

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI (高职高专教育)



HUHUANXING YU CELIANG JISHU

互换性与测量技术

徐从清 胡长对 主 编
王伟京 边兵兵 匡 清 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

Interchangeability and
Measurement Technology

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI (高职高专教育)



HUHUANXING YU CELIANG JISHU

互换性与测量技术

主 编 徐从清 胡长对
副主编 王伟京 边兵兵 匡 清
编 写 张国平 王云德
主 审 雷贤卿

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育“十一五”规划教材
(高职高专教育) 互换性与测量技术

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材(高职高专教育)。

本书主要包括:互换性的认识,测量技术及量具的使用,光滑圆柱的公差、配合选择与检测,形位公差与检测,表面粗糙度与检测,光滑极限量规设计,圆锥的公差与检测,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,尺寸链的运用十个课题。全书注重内容的实用性与针对性,列举了大量实例,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。

本书可作为高职高专院校机械类各专业的教材,也可供其他院校学生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术/徐从清,胡长对主编. —北京:中国电力出版社,2009

普通高等教育“十一五”规划教材·高职高专教育

ISBN 978-7-5083-8177-0

I. 互… II. ①徐…②胡… III. ①零部件—互换性—高等学校:技术学校—教材②零部件—测量—技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 198241 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 1 月第一版 2009 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 290 千字

定价 19.20 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

“互换性与测量技术”是高职高专院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,总结了编者多年的教学经验,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定的教学大纲编写而成的。书中采用最新国家标准,重点讲解基本概念和标准的应用,较全面地介绍了几何量各种误差检测方法的原理。

本书共分十个课题,包括互换性的认识,测量技术及量具的使用,光滑圆柱的公差、配合选择与检测,形位公差与检测,表面粗糙度与检测,光滑极限量规设计,圆锥的公差与检测,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,尺寸链的运用。

本书由徐从清、胡长对任主编,王伟京、边兵兵、匡清担任副主编。参加编写的有:平顶山工业职业技术学院的徐从清(前言、课题七、课题十),平顶山工业职业技术学院的胡长对(课题一、课题九),平煤集团东联机械制造公司的张国平(编写课题二),平顶山工业职业技术学院的王伟京(课题三和课题五),平顶山工业职业技术学院的边兵兵(课题四的项目 4.1 和课题八),苏州工业职业技术学院的匡清(课题四的项目 4.2~4.5),甘肃畜牧工程职业技术学院的王云德(编写课题六)。

本书由河南科技大学机电工程学院雷贤卿教授主审,并提出了宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 10 月

目 录

前言

课题一 互换性的认识	1
1.1 互换性概述	1
1.2 公差与检测	2
1.3 标准化	2
习题	5
课题二 测量技术及量具的使用	7
2.1 概述	7
2.2 长度和角度计量单位与量值传递	7
2.3 计量器具与测量方法	10
2.4 常用量具及使用方法	13
2.5 测量误差	18
习题	20
实训项目 常用量具的使用	21
课题三 光滑圆柱的公差、配合选择与检测	22
3.1 基本术语及定义	22
3.2 尺寸的公差与配合	25
3.3 公差与配合的选择	35
3.4 尺寸的检测	40
习题	44
课题四 形位公差与检测	46
4.1 基本概念	46
4.2 形位公差与误差	52
4.3 形位误差的检测	60
4.4 形位公差与尺寸公差的关系	66
4.5 形位公差的选择	79
习题	87
课题五 表面粗糙度与检测	90
5.1 概述	90
5.2 表面粗糙度的评定	91
5.3 表面粗糙度符号及标注	94
5.4 表面粗糙度数值的选择	95
5.5 表面粗糙度的测量	97
习题	98

实训项目 用电动轮廓仪测量表面粗糙度	99
课题六 光滑极限量规设计	100
6.1 概述	100
6.2 量规设计原则	100
6.3 工作量规设计	102
习题	105
课题七 圆锥的公差与检测	106
7.1 概述	106
7.2 圆锥配合	110
7.3 圆锥公差及应用	113
7.4 圆锥公差的给定和标注方法	117
习题	120
课题八 常用结合件的公差与检测	121
8.1 单键的公差与检测	121
8.2 花键的公差与检测	124
8.3 普通螺纹连接的公差与检测	128
8.4 滚动轴承的公差与配合	140
习题	147
实训项目 外螺纹中径的测量	148
课题九 渐开线直齿圆柱齿轮的公差与检测	150
9.1 概述	150
9.2 单个齿轮的精度指标	150
9.3 齿轮副的精度和侧隙指标	157
9.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	159
习题	173
实训项目 齿轮精度检测	174
课题十 尺寸链的运用	175
10.1 概述	175
10.2 装配尺寸链的解算	178
习题	183
实训项目 加工中尺寸链的解算和验证	184
参考文献	185

课题一 互换性的认识

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照高度专业化和社会化协作组织生产的。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自动装配线上的,4~5min 便可装配一辆汽车。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同一规格的零件或部件,不需做任何挑选、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,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。

具体而言,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,按照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,大幅减少计算、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,有利于计算机辅助设计(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,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。

