

职工高等工业专科学校试用教材

公差配合与技术测量

薛彦成 主编

何镜民 主审



机械工业出版社

本书是职工高等工业专科学校机械制造工艺与设备专业的试用教材，是根据教育部审定的职工高等工业专科学校教学大纲组织编写的。

全书贯彻少而精原则，并尽量反映公差配合与技术测量的最新理论和国家标准。全书共分十二章，前七章阐述互换性基本概念、圆柱公差、形位公差、量规公差、圆锥公差、技术测量基础及粗糙度等基础知识；后四章阐述滚动轴承、螺纹、键、花键和齿轮等典型零部件的公差配合与测量；最后一章阐述了长度尺寸链的组成及计算；各章后都备有习题。

本书也适用于职工大学和业余大学，也可供各类高等院校师生和工矿企业工程技术人员参考。

公差配合与技术测量

薛彦成 主编

何镜民 主审

*

责任编辑：王世刚

封面设计：田淑文

*

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证出字第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 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $13 \frac{1}{2}$ ·字数 326 千字

1987年6月北京第一版·1987年6月北京第一次印刷

印数 00,001—29,970·定价：2.30 元

*

统一书号：15033·6853

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 互换性基本概念	1
§ 1-2 我国标准化与计量工作的发展	1
§ 1-3 加工误差和公差	2
§ 1-4 优先数和优先数系列	3
第二章 圆柱体结合的公差与配合	6
§ 2-1 概述	6
§ 2-2 公差配合的基本术语和定义	7
§ 2-3 公差与配合国家标准的组成与特点	11
§ 2-4 公差与配合的选用	26
§ 2-5 公差与配合旧标准简介	36
第三章 技术测量基础	41
§ 3-1 技术测量的基本单位	41
§ 3-2 长度基准与长度量值传递系统	42
§ 3-3 测量器具和测量方法的分类	46
§ 3-4 量具和量仪主要度量指标	47
§ 3-5 测量误差及数据处理	48
§ 3-6 量具和量仪的选择原则	58
第四章 形状和位置公差及其误差的测量	60
§ 4-1 概述	60
§ 4-2 形状公差和位置公差	65
§ 4-3 公差原则	83
§ 4-4 形位公差的选用	90
第五章 表面粗糙度及测量	98
§ 5-1 概述	98
§ 5-2 表面粗糙度的评定基础和国家标准	99
§ 5-3 表面粗糙度的选用	105
§ 5-4 表面光洁度和表面粗糙度的量值关系	106
§ 5-5 表面粗糙度的测量	107
第六章 光滑极限量规	110
§ 6-1 概述	110
§ 6-2 量规尺寸公差带	111
§ 6-3 量规设计	113
第七章 圆锥公差与测量	118
§ 7-1 概述	118
§ 7-2 圆锥几何量误差对圆锥结合的影响	119

§ 7-3	圆锥标准	121
§ 7-4	角度和锥度的测量	123
第八章	滚动轴承的公差与配合	128
§ 8-1	滚动轴承的公差等级及其应用	128
§ 8-2	滚动轴承公差带及其特点	128
§ 8-3	滚动轴承与轴和外壳孔的配合	131
第九章	螺纹的公差配合及测量	137
§ 9-1	概述	137
§ 9-2	普通螺纹各参数对互换性的影响	138
§ 9-3	普通螺纹的公差与配合	142
§ 9-4	机床丝杠、螺母公差	147
§ 9-5	螺纹的测量	154
第十章	键和花键的公差配合及测量	160
§ 10-1	单键联结	160
§ 10-2	花键联结	163
第十一章	圆柱齿轮传动的公差及测量	169
§ 11-1	圆柱齿轮传动的要求	169
§ 11-2	齿轮加工误差的主要来源及其特性	169
§ 11-3	影响传递运动准确性的误差及其测量	171
§ 11-4	影响传动平稳性的误差及其测量	176
§ 11-5	影响载荷分布均匀性的误差及其测量	180
§ 11-6	影响齿轮副侧隙的偏差及其测量	182
§ 11-7	齿轮副的安装及传动误差	183
§ 11-8	渐开线圆柱齿轮精度 (JB179-83)	185
§ 11-9	圆柱齿轮传动公差旧标准简介 (JB179-60)	196
第十二章	尺寸链	200
§ 12-1	尺寸链的基本概念	200
§ 12-2	用完全互换法解尺寸链	201
§ 12-3	用概率法解尺寸链	204
§ 12-4	尺寸链其他解法	205
参考资料		208

第一章 绪 论

§ 1-1 互换性基本概念

在现代工业生产中常采用专业化大协作生产,即用分散制造、集中装配的办法来提高劳动生产率,保证产品质量和降低成本。要实行专业化生产必须采用互换性原则,所谓互换性原则,就是机器的零、部件按图纸规定的精度要求制造,在装配时不需辅助加工或修配,就能装成机器,并完全符合规定的使用性能要求。按照上述办法制造机器,称为完全互换法。

有些机器的零件精度要求很高,按完全互换法进行生产使加工困难,成本提高,很不经济,有的甚至难以加工,则可采用不完全互换法进行生产。将有关零件的尺寸公差(尺寸允许变动的范围)放宽,在装配前先进行测量,按量得尺寸大小分组进行装配,以保证使用要求,此法称为分组互换法。

