



应用型数控、模具专业基础课系列教材

互换性与测量技术基础

赵瑾 / 主编

Huhuanxing Yu
Celiangjishu Jichu

华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

应用型数控、模具专业基础课系列教材

互换性与测量技术基础

主 编 赵 瑾
参 编 陈 颖 尹小明 李晓雪

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术基础/赵 瑾 主编
武汉:华中科技大学出版社,2006年9月
ISBN 7-5609-3806-X

I. 互…

II. 赵…

III. 零部件-互换性-高等学校-教材;零部件-测量-技术-高等学校-教材

IV. TG801

互换性与测量技术基础

赵 瑾 主编

责任编辑:谢燕群

封面设计:刘 卉

责任校对:朱 霞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×960 1/16

印张:14.25

字数:257 000

版次:2006年9月第1版

印次:2006年9月第1次印刷

定价:20.80元

ISBN 7-5609-3806-X/TG·78

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

全书共分10章。第1章至第6章介绍了尺寸的公差与配合及测量技术的基础知识,包括绪论、测量技术基础、圆柱形结合的公差配合与检测、形位公差与检测、表面粗糙度与检测及光滑极限量规的设计等内容;第7章至第9章介绍了圆锥和角度、常用结合件及渐开线圆柱齿轮等典型表面的公差与检测;第10章介绍了尺寸链的基本知识。

前 言

“互换性与测量技术”是高等职业技术学院机械类专业必修的一门专业技术基础课。它既是联系设计类和工艺类课程的纽带,又是从技术基础课程过渡到技术实践课程的桥梁。为了适应机械工业发展的新形势,也为了满足高职高专为社会、为企业培养实用型技术人才的教学改革需要,我们按照教育部制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》的要求,组织编写了这本教材。

本教材具有以下特点:① 遵循着“内容精选,深浅适度,加强应用,注重实践”的原则,在“必需”、“够用”的前提下,精选教学内容;② 采用全新的国家标准;③ 注重应用能力的培养;④ 适应面广泛。

本书既适用于机械、机电类各专业,也适用于精密仪表各专业;既可作为高职高专有关专业的教材,也可供从事机械设计、机械制造工艺、标准化计量等工作的有关工种技术人员和管理人员参考。

全书由赵瑾任主编,陈颖、尹小明、李晓雪任副主编。参加本书编写工作的有:赵瑾(第1、2、4、10章)、陈颖(第8、9章)、尹小明(第5、6章)、李晓雪(第3、7章)。在编写本书的过程中得到了荆门职业技术学院领导和同行们的大力支持和帮助,徐鸿本教授也很关心本教材的编写工作,提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间紧迫,书中难免存在不妥之处,恳请广大师生、读者批评指正。

编 者

2006年7月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 互换性	(1)
1.2 公差与检测	(2)
1.3 标准化	(3)
习题	(6)
第2章 测量技术基础	(7)
2.1 概述	(7)
2.2 长度计量单位与量值传递	(7)
2.3 计量器具与测量方法	(11)
2.4 测量误差	(14)
习题	(25)
第3章 尺寸的公差、配合与检测	(26)
3.1 基本术语及定义	(26)
3.2 尺寸的公差与配合	(32)
3.3 尺寸公差与配合的选用	(46)
3.4 尺寸的检测	(57)
习题	(63)
第4章 形位公差与检测	(66)
4.1 概述	(66)
4.2 形状公差与误差	(71)
4.3 位置公差与误差	(75)
4.4 形位公差与尺寸公差的关系	(83)
4.5 形位公差的选择	(93)
4.6 形位误差的检测原则	(99)
习题	(101)
第5章 表面粗糙度与检测	(104)
5.1 概述	(104)
5.2 表面粗糙度的评定	(105)
5.3 表面粗糙度的选用与标注	(110)

