

精密测量技术

花国梁 主编

精密测量技术

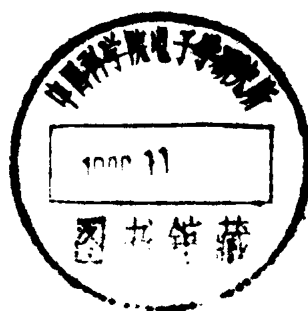
花国梁 主编

清华大学出版社

79.99
337

精密测量技术

花国梁 主编



清华大学出版社

8610842

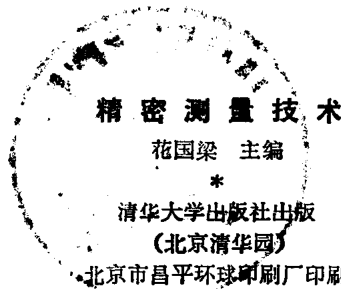
内 容 提 要

本书是在我校近几年开设《精密测量》、《测量误差理论与数据处理》等课程的基础上编写的教材。内容和取材方面注重其实用性，并偏重于光学和机械方面，使学生可学到更多的测试手段。

全书共分十章。主要内容包括：长度基准检定；大中小尺寸的测量；形状和位置误差、表面粗糙度、角度分度、螺纹、齿轮等各种几何量的测量。并简要地介绍了三坐标测量机在几何量计量中的特殊应用。

本书可作为高等工科院校机械、仪器类专业的教材，也可供机械制造和计量工作部门的科技人员自学和参考。

DT82/03



北京市昌平环球印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：16.5 字数：411千字

1986年9月第1版 1986年9月第1次印刷

印数：00001~10,000

统一书号：15235·224 定价：3.00元

前 言

精密测量技术是一门重要的技术学科。由于科学技术的飞速发展，在现代的机械、仪器等制造业中，对于加工的精度要求愈来愈高，人们普遍地感到精密加工的关键是计量，没有精密计量这一重要测试手段，要制造出高、精、尖的产品是难以想象的。

为了使培养出的学生能够适应这一社会需要，仅仅依靠“互换性与测量技术基础”这一门课程中的测量知识是远远不够的。为此很多高等工科院校都先后增设了本课程。1983年12月，在全国“互换性与测量技术基础”课程大纲审议会议上一致认为对于机械类专业应该根据各院校的特点，增设“精密测量技术”、“测量误差理论与数据处理”等课程。本书是根据这一目的，并在我校近几年来开设本课程的基础上而编写的。

本书的主要内容包括：长度基准检定；大中小尺寸的测量；形状和位置误差、表面粗糙度、角度分度、螺纹、齿轮等各种几何量的测量，并简要地介绍了三坐标测量机在几何量计量中的特殊应用。

由于本课程是“互换性与测量技术基础”的后继课程以及教学时数有限，因此在内容取材方面注重其实用性而不拘其体系的完整性；又由于学生在电子技术方面大都已得到了加强，因此在内容上较偏重于光学和机械方面，当涉及电气内容时，着重于光、机和电的结合，而不必介绍电气线路。这样，可使学生学到更多的测试手段，为今后选择和拟定测量方案，设计测量装置和量仪，提供有利的条件。

本书不仅适用于机械、仪器类专业的学生，对于广大从事机械制造和计量工作的科技人员，也可供自学和参考。

本书第一、二、三、八、九章由花国梁编写，第五、六、七、十章由王旭蕴编写，第四章由丁伯炬编写。由花国梁担任主编。

本书在编写过程中曾得到清华大学梁晋文教授、吉林工大许金钊教授、哈尔滨工大成熙治教授、华中工学院李柱教授、西安交大赵卓贤副教授、河北工学院何贡副教授、合肥工大陈宏杰副教授，以及计量出版社刘瑞清工程师等的热情帮助和支持，对此表示衷心感谢。由于编者水平有限，书中会有不少缺点和错误，恳切地希望广大读者提出批评和指正。