从维护上看,互换性有利于维修,简化维修过程。若零部件损坏,可快速更换,减少维修时间和费用,提高设备的利用率,延长其使用寿命。

从管理上看,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,使得生产管理、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、增加经济效益都具有重大的意义。它不仅适用于大批量生产,即使是单件小批量生产,为了快速组织生产及经济性,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)、理化性能(如化学成分)等。本书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。

互换性按照其互换程度,可分为完全互换和不完全互换。具有完全互换性的零部件在装配时无需挑选和辅助加工;具有不完全互换性的零部件则要求在装配前进行预先分组或在装

配时采取调整等措施。

一般而言,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零部件制造厂内部,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,最好将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,加工零件的尺寸、形状、位置等也不可能做得绝对精确。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变动量称为公差,包括尺寸公差、形状公差、位置公差、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,并做出合格性判断,不一定得出被测量具体数值。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、预防废品产生等。事实证明,产品质量的提高,除了需要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、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做的统一规定。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、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、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着重要作用,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挡、分级有直接关系。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,向一切相关的参数传播。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,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护带来极大的困难。

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做出统一规定。GB/T 321—2005《优先数和优先数系》就是其中最重要的一个标准,要求工业产品设计中应尽可能采用。

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 为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合。各系列的公比如下:

R5 的公比

$$q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$$

R10 的公比

$$q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

R20 的公比

$$q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

R40 的公比

$$q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

R80 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。按照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,可分为计算值和常用值两种。

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。

表 1-1

标准尺寸 (摘自 GB/T 2822—2005)

10~100 (mm)					
R			Ra		
R10	R20	R40	Ra10	Ra20	Ra40
10.0	10.0		10	10	
	11.2			11	
12.5	12.5	12.5	12	12	12
		13.2			13
	14.0	14.0		14	14
		15.0			15
16.0	16.0	16.0	16	16	16
		17.0			17
	18.0	18.0		18	18
		19.0			19
20.0	20.0	20.0	20	20	20
		21.2			21
	22.4	22.4		22	22
		23.6			24
25.0	25.0	25.0	25	25	25
		26.5			26
	28.0	28.0		28	28
		30.0			30
31.5	31.5	31.5	32	32	32
		33.5			34
	35.5	35.5		36	36
		37.5			38
40.0	40.0	40.0	40	40	40
		42.5			42
	45.0	45.0		45	45
		47.5			48
50.0	50.0	50.0	50	50	50
		53.0			53
	56.0	56.0		56	56
		60.0			60

续表

10~100 (mm)					
R			Ra		
R10	R20	R40	Ra10	Ra20	Ra40
63.0	63.0	63.0	63	63	63
		67.0			67
	71.0	71.0		71	71
		75			75
80.0	80.0	80.0	80	80	80
		85.0			85
	90.0	90.0		90	90
		95.0			95
100.0	100.0	100.0	100	100	100

国家标准规定的优先数系分挡合理、疏密均匀,具有广泛的适用性。常见的量值,如长度、直径、转速、功率等分级,基本上都是按照优先数系选用的。掌握优先数系可以使我们的方便记忆工程参数,如圆柱齿轮第一系列标准模数(GB/T 1357—1987)

1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40

这是公比为 1.25 的优先数系且是公比 $q_{10} \approx 1.25$ 的基本系列,只要记住首项 1,则其余项随之产生,个别项(1.5, 3, 4)经过圆整,即 $1 \rightarrow 1 \times 1.25 = 1.25 \rightarrow 1.25 \times 1.25 = 1.5625$ 圆整为 1.5 $\rightarrow 1.5 \times 1.25 = 1.875$ 圆整为 2 $\rightarrow 2 \times 1.25 = 2.5 \rightarrow 2.5 \times 1.25 = 3.125$ 圆整为 3 $\rightarrow 3 \times 1.25 = 3.75$ 圆整为 4 $\rightarrow 4 \times 1.25 = 5 \rightarrow 5 \times 1.25 = 6.25$ 圆整为 6 $\rightarrow 6 \times 1.25 = 7.5$ 圆整为 8……,依次类推。同样螺纹公称直径及粗牙导程优先系列(GB/T 196~197—2003),见表 1-2。显然,公称直径、导程都为公比为 1.25 的优先数系且是公比 $q_{10} \approx 1.25$ 的基本系列,只要记住首项,则其余项随之产生,个别项经过圆整,即

$\left[\begin{matrix} M4 \\ 0.7 \end{matrix} \right] \rightarrow \left[\begin{matrix} M(4 \times 1.25) = M5 \\ 0.7 \times 1.25 = 0.875, \text{圆整为 } 0.8 \end{matrix} \right] \rightarrow \left[\begin{matrix} M(5 \times 1.25) = M6.25, \text{圆整为 } M6 \\ 0.8 \times 1.25 = 1 \end{matrix} \right] \rightarrow \left[\begin{matrix} M(6 \times 1.25) = M7.5, \text{圆整为 } M8 \\ 1 \times 1.25 = 1.25 \end{matrix} \right] \rightarrow \left[\begin{matrix} M(8 \times 1.25) = M10 \\ 1.25 \times 1.25 = 1.5625, \text{圆整为 } 1.5 \end{matrix} \right]$,依次类推。