5.4 表面粗糙度的检测	(117)
习题	(118)
第6章 光滑极限量规设计	(119)
6.1 概述	(119)
6.2 量规设计原则	(120)
6.3 工作量规设计	(123)
习题	(126)
第7章 圆锥和角度的公差与检测	(127)
7.1 圆锥与圆锥配合	(127)
7.2 圆锥公差及其应用	(132)
7.3 角度与角度公差	(137)
7.4 未注公差角度的极限偏差	(139)
7.5 角度和锥度的检测	(139)
习题	(140)
第8章 常用结合件的公差与检测	(141)
8.1 键联结的公差与检测	(141)
8.2 普通螺纹联结的公差与检测	(149)
8.3 滚动轴承的公差与配合	(163)
习题	(171)
第9章 圆柱齿轮传动的公差与检测	(173)
9.1 对齿轮传动的基本要求	(173)
9.2 单个齿轮的精度指标	(174)
9.3 齿轮副的精度和侧隙指标	(184)
9.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	(186)
习题	(202)
第10章 尺寸链基础	(204)
10.1 概述	(204)
10.2 尺寸链的确立与分析	(206)
10.3 用完全互换法解尺寸链	(208)
10.4 用大数互换法解尺寸链	(213)
10.5 用其他方法解装配尺寸链	(217)
习题	(219)
参考文献	(221)

第1章 绪 论

1.1 互 换 性

1.1.1 互换性及其意义

互换性是现代化生产的基本技术经济原则。它普遍应用于机床、拖拉机、家用电器、自行车、汽车、缝纫机、手表等产品的零件生产中,在使用、维修方面也被广泛采用。如自行车、缝纫机的零(部)件坏了,只要换一个相同规格的新零件,即可满足使用要求。同一规格的零部件不需要进行任何挑选、调整或修配,就能装配到机器上去,并且符合使用性能要求,这种特性就叫做产品的互换性。

互换性给产品的设计、制造和使用维修都带来很大的方便。

在设计方面,按互换性进行设计就可以最大限度地采用标准件、通用件,大大减少计算、绘图等工作量,缩短设计周期,并有利于产品品种的多样化和计算机辅助设计。

在制造方面,当零件具有互换性时,可以采用分散加工、分散装配。这样有利于组织大规模专业化生产,有利于采用先进工艺和高效率的专用设备,以致能用计算机辅助制造来实现加工和装配过程的机械化、自动化,从而减轻工人的劳动,提高生产率,保证产品质量,降低生产成本。

在使用、维修方面,若零部件具有互换性,就可以及时更换那些已经磨损或损坏了的零部件,减少机器的维修时间和费用,保证机器能连续而持久地运转,提高设备的利用率,延长机器的使用寿命。

综上所述可见,互换性对保证产品质量、提高生产效率和增加经济效益具有重大的意义,它不仅适用于大批量生产,即便是单件小批生产,也常常采用已标准化的具有互换性的零部件。因此,互换性已成为现代机械制造业中一个普遍遵守的原则。

1.1.2 互换性的分类

机械制造中的互换性,可分为几何参数互换性和功能互换性。几何参数互换性是指机器的零部件只在几何参数,如尺寸、形状、位置、表面粗糙度等方面具有的互

换性,又称为狭义互换性,即通常所指的互换性,有时也局限于指保证零件尺寸配合要求的互换性。功能互换性是指零件在各种性能方面都达到了互换性的要求,如零件几何参数的精度、物理性能、化学性能以及力学性能等都能满足机器的功能要求,故又称为广义互换性,其往往着重于保证除零件尺寸配合要求以外的其他功能要求。本课程主要研究几何参数互换性。

互换性按其程度可分为完全互换(绝对互换)与不完全互换(有限互换)。

若一批零件或部件在装配时不需分组、挑选、调整和修配,装配后即能满足预定的要求,则这些零部件就属于完全互换。当精度要求较高时,采用完全互换将使零件制造精度要求很高,加工困难,成本增高。为便于加工,可适当降低零件的制造精度,而在零件完工后,通过测量,将零件按实际尺寸的大小分为若干组,按对应组进行装配,这样既可保证装配的精度,又能解决加工难的问题。此时仅组内零件具有互换性,组与组之间不能互换的零部件称为分组互换,属于不完全互换。装配时需要进行挑选或调整的零部件也属于不完全互换。凡装配时要进行附加修配或辅助加工的,则该零件不具有互换性。

对标准部件或机构而言,互换又可分为外互换和内互换。

外互换是指部件或机构与其相配件间的互换,如滚动轴承内圈内径与轴的配合;外圈外径与轴承孔的配合。内互换是指部件或机构内部组成零件间的互换,如滚动轴承内、外圈滚道与滚动体的配合。

为使用方便起见,滚动轴承的外互换采用完全互换;而其内互换则因其组成零件的精度要求较高、加工困难,故采用分组装配,为不完全互换。一般地说,使用要求与制造水平、经济效益没有矛盾时,可采用完全互换;反之采用不完全互换。不完全互换通常用于部件或机构的制造厂内部的装配,而厂外协作往往要求完全互换。

