

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



HUHUANXING
YU CELIANG JISHU

互换性 与测量技术

齐新丹 主 编
李 骅 副主编
郑凤琴 主 审



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
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



HUHUANXING
YU CELIANG JISHU

互换性 与测量技术

主 编 齐新丹
副主编 李 骅
编 写 张维强 钟贤栋
陈国荣 奚天鹏
主 审 郑凤琴



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本书系统地介绍了机械几何量的精度设计以及常用的检测原理。全书共 12 章,包括绪论、测量技术基础、尺寸精度设计与检测、几何公差(即形位公差)与检测、表面粗糙度与检测、滚动轴承与孔轴结合的互换性、键结合的互换性与检测、圆锥结合的互换性与检测、螺纹公差与检测、圆柱齿轮公差与检测、尺寸链、GPS 标准与计量体系等内容。本书采用 2008 年最新颁布的国家标准,侧重讲述概念和标准的应用;在测量部分重点阐述与测量有关的基本概念、典型仪器的测量原理与方法;对新标准进行了详细诠释。

本书可作为高等工科院校机械类专业的本科教材,也可供其他院校相关专业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/齐新丹主编. —北京:中国电力出版社, 2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8028-5

I. 互… II. 齐… III. ①零部件-互换性-高等学校-教材②零部件-测量-技术-高等学校-教材 IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 157574 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 11 月第一版 2008 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 379 千字

定价 25.20 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”是高等院校机械类各专业的重要技术基础课。包含几何量精度设计与误差检验两方面的内容,把标准化和计量学两个领域的内容有机地结合在一起,涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产管理等诸多领域,是机械工程技术人员必备的一门综合应用技术基础学科。

在机械产品的精度设计和制造过程中,正确地应用相关的国家标准和设计原则来进行机械产品的精度设计,运用现代和常规的检测技术手段来保证机械零件加工质量,对于提高工程领域科技人才的素质,贯彻面向现代化建设、面向世界、面向未来的战略方针,具有十分重要的作用。

本教材是根据全国高校机械专业教学指导委员会的教学大纲,吸取了各高校多年的教学经验和成果编写而成。本书总结了现有教材中存在的不足;根据2008年颁布的最新国家标准和国际标准,对部分内容进行了更新,力求做到紧跟科技前沿,为工程教学与实践提供最大的支持。

由于近年来各高校教学计划的调整 and 教学大纲的差异,本书按48学时编写,以扩大应用面,使用时可以根据实际情况来取舍。

全书共12章,包括绪论、测量技术基础、尺寸精度设计与检测、几何公差(即形位公差)与检测、表面粗糙度与检测、滚动轴承与孔轴结合的互换性、键结合的互换性与检测、圆锥结合的互换性与检测、螺纹公差与检测、圆柱齿轮公差与检测、尺寸链、产品几何技术规范(GPS)等内容,对2008年最新修订的国家标准进行了诠释。

本书由南京工业大学齐新丹主编,南京农业大学李骅任副主编。具体编写分工如下:前言、第1章~第4章、第10章~第12章由南京工业大学齐新丹编写;第5章由南京农业大学张维强编写;第6章和第9章由南京农业大学李骅编写;第7章由南京工业大学陈国荣编写;第8章由广东茂名学院钟贤栋编写。全书插图由齐新丹、奚天鹏绘制。

本书由南京工业大学郑凤琴主审,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

本书提供电子课件,需要者请与齐新丹(xindanqi@163.com)联系。

由于编者水平所限,书中疏漏和不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者

2008年8月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 互换性	1
1.3 标准化	2
1.4 优先数和优先数系	4
习题	6
第2章 测量技术基础	7
2.1 概述	7
2.2 测量方法	12
2.3 计量器具	15
2.4 测量误差与数据处理	20
2.5 三坐标测量机	26
习题	32
第3章 尺寸精度设计与检测	33
3.1 概述	33
3.2 基本术语	33
3.3 尺寸公差带标准化	39
3.4 尺寸精度设计	52
3.5 零件尺寸的检测	67
3.6 光滑极限量规设计	70
习题	73
第4章 几何公差与检测	75
4.1 概述	75
4.2 基本概念	75
4.3 形状公差与误差	81
4.4 基准	85
4.5 方向与位置公差及误差	87
4.6 几何公差与尺寸公差的关系	97
4.7 几何公差的选择	110
4.8 几何误差的检测原则	116
习题	117
第5章 表面粗糙度与检测	121
5.1 概述	121

