



JIHELIANG GONGCHA YU JISHU CELIANG

几何量公差与技术测量

傅成昌 傅晓燕 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

几何量公差是机械工业基础标准,对实现互换性生产,提高产品性能和质量,延长使用寿命具有重要作用。为满足改革开放和国民经济、科学技术持续高速发展的需要,我国先后制定了与国际标准一致的一系列国家标准,初步建立起完整的几何量公差体系。

本书采用最新国家标准,全面系统地介绍了“极限与配合”、“几何公差”、“表面粗糙度”等标准基本内容。书中内容密切联系生产实际,并配有形象的插图和生产中常用数表,通俗易懂,实用性强,便于在工作中学习、查阅。

本书可供机械工人、工程技术人员和有关院校师生作为技能培训学习资料和工作中查阅,也可供标准化工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

几何量公差与技术测量/傅成昌,傅晓燕编著.
北京:石油工业出版社,2013.4
ISBN 978-7-5021-9253-2

I. 几…

II. ①傅…②傅…

III. ①机械元件-尺寸公差

②机械元件-技术测量

IV. TG 801

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第203433号

几何量公差与技术测量/傅成昌 傅晓燕

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523594 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013年4月第1版 2013年4月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:24.5

字数:628千字 印数:1000册

定价:90.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

几何量公差是机械制造的一项重要技术基础标准。它是实现互换性，进行高度专业化生产，保证产品质量，提高劳动生产率的必要条件。它包括“极限与配合”、“几何公差”、“表面粗糙度”等一系列标准。

为了满足我国机械工业迅猛发展的要求，适应改革开放国际化生产发展需要，遵循与国际标准接轨的原则，我国采用了 ISO 国际公差制，对国家标准进行了修订、充实和完善，已初步建立起几何量公差及其误差检测一系列较完整的标准体系，对推动机械工业发展起到了积极作用。

为满足广大机械工人和技术人员学习和贯彻各项几何量公差标准的要求，正确理解和掌握有关标准规定，并能在实际生产中贯彻执行，我们根据新国家标准规定，结合生产实际需要，编写了《几何量公差与技术测量》一书。

本书全面、系统地介绍了有关几何量公差及其误差检测方面的新国家标准。书中力求以通俗的语言、形象的插图，结合生产实例，深入浅出地对几何量公差及其误差检测的应用技术作了全面介绍，并列出了生产工作中常用的有关标准数表，以供工作中查阅。

本书可供机械制造工人、技术人员、计量检测人员技能学习和工作使用，也可供有关院校师生教学参考。

由于作者水平所限，书中难免存在错误与不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2011.12 于济南

目 录

第一章 基本概念	(1)
第一节 互换性的概念	(1)
第二节 几何量及其公差标准	(3)
第三节 几何量的技术测量	(4)
第二章 几何量测量基础	(6)
第一节 长度单位和尺寸传递系统	(6)
第二节 测量器具	(9)
第三节 测量方法及其选择	(31)
第四节 测量误差及数据处理	(32)
第三章 极限与配合	(35)
第一节 极限与配合基本术语、定义	(35)
第二节 标准公差与基本偏差	(48)
第三节 极限与配合数据表及其应用	(69)
第四节 极限与配合的应用	(73)
第四章 工件尺寸的检验	(89)
第一节 概述	(89)
第二节 验收极限	(90)
第三节 光滑极限量规	(95)
第五章 几何公差	(107)
第一节 概述	(107)
第二节 基本术语与定义	(109)
第三节 几何公差的标注方法	(115)
第四节 形状公差	(135)
第五节 方向公差	(141)
第六节 位置公差	(149)
第七节 跳动公差	(160)
第八节 几何公差的选用	(162)
第六章 公差原则	(174)
第一节 概述	(174)
第二节 独立原则	(180)
第三节 包容要求	(182)
第四节 最大实体要求	(184)
第五节 最小实体要求	(189)
第六节 可逆要求	(193)
第七节 零几何公差	(196)

第八节	独立原则与相关要求综合对比·····	(198)
第七章	几何误差检测 ·····	(200)
第一节	几何误差检测的基本概念·····	(200)
第二节	形状误差及其检测方法·····	(205)
第三节	基准的建立与体现·····	(242)
第四节	方向误差及其检测方法·····	(254)
第五节	位置误差及其检测方法·····	(277)
第六节	跳动误差及其检测方法·····	(295)
第八章	表面粗糙度及其检测 ·····	(301)
第一节	基本概念·····	(301)
第二节	表面粗糙度的评定基准·····	(302)
第三节	表面粗糙度的评定参数·····	(303)
第四节	表面粗糙度的标注·····	(306)
第五节	表面粗糙度的合理选择·····	(310)
第六节	表面粗糙度的检测·····	(313)
第九章	典型结构要素的标准化 ·····	(315)
第一节	键与花键联结的配合与检测·····	(315)
第二节	螺纹的公差与检测·····	(326)
第三节	圆锥的公差与配合·····	(338)
第四节	滚动轴承的公差与配合·····	(354)
第五节	圆柱齿轮的公差与检测·····	(361)

第一章 基本概念

第一节 互换性的概念

一、互换性原则及其分类

一台机器是由很多零件装配在一起所构成。在装配时，从大批生产出的同一规格的零件中，任意取出一件，不需要再经过选择或修配，便可直接安装到机器中该零件所在的部位上去，并能完全符合规定的使用性能要求，这种技术特性称作互换性。