编 者

1984年10月

目 录

第一章 几何量测量概论	(1)
§1 绪言.....	(1)
§2 有关测量的基本概念.....	(1)
一、有关测量的几个术语.....	(1)
二、测量过程的四个要素.....	(2)
三、两个评定精度的指标.....	(2)
§3 两个重要的测量原则.....	(3)
一、阿贝测长原则.....	(3)
二、圆周封闭原则.....	(4)
§4 计量器具的选择方法.....	(5)
一、国家检验标准介绍.....	(5)
二、测量结果的表达式.....	(9)
三、测量方法的选用实例.....	(10)
第二章 线纹尺和块规的检定	(14)
§1 长度基准和尺寸传递.....	(14)
§2 线纹尺的检定.....	(16)
一、相对法检定.....	(16)
二、绝对法检定——光电光波比长仪简介.....	(16)
§3 线纹尺测量的精度计算.....	(23)
一、绝对测量法的测量误差.....	(23)
二、定间距互比测量法及其误差分析.....	(23)
三、组合测量法.....	(25)
§4 块规检定法.....	(26)
一、柯氏绝对光波干涉仪.....	(26)
二、JLG-1 型激光块规干涉仪.....	(30)
第三章 长度尺寸的测量	(32)
§1 轴类零件尺寸的测量.....	(32)
一、光学比较仪.....	(32)
二、0.2 微米投影光学计.....	(35)
三、立式接触式干涉仪.....	(36)
四、立式测长仪.....	(37)
五、光学扭簧仪.....	(38)
六、轴颈测量中的特殊误差.....	(40)
§2 孔类零件尺寸的测量.....	(44)

一、表面反射式测量仪	(44)
二、小孔径干涉测量仪	(46)
三、NPL自准式测孔仪	(47)
四、用光学灵敏杠杆测量孔径	(48)
五、卧式(万能)测长仪	(49)
§3 大尺寸的测量	(55)
一、概述	(55)
二、测长机	(56)
三、激光干涉测长法	(58)
四、用辅助基面法进行测量	(61)
五、用弦高法测量大直径的孔和轴	(62)
六、用滚柱法进行测量	(63)
七、用经纬仪进行测量	(64)
§4 微小尺寸的测量	(66)
一、用激光衍射法测量金属细丝直径	(66)
二、用激光能量法测量光导纤维的直径	(69)
三、小间隙的测量方法	(70)
四、其它测量方法	(71)
第四章 形状和位置误差的测量	(72)
§1 直线度误差的测量	(72)
一、测量基准	(72)
二、直线度误差的各种测量方法	(73)
三、测量方法的误差分析	(79)
§2 平面度误差的测量	(81)
一、两种布线方案的数据联系法	(81)
二、测量方法的误差分析	(84)
§3 圆度误差的测量	(87)
一、圆度误差的几何特性	(87)
二、圆度误差的评定方法	(89)
三、圆度仪	(90)
四、V形块法	(93)
§4 平行度误差的测量	(95)
一、直线对直线的平行度误差	(95)
二、平面对平面的平行度误差	(96)
§5 垂直度误差的测量	(97)
一、直线对直线的垂直度误差	(97)
二、平面对平面的垂直度误差	(98)
§6 同轴度误差的测量	(99)
一、小型零件的测量方法	(99)

	二、大型零件(或相距较远的部件安装)同轴度误差的测量	(99)
	三、同轴度误差测量中的几个重要问题	(100)
第五章	角度及锥度测量	(104)
§1	概述——角度基准传递	(104)
§2	比较法测量	(104)
§3	平台法测量	(105)
	一、内角测量	(105)
	二、V形槽角度测量	(108)
	三、外锥角测量	(108)
	四、正弦规(尺)测量角度	(108)
	五、正切法测量角度	(110)
§4	坐标测量法	(110)
	一、在工具显微镜上测量	(110)
	二、在坐标测量机上测量	(110)
§5	角度块的检定	(111)
	一、用正弦规检定	(111)
	二、在万能工具显微镜上检定	(111)
	三、用光学分度头检定	(112)
	四、用光学经纬仪检定	(113)
	五、用精密测角仪检定	(114)
§6	用光波干涉法测量小角度	(117)
	一、光波干涉法	(118)
	二、棱镜透镜干涉仪	(119)
§7	小角度发生器	(120)
第六章	圆周分度误差的测量	(122)
§1	概述	(122)
§2	多面棱体的检定	(122)
	一、绝对测量法	(123)
	二、相对比较测量法	(126)
	三、全组合测量法	(127)
§3	度盘分度误差的测量	(139)
	一、圆周分度误差的评定指标	(140)
	二、圆周分度的绝对测量法	(146)
	三、圆周分度的相对测量法	(147)
第七章	螺纹测量	(154)
§1	圆柱外螺纹的测量	(154)
	一、中径 d_2 的测量	(154)
	二、螺距 P 的测量	(170)
	三、牙型半角 $\alpha/2$ 的测量	(173)

