



教育部高等职业教育示范专业规划教材

# 机械基础

(工程力学分册)

JIXIE JICHU

曾德江 黄均平 主编



赠电子课件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

全书采用模块化方式构建课程内容体系, 课程内容由 4 个模块, 20 个单元组成。

第一模块是静力学基础, 主要介绍静力学的基本知识, 构件的受力分析、力系简化和构件的平衡计算; 第二模块是材料力学基础, 主要介绍构件在外力作用下产生变形的受力特点和变形特点, 构件的强度和刚度计算; 第三模块是常用机构和机械传动, 主要介绍常用机构工作原理、运动特点、应用及设计的基本知识, 通用零件的工作原理、结构特点、标准及其选用和设计的基本方法, 以及机械润滑与密封的基本知识; 第四模块是联接与轴系零部件, 主要介绍螺纹联接、键联接、销联接、联轴器、离合器、轴和轴承的结构、特点及其选用和设计的基本方法。

全书分为工程力学分册和机械原理与零件分册出版, 工程力学分册包括绪论、第一模块(静力学基础)、第二模块(材料力学基础)和附录; 机械原理与零件分册包括第三模块(常用机构和机械传动)、第四模块(联接与轴系零部件)和附录。

本书内容丰富, 案例取材新颖, 重点突出, 重视知识的应用和实践技能的培养, 可作为高职高专机电类及其相关专业的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

为方便教学, 本书配有免费电子课件等, 凡选用本书作为授课用书的学校, 均可来电索取, 咨询电话: 010-88379375; E-mail: cmpgaozhu@sina.com。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械基础 工程力学分册/曾德江, 黄均平主编 —北京: 机械工业出版社, 2010 1  
教育部高等职业教育示范专业规划教材

ISBN 978-7-111-28992-0

I 机… II ①曾…②黄… III. ①机械学-高等学校: 技术学校-教材②机械工程: 工程力学-高等学校: 技术学校-教材 IV TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 201527 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 于宁 责任编辑: 王宗锋

版式设计: 霍永明 封面设计: 马精明

责任校对: 闫玥红 责任印制: 杨曦

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·9 印张·222 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7 111 28992-0

定价: 17.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010)88379649

读者服务部: (010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书按照高等职业教育教学和改革要求，以生产实际所需的基本知识、基本理论和基本技能为基础，打破了“工程力学”、“机械设计基础”课程的界限，以培养学生的机械系统分析、创新能力和综合知识应用能力为主线，将“工程力学”、“机械设计基础”两门课程的教学内容进行有机整合精炼、充实，并辅以创新思维法则等内容，突出了实用性和综合性。注重对学生的动手能力、工程实践能力等的训练和综合能力的培养。

1. 本书采用模块化方式构建课程内容体系，课程内容由4个模块，20个单元组成。为适应不同专业和教学需求，全书分为两册：工程力学分册和机械原理与零件分册。工程力学分册由第一模块和第二模块组成，适用于50学时左右教学选用；机械原理与零件分册由第三模块和第四模块组成，适用于60学时左右教学选用，全书适用于110学时左右的教学选用。

2. 本书的每个单元都是以某一综合案例作为导入引出工程实际问题，阐述学习目标。综合案例始终贯穿于整个教学单元，学习目标和能力目标则通过由简单到复杂案例的训练得以实现。本书所选教学案例注重实用性、典型性、覆盖性、综合性和趣味性。

3. 本书配有电子课件，课件中的综合案例配有动画素材，可方便教师授课和学生学习。

本书由广东机电职业技术学院曾德江老师和重庆工程职业技术学院黄均平老师主编，广东机电职业技术学院朱中仕老师、龙贞老师参加编写。编写分工如下：第1、2、3、7、8、10、17单元由曾德江老师编写；第4、5、6、9、13单元由朱中仕老师编写；第11、12、14、20单元由龙贞老师编写，第15、16、18、19单元由黄均平老师编写。教材配套课件部分动画由广东机电职业技术学院陈平老师制作。

广东机电职业技术学院陈力捷老师担任工程力学分册主审，广东机电职业技术学院漆军老师担任机械原理与零件分册主审，他们对书稿进行了认真细致的审阅，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏及不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

第1单元 绪论 .....	1	1.1 机器的认知 .....	1
学习目标 .....	1	1.2 本课程的性质、研究内容及任务 .....	4
学习重点和难点 .....	1	1.3 本课程的学习方法 .....	5
案例导入 .....	1	习题1 .....	6

