

图解

常用量具的使用方法和 测量实例

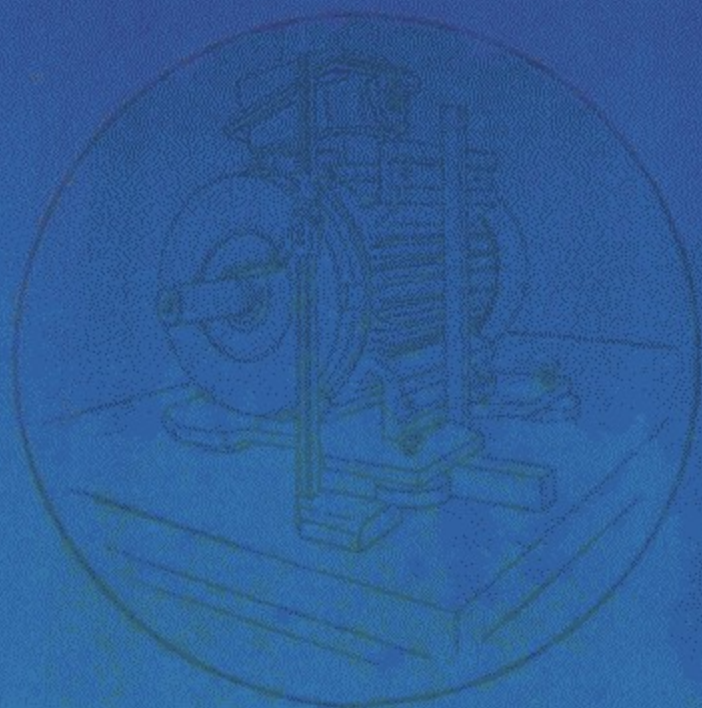
TU JIE CHANG YONG LIANG JU DE SHI YONG FANG FA HE CE LIANG SHI LI

才家刚 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TU JIE CHANG YONG LIANG JU DE SHI YONG FANG FA HE CE LIANG SHI LI



ISBN 7-111-20098-5



9 787111 200987 >

- ISBN 7-111-20098-5
- 封面设计 / 电脑制作：马精明

编辑热线 (010)88379768

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
联系电话：(010) 68326294 网址：<http://www.cmpbook.com>
(010) 60093621 E-mail: ordina@cmpbook.com

定价：19.80元

2007

TG8

46

2007



常用量具的使用方法和 测量实例

才家刚 编著

机械工业出版社

本书以图文并茂的形式,介绍了机械测量中常用量具的名称、规格、使用参数以及使用方法和注意事项等。其中量具包括传统的品种,也包括近期出现的数字化产品;测量方面介绍了一整套普通电动机的零部件及整机机械尺寸和形位公差测量实例,用于进一步理解量具的使用方法,同时也为实际测量(特别是普通电动机的实际测量)提供了一套检测规范和参考资料;在附录中给出了一些测量方面的实用尺寸和形位公差数据,可供生产和检测时使用。

由于采用了大量的实物图片配合文字进行介绍,所以好读易记。特别适合初学机械测量的人员作为入门教材和工作手册;同时也可作为从事机械技术工作的教学人员和工程技术人员选用测量器具、编制测量规范和指导现场测量的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

图解常用量具的使用方法和测量实例/才家刚编著. —北京:机械工业出版社, 2006. 10

ISBN 7-111-20098-5

I. 图... II. 才... III. ①量具—使用—图解②量具—测量—图解 IV. TG8-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 124247 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:李振标 版式设计:冉晓华 责任校对:李汝庚

封面设计:马精明 责任印制:洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

140mm × 203mm · 8.875 印张 · 234 千字

0001—4000 册

定价:19.80 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) 68326294

编辑热线电话 (010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

机械加工是加工行业中占比例最大的一项工作。要使加工出来的工件达到设计图样的要求，则必须对其进行检测，所以机械检测也是一项繁重而且要求严密的工作。

本书以图文并茂的形式，较详细地介绍了常用机械测量用的各种量具的名称、规格、使用参数以及使用方法和注意事项等，其中包括传统的品种，也包括近期出现的数字化产品；为了进一步理解量具的使用方法，同时也为实际测量提供一套检测规范和参考资料，在最后一章介绍了一整套普通电动机的零部件及整机机械尺寸和形位公差测量实例。由于采用了大量的实物图片配合文字进行介绍，所以好读易记。本书适合初学机械测量的人员作为入门教材和工作手册；同时也可作为从事机械测量技术工作的教学人员和工程技术人员参考。

本书计量器具部分主要参考了梁国明和张保勤先生编写的有关书籍和国家及行业标准，并引用了其中一些内容；在写作过程中，黄培飞、张新财、邵全全、王传柏、闻玉凤等多名多年从事检测技术和现场检验工作的同志在很多方面给与了大力的支持和帮助。在此一并表示衷心的感谢。

由于作者的学识和实践经验有限，书中难免有不妥甚至错误之处，望广大读者给予批评指正。

作 者

2006 年 2 月

目 录

前言

第一章 测量和量具常识	1
第一节 计量器具的常用术语	1
一、刻度间距（刻度间隔）	1
二、分度值（刻度值）	1
三、示值范围（指示范围）	1
四、测量范围	1
五、示值误差	2
六、修正值（校正值）	2
七、示值变化（示值稳定性）	3
八、回程误差	3
九、测量力	3
十、放大比	3
十一、计量器具的不确定度允许值 u_L	3
十二、计量器具的不确定度 u_L	4
第二节 测量误差的来源和分类	5
一、测量误差的来源	5
二、测量误差的分类	6
第三节 光滑工件尺寸的验收极限和计量器具的选用	7
一、光滑工件尺寸的验收极限	7
二、安全裕度	7
三、光滑工件尺寸的验收极限计算举例	8
四、计量器具的选择	10
第四节 计量器具的使用和维护保养常识	12
一、量具的正确使用	13
二、量具的维护与保养	14

第二章 通用量具	16
第一节 测量基准器具	16
一、平板	16
二、方箱	17
三、V形架	19
第二节 游标卡尺	19
一、游标卡尺的分类	19
二、游标卡尺使用方法和注意事项的通用内容	20
三、I型游标卡尺的结构、用途和使用方法	27
四、II型游标卡尺的结构、用途和使用方法	30
五、III型游标卡尺的结构、用途和使用方法	30
六、IV型游标卡尺的结构、用途和使用方法	32
七、带表游标卡尺	36
八、电子数显游标卡尺	39
九、特殊用途的游标卡尺	45
第三节 深度游标卡尺	50
一、深度游标卡尺的用途和种类	50
二、深度游标卡尺的结构、性能参数、使用方法和注意事项	50
三、弯头深度游标卡尺及使用方法	53
第四节 高度游标卡尺	55
一、高度游标卡尺的用途、种类和结构	55
二、高度游标卡尺的性能参数、使用方法和注意事项	56
三、带表和双柱高度游标卡尺	60
第五节 外径千分尺	62
一、外径千分尺的用途、种类和结构	62
二、外径千分尺的性能参数	63
三、外径千分尺的使用方法和注意事项	66
四、大型外径千分尺	77
第六节 其他特殊结构和用途的外径千分尺	79
一、杠杆千分尺	79
二、尖头千分尺	83
三、壁厚千分尺	83
四、板厚千分尺	84

五、公法线千分尺	84
六、螺纹千分尺	86
第七节 深度千分尺	87
一、深度千分尺的结构和工作原理	87
二、深度千分尺的测量范围和示值误差	87
三、深度千分尺的使用方法和注意事项	87
第八节 内径千分尺	90
一、内径千分尺的结构和工作原理	90
二、内径千分尺的测量范围和示值误差	90
三、内径千分尺的使用方法和注意事项	92
四、三爪内径千分尺	96
第九节 内测千分尺	98
一、内测千分尺的结构和用途	98
二、内测千分尺的规格、分度值和示值误差	98
三、内测千分尺的使用方法和注意事项	99
第十节 指示表类量具	100
一、指示表类量具的分类和工作原理	100
二、机械式百分表	100
三、大量程百分表	112
四、机械式千分表	112
五、数显式百分表和千分表	113
六、内径百分表	115
七、杠杆百分表	118
八、其他特殊用途的百分表和千分表	123
九、各种专用表架和安装附件	129
第十一节 角度量具	129
一、直角尺	129
二、万能角度尺	131
第十二节 二维和三维坐标测量设备简介	137
一、非接触式二维坐标测量机	138
二、复合式三坐标测量机	139
三、接触式三坐标测量机	140
四、手动接触式三坐标测量机	141

第三章 专用量具	143
第一节 概述	143
一、专用量具的定义、分类和用途	143
二、专用量具“过端”和“止端”的定义和使用原则	143
三、专用检测工装	145
第二节 测量外尺寸的光滑量规——卡规（卡板）	145
一、卡规的用途和常用类型	145
二、卡规的使用方法	146
第三节 检查内尺寸的光滑量规——塞规	148
一、检查内尺寸光滑量规的分类	148
二、检查圆柱孔内径用的光滑塞规	150
三、检查圆锥孔内径和锥度用的光滑塞规	152
四、带百分表的圆锥塞规	153
五、检查圆锥轴直径和锥度用的光滑环规	154
六、检查键槽用的光滑塞规（键规）	155
第四节 检查螺纹的量规——螺纹规和螺纹样板	156
一、螺纹规的分类	156
二、螺纹塞规的使用方法	156
三、螺纹环规的使用方法	157
四、螺纹样板及使用方法	157
第五节 检查圆弧角的量规——半径样板（ R 规）	158
第六节 表面粗糙度样块（板）	160
一、粗糙度样块（板）的结构和相关标准	160
二、粗糙度样块（板）的使用方法	162
第七节 测量两个平面间隙的专用量具——塞尺	163
第八节 测量两个平行平面距离的专用量具	164
第九节 内卡钳和外卡钳的应用	166
第十节 测量转轴用的专用支架	170
 第四章 机械检测实例——电机机械尺寸和形位公差 的测量	 172
第一节 说明	172
第二节 常用三相异步电动机零部件的名称	173

第三节 机座的检测方法和相关规定实例	173
一、机座的结构、主要尺寸和形位公差	173
二、止口尺寸和形位公差的测量	173
三、铁心档直径尺寸和圆度的测量	181
四、机座长度的测量	183
五、机座中心高的测量	183
六、底脚支撑面平面度的测量	186
七、机座止口公共基准轴线对底脚支撑面平行度的测量	187
八、机座底脚安装孔的孔径 K 、孔距 A 和 B 、 $A/2$ 的测量	187
九、机座底脚安装孔对轴线中心竖直平面距离 ($A/2$) 的测量和 计算方法	189
十、机座 C 尺寸的测量	196
十一、底脚螺栓通孔 (K 孔) 位置度的计算和考核方法	199
十二、机座端面螺孔的测量	204
十三、机座两端口、铁心档同轴度的检查	204
十四、机座吊环螺孔的检查	205
第四节 端盖机械尺寸和形位公差的检测方法和相关规定实例	207
一、端盖的类型、主要尺寸和形位公差	207
二、止口的检测	208
三、轴承室的检测	208
四、止口平面到轴承室底平面距离的测量	211
五、端盖轴承室内圆对止口基准轴线的径向圆跳动的测量	211
六、端盖止口端面对轴承室内圆基准轴线的端面圆跳动测量	214
七、端面孔的尺寸和形位公差的测量	215
八、凸缘端盖的检测及特有的项目	215
第五节 转轴尺寸和形位公差的检测方法	219
一、主要尺寸和形位公差	219
二、轴承档尺寸和形位公差的测量	219
三、轴伸尺寸和形位公差的测量	223
四、转轴铁心档的尺寸测量	231
第六节 转子尺寸和形位公差的检测方法	232
一、转子铁心外圆直径、长度和转子铁心轴向位置的测量	233
二、转子铁心外圆对基准轴线径向圆跳动的测量	233

第七节 电机外形尺寸和形位公差的测量	235
一、常用电机外形结构分类	235
二、常用电机外形结构尺寸和代码	236
三、电机整机外形的形位公差	239
四、轴伸及键槽尺寸和形位公差的测量	242
五、轴中心高的测量	242
六、轴中心线对底脚支承面的平行度测量	243
七、轴伸肩至邻近的底脚孔轴线距离 (C 尺寸) 的测量	244
八、凸缘端盖安装孔孔径 (S 尺寸)、基圆直径 (M 尺寸)、 相邻孔的弦距、位置度以及止口直径 (N 尺寸) 的测量	246
九、凸缘端盖止口对电机轴线径向和端面圆跳动的测量	247
十、轴伸端面至凸缘端盖止口端面 (凸缘平面) 距离的测量	248
十一、转子轴向窜动量的测量	249
十二、底脚平面度的测量	249
十三、底脚安装孔的 K 、 B 、 A 及计算安装孔位置度 的相关数据测量及计算	250
十四、利用辅助工装测量 $A/2$ 的简易方法	252
十五、底脚安装孔位置度的计算	254
十六、总长的测量	254
十七、定、转子气隙的测量和气隙均匀值的计算	254
附录	256
附录 A 常见金属材料在 $20 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内时的线膨胀系数 α	256
附录 B 基本偏差系列	256
附录 C 一般公差中线性尺寸的极限偏差数值	257
附录 D 一般公差中倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值	258
附录 E 数显量具上的功能键英文与中文对照表及其功能介绍	258
附录 F 现用表面粗糙度和原用表面光洁度标注符号的对照表	259
附录 G 表面粗糙度高度参数值的标注示例及意义	259
附录 H 形位公差项目	260
附录 I 形状公差带定义、标注和解释	260
附录 J 定向公差带定义、标注和解释	263
附录 K 定位公差带定义、标注和解释	265

附录 L	跳动公差带定义、标注和解释	267
附录 M	电机轴线对底脚支撑面的平行度公差	268
附录 N	电机底脚支撑面的平面度公差	268
附录 O	电机轴伸直径 D 、键槽宽 F 、 G 尺寸及其公差、键槽对称度、 轴伸长度一半处的径向圆跳动公差	269
附录 P	凸缘止口直径 N 、凸缘止口对电机轴线的径向圆跳动及凸缘 配合面对电机轴线的端面圆跳动公差	270
附录 Q	电机用普通球轴承径向游隙 δ	270
参考文献		271

第一章 测量和量具常识

第一节 计量器具的常用术语

一、刻度间距（刻度间隔）

在计量器具的刻度标尺上，相邻两条刻线之间的距离叫做刻度间距，刻度间距又称为刻度间隔。例如图 1-1a 所示的游标卡尺尺身上相邻两条刻线之间的距离为 1mm，则该尺身的刻度间距即为 1mm。

二、分度值（刻度值）

在计量器具的刻度标尺上，最小格所代表的被测尺寸的数值叫做分度值，分度值又称为刻度值。例如图 1-1a 所示的游标卡尺的游标每一小格刻度代表的被测尺寸是 0.02mm，则该卡尺的分度值即为 0.02mm；再如图 1-1b 所示的数显游标卡尺的最小显示值为 0.01mm，则该数显卡尺的分度值即为 0.01mm；在图 1-1c 所示的百分表的表盘上，每一小格刻度代表的被测尺寸是 0.01mm，则该百分表的分度值即为 0.01mm。

三、示值范围（指示范围）

计量器具所指示的起始值到终值的范围，叫做示值范围，也叫做指示范围。例如图 1-1a 所示的游标卡尺的示值范围是 150mm；图 1-1d 所示的外径千分尺的示值范围是 25mm。

四、测量范围

计量器具所能够测量的最小尺寸与最大尺寸之间的范围被称作该计量器具的测量范围。例如图 1-1a 所示的游标卡尺的测量范围是 0 ~ 150mm；图 1-1d 所示的外径千分尺的测量范围是 25 ~ 50mm。应注意的是，不要把测量范围与示值范围混为一谈，例如上述外径千分尺的测量范围是 25 ~ 50mm，但它的示值范围

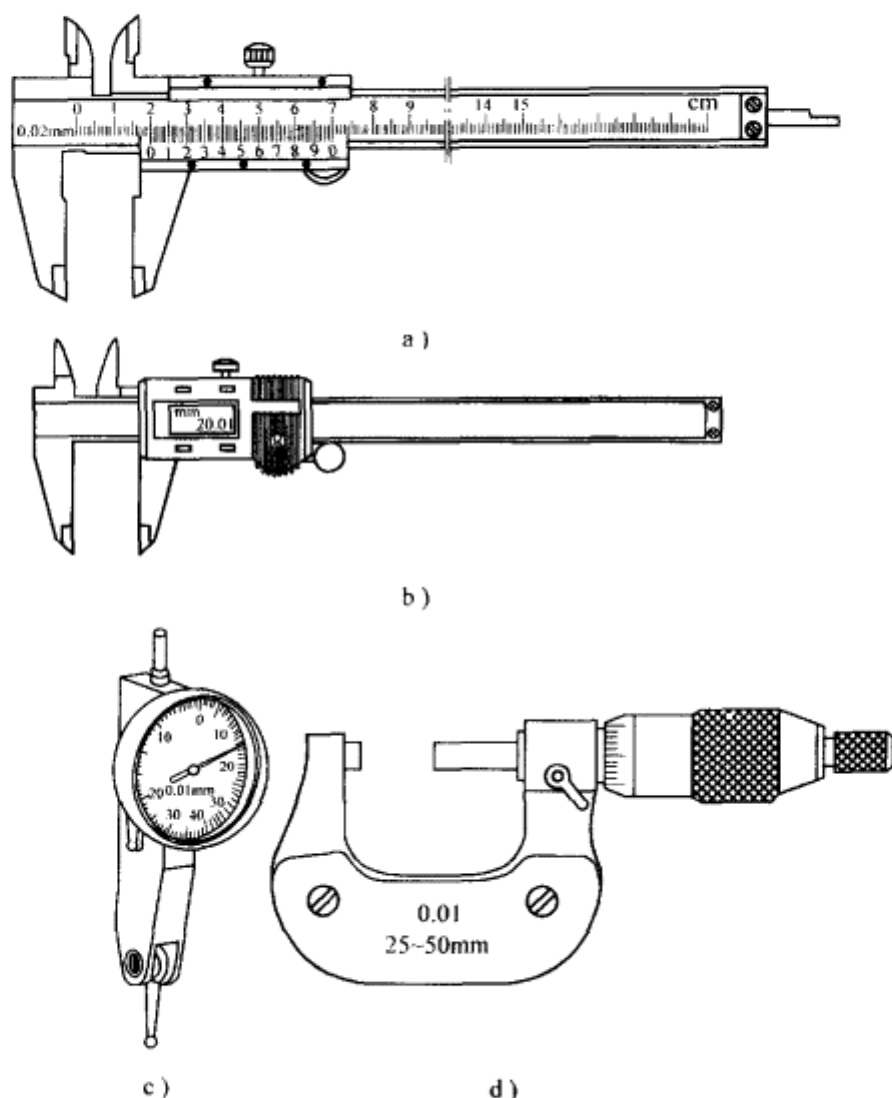


图 1-1 计量器具刻度间隔、分度值、示值范围和测量范围的概念
 a) 游标卡尺 b) 数显游标卡尺 c) 百分表 d) 外径千分尺

是 25mm（同样，若某外径千分尺的测量范围是 50 ~ 75mm，它的示值范围仍是 25mm）。

五、示值误差

计量器具指示出来的测量值与被测量值的实际数值之差，称为示值误差。它是由于计量器具本身的各种误差所引起的。该误差的大小可通过计量器具的检定来得到。

六、修正值（校正值）

当计量器具的示值误差为已知后，则可以通过减去（当示值误差为正值时）或加上（当示值误差为负值时）该误差值，使测量值等于被测量的实际值。减去或加上的这个值即为修正值，它与示值误差在数值上相等，但符号相反。

例如，通过检定，某卡尺的示值误差为 $+0.02\text{mm}$ ，即修正值应为 -0.02mm 。用该卡尺测量某一部件的长度时，从卡尺上得到的测量示值为 100.02mm 。则被测长度实际值应为 $100.12\text{mm} - 0.02\text{mm} = 100.00\text{mm}$ 。

七、示值变化（示值稳定性）

在外界条件不变的情况下，用计量器具对同一个尺寸进行重复多次的测量时，计量器具的指示值不会每次都完全相同。把各次显示值的最小到最大值之间所包含的范围叫做示值变化。在计量器具的检定规程中，一般要给出示值变化的允许范围。

八、回程误差

计量器具对同一个尺寸进行正向和反向测量时，由于结构上的原因，其指示值不可能完全相同，这种误差被称作回程误差。

九、测量力

测量时，大部分计量器具的测量头都需要加一定的压力来和被测量面（或线、点）相接触才能进行测量，这个压力就叫做测量力。测量力应适当，小或大都会造成一定的测量误差，这一点对于精密测量尤为重要。当测量力过大时，还有可能造成计量器具的永久变形甚至损坏。

十、放大比

使用量仪进行测量时，被测尺寸的微小变动就会引起量仪指示元件（例如百分表的指针等）的较大移动量。该移动量与被测尺寸变化量之比叫做量仪的放大比。放大比越大，读数也就越精确。

十一、计量器具的不确定度允许值 u_1

计量器具的“不确定度”是表示计量器具误差的一个数值。在实际测量选用计量器具时，为了保证测量值的准确度达到一定

的规范值，则要求计量器具的“不确定度”在一个允许的范围之内，这就是计量器具的“不确定度”值 u_1 。它在数值上应该等于安全裕度的 90%，即 $u_1 = 0.9A$ （见本章第三节）。表 1-3 中给出了不同公差数值时计量器具的“不确定度”值 u_1 。

由温度、工件形状误差及测量力造成的压陷效应等因素引起的“不确定度”值 $u_2 = 0.45A$ 。

$$A = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \approx \sqrt{(0.9A)^2 + (0.45A)^2}$$

十二、计量器具的不确定度 u_L

计量器具的不确定度的数值 u_L 包括计量器具本身的不确定度和调整器（如千分尺用的校对量杆）的不确定度。不同的计量器具有不同的不确定度数值。常用游标卡尺、千分尺和千分表、百分表等的不确定度的数值 u_L 见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 常用游标卡尺、千分尺的不确定度数值 u_L (mm)

尺 寸 范 围	不 确 定 度 数 值 u_L			
	分度值 0.01 外径千分尺	分度值 0.01 内径千分尺	分度值 0.02 游标卡尺	分度值 0.05 游标卡尺
> 0 ~ 50	0.004	0.008	0.020	0.050
> 50 ~ 100	0.005			
> 100 ~ 150	0.006			
> 150 ~ 200	0.007	0.013		
> 200 ~ 250	0.008			
> 250 ~ 300	0.009			
> 300 ~ 350	0.010	0.020	—	0.100
> 350 ~ 400	0.011			
> 400 ~ 450	0.012			
> 450 ~ 500	0.013	0.025		
> 500 ~ 600	—	0.030		
> 600 ~ 700	—			
> 700 ~ 1000	—			0.150

表 1-2 常用千分表、百分表的不确定度数值 u_L (mm)

尺寸范围	不确定度数值 u_L				
	分度值 0.001 的千分表(0 级在全量程范围内, 1 级在 0.2mm 内); 分度值 0.002 的千分表(在 1 转范围内)	分度值 0.001 (1 级)、0.002、0.005 的千分表(在全量程范围内)	分度值 0.01 的百分表(0 级在 1 转范围内)	分度值 0.01 的百分表(0 级在全量程范围内, 1 级在 1 转范围内)	分度值 0.01 的百分表(1 级在全量程范围内)
>0 ~ 25	0.005	0.10	0.10	0.018	0.030
>25 ~ 40					
>40 ~ 65					
>65 ~ 90					
>90 ~ 115					
>115 ~ 165	0.006	0.10	0.10	0.018	0.030
>165 ~ 215					
>215 ~ 265					
>265 ~ 315					

第二节 测量误差的来源和分类

一、测量误差的来源

测量误差的来源是多方面的, 其主要的来源有如下 5 个方面。

(一) 标准件误差

对于长度测量器具来讲, 校准用的量块等器具即为标准件。它们本身的误差将影响被校量具的准确度。

(二) 测量方法误差

由于测量方法和被测工件安装方式的不同所引起的误差, 或者因量具或被测工件的位置不正确而产生的误差, 叫做测量方法

误差。为了减小因定位造成的测量方法误差，在测量中应遵守基准面统一的原则。

（三）计量器具误差

影响计量器具误差的因素较多，主要有计量器具的工作原理、结构、制造和调整的水平以及测量时操作人员的调整及操作技术水平等；在接触测量时，测量力的大小都会造成一定的误差。为此，一方面要保持适当的测量力，另一方面要求在事先对“0”位和测量时所施加的测量力尽可能相同。

（四）环境条件引起的误差

测量时的环境条件，例如环境温度、湿度、大气压力、空气的清洁度、振动等因素引起的测量误差即为环境条件引起的误差。在一般测量中，温度变化所引起的误差是主要的。

（五）测量人员引起的误差

测量人员引起的误差主要来自于责任心和技术水平、熟练程度，其次是操作人员的眼睛调节能力、分辨能力以及操作习惯等。

二、测量误差的分类

测量误差主要分如下三大类：

（一）系统误差

系统误差又叫规律误差。它是在一定的测量条件下，对同一个被测量尺寸和进行多次重复测量时，误差值的大小和符号（正值或负值）保持不变；或者在条件变化时，按一定规律变化的误差。

这种误差可以通过实验分析或计算加以确定，若能在测量结果中加以相应的修正，该误差还能减小甚至消除。

（二）随机误差

随机误差又叫偶然误差。它是在相同的测量条件下，对同一个被测量尺寸进行多次重复测量时，误差值的大小和符号要发生变化，但变化没有一定规律的误差。随机误差不能像系统误差那样通过实验分析或计算加以确定，当然也就不能用修正的方法加

以消除。只能用增加重复测量次数的方法，来减少它对测量结果的影响。

（三）粗大误差

粗大误差又叫粗误差或寄生误差。它是指对测量结果发生明显歪曲的一些误差。产生本项误差的主要原因是主观原因，其中包括：使用了有缺陷的量具；操作时疏忽大意；读数、记录、计算的错误等，这些误差又被称为疏忽误差。另外，环境条件的反常突变因素（例如突如其来的冲击、振动和电磁干扰等）也是产生这些误差的原因。

只要发现有该项误差存在，就应将测量的数值废弃不用。

第三节 光滑工件尺寸的验收极限和计量器具的选用

一、光滑工件尺寸的验收极限

生产加工的每一件工件都应进行测量检测，以保证其符合图样和相关要求。为保证工件的实际尺寸不超过图样规定的公差带，检验时不能按着图样规定的公差带来确定测量所显示的尺寸数据是否合格，而必须从图样给出的公差带最大极限尺寸和最小极限尺寸分别向内缩一段距离（图 1-2 ~ 图 1-4 中的 A），然后把剩余的这一段作为工件的“生产公差带”。如图 1-2 ~ 图 1-4 所示。检验时将上述“生产公差带”作为“验收公差带”来进行控制。这个公差带的上、下限也就叫做上、下验收极限。超过这个极限的工件则认为是不合格品。

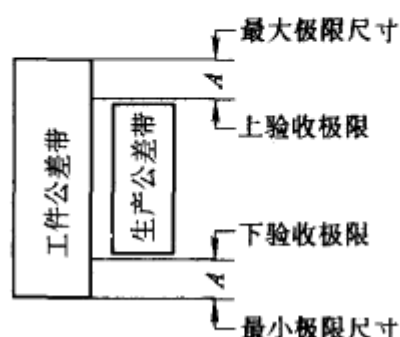


图 1-2 验收极限的配置

二、安全裕度

在上述求取“生产公差带”和“验收公差带”的过程中，将图样中给出的公差带缩进的一个尺寸 A 即被称为“安全裕度”。“安全裕度” A 值的大小是由工件图样标注的公差值来确

定的。表 1-3 给出了一些常用的数值。根据工件图样标注的公差和“安全裕度” A 值，即能方便地计算出“生产公差带”或“验收公差带”及“验收极限”。

表 1-3 安全裕度和计量器具不确定度允许值 (mm)

工件的尺寸公差值	安全裕度 A	计量器具不确定度允许值 $u_1 = 0.9A$
$>0.009 \sim 0.018$	0.001	0.009
$>0.018 \sim 0.032$	0.002	0.0018
$>0.032 \sim 0.058$	0.003	0.0027
$>0.058 \sim 0.100$	0.006	0.0054
$>0.100 \sim 0.180$	0.010	0.009
$>0.180 \sim 0.320$	0.018	0.016
$>0.320 \sim 0.580$	0.032	0.029
$>0.580 \sim 1.000$	0.060	0.054
$>1.000 \sim 1.800$	0.100	0.090
$>1.800 \sim 3.200$	0.180	0.160

三、光滑工件尺寸的验收极限计算举例

例 1 求取工件轴径为 $\phi 120h10$ ($_{-0.14}^0$) 的验收极限。

解：工件的最大极限尺寸 = 基本尺寸 + 上偏差 = $120\text{mm} + 0\text{mm} = 120\text{mm}$

工件的最小极限尺寸 = 基本尺寸 + 下偏差 = $120\text{mm} + (-0.14\text{mm}) = 119.86\text{mm}$

工件的图样标注的公差值为：上偏差 - 下偏差 = $0\text{mm} - (-0.14\text{mm}) = 0.14\text{mm}$ ，在表 1-1 中的 $>0.100 \sim 0.180\text{mm}$ 的范围内，由表 1-1 可得安全裕度 $A = 0.01\text{mm}$ 则

该工件验收极限的上限 = 最大极限尺寸 - $A = 120\text{mm} - 0.01\text{mm} = 119.99\text{mm}$

该工件验收极限的下限 = 最小极限尺寸 + $A = 119.86\text{mm} +$

$$0.01\text{mm} = 119.87\text{mm}$$

验收极限的下限也可用以下计算方法：

$$\text{最大极限尺寸} - \text{工件公差} + A = 120\text{mm} - 0.14\text{mm} + 0.01\text{mm} = 119.87\text{mm}$$

所以，该工件轴径应在 $119.99 \sim 119.87\text{mm}$ 之内方为合格品，如图 1-3 所示。

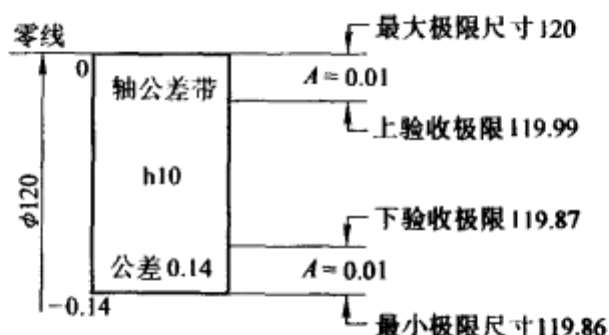


图 1-3 某工件轴径的验收极限

例 2 求取工件孔径为 $\phi 140\text{F8} \left(\begin{smallmatrix} +0.106 \\ +0.043 \end{smallmatrix} \right)$ 的验收极限。

解：工件的最小极限尺寸 = 基本尺寸 + 下偏差 = $140\text{mm} + 0.043\text{mm} = 140.043\text{mm}$

工件的最大极限尺寸 = 基本尺寸 + 上偏差 = $140\text{mm} + 0.106\text{mm} = 140.106\text{mm}$

工件的图样标注的公差值为 $0.106\text{mm} - 0.043\text{mm} = 0.063\text{mm}$ ，在表 1-1 中的 $>0.058 \sim 0.100\text{mm}$ 的范围内，由表 1-1 可得安全裕度 $A = 0.006\text{mm}$ ，则

该工件验收极限的下限 = 最小极限尺寸 + $A = 140.043\text{mm} + 0.006\text{mm} = 140.049\text{mm}$

该工件验收极限的上限 = 最大极限尺寸 - $A = 140.106\text{mm} - 0.006\text{mm} = 140.100\text{mm}$

或最小极限尺寸 + 工件公差 - $A = 140.043\text{mm} + 0.063\text{mm} - 0.006\text{mm} = 140.100\text{mm}$

所以，该工件的内径在 $140.049 \sim 140.100\text{mm}$ 之内方为合格品，如图 1-4 所示。

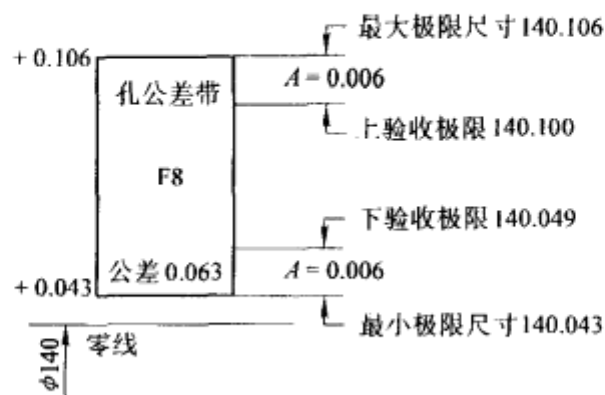


图 1-4 某工件孔径的验收极限

四、计量器具的选择

(一) 计量器具的选择原则

选择计量器具的主要依据是被测对象——被测工件，具体要求如下：

(1) 根据被测工件要测量的项目，例如外长度尺寸、内长度尺寸、角度、锥度、圆弧等。

(2) 根据被测工件的批量，批量很小，甚至只有一两件时，应选用通用量具（或称万能量具）；批量较大时，应考虑使用专用量具或高效机械化或自动化的专用量具。

(3) 根据被测工件的特点（如被测部位、材料、重量、刚性和表面粗糙度等）选择适当的量具。例如测量较软的铝、铜等材料制成的工件时，就不能选用测量力较大的计量器具；被测量表面粗糙的工件，则不可使用测量面精度等级较高的量具。

(4) 根据被测工件的尺寸长度来选择量具的测量范围，应注意考虑被测尺寸的公差。

(5) 根据被测工件的尺寸公差大小来选择量具的精度。总的原则是：公差较大的工件选用较低精度的量具；反之选用较高精度的量具。

(二) 计量器具的选择方法

选择计量器具的步骤大致可分如下三步：

(1) 根据被测工件的尺寸公差，由表 1-3 查出安全裕度 A 和

计量器具的不确定度允许值 u_1 。

(2) 根据被测工件的尺寸范围, 对计量器具不确定度的数值 u_L 进行选择, 要求所选的计量器具不确定度的数值 u_L 不大于计量器具的不确定度允许值 u_1 , 即 $u_L \leq u_1$, 即由表 1-1 和表 1-2 选择出符合 $u_L \leq u_1$ 条件的计量器具。

(3) 确定出被测工件的验收极限值。

(三) 计量器具的选择举例

例 1 请选择测量直径为 $\phi 250h12(-0.46)$ 的圆轴的计量器具。

解: (1) 首先选择安全裕度 A 和计量器具的不确定度的允许值 u_1 。

工件的公差为 0.46mm 。在表 1-3 公差范围一栏中的 $>0.320 \sim 0.580$ 范围内, 其安全裕度 A 和计量器具的不确定度的允许值 u_1 分别为 0.032mm 和 0.029mm 。

(2) 根据要测量的尺寸为 250mm , 在表 1-1 尺寸范围一栏中的 $>200 \sim 250\text{mm}$ 范围内。由表 1-1 可以看出分度值为 0.020mm 的游标卡尺即可满足要求。因为该卡尺的不确定度的数值 $u_L = 0.020\text{mm}$, 而测量要求的不确定度允许值 $u_1 = 0.029\text{mm}$, 符合 $u_L \leq u_1$ 的要求。

(3) 求出验收极限。

该工件验收极限的上限 = 最大极限尺寸 - $A = 250\text{mm} - 0.032\text{mm} = 249.968\text{mm}$

该工件验收极限的下限 = 最大极限尺寸 - 工件公差 + $A = 250\text{mm} - 0.460\text{mm} + 0.032\text{mm} = 249.572\text{mm}$

例 2 请选择测量孔径为 $\phi 150H10(+0.100)$ 的计量器具。

解: (1) 首先选择安全裕度 A 和计量器具的不确定度的允许值 u_1 。

工件的公差为 0.160mm , 在表 1-3 公差范围一栏中的 $>0.100 \sim 0.180$ 范围内, 其安全裕度 A 和计量器具的不确定度的允许值 u_1 分别为 0.010mm 和 0.009mm 。

(2) 根据要测量的尺寸为 150mm , 在表 1-1 尺寸范围一栏

中的 $> 100 \sim 150\text{mm}$ 范围内。由表 1-1 可以看出分度值为 0.010mm 的内径千分尺即可满足要求。因为该千分尺的不确定度的数值 $u_L = 0.008\text{mm}$ ，而测量要求的不确定度允许值 $u_1 = 0.009\text{mm}$ ，符合 $u_L \leq u_1$ 的要求。

(3) 求出验收极限。

该工件验收极限的下限 = 最小极限尺寸 + $A = 150\text{mm} + 0.010\text{mm} = 150.01\text{mm}$

该工件验收极限的上限 = 最小极限尺寸 + 工件公差 - $A = 150\text{mm} + 0.160\text{mm} - 0.010\text{mm} = 150.15\text{mm}$

例 3 请选择测量直径为 $\phi 35\text{e}9\left(\begin{smallmatrix} -0.05 \\ -0.112 \end{smallmatrix}\right)$ 的圆轴的计量器具。

解：(1) 首先选择安全裕度 A 和计量器具的不确定度的允许值 u_1 。

工件的公差为 0.062mm ，在表 1-3 公差范围一栏中的 $>0.058 \sim 0.100$ 范围内，其安全裕度 A 和计量器具的不确定度的允许值 u_1 分别为 0.006mm 和 0.0054mm 。

(2) 根据要测量的尺寸为 35mm ，在表 1-1 尺寸范围一栏中的 $>0 \sim 50\text{mm}$ 范围内，可以看出分度值为 0.010mm 的外径千分尺即可满足要求。因为该千分尺的不确定度的数值 $u_L = 0.004\text{mm}$ ，而测量要求的不确定度允许值 $u_1 = 0.0054\text{mm}$ ，符合 $u_L \leq u_1$ 的要求。

(3) 求出验收极限。

该工件验收极限的上限 = 最大极限尺寸 - $A = 34.950\text{mm} - 0.006\text{mm} = 34.944\text{mm}$

该工件验收极限的下限 = 最大极限尺寸 - 工件公差 + $A = 34.950\text{mm} - 0.062\text{mm} + 0.006\text{mm} = 34.894\text{mm}$

第四节 计量器具的使用和维护保养常识

正确使用量具是保证测量准确性的一个重要环节。每一种量具都会有其特有的使用方法和注意事项，本节将介绍的是它们通用的部分，特有的项目将在分类介绍时再详细讲述。

一、量具的正确使用

(一) 正确选用量具

选用什么量具进行测量和所选用量具的精度等级,应根据被测对象及其公差值的大小来决定。其有关内容见前面几节和后面的有关介绍。

(二) 减少测量误差的几项注意事项

1. 减少测量方法误差的影响

要正确地选择测量方法和被测工件的定位安装方式,熟悉被测工件的加工过程,正确选择测量基准面。

2. 减小量具误差的影响

(1) 所有量具都要坚持定期进行校核和检定,合格后才可继续使用;超差值在规定范围内的,可给出修正值并在使用时对实测的数值进行修正;不合格的量具坚决不能使用,并要进行报废处理。

(2) 对某些量具,在使用之前要仔细地校对零位。

(3) 量具测头应滑动均匀,避免出现过松或过紧的现象。

3. 减少测量力引起的误差

在测量过程中,量具的测头(例如卡尺的刀口)要轻轻地接触被侧面,避免因用力过猛损伤量具或破坏工件被侧面,同时造成测量数据的失准。

在测量工件的尺寸时,量具测量面与被测工件的接触紧密程度与测量力有直接关系,为保证测量值的公正性和真实性,对不同的工件应施加不同的测量力。有些量具本身具有控制测量力的装置(如外径千分尺的测力装置),应正确使用这些装置进行测量;对完全靠操作者控制测量力的量具,例如普通的 I 型游标卡尺,则需要注意控制测量力的大小。

不同公差的尺寸允许的测量力可参考表 1-4 给出的数值。

表 1-4 不同公差的尺寸允许的测量力参考值

被测尺寸公差/mm	≤ 0.002	$> 0.002 \sim 0.010$	> 0.010
允许的测量力/N	2.5	4.0	< 10

对测量力有要求的被测工件，应按要求进行，必要时，需要专用的具有可调测量力的量具。

4. 减少温度引起的误差

所有物体的尺寸和形状都会不同程度地受温度的影响，一般物体表现出“热胀冷缩”的特性。

温度变化 1°C ，长度变化的数量与原来数值之比叫做这种材料的线膨胀系数，用符号 α 表示，单位是 $1/\text{K}$ 或 K^{-1} 。常见金属材料在 $20 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内时的线膨胀系数 α 见附录 A。

由于上述原因，致使所用量具和被测工件所用的材料不同时，会造成测量值的误差，如果两者所具有的温度也不同，则造成的测量误差将会更大。所以，在测量时应尽可能地使量具和被测工件的温度相同；若制作量具的材料与被测工件所用材料的线膨胀系数相差较大，并且对测量的精确度要求较高时，应对测量值进行温度修正。

量具和被测工件应尽可能放在同一环境温度中，测量前共同放置的时间可根据被测工件的大小来确定， 1m 以下的不少于 1.5h ， $1 \sim 3\text{m}$ 的为 3h ，超过 3m 时应在 4h 以上。

量具不应放在热源附近和阳光下，以及没有绝热装置的机床变速箱上、风口处等高温或低温地方。

应注意测量者的体温，特别是握量具的手温影响。为此，有些量具（例如外径千分尺等）在手握的部位安装隔热垫（或板），测量时，手要握在装有隔热垫的部位。戴手套来拿量具是一个有效的方法，如图 1-5 所示。

二、量具的维护与保养

量具的日常维护与保养常识如下：

(1) 不使用的量具应妥善放置在专用的量具盒中，并加以固定。量具应放置在不有害气体、清洁、干燥、温度适宜、无振动的场合；另外，要注意远离较强的磁场（例如磨床的磁性工作台、车床的磁性卡盘等），以避免其铁磁材料（铁、钴、镍及其合金等能被磁化的材料，被称为铁磁材料）做成的元件（例

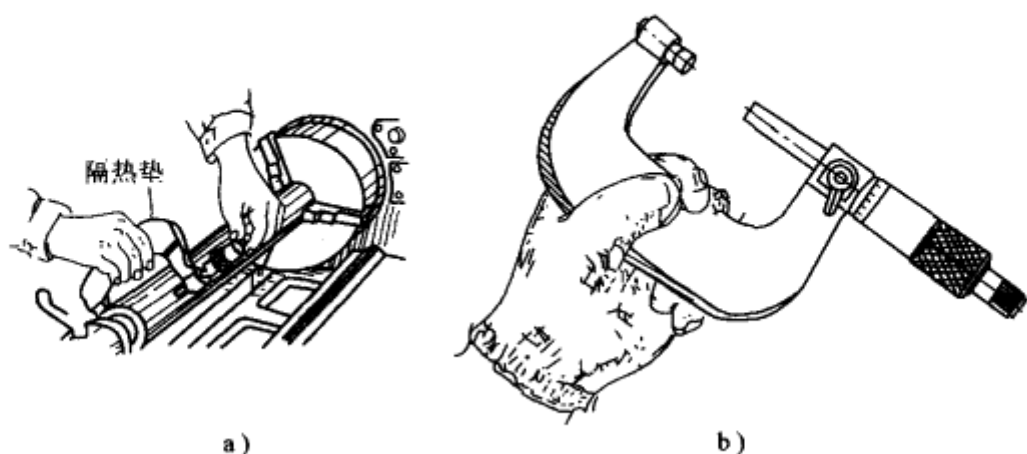


图 1-5 减少手温影响的方法
a) 手握隔热垫部位 b) 戴手套操作

如测量爪，测头等）被磁化，在测量时吸附铁屑，影响测量准确度和造成测量面的磨损。

(2) 搬运量具时要轻拿轻放，要放置在平整的物面上，并防止受重压变形。

(3) 不允许把量具和其他工具、刀具等放置在一起，以免受到伤害。

(4) 不允许测量正在旋转的工件。

(5) 在测量之前，要将被测量工件的测量部位清理干净，不准附着油污、粉末等杂物。

(6) 测量较粗糙的表面时，不应使用贵重和精密的量具。

(7) 不要用手擦摸量具的测量面，以避免手上的汗水、油污污染测量面，使之受到腐蚀生锈。

(8) 量具使用完毕后，要及时用干净的布料、棉丝等擦拭干净，并放置在专用的量具盒内。当较长时间不再使用时，对于无防锈功能的元件，要涂一层防锈油加以保护，两个测量面不要紧靠在一起。

(9) 不允许把量具当作扳手、划针、锤子等工具使用。

(10) 要妥善保管量具的使用说明书、检定证书等资料。

第二章 通用量具

通用量具是指那些测量范围和测量对象较广的量具，一般可直接得出精确的实际测量值，其制造技术和要求较复杂，一般是成系列、规范化地由专业生产企业制造。

有些通用量具，例如游标卡尺、游标高度尺、游标深度尺、外径千分尺、内径千分尺等，又被称为“万能量具”。

第一节 测量基准器具

一、平板

(一) 平板的分类

平板是机械测量中最常用的基准定位器具，也称为平台。常用的有铸铁和岩石材料制造的两种，图 2-1 所示的是一种铸铁平板外形示例。

根据其工作表面的不平整度数值大小，平板的精度分为 4 级，即 0、1、2 和 3 级，数值越小，精度越高，常用平板的规格和精度等级见表 2-1。电机机械测量用的平板一般为 1 级和 2 级。

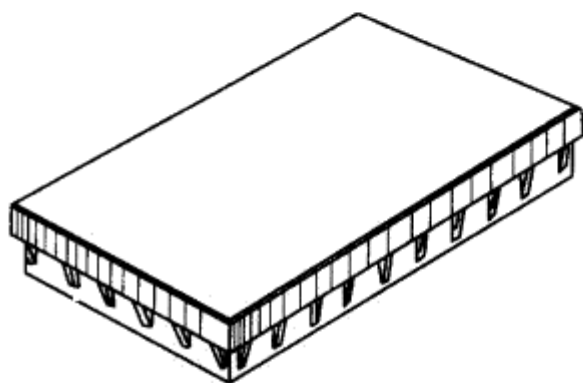


图 2-1 测量用铸铁平板的外形

(二) 平板的使用方法和注意事项

(1) 0、1 和 2 级平板一般用于做测量基准面，而 3 级平板常用作划线平台。

(2) 平板一般用三个支点来调整水平。大平板增加的支承

点须垫平垫稳，不可破坏水平面，受力要均匀。

表 2-1 常用平板的规格和精度等级

平板规格 (长 × 宽) /mm	平面度公差值/ μm			平板规格 (长 × 宽) /mm	平面度公差值/ μm		
	0 级	1 级	2 级		0 级	1 级	2 级
250 × 250	5.5	11	22	1000 × 630	9.0	18	35
400 × 250	6.0	12	24	1000 × 1000	10	20	39
400 × 400	6.5	13	25	1250 × 1250	11	22	44
630 × 400	7.0	14	28	1600 × 1000	12	23	46
630 × 630	8.0	16	30	1600 × 1600	13	26	52
800 × 800	9.0	17	34	2500 × 1600	16	32	64

(3) 应避免因局部使用过于频繁而造成过多的磨损。

(4) 应避免热源的影响和酸性物质的腐蚀。

(5) 较长时间不用时，应在其工作面上涂一层防锈油并加以覆盖，以防尘土侵蚀和意外的机械损害。

(6) 往平板上放置工件时，应注意轻放，并禁止工件的尖角先接触平板。

(7) 平板使用到一定时间后，应检查其精度是否符合应有的等级，不符合要求时，应重新进行研磨或刮研。

(三) 对刮研后平板的检查方法和标准

一般用涂色法检验经过刮研平板的平面度和质量。每边为 25mm 平面内的刮研斑点数按平板的精度等级应达到如下标准：

1 级平板：不少于 25 个；

2 级平板：不少于 20 个；

3 级平板：不少于 12 个；

0 级平板：在以涂色法补充检查时，斑点数同 1 级平板的要求。

二、方箱

方箱主要用于测量工件的平行度、垂直度和划线时支撑工件。一般为边长相同的正方体或长方体，其外形如图 2-2 所示。

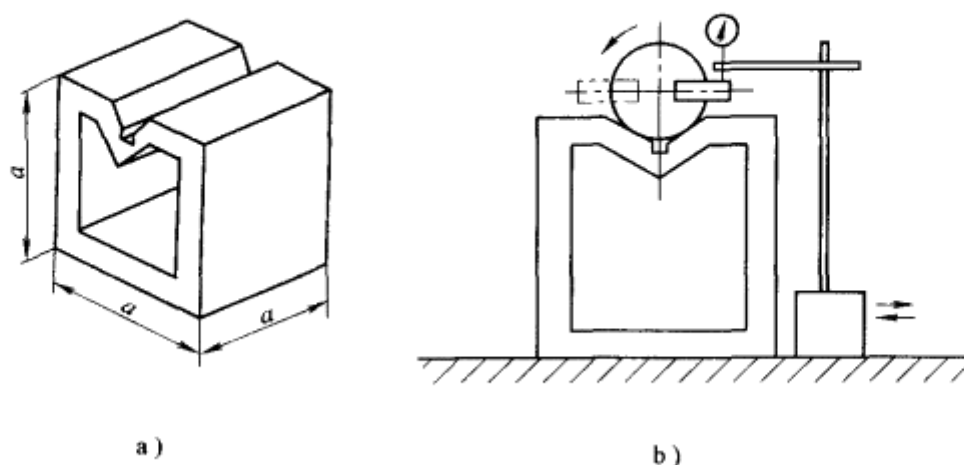


图 2-2 方箱的外形及应用示例

a) 外形 b) 应用示例 (测量轴伸键槽的对称度)

方箱的精度分为 1、2 和 3 共三个等级。常用规格和有关参数见表 2-2。

表 2-2 常用方箱的规格和有关参数

规格 (边长) /mm	工作面的平面度/ μm			工作面的垂直度、平行度及 V 形槽对底面的平行度偏差/ μm		
	1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级
100	3.5	7	15	7	15	30
160	4.0	9	17	8	18	35
200	4.5	10	20	9	20	40
250	5.0	11	22	10	22	45
315	5.5	12	25	11	25	50
400	6.5	15	30	13	30	60
500	—	17	35	—	35	70

修整方箱的方法有磨削和刮削两种，刮削的方箱除检定工作面外，还要检定接触斑点，在 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 面积内，1 级和 2 级的不少于 25 个点，3 级的不少于 20 个点，任意两个正方形内的斑点数之差应不大于最少斑点数的 $1/4$ ，V 形槽的工作面不允许有凸出点。

三、V 形架

V 形架，主要用于轴类工件加工或检测时做紧固或定位的辅助工具。常用的 V 形架有 I、II、III、IV 共 4 种类型，其中前三种的 V 形槽的夹角均为 90° ，最后一种（即 IV 型）的 V 形槽的夹角除 90° 外，还有 60° 、 72° 、 108° 和 120° 四种。其外形如图 2-3 所示，机械检测时最常用的是 II 和 III 型。

根据工作面的粗糙度不同数值，V 形架也分为 0、1 和 2 共三个精度等级。

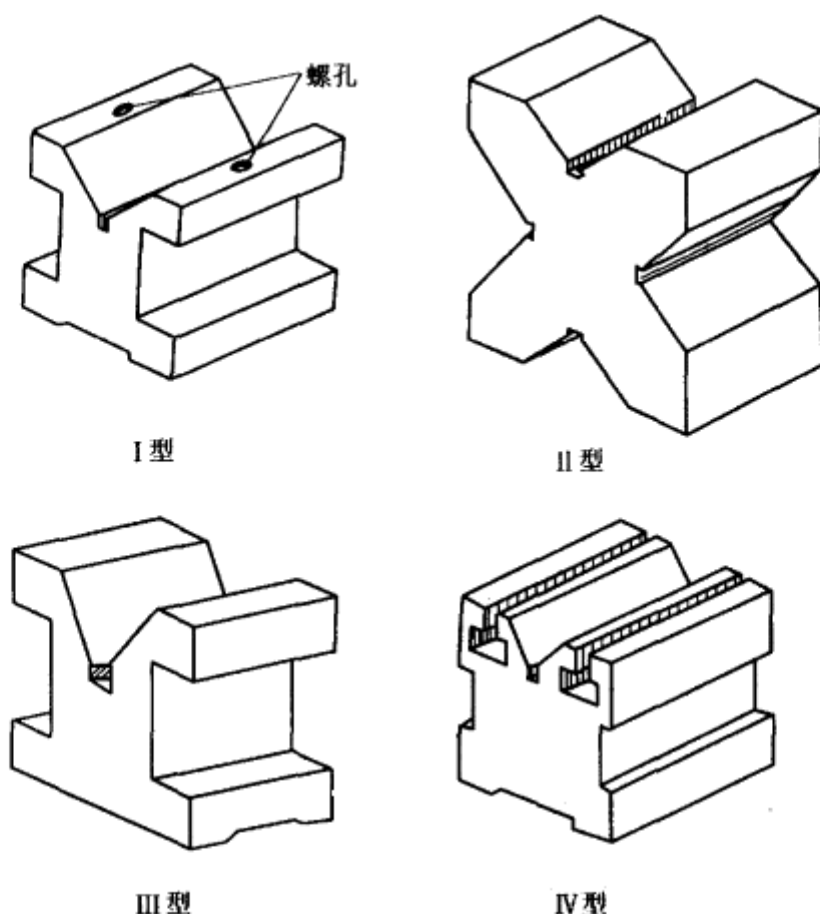


图 2-3 V 形架的外形

第二节 游标卡尺

一、游标卡尺的分类

游标卡尺分传统式的读格式（简称卡尺）、带表式（简称带

表卡尺)和先进的电子数显式(简称数显卡尺)三大类。各类又可分为Ⅰ型(三用游标卡尺)、Ⅱ型(两用游标卡尺)、Ⅲ型(双面游标卡尺)和Ⅳ型(单面游标卡尺)共四种类型。其中Ⅱ型和Ⅰ型相比只是少了一个深度尺,其他结构基本相同。图2-4给出了几种常用读格游标卡尺的外形和结构图,其他类型和专用卡尺的外形和结构将在后面讲到时给出。

二、游标卡尺使用方法和注意事项的通用内容

尽管游标卡尺的种类繁多,但其测量原理是完全相同的,使用方法及其注意事项也大体相同。下面首先介绍这些通用部分的内容。

(一) 使用前的检查和有关要求

1. 对外观和相关部件的检查

在使用卡尺之前,必须首先仔细地检查其外观和相关部件是否符合要求,检查项目和应达到的要求如下:

(1) 卡尺的刻度线和数字应清晰。

(2) 不应有锈蚀、磕碰、断裂、划伤或其他影响使用性能的缺陷。

(3) 用手轻轻拉或推尺框,尺框在尺身上移动应平稳,不应有阻滞或松动现象,紧固螺钉的作用应可靠。

(4) 用手摸测量面,检查是否有毛刺,并凭手感检查测量面的粗糙度是否符合要求。

(5) 经上述检查并均符合要求后,用干净的布或纸擦净测量爪的测量面,然后推动尺框,使两测量面接触,观察两测量面之间的间隙是否符合要求。如有间隙,则要判断出间隙的大小数值,不同分度值的卡尺其允许的两测量面之间的间隙见表2-3。

判断两测量面之间间隙的方法如下:

用干净的布条或棉团(有必要时沾少许酒精)擦净两外侧量爪的测量面,然后将外侧量爪两测量面合并后,对着光线(自然光或灯光)观察,如果两测量面间漏出一条光,则说明两测量面之间的间隙已经大于 0.01mm ;若漏光呈“八”字形,则

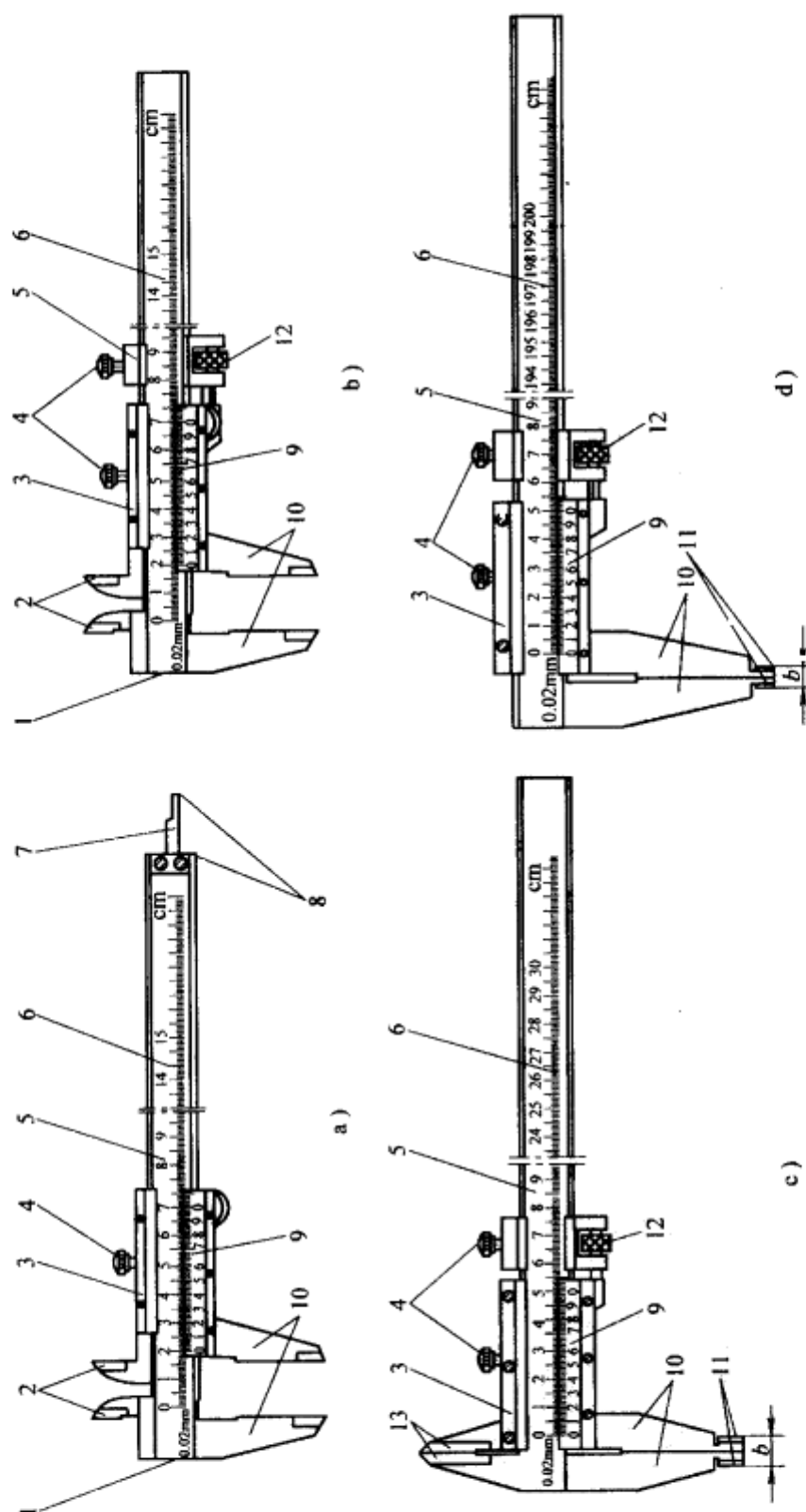


图 2-4 常用读格式游标卡尺的外形结构图

a) I 型 b) II 型 c) III 型 d) IV 型

1—尺身端面 2—刀口内量爪 3—游框 (尺框) 4—紧固螺钉 5—尺身 6—主标尺 7—测深直尺
8—深直尺测量面 9—微标尺 10—外量爪 11—圆弧内量爪 12—微动装置 13—刀口外量爪

表 2-3 游标卡尺两测量面之间间隙的允许值

游标分度值/mm	外测量爪两测量面合并间隙允许值/mm
0.02	0.006
0.05	0.01
0.10	0.01

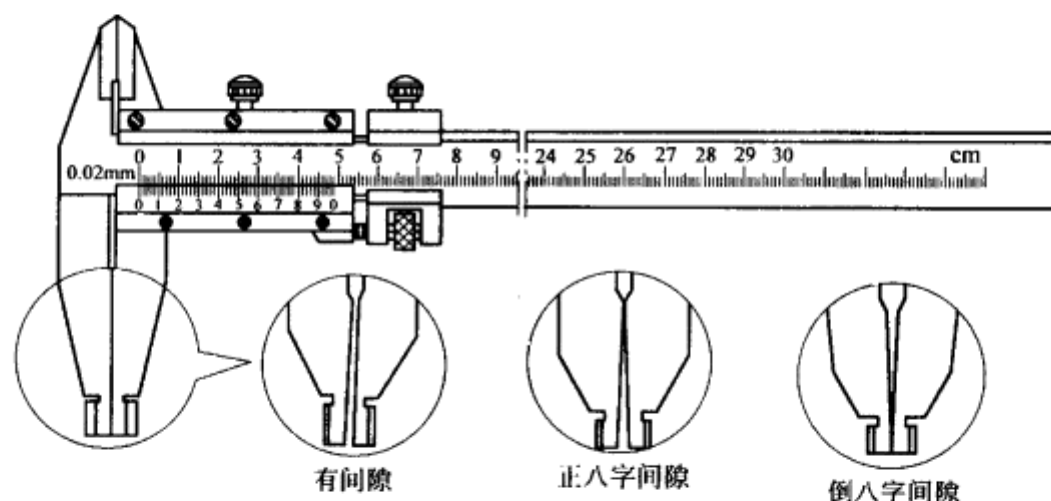


图 2-5 判断两测量面之间间隙的方法

说明两测量面不平行。如图 2-5 所示。

间隙值超过规定的要求，或两测量面不平行的卡尺不得使用，应送交专业人员修理。

2. 校对“0”位

正式测量前，必须校对卡尺的“0”位是否准确。具体方法如下：

(1) 用干净的布条或棉团（有必要时沾少许酒精）擦净两外测量爪的测量面（若先进行了两测量面之间间隙的检查，本项可不再进行）。

(2) 推动游框，使外测量爪两测量面紧密接触后，观看游标尺的“0”刻线与主尺的“0”刻线是否对齐，游标尺的尾刻线（最末一根刻线）与主尺的相应刻线是否也对齐。若上述两处都对齐，说明“0”位准确，否则说明“0”位不准确。“0”位不准确的卡尺不能使用。如图 2-6 所示。

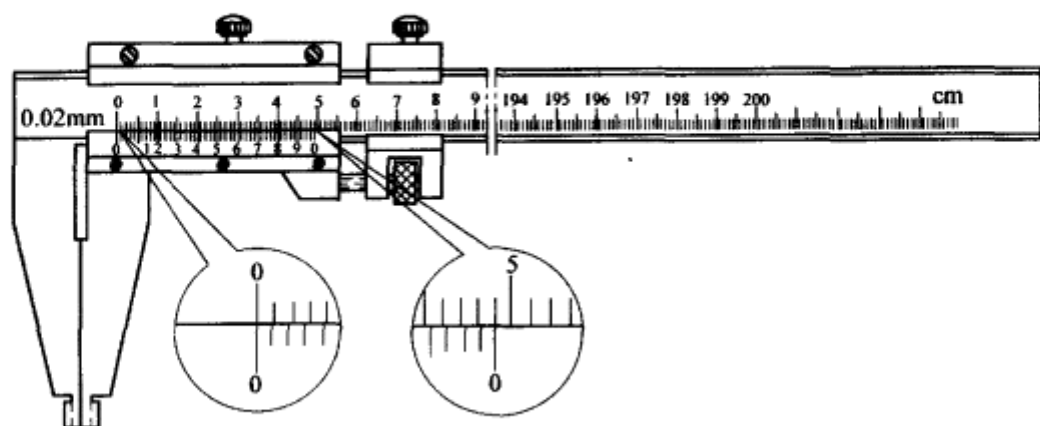


图 2-6 游标卡尺校对“0”位

(二) 使用方法

(1) 无论测量外尺寸还是测量内尺寸，只要测量条件允许，都不要只使用量爪的部分测量面进行测量，否则不仅会加速量爪的磨损，而且还会产生较大的测量误差。如图 2-7a 和 b 所示。

(2) 测量外尺寸（特别是外径尺寸）时，应先将两个外测爪之间的距离调整得大于被测尺寸，待推入被测部位后再轻推游框，使两个外测爪接触到测量面。

在两个测爪接触到测量面后，推动游框的拇指加少许的推力，同时要轻轻摆动卡尺找到最小尺寸点，然后再读数，如图 2-7c 和图 2-8a 所示。

测量内尺寸（特别是内径尺寸）时，应先将两个内测爪之间的距离调整得小于被测尺寸，待推入被测部位后再轻拉游框，使两个内测爪接触到测量面。

在两个内测爪接触到测量面后，拉动游框的拇指加少许的拉力，同时要轻轻摆动卡尺找到最大尺寸点，然后再读数，如图 2-7d 和图 2-8b 所示。

(3) 使用大型卡尺（测量范围 $\geq 500\text{mm}$ 的卡尺）进行测量时，为了防止卡尺因自身重力造成的变形给测量值带来误差，应用双手操作，有必要时还应在卡尺的适当部位进行支撑。

(三) 测量时的读数方法

在测量调整准确后，应尽可能地在卡尺处于测量的状态下读

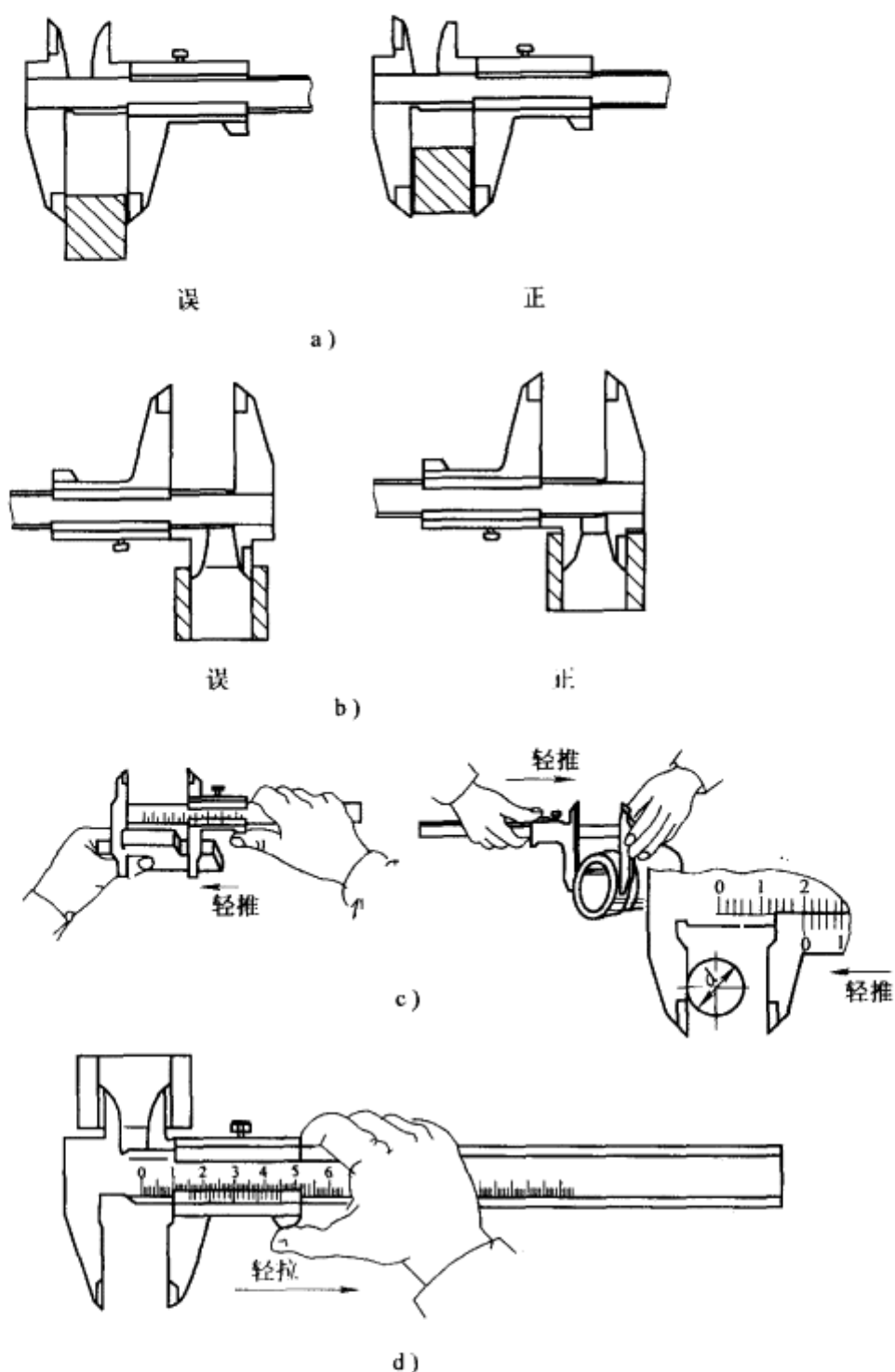


图 2-7 正确使用和错误使用卡尺的示例

- a) 测量外尺寸的接触情况 b) 测量内尺寸的接触情况
c) 测量外径尺寸应轻轻推到与测量面接触并找到最小尺寸点
d) 测量内径尺寸应轻轻拉到与测量面接触并找到最大尺寸点

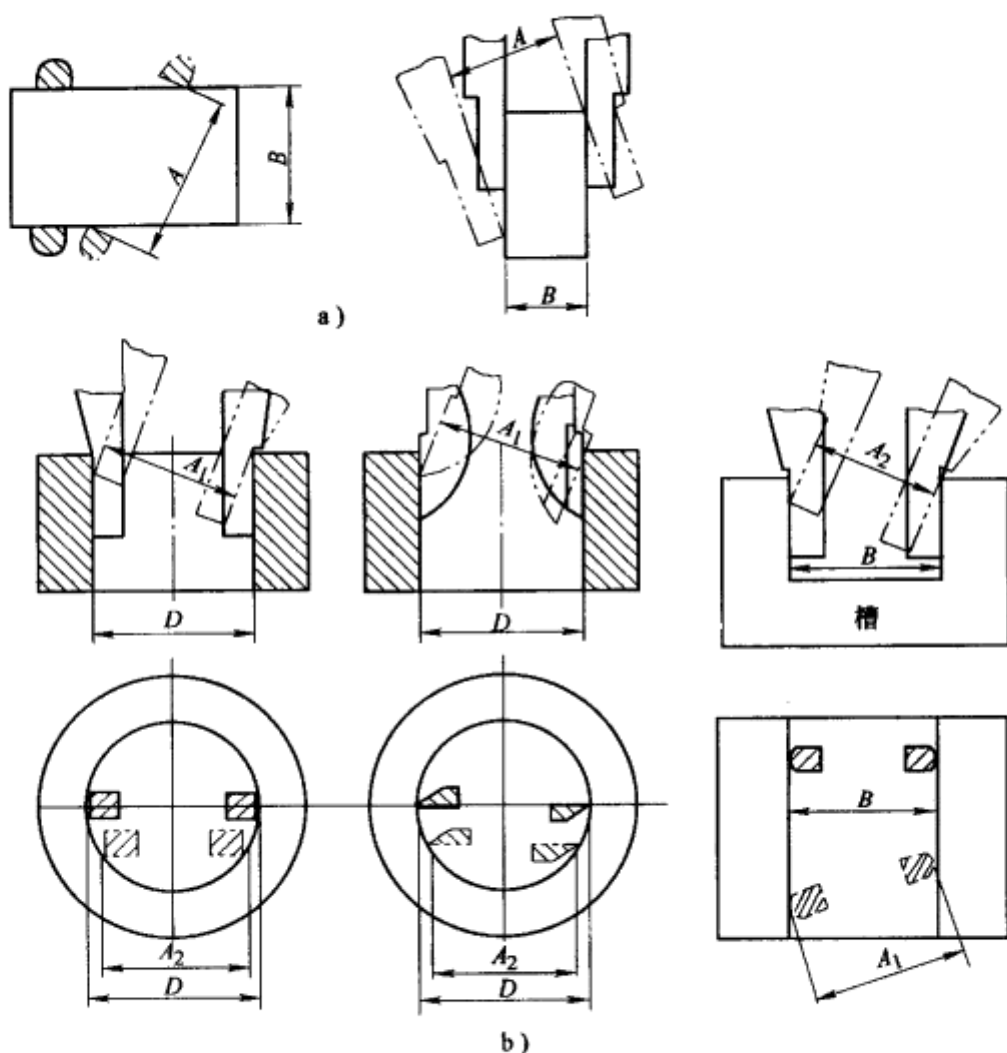


图 2-8 正确（图中实线）和错误（图中虚线）的测量接触位置

a) 测量外尺寸的接触位置（最小尺寸点）

b) 测量内尺寸的接触位置（最大尺寸点）

出测量值，然后再拉动（测量外尺寸时）或推动（测量内尺寸时）游框，使测爪离开被测面，并小心地将卡尺退出。若强行退出，则会损伤测爪或被测工件的被测面。对于较大的工件或按上述方法较难读出测量值时，应用紧固螺钉将游框固定后，再轻轻地退出卡尺，读出测量值。

下面介绍观看和计算普通游标卡尺测量读数（刻度）的方法。

(1) 看游标尺的“0”刻线左边主尺上第一条刻线的数值，该值即为测量值的整数部分。

(2) 看游标尺刻线中哪条线与主尺上的某一条刻线完全对齐, 则游标尺的这条刻线所示的刻度即为测量值的小数部分。

(3) 上述两数之和即为被测量的数值。图 2-9 给出了 5 个示例。

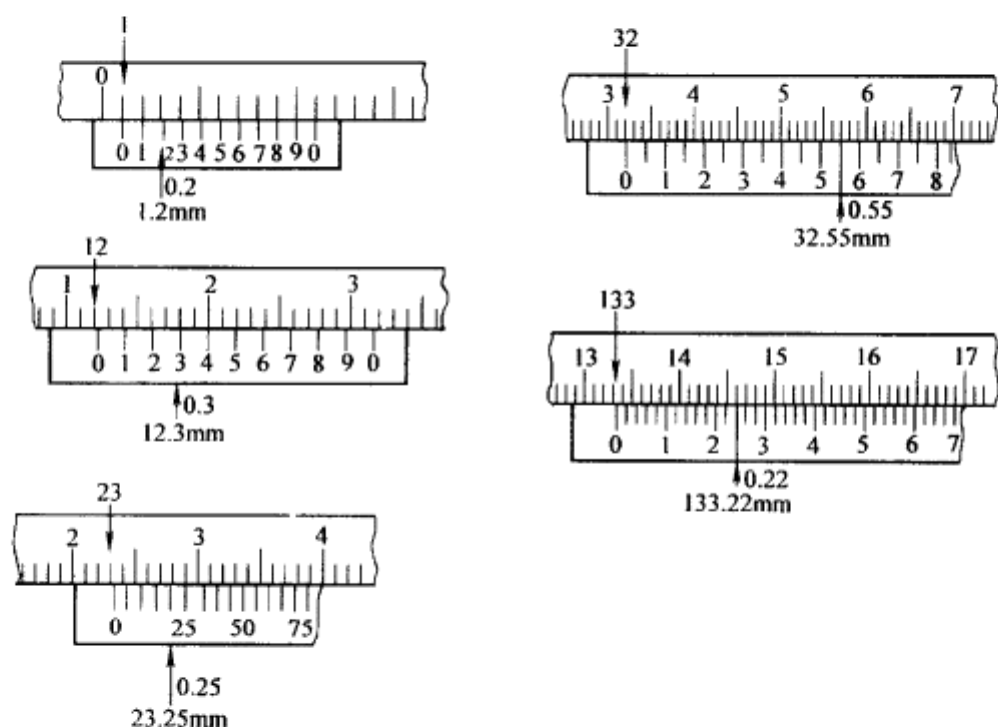


图 2-9 游标卡尺测量读数示例

(四) 使用和保养的注意事项

(1) 测量时, 应注意测爪与被测量面 (或线、点) 之间的接触, 既要紧密, 又不会因所施加的压力过大而造成较大的测量误差, 甚至损坏卡尺的测爪或被测工件的测量面 (或线、点)。

(2) 由于卡尺和被测工件都有热胀冷缩的性能, 所以在测量时, 应尽可能使卡尺和被测工件的温度一致, 以保证测量值的准确性。

(3) 不准把卡尺当作卡板、扳手使用, 或把测量爪当作划针、圆规等工具使用。

(4) 用完之后, 应用干净的棉丝将其擦干净, 放入专用盒内的固定位置盖好, 然后存放在干燥、无酸、无振动、无强磁场的地方。没有装盒的卡尺严禁与其他工具放在一起, 以防受压或

磕碰而造成损伤。

(5) 不准用砂纸、砂布等硬物擦卡尺的任何部位。

(6) 非专业修理人员不得随意拆卸卡尺。

三、I 型游标卡尺的结构、用途和使用方法

(一) I 型游标卡尺的结构

I 型游标卡尺的外形结构如图 2-4a 所示。由于该类卡尺可用于测量各种外尺寸、内尺寸和深度尺寸，所以又被称为三用卡尺，若加上划直线和平行线的功能，也可以称为四用卡尺。

(二) I 型游标卡尺的用途、测量范围、规格和示值误差

I 型游标卡尺可测量工件的外尺寸、内尺寸和凹槽的深度，测量长度或深度尺寸一般不超过 150mm。按测量长度范围，分为 0 ~ 125mm 和 0 ~ 150mm 两种规格。游标分度值有 0.02、0.05 和 0.10 三种。

I 型游标卡尺示值最大误差在数值上与其游标分度值是相当的，分度值越小，其最大示值误差也越小，见表 2-4 所给出的数值。

表 2-4 I 型游标卡尺的使用范围和示值误差

测量范围/mm	游标分度值/mm	示值误差/mm
0 ~ 125 0 ~ 150	0.02	± 0.02
	0.05	± 0.05
	0.10	± 0.10

(三) I 型游标卡尺的使用方法和注意事项

前面讲述的游标卡尺使用方法和注意事项均适用于 I 型游标卡尺。下面介绍其特有的内容。

1. 利用 I 型游标卡尺的深度尺测量深度的方法

先移动卡尺的游框，使其深度尺伸出的长度略小于要测量的深度值。然后将深度尺插入凹槽中，并使卡尺深度尺一端的尺身端面抵靠凹槽的外沿上，保持深度尺与凹槽端面垂直，一只手稳定住尺身，另一只手轻拉（或推）卡尺游框，使深度尺继续伸出至触到凹槽底部为止。用前面介绍的读数方法读出测量的深度值，如图2-10a所示。

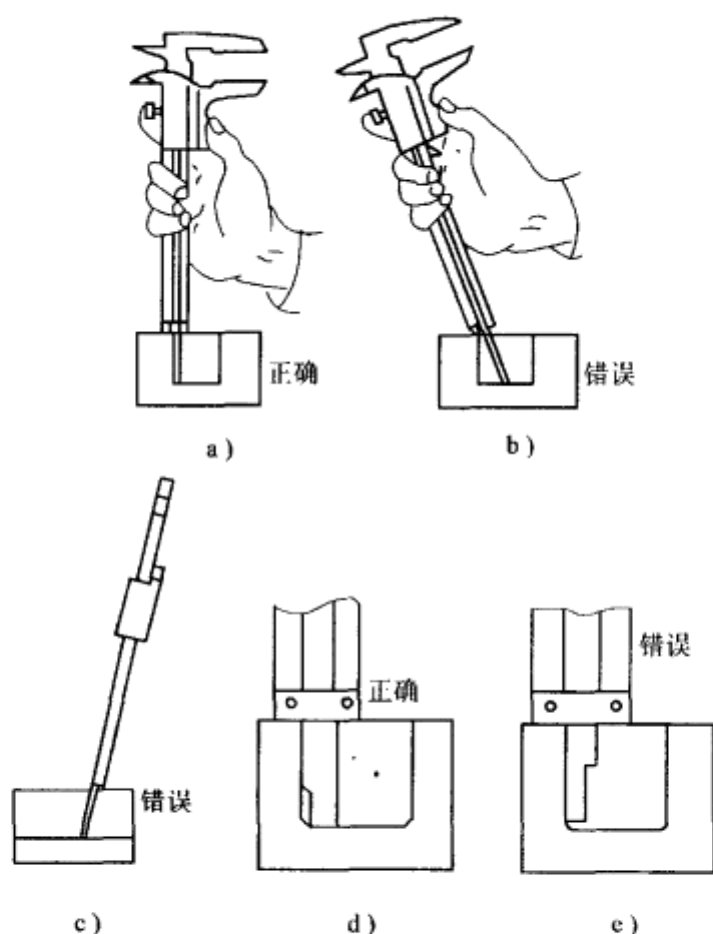


图 2-10 用 I 型游标卡尺测量深度

- a) 测量深度的正确方法 b) 测量深度的错误的位置 (歪斜 1)
 c) 测量深度的错误的位置 (歪斜 2) d) 深度尺的正确位置
 e) 深度尺的错误位置

应注意尺身不要歪斜，否则将得出错误的数值，如图 2-10b、c 所示。

另外，要注意深度尺的下端缺口的一面应靠在被测工件的侧面，若正好相反，则有可能因工件的底部根角处是直角（是圆弧或其他不规则形状），使深度车的测量面达不到真正的底部，从而造成测量值小于实际值的问题，如图 2-10d、e 所示。

2. 利用 I 型游标卡尺的深度尺测量台阶高度或长度的方法

利用 I 型游标卡尺的深度尺测量台阶高度或长度的方法与测量深度的方法和注意事项基本相同。

3. 测量时测量力的适当掌握

由于 I 型游标卡尺没有控制测量力的装置, 使用时一般要靠大拇指推动或拉动尺框来使测爪接触被测量面, 所以测量力的大小全靠手感来控制。测量时, 应该使两个测量面恰好能稳定地接触到被测表面为准。

在测量外尺寸时, 如果推尺框所用的力过大, 尺框就会倾斜成一定的角度, 从而产生由于测力较大而引起的测量误差。如图 2-11 所示。为尽可能地减小此项误差, 除适当掌握测量力之外, 将被测尺寸尽可能地靠近尺身也是有效的手段。

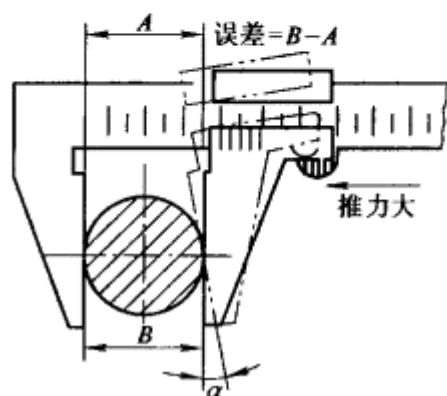


图 2-11 使用 I 型游标卡尺时测量力引起的测量误差

4. 测量孔径时的测量误差

由于内测刀口是一个小平面和两个测爪之间存在一定的间隙, 所以用其测量孔的内径时将造成一定的误差 δ , 即卡尺显示的测量值 d 将略小于实际值 D , 如图 2-12 所示。

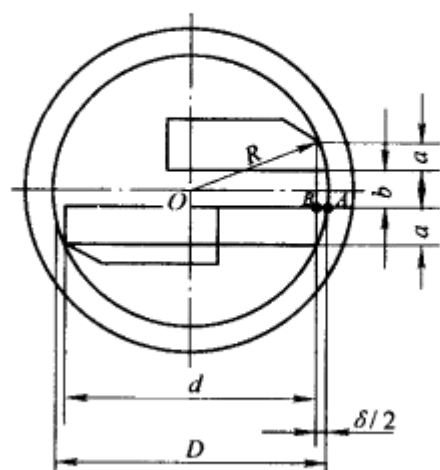


图 2-12 用 I 型游标卡尺测量孔径时的测量误差

如有必要进行修正时, 该测量误差用下式计算求得:

$$\delta = D - d = 2R - 2\sqrt{R^2 - \left(a + \frac{b}{2}\right)^2} \quad (2-1)$$

式中 D ——被测孔的实际直径尺寸;

d ——卡尺显示的测量直径尺寸;

R ——被测孔径;

a ——刀口形内测量爪的刃口厚度;

b ——两个刃口错开的距离。

四、Ⅱ型游标卡尺的结构、用途和使用方法

(一) Ⅱ型游标卡尺的结构

Ⅱ型游标卡尺的外形结构如图 2-4b 所示。可以看出, 与Ⅰ型游标卡尺相比, 它少了一个深度尺, 所以只能用于测量各种外尺寸和内尺寸, 因此被称为两用卡尺; 另一个不同点是, 有的类型多一个微动装置。

(二) Ⅱ型游标卡尺的用途、测量范围、规格和示值误差

Ⅱ型游标卡尺可测量工件的外尺寸、内尺寸。测量长度的范围有 0 ~ 200mm 和 0 ~ 300mm 两种。

Ⅱ型游标卡尺的示值误差、量爪参数 L_1 、 L_2 见表 2-5 所示。

表 2-5 Ⅱ型游标卡尺的示值误差与量爪参数

测量范围/mm	分度值/mm	示值误差/mm	L_1 /mm	L_2 /mm
0 ~ 200	0.02	± 0.03	40	20
	0.05	± 0.05		
	0.10	± 0.10		
0 ~ 300	0.02	± 0.04	50	30
	0.05	± 0.08		
	0.10	± 0.10		

(三) Ⅱ型游标卡尺的使用方法和注意事项

Ⅰ型游标卡尺使用方法和注意事项均适用于Ⅱ型游标卡尺。另外, 由于某些Ⅱ型游标卡尺具有微调装置, 所以在测量操作中应注意: 当两个测量面快与被测量面接触时, 应停止手推(或拉)游框的动作, 将微动装置的紧固螺丝拧紧, 然后通过旋动微动装置的微动螺母来对游框的位置进行微调, 使卡尺的两个测量面接触被测量面, 待接触稳定后再读数。

五、Ⅲ型游标卡尺的结构、用途和使用方法

(一) Ⅲ型游标卡尺的结构

Ⅲ型游标卡尺的外形结构如图 2-4c 所示。可以看出, 和Ⅱ型游标卡尺不同之处在于: 处于上方较小的量爪为专用外测量

爪，而不是内测量爪；处于下方较大的量爪称为内外量爪，它具有两个测量面，一个是内侧面，一个是外侧面，并且两测量面之间具有一定的距离（图 2-4c 之中的 b ，一般 $b \approx 10\text{mm}$ ），由此可以看出，该类型的游标卡尺能用于测量各种外尺寸、内尺寸，所以也可被称为两用卡尺；但由于它的一对测量爪同时具有内、外两个测量面，所以习惯称其为双面游标卡尺。

（二）Ⅲ型游标卡尺的用途、测量范围、规格和示值误差

Ⅲ型游标卡尺可测量工件的外尺寸、内尺寸，但测量内尺寸时，被测元件的内尺寸要大于卡尺内外量爪两内测量面之间的距离 b （例如 10mm ）。

测量长度的范围有 $0 \sim 200\text{mm}$ 和 $0 \sim 300\text{mm}$ 两种。

Ⅲ型游标卡尺的示值误差、量爪参数 L_1 、 L_2 、 L_3 和 b 见表 2-6 所示。

表 2-6 Ⅲ型游标卡尺的示值误差与量爪参数

测量范围 /mm	分度值 /mm	示值误差 /mm	L_1/mm		L_2 /mm	L_3 /mm	b/mm	
			圆弧形	刀口形			标准值	允许误差
0 ~ 200	0.02	± 0.03	8	15	40	20	10	$+0.01$ 0
	0.05	± 0.05						$+0.02$ 0
	0.10	± 0.10						$+0.03$ 0
0 ~ 300	0.02	± 0.04	10	18	50	30	10	$+0.01$ 0
	0.05	± 0.08						$+0.02$ 0
	0.10	± 0.10						$+0.03$ 0

（三）Ⅲ型游标卡尺的使用方法和注意事项

Ⅱ型游标卡尺使用方法和注意事项均适用于Ⅲ型游标卡尺。另外，由于Ⅲ型游标卡尺内外量爪的两内测量面之间具有长为 b 的距离，所以测量元件的内尺寸时，被测元件的内尺寸要大于 b 。

被测元件的内尺寸应为卡尺显示的测量数据加上 b 。可见 b 值的误差将是测量值的一个直接误差。对于一把全新的卡尺， b 值的允许误差见表 2-5 所示。

由于长期使用后，内外量爪的两内测量面会被磨损，使 b 值减小。为减小或消除该项误差，应定期对 b 值进行测量，并将实测的 b 值标在该卡尺的鉴定卡片上或内外量爪的侧面。在计算被测量尺寸时，使用实测的 b 值。

例如，用一把分度值为 0.02mm 、规格为 $0 \sim 200\text{mm}$ 的Ⅲ型游标卡尺的内外量爪测量工件的内尺寸时，卡尺显示的测量值为 100.25mm 。查该卡尺经过修磨后的 b 值为 9.95mm 。则被测尺寸应为：

$$100.25\text{mm} + 9.95\text{mm} = 110.20\text{mm}$$

用Ⅲ型游标卡尺测量管状元件（内径大于 b ）的壁厚时，一定要使用其刀口形外量爪进行测量，这样才可使测量误差最小。如果使用内外量爪的外量爪进行测量，由于其测量面是一个平面，不能与被测的圆弧面很好地接触，所以将造成较大的误差，如图 2-13 所示。由此造成的测量误差可用下式求得：

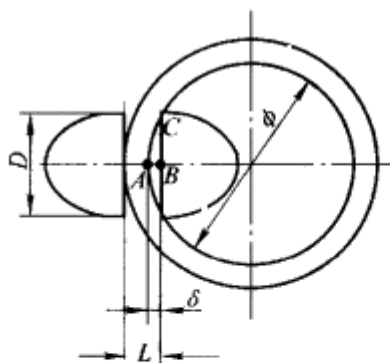


图 2-13 用Ⅲ型游标卡尺内外量爪测量管状元件壁厚时的误差

$$\delta = AB = \frac{1}{2}(\phi - \sqrt{\phi^2 - D^2}) \quad (2-2)$$

式中 D ——所用卡尺量爪测量面的宽度；

ϕ ——被测元件的内径。

由上式可见，所用卡尺的量爪测量面的宽度 D 越大，测量误差 δ 也就越大；反之，宽度 D 越小，测量误差 δ 也就越小；当 $D = 0$ 时， $\delta = 0$ 。

六、Ⅳ型游标卡尺的结构、用途和使用方法

（一）Ⅳ型游标卡尺的结构

Ⅳ型游标卡尺的外形结构如图 2-4d 所示。可以看出，和Ⅲ型游标卡尺相比，没有处于上方较小的专用外测量爪，而只有处

于下方较大的内外量爪。所以该类型的游标卡尺只能用于测量各种外尺寸和大于量爪宽度 b 的内尺寸。被称为单面（这里的“面”是指量爪在尺身的一面，而不是量爪只有一个测量面。和Ⅱ型游标卡尺的含义有所不同）游标卡尺。

