

高等学校教材

互换性与测量 技术基础

范真 主编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

互换性与测量技术基础

Huhuanxing yu Celiang Jishu Jichu

范 真 主 编
张兴国 朱雅萍 叶 霞 副主编
张维强 主 审



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书为机械类各专业的技术基础课教材。全书分9章,包括绪论,测量技术基础,孔、轴公差配合与检测,几何公差与检测,表面粗糙度及其检测,典型零部件的公差配合与检测,渐开线圆柱齿轮公差与检测,尺寸链,机械零件的精度设计举例,书后附有附录。本书采用公差相关最新国家标准,各章后附有思考题和习题,以配合教学需要。本书强调基础,突出应用,力求按教学规律阐述本学科基本知识,便于自学。

本书可作为普通本科院校和独立学院机械类专业及相关专业教材,也可供从事机械设计、机械制造、标准化、计量测试等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术基础/范真主编. --北京:高等教育出版社,2012.8
ISBN 978-7-04-034797-5

I. ①互… II. ①范… III. ①零部件-互换性-高等学校-教材②零部件-测量技术-高等学校-教材
IV. ①TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第159658号

策划编辑 杜惠萍 责任编辑 杜惠萍 封面设计 于文燕 版式设计 马敬茹
责任校对 窦丽娜 责任印制 刘思涵

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京明月印务有限责任公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 19.5
字 数 470千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2012年8月第1版
印 次 2012年8月第1次印刷
定 价 30.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 34797-00

前 言

“互换性与测量技术基础”是工科院校机械类各专业的一门综合性、实用性都很强的技术基础课。它将互换性原理、标准化生产管理、零部件几何参数测量等相关知识结合在一起,涉及机械产品及其零件的设计、制造、维修、质量控制与生产管理等多方面技术问题。

本书是采用最新国家标准,融入编者多年来教学实践中积累的经验,并参考已出版的同类教材编写而成的。本书内容强调基础,突出应用,并在一定程度上反映国内外的最新公差与测量技术内容。本书具有以下特点:

1. 采用最新颁布的国家标准,侧重于对新标准的理解与应用;
2. 紧密结合教学大纲,加强基础,注重应用,反映国内外最新成就;
3. 理论联系实际,尽量采用工程实际中零部件公差的应用实例和习题;
4. 专门设立了机械零件的精度设计章节,帮助学生掌握机械工程中的精度设计问题;
5. 适用面广,可适用于多学时或少学时讲授;
6. 将常用的公差表格作为附录,便于学生在后续课程设计、毕业设计中查用;
7. 附录中增加了世界主要工业发达国家一些几何公差相关标准的简单介绍,以适应国际制造业发展的需求,拓宽学生视野,起到抛砖引玉的作用。

本书由江苏技术师范学院范真担任主编,南通大学张兴国、河海大学朱雅萍、江苏技术师范学院叶霞担任副主编。其中第1章、第3章由张兴国编写;第2章、第8章由朱雅萍编写;第4章、第7章由范真编写;第6章由范真、蒋琴仙、李仁兴编写;第5章、第9章由叶霞编写。全书由范真统稿。

