

主 编 张 帆 宋绪丁 曹源文
主 审 柴志祥

机械精度设计与检测

JIXIE JINGDU SHEJI
YU JIANCE



陕西科学技术出版社

内 容 简 介

本书内容力求按教学规律阐述机械精度设计和检测技术的基本知识、几种典型机械零件精度设计的基本原理和方法,以及各种公差标准在设计中的应用。全书共分12章,前5章阐述互换性基本概念、测量技术基础、尺寸精度、形状和位置精度、表面粗糙度等机械零件精度设计的基础知识;第6、7、8、9、10章阐述滚动轴承、圆锥结合、键和花键、螺纹结合和圆柱齿轮等典型零件的精度设计基础知识;第11章主要阐述长度尺寸链的基本概念及计算;第12章简单介绍计算机辅助精度设计基础知识。书中各章附有思考题和作业题,以配合教学的需要,也便于读者自学。

本书适用于高等工科院校及职工大学机械类和近机械类各专业的机械精度设计基础(互换性与测量技术基础)课程教学,也可供从事机械设计、制造、标准化和计量测试等工作的各类工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与检测/张帆,宋绪丁等编著. —西安:陕西科学技术出版社,2006.8

ISBN 7-5369-4116-1

I. 机... II. ①张... ②宋... III. ①机械-精度-设计
②机械元件-检测 IV. ①TH122 ②TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 084075 号

出版者 陕西科学技术出版社
西安北大街131号 邮编 710003
电话(029)87211894 传真(029)87218236
<http://www.snstp.com>

发行者 陕西科学技术出版社
电话(029)87212206 87260001

印 刷 陕西新胜印务有限责任公司

规 格 787mm×1092mm 16开本

印 张 28.75印张

字 数 460千字

版 次 2006年8月第1版
2006年8月第1次印刷

定 价 50.00元(套) 本册38.00元

版权所有 翻印必究

前 言

“机械精度设计与检测”课程即原来的“互换性与测量技术基础”课程,它是高等工科院校本科及专科机械类各专业的一门综合性很强的应用技术基础课。本课程不仅涉及互换性生产的标准化领域和计量学领域的有关知识,而且还涉及机械产品设计、制造、维修、质量控制、生产组织管理和计算机在机械工业的应用等方面的内容。

本教材是根据国家教育部“关于组织实施《面向 21 世纪高等工程教学内容的课程体系改革计划》的通知”精神,结合编者多年教学实践经验及对课程建设和改革的探索编写而成的,本教材被长安大学列为 2006 年重点建设和改革项目的系列教材之一。在教材编写过程中突出以下特点:

(1)在编写内容上重视加强基础,力求反映国内、外最新的科研成果,严格遵循最新的国家标准和国际标准,尽量做到少而精,便于教学和学生自学。

(2)为了加强学生综合设计能力的培养,本教材突出了基本知识和基本理论内容的系统性、实用性和科学性;注重基本理论与生产设计、制造、检验等实践活动的有机结合,使学生在打好坚实的理论基础的同时,提高学生解决实际问题的能力。

(3)全部采用 2005 年底颁布的最新国家标准,同时注重国际标准(ISO)与国家标准(GB)的对比,使学生适应我国加入 WTO 组织后对机械制造业的新要求。

(4)随着信息技术和计算机技术的迅速发展,信息技术和计算机技术在机械制造业中得到了广泛应用,如机械 CAD/CAM、计算机集成制造系统(CIMS)、并行工程(CE)等已在机械制造业取得了引人注目的成就。但是,计算机辅助精度设计(CAT)与前者相比尚处于初级阶段,无法与 CAD、CAM、CIMS 发展相适应。本教材介绍了国内外学者在此领域取得的最新研究成果,并以实例阐述了计算机辅助精度设计的详细内容和过程,以供设计人员参考,并为学生以后应用计算机辅助精度打好基础。

本书由张帆、宋绪丁、曹源文主编,其中长安大学张帆编写了第 4、8、9、11、12 章,宋绪丁编写了第 1、3、5、10 章,重庆交通大学曹源文编写了第 2、6 章,钟厉编写了第 7 章。全书由原国家螺纹标准化技术委员会委员柴志祥副教授主审,并请长安大学博士生导师冯忠绪教授审阅。

在编写过程中,得到了长安大学教务处、教材供应中心、工程机械学院的大力支持,在此一并致谢!

由于编者水平有限,书中难免会有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2006 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 本课程的研究对象及任务	(1)
1.2 机械零件几何精度设计原则——互换性原则	(3)
1.3 标准化与优先数系	(6)
1.4 极限配合与检测技术的发展	(11)
习题 1	(12)
第 2 章 测量技术基础	(14)
2.1 测量	(14)
2.2 计量器具和测量方法	(18)
2.3 测量误差及数据处理	(23)
习题 2	(33)
第 3 章 圆柱结合的尺寸精度设计	(35)
3.1 圆柱结合的使用要求	(35)
3.2 基本术语及定义	(36)
3.3 标准公差系列	(44)
3.4 基本偏差系列	(48)
3.5 圆柱结合的精度设计	(57)
3.6 尺寸精度的检测	(75)
习题 3	(86)
第 4 章 形状和位置精度设计	(89)
4.1 概述	(89)
4.2 形位公差在图样上的表示方法	(93)
4.3 形位公差带	(101)
4.4 公差原则与公差要求	(120)
4.5 形状和位置精度设计	(143)
4.6 形位误差及其检测	(156)
习题 4	(177)
第 5 章 表面粗糙度	(185)
5.1 表面粗糙度的基本概念	(185)
5.2 表面粗糙度的评定	(187)
5.3 表面粗糙度的参数值及其选用	(191)
5.4 表面粗糙度符号和代号及其注法	(197)
5.5 表面粗糙度的检测	(201)
习题 5	(204)
第 6 章 滚动轴承与孔、轴结合的精度设计	(207)
6.1 概述	(207)

