

高等学校教材

互换性与 测量技术基础

庞学慧 武文革 编

兵器工业出版社

高等学校教材

互 换 性 与 测 量 技 术 基 础

庞学慧 武文革 编

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书是根据全国高等工业学校互换性与测量技术基础教学指导委员会提出的《互换性与测量技术基础》教学基本要求,并结合了编者十几年的教学实践与探索编写而成的。书中采用最新的国家标准,力求满足目前教学的基本要求,在充实理论的前提下,加强应用与联系实际。既便于教学,又适宜于作为参考书自学。

全书共分10章,包括绪论、尺寸公差与圆柱结合的互换性、测量技术基础、形状和位置公差及其检测、表面粗糙度、光滑工件尺寸的检验、滚动轴承的互换性、常用结合件(含平键、矩形花键、圆锥、螺纹等)的互换性及检测、渐开线圆柱齿轮的互换性及检测及尺寸链。各章均附有习题。

本书可作为教材,供高等工业院校机械类、仪器仪表及机械电子类专业的师生使用,亦可作为工具书供从事机械设计、机械制造、标准化与计量等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术基础 / 庞学慧, 武文革编. —北京:
兵器工业出版社, 2003.7
ISBN 7-80172-129-2

I. 互... II. ①庞... ②武... III. ①互换性—理论—
高等学校—教材 ②机械—测量—高等学校—教材
IV. TG8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 047286 号

出版发行: 兵器工业出版社

责任编辑: 郭春临

责任技编: 魏丽华

邮编社址: 100089 北京市海淀区车道沟10号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 兵器工业出版社印刷厂

版 次: 2003年7月第1版第1次印刷

印 数: 1-2050

封面设计: 底晓娟

责任校对: 朴喆

责任印制: 王京华

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 12

字 数: 310千字

定 价: 25.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

《互换性与测量技术基础》是高等工科院校机械类、仪器仪表及机械电子类专业的一门重要的技术基础课。其内容涵盖了实现互换性生产的标准化领域与计量学领域的有关知识,涉及机械电子产品的设计、制造、质量控制、生产组织管理等许多方面,是“联系设计类课程与制造类课程的纽带,是从基础课向专业课过渡的桥梁”。

本书是根据全国高等工业学校互换性与测量技术基础教学指导委员会提出的《互换性与测量技术基础》教学基本要求,并结合了编者十几年的教学实践与探索编写而成的。近些年来国家标准的更新工作进展很快,一方面是由于技术的进步,另一方面是为了与国际接轨尽量采用国际标准。因此,本书全面采用了最新的国家标准,以保证其内容的时效性。由于目前教学时数普遍压缩,编者在编写过程中力求基本概念清楚,内容精选,叙述精练,对实验指导书中讲述的测量仪器原理、结构及使用方法等内容,未作编写。

本书首先由编者结合目前的教学情况提出了详细的编写提纲,交由本书“编审小组”讨论,并提出了具体的修改意见。本书由庞学慧、武文革共同执笔完成,其中庞学慧负责第1章至第6章,武文革负责第7章至第10章。

本书由华北工学院常兴教授主审。参加编写提纲的审查与讨论的还有:华北工学院的辛志杰、李红、丁爱玲、刘文峰,华北工学院分院的王玉玲,太原重型机械学院的宋冬芳等。在本书的编写过程中,华北工学院教材科的杨晓敏同志、兵器工业出版社的郭春临等同志给予了大力的帮助。编者对以上同志所给予的指导和帮助表示衷心的感谢。

限于编者的水平,书中难免存在缺点和不足,恳请广大读者给予批评和指正。

编 者

2003年5月

01010801~05 二(3.4) 四(1.2) 10305H

01010806~09 二(5.6) 四(3.4) 01302H

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 互换性概述	1
1.2 标准化与优先数	2
习题	4
第 2 章 尺寸公差与圆柱结合的互换性	5
2.1 概述	5
2.2 公差与配合的基本术语及定义	5
2.3 标准公差系列	10
2.4 基本偏差系列	13
2.5 常用尺寸段的公差带与配合的标准化	21
2.6 一般公差 未注公差的线性尺寸的公差	23
2.7 公差与配合的选用	24
习题	29
第 3 章 测量技术基础	30
3.1 概述	30
3.2 测量器具和测量方法的分类及常用术语	33
3.3 测量误差与数据处理	37
3.4 测量误差产生的原因及测量的基本原则	43
习题	45
第 4 章 形状和位置公差及其检测	46
4.1 形状和位置公差的分类与基本术语	46
4.2 形位公差的标注	49
4.3 形位公差及公差带	54
4.4 公差原则	65
4.5 形位公差数值及应用	70
4.6 形位误差的检测	74
习题	79
第 5 章 表面粗糙度	82
5.1 概述	82

