



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
新世纪高等职业教育规划教材



# 汽车 机械基础

第2版

卢晓春 主编



配电子课件、试题



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

QI CHE JI XIE JI CHU

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
新世纪高等职业教育规划教材

# 汽车机械基础

第 2 版

主 编 卢晓春  
副主编 谢少芳 黄 坚  
参 编 王力夫 陈连云  
主 审 郑时雄



机械工业出版社

本书是为适应高职高专“汽车机械基础”课程的教学需要而编写。在第1版的基础上进行修订,保持了第1版教材的基本体系和特色,与汽车工程实际紧密结合,对教学内容进行整合优化。

本书内容以构件的力学分析为基础,以常用传动机构和通用零件为主要研究对象,以机械传动方式为主线。全书共分三篇,第一篇为汽车常用构件力学分析,主要介绍构件(物体)的受力分析、运动分析以及物体在外力作用下的变形、失效破坏的规律承载能力的计算等,包括构件静力分析、构件运动分析与动力分析、构件承载能力分析;第二篇为汽车常用轴系零部件,主要介绍汽车机械中轴系零部件及联接和支承的常用零部件的类型、结构特点、结构设计以及标准零部件的选用等,包括轴、轴承、联轴器、万向节、离合器与制动器以及其他常用零部件等;第三篇为汽车常用机构传动,主要介绍汽车机械中常用机械传动机构的工作原理、类型、运动特点,特性分析、选用原则以及一般维护知识等,包括连杆传动、凸轮传动、带传动和链传动、齿轮传动、轮系、其他常用传动机构及机械运转的调速和平衡。

本书为高等职业技术学院和高等专科学校汽车类专业的教材,也可供有关汽车专业技术人员、汽车维修技师和汽车维修工参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车机械基础/卢晓春主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2007. 11 (2011. 8重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 新世纪高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-10493-3

I. 汽... II. 卢... III. 汽车-机械学-高等学校: 技术学校-教材 IV. U463

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第174905号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:葛晓慧 责任校对:刘志文

封面设计:王伟光 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011年8月第2版第7次印刷

184mm×260mm·23印张·566千字

26 001—30 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-10493-3

定价:39.00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

读者购书热线:(010) 88379203

封面防伪标均为盗版

## 第2版前言

本书是在第1版的基础上,重新修订再编而成。

本次修订保持了第1版的鲜明特色,以近年来机械基础系列课程体系改革的研究与实践成果为基础,打破传统的将机械基础技术按“工程力学”、“互换性与技术测量”、“机械原理”和“机械零件”等四门课程组织教学的格局,整合优化为“汽车机械基础”一门主干技术基础课程,以满足目前我国汽车紧缺人才培养对机械基础理论与实际训练的需要。内容上是以构件的力学分析为基础,以常用传动机构和通用零件为主要研究对象,以机械传动方式为主线,分为汽车常用构件力学分析、汽车轴系零部件和汽车常用机构传动三篇进行介绍。通过本课程的学习,可对汽车常用构件的力学分析知识、汽车常用零部件和机械传动方式有一个较全面、概括性的了解,初步掌握汽车常用零部件和机械传动的工作原理、结构特点,并具有一定的合理选择及应用能力。

与第1版比较,本次修订主要体现在以下几点:

1. 结合教育部有关汽车技能紧缺人才培养基地建议和汽车运用示范性专业建设的要求,调整优化原汽车机械基础课程的内容。
2. 根据汽车新技术新结构的发展,更换了各章节中与汽车技术联系不够紧密的实例和插图,补充了汽车新技术、新标准和新材料的应用。
3. 根据汽车专业知识结构特点,在“力学分析”部分增加了动力学的部分内容,同时适当提高了“力学分析”部分教学内容的难度,以满足汽车制造与维修技术人才的知识要求。
4. 针对各章节中的错漏进行了更正修改。

本书旨在对汽车机械方面的一般知识作较系统的介绍,并不要求读者通过本书的学习后能具备进行复杂设计计算的能力。但是,本书在内容和作业编排上又具有一定的深度和广度,以使读者掌握必要的基本理论、基本知识和基本方法。

带\*章节(24学时)为多课时需选学的内容。本书教学参考课时少课时的在90~100学时之间,多课时在125~135学时之间。

本书共14章,由卢晓春任主编,谢少芳和黄坚任副主编。其中,绪论、第四、十一章由卢晓春编写;第二、八、十、十四章由谢少芳编写;第一、三章由黄坚编写;第五、六、七章由王力夫编写;第九、十二、十三章由陈连云编写。

本书由华南理工大学博士生导师郑时雄教授主审,在此深表感谢。在本书编写的过程中,我们参考了大量资料和文献,在此,对原作者一并表示深切的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有缺点甚至错误,欢迎读者批评指正。

本教材配有电子教案,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 下载,或发送电子邮件至 [cmpgaozhi@sina.com](mailto:cmpgaozhi@sina.com) 索取。咨询电话:010-88379375。

编 者

# 第1版前言

根据 21 世纪高等职业教育人才特点,以及汽车类专业人才的素质、业务范围、知识和能力结构等方面的要求,“汽车机械基础”作为该专业的一门技术基础课,是学好后继专业课程的基础。

通过本课程的学习,可对汽车采用的常用零部件、机械传动方式、液压与气压传动有一个较全面的、概括性的了解,初步掌握常用零部件、机械传动方式、液压与气压传动的工作原理、结构特点,并具备一定的合理选择及应用的能力。随着汽车新技术的不断应用,按照高等职业教育教学的要求,作为一门主干技术基础课程,“汽车机械基础”课程应更加实用化、综合化,涉及内容应更加广泛,使之更加切实可行地应用于汽车相关专业教学之中。

