

主 编 刘水华 副主编 林兴光

互换性与测量技术基础

中南工业大学出版社

351367

互换性与测量技术基础

主编 刘水华 副主编 林兴光



中南工业大学出版社

内 容 提 要

本书系统地论述了几何参数的互换性、主要的公差标准以及常用的检测原理和方法。内容包括：绪论、公差与配合、测量技术基础、表面粗糙度、形状和位置公差、滚动轴承的互换性、光滑工件尺寸的检验、键和花键结合的互换性、螺纹结合的互换性、渐开线圆柱齿轮传动的互换性和尺寸链等十一章。

本书可供高等工业学校机械类和机电结合类专业作教材使用，也可供机械工程技术人员和检测人员自学参考。



互换性与测量技术基础

主 编：刘永华

责任编辑：文 刀

中南工业大学出版社出版

国营望城湘江印刷厂印装

湖南省新华书店发行

开本：787×1092 1/16 印张：8.75 字数：224千字

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

印数：0001—7500

ISBN7—81020—381—9/TH·010

定价：2.35元

前 言

互换性原理在机械制造中已获得广泛的应用。随着科学技术的迅猛发展，现代化生产对互换性与测量技术的要求更高。因此，在机械工程技术人员的知识结构中，互换性与测量技术的知识占有十分重要的位置。

本书是根据高等工业学校《互换性与测量技术基础》课程教学基本要求的精神和多年教学经验编写的。特点是内容新颖，全部采用最新国家标准；理论联系实际，从应用角度论述有关标准的实质和特点，务求学以致用，培养精度设计能力；在内容编排上，以互换性为主线，层次分明，阐述自然流畅，深入浅出，便于教学和自学。

参加本书编写的有：中南工业大学刘水华（第一、二、六章）；湖南大学温松明（第三、七、九章）；衡阳工学院林兴光（第四、五、十章）、梅玲华（第八章）；湘潭大学王安民（第十一章）。全书由刘水华、林兴光副教授主编。

参加本书审稿工作的有王士立副教授（国防科技大学），刘潭湘副教授（湘潭大学），全书由温松明副教授主审。

在编写过程中，得到了有关院校、工厂的大力支持和帮助，在此谨致谢意。

限于编者水平，书中缺点和错误，热诚欢迎批评指正。

编者 1990年10月

目 录

1. 结论	(1)
1.1 互换性的基本概念.....	(1)
1.2 公差标准化及优先数系.....	(2)
1.3 测量技术概述.....	(4)
2. 公差与配合	(5)
2.1 概述.....	(5)
2.2 公差与配合的基本术语及定义.....	(5)
2.3 公差带的标准化.....	(8)
2.4 配合的标准化.....	(18)
2.5 公差与配合的选用.....	(21)
2.6 大尺寸段的公差与配合.....	(27)
3. 测量技术基础	(30)
3.1 测量技术的基本知识.....	(30)
3.2 测量误差及数据处理.....	(32)
4. 表面粗糙度	(42)
4.1 表面粗糙度的评定.....	(42)
4.2 表面粗糙度的标注.....	(45)
4.3 表面粗糙度的选用.....	(46)
4.4 表面粗糙度的测量.....	(47)
5. 形状和位置公差	(49)
5.1 概述.....	(49)
5.2 形状公差和误差.....	(50)
5.3 位置公差和误差.....	(56)
5.4 公差原则.....	(62)
5.5 形位公差值的选择.....	(67)
5.6 形位误差的检测原则.....	(69)
6. 滚动轴承的互换性	(71)
6.1 滚动轴承的精度等级.....	(71)
6.2 滚动轴承公差与配合的特点.....	(71)
6.3 滚动轴承配合的选用.....	(73)
7. 光滑工件尺寸的检验	(79)
7.1 基本概念.....	(79)
7.2 光滑极限量规.....	(79)
7.3 用通用计量器具检验工件.....	(84)
8. 键和花键结合的互换性	(88)

