

第 1 章 绪 论

本章要点

(1) 机械产品的精度设计是机械设计与制造中重要的环节之一,设计是否正确、合理,对机械产品的使用性能和制造成本、对企业生产的经济效益和社会效益都有着重要的影响。

(2) 通过“机床——小型立式台钻”实例分析,结合“机械制图”“机械设计”等课程,使学生了解机械产品精度设计的基本内容,明确精度设计的任务。

(3) 了解在机械产品的制造、装配和使用过程中,一般遵循“互换性”原则的理由。

(4) 掌握互换性概念的基本内容、互换性的作用、互换性的种类及其应用。

(5) 掌握实现互换性的条件——公差标准化和测量技术的基本内容。

(6) 了解公差标准化应用实例——标准尺寸的应用。

(7) 明确本课程的性质与基本要求。

1.1 机械产品的几何量精度设计概述

本节介绍机械产品的几何量精度设计的基本概念和基本任务。

1.1.1 机械产品的几何量精度设计

机械产品(如:各类机器设备——机床、各类机构——减速器及其他传动装置及各类机械)设计包括总体开发、方案设计、运动设计、结构设计、强度和刚度设计以及零、部件的精度设计等,其中几何量精度设计是机械产品的精度设计中的重要内容。几何量精度设计是否正确、合理,对机械产品的使用性能和制造成本,对企业生产的经济效益和社会效益都有着重要的影响,有时甚至起决定性作用。

1. 几何量精度设计的基本概念

机械产品的几何量精度设计是指按照机械产品的使用功能要求和机械加工及检测的经济合理的原则,对构成机械产品的零(部)件的配合部位确定配合性质;确定各个零件上各处的尺寸精度、几何精度、表面质量以及零件上典型表面精度;确定机械产品在轴向上的定位精度(涉及尺寸链计算和确定轴向尺寸公差)等。

2. 几何量精度设计的任务

机械产品的几何量精度设计的主要任务如下:

(1) 在机械产品的总装配图和部件装配图上,确定各零件配合部位的配合代号和其他技术要求,并将配合代号和相关要求标注在装配图样上。

(2) 确定组成机械产品的各零件上各处尺寸公差、几何公差、表面粗糙度要求以及典型表面(如:键与花键、螺纹、圆柱齿轮、圆锥等)公差要求等内容,并在零件图样上进行正确标注。

1.1.2 机械产品的几何量精度设计实例

以小型机床——立式台钻主轴部件的几何量精度设计为例,具体说明“几何量精度设计”的主要内容。

图 1-1 所示为台钻主轴部件的装配示意图。台钻主轴部件主要由主轴箱、主轴、齿条套筒、齿轮轴、花键套筒、皮带轮(塔轮)、轴承、挡圈、端盖、平键、密封圈、螺母等零件组成。

1. 台钻的基本工作原理

如图 1-1 所示,台钻主轴部件的工作原理是由电动机带动皮带轮经三角带传至主轴皮带轮和花键套筒,再经花键传动至主轴,并使与主轴连接的钻头旋转。花键套筒上的皮带轮为 5 级塔轮,变换 V 形胶带在塔轮上的级位,可获得 5 种转速,达到变速要求。