南京农业大学张维强教授审阅了本书,并提出了宝贵意见和建议。本书在编写过程中还得到了参编单位领导和老师的大力支持。在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限,时间仓促,书中难免存在错误和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2012年2月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 1 章 绪论	1	第 6 章 典型零、部件的公差配合与检测	149
1.1 互换性与公差	1	6.1 滚动轴承的公差与配合	149
1.2 标准化与优先数系	3	6.2 键与花键连接的公差与检测	158
1.3 检测技术概述	7	6.3 螺纹的公差与检测	166
1.4 产品几何技术规范与计量体系简介	8	6.4 圆锥接合的公差配合与检测	181
1.5 本课程的特点和任务	9	思考题与习题	191
思考题与习题	10	第 7 章 渐开线圆柱齿轮公差与检测	193
第 2 章 测量技术基础	11	7.1 齿轮传动的使用要求与主要误差	193
2.1 测量的基本概念	11	7.2 齿轮精度的评定项目及其检测	200
2.2 计量单位与量值传递系统	12	7.3 齿轮副的检验项目及其检测	211
2.3 测量方法和计量器具	19	7.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	213
2.4 测量误差及数据处理	26	思考题与习题	219
思考题与习题	35	第 8 章 尺寸链	221
第 3 章 孔、轴公差配合与检测	36	8.1 尺寸链的基本概念	221
3.1 基本术语和定义	36	8.2 完全互换法计算尺寸链	229
3.2 常用尺寸孔、轴公差与配合	45	8.3 大数互换法计算尺寸链	234
3.3 常用尺寸孔、轴公差与配合的选择	58	8.4 计算尺寸链的其他方法	238
3.4 大尺寸孔、轴公差与配合的选择	67	思考题与习题	240
3.5 未注公差线性尺寸的公差选择	71	第 9 章 机械零件的精度设计举例	242
3.6 尺寸精度的检测	72	9.1 典型零件的精度设计	242
思考题与习题	80	9.2 装配图上标注的尺寸和配合代号	252
第 4 章 几何公差与检测	82	思考题与习题	253
4.1 概述	82	附表	255
4.2 几何公差在图样上的标注	87	附表 1 量块的分级	
4.3 几何公差带	91	(摘自 GB/T 6093—2001)	255
4.4 公差原则与公差要求	103	附表 2 量块的分等	
4.5 几何公差的选择	114	(摘自 JJG 146—2003)	255
4.6 几何误差及其检测	120	附表 3 标准尺寸(10~100 mm)	
思考题与习题	127	(摘自 GB/T 2822—2005)	256
第 5 章 表面粗糙度及其检测	130	附表 4 公称尺寸分段	
5.1 概述	130	(摘自 GB/T 1800.1—2009)	257
5.2 表面粗糙度的评定参数	132	附表 5 公称尺寸至 3 150 mm 的标准公差	
5.3 表面粗糙度的参数值及其选用	136	数值(摘自 GB/T 1800.1—2009)	258
5.4 表面粗糙度在零件图上的标注	140	附表 6 轴的基本偏差数值	
5.5 表面粗糙度的检测	145	(摘自 GB/T 1800.1—2009)	259
思考题与习题	148		

目 录

附表 7 孔的基本偏差数值 (摘自 GB/T 1800.1—2009) ……	263	(摘自 GB/T 1184—1996) ……	279
附表 8 孔的优先公差带的极限偏差 (摘自 GB/T 1800.2—2009) ……	267	附表 29 几何误差的测量不确定度 占给定公差值的比例 (摘自 GB/T 1958—2004) ……	279
附表 9 轴的优先公差带的极限偏差 (摘自 GB/T 1800.2—2009) ……	268	附表 30 轮廓算术平均偏差 R_a 、轮廓最大 高度 R_z 和轮廓单元的平均宽度 R_{sm} 的标准取样长度和标准评定 长度(摘自 GB/T 1031—2009、 GB/T 10610—2009) ……	279
附表 10 基孔制与基轴制优先配合的 极限间隙或极限过盈 (摘自 GB/T 1801—2009) ……	270	附表 31 轮廓算术平均偏差 R_a 、轮廓最大 高度 R_z 、轮廓单元的平均宽度 R_{sm} 和轮廓的支承长度率 $R_{mr}(c)$ 的 数值(摘自 GB/T 1031—2009) ……	280
附表 11 未注公差线性尺寸的 极限偏差数值 ……	272	附表 32 向心轴承(圆锥滚子轴承除外) 内圈内径极限偏差 (摘自 GB/T 307.1—2005) ……	280
附表 12 未注公差的倒圆半径和 倒角高度尺寸的极限偏差数值 ……	272	附表 33 向心轴承(圆锥滚子轴承除外) 外圈外径极限偏差 (摘自 GB/T 307.1—2005) ……	281
附表 13 未注公差的角度尺寸的 极限偏差数值 ……	272	附表 34 轴颈和外壳孔的几何公差 (摘自 GB/T 275—1993) ……	281
附表 14 安全裕度(A)与计量器具 的测量不确定度允许值(u_1) (摘自 GB/T 3177—2009) ……	273	附表 35 轴颈和外壳孔表面粗糙度 (摘自 GB/T 275—1993) ……	282
附表 15 千分尺和游标卡尺的不确定度 ……	274	附表 36 普通平键、键槽剖面尺寸 及键槽公差(摘自 GB/T 1096—2003) ……	282
附表 16 比较仪的不确定度 ……	274	附表 37 矩形花键的尺寸系列 (摘自 GB/T 1144—2001) ……	283
附表 17 指示表的不确定度 ……	275	附表 38 矩形花键位置度公差值 t_1 (摘自 GB/T 1144—2001) ……	284
附表 18 工作量规尺寸公差值及位置 要素值(摘自 GB/T 1957—2006) ……	275	附表 39 矩形花键对称度公差值 t_2 (摘自 GB/T 1144—2001) ……	284
附表 19 量规测量面的表面粗糙度 R_a 值 (摘自 GB/T 1957—2006) ……	276	附表 40 花键表面粗糙度推荐值 ……	284
附表 20 直线度、平面度公差值 (摘自 GB/T 1184—1996) ……	276	附表 41 普通螺纹的公称尺寸 (摘自 GB/T 196—2003) ……	285
附表 21 圆度、圆柱度公差值 (摘自 GB/T 1184—1996) ……	277	附表 42 普通螺纹顶径公差 (摘自 GB/T 197—2003) ……	286
附表 22 平行度、垂直度、倾斜度公差值 (摘自 GB/T 1184—1996) ……	277	附表 43 普通螺纹中径公差 (摘自 GB/T 197—2003) ……	286
附表 23 同轴度、对称度、圆跳动、全跳动 公差值(摘自 GB/T 1184—1996) ……	278	附表 44 内、外螺纹的基本偏差 (摘自 GB/T 197—2003) ……	287
附表 24 位置度的公差值系数 (摘自 GB/T 1184—1996) ……	278	附表 45 螺纹的旋合长度	
附表 25 直线度和平面度的未注 公差值(摘自 GB/T 1184—1996) ……	278		
附表 26 垂直度未注公差值 (摘自 GB/T 1184—1996) ……	278		
附表 27 对称度未注公差值 (摘自 GB/T 1184—1996) ……	279		
附表 28 圆跳动未注公差值			

