



应用型本科院校“十三五”规划教材/机械工程类

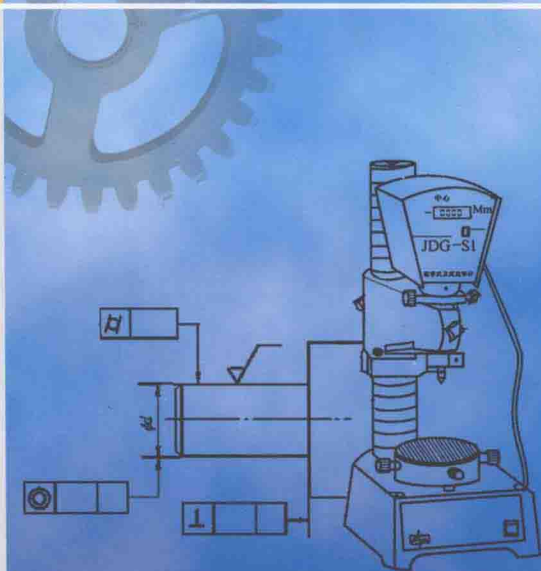
主 编 刘丽华 李争平
主 审 刘 品

机械精度设计与检测基础

(第2版)

Mechanical Precision Design and Foundation of Geometric Measurement

- 适用面广
- 应用性强
- 促进教学
- 面向就业



哈尔滨工业大学出版社



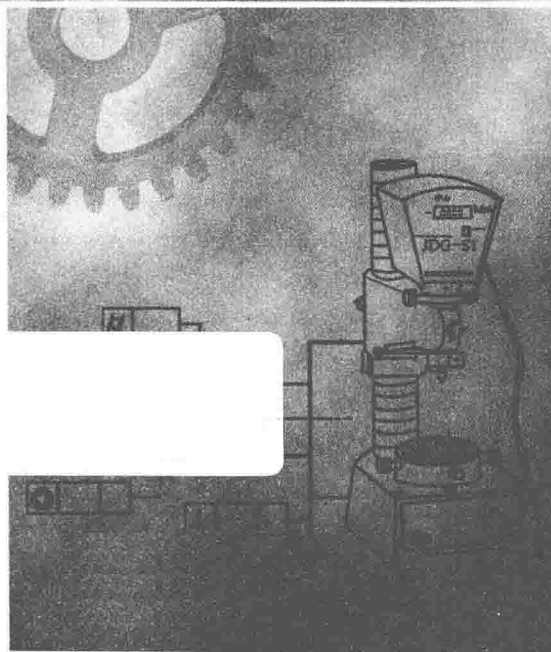
应用型本科院校“十三五”规划教材/机械工程类

主 编 刘丽华 李争平
副主编 关晓冬 高宇博
主 审 刘 品

机械精度设计与检测基础

常州大学图书馆
藏书第2版

Mechanical Precision Design and Foundation of Geometric Measurement



哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

“机械精度设计与检测基础”课程即“互换性与测量技术基础”课程。

本书是根据全国高校《互换性与测量技术基础》教学大纲编写的,本书就有关机械精度设计和检测技术的基础知识、各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机械设计中的应用作了详细的分析和阐述。为便于读者掌握相关知识,同时也利于实际应用参考,各章都给出了思考题和作业题。

本书内容为:绪论,测量技术基础,尺寸精度设计与检测,几何精度设计与检测,表面粗糙度轮廓设计与检测,典型零件结合的精度设计与检测,圆柱齿轮精度设计与检测,尺寸链的精度设计基础,机械零件的精度设计等共9章。

本书主要供应用型本科院校机械学科及仪器仪表学科各专业师生使用,也适合机械设计、制造、标准化和计量测试等领域的工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与检测基础/刘丽华,李争平主编.—2版.