按照零部件互换性的范围不同，互换性可分为完全互换性和不完全互换性两类。

完全互换性是指上述没有范围限制，所有符合加工技术要求的零部件，均可实现互换性要求。该类互换性在机械制造中，特别是成批大量生产中得到广泛应用。

不完全互换性（又称为有限互换性）是指在装配时允许有附加的选择或调整。不完全互换性可采用分组装配法、调整法等方法来实现。

不完全互换主要用于配合精度要求很高的零件，此类零件若要实现完全互换性要求时，可能造成加工困难，甚至无法加工，即使能加工，也会成本过高。为此，生产中常把零件的加工精度要求适当降低，以便于加工。零件完工后，再按零件实测尺寸大小，把相配零件分成若干组，装配时按相应的组合进行，即大孔配大轴，小孔配小轴。这样既可解决零件加工的困难，降低加工成本，又可保证装配精度和使用性能。该类零件的互换范围仅限制在同组零件内，组与组之间的零件不能互换。

此外，为保证机器的装配精度，在装配时可采用调整垫片厚度的方法来达到装配精度的要求。

不完全互换性通常在制造厂内部生产过程中使用，而在使用维修时，则应采取配对更换。

二、互换性的作用

互换性是现代机械工业按照专业化协作原则组织生产的基本条件，在产品设计和制造和使用维修中发挥着重要作用。

在产品设计中，由于采用了许多具有互换性的标准件（如螺栓、螺母、轴承等）和通用件（如变速箱、各种泵类等），从而可以缩短设计周期，提高设计水平，以满足各种不同用途的需求。

在产品制造方面，由于零部件具有互换性，因此可以分别进行加工，有利于广泛地组织协作，进行高效率的专业化生产，从而便于组织流水作业和自动化生产，大大简化制造加工和装配过程，缩短生产周期，提高劳动生产率，降低生产成本，保证产品质量。

在使用维修方面，由于产品零部件具有互换性，在使用过程中，可用同规格的备件直接更换易损件，从而缩短维修时间，降低维修费用，提高机器的使用效率和价值。

由此可见，在机器制造中遵循互换性原则，不仅能大大提高劳动生产率，而且能有效地保证产品质量和降低生产成本。因此，互换性在机器制造中具有十分重要的技术和经济意义，是现代机械工业生产必不可少的重要技术措施。

三、互换性的必要条件

零件的互换性是通过控制零件的几何特性和物理特性来实现的。

1. 几何特性

零件的几何特性是指其尺寸大小、几何形状、相互位置和表面粗糙度等。为了满足互换性要求，实际零件的各项几何特性参数必须保持在规定的加工精度范围内。

加工精度是指零件加工后，所得到的实际尺寸、几何形状及其相互方向和位置的准确程度。对零件加工精度的要求，是由设计者根据零件功能的需要，按照有关标准规定提出的，并在零件图样上确切地标注出来。生产中实际零件的加工精度，必须达到图样上的规定，方可满足互换性要求。

零件的加工精度主要包括以下几项内容，如图 1-1 所示。

(1) 尺寸精度。尺寸精度是指零件加工后所得到的实际尺寸准确程度。它是由图样中给出的基本尺寸及其尺寸公差来控制的。图 1-1 所标注的 $\phi 75_{-0.013}^0 \text{ mm}$ ， $\phi 42_{+0}^{+0.62} \text{ mm}$ 和 $12 \pm 0.012 \text{ mm}$ 等，都表示相应尺寸的尺寸公差要求。互换性虽要求尺寸的一致性，但不是要求零件都准确地制成一个指定的尺寸，而只是要求控制在某一合理的范围内，该范围既要保证相互结合尺寸之间形成一定的配合关系，以满足不同的使用要求，又要在制造上是经济合理的。

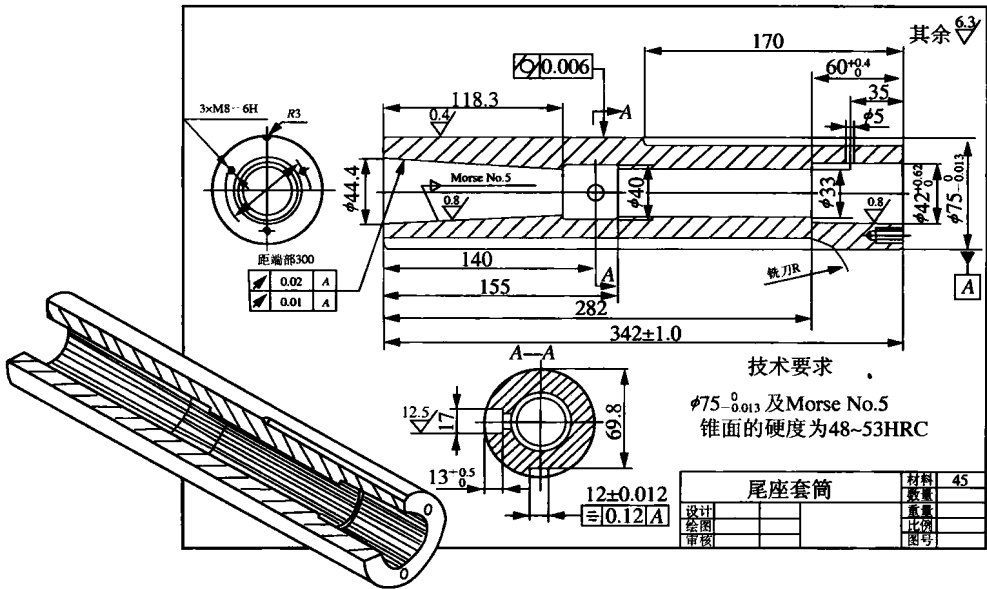


图 1-1 零件图例

(2) 几何形状精度。几何形状精度是指零件加工完成后所得到的实际形状相对于理想形状的准确程度。它是由图样上给出的形状公差来控制的。如图 1-1 中给出的圆柱度公差 0.006 mm ，它表示对图中 $\phi 75_{-0.013}^0 \text{ mm}$ 圆柱表面形状精度的要求。

