

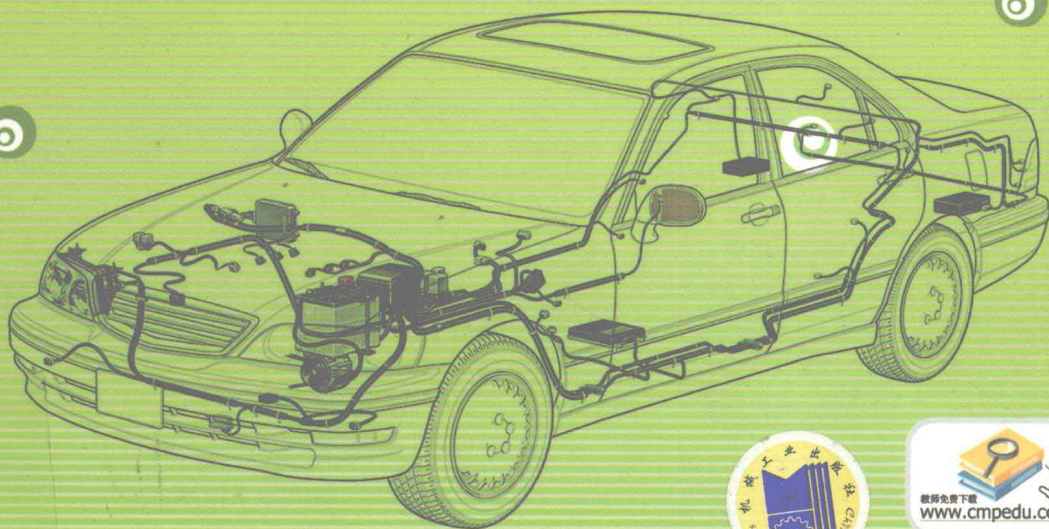


全国高等职业教育示范专业规划教材

汽车制造与装配技术专业

# 汽车机械基础

王芳 主编



配电子课件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



全国高等职业教育示范专业规划教材

# 汽车机械基础

主 编 王 芳

副主编 王 强

参 编 刘大学 孙 伟 叶志斌 周志国

主 审 金加龙 王维锐

机械工业出版社

本书是全国高等职业教育示范专业规划教材。本书对传统学科型教材进行整合,将工程力学、汽车工程材料、机械原理与机械零件、液压与气压传动、互换性与技术测量等知识归纳为八个项目,每个项目分为若干个任务,选取大量汽车工程中的实例,将基础课程和汽车专业课程进行有机结合,有助于培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书内容丰富,实用性强,可作为高等职业技术学院汽车类各专业的教材,也可作为成人高校、中职学校汽车类各专业的教材,同时也可作为相关从业人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车机械基础/王芳主编. —北京:机械工业出版社,2010.2  
全国高等职业教育示范专业规划教材  
ISBN 978-7-111-29785-7

I. ①汽… II. ①王… III. ①汽车-机械学-高等学校-教材 IV. ①U463

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第027894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:葛晓慧 责任编辑:韩冰 版式设计:霍永明  
责任校对:姜婷 责任印制:李妍  
北京诚信伟业印刷有限公司印刷  
2010年3月第1版第1次印刷  
184mm×260mm·17.25印张·423千字  
0001—4000册  
标准书号:ISBN 978-7-111-29785-7  
定价:29.00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

# 全国高等职业教育示范专业规划教材 汽车制造与装配技术专业编委会

主任	李春明	长春汽车高等专科学校
副主任	王世震	承德石油高等专科学校
	么居标	北京电子科技职业学院
	蓝伙金	机械工业出版社高职分社
委员	滕宏春	南京工业职业技术学院
	赵宇	长春汽车高等专科学校
	王秀贞	邢台职业技术学院
	娄云	河南机电高等专科学校
	毛峰	辽宁交通高等专科学校
	付百学	黑龙江工程学院
	安宗权	芜湖职业技术学院
	王萍辉	北京京北职业技术学院
	刘杰	广东机电职业技术学院
	葛晓慧	机械工业出版社高职分社

# 前 言

目前,我国的汽车工业飞速发展,为了满足高等职业技术学院培养汽车类技能型人才的需要,本书作者结合高职高专院校汽车类专业的教学实际,编写了《汽车机械基础》教学用书。

本书对传统学科型教材进行整合,包括绪论和八个项目,每个项目分为若干个任务。主要内容包括:力学分析、汽车工程材料、汽车常用机构、汽车传动系统、轴系、连接、液压传动与气压传动、互换性与技术测量等。每个任务均设置了学习目标,在项目后还安排了复习思考题,方便教学。

本书的编写特点是:

1) 工作过程导向。每个任务针对汽车工程中的实例提出问题,调动学生的兴趣和积极性。在学习相关知识后,设置相关的任务实施环节,将基础课程和汽车专业课程进行有机结合,培养学生分析问题和解决问题的能力。最后进行评价反馈,及时掌握学生的学习状况。

2) “管用、够用”的教学指导思想。本书内容丰富、理论精简,删减过多、过难的理论推导等内容,切实落实“管用、够用”的教学指导思想,力求使教材从内容到形式上都能体现“理实结合、工学结合”的特点。

3) 循序渐进。按照教学规律和学生的认知规律,以实际案例为切入点,循序渐进地讲解基础知识、基本理论和基本方法,并尽量采用以图代文的表现形式,降低学习难度,从而达到好教好学的目的。

浙江交通职业技术学院王芳任本书主编,负责编写绪论、项目三、项目六、项目七,并与周志国共同编写项目八;王强任本书副主编,负责编写项目四;叶志斌负责编写项目一,孙伟负责编写项目二,刘大学负责编写项目五。

本书由浙江交通职业技术学院金加龙教授、浙江大学博士后王维锐担任主审。另外,邱宗敏也参与了本书的编审工作,在此表示衷心感谢。

本书在编写的过程中,参阅了大量的书籍和资料,在此对原作者一并表示感谢!

编 者



# 目 录

前言	机构 .....	92	
	复习思考题 .....	97	
绪论 .....	1	项目四 汽车传动系统 .....	100
项目一 力学分析 .....	7	学习任务一 汽车发动机中的带 传动 .....	100
学习任务一 活塞连杆组的受 力分析 .....	7	学习任务二 汽车发动机中的 正时链传动 .....	107
学习任务二 转向盘受力分析 .....	14	学习任务三 汽车轮系 .....	111
学习任务三 构件承载能力 分析 .....	22	复习思考题 .....	124
复习思考题 .....	35	项目五 轴系 .....	126
项目二 汽车工程材料 .....	39	学习任务一 手动变速器输 出轴 .....	126
学习任务一 绘制低碳钢拉伸 应力-应变曲线 .....	39	学习任务二 汽车发动机曲轴 轴承 .....	137
学习任务二 铁碳合金相图 .....	46	学习任务三 汽车变速器轴承 .....	145
学习任务三 汽车典型零件选 材及热处理 .....	55	学习任务四 万向节 .....	154
学习任务四 有色金属及非金属材料 在汽车上的应用 .....	65	学习任务五 离合器 .....	162
复习思考题 .....	71	学习任务六 制动器 .....	166
项目三 汽车常用机构 .....	73	复习思考题 .....	170
学习任务一 绘制内燃机机构 运动简图 .....	73	项目六 联接 .....	173
学习任务二 汽车常见四杆 机构 .....	78	学习任务一 齿轮与轴的键 联接 .....	173
学习任务三 内燃机配气机构 .....	85	学习任务二 螺纹联接及螺旋 传动 .....	179
学习任务四 驻车制动锁止 机构 .....	85	学习任务三 其他紧固联接 .....	188
		复习思考题 .....	193
		项目七 液压传动与气压传动 .....	195

学习任务一 液压系统工作原理及 图形符号 .....	195	学习任务一 尺寸公差与配合 .....	229
学习任务二 液压系统中的控 制阀 .....	199	学习任务二 形状与位置公差 .....	238
学习任务三 液压泵及液压缸 .....	209	学习任务三 表面结构要求 .....	245
学习任务四 液力传动 .....	215	复习思考题 .....	249
学习任务五 气压传动 .....	221	附录 .....	251
复习思考题 .....	227	附录 A 常用液压图形符号 (摘自 GB/T 786.1—1993) .....	251
项目八 互换性与技术测量 .....	229	附录 B 极限与配合 .....	259
		参考文献 .....	267

# 绪 论



## 任务描述

汽车作为重要的载运工具，大家都很熟悉，但你了解汽车的发展历史吗？知道汽车上有哪些重要的组成部件及其安装位置吗？“汽车机械基础”这门课主要讲解哪些东西？开设这门课的主要目的是什么？



## 学习目标

- 了解汽车的发展历史
- 熟悉汽车的总体构造及位置
- 了解本课程的性质和任务



## 知识准备

### 一、汽车的发展历史

汽车发明于19世纪末，1885年德国工程师卡尔·本茨在曼海姆设计制造出了世界上第一辆装有625W汽油机的三轮汽车，如图0-1所示，并于1886年1月29日申请获得专利。德国的另一位工程师哥德里普·戴姆勒也在1886年研制成了一辆装有809W汽油机的四轮汽车，如图0-2所示。本茨和戴姆勒被公认为是以内燃机为动力的现代汽车的发明者。