—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2017.1

应用型本科院校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5603-6062-1

I. ①机… II. ①刘… ②李… III. ①机械-精度-设计-高等学校-教材 ②机械元件-测量-高等学校-教材 IV. ①TH122 ②TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第129562号

策划编辑 赵文斌 杜 燕

责任编辑 范业婷

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 15.5 字数 345千字

版 次 2012年5月第1版 2017年1月第2版

2017年1月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-6062-1

定 价 29.60元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《应用型本科院校“十三五”规划教材》编委会

主 任 修朋月 竺培国

副主任 王玉文 吕其诚 线恒录 李敬来

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁福庆 于长福 马志民 王庄严 王建华

王德章 刘金祺 刘宝华 刘通学 刘福荣

关晓冬 李云波 杨玉顺 吴知丰 张幸刚

陈江波 林 艳 林文华 周方圆 姜思政

庾 莉 韩毓洁 蔡柏岩 臧玉英 霍 琳

序

哈尔滨工业大学出版社策划的《应用型本科院校“十三五”规划教材》即将付梓,诚可贺也。

该系列教材卷帙浩繁,凡百余种,涉及众多学科门类,定位准确,内容新颖,体系完整,实用性强,突出实践能力培养。不仅便于教师教学和学生学习,而且满足就业市场对应用型人才的迫切需求。

应用型本科院校的人才培养目标是面对现代社会生产、建设、管理、服务等一线岗位,培养能直接从事实际工作、解决具体问题、维持工作有效运行的高等应用型人才。应用型本科与研究型本科和高职高专院校在人才培养上有着明显的区别,其培养的人才特征是:①就业导向与社会需求高度吻合;②扎实的理论基础和过硬的实践能力紧密结合;③具备良好的人文素质和科学技术素质;④富于面对职业应用的创新精神。因此,应用型本科院校只有着力培养“进入角色快、业务水平高、动手能力强、综合素质好”的人才,才能在激烈的就业市场竞争中站稳脚跟。

目前国内应用型本科院校所采用的教材往往只是对理论性较强的本科院校教材的简单删减,针对性、应用性不够突出,因材施教的目的难以达到。因此亟须既有一定的理论深度又注重实践能力培养的系列教材,以满足应用型本科院校教学目标、培养方向和办学特色的需要。

哈尔滨工业大学出版社出版的《应用型本科院校“十三五”规划教材》,在选题设计思路认真贯彻教育部关于培养适应地方、区域和社会发展需要的“本科应用型高级专门人才”精神,根据前黑龙江省委书记吉炳轩同志提出的关于加强应用型本科院校建设的意见,在应用型本科试点院校成功经验总结的基础上,特邀请黑龙江省9所知名的应用型本科院校的专家、学者联合编写。

本系列教材突出与办学定位、教学目标的一致性和适应性,既严格遵照学科体系的知识构成和教材编写的一般规律,又针对应用型本科人才培养目标

及与之相适应的教学特点,精心设计写作体例,科学安排知识内容,围绕应用讲授理论,做到“基础知识够用、实践技能实用、专业理论管用”。同时注意适当融入新理论、新技术、新工艺、新成果,并且制作了与本书配套的PPT多媒体教学课件,形成立体化教材,供教师参考使用。

《应用型本科院校“十三五”规划教材》的编辑出版,是适应“科教兴国”战略对复合型、应用型人才的需求,是推动相对滞后的应用型本科院校教材建设的一种有益尝试,在应用型创新人才培养方面是一件具有开创意义的工作,为应用型人才的培养提供了及时、可靠、坚实的保证。

希望本系列教材在使用过程中,通过编者、作者和读者的共同努力,厚积薄发、推陈出新、细上加细、精益求精,不断丰富、不断完善、不断创新,力争成为同类教材中的精品。

张利娟

第2版前言

“机械精度设计与检测基础”课程即“互换性与测量技术基础”课程。是高等工科院校本科、专科许多专业必修的一门应用性很强的技术基础课,涉及的专业有机械设计制造及其自动化、工业设计、工业工程、热能与动力工程、材料成形及控制工程、焊接技术与工程、精密仪器、光电技术与光电仪器、计算机集成制造技术等。

