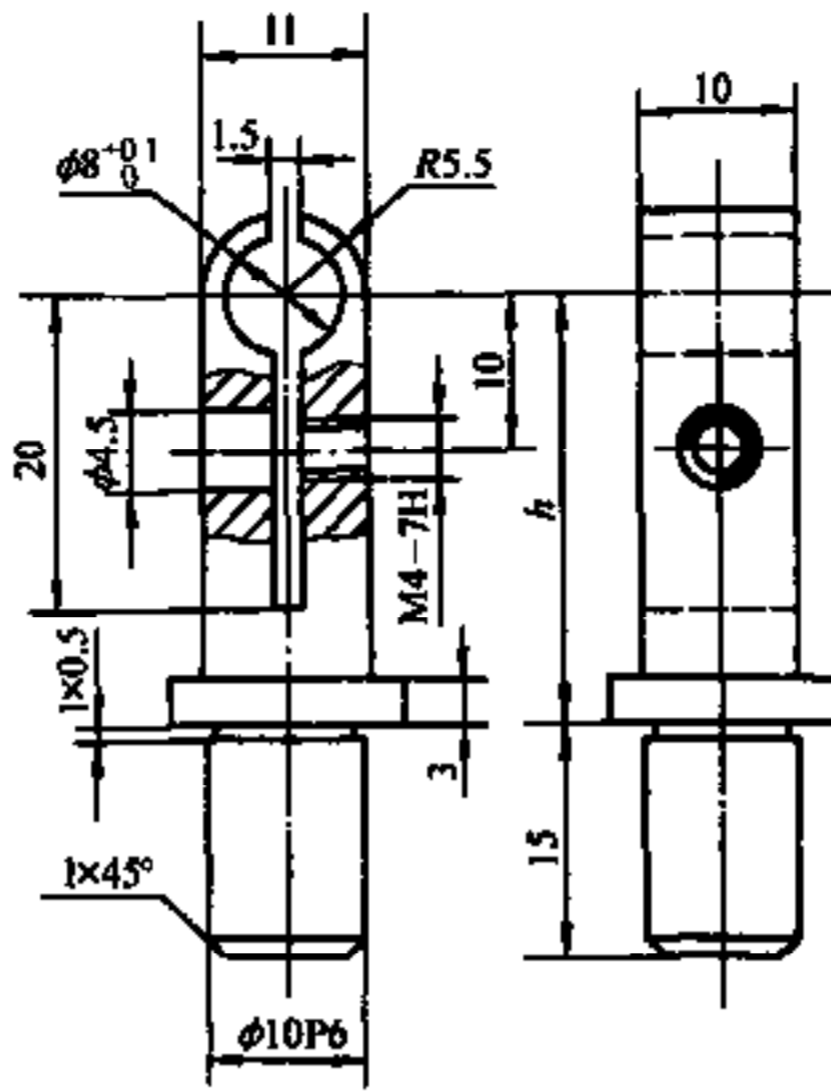
附图1 各种型式测销



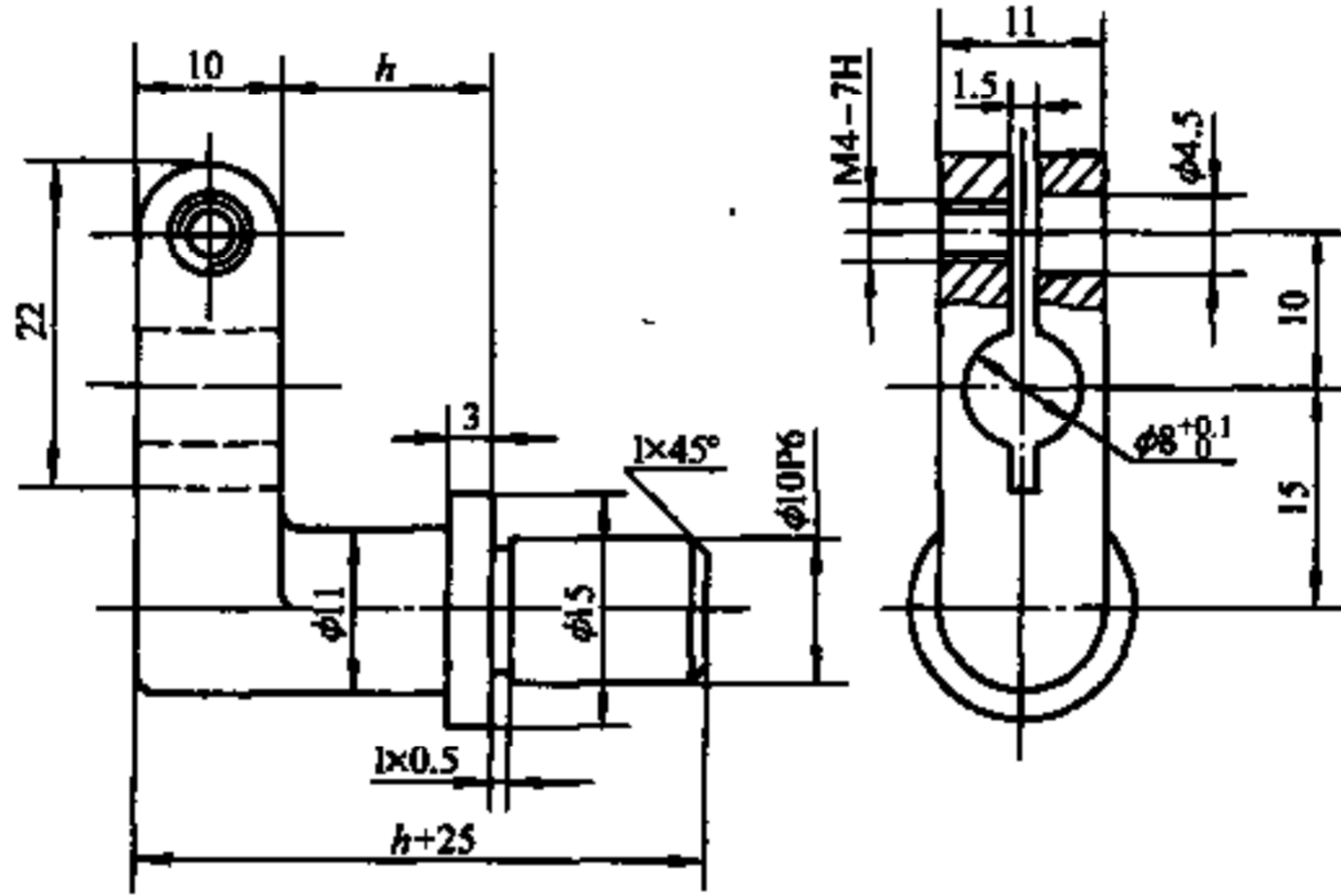
附图2 测销用螺纹套 (图4-1, 件2)



