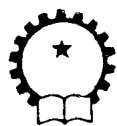


互换性原理与测量基础

李 德 善 编



机械工业出版社

内 容 简 介

本书是根据1984年新制订的全国高校互换性与测量技术基础课程教学大纲编写的教材,包括互换性测量技术概论、圆柱互换性与检验、表面粗糙度、形状和位置公差、滚动轴承互换性、螺纹互换性与测量、齿轮精度与测量、键联结的互换性与测量及尺寸链等九章。各章均安排了与之紧密配合的作业。

本书以互换性为主线,互换性、公差原理、测量技术三者融为一体,体系明显,脉络清楚,系统地讲解了“互换性与测量技术基础”的基础知识,着重阐述新的公差理论及新标准应用的规律,介绍典型测量技术的基本原理。

本书可作高等院校机械类专业《互换性与测量技术基础》课程的教材,适宜50~55学时使用,也可供机械设计、制造工艺、标准化检验计量工程技术人员参考。

责任编辑 王世刚 高文龙

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街一号)
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

长沙炮兵学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16·印张 12 字数305千字

1987年2月第一版, 1987年2月第一次印刷

00.001—7350 定价2.95元

*

统一书号: 15033·6696H

目 录

前 言

第一章 互换性测量技术概论

- § 1-1 互换性概述 (1)
- § 1-2 数值标准化——优先数系 (1)
- § 1-3 公差配合基本概念 (6)
- § 1-4 测量技术概论 (8)

第二章 圆柱互换性与检验

- § 2-1 公差制、标准公差、基本偏差 (19)
- § 2-2 公差配合的选用 (28)
- § 2-3 光滑尺寸 验检及光滑极限量规设计 (34)

第三章 表面粗糙度

- § 3-1 有关术语、定义 (45)
- § 3-2 表面粗糙度的评定参数 (46)
- § 3-3 表面粗糙度的标注 (49)
- § 3-4 表面粗糙度的选择 (50)
- § 3-5 表面粗糙度的测量 (50)

第四章 形状和位置公差

- § 4-1 形位公差的基本概念 (55)
- § 4-2 形位公差及其公差带 (56)
- § 4-3 形位公差与尺寸公差的关系——公差原则 (66)
- § 4-4 位置度 (79)
- § 4-5 形位公差的选择 (83)
- § 4-6 形位误差的检测 (87)

第五章 滚动轴承互换性

- § 5-1 滚动轴承的精度等级 (93)
- § 5-2 滚动轴承内径、外径公差带特点 (93)
- § 5-3 滚动轴承结合件公差的选择 (94)
- § 5-4 滚动轴承结合件形位公差及表面粗糙度 (95)

第六章 螺纹互换性与测量

- § 6-1 螺纹分类、使用要求、基本牙型及几何参数 (98)
- § 6-2 螺纹误差对互换性的影响 (99)
- § 6-3 螺纹中径合格性判断原则 (101)
- § 6-4 普通螺纹的公差与配合 (102)
- § 6-5 螺纹测量及普通螺纹量规 (104)

第七章 齿轮精度与测量

- § 7-1 齿轮传动的使用要求 (109)

§ 7-2	齿 轮误差及检验 参数·····	(109)
§ 7-3	齿轮公差组、精度等级及检验 组 ·····	(123)
§ 7-4	齿轮侧隙的规 定 ·····	(127)
§ 7-5	齿坯公 差 ·····	(133)
§ 7-6	齿轮测 量 ·····	(139)
第八章 键联结的互换性与检测		
§ 8-1	键联结的 公差与配 合 ·····	(143)
§ 8-2	花键联结的公差与 配 合 ·····	(144)
§ 8-3	ISO14—1982 (E) 矩形花键公差与配合·····	(148)
§ 8-4	键和 花键的检验 ·····	(149)
第九章 尺寸链		
§ 9-1	尺寸链 及 其链环·····	(151)
§ 9-2	尺寸误差传递 原 理·····	(154)
§ 9-3	尺寸误差的统计 特 性·····	(156)
§ 9-4	尺寸链计 算 ·····	(162)
§ 9-5	位置尺寸链 ·····	(170)
主要参考资料		

第一章 互换性测量技术概论

§ 1-1 互换性概述

现代工业社会化的生产方式，要求与之相适应的专业化协作化的生产组织形式，为此，对于机械产品零件应当实行标准化，使之能够互换，达到优质高效并且经济效益好的目的。

互换性的含义是指在不同时间不同地点按同一产品图样制造出来的一批零件，装配维修时，无需辅助加工，也不需调配，便可以互相代换使用。例如，一批M10的螺栓螺母，各自任取一件都可旋合，且能满足连接强度的使用要求，这就是互换性。很显然，只有严格按照产品图样上规定的公差进行加工和测量检验的零件才具有互换性。

互换性的概念，一般都理解为零件尺寸或几何量的互换，然而从广义上来讲还应包括功能互换性。齿轮的互换不仅表现其装配自如可靠，而且要达到齿轮设计所规定的寿命、强度要求，这就是功能互换。

互换性有两种原则：完全互换性和有限互换性。

完全互换性原则主要优点是能够保证零件完全互换、通用，对于专业化协作生产特别是在自动线上进行加工和装配提供了必要的条件。有限互换性包括统计互换法、分组互换法、修配互换法、调整互换法，其主要优点是，在保证装配要求的前提下，可以适当放宽公差，使得加工容易，经济效益好，主要缺点是降低了互换性程度。有限互换一般只用于制造厂内部的装配。

实现互换生产的先决条件是标准化特别是产品零件结构尺寸、公差配合的标准化，而先进的合理的测量手段也是互换性生产必不可少的技术保证。互换性、标准化、测量技术，它们互相关联，形成一个有机的整体。

