



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



21世纪农业部高职高专规划教材

# 机械设计

## 基础

第二版

■ 邱永成 郝 婧 主编

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
21 世纪农业部高职高专规划教材

# 机械设计基础

第二版

邱永成 郝 婧 主编

大学图书馆  
藏书章

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/邱永成, 郝婧主编. —2 版. —北京: 中国农业出版社, 2010. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 21 世纪农业部高职高专规划教材

ISBN 978-7-109-14384-5

I. 机… II. ①邱…②郝… 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 (2010) 第 025170 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

策划编辑 郭元建

文字编辑 李兴旺

---

北京智力达印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2004 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 2 版

2010 年 6 月第 2 版北京第 1 次印刷

---

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 21.25

字数: 518 千字

定价: 38.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)



## 第二版前言

.....

本教材是根据《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《全面提高高等教育教学质量的若干意见》的精神,针对目前我国高职教育发展现状,结合高职高专人才培养需求而编写的。在编写过程中,通过多年的教学实践,对机械材料及热处理、工程力学、机械原理、机械设计等内容按“必须、够用”为度进行整合,适当增加了机械结构设计和现代设计理念以及现代设计方法方面的知识。本教材分五篇共19章。第一篇为机械工程材料,主要介绍常用的工程材料及热处理;第二篇为工程力学基础,主要介绍机械零件和结构件的受力分析、计算和承载能力计算;第三篇为常用机构,主要介绍常用机构的工作原理、应用场合和运动规律;第四篇为机械传动设计,主要介绍常用的机械传动及其设计;第五篇连接与支撑,主要介绍螺纹连接、键连接、联轴器、离合器以及轴和轴承的设计与选用。

本教材的编写以高等性、职业性为原则,以简明、通俗为宗旨。针对高职学生的培养目标及岗位群的能力要求,在编写过程中简化理论推导,强化基本知识,基本理论和基本方法的应用,并留有一定的拓展空间。例题和复习思考题密切联系工程实际,努力培养学生的工程意识和分析问题、解决问题的能力。

本教材既可作为高职机电类专业学生教材,也可作为中专学校机电类教材、各类培训教材及相关人员的自学参考书。

本教材编写分工:赵建刚(四川职业技术学院)编写第1章、第2章、第3章;高军伟(黑龙江农业工程职业学院)编写第4章、第18章;张晓龙(黑龙江农业工程职业学院)编写第5章;郝婧(北京农业职业学院)编写第6章、第7章;邱永成(四川职业技术学院)编写第8章、第9章、第10章;任国强(四川职业技术学院)编写第11章、第12章、第13章;张英(黑龙江畜牧兽医职业学院)编写第14章、第15章、第16章、第17章;胡文静(大连水产学院职业技术学院)编写第19章。本书在编写过程中得到了各参加编写院校的大力支持和帮助。全书由李梅(黑龙江农业工程职业学院)审稿。

书中缺点和不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2009年8月



# 第一版前言

本教材是根据《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》的精神，针对目前我国高职高专发展速度较快而教材建设滞后的现状，紧密结合高职高专人才培养需求而编写的。

本教材内容涵盖了机械类专业所涉及的工程材料、工程力学、机械原理、机械零件等基本知识。书后附有机械基础参考教学大纲，供广大师生使用。全书以机械设计为主线，有机地结合其他相关内容，以突出了高等职业教育的特点：以理论知识“必需、够用”为度，注重实践能力的培养为原则。本书语言精练，通俗易懂，结构编排合理。是机电类专业的一门综合性技术基础课程。与本书配套出版的《机械基础实训》一书，除编入机械传动装置的总体设计、减速器装配图设计、零件工作图设计、大型设计作业等常规内容外，还增加了创新设计题目。本书适用于高职高专机械类、汽车类和机电一体化等专业学生使用。

参加本书编写的有：四川职业技术学院邱永成（第1章、第6章）；四川职业技术学院赵建刚（第2章、第3章、第4章、第5章）；湖南邵阳职业技术学院马昌保（第7章、第8章）；广西玉林市机电工程学校游振荣（第9章）；北京农业职业学院郝婧（第10章、第11章、第12章）；黑龙江农业工程职业学院康国初（第13章、第14章）；黑龙江农业工程职业学院南景富（第15章、第16章、第17章）。本书在编写过程中得到了所有参编人员所在院校的大力支持和帮助。全书由四川职业技术学院刘志刚审稿。

由于编者水平有限，缺点在所难免，希望读者批评指正。

编 者

2004年5月

## 第二版编审人员名单

主 编 邱永成 郝 婧

副主编 张晓龙 赵建刚

编 者(以姓氏笔画为序)

任国强 邱永成 张 英

张晓龙 赵建刚 郝 婧

胡文静 高军伟

审 稿 李 梅

## 第一版编审人员名单

主 编 邱永成

副主编 郝 婧

编 者(以姓氏笔画为序)

马昌保 邱永成 赵建刚

郝 婧 南景富 康国初

游振荣

审 稿 刘志刚

# 目 录



.....