5.2	表面粗糙度的评定	121
5.3	表面粗糙度的选用与标注	124
5.4	表面粗糙度的检测	129
	习题	129
第 6 章	滚动轴承与孔轴结合的互换性	130
6.1	滚动轴承的精度等级及其应用	130
6.2	滚动轴承与轴、外壳孔的配合	131
	习题	137
第 7 章	键结合的互换性与检测	138
7.1	概述	138
7.2	平键结合的互换性及检测	138
7.3	矩形花键结合的互换性及检测	142
	习题	148
第 8 章	圆锥结合的互换性与检测	149
8.1	概述	149
8.2	圆锥各参数误差对互换性的影响	152
8.3	圆锥公差与配合	153
8.4	锥度的检测	158
	习题	160
第 9 章	螺纹公差与检测	161
9.1	概述	161
9.2	普通螺纹的基本牙型和主要参数	161
9.3	螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响	163
9.4	螺纹中径与合格条件	164
9.5	普通螺纹的公差与配合	165
9.6	机床丝杠、螺母公差	169
9.7	螺纹的测量	174
	习题	176
第 10 章	圆柱齿轮传动公差与检测	177
10.1	概述	177
10.2	单个齿轮的误差项目与检测	179
10.3	齿轮副的误差项目与检测	190
10.4	渐开线圆柱齿轮的精度标准及其应用	193
	习题	207
第 11 章	尺寸链	209
11.1	概述	209
11.2	尺寸链的确定与计算	211
11.3	用完全互换法(极值法)解尺寸链	212
11.4	用大数互换法(概率法)解尺寸链	217

11.5 保证装配精度的其他尺寸链解法	219
习题	221
第 12 章 产品几何技术规范 (GPS)	223
12.1 概述	223
12.2 新一代 GPS 体系	223
12.3 质量管理体系	238
参考文献	242

第1章 绪 论

1.1 概 述

现代社会生产活动是建立在先进技术装备、严密分工、广泛协作基础上的社会化大生产。产品的互换性生产,无论从深度或广度上,都已进入新的发展阶段,远超出了机械工业的范畴,已扩大到国民经济各个行业和领域。互换性原则已成为机械工业和其他行业生产的基本技术经济原则。

标准化是实现互换性生产的前提,技术检测是实现互换性生产必不可少的技术保证。因此,标准化、技术检测和互换性三者形成了一个有机的整体。质量管理体系则是提高产品质量的可靠保证和坚实基础。

1.2 互 换 性

1.2.1 互换性的定义

在机械工业中,互换性是产品设计最基本的原则。互换性是指在同一规格的一批零部件中具有互相代换的性能。也就是说,按同一规格产品图样要求,在不同时空条件下制造出来的一批零部件,在总装时,任取一个合格品,就能完好地装在机器上,并能达到预期的使用功能要求。这样的零部件,就称为具有互换性的零部件。

1.2.2 互换性的分类

互换性可以按不同的方法分类。

按互换参数范围,可分为几何参数互换性和功能互换性。几何参数互换性着重于保证产品尺寸配合式装配要求的互换性,为狭义互换性;功能互换性着重于保证除几何参数外的其他功能参数(如物理、化学参数)的互换性要求,为广义互换性。

按互换程度,可分为完全互换和不完全互换。

若零部件在装配或互换时,无需辅助加工或修配,也不必挑选,就能完好地安装在机器上,并能达到预定的使用功能要求,这样的零部件便具有完全互换性。例如,常用的标准连接件和紧固件、各类滚动轴承等,都具有完全互换性。但是,装配精度要求很高时,若采用完全互换,则会使零件的加工难度和成本大大提高,甚至无法加工。因此,在产品设计和制造时,往往将零件加工要求适当放宽;而在装配时,则按实际尺寸分组(如大孔配大轴)装配。这样,既能保证装配精度和预定的使用功能要求,又能解决工艺困难、降低成本。这时,同一组内的零件间可以互换,但组间的零件不能互换,因此称为不完全互换。不完全互换除分组互换法外,工程上还有修配法、调整法等。一般而言,装配时需要挑选或调整的零件,多属于不完全互换零件;需要附加修配的零件,则为不具有互换性的零件。不完全互换一般只限于制造厂内部的装配,厂外协作件一般要求满足完全互换性条件。