（二）Ⅳ型游标卡尺的用途、测量范围、规格和示值误差

Ⅳ型游标卡尺可测量较大工件的外尺寸和内尺寸。

测量长度的范围，常用的有 $0 \sim 500\text{mm}$ 和 $0 \sim 1000\text{mm}$ 两种，较长的还有 $0 \sim 1500\text{mm}$ 和 $0 \sim 2000\text{mm}$ 等多种。

测量长度的范围为 $0 \sim 500\text{mm}$ 和 $0 \sim 1000\text{mm}$ 两种Ⅳ型游标卡尺的示值误差、量爪参数 L_1 、 L_2 和 b 见表 2-7 所示。

表 2-7 Ⅳ型游标卡尺的示值误差与量爪参数

测量范围/mm	分度值/mm	示值误差/mm	L_1/mm	L_2/mm	b/mm
0 ~ 500	0.02	± 0.05	12	60	10 或 20
	0.05	± 0.08			
	0.10	± 0.10			
0 ~ 1000	0.02	± 0.07	18	80	20
	0.05	± 0.10			
	0.10	± 0.15			

（三）Ⅳ型游标卡尺的使用方法和注意事项

Ⅳ型游标卡尺的使用方法和注意事项和Ⅲ型游标卡尺基本相同。但由于它属于较大型的卡尺，所以要特别注意卡尺和被测量工件之间的温度差造成的测量误差，另外还应注意利用增加支撑点的方法减小卡尺变形造成的测量误差。

1. 温度差造成的测量误差

当测量器具和被测元件温度不同和所用材料不同时，都将产生因温度差造成的长度变化量的不同而产生的测量误差。由于Ⅳ型游标卡尺的长度较大，所以由此造成的测量误差也较大。所以，应尽可能地做到在卡尺和被测元件的温度相同的情况下进行测量工作，如不能做到这一点，在有必要时应进行温度误差修正。

检定大型卡尺的环境温度应是 $20 \pm 6^\circ\text{C}$ ，被检定卡尺和检定量具（例如量块）在检定室内均衡的温度下放置的时间超过 5 小时后，才能进行检定示值。

当卡尺和被测元件的温度不是 $20 \pm 6^\circ\text{C}$ 时，由于温度差引起的测量示值误差 δ (mm) 用下式求得（其中提到的物体的线膨胀系数，是温度升高 1°C ，因受热膨胀，其长度的增长量与原长度之比，单位为 K^{-1} 。在 $20 \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内，常见金属材料的线膨胀系数见附录 A）：

$$\delta = [\alpha_1 (t_1 - t_0) - \alpha_2 (t_2 - t_0)] L \quad (2-3)$$

式中 α_1 ——被测量元件所用材料的线膨胀系数， K^{-1} ；

α_2 ——卡尺所用材料的线膨胀系数， K^{-1} ；

t_0 ——标准温度， $^\circ\text{C}$ ， $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ；

t_1 ——被测元件的温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_2 ——卡尺的温度， $^\circ\text{C}$ ；

L ——被测元件的测量尺寸，mm。

例如，用刚从 23°C 环境中拿出一把分度值为 0.05mm 的 $0 \sim 1500\text{mm}$ IV 型游标卡尺（卡尺所用材料的线膨胀系数为 $11.5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ）来测量一个长度为 1000mm 、温度为 30°C 的铝制品（铝的线膨胀系数为 $23.8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ）。求因温度差所产生的测量示值误差为多少毫米？和实际值的相对误差是多少？

解：使用式 (2-3) 求解此题。由题意可知： $\alpha_1 = 23.8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ； $\alpha_2 = 11.5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ； $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ； $t_2 = 23^\circ\text{C}$ ； $L = 1000\text{mm}$ 。则

$$\begin{aligned} \delta &= [\alpha_1 (t_1 - t_0) - \alpha_2 (t_2 - t_0)] L \\ &= [23.8 \times 10^{-6} (30 - 20) - 11.5 \times 10^{-6} (23 - 20)] \times 1000 \\ &= 0.2035\text{mm} \end{aligned}$$

与实际值的相对误差 $= 0.2035/1000 = 0.0002035 = 0.02035\%$

答：因温度差所产生的测量示值误差为 0.2035mm ；和实际值的相对误差为 0.02035% 。

同样是上述问题，但当所用卡尺和被测元件的温度相同时，

因温度差所产生的测量示值误差即将较小。假设两者的温度都是 30°C ，则该项误差为：

$$\begin{aligned}\delta &= [\alpha_1(t_1 - t_0) - \alpha_2(t_2 - t_0)]L \\ &= [23.8 \times 10^{-6}(30 - 20) - 11.5 \times 10^{-6}(30 - 20)] \times 1000 \\ &= 0.123\text{mm}\end{aligned}$$

和前面的计算值相比，减少了近 40%。

由此可以看出，当所用卡尺和被测元件的温度差值较大时，因温度差所产生的测量示值误差也是较大的。

在所用卡尺和被测元件的温度相同，即 $t_2 = t_1$ 时，并用 $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$ ，则因温度差所产生的测量示值误差 δ 可用下述简化公式进行计算：

$$\delta = (\alpha_1 - \alpha_2)(t_1 - 20)L \quad (2-4)$$

2. 设置好卡尺的支撑点，减小卡尺的变形误差

卡尺的支撑点是在操作卡尺时，为了使卡尺获得稳定和正确的位置状态而用手扶住卡尺的地方。

在使用较长的卡尺进行测量时，往往需要两个人甚至三个人同时操作。在这种情况下，要正确选择卡尺的支撑点。否则有可能因卡尺变形而带来较大的测量误差。由于测量时量爪的朝向不同，所以支撑点的位置也会不同。一般分下述两种情况：

(1) 量爪在水平面内进行测量时，如设置 3 个支撑点，则第一支撑点的位置应设置在尺身“0”刻线外侧 50mm 以内；第二支撑点的位置应设置在尺框内侧 100mm 以内；第三支撑点的位置应设置在测量上限刻线外侧 50mm 以内，若此处被占用，可改在微动装置外侧 50mm 以内，如图 2-14a 所示。

(2) 量爪朝下进行测量时，只用上述第一和第二两个支撑点就可以。如果卡尺的尾部发生偏重，可在上述第三支撑点的地方加一个支撑点作为辅助支撑点，如图 2-14b 所示。

3. 存放和运输时应注意的事项

由于Ⅳ型游标卡尺较长、较重，所以容易变形，因此，除按前面讲述的卡尺使用注意事项外，还应格外注意以下事项：

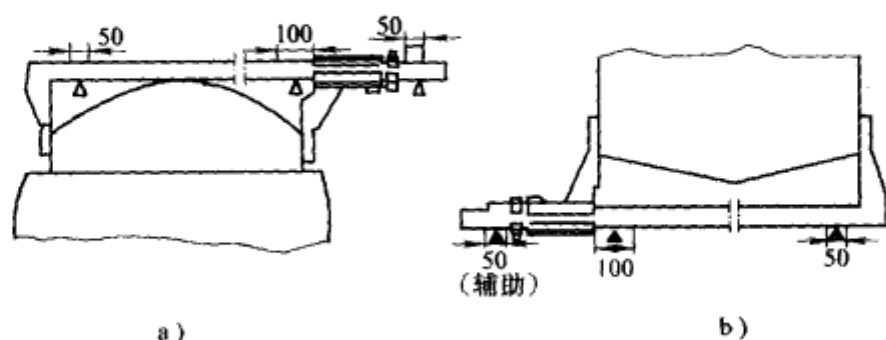


图 2-14 较大型Ⅳ型游标卡尺的支撑点设置图

a) 量爪朝下进行测量时 b) 量爪朝上进行测量时

- (1) 严禁将卡尺斜靠着放置，严禁在卡尺上放置任何物品。
- (2) 卡尺放在专用的盒内时，其游框应放置在盒内规定的位置，只有如此才会使卡尺的变形最小。
- (3) 在搬运卡尺时，应将其放置在专用的卡尺盒内，而不应用手提或肩扛。

七、带表游标卡尺

(一) 带表游标卡尺的分类和结构

带表游标卡尺是通过机械传动系统将两测量爪的相对移动转变为指示表指针的回转移动，并利用主尺的刻度和指示表，对两测量爪测量面相对移动分隔的距离进行读数的通用长度测量工具。

带表游标卡尺的分类方法与前面讲述的普通游标卡尺基本相同。指示表的分度值有 0.01、0.02 和 0.05mm 三种。

指示表的指针旋转一周所指示的长度，对分度值为 0.01 和 0.02 (部分卡尺) 的为 1mm；对分度值为 0.02 的部分卡尺为 2mm；对分度值为 0.05 的卡尺为 5mm。

带表游标卡尺的测量范围有 0 ~ 150mm、0 ~ 200mm 和 0 ~ 300mm 三种。

图 2-15 给出了 I 型和Ⅲ型带表游标卡尺的外形结构。

(二) 带表游标卡尺的示值误差

带表游标卡尺的示值误差见表 2-8。

(三) 带表游标卡尺的使用方法和注意事项

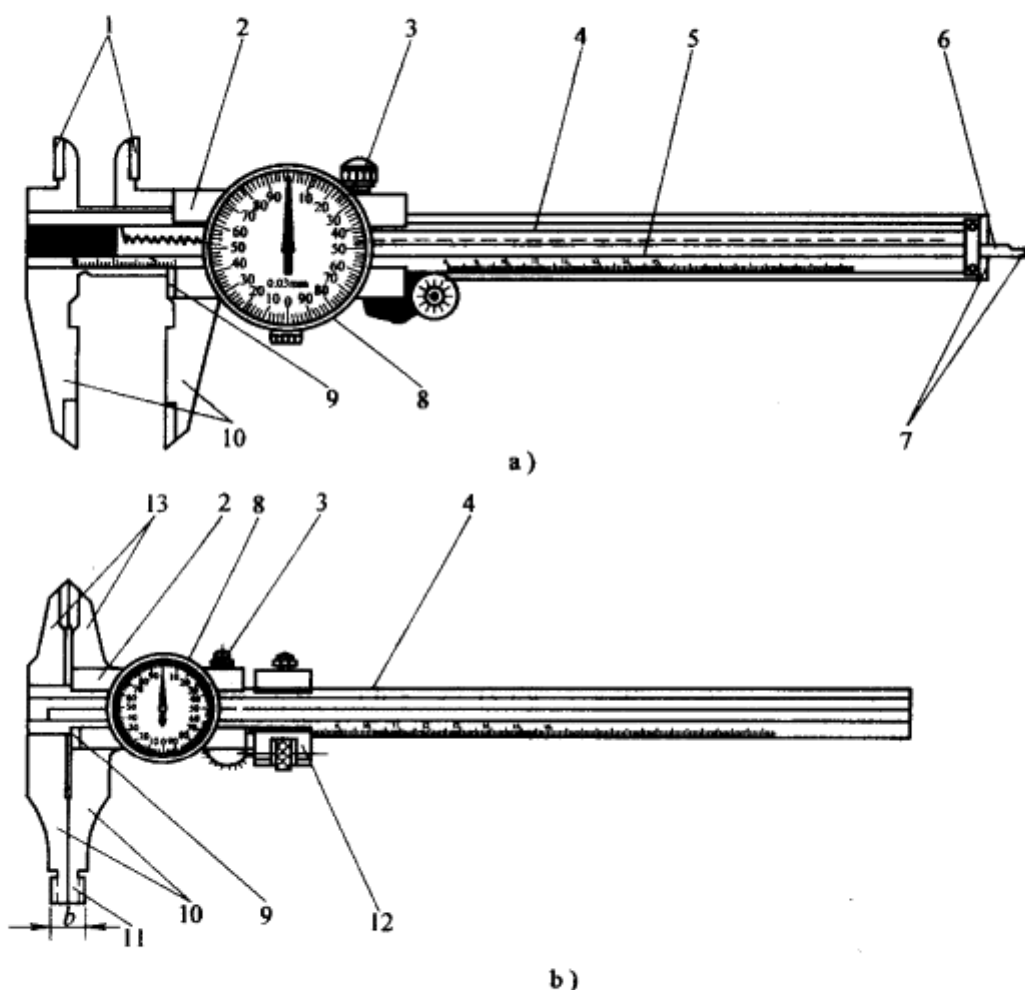


图 2-15 带表游标卡尺的外形结构

a) I 型 b) III 型

1—刀口内量爪 2—游框（尺框） 3—固定螺丝 4—尺身 5—主标尺
6—测深直尺 7—深直尺测量面 8—指示表 9—毫米读数部位 10—外量爪
11—圆弧内量爪 12—微动装置 13—刀口外量爪

表 2-8 带表游标卡尺的示值误差

测量范围/mm	示值误差/mm	
	指示表的分度值为 0.01 和 0.02 时	指示表的分度值为 0.05 时
0 ~ 150	± 0.02	± 0.05
0 ~ 200	± 0.03	± 0.05
0 ~ 300	± 0.04	± 0.08
测深为 20	± 0.02	± 0.05

带表游标卡尺的使用方法和注意事项与同类普通游标卡尺大体相同，不同点在于校对“0”位和读数。

1. 校对“0”位的方法

推动尺框，使两测量爪的测量面密切接触，此时，若尺框的基准端面（读数部位）与尺身的“0”刻线右边缘相切，指示表指针与表盘的“0”刻线重合，即所谓的“双对0”，则说明该卡尺的“0”位正确。

带表游标卡尺允许 0.05mm 的压线和 0.15mm 的离线。

所谓“压线”，是指指示表指针正好指在表盘的“0”位时，尺框的基准端面（读数部位）压住尺身的“0”刻线的情况，如图 2-16 所示。

所谓“离线”，是指指示表指针正好指在表盘的“0”位时，尺框的基准端面（读数部位）离开尺身的“0”刻线的情况，如图 2-16 所示。

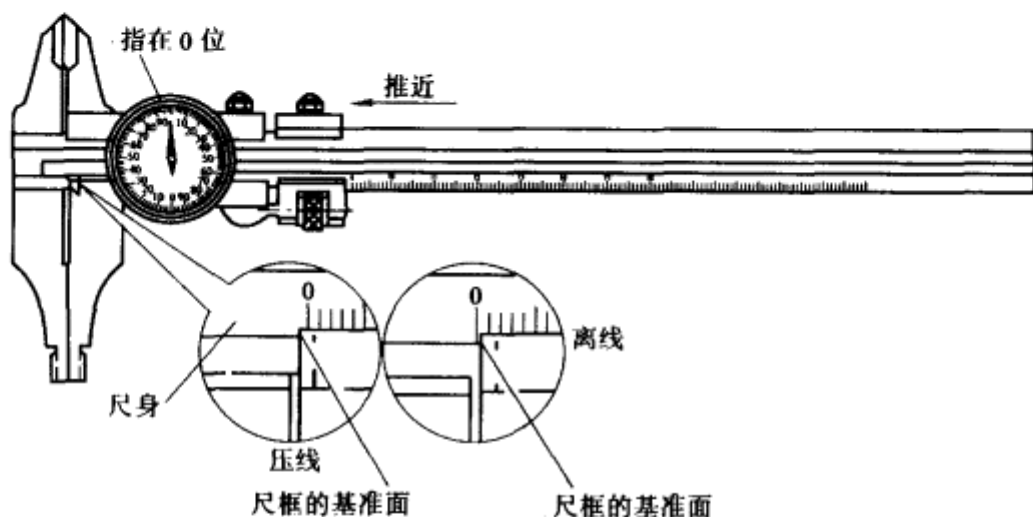


图 2-16 带表游标卡尺的“压线”和“离线”状态

检查“压线”和“离线”数值的方法是：推动尺框，使指示表指针正好指在表盘的“0”位，若此时卡尺处于“压线”状态，则轻轻拉动尺框，使尺框的基准端面（读数部位）与尺身的“0”刻线右边缘刚好相切，此时指示表指针所指示的数值即

为“压线”值；若此时卡尺处于“离线”状态，则轻轻推动尺框，使尺框的基准端面（读数部位）与尺身的“0”刻线右边缘刚好相切，此时指示表指针所指示的数值即为“离线”值。

若卡尺既不“压线”，又不“离线”，但指示表指针不是正好指在表盘的“0”位时，则应旋转表盘，使其“0”位对正指针。实现卡尺的“双对0”。校对好“0”位后，再反复移动尺框检查“0”位和指示表的示值变动情况。若示值变动量不大于 $1/2$ 分度值，则符合要求。

2. 读数方法

带表游标卡尺的读数方法和普通游标卡尺类似，只是其小数部分是由指示表的指示值读取。图 2-17 所示的状态即为 20.86mm，其中整数 20mm 是主尺上露出游框的刻度值，小数 0.86mm 是指示表的指示值（该卡尺指示表的分度值为 0.02mm，示值范围为 1mm，所以表针指在 86 格处表示 0.86mm）。

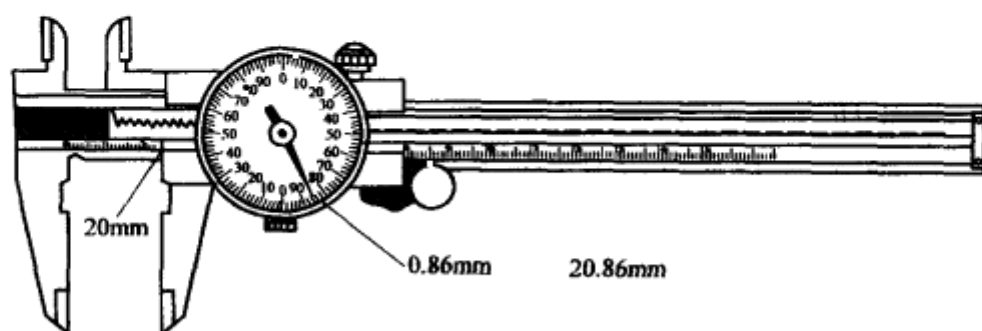


图 2-17 带表游标卡尺的读数示例

3. 注意事项

使用和保存带表游标卡尺的注意事项与普通游标卡尺基本相同。另外应注意的是：在每次使用前都要校对“0”位；要特别注意保护其指示表。

八、电子数显游标卡尺

（一）电子数显游标卡尺的结构和工作原理

电子数显游标卡尺简称为数显卡尺。它是通过机械-电子装

置，将两测量爪相对移动分隔的距离直接显示在电子显示器上的一种通用长度测量工具。

数显卡尺有齿条码盘式、光栅式和容栅式三种类型。由于容栅式具有制造方便、体积小等优点，所以是目前用得最多的一种。

容栅式数显卡尺的电子部件采用集成电路和液晶显示器，它们一同装在一块双面印制电路板上，这块电路板又兼作传感器的动栅尺，而定栅尺安装在尺身上。动栅尺极板与定栅尺极板之间保持一定的间隙。当加上电信号时，定栅尺极板就得到一个感应信号，该信号又被动栅尺极板感应接受。因此，当移动尺框时（定栅尺移动），动栅尺就会接收到一个与尺框位移成正比的相位变化信号，相关电路对这个信号进行处理后送入液晶显示器并显示出被测量的数值。

数显卡尺由机械尺体、电子部件和定尺三部分组成，其机械尺体可采用Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型和Ⅳ型游标卡尺的尺体。测量范围有0~150mm、0~300mm和0~500mm等多种。

图 2-18 为几种常用的类型。

（二）电子数显游标卡尺的优缺点和有关使用参数

和前面讲述的两种类型卡尺相比，电子数显游标卡尺最突出的优点是可直接读数，并且完全消除了读数时的视差，使测量工作的效率和可靠性都有了较大的提高；有些类型的产品设置了上下限（公差带）自动判断和提示功能，对测量和检查相当有利；另外，还可以通过和打印机、储存器等连接，实现自动打印或储存等功能（如图 2-19 所示）。

数显卡尺和以后将要介绍的数显量具上的功能键经常用英文单词或其缩写形式表示，本书后的附录 D 给出了常用的几种。

电子数显游标卡尺的缺点是对使用环境要求比其他类型的卡尺高，例如一般类型所适应的环境温度和相对湿度分别为0~40℃和≤80%；并且不具备防水功能；抗震和抗摔打性能较差；

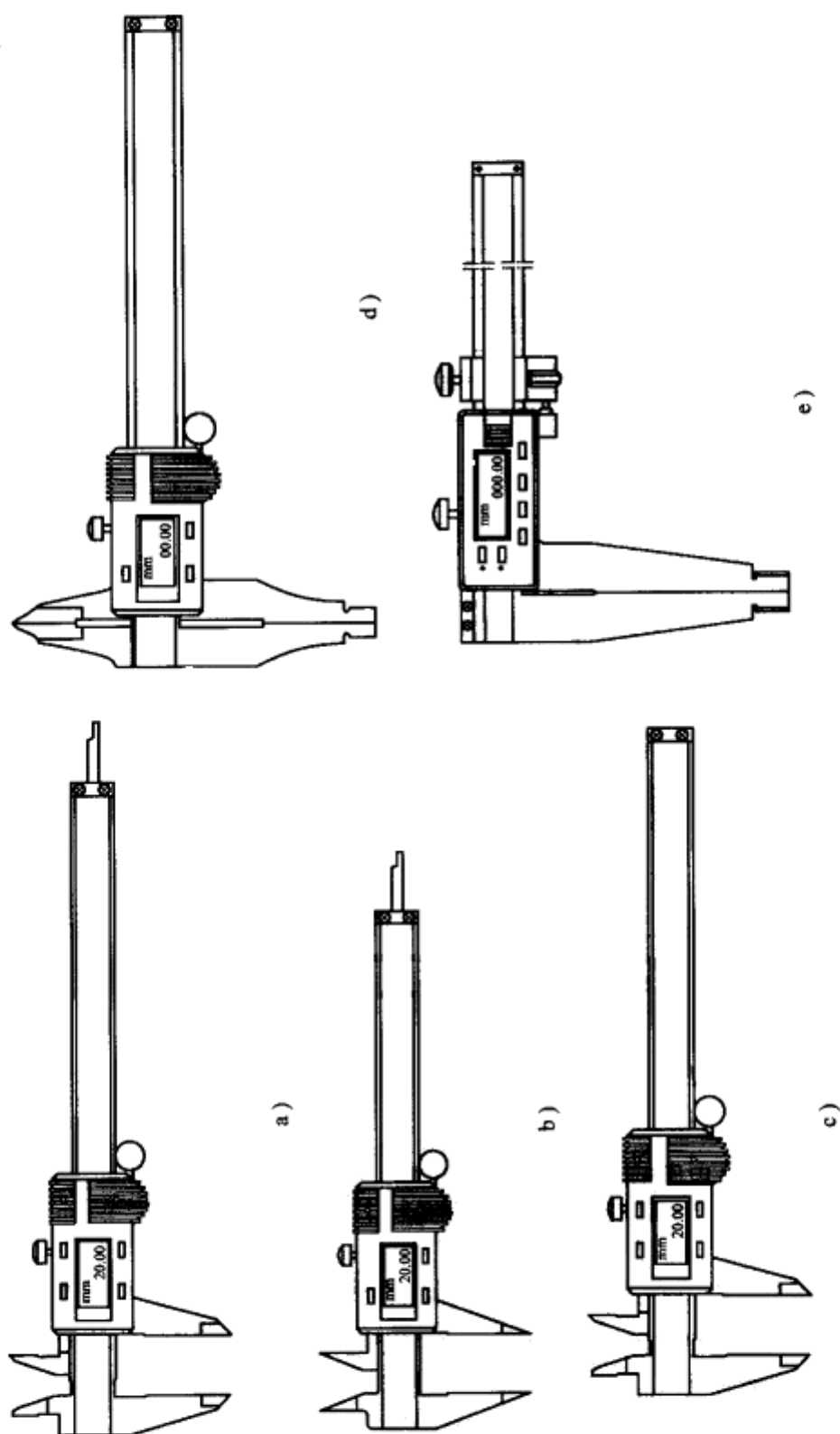
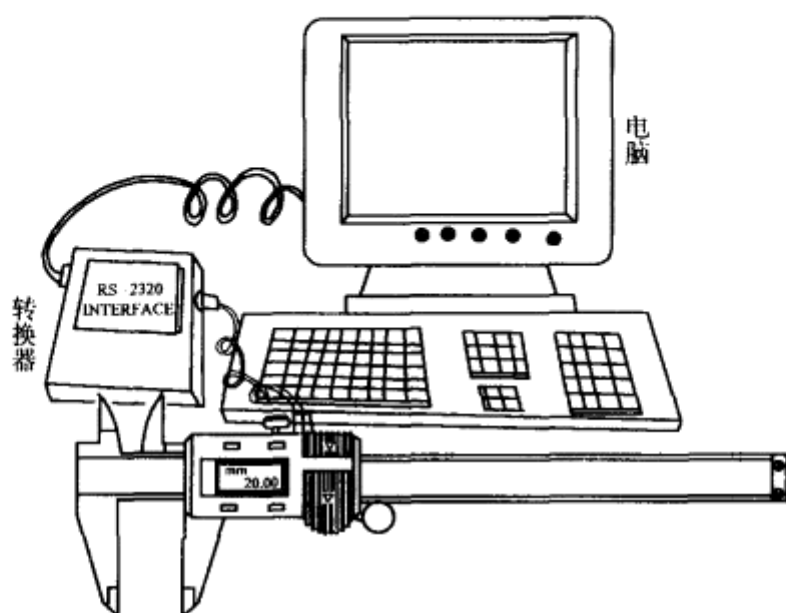
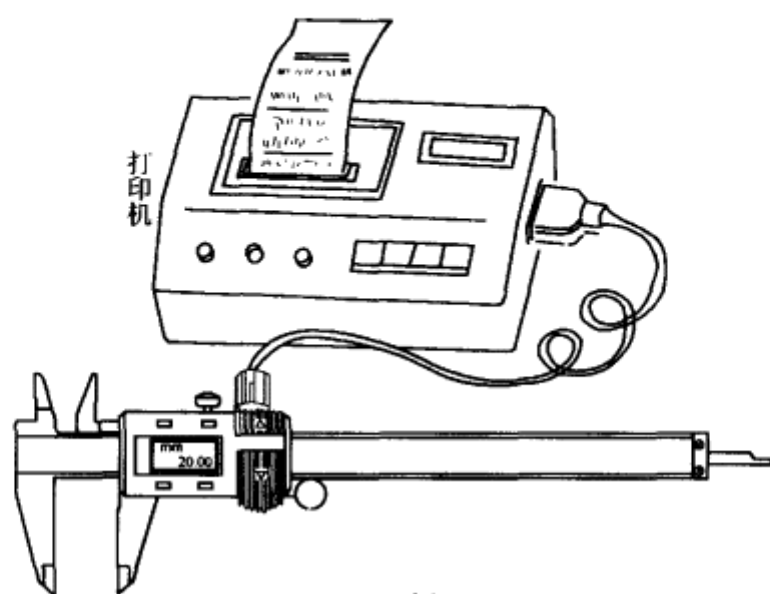


图2-18 常用的几种电子数显游标卡尺
a) I型 b) II型尖爪 c) II型 d) III型 e) IV型



a)



b)

图 2-19 电子数显游标卡尺与电脑、打印机结合示意图

a) 与电脑通过转换器联系 b) 与打印机相连接

除特别的产品外，在有较强磁场的地方不能正常工作，更不能测量磁铁等有磁性的工件；另外，当电池电压不足时不能使用（带有刻度的除外）。

电子数显游标卡尺的显示器可显示到 0.01mm，或者说它的

分辨率为 0.01mm ；重复精度为 0.01mm ； $0 \sim 150\text{mm}$ 和 $0 \sim 300\text{mm}$ 两种规格的示值误差为 $\pm 0.03\text{mm}$ ， $0 \sim 500\text{mm}$ 的示值误差为 $\pm 0.04\text{mm}$ 。随着科学技术的不断发展，更新、更高精度的产品将会很快被生产出来。

（三）电子数显游标卡尺的使用方法

电子数显游标卡尺的使用方法和注意事项与同类普通游标卡尺大体相同，不同点只在于校对“0”位和读数。当然，由于不同用途的数显卡尺还具有另外一些独特的功能，所以必然还具有一些独特的使用方法和注意事项。

1. 校对“0”位的操作方法

按动电源开关按钮接通电源。推动尺框，使两个量爪的测量面至手感接触为止。此时，若显示器显示出“000.00”，则说明“0”位正确。之后，重复上述操作几次，若“0”位未发生变化即可。若显示值不为“000.00”，则按动“置0按钮”，使显示值为“000.00”，如图 2-20 所示。

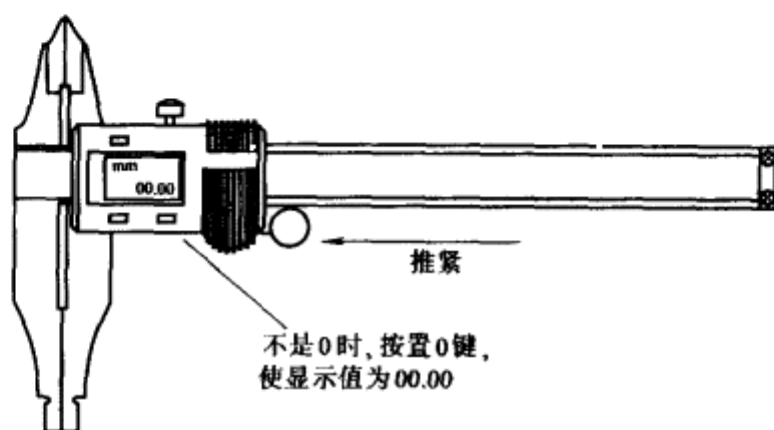


图 2-20 数显卡尺校对“0”位的操作方法

2. 只显示测量值偏差的操作方法

用数显卡尺可显示测量元件的实际长度数值，也可只显示测量值偏差数值。例如，某批部件的长度公称尺寸为 50mm ，极限偏差为 $+0.12\text{mm}$ 和 -0.15mm ，则可将卡尺按上述方法先校好

“0”位，再移动尺框，使显示值刚好为 50.00mm，之后按动“置 0 按钮 (ZERO)”，使显示值为“000.00”。这样，在测量该批部件时，则会直接显示超出或低于 50mm 的数值，例如 +0.10 和 -0.12，如图 2-21 所示。

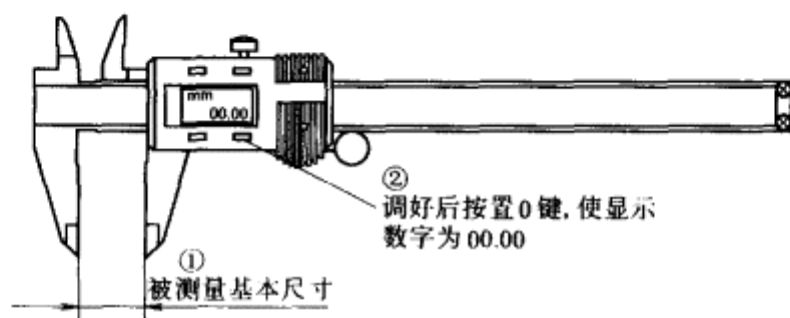


图 2-21 只显示测量值偏差的操作方法

3. 自动显示测量值是否超过公差范围

用多功能数显卡尺时，可事先对卡尺进行公差数值设置，并在测量时显示测量数值是否超过了规定的公差值。

4. 米制、英制转换

很多数显卡尺都具有米制、英制转换功能，可通过一个按钮 (in/mm) 在使用前或测量中方便地进行转换。

5. 测量数据的保存和打印

测量数据可以保存；也可将测量数值传送到其他装置或输入到打印机中打印出来。

(四) 使用和保管数显卡尺的注意事项

(1) 要注意使用环境的湿度和温度。温度低于 0℃ 时，液晶的响应时间及余辉将延长，影响测量；温度超过 40℃ 时，电池的寿命将大大地缩短；环境的相对湿度不应超过 80%。

(2) 严禁强光直接照射显示屏，否则显示屏中的液晶将会迅速老化。

(3) 不要在具有较强磁场的地方使用和存放。

(4) 严禁水和油等液体浸入电子部件中。

(5) 当显示的数字不断闪动或不稳定时,说明电池接触不良或能量将要耗尽(有的卡尺显示电池电压不足的信号或图形),应及时更换电池。当卡尺长期不用时,应将电池取出。

(6) 由于数显卡尺的灵敏度较高,所以当测量力有微小的变化时,显示的数据就会出现来回跳动的现象,使读数比较困难。所以要掌握好测量力,并尽可能地使其稳定,读数要在显示的数据稳定以后进行。

(7) 使用时,游框不应移动太快,一般不应超过 1.5mm/s ,否则会影响测量结果的准确性。这是因为数显卡尺的响应速度是 1.5mm/s (随着技术的进步,这一速度会有所增加,届时各项要求也会降低)。

九、特殊用途的游标卡尺

对某些特殊的工件或某些特殊部位的尺寸,普通标准型的卡尺很难进行测量或测量数值难以作到准确。为了解决这些问题而制造了一些专用的,或者说是特殊用途的卡尺。现将较常见的品种介绍如下。

(一) 圆管尺身游标卡尺

圆管尺身游标卡尺的尺身为一个圆管,套在尺身外的游框可绕其旋转 360° 。用于测量处于各种位置的两个平面、线、点之间的距离,如图 2-22 所示。

(二) 不等长测量爪游标卡尺

不等长测量爪卡尺又被称为伸缩爪卡尺,俗称“瘸腿卡尺”。它主要用于测量相互之间的位置关系呈台阶式的两个被测量面之间的距离,如图 2-23 所示。

(三) 内沟槽游标卡尺

内沟槽游标卡尺用于测量瓶状小口工件的外径或相关尺寸。测量时应注意被测量的尺寸为卡尺显示值与两测量爪测量面之间的距离,如图 2-24 所示。

(四) 外沟槽游标卡尺

外沟槽游标卡尺用于测量工件的内凹槽或其他相关尺寸,如

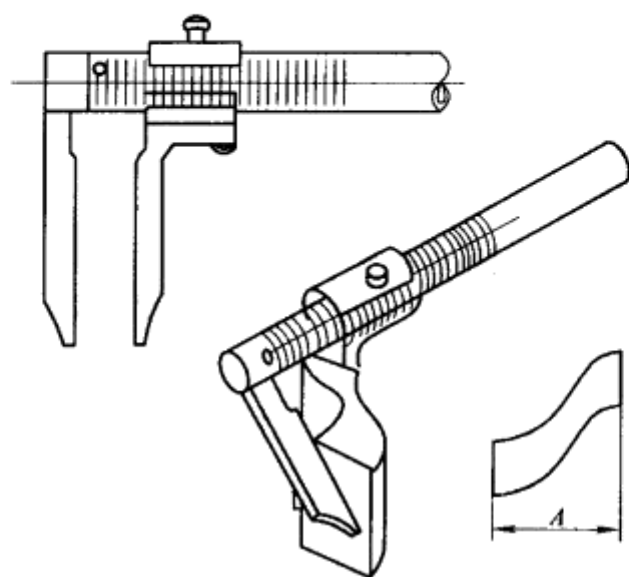


图 2-22 圆管尺身游标卡尺及其应用

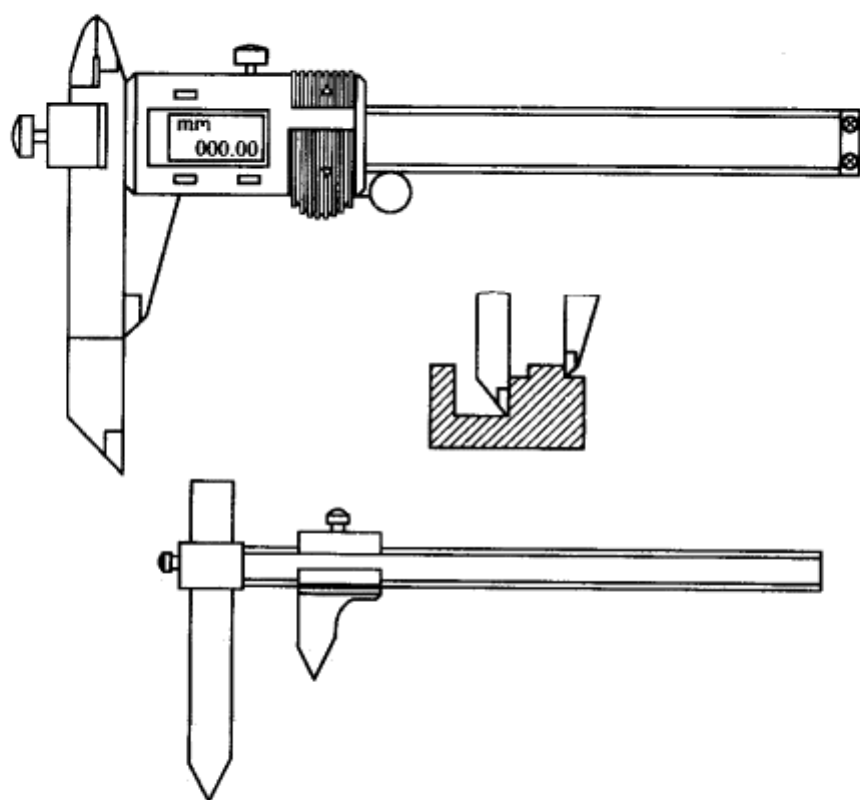


图 2-23 不等长测量爪游标卡尺及其应用

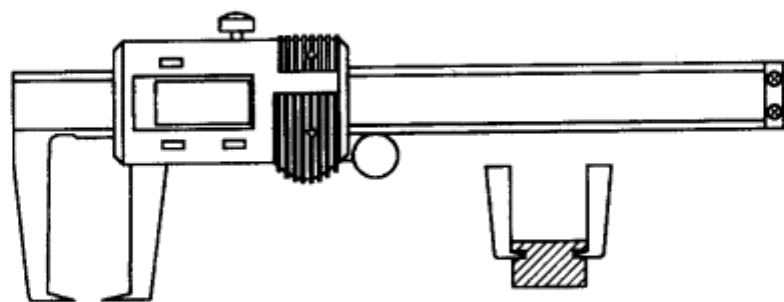


图 2-24 内沟槽游标卡尺及其应用

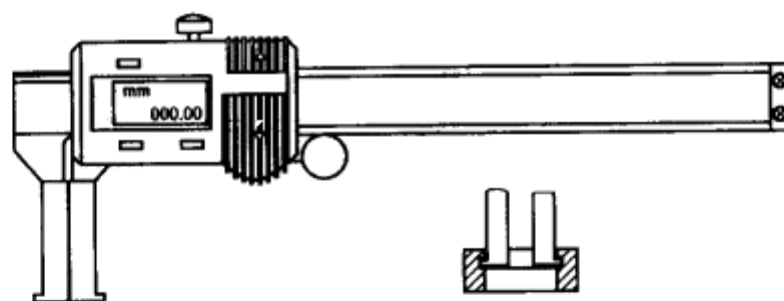


图 2-25 外沟槽游标卡尺及其应用

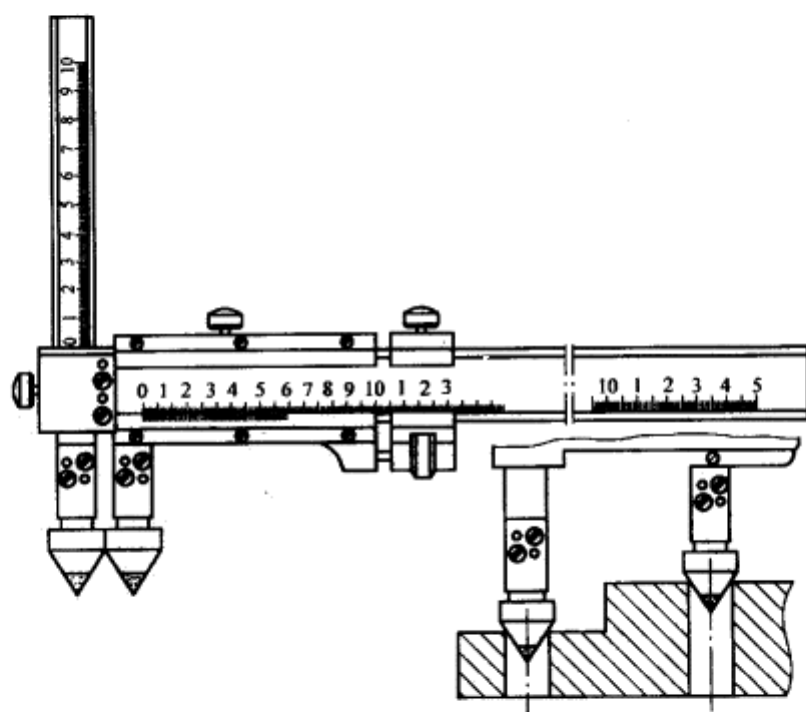
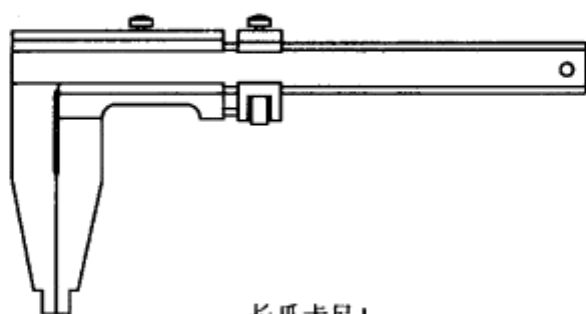
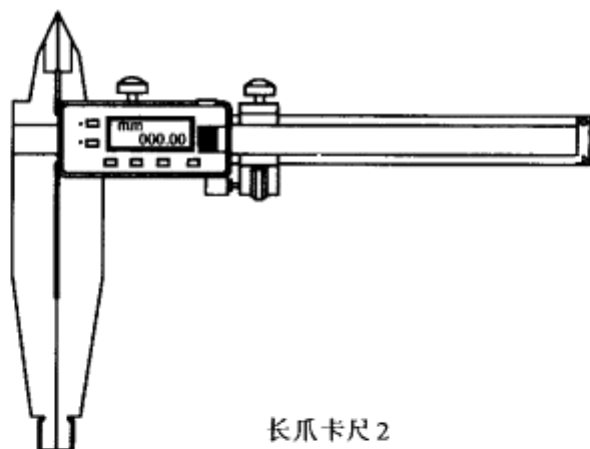


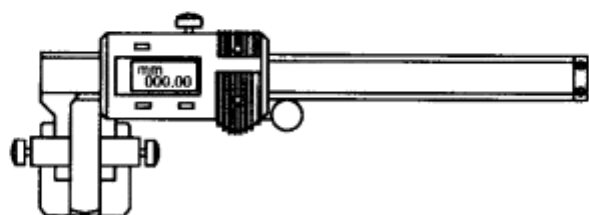
图 2-26 孔距游标卡尺及其应用



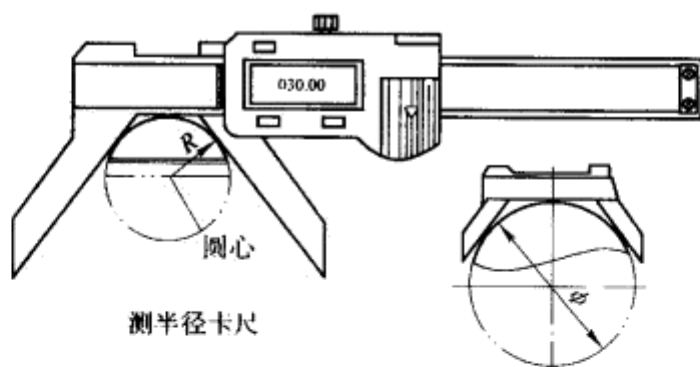
长爪卡尺 1



长爪卡尺 2

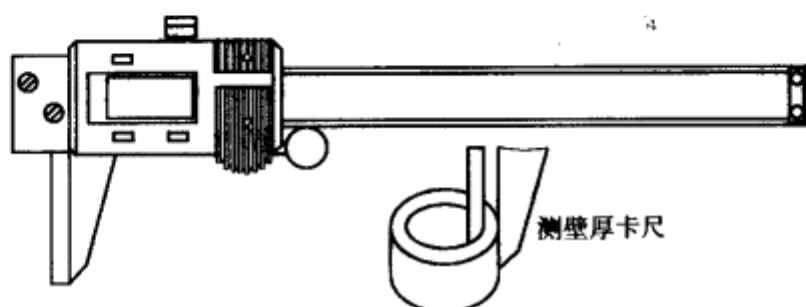


多用卡尺 1

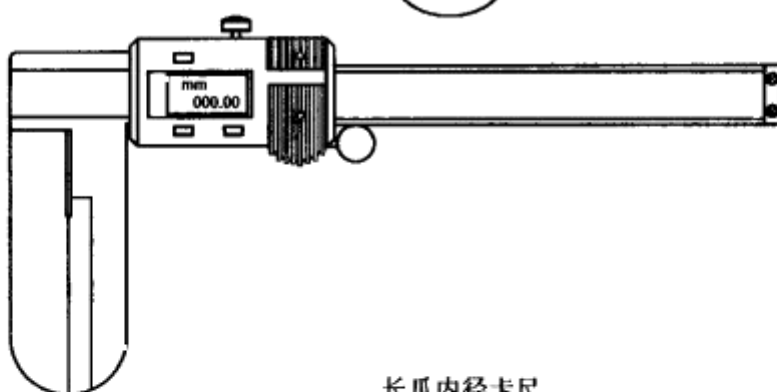


测半径卡尺

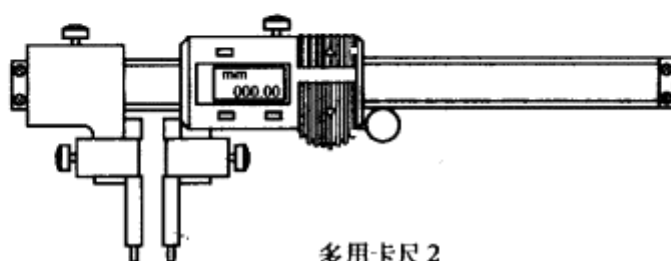
图 2-27 其他用途的



测壁厚卡尺

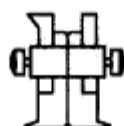


长爪内径卡尺

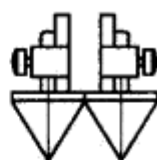


多用卡尺2

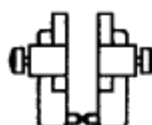
扁头内沟槽组合



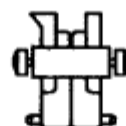
锥形中心距组合



圆柱头外沟槽组合



圆柱头内沟槽组合



多用卡尺附件

图 2-25 所示。

（五）孔距游标卡尺

孔距游标卡尺用于测量两孔之间的中心距或相关尺寸，使用时应注意事先对被测量的两个孔边缘毛刺进行清理，测量时应两个圆锥形测量爪施加一定的压力，以便与被测量孔的边缘密切接触，读数时，要注意加上两测量爪（圆锥顶尖）之间的距离，如图 2-26 所示。图中的一个量爪可以上下调整，便于测量不在一个平面内但中心线平行的两个孔之间的中心距，另外，锥形测量爪的最大直径有多种，可根据被测孔的大小进行更换。

（六）其他用途的游标卡尺

根据不同测量工件和测量部位的特点及要求，还有：测量较深内尺寸的长爪内、外尺寸游标卡尺；测量壁厚（主要是管状工件）的管壁厚游标卡尺；测量平面上两个点之间距离的细尖爪游标卡尺；测量圆或球形工件半径的游标卡尺；可以通过更换量爪实现测量不同工件尺寸的多功能组合游标卡尺等多种，其中部分产品如图 2-27 所示。

第三节 深度游标卡尺

一、深度游标卡尺的用途和种类

深度游标卡尺用于测量凹槽或孔的深度、梯形工件的梯层高度、长度等尺寸，平常被简称为“深度尺”。

深度游标卡尺的分类主要依据是其读数方式，和游标卡尺一样，也分为普通游标式、带表式和电子数显式三大类。

二、深度游标卡尺的结构、性能参数、使用方法和注意事项

（一）结构

游标深度卡尺的主要结构与普通 I 型长度游标卡尺的深度尺部分基本相同，不同点只在于它的“肩膀”比较宽大，这个“肩膀”被称之为尺框或尺座，如图 2-28 所示。

（二）测量范围、分度值和示值误差

游标深度卡尺的测量范围较常用的有 0 ~ 125mm、0 ~

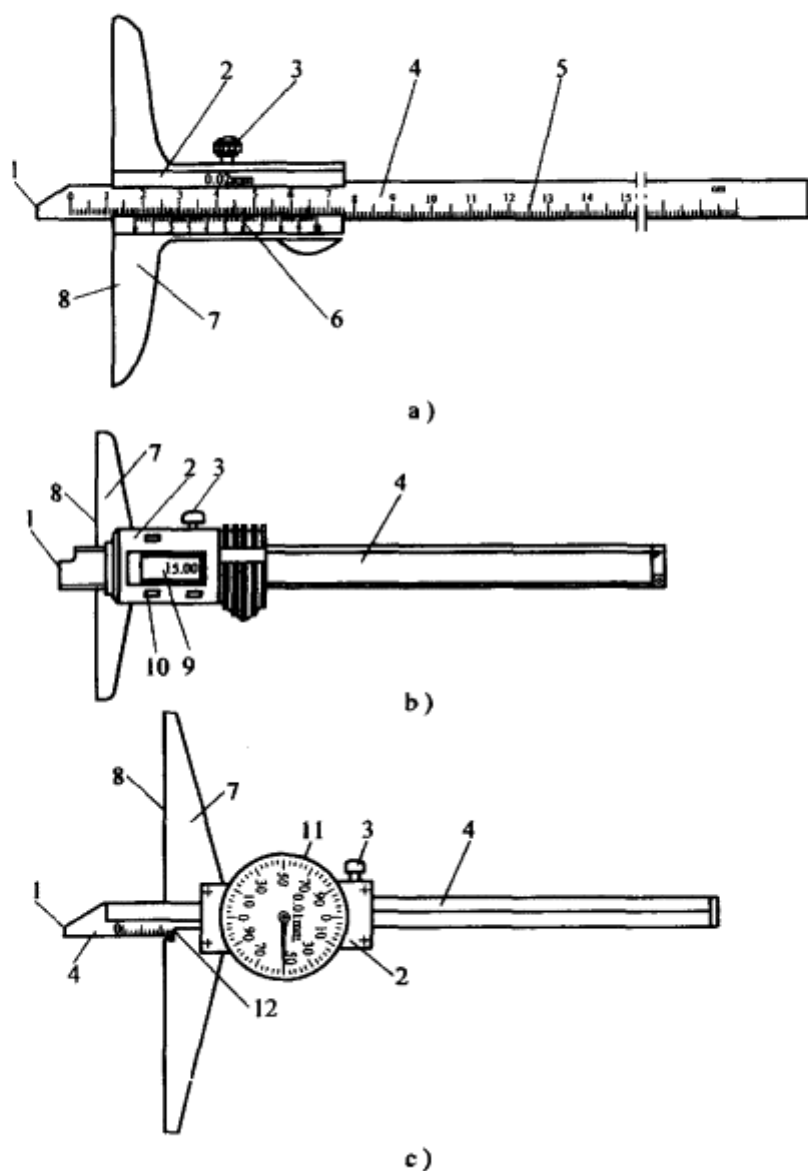


图 2-28 深度游标卡尺的结构

a) 普通游标式 b) 电子数显式 c) 带表式

1—测量面 2—尺框 3—紧固螺钉 4—游标 5—主标尺 6—游标尺
7—基座(尺座) 8—基准面 9—数字显示器 10—功能按键
11—指示表 12—读数部位

150mm、0 ~ 300mm、0 ~ 500mm 等四种。分度值有 0.02mm、0.05mm 和 0.10mm 三种。其示值误差见表 2-9。

(三) 使用方法和有关注意事项

深度游标卡尺的测量原理和读数方法与第三节介绍的长度游

表 2-9 深度游标卡尺的示值误差

测量范围/mm	示值误差/mm		
	分度值为 0.02mm	分度值为 0.05mm	分度值为 0.10mm
0 ~ 150	± 0.02	± 0.05	± 0.10
> 150 ~ 200	± 0.03	± 0.05	
> 200 ~ 300	± 0.04	± 0.08	
> 300 ~ 500	± 0.05	± 0.08	

标卡尺基本相同。下面只重点进行介绍其特有的内容。

1. 校对“0”位的方法

准备一块 0 级平板或平尺，将平板（或平尺）和深度尺的尺身测量面、尺框的测量面都擦干净，然后把尺框的测量面放在平板上，左手压住尺座，右手向下推尺身，使其和平板接触。以后，对不同读数形式的深度尺按不同的校对方法进行校对“0”位。

（1）对于普通的深度尺，再观看游标的“0”位刻线与尺身的主标尺的“0”位刻线是否重合。如重合，则说明该深度尺的“0”位准确，如图 2-29 所示。

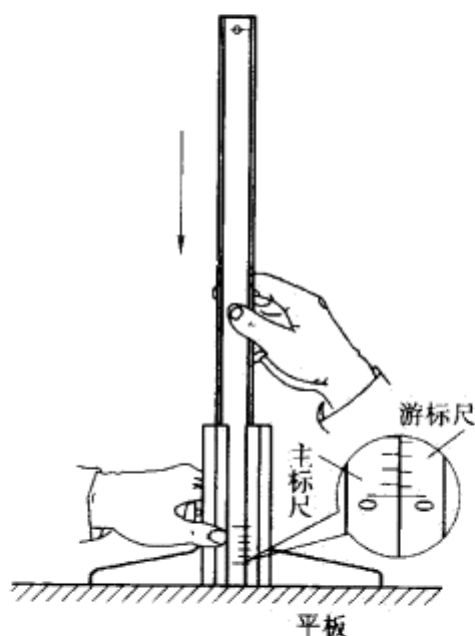


图 2-29 用平板校对深度游标卡尺的“0”位

(2) 对于带表的深度尺, 要求“双对 0”, 即尺框的读数部位与尺身的“0”刻线的边缘恰好相切, 而且指示表的指针与表盘的“0”刻度重合, 这种情况才算“0”位正确。

(3) 对于电子数显深度尺, 显示器应显示“000.00mm”。但如果显示的不是“000.00mm”, 允许按动置 0 按钮, 使显示器显示“000.00mm”。

2. 测量方法和注意事项

深度游标卡尺的测量方法和注意事项与 I 型长度游标卡尺(含普通、带表和数显卡尺)的深度尺部分基本相同, 可参考其相关部分。

当要测量的孔或槽的开口较大, 宽于卡尺的尺座时, 要在上述开口上加一块两面平行度和粗糙度符合要求的辅助基准板, 然后将卡尺的尺座基准面放在辅助板上进行测量, 卡尺显示的数值减去辅助板的厚度所得之差即为被测量尺寸, 如图 2-30 所示。

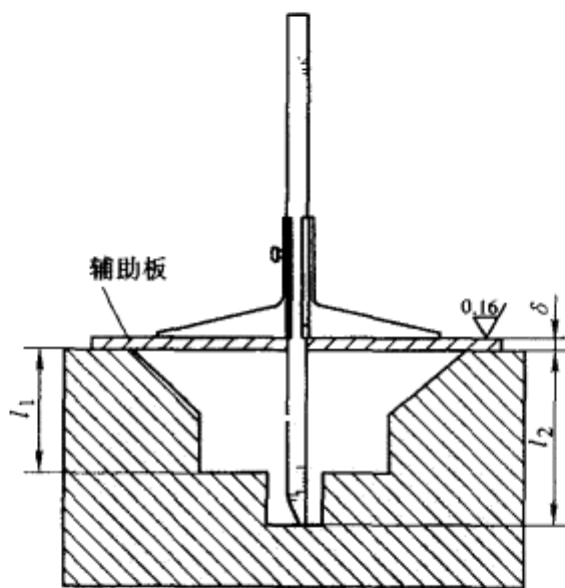


图 2-30 用深度尺加辅助板测量大口孔或槽的方法

三、弯头深度游标卡尺及使用方法

弯头深度游标卡尺的外形结构如图 2-31 所示, 它主要用于

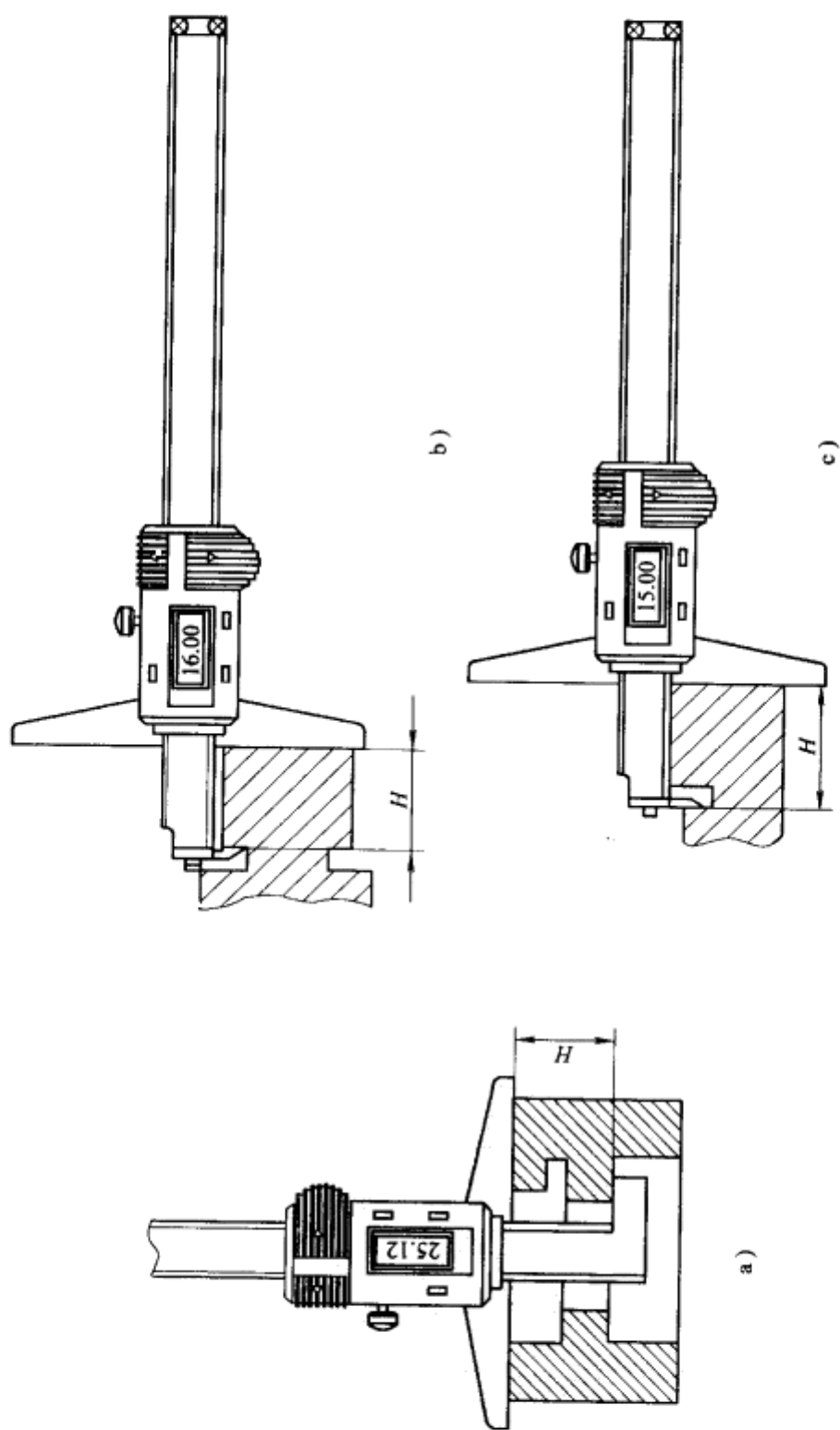


图 2-31 弯头深度游标卡尺及其应用
a) 一体式的结构及其应用 b) 分体式之一的结构及其应用
c) 分体式之二的结构及其应用

测量阶梯孔槽的距离（图中的尺寸 H ），若用于测量深度，应在显示值的基础上再加上尺身下部弯钩的厚度。

第四节 高度游标卡尺

一、高度游标卡尺的用途、种类和结构

高度游标卡尺简称为“高度尺”。顾名思义，它的主要用途是测量工件的高度，另外还经常用于测量形状和位置公差尺寸，有时也用于划线。

根据读数形式的不同，高度游标卡尺可分为普通游标式和电子数显式两大类。

高度游标卡尺由底座、尺身和尺框三大部分组成，尺身固定在底座上并垂直于底座的底面，如图 2-32 所示。

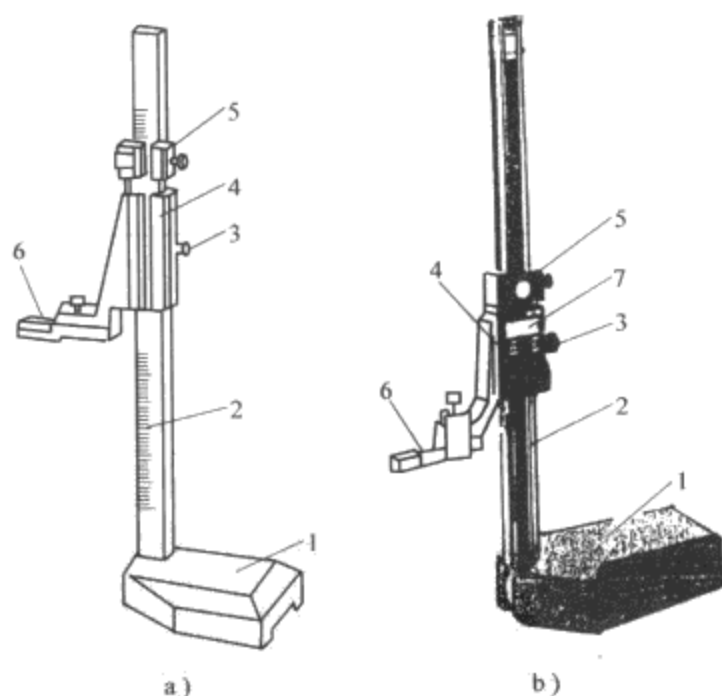


图 2-32 高度游标卡尺的结构

a) 普通游标式 b) 电子数显式

1—底座 2—尺身 3—紧固螺钉 4—尺框 5—微动装置
6—量爪 7—显示器

二、高度游标卡尺的性能参数、使用方法和注意事项

(一) 测量范围、分度值和示值误差

高度游标卡尺的测量范围较常用的有 0 ~ 150mm、0 ~ 300mm、0 ~ 500mm、0 ~ 1000mm 等四种。普通高度尺的分度值有 0.02mm 和 0.05mm 两种，其示值误差见表 2-10；数显高度尺的分辨率和重复精度均为 0.01mm，其示值误差，对测量范围为 0 ~ 300mm 的为 $\pm 0.03\text{mm}$ ，对测量范围为 0 ~ 500mm 的为 $\pm 0.04\text{mm}$ ，响应速度一般为 1.5m/s。

表 2-10 高度游标卡尺的示值误差

测量范围/mm	示值误差/mm	
	分度值为 0.02mm	分度值为 0.05mm
0 ~ 150	± 0.02	± 0.05
> 150 ~ 200	± 0.03	± 0.05
> 200 ~ 300	± 0.04	± 0.08
> 300 ~ 500	± 0.05	± 0.08
> 500 ~ 1000	± 0.07	± 0.10

(二) 使用方法和有关注意事项

高度游标卡尺的测量原理和读数方法与第三节介绍的长度游标卡尺基本相同。下面只重点进行介绍其特有部分内容。

1. 校对“0”位的方法

准备一块 0 级平板，将平板和高度尺的底座底平面都擦干净，然后把高度尺放在平板上。在尺框上装好测量爪。

用一只手压住底座，另一只手徐徐向下推尺框，使测量爪和平板接触。对于普通的高度尺，观看游标的“0”位刻线与尺身的“0”位刻线是否重合。如重合，游标的尾线也与尺身的相应刻线重合，则说明该高度尺的“0”位准确，如图 2-33 所示；对于电子数显高度尺，显示器应显示“000.00mm”则说明该高度

尺的“0”位准确，但如果显示的不是“000.00mm”，允许按动置0按钮，使显示器显示“000.00mm”。

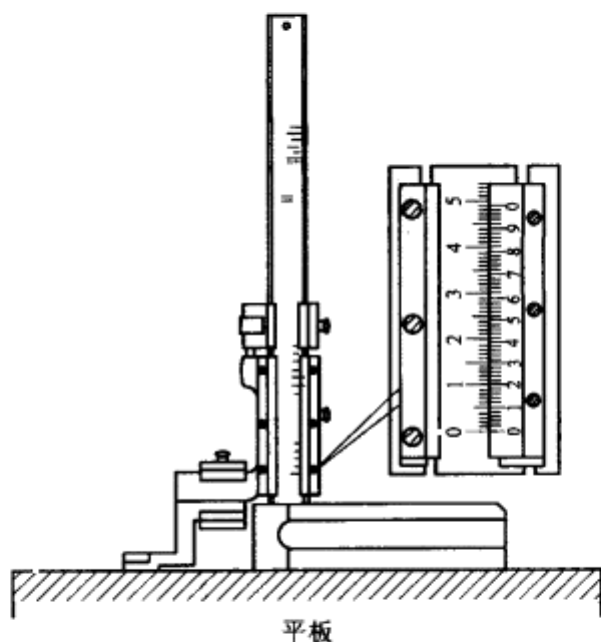


图 2-33 用平板校对高度游标卡尺的“0”位

应当注意的是，在上述校对过程中发现0位不正确时，不一定是高度尺本身的问题，而有可能是平板或高度尺底座的底平面不干净（粘有杂物）、测量爪安装松动等原因造成的。应排除上述原因后再进行校对。

2. 测量高度的实测法

把所用的高度尺和要测量的工件同时平稳地放置在等级符合要求的平台（一般要求不低于1级）上，高度尺上安装专用的测量爪。

测量工件的上平面高度时，先将高度尺的测量爪抬高到略高于被测高度，然后平推高度尺的底座，将其测量爪处于被测面之上，再轻轻下压尺框，当测量爪的下平面将要接触被测量面时，拧紧微动装置的固定螺丝，再借助微动装置使测量爪下表面与被测量面接触。读取高度尺上的测量值即为要测量的高度值，

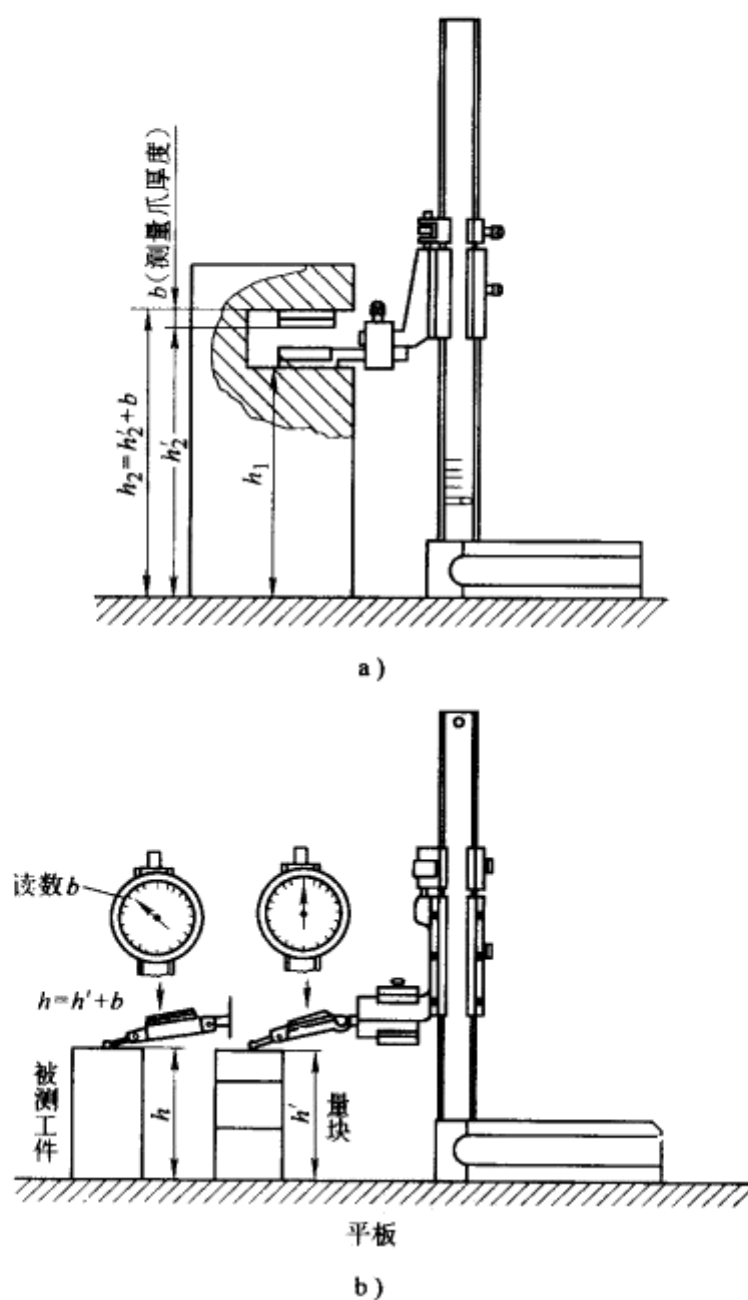


图 2-34 用高度游标卡尺测量工件高度
a) 测量上平面和下平面的高度 b) 利用比较法测量高度

如图 2-34a 所示。

测量工件的下平面高度时，先将高度尺的测量爪降低到略低

于被测高度，然后平推高度尺的底座，将其测量爪处于被测量面之下，再轻轻上推尺框，当测量爪的上平面将要接触被测量面时，拧紧微动装置的固定螺丝，再借助微动装置使测量爪上表面与被测量面接触。读取高度尺上的测量值后，再加上测量爪的厚度即为要测量的高度值，如图 2-34a 所示。

3. 测量高度的比较法

在尺框上安装一个杠杆百分表，根据要测量的工件高度尺寸选择一组量块。用量块对好杠杆百分表，然后移动高度尺，使杠杆百分表的测头与被测量面接触。读出百分表的指示值（应注意是正值还是负值），该值即为被测工件高处或低于量块的尺寸，如图 2-34b 所示。在这种测量方法中，高度尺仅起表架的作用。

4. 测量形状和位置公差

以测量平行度为例讲述测量形状和位置公差的方法步骤。

把所用的高度尺和要测量的工件同时平稳地放置在等级符合要求的平台（一般要求不低于 1 级）上，高度尺上安装杠杆百分表，此时的高度尺仅起表架的作用。

根据要测量的工件高度，将高度尺的尺框固定在适当的位置，使杠杆百分表的测头与被测量面的一端接触，并施加适当的测量力，然后将其表针对零（杠杆百分表的调节和使用方法见本章第八节相关内容）。

将高度尺移动到被测量面的另一端，读出表针指示的数值，该数值即为被测量面两端的高度差。该高度差与两测量点之间的距离之比即为被测量面以底平面（即平板的平面）为基准面的平行度数值。

上述操作如图 2-35 所示。

若测量一个平面的平面度，则使杠杆百分表的测头与被测量面的一端接触后，沿测量面徐徐移动，读取表针指示的最大值和最小值，两值之差即为被测量面的平面度。

5. 使用注意事项

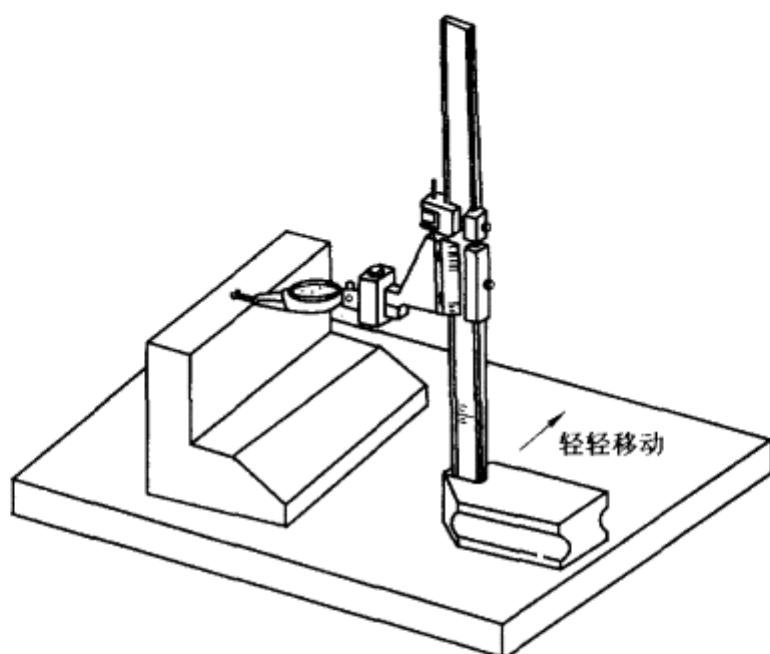


图 2-35 用高度尺加杠杆百分表测量工件两平面的不平行度

高度尺的使用注意事项与前面讲过的几种量具基本相同，另外还要注意以下几点。

(1) 搬动高度尺时，应该用一只手从下面托住底座，另一只手扶住尺身，如图 2-36a 所示；不允许只提着尺身，以免因底座过重而使尺身变形，如图 2-36b 所示。

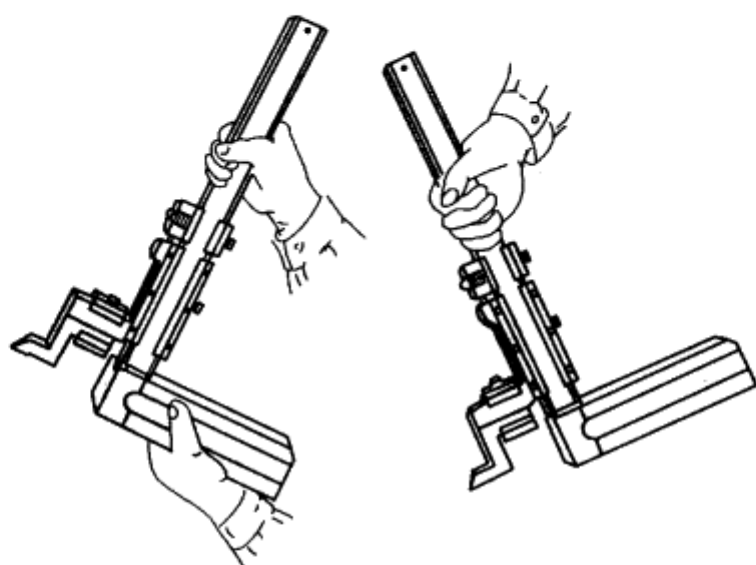
(2) 对没有装入盒内的高度尺，不允许将其斜靠着放置在其他物品上，如图 2-36c 所示。

(3) 应特别注意随时保持底座下平面的干净。

(4) 使用完毕之后，应将高度尺擦拭干净，并放置在专用的盒内。存放的环境应干燥，无有害气体。

三、带表和双柱高度游标卡尺

图 2-37 给出了一种带表高度尺和一种双柱带表高度尺的结构。它们的使用方法与普通高度尺类似，指示表的用法与带表卡尺或带表深度尺基本相同。这两种高度尺的突出优点是稳定性较好，一般用于较高工件的测量。

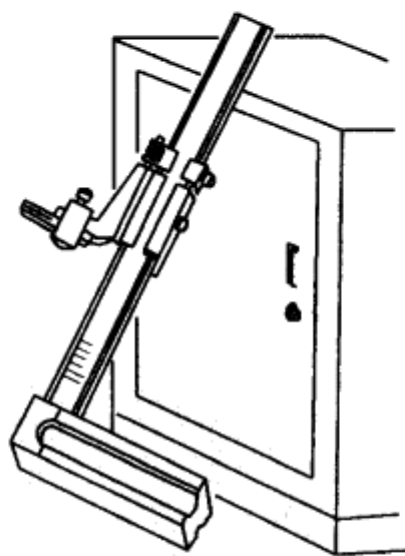


正确

a)

错误

b)



错误

c)

图 2-36 搬运和存放高度尺的正确方法和错误方法
a) 正确的搬运方法 b) 错误的搬运方法 c) 错误的放置方法

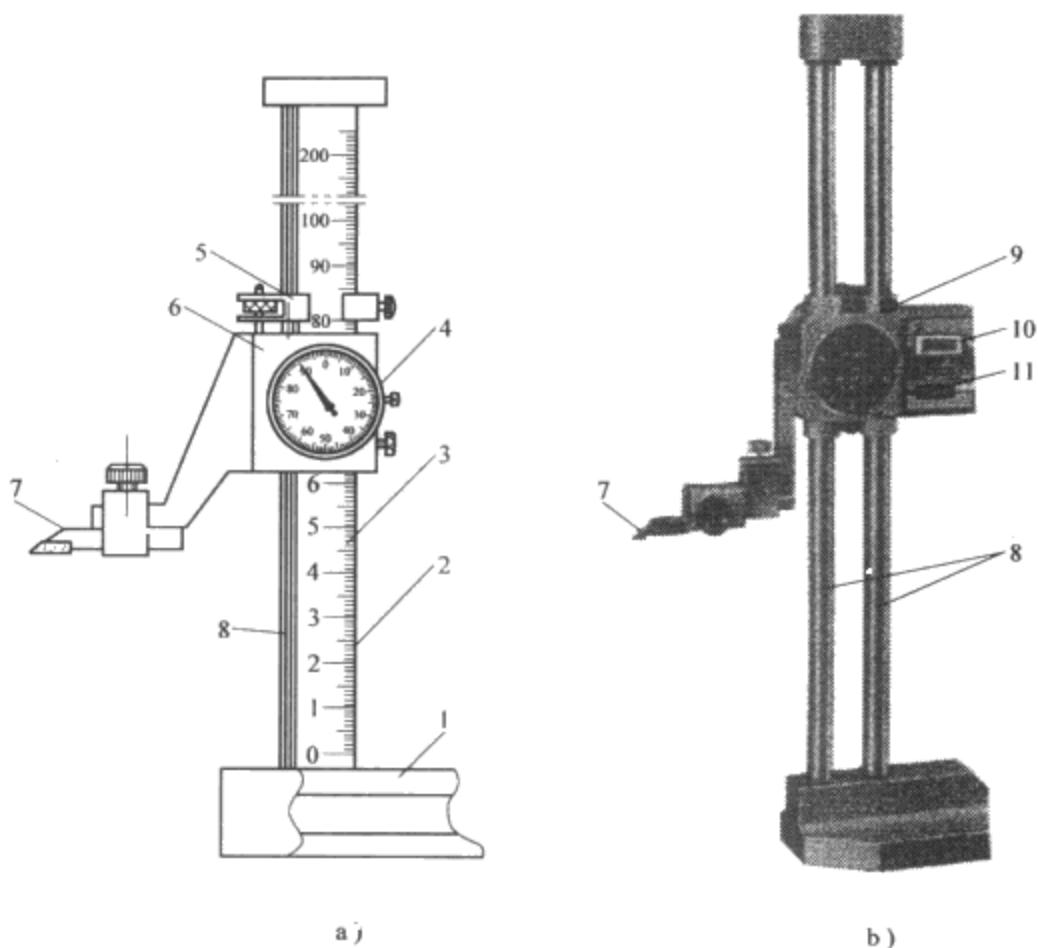


图 2-37 带表高度尺和双柱带表高度尺的结构

a) 带表高度尺 b) 双柱带表高度尺

1—底座 2—主标尺 3—毫米读数部位 4—指示表 5—微动装置 6—尺框
7—划线量爪 8—圆柱 9—锁紧手柄 10—毫米计数器 11—清0按钮

第五节 外径千分尺

一、外径千分尺的用途、种类和结构

顾名思义，外径千分尺的主要用途是测量工件的外径，当然也可测量一些外尺寸。外径千分尺又简称为“千分尺”。实际上，千分尺的分度值是 0.01mm ，即百分之一毫米，由此应将其称为“百分尺”，“千分尺”是一种习惯称呼。

与普通外径千分尺的测量原理完全相同，结构也大体相同的其他量具有很多种，例如杠杆千分尺、尖头千分尺、板厚千分

尺、壁厚千分尺、公法线千分尺、奇数沟千分尺等，它们都属于利用螺旋传动原理把螺杆的旋转运动转化成直线位移来进行测量的“测微量具”。

从读数方式来分，常用的外径千分尺有普通式、带表式和电子数显式三种类型。其外形结构如图 2-38 所示。

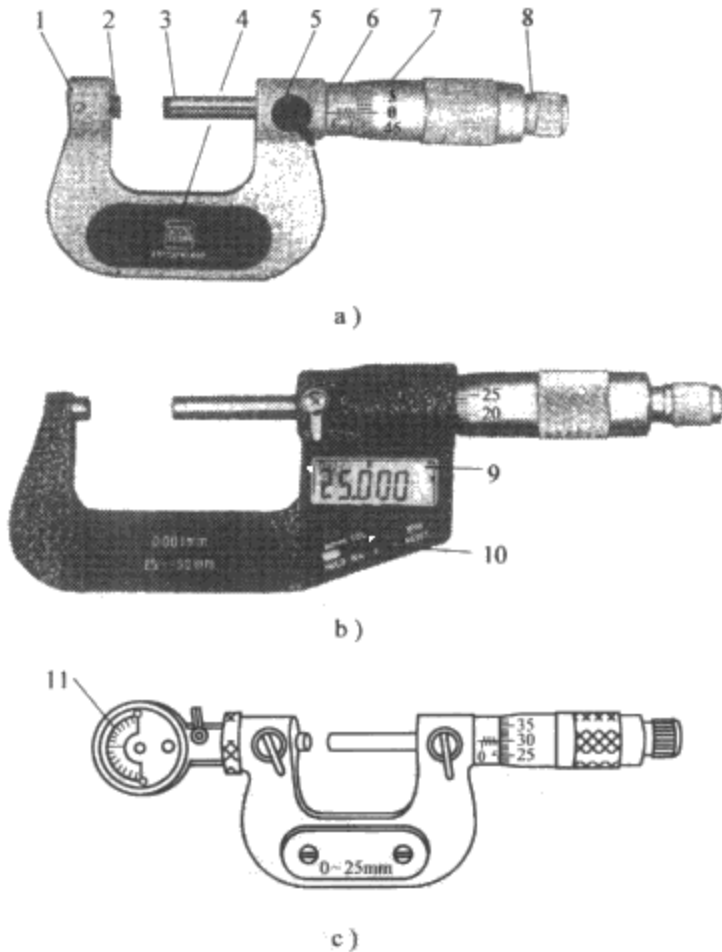


图 2-38 外径千分尺的外形结构

a) 普通式 b) 电子数显 c) 带表式

1—尺架 2—固定测砧 3—活动测砧紧固套筒 4—护板 5—锁紧装置
6—固定套筒 7—微分筒（测微头） 8—测力装置 9—显示器（计数器）
10—功能按键 11—指示表

二、外径千分尺的性能参数

（一）测量范围、分度值、等级和示值误差

外径千分尺的测量范围较常用的有 0 ~ 25mm、25 ~ 50mm、50 ~ 75mm、75 ~ 100mm、100 ~ 125mm、125 ~ 150mm、150 ~ 175mm、175 ~ 200mm、200 ~ 225mm、225 ~ 250mm、250 ~ 275mm、275 ~ 300mm、300 ~ 325mm、325 ~ 350mm、350 ~ 375mm、375 ~ 400mm、400 ~ 425mm、425 ~ 450mm、450 ~ 475mm、475 ~ 500mm，以上每相邻两档的差值为 25mm；从 500 ~ 1000mm 每相邻两档的差值为 100mm 即 500 ~ 600mm、600 ~ 700mm、700 ~ 800mm、800 ~ 900mm、900 ~ 1000mm。

测量范围在 500mm 及以上的外径千分尺被称为大型外径千分尺。

外径千分尺的分度值一般为 0.01mm。精度等级有 0、1、2 三级。其中 0 级的示值误差最小；1 级的示值误差居中；2 级的示值误差最大。

测量上限大于 25mm 的外径千分尺应附有校对量杆，校对量杆两端测量面的粗糙度应不大于 $R_a = 0.04\mu\text{m}$ 。

普通外径千分尺的示值误差、两测量面的平行度以及尺架沿测微螺杆轴线方向受 10N 的力时的变形量最大值见表 2-11。

校对量杆的尺寸偏差和两测量面的平行度应不超过表 2-12 的规定。

表 2-11 外径千分尺的示值误差、平行度及变形量

测量范围/mm	示值误差/ μm			两测量面平行度/ μm	变形量最大值/ μm
	0 级	1 级	2 级		
0 ~ 25, 25 ~ 50	± 2	± 4	± 8	2	2
50 ~ 75, 75 ~ 100	± 2	± 4	± 8	3	3
100 ~ 125, 125 ~ 150	± 2.5	± 5	± 10	4	4
150 ~ 175, 175 ~ 200	± 3	± 6	± 12	5	5
200 ~ 225, 225 ~ 250	± 3.5	± 7	± 14	6	6
250 ~ 275, 275 ~ 300	± 3.5	± 7	± 14	7	6
300 ~ 325, 325 ~ 350 350 ~ 375, 375 ~ 400	± 4	± 8	± 16	9	8

(续)

测量范围/mm	示值误差/ μm			两测量面平行度/ μm	变形量最大值/ μm
	0 级	1 级	2 级		
400 ~ 425, 425 ~ 450 450 ~ 475, 475 ~ 500	± 5	± 10	± 20	11	10
500 ~ 600	± 6	± 12	± 24	12	12
600 ~ 700	± 7	± 14	± 28	14	14
700 ~ 800	± 8	± 16	± 32	16	16
800 ~ 900	± 9	± 18	± 36	18	18
900 ~ 1000	± 9	± 20	± 40	20	20

表 2-12 校对量杆尺寸极限偏差和平行度

标称尺寸/mm	尺寸极限偏差/ μm	两测量面平行度/ μm	标称尺寸/mm	尺寸极限偏差/ μm	两测量面平行度/ μm
25, 50	± 2	1	425, 450 475, 500	± 11	5.5
75, 100	± 3	1.5	525, 550	± 13	6.5
125, 150	± 4	2	625, 675	± 15	7.5
175, 200	± 5	2.5	725, 775	± 17	8.5
225, 250	± 6	3	825, 875	± 19	9.5
275, 300	± 7	3.5	925, 975	± 21	10.5
325, 350 375, 400	± 9	4.5	—	—	—

(二) 外径千分尺的合理选择

选择外径千分尺的依据是被测量工件的大小、尺寸数值和公差精度要求。三种精度等级的千分尺所使用的范围见表 2-13。

(三) 使用时对标定温度 (20℃) 的允许温度差

由于千分尺和被测工件都具有热胀冷缩现象, 而千分尺的标定温度是 20℃, 所以, 若使用时的温度不是 20℃ 时, 则会造成一定的测量误差, 特别是当被测工件的材质与千分尺不相同, 线性膨胀系数相差较多时, 误差会较大。在实际使用中, 实际温度

与标定温度（20℃）允许差值的大小与所用千分尺的精度等级及测量范围有关，具体数值见表 2-14。

表 2-13 不同精度等级的千分尺所使用的范围

千分尺的精度等级	被测量的尺寸公差等级	
	较适用的范围	合理使用范围
0	8 ~ 16	8 ~ 9
1	9 ~ 16	9 ~ 10
2	10 ~ 16	10 ~ 11

表 2-14 千分尺在使用时对标定温度（20℃）的允许偏差

千分尺的精度等级	被测工件的尺寸范围/mm			
	0 ~ 18	> 18 ~ 50	> 50 ~ 120	> 120 ~ 150
	在使用时对标定温度（20℃）的允许偏差/℃			
0	8	6	4	3
1, 2	8	8	6	5

三、外径千分尺的使用方法和注意事项

（一）使用前的检查

（1）用棉丝将千分尺的各部位表面擦拭干净。然后仔细地检查各部位是否有划伤、锈蚀和影响使用性能的缺陷。

（2）用绸子或白色柔软而干净的棉丝擦净测砧的测量面和测微螺杆的测量面。然后旋转棘轮（测力装置），看它能否轻快灵活地带动微分筒旋转，测微螺杆移动是否平稳，有无卡住现象，在全量程范围内，微分筒与固定套筒之间有无摩擦；当用手把微分筒固定住，或用锁紧装置把测微螺杆紧固住后，棘轮能带动微分筒灵活地旋转、测微螺杆移动平稳、无卡住现象、微分筒与固定套筒之间无摩擦、紧住测微螺杆后棘轮能发出“咔、咔”声，满足上述要求时，说明被检查的千分尺各部位的相互作用符合要求。

（二）校对和调整“0”位的方法

1. 直接校对“0”位的方法

对于测量范围为 $0 \sim 25\text{mm}$ 的外径千分尺，可直接校对“0”位，校对方法是：将两个测量面擦拭干净后，旋转微分筒，当两个测量面即将接触时，开始用轻轻旋转棘轮的方法使两个测量面相接触，待棘轮发出“咔、咔”声后，即可进行读数。

此时，若微分筒上的“0”刻线与固定套筒的基线重合，微分筒端面也恰好与固定套筒的“0”刻线的右边缘恰好相切（如果不是恰好相切，允许“离线”不大于 0.1mm ，“压线”不大于 0.05mm ），则认为0位准确，如图 2-39a 所示。

所谓“离线”是指微分筒端面离开固定套筒的“0”线；“压线”是指微分筒端面压住（或称为“盖住”）固定套筒的“0”线。

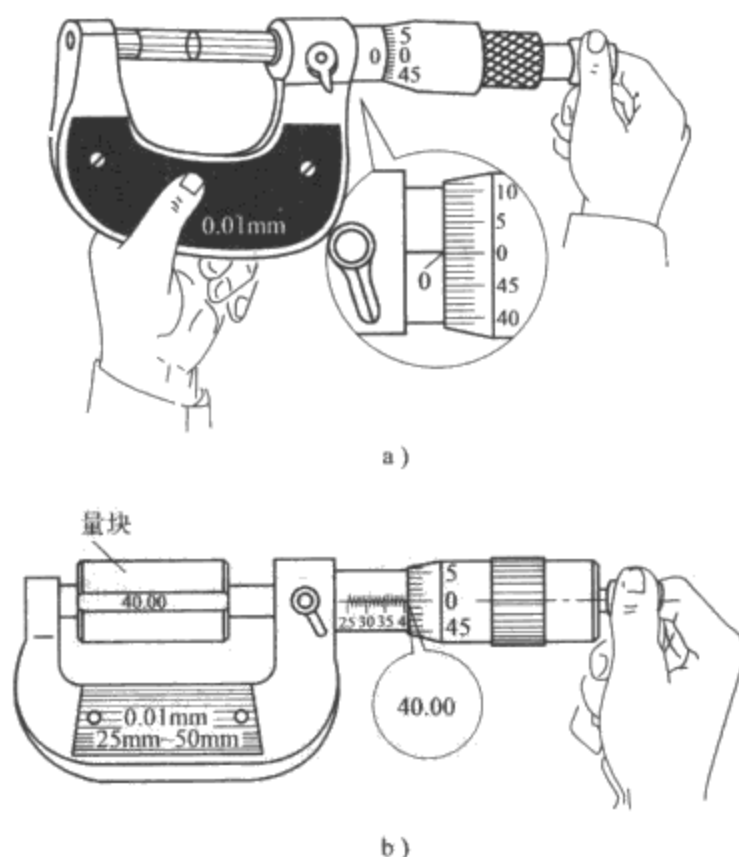


图 2-39 校对千分尺“0”位

a) 直接校对法 b) 用校对量杆或量块的间接校对法

2. 用校对量杆或量块间接校对“0”位的方法

对于测量范围大于 25mm 的外径千分尺，应用校对量杆或量块校对“0”位，校对方法如下：

将校对量杆或量块当作被测工件，用要校对“0”位的外径千分尺来测量它们。若测量所得数值与校对量杆或量块的实际标定长度尺寸数值相同，则说明该千分尺的“0”位准确。如图 2-39b 所示。