§2	圆柱内螺纹的测量	(175)
	一、中径的测量	(175)
	二、螺距和牙型半角的测量	(179)
§3	丝杠的测量	(183)
	一、概述	(183)
	二、螺旋线误差的静态间断测量法	(184)
	三、螺旋线误差的动态连续测量法	(185)
	四、丝杠测量误差分析	(188)
	五、丝杠螺母的测量	(191)
	六、滚珠丝杠的测量	(191)
§4	圆锥螺纹的测量	(194)
	一、概述	(194)
	二、圆锥螺纹的主要几何参数	(195)
	三、圆锥外螺纹的测量	(195)
	四、圆锥内螺纹的测量	(198)
第八章	圆柱齿轮测量	(199)
§1	周节累积误差的测量	(199)
	一、绝对测量法	(199)
	二、相对测量法	(201)
	三、跨齿测量法	(204)
§2	齿形误差的测量	(210)
	一、影象比较法	(211)
	二、滚动比较法	(211)
	三、坐标测量法	(212)
	四、齿形误差曲线图形分析	(216)
§3	齿轮整体误差的测量	(218)
	一、概述	(218)
	二、齿轮整体误差的测量原理	(218)
	三、单面啮合间齿测量法	(220)
	四、逐齿坐标点测量法——无标准渐开线元件的测量法	(220)
第九章	表面粗糙度测量	(227)
§1	概述	(227)
§2	表面粗糙度标准	(227)
	一、表面粗糙度的评定基准	(227)
	二、表面粗糙度的评定参数	(228)
§3	表面粗糙度的测量方法	(230)
	一、与表面粗糙度的标准样板相比较	(230)
	二、用双管显微镜测量	(230)
	三、干涉显微镜	(233)

	四、电动轮廓仪.....	(234)
	五、激光测量法.....	(238)
	六、 S_m , S 和 t_p 等参数的测量.....	(239)
第十章	三坐标测量机及其应用.....	(241)
§1	概况.....	(241)
§2	机械结构及测量系统.....	(243)
	一、结构形式.....	(243)
	二、工作台.....	(245)
	三、导向装置——导轨.....	(245)
	四、测量系统.....	(246)
	五、测量数据处理.....	(247)
	六、三坐标测量机的精度.....	(249)
§3	三坐标测量机的应用.....	(250)
	一、多种几何量的测量.....	(250)
	二、实物程序编制.....	(254)
	三、设计一体化.....	(255)
	四、其它应用.....	(255)

第一章 几何量测量概论

§1 绪 言

从工业生产发展的历史来看，机械制造水平的提高是与测量技术的不断提高密切相连的。例如，有了千分尺类量具，使加工精度提高到0.01mm；有了测微比较仪，使加工精度提高到1μm左右；有了圆度仪，使加工精度达到0.1μm；有了激光干涉仪，可使加工精度达到0.01μm。目前国际上机床的加工水平已能稳定地达到1μm的精度，正在向着稳定精度为0.1~0.01μm的加工水平发展；表面粗糙度则向0.001μm的水平发展。因此，在我国实现四个现代化的过程中，测量技术是必不可少的重要手段之一。

我国计量测试科学技术，在建立计量基准、标准方面，在某些高精度零部件的测试与仪器的研制等方面，有些项目已达到或接近国际先进水平。但在某些高精度、大型、重型或微小尺寸以及新产品的测试方面，尚有很大的差距，所用的仪器，测试方法还很落后。

在机械制造中加工与测量是相互依存的。精密加工靠精密计量技术来保证，而精密加工又是精密测试的物质保证。计量测试技术的发展，在一定程度上也能标志着一个国家的科技水平。

几何量计量在十大计量中占有最大的比重，涉及面最广，一切工业部门几乎无不直接或间接地用到计量。现代化机械工业生产的标准化程度越来越高，为了提高经济效益，互换性生产已经不再是人们早先所认为的只适用于大量生产，现在也应用于小批量、多品种的生产了。为了适应这种新的生产特点，在计量测试方面就不能满足于旧的传统方法，而应不断应用新的物理原理及新的技术成就，探索出新的测试方法来。