第二版前言

第一版前言

绪论..... 1

## 第一篇 机械工程材料

第一章 材料的力学性能 ..... 5

第一节 强度和塑性 ..... 5

第二节 硬度 ..... 7

第三节 冲击韧性和疲劳强度 ..... 9

复习思考题..... 10

第二章 钢的热处理基本知识 ..... 11

第一节 铁碳合金 ..... 11

第二节 非合金钢（碳钢）..... 15

第三节 钢的热处理 ..... 19

复习思考题..... 25

第三章 常用工程材料 ..... 27

第一节 低合金钢和合金钢 ..... 27

第二节 铸铁 ..... 40

第三节 有色金属 ..... 43

第四节 非金属材料 ..... 47

第五节 典型零件及构件选材分析 ..... 50

复习思考题..... 52

## 第二篇 工程力学基础

第四章 静力学基础 ..... 57

第一节 物体的受力分析 ..... 57

第二节 力矩和力偶 ..... 63

第三节 平面力系的平衡 ..... 67

第四节 空间力系 ..... 73

复习思考题..... 77

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第五章 材料力学基础 .....    | 80  |
| 第一节 材料力学的基本概论 ..... | 80  |
| 第二节 轴向拉伸和压缩 .....   | 82  |
| 第三节 剪切和挤压 .....     | 90  |
| 第四节 圆轴扭转 .....      | 95  |
| 第五节 平面弯曲 .....      | 106 |
| 第六节 组合变形的强度计算 ..... | 114 |
| 复习思考题 .....         | 118 |

### 第三篇 常用机构

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第六章 平面机构运动简图及自由度计算 .....    | 125 |
| 第一节 基本概念 .....              | 125 |
| 第二节 平面机构的表示方法 .....         | 129 |
| 第三节 平面机构运动简图的绘制 .....       | 130 |
| 第四节 平面机构的自由度 .....          | 132 |
| 复习思考题 .....                 | 134 |
| 第七章 平面连杆机构 .....            | 136 |
| 第一节 概述 .....                | 136 |
| 第二节 铰链四杆机构的基本形式 .....       | 136 |
| 第三节 铰链四杆机构的演化形式 .....       | 138 |
| 第四节 铰链四杆机构曲柄存在的条件 .....     | 141 |
| 第五节 铰链四杆机构的基本工作特性 .....     | 141 |
| 第六节 铰接四杆机构运动设计 .....        | 143 |
| 复习思考题 .....                 | 144 |
| 第八章 凸轮机构设计 .....            | 146 |
| 第一节 凸轮机构的应用、类型和特点 .....     | 146 |
| 第二节 凸轮机构从动件常用的运动规律 .....    | 148 |
| 第三节 盘形凸轮轮廓曲线设计 .....        | 151 |
| 第四节 凸轮机构基本尺寸的确定 .....       | 154 |
| 第五节 凸轮机构常用材料及结构设计 .....     | 155 |
| 复习思考题 .....                 | 157 |
| 第九章 间歇运动机构 .....            | 158 |
| 第一节 棘轮机构 .....              | 158 |
| 第二节 槽轮机构 .....              | 160 |
| 第三节 不完全齿轮机构和凸轮式间歇运动机构 ..... | 162 |
| 复习思考题 .....                 | 163 |

### 第四篇 机械传动设计

|               |     |
|---------------|-----|
| 第十章 带传动 ..... | 167 |
|---------------|-----|