因此,本教材在编写过程中,认真贯彻了教育部“关于加强高职高专教育人才培养工作的若干意见”文件的精神,拓宽知识面,以必需、够用为度,力求针对性和实用性,重点反映对汽车类专业基本能力和基本技能的培养与要求,及时反映汽车新材料、新技术和新标准的应用,以适应社会对汽车类专业人才的需求,体现出高职高专教育以能力为本位的特色。

本书内容是以构件的力学分析为基础,以常用传动机构和通用零件、液气压元件为主要研究对象,以传动方式(机械传动、液压传动和气压传动)为主线来介绍的。全书分为四篇:力学分析、轴系零部件、机构传动以及液压与气压传动。

本书旨在对汽车机械方面的一般知识作较为系统的介绍,并不要求读者通过本书学习就能具备进行复杂设计计算的能力。但是,本书在内容和作业编排上又具有一定的深度和广度,以使读者掌握必要的基本理论、基本知识和基本方法。

本书由广东交通职业技术学院卢晓春任主编,广西职业技术学院黄坚任副主编。全书共 17 章。其中,绪论,第三、四、十一章由卢晓春编写;第一、二章由黄坚编写;第五、六、十、十二、十三章由广东交通职业技术学院王力夫编写;第七、八、九、十四、十五章由广东交通职业技术学院谢少芳编写;第十六、十七章由湖南铁道职业技术学院朱鹏超编写。