在装配时允许用补充机械加工或钳工修刮办法来获得所需的精度,称为修配法。用移动或更换某些零件以改变其位置和尺寸的办法来达到所需的精度,称为调整法。

究竟采用何种方式生产为宜,要由产品精度,产品复杂程度,生产规模,设备条件以及技术水平等一系列因素决定。一般大量生产和成批生产,如汽车工业,大都采用完全互换法生产。精度要求很高,如轴承工业,常采用分组装配,即不完全互换法生产。而小批量和单件生产,如重型机器业常采用修配法或调整法生产。

互换性不仅在制造时,而且在维修时 also 具有重要作用。如农业机械或军工产品易损件的更换,也需要具有完全互换性,以便迅速排除故障,继续工作。

另外,在日常生活中完全互换的例子也很多。如灯泡与灯座就必须具有完全互换性,否则对使用将带来极大的不便。

综合以上所述,互换性在产品的设计、制造、使用和维修上,都具有重要意义,是现代化工业发展的必然趋势。

§ 1-2 我国标准化与计量工作的发展

采用互换性原则的生产要靠标准化与计量工作来保证。

标准简言之即技术上的法规。标准一经主管机关颁布生效后,即具有一定的法制性,不得擅自修改或拒不执行。我国标准分为国家标准、部标准、专业标准和企业标准等。标准化是指制订标准和贯彻标准的全部活动过程。公差与配合的标准化是标准化的一个重要组成部分。

我国在解放前工业十分落后,所采用的标准是借用各国标准,非常混乱。在公差标准方面,1944年,我国曾颁布过中国工业标准(CIS),但实际上也未执行。

解放后,随着社会主义建设的发展,我国吸收了国外在公差标准方面的经验,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

公差与配合的国家标准。1960 年第一机械工业部颁布了圆柱齿轮公差标准。以后陆续颁布了表面光洁度、表面形状和位置公差、普通螺纹公差、键与花键公差等国家和部标准。

随着四个现代化建设的发展,我国原有的标准已不能适应和满足日益增长的生产建设需要。1978 年我国正式参加国际标准化组织(简称ISO),目前我国正参照国际标准和我国生产实际,陆续修订适应我国现代化建设需要的各种新标准。

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,正式确定采用米制作为我国基本计量制度。1977 年颁布了我国计量管理条例。1984 年颁布了我国法定计量单位。1985 年颁布了我国计量法。

伴随长度基准发展的同时,我国大力发展计量测试仪器制造业。我国长度计量仪器的精度已由 0.01mm 级提高到 0.001mm 级,甚至达到 0.0001mm 级。测量的空间已由二维空间发展到三维空间。测量的尺寸小至微米级,大至米级。测量的自动化程度已从人工读数测量发展到自动定位、测量,计算机数据处理,自动显示和打印结果。

我国目前已能生产万能工具显微镜,激光光波干涉比长仪,电动轮廓仪,圆度仪,渐开线齿轮检查仪,光学分度头,丝杠动态检查仪等各种精密测试仪器,以满足我国工业生产日益增长的需要。

§ 1-3 加工误差和公差

工件加工时不可能使工件做得绝对正确,总有误差存在,工件的误差可分为:

一、尺寸误差

工件加工后的实际尺寸和理想尺寸之差。

二、几何形状误差 (图 1-1)

(一) 宏观几何形状误差 即通常所指形状误差。一般由机床、刀具、工件所组成的工艺系统的误差所造成,例如孔、轴横截面的形状应是正圆形,如加工后实际形状为椭圆形,这就是形状误差。

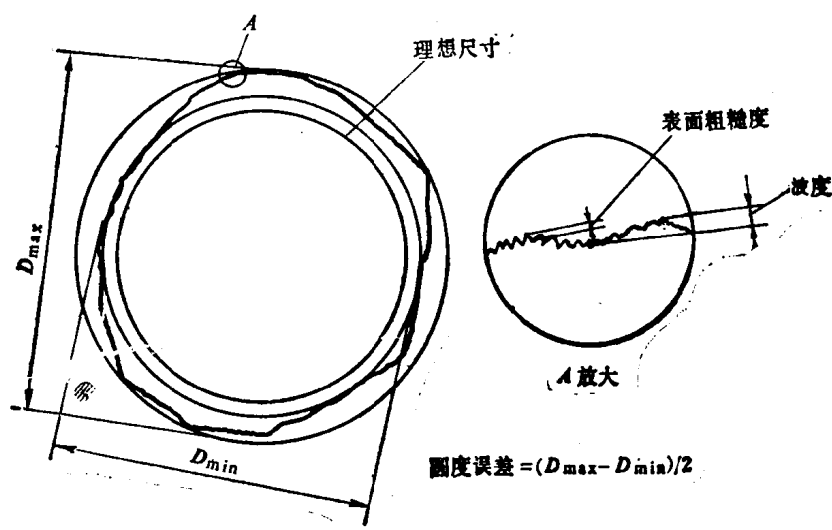


图1-1 尺寸和形状误差

(二) 微观几何形状误差 通常称为表面粗糙度。它是加工后, 刀具在工件表面上留下波峰和波长都很微小的波形。

(三) 表面波度 它是介于宏观和微观几何形状误差之间的一种表面形状误差。一般由加工中的振动而引起, 表面形成明显的周期性波形, 它的波峰和波长比表面粗糙度要大得多, 目前这种误差尚无标准。