## 第一模块 静力学基础

第2单元 静力学基本概念及受力分析 .....	8	3.1 平面汇交力系 .....	23
学习目标 .....	8	3.1.1 平面汇交力系合成的几何法与平衡的几何条件 .....	24
学习重点和难点 .....	8	3.1.2 平面汇交力系合成的解析法与平衡的解析条件 .....	26
案例导入 .....	8	☆综合案例分析 .....	28
2.1 静力学基本概念 .....	8	3.2 力矩与平面力偶系 .....	29
2.1.1 刚体 .....	9	3.2.1 力对点之矩 .....	29
2.1.2 力 .....	9	3.2.2 力偶的概念 .....	31
2.1.3 力系 .....	10	3.2.3 力偶的性质 .....	32
2.2 静力学基本公理 .....	10	3.2.4 平面力偶系的合成与平衡 .....	32
2.3 约束与约束力 .....	12	3.2.5 力的平移定理 .....	34
2.3.1 约束与约束力的概念 .....	12	☆综合案例分析 .....	35
2.3.2 工程中常见的约束类型 .....	13	3.3 平面任意力系 .....	36
2.4 物体的受力分析与受力图 .....	17	3.3.1 平面任意力系的简化 .....	37
☆综合案例分析 .....	19	3.3.2 平面任意力系的平衡方程及应用 .....	38
习题2 .....	20	3.3.3 物体系统的平衡问题 .....	40
第3单元 平面力系 .....	23	☆综合案例分析 .....	42
学习目标 .....	23	习题3 .....	43
学习重点与难点 .....	23		
案例导入 .....	23		

## 第二模块 材料力学基础

第4单元 轴向拉伸与压缩 .....	48	案例导入 .....	48
学习目标 .....	48	4.1 概述 .....	48
学习重点和难点 .....	48	4.1.1 构件的承载能力 .....	48

4.1.2 弹性体及其基本假设	49	6.3 圆轴扭转时横截面上的应力	83
4.1.3 杆件变形的基本形式	49	6.3.1 圆轴扭转时横截面上的切应力	83
4.2 轴向拉伸与压缩的概念	50	6.3.2 极惯性矩 $I_p$ 和抗扭截面 系数 $W_p$	84
4.3 轴力和横截面上的应力	51	6.4 圆轴扭转的强度计算	86
4.3.1 拉(压)杆的内力与截面法	51	6.4.1 圆轴扭转的极限应力与许用 应力	86
4.3.2 拉(压)杆横截面上的应力	53	6.4.2 圆轴扭转的强度条件	86
4.4 轴向拉伸与压缩杆的变形		6.5 圆轴扭转的刚度计算	87
胡克定律	55	6.5.1 扭转角的计算	87
4.5 拉伸和压缩时材料的力学性能	57	6.5.2 圆轴扭转的刚度条件	88
4.5.1 低碳钢拉伸时的力学性能	58	☆综合案例分析	89
4.5.2 其他几种材料在拉伸时的力学 性能	60	习题6	89
4.5.3 材料压缩时的力学性能	61	<b>第7单元 平面弯曲</b>	91
4.6 轴向拉伸与压缩杆的强度计算	62	学习目标	91
4.6.1 极限应力、许用应力与安全 系数	62	学习重点和难点	91
4.6.2 拉(压)杆的强度计算	62	案例导入	91
4.6.3 拉(压)杆的强度条件的应用	63	7.1 平面弯曲的概念	91
4.7 应力集中的概念	64	7.2 梁的计算简图及分类	92
☆综合案例分析	65	7.3 梁的内力——剪力和弯矩	93
习题4	66	7.3.1 剪力和弯矩	93
<b>第5单元 剪切与挤压</b>	69	7.3.2 确定剪力和弯矩的大小	94
学习目标	69	7.3.3 $F_Q$ 与 $M$ 的正负号规定	94
学习重点和难点	69	7.4 剪力图和弯矩图	96
案例导入	69	7.5 剪力图和弯矩图的特点及简捷作法	100
5.1 剪切与挤压的概念	69	7.5.1 $F_Q(x)$ 、 $M(x)$ 与载荷集度 $q(x)$ 之间的微分关系	100
5.2 剪切的实用计算	71	7.5.2 $F_Q$ 图和 $M$ 图的特点	101
5.3 挤压的实用计算	72	7.5.3 $F_Q$ 图和 $M$ 图的简捷作法	102
☆综合案例分析	76	7.6 纯弯曲时梁横截面上的应力	103
习题5	76	7.6.1 纯弯曲的概念	103
<b>第6单元 圆轴扭转</b>	79	7.6.2 横截面上应力的分布规律	104
学习目标	79	7.6.3 正应力计算公式	105
学习重点和难点	79	7.7 梁的正应力强度计算	106
案例导入	79	7.7.1 最大弯曲正应力和抗弯截面 系数	106
6.1 圆轴扭转的概念	79	7.7.2 梁的弯曲强度条件	108
6.2 扭矩和扭矩图	80	7.8 提高梁弯曲强度的主要措施	111
6.2.1 外力偶矩的计算	80	7.9 梁变形的概念	113
6.2.2 圆轴扭转时横截面上的内力—— 扭矩	80	☆综合案例分析	114
6.2.3 扭矩图	82		