1.2 公差与检测

在加工零件过程中不可避免地会产生各种误差。要想把同一规格的一批零件的几何参数做得完全一致是不可能的。实际上,这也没有必要。在加工零件过程中由于种种原因,其几何参数不可避免地会产生误差,这样的误差称为几何量误差。虽然零件几何量误差可能会影响零件的使用功能和互换性,但只要把几何参数的误差控制在一定的范围内,则零件的使用性能和互换性都能得到保证。

零件几何参数误差的允许范围叫做公差。它包括尺寸公差、形状公差、位置公差和角度公差等。

完工后的零件是否满足公差要求,要通过检测才能加以判断。检测包含检验与

测量。几何量的检验是指确定零件的几何参数是否在规定的极限范围内,并做出合格性判断,而不必得出被测量的具体数值;测量是将被测量与作为计量单位的标准量进行比较,以确定被测量的具体数值的过程。检测不仅用来评定产品质量,而且用于分析产生不合格品的原因,及时调整生产,监督工艺过程,预防废品产生。因此,产品质量的提高,除依赖设计和加工精度的提高外,往往更有赖于检测精度的提高。

综上所述,合理确定公差与正确进行检测是保证产品质量、实现互换性生产的两个必不可少的条件和手段。

1.3 标 准 化

现代化生产的特点是品种多、规模大、分工细和协作多。为使社会生产有序地进行,产品必须标准化,使其规格简化,使分散的、局部的生产环节相互协调和统一。在机械制造中,标准化是广泛实现互换性生产的前提,并且几何量的公差与检测也应纳入标准化的轨道。

1.3.1 标准化

标准是对重复性事物和概念进行的统一规定,它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。

标准化是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制订、发布和实施标准,达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。标准化包括制订标准和贯彻标准的全部活动过程。这个过程是从探索标准化对象开始,经调查、实验、分析,进而起草、制订和贯彻标准,而后修订标准。因此,标准化是一个不断循环而又不断提高其水平的过程。

标准按其性质分为技术标准、生产组织标准和经济管理标准三大类。通常所说的标准大都是指技术标准。

按照对象的特征,标准分为基础标准、产品标准、方法标准、卫生标准和安全及环境保护标准等。本课程研究的公差标准、检测器具和方法标准,大多属于国家基础标准。

标准按不同的级别颁发。我国标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准等。国家标准的代号为GB;地方标准和企业标准的代号分别用DB和QB表示。

我国于1988年发布的《中华人民共和国标准化法》中规定,国家标准和行业标准又分为强制性标准和推荐性标准两大类。少量的有关人身安全、健康、卫生及环

环境保护之类的标准属于强制性标准。国家将用法律、行政和经济等各种手段来维护强制性标准的实施。大量的标准(80%以上)属于推荐性标准。推荐性国标的代号为GB/T。应积极采用推荐性标准。标准是科学技术的结晶,是多年实践经验的总结,它代表了先进的生产力,对生产具有普遍的指导意义。

在国际上,为了促进世界各国在技术上的统一,成立了国际标准化组织(简称ISO)和国际电工委员会(简称IEC),由这两个组织负责制订和颁发国际标准。我国于1978年恢复参加ISO组织后,陆续修订了自己的标准。修订的原则是在立足我国生产实际的基础上向ISO靠拢,以利于加强我国在国际上的技术交流和产品互换。

1.3.2 优先数和优先数系

工程上各种技术参数的简化、协调和统一是标准化的重要内容。

在机械设计中,常常需要确定很多参数,而这些参数往往不是孤立的,一旦选定,就会按照一定规律向一切有关的参数传播。例如,螺栓的尺寸一旦确定,将会影响螺母的尺寸、丝锥板牙的尺寸、螺栓孔的尺寸以及加工螺栓的钻头的尺寸等。这种参数的传播扩散在生产实际中是极为普遍的现象。

为使产品的参数选择能遵守统一的规律,使参数选择一开始就纳入标准化轨道,就必须对各种技术参数的数值做出统一规定。《优先数和优先数系》国家标准(GB/T 321—2005),要求工业产品技术参数尽可能采用优先数。