	(摘自 GB/T 197—2003).....	288		(参考)	294
附表 46	螺纹牙侧面粗糙度 Ra 值	288	附表 53	齿轮坯尺寸公差	294
附表 47	一般用途圆锥的锥度与锥角系列 (摘自 GB/T 157—2001)	289	附表 54	基准面和安装面的形状公差 (摘自 GB/Z 18620.3—2008)	294
附表 48	圆锥角公差 (摘自 GB/T 11334—2005)	290	附表 55	安装面的跳动公差 (摘自 GB/Z 18620.3—2008)	294
附表 49	$\pm f_{pt}$ 、 F_p 、 $\pm F_{pk}$ 、 F_α 、 f'_i 、 F'_i 、 F_r 偏差允许值(摘自 GB/T 10095.1~10095.2—2008) ...	291	附表 56	齿轮齿面表面粗糙度 (摘自 GB/Z 18620.4—2008)	295
附表 50	螺旋线总偏差 F_β (摘自 GB/T 10095.1—2008)	292	附表 57	齿轮各基准面粗糙度推荐的 Ra 上限值	295
附表 51	径向综合总偏差 F_r'' 和 一齿径综合偏差 f_r'' (摘自 GB/T 10095.2—2008)	293	附表 58	部分尺寸分段的公差因子	295
附表 52	齿轮副的中心距极限偏差 $\pm f_a$ 值		附录	ISO 及重要工业国家的几何公差 及公差原则标准简介	296
			参考文献	300

第 1 章

绪 论

1.1 互换性与公差

互换性(interchangeability)的例子在日常生活和工业生产中比比皆是。灯泡坏了,可以换个新的继续使用;自行车、缝纫机、钟表的零、部件坏了,只要换一个相同规格的新的零、部件,即可满足使用要求;USB 接口可使计算机周边设备(例如数码相机、扫描仪、游戏杆、打印机、键盘、鼠标等)方便地与任一台计算机相连。之所以能如此方便,是因为这些合格的产品和零、部件在尺寸、功能上能够彼此互相替换。这种在日常生活中到处都能遇到“互相替换”的性能,是现代化生产的基本技术经济原则,普遍应用于机床、拖拉机、家用电器、汽车等产品的零件设计、制造和使用维修等方面。

为了保证产品具有“互相替换”的性能,需要保证产品的质量,包括工作精度、耐用性、可靠性、效率等。在合理设计结构和正确选用材料的前提下,零、部件和整机的几何精度就是产品质量的决定性因素。因此,必须根据零件的使用要求在尺寸、形状、方向、位置及表面特征等方面对零件进行一些约束与限制,设计时应将这些要求标注在图样上,制造时应严格控制这些指标参数,从而保证质量。

1.1.1 互换性的含义

上述“互相替换的性能”即称之为互换性。现代化的机械产品生产是建立在互换性原则基础之上的。那么,什么是机械产品零、部件的互换性?

