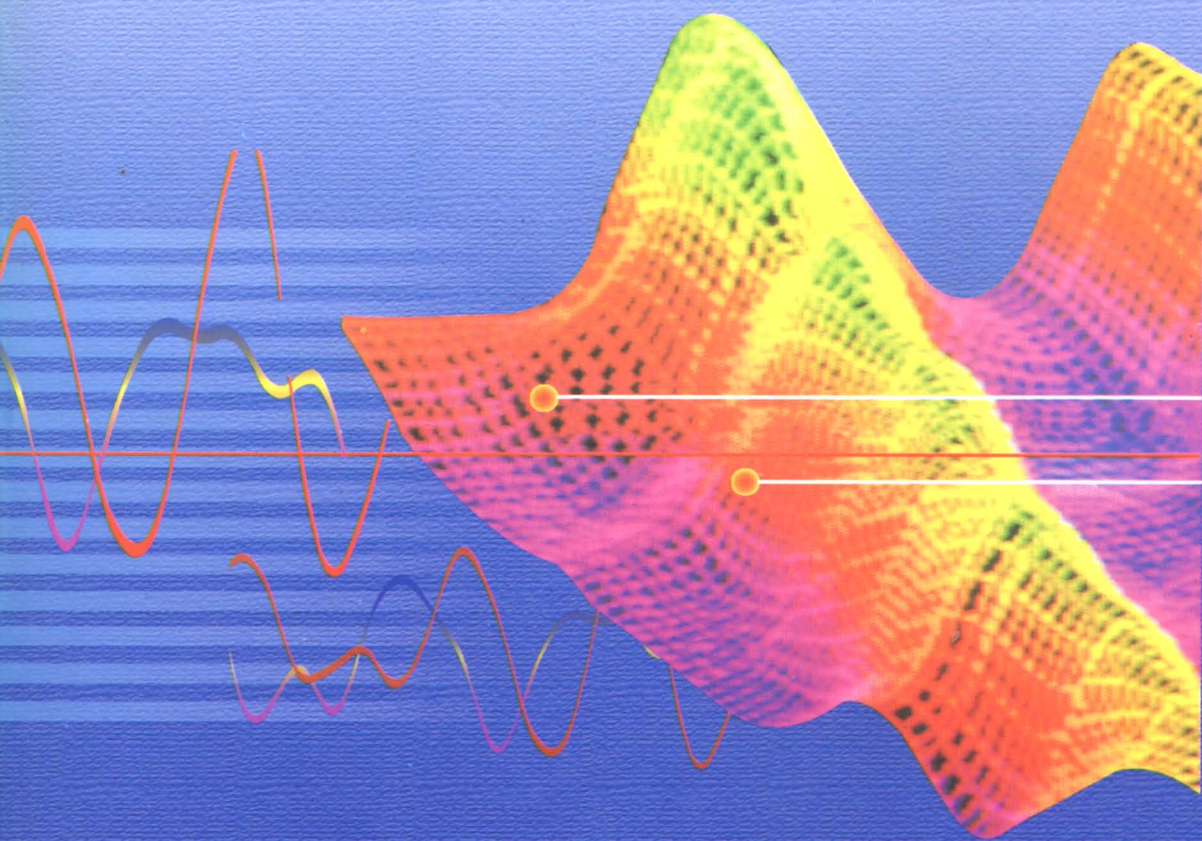


# 机械精度设计

蒋庄德 主编 苑国英 副主编



西安交通大学出版社

# 机械精度设计

蒋庄德 主 编  
苑国英 副主编  
赵卓贤 主 审

编者:(以姓氏笔画为序)

吴昭同 杨将新 苑国英  
周清芬 金 涛 要义勇  
蒋庄德

西安交通大学出版社

## 内容简介

本书是针对我校机械类机械基础系列课程体系改革而撰写的新编教材。书中着重以设计为主线,介绍了机械精度设计的基本知识,掌握公差与配合精度设计的基本原理、原则与方法,获取测量技术及产品质量保证的基本技能,为提高学生的机械精度设计水平和培养创新意识及今后从事科学研究工作打下坚实的基础。本书是机械类、工业工程类、仪器仪表类各专业重要的主干技术基础课。

本书可供大专院校用作机械类、动力机械类、仪器仪表类设计、制造专业课程的教材和参考书,并可供技术人员参考,亦可供职工业余大学、函授大学、电视大学等有关专业的师生使用或参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计/蒋庄德等著. —西安:西安交通大学出版社,2000.9  
ISBN 7-5605-1322-0