同样也允许有不大于 0.1mm 的“离线”和不大于 0.05mm 的“压线”。

3. 调整“0”位的方法

若在校对“0”位时发现不准确，可进行调整。

对老式普通型式的千分尺，其结构如图 2-40 所示。可先用锁紧装置把测微螺杆紧固住，然后松开后盖，转动微分筒使其“0”刻线与固定套筒的基线重合，并使微分筒的端面与固定套筒的“0”刻线的右边缘恰好相切，再把后盖旋紧，松开锁紧装

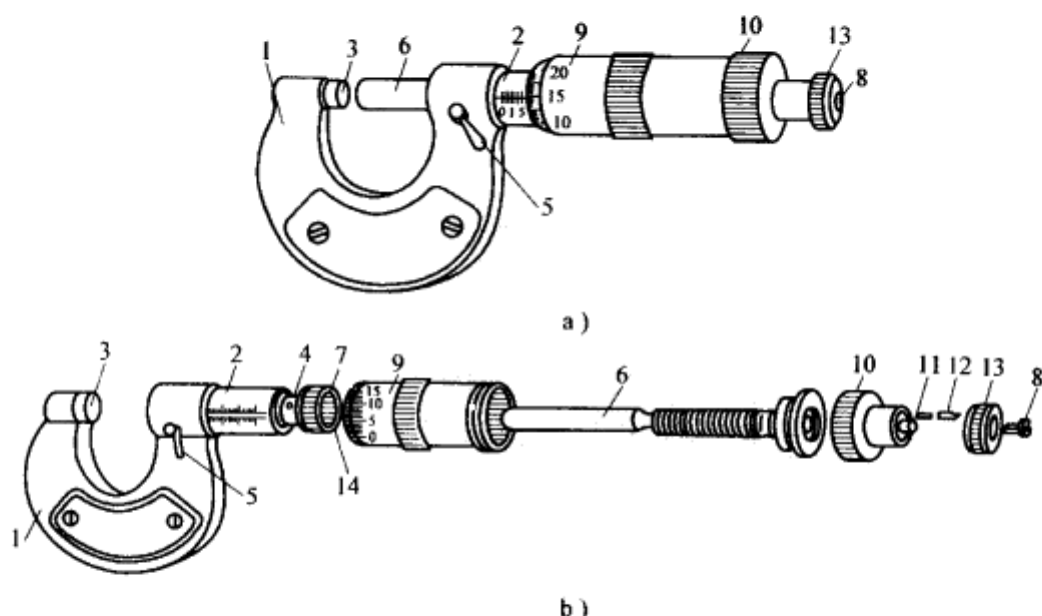


图 2-40 老式的普通千分尺结构分解图

- 1—尺架 2—固定套管 3—固定测砧 4—轴套 5—锁紧手柄 6—测微螺杆
7—衬套 8—螺钉 9—微分筒（活动套管） 10—罩壳（后盖） 11—弹簧
12—棘爪销 13—棘轮 14—螺母

置。之后，再次校对“0”位，看是否调整好，如为调整好，则再次进行上述调整，到“0”位准确为止。

对新式普通型式的千分尺，其结构如图 2-41 所示，其调整较为复杂，一般要有专业技术的计量人员来完成。调整时，要用附带的专用扳勾插入固定套筒的调整孔内（该孔位于固定套筒“0”刻线的背面），扳动固定套筒转过一定角度，使其基线与微分筒的“0”刻线重合，并使微分筒的端面与固定套筒的“0”刻线的右边缘恰好相切，再把后盖旋紧，松开锁紧装置。之后，再次校对“0”位，看是否调整好，如未调整好，则再次进行上述调整，到“0”位准确为止。调整时应注意，如果在固定套筒上有紧固螺丝（紧固顶丝），则要先将其松开，然后方可用专用扳手（见图 2-44）扳动固定套筒，待调整完成之后，再将螺丝紧固。

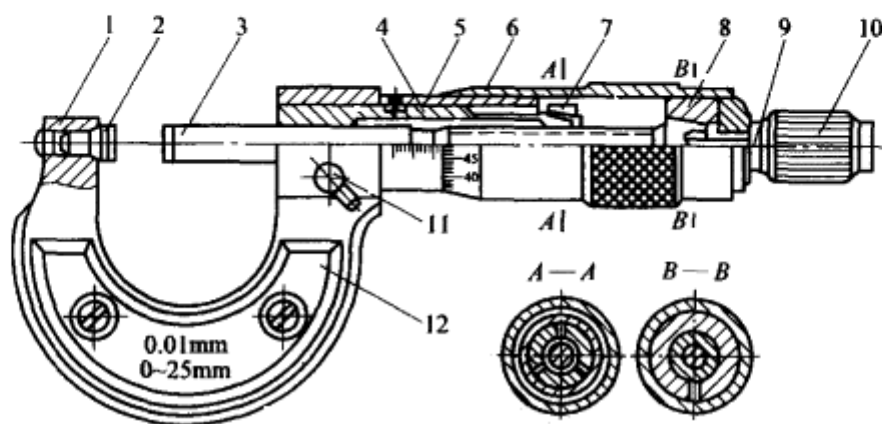


图 2-41 新式的普通千分尺结构分解图

- 1—尺架 2—固定测砧 3—微分螺杆 4—螺纹轴套 5—固定套管
6—微分筒 7—调节螺母 8—接头 9—垫圈 10—测力装置
11—锁紧手柄 12—护板（隔热板）

（三）测量方法和注意事项

1. 正确选择千分尺的规格和精度

先了解要测量的尺寸范围，并正确选择千分尺的规格。

2. 手握千分尺的方法

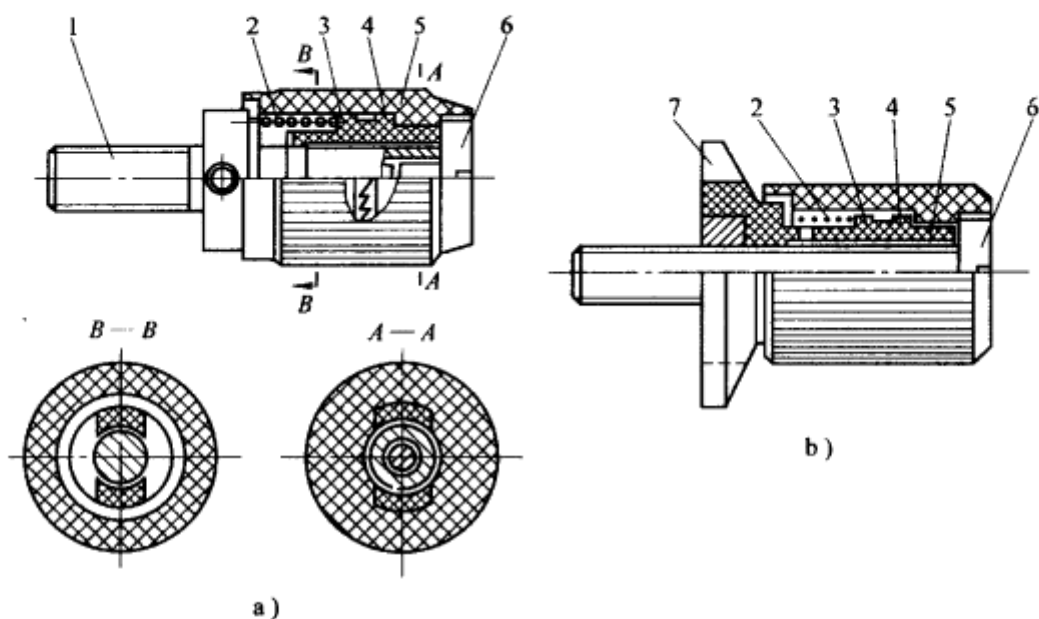


图 2-42 普通千分尺测力装置结构分解图

a) 型式 1 b) 型式 2

1—轮轴 2—弹簧 3、4—棘轮 5—转帽 6—螺钉 7—压帽

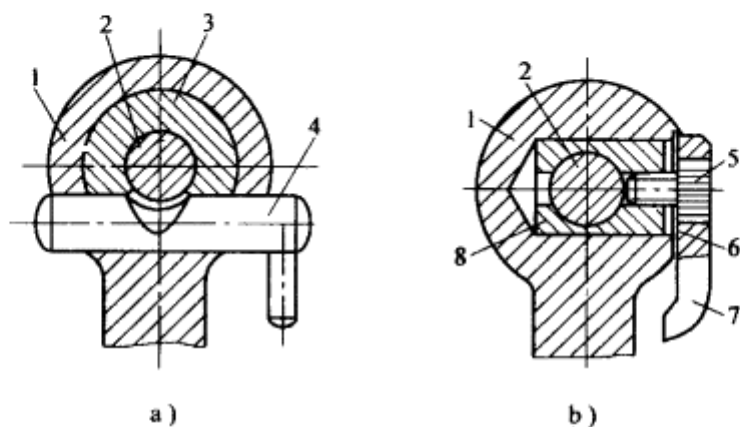


图 2-43 普通千分尺锁紧装置结构分解图

1—尺架 2—测微螺杆 3—螺纹轴套 4—拨销轴 5—螺钉

6—垫圈 7—调节螺母 8—接头

为防止握千分尺的手温影响测量准确度，要求握在千分尺的护扳（又被称为“隔热板”）处。若直接用手握千分尺的金属尺架来进行测量，当该千分尺的检定温度为 20°C ，受检尺寸为 100mm ，手与千分尺的接触时间为 10min 时，则会引起千分尺的

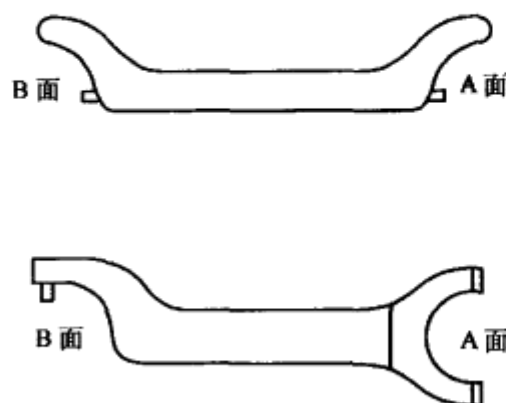


图 2-44 外径千分尺的专用扳手

尺寸变化量达到 0.006mm (即 $6\mu\text{m}$)。

3. 操作方法和注意事项

图 2-45 给出了几种情况下操作外径千分尺的方法，下面进行文字表述。

旋动微分筒，使两测量面之间的距离（外尺寸）调整到略大于被测尺寸后，将千分尺的两个测量面送入到要测量的位置。旋动微分筒，使两测量面将要接触被测量点后，开始旋动棘轮（测力装置），使两测量面密切接触被测量点（此时棘轮将发出“咔、咔”声）并读取测量值。旋动微分筒和棘轮时，速度不要过快，以防测量面与被测量面发生较强的碰撞而损坏测微螺杆。测量读数完毕之后退尺时，应旋转微分筒，而不要使用旋转棘轮的方法，以防拧松测力装置，影响“0”位。

使用较小测量范围的千分尺时，可一人用两只手同时操作，一只手握住尺架的护板，另一只手操作微分筒和棘轮。

对于较小并可拿起的工件，也可用一手拿住工件，用另一只手的无名指和小指夹住尺架压在掌心中，食指和拇指旋转微分筒（不用棘轮）进行测量。由于不是用测力装置，测量力的大小全凭手指的感觉来控制，所以要求使用人员要有一定的经验。

对于较小并可拿起的工件，当要测量的工件数目较多时，可将千分尺固定在专用的尺架上（固定时既要牢固又要防止因夹

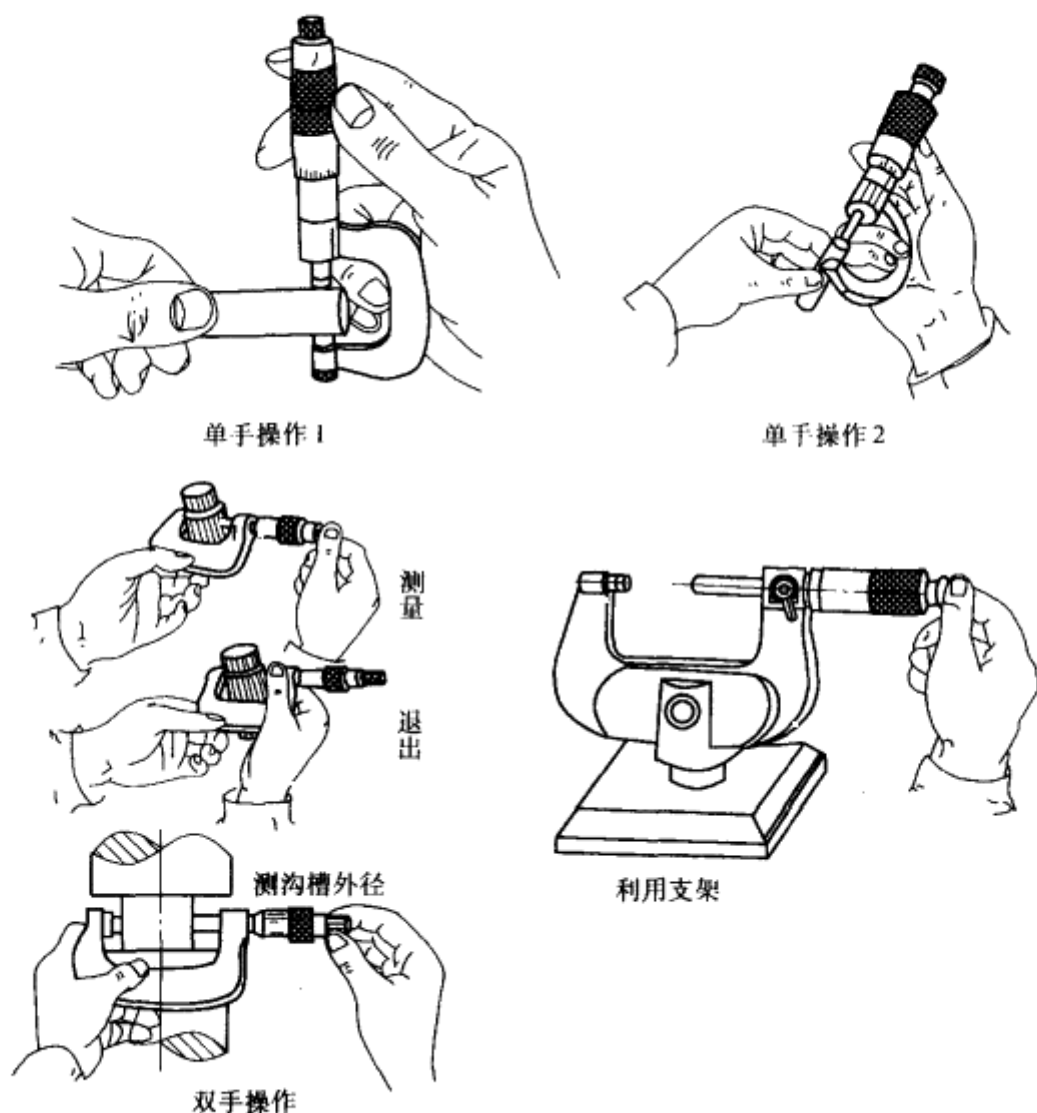


图 2-45 普通千分尺的操作方法

力过大而损伤千分尺的尺身)，一手拿工件，一手操作千分尺，可提高工作效率，并且避免因手的温度影响测量数据的准确性。

使用大型千分尺时，一般要由两人相互配合操作，一人稳定尺身，一人操作微分筒和棘轮并读数。

图 2-46 给出了一种固定千分尺的支架。

4. 正确选择测量面的接触位置

千分尺两个测量面与被测量面（或点、线）的接触位置是否得当，将对测量结果产生直接的影响，所以在操作时要格外注

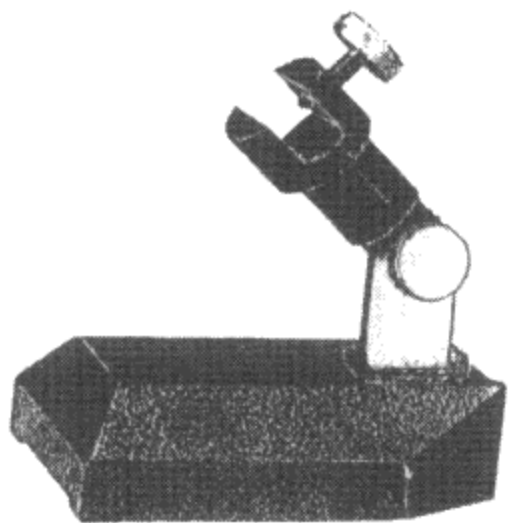


图 2-46 固定千分尺的支架

意，具体应注意以下几点：

(1) 当千分尺的测量面将要接触被测量面时，要一边旋转测力装置，一边轻微晃动尺架，靠测量人员的手感来选择准确的接触位置，使千分尺两个测量面与被测量面接触良好、准确。

(2) 测量时，要使测微螺杆轴线与被测工件的被测尺寸方向一致，不得歪斜，否则将得出错误的结果。

(3) 测量工件的外径尺寸时，为了选到准确的测量接触位置，要在测量面相接触的同时，小幅度地左右晃动尺架，找出垂直于轴线的测量面；小幅度地前后晃动尺架找出最大的尺寸部位，如图 2-47 所示。

(4) 当测量两个平行的平面之间的距离时，要使千分尺的整个测量面与被测量面相接触，不要只用测量面的边缘进行测量，如图 2-48a 所示。

(5) 当被测量工件两端形状不同时，应考虑接触的方向问题。例如图 2-48b 所示的工件，则应将工件的平面一端与千分尺的测砧端接触。

(四) 千分尺的读数方法

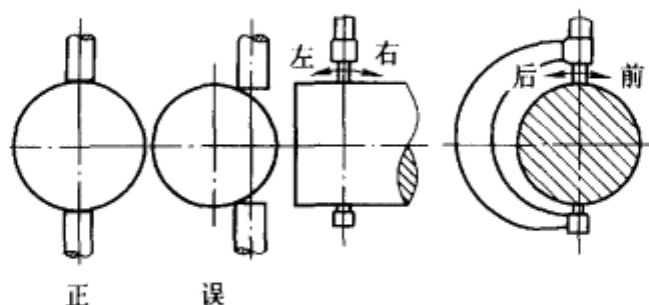


图 2-47 测量外径时正确选择测量面的接触位置

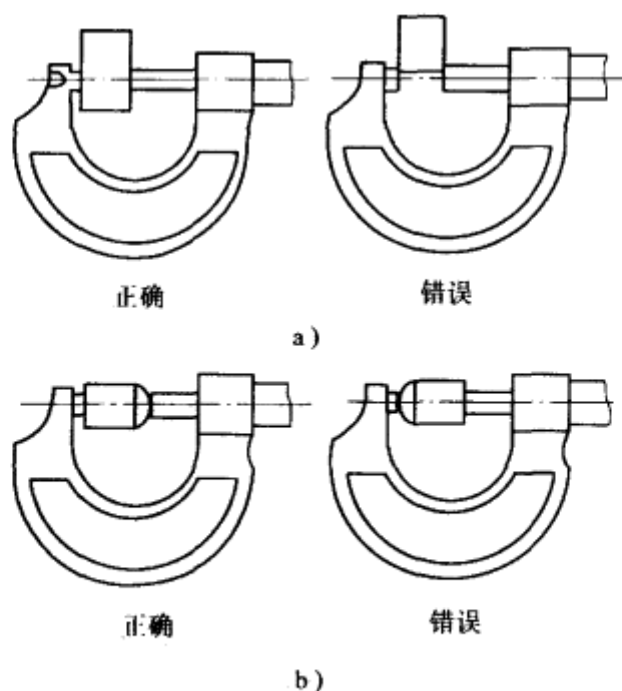


图 2-48 测量两个面之间距离时正确选择测量面的接触位置

a) 测量两个面之间距离的测量接触位置

b) 被测量工件两端形状不同时的测量接触位置

前面已经介绍过，现用的千分尺有三种读数方式，由此也就产生了三种不同类型的品种。

1. 数显式千分尺

对于数显式千分尺，可从其显示器上直接读取测量值，并可根据需要只显示公差数值或外接打印机打印测量数据。

2. 带表式千分尺

对于带表式千分尺，一般用表显示测量公差数值，其读数方法根据使用的要求而定。

3. 普通千分尺

对于普通千分尺，测量结果是固定套筒上显示的以 0.5mm 为单位的大数与微分筒显示的 0.5mm 以下小数之和。这和卡尺的读数方法是类似的。

让我们先了解千分尺的读数机构和有关问题：从千分尺上可以看出，其固定套筒上有一条纵刻线（称为小数指示线），其上下各有一排均匀的间距为 1mm 的刻线，上下两排刻线相互错开 0.5mm，即使上下相邻的两条刻线之间的纵向距离为 0.5mm。读数时，上排位为整数 mm 值，下排为小数 0.5mm 值。测微螺杆的螺距为 0.5mm，也就是说，微分筒旋转一周（ 360° ）将在固定套筒上沿轴向移动（前进或后退）0.5mm。微分筒一周的刻度为 50 个，所以微分筒每转过 1 个格，将在固定套筒上沿轴向移动 $0.5\text{mm}/50 = 0.01\text{mm}$ ，这也就是千分尺分度值为 0.01mm 的由来。微分筒的棱边被称为整数指示线，如图 2-49a 所示。

读数可分如下三步进行：

（1）先读整数。微分筒的棱边（整数指示线）所指示的固定套筒上的上排刻度整数值，即为测量值以 1mm 作为单位的整数部分，例如图 2-49b、c、d 所示的 3 种状态均为 10mm。

（2）再读小数。测量值的小数部分分以下几种情况：

1) 当整数指示线刚好压在固定套筒上排刻线的某一条线上，并且微分筒的 0 刻线恰好正对着小数指示线时，测量值的小数值即为 0.0mm，如图 2-49a 所示；

2) 当整数指示线刚好压在固定套筒下排刻线的某一条线上，并且微分筒的 0 刻线恰好正对着小数指示线时，测量值的小数值即为 0.5mm，如图 2-49b 所示；

3) 当整数指示线在固定套筒上排的某一条刻线之后与下排相邻刻线之前时，测量值的小数值即为微分筒正对着小数指示线的刻线所指示的数值，此时测量值的小数值大于 0.0mm，但小

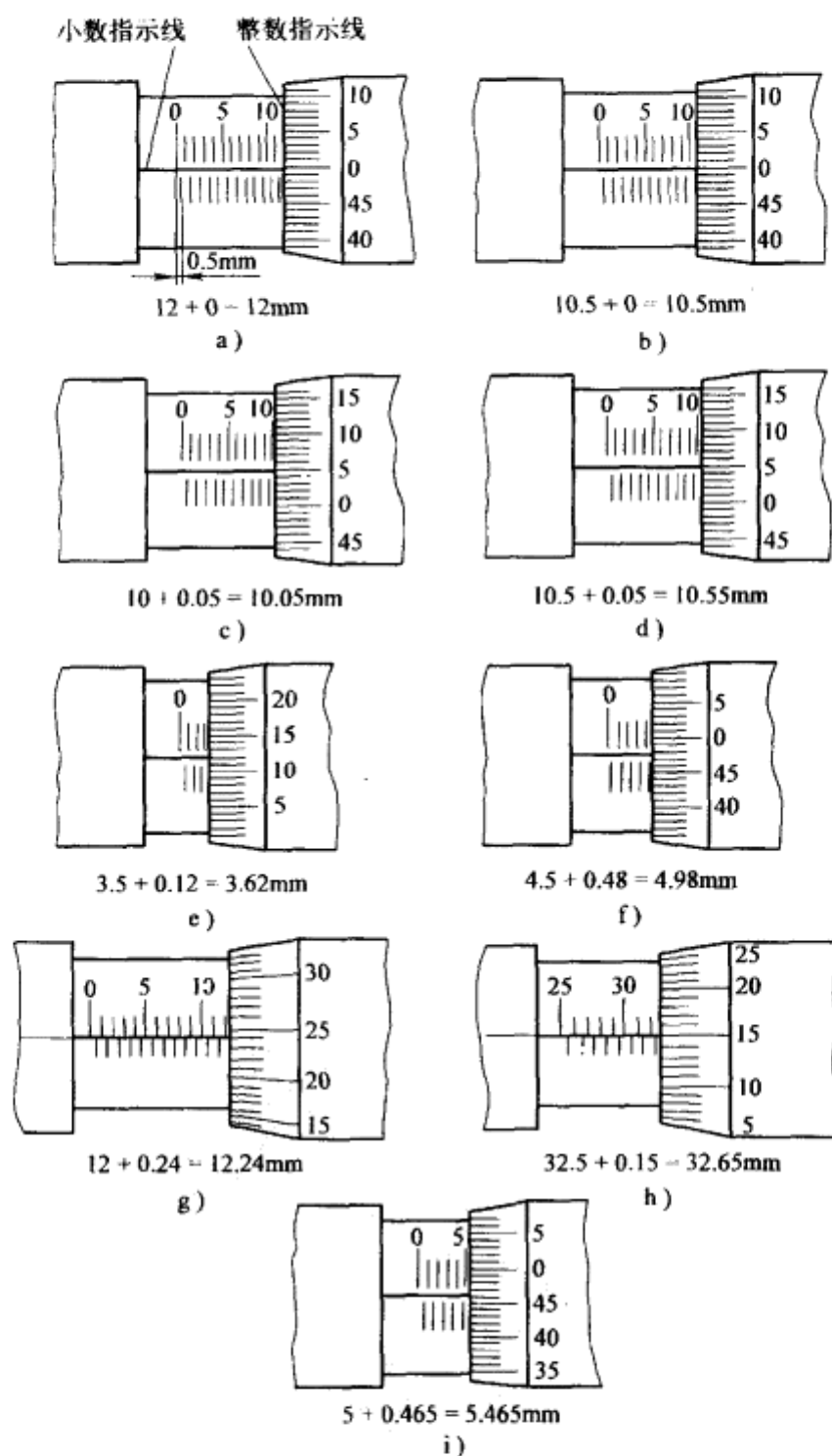


图 2-49 普通千分尺的读数示例

- a) 小数为 0.00 b) 小数为 0.50 c)、g)、f) 小数小于 0.50
 d)、e)、h) 小数大于 0.50 i) 小数的最后一位应估算

于 0.5mm，如图 2-49c 所示；

4) 当整数指示线在固定套筒上排的某一条刻线之前与下排相邻刻线之后时，测量值的小数值即为微分筒正对着小数指示线的刻线所指示的数值再加上 0.5mm，即此时测量值的小数值大于 0.5mm，但小于 1.0mm，如图 2-49d 所示；

5) 若微分筒与小数指示线对应点在其两个刻线之间，则小数的最后一位数应进行估算，如图 2-49f 所示。

(3) 求取测量值。将上述整数和小数值相加，即得被测量值。请参见图 2-49 所示的各种状态。

(五) 保管和保养注意事项

(1) 使用完毕，应小心轻放，不能磕碰。

(2) 不允许用砂纸和金刚砂擦磨测量杆上的污锈。

(3) 不允许在微分筒和固定套筒之间加酒精、煤油、柴油、凡士林及普通机油，更不允许把千分尺浸泡在上述油类或冷却液中。如发现被上述液体浸入，应尽快用汽油洗净，之后加上特种轻质润滑油。

(4) 要时刻保持千分尺的清洁，不可将其放在脏处或随意装在口袋里。

(5) 不使用时，应用清洁的软布、棉纱等擦干净，再放回到包装盒中。较长时间不用时，应先用航空汽油将千分尺洗净并擦干，然后涂上专用的防锈油。应注意不要使两个测量面贴合在一起，要稍微分开，以避免锈蚀。

(6) 大型外径千分尺要平放在特制的包装盒内，以免变形。

四、大型外径千分尺

图 2-50 和图 2-51 给出了几种大型外径千分尺的外形。和前面介绍的普通千分尺相比，大型千分尺的使用方法和注意事项基本相同。应该格外注意的是，为了防止因变形对测量值造成误差，操作时应对其给与多点支承，一般要两个人操作，至少要用两手操作。

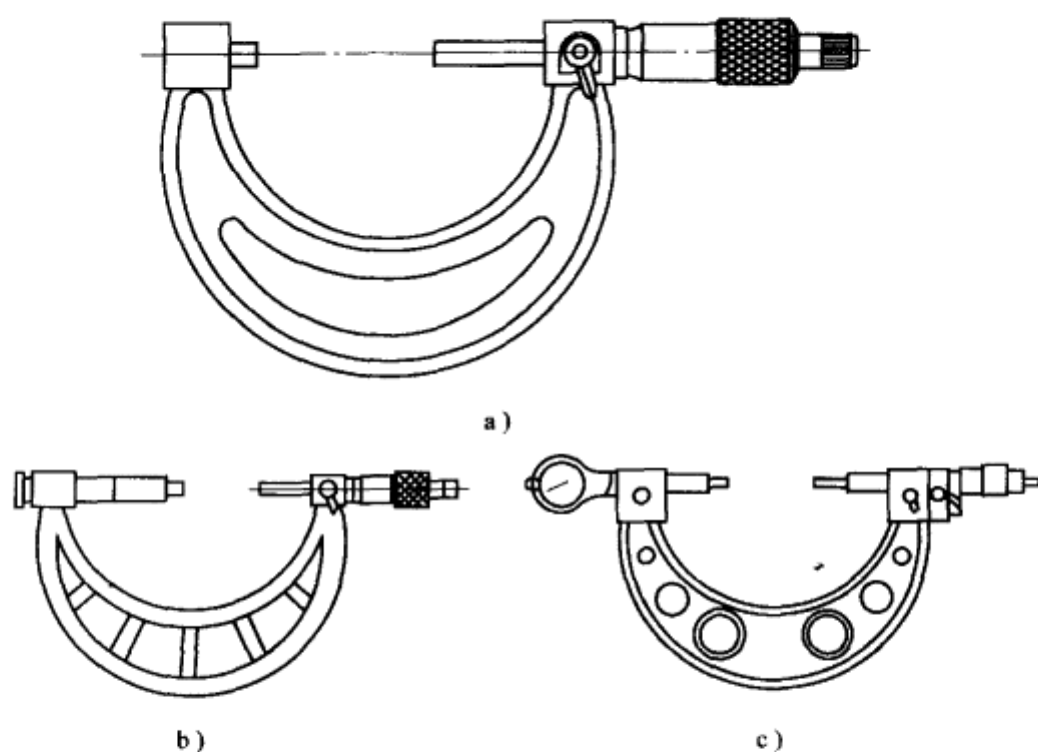


图 2-50 固定测砧大型外径千分尺
a) 钢板支架 b) 钢管支架 c) 带表钢板支架

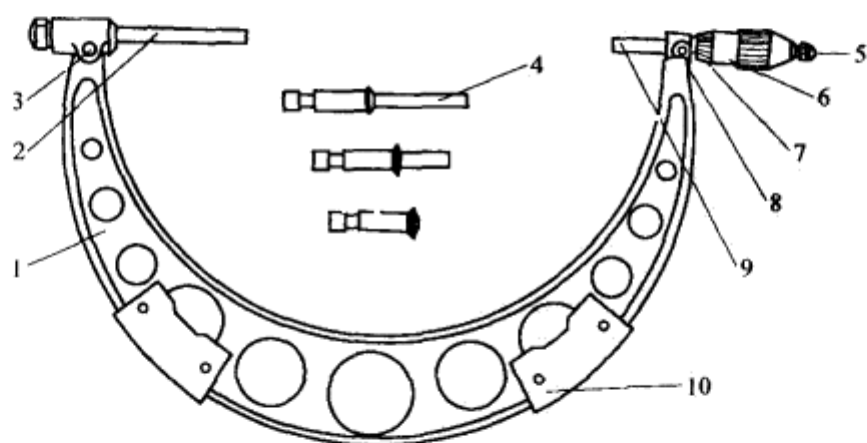


图 2-51 可换或可调测砧大型外径千分尺
1—尺架 2—测砧 3—测砧紧固螺丝 4—可调测砧 5—测力装置 6—微分筒
7—固定套筒 8—锁紧装置 9—测微螺杆 10—隔热板

第六节 其他特殊结构和用途的外径千分尺

一、杠杆千分尺

(一) 结构和工作原理

杠杆千分尺是利用螺旋原理和指示表对弧形尺架上两个测量面之间分割的距离进行读数的通用长度精密测量工具。其结构如图 2-52 所示。由其结构可以看出，它是由一把外径千分尺和一个指示表组合而成的。和普通外径千分尺相比，一个最大的区别是它的两个测量面都可以和尺架作相对移动。指示表一般是一级杠杆-齿轮机构（这些机构安装在尺架体内）。测量时，测微螺杆的测量面将被测工件推向活动测砧，活动测砧被推向左（按图 2-52 中的方向）移动，并在移动时拨动杠杆-齿轮机构，将测砧的直线位移转换为指示表指针的旋转运动，从而在其表盘上指示出数值。

由于结构形式的不同，不同的杠杆千分尺，其放大机构的放大比（放大倍数）会有所不同。较常用的为 666 倍，所以可显示微小的位移量，其分度值为 0.001mm 或 0.002mm ，可以称得上是真正的“千分尺”。

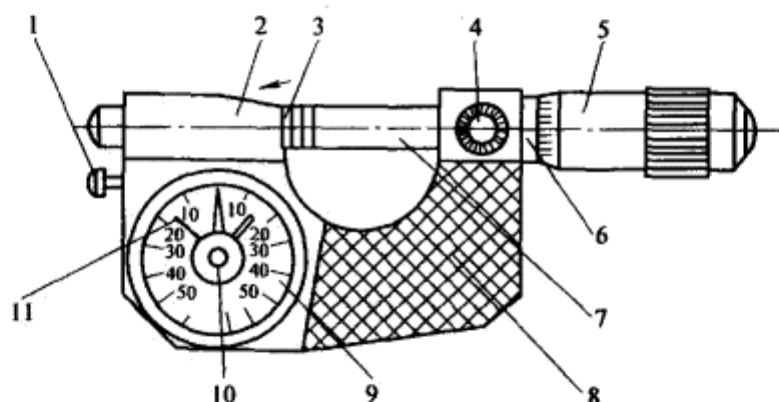


图 2-52 杠杆千分尺

- 1—按钮 2—尺架 3—活动测砧 4—锁紧装置 5—微分筒
6—固定套管 7—测微螺杆 8—隔热板 9—指示表
10—调“0”机构 11—公差指示针

(二) 相关技术参数

杠杆千分尺的规格 (测量范围), 常用的有 0 ~ 25mm、25 ~ 50mm、50 ~ 75mm 和 75 ~ 100mm 共四个。其相关技术参数见表 2-15。

表 2-15 杠杆千分尺的分度值、指示表的示值范围和综合示值误差
(mm)

指示表的分度值	指示表的示值范围	综合示值误差	
		测量范围为 0 ~ 25mm 和 25 ~ 50mm 时	测量范围为 50 ~ 75mm 和 75 ~ 100mm 时
0.001	± 0.03	± 0.002	± 0.003
0.002	± 0.06	± 0.003	± 0.004

(三) 使用方法和注意事项

杠杆千分尺的用途与普通千分尺相同, 使用方法和注意事项也基本相同。但其测量精度较高, 所以主要用于精密测量。由于它没有测力装置, 控制测量力由其活动测砧的压缩弹簧和显示表指针小齿轮的游丝共同完成, 所以要求的操作技术较高。下面进行重点讲述。

1. 使用前的检查

在使用前, 要像检查普通千分尺那样对其外观和各部位的相互作用进行仔细地检查。在自由状态时, 显示表的指针应在表盘的左边; 当按下拨叉时, 指针的转动应均匀平稳, 不应有摩擦和配合松弛及轴向窜动现象; 松开拨叉时, 指针应回到原位。

2. 校对“0”位

测量范围为 0 ~ 25mm 的杠杆千分尺校对“0”位的方法和有关要求与普通千分尺相同。但因其结构相对复杂, 所以发现 0 位不准确时, 不可自行拆卸调整, 而应送交专业人员处理。

测量范围大于 25mm 的杠杆千分尺校对“0”位的方法和有关要求与普通千分尺有所不同。不同点在于: 在用校对量杆或量块的实际尺寸校对“0”位时, 由于量杆或量块存在允许的误差, 所以不一定是双对“0”。例如, 校对 75 ~ 100mm 的杠杆千

分尺“0”位时，使用的量杆尺寸为 $75_{-0.0015}^0 \text{ mm}$ ，即实际尺寸在 $74.9985 \sim 75 \text{ mm}$ 之间，所以当千分尺测微头的“0”位对好后，指示表的指针不应定在 0 刻线处，而会在 $0 \sim -0.0015 \text{ mm}$ （含 -0.0015 mm ）的某一刻度上。

3. 用于绝对测量时的测量使用方法和注意事项

绝对测量又被称为直接测量。

用杠杆千分尺对工件尺寸进行绝对测量的方法和普通千分尺基本相同，不同点只在于：杠杆千分尺必须在其指示表的指针指到“0”刻线处时，才能读微分筒的数值。此时指示表仅起指示测量力的作用，从而不能发挥该种量具测量精密度高的优势。有些“大材小用”。所以较少应用。

4. 用于相对测量时的测量方法和注意事项

相对测量又被称为比较测量。利用精确度较高的量块作比较的基准，测得的数值是相对于量块的偏差值，也就是被测尺寸偏离其公称值的数值。所以常用于精确判定被测量尺寸是否超过它允许的公差。

比较测量法相当于将杠杆千分尺当作杠杆卡规使用，可以避免螺旋副误差对测量结果的影响，提高测量的精确度。

用杠杆千分尺对工件尺寸进行相对测量的方法和普通千分尺也基本相同。具体方法如下：

测量前，用量块把杠杆千分尺调整好（习惯称为“对尺”，其指示表的指针指到“0”刻线处），然后用锁紧装置把测微螺杆锁住。

测量时，先按动按钮（或拨动拨叉），使活动测砧移开，然后使千分尺的两个测量面移到要测工件的测量位置，再拨动几次拨叉，待指针停稳后开始在指示表上读数，该读数即为被测尺寸偏离其公称值的数值。

测量完毕后，要先拨动拨叉，使活动测砧移开，然后使千分尺的两个测量面移开被测工件，这样可减少测量面的磨损。

5. 设置上下偏差值

当要测量一批同一尺寸规格的工件时，可根据被测尺寸的上偏差允许值调整千分尺指示表的两个公差指针。测量时，只要指针指在两根公差指针之间就算合格；反之，指针指在两根公差指针之外就为不合格。

6. 用于相对测量的实例

用杠杆千分尺测量 $\phi 20_{-0.016}^{-0.007}$ mm 的轴的直径尺寸。

测量步骤和有关事项如下：

(1) 选择千分尺的规格 根据被测尺寸的公称数值为 20mm，应选择测量范围为 0 ~ 25mm、分度值为 0.002mm 的杠杆千分尺。

(2) 选择量块的规格 选一块公称尺寸为 20mm 的量块来对千分尺。经查验该量块的检定证书，其实际尺寸是 19.9997mm，即其修正值为 0.0003mm。

(3) 用量块调整千分尺 用绸子将千分尺的两个测量面和量块的工作面擦拭干净。把量块放在千分尺的两个测量面之间，旋转微分筒，使两个测量面与量块接触，并使指示表的指针指在“0”刻度处，将测微螺杆锁紧，再拨动拨叉几次，如果指针每次都稳定地停在“0”刻度处，说明千分尺已调整好。

这里应当指出的是，上述核对的千分尺实际尺寸是量块的尺寸 19.9997mm，即相对 20mm 而言有 -0.0003mm 的误差，相对测量值的公差带而言可以认为无较大影响，为了调整方便和提高测量效率，可忽略该误差。若需要精密的测量结果，可在最终测量结果中将该误差值加上。

(4) 调整公差指针 打开指示表的表蒙子，将左边的指针拨至上公差数值 -0.007mm 的刻度线上，右边的指针拨至下公差数值 -0.016mm 的刻度线上，之后将表蒙子上好。

(5) 测量 先拨动拨叉，使活动测砧移开，然后使千分尺的两个测量面移到要测工件的测量位置，再拨动几次拨叉，待指针停稳后开始观看指示表的读数，该读数即为被测尺寸的加工偏差值；若表针在上述两指针之间，则说明被测尺寸合格，否则为

不合格。

7. 保养方法及注意事项

杠杆千分尺的保养方法及注意事项与普通外径千分尺基本相同，另外还应注意的是：不要过多地拨动拨叉；不要打开护板；严禁往杠杆-齿轮传动机构内注油或其他液体。

二、尖头千分尺

尖头千分尺和普通外径千分尺的结构相比，只有一点不同，即它的两个测量面是锥形的（俗称尖头的，这也是它的名称的来历），其锥角有 30° 、 45° 和 60° 三种，测量端呈球面，其圆弧直径为 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 。

该类千分尺的测量范围有 $0 \sim 25\text{mm}$ 、 $25 \sim 50\text{mm}$ 、 $50 \sim 75\text{mm}$ 和 $75 \sim 100\text{mm}$ 共四种。当测量范围为 $0 \sim 25\text{mm}$ 和 $25 \sim 50\text{mm}$ 时，示值误差为 $\pm 0.004\text{mm}$ ；测量范围为 $50 \sim 75\text{mm}$ 和 $75 \sim 100\text{mm}$ 时，示值误差为 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

该类千分尺主要用于测量用普通外径千分尺不能深入的脖状工件的“脖颈”尺寸及沟、槽的深度，如图 2-53 所示。

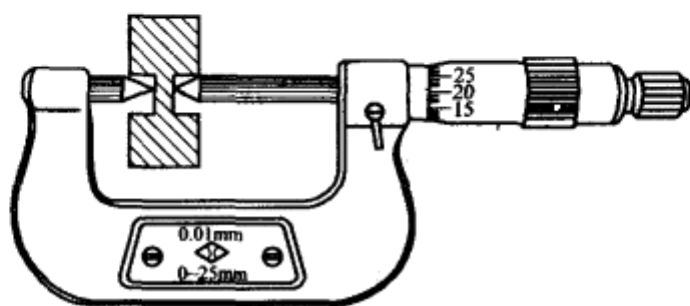


图 2-53 尖头千分尺的外形结构及其应用

三、壁厚千分尺

壁厚千分尺有两种不同的类型，即 I 型和 II 型，其外形结构如图 2-54 所示。可以看出，该类千分尺和普通外径千分尺的结构相比，只有一个不同点，即它的测量面形状有所不同，I 型的两个测量面都是球面，II 型的测砧是鼓形的，其直径为 5mm ，有的小于 5mm 。

I 型壁厚千分尺的测量范围只有 0 ~ 25mm 一种。

I 型的示值误差为 $\pm 0.004\text{mm}$ ；II 型的示值误差为 $\pm 0.008\text{mm}$ 。

该类千分尺主要用于测量筒状工件的壁厚尺寸（这也是它的名称来历），其中 II 型可更方便地深入较小内径的管状工件，如图 2-54 所示。当然也可用于测量其他形状的长度尺寸。

四、板厚千分尺

板厚千分尺也分 I 型和 II 型两种不同的类型，其外形结构如图 2-55a 和 2-55b 所示。可以看出，该类千分尺和普通外径千分尺的结构相比，主要不同点是它的尺架呈较深的 U 字形，以便将测量面深入到距离工件（或板材）边缘较远的部位进行测量。尺架的凹入深度有 40mm、80mm 和 150mm 等多种，可根据需要来选择；II 型的读数装置是一个圆盘，指针随着微分筒旋转并在圆盘上指示出测量值。

I 型板厚千分尺的测量范围为 0 ~ 10mm、0 ~ 15mm 和 0 ~ 25mm 共三种；II 型千分尺的测量范围只有 0 ~ 25mm 一种。壁厚千分尺的示值误差有 $\pm 0.004\text{mm}$ 和 $\pm 0.008\text{mm}$ 两种，前者为 1 级，后者为 2 级。

该类千分尺主要用于测量较薄工件，特别是板材的厚度尺寸（这也是它的名称来历），如图 2-55b 所示。当然也可用于测量其他形状的长度尺寸。

五、公法线千分尺

公法线千分尺的外形结构如图 2-56 所示。可以看出，该类千分尺和普通外径千分尺的结构相比，主要不同点是它的两个测砧形状。

公法线千分尺的测量范围为 0 ~ 10mm、25 ~ 50mm、50 ~ 75mm、75 ~ 100mm、100 ~ 125mm 和 125 ~ 150mm 共六种。

公法线千分尺的示值误差大小与其测量范围有关，测量范围为 0 ~ 10mm 和 25 ~ 50mm 的为 $\pm 0.004\text{mm}$ ；测量范围为 50 ~ 75mm 和 75 ~ 100mm 的为 $\pm 0.005\text{mm}$ ；测量范围为 100 ~ 125mm

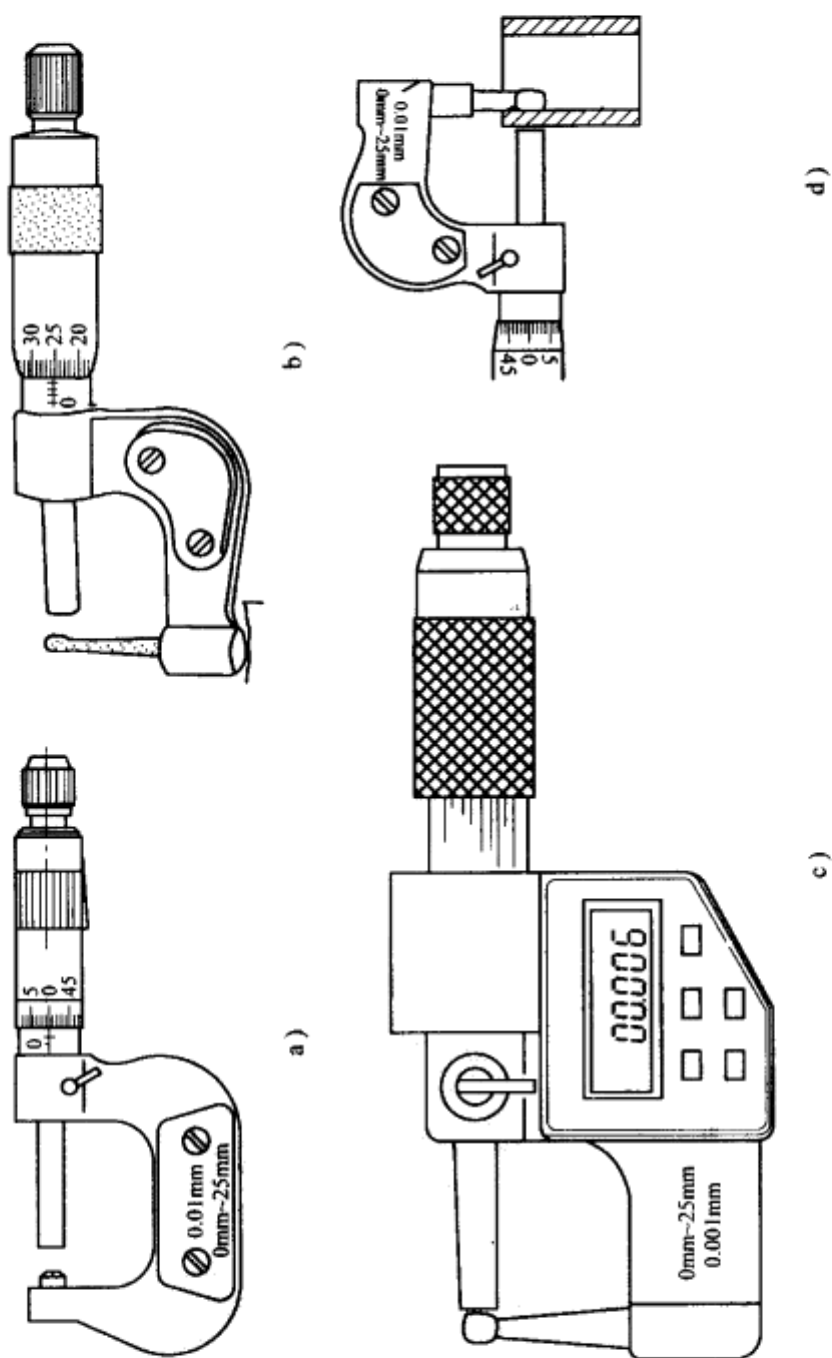


图 2-54 壁厚千分尺的外形结构及其应用
a) I 型壁厚千分尺 b) II 型壁厚千分尺 c) Ⅱ型数显壁厚千分尺
d) 用壁厚千分尺测量管状工件的壁厚尺寸

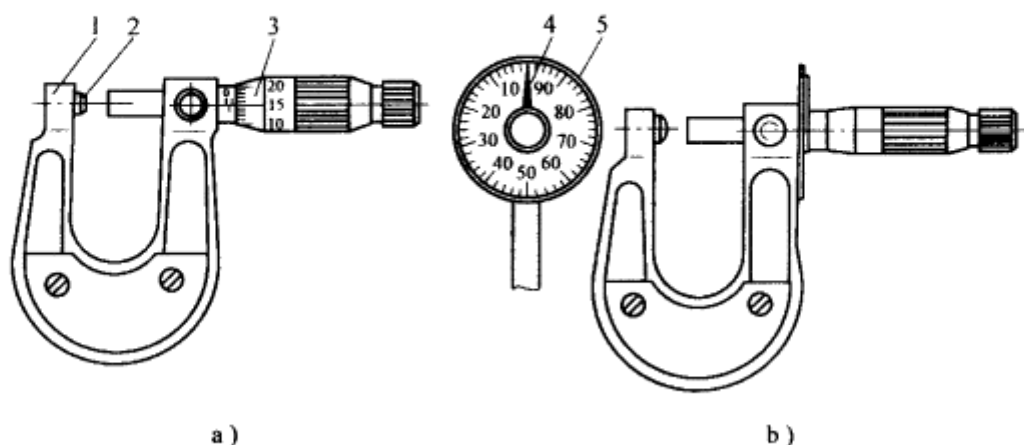


图 2-55 板厚千分尺的外形结构及其应用

a) I 型板厚千分尺 b) II 型板厚千分尺

1—尺架 2—球形测砧 3—测微头 4—指针 5—表盘

和 125 ~ 150mm 的为 $\pm 0.006\text{mm}$ 。

该类千分尺主要用于测量模数 $\leq 1\text{mm}$ 的中等精度的外啮合直齿、斜齿或人字齿渐开线圆柱齿轮的公法线长度，也可以测量渐开线圆锥齿轮大端边缘上的公法线长度，如图 2-56 所示。当然还可用于测量其他量具难于测量的狭窄空间部位的筋、键等（此时的功能相当于普通外径千分尺）。

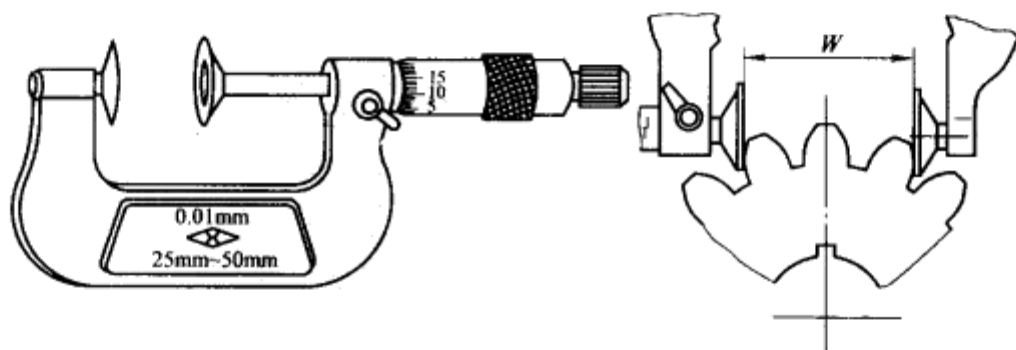


图 2-56 公法线千分尺的外形结构及其应用

六、螺纹千分尺

螺纹千分尺的外形结构和使用方法如图 2-57 所示。可以看出，该类千分尺与普通外径千分尺的结构相比，主要不同点是它

的两个测砧形状，测砧可以根据被测螺纹的规格进行配置。

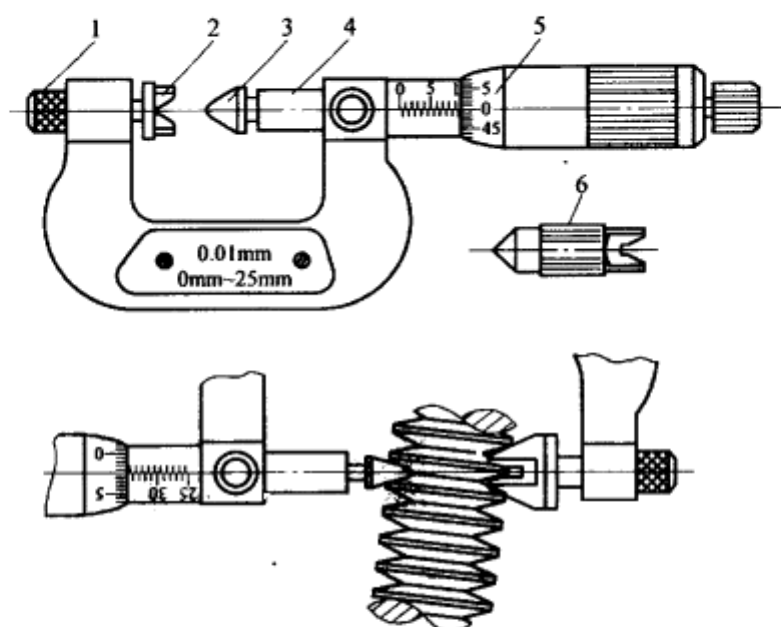


图 2-57 螺纹千分尺的外形结构及其应用

1—调“0”装置 2—V形测头 3—锥形测头 4—测微螺杆
5—微分筒 6—校对量杆

第七节 深度千分尺

一、深度千分尺的结构和工作原理

深度千分尺的结构如图 2-58 所示。它的工作原理和读数方法与普通外径千分尺是相同的，若将被测工件的底部被测量面当作外径千分尺的固定测砧，工件的侧壁当作外径千分尺的尺架，这一点就很好理解了。

二、深度千分尺的测量范围和示值误差

深度千分尺的测量范围有 0 ~ 10mm、25 ~ 50mm、50 ~ 75mm 和 75 ~ 100mm 共四种，通过更换测杆，测量范围可以为 0 ~ 150mm。其示值误差不超过 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

三、深度千分尺的使用方法和注意事项

深度千分尺的用途与深度游标卡尺相同，但其精度要比深度游标卡尺高，较适用于测量尺寸精度较高的不通孔、槽的深度和

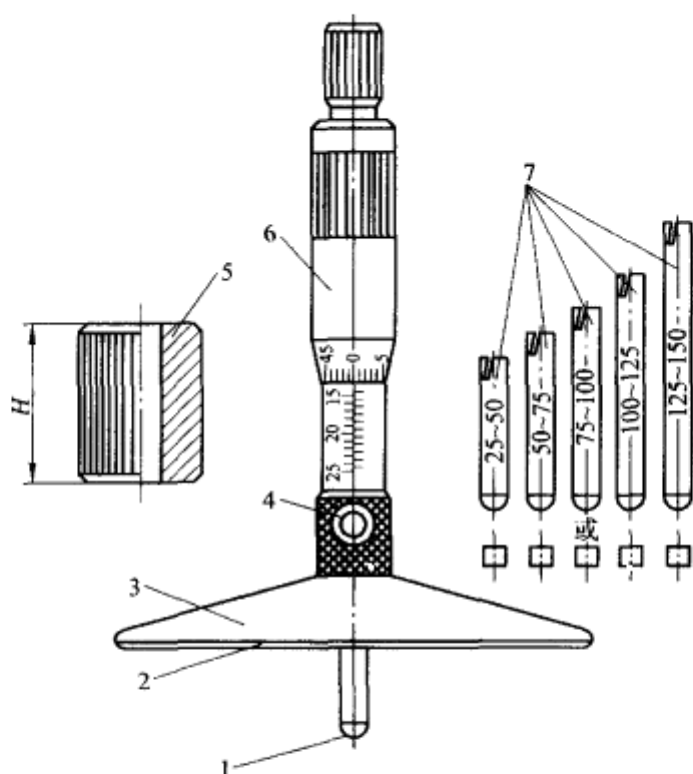


图 2-58 深度千分尺的外形结构

- 1—球形测量面 2—底座基准面 3—底座 4—锁紧装置
5—校对用量具 6—微分头
7—可换测量杆（有球形和平面测量面两种）

台阶的高度。

下面介绍深度千分尺的使用方法和注意事项。

（一）使用前的检查和准备工作

使用前，要检查其外观和各部位的相互作用，检查方法和标准同外径千分尺。合格后，根据被测量的深度或高度选择并安装测量杆。之后，开始校对“0”位。

（二）校对“0”位的方法

1. 测量范围为 0 ~ 25mm 的深度千分尺

0 ~ 25mm 的深度千分尺可直接校对“0”位。先将千分尺的基准面和测量面擦拭干净。取一块 2 级平面平晶并将其工作面擦干净（如果没有平晶，可用 0 级平尺或 0 级研磨平板代替，下同）。旋转微分筒，使其端面退至固定套筒的“0”线之外（应

当注意：深度千分尺与外径千分尺的固定套筒和微分筒的刻线方向刚好是相反的），然后将千分尺的基准面贴和平晶的工作面上，左手压住底座，右手慢慢地旋转微分筒（对有棘轮的，应旋转其棘轮），使其测量面与平晶的工作面接触，接触好以后，观看“0”位是否准确。对“0”位的有关要求（含“离线”和“压线”）同外径千分尺的相关内容，如图 2-59a 所示。

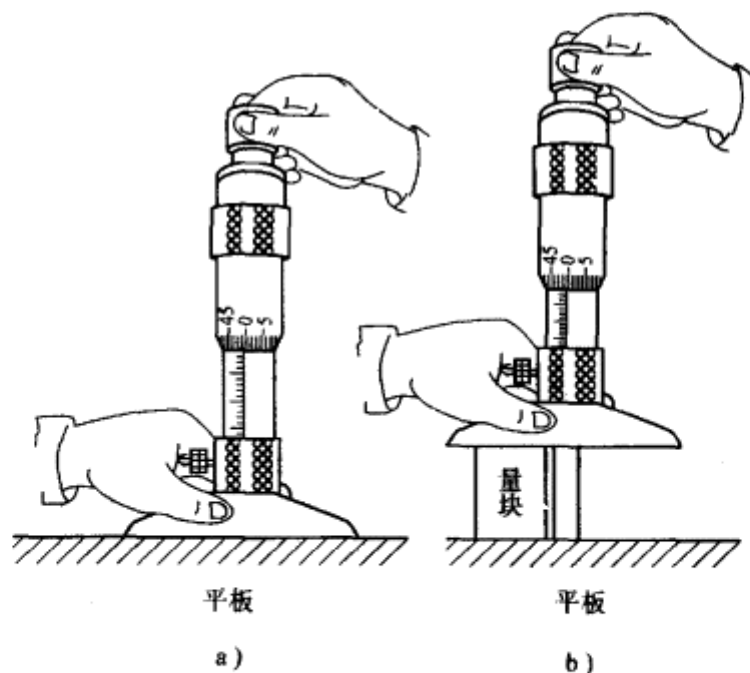


图 2-59 校对深度千分尺“0”位的方法

a) 测量范围为 0 ~ 25mm 深度千分尺的校对方法

b) 测量范围为大于 25mm 深度千分尺的校对方法

2. 测量范围大于 25mm 的深度千分尺

测量范围大于 25mm 的深度千分尺要用校对量具来校对“0”位（如果没有校对量具，可用量块代替）。具体方法是：先把校对量具的上下面和平晶的工作面擦拭干净。将校对量具放在平晶上，再把千分尺的基准面贴在校对量具上进行校对“0”位，如图 2-59b 所示。

（三）使用方法和注意事项

(1) 测量盲孔或槽深时，若看不到孔或槽的底部，则操作时要特别小心，避免损坏千分尺或造成测量的较大误差。

(2) 当要测量的孔或槽的开口较大，宽于千分尺的底座时，要在上述开口上加一块两面平行度和粗糙度符合要求的辅助基准板，然后将千分尺的底座基准面放在辅助板上进行测量，千分尺显示的数值减去辅助板的厚度所得之差即为被测量尺寸，如图 2-60 所示。

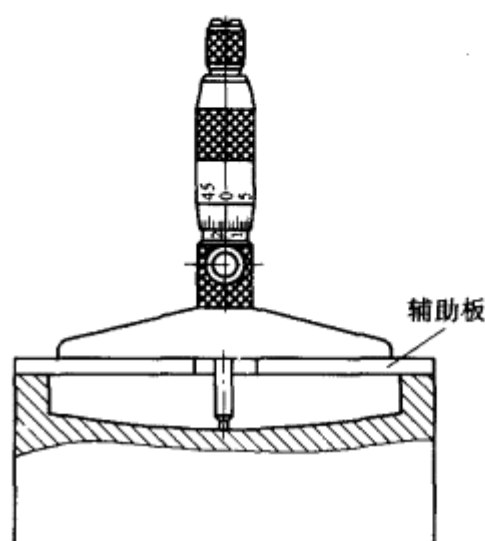


图 2-60 用深度千分尺加辅助板
测量大口孔或槽的方法

第八节 内径千分尺

一、内径千分尺的结构和工作原理

内径千分尺的结构如图 2-61 所示。由于往往要接上一个长杆使用，所以又被称为接杆千分尺。

内径千分尺的工作原理和读数方法与普通外径千分尺完全相同。

二、内径千分尺的测量范围和示值误差

内径千分尺的测量范围有 50 ~ 250mm、50 ~ 600mm、100 ~ 1225mm、100 ~ 1500mm、100 ~ 5000mm、150 ~ 1250mm、150 ~ 2000mm、250 ~ 2000mm 等多种，测量范围的变化是靠更换不同长度的接长杆来实现的。

内径千分尺的分度值为 0.01mm。

内径千分尺测微头示值误差的最大值与其量程有关，当量程下限至 100mm 时为 $\pm 0.006\text{mm}$ ；量程下限大于 100mm 时为 $\pm 0.008\text{mm}$ 。

内径千分尺示值误差的最大值也与其量程有关，见表 2-16。

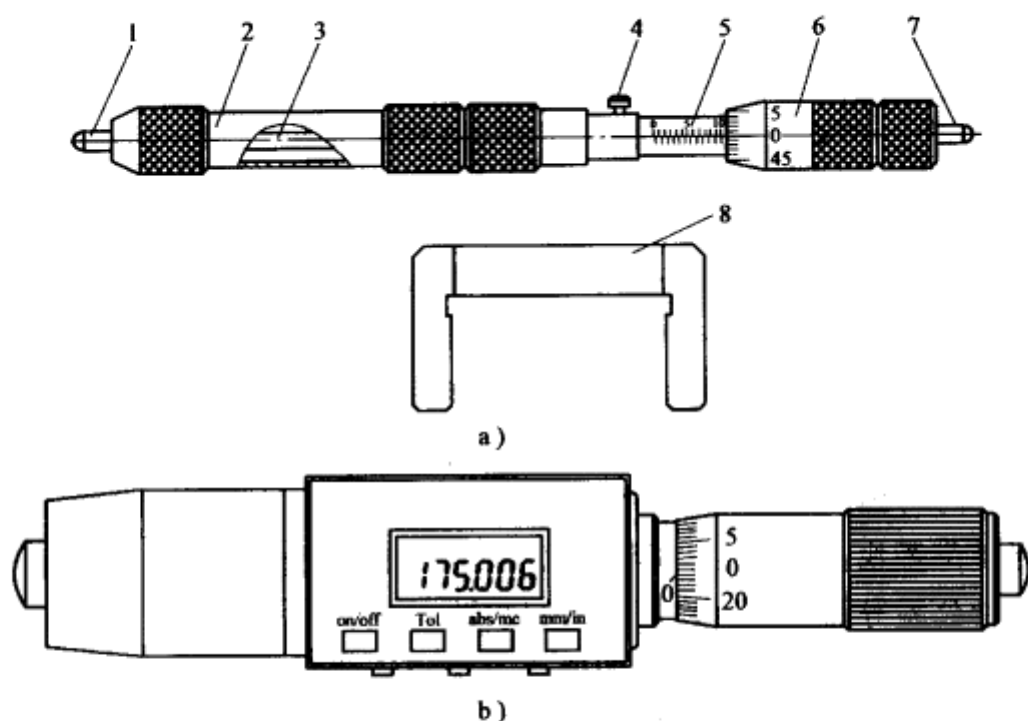


图 2-61 内径千分尺的外形结构

a) 普通机械型 b) 数显型

1—固定测头 2—接长杆 3—心杆 4—锁紧装置 5—固定套管
6—测微头（微分筒） 7—活动测头 8—校对量具

表 2-16 内径千分尺示值误差的最大值

测量长度/mm	示值误差/mm	测量长度/mm	示值误差/mm
50 ~ 125	± 0.006	> 1250 ~ 1600	± 0.027
> 125 ~ 200	± 0.008	> 1600 ~ 2000	± 0.032
> 200 ~ 325	± 0.010	> 2000 ~ 2500	± 0.040
> 325 ~ 500	± 0.012	> 2500 ~ 3150	± 0.050
> 500 ~ 800	± 0.016	> 3150 ~ 4000	± 0.060
> 800 ~ 1250	± 0.022	> 4000 ~ 5000	± 0.072

当测量长度等于或大于 2000mm 时，内径千分尺将会因有相对较大的长度变化而带来一定的测量误差。因此内径千分尺的长度变化应有一个限度，其允许值见表 2-17。在测量较长尺寸时应给予注意。

表 2-17 测量范围在 2000mm 及以上的内径千分尺长度允许变化值

测量长度/mm	示值误差/mm	测量长度/mm	示值误差/mm
$\geq 2000 \sim 2500$	0.015	$> 3150 \sim 4000$	± 0.040
$> 2500 \sim 3150$	0.025	$> 4000 \sim 5000$	± 0.060

三、内径千分尺的使用方法和注意事项

内径千分尺主要用于测量孔径、槽宽、两个内端面之间的距离等尺寸。由于其结构所限，而不能测量较小的尺寸，被测尺寸必须在 50mm 以上。另外，由于它没有测力装置，使用较长的接长杆时会因变形而造成一定的误差，再加上在被测孔内不容易将测量位置找正等原因，所以难以获得精确的测量结果。一般用于测量公差等级在 10 级以下的内尺寸。

下面介绍内径千分尺的使用方法和注意事项：

（一）使用前的检查、准备工作和校对“0”位的方法

使用前，要检查其外观和各部位的相互作用，检查方法和标准同外径千分尺。合格后，开始校对“0”位。

校对内径千分尺的“0”位要使用专用的校对卡规（或称为校对卡板）。校对卡规为千分尺的附件。

校对内径千分尺的“0”位的过程如下（见图 2-62）：

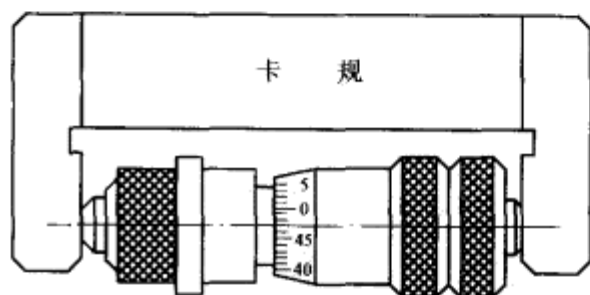


图 2-62 校对内径千分尺“0”位的方法

（1）按将要校对的内径千分尺测量范围选择合适的校对卡规。

（2）擦净内径千分尺的两端测量面和校对卡规的两个工作面。

（3）旋动微分筒，将内径千分尺的测量范围调整到略小于校对卡规的公称尺寸。然后将千分尺的固定测头压在校对卡规的一个工作面上，左手扶住该测量头和校对卡规，再将活动测头移

入校对卡规内，右手一面轻轻地朝前后和上下摆动活动测头，一面慢慢地旋转微分筒，找出最小点。此时千分尺上显示的读数若与所用的校对卡规公称尺寸相同，则说明该千分尺的“0”位准确。

内径千分尺也允许有 0.10mm 的“离线”和 0.05mm 的“压线”。

（二）调整“0”位不准确的内径千分尺的方法

若内径千分尺的“0”位不准确，则必须进行调整。调整的方法较简单，具体做法是：拧开后盖，旋转微分筒，使之对好“0”位。

（三）使用方法和注意事项

1. 选择接长杆

使用内径千分尺进行测量前，应事先按被测尺寸的数值，按照接长杆选用表（又称为“接长杆顺序表”，应存放在千分尺的专用盒内或资料袋中）中的规定选择长度合适的接长杆。

2. 连接接长杆

将选好的接长杆和测微头相连接。当使用两根或两根以上的接长杆接成更长的接长杆时，要遵守如下原则：将其中最长的接长杆与测微头相连，最短的接长杆放在最后与固定测头相连，中间的接长杆按尺寸长短顺序连接，如图 2-63 所示。连接时，要旋紧各根接长杆的螺纹，防止松动。

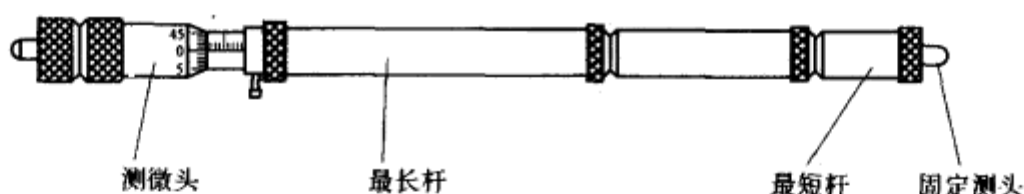


图 2-63 内径千分尺使用两根或两根以上接长杆时的连接顺序

3. 测量方法和注意事项

先将千分尺的测量面（测头）和工件的被测量面擦干净。旋动微分筒，将内径千分尺的测量范围调整到略小于被测尺寸。

然后先将千分尺的固定测头压在一个被测量面上，左手扶住该测量头，再将活动测头移入测量空间内，右手一面慢慢地旋转微分筒，一面轻轻地朝前后和上下摆动活动测头，直至在轴向找到最小值，在径向找到最大值为止，如图 2-64 所示。此时所得数值即为被测量值。

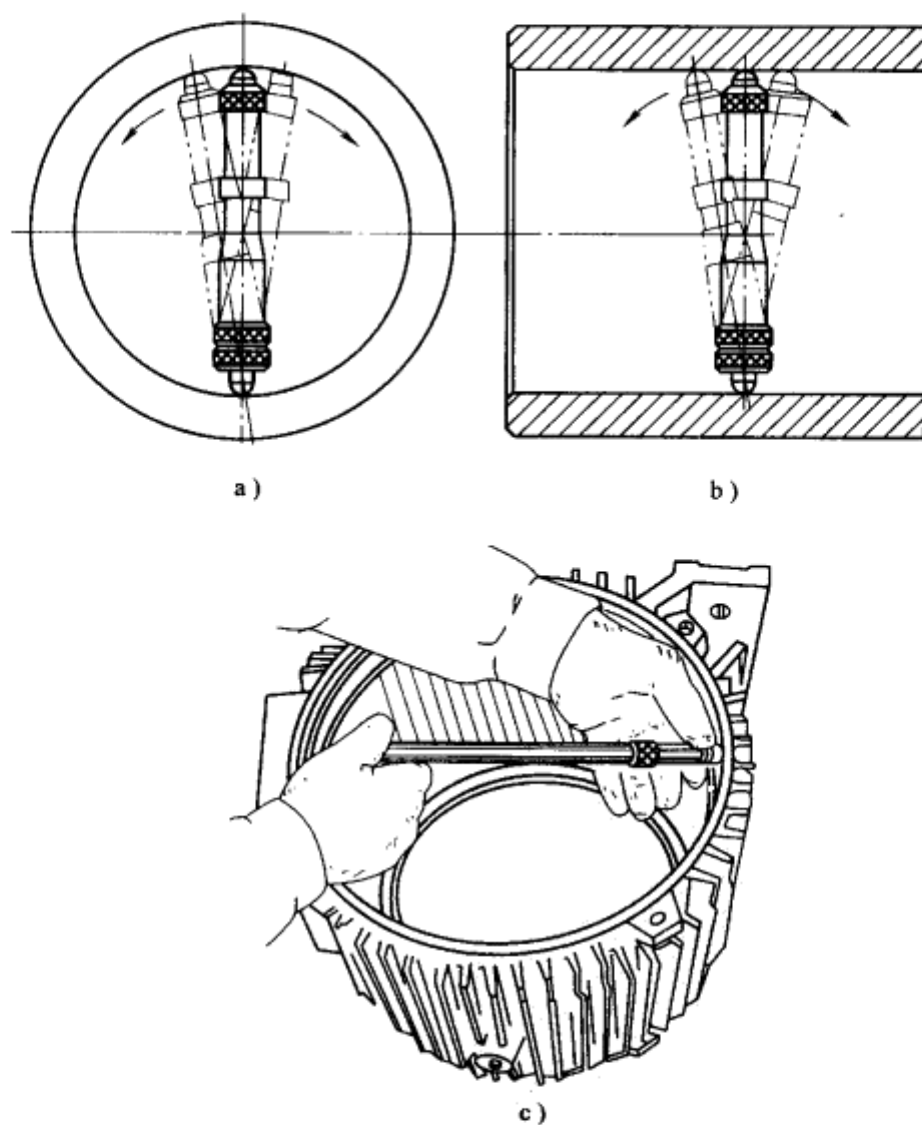


图 2-64 用内径千分尺测量圆孔的内直径

a) 径向找到最大尺寸 b) 轴向找到最小尺寸 c) 测量电机内止口直径的实例

对于较深的孔，如果要判断它是否存在几何形状误差，则应

分别在几个轴向截面和几个径向截面内测量，根据测得的数据进行分析比较，以确定被测孔径是否存在几何形状误差。

（四）注意事项

（1）因内径千分尺没有测力装置，在操作中全凭手的感觉来控制，所以在测量时，要以两个测量面与被测量面的接触应力不超过内径千分尺自身重力引起的摩擦力为度，即当千分尺水平方向测量加上测量力后，若松开手，千分尺会在其自身的重力作用下慢慢下滑。

（2）被测量面的曲率半径不要小于所用内径千分尺测量面的圆弧半径。内径千分尺的测量下限为 50mm 和 75mm 者，被测量面的曲率半径不应小于 20mm；测量下限等于或大于 150mm 者，被测量面的曲率半径不应小于 60mm。否则将出现测量值小于实际值的现象，给测量带来较大的误差。

（3）要注意温度偏差对测量值造成的影响，特别是较长的内径千分尺，更应注意这一点。

（4）对于较长的内径千分尺，在处于水平方向使用时，为防止因其重力造成的变形给测量带来误差，要注意合理设置支承点。对测量范围是 1250 ~ 2500mm 的内径千分尺，设置 2 个支承点，分别位于距测量端面 $0.21L$ 的地方（ L 为千分尺的全长，下同）；对测量范围是 2500 ~ 5000mm 的内径千分尺，设置 3 个支承点，其中间一点设置在千分尺的中间位置，其余两点分别位于距测量端面 $0.1L$ 的地方。

支承的方法一般是用手扶，必要时可使用可调式 V 型活动支架。

（5）对已接好接长杆的内径千分尺，在暂时不用时，不可将其斜靠放置，应水平摆放在平板上。要防止其他较硬的物体对其产生磕碰或划伤。

（6）使用完毕，必须将接长杆卸下，擦干净后在接长杆的螺纹部位上涂防锈油，放入专用的盒内固定好，置于干燥的地方保存。

四、三爪内径千分尺

(一) 三爪内径千分尺的类型、结构和优点

三爪内径千分尺又被称为三爪千分尺或孔径千分尺，用于测量较小尺寸光滑圆柱孔的直径。有机械式和电子数显式两种类型，如图 2-65 所示。

三爪内径千分尺的三个测量爪均匀地分布在同一圆周截面内，并且同时伸缩移动。测量爪有矩形、圆柱形和球形三种，前两种较常用。附加接长杆是为了能够测量较深孔的直径。

和前面介绍的普通内径千分尺相比，此类千分尺的突出优点是在测量时的定位较快；另外，它带有测力装置，可使测量力达到较合理的限度，所以测量值相对准确些。

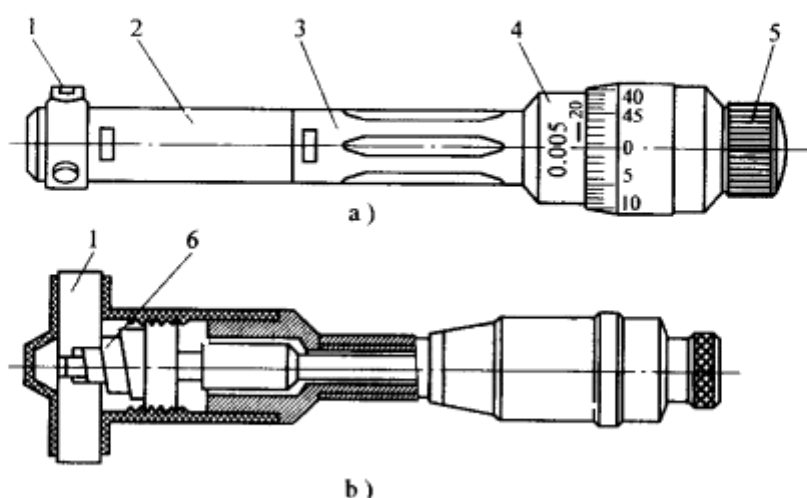


图 2-65 三爪式内径千分尺

- a) 小型三爪式外形 b) 测量爪内部结构（螺旋体式）
1—测量爪（3个） 2—测量头 3—连接杆 4—测微头
5—测力装置 6—螺旋体及测微螺杆

(二) 三爪内径千分尺的测量范围和示值误差

三爪内径千分尺的测量范围从 2 ~ 300mm 分 20 余个档次，其中 2 ~ 6mm 和 100 ~ 300mm 的较小和较大的几个档次国内还没有生产。较小尺寸的每档测量范围上下限值相差 0.5 ~ 5mm，例如 2 ~ 2.5mm、3 ~ 4mm、6 ~ 8mm、35 ~ 40mm 等；较大尺寸的

每档测量范围上下限值相差 10 ~ 25mm，例如 40 ~ 50mm、60 ~ 70mm、90 ~ 100mm、275 ~ 300mm 等。

国产的三爪内径千分尺示值误差如下：

测量范围在 6 ~ 40mm 的，示值误差不超过 $\pm 0.004\text{mm}$ 。

测量范围在 40 ~ 100mm 的，示值误差不超过 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

（三）三爪内径千分尺的校对方法

由于三爪内径千分尺的测量下限不是零，所以无法校对“0”位，而是要校对它的上限或下限值。

用于校对的标准器是购买三爪内径千分尺时附带的校对环规（校对环规尺寸偏差：公称尺寸在 8 ~ 35mm 的不超过 $\pm 0.005\text{mm}$ ；公称尺寸在 50 ~ 90mm 的不超过 $\pm 0.010\text{mm}$ ）。

每套三爪内径千分尺由数把不同测量范围的千分尺组成（测量范围较大的可能只有一把），为了经济起见，每套千分尺配置的校对环规个数，不是每一规格都配一个，而是配置够用的少量几个。所以，在用环规校对三爪千分尺的示值时，对于某一规格的千分尺来讲，有可能是校对其测量范围的上限值，也有可能是校对其测量范围的下限值，还有可能是校对其测量范围中的某一数值。这要看被校对的千分尺测量范围和所配置的校对环规格来灵活掌握。

校对的方法如下：

先将校对环规的内孔和被校对千分尺的三个测量爪擦干净，然后将千分尺的测量范围调到略小于校对环规的内孔的尺寸，之后，将千分尺伸入到环规的内孔中。左手扶住千分尺的连杆，右手转动千分尺的测力装置，同时前后左右轻轻摆动千分尺，使其三个量爪的测量面与环规的孔壁紧密接触，当测力装置发出“咔、咔”的声响后，即可读数，读数方法同普通内径千分尺，如图 2-66 所示。若该读数与环规的实际尺寸相符，则说明该千分尺准确度符合要求。

三爪内径千分尺的示值也允许有不大于 0.05mm 的“压线”和 0.10mm 的“离线”。

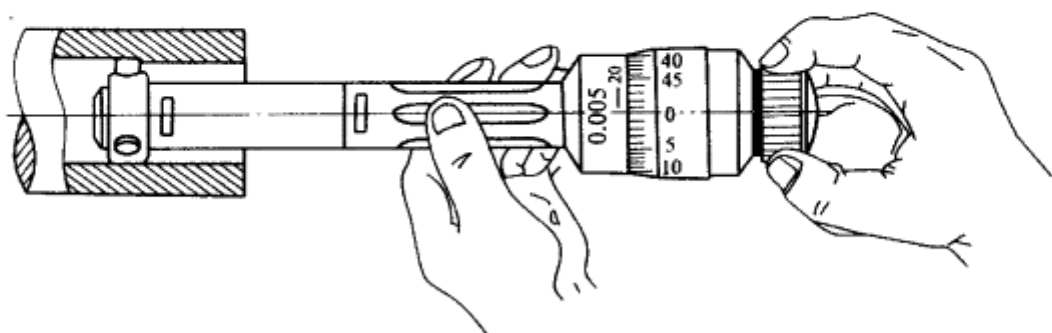


图 2-66 三爪式内径千分尺的校对和测量操作方法

(四) 三爪内径千分尺的使用方法

用三爪内径千分尺测量孔径的操作过程与上述用环规校对其准确度的过程完全相同。另外要说明的是，由于它没有锁紧装置，所以不可将千分尺退出后再读数，而是要在调整好后就读出数值，然后反向旋动其微分筒（不要采用旋转测力装置的方法），使测量爪离开测量面，手感到千分尺在孔内松动后，再将其顺测量孔的轴线轻轻地退出。

第九节 内测千分尺

一、内测千分尺的结构和用途

内测千分尺也分普通机械式和电子数显式两大类，其结构如图 2-67 所示。内测千分尺的工作原理和读数方法与深度千分尺基本相同。

内测千分尺的主要用途是测量孔径等内尺寸。

二、内测千分尺的规格、分度值和示值误差

内测千分尺的测量范围和规格较少，有 5 ~ 30mm、25 ~ 50mm、5 ~ 30mm、50 ~ 75mm、…、175 ~ 200mm 等（其中国内产品的测量范围较小）。

分度值为 0.01mm。

示值误差不超过 $\pm 0.008\text{mm}$ 。

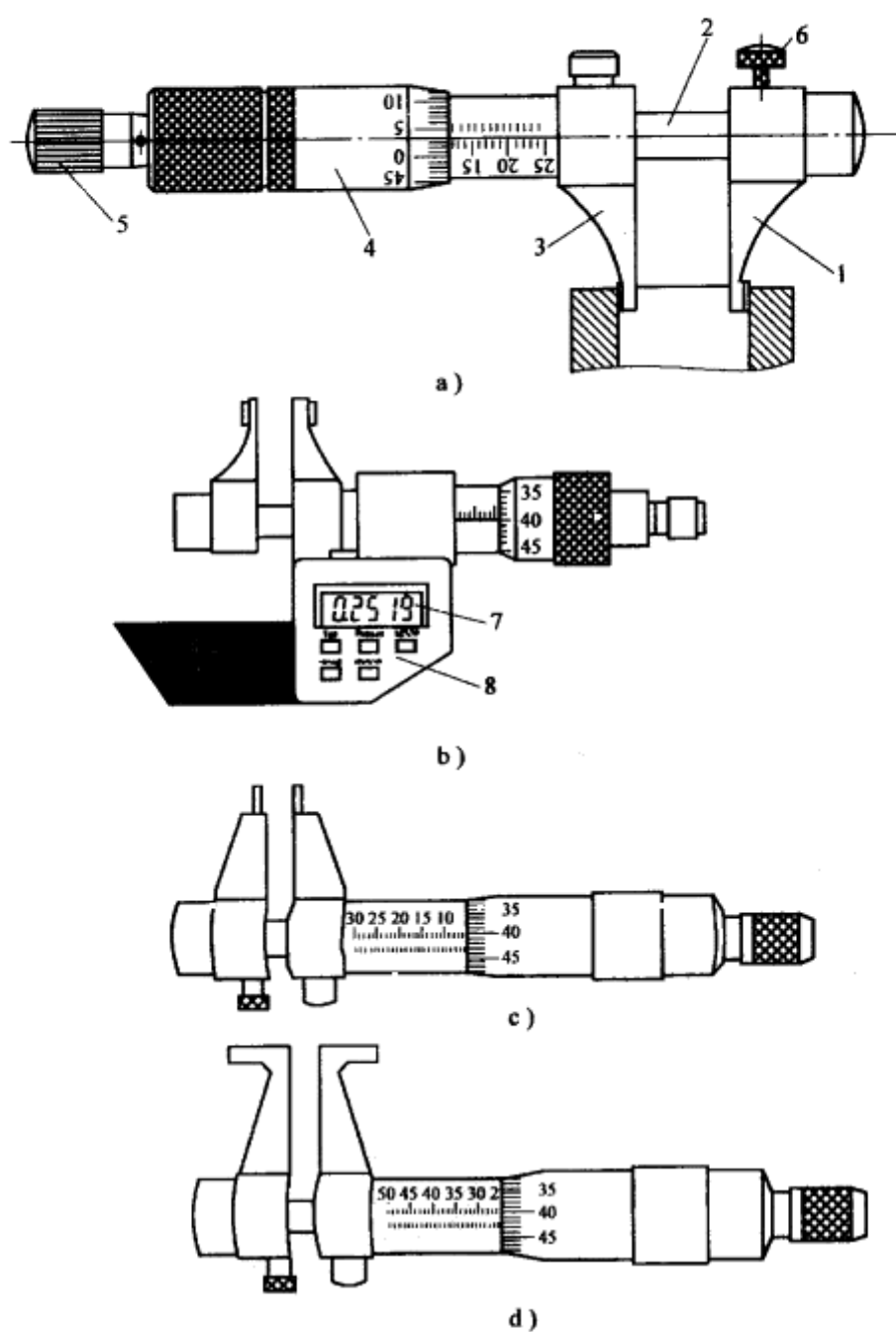


图 2-67 内测千分尺的外形结构及其应用

a) 普通机械式 b) 电子数显式 c) 测小孔径专用 d) 测内沟槽尺寸专用

1—活动量爪 2—导向管 3—固定量爪 4—测微头
5—测力装置 6—锁紧装置 7—显示器 8—功能键

三、内测千分尺的使用方法和注意事项

(一) 内测千分尺的校对方法

内测千分尺的校对方法和前面讲过的三爪内径千分尺基本相同，也是使用测量专用环规尺寸的对比法。

（二）内测千分尺的使用方法和注意事项

内测千分尺的使用方法和注意事项与三爪内径千分尺基本相同。测量时，左手的拇指和食指捏住固定量爪的根部，小指和无名指托住活动量爪的根部，右手旋动微分筒，当量爪的测量面快与被测量面接触时，换用旋动测力装置的方法进一步接近被测量面，当听到“咔、咔”的声响后，即可读数。

内测千分尺的读数方法与深度千分尺相同，和外径千分尺相比，则读数方向刚好相反，这是由于两者固定套筒和微分筒的刻线方向相反的缘故。

测量时，千分尺的测量面与被测工件的被测量面之间的接触方式和注意事项与用游标卡尺进行内尺寸的测量相同。

第十节 指示表类量具

一、指示表类量具的分类和工作原理

指示表类量具是“带指示表的机械量仪”的简称。

从测量数值的显示方式来分，有指针式和数字式两大类，由于传统的指针式显示测量数据的指示表和指针式钟表很相似，所以又被称为“钟表式量具”。

根据用途和机构的不同，指示表类量具一般分为百分表、千分表、杠杆百分表、杠杆千分表、内径百分表、内径千分表、杠杆比较仪及测微计等。它们在使用和维护保养方面有许多共同之处。

虽然指示表类量具的结构多种多样，但其工作原理基本相同，都是利用齿轮、齿条、杠杆或弹簧等装置的传动，把测量杆的微小直线移动转变成指针的摆动或数字显示器的模拟输入量，从而使用指针在表盘上指示出相应的数值或通过模数转换，在显示器上显示出相应的数据。

二、机械式百分表

（一）机械式百分表的结构和相关性能参数

机械式百分表（以下简称为“百分表”）是将测量杆的直线位移，通过机械传动系统转变为指针在表盘上的角位移进行读数的通用长度测量工具，其机械传动系统有齿条-齿轮、杠杆-齿轮和蜗杆-蜗轮三种传动方式，其外形和机械传动系统采用齿条-齿轮结构的示例如图 2-68c 所示，图 2-68d 给出了一种端面式百分表，它可用于特殊的场合，使读数方便。

百分表的分度值为 0.01mm，即百分之一毫米，这也是其名称的由来；测量范围有 0~3mm、0~5mm 和 0~10mm 三种。在有特殊要求时，也可生产 0~20mm 和 0~30mm 较大测量范围的品种；常用三种测量范围的百分表的各项误差应不超过表 2-18 所列的数值。

表 2-18 机械式百分表的各项误差最大值范围 (μm)

测量范围	任意 0.1mm 误差	任意 0.5mm 误差	任意 1.0mm 误差	任意 2.0mm 误差	示值 总误差	示值 变动性	回程 误差
0~3mm	± 5	± 8	± 10	± 12	± 14	± 3	± 3
0~5mm					± 16		
0~10mm					± 18		

在某些使用和计量单位，还将百分表按精度（误差）的不同划分成 0 级、1 级和 2 级，其中 0 级的精度最高，2 级一般要在使用一段时间或经修理后才允许出现。不同精度等级的有关误差应不超过表 2-19 所列的数值，所适用的被测量工件尺寸精度（公差等级）见表 2-20。

表 2-19 机械式百分表的精度级别和各项误差最大值范围

(μm)

精度等级	测量范围/mm			任意 1m 内的 示值误差	示值 变动性	回程误差
	0~3	0~5	0~10			
0	± 9	± 11	± 14	± 6	± 3	± 4
1	± 14	± 17	± 21	± 10	± 3	± 6
2	± 20	± 25	± 30	± 18	± 5	± 10

