

机械精度设计 与检测技术

主 编 王 玉
副主编 刘笃喜 蔡安江



国防工业出版社
National Defense Industry Press

机械精度设计与检测技术

主编 王 玉

副主编 刘笃喜 蔡安江

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与检测技术 / 王玉主编. — 北京: 国防工业出版社, 2005.8

ISBN 7-118-04044-4

I. 机... II. 王... III. ①机械—精度—设计②机械元件—检测 IV. ①TH122②TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 082056 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 20 1/2 477 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 32.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

前 言

“互换性与测量技术基础”是高等工科院校机械类、近机械类和仪器仪表类各专业机械基础课程体系中的一门重要的技术基础课。为适应 21 世纪对高等工程学科技术人才的需求,根据机械基础课程体系改革精神,我们在总结多年来教学改革与实践经验的基础上,编写了本教材。

本书在编写过程中,参考了已出版的同类教材,融入了编者多年的教学经验,具有如下特点:

① 在教学内容上注重加强基础,力求反映国内外最新成就。书中全部采用最新的国家标准,对传统的“互换性与测量技术基础”内容进行了精选,并增加了新知识内容,如现代制造精度设计与精度保证基本知识,以体现教材的系统性和先进性。

② 取材新颖,理论联系实际,结构紧凑,文字精炼,强调了机械精度设计这一主题,重点突出。

③ 内容安排遵循“由浅入深,循序渐进”的认知规律,系统、准确、逻辑性强。

④ 适用面广,既可作为本科生、专科生教材,也可供广大工程技术人员在从事机械设计、制造、标准化和计量测试工作时参考。

本教材可按 40 学时~48 学时进行讲授,也可结合不同专业的具体情况进行调整,部分章节供学生自学。

本书由西北工业大学王玉担任主编,西北工业大学刘笃喜、西安建筑科技大学蔡安江任副主编。参加本书编写的有:王玉(第 2 章、3 章),刘笃喜(第 1 章、6 章、11 章),蔡安江(第 4 章、9 章、10 章),西北工业大学朱建生(第 5 章、8 章),西安建筑科技大学惠旭生(第 7 章)。

本书承蒙西安交通大学崔东印教授主审,并对本书的编写给予了精心的指导和审阅。在本书的编写过程中,西北工业大学史义凯教授、王俊彪教授、孙根正教授、高满国教授、齐乐华教授、李辉副研究员提供了许多宝贵的意见,在此,一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 互换性	1
1.2 标准化与优先数系	3
1.3 几何量检测技术	8
1.4 机械精度设计概述	9
1.5 产品几何技术规范	13
习题与思考题	15
第 2 章 尺寸精度设计	16
2.1 概述	16
2.2 极限与配合的基本术语和定义	17
2.3 尺寸极限与配合国家标准	29
2.4 极限与配合的选用	44
2.5 一般公差	58
习题与思考题	67
第 3 章 形状和位置精度设计	70
3.1 概述	70
3.2 形位公差的标注方法	73
3.3 形位公差与公差带特征	78
3.4 形位误差的评定	92
3.5 公差原则与公差要求	95
3.6 形位公差的选用	111
习题与思考题	114
第 4 章 表面粗糙度	118
4.1 概述	118
4.2 表面粗糙度的评定	119
4.3 表面粗糙度的选用	124
4.4 表面粗糙度的标准符号、代号及标注	126
习题与思考题	128

