

新世纪高校机电类规划教材

互换性与技术测量

主 编 韩进宏
副主编 迟彦孝 崔焕勇 谭俊哲
参 编 李东兴 赵海霞 杨丽颖
董学仁
主 审 唐文彦



机械工业出版社

本书为机械类和仪器仪表类专业的技术基础课教材。共分十一章,包括:绪论,几何量测量技术基础,孔、轴的极限与配合,形状和位置公差与检测,表面粗糙度与检测,光滑工件尺寸检验和光滑极限量规设计,滚动轴承的公差与配合,圆锥的公差与配合,键和花键的公差与检测,螺纹公差,圆柱齿轮公差与检测。本书突出对公差带特点的分析应用,对难点问题分析透彻。各章后均有思考题和习题,各章中有讲课、解题所需的公差表格,以方便教学与读者自学。

本书可作为“互换性与技术测量”课程的教材,也可供从事机械与仪器仪表设计、制造工艺、标准化、计量测试等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与技术测量 韩进宏主编 援—北京:机械工业出版社, 2009.12
新世纪高校机电类规划教材
陈序群 陈序群 陈序群 陈序群

I ①互 ②韩 ③互 ④互换性—理论—高等学校—教材 ⑤机械—测量—高等学校—教材 IV ①援 ②互

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 243888 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100027)
策划编辑:高文龙、邓海平
责任编辑:冯春生 版式设计:张世琴 责任校对:刘志文
封面设计:姚毅 责任印制:施红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2009 年 12 月第 1 版·第 1 次印刷
开本:185mm×260mm 1/16 印张:14.5 插页:1
定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68995199 网络订购:www.cmpbook.com
封面无防伪标均为盗版

新世纪高校机电类规划教材 编审委员会

顾 问	艾兴(院士)			
领导小组	张 慧	师忠秀	梁景凯	高文龙
	赵永瑞	赵玉刚		
委 员	张 慧	张进生	宋世军	沈敏德
	赵永瑞	程居山	赵玉刚	齐明侠
	师忠秀	王守城	姜培刚	梅 宁
	昃向博	梁景凯	方世杰	高文龙
	邓海平	尚书旗	姜军生	刘镇昌

前 言

“互换性与技术测量”是工科院校机械与仪器仪表类各专业的一门综合性、实用性都很强的技术基础课。它将互换性原理、标准化生产管理、几何量测量测试等相关知识结合在一起，涉及机械产品及其零件的设计、制造、维修、质量控制与生产管理等多方面技术问题。

本书是根据国家最新标准编写的，参考了许多已出版的同类教材，融入了编者多年来教学实践中积累的经验，具有以下特点：①紧扣教学大纲要求，注重基础内容，尽量做到少而精，以便于自学；②适用面广，~~源~~学时左右与~~圆~~猿学时均可使用，使用者可以根据需要进行取舍；③理论联系实际，结合实例对公差原则等方面的难点问题理清思路，分析透彻，并将包容要求、最大实体要求和最小实体要求进行比较列表；④为了给学生以后进行课程设计、毕业设计提供必要的参考资料和解题方便，本书收入了适量的公差表格；⑤为减少篇幅，删去了与机械制造工艺课重复的内容“尺寸链”一章，如有需要可参阅其他教材。

本书由山东理工大学韩进宏担任主编，青岛科技大学迟彦孝、济南大学崔焕勇、中国海洋大学谭俊哲担任副主编。其中第一章，第二章，第三章第二节，第四章第三、四节和第六章由韩进宏编写；第三章第一、三、四节，第四章第一、二、五、六节由迟彦孝和赵海霞编写；第五章由李东兴编写；第七章，第八章和第九章由崔焕勇、杨丽颖和董学仁编写；第十章和第十一章由谭俊哲编写。全书由韩进宏统稿和定稿。

本书由哈尔滨工业大学唐文彦教授担任主审。

受编者的水平所限，书中难免存在错误和不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
于山东淄博

目 录

前言	
第一章 绪论	员
第一节 互换性与公差的概念	员
第二节 标准化与优先数系	圆
第三节 几何量检测的重要性及其发展	远
思考题与习题	苑
第二章 几何量测量技术基础	愿
第一节 测量与检验的概念	愿
第二节 长度基准与量值传递	愿
第三节 计量仪器和测量方法分类	圆
第四节 测量误差	远
第五节 各类测量误差的处理	怨
第六节 等精度测量列的数据处理	圆
思考题与习题	苑
第三章 孔、轴的极限与配合	圆
第一节 基本术语及定义	圆
第二节 公差与配合的标准化	猿
第三节 公差与配合的选用	缘
第四节 大尺寸、小尺寸公差与配合简介	缘
思考题与习题	远
第四章 形状和位置公差与检测	远
第一节 概述	远
第二节 形位公差的标注	远
第三节 形位公差带的特点分析	猿
第四节 公差原则	愿
第五节 形位公差的标准化与选用	员
第六节 形位误差的评定与检测原则	员
思考题与习题	员
第五章 表面粗糙度与检测	员
第一节 表面粗糙度的概念及其对零件使用性能的影响	员
第二节 表面粗糙度的评定	员

