

# 第 1 篇 理论教学篇

## 项目 1 互 换 性



知识点	知识重点	互换性的概念、分类, 优先数
	知识难点	实现互换性的条件
	必须掌握的理论知识	互换性、公差、加工误差、检测、标准和标准化
教学方法	推荐教学方法	任务驱动教学法
	推荐学习方法	课堂: 听课+互动+技能训练 课外: 了解生活或生产中零件互换性的实例
技能训练	理论	练习题 1
	实践	—

### 任务 齿轮减速器是如何实现互换性原则的



齿轮减速器是一种常见的机械传动装置, 如图 1-1 所示, 试对该装置如何实现互换性原则进行阐述。

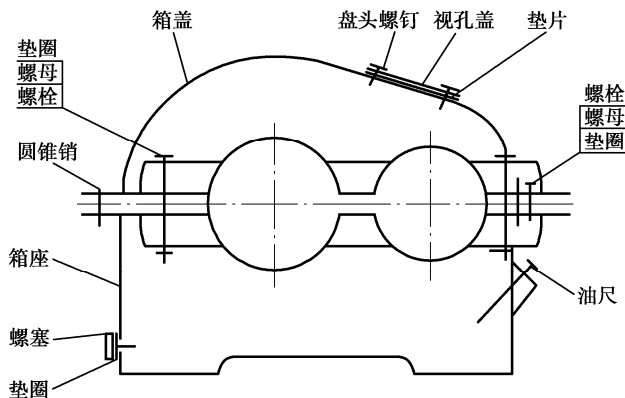


图 1-1 一级齿轮减速器结构示意图

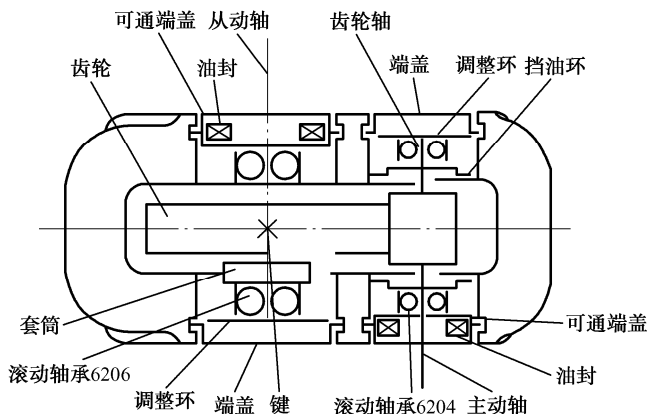


图 1-1 一级齿轮减速器结构示意图(续)



## 相 关 知 识

### 1.1.1 互换性

#### 1. 什么是互换性

举例：组成现代技术装置和日用机电产品的各种零件（部件），如电灯泡、自行车、手表、缝纫机上的零件，一批规格为 M10-6H 的螺母与 M10-6h 螺栓的自由旋合等。在现代化生产中，一般应遵守互换性原则。

定义：在机械制造业中，互换性是指同一规格的一批零件，任取其一，不需任何挑选和修配就能装在机器上，并能满足其使用性能要求，具有上述要求的零部件称为具有互换性的零部件。

#### 【特别提示】

互换性应同时具备三个条件：一是装配前不需挑选；二是装配时不经修理或调配；三是装配后能满足使用性能要求。

#### 2. 互换性的种类

就机械产品而言，互换性可分为功能互换、几何参数互换和物理性能互换、力学性能互换等。本课程只研究几何参数互换，几何参数互换指零部件的尺寸、形状、位置及表面结构参数的互换。

互换性按互换程度不同分为完全互换性和不完全互换性两种。

##### (1) 完全互换性

特点：不限定互换范围，以零部件装配或更换时不需要挑选或修配为条件，如日常生活中所用电灯泡，主要适用于大批量生产或厂外协作。

##### (2) 不完全互换性（也称有限互换）

特点：因特殊原因，只允许零件在一定范围内互换。如机器上某部位精度越高，相配零件精度要求就越高，加工困难，制造成本高。为此，生产中往往把零件的精度适当降低，以



便于制造,然后再根据实测尺寸的大小,将制成的相配零件分成若干组,使每组内的尺寸差别较小,再把相应的零件进行装配。除分组互换法外,还有修配法、调整法,主要适用于小批量和单件生产或在制造厂内部对部件或机构的装配时采用。

