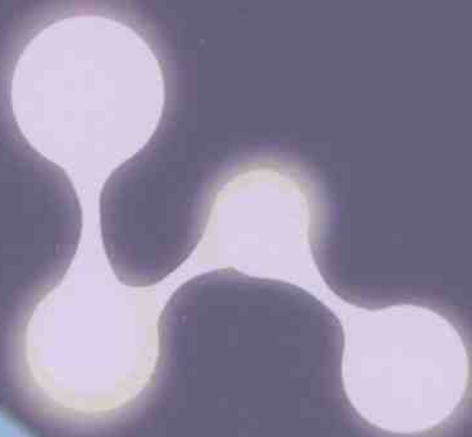


形位公差与检测技术

陈山弟 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



形位公差与检测技术

陈山弟 编著



机械工业出版社

本书着重介绍常用典型零件的检测、形位公差标注和直线度、平面度、圆度等 14 项形位公差及其检测。除介绍包容要求、最大实体要求及其检测、最小实体要求、可逆要求等；还介绍了车床几何精度检测和几何精度对加工质量的影响。本书理论与实际融为一体，教学与生产紧密相连；知识和能力共同提升；书中既有理论培训，又有实践操作培训，图文并茂，实用性强，并附有练习题。

本书可作为机械类设计、制造、质保技术人员的培训教材，也可作为高级机械加工技术工人和检验工的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

形位公差与检测技术/陈山弟编著. —北京：机械工业出版社，2008.10
ISBN 978-7-111-25455-3

I. 形… II. 陈… III. ①形位公差②技术测量 IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 165970 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑：孔 劲 责任编辑：章承林 版式设计：霍永明
责任校对：王 欣 封面设计：陈 沛 责任印制：邓 博
北京双青印刷厂印刷

2009 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm × 239mm · 9.75 印张 · 189 千字

0 001—4 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-25455-3

定价：22.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：(010) 68326294

购书热线电话：(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010) 88379772

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了加快高级技能人才的培养和实用型、技能型专业技术人员的培养,根据《国家职业标准》,结合机械制造行业的实际情况编写了本书。本书除了作为上海汽车工业职业技能鉴定培训教材,还可作为其他行业机械设计、制造、质保技术人员和高级机械加工技术工人、检验工的培训教材和参考书。

作者除了具有理论与实践的教学经历,还参与企业的技术工作,将一些生产现场的实际内容,赋予理论上的归纳总结充实到本书中。本书的特点是:理论与实践融为一体,教学与生产紧密相连,知识和能力共同提升。

由于作者水平有限,书中难免有不足与错漏之处,恳求广大读者批评指正。

陈山弟

目 录

前言

第1章 常用典型零件的检测	1
1.1 残缺圆柱面的检测	1
1.1.1 用圆柱检测残缺孔	1
1.1.2 用圆柱检测残缺轴	1
1.1.3 用千分表检测残缺孔	2
1.1.4 用游标卡尺检测残缺轴	3
1.2 角度的检测	3
1.2.1 用角度样板检测角度	3
1.2.2 用直角尺或圆柱角尺检测直角	3
1.2.3 用游标万能角度尺检测角度	4
1.2.4 用正弦规检测角度	4
1.2.5 用圆柱检测角度	7
1.3 圆锥的检测	9
1.3.1 用圆锥量规检测内、外圆锥	9
1.3.2 用正弦规检测内、外圆锥锥角	9
1.3.3 用圆柱检测外圆锥小端直径	10
1.3.4 用钢球检测内圆锥大端直径	10
1.3.5 用圆柱检测内圆锥大端直径	11
1.3.6 用钢球检测内圆锥的圆锥半角	11
1.3.7 用圆柱、量块检测外圆锥的圆锥半角	12
1.4 曲轴的检测	12
1.4.1 轴线平行度误差的检测	13
1.4.2 偏心距的检测	13
1.4.3 用垫量块法检测曲柄颈轴线间的夹角误差	14
1.4.4 用分度头检测曲柄颈轴线间的夹角误差	16
1.5 箱体的检测	18
1.5.1 孔的同轴度误差的检测	18
1.5.2 孔距的检测	19
1.5.3 孔轴线的平行度误差的检测	20
1.5.4 两孔轴线垂直度误差的检测	21
1.5.5 端面对孔轴线垂直度误差的检测	22
实践与练习1	22