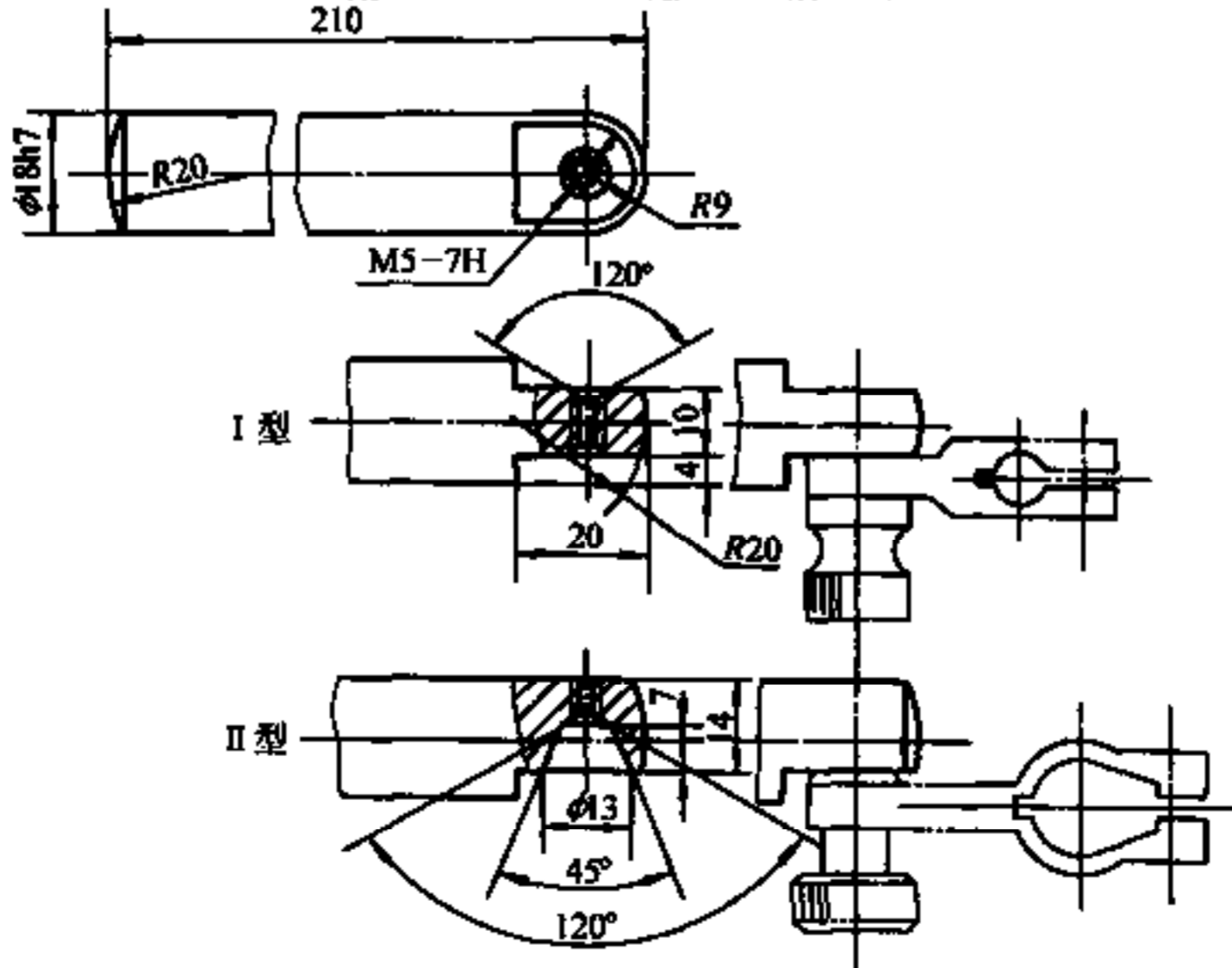
附图3 百分表用开槽夹杆(尺寸h按需要确定)



