



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
21世纪高职高专规划教材 (机械类)  
安徽省精品课程

# 机械设计基础

孙敬华 主编



机械工业出版社“十三五”规划教材  
21世纪中国大学机械专业系列教材  
机械工业出版社

# 机械设计基础



机械工业出版社

机械工业出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21 世纪高职高专规划教材 (机械类)

安徽省精品课程

# 机械设计基础

主 编 孙敬华

副主编 丁守宝 付 力 余承辉

参 编 庞 浩 鲍 莉 杨开平

郭 伟 王宝敏 秦华生 何 毅



机械工业出版社

本书是根据教育部“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”编写要求和机械类、机电类相关专业“机械设计基础”课程教学基本要求，并结合近几年专业课程改革和发展的实际情况编写的。全书共 14 章，主要内容有机械设计基础概论、平面机构、连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、带传动与链传动、齿轮传动、蜗杆传动和螺旋传动、轮系、机件的联接、轴、轴承、联轴器与离合器、机械 CAD 基础等。

本书可作为高等职业技术教育机械类、机电类及近机类各相关专业“机械设计基础”课程教材，也可作为自学用书及有关工程技术人员的参考书。

本书配有多媒体课件，凡一次性购书 30 本以上者免费赠送一份多媒体课件。请与本书责任编辑余茂祚联系（联系电话 010-88379759）。

## 图书在版编目（CIP）数据

机械设计基础/孙敬华主编. —北京：机械工业出版社，2007.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材·21 世纪高职高专规划教材（机械类）·安徽省精品课程.

ISBN 978-7-111-22351-1

I. 机… II. 孙… III. 机械设计—高等学校：技术学校—教材  
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 142770 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）  
责任编辑：余茂祚 版式设计：张世琴 责任校对：申春香  
封面设计：马精明 责任印制：邓 博  
北京京丰印刷厂印刷  
2008 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷  
184mm×260mm·18.75 印张·463 千字  
0 001—4 000 册  
标准书号：ISBN 978-7-111-22351-1  
定价：29.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换  
销售服务热线电话：（010）68326294  
购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643  
编辑热线电话：（010）68354423  
封面无防伪标均为盗版

## 21 世纪高职高专规划教材

### 编委会名单

编委会主任 王文斌

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王建明 | 王明耀 | 王胜利 | 王寅仓 | 王锡铭 | 刘 义 |
| 刘晶磷 | 刘锡奇 | 杜建根 | 李向东 | 李兴旺 | 李居参 |
| 李麟书 | 杨国祥 | 余党军 | 张建华 | 茆有柏 | 秦建华 |
| 唐汝元 | 谈向群 | 符宁平 | 蒋国良 | 薛世山 | 储克森 |

编委会委员 (按姓氏笔画为序, 黑体字为常务编委)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 王若明        | <b>田建敏</b> | 成运花        | 曲昭仲        | 朱 强        | 刘 莹        |
| 刘学应        | 许 展        | <b>严安云</b> | 李连邨        | 李学锋        | 李选芒        |
| <b>李超群</b> | <b>杨 颀</b> | <b>杨群祥</b> | 杨翠明        | 吴 锐        | 何志祥        |
| 何宝文        | 余元冠        | 沈国良        | 张 波        | <b>张 锋</b> | 张福臣        |
| 陈月波        | <b>陈向平</b> | 陈江伟        | 武友德        | 林 钢        | 周国良        |
| <b>宗序炎</b> | 赵建武        | 恽达明        | <b>俞庆生</b> | 晏初宏        | 倪依纯        |
| 徐炳亭        | <b>徐铮颖</b> | 韩学军        | 崔 平        | 崔景茂        | <b>焦 斌</b> |

总 策 划 余茂祚

# 前 言

“机械设计基础”是机械类、机电类及近机类各专业一门重要的技术基础课，也是一门主干课程。本课程既具有基础性，又有较强的实践性。

教材是组织实施课程教学的重要载体。本书是按照教育部“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”和高职高专教育规划教材建设要求，由一批既具有丰富理论知识，又具有较强的教学与生产实践经验的教师和工程技术人员编写的。

本书编写具有以下几个特点：

1. 规定性与工具性。认真分析研究了相关专业人才培养方案，明确本课程在专业人才培养中的地位、性质与作用，充分了解课程之间的内在联系，把握课程本质，整合与优化教学内容体系，遵照高职高专教学基本要求，采用最新国家标准及规范，使得教材既符合规定要求，又体现创新精神，便于组织教学和学生学学习，成为教与学的好工具。

2. 思想性与教育性。努力体现思想性与教育性，把培养创新精神、创业能力和提高学生技术应用能力及综合素质结合起来。

3. 知识性与科学性。认真研究中外相关课程，特别是教材改革建设情况，积极学习借鉴国内外优秀教学成果，按照“实际、实用、实践、实效”的原则，注意讲清知识与方法，注重技术应用与能力培养。教学内容组织严谨，逻辑性强。