第5章 典型零件的精度设计	130
5.1 概述	130
5.2 滚动轴承的精度设计	130
5.3 键、花键配合的精度设计	140
5.4 圆锥配合的精度设计	146
5.5 普通螺纹联结的精度设计	155
习题与思考题	169
第6章 齿轮传动及螺旋传动精度设计	171
6.1 概述	171
6.2 齿轮传动的使用要求及误差来源	171
6.3 渐开线圆柱齿轮精度的评定参数	176
6.4 渐开线圆柱齿轮精度标准	183
6.5 渐开线圆柱齿轮精度设计和选用	185
6.6 齿轮精度设计示例	196
6.7 螺旋传动精度设计	199
习题与思考题	203
第7章 尺寸链	214
7.1 概述	214
7.2 用完全互换法计算尺寸链	218
7.3 用大数互换法计算尺寸链	224
7.4 用分组法、调整法或修配法保证装配精度	226
习题与思考题	227
第8章 机械精度设计应用实例	229
8.1 概述	229
8.2 装配图中的精度设计	229
8.3 零件图中的精度设计	239
习题与思考题	245
第9章 检测技术基础	246
9.1 概述	246
9.2 测量基准	246
9.3 测量方法和测量器具	249
9.4 测量误差及数据处理	252
9.5 测量器具的选择	258
习题与思考题	262

第 10 章 机械精度检测	263
10.1 光滑极限量规	263
10.2 角度和锥度的检测	269
10.3 形状和位置误差检测	271
10.4 表面粗糙度检测	277
10.5 普通螺纹检测	278
10.6 圆柱齿轮检测	280
10.7 三坐标测量机	284
习题与思考题	285
第 11 章 现代制造中的精度设计、检测与质量控制	286
11.1 计算机辅助精度设计	286
11.2 质量管理与 ISO 9000	299
11.3 计算机辅助质量管理	304
11.4 现代制造中的质量检测与质量控制	307
习题与思考题	319
参考文献	320

第1章 绪 论

1.1 互 换 性

1.1.1 互换性的含义

互换性概念的应用已经非常普遍。例如,日光灯管坏了,可以换个新的安上;仪器上一个螺钉掉了,换上一个相同规格的新螺钉即可;机器、汽车、飞机上某个零件坏了或磨损了,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。其所以如此,是因为这些零部件都具有互换性。

互换性是指某一产品(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。在机械制造中,零部件的互换性是指机器或仪器中,在不同工厂、不同车间,由不同工人生产的同一规格的一批合格零部件,在装配前,不需作任何挑选,任取其中一个,装配时,无需进行修配和调整,装配后,能满足预定的使用功能和性能要求。

显然,零部件互换性应当同时满足两个条件:装配前不需要经过任何挑选,装配中不需要修配或调整;装配或更换后能满足既定的功能和性能要求。

近代互换性始于兵工生产,现已广泛应用于机械、电子、汽车、国防军工等几乎所有工业生产领域。

1.1.2 互换性的种类

1. 功能互换性与几何参数互换性

按照使用要求,互换性可分为功能互换性与几何参数互换性。几何参数互换性是指机电产品在几何参数(包括尺寸、几何形状、相互位置和表面粗糙度)方面充分近似所达到的互换性,属于狭义互换性。产品功能性能不仅取决于几何参数互换性,还取决于其物理、化学和机械性能等参数的一致性。功能互换性是指产品在机械性能、理化性能等方面的互换性,如强度、刚度、硬度、使用寿命、抗腐蚀性、导电性等,又称广义互换性。功能互换性往往着重于保证除尺寸配合要求以外的其他功能和性能要求。本教材仅研究几何参数的互换性。

通常把仅满足可装配性要求的互换性称为装配互换性,而把满足各种使用功能要求的互换性称为功能互换性。

2. 完全互换(绝对互换)与不完全互换(有限互换)

按照互换程度和范围,互换性可分为完全互换与不完全互换。

(1) 完全互换(绝对互换)

完全互换是指同一规格的零部件在装配或更换时,既不需选择,也不需要任何辅助加工与修配,装配后就能满足预定的使用功能及性能要求。完全互换常用于厂外协作及批

量生产。

(2) 不完全互换(有限互换)

不完全互换允许零部件在装配前可以有附加选择,如预先分组挑选,或者在装配过程中进行调整和修配,装配后能满足预期的使用要求。不完全互换一般用于中小批量生产的高精度产品,通常为厂内生产的零部件或机构的装配。

当产品使用要求很高、装配精度要求较高时,采用完全互换会使零件制造公差减小,制造精度提高,加工困难,加工成本提高,甚至无法加工。通常采用不完全互换,通过分组装配法、调整法或修配法来解决这一矛盾。

