

高等学校适用教材

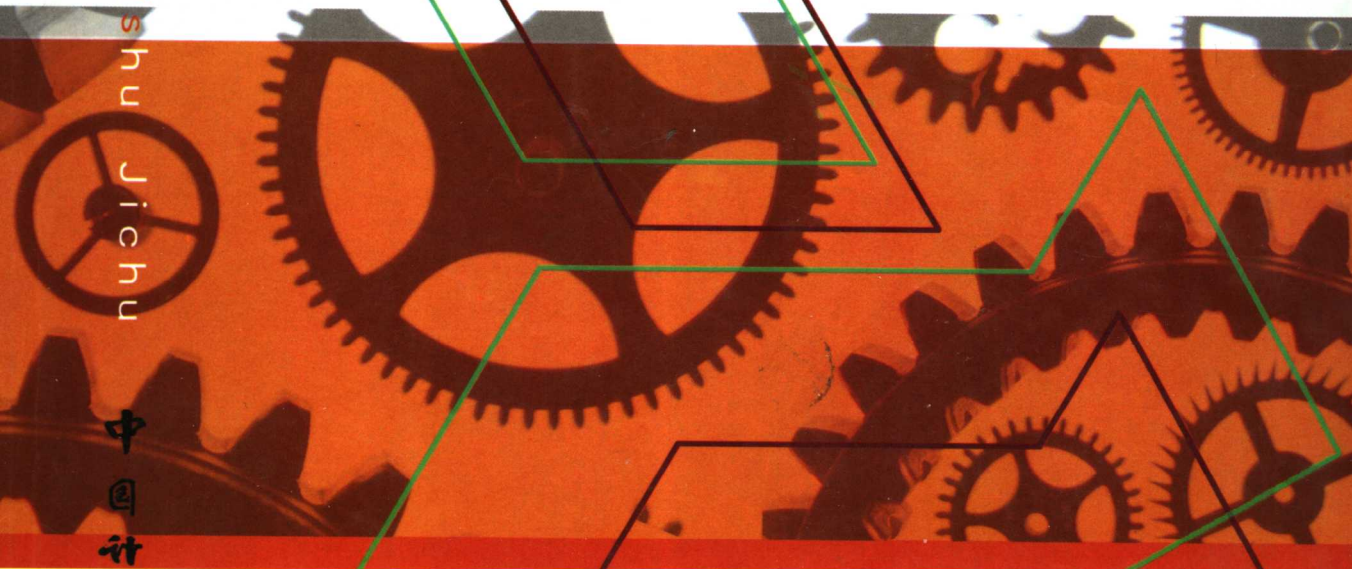
互换性与 测量技术基础

廖念钊 主编 许金钊 主审

第三版

Huahuanxing yu Celiang Jishu Jichu

中国计量出版社



图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术基础/廖念钊主编.—3版.—北京:中国计量出版社,2002.1

高等学校适用教材

ISBN 7-5026-1588-1

I. 互… II. 廖… 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. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 096856 号

内 容 提 要

本书共 10 章:绪论;尺寸公差与圆柱结合的互换性;测量技术基础;形位公差及检测;表面粗糙度;滚动轴承的互换性;量规与光滑工件尺寸的检测;螺纹、键、花键、圆锥结合的公差配合及检测;圆柱齿轮的互换性及检测以及尺寸链。书后附有练习题。

本书由原“高等工业学校互换性与技术测量教材编审小组”根据教学大纲组织编写,并按照“高等工业学校互换性与测量技术基础课程教学指导小组”的教材建设规划要求进行了修订,经课程教学指导小组同意作为高等工业学校机械类及仪器仪表类专业适用教材。同时,该教材也可供从事机械和仪器仪表制造的工程技术人员及计量、检验人员参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话(010)64275360

北京迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 13 字数 304 千字

2002 年 3 月第 3 版 2002 年 3 月第 19 次印刷

*

印数 167 501—182 500 定价:20.00 元

第一版前言

本世纪 80 年代以来,由于机械工业和仪器仪表工业的发展,在精度设计方面力求优化,表现在互换性生产原则的贯彻执行和测量技术的现代化,从而提高了产品质量,增强了竞争能力,为外向型经济发展开拓了广阔的前景。《互换性与测量技术基础》课程的教材建设也出现了前所未有的蓬勃气象。在近 10 年左右的时间里,先后出版的教材和参考书达 30 余种之多。这些教材和参考书都是各校有关教师根据多年的教学实践和经验编写的,各有所长,各具特色。

本书由原“高等工业学校互换性与技术测量教材编审小组”根据大纲组织编写,经“高等工业学校互换性与测量技术基础课程教学指导小组”同意,作为高等工业学校试用教材出版。

本书特点在于机械类及精密仪器仪表类专业可兼顾使用,大中小尺寸并举;在加强基础理论的同时,着眼于生产实践,务求理论结合实际,做到学以致用,并注意为后继课程的应用需要;章节层次分明,阐述深入浅出,内容新颖齐全,文笔生动流畅,有利教学和自习。

本书包括十二章:绪论;圆柱形工件的公差与配合;测量技术基础;形位公差;表面粗糙度;轴承公差与配合;量规和检验;锥度公差与配合;花键结合;螺纹结合;圆柱齿轮传动和尺寸链。

