



中国机械工程学科教程配套系列教材  
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

# 机械设计基础

## ——理论、方法与标准

黄平 朱文坚 主编

中国机械工程学科教程研究组

China Mechanical Engineering Curricula  
中国机械工程学科教程

清华大学出版社

清华大学出版社



中国机械工程学科教程配套系列教材  
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

# 机械设计基础

## ——理论、方法与标准

黄平 朱文坚 主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本教材是根据“机械设计基础课程教学基本要求”和“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系教学改革计划”等有关文件精神,为适应教学改革而编写的。本教材包含 3 部分内容。第一部分为基础理论篇(第 1~16 章),包括:绪论,平面机构的运动简图及自由度,连杆机构,凸轮与其他常见运动机构,轮系与传动比,机械调速与平衡,齿轮传动与蜗杆传动,带传动,链传动,轴,滑动轴承,滚动轴承,螺纹连接与螺旋传动,键连接、销连接和其他形式的连接,弹簧,联轴器、离合器和制动器。附有一定数量的习题。第二部分为设计方法篇(第 17~19 章),包括:机械传动装置设计总论,结构设计,课程设计例题与图例。第三部分包括机械设计常用国家标准和设计规范、试题与解答以及常用词汇的中英文对照等 13 个附录。

本教材可以作为高等学校近机类专业机械设计基础与课程设计教材,也可作为有关工程技术人员的参考书籍。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础:理论、方法与标准/黄平,朱文坚主编.--北京:清华大学出版社,2012.1

(中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材)

ISBN 978-7-302-27430-8

I. ①机… II. ①黄… ②朱… III. ①机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 248219 号

责任编辑:庄红权

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:30.25 字 数:727 千字

版 次:2012 年 1 月第 1 版 印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:52.00 元

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校  
机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

# 编 委 会

顾 问  
李培根院士

主任委员  
陈关龙 吴昌林

副主任委员  
许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委(按姓氏首字母排列)  
韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元  
许映秋 袁军堂 张 慧 张有忱 左健民

秘 书  
庄红权

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从20世纪90年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以序。



2009年7月

# 前 言

## FOREWORD

本书是根据“机械设计基础课程教学基本要求”等文件精神,充分吸取了高校近年来的教学改革经验,并结合多年教学经验而编写的。根据国内大部分本科院校的机械设计基础课程教学实际,我们进行了较显著的教材改革尝试。

目前国内的《机械设计基础》和《机械设计基础课程设计》本科教学安排多是分别独立进行的,一般是在完成 56~72 学时的理论和实验教学后,再进行 2~3 周的课程设计,将理论教学中所讲授的内容,以一个机械装置(常为减速箱)为题目进行全面的设计和训练。由于这两个阶段是分开进行的,因此采用的教材也是分开编写的。为有利于培养学生的工程实践能力和理论学习与设计实践互相结合,编者尝试将《机械设计基础》和《机械设计基础课程设计》两本教材进行合并编写,以方便教师和学生使用。同时,考虑到计算机已经广泛使用,我们采用附录的形式将课程设计所需要的表格编入书中,解决了目前教科书无法涵盖所有需要使用的数据和图书馆手册不足的问题。另外,在附录 M 中,还提供一份机械设计基础试题样题与参考答案,供学生备考使用。

另外,教材还进行了新的尝试,即在相应的各章以同一设计实例的不同零件作为例题,并且在对应章的最后,布置了类似例题的课程设计系列题(必做题)。这一做法的目的是:通过将完整的设计问题转变成系列例题和习题,从而把课程设计的任务分解到理论教学的习题计算中,学生只要将前期理论教学得到的系列计算结果加以综合,再加入箱体、附件等设计,就可完成课程设计需要计算的内容。这样,不仅有利于减轻课程设计阶段的计算工作量,也可使学生对所学理论教学内容有更深入的理解。