5.2 表面粗糙度的评定标准	83
5.3 表面粗糙度的选择	88
5.4 表面粗糙度的标注	89
习题	91
第6章 光滑工件尺寸的检验	92
6.1 用通用计量器具测量工件	92
6.2 用光滑极限量规检验工件	95
习题	101
第7章 滚动轴承的互换性	102
7.1 概述	102
7.2 滚动轴承的精度等级及其应用	102
7.3 滚动轴承内、外径的公差带及其特点	104
7.4 滚动轴承与轴和壳体孔的配合及选用	104
习题	110
第8章 常用结合件的互换性及检测	111
8.1 键结合的公差配合与检测	111
8.2 圆锥结合的公差配合及检测	118
8.3 螺纹结合的公差配合及检测	130
习题	143
第9章 渐开线圆柱齿轮的互换性及检测	144
9.1 概述	144
9.2 单个齿轮的误差及其公差项目	146
9.3 齿轮副误差和检验项目	154
9.4 渐开线圆柱齿轮的精度标准及其应用	157
习题	171
第10章 尺寸链	173
10.1 尺寸链的基本概念	173
10.2 尺寸链的建立和计算	175
10.3 保证装配精度的其他方法	183
习题	184
参考文献	185

第 1 章 绪 论

1.1 互换性概述

1.1.1 互换性的含义

许多产品如汽车、自行车、钟表、机器设备等的零件坏了以后，我们往往是购买一个新的，在更换与装配后，通常都能很好地满足使用要求。之所以能这样方便，就是因为这些零件都具有互换性。

要使零件具有互换性，不仅要求决定零件特性的那些技术参数的公称值相同，而且要求其实际值的变动限制在一定范围内，以保证零件充分近似，即应按“公差”来制造。公差即允许实际参数值的最大变动量。

由此可将互换性(interchangeability)的含义阐述如下：“机械制造中的互换性，是指按规定的几何、物理及其他质量参数的公差，来分别制造机械的各个组成部分，使其在装配与更换时，不需辅助加工及修配便能很好地满足使用和生产上的要求。”

1.1.2 互换性的分类

按决定参数或使用要求，互换性可分为几何参数互换性与功能互换性。

几何参数互换性——规定几何参数的公差以保证成品的几何参数充分近似所达到的互换性。此为狭义互换性，即通常所讲的互换性，有时也局限于保证零件尺寸配合要求的互换性。

功能互换性——规定功能参数的公差所达到的互换性。功能参数当然包括几何参数，但还包括其他一些参数，如材料机械性能参数，化学、光学、电学、流体力学等参数。此为广义互换性，往往着重于保证除尺寸配合要求以外的其他功能要求。

按互换程度，互换性可分为完全互换与不完全互换。

若零部件在装配或更换时，不仅不需辅助加工与修配，而且不需选择，则为完全互换。当装配精度要求很高时，采用完全互换将使零件尺寸公差很小，加工困难甚至无法加工。对批量较大的零件，这时可将其制造公差适当放大，待加工完毕后，通过测量将零件按实际尺寸大小分为若干组，使同组零件间的差别减小，按组进行装配。这样仅组内零件可以互换，组与组之间不可互换，故称为不完全互换。一般而言，不完全互换只限于部件或机构制造厂内部的装配。至于厂外协作，即使产量不大，往往也要求完全互换。

对标准件或机构来说，互换性可分为外互换与内互换。

外互换——指部件或机构与其相配件间的互换性。如滚动轴承与相配的轴径、轴承座孔的配合。外互换应为完全互换。

内互换——指部件或机构内部组成零件间的互换性。如滚动轴承内圈、外圈、滚动体等件的配合。内互换可以是完全互换，也可以是不完全互换。

1.1.3 互换性的作用

从使用看,若零件具有互换性,则在磨损或损坏后,可用新的备件代替。由于备件具有互换性,不仅维修方便,而且使机器的修理时间和费用显著减少,可保证机器工作的连续性和持久性,从而显著提高机器的使用价值。在一些特殊行业如发电厂、通信系统,其设备零部件具有互换性所起的作用,往往是很难用价值来衡量的。对于兵器这样的特殊器械,保证零部件的互换性是绝对必要的。