第2章 形位公差及其检测	27
2.1 概述	27
2.1.1 形位公差的特征项目及其符号	27
2.1.2 形位公差框格	28
2.1.3 公差值形状限制与公差值局部限制	28
2.1.4 最小条件和最小区域	29
2.2 形位公差的标注	29
2.2.1 公差框格指引线的标注	29
2.2.2 基准符号的标注	30
2.2.3 被测要素的标注	30
2.2.4 基准要素的标注	32
2.2.5 简化标注	35
2.3 形位公差及其检测	38
2.3.1 基准要素和被测要素在检测中的应用	38
2.3.2 直线度	40
2.3.3 平面度	45
2.3.4 圆度	48
2.3.5 圆柱度	52
2.3.6 线轮廓度	56
2.3.7 面轮廓度	60
2.3.8 平行度	62
2.3.9 垂直度	67
2.3.10 倾斜度	73
2.3.11 同轴度	78
2.3.12 对称度	81
2.3.13 位置度	86
2.3.14 圆跳动	95
2.3.15 全跳动	102
2.4 公差原则	106
2.4.1 术语与代号	106
2.4.2 独立原则	108
2.4.3 包容要求	109
2.4.4 最大实体要求	111
2.4.5 最小实体要求	116
2.4.6 可逆要求	119
2.5 形位公差的未注公差	122
2.5.1 形位公差未注公差的概念	122
2.5.2 形位公差未注公差的图样表示法	122

2.5.3 形位公差的未注公差值	122
实践与练习2	125
第3章 车床几何精度检测和车床几何精度对加工质量的影响	135
3.1 卧式车床几何精度检测	135
3.1.1 床身导轨调平	135
3.1.2 溜板移动在水平面内的直线度	137
3.1.3 尾座移动对溜板移动的平行度	138
3.1.4 主轴的轴向窜动和轴肩支承面的端面圆跳动	138
3.1.5 主轴定心轴颈的径向圆跳动	139
3.1.6 主轴锥孔轴线的径向圆跳动	139
3.1.7 主轴轴线对溜板纵向移动的平行度	139
3.1.8 主轴顶尖的径向圆跳动	140
3.1.9 尾座套筒轴线对溜板移动的平行度	140
3.1.10 尾座套筒锥孔轴线对溜板移动的平行度	141
3.1.11 主轴和尾座两顶尖的等高度	142
3.1.12 小刀架纵向移动对主轴轴线的平行度	142
3.1.13 横刀架横向移动对主轴轴线的垂直度	142
3.1.14 丝杠的轴向窜动	143
3.1.15 由丝杠所产生的螺距累积误差	143
3.2 卧式车床几何精度对加工质量的影响	143
实践与练习3	147
参考文献	150

第1章 常用典型零件的检测

教学要求：熟悉检测常用典型零件的计算公式和器具；熟悉常用典型零件的检测方法和检测技能。

重点与难度：重点是角度、曲轴和箱体零件的检测方法和检测技能。难度是多拐曲轴的检测。

1.1 残缺圆柱面的检测

1.1.1 用圆柱检测残缺孔

将直径均为 d 的三个圆柱放置在残缺孔中，用深度千分尺测得距离 M ，如图 1-1 所示，然后按下式计算出孔的半径 R ：

$$R = \frac{d(d+M)}{2M}$$

式中 R ——孔半径 (mm)；
 d ——圆柱直径 (mm)；
 M ——检测值 (mm)。

例 1-1 已知圆柱直径 $d = 20\text{mm}$ ，用深度千分尺测得距离 $M = 2.1\text{mm}$ ，求零件的孔半径 R 。

解：

$$R = \frac{d(d+M)}{2M} = \frac{20(20+2.1)}{2 \times 2.1} \text{mm} = 105.238\text{mm}$$