4. 经典性与先进性。教材内容尽量精练、精简，面向世界和未来，积极引进现代机械设计技术，适当介绍学科前沿知识。

5. 针对性、应用性与实践性。在认真分析生产管理第一线需要和教学对象的实际，以方法技术学习与技能训练为主线，整合与优化相关教学内容体系。理论以必需、够用为度，加强实践训练，突出机械设计方法和技术的掌握与应用。

6. 渐进性、趣味性与启发性。认真分析教材适用对象，包括学生心理、生理、知识准备以及将来应用等各方面的情况，遵循教育教学规律，教材内容循序渐进；同时提供了丰富的“精品课程”网络资源，实现了网络学习辅导与互动交流，方便教师教学和学生学学习，利于发挥教师主导作用和学生主体作用。

参加本书编写的有孙敬华（第1章及附录）、付力（第2章、第9章）、丁守宝（第3章、第4章）、庞浩（第5章、第14章）、鲍莉（第6章）、秦华生、何毅（第7章）、杨开平（第8章）、郭伟（第10章）、王宝敏（第11章、第13章）、余承辉（第12章）。全书由孙敬华主编，丁守宝、付力、余承辉担任副主编。

鉴于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第1章 机械设计基础概论 ..... 1

- 1.1 机械及其组成 ..... 1
- 1.2 机械设计概述 ..... 3
- 1.3 机械零部件设计的主要要求 ..... 4
- 1.4 现代机械设计思想  
和方法简介 ..... 5
- 1.5 机械零件的公差配合基础 ..... 6
- 1.6 机械零件的力学基础 ..... 21
- 复习思考题 ..... 40

## 第2章 平面机构 ..... 43

- 2.1 运动副 ..... 43
- 2.2 平面机构运动简图 ..... 45
- 2.3 平面机构的自由度 ..... 47
- 复习思考题 ..... 51

## 第3章 平面连杆机构 ..... 53

- 3.1 铰链四杆机构的基本形式 ..... 53
- 3.2 铰链四杆机构的演化 ..... 55
- 3.3 铰链四杆机构的基本特性 ..... 57
- 3.4 平面四杆机构的设计 ..... 62
- 复习思考题 ..... 65

## 第4章 凸轮机构 ..... 67

- 4.1 凸轮机构的类型及应用 ..... 67
- 4.2 从动件的运动规律 ..... 70
- 4.3 盘形凸轮轮廓的设计 ..... 73
- 4.4 凸轮机构基本尺寸的确定 ..... 77
- 复习思考题 ..... 79

## 第5章 间歇运动机构 ..... 81

- 5.1 棘轮机构 ..... 81
- 5.2 槽轮机构 ..... 84
- 5.3 不完全齿轮机构 ..... 86
- 复习思考题 ..... 87

## 第6章 带传动与链传动 ..... 88

- 6.1 带传动概述 ..... 88
- 6.2 普通V带和V带轮 ..... 89
- 6.3 带传动的基本理论 ..... 94
- 6.4 V带传动的设计 ..... 98
- 6.5 带传动的安装、维护和张紧 ..... 103
- 6.6 链传动概述 ..... 106
- 6.7 链传动的运动特性 ..... 107
- 6.8 滚子链及其链轮 ..... 109
- 6.9 滚子链传动的设计计算 ..... 113
- 6.10 链传动的布置、张紧  
和润滑 ..... 118
- 复习思考题 ..... 121

## 第7章 齿轮传动 ..... 123

- 7.1 齿轮传动的特点和分类 ..... 123
- 7.2 渐开线及渐开线齿廓 ..... 124
- 7.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的  
基本参数及几何尺寸 ..... 125
- 7.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的  
啮合传动分析 ..... 128
- 7.5 渐开线直齿圆柱齿轮的加工 ..... 129
- 7.6 齿轮传动的设计基础 ..... 131
- 7.7 直齿圆柱齿轮的强度计算 ..... 133
- 7.8 渐开线直齿圆柱齿轮  
传动的设计 ..... 139
- 7.9 变位齿轮传动 ..... 144
- 7.10 斜齿圆柱齿轮传动 ..... 147
- 7.11 直齿锥齿轮传动 ..... 152
- 复习思考题 ..... 153