参加本书编写的有:清华大学花国梁教授(第二章、第六章)、重庆大学廖念钊教授(第一章、第三章、第五章)、重庆大学莫雨松副教授(第四章)、河北工学院何贡教授(第七章、第九章、第十章)、浙江大学吴昭同教授(第八章、第十一章)和东北工学院李纯甫教授(第十二章)。

本书由重庆大学廖念钊教授主编,由吉林工业大学许金钊教授主审。

本书在编写和审稿过程中,一直得到互换性与技术测量教材编审小组和本课程教学指导小组的指导和帮助。1988 年 3 月在武汉召开的教材审稿会议上,与会同志对全书再次进行了评审。参加本书审稿的有:梁晋文教授、李柱教授、赵卓贤教授、徐享钧副教授、王文义副教授、李继桢副教授、胡林副教授、丁志华副教授、谢景华副教授,以及谢文藻、申玉洁老师等。何镜民教授在编写过程中也提出了中肯的意见,在此一并表示诚挚谢忱!

限于编写者的水平,书中不足之处、缺点和错误恐难避免,请读者批评指正。

编者

1988 年 6 月

修 订 附 言

本教材第1版自1988年11月出版以来,至今已使用5年。按照“高等工业学校互换性与测量技术基础课程教学指导小组”的教材建设规划要求及授课实践的需要,对本教材进行了修订。

这次修订的重点是减少篇幅,内容上少而精,可以解决内容多、学时少的矛盾。修订后的教材,由原十二章合并为十章,更便于教师讲授、学生理解和掌握。本次修订对原书各章均进行了不同程度的修改,如将原第八章圆锥和角度公差及检测、第九章螺纹结合的互换性及检测、第十章键和花键结合的互换性及检测合并为一章编写,形状和位置公差及检测、圆柱齿轮的互换性及检测根据相关的新标准修改了有关内容,同时相应地修改了书中所附的习题等。参加这次修订工作的有廖念钊教授、花国梁教授、何贡教授、李纯甫教授、吴昭同教授和莫雨松副教授等,全书主审工作仍由许金钊教授担任。

在这次修订工作中,得到各有关院校老师的支持和帮助,特此致谢。

编 者

1993年11月

第三版修订附言

这本教材在广大教师和同学的支持下,自1993年11月修订以来,已使用了近8年。在这8年中,随着科学技术的发展,我国公差标准的修订,以及根据教材使用中教师们的亲身体会等情况,曾多次对本教材的再修订提出了要求,为此特进行本次修订。

这次教材修订的重点是更新了公差标准,改写了教材中不便教学的章节,简介了相关科技发展的新内容。其修改的内容涉及第一、二、三、四、五、七、八和十等八章。相信在教材修订后将更便于教学,对工程技术人员参考也更方便。

这次教材修订,得到了全国有关院校老师的大力帮助和支持,在此表示衷心的感谢。

编者
2002年1月

目

录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 互换性与公差	(1)
§ 1-2 公差与配合标准发展简述	(2)
§ 1-3 计算机辅助公差设计概述	(3)
§ 1-4 测量技术发展简述	(3)
§ 1-5 优先数和优先数系简述	(4)
第二章 尺寸公差与圆柱结合的 互换性	(6)
§ 2-1 极限与配合的常用词汇	(6)
§ 2-2 标准公差系列	(10)
§ 2-3 基本偏差系列	(11)
§ 2-4 一般、常用和优先使用的公差带 与配合的标准化	(20)
§ 2-5 公差与配合的选用	(23)
§ 2-6 大、小尺寸段的公差与配合	(30)
§ 2-7 一般公差 线性尺寸的未注公差	(32)
第三章 测量技术基础	(34)
§ 3-1 测量的基本概念与尺寸传递	(34)
§ 3-2 测量仪器与测量方法的分类	(37)
§ 3-3 测量仪器与测量方法的常用术语	(38)
§ 3-4 常用长度测量仪器原理	(40)
§ 3-5 测量误差和数据处理	(46)
§ 3-6 测量误差产生的原因及其减少措 施	(53)
第四章 形状和位置公差及检测	(56)
§ 4-1 概述	(56)
§ 4-2 形状公差	(57)
§ 4-3 位置公差	(60)
§ 4-4 公差原则	(68)
§ 4-5 形位公差的选择	(75)
§ 4-6 形位误差的检测	(79)
第五章 表面粗糙度	(89)
§ 5-1 表面粗糙度评定参数及其数值	(89)
§ 5-2 表面粗糙度的标注	(94)
§ 5-3 表面粗糙度参数值的选择	(95)

第六章 滚动轴承的互换性	(97)
§ 6—1 概述	(97)
§ 6—2 滚动轴承的精度等级及其应用	(97)
§ 6—3 滚动轴承内、外径的公差带及其特点	(99)
§ 6—4 滚动轴承与轴和壳体孔的配合及选用	(99)
第七章 光滑工件尺寸的检测	(106)
§ 7—1 尺寸误检的基本概念	(106)
§ 7—2 用通用计量器具测量工件	(107)
§ 7—3 用光滑极限量规检验工件	(111)
第八章 螺纹、键、花键、圆锥结合的公差配合及检测	(119)
§ 8—1 螺纹结合的公差配合及检测	(119)
§ 8—2 键和花键结合的公差配合及检测	(130)
§ 8—3 圆锥结合的公差配合及检测	(137)
第九章 圆柱齿轮的互换性及检测	(146)
§ 9—1 概述	(146)
§ 9—2 齿轮加工误差及齿轮误差项目	(146)
§ 9—3 齿轮副误差和检验项目	(157)
§ 9—4 渐开线圆柱齿轮精度标准	(158)
第十章 尺寸链	(170)
§ 10—1 尺寸链的基本概念	(170)
§ 10—2 尺寸链计算	(175)
§ 10—3 达到封闭环公差要求的方法	(185)
习题	(187)
主要参考书目	(195)