习题7 .....	116	8.3 圆轴弯曲与扭转组合变形的	
<b>第8单元 组合变形的强度计算</b> .....	119	强度计算 .....	124
学习目标 .....	119	☆综合案例分析 .....	127
学习重点和难点 .....	119	习题8 .....	129
案例导入 .....	119	<b>附录</b> .....	131
8.1 组合变形的概念 .....	119	<b>参考文献</b> .....	138
8.2 拉伸（压缩）与弯曲组合变形的			
强度计算 .....	120		

# 第1单元 绪 论

## 【学习目标】

了解机械的发展历史，掌握与机械相关的基本概念。

了解本课程的研究对象、性质、内容及教学任务。

## 【学习重点和难点】

机器的组成及其特征。

机械、机器、机构、构件及零件等概念。

## 【案例导入】

图 1-1 所示的自动组装机，是由工业可编程序控制器进行控制、安全检测、质量检测、计数的六工位组成的组装机；可以根据需要设计相应的夹具及工装，代替人完成产品的装配任务。本单元通过对此案例的分析得出机器的共同特征，引出机械、机器与机构、构件与零件等与机械相关的基本概念，并介绍本课程所应掌握的知识点。

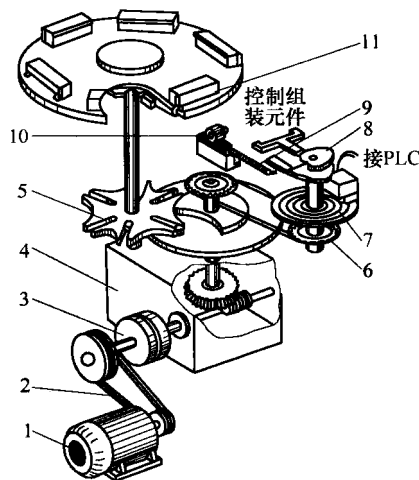


图 1-1 自动组装机传动系统图

1—电动机 2—传动带 3—电磁离合器 4—变速箱 5—槽轮机构 6—链传动  
7—信号采集器 8—凸轮机构 9—齿条 10—齿轮 11—夹具

## 1.1 机器的认知

本课程的研究对象是机械。机械是机器和机构的总称。

机械是人类在长期的生产和生活实践中被创造并发展的，是转换能量和减轻人类劳动、提高生产率的主要工具，也是社会生产力发展水平的重要标志。机械工业是国民经济的支柱产业之一。当今社会高度的物质文明是以近代机械工业的飞速发展为基础建设起来的，人类

生活的不断改善也与机械工业的发展紧密相连。

我国古代在机械研制方面有许多杰出的发明创造，如三千多年前已开始使用简单的纺织机械，晋朝时在连机椎和水碾中应用了凸轮原理，西汉时应用了齿轮和轮系传动原理制成了指南车（图 1-2）和记里鼓车，东汉张衡利用连杆机构发明了世界上第一台地震仪——候风地动仪（图 1-3）。

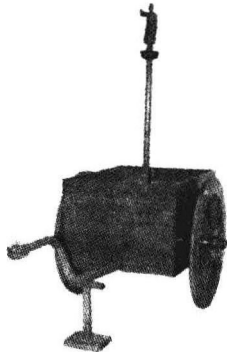


图 1-2 指南车

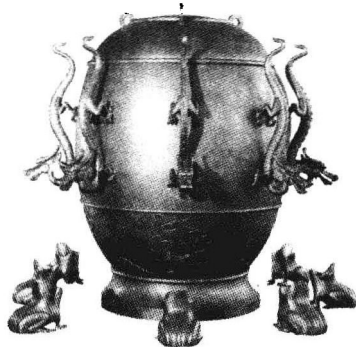


图 1-3 候风地动仪

18 世纪初以蒸汽机的出现为代表的第 1 次产业革命，人们开始设计制造各种各样的机械，例如纺织机（图 1-4）、火车、汽轮船。

19 世纪到 20 世纪初的第 2 次产业革命，随着内燃机的出现，促进了汽车、飞机等运输工具的出现和发展。1886 年，德国工程师卡尔·本茨发明了世界上第一辆汽车（图 1-5）；1927 年美国林德伯格驾驶着“圣路易斯精神”号飞机完成了人类首次不着陆飞越大西洋的壮举。

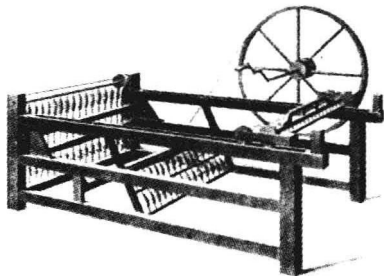


图 1-4 哈格里沃斯发明的“珍妮纺纱机”

