



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

机械设计导引

Introduction to Mechanical Design

林怡青 编著

中国机械工程学科教程
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

机械设计导引

Introduction to Mechanical Design

林怡青 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书按照机械设计项目展开的过程来呈现相关的知识点,从工程应用的角度描述机械设计的基本思想,给读者一个机械设计的整体概念。本书内容覆盖“机械原理”、“机械零件”和“机械设计课程设计”三门课程的主要知识点,包括构件运动规律和运动协调设计、机构选型、机构运动和动力设计、机械系统方案设计、机械运转的能量调节、机械系统方案评价、零件的结构和工作能力设计、技术资料编制等。相关的内容已经在机械类、近机类和非机类专业的22个班进行教学,受到学生的欢迎。

本书适用于工科类本科层次,支持基于项目的教学模式,也适用于近机类和非机类的机械设计基础课程。

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

机械设计导引/林怡青编著.--北京:清华大学出版社,2015

中国机械工程学科课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 978-7-302-38333-8

I. ①机… II. ①林… 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(2014)第 243383 号

责任编辑:庄红权

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘玉霞

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:29.5 字 数:713 千字

版 次:2015 年 3 月第 1 版 印 次:2015 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:59.80 元

产品编号:058210-01

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

丛书序言

PREFACE

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。

是为序。



2009年7月

本书按照机械设计项目展开的过程来呈现相关的知识,强调机械设计知识内部之间的互相联系,以及机械设计与关系密切的外部因素之间的联系,从工程应用的角度描述机械设计的基本思想,给读者一个关于机械设计的整体概念,引导读者进一步获取机械设计相关的信息。本书适合具有简单力学和机械制图基础,想要了解机械设计基本概念和基本过程的人士阅读。

根据作者最近 5 年来在机械类、近机类和非机类 7 个专业 22 个班的教学经验,采用本书进行教学可以按照以下三种方式。

1. 以课程项目为主线的教学方式

对于机械类专业,教学目标是培养学生较全面的掌握机械设计基本理论、方法和技能,能够在机械设计项目团队工作环境中发挥自己的作用。为了达到这个目标,宜采用以课程项目为主线的教学方式。学生组成设计小组,自选课程设计项目,模拟项目团队工作方式,从简单的客户诉求出发,亲历机械设计项目的全过程。

在这种方式下,教师是项目推进的引导者,通过项目分析引起学生的认知冲突,指导学生构建自己的知识和能力目标;根据学生思维的进展进行新知识的讲授,与学生一起经历项目的过程,研究具体的问题,教学路径与课程项目的进展过程相关。

采用这种方式要注意学生自选的设计项目要能够全面涵盖构件运动规律和运动协调设计、机构选型、机构运动和动力设计、传动系统方案设计、机器运转能量调节、机械系统方案评价、零件的结构和工作能力设计、装配工作图设计、零件工作图设计等内容。

2. 课程项目与专业需求相结合的方式

对于近机类专业,教学目标是较全面地了解机械设计的基本理论和方法,掌握并运用与本专业相关的机械设计知识。可以按照机械类专业的教学方式组织教学,学生的课程项目不需要全面涵盖知识点,而是按照专业相关的原则来设计。例如仪器仪表类专业的课程项目可以着重涵盖机构运动设计方面的内容,材料成形类专业的课程项目可以着重涵盖动力设计相关的内容。

3. 常规授课+自学+大作业的方式

对于非机类专业,教学目标是了解机械设计的基本概念。采用本书有利于学生从工程的角度建立关于机械设计的整体概念,并了解机械设计的过程。可以采用常规授课的方式,对本书中标记*的内容不展开讨论,对部分内容采用自学的方式。可以通过大作业的形式来体会机械设计的实践性本质。大作业的内容只需要涵盖少数与本专业相关的知识点。例如电气及自动化类专业,可以建立机械系统动力学模型,加入到本专业的控制系统中。

采用第1种教学方式,学生要经历规划学习过程、获取并消化知识、实践与反思等阶段,才能形成初步的能力,这个过程要延续一个学年的时间。采用第2种教学方式,也应延续超过半个学年的时间。教学效果往往不在于授课学时的多少,而在于教学过程的控制,保证延续的时间是必要的条件。无论采用何种教学方式,课程教学的设计应遵循3个不可能原则:

