

互换性与技术测量

刀具及公差教研室编

重庆大学机械工程一系

一九八一年三月

前 言

为了满足我校机械类专业《互换性与技术测量》课程的教学需要，我们编写了这本教材。内容注意加强基础，力求反映国内、外在本门学科中的最新成就，在公差方面，尽量按新标准（或草案）编写，在技术测量方面也反映了新的测量技术和仪器。

本教材中第一、三、四章由廖念钊同志执笔，第二、七、八章由古莹菴同志执笔，第五、十三章由李硕根同志执笔，第六、九章由杨兴骏同志执笔，第十、十一、十二章由莫雨松同志执笔。

编写过程中，承蒙各兄弟单位提供宝贵资料，表示感谢。

由于我们政治思想水平不高，业务知识有限，因此，一定会有不少缺点和错误，请读者批评、指正。

编 者

一九八〇年四月

再 版 说 明

根据新的教学计划的要求和我们的教学实践以及兄弟院校提出的宝贵意见，我们将原教材重新进行了修订，对教材内容作了较大的精减，对部分章节作了一些补充。但缺点和错误，在所难免，希读者批评、指正。

编 者

一九八一年三月

目 录

第一章 绪 言

- 1.1 互换性的概述..... (1)
- 1.2 公差与配合标准发展简介..... (1)
- 1.3 技术测量发展简介..... (2)

第二章 光滑圆柱体结合的公差与配合

- 2.1 概述..... (4)
- 2.2 公差与配合的基本术语及定义..... (4)
- 2.3 公差与配合的新国家标准..... (10)
- 2.4 新国标规定的公差带与配合..... (23)
- 2.5 公差与配合的应用..... (27)
- 2.5 公差与配合旧国家标准概述..... (34)

第三章 技术测量基础

- 3.1 测量的基本概念..... (40)
- 3.2 尺寸传递..... (41)
- 3.3 测量方法与测量工具的分类..... (45)
- 3.4 测量工具与测量方法的基本度量指标..... (47)
- 3.5 仪器的读数装置..... (47)
- 3.6 坐标测量机中常用的检测元件..... (53)
- 3.7 测量误差和数据处理..... (59)
- 3.8 测量误差的来源及其防止..... (70)
- 3.9 测量工具的选择原则..... (74)

第四章 长度测量典型仪器

- 4.1 机械式量仪..... (78)
- 4.2 电动式量仪..... (79)
- 4.3 气动式量仪..... (82)
- 4.4 光学机械式量仪..... (84)
- 4.5 激光式量仪..... (88)

第五章 形状和位置公差

- 1 形状公差..... (93)

5.2	形状误差的检测	(99)
5.3	位置公差	(117)
5.4	位置误差的检测	(128)
5.5	最大实体原理	(136)
5.6	形位公差值的选择	(142)

第六章 表面光洁度

6.1	表面光洁度的评定标准	(145)
6.2	零件表面光洁度的选择	(148)
6.3	表面光洁度的测量	(149)

第七章 光滑极限量规

7.1	量规概述	(155)
7.2	泰勒原则	(156)
7.3	量规公差带	(157)
7.4	量规设计	(160)

第八章 滚动轴承的公差与配合

8.1	概 述	(167)
8.2	滚动轴承的精度等级	(167)
8.3	滚动轴承内径与外径的公差及其特点	(169)
8.4	滚动轴承与轴和壳孔的配合	(170)
8.5	滚动轴承配合的选用	(171)

第九章 圆锥结合和角度公差

9.1	概 述	(183)
9.2	圆锥结合误差的分析	(184)
9.3	锥角和角度标准	(186)
9.4	角度和锥度的测量	(188)

第十章 螺纹公差、配合及测量

10.1	概 述	(197)
10.2	螺纹几何要素误差对螺纹互换性的影响	(199)
10.3	普通螺纹的公差与配合	(204)
10.4	机床丝杆、螺母公差	(212)
10.5	螺纹的测量	(217)

第十一章 键、花键联结

11.1	键联结	(227)
11.2	花键联结	(232)

11.3	键、花键的检验.....	(238)
------	--------------	-------

第十二章 圆柱齿轮传动公差及测量

12.1	概 述.....	(241)
12.2	齿轮加工误差及齿轮公差组合.....	(241)
12.3	齿轮传动的安装误差.....	(251)
12.4	渐开线圆柱齿轮精度制国标(草案).....	(251)
12.5	圆柱齿轮传动公差(JB 179—60)简介.....	(263)
12.6	齿轮测量.....	(267)