I. 机… II. 蒋… III. 精度-机械设计  
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 70190 号

\*

西安交通大学出版社出版发行  
(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668316)  
西安交通大学印刷厂印装  
各地新华书店经销

\*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:21.625 字数:523 千字  
2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月第 1 次印刷  
印数:0001~3 000 定价:25.00 元

---

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)2668357,2667874

## 前言

《机械精度设计》是我校机械设计课程体系改革新编的系列教材之一,是机械基础系列课程的重要组成部分,机械基础系列课程是针对机械类学生的培养目标而设置的新的课程体系,它包括《机械精度设计》在内的4门课程,其中每一门课程都是与整体课程密切联系,不可分割的。

机械工业随着先进制造技术和微/纳米技术的迅速发展,使得机械制造精度不断提高。随着科技的进步,各种高精度测试仪器的出现,新的测试方法的发展和计算能力的提高,对制造和测试的精度提出了更高的要求。因此,怎样根据机械零件的实际应用和机器的使用性能来进行机械精度的优化设计就是我们所面临的一个重要任务。分析零件工艺过程的制造误差和提高产品的装配与运动精度,控制有影响的因素,使产品获得最佳经济效益是目前急需解决的问题。《机械精度设计》不仅涉及产品设计、制造、质量控制和生产组织管理等许多方面,而且打破原有的课程设置,从素质、能力、创新意识培养和拓宽知识面的要求出发,以设计为主线,分析了影响机械精度的因素。通过本课程的学习,使学生掌握机械精度设计的基本方法和理论,并通过不断的实践,逐步掌握机械精度设计的规律。因此,本课程是机械类,仪器仪表类各专业的一门重要的主干技术基础课。

参加本书编写的有:蒋庄德(第1章、第2章),苑国英(第3章),蒋庄德、金涛(第4章),吴昭同、杨将新(第5章),周清芬(第6章),要义勇(第7章)。全书由蒋庄德任主编,苑国英任副主编,赵卓贤教授任主审。

教学体系改革是一项艰巨而又细致的工作,本教材在编写过程中,得到西安交通大学有关方面的支持和帮助,特别是赵卓贤教授对本书的编写提出了许多建设性的意见,给予了精心的指导和审阅。本书在编写过程中得到浙江大学吴昭同和杨将新教授的热情指导和支持,并亲自参与编写了第5章,对此编者一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中不足之处在所难免,恳请读者予以赐教。

编者

2000年6月于西安交通大学

# 目录

## 第1章 绪论

1.1 前言 .....	(1)
1.2 机械精度设计的一般步骤 .....	(2)
1.2.1 明确设计任务和技术要求 .....	(2)
1.2.2 调查研究 .....	(2)
1.2.3 总体精度设计 .....	(2)
1.2.4 具体结构精度设计计算 .....	(2)
1.3 机械精度设计原则 .....	(3)
1.3.1 互换性原则 .....	(3)
1.3.2 经济性原则 .....	(5)
1.3.3 匹配性原则 .....	(5)
1.3.4 最优化原则 .....	(5)
1.4 精度储备 .....	(6)

## 第2章 几何量精度

2.1 概述 .....	(8)
2.1.1 基本概念 .....	(8)
2.1.2 有关几何量精度的基本术语和定义 .....	(8)
2.1.3 几何参数误差 .....	(13)
2.2 几何参数误差的项目、评定及形位公差标准 .....	(16)
2.2.1 尺寸精度 .....	(16)
2.2.2 形位精度 .....	(17)
2.2.3 表面粗糙度 .....	(30)
2.2.4 表面波纹度 .....	(34)
2.3 几何参数公差数值标准 .....	(35)
2.3.1 尺寸公差系列值 .....	(35)
2.3.2 形位公差数值系列 .....	(36)
2.3.3 表面粗糙度的数值系列 .....	(36)
2.3.4 几何参数公差标准的应用 .....	(36)
2.4 形状、位置公差与尺寸公差的关系 .....	(37)
2.4.1 独立原则 .....	(37)
2.4.2 相关要求 .....	(38)
2.5 选用公差值的方法 .....	(40)
2.5.1 计算法 .....	(40)
2.5.2 类比法 .....	(41)
2.5.3 试验法 .....	(45)