6.2 滚动轴承公差等级及其应用	(211)
6.3 滚动轴承内径与外径的公差带及其特点	(214)
6.4 滚动轴承与孔、轴结合的精度设计	(217)
习题6	(226)
第7章 圆锥结合的精度设计	(228)
7.1 概述	(228)
7.2 圆锥配合误差分析	(230)
7.3 圆锥公差与配合	(232)
7.4 锥度与圆锥角的检测	(241)
习题7	(242)
第8章 键和花键结合的精度设计	(244)
8.1 概述	(244)
8.2 平键结合的精度设计	(245)
8.3 矩形花键结合的精度设计	(248)
8.4 键和花键的检测	(252)
习题8	(254)
第9章 螺纹结合的精度设计	(256)
9.1 螺纹结合的基本概念	(256)
9.2 影响螺纹结合精度的因素	(260)
9.3 普通螺纹公差	(265)
9.4 普通螺纹精度的检测	(271)
习题9	(273)
第10章 渐开线圆柱齿轮传动的精度设计	(275)
10.1 齿轮传动的使用要求	(275)
10.2 影响渐开线圆柱齿轮精度的因素	(276)
10.3 评定齿轮精度的偏差项目及齿轮侧隙的必检参数	(282)
10.4 渐开线圆柱齿轮精度标准	(292)
10.5 圆柱齿轮精度设计	(296)
10.6 齿轮精度检测	(310)
习题10	(315)
第11章 尺寸链基础	(317)
11.1 尺寸链的基本概念	(317)
11.2 尺寸链的解算	(323)
习题11	(339)
第12章 计算机辅助精度设计	(342)
12.1 计算机辅助精度设计概念	(342)
12.2 公差数据的处理	(342)
12.3 计算机辅助精度设计实例	(348)
习题12	(364)
参考文献	(365)

第1章 绪论

1.1 本课程的研究对象及任务

1.1.1 机械精度设计的研究对象

机械精度设计是与机械工业密切相关的基础学科,它不仅涉及机械设计、机械制造、测量技术、质量管理与质量控制的许多方面,也与计算机的发展紧密相连,与 CAD/CAM/CAPP 相辅相成,是一门综合性应用技术基础学科,也是机械学科体系中的重要组成部分。

一般来说,机械设计过程可分为三个阶段:机械的运动设计;机械的结构设计;机械精度设计。所谓运动设计或称为系统设计,是机器的总体设计和部件设计,它满足机器运动学方面的要求,如机构、机器的轨迹、速度或加速度等;而结构设计或称为参数设计,是机械的零件设计,它满足机器或部件中零件强度、刚度方面的要求,如构件的长度或截面积,零件的直径和寿命等;机械精度设计主要是保证机器或部件工作时的精度方面的要求,使产品功能与经济效益能产生好的综合效应。

机械精度设计包括有总体精度设计和具体结构精度设计。前者主要是机器或机构的主要参数精度的确定以及相应各部件的精度要求;后者是指部件精度设计计算和零件精度设计计算。本课程主要侧重于具体结构精度设计,其中,最主要讲述机械零件精度设计。

下面举一个例子。在机械工程中,人们常常要将转动变为直线运动,或者将直线运动转变为转动。例如冲压机,是将电动机的转动变为冲压运动的直线运动,而内燃机,却将燃油燃烧产生的直线运动变为转动。

在运动设计中,要实现这一功能有很多机构,其中曲柄滑块机构最为普遍,如图 1-1 所示。根据运动学方面,我们可以求出曲柄滑块机构的各构件的长度和运动学方程,例如,活塞的运动行程 $X_c = r \cos \varphi + \sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \varphi}$, 其中, r 为曲柄长度, L 为连杆长度, φ 是曲柄与运动直线间的夹角。根据这个运动学方程,亦可求出活塞的速度和加速度。

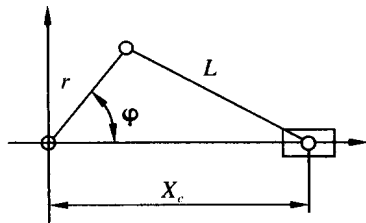


图 1-1 曲柄滑块机构

在结构设计中,要保证曲柄连杆机构每一个零件的强度和刚度方面的要求,即求出各个零件的截面积或直径。这里取活塞销为例,经过对研究对象活塞销的受力分析,并画出应力图,再经过强度计算可以求出活塞销的直径为 $\phi 8.78$ 。

在精度设计阶段,主要包括有三个方面内容:第一,确定活塞销的直径,使其满足国家标准的直径系列要求;第二,根据活塞销与连杆和活塞的关系,选用适当的配合;第三,规定活塞销尺寸精度、形状和位置精度、表面粗糙度。首先,按 GB2822《标准尺寸》可将活塞销的尺寸圆整为 $\phi 10$;取活塞销与连杆的配合为例,应该取间隙配合,如果间隙取的大,则振动,噪声大,如果间隙取的小,则磨损大,取 $\phi 10 \text{ H6/h5}$ 较为合适;最后按国家标准确定活塞销的长度

和直径的精度,零件圆柱面向对于两端面的位置精度和圆柱面本身的形状精度,还有各个表面的表面粗糙度。

通过上述的例子,可以看到机械精度设计在机械设计过程中的位置。因此,本课程的研究对象是关于机械或仪器零部件的几何参数精度设计及其检测原理,或者更具体地说,是如何通过有关国家标准,合理解决产品使用要求与制造工艺之间的矛盾,以及如何运用质量控制方法和测量技术手段,保证有关国家标准的贯彻执行,以确保产品质量。几何参数精度设计是从事产品设计、制造、测量等工程技术人员所必须具备的能力。

