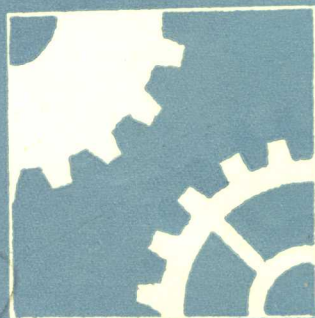


# 互换性与技术测量

(第三版)

廖念钊 古莹菴 莫雨松 李硕根 杨兴骏 编



中国计量出版社

高等学校适用教材

# 互换性与技术测量

(第三版)

廖念钊 古莹菴 莫雨松 李硕根 杨兴骏 编

中国计量出版社

(京)新登字 024 号

## 内 容 提 要

本书包括绪言、光滑圆柱体结合的公差与配合、长度测量基础、形状和位置公差及检测、表面粗糙度及检测、光滑极限量规、滚动轴承的公差与配合、尺寸链、圆锥和角度公差及检测、螺纹公差及检测、键和花键的公差及检测以及圆柱齿轮公差及检测等共十一章。

本书系统地论述了“互换性与技术测量”的基本知识,分析介绍了我国公差与配合方面的新标准,阐述了技术测量的基本原理,反映了一些新的测试技术。本书可供高等院校机械类各专业“互换性与技术测量”课教学之用,也可供机械制造工程技术人员及计量、检验人员参考。

## 互 换 性 与 技 术 测 量

(第三版)

廖念钊 古莹菴 莫雨松 李硕根 杨兴骏 编

责任编辑 刘瑞清

\*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

河北省永清县第一胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

开本 787×1092/16 印张 16.5 字数 395 千字

1991年10月第3版 1995年6月第22次印刷

印数 458601 - 468600

ISBN 7-5026-0147-3/TB·125

定价 11.90 元

# 前 言

本书是在重庆大学 1980 年和 1981 年两次印刷的《互换性与技术测量》讲义的基础上，根据两届教学实践和一些兄弟院校在使用本讲义中提出的宝贵意见修改而成的，可作为高等工业学校机械类各专业“互换性与技术测量”课程的教材。本书在内容上注意加强基础，力求反映国内、外的最新成就。公差方面尽量按新标准（或草案）编写；测量技术方面也介绍了一些新技术和新仪器。在使用本教材时，可根据各专业对本课程的不同要求对内容加以取舍，对第二章中的一些内容可结合实验课进行讲授。本书也可供机械制造工程技术人员及计量、检验人员参考。学生在学完本课程以后，欲进一步学习有关长度测量方面的知识，可自学计量出版社组编的《长度计量测试丛书》（书目见本书封四）。

本书由廖念钊、古莹菴、莫雨松、李硕根和杨兴骏编写。

计量出版社成都站编委会对本书进行了初审，并由四川省计量测试研究所邓秀儒和成都科技大学王继平同志对本书作了全面复审。在出版前，特请吉林工业大学许金钊教授最后审阅修正定稿。

在编写过程中，西安交通大学赵卓贤、南京工学院范德梁、华中工学院李柱、河北工学院何贡、天津大学陈林才、东北工学院李纯甫、中国科学院成都光电技术研究所陈国勋、中国计量科学研究院徐孝恩和王轼铮、山东工学院许定奇、重庆工具厂胡德贵等同志提了许多宝贵意见。

在本书的编写和出版过程中，汤永厚、刘瑞清、朱桂兰等同志曾给了热情的指导和帮助，我校鍾先信、罗先才等同志也做了不少工作。另外，还有一些兄弟单位为本书的编写提供了不少宝贵资料，在此一并致谢。

由于我们的水平有限，加之时间紧迫，书中定有不少缺点和错误，希望读者批评指正。

编 者

1981 年 12 月于重庆

# 绪 言

## 1. 互换性概述

在机械和仪器制造业中，零、部件的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，就是按互换性要求生产的。当手表或自行车零件损坏以后，修理人员很快就可用同样规格的零件换上，恢复自行车和手表的功能。