2. 台钻的几何量精度设计的主要内容

(1) 在台钻主轴部件的装配图样中,确定其各零件之间配合部位的配合代号或其他技术要求,并进行图样标注,注出相关的技术要求。

(2) 经过尺寸链计算,确定主轴上各零件轴向尺寸及其公差,以保证它们在轴向的定位要求。

(3) 在台钻的各零件图中,确定各处尺寸公差、几何公差、表面粗糙度要求、平键与键槽的公差以及齿轮齿面公差要求等,并进行图样标注,注出相关的技术要求。

台钻主轴部件装配示意图、花键套筒和主轴箱体的零件示意图如图 1-1、图 2-21、图 2-27 所示。

3. 台钻零件加工、部件装配和台钻使用过程中遵循的原则

1) 台钻零件的加工、部件装配过程

由图 1-1 可知,台钻由多种零件组成,有轴承、平键、弹性挡圈、弹簧、螺母等标准件或通用件,有箱体、主轴、齿条套筒、花键套筒、齿轮轴、压紧螺母和挡圈等非标准件,还有密封圈、油毛毡等非金属标准件等。这些零件由不同工厂、不同车间、不同工人生产,如:轴承由专业化的轴承制造厂家制造;平键、螺母、弹性挡圈、弹簧、密封圈等由专业化的标准件厂生产;非标准件由一般的机械制造厂家加工制造。当这些零件加工合格后,都汇聚到台钻的装配车间。当装配一定批量的台钻时,为了提高装配效率,在装配车间的装配线上,各个装配工位按照一定的节拍进行装配。装配工人在一批相同规格的零件中不经选择、修配或调整地任取其中一个零件就能装配在一起,最后装配成一台满足预定使用功能要求的台钻。

2) 台钻的使用及修配过程

当台钻使用一段时间后,其中一些易损件,如:轴承中的滚动体——滚珠、密封圈、齿轮齿面等容易磨损。磨损到一定程度时就会影响台钻的使用功能。这时要求迅速更换易损件,使台钻尽快修复,从而保证台钻尽早可靠地正常工作。

由台钻的加工、装配和使用过程可知,只有台钻中加工的零件具有相互更换的性能,才能满足快速装配和修配的要求。零件“相互更换”的性能称为几何量“互换性”,简称互换性。它是全球化、专业化、协作生产机械产品中一般要遵循的原则。

1.2 互换性及实现互换性的条件

随着机械行业的发展和科学技术的提高,市场经济需要各式各样物美价廉的机械电子产品。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的设计、制造和使用过程中,普遍遵守一个原则——互换性原则。

1.2.1 互换性概述

1. 互换性的定义

所谓互换性,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,不需调整或修配等工作,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。

2. 互换性的作用

互换性的作用主要体现在以下3个方面。

(1) 在设计方面,能最大限度地使用标准件,因此可以简化绘图和计算工作量,使设计周期缩短,有利于机械产品更新换代和计算机辅助设计技术的应用。

(2) 在制造方面,有利于组织专业化生产,使用专用设备和计算机辅助制造(computer aided manufacturing, CAM)技术。

(3) 在使用和维修方面,便于及时更换已经丧失使用功能的零(部)件,对于某些易损件可以提供备用件,这样既可以及时维修,缩短停机时间,又可以减少维修成本。

互换性在提高机械产品质量和可靠性、提高企业经济效益等方面均具有重大意义。但是,互换性原则未必适用于所有的机械产品,有的零(部)件就采用单配制,零(部)件就不具有互换性,但也有公差和检测要求。

3. 互换性的种类

(1) 按互换的范围,可以将互换性分为两类:完全互换(也称绝对互换)和不完全互换(也称有限互换)。在同一规格的零(部)件中,经过分组,零(部)件在组内具有互换性,此种类型的零(部)件称为不完全互换。例如滚动轴承,其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 $\phi 52JS7$ 、 $\phi 25j6$ 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。

(2) 对于标准部件或非标机构来讲,互换性又可分为两种:外互换和内互换。外互换是指标准部件与机构之间配合的互换性。例如,轴承与轴颈、箱体孔直径的配合尺寸(见图 1-1 中 $\phi 52JS7$ 和 $\phi 25j6$)属于外互换。内互换是指标准部件内部各零件之间的互换性。例如,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。

1.2.2 实现互换性的条件——公差标准化和技术测量

1. 几何量公差及其标准化

机械产品的零(部)件具有互换性,也就是说:相互更换的两个相同规格的零(部)件,其

几何参数——尺寸、形状、位置以及表面微观形状等应一致。

在零件的加工过程中,由于各种因素(机床误差、刀具误差、切削变形、切削热、刀具磨损等)的影响,零件的几何参数不可避免地存在误差,因此,无法将一批相同规格的零件制成完全一致,或者说,无法将零件的几何参数加工成绝对准确。

从满足零件的互换性要求和机械产品的使用性能出发,也不要求将零件制造得绝对准确,只要求将零件的几何参数误差控制在一定范围内,即制成的一批相同规格的零(部)件的几何参数具有一致性。