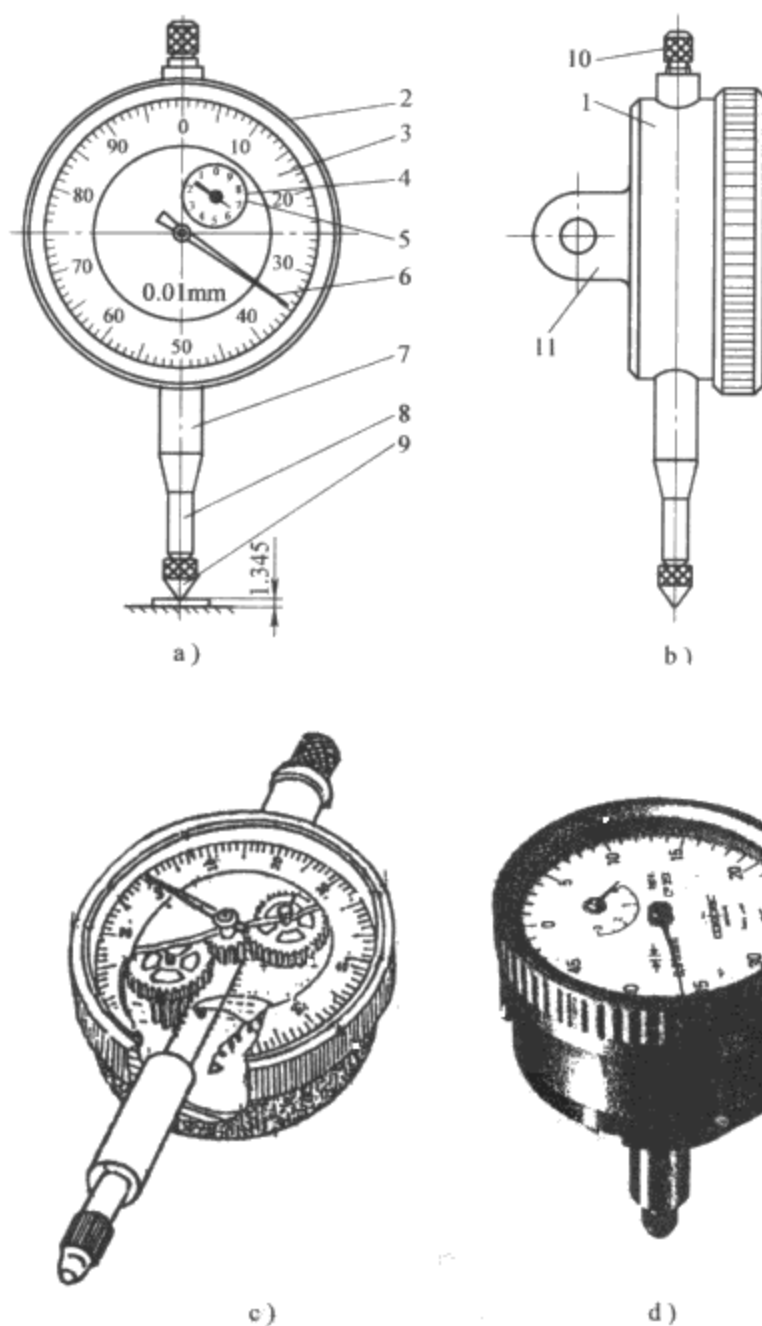


图 2-68 机械式百分表的外形和结构

a) 外形图 b) 侧面图 c) 机械传动结构 (齿条-齿轮结构) d) 端面式
 1—表体 2—表圈 3—表盘 4—转数指示盘 5—转速指针 6—指针 7—套筒
 8—测量杆 9—测量头 10—挡帽 11—耳环 (有的品种没有此部件)

表 2-20 不同精度等级的百分表所适用的被测量工件尺寸精度

精度等级	被测工件的尺寸精度等级（公差等级）	
	适用范围	合理使用范围
0	7 ~ 14	7 ~ 8
1	7 ~ 16	7 ~ 9
2	8 ~ 16	8 ~ 10

（二）机械式百分表的使用方法

1. 测量前的准备工作

使用百分表进行测量之前的准备工作有如下几项：

（1）检查测量平台或测量平面、百分表的支架底面、被测量工件的表面是否有毛刺、碰伤或脏物等，如有，应彻底进行清理。

（2）根据被测部位和尺寸，对支架安装表的位置进行粗调，可采用万能表架或磁力表架。

（3）检查所用的百分表，擦净其测量头、测量杆和套筒，然后对百分表进行下列检查和调整。

1) 检查百分表的指针是否转动灵活和在规定的范围位置之内，在测量杆处于自由状态时，指针应位于从“0”位反时针方向 $30^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，如图 2-69a 所示。如果在其他位置，则不符合要求，应送量具检修部门进行检定修理。

2) 检查百分表的稳定性，用两个手指捏住测量杆上端的挡帽，轻轻提拉 1 ~ 2mm 几次，看每次表针是否都能回到原位（即测量杆处于自由状态时，指针所在的位置）。如未回到原位，但距原位相差不大于 $\pm 0.003\text{mm}$ ，则是允许的，如图 2-69b 所示；否则说明该百分表的稳定性不合格，不能使用。

3) 检查百分表指针和转速指针的关系，对具有转速指针的百分表，当转速指针指示在整转数时，指针偏离“0”位应不大于 15 个刻度，如图 2-69c 所示。

4) 检查百分表测量杆的行程，该行程应符合下述要求：

测量范围为 0 ~ 3mm 的百分表，测量杆的行程至少应超过工作行程终点 0.3mm；测量范围为 0 ~ 5mm 和 0 ~ 10mm 的百分表，

测量杆的行程至少应超过工作行程终点 0.5mm，如图 2-69d 所示。

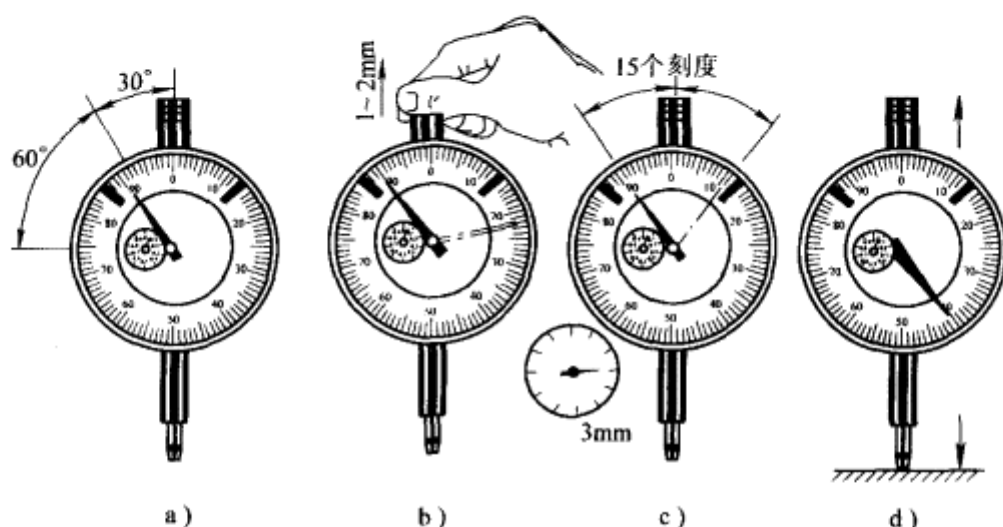


图 2-69 检查机械式百分表的四个项目

- a) 检查百分表的指针是否转动灵活和在规定的范围位置之内
b) 检查百分表的稳定性 c) 检查百分表指针和转速指针的关系
d) 检查百分表测量杆的行程

(4) 检查完百分表并符合要求之后，将其固定在支架上（见图 2-70d）。若采用夹持套筒的方法来固定百分表时，则夹紧力要适当，既要夹牢而又不致于使套筒变形，以免造成测量杆卡住或移动不灵活的现象，夹紧后就不准再转动百分表，如需要转动表的方向，则必须先松开夹紧装置。

(5) 调整百分表测量头的位置，使其与被测量面接触，要求具有适当的测量力（或称之为“预压力”）。所谓适当的测量力，一般是指：在测量头压到被测量面上之后，表针顺时针转动半圈至一圈左右（相当于测量杆有 0.3 ~ 1mm 的压缩量，称为“预压量”），即所谓的“压半圈”或“压一圈”，如图 2-70a 所示。

在比较测量时，如果存在负向偏差，预压量还要增大些，使指针有一定的指示余量，这样，在测量过程中，既能指示出正偏差，又能指示出负偏差，而且仍可保持一定的测量力，否则负的偏差就可能测不出来，还要调整，浪费时间。

之后，再按上述检查百分表的稳定性的方法检查一次，若符

合要求则可开始进行测量。

(6) 为了读数方便，测量前一般都要把百分表的指针指在表盘的“0”位，当百分表的测量头施加适当的测量力，表针稳定在一个位置之后，表针对“0”位的方法是旋转表圈带动表盘

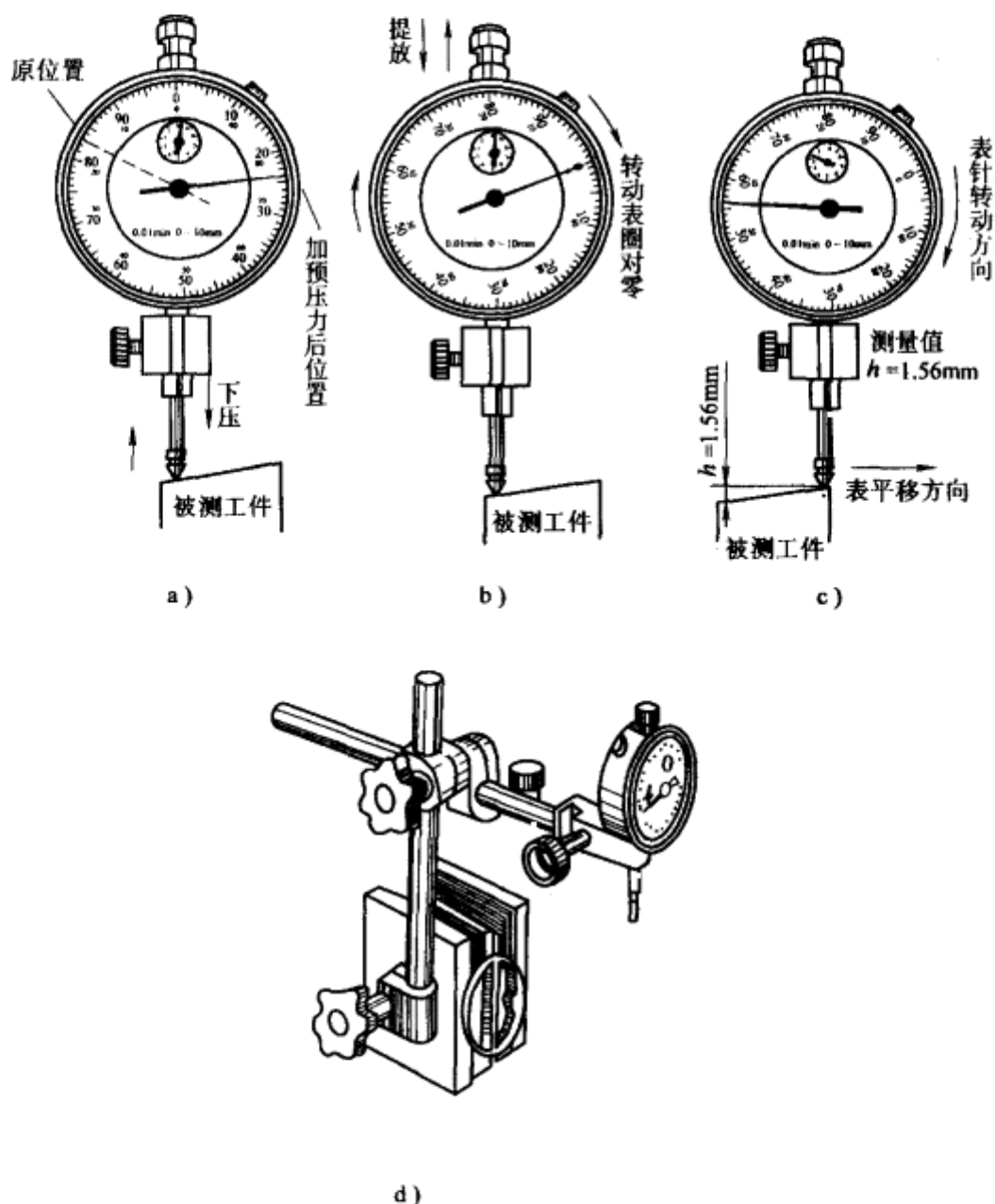


图 2-70 机械式百分表的调整和读数方法
a) 施加适当的测量力 b) 旋动表圈使指针对“0”
c) 读数方法实例 d) 将百分表装卡在支架上

(含刻度盘),使“0”位刚好对准指针,如图 2-70b 所示。之后,再按上述检查百分表的稳定性的方法检查一次,若符合要求则可开始进行测量。

当然,也可以不对“0”位,即将开始表针稳定在的刻度位置定为初始位置(假设的“0”位),以测量时表针变动的数值(即离开初始位置的表盘读数)作为测量值,这样可节省时间而且也较准确,但一定要记清楚上述初始值,用于求取最后的测量结果,所以读数和计数较麻烦些。

2. 读数方法

以图 2-70c 所示的状态为例,介绍百分表的读数方法和注意事项。

由图 2-70c 可以看到,测量时 $1/100\text{mm}$ 指针(以下称为大针)和转数指针(以下称为小针)的位置都在变化。测量杆移动 1mm 时,小针就移动一个格,所以被测尺寸数值毫米的整数部分可以从转数指示盘上读出,如图中所示的毫米整数部分是 1mm 。另外,测量杆移动 1mm 时,大针也同时转动一圈,测量杆移动 0.01mm 时,大针转动一小格,所以被测尺寸数值毫米的小数部分可以从大指示盘上读出。

应当注意的是:读数时不管是小针还是大针,都必须从离开起始位置的格数来读得。若指针指在两个小格之间,则用估读的方法得出最后一位数值。如图中所示,指针的起始位置是“0”时,则数值毫米的小数部分是 0.55mm 。

把上述整数和小数两部分的读数相加,即得到测量值为 1.55mm 。

当测量范围较大时,大针和小针的起始位置都要记住,否则就可能读错。为了测量时读数方便,测量前一般要用手转动表圈,使表盘的“0”刻度线对准指针,这样就不必再记忆大针的起始位置了,可从表盘上指针指示处直接读出被测尺寸数值毫米的小数部分。

另外,还应知道,大针的转动方向与测量杆的移动方向是有

固定关系的，当测量头向下时，测量杆向上移动，指针顺时针方向转动，反之，指针逆时针方向转动。在比较测量或误差检验时，要注意测得的数值正负关系不要搞错。

读数时，要在指针停止摆动后开始读数，眼睛的视线要垂直于表盘，即正对着指针来读数，否则会由于偏视造成一定的读数误差。

3. 进行绝对测量的方法

用百分表进行绝对测量时，只能测量所用百分表量程范围以内的尺寸，由于百分表的量程较小，所以能够测量的绝对尺寸也较小，一般在 10mm 以下。

测量时，要事先选择一个符合要求的基准面（例如平台），将百分表测量头压在基准面上，并使其具有适当的预压力后，将表针对好“0”位，然后紧固支架的螺丝，之后，要再次校核“0”位，如有移动，则再调整好。

用手捏住百分表的测量杆上端挡帽提起测量杆，使测量头高于被测工件的测量点，然后将被测工件放在百分表测量头之下或将百分表测量头移到被测工件之上，将百分表测量头对正被测量点，则表上显示的数值即为被测尺寸，如图 2-71 所示。

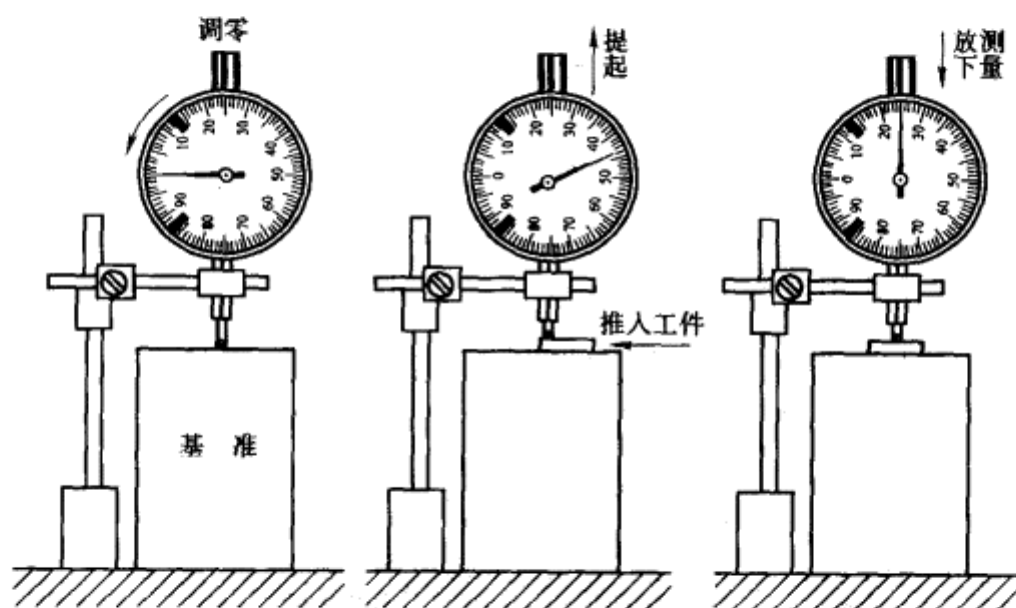


图 2-71 用机械式百分表进行绝对测量的方法

4. 进行相对测量的方法

百分表主要是用于相对测量，但有时是通过相对测量的方法得到绝对值。

用百分表进行相对测量时，要测量的相对量应在所用百分表量程范围以内。

进行相对测量时，根据要测量的最终结果是绝对量还是相对量来确定测量方法。最终结果是绝对量的，要有一个基准面（例如平台的工作面）和已知准确数值的基准尺寸面（例如已知准确数值的量块上表面）；最终结果只是相对量的，虽然也要求同时有上述两个基准面，但不要求知道基准尺寸的实际值是多少。

（1）最终结果是绝对量时的测量方法 测量时，要事先选择一个符合要求的基准面（例如平台），在基准面上放置和被测工件尺寸公称值相等的量块（该量块的上表面即为前面所说的“已知准确数值的基准尺寸面”）。将百分表测量头压在量块的上表面，并使其具有适当的预压力后，将表针对好“0”位，然后紧固支架的螺丝，之后，再次校核“0”位，如有移动，则再调整好。

用手捏住百分表的测量杆上端挡帽提起测量杆，使测量头高于被测工件的测量点，然后将被测工件放在百分表测量头之下或将百分表测量头移到被测工件之上，将百分表测量头对正被测量点，则百分表表盘指针指示的数值（含整数和小数两部分）即为被测尺寸相对于上述基准尺寸（即量块尺寸，也就是被测尺寸的公称尺寸）的偏差值。被测尺寸的绝对值是基准尺寸和偏差值之和。

（2）最终结果是相对量时的测量方法 上述测量实际上即是一种测量相对值的方法，在实际测量中，有时不必要知道基准尺寸的具体数值，例如测量圆跳动偏差和径向跳动偏差等。下面以测量电机轴伸径向圆跳动偏差为例，讲述用百分表进行相对量测量时的测量方法（见图 2-72）。

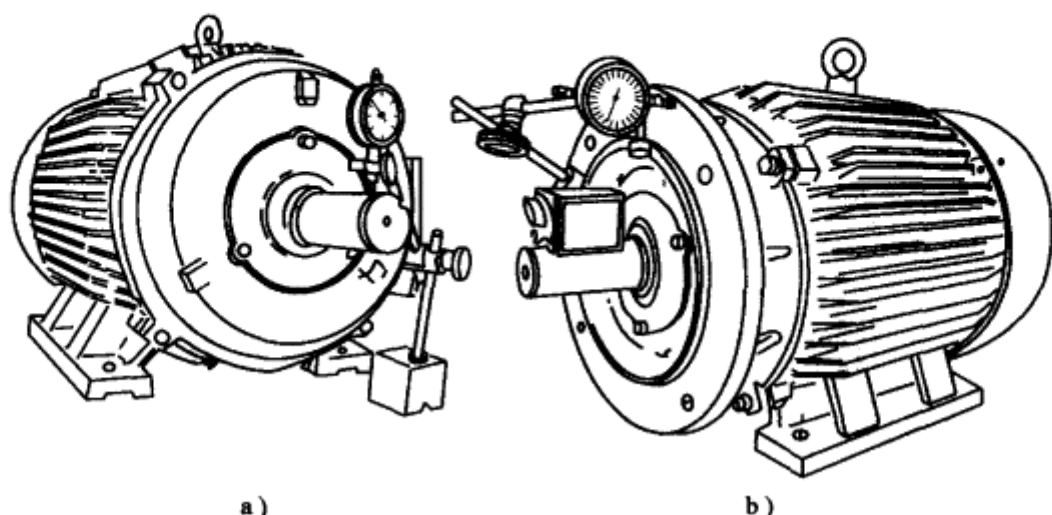


图 2-72 用百分表进行相对测量的实例

a) 电机和百分表都放置在测量平台上 b) 百分表用磁性表座固定在电机的端盖上

将被测电机平稳地放置在平台上。百分表安装在磁力表架上，磁力表架可吸在平台上，也可吸在电机的端盖或其他合适的部位（此时，电机可不必放置在平台上）。调整表架，使百分表的测量头压在电机轴伸长度的中点位置，要注意测量杆的轴向与电机轴伸的轴心线要垂直，与电机轴伸直径成一条直线。细调表架，使百分表的测量头与测量面之间具有适当的压力（见前面讲述的内容），然后紧固表架的螺丝，并旋动百分表的表圈，使指针对正表盘的“0”位，轻轻提拉测量杆几次，检查表针是否恢复到初始位置（“0”位）。

用手缓慢地转动电机轴伸一周，观看百分表的表针离开“0”位的最大正、负数值，最大正、负数值绝对值之和即为该轴伸相对于其轴心的圆跳动。

在本书以后的章节中将再次讲述使用百分表进行相对测量的有关实例。

（三）使用和维护机械式百分表时的注意事项

百分表是一种很容易损坏的精密量具，所以正确使用和按规定维护与保养很重要。除要遵守一般量具的注意事项外，还应注意以下事项：

(1) 测量平面时，测量杆要与被测量表面垂直。否则，不仅会造成附加的测量误差，而且会影响测量杆移动的灵活性，并有可能将测量杆卡住导致百分表的损坏。毛坯或有显著凹凸表面的工件，不应使用百分表进行测量，否则容易损坏百分表，如图 2-73 所示。

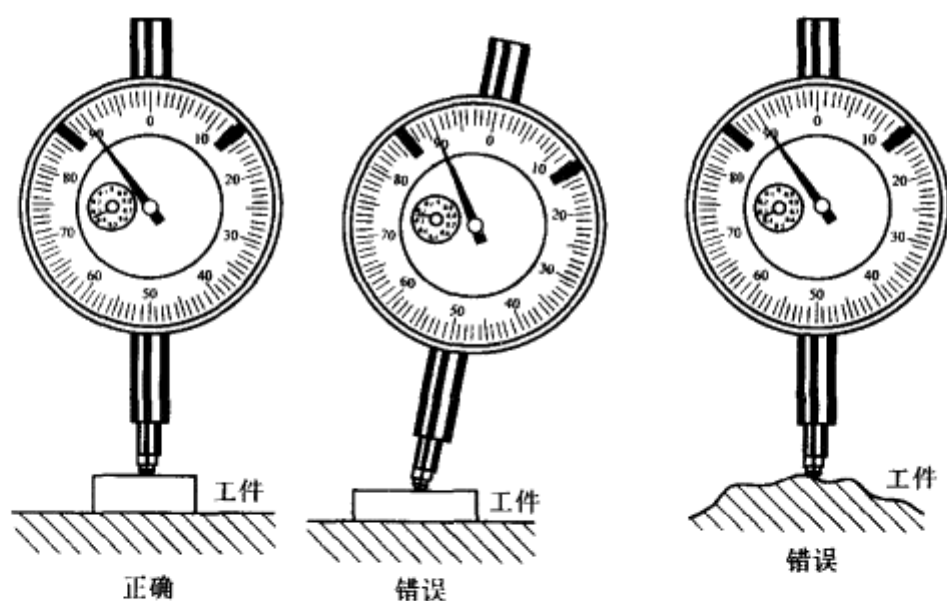


图 2-73 使用百分表测量平面示意图

(2) 测量圆柱形工件时，测量杆的轴线应与工件的直径方向一致，并垂直于工件的轴线，如图 2-74 所示。

(3) 要根据被测量工件测量面的形状、粗糙度情况和材质的不同，选择适当形状的测量头，如：用平测量头测量球形面；用球面测量头测量圆柱形面或平表面；用尖形测量头或曲率半径较小的测量头测量凹面或形状较复杂的表面，如图 2-75 所示。

(4) 按压测量杆的次数不要过多，距离不要过大，尤其要避免急剧地向极端位置按压测量杆，以防止造成较大的冲击，损坏百分表的机构或加剧零件的磨损。测量时，测量杆的行程不要超过它的测量范围。

(5) 要避免受到剧烈的振动和磕碰，不要敲打表的任何部位。

(6) 表架要放置稳妥，固定可靠。

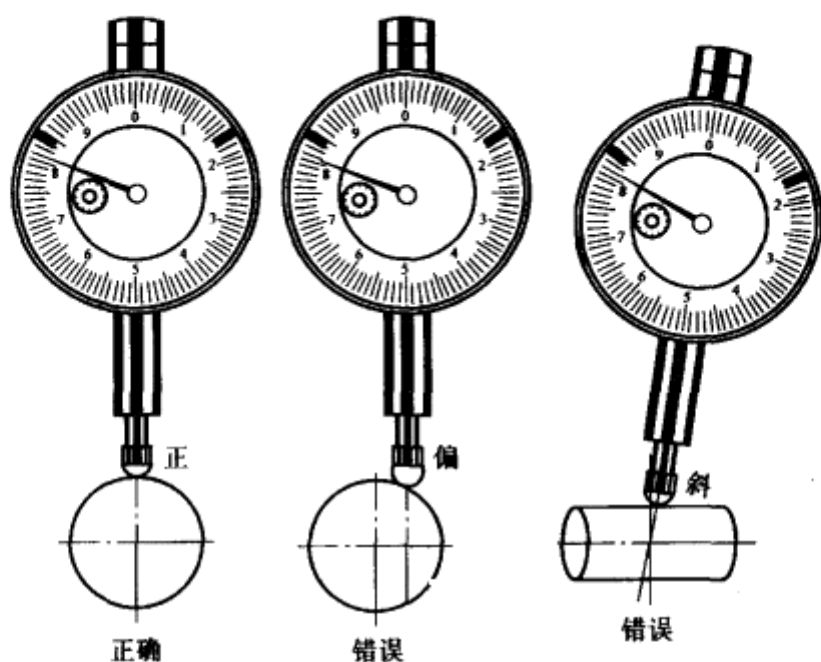


图 2-74 使用百分表测量圆柱形工件示意图

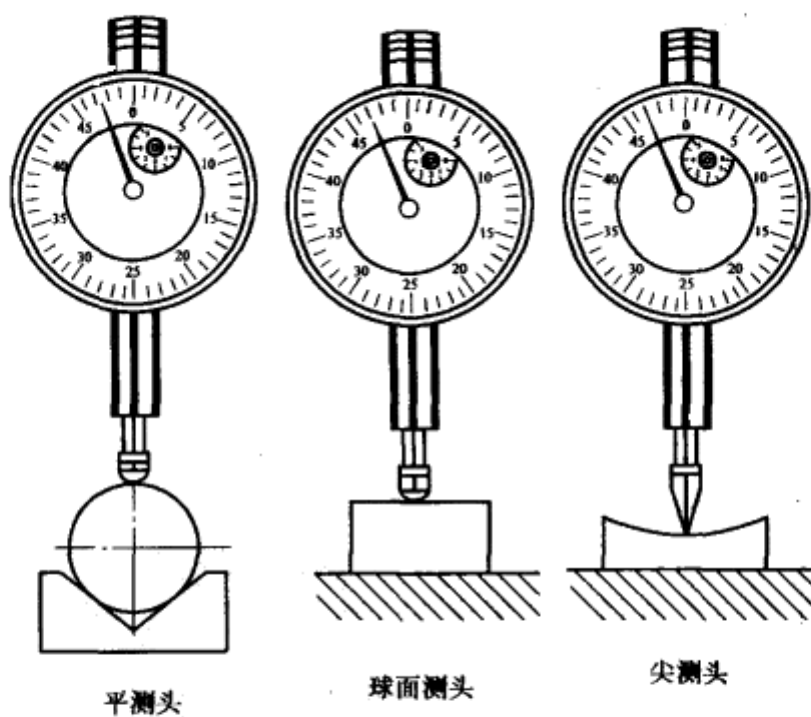


图 2-75 根据被测量面选择不同形状的测量头

(7) 严防水、油和灰尘等进入表内；不准把百分表浸在冷却液或其他液体中；不要随意拆卸百分表的后盖。

(8) 百分表使用完毕后, 要将其擦净并放入专用的盒内, 要让测量杆处于放松状态, 避免表内弹簧失效。如果不是长期保养, 测量杆不允许涂凡士林或其他油类, 否则会使测量杆和套筒粘结, 造成测量杆运动不灵活, 同时容易附着灰尘, 影响表的精度。

三、大量程百分表

大量程百分表是指量程超过 10mm 的百分表, 其结构和工作原理与前面讲述的百分表完全相同, 图 2-76 是一个大量程百分表的外形示例。

目前, 国产大量程百分表的量程有 0 ~ 30mm、0 ~ 50mm 和 0 ~ 100mm 三种, 其误差不超过表 2-21 中的规定。

大量程百分表的使用和维护方法与普通百分表基本相同, 只是由于它的测量力比普通百分表大 (普通百分表为 0.5 ~ 1.5N, 大量程百分表为 2.2 ~ 3.2N, 量程大的取大值), 所以不宜用来测量那些容易变形的薄壁制品。

表 2-21 大量程百分表的误差 (μm)

测量范围/mm	任意 1mm 的示值误差	示值总误差	示值变动性	回程误差
0 ~ 30	± 15	± 30	5	± 7
0 ~ 50		± 40		± 8
0 ~ 100		± 50		± 10

四、机械式千分表

机械式千分表在工作原理、主要结构、使用方法和注意事项等各方面与机械式百分表基本相同, 不同点主要是其精度更高、分度值更小, 所以可用于比百分表的测量精度要求更高的场合; 另外, 千分表在测量时其测量头应朝下, 若朝上, 将出现一定的附加误差, 这是由于千分表的标定数值是在标准温度为 20℃ 和测量头朝下的条件下得出的, 这一点在使用时应给与注意。

图 2-77 是一种表盘的刻线为 100 的千分表外形示例。

其具体性能参数如下:

(1) 分度值为 0.001mm。

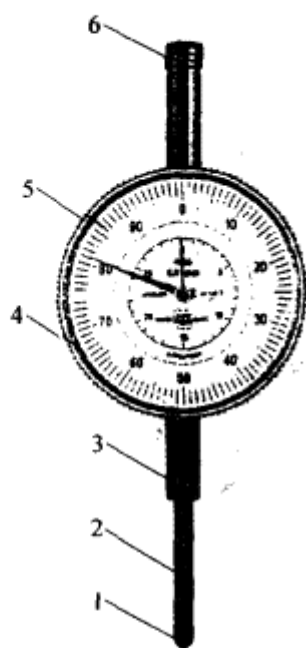


图 2-76 大量程百分表示例
1—测量头 2—测量杆 3—装夹套筒
4—表体 5—表蒙（表圈，表盖）
6—测量杆头盖

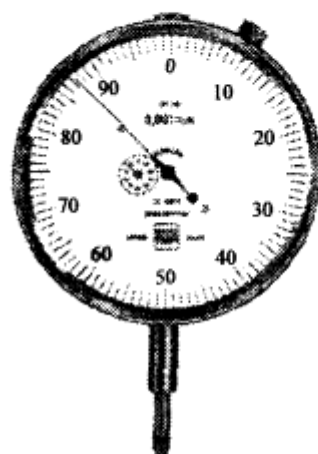


图 2-77 机械式千分表示例

(2) 测量范围有 0~1mm、0~2mm、0~3mm 和 0~5mm 四种，表盘的刻线类型有 100 和 200 分度两种，其刻线间距不小于 0.7mm。

(3) 误差不超过表 2-22 的规定。

表 2-22 千分表的误差最大值 (μm)

测量范围/mm	示值分段误差			示值总误差	回程误差	示值变动性
	任意 0.05mm	任意 0.02mm	初始 1.0mm			
0~1	± 2.0	± 3.0	—	± 4.0	± 2.0	± 0.3
0~2	± 2.5	± 3.0	± 5.0	± 6.0	± 2.0	± 0.3
0~3	± 2.5	± 3.5	± 5.0	± 8.0	± 2.5	± 0.3
0~5	± 2.5	± 3.5	± 5.0	± 9.0	± 2.5	± 0.5

五、数显式百分表和千分表

数显式百分表和千分表的外形与普通机械式不同点是其表盘为数字显示器和几个按键，而不是刻度盘和指针，图 2-78 是三种数显式国产百分表的外形示例。

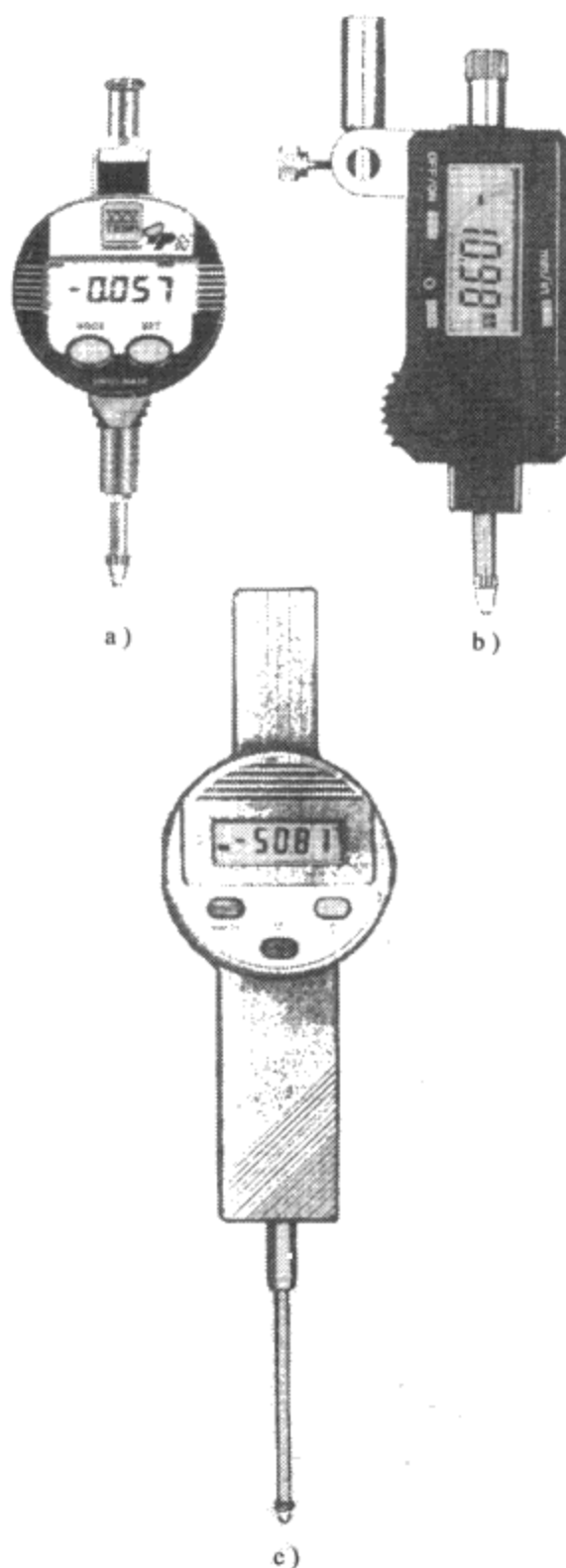


图 2-78 数显式百分表示例

a) 普通数显百分表 b) 矩形数显百分表 c) 大量程数显百分表

数显式百分表和千分表的使用与维护方法与机械式的基本相同，但它在调“0”方面更加方便，另外还具有可直接读数、米制和英制数值转换、数据保存和传输等多种优点。

测量范围有 0 ~ 5mm、0 ~ 30mm 和 0 ~ 50mm 等多种。

数显式百分表的示值误差不超过 $\pm 0.03\text{mm}$ ；数显式千分表的示值误差不超过 $\pm (0.003 \sim 0.009)\text{mm}$ 。

六、内径百分表

(一) 结构和相关参数

内径百分表又被称为内径表，顾名思义，它的主要用途是测量光滑孔的内径尺寸或尺寸误差，特别是可用于测量内径千分尺不能测量的较深孔的内径尺寸或尺寸误差，当然也可用来测量其他内尺寸。

内径百分表由表头（和普通百分表相同）和表架两部分组成，根据结构的不同，又可分为带定位中心支架式和不带定位中心支架式（涨簧式）两种，前一种用得较多。图 2-79 是带定中心支架式、涨簧式以及大量程的内径百分表。可以看出，内径百分表实际上就是一个通过杠杆改变了测量杆方向（ 90° ）的百分表。

国产内径百分表的测量范围有 6 ~ 10mm、10 ~ 18mm、18 ~ 35mm、35 ~ 50mm、50 ~ 100mm、50 ~ 160mm、100 ~ 160mm、160 ~ 250mm 等多种；分度值为 0.01mm；相关误差不超过表 2-23 中的数值。

(二) 使用方法和注意事项

1. 装夹百分表和测头

这里主要介绍带中心定位的内测百分表的使用方法。

先把百分表的装夹套筒擦干净，然后细心地装进表架的弹性卡头中，并使表的指针转过一圈左右后用锁母紧固住弹性卡头，将百分表锁住。旋紧卡头螺母时，不要用力过大过猛，以防把百分表的套筒夹变形。

根据被测量孔的直径大小，选用一个相应尺寸的可换测量头并将其安装在表杆上。安装可换测量头时，应尽量使其在活动范

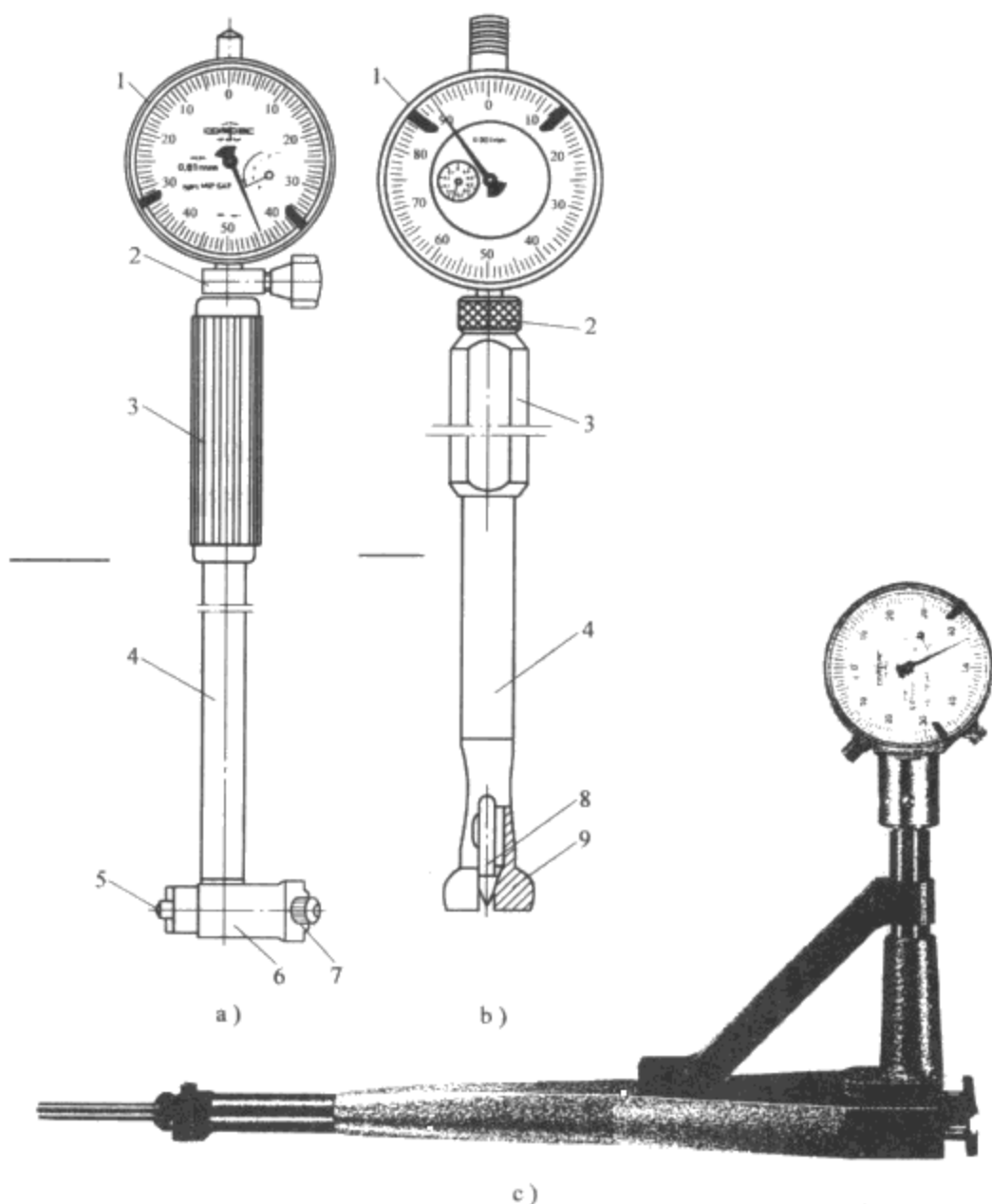


图 2-79 内径百分表示例

a) 带定位中心式 b) 涨簧式 c) 大量程内径百分表

1—百分表 2—锁母 3—手柄 4—表杆

5—固定（可换）测头 6—主体 7—活动测头 8—顶杆 9—涨簧测头

围的中间位置，这时产生的误差最小。为此，测量上限大于 35mm 的内径百分表，在其可换测量头上刻有一条环状线，安装时使该环线正好露出主体为合适。

表 2-23 内径百分表的误差

(μm)

测量范围/mm	示值总误差	相邻误差	定中心误差	示值变动性
6 ~ 18	± 12	± 5	± 3	± 3
> 18 ~ 50	± 15	± 5		
> 50	± 18	± 6		

2. 校对“0”位的方法

对内径百分表校对“0”位要使用校对量规，当没有校对量规时，可使用外径千分尺。

校对前，先将测头、定位护桥和环规的工作面擦拭干净，然后用手按动几次活动测头，观看百分表的运动情况，检查百分表的灵敏度和示值变动性。当百分表的灵敏度和示值变动性符合要求后，即可开始校对“0”位。

用左手握住手柄，右手按下定位护桥，把活动测头压下，然后把它先放入环规内，摆动手柄几次，找出指针的“拐点”（见图 2-80），转动百分表的刻度盘，使“0”刻

线与指针的“拐点”处相重合。然后再次摆动几次手柄，以检查“0”位是否已经对准。如果在摆动手柄时，指针每次均在“0”位线处拐回来，则说明“0”位已经对准。对好“0”位后，用手按下定位护桥，把内径百分表从环规中抽出来。

对校对好“0”位的内径百分表，在使用中不得松动锁母，

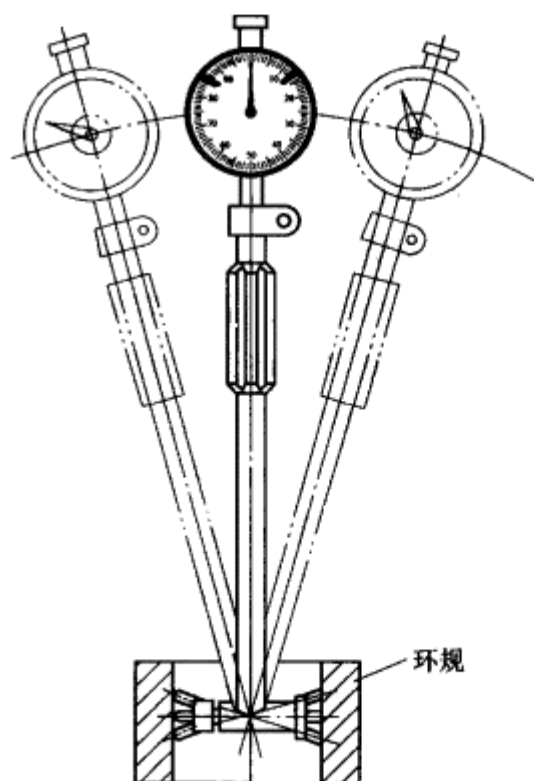


图 2-80 用环规校对
内径百分表“0”位的方法

以防“0”位发生变化而造成附加的误差。

3. 测量使用方法

用内径百分表测量孔的内径时，其操作方法与上述校对“0”位的过程基本相同。把测头放入被测孔测量位置之后，摆动手柄几次，观察指针的“拐点”位置，如果指针恰好在“0”位处拐回，则说明被测孔的直径与校对环规的直径相等；如果指针不在“0”位处拐回，即拐点不与“0”位重合，则说明被测孔的直径与校对环规的直径不相等，相差的数值即为指针指示的数值。此时，当指针顺时针方向离开（指针超过）“0”位，说明被测孔的直径小于校对环规的直径；反之，说明被测孔的直径大于校对环规的直径。

若要测量孔的圆度，则应在孔的同一径向截面内的几个不同方向上进行测量；若要测量孔的圆柱度，则应在孔的几个径向截面内进行测量，将几次测量结果进行比较，即能判定出被测孔是否有圆度和圆柱度误差。

内径百分表的维护方法同百分表。

七、杠杆百分表

（一）杠杆百分表的结构和相关参数

杠杆百分表又被称为杠杆表或靠表。它是将其杠杆测头的位移，通过机械传动系统转变为指针在表盘上的角位移，进行读数的长度测量工具。杠杆百分表可用于绝对测量，也可用于相对测量，但最多的还是用于相对测量，例如测量形状和位置误差等，这一点和前面介绍的百分表是相同的。

按结构，常用的指针式杠杆百分表可分为正压式、侧面式、端面式等几种不同的类型，比较先进的数字式杠杆百分表也开始大量使用，如图 2-81 所示。杠杆百分表的测头可以在中心位置的两侧各 90°范围内摆动，摆动的方向由换向器来控制。

杠杆百分表表盘的刻线类型有如下三种：

（1）0—40—0，其测量范围为 $\pm 0.4\text{mm}$ ；

（2）0—50—0，其测量范围为 $\pm 0.5\text{mm}$ ；

(3) 0—100—0，其测量范围为 $\pm 1\text{mm}$ 。



图 2-81 杠杆百分表

- a) 正压式 b) 侧面式 c) 侧面图 d) 端面式
e) 正压式的另一种安装方式 f) 其他形式 g) 数字式
1—表盘 2—夹持柄 3—换向器 4—表体 5—测头

杠杆百分表的误差应不超过表 2-24 的规定。

(二) 杠杆百分表的使用方法

1. 使用前的检查和准备工作

表 2-24 杠杆百分表的误差

(μm)

任意 0.05mm 误差	示值总误差	示值变动性	回程误差
± 4	± 8	± 3	± 3

使用前要检查其外观，要求无影响使用性能的缺陷；用手拨动测头时，测杆和指针的移动应平稳、灵活；在自由状态时，指针应位于从“0”位开始反时针方向 $45^\circ \sim 90^\circ$ 之间；用手摸测头，应光滑。

将百分表往表架上（较常使用的是游标高度尺）装夹时，表架要牢固可靠和有足够的刚度；为了防止变形引起测量误差，悬臂伸出长度应尽可能地短；夹紧力要适当；装夹紧后，切勿转动表体，如果要转动表体，则必须先松开紧固装置。

2. 对“0”的方法

在测量中，为了读数方便，一般都要对“0”。若预先不对“0”，则要记住指针的起始位置。

对“0”的办法如下：

将百分表装夹在表架上以后，使表的测头与被测量面的某一位置接触，调整好表架，使指针转到该表测量范围的中间位置附近，紧固住表架，转动表盘使“0”刻线与表针重合。然后退出表架，使表的测头与被测量面脱离，再推进表架，使表的测头再次与被测量面的原位置接触，看指针是否重新与“0”刻线重合。如果重合，即可认为对“0”完成，可以开始进行测量；否则应重新调整，到重合为止。

3. 用杠杆百分表测量形位误差的方法

以测量一个工件的平直度为例，讲述用杠杆百分表测量形位误差的方法。

先将符合要求精度的平台（一般要求 1 级以上）工作面、表架（用游标高度尺做表架）的底平面和被测工件的底平面擦拭干净，然后将被测工件放在平台上，把百分表装夹在表架上。

将百分表调高到略高于被侧面，双手推高度尺的底座，使表

的测头置于被测面上的适当位置后对好“0”。可以缓慢地左右推动高度尺的底座，使测头在被测量面上沿轴向移动，全过程中最大和最小读数之差即为被检测面的平直度数值；也可在被测全长范围内均匀地取几个点进行测量，几点读数中最大和最小读数之差即为被检测面的平直度数值。后一种方法应用得较多，如图 2-82 所示。

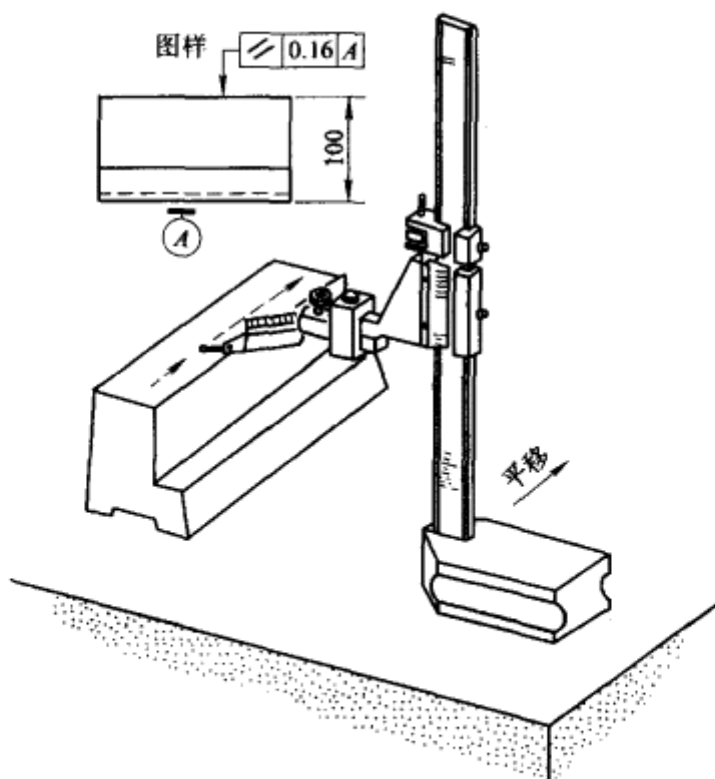


图 2-82 用杠杆百分表测量工件的平直度

图 2-83 给出了用杠杆百分表测量一根轴一处外圆径向和两处端面轴向跳动形位公差示意图。图中的转轴是架在车床或专用测量支架的两个顶尖上的，实际测量时，也可用 V 形铁作支架。

（三）杠杆百分表测量杆角度引起的测量误差及其修正

在检定杠杆百分表时，其测量杆轴线要平行于测微头的测量面，或者说测量杆轴线与测微头测量轴线垂直，如图 2-84a 所示。测量时，测量杆的状态往往不是这样，而是偏离一个角度，这就

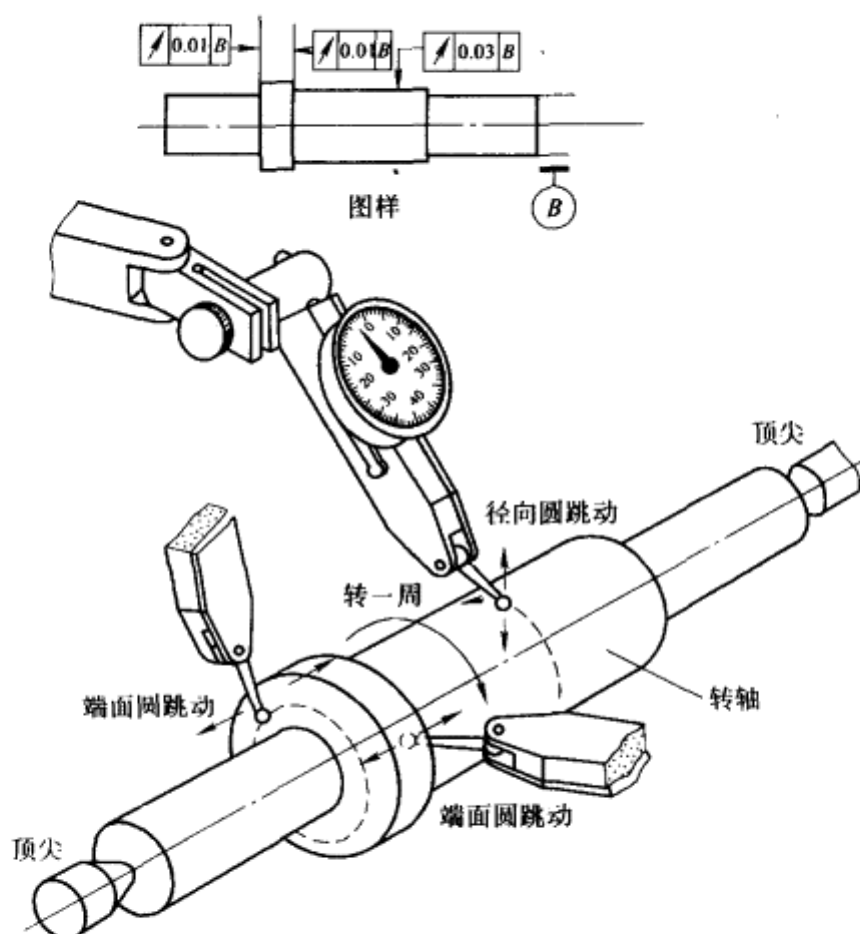


图 2-83 用杠杆百分表测量工件的径向和端面轴向跳动公差

会造成一定的测量误差，如对测量结果的精度要求较严格，则应对其进行修正。

设 N_b 为测量时从表上读得的数值， N_s 为实际的数值， α 为杠杆测头的轴线与被测表面所成的夹角（见图 2-84b），则

$$N_s = N_b \cos \alpha \quad (2-5)$$

α 角的大小可用目估的方法得到，在精密测量时则应精确计算。测出测量杆回转轴心至被测量表面的距离 s ，通过测量或查表得到所用百分表测头的半径 r 和杠杆短臂的长度 a ，见图 2-84b，然后用下式进行计算求得 $\cos \alpha$ 。

$$\cos \alpha = \cos \left(\arcsin \frac{s-r}{b} \right) \quad (2-6)$$

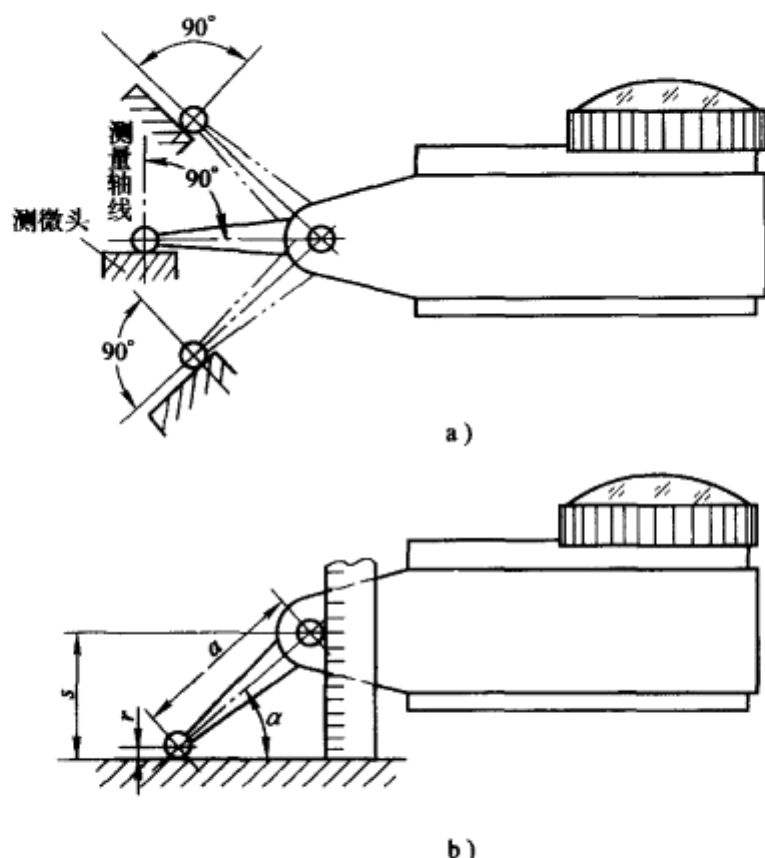


图 2-84 杠杆百分表测量杆的位置状态及产生的测量误差

a) 检定状态 b) 产生测量误差的测量状态

$\cos\alpha$ 称为杠杆百分表的修正系数。表 2-25 给出了一些数值，以方便使用。

表 2-25 杠杆百分表的修正系数

$\alpha / (^{\circ})$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
$\cos\alpha$	0.985	0.966	0.939	0.906	0.866	0.819	0.766	0.707	0.643	0.500

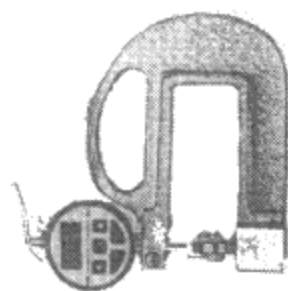
例如，使用杠杆百分表测量所得读数为 0.24mm ， $\alpha = 30^{\circ}$ 。试求准确的实际测量结果。

解：由表 2-25 查得，当 $\alpha = 30^{\circ}$ 时，修正系数 $\cos\alpha = 0.866$ 。根据修正公式 $N_s = N_b \cos\alpha$ 可得：

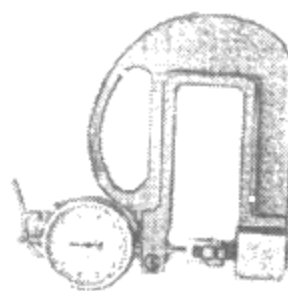
$$N_s = N_b \cos\alpha = 0.24\text{mm} \times 0.866 = 0.20784\text{mm} \approx 0.208\text{mm}。$$

答：准确的实际测量结果为 0.208mm 。

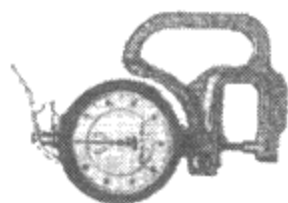
八、其他特殊用途的百分表和千分表



数显连续测厚规



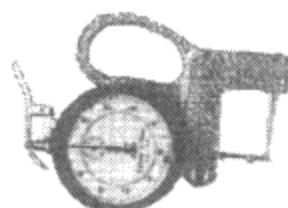
连续测厚规



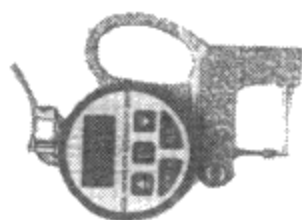
机械测厚规



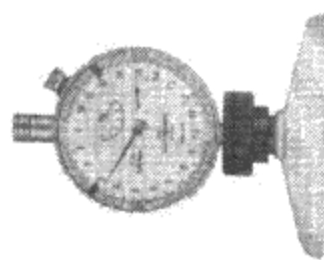
数显测厚规



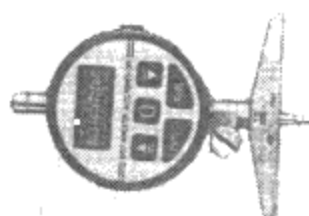
机械管厚规



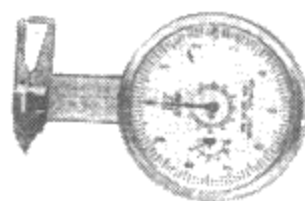
数显管厚规



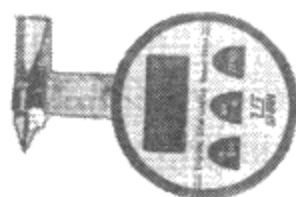
机械深度规



数显深度规



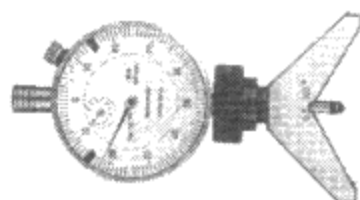
机械指示表卡规



数显指示表卡规



卡尺形指示表卡规



V形基座深度规

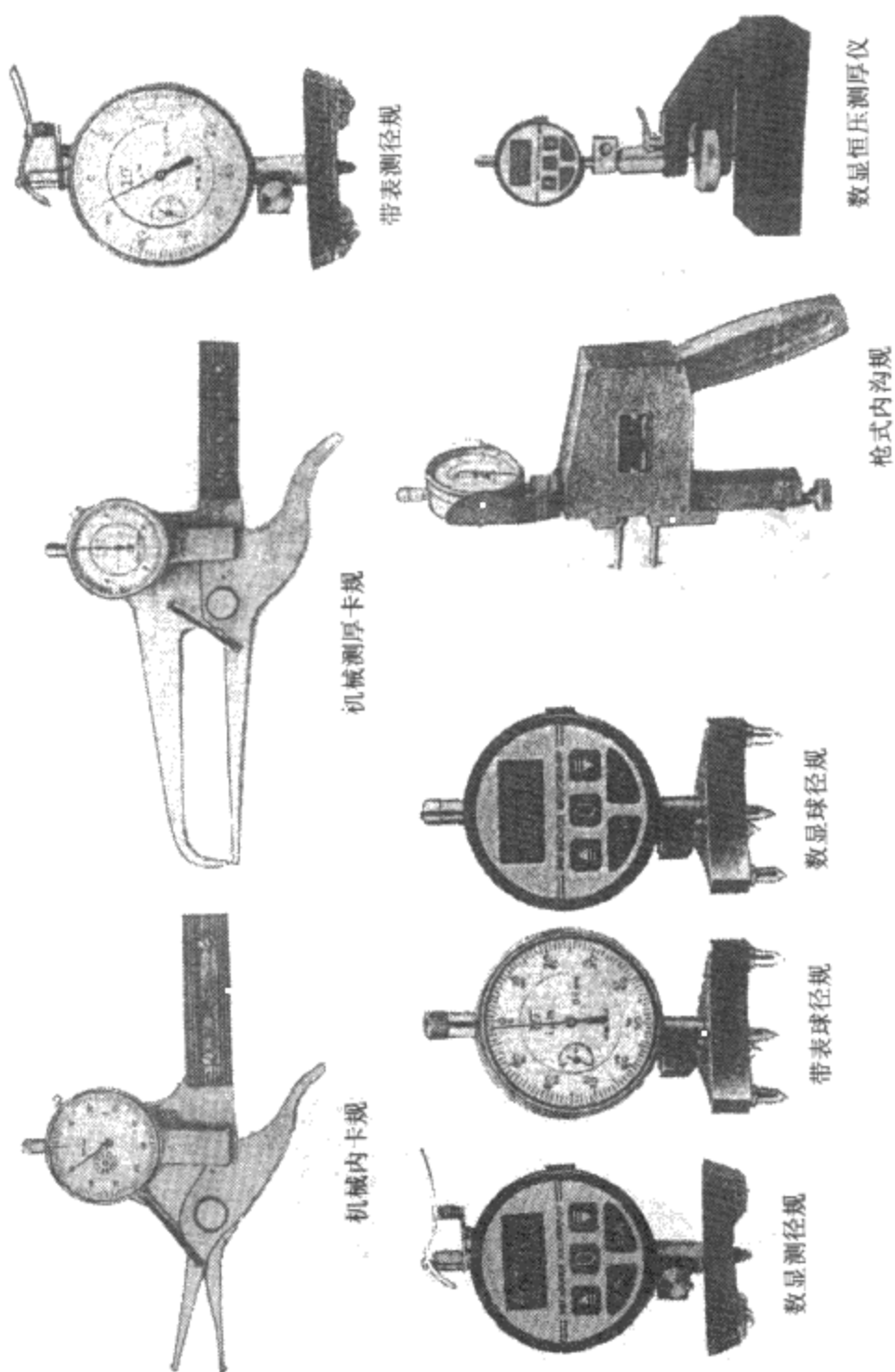
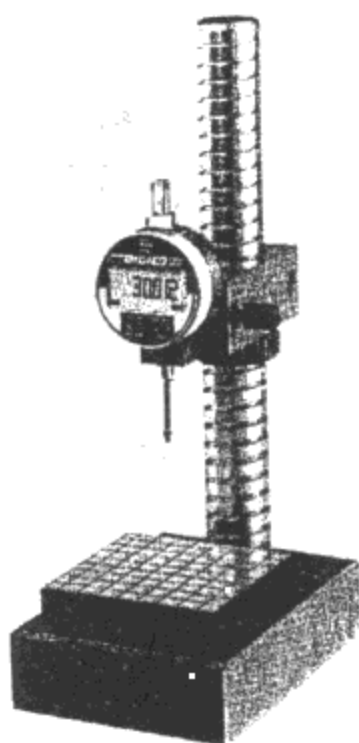
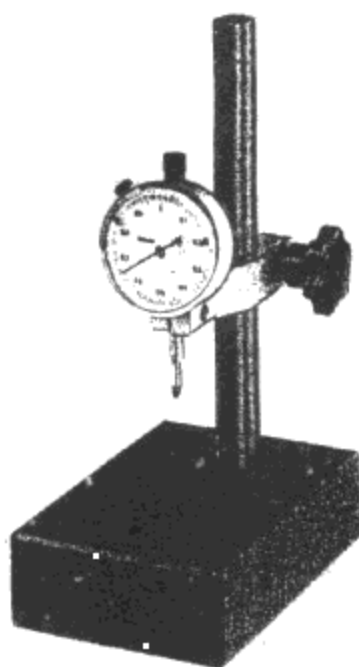


图 2-85 几种特殊用途的百分表和千分表



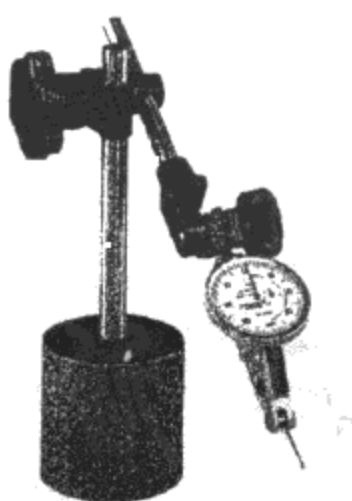
a)



b)



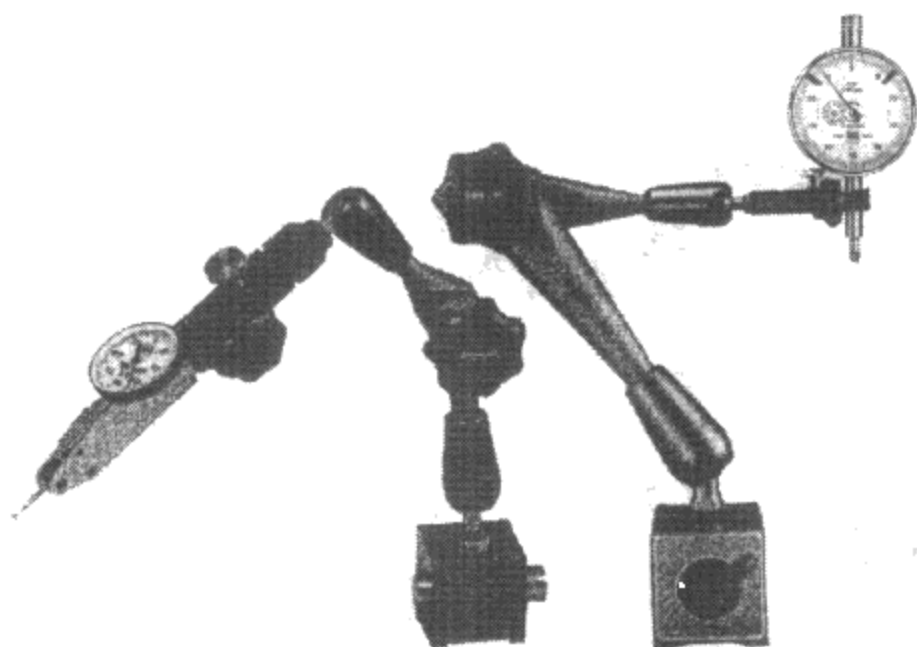
c)



d)

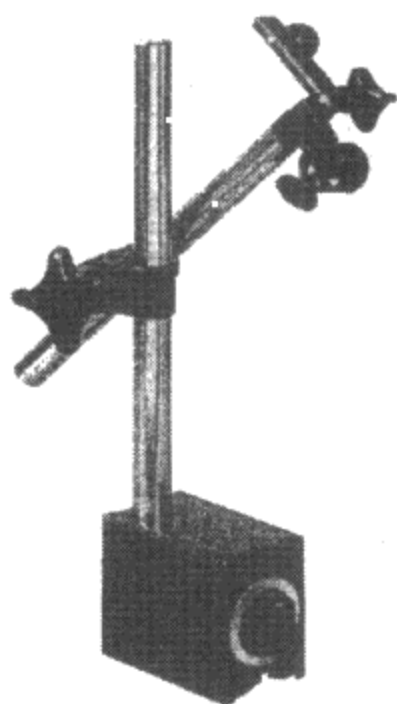
图 2-86 几种专用表架

- a) 固定台式支架之一 b) 固定台式支架之二
c) 磁性座支架之一 d) 磁性座支架之二

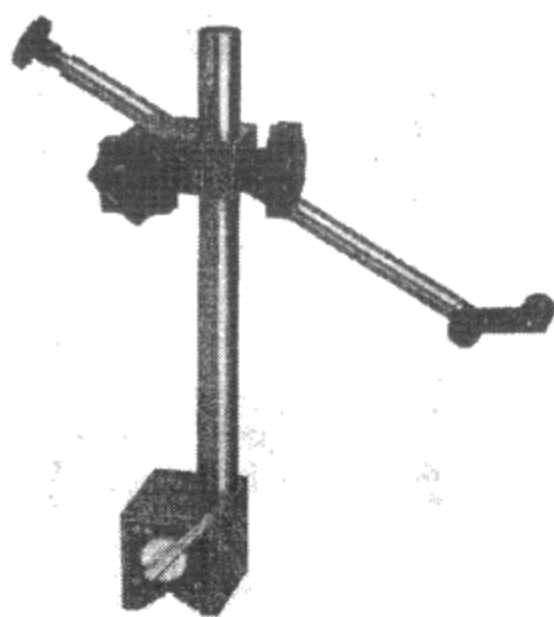


e)

f)



g)



h)

图 2-86 几种专用表架 (续)

e) 万向节磁性座支架之一 f) 万向节磁性座支架之二
g) 磁性座支架之三 h) 磁性座支架之四

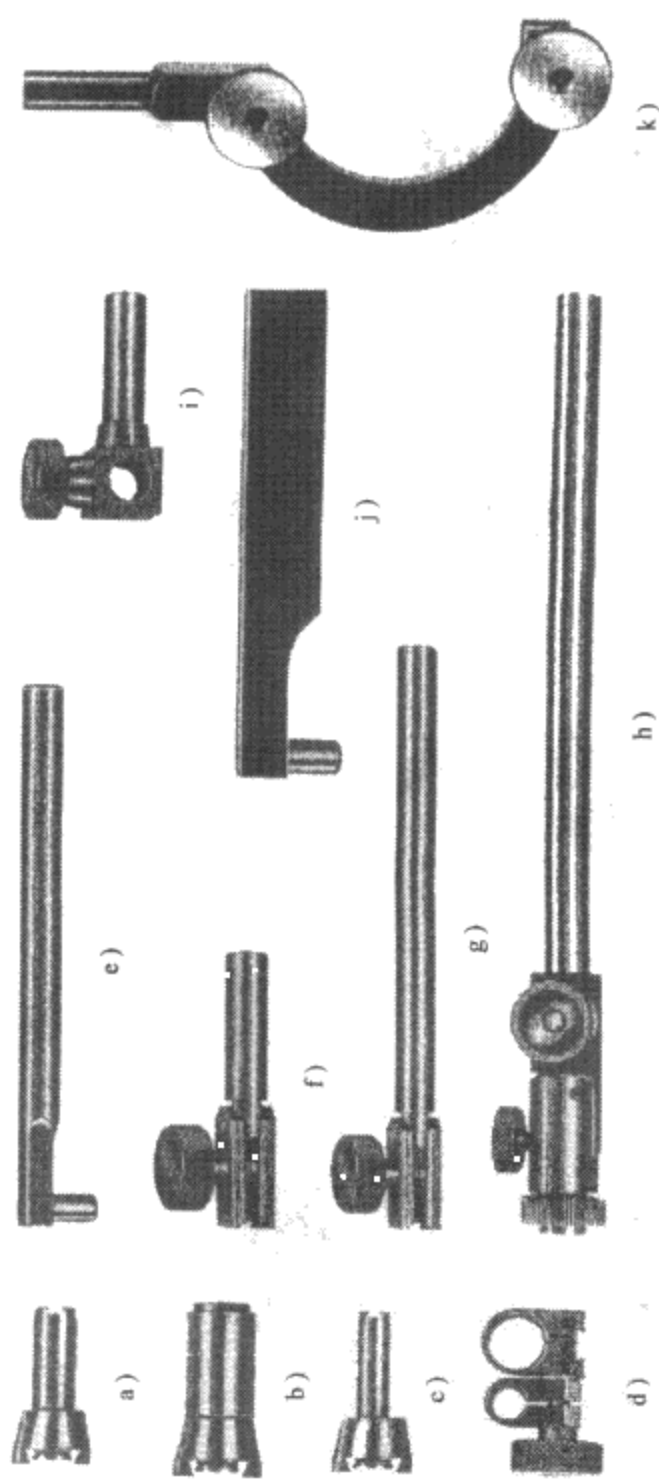


图2-87 几种安装表用附件

a) 燕尾槽夹紧棒之一 b) 燕尾槽夹紧棒之二 c) 燕尾槽夹紧棒之三 d) 双孔带燕尾槽夹头
e) 转接圆棒 f) 燕尾槽夹紧短摆动杆 g) 燕尾槽夹紧长摆动杆 h) 带微调夹紧长摆动杆
i) 带孔夹紧棒 j) 转接扁棒 k) LV型表定心装置

图 2-85 是几种特殊用途的百分表（摘自桂林量具刃具厂等生产厂的产品样本），也称之为 $\times \times$ 规，其相关参数、使用方法和注意事项等请参看各自的说明书。

九、各种专用表架和安装附件

图 2-86 和 2-87 分别是几种专用表架和安装附件（摘自中瑞量仪有限公司产品样本）。

第十一节 角 度 量 具

机械制造中，经常需要测量或检验工件的角度或锥度。测量角度和锥度的方法很多，并且和测量长度尺寸那样，也有绝对测量和相对测量之分，所用的量具也各式各样。在此，主要介绍常用的直角尺和万能角度尺。

一、直角尺

（一）直角尺的常见类型和使用参数

直角尺也被称为 90° 角，通常简称为角尺，在有些场合还被称为“靠尺”。它主要用于检验工件的垂直度及工件相对位置的垂直度，有时也用于划线。其结构形式有圆柱形、刀口形、矩形、铸铁型和宽座型等多种，其中宽座型在机械测量中最为常用，如图 2-88 所示。

宽座型直角尺由一个长边和一个短边构成，长边的前、后面和短边的上、下面都是工作面，长边的前面和短边的下面相互构成 90° 直角（外角），长边的后面和短边的上面也相互构成 90° 直角（内角）。

宽座型直角尺的结构简单、使用方便，可测量工件的内角和外角，在很多场合，还做为辅助测量工具或基准器具。

直角尺的精度分为 00 级、0 级、1 级和 2 级共四个等级。00 级和 0 级一般用于检测精密量具，1 级用于检测精密工件，2 级用于检测一般工件。电机机械检测用的直角尺一般为 1 级和 2 级。常用规格（高度 H ，单位 mm）有 100、160、200、250、315、400、500、630、800、1000 等。

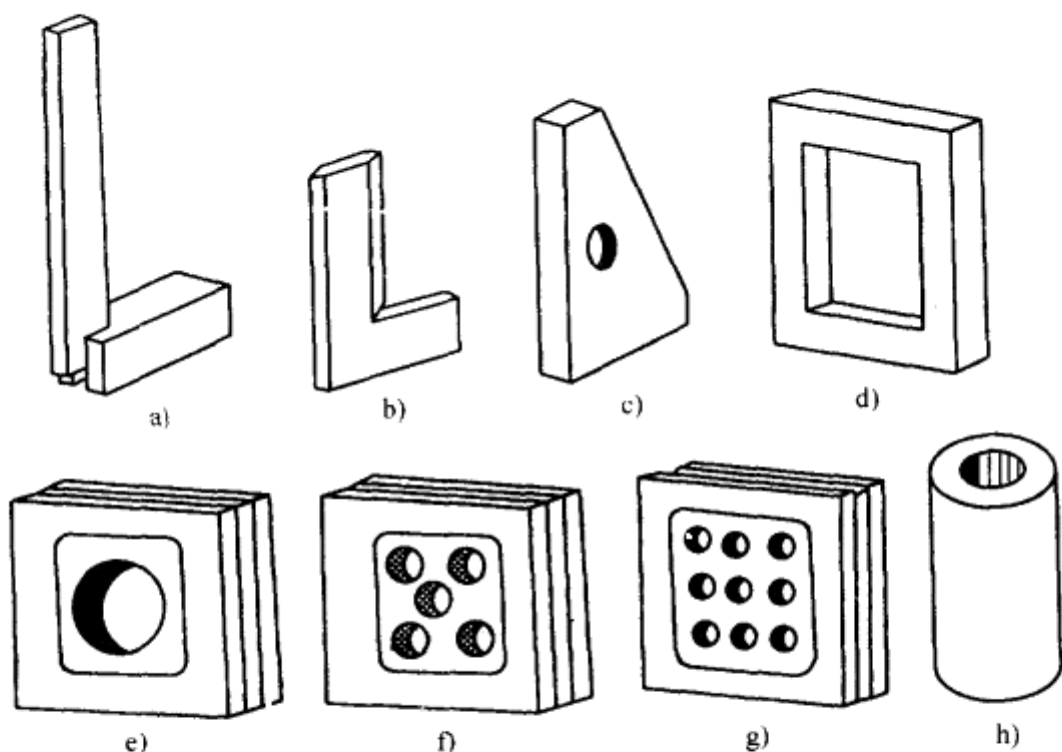


图 2-88 常用直角尺的外形

a) 宽座角尺 b) 刀口形角尺 c) 三角形角尺 d) 矩形角尺
e) I 型方形角尺 f) II 型方形角尺 g) III 型方形角尺 h) 圆柱形角尺

(二) 直角尺的使用方法

以测量检查两个面所形成的角度是否为 90° 来介绍直角尺的使用方法，请参考图 2-89。

(1) 使用前应检查各工作面和边缘是否被磕碰，有无锈蚀、磁性、裂纹和毛刺等缺陷，如有应进行修整。之后，将工作面擦拭干净。

(2) 检查内角时，使用直角尺的两个外边；检查外角时，使用直角尺的两个内边。应注意直角尺的安放位置不应歪斜，否则会造成错误的结果。

(3) 测量时，要使角尺的一条边贴住两个被测面中的一个面或基准面（例如平板的工作面）并轻轻地压住，然后再使另一个边与剩余的被测面接触。靠好后，根据后两个面之间的接触情况来判定被测两个面所形成的角度是否刚好为 90° 。检查可采用透光法。

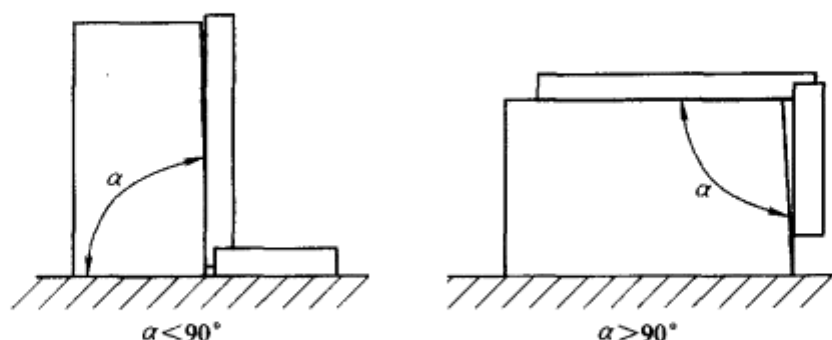


图 2-89 用直角尺测量检查两个面所形成的角度是否为 90°

(三) 用直角尺测量角度的计算方法

如图 2-90 所示, a 图为被测角度 $\alpha > 90^\circ$; b 图为被测角度 $\alpha < 90^\circ$ 。先用塞尺测量出最大间隙 δ 的长度 (图中的 CB), 设直角尺的塞尺测量点到被测角顶处的边长为 h (图中的 AB), 则夹角 β 可用下面的过程计算求得:

先由计算式 $\tan \beta = \frac{\delta}{h}$ 计算得出角 β 的度数, 然后用 90° 加上或减去 β 即得被测角度的数值, 即对图 2-90a 为 $\alpha = 90^\circ + \beta$; 对图 2-90b 为 $\alpha = 90^\circ - \beta$ 。

例如, $\delta = 0.68\text{mm}$, $h = 400\text{mm}$, 则

$$\tan \beta = \frac{\delta}{h} = \frac{0.68}{400} = 0.0017, \text{ 求反三角函数可得 } \beta = 6'$$

对图 2-90a, $\alpha = 90^\circ + \beta = 90^\circ + 6' = 90^\circ 6'$; 对图 2-90b, $\alpha = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 6' = 89^\circ 6'$

在零件图上, 直角的偏差一般是用垂直度来表示的, 例如上例的垂直度应为 $\frac{\delta}{h} = \frac{0.68}{400} = \frac{0.17}{100}$ 。

二、万能角度尺

(一) 万能角度尺的用途和结构形式

万能角度尺又被称为角度规、游标角度尺和万能量角器, 它是利用游标读数原理来直接测量工件角度或进行划线的一种角度量具。

国产的机械式万能角度尺分 I 型和 II 型两种结构型式, 分别如图 2-91a 和 2-91b 所示, 数显式的示例如图 2-91c 所示。

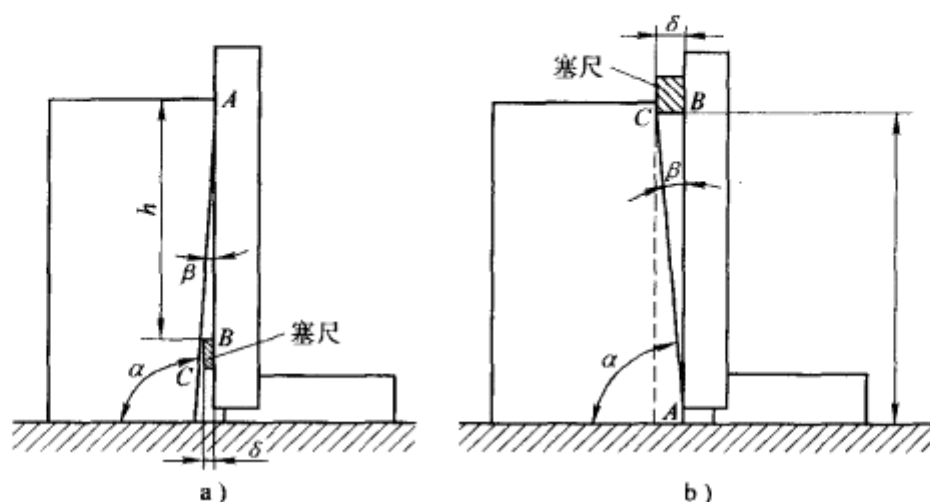


图 2-90 用直角尺测量角度

a) 被测角度 $\alpha > 90^\circ$ b) 被测角度 $\alpha < 90^\circ$

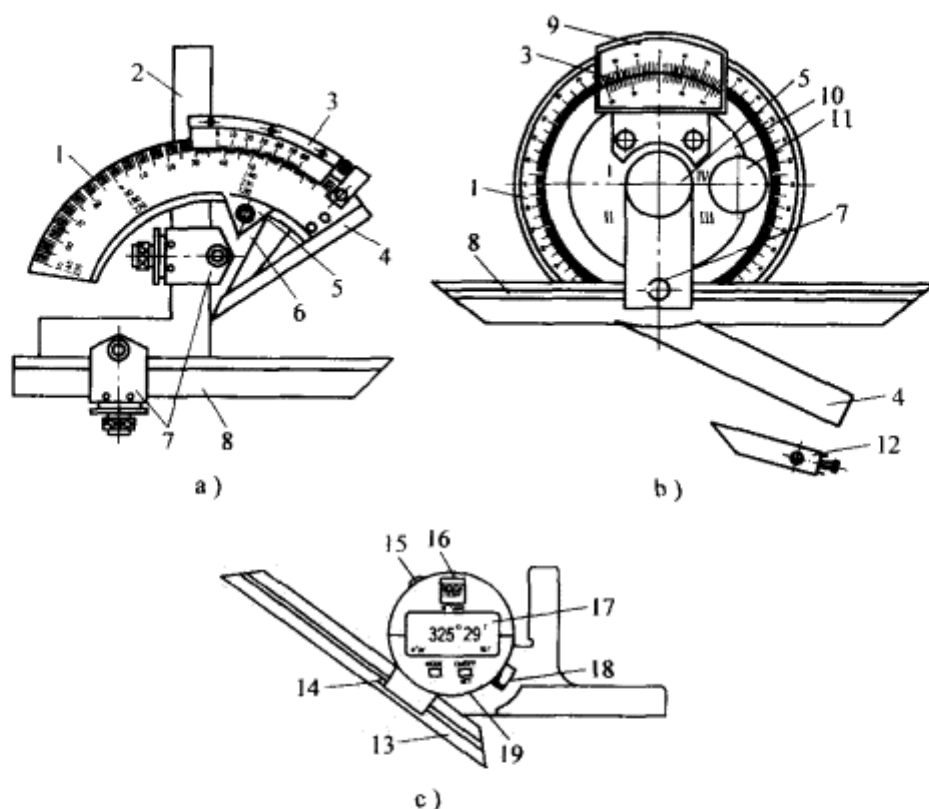


图 2-91 万能角度尺

a) I 型万能角度尺 b) II 型万能角度尺 c) 数显式万能角度尺
 1—主尺 2—直角尺 3—游标 4—基尺 5—制动头 6—扇形板 7—卡块
 8—直尺 9—放大镜 10—圆盘 11—微动装置 12—附加直尺 13—标尺
 14—标尺锁紧按钮 15—微调装置 16—SR232 端口
 17—多功能显示器 18—锁紧装置 19—电池盖

(二) 万能角度尺的使用参数

1. 万能角度尺的基本参数和尺寸

万能角度尺的基本参数和尺寸见表 2-26。

表 2-26 万能角度尺的基本参数和尺寸

类型	游标分度值	测量范围	直尺测量面	其他测量面
			公称尺寸/mm	
I	2', 5'	0 ~ 320°	≥150	≥50
II	5'	0 ~ 360°	200, 300	≥50

2. 万能角度尺的示值误差

无论制动头紧固与否，万能角度尺的示值误差都不应超过如下的规定：

(1) 2' 的角度尺为 $\pm 2'$ ；

(2) 5' 的角度尺为 $\pm 5'$ 。

(三) 万能角度尺的使用方法

1. 万能角度尺的读数方法

万能角度尺的读数方法与前面讲过的其他游标类量具相似，可分如下三步（以图 2-92 为例）：

(1) 先读“度(°)”的数值 看游标“0”线的左边，主尺上最靠近一条刻线的数值，读出被测角度数的整数部分，例如图 2-93 中为 16，即被测角度数的整数部分为 16°。

(2) 再从游标尺上读出“分(')"的数值 看游标上哪条刻线与主尺相应刻线对齐，可以从游标上直接读出被测角度数的分(')"数部分，即“分(')"的数值，例如图 2-92 中，游标上的 30' 刻线与主尺相应刻线对齐，故被测角度数的分(')"数部分为 30'。

(3) 将上述两部分相加得出被测角度数的实际数值，例如图 2-92 中显示的数值为 16°30'。

对于 I 型万能角度尺, 其主尺上基本角度的刻线只有 90 个分度, 如果被测角度大于 90° , 在读数时, 应该加上一个基数 (90° , 180° , 270°), 即要按如下规定:

被测角度在 $>90^\circ \sim 180^\circ$ 范围之内时, 被测角度 = 90° + 角度尺的读数;

被测角度在 $>180^\circ \sim 270^\circ$ 范围之内时, 被测角度 = 180° + 角度尺的读数;

被测角度在 $>270^\circ \sim 320^\circ$ 范围之内时, 被测角度 = 270° + 角度尺的读数。

因此, 把 $>90^\circ$ 的某些数值也标在主尺上, 请读数时注意不要记错。

2. 万能角度尺校对“0”位的方法

旋动微动装置, 使基尺与直角尺以及直尺三者接触于一点, 并使基尺与直角尺的测量面相互紧贴 (不透光), 看游标的“0”线与主尺的“0”线是否重合, 如果两条“0”线重合, 则说明“0”位正确, 否则说明“0”位不正确, 此时应该进行调整。

调整“0”位的方法是: 把游标背面的两个螺丝松开, 移动游标尺, 使它的“0”线与主尺的“0”线重合, 它的尾线与主尺相应的刻线也重合 (若不重合, 但不重合度在游标分度值的 $1/4$ 之内, 是允许的), 然后紧固螺丝, 再校对一次“0”位, 若符合要求, 则调整结束。