### 【特别提示】

图 1-1 中减速器多为批量生产,其中所选标准件(轴承、键、销、螺栓、密封圈、垫片等)由专业化标准件厂生产,非标准零部件(箱座、箱盖、输入轴、输出轴、端盖和套筒等)一般由各机器制造厂加工,各个合格零件在装配车间或装配生产线上,不需选择、修配即可装配成满足预定使用功能的减速器。

## 3. 互换性在机械制造中的作用

(1) 在设计方面:有利于最大限度采用标准件、通用件和标准部件,大大简化绘图和计算工作,缩短设计周期,便于计算机辅助设计(CAD)。

(2) 在制造方面:有利于组织专业化生产,采用先进工艺和高效率的专用设备,提高生产效率。

(3) 在使用、维修方面:可以减少机器的维修时间和费用,保证机器能连续持久地运转,提高了机器的使用寿命。

总之,互换性在提高产品质量和可靠性、提高经济效益等方面均具有重大意义。

### 1.1.2 实现互换性的条件

若制成的一批零件实际尺寸数值等于理论值,即这些零件完全相同,虽具有互换性,但在生产上不可能实现,且没有必要。因生产中只要求制成零件的实际参数值变动不大,保证零件充分近似即可。要使零件具有互换性,就应按“公差”制造。加工就会引入加工误差,判断加工误差有没有超出公差,就应开展“检测”工作。而设计人员、加工人员和检测人员应当遵循共同的公差标准,所以标准化工作尤为重要。

### 【特别提示】

公差、检测及标准化是保证互换性生产得以实现的条件。

## 1. 加工误差、公差及检测

### 1) 加工误差

零件在加工过程中不可能做得绝对准确,总是不可避免地会产生误差,这样的误差称为加工误差(几何量误差)。实际上,只要零部件的几何量误差在规定的范围内变动,就能满足互换性的要求。几何量误差包括尺寸误差、几何形状误差、相互方向位置误差等。

#### (1) 尺寸误差

尺寸误差是工件加工后的实际尺寸和理想尺寸之差。

#### (2) 几何形状误差

① 宏观几何形状误差:一般由刀具、机床、工件所组成的工艺系统的误差所致。我们所说的形状误差一般就是指宏观几何形状误差。

② 微观几何形状误差:即表面粗糙度。它是加工后工件表面上留下的波峰和波长都很微小的波形。

③ 表面波纹度:介于宏观和微观形状误差之间的形状误差,一般由加工中的振动引起。



### (3) 相互方向位置误差

相互方向位置误差即各表面或中心线之间的实际相对方向位置与理想方向位置的差值。

#### 2) 几何量公差

允许零件实际几何参数值的变动范围称为几何量公差。对应于几何量误差，几何量公差分为尺寸公差、几何公差和表面粗糙度允许值及典型零件特殊几何参数的公差等。工件的几何量误差在几何量公差范围内，为合格件；超出了几何量公差范围，为不合格件。几何量误差是在加工过程中产生的，而几何量公差是设计人员给定的，体现了对产品精度的要求。显然，在设计精度时，几何量公差应尽量规定得大些，以获得最佳的经济效益，但同时也要满足零件功能要求。精度设计要求是通过零件图样，用几何量公差的标注形式给出的。

#### 3) 检测

完工后的零件是否满足几何量公差要求，要通过检测加以判断。检测包含检验和测量。几何参数的检验是指确定零件的几何参数是否在规定的极限范围内，并做出合格性判断，而不必得出被测量的具体数值；测量是将被测量与作为计量单位的标准量进行比较，以确定被测量的具体数值的过程。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，可以及时调整生产，监督工艺过程，预防废品产生。

由此可见，合理确定公差并正确进行检测，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。

## 2. 标准化与优先数系

现代化工业生产的特点是规模大，协作单位多，互换性要求高。为了正确协调各生产部门和准确衔接各生产环节，必须有一种协调手段，使分散的局部的生产部门和生产环节保持必要的技术统一，成为一个有机的整体，以实现互换性生产。标准与标准化正是联系这种关系的主要途径和手段。

### 1) 标准和标准化

所谓标准，就是指为了取得国民经济的最佳效果，对需要协调统一的具有重复特征的物品（如产品、零部件等）和概念（如术语、规则、方法、代号、量值等），在总结科学实验和生产实践的基础上，由有关方面协调制定，经主管部门批准后，在一定范围内作为活动的共同准则和依据。

