



“十三五”普通高等教育本科规划教材

公差与技术测量

孙步功 主 编
冯瑞成 马军民 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材

公差与技术测量

主 编 孙步功
副主编 冯瑞成 马军民
编 写 李宗刚 戴立勋 李茂青 杨小平
主 审 郭润兰



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。本书主要内容包括：概述、几何量测量技术基础、孔轴的极限与配合、几何公差与检测、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和实验指导。本书注重学生获取知识、分析问题与解决工程技术问题能力的培养，注重学生工程素质与创新思维能力的提高。

本书可作为本科院校机械类、近机类各专业的教材，也可供高职高专院校相关专业及从事机械设计与机械制造的工程技术人员参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

公差与技术测量/孙步功主编. —北京：中国电力出版社，2018.10

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-1318-5

I. ①公… II. ①孙… III. ①公差—高等学校—教材②技术测量—高等学校—教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 261527 号

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：周巧玲

责任校对：闫秀英

装帧设计：赵姗姗

责任印制：吴 迪

印 刷：北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次：2018 年 10 月第一版

印 次：2018 年 10 月北京第一次印刷

开 本：787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张：17.25

字 数：417 千字

定 价：42.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

前言

本书按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求组织编写,编者为长期在教学第一线从事教学工作富有经验的教师,内容注重科学性、先进性、系统性和实用性,合理定位,以满足不同类型和层次的教学需要。

公差与技术测量是机械类、近机类专业的一门专业基础课程,着重阐述孔轴极限与配合的基本知识,全面讲述形位公差与检测的新标准和新技术,兼具基础性、知识性与实践性等特点,是培养现代复合型人才的重要基础课程之一。

本书的编写既体现了现代机械设计制造的新标准,又体现了机械设计制造技术的历史传承和发展趋势。在内容的选择和编写上有以下特点:

- (1) 内容系统丰富、重点突出,每章节既相互联系,又相对独立。
- (2) 考虑到机械类、近机类各专业的需要,内容的选择和安排具有一定的通用性。
- (3) 为加深理解、巩固知识,每章后附有习题,供学生及时复习。

本书由甘肃农业大学孙步功任主编,兰州理工大学冯瑞成和甘肃农业大学马军民任副主编,兰州交通大学、甘肃农业大学李宗刚、戴立勋、李茂青和杨小平参加编写。具体编写分工如下:李茂青和杨小平共同编写第1章,戴立勋编写第2、5和6章,孙步功编写第3章,马军民编写第4章和实验指导,李宗刚编写第7、9和11章,冯瑞成编写第8和10章。

本书由兰州理工大学郭润兰教授主审,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,本书难免有所疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2018年5月

目 录

前言

1 概述	1
1.1 互换性与公差的概念	1
1.2 标准化与优先数系	2
1.3 几何量检测的重要性及其发展	5
小结	6
习题	6
2 几何量测量技术基础	7
2.1 测量与检验的概念	7
2.2 长度基准与量值传递	8
2.3 计量仪器和测量方法分类	11
2.4 测量误差	14
2.5 各类测量误差的处理	17
2.6 等精度测量列的数据处理	21
小结	24
习题	24
3 孔、轴的极限与配合	26
3.1 基本术语与定义	26
3.2 公差与配合的标准	30
3.3 公差与配合的选用	45
3.4 大尺寸、小尺寸公差与配合简介	50
小结	52
习题	52
4 几何公差与检测	54
4.1 概述	54
4.2 几何公差的标注	58
4.3 几何公差带的特点分析	61
4.4 公差原则	73
4.5 几何公差的标准与选用	84
4.6 几何误差的评定与检测原则	89
小结	94
习题	94