§2 有关测量的基本概念

一、有关测量的几个术语

人们在计量工作中常常用到测量、测试、检验和计量等术语，有时混为一谈，其实是有所区别的。

计量学是研究测量、保证测量统一和准确的科学。

检验是判断被测物理量是否合格（在规定范围内）的过程，通常不一定要要求具体数值。

测试指具有试验研究性质的测量。

所谓测量是指：将被测值和一个作为测量单位的标准量进行比较，求出其比值的过程。测量过程可以用一个基本公式来表示，即

$$L = x \cdot u \quad (1-1)$$

式中：L——被测长度（被测值）

u——长度单位（标准量）

x——比值

式(1-1)称为基本的测量方程式,说明被测值 L 等于所采用的长度单位 u 与测得的比值 x 的乘积。例如:假设 u 为 mm , x 为 20 ,则被测长度 $L=20\text{mm}$ 。

这里所说的“长度”是广义的,包括长度值(线值)、角度、以及表面形状、位置和粗糙度等所有的各种几何量。

二、测量过程的四个要素

一个完整的测量过程应由下列四方面的内容组成,即测量过程四要素:

1. 测量对象和被测量

几何量测量的对象是多种多样的,不同的测量对象有不同的被测量。如孔、轴的主要被测量是直径;箱形零件的被测量有长、宽、高以及孔间距等;螺纹零件的被测量有螺距、中径、轮廓半角等;复杂的零件还有复合的被测量,如丝杠和滚刀的螺旋线误差等。但不管形体如何不同,被测量的参数如何复杂,从几何量计量的本质来说都可归结为长度量和角度量两种,复杂量无非是长度和角度的组合而已。

2. 测量单位和标准量

几何量计量中常用的长度单位有米(m)、毫米(mm)、微米(μm),角度单位为度($^\circ$)、分($'$)、秒($''$)。

在测量过程中,测量单位应以物质形式来体现,能体现测量单位和标准量的物质形式有:光波波长、线纹尺、精密量块、圆刻度盘等。

3. 测量方法

测量方法是指完成测量任务所用的方法、量具或仪器、以及测量条件的总和。当没有现成的量具或仪器时,需要自行设计测量方法,这就需要根据被测对象和被测量的特点(形体大小、形状和精度要求等)确定标准量,拟定测量原理,工件的定位,读数和瞄准方式,以及测量条件如温度和环境的要求等。

基本的测量方法有:直接测量和间接测量,绝对测量和相对测量,接触测量和非接触测量,单项测量和综合测量,手动测量和自动测量等,这些内容在“互换性与测量技术基础”课程中均有讲述,这里不必重复。

4. 测量精度

由于在测量过程中不可避免地存在或大或小的测量误差,因此不知道测量精度的测量结果是没有意义的,所以对每一测量过程的测量结果都应给出一定的测量精度。

三、两个评定精度的指标

1. 量仪的不确定度

它是表示指示式计量器具内在误差影响测得值分散程度的一个误差范围。

计量器具的内在误差包括示值误差、示值稳定性、回程误差、灵敏限,以及由于结构、原理、工艺、装调等引起的误差等。根据我国检验标准规定,还应包括调整标准器的误差。

2. 测量方法(或过程)的不确定度

它是表示测量过程中,各项误差影响各测得值分散程度的一个误差范围。包括计量器具的不确定度、基准件误差、以及测量条件的误差,如温度、振动、读数、瞄准等。

§3 两个重要的测量原则

在几何量计量中有两个重要的测量原则，即在长度计量中的阿贝原则和圆周分度测量中的封闭原则。它们与测量精度的关系极为密切。

一、阿贝测长原则

在长度测量中，为使测量误差最小，应将标准量安放在被测定量的延长线上。也就是说，量具或仪器的标准量系统和被测尺寸应按串联的形式排列。

标准量与被测尺寸的两种布置方案比较如下：

1. 并联排列方案 (图 1-1)

将标准尺和被测尺相距 s 平行放置。由于导轨存在着直线度误差，当读数显微镜架自位置 1 移到位置 2 后产生了偏斜，以角度 φ 表示，则由此产生的测量误差 $\Delta = s \operatorname{tg} \varphi$