按规定的技术条件和要求来制造机械产品的各组成部分和零件,使同一规格的零、部件在装配和更换时,不需要进行任何挑选、辅助加工、调整或修配,就能顺利地装配到机器上预定位置,并能满足使用性能要求,这种特性就称为产品的互换性。这一含义表明具有互换性的零、部件在装配或修配时可以相互替换,而替换后又能完全满足功能要求,广义来说互换性应包括几何量、力学性能和物理、化学性能等方面的互换性。本课程仅讨论几何量的互换性。

1.1.2 公差的含义

零件在加工过程中,由于各种因素(机床、刀具、温度等)的影响,其几何参数不可避免地会产生各种误差(即几何量误差),零件的尺寸、形状、相对位置和表面粗糙度等难以达到理想状

态。不仅如此,要想把同一规格的一批零件的几何参数做得完全一致也是不可能的,实际上也没有必要。虽然零件几何参数误差可能会影响零件的使用功能和互换性,但从零件的使用功能角度看,不必要求零件的几何参数绝对准确一致,只要把其几何参数误差控制在一定的范围内,零件的使用性能和互换性就都能得到保证。

保证同一规格零、部件彼此充分接近,其几何参数误差允许变动的范围称为公差,包括尺寸公差、形状公差、方向公差、位置公差和角度公差等。为了保证零件的互换性,要用公差来控制误差。设计时要根据使用要求按标准规定公差,加工时应把完工零件的误差控制在规定的公差范围内。这就是说,互换性要用公差来保证。很显然,在满足功能需要的前提下,零件的公差值应尽量规定得大一些,这样可获得好的经济效益。

完工后的零件是否满足公差要求,要通过检测(包含检验与测量)才能加以判断。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 互换性的意义

互换性给产品的设计、制造和使用维修都带来很大的方便。互换性在机器制造业中的作用如下:

从设计角度看,零、部件具有互换性,就可以最大限度地采用按互换性原则设计并经过实践考验的标准件、通用件和标准部件,可采用标准化的计算方法和程序,进行高效率的优化设计,大大简化设计工作量,缩短设计周期,有利于计算机辅助设计和产品品种的多样化。

从制造角度看,按互换性原则组织生产,可实行大规模的分工协作,有利于组织专业化生产,有利于采用先进工艺和高效率的专用设备以至采用计算机辅助制造,有利于实现加工过程和装配过程机械化、自动化,从而可以提高劳动生产率,提高产品质量,降低生产成本。

从使用和维修角度看,零、部件具有互换性,不仅修配方便,而且有利于获得物美价廉的产品。及时更换那些损坏件或磨损件,可以减少机器的维修时间和费用,保证机器能连续而持久地运转,从而提高机器的使用价值,取得更好的效益。

由上述可知,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的意义。互换性是机械制造中普遍遵守的重要生产原则和效果显著的技术经济措施,它不仅适用于大批大量生产,即便是单件小批生产,也常常采用已标准化的、具有互换性的零、部件,互换性生产对我国社会主义现代化建设具有十分重要的意义。但应当指出的是,互换性原则不是在任何情况都适用,在某些情况下只有采取单个配制才符合经济原则,这时零件虽不能互换,但也有公差和检测的要求。

1.1.4 互换性的种类

通常所指的互换性(又称为狭义互换性)指的是几何参数互换性,即机器的零、部件只在几何参数,如尺寸、形状、方向、位置、表面粗糙度等方面具有的互换性,有时也局限于指保证零件尺寸配合要求的互换性。与其对应的广义互换性,指的是功能互换性,即零件在各种性能方面都达到了互换性的要求,如零件几何参数的精度、物理性能、化学性能以及力学性能等都能满足机器的功能要求,其往往着重于保证除零件尺寸配合要求以外的其他功能要求。

本课程主要研究的是几何参数互换性。按不同场合对于零、部件互换的形式和程度的不同要求,

把互换性分为完全互换性和不完全互换性两类。完全互换性简称互换性,以零、部件装配或更换时不需要挑选或修配为条件。例如,对一批孔和轴装配后的间隙要求控制在某一范围内,据此规定了孔和轴的尺寸允许变动范围,孔和轴加工后只要符合设计的规定,则它们就具有完全互换性。不完全互换性也称为有限互换性,在零、部件装配时允许有附加的选择或调整。主要原因是当精度要求较高时,采用完全互换将使零件制造精度要求很高,加工困难,成本增加,采用不完全互换则可适当降低零件的制造精度,便于加工。在零件完工后,可以用分组装配法、调整法或其他方法来实现互换。

分组装配法是这样一种实现不完全互换的方法。当机器上某些部位的装配精度要求很高时,例如孔与轴(如发动机中气缸与活塞)间的间隙装配精度要求很高(如发动机中气缸与活塞间配合),即间隙变动量要求很小时,若要求孔和轴具有完全互换性,则孔和轴的尺寸公差就很小,这将导致加工困难。这时,可以把孔和轴的尺寸公差适当放大,以解决加工难的问题。完工后的孔和轴通过测量,按实际尺寸的大小各分成若干组,使每组内零件(孔、轴)的尺寸差别比较小,将对应组的孔和轴进行装配,从而达到装配精度要求。所谓对应组装配,即大尺寸组的孔与大尺寸组的轴装配,小尺寸组的孔与小尺寸组的轴装配。采用分组装配法时,对应组内的零件可以互换,而非对应组之间则不能互换,因此零件的互换范围是有限的。