5	表面粗糙度与检测	96
5.1	表面粗糙度的概念及其对零件使用性能的影响	96
5.2	表面粗糙度的评定	97
5.3	表面粗糙度参数及其数值的选择	101
5.4	表面粗糙度的检测	112
	小结	113
	习题	113
6	光滑工件尺寸检验和光滑极限量规设计	115
6.1	光滑工件尺寸检验	115
6.2	光滑极限量规设计	122
	小结	128
	习题	128
7	滚动轴承的公差与配合	129
7.1	滚动轴承的分类及公差特点	129
7.2	滚动轴承配合件公差及选用	134
	小结	143
	习题	144
8	圆锥的公差与配合	145
8.1	概述	145
8.2	圆锥几何参数误差对圆锥配合的影响	149
8.3	圆锥的公差与配合	151
	小结	155
	习题	155
9	键和花键的公差与检测	157
9.1	单键结合的互换性	157
9.2	矩形花键结合的互换性	170
	小结	189
	习题	189
10	螺纹公差	190
10.1	螺纹几何参数偏差对互换性的影响	190
10.2	普通螺纹的公差与配合	197
10.3	螺纹的检测	201
10.4	梯形丝杠的公差	204
10.5	滚珠丝杠副的公差	207
	小结	210
	习题	210
11	圆柱齿轮公差与检测	212
11.1	齿轮传动的使用要求及加工误差分类	212

11.2 单个齿轮的评定指标及其检测	216
11.3 齿轮副的评定指标及其检测	230
11.4 渐开线圆柱齿轮精度标准	232
小结	249
习题	250
附录：实验指导	252
参考文献	266

1 概 述

▲ 教学提示

本章介绍互换性、几何量公差等概念,介绍优先数系及其特点、几何量测量与检测的意义。

▲ 教学要求

要求学生理解互换性、几何量公差等概念,了解优先数系及其特点。

1.1 互换性与公差的概念

1.1.1 互换性的概念

互换性在日常生活中随处可见。例如,灯泡坏了可以换个新的,自行车的零件坏了也可以直接换新的。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,且能够满足同样要求的能力。

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。因此,在制造业生产中,经常要求产品的零部件具有互换性。零部件的互换性就是指,在装配时于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,并且能够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。

1.1.2 公差的概念

在加工零件的过程中,由于各种因素(机床、刀具、温度等)的影响,零件的尺寸、形状、表面粗糙度等几何量难以做到理想状态,总是有或大或小的误差。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,只要求其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。把这个允许几何量变动的范围称为几何量公差。这也是本课程中公差的范畴。

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表示出来。在满足功能要求的前提下,公差值应尽量规定得大一些,以便获得最佳的经济效益。

1.1.3 互换性的作用

可以从下面三个方面理解互换性的作用:

(1) 设计方面。若零部件具有互换性,就能最大限度地使用标准件,进而简化绘图、计算等工作,缩短设计周期,有利于产品更新换代和 CAD 技术应用。

(2) 制造方面。互换性有利于组织专业化生产,使用专用设备和 CAM 技术。

(3) 使用和维修方面。零部件具有互换性可以及时更换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,进而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。

1.1.4 互换性的种类

从广义而言,零部件的互换性应包括几何量、力学性能、理化性能等方面的互换性。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形式和程度的不同要求,互换性可以分为完全互换性和不完全互换性两类。

(1) 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,它们就具有完全互换性。

(2) 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地选择或调整。对于不完全互换性可以采用分组装配法、调整法或修配法来实现。

对标准部件或机构而言,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;滚动轴承内圈外径与传动轴的配合、滚动轴承外圈外径与壳体孔的配合为外互换性。

1.2 标准化与优先数系

1.2.1 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。

(1) 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具有很重要的意义。

(2) 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的过程。

1.2.2 标准分类

(1) 按标准的使用范围, 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。但在公布国家标准后, 该行业标准即行废止。

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, 该地方标准即行废止。

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。

(2) 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标准。

(3) 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、几何公差标准、渐开线圆柱齿轮精度标准等。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, 也是制订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。

(4) 按照标准的性质, 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标准。

1.2.3 标准化的发展历程

1. 国际标准化的发展

标准化在人类开始创造工具时就已出现, 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 19 世纪, 标准化在国防、造船、铁路运输等行业中的应用就已十分突出。到了 20 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。1926 年成立了国际标准化协会 (简称 ISA), 1947 年重建国际标准化协会并改名为国际标准化组织 (简称 ISO)。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 9000 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。

2. 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的。1958 年, 发布了第一批 120 项国家标准。从 1959 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、极限与配合等公差标准。我国在 1978

