

公差与配合、技术测量是机械制造业非常重要的技术与检测要求。本书根据职工高等工业学校教学大纲的要求,较系统地阐述了有关最新国家标准的公差与技术测量,内容包括光滑圆柱体、滚动轴承、圆锥与角度、键联接螺、纹及圆柱齿轮的公差与配合,形状与位置公差,表面粗糙度,尺寸链和相应的测量技术。在讲解最新标准的同时,对一些旧标准也作了简介与对比。

公差与技术测量

陆 洛 主编

*

责任编辑:蔡耀辉

封面设计:郭景云

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

河北省永清县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张14·字数 343千字

1988年9月北京第一版·1988年9月北京第一次印刷

印数 00,001 10,500·定价:4.35元

*

ISBN 7-111-01218 6/TG·309

前 言

本书是根据机械工业部1983年11月审订的职工高等工业学校教学大纲，并结合近几年国家标准的修订以及教学实践编写的。是成人高等工业学校机械类，近机械类专业的适用教材。适用于业余大学、职工大学、电视大学、函授大学。中等专业学校也可选用，并可供有关工程技术人员参考。

全书各部分内容均采用截止定稿时所颁布的最新国家标准、部颁标准编写的。考虑到新、旧标准的过渡，部分内容对相应旧标准也作了简介或对比。

本书由上海市部分业余大学和北方部分职工大学联合编写。参加编写的单位有：上海市杨浦区业余大学、上海市黄浦区业余大学、开滦矿务局职工大学、上海市虹口区业余大学、保定市职工大学、华北油田职工大学、张家口市职工大学。

本书由陆洛任主编，柳耕慧、许百勋任副主编，陆各、柳耕慧、许百勋、李名爵、颜发利、王惠珍、杲淑敏、言赞业参加编写。同济大学过馨葆副教授担任主审。

在编写过程中，得到上海市杨浦区业余大学，华北石油职工大学的大力支持以及有关单位的协助，在此一并表示谢意。

由于编写人员水平有限，书中不妥之处在所难免，衷心希望广大读者批评指正。

编 者

1988年2月

目 录

第一章 绪论.....	1	§ 7-3 量规的结构与设计.....	123
§ 1-1 互换性概述.....	1	第八章 圆锥和角度的公差及其检测...	126
§ 1-2 我国标准化与计量工作的发展...	2	§ 8-1 圆锥配合概述.....	126
§ 1-3 加工误差.....	2	§ 8-2 锥角误差对圆锥配合的影响.....	130
§ 1-4 优先数和优先数系.....	3	§ 8-3 角度与斜度系列.....	134
第二章 光滑圆柱体的公差与配合.....	6	§ 8-4 锥角与角度的测量.....	137
§ 2-1 公差与配合的基本术语和定义...	6	第九章 键、花键的公差与检测.....	141
§ 2-2 公差与配合国家标准的构成.....	14	§ 9-1 单键联接的公差与配合.....	141
§ 2-3 公差与配合国家标准的应用.....	34	§ 9-2 矩形花键联接的公差与配合.....	145
§ 2-4 新、旧国标的对比.....	42	第十章 螺纹公差及检测.....	150
第三章 测量技术基础.....	46	§ 10-1 概述.....	150
§ 3-1 测量技术基本知识.....	46	§ 10-2 螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响.....	152
§ 3-2 测量器具与测量方法的分类.....	49	§ 10-3 螺纹作用中径.....	155
§ 3-3 量具、量仪的主要度量指标.....	50	§ 10-4 普通螺纹公差与配合.....	156
§ 3-4 量具、量仪的选择原则.....	50	§ 10-5 机床丝杠螺母公差.....	162
§ 3-5 测量误差和数值处理.....	54	§ 10-6 螺纹测量.....	167
第四章 形状和位置公差及测量.....	63	第十一章 圆柱齿轮公差及检测.....	172
§ 4-1 形位公差的基本概念.....	63	§ 11-1 概述.....	172
§ 4-2 形状公差和误差及其测量.....	66	§ 11-2 影响传递运动准确性的误差及其测量.....	173
§ 4-3 位置公差和误差及其测量.....	74	§ 11-3 影响运动平稳性的误差及其测量.....	176
§ 4-4 公差原则.....	85	§ 11-4 影响载荷分布均匀性误差及其测量.....	179
§ 4-5 形位公差的选用.....	89	§ 11-5 影响齿轮副侧隙的偏差及其测量.....	181
第五章 表面粗糙度及其测量.....	95	§ 11-6 齿轮副的安装及传动误差.....	182
§ 5-1 基本概念.....	95	§ 11-7 JB179—83渐开线圆柱齿轮精度制.....	184
§ 5-2 表面粗糙度的基本术语和参数...	96	第十二章 尺寸链.....	189
§ 5-3 表面粗糙度参数值的选用及标注.....	101	§ 12-1 基本概念.....	199
§ 5-4 表面粗糙度的测量.....	105	§ 12-2 用极值法解尺寸链.....	202
第六章 滚动轴承的公差与配合.....	107	§ 12-3 用概率法解尺寸链.....	210
§ 6-1 滚动轴承精度等级及公差带的特点.....	107	§ 12-4 解尺寸链的其它方法.....	216
§ 6-2 滚动轴承的配合及其选择.....	111	参考文献.....	219
第七章 光滑极限量规.....	120		
§ 7-1 光滑极限量规概述.....	120		
§ 7-2 光滑极限量规的公差.....	121		

第一章 绪 论

§ 1-1 互换性概述

随着我国经济建设的不断发展,国内外技术交流日益扩大,各行各业都需要生产出质量优良、价格低廉的现代化技术装备和产品。同时,随着广大人民生活水平的逐步提高,也期望社会能生产出质优价廉的日用机电产品,来满足人们生活的需要。在组织生产装备或产品的过程中,除了现代化管理外,产品的质量和效益直接关系到生产单位的发展前途。要保证产品的质量和效益,就应该使产品和组成产品的某些零件规范化、标准化、系列化,在整个生产活动中,都必须坚持能够互换的原则。