第三节	表面粗糙度参数及其数值的选择	页
第四节	表面粗糙度的代号标注方法	页
第五节	表面粗糙度的检测	页
思考题与习题	.....	页
第六章	光滑工件尺寸检验和光滑极限量规设计	页
第一节	光滑工件尺寸检验	页
第二节	光滑极限量规设计	页
思考题与习题	.....	页
第七章	滚动轴承的公差与配合	页
第一节	滚动轴承的分类及公差特点	页
第二节	滚动轴承配合件公差及选用	页
思考题与习题	.....	页
第八章	圆锥的公差与配合	页
第一节	概述	页
第二节	圆锥几何参数误差对圆锥配合的影响	页
第三节	圆锥的公差与配合	页
思考题与习题	.....	页
第九章	键和花键的公差与检测	页
第一节	单键结合的互换性	页
第二节	矩形花键结合的互换性	页
思考题与习题	.....	页
第十章	螺纹公差	页
第一节	螺纹几何参数偏差对互换性的影响	页
第二节	普通螺纹的公差与配合	页
第三节	螺纹的检测	页
第四节	梯形丝杠的公差	页
第五节	滚珠丝杠副的公差	页
思考题与习题	.....	页
第十一章	圆柱齿轮公差与检测	页
第一节	齿轮的使用要求及加工误差分类	页
第二节	单个齿轮的评定指标及其检测	页
第三节	齿轮的整体误差测量	页
第四节	齿轮副的评定指标及其检测	页
第五节	渐开线圆柱齿轮精度标准	页
思考题与习题	.....	页
参考文献	.....	页

第一章 绪 论

第一节 互换性与公差的概念

一、互换性的概念

互换性在日常生活中随处可见。例如，灯泡坏了换个新的，自行车的零件坏了也可以换新的。这是因为合格的产品和零部件具有在材料性能、几何尺寸、使用功能上彼此互相替换的性能，即具有互换性。广义上说，互换性是指一种产品、过程或服务能够代替另一产品、过程或服务，且能满足同样要求的能力。

制造业生产中，经常要求产品的零部件具有互换性。什么叫零部件的互换性呢？制造业的产品或者机器由许多零部件组成，而这些零部件是由不同的工厂和车间制成的。零部件的互换性就是指，在装配时从制成的同一规格的零部件中任意取一件，不需任何挑选或修配，就能与其他零部件安装在一起而组成一台机器，并且能达到规定的使用功能要求。因此我们说，零部件的互换性就是同一规格零部件按规定的技术要求制造，能够彼此相互替换使用而效果相同的性能。

二、公差的概念

加工零件的过程中，由于各种因素（机床、刀具、温度等）的影响，零件的尺寸、形状和表面粗糙度等几何量难以做到理想状态，总是有大或小的误差。但从零件的使用功能看，不必要求零件几何量制造得绝对准确，只要求零件几何量在某一规定的范围内变动，即保证同一规格零部件（特别是几何量）彼此接近。我们把这个允许几何量变动的范围叫做几何量公差。这也是本课程所讲公差的范畴。

为了保证零件的互换性，要用公差来控制误差。设计时要按标准规定公差，而加工时不可避免会产生误差，因此要使零件具有互换性，就应把完工的零件误差控制在规定的公差范围内。设计者的任务就是要正确地确定公差，并把它在图样上明确地表示出来。在满足功能要求的前提下，公差值应尽量规定大一些，以便获得最佳的经济效益。

三、互换性的作用

互换性的作用主要体现在以下三个方面：

（员）在设计方面 能最大限度地使用标准件，便可以简化绘图和计算等工作，使设计周期变短，利于产品更新换代和 悦闻技术的应用。

（圆）在制造方面 有利于组织专业化生产，使用专用设备和 悦云技术。

圆

(獭 在使用和维修方面 可以及时更换那些已经磨损或损坏的零部件,对于某些易损件可以提供备用件,则可以提高机器的使用价值。

互换性在提高产品质量和产品可靠性、提高经济效益等方面均具有重大意义。互换性原则已成为现代制造业中一个普遍遵守的原则。互换性生产对我国现代化生产具有十分重要的意义,但是互换性原则也不是任何情况下都适用。有时只有采取单个配制才符合经济原则,这时零件虽不能互换,但也有公差和检测的要求。

四、互换性的种类

从广义上讲,零部件的互换性应包括几何量、力学性能和理化性能等方面的互换性。但本课程仅讨论零部件几何量的互换性,即几何量方面的公差和检测。

按不同场合对于零部件互换的形式和程度的不同要求,把互换性可以分为完全互换性和不完全互换性两类。

完全互换性简称互换性,以零部件装配或更换时不需要挑选或修配为条件。孔和轴加工后只要符合设计的规定要求,则它们就具有完全互换性。

不完全互换性也称有限互换性,在零部件装配时允许有附加条件的选择或调整。对于不完全互换性可以采用分组装配法、调整法等来实现。

对标准部件或机构来讲,其互换性又可分为内互换性和外互换性。内互换性指部件或机构内部组成零件间的互换性;外互换性指部件或机构与其相配合件间的互换性。例如:滚动轴承内、外圈滚道直径与滚动体(滚珠或滚柱)直径间的配合为内互换性;滚动轴承内圈内径与传动轴的配合、滚动轴承外圈外径与壳体孔的配合为外互换性。

第二节 标准化与优先数系

一、标准与标准化的概念

现代制造业生产的特点是规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高。为了适应生产中各部门的协调和各生产环节的衔接,必须有一种手段,使分散的、局部的生产部门和生产环节保持必要的统一,成为一个有机的整体,以实现互换性生产。标准与标准化正是联系这种关系的主要途径和手段。实行标准化是互换性生产的基础。