§ 1-2 数值标准化——优先数系

优先数和优先数系是近代一种先进的科学的数值分级制度，在工程上，优先数系使各种技术参数求得协调、简化和统一，可见数值标准化是标准化的重要内容，它是保证互换性的重要条件。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，向一切有关的产品、材料等有关参数指标传播扩散。例如，普通车床的主参数中心高确定之后，则机床的功率和主轴转速的数值也随之而定，还会传播到有关配套机器如电动机的相应参数上，同时也传播到机床内部的轴、轴承、键、齿轮和联轴器等一整套零件的尺寸和材料特性参数上，并进而传播到加工和检验这些零部件的刀具、量具和夹具等相应参数上。从这个数值的传播过程可见对产品参数实行数值标准化，从而选用优先数具有多么重要的意义。

优先数系的本质是在十进数段内按等比数列分挡，并可跨越十进数段而延伸。基本系列有R5、R10、R20和R40。R5在十进段内分5挡，公比为 $\sqrt[5]{10} \approx 1.6$ ；R10分10挡，公比为 $\sqrt[10]{10} \approx 1.25$ ；R20分20挡，公比为 $\sqrt[20]{10} \approx 1.12$ ；R40分40挡，公比为 $\sqrt[40]{10} \approx 1.06$ 。

优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ ，且项值中含有10的整数幂

的理论等比数列导出的一组近似等比的数列。各数列分别用符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示，称为 R5 系列、R10 系列、R20 系列、R40 系列和 R80 系列。

优先数系的定义，概括了这样几层含义：

其一，它是等比数列，（它区别于等差数列），而且是近似的，这更合乎实用。

其二，一个系列有其确定的公比。如 R5 系列，其公比为 $\sqrt[5]{10}$ ；不同的系列，它们的公比不相同，这说明它们排级的疏密程度是不一样的。

其三，项值中含有 10 的整数幂。以 1~10 这个十进段为基础，每往后跨一个十进段，则每个项值都乘以 10，每向前跨一个十进段，则每个相应项值除以 10，这样可以使该系列向两端延伸。

这个定义概括了优先数系的最主要的一些特性，其优越性也正是由此而产生的。

优先数系中的任一个项值均为优先数。

一、主要特性

1. 相对差不变

同一系列中，任意相邻两优先数常用值的相对差近似不变。

例如 R5 系列：1 1.6 2.5 4 6.3 10

$$\Delta_1 = \frac{2.5 - 1.6}{1.6} = \frac{2.5}{1.6} - \frac{1.6}{1.6} = 1.6 - 1 = 0.6 = 60\%$$

$$\Delta_2 = \frac{6.3 - 4}{4} = \frac{6.3}{4} - \frac{4}{4} = 1.6 - 1 = 0.6 = 60\%$$

$$\text{即 } \Delta_1 = \Delta_2$$

相对差不变，这是等比数列最本质的特性。这样才能使数值分级相对均匀合理，疏密适度，在很宽的数值范围内，以较少的品种规格最大限度地满足用户的需要。

而等差数列的绝对差相等，例如有一轴，轴径为 $\phi 10\text{mm}$ ，下一级为 $\phi 12\text{mm}$ ，其绝对差为 2mm ，相对差 $\Delta_1 = \frac{12 - 10}{10} = 20\%$

另有一轴，轴径为 $\phi 100\text{mm}$ ，下一级为 $\phi 102\text{mm}$ ，其绝对差仍为 2mm ，而相对差

$$\Delta_2 = \frac{102 - 100}{100} = 2\%$$

再有一轴，轴径为 $\phi 1\text{mm}$ ，下一级为 $\phi 3\text{mm}$ ，其绝对差也仍为 2mm ，而相对差

$$\Delta_3 = \frac{3 - 1}{1} = 200\%$$

比较上述三根轴，都是增加 2mm ，对于 $\phi 100\text{mm}$ 的轴来说，无论其强度刚度性能或加工工艺都不会引起多大的变化；可是对于 $\phi 1\text{mm}$ 的轴，其影响就十分可观了。可见一般按“绝对差”分级是不合理的。必须按“相对差”的概念，体现各级之间有同样的“质”的差别，这样的分级才是经济合理的，这就是优先数系优越性本质的所在。

2. 两端延伸性

Rr 系列（基本系列、补充系列）中的项值可按十进法向两端延伸。

表中提供了 1~10 这个十进段内的各项值，若跨十进段，可用表中的各项值乘以 10 的整数幂（如 10, 100, 1000, … 或 0.1, 0.01, 0.001, …）求得。

派生系列的延伸有一定的前提条件，其条件是：如公比 $\frac{r}{p}$ 为整数时则可延伸，如公

比 $\frac{r}{p}$ 不为整数时则不能延伸。因跨入另一个十进段内不再为其对应的项值了，这是派生系列项值的多义性所决定的。

例1: $R_{10}/3$ $\frac{r}{p} = \frac{10}{3} = 3.33$ 不为整数，故 $R_{10}/3$ 不能延伸。

现从 R_{10} 系列中每隔3项取值，排列如下

1、2、4、8、16、31.5、…跨入另一个十进段便找不到对应的项值了，故不能延伸。

例2: $R_{10}/5$ $\frac{r}{p} = \frac{10}{5} = 2$ 公比2为整数，故可延伸。

1、3.15、10、31.5、100、315、…

例3: $R_{10}/2$ $\frac{r}{p} = \frac{10}{2} = 5$ 公比5为整数，可以延伸。

1、1.6、2.5、4、6.3、10、16、25、40、…

两端延伸性说明了所取参数的适用范围十分宽广，并有科学的预见性，为产品参数的发展远景留有余地。

3. 依次包含性

这一特性指的是 R_5 、 R_{10} 、 R_{20} 、 R_{40} 、 R_{80} 系列之间的关系。今以 R_5 、 R_{10} 为例说明其含义：其一， R_5 系列的全部项值包括在 R_{10} 系列之中；其二，从 R_{10} 系列中隔项取值，便成为 R_5 系列；其三， R_5 系列两项之间插入中间项值便成为 R_{10} 系列。这一特性说明数值分级， R_5 、 R_{10} 、 R_{20} 、 R_{40} 等依次地由疏到密，这为新品种试制生产提供了技术经济上的合理性。例如，按 R_5 系列规划产品后，由于市场的进一步需要，则可在原系列 R_5 的2.5和4之间插入新的规格，即 $\sqrt{2.5 \times 4} \approx 3.1623 \approx 3.15$ ，实际上就是在 R_{10} 系中选取了3.15这个项值。

