



普通高等教育“十二五”机电类规划教材



MACHINERY



机械设计 (上册)

——机器与机构分析和设计

杨世明 主编

- 整合机械原理、机械设计课程内容
- 突出机器设计规律
- 涵盖机构和机器的分析与设计、机械零件设计

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

机械设计(上册)

——机器与机构分析和设计

杨世明 主 编
冯志友 刘 卉 赵镇宏 副主编

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据 2011 年教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会编制的机械原理课程教学基本要求、机械设计课程教学基本要求和多年教学实践经验,考虑到使学生掌握机器设计规律、加强学生机器设计能力培养,结合机械工程实践需要编写的。

全书共 5 篇和附录,分上、下两册出版。

上册分为三篇,第一篇导论,第二篇机构分析与设计及机械系统运动方案设计,第三篇机械系统动力学。本书在第一篇中的第 2 章对机器设计进行了专门论述。

上册可作为高等院校机械类专业机械原理课程的教材(建议总学时 70 学时左右),也可供其他有关专业的师生和工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计.上册,机器与机构分析和设计/杨世明主编. —北京:电子工业出版社,2013.5
(普通高等教育“十二五”机电类规划教材)

ISBN 978-7-121-20310-7

I. ①机… II. ①杨… 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(2013)第 094879 号

策划编辑:郭穗娟

责任编辑:张京

印刷:北京京师印务有限公司

装订:北京京师印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:390.4 千字

印次:2013 年 5 月第 1 次印刷

定价:38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

本书根据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会 2011 年编制的机械原理课程教学基本要求、机械设计课程教学基本要求、机械工程实践需要和多年教学实践经验编写而成。

本书内容包含五篇，第一篇导论，第二篇机构分析与设计及机械系统运动方案设计，第三篇机械系统动力学，第四篇机械零件设计，第五篇现代机械设计方法概论，包括我国高等院校机械类专业机械原理和机械设计课程教学内容，且按机械设计实践的一般步骤编排教材内容。这样编写基于下述考虑：突出机器设计规律和一般步骤，便于学生掌握机器设计的内涵和规律，加强学生机器设计能力培养；传统机械设计课程（教材）并没有包含机械系统运动设计部分，实质上主要还是机械零件设计的内容。

全书分上、下册出版，上册的主要内容为机械原理课程教学基本要求规定的教学内容，下册主要内容为机械设计课程教学基本要求规定的教学内容。

本书比较系统地讲述了机器设计的概念、目标、内容、原则与主要考虑的问题、机械设计工程师的社会责任和职业道德等内容，目的是使学生能在产品研发的初始阶段有章可循，提高学生设计机器的能力。为了培养学生的创新意识、提高学生使用现代设计方法的能力，把现代机械设计方法单独编写为一篇，介绍了常用的现代机械设计方法。

机械零件设计部分尽量采用实物照片或立体图和新的国家标准，在附录中给出了学生完成习题需要的一些资料。

参加本书编写工作的有杨世明（第 1 章、第 2 章、第 19 章、第 20 章和第 22 章）、金国光（第 3 章）、刘卉（第 4 章）、冯志友（第 5 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章和第 12 章）、武宝林（第 6 章、第 7 章）、赵镇宏（第 13 章、第 14 章、第 15 章、第 16 章、第 17 章和第 18 章）、高淑英（第 21 章、第 23 章和第 24 章），主编杨世明，副主编冯志友、刘卉和赵镇宏。上册由冯志友统稿，下册由杨世明、赵镇宏统稿。

尽管编者为本书付出了许多努力和心血，但疏漏和不当之处在所难免，希望机械原理、机械设计课程的教师和其他读者批评指正。

编 者
2013 年 1 月

目 录

第一篇 导 论

| | |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 机器的组成 | 1 |
| 1.2 本书与机械原理和机械设计课程的关系 | 3 |
| 1.3 课程的任务和学习方法 | 4 |
| 1.4 单位 | 4 |
| 习题 | 5 |
| 第 2 章 机器设计概述 | 6 |
| 2.1 设计的概念 | 6 |
| 2.2 机器设计的目标与内容 | 7 |
| 2.3 机器设计类型与过程 | 8 |
| 2.4 机器设计主要考虑的问题及特点 | 9 |
| 2.4.1 机器设计主要考虑的问题 | 9 |
| 2.4.2 机器设计的特点 | 9 |
| 2.5 机器设计的原则 | 12 |
| 2.6 技术、经济评价 | 14 |
| 2.7 机械设计师的社会责任与职业道德 | 15 |
| 习题 | 15 |