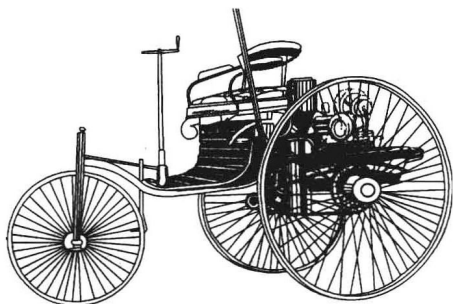


图 0-1 本茨发明的第一辆三轮汽车

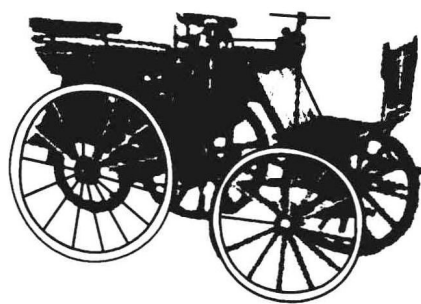


图 0-2 戴姆勒发明的第一辆四轮汽车

在汽车发展的初期阶段，法国人在汽车技术的创造与发明方面作出了突出的贡献。法国人于1889年研制出了齿轮变速器和差速器；于1891年又研制出了摩擦片式离合器，并在当



年首先推出了发动机前置后轮驱动的布置形式；1895年开始采用充气轮胎等。由于法国人对汽车技术的不断改进，使早期汽车的性能得到了较大的提高。

汽车虽然诞生在欧洲，但美国依靠其优越的资源和自然条件以及宽松的政策，又利用欧洲遭受第一次世界大战被破坏的时机，使其汽车工业迅速崛起，并超过了欧洲。1908年，美国在底特律树立起了世界汽车技术史上的第二个里程碑。美国的亨利·福特推出了以自己的名字“福特”命名的T型车，如图0-3所示，并发明了流水线生产方式来生产汽车，从此奠定了美国成为汽车生产大国的地位。从20世纪初至20世纪70年代的几十年间，美国汽车产量一直遥遥领先。

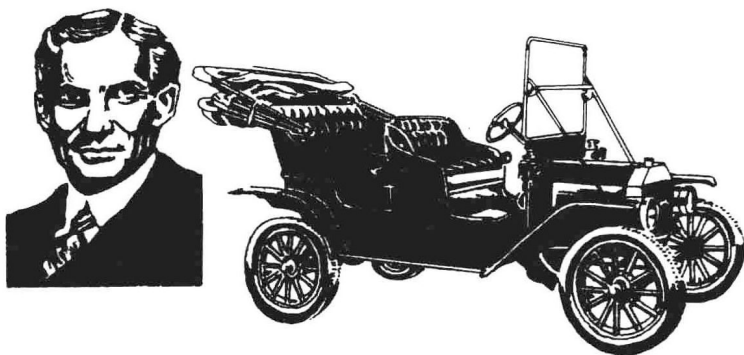


图0-3 福特和他的T型车

日本汽车工业在第二次世界大战前规模较小，但在20世纪60、70年代，依靠引进国外的先进技术和科学的经营管理方法，其汽车工业迅猛发展，先后超过意大利、英国、法国、德国等一些老牌的汽车工业国。并曾于1980~1993年期间，汽车年产量超过美国而跃居世界第一位。

经过一百多年的发展，世界汽车形成了三足鼎立之势，即美国、日本和欧洲成为三大汽车生产基地；并出现了许多世界知名的汽车公司和汽车品牌，如美国的通用、福特等，德国的奔驰、宝马、保时捷、大众等，日本的丰田、本田、日产等。

我国的汽车工业创建于20世纪50年代，长春第一汽车制造厂于1953年7月动工兴建，1956年10月正式开始生产解放CA10型载货汽车，如图0-4所示，从此结束了中国不能制造汽车的历史。1968年在湖北十堰开始动工兴建第二汽车制造厂，并于1975年开始投产。在20世纪50年代后期和60年代，我国一批汽车修配企业发展成为汽车制造厂，城建和交通部门也设立了一批公交车辆厂。