4. 倍数系列

$R_{10}/3$ 、 $R_{20}/6$ 、 $R_{40}/12$ 为倍数系列，其公比 = 2，证明如下：

因为 $\sqrt[10]{10} \approx 1.2589$ 而 $\sqrt[3]{2} \approx 1.2599$ 两值相近，等量代换，即得

$$\sqrt[10]{10} \approx \sqrt[3]{2}$$

上式两边同乘以3次方 $(\sqrt[10]{10})^3 \approx (\sqrt[3]{2})^3$ 则公比 $(\sqrt[10]{10})^3 \approx 2$

倍数系列数，1、2、4、8、16、…这一系列在工程技术中特别有用。例如，电动机空载同步转速为3000、1500、750、375r/min。

5. 乘、除、乘方，仍为优先数

同一系列中，任意两项的理论值之乘积或商，任意一项理论值之整数的乘方，仍为此系列中一个优先数理论值。常用值之间近似地有此种特性。

例1: 计算值 $3.9811 \times 6.3096 = 25.119$ 常用值 $4 \times 6.3 \approx 25$

例2: $\frac{40}{1.6} = 25$ **例3:** $4^2 = 16$ **例4:** $8^2 = 63$

这一特性为数值的“传播性”提供了方便。例如，直径 D 为优先数，则其周长 πD 也为优

先数（ π 取近似值3.15），圆面积 $\frac{\pi D^2}{4}$ 也为优先数。

6. 优先数的对数为等差数列

同一系列中各优先数理论值之对数值构成一个等差数列，这为工程上绘制图表提供了简

明清晰的可能性，线条排列均匀。

例： $\lg 40 = 1.600$ $\lg 25 = 1.400$ $\lg 16 = 1.200$

则 $\angle_1 = 1.6 - 1.4 = 0.2$ $\angle_2 = 1.4 - 1.2 = 0.2$

所以 $\angle_1 = \angle_2$ ，可见优先数的对数为等差数列。

7. 一些重要常数处理为优先数

科学技术上一些重要的常数可近似地处理为优先数，这对于优先数的传播性以及运算方面都带来很大的好处。

$$\pi = 3.1415 \approx 3.15 \quad 2\pi \approx 6.3 \quad \pi^2 \approx 10 \quad \frac{\pi}{32} \approx \frac{1}{10} \quad \frac{\pi}{4} \approx 0.8$$

$$\sqrt{10} \approx 3.15 \quad \sqrt{2} \approx 1.4 \quad \sqrt[3]{2} \approx 1.25 \quad 1\text{吋} \approx 25\text{mm} \quad G \approx 10\text{m/s}^2$$

综上所述优先数系的主要特性，可以看到其技术经济价值。优先数是各种量值（特别是产品参数）分级时应优先采用的数，其目的是把实标应用的“数”（即产品的尺寸规格）限制在必需的最小范围内，并为在不同场合都能优先选用相同的数创造一个先决条件，以达到简化统一，这正是标准化的物质基础。优先数系有许多优点，各种产品的参数都能从中选取合适的数值，因而能够适应国民经济各部门提出的多种多样的要求。

二、主要优点

1. 经济合理的数值分级制度

按等比数列分级，设计制造部门能够以较少的品种规格，经济合理地满足用户的最大需要。分级疏密适度，品种规格齐全，供需双方满意。

2. 简化、统一、协调的基础

优先数系是国际上统一的数值制度，可用于各种量值的分级，以便不同的场合都能优先选用同样的数值。它为技术经济工作上的简化、统一和产品参数上的协调提供了基础。

不仅产品的主参数，而且产品的零部件尺寸也采用优先数系，工艺装备的参数，以及原材料规格都采用优先数系，这样，在各方面，成龙配套，协调统一，这在技术上和经济上具有很大的意义。

3. 具有广泛的适应性

优先数系包含有各种不同公比的系列，因而可以满足较密和较疏的分级要求。由于优先数系的包含性，因而可以随着生产发展的需要使分级由疏变密，成为新的系列，而原来系列的项值仍保留不变。