表 1-2

螺纹公称直径和粗牙导程优先系列

公称直径	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36
粗牙导程	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4

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 按标准颁发级别分类, 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)。

1-5 查阅相关教材, 用优先数系概念分析图幅尺寸、零件粗糙度和液压缸内径系列值。

100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0
90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
71.0	71.0	71.0	71.0	71.0	71.0
67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0

国家标准规定的优先数系分档合理, 疏密均匀, 具有广泛的适用性, 常见的量值, 如长度、直径、转速、功率等分档, 基本上都是按照优先数系选用的。掌握优先数系可以使我们在设计工程参数, 如圆柱内径第一系列标准数 (GB/T 1327-1987)

1. 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 18, 20, 25, 32, 40
这是公比为 1.25 的优先数系且其公比 $q \approx 1.25$ 的基本系列, 只要记住首项 1, 则其余项随之产生, 个别项 (1.5, 3, 4) 经过调整, 即 $1 \rightarrow 1 \times 1.25 = 1.25 \rightarrow 1.5 \rightarrow 1.5 \times 1.25 = 1.875$ 调整为 $1.5 \rightarrow 1.5 \times 1.25 = 1.875$ 调整为 $2 \rightarrow 2 \times 1.25 = 2.5 \rightarrow 2.5 \times 1.25 = 3.125$ 调整为 $3 \rightarrow 3 \times 1.25 = 3.75$ 调整为 $4 \rightarrow 4 \times 1.25 = 5 \rightarrow 5 \times 1.25 = 6.25$ 调整为 $6 \rightarrow 6 \times 1.25 = 7.5$ 调整为 $8 \dots$, 依次类推。同样螺旋公称直径及钻头直径优先系列 (GB/T 193-1973-2003), 见表 1-2。显然, 公称直径、钻头直径为公比 1.25 的优先数系且其公比 $q \approx 1.25$ 的基本系列, 只要记住首项, 则其余项随之产生, 个别项经过调整, 即