三、相互位置误差

一个工件加工后, 各表面或中心线之间的实际相互位置与理想位置的差值。如二个表面之间的垂直度、阶梯轴的同轴度等。

公差是允许工件尺寸、几何形状和相互位置变动的范围。用以限制误差。

工件的误差在公差范围内, 为合格件; 超出了公差范围, 为不合格件。公差也可以说是允许的最大误差。所以误差是在加工过程中产生的, 而公差是由设计人员给定的。

§ 1-4 优先数和优先数系列

在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之一。在生产中选定一个数值作为某种产品的参数指标, 这个数值会按一定的规律向一切相关的参数指标传播扩散。如动力机械功率和转速确定以后, 将会传播到机器本身的轴、轴承、齿轮和键等一系列零部件的尺寸和材料特性参数上, 同时还会传播到加工和检验这些零件的刀具、夹具、量具和专用机床等相应的参数上。这种技术参数的传播在生产中极为普遍, 因此对产品的技术参数如不加以规定和限制, 这样的传播会造成尺寸规格的繁复杂乱, 以致给组织生产、协作配套、使用维修等带来很多困难, 因此对各种技术参数必须从全局出发加以协调、简化和统一。

什么样的数系最能满足工程要求呢?

在标准化初期常采用算术级数构成的数系, 即等差级数, 如 1、2、3、4……。其数值是逐渐增长的, 但相对差 $\frac{a_n - a_{n-1}}{a_{n-1}} \cdot 100\%$ 不为常数, 随着数值的增长, 相对差越来越小, 造成疏密不均, 小规格太疏, 大规格太密的不合理现象。算术级数还有一个缺点, 就是经过工程技术上的运算后不再呈原有规律, 如轴径为算术级数 d_1 、 d_2 、 d_3 、..., 则面积 $F_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2$ 、 $F_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2$ 、 $F_3 = \frac{\pi}{4} d_3^2$ 、..., 显然 F_1 、 F_2 、 F_3 不再是算术级数。

而采用几何级数构成的数系, 可避免上述缺点, 如第一项为 1, 公比为 q 的几何级数为 1、 q 、 q^2 、...、 q^n , 任意二相邻项的相对差均为 $(q - 1) \cdot 100\%$, 故其分级均匀。另外该级数中任意项相乘、相除、乘方后所得的数仍是几何级数。如轴径为公比 q 的几何级数, 则其截面积就是以 q^2 为公比的几何级数。这一系列的轴径其所能传递的扭矩按材料力学计算又是与它的公比 q 成三次方的几何级数。

所以优先数系是在几何级数基础上形成的, 但其公比值仍可以是各种各样的, 如何确定公比值呢? 由生产实践可知十进制和二进制的几何级数最能满足工程要求。所谓十进制就是 1、10、100、...、 10^n 、1、0.1、0.01、...、 $\frac{1}{10^n}$ 组成的级数, 其中 n 为正整数。1~10、10~100... 和 1~0.1、0.1~0.01... 称为十进段。十进段级数的规律就是每经 m 项就使数值

增大 10 倍, 设 a 为首项值, 公比为 q , 则 $aq^m = 10a$, 故 $q = \sqrt[m]{10} = 10^{\frac{1}{m}}$ 。

二进制级数具有倍增性质, 如 1、2、4..., 在工程中同样应用十分广泛, 如电机转速为 375、750、1500、3000 r/min 即按二进制的规律而变化。如何把二进制和十进制相结合

呢, 可设在十进制几何级数中每经 x 项构成倍数系列, 则 $q^x = 10^{\frac{x}{m}} = 2$, 上式取对数后得 $\frac{x}{m} = \lg 2 = 0.30103 \approx 0.3 = \frac{3}{10}$, 由此得到优先数列的 x 和 m 值的组合 (x 与 m 为正整数时即

能同时满足十进制和二进制)。 $\frac{m}{x} = \frac{10}{3}, \frac{20}{6}, \frac{30}{9}, \frac{40}{12}, \frac{50}{15}, \frac{60}{18}, \frac{70}{21}, \frac{80}{24}, \dots$ 。以 $\frac{m}{x} = \frac{10}{3}$ 为例:

当首项为 1 时, 公比 $q_{10} = \sqrt[10]{10} = 1.25$, 即构成 1.00、1.25、1.60、2.00、2.50、3.15、4.00、5.00、6.30、8.00、10.00 等一系列数值, 该系列每经 3 项构成倍数系列, 每经 10 项构成十倍系列。

我国标准 GB 321-80 与国际标准 ISO 推荐的 m 值是 5、10、20、40、80。除 5 外其它四种都含有倍数系列, 5 是为了满足分级更稀的需要而推荐的。5、10、20、40 作为基本系列, 80 作为补充系列。系列用国际通用符号 R 表示:

R5 系列	公比为 $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$
R10 系列	公比为 $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$
R20 系列	公比为 $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$
R40 系列	公比为 $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$
R80 系列	公比为 $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$

范围为 1 到 10 的优先数系列见表 1-1。

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	1.18	1.1885
	1.25	1.25	1.25	1.2589
			1.32	1.3335
		1.40	1.40	1.4125
		1.50	1.50	1.4962
1.60	1.60	1.60	1.60	1.5849
			1.70	1.6788
		1.80	1.80	1.7783
		1.90	1.90	1.8336
	2.00	2.00	2.00	1.9953
			2.12	2.1135
		2.24	2.24	2.2387
		2.36	2.36	2.3714
2.50	2.50	2.50	2.50	2.5119
			2.65	2.6007
		2.80	2.80	2.8184
		3.00	3.00	2.9854
	3.15	3.15	3.15	3.1623
			3.35	3.3497
		3.55	3.55	3.5481
			3.75	3.75