第二篇 机构分析与设计及机械系统运动方案设计

| | |
|----------------------|----|
| 第 3 章 机构的结构分析 | 16 |
| 3.1 引言 | 16 |
| 3.2 机构的组成 | 16 |
| 3.2.1 运动副 | 16 |
| 3.2.2 运动链 | 18 |
| 3.2.3 机构 | 18 |
| 3.3 机构运动简图 | 18 |
| 3.4 平面机构的自由度 | 21 |
| 3.4.1 机构的自由度 | 21 |
| 3.4.2 机构具有确定运动的条件 | 21 |
| 3.4.3 计算机构自由度时应注意的问题 | 22 |
| 3.5 平面机构组成原理与分类 | 26 |
| 3.5.1 平面机构的组成原理 | 26 |
| 3.5.2 平面机构的结构分类 | 26 |
| 3.5.3 平面机构的高副低代法 | 29 |
| 习题 | 30 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 第4章 平面连杆机构 | 35 |
| 4.1 引言 | 35 |
| 4.2 铰链四杆机构和其他常用四杆机构 | 35 |
| 4.2.1 铰链四杆机构的基本类型和应用 | 36 |
| 4.2.2 其他常用四杆机构及其演化过程 | 38 |
| 4.3 铰链四杆机构类型的确定和几个基本概念 | 41 |
| 4.4 平面四杆机构的设计 | 46 |
| 4.4.1 图解法 | 47 |
| 4.4.2 解析法 | 50 |
| 4.5 平面多杆机构的应用 | 53 |
| 4.6 连杆机构的运动分析 | 54 |
| 4.6.1 连杆机构运动分析的目的和方法 | 54 |
| 4.6.2 用速度瞬心法对平面连杆机构进行速度分析 | 55 |
| 4.6.3 用矢量方程图解法进行平面机构的速度和加速度分析 | 58 |
| 4.6.4 用解析法进行平面连杆机构的运动分析 | 63 |
| 习题 | 67 |
| 第5章 凸轮机构 | 73 |
| 5.1 引言 | 73 |
| 5.2 凸轮机构的应用及分类 | 73 |
| 5.2.1 凸轮机构的应用 | 73 |
| 5.2.2 凸轮机构的分类 | 74 |
| 5.3 从动件的常用运动规律及其选择 | 76 |
| 5.3.1 凸轮机构的工作过程和常用术语 | 76 |
| 5.3.2 从动件常用运动规律 | 78 |
| 5.3.3 从动件常用运动规律的选择 | 82 |
| 5.4 盘形凸轮轮廓线的设计 | 82 |
| 5.4.1 反转法设计原理 | 82 |
| 5.4.2 图解法设计凸轮轮廓线 | 83 |
| 5.4.3 用解析法设计凸轮轮廓线 | 86 |
| 5.5 凸轮机构基本尺寸的确定 | 88 |
| 5.5.1 凸轮机构中的作用力和压力角 | 88 |
| 5.5.2 凸轮基圆半径的确定 | 89 |
| 5.5.3 滚子半径的选择 | 90 |
| 5.6 凸轮设计和加工时应考虑的问题 | 91 |
| 5.6.1 凸轮设计应考虑的几个问题 | 91 |
| 5.6.2 凸轮制造中应考虑的几个问题 | 92 |
| 习题 | 92 |
| 第6章 齿轮机构 | 95 |
| 6.1 引言 | 95 |
| 6.1.1 齿轮机构的特点 | 95 |
| 6.1.2 齿轮机构的分类 | 95 |