8.1 键结合.....	(88)
8.2 花键结合.....	(90)
9. 螺纹结合的互换性.....	(94)
9.1 概述.....	(94)
9.2 螺纹几何参数误差对互换性的影响.....	(95)
9.3 普通螺纹的公差与配合.....	(97)
9.4 螺纹的检测.....	(101)
10. 渐开线圆柱齿轮传动的互换性	(105)
10.1 齿轮传动的使用要求.....	(105)
10.2 齿轮精度的评定指标	(105)
10.3 齿轮副精度的评定指标	(114)
10.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	(116)
11. 尺寸链	(126)
11.1 尺寸链的基本概念	(126)
11.2 尺寸链的计算	(128)

1. 绪论

1.1 互换性的基本概念

1.1.1 互换性及其效益

现代机械工业产品，大都按互换性原则组织生产，其零、部件一般具有互换性。日常生活中，自行车、缝纫机的零件坏了，只要买一个新的换上，就可恢复使用性能。其所以这样方便，就因为这些零件具有互换性。

互换性是指按规定的几何参数等技术要求来分别制造的零、部件，使其不需辅助加工及修配就能进行装配，且装配后能满足使用功能的要求。

可见，互换性的主要特征有两个：一是装配时，不需辅助加工；二是装配后必须满足使用性能的要求。

互换性是机械、电子产品设计和制造的一个重要原则，遵循这个原则可获得下述明显的经济效益和社会效益：

1. 有利于加工制造 加工时，由于规定了统一的技术要求，机器零、部件就可分散到有关车间或工厂进行专业化生产。由于产品单一，批量大，可采用高效率的专用设备，进而采用计算机辅助加工，为高效、优质、低成本提供了可靠的条件。装配时，由于零、部件具有互换性，不需辅助加工和修配，故大大减轻了装配劳动量，缩短了装配周期，并且可使装配工作按流水作业方式进行，甚至采用装配自动线。可见，互换性是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。

2. 便于使用和维修 在国民经济各部门中，使用着大量的机电设备，这些设备的零、部件由于具有互换性，一旦损坏，可很快用另一新的备件更换，大大提高了机电设备的使用效率。

3. 提高了设计效率 在设计中，由于直接采用按互换性生产的标准零、部件，因而可大大简化计算、绘图等工作，缩短了设计周期，有利于采用计算机辅助设计。这对保证产品品种的多样化及促进新产品的开发都有重大的作用。

1.1.2 互换性的种类及应用

互换性按其程度可分为完全互换和不完全互换。

完全互换是指零、部件在装配或更换时，不仅不需要辅助加工和修配，且不需选择，就能满足使用要求的一种互换性。

不完全互换是一种有限制的互换。当装配精度较高时，采用完全互换将使零件制造公差很小，加工困难，甚至无法加工。这时可将零件公差适当放大，使便于加工。完工后，通过检测，按实际尺寸大小将零件分为若干组，然后按组进行装配。这样，既保证装配精度，又使加工经济可行。但仅组内零件可以互换，组与组之间不能互换，称为不完全互换。

一般来说,不完全互换只限于厂内使用,至于厂外协作,为使用方便,则往往要求完全互换。例如,滚动轴承内、外圈滚道与滚动体的互换性,因装配精度高,厂内生产时,采用不完全互换。而内圈内径、外圈外径为供厂外使用的配合尺寸,则采用完全互换。

在单件小批生产,特别是在重型机械和精密仪器制造中,常采用调整法或修配法。此时零件仍按互换性原则加工制造,但装配时必须对某个选定零件进行调整或修配才能达到使用要求。

究竟采用完全互换、不完全互换或调整修配,要由产品的精度与复杂程度、生产类型、设备条件和技术水平等因素来决定。

近年来,现代化的机械工业已由单一品种的大批量生产,逐步向多品种、小批量的集成制造系统发展。这种制造系统的主要特点是可以根据市场需要,及时改变生产线上产品的型号和品种,其实质是用大量生产的方式,生产小批或单件产品。在生产线上,产品变动时,信息传送给多品种控制器,接受欲装配哪些零件的指令,指定机器人选择零件进行装配。库存零件提出后,由计算机通知加工站补充零件。显然,这种制造系统,对互换性的要求更加严格。

通常所说的互换性是指几何参数(主要包括尺寸、形状、位置以及角度等)的互换性。广义来说,互换性是指某一产品(包括零件、部件、构件)与另一产品在尺寸、功能上能够彼此互相替换的性能。因此,互换性参数除几何参数外,还包括机械性能、化学、光学、电学和流体力学等参数。本书论述的是几何参数的互换性。