本书由华南理工大学博士生导师郑时雄教授主审,在此深表感谢。在本书编写的过程中,我们参考了大量资料和文献,在此,对原作者一并表示深切的谢意。

由于时间仓促和水平有限,书中难免有缺点甚至错误,欢迎读者批评指正,以便修改再版。

编 者

2002 年 1 月

# 目 录

## 第2版前言

## 第1版前言

## 绪论 ..... 1

第一节 本课程的学习对象、学习内容和目标 ..... 1

第二节 平面机构的运动简图 ..... 4

\* 第三节 汽车机械设计的基本要求和  
方法 ..... 11

复习思考题与习题 ..... 15

## 第一篇 汽车常用构件力学分析

## 第一章 构件静力分析 ..... 17

第一节 静力分析的基本概念和定理 ..... 18

第二节 受力分析与受力图 ..... 25

第三节 平面力系的简化与合成 ..... 30

第四节 平面力系的平衡 ..... 38

第五节 考虑摩擦时的平衡问题 ..... 46

\* 第六节 空间力系 ..... 50  
复习思考题与习题 ..... 57

## \* 第二章 构件运动分析与动力分析 ..... 62

第一节 刚体平面运动的基本知识 ..... 62

第二节 动静法 ..... 66

第三节 动能定理 ..... 70

复习思考题与习题 ..... 76

## 第三章 构件承载能力分析 ..... 78

第一节 承载能力分析的基本知识 ..... 78

第二节 轴向拉伸与压缩 ..... 81

第三节 剪切和挤压 ..... 94

第四节 扭转 ..... 98

第五节 平面弯曲 ..... 106

\* 第六节 组合变形的强度计算 ..... 131  
复习思考题与习题 ..... 138

## 第二篇 汽车轴系零部件

## 第四章 轴 ..... 145

第一节 概述 ..... 145

第二节 轴的结构设计 ..... 148

\* 第三节 轴的强度校核与刚度校核 ..... 155

复习思考题与习题 ..... 160

## 第五章 轴承 ..... 161

第一节 滑动轴承 ..... 161

第二节 滚动轴承 ..... 170

第三节 滑动轴承与滚动轴承的比较及  
选用 ..... 179

复习思考题与习题 ..... 188

## 第六章 联轴器、万向节、离合器与 制动器 ..... 189

第一节 联轴器 ..... 189

第二节 万向节 ..... 193

第三节 离合器 ..... 199

第四节 制动器 ..... 201

复习思考题与习题 ..... 203

## 第七章 其他常用零部件 ..... 204

第一节 键联接与花键联接 ..... 204

第二节 螺纹联接 ..... 210

第三节 紧固联接 ..... 220

第四节 弹簧 ..... 223

复习思考题与习题 ..... 227

## 第三篇 汽车常用机构传动

## 第八章 连杆传动 ..... 228

第一节 平面连杆传动机构的组成和特点 ..... 228

第二节 平面四杆机构的类型与应用 ..... 229

\* 第三节 四杆机构的基本特性及设计 ..... 237  
复习思考题与习题 ..... 242

## 第九章 凸轮传动 ..... 245

第一节 凸轮传动机构的组成、应用和  
分类 ..... 245

第二节 凸轮传动机构常用的从动件运  
动规律 ..... 247

第三节 凸轮机构设计与凸轮结构尺寸  
的确定 ..... 251

|                                   |     |                                |     |
|-----------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| * 第四节 凸轮传动机构的材料、结构和强度<br>校核 ..... | 256 | 第十二章 轮系 .....                  | 322 |
| 复习思考题与习题 .....                    | 259 | 第一节 轮系的类型与功用 .....             | 322 |
| <b>第十章 带传动和链传动</b> .....          | 261 | 第二节 轮系的传动比计算 .....             | 324 |
| 第一节 带传动的组成、特点与类型 .....            | 261 | 复习思考题与习题 .....                 | 331 |
| 第二节 传动带与带轮 .....                  | 264 | <b>第十三章 其他常用传动机构</b> .....     | 333 |
| 第三节 普通 V 带传动 .....                | 270 | 第一节 螺旋传动机构 .....               | 333 |
| 第四节 链传动 .....                     | 275 | 第二节 间歇运动机构 .....               | 335 |
| 复习思考题与习题 .....                    | 279 | * 第三节 特殊形式的行星传动机构 .....        | 341 |
| <b>第十一章 齿轮传动</b> .....            | 280 | 复习思考题与习题 .....                 | 345 |
| 第一节 齿轮传动的特点与类型 .....              | 280 | * <b>第十四章 机械运转的调速和平衡</b> ..... | 346 |
| 第二节 渐开线直齿圆柱齿轮 .....               | 282 | 第一节 机械运转速度波动调节的目的和<br>方法 ..... | 346 |
| 第三节 渐开线直齿圆柱齿轮传动 .....             | 287 | 第二节 回转件的平衡 .....               | 348 |
| 第四节 斜齿圆柱齿轮传动 .....                | 297 | 复习思考题与习题 .....                 | 352 |
| 第五节 锥齿轮传动 .....                   | 302 | <b>附录</b> .....                | 354 |
| 第六节 蜗杆传动 .....                    | 304 | 附录 A 型钢表 .....                 | 354 |
| * 第七节 圆弧齿轮传动 .....                | 309 | 附录 B 梁在简单载荷作用下的变形 .....        | 357 |
| 第八节 齿轮结构设计与齿轮传动润滑 .....           | 311 | <b>参考文献</b> .....              | 359 |
| 复习思考题与习题 .....                    | 319 |                                |     |

# 绪 论

汽车是人类重要的交通工具，汽车机械是机械工业的重要组成部分。在一些发达国家汽车工业产值占国民经济总产值的8%，占机械工业产值的30%，其实力足以左右整个国民经济的动向。可见，汽车工业是国民经济的支柱产业。

什么是机械？有关机械的基本理论问题包括哪些具体内容呢？汽车是一个机械系统，它是怎样组成的？如何表示、如何设计研究？

通过绪论的学习，要求学生达到以下目标：

- 1) 了解本课程研究对象，认识机器的组成，掌握机器、机构、构件、零件的基本概念及正确识别。
- 2) 初步了解本课程学习内容以及在专业人才培养中的地位及作用，从而明确本课程学习目标。
- 3) 能从机械系统中分析出平面机构的组成，能绘制出一般平面机构运动简图，计算其自由度，并判断其是否有确定的运动。
- 4) 了解机械设计的基本要求和设计方法。

## 第一节 本课程的学习对象、学习内容和目标

### 一、机器的组成及相关概念

本课程的学习对象是汽车机械。

机械也常称为机器，是人类在长期生产实践中为满足自身生活需要而创造出来的。机械工业已经成为现代工业的基础，因此机械的发展水平是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志。机器的种类繁多，应用广泛，其结构、功用各异，但从组成来分析，机器有共同之处。

图0-1所示是典型的轿车总体构造图。一般汽车由发动机、底盘和车身三大部分组成。发动机是使输送进来的燃料燃烧而产生动力的部件，一般采用内燃机，由曲柄连杆机构、凸轮配气机构、燃料供给系、冷却系、润滑系、点火系和起动系组成。底盘是将发动机输出的动力使汽车运动，并按驾驶员的操纵而正常行驶的部件，由传动系、行驶系、转向系和制动系组成。传动系包括离合器、变速器、传动轴、主减速器及差速器、半轴等传递动力的部分组成；行驶系对全车起支承作用，以保证汽车正常行驶，包括车架、前悬架和后悬架、前车轮和后车轮等部分；汽车转向系使汽车按选定方向行驶，包括转向器、转向传动装置等；制动系是汽车可靠停驻、停车和减速，包括前后轮制动器、控制、传动等装置。车身是驾驶员工作及容纳乘客和货物的场所。汽车是一个机械系统，通过这三大部件实现汽车安全的行驶功能，使人类以车代步。

图0-2所示为单缸内燃机的构成，它是由气缸体1、活塞2、进气阀3、排气阀4、推杆5、凸轮6、连杆7、曲柄8和大小齿轮9、10等所组成的。内燃机工作时，气缸燃气推动活

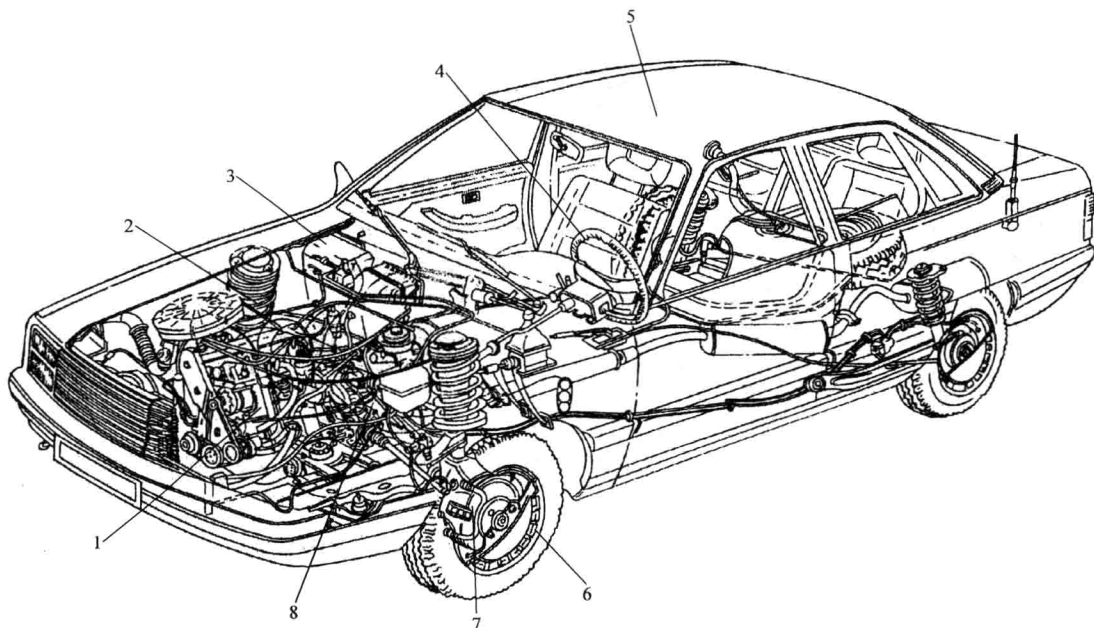


图 0-1 典型的轿车总体构造

1—发动机 2—悬架 3—空调装置 4—转向盘 5—车身 6—转向驱动轮 7—制动器 8—变速器

塞运动。活塞的上下往复移动通过连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和推杆是用来打开或关闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周，进、排气阀各开闭一次，在曲轴和凸轮之间安装了齿数比为 1:2 的一对齿轮。这样，当燃气推动活塞运动时，进、排气阀有规律地开闭，加上供给、点火系等装置的配合，把燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