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第一节 概述 .....                | 167 |
| 第二节 V 带的结构、标准及带轮结构 .....    | 168 |
| 第三节 带传动工作情况分析 .....         | 172 |
| 第四节 V 带传动的设计计算 .....        | 175 |
| 第五节 V 带传动的张紧、安装与维护 .....    | 180 |
| 复习思考题 .....                 | 182 |
| 第十一章 链传动 .....              | 183 |
| 第一节 链传动的特点和类型 .....         | 183 |
| 第二节 滚子链和链轮 .....            | 184 |
| 第三节 链传动的传动比及主要参数选择 .....    | 187 |
| 第四节 链传动的布置、张紧和润滑 .....      | 188 |
| 复习思考题 .....                 | 190 |
| 第十二章 齿轮传动 .....             | 191 |
| 第一节 齿轮传动的特点和类型 .....        | 191 |
| 第二节 齿廓啮合基本定律及渐开线齿廓 .....    | 193 |
| 第三节 渐开线齿廓啮合传动的特性 .....      | 194 |
| 第四节 渐开线标准齿轮的参数和几何尺寸 .....   | 195 |
| 第五节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动 .....  | 198 |
| 第六节 渐开线齿轮的加工方法和根切现象 .....   | 200 |
| 第七节 齿轮常用材料、热处理方法及传动精度 ..... | 204 |
| 第八节 圆柱齿轮的结构 .....           | 208 |
| 第九节 齿轮传动的失效形式与设计准则 .....    | 210 |
| 第十节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算 .....     | 212 |
| 第十一节 斜齿圆柱齿轮传动 .....         | 218 |
| 第十二节 直齿圆锥齿轮传动 .....         | 222 |
| 第十三节 蜗杆传动 .....             | 226 |
| 复习思考题 .....                 | 239 |
| 第十三章 齿轮系 .....              | 242 |
| 第一节 齿轮系的类型 .....            | 242 |
| 第二节 定轴轮系及其传动比 .....         | 242 |
| 第三节 行星齿轮系及其传动比 .....        | 245 |
| 第四节 复合轮系 .....              | 247 |
| 第五节 轮系的功用 .....             | 249 |
| 复习思考题 .....                 | 250 |

## 第五篇 连接与支撑

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第十四章 螺纹连接 .....           | 255 |
| 第一节 螺纹的种类及应用 .....        | 255 |
| 第二节 螺纹连接的基本类型和螺纹连接件 ..... | 257 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第三节 螺栓连接的预紧与防松 .....       | 260 |
| 第四节 螺栓组连接的结构设计 .....       | 263 |
| 复习思考题 .....                | 264 |
| 第十五章 键连接与花键连接 .....        | 266 |
| 第一节 键连接类型及应用 .....         | 266 |
| 第二节 平键连接的尺寸选择和强度校核 .....   | 268 |
| 第三节 花键连接 .....             | 270 |
| 复习思考题 .....                | 272 |
| 第十六章 联轴器、离合器 .....         | 273 |
| 第一节 联轴器 .....              | 273 |
| 第二节 离合器 .....              | 277 |
| 复习思考题 .....                | 280 |
| 第十七章 轴的结构设计 .....          | 281 |
| 第一节 轴的功用、结构和材料 .....       | 281 |
| 第二节 轴的结构设计 .....           | 284 |
| 第三节 轴的强度计算 .....           | 287 |
| 第四节 提高轴的疲劳强度和轴系刚度的措施 ..... | 293 |
| 第五节 轴系的维护 .....            | 293 |
| 复习思考题 .....                | 295 |
| 第十八章 轴承 .....              | 297 |
| 第一节 滑动轴承 .....             | 297 |
| 第二节 滚动轴承 .....             | 307 |
| 复习思考题 .....                | 318 |
| 第十九章 机械的润滑与密封 .....        | 319 |
| 第一节 润滑剂及其选择 .....          | 319 |
| 第二节 润滑方法和润滑装置 .....        | 324 |
| 第三节 密封装置 .....             | 327 |
| 复习思考题 .....                | 329 |
| 主要参考文献 .....               | 331 |

# 绪 论

机械设计基础是机电类专业的一门综合性基础课程。本课程的任务是通过机械基础知识的理论、实验和实训教学,使学生具备机电产品生产、管理和服务的基本知识和基本技能,达到高素质劳动者和高级应用型人才的基本要求,为学生学习专业知识和专业技能、提高职业素质和继续学习打下必要的基础。

## 一、教学内容

1. **工程材料** 介绍机械工程材料的组织结构、热处理方法、分类、性能和选用方法。
2. **工程力学** 介绍力学基础知识,分析材料的受力变形。
3. **常用机构** 介绍常用机构的工作原理、运动特性和应用场合。
4. **机械传动设计** 介绍机构的传动设计方法和标准零部件的选用原则,以及机器的使用和维护。
5. **连接与支撑** 介绍螺纹连接,联轴器,键与花键连接,离合器的结构、类型和选用方法,轴和轴承的设计与选用。