1.2 公差标准化及优先数系

1.2.1 公差标准化

现代机械工业,首先要求零件具有互换性。为此,必须保证零件几何参数的一致性。但是由于存在加工和测量误差,绝对精确的零件是得不到的。同时,互换性要求的一致性,并不是要求零件的几何参数都精确地制成一个理论值。因此,从生产实际出发,给零件的几何参数规定一个允许的变动范围是必要的,这个允许的变动范围,就叫公差。为了广泛实现互换性生产,有利于设计、制造和使用维修,公差必须标准化。

标准化就是在生产实践、科学实验及可靠经验的基础上,依据“最佳协调原理”,应用“选优”和“简化统一”的方法,对事物作出合理的规定,它是一个通过制订和贯彻标准以获得社会效益的整个活动过程。标准制订发布后,在一定范围内具有约束力。

标准化是广泛实现互换性生产的前提,也是实现现代化的一个重要手段。标准化的范围很广,按标准化对象的特征,它大致可归纳为以下几类:

1. **基础标准** 是以标准化共性要求和前提条件为对象的标准。如计量单位、术语、符号、优先数系、机械制图、公差与配合、零件结构要素等标准。

2. **产品标准** 是以产品及其构成部分为对象的标准。如机电设备、仪器仪表、工艺装备、零部件及原材料等标准。

3. **方法标准** 是以生产技术活动中的重要程序、规划、方法为对象的标准。如设计计算方法、工艺规程等标准。

4. **安全与环境保护标准** 是专门为了安全与环境保护为目的而制订的标准。

本书研究的公差标准是一种重要的基础标准，它是进行产品设计和制订其他标准的共同依据。

1.2.2 优先数系

工程上各种技术参数的协调，简化和统一，是标准化的重要内容。

在生产中，当选定一个数值作为某种产品的参数指标后，这个数值就会按一定的规律向一切有关制品、材料等有关参数指标传播扩散。这种技术参数的传播，在生产中是极为普遍的现象，既发生在相同量值之间，也发生在不同量值之间，并且跨越行业和部门的界限。因此，工程技术上的数值，即使小小的差别，经过反复传播，也会造成尺寸规格的繁多杂乱，以致给生产、协作配套及使用维修带来很大的困难。优先数系就是对各种技术参数进行协调、简化和统一的一种科学的数值制度。

工程技术上采用的优先数系通常是一种十进的几何级数，“十进”就是级数项中包括1, 10, 100, ... 10^n 和1, 0.1, 0.01, ... $1/10^n$ 这些数（指数 n 是整数）。其中1~10, 10~100, ...和1~0.1, 0.1~0.01...各区间，称为十进段。每个十进段又按一定的公比细分为若干项。

我国标准GB321—80采用的优先数系与国际标准ISO₃—1973相同，规定十进段内的项数有：5、10、20、40和80等五种，分别用R5、R10、R20、R40和R80表示，它们的公比如下：

$$R5: q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.5849 \approx 1.6$$

$$R10: q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.2589 \approx 1.25$$

$$R20: q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.1220 \approx 1.12$$

$$R40: q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.0593 \approx 1.06$$

$$R80: q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.0294 \approx 1.03$$

R5、R10、R20、R40是常用系列，作为基本系列，而R80则作为补充系列。

优先数系中的每一个数值为优先数。表1.1为优先数的基本系列，在同一系列其它十进

表1.1 优先数系的基本系列

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40						
1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	2.50	2.24	2.24	6.30	6.30	5.00	5.00						
		1.06				2.36				5.60	5.60						
		1.12	1.12			2.50	2.50			6.30	6.30						
		1.18				2.65				7.10	7.10						
	1.25	1.25	1.25		4.00	4.00	2.80	2.80	10.00	10.00	6.30	6.30					
			1.32				3.00				7.10	7.10					
		1.40	1.40	3.15			3.15	8.00			8.00						
		1.50		3.35				9.00			9.00						
		1.60	1.60	1.60				4.00			4.00	3.55	3.55	10.00	10.00	8.00	8.00
				1.70								3.75				9.00	9.00
2.00	2.00	1.80	1.80	4.00	4.00	4.00	4.00	10.00	10.00	9.00	9.00						
		1.90				4.25				10.00	10.00						
		2.00	2.00			4.50	4.50			10.00	10.00						
		2.12				4.75	4.75			10.00	10.00						