比如,一台机器要更换其中某一规格的螺栓和滚动轴承,我们只需到供应部门在相同规格的一批螺栓和轴承中随意选取后安装在机器上,就可满足使用要求。又比如生活中的日用品,如自行车零件、收音机元、器件、荧光灯管等,也同样应具有这种性质。所以,相同规格的一批零件或部件,在不经任何选择和辅助加工或修配的情况下,装配或更换后就能满足预定的使用要求,这种性质称为互换性。

互换性就其性质可分为几何参数互换和功能互换。本书主要讨论几何参数互换。几何参数一般包括几何形状(宏观、微观)、尺寸大小以及相互位置关系等。几何参数的互换是用几何参数的公差来保证的。只要零件的实际参数值在一定的范围内变化,保证零件装配后的使用要求。即认为它是合格产品。

互换性按其互换程度可分为完全互换和不完全互换。一个零件或部件在装配与更换时,不需选择,也不需辅助加工或修配就能满足工作要求的这种互换,称为完全互换。当装配精度要求很高时,采用完全互换将使零件的公差很小,加工困难,成本也高,甚至无法加工。这时,可将零件的制造公差适当地加大以便于加工,然后将生产出的零件按实际加工的尺寸分为若干组,使每组零件间的实际尺寸差别减小,装配时按相应组进行(如大孔与大轴装配,小孔与小轴装配)。这样既保证了装配精度也满足了使用要求,又解决了加工的困难。这种仅限于组内零件可以互换的,组与组之间不可互换的,称为不完全互换。比如以后讲到的滚动轴承,就具有这两种互换。

另外,在生产中还有采用修配法或调整法来进行装配的。修配法是对某些零件形体表面进行辅助机械加工或钳工修刮的方法来获得装配所要求的精度。调整法是在一组相关联的尺寸中,用位移或更换某一零件来改变其位置和尺寸的方法,以满足装配精度的要求。这两种方法只适用于小批生产和单件生产。在重型机械加工中应用比较广泛。

互换性原则在我国现代化建设中是一项重要的技术经济原则。就制造而言,互换性是提高生产水平和经济效益的重要手段;就装配而言,由于互换性高可以进行流水线作业来提高生产率,修配中可以缩短时间,充分发挥原有设备的生产能力;就设计而言,可以简化图样

的绘制工作量和特殊要求,以提高设计的质量和速度。

总之,互换原则的普及与深化,对我国经济的发展,产品的更新换代以及国外先进技术的引进与消化将起重要的作用。

§ 1-2 我国标准化与计量工作的发展

一种技术装备或产品的制造,只有遵循共同的技术标准才能获得较高的效益。所以标准化是现代化生产中一项重要的技术措施。它是保证互换性的重要手段;也是在生产实践与理论分析的基础上,对产品的各项技术性能进行科学的简化、选优和统一。先进的标准既要适应生产的发展又要指导生产的发展。

零件的标准化从设计角度为互换性提供了可能性。但要满足其使用性能,还必须采取适当的工艺措施,对零件进行检测,以保证生产的零件为合格的产品。为了使测量结果统一和可靠,相应地要建立完善的检测手段和计量管理系统,并制定技术法规监督实施。所以标准化与计量工作是采用互换原则生产的主要保证。

解放前,我国的标准化呈现半殖民地的特征,没有统一的国家标准。因各地外国势力的影响都采用不同的标准,有美国标准(ASA)、德国标准(DIN)、日本标准(JIS)以及英国标准(BS)等,所以严重地阻碍了我国民族工业的发展。解放后,国家十分重视标准化工作。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的国家标准。以后,我国陆续颁布了圆柱齿轮公差标准、表面光洁度、普通螺纹公差、键与花键公差、表面形状与位置公差等部和国家标准,这对国民经济的发展起到了重要的作用。但随着我国建设事业的发展,原有的标准已不能适应和满足国民经济建设的需要,由于国际间技术交流的扩大,也对我国标准化工作提出新的要求。为此国家标准总局于1978年正式参加了国际标准化组织(ISO)的活动,国内相应地加强了各级标准化的建设,并组织力量对原有的公差标准进行了全面的修订或增订,及时地进行宣传与贯彻。

在计量工作方面,1955年我国成立了国家计量局。1959年统一了全国计量制度,正式规定以米制(即公制)作为我国长度计量的基本制度。同时逐步建立各种计量基准器和各级基准的传递系统。1977年国务院颁布了计量管理条例。1984年颁布了我国法定的计量单位,1985年颁布了我国计量法。

此外,在计量科学研究工作以及计量专业人员的培养方面都取得很大的成绩。我国先后研制成功的齿轮整体误差测量仪,激光光电光波比长仪。激光丝杠动态检查仪等项目均进入世界先进行列,这标志着我国计量技术已进入了一个新的发展阶段。

§ 1-3 加工误差

组成机器或部件的各类零件,其几何形体是通过不同的加工方法获得的,这些几何形体可以用几何参数来表述。在加工时,由于使用的加工设备、加工方法、所用刀夹具、加工者技术熟练程度以及检测手段等方面因素的不同,加工出来的形体实际几何参数与理想的几何参数之间存在着一定的差别,这一差别就是加工误差。

零件的加工误差按其几何特征不同可分为：

(1) 尺寸误差 加工后零件的实际尺寸与理想尺寸之差。如直径、长度尺寸的误差就属该类。

(2) 几何形状误差 零件的实际形状（一般系指各种线、面）与理想几何形状的差别。它又可以分为：宏观几何形状误差（简称形状误差）；中度几何形状误差（表面波度）；微观几何形状误差（表面粗糙度）。这三者的误差一般是以波距大小来区别的。