年恢复为 ISO 成员国，承担 ISO 技术委员会秘书处工作和国际标准草案起草工作。从 1979 年开始，我国制定并发布了以国际标准为基础制定的新公差标准。从 1992 年开始，我国又发布了以国际标准为基础进行修订的/T 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》。1993 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，对我国经济的发展做出了很大的贡献。

1.2.4 优先数系

1. 优先数系及其公比

GB/T 321—2005《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_r 系列。其中，前四个系列是基本系列，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。基本系列 R5、R10、R20、R40 1~10 的常用值见表 1-1。

表 1-1 优先数系基本系列的常用值（摘自 GB/T 321—2005）

基本系列	1~10 的常用值											
R5	1.00	1.60		2.50		4.00		6.30		10.00		
R10	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00	10.00	
R20	1.00	1.12	1.25	1.40	1.60	1.80	2.00	2.24	2.50	2.80	10.00	
	3.15	3.55	4.00	4.50	5.00	5.60	6.30	7.10	8.00	9.00		
R40	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	
	1.90	2.00	2.12	2.24	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35	
	3.55	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.30	5.60	6.00	6.30	
	6.70	7.10	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00				

优先数系是十进等比数列，其中包含 10 的所有整数幂（…、0.01、0.1、1、10、100、…）。只要知道一个十进段内的优先数值，其他十进段内的数值就可由小数点的前后移位得到。优先数系中的数值可方便地向两端延伸，由表 1-1 中的数值，使小数点前后移位，便可以得到小于 1 和大于 10 的任意优先数。

优先数系的公比为 $q_r=\sqrt[r]{10}$ 。优先数在同一系列中，每隔 r 个数，其值增加 10 倍。由表 1-1 可以看出，基本系列 R5、R10、R20、R40 的公比分别为 $q_5=\sqrt[5]{10}\approx1.60$ ， $q_{10}=\sqrt[10]{10}\approx1.25$ ， $q_{20}=\sqrt[20]{10}\approx1.12$ ， $q_{40}=\sqrt[40]{10}\approx1.06$ 。另外，补充系列 R80 的公比为 $q_{80}=\sqrt[80]{10}\approx1.03$ 。

2. 优先数与优先数系的特点

优先数系中的任何一个项值均称为优先数。优先数的理论值为 $(\sqrt[r]{10})^{N_r}$ ，其中 N_r 是任意整数。按照此式计算得到的优先数理论值，除 10 的整数幂外，大多为无理数，工程技术中不宜直接使用。而实际应用的数值都是经过化整处理后的近似值，根据取值有效数字的位数，优先数的近似值可以分为三种计算值，取 5 位有效数字，供精确计算用；常用值，即优先值，取 3 位有效数字，是经常使用的；化整值，是将常用值作化整处理后所得的数值，一般取 2 位有效数字。

优先数系主要有以下特点：

- (1) 任意相邻两项间的相对差近似不变（按理论值则相对差为恒定值）。例如，R5 系列

约为 60%，R10 系列约为 25%，R20 系列约为 12%，R40 系列约为 6%，R80 系列约为 3%。由表 1-1 可以明显地看出这一点。

(2) 任意两项的理论值经计算后仍为一个优先数的理论值。计算包括任意两项理论值的积或商，任意一项理论值的正、负整数乘方等。

(3) 优先数系具有相关性。优先数系的相关性表现如下：在上一级优先数系中隔项取值，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。例如，在 R40 系列中隔项取值，就得到 R20 系列；在 R10 系列中隔项取值，就得到 R5 系列。又如，在 R5 系列中插入比例中项，就得到 R10 系列；在 R20 系列中插入比例中项，就得到 R40 系列。即 R5 系列中的项值包含在 R10 系列中，R10 系列中的项值包含在 R20 系列中，R20 系列中的项值包含在 R40 系列中，R40 系列中的项值包含在 R80 系列中。

3. 优先数系的派生系列

为使优先数系具有更广泛的适应性，可以从基本系列中，每逢 p 项留取一个优先数，生成新的派生系列，以符号 Rr/p 表示。派生系列的公比为

$$q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[p]{10})^p = 10^{p/r}$$

例如派生系列 R10/3，就是从基本系列 R10 中，自 1 以后每逢 3 项留取一个优先数而组成的，即 1.00、2.00、4.00、8.00、16.0、32.0、64.0、...