从以上例子分析，可以归纳成以下几点认识：

(1) 一部完整的机器 就其功能来讲，一般都有下面四个基本组成部分。

1) 动力部分。它是驱动整个机器完成预定功能的动力源，如汽车的发动机。各种机器广泛使用的动力源有电力、热力、液力、压缩气体、风力等。

2) 执行部分。它是机器中直接完成工作任务的组成部分。如汽车的行驶系、内燃机的活塞、起动机的吊钩、机床的刀架等。

3) 传动部分。它是机器中介于原动机和执行部分之间，用来完成运动形式、运动和动力参数转换的组成部分。利用它可以减速、增速、调速、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。如汽车的传动系、内燃机的连杆、齿轮机构。常用的传动形式有机械传动、液压传动、气压传动、电动传动等。其中，机械传动应用最广。

机械传动通常是通过各种传动机构，如连杆传动机构、凸轮传动机构、带传动、齿轮传动、间歇运动机构、起停和换向等装置，与各种零件，如轴、轴承、联轴器、螺栓及弹簧等配合完成传动任务的。其运动特性通常用转速、速比、变速范围等参数表示；动力特性通常用功率、转矩、效率等表示。

4) 控制部分。它是使上述三个基本职能部分彼此协调运作，并准确、安全、可靠地完成整机功能的组成部分，如汽车的转向系、制动系，内燃机的凸轮配气机构等。它包括机械

控制、电气控制、液压控制和气压控制系统等。

以上四部分中，执行部分和传动部分是机器的主体。

(2) 任何机器都是由许多零件组合而成。根据机器的功能和结构要求，某些零件需刚性联结成一个整体，成为机器中运动的基本单元体，通常称为构件。零件是机器中最小的制造单元。为了结构和工艺的需要，构件既可以由若干个零件组成，也可以是独立运动的零件。

(3) 机器不仅能传递运动和动力，还能变换或传递能量、物料和信息的。如图 0-2 所示，内燃机除运动外，还能把热能转换成机械能。可见，机器具有以下三个特征：

- 1) 机器是由多个构件组成的。
- 2) 各构件间具有确定的相对运动，能够实现预期的机械运动。
- 3) 能够完成有效的机械功或进行能量转换。

具有机器前两个特征的多构件组合体，称为机构。机构能实现一定规律的运动，是机器中执行机械运动的装置。

例如，图 0-2 中，曲柄、连杆、活塞和气缸所组成的曲柄滑块机构可以把往复直线运动转变为连续转动；由大小齿轮和气缸体所组成的齿轮机构可以改变转速的大小和方向；由凸轮、推杆和气缸体所组成的凸轮机构可以将连续转动变为有规律的往复运动。

如果仅研究构件的运动和受力情况，机构与机器之间并无区别。因此，机械可以看作机器和机构的总称。

(4) 机器一般由常用机构、通用零部件和元件组成。机器的各组成部分随其用途不同而各异，但在不同的机器组成中常包括齿轮、带轮、凸轮、连杆、液压、气压等传动机构，及轴、轴承、联轴器、离合器、键、螺栓、销和弹簧等零部件，包含有机械、电气等传动及控制元件和机构。它们在不同的机器中所起作用和工作原理基本相同，是各种机器共同的、重要的组成部分。对这些常见机构、零部件和元件，一般称为常用机构、通用零部件和元件。

## 二、本课程的学习内容及学习目标

### 1. 本课程的学习内容

汽车和工程中各种机械设备、结构物一样，在工作过程中，各构件会受到各种各样载荷的作用。在这些载荷的作用下，构件必须满足相应的要求才能正常工作，从而避免在工作寿

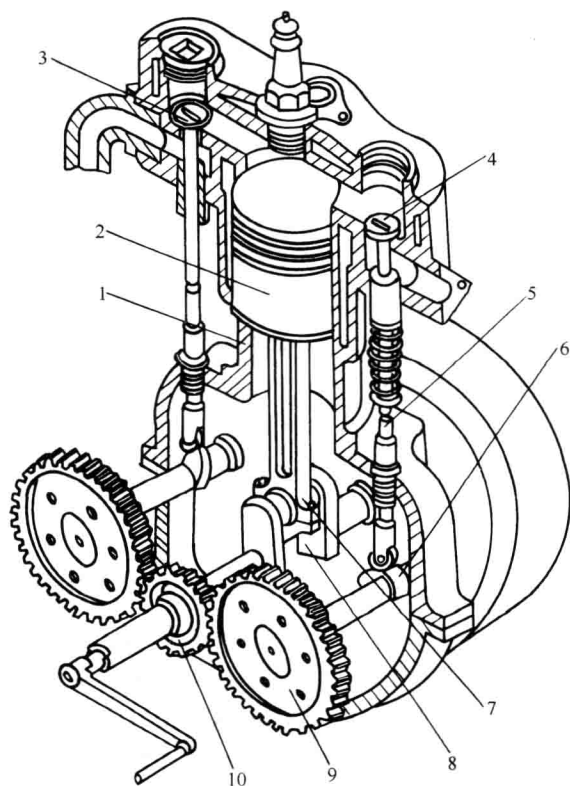


图 0-2 单缸内燃机构造

- 1—气缸体 2—活塞 3—进气阀 4—排气阀  
5—推杆 6—凸轮 7—连杆 8—曲柄  
9、10—大小齿轮

命期限内失效。而如何使设计的构件具备相应的工作能力,在工作过程中各构件为什么会失效,如何避免等问题,都必须运用力学的理论和方法去分析、计算。

本课程对汽车机械基础的研究是以构件的力学分析为基础、以常用传动机构和通用零件为主要研究对象,以传动方式为主线来进行。具体内容分为以下三篇:

第一篇汽车常用构件力学分析——主要讲述力学分析的基础知识,介绍汽车常用构件(物体)的受力分析、力系的简化和物体的平衡条件,构件运动分析和动力分析,以及物体在外力作用下的变形、失效破坏的规律以及承载能力的计算方法。

第二篇汽车轴系零部件——主要阐述汽车机械中轴系零部件及汽车中常用零件的工作原理、类型、结构特点、材料和结构设计方法、选用原则和方法,扼要地介绍通用零部件的有关国家标准和规范。

第三篇汽车常用机构传动——主要阐述汽车机械中常用的机械传动机构的工作原理和类型、运动特点和设计方法、选用原则和方法、一般使用维护知识,并简单介绍机器动力学的有关知识。

本书旨在对汽车机械方面的一般知识作较系统的介绍,并不要求读者通过本书能具备进行复杂设计计算的能力。但是,本书在内容上又具有一定的深、广度,作业编排上也经过精心设计,以使读者掌握必要的基本理论、基本知识和基本方法。

本书所介绍的设计和选用计算方法基本上经过了简化。用它们可以解决一般的生产实际问题。但对于重要和复杂的机械,则应采用更加精确和完善的设计计算方法。这类方法比较复杂,需要较为深厚的理论基础和完成较大的计算工作量。近代力学理论的发展和电子计算机的应用,推动了机械设计方法的不断更新。

## 2. 本课程的学习目标

“汽车机械基础”是汽车类各专业的一门技术基础课程,在相关各专业课程的教学中占有重要的地位,是学生必备的专业技术基础知识。学习本课程要综合运用高等数学、机械制图、金属材料及热处理、互换性与技术测量、计算机等基本知识,具有较强的综合性、实践性,应当注意理论、经验与实验三者并重。

通过本课程的学习和实践性训练,使学生具备必需的机械基础知识与技能,课程目标要求达到:

- 1) 掌握汽车机械构件的静力学分析及承载能力分析、计算方法。
- 2) 掌握汽车机械中的常用机构、通用零部件和元件的工作原理、结构特点分析及其设计方法。
- 3) 了解使用、维护和管理汽车机械设备的基础知识。
- 4) 具有查阅、检索相关技术资料的能力,掌握相关技术标准。
- 5) 具有初步设计机械传动和简单机械的能力。
- 6) 为后继课程的学习打下必要的基础。

## 第二节 平面机构的运动简图

机器是由各种机构组成的机械系统,无论是分析一个现有的机构还是设计一个新的机构,都需要判断该机构的结构和运动与哪些因数有关,以及它是否具有确定的相对运动。这

是对机构进行结构分析的基本任务。本节主要讨论平面机构的组成及机构具有确定运动的条件, 介绍正确绘制机构运动简图和计算机构自由度的方法。

### 一、机构的组成与分类

机构是具有确定的相对运动构件的组合。可见, 机构有两个属性: 机构是构件的组合物; 其二, 组成机构的各构件之间具有确定的相对运动。构件在机构中具有独立运动的特性, 是机构的运动单元。

如图 0-3a 所示, 内燃机曲柄滑块机构中包含活塞 (滑块)、连杆、曲轴 (曲柄) 和气缸等构件, 原动件活塞 3 的直线往复移动, 通过连杆 2 带动曲轴 1 作连续转动。其中, 连杆构件是由连杆体 5、连杆盖 7、螺栓 6 和螺母 8 等零件刚性联结所组成的, 如图 0-3b 所示。

在组成机构的所有构件中, 必须以一个相对固定的构件作为支承, 以便安装其他活动构件, 该构件称为机架, 如图 0-3 中的气缸 4。一般取机架作为研究机构运动的静参考系。在活动构件中, 输入已知运动规律的构件称为原动件, 其他的活动构件称为从动件。

机构运动时, 若所有构件都在相互平行的平面内运动, 则该机构称为平面机构, 否则称为空间机构。一般机械中的机构大多属于平面机构, 在此, 主要讨论平面机构。

在机构中, 组成机构的各构件都应具有确定的相对运动。为此, 各构件之间必须以某种方式联接起来。若两个构件之间既相互直接接触, 又具有一定的相对运动, 形成一种可动的联接称为运动副。机构中各个构件之间的运动和力的传递, 都是通过运动副来实现的。因此, 机构也是由运动副联接而成的具有确定相对运动的构件系统。

两构件组成运动副的接触元素——点、线和面, 称为运动副元素。凡是通过面接触而构成的运动副称为低副。根据组成平面低副的两构件之间的相对运动的性质, 低副又可分为转动副 (图 0-4a) 和移动副 (图 0-4b)。在图 0-3 中, 曲柄与连杆、连杆与滑块构成转动副; 滑块与机架构成移动副。凡是通过点或线接触而构成的运动副称为高副 (图 0-4c、d)。此外, 组成运动副的两构件之间作相对空间运动, 称为空间运动副 (图 0-5), 在此不详细讨论。