(3) 位置误差 零件上实际点、线、面的位置与理想位置的差别。

由于加工误差的存在，将影响零件的使用性能和使用寿命，误差愈大，影响愈严重，甚至无法使用。如果要求零件的加工误差愈小，则加工愈复杂，成本相应也愈高。在实际使用中，加工一个零件，没有必要也不可能要求它绝对准确或完全一致。所以，在设计零件时，使其几何参数规定在一个允许的范围内、这个范围既能满足零件的使用要求又符合加工原则。我们将这个允许的范围，即参数允许的变动量称为公差。

公差分为尺寸公差、形状公差和位置公差三种类型。我们将在以后的章节中分别介绍。

§ 1-4 优先数和优先数系

一种产品的设计与制造，当选定几个主要数值作为该种产品的技术指标时，这几个主要数值就会按照一定的规律或方式向构成产品的各零件、材料等有关参数指标传播、扩散。比如一台皮带运输机，当功率与转数这两个主要数值作为该机械的技术指标时，那么，构成机械的部件和部件中的零件，如轴、齿轮、键、轴承、联轴器、螺栓等的参数也相应地受到制约，这些数值从大到小，规格庞杂，这给生产和互换带来很大的困难。因此有必要对各种技术参数加以协调、简化和统一，这也是标准化的重要内容。

优先数和优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值制度。

优先数系标准化，在初期采用的是等差级数 $a, a + d, a + 2d, \dots, a + nd$ ，其相邻两项绝对差相等，而相对差的变化较大。比如自然数列中 1 与 2 的相对差值为 100%，而 10 与 11 之间的相对差值只是 10%，所以数值越大相邻两数的相对差值越小，这就造成大小规格密疏不均的不合理现象。同时等差级数还存在着一个无法克服的缺点。即这些数值经过工程上的技术运算后，就不存在原有等差规律了（如计算后的面积）。

现在，工程技术上通常采用的优先数系，是一种十进几何级数。比如首项等于 1，公比为 q 的几何级数为 $1, q, q^2, q^3, \dots, q^n$ ，其相邻两项的相对差值都是：

$$\frac{aq^n - aq^{n-1}}{aq^{n-1}} \times 100\% = (q - 1) \times 100\%$$

故分级均匀。同时该级数中任意两项的积、商、乘方仍为几何级数。如线性尺寸是公比为 q 的几何级数；面积是公比为 q^2 的几何级数等。正由于几何级数具有这种规律性，所以我们将它作为建立优先数系的依据。

十进位的几何级数，即级数的项值中包括 $1, 10, 100, \dots, 10^n$ 和 $0.1, 0.01, \dots, 1/10^n$

这些数值（ n 为整数）。为了对这些数值进行细分，按 $1 \sim 10$ ， $10 \sim 100$ ， $\dots$ ，和 $1 \sim 0.1$ ， $0.1 \sim 0.01 \dots$ 划分区间，称为十进段。再将十进段内的数值细分项数为 m 。由此可知，十进位几何级数的规律就是每递增 m 项，其数值就增加 10 倍。设首项为 a ，顺 $aq^m = 10a$ ，故 $q = \sqrt[m]{10} = 10^{\frac{1}{m}}$ 。

同时，我们希望工程上所采用的优先数系不仅是十进位的几何级数，而且也是个倍数系列，即细分数值的项数 m ，每递增 x 项，后项是前项的倍数，故此数系的公比 q 应满足下式：

$$q^x = 10^{x/m} = 2$$

取对数，得 $x/m = \lg 2 \approx 0.301 \approx \frac{3}{10}$

按此比例， x 与 m 可取下列组合

表1-1 优先数基本系列

基 本 系 列 (常用值)				计 算 值
R_5	R_{10}	R_{20}	R_{40}	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000
			1.06	1.0593
		1.12	1.12	1.1220
			1.18	1.1835
		1.25	1.25	1.2589
	1.25		1.32	1.3335
		1.40	1.40	1.4125
			1.50	1.4962
		1.60	1.60	1.5849
			1.70	1.6788
1.60	1.60	1.80	1.80	1.7783
			1.90	1.8836
		2.00	2.00	1.9953
			2.12	2.1135
		2.24	2.24	2.2387
	2.00		2.36	2.3714
		2.50	2.50	2.5119
			2.65	2.6007
		2.80	2.80	2.8184
			3.00	2.0854
2.50	2.50	3.15	3.15	3.1623
			3.35	3.3497
		3.55	3.55	3.5481
			3.75	3.7534
	3.15			
4.00	4.00	4.00	4.00	3.9811
			4.25	4.2170
		4.50	4.50	4.4668
			4.75	4.7315
		5.00	5.00	5.0119
	5.00		5.30	5.3088
		5.60	5.60	5.6234
			6.00	5.9566
		6.30	6.30	6.3096
			6.70	6.6834
6.30	6.30	7.10	7.10	7.0795
			7.50	7.4939
		8.00	8.00	7.9433
			8.50	8.4140
		9.00	9.00	8.9125
	8.00		9.50	9.4406
		10.00	10.00	10.0000
10.00	10.00			

$$\frac{x}{m} = \frac{3}{10} = \frac{6}{20} = \frac{12}{40} = \frac{24}{80} \dots,$$

此时, m 分别为 10, 20, 40, 80, ..., 对应的 x 则分别为 3, 6, 12, 24, ...。而数系的公比分别是:

$$q = 10^{1/10}, q = 10^{1/20}, q = 10^{1/40}, q = 10^{1/80}, \dots$$

我国国标 (GB321—81) 与国际标准 (ISO) 采用的优先数系相同。推荐的 m 值是 5, 10, 20, 40, 80 五种, 分别用 $R_5, R_{10}, R_{20}, R_{40}, R_{80}$ 表示。其中 R_5 数系是为了满足分级更稀的需要, 而且不包含倍数系列。 $R_5, R_{10}, R_{20}, R_{40}$ 是作为常用系列的基本系列, 而 R_{80} 则作为补充系列。