1.1.2 本课程的任务

本课程旨在培养学生获得产品精度设计和质量保证的基本理论、知识和技能,为进一步应用国家标准和控制产品质量奠定基础,其基本要求如下:

- 1) 掌握互换性和标准化的基本概念;
- 2) 掌握几何量精度设计的基本理论和方法;
- 3) 根据使用要求正确选用国家标准极限与配合;
- 4) 提高学生读图和识图能力,同时能使正确使用国家标准来标注图,标注出正确图样;
- 5) 掌握几种典型几何量的检测方法,并会使用常用的计量工具。

总之,本课程的任务是使学生获得机械工程师必须掌握的机械精度设计和检测方面的基本知识和基本技能。此外,在后续课程中,例如机械零件设计、工艺设计、毕业设计中,学生都应正确、完整地把本课程中学到的知识应用到工程实际中去。

1.1.3 本课程的基本特点

1. 特点

本课程由几何量精度设计及检测两部分有机的组成。前者属于标准化范畴,主要研究几何参数的精度设计,后者属于工程计量学范畴,主要研究几何量测量技术的基本原理、测量方法和测量误差及数据处理。此外,本课程从“精度”或“误差”的观点出发,研究零部件几何参数的互换性。因此,本课程的特点是:概念性强,定义、术语多,涉及面广,符号、代号多,标准规定多,实践性强,对具体工程存在标准原则和合理应用的矛盾等。但是,正像任何东西都离不开主体,任何事物都有它的主要矛盾一样,本课程尽管概念很多,涉及面广,但各部分都是围绕着以保证互换性为主的精度设计问题,介绍各种典型零件几何精度的概念,分析各种零件几何精度的设计方法,论述各种零件的检测规定等。所以,在学习中应注意及时总结归纳,找出它们之间的关系和联系。学生要认真按时完成作业,认真做实验和写实验报告。几何量精度设计在课堂上完成;检测部分在实验室完成。

2. 加工误差与公差

任何一台机器中的零件都是按一定的加工工艺过程,通过加工所得到的。由于加工设备与工艺方法的不完善,不可能做到使零件的尺寸和形状都绝对符合理想状态,设计参数与实际参数之间总是有误差的。为了保证零件的使用性能及制造的经济性,设计时必须合理地提出几何精度要求,即规定公差值,把加工误差限制在允许的范围内。这个加工误差与公差的概念贯穿本课程的整个学习过程中。

(1) 加工误差。在加工的过程中,自始至终存在着误差——误差公理。工件加工时,必然会产生误差,只要误差的大小不影响机器的使用性能,可以允许存在一定的误差,加工误差分

类如下:

1) 尺寸误差:指加工后一批零件的实际尺寸相对于理想尺寸的偏差范围。如直径误差、长度误差等。当加工条件一定时,尺寸误差表征了该加工方法的精度。例如,磨某一批零件的尺寸偏差符合正态分布曲线,表征了该磨床的加工精度。

2) 形状误差:指零件上几何要素的实际形状对其理想形状的偏离量。如圆度误差、直线度误差等。它是从整个形体来看在形状方面存在的误差,故又称为宏观几何形状误差。

3) 位置误差:指零件上几何要素的实际位置对其理想位置的偏离量。如同轴度误差、垂直度误差等。

4) 表面粗糙度:指加工表面上具有的较小间距和峰谷所组成的微观几何特性。其特点是具有微小的波形,又称为微观几何形状误差。

5) 表面波度:是指介于宏观和微观几何形状误差之间的一种表面形状误差。其特点是峰谷和间距要比表面粗糙度大得多,并且在零件表面呈周期性变化。通常认为波距在1~10 mm范围的表面形状误差属于表面波纹度。

上述各项误差,统称为几何参数误差。

(2) 公差。公差是指允许工件尺寸、几何形状和相互位置变动的范围,用以限制加工误差。即公差是用来控制误差的,以保证零件的使用性能。由于误差产生的原因及其对零件使用性能的影响不同,所以在精度设计时,规定公差的原则和方法也不同。公差来源于误差产生规律,反过来控制误差。误差直接产生于生产实践中。只有当一批零件的加工误差控制在产品性能所允许的变动范围内,才能使零部件具有互换性。可见,公差是保证零部件互换性的基本条件。

1.2 机械零件几何精度设计原则——互换性原则

在进行机械零件几何精度设计过程中,应遵循互换性原则、经济性原则、匹配性原则和最优优化原则。

1.2.1 互换性

互换性的实例在日常生活和工作中经常能遇到。例如自行车、手表、汽车和拖拉机等零件坏了,都可以迅速换上一个新的,并且在更换与装配后,能很好地满足使用要求。其所以能这样方便,就因为这些零件都具有互换性。

国家标准 GB3935.1-83 对互换性是这样定义的:某一产品(包括零件、部件、构件)与另一产品在尺寸、功能上能够彼此互相替换的性能。由此可见,要使产品能够满足互换性的要求,不仅要使产品的几何参数(包括尺寸、宏观几何形状、微观几何形状)充分近似。而且要使产品的机械性能、理化性能以及其他功能参数充分近似。

在机械行业中的互换性的含义可阐述如下:“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,来分别制造机器的各个组成部分,使其在装配与更换时不需辅助加工及修配便能很好的满足使用和生产上的要求。”