本教材分 3 部分内容,共 19 章 13 个附录,由黄平和朱文坚主编。具体参加编写工作的有:朱文坚(第 1、11、12 章),李旻(第 1.4、5.3、18.4 节),李琳(第 2、3 章),翟敬梅(第 4、6 章)、胡广华(第 5、8、9 章),刘小康(第 7、16 章和附录 N),徐晓(第 10、15 章),陈扬枝(第 13、14 章),孙建芳(第 17 章和

附录 A~G)、黄平(第 18、19 章和附录 H~L)。

书中加黑点的文字为本课程中相对重要的知识点,所以特意标注。

作为教学改革的一项尝试,在本教材编写中一定会有不足之处,加上编者的水平和时间有限,错误之处在所难免,希望读者予以批评指正。

作者

2011.11



# 目 录

## CONTENTS

### 第一篇 基础理论篇

<b>第 1 章 绪论</b> .....	3
1.1 机械设计基础概述 .....	3
1.2 机械零件常用材料及其选用原则 .....	4
1.3 机械设计的基本要求及程序 .....	8
1.4 机械传动系统设计概述 .....	10
习题 .....	16
课程设计系列题(必做) .....	16
<b>第 2 章 平面机构的运动简图及自由度</b> .....	19
2.1 运动副 .....	19
2.2 平面机构运动简图 .....	20
2.3 平面机构的自由度 .....	23
本章要点 .....	27
习题 .....	27
<b>第 3 章 连杆机构</b> .....	29
3.1 铰链四杆机构的基本形式和特性 .....	29
3.2 铰链四杆机构的演化 .....	34
3.3 平面四杆机构的设计 .....	39
本章要点 .....	44
习题 .....	44
<b>第 4 章 凸轮与其他常见运动机构</b> .....	46
4.1 凸轮机构的应用与分类 .....	46
4.2 从动件的常用运动规律 .....	48
4.3 盘形凸轮轮廓设计 .....	53
4.4 凸轮机构设计应注意的问题 .....	57
4.5 其他常见运动机构 .....	59

本章要点 .....	66
习题 .....	67
<b>第 5 章 轮系与传动比</b> .....	70
5.1 概述 .....	70
5.2 轮系的传动比计算 .....	73
5.3 传动比分配 .....	77
本章要点 .....	80
习题 .....	80
课程设计系列题(必做) .....	82
<b>第 6 章 机械调速与平衡</b> .....	83
6.1 机械速度波动与调节 .....	83
6.2 回转件的平衡 .....	86
本章要点 .....	90
习题 .....	91
<b>第 7 章 齿轮传动与蜗杆传动</b> .....	92
7.1 齿轮传动特点、类型 .....	92
7.2 齿廓啮合基本定律 .....	93
7.3 渐开线及渐开线齿廓 .....	94
7.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称和几何尺寸计算 .....	96
7.5 渐开线直齿圆柱齿轮传动分析 .....	99
7.6 渐开线直齿圆柱齿轮的加工 .....	101
7.7 标准直齿圆柱齿轮传动强度计算 .....	104
7.8 斜齿圆柱齿轮传动 .....	113
7.9 圆锥齿轮传动 .....	122
7.10 齿轮的结构 .....	126
7.11 齿轮传动的润滑 .....	128
7.12 蜗杆传动 .....	129
本章要点 .....	137
习题 .....	137
课程设计系列题(必做) .....	140
<b>第 8 章 带传动</b> .....	141
8.1 带传动概述 .....	141
8.2 带传动的工作能力分析 .....	145
8.3 普通 V 带传动设计 .....	148
8.4 V 带轮的材料与结构 .....	153

