



高职高专规划教材

互换性与测量技术

主 编 郑建中
副主编 南秀蓉 薛玮珠

HUHUANXING YU CELIANG JISHI

浙江大學出版社

高职高专规划教材

互换性与测量技术

主 编 郑建中

副主编 南秀蓉 薛玮珠

浙江大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术/郑建中主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2004. 9

ISBN 7-308-03821-1

I. 互... II. 郑... III. ①互换性—理论—高等学校—教材 ②技术测量—高等学校—教材 IV. TG8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 079153 号

丛书策划 樊晓燕

封面设计 刘依群

责任编辑 张明 曾润涛

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排版 杭州大漠照排印刷有限公司

印刷 浙江省良渚印刷厂

开本 787mm×960mm 1/16

印张 14.5

字数 345 千

版印次 2004 年 9 月第 1 版 2006 年 1 月第 3 次印刷

印数 5001—8000

书号 ISBN 7-308-03821-1/TG·026

定价 21.00 元

内 容 提 要

本书涵盖机械测量技术基础、光滑圆柱的公差与配合、形位公差与检测、表面粗糙度与检测、光滑极限量规设计、圆锥和角度公差与检测、常用结合件的公差与检测、渐开线直齿圆柱齿轮的公差与检测、尺寸链等内容。每章后附练习题。

书中采用最新国家标准,重点讲清基本概念和标准的应用,列举较好的选用实例,较全面地介绍了机械测量技术几何量的各种误差检测方法和原理。

本书适用于高职高专院校的机械类和机电类各专业使用,也可供有关工程技术人员参考。

高职高专机电类规划教材

参编学校(排名不分先后)

浙江机电职业技术学院

宁波高等专科学院

嘉兴职业技术学院

温州职业技术学院

台州职业技术学院

浙江轻纺职业技术学院

丽水职业技术学院

杭州职业技术学院

宁波职业技术学院

金华职业技术学院

浙江工贸职业技术学院

浙江水利水电高等专科学院

浙江工业职业技术学院

湖州职业技术学院

前 言

“互换性与测量技术”是高等专科学校机械类及机电类各专业的重要技术基础课。它包括几何量公差与测量技术两方面内容,把标准化和计量学两大领域的有关部分有机地结合在一起。它与机械设计,机械制造,CAD、CAM 的应用,质量控制等方面密切相关,是机械工程技术人员和管理人员必备的基础知识和技能。

本书是在广泛征求意见的基础上,总结浙江省有关高职教学的经验,根据全国高等工程专科机械工程类专业教学指导委员会审批的教材编写大纲编写的。书中采用最新国家标准,重点讲清基本概念和标准的应用,列举了较好的选用实例,较全面地介绍了几何量各种误差检测方法的原理,而把具体仪器结构、检测方法等留给实验指导书,使教材内容少而精,重点突出。

本书共分 10 章,内容包括绪论、测量技术基础、光滑圆柱的公差与配合、形位公差与检测、表面粗糙度与检测、光滑极限量规设计、圆锥和角度公差与检测、常用结合件的公差与检测、渐开线直齿圆柱齿轮的公差与检测、尺寸链。

参加本书编写的有杭州职业技术学院郑建中(第 1 章、第 4 章、第 7 章、第 9 章),温州职业技术学院南秀蓉(第 5 章、第 10 章),浙江机电职业技术学院薛玮珠(第 2 章、第 3 章),丽水师范专科学校李盛宇(第 6 章),宁波高等专科学校陈伟文(第 8 章)。由郑建中任主编,南秀蓉、薛玮珠任副主编。全书由浙江大学蒋承蔚主审。