1.1.2 用圆柱检测残缺轴

将残缺轴和两侧直径均为 d 的两个圆柱放置在平板上，用外径千分尺测得距离 M ，如图 1-2 所示，然后按下式计算出轴半径 R ：

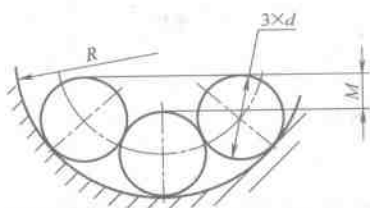


图 1-1 用圆柱检测残缺孔

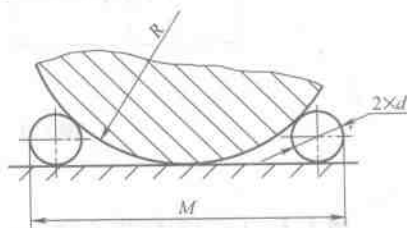


图 1-2 用圆柱检测残缺轴

$$R = \frac{(M - d)^2}{8d}$$

式中 R ——轴半径 (mm);

d ——圆柱直径 (mm);

M ——检测值 (mm)。

例 1-2 已知圆柱直径 $d = 25\text{mm}$, 用外径千分尺测得距离 $M = 155.2\text{mm}$, 求轴的半径 R 。

解:
$$R = \frac{(M - d)^2}{8d} = \frac{(155.2 - 25)^2}{8 \times 25} \text{mm} = 84.76\text{mm}$$

1.1.3 用千分表检测残缺孔

如图 1-3a 所示, 检测工具是利用定位块作为弦长 L , 从千分表中反映弦高 H 的原理制成的。检测时把该检具放置在零件的内孔中, 旋转表盘, 使千分表的指针对准零位。如图 1-3b 所示, 在平板上用两头等高的量块支撑起该检具的定位块, 调整量块的高度, 使千分表的指针恢复至零件中的位置, 然后根据量块的高度 H 按下式计算出孔半径 R :

$$R = \frac{L^2 + 4H^2}{8H}$$

式中 R ——内孔半径 (mm);

H ——量块高度 (mm);

L ——定位块长度 (mm)。

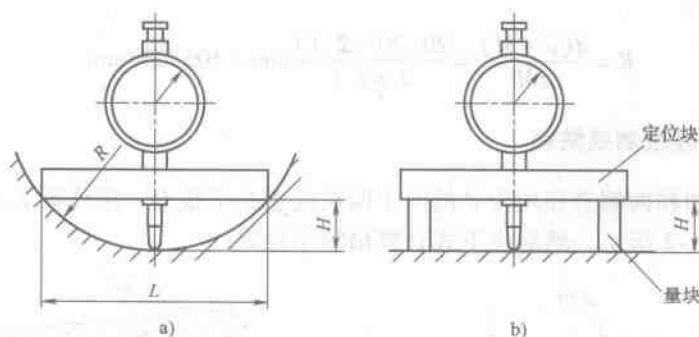


图 1-3 用千分表检测残缺内孔

a) 检测 b) 对表

例 1-3 已知定位块长度 $L = 110\text{mm}$, 量块高度 $H = 4.22\text{mm}$, 求零件的内孔半径 R 。

解:
$$R = \frac{L^2 + 4H^2}{8H} = \frac{110^2 + 4 \times 4.22^2}{8 \times 4.22} \text{mm} = 360.52 \text{mm}$$

1.1.4 用游标卡尺检测残缺轴

用外卡脚长为 H 的游标卡尺检测残缺轴, 测得距离为 M , 如图 1-4 所示, 然后按下式计算出轴半径 R :

$$R = \frac{M^2 + 4H^2}{8H}$$

式中 R ——轴半径 (mm);

H ——游标卡尺外卡脚长 (mm);