显然,互换性应该同时具备三个条件:第一,不经选择;第二,不需辅助加工和修配;第三,满足规定的功能要求。

机械制造中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。公差是允许的实际参数值的最大变动量。

当前,互换性原则已经成为组织现代化生产的一项重要技术经济原则。它已经在生产资料和生活资料的各部门被普遍地、广泛地采用。

1.2.2 互换性的分类

1. 按参数特性或使用要求,互换性可分为

(1) 几何互换性。几何互换性是指按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,有时也局限于指保证零件尺寸配合要求的互换性。保证成品几何参数的互换性。

(2) 功能互换性。功能互换性是指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以及化学、光学、电学和流体力学等参数。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。保证规定功能参数的公差所达到的互换性。

2. 按零部件互换性程度,互换性可分为

(1) 完全互换。也可称为绝对互换,即满足互换性条件的互换,是指同种零、部件加工好以后,不需经过任何挑选、调整或修配等辅助处理,在功能上便具有彼此互相替换的性能。完全互换性包括概率互换性(大数互换性),这种互换性是以一定置信水平为依据(例如置信水平为95%,99%等),使同种的绝大多数零、部件加工好以后不需经任何挑选、调整或修配等辅助处理,在功能上即具有彼此互相替换的性能。

(2) 不完全互换。也称为有限互换,是指同种零、部件加工好以后,在装配前需经过挑选、调整或修配等辅助处理,在功能上才具有彼此互相替换的性能。在不完全互换性中,按实现方法的不同又可分为以下几种:

1) 分组互换。是指同种零、部件加工好以后,在装配前要先进行检测分组,然后按组进行装配,仅限同组的零、部件可以互换,组与组之间的零、部件不能互换。例如有些滚动轴承内、外圈滚道与滚动体的结合是分组互换。

2) 调整互换。是指同种零、部件加工好以后,在装配时要用调整的方法改变它在部件或机构中的尺寸或位置,方能满足功能要求。例如燕尾导轨中的调整镶条,在装配时要沿导轨移动方向调整它的位置,方可满足间隙的要求。又例如圆锥齿轮在装配时,要调整两组垫片,以保证圆锥齿轮转动时,假想中的分度圆锥在作纯滚动。

3) 修配互换。指同种零、部件加工之后,在装配时要用去除材料的方法改变它的某一实际尺寸的大小,方能满足功能上的要求。例如普通车床尾座部件中的垫板,在装配时要对其厚度再进行修磨,方可满足普通车床头、尾顶尖中心的等高要求。

从使用要求出发,人们总希望零件都能完全互换,实际上大部分零件也能做到。但有些情形,如受限于加工零件的设备精度,经济效益等因素,要做到完全互换就显得比较困难,或不够经济,这时就只有采用不完全互换方法了。

(3) 对标准部件或机构来讲,互换性可分为:

1) 外互换。部件或机构与其外部相配件间的互换性。例如,滚动轴承内圈内径与轴的配合,外圈外径与轴承座孔的配合。

2) 内互换。是指部件或机构内部组成零件的互换性。例如,滚动轴承内、外圈滚道直径

与滚珠(滚柱)直径的装配。

为了方便起见,滚动轴承的外互换为完全互换;其内互换则因组成零件的精度要求高,加工困难,故采用分组装配,为不完全互换。

一般而言,不完全互换只限于部件或机构的制造厂内部的装配。至于厂外协作,即使产量不大,往往也要求完全互换。

究竟采用完全互换、不完全互换或者修配,要由产品精度要求与复杂程度、产量大小、生产设备和技术水平等一系列因素决定。

1.2.3 互换性的作用

广义来讲,互换性已经成为国民经济各个部门生产建设中必须遵循的一项原则。现代机械制造中,无论大量生产还是单件生产,都应遵循这一原则。任何机械的生产,其设计过程都是从整机到部件再到零件。无论设计过程还是制造过程,都要把互换性的原则贯彻始终。

从使用方面来看,若零件具有互换性,则在其磨损或损坏后,可用另一新的备件代替。例如,汽车、拖拉机的活塞、活塞销、活塞环等就应有这样的备件。由于备件具有互换性,不仅维修方便,而且使机器的维修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。在某些情况下,例如,在发电厂要迅速排除发电设备的故障,继续供电;又如,在战场上要立即排除武器装备的故障,继续战斗。在这些场合,保证零部件的互换性是绝对必要的,而且互换性所起作用也很难用价值来衡量。

从制造方面来看,按互换性原则组织生产是提高生产水平和进行文明生产的有效途径。装配前,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。在加工过程中,由于零件各几何参数都规定了公差,同一部机器上的各个零件可以同时分别加工。用的极多的标准件还可由专门车间或工厂单独生产。这些标准件由于产品单一、数量多、分工细,可采用高效率的专用设备,乃至采用计算机辅助加工。这样,产量和质量必然会得到提高,成本也会显著降低。

从设计来讲,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,并便于用计算机进行辅助设计。这对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改进,都有重大作用。

随着科学技术的发展,现代制造业已由传统的生产方式发展到利用数控技术(NC,CNC)、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助制造工艺(CAPP)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等进行现代化生产。这些先进制造技术无一不对互换性提出严格的要求,也无一不遵循互换性原则。所以,互换性是现在和今后生产上不可缺少的生产原则和有效的技术措施。

1.2.4 互换性的实现

在制造业实现互换性,就要严格按照统一的标准进行设计、制造、装配、检验等。因为现代制造业分工细、生产规模大、协作工厂多、互换性要求高,因此,必须严格按标准协调各个生产环节,才能使分散、局部生产部门和生产环节保持技术统一,使之成为一个有机的生产系统,以实现互换性生产。

1.3 标准化与优先数系

1.3.1 标准

标准是指根据科学技术、生产和使用经验的综合成果,在充分协商的基础上,对技术、经济和相关特征的重复之物,由主管机构批准,并以特定形式颁布统一的规定,作为共同遵守的准则和依据。