| | | |
|------------|-------------------------------|------------|
| 6.2 | 齿廓啮合基本定律 | 96 |
| 6.3 | 渐开线齿廓 | 97 |
| 6.3.1 | 渐开线的形成 | 97 |
| 6.3.2 | 渐开线的特性 | 98 |
| 6.3.3 | 渐开线齿廓的压力角 | 98 |
| 6.3.4 | 渐开线齿廓的啮合特性 | 99 |
| 6.4 | 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算 | 100 |
| 6.4.1 | 齿轮各部分名称 | 100 |
| 6.4.2 | 基本参数 | 101 |
| 6.4.3 | 几何尺寸计算 | 102 |
| 6.5 | 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动 | 103 |
| 6.5.1 | 正确啮合条件 | 103 |
| 6.5.2 | 无侧隙啮合及标准安装 | 104 |
| 6.5.3 | 重合度 | 107 |
| 6.6 | 渐开线齿廓的切削原理与根切现象 | 110 |
| 6.6.1 | 齿廓切削的原理 | 110 |
| 6.6.2 | 用范成法加工标准齿轮时齿条型刀具的位置 | 113 |
| 6.6.3 | 根切现象与不产生根切的最少齿数 | 113 |
| 6.7 | 变位齿轮和变位齿轮传动简述 | 116 |
| 6.7.1 | 变位齿轮 | 116 |
| 6.7.2 | 变位齿轮传动 | 119 |
| 6.8 | 平行轴斜齿圆柱齿轮传动 | 123 |
| 6.8.1 | 齿廓曲面的形成及啮合特点 | 123 |
| 6.8.2 | 斜齿轮的基本参数 | 124 |
| 6.8.3 | 斜齿轮的啮合传动 | 126 |
| 6.8.4 | 斜齿轮的当量齿数 | 127 |
| 6.8.5 | 斜齿轮传动的主要优缺点 | 128 |
| 6.9 | 蜗杆传动 | 128 |
| 6.9.1 | 蜗杆蜗轮的形成 | 128 |
| 6.9.2 | 蜗杆传动的正确啮合条件 | 129 |
| 6.9.3 | 蜗杆传动的基本参数和几何尺寸计算 | 129 |
| 6.9.4 | 蜗杆传动的特点 | 131 |
| 6.10 | 圆锥齿轮传动 | 131 |
| 6.10.1 | 概述 | 131 |
| 6.10.2 | 直齿圆锥齿轮的当量齿轮及当量齿数 | 132 |
| 6.10.3 | 直齿圆锥齿轮的啮合传动 | 133 |
| 6.10.4 | 直齿圆锥齿轮传动的基本参数和几何尺寸计算 | 134 |
| | 习题 | 135 |
| 第7章 | 齿轮系 | 139 |
| 7.1 | 引言 | 139 |
| 7.1.1 | 定轴轮系 | 139 |
| 7.1.2 | 周转轮系 | 139 |
| 7.1.3 | 复合轮系 | 140 |

| | | |
|------------|-----------------------------|------------|
| 7.2 | 定轴轮系的传动比 | 141 |
| 7.2.1 | 一对齿轮的传动比计算 | 141 |
| 7.2.2 | 平面定轴轮系的传动比计算 | 142 |
| 7.2.3 | 空间定轴轮系的传动比计算 | 143 |
| 7.3 | 周转轮系的传动比 | 143 |
| 7.4 | 复合轮系的传动比 | 147 |
| 7.5 | 轮系的功用 | 149 |
| 7.6 | 行星轮系设计的基本知识 | 152 |
| 7.6.1 | 行星轮系的传动效率 | 152 |
| 7.6.2 | 行星轮系的类型选择 | 154 |
| 7.6.3 | 行星轮系中各轮齿数的选择 | 155 |
| | 习题 | 157 |
| 第8章 | 其他常用机构 | 160 |
| 8.1 | 引言 | 160 |
| 8.2 | 棘轮机构 | 160 |
| 8.2.1 | 组成和工作原理 | 160 |
| 8.2.2 | 类型 | 161 |
| 8.2.3 | 特点和应用 | 162 |
| 8.2.4 | 齿式棘轮机构的设计 | 164 |
| 8.3 | 槽轮机构 | 165 |
| 8.3.1 | 组成和工作原理 | 165 |
| 8.3.2 | 类型 | 166 |
| 8.3.3 | 特点和应用 | 167 |
| 8.3.4 | 设计 | 167 |
| 8.4 | 凸轮式间歇运动机构 | 169 |
| 8.4.1 | 工作原理和类型 | 169 |
| 8.4.2 | 特点和应用 | 169 |
| 8.5 | 不完全齿轮机构 | 169 |
| 8.5.1 | 工作原理和类型 | 169 |
| 8.5.2 | 特点和应用 | 170 |
| | 习题 | 171 |
| 第9章 | 机械系统的方案设计 | 173 |
| 9.1 | 引言 | 173 |
| 9.2 | 机械系统工作原理的拟定及执行机构的运动设计 | 174 |
| 9.2.1 | 机械系统工作原理的拟定 | 174 |
| 9.2.2 | 执行机构的运动设计 | 175 |
| 9.3 | 原动机 | 177 |
| 9.3.1 | 原动机的类型及运动特点 | 178 |
| 9.3.2 | 原动机的选择 | 178 |
| 9.4 | 机构的选型与组合 | 179 |
| 9.4.1 | 机构的选型 | 179 |
| 9.4.2 | 机构的组合 | 181 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 9.5 机械传动系统的方案设计 | 184 |
| 9.5.1 机械传动类型及其选择 | 185 |
| 9.5.2 传动链的方案设计 | 186 |
| 9.6 机械系统的运动方案设计实例 | 188 |
| 习题 | 193 |