M ——检测值 (mm)。

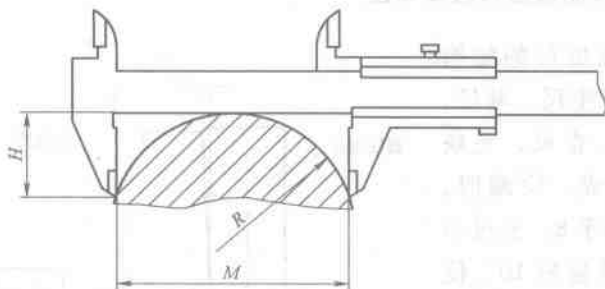


图 1-4 用游标卡尺检测残缺轴

例 1-4 已知游标卡尺的外卡脚长 $H = 40 \text{mm}$, 测得距离 $M = 120 \text{mm}$, 求轴的半径 R 。

解:
$$R = \frac{M^2 + 4H^2}{8H} = \frac{120^2 + 4 \times 40^2}{8 \times 40} \text{mm} = 65 \text{mm}$$

1.2 角度的检测

1.2.1 用角度样板检测角度

成批或大量生产时, 可用角度样板检测零件的角度。检测时, 将角度样板的工作面与零件的被测面接触, 根据间隙大小来判断角度, 如图 1-5 所示。

1.2.2 用直角尺或圆柱角尺检测直角

如图 1-6 所示, 将零件的基准面放置在平板上, 使零件的被测面与直角尺或圆柱角尺的工作面轻轻接触, 根据间隙大小来判断直角。

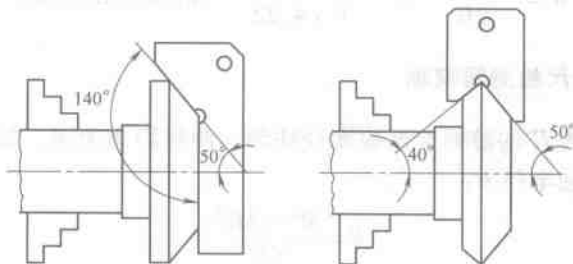


图 1-5 用角度样板检测圆锥齿轮坯的角度

1.2.3 用游标万能角度尺检测角度

游标万能角度尺的结构见图 1-7a, 它由主尺、基尺、游标尺、角尺、直尺、夹块及锁紧器等组成。检测时, 可转动背面的捏手 8, 通过小齿轮 9 转动扇形齿轮 10, 使基尺 5 改变角度。转到所需角度时, 可用锁紧器 4 锁紧。夹块 7 可将角尺和直尺固定在所需的位置上。

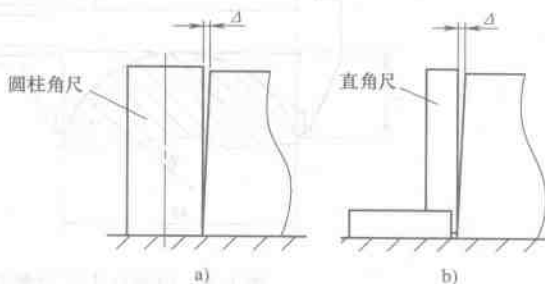


图 1-6 用圆柱角尺或直角尺检测直角

a) 圆柱角尺检测直角 b) 直角尺检测直角

游标万能角度尺是按游标原理读数, 见图 1-7b。主尺每格为 1° , 游标上每格的分度值为 $2'$ 。

游标万能角度尺的检测范围是 $0^\circ \sim 320^\circ$, 按不同方式组合可检测不同的角度。如图 1-8a 所示, 检测范围是 $0^\circ \sim 50^\circ$; 如图 1-8b 所示, 检测范围是 $50^\circ \sim 140^\circ$; 如图 1-8c 所示, 检测范围是 $140^\circ \sim 230^\circ$; 如图 1-8d 所示, 检测范围是 $230^\circ \sim 320^\circ$ 。

1.2.4 用正弦规检测角度

如图 1-9 所示, 正弦规主要由平台 3 和直径相同且互相平行的两个圆柱 4, 以及紧固在平台侧面的侧挡板 1 和紧固在平台前面的前挡板 2 组成。正弦规用于检测小于 40° 的角度, 精度可达 $\pm 3'' \sim \pm 1''$ 。