五种优先数系的公比是:

$$R_5 \quad \text{公比} \quad q_5 = \sqrt[5]{10} = 10^{1/5} \approx 1.6$$

$$R_{10} \quad \text{公比} \quad q_{10} = \sqrt[10]{10} = 10^{1/10} \approx 1.25$$

$$R_{20} \quad \text{公比} \quad q_{20} = \sqrt[20]{10} = 10^{1/20} \approx 1.12$$

$$R_{40} \quad \text{公比} \quad q_{40} = \sqrt[40]{10} = 10^{1/40} \approx 1.06$$

$$R_{80} \quad \text{公比} \quad q_{80} = \sqrt[80]{10} = 10^{1/80} \approx 1.03$$

按公比计算的优先数理论值是无理数, 应用时应加以圆整, 保留三位有效数字的数值, 称为常用值, 见表 1-1。

第二章 光滑圆柱体的公差与配合

光滑圆柱体结合在机械中是常见的一种结合型式，其应用是非常广泛的。为了使相结合的光滑圆柱体能满足工作的要求，适应生产发展的需要，我国制定了适用于光滑圆柱体的《公差与配合》国家标准。它是一项最重要、使用很广泛的基础标准。

公差与配合的标准化，不但可以避免随意给定公差与配合的数值而造成生产中的混乱，从而保证了零、部件的互换性和工作质量，而且还有利于刀具、量具的标准化、系列化，也便于组织专业化协作生产和国际间的技术交流。

我国1959年参照苏联ГОСТ公差制，颁布了《公差与配合》国家标准GB159~174—59（以下简称旧国标），该标准在当时对统一我国公差标准、发展互换性生产、促进技术水平的提高起了积极作用。随着科学技术的发展，旧国标已不能适应生产实际的需要，如精度等级偏低，配合种类偏少，无检验标准等，而且与国际标准又不一致，影响国际间的技术交流。为此，1979年我国制定了新的《公差与配合》国家标准（简称新国标），代替旧国标。并于1980年1月开始实施。新国标是确定光滑圆柱体及其它一些由单一尺寸确定的表面或结构的尺寸公差以及由它们组成的配合的依据。

新国标《公差与配合》由五个标准组成。它包括：

GB1800—79，它是整个《公差与配合》标准的基础部分。内容包括总论、标准公差、基本偏差；

GB1801—79，它适用于尺寸至500mm的孔、轴公差带及配合；

GB1802—79，它适用于尺寸500~3150mm的常用孔、轴公差带；

GB1803—79，它适用于尺寸至18mm的孔、轴公差带；

GB1804—79，为未注公差尺寸的极限偏差标准。

§ 2-1 公差与配合的基本术语和定义

为了研究零件几何要素的互换性，必须对有关的术语作出统一的规定，并给以明确的定义，这是互换性研究的基础，也是工程技术人员在公差与配合方面共同的技术语言。

一、有关尺寸的术语及定义

1. 尺寸

用特定单位表示长度值的数字称为尺寸。在机械制图中，图样上的尺寸都以mm为单位，但在标注时将单位省略，当以其它长度单位表示尺寸时应标明单位。

2. 基本尺寸 (D 、 d) $\ominus$

基本尺寸是设计给定的尺寸。它是设计人员根据产品使用性能的要求，通过计算、试验或类比相似零件已有经验而确定的，它的数值一般应按标准长度或标准直径的数值进行圆整。

$\ominus$ 标准规定，大写字母表示孔的有关代号，小写字母表示轴的有关代号，后同。

基本尺寸的标准化可减少刀具、量具、夹具的规格数量。

3. 孔和轴

在机器或仪器中,最基本的装配关系是由一个零件的内表面包容另一个零件的外表面所形成的。从而引出了“孔”和“轴”的名词概念。在公差与配合标准中,“孔”和“轴”这两个基本术语有其特殊的含义,因为它涉及到公差标准应用的范围。

孔——主要是指圆柱形内表面,也包括其它内表面中由单一尺寸确定的部分。

轴——主要是指圆柱形的外表面,也包括其它外表面中由单一尺寸所确定的部分。

定义中的孔、轴具有广泛的含义,不仅表示通常理解的概念,即圆柱形的内、外表面,而且也表示其它几何形状的内、外表面中由单一尺寸所确定的部分。

例如图2-1所示。两平行表面相对,其间没有材料形成包容状态,属于内表面,则它们中间由单一尺寸所确定的部分称为孔。如 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 是孔的尺寸。

两平行表面相背,其外设有材料形成被包容状态,属于外表面,则它们中间由单一尺寸所确定的部分称为轴。例如 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 是轴的尺寸。

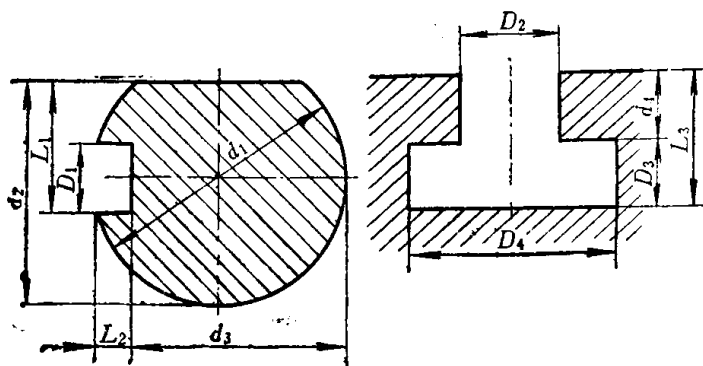


图 2-1 孔、轴的尺寸

如果两部分表面同向,既不能形成包容状态,也不能形成被包容状态,既非内表面,亦非外表面,则它们中由单一尺寸所确定的部分,既不是孔,也不是轴,而是作为长度,如图2-1中的 L_1 、 L_2 、 L_3 是长度尺寸。