### 二、平面机构的运动简图

由于机构的运动仅与机构中运动副的性质 (低副或高副)、运动副的数目及相对位置 (转动副中心、移动副的中心线、高副接触点的位置等)、构件数目等有关, 而与构件的外形、截面尺寸、组成构件的零件数目、运动副的具体构造无关。因此, 为简化问题, 便于研究, 常常可不考虑与运动无关的因素, 而用规定的构件和运动副符号及简单线条, 按一定的长度比例尺确定运动副的位置, 绘制出简单图形, 这种表示机构运动特性的简单图形称为机构运动简图。

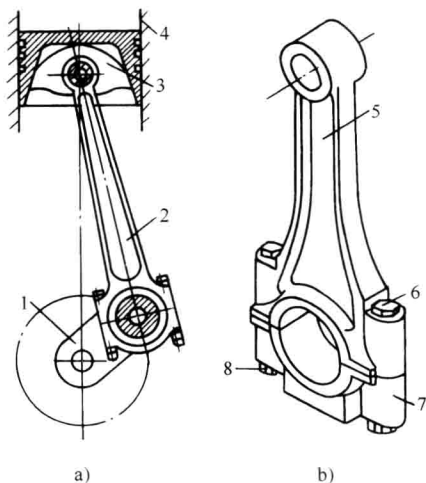


图 0-3 内燃机曲柄滑块机构和连杆

a) 曲柄滑块机构 b) 连杆 2 的组成

1—曲轴 (曲柄) 2—连杆 3—滑块 (活塞)

4—机架 (气缸) 5—连杆体 6—螺栓

7—连杆盖 8—螺母

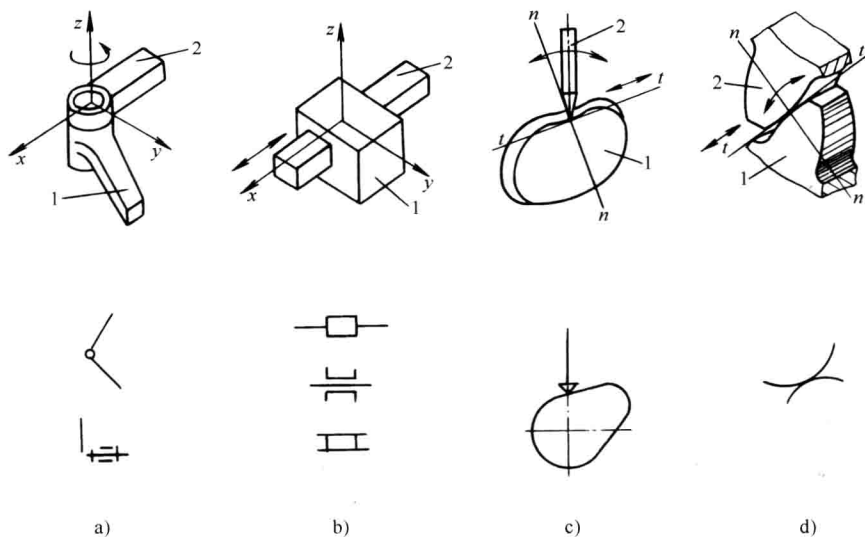


图 0-4 平面运动副及其符号

a) 转动副 b) 移动副 c) 高副 (点接触) d) 高副 (线接触)

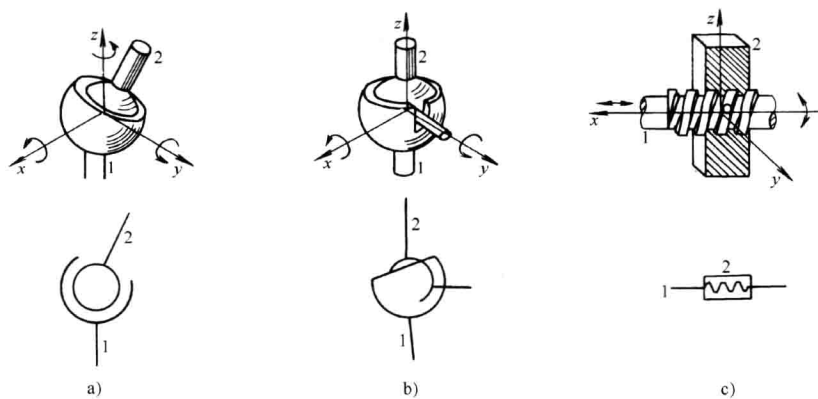


图 0-5 空间运动副及其符号

a) 球面副 b) 球销副 c) 螺旋副

机构运动简图中常用机构和运动副的表示方法见表 0-1。

机构运动简图不仅简明地表达了实际机构的运动情况和运动特征，而且可通过该图进行机构的运动分析和动力分析。

实际工作中，有时只需要表明机构运动的传递情况和构造特征，而不要求机构的真实运动情况。因此，不必严格地按比例确定机构中各运动副的相对位置及其尺寸，这样的简图称机构简图（或称机构示意图）。在进行新机器设计分析时，常用机构简图进行方案比较。

机构运动简图的绘制方法和步骤如下：

- 1) 分析机构的组成。
- 2) 分析构件间的相对运动和接触情况，确定运动副的类型和数目。
- 3) 选择能清楚地表达各构件间运动关系的视图平面。
- 4) 选择比例尺，绘制机构运动简图。

表 0-1 部分常用机构运动简图符号

| 名 称     | 代表符号       |            | 名 称       | 代表符号       |
|---------|------------|------------|-----------|------------|
| 杆的固定联接  |            |            | 链传动       |            |
| 零件与轴的固定 |            |            | 外啮合圆柱齿轮机构 |            |
| 轴 承     | 向心轴承       | <br>普通轴承   | 滚动轴承      | <br>滚动轴承   |
|         | 推力轴承       | <br>单向推力   | 双向推力      | <br>双向推力   |
|         | 向心推力轴承     | <br>单向向心推力 | 双向向心推力    | <br>双向向心推力 |
| 联轴器     | <br>可移式联轴器 |            | 弹性联轴器     | <br>弹性联轴器  |
| 离合器     | <br>啮合式    |            | 摩擦式       | <br>摩擦式    |
| 制动器     |            |            | 蜗杆传动      |            |