## 第8章 蜗杆传动和螺旋传动 ..... 155

- 8.1 蜗杆传动的特点和类型 ..... 155
- 8.2 蜗杆传动的主要参数  
和几何尺寸 ..... 158
- 8.3 蜗杆传动设计基础 ..... 161

|                               |     |                              |     |
|-------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 8.4 蜗杆传动的计算 .....             | 163 | 11.2 轴的结构设计 .....            | 208 |
| 8.5 螺旋传动 .....                | 168 | 11.3 轴的强度计算 .....            | 213 |
| 复习思考题 .....                   | 171 | 11.4 轴的设计举例 .....            | 215 |
| <b>第9章 轮系</b> .....           | 173 | 复习思考题 .....                  | 218 |
| 9.1 概述 .....                  | 173 | <b>第12章 轴承</b> .....         | 220 |
| 9.2 定轴轮系 .....                | 174 | 12.1 滑动轴承 .....              | 220 |
| 9.3 周转轮系 .....                | 176 | 12.2 滚动轴承 .....              | 231 |
| 9.4 混合轮系 .....                | 179 | 复习思考题 .....                  | 251 |
| 9.5 轮系的应用 .....               | 180 | <b>第13章 联轴器与离合器</b> .....    | 254 |
| 复习思考题 .....                   | 183 | 13.1 概述 .....                | 254 |
| <b>第10章 机件的联接</b> .....       | 185 | 13.2 联轴器 .....               | 255 |
| 10.1 螺纹 .....                 | 185 | 13.3 离合器 .....               | 259 |
| 10.2 螺纹联接 .....               | 187 | 复习思考题 .....                  | 261 |
| 10.3 螺栓联接的强度计算<br>和结构设计 ..... | 192 | <b>第14章 机械 CAD 基础</b> .....  | 263 |
| 10.4 轴毂联接 .....               | 197 | 14.1 机械 CAD 的概念和发展 .....     | 263 |
| 10.5 其他联接 .....               | 202 | 14.2 机械 CAD 系统简介 .....       | 264 |
| 复习思考题 .....                   | 205 | 14.3 机械 CAD 应用简介 .....       | 268 |
| <b>第11章 轴</b> .....           | 206 | 复习思考题 .....                  | 284 |
| 11.1 轴的分类及材料选择 .....          | 206 | <b>附录 常见名词术语中英文对照表</b> ..... | 285 |
|                               |     | <b>参考文献</b> .....            | 292 |



# 第1章 机械设计基础概论

**【内容提要】**本章主要介绍了机械的基本概念，机械设计的基本知识，机械零件的极限与配合、表面粗糙度、形位公差；在工程实际中的常用机构和机械中的有关力学方面的必要知识；机械零件的轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、扭转、弯曲的应力分析、强度计算；拉伸（压缩）与弯曲的组合变形、扭转和弯曲的组合变形的分析及强度计算。

**【目标要求】**通过本章学习，要求学生了解机械、机器、机构、构件和零件的基本概念；了解机械设计的基本规律；了解极限与配合、极限制与配合制、形状公差和位置公差的基本概念及有关国家标准的基本内容，形位精度和尺寸精度间的关系；了解轴向拉伸或压缩时的内力分析、应力与变形分析及强度计算；了解剪切变形时的内力分析、应力与变形分析及强度计算；了解扭转时的内力分析、应力与变形分析及强度计算；了解弯曲时的内力分析、应力与变形分析及强度计算；了解组合变形的强度计算。

**【重点难点】**机械、机器、机构、构件和零件的相互关系；公差与配合、形位公差、表面粗糙度在图样上的标注方法；轴向拉伸或压缩、剪切、扭转、弯曲时的应力与变形分析以及强度计算；组合变形的强度计算。

## 1.1 机械及其组成

通常把机器和机构统称为机械。机械是人类改造自然、社会进步和发展的主要工具。机械工业的生产水平是一个国家现代化建设水平的主要标志之一，它肩负着为国民经济各个部门提供技术装备和促进技术改造的重要任务，在现代化建设的进程中起着主导和决定性的作用。

### 1.1.1 机构和机器

1. 机构 机构是用来传递运动和力的、有一个构件为机架的、用运动副连接起来的构件系统。图 1-1 所示为单缸四冲程内燃机，它由齿轮 1 和 2、凸轮 3、排气门 4、进气门 5、气缸体 6、活塞 7、连杆 8、曲轴 9 组成。当热能转化的机械能推动活塞作直线往复运动时，经连杆使曲轴作连续转动，这样就把活塞的直线运动转变为曲轴的转动，将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能，其中气缸、活塞、连杆、曲轴组成曲柄滑块机构。凸轮和气门驱动组件是用来开启和关闭进气门和排气门的，凸轮、机架以及气门驱动组件组成凸轮机构。在曲轴和凸轮轴之间两个齿轮的齿数比为 1:2，使其曲轴转两周时，进排气门各启闭一次，齿轮和机架组成齿轮传动机构。

2. 机器 机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物流和信息。各种机器尽管有着不同的构造、形式和用途，然而都具有下列 3 个共同特征：①机器是人为的多种实体的组合。②各部分之间具有确定的相对运动。③能完成有效的机械功或实现能量的转换。