或者说是重复性事物或概念所做的统一规定。例如,对纸而言,有 8 开,16 开,32 开。对图纸而言,有 A0, A1, A2, A3, A4, A5。又例如,对机械制图投影象限的选择,中国取第一象限,日本取第三象限,英国取第一和三象限。这就是大家公认的标准。

1. 标准的分类

标准的种类繁多,从不同角度可对标准进行不同的分类,习惯上将标准分为三类:技术标准、管理标准和工作标准。本书仅介绍技术标准。技术标准是指作为科研、设计、制造、检验和工程技术、产品、技术设备等制定的标准,其面广、种类繁多,一般可归纳为以下几种:

(1) 基础标准。指技术生产活动中最基本、最具有广泛指导意义的标准。也是最具有一般共性、通用性的标准。如机械制图、法定计量单位、优先数系、表面粗糙度、极限与配合和通用的名词术语等标准,本课程主要涉及的是基础标准。

(2) 产品标准。它又可分为品种系列标准和产品质量标准,主要对产品的类型、尺寸、主要性能参数、质量指标、试验方法、验收规则、包装、运输、使用、贮存、安全、卫生、环保等制定的标准。如仪器、仪表和农用柴油机,都有不同的具体的产品标准。

(3) 方法标准。指对试验、检验、分析、统计、测量等对象所制定的标准。如机械零件的测量方法、内燃机的台架试验方法、药品成分的检验方法等标准。

(4) 安全卫生与环保标准。指关于技术设备、人身安全、卫生、环保方面的标准。

2. 标准的管理体制

标准可按不同的级别颁布。从国际范围看,有国际标准与区域性标准。我国技术标准分为国家标准、部标准(行业标准)、地方标准和企业标准四个层次。

(1) 国际标准。为了便于国际间的物流,扩大文化、科学技术和经济上的合作,在世界范围内促成标准化工作的发展,1947 年 2 月 23 日,国际上成立了国际标准化组织(简称 ISO),其主要活动是负责制定国际标准,协调世界范围内的标准化工作与传播交流信息,与其他国际组织合作,共同研究相关问题。ISO 是一个世界范围的国家级标准化组织(ISO 成员)的联合会,国际标准的制定工作由 ISO 各技术委员会进行。每个成员组织,对某一主题的技术委员会感兴趣,就有权参加该委员会工作,其他与 ISO 协作的政府间或非政府间的国际组织也可以参加工作。ISO 与 IEC(国际电工委员会)在所有有关电工技术标准化的内容上进行密切合作。由技术委员会提出的国际标准草案,散发给各成员组织、由各成员组织投票表决,至少需要 75% 的赞成票才能作为国际标准公布。由于国际标准集中反映了众多国家的现代科技水平,并考虑国际技术交流和贸易的需要,我国于 1979 年恢复参加了 ISO 组织,并提出:坚持与国际标准统一协调;坚持结合国情;坚持高标准、严要求、促进技术进步的三大原则,在国际标准的基础上修订或制定了各项国家标准。

目前,我国采用国际标准的方式:第一,等同采用,即国家标准的技术、内容完全与国际标

准相同,且编写与国际标准相当;第二,等效采用(EQV),即在技术内容上国家标准与国际标准完全相同,仅在编写上不完全与国际标准相同;第三,不等效采用(NEQ),即在技术上国家标准与国际标准不相同。目前我国已加入国际世贸组织(WTO),因此,在技术、经济上采用国际标准会有明显的发展,其结果必将有力地促进我国科学技术的进步,进一步扩大改革开放、开拓国际市场、增强国际市场的竞争力。

(2) 区域性标准。主要是指欧洲及北美标准。例如美国和加拿大两国制定统一螺纹标准,为北美标准。

(3) 国家标准(GB)。GB表示国家强制标准,GB/T表示国家推荐标准。它是对全国技术、经济发展有重大意义又必须制定的全国范围内统一的标准。如要在全中国范围内统一的名词术语、基础标准,基本原材料、重要产品标准,基础互换性标准,通用零部件和通用产品的标准等。

(4) 行业标准(原部颁标准或专业标准)。主要指全国性的各专业范围内统一的标准。如原石油工业部的石油标准(SY)、原机械工业部的机械标准(JB)、原轻工业部的轻工标准(QB)等。

(5) 地方标准。指省、直辖市、自治区制定的各种技术经济规定。例如,“沪Q”、“京Q”分别表示上海、北京的地方企业标准。

(6) 企业标准(QB)。通常是指未制定国标、部标的产品应制定企业标准。通常鼓励企业标准严于国家标准或行业标准,以提高企业的产品质量。

1.3.2 标准化

在机械制造中,标准化是广泛实现互换性的前提。

标准化的定义:对标准的制定、贯彻、执行的一系列过程。或者说在经济、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。可见,标准化不是一个孤立的概念,而是一个包括制定、贯彻、修订标准,循环往复、不断提高的过程。在此过程中,贯彻标准是核心环节,相反,标准化便失去应有的意义。

各国经济发展的过程表明,标准化是实现现代化的重要手段之一,也是反映现代化水平的重要标志之一。随着科技和经济的发展,我国的标准化工作日益提高,在发展产品种类、组织现代化生产、确保互换性、提高产品质量、实现专业化协作生产、加强企业科学管理和产品售后服务等方面发挥了积极的作用,推动了技术、经济和社会的发展。

标准化是组织现代化生产的一个重要手段,是实现专业化协调生产的必要前提,是科学管理的重要组成部分。同时,它又是联系科研、生产、物流、使用等方面的纽带,是社会经济合理化的技术基础,还是发展经贸、提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。此外,在制造业,标准化是实现互换性生产的基础和前提。总之,标准化直接影响科技、生产、管理、贸易、安全卫生、环境保护等诸多方面,必须坚持贯彻执行标准,不断提高标准化水平。