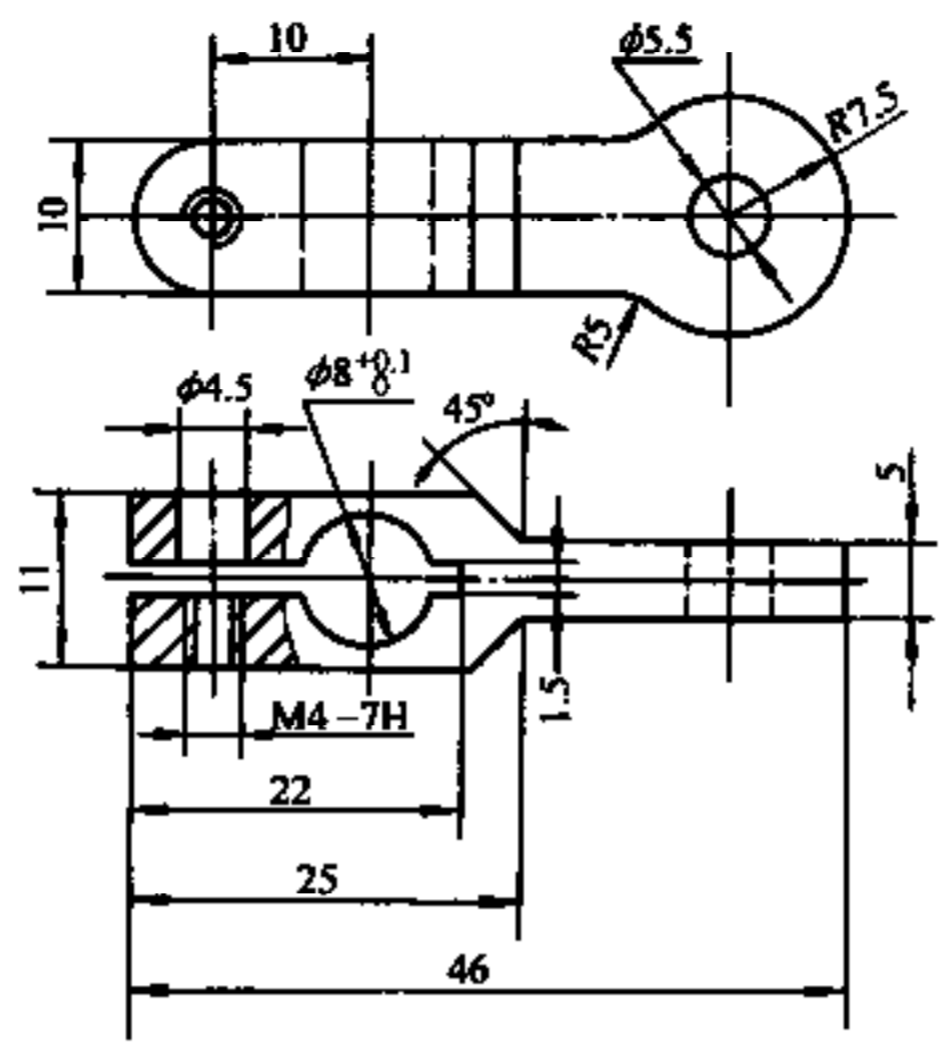
附图4 百分表用开槽夹杆 (尺寸 h 按需要确定)