本教材根据全国高校《互换性与测量技术基础》教学大纲编写。为了进一步满足教学的需要,对第1版的内容进行了修改和更新,全部采用最新的国家标准。内容设置、章节衔接等充分考虑了应用型本科教学的需求,突出了教材的实用性及工程应用的参照作用。各章内容独立,可根据专业的不同需求取舍教学内容。

本书由哈尔滨工业大学刘丽华、哈尔滨华德学院李争平担任主编,哈尔滨华德学院关晓冬、哈尔滨石油学院高宇博担任副主编,哈尔滨工业大学王军、哈尔滨远东理工学院边玉昌、航天科工哈尔滨风华有限公司张玉荣担任参编,哈尔滨工业大学刘品主审。

编写任务的具体分工如下:第1章由关晓冬编写;第2章由张玉荣,王军编写;第3章由刘丽华编写;第4章由刘丽华,关晓冬编写;第5章由高宇博编写;第6章由刘丽华,李争平编写;第7章由刘丽华,高宇博编写;第8章由边玉昌,李争平编写;第9章由李争平编写。

由刘永猛、马惠萍主编,哈尔滨工业大学出版社于2016年8月出版的《〈互换性与测量技术基础〉同步辅导与习题精讲》;由刘永猛、周海主编,哈尔滨工业大学出版社出版的《机械精度设计与检测基础实验指导书与课程大作业(第5版)》,都是与本教材配套的学习辅导书。

本书在编写过程中,得到很多兄弟院校有关同志的热情支持和帮助,在此谨表感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不当之处,敬请读者批评和指正。

编者

2016年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 互换性与公差	1
1.2 新一代 GPS 的概念	3
1.3 标准化与优先数系	5
1.4 检测技术的发展	9
1.5 本课程的特点和任务	10
习题一	10
第 2 章 测量技术基础	12
2.1 测量的基本概念	12
2.2 计量器具和测量方法	17
2.3 测量误差及数据处理	21
习题二	28
第 3 章 尺寸精度设计与检测	30
3.1 概述	30
3.2 标准公差系列和基本偏差系列	37
3.3 孔、轴公差带与配合	45
3.4 尺寸精度的设计	58
3.5 尺寸精度的检测	73
习题三	78
第 4 章 几何精度设计与检测	81
4.1 概述	81
4.2 几何公差的标注方法及几何公差带	84
4.3 公差原则与公差要求	99
4.4 几何精度的设计	105
4.5 几何误差及其检测	111
习题四	118
第 5 章 表面粗糙度轮廓设计与检测	123
5.1 概述	123
5.2 表面粗糙度轮廓的评定	124
5.3 表面粗糙度轮廓的设计	127
5.4 表面粗糙度轮廓符号、代号及其注法	132
5.5 表面粗糙度轮廓的检测	139

习题五·····	142
第6章 典型零件结合的精度设计与检测·····	144
6.1 滚动轴承与孔、轴结合的精度设计·····	144
6.2 键与花键结合的精度设计与检测·····	154
6.3 螺纹结合的精度设计与检测·····	163
习题六·····	177
第7章 圆柱齿轮精度设计与检测·····	179
7.1 齿轮传动的使用要求·····	179
7.2 评定齿轮精度的偏差项目及其允许值·····	181
7.3 圆柱齿轮精度设计·····	188
7.4 齿轮精度检测·····	198
习题七·····	204
第8章 尺寸链的精度设计基础·····	206
8.1 尺寸链的基本概念·····	206
8.2 用极值法计算尺寸链·····	210
习题八·····	218
第9章 机械零件的精度设计·····	221
9.1 典型零件的精度设计·····	221
9.2 装配图上标注的尺寸和配合代号·····	231
习题九·····	233
参考文献·····	235