(貳 标准 标准是指为了在一定的范围内获得最佳秩序,对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件。标准对于改进产品质量,缩短产品设计周期,开发新产品和协作配套,提高社会效益,发展社会主义市场经济和对外贸易等有很重要的意义。

(參 标准化 标准化是指为了在一定的范围内获得最佳秩序,对实际或潜在

的问题制定共同的和重复使用的规则的活动。标准化是社会化生产的重要手段，是联系设计、生产和使用方面的纽带，是科学管理的重要组成部分。标准化对于改进产品、过程和服务的适用性，防止贸易壁垒，促进技术合作方面具有特别重要的意义。

标准化工作包括制定标准、发布标准、组织实施标准和对标准的实施进行监督的全部活动过程。这个过程是从探索标准化对象开始，经调查、实验和分析，进而起草、制定和贯彻标准，而后修订标准。因此，标准化是个不断循环而又不断提高其水平的过程。

二、标准分类

(夙) 按标准的使用范围 我国将标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

国家标准就是对需要在全国范围内统一的技术要求。

行业标准就是对没有国家标准，而又需要在全国某行业范围内统一的技术要求。但在有了国家标准后，该项行业标准即行废止。

地方标准就是对没有国家标准和行业标准，而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的工业产品的安全、卫生等要求。但在公布相应的国家标准或行业标准后，该地方标准废止。

企业标准就是对企业生产的产品，在没有国家标准和行业标准的情况下，制定作为组织生产的依据。对于已有国家标准或行业标准的，企业也可以制定严于国家标准或行业标准的企业标准，在企业内部使用。

(圆) 按标准的作用范围 将标准分为国际标准、区域标准、国家标准、地方标准和试行标准。

国际标准、区域标准、国家标准、地方标准分别是由国际标准化的标准组织、区域标准化的标准组织、国家标准机构、在国家的某个区域一级所通过并发布的标准。

试行标准是由某个标准化机构临时采用并公开发布的文件，以便在使用中有必要作为标准依据的经验。

(獠) 按标准化对象的特征 将标准分为基础标准、产品标准、方法标准和安全、卫生与环境保护标准等。

基础标准是指在一定范围内作为标准的基础并普遍使用，具有广泛指导意义的标准，如极限与配合标准、形位公差标准、渐开线圆柱齿精度标准等。基础标准是以标准化共性要求和前提条件为对象的标准，是为了保证产品的结构功能和制造质量而制定的、一般工程技术人员必须采用的通用性标准，也是制定其他标准时可依据的标准。本书所涉及的标准就是基础标准。

(源) 按标准的性质 标准又可分为技术标准、工作标准和管理标准。

技术标准指根据生产技术活动的经验和总结，作为技术上共同遵守的法规而制定的。

三、国际化的发展历程

标准化在人类开始创造工具时就已出现。标准化是社会生产劳动的产物。标准化在近代工业兴起和发展的过程中显得重要起来。早在 18 世纪，标准化在国防、造船、铁路运输等行业中的应用十分突出。到了 19 世纪初，一些国家相继成立全国性的标准化组织机构，推进了本国的标准化事业。以后由于生产的发展，国际交流越来越频繁，因而出现了地区性和国际性的标准化组织。1906 年成立了国际标准化协会(简称 ISO)，1946 年重建国际标准化协会并改名为国际标准化组织(简称 IEC)。现在，这个世界上最大的标准化组织已成为联合国甲级咨询机构。ISO 制定的一系列标准的颁发，使世界各国的质量管理及质量保证的原则、方法和程序，都统一在国际标准的基础之上。

四、我国标准化的发展

我国标准化是在 1949 年新中国成立后得到重视并发展。1958 年发布第一批 196 项国家标准。从 1958 年开始，陆续制定并发布了公差与配合、形状和位置公差、公差原则、表面粗糙度、光滑极限量规、渐开线圆柱齿轮精度、极限与配合等许多公差标准。我国在 1980 年恢复为 ISO 的成员国，承担 ISO 的技术委员会秘书处工作和国际标准草案起草工作。从 1980 年开始，我国制定并发布了以国际标准为基础制定的新的公差标准。从 1986 年开始，我国又发布了以国际标准为基础进行修订的机械类新公差标准。1988 年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国标准化法》。1994 年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国产品质量法》。我国公差标准化的水平在我国社会主义现代化建设过程中不断发展提高，对我国经济的发展作出了很大的贡献。

五、优先数系及其公比

国家标准 GB 3171—1982《优先数和优先数系》规定十进等比数列为优先数系，并规定了五个系列，分别用系列符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示，称为 R 系列。其中前四个系列是常用的基本系列，而 R80 则作为补充系列，仅用于分级很细的特殊场合。

优先数系是工程设计和工业生产中常用的一种数值制度。优先数与优先数系是 19 世纪末(1876 年)，由法国人查尔斯·雷诺(Charles Bresse)首先提出的。当时载人升空的气球所使用的绳索尺寸由设计者随意规定，多达 100 种。雷诺根据单位长度不同直径绳索的重量级数来确定绳索的尺寸，按几何公比递增，每进一项使项值增大 10 倍，把绳索规格减少到 10 种，并在此基础上产生了优先数系的系列。后人为了纪念雷诺将优先数系称为 R 数系。基本系列 R5、R10、R20、R40