3. 万能角度尺的使用方法

以 I 型万能角度尺为例, 介绍其在 $0 \sim 320^\circ$ 内任何角度的测量方法。

(1) 测量时, 要根据被测工件被测部位的情况, 先调整好

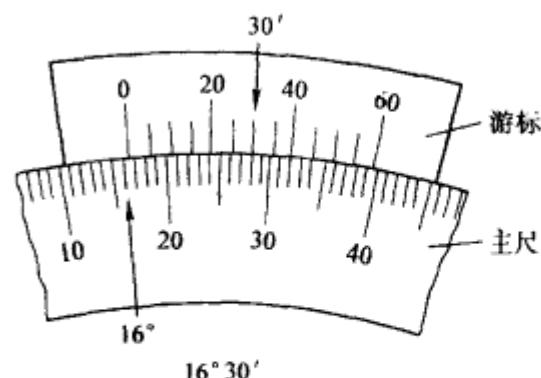


图 2-92 万能角度尺的读数示例

角度尺或直尺的位置，用卡块上的螺丝把它们紧固住，再来调整基尺测量面与其他有关测量面之间的夹角。此时，要先松开制动器上的螺帽，移动主尺作粗调整，然后再转动扇形板背面的微动装置作细调，直到两个测量面与被测量面密切贴合为止。最后，拧紧制动器上的螺帽，把角度尺取下来进行读数。

(2) 测量 $0 \sim 50^\circ$ 的角度 把角尺和直尺全部安装上。把工件的被测量部位放在基尺和直尺的测量面之间进行测量，如图 2-93a 所示。

(3) 测量 $50^\circ \sim 140^\circ$ 的角度 可把角尺卸下，把直尺装上，使它与扇形板连在一起。把工件的被测量部位放在基尺和直尺的测量面之间进行测量，如图 2-93b 所示。

也可不卸下角尺，只把直尺和卡块卸掉，再把角尺拉到下边来。把工件的被测量部位放在基尺和角尺长边的测量面之间进行测量，如图 2-93c 所示。

(4) 测量 $140^\circ \sim 230^\circ$ 的角度 把直尺和卡块卸掉，只装角尺，但要把角尺推上去，直到角尺短边与长边的交线和基尺的尖棱对齐为止。把工件的被测量部位放在基尺和角尺短边的测量面之间进行测量，如图 2-93d 所示。

(5) 测量 $230^\circ \sim 320^\circ$ 的角度 把角尺、直尺和卡块全部卸掉，只留下扇形板和主尺（带基尺）。把工件的被测量部位放在基尺和扇形板测量面之间进行测量，如图 2-93e 所示。

万能角度尺的测量示例如图 2-94 所示。

(四) 使用和保管万能角度尺时应注意的事项

(1) 测量时，应使角度尺的两个测量面与被测工件的表面在全长上保持良好的接触，以免引起测量误差。

(2) 要防止对角度尺产生磕碰，要注意保护各测量面，安装角尺和直尺时，应避免卡块螺钉压在测量面上。

(3) 使用完毕后，要松开各紧固零件，取下直尺和角尺，擦净后在各测量面上涂防锈油，然后将其装入专用的盒内保存。

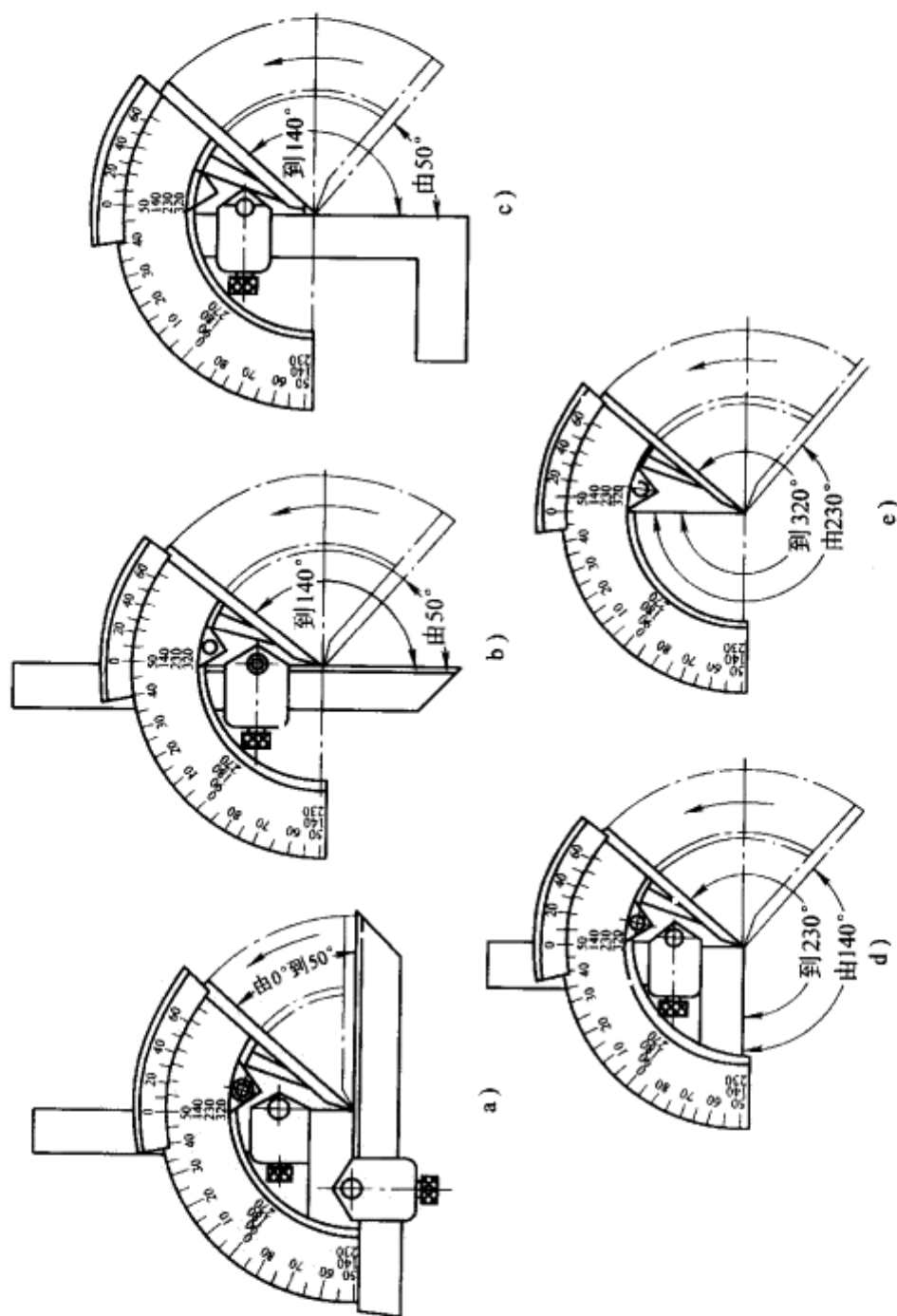


图2-93 万能角度尺的测量方法

a) 测量0~50° 之间的角度 b) 测量50~140° 之间的角度方法之一
c) 测量50~140° 之间的角度方法之二 d) 测量140~230° 之间的角度 e) 测量230~320° 之间的角度

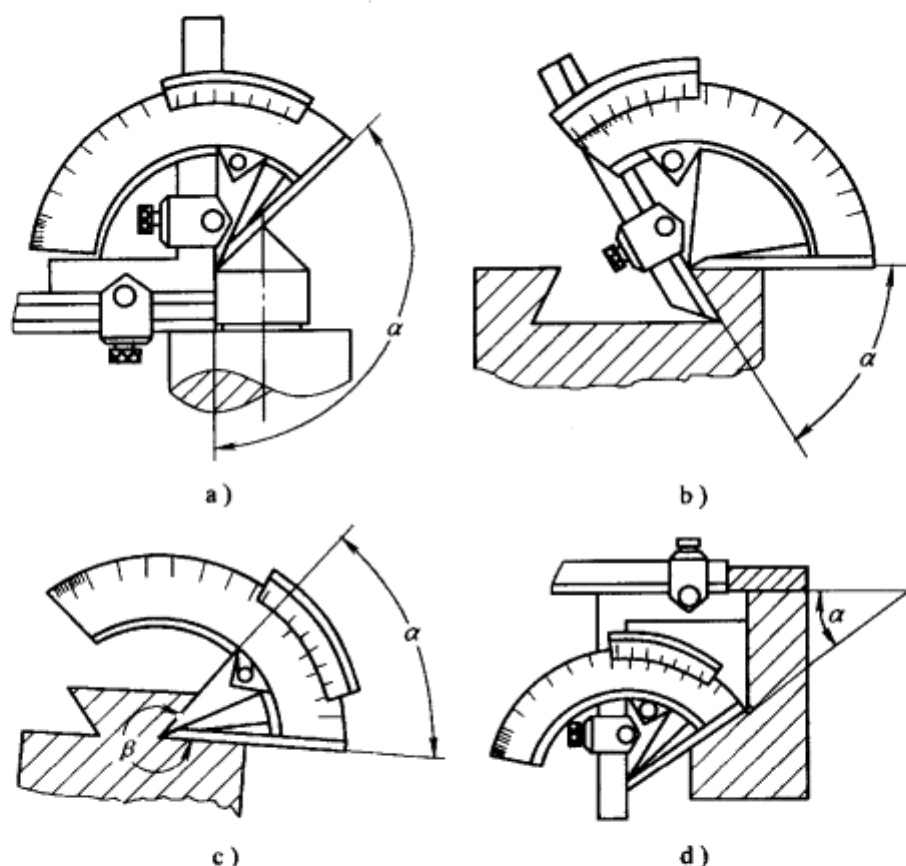


图 2-94 用万能角度尺测量角度值的示例

a) 测量外角示例之一 b) 测量内角示例之一
c) 测量内角示例之二 d) 测量外角示例之二

第十二节 二维和三维坐标测量设备简介

对于机械部件，经常需要测量各相关面或线之间的位置度数值或误差。有些数据（例如电机轴伸的圆跳动）可以使用前面介绍过的普通量具进行测量，直接得到或进一步计算得到要求的结果；有些则需要附加一定的专用辅助工具（例如测量电机端盖轴承室和止口之间的同轴度数值），这样一方面使测量时间相对较长，另一方面是测量结果受辅助工具精度的影响较大。而专用的二维或三维坐标测量设备则较好的解决了上述问题。但由于这些测量设备价格很高，并且占地面积较大，使用和维修技术较复杂，使得它们较难进入一般的中小企业中。所以在此只以我国

西安爱德华测量设备有限公司 (EH 公司) 的产品作一些简单的介绍, 使读者有一个感性的认识。

一、非接触式二维坐标测量机

(一) 仪器的特点

U-SCOPE 2010B 型非接触式二维坐标测量机的外形如图 2-95 所示。

它的特点是采用花岗岩基座和立柱, 十字工作台机械结构, 精密光栅测量系统, 高分辨率工业 CCD 摄像测量系统, 高品质测量物镜及透射光、反射光、侧面光照明系统, 功能完备的通用几何量测量软件及质量可靠的品牌 PC 机有机地融为一体, 使其具备了体积小、重量轻、稳定可靠、操作简便、功能齐全、适用范围广、经济性强等优点。是万能显、投影仪、显微镜的升级换代产品。

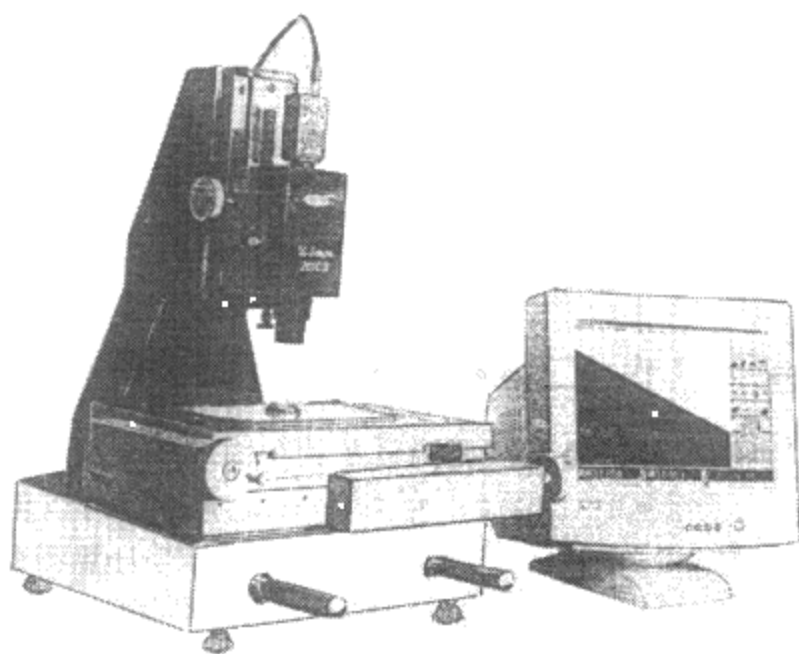


图 2-95 U-SCOPE 2010B 型非接触式二维坐标测量机

(二) 基本功能

自动瞄准、自动测圆、自动测距、峰谷扫描、明/暗中心坐

标自动计算、柔性定位、坐标变换、组合元素、元素/坐标系的存取及形位误差测量等。

(三) 主要技术指标

- (1) 测量范围 $200\text{mm} \times 100\text{mm}$;
- (2) 允许工件重量 15kg ;
- (3) 综合误差 单轴 $(2.5 + L/100) \mu\text{m}$; 平面 $(3.5 + L/100) \mu\text{m}$, 其中 L 为被测长度 (单位为 mm);
- (4) 使用环境 温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$; 湿度 $45\% \sim 65\%$ 。

二、复合式三坐标测量机

(一) 仪器的特点

UCMS866 型复合式三坐标测量机的外形如图 2-96 所示。

它的特点是采用花岗岩基座, 双层移动工作台、横梁及 Z 轴, 工作台移动, 光杆传动, 高精度气浮导轨, 直流伺服电机, 中央驱动, 气动平衡 Z 轴。

(二) 基本功能

将现代的光学测头、机械式测头及激光扫描测头集成于同一台测量机上, 可完成几乎所有的几何测量任务。可编程控制光学照明技术, 实现对工件的自动扫描寻边, 表面点自动聚焦采集、自动测圆、自动对比。对微小的尺寸、薄片及刀口轮廓、已变形或不能接触的工件、工件表面图形、字符等方面的测量具有其优越性, 可完成对任何曲面的扫描测量。

(三) 主要技术指标

- (1) 测量范围 $800\text{mm} \times 600\text{mm} \times 600\text{mm}$;

- (2) 允许工件重量 玻璃工

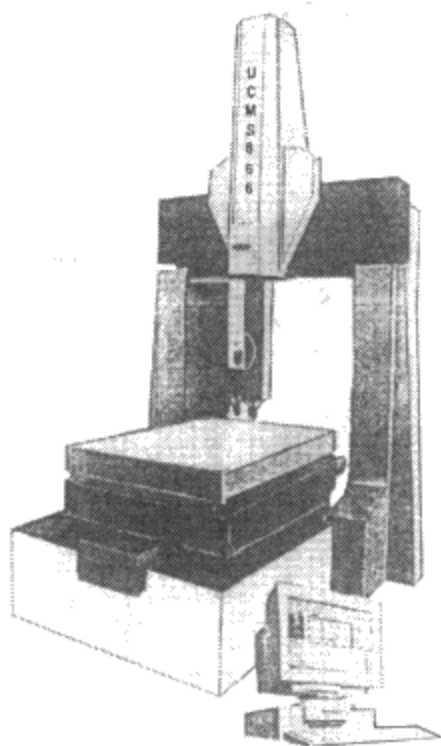


图 2-96 UCMS866 型
复合式三坐标测量机

作台 30kg; 花岗岩工作台 350kg;

(3) 测量示值误差 $E = (3.5 + L/100) \mu\text{m}$; $R = 2.5 \mu\text{m}$,
其中 L 为被测长度 (单位为 mm);

(4) 使用环境 温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$; 湿度 55% ~ 65%。

三、接触式三坐标测量机

(一) 仪器的特点

MCMS543 型和 MCMS1086 型接触式三坐标测量机的外形如图 2-97 所示。

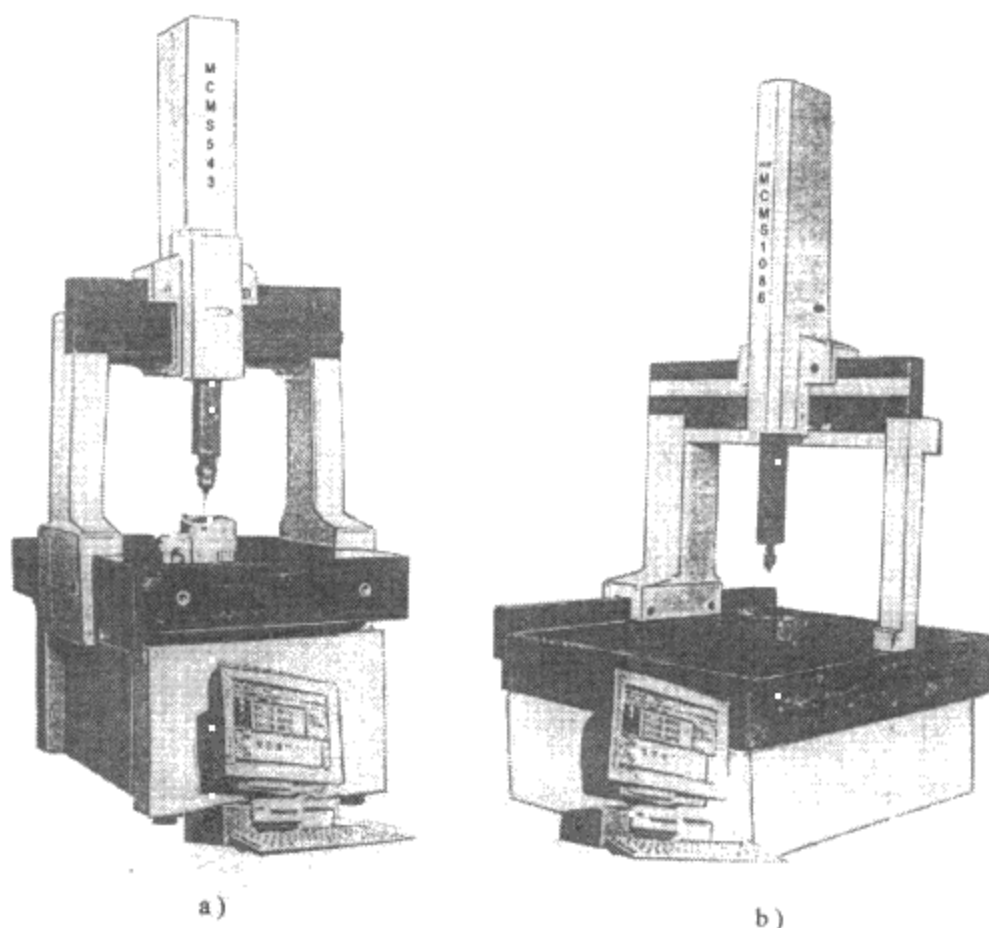


图 2-97 接触式三坐标测量机
a) MCMS543 型 b) MCMS1086 型

它们的特点是采用花岗岩的导轨和工作台, 移动桥式结构, 保证整机机械系统的精确稳定, 无摩擦的全气浮支承导轨, 最大

限度地减少运动中的角摆，自粘式带状金属光栅尺与导轨、横梁及 Z 轴花岗岩基体融为一体，使其三轴具有同样的温度膨胀系数，从而增加了仪器的稳定性。

（二）基本功能

利用坐标测量技术、计算机测控技术及最先进的动态测量系统进行工件表面点的采集和数据处理。可使用双旋转测头及不同测杆、测头的组合，配合各种通用和专用测量软件，方便地实现对三维工件的测量，并可根据需要加装 CCD 光学测头和激光扫描测头，以扩展其功能和应用领域。

主要用于对各种机械部件的三维测量。

（三）主要技术指标

（1）测量范围 MCMS543 型：500mm × 400mm × 300mm；MCMS1086 型：1000mm × 800mm × 600mm。

（2）允许工件重量 MCMS543 型：200kg；MCMS1086 型：800kg。

（3）测量不确定度 MCMS543 型：单轴 $(2.3 + L/300) \mu\text{m}$ ，空间 $(2.8 + L/250) \mu\text{m}$ ；MCMS1086 型：单轴 $(3.0 + L/250) \mu\text{m}$ ，空间 $(4.0 + L/200) \mu\text{m}$ 。其中 L 为被测长度，单位为 mm。

（4）使用环境 温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ；湿度 55% ~ 65%。

四、手动接触式三坐标测量机

（一）仪器的特点

MCMS654S 型手动接触式三坐标测量机的外形如图 2-98 所示。其结构特点与上述 MCMS543 型和 MCMS1086 型接触式三坐标测量机基本相同。

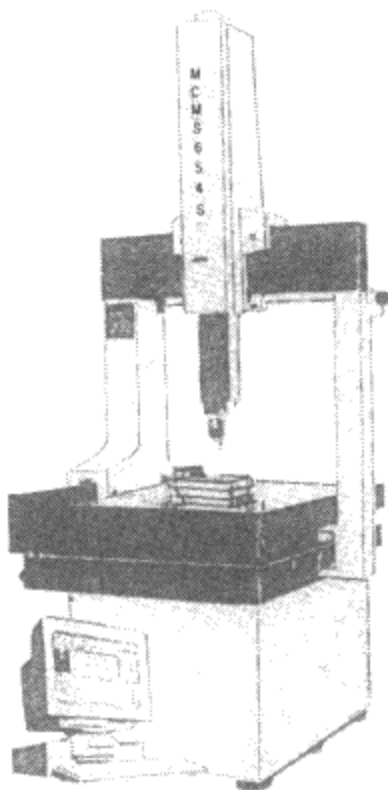


图 2-98 手动接触式
三坐标测量机

（二）基本功能

该种类型的基本功能与上述 MCMS543 型和 MCMS1086 型接触式三坐标测量机基本相同，不同点在于它的一些操作需要人工来完成，也因为如此，使得它的结构相对较简单、价格较低。

（三）主要技术指标

（1）测量范围 $600\text{mm} \times 500\text{mm} \times 400\text{mm}$

（2）允许工件重量 500kg

（3）测量不确定度 单轴： $(4.0 + L/200) \mu\text{m}$ ；空间 $(4.5 + L/150) \mu\text{m}$ 。其中 L 为被测长度（单位为 mm ）。

（4）使用环境 温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ；湿度 $55\% \sim 65\%$ 。

第三章 专用量具

第一节 概 述

一、专用量具的定义、分类和用途

专用量具是指那些只能测量一个或几个（一般为一个）量值，并且只能适用于一个或几个（一般为一个）测量对象的量具，由于其结构较简单，所以制造技术和要求也较简单，不一定成系列和规范化，可由专业生产企业制造，使用单位在有能力时也常常自行制造。

专用量具中，有很大一部分被称之为“量规”。量规的结构形式很多，根据其用途的不同，可分为工作量规、验收量规和校对量规，本书将要介绍的主要是验收量规；根据被检验工件的特点不同，还可分为光滑极限量规、直线尺寸量规、圆锥量规、同轴度量规、孔位置度量规、螺纹量规等。

光滑极限量规包括卡规、塞规两大类。国家标准《光滑极限量规》（GB/T1957—81）和《光滑工件的检验》（GB/T3177—82）规定了光滑极限量规的制作标准和用于检验的相关要求。

在很多情况下，专用量具不是用来得到准确的测量值，而是用来检查相关量是否符合有关要求，例如，对于工件的长度尺寸，是检查其是否在公差允许的范围之内，或者说是否在允许的极限尺寸之内。因此，这种类型的通用量具又常被称为“极限量规”，例如检查外尺寸的“卡规”，检查内尺寸的“塞规”、“杆规（又称为量棒）”、“键规”等等。

二、专用量具“过端”和“止端”的定义和使用原则

大多数被称之为“ $\times \times$ 规”的通用量具都会按被检查工件的公称尺寸（或称为名义尺寸）和公差带数值，设置两对测量

面（或称为工作面）。其中一对测量面之间的距离为被检查工件的合格尺寸（在公差带以内的尺寸），即所谓“过端”或“通端”；另一对测量面之间的距离为超过被检查工件合格尺寸的尺寸（超过公差带的尺寸），即所谓“止端”。

对于检查外尺寸（例如轴的直径和长度）的量规一般称作“卡规”，其“过端”尺寸是被检尺寸的“上极限值”，也就是说“最大允许值”（实际要略大于最大允许值）；其“止端”尺寸是被检尺寸的“下极限值”，也就是说“最小允许值”（实际要略小于最小允许值），如图 3-1a 所示。

对于检查内尺寸（例如孔的直径和键槽的宽度）的量规，其“过端”尺寸是被检尺寸的“下极限值”（实际要略小于最小允许值），也就是说“最小允许值”；其“止端”尺寸是被检尺寸的“上极限值”，也就是说“最大允许值”（实际要略大于最大允许值），如图 3-1b 所示。

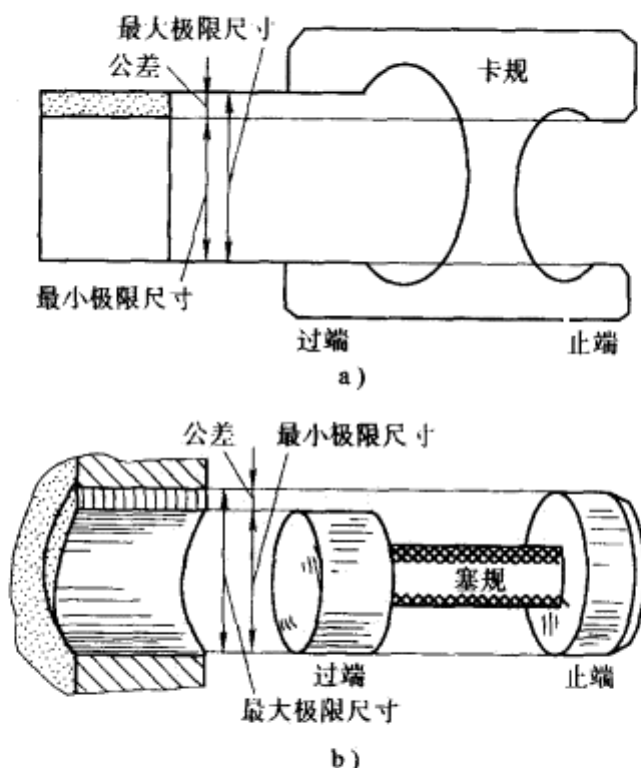


图 3-1 量规的过端和止端尺寸与被检尺寸的关系

a) 检查外尺寸量规的过端和止端尺寸 b) 检查内尺寸量规的过端和止端尺寸

用于检查外尺寸的量规的两对测量面一般设置在同一块骨架上；用于检查内尺寸的量规的两对测量面一般分别设置在一个骨架上，组成一副。

在检查尺寸时，遵循一个判定被检尺寸合格的原则，叫作“过端过，止端止”。反之，若“过端不过或止端不止”或“过端过，止端也过”，则说明被检尺寸不合格，即超出了下极限或上极限。

专用量具结构简单、造价低、不易损坏、使用方便，并且不易出现人为读数错误等问题。在检查批量生产的工件时，和通用量具相比具有较大的优势；不足之处是不能定量地得到测量的准确数值。

三、专用检测工装

专用检测工装是指那些为完成某些检测项目而特制的工装或辅助设备，例如为完成电机地脚安装孔 $A/2$ 尺寸检测时所需要的专用托板、测量电机端盖止口和轴承室之间同轴度所用的胎具等。

第二节 测量外尺寸的光滑量规——卡规（卡板）

一、卡规的用途和常用类型

（一）卡规的用途

卡规又被称为“卡板”，是用来检查外尺寸是否合格的专用量具，属于“光滑极限量规”的范畴。

（二）常用卡规的类型

卡规的分类依据是其用途。有检查圆柱形（例如轴和圆盘等）外圆直径的马蹄形卡规、测量两外端面之间距离的 H 形和门形长度卡规等。另外，将过端和止端设置在同一块骨架的两边时，叫作双头卡规，设置在同一块骨架的一边时，叫作单头卡规，如图 3-2 所示。

一般的卡规两对测量面（或称为工作面）中，一对测量面之间的距离是被检尺寸的下极限，称为“止端”；另一对测量面

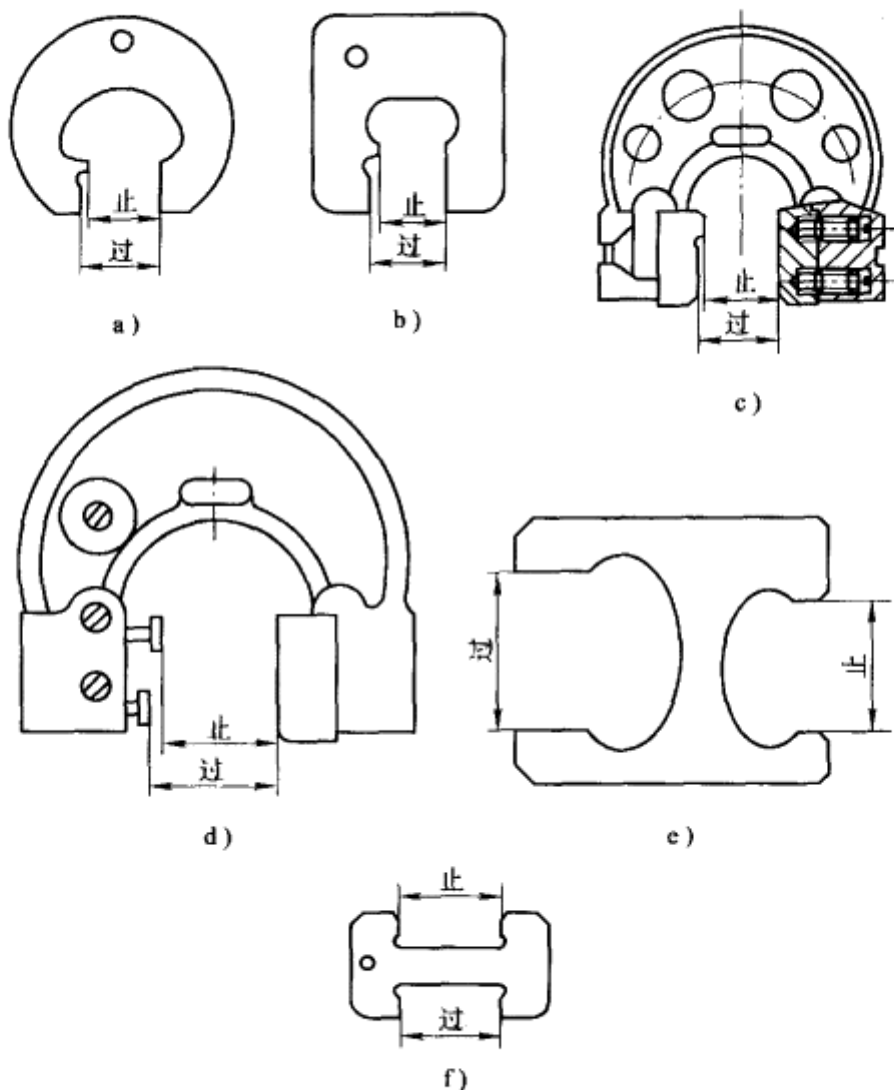


图 3-2 常用卡规

- a) 马蹄形单头卡规 b) 方形单头卡规 c) 铸造的镶钳口单头卡规
d) 可调卡规 e) 方形双头卡规 f) H 形双头卡规

之间的距离是被检尺寸的上极限，称为“过端”或“通端”。

对于双头卡规，为了便于识别其过端（通端）和止端，制造时会采用一些措施，例如将其过端的两个外角做成圆角，止端的两个外角做成 45° 的倒角（有些制造单位的规定可能与此不同甚至相反，应注意查看所用量具使用说明中的规定）。

二、卡规的使用方法

（一）用卡规检查圆柱形工件的直径尺寸

检查圆柱形工件的直径尺寸时，使用马蹄形卡规。

用卡规的过端检查时，使被检查的轴水平放置。应尽可能地使卡规从轴的上方（竖直方向）放入，用手拿住卡规，使其垂直于被测轴的轴线，手不要用力，靠卡规本身的重力从轴的外圆上滑过去，如图 3-3a 所示。对于基本尺寸大于 100mm 的卡规，其重量较大，为了防止测量力过大影响检查的准确性（止端在较大压力下可能止不住），还应通过手向上提等方法使其压力减少一部分，需要减少的力的数值标注在卡规上。

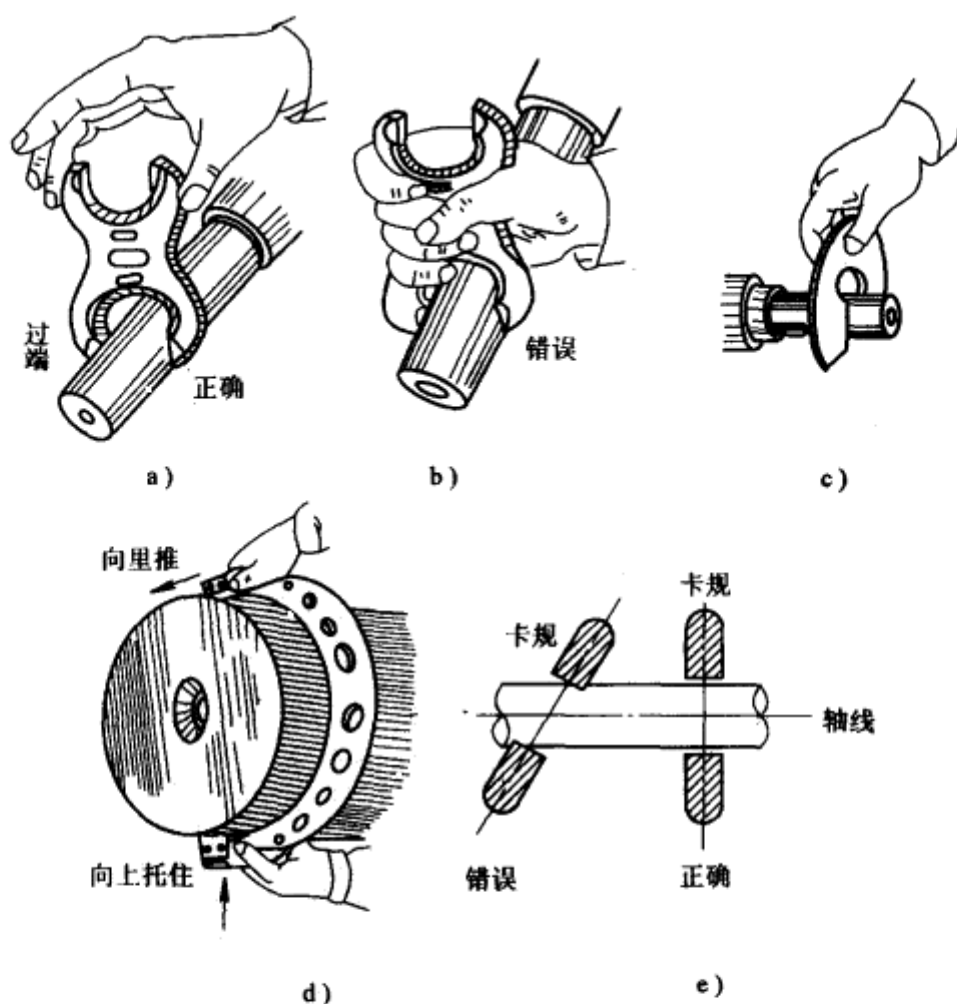


图 3-3 用马蹄形卡规检查轴的直径

- a) 凭卡规的自重从轴的上方放下 b) 错误的做法——使劲压卡规
c) 单手操作小卡规 d) 双手操作大卡规 e) 卡规与轴线的测量关系

若从轴的侧面（水平方向）放入卡规，则要掌握好推进的力量，要轻轻地推入，如图 3-3d 所示。切忌用力过猛和过大，防止卡规两个工作面受较大的力而变形张开，使止端的尺寸变大而起不到控制超出上公差的不合格工件的作用，并且可能使卡规受到损伤，影响其使用功能的正常发挥。

（二）用卡规检查外直线尺寸

检查工件的外直线尺寸时，可使用 H 形卡规（双头卡规）和门形卡规（单头卡规）。

这些卡规的使用方法和注意事项与前面讲述的外圆直径卡规基本相同。应该格外注意的是，测量两个端面之间的距离时，要保持卡规的测量面与被测量平面在水平方向和垂直方向都要平行，如图 3-4 所示。

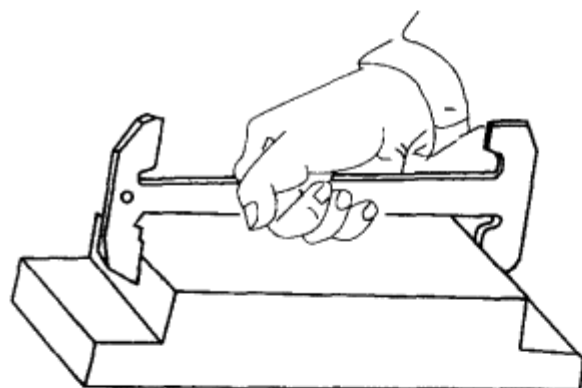


图 3-4 用 H 形双头卡规检查
两端面之间的距离

第三节 检查内尺寸的光滑量规——塞规

一、检查内尺寸光滑量规的分类

检查内尺寸的光滑量规种类较多，一般按其用途进行分类，常用的有：检查较小圆孔内径的孔用光滑塞规（有圆柱形和圆锥形两种）；检查矩形凹槽宽度的键规；检查较大圆孔内径或其他形状内孔某两对面距离的杆规（常称为量棒）等。检查圆柱形孔内径的光滑塞规有将过端和止端装置在一个手柄两端的双头型和通规、止规单独制作的单头型两大类。根据其工作面直径的大小，其工作面有全面（整个圆柱面）和非全面（部分圆柱面，一般分对称的三部分或两部分）之分。对直径较小（ $\phi 1 \sim 6\text{mm}$ ）的圆柱型塞规常被称作“针式塞规”，如图 3-5 所示。

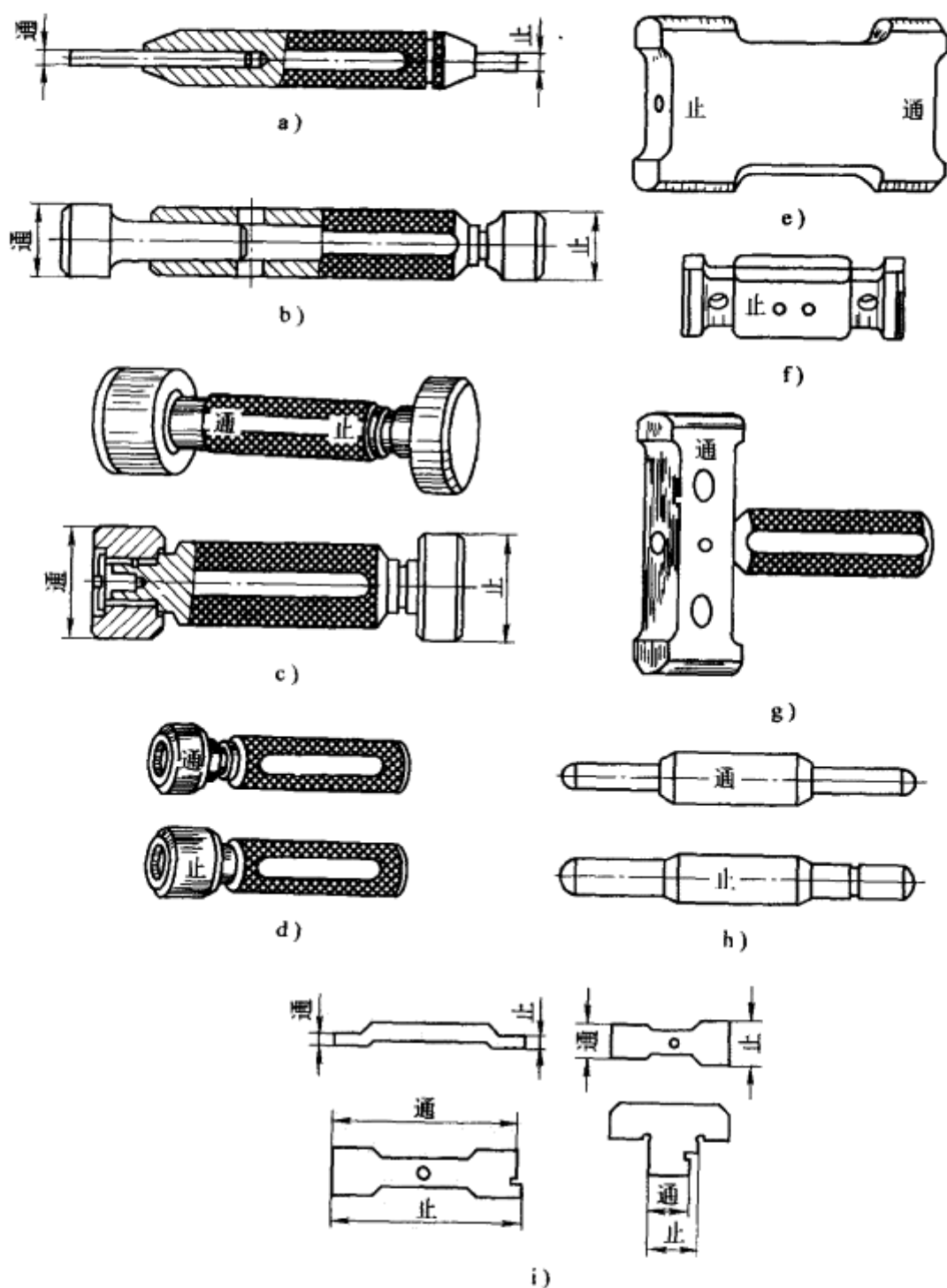


图 3-5 检查内尺寸的量规

- a) 针式塞规 b) 锥柄测头圆柱塞规 c) 双头套式塞规 d) 单头套式塞规
 e) 板状非全形塞规 f) 带护板的非全形塞规 g) 带手柄的非全形塞规
 h) 球端杆规 (量棒) i) 键宽、深量规

二、检查圆柱孔内径用的光滑塞规

(一) 通端（过端）和止端的区分

通常采用以下几种措施来区分塞规的通端（通规）和止端（止规）：

(1) 用字母 T 表示通端，Z 表示止端。

(2) 制造时，在靠近止端的一头手柄上或者止端测头的锥柄上，车出一个环形窄槽。

(3) 通端的工作面比止端长出 $1/3 \sim 1/2$ 左右。

(二) 使用前对所用塞规的检查和要求

(1) 检查塞规的工作面，不得有锈迹、毛刺、划痕、黑斑等缺陷。

(2) 检查塞规上的标志，该标志应正确、清楚，与被检查的工件图纸标注尺寸（含公差带）符号、代号或标记相符。

(3) 检查塞规的检定合格证书（或卡片），所用塞规必须在检定周期之内。经检定不合格的塞规应进行报废处理，不得使用。

(三) 使用方法和注意事项

以下内容请参看图 3-6。

(1) 将被检查的圆孔擦拭干净后，手握塞规，尽可能地保持塞规的轴线与被检查的圆柱孔轴线重合。

(2) 先将塞规的过端对准被检查的圆柱孔，轻轻地用力将塞规过端推入孔内，然后拉出。

若此时推动和拉出时，手感用力不算大，或者说感觉较顺利，则说明被检查圆孔的内径尺寸在公差带之内；若须用较大的力才能推进和拉出，则说明被查内径尺寸在公差带下限附近（即接近下限）；若用很小的力就能推进和拉出，甚至于靠塞规的自重就能滑入被检孔内，则说明被查内径尺寸在公差带上限附近（即接近上限），甚至于超过了上限（此孔超过了合格标准）。

(3) 再将塞规的止端对准被检查的圆柱孔，若不能进入，

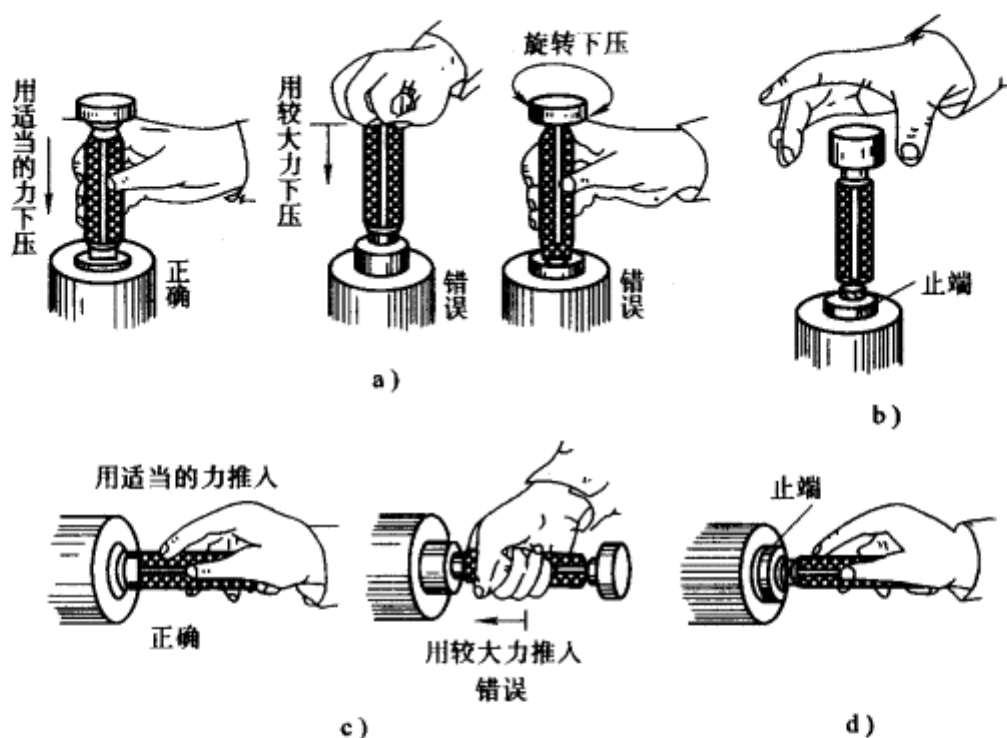


图 3-6 塞规的使用方法

a) 垂直检查过端 b) 垂直检查止端 c) 水平检查过端 d) 水平检查止端

则说明被检查的圆孔内径尺寸未超过公差带的上限值，合格；若能进入（可能须用一定的推力和拉力），则说明被检查的圆孔内径尺寸超过公差带的上限值，不合格。

(4) 检查通孔时，塞规的“止端”应分别从孔的两头进行检查，都不通过；“过端”应在孔的整个长度内通过。此时方认为被检孔合格。

(5) 将“过端”（过规或通规）塞入被检孔内时，塞规轴向不得倾斜，否则容易发生测量误差，也可能把塞规卡在孔内；向外拉拔塞规时，也要使塞规顺着孔的轴线方向。

(6) 将塞规塞入圆孔内之后，不许转动，以防止塞规受到不必要的磨损。

(7) 一般不允许检查刚刚加工完的孔，如必须检查，则应动作迅速，即将过端（通规）塞入孔内后，要尽快地将其拉出。否则就有可能因工件冷却使孔内径缩小，将塞规“咬”在孔内，

难于拔出。

若遇上述情况，不要采取使用普通榔头敲、打或摔、拧塞规等强行措施，而要用木榔头轻轻敲或使用拉拔器等专用工具进行处理。必要时，可将工件稍稍加热后，即可将塞规很容易地拔出。

三、检查圆锥孔内径和锥度用的光滑塞规

检查圆锥孔内径和锥度用的光滑塞规被称作圆锥塞规，是锥体量规中的一种。

在塞规测量面的较粗端，有一个台阶形的缺口或两条环形刻线，缺口的间距为 m ， m 值就是工件因加工误差所引起的基面距（用于确定相互配合的内、外圆锥轴向的相互距离）变动的允许值，如图 3-7 所示。

将塞规塞入被检查的锥形孔内以后，如果锥形孔的大口端面刚好处于塞规缺口或两条环形刻线之间，并且塞规在孔内不能晃动，则表示被检锥孔的孔径、锥度以及长度都是合适的。否则说明孔径大或者小，如图 3-8 所示。

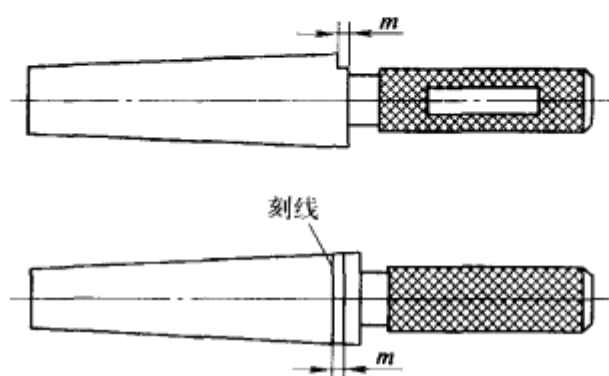


图 3-7 圆锥塞规

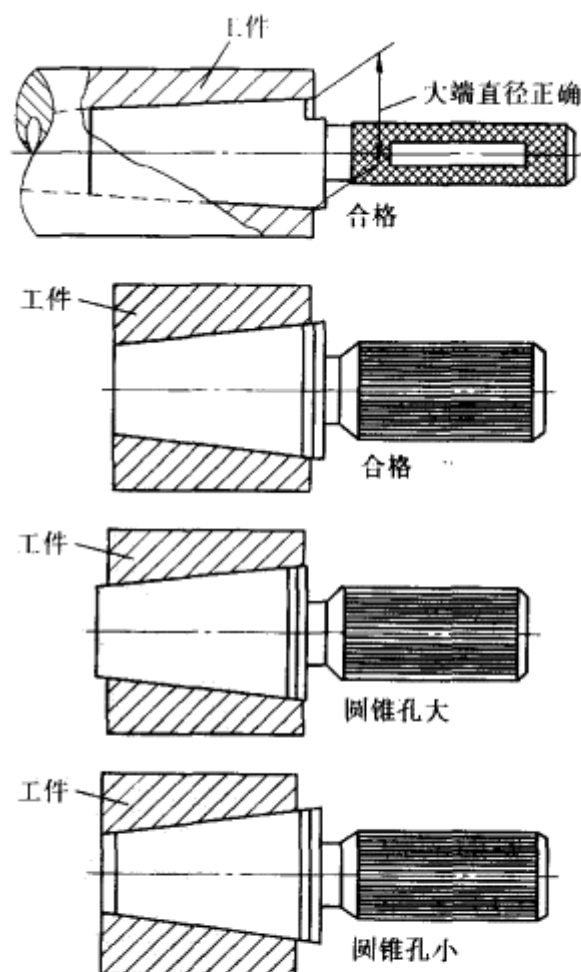


图 3-8 圆锥塞规的使用方法

为了准确地检查锥度和内表面的加工情况，常采用涂色法。即在塞规的测量表面涂上一层厚度为 $2 \sim 15\mu\text{m}$ 的红丹粉或蓝油后，将塞规塞入锥形孔中，转动塞规几周后从孔中退出，观看涂层被抹掉的面积，该面积即为塞规测量面和锥形孔内表面相接触的面积。另外，也可事先用红丹粉、蓝油（没有这两种材料时也可用铅笔）在塞规测量面上沿轴向在圆周上均匀地画 3 道或 4 道线，在将塞规塞入孔内转动塞规几周后从孔中退出，观看图色的线被抹掉的部位和长度，即知锥形孔锥度的加工情况，如图 3-9 所示。

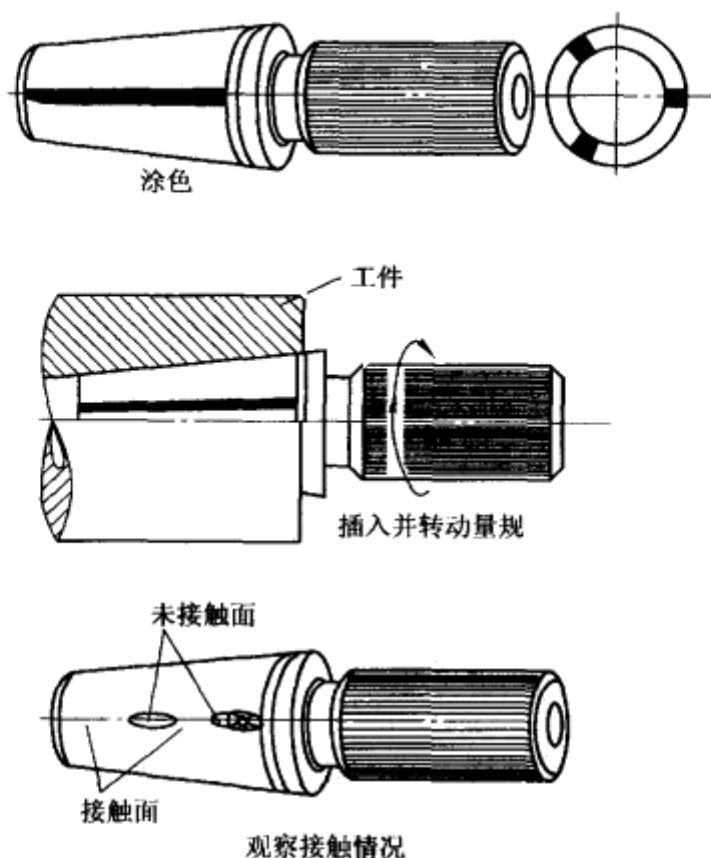


图 3-9 用涂色法检查锥形孔的加工情况

四、带百分表的圆锥塞规

图 3-10 是一个带百分表的圆锥塞规使用情况。所用标准环规的锥度以及长度、两端直径要按被检工件的名义尺寸来制造。

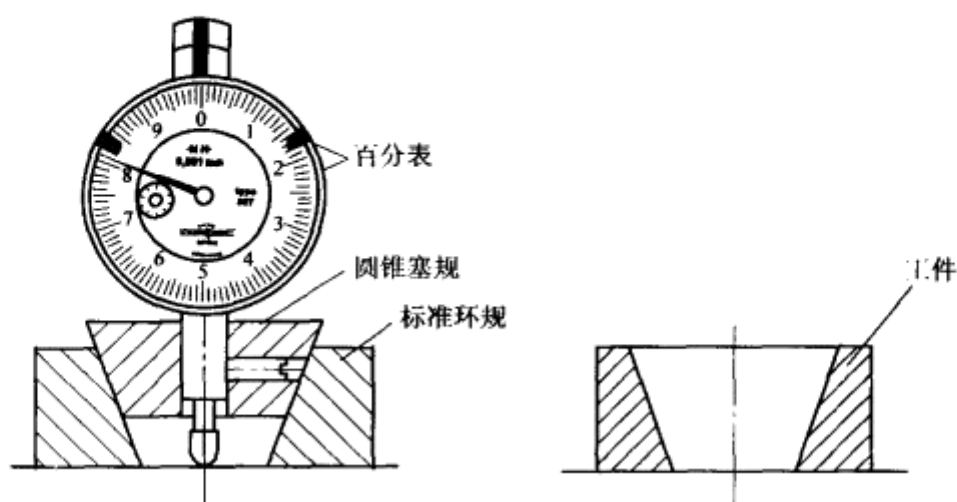


图 3-10 带百分表的圆锥塞规及其使用方法

将百分表安装在塞规的中心孔内并用顶丝固定（在校对时可能还要调整）。将标准环规平放在测量平板上，把塞规放入标准环规中，使百分表的测头接触测量平板，并要求有一定的测量力，即要求百分表的指针转动半圈到一圈。旋转表盘使指针对零。

将被检工件也平放在测量平板上，把塞规放入其中后，若百分表的指针还在零位，说明被检工件的尺寸和标准环规完全相同，若发生了偏离，但偏离量未超过允许的公差范围，则为合格。允许的公差范围与标准环规的尺寸有关。

五、检查圆锥轴直径和锥度用的光滑环规

检查圆锥轴直径和锥度用的光滑套规被称作圆锥环规，也是锥体量规中的一种。

在套规测量面孔径较小的一端，有半个端面缩进去一段，形成一个台阶形的缺口，缺口的长度为 m ， m 值就是工件因加工误差所引起的基面距（用于确定相互配合的内、外圆锥轴向的相互距离）变动的允许值，如图 3-11 所示。

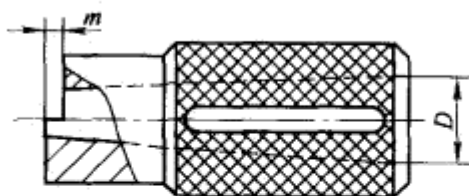


图 3-11 圆锥环规

将环规套入被检查的锥形轴上以后，如果锥形轴的小端面刚好处于套规缺口长度之间，并且套规不感觉晃动，则表示被检锥轴的轴径、锥度以及长度都是合适的。否则说明轴径大或者小，如图 3-12 所示。

为了准确地检查轴锥度和表面的加工情况，也采用涂色法，具体操作和判定方法和用圆锥塞规检查锥形孔基本相同，只是此时要将涂料涂在被检查的锥形轴上。

六、检查键槽用的光滑塞规（键规）

（一）常用键规的类型

检查键槽用的光滑塞规被称作键规。因其主要功能是检查键的宽度是否合格，所以也被称为键宽量规。实际上，该类型的塞规不只是用于检查键槽的宽度，而是类似于键槽形状的工件尺寸都可以使用。

根据被测量键槽宽度的大小，所用键规的形状也不尽相同，也有双头和单头之分，图 3-5i 给出了几种常见的类型。

（二）键规的使用方法

使用键规检查键的宽度时，应事先对要检查的键槽边缘毛刺

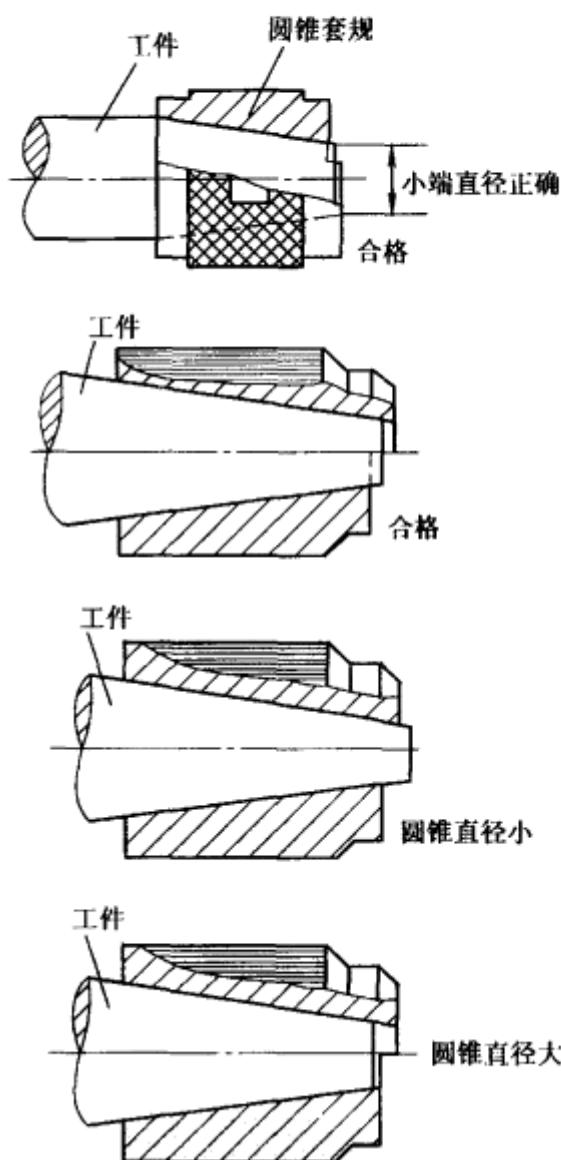


图 3-12 圆锥环规的使用方法

进行清理。检查时，要使键规的两个测量面与被检键槽的工作面（两个侧面）平行，和键槽底平面呈一定的角度（例如 45° ），用适当的力下压使键规的过端进入被检键槽中。合格的判定方法与前面讲述的圆孔内径检查完全相同，如图 3-13 所示。

应当注意的是，由于过端使用的频次较高，所以其工作面较易磨损，使用一段时间后，则应检查该尺寸是否小于规定的数值。若超出了规定的限度，就应报废。否则有可能造成批量错检和误判事故。

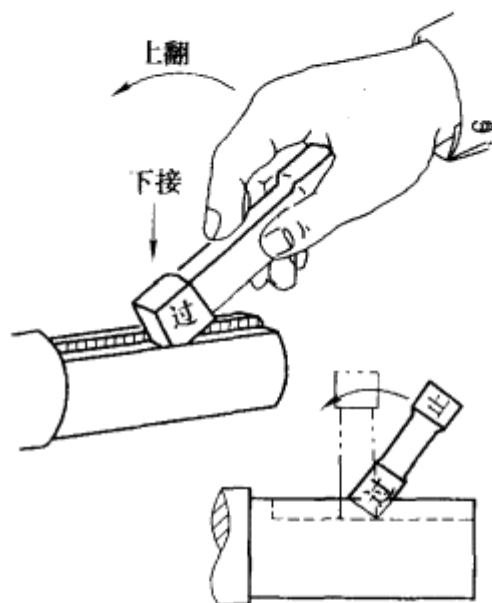


图 3-13 键规的使用方法

第四节 检查螺纹的量规——螺纹规和螺纹样板

一、螺纹规的分类

检查螺纹的量规可分为螺纹塞规和螺纹环规两大类，前者用于检查外螺纹，后者用于检查内螺纹。和前面讲过的光滑量规一样，螺纹规也有双头和单头之分，其中双头的螺纹塞规较常用，单头的螺纹环规较常用；另外，螺纹环规还有不可调式和可调式两大类。其测量部位和标准的螺栓（或螺母）一样，具有标准的全形螺纹牙，一般可旋合长度为 8 个牙，如图 3-14 所示。

二、螺纹塞规的使用方法

检查时，若螺纹塞规的过端能够顺利地旋入和旋出被检螺孔，而使用止端时不能旋入，则说明被检螺纹是合格的；若过端不能旋入，则说明被检螺纹直径偏小了；若止端也能旋入，则说明被检螺纹直径偏大了。

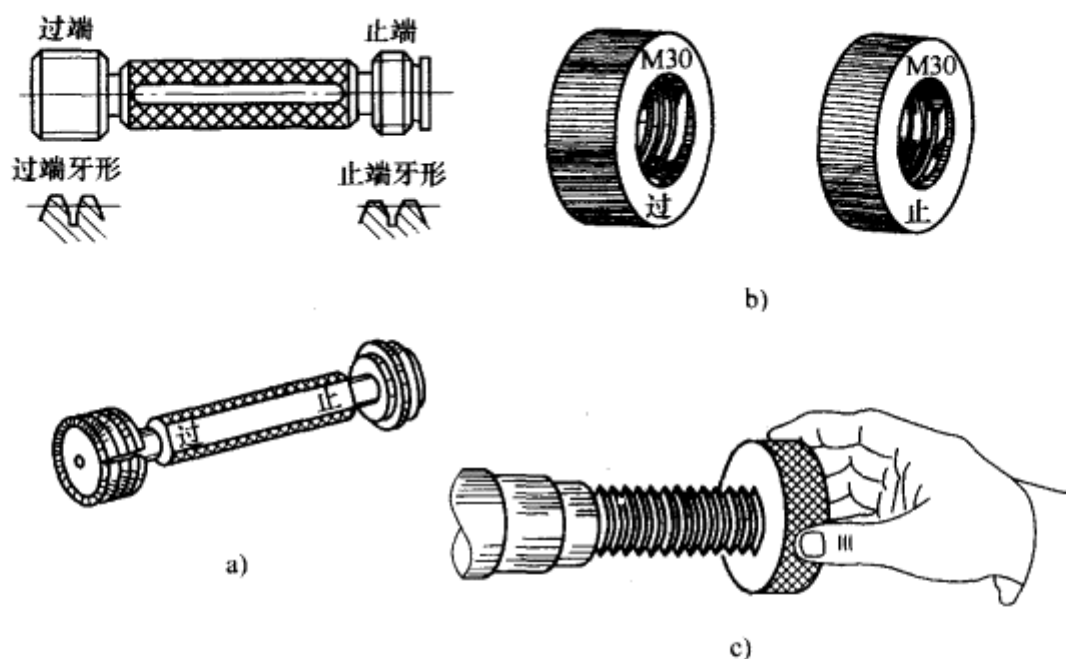


图 3-14 螺纹规

a) 双头螺纹塞规 b) 单头螺纹环规 c) 用螺纹环规检查外螺纹

三、螺纹环规的使用方法

检查时，若螺纹环规的过端能够顺利地旋入和旋出被检螺栓，而使用止端时不能旋入，则说明被检螺纹是合格的；若过端不能旋入，则说明被检螺纹直径偏大了；若止端也能旋入，则说明被检螺纹直径偏小了。可见判定不合格的情况刚好与用塞规检查内螺纹时相反。

四、螺纹样板及使用方法

检查低精度螺纹工件的螺距、牙形角时，可采用螺纹样板。螺纹样板的结构形式如图 3-15 所示。

和其他用途的样板一样，螺纹样板也是成套供应的，即由多种标准螺纹牙形样板组成，在每一个样板上标注着各自的螺距，样板采用 0.5mm 后的不锈钢板制成。

(一) 检验螺距的方法和注意事项

按被检螺纹的名义螺距（图纸标定的螺距），先选一片与其数值相同的螺纹样板在被测螺纹上进行试卡，如果完全吻合，

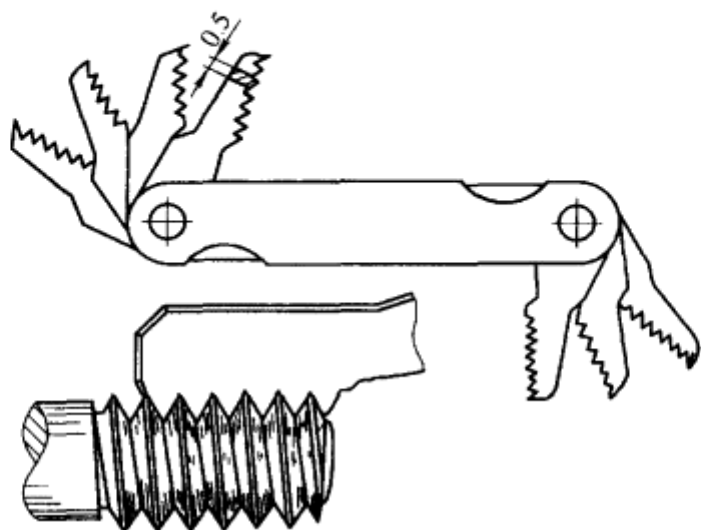


图 3-15 螺纹样板及使用方法

则说明被测螺纹的螺距合格；如果样板牙形与被测螺纹的牙形表面不密合，则换一个与之尺寸相近的样板试卡，直到密合为止，此时所用的样板所标螺距即为被检螺纹的实际螺距。

（二）检验螺纹牙形的方法和注意事项

按被检螺纹的名义螺距（图纸标定的螺距），选一片与其数值相同的螺纹样板在被测螺纹上进行试卡，如果完全吻合，即没有透光现象，则说明被测螺纹的牙形是准确的；如果样板牙形与被测螺纹的牙形表面不密合，即有不均匀的透光现象，则说明被测螺纹的牙形是不准确的。

本方法很粗略，只能对牙形的偏差进行一个大概的判定。

第五节 检查圆弧角的量规——半径样板（ R 规）

检查圆弧角半径尺寸是否合格的量规叫作半径样板，简称为 R 规。半径样板可分为检查凸形圆弧的凹形样板和检查凹形圆弧的凸形样板两种。半径样板也成套地组成一组，根据半径范围，常用的有三套，每组由凹形和凸形样板各 16 片组成，具体尺寸见表 3-1（从表中可以看出，最小的为 1mm，然后每隔 0.5mm 增加一档，到 20mm 为止，再后每隔 1mm 增加一档，到 25mm

为止)。每片样板都是用 0.5mm 的不锈钢板制造的，如图 3-16a 所示。

表 3-1 成套半径样板的半径尺寸 (单位: mm)

样板组 半径范围	样板半径尺寸															
1 ~ 6.5	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5
7 ~ 14.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5
15 ~ 25	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	21	22	23	24	25

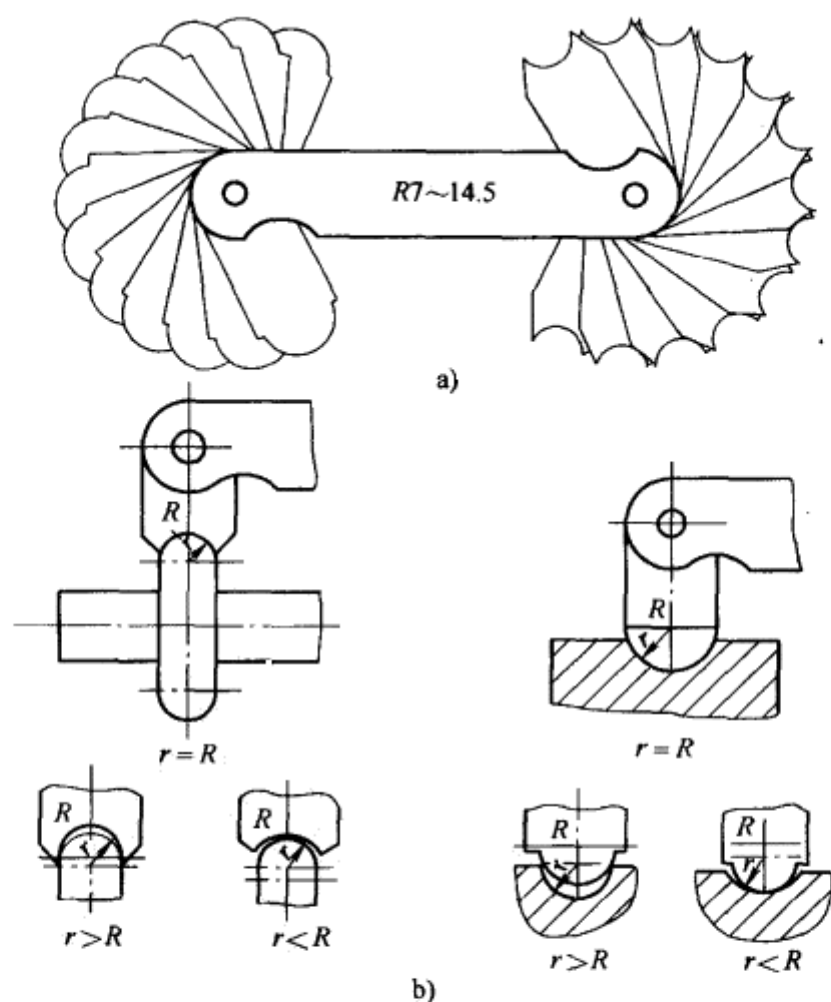


图 3-16 半径样板和使用方法

a) 半径样板 b) 完全合格和不合格的各种情况

用半径样板检查圆弧角时，先选择与被检圆弧角半径名义尺寸相同的样板，将其靠紧被测圆弧角，要求样板平面与被测圆弧垂直（即样板平面的延长线将通过被测圆弧的圆心），用透光法查看样板与被测圆弧的接触情况，完全不透光为合格；如果有透光现象，则说明被检圆弧角的弧度不符合要求，几种情况分别如图 3-16b 中各图所示。

若要测量出圆弧角的未知半径，则选用近似值的样板与被测圆弧角相靠，完全吻合时，所用样板的数值即为被测圆弧角的半径。

第六节 表面粗糙度样块（板）

机械加工部件表面的粗糙度是否符合要求，是保证配合质量或外观质量的一个重要项目。检查和确定粗糙度的方法一般是利用表面粗糙度样块（简称粗糙度样块，也称为粗糙度样板）来比对，对于经验较丰富的加工和检验人员，凭肉眼观看也可大致确定所属等级。对极重要的工件或由样板判定有争议时，要采用粗糙度检测仪来检定，给出准确的数据。

下面重点介绍用粗糙度样板（块）来比对的方法和有关注意事项。

一、粗糙度样块（板）的结构和相关标准

（一）样块组

一套完整的粗糙度样块（板）包括车、磨、镗、铣、刨、插等几种加工方式的样块，每种加工方式的样块又将按粗糙度的几种常用级别排列若干块，一般装在一个专用的盒子里，如图 3-17 所示。

（二）各种表面粗糙度样块的制造标准

下述国家标准规定了各种表面粗糙度样块的制造标准：

- （1）GB/T6060.1—1997《表面粗糙度比较样块 铸造表面》；
- （2）GB/T6060.2—1985《表面粗糙度比较样块 磨、车、镗、铣、插及刨加工表面》；

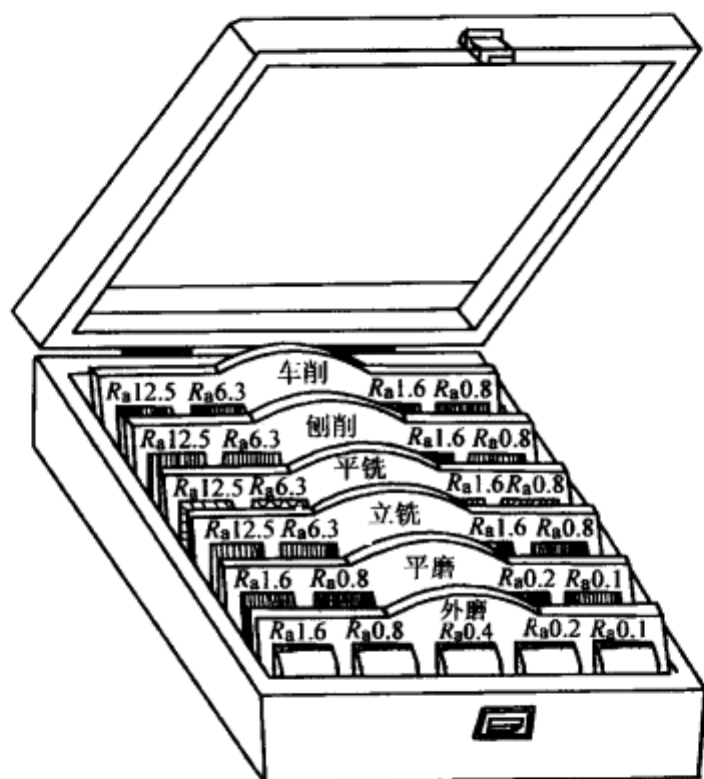


图 3-17 一组粗糙度样块 (板)

(3) GB/T6060.3—1986《表面粗糙度比较样块 电火花加工表面》;

(4) GB/T6060.4—1988《表面粗糙度比较样块 抛光加工表面》;

(5) GB/T6060.3—1988《表面粗糙度比较样块 抛 (喷) 丸、喷砂加工表面》。

(三) 机械加工表面粗糙度的 R_a 值及尺寸规格

机械加工表面粗糙度的 R_a 值及尺寸规格见表 3-2。

表 3-2 机械加工表面粗糙度的 R_a 值及尺寸规格

粗糙度参数 公称值	制造方法			样块表面每边 的最小尺寸/mm
	磨	车、镗、铣	插、刨	
$R_a/\mu\text{m}$	0.025	—	—	20
	0.05	—	—	

(续)

粗糙度参数 公称值	制 造 方 法			样块表面每边 的最小尺寸/mm
	磨	车、镗、铣	插、刨	
$R_a/\mu\text{m}$	0.1	—	—	20
	0.2	—	—	
	0.4	0.4	—	
	0.8	0.8	0.8	
	1.6	1.6	1.6	
	3.2	3.2	3.2	
	—	6.3	6.3	30
	—	12.5	12.5	
	—	—	25	50

二、粗糙度样块（板）的使用方法

使用粗糙度样块对加工的工件粗糙度进行检验时，主要是用比较法。要求所选用的粗糙度样块与被检工件表面的材质、加工方法、加工纹理相同。

比较法中，较常用的有两种具体操作方法：一个是通过检验员的视觉，观察被检工件与所应该达到的粗糙度样块是否一致或者说不低于样块的水平，比较时，应注意将样块和被检工件放在同一自然条件下（光线、温度、湿度等），如图 3-18 所示；另一个是通过手触摸的感觉来判定是否达到了要求，触摸时手的移动方向要与加工纹理相垂直。

实践证明，光亮度和粗糙度数值大小不能混淆，也就是说，光亮度大的工件表面不一定粗糙度数值小。另外，用肉眼直接观察粗糙度 R_a 值在 $12.5 \sim 3.2\mu\text{m}$ 时，可以做到相对准确，而在 $1.6 \sim 0.8\mu\text{m}$ 时就要借助于 5 倍以上的放大镜，更高等级的还要使用比较显微镜才能得到较准确的结论。

实际使用时，建议将上述两种方法相结合，这样得出的结论会更准确些。

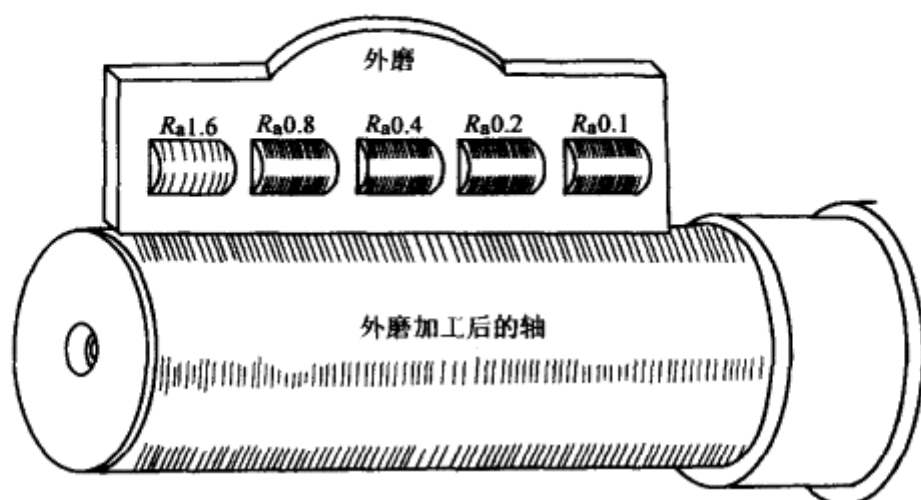


图 3-18 用视觉法检验加工件粗糙度示例

第七节 测量两个平面间隙的专用量具——塞尺

当遇到测量两个平面之间的距离很小，并且其所处的位置很难使用前面介绍的量具时，一种叫做“塞尺”的简易量具可以发挥其作用。塞尺也被称为“厚薄规”。

实际应用的塞尺都是几片不同厚度的尺片合装在一起的，一般称为“一把”，每把有 13、14、17、20、21 片不等。考虑到较薄的尺片容易损坏，厚度在 0.05mm 及以下的尺片每档为两片。图 3-19 给出了两种形状的塞尺，其中不同点是 A 型尺身一般宽，B 型端部较窄。

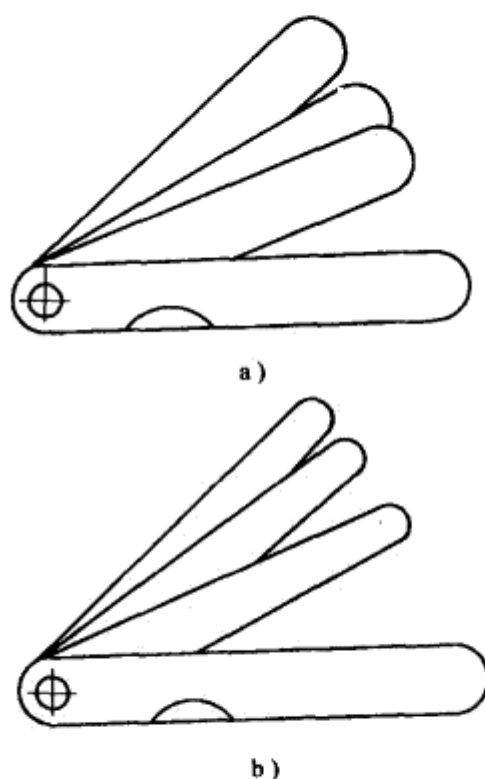


图 3-19 塞尺

a) A 型塞尺 b) B 型塞尺

常用塞尺的组别标记给出了尺片长度、类型和每一组片数。例如 100A13，标示该组塞尺的尺片长为 100mm、A 型、由 13 片组成。

尺片长度有 75、100、150、200、300mm 共 5 种。最小厚度为 0.02mm，最大为 1mm，有关每片的厚度请参看相关样本。

塞尺可以单片使用，也可多片叠起来使用，但多片使用会使测量误差变大，所以叠起的片数越少越好。

使用塞尺时，应注意用力适当，方向要合适，不可强行将较厚的塞尺往小的间隙中塞，防止其弯曲过度甚至折断和划伤。

只检查某一间隙是否小于规定值时，则用符合规定最大值的塞尺（一片或几片叠加在一起）去塞该间隙，如果不能塞入，则为合格，能塞入则为不合格。

若需测量出间隙的实际尺寸，则要用不同厚度的塞尺片（包括一片或几片叠加在一起）去试探着塞入被测间隙中，刚好插入，手感不松不紧者，所用片的厚度即为被测间隙的尺寸。

因为塞尺片很薄，精度也较高，所以应特别注意日常保护，每次使用后，应使用干净的棉布等顺着尺片将其擦干净。不要随意放置在有灰尘和油污，特别是有腐蚀性化学物质的地方。如发现局部有锈蚀，应立即清除，锈蚀较严重的不能使用。

第八节 测量两个平行平面距离的专用量具

在实际测量中，有时会遇到测量两个平行平面之间的距离的问题，例如在电机端盖尺寸的测量项目中，止口端面至轴承室端面的距离测量即属于此类问题，如图 3-20 所示。下面将借此介绍此类尺寸的两种测量方法。

（一）借用平尺的测量方法

测量该尺寸时，可将一个厚度均匀的平尺放在止口上端面上，用游标深度尺分别测量平尺上平面至止口端面和轴承室端面的距离 h_1 和 h_2 。若所用平尺的厚度相当均匀，则止口端面至轴承室端面的距离 a 就等于上述两个测量值之差，即 $a = h_2 - h_1$ ；

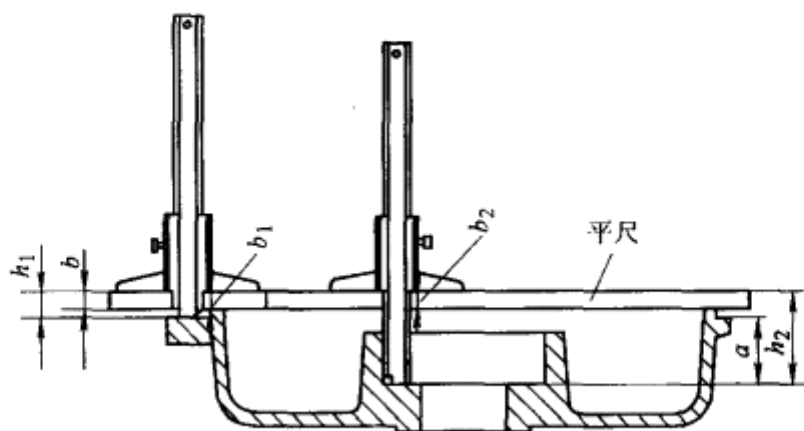


图 3-20 借用平尺测量两个平行平面之间的距离示例

若所用平尺的厚度不均匀，则需测量出两个测量点处的平尺厚度 b_1 和 b_2 ，然后用式 $a = (h_2 - b_2) - (h_1 - b_1)$ 进行计算。如图 3-20 所示。

（二）使用专用量具的测量方法

专用量具的结构如图 3-21a、b 所示，实际上是在一把游标深度尺（图 b）或带深度尺的游标卡尺（图 a）上安装了一个特制的平尺，平尺的特殊在于它有两个“爪”，这两个爪的内侧面距离应略大于被测端盖止口的直径，高度大于止口的长度，下面的平面在一条直线上，并且和游标深度尺的“0”刻线也在同一条直线上。可以看出，该专用量具实际上是将前面所提到的平尺固定安装在了深度尺（或卡尺）上而组成的。

测量前，应先在平台上校对“0”位，即将直尺的下平面接触平台的工作面，使尺身直立，然后将深度尺的尺身推到也与平台接触，此时若深度尺的“0”位刚好对正，则说明该量具的“0”位准确。

测量时，将平尺的两个爪放在端盖止口的端面上，然后下推深度尺的尺身，使其接触端盖轴承室的端面。此时深度尺显示的深度值即为要测量的端盖止口端面至轴承室端面的距离。如图 3-21b 所示。

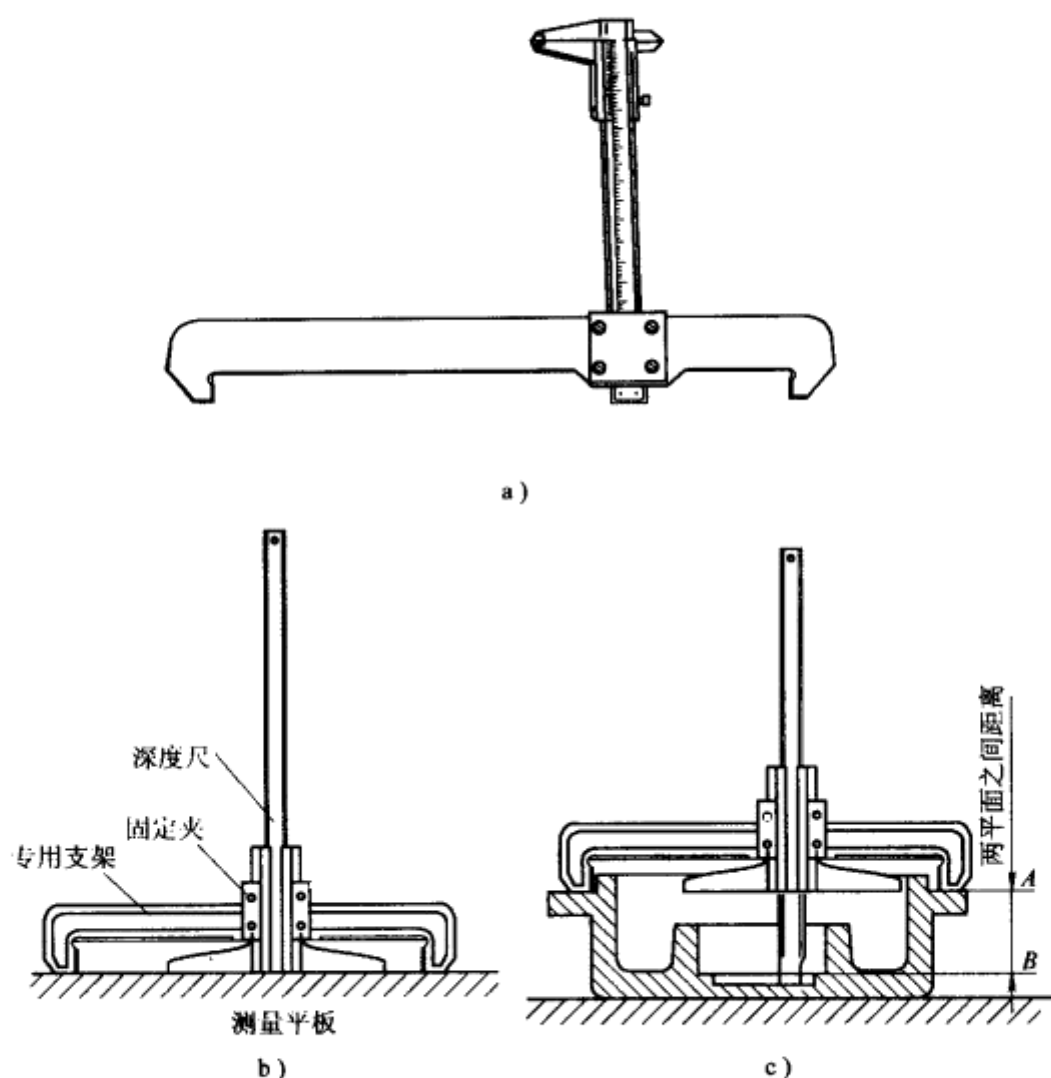


图 3-21 用专用量具测量两个平行平面之间的距离

- a) 用带深度尺的游标卡尺组成的专用量具
- b) 用深度尺组成的专用量具和校对“0”位
- c) 用专用量具测量两个平行平面之间的距离示例

第九节 内卡钳和外卡钳的应用

在实际测量中，有时会遇到没有合适的专用量具的问题，采用内卡钳或外卡钳可以在一定程度上解决这些困难，但由于在操作中会产生较大的测量误差，所以只在不得已时使用。

常用内卡钳和外卡钳如图 3-22 所示。

卡钳开口大小的调整方法如图 3-23 所示。应注意调整时要

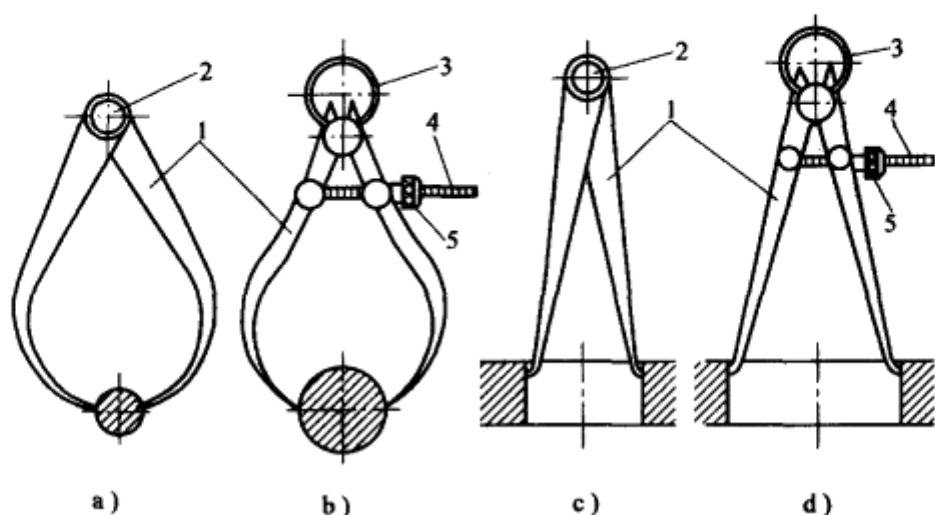


图 3-22 卡钳

- a) 普通外卡钳 b) 带弹簧可定位的外卡钳
c) 普通内卡钳 d) 带弹簧可定位的内卡钳
1—卡脚 2—铆钉或螺钉 3—弹簧 4—螺钉 5—调整螺母

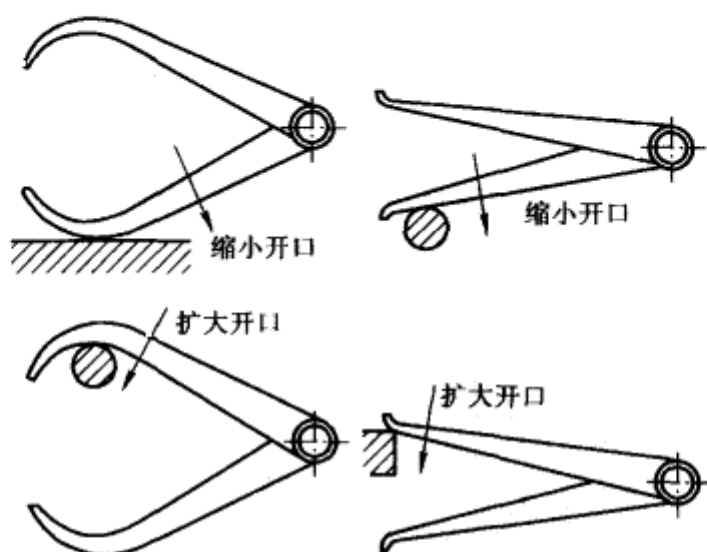


图 3-23 扩张或缩小普通卡钳开口的办法

细心，用力要适当，防止猛磕猛敲，不可敲击卡钳的测量口。

不宜用卡钳测量旋转着的工件，以免发生危险。

用小型外卡钳测量工件的姿势如图 3-24a 所示。测量时应注意：卡钳的两个脚连线应垂直于被测工件的轴心线，测量时与工

件接触的松紧程度，以在卡钳自重作用下，感觉稍有停滞，随之轻轻滑下为宜。

用大型外卡钳测量工件的姿势如图 3-24b 所示。用左手将卡钳脚贴住工件下方，右手将卡钳的另一只脚在工件表面轻轻滑过。

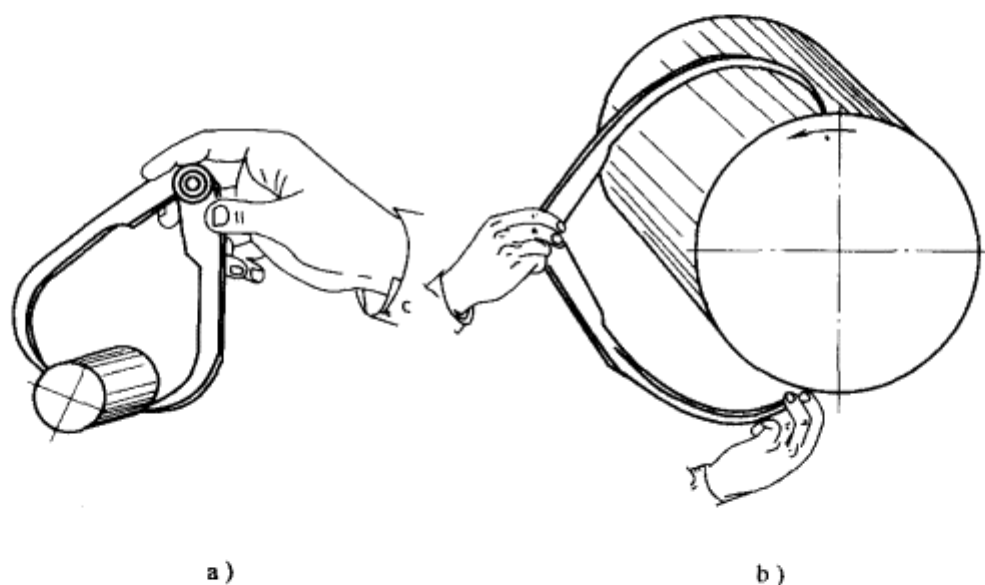


图 3-24 使用外卡钳测量轴径的姿势
a) 小型外卡钳 b) 大型外卡钳

用小型外卡钳测量如图 3-25 所示的工件壁厚时，如将钳口紧贴工件壁的两面，可能会使测量值不是最小值（两测量爪之间的连线与工件壁不垂直），此时可按图中画出的方法，用一把钢板尺抵在工件的外壁上，卡钳开口的大小 C 以大于图中的 A 值为准，处于工件外面的量爪卡在钢板尺的一个刻度上，记录 B 值，取出卡钳后，测出卡钳开口距离 C ，则被测工件的壁厚为 $C - B$ 。