标准化的基本原理是1972年以ISO名义出版桑德斯主编的《标准化的目的与原理》,英法美日普遍接受的基本原理。它包括有简化原理、一致同意原理、实验价值原理、选择固定原理、定期修改原理、检验测试原理、法律强制原理,概括了标准化的特征以及制定和贯彻标准的全过程。在我国由于意见不统一,没有一致的说法,但以下五点是一致的:简化,统一,协调,优化,重复利用。

1.3.3 优先数系和优先数

1. 数值的传播

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。例如汽车发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。这种技术参数的传播在生产实践中是极为普遍的现象,既发生在相同量值之间,也发生在不同量值之间,并且跨越行业和部门的界限。这种情况可称为数值的横向传播。

在商品生产中,为了满足用户各种各样的要求,同一品种的某个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。这个系列确定的是否合理,与所取的数值如何分档、分级直接有关。数值分级可称为数值的纵向传播。

技术参数的传播在生产实际中是极为普遍的现象,而这些工程技术参数数值,即使是很小的差别,经过反复传播,也会造成尺寸规格的繁多杂乱,给组织生产,协作配套以及使用维修带来很大的困难。因此,各种技术参数的数值都不能随意确定;对同种产品或同种参数,亦不能随意分级,必须从全局出发加以协调。此外,从方便设计、制造(包括协作配套)、管理、使用和维修等来考虑,对技术参数的数值,也应该进行适当的简化和统一。

2. 对数系的要求

如前所述,在工业生产中需要用统一的数系协调各部门的生产。对各种技术参数分级,已成为现代工业生产的需要。因此,对数系有下列要求:

- (1) 彼此相关,疏密适当。
- (2) 能两端延伸和中间插入。
- (3) 两相邻数的相对差为定值。
- (4) 积商后仍为数系中的数。
- (5) 十进制。

表 1-1 两数列比较

数 列	例 子	相对差	圆面积
等差数列	1, 2, 3, 4, ..., 10, 11, ...	$(2-1)/1 \times 100\% = 100\%$, $(11-10)/10 \times 100\% = 10\%$	$A = (\pi/4) d^2$ $A = \pi/4 (d+1)^2$
等比数列	1, q , q^2 , q^3 , ..., q^{n-1} , q^n , ...	$(q^n - q^{n-1})/q^{n-1} \times 100\% = (q-1)100\%$	$A = (\pi/4) d^2 q^2$

从表 1-1 中可以看出,等差数列两相邻数的相对差不为定值,并且圆面积 $A = \pi/4 (d+1)^2$ 展开后是一个多项式。而几何级数两相邻数的相对差为定值,圆面积 $A = (\pi/4) d^2 q^2$,仍可能为数列中的数。这样的运算封闭性,能够实现更为广泛的数值统一。所以,工程上的主要技术参数,若按十进制几何级数分级,经过数值传播后,与其相关的其他量值也有可能按同样的数值规律分级。这是建立优先数系的依据。

3. 优先数系

(1) 基本系列。先考察一几何级数: $\cdots aq^0, aq^1, aq^2, aq^3, aq^4, aq^5, aq^6, aq^7, \cdots aq^n \cdots$ 现要求在这个级数中建立一数系,该数系每隔五项数值增加十倍:

即令 $aq^5 = 10aq^0$, 又令 $a = 1$, 所以 $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$ 。由此得一公比为 $q_5 = \sqrt[5]{10}$ 的等比数列: 1, 1.6, 2.5, 4.0, 6.3, 10。这个数列称为 R5 系列。

又令 $aq^{10} = 10aq^0$, 即该数系每隔十项数值增加十倍, 令 $a = 1$, 所以 $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$, 又得一数列: 1, 1.25, 1.6, 2.00, 2.5, 3.15, 4.00, 5.00, 6.30, 8.00, 10。这个数列称为 R10 系列。同理可得公比为 $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$ 和公比为 $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$ 的 R20, R40 数系。国家标准 GB 321-80 规定, R5、R10、R20、R40 四个系列, 是优先数系中的常用系列, 称为基本系列。该系列各项数值的常用值如表 1-2 所示。其代号为: 系列无限定范围时, 用 R5、R10、R20、R40 表示; 系列有限定范围时, 应注明界限值。例如, R10(1.25...) 表示以 1.25 为下限的 R10 系列; R20(...45) 表示以 45 为上限的 R20 系列; R40(75...300) 表示以 75 为下限和 300 为上限的 R40 系列。

表 1-2 优先数系的基本系列(常用值)(摘自 GB 321-80)

R5	1.00		1.60		2.50		4.00		6.30		10.00
R10	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00	10.00
R20	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	
R40	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			

由于这些数列是法国人雷诺 C. Renard 发明的, 故将这些数列分别写作 R5, R10, R20, R40 系列。雷诺在 1877 年为减少系气球的绳索尺寸种类, 按等比数列分级, 将原 425 种绳索规格整理简化为 17 种。

(2) 补充系列。R80 系列称为补充系列。公比 $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$, 其代号表示方法同基本系列。以上是国家标准 GB321-80 规定的五种优先数系, 与国际标准 ISO03-1973 相同。

(3) 变形系列。变形系列主要有三种: 派生系列、移位系列和复合系列。

1) 派生系列。派生系列是从基本系列或补充系列 R_r 中(其中 $r = 5, 10, 20, 40, 80$), 每隔 p 项取值导出的系列, 即从每相邻的连续 p 项中取一项形成的等比系列。派生系列的代号表示方法为:

系列无限定范围时, 应指明系列中含有的一个项值, 但是如果系列中含有项值 1, 可简写为 R_r/p 。例如, R10/3 表示系列为...1, 2, 4, 8, 16...; 又例如, R10/3(...80...) 表示含有项值 80 并向两端无限延伸的派生系列。