(3) 相互位置精度。相互位置精度是指零件加工完成后，所得到的各要素之间实际方向和位置相对于其理想方向和位置的准确程度。它是由图样上给出的方向公差、位置公差和跳动公差来控制的。如图 1-1 中给出的 $\phi 44.4 \text{ mm}$ 锥孔径向圆跳动公差，其表示在圆锥孔内插入检验棒检测时，在锥孔端面处误差不大于 0.01 mm ，在距离面外伸 300 mm 处误差不大于 0.02 mm 。

(4) 表面粗糙度。表面粗糙度是指零件表面微观不平整程度。它是由图样上标注的表面

粗糙度符号所规定的要求来控制的。如图 1-1 给出的 $\sqrt{0.4}$, $\sqrt{0.8}$ 及其余 $\sqrt{6.3}$ 等, 其分别是对该零件外圆表面、内锥孔表面及其他未注表面的表面粗糙度精度的要求。

2. 物理特性

物理特性是指零件的力学特性, 它包括零件的材质及热处理、表面处理状况。它直接影响着零件的强度、硬度和弹性等物理性能。若零件仅满足上述几何精度要求, 虽可实现装配互换, 但不能保证零件使用功能要求。如图 1-1 所示零件, 图中规定该零件应采用优质碳素结构钢 45 号钢制作, 并经热处理, 使其外圆及内锥孔表面硬度达到 48~53HRC, 以保证其强度和耐磨性, 方可满足互换性零件性能的要求。

第二节 几何量及其公差标准

一、几何量基本概念

产品几何量是指构成机械零件几何要素的特性量。所有的机械零件都是由各种几何要素, 按不同尺寸、形状和位置有机地组合为一体所构成的。如图 1-2 所示凸轮轴, 它是由若干个直径为 30mm、37mm 的圆柱体、锥度为 1:5 的圆锥体和由特征曲线构成的非圆曲面体, 按一定排列顺序和方位, 沿同一轴线组合在一起构成的, 这是根据零件的功能要求所确定的。

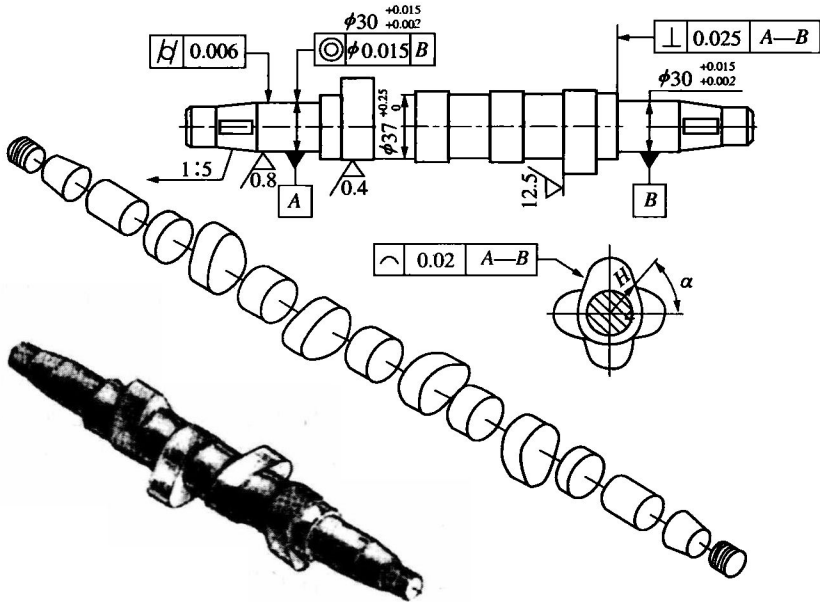


图 1-2 凸轮轴

机械零件根据其结构特点, 按照机械制图规定, 绘制出生产图样, 并标注出相应的基本尺寸, 以确切地表示出该零件的具体构造, 也就是反映出该零件的所有几何量。

由此可见, 几何量就是由尺寸、几何形状和位置, 确切、完整地表示出零件几何状态的特征量。

几何量公差实质上就是对构成零件各要素的尺寸、形状和相对位置给出的精度要求。

二、几何量的公差标准

为实现互换性生产，必须对机器零件的几何量加工精度加以控制。该精度要求应首先能满足零件使用性能要求，且应使其加工方便、经济合理。为此在产品图样上应标注出几何量公差要求。

几何量公差就是用于控制实际几何量相对于理想几何量所允许的变动范围。

为在图样和技术文件中确切地表示出几何量公差要求，使设计、制造、检验等部门取得统一认识和统一解释，以确保产品质量，我国已建立起一系列完整、统一的几何量公差国家标准。

(1)《极限与配合》标准。该标准对零件的尺寸公差及配合制度作出统一规定。该系列标准包括有公差制、配合制和检验制等部分内容。

(2)《几何公差》标准。该标准对零件的几何公差的术语、定义、标注方法、公差等级及检测原则、检测方法作了统一规定。标准中对形状公差、方向公差、位置公差和跳动公差分别作出规定。