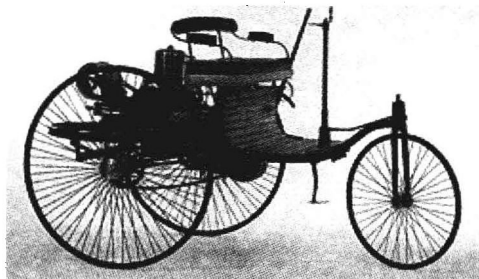


图 1-5 1886 年发明的世界上第一辆汽车

20 世纪中后期，以机电一体化技术为代表，在机器人、航空航天，海洋舰船等领域开发出了众多高新机械产品，如火箭、卫星、宇宙飞船、空间站、航空母舰和深海探测器等。

21 世纪随着智能机械、微型机构、仿生机械的蓬勃发展，将促进材料、信息、计算机技术、自动化等领域的交叉与融合，进一步丰富和发展机械学科知识。

在人们的生产和生活中广泛地使用着各种类型的机器，常见的如内燃机、汽车、火车、飞机、机床、缝纫机、机器人、包装机、洗衣机等。它们的组成、功用、性能和运动特点各不相同，但却有其共同的特征。

图 1-1 所示为自动组装机器的传动系统图，电动机 1 通过传动带 2 和变速箱 4 可以将电动



机的转动改变；电磁离合器3通过控制自动离合；槽轮机构5将连续的转动改变为工作台的间歇运动；链传动6与工作台的主轴同步转动带动PLC信号采集器7，使信息的采集、反馈与机械的转动同步；各工位可根据需要设计结构，其中一个位置的工作装置是通过凸轮机构8、齿轮10与齿条9组成，完成一个工位的组装动作；夹具11与工装位置相对应，并可根据需要夹持或固定零件。这一系列运动的配合是通过信号的接收、信息的反馈和控制器的处理来完成的。信号采集器通过链传动与工作台的主轴同步转动，使整机的运动可以随机械传动速度的快慢同步进行，转动速度则通过电动机进行变频调速来完成无级变速。

发动机是多缸活塞式内燃机，图1-6所示为其单缸的工作原理，主体部分是由缸体4、活塞3、连杆2和曲轴1等组成。当燃气在缸体内腔燃烧膨胀而推动活塞3移动时，通过连杆2带动曲轴1绕其轴线转动。

为使曲轴连续转动，必须定时地送进燃气和排出废气，这些动作由缸体两侧的凸轮5，通过推杆6、摆杆7，推动阀门杆8，使其定时关闭和打开来实现的（进气和排气分别由两个阀门控制）。

齿轮9、10、11则用来保证排气阀8与活塞3之间保持某种配合关系。

以上各个构件协同工作的结果，就是将燃气燃烧的热能转变为曲轴转动的机械能，从而使这台机器由曲轴输出旋转运动和驱动力矩，成为能做有用功的机器，使飞机飞行、汽车行驶、船舶航行等。

通过上述实例分析及生产、生活中所见到的其他机器可以看出：机器的种类繁多，各类机器的功用不同，因此工作原理和结构特点也不相同，但是作为机器，它们有着共同的特征：

- 1) 它们是由许多人为实物的组合。
- 2) 各实物之间具有确定的相对运动。
- 3) 能代替或减轻人类的劳动，以完成有效的机械功，或进行能量转换。

凡具备上述三个特征的实物组合就称为机器。机器种类繁多，其结构形式和用途各不相同。然而，作为一部完整的机器就其功能而言，一般由五个部分组成。图1-7为洗衣机（机器）的五个组成部分。

(1) 动力部分 它是驱动整个机器完成预期功能的动力源，各种机器广泛使用的动力源有电动机、内燃机等。

(2) 执行部分（又称为工作部分）它是机器中直接完成工作任务的组成部分，如洗衣机的滚筒、起重机的吊钩、车床的车刀等。其运动形式，根据机器的用途不同，可能是直线运动，也可能是回转运动或间歇运动等。

(3) 传动部分 它介于动力部分和执行部分之间，用于完成运动和动力传递及转换的部分。利用它可以减速、增速、调速（如机床变速箱）、改变转矩以及改变运动形式等，从而满足执行部分的各种要求。

