



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校汽车运用与维修专业教学用书

技能型紧缺人才培养培训系列教材

汽车机械基础

崔振民 张让莘 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

中等职业学校汽车运用与维修专业教学用书

技能型紧缺人才培养培训系列教材

汽车机械基础

崔振民 张让莘 主编

郭春启 富 靖 主审

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材之一,是根据教育部办公厅、交通部办公厅、中国汽车工业协会、中国汽车维修行业协会最新颁布的《中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》编写的。

全书主要内容包括静力学基础、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面任意力系、摩擦、刚体定轴转动、材料力学基础、液压传动基本概念、压力控制回路及其主要元件、速度控制回路及其主要元件、方向控制回路及其主要元件、典型液压传动系统实例、液压系统的维护和常见故障的排除、汽车常用金属材料、汽车运行材料、平面连杆机构、凸轮机构、连接、带传动和链传动、齿轮传动和蜗杆传动、轴和轴承、联轴器和离合器等。

本书可作为中等职业学校汽车运用与维修专业教材,也可作为汽车行业从业人员岗位培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车机械基础/崔振民,张让莘主编. —北京:高等教育出版社,2005.6(2007重印)

ISBN 7-04-016515-5

I. 汽... II. ①崔... ②张... III. 汽车-机械学-专业学校-教材 IV. U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 043754 号

策划编辑	李新宇	责任编辑	胡 纯 孙克玮	封面设计	于 涛
责任绘图	朱 静	版式设计	张 岚	责任校对	杨雪莲
责任印制	尤 静				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 18.25
字 数 440 000

版 次 2005 年 6 月第 1 版
印 次 2007 年 1 月第 6 次印刷
定 价 23.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 16515-00

出版说明

2003年12月教育部、劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部联合印发了《教育部等六部门关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》。为了配合该项工程的实施,高等教育出版社开发编写了汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材。该系列教材已纳入教育部职业教育与成人教育司发布实施的《2004—2007年职业教育教材开发编写计划》,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定,作为教育部推荐教材出版。

高等教育出版社出版的教育部推荐汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材(以下简称推荐系列教材),是根据教育部办公厅、交通部办公厅、中国汽车工业协会、中国汽车维修行业协会最新颁布的《中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》编写的。推荐系列教材力图体现:以培养综合素质为基础,以能力为本位,把提高学生的职业能力放在突出的位置,加强实践性教学环节,使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者;职业教育以企业需求为基本依据,办成以就业为导向的教育,既增强针对性,又兼顾适应性;课程设置和教学内容适应企业技术发展,突出汽车运用与维修专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法,具有一定的先进性和前瞻性;教学组织以学生为主体,提供选择和创新的空間,构建开放的课程体系,适应学生个性化发展的需要。推荐系列教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新尝试,主要特色有:

1. 以就业为导向,定位准确,全程设计,整体优化。
2. 借鉴国内外职业教育先进教学模式,突出项目教学,顺应现代职业教育教学制度的改革趋势,适应学分制。
3. 教材中各知识单元和技能模块都尽可能围绕与汽车紧密相关的案例来展开讲解,首先激发学生的兴趣,争取让学生每学习一个模块就掌握一项实际的技能。知识点以必需、够用为度。
4. 教材根据学习内容编写技能训练和考核项目,及时帮助学生强化所学知识和技能,缩短了理论与实践教学之间的距离,内在联系有效,衔接与呼应合理,强化了知识性和实践性的统一。
5. 有关操作训练和实训,参照国家职业资格认证标准或岗位技能考核标准,成系列按课题展开,考评标准具体明确,直观、实用,可操作性强。

推荐系列教材既注重了内在的相互衔接,又强化了相互支持,并将根据教学需求不断完善和提高。

查阅推荐系列教材的相关信息及配套教学资源,请登录高等教育出版社“中等职业教育教学资源网”(网址:<http://sv.hep.com.cn>)。

高等教育出版社

2004年12月

前 言

本书是中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材之一，是根据教育部办公厅、交通部办公厅、中国汽车工业协会、中国汽车维修行业协会最新颁布的《中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》编写的。本书在作者编著的原国家规划教材配套教学用书《汽车机械基础》基础上，紧密结合汽车运用与维修专业领域的应用，重新编写而成。具体内容包括工程力学、液压传动、汽车材料及机械零件四部分。