用小型内卡钳测量工件的姿势如图 3-26 所示。测量时卡钳的两个脚连线应垂直于被测工件的轴心线，并有一定的摆动距离，摆动的幅度相当于被测尺寸的 $1/10$ 左右。如直径为 30mm 左右的内孔，摆动的幅度应为 3mm 左右。测量时与工件接触的松紧程度要适当。

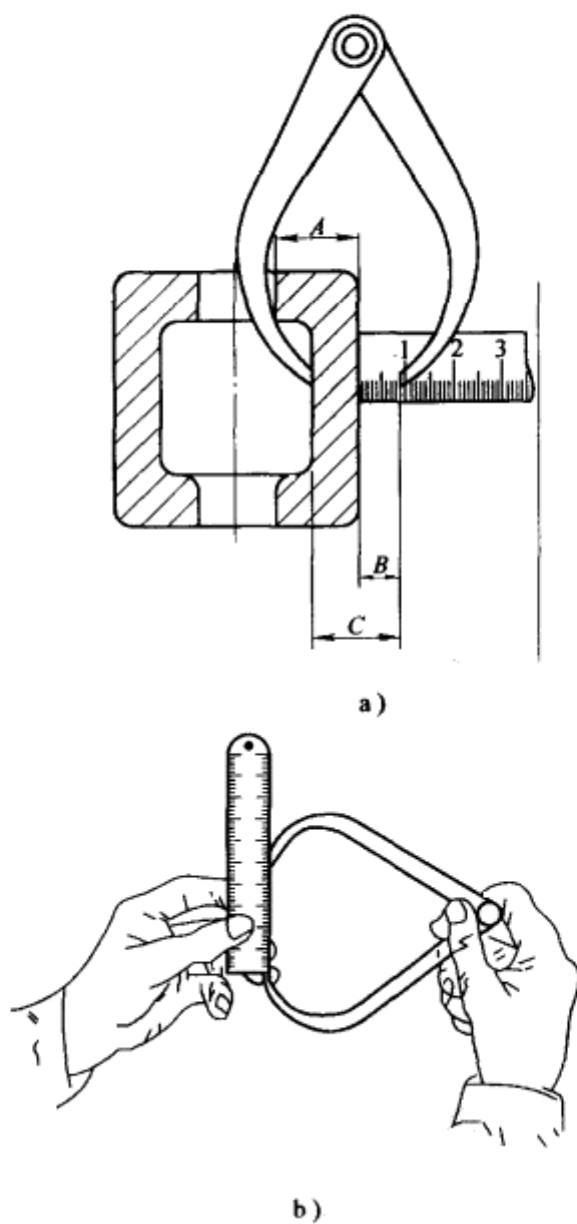


图 3-25 使用外卡钳测量壁厚的操作方法

a) 用外卡钳和直尺进行测量

b) 测量卡钳的开口距离

内卡钳在外径千分尺或直尺上取尺寸或量取卡钳开口距离，姿势如图3-27所示。用一块木板或其他类似形状的物品挡住直尺的一端，这样量取的数据较好掌握。

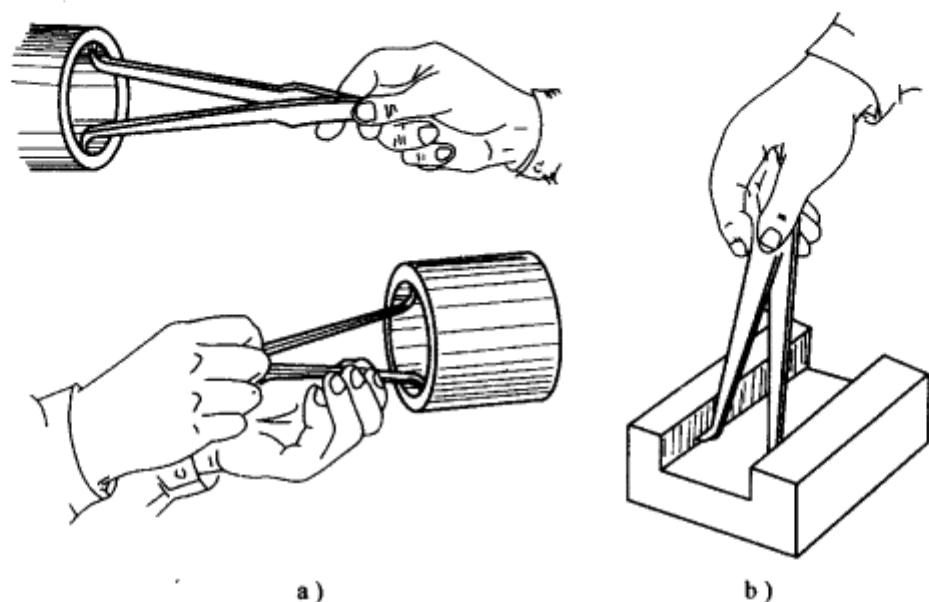


图 3-26 使用内卡钳测量内尺寸的操作方法

a) 测量孔的直径 b) 测量槽的宽度

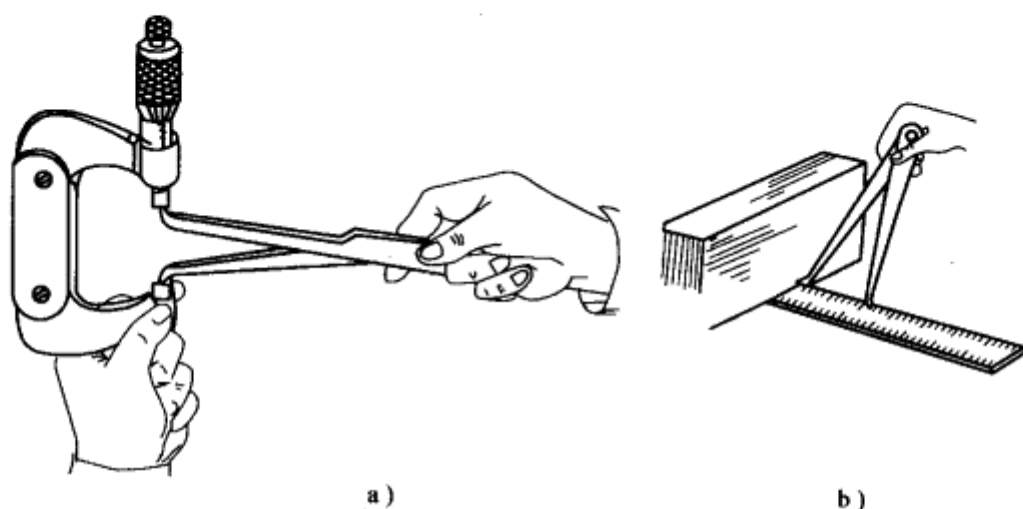


图 3-27 使用外径千分尺或直尺取值和测量钳口距离的操作方法

a) 用外径千分尺 b) 用直尺

第十节 测量转轴用的专用支架

在实际测量中，单独测量一根转轴的各项尺寸，用两个 V 形铁将其支起则可进行。但若要求测量形位公差时，因转轴在转

动时可能会沿轴线方向移动，所以会因此产生测量误差，测量也不太方便。若将转轴用图 3-28 给出的专用支架架起来，转动将很方便，该设备还有一个可沿轴向移动的百分表支架，使用更加便利。

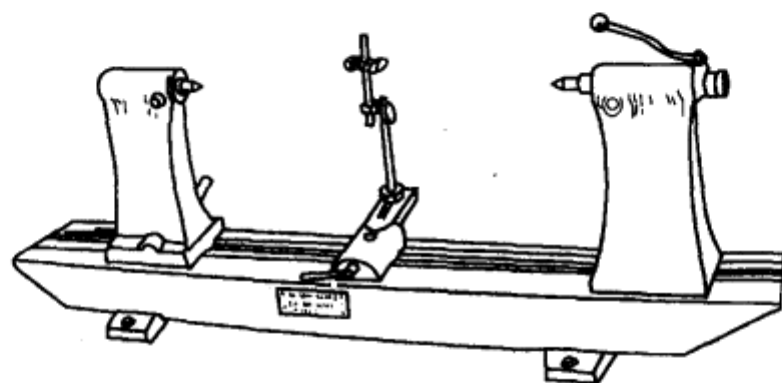


图 3-28 测量转轴用专用支架

第四章 机械检测实例——电机 机械尺寸和形位公差的测量

第一节 说 明

电机（指旋转电机）是最常用的机械动力，它虽然结构较为简单，但具有的机械检测项目（包括各种长度尺寸和形位公差）却较全面，所以本章将以中小型三相异步电动机为例，进一步介绍常用量具的使用方法，同时也介绍相关尺寸和形位公差的计算、有关标准数据以及检测结论的确定方法。

本章所进述的有关检测方法方面内容，其依据之一，是我国机械行业标准 JB/Z 231—1985《小型异步电动机主要零部件形状和位置公差标注及检测规定》（该标准是对小型异步电动机进行机械检测的指导性文件）；依据之二，是国内有关监督监测单位和几个主要电机生产厂家的实用检验规定。

本章所给出的有关标准数据是相关的技术条件（含国家标准、行业标准和企业标准）中给出的内容，对于某些零部件的内部尺寸则主要是企业内定的要求。为叙述方便，给出的尺寸数据没有考虑图样数据和生产验收数据的转换问题，即直接进行使用。

在选用量具的内容中，均包含专用和通用两种量具。对于通用量具，则根据实际公称尺寸和公差带给出了量具的规格和精度等级；对于专用量具，则选用原则由使用单位根据相关规定自行决定。

使用专用量具的方法及测量结果的确定方法，按照前面有关专用量具的相关内容介绍，在此不再介绍。

为了书写简便，也同时符合机械制图图样中单位标注的相关规定，在以下的叙述和计算等过程中，除因叙述的必要和使用其他单位而要标明者之外，尺寸数值的单位均为 mm。

第二节 常用三相异步电动机零部件的名称

常用的三相异步电动机有很多种类型，虽然它们的外形和用途各不相同，但总体结构上是基本相同的，图 4-1 给出了一台 Y2 系列铸铝转子三相异步电动机（IP54、IMB3）的结构和部件名称。

（一）固定部分

固定部分是指在运行时不动的部分，也被称为定子，它主要由外壳、定子铁心和定子绕组以及接线盒等组成。其中外壳一般由机座、端盖及附属部件（一般为前后各一个，即总共两个）、外风罩等组成。

对于绕线转子异步电动机，还应有转子绕组与外电路连接的部件，例如电刷、电刷盒及电刷架、转子引出线接线盒和引出线等。

（二）转动部分

转动部分是指在运行时转动的部分，主要包括转轴、轴承、转子铁心和绕组以及冷却风扇（分内风扇和外风扇两种）等。对于绕线转子异步电动机，还应有转子绕组与外电路连接的部件，主要是三个集电环。

第三节 机座的检测方法和相关规定实例

一、机座的结构、主要尺寸和形位公差

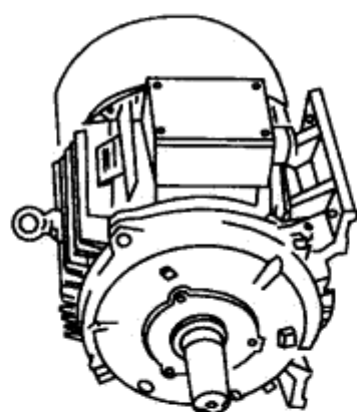
图 4-2 为一台标有主要尺寸和形位公差的 Y2-160M-4（防护等级为 IP54，安装方式为 IMB3）三相异步电动机的机座视图。下面以此图为例，按要检测的主要尺寸和形位公差项目，讲述机座的测量方法和相关规定。

二、止口尺寸和形位公差的测量

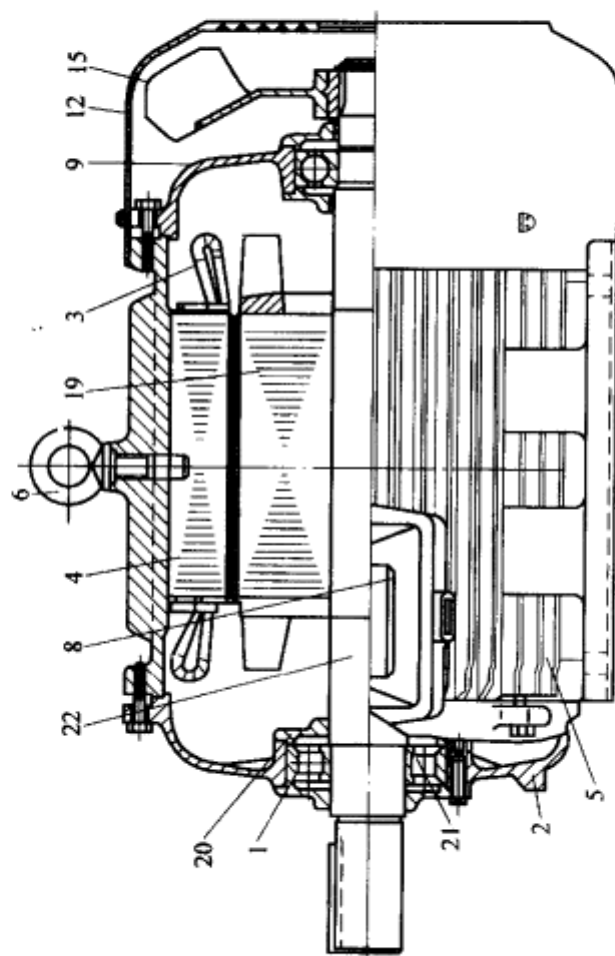
下述内容请参看图 4-3。

（一）止口的长度、内圆直径尺寸和圆度

1. 选用量具



a)



b)

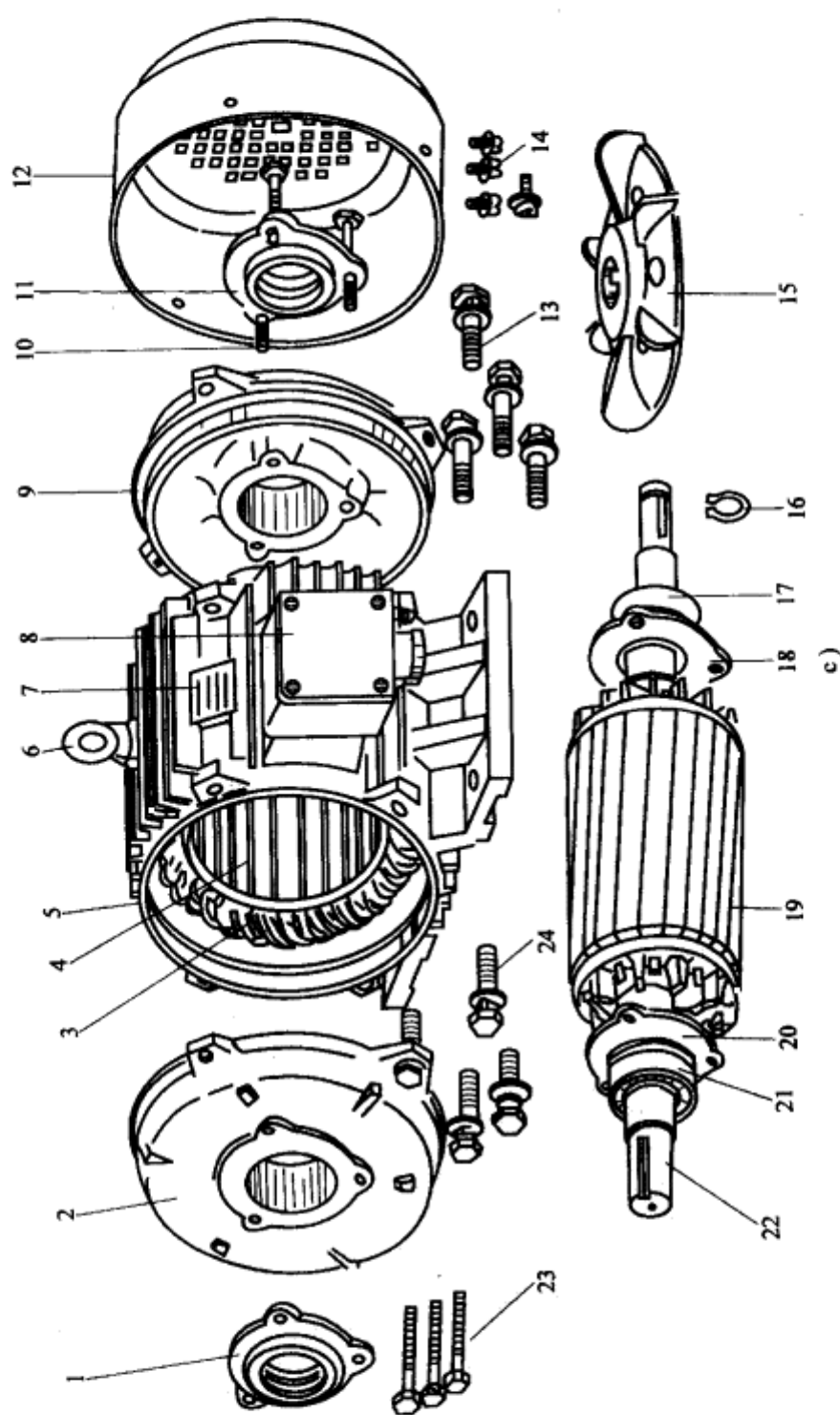


图 4-1 Y2 系列铸铝转子三相异步电动机 (IP54、IMB3) 的结构和部件名称

- 1、11—轴承外盖 2、9—端盖 3—定子绕组 4—定子铁心 5—机座 6—吊环 7—铭牌 8—接线盒
10、23—轴承盖螺钉 12—风扇罩 13、24—端盖螺钉 14—风扇罩螺钉 15—外风扇 16—外风扇卡圈
17、21—轴承 18、20—轴承内盖 19—转子铁心及绕组 22—轴

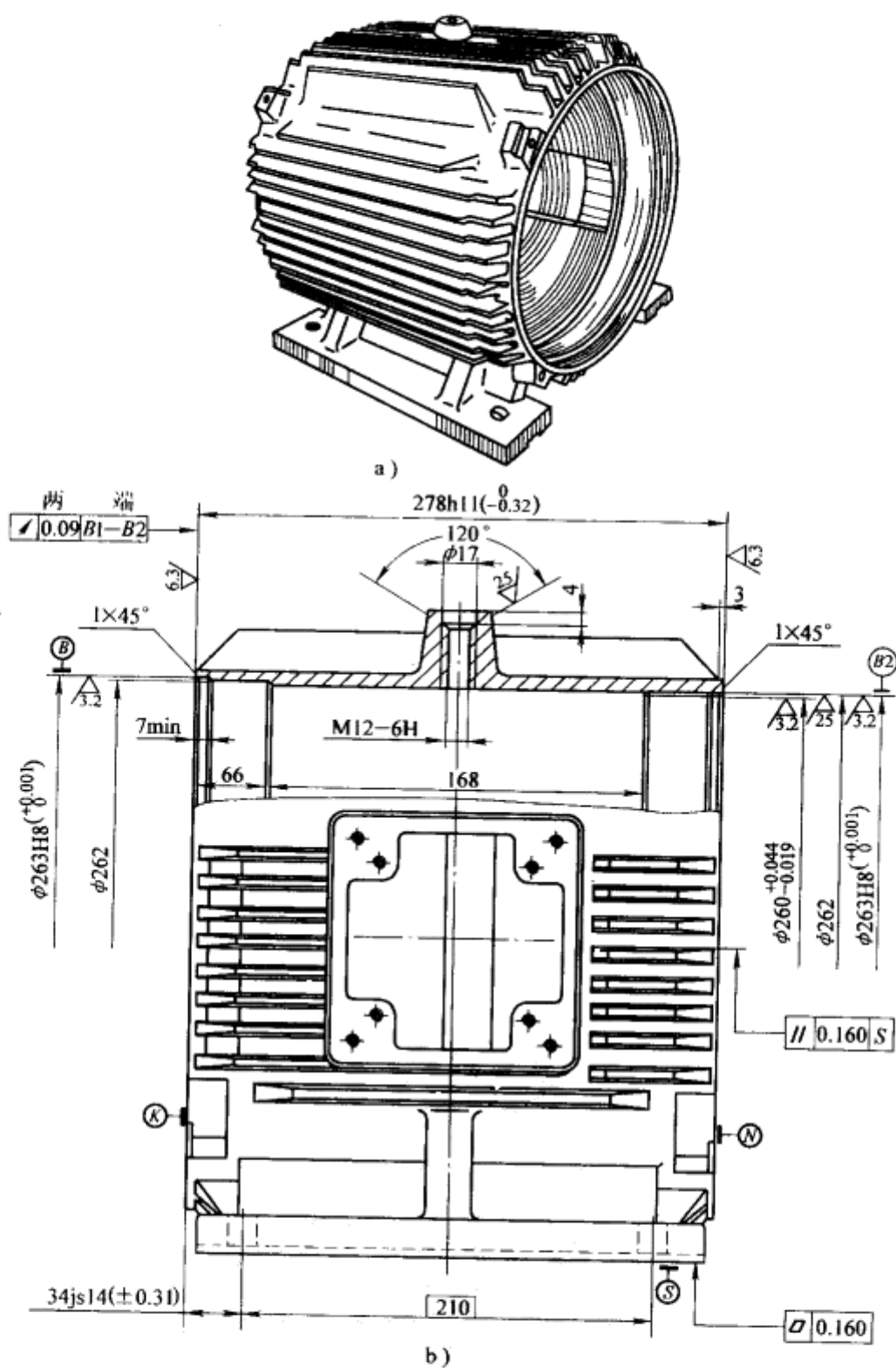
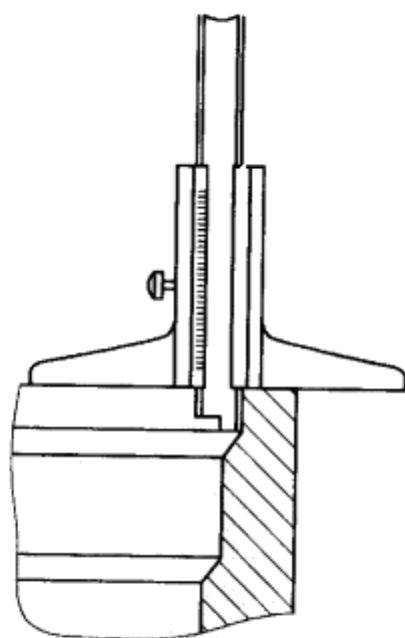
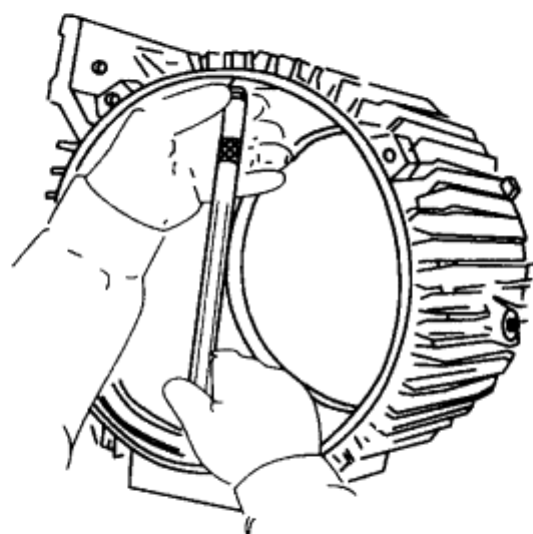


图 4-2 Y2-160M-4 (IP54, IMB3)

a) 外形 b) 侧视图



a)



b)

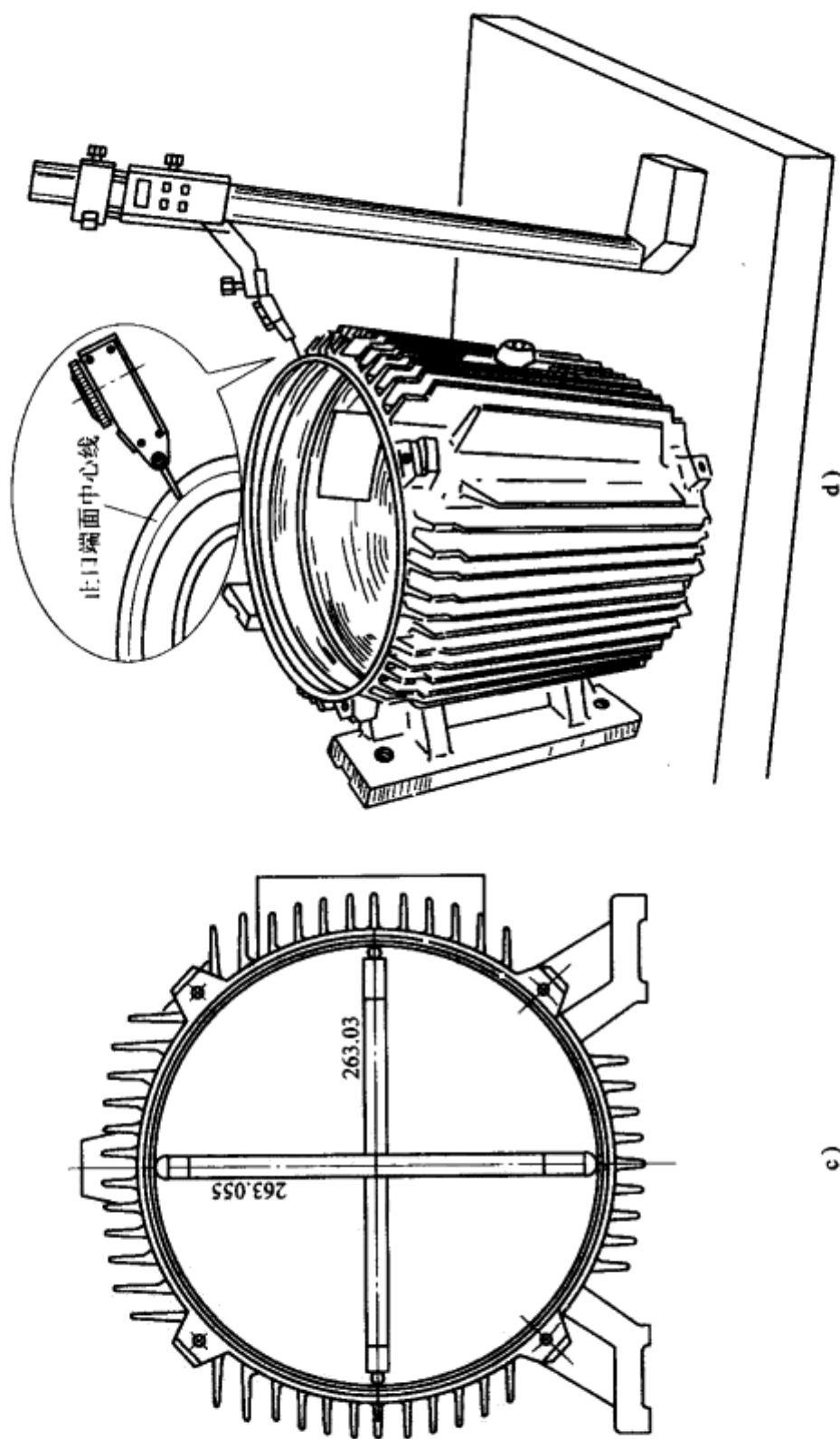


图4-3 机座两端止口尺寸和形位公差的测量
a) 测量止口长度 b) 、c) 测量止口的直径尺寸和圆度
d) 测量两端止口端面对止口基准轴线的端面圆跳动 (方法1)

图样标注的止口长度为 7min (表示最小允许值为 7mm)，可使用分度值为 0.05mm 、 $0 \sim 150\text{mm}$ 的游标卡尺或深度尺 (也可使用钢板尺或钢卷尺) 进行测量；图样标注的止口直径尺寸为 $\phi 263\text{H8} (^{+0.081}_{-0})$ ，所以应选用规格为 $50 \sim 600\text{mm}$ (或 $200 \sim 325\text{mm}$)、精度等级为 1 级的内径千分尺或 1 级量棒 (批量生产检查时) 进行测量。

2. 测量方法

测量时，被测机座可横卧或竖直摆放在一个平台上 (对较小规格的机座，一般采用后一种摆放方式)。

止口长度可在每一端只测量一个尺寸，例如分别为 7.15 和 7.20 。如图 4-3a 所示。

止口直径长度和圆度的测量是在与底脚支撑面垂直和平行的同一截面上各测量一次。假设前后两端止口的两个测量读数分别为 $\phi 263.02$ 、 $\phi 263.04$ 和 $\phi 263.05$ 、 $\phi 263.06$ ，如图 4-3b 和 c 所示。

用于计算圆度时，为了提高准确度，建议多测量几点 (不少于 4 点)。

3. 测量结果的确定和判断

(1) 直径尺寸 取每端两个读数的平均值作为止口直径尺寸测量结果，则直径尺寸测量结果为 $\phi 263.03$ 和 $\phi 263.055$ 。在图样标注的 $\phi 263\text{H8} (^{+0.081}_{-0})$ 公差带之内 (即在 $\phi 263 \sim \phi 263.081$ 范围内)，确定该尺寸为合格。

(2) 圆度 以每一端止口各读数的最大差值的 $1/2$ 作为该端止口的圆度误差实测值 (为了叙述简便，本例只给出 2 点的测量数据)，本例为 $(263.04 - 263.02) / 2 = 0.01$ 和 $(263.06 - 263.05) / 2 = 0.005$ 。取两端止口圆度误差实测值中的较大值作为该机座止口圆度误差的实测结果。本例为 0.01 ，在图样标注的圆度公差之内，确定该项合格。

(二) 两端止口端面对止口基准轴线的端面圆跳动

1. 选用量具

(1) 装有杠杆百分表的游标高度尺。

(2) 不低于 2 级精度的平台。

2. 测量方法

方法 1: 将机座风扇端放在平台上, 用杠杆百分表 (安装在游标高度尺上) 测量机座另一端面对平台基准面 (实际也是机座风扇端的端面) 的垂直距离 (高度) 一周。记录一周读数中的最大值和最小值, 假设分别为 277.82 和 277.74。实际上可用百分表直接测量出最大值和最小值之差, 如图 4-3d 所示。

此测量值也是机座长度的数值。

方法 2: 将机座一端的止口无间隙配合地拍入已固定于机床上的止口胎。用螺栓吊住后进行调整, 使另一端止口圆周面的轴线与机床主轴的回转轴线同轴。将机座回转一周, 用杠杆千分表 (1 级精度, $0.002 \sim 0.2\text{mm}$) 在止口端面的中间处测量。取读数的最大值和最小值之差。

3. 测量结果的确定和判断

一周读数中的最大值和最小值之差即为两端止口端面对止口基准轴线的端面圆跳动数值。对于方法 1, 本例为 $277.82 - 277.74 = 0.08$ 。符合图样中 0.09 的要求。

若用于机座长度的测量结果, 则为上述两个测量值的平均值 $(277.82 + 277.74) / 2 = 277.78$ 。符合图样标注的 $278\text{h}11 (-0.32)$ 。

三、铁心档直径尺寸和圆度的测量

若采用内径千分尺进行测量, 铁心档的直径尺寸和圆度测量可同时进行。下述内容请参看图 4-4。

1. 选用量具

对铁心档的直径尺寸, 在大批量生产检验时, 一般使用专用量棒 (棒规); 要求给出准确尺寸时, 对于直径超过 $\phi 500$ 的, 可使用低于 1 级精度的内径千分尺, 不超过 $\phi 500$ 的, 应使用 1 级精度的内径千分尺 (一般在测量止口直径时紧接着进行本项测量, 所以使用的内径千分尺和测量止口时相同); 也可使用 1 级精度的内径百分表。

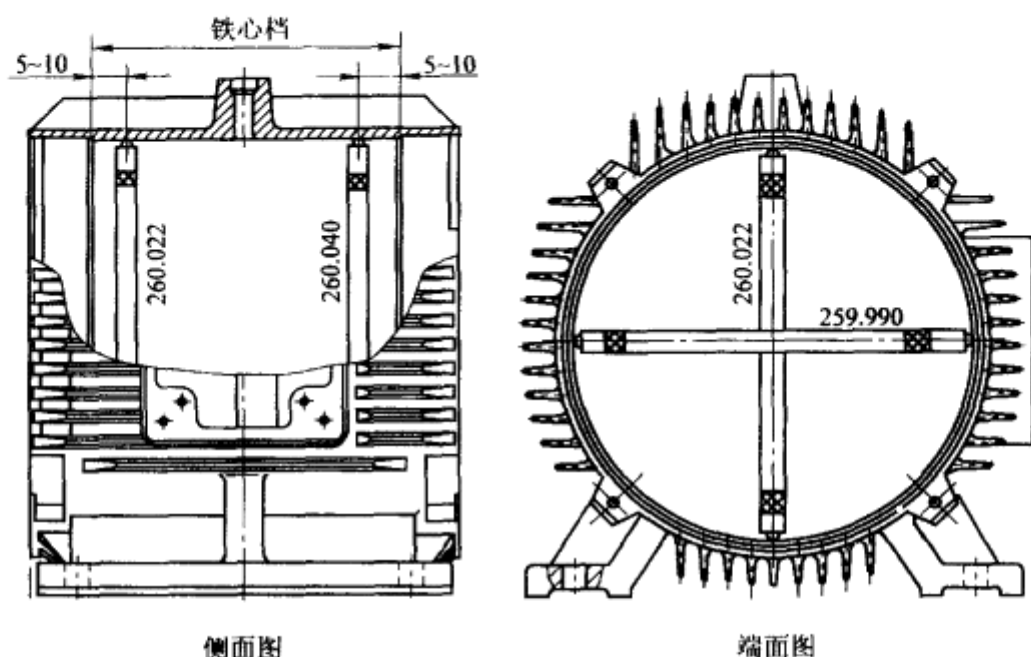


图 4-4 机座铁心档直径尺寸和圆度的测量

2. 测量方法

在距铁心两端约 5 ~ 10mm 处与底脚支撑面垂直和平行的（若为无底脚电机，则任意取两个相互垂直的方向）同一截面上各测量一次。假设两端测量值分别为 $\phi 260.022$ 、 $\phi 259.990$ 和 $\phi 260.040$ 、 $\phi 259.996$ 。

用于计算圆度时，为了提高准确度，建议多测量几点（不少于 4 点）。

3. 测量结果的确定和判断

（1）直径尺寸长度取每一端两个测量值的平均值作为该端的测量结果，两端的数值均应合格。本例为 260.006 和 260.018，符合图样中 $\phi 260 \left(\begin{smallmatrix} +0.044 \\ -0.019 \end{smallmatrix} \right)$ 的要求。

（2）圆度的数值计算方法 先分别计算每一端的圆度数值（为了叙述简便，本例只给出 2 点的测量数据。计算方法同止口圆度的计算），本例为 0.016 和 0.022，然后取两个数值之中较大的一个作为被测机座的铁心档圆度数值。本例为 0.022，符合图样的要求。

四、机座长度的测量

1. 选用量具

图样标注的机座长度为 $278h11$ ($^{+0}_{-0.32}$)，所以可选用分度值为 0.05mm 或 0.02mm 、测量范围为 $0 \sim 300\text{mm}$ 的游标卡尺进行测量；批量生产中进行检查时可使用专用卡板。

在本节第二项（二）“两端口端面对止口基准轴线的端面圆跳动”中介绍了将机座立起在测量平板上，用高度尺进行测量的方法也较常用。

2. 测量方法

取任意位置测量一次，也可在相互垂直的两个方向测量两个数据，取其平均值。如图 4-5 所示，假设为 277.8 。

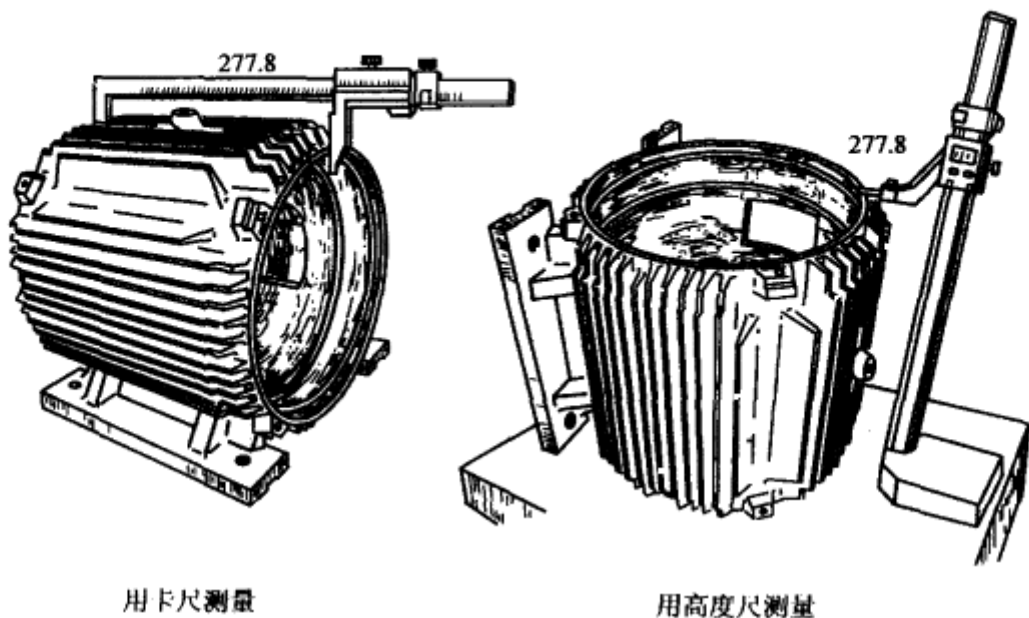


图 4-5 机座长度尺寸的测量

3. 测量结果的确定和判断

测量结果为 277.8 ，符合图样中 $278h11$ ($^{+0}_{-0.32}$) 的要求。

五、机座中心高的测量

本项只对有底脚的电机，例如安装方式为 IMB3 、 B35 、 B6 、 B7 、 B8 、 V15 、 V5 、 V6 、 V36 的电机。当需要测量机座止口直

径尺寸时，可将两项同时进行。

1. 选用量具

本例图样标注出来的中心高为 160 ± 0.1 。应选用如下计量器具：

(1) 精度等级不低于 2 级的测量平板一块。

(2) 1 级精度、测量范围为 50 ~ 600mm (或 200 ~ 325mm) 的内径千分尺 (同止口直径的测量要求) 一把。

(3) 分度值为 0.02mm、测量范围为 0 ~ 300mm 的高度游标卡尺一把。

(4) 1 级精度的百分表一只 (含表的支架，一般使用游标高度尺)。

(5) 中心高测量块一套。

2. 测量方法

先将平台工作面和被测电机的底脚底平面擦拭干净，特别是电机的底脚底平面往往粘有底浆漆、油污和其他杂物，如不清除干净，将对测量的准确度造成直接的影响，所以必须清理干净。对粘附的底浆漆和油污，应使用稀料或汽油进行清洗。

然后将被测电机机座平稳地放置在测量平板上。

根据被测电机中心高数值 (或机座号) 的大小，来决定采用下述方法之一进行测量。建议机座号为 160 及以下的电机采用方法 1；机座号超过 160 的电机采用方法 2。

方法 1：分别在机座的两端进行测量。先用高度游标卡尺测量两底脚平面到止口的最小尺寸 (即止口内圆最下点至测量平板的距离，或者说高度)，假设本例两端分别为 28.33 和 28.34。再用内径千分尺测量止口内圆竖直方向 (即和两底脚平面垂直的方向) 的直径，假设本例两端分别为 $\phi 263.02$ 和 $\phi 263.05$ ，如图 4-6 所示。

若以前已测量过两端止口的直径尺寸，可直接使用其测量值，而不必再次进行本项测量。

方法 2：用中心高测量块和百分表进行测量。中心高测量块

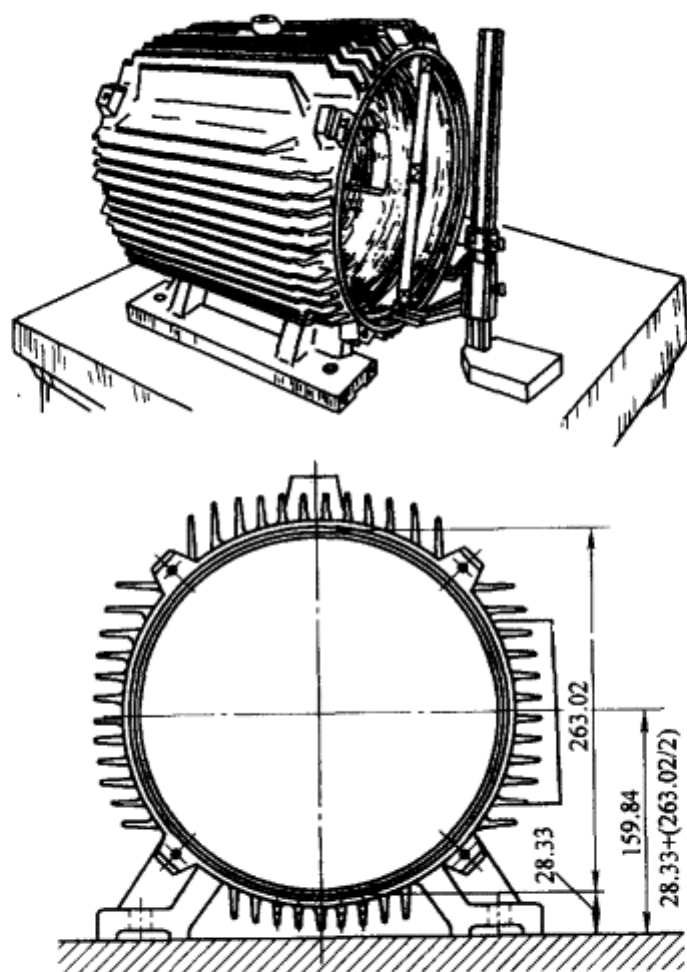


图 4-6 用高度尺和内径千分尺测量机座中心高的方法

的高度应为止口下端距底脚平面的高度（中心高名义尺寸 - 止口半径名义尺寸），本例的机座号为 $160 - (263/2) = 28.5$ 。

将中心高量块放置在测量平板上。先用该量块将安置在表架上的杠杆百分表对好“0”位，再去测量止口内圆最下点至测量平板的高度，假设为 28.33。此方法和上述方法 1 相比，实际主要是用杠杆百分表和中心高量块代替了方法 1 中的高度尺，但相对而言，测量精度略高一些。

此方法也需要得到实测的止口直径数值。

3. 测量结果的确定和判断

对上述两种方法，最后的计算是相同的。即被测电机机座的

中心高等于两底脚平面到止口的最小尺寸与止口内圆竖直方向直径的 $1/2$ 之和。本例两端分别为 $28.33 + (263.02/2) = 159.84$ 和 $28.34 + (263.05/2) = 159.865$ 。均在图样要求的 160 ± 0.4 (即 $159.6 \sim 159.9$) 范围之内, 所以符合图样的要求。

六、底脚支撑面平面度的测量

本项只对有底脚的电机。若需测量机座的中心高, 一般要同时进行。

1. 选用量具

- (1) 精度等级不低于 2 级的测量平板一块。
- (2) 塞尺。

2. 测量方法

对平台和被测机座的处理以及机座的放置要求同上述中心高测量的相关内容。

用塞尺检查底脚支撑面与平台之间的间隙, 应寻找最大间隙点, 并以此作为测量结果, 例如最大为 0.10 , 如图 4-7 所示。

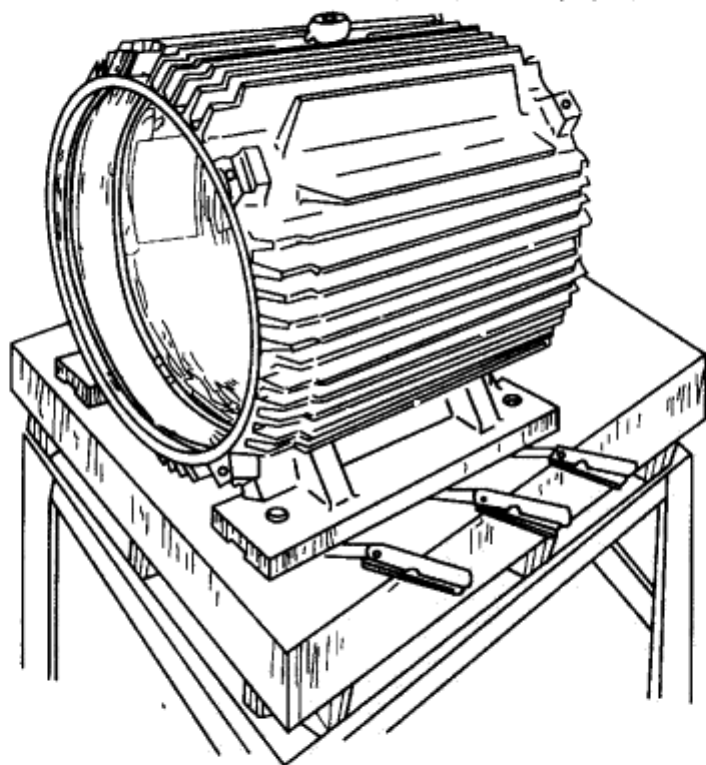


图 4-7 机座底脚支撑面平面度的测量

3. 测量结果的确定和判断

以所有测量值中的最大间隙值作为测量结果。本例为 0.10, 小于图样中标注的 0.160, 所以符合要求。

七、机座止口公共基准轴线对底脚支撑面平行度的测量

本项只对有底脚的电机。

1. 选用量具

本项测量所用量具的品种和精度规格同机座中心高的测量。

2. 测量方法

本项测量数值和测量方法同中心高测量方法 2 (图 4-6)。

3. 测量结果的确定和判断

取两端中心高实测值之差, 即为本项要得到的数值。本例为 $159.865 - 159.84 = 0.025$, 符合图样 0.160 的要求。

八、机座底脚安装孔的孔径 K 、孔距 A 和 B 、 $A/2$ 的测量

本项只对有底脚的电机。在电机行业中, 底脚安装孔是底脚螺栓安装通孔的简称或习惯称法。

测量时, 一般要将被测机座的底脚底平面侧放, 若要测量 $A/2$ 的数值或想知道底脚孔的位置度 (简称 K 的位置度) 是否合格, 还要使用专用的工装将底脚底平面放置得与测量平板工作面垂直。

(一) 底脚安装孔直径 (K) 的测量

在电机行业标准中, 底脚安装孔直径用字母 K 来表示, 所以有时将底脚安装孔简称为 K 孔, 其直径尺寸则简称为 K 尺寸。

1. 选用量具

在日常批量生产检查时, 使用专用的塞规进行检查测量; 若需要准确的数值, 则需要一把分度值为 0.05mm 或 0.02mm、测量范围为 0~150mm 的游标卡尺, 当然也可使用合适的内测千分尺。

2. 测量方法

在各孔的中间截面上进行测量, 假设测量结果均为 $K_1 = 15.20$, 如图 4-8a 所示。

3. 测量结果的确定和判断

图样中该孔的直径标注值为 $\phi 15H14 \left(\begin{smallmatrix} +0.43 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$, 即为 $\phi 15.00 \sim$

φ15.43。所以实测值均符合图样要求。

(二) 底脚安装孔轴线间横向距离 A 和纵向距离 B 的测量

在电机行业标准中,将底脚安装孔轴线间横向距离(端视距离)和纵向距离(侧视距离)分别用字母 A 和 B 表示,所以也将这两个尺寸简称为 A 尺寸和 B 尺寸。它们是带底脚电机的几个重要安装尺寸中的两个。

本项测量方法如图 4-8b 所示。

1. 选用量具

一把分度值为 0.05mm 或 0.02mm 的游标卡尺,测量范围视被测尺寸大小而定,本例图样标注: $A = 254$; $B = 210$ 。所以选用卡尺的测量范围应为 0 ~ 300mm。

2. 测量方法

先测量出各安装孔的直径数值 K (可借用上一项测量得到的数值),然后用卡尺的外量爪在各孔的中间截面上分别测量前后、左右两孔壁间横向和纵向的 4 个最大距离数值 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 。假设本例为: $a_1 = 269.20$; $a_2 = 270.00$; $b_1 = 225.20$; $b_2 = 225.24$ 。

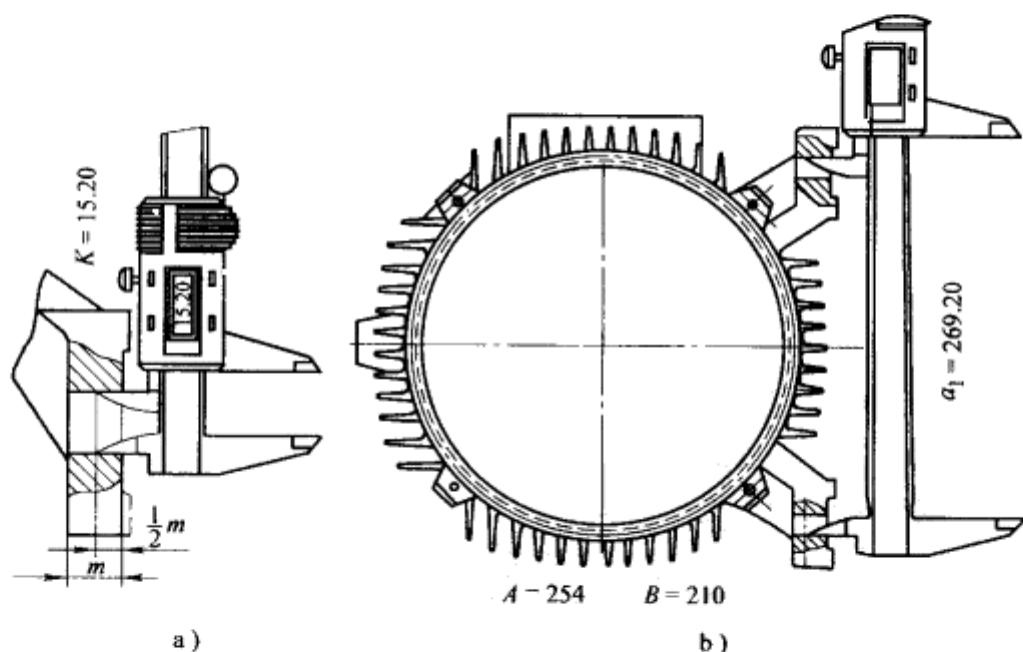


图 4-8 机座底脚安装孔的孔径、孔距测量 (K 、 A 、 B 的测量)

a) 测量 K 尺寸 b) 测量 A 、 B 尺寸

若有专用测量中心孔距的卡尺（见图 2-26），则测量会简便很多，并且可得到直接的结果，即在只需要本项测量数据时，没必要测量四个安装孔的直径，也不必进行下面的计算。

3. 测量结果的确定和判断

用测量得到的 4 个孔壁之间的距离和 4 个孔的直径尺寸（ $a_1 = 269.20$ ， $a_2 = 269.40$ ， $b_1 = 225.20$ ， $b_2 = 225.24$ ， $K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 15.2$ ）计算得到 4 个安装孔轴线之间的距离 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 ，计算式如下：

$$A_1 = a_1 - (K_1 + K_2)/2 = 269.20 - (15.2 + 15.2)/2 = 254.00 \quad (4-1)$$

$$A_2 = a_2 - (K_3 + K_4)/2 = 269.40 - (15.2 + 15.2)/2 = 254.20 \quad (4-2)$$

$$B_1 = b_1 - (K_1 + K_3)/2 = 225.20 - (15.2 + 15.2)/2 = 210.00 \quad (4-3)$$

$$B_2 = b_2 - (K_2 + K_4)/2 = 225.24 - (15.2 + 15.2)/2 = 210.04 \quad (4-4)$$

图样标注尺寸为符合 GB/T1804—1992 中 m （中等级）线性尺寸的一般公差（习惯称之为自由公差），公差值应为 $\pm 0.5\text{mm}$ （见附录 B），所以测量值均符合图样要求。

九、机座底脚安装孔对轴线中心竖直平面距离（ $A/2$ ）的测量和计算方法

本项测量只对使用底脚安装的电机。对具有 4 个安装孔的常用电机，将有 4 个 $A/2$ 数值，也就是说，此处的 $A/2$ 并不能简单地理解为实测 A 值的一半（当然，若所有的尺寸都达到图样指标定得名义值，则这 4 个 $A/2$ 数值也会完全相等，并完全等于 A 尺寸名义值的一半）。

（一）选用量具

本项测量所用量具除包括前面测量 K 、 A 和 B 尺寸以及止口直径尺寸所用的量具外，还应有一把游标高度尺、一把直角尺。

当然，如果 K 、 A 、 B 和止口直径尺寸已经通过测量获得，则可不必要再次测量。

测量时，需将被检测的电机侧立放置在测量平板上，并且需要调整到电机的底脚平面与测量平板工作面垂直、轴线与测量平板的工作面平行。要达到这一放置要求，可使用三个微型的千斤顶或一个专用托盘将被测电机架起，后者使用方便并且安全。

（二）用千斤顶支撑电机的调整方法和注意事项

支撑电机用的微型千斤顶如图 4-9a 所示。它是通过调节螺丝来达到升降的目的的。

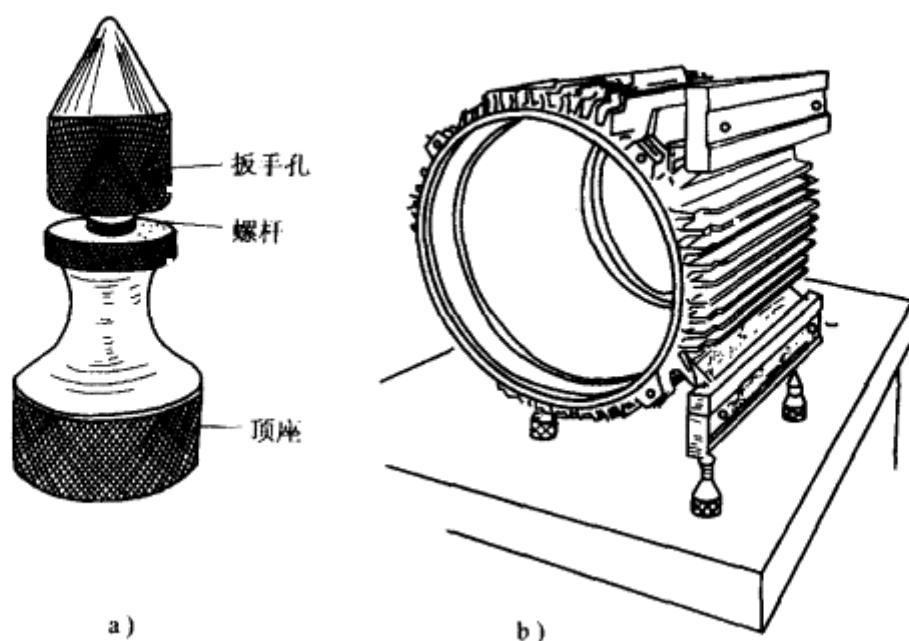


图 4-9 用千斤顶支撑电机

a) 微型千斤顶 b) 用千斤顶支撑电机

支撑侧立的电机时，需要三个这样的千斤顶，其中两个支撑电机底脚侧面，第三个支撑机壳外圆的中心部位，如图 4-9b 所示。调节支撑电机底脚侧面两个千斤顶中的一个，可调整电机轴线与测量平板工作面的平行情况（简称调水平）；调节支撑机壳外圆中心部位的千斤顶，可调整电机底脚平面与平板工作面的垂

直情况（简称调垂直）。

因为支撑点较少并且也较小，所以要注意防止被测电机滑倒造成摔坏电机或出现人身伤害事故。为此，支撑点要选择适当，要尽可能地选择在被支撑面的中心位置；在调节时，要用力均匀、轻缓，并时刻注意观察支撑点是否有滑动的迹象；在测量操作时，要防止对被测电机的碰撞或其他意外的力量造成电机的位移。

（三）用专用托盘支撑电机的调整方法和注意事项

1. 专用托盘的形状和尺寸

制作专用托盘的材料一般为钢板，其形状无一定要求，最简单的可以是一个方形或梯形的，为了减小重量和方便使用，可制成略微复杂一些的“蛤蟆”形；其尺寸大小可根据将要测量的电机来确定，厚度要满足放上电机后不变形的要求；三个调节螺栓要便于调节，并具有足够的机械强度。图 4-10a 是一个可用于机座号 160 ~ 200 三相异步电动机“蛤蟆”形专用托盘的形状和尺寸示例。

2. 专用托盘的使用方法

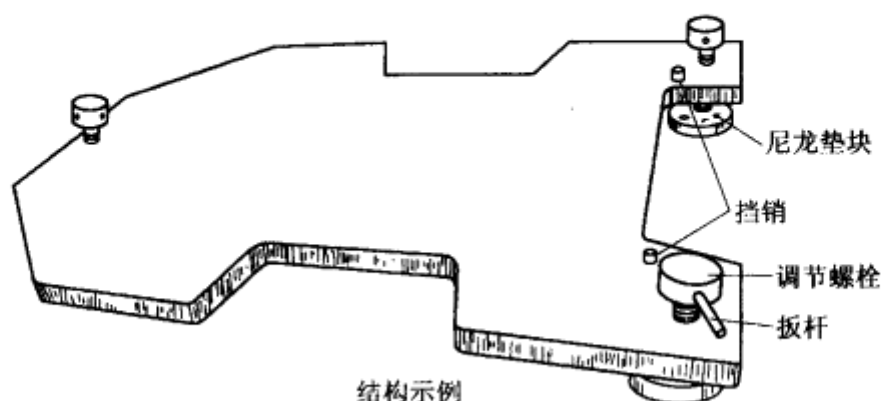
将托板平放在平台上，调节螺栓下放置一个尼龙托垫（其目的是防止螺栓与平板直接接触，避免在调节时划伤平板的工作面）。通过调节三个螺栓，对托盘进行初步调整，使其与测量平板的工作面基本平行。

之后，将被测电机侧躺着放置在托盘上，使其底脚平面抵在托盘的底脚定位销处，用木质的垫块倚在另一面机壳处，防止电机向后移动，如图 4-10b 所示。

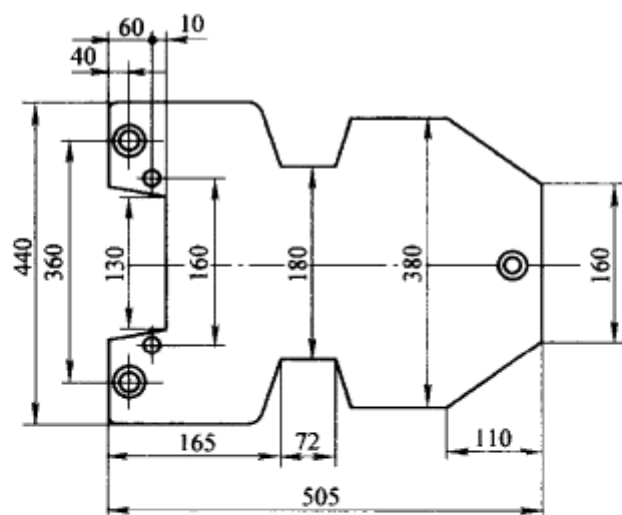
调节电机底脚一侧两个调节螺栓中的一个，可调整电机轴线与平板工作面的平行情况（简称调水平）；调节机壳外圆一侧的调节螺栓，可调整电机底脚平面与平板工作面的垂直情况（简称调垂直）。

3. 测量方法

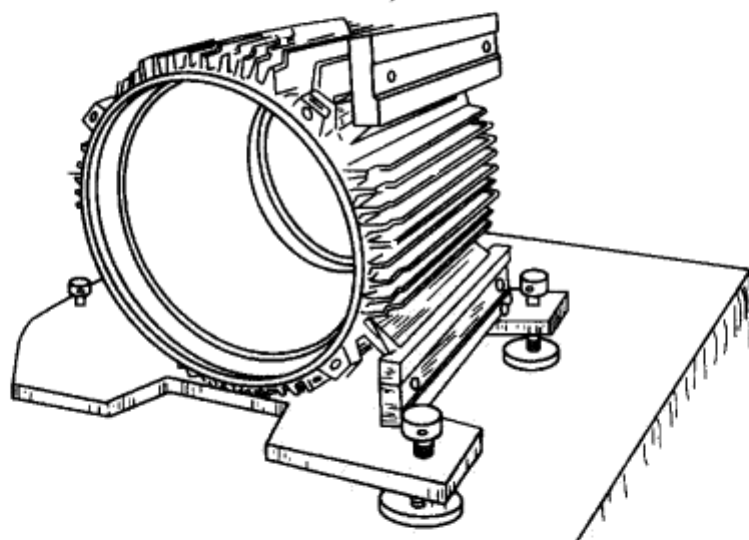
测量操作步骤和注意事项（见图 4-11）：



结构示例



a)



b)

图 4-10 用专用托盘支撑电机

a) 专用托盘形状和尺寸示例 b) 用专用托盘支撑电机

(1) 清理测量面 将所用测量平板和被测机座的底脚平面擦拭干净。

(2) 侧放被测机座 将被测机座侧放在专用的托板上 (放置要求见图 4-10)。若没有专用的托板, 则使用三个千斤顶 (放置要求见图 4-9)。

(3) 使机座公共基准线 (图中 AB) 与测量平板平面平行 用直角尺的长尺外工作面靠近机座的一个端面, 调节专用托板上前面两个螺栓 (或两个千斤顶) 中的一个, 使机座的端面与直角尺长尺的外工作面上下皆贴紧, 即使机座的端面与测量平板工作面垂直, 从而使机座公共基准线与测量平板平面平行, 如图 4-11a 所示。

(4) 使机座底脚平面与测量平板平面垂直 用直角尺的长尺外工作面靠近机座的底脚平面, 调节专用托板上后面的螺栓 (或后面的千斤顶), 使机座的底脚平面与直角尺长尺的外工作面上下皆贴紧, 即使机座的底脚平面与测量平板工作面垂直, 如图 4-11a 所示。

检查直角尺外工作面与被测平面是否贴紧的办法: 一是用透光法, 另一个是用一张较硬的普通书写纸往接触面间插, 若不能插入, 则说明已贴紧, 如图 4-11b 所示。

(5) 测量 K 值 用游标卡尺测量出底脚各安装孔的孔径 K 。

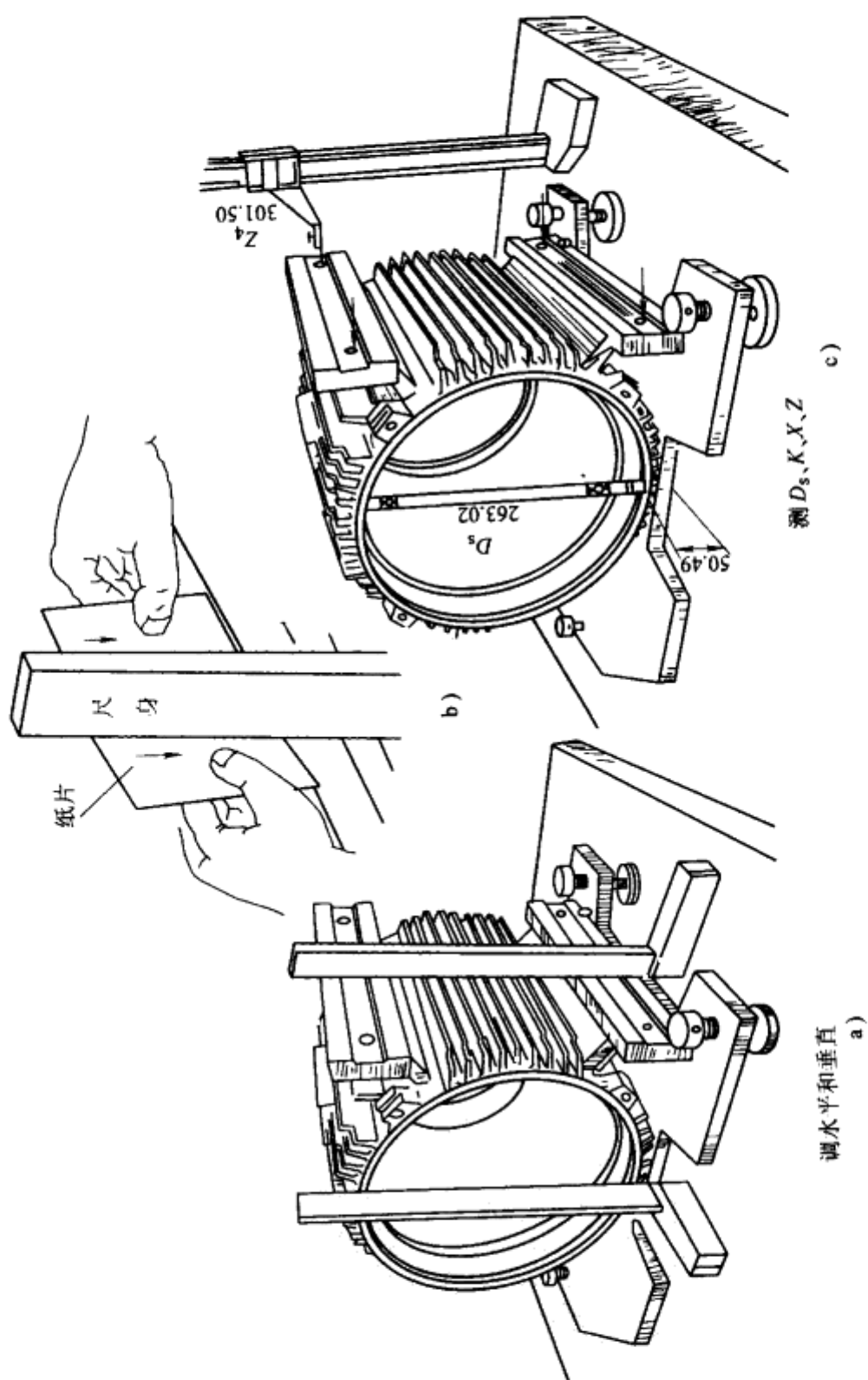
(6) 测量止口和安装孔对测量平板的距离 用高度尺测量出机座端面止口内侧面及各安装孔下边缘至测量平板工作面的高度 X 、 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 。假设测量结果依次为 50.49、47.40、301.40、47.30、301.50。

(7) 测量止口直径 用内径千分尺测量止口竖直方向的直径 D_s 。假设测量结果为 263.02。

4. $A/2$ 的计算

结合本例的有关测量值为例介绍 $A/2$ 的计算方法。

分别用 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 代表图 4-11 中 4 个 $A/2$ 数值, 并设 $Y = \left(\frac{D_s}{2} + X \right)$, 则



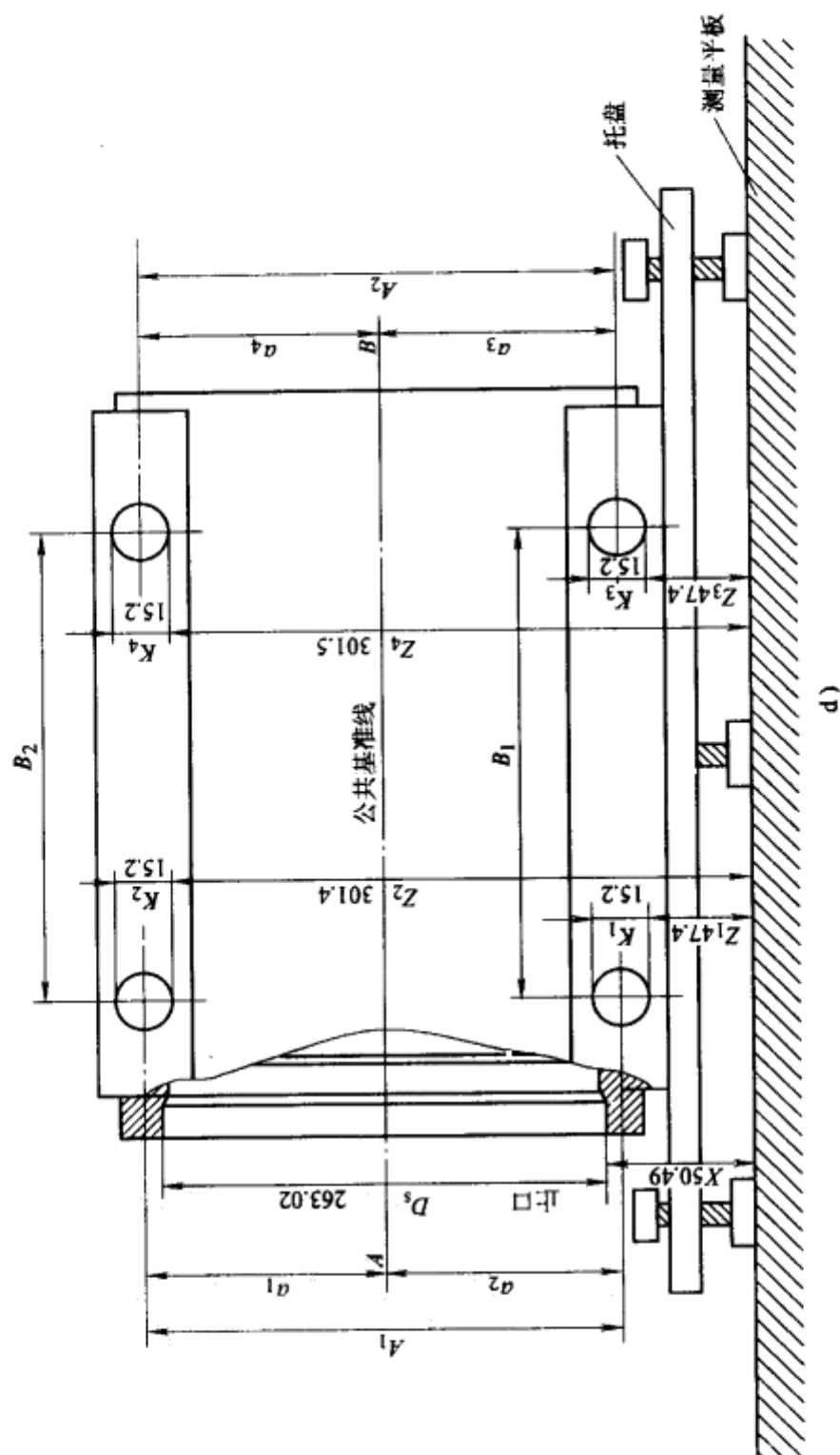


图4-11 机座底脚安装孔对轴线中心竖直平面距离 ($A/2$) 的测量
a) 调水平 and 垂直 b) 用纸检查尺身与被测平面贴紧的情况 c) 测量 D_s 、 K 、 X 、 Z d) 相关尺寸

$$Y = \left(\frac{D_s}{2} + X \right) = \left(\frac{263.02}{2} + 50.49 \right) = 182 \quad (4-5)$$

$$a_1 = \left(\frac{D_s}{2} + X \right) - \left(Z_1 + \frac{K_1}{2} \right) = Y - \left(Z_1 + \frac{K_1}{2} \right) = 182 - \left(47.4 + \frac{15.2}{2} \right) = 127 \quad (4-6)$$

$$a_2 = \left(Z_2 + \frac{K_2}{2} \right) - \left(\frac{D_s}{2} + X \right) = \left(Z_2 + \frac{K_2}{2} \right) - Y = \left(301.4 + \frac{15.2}{2} \right) - 182 = 127 \quad (4-7)$$

$$a_3 = \left(\frac{D_s}{2} + X \right) - \left(Z_3 + \frac{K_3}{2} \right) = Y - \left(Z_3 + \frac{K_3}{2} \right) = 182 - \left(47.3 + \frac{15.2}{2} \right) = 127.1 \quad (4-8)$$

$$a_4 = \left(Z_4 + \frac{K_4}{2} \right) - \left(\frac{D_s}{2} + X \right) = \left(Z_4 + \frac{K_4}{2} \right) - Y = \left(301.5 + \frac{15.2}{2} \right) - 182 = 127.1 \quad (4-9)$$

十、机座 C 尺寸的测量

机座 C 尺寸是机座前端（主轴伸端）止口端面至靠近该端的底脚安装孔中心线的距离。因为在整机上也有一个 C 尺寸，并且两者的定义不同，为了加以区别，所以在电机行业中将此处的 C 尺寸前面加上“机座”两个字。可以理解，本项也只是对有地脚的电机机座测量。

（一）选用量具

（1）分度值为 0.05mm 或 0.02mm、测量范围为 0 ~ 300mm 的高度尺。

（2）精度不低于 2 级的测量平板。

（3）分度值为 0.05mm 或 0.02mm、测量范围为 0 ~ 150mm 的游标卡尺。

（二）测量和计算方法

有如下 3 种不同的测量方法：

1. 机座立式放置的测量方法

将被测机座的前端朝下立式放置在测量平板上，用高度尺直接测量最下端的两个安装孔下边缘至测量平板工作面的高度 Y_1

和 Y_2 ，然后再用卡尺测量出这两个安装孔的孔径 K_1 和 K_2 。假设本例为： $Y_1 = 26.40$ ， $Y_2 = 26.42$ ， $K_1 = 15.2$ ， $K_2 = 15.2$ ，如图 4-12a 所示，则：

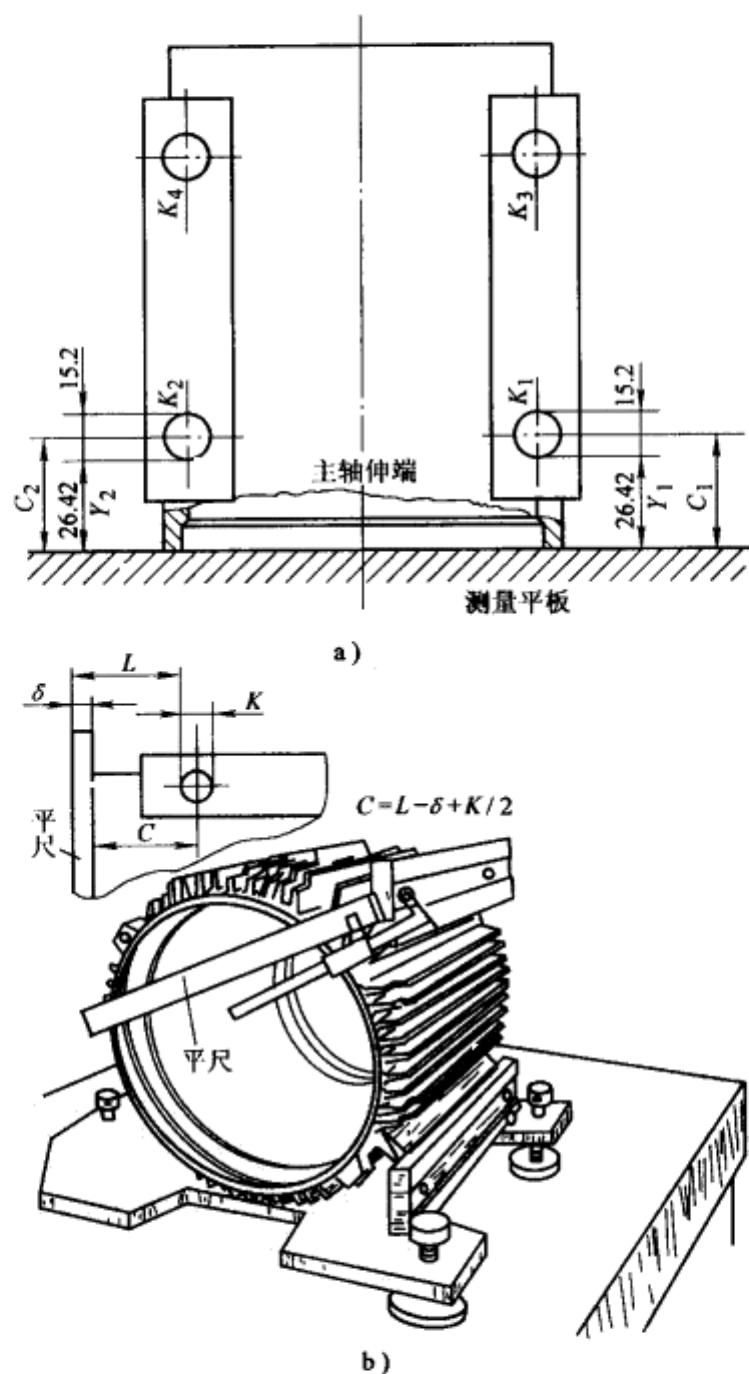


图 4-12 机座 C 尺寸的测量

a) 立式放置的测量方法 b) 侧放的测量方法

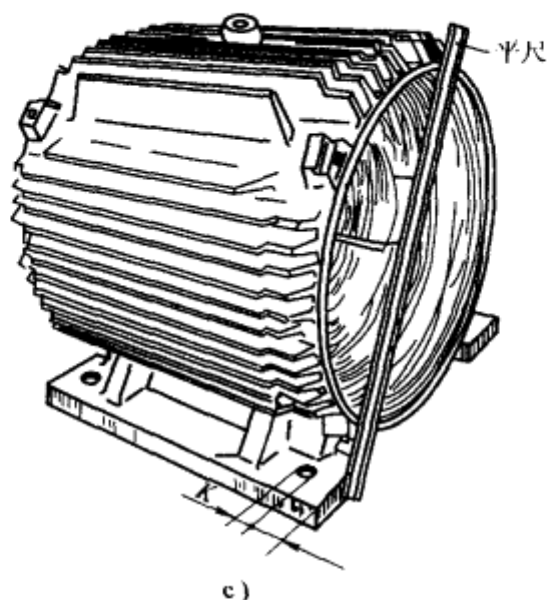


图 4-12 机座 C 尺寸的测量 (续)
c) 较大电机的简易测量方法 (平放测量)

$$C_1 = Y_1 + (K_1/2) = 26.40 + (15.2/2) = 34 \quad (4-10)$$

$$C_2 = Y_2 + (K_2/2) = 26.42 + (15.2/2) = 34.02 \quad (4-11)$$

2. 侧放的测量方法

将机座侧放 (若要求测量该机座的 $A/2$ 时, 则可同时进行该项测量)。用一个平尺靠在被测机座的前端止口端面上, 使其一端的端面与机座底脚平面基本相平, 用游标卡尺的内量爪测量平尺外面至底脚孔一侧的尺寸 (包括平尺厚度, 但不包括底脚孔的半径) 或用外量爪测量平尺内面 (与机座的前端止口端面接触的一面) 至底脚孔一侧的尺寸 (不包括平尺厚度, 但包括底脚孔的半径), 然后根据测量方法的不同进行相应的计算, 求出 C 值。测量时要给平尺加一定的力, 使其靠紧机座的止口端面, 若松动则会造成一定的测量误差, 因此一般要两个人共同操作, 如图 4-12b 所示。

3. 平放的简易测量方法

对较大的机座, 由于侧翻较困难, 可将被测机座平放, 用直尺和卡尺 (或钢板尺、卷尺) 对其进行测量, 操作方法同上述第 2 种, 如图 4-12c 所示。这样测量的准确度较差, 但大容量电

机的 C 尺寸公差也较大（例如机座号为 355 的电机为 $\pm 4\text{mm}$ ），所以能满足要求。

十一、底脚螺栓通孔（ K 孔）位置度的计算和考核方法

（一）说明

底脚螺栓通孔（以下简称 K 孔）位置度是否准确，决定着电机能否准确地定位于安装台架预定的位置上，使配套设备能否正常运行的问题。

按 GB1183《形状和位置公差术语和定义》中的规定，孔的轴线必须位于直径为公差值 ϕ_t ，且以相对基准所确定的理想位置为轴线的圆柱面内（以下论述中均以 K 孔孔心 O 点来代替其轴心线）。

电机底脚 K 孔的其准按 GB4772 中规定为电机的轴线。

K 孔位置度的公差规定为 $\phi 0.5Z\textcircled{M}$ ，其中 Z 为 K 孔直径 K 值与安装用螺栓直径 D 的基本尺寸之差； $\textcircled{M}$ 是表示位置度公差与 K 孔孔径相关的符号。

K 孔位置度的绘图计算和考核方法有两种，即四孔组框图法和集中坐标法。下面结合实例进行介绍，供检测和判断时参考。

除特殊标出的以外，以下给出或计算所得的尺寸数据单位均为 mm 。

（二）计算底脚螺栓通孔位置度的相关测量数据

以具有 4 个孔的普通电机为例，计算底脚螺栓通孔位置度的相关测量（或经计算）所得的数据有如下 12 个。

- （1）4 个孔的直径 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 。
- （2）两侧各两个孔的轴向距离 B_1 和 B_2 。
- （3）两侧的 C 尺寸 C_1 和 C_2 。
- （4）前、后、左、右共 4 个 $A/2$ 尺寸。

（三） K 孔位置度的绘图计算和考核方法之一——四孔组框图法

1. 列表给出有关数据

先列出被查电机 B 、 C 、 $A/2$ 的理论尺寸（即图样标注尺寸）

和实测尺寸表，以前面测得的数据为例，见表 4-1。

表 4-1 绘图计算和考核 K 孔位置度的尺寸数据实例 (Y2-160M-4)

项 目	A/2				B		C	
位置	前左	前右	后左	后右	左	右	左	右
代码	a_1	a_2	a_3	a_4	B_1	B_2	C_1	C_2
理论尺寸及偏差值/mm	127 ± 0.5				210 ± 0.7		34 ± 0.31	
实测偏差值/mm	0	0	+0.1	+0.1	0	+0.04	0	+0.02

2. 求 K 孔公差圆直径

K 孔公差圆直径用字母 d 表示。它由 K 尺寸 (名义尺寸)、安装螺栓直径尺寸 D ，用下式求得：

$$d = 0.5Z = 0.5(K - D) \quad (4-12)$$

以表 4-1 所列的数据， $K = 15^{+0.43}_0$ (名义尺寸为 15)，使用的安装螺栓为 M12，即 $D = 12$ ，则 $Z = 3$ 。K 孔公差圆直径 d 为

$$d = 0.5Z = 0.5 \times 3 = 1.5$$

或 $d = 0.5(K - D) = 0.5(15 - 12) = 0.5 \times 3 = 1.5$

3. 作图得出 K 孔的位置度实际值

在同一张坐标纸上画出四个 K 孔的理论中心点 O_1 、 O_2 、 O_3 、 O_4 ，如图 4-13 所示 (因书中的图较小，为了看得更清楚，同一孔的两点之间的距离有所放大，其他尺寸也未按统一的比例。在实际应用时不可如此)。

4. 判定被测电机 K 孔位置度的实际值是否合格

先从上述图中找出偏差最大的一个孔，然后用勾股定理计算出实际中心和理论中心之间的距离，该距离若小于或等于 $d/2$ ，则可判断四孔的位置度都合格。

例如本例 $d/2 = 1.5/2 = 0.75$ ，最大偏差为 K_4 孔，其 $O_4O'_4 = \sqrt{0.06^2 + 0.1^2} = 0.117 < 0.75$ ，即 K_4 孔的位置合格。所以可以判定其余的三个孔位置的也都合格，即本台电机底脚 K 孔的位置度合格。

(四) K 孔位置度的绘图计算和考核方法之二——集中坐标法

1. 列表给出有关数据

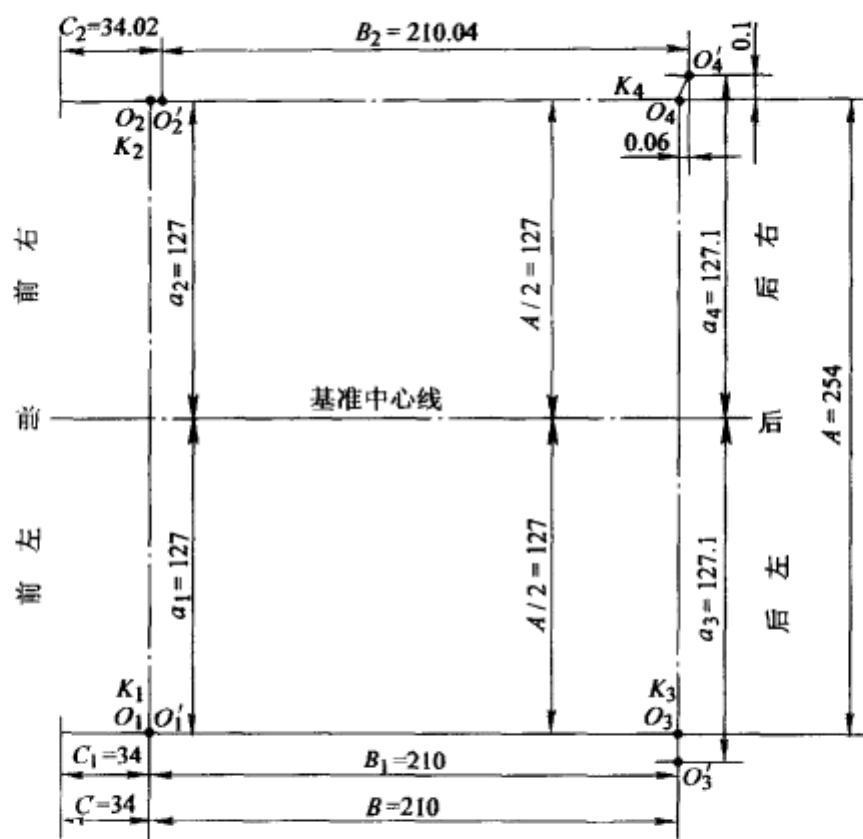


图 4-13 K 孔位置度的绘图计算方法之一——四孔组框图法

需列表的数据同方法一。

2. 绘图和求取 K 孔的位置度

下述绘图过程参见实例图 4-14。

以轴中心线为横轴 (x 轴), 轴伸端两安装孔 K_1 和 K_2 的理论中心 O_1 和 O_2 的连线为纵轴 (y 轴) 两轴的交点为坐标原点 O 。设 $\Delta C = C' - C$, $\Delta B = B' - B$, $\Delta \frac{A}{2} = \frac{A'}{2} - \frac{A}{2} = \Delta a = a' - a$, 其中不带“'”的为理论值 (标称值), 带“'”的为实测值。

将四个 K 孔的实测中心点 O'_1 、 O'_2 、 O'_3 和 O'_4 向原点 O 位移, 位移的方法如下:

对于前两点 O'_1 和 O'_2 , 其横坐标不变, 即分别为 ΔC_1 和 ΔC_2 , 本例 $\Delta C_1 = 0$, $\Delta C_2 = +0.02$; 其纵坐标的绝对值为 $|\Delta a|$, 下方的 K_1 孔 (点 O'_1) 为 $-\Delta a_1$; 在轴线 (x 轴) 上方 K_2 孔 (点 O'_2) 则

与 O'_1 点相反, 其纵坐标即为其 Δa_2 , 本例均为 0。所以 O'_1 和 O_1 是一个点, 即重合; 而 O'_2 点在的右边, 即 x 轴的正方向 0.02 处。

对于后端两点 O'_3 和 O'_4 , 其横坐标为对应的 $\Delta C + \Delta B$, 本例中的 O'_3 点为 $0 + 0 = 0$, O'_4 点为 $0.02 + 0.04 = 0.06$; 纵坐标的确定方法与 O'_1 和 O'_2 相同, 即分别为 $-\Delta(a_3)$ 和 $\Delta(a_4)$, 本例分别为 -0.1 和 $+0.1$ 。

上述原则和实例数据见表 4-2 (结合图 4-14)。

表 4-2 四孔位置度集中坐标法确定计算式及实例

孔的位置	中心代号	横坐标值		纵坐标值	
		计算式	实例数值	计算式	实例数值
前左	O'_1	ΔC_1	0	$-\Delta a_1$	$-(0) = 0$
前右	O'_2	ΔC_2	+0.02	Δa_2	0
后左	O'_3	$\Delta C_1 + \Delta B_1$	$0 + 0 = 0$	$-\Delta a_3$	$-(+0.1) = -0.1$
后右	O'_4	$\Delta C_2 + \Delta B_2$	$+0.02 + 0.04 = +0.06$	Δa_4	+0.1