“机械精度设计与检测基础”课程主要包括两方面内容:机械的精度设计和检测的技术基础。机械设计通常可分为:机械的运动设计、机械的结构设计、机械的强度和刚度设计以及机械的精度设计。前三项设计是其他课程研究的内容,本课程只研究机械精度设计。机械精度设计是根据机械的功能要求,正确地对机械零件的尺寸精度、几何精度以及表面微观轮廓精度要求进行设计,并将它们正确地标注在零件图、装配图上。检测基础讲授的是几何量检测的基本知识和检测原理以及常用的检测方法。在机械零件加工的全过程中必须进行测量或检验,使之符合机械精度设计要求。

为了能够学好本门课程,首先在绪论中学习和掌握以下有关的基本概念。

1.1 互换性与公差

1.1.1 互换性

互换性是指在同一规格的一批零件或部件中任取一件,装配时,不需经过任何选择、修配或调整,就能装配在整机上,并能满足使用性能要求的特性。

互换性的概念在日常生活中到处都能遇到。例如,机械或仪器上掉了一个螺钉,换一个同规格的新螺钉就行了;灯泡坏了,买一个安上即可;汽车、拖拉机,乃至家庭用的自行车、缝纫机、手表中某个机件磨损了,换上一个新的,便能继续使用。之所以这些零、部件具有彼此替换的性能,是因为它们具有互换性。

显然,互换性应该同时具备两个条件:第一,不需经过任何选择、修配或调整便能装配(当然也应包括维修更换);第二,装配(或更换)后的整机能满足其使用性能要求。

互换性在许多工业部门产品设计和制造中应遵循的重要原则,它不仅涉及产品制造中零、部件的可装配性,而且涉及机械设计、生产及其使用中重大的技术和经济问题。

1.1.2 公差

公差是指允许零件几何参数的变动量。

零件在加工过程中,由于各种因素的影响,其几何参数,包括尺寸、形状、方向、位置及



表面粗糙度轮廓等总会有误差,不能达到理想状态。从使用功能上看,也不必要求同规格的零、部件的几何参数加工的完全一致,只需要将这些同规格的零、部件的几何参数控制在一定范围内变动,即可达到互换的目的。因此,要使零件具有互换性,就应把完工后零件的误差控制在公差范围内,即互换性要有公差来保证。在满足功能要求的前提下,公差应尽量规定得大些,以获得最佳的技术经济效益。

1.1.3 互换性的种类

在生产中,按互换性的程度可分为完全互换(绝对互换)与不完全互换(有限互换)。

若零件在装配或更换时,不需选择、辅助加工或修配,则其互换性为完全互换性(绝对互换)。当装配精度要求较高时,采用完全互换将使零件制造公差很小,加工困难,成本很高,甚至无法加工。这时,可以采用其他技术手段来满足装配要求,例如分组装配法,就是将零件的制造公差适当地放大,使之便于加工,而在零件完工后装配前,用测量器具将零件按实际尺寸的大小分为若干组,使每组零件间实际尺寸的差别减小,装配时按相应组分进行装配(即大孔与大轴相配,小孔与小轴相配)。这样,既可保证装配精度和使用要求,又能减小加工难度、降低成本。此时,仅组内零件可以互换,组与组之间不可互换,故这种互换性称为不完全互换性(有限互换)。

对标准部件或机构来说,互换性又可分为外互换与内互换。

外互换是指部件或机构与其相配件间的互换性,例如滚动轴承内圈内径与轴的配合,外圈外径与机座孔的配合。内互换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、外圈滚道直径与滚珠(滚柱)直径的装配。

为使用方便起见,滚动轴承的外互换采用完全互换,而其内互换则因其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。通常,不完全互换只用于部件或机构的制造厂内部的装配;至于厂外协作件,即使批量不大,往往也要求完全互换。究竟是采用完全互换,还是不完全互换,或者部分地采用修配调整,要由产品精度要求与其复杂程度、产量大小(生产规模)、生产设备、技术水平等因素决定。

机械制造中的互换性,既取决于它们几何参数的一致性,又取决于它们的物理性能、化学性能、机械性能等参数的一致性。因此,互换性可分为几何参数互换性和功能互换性。本课程只研究几何参数的互换性。