$$\begin{aligned} & \left[\begin{array}{l} M1 \\ 0.7 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M1 \times 1.25 = 0.875 \\ 0.7 \times 1.25 = 0.875, \text{调整为 } 0.8 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M1 \times 1.25 = M2 \\ 0.8 \times 1.25 = 1 \end{array} \right] \\ & \left[\begin{array}{l} M2 \times 1.25 = M3 \\ 1 \times 1.25 = 1.25 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M2 \times 1.25 = M3 \\ 1.25 \times 1.25 = 1.5625, \text{调整为 } 1.6 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M3 \times 1.25 = M4 \\ 1.6 \times 1.25 = 2, \text{调整为 } 2 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M4 \times 1.25 = M5 \\ 2 \times 1.25 = 2.5 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M5 \times 1.25 = M6 \\ 2.5 \times 1.25 = 3.125, \text{调整为 } 3.2 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M6 \times 1.25 = M7 \\ 3.2 \times 1.25 = 4 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M7 \times 1.25 = M8 \\ 4 \times 1.25 = 5 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M8 \times 1.25 = M9 \\ 5 \times 1.25 = 6.25 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M9 \times 1.25 = M10 \\ 6.25 \times 1.25 = 7.8125, \text{调整为 } 8 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M10 \times 1.25 = M11 \\ 8 \times 1.25 = 10 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M11 \times 1.25 = M12 \\ 10 \times 1.25 = 12.5 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M12 \times 1.25 = M13 \\ 12.5 \times 1.25 = 15.625, \text{调整为 } 16 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M13 \times 1.25 = M14 \\ 16 \times 1.25 = 20 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M14 \times 1.25 = M15 \\ 20 \times 1.25 = 25 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M15 \times 1.25 = M16 \\ 25 \times 1.25 = 31.25, \text{调整为 } 32 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M16 \times 1.25 = M17 \\ 32 \times 1.25 = 40 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M17 \times 1.25 = M18 \\ 40 \times 1.25 = 50 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M18 \times 1.25 = M19 \\ 50 \times 1.25 = 62.5, \text{调整为 } 63 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M19 \times 1.25 = M20 \\ 63 \times 1.25 = 78.75, \text{调整为 } 80 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M20 \times 1.25 = M21 \\ 80 \times 1.25 = 100 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M21 \times 1.25 = M22 \\ 100 \times 1.25 = 125 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M22 \times 1.25 = M23 \\ 125 \times 1.25 = 156.25, \text{调整为 } 160 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M23 \times 1.25 = M24 \\ 160 \times 1.25 = 200 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M24 \times 1.25 = M25 \\ 200 \times 1.25 = 250 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M25 \times 1.25 = M26 \\ 250 \times 1.25 = 312.5, \text{调整为 } 315 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M26 \times 1.25 = M27 \\ 315 \times 1.25 = 393.75, \text{调整为 } 400 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M27 \times 1.25 = M28 \\ 400 \times 1.25 = 500 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M28 \times 1.25 = M29 \\ 500 \times 1.25 = 625 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M29 \times 1.25 = M30 \\ 625 \times 1.25 = 781.25, \text{调整为 } 800 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M30 \times 1.25 = M31 \\ 800 \times 1.25 = 1000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M31 \times 1.25 = M32 \\ 1000 \times 1.25 = 1250 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M32 \times 1.25 = M33 \\ 1250 \times 1.25 = 1562.5, \text{调整为 } 1600 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M33 \times 1.25 = M34 \\ 1600 \times 1.25 = 2000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M34 \times 1.25 = M35 \\ 2000 \times 1.25 = 2500 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M35 \times 1.25 = M36 \\ 2500 \times 1.25 = 3125, \text{调整为 } 3150 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M36 \times 1.25 = M37 \\ 3150 \times 1.25 = 3937.5, \text{调整为 } 4000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M37 \times 1.25 = M38 \\ 4000 \times 1.25 = 5000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M38 \times 1.25 = M39 \\ 5000 \times 1.25 = 6250 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M39 \times 1.25 = M40 \\ 6250 \times 1.25 = 7812.5, \text{调整为 } 8000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M40 \times 1.25 = M41 \\ 8000 \times 1.25 = 10000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M41 \times 1.25 = M42 \\ 10000 \times 1.25 = 12500 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M42 \times 1.25 = M43 \\ 12500 \times 1.25 = 15625, \text{调整为 } 16000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M43 \times 1.25 = M44 \\ 16000 \times 1.25 = 20000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M44 \times 1.25 = M45 \\ 20000 \times 1.25 = 25000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M45 \times 1.25 = M46 \\ 25000 \times 1.25 = 31250, \text{调整为 } 31500 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M46 \times 1.25 = M47 \\ 31500 \times 1.25 = 39375, \text{调整为 } 40000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M47 \times 1.25 = M48 \\ 40000 \times 1.25 = 50000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M48 \times 1.25 = M49 \\ 50000 \times 1.25 = 62500 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M49 \times 1.25 = M50 \\ 62500 \times 1.25 = 78125, \text{调整为 } 80000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M50 \times 1.25 = M51 \\ 80000 \times 1.25 = 100000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M51 \times 1.25 = M52 \\ 100000 \times 1.25 = 125000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M52 \times 1.25 = M53 \\ 125000 \times 1.25 = 156250, \text{调整为 } 160000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M53 \times 1.25 = M54 \\ 160000 \times 1.25 = 200000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M54 \times 1.25 = M55 \\ 200000 \times 1.25 = 250000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M55 \times 1.25 = M56 \\ 250000 \times 1.25 = 312500, \text{调整为 } 315000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M56 \times 1.25 = M57 \\ 315000 \times 1.25 = 393750, \text{调整为 } 400000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M57 \times 1.25 = M58 \\ 400000 \times 1.25 = 500000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M58 \times 1.25 = M59 \\ 500000 \times 1.25 = 625000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M59 \times 1.25 = M60 \\ 625000 \times 1.25 = 781250, \text{调整为 } 800000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M60 \times 1.25 = M61 \\ 800000 \times 1.25 = 1000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M61 \times 1.25 = M62 \\ 1000000 \times 1.25 = 1250000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M62 \times 1.25 = M63 \\ 1250000 \times 1.25 = 1562500, \text{调整为 } 1600000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M63 \times 1.25 = M64 \\ 1600000 \times 1.25 = 2000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M64 \times 1.25 = M65 \\ 2000000 \times 1.25 = 2500000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M65 \times 1.25 = M66 \\ 2500000 \times 1.25 = 3125000, \text{调整为 } 3150000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M66 \times 1.25 = M67 \\ 3150000 \times 1.25 = 3937500, \text{调整为 } 4000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M67 \times 1.25 = M68 \\ 4000000 \times 1.25 = 5000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M68 \times 1.25 = M69 \\ 5000000 \times 1.25 = 6250000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M69 \times 1.25 = M70 \\ 6250000 \times 1.25 = 7812500, \text{调整为 } 8000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M70 \times 1.25 = M71 \\ 8000000 \times 1.25 = 10000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M71 \times 1.25 = M72 \\ 10000000 \times 1.25 = 12500000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M72 \times 1.25 = M73 \\ 12500000 \times 1.25 = 15625000, \text{调整为 } 16000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M73 \times 1.25 = M74 \\ 16000000 \times 1.25 = 20000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M74 \times 1.25 = M75 \\ 20000000 \times 1.25 = 25000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M75 \times 1.25 = M76 \\ 25000000 \times 1.25 = 31250000, \text{调整为 } 31500000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M76 \times 1.25 = M77 \\ 31500000 \times 1.25 = 39375000, \text{调整为 } 40000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M77 \times 1.25 = M78 \\ 40000000 \times 1.25 = 50000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M78 \times 1.25 = M79 \\ 50000000 \times 1.25 = 62500000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M79 \times 1.25 = M80 \\ 62500000 \times 1.25 = 78125000, \text{调整为 } 80000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M80 \times 1.25 = M81 \\ 80000000 \times 1.25 = 100000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M81 \times 1.25 = M82 \\ 100000000 \times 1.25 = 125000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M82 \times 1.25 = M83 \\ 125000000 \times 1.25 = 156250000, \text{调整为 } 160000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M83 \times 1.25 = M84 \\ 160000000 \times 1.25 = 200000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M84 \times 1.25 = M85 \\ 200000000 \times 1.25 = 250000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M85 \times 1.25 = M86 \\ 250000000 \times 1.25 = 312500000, \text{调整为 } 315000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M86 \times 1.25 = M87 \\ 315000000 \times 1.25 = 393750000, \text{调整为 } 400000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M87 \times 1.25 = M88 \\ 400000000 \times 1.25 = 500000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M88 \times 1.25 = M89 \\ 500000000 \times 1.25 = 625000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M89 \times 1.25 = M90 \\ 625000000 \times 1.25 = 781250000, \text{调整为 } 800000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M90 \times 1.25 = M91 \\ 800000000 \times 1.25 = 1000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M91 \times 1.25 = M92 \\ 1000000000 \times 1.25 = 1250000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M92 \times 1.25 = M93 \\ 1250000000 \times 1.25 = 1562500000, \text{调整为 } 1600000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M93 \times 1.25 = M94 \\ 1600000000 \times 1.25 = 2000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M94 \times 1.25 = M95 \\ 2000000000 \times 1.25 = 2500000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M95 \times 1.25 = M96 \\ 2500000000 \times 1.25 = 3125000000, \text{调整为 } 3150000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M96 \times 1.25 = M97 \\ 3150000000 \times 1.25 = 3937500000, \text{调整为 } 4000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M97 \times 1.25 = M98 \\ 4000000000 \times 1.25 = 5000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M98 \times 1.25 = M99 \\ 5000000000 \times 1.25 = 6250000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M99 \times 1.25 = M100 \\ 6250000000 \times 1.25 = 7812500000, \text{调整为 } 8000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M100 \times 1.25 = M101 \\ 8000000000 \times 1.25 = 10000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M101 \times 1.25 = M102 \\ 10000000000 \times 1.25 = 12500000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M102 \times 1.25 = M103 \\ 12500000000 \times 1.25 = 15625000000, \text{调整为 } 16000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M103 \times 1.25 = M104 \\ 16000000000 \times 1.25 = 20000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M104 \times 1.25 = M105 \\ 20000000000 \times 1.25 = 25000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M105 \times 1.25 = M106 \\ 25000000000 \times 1.25 = 31250000000, \text{调整为 } 31500000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M106 \times 1.25 = M107 \\ 31500000000 \times 1.25 = 39375000000, \text{调整为 } 40000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M107 \times 1.25 = M108 \\ 40000000000 \times 1.25 = 50000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M108 \times 1.25 = M109 \\ 50000000000 \times 1.25 = 62500000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M109 \times 1.25 = M110 \\ 62500000000 \times 1.25 = 78125000000, \text{调整为 } 80000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M110 \times 1.25 = M111 \\ 80000000000 \times 1.25 = 100000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M111 \times 1.25 = M112 \\ 100000000000 \times 1.25 = 125000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M112 \times 1.25 = M113 \\ 125000000000 \times 1.25 = 156250000000, \text{调整为 } 160000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M113 \times 1.25 = M114 \\ 160000000000 \times 1.25 = 200000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M114 \times 1.25 = M115 \\ 200000000000 \times 1.25 = 250000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M115 \times 1.25 = M116 \\ 250000000000 \times 1.25 = 312500000000, \text{调整为 } 315000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M116 \times 1.25 = M117 \\ 315000000000 \times 1.25 = 393750000000, \text{调整为 } 400000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M117 \times 1.25 = M118 \\ 400000000000 \times 1.25 = 500000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M118 \times 1.25 = M119 \\ 500000000000 \times 1.25 = 625000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M119 \times 1.25 = M120 \\ 625000000000 \times 1.25 = 781250000000, \text{调整为 } 800000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M120 \times 1.25 = M121 \\ 800000000000 \times 1.25 = 1000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M121 \times 1.25 = M122 \\ 1000000000000 \times 1.25 = 1250000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M122 \times 1.25 = M123 \\ 1250000000000 \times 1.25 = 1562500000000, \text{调整为 } 1600000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M123 \times 1.25 = M124 \\ 1600000000000 \times 1.25 = 2000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M124 \times 1.25 = M125 \\ 2000000000000 \times 1.25 = 2500000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M125 \times 1.25 = M126 \\ 2500000000000 \times 1.25 = 3125000000000, \text{调整为 } 3150000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M126 \times 1.25 = M127 \\ 3150000000000 \times 1.25 = 3937500000000, \text{调整为 } 4000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M127 \times 1.25 = M128 \\ 4000000000000 \times 1.25 = 5000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M128 \times 1.25 = M129 \\ 5000000000000 \times 1.25 = 6250000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M129 \times 1.25 = M130 \\ 6250000000000 \times 1.25 = 7812500000000, \text{调整为 } 8000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M130 \times 1.25 = M131 \\ 8000000000000 \times 1.25 = 10000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M131 \times 1.25 = M132 \\ 10000000000000 \times 1.25 = 12500000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M132 \times 1.25 = M133 \\ 12500000000000 \times 1.25 = 15625000000000, \text{调整为 } 16000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M133 \times 1.25 = M134 \\ 16000000000000 \times 1.25 = 20000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M134 \times 1.25 = M135 \\ 20000000000000 \times 1.25 = 25000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M135 \times 1.25 = M136 \\ 25000000000000 \times 1.25 = 31250000000000, \text{调整为 } 31500000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M136 \times 1.25 = M137 \\ 31500000000000 \times 1.25 = 39375000000000, \text{调整为 } 40000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M137 \times 1.25 = M138 \\ 40000000000000 \times 1.25 = 50000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M138 \times 1.25 = M139 \\ 50000000000000 \times 1.25 = 62500000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M139 \times 1.25 = M140 \\ 62500000000000 \times 1.25 = 78125000000000, \text{调整为 } 80000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M140 \times 1.25 = M141 \\ 80000000000000 \times 1.25 = 100000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M141 \times 1.25 = M142 \\ 100000000000000 \times 1.25 = 125000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M142 \times 1.25 = M143 \\ 125000000000000 \times 1.25 = 156250000000000, \text{调整为 } 160000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M143 \times 1.25 = M144 \\ 160000000000000 \times 1.25 = 200000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M144 \times 1.25 = M145 \\ 200000000000000 \times 1.25 = 250000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M145 \times 1.25 = M146 \\ 250000000000000 \times 1.25 = 312500000000000, \text{调整为 } 315000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M146 \times 1.25 = M147 \\ 315000000000000 \times 1.25 = 393750000000000, \text{调整为 } 400000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M147 \times 1.25 = M148 \\ 400000000000000 \times 1.25 = 500000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M148 \times 1.25 = M149 \\ 500000000000000 \times 1.25 = 625000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M149 \times 1.25 = M150 \\ 625000000000000 \times 1.25 = 781250000000000, \text{调整为 } 800000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M150 \times 1.25 = M151 \\ 800000000000000 \times 1.25 = 1000000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M151 \times 1.25 = M152 \\ 1000000000000000 \times 1.25 = 1250000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M152 \times 1.25 = M153 \\ 1250000000000000 \times 1.25 = 1562500000000000, \text{调整为 } 1600000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M153 \times 1.25 = M154 \\ 1600000000000000 \times 1.25 = 2000000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M154 \times 1.25 = M155 \\ 2000000000000000 \times 1.25 = 2500000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M155 \times 1.25 = M156 \\ 2500000000000000 \times 1.25 = 3125000000000000, \text{调整为 } 3150000000000000 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} M156 \times 1.25 = M157 \\ 31500000000$$