四点在坐标系中的位置如图 4-14 所示。

3. 判定被测电机 K 孔位置度的实际值是否合格

如四点均在以 $d = 0.5Z$ 为直径, 以原点 O 为圆心的公差圆之内或圆上, 则被测电机 K 孔的位置度都合格; 否则还要用改变纵轴位置的方法重新进行坐标标定和判定。纵坐标位置 (或称横坐标 0 位) 的调整范围是 C 尺寸的公差带, 即 $-\Delta C \sim +\Delta C$ (实例中为 $-0.31 \sim +0.31$)。

当以 $\Delta C = 0$ 为纵坐标的位置时, 若超过公差圆的点在 $-x$

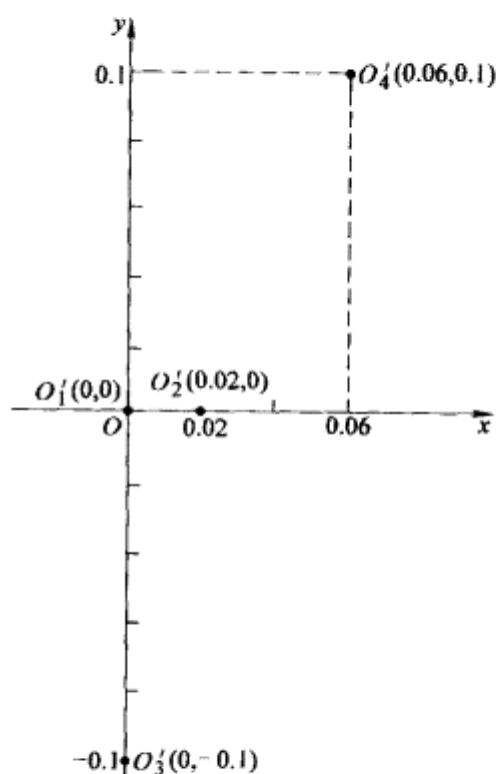


图 4-14 K 孔位置度的绘图计算方法之二——集中坐标法

一方, 则 y 轴向 $-x$ 轴方移动; 反之, 向 $+x$ 方移动。若移动后所有点都落在了新的公差圆之内或之上, 则可判定该电机 K 孔的位置度合格; 如无论怎样移动, 总有某些点或某一点在公差圆之外, 则取最接近的一次位置, 但此时还不能草率地判定圆外的孔不合格, 而应继续进行下面的第 (五) 项将要进述的补偿工作。

(五) K 孔位置度公差补偿

1. 补偿的依据

在 K 孔位置的标注中, $\textcircled{M}$ 是表示位置度公差与 K 孔孔径相关的符号。因为上述 K 孔位置度公差 $\phi 0.5Z$ 中的 Z 是按最大实体尺寸 $Z = K - D$ 来决定的 (因为 K 的下差一般为 0, 而 D 的上差一般也为 0, 所以可写成 $Z = K_{\min} - D_{\min}$), 而实际加工时, K 孔尺寸一般都会大于标称值 $K_{\min}$, 所以, 当某一 K 孔偏离 $\phi 0.5Z$ 公差圆时, 可以在 K 孔实际尺寸符合图样要求的前提下, 用该孔的实际尺寸对其位置度公差进行补偿, 再以补偿的结果来最后判定该孔的位置度是否合格。

2. 补偿值的确定方法

设在原公差圆之外的孔为 K_w , 其实际孔径为 K_{ws} , 则位置度公差补偿值 Δd 用下式计算:

$$\Delta d = K_{ws} - K_{\min} \quad (4-13)$$

3. 补偿及最终判定

设原直径为 $d = 0.5Z$ 的公差圆之外的 K_w 孔的孔心与公差圆圆心之间的距离为 L_w , 则当 L_w 值符合下式的要求时, 该孔为经过补偿后的位置度合格; 否则为不合格。

$$2L_w \leq d + \Delta d = 0.5Z + (K_{ws} - K_{\min}) \quad (4-14)$$

4. K 孔位置度误差大小的确定

画一个能包容四个 K 孔孔心 O'_1 、 O'_2 、 O'_3 和 O'_4 各点的最小圆, 其圆心必须在坐标的 x 轴 (即电机轴心线) 上, 此圆的直径值即为该电机 K 孔位置度误差值。

为求得能包容四个孔中心的最小圆圆心, 应分别做每两个点所连 line 段的垂直平分线, 该垂直平分线与 x 轴的交点为圆心。找

到几个圆心后，以距确定该圆心的孔中心至圆心距离为半径画圆，选取能全部包括四个孔中心的若干个圆中的最小的一个。

十二、机座端面螺孔的测量

机座端面螺孔（有些电机是通孔，例如铝壳电机）是指机座与端盖联结用的安装孔，它的测量项目有三个，第一个是螺纹尺寸，第二个是对称度，第三个是位置度。下面将三个测量项目合在一起进行介绍。

1. 选用量具

(1) 不低于 2 级的测量平板。

(2) 分度值为 0.02mm、测量范围为 0 ~ 300mm 游标卡尺。

(3) 分度值为 0.02mm、测量范围为 0 ~ 500mm 游标高度尺。

(4) M8 螺纹规（3 级）。

2. 测量方法和测量结果的判定

进行本项测量时，应将机座卧式放置在测量平板上。

(1) 螺纹尺寸的检查及测量 目测螺纹的加工情况，要求无砂眼或气孔以及缺牙等缺陷；用 M8 螺纹规（3 级）进行检查，“过端过、止端止”即符合要求。

(2) 螺孔对称度的测量 用高度尺分别测量两端各四个螺孔下边缘至测量平板工作面的高度 h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 ，下端两个孔的高度之差以及上端两个孔的高度之差都应在图纸或相关技术要求之内（例如 ± 1.5 ），如图 4-15 所示。

(3) 螺孔位置度的测量 可用测量弦距的方法代替，即用游标卡尺测量同一端相邻两孔之间的距离 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 ，各距离数值与名义值之差都应在图样或相关技术要求之内（例如 ± 1.5 ），如图 4-15 所示。

十三、机座两端口、铁心档同轴度的检查

机座两端口、铁心档同轴度一般要求工艺给与保障。当要求测量时，应准备一个可做到无间隙配合的止口胎（即将机座止口拍入止口胎的止口后，两个止口的配合面之间应无间隙，但

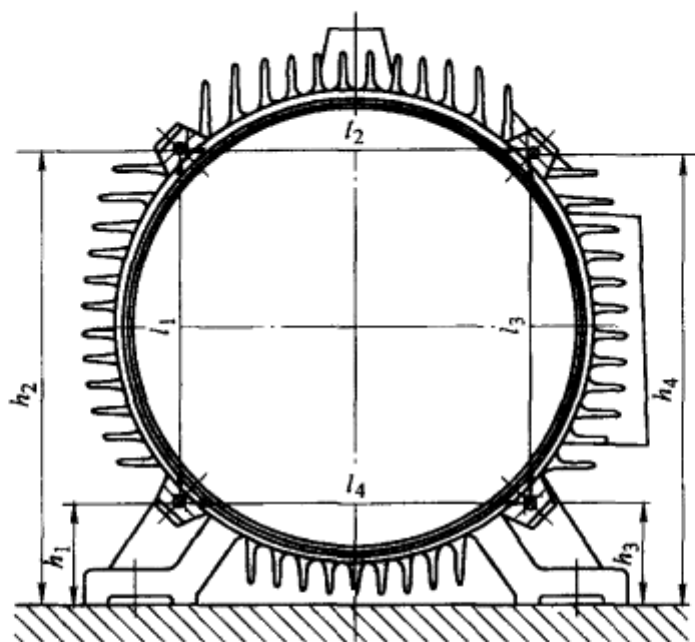


图 4-15 机座端面螺孔的测量

注：(1) 对螺孔对称度的测量。(2) 对螺孔位置度的测量（弦距法）。

要求其配合的最大过盈量不大于 0.02mm。该工装一般由单位自己设计和制作)。根据具体情况，该止口胎可固定在立式车床的转盘上或卧式车床的卡盘上。为了安全和防止测量当中松动，在有必要时，可另加固定。

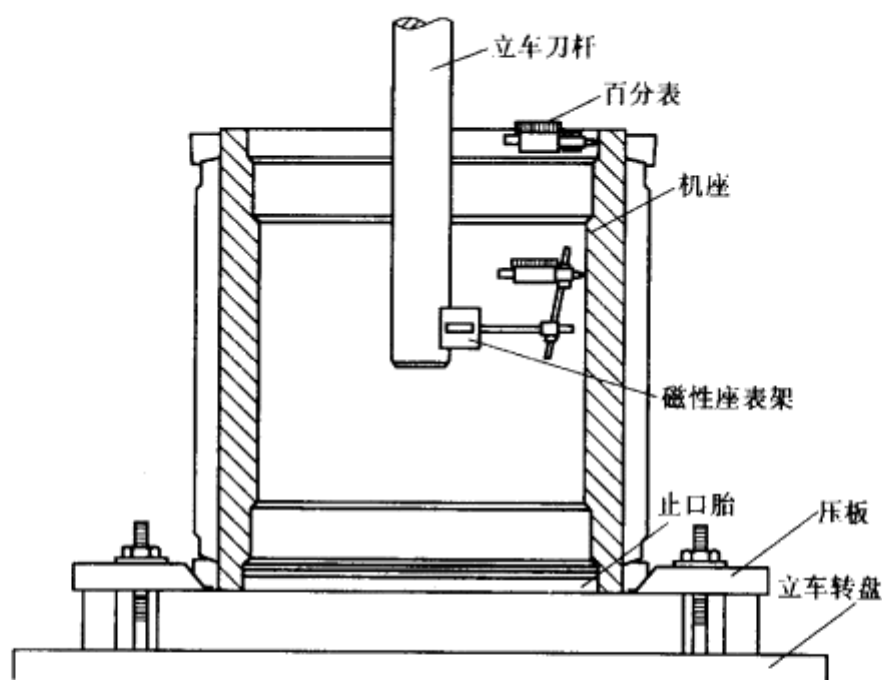
止口胎固定在立式车床的转盘上时，将百分表通过磁性表座固定在车床的刀杆上；固定在卧式车床的卡盘上时，将百分表通过磁性表座固定在车床的中心刀杆或其他铁部件上。如图 4-16a 和 b 所示。回转转盘一周，在上端止口长度的中间部位和铁心档的远离止口胎一端的适当位置进行测量。

取每一周中百分表指示值的最大与最小值之差，作为跳动量。

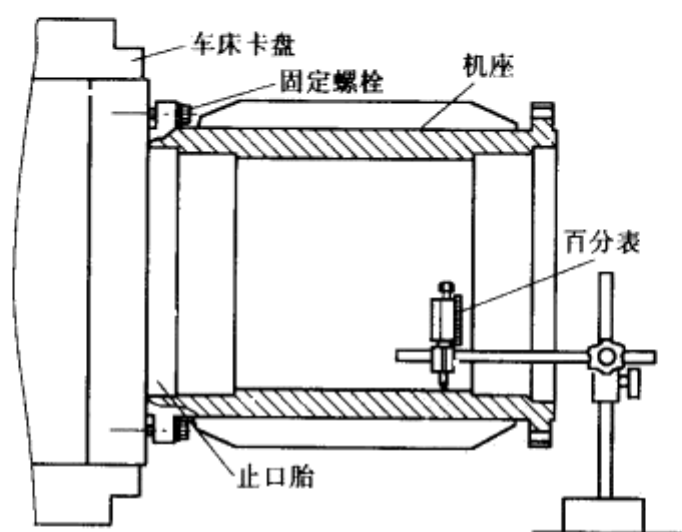
十四、机座吊环螺孔的检查

机座吊环螺孔是否合格是关系到使用安全的一个重要问题。它的检查项目有两个，第一个是螺纹尺寸和螺纹整齐度，第二个是平面加工情况。

目测螺纹的加工情况，要求无砂眼或气孔以及缺牙等缺陷；



a)



b)

图 4-16 机座两端止口、铁心档同轴度的检查

a) 用立式车床固定止口胎 b) 用卧式车床固定止口胎

用 M12 螺纹规 (3 级) 进行检查, “过端过、止端止” 即符合要求。

平面加工情况用一个标准吊环进行检查, 将吊环旋入螺孔中

并旋紧，吊环与螺孔平面应密切接触。

第四节 端盖机械尺寸和形位公差的 检测方法和相关规定实例

一、端盖的类型、主要尺寸和形位公差

电机所用的端盖主要有两种型式，一种是只有和机座相配合的止口的普通型（以下简称为“普通端盖”），如图 4-17a 和 b 所示；另一种是带有一个凸缘，该凸缘也有止口（与负载联结）的型式，通常将其称为“凸缘端盖”，习惯称之为法兰端盖，如图 4-17c 所示。

普通端盖只有一端有止口，对于有两端止口的凸缘端盖，并且一般为外止口。

图 4-18 给出了标有主要尺寸和形位公差的 Y2-160M-4（防

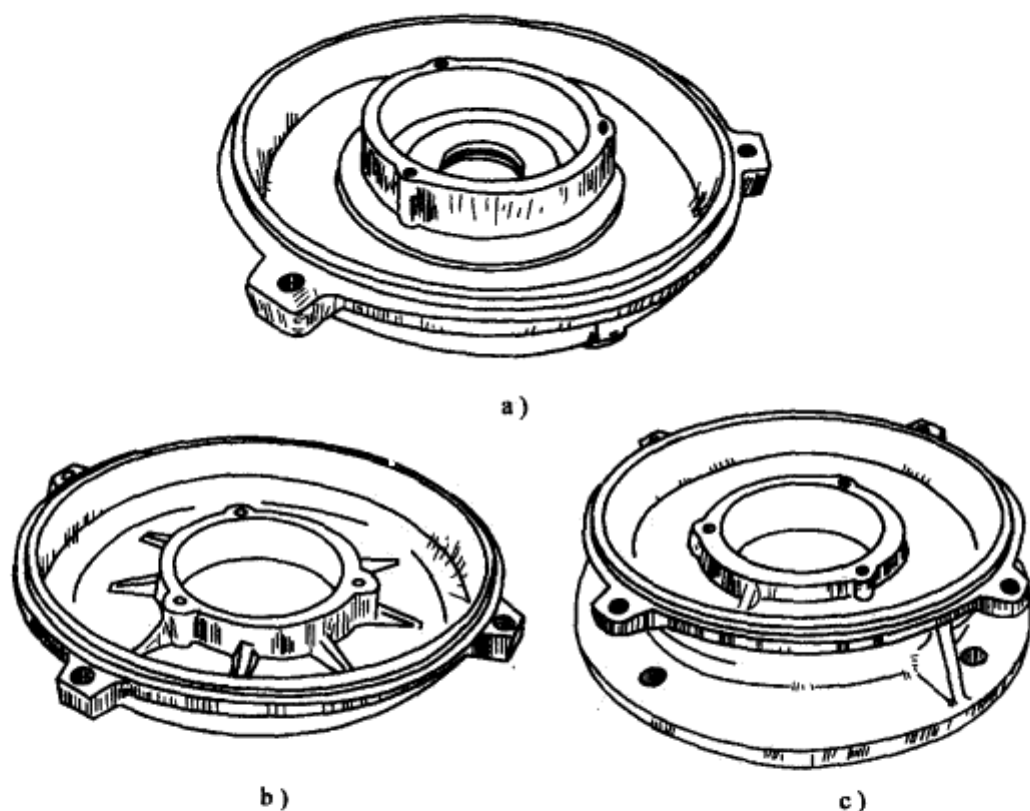


图 4-17 端盖的类型、主要尺寸和形位公差

a) 轴承室有端面的普通端盖 b) 轴承室为通孔的普通端盖 c) 凸缘端盖

护等级为 IP54) 三相异步电动机的前端盖视图 (为了图面清楚, 各部位粗糙度的要求没有全部标出)。下面以此图为例, 按要检测的主要尺寸和形位公差项目, 讲述端盖的测量方法和相关规定。

有关凸缘端盖的特殊要求将在随后的内容中给出。

二、止口的检测

(一) 止口直径尺寸的测量

1. 选用量具

图样标注的止口直径尺寸为 $\phi 263k7$ ($\begin{smallmatrix} +0.056 \\ -0.004 \end{smallmatrix}$)。所以要选用测量范围为 250 ~ 275mm、精度等级为 1 级的外径千分尺; 批量检查时可使用卡规 (卡板)。

2. 测量方法和测量结果的判定 (见图 4-19)

在止口的同一截面上互成 90° 各测量一次。假设轴伸端的端盖为 $\phi 263.008$ 和 $\phi 263.060$, 风扇端的端盖为 $\phi 263.020$ 和 $\phi 263.012$ 。

取同一个端盖的两个测量点读数的平均值作为测量结果。本例分别为 $\phi 263.034$ 和 $\phi 263.016$ 。均符合图样标注的 $\phi 263$ $\begin{smallmatrix} +0.056 \\ -0.004 \end{smallmatrix}$ 要求, 该项尺寸合格。

(二) 止口壁厚的测量

1. 选用量具

测量范围为 0 ~ 150mm 的游标卡尺。

2. 测量方法和测量结果的判定

用游标卡尺的内量爪在最薄处进行测量, 并以此作为测量结果进行考核。

三、轴承室的检测

电机端盖的轴承室有两种结构形式, 分别如图 4-18 所示, 前一种一般用于机座号 160 及以下的电机; 后一种一般用于机座号 180 及以上的电机。本例为机座号 160 的电机, 即前一种。轴承室的尺寸精度及形位公差都较高, 并且对电机的机械性能和使用寿命也都起着相当重要的作用, 所以对检测数据准确度的要求也较高。

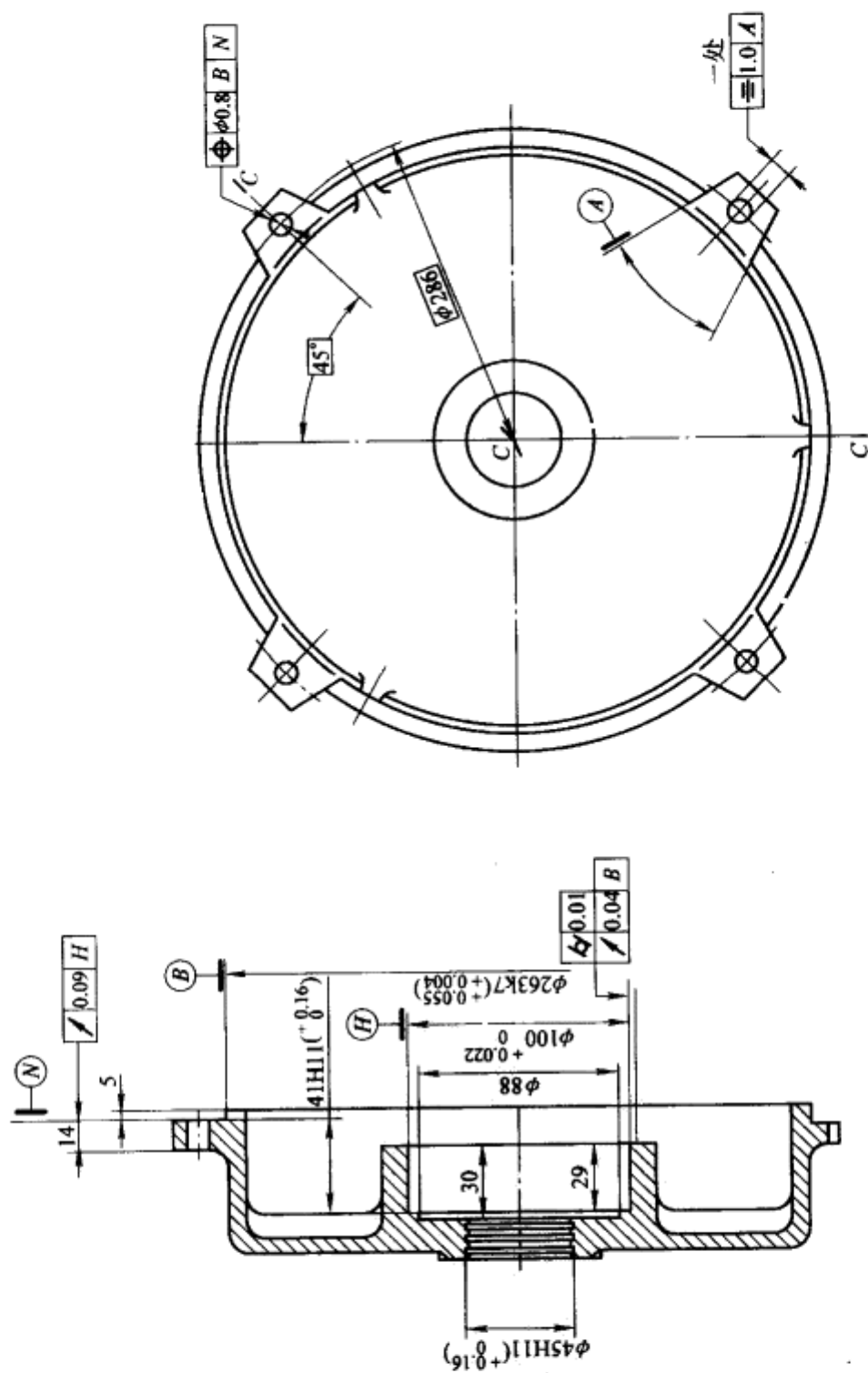


图 4-18 Y2-160M-4 三相异步电动机的前端盖视图

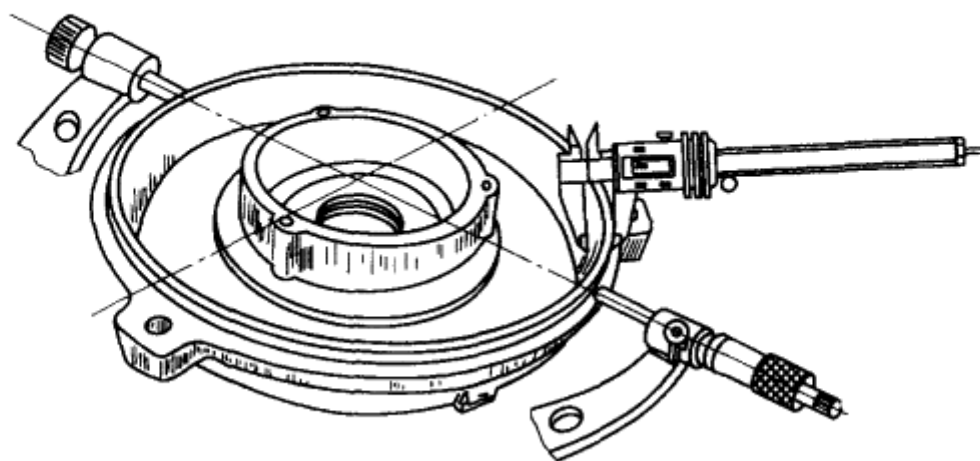


图 4-19 端盖止口直径和壁厚的测量

(一) 直径尺寸精度及圆柱度的测量

1. 选用量具

图样标注的轴承室的直径尺寸为 $\phi 100^{+0.022}_0$ (轴伸端的端盖)。所以要选用精度等级为 1 级、测量范围为 50 ~ 250mm 的内径千分尺或内径百分表。

2. 测量方法和测量结果的判定

用内径千分尺或内径百分表在距两端 3 ~ 5mm 处的截面上进行测量, 分别互成 90° 各测量一次, 如图 4-20 所示。假设一端为 $\phi 100.010$ 和 $\phi 100.012$, 另一端为 $\phi 100.010$ 和 $\phi 100.014$ 。

3. 测量结果的判定

(1) 直径尺寸精度的判定 取每端两个测量点读数的平均值作为该端的测量结果。本例分别为 $\phi 100.011$ 和 $\phi 100.012$ 。均符合图纸标注的 $\phi 100^{+0.022}_0$ 要求, 该项尺寸合格。

(2) 圆柱度的判定 取各截面内所测得的数值中最大与最小值之差的一半作为圆柱度的测量结果。本例为 $(100.014 - 100.010) / 2 = 0.002$ 。符合图纸标注的 0.01 的要求, 该项合格。

(二) 轴承室壁厚的测量和结果的判定

轴承室壁厚的测量所选用的量具和测量方法同止口壁厚的测量。结果的判定也同止口壁厚一项。

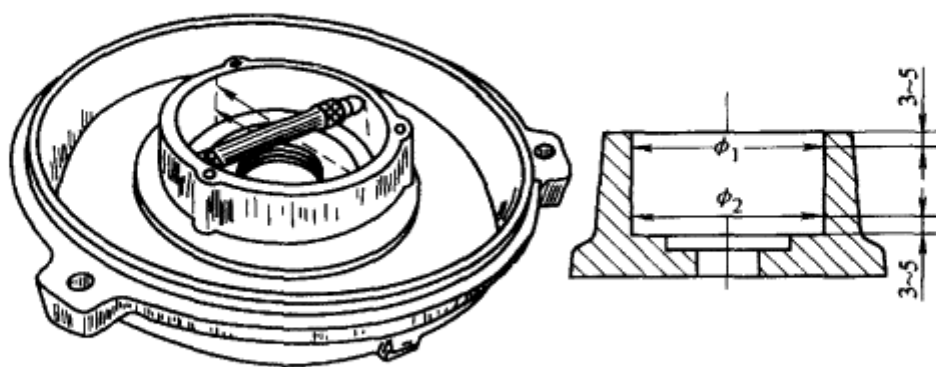


图 4-20 端盖轴承室直径和壁厚的测量

四、止口平面到轴承室底平面距离的测量

图 4-18 中标注的 41H11 ($+^{0.16}_0$) 即为止口平面到轴承室底平面的距离。

1. 选用量具

可用第三章第七节介绍的专用游标深度尺。如没有该专用量具，则选用分度值 0.02mm、测量范围为 0 ~ 150mm 的游标深度尺，同时需要一把长度比止口外缘直径长度长出 30mm 以上的平尺。

2. 测量方法和测量结果的判定

用专用量具时，将专用量具的两端爪架在端盖止口端面上，深度尺的测量面抵在轴承室的底平面上。此时深度尺显示的数值即为止口平面到轴承室底平面距离，如图 4-21a 所示。当轴承室的上端面与止口平面之间的距离小于深度尺的尺座厚度时，专用量具的两端爪将会悬空，此时使用带深度尺的卡尺做成的专用量具。对轴承室为通孔的端盖，要求测量止口平面到轴承室底面（对图中的放置方向而言为下端面）的距离，测量方法与前面讲述的完全相同。使用深度尺，借用平尺两次测量的方法如图 4-21b 所示。

五、端盖轴承室内圆对止口基准轴线的径向圆跳动的测量

（一）所用工装和量具

1. 专用止口胎和回转机械

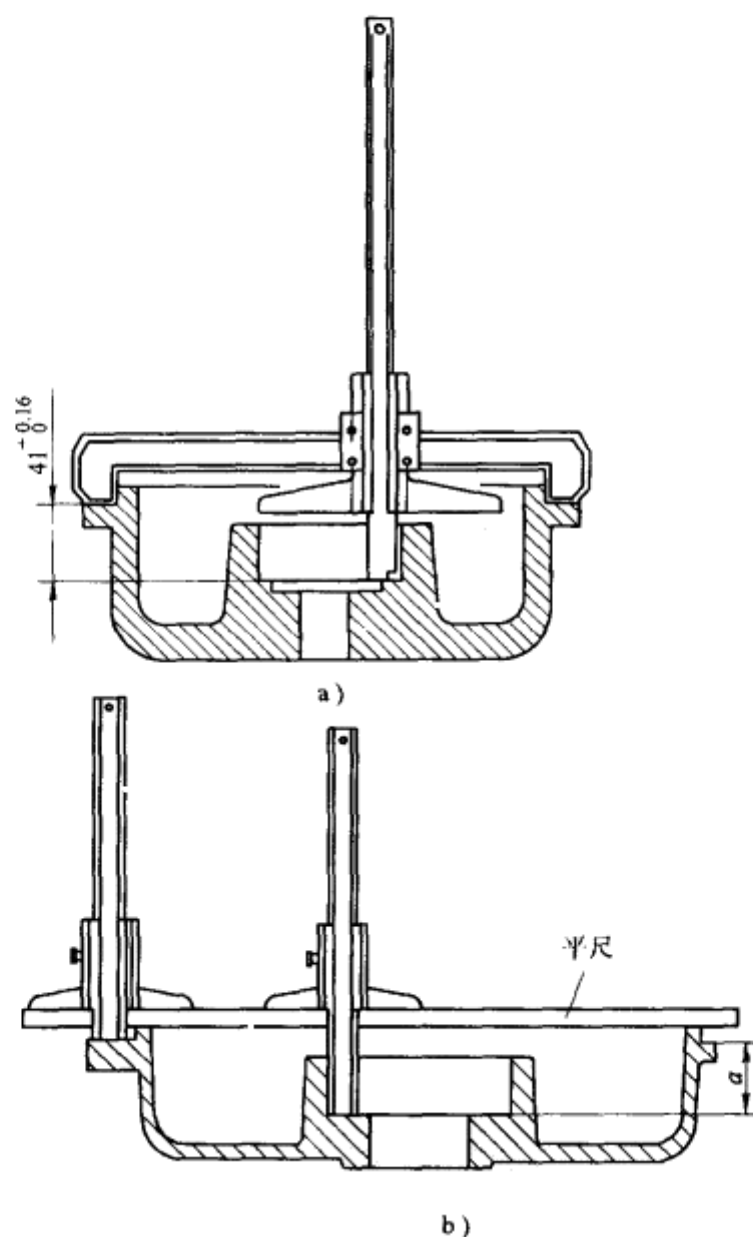


图 4-21 端盖止口平面到轴承室底平面距离的测量

a) 有底面的轴承室测量方法 b) 使用深度尺，借用平尺两次测量的测量方法

测量本项数据需用一个专用的止口胎（或称之为止口模）和回转机械（一般使用加工该产品的车床）。根据所选用的回转机械装卡方式不同，止口胎的外形也不同，以使用卧式车床作为回转机械为例，所使用的止口胎以及装卡方式如图 4-22 所示。应注意轴承室有底面的端盖所用的止口胎较为复杂。

止口胎与所要检测的端盖止口的配合应为“无间隙配合”。为保证止口胎装卡部分的外圆（或内圆）和其工作止口（与被检测端盖相配合的止口）的同轴度达到最理想的精度，两部分应在该工件毛坯一次装卡下加工成形。另外，其工作止口的厚度要足够，以防止装配时受力变形而影响测量的准确性。

2. 测量器具

分度值为 0.002mm 的杠杆千分表和磁性表座。

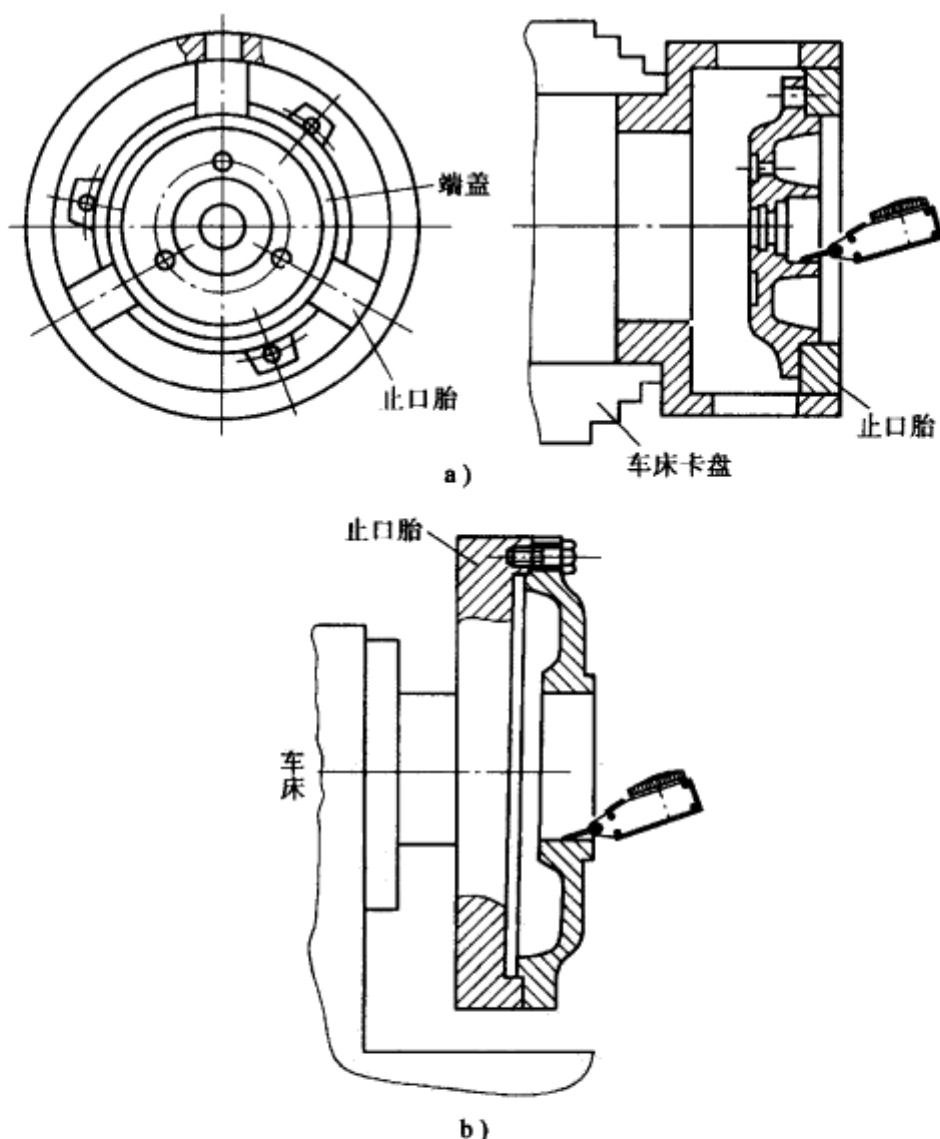


图 4-22 端盖轴承室内圆对止口基准轴线的径向圆跳动的测量

a) 有底面轴承室的装卡和测量 b) 通孔型轴承室的装卡和测量

（二）测量方法和合格标准

以使用卧式车床作为回转机械为例介绍测量方法。

将被测端盖的止口无间隙配合地拍入止口胎，如有必要，可用螺栓将端盖与止口胎进行固定。将千分表安装在磁性表座的表架上，磁性表座吸在被测端盖附近的铁质固定部件上。

先用千分表检查止口胎的外圆对回转机械回转轴线的圆跳动情况，要求达到不大于一个规定的数值（由工艺部门给出）。否则要细心调整止口胎的位置，直至达到要求为止。

上述调整完成后，将千分表的测头调整在轴承室圆周面中间截面位置，回转端盖一周并进行测量，取千分表读数的最大差值作为圆跳动测量结果，例如 0.03mm。

图样标注的轴承室内圆对止口基准轴线的径向圆跳动合格极限值为 0.04mm。实测值 0.03mm，小于 0.04mm，故本项为合格。

六、端盖止口端面对轴承室内圆基准轴线的端面圆跳动测量

（一）所用工装和量具

1. 专用轴承室芯轴和回转机械

将一根可与被检端盖轴承室做到无间隙配合的芯轴装卡在一个回转机械上（一般用车床）。被检端盖轴承室与芯轴相配合的过盈量应不大于 0.02mm。

2. 测量器具

分度值为 0.002mm 的杠杆千分表和磁性表座。

（二）测量方法及合格标准

以使用卧式车床作为回转机械为例介绍测量方法。

将被测端盖的轴承室无间隙配合地套在芯轴上。将杠杆千分表安装在磁性表座的表架上，磁性表座吸在被测端盖止口端面附近的铁质固定部件上。

将千分表的测头调整在端盖止口端面靠近外圆处位置，回转端盖一周，并进行测量。取千分表读数摆动的最大差值作为圆跳动测量结果，例如 0.05mm。

图样标注的端盖止口端面对轴承室内圆基准轴线的端面圆跳

动合格极限值为 0.09mm。实测值 0.05mm，小于 0.09mm，故本项合格。

七、端面孔的尺寸和形位公差的测量

(一) 端面孔的直径尺寸测量

用分度值为 0.02mm 的游标卡尺进行测量。

(二) 端面孔位置度的测量及合格标准

用分度值为 0.02mm 的游标卡尺测量端面孔的直径尺寸和相邻两孔的距离。本例的理论距离应为 $\sqrt{2} \times 286 = 404.404$ ，公差应为 ± 0.8 。

(三) 端面孔对称度的测量及合格标准

用分度值为 0.02mm 的游标卡尺测量各孔侧面到该孔耳子外侧部分的厚度。取每孔两个读数的差值作为该孔对称度的测量结果，例如 0.5mm。

图样标注的端面孔对称度合格极限值为 1mm。实测值为 0.5mm，小于 1mm，故本项合格。

八、凸缘端盖的检测及特有的项目

由于凸缘端盖具有两端止口，其中一端与机座相配合的止口与普通端盖完全相同，称之为端盖止口；另一端止口是普通端盖所没有的，它将用于与设备相联结，一般为外止口，称之为凸缘端止口。所以和普通端盖相比，它的特有检测项目也是对第二个止口相关内容的测量，另外还包括与设备联结用安装孔和其他相关内容的检测。

图 4-23 给出了一个凸缘端盖的外形示例和一台型号为 Y2-160-4 电机的凸缘端盖视图和主要尺寸、形位公差等数据。

(一) 与普通端盖相同的测量项目

测量方法、选用的量具和工装以及测量结果的判定方法等都与前面介绍过的测量普通端盖止口的内容完全相同的检测项目有如下几项：

(1) 两端止口的直径、长度、厚度以及形位公差。

(2) 各端面孔和安装孔的直径尺寸和形位公差。

(3) 机座联结端止口端面与轴承室端面之间的距离。

(二) 特有的检测项目及检测方法

1. 两端止口端面之间的距离

两端止口端面之间的距离即为图 4-23b 中上端标注的 $74h11$ ($^{0}_{-0.19}$)。可用如下检测方法之一：

(1) 用外径千分尺直接进行测量，如图 4-24a 所示。

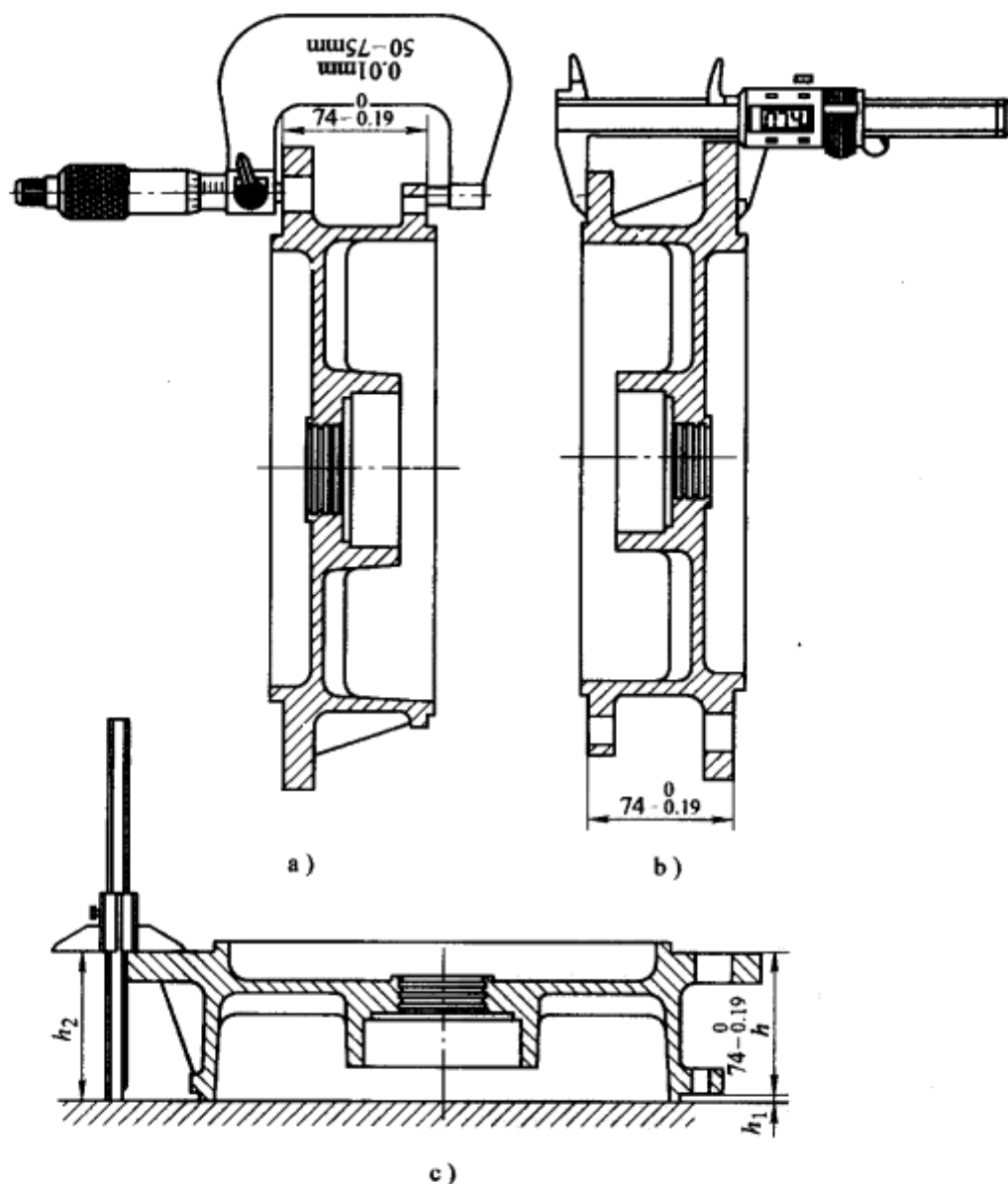


图 4-24 凸缘端盖两端止口端面之间距离的测量方法

a) 用外径千分尺直接测量 b) 用游标卡尺直接测量 c) 用深度尺间接测量

(2) 当两端止口的外圆直径很接近时, 可使用普通游标卡尺或不等长爪游标卡尺的内量爪直接测量, 如图 4-24b 所示。

(3) 先用游标卡尺的深度尺或专用游标深度尺 (测量范围为 $0 \sim 150\text{mm}$ 即可) 测量出外径较小端止口的长度 h_1 , 再将被测端盖外径较小的一端朝下平放在测量平板上, 并测量出上端止口端面到测量平板的高度 h_2 。 $h_2 - h_1$ 即为所要的尺寸, 如图 4-24c 所示。

2. 凸缘端止口对端盖止口基准轴线的径向圆跳动和端面圆跳动

图 4-23 所示的例子中, 凸缘端止口对端盖止口基准轴线 (B) 的径向圆跳动和端面圆跳动公差均为 0.075mm 。

这两项的测量及判定方法、所用量具和工装等同普通端盖止口与轴承室基准轴线的径向圆跳动和端面圆跳动测量。如有可能, 也可只做一个可与被检端盖轴承室做到无间隙配合的假轴, 将其与端盖配合后, 架在车床或等高的两个 V 形架上进行测量。

若只要求测量端面圆跳动, 可用三个等高并且已知高度的垫块将被测端盖架起, 然后用安装在高度尺上的百分表测量凸缘端止口端面一周的高度, 如图 4-25 所示。测量值中最大与最小值

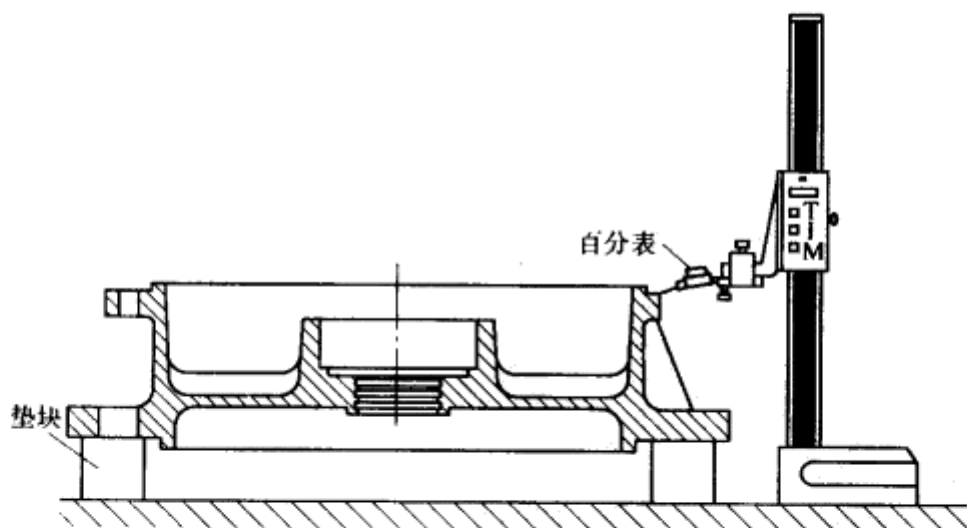


图 4-25 用百分表测量凸缘端止口对端盖止口基准轴线的端面圆跳动

之差即为要求得的数值,例如 0.06mm。测量值小于公差 0.075mm 的要求,本项合格。

第五节 转轴尺寸和形位公差的检测方法

一、主要尺寸和形位公差

转轴简称为轴,是电机主要部件之一,对加工精度要求较高,所以对检测的要求也较高。转轴的主要尺寸有:轴承档的直径、圆柱度及粗糙度;两端轴承档之间的轴向距离;轴伸档的直径(锥度轴伸还包括锥度)、长度、外圆对两端轴承档公共基准轴线的圆跳动、粗糙度、键槽相关尺寸和对称度;铁心档的直径和长度;全长;C 型中心孔的螺纹旋合长度和对轴伸的圆跳动等。

图 4-26 是一根 Y2-160M-4 三相异步电动机的转轴尺寸和形位公差标注图,本节将以此轴图为例进行测量和评价。

二、轴承档尺寸和形位公差的测量

(一) 轴承档的直径尺寸和圆柱度

用 25~50mm 的 0 级外径千分尺,在轴承档内距两端 3~5mm 处的截面上,分别互成 90°各测量一次。取偏差较大的测量值作为直径尺寸的测量结果,两个读数之差的一半即为圆柱度的测量结果,如图 4-27a 所示。

(二) 两端轴承档之间的距离测量

用 0~500mm 游标卡尺的内量爪直接测量,如图 4-27b 所示;在批量生产时,一般使用专用的卡规(卡板)进行测量检查。

(三) 两轴承档距的端面跳动测量

使用第三章第九节介绍的专用支架,利用被检测转轴两端面的中心孔(或称为“顶尖孔”)将被检测转轴架起,调整好两端顶尖的距离和对转轴中心孔的压力,既要防止转轴有轴向窜动,又要能灵活地转动。用百分表的测头接触轴承档的端面(即轴承档肩部的端面),将转轴缓慢地旋转一周,百分表读数最大值和最小值之差即为该端的端面跳动值。用同样的方法测出另一端的跳动值,如图 4-28 所示。

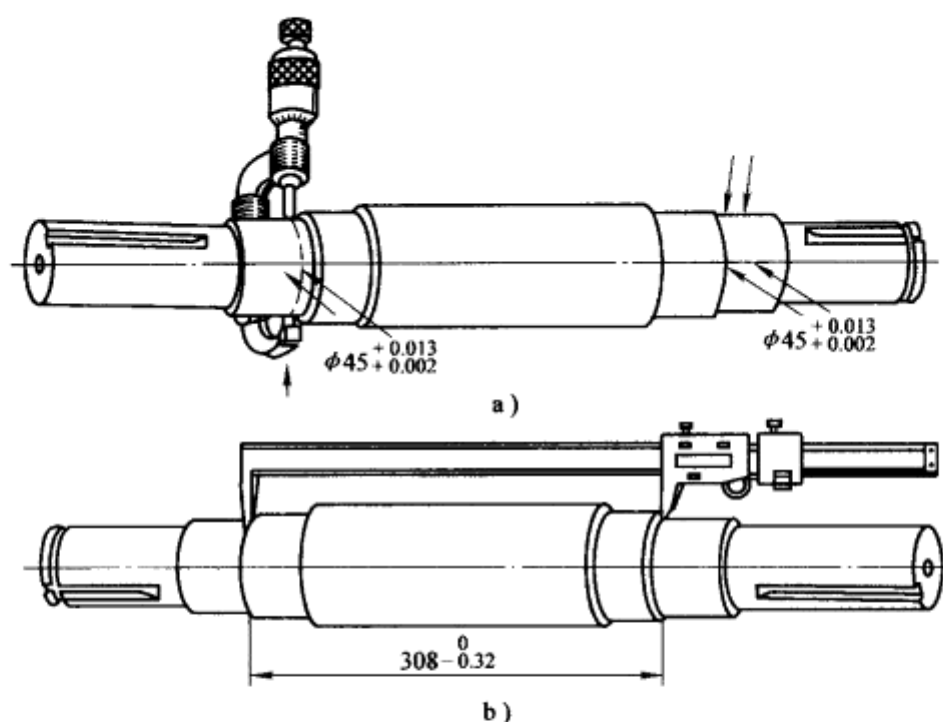


图 4-27 轴承档尺寸的测量

- a) 用外径千分尺测量轴承档的直径和圆柱度
b) 用游标卡尺直接测量两轴承档的轴向距离

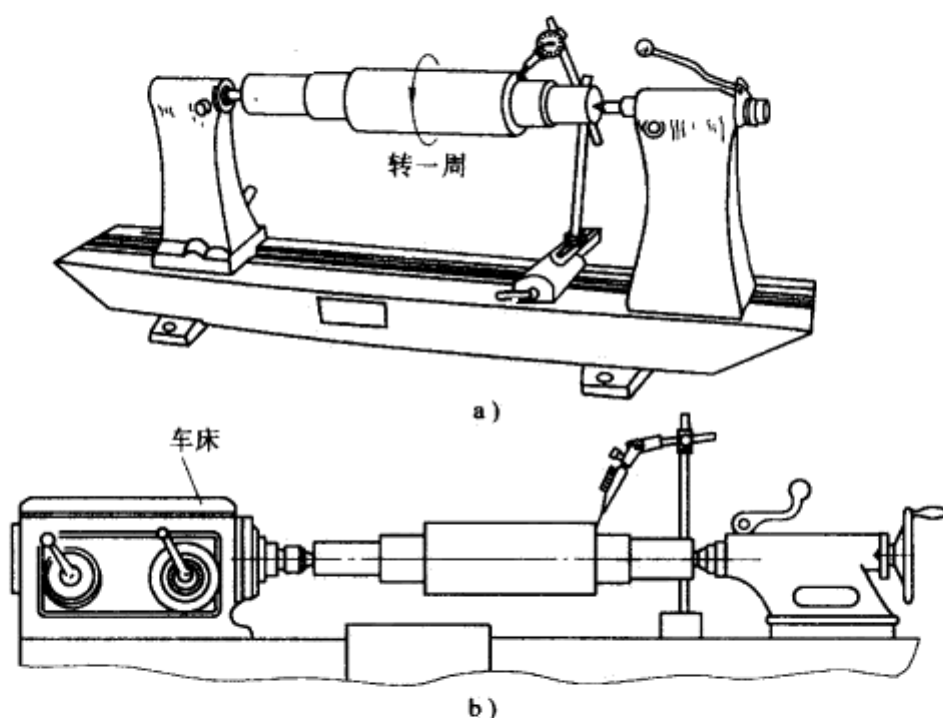


图 4-28 用车床和专用支架支撑转轴测量轴承档的端面跳动

- a) 专用支架 b) 车床

当无上述专用支架式，可将被检轴架在车床上，测量用的杠杆百分表通过表架固定在车床的刀架等固定装置上。

三、轴伸尺寸和形位公差的测量

(一) 圆柱轴伸直径 D 的测量

用 0 级精度的外径千分尺，在距轴伸两端各 3~5mm（具体长度根据被测轴伸长度而定）处，分别互成 90°（要避开键槽）各测量一次，取偏差较大的测量值作为测量结果，如图 4-29 所示。

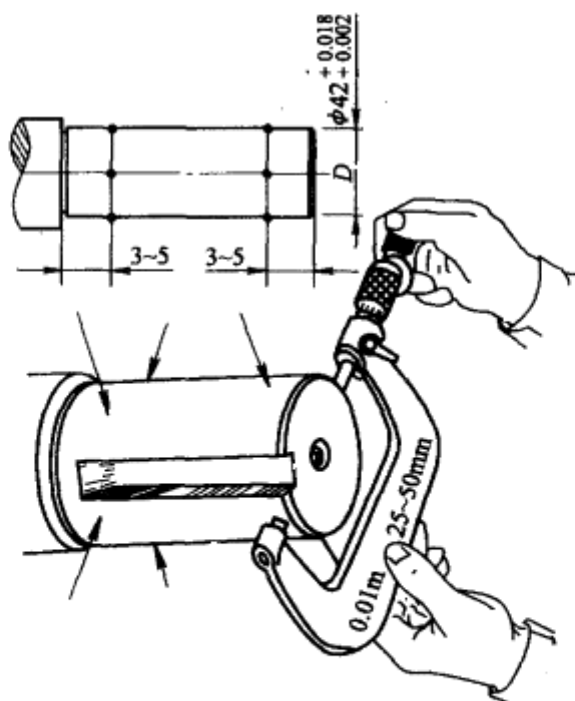


图 4-29 电机圆柱轴伸直径 D 的测量位置

(二) 圆柱轴伸长度 E 或 L_1 的测量

对于普通形状的圆柱轴伸，其长度 E 可用分度值为 0.02mm 的游标卡尺的深度尺或专用深度尺，在轴伸任一部位测量一次，如图 4-30a 所示。

对于轴伸肩为圆弧过渡、在轴伸端部有一个卡圈槽的圆柱轴伸，其卡圈槽内边到圆弧外圆的距离 L_1 ，可用分度值为 0.02mm 的不等长测量爪游标卡尺（俗称“瘸腿卡尺”），取任一部位测量一次，如图 4-30b 所示。

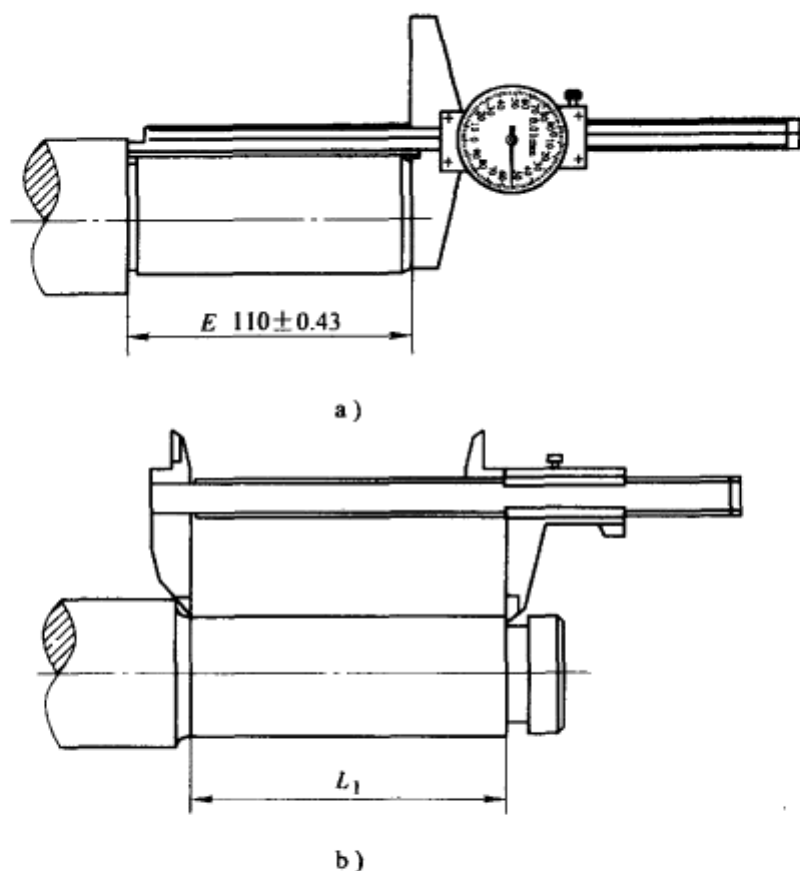


图 4-30 电机轴伸长度的测量

a) 普通形状的圆柱轴伸长度 E 的测量 b) 卡圈槽内边到圆弧外圆距离的测量方法

(三) 轴伸键槽长度、宽度 F 、深度的测量

1. 轴伸键槽长度测量

用分度值为 0.02mm 的游标卡尺直接测量。

2. 轴伸键槽宽度测量

在批量生产中，轴伸键槽的宽度一般用专用的键规进行检查。需要得到具体数值时，对较宽的键槽，应用 1 级精度的内侧千分尺进行测量；较窄的键槽可用游标卡尺进行测量。在距轴伸两端各 $5 \sim 10\text{mm}$ （具体长度根据被测轴伸长度而定）处各测量一次，取偏差较大的测量值作为测量结果，如图 4-31a 所示。

3. 轴伸键槽深度测量

在图样中，轴伸键槽的深度值（用符号 GE 表示）一般不会

给出，由于键槽部分的圆弧已被加工掉，所以即使给出，也不能直接测量。图纸中给出的是轴伸外圆到键槽底平面的距离 G ，如图 4-31 所示。测量出尺寸 G 后，用轴伸直径 D 减去 G 即可得到键槽的深度值 GE 。

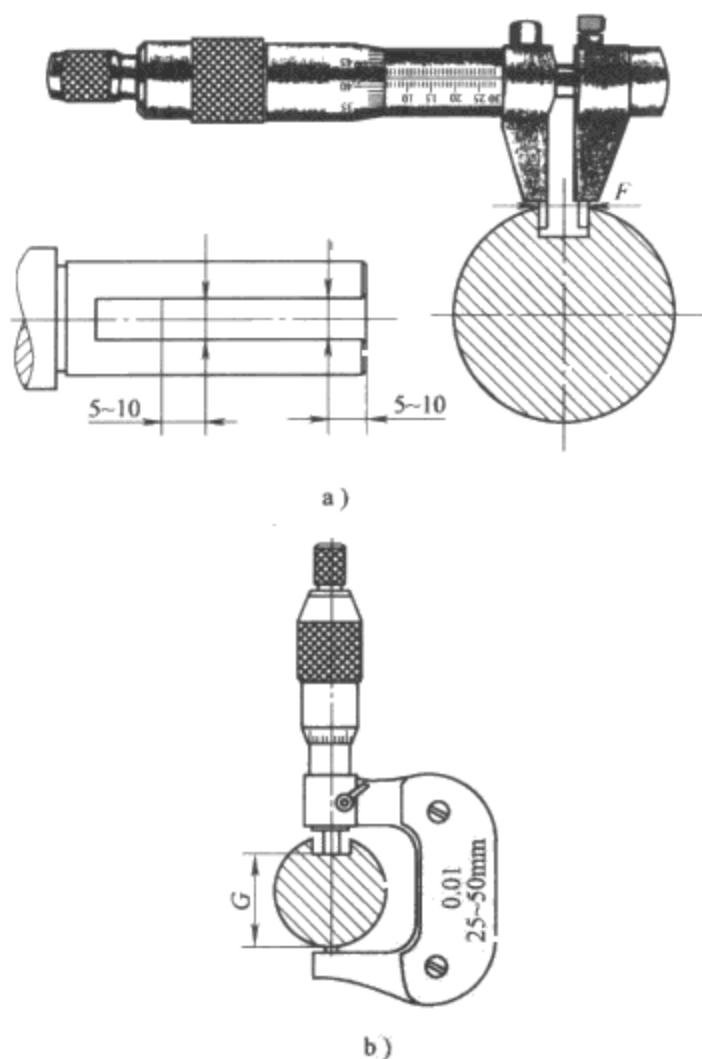


图 4-31 电机轴伸键槽尺寸的测量

a) 用内测千分尺测量键槽宽度 b) 用外径千分尺测量键槽深度

用 1 级精度的外径千分尺，在距轴伸两端各 5 ~ 10mm 处（具体长度根据被测轴伸长度而定）各测量一点，取偏差较大的测量值作为 G 的测量结果。如图 4-31b 所示。对较窄的键槽，普通外径千分尺的测砧不能进入，可用图 2-53 所示的尖头外径千

分尺或游标卡尺进行测量。

(四) 轴伸键槽对称度的测量 (假键法)

用假键法 (所谓“假键”又称为定位块, 所以该方法也称为定位块法) 测量轴伸键槽对称度时的操作步骤如下:

1. 准备工作

将专用的假键无间隙地嵌入键槽内。用放置在不低于 2 级精度的测量平板上的 V 形铁架起被测转轴, V 型铁与转轴的接触部位为轴承档。要注意, 对两端轴承档的直径不相同的转轴, 要选用不同高度的 V 形铁, 保证架起来后, 转轴的轴线与测量平板的工作面平行, 如图 4-32a 所示。

2. 截面测量和计算方法

(1) 轻轻旋转轴, 使假键的平面与测量平板平面大体平行, 然后用带表座的千分表 (一般利用游标高度尺做为千分表的表座) 进一步仔细地调整, 使其达到真正平行 (此时千分表在假键外边缘和靠近键槽位置的测量值是相等的), 如图 4-32b 所示 ($AB \parallel CD$)。

(2) 在距轴伸键槽两端 5mm 左右处, 测量假键上平面到测量平板平面的距离 (或称为高度, 见图 4-32c 中 a_1 和 a_2)。

(3) 将轴转动 180° 后 (即将假键翻到另一面), 重复上述 (1), 使 $A'B' \parallel CD$; 重复 (2) 的操作, 得到另一个方向的两个高度值 a_3 和 a_4 , 如图 4-32d 所示。

(4) 设同一位置 (对于轴伸为同一截面) 两个方向所测高度之差为 a , 即 $a = a_1 - a_3$ 或 $a_2 - a_4$; 并测得轴伸尺寸 G 和直径 D , 键槽深为 h ($h = D - G$)。则该截面的键槽对称度 f_i 用下式求得:

$$f_i = \frac{ah}{G} = \frac{ah}{D-h} \quad (4-15)$$

3. 轴向测量和计算方法

在上述截面测量的一个方向中, 用千分表沿轴伸轴向测量假键上平面两端到测量平板距离 (高度) 的差值 b , 即 $b = a_1 - a_2$, 或 $b = a_3 - a_4$ 。

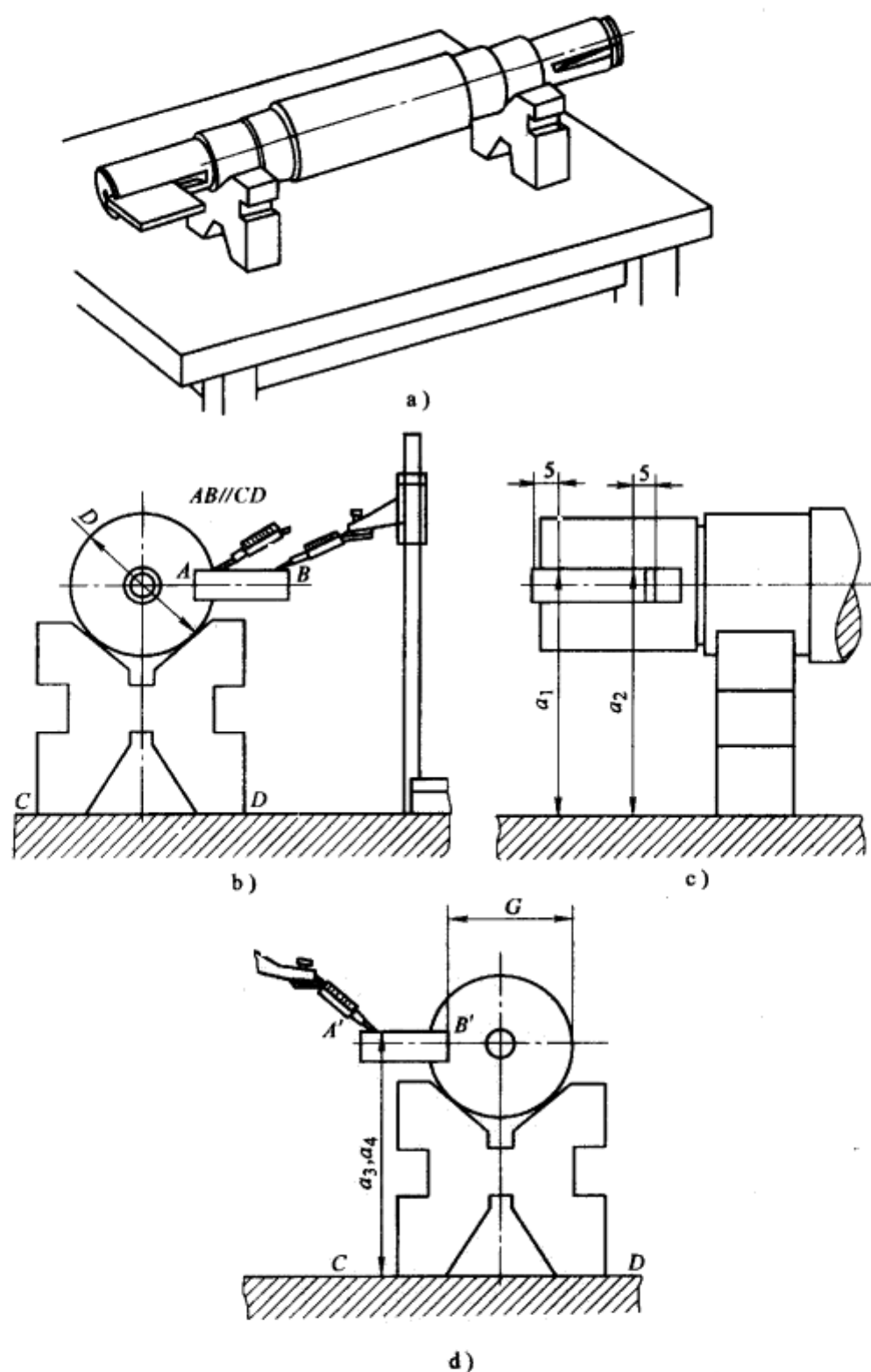


图 4-32 电机轴伸键槽对称度的测量
a) 截面测量第一步 b) 截面测量第二步 c)、d) 轴向测量

4. 结果的确定

取以上两次所得差值之中的较大值作为键槽对称度的最终结果。

(五) 锥形轴伸锥度及配合面吻合率的检查

锥形轴伸锥度（长度和两端直径）的检查一般采用专门配套的圆锥量规（或称为套规），检查方法详见第三章第三节第五项内容。配合面吻合率的检查也要使用上述专用的圆锥量规。其检验方法和相关规定如下。

1. 准备工作

事先用一种叫做“红丹粉”的涂料（自制时的配方重量比为：山红丹:20号机油:煤油=100:7:3）均匀地涂满被检测的轴伸外圆表面，涂层厚度要根据被检轴伸的长度而定（涂层厚度与轴的长度关系见表4-3）。

表 4-3 红丹粉涂层厚度与轴伸长度的关系

轴伸长度/mm	≤40	>40~100	>100~250	>250
涂层厚度/μm	0.5	1.0	1.5	2.0

2. 检查方法及合格标准

将圆锥量规轻轻套到被检查的轴伸上，要套到底，先检查轴的长度是否合格，然后将圆锥量规在轴上旋转几周后，轻轻退出。

观察轴伸外圆表面红丹粉被刮掉的面积（这些部位即为与圆锥量规内侧面接触的地方）占全部外圆表面面积的比例（用百分数计），该比例值即为被检锥形轴伸锥度配合面的吻合率，如图4-33所示。

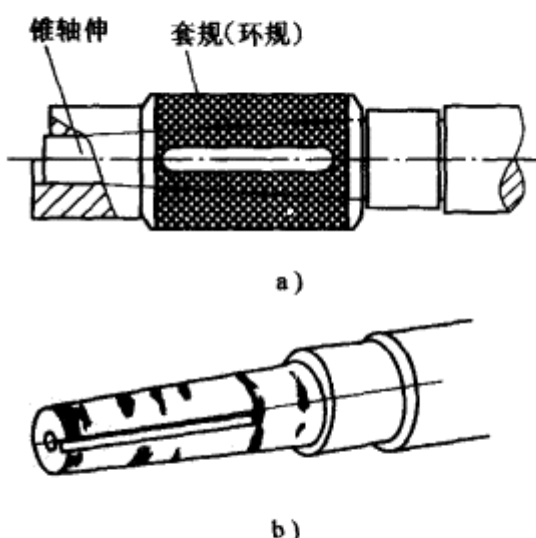


图 4-33 锥形轴伸锥度及配合面吻合率的检查

- a) 检查锥轴的长度
b) 检查配合面的吻合率

一般规定的合格标准是，锥形轴伸锥度配合面的吻合率应不低于75%。

(六) 轴伸外圆对两轴承档公共基准轴线圆跳动的测量

轴伸外圆对两轴承档公共基准轴线的圆跳动简称为“轴伸的径向跳动”。

本项测量所用量具、辅助工具及放置要求，和键槽对称度的测量基本相同。所以一般都是将这两项测量放在一起进行。

测量和评价方法如下：

将1级精度的千分表通过安装表架固定在测量平板上，使其测头压在轴伸长度一半的位置。缓慢旋转轴一周，同时观看并记录千分表指示的数值。在一周的读数中，最大值与最小值之差即为该轴伸的径向圆跳动数值，如图4-34所示，假设跳动值为0.010mm。图纸标注的限值为0.012mm，所以该项合格。

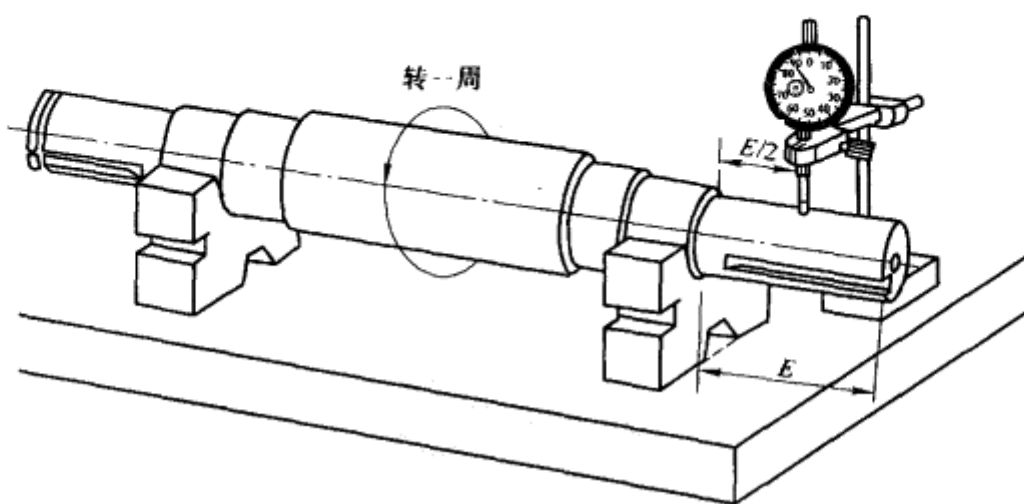


图 4-34 电机轴伸径向圆跳动的测量

(七) C 型中心孔的检查和测量

C 型中心孔是常用的三种轴端面中心孔中的一种（另外两种分别为 A 型和 B 型），其剖视图如图 4-35a 所示。它既可用于加工时作定位和旋转支承，又可在按装设备时用于紧固联轴器或皮带轮，后一个用途也是它设置螺纹的主要功能。

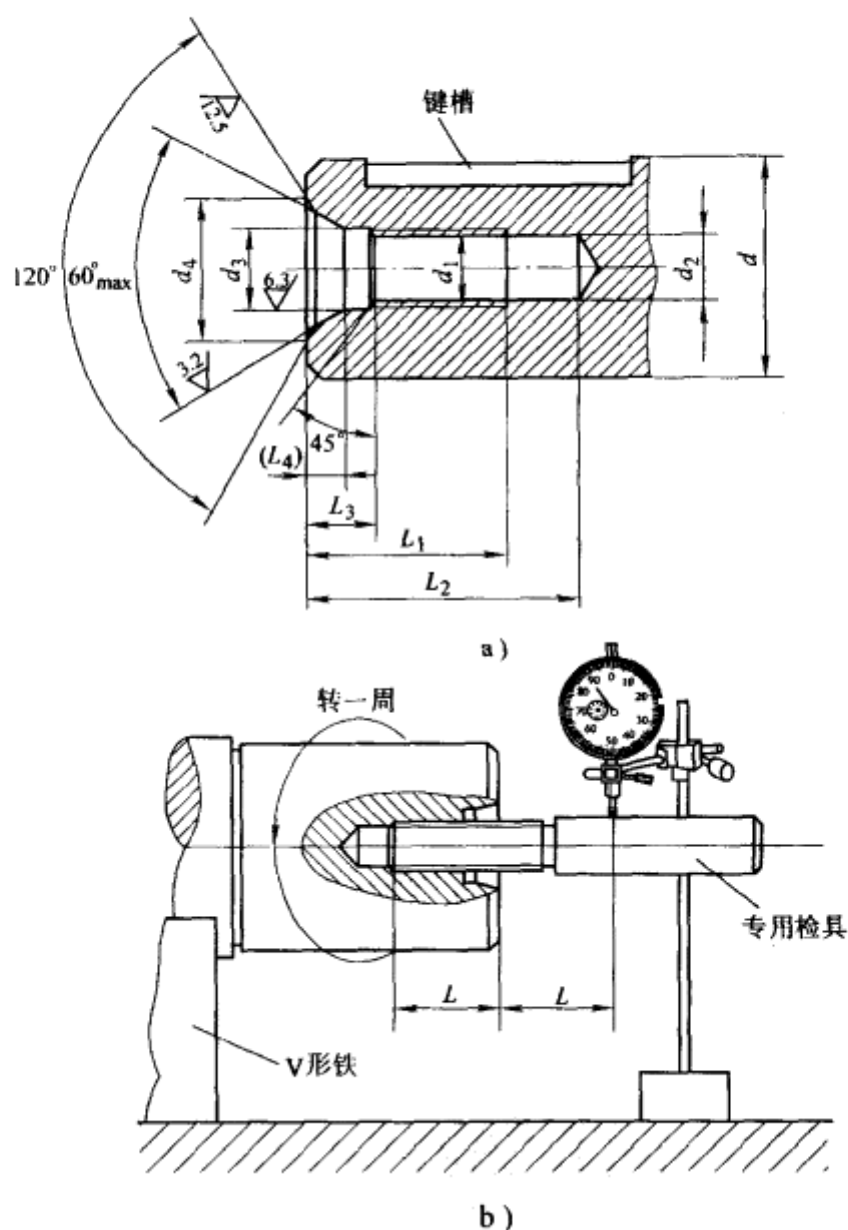


图 4-35 C 型中心孔的检查和测量

a) C 型中心孔 b) 径向圆跳动测量

对 C 型中心孔，应检查和测量的项目包括：螺纹表观的质量检查、螺纹旋合长度的测量和螺纹轴线对转轴基准轴线（一般用轴伸的轴线）径向跳动的测量。

1. 测量螺纹旋合长度

将标准螺栓涂上红丹粉后，旋入螺孔内，到不能旋入为止，

再将其旋出。用卡尺或钢板尺测量标准螺栓与 C 型中心孔螺纹的有效旋合长度（实际为旋出的标准螺栓上被划掉红丹粉部分的长度）。

2. 测量螺纹轴线对转轴基准轴线的径向跳动

将被测转轴架在 V 形铁上，有关要求同上述键槽对称度的测量内容。

将专用的轴孔跳动检具旋入螺孔中，旋入的长度按图样规定的有效长度。

将转轴缓慢地旋转一周，并在专用检具外露部分，距轴伸端面距离与旋入长度相等的位置，用百分表测量该部位对轴基准轴线的圆跳动数值，如图 4-35b 所示。

四、转轴铁心档的尺寸测量

转轴铁心档的尺寸主要包含两个，一个是外圆直径，一个是长度。

用 1 级精度的外径千分尺，在距铁心档两端 5mm 处各测量一点直径值，取偏差较大的测量值作为测量结果；用游标卡尺测量铁心档的轴向长度。如图 4-36 所示。

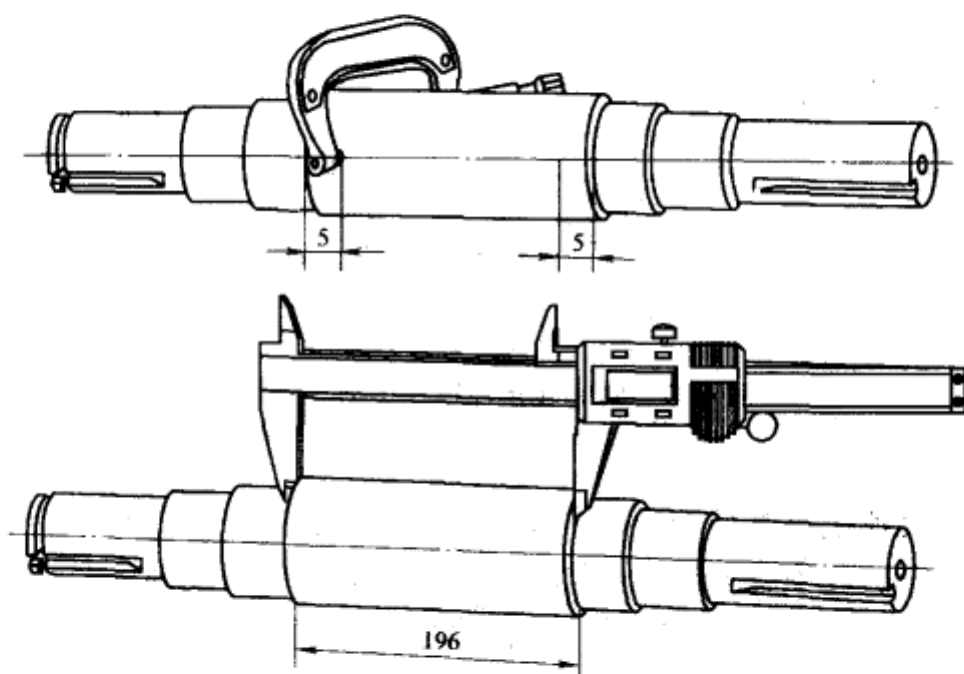


图 4-36 转轴铁心档的外圆直径和轴向长度尺寸测量

第六节 转子尺寸和形位公差检测方法

转子是电机主要部件之一，它是由转轴、转子铁心、转子绕组和其他相关元件（例如直流电机的换向器、同步电机和绕线转子异步电动机的集电环等）组成的。最简单的结构是交流电机的笼型转子，如图 4-37 所示。下面将以交流电机的笼型转子为例介绍其主要尺寸和形位公差的测量方法。

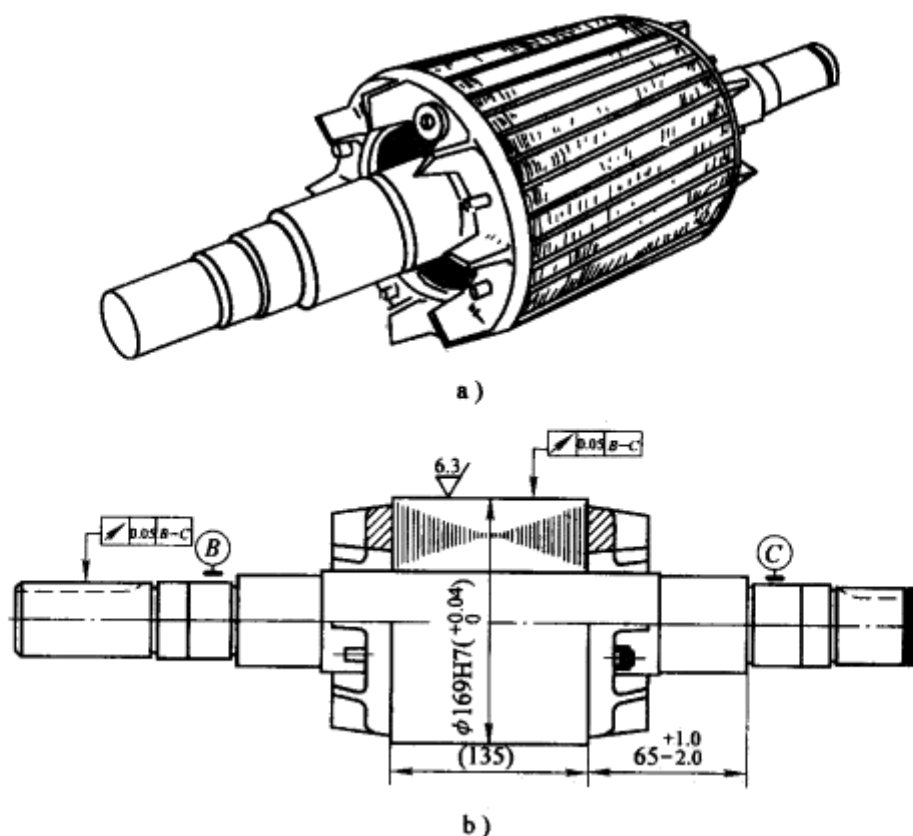


图 4-37 铸铝转子外形及图纸尺寸示例

a) 外形 b) Y2-160M-4 电机转子图

交流电机笼型转子的主要尺寸和形位公差有转轴和转子外圆两部分，其中转轴的内容与前面第五节介绍的相关部分完全相同（只是少了铁心档一部分），所以在此处不再介绍。下面仅介绍转子铁心外圆直径、长度和外圆对基准轴线径向圆跳动的测量问题。

一、转子铁心外圆直径、长度和转子铁心轴向位置的测量

1. 转子长度和外圆直径的测量

交流电机笼型转子的长度一般指其铁心的轴向长度，可用游标卡尺（对较长的铁心，若没有合适的卡尺，也可使用钢板尺或钢卷尺）进行测量，在整个圆周上相隔 180° 测量两个数值或相隔 90° 测量四个数值，取其平均值作为测量结果，如图 4-38a 所示。

外圆直径用 1 级精度的外径千分尺测量，在批量生产中用专用外径卡规进行检查。测量点设置在距铁心两端 $10 \sim 20\text{mm}$ 处（视转子铁心的长度而定），可在一个圆周上互成 90° 测量两个数值。取偏差较大的测量值作为测量结果，如图 4-38b 所示。

2. 转子铁心轴向位置的测量

在将转子装入定子组成整机后，定、转子铁心在轴向位置上应该是一致的，即所谓的“定、转子对齐”。这就要求转子铁心固定在转轴的一个设定轴向位置上。一旦偏离设定的轴向位置，即造成定、转子轴向对不齐，这会造成很多不良后果，严重时将不能运行。

转子铁心在转轴上的轴向位置，一般是用其一端到转轴某一位置的距离来设定的，如图 4-37b 所示尺寸 $65^{+1.0}_{-2.0}$ 。

较小的转子可用游标深度尺进行测量，如图 4-38c 所示。较大的转子可用钢板尺或钢卷尺进行测量。

二、转子铁心外圆对基准轴线径向圆跳动的测量

测量所用工装、量具，以及被测转子的放置方法、测量过程和方法等都与转轴铁心档同一形位公差数值的相关内容完全相同，只是使用 V 形铁支撑转子时，所用的 V 形铁要高一些（当然可用其他垫块将其垫高），要将整个转子架空，使其能够灵活地旋转，如图 4-39 所示。

直流电机的换向器、同步电机和绕线转子异步电动机的集电环等外圆对基准轴线径向圆跳动的测量方法与上述内容基本相同，也可参考轴伸外圆径向圆跳动的测量方法。

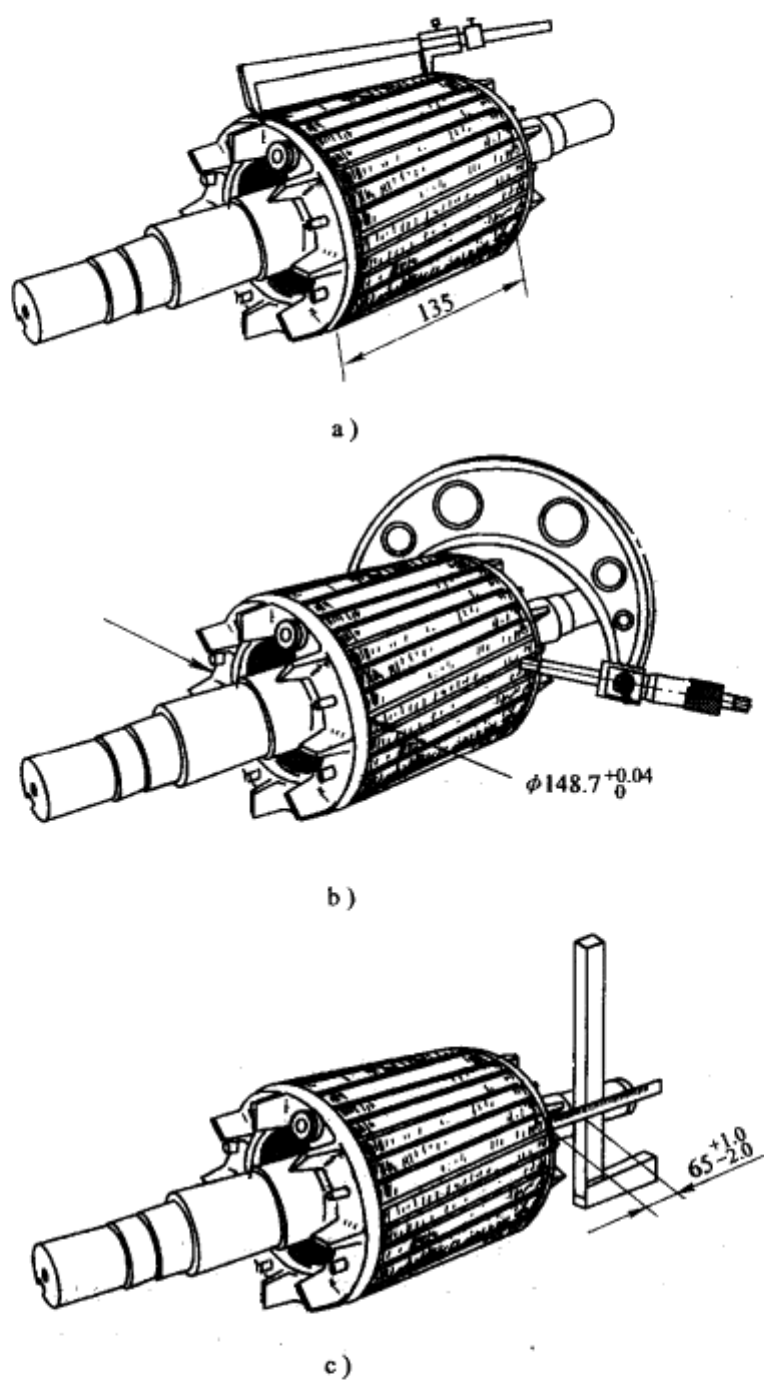


图 4-38 转子铁心外圆直径、
长度和转子铁心轴向位置的测量

- a) 铁心长度的测量 b) 铁心外圆直径的测量
c) 转子铁心轴向位置的测量

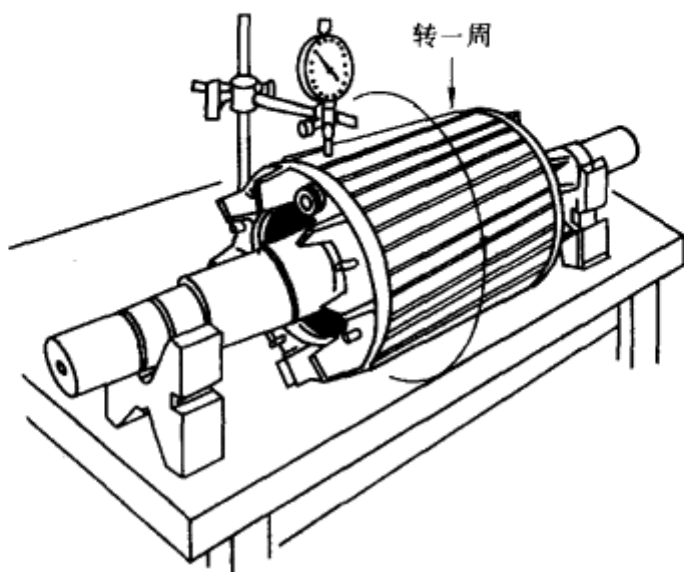


图 4-39 转子铁心外圆对基准轴线径向圆跳动的测量

第七节 电机外形尺寸和形位公差的测量

测量组装后的电机外形尺寸和形位公差，重点在于安装方面的项目。其中有些项目已在前几节中作过详细讲述，所以在此节中将只作简单提示。

一、常用电机外形结构分类

常用电机的外形结构分类原则，主要基于其使用时的配套安装方式。在国家标准 GB/T997—2004《旋转电机 结构及安装方式（IM 代码）》中列出了几十种不同的安装结构方式，但其中使用最多的是如下三种类型。