第一章 绪 论

§ 1—1 互换性与公差

互换性是机械制造、仪器仪表和其他许多工业生产中产品设计和制造的重要原则。使用这个原则能使上述工业部门有最佳的经济效益和社会效益。互换性是指在同一规格的一批零件或部件中,任取其一,不需经过任何挑选或附加修配(如钳工修理),就能装在机器上,达到规定的功能要求。这样的一批零件或部件就称为具有互换性的零、部件。例如,人们经常使用的摩托车和汽车的零件,就是按互换性原则生产的。当摩托车和汽车零件损坏时,修理人员很快就能用同样规格的零件换上,恢复摩托车和汽车的功能。

机械制造、仪器仪表中的互换性,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。

所谓几何参数,主要包括尺寸大小、几何形状(宏观、微观)以及形面间相互位置关系等。为了满足互换性的要求,最理想的是同规格的零、部件,其几何参数都要做得完全一致,这在实践中是不可能的,也是不必要的,实际上只要求同规格零、部件的几何参数保持在一定的变动范围内就能达到互换的目的。

允许零件几何参数的变动量就称为“公差”。

现代化的机械工业,首先要求机械零件具有互换性,从而才有可能将一台机器中的成千上万个零、部件,分散进行高效率的专业化生产,然后又集中起来进行装配。因此,零、部件的互换性为生产的专业化创造了条件,促进了自动化生产的发展,有利于降低产品成本,提高产品质量。

零、部件在几何参数方面的互换,体现为公差标准的完善,而公差标准又是机械工业的基础标准,它为机器的标准化、系列化、通用化奠定了基础,从而缩短了机器设计的周期,促进新产品的高速发展。

互换性生产可以减少修理机器的时间和费用。因此,互换性生产对我国机械制造业和仪器制造业具有非常重要的意义。

互换性按其互换程度,可分为完全互换和不完全互换。前者要求零、部件在装配时,不需要挑选和辅助加工;后者则允许零、部件在装配前进行预先分组或预先设定一件在装配时采取调整或加工等措施。

对标准部件,互换性还可分为内互换和外互换。组成标准部件的零件的互换称内互换;标准部件与其他零、部件的互换称外互换。例如滚动轴承的外圈内滚道,内圈外滚道与滚动体的互换称内互换;外圈外径、内圈内径以及轴承宽度与其相配的机壳孔、轴颈和轴承端盖的互换称外互换。

§ 1—2 公差与配合标准发展简述

随着机械工业生产的发展,要求企业内部有统一的公差与配合标准,以扩大互换性生产的规模和控制机器备件的供应。1902年英国伦敦以生产剪羊毛机为主的纽瓦(Newall)公司编制了尺寸公差的“极限表”,这是最早的公差制。

1906年,英国颁布了国家标准B.S.27;1924年英国又制定了国家标准B.S.164;1925年美国出版了包括公差在内的美国标准A.S.A.B_{4a}。上述标准就是初期的公差标准。

在公差标准的发展史上,德国标准DIN占有重要位置,它在英、美初期公差标准的基础上有了较大的发展。其特点是采用了基孔制和基轴制,并提出公差单位的概念;将公差等级和配合分开;规定了标准温度为20℃。1929年苏联也颁布了“公差与配合”标准。

由于生产的发展,国际间的交流也愈来愈广,1926年成立了国际标准化协会(ISA),它的第三技术委员会(ISA/TC3)负责制定公差与配合标准,秘书国为德国。国际标准化协会在分析了DIN(德国标准)、AFNOR(法国标准)、BSS(英国标准)和SNV(瑞士标准)等国公差标准的基础上,于1932年提出了国际标准化协会ISA的议案。1935年公布了ISA的草案。直到1940年才正式颁布了国际公差与配合标准。

第二次世界大战以后,于1947年2月国际标准化协会重新组建,改名为国际标准化组织ISO,公差与配合标准仍由第三技术委员会(ISO/CT3)负责,秘书国为法国。ISO在ISA工作的基础上,制定了公差与配合标准,此标准于1962年公布,其编号为ISO/R 286—1962(极限配合制)。以后又陆续制定、公布了包括ISO/R 773—1969(长方形及正方形平行键及键槽);ISO/R 1938—1971(光滑工件的检验);ISO/R 1101—I—1969(形状和位置公差通则、符号和图样标注法);ISO 68—1973(紧固联结的圆柱螺纹标准);ISO 1328—1975(平行轴圆柱齿轮精度制);ISO 468—1982(表面粗糙度标准)等在内的一系列标准,形成了现行的国际公差标准。