(3)《公差原则》标准。该标准对尺寸公差与几何公差之间相互关系的原则作出规定。

(4)《表面粗糙度》标准。该标准对零件表面微观几何形状的特征量作出统一规定。

上述国家标准均等效采用了国际标准(ISO)，初步建立起比较科学、概念明确、严密、规律性较强的标准体系，是机械工业重要基础标准。由于采用了世界多数国家所用的国际标准，有利于国际间的技术交流和经济协作。

第三节 几何量的技术测量

一、公差与误差的概念

公差是根据零件的功能需求及其结构特点，在图样上给出的技术要求，是图样上的给定值，用来控制误差的变动范围。

误差是指加工完成后零件的实际几何量相对理想几何量的偏离量，表示零件的实际存在状况，表示每个具体零件的几何量精度状况。

生产过程中，应根据图样上给出的几何量公差要求，采用适宜的工艺方法完成零件的加工。加工好的零件则必须按照图样要求，采用适宜的检测方法，判别其几何量误差大小。当误差值不大于所给定的公差值时，该零件为合格品；若误差值大于公差值时，则为不合格品。

二、技术测量基本概念

为保证零件的功能和互换性要求，在图样上对零件的几何量给出必要的公差要求。生产过程中必须严格按照图样规定要求制作。为了判定所加工出的每一个零件是否符合图样规定，就必须通过技术测量逐件进行检测，以判别其是否合格。

技术测量是指把零件被测几何量与具有计量单位的标准量相比较，以确定被测量是计量单位的若干倍，然后将测得量用数值和计量单位表示。

零件被测几何量虽然是客观存在的，但要真正认识它却十分困难。生产中只能通过测量手段得到测得几何量，依此作为判断被测实际几何量的依据。

由于测量时所处环境条件、选用的测量工具的精度及检测人员技术水平不同，往往对同一被测几何量所测得结果也不相同，因此对测量结果进行误差分析，并依据标准中规定的评

定准则确定其最终结果。

由此可见，技术测量包括被测对象、计量单位、测量方法和测量精度四个要素。技术测量的任务是根据被测对象的特征和精度要求，拟定测量方法，选择测量器具，把被测几何量与标准量进行比较，分析测量过程的误差，从而得出具有一定精度的结果。

第二章 几何量测量基础

第一节 长度单位和尺寸传递系统

一、长度单位

在机械制造中，测量对象主要是指长度、角度、几何误差和表面粗糙度等几何量。长度量以线值表示，因此是基本的几何量。

关于计量单位，我国采用包括国际单位制在内的法定计量单位。按照我国法定计量单位规定：长度基本量的单位名称为米，符号为 m。同时使用米的十进倍数和分数单位。机械制造中通常用毫米（mm）为计量单位，在精密测量中又常以微米（ μm ）为计量单位。

生产中常用的长度计量单位名称、符号及与长度基本量（m）的关系如表 2-1 所示。

表 2-1 常用长度计量单位名称、符号

单位名称	米	分米	厘米	毫米	微米
符号	m	dm	cm	mm	μm
与长度基本量的关系	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}

二、长度单位量值传递系统

按照国际长度基准的规定，我国对长度基准定义为 1 米（m）是光在真空中 $1/299792458$ 秒（s）的时间内所经过的距离。

用光波波长作为长度基准，不便于生产中直接应用。为了保证量值统一，必须把长度的基本量值，准确地传递到生产中应用的计量器具和工件上去。为此，需要在全国范围内从组织上和技术上建立一套严密而完整的系统，即长度量值传递系统。

长度量值传递系统如图 2-1 所示。系统中，量块（又称块规）作为实用的长度基准，完成尺寸传递工作。由光波基准到量块，再由量块到各种测量器具，直至工件的尺寸，必须进行层层检定和校对。上述工作是由国家计量局、各地区计量中心、省市计量机构，直到企业的计量室所组成的全国计量网来负责。

三、量块的基本知识

量块是保证长度量统一的基准量具。它是没有刻度的截面为矩形的平面平行端面量具。是用特殊合金钢制成，其线膨胀系数小，不易变形，且耐磨性好。

量块上有两个平行的测量面和四个非测量面，如图 2-2 所示。测量面极为光滑、平整，两测量面之间具有精确尺寸。每个量块两测量面之间的距离，对应一定的标称尺寸，其上面均标记有标称尺寸值，标称尺寸小于 6mm 的量块标记在测量面上，不小于 6mm 的量块标记在非工作面上。

由于量块制造中也存在误差，两测量面不可能制成绝对平行，因此，规定以它的中心长度作为工作尺寸。所谓量块的中心长度，是指由上测量面的中心点（即两对角线的交点）至与此量块另一测量面相研合的辅助体（如平晶）表面的垂直距离，如图 2-3 所示。