(续)

基 本 系 列 (常用值)				计 算 值
R 5	R 10	R 20	R 40	
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	5.00	5.0119
			5.30	5.3088
		5.60	5.60	5.6234
			6.00	5.9566
	6.30	6.30	6.30	6.3096
			6.70	6.6834
7.10		7.10	7.0795	
		7.50	7.4989	
8.00	8.00	8.00	8.00	7.9433
			8.50	8.4140
		9.00	9.00	8.9125
			9.50	9.4406
10.00	10.00	10.00	10.00	10.0000

习 题 一

1. 试述互换性在机械制造业中的重要意义。
2. 试述完全互换与不完全互换的区别，各用于何种场合。
3. 为何要采用优先数系？R 5、R 10、R 20、R 40系列各代表什么？

第二章 圆柱体结合的公差与配合

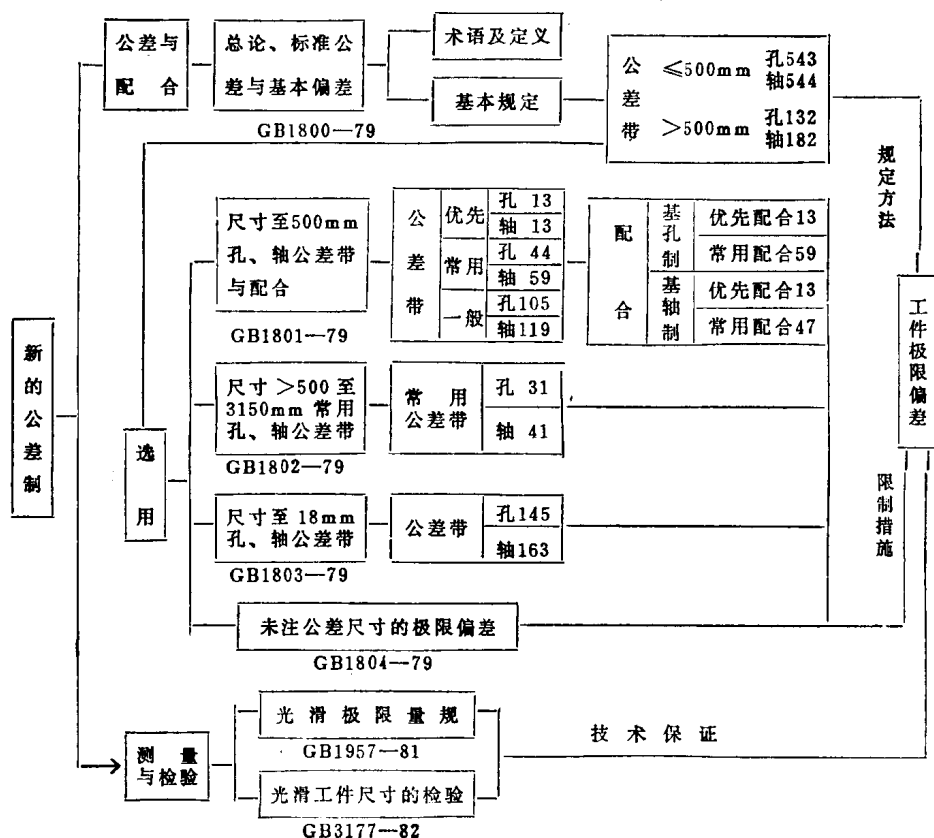
§ 2-1 概 述

圆柱体结合通常指孔与轴的结合,是机器中最广泛采用的一种结合形式,为使加工后的孔与轴能满足互换性要求,必须在设计中采用公差与配合标准,圆柱结合的公差与配合标准是最早建立的,也是最基本的标准,是机械制造中的基础标准。

公差与配合的标准化不仅可以防止任意规定公差与配合数值的混乱现象,保证了零、部件的互换性和质量,而且还有利于刀具、量具的标准化,有利于广泛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)。随着科学技术的发展,旧国标中存在没有检验标准、精度等级偏低、配合种类偏少、大尺寸公差带不尽合理、与国际标准不一致等问题,故旧国标已不能满足目前生产与技术发展的需要,我国于 1979 年参照国际 (ISO) 标准结合我国的生产实际情况对旧国标进行了修订,颁布了新的公差与配合国家标准。新国标的构成共分三个部分:

表2-1 新国标公差体制



第一部分 GB1800-79 包括总论、标准公差与基本偏差；

第二部分 GB1801-79 为尺寸至 500mm 孔、轴公差带与配合；GB1802-79 为尺寸 500~3150mm 常用孔、轴公差带；GB1803-79 为尺寸至 18mm 孔、轴公差带；GB1804-79 为未注公差尺寸的极限偏差；

第三部分 GB1957-81 为光滑极限量规。GB3177-82 为光滑工件尺寸的检验。

其基本结构见表 2-1。

§ 2-2 公差配合的基本术语和定义

一、孔和轴

(一) 孔 主要指圆柱形内表面，也包括其他内表面中由单一尺寸确定的部分。

(二) 轴 主要指圆柱形外表面，也包括其他外表面中由单一尺寸确定的部分。

从装配关系讲，孔是包容面，在它之内没有材料；轴是被包容面，在它之外没有材料。

在公差与配合标准中的孔、轴都是由单一的主要尺寸构成。例如圆柱形的直径、键和键槽的宽度或高度（图 2-1）。

二、尺寸

(一) 尺寸 用特定单位表示长度值的数字。在机械制造中一般常用毫米作为特定单位。

(二) 基本尺寸(D 、 d)^① 设计给定的尺寸（图 2-2）。它的数值一般应按标准长度、标准直径的数值进行圆整。基本尺寸标准化可减少刀具、量具、夹具的规格数量。