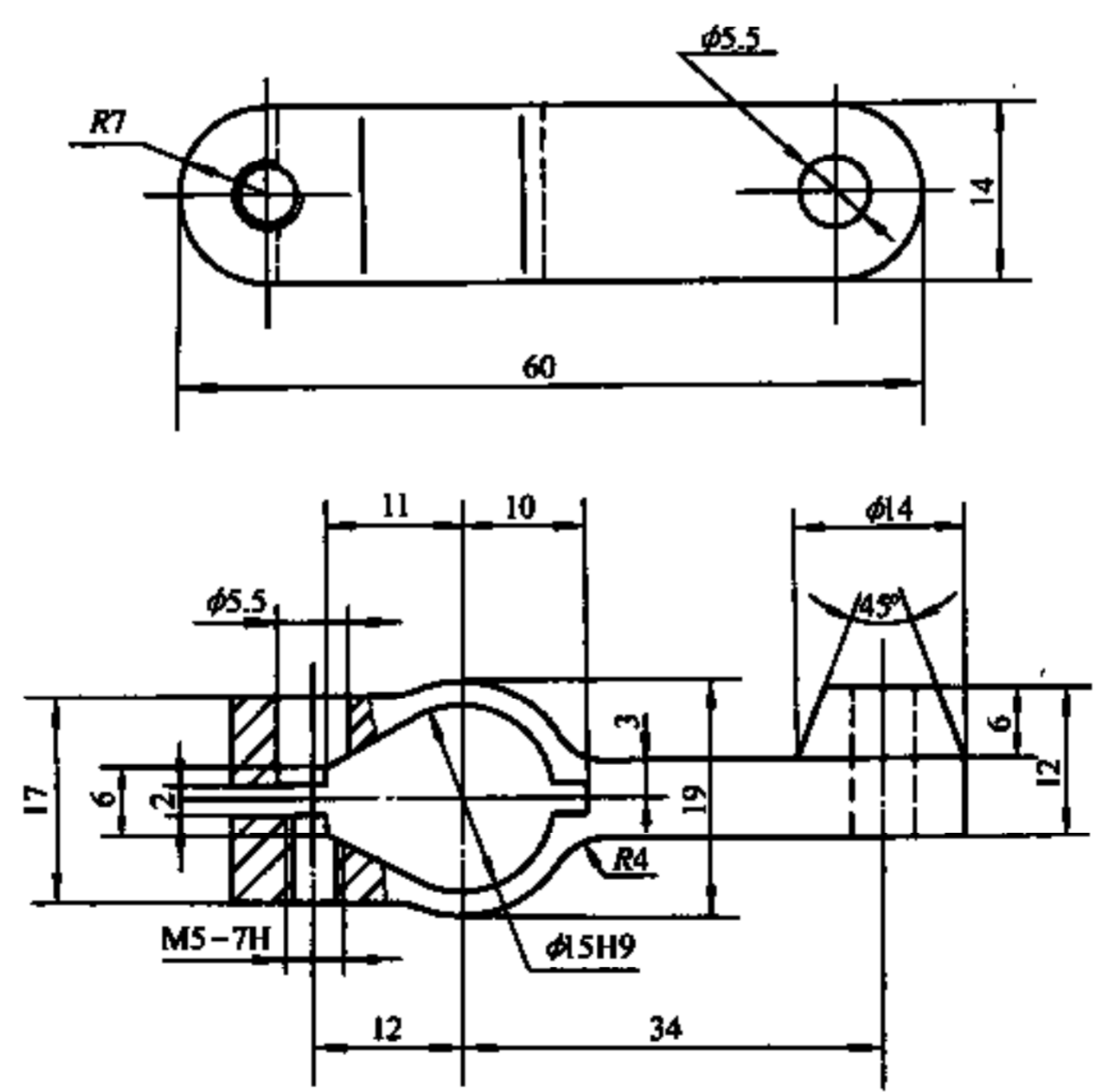
附图5 百分表用直角开槽夹杆



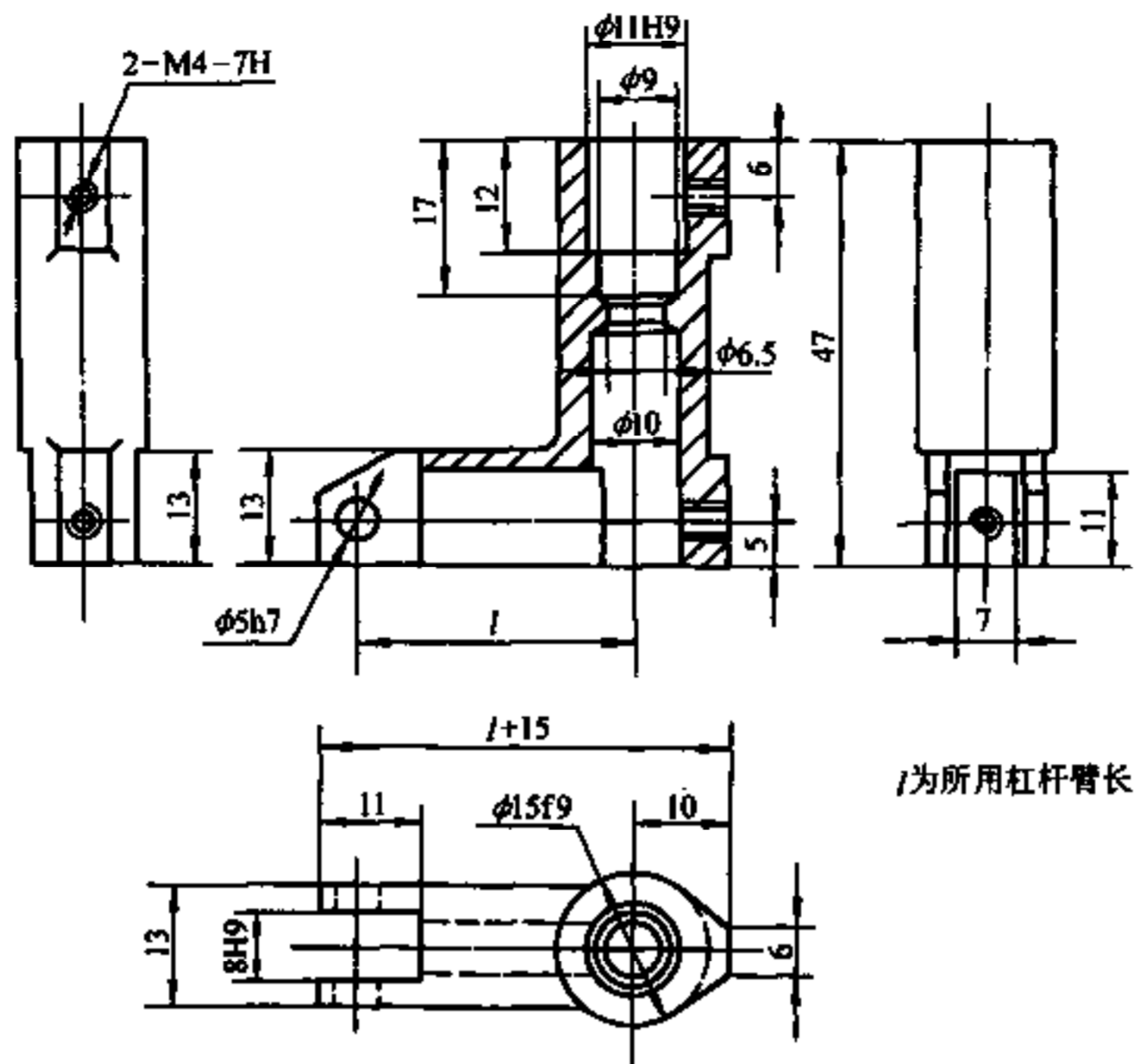