采用完全互换或不完全互换,是设计者根据产品精度、生产批量、生产技术装备等多种因素决定的。

1.2.3 互换性的意义

互换性原则的普及和深化对我国现代化建设具有重大意义。特别是在机械行业中,遵循互换性原则不仅能大大提高劳动生产率,而且能促进技术进步、显著提高经济效益和社会效益。主要表现在以下几个方面。

1) 在设备使用时,容易保证其运转的连续性和持久性,从而提高设备的使用价值。若机械设备上的零部件具有互换性,一旦某一零部件损坏,就可以方便地用另一个新备件替换,保证连续运转。在某些情况下,互换性所起的作用难以用经济价值衡量。例如,在电厂设备、消防设备、军用设备等影响范围广的设备中,必须采用具有互换性的零部件,以保证机械设备连续持久运转。

2) 在制造时,同一台设备的各个零部件可以分散到多个工厂同时加工。这样,每个工厂由于产品单一,批量较大,有利于采用高效率的专用设备或采用计算机辅助制造,容易实现优质、高产、低耗,生产周期也会显著缩短。

3) 产品装配时,由于其零部件具有互换性,能够使装配作业顺利,易于实现流水作业或自动化装配,从而缩短装配周期,提高装配作业质量。

4) 在产品设计时,由于尽量多地采用具有互换性的标准零部件,乃至大的总成,将大幅简化绘图、计算等设计工作量,也便于采用计算机辅助设计,缩短设计周期。

5) 在机械设备的管理上,无论是技术和物资供应,还是计划管理,零部件的互换性将有利于实现科学化管理。

总之,互换性原则可以为产品的设计、制造、维护、使用及组织管理等各个领域带来巨大的经济效益和社会效益,而生产水平的提高、技术的进步又可促进互换性原则在深度和广度上的进一步发展。

1.3 标 准 化

1.3.1 标准化的意义

为了组织专业化协作生产,各生产部门之间、各生产环节之间必须保持协调一致,保持必要的技术统一,成为一个有机的整体,有节奏地组织互换性生产。实现这种有机的统一和联系是以标准化作为主要途径和手段的。因此,标准化是实现互换性生产的基础。

标准化也是科学管理的重要组成部分,是组织现代化生产的重要手段,是发展贸易、提高产品在国际市场上的竞争能力的技术保证。现代化程度越高,对标准化的要求也越高。

综上所述,根据标准化对象的不同,可以把一个标准划归不同的类别。它们之间相互关联,互为补充。

标准化是以技术标准来体现的。技术标准(简称标准)是指在经济、技术、科学、管理等社会实践中,对重复性的事物和概念在一定范围内通过科学简化、优选和协调,经一定程序审批后所颁发的统一规定。标准是特定形式的技术法规,是评定产品质量的技术依据。标准是标准化活动的成果,是实现互换性生产的前提。

标准化是指制订(修订)、贯彻标准而使事物获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。

标准化是实现专业化生产的前提和基础,是组织现代化大生产、提高生产效率和效益的重要手段。标准化能够推动人类的进步和科学技术的发展。

1.3.2 标准的分类

标准可以按不同的方法分类。

标准按照其性质,可分为技术标准、工作标准和管理标准。技术标准是指根据生产技术的经验和总结,作为技术上共同遵守的法规而制订的各项标准。工作标准是指对工作范围、构成、程序、要求、效果、检查方法等所作的规定。管理标准是指对标准化领域中需要协调、统一和管理所制订的标准。

技术标准按照标准化对象的特征,可分为以下几类。

1) 基础标准。以标准化共性要求和前提条件为对象的标准称为基础标准,它是为了保证产品的结构、功能和制造质量而制订的,一般工程技术人员必须采用的通用性标准,也是制订其他标准时可依据的标准。计量单位、术语、概念、符号、数系、制图、技术通则标准以及公差与配合标准等,均属基础标准范畴。这类标准是产品设计和制造中必须采用的技术数据和工程语言,也是精度设计和检测的依据。国际标准化组织(ISO)和各国标准化机构都十分重视基础标准的制订工作。

2) 产品标准。产品标准是指为保证产品的适用性而对产品必须达到的某些或全部要求所制订的标准。其主要内容有产品的适用范围、技术要求、主要性能、验收规则及产品的包装、运输、储存方面的要求等。