(三) 实际尺寸 通过测量所得的尺寸。但由于测量存在误差，所以实际尺寸并非真值。同时由于工件存在形状误差，所以同一

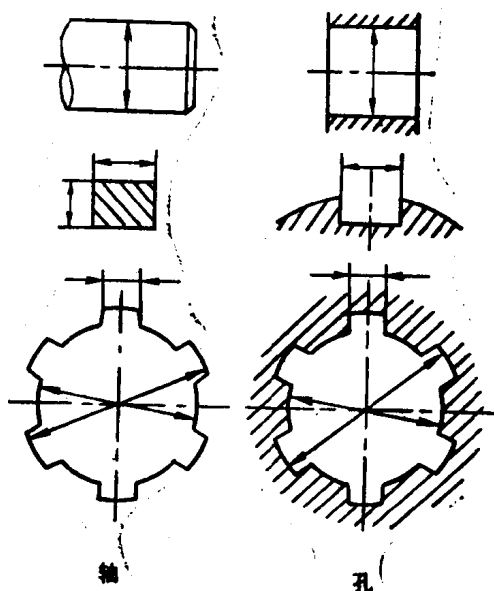


图2-1 轴与孔

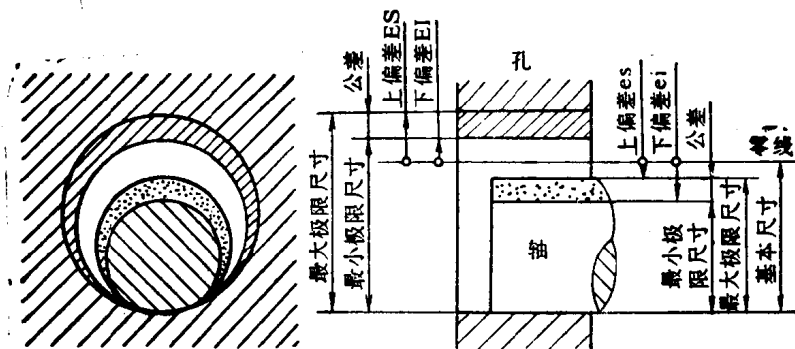


图2-2 公差与配合示意图

① 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。

个表面不同部位的实际尺寸也不相等。

(四) 极限尺寸 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。界限值较大者称为最大极限尺寸 ($D_{\max}$ 、 $d_{\max}$)，界限值较小者称为最小极限尺寸 ($D_{\min}$ 、 $d_{\min}$)。

三、尺寸偏差与公差

(一) 尺寸偏差(简称偏差) 某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差；最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差；最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差；上偏差与下偏差统称为极限偏差。偏差可以为正、负或零值。

孔上偏差 $ES = D_{\max} - D$ ，下偏差 $EI = D_{\min} - D$

轴上偏差 $es = d_{\max} - d$ ，下偏差 $ei = d_{\min} - d$

(二) 尺寸公差 T(简称公差) 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。公差取绝对值不存在负公差，也不允许为零。

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

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

四、零线与公差带

(一) 零线 是在公差配合图解(简称公差带图)中，确定偏差的一条基准直线，即零偏差线。通常以零线表示基本尺寸，偏差由此零线算起，零线以上为正偏差，零线以下为负偏差(图 2-3)。

(二) 尺寸公差带(简称公差带) 是由代表上下偏差的二条直线所限定的一个区域。

五、配合

基本尺寸相同相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

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。此差值为正时得间隙，此差值为负时得过盈。

配合可分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三种。

(一) 间隙配合 孔的公差带在轴的公差带之上，具有间隙的配合(包括最小间隙为零的配合)如图 2-4 所示。

由于孔和轴都有公差，所以实际间隙的大小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差值为最大间隙，也等于孔的上偏差减轴的下偏差。以 X 代表间隙，则

最大间隙

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

最小间隙

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

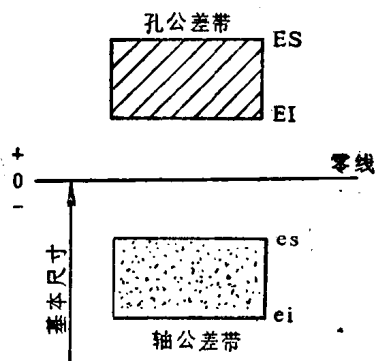


图2-3 公差带图

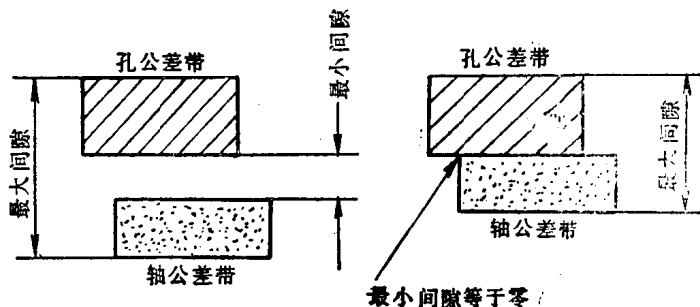


图2-4 间隙配合

(二) 过盈配合 孔的公差带在轴的公差带之下，具有过盈的配合(包括最小过盈为零的

配合)如图 2-5 所示。实际过盈的大小也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差值为最小过盈,也等于孔的上偏差减轴的下偏差。以 Y 代表过盈,则