### 第3章 典型结合及传动件精度设计

3.1 概述	(46)
3.1.1 机械结构精度设计的原理与原则	(46)
3.1.2 精度分配	(49)
3.2 光滑圆柱结合的精度设计	(51)
3.2.1 光滑圆柱结合的特点与要求	(51)
3.2.2 过盈配合精度设计的原理与方法	(52)
3.2.3 间隙配合精度设计的原理与方法	(62)
3.2.4 过渡配合精度设计的原理与方法	(71)
3.2.5 配合代号的选用	(72)
3.3 滚动轴承结合的精度设计	(74)
3.3.1 滚动轴承结合的特点与要求	(74)
3.3.2 滚动轴承结合面公差带的特点	(77)
3.3.3 滚动轴承结合精度设计的方法	(78)
3.4 键、花键结合的精度设计	(85)
3.4.1 平键结合的特点与要求	(85)
3.4.2 平键结合精度的确定	(85)
3.4.3 矩形花键结合的特点与要求	(87)
3.4.4 矩形花键精度的确定	(89)
3.5 螺纹结合的精度设计	(92)
3.5.1 螺纹结合的特点与要求	(92)
3.5.2 普通螺纹结合的精度设计	(93)
3.5.3 传动螺纹结合的精度设计	(99)
3.6 渐开线圆柱齿轮传动的精度设计	(102)
3.6.1 渐开线圆柱齿轮传动的特点与要求	(102)
3.6.2 渐开线圆柱齿轮传动精度的评定指标	(103)
3.6.3 渐开线圆柱齿轮传动精度的确定	(113)
3.7 导轨副的精度分析与设计	(125)
3.7.1 导轨副的类型及特点	(125)
3.7.2 滑动导轨副精度的确定	(129)

### 第4章 机器精度设计

4.1 概述	(130)
4.1.1 机器精度的含义	(130)
4.1.2 机器精度设计的内容	(133)
4.2 尺寸链	(134)
4.2.1 有关尺寸链的基本概念	(134)
4.2.2 机械制造系统的误差特征	(136)

4.2.3	尺寸链的建立和分析	(141)
4.2.4	直线尺寸链	(146)
4.2.5	平面尺寸链	(150)
4.2.6	精度分配	(154)
4.2.7	计算尺寸链的其它方法	(160)
4.3	机构精度设计	(162)
4.3.1	机构误差种类	(162)
4.3.2	机构精度分析的基本方法	(163)
4.3.3	传动链的精度设计	(171)
4.4	仪器的精度设计	(173)
4.4.1	接触式测量仪器的动态精度	(174)
4.4.2	非接触式测量仪器的动态精度	(176)
4.5	整机精度设计简介	(178)
4.5.1	整机精度设计的目的和方法	(178)
4.5.2	整机精度设计步骤	(179)
4.6	误差补偿与分离技术在机械精度设计中的应用	(179)
4.6.1	概述	(179)
4.6.2	误差补偿技术	(179)
4.6.3	误差分离技术及其在形状误差测量中的应用	(181)
4.7	微米/纳米技术及其应用	(183)
4.7.1	纳米制造技术	(184)
4.7.2	纳米测试技术	(185)
4.7.3	定位控制技术	(187)
4.7.4	微型机械	(188)

## 第5章 计算机辅助公差设计

5.1	概述	(191)
5.2	计算机辅助公差设计的基本术语	(191)
5.2.1	公差设计	(191)
5.2.2	设计函数	(192)
5.2.3	公差域	(192)
5.2.4	安全域	(193)
5.2.5	可靠域、装配成功率	(193)
5.2.6	加工成本-公差模型	(194)
5.2.7	公差优化设计	(194)
5.3	计算机辅助公差设计函数的自动生成	(195)
5.3.1	装配数据库	(195)
5.3.2	搜索原理	(197)
5.4	机械加工成本-公差模型	(199)

5.4.1	加工成本-公差关系曲线	(199)
5.4.2	基于初等函数的加工成本-公差模型	(201)
5.4.3	模型参数的估计	(202)
5.5	基于极值法和统计法的计算机辅助公差设计模型	(203)
5.5.1	设计函数	(203)
5.5.2	组成环尺寸模型	(203)
5.5.3	基于统计法的公差尺寸链模型	(203)
5.5.4	基于极值法的尺寸链模型	(206)
5.5.5	简化统计法的尺寸链模型	(206)
5.5.6	小结	(208)
5.6	基于蒙特卡罗法的计算机辅助公差优化设计模型	(208)
5.6.1	问题的数学描述	(208)
5.6.2	数学期望的计算	(209)
5.6.3	广义体积的计算	(209)
5.7	基于二阶矩可靠性指标的计算机辅助公差优化设计模型	(210)
5.7.1	单个设计函数的装配成功率	(211)
5.7.2	多个设计函数的装配成功率及优化设计模型	(212)
5.8	标准化公差优化设计	(214)
5.8.1	标准化公差优化设计模型	(214)
5.8.2	分枝估界法	(215)
5.8.3	实例分析	(217)
5.9	设计公差和工序公差并行优化设计	(217)
5.9.1	公差并行设计的优化数学模型	(218)
5.9.2	模拟退火法	(220)
5.9.3	公差并行设计优化算法的研究	(221)
5.9.4	实例研究	(222)