GB/T 321—2005中规定以十进制等比数列为优先数系,并规定了五个系列,它们分别用系列符号R5、R10、R20、R40和R80表示,其中前四个系列作为基本系列,R80系列为补充系列,各系列的公比为:

$$\text{R5的公比} \quad q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$$

$$\text{R10的公比} \quad q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

$$\text{R20的公比} \quad q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$\text{R40的公比} \quad q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

$$\text{R80的公比} \quad q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

按公比计算得到的优先数的理论值,除10的整数幂外,都是无理数,工程技术上不能直接应用。实际应用的都是经过圆整后的近似值。根据圆整的精确程度,优先数可分为计算值和常用值两种。

① 计算值 取5位有效数字,供精确计算用。

② 常用值 经常使用的、通常所称的优先数,取3位有效数字。

优先数系的五个系列中任一项值均为优先数。表1-1中列出1~10范围内基本系列的常用值。如将表中所列优先数乘以10,100…或乘以0.1,0.01…即可得到所

有大于10或小于1的优先数。

表 1-1 优先数系的基本系列(摘自GB/T 321—2005)

基本系列(常用值)				计 算 值
R5	R10	R20	R40	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000
			1.06	1.0593
			1.12	1.1220
			1.18	1.1885
		1.25	1.25	1.2589
			1.32	1.3335
			1.40	1.4125
			1.50	1.4962
1.60	1.60	1.60	1.60	1.5849
			1.70	1.6788
			1.80	1.7783
			1.90	1.8836
		2.00	2.00	1.9953
			2.12	2.1135
			2.24	2.2387
			2.36	2.3714
2.50	2.50	2.50	2.50	2.5119
			2.65	2.6607
			2.80	2.8184
			3.00	2.9853
		3.15	3.15	3.1623
			3.35	3.3497
			3.55	3.5481
			3.75	3.7581
4.00	4.00	4.00	4.00	3.9811
			4.25	4.2170
			4.50	4.4668
			4.75	4.7315
		5.00	5.00	5.0119
			5.30	5.3088
			5.60	5.6234
			6.00	5.9566
6.30	6.30	6.30	6.30	6.3096
			6.70	6.6834
			7.10	7.0795
			7.50	7.4980
		8.00	8.00	7.9433
			8.50	8.4140
			9.00	8.9125
			9.50	9.4405
10.00	10.00	10.00	10.00	10.0000

标准还允许从基本系列和补充系列中隔项取值组成派生系列。如在R10系列中每隔三项取值得到R10/3系列,即1.00,2.00,4.00,8.00……其公比为 $q = (\sqrt[10]{10})^3 = 1.25893 \approx 2$,此即是常用的倍数系列。

优先数的主要特点如下。

- ① 优先数系分挡合理,疏密均匀,有广泛的适用性,简单易记,便于使用。
- ② 在同一系列中优先数(理论值)的积、商、整数(正或负)的乘方等仍为优先数。
- ③ 优先数可以向两端延伸。

因此,优先数系得到了广泛的应用,成为国际上统一的数值制。常见的量值,如长度、直径、转速及功率等,基本上都是按一定的优先数系进行分级的。本课程所涉及的有关标准,诸如尺寸分段、公差分级及表面粗糙度的参数系列等,基本上采用优先数系。

习 题

- 1-1 什么叫做互换性?它在机械制造中有何重要意义?是否只适用于大批量生产?
- 1-2 完全互换与不完全互换有何区别?各用于何种场合?
- 1-3 公差、检测、标准化与互换性有什么关系?
- 1-4 按标准颁发的级别分,我国标准有哪几种?
- 1-5 下面两列数据属于哪种系列?公比 q 为多少?
 - (1) 电动机转速(单位为r/min)有:375,750,1500,3000,...
 - (2) 摇臂钻床的主参数(最大钻孔直径,单位为mm):25,40,63,80,100,125等。

第2章 测量技术基础

2.1 概 述

在机械制造中,需要测量零件加工后的几何参数(尺寸、形位公差及表面粗糙度等),以确定它们是否符合技术要求和实现其互换性。

测量是指为确定被测量的量值而进行的实验过程,其实质是将被测几何量 L 与复现计量单位 E 的标准量进行比较,从而确定比值 q 的过程,即 $L/E=q$,或 $L=qE$ 。

一个完整的测量过程应包括以下四个要素。

① 测量对象。本课程涉及的测量对象是几何量,包括长度、角度、表面粗糙度、形状和位置误差等。

② 计量单位。长度计量的基本单位是米(m),在机械制造中常用的长度单位为毫米(mm);在几何精密测量中,长度单位用微米(μm),角度单位为度($^\circ$)、分(')、秒(")。