本书在编写过程中，贯彻少而精、注重系统性以及学以致用原则，着重体现在以下几个方面：

- 1. 在整体结构和内容上作了大的改动，力求与汽车专业紧密结合，在各章都相应增加了在汽车中应用的实例。
- 2. 删除了原书中与专业关系不大的内容，增添了与专业联系密切的新内容。
- 3. 力争教材内容难易适度，改变了以往教材内容偏多、偏深、偏难的现象，注重理论联系实际，在便于学生自学的同时，增强了所学内容的实用性。
- 4. 在教材内容取舍和主次的选择上，照顾广度，控制深度，力求针对汽修专业，并对与本专业密切相关的内容予以足够重视。
- 5. 本书的名词术语、物理符号、单位以及各种标准等都统一采用国家最新标准。
- 6. 本书可作为全国中等职业学校汽车运用与维修专业教材，也可作为中初级工程技术人才培养教材和自学读本之用。

本教材共需要安排 90 课时，课时分配如下：

篇、章	课 时
第一篇 工程力学	20
第一章 静力学基础	2
第二章 平面汇交力系	2
第三章 力矩与平面力偶系	2
第四章 平面任意力系	2
第五章 摩擦	2
第六章 刚体定轴转动	2
第七章 材料力学基础	8
第二篇 液压传动	18
第八章 液压传动基本概念	2

续表

篇、章	课 时
第九章 压力控制回路及其主要元件	2
第十章 速度控制回路及其主要元件	2
第十一章 方向控制回路及其主要元件	4
第十二章 典型液压传动系统实例	6
第十三章 液压系统的维护和常见故障的排除	2
第三篇 汽车材料	20
第十四章 汽车常用金属材料	12
第十五章 汽车运行材料	8
第四篇 机械零件	32
第十六章 平面连杆机构	4
第十七章 凸轮机构	2
第十八章 连接	4
第十九章 带传动和链传动	4
第二十章 齿轮传动和蜗杆传动	8
第二十一章 轴和轴承	8
第二十二章 联轴器和离合器	2

以上课时仅供参考。教学过程中,任课教师可根据专业特点和学生实际情况对教材内容进行适当调整。

本教材由山东交通职业技术学院崔振民、张让莘、钟宝华、邓吉伟编写,崔振民、张让莘主编。

教育部聘请沈阳市汽车工程学校郭春启、富靖审阅了本书,他们对书稿提出了许多宝贵意见和建议,编者在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,教材中错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2005 年 1 月



目 录

第一篇 工程力学

第一章 静力学基础	3	第五章 摩擦	21
第一节 静力学的基本概念	3	第一节 滑动摩擦	21
第二节 静力学基本原理	4	第二节 摩擦角与自锁	22
第三节 约束和约束反力	5	第三节 滚动摩擦的概念	24
第四节 物体的受力分析和受力图	7	第六章 刚体定轴转动	25
第二章 平面汇交力系	9	第一节 转速和线速度	25
第一节 平面汇交力系的合成	9	第二节 转动惯量	26
第二节 平面汇交力系平衡的解析法	12	第三节 刚体变速转动和转动动力学 方程	27
第三章 力矩与平面力偶系	15	第四节 转矩的功率、机械效率	28
第一节 力矩、力偶和力偶矩	15	第七章 材料力学基础	30
第二节 平面力偶系的合成与平衡 条件	17	第一节 材料力学的基本概念	30
第三节 力的平移定理	18	第二节 拉伸和压缩	32
第四章 平面任意力系	19	第三节 剪切和挤压	40
第一节 平面任意力系向一点的简化	19	第四节 圆轴的扭转	43
第二节 平面任意力系的平衡条件和 平衡方程	20	第五节 直梁的弯曲	47
		第六节 材料力学其他常用知识简介	54

第二篇 液压传动

第八章 液压传动基本概念	59	第十一章 方向控制回路及其主要元件	86
第一节 概述	59	第一节 方向控制回路	86
第二节 液压传动的几个基本概念	61	第二节 方向控制回路的主要元件	87
第九章 压力控制回路及其主要元件	64	第三节 液压缸及液压辅助元件	89
第一节 压力控制回路	64	第十二章 典型液压传动系统实例	98
第二节 压力控制回路的主要元件	66	第一节 汽车起重机液压系统	98
第十章 速度控制回路及其主要元件	81	第二节 汽车及保修机具液压系统	101
第一节 速度控制回路	81	第十三章 液压系统的维护和常见 故障的排除	109
第二节 速度控制回路的主要元件	83		