第十三章 尺寸链

13.1	基本概念.....	(284)
13.2	尺寸链的基本规律.....	(286)
13.3	获得封闭环精度的主要方法.....	(290)

第一章 绪 言

1.1 互换性概述

在机械和仪器制造业中，另、部件的互换性是指在同一规格的一批另件或部件中，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，达到原定性能要求，这样的一批另件或部件就称为具有互换性的另、部件。例如日常生活中经常遇到的自行车和手表，都是按互换性要求生产的。当手表或自行车另件损坏以后，修理人员很快就可用同样规格的另件换上。

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，似乎在同规格的另、部件中，其几何参数都要做得完全一致。但在实践中这是不可能的。实际上只要另、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。

允许另件尺寸的变动量就称为“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，首先要求机械另件具有互换性，从而才有可能将一台机器中的成千上万个另、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。因此另、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。

另、部件的互换性在几何参数方面则体现为公差标准。而公差标准又是机械制造业中的基础性标准，它为机器的标准化、系列化、通用化提供了有利条件，从而缩短了机器设计时间，促进新产品的高速发展。

另、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），往往就采用不完全互换，即用修配法制造。

1.2 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”，即最早的公差制。“极限表”只规定了基孔制，基准孔分A级和

B级两个精度，且采用双向不对称偏差。配合数目为六个，其中压配合两个，过渡配合一个，动配合三个。

1906年，英国颁布了国家标准 *B.S.* 27。它规定了与孔结合的三种动配合，且孔的偏差为双向对称分布。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.* *B4a*。上述标准即为初期的公差标准。

在公差标准的发展上，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，秘书国为德国。在总结 *DIN* 德国，*AFNOR* 法国，*BSS* 英国、*SNV* 瑞士等国公差制的基础上，1932年公布了国际制 *ISA* 的提案。1935年公布了国际公差制 *ISA* 的草案。直到1940年才正式公布国际公差标准 *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/R286—1962*。以后又陆续公布了 *ISO/R1938—1971*；*ISO2768—1973*；*ISO1829—1975* 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。那时既有德国标准 *DIN*，日本标准 *JES*，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*），实际上也无法执行。

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的公差标准经验以后，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（*GB159—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，目前在国家标准总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。现已修订的标准有：“公差与配合”国标（*GB1800—1804—79*）；形位公差国标（*GB1182—1184—80*和 *GB1958—80*）等。并相应的成立了两个技术委员会负责两项国标的技术工作。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。

1.3 技术测量发展简介

要进行测量，首先就需要有测量单位和测量工具。长度测量在我国具有悠久的历史。早在我国商朝时期（至今约3600～3100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、板厚和槽深等。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，测量技术也停滞不前。

十七世纪末期,由于欧州工业的发展,要求统一长度单位。1790年法国政府规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,命名为柯希夫尺。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,并由铂铱合金制成(含铂90%,铱10%)。1888年国际权度局接收了一些工业发达的国家制造的共31根基准尺,并经与柯希夫尺进行比较,以其中№6最接近柯希夫尺。于是在1889年召开的第一届国际权度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权度大会规定采用氪的同位素 Kr^{86} 在真空中由 $2P_{1/2}$ 能级向 $5d_5$ 能级跃迁时所发出橙黄谱线的1650763.73个波长为一米,其精度为 1×10^{-8} 。即现行的长度基准。

1959年,我国国务院颁布了统一计量制度的命令,正式确定采用国际米制作为我国的基本计量制度。此后不久又制成标准具和摄谱仪。配合氪(86)灯管,建立了我国长度基准。

随着激光技术的发展,特别是甲烷稳定的激光系统(波长为3.39微米)和碘稳定的激光系统(波长为0.633微米)的出现。使波长的稳定性大大提高,前者达 $\pm 1 \times 10^{-11}$,后者达 1×10^{-10} ,因而它们均有可能取代 Kr^{86} 成为长度基准,甚至有可能将时间、频率、长度(波长)统一为一个基准。

伴随长度基准的发展,测量仪器也在不断前进。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。从此几何量的计量精度、广度,随着生产的发展而突飞猛进。精度由0.01毫米级提高到0.001毫米级,甚至0.0001毫米级;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,从人工对准标尺读数,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。解放以后在党的领导下,随着生产的迅速发展,我国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、北京量仪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、接触干涉仪、干涉显微镜、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和研究分院,各省市也相应的成立了从事计量管理和检定、测试的机构,计量局、计量所以及计量站等。

