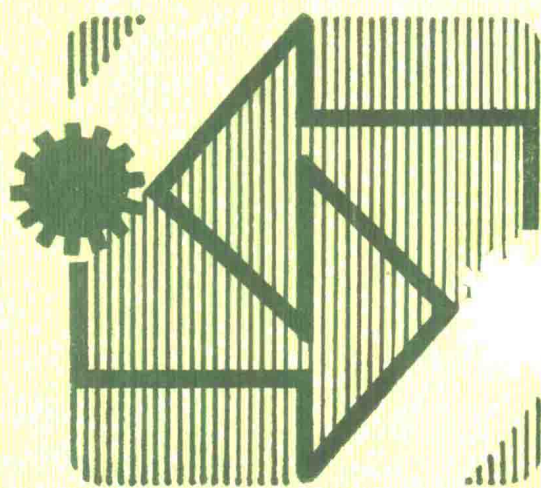


高等学校试用教材

# 互换性与测量技术基础

廖念钊 主编



中国计量出版社

高等学校试用教材

# 互换性与测量技术基础

主 编 廖念钊

主 审 许金钊

中国计量出版社

## 内 容 提 要

本书包括十二章：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；表面粗糙度及其检测；滚动轴承的互换性；量规与光滑工件尺寸的检测；圆锥和角度公差及检测；螺纹结合的互换性及检测；键和花键结合的互换性及检测；圆柱齿轮互换性及检测以及尺寸链。

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机械类各专业与仪器仪表专业试用教材。同时，该教材也可供机械制造和仪器仪表制造的工程技术人员及计量、检验人员参考。

### 互换性与测量技术基础

主 编 廖念钊

主 审 许金钊

责任编辑 刘瑞清

—\*

中国计量出版社出版

北京和平门11区7号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—\*

开本 787×1092/16 印张 15.375 字数 376 千字

1988年11月第1版 1988年11月第1次印刷

印数 1—20 000

ISBN 7-5026-0145-7/TB·123

定价 4.40 元

# 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各专业与精密仪器仪表专业可兼顾使用, 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, 并注意到为后继课程的应用; 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 副教授 (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、李继楨副教授、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, 请读者批评指正。

编 者

1988 年 6 月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	( 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 测量技术发展简述 .....	( 2 )
§ 1—4 优先数和优先数系简述 .....	( 3 )
<b>第二章 尺寸公差与圆柱结合的互换性</b> .....	( 5 )
§ 2—1 概述 .....	( 5 )
§ 2—2 公差与配合的基本术语及定义 .....	( 6 )
§ 2—3 标准公差系列 .....	( 10 )
§ 2—4 基本偏差系列 .....	( 12 )
§ 2—5 一般、常用和优先使用的公差带与配合的标准化 .....	( 20 )
§ 2—6 公差与配合的选用 .....	( 23 )
§ 2—7 大、小尺寸段的公差与配合 .....	( 31 )
§ 2—8 未注公差尺寸的极限偏差 .....	( 32 )
§ 2—9 公差与配合旧国标概述及新旧公差与配合标准的对照 .....	( 34 )
<b>第三章 测量技术基础</b> .....	( 37 )
§ 3—1 测量的基本概念与尺寸传递 .....	( 37 )
§ 3—2 计量器具与测量方法的分类 .....	( 40 )
§ 3—3 计量器具与测量方法的常用术语 .....	( 42 )
§ 3—4 常用长度计量仪器 .....	( 43 )
§ 3—5 光栅、激光的应用简介 .....	( 50 )
§ 3—6 测量误差和数据处理 .....	( 53 )
§ 3—7 测量误差产生的原因及其减少措施 .....	( 62 )
<b>第四章 形状和位置公差及其检测</b> .....	( 64 )
§ 4—1 概述 .....	( 64 )
§ 4—2 形状公差和误差 .....	( 65 )
§ 4—3 位置公差和误差 .....	( 70 )
§ 4—4 公差原则 .....	( 81 )
§ 4—5 形位公差的选择 .....	( 85 )
§ 4—6 形位误差的检测 .....	( 88 )
<b>第五章 表面粗糙度及其检测</b> .....	( 98 )
§ 5—1 表面粗糙度评定参数及其数值 .....	( 98 )
§ 5—2 表面粗糙度的符号及标注 .....	( 103 )
§ 5—3 表面粗糙度参数值的选择 .....	( 104 )