设 $s = 100\text{mm}$, $\varphi = 10'' = 0.00005 \text{ rad}$

$$\begin{aligned} \text{则 } \Delta &= s \operatorname{tg} \varphi \approx s \cdot \varphi \\ &= 100 \times 1000 \times 5 \times 10^{-6} \\ &= 5\mu\text{m} \end{aligned}$$

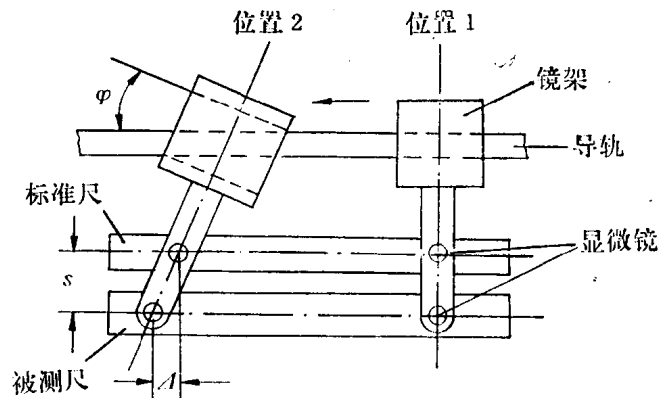


图 1-1

2. 串联排列方案 (图 1-2)

将标准尺和被测尺串联地在同一直线上放置。同样，由于导轨存在着直线度误差，当镜架由位置 1 移向位置 2 时（为使图形清楚起见，将镜架位置 2 的状况画在图的下方）产生了转角 φ ，此时所产生的测量误差 $\Delta = l(1 - \cos \varphi) \approx \frac{1}{2}l\varphi^2$ ，式中 l 为镜架上两个显微镜的纵向距离。

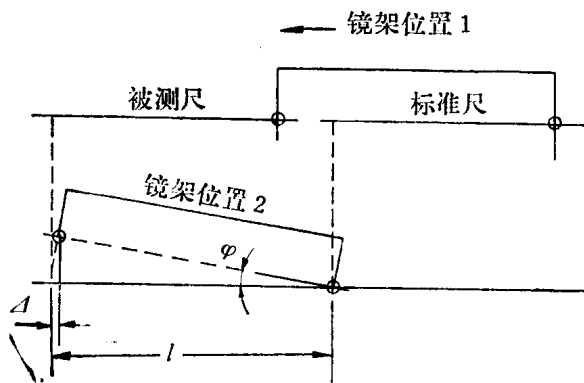


图 1-2

如 $l = 1000\text{mm}$, $\varphi = 10''$

$$\begin{aligned} \therefore \Delta &= \frac{1000 \times 10^3 \times (5 \times 10^{-6})^2}{2} \\ &\approx 0.001\mu\text{m} \end{aligned}$$

比较两种方案，并联方案产生的测量误差相当大，而串联方案产生的测量误差几乎可以忽略不计。可见阿贝测长原则之重要性。在评定量仪或拟定长度测量方案时必须首先考虑之。如由于结构上的原因，在大尺寸测量中难以实现时（譬如工作台、床身要求太长等），就应该尽量考虑采取有效措施以减少、甚至消除由于不符合阿贝原则所产生的误差（参见第三章）。

（参见第三章）。

二、圆周封闭原理

在圆周分度器件（如刻度盘、圆柱齿轮等）的测量中，利用在同一圆周上所有夹角之和等于 360° ，即所有夹角误差之和等于零的这一自然封闭特性，在没有更高精度的圆分度基准器件的情况下，可以采用“自检法”也能达到高精度测量的目的。下面就以方形角尺的垂直度检定为例说明其自检方法。

图 1-3 为其测量原理图。将方形角尺垂直放置在一个基面上，以角 φ_1 的一面为定位

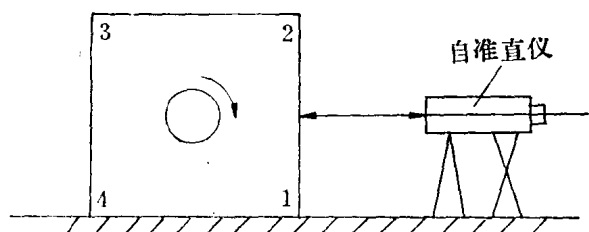


图 1-3

面，由自准直仪对准角 φ_1 的另一面，调整自准直仪使其读数为零，即角 φ_1 的读数 $e_1 = 0$ 。然后以 φ_1 角为定角，（用 A 表示）和其它各被测角进行比较，得出相应的读数 e_2, e_3, e_4 。各被测角的实际值 $\varphi_i = A + e_i$ 。设 φ_i 对公称角的误差为 $\Delta\varphi_i$ ，即 $\varphi_i = 90^\circ + \Delta\varphi_i$ 。