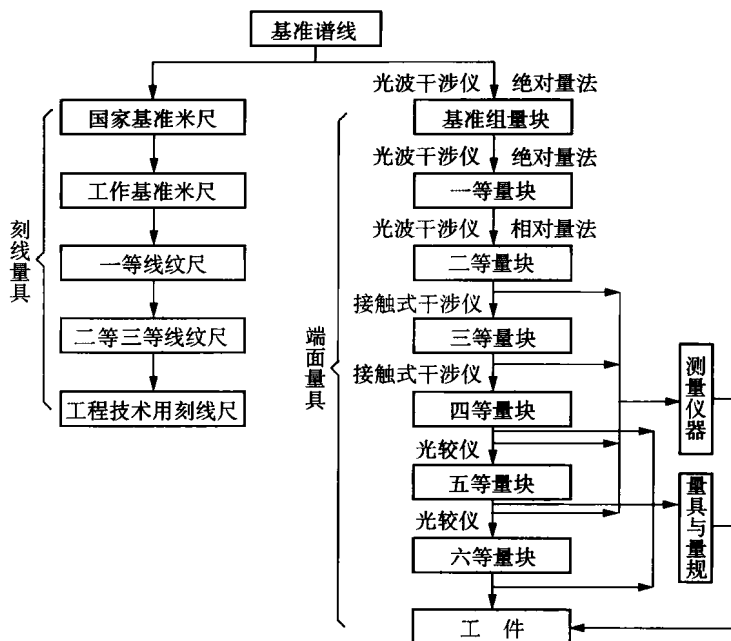


图 2-1 长度量值传递系统

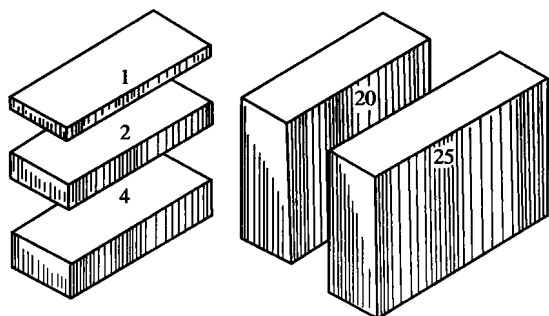


图 2-2 量块

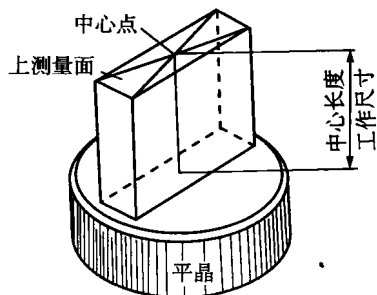


图 2-3 量块的中心长度

为满足生产的不同要求，国家标准和计量检定规程中，对量块精度规定有两种划分标准：一是以其长度的测量不确定度分等，共分为 1, 2, 3, 4, 5 五等；另一是以量块长度偏差分级，规定有 K, 0, 1, 2, 3 共五级。上述等、级的精度依次由高至低排列。标准中对各等、各级量块长度变动量和其他性能均严格规定有相应要求。

量块分级的主要依据是量块长度的极限偏差和长度变动量允许值；量块分等的主要依据是中心长度测量的极限误差和平面平行性允许偏差。

量块按级使用时，应以量块的标称长度作为工作尺寸，该尺寸包含了量块的制造误差。但在使用校对级（K 级）量块时，则应对其标称长度给予修正。如标称长度为 30mm 的 K 级量块实际偏差为 -0.0003mm ，则该量块的工作尺寸应为 29.9997mm 。按等使用时，应以量块经检定后所给出的实测中心长度作为工作尺寸，该尺寸排除了量块制作误差影响，但仍存在有检定时较小的测量误差。因此，在精密测量时，量块按等使用比按级使用更准确。

量块主要用作尺寸传递系统中的工作基准，作为检定准确度基准或检定工作计量器具

(如游标卡尺、千分尺等),也用于精密定位、画线和精密机床的调整,有时也直接用来测量精密零件和量规。

量块都是按一定尺寸系列成套生产的,每一套由包括有一定数量的不同标称尺寸的量块组成。如表 2-2 所示为 91 块一套的块规组成。

表 2-2 91 块一套的量块组成

尺寸范围 (mm)	间隔 (mm)	小计 (块)
1.01~1.49	0.01	49
1.5~1.9	0.1	5
2.0~9.5	0.5	16
10~100	10	10
1.001~1.009	0.001	9
1	—	1
5	—	1

成套量块装在同一盒中,使用时通常不可能从已有的单个量块中直接找到所需尺寸,而需要通过量块的研合性,选取多个量块组合构成所需尺寸。

研合性是指量块的一个测量面与另一块量块的测量面贴合在一起,稍加压力便可通过其表面分子力的作用紧密结合在一起,不会自行分开的性能,这样便可组成一个新的尺寸。

选取组合量块时,为保证其精度,选取的块数应尽量少些。选取时应遵循以下原则:首先应选取能去除最小位数的量块,然后依次选取较大位数的量块,每选一次应能使所要组成的量块组尺寸至少减少一位。

例如,要组成 37.545mm 的量块组,选用量块的方法如下:

- 选用第一块量块尺寸 1.005mm
- 剩余尺寸 36.54mm
- 选用第二块量块尺寸 1.04mm
- 剩余尺寸 35.5mm
- 选用第三块量块尺寸 5.5mm
- 剩余为第四块量块尺寸 30mm
- 组成量块尺寸 37.545mm

量块是极精密的量具,使用时应注意以下事项:

(1) 使用前用汽油清洗干净(洗去防锈油),再用清洁的麂皮或软绸擦干。测量面上不得有灰尘、纤维或明显的油迹。

(2) 清洗后的量块,不要用手直接去拿,而应用软绸衬起来拿。量块放在工作台上时,应使非工作面与台面接触。

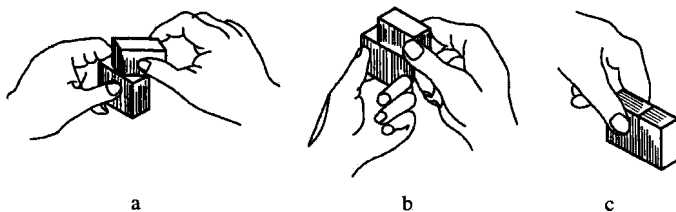


图 2-4 量块的研合方法

(3) 量块的研合方法如图 2-4 所示。将两量块呈 30° 交叉贴合在一起,用手前后微量地移动上面的量块(图 2-4a),同时旋转使两量块的测量面转到平行方向(图 2-4b);然后沿测量面长边方向平行向前推动量块直到

