

# 第1章 绪 论

## 教学重点

通过本章学习,掌握互换性的含义,认识互换性的意义,明确互换性的分类;掌握互换性、公差、测量技术和标准化之间的关系,了解优先数系的基本原理及其应用。

## 教学难点

互换性的含义与应用。

## 教学方法

讲授法、问题教学法。

## 1.1 互换性与公差的概念

### 1.1.1 互换性的概念

在机械工业中,互换性是指在同一规格的一批零部件中,任取其一,无须进行任何挑选、调整或附加修配就能装配到机器上,并且达到规定的功能要求。这样的一批零部件就称为具有互换性的零部件。互换性体现在产品生产的3个过程:零部件在制造时按同一规格要求,装配时不需要选择或附加修配,装配后能保证预定的使用性能要求。在日常生活或生产中,互换性的应用实例随处可见。例如,汽车、手表、缝纫机、家用电器等的零部件损坏后,只要更换相同规格的新零部件,便能恢复原有功能并继续使用。之所以这样方便,是因为这些零部件均具有能够彼此互相替换的性能,即具有互换性。

互换性给产品的设计、制造和使用维修都带来了很大的方便。

从设计方面看,按互换性进行设计,可以最大限度地采用标准件、通用件,大大减少计算、绘图等工作量,缩短设计周期,并有利于产品品种的多样化和计算机辅助设计。

从制造方面看,互换性有利于组织大规模专业化生产,有利于采用先进工艺和高效率的专用设备,以至用计算机辅助制造,有利于实现加工和装配过程的机械化、自动化,从而减轻工人的劳动强度,提高生产率,保证产品质量,降低生产成本。

从使用方面看,零件具有互换性,可以及时更换那些已经磨损或损坏了的零部件,减少了机器的维修时间和费用,保证机器能连续而持久地运转,提高了设备的利用率。

互换性对保证产品质量、提高生产率和增加经济效益具有重要意义。互换性不仅适用于大批量生产,而且也适用于单件小批量生产,互换性已成为现代机械制造业中一个普遍被遵守的原则。

### 1.1.2 公差的概念

零件在加工过程中,由于工艺系统各种原始误差的影响,会产生各种加工误差。要把同

一规格的一批零件的几何参数做得完全一致是不可能的,也没有必要。实践证明,只要把零件几何参数的误差控制在一定范围内,就能满足互换性的要求。

(1) 误差。误差是指加工完成后零件实际几何参数与理想几何参数的差异。

(2) 公差。公差是指允许实际零件几何参数的最大变动量,即允许尺寸、几何形状和相互位置等误差的最大变动范围。公差包括尺寸公差、形状公差、位置公差等,用来控制加工中的误差,以保证互换性的实现。

公差是设计人员根据产品使用性能和功能要求给定的。公差标准是实现零件的误差控制和保证互换性的基础。在设计机械产品时,合理规定公差十分重要。公差过大,不能保证产品性能要求;公差过小,则造成加工困难,生产成本增加。因此,在进行机械产品精度设计时,要力求获得最佳的技术经济效益。

(3) 检测。加工后的零件几何参数是否满足公差要求,需要通过技术测量即检测来判断。检测包含检验和测量。检验是指确定零件的几何参数是否在规定的极限范围内,并做出合格与否的判断,而不必得出被测量的具体数值。测量是指将被测量与作为计量单位的标准量进行比较,以确定被测量具体数值的过程。检测不仅用来评定产品质量,而且用于分析产生不合格品的原因,监督工艺过程,预防废品产生。若要提高产品质量,除了提高设计和加工精度,检测精度的提高也非常重要。

合理确定公差与正确进行检测,是保证产品质量、实现互换性生产的两个必不可少的条件和手段。

### 1.1.3 互换性的种类及应用

互换性可按不同方法来分类。

#### 1. 按互换参数范围或使用要求分类

按互换参数范围或使用要求分类,互换性可分为几何参数互换性和功能互换性。

(1) 几何参数互换性。是指零部件的尺寸、几何形状、位置、表面粗糙度等几何参数所具有互换性,几何参数还包括典型表面参数,如键、圆锥、螺纹、齿轮等参数。几何参数互换性又称为狭义互换性,本课程主要讨论几何参数互换性。

(2) 功能互换性。除了零部件的几何参数可互换,其物理性能、化学性能和力学性能参数都具有互换性,这类参数的互换性称为功能互换性,功能互换性又称为广义互换性。

#### 2. 按互换程度和条件分类

按互换程度和条件分类,互换性可分为完全互换性和不完全互换性。

(1) 完全互换性。若一批零部件在装配时无须分组、挑选、调整和修配,装配后就能满足预定的性能要求,称为完全互换性,又称为绝对互换性。例如,常用的、大批量生产的标准连接件和紧固件、各类滚动轴承等都具有完全互换性。