第三篇 汽车材料

第十四章 汽车常用金属材料	119	第十五章 汽车运行材料	157
第一节 金属的性能	119	第一节 汽车用燃料	157
第二节 汽车常用碳素钢、铸钢及其热处理	124	第二节 汽车用润滑材料	163
第三节 汽车常用合金钢	137	第三节 汽车制动液、液压油、减振器油、防冻液	177
第四节 汽车用铸铁	147	第四节 塑料、橡胶及粘接剂、制冷剂 ...	182
第五节 汽车用有色金属	151		

第四篇 机械零件

第十六章 平面连杆机构	189	第一节 齿轮传动及其在汽车中的应用	229
第一节 机构的组成	189	第二节 蜗杆传动及其在汽车中的应用	248
第二节 机构的运动简图	191	第三节 齿轮系及其在汽车中的应用 ...	253
第三节 汽车常用平面连杆机构	193	第二十一章 轴和轴承	258
第四节 有关连杆机构的一些特性	196	第一节 轴及其在汽车中的应用	258
第十七章 凸轮机构	198	第二节 滑动轴承及其在汽车中的应用	262
第一节 汽车常用凸轮机构及其从动件的常用运动规律	198	第三节 滚动轴承及其在汽车中的应用	264
第二节 其他凸轮机构及其从动件的常用运动规律	200	第二十二章 联轴器和离合器	273
第十八章 连接	205	第一节 联轴器的类型及其在汽车中的应用	274
第一节 汽车常用螺纹连接	205	第二节 离合器的类型及其在汽车中的应用	277
第二节 汽车常用其他连接	210		
第十九章 带传动和链传动	217		
第一节 带传动及其在汽车中的应用 ...	217		
第二节 链传动及其在汽车中的应用 ...	223		
第二十章 齿轮传动和蜗杆传动	229		

附录	280
参考文献	283

第一篇

工 程 力 学

第一节 静力学的基本概念

一、力的概念

(一) 力的定义

力是物体间的相互作用，作用的结果，使物体的运动状态发生变化或使物体发生变形。因为力是一个物体对另一个物体的作用，所以力不能脱离实际物体而存在。力的概念产生于人类的生产劳动中，当人们用手握、拉、掷、举物体时，由于肌肉紧张而感到力的作用，这种作用广泛地存在于人与物及物与物之间，如汽车与地面之间存在力的作用，可燃气体推动活塞在气缸中往复运动也存在力的作用，等等。在研究物体受力时，必须分清受力物体和施力物体。

(二) 力的三要素

力的三要素是指力的大小、方向和作用点(图 1-1)。

1. 力的大小

指物体间机械作用的强弱。它的单位是 N(牛)或 kN(千牛)。

2. 力的方向

力的方向包含方位和指向两个方面，如谈到某钢索拉力铅垂向上，铅垂是指该力的方位，向上是指它的指向，如图 1-1 所示，力 F 的方向为水平向右。

3. 力的作用点

指力在物体上作用的地方，如图 1-1 所示中的 A 点。

三要素中任何一个要素改变，都会使力的作用效果改变。

(三) 力的矢量表示

在力学中有两类量：标量和矢量。只考虑大小的量，如长度、时间、质量等是标量。既考虑大小又考虑方向的量称为矢量。力是矢量，既有大小，又有方向。图示时常用一个带有箭头的线段表示，通常称为有向线段。图 1-1b 中，线段的长度 AB 按一定比例代表力的大小，线段的方位与箭头表示力的方向，其起点或终点表示力的作用点。文字符号用黑体字表示，如 F 代表力矢量；用白体字母 F 代表力的大小。

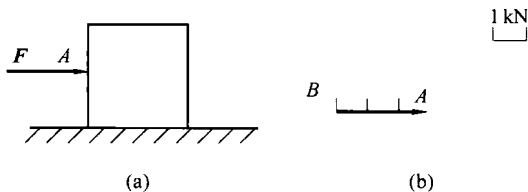


图 1-1 力的示意图

二、刚体的概念

在静力学中,常把研究的物体抽象为刚体。所谓刚体,是指在任何力的作用下都不发生变形(或者说其内任意两点间距离保持不变)的物体。刚体是抽象化的力学模型,实际上并不存在真正的刚体,任何物体受力后都会发生变形,但工程中很多物体变形都很微小,当研究物体的平衡与运动时可以忽略不计,从而使问题简化。