1.1.4 互换性在机械制造中的作用

从使用方面看,如果一台机器的某零件具有互换性,则当该零件损坏后,可以很快地用一备件来代替,从而使机器维修方便,保证了机器工作的连续性和持久性,延长了机器的使用寿命,提高了机器的使用价值。在某些情况下,互换性所起的作用是很难用价值来衡量的。例如,发电厂要迅速排除发电设备的故障,保证继续供电;在战场上要很快排除武器装备的故障,保证继续战斗。在这些场合,实现零部件的互换,显然是极为重要的。

从制造方面看,互换性是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。装配时,由于零件(部件)具有互换性,不需要辅助加工和修配,可以减少装配工的劳动量,因而缩短了装配周期,而且还可使装配工作按流水作业方式进行,以至实现自动化装配,这就使装配生

产效率显著提高。加工时,由于按标准规定公差加工,同一机器上的各个零件可以分别由各专业厂同时制造。各专业厂由于产品单一,产品数量多,分工细可采用高效率的专用设备,乃至采用计算机进行辅助加工,从而使产品的数量和质量明显提高,成本也会显著降低。

从设计方面看,由于产品中采用了具有互换性的零部件,尤其是采用了较多的标准零件和部件(螺钉、销钉、滚动轴承等),这就使许多零部件不必重新设计,从而大大减少了计算与绘图的工作量,简化了设计程序,缩短了设计周期。尤其是还可以应用计算机进行辅助设计(CAD),这对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改善,都有很大作用。

综上所述,在机械制造中组织互换性生产,大量地应用具有互换性的零部件,不仅能够显著提高劳动生产率,而且在有效地保证产品质量和提高可靠性、降低成本等方面都具有重大的意义。所以,使零部件具有互换性是机械制造中重要的原则和有效的技术措施,在日用工业品、机床、汽车、电子产品、军工产品等生产部门被广泛采用。

1.2 新一代 GPS 的概念

以几何学为基础的传统的几何产品技术规范,包括尺寸精度,几何精度,表面粗糙度以及它们的测量方法和检测仪器等技术标准和规范称为第一代(传统)GPS(Geometrical Product Specifications and Verification)。随着信息技术和制造业的发展,第一代 GPS 已经越来越不能适应现代先进制造业的发展和需求。第一代 GPS 的主要问题是产品的功能和几何规范没有建立起应有的联系;缺乏表达各种功能和控制要求的标准规定;在设计过程中也没有确定的标准和规范给出相应的测量方法和评定准则,因而导致产品合格的评定缺乏唯一性,造成测量评估失控。为了解决这些问题,国际标准化组织(ISO)研究和建立了一个基于信息技术,以计量数学为基础的,适应 CAD(计算机辅助设计)/CAM(计算机辅助制造)/CAT(计算机辅助公差设计)/CAE(计算机辅助工程实验)等技术发展的新一代的 GPS。

新一代 GPS 把规范(设计)过程与认证(计量)过程联系起来,并用不确定度的传递关系将产品的功能、规范、制造、测量和认证等环节集成一体,从而解决了第一代的 GPS 存在的上述问题。

1.2.1 新一代 GPS 的组成

新一代 GPS 国际标准体系由基础标准、通用标准、补充标准和综合标准组成。

1. 基础 GPS 标准

基础 GPS 标准是建立新一代 GPS 标准体系的基础和总体规划的依据。

2. 通用 GPS 标准

通用 GPS 标准是新一代 GPS 的主体,它是确定零件不同几何要素在图样上表示的规则、定义和检验原则等标准。通用 GPS 标准矩阵如表 1.1 所示。

表中行是零件几何要素的特征;列是有关几何要素特征在图样上表示的一系列的标

准,这些标准包括几何特征在图样上表达的规则,公差的定义,测量和认证的规则以及计

量器具的要求等标准。

3. 补充 GPS 标准

补充 GPS 标准是对通用 GPS 标准在要素特定范畴的补充规定的标准。例如一些与加工类型有关标准,如切削加工、铸造、焊接等;还有一些与几何特征有关标准,如螺纹、键、齿轮等。