附图6 百分表支架夹杆 (图 5-6, 件 1)



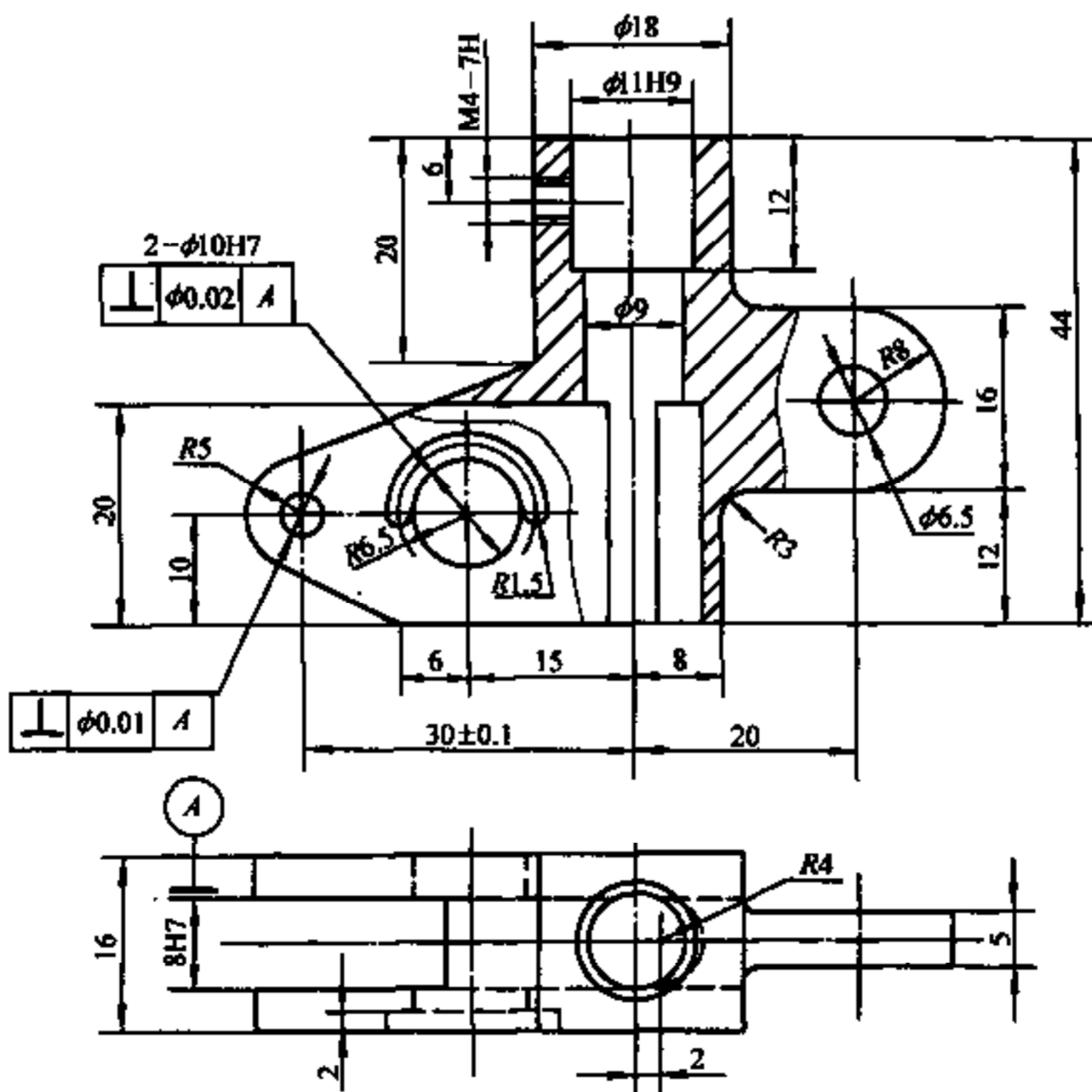
附图7 百分表夹 (图 5-6, 件 2)