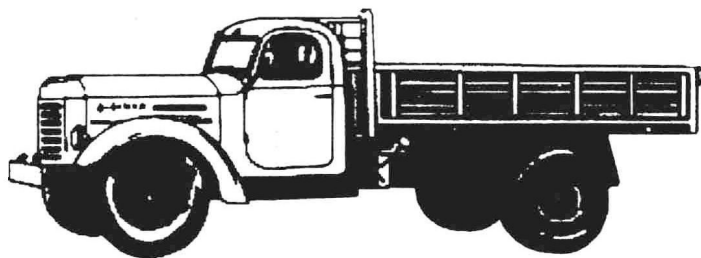


图0-4 解放CA10型载货汽车

改革开放后,我国汽车工业进入了大发展阶段。20世纪80年代初期,我国汽车行业以各个大型骨干厂为主,联合一批相关的中、小企业,组建了企业集团。“六·五”计划期间,我国汽车工业加快了主导产品更新换代的步伐,注重提高产品质量和增添新品种。1985年,中央在“七·五”计划建议书中提出了要把汽车工业作为支柱产业的方针,1987年国务院又确定了发展轿车工业来振兴我国汽车工业的战略。在此期间,我国汽车工业有重点、有选择地引进国外先进技术。各个引进项目在合资协作、基本建设、产品产量和国产化等方面均取得了很大成绩。为了发展轿车生产,我国确定了“一汽”、“二汽”、上海、天津、北京、广州等轿车生产基地,汽车产量连年大幅度增加,从1978年的14.9万辆猛增到1993年的129.7万辆,从而跃居世界第12位。

进入20世纪90年代后,我国汽车工业的发展速度明显加快。企业的“重组与改制”朝着集团化、股份制方向发展,以市场为导向扩展产品系列,缩短研发周期,不断推出新车型,提高技术含量,生产能力不断提高,汽车产量、销售量和保有量快速增长。2007年,我国的汽车产量达889万辆,汽车销售量为870万辆,名列世界第二;汽车的保有量达4300余万辆,每年以高于20%的幅度增长。

## 二、汽车的总体构造

发动机、底盘、车身、电气设备

汽车是由许多不同的装置和部件组成的,其结构形式和安装位置多种多样,但它们的基本组成是一致的,通常由发动机、底盘、车身和电气设备等部分组成。

### 1. 发动机

发动机是汽车的动力装置,其作用是使供入其中的燃料燃烧后产生动力(将热能转变为机械能),然后通过底盘的传动系统驱动车轮使汽车行驶。现代汽车最重要、最普遍的动力装置是往复式活塞式内燃机,使用的燃料主要是汽油和柴油。

汽油发动机主要包括两大机构和五大系统,即由曲柄连杆机构、配气机构、燃料供给系统、冷却系统、润滑系统、点火系统和起动机系统组成。柴油发动机由于气缸中燃料的着火方式为压燃式,所以无点火系统。下面分别介绍两大机构。

(1) 曲柄连杆机构 曲柄连杆机构的功用是把燃气作用在活塞顶上的力转变为曲轴的转矩,以向工作机械输出机械能。它主要由气缸体、活塞、连杆、曲轴和飞轮组成,如图0-5所示。

(2) 配气机构 配气机构按照发动机每一气缸内所进行的工作循环或点火次序的要求,定时开启和关闭各进、排气门,使新鲜可燃混合气(汽油机)或空气(柴油机)得以及时进入气缸,废气得以及时从气缸排出。配气机构由气门组和气门传动组零件组成。气门组用于封闭进、排气道;气门传动组零件用于按照发动机的工况要求,控制气门的开启和关闭时刻和规律。

图0-6所示为凸轮轴上置且采用同步齿形带传动的轿车发动机配气机构,如一汽奥迪、捷达、上海桑塔纳和天津夏

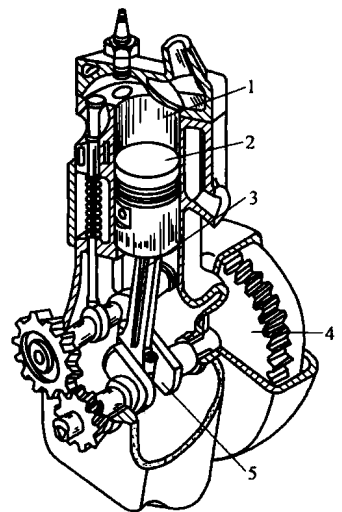


图0-5 曲柄连杆机构  
1—气缸体 2—活塞 3—连杆  
4—飞轮 5—曲轴

利等轿车的发动机都采用了这种形式的配气机构。

## 2. 底盘

底盘是接受发动机动力、使汽车产生运动，并保证汽车按照驾驶员的操作正常行驶的部件。底盘由传动系统、行驶系统、转向系统和制动系统组成，如图 0-7 所示。

(1) 传动系统 传动系统将发动机的动力传递给驱动轮。普通汽车采用的机械式传动系统由离合器、变速器、万向传动装置、主减速器、差速器等组成。现代汽车越来越多地采用液力机械式传动系统，以液力机械变速器取代机械式传动系统中的离合器和变速器。

(2) 行驶系统 行驶系统将汽车各总成及部件连成一个整体，并对整车起支撑作用，传递和承受汽车行驶的各种力和力矩、缓和冲击、吸收振动，以保证汽车正常行驶。行驶系统由车架、车桥、车轮和悬架等组成。