## 二、学习目标

### 1. 知识目标

- (1) 了解常用工程材料的分类、牌号、性能及应用,普通热处理方法的工艺特点及应用。
- (2) 了解工程力学的基本概念,掌握平面力系的合成与平衡方法、机械运动的基本规律,理解直杆材料的基本变形形式,掌握拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲时的简单强度计算方法和组合变形强度理论的应用。
- (3) 掌握常用机构的组成、类型、运动形式、特点及应用。
- (4) 掌握典型零(部)件的结构、性能特点及应用。

### 2. 能力目标

- (1) 具有识别和选择常用工程材料的能力。
- (2) 具有对一般构件进行受力分析、运动分析及计算的能力,以及对直杆强度进行分析和计算的能力。

- (3) 具有计算和确定典型传动零件的主要几何尺寸的能力。
- (4) 初步具有确定简单机械的设计方法和步骤的能力。
- (5) 具有使用标准、手册、图册等相关技术资料的能力。

# 第一篇 机械工程材料

---

机械工程材料是适合于机械制造的材料的总称，它包括金属材料（如钢铁、铝、铜等）、非金属材料（如塑料、橡胶、陶瓷等）以及复合材料（如玻璃钢、碳纤维等）三大类。本篇主要介绍常用机械工程材料的分类、牌号、性能、应用以及为改善金属材料性能所采用的热处理方法，为合理选择和使用材料打下必要的基础。

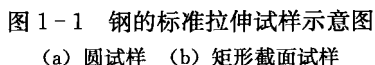


金属的力学性能是指金属材料在外力作用下所表现出的变形或断裂的特性。它包括强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度等。它不仅是一般机械零、部件在设计、制造时选择材料的主要依据,而且也是验收、鉴定材料性能的重要参数之一。

### 一、强度

### 一、强度

试验前,将被测金属材料制成一定形状和尺寸的标准试样〔见《金属拉伸试验试样》(GB 228—87)〕。图 1-1 所示为钢的标准拉伸试样示意图。



试验时,将拉伸试样装夹在拉伸实验机的夹头上,缓慢加载,随着外力(负荷)不断增加,试样会产生拉伸变形,长度不断增加,直至试样拉断。在整个试验过程中,把外加负荷与试样相应的伸长量,画在负荷( $F$ )为纵坐标、伸长量( $\Delta l$ )为横坐标的坐标系中,便可得到一负荷和变形量的关系曲线,称拉伸曲线,如图1-2所示。

由图1-2可见,低碳钢的拉伸实验可分为弹性变形、弹、塑性变形和断裂三个阶段。

(1) 弹性阶段。在拉伸曲线中, $Oe$ 段是直线,当负荷为零时,伸长量为零,当负荷由零增大到 $F_e$ 时,试样在负荷的作用下均匀伸长。在这一阶段中,去除负荷试样能完全恢复原状。这种随负荷去除而消失的变形称弹性变形。这一阶段对应的最大负荷 $F_e$ 称弹性极限负荷。

(2) 弹、塑性变形。当负荷超过 $F_e$ 时,试样除产生弹性变形外,开始出现塑性变形,即在外力去除后试样不能完全恢复原来的形状。这种在外力去除后不能恢复的变形称为塑性变形。

当负荷增加到 $F_s$ 时,在拉伸曲线上出现一水平线段,表明此时负荷没有增加,变形仍在继续进行,这种现象称屈服现象,此时所对应的最小负荷称屈服负荷。屈服现象产生后,当负荷继续增加时变形也逐渐增加,在试样整个长度方向上产生均匀而显著的塑性变形。

(3) 断裂。当负荷增加到 $F_b$ 时,变形显著集中在材料最薄弱的部位,即产生非均匀的塑性变形,试样上开始出现局部直径变细的缩颈现象,由于试样断面缩小,负荷也逐渐降低,当达到 $d$ 点时,试样发生断裂,因此 $F_b$ 是试样拉断前承受的最大负荷。

通过拉伸曲线上的特性点,就可测得下列一些强度指标。

(1) 弹性极限 $\sigma_e$ 。它是材料产生纯弹性变形的最大应力。可按下式计算:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-1)$$

式中, $F_e$ 为弹性极限负荷,N; $A_0$ 为试样原始横截面积, $\text{mm}^2$ 。

弹性极限 $\sigma_e$ 是由试验得到的,其值受测量精度影响很大,故常以产生微量塑性伸长应力 $\sigma_{0.01}$ 为弹性极限。

(2) 屈服极限(屈服强度) $\sigma_s$ 。它是材料产生屈服现象时的最小应力,也即材料开始明显塑性变形的最小应力,可按下式计算:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-2)$$