分组装配法就是将零件的制造公差适当放大,使之便于加工,在零件完工后再经测量将零件按实际尺寸大小分组,使每组零件间实际尺寸的差别减小,再按相应组零件进行装配(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,又能降低加工难度和制造成本。此时仅组内零件可以互换,组与组之间不可互换,故属于不完全互换。

调整法是指在加工、装配及使用过程中,对某特定零件的位置进行适当调整,以达到装配精度要求。例如,要使车床尾顶尖和主轴顶尖之间的连线与车床导轨平行,就要采用调整法。

究竟采用完全互换还是不完全互换,取决于产品的精度要求与复杂程度、产量大小(生产规模)、生产设备、技术水平等一系列因素。

3. 外互换与内互换

按照应用场合,互换性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、外圈外径与轴承座孔的配合。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、外圈滚道与滚动体之间的装配。为使用方便起见,对标准化部件或机构,外互换采用完全互换,适用于生产厂商以外;因其组成零件的精度要求高,加工困难,内互换则通常采用不完全互换。

1.1.3 互换性的作用

只有零部件具有互换性,才能将构成一台复杂机器的成千上万个零部件进行高效率、分散的专业化生产,然后集中到总装厂或总装车间装配成为机器。例如,汽车上成千上万个零件分别由几百家工厂生产,汽车制造厂只负责生产若干主要零部件,并与其他工厂生产的零部件一起装配成汽车。为了顺利实现专业化的协作生产,各工厂生产的零部件都应该有适当、统一的技术要求。否则,就可能在装配时发生困难,或者不能满足产品的功能要求。

现代化生产活动是建立在先进技术装备、严密分工、广泛协作基础上的社会化大生产。产品的互换性生产,无论从深度或广度上都已进入新的发展阶段,远超出了机械制造的范畴,并扩大到国民经济各个行业和领域。

互换性已经成为提高制造水平、促进技术进步的强有力手段之一,在产品设计、制造、使用和维修等方面发挥着极其重要的作用。

(1) 在设计方面

零部件具有互换性,就可以最大限度地采用标准零部件和结构,使得许多零部件不必

重复设计计算,大大减轻了设计、计算和绘图等工作量,缩短了产品开发设计周期,有利于推行计算机辅助设计。这对开发系列产品,促进产品结构、性能的不断改进都具有重要意义。

(2) 在制造装配方面

互换性有利于组织专业化协作生产。同一台机器的各个零部件可以分散在多个工厂同时加工,有利于采用先进工艺和高效率的加工设备,有利于实现加工过程和装配过程的机械化、自动化,有利于推广计算机辅助制造(CAM),从而提高劳动生产率,保证和提高产品质量,降低生产成本,缩短生产周期。零部件具有互换性,可顺利进行装配作业,易于实现流水线或自动化装配,从而缩短装配周期,提高装配作业质量。

(3) 在使用、维护及维修方面

如果机电产品上的零部件具有互换性,一旦某个零部件磨损或损坏,就可方便及时地用备用件替换,从而减少机器的维修时间和费用,增加机器的平均无故障工作时间,保证机器连续持久地正常运转,延长机器的使用寿命,提高其使用价值。没有互换性,维修行业就无法立足。在电力、航天、核工业、国防军工等特殊应用场合,互换性的作用难以用经济价值衡量,必须采用互换性的零部件,以确保机器设备持续正常运转。

(4) 在生产组织管理方面

无论是技术和物资供应、计划管理,还是生产组织和协作,零部件具有互换性,都便于实行科学化管理。

总之,互换性原则给产品的设计、制造、使用、维护以及组织管理等各个领域带来巨大的经济效益和社会效益,而生产水平的提高、技术的进步又促进互换性不断发展。

1.1.4 实现互换性的技术措施

要保证某产品的互换性,就要使该产品的几何参数及其物理、化学性能参数一致或在一定范围内相似,因而互换性的基本要求是同时满足装配互换和功能互换。具有互换性的零件,其几何参数是否必须制成绝对准确呢?这种理想情况在现实世界中既不可能实现,也无必要。因为产品及其零部件都是制造出来的,任何制造系统都不可避免地存在误差,因而任何零部件都存在加工误差,无法保证同一规格零部件的几何参数和功能参数完全相同。另一方面,工程实践中,只要使同一规格零部件的有关参数(主要是几何参数)的变动控制在一定范围内,就能达到实现互换性的目的。给有关参数规定合理的公差,是实现互换性的基本技术措施。