所谓标准化，就是指标准的制定、发布和贯彻实施的全部活动过程。标准化是以标准的形式体现的，是一个不断循环、提高的过程。

标准按性质不同可分为技术标准和管理标准两类，人们通常所说的标准大都指技术标准。技术标准可分为基础标准、产品标准、方法标准、安全与环境保护标准等。基础标准是指在一定范围内作为其他标准的基础并普遍使用、具有广泛指导意义的标准，如本书所涉及的标准就是基础标准（《极限与配合》、《几何公差》和《表面粗糙度》等）。

标准按颁发机构级别的不同分为国际标准、国际区域标准、国家标准（GB）、行业标准（机械标准 JB 等）、地方标准（DB）和企业标准（QB）。国际标准由国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）负责制定和颁发。国际区域标准是指由国际地区性组织（或国家集团），如欧洲标准化委员会（CEN）和欧洲电工标准化委员会（CENELEC）等制定并发布的标准。我国于 1978 年恢复参加 ISO 组织后，陆续修订了自己的标准，修订的原则，是在立足



我国生产实际的基础上向 ISO 靠拢。

我国的国家标准、行业标准和地方标准又分为强制标准和推荐标准两大类。一些关系到人身安全、健康、卫生及环境保护的标准属于强制标准，国家用法律、行政和经济等手段强制执行；大量的标准（80%以上）为推荐性标准，要求积极遵守。

## 2) 优先数和优先数系

### (1) 数值标准化

制定公差标准及设计零件的结构参数时，都需要通过数值表示。任何产品的参数值不仅与自身的技术特性有关，还直接、间接地影响与其配套系列产品的参数值。如螺母直径数值影响并决定螺钉直径数值，以及丝锥、螺纹塞规、钻头等系列产品的直径数值。由于参数值间的关联产生的扩散称为“数值扩散”。

为满足不同的需求，产品必然出现不同的规格，形成系列产品。产品数值的杂乱无章会给组织生产、协作配套、使用维修带来困难，故需对数值进行标准化。《优先数和优先数系》就是其中最重要的一个标准，要求工业产品技术参数应尽可能采用它。

### (2) 优先数系

优先数系是一种十进制的几何级数，是由公比为  $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 、 $\sqrt[80]{10}$ ，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。我国标准《优先数和优先数系》(GB/T 321—2005/ISO3: 1973) 推荐系列符号为 R5、R10、R20、R40、R80，前四项为基本系列，R80 为补充系列。其公比为

R5 系列:  $\sqrt[5]{10} \approx 1.60$

R10 系列:  $\sqrt[10]{10} \approx 1.25$

R20 系列:  $\sqrt[20]{10} \approx 1.12$

R40 系列:  $\sqrt[40]{10} \approx 1.06$

R80 系列:  $\sqrt[80]{10} \approx 1.03$

范围 1~10 的优先数系列如表 1-1 所示，所有大于 10 的优先数均可按表列数乘以 10、100、…求得，所有小于 1 的优先数均可按表列数乘以 0.1、0.01、…求得。

表 1-1 优先数系的基本系列 (摘自 GB/T 321—2005/ISO3: 1973)

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				



标准还允许从基本系列和补充系列中按照一定规律隔项取值组成派生系列,以  $Rr/p$  表示,  $r$  代表 5、10、20、40、80。如  $R10/3$  可得到 1.00、2.00、4.00、…数系,或 1.25、2.50、5.00、…数系等。

本课程后续内容中涉及的尺寸分段、公差分级和表面粗糙度参数允许值等都是按优先数系制定的。



## 任务小结

齿轮减速器大多为批量生产,在保证生产效率和经济效益的同时,还要保证使用性能和互换性。实际应用中,为了保证产品的使用性能和互换性要求,往往对产品零部件的某些关键几何量进行精度设计。

如图 1-1 所示齿轮减速器中,各零部件之间配合部位(圆柱径向)的配合及其他技术要求、输入轴和输出轴上各零部件的轴向尺寸及其公差,这样的几何量精度设计就是实现互换性原则的保证。当减速器使用一定周期后会出现零部件(轴承、密封圈、齿轮等)损坏现象,要求迅速更换修复且满足使用功能,即遵循互换性原则。几何量精度设计时依据的就是现行有效的公差与配合、几何公差和表面粗糙度等国家标准。齿轮减速器中的标准件(轴承、键、销、螺栓、密封圈、垫片等)与非标准零部件(箱座、箱盖、输入轴、输出轴、端盖和套筒等),影响互换性的尺寸及公差都是按标准的优先数系确定的。