在参数范围很宽时，根据经济性和需要量等不同条件，可以分段选用最合适的系列，以复合系列的形式组成最佳系列。

优先数经乘、除、乘方仍为优先数这一特征，通过优先数值的传播更进一步扩大了数的适用范围。

优先数系基本系列见表1-1：

表 1-1 优先数系基本系列

基本系列(常用值)				序 号 N			理论值的 对数尾数	计算值	常用值的 相对误差 %
R ₅	R ₁₀	R ₂₀	R ₄₀	从0.1至1	从1至10	从10至100			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.00	1.00	1.00	1.00	-40	0	40	000	1.0000	0
			1.06	-39	1	41	025	1.0593	+0.07
			1.12	-38	2	42	050	1.1220	-0.18
			1.18	-37	3	43	075	1.1885	-0.71
		1.25	1.25	-36	4	44	100	1.2589	-0.71
			1.32	-35	5	45	125	1.3335	-1.01
			1.40	-34	6	46	150	1.4125	-0.88
			1.50	-33	7	47	175	1.4962	+0.25
			1.60	-32	8	48	200	1.5849	+0.95
			1.70	-31	9	49	225	1.6788	+1.28
1.60	1.60	1.60	1.60	-30	10	50	250	1.7783	+1.22
			1.80	-29	11	51	275	1.8836	+0.87
			2.00	-28	12	52	300	1.9953	+0.24
			2.12	-27	13	53	325	2.1135	+0.31
		2.24	2.24	-26	14	54	350	2.2387	+0.06
			2.36	-25	15	55	375	2.3714	-0.48
			2.50	-24	16	56	400	2.5119	-0.47
			2.65	-23	17	57	425	2.6607	-0.40
			2.80	-22	18	58	450	2.8184	-0.65
			3.00	-21	19	59	475	2.9854	+0.49
2.50	2.50	3.15	3.15	-20	20	60	500	3.1623	-0.39
			3.35	-19	21	61	525	3.3497	+0.01
			3.55	-18	22	62	550	3.5481	+0.05
			3.75	-17	23	63	575	3.7584	-0.22
		4.00	4.00	-16	24	64	600	3.9811	+0.47
			4.25	-15	25	65	625	4.2170	+0.78
			4.50	-14	26	66	650	4.4668	+0.74
			4.75	-13	27	67	675	4.7315	+0.039
			5.00	-12	28	68	700	5.0119	-0.24
			5.30	-11	29	69	725	5.3088	-0.17
			5.60	-10	30	70	750	5.6234	-0.42
			6.00	-9	31	71	775	5.9566	+0.73
6.30	6.30	6.30	6.30	-8	32	72	800	6.3096	-0.15
			6.70	-7	33	73	825	6.6834	+0.25
			7.10	-6	34	74	850	7.0795	+0.29
			7.50	-5	35	75	875	7.4989	+0.01
		8.00	8.00	-4	36	76	900	7.9433	+0.71
			8.50	-3	37	77	925	8.4140	+1.02
			9.00	-2	38	78	950	8.9125	+0.98
			9.50	-1	39	79	975	9.4408	+0.68
			10.00	0	40	80	1000	10.0000	0

注: 1. 大于10和小于1的优先数, 可按本标准规定的两端延伸性的特性所述的十进延伸方法求得。

2. 常用值的相对误差 = $\frac{\text{常用值} - \text{计算值}}{\text{计算值}} \times 100\%$ 。

3. N是优先数在R40系列中序号N₄₀的简写。

§ 1-3 公差配合基本概念

现代化的机械工业，无论是单品种、大批大量生产或是多品种、小批量生产，都必须要求机器零件具有互换性，以便在装配过程中不经选择和修配，能够直接组装达到预期的配合性能。

“公差”是用来协调机器零件使用性能要求与制造经济性之间的关系；“配合”则是反映机器零件结合时相互之间的关系。“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、使用性能和寿命。《公差与配合》标准是一项应用广泛涉及整个国民经济各个部门的重要基础标准；《公差与配合》也是全书各章内容的重要理论基础，因而也就成为本书的重点章之一。

公差与配合GB1800~1804—79适用于孔、轴的尺寸公差及其组成的配合。孔的含义主要指圆柱形的内表面，也包括其他内表面中由单一尺寸确定的部分，如键槽宽；轴的含义主要指圆柱形的外表面，也包括其它外表面中由单一尺寸确定的部分，如键宽。

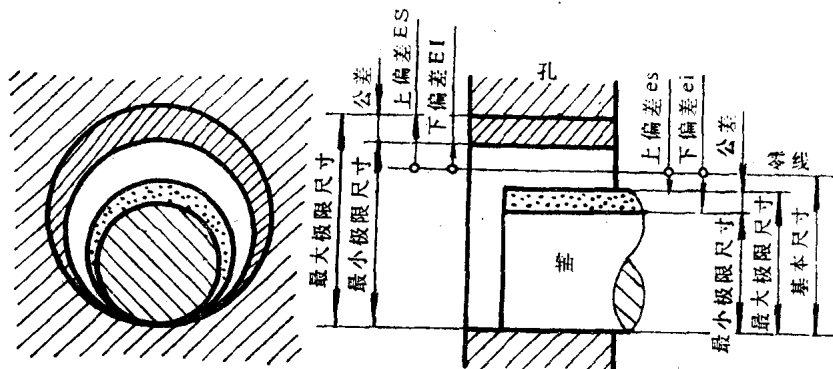


图 1-1 公差与配合示意图

一、尺寸

基本尺寸：设计给定的尺寸。

设计计算所得的尺寸应当圆整为标准尺寸，在按照优先数系原理制订的GB2822—81《标准尺寸》中取值。

实际尺寸：通过测量所得的尺寸。由于存在测量误差，所以实际尺寸并非尺寸的真值。

极限尺寸：允许尺寸变化的两个界限值。两个界限值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。

二、偏差、公差

尺寸偏差（简称偏差）：某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。代数差可以为正、负、或零，因此偏差也可以为正、负或零值。偏差值若为正，意味着某尺寸比基本尺寸大；若为负，某尺寸比基本尺寸小；若为零，说明二者相等。

极限偏差是上偏差与下偏差的统称。最大极限尺寸减其基本尺寸得到上偏差；最小极限

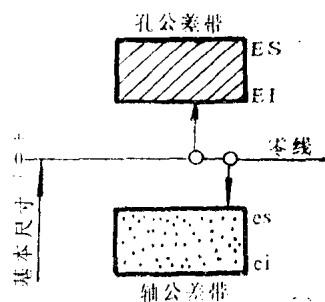


图 1-2 公差带图

尺寸减其基本尺寸得到下偏差。同理，上偏差、下偏差可以为正、负或零值。

尺寸公差（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。

三、尺寸公差带（简称公差带）

在公差带图中（图1-2），由代表上、下偏差的两条直线所限定的一个区域。

“区域”一词并不是一个“量值”，而是指一个范围的意思。

四、配合，间隙，过盈

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。

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；为负时是过盈。

配合有三种类型。即间隙配合，过盈配合或过渡配合 见(图1-3、图1-4、图1-5)