第三篇 机械系统动力学

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 第 10 章 平面机构的力分析 | 194 |
| 10.1 引言 | 194 |
| 10.1.1 机构力分析的目的和方法 | 194 |
| 10.1.2 作用在机械上的力 | 195 |
| 10.2 运动副中的摩擦 | 195 |
| 10.2.1 移动副中的摩擦 | 195 |
| 10.2.2 转动副中的摩擦 | 197 |
| 10.3 用图解法进行机构的动态静力分析 | 199 |
| 10.4 考虑摩擦时机机构的受力分析 | 201 |
| 10.5 机械的效率 | 203 |
| 10.6 机械的自锁 | 205 |
| 10.6.1 移动副的自锁条件 | 205 |
| 10.6.2 转动副的自锁条件 | 205 |
| 10.6.3 机械发生自锁的条件 | 206 |
| 习题 | 207 |
| 第 11 章 机械运动方程和速度波动调节 | 209 |
| 11.1 引言 | 209 |
| 11.2 机械的运转过程 | 209 |
| 11.3 机械的等效动力学模型 | 210 |
| 11.3.1 等效动力学模型 | 210 |
| 11.3.2 等效参数的确定 | 210 |
| 11.4 机械运动方程式的建立及求解 | 212 |
| 11.4.1 机械运动方程式的建立 | 212 |
| 11.4.2 机械运动方程式的求解 | 214 |
| 11.5 机械周期性速度波动及其调节 | 215 |
| 11.5.1 周期性速度波动 | 215 |
| 11.5.2 平均角速度和速度不均匀系数 | 216 |
| 11.5.3 飞轮转动惯量的计算 | 217 |
| 习题 | 219 |
| 第 12 章 机械的平衡 | 222 |
| 12.1 引言 | 222 |
| 12.1.1 机械平衡的目的 | 222 |
| 12.1.2 机械平衡的内容 | 222 |
| 12.2 刚性转子的平衡计算 | 223 |

| | | |
|-------------|-----------------|-----|
| 12.2.1 | 静平衡计算 | 223 |
| 12.2.2 | 动平衡计算 | 224 |
| 12.3 | 刚性转子的平衡试验 | 225 |
| 12.3.1 | 静平衡试验 | 225 |
| 12.3.2 | 动平衡试验 | 226 |
| 12.3.3 | 转子的许用不平衡量 | 226 |
| 12.4 | 平面机构的平衡简述 | 228 |
| | 习题 | 230 |
| 参考文献 | | 232 |

第一篇 导 论

第 1 章 绪 论

在生产过程中直接运用电力或其他动力来驱动或操纵机械设备代替手工劳动进行生产的措施称为机械化，机械化是提高劳动生产率和减轻体力劳动的重要途径。机械化代替手工工具，提高劳动生产率，是社会生产力发展到一定阶段的必然产物。毫无疑问，机械化的核心是机械设备。因此，装备制造业是国民经济持续发展的基础，是工业化、现代化建设的发动机和动力源，是技术进步的主要舞台、国防安全的保障、发展现代文明的物质基础。没有先进的装备制造业去不断地、持续地武装、改造和提升各产业部门的装备和生产运行水平，实现对环境友好的可持续发展，就谈不上现代化。对中国这样的人口大国，没有自己的强大装备制造业，要实现工业化和可靠的现代化是不可能的。我国在 20 世纪下半叶，通过自力更生、艰苦奋斗，启动了工业化进程，建立了较为完整的工业体系，但是与发达国家相比，我国的装备制造业还有较大差距。我国虽有不少产品产量已居世界前列，但技术含量和产品附加价值较低。十六大报告指出：“用高新技术和先进适用技术改造传统产业，大力振兴装备制造业。”提高我国装备制造业水平的核心工作之一是提高装备制造业企业的研制开发和技术创新能力，提高核心竞争力。设计工作是装备制造业的命脉，企业要不断推出具有竞争力的产品，必须有先进的设计。