作为一部完整的机器，要完成预期的工作，从功能和系统的角度来看，一般主要由五部分组成，如图 1-2 所示。

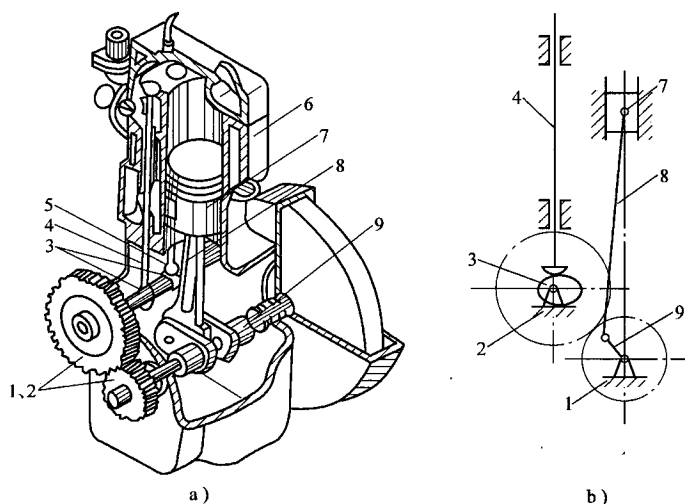


图 1-1 单缸四冲程内燃机

a) 结构简图 b) 机构运动简图

1、2—齿轮 3—凸轮 4—排气门 5—进气门  
6—气缸体 7—活塞 8—连杆 9—曲轴

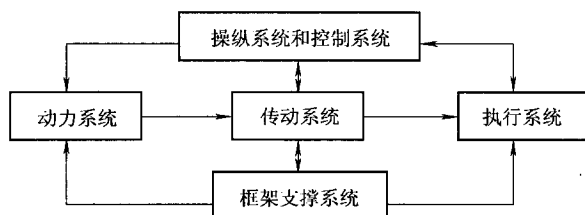


图 1-2 机器的组成

1) 动力系统。是机械的动力来源，其作用是把其他形式的能量转变为机械能，以驱动机械运动，并对外（或对内）做功，如电动机、内燃机等。

2) 执行系统。是直接完成机械预定功能的部分，也就是工作部分，如机床的主轴和刀架、起重机的吊钩、挖掘机的挖斗机构等。

3) 传动系统。是将运动和动力传递给执行部分的中间环节，它可以改变运动速度，转换运动形式，以满足工作部分的各种要求，如减速器将高速转动变为低速转动，螺旋机构将旋转运动转换成直线运动。

4) 操纵和控制系统。是用来操纵和控制机械的其他部分，使操作者能随时实现或停止各项功能，如机器的起动、运动速度和方向的改变、机器的停止和监测等，通常包括机械和电子控制系统。

5) 框架支撑系统。是用来安装和支撑其他系统的部分。

并不是所有的机器都具有上述 5 个部分，有的甚至只有动力系统和执行系统，如水泵、砂轮机等。有些复杂的机器，除具有上述 5 个部分，还有润滑、显示和照明装置等。

### 1.1.2 构件和零件

1. 构件 组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件是运动的单元体，构件可以是单一的整体，如凸轮、齿轮、活塞等；也可以是多个零件组成的刚性结构，如图 1-1 所示曲轴 9 和齿轮 1 作为一个整体转动，它们构成一个构件，但在加工时是两个不同的零件。

2. 零件 零件是制造的单元体。零件有通用零件，如螺母、齿轮、键等。在少数机械中使用的零件称为专用零件，如内燃机的曲轴，汽轮机中的叶片等。

### 1.1.3 现代机器及其主要特征

随着伺服驱动技术、检测传感技术、自动控制技术、信息处理技术、材料及精密机械技术、系统总体技术的飞速发展，使传统机械在产品结构和生产系统等方面发生了质的变化，形成了一个崭新的现代机械工业。现代机器已经成为一个以机械技术为基础，以电子技术为核心的高新技术综合系统。

现代机器是由计算机信息网络协调与控制的，用于完成包括机械力、运动和能量转换动力学任务的机械和（或）机电部件相互联系的系统。计算机在现代机器中起协调控制的核心作用，从而实现现代机器的执行机械运动，完成有用功和能量的转换功能。

## 1.2 机械设计概述

### 1.2.1 机械设计的基本要求

机械设计是机械产品开发研制的一个重要环节，其最终目的是为市场提供优质、高效、价廉物美的机械产品，在市场竞争中取得优势，赢得用户，取得良好的经济效益。

产品的质量和经济效益取决于设计、制造和管理的综合水平，而产品设计则是关键。没有高质量的设计，就不可能有高质量的产品；没有经济观念的设计者，决不可能设计出性能价格比较好的产品。据统计，产品质量事故约有 50% 是设计不当造成的；产品的成本 60% ~ 70% 取决于设计。因此，在机械产品设计中，特别强调和重视从系统的观点出发，合理地确定系统的功能；重视机电技术的有机结合，注意新技术、新工艺及新材料等的采用；努力提高产品的可靠性、经济性及安全性。机械设计时，必须从机械的整体出发，满足以下基本要求：