4. 实际尺寸

实际尺寸是通过测量所得的尺寸。孔的实际尺寸以 D_a 表示,轴的实际尺寸以 d_a 表示。

由于测量误差的存在,实际尺寸并非尺寸的真值。在生产的实践中,即使由一位熟练的技术工人在同一台机床上用同样的刀具和量具加工同一种零件,它们的尺寸也不会一样,这是由于随机测量误差和加工误差的存在,同时,由于形状误差的原因,同一零件同一几何要素上各不同部位的实际尺寸亦各不相同。因此,实际尺寸是个随机变量。

5. 极限尺寸

极限尺寸是允许尺寸变化的两个界限值。它们是以基本尺寸为基数来确定的。两个界限值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)。

二、有关偏差与公差术语

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称为尺寸偏差。

(1) 实际偏差 实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差。

孔的实际偏差 $E_a = D_a - D$

轴的实际偏差 $e_a = d_a - d$

(2-1)

(2) 极限偏差 极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为极限偏差。

最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差。以公式表示如下：

$$\text{孔的上偏差} \quad ES = D_{\max} - D$$

$$\text{轴的上偏差} \quad es = d_{\max} - d \quad (2-2)$$

最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差。以公式表示如下：

$$\text{孔的下偏差} \quad EI = D_{\min} - D$$

$$\text{轴的下偏差} \quad ei = d_{\min} - d \quad (2-3)$$

由于极限尺寸可以大于、等于或小于基本尺寸，所以极限偏差可以为正、负或零。但是，由于最大极限尺寸总大于最小极限尺寸，所以上偏差总大于下偏差。

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。以公式表示如下：

$$\text{孔的公差} \quad T_D = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI|$$

$$\text{轴的公差} \quad T_d = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \quad (2-4)$$

公差和偏差是两个概念不同的术语，前者是加工时尺寸允许变动的范围，表示一批零件要求的尺寸均匀程度，它是一个绝对值，永远为正值，而后者则是表示某尺寸与基本尺寸的代数差。它可以为正值、负值或者为零，如图2-2所示。

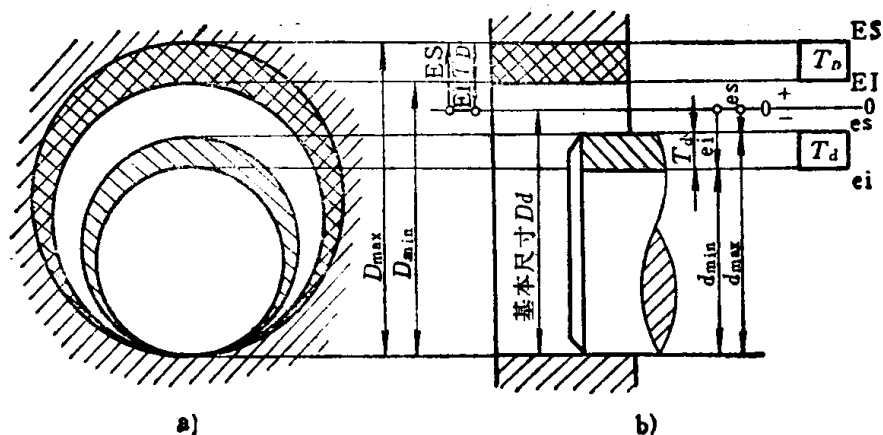


图 2-2 公差与配合示意图

3. 零线与公差带

从图2-2可见，由于公差的数值比其基本尺寸的数值小得多，在图中设有用同一比例画出，其中公差图示部分被放大了，这是为了表示公差与配合之间的关系。孔与轴可以不画出其实际大小，只画出零件的“公差带”。这样就可以通过图示清楚地表明零件的基本尺寸、极限偏差与公差之间的关系，这种图示的方法在标准中称之为公差与配合图解。简称公差带图。

(1) 尺寸公差带（简称公差带）在公差带图中，由代表上、下偏差的两条平行线段所限定的一个区域。

(2) 零线 在公差带图中，确定偏差的一条基准直线，即零偏差线。通常以零线表示

基本尺寸。零线以上的偏差为正偏差，零线以下的偏差为负偏差。如图2-3所示。

三、配合

1. 配合

基本尺寸相同的相互结合的孔和轴的公差带之间的关系称为配合。

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，该差值为正值时，则为间隙，用 X 表示；该差值为负值时，则为过盈，用 Y 表示。

3. 三类配合

(1) 间隙配合 具有间隙（包括最小间隙为零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之上，如图2-4所示。孔和轴之间实际间隙的大小是随孔和轴加工后的尺寸而变化的。

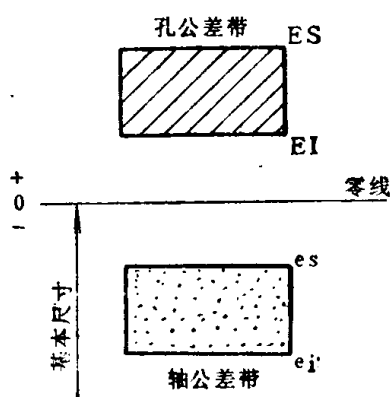


图2-3 公差带图

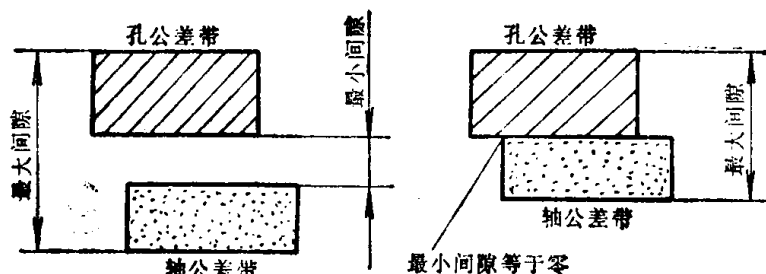


图2-4 间隙配合

在间隙配合中，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} ），也等于孔的上偏差减轴的下偏差之代数差。