最大过盈

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

最小过盈

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

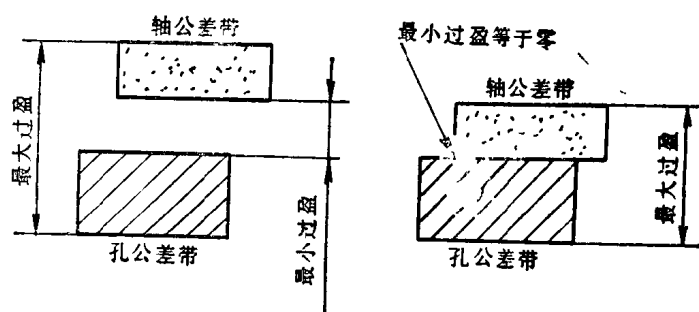


图2-5 过盈配合

(三) 过渡配合 孔和轴的公差带相互交迭,随着孔、轴实际尺寸的变化可能得到间隙或过盈的配合(图 2-6)。

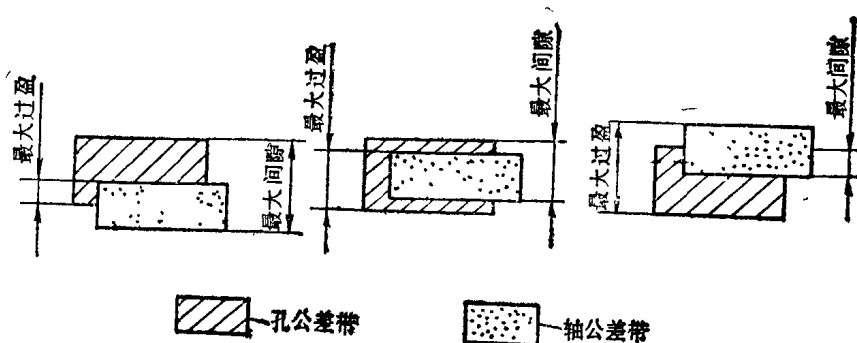


图2-6 过渡配合

孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的差值为最大间隙。

孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的差值为最大过盈。

$$\text{最大间隙 } X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$$

$$\text{最大过盈 } Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

(四) 配合公差 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,这个允许的变动量为配合公差,这是设计人员根据相配件的使用要求确定的。配合公差越大,配合精度越低;配合公差越小,配合精度越高。

配合公差的大小为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不存在负值,在实际计算时常省略绝对值符号。

对于间隙配合,其配合公差 T_f 为最大间隙与最小间隙的代数差的绝对值 $T_f = X_{\max} - X_{\min} = T_D + T_d$ 。

对于过盈配合,其配合公差 T_f 为最小过盈与最大过盈的代数差的绝对值 $T_f = Y_{\min} - Y_{\max} = T_D + T_d$ 。

对于过渡配合,其配合公差 T_f 为最大间隙与最大过盈的代数差的绝对值 $T_f = X_{\max} - Y_{\max} = T_D + T_d$ 。

以上三类配合的配合公差带可以用图 2-7 表示。配合公差完全在零线以上为间隙配合，完全在零线以下为过盈配合，跨在零线上、下两侧为过渡配合。配合公差带两端的坐标值代表极限间隙或极限过盈，上下两端之间距离为配合公差值。

例：求下列三种孔、轴配合的基本尺寸，上、下偏差，公差，最大、最小极限尺寸，最大、最小间隙或过盈，属于何种配合，求出配合公差，并画出各种配合及配合公差带图(单位为mm)。

1. 孔 $\phi 25^{+0.021}_0$ 与轴 $\phi 25^{+0.020}_{-0.033}$ 相配合。
2. 孔 $\phi 25^{+0.021}_0$ 与轴 $\phi 25^{+0.041}_{+0.028}$ 相配合。
3. 孔 $\phi 25^{+0.021}_0$ 与轴 $\phi 25^{+0.015}_{+0.002}$ 相配合。

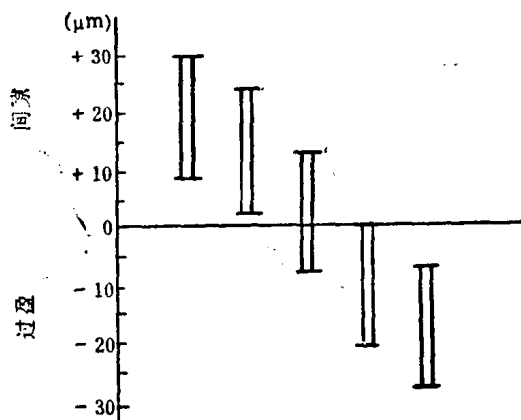


图2-7 配合公差带

解：

	1		2		3	
	孔	轴	孔	轴	孔	轴
基本尺寸	25	25	25	25	25	25
最大极限尺寸 $D_{\max}(d_{\max})$	25.021	24.980	25.021	25.041	25.021	25.015
最小极限尺寸 $D_{\min}(d_{\min})$	25.000	24.967	25.000	25.028	25.000	25.002
上偏差 $ES(es)$	+0.021	-0.020	+0.021	+0.041	+0.021	+0.015
下偏差 $EI(ei)$	0	-0.033	0	+0.028	0	+0.002
公差 $T_D(T_d)$	0.021	0.013	0.021	0.013	0.021	0.013
最大间隙 $(X_{\max})$	0.054				0.019	
最小过盈 $(Y_{\min})$			-0.007			
最小间隙 $(X_{\min})$	0.020					
最大过盈 $(Y_{\max})$			-0.041		-0.015	
何种配合	间隙配合		过盈配合		过渡配合	
配合公差 T_f	0.034		0.034		0.034	