3) 方法标准。方法标准是指以试验、检查、分析、抽样、统计、计算、测定、作业等各种方法为对象而制订的标准。如与产品质量鉴定有关的方法标准、作业方法标准、管理方法标准等。

4) 安全、卫生与环境保护标准。为保护人和物的安全而制订的标准称为安全标准;为保护人的健康而对食品、医药及其他方面卫生要求而制订的标准称为卫生标准;为保护人身健康、保护社会物质财富、保护环境和维持生态平衡而对大气、水、土壤、噪声、振动等环境质量、污染源、监测方法或满足其他环境保护方面所制订的标准称为环境保护标准。

标准的分类如图1-1所示。



图 1-1 标准的分类

1.3.3 标准的分级

我国标准分为国家标准、专业标准（行业标准）和企业标准。

国家标准是指对全国经济、技术发展有重大意义，必须在全国范围内统一执行的标准。国家标准的编号由国家标准的代号、发布的顺序号、发布年代号组成，其代号有以下三种：GB 表示强制性国家标准，GB/T 表示推荐性国家标准，GB/* 表示降为行业标准而尚未转化的原国家标准。例如 GB/T 1800.2—1998，其中 GB/T 为推荐性国家标准的代号，1800.2 为标准发布的顺序号，1998 为发布年代。

行业标准是指没有国家标准而又需要在全国某行业范围内统一执行的标准，也称为专业标准。例如，机械工业标准（代号为 JB）、建设工业机械标准（代号为 JJB）等。

企业标准是指没有国家标准和行业标准而由企业制订的标准。有的企业为了提高产品质量，强化竞争能力，制订出高于专业标准和国家标准的内控标准。企业标准有以下两种类型：一种是国家大型企业标准，编号由 Q/企业区分号、顺序号、年代号组成；另一种是地方企业标准，编号由各省（自治区、直辖市）简称汉字、Q/企业区分号、序号、年代号组成。

在国际上，由国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）、国际电信联盟（ITU）等国际组织负责制订和颁布国际标准。ISO 的工作领域主要是信息技术、质量管理、环境管理、职业安全和卫生、与世界贸易组织的合作等方面的标准化，我国于 1978 年加入 ISO 组织。IEC 的工作领域包括电工和电子技术的标准化，该组织已并入 ISO 组织，但单独开展工作，我国于 1957 年加入 IEC 组织。ITU 是世界各国政府的电信主管部门之间协调电信事务的一个国际组织，其主要工作领域是电信和无线电通信技术的标准化。此外，还有区域标准，是指世界某区域标准化团体颁布的标准或采用的技术规范，如欧洲标准化委员会（EN）、经互会标准化常设委员会（DB）所颁布的区域标准。

国家标准、行业标准和企业标准属于强制性标准，各行各业都应严格遵守，而国际标准属于推荐和指导性标准。

我国是 ISO 的成员国，为了促进国际技术交流和贸易，提高产品质量，参照国际标准制订和修订我国的国家标准，是我国重要的技术政策，从而为加快我国工业进步奠定了基础。

1.4 优先数和优先数系

1.4.1 优先数和优先数系的概念

各种产品的功能参数和几何参数都要用数值来表述，而产品参数的数值具有扩散传播性。例如，在设计变速箱时，当功率和转速的数值确定后，不仅会传播到其本身的轴、轴承、键、齿轮等一系列零部件的尺寸和材料特性参数上去，而且必然会传播到加工和检测这些零部件的刀具、夹具、量具及专用机床的相应参数上去，也会传播到有关机器的参数上去。为了满足用户需要，产品规格当然多一些好，但即使规格参数间仅有很小的差别，经过反复扩散传播后，也会造成相关产品的规格参数繁多杂乱，给组织生产、协作配套、使用维修带来很大的困难和浪费，这是生产现实中存在的普遍现象。

优先数和优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值

标准。它同互换性原则相结合,构成了产品和零部件标准化的主要理论基础。该标准 GB/T 321—2005, 等同于国际标准 ISO 3—73。

1.4.2 优先数系

优先数系是一种十进制等比数列,以此作为标准数列,如: $\dots, 0.1, \dots, 1, 1.6, 2.5, 4, 6.3, 10, 16, 25, 63, 100, \dots, 1000, \dots$ 。