8.5 带传动的张紧装置及维护 .....	155
8.6 同步带传动简介 .....	156
本章要点 .....	159
习题 .....	159
课程设计系列题(必做) .....	160
<b>第9章 链传动</b> .....	<b>161</b>
9.1 概述 .....	161
9.2 链传动工作情况分析 .....	165
9.3 滚子链传动的设计 .....	167
9.4 链传动的布置和润滑 .....	173
本章要点 .....	174
习题 .....	174
<b>第10章 轴</b> .....	<b>175</b>
10.1 轴的类型与材料 .....	175
10.2 轴的结构设计 .....	177
10.3 轴的强度计算 .....	182
10.4 轴的刚度计算 .....	189
本章要点 .....	191
习题 .....	191
课程设计系列题(必做) .....	193
<b>第11章 滑动轴承</b> .....	<b>194</b>
11.1 滑动轴承的类型与结构 .....	194
11.2 滑动轴承材料及润滑 .....	198
11.3 非液体摩擦滑动轴承的计算 .....	203
11.4 液体摩擦滑动轴承简介 .....	206
本章要点 .....	207
习题 .....	208
<b>第12章 滚动轴承</b> .....	<b>209</b>
12.1 滚动轴承的结构及类型 .....	209
12.2 滚动轴承的失效形式及寿命计算 .....	215
12.3 滚动轴承的组合设计、润滑与密封 .....	221
本章要点 .....	227
习题 .....	228
课程设计系列题(必做) .....	230

<b>第 13 章 螺纹连接与螺旋传动</b> .....	231
13.1 螺纹形成原理、类型及其主要参数 .....	231
13.2 螺旋副的受力分析、效率和自锁 .....	233
13.3 螺纹连接 .....	235
* 13.4 螺旋传动 .....	248
本章要点 .....	252
习题 .....	252
<b>第 14 章 键连接、销连接和其他形式的连接</b> .....	254
14.1 键连接 .....	254
14.2 花键连接 .....	257
14.3 销连接 .....	258
14.4 成形连接 .....	258
14.5 铆接 .....	259
14.6 焊接 .....	259
14.7 胶接 .....	261
14.8 过盈连接 .....	261
本章要点 .....	262
习题 .....	262
课程设计系列题(必做) .....	262
<b>* 第 15 章 弹簧</b> .....	263
15.1 概述 .....	263
15.2 圆柱螺旋弹簧 .....	264
15.3 弹簧常用材料 .....	266
本章要点 .....	267
习题 .....	267
<b>第 16 章 联轴器、离合器和制动器</b> .....	268
16.1 联轴器 .....	268
16.2 离合器 .....	276
16.3 制动器 .....	283
本章要点 .....	284
习题 .....	284
课程设计系列题(必做) .....	285

## 第二篇 设计方法篇

<b>第 17 章 机械传动装置设计总论</b> .....	289
17.1 减速器拆装实验 .....	289
17.2 设计计算说明书 .....	291
17.3 装配图 .....	294
17.4 设计和绘制减速器零件工作图 .....	304
<b>第 18 章 结构设计</b> .....	310
18.1 机架类零件的结构设计 .....	310
18.2 减速器的结构设计 .....	313
18.3 减速器箱体和附件设计的错误示例分析 .....	328
18.4 轴系结构设计错误示例分析 .....	330
<b>第 19 章 课程设计例题与图例</b> .....	332
19.1 课程设计例题 .....	332
19.2 课程设计参考图例 .....	340
课程设计题目 .....	349
课程设计系列题(必做) .....	350
<b>附录 A 常用设计标准和数据</b> .....	351
<b>附录 B 常用材料</b> .....	357
<b>附录 C 公差和表面粗糙度</b> .....	364
C.1 极限与配合 .....	364
C.2 几何公差 .....	370
C.3 表面粗糙度 .....	375
<b>附录 D 螺纹与螺纹零件</b> .....	380
<b>附录 E 键和销</b> .....	398
<b>附录 F 紧固件</b> .....	405
<b>附录 G 齿轮及蜗杆、蜗轮的精度</b> .....	410
G.1 渐开线圆柱齿轮精度 .....	410
G.2 圆锥齿轮精度(摘自 GB/T 11365—1989) .....	420

