

机械类

高级技工学校统编教材 高级工培训教材

高级磨工技能训练



中国劳动出版社

机械类

高级技工学校统编教材

高级工培训教材

高级磨工技能训练

高级技工学校机械类教材编审委员会组织编写

中国劳动出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高级磨工技能训练/刘锡河主编. —北京: 中国劳动出版社, 1998
高级技工学校机械类统编教材
ISBN 7-5045-2305-4

I. 高…
II. 刘…
III. 磨削-技工学校-教材
IV. TG580.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 18562 号

高级磨工技能训练 高级技工学校机械类教材编审委员会组织编写

责任编辑 王绍林

责任设计 李莎黛

责任校对 马 维

中国劳动出版社出版

(100029 北京市惠新东街 1 号)

北京安泰印刷厂印刷 新华书店总店北京发行所发行

1999 年 3 月第 1 版 1999 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22.75

字数: 565 千字 印数: 3000 册

定价: 25.10 元

简 介

为了更有效地培养高级技能人才,自1995年起,原劳动部、原机械工业部和中国航空工业总公司依据国家《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》,共同组织编写了一套机械类高级技工学校统编教材,本书是其中的一本。

本书分10单元共25个训练课题,主要包括:检测标杆的磨削、细长轴的磨削、复杂型面的磨削、高精度机床主¹轴的磨削、薄壁套的磨削、空心轴的磨削、高精度机床主轴套的磨削、偏心类盘类零件的磨削、偏心轴的磨削、多面体偏心套的磨削、精密偏心锥孔的磨削、薄片零件的磨削、复合角度的磨削、精密分度板的磨削、错齿三面刃铣刀的刃磨、矩形齿花键拉刀的磨削、斜齿轮的磨削、长丝杠的磨削、精密分度蜗杆的磨削、齿轮滚刀的铲磨、多头大螺旋升角蜗轮滚刀的铲磨、硬质合金复合铰刀的磨削、特种磨削工艺与新技术、车工操作技能训练和钳工操作技能训练。

本书可作为高级技工学校机械专业、中级技工学校机械高级班的教材,也可作企业高级工培训和工人自学用书。

本书由山东烟台市高级技校刘锡河、姬新国、尉振龙、张邦勇和湖南株洲市南方动力公司技校黄明豪及贵州航空工业高级技校耳晋湘编写,刘锡河主编;耳晋湘审稿。

前 言

高级技工教育是较高层次的职业技术教育。发展高级技工教育既是我国经济发展和现代化建设的需要，也是提高劳动者素质的需要。为加快培养高级技能人才，原劳动部从1990年开始试办高级技工学校，之后又在省级以上重点技工学校中选择了一批骨干学校陆续建立起高级技工学校几十所。几年来，这些高级技工学校已经成为高级职业培训基地，承担着培养高级技术工人、技师、生产实习指导教师以及其他高级技能人才的任务。

为了规范高级技工学校的教学，较好地解决教材的使用问题，1995年3月，原劳动部职业技能开发司会同原机械工业部教育司和中国航空工业总公司教育局，共同召开了高级技工学校机械类教学计划研讨会，提出“制订教学计划，并通过教学计划对培养目标进行质量检查，是保证高级技工学校健康发展的重要条件”。本套高级技工学校机械类统编教材，就是根据会议通过的高级技工学校机械类教学计划组织编写的。

本套教材以国家颁布的《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》为依据，文化基础课教材突出了实用性和服务性；专业课教材注意了从技能培养的需要出发确定编写内容，力求紧密结合企业的技术和生产实际；专业技能训练教材大量吸收了现场工人在生产中总结出来的操作经验和特殊技巧，补充了相关的专业知识，并介绍了国内较先进的技术和工艺。基本做到了从专业工种的实际需要出发，重点讲清知识应用的条件、方法和手段，使文化基础课为专业课服

务，专业课为技能训练服务，最终提高学生的操作技能和分析、解决实际问题的能力。

本套教材既可以作为高级技工学校的教材，也可以作为高级技工的培训教材。但由于我国高级技工教育正处在发展阶段，教材建设还存在着各种各样的问题，因此在选用本套教材时，一定要结合本单位的实际情况安排教学。

在近两年的教材编审工作中，得到了有关方面的大力支持，特别是一些高级技工学校的教师，承担了大量的编审任务，在此一并致以诚挚的感谢。欢迎大家在使用中将发现的问题及时反馈给我们，以便适时修订。