用公式可表示为：

$$X_{max} = D_{max} - d_{min} = ES - ei \quad (2-5)$$

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} ），也等于孔的下偏差减轴的上偏差之代数差。

用公式表示为：

$$X_{min} = D_{min} - d_{max} = EI - es \quad (2-6)$$

实际生产中有时也用平均间隙来表示间隙配合的性质。以 X_{av} 表示

$$X_{av} = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} \quad (2-7)$$

(2) 过盈配合 具有过盈（包括最小过盈为零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之下，如图2-5所示。

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} ），也等于孔的下偏差减轴的上偏差之代数差。

用公式表示为：

$$Y_{max} = D_{min} - d_{max} = EI - es \quad (2-8)$$

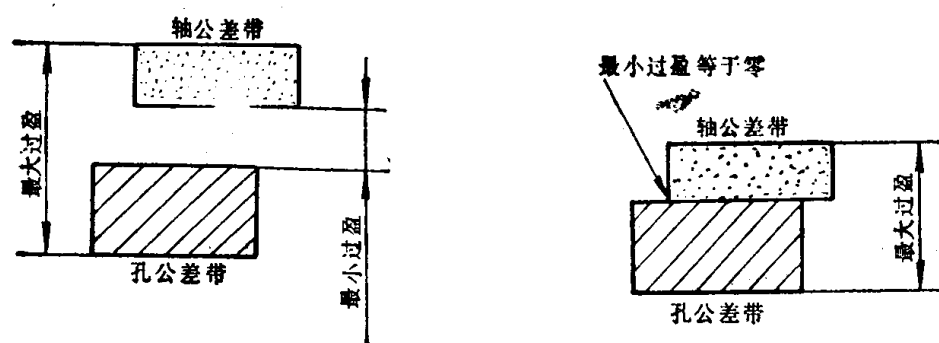


图 2-5 过盈配合

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 ($Y_{\min}$)，也等于孔的上偏差减轴的下偏差之代数差。

用公式表示为：

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-9)$$

在实际生产中，有时也用平均过盈来表示过盈配合的性质。以 Y_{av} 表示。

$$Y_{av} = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2} \quad (2-10)$$

(3) 过渡配合 可能具有间隙或过盈的配合。此时，孔和轴的公差带相互交叠，如图 2-6 所示。

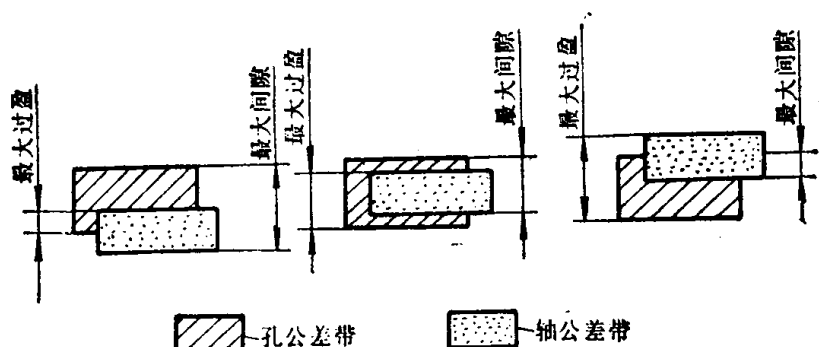


图 2-6 过渡配合

孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸之代数差为最大过盈。

以公式表示：

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-11)$$

孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸之代数差为最大间隙。

以公式表示

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-12)$$

过渡配合的平均配合性质，可能为间隙也可能为过盈。

$$X_{av} (Y_{av}) = \frac{X_{\max} + Y_{\max}}{2} \quad (2-13)$$

按上式若所得为正值，则平均值为间隙，表示偏松的过渡配合，若所得为负值，则平均

值为过盈，表示偏紧的过渡配合。

(4) 配合公差与配合公差带图

在上述间隙、过盈和过渡三类配合中，允许间隙或过盈在两个界限内变动。标准将允许间隙或过盈的变动量称为配合公差。它是设计人员根据机器配合部位使用性能的要求，对配合松紧变动的程度给定的允许值。显然，对某一配合来说，其配合公差越大，配合时形成的间隙或过盈的变化范围也越大，配合精度越低；反之，配合公差越小，间隙或过盈的变化范围小，配合精度越高。

在数量关系上配合公差的大小等于两个界限值的代数差的绝对值，也等于相配合孔的公差和轴的公差之和，取绝对值表示配合公差没有正、负的含义。

对于间隙配合，其配合公差 T_f 等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值。

用公式表示为

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = T_D + T_d \quad (2-14)$$

对于过盈配合，其配合公差 T_f 等于最小过盈与最大过盈之代数差的绝对值。

用公式表示为

$$T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}| = T_D + T_d \quad (2-15)$$

对于过渡配合，其配合公差 T_f 等于最大间隙与最大过盈之代数差的绝对值。

用公式表示为

$$T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = T_D + T_d \quad (2-16)$$

综上所述，无论何种配合，其配合公差等于孔公差与轴公差之和，即 $T_f = T_D + T_d$ 。

该式的意义在于：等式左边 T_f 表示装配精度，表明了使用与设计的要求，而等式右边 $T_D + T_d$ 表明了孔、轴加工精度即对工艺所提出的要求，通过此式把设计要求和工艺要求联系起来，若设计要求越高，则孔、轴公差应越小，加工精度愈高，加工愈困难，