完全互换的优点是能做到零部件的完全互换和通用,为专业化生产和相互协作创造了条件,简化了修理工作,提高了经济效益。它的缺点是当整机装配精度要求较高、组成产品的零件较多时,造成加工困难,成本增高,甚至无法加工。为此,可采用不完全互换或修配的方法达到装配精度要求。

(2) 不完全互换性。是指零部件在装配时允许有附加条件的选择或调整(采用概率法、分组法或调整法等工艺措施),实现顺利装配并达到装配精度要求,又称为有限互换性。例如,当机器装配精度要求较高时,采用完全互换将使零件尺寸公差很小,加工困难,成本增加,有时甚至无法加工,这时可适当降低零件的制造精度,使之便于加工。而在零件完工后,通过测量将零件按实际尺寸的大小分为若干组,使同组零件间的尺寸差别减小,按对应组进行装配,大孔与大轴相配,小孔与小轴相配,仅同组内零件可以互换,组与组之间的零件不能互换。这样既可保证装配精度要求,又能解决加工难题,降低了加工成本。内燃机活塞销与活塞销孔装配时采用的分组法装配就是依照这个原理。此外,不完全互换还有概率法装配、调整法装配等。例如,对于大批量生产的减速器,在进行轴承盖装配时,通过更换不同厚度的垫片以保证装配精度要求,即调整法装配。

不完全互换的优点是在保证装配精度要求的前提下,能适当放宽零件制造公差,使得加工容易,制造成本降低。其主要缺点是降低了互换水平,不利于部件、机器的装配和维修。

装配时,必须进行附加修配或辅助加工的零件不具有互换性。

### 3. 按标准部件或机构来分类

按标准部件或机构来分类,互换性可分为内互换和外互换。

(1) 内互换。是指部件或机构内部组成零件间的互换性,如滚动轴承内、外圈滚道与滚动体的配合。

(2) 外互换。是指部件或机构与其他相配件的互换性,如滚动轴承内圈与轴颈的配合、外圈与轴承座孔的配合。

精度要求高时,内互换可采用不完全互换,而外互换一定要采用完全互换。

在产品生产过程中,究竟采用何种互换性,要在对产品精度和复杂程度、生产规模、生产设备、技术水平等因素进行综合评价之后,才能确定。通常,在产品阶段就要确定。当机器使用要求与制造水平、经济效益相协调时,优先采用完全互换性原则;当产品结构复杂、装配精度要求较高、采用完全互换性原则有困难且不经济时,在局部范围内可选用不完全互换。其中,概率法主要是用于因零件数量较多而影响装配精度的生产过程;分组法适合于批量较大且使用精度要求较高的结合件生产中;调整法应用最普遍;修配法一般只用于单件或小批量的生产过程。一般来说,不完全互换仅用于部件或机构的制造厂内部的装配,而厂际协作要求完全互换。

## 1.2 标准化与优先数系

### 1.2.1 标准与标准化

现代化生产的特点是品种多、规模大、分工细、协作多。为使社会生产有序地进行,必须通过标准化使产品规格品种简化,使分散的、局部的生产环节相互协调和统一,从而保证产品具有互换性。

#### 1. 标准

标准是对重复性事物和概念所做的统一规定,它以生产实践、科学试验和理论分析等为

基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据,在一定范围内具有强制性或推荐性的约束力。

标准按不同的级别颁发。我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

国家标准(代号为GB,其中,GB/T为推荐性国家标准代号,GB/Z为国家标准化指导性技术文件,是国家标准的补充)是指对全国经济、技术发展有重大意义,必须在全国范围内统一执行的标准。国家标准由国家质量技术监督局委托有关部门起草,经审批后再颁布;对没有可参照的国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术规范,可制定行业标准,如机械标准(代号为JB)、煤炭行业标准(代号为MB);对没有可参照的国家标准和行业标准而又需要在某个范围内统一的规范,可制定地方标准(代号为DB)或企业标准(代号为QB)。有的企业为了提高产品质量,强化竞争力,制定出了高于国家标准的“内控标准”。

国家标准和行业标准又分为强制性标准和推荐性标准。少量有关人身安全、健康、卫生及环境保护之类的标准属于强制性标准,国家将用法律、行政和经济等手段来维护强制性标准的实施。大量的标准(80%以上)属于推荐性标准,推荐性标准也应积极采用,因为标准是科学技术的结晶,是多年实践经验的总结,代表了先进的生产力,对生产具有普遍的指导意义。