- (1) 不可能仅靠课本信息来完成课程学习;
- (2) 不可能仅靠听课来完成课程学习;
- (3) 不可能仅靠个人的力量来完成课程学习。

通过这样的方式迫使学生摆脱长期应试教育影响下的认知结构和学习策略,以达到能力培养的目标。

本书没有包括与全局概念关系不大,且大多数同类教材详细研究过,篇幅又比较长的局部内容。书中带重点符号的粗体字是提供给读者进一步搜索相关资料的**关键词**,读者可以根据自身的需要扩展学习的内容。采用本书,教师扮演的是引导者的角色,具有广阔的空间根据不同的时、境、人进行具有特色的课程教学设计。

作 者

2015年1月

目 录

CONTENTS

第一单元 明确任务

第 1 章 引例	3
1.1 机械设计任务的诞生	3
1.2 设计机械产品的雏形	5
1.3 详细设计出每一个零件	7
1.4 机械设计的一般过程和主要原则	8
第 2 章 定义工艺动作	11
2.1 执行构件的运动规律设计	11
* 2.2 执行构件运动规律设计的一般步骤	12
2.3 执行构件的运动协调	16
2.4 原动机的运动设计	17

第二单元 入 门

第 3 章 机械设计的研究对象	21
3.1 机械是什么	21
3.2 构件之间的连接	22
3.3 构件系统	23
3.3.1 自由构件	23
3.3.2 运动副的自由度	24
3.3.3 运动链	24
第 4 章 机械系统方案构思和交流的工具	26
4.1 机构运动简图的定义	26
4.1.1 如何表示机构的运动	28
4.1.2 机构运动简图的作图规则	29
4.2 机构运动简图的绘制	32
4.2.1 画出构思中的机构	32

4.2.2 画出已有的机构	34
4.3 运动链具有确定运动的条件	36
第5章 运动链的自由度	38
5.1 平面运动链自由度计算公式的推导	38
5.2 自由度计算公式的应用	39
5.2.1 自由度计算公式的用途	39
5.2.2 复合铰与局部自由度	40
*5.2.3 自由度计算公式的局限性	41
*5.3 构思复杂运动链的一种方法	42
*5.4 原动件不等于自由度的情况	43
*5.5 执行构件的运动空间设计	45

第三单元 分析典型机械的特点

第6章 连杆机构	51
6.1 连杆机构的定义	51
6.1.1 连杆机构的概念	51
6.1.2 连杆机构中的构件	52
6.1.3 周转副和摆转副	52
*6.1.4 连杆机构中的连架杆	52
*6.1.5 运动副的性质与机架的选择无关	53
6.2 平面四杆机构的命名	54
6.3 平面连杆机构的应用	56
*6.4 平面连杆机构的设计命题	59
6.4.1 刚体导引	59
6.4.2 轨迹生成	61
6.4.3 函数生成	62
6.4.4 综合的运动要求	62
6.5 平面连杆机构的运动特性	63
6.5.1 周转副存在的条件	63
6.5.2 平行四边形机构	64
6.5.3 急回特性	65
*6.5.4 连杆机构运动的局限性	67
6.6 平面连杆机构的力传递特性	68
6.6.1 压力角和传动角	68
6.6.2 死点	70
*6.6.3 增力效应	71

第 7 章 凸轮机构	73
7.1 凸轮机构的分类与命名	74
7.2 从动件运动规律设计	76
*7.3 影响凸轮曲线轮廓形状的因素	79
7.4 凸轮廓线的设计和调整	82
第 8 章 齿轮机构	86
8.1 齿轮机构的分类	86
8.2 齿轮机构的工作情况分析	87
8.2.1 齿轮机构的传动比	87
8.2.2 齿轮机构传动比的实现	88
*8.2.3 曲线的法线和接触点	89
8.2.4 齿廓啮合基本定律	89
*8.2.5 共轭齿廓	91
8.3 渐开线齿廓	91
8.4 渐开线齿轮	94
8.5 渐开线齿轮的安装和啮合	97
第 9 章 带传动和链传动	102
9.1 带传动和链传动的特点	102
9.2 带传动	103
9.2.1 带传动的主要类型	103
9.2.2 摩擦型带传动的工作情况分析	104
*9.2.3 普通 V 带传动设计	105
9.2.4 V 带传动的安装和调整	114
*9.3 链传动	115
9.3.1 链传动的主要类型	116
9.3.2 滚子链的结构特点	116
9.3.3 滚子链传动的多边形效应	117
9.3.4 滚子链传动的主要参数	118

第四单元 拓 宽 视 野

第 10 章 其他常用机构和功能部件	123
10.1 间歇传动机构	123
10.1.1 棘轮机构	124
10.1.2 槽轮机构	126
10.1.3 不完全齿轮机构	127