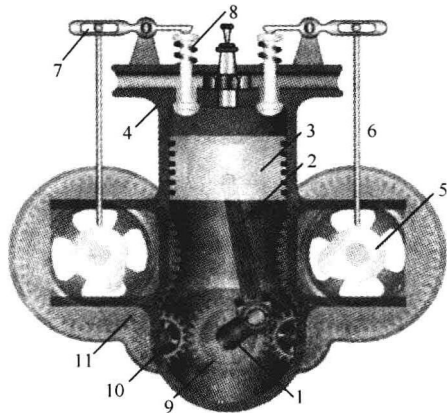


图 1-6 发动机示意图

1—曲轴 2—连杆 3—活塞 4—缸体 5—凸轮  
6—推杆 7—摆杆 8—阀门杆 9、10、11—齿轮

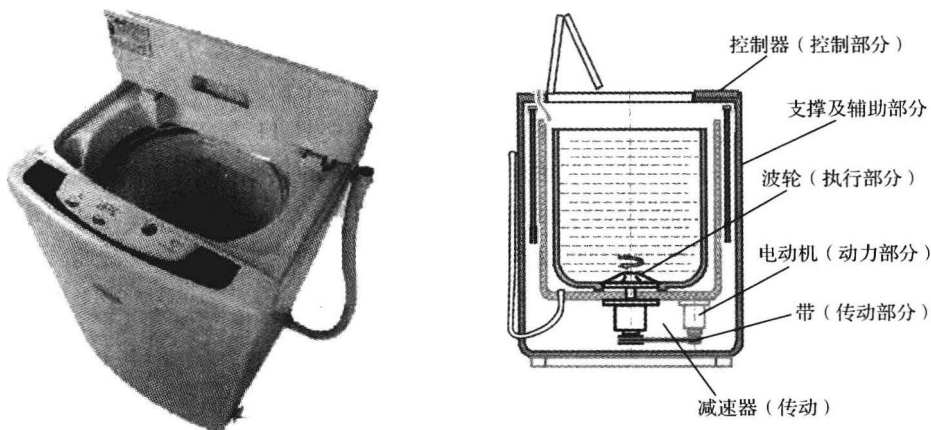


图 1-7 洗衣机（机器）的五个组成部分

(4) **操纵部分和控制部分** 操纵部分和控制部分都是为了使动力部分、传动部分、执行部分彼此协调工作，并准确可靠地完成整机功能的装置。

(5) **支撑及辅助部分** 包括基础件（如床身、底座、立柱等）、支撑构件（如支架、箱体等）和润滑、照明部分。它用于安装和支承动力部分、传动部分和操作部分等。

**机构**只具有机器的前两个特征，机构的作用是传递运动和转换动力。若仅从结构和运动观点来看机器与机构二者之间并无区别。因此，习惯上常用机械一词作为机器和机构的总称。

组成机构的各个做相对运动的实物称为**构件**，构件是机构中的运动单元，如内燃机中的曲柄、连杆、活塞等。构件可以是单一的整体，如图 1-8a 所示的连杆。但有时为了便于制造、安装，常由更小的单元装配而成，如图 1-8b 内燃机中的连杆，它是由连杆体、连杆头、轴套、轴瓦、螺杆、螺母和开口销等装配而成的。连杆体、连杆头、轴套、轴瓦、螺杆、螺母和开口销等称为**机械零件**，简称为**零件**。零件是机器的制造单元，是机器的基本组成要素。机械零件可分为两大类：一是在各种机器中都能用到的零件称为**通用零件**，如齿轮、螺栓、轴承、带、带轮等；另一类则是只在特定类型的机器中才能用到的零件，称为**专用零件**，如汽车发动机的曲轴、吊钩、叶片、叶轮等。

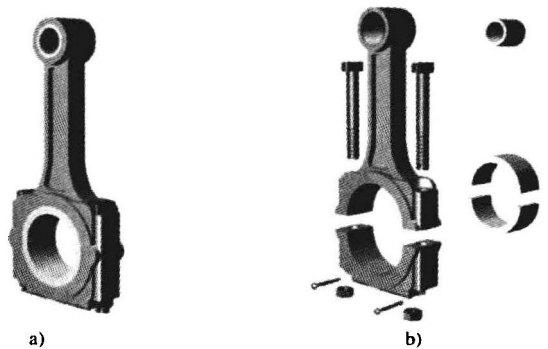


图 1-8 内燃机连杆

## 1.2 本课程的性质、研究内容及任务

### 1. 本课程的性质

本课程是职业技术学院工科相关专业的一门重要的专业基础课，通过本课程的学习，培

养学生的机械系统分析及简单机械传动装置设计的能力，为学习后续专业课程和技术改造奠定必要的基础。因此，对于将来从事生产技术第一线技术、管理工作的高职高专学生来说，学习“机械基础”课程无疑是十分重要的。

## 2. 本课程的研究内容及任务

本课程研究内容的设置是在遵循“以应用为目的，以必需、够用为度”的原则下，打破了“工程力学”、“机械设计基础”课程的界限，以培养学生的机械系统分析、创新能力和综合知识应用能力为主线，将“工程力学”、“机械设计基础”两门课程的教学内容课进行有机整合精练、充实，并辅以创新思维法则等内容，形成了理论教学和实践教学紧密联系的新体系，课程新体系从满足机械工程实际所必须掌握的基础知识、基本设计理论、基本技能出发，突出了实用性和综合性。注重对学生的动手能力、工程实践等能力的训练和综合能力的培养。本课程采用模块化方式构建课程内容体系，课程内容由为4个模块，20个单元组成。

第一模块是静力学基础。主要介绍静力学的基本知识，构件的受力分析、力系简化和构件的平衡计算组成。

第二模块是材料力学基础。主要介绍构件在外力作用下产生的变形的受力特点和变形特点，构件的强度、刚度和稳定性计算。

第三模块是常用机构和机械传动。主要介绍常用机构工作原理、运动特点、应用及设计的基本知识；通用零件的工作原理、结构特点、标准及其选用和设计的基本方法，以及机械润滑与密封的基本知识。