在半封建半殖民地的旧中国,由于工业落后,加之帝国主义侵略、军阀割据,根本谈不上统一的公差标准。那时全国采用的公差标准很混乱,有德国标准DIN、日本标准JIS、美国标准ASA。1944年旧经济部中央标准局曾颁布过中国标准CIS,但实际上未曾贯彻执行。

解放以后,随着社会主义建设的发展,我国在吸收了一些国家在公差标准方面的经验以后,于1955年由当时的第一机械工业部颁布了第一个公差与配合标准。1959年由国家科委正式颁布了《公差与配合》国家标准(GB 159~174—59),接着又陆续制定了各种结合件、传动件、表面粗糙度等标准。70年代中期,我国又参照国际标准ISO并结合我国生产实际开始对各种公差配合进行全面的修订,并于1979年颁布了第一个修订后的《公差与配合》国家标准(GB 1800~1804—1979)。以后又陆续颁布了形状和位置公差、光滑极限量规、光滑工件尺寸检验、渐开线圆柱齿轮精度、表面粗糙度、键、花键、螺纹、圆锥、角度以及滚动轴承等标准,使我国的公差标准与国际标准ISO相适应。随着科学技术的发展,生产水平的不断提高,在90年代,国家又对原有的公差、配合标准进行部分再修订。为了进一步和国际标准接轨,将原定名为《公差与配合》的标准更名为《极限与配合》。并将修订后的标准用代号“GB/T”去替代“GB”以示区别。如《极限与配合 基础》(GB/T 1800.1—1996);《一般公差 线型尺寸未注公差》(GB/T 1804—1992);《用普通计量器具检验》

(GB/T 3177—1996);《形状和位置公差》(GB/T 1182—1996);《形状和位置公差相关要求》(GB/T 16671—1996);《形位公差值》(GB/T 1184—1996);《表面粗糙度》(GB/T 1031—1995)等标准。这些修订后的标准,将更加有利于我国的国际技术交流、合作和贸易。

§ 1—3 计算机辅助公差设计概述

自 70 年代以来,随着计算机技术的迅速发展和广泛应用,使机械制造业也发生了根本性的变化,已出现了将系统工程、管理科学、计算机技术和机械制造技术等领域的科学成果相结合而形成的计算机集成制造系统(CIMS)。该系统是包括市场分析、生产决策、设计开发、工艺规划、产品制造、产品装配和销售经营等在内的计算机化控制网络,具有统一的信息管理和控制系统。

作为机械产品设计和制造过程设计中的一项重要内容,机械零件的公差设计和工序公差设计也在不断发展,在各种 CAD(计算机辅助设计)软件中已能实现公差的标注。国外已有许多学者开展了计算机辅助公差设计(CAT)的研究,但还未达到完全实用的程度。从已有的文献报导中可知,1978 年英国剑桥大学的 C.Hillard 提出利用计算机辅助确定零件的几何形状、尺寸和形位公差的概念。同年,丹麦的 O.Bjorke 提出利用计算机进行尺寸链公差设计和制造公差的控制。这以后发表的有关 CAT 的论文和软件则不断增加,1983 年 A.A.G.Requicha 提出了漂移公差带理论,它成为计算机公差建模的理论基础。1988 年 R.Weil 发表了“Tolerancing for Function”一文,更掀起了计算机辅助公差设计的研究热潮,此后出现了大量的有关公差设计的研究论文,它们中最具有影响的工作有两方面:一是由 A.Wirtzl 1988—1993 年发表的系列论文,提出矢量公差设计的概念,他用具有大小和方向的量来描述零、部件的几何形状和公差,使零、部件的大小、形状和方位的分别处理和表征成为可能,也更有利于误差的补偿与控制,其实质是把 Hillgrad 的参数方法矢量化,从而改变了计算机辅助公差设计研究的面貌。从事这方面研究的还有 Kritian(1993)、M.J.Gardew—Hall(1993)、M.Gierdano(1992)、D.Gaunet(1993)等。二是由张根保和 Porcher 联合发表的论文(1993),首次提出并行公差设计的概念和数学模型。它把产品的设计、制造和质检三个阶段统一起来,设计出满足要求的加工公差和检验标准,从而改变了设计、制造和检验脱节的现象,强调三者之间的集成和并行性,从而把计算机辅助公差设计的研究纳入系统研究的范畴。

此外,用分维几何法、逼近和摄动法研究零、部件表面细微误差及粗糙度问题也有报导,自 1995 年以来吴昭同等在计算机辅助公差优化设计方面也发表了系列论文,进行了有益的探索。可以预计,在不久的将来,公差设计的自动化将成为现实。

§ 1—4 测量技术发展简述

长度计量在我国具有悠久的历史。早在我国商朝时期(至今约 3100~3600 年)已有象牙制成的尺,到秦朝已统一了我国度量衡制度。公元 9 年,即西汉末王莽建国元年,已制成铜质卡尺。但由于我国长期的封建统制,科学技术未能得到发展,计量技术也停滞不前。

18世纪末期,由于欧洲工业的发展,要求统一长度单位。1791年法国政府决定以通过巴黎地球子午线的四千万分之一作为长度单位——米。以后制定一米的基准尺,称为档案米尺,该尺的两端面之间的长度为一米。