§ 5—4 表面粗糙度的测量	(104)
<b>第六章 滚动轴承的互换性</b>	(109)
§ 6—1 概述	(109)
§ 6—2 滚动轴承的精度等级	(109)
§ 6—3 滚动轴承内径与外径的公差带及其特点	(113)
§ 6—4 滚动轴承与轴和壳体孔的配合及选用	(115)
<b>第七章 量规与光滑工件尺寸的检测</b>	(121)
§ 7—1 尺寸误检的基本概念	(121)
§ 7—2 用光滑极限量规检验工件	(122)
§ 7—3 用通用计量器具测量工件	(129)
<b>第八章 圆锥和角度公差及检测</b>	(133)
§ 8—1 圆锥及圆锥公差	(133)
§ 8—2 角度及角度公差	(141)
§ 8—3 角度和锥度的测量	(143)
<b>第九章 螺纹结合的互换性及检测</b>	(150)
§ 9—1 概述	(150)
§ 9—2 螺纹几何参数误差对互换性的影响	(151)
§ 9—3 普通螺纹的公差与配合	(155)
§ 9—4 机床丝杠、螺母公差	(159)
§ 9—5 螺纹的检测	(163)
<b>第十章 键和花键结合的互换性及检测</b>	(170)
§ 10—1 键联结	(170)
§ 10—2 花键联结	(173)
<b>第十一章 圆柱齿轮的互换性及检测</b>	(181)
§ 11—1 概述	(181)
§ 11—2 齿轮加工误差及齿轮误差项目	(181)
§ 11—3 齿轮副误差和检验项目	(190)
§ 11—4 渐开线圆柱齿轮精度标准	(192)
§ 11—5 齿轮测量	(204)
<b>第十二章 尺寸链</b>	(215)
§ 12—1 尺寸链的基本概念	(215)
§ 12—2 尺寸链的计算	(226)
§ 12—3 满足封闭环公差要求的方法	(228)
<b>习题</b>	(230)

# 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，人们经常使用的自行车和手表的零件，就是按互换性原则生产的。当自行车或手表零件损坏时，修理人员很快就能用同样规格的零件换上，恢复自行车和手表的功能。

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在装配时采取调整等措施。

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<sub>4</sub>。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；将精度等级和配合分开；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—1—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、表面光洁度等标准。随着我国经济建设的发展，旧有的公差标准已不适应新形势的要求，因此在国家标准局的统一领导下，有计划地对原有标准进行了修订。已修订的标准有：公差与配合（GB 1800~1804—79），形状和位置公差（GB 1182~1184—80）；光滑极限量规（GB 1957—81）；光滑工件尺寸的检验（GB 3177—82）以及表面粗糙度，键、花键，螺纹，角度和滚动轴承等等。这些新修定的标准，正在对我国的机械工业产生愈来愈大的影响。

## §1—3 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№6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 $86(^8\text{Kr})$ 原子在 $2P_{1/2} \sim 5d_5$ 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，光速测量精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，几何参数测量的精度、测量范围随着生产的发展而飞速发展。精度由 $0.01\text{ mm}$ 级提高到 $0.001\text{ mm}$ 级，甚至 $0.0001\text{ mm}$ 级；测量范围由二维空间发展到三维空间；测量的尺寸范围从集成元件的线条宽度到飞机的机架尺寸；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、齿轮单啮仪、自动调节检查仪、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 $^8\text{Kr}$ 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 $3.39\text{ }\mu\text{m}$ 甲烷稳定的激光测量系统和波长为 $0.633\text{ }\mu\text{m}$ 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。此外，我国研制成功并进行小批生产的激光丝杠动态检查仪、齿轮全误差测量仪等均进入世界先进行列。

## §1—4 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—80，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

种各样需求。它不仅适用于标准的制订，也适用于标准制订前的规划、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， $r$  是代表 5、10、20、40 和 80 等项数)。等比数列的公比为  $q_r = \sqrt[r]{10}$ ，其涵义是在同一个等比数列中，每隔  $r$  项的后项与前项的比值增大 10 倍。例如  $R_5$ ：设首项为  $a$ ，则依次各项为  $aq_5$ 、 $a(q_5)^2$ 、 $a(q_5)^3$ 、 $a(q_5)^4$ 、 $a(q_5)^5$ ，那么  $a(q_5)^5/a=10$ ，故  $q_5 = \sqrt[5]{10} = 1.6$ 。相应各系列的公比为： $q_{10} = \sqrt[10]{10} = 1.25$ ， $q_{20} = \sqrt[20]{10} = 1.12$ ， $q_{40} = \sqrt[40]{10} = 1.06$ ，以及补充系列的公比  $q_{80} = \sqrt[80]{10} = 1.03$ 。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 ( $1 \sim 10$ ， $10 \sim 100$ ，…… $1 \sim 0.1$ ， $0.1 \sim 0.01$ ……) 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。