因此从制造角度则希望尽量放大公差，而在使用上则要把公差限制在一定的范围内，因此，合理地满足此等式就能较好地协调设计与制造的矛盾。

以上三类配合的配合公差带可用图2-7表示。

在配合公差带图中，零线以上的纵坐标为正值，代表间隙；零线以下纵坐标为负值，代表过盈。符号 Π 代表配合公差带。当配合公差带完全处在零线上方时，是间隙配合；完全在零线下方时，是过盈配合；跨越零线时，则是过渡配合。配合公差带两端的坐标值代表极限间隙或极限过盈，上、下端之间距离为配合公差值。

例2-1 求基本尺寸为 $\phi 40$ 的孔与轴三组配合的上、下偏差，最大、最小极限尺寸，公差，极限间隙或过盈，属于何种配合，求出配合公差，并画出以上各种配合的孔、轴公差带图及配合公差带图。

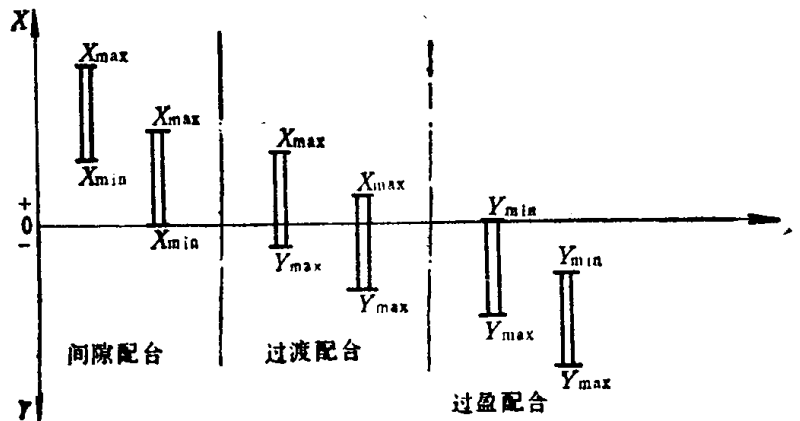


图 2-7 配合公差带图

(1) 孔 $\phi 40^{+0.025}_0$ 与轴 $\phi 40^{+0.050}_{-0.066}$ 相配合。

(2) 孔 $\phi 40^{+0.025}_0$ 与轴 $\phi 40^{+0.059}_{+0.043}$ 相配合。

(3) 孔 $\phi 40^{+0.025}_0$ 与轴 $\phi 40^{+0.018}_{+0.002}$ 相配合。

解 三种配合的各个项目计算见表2-1；三种配合的孔、轴公差带图见图2-8；三种配合的配合公差带图见图2-9。

表 2-1 (mm)

项目 \ 孔轴序号	1		2		3	
	孔	轴	孔	轴	孔	轴
基本尺寸	40	40	40	40	40	40
上偏差ES(es)	+0.025	-0.050	+0.025	+0.059	+0.025	+0.018
下偏差EI(ei)	0	-0.066	0	+0.043	0	+0.002
最大极限尺寸 $D_{max}(d_{max})$	40.025	39.950	40.025	40.059	40.025	40.018
最小极限尺寸 $D_{min}(d_{min})$	40	39.934	40	40.043	40	40.002
公差 $T_D(T_d)$	0.025	0.016	0.025	0.016	0.025	0.016
最大间隙 X_{max}	+0.091		—		+0.023	
最大间隙 X_{min}	+0.050		—		—	
最大过盈 Y_{max}	—		-0.059		-0.018	
最小过盈 Y_{min}	—		-0.018		—	
属于何种配合	间隙配合		过盈配合		过渡配合	
配合公差 T_f	0.041		0.041		0.041	

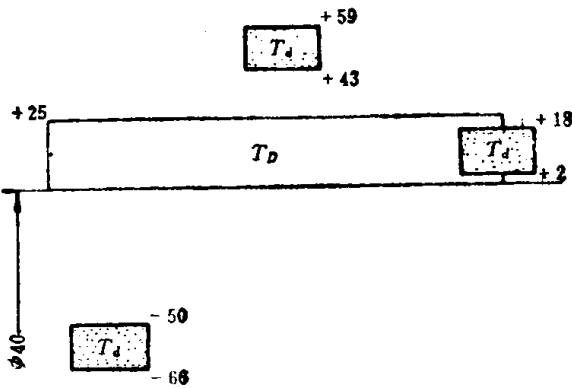


图 2-8 孔、轴公差带图

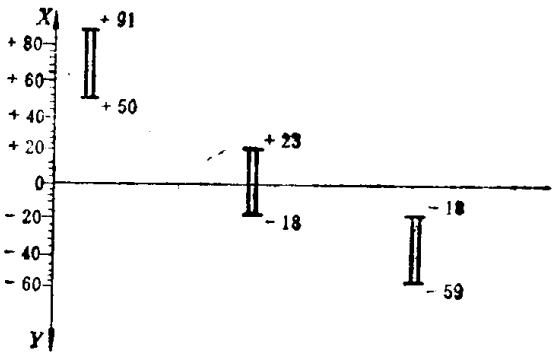


图 2-9 配合公差带图

四、极限尺寸判断原则

孔与轴在加工过程中，由于设备、刀具和技术上的原因，不可避免的会产生形状误差。由此使孔与轴各部位的实际尺寸也不尽相同。如果孔与轴相配合，其各部的间隙或过盈也不

尽一致。所以影响配合性质的因素，不仅仅是尺寸误差，还要考虑到形状误差的影响。为了保证配合性质的要求，对具有形状误差的孔或轴，如何用极限尺寸判断其合格与否，GB1800—79中规定的极限尺寸判断原则（又称泰勒原则）正是考虑了以上两个因素对配合的影响。在论述极限尺寸判断原则前，需了解以下几个术语和定义。

1. 有关的术语及定义

(1) 最大实体状态和最大实体尺寸

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（MMC），在此状态下的尺寸称为最大实体尺寸（MMS）。它是孔的最小极限尺寸（ $D_{\min}$ ）和轴的最大极限尺寸（ $d_{\max}$ ）的统称。