按标准化对象的特性,标准分为基础标准、产品标准、方法标准、安全和环境保护标准。基础标准是针对生产中最一般的共性问题,依据普遍的规律性而制定的,具有广泛的指导意义。各种公差与配合标准、优先数系标准等都是基础标准。产品标准是对产品规格和质量所做的统一规定,方法标准是对设计、生产、验收过程中的重要程序、规则和方法等所做的规定。标准的范围广,种类多,涉及人类生活的各个方面,本课程研究的公差标准、检测器具和方法标准,大多属于国家基础标准。

## 2. 标准化

标准化是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制定、发布和实施标准,达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。

标准和标准化是两个不同的概念,但又有着不可分割的联系。标准化是制定及实施标准的全过程。没有标准,就没有标准化;反之,没有标准化,标准也就没有意义。

在国际上,为了促进世界各国在技术上的统一,由国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)等国际组织负责制定和颁布国际标准。此外,还有区域标准,是指世界某区域标准化团体颁布的标准或采用的技术规范,如欧洲标准化委员会(EN)、经济互助委员会标准化常设委员会(DB)所颁布的区域标准。国际标准属于推荐和指导性标准。我国自1978年恢复参加ISO组织后,参照国际标准制定和修订我国的国家标准成为我国重要的技术政策,为加快我国工业进步奠定了基础。修订的原则是,在立足我国生产实际的基础上向ISO靠拢,以利于加强我国在国际上的技术交流和产品互换。

标准化是组织现代化生产的重要手段,是实现互换性的必要前提,它对人类进步和科学技术发展起着巨大的推动作用。在科学技术快速发展的今天,标准化的必要性和效益越来越明显,标准化水平已成为衡量一个国家科技水平和管理水平的尺度之一,是现代化程度的一个重要标志。

采用国际标准已成为各国技术经济工作的普遍发展趋势,主要有以下原因。

(1) 产品的质量和数量的提高要依靠科学的进步。国外许多已经解决了的技术问题及先进科技成果,常集中反映在国际标准和国外先进标准中。采用国际标准是一种廉价的技术引进,

经认真分析,把它们作为依据,有计划、有目标地改进设计和制造工艺,配置一定的生产设备、工艺装备和检测手段,必将促进企业管理,建立正常的生产秩序,确保产品质量不断提高。

(2) 当前国际市场竞争非常激烈,如果不采用国际上普遍认可的技术标准,就生产不出高标准的产品,也很难在国际市场上拥有竞争力。

(3) 现代化生产的发展趋势是专业化协作替代一个厂或一个企业的全能式生产。协作范围已突破国家之间的界限,形成了全世界范围内的专业分工和生产协作。各国遵守和采用国际标准,这是在国际交流中消除技术壁垒的基本条件。

### 1.2.2 优先数和优先数系

工程上各种技术参数的简化、协调和统一是标准化的重要内容。各种产品的性能参数和尺寸规格参数都需要通过数值来表达,这些参数通常不是孤立的,一旦选定某个参数,这个数值就会按照一定规律向一切有关的参数传播。例如,螺栓的尺寸一经确定,将影响螺母的尺寸以及加工它们用的丝锥和板牙的尺寸、螺栓孔的尺寸以及加工螺栓孔用的钻头的尺寸、垫圈的尺寸、紧固螺母用的工具扳手的尺寸、检验用的量规的尺寸等。再如,纸张的大小将影响印刷、打印设备的相关参数。这种技术参数的传播扩散在生产实际中是极为普遍的现象。

由于数值如此不断关联、不断传播,因此产品的技术参数不能随意确定;否则,会导致规格品种繁多混乱的局面,给生产组织、协调配套以及使用维修带来困难。同一种产品的同一个参数还需要从大到小取不同的值,从而形成不同规格的产品系列。这个系列确定得是否合理,与所取的数值如何分挡、分级直接有关。为使产品的参数选择能遵守统一的规律,必须从参数选择一开始就将其纳入标准化轨道,对各种技术参数的数值做出统一规定。优先数和优先数系就是国际上统一的对各种技术参数进行简化、协调的一种科学的数值制度,要求工程设计和工业生产中尽可能采用。

#### 1. 优先数系的构成

优先数和优先数系是19世纪末由法国人查尔斯·雷诺(Charles Renard)首先提出的,后人为了纪念他,将优先数系称为Rr数系。国家标准GB/T 321—2005《优先数和优先数系》规定优先数系由一系列十进制等比数列构成,并规定了5个常用系列,代号为Rr( $r=5, 10, 20, 40, 80$ )。其中R5、R10、R20、R40这4个常用系列为基本系列,R80为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合。优先数系的公比见表1-1。