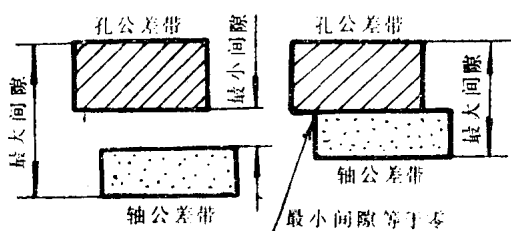


图 1-3 间隙配合

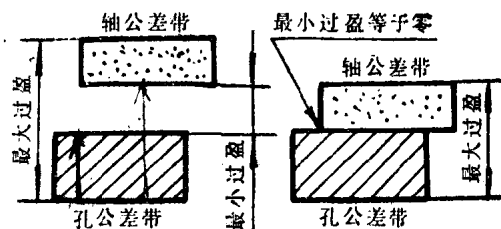


图 1-4 过盈配合

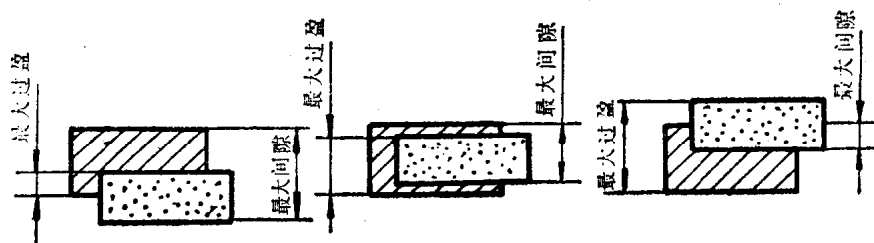


图 1-5 过渡配合

五、配合公差

配合公差：允许间隙或过盈的变动量。对于间隙配合，等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值；对于过盈配合，等于最小过盈与最大过盈之代数差的绝对值；对于过渡配合，等于最大间隙与最大过盈之代数差的绝对值。

配合公差又等于相互配合的孔公差与轴公差之和，即 $T_f = T_D + T_d$

例1：有三对孔轴，分别组成间隙配合、过盈配合，过渡配合（图1-6），试分别求其配合公差

解：间隙配合： $X_{max} = +21 - (-33) = +54\mu m$ ， $X_{min} = 0 - (-20) = +20\mu m$

则配合公差 $T_f = | +54 - (+20) | = 34\mu m$

或配合公差 $T_f = T_D + T_d = | 21 - 0 | + | (-20) - (-33) | = 34\mu m$

过盈配合： $Y_{min} = 21 - 28 = -7\mu m$ ， $Y_{max} = 0 - 41 = -41\mu m$

则配合公差 $T_f = | -7 - (-41) | = 34\mu m$

或配合公差 $T_f = T_h + T_s = |21 - 0| + |41 - 28| = 34\mu\text{m}$

过渡配合: $X_{\max} = 21 - 2 = +19\mu\text{m}$ $Y_{\max} = 0 - 15 = -15\mu\text{m}$

则配合公差 $T_f = |+19 - (-15)| = 34\mu\text{m}$

或配合公差 $T_f = T_h + T_s = |21 - 0| + |15 - 2| = 34\mu\text{m}$

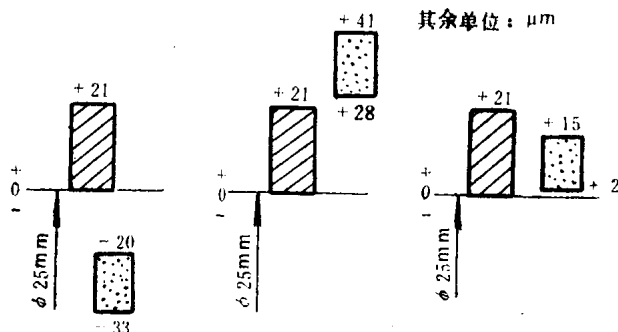


图 1-6 配合举例

此例的解答, 说明了公式 $T_f = T_h + T_s$ 的正确性, 同时也明确了一个概念, 间隙或过盈指的是孔轴结合的松紧程度, 上述三对孔轴结合的松紧程度是不一样的, 配合公差指的是孔轴结合松紧程度的变动状况, 上述三对配合的精确程度是相同的, 它们的配合公差都是 $34\mu\text{m}$, 见图1-7, 图中的单位为 μm 。

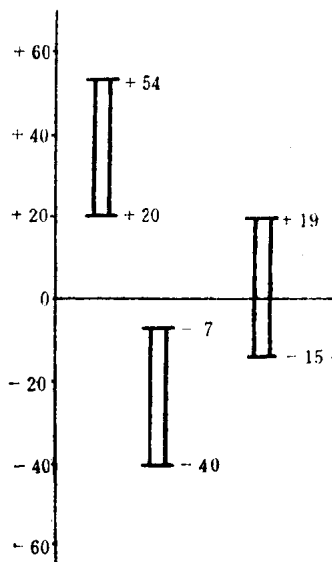


图 1-7 配合公差带图解

当基本尺寸一定时, 配合公差 T_f 表示配合的精确程度, 是使用要求, 即设计要求; 而孔公差 T_h 与轴公差 T_s 分别表示孔、轴加工的精确程度, 是制造要求, 即工艺要求。通过关系式 $T_f = T_h + T_s$ 将这两方面的要求联系在一起。若使用要求或设计要求提高, 即 T_f 减小, 则 $(T_h + T_s)$ 也要减小, 即制造要求或工艺要求提高, 加工将更困难, 成本也将提高。因此, 这个关系式正好说明“公差”的实质, 反映机器零件的使用要求与制造要求之间的矛盾, 或设计与工艺的矛盾。而配合还可理解为孔轴配对零件之间的结合松紧及变动关系, 其实质是反映组成机器的结合零件之间的矛盾。公差与配合决定了机器零部件相互结合的条件和状况, 直接影响到产品的精度、性能和使用寿命, 它是评定产品质量的重要技术指标。