调整法是在机器装配或使用过程中,对某一特定零件按所需要的尺寸进行调整,以达到装配精度要求。例如,装配中通过调整垫片的厚度来保证所需的装配精度要求,即为调整法的一种应用。

对标准部件或机构来讲,互换又可分为外互换性和内互换性。外互换性是指部件或机构与其相配合件间的互换性。内互换性是指部件或机构内部组成零件间的互换性。例如,滚动轴承内圈内径与传动轴的配合、滚动轴承外圈外径与壳体孔的配合为外互换性,滚动轴承内、外圈滚道直径与滚动体直径间的配合为内互换性。

一般说来,使用要求与制造水平、经济效益没有矛盾时,可采用完全互换;反之,采用不完全互换。对于厂际协作,应采用完全互换。至于厂内生产的零、部件的装配,可以采用不完全互换。

1.2 标准化与优先数系

现代制造业生产的特点是品种多、分工细、协作广。为了使社会生产有序地进行,必须有一种手段使分散的、局部的生产部门和生产环节相互协调、统一,使其规格简化,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。在机械制造中,标准化是广泛实现互换性生产的前提。

1.2.1 标准与标准化

1. 标准

所谓标准(standard),就是以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由一定的权威组织对重复出现的共同的技术语言和技术事项等方面规定出来的统一技术准则。它以特定形式发布,是各方面共同遵守的技术依据。简言之即是技术法规。

标准是科学技术的结晶,是多年实践经验的总结,它代表了先进的生产力,对于改进产品质

量,缩短产品生产制造周期,开发新产品和协作配套,提高社会经济效益,发展社会主义市场经济和对外贸易等有很重要的意义。标准一经颁布,即成为技术法规。

标准按其作用范围分为国际标准、区域标准、国家标准、地方标准和试行标准。前四者分别为国际标准化的标准组织、区域标准化的标准组织、国家标准机构、在国家的某个地区一级所通过并发布的标准。试行标准是指由某个标准化机构临时采用并公开发布的文件,以便在使用中获得必要的、作为标准依据的经验。如 ISO、IEC 标准分别为国际标准化组织和国际电工委员会制定的标准,区域标准(或国家集团标准)EN、ANST、DIN 分别为欧盟、美国、德国制定的标准。

标准按其性质分为技术标准、生产组织标准和经济管理标准三大类。通常所说的标准大都是指技术标准。

标准按其对象的特征分为基础标准、产品标准、方法标准、安全标准、卫生标准、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,如极限与配合标准、几何公差标准、渐开线圆柱齿轮精度标准等。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。

根据我国标准法规定,我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级。国家标准代号为 GB,地方标准和企业标准的代号分别用 DB 和 QB 表示。我国积极采用国际标准和国外先进标准,并将逐步建成与国际标准水平相当、适合我国国情、技术先进的国家标准体系,来迎接世界制造业逐步向中国转移的新形势。

2. 标准化

所谓标准化(standardization),是指以制定标准、发布标准、组织实施标准和对标准的实施进行监督的全部活动过程。这个过程是从探索标准化对象开始,经调查、实验、分析,进而起草、制定和贯彻标准,而后修订标准。因此,标准化是一个不断循环而又不断提高其水平的过程。标准化是总称,它包括系列化和通用化的内容。

标准化不是当今才有的,早在人类开始创造工具时代就已出现。它是社会生产劳动的产物。在近代工业兴起和发展的过程中,标准化日益显得重要起来。生产中,实现互换性原则的前提和基础是搞好标准化与计量工作。标准化是组织现代化大生产的重要手段,是联系设计、生产和使用方面的纽带,是科学管理的重要组成部分。标准化对于改进产品、过程和服务的适用性,防止贸易壁垒,促进技术合作方面具有特别重要的意义。标准化程度的高低是评定产品的指标之一,是我国很重要的一项技术政策。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。