1875年国际米尺会议决定制造具有刻线的基准尺,用铂铱合金材料制成。1888年国际计量局接收了由瑞士制造的30根基准尺,经与档案尺进行比较,其中No6最接近档案米尺,于是1889年召开第一届国际计量大会,通过以该尺作为国际米原器。

由于米原器的金属结构也不够稳定。1960年10月召开的第十一届国际计量大会重新定义了米。即米是氪的同位素 $86(^{86}\text{Kr})$ 原子在 $2P_{10} \sim 5d_5$ 能级之间跃迁时所辐射的谱线在真空中波长的 $1\,650\,763.76$ 倍。

随着激光技术的发展,光速测量的准确度已经达到很高的程度。因此1983年10月第十七届国际计量大会通过了以光速来定义米,即米是光在真空中于 $1/299\,792\,458\text{s}$ 时间间隔内的行程长度。

伴随长度基准的发展,计量器具也在不断改进,自1850年美国制成游标卡尺以后,1927年德国Zeiss厂制成了小型工具显微镜,次年该厂又生产了万能工具显微镜。从此,几何参数测量随着生产的发展而飞速发展。其分辨率由 0.01mm 级提高到 μm 级,亚微米级。自1982年隧道显微镜研制成功(1986年获诺贝尔物理奖),测量的分辨率更提高到纳米(nm)级,达到可测原子、分子的尺寸;测量范围由二维空间发展到三维空间;测量的尺寸范围从原子、分子尺寸到飞机的机架尺寸;测量的自动化程度,从人工对准刻度尺读数到自动对准、计算机处理数据、自动打印或自动显示测量结果。

解放前,我国没有计量仪器生产工厂。解放后,随着生产的迅速发展,新建和扩建了一批量仪厂。如哈尔滨量具刃具厂、成都量具刃具厂、上海光学仪器厂、新添光学仪器厂、北京量具刃具厂以及中原量仪厂等。这些工厂成批生产了诸如万能工具显微镜、万能渐开线检查仪、电动轮廓仪、接触干涉仪、齿轮全误差测量仪、激光丝杆动态检查仪、自动周节检查仪、圆度仪和三坐标测量机等精密仪器,满足了我国工业发展的需要。

此外,我国在计量科学研究工作中也取得了很大的成绩。自1962~1964年建立了 ^{86}Kr 长度基准以来,又先后研制成功了激光光电光波比长仪、激光二坐标测量仪、激光量块干涉仪以及波长为 $3.39\mu\text{m}$ 甲烷稳定的激光测量系统和波长为 $0.633\mu\text{m}$ 碘稳定的激光测量系统。从而使我国的长度基准、线纹尺测量和量块的检定达到世界先进水平。90年代初,我国又先后研制成功了隧道显微镜、原子力显微镜,使我国在纳米测量技术方面进入了世界先进行列。

§ 1—5 优先数和优先数系简述

在商品生产中,为了满足用户各种各样的要求,同一品种同一个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。优先数和优先数系是一种科学的数值制度,它适合于各种数值的分级,是国际上统一的数值分级制度。目前我国数值分级的国家标准GB 321—1980,也是采用这种制度。

采用优先数系,能使工业生产部门以较少的产品品种和规格,经济合理地满足用户的各

种各样的需要。它不仅适用于标准的制定，也适用于标准制定前的规划、设计，从而把产品品种的发展从一开始就引入科学的标准化轨道。

优先数系由一些十进制等比数列构成，其代号为 R_r (R 是优先数系创始人 Renard 的第一个字母)，相应的公比代号为 q_r 。 r 代表 5, 10, 20, 40 或 80 等数值。例如当 r 等于 5 时，则该数系属 R_5 ，其相应的公比 $q_5 = 1.6$ 。以此类推，当 r 等于 10, 20, 40 或 80 时，他们分别属于 R_{10} , R_{20} , R_{40} 或 R_{80} 的数列，其相应的公比分别为 $q_{10} = 1.25$, $q_{20} = 1.12$, $q_{40} = 1.06$, $q_{80} = 1.03$ 。 r 的含义是在一个等比数列中，相隔 r 项的末项与首项项值之比等于 10。例如当 $r=5$ 时，设首项为 a ，则依序为 aq_5 , aq_5^2 , aq_5^3 , aq_5^4 , aq_5^5 。末项与首项之比 $aq_5^5/a = 10$ ，则 $q_5^5 = 10$, $q_5 = \sqrt[5]{10} = 1.6$ 。

各系列项值从 1 开始，可向大于 1 和小于 1 两边无限延伸，每个十进区间 (1~10, 10~100, …, 1~0.1, 0.1~0.01, …) 各有 r 个优先数。优先数的理论值多数是无理数，应用时应加以圆整，如表 1—1 所示。

表 1—1

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
1.00	1.00	1.00	1.00			2.24	2.24		5.00	5.00	5.00
			1.06				2.36				5.30
		1.12	1.12	2.50	2.50	2.50	2.50			5.60	5.60
			1.18				2.65				6.00
	1.25	1.25	1.25			2.80	2.80	6.30	6.30	6.30	6.30
			1.32				3.00				6.70
		1.40	1.40		3.15	3.15	3.15			7.10	7.10
			1.50				3.35				7.50
1.60	1.60	1.60	1.60			3.55	3.55		8.00	8.00	8.00
			1.70				3.75				8.50
		1.80	1.80	4.00	4.00	4.00	4.00			9.00	9.00
			1.90				4.25				9.50
	2.00	2.00	2.00			4.50	4.50	10.0	10.0	10.0	10.0
			2.12				4.75				