## 第6章 机械精度测试

6.1	基本概念	(224)
6.1.1	几何量测量技术发展现状	(224)
6.1.2	量值的传递	(224)
6.1.3	计量器具和测量方法的选择	(227)
6.1.4	测量结果的表达	(228)
6.2	机械零件基本几何量测量	(229)
6.2.1	长度尺寸测量	(229)
6.2.2	形状和位置误差测量	(232)
6.2.3	表面粗糙度测量	(244)
6.3	螺纹测量	(248)
6.3.1	圆柱螺纹综合测量	(248)

6.3.2	圆柱螺纹的单项测量 .....	(248)
6.3.3	丝杠测量 .....	(251)
6.4	圆柱齿轮测量 .....	(255)
6.4.1	齿距误差和齿距累积误差的测量 .....	(256)
6.4.2	齿圈径向跳动测量 .....	(258)
6.4.3	齿形误差的测量 .....	(258)
6.4.4	齿轮误差的综合测量 .....	(259)
6.5	三坐标测量机 .....	(262)
6.5.1	三坐标测量机简介 .....	(262)
6.5.2	三坐标测量机组成及结构类型 .....	(262)
6.5.3	三坐标测量机的测量原理 .....	(264)
6.5.4	三坐标测量机的测量系统 .....	(265)
6.5.5	三坐标测量机的测量头 .....	(266)
6.5.6	零件测量实例 .....	(268)

## 第7章 质量管理与质量控制

7.1	质量与质量管理 .....	(270)
7.1.1	质量与质量管理概述 .....	(270)
7.1.2	质量管理的演变与发展 .....	(273)
7.1.3	质量管理和质量保证标准简介 .....	(275)
7.2	质量控制传统的原理和方法 .....	(279)
7.2.1	质量控制图 .....	(279)
7.2.2	直方图 .....	(284)
7.2.3	相关图 .....	(290)
7.3	计算机辅助质量管理和质量保证 .....	(297)
7.3.1	计算机辅助质量系统 .....	(297)
7.3.2	产品设计质量保证工具 .....	(302)

## 附录

# 第 1 章 绪论

## 1.1 前言

机械精度设计是与机械工业发展密切相关的基础学科,它不仅涉及机械设计、机械制造计量测试、质量管理与质量控制等许多方面,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。

随着科学技术与工业的迅速发展,机械学科体系正向以设计为目标的学科体系发展,而设计又由静态向动态、由单学科向多学科综合发展。机械精度设计不仅是现代机械工业发展的基础,而且又与微型电子计算机、激光、通讯、新能源、新材料、精密工程、环境工程、生物工程等学科的发展密切相关。因此,加强本学科的教学和科研,不断改革充实和完善、努力提高本学科的理论水平和应用水平,对于培养、提高工程科技人才的素质,促进我国机械工业的改造与发展,提高我国工业产品在国际市场上的竞争能力有着十分重要的意义。

机械精度设计的涵盖面宽,涉及的基础理论和知识较多,原有课程《互换性与测量技术基础》的体系已不太适应本学科发展的要求。因此,有必要对其进行较大幅度的更改和补充。我校曾于 1961 年编写过《互换性与技术测量》教材,该书经当时机械制造工艺及设备专业教材选编会议推荐为高等学校试用教科书,由中国工业出版社出版。1980 年,面临我国基础标准积极采用国际标准以及《互换性与技术测量》课程全面恢复的形势,国内迫切需要编写一本新教材,以满足当时的需要。在全国 16 所高等学校发起下,我校又参加并主编了一本《公差与技术测量》,由辽宁人民出版社出版,作为新教材的过渡该书畅销全国。随着改革形势的需要,我们在全中国高校《互换性与技术测量》教材编审小组制定的教学大纲指导下,在教学内容和体系上又进行了一些革新,在改革实践中又感到当时一些教材难于适应我们的要求,于是在 1988 年编写了一本体系较新的《互换性与测量技术基础》,经过几年试用后,于 1993 年由西安交通大学出版社正式出版。面向 21 世纪的高等教育,国家提出了培养素质、培养能力、培养创新意识的要求,并要求拓宽专业面,面向通用教材教育方向发展。为此,我校在机械工程教育方面,提出了机械设计系列课程改革的方案。在此系列课程之内,机械精度设计是必不可少的一门,原有的《互换性与测量技术基础》课,虽然具有精度设计的内涵,但没有真正以精度设计为主线,而且认识性内容多,创造性内容少。有鉴于此,我们便着手进行《机械精度设计》教材的编写。由于目前国内外均没有这方面比较完整的教材可以借鉴。这是我们第一次尝试,今后尚要不断改进和完善。全书共分 7 章,内容包括几何量精度,典型结合及传动件精度设计,机器精度设计,计算机辅助公差设计,机械精度测试,质量管理和质量控制等。