这个允许零件几何参数变动的范围称为几何量公差。

1) 几何量公差

几何量公差包括:尺寸公差、几何公差、表面粗糙度要求以及典型表面(如:键与花键、螺纹、圆柱齿轮、圆锥等)公差。

2) 公差标准化

简单地讲,公差标准化是指几何量的公差应在一定范围内进行规范、统一,并要求相关制造企业和管理机构遵照执行。

在现代化生产中,标准化是一项重要的技术措施。因为某一机械产品的制造,往往涉及地区内、国内许多制造厂家和有关部门,甚至还要进行国际间协作,如果没有在一定范围内共同遵守的技术标准,就不能达到互换性要求。

所谓标准,是指为了在一定的范围内获得最佳秩序,对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件。

标准分类:我国按标准使用的范围分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

3) 公差标准化应用实例

公差标准化实例很多。例如,图 1-1 所示的配合尺寸都应进行标准化,这个经过标准化的尺寸称为标准尺寸,即尺寸数值应按优先数选取。

国家标准 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》规定十进制等比数列为优先数系,并规定了 4 个基本系列,分别用符号 R5、R10、R20 和 R40 来表示,并依次称为 R5 系列、R10 系列、R20 系列和 R40 系列。R80 系列为补充系列。

优先数系列 R5、R10、R20 和 R40 的公比 q 分别是 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 和 $\sqrt[40]{10}$,它们的 1~10 常用数值见表 1-1。

表 1-1 优先数系列公比和 1~10 的常用值

优先数系列	公比 q	1~10 的常用值							
R5 系列	$q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$	1.00	1.60	2.50	4.00	6.30	10.00		
R10 系列	$q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15		
		4.00	5.00	6.30	8.00	10.00			
R20 系列	$q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$	1.00	1.12	1.25	1.40	1.60	1.80	2.00	2.24
		2.50	2.80	3.15	3.55	4.00	4.50	5.00	5.60
		6.30	7.10	8.00	9.00	10.00			

续表

优先数系列	公比 q	1~10 的常用值								
R40 系列	$q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	
		1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.12	2.24	2.36	
		2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35	3.55	3.75	
		4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.30	5.60	6.00	
		6.30	6.70	7.10	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	
		10.00								

从表 1-1 中可知: R5 系列的常用值包含在 R10 系列的常用值之中; R10 系列的常用值包含在 R20 系列的常用值之中; 以此类推, 等等。

4 个基本系列的小于 1 和大于 10 的常用数可按照十进制向两端进行扩展。例如在 R5 系列中, 大于 10 的常用数为 10, 16, 25, 40, 63, 100, …。

优先数系具有一系列优点: 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, 允许采用补充系列——R80 系列。

在确定零件的尺寸时, 应尽量采用优先数系的常用值。图 1-1 所示台钻的设计中, 经力学计算, 得出主轴的最小直径为 16.98mm, 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 17mm(为 R40 系列)。

优先数还应用于 IT6~IT18 的公差等级系数 α 值之中, 见表 2-3。

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, 实现在全国范围内的公差标准化。

2. 技术测量

在机械产品的几何量精度设计之后, 工人按照零件图上的各项要求进行加工。各个零件完工之后, 须采用适当的计量器具、正确的测量方法和数据处理方法对零件进行检测, 从而判断零件是否达到零件图纸上各公差标准的要求。只有将真正符合标准要求的零(部)件装配成机械产品, 才能使机械产品发挥设计时规定的使用功能, 其零(部)件才能具有互换性。计量器具、检测方法和手段等构成技术测量, 技术测量是保证实现互换性的重要手段。

对工件进行检验和测量(简称检测), 其目的不仅在于仲裁零件是否合格, 而且还要根据检测结果, 分析产生废品的原因, 以便减少废品, 最终消除废品, 降低制造成本。

要使检测的结果准确可靠, 必须在计量上保证长度计量单位的统一, 并在全国范围内规定严格的量值传递系统以及相应的测量方法, 制定有关计量器具、测量方法和数据处理的规则, 以保证必要的检测精度, 最终确保零(部)件具有互换性。

综上所述, 机械产品的几何量精度设计及其检测是保证企业生产的机械产品质量与制造成本的两个重要的技术环节。

1.3 “互换性与技术测量”课程的性质与要求

1.3.1 课程的性质

“互换性与技术测量”课程是高等工科应用型本科院校机械类各专业(包括车辆、材料、仪表仪器等专业)的一门重要的技术基础课程,是联系机械设计与后续机械加工工艺等课程的纽带,是从专业基础课学习过渡到专业课程学习的桥梁。