此外，由于生产的需要，还有 R_r 的变形系列，即派生系列和复合系列。 R_r 的派生系列指从 R_r 系列中按一定项差 P 取值所构成的系列，即 R_r/P 系列。若在 R_{10} 中按项差 $P=3$ 取值，则构成 $R_{10/3}$ 系列，其公比 $q_{10/3} = (\sqrt[10]{10})^3 = 2$ 。如 1, 2, 4, 8…; 1.25, 2.5, 5, 10…等均属于该系列。复合系列是指由若干等公比系列混合构成的多公比系列，如 10, 16, 25, 35.5, 50, 71, 100, 125, 160 这一数列，他们分别由 R_5 , $R_{20/3}$ 和 R_{10} 三种系列构成混合系列。

优先数系在各种标准中应用很广，例如在 >500 到 10 000mm 尺寸段的公差标准尺寸分段中就采用了 R_{10} 数系，它们是 500, 630, 1000…等等。又如表面粗糙度的取样长度就采用了 $R_{10/5}$ 派生数系，它们的项值分别为 0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8.0 和 25。

第二章 尺寸公差与圆柱结合的互换性

尺寸公差与光滑圆柱体结合（即圆柱形孔和轴的结合）在轻、重工业中，甚至一切工业部门都使用得非常广泛。因此，《极限与配合》标准便是一项应用广泛、涉及面大的重要基础标准。1959年我国颁布了《公差与配合》国家标准（GB 159~174—1959）。随着科学技术的发展，工业生产水平的不断提高以及国际间的技术交流，1979年我国重新颁布了新的《公差与配合》国家标准（GB 1800~1804—1979），用以替代1959年颁布的旧标准。随着时间的推移、技术的进步以及与国际标准接轨，我国又于1992年和1996年分别对上述标准进行了部分修订：将原定名称《公差与配合》更名为《极限与配合》；用《极限与配合 基础 第1部分：词汇》（GB/T 1800.1—1996）去替代原《公差与配合》GB 1800—1979中的“术语及定义”；用《一般公差 线性尺寸的未注公差》（GB/T 1804—1992）去替代《未注公差尺寸的极限偏差》（GB 1804—1979）。

§ 2—1 极限与配合的常用词汇

一、有关尺寸的术语

1. 尺寸

以特定单位表示线性尺寸值的数值称为尺寸。广义地说：尺寸也包括以角度单位表示角度尺寸的数值。

2. 孔和轴

通常将工件的圆柱形内表面和圆柱形外表面称为孔和轴。它包括非圆柱形表面，即由两平行平面或切面形成的包容面和被包容面，如图2—1所示。图中由 D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4 各尺寸确定的包容面均称为孔，由 d_1 、 d_2 、 d_3 和 d_4 各尺寸确定的被包容面均称为轴，而由 L_1 、 L_2 和 L_3 各尺寸确定的表面则不是孔或轴。

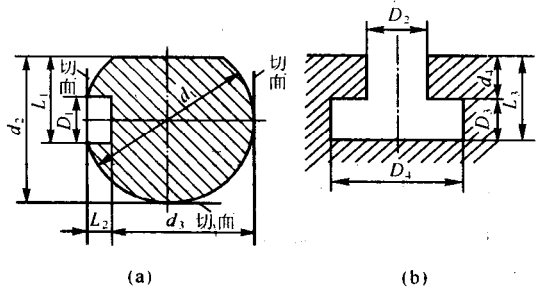


图 2—1

3. 基本尺寸

由设计给定的尺寸，称为基本尺寸。它是设计者经过计算或根据经验而确定的，是计算偏差的起始尺寸。孔和轴配合的基本尺寸相同。

4. 实际尺寸

通过测量获得的尺寸，称为实际尺寸。由于存在测量误差，所以实际尺寸不一定是被测尺寸的真值。此外，由于被测工件形状误差的存在，因此，不同部位测得的实际尺寸往往也

不相同。

5. 极限尺寸

允许尺寸变化的两个极限值，称为极限尺寸。两个极限尺寸中，较大的一个称为最大极限尺寸，孔用 D_{\max} 表示，轴用 d_{\max} 表示，较小的一个称为最小极限尺寸，孔用 D_{\min} 表示，轴用 d_{\min} 表示。

6. 最大实体状态 (MMC) 和最大实体尺寸 (MMS)

孔或轴在尺寸极限范围以内，具有材料量最多时的状态称为最大实体状态。在此状态下的尺寸，称为最大实体尺寸。它是孔的最小极限尺寸和轴的最大极限尺寸。

7. 最小实体状态 (LMC) 和最小实体尺寸 (LMS)

孔或轴在尺寸极限范围以内，具有材料量最少时的状态称为最小实体状态。在此状态下的尺寸，称为最小实体尺寸。它是孔的最大极限尺寸和轴的最小极限尺寸。

二、有关偏差与公差的术语

1. 尺寸偏差

某一尺寸（实际尺寸、极限尺寸）减其基本尺寸所得的代数差，称为尺寸偏差，简称偏差。

实际尺寸减基本尺寸所得的代数差称为实际偏差。极限尺寸减基本尺寸所得的代数差称为极限偏差。最大极限尺寸减基本尺寸所得的代数差，称为上偏差，用代号 ES（孔）、es（轴）表示。最小极限尺寸减基本尺寸所得的代数差称为下偏差，用代号 EI（孔）、ei（轴）表示。偏差可为正值、负值或零值。