限于编者水平,书中难免存在缺点、错误,敬请广大读者批评指正。

编者

2004 年 5 月

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 互换性概述	(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 长度和角度计量单位与量值传递	(8)
2.3 计量器具与测量方法	(12)
2.4 测量误差	(15)
习 题	(18)
第 3 章 光滑圆柱的公差与配合	(19)
3.1 基本术语及定义	(19)
3.2 尺寸的公差与配合	(23)
3.3 公差与配合的选择	(34)
3.4 尺寸的检测	(39)
习 题	(44)
第 4 章 形位公差与检测	(47)
4.1 基本概念	(48)
4.2 形位公差与误差	(59)
4.3 形位误差的检测	(75)
4.4 形位公差与尺寸公差的关系	(84)
4.5 形位公差的选择	(93)
习 题	(102)
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	表面粗糙度符号及标注	(109)
5.4	表面粗糙度数值的选择	(112)
5.5	表面粗糙度的测量	(114)
	习 题	(116)
第 6 章	光滑极限量规设计	(117)
6.1	概 述	(117)
6.2	量规设计原则	(118)
6.3	工作量规设计	(121)
	习 题	(124)
第 7 章	圆锥和角度公差与检测	(125)
7.1	圆锥与圆锥的配合	(125)
7.2	圆锥公差及其应用	(132)
7.3	角度与角度公差	(138)
7.4	未注公差角度的极限偏差	(141)
7.5	角度和锥度的检测	(141)
	习 题	(144)
第 8 章	常用结合件的公差与检测	(145)
8.1	单键的公差与检测	(145)
8.2	花键的公差与检测	(149)
8.3	普通螺纹联结的公差与检测	(155)
8.4	滚动轴承的公差与配合	(169)
	习 题	(177)
第 9 章	渐开线直齿圆柱齿轮的公差与检测	(179)
9.1	概 述	(179)
9.2	单个齿轮的精度指标	(180)
9.3	齿轮副的精度和侧隙指标	(190)
9.4	渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	(192)
	习 题	(209)
第 10 章	尺寸链	(210)
10.1	概 述	(210)
10.2	装配尺寸链的解算	(214)
	习 题	(220)
	主要参考文献	(222)

第1章

绪 论

1.1 互换性概述

1.1.1 互换性及其意义

现代化的制造业是按高度专业化和社会化大协作组织生产的。例如：一辆汽车一般由2万多个零部件组成。汽车的零部件是由分布在全国甚至全世界的几百家专业零部件制造厂生产，然后汇集到汽车制造厂的装配自动线上，4至5分钟装配完毕一辆汽车。这就提出了如何保证汽车零部件的互换性问题。

所谓互换性就是指制成的同一规格的零件或部件，不需作任何挑选、调整或修配，就能装到机器上去，并符合规定的设计性能要求，零部件的这种特性就叫互换性。

能够保证产品具有互换性的生产，就称为遵循互换性原则的生产。互换性原则已经成为组织现代化大生产的一项极其重要的技术经济原则，它已广泛地应用在一切现代化大批量的生产部门。从手表、自行车、汽车到电视机、计算机、手机，以及各种军工产品的生产，都在极大的规模和极高的程度上，按照互换性的原则进行生产。

具体说，互换性给产品的设计、制造、装配、维修及管理都带来很大的优越性。

从设计上看，按互换性原则进行设计，就可以最大限度地采用标准件、通用件，大大减少计算、绘图等设计工作量，缩短设计周期，并有利于产品品种的系列化和多样化，甚至有利于计算辅助设计(CAD)。

从制造上看，互换性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,甚至有利于计算机辅助制造(CAM)。

从装配上看,互换性有利于装配过程的机械化、自动化,实现高效益的装配,即流水线和自动线的装配。

从维修上看,互换性有利于方便简化维修,零部件坏了,可快速更换,减少维修时间和费用,提高设备的利用率,延长使用寿命。

从管理上看,因为互换性有利于系列化、标准化的设计制造,大量采用标准件和通用件,所以生产管理、仓库管理方便简化。

综上所述,互换性对提高劳动生产率、保证产品质量、增加经济效率都具有重大的意义。它不仅适用于大批大量生产,即使是单件小批生产,为了快速组织生产,为了经济性,也常常采用已经标准化了的零部件。

因此,互换性原则是组织现代化生产的极其重要的技术经济原则。

1.1.2 互换性的分类

互换性通常包括几何参数(如尺寸)、机械性能(如硬度、强度)以及理化性能(如化学成分)等。本课程仅讨论几何参数的互换性。

几何参数互换是指零件的尺寸、形状、位置、表面粗糙度等几何参数具有互换性。

互换性按其互换程度,可分为完全互换和不完全互换。完全互换要求零部件在装配时不需要挑选和辅助加工;不完全互换则允许零部件在装配前进行预先分组或在装配时采取调整等措施。