从制造看,互换性是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。装配时,由于零部件具有互换性,不需辅助加工和修配,故能减轻装配工的劳动量,缩短装配周期,并且可以使装配工作按流水作业方式进行,以至进行自动装配,从而使装配生产率大大提高。加工时,由于规定有公差,同一部机器上的各个零件可以同时分别加工。大批、大量生产的零件还可由专门车间或工厂,采用高效率的专用设备加工。这样产量和质量必然会得到提高,成本也会显著降低。

从设计看,由于采用按互换性原则设计和生产的标准零件和部件,故可简化绘图、计算等工作,缩短设计周期,并提高设计的可靠性。这对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改进,都有重大的作用。

总之,在机械制造中遵循互换性原则,不仅能显著提高劳动生产率,而且能有效保证产品质量和降低成本。所以,互换性是机械制造中的重要生产原则与有效技术措施。

1.2 标准化与优先数

1.2.1 标准化的意义

在机械制造中,标准化(standardization)是广泛实现互换性生产的前提,而极限与配合等互换性标准都是重要的基础标准。

从概念讲,标准化是指制订、贯彻技术标准,以促进全面发展的整个过程。技术标准(简称标准)是从事生产、建设工作以及商品流通等的一种共同技术依据,它以生产实践、科学实验及可靠经验为基础,由有关方面协调制订。经一定程序批准后,在一定范围内具有约束力。

从内容讲,标准化的范围极其广泛,几乎涉及人类生活的各个方面。因此,技术标准种类繁多。按标准化对象的特征,技术标准大致可归纳为以下几类:

技术标准——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、极限与配合、零件结构要素等标准。

产品标准——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、毛坯、半成品及原材料等基本产品或辅助产品的标准。产品标准包括产品品种系列标准和产品质量标准。

方法标准——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、测试方法、验收规则及包装运输方法等标准。

安全与环境保护标准——专门为了安全与环境保护目的而制订的标准。

标准可以按不同级别颁布。我国技术标准分为国家标准、部标准(专业标准)和企业标准三级。此外,从世界范围看,还有国际标准与区域性标准。

从作用讲,标准化的影响是多方面的。标准化是组织现代化大生产的重要手段,是实现专业化协作生产的必要前提,是科学管理的重要组成部分。标准化同时是联系科研、设计、生产、流通和使用等方面的技术纽带,是使整个社会经济合理化的技术基础。标准化也是发展贸易,提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。

1.2.2 优先数和优先数系

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时,这个数值就会按照一定的规律向一切相关的制品、材料等的有关参数指标传播扩散。例如电动机的功率和转速的数值确定后,不仅会传播到有关机器的相应参数上,而且必然会传播到其本身的轴、轴承、键、齿轮、联轴节等一整套零部件的尺寸和材料特性参数上,并将传播到加工和检验这些零部件的刀具、量具、夹具及专用机床等的相应参数上。因此,对于各种技术参数,必须从全局出发加以协调。另一方面,从方便设计、制造、管理、使用和维修等来考虑,对技术参数的数值,也应进行适当的简化和统一。

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。

国家标准规定优先数系包括五个系列,即按五个公比形成的数系,分别用 R5, R10, R20, R40, R80 表示,其中前四个为基本系列,最后一个作为补充系列。数列中采用十进制,即要求在数系中包括 $1, 10, 100, \dots, 10^n$ 和 $1, 0.1, 0.01, \dots, 10^{-n}$ 等数(其中 n 为整数)。公比的意义是每个后项与其前项相比增长率相同。数列中 $1 \sim 10, 10 \sim 100, 100 \sim 1000, \dots, 1 \sim 0.1, 0.1 \sim 0.01 \dots$, 称为十进区间,每个十进区间中的项数是相同的,而相邻区间对应项的数值只是扩大或缩小十倍。