段的项值只须按10的倍数扩大或缩小即可。

优先数系的主要优点是：相邻项的相对差均匀，疏密适中，运算方便，同一系列中，优先数的积、商、整数乘方等仍为优先数，且简单易记。因此，优先数系得到了广泛应用，并成为国际上统一的数值制。公差标准中的许多数值系列，都是按优先数系选定的。

1.3 测量技术概述

仅有公差标准，而缺乏相应的测量与检验手段来最终保证几何参数的一致性，互换性生产还是不能实现的。因此，一个完整的公差制应包括“公差”和“测量与检验”两部分。后者为前者的技术保证。

为了保证测量的可靠性，必须建立统一的计量制度，确定科学的计量单位标准，同时还要规定正确的测量原则、方法以及合理地使用计量器具。

解放前，我国的计量制度是很混乱的，根本没有统一的标准。解放后，随着社会主义事业的发展，我国计量工作迅速发展完善起来。1955年，我国成立了国家计量局，负责管理全国的计量工作。1959年，我国颁发了统一计量制度方案，正式确定国际公制为我国的基本计量制度。1977年，国务院再次重申：“我国的基本计量制度是米制（即公制），逐步采用国际单位制”。1984年，我国又颁发了法定计量单位，明确规定采用以国际单位制为基础制定的法定计量单位制。这就进一步保证了我国计量制度的统一。

在测量技术方面，我国已建立起独立、完整的测试仪器制造工业体系。近年来，还利用激光、光栅和计算机等先进技术研制了多种高精密的量仪，如激光光电光波比长仪，激光量块干涉仪、激光丝杠动态检查仪和光栅式齿轮全误差测量仪等，这些量仪均进入了世界先进的行列。可以预言，随着社会主义现代化建设的发展，我国的计量测试技术将很快达到世界先进水平。

2. 公差与配合

2.1 概述

国家标准《公差与配合》主要是关于孔、轴的尺寸公差，以及由它们组成配合的规定。它的应用几乎涉及国民经济的各个部门，而对于机械工业更具有特别重要的意义。

为了适应我国科学技术发展的需要，1979年我国制订了新的公差与配合国家标准（GB 1800~1804-79），取代了1959年颁布的旧标准。

国标采用国际公差制，由以下五个标准组成：

1. GB1800-79 公差与配合 总论 标准公差与基本偏差；
2. GB1801-79 公差与配合 尺寸至500mm 孔、轴公差带与配合；
3. GB1802-79 公差与配合 尺寸大于500至3150mm 常用孔、轴公差带；
4. GB1803-79 公差与配合 尺寸至18mm 孔、轴公差带；
5. GB1804-79 公差与配合 未注公差尺寸的极限偏差。

“总论”全面系统地阐述了公差与配合的基本概念、术语、定义和基本规定，它是制订后四个标准的依据。后四个标准实际上是根据总论编制的选用标准，它结合各行业的使用和需要，针对不同尺寸范围的情况，进一步规定了孔、轴公差带及常用、优先配合，以便设计时选用。

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，应明确规定公差与配合的基本术语和定义。术语和定义的统一也是标准化的重要内容之一。

2.2.1 有关尺寸、偏差与公差的术语及定义（参阅图2.1）

1. 基本尺寸——设计给定的尺寸。它是经过计算或根据经验确定的。一般应选取标准值。孔的基本尺寸以 D 表示，轴以 d 表示。孔、轴配合时，其基本尺寸是相同的。

2. 实际尺寸——测量所得的尺寸。由于存在测量误差，实际尺寸并非尺寸的真值。

3. 极限尺寸——允许尺寸变化的两个界限值，其中较大的一个为最大极限尺寸（ D_{\max} 、 d_{\max} ）；较小的一个为最小极限尺寸（ D_{\min} 、 d_{\min} ）。