两测量面完全贴合在一起（图 2-4c）。

正常情况下，在研合过程中手指能感到研合力，两量块不必用压力就能贴附在一起。如研合力不强，在旋转和推进研合时，可施加一定的压力，但用力不宜过大，以免使小尺寸量块变形。研合过程中如有打滑、阻滞或刮磨感觉时，应立即停止研合，检查测量面是否有灰尘、污物或毛刺。

用小于 5mm 的量块与大尺寸量块研合时，应将小量块放在上面，以免损坏小量块。不得将非工作面与工作面放在一起研合。

（4）量块用完后，应及时将研合在一起的量块拆开，放到汽油中清洗干净，擦干后涂上防锈油，放到专用的盒内。若经常使用时，清洗后可不涂防锈油，直接放入干燥缸内保存。绝不允许将量块长时间研合在一起，以免产生金属粘接损伤量块工作面。

第二节 测量器具

能测出被测对象量值的测量仪器和测量工具总称为测量器具。通常把具有传动放大系统的测量器具称为测量仪器，简称量仪，如机械比较仪、投影仪、指示表等；把没有传动放大系统的测量器具称为测量工具，简称量具，如游标卡尺、外径千分尺、量规等。

一、测量器具的分类

常用测量器具按其结构和用途不同可分为以下四类。

（1）标准测量器具。指测量时体现标准量的计量器具。主要用来检定和校准其他测量器具，或直接用于精密测量。如量块、基准米尺、直角尺等。

（2）通用测量器具。指测量时将测量的量值转换成可直接观察的指示值或等效信息的量具。该类量具通用性大，可用来测量某一范围内的各种尺寸（或其他几何量），并能获得具体数值，是生产中使用最广泛的计量器具。

通用量具按其构造特点、工作原理，又可分为以下几种类型。

①游标式量具。是应用游标读数原理制成的量具。生产中常用的游标式量具有游标卡尺（图 2-5a）、游标深度卡尺（图 2-5b）、游标高度卡尺（图 2-5c）等，可分别用于测量外径、内径、长度、厚度、宽度、高度、深度和孔距

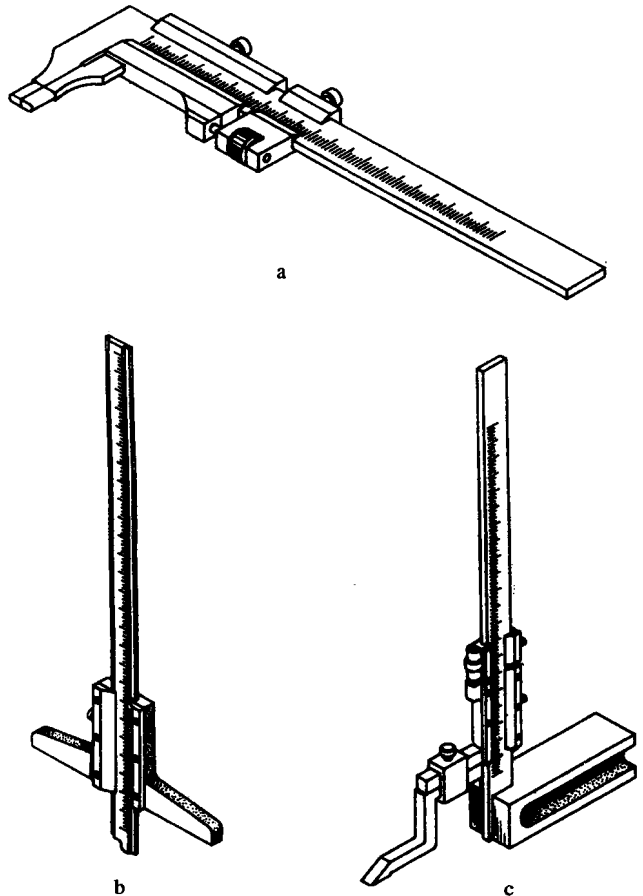


图 2-5 游标式量具

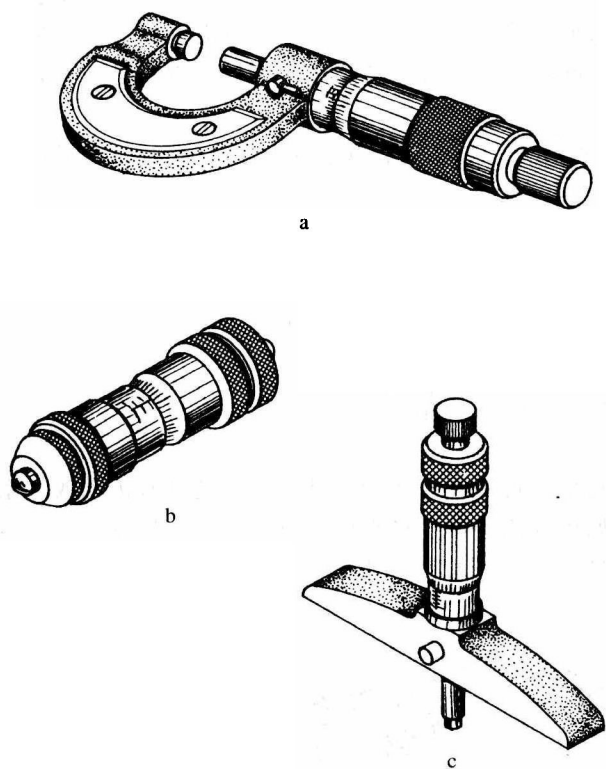


图 2-6 微动螺旋副式量具

便，是几何误差检测用主要量仪。

④光学量仪。指用光学方法来实现原始信号转换和放大的测量器具。生产中常用自准直仪、光学比较仪、万能工具显微镜、投影仪、光学分度头等。该类量仪的特点是精度高、性能稳定，是几何误差检测中常用量仪。