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  $R_r$  系列中按一定的项差  $P$  取值所构成的系列。如  $R_r/P = R_{10/3}$ ，即在  $R_{10}$  的数列中，每隔 3 项取 1 项的数列，其公比  $q_{10/3} = (\sqrt[10]{10})^3 = 2$ 。如 1、2、4、8……；1.25、2.5、5、10……等等。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  $>500$  mm 到 3 150 mm 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、800、1 000、1 250、1 600、2 000、2 500 和 3 150。又如表面粗糙度的取样长度的分段就采用了  $R_{10}$  的派生数系  $R_{10/5}$ ，它们是 0.08、0.25、0.8、2.5、8.0 和 25。

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	6.00
			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				

# 第二章 尺寸公差与圆柱结合的互换性

## §2—1 概 述

尺寸公差与光滑圆柱体结合（即通常的孔与轴的结合）在轻、重工业中，甚至一切工业部门中都是使用得最广泛的。因而“公差与配合”标准便是一项应用广泛、涉及面大的重要基础标准。

为了适应我国科学技术的飞速发展、工业产品精度的不断提高以及国际间的技术交流，经国家标准总局批准，于1979年颁布了公差与配合标准(GB 1800~1804—79)，取代了1959年颁布的旧标准(GB 159~174—59)。

公差与配合新国家标准的公差体系如图2—1所示，由图中可看出，一个完整的公差制应包括公差与配合的构成、公差带的选用和工件的测量与检验等各组成部分。这种体系对于其他结合（如螺纹、花键、齿轮等）也大体如此。因此，掌握好圆柱结合的公差与配合标准，对学习了解其他各章的互换性，具有典型的意义。