1.1 机器的组成

1. 机器的组成

机器是执行机械运动的装置。一台机器一般由动力部分（原动机）、传动部分、执行部分（工作部分）、操纵监测控制系统和辅助系统（润滑、照明等）组成，如图 1-1 所示。

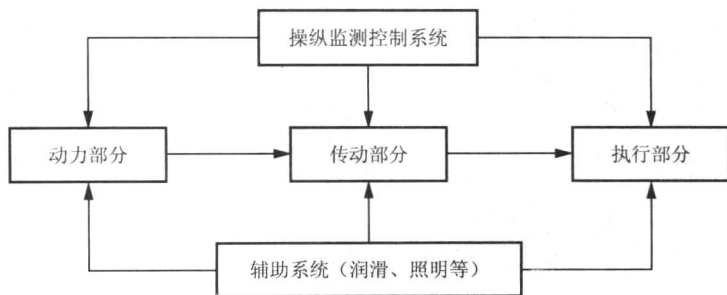


图 1-1 机器的组成

按工作类型来分，机器可以分为三类：动力机器、工作机器和信息机器。

动力机器的功能是将非机械能转化为机械能，或将机械能转化成其他形式的能量，如内燃机、电动机和发电机都是动力机器。

工作机器的功能是完成有用的机械功或移动物品，如金属切削机床、汽车、飞机、水压机、吊车和输送机等。

信息机器的功能是完成信息的传递和转换，如复印机、绘图机、照相机、传真机等。

图 1-2 所示为一台带式输送机，其功能是输送物料。它主要由电动机、减速器、输送带及其支承轴、联轴器、机架和操纵系统等组成。电动机进行能量转换输出运动和机械能，通过联轴器，经减速器减速增扭，再经联轴器带动输送带按设计的速度运行，实现物料的输送。

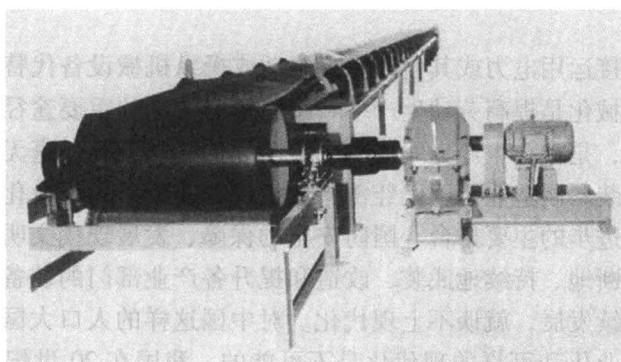


图 1-2 带式输送机

图 1-3 所示为一台全功能数控车床。数控车床一般由以下几部分组成：主机——数控车床的机械部件，包括床身、主轴箱、刀架尾座、进给机构等；数控装置——数控车床的控制核心，其主体是控制数控系统运行的一台计算机；伺服驱动系统——数控车床切削工作的动力部分，实现主运动和进给运动；辅助装置——数控车床的一些配套部件，包括液压、气动装置及冷却系统、润滑系统和排屑装置等。数控车床能对轴类或盘类等回转体零件自动完成内、外圆柱面，圆锥面，圆弧面和直、锥螺纹等工序的切削加工，并能进行切槽、钻、扩和铰等工作。

图 1-4 所示为单缸往复式内燃机。活塞式内燃机将燃料和空气混合，在其气缸内燃烧，释放出的热能使气缸内产生高温、高压的燃气。燃气膨胀推动活塞做功，再通过曲柄滑块机构或其他机构将机械功输出，驱动从动机械工作；常用凸轮机构控制气门运动。

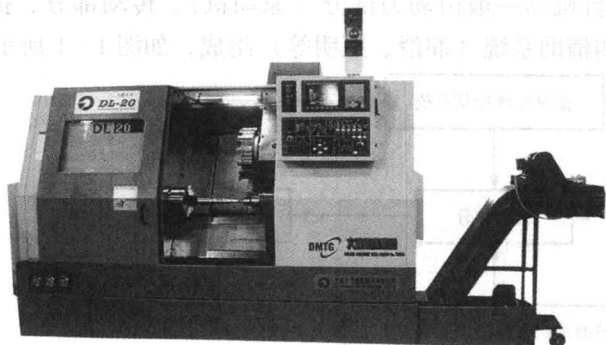


图 1-3 数控车床



图 1-4 内燃机



2. 有关名词

机械是机器和机构的总称。机构是用来进行运动变换和传递力的最简单的机械系统，如曲柄连杆机构。一台机器至少有一个机构。构件是机构的运动单元。组成机器的不可拆的基本单元叫做机械零件或零件，如螺钉、齿轮、轴、弹簧等。为完成同一功能在结构上组合在一起的若干零件叫做机械部件或部件，如联轴器、轴承等。在机械设计领域，一般把零件和部件泛称为零件。各种机器中普遍使用的零件叫做通用零件，如齿轮、轴、螺栓、轴承等。按国家标准或行业标准生产的零件称为标准件。