4. 优先数系的选用规则

优先数系的应用很广泛，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、系列的合理化分挡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 R5、R10、R20、R40 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 1 的派生系列；根据经济性、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，促进国民经济更快、更稳地发展。

1.3 几何量检测的重要性及其发展

1.3.1 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。一般而言，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，即误收；二是把合格品误认为废品而

给予报废,即误废。这是测量误差表现在检测方面的矛盾,因此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。

检测的目的不仅在于判断工件合格与否,还可以根据检测的结果,分析产生废品的原因,以便设法减少和防止废品的产生。

1.3.2 我国在几何量检测方面的发展历程

我国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,西汉便已有了铜制卡尺。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,直至1949年新中国成立后才扭转了这种局面。

1959年,国务院发布了《关于统一计量制度的命令》;1977年,国务院发布了《中华人民共和国计量管理条例》;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》;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。现在已建有许多量仪厂和量具刃具厂,并生产出多种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612激光器、无导轨大长度测量仪等。



小 结

本章介绍了几何量公差、互换性等方面的基本概念和应当掌握的优先数系方面的知识。

习 题



1-1 叙述互换性与几何量公差的概念,说明互换性有什么作用,互换性的分类如何。

1-2 优先数系是一种什么数列?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?

1-3 试写出下列基本系列和派生系列中自1以后共5个优先数的常用值:R10, R10/2, R20/3, R5/3。

1-4 在尺寸公差表格中,自6级开始各等级尺寸公差的计算公式为 $10i$, $16i$, $25i$, $40i$, $64i$, $100i$, $160i$, ...;在螺纹公差表中,自3级开始的等级系数为0.50, 0.63, 0.80, 1.00, 1.25, 1.60, 2.00。试判断它们各属于何种优先数的系列。

2 几何量测量技术基础

▲ 教学提示

为使机械零部件等产品具有通用性和使用便利性,在设计时不仅需要满足零部件的功能要求,还必须遵守互换性原则及其相关标准,即在设计图样上标注相关的尺寸、形状位置、表面粗糙度等技术要求。然而,经过机械加工以后的零部件是否符合设计图样的技术要求,必须通过技术测量才能进行判断(检测)。而不同的几何参数具有不同的测量方法,需采用不同的测量器具;几何参数相同但位于不同的被测量对象(零部件)上测量方法也不同,需采用不同的测量器具,有不同的误差传递关系,遵守不同的测量基准准则。故需对几何量测量基础知识了解。

▲ 教学要求

本章要求学生掌握技术测量的基础知识,包括测量基准、测量尺寸传递系统和测量方法,各种计量器具的用途、使用要点及其适用范围,测量误差的分析和测量数据的处理方法等,并且要求在以上基础上,能够根据测量对象类型、测量参数、工序要求等,选择相应的测量基准、测量方法和测量器具,并通过测量,对所采集的测量数据进行处理和评价。

2.1 测量与检验的概念

2.1.1 技术测量的一般概念

1. 被对象

本章涉及的几何量主要是指对机械零件的相关几何量进行测量和检验,以确定零部件加工后是否符合设计图样上的技术要求。上述几何量包括长度、角度、表面粗糙度、轮廓、几何误差、几何形状、相互位置精度及单键和花键、螺纹和齿轮等典型零件的各几何参数等。

2. 计量单位

计量单位是指几何量中的长度、角度单位。在我国法定计量单位中,长度的基本单位为m(米);在机械制造中,常用的长度单位为mm(毫米);在精密测量中,常用的长度单位为 μm (微米)。平面角的角度单位为rad(弧度)、 μrad (微弧度)及 $^{\circ}$ (度)、 $'$ (分)、 $''$ (秒)。

3. 测量方法

测量方法是指测量时所采用的测量原理、计量器具和测量条件的综合。一般情况下,指获得测量结果的方式、方法。

4. 测量

测量是将被测量与作为计量单位的标准量在数值上进行比较,从而确定两者比值的过程。若以 x 表示被测量,以 q 表示标准量,以 E 表示测量值,则被测量的量值 x 为

$$x = qE \quad (2-1)$$

式(2-1)表明,任何几何量的量值都由两部分组成:表征几何量的数值和该几何量的计量单位。例如,某一被测长度与标准量 E (设 E 为1mm)进行比较,得到比值为50,则被测长度 $x=50\text{mm}$ 。