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			2.24	2.24		5.00	5.00	5.00
			1.06				2.36				5.30
		1.12	1.12	2.50	2.50	2.50	2.50			5.60	5.60
			1.18				2.65				6.00
	1.25	1.25	1.25			2.80	2.80	6.30	6.30	6.30	6.30
			1.32				3.00				6.70
		1.40	1.40		3.15	3.15	3.15			7.10	7.10
			1.50				3.35				7.50
1.60	1.60	1.60	1.60			3.55	3.55		8.00	8.00	8.00
			1.70				3.75				8.50
		1.80	1.80	4.00	4.00	4.00	4.00			9.00	9.00
			1.90				4.25				9.50
	2.00	2.00	2.00			4.50	4.50	10.00	10.00	10.00	10.00
			2.12				4.75				

国标中规定的五个优先数系的公比分别为:

R5 系列 公比为 $\sqrt[5]{10} \approx 1.60$;

R10 系列 公比为 $\sqrt[10]{10} \approx 1.25$;

R20 系列 公比为 $\sqrt[20]{10} \approx 1.12$;

R40 系列 公比为 $\sqrt[40]{10} \approx 1.06$;

R80 系列 公比为 $\sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

优先数系中的每一个数值即为优先数。优先数的理论值大多数为无理数,应用时应加以圆整。表 1-1 为优先数系的基本系列。

工程应用中,一般机械产品的主要参数通常按 R5 系列和 R10 系列,专用工具的主要尺寸按 R10 系列。有时还会用到优先数系的派生系列。例如在 R10 系列中每隔三项取值得 R10/3 系列,1, 2, 4, 8, ..., 此为常用倍数系列。

优先数的主要优点有:

- 1) 相邻两项的相对差均匀,疏密适中,而且计算方便,容易记忆;
- 2) 在同一系列中优先数的积、商、整数(正或负)次乘方仍为优先数;
- 3) 优先数可以向两端延伸。

习 题

1. 什么叫互换性?按互换性组织生产活动有哪些优越性?
2. 完全互换性与不完全互换性有何区别?各用于何种场合?
3. 标准的种类和级别各有哪些?
4. 下面两列数据属于哪种系列?公比为多少?
 - (1) 电动机转速: 375r/min, 750 r/min, 1 500 r/min, 3 000 r/min...
 - (2) 摇臂钻床的最大钻孔直径: 25mm, 40mm, 63mm, 80mm, 100mm, 125mm 等。

第2章 尺寸公差与圆柱 结合的互换性

2.1 概 述

圆柱结合是机械制造中应用最广泛的一种结合,由孔和轴构成。这种结合由结合直径与结合长度两个参数确定。从使用要求看,直径通常更重要,而且长径比可规定在一定范围内。因此,对圆柱结合可简化为按直径这一主参数考虑。

圆柱结合的公差制是机械工程方面重要的基础标准,包括极限制、配合制、检验制及量规制等。这种公差制不仅用于圆柱形内、外表面的结合,也适用于其他结合中由单一尺寸确定的部分,例如键结合中的键(槽)宽,花键结合中的外径、内径及键(槽)宽等。

“公差”主要反映机器零件使用要求与制造要求的矛盾;而“配合”则反映组成机器的零件之间的关系。公差与配合的标准化有利于机器的设计、制造、使用和维修。公差与配合标准是使机械工业能广泛组织专业化集中生产和协作,实现互换性生产的一个基本条件,国际上公认它是特别重要的基础标准之一。

2.2 公差与配合的基本术语及定义

国家标准《极限与配合 基础 第1部分:词汇》(GB/T 1800.1—1997)规定的基本术语,适用于各技术标准、文件及科技出版物等。

2.2.1 孔和轴

1. 孔(hole)

通常,指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面(由二平行平面或切面形成的包容面)。

2. 轴(shaft)

通常,指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面(由二平行平面或切面形成的被包容面)。

孔和轴的显著区别主要在于:从加工方面看,孔是越做越大,轴是越做越小;从装配关系看,孔是包容面,轴是被包容面。在国家标准中,孔和轴不仅包括通常理解的圆柱形内、外表面,而且还包括其他几何形状的内、外表面中由单一尺寸确定的部分。图2-1中, D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4 均可称为孔,而 d_1 、 d_2 、 d_3 和 d_4 均可称为轴。