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波长比长仪,激光二坐标测量仪,激光块规干涉仪,从而使我国的线纹尺和块规的测量技术,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工作必将更全面的达到世界先进水平。

第二章 光滑圆柱体结合的公差与配合

2.1 概 述

圆柱形零件的“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的关系。“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条件。“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（GB159~174—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、大尺寸标准不符合实际以及规律性差等缺点，已不适应生产技术要求。根据国家标准总局的安排，对该标准进行了修订。经国家标准总局批准于1979年颁布了公差与配合新的国家标准（GB1800~1804—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新国标（GB1800~1804—79）的构成规律和特征。

2.2 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，必须了解术语和定义。

2.2.1 有关“尺寸”的术语和定义

1. 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。

· 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。

3. 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 2—1）。

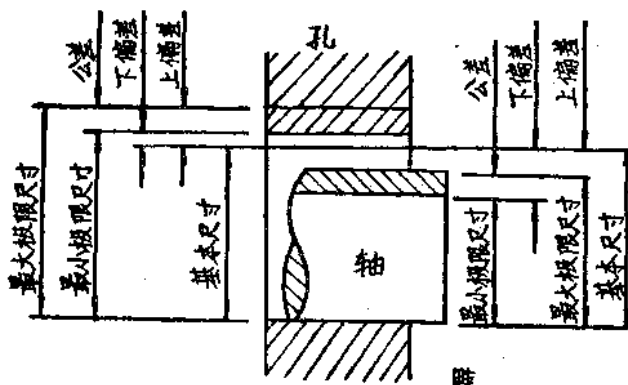


图 2—1 公差与配合示意图

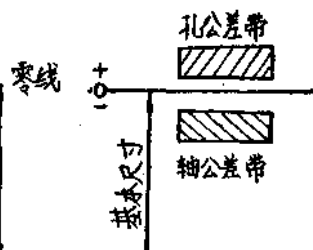


图 2—2 公差带图

4. 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。

5. 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 $\phi 50^{+0.039}_0$ ，轴为 $\phi 50^{-0.025}_{-0.050}$

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

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

6. 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。

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

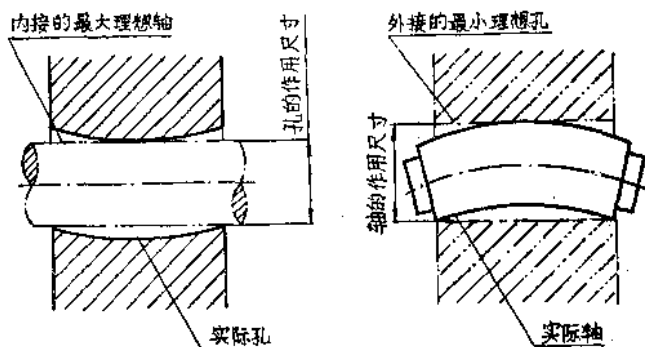


图 2—3 孔或轴的作用尺寸

则（即泰勒原则）。

“极限尺寸判断原则”即（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。

2.2.2 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 $\phi 50\text{mm}$ ，最大极限尺寸为 $\phi 50.008\text{mm}$ ，最小极限尺寸为 $\phi 49.992\text{mm}$ ，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2—2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2—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。

注① 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。

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，其基本偏差为上偏差(图 2—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。