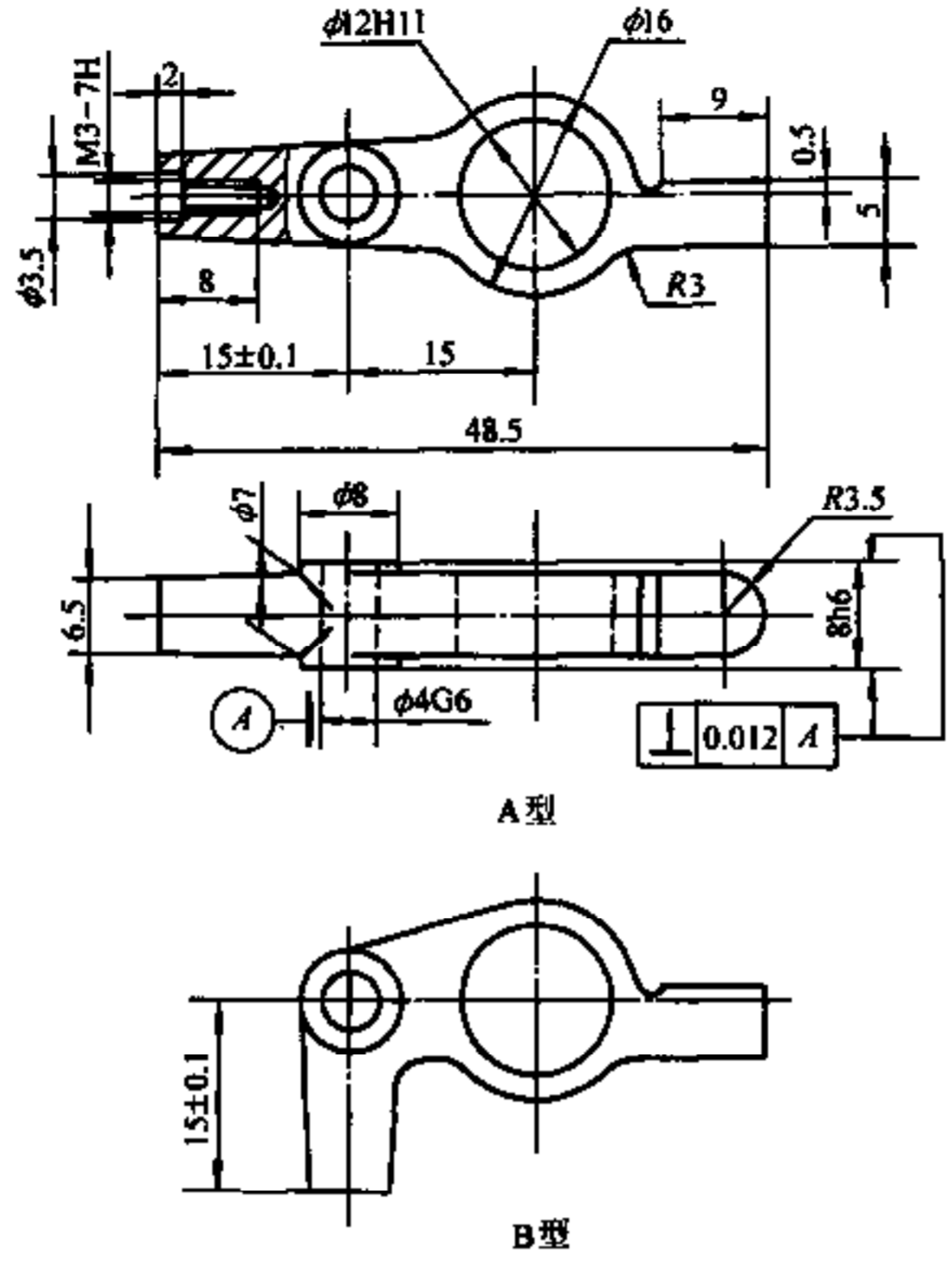
附图8 通用杠杆传递装置夹持器 (图 5-6, 件 3)