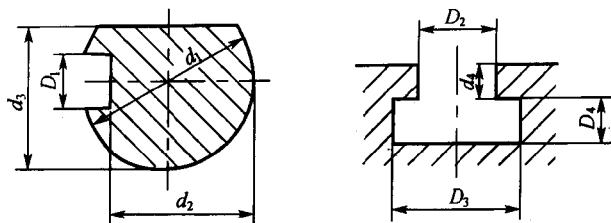


图 2-1 孔与轴

2.2.2 尺寸

1. 尺寸(size)

以特定单位表示线性尺寸值的数值。

如长度、高度、直径、半径等都是尺寸。在工程图样上,尺寸通常以“mm”为单位,标注时可将长度单位“mm”省略。

2. 基本尺寸(basic size)

通过它应用上、下偏差可算出极限尺寸的尺寸。

基本尺寸通常是设计者经过强度、刚度计算,或根据经验对结构进行考虑,并参照标准尺寸数值系列确定的。相配合的孔和轴的基本尺寸应相同,并分别用 D 和 d 表示。

3. 实际尺寸(actual size)

通过测量获得的某一孔、轴的尺寸。

由于存在测量误差,实际尺寸并非尺寸的真值。同时,由于形状误差的影响,零件的同一表面上的不同部位,其实际尺寸往往并不相等。通常用 D_a 和 d_a 表示孔与轴的实际尺寸。

4. 极限尺寸(limits of size)

一个孔或轴允许的尺寸的两个极端。

其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。合格零件的实际尺寸应位于两个极限尺寸之间,也可达到极限尺寸。

5. 最大实体极限(maximum material limit)

对应于孔和轴最大实体尺寸的那个极限尺寸,即轴的最大极限尺寸和孔的最小极限尺寸。而最大实体尺寸是孔或轴具有允许的材料量为最多状态下的极限尺寸。

6. 最小实体极限(least material limit)

对应于孔和轴最小实体尺寸的那个极限尺寸,即轴的最小极限尺寸和孔的最大极限尺寸。而最小实体尺寸是孔或轴具有允许的材料量为最少状态下的极限尺寸。

2.2.3 偏差与公差

1. 偏差(deviation)

某一尺寸(实际尺寸、极限尺寸等等)减去基本尺寸所得的代数差。

最大极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称上偏差,用代号 ES (孔)和 es (轴)表示;最小极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称下偏差,用代号 EI (孔)和 ei (轴)表示。上偏差和

下偏差统称为极限偏差。实际尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称实际偏差。偏差可以为正值、负值和零。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)(size tolerance)

最大极限尺寸减最小极限尺寸之差, 或上偏差减下偏差之差。它是允许尺寸的变动量。孔公差用 T_H 表示, 轴公差用 T_S 表示。用公式可表示为:

$$T_H = |D_{\max} - D_{\min}| \quad (2-1)$$

或

$$T_H = |ES - EI| \quad (2-1)'$$

$$T_S = |d_{\max} - d_{\min}| \quad (2-2)$$

或

$$T_S = |es - ei| \quad (2-2)'$$

公差是用以限制误差的, 工件的误差在公差范围内即为合格。也就是说, 公差代表制造精度的要求, 反映加工的难易程度。这一点必须与偏差区别开来, 因为偏差仅仅表示与基本尺寸偏离的程度, 与加工难易程度无关。

例 2-1 已知孔、轴的基本尺寸为 $\phi 50\text{mm}$, 孔的最大极限尺寸为 $\phi 50.030\text{mm}$, 最小极限尺寸为 $\phi 50\text{mm}$; 轴的最大极限尺寸为 $\phi 49.990\text{mm}$, 最小极限尺寸为 $\phi 49.970\text{mm}$ 。试求孔、轴的极限偏差和公差。

解: 孔的上偏差 $ES = D_{\max} - D = 50.030 - 50 = +0.030(\text{mm})$

孔的下偏差 $EI = D_{\min} - D = 50 - 50 = 0$

轴的上偏差 $es = d_{\max} - d = 49.990 - 50 = -0.010(\text{mm})$

轴的下偏差 $ei = d_{\min} - d = 49.970 - 50 = -0.030(\text{mm})$

孔的公差 $T_H = |D_{\max} - D_{\min}| = |50.030 - 50| = 0.030(\text{mm})$

轴的公差 $T_S = |d_{\max} - d_{\min}| = |49.990 - 49.970| = 0.020(\text{mm})$

3. 零线(zero line)