§ 1-4 测量技术概论

一、测量, 测量要素

测量是把被测的量与具有计量单位的标准量进行比较, 从而确定被测量的量值的操作过程。

欲实现上述测量过程, 首先必须有被测对象和计量单位, 在此基础上再确定选用何种计量器具及其测量方法, 再将测量所得数据进行处理, 从而对被测对象的误差或精度给以估计和评定。可见测量过程包括四个要素: 被测对象、计量单位、测量方法、误差数据处理。

被测对象如为几何量, 则包括尺寸长度、角度、形位误差, 表面粗糙度等。

国际单位制中, 长度的主单位是米(m), 在机械制造图样上常用的单位是毫米(mm), 在几何量长度精密技术测量中常用的单位是微米(μm)。

测量方法,是指在进行测量时所选用仪器、检验方法以及测量条件的综合。

误差数据处理,是指将测量所得有关数据根据其误差特性按照一定的准则进行数学运算得出最后结果,用以评定被测件的测量结果。

二、尺寸传递

为了保证测量的准确度,首先必须建立统一、可靠的长度基准。无疑,长度基准本身应当是准确、稳定可靠,这样才能有准确的测量器具,从而对被测件测量时获得准确的测量结果。

1. 长度基准

什么是长度基准呢?定义、复现及保存长度单位并通过它传递给其他测量器具,这种物体叫做长度基准。

在国际单位制中,长度的基本单位是米。1889年,第一次国际计量大会决定,以地球子午线的四千万分之一定义为米,并以铂铱合金制成了基准米尺——国际米原器,这个国际米原器就是一米的长度基准。由于米原器金属内部的不稳定性以及环境影响,致使国际米原器的可靠性并不理想;并且各国需要定期将本国的国家基准米尺送往法国巴黎与国际米原器进行校对,也很不方便。1983年国际计量大会决议,将米的定义更改为“米是光在真空中在 $1/299792458$ 秒时间间隔内所行进的路程的长度”。国际计量大会推荐用激光辐射来复现米,其不确定度可达 1×10^{-9} 。

2. 尺寸传递系统

作为国际基准或国家基准,都是经过国际或国家批准而承认的。由它再往下传递:国际基准或国家基准 $\rightarrow$ 工作基准 $\rightarrow$ 工作器具 $\rightarrow$ 被测零件。

工作基准是指,经过与国家基准比对,而用来检定较低准确度基准或检定工作器具用的计量器具,称为工作基准,例如量块(块规)。

工作器具是指用来直接测量零件的计量器具,例如千分尺。

3. 量块

量块又名块规,又称平面平行端规,其形状多为长方形平行六面体,一般采用工具钢或轴承钢制成并经过复杂的热处理工艺,因而尺寸准确而且稳定,硬度高,耐腐蚀性好,特别是粘性强。因此在机械和仪器制造中应用很广,用作尺寸传递系统中的长度基准,也用作标准器以调整普通计量器具,调整机床,还可用来直接检验零件。量块结构如图1-8所示。

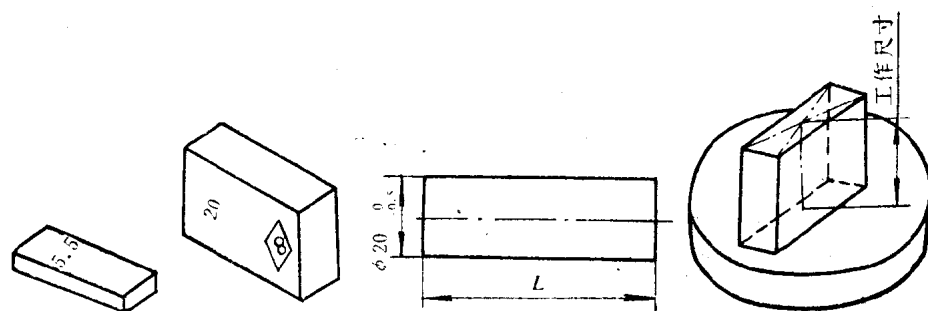


图 1-8 量块

长方形六面体量块有两个测量工作面和四个非工作面。公称尺寸小于 5.5mm 的量块,有数字的一面为上测量面;公称尺寸大于 6mm 的量块,有数字平面的右侧面为上测量面。测量工作面的表面粗糙度 R_a 一般不大于 $0.02\mu\text{m}$, 0级量块 R_a 不大于 $0.01\mu\text{m}$, 以量块的工作面

相互粘合即可组成各种必要的尺寸使用。

量块本身的精度表现为二个指标:中心长度极限偏差;平面平行度极限偏差。量块的中心长度是两测量面之间的距离,即上测量面中心至下测量面粘合的平晶表面间的垂直距离。

量块的“级”与“等”。量块根据上述二个精度指标,按其制造精度分级,分0、1、2、3、4级共五级,0级精度最高,4级最低。量块制造厂按“级”供应量块,出厂时已经标定好了。为了提高量块的使用精度,可将采购来的量块送计量部门进行检定,也根据上述二个精度指标,按照对量块检定时的极限误差确定其“等”别。分为1、2、3、4、5、6等共六等,1等精度最高,6等最低。

在实际应用中,按级使用量块时,量块尺寸为公称尺寸,因而它包含量块的制造偏差。按“等”使用量块时,量块尺寸为送检时测得的实际值,因而它不包含量块的制造偏差,但却包含检定量块时的测量极限误差。因此按“等”使用比按“级”使用要精确些,但是量块送检也麻烦。例如,有一块2级精度量块,其公称尺寸30mm,由查表得知其中心长度的极限偏差为 $\pm 0.6\mu\text{m}$,将该量块送计量部门检定为四等,并测得其实际尺寸为30.0004mm,由查表得知该尺寸的测量误差不超过 $\pm 0.3\mu\text{m}$ 。可见,按实际尺寸30.0004mm使用比按公称尺寸30mm使用的误差将减小一半。