例 0-1 绘制图 0-6 所示内燃机的机构运动简图。

### 1. 曲柄滑块机构

1) 由于气缸体 1 与内燃机机体可视为固联, 故对整个机构而言是相对静止的固定件, 即为机架; 活塞 2 在燃气的推动下运动, 是原动件; 其余的构件是从动件。

2) 活塞 2 与其气缸体 1 之间的相对运动是移动, 从而组成移动副; 活塞 2 与连杆 3、连杆 3 与曲轴 4、曲轴 4 与机体之间的相对运动是转动, 所以都组成转动副。

上述四个构件中, 用了一个移动副和三个转动副, 从固定件开始, 经原动件到从动件按一定顺序相联, 又回到固定件, 从而形成一个独立的封闭构件组合体, 即组成一个独立的机构, 称为曲柄滑块机构。

3) 选择平行于四杆机构运动的平面作为视图平面。

4) 当活塞 2 (原动件) 相对气缸 1 的位置确定后, 选取适当的比例尺用相应的构件和运动副的符号, 可绘制出机构运动简图。

## 2. 平面齿轮机构

齿轮 4' 与曲轴 4 固联, 因曲轴运动已知, 所以齿轮 4' 是原动件; 齿轮 6' 是从动件。齿轮 4'、6' 分别通过曲轴 4、凸轮轴由气缸 1 支持, 故气缸 1 是机架。

齿轮 4'、6' 分别相对机架作转动, 所以组成转动副; 齿轮 4'、6' 之间的接触是线接触, 组成高副。因此, 三个构件用两个转动副和一个高副按一定顺序相联, 形成一个独立的封闭的构件组合体, 即平面齿轮机构。

选择齿轮的运动平面作为视图平面, 并选用与曲柄滑块机构相同的比例尺, 用相应的构件和运动副的符号绘制出机构运动简图。

需要指出, 因齿轮只转动, 由齿轮轮廓接触组成的高副 (又称为齿轮副) 常用其节圆 (点划线表示) 相切来表示。

## 3. 平面凸轮机构

平板凸轮 6 与机架 1 组成转动副, 并与进气门推杆 5 组成高副, 形成一个独立封闭的构件组合体, 即为平面凸轮机构。选择其视图平面, 并用与曲柄滑块机构相同的比例尺, 绘制出机构运动简图。

以上内燃机三个机构的运动简图如图 0-7 所示。

由上述可知, 内燃机的原动件是活塞, 齿轮 4' 与凸轮轴 6 的运动均取决于活塞。当活塞 2 的位置一定时, 齿轮 4' 与凸轮轴 6 的位置也就确定, 不可任意变动, 随着活塞 2 位置的改变, 则可画出一系列相应的机构运动简图。

## 三、平面机构具有确定运动的条件

### 1. 自由度与约束

自由度是构件可能出现的独立运动。任何一个构件在空间自由运动时皆有 6 个自由度, 即在直角坐标系内沿  $x$  轴、 $y$  轴和  $z$  轴的移动以及绕  $x$  轴、 $y$  轴和  $z$  轴的转动, 共计 6 个独立运动。而对于一个作平面运动的构件, 则只有 3 个自由度, 如图 0-8 所示, 自由构件 M 可以在  $Oxy$  平面内绕任一点  $A$  转动, 也可以沿  $x$  轴或  $y$  轴方向移动。

当一个构件与其他构件组成运动副后, 构件的某些独立运动就要受到限制, 自由度减少。这种对构件独立运动的限制称为约束。两个构件之间相对约束的数目和性质取决于其构成运动副的形式。

如图 0-4a 所示, 1、2 构件组成转动副后, 在  $x$ 、 $y$  轴方向上的移动被限制, 仅保留了绕  $z$  轴的转动。如图 0-4b 所示, 1、2 构件组成移动副后, 不能沿  $y$  轴移动和绕任何轴转动,

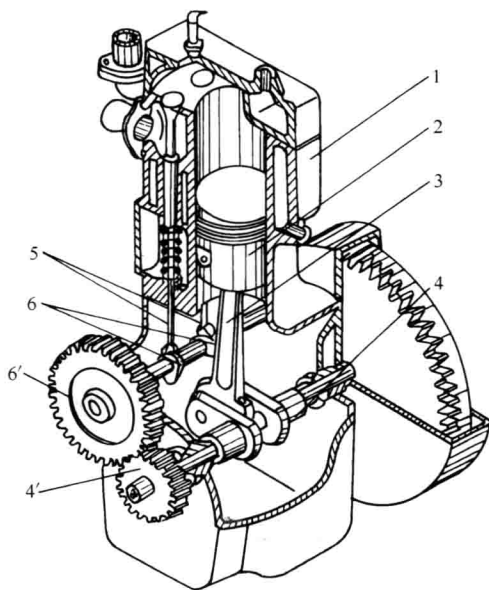


图 0-6 内燃机的组成

1—气缸体 2—活塞 3—连杆 4—曲轴  
4'、6'—齿轮 5—进、排气门推杆 6—凸轮

只保留了沿  $x$  轴的移动。如图 0-4c、d 所示, 1、2 构件组成高副后, 沿公法线  $nn$  的移动被限制, 但保留了沿切线  $tt$  的移动和绕接触点的转动。