1) 功能性要求。设计的机械应在规定条件下，规定的寿命期限内，有效地实现预期的全部功能。

2) 经济性要求。在市场经济环境下，经济性要求贯穿于机械设计全过程，应当合理选用原材料，确定适当的精度要求，减少设计和制造的周期。

3) 结构工艺性要求。指在一定的生产条件下，采用合理的结构，便于制造、装配和维护，尽可能采用标准零部件。

4) 安全性要求。要树立“安全第一”的思想，避免设备过载，确保设备安全；设置完善可靠的防护装置，确保人身安全；还要有利于环境保护。

5) 其他方面的要求。如可靠性等因素。

### 1.2.2 机械设计的类型

机械设计是一项创造性劳动，同时也是对已有成功经验的继承过程。根据实际情况的不同可以分成 3 种类型：

1. 开发性设计 是指机械产品的工作原理和具体结构等在完全未知的情况下，应用成

熟的科学技术或经过试验证明是可行的新技术,开发设计新产品,这是一种完全创新的设计。

产品的开发性设计过程大致包括方案设计、规划设计、技术设计、施工设计及改造设计等5个阶段。

机械系统的方案设计是机械设计过程的重要内容,是决定机械产品质量、水平、性能和经济效益的关键。机械系统方案设计包括以下几项内容:

1) 功能原理设计。是根据产品所要实现的功能,提出一些工作原理方案及相应的工艺动作构思,这一过程就是功能原理设计。

2) 机械运动原理设计。是根据功能原理方案设计中提出的工艺动作过程及各动作的运动规律要求,选择若干种类的机构,用一定的顺序把它们组合成一个机构系统,该系统能合理地、可靠地完成上述工艺动作过程。

3) 机构运动简图设计。是根据各工艺动作的运动规律和运动协调条件,确定机构运动方案中各机构的运动尺寸。上述表达机构系统的各机构结构形式、相互间连接情况及运动尺寸的图就是机构运动简图。机构运动简图设计又称为机构的尺度综合。

2. 适应性设计 是指对现有机械产品的工作原理、设计方案不变的前提下,仅作局部变更或增加附加功能,在结构上作相应调整,使产品更能满足使用要求。

3. 变形设计 是指机械产品的工作原理和功能结构不变,为了适应工艺条件或使用要求,改变产品的具体参数和结构。

## 1.3 机械零部件设计的主要要求

### 1.3.1 设计的主要内容和要求

机械零部件设计是机械设计的重要组成部分,机械运动方案中的机构和构件只有通过零部件设计,才能变成用于加工的零件工作图和部件装配图。同时它也是机械总体设计的基础。机械零部件设计的主要内容包括:根据运动方案设计和总体设计的要求,明确零部件的工作要求、性能、参数等,选择零部件的结构形状、材料、精度等,进行失效分析和工作能力计算,画出零件图和部件装配图。

机械产品整机应满足的要求是由零部件设计所决定的,机械零部件设计应满足如下要求:

1) 工作能力要求。包括零部件的强度、刚度、寿命、耐磨性、耐热性、振动稳定性及精度等。

2) 工艺性要求。零部件的加工、装配具有良好的工艺性及维修方便。

3) 经济性要求。主要指零部件的生产成本要低。

此外,还要满足噪声控制、防腐性能、不污染环境等环境保护要求和安全要求等。以上要求往往互相牵制,需全面综合考虑。

### 1.3.2 机械零件的材料选用

机械零件所用的材料是各种各样的,即使同一种零件也可以选择不同的材料。因此,如何选择零件的材料是零件设计的重要一环。设计零件应以零件承受工作载荷的能力为主,综合考虑其他因素,合理地选择材料。如零件受力较大且有较大的冲击载荷,工作速度较高与可靠性要求高,而且要求零件的尺寸较小、重量较轻,应采用高强度合金钢制造,并要热处

理及精加工。

机械零件的使用要求主要有以下几点：

- 1) 零件承受工作载荷的能力主要从载荷的特点、强度及刚度等方面考虑。
- 2) 零件的工作条件（运动速度等）及工作环境（温度、湿度、腐蚀等）。
- 3) 耐磨性、寿命、可靠性等要求。
- 4) 零件尺寸和质量的要求。