本课程将为学生进行机械精度设计奠定基础。它是各类机械、仪器仪表设计与制造专业学生必修的一门主干技术基础课。

## 1.2 机械精度设计的一般步骤

机械精度设计的任务包括机器的改型精度设计,扩大机器使用范围的附件精度设计,以及新机器的精度设计。随着科学技术的发展,在 CAD/CAM/CAPP 日益普及的今天,计算机辅助精度设计,并行设计,虚拟现实以及动态精度设计等新的方法和技术被不断采用和推广。采用现代化的设计手段使得机械精度设计进入到一个崭新的领域。

具体的设计步骤可大致归纳如下:

### 1.2.1 明确设计任务和技术要求

机械精度设计对象的技术要求是设计的原始依据,所以必须首先明确。除此以外还要弄清设计对象的质量,材料,工艺和批量,以及机器或仪器的使用范围,生产率要求,通用化程度和使用条件等。

### 1.2.2 调查研究

在明确设计任务和技术要求的基础上,必须做深入的调查研究,主要要做到深入掌握现实情况和大量占有技术资料两方面。务使在主要方面无一遗漏,做到对情况了如指掌。具体来说要调查清楚以下几个问题:

(1) 设计对象有什么特点,应用在什么场合。

(2) 目前在使用中的同类机器或仪器有哪些,各有什么特点,包括原理、精度、使用范围、结构特点、使用性能等。特别以整体来看要明确这类机器“改善性能”的趋势,以及它们在设计上会成为问题的地方。

(3) 征询需方对现有机器或仪器改进的意见和要求,以及对新产品设计的需求和希望。

(4) 了解承担机器或仪器制造工厂的生产条件、工艺方法。以及生产设备的先进程度、自动化程度和制造精度等。

(5) 查阅资料,充分掌握国内外有关这一设计问题的实践经验和基础研究两方面的动态和趋势。

### 1.2.3 总体精度设计

在明确设计任务和深入调查之后,可进行总体精度设计。

总体精度设计包括:

(1) 系统精度设计。它包括设计原理,设计原则的依据,以及总体精度方案的确定等。

(2) 主要参数精度的确定。

(3) 各部件精度的要求。

(4) 总体精度设计中其它问题的考虑。总体精度设计是机器设计的关键一步。在分析时,要画出示意草图,画出关键部件的结构草图,进行初步的精度试算和精度分配。

### 1.2.4 具体结构精度设计计算

包括以下内容:

(1) 部件精度设计计算。

(2) 零件精度设计计算。结构精度设计计算包括机、光、电各个部分的精度设计和计算,在设计零部件精度过程中,总体精度设计中原有考虑不周的地方,以及原来考虑错误的地方,在零部件精度设计中,要注意结合多数精度的相互配合,结合参数精度更改时要考虑相互协调统一。

## 1.3 机械精度设计原则

由于各种机械或仪器产品的不同,如机床,汽车与拖拉机,机车车辆,流体机械,动力机械,精密仪器和仪器仪表等,其机械精度设计的要求和方法不同,但从机械精度设计总的角度来看,应遵循以下一些原则:

### 1.3.1 互换性原则

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。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,理化性能以及其它功能参数充分近似。

为什么要使产品的几何参数充分近似,而不能完全一样呢?因为产品在制造过程中,加工设备、工具等或多或少都存在着误差,要使同种产品的几何参数,功能参数完全相同是不可能的,它们之间或多或少地存在着误差。在此情况下,要使同种产品具有互换性,只能使其几何参数,功能参数充分近似。其近似程度可按产品质量要求的不同而不同。为使产品的几何参数,功能参数充分近似就必须将其变动量限制在某一范围内,即规定一定的公差。