1.3.2 课程的基本要求

学习者在学习“互换性与技术测量”课程之前,应具有一定的理论知识和初步的机械制造生产实践知识。在完成本课程的学习任务以后,应达到以下基本要求:

- (1) 建立几何参数互换性与标准化的概念。
- (2) 认识有关几何参数公差标准的基本内容和主要规定。
- (3) 初步掌握国家标准规定的各几何参数公差与配合的选用方法;在机械产品的装配图和零件图样上,能够按常见几何参数公差与配合的要求进行正确标注,并会解释和查用有关标准。
- (4) 会正确选择、使用在机械制造现场中常用的计量器具,能对一般的、常见的几何量误差按照国家标准规定选择合理的“检测与验证方案”进行综合检测,经过数据处理获得几何量误差值,并作出合格性的正确判断。

(5) 会设计光滑极限量规。

本书为了强化应用能力的学习,每章均有实例应用,将理论知识与几何量精度设计有机地结合在一起,使学习者更容易理解理论知识。本书突出教学重点和教学的基本点,使学习者在有限的学习时间内,能够掌握必要的内容,达到基本要求。

习 题

1. 填空题

- (1) 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,不需_____等工作,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_____要求。
- (2) 按互换的范围,可以将互换性分为_____和_____。对于标准部件或非标机构来讲,互换性又可分为_____和_____。
- (3) 实现互换性的条件有_____和_____。
- (4) 在确定轴类零件上轴径公称尺寸时,应按_____取值。
- (5) R5 数系的公比为_____,每逢_____项,数值增大到10倍。
- (6) R40 系列 10~100 的常用值是_____。
- (7) 20~100W 系列的日光灯,该系列的符号为_____。

2. 选择题

(1) IT6~IT18 标准公差的计算公式为 $10i, 16i, 25i, 40i, 64i, 100i, 160i, 250i, \dots$, 公差单位 i 前的公差等级系数约为()系列的常用数值。

- A. R5 B. R10 C. R20 D. R40

(2) 外螺纹中径公差等级 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 的等级系数分别为 0.50, 0.63, 0.80, 1.00, 1.25, 1.60, 2.00, 它们属于()优先数的系列。

- A. R5 B. R10 C. R20 D. R40

(3) 下列优先数系列中,()为基本系列。

- A. R5 B. R10 C. R80 D. R40

3. 简答题

(1) 机械产品的零(部)件具有“互换性”的意义是什么?

(2) 为什么技术测量是实现互换性的重要手段?

(3) “互换性与技术测量”课程的性质和要求是什么?

第 2 章 轴、孔结合的极限与配合

本章要点

(1) 通过图 1-1 台钻主轴箱零(部)件精度设计实例,介绍如何根据台钻的使用功能要求设计、确定组成台钻的各零件之间的配合和零件上各相关尺寸公差的方法,学会在机械产品的装配图和零件图上正确标注的方法,这是机械类工程技术人员最基本的能力之一。

(2) 介绍在机械产品的几何量精度设计中,与尺寸公差、配合关系密切的国家最新颁布的标准——《线性尺寸公差》的基本内容,简要介绍标准的构成及其原理。

(3) 重点介绍应用《线性尺寸公差》的基本方法、步骤,使学习者初步掌握机械产品的零件尺寸公差和配合的设计方法和具体要求。

涉及极限与配合的最新国家标准有:

GB/T 1800.1—2020《产品几何技术规范(GPS)线性尺寸公差 ISO 代号体系 第 1 部分:公差、偏差和配合的基础》

GB/T 1800.2—2020《产品几何技术规范(GPS)线性尺寸公差 ISO 代号体系 第 2 部分:标准公差代号和孔、轴极限偏差表》

GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》

GB/T 4458.5—2003《机械制图 尺寸公差与配合注法》

GB/T 275—2015《滚动轴承 配合》

GB/T 307.1—2017《滚动轴承 向心轴承 产品几何技术规范(GPS)和公差值》

2.1 极限与配合基本概念

由图 1-1 台钻主轴箱的装配图可知:各零件之间多处反映了轴与孔的配合。轴与孔配合在机械制造中应用广泛。

2.1.1 轴和孔

在图 1-1 台钻花键套筒上, $\phi 24$ 轴和皮带轮孔配合,此轴上还有宽度尺寸为 4mm 的键槽与键配合,它们都是轴和孔的配合。其中,一个配合表面是圆柱面,另一个配合表面是两相对平行面。