### 1.3.3 机械零件设计的一般步骤

随着先进设计技术的应用，机械零件设计步骤也在发生变化，但一般设计步骤如下：

- 1) 根据零件在机械中的地位和作用，选择零件的类型和结构。
- 2) 分析零件的载荷性质，拟订零件的计算简图，计算作用在零件上的载荷。
- 3) 根据零件的工作条件及对零件的特殊要求，选择适当的材料。
- 4) 分析零件可能出现的失效形式，决定计算准则和许用应力。
- 5) 确定零件的主要几何尺寸，综合考虑零件的材料、承载以及加工装配工艺和经济性等因素，参照有关标准、技术规范以及经验公式，确定全部结构尺寸。
- 6) 绘制零件工作图并确定零件公差和技术要求。

上述设计步骤和内容不是一成不变的，在实际工作中，根据具体任务和条件的不同而改变。在一般机械中，只有部分主要零件是通过计算确定其尺寸，而许多零件则根据结构工艺上的要求，采用经验数据或参照规范进行设计，或使用标准件。

## 1.4 现代机械设计思想和方法简介

### 1.4.1 传统机械设计的局限性

机械设计是人类为了实现某种预期的目标而进行的一种创造性活动。传统机械设计的特点是以长期经验积累为基础，通过力学、数学建模及试验等所形成的经验公式、图表、标准及规范作为依据，运用条件性计算或类比等方法进行设计。传统设计在长期运用中得到不断的完善和提高，目前在大多数情况下传统设计仍然是有效的设计方法。

### 1.4.2 现代机械设计思想

近30年来，由于科学和技术迅速发展，特别是计算机技术和信息技术的发展和应用，给机械产品设计和制造带来革命性的变化。另一方面，随着社会进步和人类文明的发展，对现代机械产品设计已不能仅考虑产品本身，而且还要充分考虑对系统和环境的影响；不仅考虑当前，还需考虑长远发展。

例如汽车设计，不仅要考虑汽车本身的有关技术问题，还要考虑使用者的安全、舒适、操作方便等；此外，还需考虑燃料供应、废气排放污染、车辆存放、道路发展、报废处理等，甚至要考虑地球有限的能源和原料的合理利用问题。

总之，机械设计已进入现代设计阶段，它要求在继承和发展传统设计的基础上，将自然科学、现代技术、社会科学及艺术等有关知识有机地融合在一起，形成一门崭新的设计知识体系。

### 1.4.3 现代机械设计方法

由于科学技术的发展，各学科的交叉和渗透，机械设计理论和方法已逐渐成为一门崭新的学科。以下扼要介绍机械设计方法的新发展。

1. 人一机一环境的交互 从“人一机一环境”的系统观及可持续发展战略出发, 现代机械设计必须全面考虑、综合平衡、妥善处理系统的各种问题。

2. 现代设计理论和方法 机械学理论和方法(包括机构学、机械动力学、摩擦学、机械结构强度学、传动机械学等)及计算机辅助分析(有限元法、模态分析、专家系统等)的不断发展, 对机械的方案设计、运动设计、动力设计、工作能力(强度、变形、振动、摩擦与润滑等)设计等关键技术问题能做出很好的处理, 一系列新型的设计准则和方法正在形成。

3. 可靠性设计 现代机械产品的可靠性已成为其市场竞争力的关键指标之一。可靠性设计是综合可靠性数学、可靠性物理及可靠性工程等学科知识的新兴设计方法。它研究产品全寿命周期内质量指标变化规律, 对零部件和整个系统进行可靠性设计。

4. 优化设计 机械产品设计的过程就是一个优化的过程。产品的优化是一个从宏观到微观, 从全局到局部, 从总体方案到零部件设计的优化过程, 即可分为参数优化, 结构优化及总体方案优化3个层次。对于三者优化的处理方法还有所不同, 但随优化理论和计算机技术的发展, 优化方法体系将日趋完善。

5. 计算机辅助设计 计算机辅助设计(CAD)是把计算机技术引入设计过程, 利用计算机完成选型、计算、绘图及其他作业的现代设计方法。CAD技术促成机械设计发生巨大的变化, 并成为现代机械设计重要组成部分。目前, CAD技术向更深更广的方向发展, 主要表现为以下几个方面:

- 1) 基于专家系统的智能CAD。
- 2) CAD系统集成化, CAD与CAM(计算机辅助制造)的集成系统(CAD/CAM)。
- 3) 动态三维造型技术。
- 4) 基于并行工程, 面向制造的设计技术(DFM)。
- 5) 分布式网络CAD系统。

## 1.5 机械零件的公差配合基础

### 1.5.1 极限与配合

1. 孔和轴 孔通常是指工件的圆柱形内表面, 也包括非圆柱形内表面(由两平行平面或切平面形成的包容面)。轴通常是指工件的圆柱形外表面; 也包括非圆柱形外表面(由两平行平面或切平面形成的被包容面)。

如图1-3所示的各表面中, 由 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 和 $D_4$ 各单一尺寸所确定的部分称为孔; 由 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 和 $d_4$ 各单一尺寸所确定的部分称为轴。