远

隔项取值，就得到下一系列的优先数系；反之，在下一系列中插入比例中项，就得到上一系列。如在 R_{10} 系列中隔项取值，就得到 R_{20} 系列，在 R_{20} 系列中隔项取值，就得到 R_{40} 系列；又如在 R_{10} 系列中插入比例中项，就得 R_{15} 系列，在 R_{15} 系列中插入比例中项，就得 $R_{22.5}$ 系列。这种相关性也可以说成： R_{10} 系列中的项值包含在 R_{20} 系列中， R_{20} 系列中的项值包含在 R_{40} 系列中， R_{40} 系列中的项值包含在 R_{80} 系列中， R_{80} 系列中的项值包含在 R_{160} 系列中。

七、优先数系的派生系列

为使优先数系具有更宽广的适应性，可以从基本系列中，每逢 ϕ 项留取一个优先数，生成新的派生系列，以符号 R_{ϕ} 表示。派生系列的公比为

$$\phi^{\frac{1}{\phi}}$$

如派生系列 $R_{1.5}$ 就是从基本系列 R_{10} 中，自 $\phi=1$ 以后每逢 ϕ 项留取一个优先数而组成的，即 $1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0, 8.0, 12.0, 18.0, \dots$ 。

八、优先数系的选用规则

优先数系的应用很广泛，它适用于各种尺寸、参数的系列化和质量指标的分级，对保证各种工业产品的品种、规格、系列的合理化分档和协调配套具有十分重要的意义。

选用基本系列时，应遵守先疏后密的规则，即按 $R_{10}, R_{20}, R_{40}, R_{80}$ 的顺序选用；当基本系列不能满足要求时，可选用派生系列，注意应优先采用公比较大和延伸项含有项值 ϕ 的派生系列；根据经济性和需要量等不同条件，还可分段选用最合适的系列，以复合系列的形式来组成最佳系列。

由于优先数系中包含有各种不同公比的系列，因而可以满足各种较密和较疏的分级要求。优先数系以其广泛的适用性，成为国际上通用的标准化数系。工程技术人员应在一切标准化领域中尽可能地采用优先数系，以达到对各种技术参数协调、简化和统一的目的，促进国民经济更快、更稳地发展。

第三节 几何量检测的重要性及其发展

一、几何量检测的重要性

几何量检测是组织互换性生产必不可少的重要措施。由于零部件的加工误差不可避免，决定了必须采用先进的公差标准，对构成机械的零部件的几何量规定合理的公差，用以实现零部件的互换性。但若不采用适当的检测措施，规定的公差也就形同虚设，不能发挥作用。

因此，应按照公差标准和检测技术要求对零部件的几何量进行检测。只接受几何量合格者，才能保证零部件在几何量方面的互换性。检测是检验和测量的统称。一般来说：测量的结果能够获得具体的数值；检验的结果只能判断合格与

否，而不能获得具体数值。

但是，必须注意到，在检测过程中又会不可避免地产生或大或小的测量误差。这将导致两种误判：一是把不合格品误认为合格品而给予接受——误收；二是把合格品误认为废品而给予报废——误废。这是测量误差表现在检测方面的矛盾，这就需要从保证产品的质量和经济性两方面综合考虑，合理解决。

检测的目的不仅仅在于判断工件合格与否，还有积极的一面，这就是根据检测的结果，分析产生废品的原因，以便设法减少和防止废品。

二、我国在几何量检测方面的发展历程

在我国悠久的历史上，很早就有关于几何量检测的记载。秦朝就已经统一了度量衡制度，西汉已有了铜制卡尺。但长期的封建统治，使得科学技术未能进一步发展，检测技术和计量器具一直处于落后的状态，直到 1949 年新中国成立后才扭转了这种局面。

1957 年国务院发布了《关于同意计量制度的命令》，1963 年国务院发布了《中华人民共和国计量管理条例》，1985 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》，1985 年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国计量法》。这些对于我国采用国际米制作为长度计量单位，健全各级计量机构和长度量值传递系统，保证全国计量单位统一和量值准确可靠，促进我国社会主义现代化建设和科学技术的发展具有特别重要的意义。

在建立和加强我国计量制度的同时，我国的计量器具制造业也有了较大的发展。现在已有许多量仪厂和量具刀具厂，生产的许多品种的计量仪器用于几何量检测，如万能测长仪、万能工具显微镜、万能渐开线检查仪等。此外，还能制造一些世界水平的量仪，如激光光电比长仪、激光丝杠动态检查仪、光栅式齿轮整体误差测量仪、碘稳频 远固激光器、无导轨大长度测量仪等。