2. 尺寸公差

最大极限尺寸与最小极限尺寸之差，或上偏差与下偏差之差，称为公差。它是允许尺寸的变动量。通常用 T 表示。

有关尺寸、偏差和公差的关系如图 2—2 所示。

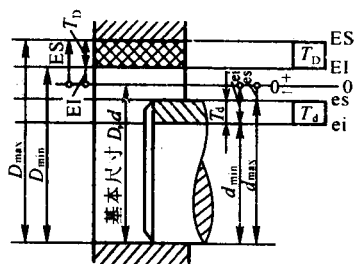


图 2—2

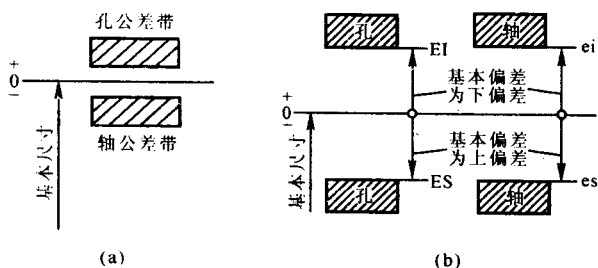


图 2—3

3. 公差带

以基本尺寸为零线（零偏差线），用适当比例画出的代表上偏差和下偏差（或最大极限尺寸和最小极限尺寸）的两条直线所限定的区域，称为公差带，如图 2—3 所示。零线以上的偏差为正偏差，零线以下的偏差为负偏差。从图 2—3 所示可以看出，公差带包括了两个

参数：一是公差带的大小（即宽度），它由标准公差确定；二是公差带相对于零线的位置，它由基本偏差确定。基本偏差是指距零线最近的那个偏差，它可能是上偏差或下偏差。

三、有关配合的术语

1. 间隙与过盈

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得之差，为正时，此差值称为间隙；为负时，此差值称为过盈。间隙和过盈分别用 S 和 δ 表示。

2. 配合

基本尺寸相同的相互结合的孔和轴公差带之间的关系称为配合。由于配合是指一批孔、轴的装配关系，因此用公差带关系来反映配合比较确切。

基孔制，即基本偏差固定不变的孔公差带，与不同基本偏差的轴公差带形成各种配合的一种制度。基孔制的孔为基准孔，其下偏差为零，代号为 H 。

基轴制，即基本偏差固定不变的轴的公差带，与不同基本偏差的孔公差带形成各种配合的一种制度。基轴制的轴为基准轴，其上偏差为零，代号为 h 。

按相互结合的孔、轴公差带不同的位置关系，可将配合分成三类，如图 2—4 所示。

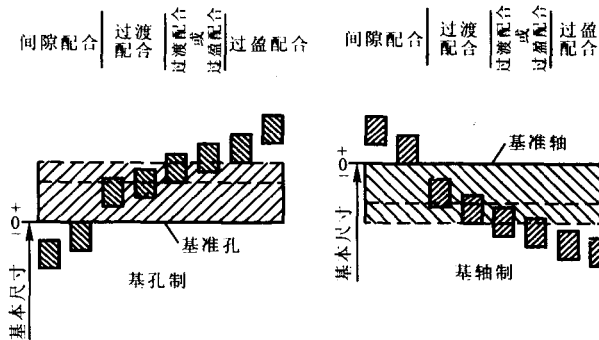


图 2—4

(1) 间隙配合

保证具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合，称为间隙配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之上。图 2—5 所示为基孔制间隙配合的实例，此时孔和轴的尺寸分别为 $\phi 50^{+0.039}_0$ 和 $\phi 50^{-0.025}_{-0.050}$ 。

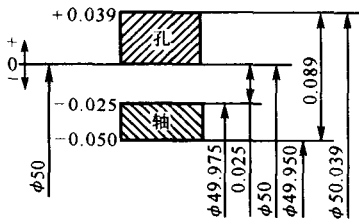


图 2—5

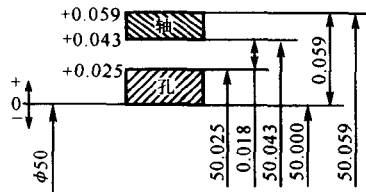


图 2—6

(2) 过盈配合

保证具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合，称为过盈配合。此时，孔公差带在轴的公差带之下，图2—6所示为基孔制过盈配合的实例。此时，孔和轴的尺寸分别为 $\phi 50_{-0.043}^{+0.025}$ 和 $\phi 50_{+0.002}^{+0.018}$ 。

(3) 过渡配合

可能具有间隙，也可能具有过盈的配合，称为过渡配合。此时，孔的公差带与轴的公差带相互交叠。图2—7所示为基孔制过渡配合实例，此时，孔和轴的尺寸分别为 $\phi 50_{+0.002}^{+0.025}$ 和 $\phi 50_{+0.002}^{+0.018}$ 。