在极限与配合图解中, 表示基本尺寸的一条直线, 以其为基准确定偏差和公差。通常, 零线沿水平方向绘制, 正偏差位于其上, 负偏差位于其下, 见图 2-2。

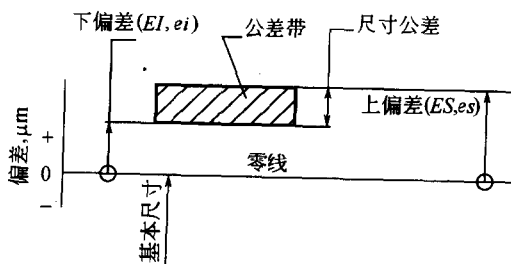


图 2-2 公差带图解

4. 公差带(tolerance zone)

在公差带图解中, 有代表上偏差和下偏差或最大极限尺寸和最小极限尺寸的两条直线所限定的一个区域。它是由公差带大小和其相对零线的位置来确定, 如图 2-2 所示。

5. 标准公差(IT)(standard tolerance)

国家标准极限与配合制中,所规定的任一公差,称标准公差。

设计时公差带的大小应尽量选标准公差,可见公差带的大小已由国家标准标准化。标准公差数值见表 2-2。

6. 基本偏差(fundamental deviation)

国家标准极限与配合制中,确定公差带相对零线位置的那个极限偏差,称基本偏差。它可以是上偏差或下偏差,一般为靠近零线的那个偏差,在图 2-2 中为下偏差。

2.2.4 配合与基准制

1. 配合(fit)

基本尺寸相同的,相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

国家标准规定有两种配合制(fit system),即基孔制配合和基轴制配合。

基孔制配合(hole-basis system of fits):基本偏差为一定的孔公差带,与不同基本偏差的轴公差带形成各种配合的一种制度。

标准规定基孔制配合中的基准孔(basic hole)下偏差为零,基本偏差代号为“H”。

基轴制配合(shaft-basis system of fits):基本偏差为一定的轴公差带,与不同基本偏差的孔公差带形成各种配合的一种制度。

标准规定基轴制配合中的基准轴(basic shaft)上偏差为零,基本偏差代号为“h”。

按照孔、轴公差带相对位置的不同,两种配合制都可以形成间隙配合、过盈配合和过渡配合,如图 2-3 所示。

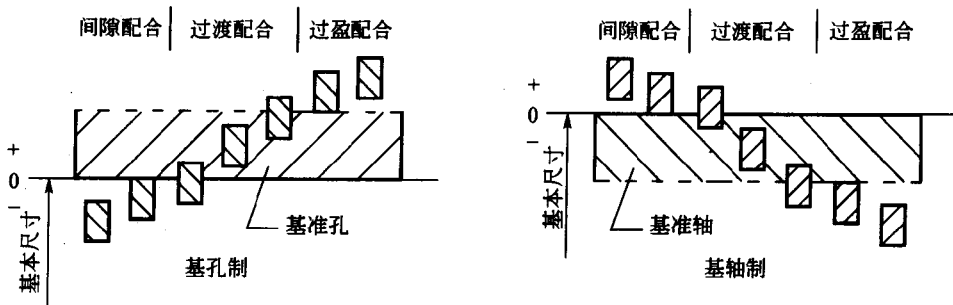


图 2-3 基孔制配合与基轴制配合

2. 间隙(clearance)与过盈(interference)

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸,差值为正时,称为间隙,差值为负时,称为过盈。

本教材规定在计算中,以“ X ”表示间隙,以“ Y ”表示过盈。

3. 间隙配合(clearance fit)

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。

应当指出,配合是指一批孔、轴的装配关系,而不是单个孔和轴的相配关系,所以用公差带图解反映配合关系比较确切。当孔为最大极限尺寸而轴为最小极限尺寸时,两者之差最大,装配后便产生最大间隙,用 $X_{\max}$ 表示;当孔为最小极限尺寸而轴为最大极限尺寸时,两者之差最小,装配后产生最小间隙,用 $X_{\min}$ 表示。计算公式为:

$$\begin{aligned}
 & X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} & (2-3) \\
 \text{或} & X_{\max} = ES - ei & (2-3)' \\
 & X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} & (2-4) \\
 \text{或} & X_{\min} = EI - es & (2-4)'
 \end{aligned}$$

4. 过盈配合(interference fit)