5. 测量精度

测量精度是指测量结果与真值相一致的程度,即测量结果的可靠程度。

6. 检定

检定是指评定计量器具的精度指标是否合乎该计量器具检定规程的全部过程。例如,用量块来检定千分尺的精度指标等。

2.2 长度基准与量值传递

2.2.1 长度基准与量值传递系统

1. 长度单位和基准

目前,世界各国所使用的单位有米制(公制)和英制两种。我国是实行米制的国家。根据《中华人民共和国法定计量单位》,我国规定长度的基本单位为米(m),同时采用米的十进倍数和分数单位制。机械制造中常用毫米(mm)作为长度量单位。

1983年,第17届国际计量大会通过的米的定义——光在 $1/299\,792\,458\text{s}$ 时间间隔内行程的长度。米定义的复现主要采用稳频激光,我国使用碘吸收稳定的 $0.633\mu\text{m}$ 氦氖激光等辐射线波长作为国家长度基准。

2. 长度量值传递系统

用光波波长作为基准不便于直接应用,实际生产中采用各种计量器具来测量零件的几何参数。为保证长度量值的统一,必须建立长度量值传递系统,即由长度基准一直到被测零件的量值传递系统,将长度基准的量值准确地传递到生产中使用的各种计量器具乃至被测工件上。

在技术上,从国家波长基准开始,长度量值分为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。

目前,在实际工作中使用线纹尺和量块作为两种实体基准,并用光波波长传递到基准线纹尺和一等量块,然后再由它们逐次传递到工件,以保证量值准确一致,如图2-1所示。

2.2.2 量块

量块又称块规,它是单值端面量具,其主要结构为长方六面体结构,六个平面中,两个互相平行的极为光滑平整的面为测量面,如图2-2(a)所示。量块主要为尺寸传递系统中的中间标准量具,或在相对法测量时作为标准件调整仪器的零位标准,也可以用它来直接测量零件。

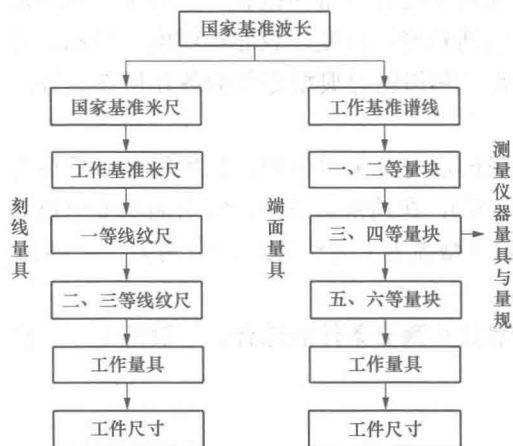


图 2-1 长度量值传递系统

量块的尺寸规定如下：把量块的一个工作面研合在平晶的工作平面上，另一个工作面的中心到平晶平面的垂直距离 L 称为量块尺寸，如图 2-2 (b) 所示。量块上标出的尺寸称为量块的标称尺寸。标称尺寸（名义尺寸）小于 6mm 的量块，有数字的一面为测量面；大于等于 6mm 的量块，有数字面的左、右侧面为测量面，如图 2-2 (a) 所示。

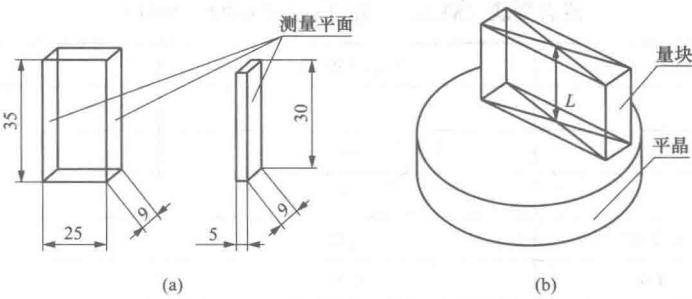


图 2-2 量块
(a) 量块；(b) 中心长度

由于量块具有可黏合的特性，因此可以在一定范围内，按照需要将不同工作尺寸的量块组合起来使用。在组合量块尺寸时，应力求以最少的块数组成所需的尺寸，一般不应超过 4 块，并使各量块的中心长度在同一直线上，以获得更高的尺寸精度。实际组合时，应从消去所需尺寸的最小尾数开始，每选一块量块应至少减少所需尺寸的一位小数。例如，为了得到工作尺寸为 18.785mm 的量块组，用 83 块一套的量块（见表 2-1），其组合方法如下：