#### 2. 尺寸

(1) 尺寸含义: 用特定单位(mm)表示线性长度值的数值, 长度值包括半径、直径、深度、宽度等, 它还可以包括以角度单位表示角度尺寸的数值。

(2) 基本尺寸: 设计给定的尺寸。孔用 $D$ 表示, 轴用 $d$ 表示。在设计中, 它根据强度、刚度、运动、工艺、结构、造型等不同要求来确定, 但尽量选用标准尺寸。

(3) 实际尺寸: 通过测量获得的某一孔、轴的尺寸。孔的实际尺寸用 $D_a$ 表示, 轴的实际尺寸用 $d_a$ 表示。由于零件表面存在一定的形状误差, 测量过程与量具也存在误差, 所以实际尺寸并非尺寸真值, 而是近似尺寸值。

(4) 极限尺寸：孔或轴允许尺寸变化的两个界限值。实际尺寸处在其中，也可达到极限尺寸。孔或轴允许的最大尺寸称为最大极限尺寸；孔或轴允许的最小尺寸称为最小极限尺寸。孔的最大和最小极限尺寸分别以  $D_{\max}$  和  $D_{\min}$  表示；轴的最大和最小极限尺寸分别以  $d_{\max}$  和  $d_{\min}$  表示。合格零件的实际尺寸应满足：

$$\text{对于孔 } D_{\max} \geq D_a \geq D_{\min}$$

$$\text{对于轴 } d_{\max} \geq d_a \geq d_{\min}$$

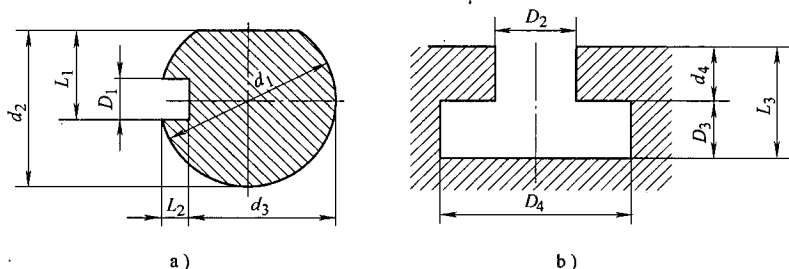


图 1-3 孔和轴

a) 轴 b) 孔

3. 偏差 某一尺寸（实际尺寸、极限尺寸等）减去其基本尺寸所得的代数差称为尺寸偏差，简称偏差。偏差是代数量，可以为正值、负值或零。

(1) 极限偏差：极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差。

1) 上偏差。最大极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差。孔和轴的上偏差分别用 ES 和 es 表示。

$$ES = D_{\max} - D \quad es = d_{\max} - d$$

2) 下偏差。最小极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差。孔和轴的下偏差分别用 EI 和 ei 表示。

$$EI = D_{\min} - D \quad ei = d_{\min} - d$$

(2) 实际偏差。实际尺寸减去其基本尺寸所得的代数差。孔和轴的实际偏差分别用  $E_a$  和  $e_a$  表示。

$$E_a = D_a - D \quad e_a = d_a - d$$

合格零件尺寸的实际偏差应在上偏差和下偏差之间。

4. 公差 最大极限尺寸与最小极限尺寸之差，或上偏差与下偏差之差，简称公差。它是允许尺寸的变动量。公差不能为负值，也不能为零，公差必须是一个正值。孔用  $T_D$  表示，轴用  $T_d$  表示。

$$T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI$$

$$T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei$$

5. 公差带图 以基本尺寸为零线（零偏差线），用适当的比例画出两极限偏差，以表示尺寸允许变动的界限及范围，称为公差带图，如图 1-4a、b 所示。这种图既简单易画，又清楚易看。

(1) 零线：在公差带图中，表示基本尺寸的一条直线（零偏差线），并以其为基准确定偏差和公差。通常零线沿水平方向绘制，正偏差位于其上，负偏差位于其下。偏差值多以微米（ $\mu\text{m}$ ）为单位。

(2) 公差带：在公差带图中，由代表上偏差和下偏差或最大极限尺寸和最小极限尺寸的两条直线所限定的区域称为公差带。它是由公差大小和相对于零线的位置两个要素确定的。

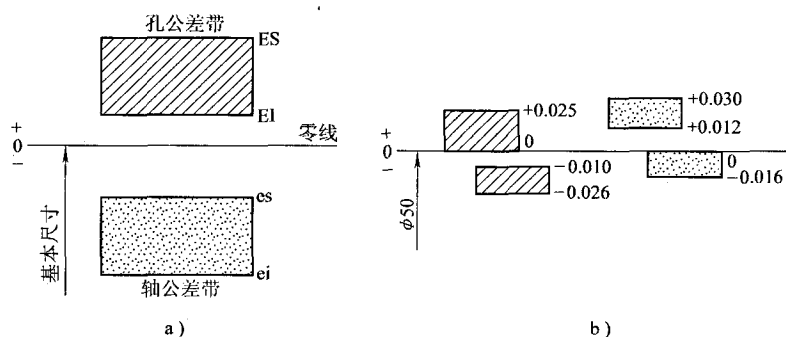


图 1-4 公差带图

a) 公差带示意图 b) 公差带的实际应用举例

6. 配合 基本尺寸相同的相互结合的孔和轴公差带之间的关系称为配合。孔和轴公差带的大小和相互位置，反映了配合的精度和配合的性质。根据相配合的孔、轴公差带之间的相对位置关系，可把配合分成 3 类。