制造出来的零部件和产品是否满足设计要求,还要依靠准确有效的检测技术手段来验证,检测技术同样也是实现互换性的基本技术保证。

1.2 标准化与优先数系

1.2.1 标准化

1. 标准化的基本概念

GB/T 20000.1-2002 对标准化的定义为:为了在一定范围内获得最佳社会秩序,对现

实问题或潜在问题制定共同使用和重复使用的规则的活动。所谓标准化,是指在经济、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订、发布和实施标准达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。标准化是一个不断循环往复而又不断提高其水平的动态过程,这个过程是从探索标准化对象开始,经调查、实验、分析,进而制定、贯彻和修订标准。标准化的主要形式有简化、统一化、系列化、通用化、组合化。

标准化是一个系统工程,其任务是设计、组织和建立标准体系,以促进人类物质文明及生活水平的提高。标准化也是一门与许多学科交叉渗透的重要综合性学科,是技术与管理交叉融合的学科,是介于自然科学与社会科学之间的边缘学科。

2. 标准化的地位和作用

标准化是广泛实现互换性生产的前提。现代工业生产的特点是规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高。为了适应生产中各个部门之间的协调和各生产环节的衔接,必须有一种手段,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。为了全面保证互换性,不仅要合理确定零部件的制造公差,而且还要对影响制造精度及质量的各个生产环节、阶段和方面实施标准化。

世界各国的经济发展历程表明,标准化是实现专业化协作生产的必要前提和基础,是组织现代化大生产、提高生产效率和效益的重要手段,是科学管理的重要组成部分。标准化是联系科研、设计、生产和使用等方面的纽带,是使整个社会经济合理化的技术基础,也是发展贸易、提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。

标准化是反映社会现代化水平的一个重要标志,现代化的程度越高,对标准化的要求也越高。搞好标准化,对于加速发展国民经济,提高产品和工程建设质量,提高劳动生产率,搞好环境保护和安全卫生以及改善人民生活等都起着重要作用。积极运用标准化成果,创造和发展标准化,已经成为现代工业发展的必然趋势。

由于科学技术的迅猛发展和全球经济一体化进程的加快,标准化已经从传统的工农业产品向高新技术、信息技术、环境保护和管理、产品安全以及卫生、服务等领域发展。标准化不仅渗透到现代科技发展的前沿,促进高新技术转化为新的产业,形成新的生产力,而且突破了传统的标准化领域,从产品标准和方法标准发展到了管理标准,直接为提高企业经济效益和促进国际贸易服务,为人类社会的可持续发展服务。

1.2.2 标准

1. 标准的含义

标准化的主要体现形式是标准。所谓标准,是指对需要协调统一的重复性事物(如产品、零部件)和概念(如术语、规则、方法、代号、量值)所做的统一规定。标准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,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。

标准是人类科学知识的积淀、技术活动的结晶、多年实践经验的总结,代表着先进的生产力,对生产具有普遍的指导意义,能够促进技术交流与合作,有利于产品的市场化。因此,在生产活动中,应积极采用最新标准。

2. 标准的种类

按照标准化对象的特性,标准通常分为技术标准、管理标准和工作标准三大类。

(1) 技术标准

技术标准是指根据生产技术活动的经验和总结,作为技术上共同遵守的法规而制定的各项标准。技术标准又分为基础标准、产品标准、工艺标准、方法标准、检测试验标准,以及安全、卫生、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。在每个领域中,基础标准是覆盖面最大的标准,它是该领域中所有标准的共同基础。