1. 圆柱的轴和孔

圆柱的轴指工件的外尺寸要素,圆柱的孔指工件的内尺寸要素。轴为被包容面,而孔为包容面。如图 1-1 所示,花键套筒上 $\phi 24$ 轴被皮带轮孔 $\phi 24$ 包容,它们分别是圆柱的轴和孔。

2. 两相对平行面的轴和孔

此类的轴指两相对平行面的外尺寸要素,它属于非圆柱面形的外尺寸要素。例如,平键由宽度 b 确定的两平行平面组成外表面。轴是被包容面,如图 2-1(a)所示,平键被键槽包容。

此类的孔指两相对平行面的内尺寸要素,它属于非圆柱面形的内尺寸要素。例如,键槽

由宽度 b 确定的两平行平面组成内表面,键槽是孔。键槽指轴键槽(见图 2-1(b))和毂键槽(见图 2-1(c)),它们包容键。

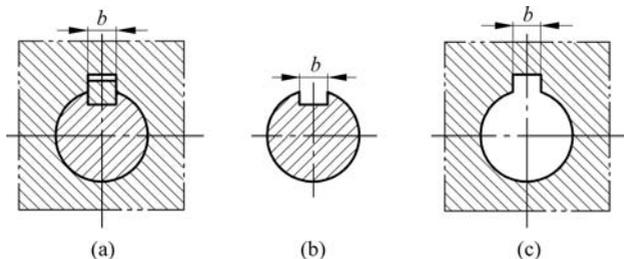


图 2-1 平键与键槽

(a) 平键与轴键槽、毂键槽的配合; (b) 轴键槽; (c) 毂键槽

又如,在图 2-2 中,若方孔的宽度 A 等于方轴的宽度 a ,方孔的高度 B 等于方轴的高度 b ,将方轴放入方孔中,则组成两组孔与轴的结合。它们都是两相对平行面的孔和轴。

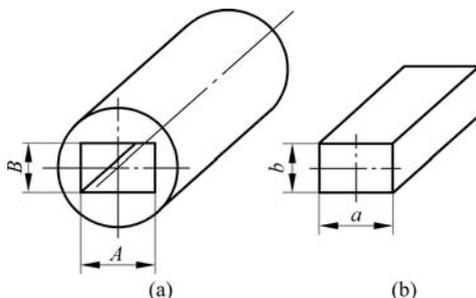


图 2-2 方孔与方轴

(a) 方孔; (b) 方轴

2.1.2 尺寸

尺寸指以特定单位表示线性尺寸的数值。

特定单位指在机械制图中,图样上的尺寸通常以 mm(毫米)为单位。当单位为 mm 时,在标注时常将单位省略,仅标注数字。当单位不是 mm 时,应标注数字和单位。

尺寸包括长度、直径、宽度、高度、深度和中心距等。

1. 公称尺寸(轴 d 、孔 D)

公称尺寸指由图样规范定义的理想形状要素的尺寸,且按优先数系列选取的尺寸。即公称尺寸应是标准尺寸,它是理论值。公称尺寸可以是整数或一个小数值。

图 2-21 中,直径 $\phi 25$ 、轴长 55、键槽宽 4 等均为公称尺寸。

2. 实际尺寸(轴 d_a 、孔 D_a)

实际尺寸指拟合组成要素(见 4.1.1 节)的尺寸。实际尺寸通过测量得到。

提取组成要素(见 4.1.1 节)的实际尺寸指一切提取组成要素上两对应点之间的距离。

提取圆柱面的实际尺寸指要素上两对应点之间的距离。其中,两对应点之间的连线通过拟合圆圆心;横截面垂直于由提取表面得到的拟合圆柱面的轴线。

两平行提取表面的实际尺寸指两平行对应提取表面上两对应点之间的距离。其中,所