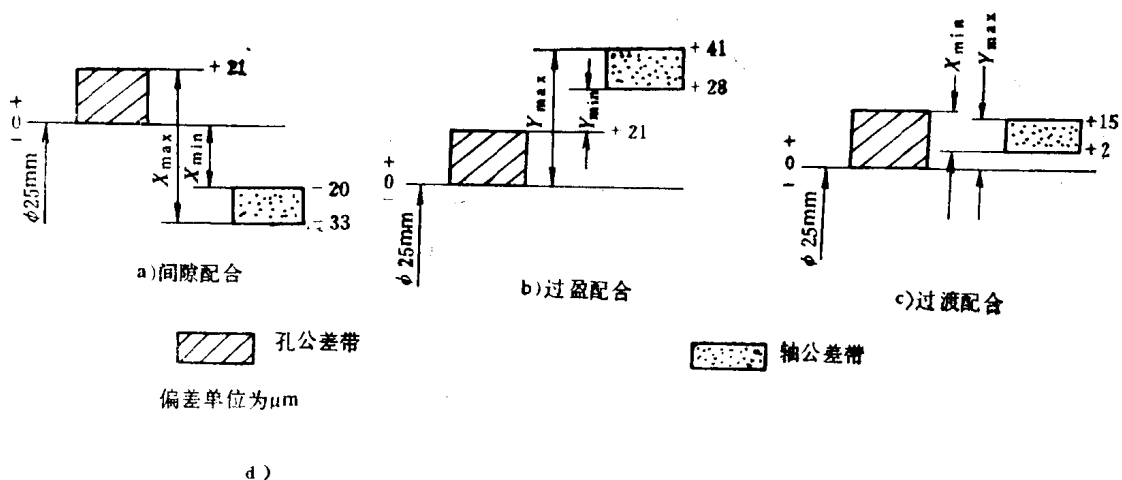


图2-8 例题公差配合图解

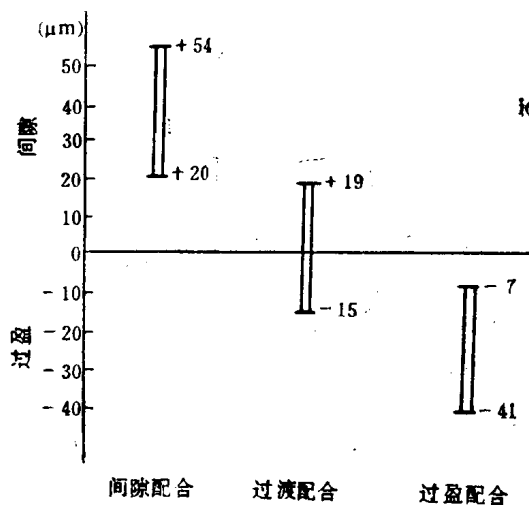


图2-9 例题配合公差带图

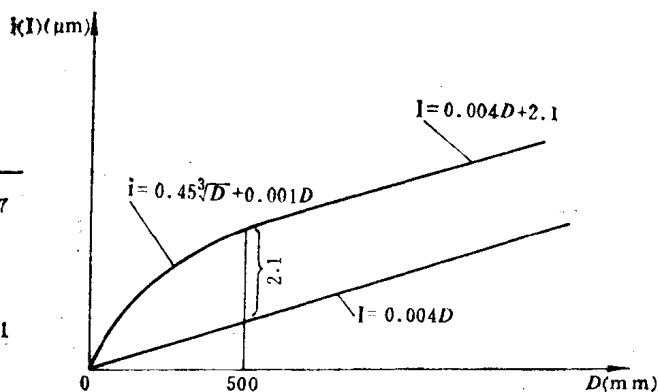


图2-10 公差单位与基本尺寸关系

§ 2-3 公差与配合国家标准的组成与特点

一、标准公差系列

为实现互换性和满足各种使用要求，公差值必需标准化，标准公差就是国标规定的，用以确定公差带大小的任一公差值。

(一) 公差等级 确定尺寸精确程度的等级称为公差等级，国标的公差等级共分 20 级，各级标准公差用代号 IT 及数字 01、0、1、2…、18 表示，IT 即为国际公差 ISO Tolerance 的缩写。如 IT7 称为标准公差 7 级。从 IT01~IT18 等级依次降低，标准公差值还随基本尺寸的大小而不同。

(二) 公差单位 (i , I) 公差单位是随基本尺寸而变化用来计算标准公差的一个基本单位，通过大量实验得出如图 2-10 所示的公差单位与基本尺寸的关系。

(1) 基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时, 公差等级IT5~IT18的公差单位*i*与加工误差和测量误差有关, 加工误差与基本尺寸近似成立方根关系, 而由温度变化造成的测量误差与基本尺寸近似成线性关系, 因此得出 $i = 0.45\sqrt[3]{D} + 0.001D$ 的关系式, 式中*D*以mm计, *i*以 μm 计。前项主要反映加工误差的影响, 是主要因素; 而后项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的变形等引起的测量误差。