一般地说,使用要求与制造水平、经济效益没有矛盾时,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制造厂内部,而厂际协作一般都要求完全互换。

1.2 公差与检测

为了实现互换,最好把同一规格的零部件做成“一模一样”,但事实上这是不可能的,也是不必要的。无论设备的精度和操作工人的技术水平多么高,要使加工零件的尺寸、形状和位置等做得绝对准确,是不可能的。所以,一般而言,只要将几何参数的误差控制在一定的范围内,就能满足互换性的要求。

零件几何参数的这种允许的变动量称为公差。它包括尺寸公差、形状公差、位置公差和角度公差等。

制成后的零件是否满足要求,要通过检测才能判断。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,并作出合格性判断,不必一定得出被测量的具体数值。测量是将被测量的量与一个作为计量单位的标准量进行

比较,以确定被测量的量和具体数值的过程。检测不仅用来评定产品合格与否,还用于分析产生不合格品的原因,改进生产工艺过程,预防废品产生。事实证明,产品质量的提高,除了设计和加工精度的提高外,还必须依靠检测精度的提高。

综上所述,合理确定公差标准,采用相应的测量技术措施,是实现互换性的必要条件。

1.3 标 准 化

现代化生产的特点是规模大、品种多、分工细和协作广,为使社会生产高效率地运行,必须通过标准化使产品的品种规格简化,使各分散的生产环节相互协调和统一。几何量的公差与检测也应纳入标准化的轨道。标准化是实现互换性的前提。

1.3.1 标准

标准是对重复性事物和概念所作的统一规定。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。

标准的范围极其广泛,种类繁多,涉及人类生产、生活的各个领域。本课程研究的公差标准、检测标准,大多属国家基础标准。

我国标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

国家标准,代号为 GB,是对全国范围内需统一的技术要求。行业标准,如机械标准(JB)等,是对全国某个行业范围内统一的技术要求。地方标准,代号为 DB,是在某一地域范围内需统一的技术要求。企业标准,代号为 Q,是在某一企业内需统一的技术要求。

《中华人民共和国标准化法》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。少量的有关人身安全、健康、卫生及环境之类的标准属于强制性标准。国家用法律、行政和经济等手段来实施强制性标准。大量的标准属于推荐性标准。推荐性国家标准代号为 GB/T,推荐标准也应积极采用。因为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,对生产具有普遍指导作用。

在国际上,有国际标准化组织(简称 ISO)和国际电工委员会(简称 IEC),它们负责制定和颁布国际标准,促进国际技术统一和交流,代表了国际上先进的科技水平。我国于 1978 年恢复 ISO 组织成员资格。

1.3.2 标准化

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。

标准化是组织现代化生产的重要手段,是实现互换性的必要前提。标准化既是一项技术基础工作,也是一项重要的经济技术政策,它在工业生产和经济建设中起到重要作用。也是国家现代化水平的重要标志之一。

1.3.3 优先数和优先数系标准

在制订工业标准的表格以及在进行产品设计时,都会遇到选择数值系列的问题。为了满足市场需求,同一品种同一参数,还要从大到小取不同的值,从而形成不同规格的产品系列。这个系列确定得是否合理,与所取的数值如何分档、分级直接有关。产品设计中的参数往往不是孤立的,一旦选定,这个数值就会按照一定规律,向一切有关的参数传播。例如,螺栓的尺寸一旦确定,将会影响与之配合的螺母的尺寸,丝锥、板牙的尺寸、螺栓孔的尺寸及加工螺栓孔的钻头、铰刀的尺寸等。这种技术参数的关联和传播扩散在生产实际中是极为普遍的现象。所以,机械产品中的各种技术参数不能随意确定,否则将会出现品种规格恶性膨胀的混乱局面,给生产组织、协调配套以及使用维修带来极大的困难。