#### 1. 机械零件几何参数的互换性

机械零件几何参数的互换性是指同种零件在几何参数方面能够彼此互相替换的性能。机械零件的形体千差万别,仅从一些典型零件来看,就有圆柱形、圆锥形、单键、花键、螺纹、齿轮等等。虽然其形体各异,但它们都是由一些点、线、面等几何要素所组成。实际零件在制造中由于“机床—刀具—夹具—工件”工艺系统有误差存在,致使其尺寸、几何要素之间的相互位置,线与面的宏观几何形状,表面的微观几何形状都或多或少地出现误差,这些误差被称为尺寸误差、位置误差、形状误差和表面粗糙度。为了实现机械零件几何参数的互换性,就必须按照一定的要求把这些几何参数的误差限制在相应的尺寸公差、位置公差、形状公差和表面粗糙度的范围内。

机械零件的用途各式各样,有主要用于结合的,例如圆柱结合,圆锥结合,单键结合,花键结合以及螺纹结合等;有主要用于传动的,例如螺旋副,齿轮副,蜗轮副;有主要用于支承的,如床身,箱体,支架等,有主要用于基准的,如长度量块,角度量块,基准棱体等。无论起什么作用,为实现同种零件的互换性,必须对其几何参数公差提出相应的要求。但是,根据用途的不同,确定几何参数公差的依据也有所不同。用于结合的,主要依据是配合性质;用于传动的,主要依据是传动和接触精度;用于支承的,主要依据是支承的精度和刚度;用于基准的,主要依据是尺寸传递精度。

## 2. 互换性的种类

按照同种零、部件加工好以后是否可以互换的情形,可把互换性分为完全互换性与不完全互换性两类。

完全互换性: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。

不完全互换性: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,仅仅同组的零、部件可以互换,组与组之间的零、部件不能互换。例如滚动轴承内、外圈滚道与滚动体的结合、活塞销与活塞销孔、连杆孔的结合,都是分组互换的。

(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。

(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。

对于标准化的部件,如滚动轴承,由于其精度要求较高,按完全互换的办法进行生产不合适,所以轴承内部零件的结合(内、外圈滚道与滚动体的结合)采用分组互换。而轴承内圈与轴,外圈与壳体孔等外部零件的结合,采用完全互换。前者通常称为内互换,后者通常称为外互换。所有标准化的部件,当其内部结合不宜采用完全互换时,可以采用不完全互换的办法,但其外部结合应尽可能采用完全互换,以利用户使用。

## 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:整机—部件—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(图1-1)。

从设计看,互换性可使其简便,因此可以在设计中选用具有互换性的标准化零、部件,从而使设计简化。另一方面,设计者在设计机械时,应充分考虑互换性要求,在满足功能要求的前提下,要使机构的组成零件尽可能少,公差尽可能放大,以便于制造和互换。

从制造看,互换性可方便于制造,以取得更好的技术经济效益。另一方面,制造者在制造机械时,亦应充分考虑互换性要求,如尽可能选用标准化的刀、夹、量具,工艺尽可能保持稳定。不仅被加工的零件能严格地控制在规定的公差之内,而且尽可能使其误差分布合理等。

从使用看,互换性可使用户更换零、部件或修理方便、及时。这不仅对个人、家庭生活用

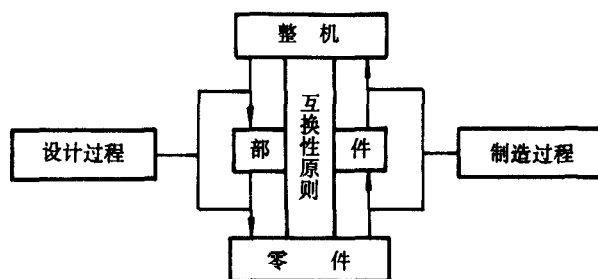


图 1-1 机械生产过程

品、工厂生产带来极大益处,对军事武器、装备,其影响则更为关键。

### 1.3.2 经济性原则

经济性原则是一切设计工作都要遵守的一条基本而重要的原则,机械精度设计也不例外。经济性可以从下面几个方面来考虑:

(1) 工艺性。包括加工工艺及装配工艺,若工艺性较好,则易于组织生产,节省工时,节省能源,降低管理费用。

(2) 合理的精度要求。不必要地提高零部件的加工及装配精度,往往使加工费用成倍增加。

(3) 合理选材。材料费用不应占机器或仪器整个费用的太大分量。元器件成本太高,往往使所生产的机器无法推广应用或滞销。

(4) 合理的调整环节。通过设计合理的调整环节,往往可以降低对零部件的精度要求,达到降低机器成本的目的。

(5) 提高寿命。寿命延长一倍,相当于一台设备当两台用,价格便降低了一半。

### 1.3.3 匹配性原则

在对整机进行精度分析的基础上,根据机器或位置中各部分各环节对机械精度影响程度的不同,根据现实可能,分别对各部分各环节提出不同的精度要求和恰当的精度分配,做到恰到好处,这就是精度匹配原则。例如,一般机械中,运动链中各环节要求精度高,应当设法使这些环节保持足够的精度。对于其它链中的各环节则应根据不同的要求分配不同的精度。再如对于一台机器的机、电、光等各个部分的精度分配要恰当,要互相照顾和适应。特别要注意各部分之间相互牵连、相互要求上的衔接问题。