正弦规检测角度的方法是: 设正弦规两圆柱的中心距为 L , 先按被测角度的

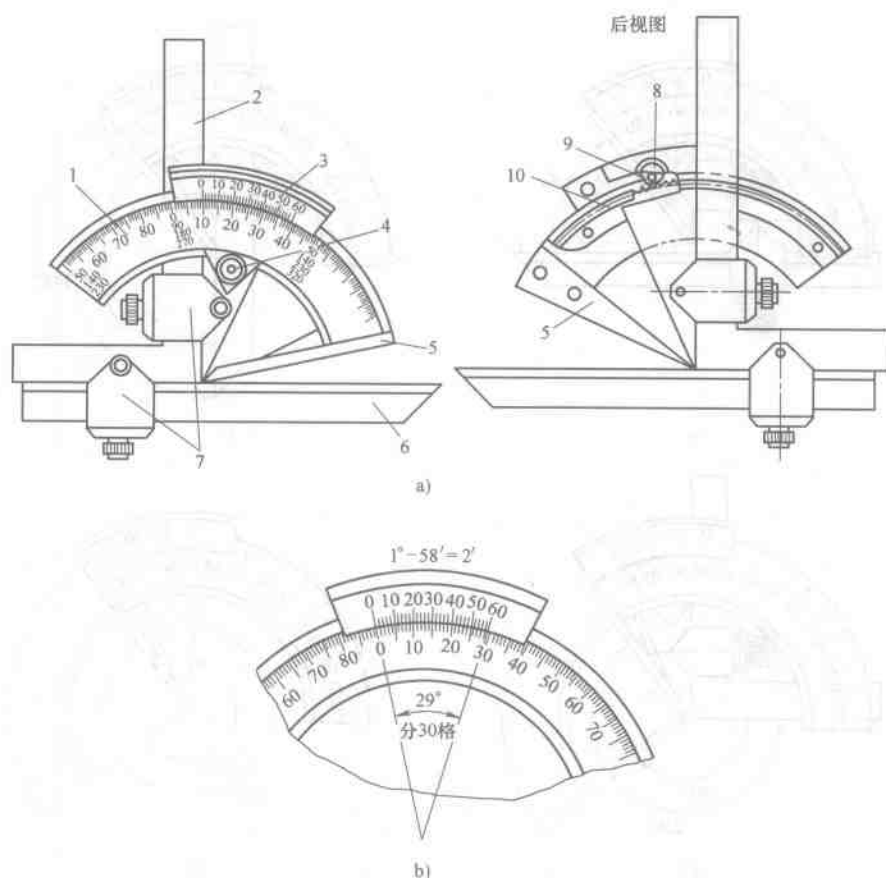


图 1-7 游标万能角度尺

a) 结构图 b) 游标读数

1—主尺 2—角尺 3—游标尺 4—锁紧器 5—基尺 6—直尺

7—夹块 8—捏手 9—小齿轮 10—扇形齿轮

理论值 α 算出量块尺寸 H , 即

$$H = L \sin \alpha$$

式中 α ——被测角度的理论值 ($^{\circ}$);

H ——量块尺寸 (mm);

L ——正弦规两圆柱的中心距 (mm)。

然后将组合好的高度为 H 的量块垫在一端圆柱下, 一同放置于平板上; 再将被测零件放置在正弦规的平台上, 如图 1-10b 所示。若零件的被测实际角度等于理论值 α 时, 则被测面与平板是平行的, 用指示器可检测被测面与平板是否平行。