式中, $F_s$ 为屈服极限负荷,N; $A_0$ 为试样原始横截面积, $\text{mm}^2$ 。

很多金属材料,如大多数合金钢、有色金属的拉伸曲线不出现平台,脆性材料(如普通铸铁、镁合金等)甚至断裂之前也不发生塑性变形,因此工程上一般规定以试样产生0.2%微量塑性变形时的应力作为该材料的屈服极限(也称屈服点),并以符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(3) 强度极限(抗拉强度) $\sigma_b$ 。它是材料断裂前所能承受的最大应力,可按下式计算:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-3)$$

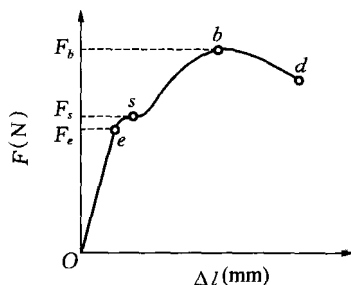


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

式中,  $F_b$  为试样断裂前承受的最大负荷, N;  $A_0$  为试样原始横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

$\sigma_e$ 、 $\sigma_s$ 、 $\sigma_b$  是设计机械零件和检查机械零件质量的基本依据。金属材料的强度愈高, 则机械零件或金属构件抵抗变形或断裂的能力愈强, 即承受负荷作用的能力愈强, 相应使用过程中的可靠性愈高, 使用寿命愈长。

材料的  $\sigma_s$  ( $\sigma_{0.2}$ )、 $\sigma_b$  均可在材料手册或资料文献中查得。一般机器构件都是在弹性状态下工作的, 不允许有微小的塑性变形, 所以在机械设计时, 一般以  $\sigma_s$  或  $\sigma_{0.2}$  为强度指标, 并加上适当的安全系数。由于抗拉强度测定比较方便, 而且数据也较准确, 所以设计零件时有时也可以直接采用强度指标, 但  $\sigma_b$  需使用较大的安全系数。

## 二、塑 性

金属材料在外力作用下, 产生永久变形而不被破坏的能力称为塑性, 其大小用材料在断裂前的最大变形量来衡量。常用的指标有延伸率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ , 可通过拉伸实验来测量。

1. 延伸率  $\delta$  它是指试样被拉断后, 试样总的伸长量与原始长度的比值的百分率, 即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中,  $l_0$  为试样原始标距长度, mm;  $l_1$  为试样拉断后的标距长度, mm。

在材料手册中常常看到  $\delta_5$  和  $\delta_{10}$  两种符号, 它分别表示  $l_0 = 5d$  (短试样) 和  $l_0 = 10d$  两种不同试样测定的伸长率。 $l_1$  是试样的均匀伸长和产生缩径后非均匀伸长的总和。很明显, 短试样中缩颈的伸长量所占的比例较大, 故同一材料所测得的  $\delta_5$  和  $\delta_{10}$  值是不同的,  $\delta_5$  的值较大, 而  $\delta_{10}$  的值较小, 所以相同符号的伸长率才能相互比较。

2. 断面收缩率  $\psi$  它是试样被拉断后, 其断面横截面积的收缩量与试样原始横截面积的比值的百分率。即

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中,  $S_0$  为试样原始横截面积,  $\text{mm}^2$ ;  $S_1$  为试样拉断后断口的横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

断面收缩率不受试样标距长度的影响, 因此能更可靠地反映材料的塑性。

金属材料的  $\delta$ 、 $\psi$  愈高, 塑性愈好。材料塑性的好坏对零件的加工和使用具有十分重要的意义。例如, 塑性好的材料 (低碳钢、黄铜) 容易变形, 适于压力加工、焊接生产, 且工艺过程简单, 质量容易控制。此外, 重要的受力零件也要求具有一定塑性, 以防止超载时发生断裂。

必须指出, 塑性指标不能直接用于零件的设计计算, 只能根据经验来选定材料的塑性。一般来说, 伸长率达 5% 或断面收缩率达 10% 的材料, 即可满足绝大多数零件的要求。

## 第二节 硬 度

硬度是指材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力, 即材料抵抗比它更硬的物质压入其表面的能力。它不仅反映了材料的软硬程度, 而且还是表示材料综合性能的