所谓十进制,就是在数列的项值中包括有 10^n 和 $10^{1/n}$ 这些数值 (n 为整数)。把这些数值按 $0.01 \sim 0.1, 0.1 \sim 1, 1 \sim 10, 10 \sim 100, \dots$, 划分区间,称为十进段,每一段内的项数都是(相等的) m 项。设首项为 a , 公比为 q , 则十进制几何数列的形式为: $a, aq, aq^2, aq^3, \dots, aq^m$, 且 $aq^m = 10a$, 所以公比 $q = \sqrt[m]{10}$ 。

此外,工程上某些产品参数的数值有倍增的要求,因此又规定在十进几何数列中每隔 x 项可构成倍数系列,即同时满足以下两式:

$$aq^m = 10a \quad (1-1)$$

$$aq^x = 2a \quad (1-2)$$

联立式 (1-1) 和式 (1-2), 取对数, 得

$$\frac{x}{m} = \lg 2 \approx \frac{3}{10} \left(= \frac{6}{20} = \frac{12}{40} = \frac{24}{80} = \dots \right)$$

如取组合, 则 $m=10$, 以首项为 1, $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$ 构成系列: 1.00, 1.25, 1.60, 2.00, 2.50, 3.15, 4.00, 5.00, 6.30, 8.00, 10.00, $\dots$, 而 $x=3$, 即其中每隔 3 项构成倍数系列为: 1, 2, 4, 8, $\dots$ 。

我国优先数系标准 (GB/T 321—2005) 与国际标准 ISO 3—73 相同, 规定 m 值为 5、10、20、40 和 80 五种, 分别用 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示, 其中 R5 为不包含倍数系列的数列。R5、R10、R20、R40、R80 五种优先数系的公比 q_5 、 q_{10} 、 q_{20} 、 q_{40} 、 q_{80} 分别为

$$q_5 = \sqrt[5]{10} = 1.585 \approx 1.60$$

$$q_{10} = \sqrt[10]{10} = 1.259 \approx 1.25$$

$$q_{20} = \sqrt[20]{10} = 1.122 \approx 1.12$$

$$q_{40} = \sqrt[40]{10} = 1.059 \approx 1.06$$

$$q_{80} = \sqrt[80]{10} = 1.029 \approx 1.03$$

R5、R10、R20、R40 系列为基本系列 (见表 1-1)。R80 系列为补充系列, 是最密的数系, 一般不常用。

表 1-1

优先数的基本系列 (摘自 GB/T 321—2005)

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
1.00	1.00	1.00	1.00	1.60			1.50			2.24	2.24
			1.06		1.60	1.60	1.60				2.36
		1.12	1.12				1.70	2.50	2.50	2.50	2.50
			1.18			1.80	1.80				2.65
	1.25	1.25	1.25				1.90			2.80	2.80
			1.32		2.20	2.20	2.20				3.00
		1.40	1.40				2.12		3.15	3.15	3.15

续表

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
4.00	4.00	3.55	3.35	6.30	6.30	5.00	5.00	10.00	10.00	8.00	7.50
			3.55				5.30				8.00
			3.75				5.60				8.50
			4.00				6.00				9.00
		4.50	4.25			7.10	6.30			10.00	9.50
			4.50				6.70				10.00
			4.75				7.10				

1.4.3 优先数

优先数系中的每一个数值称为优先数。优先数的理论值是无理数，在实践中不应用。表 1-1 中所列的计算值（5 位有效数）是作为工程上精确计算之用。优先数是指表列的常用值，它是对计算值修约成的 3 位有效数。

优先数系主要特性如下所述。

- 1) 同一系列中，任意相邻两项常用值的相对差近似相等；任意两项之积和商仍为优先数；任意一项的整数乘方、开方仍为优先数；优先数的对数排列为等差级数。
 - 2) 各系列之间依次相含。例如，从 R10 系列中隔项取值便是 R5 系列，R5、R10、R20……依次由疏到密。
 - 3) 当有特殊需要时还可采用派生系列。在基本系列中，依次每隔 2、3、4、……，等项数选取优先数值，便可导出派生系列。例如，在 R5 系列中每隔一项选取一项，则得到 R5/2 系列。
 - 4) 在基本系列和补充系列中的项值，可按十进法向两端延伸。
- 优先数系为数值的简化、统一和协调提供了理论基础。因此，在设计任何产品时，对主要参数和尺寸应注意采用优先数。

习 题

- 1-1 什么叫互换性？按互换性原则组织生产活动有哪些优越性？
- 1-2 完全互换性与不完全互换性有何区别？各用于何种场合？
- 1-3 什么叫技术标准？什么叫标准化？
- 1-4 标准的种类和级别各有哪些？