表 1-1 优先数系的公比

系列符号	R5	R10	R20	R40	R80
$r$	5	10	20	40	80
$q_r = \sqrt[r]{10}$	1.60	1.25	1.12	1.06	1.03

优先数系中的每一个值都是优先数。按公比计算得到的优先数的理论值(除10的整数幂外)一般都是无理数,工程上不能直接使用,实际应用的是经过圆整后的常用值和计算值。常用值经常使用所称的优先数,取5位有效数字;对计算值取5位有效数字,供精确计算用。表1-2中列出了1~10范围内基本系列的常用值和计算值,表1-3列出了补充系列的常用值。将这些值乘以10,100,...,或乘以0.1,0.01,...,即可向大于1或小于1的两边无限延伸,得到大于10或小于1的优先数。在同一优先数系中,每隔 $r$ 个数,项值增至10倍,即每个

十进制区间中有  $r$  个优先数。例如，R5 系列在 1~10 这十进制区间有 1,1.6,2.5,4,6.3 这 5 个优先数。

表 1-2 优先数系的基本系列（摘自 GB/T 321—2005）

常用值				计算值
R5	R10	R20	R40	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000
		1.06	1.0593	
		1.12	1.1220	
		1.18	1.1885	
		1.25	1.2589	
		1.32	1.3335	
		1.40	1.4125	
1.60	1.60	1.60	1.60	1.5849
		1.70	1.6788	
		1.80	1.7783	
		1.90	1.8836	
		2.00	1.9953	
		2.12	2.1135	
		2.24	2.2387	
2.50	2.50	2.50	2.50	2.5119
		2.65	2.6607	
		2.80	2.8184	
		3.00	2.9854	
		3.15	3.1623	
		3.35	3.3497	
		3.55	3.5481	
4.00	4.00	4.00	4.00	3.9811
		4.25	4.2170	
		4.50	4.4668	
		4.75	4.7315	
		5.00	5.0119	
		5.30	5.3088	
		5.60	5.6234	
6.30	6.30	6.30	6.30	6.3096
		6.70	6.6834	
		7.10	7.0795	
		7.50	7.4980	
		8.00	7.9433	
		8.50	8.4140	
		9.00	8.9125	
10.00	10.00	9.50	9.4406	
		10.00	10.0000	

表 1-3 优先数系的补充系列

R80 系列常用值									
1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00
1.03	1.28	1.65	2.06	2.58	3.25	4.12	5.15	6.50	8.25
1.06	1.32	1.70	2.12	2.65	3.35	4.25	5.30	6.70	8.50
1.09	1.36	1.75	2.18	2.72	3.45	4.37	5.45	6.90	8.75
1.12	1.40	1.80	2.24	2.80	3.55	4.50	5.60	7.10	9.00
1.15	1.45	1.85	2.30	2.90	3.65	4.62	5.80	7.30	9.25
1.18	1.50	1.90	2.35	3.00	3.75	4.75	6.00	7.50	9.50
1.22	1.55	1.95	2.43	3.07	3.85	4.87	6.15	7.75	9.75

## 2. 优先数与优先数系的特点

从优先数系的基本系列常用值表格中,可看出优先数系的主要特点:在同一系列中,优先数的积、商、乘方仍是优先数;优先数系具有相关性,即在下一系列优先数系中隔项取值,就得到上一系列的优先数系;反之,在上一系列中插入比例中项,就得到下一系列。例如,在 R40 系列中隔项取值,就得到 R20 系列;在 R5 系列中插入比例中项,就得到 R10 系列。采用等比数列作为优先数,可使相邻两个优先数的相对差相同。优先数系可以放在分母中,组成其倒数为优先数系的数列。

### 3. 优先数系的派生系列和复合系列

由于生产需要,优先数系还有变形系列,即派生系列和复合系列。

(1) 派生系列。在  $R_r$  系列中,按一定的项差  $P$  隔项取值组成派生系列,即  $R_r/P$  系列。如在 R10 系列中按项差  $P=3$ (每隔两项)取值,则构成 R10/3 系列,其公比为  $q_{10/3} = (\sqrt[10]{10})^3 = 2$ 。例如,1, 2, 4, 8, ...; 1.25, 2.5, 5, 10, ...等均属于该系列,即常用的倍数系列。

(2) 复合系列。由若干公比系列混合构成的多公比系列,例如,10, 16, 25, 35.5, 50, 71, 100, 125, 160 这一系列,它是分别由 R5, R20/3, R10 这 3 种系列构成的复合系列。

派生系列和复合系列扩大了优先数系的适应性。

## 4. 优先数系的应用

(1) 优先数系用于产品几何参数、性能参数的系列化。通常,一般机械的主要参数按 R5 或 R10 系列选取。例如,立式车床主轴直径、专用工具的主要参数都按 R10 系列选取,通用型材、零件及工具的尺寸和铸件壁厚等按 R20 系列选取,锻压机床吨位采用 R5 系列。

(2) 优先数系用于产品质量指标分级。在本课程所涉及的有关标准里,诸如尺寸分段、公差分级及表面粗糙度参数系列等,基本上采用优先数系。

选用基本系列时,应遵守先疏后密的规则,即按 R5、R10、R20、R40 的顺序选用,优先选用公比较大的系列,以免规格过多。当基本系列不能满足要求时,可选用派生系列。注意,应优先选用公比较大和延伸项含有项值 1 的派生系列。根据经济性和需要量等不同条件,还可分段选用最合适的系列,以复合系列的形式组成最佳系列。

国家标准规定的优先数系分档合理、疏密均匀、运算方便,简单易记,有广泛的适用性。特别是对于需要分等、分档的参数指标,采用优先数系可以防止数值传播的混乱。优先数系

不仅适用于标准的制定,也适用于标准制定前的规划、设计,从而把产品的生产从一开始就引向科学的标准化轨道。

## 1.3 本课程的性质与特点

### 1.3.1 本课程的性质

本课程是机械类专业必修的重要技术基础课,它包含几何量精度设计和误差检测两方面知识,主要研究与几何量精度设计和误差检测这两方面相关的国家标准内容。它与机械设计、机械制造、质量控制等方面知识密切相关,是联系“机械设计”“机械制造工艺学”“机械制造装备设计”等设计课程和工艺课程及其课程设计的纽带,是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁。

学生学完本课程后,应该达到如下基本要求。

- (1) 掌握标准化和互换性的基本概念及有关的基本术语和定义。
- (2) 基本掌握几何量公差标准的主要内容、特点和应用原则。
- (3) 能正确使用本课程提供的公差表格。
- (4) 初步学会根据机器和零件的功能要求选用公差与配合,并能正确标注图样。
- (5) 建立技术测量的基本概念,了解基本测量原理与方法,初步学会使用常用计量器具;掌握分析测量误差与处理测量结果的方法,学会设计光滑极限量规。

### 1.3.2 本课程的特点

本课程涉及的术语及定义多、符号代号多、标准与规定多、叙述性内容多,而逻辑计算和推理较少。学习时容易使人感觉枯燥繁杂、运用困难。为学好本课程,要求学生课前全面预习,课堂认真听讲,课后及时复习,重视理解和运用。教师讲课时应以基础标准和测量技术为核心,以机械精度设计应用能力的培养为目标,强调理论教学与实践教学并重,更多引用工程设计实例,提高学生的主动学习和设计实践的能力。

本课程的任务在于使学生获得机械工程技术人员所必须具备的机械精度设计方面的基本知识和技能,这是学生形成工程思维方式的开端,是真正读懂设计意图和实现设计目标的基础,具有很强的应用性和实践性。后续课程的教学和实际工作锻炼,将使学生进一步加深理解和熟练掌握本课程的内容。

## 本章小结

本章主要讲述互换性原理和应用,围绕标准、标准化和测量技术学习误差和公差的关系,学习优先数系的构成和选用。互换性原则是现代化工业生产的基础技术经济原则,并贯穿于本课程的始终。标准化是实现互换性的前提,只有按一定的标准进行设计、制造和检测,才能实现互换性。



---

## 习题与思考题

---

- 1-1 什么是互换性？它在机械工业中有何重要意义？
- 1-2 完全互换与不完全互换有何区别？各应用于什么场合？
- 1-3 公差、检测、标准化与互换性有什么关系？
- 1-4 什么是优先数系？如何选用优先数系？
- 1-5 判断下列说法是否正确。
- (1) 互换性是针对大批量生产提出的，对于单件生产，零件没有互换性可言。
  - (2) 为了实现互换性，同一规格零件的几何参数应该完全一致。
  - (3) 优先数系各系列之间没有联系，相互独立。
- 1-6 下面两列数据属于哪种数系？
- (1) 电动机转速（单位为 r/min）：375，750，1500，3000，...
  - (2) 摇臂钻床的主参数（最大钻孔直径，单位为 mm）：25，40，63，80，100，125 等。