### 1.3.4 最优化原则

机械精度是由许多零、部件精度构成的集合体,可以主动重复再现其组成零、部件精度间的优化协调。

所谓最优化原则,即探求并确定各组成零、部件精度处于最佳协调时的集合体。例如探求并确定先进工艺,优质材料等,这是一种创造性,探索性的劳动。

由于各组成零、部件间精度的最佳协调是有条件的,故可通过实现此条件,来主动重复获

得精度间的最佳协调。例如,主动推广先进工艺,发展优质产品等。

按最优化原则,充分利用创造性劳动成果免除重复探索性劳动的损失,反复应用成功的经验,可获得巨大的经济效果。

由于计算机的广泛使用,特别是微型机的普及和推广,对机械精度设计正在产生极为深远的影响。计算机能够处理大量的数据,提高计算的精度和运算速度,准确地分析结果,合理地进行机械的最优化精度设计。

## 1.4 精度储备

众所周知,在设计机器或位置时,对零件强度计算,通常都要引入“安全系数”。因为计算方法往往不够精确,原始数据会有误差,零件在工作时也可能有超负荷等。引入安全系数后,就使机器零件增加了强度储备,这样可以增加机器工作的可靠性和寿命。但是,在许多情况下,整机(特别是精密机械与仪器)及其零、部件工作能力的丧失,往往不是由于损坏,而是由于其工作部分精度降低。因此,为了长期保持机器、仪器良好的工作性能,延长使用寿命,提高其使用价值,就需要建立“精度储备”的概念。

精度储备可用精度储备系数  $K_T$  表示:

$$K_T = \frac{T_F}{T_k} \quad (1-1)$$

式中  $T_F$ ——功能公差(functional tolerance),即由使用要求确定的,在使用期限内,某个性能参数的最大允许变动量;

$T_k$ ——制造公差。

显然, $K_T$  应大于 1。国外一些公司多取  $K_T=2$ 。按精度储备系数的含义,即由使用要求确定的公差  $T_F$  不能全部用作制造公差,还必须保留一部分作为“使用公差”。制造公差用于补偿加工、测量、装配等种种制造中的误差。使用公差则用于补偿磨损、变形等各种使用中的误差。这样,有利于在使用中较长期保持机器、仪器及零部件的工作性能。

精度储备可用于整台机器、仪器的使用性能指标。例如,新磨床的主轴径跳为 0.005 mm,而这种精密机床在其使用期限内(到检修为止)的主轴径跳允许为 0.01 mm,则其精度储备系数  $K_T=0.01/0.005=2$ 。又如,光学测微仪,在一定条件下允许的测量误差为 0.6  $\mu\text{m}$ ,若新的光学测微仪的测量误差实际为 0.4  $\mu\text{m}$ ,则其精度储备系数  $K_T=1.5$ 。

精度储备可用于零部件或某个功能尺寸。例如,为了保证内燃机工作的经济性,化油器喷嘴的直径的变动量不应超过 10  $\mu\text{m}$ ,而利用其 5  $\mu\text{m}$  补偿所有制造误差,则  $K_T=2$ 。

精度储备可用于孔、轴结合。特别是用于间隙配合的运动副。此时的精度储备主要为磨损储备。 $T_F$  为由使用要求确定的间隙配合公差,可称为功能配合公差。 $T_k$  则为孔与轴的制造公差之和。若不考虑装配误差等,则  $T_k = T_H + T_s$ ,即规定的配合公差。