课题二 测量技术及量具的使用

2.1 概 述

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

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、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。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。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,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), $1\text{mm}=0.001\text{m}$ 。精密测量时,多采用微米(μm)为单位, $1\mu\text{m}=0.001\text{mm}$ 。超精密测量时,则用纳米(nm)为单位, $1\text{nm}=0.001\mu\text{m}$ 。

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:米是光在真空中 299792458^{-1}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,必须将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最高基准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。

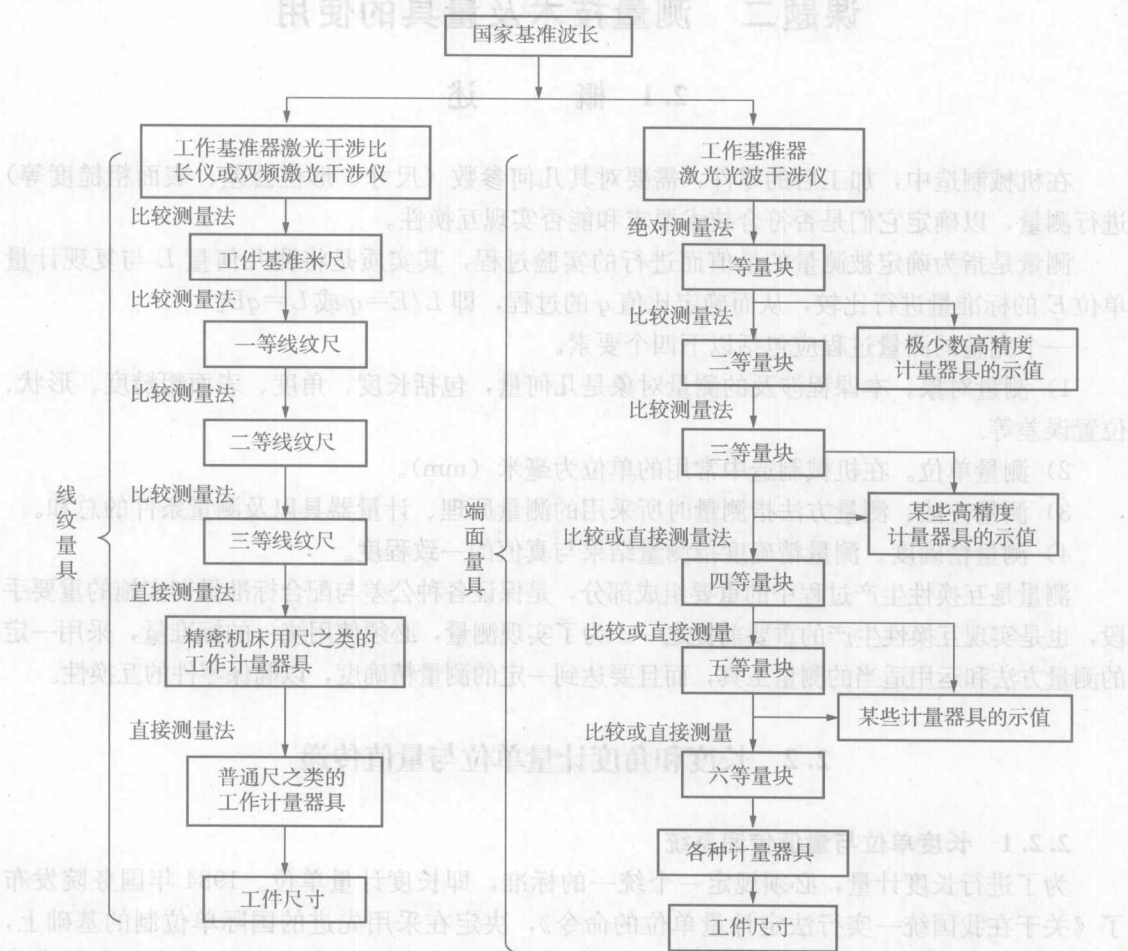


图 2-1 长度量值传递系统

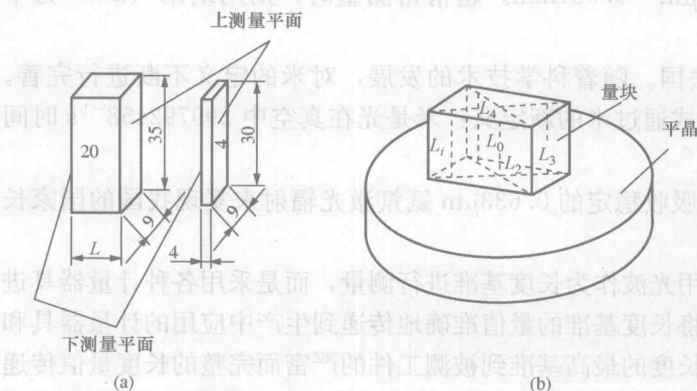


图 2-2 量块

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、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。

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 GB/T 6093—2001 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，使用方便。

表 2-1 成套量块的尺寸（摘自 GB/T 6093—2001）

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
			10, 20, ..., 100	10	10
2	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

注 带括号的等级，根据订货供应。

国家计量局标准 JJG 146—2003《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，常用几个量块组合成所需要的尺寸，如图 2-2 (a) 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：

$$\begin{array}{rcl}
 33.625 & \cdots \cdots \cdots & \text{量块组合尺寸} \\
 - 1.005 & \cdots \cdots \cdots & \text{第一块量块尺寸} \\
 \hline
 32.62 & & \\
 - 1.02 & \cdots \cdots \cdots & \text{第二块量块尺寸} \\
 \hline
 31.6 & & \\
 - 1.6 & \cdots \cdots \cdots & \text{第三块量块尺寸} \\
 \hline
 30 & \cdots \cdots \cdots & \text{第四块量块尺寸}
 \end{array}$$

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，还可

以用于精密划线和精密调整机床。

2.2.3 角度单位与量值传递系统

角度是机械制造中重要的几何参数之一。

我国法定计量单位规定平面角的角度单位为弧度 (rad) 及度 ($^{\circ}$)、分 ($'$)、秒 ($''$)。

1rad 是指在一个圆的圆周上截取弧长与该圆的半径相等时所对应的中心平面角。 $1^{\circ} = (\pi/180)\text{rad}$ 。度、分、秒的关系采用 60 进制制, 即 $1^{\circ} = 60'$, $1' = 60''$ 。

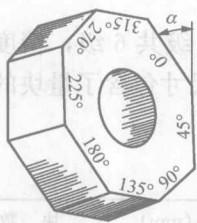


图 2-3 正八面棱体

由于任何一个圆周均可形成封闭的 $360^{\circ}(2\pi\text{rad})$ 中心平面角, 因此, 角度不需要和长度一样再建立一个自然基准。但在计量部门, 为便于工作, 在高精度的分度中, 仍常以多面棱体作为角度基准来建立角度传递系统。

多面棱体是用特殊合金或石英玻璃精细加工而成。常见的有 4、6、8、12、24、36、72 等正多面棱体。图 2-3 所示为正八面棱体, 在任意轴切面上, 相邻两面法线间的夹角为 45° 。它可作为 $n \times 45^{\circ}$ 角度的测量基准, 其中 $n=1, 2, 3, \dots$ 。