4. 最大实体状态（MMC）和最大实体尺寸（MMS）——孔或轴具有允许的材料量为最多时的状态称为最大实体状态。在此状态下的尺寸为最大实体尺寸。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（LMC）和最小实体尺寸（LMS）——孔或轴具有允许的材料量为最少时的状态称为最小实体状态。在此状态下的尺寸为最小实体尺寸。它是孔的最大极限尺寸和轴的最小极限尺寸的统称。

显然，处于最大实体状态下的孔、轴相配，为配合的最紧状态；处于最小实体状态下的孔、轴相配，为配合的最松状态。

6. 尺寸偏差（简称偏差）——某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

定义中的某一尺寸可以是极限尺寸或实际尺寸，因此，偏差包括极限偏差和实际偏差，而极限偏差又分为上偏差和下偏差。

上偏差——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，其计算式如下：

$$ES = D_{\max} - D$$

$$es = d_{\max} - d$$

下偏差——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，其计算式如下：

$$EI = D_{\min} - D$$

$$ei = d_{\min} - d$$

实际偏差——实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

由于极限尺寸或实际尺寸可以大于、小于或等于其基本尺寸，故偏差可以为正、负或零值。

7. 尺寸公差（简称公差）——允许尺寸的变动量。

为协调机器零件使用要求与制造经济性的矛盾，零件的尺寸允许在一个合理的范围内变动，这个允许的变动量就是公差。就数值而言，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之代数差的绝对值，用公式表示如下：

$$\text{孔公差 } T_H = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI|$$

$$\text{轴公差 } T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei|$$

公差仅表示尺寸允许变动的范围，所以是绝对值，没有正、负的概念。

8. 公差带图、零线与公差带

公差带图——由于公差与偏差的数值与尺寸数值相比相差太大，不便于同一比例表示，故采用公差与配合图解（简称公差带图）。图2.2即为图2.1的公差带图。

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。当零线画成水平时，正偏差位于零线之上，负偏差位于零线之下。

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。

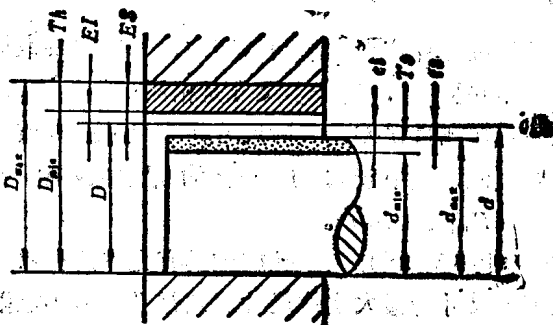


图2.1 尺寸与偏差、公差的关系

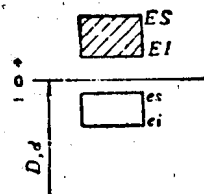


图2.2 公差带图

2.2.2 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。配合的条件是孔

和轴的基本尺寸必须相同，而配合的松紧由孔和轴公差带的关系来确定。

由于配合是指一批孔、轴的装配关系，而不是指单个孔、轴的相配关系，所以用公差带之间的关系来反映配合比较确切。根据孔和轴公差带之间的关系不同，配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三大类。

2. 间隙或过盈及配合公差

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，用 X 表示；为负时是过盈，用 Y 表示。

配合公差——允许间隙或过盈的变动量，用 T_f 表示。

3. 间隙配合——具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之上（图2.3）。

表征间隙配合松紧程度的是最大间隙和最小间隙：

最大间隙（ X_{max} ）——孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差，也等于孔的上偏差减轴的下偏差所得的代数差，即：

$$X_{max} = D_{max} - d_{min} = ES - ei$$

最小间隙（ X_{min} ）——孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差，也等于孔的下偏差减轴的上偏差所得的代数差，即：

$$X_{min} = D_{min} - d_{max} = EI - es$$

表征间隙配合精度的是配合公差，它等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值，即：

$$T_f = |X_{max} - X_{min}|$$

配合公差又可写为：

$$\begin{aligned} T_f &= |(D_{max} - d_{min}) - (D_{min} - d_{max})| \\ &= |(ES - ei) - (EI - es)| = T_h + T_s \end{aligned}$$