(2) 当基本尺寸 $> 500 \sim 3150\text{mm}$ 时, 公差单位为*I*, 此时与基本尺寸成线性关系的测量误差起主要影响, 因此得出 $I = 0.004D + 2.1$ 的关系式, 式中*D*以mm计, *I*以 μm 计。前项为测量误差, 后项常数2.1是考虑尺寸间的衔接关系, 即以尺寸500mm分别代入*i*和*I*式中, 两者数值应相等, 得出差值即为2.1。

(三) 公差等级系数*a*

(1) 基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$, 公差等级IT5~IT18的公差值可按 $T = ai$ 式计算, 不同公差等级的*a*值不同。

为了使公差值标准化, 公差等级系数*a*按优先系数R5系列选取, 即公比 $q_5 = \sqrt[5]{10} = 1.6$, 从IT6~IT18均按公比 q_5 增长, 每隔5项数值增长10倍, IT5的*a*值取7, 是继承旧标准得来。

在IT01~IT1这三个最高等级中, 其公差值较小, 此时测量误差又成为主要影响因素, 公差值与基本尺寸成线性关系, 故直接用 $T = A + BD$ 式计算公差值, 关系式中的常数*A*及系数*B*均按公比 $q_5 = 1.6$ 增长。

对于IT2~IT4三个等级, 为使全部公差等级都符合一定的规律变化而且相互衔接, 标准规定将IT2~IT4以一定几何级数插入IT1与IT5之间, 即 $IT2 = IT1 \times r$, $IT3 = IT1 \times r^2$,

$IT4 = IT1 \times r^3$, $IT5 = IT1 \times r^4$, 故公比 $r = \left(\frac{IT5}{IT1} \right)^{\frac{1}{4}}$

基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 标准公差的计算式见表2-2。

表2-2 尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的标准公差计算式

公差等级	IT01		IT 0		IT 1		IT 2		IT 3		IT 4			
公差值	$0.3+0.008D$		$0.5+0.012D$		$0.8+0.020D$		$IT\ 1\left(\frac{IT\ 5}{IT\ 1}\right)^{\frac{1}{4}}$		$IT\ 1\left(\frac{IT\ 5}{IT\ 1}\right)^{\frac{1}{2}}$		$IT\ 1\left(\frac{IT\ 5}{IT\ 1}\right)^{\frac{3}{4}}$			
公差等级	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
公差值	7 i	10 i	16 i	25 i	40 i	64 i	100 i	160 i	250 i	400 i	640 i	1000 i	1600 i	2500 i

(2) 基本尺寸 $> 500 \sim 3150\text{mm}$, 公差值可按 $T = aI$ 式计算, 方法与基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 相同, 不再赘述。

(四) 尺寸分段 计算标准公差值时如果每一基本尺寸都要有一公差值, 则既繁琐也无必要, 因此标准规定可分段计算公差值, 即在一个尺寸段内用几何平均尺寸来计算公差值, 故一个尺寸段只有一个公差值, 这样可使标准简化、使用方便。在 $\leq 500\text{mm}$ 的尺寸中共分成十三个尺寸段, 但考虑到某些配合(如过盈配合)对尺寸变化很敏感, 故在一个尺寸段中可再细分2~3段, 以供确定基本偏差时使用, 基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的尺寸分段见表2-3。

例: 计算IT6级、 $> 18 \sim 30\text{mm}$ 尺寸段的标准公差值。

解: 由于几何平均尺寸 $D = \sqrt[3]{18 \times 30} = 23.24\text{mm}$

表2-3 基本尺寸≤500mm的尺寸分段

主 段 落		中 间 段 落		主 段 落		中 间 段 落		主 段 落		中 间 段 落	
大 于	至	大 于	至	大 于	至	大 于	至	大 于	至	大 于	至
—	3			30	50	30	40	180	250	180	200
3	6					40	50			200	225
6	10			50	80	50	65	250	315	225	250
						65	80			250	280
10	18	10	14	80	120	80	100	315	400	280	315
		14	18			100	120			315	355
18	30	18	24	120	180	120	140	400	500	355	400
		24	30			140	160			400	450
						160	180			450	500

$$\text{则 } i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001 D = 0.45 \sqrt[3]{23.24} + 0.001 \times 23.24 = 1.3 \mu\text{m}$$

IT 6 级的标准公差 $T = a_i$ 由表 2-2 查得 $a = 10$

$$\text{则 } T = 10 \times 1.3 = 13 \mu\text{m}$$

根据以上办法分别按尺寸段及公差等级计算出标准公差值, 最后构成标准公差数值表 2-4 以供查用。

表2-4 标准公差数值

基本尺寸	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	30	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 1 mm 时, 无 IT14 至 IT18。

二、基本偏差系列

一个基本尺寸的公差带是由公差带大小和公差带位置两部分构成, 大小由标准公差决定, 而位置则由基本偏差确定, 为满足机器中各种不同性质的和不同松紧程度的配合, 需要有一系列不同的公差带位置以组成各种不同的配合。

(一) 基本偏差代号及其特点 孔、轴的基本偏差如图 2-11 所示, 一般离零线近的偏差即为基本偏差, 因此公差带在零线以上的, 以下偏差为基本偏差, 公差带在零线以下的, 以上偏差为基本偏差。

国标中已将基本偏差标准化, 规定了孔、轴各 28 种公差带位置, 分别用拉丁字母表示,