1.2.2 优先数与优先数系

在设计机械产品和制定标准时,常常和很多数值打交道。当选定一个数值作为某种产品的参数指标时,这个数值就会按照一定的规律,向一切有关的制品和材料中有关指标传播。例如,螺栓的尺寸一旦确定,将会影响螺母、丝锥板牙、螺栓孔以及加工螺栓孔的钻头等的尺寸,这种参数的传播扩散性在生产实际中极为普遍。由于数值如此不断关联,不断传播,常常形成牵一发而动全身的现象,这就牵涉许多部门和领域。在现代工业生产中,专业化程度高,国民经济各部门要协调和密切配合,因此技术参数的数值不能随意选择,而应该在一个理想的、统一的数系中选择。用统一的数系来协调各部门的生产,把各种技术参数分级,已成为现代工业生产的需要。

1. 优先数及优先数系

优先数与优先数系是 19 世纪末由法国工程师查尔斯·雷诺 (Charles Renard) 首先提出的。优先数系是国际上统一的数值分级制度,是一种量纲为一的分级数系,适用于各种量值的分级。优先数系中的任一个数值均称为优先数。在确定产品的参数或参数系列时,应最大限度地采用优先数和优先数系,这就是“优先”的含义。产品(或零件)的主要参数(或主要尺寸)按优先数形成系列,可使产品(或零件)走上系列化,便于分析参数间的关系,可减轻设计计算的工作量。

探索和大量实践表明,采用包含项值 1 的等比数列作为统一的数系的优点很多,而最能满足工业要求的等比数列是十进等比数列,是一种较理想的数系,可用作优先数系。为了纪念雷诺的贡献,把这个数系称为 R 数系。国家标准 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》规定了 5 个系列,分别用系列符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示,称为 R_r 系列,其公比 $q_r = \sqrt[r]{10}$,同一系列中,每隔 r 个数,数值增至 10 倍。其中前 4 个系列是常用的基本系列,而 R80 则作为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合。各系列的公比为:

$$\text{R5 的公比} \quad q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$$

$$\text{R10 的公比} \quad q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

$$\text{R20 的公比} \quad q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$\text{R40 的公比} \quad q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

$$\text{R80 的公比} \quad q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

优先数的理论值为 $(\sqrt[r]{10})^N$, 式中 N , 是任意整数。这样,按照公比计算得到的优先数的理论值,除 10 的整数幂外,都是无理数,在工程技术上不能直接应用,实际应用的数值都是经过化整后的近似值。根据取值的精确程度,优先数的近似值可以分为:

- ① 计算值,取 5 位有效数字,供精确计算用;
 - ② 常用值,即通常所称的优先数,取 3 位有效数字,是经常使用的;
 - ③ 化整值,是将基本系列中的常用值做进一步化整后所得的数值,一般取 2 位有效数字。
- 优先数系基本系列的常用值见表 1.1。

表 1.1 优先数系基本系列的常用值 (GB/T 321—2005)

基本系列	1 ~ 10 的常用值										
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			

2. 优先数与优先数系的特点

产品设计采用优先数系有以下特点:

1) 产品的参数从最小到最大有很宽的数值范围,按等比数列分级的数值能在较宽的范围只用较少的规格,因为等比数列是一种相对差不变的序列。优先数系正是按等比数列制定的,它提供了一种经济合理的方式来满足需要。

2) 一种产品或零件往往在不同的场合由不同的人员分别设计和制造,产品的参数又常常影响与其配套的一系列产品的有关参数。优先数系是国际上统一的数值制度,可用于各种量值的分级,也为技术经济上统一、简化产品参数和相互协调提供了基础。

3) 优先数中包括有各种不同公比的系列,可以满足较疏和较密的不同的分级要求,而较疏的系列又包含在较密的系列中,这样在必要时可插入中间值,以使疏的系列变成密的系列,而原来的值保持不变,与其他产品间的配套协调关系也不受影响,利于产品发展。如在 R40 系列中隔项取值,就得到 R20 系列;在 R10 系列中隔项取值,就得到 R5 系列。又如在 R5 系列中插入比例中项,就得 R10 系列;在 R20 系列中插入比例中项,就得 R40 系列。即 R5 中的项值包含在 R10 中,R10 中的项值包含在 R20 中,R20 中的项值包含在 R40 中,R40 中的项值包含在 R80 中。

4) 任意两项的理论值经计算后仍为一个优先数的理论值。这种计算包括任意两项理论值的积或商,任意一项理论值的正、负整数乘方等。例如直径为优先数,则圆柱体的面积、体积,球的面积、体积也是优先数。

5) 凡在取值上有一定自由度的参数系列,都应最大限度地选用优先数,如长度、直径、面积、体积、载荷、应力、速度、时间、功率、电流、电压、流量、浓度、传动比、公差、测量范围、比例系数等,特别是在产品设计中应当有意识地使主要尺寸、参数符合优先数。

6) 简单、易记、计算方便。

3. 优先数系的派生系列

为使优先数系具有更宽广的适应性,可以从基本系列中每逢 p 项留取一个优先数,生成新的系列,称之为派生系列,以符号 Rr/p 表示,派生系列的公比为

$$q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[p]{10})^p$$

例如派生系列 R10/3,就是从基本系列 R10 中,自 1 以后每逢 3 项留取一个优先数而组成的,即 1.00,2.00,4.00,8.00,16.0,32.0,64.0,...