基础标准以标准化共性要求和前提条件为对象,是为了保证产品的结构、功能和制造质量而制定的、一般工程技术人员必须采用的通用性标准,也是制定其他标准时可依据的标准。基础标准是产品设计和制造中必须采用的工程语言和技术数据,也是机械精度设计和检测的依据。国际标准化组织和各国标准化机构都非常重视基础标准的制定工作。本教材所涉及的大多数标准都属于基础标准。

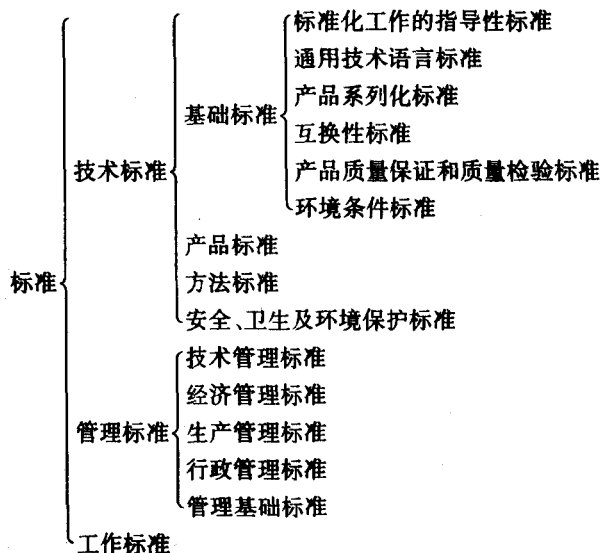
(2) 管理标准

管理标准是指对标准化领域中需要协调统一的管理事项所制定的标准。

(3) 工作标准

工作标准是指对工作的责任、权利、范围、质量要求、程序、效果、检查方法、考核办法等所制定的标准,一般包括部门工作标准和岗位(个人)工作标准。

标准的分类一览表如下:



3. 标准的级别

按照级别和作用范围,标准分为国家标准、行业标准和专业标准、地方标准和企业标准4级。低一级标准不得与高一级标准相抵触。为了适应高新技术标准化发展变化快的特点,对于技术尚在发展中、需要有相应的标准文件引导其发展,或具有标准化价值但目前尚不能制定标准的项目,以及采用 ISO(International Standardization Organization)、IEC(International Electro-technical Commission)及其他国际组织的技术报告的项目,可制定国家标准化指导性技术文件(GB/Z),作为对四级标准的补充。

(1) 国家标准

国家标准是指由国家标准化管理机构批准、发布,在全国范围内统一的标准。我国的国家标准分为国标(GB)和国军标(GJB)。

(2) 行业标准和专业标准

对没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求,可制定行业标准。专业标准是指由专业标准化主管机构或专业标准化组织批准、发布,在某专业范围统一的标准。部标准是指由各主管部、委(局)批准、发布,在该部门范围内统一的标准,部标准已逐步向专业标准过渡。

(3) 地方标准

对没有国家标准和行业标准而需要在省、自治区、直辖市范围内统一的技术要求,可以制定地方标准。

(4) 企业标准

企业标准(QB)是指由企(事)业或其上级有关机构批准发布的标准。企业生产的产品,对没有国家标准、行业标准和地方标准的,应当制定相应的企业标准;对已有国家标准、行业标准或地方标准的,鼓励企业制定严于前三级标准要求的企业标准。

4. 强制性标准和推荐性标准

按照法律属性,标准又分为强制性标准和推荐性标准两大类。强制性国家标准的代号为 GB,推荐性国家标准的代号为 GB/T。

涉及人体健康、人身财产安全、健康、卫生及环境保护等的标准属于强制性标准,具有法律约束力,而其他标准则属于推荐性标准。尽管推荐性标准不具有法律约束力,但是一经被采用,或在合同中被引用,则应严格执行,并受合同法或有关经济法的约束。