(2) 最小实体状态和最小实体尺寸

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（LMC），在此状态下的尺寸称为最小实体尺寸（LMS）。它是孔的最大极限尺寸（ $D_{\max}$ ）和轴的最小极限尺寸（ $d_{\min}$ ）的统称。显然，当相配的孔和轴皆处于最大实体状态时，其配合状态最紧；皆处于最小实体状态时，其配合状态最松。

(3) 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（ D_m ），如图2-10a所示

在配合面的全长上，与实际轴外接的最小理想孔的尺寸称为轴的作用尺寸（ d_m ），如图2-10b所示。

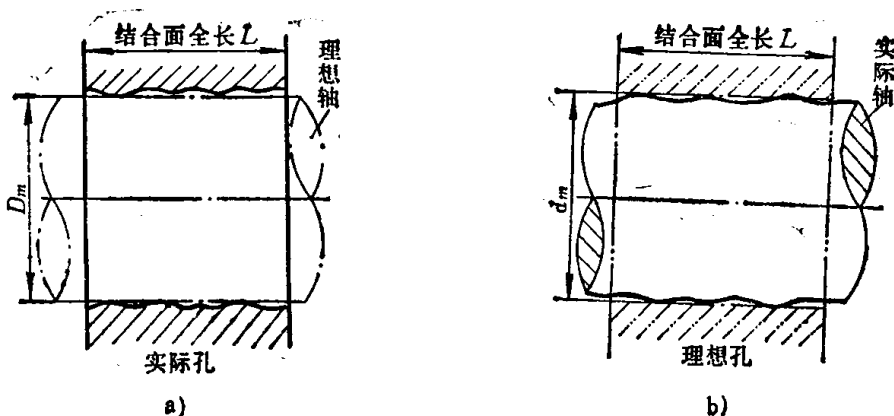


图 2-10 孔、轴的作用尺寸

a) 孔的作用尺寸 b) 轴的作用尺寸

作用尺寸是存在于实际孔和轴上的，它是判断孔、轴可装配性的参数，作用尺寸不仅与孔、轴的实际尺寸有关，而且与孔、轴的形状误差有关，它是孔、轴实际尺寸与形状误差综合的结果，是配合起作用的尺寸。

一般来讲，轴的作用尺寸总是不小于其任一局部实际尺寸，即 $d_m \geq d_s$ ；孔的作用尺寸总是不大于其任一局部实际尺寸，即 $D_m \leq D_s$ 。

只有当孔的作用尺寸大于或等于轴的作用尺寸时，即 $D_m \geq d_m$ ，孔轴才能自由装配。

2. 极限尺寸判断原则

GB1800—79规定的极限尺寸判断原则如下:

孔或轴的作用尺寸不允许超过最大实体尺寸,在任何位置上的实际尺寸不允许超过最小实体尺寸。这里所说的不超过是指,对于孔:它的作用尺寸应不小于最小极限尺寸,而在任何位置上的实际尺寸均不大于最大极限尺寸。对于轴:它的作用尺寸应不大于最大极限尺寸,而在任何位置上的实际尺寸均不小于最小极限尺寸。

§ 2-2 公差与配合国家标准的构成

在光滑圆柱体的公差与配合中,公差带是一个很重要的概念。它由二个要素组成,一个是公差带的大小,一个是公差带的位置。为实现互换性和满足各种使用要求,公差带必须标准化,即公差带大小由标准公差确定,公差带相对于零线的位置由基本偏差确定,形成标准公差和基本偏差两个系列。

一、标准公差系列

标准公差是本标准表列的,用以确定公差带大小的任一公差。

GB1800—79规定的标准公差如表2-2所列。由表可见,标准公差由基本尺寸和公差等级决定。

1. 公差等级

确定尺寸精确程度的等级称为公差等级。国标规定了20个公差等级,按公差增大的顺序排列分别为:IT01、IT0、IT1、IT2、IT3……、IT17、IT18,IT即为国际公差Tolerance的缩写。从IT01~IT18等级依次降低。由表2-2可知,属于同一公差等级的标准公差,对所有基本尺寸段,虽然数值不同,但被认为具有同等的精确程度。对基本尺寸相同的零件,可以按照公差的大小来评定它们精度的高低,而对于基本尺寸不同的零件,那就不能单看公差的大小来决定它们的精度高低。

2. 公差因子 (i 、 I)

公差因子是随基本尺寸的变化而用来计算标准公差的一个基本单位。

由生产实践可知,在相同的加工条件下,零件的制造误差是随基本尺寸变化的。通过专门试验和统计分析,即可找出一个规律,这个规律可用公差因子与基本尺寸的函数关系式表示,在基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$,公差等级为IT5至IT18级时,公差因子的计算公式:

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001 D \quad (2-17)$$

式中, i 的单位为 μm ; D 为基本尺寸,单位为 mm 。

上式等式右边的第一项 $0.45 \sqrt[3]{D}$ 主要反映加工误差的影响,它与基本尺寸呈立方根的抛物线关系,如图2-11所示。

第二项 $0.001 D$ 主要用于补偿测量时温度不稳定和偏离标准温度以及量规变形等引起的测量误差,它与直径呈线性函数关系。实际上当直径很小时,第二项所占的比例很小。

对于基本尺寸在 $> 500 \sim 3150\text{mm}$ 时,公差因子用 I (μm)表示,其计算式为

$$I = 0.004 D + 2.1 \quad (2-18)$$

当尺寸大于 500mm 时,加工时测量误差和温度的因素对加工误差的影响占主要地位,因此上式等号右边的第一项为基本尺寸的一次方关系,至于第二项的常数值2.1,是为了弥补当尺寸为 500mm 时,用式(2-17)和式(2-18)的第一项分别计算所得的差值。如图2-12所