机械和仪器制造业中的互换性，通常包括几何参数（如尺寸）和机械性能（如硬度、强度）的互换，本课程仅讨论几何参数的互换。

所谓几何参数，一般包括尺寸大小，几何形状（宏观、微观），以及相互的位置关系等。为了满足互换性的要求，似乎在同规格的零、部件间，其几何参数都要做得完全一致。但在实践中这是不可能的。实际上，只要零、部件的几何参数保持一定的变动范围，就能达到互换的目的。

允许零件尺寸和几何参数的变动量就称为“公差”。

互换性生产对我国四个现代化的建设具有非常重大的意义。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，分散到不同的车间、工厂进行高效率的专业化生产，然后又集中到一个工厂进行装配。因此零、部件的互换性为生产的专业化创造了条件，不但促进了自动化生产的发展，也有利于降低产品成本，提高产品质量，为四化做出贡献。

零、部件在几何参数方面的互换性体现为公差标准。而公差标准又是机械和仪器制造业中的基础标准，它为机器的标准化、系列化、通用化提供了理论依据，从而缩短了机器设计时间，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。

零、部件的互换性，按其互换程度，可分为完全互换和不完全互换。在单件生产的机器中（特重型机器，特高精度的仪器），往往采用不完全互换。

## 2. 公差与配合标准发展简介

随着资本主义生产的发展，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）公司编辑出版了“极限表”，即是最早的公差制。

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制在内的美国标准 A.S.A. B 4 a. 上述标准即为初期的公差标准。

在公差标准的发展史上,德国的标准 DIN 占有重要位置,它在英、美初期公差制的基础上有了较大发展。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(20℃)。1929年苏联也颁布了一个“公差与配合”标准。

由于生产的发展,国际间的交流也愈来愈多,1926年成立了国际标准化协会(ISA),其中第三技术委员会(ISA/TC3)负责制定公差与配合,秘书国为德国。在总结 DIN(德国),AFNOR(法国),BSS(英区),SNV(瑞士)等国公差制的基础上,1932年提出了国际制 ISA 的议案。1935年公布了国际公差制 ISA 的草案。直到1940年才正式颁布国际公差标准 ISA。

第二次世界大战以后,1947年2月国际标准化组织重建,改名为 ISO,仍由第三技术委员会(ISO/TC3)负责公差配合标准,秘书国为法国。在 ISA 公差的基础上制定了新的 ISO 公差与配合标准。此标准于1962年公布,其编号为 ISO/R 286—1962 极限与配合制。以后又陆续公布了 ISO/R 1938—1971(光滑工件的检验);ISO 2768—1973(未注公差尺寸的允许偏差);ISO 1829—1975(一般用途公差带选择)等;即形成了现行国际公差标准。

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。那时所采用的标准非常混乱,有德国标准 DIN,日本标准 JIS,美国标准 A.S.A,英国标准 B.S,以及国际标准 ISA。1944年旧经济部中央标准局,曾颁布过中国标准 CIS(完全借用 ISA),实际上也未执行。

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年由第一机械工业部颁布了第一个公差与配合的部颁标准。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)。接着又陆续制订了各种结合件、传动件、表面光洁度以及表面形状和位置公差等标准。随着四个现代化建设的需要,目前在国家技术监督局的领导下正逐步对原有标准进行修订,使之适应我国工业发展的水平。可以预计,一整套适应现代化需要的公差与配合标准将在我国出现。

### 3. 计量技术发展简介

要进行测量,首先就需要有计量单位和计量器具。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。到秦朝我国已统一了度量衡制度。公元九年,即西汉末王莽始建国元年已制成铜质的卡尺,它可测车轮轴径、板厚和槽深,其最小读数值为一分。但是由于我国长期的封建统治,科学技术未能得到发展,计量技术也停滞不前。

十八世纪末期,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的地球子午线的四千万分之一作为长度单位米。以后并制成一米的基准尺,称为档案米尺。该尺的长度由两端面的距离决定。

1875年国际米尺会议决定制造具有刻线的基准尺,并用铂铱合金制成(含铂90%,铱10%)。1886年国际计量局接收了一些工业发达的国家制造的共31根基准尺,并经与档案米尺进行比较,以其中№6最接近档案米尺。于是在1889年召开的第一届国际计量大会上规定该尺作为国际米原器(即米的基准)。