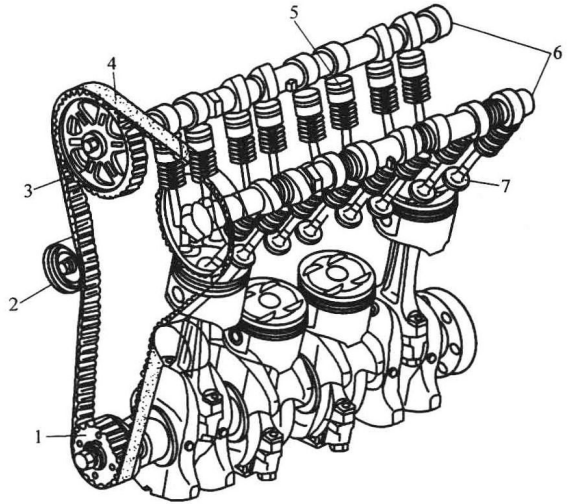


图 0-6 典型轿车发动机配气机构

1—曲轴正时带轮 2—张紧轮 3—凸轮轴正时带轮  
4—同步齿形带 5—液压挺杆 6—凸轮轴 7—气门

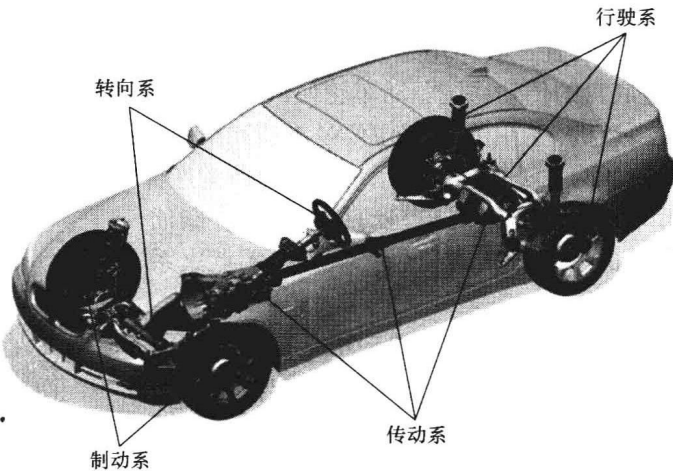


图 0-7 典型轿车底盘构造

(3) 转向系统 转向系统控制汽车的行驶方向。它由转向操纵机构、转向器、转向传动机构等组成。现代汽车普遍采用动力转向装置。

(4) 制动系统 制动系统使汽车减速、停车或驻车。一般汽车制动系统至少应设行车制动装置和驻车制动装置两套相互独立的制动装置，每一套制动装置由制动器、制动传动装置组成。

## 3. 车身

车身是形成驾驶员和乘客乘坐空间的装置，也是装载货物、存放行李的工具。因此，要

求它既要为驾驶员提供方便的操作条件，又要为乘客提供舒适的环境；既要保护全体驾乘人员的安全，又要保证货物完好无损。也就是说，车身既是保安部件又是承载部件。在现代汽车中，车身又是技术与艺术有机结合的艺术品。

轿车车身和客车车身一般为一整体结构的承载式车身，如图 0-8 所示。轿车车身由本体、内外装饰和车身附件等组成，货车车身一般是由驾驶室和货厢两部分组成。

#### 4. 电气设备与电子设备

汽车电气设备是汽车的重要组成部分，它由电源、发动机点火系统（汽油机）、起动系统、照明和信号装置、空调、仪表和报警系统以及辅助电器等组成。高级轿车则更多地采用了现代新技术，尤其是电子技术，如微处理机、中央计算机系统及各种人工智能装置等，从而显著地提高了汽车的性能。

### 三、本课程的性质和任务

汽车发展的历史是一个由机械技术向机电技术、再向电子技术发展的过程。但无论怎样发展，都无法脱离基础的机械结构，如现代汽车上采用的配气机构、前轮转向机构、活塞连杆机构、带传动、链传动及齿轮传动等。随着科学技术的发展，新的工程材料、液压传动技术等在汽车上也得到了广泛的应用，掌握这些机构及其传动原理、材料以及液压传动的特点，对今后的学习和工作是非常重要的。

“汽车机械基础”融工程力学、汽车工程材料、机械设计与机械原理、液压传动、互换性与技术测量等内容为一体，是汽车类专业的一门专业技术基础课。

本课程的任务是：学习工程力学的基本内容，培养学生解决工程问题的综合能力；使学生掌握汽车常用金属材料及非金属材料的性能、分类、牌号和应用场合；讲授常用机构和通用机械零件的基本知识、理论；讲授液压传动的基本知识，常用液压元件的构造、工作原理；使学生了解公差配合常识；为学习专业课和新的科学技术奠定基础，为今后解决生产实际问题做好准备。