第四模块是联接与轴系零件部件。主要介绍螺纹联接、轴毂联接、联轴器、离合器、轴和轴承的结构、特点、标准及其选用和设计的基本方法。

通过本课程的学习，使学生具备：

- 1) 掌握分析解决机械工程实际中简单力学问题的方法。
- 2) 掌握杆件在承载的情况下，几种基本变形和组合变形的强度与刚度计算，并具有一定机械工程分析能力。
- 3) 掌握常用机构和通用零件的基本知识、基本理论和基本功能，掌握一般机械传动装置、机械零件的设计方法及设计步骤。
- 4) 初步具有选用和设计常用机构和通用零件的能力以及使用和维护一般机械的能力，训练提高基本技能，例如：计算、绘图、熟悉和运用设计资料（手册、标准、图册和规范等）的能力。

## 1.3 本课程的学习方法

鉴于本课程的特点，在学习这门课程时，首先应注重认真理解基本概念、基本公式（定律）和基本方法，并通过工程案例的分析、课后练习，掌握机械设备分析问题和解决问题的方法，掌握基本的工程技能（运算、绘图、资料处理等能力），提高分析和解决工程实际问题的能力。其次，在学习过程中还要注重适时复习已修课程的相关内容，注重学会将整个学习内容前后融会贯通，注重培养应用所学知识解决工程实际问题的能力。最后，要善于做好学习内容的阶段总结。

## 习 题 1

1-1 人们常说的机械的含义是什么？机器与机构的区别是什么？指出下列设备中哪些是机构：铣床、发电机、机械式手表、洗衣机和汽车。

1-2 什么是构件、零件？构件与零件的区别是什么？

1-3 什么是通用零件、专用零件？试各举三个实例。

1-4 试写出缝纫机中的专用零件和通用零件。

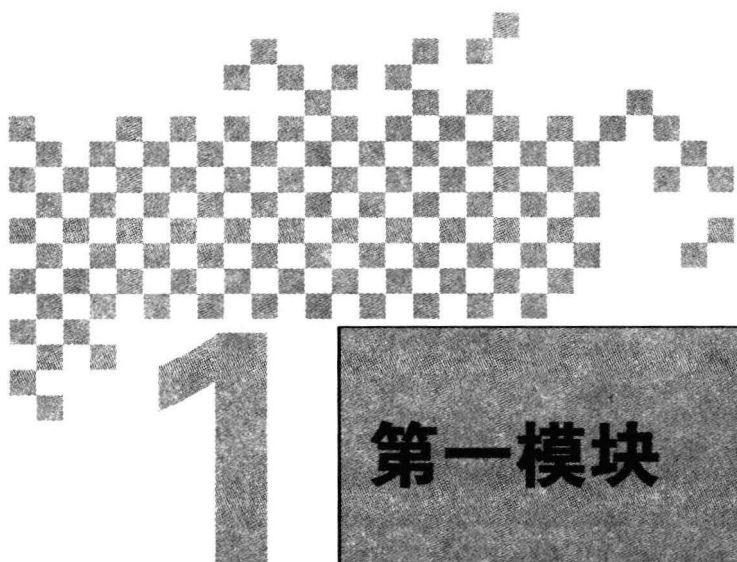
1-5 试举例说明一部完整的机器一般由哪几部分组成？各部分的作用是什么？

1-6 请查阅相关资料，各举出两个具有下述功用的机器的实例：

(1) 变换机械能为其他形式能量的机器；(2) 变换或传递信息的机器；(3) 传递物料的机器；(4) 传递机械能的机器。

1-7 指出下列机器的动力部分、传动部分、控制部分和执行部分：

(1) 汽车；(2) 自行车；(3) 车床；(4) 缝纫机；(5) 电风扇；(6) 录音机。



## 第一模块 静力学基础

- 第2单元 静力学基本概念及受力分析
- 第3单元 平面力系

## 第2单元 静力学基本概念及受力分析

### 【学习目标】

理解静力学的基本概念、掌握静力学公理及其应用范围。

掌握工程中常见的约束类型及约束特征，能熟练而正确对工程实例进行受力分析并绘制受力图。

### 【学习重点和难点】

静力学公理及其推论。

工程中常见的约束及约束特征。

物体的受力分析及受力图绘制。

### 【案例导入】

图2-1所示为一液压式工件的夹紧机构，工件能否被夹紧直接关系到工件的加工精度，其工作过程为活塞杆 $D$ 在压力油作用下，推动摆杆 $AOB$ 绕 $O$ 点转动， $AOB$ 杆的 $A$ 端推动钳子夹紧工件。根据图示机构的动力传动路线你能否正确分析机构中各构件的受力情况并绘制出受力图？学习本单元相关内容，将帮助你获得此方面的能力。