可见, 平面机构中低副引入两个约束, 仅保留一个自由度; 高副引入一个约束, 而保留两个自由度。

## 2. 平面机构自由度的计算

机构的自由度是指机构相对于机架所具有的独立运动参数的数量, 它取决于组成机构的活动构件的数目、运动副的类型和数目。

假设某平面机构由  $n$  个活动构件、 $P_L$  个低副和  $P_H$  个高副所组成, 由于一个不受约束构件的平面运动有三个自由度, 而一个低副有两个约束条件, 一个高副有一个约束条件。因此, 平面机构自由度的计算公式为

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (0-1)$$

**例 0-2** 计算图 0-7 所示内燃机机构的自由度。

**解:** 图中曲轴 4 与齿轮 4'、齿轮 6' 与凸轮 6 皆固连在一起, 故可分别视为一构件。因此可得:  $n = 5$ ,  $P_L = 6$  (其中有两个移动副、四个转动副),  $P_H = 2$ 。所以, 该机构自由度

$$F = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 2 = 1$$

在计算平面机构自由度的时候, 有些特殊情况需要进行分析处理。

(1) **复合铰链** 复合铰链是指  $k (\geq 2)$  个构件在同一处构成同轴线的转动副。复合铰链处的转动副数目应为  $k - 1$ 。如图 0-9 所示, 三个构件在  $C$  处构成复合铰链, 其转动副的数目为 2。

(2) **局部自由度** 局部自由度是指机构中某些构件的局部独立运动, 它并不影响其他构件的运动。因此, 计算机构自由度时不考虑其局部自由度。

如图 0-10 所示的滚子从动件凸轮机构中, 滚子相对于从动件的转动, 从机构运动学的

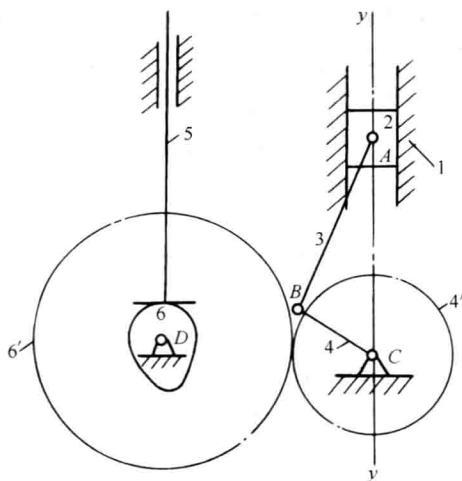


图 0-7 内燃机的机构运动简图

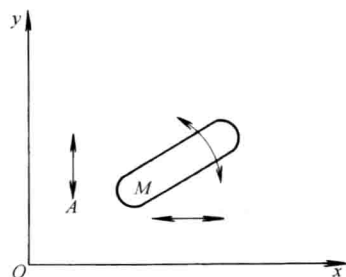


图 0-8 构件的自由度

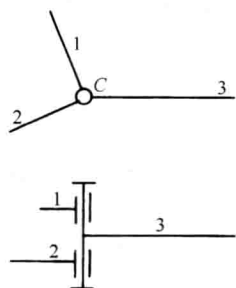


图 0-9 复合铰链

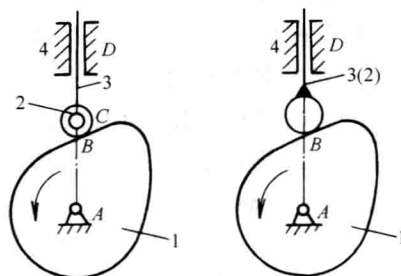


图 0-10 局部自由度

角度来看是局部自由度，它并不影响其他机构的运动。因此，计算机构自由度时不予考虑，即将滚子 2 与构件 3 固联。但是，滚子能将动件与凸轮轮廓之间的滑动摩擦变为滚动摩擦，减少凸轮轮廓与从动件之间的摩擦。

(3) 虚约束 虚约束是指在机构运动分析中不产生实际约束效果的重复约束。常见虚约束的识别和处理见表 0-2。

表 0-2 对虚约束的识别和处理

| 序号 | 识 别                              | 处 理                                      | 图 例 |
|----|----------------------------------|------------------------------------------|-----|
| 1  | 重复移动副（两个构件构成导路平行的多个移动副）          | 只有一个移动副起约束作用，其余的移动副是虚约束                  |     |
| 2  | 重复转动副（两个构件构成轴线重合的多个转动副）          | 只有一个转动副起约束作用，其余的转动副是虚约束                  |     |
| 3  | 重复结构（机构中与不起独立传递运动作用的结构相同的对称部分）   | 只有一个构件参与运动的传递，其余的对称结构不计（如图中行星轮 2' 与 2''） |     |
| 4  | 重复轨迹（机构中某构件联接点的轨迹与另一构件被联接点的轨迹重合） | 除去重复的构件及其引入的运动副（如图中构件 5 及转动副 E 与 F）      |     |

应当指出，虚约束是在特定的几何条件下形成的，它的存在虽然对机构的运动没有影响，但是它可以改善机构的受力状况，增强机构工作的稳定性。如果这些特定的几何条件不能满足，则虚约束将会变成实际约束，使机构不能运动。因此，在采用虚约束的机构中，对它的制造和装配精度都有严格的要求。

### 3. 平面机构具有确定运动的条件

根据平面机构的自由度计算公式，当机构的自由度  $F > 0$  时，机构相对于机架是可以运动的。由于平面机构的原动件通常都是用低副与机架相联接，它们相对于机架的独立运动数目为 1，即每个原动件只能输入一个独立运动。由此可见，机构自由度的数目就为所需原动件的数目，即独立运动或输入运动的数目。当输入机构的独立运动数目小于机构的自由度时，机构的运动状态是不确定的；当输入机构的独立运动数目大于机构的自由度时，机构将会卡死或损坏。因此，平面机构具有确定运动的充要条件为：机构自由度大于 0，且原动件