10.1.4	间歇传动的连杆机构	128
10.2	螺旋机构	129
10.3	联轴器	131
10.3.1	刚性联轴器	132
10.3.2	挠性联轴器	132
10.3.3	安全联轴器	133
10.4	离合器	134
10.4.1	嵌合式离合器	134
10.4.2	摩擦式离合器	135
10.4.3	离心式离合器	137
10.4.4	超越离合器	137
10.4.5	安全离合器	138
10.5	制动器	139
10.5.1	带式制动器	139
10.5.2	外抱块式制动器	140
10.5.3	内张蹄式制动器	140
10.5.4	盘式制动器	141
第 11 章	机构的组合应用	142
11.1	同类型机构的组合应用	142
11.2	不同类型机构的组合应用	144
11.3	机构的串联和并联	145
*11.4	机构的反馈式组合	147
*11.5	以多自由度机构为基础的组合	148
11.6	轮系	150
11.6.1	轮系传动比的定义	150
11.6.2	定轴轮系	151
11.6.3	周转轮系	152
11.6.4	复合轮系	157
第五单元 运动和动力设计		
第 12 章	机械的运动设计	163
12.1	机构的运动分析	163
12.2	机构的运动尺寸设计	166
12.2.1	用直接方法进行机构运动设计	167
*12.2.2	用间接方法进行机构运动设计	168
*12.3	基于目标的机构运动尺寸设计	173

第 13 章 机械的动力设计	175
13.1 机械在力的作用下运动	176
13.2 机械的效率	177
13.2.1 运动副的摩擦	177
13.2.2 机械传动的效率	181
* 13.2.3 动态静力分析	182
* 13.2.4 机构的受力分析	183
* 13.2.5 平面连杆机构的效率	187
13.3 机械运转中的能量调节	188
13.3.1 机械运转过程中的能量变化	189
* 13.3.2 机械的运动方程式	190
13.3.3 速度波动的衡量指标	191
* 13.3.4 周期性速度波动的调节	192
13.3.5 非周期性速度波动的调节	196
13.4 机械的平衡	198
13.4.1 机械平衡的分类	198
13.4.2 刚性转子的平衡设计	199
13.4.3 刚性转子的平衡试验	204
13.4.4 转子的平衡品质	205
13.4.5 不平衡特性的利用	205
* 13.5 机械的自锁	206
13.5.1 机械的自锁分析	206
13.5.2 自锁机构的设计	206

第六单元 机械系统总体方案设计

第 14 章 机械系统的方案设计	213
14.1 执行系统的方案设计	213
14.1.1 功能原理设计	214
14.1.2 执行构件的运动设计	215
14.1.3 执行机构的类型设计	215
14.1.4 执行机构的运动设计	217
14.1.5 执行系统的协调设计	217
14.1.6 执行系统的动力设计	219
14.1.7 执行系统的方案评价	219
14.2 传动系统的方案设计	221
14.2.1 传动系统的类型	221
14.2.2 机械传动系统的类型设计	222

14.2.3 传动路线设计	223
14.2.4 传动系统的效率	225
14.2.5 原动机及各级传动机构的功率	225
* 14.3 机械系统总体方案的评价	227

第七单元 从方案到实体的思考

第 15 章 把方案转变为现实的结构设计	233
-----------------------------------	------------

15.1 满足功能要求	234
15.2 满足装配需求	235
15.3 满足工艺需求	237
15.4 满足安全需求	241
15.5 满足误差补偿	242
15.6 设计符合标准的零件	243
* 15.7 根据性能需求进行精度与配合设计	243
15.7.1 公差等级表示加工精确度	244
15.7.2 基本偏差表示公差带的位置	246
15.7.3 轴与孔的配合设计	248
15.7.4 机械零件的几何公差	249
15.7.5 机械零件的表面粗糙度	253
15.7.6 几何公差与表面粗糙度的关系	255

第 16 章 机械设计的准则	256
-----------------------------	------------

16.1 机械设计常用的材料	257
16.2 材料在外力作用下的表现	258
16.2.1 应力与应变	258
16.2.2 物体受力变形的基本形式	260
16.2.3 应力集中现象	265
16.2.4 材料在静力下的破坏	265
16.3 材料的疲劳	267
16.3.1 随时间变化的变应力	267
16.3.2 零件的疲劳破坏	268
* 16.3.3 σ - N 疲劳曲线	269
16.4 机械零件的接触应力	270
16.5 机械零件设计的强度准则	271
16.6 机械的等强度设计	275
16.7 机械零件设计的刚度准则	277
16.8 零件的脆断和失稳现象	279
16.9 零件的耐磨和耐热性	280