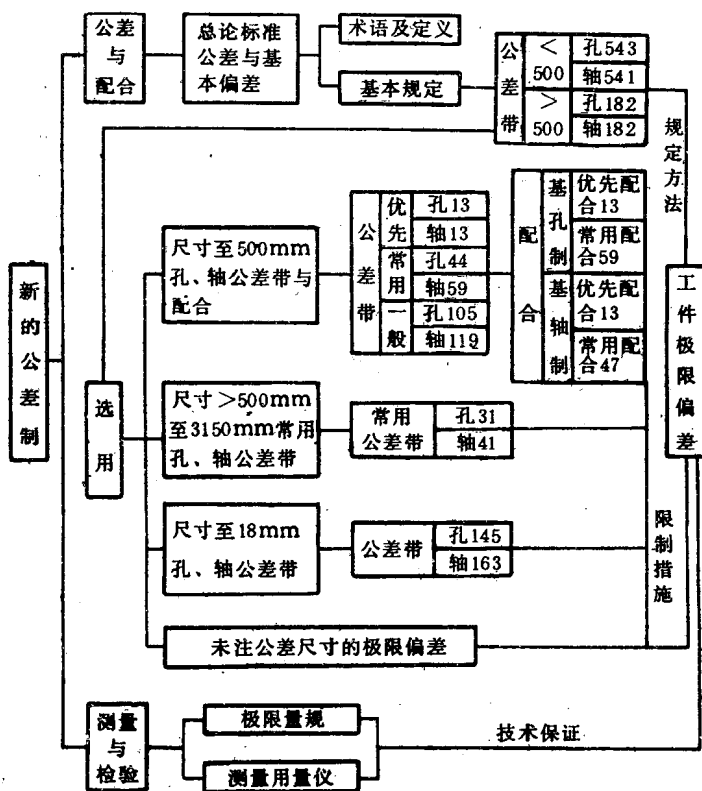


图 2—1 新国标公差体系组成

本章主要阐述公差与配合新国标的构成规律和特征，关于量规与检验标准将在第七章中介绍。

## §2-2 公差与配合的基本术语及定义

为了正确掌握公差与配合标准及其应用，统一设计、工艺、检验等人员对公差与配合标准的理解，必须明确规定公差与配合的基本概念、术语和定义。

### 一、有关“尺寸”的术语和定义

#### 1. 尺寸

用特定单位表示长度值的数字。在技术图样中和在一定范围内，已注明共同单位（如在尺寸标注中，以 mm 为通用单位）时，均可只写数字，不写单位。

#### 2. 基本尺寸

由设计给定的尺寸。它是设计者经过计算或根据经验而确定的，通常还应按标准选取。它是计算极限尺寸和极限偏差的起始尺寸。孔和轴配合的基本尺寸相同。

#### 3. 实际尺寸

通过测量所得的尺寸。由于存在测量误差，所以实际尺寸并非尺寸的真值。同时，由于形状误差等影响，在零件的同一表面的不同部位上，其实际尺寸也往往是不等的。

#### 4. 极限尺寸

允许尺寸变化的两个界限值。两个极限尺寸中较大的一个称为最大极限尺寸，较小的一个称为最小极限尺寸(图 2-2)。

#### 5. 最大实体状态 (简称 MMC) 和最大实体尺寸 (MMS)

孔或轴在尺寸公差范围以内，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的统称。

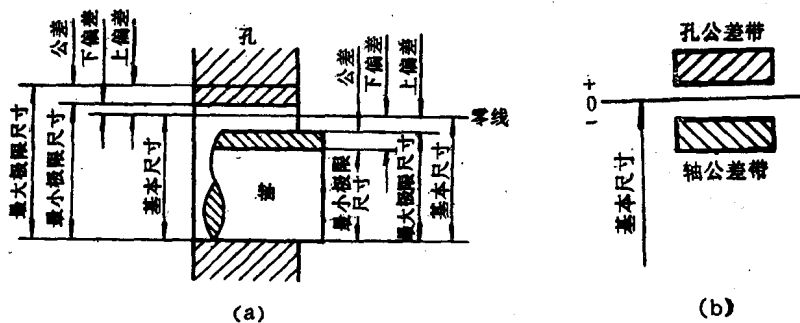


图 2-2

#### 6. 最小实体状态 (简称 LMC) 和最小实体尺寸 (LMS)

孔或轴在尺寸公差范围内，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的统称。

#### 7. 作用尺寸

在配合面的全长上，与实际孔内接的最大理想轴的尺寸，称为孔的作用尺寸；与实际轴

外接的最小理想孔的尺寸，称为轴的作用尺寸。如图 2—3 所示。

由图 2—3 可知，由于实际孔、轴都有形状误差，当孔和轴配合时，孔显得小了，轴显得大了，即孔的作用尺寸小于孔的实际尺寸，而轴的作用尺寸大于轴的实际尺寸。因此，能否取得预期的配合效果，不完全取决于孔、轴的实际尺寸，而应同时考虑孔、轴的作用尺寸。

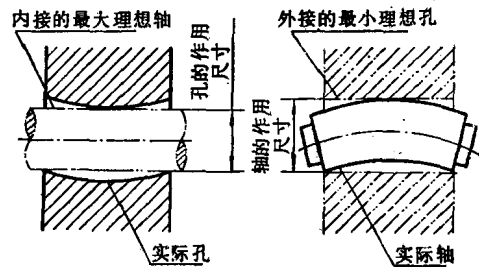


图 2—3

## 8. 极限尺寸判断原则（泰勒原则）

国家标准对如何根据极限尺寸来判断孔、轴是否合格，做了明确的规定，称为极限尺寸判断原则（也叫泰勒原则），定义如下：

孔或轴的作用尺寸不允许超过最大实体尺寸。即对于孔，其作用尺寸应不小于最小极限尺寸；对于轴应不大于最大极限尺寸。

在任何位置上的实际尺寸，不允许超过最小实体尺寸。即对于孔，其实际尺寸应不大于最大极限尺寸；对于轴，则应不小于最小极限尺寸。

由此可见，孔或轴的最大实体尺寸主要是控制其作用尺寸；孔或轴的最小实体尺寸主要是控制其实际尺寸。无论孔或轴，只有当其实尺寸和作用尺寸均不超过其最大、最小实体尺寸时才算合格。

## 二、有关“公差与偏差”的术语和定义

### 1. 尺寸偏差（简称偏差）

某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

偏差包括实际偏差与极限偏差，而极限偏差又分为上偏差和下偏差。上偏差是最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差，用代号  $ES$ （孔）、 $es$ （轴）表示；下偏差是最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差，用代号  $EI$ （孔）、 $ei$ （轴）表示。实际偏差为实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差。偏差可以为正值、负值或零值。

### 2. 尺寸公差（简称公差）

允许尺寸的变动量称为尺寸公差。

公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之差，也等于上偏差与下偏差的代数差。

### 3. 零线与公差带

由于公差及偏差的数值与尺寸数值相比，差别很大，不使用同一比例尺表示，故采用公差与配合图解（简称公差带图解），如图 2—2 b 所示。

零线：在公差带图中，确定偏差的一条基准直线，即零偏差线。通常零线表示基本尺寸。正偏差位于零线的上方，负偏差位于零线的下方。

公差带：在公差带图中，由代表上、下偏差的两条直线所限定的一个区域。

在国家标准中，公差带包括了“公差带大小”与“公差带位置”两个参数。前者由标准公差确定，后者由基本偏差确定。

### 4. 标准公差

标准中表格所列的用以确定公差带大小的任一公差。

### 5. 基本偏差

用来确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差，一般指靠近零线的那个偏差。当公差带位于零线上方时，其基本偏差为下偏差；位于零线下方时，其基本偏差为上偏差（见图 2-4）。

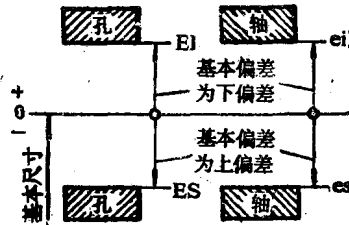


图 2-4 基本偏差示意图

## 三、有关“配合”的术语及定义

### 1. 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。由于配合是指一批孔、轴的装配关系，而不是指单个孔和单个轴的相配关系，所以只有用公差带关系来反映配合才比较确切。

国家标准对配合规定了两种基准制，即基孔制与基轴制。

**基孔制：**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。基准孔的代号为“H”。

**基轴制：**基本偏差固定不变的轴公差带，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。基准轴的代号为“h”。

根据孔、轴公差带相对位置的不同，两种基准制都可形成间隙配合、过渡配合和过盈配合三类，如图 2-5 所示。

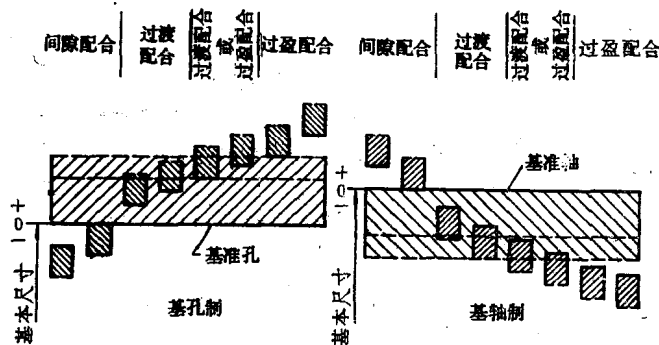


图 2-5 基孔制配合与基轴制配合

## 2. 间隙或过盈

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差。此差值为正时是间隙，为负时是过盈。

## 3. 间隙配合

孔的公差带在轴的公差带之上，即具有间隙的配合（包括最小间隙等于零的配合）。

## 4. 过盈配合

孔的公差带在轴的公差带之下，即具有过盈的配合（包括最小过盈等于零的配合）。

## 5. 过渡配合

孔与轴的公差带相互交迭，即可能具有间隙或过盈的配合。

## 6. 配合公差

允许间隙或过盈的变动量称为配合公差。对间隙配合，其配合公差即间隙公差，它等于最大间隙与最小间隙之代数差；对过盈配合，其配合公差即过盈公差，它等于最大过盈与最小过盈之代数差的绝对值；对过渡配合，配合公差等于最大间隙与最大过盈（相当于最小间隙为负值）之代数差。

图 2—6 为  $\phi 50^{+0.039}_{0}$  的孔与  $\phi 50^{+0.025}_{-0.050}$  的轴相配合的基孔制间隙配合的实例。图 2—7 为  $\phi 50^{+0.025}_{0}$  的孔与  $\phi 50^{+0.059}_{-0.043}$  的轴相配合的基孔制过盈配合的实例。计算过程从略。

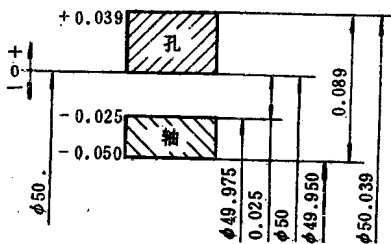


图 2—6

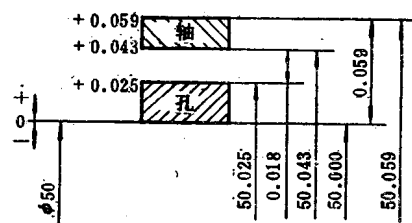


图 2—7

图 2—8 为  $\phi 50^{+0.025}_{0}$  的孔与  $\phi 50^{+0.018}_{-0.002}$  的轴相配合的基孔制过渡配合的实例。计算过程见表 2—1。

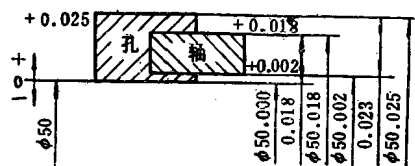


图 2—8

表 2-1

(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	$T_H = 0.025$	$T_s = 0.016$
最大间隙	$X_{max} = 50.025 - 50.002 = 0.023$	
最小间隙	$X_{min} = 50.000 - 50.018 = -0.018$ (即最大过盈)	
配合公差	$T_f = 0.023 - (-0.018) = 0.041$	
	或 $= T_H + T_s = 0.025 + 0.016 = 0.041$	

## §2-3 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  $\leq 500$  mm 时，新国家标准确定的公差单位  $i$  按下式计算：

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

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

新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，新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 $\leq 500$  mm, IT 5 以下各级的标准公差值按表 2-2 计算。

表2-2 尺寸 $\leq 500$  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 ( $\mu\text{m}$ )	7 i	10 i	16 i	25 i	40 i	64 i	100 i	160 i	250 i	400 i	640 i	1 000 i	1 600 i	2 500 i

由该表可以看出, 从 IT 6~IT 18 级,  $\alpha$  值按 R 5 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 $\leq 500$  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。

表2-3 尺寸 $\leq 500$  mm 的 IT 01~IT 4 的标准公差计算式

公差等级	公式	公差等级	公式
IT 01	$0.3 + 0.008 D$	IT 2	$IT 1 \left( \frac{IT 5}{IT 1} \right)^{\frac{1}{4}}$
IT 0	$0.5 + 0.012 D$	IT 3	$IT 1 \left( \frac{IT 5}{IT 1} \right)^{\frac{2}{4}}$
IT 1	$0.8 + 0.020 D$	IT 4	$IT 1 \left( \frac{IT 5}{IT 1} \right)^{\frac{3}{4}}$

由上述情况可以看出, 新公差制各级之间的公差数值规律性强, 便于向更高、更低的等级延伸, 例如 IT 17 和 IT 18 就是根据我国实际情况, 在 ISO 公差制的基础上延伸出来的。由于不少国家也有这种需要, 因此 IT 17、IT 18 已被 ISO 采纳。

### 3. 基本尺寸分段

根据标准公差计算公式, 每有一个基本尺寸就应该有一个相应的公差值。但在生产实践中, 基本尺寸是很多的, 这样就会形成一个极为庞大的公差数值表, 反而给生产带来很多困难。为了减少公差数目、统一公差值、简化公差表格和便于应用, 新国家标准对基本尺寸进行了分段。尺寸分段后, 对同一尺寸分段内的所有基本尺寸, 在公差等级相同的情况下, 规定相同的标准公差, 如表 2-4 所示。这一标准公差是按相应尺寸分段内, 首、尾两个尺寸的几何平均值来计算的。例如 50~80 mm 基本尺寸分段的计算直径为  $\sqrt{50 \times 80} = 63.25$  mm, 只要是属于这一尺寸分段内的基本尺寸, 其标准公差一律按  $D = 63.25$  mm 进行计算。

例 2-1: 基本尺寸  $\phi 30$  mm, 求 IT 6 和 IT 7 等于多少?

解:  $\phi 30$  mm 属于  $>18 \sim 30$  mm 的尺寸分段 (注意:  $\phi 30$  不属于  $>30 \sim 50$  mm 的尺寸分段)。

几何平均值:  $D = \sqrt{18 \times 30} \approx 23.24$  mm

公差单位:  $i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001 D$   
 $= 0.45 \sqrt[3]{23.24} + 0.001 \times 23.24$   
 $\approx 1.31 \mu\text{m}$