5. 国际标准

国际标准是指由国际标准化团体通过的标准。三大权威的国际标准化机构为国际标准化组织(ISO)、国际电工技术委员会(IEC)和国际电信联盟(ITU)。

各国可自愿而不是强制采用国际标准,但由于国际标准集中了先进工业国家的技术经验,从本国的外贸利益出发也往往积极采用国际标准。随着贸易的国际化,标准也日趋国际化,以国际标准为基础制定本国标准,已成为世界贸易组织(WTO)对各成员国的要求。

采用国际标准制定本国标准一般有以下 3 种方式:

① 等同采用。国家标准在采用国际标准时,在技术内容和编写方法上和国际标准完全相同,用 idt(identical)表示。

② 等效采用。国家标准在采用国际标准时,在技术内容上完全相同,但在编写方法上和国际标准不完全相同,用 eqv(equivalent)表示。

③ 不等效采用。在技术内容上和国际标准不相同,用 neq(non - equivalent)表示。

ISO 9000 及 ISO 14000 是当前应用最广泛的国际标准。1987 年发布了 ISO 9000 质量管理体系标准,立即引起了世界各国的广泛关注与积极采用。据统计,ISO 9000 已被 100 多个国家和地区转化为本国标准。ISO 9000 的出现,标志着国际标准化活动已从名词术语、试验方法及产品质量三大传统领域迈向了管理体系的标准化与认证。1996 年发布的 ISO 14000 环境管理体系标准,使国际标准化与认证有了更广阔的活动空间。

1.2.3 优先数与优先数系

1. 优先数系

工程上各种技术参数的协调、简化和统一,是标准化的重要内容。工程设计中,各种性能指标参数都要用数值来表示。当选定一个数值作为某种产品的参数指标后,该数值就会按照一定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、联轴器等一整套零部件的尺寸和材料特性参数上,进而传播到加工和检验这些零部件的刀具、量具、夹具及机床等的相应参数上。技术参数的数值传播在生产实际中极为普遍,并且跨越行业和部门的界限。工程技术上的参数数值,即使差别很小,经过反复传播以后,也会造成尺寸规格的繁多杂乱,以致给生产组织、协作配套、使用维修及贸易等带来很大困难。因此,必须从全局出发,对各种技术参数加以协调。

优先数系方法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取值制度。优先数是在工程设计及参数分级时应当优先采用的等比级数数值。

2. 优先数系的系列和代号

工程技术上通常采用的优先数系是一种十进几何级数,是由 5 种公比且每项含有 10 的整数次幂的等比级数导出的一组近似等比数列,其中每一项数值称为优先数。

优先数系常用的 5 种公比见表 1-1。其中, R5、R10、R20、R40 为基本数列, R80 为补充系列。实际使用时应按照 R5、R10、R20、R40 的顺序优先选用。

表 1-1 优先数系常用的公比

优先数系	公比
R5	$q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$
R10	$q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$
R20	$q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$
R40	$q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$
R80	$q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$

优先数的主要优点有:

- ①相邻两项的相对差均匀,疏密适中,而且运算方便,简单易记;
- ②在同一系列中优先数(理论值)的积、商、整数(正或负)幂等仍为优先数;
- ③优先数可以向数值增大和减少两端延伸。

因此,优先数系在产品设计、工艺设计、标准制定等领域得到了广泛的应用,并成为国际上统一的标准数值制。优先数系在公差标准中广泛使用,例如极限与配合国家标准中,公差值就是按 R5 系列确定的。

实践证明,合理选择优先数往往在一定数值范围内能以较少的品种规格满足用户的需要。

GB/T321-1980《优先数和优先数系》与国际标准一致,其中范围 1~10 的优先数系列如表 1-2 所列,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。

有时在工程上还采用派生系列,即在 R_r 系列中,每逢 *p* 项选取一个优先数,组成新的派生系列,以符号 R_r/*p* 表示。如 R10/3 系列就是在 R10 系列中,从 1.00 开始,每隔 3 个数选一个,此时所有的数都是成倍地增加的。

表 1-2 优先数系的基本系列(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			

1.3 几何量检测技术

1.3.1 检测的基本概念

测量就是将被测量和一个作为测量单位的标准量进行比较,从而确定二者比值的过程。测量的作用是确定物理量的特征,它是认识和分析物理量的基本方法。只有通过测量才能获得精确和量化的信息。没有测量就没有科学。