G.3 圆柱蜗杆和蜗轮精度(摘自 GB/T 10089—1988) .....	424
<b>附录 H 滚动轴承</b> .....	430
<b>附录 I 润滑剂与密封件</b> .....	437
<b>附录 J 联轴器</b> .....	443
<b>附录 K 电动机</b> .....	455
<b>附录 L 机械设计基础常用单词中英文对照</b> .....	458
<b>附录 M 机械设计基础试题样题与参考答案</b> .....	462
<b>参考文献</b> .....	468

# 第一篇 基础理论篇

本篇主要阐述机械设计的一般原则和程序、机械的组成、机械中的常用机构(连杆机构、凸轮机构、其他运动机构等)、常用传动件(齿轮传动、蜗杆传动、挠性传动)、通用的连接零件(螺纹连接、键连接、销连接及其他类型连接)、轴系零部件(轴、轴承、联轴器、离合器)的工作原理、结构特点、基本设计理论和计算方法。

这些内容可为学生学习专业机械设备课程提供必要的理论基础。学好这些内容将培养学生具有一定的机械设计能力,包括以下几个方面:

(1) 掌握常用机构和通用零件的工作原理与结构特点,具有设计机械传动装置和简单机械的能力。

(2) 具有运用标准、手册、规范、图册和查阅有关技术资料的能力。

(3) 了解典型机械的实验方法,受到实验技术的基本训练。

学习这些内容需要综合应用很多先修课程的知识,如工程制图、金属工艺学、工程力学等,而且本课程涉及很多工程应用。因此,在学习时应重视理论联系实际,注意学习分析和解决问题的方法,能灵活运用本课程所学的知识解决一些简单机械和机构的设计问题。





## 绪 论

### 1.1 机械设计基础概述

人类为了满足生产和生活的需要,设计和制造了类型繁多、功能各异的机器。机器是执行机械运动的装置,用来变换速度或传递能量、物料、信号,如内燃机、电动机、洗衣机、机床、汽车、起重机以及各种食品机械。一台完整的机器通常包括以下 3 个基本部分。

(1) 原动部分:将其他形式的能量变换为机械能(如内燃机和电动机分别将热能和电能变换为机械能),是驱动整部机器以完成预定功能的动力源。

(2) 工作部分(或执行部分):利用机械能去变换或传递能量、物料、信号,如发电机把机械能变换成为电能,轧钢机变换物料的外形等。

(3) 传动部分:把原动机的运动形式、运动和动力参数转变为工作部分所需的运动形式、运动和动力参数。

以上 3 部分都必须安装在支承部件上。为了使 3 个基本部分协调工作,并准确、可靠地完成整体功能,必须增加控制部分和辅助部分。

所有的机器都是由许多机械零件组合而成。机械零件可分为两大类:一类是在各种机器中经常都能用到的零件,称为通用零件,如齿轮、链轮、蜗轮、螺栓、螺母等;另一类则是在特定类型的机器中才能用到的零件,称为专用零件,如内燃机的曲轴、汽轮机的叶片等。根据机器功能、结构的要求,某些零件需固连成没有相对运动的刚性组合,成为机器中独立运动的单元,通常称为构件。构件与零件的区别在于:构件是运动的基本单元,而零件是加工的单元。如图 1.1 所示的内燃机的连杆由连杆体 1、连杆盖 4、螺栓 2 以及螺母 3 组成,这 4 个零件形成一个构件。

若从运动的观点来研究机器,机器由机构组成,机构由若干构件组成,各构件之间具有确定的相对运动;机构通常指传递运动的机械。一部机器可以包含一个机构(如电动机),也可以包含几个机构。如图 1.2 所示的单缸四冲程内燃机包含了 3 个机构:

- (1) 曲柄滑块机构由曲轴 2、连杆 3、活塞 4 组成;
- (2) 凸轮机构由进、排气阀 5 和 6、从动杆 7、凸轮 8 组成;
- (3) 齿轮机构由齿轮 9 和 9'、10 组成。