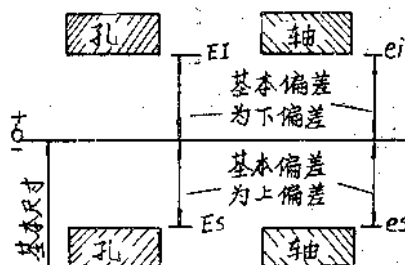


图 2—4 基本偏差示意图

2.2. 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 2—5 所示。

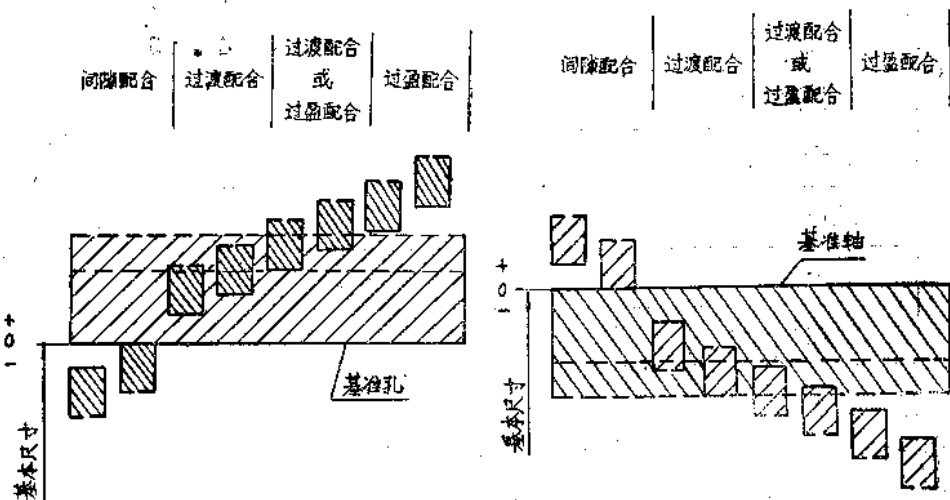


图 2—5 基孔制配合与基轴制配合

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： $\phi 50^{+0.039}_0$ 的孔与 $\phi 50^{-0.025}_{-0.050}$ 的轴相配是基孔制间隙配合。

公差带图如图 2—6 所示，各种计算见表 2—1。

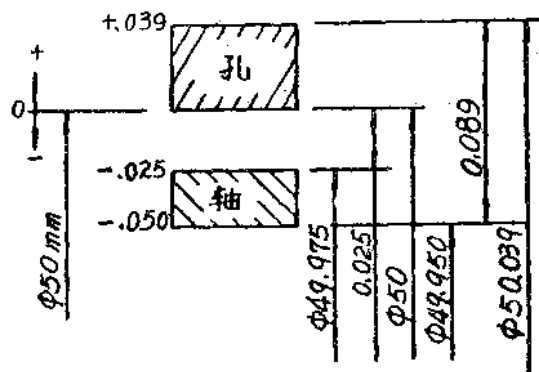


图 2—6 间隙配合公差带

表 2—1

单位：毫米

	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	$0.089 - 0.025 = 0.064$	
(间隙公差)	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。

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 $\phi 50^{+0.059}_{+0.043}$ 的轴相配是基孔制过盈配合。

公差带图如图 2—7 所示，各种计算见表 2—2。

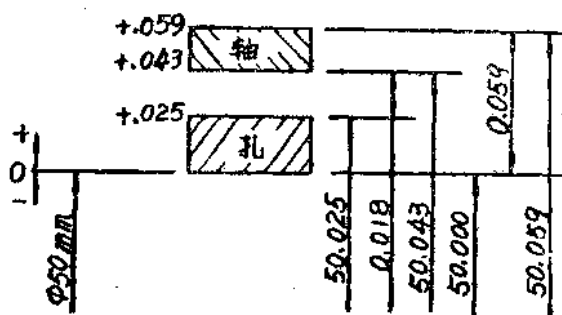


图 2—7 过盈配合公差带

表 2—2

单位：毫米

	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	$-0.018 - (-0.059) = 0.041$	
(过盈公差)	$0.025 + 0.016 = 0.041$	

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})。

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 2—8 所示，各种计算见表 2—3。

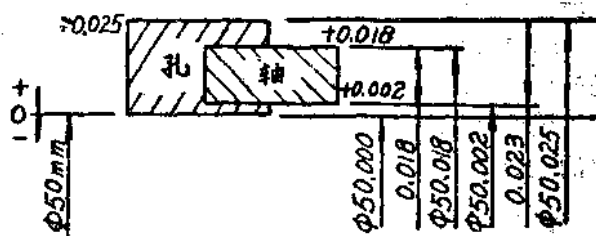


图 2—8 过渡配合公差带

表 2—3

单位: 毫米

	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	0.016
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	$0.023 - (-0.018) = 0.041$	
	或 $0.025 + 0.016 = 0.041$	

2.3 公差与配合的新国家标准

GB1800~1804—79是我国 1979 年制订的公差与配合新的国家标准。这个标准是确定光滑圆柱体零件或长度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。新国标于 1980 年 7 月 1 日开始实施。