以  $T_{fF}$  表示间隙配合功能配合公差,以  $X_{\max F}$  与  $X_{\min F}$  表示功用最大间隙与最小间隙,则此时精度储备系数:

$$T_{fF} = |X_{\max F} - X_{\min F}| \quad (1-2)$$

$$K_T = \frac{X_{\max F} - X_{\min F}}{T_H + T_s} \quad (1-3)$$

在按标准选择配合时,往往不能得到那样的标准配合,即其最小间隙  $X_{\min}$  正好等于计算得到的最小功用间隙  $X_{\min F}$ 。通常是取  $X_{\min} > X_{\min F}$ 。这样,有一部分功能配合公差(其值即  $X_{\min} - X_{\min F}$ )不能利用。这时,精度储备系数为:

$$K_T = \frac{X_{\max F} - X_{\min}}{T_H + T_s} \quad (1-4)$$

有时,为了扩大磨损储备,考虑到  $X_{\min}$  出现的概率很小,也允许  $X_{\min} < X_{\min F}$ ,但考虑概率的最小间隙  $X_{\min P}$  应大于或接近功能最小间隙  $X_{\min F}$ 。 $X_{\min P}$  可称为考虑概率的最小间隙,并由下式确定:

$$X_{\min P} = X_{av} - 0.5\sqrt{T_H^2 + T_s^2} \quad (1-5)$$

式中  $X_{av}$ ——所选配合平均间隙。

当磨损速度一定时,若间隙接近  $X_{\min F}$ ,其寿命将最长;若间隙接近  $X_{\max F}$ ,其寿命将最短。以平均间隙  $X_{av}$  代表所选配合,则可以

$$\tau = \frac{X_{\max F} - X_{av}}{X_{\max F} - X_{\min F}} = \frac{X_{\max F} - X_{av}}{T_{fF}} \quad (1-6)$$

表示该配合使用的相对寿命,故称  $\tau$  为寿命系数,其值在 0 和 1 之间。

原则上讲,对机器、仪器及长期使用的零部件都应建立精度储备,并且应按每一功能参数,包括几何参数及其它物理参数等,去建立精度储备。对于那些对机器、仪器使用性能影响特别大,且在工作过程中容易发生变化的参数,尤应充分考虑建立精度储备。例如,对活塞式压气机,在活塞-气缸结合之间,必须有间隙的精度储备,因为这个间隙影响压气机的生产率与单位功率。

精度储备系数  $K_T$  的大小,取决于使用情况,对初始精度允许的降低,预定的使用期限,功能参数及使用指标的变化特性及其他因素。归根结底,精度储备系数的选取应使机械产品的使用价值与制造成本的综合经济效果最好。

# 第2章 几何量精度

## 2.1 概述

### 2.1.1 基本概念

几何量包括长度、角度、几何形状、相互位置几何参数和表面粗糙度等。

几何量精度是指这些几何参数的精度。几何量精度设计的主要任务是要使机械产品能够满足几何互换性的要求。互换性定义为: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,要使产品的几何参数能够满足互换性的要求,即要使产品的几何参数充分近似。为什么要使产品的几何参数充分近似,而不能完全一样呢?因为产品在制造过程中,加工设备、工具等都或多或少地存在着误差,要使同种产品的几何量参数完全相同是不可能的,它们之间都或多或少地存在着差异。在此种情况下,要使同种产品保持几何量参数的互换性,只能使其充分近似。其近似程度可按产品质量要求的不同而不同。实际应用中,除几何参数以外,还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。为使产品的几何参数、功能参数充分近似,就必须将其变动量限制在某一范围内,即规定一定的公差。

机械零件的形体千差万别,仅从一些典型零件来看,就有圆柱形、圆锥形、单键、花键、螺纹、齿轮等等。虽然其形体各异,但它们都是由一些点、线、面等几何要素所组成。在实际零件上,由这些要素形成的尺寸、宏观几何形状、微观几何形状都或多或少地会呈现误差,这些误差分别被称为尺寸误差、位置误差、形状误差和表面粗糙度。这些误差的大小直接反映了几何量精度的高低。为了保证精度,实现机械零件几何参数的互换性,就必须按照一定的要求把这些几何参数的误差限制在相应的尺寸公差、位置公差、形状公差和表面粗糙度规定的范围之内。

机械零件的用途各式各样,有主要用于结合的,例如圆柱结合、圆锥结合、单键结合、花键结合以及螺纹结合等;有主要用于传动的,例如螺旋副,齿轮副,蜗轮副等;有主要用于支承的,如床身,箱体,支架等;有主要用于基准的,如长度量块,角度量块,基准棱体等。无论起什么作用,为实现同种零件的互换性,必须对几何参数精度提出相应的要求,进行几何量精度设计。但根据用途的不同,确定几何参数精度的依据也有所不同。用于结合的,主要依据是配合性质;用于传动的,主要依据是传动和接触精度;用于支承的,主要依据是支承精度和刚度;用于基准的,主要依据是尺寸传递精度。

### 2.1.2 有关几何量精度的基本术语和定义

有关几何量精度的基本术语和定义很多,但公差与配合的术语最为基础。为此,本章仅将有关的公差与配合的基本术语及定义作一介绍。