思考题与习题

1. 零件具有什么性能才称它们具有互换性？互换性有什么作用？互换性的分类如何？

2. 为什么要制定《优先数和优先数系》的国家标准？优先数系是一种什么数列？它有何特点？有哪些优先数的基本系列？什么是优先数的派生系列？

3. 试写出下列基本系列和派生系列中自 1 以后的 5 个优先数的常用值：
 R_{10} 、 R_{20} 、 R_{40} 、 R_{80} 、 R_{160} 、 R_{315} 、 R_{630} 、 R_{1260} 、 R_{2512} 、 R_{5024} 、 R_{10048} 、 R_{20096} 、 R_{40192} 、 R_{80384} 、 R_{160768} 、 R_{321536} 、 R_{643072} 、 $R_{1286144}$ 、 $R_{2572288}$ 、 $R_{5144576}$ 、 $R_{10289152}$ 、 $R_{20578304}$ 、 $R_{41156608}$ 、 $R_{82313216}$ 、 $R_{164626432}$ 、 $R_{329252864}$ 、 $R_{658505728}$ 、 $R_{1317011456}$ 、 $R_{2634022912}$ 、 $R_{5268045824}$ 、 $R_{10536091648}$ 、 $R_{21072183296}$ 、 $R_{42144366592}$ 、 $R_{84288733184}$ 、 $R_{168577466368}$ 、 $R_{337154932736}$ 、 $R_{674309865472}$ 、 $R_{1348619730944}$ 、 $R_{2697239461888}$ 、 $R_{5394478923776}$ 、 $R_{10788957847552}$ 、 $R_{21577915695104}$ 、 $R_{43155831390208}$ 、 $R_{86311662780416}$ 、 $R_{172623325560832}$ 、 $R_{345246651121664}$ 、 $R_{690493302243328}$ 、 $R_{1380986604486656}$ 、 $R_{2761973208973312}$ 、 $R_{5523946417946624}$ 、 $R_{11047892835893248}$ 、 $R_{22095785671786496}$ 、 $R_{44191571343572992}$ 、 $R_{88383142687145984}$ 、 $R_{176766285374291968}$ 、 $R_{353532570748583936}$ 、 $R_{707065141497167872}$ 、 $R_{1414130282994335648}$ 、 $R_{2828260565988671296}$ 、 $R_{5656521131977342592}$ 、 $R_{11313042263954685184}$ 、 $R_{22626084527909370368}$ 、 $R_{45252169055818740736}$ 、 $R_{90504338111637481472}$ 、 $R_{181008676223274962944}$ 、 $R_{362017352446549925888}$ 、 $R_{724034704893099851776}$ 、 $R_{1448069409786199703552}$ 、 $R_{2896138819572399407104}$ 、 $R_{5792277639144798814208}$ 、 $R_{11584555278289597628416}$ 、 $R_{23169110556579195256832}$ 、 $R_{46338221113158390513664}$ 、 $R_{92676442226316781027328}$ 、 $R_{185352884452635662054656}$ 、 $R_{370705768905271324109312}$ 、 $R_{741411537810542648218624}$ 、 $R_{1482823075621085296437248}$ 、 $R_{2965646151242170592874496}$ 、 $R_{5931292302484341185748992}$ 、 $R_{11862584604968682371497984}$ 、 $R_{23725169209937364742995968}$ 、 $R_{47450338419874729485991936}$ 、 $R_{94900676839749458971983872}$ 、 $R_{189801353679498917943967744}$ 、 $R_{379602707358997835887935488}$ 、 $R_{759205414717995671775870976}$ 、 $R_{1518410829435991343551741952}$ 、 $R_{3036821658871982687103483904}$ 、 $R_{6073643317743965374206967808}$ 、 $R_{12147286635487930748413935616}$ 、 $R_{24294573270975861496827871232}$ 、 $R_{48589146541951722993655742464}$ 、 $R_{97178293083903445987311484928}$ 、 $R_{194356586167806891974623369856}$ 、 $R_{388713172335613783949246739712}$ 、 $R_{777426344671227567898493479424}$ 、 $R_{155485268934245513579698695888}$ 、 $R_{310970537868491027159397391776}$ 、 $R_{621941075736982054318794783552}$ 、 $R_{1243882151473964108637589567104}$ 、 $R_{2487764302947928217275179134208}$ 、 $R_{4975528605895856434550358268416}$ 、 $R_{9951057211791712869100716536832}$ 、 $R_{19902114423583425738201432673664}$ 、 $R_{39804228847166851476402865347328}$ 、 $R_{79608457694333702952805730694656}$ 、 $R_{15921691538866740590561146139312}$ 、 $R_{31843383077733481181122292278624}$ 、 $R_{63686766155466962362244584557248}$ 、 $R_{127373532310933924724489169114496}$ 、 $R_{254747064621867849448978338228992}$ 、 $R_{509494129243735698897956676457984}$ 、 $R_{1018988258487471397795913352915968}$ 、 $R_{2037976516974942795591826705831936}$ 、 $R_{4075953033949885591183653411663872}$ 、 $R_{8151906067899771182367306823327744}$ 、 $R_{16303812135799542364734613646655488}$ 、 $R_{32607624271599084729469227293310976}$ 、 $R_{65215248543198169458938454586621952}$ 、 $R_{13043049708639633891787690917323904}$ 、 $R_{26086099417279267783575381834647808}$ 、 $R_{52172198834558535567150763669295712}$ 、 $R_{104344397669117071134301527338591424}$ 、 $R_{208688795338234142268603054677182848}$ 、 $R_{417377590676468284537206109354365696}$ 、 $R_{834755181352936569074412218708731392}$ 、 $R_{1669510362705873138148824377417462784}$ 、 $R_{333902072541174627629764875483492568}$ 、 $R_{667804145082349255259529750966985136}$ 、 $R_{1335608290164698510519059501933970272}$ 、 $R_{2671216580329397021038119003867940544}$ 、 $R_{5342433160658794042076238007735881088}$ 、 $R_{10684866321317588084152476015471762176}$ 、 $R_{21369732642635176168304952030943524352}$ 、 $R_{42739465285270352336609904061887048704}$ 、 $R_{85478930570540704673219808123744097408}$ 、 $R_{170957861141081409346439616247488194176}$ 、 $R_{34191572228216281869287923249496388352}$ 、 $R_{68383144456432563738575846498992776704}$ 、 $R_{136766288912865127477151692997985534176}$ 、 $R_{273532577825730254954303385995970678352}$ 、 $R_{5470651556514605099086067719919413566704}$ 、 $R_{10941303113029210198172134398388271333408}$ 、 $R_{2188260622605842039634426879677644666816}$ 、 $R_{4376521245211684079268853759355289333632}$ 、 $R_{8753042490423368158537707518710578667264}$ 、 $R_{17506084980846736317075415037421157334528}$ 、 $R_{35012169961693472634150830074842314669056}$ 、 $R_{70024339923386945268301660149684629338112}$ 、 $R_{140048679846773890536603320299369258676224}$ 、 $R_{280097359693547781073206640598738517352448}$ 、 $R_{56019471938709556214641328119747703670496}$ 、 $R_{112038943877419112429282656239495407340992}$ 、 $R_{224077887754838224858565312478990814681984}$ 、 $R_{44815577550967644971713062495798163363968}$ 、 $R_{89631155101935289943426124991596326727936}$ 、 $R_{179262310203870579886852249983192654455872}$ 、 $R_{358524620407741159773704499966385308911744}$ 、 $R_{717049240815482319547408999932770617823488}$ 、 $R_{143409848163096463909481799965544123646896}$ 、 $R_{286819696326192927818963599931088247293792}$ 、 $R_{573639392652385855637927199862176494587584}$ 、 $R_{1147278785304771711275854399724352989175168}$ 、 $R_{2294557570609543422551708799448705978350336}$ 、 $R_{4589115141219086845103417598897411956700672}$ 、 $R_{9178230282438173690206835197794823913401344}$ 、 $R_{18356460564876347380413670395588647826802688}$ 、 $R_{36712921129752694760827340791177295653605376}$ 、 $R_{73425842259505389521654681582354511307210752}$ 、 $R_{146851685199010779043309363164709022614421504}$ 、 $R_{293703370398021558086618726329418045228843008}$ 、 $R_{587406740796043116173237452658836090457686016}$ 、 $R_{117481348159208623234647490531767218091532224}$ 、 $R_{234962696318417246469294981063534436183064448}$ 、 $R_{469925392636834492938589962127068872366128896}$ 、 $R_{939850785273668985877179924254137744732257792}$ 、 $R_{1879701570547337971754358488508275489464515584}$ 、 $R_{3759403141094675943508716977016550978929111168}$ 、 $R_{7518806282189351887017433954033101957858222336}$ 、 $R_{1503761256437870377403486790806620391571644472}$ 、 $R_{3007522512875740754806973781613240783143288944}$ 、 $R_{6015045025751481509613947563226481566286577888}$ 、 $R_{12030090051502963019227895126452963132573155776}$ 、 $R_{24060180103005926038455790252905926265146115552}$ 、 $R_{481203602060118520769115805058118525310282311104}$ 、 $R_{962407204120237041538231610116237050620564222208}$ 、 $R_{1924814408240474083076463220232474101241128444416}$ 、 $R_{3849628816480948166152926440464948202482256888832}$ 、 $R_{76992576329618963323058528809298964049645137776}$ 、 $R_{153985152659237926646117057618597928099290275552}$ 、 $R_{3079703053184758532922341152371958561985805511104}$ 、 $R_{6159406106369517065844682304743917137971010222208}$ 、 $R_{12318812212739034131689364609487834275942020444416}$ 、 $R_{24637624425478068263378729218975668551884040888832}$ 、 $R_{492752488509561365267574584379513371177608177776}$ 、 $R_{985504977019122730535149168759026742355361555552}$ 、 $R_{1971009954038245461070298337518053484706723111104}$ 、 $R_{3942019908076490922140596675036068969413462222208}$ 、 $R_{7884039816152981844281193350072137938826844444416}$ 、 $R_{1576807963230596368856386700014475777665688888832}$ 、 $R_{3153615926461192737712773400028951555331377777664}$ 、 $R_{6307231852922385475425546800057903110662755555328}$ 、 $R_{1261446370584477095085109360011580622132551111056}$ 、 $R_{2522892741168954190170218720023161244265111111104}$ 、 $R_{5045785482337908380340377440046322488530222222208}$ 、 $R_{1009157096467581676068075488009264497706044444416}$ 、 $R_{2018314192935163352136150976018452995412088888832}$ 、 $R_{4036628385870326704272301952036905990824177777664}$ 、 $R_{8073256771740653408544603904073811981648355555328}$ 、 $R_{1614651354348130681708920780814763996329671111056}$ 、 $R_{32293027086962613634178415616295279926593422222112}$ 、 $R_{6458605417392522726835683123259055985318644444224}$ 、 $R_{12917210834785045453671366246518119706737288888448}$ 、 $R_{25834421669570090907342732493036339413474577776896}$ 、 $R_{5166884333914018181468546498607267882694915555392}$ 、 $R_{10333768667828036362937092997214535765389831110784}$ 、 $R_{20667537335656072725874185994429071530779662221568}$ 、 $R_{41335074671312145451748371988858142861559324443136}$ 、 $R_{82670149342624290903496743977716285723116488886272}$ 、 $R_{165340298685248581806993479955424571446233777761544}$ 、 $R_{33068059737049716361398695991084914292446755553088}$ 、 $R_{66136119474099432722797391982169828584893511106176}$ 、 $R_{132272238948198865445594783964339657169787022212352}$ 、 $R_{264544477896397730891189567928679314339574044424704}$ 、 $R_{529088955792795461782379135857358628679148088849408}$ 、 $R_{105817791178591092366475827171477257358296177698816}$ 、 $R_{211635582357182184732951654342954514471453555353728}$ 、 $R_{423271164714364369465903308685909088942907111067552}$ 、 $R_{846542329428728738931806617371818177885814222135104}$ 、 $R_{1693084658457457477863613234743636355771644442270208}$ 、 $R_{33861693169149149557272264694872731115428888444444448}$ 、 $R_{6772338633829829911445452938974546223085777788888896}$ 、 $R_{13544677267659659222890905877949092446171555577777776}$ 、 $R_{270893545353193184457818117558981848923331111111104}$ 、 $R_{541787090706386368915636235117963697846662222222208}$ 、 $R_{1083574181412772737831272470235973957733324444444416}$ 、 $R_{216714836282554547566254494047194791546664888888832}$ 、 $R_{433429672565109095132508988094389583093329777777664}$ 、 $R_{86685934513021819026501797618877916618665955555328}$ 、 $R_{17337186902604363805300359327755823223733191111056}$ 、 $R_{346743738052087276106007186555116464474662222222112}$ 、 $R_{693487476104174552212014373110232928889324444444224}$ 、 $R_{13869749522034911044240284662204577777886488888448}$ 、 $R_{27739499044069822088480569324409155557733777776976}$ 、 $R_{55478998088139644176961138648818311115467555553952}$ 、 $R_{110957996176279288353822273297636622230935111110704}$ 、 $R_{221915992352558576707644546595273244461862222221408}$ 、 $R_{44383198470511715341528909319054648892372444442816}$ 、 $R_{8876639694102343068305781863810929778474488884632}$ 、 $R_{177532793822046861366115637276218595569489777761264}$ 、 $R_{35506558764409372273223127455243719113897955553528}$ 、 $R_{7101311752881874454644625491048743822779591110704}$ 、 $R_{14202623505763748909289250820974887645559111110704}$ 、 $R_{2840524701152749781857850164194977529111111110704}$ 、 $R_{5681049402305499563715700328389955058222222221408}$ 、 $R_{1136209880461099912743140065677991116444444442816}$ 、 $R_{22724197609221998254862801313559822328888884632}$ 、 $R_{45448395218443996509725602627119644657777761264}$ 、 $R_{9089679043688799301945120525423929311555553528}$ 、 $R_{1817935808737759603890024051047848622333311110704}$ 、 $R_{3635871617475519207780048102095697244666222221408}$ 、 $R_{7271743234951038415560096204191394489332444442816}$ 、 $R_{1454348646990207683112018408238278897666488884632}$ 、 $R_{29086972939804153662240368164765577953329777761264}$ 、 $R_{581739458796083073244807363295311506665911110704}$ 、 $R_{116347891759216614648961466590622321333111110704}$ 、 $R_{23269578351843322929792293318124464666222221408}$ 、 $R_{46539156703686645859584586636248929332444442816}$ 、 $R_{9307831340737329171916917327249785866488884632}$ 、 $R_{186156626814746583438338346544997173329777761264}$ 、 $R_{37231325362949316687667669308998346665911110704}$ 、 $R_{7446265072589863$