具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合。此时,轴的公差带在孔的公差带之上。

当孔为最小极限尺寸而轴为最大极限尺寸时,两者之差最大,装配后便产生最大过盈,用 $Y_{\max}$ 表示;当孔为最大极限尺寸而轴为最小极限尺寸时,两者之差最小,装配后产生最小过盈,用 $Y_{\min}$ 表示。计算公式为:

$$\begin{aligned}
 & Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} & (2-5) \\
 \text{或} & Y_{\max} = EI - es & (2-5)' \\
 & Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} & (2-6) \\
 \text{或} & Y_{\min} = ES - ei & (2-6)'
 \end{aligned}$$

5. 过渡配合(transition fit)

可能具有间隙或过盈的配合,称为过渡配合。此时,孔与轴的公差带相互交叠。

由于孔、轴的公差带相互交叠,因此既有可能出现间隙,也有可能出现过盈。其两种极限情况是最大间隙($X_{\max}$)和最大过盈($Y_{\max}$)。计算公式同 2-3、2-5。

6. 配合公差(variation of fit)

组成配合的孔、轴公差之和。它是允许间隙或过盈的变动量。

对于间隙配合,配合公差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,其值等于最大过盈与最小过盈之代数差的绝对值;对于过渡配合,其值等于最大间隙与最大过盈之代数差的绝对值。无论何种配合,配合公差均用 T_f 表示,计算公式为:

$$\begin{aligned}
 & T_f = T_H + T_S & (2-7) \\
 \text{或} & T_f = |X_{\max} - X_{\min}| \\
 & T_f = |Y_{\max} - Y_{\min}| \\
 & T_f = |X_{\max} - Y_{\max}|
 \end{aligned}$$

例 2-2 已知 $\phi 50_{-0.002}^{+0.025}$ 的孔与 $\phi 50_{+0.002}^{+0.018}$ 的轴形成配合。试求极限间隙和(或)极限过盈及配合公差,并画出公差与配合图解。

$$\begin{aligned}
 \text{解: 孔的上偏差 } ES &= +0.025, & \text{最大极限尺寸 } D_{\max} &= 50.025 \\
 \text{孔的下偏差 } EI &= 0, & \text{最小极限尺寸 } D_{\min} &= 50 \\
 \text{轴的上偏差 } es &= +0.018, & \text{最大极限尺寸 } d_{\max} &= 50.018 \\
 \text{轴的下偏差 } ei &= +0.002, & \text{最小极限尺寸 } d_{\min} &= 50.002 \\
 \text{最大间隙 } X_{\max} &= D_{\max} - d_{\min} = ES - ei = +0.023 \\
 \text{最大过盈 } Y_{\max} &= D_{\min} - d_{\max} = EI - es = -0.018 \\
 \text{配合公差 } T_f &= |X_{\max} - Y_{\max}| = |+0.023 + 0.018| = 0.041
 \end{aligned}$$

公差与配合图解见图 2-4。

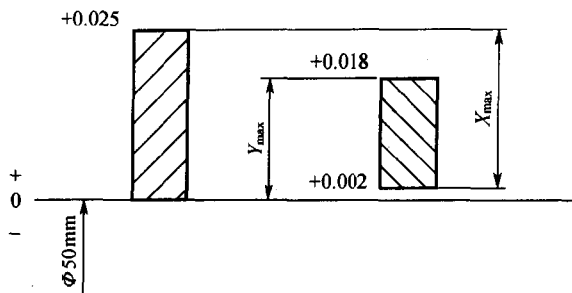


图 2-4 过渡配合

2.3 标准公差系列

2.3.1 标准公差因子 i (I)

统计规律表明, 零件的加工误差不仅与加工方法有关, 而且与零件的基本尺寸大小有关。为了合理地规定公差数值以评定零件精度等级的高低, 提出了标准公差因子的概念。

标准公差因子是计算标准公差的基本单位, 是制订标准公差数值的基础。

基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时, 标准规定标准公差因子 i 由下式计算:

$$i = 0.45 \times \sqrt[3]{D} + 0.001D (\mu\text{m}) \quad (2-8)$$

式中 D ——基本尺寸段的几何平均值, mm ;