4. 综合 GPS 标准

综合 GPS 标准是通用原则和定义的标准。如测量的基准温度,几何特征,尺寸、公差、通用计量学名词术语与定义,测量不确定度的评估等。它直接或间接地影响通用 GPS 和补充 GPS 标准。

表 1.1 通用 GPS 标准矩阵

标准链		通用 GPS 标准链						
		1	2	3	4	5	6	7
几何要素特征		产品图 样表达	公差 定义	实际要素 特征定义	工件误 差评判	实际要素 特征检验	计量设 备要求	计量设 备标定
1	尺寸							
2	距离							
3	半径							
4	角度							
5	与基准无关的线的形状							
6	与基准有关的线的形状							
7	与基准无关的面的形状							
8	与基准有关的面的形状							
9	方向							
10	位置							
11	圆跳动							
12	全跳动							
13	基准							
14	轮廓粗糙度							
15	轮廓波纹度							
16	基本轮廓							
17	表面缺陷							
18	棱边							

1.2.2 新一代 GPS 的不确定度

新一代 GPS 标准使用不确定度的传递关系将产品的功能、规范、制造、测量及认证等集成一体,以此对不同层次和不同精度要求的产品规范、制造和检验等资源进行合理高效地分配。

新一代 GPS 的不确定度分相关不确定度和依从不确定度。依从不确定度分规范不确定度和测量不确定度。测量不确定度分方法不确定度和执行不确定度。而相关不确定度和依从不确定度组成总体不确定度。各种不确定度之间的关系如图 1.1 所示。

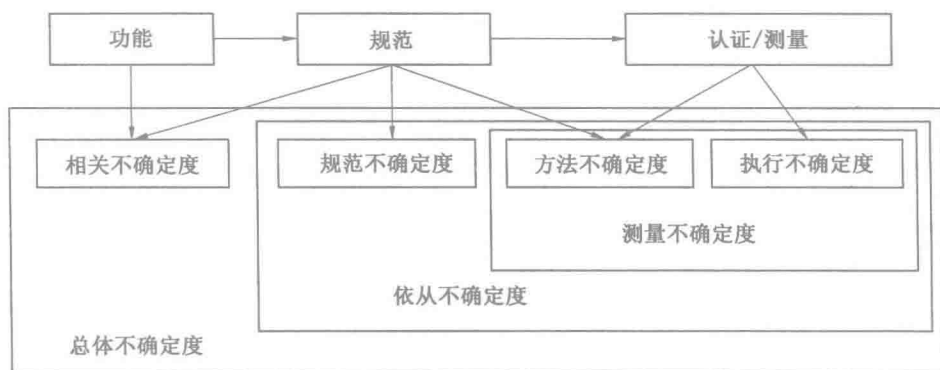


图 1.1 新一代 GPS 不确定度之间的关系

例如为了保证产品的某项功能,要进行规范设计,但是这个规范设计不能完全保证产品的功能,这就产生了规范和功能的差异,用相关不确定度来表示这个差异的程度。

又如用某种方法得到一个测量结果,但是这个测量结果不是被测量的真实值,因为测量都是有误差的,那么就用测量不确定度来表示这个测量结果和真实结果的差异程度。

新一代 GPS 标准体系是基于信息化,以计量数学为基础的几何产品技术规范,因此它的理论框架应适应数字化的要求。它的主要内容包括表面模型、几何要素、要素的操作及规范与认证操作等。

新一代 GPS 标准体系与传统的几何技术规范是继承、发展和创新的关系,而在理论基础与体系结构上,则发生了根本性的变化,它标志着标准和计量进入了一个全新的阶段。

1.3 标准化与优先数系

1.3.1 标准化

标准化是组织现代化生产的重要手段之一,是实现专业化协作生产的必要前提,是科学管理的重要组成部分。标准化的作用很多、很广泛,在人类活动很多方面都起着不可忽视的作用。标准化可以简化多余的产品品种,促进科学技术转化为生产力,确保互换性,确保安全和健康,保护消费者的利益,消除贸易壁垒。此外,标准化可以在节约原材料、减