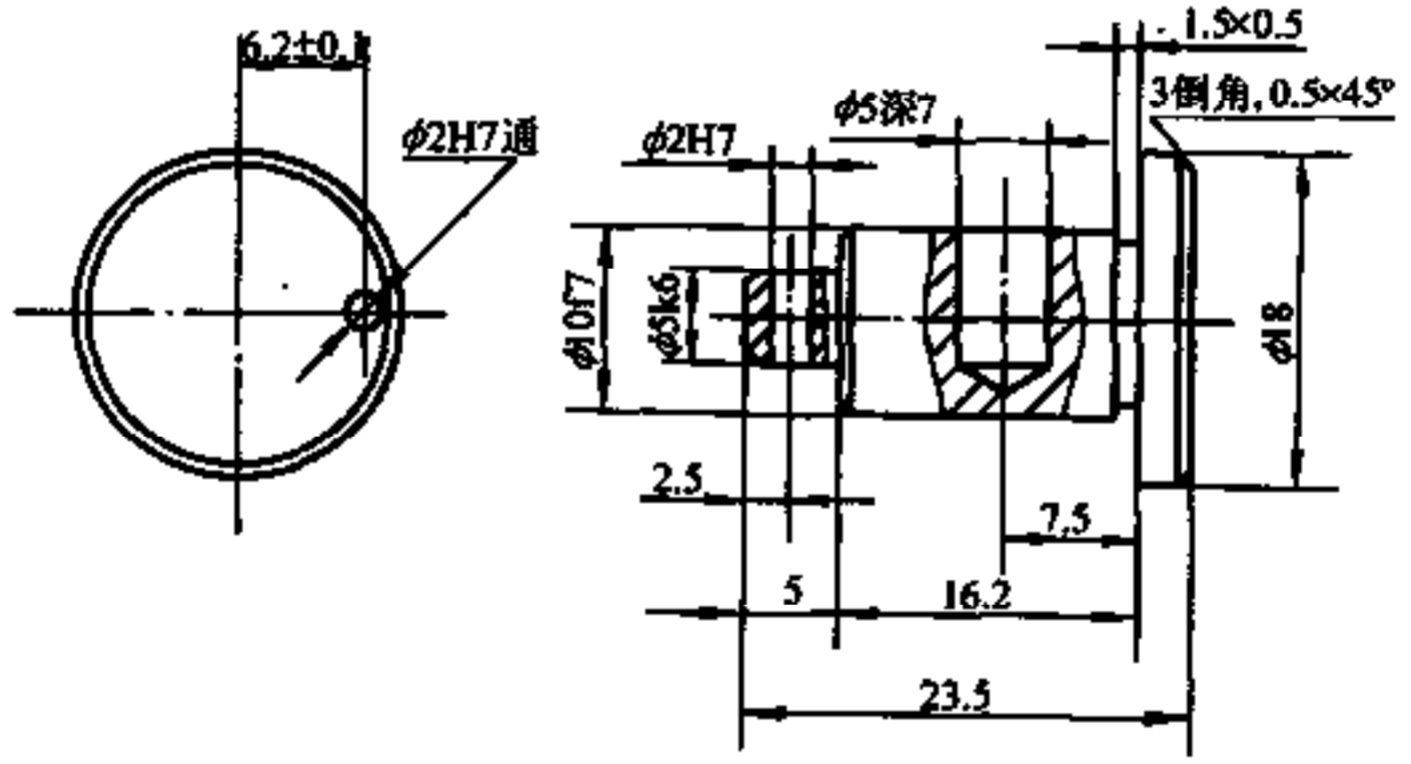
附图9 通用杠杆传递装置本体 (图4-9, 件3)



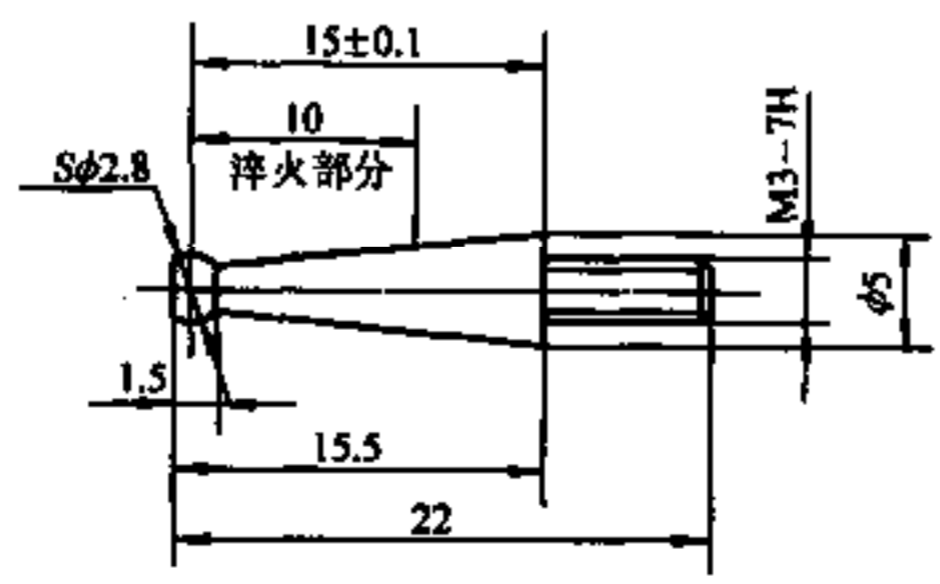
附图10 双向杠杆传递装置本体 (图4-22, 件5)