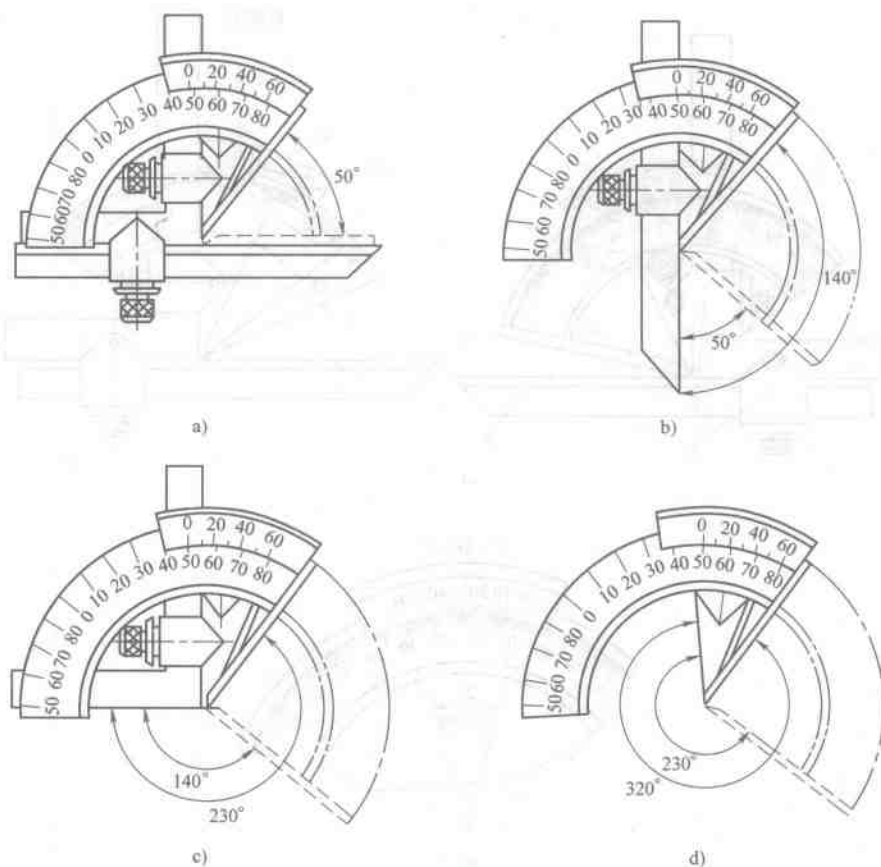


图 1-8 游标万能角度尺的检测范围

a) 0° ~ 50° b) 50° ~ 140° c) 140° ~ 230° d) 230° ~ 320°

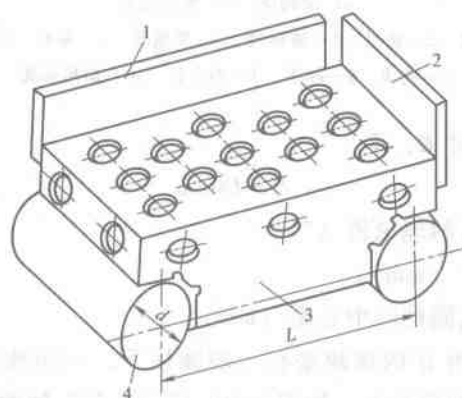


图 1-9 正弦规

1—侧挡板 2—前挡板 3—平台 4—圆柱

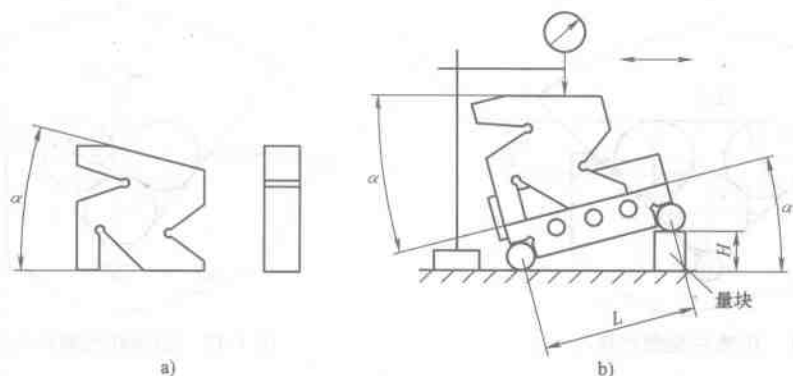


图 1-10 用正弦规检测角度

a) 被测零件 b) 检测示例

1.2.5 用圆柱检测角度

如图 1-11 所示, 将直径均为 d 的三个圆柱放置在被测内角中, 用深度千分尺测得距离 M , 然后按下式计算出角度 α :