量块组的尺寸	18.785
第一块量块的尺寸	—) 1.005 (尺寸一位小数 0.005)
剩余尺寸	17.78
第二块量块的尺寸	—) 1.28 (尺寸一位小数 0.08)
剩余尺寸	16.50
第三块量块的尺寸	—) 6.5 (尺寸一位小数 0.5)
剩余尺寸	10 (即第四块量块的尺寸)

结果：从 83 块一套的量块中可分别选取 1.005mm、1.28mm、6.5mm 和 10mm 4 块量块。

量块其测量面并非理想平面，两测量面也非绝对平行。根据不同的使用要求，量块做成不同的精度等级。划分量块精度的标准有两种：按“级”划分和按“等”划分。

量块的分级主要是按量块长度的极限偏差 t_L （量块中心长度与标称长度之间的最大偏差）或按长度变动量 t_v 的精度分为五级：X、0、1、2、3 级。其中，X 级的精度最高，精度依次降低，3 级的精度最低，具体数值见表 2-2。

量块精度等级的划分主要按量块长度测量不确定度允许值和长度变动量精度划分，分为五等：1、2、3、4、5 等。其中，1 等的精度最高，精度依次降低，5 等的精度最低，具体数值见表 2-3。

量块按“级”使用时，应以量块长度的标称值作为工作尺寸，该尺寸包含了量块的制造误差。量块生产企业大都按“级”向市场销售量块。量块按“等”使用时，应以经检定后所给出的量块中心长度的实测值作为工作尺寸，该尺寸排除了量块制造误差的影响，仅包含检

定时较小的测量误差。但是各种不同精度的检定方法，可以得到具有不同测量不确定度的量块。因此，量块按“等”使用的测量精度比量块按“级”使用的高。但由于按“等”使用比较麻烦，且检定成本高，故在生产现场仍按“级”使用。按 GB/T 6093—2001《量块》的规定，我国生产的成套量块有 91 块、83 块、46 块、38 块等几种规格。

表 2-1 成套量块（83 块）（摘自 GB/T 6093—2001）

尺寸范围（mm）	间隔（mm）	块数
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

表 2-2 各级量块精度指标的最大允许值（摘自 JJG 146—2003）

标称长度 l_n (mm)	K 级		0 级		1 级		2 级		3 级	
	$\pm t_e$	t_v	$\pm t_e$	t_v	$\pm t_e$	t_v	$\pm t_e$	t_v	$\pm t_e$	t_v
	最大允许值（ μm ）									
$l_n \leq 10$	0.20	0.05	0.12	0.10	0.20	0.16	0.45	0.30	1.0	0.50
$100 < l_n \leq 150$	0.30	0.05	0.14	0.10	0.30	0.16	0.60	0.30	1.2	0.50
$25 < l_n \leq 50$	0.40	0.06	0.20	0.10	0.40	0.18	0.80	0.30	1.6	0.55
$50 < l_n \leq 75$	0.50	0.06	0.25	0.12	0.50	0.18	1.00	0.35	2.0	0.55
$75 < l_n \leq 100$	0.60	0.07	0.30	0.12	0.60	0.20	1.20	0.35	2.5	0.60
$100 < l_n \leq 150$	0.80	0.08	0.40	0.14	0.80	0.20	1.6	0.40	3.0	0.65

注 距离测量面边缘 0.8mm 范围内。

2.2.3 角度基准与量值传递

角度是重要的几何量之一，一个圆周定义为 360°，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、分度头等。

实物基准是用特殊合金钢或石英玻璃制成的多面棱体，以多面棱体作为角度基准的量值传递系统，多面棱体有 4 面、6 面、8 面、12 面、24 面、36 面、72 面等，如图 2-3 和图 2-4 所示。

在角度量值传递系统中，角度量块是量值传递媒介，主要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，三角形角度量块只有 1 个工作角，四边形角度量块有 4 个工作角。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