1.2 本书与机械原理和机械设计课程的关系

1. 机械设计、机器设计和机械零件设计

在我国，机械设计一般有两个含义，在机械工程领域，机械设计指机械方面产品的设计，包含机器的设计、机械零部件的设计，甚至包括机械系统的设计和机械装置（如夹具）的设计。在高等工程教育领域，机械设计是主要讲授机械零部件设计的一门课程。我国从20世纪50年代初到1987年，在学习苏联的背景下，设置了机械原理和机械零件课程，1987年机械零件课程改为机械设计课程。在我国，通常定义机械是机构和机器的统称。因此，按我国目前机械设计课程教学内容看，课程名称和课程内容有某些不对应。

根据机械原理和机械设计课程教学的基本要求，这两门课程研究的内容都属于机械设计范畴。

因此，有理由认为，应该把机械设计与机器设计、机械零件设计区分开来。因此，本书中使用机器设计、机构设计（综合）、机械零件设计等术语，而不是笼统地使用“机械设计”这一术语。机器设计、机构设计（综合）、机械零件设计等都是机械设计的具体内容。

明确机械设计、机器设计和机械零件设计区别的另一个考虑是，在研究对象、研究内容等方面，机器设计和机械零件设计有明显的区别。机器设计从满足机器的功能、性能的角度，从整体和系统的角度研究设计机器的问题；机械零件设计主要研究为实现对机器功能和性能的要求，设计具体机械零件的问题。

2. 本书与机械原理和机械设计课程的关系

本书分上、下册，主要包含五篇内容，即导论、机构分析与设计和机械系统运动方案设计、机械系统动力学、机械零件设计和现代设计方法简介。内容覆盖我国本科机械类专业的机械原理和机械设计课程内容。机构分析与设计和机械系统运动方案设计、机械系统动力学两篇包含了机械原理课程教学基本要求的主要内容，机械零件设计一篇包含了机械设计课程教学基本要求的主要内容。

机械是机构和机器的统称，机器设计的重要内容之一是机械运动学和动力学设计。因此，概念上机械设计包含机构分析设计、机器运动系统设计及机械系统动力学的内容（即机械原理的内容）。从机械工程实际看，其重要内容之一是机器的设计及制造（研发）。如前所述，机器设计的重要内容之一是机械运动学和机械系统动力学设计。因此，机械设计工作同样包含机械原理课程的内容。所以，我们认为，无论从概念还是从工程实践看，机械原理课程的内容都是机械设计的一部分，编写一本《机械设计》教材，其内容涵盖机械原理和机械设计课程内容，符合机械设计的内涵和机械工程实践。

与机械原理和机械设计课程教学大纲要求相比,本教材还增添了部分内容,主要是有关机器设计和现代设计方法的内容。

1.3 课程的任务和学习方法

1. 机械原理和机械设计课程的任务

机械原理课程的任务是:掌握机构学和机器动力学的基本知识、基本理论和基本技能,学会常用机构的分析和设计方法,并具备常用机构分析设计的能力、进行简单机械系统运动方案设计的初步能力。

机械设计课程的任务是:掌握机器设计的基本知识和机械零件设计的基本理论和方法,具备对机械工程问题进行系统表达、建立模型、分析求解和论证的能力,具备设计常规条件下通用机械零件的能力和设计简单机器的能力。

2. 机械原理和机械设计课程的学习方法

机械原理和机械设计课程的特点是:研究内容多,包括设计机器的基本知识,机构分析及机械系统运动方案设计的基本知识、基本理论和方法,通用机械零件设计的基础知识、基本理论和方法等,以及设计工程师的社会责任等,涉及许多概念、理论、方法、公式、图表等;与先修课程联系多,联系较多的有机械制图、高等数学、材料力学、工程材料和成型技术基础等课程;与机械工程实际联系紧密,实践性强。

机械原理和机械设计课程是机械工程专业培养学生机械设计能力的主干课程,一般称之为技术基础课。机械原理和机械设计课程不仅为专业课程学习提供基础,在该课程中讲授的知识和培养的能力是机械设计人员在设计机械产品过程中直接需要的。