由于科学技术的发展,发现地球子午线有变化,米原器的金属结构也不够稳定,因而提

出要从长期稳定的物理现象中找出长度的自然基准。1960年10月召开的第十一届国际计量大会规定采用氪的同位素  $Kr^{86}$  在真空中的波长定义米，即米等于  $Kr^{86}$  原子的  $2p_{1/2}$  和  $5d_5$  能级之间跃迁所对应的辐射，在真空中的  $1\,650\,763.73$  个波长的长度。精度为  $1 \times 10^{-8}$ 。

随着科学技术的发展，已发现稳频激光的波长，比  $Kr^{86}$  波长更稳定、精度更高（甲烷稳定的激光系统，波长  $3.39\ \mu\text{m}$ ，其精度为  $1 \times 10^{-11}$ ），因此以它作为米的新定义似乎更理想，但是，为了避免今后发现一种更稳定的光波又更改一次米的定义，在1983年第十七届国际计量大会上通过了以光速定义米的新定义，即：米是光在真空中于  $1/299\,792\,458$  秒时间间隔内的行程长度。这就是目前所使用的米的定义。

伴随长度基准的发展，计量器具也在不断改进。1926年德国 Zeiss 厂制成了小型工具显微镜，1927年该厂又生产了万能工具显微镜。从此几何参数计量的精确度、计量范围，随着生产的发展而飞速发展。精度由  $0.01\ \text{mm}$  提高到  $0.001\ \text{mm}$ 、 $0.1\ \mu\text{m}$  甚至  $0.01\ \mu\text{m}$ ；测量范围由二维空间（如工具显微镜）发展到三维空间（如三坐标测量机）；测量的尺寸范围从集成元件上的线条宽度到飞机的机架；测量自动化程度从人工对准刻度尺读数，发展到自动对准，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具制造厂。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。这些厂为我国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、接触式干涉仪、干涉显微镜、三坐标测量机、齿轮单啮仪等，满足了我国工业生产发展的需要。

为了作好计量管理和开展科学研究工作，1955年我国成立了国家计量局。以后又设立中国计量科学研究院，各省市也相应地成立了从事计量管理、检定和测试的机构。

解放以后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  $Kr^{86}$  长度基准以来，又先后制成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，从而使我国的线纹尺和量块的测量技术，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、光栅式齿轮全误差测量仪等，均进入了世界先进行列。

可以预言，随着四个现代化建设的发展，我国的计量测试技术必将更全面的达到世界先进水平。

## 4. 优先数和优先数系

在生产中，为了满足用户各种各样的要求，同一种产品的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，它适用于各种数值的分级，是国际上统一的数值分级制度。目前我国的国家标准为 GB 321—80，国际标准为 ISO 3、ISO 17、ISO 497（1973年）。

优先数系所以要给它制订标准，因为它有一系列的优点。工程技术上所采用的各项参数指标，特别是需要分等分档的参数指标，采用它可以防止数值传播的紊乱。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一开始就引向科学的标准化轨道，因此，优先数系是国际上统一的一个重要的基础标准。

优先数系由一些十进等比数列构成。代号为  $R_r$ ，公比为  $qr = \sqrt[r]{10}$  ( $r$  取 5、10、20、40、80)。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。标准中只给出  $1 \sim 10$  区间内的  $r$  个数。优先数的理论值，除首项 1 和它的十进倍数或分数外，都是无理数，应用时应加以圆整，参见下表。

$R_5$ 、 $R_{10}$ 、 $R_{20}$ 、 $R_{40}$  四个常用数列称为基本系列，公比分别为  $q_5 \approx 1.6$ ,  $q_{10} \approx 1.25$ ,  $q_{20} \approx 1.12$ ,  $q_{40} \approx 1.06$ 。 $R_{80}$  称为补充系列 (特殊场合应用)。

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  $R_r/P = R_{10}/3$  即有 1.00, 2, 4, 8, ..., 1.25, 2.5, 5, 10, ..., 1.6, 3.15, 6.3, 12.5... 等等。复合系列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 即为由  $R_5$ ,  $R_{20}/3$ ,  $R_{10}$  三种系列构成的复合系列。