(1) 间隙配合：孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为正时称为间隙，用  $X$  表示。具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合，称为间隙配合。此时孔的公差带在轴的公差带之上，如图 1-5 所示。间隙配合的松紧程度用  $X_{\max}$ （最大间隙）和  $X_{\min}$ （最小间隙）表示。

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$$

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

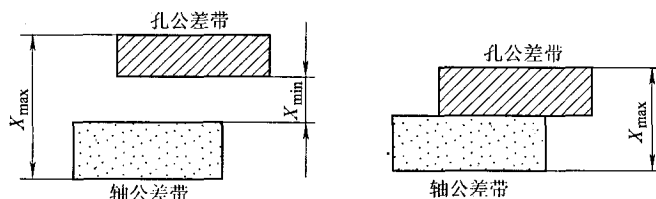


图 1-5 间隙配合

表示对间隙配合松紧均匀程度要求的特征值是间隙公差，统称配合公差  $T_f$ 。它是最大间隙与最小间隙之差，即间隙的允许变动量。

$$T_f = X_{\max} - X_{\min} = T_D + T_d$$

(2) 过盈配合：孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为负时称为过盈，用  $Y$  表示。保



证具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合，称为过盈配合。此时孔的公差带在轴的公差带之下，如图 1-6 所示。表示对过盈配合松紧程度要求的特征值是最大过盈  $Y_{\max}$  和最小过盈  $Y_{\min}$ 。

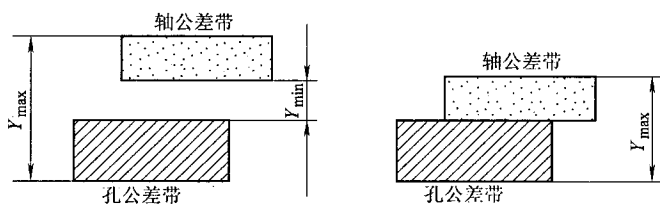


图 1-6 过盈配合

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$$

表示对过盈配合松紧均匀程度要求的特征值是过盈公差。也称配合公差  $T_f$ 。它是最大过盈与最小过盈之差，即过盈的允许变动量。

$$T_f = Y_{\min} - Y_{\max} = T_D + T_d$$

(3) 过渡配合：可能具有间隙也可能具有过盈的配合称为过渡配合。此时孔的公差带与轴的公差带相互交叠，如图 1-7 所示。表示对过渡配合松紧程度要求的特征参数是最大间隙  $X_{\max}$  和最大过盈  $Y_{\max}$ 。

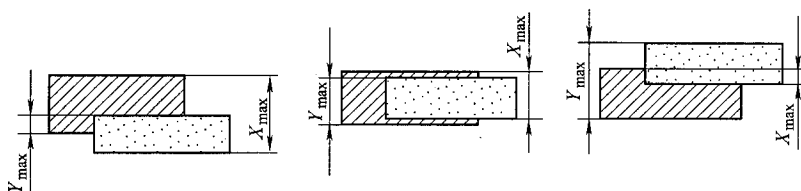


图 1-7 过渡配合

表示对过渡配合松紧均匀程度要求的特征值是配合公差  $T_f$ 。它等于最大间隙与最大过盈之差。

$$T_f = X_{\max} - Y_{\max} = T_D + T_d$$

**例 1-1** 已知孔  $\phi 50\text{mm}$ ， $ES = +0.025\text{mm}$ ， $EI = 0$ ，与之配合的轴  $\phi 50\text{mm}$ ， $es = 0$ ， $ei = -0.016\text{mm}$ ，试判断该配合的性质，并作出公差带图。

**解：**该配合的性质为间隙配合，求得

$$X_{\max} = +0.025\text{mm} - (-0.016)\text{mm} = +0.041\text{mm}; X_{\min} = 0; T_f = 0.041\text{mm}$$

则公差带图如图 1-8 所示。

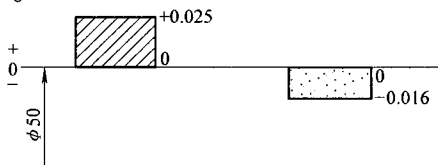


图 1-8 例 1-1 图