本课程的特点：除绪论外，本课程包含八个项目，每个项目由若干个学习任务组成，针对每个任务提出的问题，学生通过学习相关的知识，独立或分组合作完成任务，最后进行评价反馈。评价的项目在每个任务后面都已经列出。评价的标准和流程可参照如下。

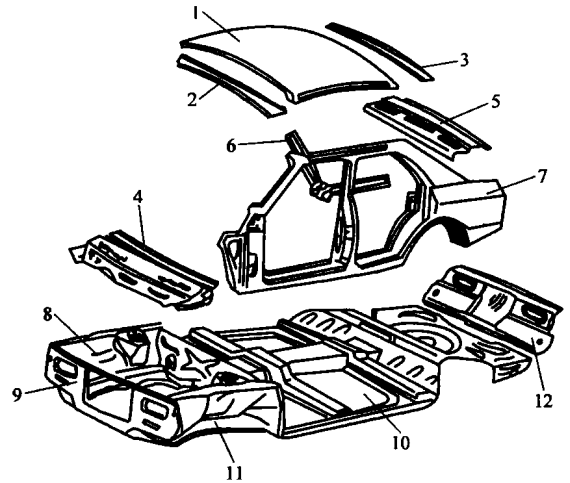


图 0-8 典型的承载式轿车车身壳体

- 1—顶盖 2—前风窗框上横梁 3—后窗框上横梁  
4—前围上盖板 5—后围上盖板 6—加强撑  
7—侧门框总成 8—前挡泥板 9—散热器固定框  
10—地板总成 11—前纵梁 12—后围板

#### 评价反馈

开心时刻！任务完成后，我们大家一起来总结一下，看是否达到了预定要求。

### 典型学习情境：对自己的工作与学习过程进行评价

学习评估是收集教学系统各个方面的信息，并根据一定的客观标准对学习过程和学习效果作出客观的衡量和判定的过程。

#### 1. 自我评价

通过对本学习任务的学习，你认为自己是否已经掌握了相关知识并具备相应的能力，请自己完成表中相关项目的评价，并将结果填入个人评价栏。

评价标准：A. 完全理解并掌握（优），B. 完全理解并基本掌握（良），C. 理解并部分掌握（中），D. 基本理解（及格），E. 不能理解（不及格）。

#### 2. 小组评价

若任务实施是分小组进行的，在完成自我评价后，应对本小组的所有成员的工作进行评价，并将评价结果填入表中的小组评价栏里。

#### 3. 指导老师对你的学习任务完成情况进行评价

指导老师根据成果的完成情况、学生工作责任心等方面，完成对学生的评价，并记录在教师教学手册中，学生可摘录教师的点评。

#### 4. 对学生的本次任务学习成绩进行总评

根据一定的比例计算学生完成本学习任务的总得分，并记录在册。

# 项目一 力学分析

在汽车机械中，涉及到的力学问题有很多，学生可通过以下三个典型任务的学习来了解和掌握汽车机械的力学分析问题。

## 学习任务一 活塞连杆组的受力分析



### 任务描述

要解决汽车机械的力学计算问题，首先要对选定的研究对象进行受力分析。本学习任务以汽车发动机的活塞连杆组为例，让学生分析活塞连杆组工作状态下的受力情况，并绘制受力图，以掌握物体在静力作用下的受力分析。



### 学习目标

- 了解静力学的基本概念
- 掌握基本的力学公理
- 掌握约束与约束反力
- 掌握受力分析的方法
- 具有绘制机构受力图的能力



### 知识准备

#### 一、基本概念与公理

##### 1. 力的概念

力的概念产生于人类从事的生产劳动当中。当人们用手握、拉、掷及举起物体时，由于肌肉紧张而感受到力的作用，这种作用广泛存在于人与物及物与物之间。例如，奔腾的水流能推动水轮机旋转，锤子的敲打会使烧红的铁块变形等。

(1) 力的定义 力是物体之间相互的机械作用，这种作用将使物体的机械运动状态发生变化，或者使物体产生变形。前者称为力的外效应，后者称为力的内效应。

(2) 力的三要素 实践证明，力对物体的作用效应，取决于力的大小、方向（包括方位和指向）和作用点的位置，这三个因素就称为力的三要素。在这三个要素中，如果改变



其中任何一个，也就改变了力对物体的作用效应。例如，用扳手拧螺母时，作用在扳手上的力，因大小不同，或方向不同，或作用点不同，它们产生的效果就不同，如图 1-1a 所示。