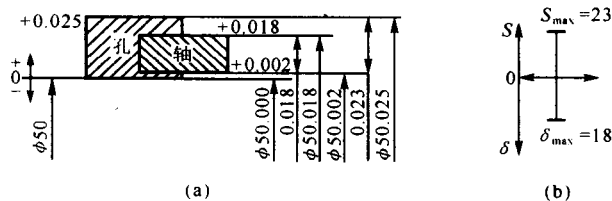


图 2—7

3. 配合公差与配合公差带

由图2—5、图2—6、图2—7可计算出：最大间隙（或最小过盈） S_{\max} （或 δ_{\min} ） $= D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$ 最小间隙（或最大过盈） S_{\min} （或 δ_{\max} ） $= D_{\min} - d_{\max} = EI - es$ 配合公差 $T_f = S_{\max}$ （或 δ_{\min} ） $- S_{\min}$ （或 δ_{\max} ） $= T_D + T_d$ 。

与尺寸公差带相似，配合公差也可用配合公差带图表示。配合公差带就是以零间隙（或零过盈）为零线，用适当比例画出的代表两极限间隙（或极限过盈）的两条直线所限定的区域。如图2—8所示。

表2—1列出了图2—7（a）所示过渡配合的计算过程，图2—7（b）为它的配合公差带图。

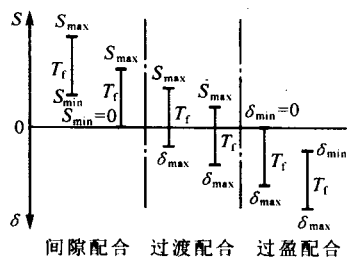


图 2—8

表 2—1 过渡配合的计算

mm

项目	孔	轴
基本尺寸	50	50
上偏差	$ES = +0.025$	$es = +0.018$
下偏差	$EI = 0$ （基本偏差）	$ei = +0.002$ （基本偏差）
最大极限尺寸	$D_{\max} = 50.025$	$d_{\max} = 50.018$
最小极限尺寸	$D_{\min} = 50.000$	$d_{\min} = 50.002$
标准公差	$T_D = 0.025$	$T_d = 0.016$
最大间隙	$S_{\max} = 50.025 - 50.002 = 0.023$	
最小间隙	$S_{\min} = 50.000 - 50.018 = -0.018$ （即最大过盈）	
配合公差	$T_f = 0.023 - (-0.018) = 0.041$	
	或 $T_f = T_D + T_d = 0.025 + 0.016 = 0.041$	

§ 2—2 标准公差系列

标准公差是公差与配合国家标准中规定的用以确定公差带大小的任一公差值，它是由下述原则制订的。

1. 公差单位（公差因子）

机械零件的制造误差不仅与加工方法有关，而且与基本尺寸的大小有关，为了评定零件尺寸公差等级的高低，合理地规定公差数值，建立了公差单位的概念。

公差单位是计算标准公差的基本单位，是制定标准公差系列表格的基础。根据生产实践经验以及专门的科学试验和统计分析，零件的加工误差与基本尺寸之间呈立方根抛物线的关系。

对尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时，国家标准确定的公差单位 i 按下式计算：

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D \quad (\mu\text{m}) \quad (2-1)$$

式中 D ——基本尺寸的计算值（mm）。

在式（2—1）中，第一项主要反映加工误差；第二项用于补偿与直径成正比的误差，主要由于测量时偏离标准温度及测量误差。当直径很小时，第二项所占比例很小；当直径较大时，第二项比例增大，使公差单位 i 值也相应增大。

2. 公差等级

国家标准规定的标准公差 T 是用公差等级系数 a 与公差单位 i 的乘积值来确定的，即：

$$T = ai \quad (2-2)$$

在基本尺寸一定的情况下，公差等级系数 a 是决定标准公差大小的唯一参数。 a 的大小在一定程度上反映出加工方法的难易程度。

根据公差等级系数不同，国家标准将标准公差分为20级，即IT 01，IT 0，IT 1，IT 2，…，IT 18，IT表示标准公差，即国际公差（ISO Tolerance）的缩写代号。公差等级代号用阿拉伯数字表示。如IT 7代表标准公差7级。从IT 01至IT 18，等级依次降低，而相应的标准公差值依次增大。

尺寸 $\leq 500\text{mm}$ ，IT 5以下各级的标准公差值按表2—2计算。

表 2—2 尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的IT 5至IT 18级标准公差计算表

公差等级	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
公差值 / μm	7 <i>i</i>	10 <i>i</i>	16 <i>i</i>	25 <i>i</i>	40 <i>i</i>	64 <i>i</i>	100 <i>i</i>	160 <i>i</i>	250 <i>i</i>	400 <i>i</i>	640 <i>i</i>	1 000 <i>i</i>	1 600 <i>i</i>	2 500 <i>i</i>

由该表可以看出，从IT 6~IT 18级。 a 值按R5优先数系增加，公比为 $\sqrt[5]{10} \approx 1.6$ ，所以每隔5个等级的公差值增加10倍。

对于 $\leq 500\text{mm}$ 的更高等级，主要考虑测量误差，其公差计算采用线性关系式。而IT 2~IT 4的公差值则大致在IT 1~IT 5的公差值之间，按几何级数分布，如表2—3所示。