第2章 测量技术基础

2.1 概 述

互换性的实现,除了合理规定各种几何参数的要求及公差外,在加工和装配时,还必须判断零件质量是否合格,只有质量合格的零件才具有互换性。本课程中,涉及的是长度、角度、表面形状、位置、粗糙度等几何量的测量问题,习惯上称为测量技术。

机械加工精度的提高与测量技术的发展密切相关。1940年,由于有了比较仪,使加工精度从过去的 $3\mu\text{m}$ 提高到 $1.5\mu\text{m}$;1950年,电学比较仪的出现使加工精度提高到 $0.2\mu\text{m}$;1960年,圆度仪的出现又使加工精度提高到 $0.1\mu\text{m}$;1969年,激光干涉仪的出现再次将加工精度提高到 $0.01\mu\text{m}$;1981年,苏黎世实验室发明了扫描隧道显微镜(STM),可以在表面形成 $5\sim 20\mu\text{m}$ 的线条;被誉为“测量中心”的三坐标测量机则集机械、光学、数控、计算机等各种技术于一体,成为现代工业测量中必不可少的精密量仪。

2.1.1 测量的基本概念

在实际工作中,人们经常会用到有关测量的名词,如测量、计量检验、测试等,它们既有相同的含义,但又有所区别,分别用于不同的场合。

(1) 测量

测量是指为确定被测对象的量值而进行的实验过程,其实质就是将被测量与作为单位的标准进行比较,从而确定二者比值的过程。这是应用最广泛的名词,其他名词则属于某一性质或范围内的测量。

一个完整的测量过程应包含以下4个要素。

- 1) 测量对象:主要指几何量,即长度、角度、表面形状和位置、表面粗糙度及螺纹、齿轮的各种参数。
- 2) 测量单位:在长度计量中单位为米(m),其他常用单位有毫米(mm)、微米(μm);角度单位是弧度(rad),实用中常以度($^{\circ}$)、分(')、秒(")为单位。
- 3) 测量方法:是指在测量时所采用的计量器具与测量条件的综合。
- 4) 测量准确度:是指测量结果与真值的一致程度。

对测量的基本要求:必须将测量误差控制在允许限度内,以保证测量准确度;同时要正确选择测量方法和计量器具,以保证所需的测量效率,做到经济合理。

(2) 计量

计量是研究测量、保证量值准确一致的一门科学,具有准确性、一致性、溯源性和法制性的特点。过去我国称为“度量衡”,其含义是关于长度、容积和重量的测量,主要器具是尺、斗、秤。随着科技的进步和生产的发展,计量的概念和内容在不断的变换和发展,BIPM、IEC、ISO、OIML四个有关计量的国际组织在编写的《国际通用计量学名词》中,简单地称计量学为“关于测量知识领域”的科学,可见计量学是关于测量理论与实践的一门技术基础科学,其研究对象主要包括:计量单位及其基准、标准的建立、保存

和使用,测量方法和计量器具,测量精度,观测者进行测量的能力及计量法制和管理等。

当前比较成熟和普通开展的计量技术领域有几何量(又称长度)、力学、热工、电磁、无线电、时间频率、声学、光学、化学、电离辐射等。

(3) 检验

检验是指判断被测物理量是否合格(在规定范围内)的过程,通常不一定要得到被测物理量的具体数值。检验包括测量、比较与判断3个过程。

(4) 测试

测试是指试验研究性质的测量,也可理解为试验和测量的全过程。

(5) 检定

检定是指为评定计量器具的计量性能(准确度、稳定度、灵敏度等)并确定其是否合格所进行的全部工作。检定的主要对象是计量器具。

(6) 比对

比对是指在规定的条件下对相同准确度等级的同类基准、标准或工作用计量器具之间的量值进行比较。比对一般是精确度相近的标准仪器间相互比较(如国际上各国基准器之间进行比对),其数据只能起到旁证与参考作用,不能起到量值传递作用,也不能对一台仪器做出合格与否的结论。

2.1.2 长度基准与量值传递

我国解放前的计量单位制有公制(米制)、英制、市制等。1984年国务院颁布《中华人民共和国法定计量单位》,确定米制为我国的基本计量制度,规定“米”(m)为长度的基本单位。