量块是成套供应的,有83块、38块、10块等规格,实际应用时可以组合使用。组合的原则是尽量减少其所组合的量块数量,即用最少数目的量块实现组合成所需要的尺寸,以便减少量块组的组合误差。组合的方法,应从所需尺寸的最后一位数字开始选择适当尺寸的量块,逐一选取,每选一块至少可减去所需尺寸的一位小数。通常总块数不超过四块。

例:从83块一套的量块中选取28.785mm的量块组。

解:83块成套尺寸如下:

间隔0.01mm 从1.01、1.02、…、1.49 共49块

间隔0.1mm 从1.5、1.6、…、1.9 共5块

间隔0.5mm 从2、2.5、…、9.5 共16块

间隔10mm 从10、20、…、100 共10块

0.5、1、1.005 各1块

28.785	量块组合尺寸
-) 1.005	第一块
27.78	
-) 1.28	第二块
26.50	
-) 6.50	第三块
20.00	第四块

$$28.785 = 1.005 + 1.28 + 6.5 + 20$$

三、测量方法种类及其选择原则

测量方法可按不同的观点分类

1. 绝对测量法与比较测量法。

绝对测量法的特点是可以直接示出被测尺寸的全值,例如用千分尺、测长仪测量等。比较测量法的特点是仅能示出被测尺寸对已知标准量的偏差,而测量结果为已知标准量与测量然后换代数和,例如光学比较仪测量轴径,先根据被测轴的基本尺寸用量块将光较仪调零,

示值之上被测轴进行实际测量，从光较仪上读出的是偏差值，则被测轴的实际尺寸就等于基本尺寸（即量块尺寸）与偏差值之代数和。一般地，比较测量法易于获得较高的测量精度。

2. 单项测量法与综合测量法。

单项测量法的特点是分别地测量零件的各个参数，这些参数的误差效应互不干涉，例如单项测量齿形误差、基节偏差。又如单项测量螺纹中径误差、螺距误差、牙型半角误差。综合测量法的特点是同时测量零件几个相关参数的综合效应，或是在一次测量中同时将几个参数误差都分别反映出来。前者例如用螺纹量规测螺纹的中径、螺距、牙型半角的综合效应，以综合判断该被测件是否合格；后者例如用齿轮单啮综合检查仪进行综合测量。综合测量法的检验效率高，其测量结果比较接近被测件实际联结或参与运转时的真实状况，因而比较可靠，广泛应用于批量生产或大量生产中。

3. 静态测量法与动态测量法。

静态测量法的特点是测量头与被测表面相对静止，无疑，其测值基本上不随时间而改变，例如用千分尺测量轴径。动态测量法的特点是测量头与被测表面有相对运动，其目的是为了测得误差瞬时值及其随时间而变化的规律，例如用电动轮廓仪测量表面粗糙度，用圆度仪测量圆度误差。

此外，还可分为接触测量法与非接触测量法；直接测量法与间接测量法；工序检验与最终检验，等。

测量方法与测量仪具有着直接的密切关系，测量方法在很大程度上决定于所选测量仪器。对于他们的选择基本原则是：既要保证测量精确，又要经济适用，还要操作简便高效。可以具体考虑下列各点：

- (1) 根据工件公差选择相应精度的量仪，用一般的还是精密的；
- (2) 根据加工批量选择相应类型的量仪，小批量或单件可选通用计量器具，大批量则宜选高效率的量仪、例如量规、自动检查仪；
- (3) 根据生产过程，对于首件、工序检查、工艺分析，要将工件各个参数作单项测量，对于工件完工验收或评定工件使用质量，最好用综合检查；
- (4) 根据工件尺寸大小选择相应规格的量仪，例如测量 $\phi 40\text{mm}$ 的轴，则所选千分尺应为测量范围25~50mm规格的；
- (5) 根据工件材质或结构，对于钢铁制件，表面硬度高，多用接触测量，对于刚性差、硬度小、软金属或者微型工件，可用非接触测量，例如用光学投影放大、光电、超声波、同位素等测量。

四、计量器具的分类及其技术性能指标

计量器具包括量具、极限量规、计量仪器。

量具是以固定形式复现量值的计量器具，它一般没有测量过程中运动着的测量元件，也没有指示器，如量块、角尺等。

极限量规是专用检验工具，它同时具有通端和止端，如果其通端对被测对象能够通过，而止端不能通过，则该被测尺寸是合格的。极限量规没有刻度，故它只能对被测件作出合格性判断，而不能示出被测尺寸的具体数值。

计量仪器的特点是量仪本身带有可运动的测量元件，并能指示被测量的具体数值。按其指示特性可分为能读出示值的指示式量仪，可记录示值的记录式量仪和能将测量与已知量

进行比较的比较式量仪。

选用量仪时，不仅应当了解常用量仪的类型，还应知道计量器具的技术性能指标。

1. 刻线间距——仪具标尺上两相邻刻线中心的距离。为了能够目估到分度值 $1/10$ 的量值，一般刻度间距为 $1 \sim 2.5\text{mm}$ ；

2. 分度值——仪具标尺上每一刻线间距所代表的被测量的量值。例如，游标卡尺有 $0.02, 0.05\text{mm}$ ，千分尺有 0.01mm ，千分表有 0.001mm ，比较仪有 $0.001, 0.002, 0.005\text{mm}$ ；