优先数系的基本系列

$R_5$	$R_{10}$	$R_{20}$	$R_{40}$	$R_5$	$R_{10}$	$R_{20}$	$R_{40}$	$R_5$	$R_{10}$	$R_{20}$	$R_{40}$	
1.00	1.00	1.00	1.00			2.24	2.24		5.00	5.00	5.00	
			1.06			2.36	2.36			5.30		
			1.12	2.50	2.50	2.50	2.50			5.60	5.60	
			1.18			2.65	2.65			6.00		
		1.25	1.25	1.25			2.80	2.80	6.30	6.30	6.30	
			1.32			3.00	3.00		6.70			
			1.40	1.40		3.15	3.15			7.10	7.10	
			1.50	1.50			3.35	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	3.75			8.50	
			1.80	1.80	4.00	4.00	4.00	4.00		9.00	9.00	
			1.90	1.90			4.25	4.25	1.00	10.00	10.00	
		2.00	2.00	2.00			4.50	4.50				
			2.12			4.75	4.75					



# 目 录

绪言	( 1 )
1. 互换性概述	( 1 )
2. 公差与配合标准发展简介	( 1 )
3. 计量技术发展简介	( 11 )
4. 优先数和优先数系	( iii )
第一章 光滑圆柱体结合的公差与配合	( 1 )
1.1 概述	( 1 )
1.2 公差与配合的基本术语及定义	( 1 )
1.3 公差与配合国家标准	( 6 )
1.4 国家标准规定的公差带与配合	( 21 )
1.5 公差与配合的选用	( 25 )
1.6 未注公差尺寸的极限偏差	( 30 )
第二章 长度测量基础	( 32 )
2.1 测量的基本概念	( 32 )
2.2 尺寸传递	( 32 )
2.3 测量方法与计量器具的分类	( 36 )
2.4 计量器具与测量方法的常用术语	( 37 )
2.5 仪器读数装置	( 38 )
2.6 常用长度计量仪器	( 43 )
2.7 新技术在长度计量中的应用——坐标测量机中常用的检测元件	( 50 )
2.8 测量误差和数据处理	( 53 )
2.9 测量误差的来源及其防止	( 64 )
2.10 计量器具的选择	( 66 )
第三章 形状和位置公差及检测	( 70 )
3.1 概述	( 70 )
3.2 形状公差和误差	( 70 )
3.3 位置公差和误差	( 81 )
3.4 形位公差与尺寸公差的关系	( 90 )
3.5 形位公差值的选择	( 95 )
3.6 形位误差检测原则	( 97 )
第四章 表面粗糙度及检测	( 104 )
4.1 表面粗糙度的国家标准	( 104 )
4.2 零件表面粗糙度参数值的选择	( 110 )

4.3	表面粗糙度的测量	(110)
<b>第五章</b>	<b>光滑极限量规</b>	<b>(115)</b>
5.1	基本概念	(115)
5.2	泰勒原则	(116)
5.3	量规公差带	(117)
5.4	量规设计	(120)
<b>第六章</b>	<b>滚动轴承的公差与配合</b>	<b>(123)</b>
6.1	概述	(123)
6.2	滚动轴承的精度等级	(123)
6.3	滚动轴承内径与外径的公差带及其特点	(126)
6.4	滚动轴承与轴和壳体孔的配合及其选择	(128)
<b>第七章</b>	<b>尺寸链</b>	<b>(136)</b>
7.1	概述	(136)
7.2	尺寸链的计算	(141)
7.3	解装配尺寸链的其他方法	(149)
<b>第八章</b>	<b>圆锥和角度公差及检测</b>	<b>(151)</b>
8.1	圆锥与圆锥公差	(151)
8.2	角度及角度公差	(160)
8.3	未注公差角度的极限偏差	(163)
8.4	角度和锥度的测量	(164)
<b>第九章</b>	<b>螺纹公差及检测</b>	<b>(170)</b>
9.1	概述	(170)
9.2	螺纹几何要素误差对螺纹互换性的影响	(172)
9.3	普通螺纹的公差与配合	(176)
9.4	机床丝杆、螺母公差	(182)
9.5	螺纹测量	(187)
<b>第十章</b>	<b>键和花键的公差及检测</b>	<b>(196)</b>
10.1	键联结	(196)
10.2	花键联结	(200)
10.3	键和花键的检测	(202)
<b>第十一章</b>	<b>圆柱齿轮传动公差及检测</b>	<b>(205)</b>
11.1	概述	(205)
11.2	齿轮加工误差	(205)
11.3	齿轮副误差及其评定指标	(214)
11.4	渐开线圆柱齿轮精度	(215)
11.5	齿轮测量	(227)
<b>习题</b>		<b>(242)</b>