③ 测量方法,是指测量时所采用的测量原理、计量器具以及测量条件的总和。

④ 测量精度,是指测量结果与真值的一致程度。

测量是互换性生产过程中的重要组成部分,是保证各种公差与配合标准贯彻实施的重要手段,也是实现互换性生产的重要前提之一。为了达到测量的目的,必须使用统一的标准量,采用一定的测量方法和运用适当的测量工具,而且要达到必要的测量精度,以确保零件的互换性。

2.2 长度计量单位与量值传递

2.2.1 长度单位与量值传递系统

为了进行长度计量,必须规定一个统一的标准,即长度计量单位。1984年国务院发布了“关于在我国统一实行法定计量单位的命令”,决定在采用先进的国际单位制的基础上,进一步统一我国的计量单位,并发布了《中华人民共和国法定计量

单位》，其中规定长度的基本单位为米(m)。机械制造中常用的长度单位为毫米(mm)。 $1\text{ mm}=10^{-3}\text{ m}$ 。精密测量时，多采用微米(μm)为单位， $1\text{ }\mu\text{m}=10^{-3}\text{ mm}$ 。超精密测量时，则采用纳米(nm)为单位， $1\text{ nm}=10^{-3}\text{ }\mu\text{m}$ 。

米的最初定义始于1791年的法国。随着科学技术的发展，对米的定义也在不断进行完善。1983年，第十七届国际计量大会正式通过如下米的新定义：

“米是光在真空中 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 时间间隔内所经路径的长度。”

1985年，我国用自己研制的碘吸收稳定的 $0.633\text{ }\mu\text{m}$ 氦氖激光辐射来复现我国的国家长度基准。

在实际生产和科研中，不使用光波作为长度基准进行测量，因此，采用各种计量器具进行测量。为了保证量值统一，必须把长度基准的量值准确地传递到生产中应用的计量器具和工件上去。因此，建立了一套从长度的最高基准到被测工件的严密而完整的长度量值传递系统。我国从组织上自国务院到地方，已建立起各种计量管理机构，负责其管辖范围内的计量工作和量值传递工作。在技术上，从国家波长基准开始，长度量值分两个平行的系统向下传递(见图2-1)：一个是端面量具(量

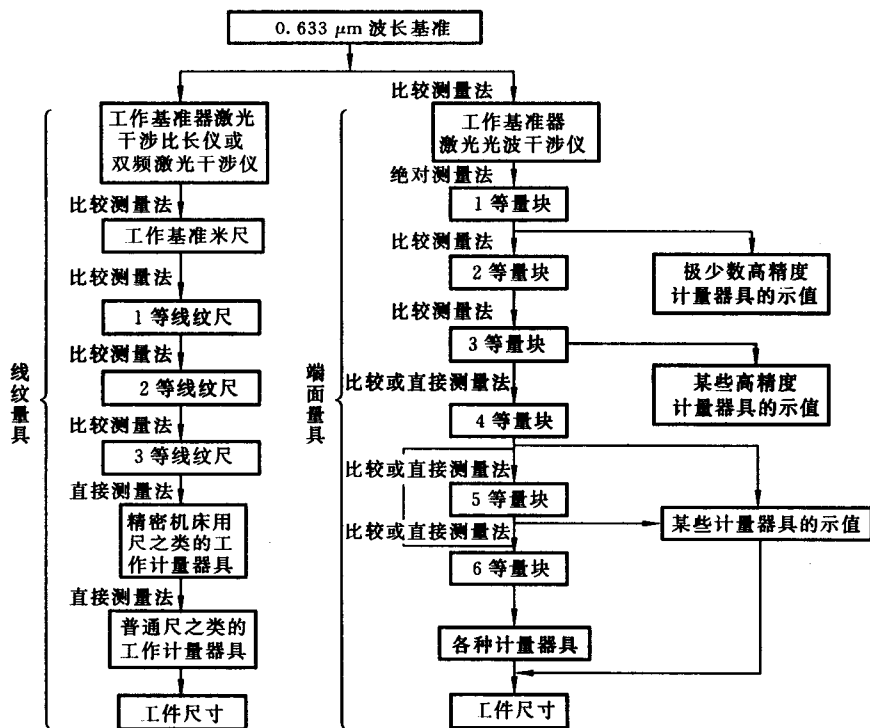


图2-1 长度量值传递系统

块)系统;另一个是刻线量具(线纹量具)系统。其中以量块为媒介的传递系统应用较广。

2.2.2 量块

量块又称块规,是没有刻度的平面平行的端面量具。量块采用特殊合金钢制成,具有线胀系数小、不易变形、硬度高、耐磨性好、工作面粗糙度值小以及研合性好等特点。量块除了作为长度基准的传递媒介以外,也可以用来检定、校对和调整计量器具,可以用于测量工件、精密划线和精密调整机床等。