以多面棱体为基准的角度传递系统如图 2-4 所示。

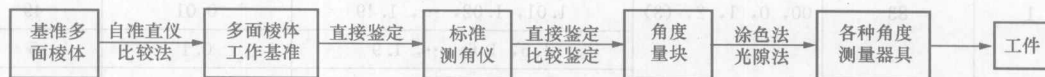


图 2-4 角度量值传递系统

2.2.4 角度量块

在角度量值传递系统中, 角度量块是量值传递媒介, 它的性能与长度量块类似。角度量块用于检定和调整普通精度的测角仪器, 校正角度样板, 也可直接用于检验工件。

角度量块有三角形和四边形两种, 如图 2-5 所示。三角形角度量块只有一个工作角, 角度值在 $10^{\circ} \sim 79^{\circ}$ 范围内。四边形角度量块有四个工作角, 角度值在 $80^{\circ} \sim 100^{\circ}$ 范围内, 并且短边相邻的两个工作角之和为 180° , 即 $\alpha + \delta = \beta + \gamma$ 。

同成套的长度量块一样, 角度量块也由若干块组成一套, 以满足测量不同角度的需要。角度量块可以单独使用, 也可以在 $10^{\circ} \sim 350^{\circ}$ 范围内组合使用。

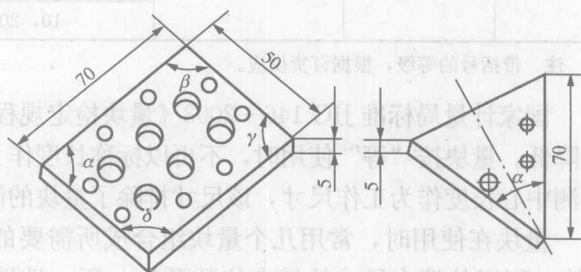


图 2-5 角度量块

2.3 计量器具与测量方法

2.3.1 计量器具的分类

计量器具可按用途、结构和工作原理分类。

(1) 按用途分类

1) 标准计量器具。标准计量器具是指测量时体现标准量的测量器具, 通常用来校对和调整其他计量器具, 或作为标准几何量与被测几何量进行比较。如量块、多面棱体等。

2) 通用计量器具。通用计量器具指通用性大、可用来测量某一范围内各种尺寸(或其他几何量),并能获得具体读数值计量器具。如千分尺、千分表、测长仪等。

3) 专用计量器具。专用计量器具是指用于专门测量某种或某个特定几何量的计量器具。如量规、圆度仪、基节仪等。

(2) 按结构和工作原理分类

1) 机械式计量器具。机械式计量器具是指通过机械结构实现对被测量的感受、传递和放大的计量器具。如机械式比较仪、百分表、扭簧比较仪等。

2) 光学式计量器具。光学式计量器具是指用光学方法实现对被测量的转换和放大的计量器具。如光学比较仪、投影仪、自准直仪、工具显微镜等。

3) 气动式计量器具。气动式计量器具是指靠压缩空气通过气动系统的状态(流量或压力)变化来实现对被测量转换的计量器具。如水柱式、浮标式气动量仪等。

4) 电动式计量器具。电动式计量器具是指将被测量通过传感器转变为电量,再经变换而获得读数的计量器具。如电动轮廓仪、电感测微仪等。

5) 光电式计量器具。光电式计量器具是指利用光学方法放大或瞄准,通过光电元件再转换为电量进行检测,以实现几何量测量的计量器具。如光电显微镜、光电测长仪等。

2.3.2 计量器具的基本度量指标

度量指标是用来说明计量器具的性能和功用的,它是选择和使用计量器具、研究和判断测量方法正确性的依据。基本度量指标如下所述。

1) 分度值(刻度值)。分度值是指在测量器具的标尺或刻度盘上,相邻两刻线间所代表被测量的量值,如千分表的分度值为0.001mm,百分表的分度值为0.01mm。对于数显式仪器,其分度值称为分辨率。一般而言,分度值越小,计量器具的精度越高。

2) 刻度间距。刻度间距是指计量器具的刻度尺或刻度盘上相邻两刻度线中心之间的距离。为便于目视估计,一般刻度间距为1~2.5mm。

3) 示值范围。示值范围是指计量器具所显示或指示的最小值到最大值的范围。如光学比较仪的示值范围为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

4) 测量范围。测量范围是指计量器具所能测量零件的最小值到最大值的范围。如某一千分尺的测量范围为75~100mm,光学比较仪的测量范围为0~180mm。

5) 灵敏度。灵敏度是指计量器具对被测量变化的反应能力。若被测量变化为 ΔL ,计量器具上相应变化为 ΔX ,则灵敏度为

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

当 ΔX 和 ΔL 为同一类量时,灵敏度又称放大比,其值为常数。放大比 K 可表示为

$$K = \frac{c}{i} \quad (2-2)$$

式中 c ——计量器具的刻度间距;

i ——计量器具的分度值。

6) 测量力。测量力是指计量器具的测头与被测表面之间的接触力。在接触测量中,要求要有一定的恒定测量力。测量力太大会使零件或测头产生变形,测量力不恒定会使示值不稳定。