(1) “米”的定义

长度单位“米”已经历3次演变。1889年第1届国际计量大会根据31根基准尺与档案米尺的比较结果,确定其中的第6根尺(No.6)为国际米原器(即米的基准)。随着光波技术的发展,1960年第11届国际计量大会上将米的定义改为“米的长度等于 Kr^{86} 原子在真空中从能级 2P^{10} 至 5d^5 跃迁时辐射的谱线波长的 1650763.73 倍”,精度为 1×10^{-8} 。随着激光稳频技术的发展,1983年第17届国际计量大会通过了新的“米”定义,即“米是光在真空中 $1/299792458\text{s}$ 时间间隔内经过的距离”。

新的“米”定义既科学又简明,其特点是将定义本身与复现方法分开,并且以真空中光速为常值。也就是说,随着技术的发展,复现长度单位的方法可以不断改革,复现的准确度可以不断提高,而不受定义的限制。米定义咨询委员会(CCDM)推荐了五种激光稳频系统来复现米定义,不仅可以保证测量单位稳定、可靠和统一,而且使用方便,并提高了测量基准精度。我国使用碘吸收稳定的 $0.633\mu\text{m}$ 氦氖机关辐射作为波长标准来复现米定义,不确定度达 $\pm 1\times 10^{-9}$ 。

(2) 量值传递系统

用光波波长作为长度基准不便于在生产中直接使用,必须把复现的长度基准量值逐级准确的传递到生产中所使用的各种测量器具直至工件上去,即建立量值传递系统,才能保证量值的统一。

依据《中华人民共和国计量法》,各级计量行政部门负责监督量值传递工作的实

施。目前,我国长度量值传递的主要标准器具是量块和线纹尺,其中量块尺寸传递系统见图2-1。

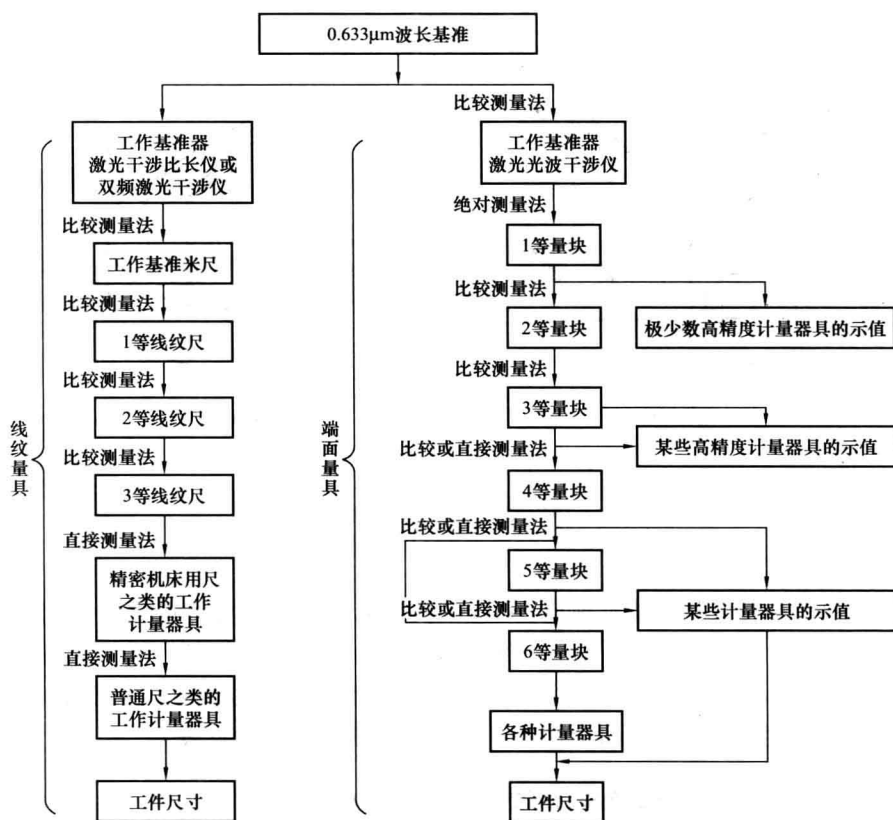


图2-1 长度量值传递系统

2.1.3 量块

量块又称块规,是由两个相互平行测量面之间的距离来确定其工作长度的高精度量具,在计量部门和机械制造中应用较广。它除了作为量值传递的媒介外,还可用于计量器具、夹具的调整及工件的测量、检验。