可见，配合公差等于相互结合的孔、轴尺寸公差之和。

4. 过盈配合——具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之下（图2.4）。

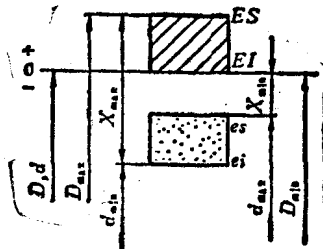


图2.3 间隙配合

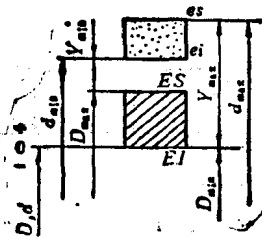


图2.4 过盈配合

表征过盈配合松紧的是最小过盈和最大过盈：

最小过盈（ Y_{min} ）——孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差，也等于孔的上偏差减轴的下偏差所得的代数差，即：

$$Y_{min} = D_{max} - d_{min} = ES - ei$$

最大过盈（ Y_{max} ）——孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差，也等于孔的下偏差减轴的上偏差所得的代数差，即：

$$Y_{max} = D_{min} - d_{max} = EI - es$$

表征过盈配合精度的是配合公差，其等于最小过盈与最大过盈之代数差的绝对值，即：

$$T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}|$$

不难证明，配合公差也等于相互结合孔、轴尺寸公差之和：

$$T_f = T_h + T_s$$

5. 过渡配合——可能具有间隙或过盈的配合。此时，孔的公差带与轴的公差带相互交叠（图2.5）。

过渡配合时，由于孔、轴公差带相互交叠，孔的尺寸可能大于或小于轴的尺寸，因此，可能得到间隙或过盈。表征其松紧程度的是最大间隙和最大过盈，而配合公差则等于最大间隙与最大过盈代数差的绝对值，也等于孔、轴尺寸公差之和：

$$T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = T_h + T_s$$

配合的性质由配合的松紧和配合精度（一致性）确定，因此，基本尺寸相同时，如配合的极限间隙（或过盈）对应相等，则属同一性质的配合。

【例2.1】 孔 $\phi 25^{+0.021}_{0}$ mm 与轴 $\phi 25^{+0.015}_{+0.002}$ mm 组成过渡配合（图2.6a）。求其极限尺寸、公差、最大间隙、最大过盈和配合公差。

解 极限尺寸：

$$D_{\max} = D + ES = 25 + 0.021 = 25.021 \text{ (mm)}$$

$$D_{\min} = D + EI = 25 + 0 = 25.000 \text{ (mm)}$$

$$d_{\max} = d + es = 25 + 0.015 = 25.015 \text{ (mm)}$$

$$d_{\min} = d + ei = 25 + 0.002 = 25.002 \text{ (mm)}$$

$$\text{孔公差 } T_h = |ES - EI| = | +0.021 - 0 | = 0.021 \text{ (mm)}$$

$$\text{轴公差 } T_s = |es - ei| = | +0.015 - 0.002 | = 0.013 \text{ (mm)}$$

$$\text{最大间隙 } X_{\max} = ES - ei = +0.021 - 0.002 = +0.019 \text{ (mm)}$$

$$\text{最大过盈 } Y_{\max} = EI - es = 0 - 0.015 = -0.015 \text{ (mm)}$$

$$\text{配合公差 } T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = | +0.019 - (-0.015) | = 0.034 \text{ (mm)}$$

$$\text{或 } T_f = T_h + T_s = 0.021 + 0.013 = 0.034 \text{ (mm)}$$

配合的特性，也可用配合公差带图表示（图2.6b）。

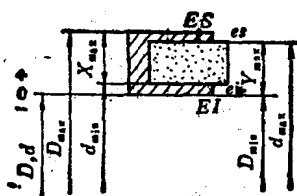


图2.5 过渡配合

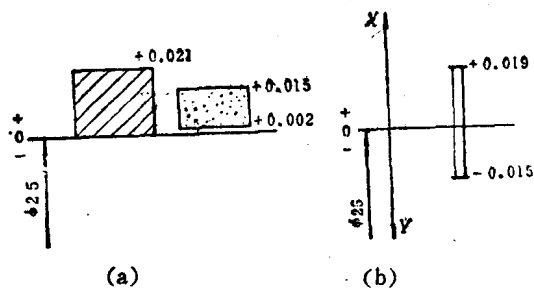


图2.6 例2.1的公差带图和配合公差带图

2.3 公差带的标准化

在公差与配合标准中，公差带是一个重要的概念。如图2.7所示，公差带是由“大小”和“位置”两个要素组成的。公差带的大小由标准公差确定；公差带位置由基本偏差确定。为了得到不同大小和位置的公差带，以满足不同的使用要求，标准对公差带的两个要素分别进行了标准化，形成了标准公差和基本偏差两个系列。