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{M}{d}$$

则

$$\alpha = 2 \arccos \frac{M}{d}$$

式中 α ——被测角度 ($^{\circ}$); d ——圆柱直径 (mm); M ——检测值 (mm)。

例 1-5 已知圆柱直径 $d = 10\text{mm}$, 用深度千分尺测得距离 $M = 5.15\text{mm}$, 求零件的内角 α 。

解:
$$\alpha = 2 \arccos \frac{M}{d} = 2 \arccos \frac{5.15}{10} = 118^{\circ}$$

如图 1-12 所示, 将直径均为 d 的三个圆柱放置在被测内角中, 用量块与塞尺测得距离 M , 然后按下式计算出角度 α :

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{M + d}{2d}$$

则

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{M + d}{2d}$$

式中 α ——被测角度 ($^{\circ}$); d ——圆柱直径 (mm); M ——检测值 (mm)。

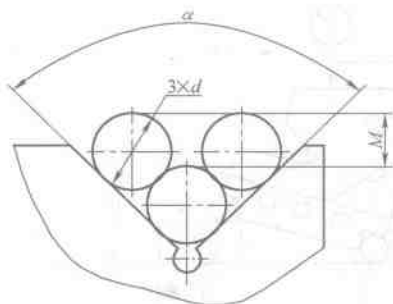


图 1-11 用圆柱检测内角 (一)

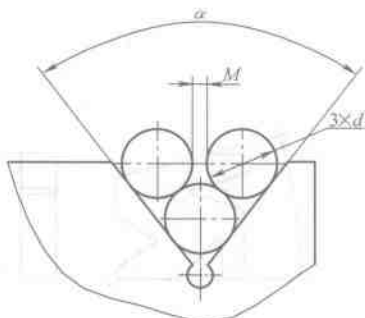


图 1-12 用圆柱检测内角 (二)

例 1-6 已知圆柱直径 $d = 8\text{mm}$, 用量块与塞尺测得距离 $M = 1.74\text{mm}$, 求零件的内角 α 。

解:
$$\alpha = 2\arcsin \frac{M+d}{2d} = 2\arcsin \frac{1.74+8}{2 \times 8} = 75^\circ$$

如图 1-13 所示, 将直径分别为 D 和 d 的两个圆柱放置在被测内角中, 用量块与塞尺测得距离 M , 然后按下式计算出角度 α :

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2M+D+d}$$

则

$$\alpha = 2\arcsin \frac{D-d}{2M+D+d}$$

式中 α ——被测角度 ($^\circ$);

d ——圆柱直径 (mm);

M ——检测值 (mm)。

例 1-7 已知圆柱直径 $D = 10\text{mm}$, $d = 4\text{mm}$, 用量块与塞尺测得距离 $M = 1.77\text{mm}$, 求零件的内角 α 。

解:
$$\alpha = 2\arcsin \frac{D-d}{2M+D+d} = 2\arcsin \frac{10-4}{2 \times 1.77+10+4} = 40^\circ$$

如图 1-14 所示, 将直径均为 d 的两个圆柱放置在被测内角中, 用量块与塞尺测得距离 M , 然后按下式计算出角度 α :

$$\sin \alpha = \frac{M}{d}$$

则

$$\alpha = \arcsin \frac{M}{d}$$

式中 α ——被测角度 ($^\circ$);

d ——圆柱直径 (mm);

M ——检测值 (mm)。

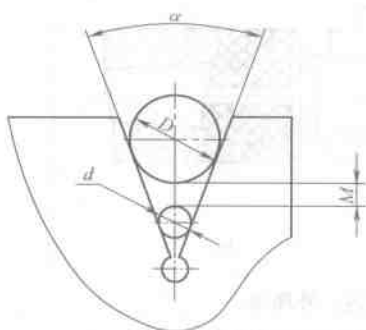


图 1-13 用圆柱检测内角 (三)