(1) 量块的材料、形状和尺寸

量块一般用铬锰钢或线膨胀系数小、材质稳定、耐磨、不易变形的材料制成,其参数有中心长度和标称长度、长度变动量。

标称长度是指刻印在量块上用以标明其与主单位米之间比值的量值,也称为量块长度的示值;中心长度是指量块一个测量面的中心点到另一个测量面之间的垂直距离;量块的长度是指量块一个测量面上任意一点到另一个测量面之间的垂直距离,量块测量面上最大和最小长度之差称为量块的长度变动量,一般测量面中心和四角(距两相邻侧面各为1.5mm)位置的长度,其中测得最大长度与最小长度之差的最大绝对值为量块的长度变动量。

量块一般是长方形六面体形状,如图2-2(a)所示。它有两个非常光、平面度很好的平行平面(测量面)。标称长度不小于10mm的量块,截面尺寸为30mm×9mm;标称长度

大于10~100mm的量块，截面尺寸为35mm×9mm；标称长度不大于5.5mm的量块，尺寸标注在测量面上；标称尺寸大于5.5mm的量块，尺寸字刻在左侧面上，如图2-2（b）所示。

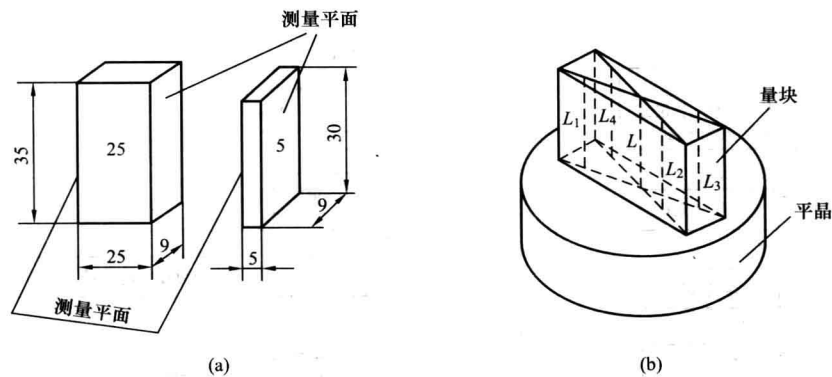


图 2-2 量块及其中心长度
(a) 量块；(b) 中心长度

(2) 量块的精度

GB/T 6093—2001《几何技术规范（GPS）长度标准 量块》将量块按照制造精度从高到低分为5级，即00级、0级、1级、2级、3级，00级最高，3级最低。此外，还规定了一个校准级，即K级。分级的主要依据是量块的中心长度的极限偏差、长度变动量允许值、量块测量面的平面度、粗糙度、研合性等。各级量块的精度指标见表2-1。

表 2-1 各级量块的精度指标 (GB/T 6093—2001) mm

标称长度 (mm)	00		0级		K级		1级		2级		3级	
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
~10	0.06	0.05	0.12	0.10	0.20	0.05	0.20	0.16	0.45	0.30	1.0	0.50
>10~25	0.07	0.05	0.14	0.10	0.30	0.05	0.30	0.16	0.6	0.3	1.2	0.50
>25~50	0.10	0.06	0.20	0.10	0.40	0.06	0.40	0.18	0.80	0.30	1.6	0.55
>50~75	0.12	0.06	0.25	0.12	0.50	0.06	0.50	0.18	1.00	0.35	2.0	0.55
>75~100	0.14	0.07	0.30	0.12	0.60	0.07	0.60	0.20	1.20	0.35	2.5	0.60
>100~150	0.20	0.08	0.40	0.14	0.80	0.08	0.80	0.20	1.60	0.40	3.0	0.65
>150~200	0.25	0.09	0.50	0.16	1.00	0.09	1.00	0.25	2.00	0.40	4.0	0.70
>200~250	0.30	0.10	0.60	0.16	1.20	0.10	1.20	0.25	2.40	0.45	3.0	0.75

① 量块长度的极限偏差（±）；
② 长度变动量允许值。

国家计量局标准 GB/T 6093—2001《量块检定规程》将量块按检定精度从高到低分为6等，即1等、2等、3等、4等、5等、6等，1等最高，6等最低。分等的主要依据是量块中心长度测量的测量极限误差和平面平行性极限偏差。各等量块的精度指标见表2-2。