第二章 几何量测量技术基础

在本章我们要了解几何量测量技术方面的基本知识，包括量值传递系统，量块基本知识，测量用器具的基本计量参数，测量误差的特点及分类，测量误差的处理方法，测量结果的数据处理等。

第一节 测量与检验的概念

检测是测量与检验的总称。测量是指将被测量与作为测量单位的标准量进行比较，从而确定被测量的实验过程，而检验则是判断零件是否合格而不需要测出具体数值。

由测量的定义可知，任何一个测量过程都必须有明确的被测对象和确定的测量单位，还要有与被测对象相适应的测量方法，而且测量结果还要达到所要求的测量精度。因此，一个完整的测量过程应包括如下四个要素：

(一) 被测对象 我们研究的被测对象是几何量，即长度、角度、形状、位置、表面粗糙度以及螺纹、齿轮等零件的几何参数。

(二) 测量单位 我国采用的法定计量单位是：长度的计量单位为米(m)，角度单位为弧度(rad)和度(°)、分(')、秒(")。在机械零件制造中，常用的长度计量单位是毫米(mm)，在几何量精密测量中，常用的长度计量单位是微米(μm)，在超精密测量中，常用的长度计量单位是纳米(nm)。常用的角度计量单位是弧度、微弧度(μrad)和度、分、秒。测量精度越高，量块越圆，测量越准。

(三) 测量方法 测量时所采用的测量原理、测量器具和测量条件的总和。

(四) 测量精度 测量结果与被测量真值的一致程度。精密测量要将误差控制在允许的范围内，以保证测量精度。为此，除了合理地选择测量器具和测量方法，还应正确估计测量误差的性质和大小，以便保证测量结果具有较高的置信度。

第二节 长度基准与量值传递

一、长度基准与量值传递

国际上统一使用的公制长度基准是在1983年第17届国际计量大会上通过

的，以米作为长度基准。米的新定义为：“米为光于真空中在(员)秒内所行进的(圆)米距离”。为了保证长度测量的精度，还需要建立准确的量值传递系统。鉴于激光稳频技术的发展，用激光波长作为长度基准具有很好的稳定性和复现性。我国采用碘吸收稳定的 圆 皂 氦 氖 激光辐射作为波长标准来复现“米”。