少浪费、信息交流、提高产品可靠性等方面发挥作用。在现代工业社会化的生产中,标准化是实现互换性的基础。

世界各国的经济发展过程表明,标准化是实现现代化的一个重要手段,也是反映现代化水平的一个重要标志。现代化的程度越高,对标准化的要求也就越高。

什么是标准化?根据我国国家标准 GB/T 2000.1—2014 的规定,标准化定义为:“为在一定的范围内获得最佳秩序,对现实问题或潜在问题制定共同使用和重复使用的条款的活动”。由标准化的定义可以认识到,标准化不是一个孤立的概念,而是一个活动过程,这个过程包括制订、贯彻、修订标准,循环往复,不断提高;制订、修订、贯彻标准是标准化活动的主要任务;在标准化的全部活动中,贯彻标准是核心环节。同时还应注意到,标准化在深度上是没有止境的,无论是一个标准,还是整个标准系统,都在向更深的层次发展,不断提高,不断完善;另外,标准化的领域,尽管可以说在一切有人类智慧活动的地方都能展开,但目前大多数国家和地区都把标准化活动的领域重点放在工业生产上。

什么是标准?根据国家标准规定的定义为:“为在一定的范围内获得最佳秩序,经协商一致制定,并由公认机构批准,共同使用和重复使用的一种规范性文件。”标准应以科学、技术和经验综合成果为基础,以促进最佳社会效益为目的。由此可见,标准的制订是与当前科学技术水平和生产实践相关,它通过一段时间的执行,要根据实际使用情况,对现行标准加以修订和更新。所以我们在执行各项标准时,应以最新颁布的标准为准则。

按一般习惯可把标准分为技术标准、管理标准和工作标准;按作用范围可将其分为国际标准、区域标准、国家标准、专业标准、地方标准和企业标准;按标准在标准系统中的地位、作用可将其分为基础标准和一般标准;按标准的法律属性可将其分为强制性标准和推荐性标准。按我国《标准化法》的规定:“国家标准、行业标准分为强制性标准和推荐性标准。保障人体健康,人身、财产安全的标准和法律、行政法规规定强制执行的标准是强制性标准,其他标准是推荐性标准。”强制性标准发布后,凡从事科研、生产、经营的单位和个人,都必须严格执行。不符合强制性标准要求的,严禁生产、销售和进口。推荐性标准不具有法律约束力,但当推荐性标准一经被采用,或在合同中被引用,则被采用或被引用的那部分内容就应该被严格执行,受合同法或有关经济法的约束。过去,我国为适应计划经济的需要,实行单一的强制性标准。随着社会主义商品经济的发展,已实行强制性和推荐性两种标准,这是标准化工作中的一项重要改革。它既可将该管的标准管住、管好、管严,又可使不该管的标准放开、搞活,这就促进了商品经济的不断发展。

近年来,我国对标准化的指导思想是:各行各业中积极采用国际标准和国外先进标准,在我国加入 WTO 后,为加强和扩大我国与国际先进工业国家的技术交流及国际贸易,更应加快采用国际标准的步伐。

国际标准化机构有三个:国际标准化组织(ISO),它制订的标准用符号 ISO 表示;国际电工委员会(IEC),它制订的标准用符号 IEC 表示;国际电信联盟(ITU),它制订的标准用符号 ITU 表示。我国国家标准分国标(GB)和国军标(GJB),分别用符号 GB 和 GJB 表示。国标分为两类:强制执行的标准(记为 GB)和推荐执行的标准(记为 GB/T)。本课程主要涉及的三十多个技术标准,多属于国家标准(GB)和国家推荐性技术基础标准(GB/T)。