# 第一章 光滑圆柱体结合的公差与配合

## 1.1 概 述

圆柱体零件的“公差与配合”是一项应用广泛、涉及面大的重要基础标准。

在机器制造业中，“公差”是用于协调机器零件的使用要求与制造经济性之间的矛盾；“配合”是反映机器零件之间有关功能要求的相互关系。“公差与配合”的标准化，有利于机器的设计、制造、使用和维修，直接影响产品的精度、性能和使用寿命，是评定产品质量的重要技术指标。“公差与配合”标准不仅是机械工业各部门进行产品设计、工艺设计和制订其它标准的基础，而且是广泛组织协作和专业化生产的重要依据。“公差与配合”标准几乎涉及国民经济的各个部门，在机械工业中具有重要的作用。

1959年我国颁布了“公差与配合”国家标准（GB 159~174—59以下简称旧标准）。这个标准是参照苏联标准制订的。

由于科学技术飞跃发展，产品的精度不断提高，国际技术交流日益扩大，旧国标存在精度等级偏低、配合种类较少、大尺寸标准不符合生产实际以及规律性差等缺点，已不适应生产技术要求的发展。根据原国家标准总局的安排，对该标准进行了修订，并于1979年批准颁布了公差与配合新的国家标准（GB 1800~1804—79）。

这个标准是参照国际标准（ISO）制订的。它包括五个标准，第一个标准“总论、标准公差与基本偏差”，对公差制作了全面的、系统的规定和阐述。后四个标准是以前者为基础制订的，实际上是第一个标准的应用。结合我国生产实际，针对各行各业使用情况，提出了孔和轴的一般、常用和优先公差带，以及常用、优先配合。本章主要阐述公差与配合国家标准（GB 1800~1804—79）的构成规律和特征。

## 1.2 公差与配合的基本术语及定义

为了正确理解和应用公差配合标准，必须了解以下术语和定义。

### 1.2.1 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。

#### 2. 基本尺寸

基本尺寸是设计给定的尺寸。

基本尺寸是设计零件时，根据使用要求，通过刚度、强度计算或结构等方面的考虑，并按标准直径或标准长度圆整后所给定的尺寸。它是计算极限尺寸和极限偏差的起始尺寸。孔、轴配合的基本尺寸相同。

### 3. 实际尺寸

实际尺寸是通过测量获得的尺寸。

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，零件同一表面不同部位的实际尺寸往往是不等的。

### 4. 极限尺寸

极限尺寸是指允许尺寸变化的两个极限值。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 1—1）。

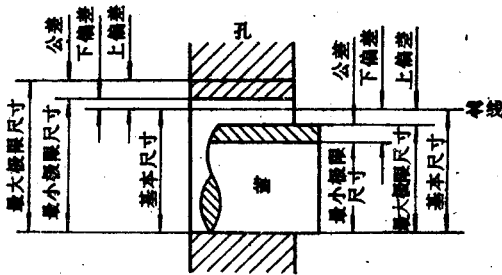


图 1—1 公差与配合示意图

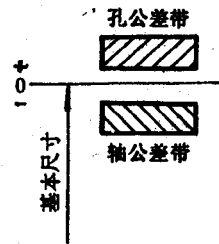


图 1—2 公差带图

### 5. 最大实体状态（简称 MMC）和最大实体尺寸

最大实体状态系指孔或轴在尺寸公差范围内，具有材料量最多时的状态。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。

### 6. 最小实体状态（简称 LMC）和最小实体尺寸

最小实体状态系指孔或轴在尺寸公差范围内，具有材料量最少时的状态。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。

例如：孔为  $\phi 50^{+0.039}_{-0.009}$ ，轴为  $\phi 50^{-0.009}_{-0.039}$ 。

最大实体尺寸：孔为  $\phi 50$  mm，轴为  $\phi 49.975$  mm；

最小实体尺寸：孔为  $\phi 50.039$  mm，轴为  $\phi 49.950$  mm。

### 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 1—3 所示。

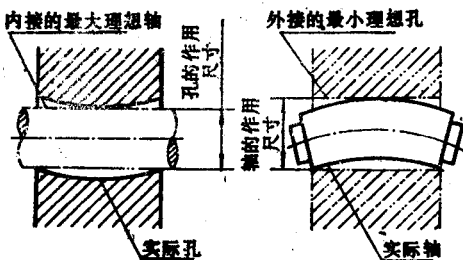


图 1—3 孔或轴的作用尺寸

任何孔、轴，都有形状误差，新国标对如何根据极限尺寸来判断孔、轴是否合格，作了原则的规定，称为极限尺寸判断原则（即泰勒原则）。

“极限尺寸判断原则”（泰勒原则）；

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是控制其作用尺寸的；孔或轴的最小实体尺寸是控制其实际尺寸的。

## 1.2.2 有关“公差与偏差”的术语和定义

### 1. 尺寸偏差（简称偏差）

尺寸偏差是指某一个尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

最大极限尺寸减其基本尺寸的代数差称为上偏差；最小极限尺寸减其基本尺寸的代数差称为下偏差；上偏差和下偏差统称为极限偏差。实际尺寸减其基本尺寸的代数差称为实际偏差。偏差可以为正值、负值或零值。合格零件的实际偏差应在规定的极限偏差范围内。

### 2. 尺寸公差（简称公差）

尺寸公差是指允许尺寸的变动量。

公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值；也等于上偏差与下偏差的代数差的绝对值。

例 1：基本尺寸为  $\phi 50$  mm，最大极限尺寸为  $\phi 50.008$  mm，最小极限尺寸为  $\phi 49.992$  mm，试计算偏差和公差。

解：上偏差 = 最大极限尺寸 - 基本尺寸

$$= 50.008 - 50 = 0.008 \text{ mm}$$

下偏差 = 最小极限尺寸 - 基本尺寸

$$= 49.992 - 50 = -0.008 \text{ mm}$$

公差 = 最大极限尺寸 - 最小极限尺寸

$$= 50.008 - 49.992 = 0.016 \text{ mm}$$

公差 = 上偏差 - 下偏差

$$= 0.008 - (-0.008) = 0.016 \text{ mm}$$

### 3. 零线与公差带

图 1-1 是公差与配合的一个示意图，它表明了两个相互结合的孔、轴的基本尺寸、极限尺寸、极限偏差与公差的相互关系。在实用中，为简单起见，一般以公差与配合图解（图 1-2）来表示。

零线：在公差与配合图解（简称公差带图）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，叫公差带。

在国标中，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. 基本偏差

基本偏差是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

注：极限尺寸的判断原则（即泰勒原则）是在1905年由W·泰勒（William Taylor）提出，见1905英国专利6900。

偏差(图1-4)。

### 5. 标准公差

国标规定的,用以确定公差带大小的任一公差,称为标准公差。

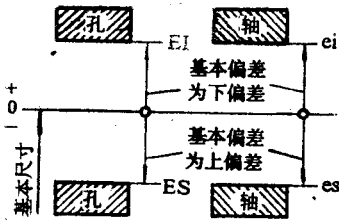


图 1-4 基本偏差示意图

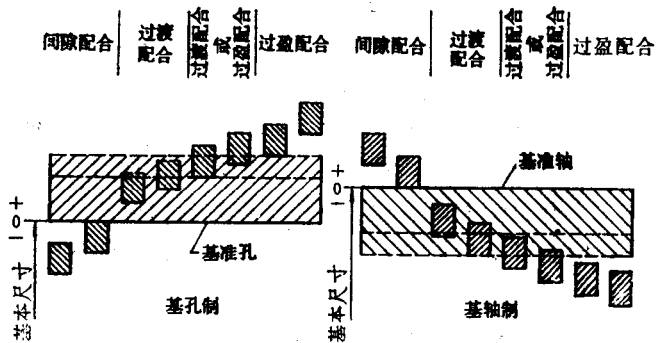


图 1-5 基孔制配合与基轴制配合

## 1.2.3 有关“配合”的术语及定义

### 1. 配合

配合是指基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

国标对配合规定有两种基准制,即基孔制与基轴制。

**基孔制:**是基本偏差为一定的孔的公差带,与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度。

基孔制的孔为基准孔。标准规定基准孔的下偏差为零,基准孔的代号为“H”。

**基轴制:**是基本偏差为一定的轴的公差带,与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度。

基轴制的轴为基准轴。标准规定基准轴的上偏差为零,基准轴的代号为“h”。

按照孔、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1-5所示。

### 2. 间隙配合

在孔与轴配合中,孔的尺寸减去相配合轴的尺寸,其差值为正时是间隙。

由于孔、轴是有公差的,所以实际间隙的大小将随着孔和轴的实际尺寸而变化。孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差,称为最大间隙( $X_{max}$ )。孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差,称为最小间隙( $X_{min}$ )。

**配合公差(或间隙公差):**是允许间隙的变动量,它等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值,也等于相互配合的孔公差与轴公差之和。

**间隙配合:**孔的公差带完全在轴的公差带之上,即具有间隙的配合(包括最小间隙等于零的配合)。

例2:  $\phi 50^{+0.033}_{-0.009}$  的孔与  $\phi 50^{+0.009}_{-0.009}$  的轴相配是基孔制间隙配合。

公差带图如图1-6所示,各种计算见表1-1。

表 1-1

(mm)

	孔	轴
基本尺寸	50	50
上偏差	$ES = +0.039$	$es = -0.025$ (基本偏差)
下偏差	$EI = 0$ (基本偏差)	$ei = -0.050$
标准公差	0.039	0.025
最大极限尺寸	50.039	49.975
最小极限尺寸	50.000	49.950
最大间隙	$X_{max} = 50.039 - 49.950 = 0.089$	
最小间隙	$X_{min} = 50.000 - 49.975 = 0.025$	
配合公差 (间隙公差)	$0.089 - 0.025 = 0.064$ 或 $0.039 + 0.025 = 0.064$	

### 3. 过盈配合

在孔与轴配合中，孔的尺寸减去相配合轴的尺寸，其差值为负时是过盈。

同理，实际过盈也随着孔和轴的实际尺寸而变化。孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差，称为最大过盈 ( $Y_{max}$ )；孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差，称为最小过盈 ( $Y_{min}$ )。

配合公差 (或过盈公差)：是允许过盈的变动量。它等于最小过盈与最大过盈之代数差的绝对值，也等于相互配合的孔公差与轴公差之和。

表 1-2

(mm)

	孔	轴
基本尺寸	50	50
上偏差	$ES = +0.025$	$es = +0.059$
下偏差	$EI = 0$ (基本偏差)	$ei = +0.043$ (基本偏差)
标准公差	0.025	0.016
最大极限尺寸	50.025	50.059
最小极限尺寸	50.000	50.043
最大过盈	$Y_{max} = 50.000 - 50.059 = -0.059$	
最小过盈	$Y_{min} = 50.025 - 50.043 = -0.018$	
配合公差 (过盈公差)	$-0.018 - (-0.059) = 0.041$ 或 $0.025 + 0.016 = 0.041$	

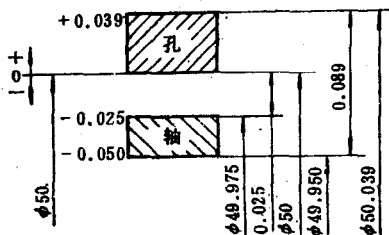


图 1-6 间隙配合公差带

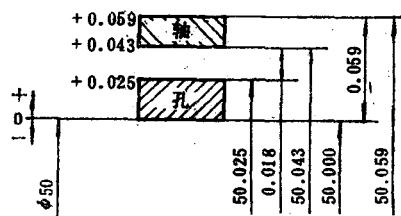


图 1-7 过盈配合公差带

过盈配合：孔的公差带完全在轴的公差带之下，即具有过盈的配合（包括最小过盈等于零的配合）。

例3： $\phi 50^{+0.025}_{+0}$ 的孔与 $\phi 50^{+0.018}_{+0.002}$ 的轴相配是基孔制过盈配合。公差带图如图1-7所示，各种计算见表1-2。