在实际应用中，不能直接使用光波作为长度基准进行测量，而是采用各种测量器具进行测量。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被测工件上。长度基准的量值传递系统如图 圆 所示。

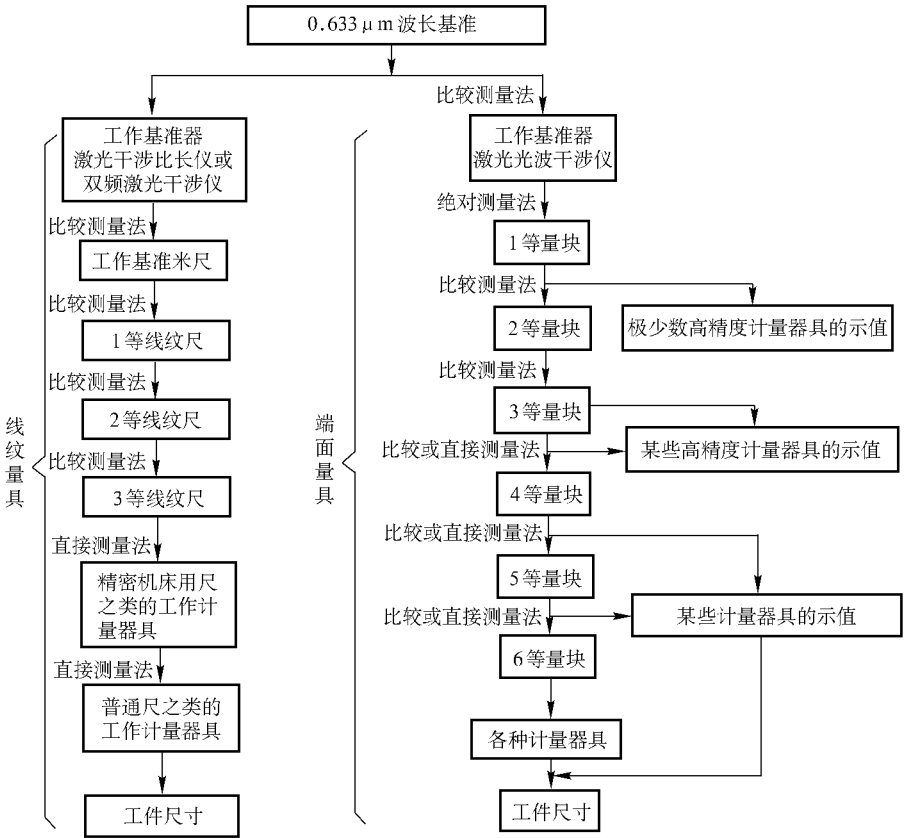


图 圆 长度基准的量值传递系统

二、角度基准与量值传递

角度是重要的几何量之一，一个圆周角定义为 $1/360$ 度。角度不需要像长度一样建立自然基准。但在计量部门，为了方便，仍采用多面棱体(棱形块)作为角度量值的基准。机械制造中的角度标准一般是角度量块、测角仪或分度头等。

多面棱体有 **源面**、**远面**、**愿面**、**甕面**、**圆原面**、**猿面** 及 **苑面** 等。以多面棱体作角度基准的量值传递系统，如图 10-1 所示。

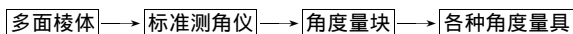


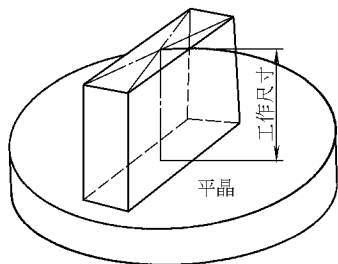
图 10-1 角度基准的量值传递系统

三、量块

量块是精密测量中经常使用的标准器，分长度量块和角度量块两类。下面介绍长度量块和角度量块的有关问题。

1. 长度量块

长度量块是单值端面量具，其形状大多为长方六面体，其中一对平行平面为量块的工作表面，两工作表面的间距即长度量块的工作尺寸。量块由特殊合金钢制成，耐磨且不易变形，工作表面之间或与平晶(图 10-2)表面间具有可研合性，以便组成所需尺寸的量块组。



(1) 长度量块尺寸方面的术语

1. 标称长度 量块上标出的尺寸称为量块的标称长度。图 10-2 量块工作面与平晶研合。

2. 实际长度 量块长度的实际测得值称为量块的实际长度。分为中心长度和任意点长度。

3. 量块的长度变动量 指量块任意点长度的最大差值，即 $L_{max} - L_{min}$ 。量块长度变动量的允许值 ΔL 列在表 10-1 和表 10-2 中。

4. 量块的长度偏差 指量块的长度实测值与标称长度之差。量块长度偏差的允许值(极限偏差)依表 10-1 和表 10-2 中。

(5) 长度量块的分级 量块按制造精度分为五级，即 0 级、1 级、2 级、3 级、4 级，其中 0 级精度最高，4 级精度最低，2 级为校准级，用来校准 0 级、1 级量块。量块的“级”主要是根据量块长度极限偏差和量块长度变动量的允许值来划分的。量块按“级”使用时，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，不需要加修正值，使用较方便，但不如按“等”使用的测量精度高。量块分级的精度指标见表 10-1(该表摘自 GB 1898-1980)。