为使产品的设计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,必须对各种技术参数的数值作出统一规定。《优先数和优先数系》国家标准(GB321—1980)就是其中最重要的一个标准,要求工业产品设计中尽可能采用它。

GB321—1980 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 为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合。各系列的公比为:

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

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

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

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

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

优先数系的五个系列中任一个项值均为优先数。按公比计算得到优先数的理论值,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。根据圆整的精确度,可分为:

(1) 计算值: 取五位有效数字,供精确计算用。

(2) 常用值: 即经常使用的通常所称的优先数, 取三位有效数字。

表 1-1 中列出了 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。

国家标准规定的优先数系分档合理、疏密均匀, 有广泛的使用性。常见的量值, 如长度、直径、转速及功率等分级, 基本上都是按优先数系选用的。

表 1-1 优先数系的基本系列 (摘自 GB321—1980)

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	1.25	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	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	2.9854
	3.15	3.15	3.15	3.1623
			3.35	3.3497
			3.55	3.5481
			3.75	3.7581

续 表

基本系列(常用值)				计算值	
R5	R10	R20	R40		
4.00	4.00	4.00	4.00	3.9811	
				4.25	4.2170
		4.50	4.50	4.4668	
			4.75	4.7315	
	5.00	5.00	5.00	5.0119	
			5.30	5.3088	
		5.60	5.60	5.6234	
			6.00	5.9566	
6.30	6.30	6.30	6.30	6.3096	
			6.70	6.6834	
		7.10	7.10	7.0795	
			7.50	7.4980	
	8.00	8.00	8.00	7.9433	
			8.50	8.4140	
		9.00	9.00	8.9125	
			9.50	9.4405	
10.00	10.00	10.00	10.0000		

习 题

1-1 什么叫互换性? 完全互换与不完全互换有何区别?

1-2 互换性在机械制造中有何意义?

1-3 按标准颁发级别分, 标准有哪几种?

1-4 下面两列数据属于哪种系列? 公比 q 为多少?

(1) 电动机转速有: 375, 750, 1500, 3000 等(单位为 r/min)。

(2) 摇臂钻床的主参数: 25, 40, 63, 80, 100, 125 等(最大钻孔直径, 单位为 mm)。

第 2 章

测量技术基础

2.1 概 述

在机械制造中,加工后的零件,其几何参数(尺寸、形位公差及表面粗糙度等)需要测量,以确定它们是否符合技术要求和实现互换性。

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) 测量单位 在机械制造中常用的单位为毫米(mm)。

(3) 测量方法 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) 测量精确度 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。为了实现测量的目的,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,而且要达到一定的测量精确度,以确保零件的互换性。

2.2 长度和角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, $1\mu\text{m}=10^{-3}\text{mm}$ 。超精密测量时,则用纳米(nm)为单位, $1\text{nm}=10^{-3}\mu\text{m}$ 。

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

米是光在真空中 $299\,792\,458^{-1}\text{s}$ 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 $0.633\mu\text{m}$ 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,不便于用光波作为长度基准进行测量,而是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,必须建立一套从长度的国家基准谱线到被测工件的严密而完整的长度量值传递系统。在组织上我国自国务院到地方,已建立起各级计量管理机构,负责其管辖范围内的计量工具和量值传递工作。在技术上,从国家基准谱线开始,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(量块)系统,另一个是刻线量具(线纹尺)系统。其中以量块为媒介的传递系统应用较广。

2.2.2 量块

量块是没有刻度的、截面为矩形的平面平行的端面量具。量块用特殊合金钢制成,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。

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0.5mm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的长度 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 。量块上标出的尺寸称为量块的标称长度。