则 $\Delta\varphi_i = \varphi_i - 90^\circ = A + e_i - 90^\circ = \Delta A + e_i$ 。

式中 $A - 90^\circ = \Delta A$ 为角 φ_1 的误差，于是可以列出下列各式：

$$\Delta\varphi_1 = \Delta A + e_1$$

$$\Delta\varphi_2 = \Delta A + e_2$$

$$\Delta\varphi_3 = \Delta A + e_3$$

$$\Delta\varphi_4 = \Delta A + e_4$$

将各式等号两边求和，可得

$$\sum_{i=1}^4 \Delta\varphi_i = 4\Delta A + \sum_{i=1}^4 e_i$$

由自然封闭条件可知， $\sum_{i=1}^4 \Delta\varphi_i = 0$ 。所以

$$\Delta A = -\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 e_i \quad (1-2)$$

因而四个角的实际偏差皆可求出，即

$$\Delta\varphi_i = e_i + \Delta A \quad (1-3)$$

设 $e_1 = +0.2''$ ， $e_2 = -0.5''$ ， $e_3 = +0.8''$ ， $e_4 = -1.7''$ （注： e_1 为初读数，可不一定为零），则

$$\Delta A = -\frac{1}{4} (+0.2 - 0.5 + 0.8 - 1.7) = +0.3''$$

于是每个角的实际偏差为：

$$\Delta\varphi_1 = +0.2 + 0.3 = +0.5''$$

$$\Delta\varphi_2 = -0.5 + 0.3 = -0.2''$$

$$\Delta\varphi_3 = +0.8 + 0.3 = +1.1''$$

$$\Delta\varphi_4 = -1.7 + 0.3 = -1.4''$$

$$\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4 = +0.5 - 0.2 + 1.1 - 1.4 = 0$$

由上例可见，由于方形角尺的四个直角符合封闭原则，在没有高精度的标准四方形或者标准直角尺的情况下，采用自检方法同样可以测出每一个直角的实际偏差，其测量精度完全取决于所采用的瞄准读数装置，并能达到很高的精度。

§4 计量器具的选择方法

长期以来在测量工具和仪器的选择与应用方面，由于没有一个统一的标准，都是根据经验公式，即

$$\Delta_{lim测} = K \cdot \delta_{工件} \quad (1-4)$$

式中 $\delta_{工件}$ ——被测工件的标准公差；

K ——比例系数。

通常 $K = \frac{1}{10} \sim \frac{1}{3}$ ，当 $\delta_{工件}$ 较小时 K 值较大， $\delta_{工件}$ 较大时 K 值较小，对某些很高精度的被测工件， K 值甚至可达 $1/2$ 。由 $\Delta_{lim测}$ 的大小来选用合适精度的量仪。但由于缺少统一而实用的选择方法，在生产中难免不产生混乱。

一、国家检验标准介绍

《光滑工件尺寸的检验 GB3177-82》的颁布施行，对于计量器具的选择方法具有很重大的意义，它不仅规定了统一的验收原则，而且还提供了一些典型的实例。尽管该项国标的主要对象是光滑工件的尺寸，被测工件的标准公差大于 $9\mu m$ ，但由于长度尺寸是几何量中最广泛、最基础的量，因此，可以这样说，对所有形式的几何量计量也同样地具有实际指导意义。下面简要地介绍该项国标的基本内容。

1. 检验原则与规定

检验原则是，所用验收方法应只接收位于规定尺寸极限之内的工件。

几项规定是：考虑到在车间实际情况下，工件的形状误差通常是依靠加工过程的精度来控制的，工件的合格与否，只按一次测量来判断；对于温度、压缩效应等，以及计量器具和标准器的系统误差一般不进行修正；按该标准规定的验收极限验收工件。