测量过程包括以下四要素:

① 测量对象。本教材只涉及几何量,几何量一般包括长度、角度,包括几何形状、几何要素的相对位置和表面粗糙度等。测量的尺寸小至微米和纳米级,大至米级。

② 计量单位。常用的长度单位为 mm,精密测量时采用 μm ,超精密测量时采用纳米 (nm)。

③ 测量方法。测量方法是指在测量时所采用的测量原理、计量器具及测量条件的总合。

④ 测量准确度。测量准确度是指测量结果与真值一致的程度。没有测量准确度表示的测量结果是意义不完整的,通常用测量的极限误差或测量不确定度来表示测量准确度。

检验是指判断被测量是否在规定范围内的过程,不一定要得到被测量的具体数值。检测是检验和测量的总称。测试是指具有试验研究性质的测量。检查是指测量和外观验收等过程。

几何量测量隶属于长度计量,所谓计量学是指保证量值统一和准确性的测量学科。计量比测量的范畴更广,它包含计量单位的建立,基准与标准的建立、传递、保存、使用,测量方法与测量器具,测量精度,观测者进行测量的能力及计量法制、管理等。

在机电产品检测中,几何量检测占的比重最大。几何量检测是指在机电产品整机及零部件制造中对几何量参数所进行的测量和验收过程。实践证明,有了先进的公差标准,对机械产品零部件的几何量分别规定了合理的公差,还要有相应的技术测量措施,才能保证零件的使用功能、性能和互换性。

检测技术是保证机械精度、实施质量管理的重要手段,是贯彻几何量公差标准的技术

保证。几何量检测有两个目的:用于对加工后的零件进行合格性判断,评定是否符合设计技术要求;获得产品制造质量状况,进行加工过程工艺分析,分析产生不合格品的原因,以便采取相应的调整和改进措施,实现主动质量控制,以减少和消除不合格品。

提高检测精度和检测效率是检测技术的重要任务。而检测精度的高低取决于所采用的检测方法。工程应用中,应当按照零部件的设计精度和制造精度要求,选择合理的检测方法。检测精度并不是越高越好,盲目追求高的检测精度将加大检测成本,造成浪费,但是降低检测精度则会影响检测结果的可信性,使检测起不到质量把关作用。

检测方法的选择,特别重要的是分析测量误差及其对检测结果的影响。因为测量误差将导致误判,或将合格品判为不合格品(误废),或将不合格品判为合格品(误收)。误废将增加生产成本,误收则影响产品的功能要求。检测准确度的高低直接影响到误判的概率,且与检测成本密切相关,而验收条件与验收极限将影响误收和误废在误判概率中所占的比重。因此,检测准确度的选择和验收条件的确定,对于保证产品质量和降低制造成本十分重要。

1.3.2 几何量检测技术的发展

检测技术的水平在一定程度上反映了机械制造的精度和水平。机械加工精度水平的提高与检测技术水平的提高是相互依存、相互促进的。根据国际计量大会统计,零件的机械加工精度大约每10年提高1个数量级,这都与测量技术的发展密切相关。例如,1940年由于有了机械式比较仪,使加工精度从过去的 $3\mu\text{m}$ 提高到 $1.5\mu\text{m}$;1950年,有了光学比较仪,使加工精度提高到 $0.2\mu\text{m}$;1960年,有了电感、电容式测微仪和圆度仪,使加工精度提高到 $0.1\mu\text{m}$;1969年,激光干涉仪的出现,使加工精度提高到 $0.01\mu\text{m}$;1982年扫描隧道显微镜(STM)的发明,使加工精度达到 nm 级,已经接近加工精度的极限。

测量空间已由二维空间发展到三维空间,检测精度已经迈向纳米级。测量的自动化程度已从人工读数测量发展到自动定位、瞄准和测量,计算机进行数据处理评定,自动输出测量结果。