(3) 专用测量器具。指专门用来测量某个或某种特定几何量的计量器具。生产中常用的专用测量器具具有圆度仪（用于检测圆度、圆柱度误差）、量规（用于检测具有相关要求的几何误差）及检验夹具等。该类量具的特点是只限于指定量的误差检测、精度高、检测效率高，是某些几何误差检测常用量仪。

等。游标式量具的特点是结构简单、使用方便、坚固耐用、测量尺寸范围大，具有一定的测量精度。生产中广泛用于测量一般精度要求的尺寸。

②微动螺旋副式量具。是应用测微螺旋副传动原理制成的一种精密量具。生产中常用有外径千分尺（图 2-6a）、内径千分尺（图 2-6b）、深度千分尺（图 2-6c）等，可分别用于测量外径、内径、厚度及深度等尺寸。该类量具的特点是测量精度高，但结构较复杂、测量范围较窄。生产中主要用于测量精度要求较高的尺寸。

③机械式测量仪。通过机械放大结构，将被测尺寸的微小变化进行放大，然后由指针在刻度盘上指示出来。生产中常用机械式测量仪有指示表（图 2-7a）、杠杆指示表（图 2-7b）、内径指示表（图 2-7c）和机械式比较仪等。这类量仪的特点是测量精度高、使用操作方便，

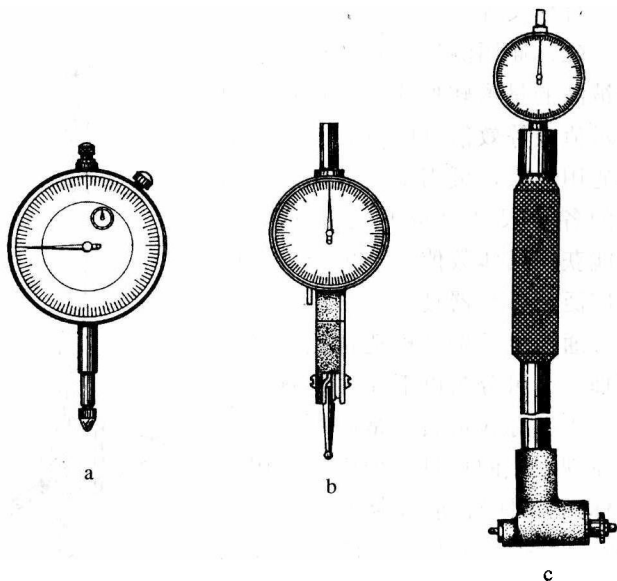


图 2-7 机械式测量仪

二、测量器具基本计量参数

计量器具的计量参数是表征计量器具的性能和功用的指标。一定的计量器具只能在一定范围内使用，其适用范围取决于计量器具的计量参数和本身固有的内在特性，是选择和使用计量器具的依据。只有掌握这些参数，才能正确、合理地选择和使用量具。

测量器具的主要计量参数有：

(1) 分度值（旧称刻度值）。是指测量器具的刻度尺或表盘上，相邻两刻度（即每一小格刻度）所代表的被测量的数值。如百分表的分度值是 0.01mm，即每一格刻度表示被测尺寸为 0.01mm。在长度测量中，常用的分度值为 0.1mm，0.01mm，0.02mm，0.05mm，0.001mm 等几种。当测量器具上有多个刻度尺且其分度又不相同时，通常以其中最小的分度值表示该测量器具的分度值。如百分表上有两种分度值，其中最小的为 0.01mm，此即为百分表的分度值。

计量器具的分度值和测量精度在数值上是相对应的，即分度值越小，通常表示测量器具的精密度越高。

(2) 标尺间距。是指测量器具的标尺上，相邻两刻线中心距离。通常在整个标尺上都是等距刻度的。为了读数方便，特别是估读刻线间的小数部分比较准确，刻度间距不宜太小。但是，由于受仪器结构和标尺范围的限制也不能太大，一般为 0.75~2.5mm。

(3) 标尺范围。是指测量器具所能显示或指示的最小值到最大值（即起始值到终止值）的范围。如千分尺的示值范围一般是 25mm。

(4) 测量范围。是指测量器具所能测量的最大几何量值的范围。量具的测量范围与标尺范围是两个不同概念，如千分尺的测量范围有 0~25mm，25~50mm，50~75mm，75~100mm 等多种规格，而它们的标尺范围均为 25mm。

(5) 灵敏度。是指量仪对被测量微小变化的敏感程度。如果被测量变化 ΔL ，而量仪示值相应的变化为 Δx ，则灵敏度 S 为：

$$S = \frac{\Delta x}{\Delta L} \quad (2-1)$$

当分子和分母为同一类量时，灵敏度亦称放大比。一般地讲分度值越小，灵敏度就越高。一般不能用灵敏度低的量仪来测量精密工件。

(6) 示值误差。是指测量器具的示值与被测几何量的真值之间的差值。示值误差是代数值，有正负之分。示值误差是测量器具本身的误差，是由于量具的制造、安装、调整和刻度不准等原因造成的。示值误差可通过测量器具的检定得到。测量器具的示值误差在其产品标准中都规定有极限值。一般来说，示值误差越小，计量器具的精度越高。