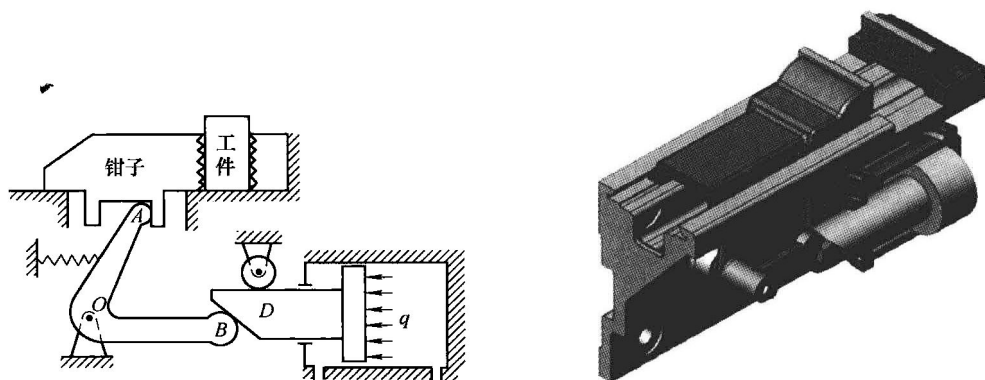


图 2-1 液压式工件夹紧机构示意图

### 2.1 静力学基本概念

静力学的任务就是研究物体在力系的作用下处于平衡与利用平衡条件解决未知力的问题。平衡是运动的特殊情形，是指物体相对地球处于静止或匀速直线运动的状态。

静力学在工程技术中有广泛的应用，如对房屋结构、桥梁、水坝以及机械零件的设计计算，一般须先对它们进行受力分析，并应用力系的平衡条件求出未知力，然后再进行有关的强度、刚度和稳定性的分析。为了解决相关问题，我们首先要学习静力学的基本概念。

### 2.1.1 刚体

所谓刚体就是在力的作用下永不发生变形的物体。这样的物体实际上并不存在，只是对物体进行抽象简化后的一种理想模型。工程实际中的机械零件和机构构件，在正常工作情况下所产生的变形，一般都是非常微小的。这样微小的变形对于研究物体的平衡问题不起主要作用，因此，在静力学中研究物体的平衡问题时，常将物体看作是刚体。

但在研究物体的变形问题时，就不能把物体看作是刚体，否则会导致错误的结果，甚至无法进行研究。

### 2.1.2 力

#### 1. 力的概念

力的概念是人们在长期生活和生产实践中逐步形成的，力是物体间的相互机械作用。力对物体会产生两种效应：如图 2-2 所示推动小车向前，此时力使物体的运动状态发生改变，这种效应称为力的外效应；如图 2-3 所示吊车横梁在起吊重物时会产生弯曲变形，此时力使物体产生变形，这种效应称为力的内效应。

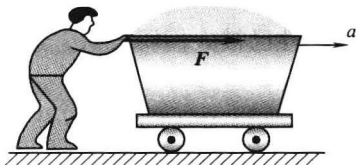


图 2-2 小车的运动

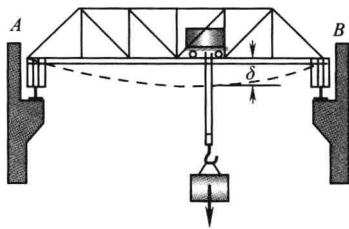


图 2-3 吊车横梁的变形

静力学只研究力的外效应，而材料力学研究力的内效应。

#### 2. 力的三要素及表示方法

力对物体的作用效应决定于力的三要素：力的大小、方向和作用点。改变三要素中的任何一个要素，力对物体的作用效应也将随之改变。

力是矢量，常用一个带箭头的线段来表示。通常用黑体字母（如  $\mathbf{F}$  表示）代表力矢，以字母  $F$  代表力的大小。在国际单位制中，力的单位为 N（牛顿）或 kN（千牛顿）。

作用于物体上的力如果作用面积很小，则可将其抽象为一个点，这种作用力称为集中力。如图 2-5a 所示汽车通过轮胎作用在桥面上的力，可以看作是集中力。如果作用面积比较大，这种作用力称为分布力或分布载荷。当力沿着一个方向连续分布时，则用单位长度的力表示沿长度方向上的分布力的强弱程度，称为载荷集度，用字母  $q$  表示，单位为 N/m 或 kN/m。如图 2-5b 所示汽车和桥面作用在桥梁上的力，是沿着桥梁长度方向连续分布的，可以看作是分布力。

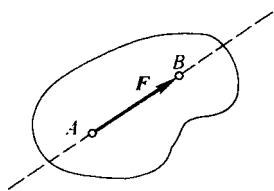


图 2-4 力的表示法

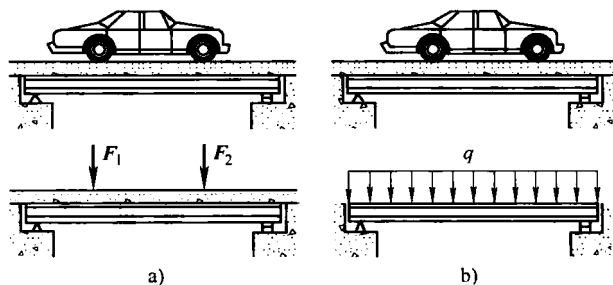


图 2-5 集中力与分布力

### 2.1.3 力系

所谓力系是指作用于物体上的一群力。若物体在力系的作用下处于平衡状态，这种力系称为平衡力系。力系平衡所满足的条件称为平衡条件。当研究一个复杂的力系对物体的作用效应和力系的平衡条件时，常需将复杂的力系进行简化，而作用效应不变，这称为力系的简化。若两个力系对物体的作用效应相同，则两个力系互为等效。