系列有限定范围时, 应注明界限值, 例如, R20/4(112...) 表示以 112 为下限的派生系列; R40/5(...60) 表示以 60 为上限的派生系列; R5/2(1...10 000) 表示以 1 为下限和 10 000 为上限的派生系列。

派生系列的公比为: 公比为 $q_{r/p} = (\sqrt[p]{10})^r$ 。

例如, 派生系列 R10/3, 它的公比 $q_{10/3} = (\sqrt[10]{10})^3 \approx 2$ 。首先, 写出 R10 系列如下:

R10 系列: 1, 1.25, 1.6, 2.00, 2.5, 3.15, 4.00, 5.00, 6.30, 8.00, 10 由于第一项是 1, 所以 R10/3 系列: 1, 2.00, 4.00, 8.00, ... 同理, 可以得出 R10/3(1.25...): 1.25, 2.50, 5.00, 10.00, ...。

2) 移位系列。移位系列也是一种派生系列,它的公比与某一基本系列相同,但项值与该基本系列不同。例如,项值从 2.58 开始的 R80/8 系列,是项值从 2.50 开始的 R10 系列的移位系列:

R80/8: 2.58, 3.25, 4.12, ...

R10: 2.50, 3.15, 4.00, ...

则 R80/8 为 R10 系列的移位系列,其公比与 R10 系列相同。

3) 复合系列。复合系列是指由几个公比不同的系列组合而成的变形系列,或以某一系列为主,从中删去个别数值,而加邻近系列的数值形成的系列。亦即从一个系列或多个系列中取值。例如,10, 16, 25, 35.5, 47.5, 63, 80, 100 即为一复合系列。其中 10, 16, 25 为 R5 系列; 25, 35.5 为 R20/3 系列; 35.5, 47.5, 63 为 R40/5 系列; 63, 80, 100 为 R10 系列。如 0.6 ~ 3600.0kW 感应电动机系列也为一复合系列。

4. 优先数

优先数系的五个系列(R5, R10, R20, R40 和 R80)中任一值均称为优先数,根据其取值的精确程度,数值可分为:

(1) 优先数的理论值。理论值即理论等比数列的项值。如 R5 理论等比数列的项值有 1, $\sqrt[5]{10}$, $(\sqrt[5]{10})^2$, $(\sqrt[5]{10})^3$, $(\sqrt[5]{10})^4$, 10 等。理论值一般是无理数,不便于实际应用。

(2) 优先数的计算值。计算值是对理论值取 5 位有效数字的近似值,同理论值相比,其相对误差小于 1/20000,供精确计算用。例如 1.60 的计算值为 1.5849。

(3) 优先数的常用值。即通常所称的优先数,取 3 位有效数字进行圆整后规定的数值,是经常使用的,见表 1-2 所示。

(4) 优先数的化整值。化整值是对基本系列中的常用数值做进一步圆整后所得的值,一般取两位有效数字,供特殊情况用。例如 1.12 的化整值为 1.1; 6.3 的化整值为 6.0; 31.5 的化整值为 30 等等,例如,齿轮齿数为 31.5 时,取 32。

5. 优先数系的应用

(1) 在一切标准化领域中应尽可能采用优先数系。优先数系不仅应用于标准的制订,且在技术改造设计、工艺、实验、老产品整顿简化等诸多方面都应加以推广,尤其在新产品设计中,要遵循优先数系。即使现有的旧标准、旧图样和旧产品,也应结合标准的修订或技术整顿,逐步地向优先数系过渡。此外,还应注意,优先数系不仅用于产品设计,也用于零部件设计,在积木式组合设计和相似设计中,更应使用优先数系;另外有些优先数系,例如 R5 系列,还可用于简单的优选法。

(2) 区别对待各个参数采用优先数系的要求。基本参数、重要参数及在数值传播上最原始或涉及面最广的参数,应尽可能采用优先数。对其他各种参数,除非由于运算上的原因或其他特殊原因,不能为优先数(例如两个优先数的和或差不再为优先数)以外,原则上都宜于采用优先数。

对于有函数关系的参数,如 $y = f(x)$, 自变量 x 参数系列应尽可能采用优先数系的基本系列。若函数关系为组合特性的多项式,因变量 y 一般不再为优先数,当条件允许时,可圆整为与它最接近的优先数。当待定参数互为自变量时,尤其当函数式为组合特性的多项式时,应注意仔细分析选取哪些参数为自变量更符合技术经济利益。一般而言,当各种尺寸参数有矛盾,不能都为优先数时,应优先使互换性尺寸或连接尺寸为优先数;当尺寸参数与性能参数有矛盾,不能都为优先数时,宜优先使尺寸参数为优先数。这样便于配套维修,使材料、半成品和

工具等简化统一。

(3) 按“先疏后密”的顺序选用优先数系。对自变量参数尽可能选用单一的基本系列,选择的优先顺序是:R5、R10、R20、R40。只有在基本系列不能满足要求时,才采用公比不同,由几段组成的复合系列;如果基本系列中没有合适的公比,也可用派生系列,并尽可能选用包含有项值1的派生系列。对于复合系列和派生系列,也应按先疏后密的顺序选用。

1.4 极限配合与检测技术的发展

1.4.1 极限与配合标准的发展概况

19世纪初,资本主义机器大工业生产迅速发展。由于需要扩大互换性生产的规模和控制机器备件的供应,要求在工厂内部制定统一的公差与配合标准。于是,英国伦敦以生产剪羊毛机为主的纽瓦尔(Newall)公司率先制定和颁布了几何尺寸公差的“极限表”,成为世界上最早的公差制。