对于机械原理和机械设计课程的学习,有以下建议,供参考。

树立“装备制造业是国民经济的基础产业,设计工作是装备制造业的命脉”的观念,要热爱机械行业,坚信在装备制造业有用武之地、可以发挥自己的才干。

掌握机械设计的基本知识、基本理论和基本方法,重视实践环节。人的能力必须通过主体的积极活动才能得到发展,认真完成习题、大作业、课程设计等内容。

机械原理和机械设计课程研究的内容是有规律的。常用机构及其设计部分,基本按机构组成和分类、机构的特性和有关理论、机构设计的顺序论述;机械零件设计部分基本沿以下主线论述:①机械零件的结构、工作原理、标准、选材、特点和应用;②工作情况、受力和应力分析;③参数设计、结构设计和选型,包括失效形式和原因、设计准则、设计方法和步骤等;④润滑密封、安装维护等。

在学习中,要掌握相关理论和方法、寻找研究规律,举一反三,提高分析和设计能力。

注意教材和设计手册中公式、图表的使用,注意设计工作要符合有关标准。

1.4 单 位

单位是量度中作为记数单元所规定的标准量,如米为计量长度的单位。我国采用的是国际单位制。单位制就是在选定了基本单位以后,再以一定的关系由基本单位构成一系列导出

单位, 这样的基本单位和导出单位构成的一个完整的单位体系就叫单位制。

我国的法定计量单位包括:

- (1) 国际单位制的基本单位;
- (2) 国际单位制的辅助单位;
- (3) 国际单位制中具有专门名称的导出单位;
- (4) 国家选定的非国际单位制单位;
- (5) 由以上单位构成的组合形式的单位;
- (6) 由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位。

国际单位制是以长度的米、质量的克、时间的秒、电流的安培、热力学温度的开尔文、物质的量的摩尔和发光强度的坎德拉 7 个单位为基本单位, 以平面角的弧度、立体角的球面度两个单位为辅助单位, 以及按一贯制原则导出的单位所构成的单位制。国际单位制具有统一性、简明性、实用性、合理性、精确性及继承性等优点。

在讲英语的国家中, 还普遍使用的是英尺-磅力-秒制 (FPS) 或英寸-磅力-秒制 (IPS)。

学生在做习题时应仔细检查所列方程的单位, 在毕业后工作时更应该如此。如果不检查单位, 有可能产生错误。

顺便介绍一下数值的精确度。具有八位或十位或更多位显示能力的计算机很容易得到更高的精确度。当人们计数时, 其结果总是精确的。例如, 人们要购买 8 个螺栓, 总可以不多不少地恰好买到 8 个。但是测量总是得到近似值。例如, 有人称自己的体重, 可以得到的体重是 65kg, 这并不表明是 65.000kg, 因为小数点后的三个零表明能读到千分之几千克的刻度。所以, 65kg 仅仅意味着比起 64kg 或 66kg 来这个人的体重更接近 65kg。任何一个数值, 其隐含的精确度是加减用来确定数值的最后一位有效数的一半。例如, 用最小分度值为 0.1 单位的直尺测量一个杆的长度为 18.5, 有效数值有三位, 这个测量值的精确度为 ± 0.05 。写成 18.50 的数值包括四位有效数字, 意味着精确度为 ± 0.005 。2.80E-03 与 0.00280 相等且有三位有效数字。去掉非有效数字的过程叫圆整, 圆整的规则见有关文献。

数值作乘法和除法运算的结果的有效位数不大于具有最小有效位数的精确值的有效位数。例如

$$1.68 \times 104.2 = 175.056$$

应圆整为 175, 因为 1.68 有三位有效数。

数值作加法和减法运算时, 在运算前将所有的数值圆整到比最小精确度的数值的有效位数向右多一位有效数; 然后进行运算; 最后, 将答数圆整到和最小精确度的数值具有相同的有效位数。例如, 计算以下各数的和:

$$A = 104.2 + 1.687 + 13.46$$

在这些数值中, 104.2 具有最小精确度, 利用圆整规则, 先计算:

$$A = 104.2 + 1.69 + 13.46 = 119.35$$

再将结果圆整到 119.4。

习题

- 1-1 机械设计课程研究的内容是什么?
- 1-2 机械设计课程主要培养哪些能力?

第 2 章 机器设计概述

2.1 设计的概念

“设”的含义之一是筹划，“计”有主意、谋划的意思。作为动词，设计的核心意思是谋划、确定方案。《现代汉语小词典》对“设计”的解释是：在正式做某项工作之前，根据一定的目的和要求，预先制定方法、图样等，也就是对某项工作制订计划或实施的依据。

图 2-1 所示是大家熟悉的赵州桥，建于隋代，由著名匠师李春设计和建造，距今已有约 1400 年的历史，是世界上现存最早、保存最完善的古代敞肩石拱桥。可以证明，优秀的设计是这座著名桥梁的基础。