4. 优先数系的选用规则

选用基本系列时,应遵守先疏后密的规则,即按 R5、R10、R20、R40、R80 的顺序选用。当基本系列不能满足要求时,可选用派生系列,注意应优先采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,以复合系列的形式来组成最佳系列。

由于优先数系中包含有各种不同公比的系列,因而可以满足各种较密和较疏的分级要求。优先数系以其广泛的适用性已成为国际上通用的标准化数系。GB/T 19763—2005 给出了“优先数和优先数系的应用指南”,GB/T 19764—2005 给出了“优先数和优先数化整值系列的选用指南”,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,以达到对各种技术参数协调、简化和统一的目的,促进国民经济更快、更稳地发展。

1.3 检测技术概述

先进的公差标准对机械产品各零、部件的几何参数分别规定了合理的公差,若不采取适当的检测措施,则规定的这些公差形同虚设,无法实现零、部件的互换性。完工后的零件是否满足公差要求,要通过检测才能加以判断。几何参数检测是组织互换性生产必不可少的重要措施,因此应按照公差标准和检测技术要求对零、部件的几何量进行检测。

1.3.1 检测技术的定义及其重要性

检测技术就是利用各种物理化学效应,选择合适的方法和装置,将生产、科研、生活中的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。检测是检验和测量的统称。一般来说,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,测量的结果能够获得具体的数值,如用游标卡尺测量工件。几何量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,如用卡规检验工件。

必须注意,在检测过程中又会因为各种因素不可避免地产生或大或小的测量误差。这将导致两种误判结果:一是把不合格品误认为合格品而给予接受,称为误收;二是把合格品误认为废品而给予报废,称为误废。这是测量误差表现在检测方面的矛盾,需要从保证产品的质量和经济性两方面综合考虑,合理解决。

检测的目的不仅仅在于判断工件合格与否,评定产品质量,还有积极的一面,这就是根据检测的结果,分析产生不合格品的原因,及时调整生产,监督工艺过程,以便设法减少和防止废品的产生。随着生产和科学技术的发展,对检测的准确度和效率提出了越来越高的要求。

综上所述,产品质量的提高,除依赖设计和加工精度的提高外,往往更有赖于检测精度的提高,即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。

1.3.2 几何量检测在我国的发展

几何量检测在我国具有悠久的历史,商朝时期已有象牙制成的尺,秦朝时期已统一了度量衡制度,西汉末出现了铜质卡尺。但由于我国历史上长期的封建统治,使得科学技术未能进一步发展,检测技术和计量器具一直处于落后的状态,直到1949年新中国成立后才扭转了这种局面。

1959年,国务院发布了《关于统一计量制度的命令》,正式确定采用国际米制作为我国的长度计量单位。1977年,国务院发布《中华人民共和国计量管理条例》,健全了各级计量机构和长度量值传递系统,保证了全国计量单位的统一,促进了产品质量的提高。1984年,国务院又发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,在全国范围内统一实行以国际单位制为基础的法定计量单位。1985年,全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国计量法》,

使我国国家计量单位制度更加统一,全国量值更加准确可靠,从而更好地促进了我国社会主义现代化建设和科学技术的发展。在计量制度不断健全的同时,我国的计量器具也有了较大的发展,现在已拥有一批量仪厂和量具刃具厂,生产了许多品种的计量仪器,用于几何量检测,如万能测长仪、万能工具显微镜、万能渐开线检查仪、半自动齿轮齿距检查仪等。此外,还研制成一些计量仪器,如激光光电比长仪、激光丝杠动态检查仪、光栅式齿轮整体误差测量仪、碘稳频激光器、无导轨大长度测量仪等已跨入世界先进行列。

随着计算机和信息技术的发展,测量仪器的发展进入了自动化、数字化、智能化时代,基于多种功能和算法的计算机软件,三坐标测量机、圆度仪、二维和三维表面形貌(表面粗糙度)测量系统、万能工具显微镜、齿轮测量中心等测量仪器的功能越来越强大,正在越来越多的企业得到广泛的应用。