高级技工学校机械类教材编审委员会

1998年12月

目 录

第一单元 精密轴类零件磨削	(1)
课题 1 检测标杆的磨削	(1)
课题 2 细长轴的磨削	(12)
课题 3 复杂型面的磨削	(20)
课题 4 高精度机床主轴的磨削	(36)
第二单元 精密轴套类零件磨削	(47)
课题 1 薄壁套的磨削	(47)
课题 2 空心轴的磨削	(56)
课题 3 高精度机床轴套的磨削	(68)
第三单元 偏心零件磨削	(79)
课题 1 偏心盘类零件的磨削	(79)
课题 2 偏心轴的磨削	(86)
课题 3 多面体偏心套的磨削	(97)
课题 4 精密偏心锥孔的磨削	(106)
第四单元 特殊平面磨削	(117)
课题 1 薄片零件的磨削	(117)
课题 2 复合角度的磨削	(124)
课题 3 精密分度板的磨削	(137)
第五单元 刀具刃磨	(147)
课题 1 错齿三面刃铣刀的刃磨	(147)
课题 2 矩形齿花键拉刀的磨削	(158)
第六单元 齿轮、螺纹磨削	(174)
课题 1 斜齿轮的磨削	(174)
课题 2 长丝杠的磨削	(195)
课题 3 精密分度蜗杆的磨削	(219)
第七单元 刀具的铲磨	(235)
课题 1 齿轮滚刀的铲磨	(235)
课题 2 多头大螺旋升角蜗轮滚刀的铲磨	(249)

第八单元. 难磨材料与新牌号超硬磨料简介及硬质合金复合铰刀的磨削..... (264)

第九单元 特种磨削工艺与新技术..... (283)

第十单元 相关工种训练..... (305)

 课题 1 车工操作技能训练 (305)

 课题 2 钳工操作技能训练 (328)

第一单元 精密轴类零件磨削

课题1 检测标杆的磨削

一、教学要求

1. 掌握精密磨削表面质量的基本概念。
2. 掌握在精密磨削加工中影响磨削质量的主要因素。
3. 掌握精密磨削轴类零件的操作技巧。
4. 掌握对精密轴类零件的检测方法。

二、相关知识

1. 精密磨削的表面质量

对精密磨削表面质量的评定主要从以下两个方面进行：

(1) 表面粗糙度 根据表面粗糙度的定义可知，它真正的含义是指零件表面所具有的较小间距和微小谷峰的不平度。

经精密磨削所形成的表面，是由砂轮上的磨粒在工件表面上形成的残留面积及微小的振纹所构成。这些残留面积及微小振纹的幅度值，相对于用其他性质的加工方法（粗磨、半精磨）加工出来的表面粗糙度值要小，用轮廓平均算术偏差 R_a 的值来衡量一般都在 $0.1 \sim 0.05 \mu\text{m}$ 之间。

(2) 表面烧伤及裂纹 精密磨削作为一般普通零件的最终加工工序，经加工的表面质量除有表面粗糙度要求外，还有因磨削热所引起的一系列物理变化值和现象（烧伤和裂纹）必须符合零件的表面精度要求，因为这些微小的表面缺陷会影响到工件的耐用度和使用性。

2. 精密磨削中影响磨削质量的主要因素及提高磨削质量的措施

(1) 磨料磨具及修整用量 由精密磨削的特点和表面质量的特征可看出，影响精密磨削表面质量的主要因素是来自磨具特性、修整方法与修整用量。其中，磨料的种类、磨具的粒度与硬度等特性，对工件的表面质量起主导作用。特别是所选择的砂轮经修整后能否具备良好的微刃性和等高性，是保证工件最终表面质量的关键。

工作一段时间后的砂轮轮廓表面被磨屑粘嵌和堵塞及不规则的脱落现象，使砂轮丧失原有的几何形状，从而使磨削质量下降，精密磨削过程中对砂轮的轮廓修整，除了恢复其正常的切削能力外，最主要的是为了获得轮廓的微刃性和等高性，以满足零件表面质量对磨具的特定要求，因此砂轮的修整方式、方法应区别于普通磨削。

表 1—1 中集中地列出了精密磨削时磨具的基本特性、修整条件与修整参数。

(2) 磨削用量 在磨具基本特性与修整用量确定的前提下，对工件实施精密磨削时如能合理地搭配磨削用量，对被加工工件的表面质量会有相当的益处，特别是在普通磨床上。

表 1—1

外圆精密磨削修整参数

参 数	数 值
砂轮粒度	60 [#] ~80 [#]
修整工具	单颗粒金刚石
砂轮线速度 (m/s)	17~35
修整时工作台的移动速度 (mm/min)	15~50
修整时砂轮的横向进给量 (mm)	0.002 5~0.005
修整时砂轮的横向进给次数 (次/单程)	2~3
光修次数	1

按表 1—1 中各项参数值所选砂轮进行精细修整后，根据理论计算，砂轮轮廓在工件表面上所形成的残留面积值用表面粗糙度 R_a 的值折算，相当于 $0.05\sim0.025\ \mu\text{m}$ 之间。利用修整后的砂轮对工件进行精密磨削时，保持砂轮的线速度不变，工作台纵向进给量取 $80\sim120\ \text{mm/min}$ 、砂轮横向进给量取 $0.002\ 5\sim0.005\ \text{mm}$ 并进行 $1\sim3$ 个单程光磨后，工件的表面粗糙度值一般可达到 $R_a0.1\sim0.05\ \mu\text{m}$ 。

在利用搭配磨削用量提高工件的表面粗糙度质量时，应重点提倡砂轮的无进给“光磨”，这对工件的最终表面质量十分有利。砂轮的横向无进给“光磨”操作得当，在相同性质的磨削状态下，表面粗糙度 R_a 值几乎成倍递减。

(3) 机床的工艺系统 影响工件表面质量的主要因素来自磨料与磨具的特性、修整方法、修整用量和磨削用量。但是，作为被加工零件它的整体精度除去表面质量外，还有许多不同的精度内容，如：工件的几何形状、相互位置精度及尺寸等。这些精度的实施主要依靠机床系统的精度来保证。

1) 床身导轨的几何精度 床身导轨包括纵向导轨和横向导轨。

导轨精度主要指导轨的直线度和扭曲度以及接触精度。

前两项精度的好坏直接影响着被加工零件的直线度和尺寸精度，后一项精度决定着机床上执行部件的运动精度（指工作台的运动平稳性和定位准确性）。

当采用表 1—1 的参数对砂轮进行修整时，要求纵向工作台能够在 $10\sim20\ \text{mm/min}$ 的低速移动中不产生爬行现象及在工作台往复运动过程中其速度差不大于 10% 。

砂轮架导轨的接触精度，应能保证精密磨削过程中砂轮的重复定位精度在 $0.002\ 5\sim0.005\ \text{mm}$ 范围内无明显变化。

2) 砂轮主轴精度 砂轮主轴精度主要包括主轴的回转精度和轴向窜动及轴与轴承的配合间隙。

主轴在运动中的回转精度直接影响着工件的表面质量。精密磨削时对主轴的回转精度的控制应保证其径向跳动值在 $0.002\ \text{mm}$ 之内。

主轴在工作中的轴向窜动偏差，对精密磨削零件的端面跳动和表面粗糙度有直接影响，因此应控制在 $0.005\ \text{mm}$ 之内。

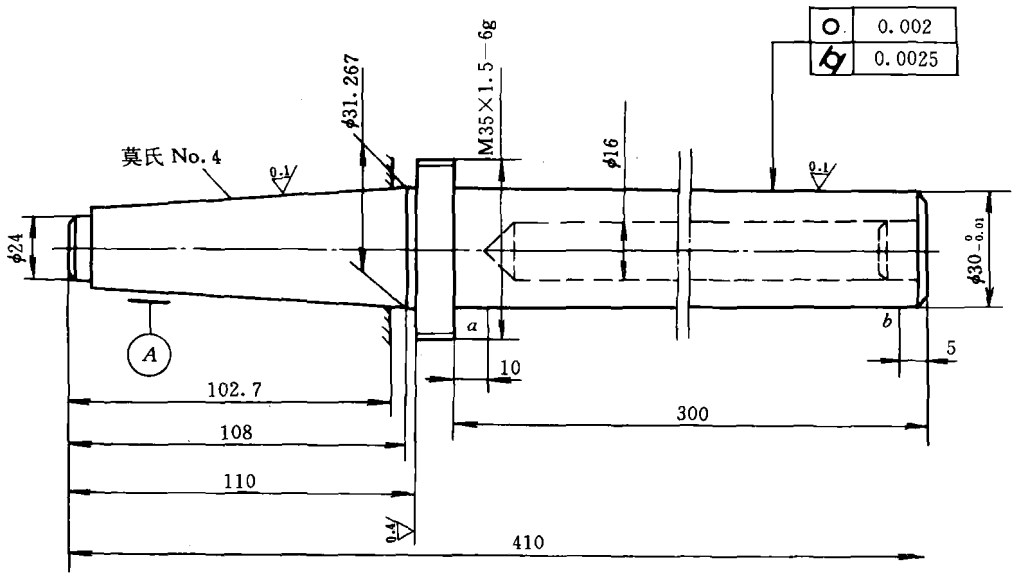
采用“三块”式结构的主轴轴承与主轴的配合间隙的大小，加工中将影响工件的几何形状和相互位置精度，如加工中工件出现锥度及端面凸凹现象等，在精密磨削时要求两者的配合间隙在 $0.015\sim0.025\ \text{mm}$ 之间。

3) 机床振动 机床系统的振动是一个十分复杂的技术问题，它对工件的表面质量影响

较大，特别是砂轮系统的振动，会引起砂轮的受迫振动，工作中直接地作用给工件，使工件被加工表面产生质量缺陷（多角振纹等）。砂轮系统的振动源主要来自砂轮的不平衡、传动带的尺寸不一致、电动机与带轮的运动不平衡及电动机底座消振材料失去效能等因素。因此在精密磨削时对上述各项因素都需进行必要的调整与更换。

三、典型零件

典型零件如图 1—1 所示。



技术要求

1. $\phi 30_{-0.01}^{0}$ 的径向跳动允差在 a 处 0.001mm, 在 b 处 0.003mm。
2. 莫氏锥面接触率大于 80%。
3. 热处理 HRC58~62。

图 1—1 检测标杆

四、加工工艺

表 1—2 为检测标杆的磨削加工工艺。

五、工艺分析

1. 标杆采用空心结构，这对防止变形十分有利，在磨削 $\phi 16$ mm 工艺孔时要求控制单边过盈量在 0.0025~0.005 mm 之间，并要求工艺堵的材料与标杆的材料一致，工艺堵见图 1—2 所示。
2. 工件的磨削加工采用工序分开的方法，分粗磨、半精磨、精磨和精密磨，这样可以合理地分配余量，保证工件在加工中的精度。精密磨削同样选择 M1432A 万能外圆磨床，经过对砂轮的精细修整和对机床的相应调整，最大限度地保证工件的加工精度，特别是表面粗糙度。
3. 中心孔的研磨应根据工件不同阶段的加工性质，保证相应的研磨质量。

表 1—2

检测标杆磨削加工工艺

工序	工步	工 序 内 容	设 备	定位基准
1		研 $\phi 16$ mm 孔口及中心孔		
2		粗磨 $\phi 30$ mm 右端及 $\phi 24$ mm 外圆	M1432A	中心孔
3		一夹一搭中心架磨 $\phi 16$ mm 孔至 $\phi 16^{+0.019}_0$ mm、深 20 mm，靠磨端面，配工艺堵	M1432A	
4		研两端中心孔		
5		粗磨各部均留余量 0.2~0.25 mm	M1432A	中心孔
6		除应力		
7		研中心孔		
8		半精磨各部外圆均留余量 0.08~0.10 mm，螺纹外径磨至 $\phi 35^{+0.1}_{-0.3}$ mm	M1432A	中心孔
9		磨螺纹至尺寸	S7520	中心孔
10		研中心孔		
11		精磨各部外圆留终磨余量 0.02~0.03 mm	M1432A	中心孔
12		精研中心孔		
13		精密磨削各部外圆至尺寸	M1432A	中心孔
	1	精修砂轮		
	2	精密磨削 $\phi 30^{+0.01}_0$ mm 至尺寸		
	3	精密磨削莫氏 4 号锥面至尺寸		

(1) 半精磨前中心孔的研磨应保证与机床顶尖的接触率大于 70%， $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 。

(2) 精磨和精密磨削前中心孔的研磨应保证与机床工作顶尖的接触率大于 85%， $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 。

4. 工件在 M1432A 上进行精磨时，应确保工件的各部外圆的圆度、圆柱度及径向跳动值在 0.005 mm 之内，其目的是为下道工序的精密磨削提供良好的预加工精度。因为下道工序是利用细粒度砂轮经过精细修整后对工件进行精细加工，目的主要是减小工件的表面粗糙度值，经过精细修整后的砂轮轮廓的微刃性相当好，用这样的砂轮纠正工件的形状误差有一定的困难，因此需要上道工序将工件的形状精度和位置精度保证在一定的精度范围内。

5. 在对莫氏 4 号锥面进行精密磨削前，因工件的余量很少，可利用一同样尺寸的模拟件进行试磨并控制角度的正确性，以免在对工件的正式磨削时因调整不当造成废品。

六、磨削操作

1. 利用三棱硬质合金顶尖粗研右端 $\phi 16$ mm 内孔口角及左端中心孔。

2. 两顶尖安装粗磨 $\phi 30$ mm 右端中心架支承圆，磨圆为止，调头磨 $\phi 24$ mm 处，磨圆为止。

3. 工件用三爪自定心卡盘夹持左端 $\phi 24$ mm 外圆，右端搭中心架，按图 1—2 工艺堵尺寸磨 $\phi 16$ mm 内孔至尺寸，保证与工艺堵单边配合（过盈）0.002 5~0.005 mm。

4. 研两端中心孔。

5. 两顶尖安装粗磨各部外圆，均留余量 0.2~0.25 mm。

6. 利用三棱硬质合金顶尖研磨经除应力处理后的中心孔，当氧化层研出后换机床顶尖研中心孔，保证接触率在 70% 以上， $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 。

7. M1432A 上半精磨各部，均留余量 0.08~0.10 mm，保证莫氏 4 号锥面接触率在 70%，螺纹外径磨至 $\phi 35^{+0.1}_{-0.3}$ mm。

8. 选 S7520 螺纹磨床磨 M35×1.5 至尺寸。

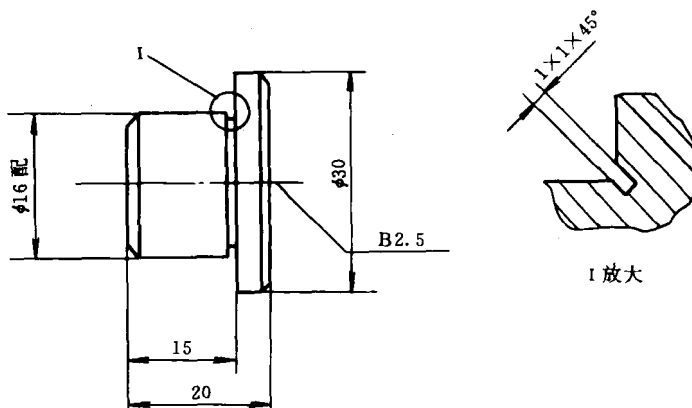


图 1—2 工艺堵

9. 精研中心孔，保证与 M1432A 顶尖接触率大于 80%， $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 。

10. 按普通参数精修砂轮，精磨 $\phi 30 \text{ mm}$ 外圆至 $\phi 30^{+0.02}_{-0.01} \text{ mm}$ ，莫氏 4 号锥面接触率大于 75%， $\phi 30 \text{ mm}$ 圆柱面的圆度、圆柱度及径向跳动误差不大于 0.005 mm，莫氏 4 号锥面留余量 0.02~0.03 mm。

11. 零件的精密磨削操作与操作要点

(1) 同机磨削 M1432A 工作顶尖和专用铸铁顶尖。

(2) 利用专用铸铁顶尖配研磨剂精研中心孔，保证与 M1432A 工作顶尖接触率大于 85%， $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 以下。

(3) 选 PPA80KV 砂轮按表 1—1 修整参数对砂轮进行修整。

(4) 磨削用量：工件转速 60~100 r/min、工作台纵向移动量 80~150 mm/min、砂轮横向进给量取 0.0025~0.005 mm/双程。

(5) 用模拟试件调整机床，精密磨削 $\phi 30 \text{ mm}$ 外圆至要求。

操作要点：

1) 在 $\phi 30 \text{ mm}$ 外圆上涂红色，参照磨削模拟件时的刻度盘值认真对刀。

2) 将全部余量分 3~4 次磨去，并进行 1~2 次无进给“光磨”。

(6) 用模拟试件调整机床，精密磨削莫氏 4 号锥面至尺寸，保证接触率大于 80%， $R_a 0.1 \mu\text{m}$ 。

操作要点：

1) 精细修整砂轮。

2) 调整磨削试件莫氏 4 号锥面，用标准量规检测保证接触率大于 80%。

3) 精修砂轮。

4) 将工件莫氏锥面涂色，根据颜色的变化参照火花、声音认真对刀。

5) 砂轮采用双程进给方式，从莫氏锥体大端开始向小端方向纵磨。

6) 砂轮移至小端时，应控制砂轮的超越量约 $1/2 \sim 2/3 B$ 。

7) 最终采用无进给“光磨”1~2 个单程将莫氏锥面磨出。

七、精密轴类零件的精度检验

类似图 1—1 所示的精密轴类零件的检验，主要侧重其几何形状精度和位置精度两方面。

图 1—1 检测标杆的主要精度要求为：

$\phi 30_{-0.01}^0$ mm 圆柱面的圆度允差 0.002 mm；

$\phi 30_{-0.01}^0$ mm 圆柱面的圆柱度允差 0.002 5 mm；

$\phi 30_{-0.01}^0$ mm 圆柱面对莫氏 4 号锥面的径向圆跳动在 a 点为 0.001 mm，在 b 点为 0.003 mm。

1. 圆度的检测

圆度是表示零件上圆的要素实际形状与其中心保持等距的状态，即通常所说的圆整程度。

圆度公差是在同一横截面上，实际圆对理想圆所允许的最大变动量。

圆度公差带是在同一截面上，半径差为公差值的两同心圆之间的区域。

图 1—1 所示工件的圆度公差表示：在垂直于 $\phi 30$ mm 圆柱体轴线的任一横截面上，实际圆必须位于半径差为公差值 0.002 mm 的两同心圆之内，如图 1—3 所示。

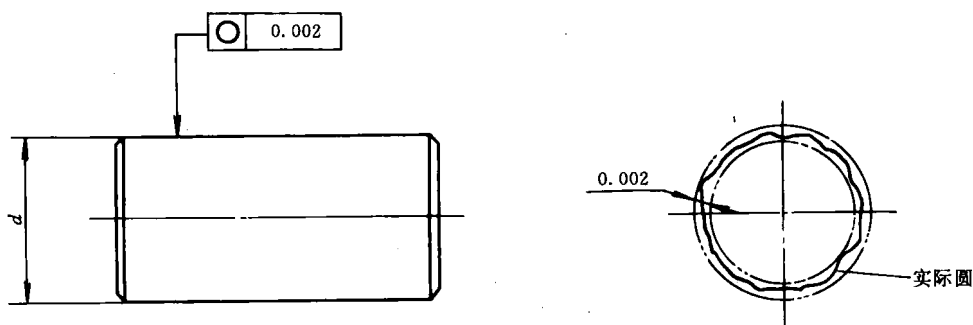


图 1—3 圆度公差

对圆度的测量方法很多，常用有半径法、两点法和三点法。

(1) 半径法 半径法是以被测零件绕其轴线旋转一周，测得表面半径的变动量来评定误差的方法。

圆度仪是检测圆度的精密仪器，它是以自身的精密主轴轴线作为测量基准，如图 1—4 所示。

它的使用方法是：选择定位基准并将被测零件固定在工作台上，用对中手柄调整工件对中，调整时借助对中手柄和对中指示器转动主轴，用测头检查一下零件上四个对应方向的值，使其对中心分布。

测量时根据零件的圆度公差值选择不同的放大倍数，在记录器上放上记录纸，在操纵主轴转动时，应接通记录器，当测头相对零件转动一周后，在极坐标纸上便描绘出一个完整的截面轮廓图形，如图 1—5 所示。如果被测零件没有圆度误差是绝对的圆，那么记录纸上的图形便是一个圆，它不存在圆度误差。

根据描绘的轮廓图，便可按误差的评定原则求出圆度误差，最后取其最大值作为零件的圆度误差。

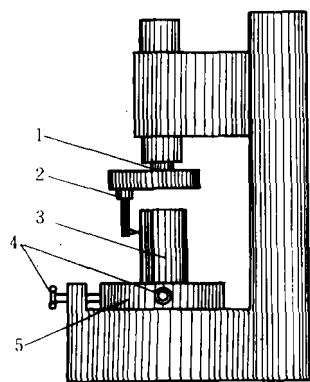


图 1—4 圆度仪

1—主轴 2—传感器 3—被测零件
4—对中调节手柄 5—工作台

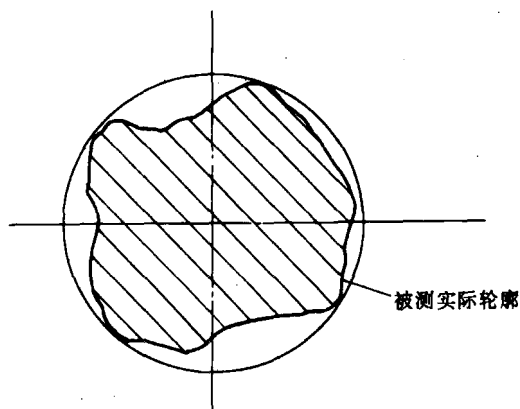


图 1—5 圆度仪描绘的轮廓图

利用半径法测圆度时，对圆度误差的评定是根据测得的实际轮廓线来确定圆度误差的值，常用的方法有：

1) 最小区域法 根据圆度的判别原则，由两同心圆包容被测实际轮廓时，至少应有四个实测点相间的在两个圆周上，该两同心圆间的区域则为圆度误差的最小区域，这种方法符合最小条件，所得的误差值最小。

生产中通常采用透明的同心圆模板来评定圆度误差，如图 1—6 所示，将圆模板放到被测轮廓图上，移动模板使模板上某两个同心圆包容被测轮廓图像，且符合内外交替四个点接触的要求，该两圆间半径之差即为圆度误差。其计算公式为：

$$f = \frac{r_1 - r_2}{M} \cdot n$$

式中 r_1 、 r_2 ——被测轮廓的内、外圆半径；

M ——放大倍率；

n ——极坐标纸每格值 (mm)。

图 1—6 所示的圆度误差轮廓，若选择 10 000 倍的放大倍率，极坐标纸每格值为 2 mm。从图上可以看出，在圆模板两同心圆间的四个接触点共跨有 $6 - 3 = 3$ (格)，由此可知，被测工件的圆度误差值为：

$$\begin{aligned} f &= \frac{r_1 - r_2}{M} \cdot n \\ &= \frac{6 - 3}{10\,000} \times 2 \\ &= 0.000\,6 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

在此必须指出的是：极坐标纸上所描绘的轮廓图形，不表示被测零件被测截面上的圆度轮廓形状，而仅是实际工件圆形的径向偏差，即表示零件上圆的要素实际形状与其理论状态的偏差值。

2) 最小外接圆法 所谓最小外接圆法是指外接于测量轮廓，且半径最小的圆，如图 1—7 所示。确定最小外接圆，可用作图法和圆模板法在测量轮廓找一圆，使两者至少有两

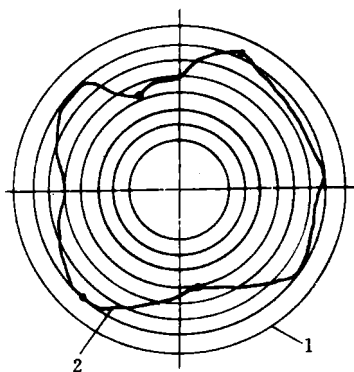


图 1—6 用圆模板评定圆度误差

1—圆模板 2—被测实际轮廓

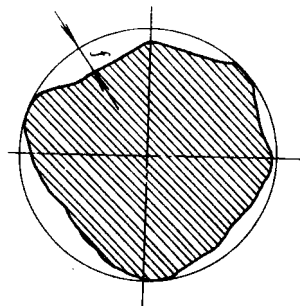


图 1—7 最小外接圆法

点接触，且半径为最小即为外接圆。

评定时测量轮廓与最小外接圆之间最大径向距离 f 即为该轮廓的圆度误差。这种方法可用圆规作图并通过逐渐缩小的半径试凑法，可找出最小外接圆，此方法适用于零件上外圆柱面的圆度测量。