式 2-8 中, 第一项反映加工误差, 呈抛物线规律; 第二项用于补偿测量误差的影响, 主要是测量温度不稳定和对标准温度有偏差以及量规变形等引起的测量误差。实际上, 当零件尺寸很小时, 第二项在标准公差因子中所占比例很小, 当尺寸较大时, 标准公差因子随尺寸的增大而加大, 公差值也相应增加。

基本尺寸 $> 500 \sim 3\,150\text{mm}$ 时, 标准规定标准公差因子 I 由下式计算:

$$I = 0.004D + 2.1 (\mu\text{m}) \quad (2-9)$$

对大尺寸而言, 与直径成正比的误差因素, 其影响增长很快, 而温度变化引起的误差随直径的加大呈线性增长, 所以 2-9 式采用线性关系。

2.3.2 公差等级

极限与配合国家标准在基本尺寸至 500mm 内, 将标准公差分为 20 个等级, 分别为 IT01, IT0, IT1, ..., IT18。其中 IT01 公差等级最高即公差值最小, IT18 公差等级最低即公差值最大。在基本尺寸大于 $500 \sim 3\,150\text{mm}$ 内, 分为 IT1 至 IT18 共 18 个公差等级。

标准公差由标准公差因子 i (I) 乘以与公差等级对应的系数 a 得到, 即

$$T = ai \quad (2-10)$$

式中 a —— 公差等级系数(见表 2-1)。

表 2-1 基本尺寸至 500mm 标准公差计算公式

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	$160 i$
IT0	$0.5+0.012D$	IT6	$10i$	IT13	$250 i$
IT1	$0.8+0.020D$	IT7	$16 i$	IT14	$400 i$
IT2	$(IT1)\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{1/4}$	IT8	$25 i$	IT15	$640 i$
IT3	$(IT1)\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{2/4}$	IT9	$40 i$	IT16	$1\ 000 i$
		IT10	$64 i$	IT17	$1\ 600 i$
IT4	$(IT1)\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{3/4}$	IT11	$100 i$	IT18	$2\ 500 i$

当基本尺寸一定时,公差等级系数 a 是决定标准公差大小的惟一参数。由表 2-1 可见,从 IT6~IT18 级,随着公差等级的降低,公差等级系数 a 按 R5 优先数系逐渐加大。对最高的三个公差等级 IT01, IT0 和 IT1,因加工误差很小,测量误差成为零件误差的主体,所以标准公差的计算采用线性关系。为了简化,IT2, IT3 和 IT4 三个等级的标准公差值在 IT1~IT5 级之间,按几何级数递增。

2.3.3 基本尺寸分段

根据表 2-1 给出的标准公差计算公式,每一基本尺寸都对应一个公差值。但在实际生产中基本尺寸很多,因而就会形成一个庞大的公差数值表,给生产带来不便,同时也不利于公差值的标准化和系列化。为了减少标准公差的数量,统一公差值,简化公差表格以便于实际应用,国标对基本尺寸进行了分段。

基本尺寸分主段落和中间段落。表 2-2 第一列为主段落。对 $>10\text{mm}$ 的每一主段落进行细分形成中间段落,读者可参见 GB/T 1800.3—1998 附录 A。尺寸分段后,对同一尺寸段内的所有基本尺寸,在相同的公差等级的情况下,规定相同的标准公差。计算各基本尺寸段的标准公差时,公式中的 D 用每一尺寸段首尾两个尺寸(D_1 , D_2)的几何平均值,即

$$D = \sqrt{D_1 \times D_2} \quad (2-11)$$

对 $\leq 3\text{mm}$ 的尺寸段,用 1mm 和 3mm 的几何平均值 $D = \sqrt{1 \times 3} = 1.732\text{mm}$ 计算标准公差。

例 2-3 基本尺寸为 45mm , 求 IT7=? IT8=?

解: 45mm 属于 $>30 \sim 50\text{mm}$ 尺寸段

几何平均值 $D = \sqrt{30 \times 50} \approx 38.730(\text{mm})$

标准公差因子 $i = 0.45\sqrt[3]{38.730} + 0.001 \times 38.730 \approx 1.561(\mu\text{m})$

标准公差数值 IT7 = $16 \times 1.561 = 24.976 \approx 25(\mu\text{m})$

IT8 = $25 \times 1.561 = 39.025 \approx 39(\mu\text{m})$

表 2-2 中的标准公差数值就是经过这样的计算,并按规定的尾数化整规则进行圆整后得出的。