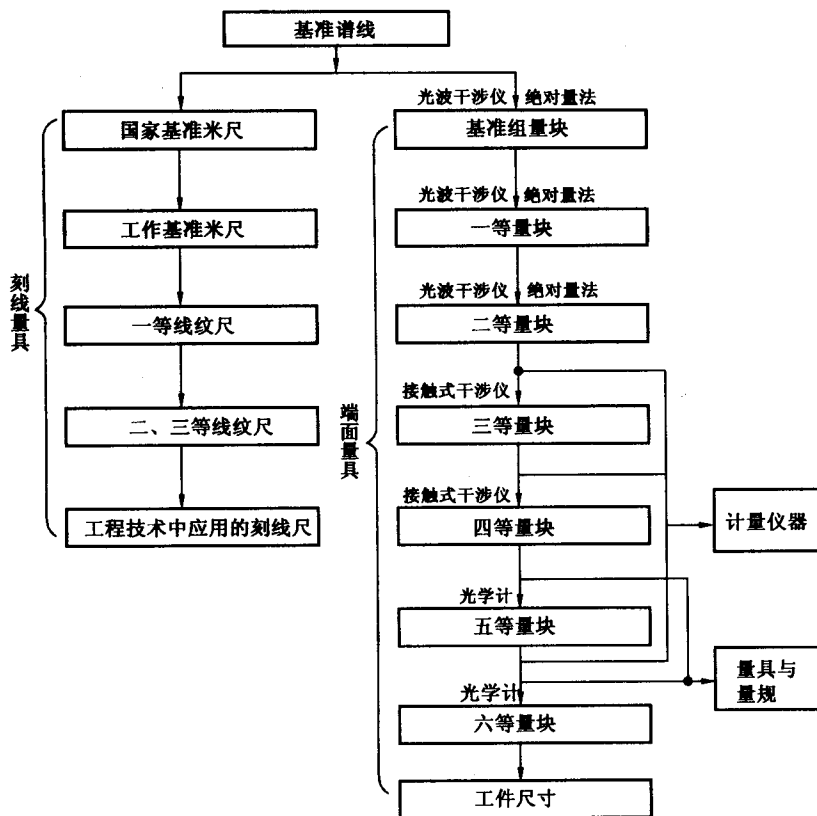


图 2-1 长度量值传递系统

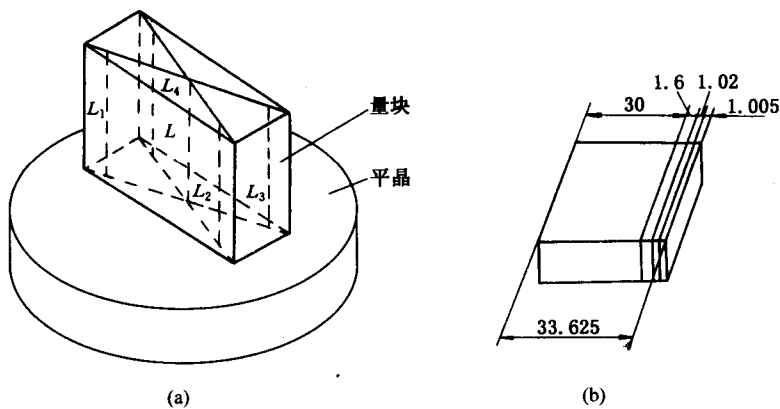


图 2-2 量块

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。国家标准共规定了 17 种系列的成套量块。表 2-1 列出了其中两套量块的尺寸系列。

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,k 级共 6 级,精度依次降低。量块按“级”使用时,是以量块的标称长度为工作尺寸的,该尺寸包含了量块的制造误差,它们将被引入到测量结果中。但因不需要加修正值,故使用较方便。

表 2-1 成套量块的尺寸(摘自 GB6093—1985)

序号	总块数	级别	尺寸系列/mm	间隔/mm	块数
1	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
2	46	0,1,2	10,20,∞,100	10	10
			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

注:带括号的等级,根据订货供应。

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。量块按“等”使用时,不再以标称长度作为工作尺寸,而是用量块经检定后所给出的实测中心长度作为工作尺寸,该尺寸排除了量块的制造误差,仅包含检定时较小的测量误差。

量块在使用时,常常用几个量块组合成所需要的尺寸,如图 2-2(b)所示,一般不超过 4 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 33.625mm。查表 2-1,可按如下步骤选择量块尺寸:

33.625	量块组合尺寸
— 1.005	第一块量块尺寸
32.62	
— 1.02	第二块量块尺寸
31.6	
— 1.6	第三块量块尺寸
30	第四块量块尺寸