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。

基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的标准公差数值见表2.1，相应的计算式见表2.2。由表2.2可知，公差等级IT5至IT18的标准公差按下式计算：

$$IT = ai$$

式中 a ——公差等级系数

i ——公差单位

标准公差由公差单位和公差等级确定，现分述如下。

1. 公差单位——是计算标准公差的基本单位，是制订标准公差的基础。

机械零件的加工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，合理规定公差数值，必须建立公差单位。

根据生产实践经验及专门的科学试验和统计分析，在常用尺寸段（ $\leq 500\text{mm}$ ），零件的加工误差与直径基本上呈立方根抛物线的关系。为了能充分反映误差规律，国标规定，对尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时，公差单位 i 按下式计算：

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

式中 D ——基本尺寸计算值（mm）

上式中，第一项反映加工误差，第二项用于补偿测量误差的影响。当直径很小时，第二项占比例很小；当直径增大时，第二项比例增大，对公差单位的影响随之增大。

2. 公差等级——是确定尺寸精确程度的等级。为了满足零件对尺寸精度的不同要求，国标将标准公差分为20个公差等级，用IT（国际公差ISO Tolerance的缩写）与数字表示为：IT01、IT0、IT1、IT2…、IT18。从IT01至IT18等级依次降低。标准公差值依次增大。

从IT5开始，每一公差等级有一确定的公差等级系数，如表2.2中的7、10、16…等。从表中可知，公差等级愈低，公差等级系数愈大，且从IT6开始，公差等级系数按R5优先数系增加，公比为 $\sqrt[5]{10} \approx 1.6$ ，所以，每增5个等级，公差值增加10倍。

标准公差各级之间的规律性强，便于向更高、更低的等级延伸，例如IT17和IT18就是根据我国实际情况，在ISO公差制的基础上延伸出来的，并已被ISO采纳。

3. 尺寸分段——根据标准公差计算式，公差值与基本尺寸有关。因此，每有一个基本尺寸就会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。为了简化统一公差值和便于应用，国标对基本尺寸进行了分段（参见表2.1）。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。标准公差数值计算式中的 D 值是取尺寸分段内首、尾两个尺寸的几何平均值。

【例2.2】基本尺寸 $\phi 40$ ，求IT6=? IT7=?

解： $\phi 40$ 属于 $>30 \sim 50\text{mm}$ 尺寸段

几何平均值 $D = \sqrt{30 \times 50} = 38.73 \text{ (mm)}$

公差单位 $i = 0.45\sqrt[3]{D} + 0.001D$

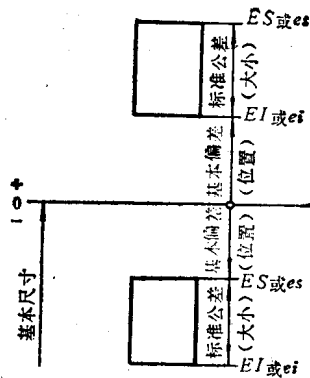


图2.7 公差带的组成

表2.1

标准公差数值

基本尺寸 (mm)	公差等级																			
	μm											mm								
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
≤3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.10	0.14	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
>3~6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
>6~10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2
>10~18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
>18~30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
>30~50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1.00	1.60	2.5	3.9
>50~80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.30	0.46	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6
>80~120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
>120~180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
>180~250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
>250~315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
>315~400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
>400~500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7

注：基本尺寸小于1mm时，无IT14至IT18。

表2.2

基本尺寸≤500mm范围内，各级标准公差的计算公式

公差等级	公 式	公差等级	公 式	公差等级	公 式
IT01	$0.3+0.008D$	IT5	$7i$	IT12	$160i$
IT0	$0.5+0.012D$	IT6	$10i$	IT13	$250i$
IT1	$0.8+0.020D$	IT7	$16i$	IT14	$400i$
IT2	$(IT1) \left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{1/4}$	IT8	$25i$	IT15	$640i$
		IT9	$40i$	IT16	$1000i$
IT3	$(IT1) \left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{1/2}$	IT10	$64i$	IT17	$1600i$
		IT11	$100i$	IT18	$2500i$
IT4	$(IT1) \left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{3/4}$				

$$=0.45 \sqrt[3]{38.73} + 0.001 \times 38.73$$

$$=1.56 (\mu\text{m})$$

$$IT6 = 10i = 10 \times 1.56 = 15.6 \approx 16 (\mu\text{m})$$

$$IT7 = 16i = 16 \times 1.56 = 24.96 \approx 25 (\mu\text{m})$$

2.3.2 基本偏差系列

基本偏差是国标规定的，用以确定公差带相对零线位置的上偏差或下偏差，一般为靠近零线的那个偏差。

国标规定的基本偏差系列如图2.8所示，基本偏差的代号用拉丁字母表示，大写表示孔，小写表示轴。其中一个字母表示的有21个，两个字母表示的有7个，即孔、轴各规定有28个基本偏差。当公差带在零线上方时，基本偏差为下偏差；当公差带在零线下方时，基本偏差为上偏差。基本偏差是公差带位置标准化的唯一指标。

1. 轴的基本偏差 轴的基本偏差有下列规律：

(1) a 至 h 为上偏差 (es)，且为负值，其绝对值依次减小。其中 h 的基本偏差 $es = 0$ ；

(2) js 为上偏差或下偏差，因 js 与各级标准公差组成的公差带对称于零线，所以其基本偏差可以是上偏差 ($es = +IT/2$)，也可以是下偏差 ($ei = -IT/2$)；

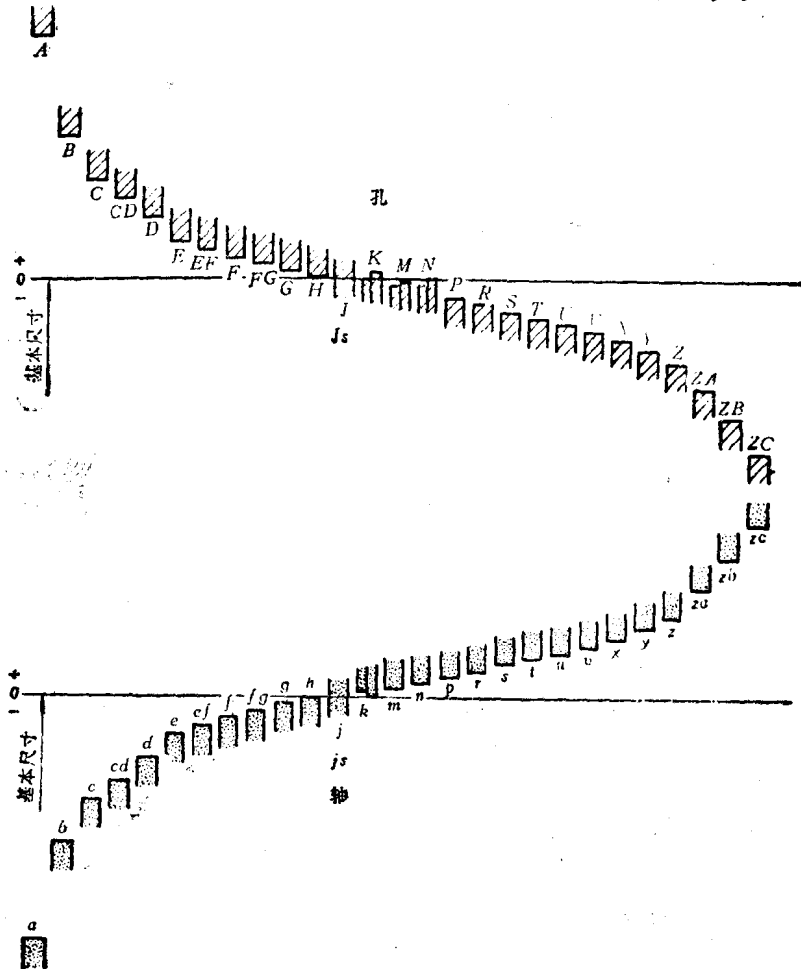


图2.8 基本偏差系列