为全面保证零部件的互换性,不仅要合理地确定零件制造公差,还必须对影响生产质量的各个环节、阶段及有关方面实现标准化。诸如技术参数及数值系列(如尺寸公差)的标准化(优先数系);几何公差及表面质量参数的标准化;原材料及热处理方法的标准化;工艺装备及工艺规程的标准化;计量单位及检测规定等的标准化。可见,在机械制造业中,任何零部件要使其具有互换性,都必须实现标准化。没有标准化,就没有互换性。

1.3.2 优先数系和优先数

为了保证互换性,必须合理地确定零件公差,公差数值标准化的理论基础,即为优先数系和优先数。

1. 优先数系

在生产中,当选定一个数值作为某种产品的参数指标后,这个数值就会按照一定规律向一切相关的制品、材料等有关参数指标传播扩散。例如动力机械的功率和转速值确定后,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,并进而传播到加工和检验这些零部件用的刀具、量具、夹具及机床等的相应参数上。这种技术参数的传播性,在生产实际中是极为普遍的现象,并且跨越行业和部门的界限。工程技术上的参数数值,即使只有很小的差别,经过反复传播后,也会造成尺寸规格的繁多杂乱,以致给组织生产、协作配套及使用维修等带来很大困难。因此,对于各种技术参数,必须从全局出发,加以协调。

优先数系和优先数就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值标准。

什么是优先数系?根据工程技术上的要求,优先数系是一种十进制几何级数。国家标准 GB/T 321—2005 规定,优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 和 $\sqrt[80]{10}$,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。各数列分别用符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示,称为 R5 系列、R10 系列、R20 系列、R40 系列和 R80 系列。其中前四个系列是常用系列,又称基本系列,而 R80 为补充系列,用于分级很细的特殊场合。

由上述可知,优先数系的五个系列的公比都是无理数,在工程技术上不能直接应用,而实际应用的是理论公比经过化整后的近似值,各系列的公比如下。

$$R5 : \text{公比 } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.584 9 \approx 1.60$$

$$R10 : \text{公比 } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.258 9 \approx 1.25$$

$$R20 : \text{公比 } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.122 0 \approx 1.12$$

$$R40 : \text{公比 } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.059 3 \approx 1.06$$

$$R80 : \text{公比 } q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.029 2 \approx 1.03$$

优先数系中的基本系列的各项数值见表 1.2。

表 1.2 优先数系的基本系列(常用值)(摘自 GB/T 321—2005)

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			

由上可见, R5 的公比 $q_5 = q_{10}^2$, R10 的公比 $q_{10} = q_{20}^2 \cdots \cdots$ R40 的公比 $q_{40} = q_{80}^2$, 因而有 R5 中的项值包含在 R10 中, R10 中的项值包含 R20 中……R40 中的项值包含在 R80 中。

为了使优先数系有更大的适应性, 还可从基本系列或补充系列 R_r (其中 $r = 5, 10, 20, 40, 80$) 中, 每 p 项取值导出新的系列, 即派生系列, 它是从每相邻的连续 p 项中取一项形成的等比系列, 代号为 $R_{r/p}$, 公比为 $q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[p]{10})^p = 10^{p/r}$ 。例如派生系列 R10/3 的公比 $q_{10/3} = 10^{3/10} \approx 2$, 可形成三个不同项值的系列: ① 1.00, 2.00, 4.00, 8.00……② 1.25, 2.50, 5.00, 10.00……③ 1.60, 3.15, 6.30, 12.50……由此可见, 比值 r/p 相等的派生系列具有相同的公比, 但其项值彼此不同。

2. 优先数

优先数系的五个系列 (R5, R10, R20, R40 和 R80) 中任一个项值均称为优先数, 根据其取值的精确程度不同, 数值可分为:

- (1) 优先数的理论值——理论等比数列的项值, 一般是无理数, 不便于实际应用。
- (2) 优先数的计算值——取五位有效数字的近似值, 供精确计算用。
- (3) 优先数的常用值——即通常所称的优先数, 取三位有效数字进行圆整后规定的数值, 经常使用。
- (4) 优先数的化整值——对基本系列中的常用数值作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。

3. 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。