(2) 两点法 两点法又称直径法，利用两点测量仪直接量得被测截面内的直径变动量，以评定圆度误差。图 1—8 中沿垂直于零件轴线的测量面测出直径的变动量。测量时应固定测量零件的轴向位置，然后转动量仪或转动工件，在回转一周中测出最大和最小值，取最大和最小值之差的一半作为该被测截面的圆度误差，其计算式为：

$$f = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \text{ (mm)}$$

用上述方法测量若干个截面，取其中最大的误差值作为零件的最大圆度误差。

实质上两点法只适用于呈偶数棱圆情况的圆形表面的圆度误差测量，当零件呈奇数棱圆时，测量结果难以反映真实状态。

两点法所测量的结果不符合圆度的定义，仅为近似值，一般应用在不严格的圆度公差测量上。

(3) 三点法 三点法又称 V 形测量法。它是用 V 形架支承被测要素，由指示器测得回转一周过程中被测表面的径向变动量，以评定圆度误差。如图 1—9 所示，将被测表面支承在 V 形架上，使其轴线垂直于测量面，且应固定轴向位置，使指示器与被测表面接触，然后转动被测零件，在回转一周内，从指示器上读得最大与最小读数，按下式求得该圆的圆度误差，即：

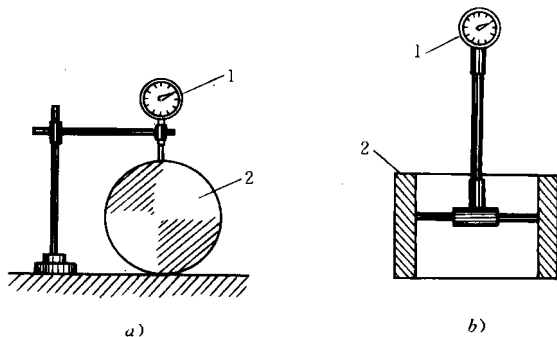


图 1—8 两点法测圆度误差

1—指示器 2—工件

$$\Delta f = \frac{\Delta F_{\max} - \Delta F_{\min}}{k}$$

式中 $\Delta F_{\max}$ 、 $\Delta F_{\min}$ ——指示器最大和最小读数；
 k ——反映系数。

由公式可知，利用三点法测量圆度误差时，指示器上所反映的情况，并不是真实的截面圆度误差，它还与反映系数 k 有关，反映系数 k 受 V 形架夹角、指示器测量时的安装角及工件轮廓棱数的影响。

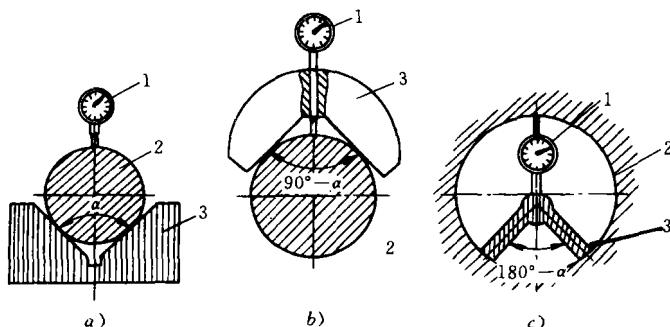


图 1—9 三点法测量圆度误差
 1—指示器 2—零件 3—V 形架

测量安置角是指指示器的安装轴线与 V 形对称中心面的夹角，用 β 表示。常用有对称安置和非对称安置两种方法。

对称安置时 $\beta = 0^\circ$ ，其测量轴线与 V 形对称面在同一平面内，如图 1—9 所示。

非对称安置时 $\beta > 0^\circ$ ，测量轴线与 V 形对称中心面不在同一平面内，而是偏转一个角度，如图 1—10 所示。

对称安置法的反映系数 k 值见表 1—3。

表 1—3 对称安置的反映系数 k

反 映 系 数 (k) V 形角 (α)		棱数 (n)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
	60°	—	3	—	—	3	—	0.8	3	—
	90°	1	2	0.4	2	1	—	2.4	—	1
	120°	1.6	1	0.4	2	—	2	0.4	1	1.6

注：表中没有列出数值的属于没有对应的测量值或反映系数极小。

非对称安置测量法的反映系数 k 值见表 1—4 和表 1—5。

表 1—4 非对称安置反映系数 k

反映系数 (k) V形角 (α)	棱数 (n)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60°	1.4	2	1.4	2	0.7	2	1.4	2	1.4
90°	1.6	1	1.9	1	1.2	1.7	1.1	1.7	0.5

注：此表适用于安置角度 $\beta = 30^\circ$ 时的测量。