2. 验收极限

验收极限是从规定的最大实体尺寸和最小实体尺寸分别向工件的公差带内移动一个安全裕度 (A) 来确定。

验收极限的配置如图1-4所示：安全裕度 (A) 由工件公差确定，数值列于表 1-1 中。

3. 计量器具的选择

按表 1-1 中计量器具不确定度允许值选择计量器具。选择时，应使所选用的计量器具不确定度等于或小于表中规定的 U_1 值 (约为 $0.9A$)。

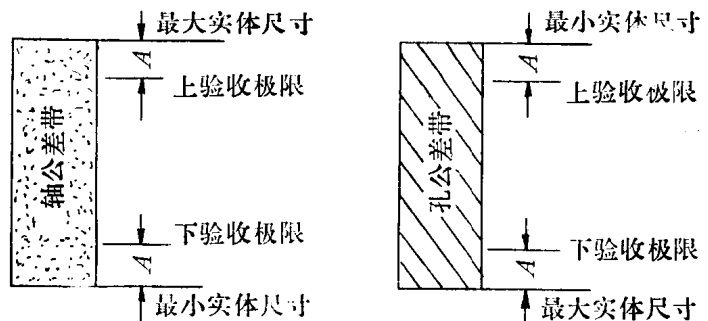


图 1-4

表 1-1 安全裕度及计量器具不确定度允许值 mm

工 件 公 差		安 全 裕 度 <i>A</i>	计量器具不确定度允许值 <i>U₁</i>
大 于	至		
0.009	0.018	0.001	0.0009
0.018	0.032	0.002	0.0018
0.032	0.058	0.003	0.0027
0.058	0.100	0.006	0.0054
0.100	0.180	0.010	0.009
0.180	0.320	0.018	0.016
0.320	0.580	0.032	0.029
0.580	1.000	0.060	0.054
1.000	1.800	0.100	0.090
1.800	3.200	0.180	0.160

计量器具不确定度还包括调整标准器的不确定度。

由温度、工件形状误差及压缩效应等因素所引起的不确定度 U_2 (约为 $0.45A$)。

U_1 和 U_2 按下式合成：

$$1.00A \approx \sqrt{(0.9A)^2 + (0.45A)^2} \quad (1-5)$$

表 1-2 千分尺和游标卡尺的不确定度 mm

尺 寸 范 围		计 量 器 具 类 型			
		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
大 于	至	不 确 定 度			
0	50	0.004	0.008	0.020	0.050
50	100	0.005			
100	150	0.006			
150	200	0.007			
200	250	0.008	0.013	0.040	0.070
250	300	0.009			
300	350	0.010	0.020		
350	400	0.011			
400	450	0.012			
450	500	0.013	0.025		
500	600	0.014	0.030	0.060	0.100
600	700	0.016			
700	1000	0.020			0.150

注：① 当采用比较测量时，千分尺的不确定度可小于本表规定的数值。

② 当所选用的计量器具达不到 GB3177-82 规定的 U_2 值时，在一定范围内，可以采用大于 U_1 的数值。此时，须按下式重新算出相应的安全裕度 (A' 值)，再由最大实体尺寸和最小实体尺寸分别向公差带内移动 A' 值，定出验收极限。

$$A' = \frac{1}{0.9} U_1'$$

表1-2, 1-3, 1-4, 1-5 为各种量具和仪器的不确定度值, 可供选择量仪时参考。

表 1-3 比较仪的不确定度 mm

尺寸范围		所使用的计量器具			
		分度值为 0.0005 (相当于放大倍数 2000) 的比较仪	分度值为 0.001 (相当于放大倍数 1000) 的比较仪	分度值为 0.002 (相当于放大倍数 400) 的比较仪	分度值为 0.005 (相当于放大倍数 250) 的比较仪
大于	至	不 确 定 度			
	25	0.0006	0.0010	0.0017	0.0030
25	40	0.0007		0.0011	
40	65	0.0008	0.0012		
65	90	0.0009		0.0013	
90	115	0.0010	0.0014		
115	165	0.0012		0.0016	
165	215	0.0014	0.0017		0.0035
215	265	0.0016			
265	315				

注: 测量时, 使用的标准器由 4 块 1 级(或 4 等)量块组成。

表 1-4 指示表的不确定度 mm

尺寸范围		所使用的计量器具			
		分度值为 0.001 的 千分表 (0 级在全程 范围内, 1 级在 0.2 mm 内) 分度值为 0.002 的 千分表 (在一转范围 内)	分度值为 0.001、 0.002、0.005 的千分 表 (1 级在全程范围 内) 分度值为 0.01 的百 分表 (0 级在任意 1mm 内)	分度值为 0.01 的 百分表 (0 级在全程 范围内, 1 级在任意 1mm 内)	分度值为 0.01 的百 分表 (1 级在全程范 围内)
大于	至	不 确 定 度			
	115	0.005	0.010	0.018	0.030
115	315	0.006			