附图 11 双向杠杆传递装置杠杆 (图 4-22, 件 7)



附图 12 双向杠杆传递装置轴 (图 4-22, 件 9)



附图 13 双向杠杆传递装置测杆 (图 4-22, 件 2)

参考文献

- 1 孟少农主编. 机械加工工艺手册 (第三卷). 北京: 机械工业出版社, 1992
- 2 Каплунов Р. С. Точность контрольных приспособлений. Москва: МАШГИЗ, 1957
- 3 Левенсон Е. М. 等. Конструирование измерительных приспособлений и инструментов в машиностроении. Москва: МАШГИЗ, 1956
- 4 Чуцов В. А. 等. Размерный Контроль в машиностроении. Москва: Машиностроение, 1982
- 5 李振高等编. 世界有色金属材料成分与性能手册. 北京: 冶金工业出版社, 1992
- 6 孙祖宝主编. 量仪设计. 北京: 机械工业出版社, 1982
- 7 《机床设计手册》编写组. 机床设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 8 广西工业学校主编. 金属切削机床. 北京: 机械工业出版社, 1979
- 9 (俄) 列文松 Е. М. 著. 机器制造中的检查夹具. 廖能安, 王书孝译. 北京: 机械工业出版社, 1958
- 10 林朝平编译. 球面半径专用测量装置. 工具技术, 1993, 2: 9
- 11 张展主编. 非标设备设计手册. 北京: 兵器工业出版社, 1993
- 12 彭祖安. 键槽对称度测量工具. 机械制造工艺师, 1987, 4: 34
- 13 林朝平译. 键槽偏移测量装置. 夹具技术, 1984, 1: 44
- 14 Высоцкий А. В. и др. Пневматические средства измерений линейных величин в машиностроении. Москва: Машиностроение, 1979
- 15 Балакшин О. Б. Автоматизация пневматического контроля размеров в машиностроении. Москва: Машиностроение, 1964
- 16 谢诚. 连杆两孔轴线平行度气动测量方法的探讨. 汽车工艺与材料, 1992, 11: 42
- 17 谢诚. 195 柴油机机体内孔同轴度气动检具. 工具技术, 1988, 5: 27~30
- 18 Шульд Е. Ф. Индуктивные приборы контроля размеров в машиностроении. Москва: Машиностроение, 1974
- 19 黄其圣. 电感测量头微调装置. 工具技术, 1996, 11: 42
- 20 Габинов В. Л. Малогабаритные модули для контроля корпусных деталей. Машиностроитель, 1989, 10: 16~17
- 21 施融和等. 电子塞规及其应用. 工具技术, 1992, 7: 30
- 22 Серюгин С. А. Бесконтактный индуктивный датчик линейных перемещений. Вестник машиностроения, 1988, 6: 27
- 23 方若愚等. 机械装配测量技术. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 24 马志民. 用准直仪检验位置公差实例. 机车车辆工艺, 1978, 4: 33~37
- 25 (俄) С. и. 帕列雅可夫等. 机械制造业的组合可调工艺装备. 朱耀祥, 汪士治译. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 26 谢诚. 通用可调气缸套外径电感测量装置. 机械工艺师, 1998, 8: 31~32
- 27 谢诚. 气缸套腰带径跳和支承肩端跳气动测量装置. 工具技术, 1996, 2: 37~38
- 28 谢诚译. 珩磨测量及其适应控制机构. 工具技术, 1987, 4: 30
- 29 谢诚译. 平面磨削用双触点主动测量装置. 工具技术, 1987, 7: 17~19
- 30 Коченов М. И. и др. Контрольно-измерительные автоматы и прибор для автоматических линий. Москва: Машиностроение, 1965
- 31 《Quality Today Supplement》 February 1987, P85

CHINA

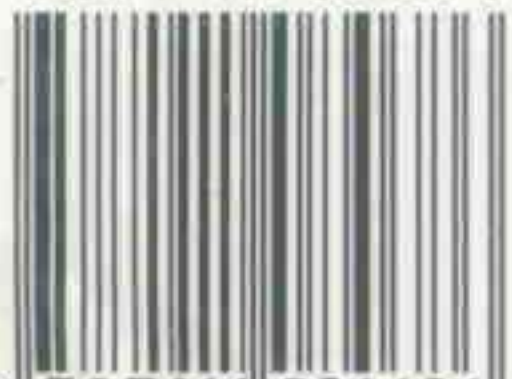
CHINA

● ISBN 7-111-08468-3/TH·1081

封面设计 / 电脑制作：方芬



ISBN 7-111-08468-3



9 787111 084686 >

定价：26.00 元