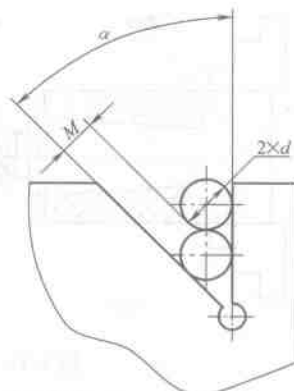


图 1-14 用圆柱检测内角 (四)

例 1-8 已知圆柱直径 $d = 8\text{mm}$, 用量块与塞尺测得距离 $M = 5.66\text{mm}$, 求零件的内角 α 。

解:

$$\alpha = \arcsin \frac{M}{d} = \arcsin \frac{5.66}{8} = 45^{\circ}2'$$

1.3 圆锥的检测

1.3.1 用圆锥量规检测内、外圆锥

可用圆锥量规来检测零件的莫氏锥度和其他标准锥度, 其中圆锥塞规用于检测内锥体; 圆锥套规用于检测外锥体。检测时用显示剂 (印油或红丹粉) 在零件外锥体表面或圆锥塞规表面沿着素线均匀地涂上三条线 (此三条线沿圆周方向均布, 涂色要求薄而均匀); 然后将塞规或套规的锥面与被测锥面轻轻接触; 再在 120° 范围内往复旋转量规。退出塞规或套规后, 若三条显示剂全长被均匀地擦去, 说明零件锥度正确, 如果锥体小端或大端被擦去, 说明零件锥度不正确; 如果锥体两头或中间被擦去, 说明零件锥体素线不直。

如图 1-15 所示, 圆锥塞规和圆锥套规上分别有两条环形刻线和一个缺口台阶, 用于检测锥体大端或小端直径的尺寸, 如锥体端面位于环形刻线或缺口台阶之间, 且两锥体表面接触均匀, 则表示锥体的锥度和尺寸正确。

1.3.2 用正弦规检测内、外圆锥锥角

用正弦规检测内、外圆锥的锥角见本章用正弦规检测角度。

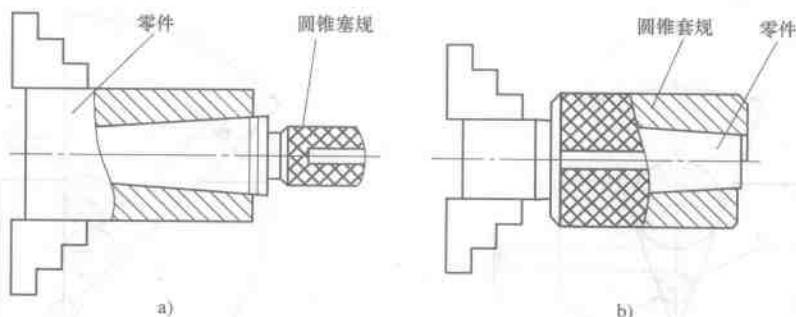


图 1-15 用圆锥量规检测内、外圆锥

a) 内圆锥大端直径正确 b) 外圆锥小端直径正确

1.3.3 用圆柱检测外圆锥小端直径

如图 1-16 所示, 将直径均为 d 的两个圆柱放置在圆锥的小端两处, 并与放置在小端端面的平铁接触, 用外径千分尺测得距离 M , 然后按下式计算出圆锥小端直径 d_1 :

$$d_1 = M - d - d \cot\left(\frac{90^\circ - \alpha/2}{2}\right)$$

式中 d_1 ——圆锥小端直径 (mm);

d ——圆柱直径 (mm);

$\alpha/2$ ——圆锥半角 ($^\circ$);

M ——检测值 (mm)。

1.3.4 用钢球检测内圆锥大端直径

如图 1-17 所示, 将直径为 d 的钢球放置在圆锥的大端处, 并与放置在大端端面的平铁接触, 用外径千分尺测得距离 M , 然后按下式计算出圆锥大端直径 D :

$$D = D_0 - 2M + d \left(\cot \frac{90^\circ - \alpha/2}{2} + 1 \right)$$

式中 D ——圆锥大端直径 (mm);

d ——圆柱直径 (mm);

$\alpha/2$ ——圆锥半角 ($^\circ$);

M ——检测值 (mm);

D_0 ——外径 (mm)。