总之,互换性是现代化生产的重要生产原则和有效技术措施,标准化是广泛实现互换性生产的前提;检测技术和计量测试是实现互换性的必要条件和手段,是工业生产中进行质量管理、贯彻质量标准必不可少的技术保证。因此,互换性和标准化、检测技术三者形成了一个有机整体,质量管理体系则是提高产品质量的可靠保证和坚实基础。

1.4 机械精度设计概述

1.4.1 机械精度的基本概念

1. 机电产品质量与机械精度之间的关系

质量是企业的生命。现代机电产品的质量特性指标包括功能、性能、工作精度、耐用性、可靠性、效率等。机械精度是衡量机电产品性能最重要的指标之一,也是评价机电产品质量的主要技术参数。

机械制造质量包含几何参数方面的质量和物理、机械等参数方面的质量。物理、机械

等参数方面的质量是指机械加工表面因塑性变形引起的冷作硬化、因切削热引起的金相组织变化和残余应力等。机械加工表面质量(表面结构)是指表面层物理机械性能参数及表面层微观几何形状误差。

几何参数方面的质量即几何量精度,通常包括构成机械零件几何形体的尺寸精度、几何形状精度、相对位置精度和表面粗糙度。几何量精度是指零件经过加工后几何参数的实际值与设计要求的理论值相符合的程度,而它们之间的偏离程度则称为加工误差。加工精度在数值上通常用加工误差的大小来反映和衡量。零件的几何形体一定时,误差越小则精度越高,误差越大则精度越低。

机械零部件之间的相互位置精度一般包括以下几个方面:

- ① 零部件之间的距离要求,如车床主轴的中心高、齿轮传动副的中心距等;
- ② 零部件之间的框架相互位置要求,如车床卡盘轴线与导轨的平行度、立式铣床主轴轴线与工作台面的垂直度等;
- ③ 零部件的结合(联结)要求,如孔轴配合、滚动轴承与轴颈和壳体孔的配合等。

几何精度是影响机电产品质量的决定性因素,工程实践表明,结构相同、材料相同的机器设备或仪器,精度不同会引起质量的差异。因此,进行机械设计时,不但要进行总体设计、运动设计、结构设计、强度及刚度计算,而且还要在合理设计机构、正确选择材料的同时,进行机械精度设计。

产品质量是通过制造过程实现的,制造质量控制是机电产品质量保证的重要环节,其主要任务是将机电产品零部件的加工误差控制在允许的范围内,而允许范围的确定则是机械精度设计的任务。

机电产品(包括其他任何产品的机械部分)设计中,除了必须实现特定的运动、动力功能和规定的工作寿命以外,更重要的是,应使产品具有一定的静态几何精度以及在运转过程中的动态几何精度。没有足够的几何精度,机器就无法实现预定的功能和性能,机械产品也就丧失了使用价值。零件精度高就意味着寿命长,可靠性好。机械产品往往由于其精度的丧失而报废,机械产品的周期性检修,实质上就是其精度的检定和修复。

2. 加工误差和公差

任何机械制造系统都存在制造误差,例如,切削加工系统的主要误差源包括机床、刀具、夹具、工艺、环境和人员等因素。因此,零件在加工过程中不可能做得绝对准确,必然产生加工误差。零件的几何参数总是不可避免地会存在误差,此即几何量加工误差。

几何量加工误差可分为尺寸(线性尺寸和角度)误差、几何形状误差(包括宏观几何形状误差、微观几何形状误差和表面波度)、相互位置误差等。

尽管零部件上的几何量误差会影响零部件的使用功能和互换性,但是只要将这些误差控制在一定的范围内,即将零件几何量参数实际值的变动控制在一定范围内,保证同一规格的零件彼此充分近似,则零部件的使用性能和互换性都能得到保证。因此,零件应当按照规定的极限(即公差)来制造。公差是事先规定的工件尺寸、几何形状和相互位置允许变动的范围,用于限制加工误差。公差是实际参数值的最大允许变动量,是允许的最大误差。

加工误差是在零件加工过程中产生的,而公差则是由设计者给定的。设计者的任务就是正确合理地规定公差。