新国标是按标准公差系列 (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。

2.3.1 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。它是由下列原则制订的。

1. 公差单位

零件的制造误差不仅和加工方法的精度有关,而且和基本尺寸的大小也有关,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相关关系。

对尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时,新国标的公差单位按下式计算。

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

式中: D ——基本尺寸,单位 mm ;

i ——公差单位,单位 μm 。

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,它是按抛物线的规律;第二项用于补偿和直径成正比的误差,包括由于测量时对环境温度的偏差引起的测量误差以及量规变形等误差。

当直径很小时,第二项所占比重很小;当直径较大时,公差单位随直径增加较快,公差值相应增大,这样比较符合实际。

对尺寸 $> 500 \sim 3150\text{mm}$ 的范围,新国标的公差单位按下式计算。

$$I = 0.004D + 2.1 \quad (2-2)$$

式中: D 、 I ——同前述含意;

2.1——常数。

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,国标的大尺寸公差单位采用线性关系。

实践证明,当尺寸 $> 3150\text{mm}$ 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

新国标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,新国标将标准公差分为20级,即 $IT01$, $IT0$, $IT1$, $IT2$, ..., $IT18$ 。 IT 表示标准公差,即国际公差(*ISO Tolerance*),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,而相应的标准公差依次增大。

对尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时, $IT5$ 以下各级标准公差按表2-4计算。

表 2-4 尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的 $IT5$ 至 $IT18$ 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 (μm)	$7i$	$10i$	$16i$	$25i$	$40i$	$64i$	$100i$	$160i$	$250i$	$400i$	$640i$	$1000i$	$1600i$	$2500i$

表中 7、10、16……就是公差等级系数，每个公差等级有一个确定的公差等级系数。由该表可以看出，从 IT6 以下，公差等级系数按 R5 优先数系增加，公比 $i = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$ ，即形成每隔 5 个等级，公差值增加 10 倍。

对尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的更高等级，主要考虑测量误差，公差计算采用线性关系式。如表 2—5 所示。

表 2—5 尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的 IT01 至 IT1 标准公差计算表

公差等级	IT01	IT0	IT1
公差值 (μm)	$0.3 + 0.008D$	$0.5 + 0.012D$	$0.8 + 0.020D$

标准公差 IT2~IT4 的数值，大约在 IT1~IT5 的数值之间近似呈几何级数，比值为 $\left(\frac{IT_5}{IT_1}\right)^{\frac{1}{4}}$ ，即 IT2、IT3、IT4 的标准公差分别为：

$$IT_2 = IT_1 \left(\frac{IT_5}{IT_1}\right)^{\frac{1}{4}}, IT_3 = IT_1 \left(\frac{IT_5}{IT_1}\right)^{\frac{2}{4}}, IT_4 = IT_1 \left(\frac{IT_5}{IT_1}\right)^{\frac{3}{4}}$$

从以上情况看出，各公差等级之间，标准公差数值分布规律性很强，可以向低等级延伸（例如 $IT_{18} = 10 \cdot IT_{13} = 2500i$ ），也可以向高等级延伸（例如 $IT_{02} = 0.2 + 0.005D$ ，即按 R10/2 系数取值），必要时，还可插入中间等级（例如 $IT_{6.5} = 1.25 \times IT_6 = 12.5i$ ， $IT_{7.5} = 20i$ 即按 R10 数系插入），以满足更广泛和特殊的需要。

对于尺寸 $> 500\text{mm}$ 时，IT5 以下各级标准公差同样以公差等级系数和公差单位的乘积来计算，如表 2—6 所示。

表 2—6 尺寸 $> 500\text{mm}$ 的 IT5 至 IT18 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 (μm)	7I	10I	16I	25I	40I	64I	100I	160I	250I	400I	640I	1000I	1600I	2500I

新国标对尺寸 $> 500\text{mm}$ 的更高等级的标准公差 IT01、IT0、IT1，分别按 1I、 $\sqrt{2}I$ 、2I 计算。标准公差 IT2~IT4，同样也在 IT1~IT5 之间近似呈几何级数。

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对应的公差值。但在生产实践中基本尺寸很多，这样就会形成一个庞大的公差数值表，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，特别考虑到便于应用，新国标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，在相同公差等级的情况下，规定相同的标准公差。新国标基本尺寸主段落的分段如表 2—7 所示。

在公差表格中，一般使用主段落，对过盈或间隙比较敏感的一些配合，使用分段较密的