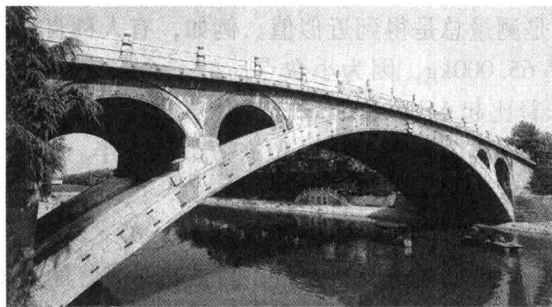


图 2-1 赵州桥

图 2-2 所示是空客 380 飞机，能载客 550 余人。据文献介绍，一架大型飞机有数百万个零件，对于这样复杂的机器，设计的重要性不言而喻。



图 2-2 空客 380 飞机

一般地，设计是许多专业的重要工作内容，内容却大相径庭。建筑设计是制定符合功能要求、与周围环境协调、具有美和文化特征的建筑物施工依据；电气工程师设计控制系统则确定控制原理、选择硬件、布线等；服装设计是设计师根据设计对象的要求进行构思，并绘制出效果图、平面图，再根据图样进行制作，完成设计的全过程。设计兼有技术和艺术的属性。

设计作为一项工作，其目标是获得图样、图案和计划等，出发点是某种需要，过程是设计



工程师(设计师)在约束范围内,通过分析、构思、计算、判断、选择和实验等,得到实现某种需要的计划或实施依据的过程。从设计角度讲,机械设计是根据功能和性能要求,对机器的工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式、各个零件的材料和结构、润滑方法等进行构思、分析和计算并将其转化为具体的描述以作为制造的依据的工作过程,是一项创造性工作。

机械产品的竞争力主要取决于质量和价格,产品质量主要取决于精心设计、优异制造和严格管理,设计是基础。

优秀的产品必然以独特的设计思维为基础,优秀的产品可以让人们看到设计团队或个人设计思维的力量和作用。

对机械产品的功能和性能要求越高,机械产品越复杂,影响其功能和性能的因素越多,各因素与功能和性能的关系越复杂,设计中要分析讨论的内容越多,设计越重要。

鉴于设计对机械产品的重要作用,国内外的科技工作者在探讨设计规律和提高产品的设计质量方面进行了许多工作,提出了数十种设计理论和方法,如普适设计方法学、公理化设计理论、TRIZ 发明解决问题的理论、QFD 设计法、三次设计法、创新设计、绿色设计、功能设计、机构设计、智能设计、可靠性设计、摩擦学设计、优化设计、虚拟设计、数字化设计等。由于人和生产对机械产品功能和性能的要求不断提高、影响功能和性能的因素众多、功能和性能与影响功能和性能的因素的关系的复杂性及企业的实际情况不同,还没有一个设计理论或方法能适应任何设计,这也注定还会不断出现新的设计理论和方法。

2.2 机器设计的目标与内容

1. 机器设计的目标

机器设计的目标主要有技术目标、经济目标、时间目标、售后目标、环境目标等。技术目标指功能目标和性能目标,功能目标分为主功能目标和辅助功能目标;性能目标主要包含功能保障指标、安全性指标、可靠性指标和效率指标。经济目标指设计、制造成本低。时间目标指设计、制造周期指标,或者说,机器制造商对客户要求能快速反应。售后目标主要指方便维修和再制造。环境目标指对环境的影响和能源消耗指标。

机器是一种产品,在社会上流通、使用。因此,用户和社会对机器的要求就是设计目标。设备用户对机器的要求有:满足生产(生活)需要、技术先进、经济合理、供货周期短、维修维护方便和符合法律法规等。设计师追求的设计目标涵盖了用户的要求。例如,技术目标体现了“满足生产(生活)需要”、“技术先进”的要求;经济目标体现了“经济合理”的要求;时间目标体现了“供货周期短”的要求;售后目标体现了“维修维护方便”的要求。社会对机器的要求基于平衡机器用户利益和非所有者利益,并考虑社会的可持续发展。因此,提出的设计要求主要是保证安全可靠、对环境的破坏性要小、资源的利用率要高和保护知识产权等,体现在技术目标、环境目标和法律目标上。

设计目标对设计过程起指导作用。设计师对设计目标的深刻理解是设计优秀产品的基础。设计师应根据机器应用场合等具体情况,明确优先考虑的设计目标。

2. 机器设计的内容

机器是人为实物组合体,执行机械动作,能实现预期功能要求。因此,机器设计内容主要包含:工作原理选择、运动方案设计、机器总体结构设计、机械零部件设计、外观设计、