## 2.2 静力学基本公理

静力学公理是人类从反复实践中总结出来的，它的正确性已被人们所公认，这些公理是研究力系简化和平衡的主要依据。

### 1. 公理 1 二力平衡公理

刚体若仅受两个力作用而平衡，其必要与充分的条件是：这两个力必等值、反向、共线。如图 2-6 所示，刚体受力  $F_A$  和  $F_B$  作用，在平衡时， $F_A$ 、 $F_B$  必等值、反向、同线。必需指出，本公理只适用于刚体。对于变形体，它只是平衡的必要条件，而不是充分条件。

图 2-7a 所示的软绳受两个等值、反向、共线的拉力作用可以平衡，而如图 2-7b 所示的软绳受两个等值、反向、共线的压力作用就不能平衡。

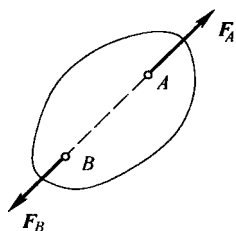


图 2-6 二力平衡

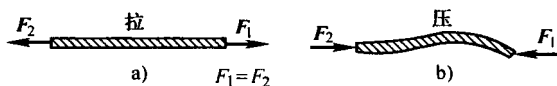


图 2-7 软绳承受二力作用的情况

在两个力的作用下保持平衡的构件称为二力构件，因为工程上大多数的二力构件是杆件，所以常简称为二力杆。二力杆可以是直杆，也可以是曲杆。如图 2-8 所示结构的曲杆 BC 就是二力构件。

二力杆的受力特点是：两个力的方向必在二力作用点的连线上。



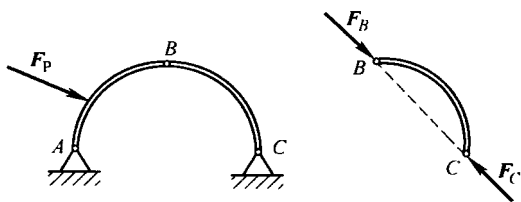


图 2-8 二力构件

## 2. 公理 2 加减平衡力系公理

在任意一个作用有已知力系的刚体上，可随意加上或减去一平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效应。

本公理成为力系简化的基本方法之一。依据这一公理，可以得出一个重要推论：

### 推论 1 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力，可以沿其作用线移到刚体内任一点，而不会改变此力对刚体的作用效应（图 2-9）。

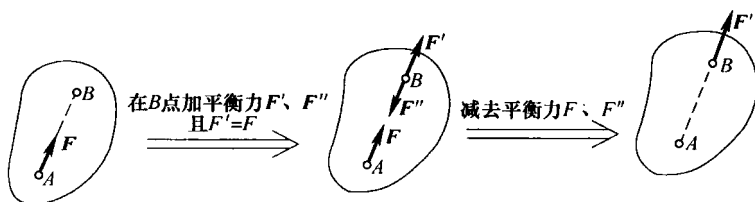


图 2-9 力的可传性原理

### ☆想一想 练一练

在图 2-10 中车后 A 点加一水平力推车，与在车前 B 点加一水平力拉车，其对小车产生的外、内效应是否一样？如果小车是弹性体，产生的内外效应一样吗？

**结论：**应当指出，加上或减去一个平衡力系，或使力沿作用线移动，不会改变力对外效应，但会改变力对内效应。所以，公理 2 或推论 1 只适用于刚体，对变形体不适用。

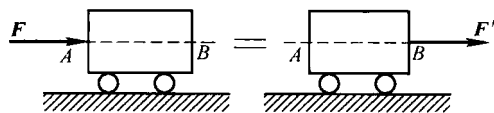


图 2-10 力的可传性应用实例分析

## 3. 公理 3 力的平行四边形法则

作用于刚体某一点的两个力，其合力也作用于该点，合力的大小和方向可由这两个力所构成的平行四边形的对角线来表示。

设在刚体上 A 点有力  $F_1$  和  $F_2$  作用（图 2-11a），以  $F_R$  表示它们的合力，则可写成表达式为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (2-1)$$

为了简便，作图时可直接将  $F_2$ （或  $F_1$ ）平移连在  $F_1$ （或  $F_2$ ）的末端，通过  $\triangle ABD$ （或  $\triangle ADC$ ）即可求得合力  $F_R$ ，如图 2-11b、c 所示。此法就称为求二汇交力合成的三角形法则。