(3) 力是矢量 力是一个既有大小又有方向的量，而且又满足矢量的运算法则，因此力是矢量。

矢量常用一个带箭头的有向线段来表示。如图 1-1b 所示，线段长度  $AB$  按一定比例代表力的大小，线段的方位和箭头表示力的方向，其起点或终点表示力的作用点。此线段的延伸称为力的作用线。用黑体字  $\boldsymbol{F}$  代表力的矢量，并以同一字母的非黑体字  $F$  代表该矢量的模（即力的大小）。

(4) 力的单位 力的国际制单位是牛顿或千牛顿，其符号为  $N$  或  $kN$ 。

## 2. 力系的有关概念

物体处于平衡状态时，作用于该物体上的力系称为平衡力系。力系平衡所满足的条件称为平衡条件。如果两个力系对同一物体的作用效应完全相同，则称这两个力系互为等效力系。当一个力系与一个力的作用效应完全相同时，把这一个力称为该力系的合力，而该力系中的每一个力称为合力的分力。

必须注意，等效力系只是不改变原力系对于物体作用的外效应，至于内效应显然将随力的作用位置等的改变而有所不同。

## 3. 刚体的概念

所谓刚体是指在受力状态下保持其几何形状和尺寸不变的物体。显然，这是一个理想化的模型，实际上并不存在这样的物体。但是，工程实际中的机械零件和结构构件，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外效应的影响极小，是可以忽略不计的。当然，在研究物体的变形问题时，就不能把物体看做是刚体，否则会导致错误的结果，甚至无法进行研究。

## 4. 静力学公理

(1) 公理一 二力平衡公理。

当一个刚体受两个力作用而处于平衡状态时，其充分必要的条件是：这两个力大小相等，方向相反，作用于同一直线上，如图 1-2 所示。

这个公理揭示了作用于物体上的最简单的力系在平衡时所必须满足的条件，它是静力学中最基本的平衡条件。

(2) 二力体 只受两个力作用而平衡的物体称为二力体。

机械和建筑结构中的二力体常常统称为“二力构件”。它们的受力特点是：两个力的方向必在二力作用点的连线上。

(3) 公理二 加减平衡力系公理。

在刚体的原有力系中，加上或减去任一平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效应。

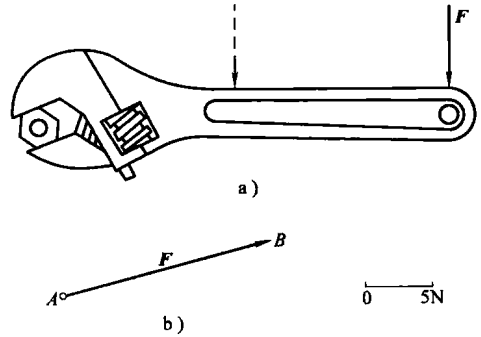


图 1-1 力的三要素

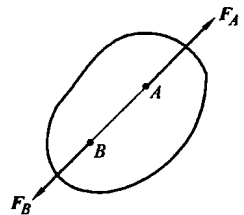


图 1-2 二力平衡

这一公理的正确性是显而易见的，因为一个平衡力系是不会改变物体的原有运动状态的。这个公理常被用来简化某一已知力系。依据这一公理，可以得出一个重要推论——力的可传性原理

作用于刚体上的力可以沿其作用线移至刚体内任一点，而不改变原力对刚体的作用效应。如图 1-3 所示，在车后  $A$  点加一水平力推车，与在车前  $B$  点加一水平力拉车，其效果是一样的。这个原理可以利用上述公理推证，具体推证过程留给读者思考。

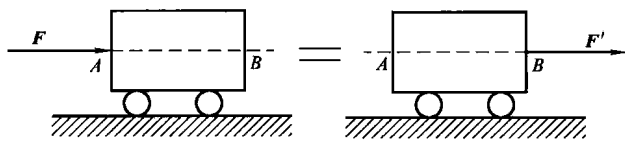


图 1-3 力的可传性

应当指出，力的可传性原理只适用于刚体，对变形体不适用。

(4) 公理三 力的平行四边形法则。

作用于物体同一点的两个力可以合成为一个合力，合力也作用于该点，其大小和方向由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线所确定，即合力矢等于这两个分力矢的矢量和。

运用公理二、公理三可以得到下面的推论：物体受三个力作用而平衡时，此三个力的作用线必汇交于一点。此推论称为三力平衡汇交定理。读者可自行证明。

(5) 公理四 作用与反作用定律。

两个物体间的作用力与反作用力，总是大小相等、方向相反、作用线相同，并分别作用于这两个物体。

这个公理概括了自然界的物体相互作用的关系，表明了作用力和反作用力总是成对出现的。必须强调，作用力和反作用力是分别作用于两个不同的物体上的，因此，决不能认为这两个力相互平衡，这与两力平衡公理中的两个力有着本质上的区别。

工程中的机械都是由若干个物体通过一定形式的约束组合在一起的，这称为物系统，简称物系。物系外的物体与物系之间的作用力称为外力，而物系内部物体间的相互作用力称为内力。内力总是成对出现且等值、反向、共线。对物系而言，内力的合力恒为零，故内力不会改变物系的运动状态。但内力与外力的划分又与所取物系的范围有关，随所取对象的范围不同，内力与外力是可以相互转化的。

## 二、约束与约束反力

工程中的机器或者结构，总是由许多零部件组成的。这些零部件是按照一定形式相互连接的，因此，它们的运动必然相互牵连和限制。如果从中取出一个物体作为研究对象，则它的运动当然也会受到与它连接或接触的周围其他物体的限制。也就是说，它是一个运动受到限制或约束的物体，称之为被约束体。

限制被约束体运动的周围物体称为约束。约束限制了物体本来可能产生的某种运动，故约束有力作用于被约束体，这种力称为约束反力。

约束反力总是作用在被约束体与约束体的接触处，其方向也总是与该约束所能限制的运动或运动趋势的方向相反。据此即可确定约束反力的位置及方向。

### 1. 柔索约束

由绳索、胶带、链条等形成的约束称为柔索约束。这类约束只能限制物体沿柔索伸长方

向的运动，因此，它对物体只有沿柔索方向的拉力，如图 1-4、图 1-5 所示，常用符号为  $F_T$ 。当柔索绕过轮子时，常假想在柔索的直线部分处截开柔索，将与轮接触的柔索和轮子一起作为考察对象。这样处理就可不考虑柔索与轮子间的内力，这时作用于轮子的柔索拉力方向即沿轮缘的切线方向（图 1-5b）。

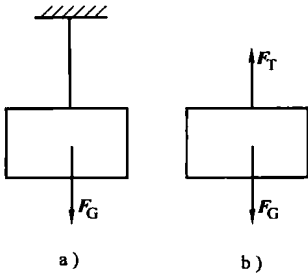


图 1-4 柔索约束示例一

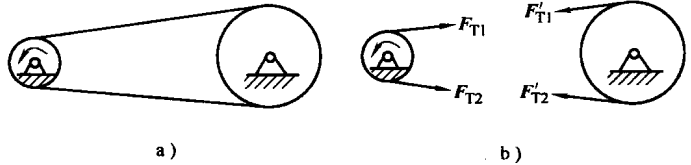


图 1-5 柔索约束示例二

### 2. 光滑面约束

当两物体直接接触，并可忽略接触处的摩擦时，约束只能限制物体在接触点沿接触面的公法线方向的运动，不能限制物体沿接触面切线方向的运动，故约束反力必过接触点沿接触面法向并指向被约束体，简称法向反力，通常用  $F_N$  表示。图 1-6a 和图 1-6b 所示分别为光滑曲面对刚体球的约束和齿轮传动机构中齿轮轮齿的约束。

图 1-7 为直杆与方槽在 A、B、C 三点接触，三处的约束反力沿二者接触点的公法线方向作用。

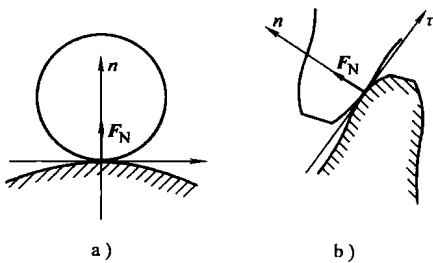


图 1-6 光滑面约束示例一

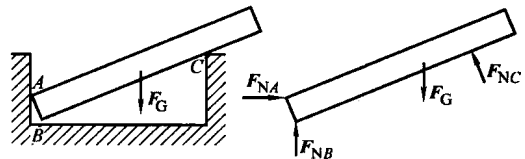


图 1-7 光滑面约束示例二

### 3. 光滑铰链约束

铰链是工程上常见的一种约束。它是在两个钻有圆孔的构件之间采用圆柱定位销所形成的联接，如图 1-8 所示。门所用的活页、铡刀与刀架、起重机的动臂与机座的连接等，都是常见的铰链连接。

一般认为销钉与构件光滑接触，所以，这也是一种光滑表面约束。约束反力应通过接触点  $K$  沿公法线方向（通过销钉中心）指向构件，如图 1-9a 所示。但实际上很难确定接触点  $K$  的位置，因此反力  $F_N$  的方向无法确定。所以，这种约束反力通常是用两个通过铰链中心的大小和方向未知的正交分力  $F_x$ 、 $F_y$  来表示，两分力的指向可以任意设定，如图 1-9b 所示。