之后,英国于1906年和1924年颁布了国家标准(B. S. 164);美国于1925年出版了包括公差制的国家标准(A. S. A. B4a)。这些标准被看作是世界上初期的公差标准。德国的国家标准是在英、美初期公差制的基础上发展起来的。它采用了基孔制和基轴制,并提出了公差单位的概念,规定了20℃为标准温度,将精度等级与配合分开。苏联于1929年也颁布了“公差与配合”标准。

随着科技、生产和国际交流的发展,1926年成立了国际标准化协会(ISA)。其中,第三技术委员会(ISA/TC3)负责制定公差与配合。德国为秘书国。在总结了DIN(德国)、AFNOR(法国)、BSS(英国)、SNV(瑞士)等国家标准的基础上,于1932年提出了国际标准化协会ISA的议案,1935年公布了国际公差制ISA的草案,1940年才正式颁布国际公差与配合标准。第二次世界大战以后,1947年2月国际标准化协会重新组建并改名为国际标准化组织(ISO),仍由第三技术委员会(ISA/TC3)负责制定公差与配合标准。法国为秘书国。在ISA公差制的基础上,制定了新的ISO公差与配合标准。此后,又相继制定了一系列标准,构建成现行的国际公差标准。其主要标准有:ISO/R1938-1971《光滑工件的检验》、ISO/R286-1962《极限与配合制》、ISO/R773-1969《长方形及正方形平行键及键槽》、ISO/R1101-1-1969《形状和位置通则、符号和图样标注法》、ISO68-1973《紧固连接的圆柱螺纹标准》、ISO1328-1975《平行轴圆柱齿轮精度制》、ISO468-1982《表面粗糙度标准》等。

旧中国,工业落后,无统一的公差标准。虽然于1944年颁布过中国标准(CIS),其内容完全套用ISA标准,且并未贯彻执行。新中国成立后,随着社会主义建设的蓬勃发展,在借鉴一些国家在公差标准方面的经验之后,于1955年由原第一机械工业部颁布了第一个公差与配合标准;1959年,由国家科委正式颁布了国家标准GB159-174-59《公差与配合》。接着又陆续制定了各种结合件、传动件、表面形状和位置公差及表面光洁度等标准。1979年,我国恢复参加了ISO组织,并参照国际标准逐步修订了极限与配合等各项国家标准,使之适应我国工业不断发展的水平。随着我国四化建设和改革开放,特别是加入世贸组织(WTO)后,国际交流和全球化经济竞争日益加强,可以预见,极限与配合标准将会发挥更大的作用。

1.4.2 检测技术的发展概况

最早的公制长度单位米,是1791年由法国政府决定,以通过巴黎的地球子午线的四千万分之一为长度单位米,并制成一米的基准尺,而成为世界上最早的米尺。尔后,于1889年在第一届国际计量大会上规定,以用铂铱金制成的具有刻度线的基准尺作为国际米原器。由于科技的发展,于1960年在第十一届国际计量大会上规定,采用氪的同位素 $Kr80$ 在真空中的波长定义米。后来,又于1983年第十七届国际计量大会上通过了以光速作为米的新定义,即目前所使用的公制长度单位米。长度基准的发展,导致测量器具的不断改进。自德国于1926年制造出小型工具显微镜和1927年生产万能工具显微镜起,几何量测量技术便随着生产的发展而不断进步。根据国际计量大会的统计,机械零件加工精度大约每10年提高一个数量级,这都是由于检测技术不断发展的缘故。例如,1940年由于有了机械式比较仪,使机械加工水平从过去的 $3\mu m$ 提高到 $1.5\mu m$;到了1950年,有了光学比较仪,使加工精度提高到 $0.2\mu m$;到了1960年,有了圆度仪,使加工精度提高到 $0.1\mu m$;到了1969年,由于出现了激光干涉仪,使加工精度提高到 $0.01\mu m$ 水平。测量范围由工具显微镜的两维空间发展到三坐标测量仪的三维空间;测量的尺寸范围从飞机机架到集成元件上的刻线;测量的自动化程度更是从人工对准、刻度尺读数发展到自动对准、计算机采集数据处理、自动显示、自动打印结果等等。

旧中国,没有计量仪器制造工厂。新中国成立后,随着科技和工业生产的不断发展,很快建造了一批量具制造厂,分布在全国各大城市,成批生产诸如工具显微镜、干涉显微镜、三坐标测量仪、齿轮单齿仪、电动轮廓仪、接触式干涉仪、双管显微镜、立式光较计等仪器。同时,在计量科学研究和计量管理方面,国家投入大量的人力和物力,成立了完整的计量研究、制造、管理、鉴定、测量体系,并取得了令人瞩目的成绩。如于1962—1964年建立了 $Kr86$ 长度基准,接着又先后制成激光光电光波比长仪、激光量块干涉仪、激光二坐标测量仪,使我国的线纹尺和量块的测量技术达到世界先进水平。我国小批生产的光栅丝杠动态检查仪和光栅式齿轮全误差测量仪等,也都进入了世界先进行列。目前机械加工精度已达到纳米级,而相应的检测技术也已向纳米级不断地发展。随着我国科技的发展和综合国力的不断增强,计量工程技术将全面达到世界先进水平。

习 题 1

思考题

1. 什么叫互换性?它在机械制造中有何作用?是否互换性只适用于大批量生产?
2. 生产中常用的互换性有几种?采用不完全互换的条件和意义是什么?
3. 何谓标准化?它和互换性有何关系?标准应如何分类?
4. 试举例说明互换性在日常生活中的应用实例(举5例)。
5. 何谓优先数系,基本系列有哪些?公比如何?变形系列有几种?派生系列是怎样形成的?

作业题

1. 按优先数的基本系列确定优先数: