

# 第 1 章 概 论

## 【能力目标】

1. 明确本课程的性质、研究对象与基本要求。
2. 识别完全互换和不完全互换在工程实际中的具体应用。

## 【学习目标】

1. 理解互换性的含义及其种类。
2. 掌握优先数系的优先顺序及其应用。

## 【学习重点和难点】

1. 本课程的研究对象、任务及要求。
2. 掌握互换性和标准化的概念。
3. 掌握优先数系的优先顺序以及选取优先数的方法。

## 【知识梳理】

GB/T 20000.1—2014《标准化工作指南 第 1 部分：标准化和相关活动的通用术语》

GB/T 321—2005《优先数和优先数系》

## 1.1 互换性概述

### 1.1.1 互换性的起源

随着机械行业的发展和科学技术水平的提高,在人类的日常工作和生活中需要各式各样物美价廉的技术装备和机械电子产品。而组成这些技术装备和机械电子产品的各个零(部)件,在现代化的机械产品设计、制造和使用过程中普遍遵守一个原则,即“互换性”原则。

互换性由来已久,其原理始于兵器制造。中国早在战国时期(公元前 475 年—前 221 年)生产的兵器便符合互换性的要求。西安秦始皇陵兵马俑坑出土的大量弩机(当时的一种远射程的弓箭)的组成零件都具有互换性。这些零件是青铜制品,其中方头圆柱销和销孔已能保证一定的间隙配合。18 世纪初,美国批量生产的火枪实现了零件互换。20 世纪初,汽车工业迅速发展,形成了现代化大工业生产,由于批量大和零部件品种多,要求组织专业化集中生产和广泛的协作。至此,互换性生产由军火制造行业扩大到了一般机械制造行业。而现代的互换性生产已经进入一个全新阶段。

### 1.1.2 互换性的含义

所谓的“互换性”是指在机械产品装配时,从制成的同一规格的零(部)件中任意取一件,无须进行任何辅助工作(挑选、调整或修配等),就能与其他零(部)件安装在一起而组成一台机械产品,并且达到预定的使用功能要求。

互换性已成为现代机械制造业中一个普遍遵守的原则,在生产实际中应用颇广。例如自行车的螺钉掉了,购买一个相同规格的螺钉装上后就能照常使用;手机的显示屏坏了,购买一款相同型号的显示屏装上后就能正常使用;家用缝纫机的传动带失效了,买一条相同型号的传动带换上后就能照常使用了。

### 1.1.3 互换性的种类

#### 1. 按照互换性的程度划分

按照互换性的程度,可以将其分为完全互换(也称绝对互换)和不完全互换(也称有限互换)两类。

(1) 完全互换:同种零(部)件加工完成后,无须经过选择、调整或修配等辅助处理,便可顺利装配,并在功能上达到使用性能的要求。在大批量生产中,往往采用具有完全互换性的零件,如常见的螺栓、螺母、滚动轴承等标准件。

(2) 不完全互换:在同一规格的零(部)件中,经过分组,在组内具有互换性。在不完全互换中,按实现的方法又可分为分组互换、调整互换和修配互换3种。

完全互换的优点是零(部)件完全互换、通用,这为专业化生产和相互协作创造了条件,简化了修整工作,从而提高了经济性。其主要缺点是:当组成产品的零件较多、整机精度要求较高时,按此原则分配到每一个零件上的公差必然较小,使其加工制造困难、成本增高。不完全互换的优点是在保证装配、配合功能要求的前提下,能适当放宽制造公差,使得加工容易,降低了零件的制造成本。装配时,通过采取一些措施,可获得质量较高的产品。其主要缺点是:降低了互换性水平,不利于部件、机器的装配维修。

#### 2. 按照使用场合划分

对于标准部件或非标准机构,互换性可分为外互换和内互换两类。外互换是指标准部件与机构之间配合的互换性。内互换是指标准部件内部各零件之间的互换性。

**【典型实例 1-1】** 分析图 1-1 所示向心球轴承 6205/P6 的互换性。

**解:** 滚动轴承外圈外径和箱体孔直径的配合尺寸以及内圈内径和轴颈直径的配合尺寸(见图 1-1 中  $\phi 52\text{JS}7$  和  $\phi 25\text{j}6$  等)均采用完全互换;轴承内、外圈滚道的直径与滚动体直径的结合尺寸,因其装配精度很高,则采用分组互换,即不完全互换。

滚动轴承内、外圈的滚道直径与滚动体直径的结合尺寸为内互换;而轴承与轴颈、箱体孔直径的配合尺寸(见图 1-1 中  $\phi 52\text{JS}7$  和  $\phi 25\text{j}6$ )属于外互换。



## 1.2 标准化和优先数系

在机械制造中,标准化是广泛实现互换性生产的前提,而公差与配合等互换性标准是重要的基础标准。现代制造业的生产特点是规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高。为了适应生产中各个部门的协调和各生产环节的衔接,必须有一种手段,使分散的、局部的生产部门和生产环节保持必要的统一,成为一个有机的整体,以实现互换性生产。标准和标准化是联系这种关系的主要途径和最有效的手段,而标准化又是实现互换性生产的基础。

### 1.2.1 标准与标准化的含义

在国家标准 GB/T 20000.1—2014《标准化工作指南 第1部分:标准化和相关活动的通用术语》中,把“标准”(standard)定义为:通过标准化活动,按照规定的程序经协商一致制定,为各种活动或其结果提供规则、指南或特性,供共同使用和重复使用的文件。“标准化”(standardization)的定义是:为了在既定范围内获得最佳秩序,促进共同效益,对现实问题或潜在问题确定共同使用和重复使用的条款以及编制、发布和应用文件的活动。

#### 1. 标准化的意义

当今,任何产品的组成零件都可以在不同车间、不同工厂、不同地区乃至不同国家生产和协作完成。据统计,参加阿波罗宇宙飞船研制的单位、公司有 20 000 多家,大学和研究所 120 多所,涉及 42 万人次。显然,产品在生产过程中都要依赖各方面的工作人员以及有关企业,提供技术、原料、动力、设备、配件、协作件和工具等的支持,否则,生产就会中断。生产越发展,生产的社会化程度越高,企业之间的联系就越密切。为了使各个独立的、分散的工人、工业部门或工厂企业之间保持必要的技术协调和统一,必须有一种手段,这就是“标准化”。为了达到上述目的,关键的工作是加强标准化与质量管理。

#### 2. 标准的分类

标准可以按不同的方法分类。标准按照其性质,可以分为技术标准、工作标准和管理标准。技术标准是指根据生产技术活动的经验和总结,作为技术上共同遵守的法规而制定的各项标准。工作标准是指对工作范围、构成、程序、要求、效果和检查方法等所作的规定。管理标准是指对标准化领域中用于协调、统一和管理所制定的标准。

技术标准按照标准化对象的特征,可以分为以下几类:

(1) 基础标准,即以标准化共性要求和前提条件为对象的标准。它是为了保证产品的结构、功能和制造质量而制定的,一般工程技术人员必须采用的通用性标准,也是制定其他标准时可依据的标准。计量单位、术语、概念、符号、数系、制图和技术通则标准,以及公差与配合标准等,均属于基础标准范畴。这类标准是产品设计和制造中必须采用的技术数据和工程语言,也是精度设计和检测的依据。国际标准化组织 (ISO) 和各国标准化机构很重视基础标准的制定工作。

(2) 产品标准,即为保证产品的适用性而对产品必须达到的某些或全部要求所制定的标准。其主要内容有:产品的适用范围、技术要求、主要性能、验收规则以及产品的包装、运转和储存方面的要求等。

(3) 方法标准,即以试验、检查、分析、抽样、统计、计算、测定、作业等各种方法为对象而制定的标准。如与产品质量鉴定有关的方法标准、作业方法标准、管理方法标准等。

(4) 安全、卫生与环境保护标准。以保护人和物的安全为目的而制定的标准称为安全标准;为保护人的健康而对食品、医药及其他方面的卫生要求制定的标准称为卫生标准;为保护人身健康、保护社会物质财富、保护环境和维持生态平衡而对大气、水、土壤、噪声、振动等环境质量、污染源、监测方法或满足其他环境保护方面要求所制定的标准称为环境保护标准。

标准的分类如图 1-2 所示。



图 1-2 标准分类

## 1.2.2 优先数和优先数系

为了满足不同用户的不同要求,在产品的设计、制造和使用中,产品的性能参数、尺寸规格参数等均须通过数值表达。同一品种在同一参数还要从大到小取不同的值,从而形成不同规格的产品系列。由于产品参数数值具有扩散传播的特性,如一定直径的螺栓将会扩散传播到螺母尺寸、螺栓检验环规尺寸、螺母检验塞规尺寸以及加工螺纹用的板牙和丝锥尺寸、紧固用的扳手等,因此,产品及各种产品系列确定得是否合理直接影响组织生产、协作配套、使用维修等方面的成效与费用。而这个系列确定得是否合理与所取数值如何分档、分级有直接关系。优先数和优先数系就是一种科学的数值制度,它适合于各种数值的分级,是国际上统一的数值分级制度。

一个连续的数值范围(如 1~1 000),可以按等差级数(即算术级数)分级,也可以按等比级数(即几何级数)分级。按等差级数分级,例如分为 1,2,3,4,⋯,1 000(间隔为 1),也可以分为 1,1.1,1.2,1.3,1.4,⋯,1 000(间隔为 0.1)等;按等比级数分级,例如可以分为 1,1.6,2.5,4,6.3,10,⋯,1 000(公比约为 1.6)和 1,1.25,1.6,2,2.5,3.15,4,5,6.3,8,

10, …, 1 000(公比约为 1.25)等。

按照等差级数分级,其各相邻项的绝对差相等,但其相对差不等,而且变化很大。同时,按等差级数分级的参数,在进行工程级数运算之后,其结果往往不再是等差级数。如相差为 1 的数列,1 与 2 之间的相对差为 100%,而 100 与 101 之间的相对差仅为 1%,数值越大,相邻项的相对差越小。如半径为  $r$  的圆钢材,如果其直径按等差级数分档,则其横截面面积  $\pi r^2$  的数列就不再是等差数列了。

按照等比级数分级,其各相邻项的绝对差不等且变化很大,但其相对差相等。这样的参数经过公差级数运算后,其结果形成的数列仍为等比级数。例如,首项为 1(即  $q^0$ ),公比为  $q$  的数列为  $q^0, q^1, q^2, q^3, \dots, q^n$ ,其各相邻项的相对差均为  $(q-1) \times 100\%$ ,当被作为圆钢材半径  $r$  的系列时,则其横截面面积  $\pi r^2$  的数列仍为等比数列。

经验与统计资料表明,工业产品的参数系列,从最小到最大一般分布较宽,以适应大范围的需求,但分级又不必过密,最好按等比级数分级。为了协调统一,国际上明确了一种数值分级制度,能以较少的分级数满足广泛的需要,使数值传播更有规律,更好地反映级间的差别。它适合各种各样的需求,广泛地应用于标准的制定,也应用于标准制定前的规划、设计,从一开始就把产品品种的发展引入科学的标准化轨道。

《优先数和优先数系》(GB/T 321—2005)中的优先数系是一种十进制的近似等比数列,其代号为  $R_r$ ,数列中每项的数值称为优先数。 $R$  是优先数系创始人 Renard 的名字的第一个字母, $r$  代表 5,10,20,40 和 80 等数字,其对应的等比数列的公比为  $q_r = \sqrt[r]{10}$ ,其实质是:在同一个等比数列中, $R$  项的后项与前项理论值的比值为 10。可表达为:若首项为  $a$ ,则其余各项依顺序为  $aq^1, aq^2, aq^3, \dots, aq^n$ ,即  $a_i = aq^i$ (其中  $i=1, 2, \dots$ )。

标准规定了 5 种优先数系的公比,即 R5 数系,公比为  $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$ ; R10 数系,公比为  $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$ ; R20 数系,公比为  $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$ ; R40 数系,公比为  $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$ ; R80 数系,公比为  $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

其中,R5,R10,R20,R40 为基本系列,是常用的数系;R80 为补充系列。GB/T 321—2005 列出了基本系列、补充系列的常用值,其中基本系列的常用值见表 1-1。此外,由于生产的需要,还有像  $R_r/p$  的变形、派生系列和复合系列。派生系列指从  $R_r$  系列中按一定的项差  $p$  取值所构成的系列。如 R10/3,即是在 R10 的数列中,按每隔 2 项取 1 项组成的数列,1,2,4,8, …, 25,35.5,50,71,100,125,160, …,这一系列是由 R5,R20/3 和 R10 三种系列构成的复合系列。

优先数系具有一系列的优点:相邻两项的相对差相同,疏密适当,前后衔接不间断,简单易记,运用方便。工程技术人员应在一切标准化领域中尽可能地采用优先数系列中的优先数,以达到对各种技术参数协调、简化和统一的目的。

为了满足技术与经济的要求,应当按照 R5,R10,R20,R40 的顺序,优先选用公比较大的基本系列,而且允许采用补充系列 R80。

在确定零件的尺寸时,应尽量采用优先数系的常用值。在图 1-1 所示的台钻设计中,经强度设计公式估算轴的最小直径为 16.98 mm,则该处直径的公称尺寸按优先数系取值,即该处直径的公称尺寸应为 17 mm(为 R40 系列)。

表 1-1 优先数系基本系列的常用值

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	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	3.15	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	8.00
				1.70				3.75					
			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						

此外,在几何量精度设计中均应采用最新颁布的几何量公差等国家标准,实现全国范围内的公差标准化。

### 1.3 计量技术发展的新趋势

近 10 余年来,从测量领域看,一部分测量仪器在自动化方面有了明显的进步;但从整个行业来看,测量仪器的进展远远滞后于机床行业,由此往往造成工序间的不平衡,众多厂家推出了提高检测速度、精度及性能等多样化的不同产品,有的仪器则是综合了多种测量工具的功能。例如,汽车车身或泵叶轮等大型零件的形状测量大都要求采用高速获取三维位置数据的测试手段,迄今主要使用带有关节臂或水平臂的接触式测量机进行测量。但接触式测量方法在测量大型零件时,会受到诸多限制,不利于提高测量效率。针对这种情况,又研发了多种非接触式测量方法,可对上述大型零件进行高精度、高速测量。日本东京精密公司开发了一种新型三坐标测量机,这是一种可移动式三维光学测量装置,它利用干涉条纹图像和三角测量方式进行非接触测量。机内装有三台摄像机,可对 220 mm(纵向)×330 mm(横向)视野内的物体位置坐标进行每秒最大密度为 4 点/mm<sup>2</sup> 的扫描,30~40 s 即可计算处理完毕。该机应用了一种新型数据处理技术,例如,按 0.5 mm 间距测量相当于 1 000 mm×1 500 mm 的汽车车门数据,包含各个测量工序在内,只需 40 min 即可完成测量作业,并对数据进行解析处理。这种可进行高精度、高速测量的技术,可应用于设计模型时的详细数值化等逆向工程技术领域。过去需使用多台测量机才能完成的测量作业,现在用一台多功能测量机即可完成,因此,可大幅度提高测量作业的效率。

### 1.3.1 现代测量技术的发展趋势

#### 1. 精密化

科学技术向微小领域发展,由毫米级、微米级继而涉足纳米级,即微/纳米技术。微/纳米技术研究和探测物质结构的功能尺寸与分辨能力达到了微米至纳米级尺度,使人类在改造自然方面深入到原子、分子级的纳米层次。纳米级加工技术可分为加工精度和加工尺度两个方面。加工精度由 21 世纪初的最高精度微米级发展到现有的几个纳米数量级。具有微米及亚微米测量精度的几何量与表面形貌测量技术已经比较成熟,如 ZEISSPRISMO 机型三坐标测量机的精度高达  $0.5\ \mu\text{m}$ 。

#### 2. 自动化

在线测量机测量技术以及工位量仪、主动量仪是大批量生产时保证加工质量的重要手段,使计量型仪器进入生产现场、融入生产线,监控生产过程。因此,对仪器的高可靠性、高效率、高精度以及质量统计功能、故障诊断功能提出了新的要求,而近年来开发的各种在线测量机器逐渐满足了这些要求。

#### 3. 智能化

智能化测量技术是数字化制造技术的一个重要的、不可或缺的组成部分;智能化测量仪器、智能化量具产品的不断丰富和发展,适合并满足了生产现场不断提高的使用要求。

#### 4. 集成化

各测量机制造商独立开发的不同软件系统往往互不兼容,也因知识产权的问题,这些工程软件是封闭的。系统集成技术主要解决不同软件包之间的通信协议和软件翻译接口问题。利用系统集成技术可以把 CAD,CAM 在线工作方式集成在一起,形成数学实物仿形制造系统,大大缩短了模具制造及产品仿制的生产周期。

#### 5. 经济化

在制造业中,质量保证的理想目标是实现生产的零废品制造。在实现这一目标的过程中,精密测量技术的作用和重要意义是不言而喻的。零部件的加工质量、整机的装配质量都与加工设备、测量设备以及测试信息的分析处理等有关,在加工工件前,应事先检测机床。如何快速准确地对加工设备进行校验,获得机床的精度状况,这对大幅度减少返工,甚至消除返工是非常有益的。生产过程中要求对工件进行在线测量或对工件进行 100% 检测,这就需要研究适合动态或准动态的测试设备,甚至能集成到加工设备中的特殊测试设备,做到实时测试,根据测试结果不断修改工艺参数,对加工设备进行补充调整或回馈控制。因此,实现零废品生产,利用现代精密测量技术加工机械零部件是提高经济性的必要途径。

#### 6. 非接触化

非接触测试技术很多,特别是视觉测试技术。现代视觉理论和技术的发展,不仅在于模拟人眼能完成的功能,更重要的是它能完成人眼所不能胜任的工作,所以视觉技术作为当今的最新技术,在电子、光学和计算机等技术不断成熟和完善的基础上得到迅速发展。视觉测试技术是建立在计算机视觉研究基础上的一门新兴测试技术。与计算机视觉研究的视觉模式识别、视觉理解等内容不同,视觉测试技术重点研究物体的几何尺寸及物体的位置测量,如汽车车身三维尺寸的测量、模具等三维面形的快速测量、大型工件的同轴度和共面性的测量等。它可以广泛应用于在线测量、逆向工程等主动、实时测量过程。视觉测试技术在国外

发展很快,早在 20 世纪 80 年代,美国国家标准局就预计,检测任务的 90%将由视觉测试系统来完成。在 1999 年 10 月的北京国际机床博览会上已见到国外利用视觉检测技术研制的仪器,如流动式光学三坐标测量机、高速高精度数字化扫描系统、非接触式光学三坐标测量机等先进仪器。

### 7. 多功能化

多传感器融合技术是解决测量过程中测量信息获取的方法,它可以提高测量信息的准确性。由于多传感器是以不同的方法或从不同的角度获取信息的,因此可以通过它们之间的信息融合去伪存真,提高测量精度。

## 1.3.2 三坐标测量技术的发展趋势

三坐标测量机的发展可划分为三代:第一代,世界上第一台测量机是由英国的 FERRANTI 公司于 1959 年研制成功的。当时的测量方式是测头接触工件后,靠脚踏板来记录当前坐标值,然后使用计算器来计算元素间的位置关系。1964 年,瑞士 SIP 公司开始使用软件来计算两点间的距离,开始了利用软件进行测量数据计算的时代。第二代,随着计算机技术的飞速发展,测量机技术进入了 CNC 控制机时代,世界上第一台 CNC 式三坐标测量机(UMM500)可以完成复杂机械零件的测量和空间自由曲线曲面的测量,改善了人机界面,使用专门的测量语言,提高了测量程序的开发效率。第三代,从 20 世纪 90 年代开始,随着工业制造行业向集成化、柔性化和信息化发展,产品的设计、制造和检测趋向一体化,这就对作为检测设备的三坐标测量机提出了更高的要求,从而提出了第三代测量机的概念。其特点是:具有与外界设备通信的功能;具有与 CAD 系统直接对话的标准数据协议格式;硬件电路趋于集成化,并以计算机扩展卡的形式成为计算机的大型外部设备。

## 1.3.3 传统测量技术与三坐标测量技术的区别

在传统的机械检测领域,游标卡尺、千分尺、螺旋测微仪等工具是手工检测机械零件或装配件的主要工具。这种检测方式的优点是成本低、检测方便、易学易用,但缺点是检测精度不高、检测效率低、对于复杂零件的检测无能为力。三坐标测量机的特点是高精度(达到微米级)、高效率(数十倍,甚至数百倍于传统测量手段)、万能性(可代替多种长度计量仪器)。因而多用于产品测绘,复杂型面检测,工、夹具测量,研制过程中间测量,CNC 机床或柔性生产线在线测量等方面;只要测量机的测头能够瞄准(或感受)到的地方(接触式或非接触式均可),就可测出它们的几何尺寸和相互位置关系,并借助于测量软件和计算机完成数据处理。这种三维测量方法具有极大的万能性,同时还可方便地进行数据处理过程和过程控制。因而不仅在精密检测和质量控制上扮演着重要角色,同时在设计、生产过程控制、模具制造方面发挥着越来越重要的作用,并在汽车工业、航天航空、航海、机床工具、国防军工、电子、模具等领域得到广泛应用。

## 1.4 本课程的性质、研究对象与任务

### 1.4.1 本课程的性质与任务

在“互换性与技术测量”课程中,误差是前提、是问题;公差是规范、是标准;技术测量

是桥梁、是手段；精度设计是任务、是目标。本门课程的研究对象始终以误差、公差及技术测量为主线，论述和研究机器(零件)的精度设计问题。

“互换性与技术测量”课程的任务，就是通过对机器和零件的误差分析，给出其合理的公差要求(对机器和零件进行精度设计)，并正确表达在设计图样中。通过技术测量，保证加工出合格的零件，装配出合格的机器，并保证加工出来的零件具有一定的互换性。

### 1.4.2 本课程在机械类课程中的位置

高等职业院校都是按照专业来培养人才的。不同的专业有不同的教学环节和课程设置，各个教学环节和课程设置对专业培养目标至关重要。从专业的角度来说，“互换性与技术测量”课程是机械类专业的一门技术基础课程，是机械类课程中各教学环节承上启下的重要连接点：它上承“机械制图”“金工实习”和“机械设计基础”等课程和环节，下启“机械课程设计”“专业课程设计”和“毕业设计”等教学环节。同时，也是学生毕业后工作的重要技术和技能基础。

#### 【归纳与总结】

1. 重点理解互换性的含义及其种类。能够区别完全互换和不完全互换在工程实际中的具体应用。
2. 理解本课程的性质、研究对象与任务。
3. 掌握优先数系的优先顺序，学会如何选用优先数系。

## 1.5 课后微训

### 1. 名词解释训练

- (1) 互换性的含义是什么？
- (2) 完全互换性的含义是什么？

### 2. 填空训练

- (1) 按照互换性的范围，可以将其分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- (2) 在不完全互换性中，按实现的方法又可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

### 3. 综合应用训练

- (1) 现代测量技术的发展趋势有哪些？
- (2) 优先数系的基本系列有哪些？
- (3) 本课程的性质与任务是什么？