#### 4. 过渡配合

在孔与轴配合中，孔与轴的公差带相互交迭，任取其中一对孔和轴相配，可能具有间隙，也可能具有过盈的配合。

在过渡配合中，其配合的极限情况是最大间隙（ $X_{max}$ ）与最大过盈（ $Y_{max}$ ）。

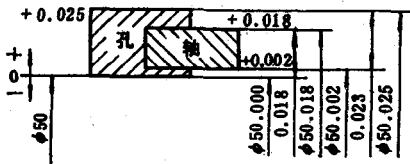


图1-8 过渡配合公差带

配合公差等于最大间隙与最大过盈之代数差的绝对值。也等于相互配合的孔与轴公差之和。

例4： $\phi 50^{+0.025}_{+0}$ 的孔与 $\phi 50^{+0.018}_{+0.002}$ 的轴相配是基孔制过渡配合。

公差带图如图1-8所示，各种计算见表1-3。

表 1-3

(mm)

	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	50.025	50.018
最小极限尺寸	50.000	50.002
标准公差	0.025	0.018
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	$0.023 - (-0.018) = 0.041$	
	或 $0.025 + 0.016 = 0.041$	

## 1.3 公差与配合国家标准

GB 1800~1804-79 是我国 1979 年制订的公差与配合的国家标准。这个标准是确定光滑圆柱体零件或长度单一尺寸的公差与配合的依据，也适用于其它光滑表面和相应结合尺寸的公差，以及由它们组成的配合。

国家标准是按标准公差系列（公差带大小或公差数值）标准化和基本偏差系列（公差带位置）标准化的原则制订的。下面阐述构成规则及特征。

### 1.3.1 标准公差系列

标准公差是国标规定的用以确定公差带大小的任一公差值。它是由下列原则制订的。



## 1. 公差单位 (公差因子)

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,为了便于评定零件尺寸公差等级的高低,规定了公差单位。

公差单位是计算标准公差的基本单位,是制订标准公差系列表的基础。公差单位与基本尺寸之间呈一定的相关关系。

当尺寸 $\leq 500$  mm时,国家标准的公差单位*i*按下式计算:

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

式中 *D*——基本尺寸分段的计算尺寸,单位为 mm。

在公差单位公式中包括两项:第一项主要反映加工误差,根据生产实际经验和统计分析,它是呈抛物线的规律;第二项用于补偿与直径成正比的误差,包括由于测量偏离标准温度时以及量规的变形等引起的测量误差。

当直径很小时,第二项所占比重很小;当直径较大时,公差单位随直径的增加而加快,公差值相应增大。

对尺寸 $> 500 \sim 3150$  mm范围时,国家标准的公差单位*I*按下式计算:

$$I = 0.004D + 2.1 \quad (\mu\text{m}) \quad (1-2)$$

对大尺寸而言,与直径成正比的误差因素,其影响增长很快,特别是温度变化影响大,而温度变化引起的误差随直径的加大呈线性关系,所以,国标规定的大尺寸公差单位采用线性关系。

实践证明,当尺寸 $> 3150$  mm时,以 $I = 0.004D + 2.1$ 为基础来计算标准公差,也不能完全反映实际出现的误差规律。但目前尚未确定出合理的计算公式,只能暂按直线关系式计算,列于国标附录供参考使用。更合理的计算公式有待进一步在生产中加以总结。

## 2. 公差等级

国家标准规定的标准公差是用公差等级系数和公差单位的乘积值来决定的。

在基本尺寸一定的情况下,公差等级系数是决定标准公差大小的唯一参数。

根据公差等级系数不同,国家标准将标准公差分为20级,即IT01、IT0、IT1、IT2……IT18。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IT7表示标准公差7级或7级标准公差。从IT01至IT18,等级依次降低,而相应的标准公差值依次增大。

当尺寸 $\leq 500$  mm时,IT5以下各级标准公差按表1-4计算。

表 1-4 尺寸 $\leq 500$  mm的IT5至IT18级标准公差计算表

公差等级	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
公差值 ( $\mu\text{m}$ )	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>	1000 <i>i</i>	1600 <i>i</i>	2500 <i>i</i>

每一公差等级有一个确定的公差等级系数,如表1-4中的7、10、16……等数值,由该表可以看出,从IT6~IT18级,公差等级系数按R5优先数系增加,公比为 $\sqrt[5]{10} \approx 1.6$ ,即每隔5个等级公差值增加10倍。