16.10	振动稳定性准则	281
16.11	可靠性准则	281
16.12	机械零件设计准则的运用	283

第八单元 常用零件的设计

第 17 章 齿轮传动设计	289
17.1 齿轮的材料及选择	289
17.2 齿轮传动的精度	291
17.3 齿轮的失效形式和设计准则	291
17.3.1 齿轮的失效形式	291
17.3.2 齿轮传动的设计准则	293
17.4 齿轮传动的接触疲劳强度设计	293
17.4.1 接触应力计算公式	293
17.4.2 载荷系数计算	295
17.4.3 接触疲劳强度设计	298
17.5 齿轮传动的弯曲疲劳强度设计	299
17.5.1 齿根弯曲疲劳强度校核公式	299
17.5.2 齿根弯曲疲劳强度设计	301
17.6 齿轮传动的许用应力	302
17.7 齿轮的结构设计	304
第 18 章 轴承	307
18.1 滚动轴承的计算和选用	307
18.2 滑动轴承的设计	319
第 19 章 轴的设计	325
19.1 轴的分类	325
19.2 轴的材料	326
19.3 轴的结构设计	327
19.3.1 轴上零件的周向固定	327
19.3.2 轴上零件的轴向定位和固定	327
19.3.3 轴段的直径和长度	330
19.3.4 轴的结构工艺性	331
*19.4 轴的强度校核	332
19.5 提高轴强度的措施	335
*19.6 轴的刚度校核	338
*19.7 轴的零件工作图	341

第 20 章 弹簧	346
20.1 常用弹簧的结构与应用	346
* 20.2 圆柱螺旋弹簧的设计	348
20.3 圆柱螺旋弹簧的稳定性	350

第九单元 机械零件的连接设计

第 21 章 常用的可拆卸连接	355
21.1 螺纹连接	356
21.1.1 螺纹连接的类型	359
21.1.2 螺纹连接的预紧	360
21.1.3 螺纹连接的防松	361
21.1.4 受拉螺纹连接的强度计算	363
21.1.5 受横向载荷的铰制孔用螺栓连接	365
21.1.6 螺纹连接的许用应力	366
21.2 其他常用可拆卸连接	367
21.2.1 键连接	367
21.2.2 销连接	369
21.2.3 胀套连接	369
第 22 章 常用的不可拆卸连接	371
22.1 铆钉连接	371
22.2 焊接	373

第十单元 机械零件的润滑与支承

第 23 章 摩擦与润滑	379
23.1 摩擦状态	379
23.2 磨损	380
23.3 润滑剂	381
23.4 滑动轴承的润滑	383
23.5 滚动轴承的润滑	384
23.6 齿轮传动的润滑	385
23.7 链传动的润滑	386
23.8 润滑剂的密封	386
* 第 24 章 机械零件的支承	390
24.1 机架的设计	390

24.1.1	机架的分类	391
24.1.2	机架的材料和制造方法	391
24.1.3	箱壳式机架的结构设计	392
24.1.4	机架零件的强度校核	396
24.2	转动构件的支承设计	397
24.2.1	滚动轴承的组合设计	397
24.2.2	滚动轴承的配合	399
24.2.3	提高轴系支承刚度的措施	400
24.2.4	滚动轴承的安装和拆卸	401
24.2.5	滑动轴承座技术条件	403
24.2.6	轴套和轴瓦的定位和固定	403
24.3	移动构件的支承设计	404
24.3.1	导轨设计的要求和内容	404
24.3.2	滚动导轨	405
24.3.3	滑动导轨	406
24.3.4	滑动导轨的压强计算	409
24.3.5	导轨的防护	411

第十一单元 机械系统的详细设计

第 25 章	实体机械的详细设计	415
25.1	拟定总体装配结构	415
25.1.1	确定构件的功能	416
25.1.2	确定构件的工作空间	417
25.1.3	拟定各部分的装配方案	419
25.1.4	修改构件的结构	421
25.2	设计构件装配结构	421
25.3	确定零件工作载荷	422
25.4	零件工作能力设计	424
25.5	机箱设计	425
25.5.1	实现包容零件的功能	426
25.5.2	实现支承零件的功能	427
25.5.3	装配结构设计	429
25.6	润滑设计	436
25.7	考虑运输安装和维修	437
25.8	公差与配合设计	437
25.9	技术文件制作	438

附录 A	441
------------	-----

参考文献	452
------------	-----