1.4 产品几何技术规范与计量体系简介

1.4.1 产品几何技术规范的含义

产品几何技术规范(geometrical product specifications, GPS)是一套覆盖了几何产品从宏观到微观的几何特征,涉及几何产品设计、制造、验收、使用以及维修、报废等产品生命周期全过程的技术标准体系,包括尺寸、几何形状、位置以及表面形貌等诸方面的标准。

1.4.2 GPS的作用

GPS的发展与应用有多种原因,最根本的是使产品的一些基本性能得到保证,主要体现在以下几个方面:

- 1) 功能性。例如,如果组成机床的零件能够满足一定的几何公差(如导轨的直线度)要求,机床才能够良好地工作。
- 2) 安全性。例如,如果发动机的曲轴表面通过磨削加工能够达到规定的表面粗糙度要求,因疲劳断裂损坏发动机的危险就会大大降低。
- 3) 独立性。例如,保证压缩机气缸的表面粗糙度要求,就可以直接保证机器的使用寿命。
- 4) 互换性。互换性作为GPS的最初应用,其目的是有利于机器或设备的装配和维修。

1.4.3 新一代GPS体系简介

随着信息技术的发展,基于传统的几何精度设计和控制方法已经不能适应现代设计和制造技术发展的需要。公差理论和标准的落后已成为制约CAD/CAM技术继续深入发展的瓶颈障碍,这是国内外先进设计和制造技术发展中急需解决的问题。为此,在1996年国际标准化组织(ISO)研究并建立了一个给予信息技术,适应CAD/CAM的技术要求,保证预定几何精度为目标

的标准体系,即 GPS 标准体系。新一代 GPS 是围绕着新一代数字化测量仪器而制定的标准体系。该标准体系包括从公差理论、标注方法、精度控制到检验规则的一系列标准,这一标准体系与现代设计和制造技术相结合,是对传统公差设计和控制思想的一次大的变革。

新一代 GPS 体系的理论是以计量数学为基础,将几何产品的设计规范、生产制造和检验认证及不确定度的评定贯穿于整个生产过程,给出产品功能、技术规范、制造与检验之间的量值传递的数学方法,它蕴含工业化大生产的基本特征,反映了技术发展的内在要求,为产品技术评估提供了“通用语言”,成为产品设计工程师、制造工程师和计量测试工程师之间共同依据的准则,为产品设计制造与认证提供一个更加丰富清晰的交流工具。

新一代 GPS 体系与第一代 GPS 标准的关系是继承与发展,是革新,其理论基础与体系结构发生了根本变化。新一代 GPS 是信息时代几何产品技术规范和计量认证综合为一体的新型国际标准体系,它标志着制造业技术标准和计量进入了一个全新的时代。新一代 GPS 体系的应用将有利于产品的设计、制造和检测,通过对规范和认证(检验)过程的不确定度处理,实现资源的自动优化分配。随着新一代 GPS 的应用,将节约设计中几何规范 10% 的修订成本,减少制造过程中材料 20% 的浪费,节约几何参数检测过程中仪器、测量与评估 20% 的成本,缩短产品开发 30% 的周期,更重要的是能够消除技术壁垒,便于商品和服务的交流,提升企业的国际竞争力。

新一代 GPS 的基本框架如图 1.1 所示。

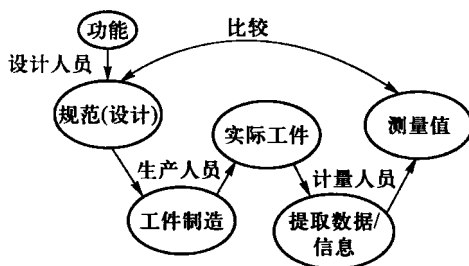


图 1.1 新一代 GPS 的基本框架

1.5 本课程的特点和任务

1.5.1 本课程的性质、特点及内容

本课程是机械类专业一门重要的专业技术基础课程,是联系设计课程、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。

本课程由公差与测量技术两部分组成,前一部分的内容主要通过课堂教学和课外作业来完成,后一部分的内容主要通过实验课来完成。课程中重点介绍了机械零件的尺寸公差、几何公差、表面粗糙度以及圆锥、螺纹、齿轮等典型零件的特殊公差知识,并介绍了有关误差(偏差)的检测方法与计量器具的知识。

本课程的特点是涉及的国家标准多,内容更新快,概念多,表格多,符号多,内容比较零散,工程实践性强。在遵守国际标准(ISO)和国家标准(GB)的前提下,学习时需要将烦琐细碎的几何精度问题进行必要的梳理,使其具有条理化,层次清晰,方便理解;以理解和掌握概念为本、熟悉与了解相结合的原则,突出机械精度设计(即尺寸公差、几何公差、表面粗糙度)和测量技术基础这条课程主线,使课程内容得到最佳体现。