(7) 修正值。是指与示值误差绝对值相等而符号相反的数值。修正值一般是通过检定获得，并在相应量仪上作出标记。使用该量仪时，需用代数法加到示值上，以取得正确的结果。如示值误差为 -0.005mm，修正值则为 +0.005mm。

(8) 重复精度。是指在相同条件下，如按同一方法，由同一操作者用同一测量器具，在同一测量地点于很短的时间间隔内，对同一被测量连续进行多次测量时，所测得值的分散范围。一般以测量重复性误差的极限（正负偏差）来表达。

(9) 测量力。是指在测量过程中，测量器具与被测表面之间的接触力。在标准中规定测量力应为零，但只有在非接触测量中才能实现。在接触测量中，为保证量仪与被测表面之间可靠的接触，则需要有适当的测量力。测量力不能过大，以免引起变形，使测得值不准确，

甚至损坏被测件和量具。为此，在精密量具上，一般都设有控制测量力大小的机构，如千分尺上的棘轮装置。

三、游标量具

1. 游标量具的读数原理

游标量具的读数机构是由尺身刻线和游标刻线两部分组成。尺身与游标的分度间隔不同，通常尺身刻线分度间隔为 1mm，游标刻线则根据其测量精度不同，分为以下几种形式。

(1) 分度值为 0.1mm 的游标刻度。如图 2-8 所示，游标分度间隔为 0.9mm，其尺身刻线间隔为 1mm，两者刻度间隔差为 $1\text{mm} - 0.9\text{mm} = 0.1\text{mm}$ 。

当活动量爪与固定量爪贴合在一起时，游标上的零刻线正好对准尺身上的零刻线（图 2-8a）。此时游标第 1 条刻线相对主尺第 1 条刻线向左偏移 0.1mm，第 2 条刻线相对偏移 0.2mm……依此类推，到游标第 10 条刻线恰好相对于尺身第 10 条刻线向左偏移 1mm，与尺身的第 9 条刻线对齐。

由此可知，当游标第 1 条刻线与尺身第 1 条刻线对齐时（此时游标上其余刻线均不会与主尺刻线对齐），则游标向右移 0.1mm；若游标第 5 条刻线与主尺第 5 条刻线对齐时（图 2-8b），则使游标向右移 0.5mm。

根据上述原理，采用上述刻度的游标卡尺进行测量时，便可准确读出分度值为 0.1mm 的数值。测量时读数方法是先从游标零线所指示尺身刻线位置，读出被测实际尺寸的整数部分，再沿游标刻度找出与尺身刻度对齐的位置，该游标刻线位置读数即为小数点后一位数值。如图 2-8c 所示，该游标零位刻线指示位置，由尺身上读得 10mm，再找出游标上第 4 条刻线与尺身刻线对齐，故该被测尺寸为 10.4mm。

为了便于读数，有的游标刻线间隔由 0.9mm 扩大为 1.9mm，使尺身上两格间距与游标刻线一格间距差为 $2\text{mm} - 1.9\text{mm} = 0.1\text{mm}$ ，如图 2-9 所示，其读数仍为 0.1mm，读数

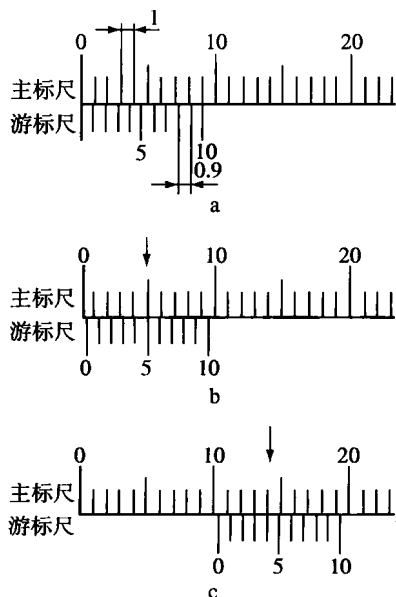


图 2-8 游标分度间隔为 0.9mm 的读数原理

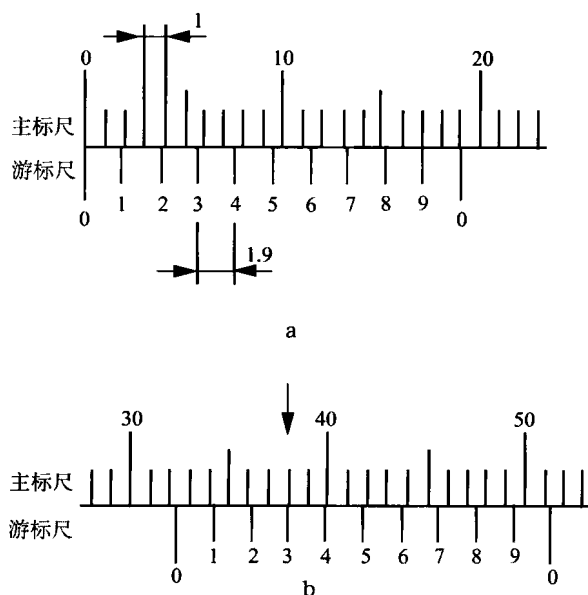


图 2-9 游标分度间隔为 1.9mm 的读数原理