量块的形状有长方体和圆柱体两种,常用的是长方体量块,如图2-2(a)所示。量块上有两个平行的测量面,其表面光滑平整,两个测量面间具有精确的尺寸。另外还有四个非测量面。从量块一个测量面上任意一点(距边缘0.5 mm 区域除外)到与此量块另一个测量面相研合的面的垂直距离称为量块长度 L_i 。从量块一个测量面上中心点到与此量块另一个测量面相研合的面的垂直距离称为量块的中心长度 L 。量块的精度虽然很高,但是上、下测量面也不是绝对平行的,因此量块的工作尺寸以量块的中心长度来代表。量块上标出的尺寸称为量块的标称长度。为了能用较少的块数组合成所需要的尺寸,量块应按一定的尺寸系列成套生产供应。国家标准规定了17种系列的成套量块。

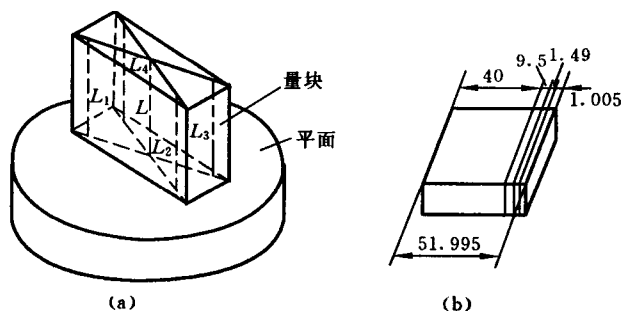


图2-2 量块

表2-1列出了其中4套量块的尺寸系列。

根据不同的使用要求,量块做成不同的精度等级。划分量块的精度有两种规定:按“级”划分和按“等”划分。

国标GB6093—1985按制造精度将量块分为00,0,1,2,(3)级共5级,精度依次降低。

国家计量局标准JJG100—1981《量块检定规程》按检定精度将量块分为1~6等,精度依次降低。

表 2-1 成套量块的尺寸(摘自 GB/T 6093—1985)

序号	总块数	级 别	尺寸系列/mm	间隔/mm	块数/块
1	91	00,0,1	0.5	—	1
			1	—	1
			1.001,1.002,...,1.009	0.001	9
			1.01,1.02,...,1.49	0.01	49
			1.5,1.6,...,1.9	0.1	5
			2.0,2.5,...,9.5	0.5	16
			10,20,...,100	10	10
2	83	00,0,1,2,(3)	0.5	—	1
			1	—	1
			1.005	—	1
			1.01,1.02,...,1.49	0.01	49
			1.5,1.6,...,1.9	0.1	5
			2.0,2.5,...,9.5	0.5	16
			10,20,...,100	10	10
3	46	0,1,2	1	—	1
			1.001,1.002,...,1.009	0.001	9
			1.01,1.02,...,1.09	0.01	9
			1.1,1.2,...,1.9	0.1	9
			2,3,...,9	1	8
			10,20,...,100	10	10
4	38	0,1,2,(3)	1	—	1
			1.005	—	1
			1.01,1.02,...,1.49	0.01	9
			1.1,1.2,...,1.9	0.1	9
			2,3,...,9	1	8
			10,20,...,100	10	10

注:带()的等级根据订货供应。

在使用量块时,常常用几个量块组合成所需要的尺寸,如图 2-2(b)所示。组合量块时为减少量块组合的累积误差,应力求使用最少的块数获得所需要的尺寸,一般不超过 4~5 块。可以从消去尺寸的最末位数开始逐一选取。例如,使用 83 块一套的量块组,从中选取量块组成 58.885 mm,查表 2-1,可按如下步骤选择量块尺寸。

51.995		量块组合尺寸
— 1.005		第一块量块尺寸
50.99		
— 1.49		第二块量块尺寸
49.5		
— 9.5		第三块量块尺寸
40		第四块量块尺寸

量块是精密量具,使用时要注意防锈蚀、防划伤,切不可撞击。