3. 放大比——放大比又称放大倍数，也称灵敏度。计量器具的指针直线位移或角位移与被测参数变化之比。例如，比较仪有250倍、400倍、1000倍、2000倍；

4. 示值范围——量仪所能指示被测量的最低值到最高值的变化范围。例如，千分表的示值范围为 1mm 或更小。而百分表上计数短针指示长针可对刻度标尺转几圈，百分表上标尺的示值范围可达 10mm ；

5. 测量范围——在允许的误差限内，计量器具能够测量工件的最小到最大的尺寸范围。测量范围取决于仪具支架可升降的高低。例如，千分尺有 $0 \sim 25\text{mm}$ ， $25 \sim 50\text{mm}$ ，比较仪有 $0 \sim 180\text{mm}$ ；

示值范围和测量范围在概念上是有区别的，例如光学计，其示值范围为 $b = \pm 0.1\text{mm}$ ，而其测量范围 $B = 0 \sim 180\text{mm}$ ；

6. 示值误差——计量器具上指针指示的数值与被测量的真值之差；

示值误差是表征计量器具的精度指标。分度值相同的各种计量器具，它们的示值误差并不一定相同；

7. 不确定度——不确定度是用来表征测量结果分散特性的误差限，用它来描述尚未确定的误差的特征。

五、测量误差数据处理

任何测量过程，由于种种原因，总是不可避免地会出现误差，因而有必要研究其误差规律，针对其误差特性有区别地加以对待，防范或减少。而对于出现的测量误差现象，根据测量获得的原始数据，进行必要的处理，得出测量结果，并明确测量结果可以信赖的程度。

1. 测量误差概念

测量误差 Δ 是测得值 x 与被测量的真值 x_0 之差，即

$$\Delta = x - x_0 \quad (1-1)$$

测得值 X 是从计量器具上直接读取的量值。

被测量的真值 X_0 表示在被测瞬间的条件下，被测量本身所具有的真实大小。量的真值无法直接读取，它只是一个理想概念，一般是不知道的，抽象的。实际生产中，通常用算术平均值代替真值，或者用高级精度标准的计量器具测量所得的量值来代替真值。

例如，用千分尺测量某一轴的直径，测量结果为 20.004mm ，若该轴用高精度量仪例如光学测微计检定，检定结果为 19.998mm 。这里 19.998mm 即为轴径的真值。于是，千分尺的测量误差 Δ 为：

$$\Delta = x - x_0 = 20.004 - 19.998 = +0.006\text{mm}$$

2. 测量误差来源

(1) 计量器具的误差 计量器具误差是由于该器具本身的内在因素所造成的，而与测量过程中的外部因素无关。例如，百分表的传动机构放大不准，分度盘安装偏心和测量面不

平引起的示值变化,活动件惯性和测力变化引起的示值不稳,滑动面间隙和磨损引起的空回误差等等。所有内在误差的总和表现在计量器具的示值误差上。

标准器具误差。例如,用量块调整量仪示值到零,或用量块检定计量器具示值,量块是标准器具,可是量块本身就存在制造误差,所以,此标准器具的误差也会通过计量器具在测量过程中反映到测量示值中来。

(2)工件误差 工件表面形状和状况会影响测得值的准确,例如,轴有圆度误差,则测得直径或大或小;表面粗糙度大,受测量力而产生接触变形,影响测得值;工件表面有凹陷、塌边、毛刺、划痕都会引起测量误差。

(3)方法误差 方法误差是指测量操作方法不正确和测量方法的原理本身不完善,计算公式的简化,这些都会引起测量误差。

(4)环境条件误差 环境条件包括温度、湿度、振动等等,对于长度精密测量,而其中最重要的是温差影响,尤其是测量大尺寸工件,温差对测量结果的影响十分严重。

3. 测量误差种类及其处理原则

由测量误差的来源可见,造成误差的因素很多,必然地,误差特性是各不相同的。在同一测量条件下,同一测量操作者,测量这同一量,进行许多次测量,根据这许多的测得值可以看出,按其误差性质,测量误差有三类:系统误差、随机误差、粗大误差。

(1)系统误差 系统误差的特性是:误差的大小和符号不变,或按一定规律变化。例如在比较测量时,用量块使比较仪的百分表调零,而此量块存在的尺寸误差,必然地反映在每一次的测量示值中,而且影响测得值的大小和方向均一样,这就是测量系统误差。再例如,百分表度盘安装时偏心,结果使指针所指值沿表盘的圆周呈现正弦规律变化。

系统误差可分为已定系统误差和未定系统误差。

已定系统误差的特点是误差的大小和方向是确定的,对已定系统误差的处理原则是予以消除或修正,即将测得值减去已定系统误差作为结果。

未定系统误差的特点是其误差绝对值大小和方向未经确定。对于未定系统误差的处理原则是,对其分析原因,发现规律,采取某些有效手段,估计误差可能出现的范围。

(2)随机误差 随机误差的特性是,单次测量时,测量误差的大小和方向杂乱无章、无规律可循,不可预定,但进行多次重复测量时,则这些众多的误差作为一个整体来看却是服从一定规律的,呈现出统计特征。

随机误差是在测量过程中难以控制的多种独立的不稳定的随机因素所造成的,例如温度波动、测量力不稳定、测量器具中油膜、视差等综合影响的结果。

对随机误差的处理原则是,采取措施减小它对测量结果的影响,并运用概率统计方法估计随机误差范围。

(3)粗大误差 在一系列的众多测得值中,有个别的数值超出了随机误差应有的范围,这个数值的误差属于粗大误差。产生这种误差是不正常的,例如测量时外界突然振动,测量操作失误,读错示值,记错数字等等。

粗大误差会严重地影响测量结果,使数据结果失去常态,所以对粗大误差的处理原则是,按一定规则予以剔除,将这样的测量值剔除不用。

精度概念。系统误差小,叫正确度高;随机误差小,叫精密度高;系统误差和随机误差都小,叫精确度高。精确度又叫准确度,通常称为精度。