注: 测量时, 使用的标准器由 4 块 1 级(或 4 等)量块组成。

4. 计量器具选择举例

〔例 1〕工件 $\phi 35e9 \left(\begin{smallmatrix} -0.050 \\ -0.112 \end{smallmatrix} \right)$, 工件公差等于 0.062mm

确定:

(1) 安全裕度

该工件的公差 0.062mm, 是在 GB3177 表中规定的 $>0.058 \sim 0.100$ mm 的工件公差范围内。由表 1-1 查得:

安全裕度 $A = 0.006$ mm

计量器具不确定度允许值 $U_1 = 0.0054$ mm

(2) 计量器具

表 1-5 各种比较仪的示值误差

比较仪名称	分度值 (mm)	放大倍数	示值范围 (μm)	示值误差 (μm)
扭簧比较仪(瑞典)	0.0005	2000	±25	±0.3
扭簧比较仪(哈量)	0.0005	1600	±15	±0.3
扭簧比较仪(苏联)	0.0005	2000	±15	±0.4
齿轮式比较仪(瑞典)	0.0005	1600	±25	±0.25
杠杆齿轮式比较仪(哈量)	0.001	1000	±50	±30格内±0.5 全程±1
小比较仪(成量)				
大型比较仪(西德)	0.001	1800	±50	全程±1
小比较仪(西德)	0.001	900	±50	±0.5
杠杆齿轮比较仪(苏联)	0.001	≈1000	±50	±30格内±0.5 全程±0.8
扭簧比较仪(瑞典)	0.001	1000	±30	±0.5
奥托测微仪(东德)	0.001	900	±100	±1
杠杆齿轮测微计(国产)	0.002	≈400	±100	±30格内±1, 全程±2
杠杆齿轮测微计(苏联)	0.002	≈400	±100	±30格内±1, 全程±1.5
扭簧比较仪(苏联)	0.002		±60	±30格内±1, 全程±1.2
测微计(国产)	0.005	≈250		±2
小型比较仪(西德)	0.005	≈300	±130	±2.5

注：计量器具的不确定度数值还应加上调整标准器(四块一级量块)的极限制造偏差，按随机误差合成而得。

例如，若采用瑞典的 0.0005mm 扭簧比较仪测量基本尺寸为 φ50mm 的工件，若量块由 2mm, 8mm, 10mm 和 30mm 四块(一级)组成，其相应的中心长度极限制造偏差 ΔL_i 分别为：0.2μm, 0.2μm, 0.2μm 和 0.3μm，仪器的示值误差为 0.3μm，则其不确定度可按下式进行计算

$$u = \sqrt{\Delta_{示}^2 + \sum_{i=1}^4 \Delta L_i^2} = \sqrt{0.3^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 0.3^2} \approx 0.55 \mu\text{m}$$

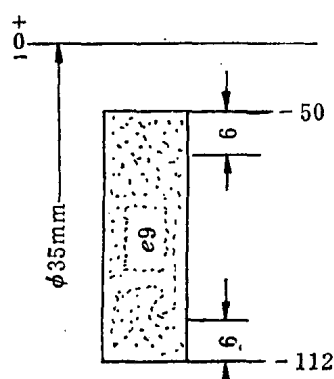


图 1-5

工件尺寸 35mm 是在表 1-2 中规定的 0 至 50mm 的工件尺寸范围内。由表查知，分度值 0.01 的外径千分尺不确定度为 0.004mm，小于 0.0054mm，可满足使用要求。

(3) 验收极限(见图 1-5)

上验收极限 = 最大实体尺寸 - A

$$= 34.950 - 0.006$$

$$= 34.944\text{mm}$$

下验收极限 = 最小实体尺寸 + A

$$= \text{最大实体尺寸} - \text{工件公差} + A$$

$$= 34.950 - 0.062 + 0.006$$

$$= 34.894\text{mm}$$

[例 2] 工件 φ35e8 $\begin{pmatrix} -0.050 \\ -0.089 \end{pmatrix}$ ，工件公差等于 0.039mm

确定：