（1）只用底脚安装的类型，例如 IM B3、IM B6、IM B7、IM B8、IM V5、IM V6 型等，如图 4-40a 所示。

（2）只用凸缘端盖（习惯称之为法兰端盖）安装的类型，例如 IMB5 型和 IMV1、IMV3 型等，如图 4-40b 所示。

（3）用底脚作为主安装，用凸缘端盖作为辅助安装（主要用于与设备相联结）的类型，例如 IMB35、IMV15、IMV36 型等，如图 4-40c 所示。

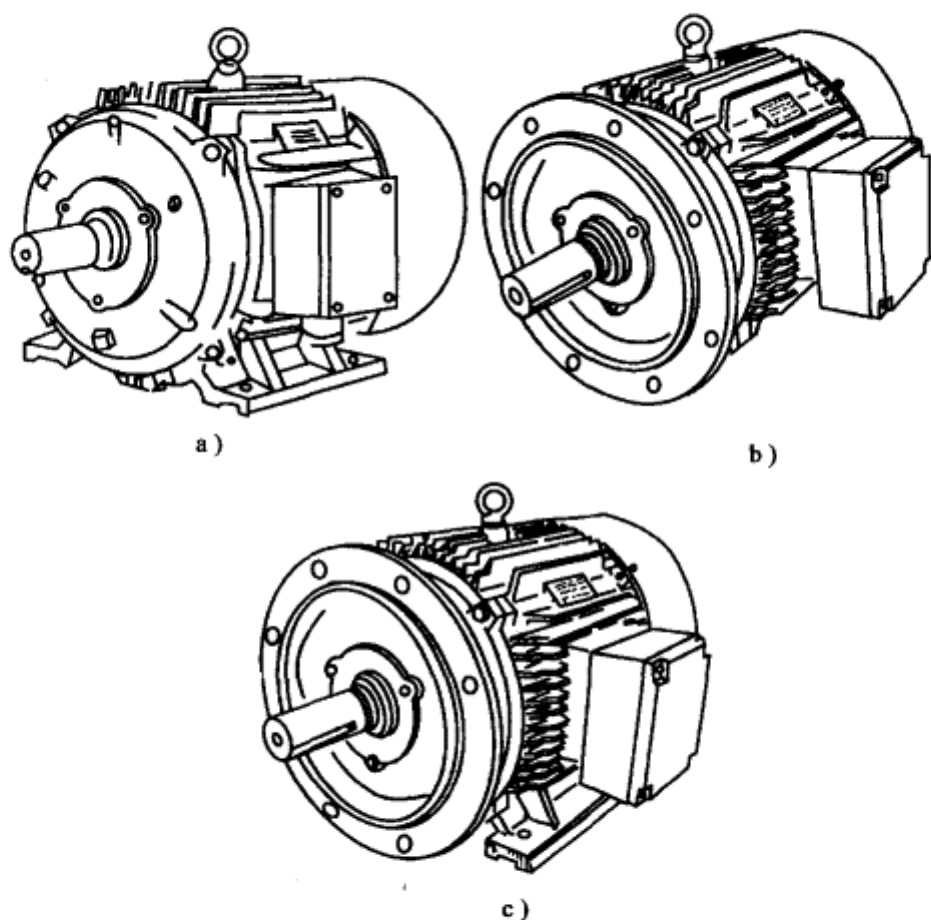


图 4-40 常用的三种电机外形结构示例
a) IM B3 型 b) IM B5 或 V1 型 c) IM B35 型

二、常用电机外形结构尺寸和代码

(一) 常用电机的外形结构和尺寸标注名称及代码

常用三种交流异步电机的外形结构和尺寸标注示例如图 4-41 所示。

图中标注的尺寸名称（或含义。其中有些内容在前面几节中已有接触）如下：

A ——底脚螺栓通孔轴线间的距离（端视），或称为底脚孔横向距离；

AA ——底脚宽度（端视）；

AC ——机座外圆最大直径；

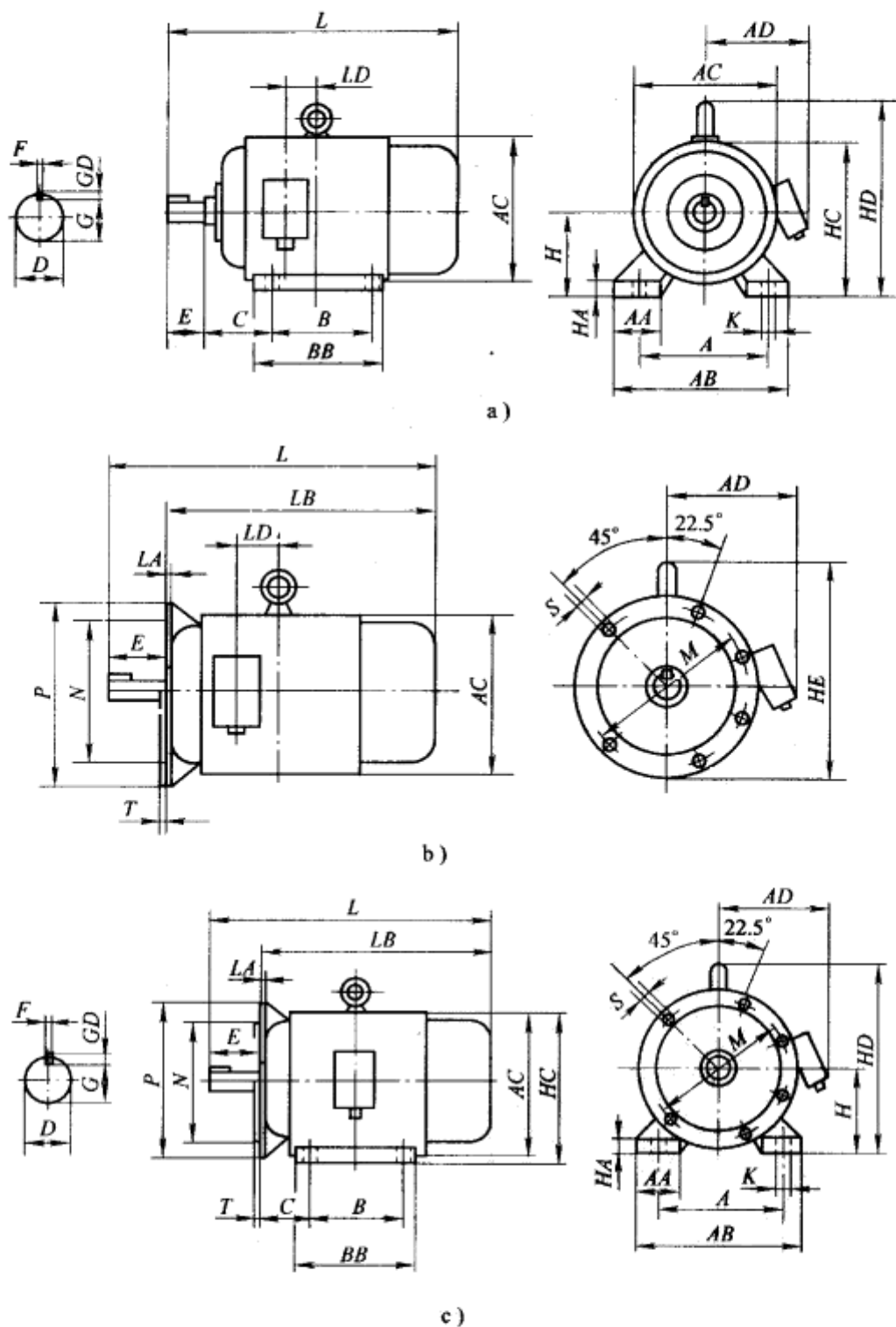


图 4-41 常用的三种交流异步电机外形结构尺寸标注代码

a) IM B3 型 b) IM B5 型 c) IM B35 型

AD——机座垂直中心线至出线盒边缘（或其他装配物）的最大距离；

A/2——底脚螺栓通孔中心至电机轴线垂直面的距离；

B——底脚螺栓通孔轴线间的距离（侧视），或称为底脚孔纵向距离；

AB——底脚的长度（侧视）；

BB——底脚外边缘的距离（侧视）；

C——轴伸肩至邻近的底脚螺栓通孔轴线的轴向距离（侧视）；

AC——附加轴伸肩至邻近的底脚螺栓通孔轴线的距离（侧视，对双轴伸电机）；

D——轴伸直径；

DA——附加轴伸直径（对双轴伸电机）；

E——轴伸长度；

EA——附加轴伸长度（对双轴伸电机）；

F——轴伸键槽及键的宽度；

FA——附加轴伸键槽及键的宽度（对双轴伸电机）；

G——轴伸由键槽底平面至对面外圆表面的距离；

GA——轴伸由键槽顶平面至对面外圆表面的距离；

GB——附加轴伸出键槽底平面至对面外圆表面的距离（对双轴伸电机）；

GC——附加轴伸由键槽顶平面至对面外圆表面的距离（对双轴伸电机）；

GD——轴伸键的高度；

GE——轴伸键槽的深度（从轴伸外圆量起）；

GF——附加轴伸键的高度（对双轴伸电机）；

GH——附加轴伸键槽的深度（从轴伸外圆量起，对双轴伸电机）；

H——中心高，即电机轴中心线至底脚支承面的距离；

HA——底脚厚度；

HC——电机外圆顶面至底脚支承面的高度；

HD——电机最高点至底脚支承面的高度；

HE——当凸缘端盖电机水平放置时，其最高点至底支承点的高度；

K——底脚螺栓通孔直径或长圆孔的宽度；

L——单轴伸电机的总长度；

LA——凸缘端盖的凸缘厚度；

LB——凸缘端盖的配合面至电机顶面的距离；

LC——双轴伸电机的总长度；

M——凸缘端盖的固定孔中心基圆直径；

N——凸缘端盖的止口直径；

P——凸缘端盖的最大外圆直径；

S——凸缘端盖的螺栓通孔或螺孔直径；

T——凸缘端盖的止口高度。

(二) 凸缘端盖电机的凸缘端盖 (法兰) 代号

凸缘端盖 (法兰) 代号用字母表示，其有关内容如下；

FF——表示安装孔为通孔 (较常用)；

FT——表示安装孔为螺孔。

FF (或 *FT*) 后的数字为安装孔中心所在圆的直径 *M*。

例如：*FF300* 表示该凸缘端盖的安装孔为通孔，安装孔中心所在圆的直径为 300mm。

三、电机整机外形的形位公差

电机外形的形位公差一般在该产品的技术条件中给出。常用的有如下 7 项：

(1) 以轴伸的轴线为基准的底脚螺栓通孔的位置度公差；

(2) 轴伸长度一半处的径向圆跳动公差；

(3) 凸缘端盖的止口对电机轴线的径向圆跳动公差；

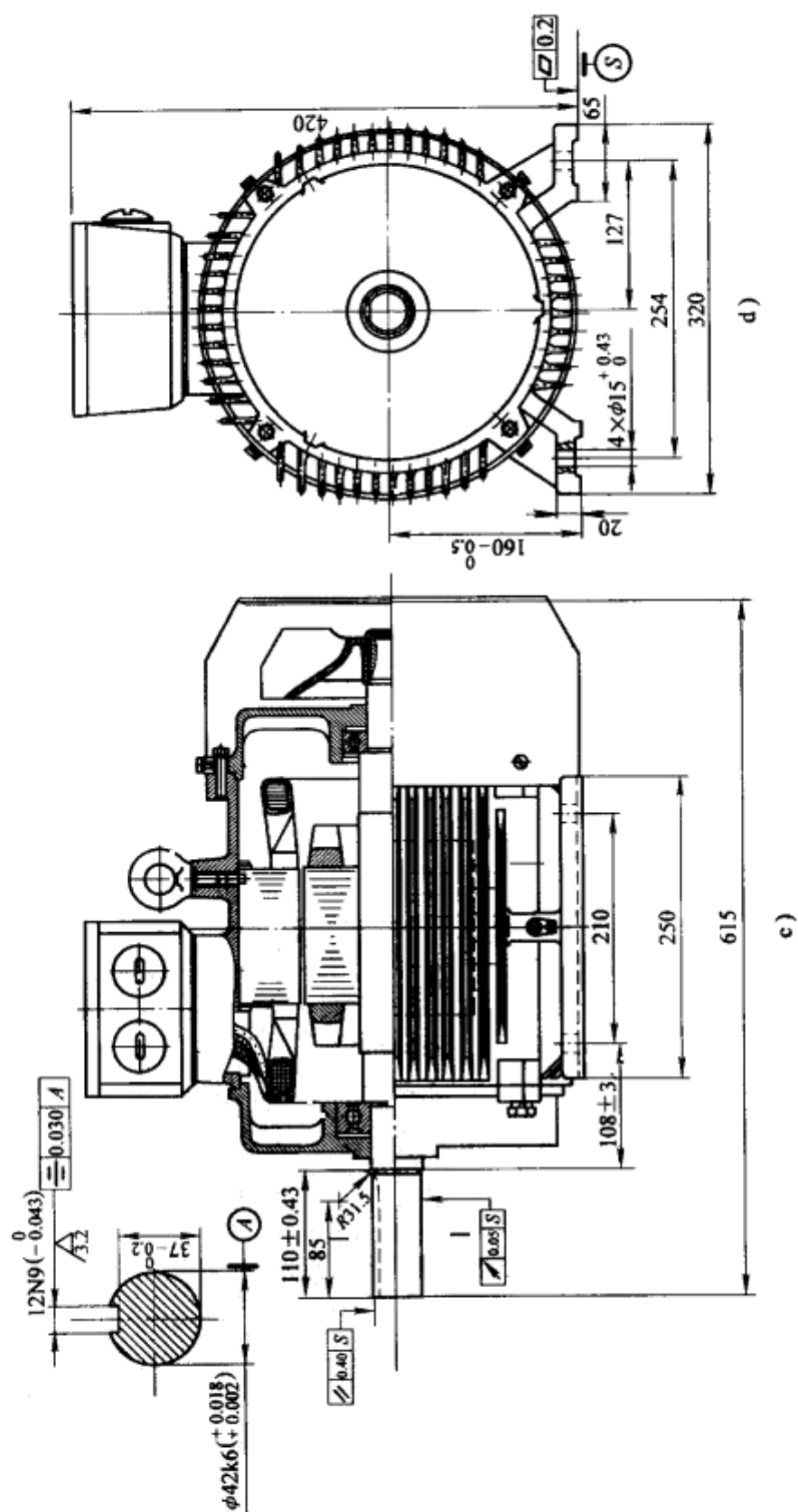
(4) 凸缘端盖的止口对电机轴线的端面圆跳动公差；

(5) 轴伸键槽的对称度公差；

(6) 电机轴线对底脚支承面的平行度公差；

(7) 轴的轴向窜动量公差 (一般用于滑动轴承电机)。

可参看图 4-42 给出的示例。



四、轴伸及键槽尺寸和形位公差的测量

轴伸尺寸和形位公差包括：轴伸长度、轴伸直径、轴伸外圆对轴线的圆跳动、C 型中心孔的有效旋合长度及螺纹轴线对转轴基准轴线的径向跳动、锥形轴伸锥度及配合面吻合率、轴肩为圆弧的圆弧圆度等。

键槽尺寸和形位公差包括：键槽长度、键槽宽度 F 、键槽深度和键槽对称度等。

检查和测量这些项目所用的量具以及检查和测量、判定原则都与单个转轴相同。只不过此时在测量轴伸外圆对轴线的圆跳动、键槽对称度以及 C 型中心孔的螺纹轴线对转轴基准轴线的径向跳动时，用两个端盖轴承室以及机座代替了 V 形铁支撑转轴的两端轴承档。

另外，在测量轴伸外圆对轴线的圆跳动时，除可将千分表支架固定测量平板上外，还可将千分表支架固定在被测电机的端盖上（需用磁力表座），如图 4-43 所示。

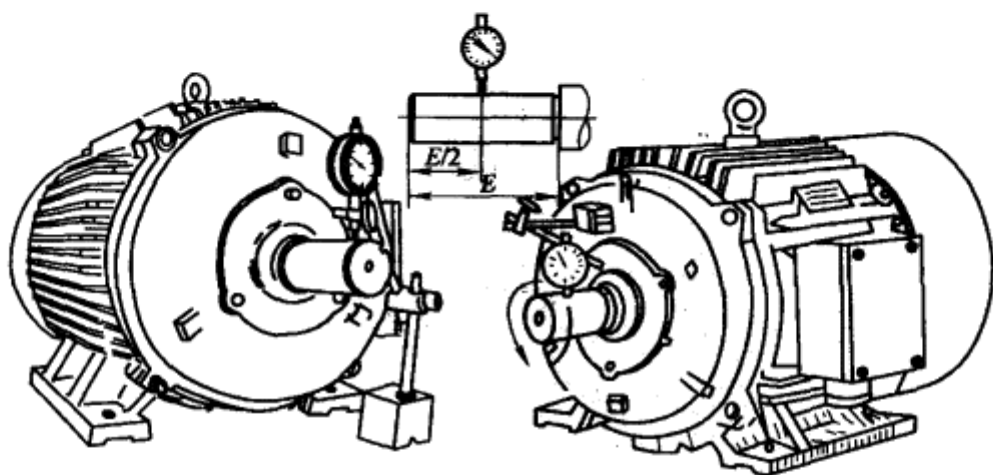


图 4-43 测量电机轴伸径向圆跳动

五、轴中心高的测量

本项测量只对用底脚安装的电机，如安装方式为 IM B3、IMB 35、IM B6、IM B6、IM B7、IM B8、IM V36、IM V5、IM V6 等类型的电机。

事先要细心将被测电机的底脚底平面清理干净。

将被测电机放置在不低于 2 级的测量平台上。用 1 级精度的外径千分尺测量出轴伸直径 D ；用分度值为 0.005mm 的游标高度尺，在被测电机轴伸长度的一半处，测量轴伸上圆面的高度 H' ，如图 4-44 所示。

被测电机的轴中心高 H 为：

$$H = H' - (D/2) \quad (4-16)$$

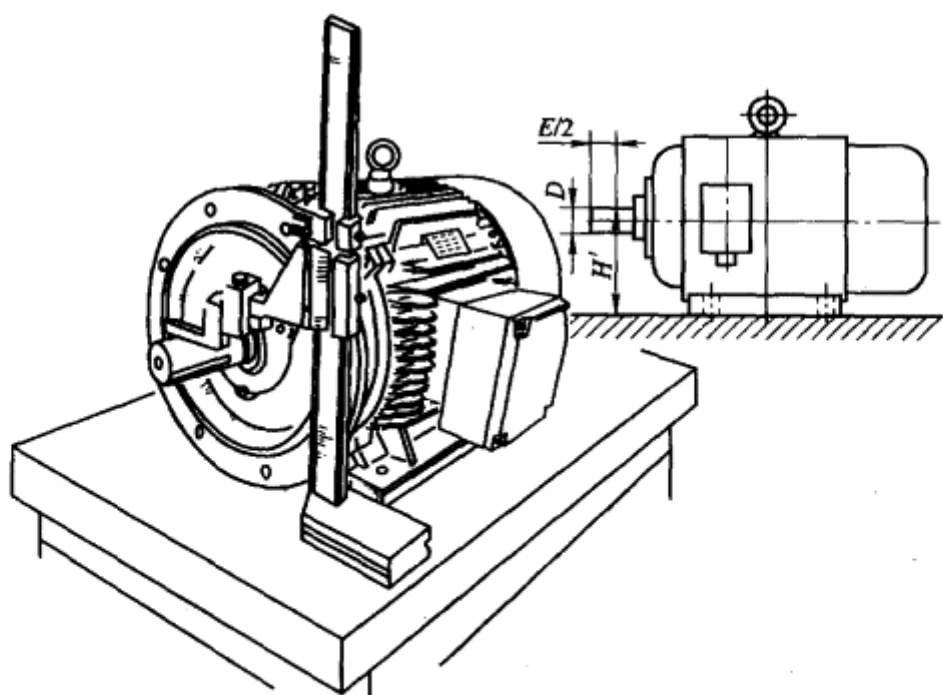


图 4-44 电机轴中心高 H 的测量

六、轴中心线对底脚支承面的平行度测量

本项测量只对用底脚安装的电机，如上一项所列举各种安装方式的电机。事前准备和安放要求也同上一项。

用分度值为 0.005mm 的游标高度尺，在被测电机轴伸长度的两端各测量一点轴伸上圆面对测量平板的高度 H'_1 和 H'_2 ，为了尽可能地提高本项测量的最终精度，两个测点之间的距离 L 应尽可能地远；另外，为了下一步计算方便，两点之间的距离最好为 10 的整数倍，例如 30mm 、 50mm 、 100mm 等，如图 4-45 所示。

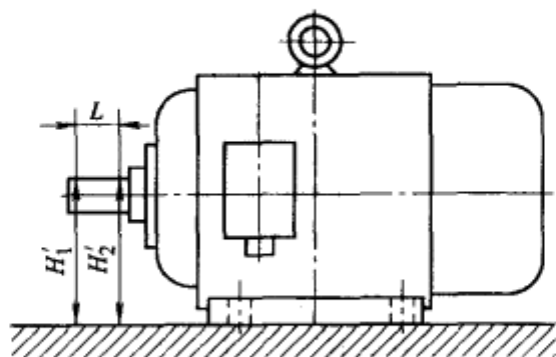


图 4-45 轴中心线对底脚支承面的平行度的测量

被测电机的轴线对底脚支承面的平行度 H_p 用下式计算求得：

$$H_p = (H'_1 - H'_2) \frac{100}{L} \quad (4-17)$$

例如，某电机测量值为： $H'_1 = 159.95\text{mm}$ ， $H'_2 = 159.75\text{mm}$ ， $L = 150\text{mm}$ 。则其轴线对底脚支承面的平行度 H_p 为：

$$H_p = (H'_1 - H'_2) \frac{100}{L} = (159.95 - 159.75) \frac{100}{150} = 0.133$$

图纸标注该项形位公差为 0.40，上述测量计算值符合图纸要求。

七、轴伸肩至邻近的底脚孔轴线距离（C 尺寸）的测量

本项测量只对用底脚安装的电机。

在本章第三节第九项曾讲到过电机机座 C 尺寸的测量方法。应注意的是，本项所讲的整机 C 尺寸的定义与机座有所不同。电机机座 C 尺寸是机座轴伸端止口端面到邻近的底脚孔轴线的距离；而整机 C 尺寸是轴伸肩至邻近的底脚孔轴线的距离。一般情况下，后者要比前者长，另外后者的允许误差也较大。

（一）常规测量方法

所谓常规测量方法，是指将被测电机侧翻，使电机底脚底平面侧立的测量方法，这种方法操作方便、测量也较准确。因为测量电机的 A 、 B 和 $A/2$ 尺寸时一般要采取这种安放方式，所以在综合测量时，本项都会和 A 、 B 和 $A/2$ 尺寸测量工作安排在一起

进行。

1. 延长轴伸肩平面的辅助器具和使用方法

测量整机 C 尺寸的关键一步是怎样延长轴伸肩平面。较常用的有如下三种方法。

(1) 用一个如图 4-46a 所示的专用辅助器具（称为专用量套）套在轴伸上。辅助器具与轴伸的配合要适当，既要松动，又要便于安装和拆卸；为了防止划伤轴伸，应使用铜或尼龙材料制作；直尺和套筒部分要垂直。本方法使用方便，但需要一定的制作成本。

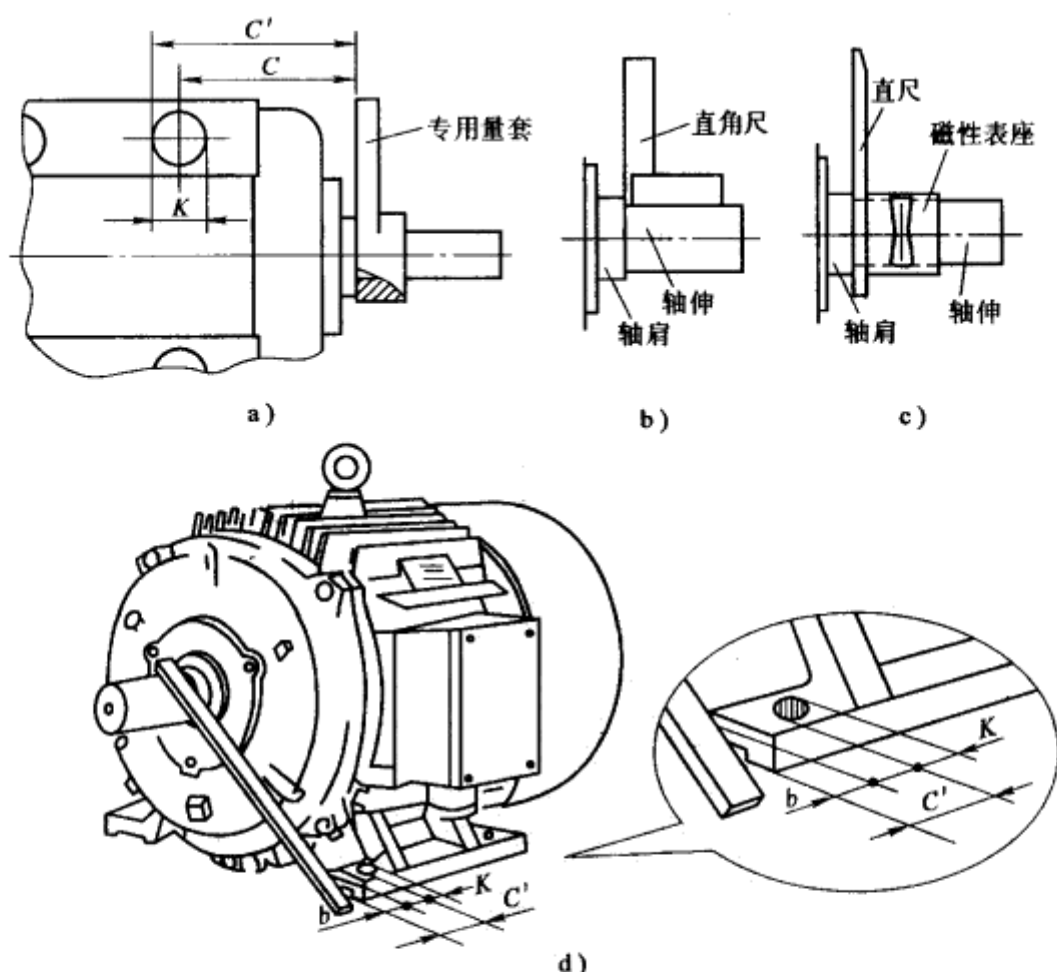


图 4-46 电机轴伸肩至邻近的底脚孔轴线的距离 (C 尺寸) 测量

a) 专用量套法 b) 直角尺法 c) 用磁力表座压直尺法

d) 正常放置方式的简易测量法

(2) 使用直角尺靠在轴伸上, 如图 4-46b 所示。这种方法的缺点是要由一人时刻按住直角尺, 另外, 对于较大的电机, 所使用的直角尺也会较大, 由于较重, 使得控制更加困难。

(3) 用磁力表座将一把直尺挤压在轴伸肩处, 直尺可用深度尺的尺条代替, 如图 4-46c 所示。本方法使用方便、灵活, 但不适用于非铁磁材料的不锈钢轴等 (磁力表座吸不到轴伸上)。

2. 测量和计算方法

安放好延长轴伸肩平面的辅助器具后, 按图 4-46c 所示, 用分度值为 0.02mm 的游标卡尺的内量爪测量出底脚安装孔的直径 K 和孔壁到辅助器具里面的距离 C' 。则 C 尺寸用下式计算求得。

$$C = C' - (K/2) \quad (4-18)$$

(二) 简易的测量方法

由于整机 C 尺寸的允许公差较大, 一般在几毫米之内 (图 4-42 给出的实例为 $\pm 3\text{mm}$), 所以对测量精度的要求相对较低。当只需测量该尺寸时, 可不必将电机侧翻, 即在其正常放置状态下完成测量工作。此时所需要的延长轴伸肩平面的辅助器具同前面介绍的几种。测量和计算方法也与前面介绍的相关内容相同, 略有不同的方面是利用底脚安装孔的上端口, 如图 4-46d 所示。

八、凸缘端盖安装孔孔径 (S 尺寸)、基圆直径 (M 尺寸)、相邻孔的弦距、位置度以及止口直径 (N 尺寸) 的测量

凸缘端盖安装孔孔径 (S 尺寸)、基圆直径 (M 尺寸)、相邻孔的弦距、位置度以及止口直径 (N 尺寸) 的测量方法和所用量具等与单个凸缘端盖的相同项目完全相同。

对安装方式为 IM B35 的电机, 有时还要求测量凸缘端盖安装孔在水平方向的位置度, 例如图 4-47 所示的电机, 则除要求检查相邻孔的弦距外, 还要求测量上端两个孔距底脚平面的高度和下端两个孔距底脚平面的高度, 上端两孔 (或下端两孔) 的高度差应在一个允许的范围之内 (例如 $\pm 1.5\text{mm}$)。

测量时, 将被测电机放置在测量平台上, 用游标高度尺进行测量, 如图 4-47 所示。

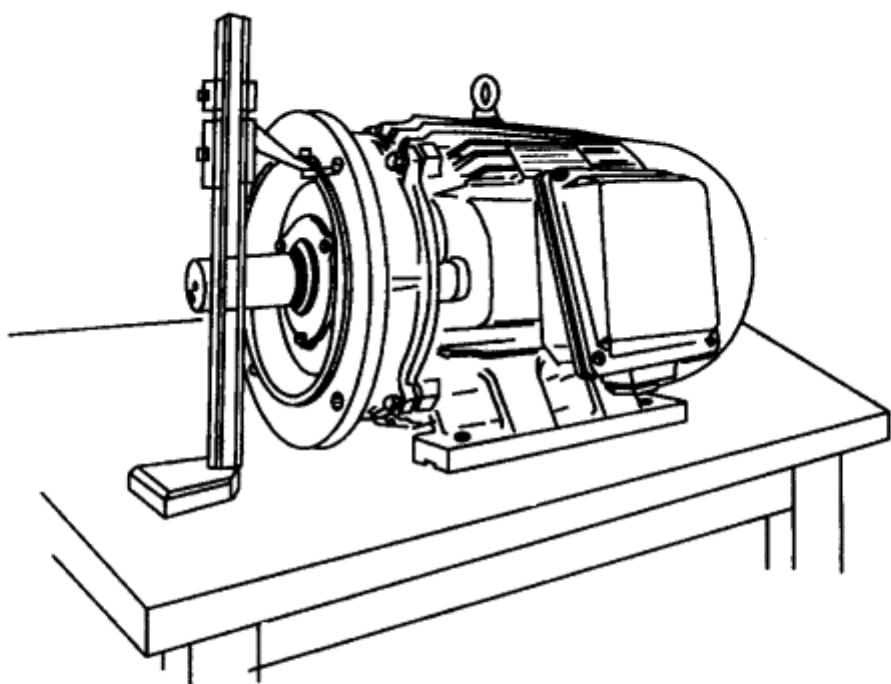


图 4-47 凸缘端盖安装孔位置度（平行度）的测量

九、凸缘端盖止口对电机轴线径向和端面圆跳动的测量

凸缘端盖止口对电机轴线径向和端面圆跳动的测量方法和所用量具与单件凸缘端盖的测量基本相同，只是此时转轴和轴承代替了当时的专用止口胎或假轴等辅助工具，使测量更加方便了，如有需要，可以做到 100% 的测量。

（一）测量时被测电机的放置问题

测量时，可将千分表的表架通过其磁力表座固定在轴伸上。但有一个问题需要引起注意，就是由于所用轴承径向游隙的存在，若测量时被测电机卧式放置时，将会因转子在其重力的作用下下沉，而使其轴线偏离中心位置（理论偏离值即为所用轴承的径向游隙的 $1/2$ ）而造成测量值的方法误差，给最后结果的判定带来一定的困难，甚至产生误判。较公认的放置方法是将被测电机的凸缘端盖朝上，即使电机轴线与地面垂直。

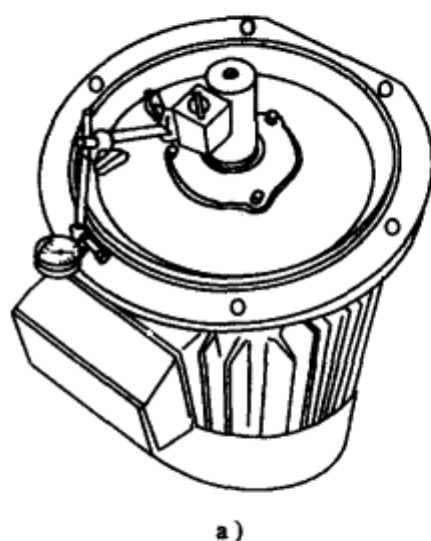
（二）所用量具和安置方法

将 1 级精度的千分表安装在磁力表架上。磁力表座吸在轴伸上。

(三) 凸缘端盖止口对电机轴线径向圆跳动的测量方法

将千分表的测头抵在凸缘端盖止口的侧面上，调整好千分表的位置和测量力后，将其固定在一个位置，调整表罩，使其指针指到零位上。

用手缓慢地旋转轴一周，记录下千分表指示的最大值和最小值，两值之差（即表针摆动的范围）即为凸缘端盖止口对电机轴线径向圆跳动数值，如图 4-48a 所示。例如：径向圆跳动值为 $0.06 - (-0.03) = 0.09$ 。



(四) 凸缘端盖止口对电机轴线端面圆跳动的测量方法

测量凸缘端盖止口对电机轴线端面圆跳动方法与测量径向的方法基本相同，不同点只在于千分表的测头应放置在止口的端面上，如图 4-48b 所示。

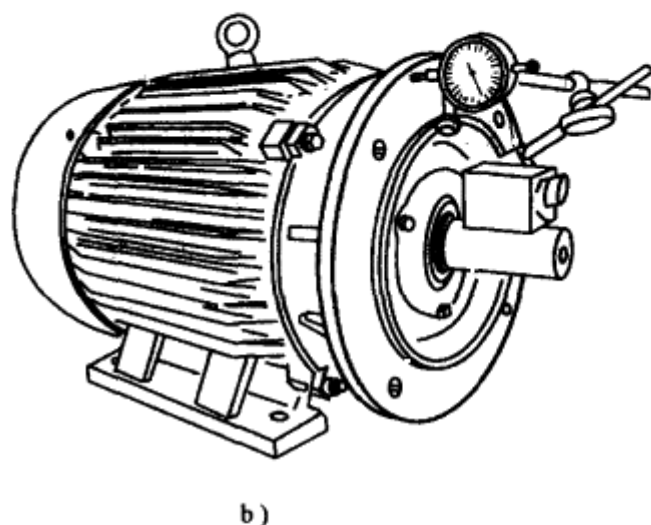


图 4-48 凸缘端盖止口对电机轴线
径向和端面圆跳动的测量

a) 径向圆跳动的测量 b) 端面圆跳动的测量

例如：端面圆跳动值为 $0.04 - (-0.03) = 0.07$ 。

十、轴伸端面至凸缘端盖止口端面（凸缘平面）距离的测量
对于只有凸缘端盖的电机，其轴伸端面至凸缘端盖止口端面

(凸缘平面) 距离类似于安装方式为 B3 普通电机的 C 尺寸。

测量时, 被测电机可采取卧式或轴伸朝上的立式放置方式。用一个直尺平放在轴伸端面上并且贴紧, 使其与轴伸端面重直。然后用深度尺测量直尺外平面至凸缘端面的距离, 该距离减去直尺的厚度即为所要求的数值, 如图 4-49 所示。

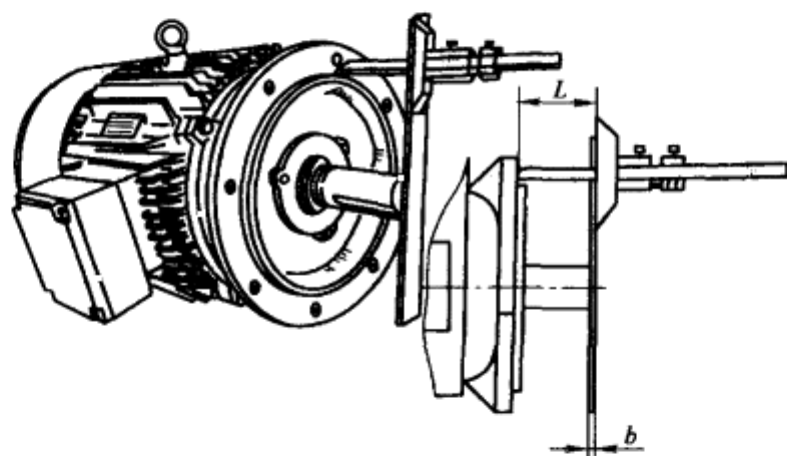


图 4-49 轴伸端面至凸缘端盖止口端面 (凸缘平面) 距离的测量

十一、转子轴向窜动量的测量

转子的轴向窜动量是指整机中的转子轴向活动量的数值。

测量时, 先推动轴伸, 将转子推到最里的位置, 用游标深度尺测量出轴伸端面到端盖的距离 e_1 ; 然后拉动轴伸, 将转子拉到最外的位置, 并用游标深度尺再次测量出轴伸端面到端盖的距离 e_2 。前后两次测量值之差 ($e_2 - e_1$) 即为该转子的轴向窜动量 Δe , 如图 4-50 所示。

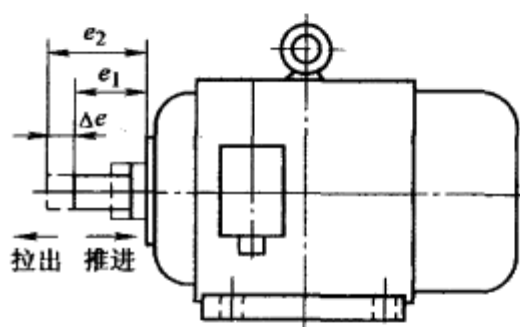


图 4-50 转子轴向窜动量的测量

十二、底脚平面度的测量

对于用底脚安装的电机, 要测量其底脚平面的平面度。所用量具和测量方法与机座的本项测量完全相同。

十三、底脚安装孔的 K 、 B 、 A 及计算安装孔位置度的相关数据测量及计算

对于用底脚安装的电机，要测量其底脚安装孔的孔径 K 、轴向距离 B 、径向距离 A ，并且通过测量值（含 C 值）计算出 $A/2$ 和安装孔的位置度数值。

对普通电机机械测量而言，这是一项最为复杂的测量和计算工作，因此也是考核一名检验人员技术水平的常用试题。

（一）调整和测量

本项测量工作，其测量器具和量具的选择、测量方法与单个机座的同一项目基本相同。略有不同的是调整被测电机轴线水平的方法，整机调整是采用安装在高度尺架上的杠杆百分表，测量轴伸两端的高度，通过调节支撑电机的前后托盘螺丝（或前后千斤顶），最终使轴伸两端的高度完全相等，即电机轴线达到与测量平板的工作平面平行。

具体操作方法：将杠杆百分表架在高度尺上。先将百分表的测头放在轴伸上距其一端 5mm 左右位置的外圆上面，调整好百分表后，将表盖的零位对正表针（对数字式百分表，应将其置零）。再将百分表的测头放在距轴伸另一端 5mm 左右位置的外圆上面，观看百分表指针指示值，若此时指示值也正好是零，则说明被测电机的轴线是水平的（严格地讲是和测量平板的工作平面平行），若此时指示值不是零，则要调整支撑电机的前后托盘螺丝（或前后千斤顶），至两端显示值都是零为止，用直角尺调整，使底脚平面与平板垂直，如图 4-51a 所示。

上述调整完成后，用 1 级精度的游标高度尺测量出轴伸外圆上面轴伸长度一半的位置到测量平台工作平面的距离 H_0 。用 0 级外径千分尺测量出轴伸的直径 D 。之后，依次测量如下数值（见图 4-51b）：

（1）用卡尺外测量爪测量各孔（以 4 个孔为例）的孔径 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 ；

（2）用高度尺（常用带杠杆百分表的高度尺）测量各孔下

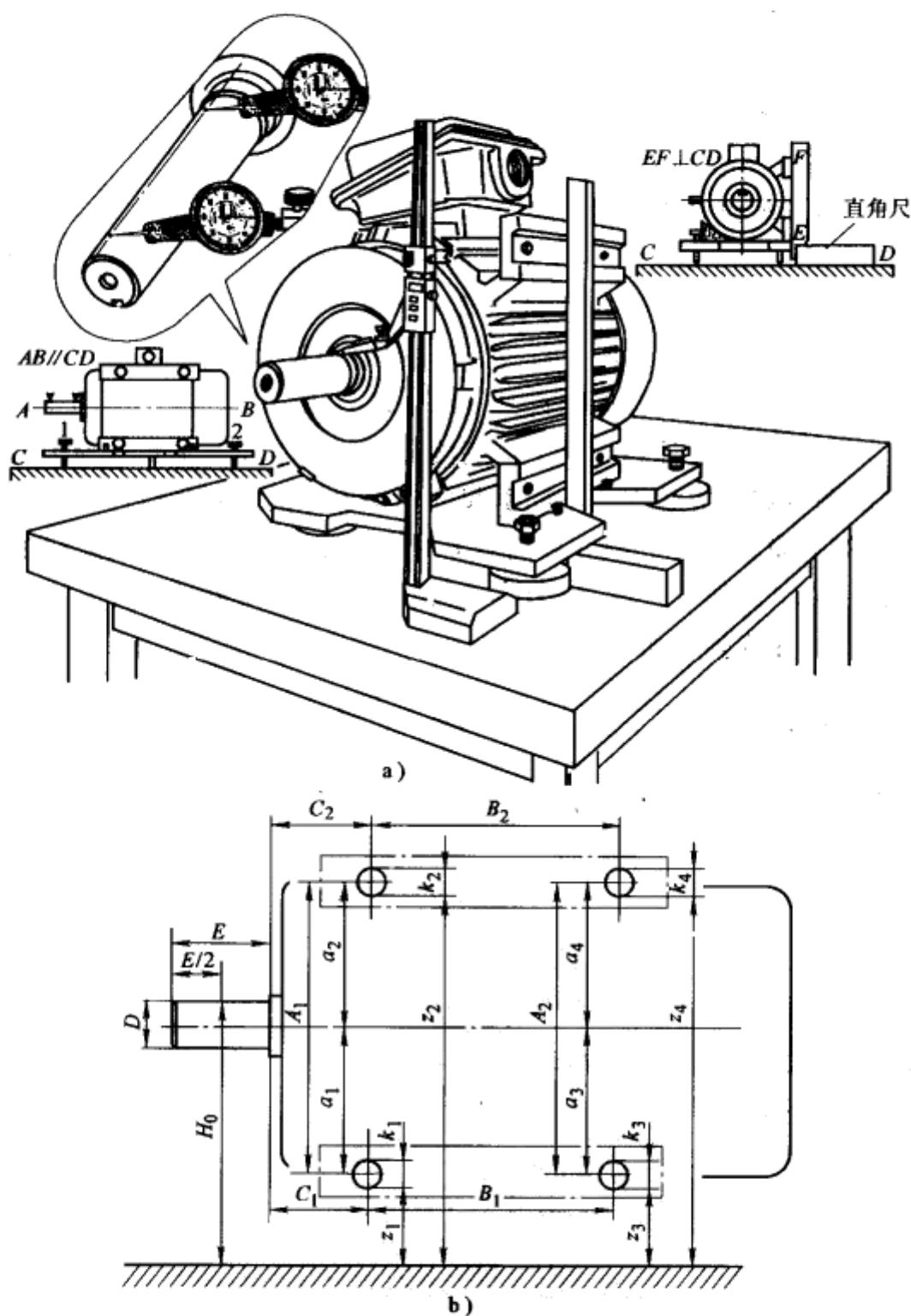


图 4-51 底脚安装孔的孔径 K 、轴向距离 B 、径向距离 A 的测量
 a) 用杠杆百分表调整轴线的水平，用直角尺调整垂直 b) 相关数据

侧面到测量平台的距离（高度） Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 ；

（3）用卡尺外测量爪测量同一条底脚两个孔外侧面之间的轴向距离 Y_1 、 Y_2 。

（二）相关数据的计算

（1） A 和 B 的计算

$$A_1 = Z_2 - Z_1 \quad (4-19)$$

$$A_2 = Z_4 - Z_3 \quad (4-20)$$

$$B_1 = Y_1 - (K_1 + K_3) / 2 \quad (4-21)$$

$$B_2 = Y_2 - (K_2 + K_4) / 2 \quad (4-22)$$

（2） $A/2$ 的计算与单个机座测量时略有不同，主要是因为轴线的测量定位方法有所不同引起的。将单个机座测量时计算公式（见第四章第三节的第九项内容）中的 $(D_s/2 + X)$ 换成此时的 $(H_0 - D/2)$ 即可。设 $Z = H_0 - D/2$ ，则四个 $A/2$ 数值 a_1 、 a_2 、 a_3 和 a_4 的计算公式如下：

$$a_1 = Z - \left(Z_1 + \frac{K_1}{2} \right) \quad (4-23)$$

$$a_2 = \left(Z_2 + \frac{K_2}{2} \right) - Z \quad (4-24)$$

$$a_3 = Z - \left(Z_3 + \frac{K_3}{2} \right) \quad (4-25)$$

$$a_4 = \left(Z_4 + \frac{K_4}{2} \right) - Z \quad (4-26)$$

假设四个地脚孔的直径相等，并设 $X = (D + K) / 2$ ，则可使用如下的简单算法：

$$a_1 = H_0 - Z_1 - X \quad (4-27)$$

$$a_2 = Z_2 - H_0 + X \quad (4-28)$$

$$a_3 = H_0 - Z_3 - X \quad (4-29)$$

$$a_4 = Z_4 - H_0 + X \quad (4-30)$$

十四、利用辅助工装测量 $A/2$ 的简易方法

利用一种辅助工装，可在被测电机处于正常放置状态下

(即底脚朝下放置在测量平台上) 进行 $A/2$ 尺寸的测量, 从而简化了测量过程, 并能做到相对安全。不足之处是增加了制作辅助工装的投资, 对一些特殊底脚的电机, 测量可能有困难。

(一) 辅助工装

辅助工装一般由使用单位根据要测量电机尺寸的大小来自制, 其外形如图 4-52a 所示。它由两部分组成: 一部分为直角尺, 其高度 h 应大于被测电机中心高 H , 长度 l 应大于电机径向尺寸 AC (或 AB) 的 $1/2$, 宽 b 应大于电机轴伸长度 E , 宽度的两个面 A 和 B 应磨光, 使其粗糙度和平行度达到图样中的要求, 高度方向与长度方向要垂直; 另一部分为平尺, 其长度应大于电机 E 、 C 、 B 三项尺寸之和的 1.1 倍, 宽度可视被测电机的大小而定, 一般为被测电机轴伸直径的 $0.5 \sim 1$ 倍, 两个侧面应磨光

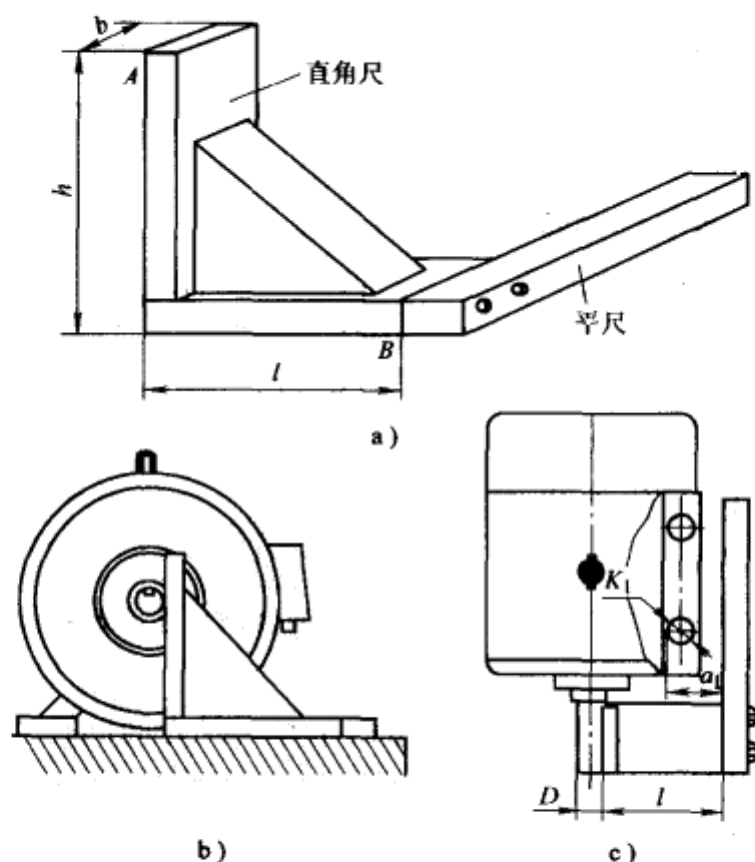


图 4-52 用辅助工装测量 $A/2$ 的简易方法

a) 辅助工装 b) 测量端面视图 c) 测量俯视图 (局部剖视)

并且平行，高度应与被测电机底脚厚度大体相同，对于较小体积的电机，可略高于底脚厚度，其一端开两个通孔，用于和直角尺联结。

(二) 测量和计算方法

将被测电机放置在测量平台上，辅助工装的直角尺 A 面靠紧轴伸，如图 4-52b 和 4-52c 所示。用游标卡尺测量底脚安装孔的直径 K_1 以及安装孔到辅助工装平尺的距离 a_1 。该孔的 $A/2$ 值用下式进行计算：

$$A/2 = \frac{D}{2} + l - a_1 + \frac{K_1}{2} = \frac{D + K_1}{2} + l - a_1 \quad (4-31)$$

式中 D ——被测电机的轴伸直径实测值。

用同样的方法测量和求出其他安装孔的 $A/2$ 值。

十五、底脚安装孔位置度的计算

对于用底脚安装的电机，当经过上述测量得到 K 、 A 、 B 、 C 和 $A/2$ 值后，安装孔的位置度数值计算和判断与机座的相关内容完全相同。

十六、总长的测量

对较小的电机，可将其风罩端朝下直立放置，用高度尺或深度尺等合适的量具进行测量。对于较大的电机，则应将其平放在一个平台上，用两把直角尺，

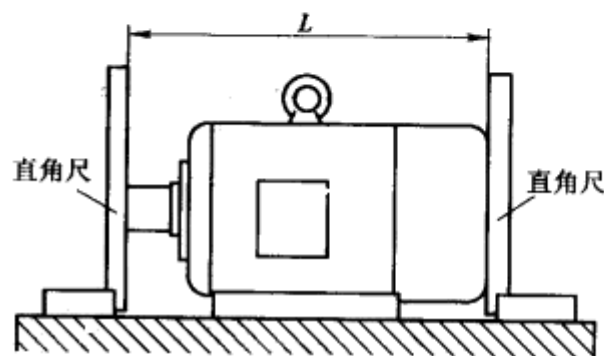


图 4-53 用直角尺和直尺测量电机的总长

分别靠在被测电机的两端，然后用钢板尺或钢卷尺测量两个直角尺之间的距离，即为被测电机的总长，如图 4-53 所示。

十七、定、转子气隙的测量和气隙均匀值的计算

对于封闭式电机，要求测量定、转子之间气隙和得到气隙均匀值时，应事先将一个端盖在对应定、转子之间气隙的位置打三

个相隔 120° 的通孔，用于通过塞尺，开孔要足够大，以利于塞尺的深入，如图 4-54a 所示。

将上述端盖安装在被测电机上，用塞尺测量三个位置的气隙数值，塞尺深入铁心的长度最少应为 30mm，如图 4-54b 所示。

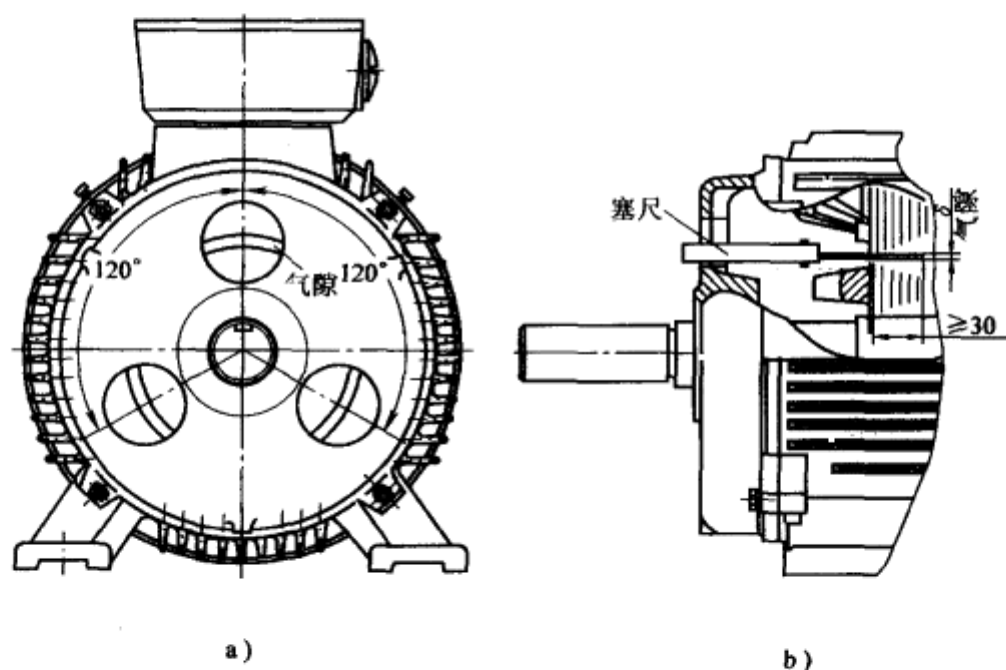


图 4-54 定、转子之间气隙的测量
a) 端盖打孔的位置 b) 测量 (局部剖视)

设三个测量值分别为 δ_1 、 δ_2 和 δ_3 。则定、转子之间的气隙均匀值 ε 用下式计算求得 (单位为 mm)。

$$\varepsilon = \frac{2}{3} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 - \delta_1\delta_2 - \delta_2\delta_3 - \delta_3\delta_1} \quad (4-32)$$

气隙不均匀度 $\Delta\varepsilon$ 为 (式中的 δ 为气隙公称值，单位为 mm，由技术条件给出)：

$$\Delta\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\delta} \times 100\% \quad (4-33)$$

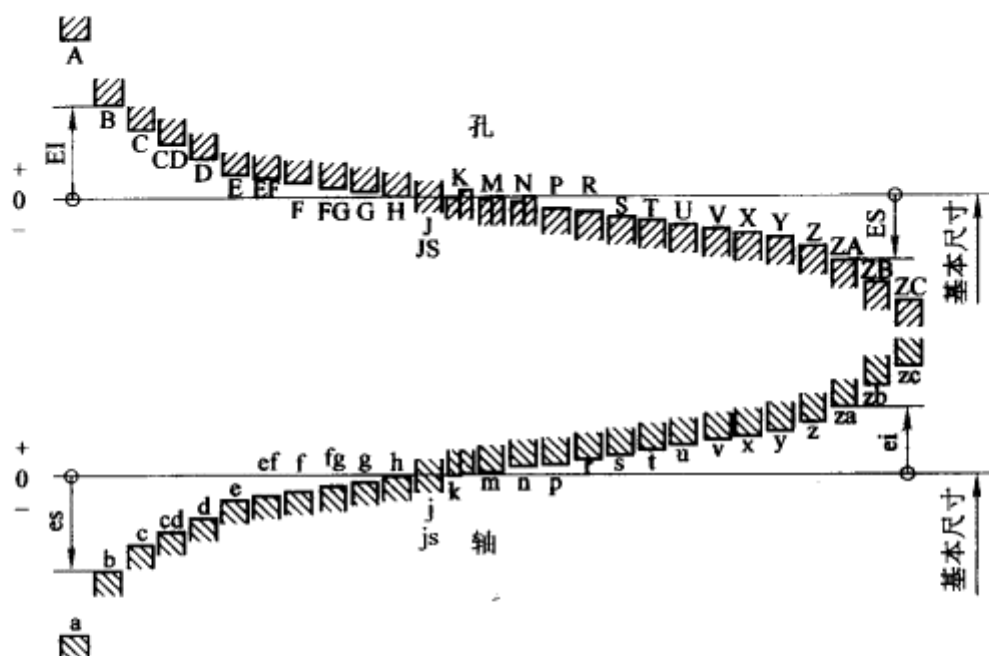
附录

附录 A 常见金属材料在 20 ~ 100℃
范围内时的线膨胀系数 α

材料名称或符号	线膨胀系数 α $/\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$	材料名称或符号	线膨胀系数 α $/\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$
工程用铜	16.6 ~ 17.1	40CrSi	11.7
紫铜	17.2	30CrMnSiA	11
黄铜	17.8	3Cr13	10.2
锡青铜	17.6	1Cr18Ni9Ti	16.6
铝青铜	17.6	铸铁	8.7 ~ 11.1
碳钢	10.6 ~ 12.2	镍铬合金	14.5
铬钢	11.2	铝	23.8

附录 B 基本偏差系列

公差配合分基轴制和基孔制两大类，用大写字母表示孔，用小写字母表示轴的基本偏差系列，如附图 1 所示。



附图 1 基偏公差系列

附录 C 一般公差中线性尺寸的极限偏差数值

(mm)

公差等级	基本尺寸分段							
	0.5 ~ 3	> 3 ~ 5	> 6 ~ 30	> 30 ~ 120	> 120 ~ 400	> 400 ~ 1000	> 1000 ~ 2000	> 2000 ~ 4000
f(精密级)	± 0.05	± 0.05	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	—
m(中等级)	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8	± 1.2	± 2
c(粗糙级)	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8	± 1.2	± 2	± 3	± 4
v(最粗级)	—	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 4	± 6	± 8

- 注：1. 一般公差的概念：一般公差系指在车间一般加工条件下可保证的公差。采用一般公差的尺寸，在该尺寸后不标注出极限偏差。一般公差适用于非配合尺寸。
2. 本表摘自国家标准 GB/T1804—2000《一般公差未注公差的线性尺寸和角度尺寸的公差》。
3. 线性尺寸的一般公差的表示方法：在图样、技术文件或标准中用标准号和公差等级符号表示，例如选用中等级时，表示为：GB/T1804-m。

附录 D 一般公差中倒圆半径与 倒角高度尺寸的极限偏差数值

(mm)

公差等级	基本尺寸分段			
	0.5 ~ 3	> 3 ~ 6	> 6 ~ 30	> 30
f(精密级)	±0.2	±0.5	±1	±2
m(中等级)				
c(粗糙级)	±0.4	±1	±2	±4
v(最粗级)				

注：同附录 C。

附录 E 数显量具上的功能键英文 与中文对照表及其功能介绍

英 文	中 文	功 能 简 介
ON/OFF on/off	电源开关键	在电源关断时，按动此键可打开电源；在电源开着时，按动此键可关断电源（有些量具使用光电池，可能不设置此键，此时按动任何一个键电源都会随之打开，在测量完毕一段时间后，电源自动关闭）
in/mm	英制、公制 转换键	英制单位为英寸（in），公制单位为毫米（mm）。每按动一次转换一次
HGLD	数据保持键	在测量显示一个数值后，按动此键，当时的数值将被保持
R/A	相对测量与绝对测量转换键	按此键后，若显示 REL，即为相对测量状态，在此状态下，可设置上下限数值；若显示 ABS，即为绝对测量状态，量具在初始位置时应为 0 或者最小数值（例如 25 ~ 50mm 的外径千分尺为 25mm）
TOL	公差设置键	按此键后，可使用 + 或 - 键来设置公差数值
+	正置数键	按动此键，所设数值增加
-	负置数键	按动此键，所设数值减小
RESET 或 STE	起始值 复位键	按动此键时，显示器中的数据将显示为 0（不论原先是何数字）
ZERO	置 0 键	同上述起始值复位键，有此键则无上述 RESET 键
MODE	功能键	按动此键后，显示相关功能，然后根据需要进行选择设置

**附录 F 现用表面粗糙度和原用
表面光洁度标注符号的对照表**

粗糙度符号	光洁度符号	粗糙度符号	光洁度符号	粗糙度符号	光洁度符号
					
					
					
					
					

注：“原用光洁度标注符号”是指 GB1031—1968 中规定的符号，该标准后改为 GB/T1031—1995，其中将原用的“光洁度”改称为“粗糙度”，标注符号也进行了更换，即本表所示的“现用粗糙度符号”。

附录 G 表面粗糙度高度参数值的标注示例及意义

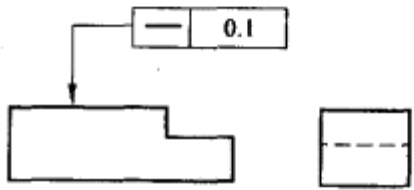
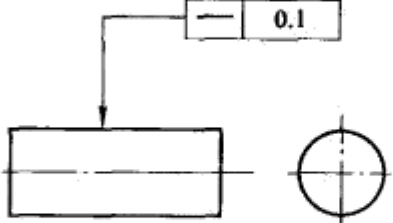
代 号	意 义
	用任何方法获得的表面粗糙度， R_a 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$
	用去除材料的方法获得的表面粗糙度， R_a 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$
	用去除材料的方法获得的表面粗糙度， R_a 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$ ，下限值为 $1.6\mu\text{m}$
	用不去除材料的方法获得的表面粗糙度， R_a 的上限值为 $200\mu\text{m}$
	用去除材料的方法获得的表面粗糙度， R_a 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$ ， R_y 的上限值为 $12.5\mu\text{m}$

注： R_a ——轮廓算术平均偏差，单位用 μm ；
 R_z ——轮廓微观不平度十点高度，单位用 μm ；
 R_y ——轮廓最大高度，单位用 μm 。

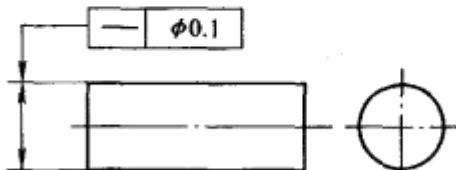
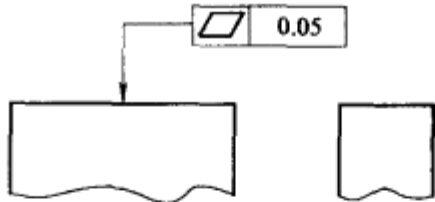
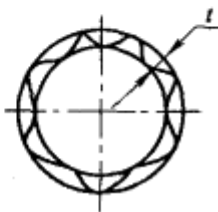
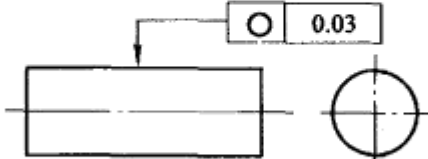
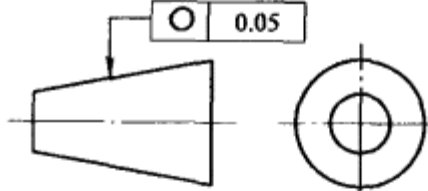
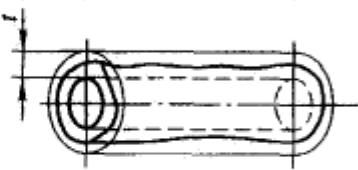
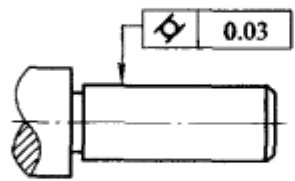
附录 H 形位公差项目

公差		特征	符号	有或无 基准要求	公差		特征	符号	有或无 基准要求
形状	形状	直线度	—	无	位置	定向	平行度	//	有
		平面度					垂直度	⊥	
		圆度	○				倾斜度	∠	
		圆柱度				定位	位置度	⊕	有或无
形状或 位置	轮廓	线轮廓度	⌒	有			同轴(同心)度	◎	
		面轮廓度					对称度	≡	
						跳动	圆跳动		
			全跳动						

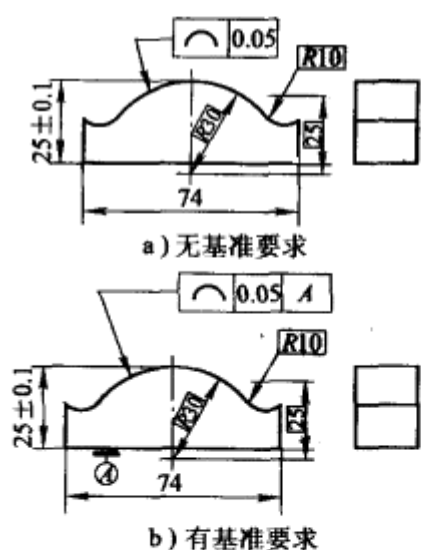
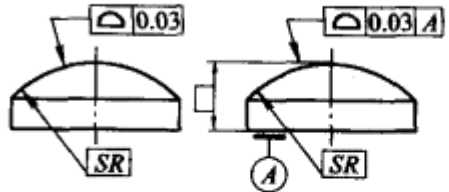
附录 I 形状公差带定义、标注和解释

项目	公差带定义	标注和解释
直线度 —	在给定平面内,公差带是距离为公差值 t 的两平行直线之间的区域 	被测表面的素线必须位于平行于图样所示投影面且距离为公差值 0.1mm 的两平行直线内 
	在给定方向上,公差带是距离为公差值 t 的两平行平面之间的区域 	被测圆柱面的任一素线必须位于距离为公差值 0.1mm 的两平行平面之内 

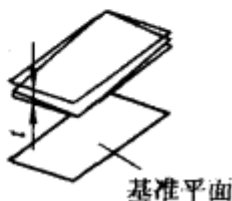
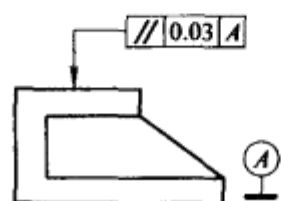
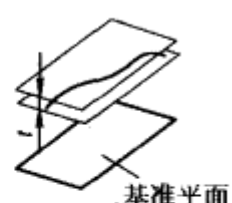
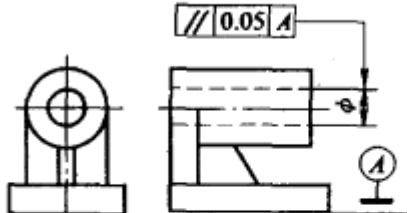
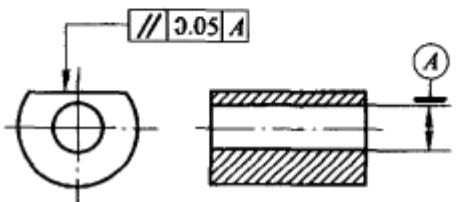
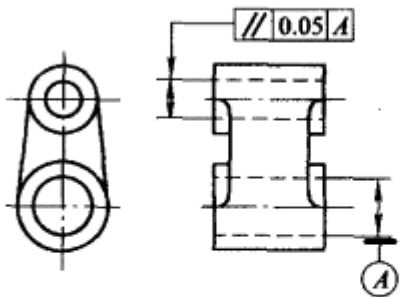
(续)

项目	公差带定义	标注和解释
直线度 	如在公差值前加注 ϕ , 则公差带是直径为 t 的圆柱面内的区域 	被测圆柱体的轴线必须位于直径为公差值 $\phi 0.1\text{mm}$ 的圆柱面内 
平面度 	公差带是距离为公差值 t 的两平行平面之间的区域 	被测表面必须位于距离为公差值 0.05mm 的两平行平面之内 
圆度 	公差带是在同一正截面上, 半径差为公差值 t 的两同心圆之间的区域 	被测圆柱面任一正截面的圆周必须位于半径差为 0.03mm 的两同心圆之间  被测圆锥面任一正截面的圆周必须位于半径差为公差值 0.05mm 的两同心圆之间 
圆柱度 	公差带是半径差为公差值 t 的两同轴圆柱面之间的区域 	被测圆柱面必须位于半径差为公差值 0.03mm 的两同轴圆柱面之间 

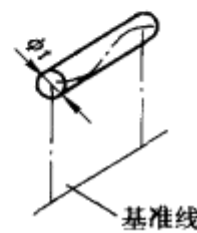
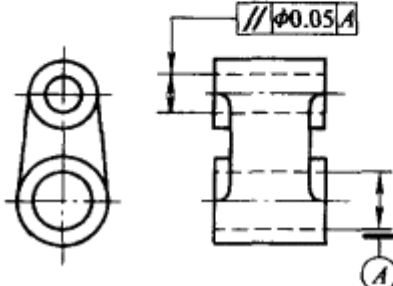
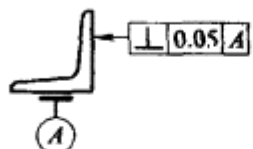
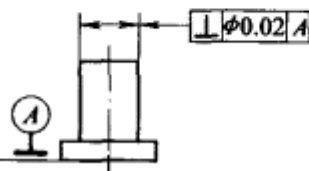
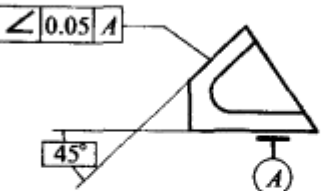
(续)

项目	公差带定义	标注和解释
线轮廓度 	公差带是包络一系列直径为公差值 t 的两包络线之间的区域。诸圆的圆心位于具有理论正确几何形状的线上 	在平行于图样所示投影面的任一截面上, 被测轮廓线必须位于包络一系列直径为公差值 0.05mm 且圆心位于具有理论正确几何形状的线上的两包络线之间  a) 无基准要求 b) 有基准要求
面轮廓度 	公差带是包络一系列直径为公差值 t 的两包络面之间的区域, 诸球的球心位于具有理论正确几何形状的面上的 	被测轮廓面必须位于包络一系列球的两包络面之间, 诸球的直径为公差值 0.03mm, 且球心位于具有理论正确几何形状的面上的两包络面之间  a) 无基准要求 b) 有基准要求

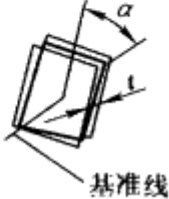
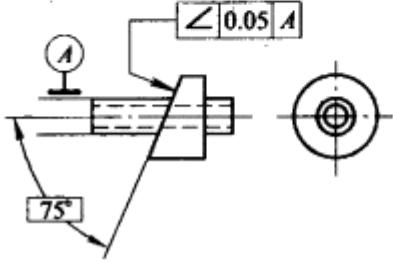
附录 J 定向公差带定义、标注和解释

项 目	公差带定义	标注和解释
平行度 //	公差带是距离为公差值 t 且平行于基准面的两平行平面之间的区域  基准平面	被测表面必须位于距离为公差值 0.03mm，且平行于基准表面 A 的两平行平面之间 
	公差带是距离为公差值 t 且平行于基准面的两平行平面之间的区域  基准平面	被测轴线必须位于距离为公差值 0.05mm，且平行于基准表面 A 的两平行平面之间 
	公差带是距离为公差值 t 且平行于基准轴线的两平行平面之间的区域  基准线	被测表面必须位于距离为公差值 0.05mm，且平行于基准线 A 的两平行平面之间 
	公差带是距离为公差值 t 且平行于基准线，并位于给定方向上的两平行平面之间的区域  基准线	被测轴线必须位于距离为公差值 0.05mm，且在给定方向上平行于基准轴线 A 的两平行平面之间 

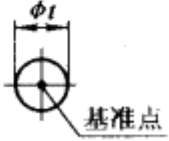
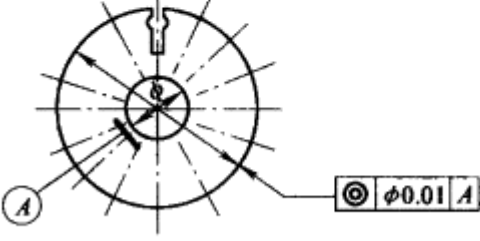
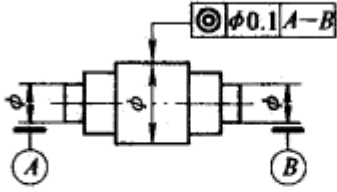
(续)

项 目	公差带定义	标注和解释
平行度 //	如在公差值前加注 ϕ, 公差带是直径为公差值 t 且平行于基准线的圆柱面内的区域  基准线	被测轴线必须位于直径为公差值 0.05mm, 且在给定方向上平行于基准轴线 A 的圆柱面内 
垂直度 ⊥	公差带是距离为公差值 t 且垂直于基准平面的两平行平面之间的区域  基准平面	被测平面必须位于距离为公差值 0.05mm, 且垂直于基准平面 A 的两平行平面之间 
垂直度 ⊥	如在公差值前加注 ϕ, 则公差带是直径为公差值 t 且垂直于基准面的圆柱面内的区域  基准平面	被测轴线必须位于直径为公差值 0.02mm, 且垂直于基准面 A (基准平面) 的圆柱面内 
倾斜度 ∠	公差带是距离为公差值 t 且与基准面成一给定角度的两平行平面之间的区域  基准平面	被测表面必须位于距离为公差值 0.05mm, 且与基准面 A (基准平面) 成理论正确角度 45° 的两平行平面之间 

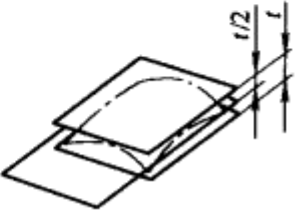
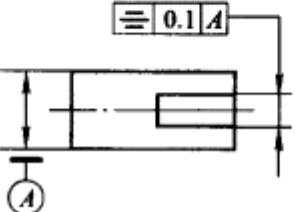
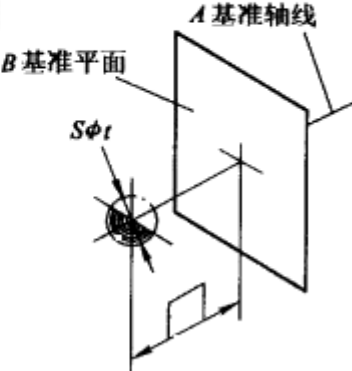
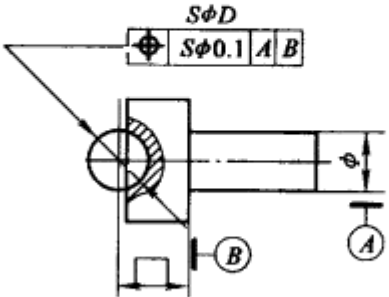
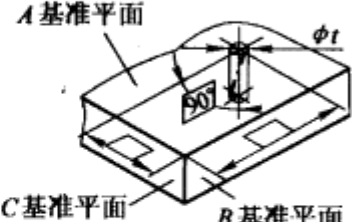
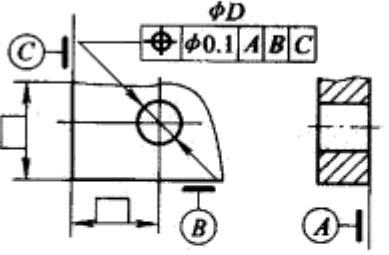
(续)

项 目	公差带定义	标注和解释
倾斜度 	公差带是距离为公差值 t 且与基准线成一给定角度的两平行平面之间的区域 	被测表面必须位于距离为公差值 0.05mm ，且与基准线 A (基准轴线) 成理论正确角度 75° 的两平行平面之间 

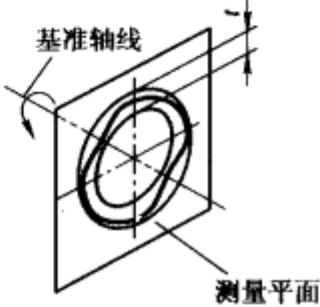
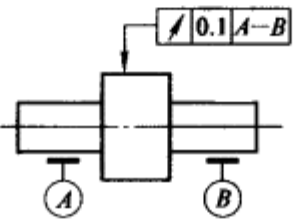
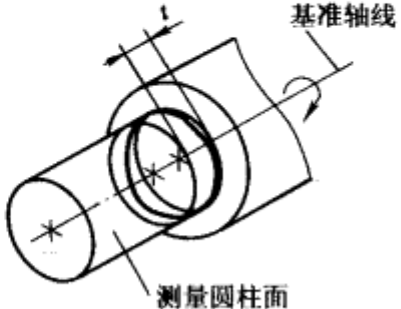
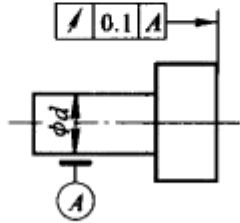
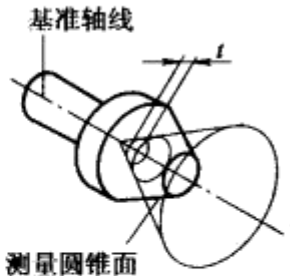
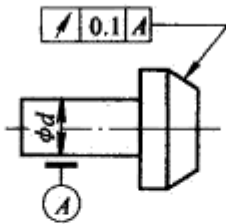
附录 K 定位公差带定义、标注和解释

项 目	公差带定义	标注和解释
点的同心度 	公差带是直径为公差值 ϕt 且与基准圆心同心的圆内的区域 	外圆的圆心必须位于直径为公差值 $\phi 0.01$ ，且与基准圆同心的圆内 
同轴度 	公差带是直径为公差值 ϕt 的圆柱面内的区域，该圆柱面的轴线与基准轴线同轴 	大圆的轴线必须位于直径为公差值 $\phi 0.1\text{mm}$ ，且与公共基准线 $A-B$ (公共基准轴线) 同轴的圆柱面内 

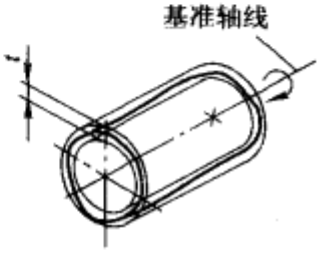
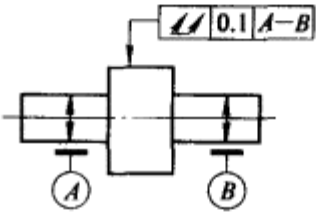
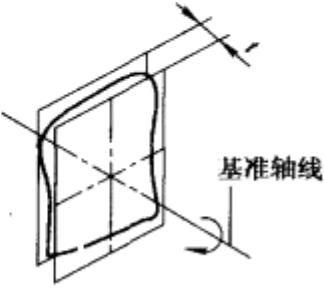
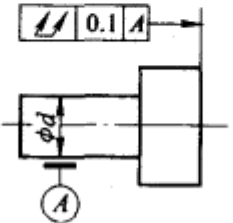
(续)

项 目	公差带定义	标注和解释
对称度 	公差带是距离为公差值 t，且相对基准的中心平面对称配置的两平行平面之间的区域 	被测中心平面必须位于距离为公差值 0.1mm，且相对于基准中心平面 A 对称配置的两平行平面之间 
位置度 	如在公差值前加注 $S\phi$，公差带是直径为公差值 t 的球内的区域，球公差带的中心点的位置由相对于基准 A 和 B 的理论正确尺寸确定 	被测球面的球心必须位于直径为公差值 0.1mm 的球内，该球的球心位于相对于基准 A 和 B 所确定的理想位置上 
线的位置度	如在公差值前加注 ϕ，则公差带是直径为公差值 t 的圆柱面内的区域，公差带的轴线的位置由相对于三基面系的理论正确尺寸确定 	被测轴线必须位于直径为公差值 0.1mm，且以相对于 A, B, C 基准表面(基准平面)所确定的理想位置为轴线的圆柱面内 

附录 L 跳动公差带定义、标注和解释

项目	公差带定义	标注和解释
径向圆跳动	公差带是在垂直于基准轴线的任一测量面内半径差为公差值 t 且圆心在基准轴线上的两同心圆之间的区域 	当被测要素围绕公共基准线 $A-B$ (公共基准轴线) 旋转一周时, 在任一测量平面内的径向圆跳动量均不得大于 0.1mm 
端面圆跳动	公差带是在与基准同轴的任一半径位置的测量圆柱面上距离为 t 的两圆之间的圆柱面区域 	被测面围绕基准线 A (基准轴线) 旋转一周时, 在任一测量平面内的轴向跳动量均不得大于 0.1mm 
斜向圆跳动	公差带是在与基准同轴的任一测量圆锥面上距离为 t 的两圆之间的区域 除另有规定, 其测量方向应与被测面垂直 	被测面围绕基准线 A (基准轴线) 旋转一周时, 在任一测量圆锥面上的跳动量均不得大于 0.1mm 

(续)

项目	公差带定义		标注和解释
径向全跳动	公差带是半径差为公差值 t ，且与基准轴线的两圆柱面之间的区域		被测要素围绕公共基准线 $A-B$ 作若干次旋转，并在测量仪器与工件间同时作轴向相对移动，被测要素上各点间的示值差均不得大于 0.1mm 。测量仪器或工件必须沿着基准轴线方向并相对于公共基准线 $A-B$ 移动 
端面全跳动	公差带是距离为公差值 t ，且与基准轴线垂直的两平行平面之间的区域		被测要素围绕基准轴线 A 作若干次旋转，并在测量仪器与工件间作径向相对移动，被测要素上各点间的示值差均不得大于 0.1mm 。测量仪器或工件必须沿着轮廓具有理想正确形状的线和相对于基准轴线 A 的正确方向移动 

附录 M 电机轴线对底脚支撑面的平行度公差

机座号	63 ~ 250	> 250 ~ 315	> 315 ~ 355	400	> 400 ~ 560
平行度公差/mm	0.40	0.75	1.00	1.20	1.50

附录 N 电机底脚支撑面的平面度公差

AB 或 BB 中的最大尺寸/mm	> 100 ~ 160	> 160 ~ 250	> 250 ~ 400	> 400 ~ 630	> 630 ~ 1000	> 1000 ~ 1600
平面度公差/mm	0.12	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40

附录 O 电机轴伸直径 D 、键槽宽 F 、 G 尺寸及其公差、
键槽对称度、轴伸长度一半处的径向圆跳动公差

轴伸直径 D		键宽 F 和对称度			G 尺寸		径向圆跳动公差 (轴伸长度一半处)
公称尺寸	极限偏差	公称尺寸	极限偏差	对称度公差	公称尺寸	极限偏差	
9	+0.007 -0.002	3	-0.004 -0.029	0.015	7.2	0 -0.1	0.030
11	+0.008	4	0 -0.030	0.018	8.5	0 -0.2	0.040
14	-0.003	5			11		
19	+0.009 -0.004	6			15.5		
24		8	0 -0.036	0.022	20		
28		8			24		
38		10			33		
42	+0.018 +0.002	12	0 -0.043	0.030	37		0.050
48		14			42.5		
55	+0.030 +0.011	16			49		0.060
60		18			53		
65		18			58		
75		20	0 -0.052	0.037	67.5	0 -0.3	0.070
80		22			71		
90	+0.035 +0.013	25		0.050	81		
95		25			86		
100		28			90		
110		28			100		
120		32			109		
130	+0.40 +0.015	32	0 -0.062		119		0.75
140		36			128		
150		36			138		
160		40			147		
170		40			157		
180		45			165		

**附录 P 凸缘止口直径 N 、凸缘止口对电机轴线的
径向圆跳动及凸缘配合面对电机轴线的
端面圆跳动公差**

止口直径 N/mm		圆跳动公差/ mm
公称尺寸	极限偏差	
60	$+0.012$ -0.007	0.080
70		
80		
95	$+0.013$ -0.009	0.100
110		
130	$+0.014$ -0.011	
180		
230	$+0.016$ -0.013	0.125
250		
300	± 0.016	
350	± 0.018	
450	± 0.020	0.16
550	± 0.022	
680	± 0.025	

附录 Q 电机用普通球轴承径向游隙 δ

轴承内径 d/mm	径向游隙 $\delta/\mu\text{m}$	轴承内径 d/mm	径向游隙 $\delta/\mu\text{m}$
10 ~ 18	6 ~ 18	> 40 ~ 50	10 ~ 23
> 18 ~ 24	8 ~ 20	> 50 ~ 65	12 ~ 26
> 24 ~ 30	8 ~ 20	> 65 ~ 80	14 ~ 28
> 30 ~ 40	9 ~ 20	> 80 ~ 100	18 ~ 33

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名=图解常用量具的使用方法和测量实例

作者=

页数= 2 7 0

出版社=

出版日期=

S S 号= 1 1 8 4 0 4 9 5

D X 号=

URL= h t t p : / / b o o k . s z d n e t . o r g . c
n / b o o k D e t a i l . j s p ? d x N u m b e r = & d
= 2 0 4 0 1 8 3 5 0 E 1 5 3 A B B 9 B 7 3 F E B C 8 2 B
5 6 7 1 5

封面
书名
版权
前言
目录

第一章
第一节

测量和量具常识

计量器具的常用术语

- 一、刻度间距（刻度间隔）
- 二、分度值（刻度值）
- 三、示值范围（指示范围）
- 四、测量范围
- 五、示值误差
- 六、修正值（校正值）
- 七、示值变化（示值稳定性）
- 八、回程误差
- 九、测量力
- 十、放大比
- 十一、计量器具的不确定度允许值 u_1
- 十二、计量器具的不确定度 u_L

第二节 测量误差的来源和分类

- 一、测量误差的来源
- 二、测量误差的分类

第三节 光滑工件尺寸的验收极限和计量器具的选用

- 一、光滑工件尺寸的验收极限
- 二、安全裕度
- 三、光滑工件尺寸的验收极限计算举例
- 四、计量器具的选择

第四节 计量器具的使用和维护保养常识

- 一、量具的正确使用
- 二、量具的维护与保养

第二章 通用量具

第一节 测量基准器具

- 一、平板
- 二、方箱
- 三、V形架

第二节 游标卡尺

- 一、游标卡尺的分类
- 二、游标卡尺使用方法和注意事项的通用内容

三、I 型游标卡尺的结构、用途和使用方法

四、II 型游标卡尺的结构、用途和使用方法

五、III 型游标卡尺的结构、用途和使用方法

六、IV 型游标卡尺的结构、用途和使用方法

七、带表游标卡尺

八、电子数显游标卡尺

九、特殊用途的游标卡尺

第三节 深度游标卡尺

一、深度游标卡尺的用途和种类

二、深度游标卡尺的结构、性能参数、使用方法和注意

事项

三、弯头深度游标卡尺及使用方法

第四节 高度游标卡尺

一、高度游标卡尺的用途、种类和结构

二、高度游标卡尺的性能参数、使用方法和注意事项

三、带表和双柱高度游标卡尺

第五节 外径千分尺

一、外径千分尺的用途、种类和结构

二、外径千分尺的性能参数

三、外径千分尺的使用方法和注意事项

四、大型外径千分尺

第六节 其他特殊结构和用途的外径千分尺

一、杠杆千分尺

二、尖头千分尺

三、壁厚千分尺

四、板厚千分尺

五、公法线千分尺

六、螺纹千分尺

第七节 深度千分尺

一、深度千分尺的结构和工作原理

二、深度千分尺的测量范围和示值误差

三、深度千分尺的使用方法和注意事项

第八节 内径千分尺

一、内径千分尺的结构和工作原理

二、内径千分尺的测量范围和示值误差

三、内径千分尺的使用方法和注意事项

四、三爪内径千分尺

第九节 内测千分尺

- 一、内测千分尺的结构和用途
- 二、内测千分尺的规格、分度值和示值误差
- 三、内测千分尺的使用方法和注意事项

第十节 指示表类量具

- 一、指示表类量具的分类和工作原理
- 二、机械式百分表
- 三、大量程百分表
- 四、机械式千分表
- 五、数显式百分表和千分表
- 六、内径百分表
- 七、杠杆百分表
- 八、其他特殊用途的百分表和千分表
- 九、各种专用表架和安装附件

第十一节 角度量具

- 一、直角尺
- 二、万能角度尺

第十二节 二维和三维坐标测量设备简介

- 一、非接触式二维坐标测量机
- 二、复合式三坐标测量机
- 三、接触式三坐标测量机
- 四、手动接触式三坐标测量机

第三章 专用量具

第一节 概述

- 一、专用量具的定义、分类和用途
- 二、专用量具“过端”和“止端”的定义和使用原则
- 三、专用检测工装

第二节 测量外尺寸的光滑量规——卡规（卡板）

- 一、卡规的用途和常用类型
- 二、卡规的使用方法

第三节 检查内尺寸的光滑量规——塞规

- 一、检查内尺寸光滑量规的分类
- 二、检查圆柱孔内径用的光滑塞规
- 三、检查圆锥孔内径和锥度用的光滑塞规
- 四、带百分表的圆锥塞规
- 五、检查圆锥轴直径和锥度用的光滑环规
- 六、检查键槽用的光滑塞规（键规）

第四节 检查螺纹的量规——螺纹规和螺纹样板

- 一、螺纹规的分类

二、螺纹塞规的使用方法

三、螺纹环规的使用方法

四、螺纹样板及使用方法

第五节 检查圆弧角的量规——半径样板（R规）

第六节 表面粗糙度样块（板）

一、粗糙度样块（板）的结构和相关标准

二、粗糙度样块（板）的使用方法

第七节 测量两个平面间隙的专用量具——塞尺

第八节 测量两个平行平面距离的专用量具

第九节 内卡钳和外卡钳的应用

第十节 测量转轴用的专用支架

第四章 机械检测实例——电机机械尺寸和形位公差

量

第一节 说明

第二节 常用三相异步电动机零部件的名称

第三节 机座的检测方法和相关规定实例

一、机座的结构、主要尺寸和形位公差

二、止口尺寸和形位公差的测量

三、铁心档直径尺寸和圆度的测量

四、机座长度的测量

五、机座中心高的测量

六、底脚支撑面平面度的测量

七、机座止口公共基准轴线对底脚支撑面平行度的测量

八、机座底脚安装孔的孔径K、孔距A和B、 $A/2$ 的测量

九、机座底脚安装孔对轴线中心竖直平面距离（ $A/2$ ）的

测量和计算方法

十、机座C尺寸的测量

十一、底脚螺栓通孔（K孔）位置度的计算和考核方法

十二、机座端面螺孔的测量

十三、机座两端止口、铁心档同轴度的检查

十四、机座吊环螺孔的检查

第四节 端盖机械尺寸和形位公差的检测方法和相关规定实例

一、端盖的类型、主要尺寸和形位公差

二、止口的检测

三、轴承室的检测

四、止口平面到轴承室底平面距离的测量

五、端盖轴承室内圆对止口基准轴线的径向圆跳动的测量

六、端盖止口端面对轴承室内圆基准轴线的端面圆跳动测量

	七、端面孔的尺寸和形位公差的测量
	八、凸缘端盖的检测及特有的项目
第五节	转轴尺寸和形位公差的检测方法
	一、主要尺寸和形位公差
	二、轴承档尺寸和形位公差的测量
	三、轴伸尺寸和形位公差的测量
	四、转轴铁心档的尺寸测量
第六节	转子尺寸和形位公差的检测方法
	一、转子铁心外圆直径、长度和转子铁心轴向位置的测量
	二、转子铁心外圆对基准轴线径向圆跳动的测量
第七节	电机外形尺寸和形位公差的测量
	一、常用电机外形结构分类
	二、常用电机外形结构尺寸和代码
	三、电机整机外形的形位公差
	四、轴伸及键槽尺寸和形位公差的测量
	五、轴中心高的测量
	六、轴中心线对底脚支承面的平行度测量
	七、轴伸肩至邻近的底脚孔轴线距离（C尺寸）的测量
	八、凸缘端盖安装孔孔径（S尺寸）、基圆直径（M尺寸）、相邻孔的弦距、位置度以及止口直径（N尺寸）的测量
	九、凸缘端盖止口对电机轴线径向和端面圆跳动的测量
	十、轴伸端面至凸缘端盖止口端面（凸缘平面）距离的测量
	十一、转子轴向窜动量的测量
	十二、底脚平面度的测量
	十三、底脚安装孔的K、B、A及计算安装孔位置度的相关数据测量及计算
	十四、利用辅助工装测量A / 2的简易方法
	十五、底脚安装孔位置度的计算
	十六、总长的测量
	十七、定、转子气隙的测量和气隙均匀值的计算
附录	
	附录A 常见金属材料在20～100℃范围内的线膨胀系数α
	附录B 基本偏差系列
	附录C 一般公差中线性尺寸的极限偏差数值
	附录D 一般公差中倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值

介绍表

附录 E	数显量具上的功能键英文与中文对照表及其功能介绍
附录 F	现用表面粗糙度和原用表面光洁度标注符号的对照表
附录 G	表面粗糙度高度参数值的标注示例及意义
附录 H	形位公差项目
附录 I	形状公差带定义、标注和解释
附录 J	定向公差带定义、标注和解释
附录 K	定位公差带定义、标注和解释
附录 L	跳动公差带定义、标注和解释
附录 M	电机轴线对底脚支撑面的平行度公差
附录 N	电机底脚支撑面的平面度公差
附录 O	电机轴伸直径 D、键槽宽 F、G 尺寸及其公差、键槽对称度、轴伸长度一半处的径向圆跳动公差
附录 P	凸缘止口直径 N、凸缘止口对电机轴线的径向圆跳动及凸缘配合面对电机轴线的端面圆跳动公差
附录 Q	电机用普通球轴承径向游隙 δ
参考文献	