三、平衡的概念

物体的平衡是物体相对于地面处于静止或作匀速直线运动的状态,它是一个相对的概念。平衡是物体机械运动中的一种特殊情况。

第二节 静力学基本原理

原理 1 二力平衡原理 作用于一个刚体上的力,使刚体保持平衡状态的必要与充分条件是:此二力大小相等、方向相反、作用在同一直线上(简称二力等值、反向、共线),如图 1-2 所示,用矢量式表示为

$$\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2。$$

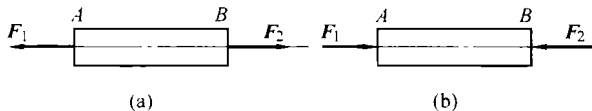


图 1-2

原理 2 作用与反作用定律 两个物体间的作用力与反作用力总是同时存在,且大小相等、方向相反、沿着同一直线(简称等值、反向、共线)分别作用在这两个物体上。

这个定律概括了自然界物体间相互作用的关系,表明一切力都是成对出现的。

这里应当注意,此定律与二力平衡原理是有差别的,此定律叙述了两个物体之间的相互作用的关系,而二力平衡原理叙述了作用于同一刚体上二力的平衡条件。

原理 3 加减平衡力系原理 在任意一个已知力系上加上或减去任一平衡力系,不会改变原力系对刚体的作用。

推论 1 力的可传递性原理 作用于刚体上的力,可沿其作用线滑移到任一点,而不会改变该力对该刚体的作用效果。

证明 设力 $\boldsymbol{F}$ 作用在刚体上 A 点(图 1-3),依原理 3 可在该力 $\boldsymbol{F}$ 作用线上任一点 B 加一对平衡力 $\boldsymbol{F}_1$ 、 $\boldsymbol{F}_2$,使 $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_2 = -\boldsymbol{F}_1$ (图 1-3b),而力系 $(\boldsymbol{F}, \boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2)$ 与力 $\boldsymbol{F}$ 是等效的。除去 $\boldsymbol{F}$ 与 $\boldsymbol{F}_1$ 所组成的一对平衡力,刚体只剩 $\boldsymbol{F}_2$ 且 $\boldsymbol{F}_2 = \boldsymbol{F}$ (图 1-3c)。依原理 3 可知,物体仍维持原来运动状态,但 B 点的力 $\boldsymbol{F}_2$ 是力 $\boldsymbol{F}$ 沿其作用线滑移的结果,这就证明了力的可传递性。

注意 力的可传递性原理只适应于刚体且只能沿其作用线滑移而不能任意移至作用线以外的位置。

原理 4 力的平行四边形定则 作用于物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合

力也作用于该点，合力的大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形对角线来确定。如图 1-4 所示，已知有两力 F_1 、 F_2 作用于 O 点，以 F 表示其合力，则

$$F = F_1 + F_2$$

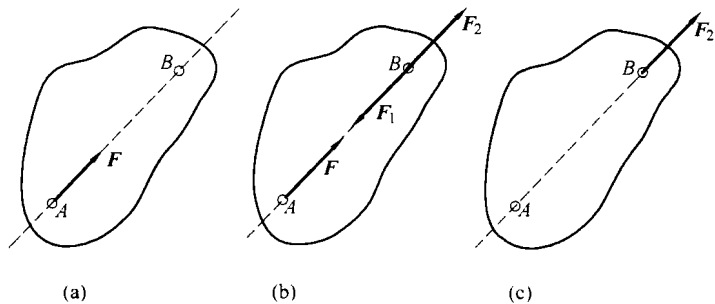


图 1-3 力的平移

为求 F 大小与方向，可用几何作图法或几何关系计算。

推论 2 三力平衡汇交定理 刚体受三个力作用而平衡，若其中两力的作用线汇交于一点，则此三力必共面，且作用线必汇交于一点。

证明 如图 1-5 所示，在刚体上 A 、 B 、 C 三点分别作用有共面力 F_1 、 F_2 、 F_3 。根据力的可传递性原理，可将 F_1 、 F_2 移至它们的作用线的交点 O 。并用原理 4 求出其合力 F ，则力 F_3 必然与 F 平衡。据原理 1，此两力必共线，当然 F_1 、 F_2 、 F_3 必共面，且通过 O 点。

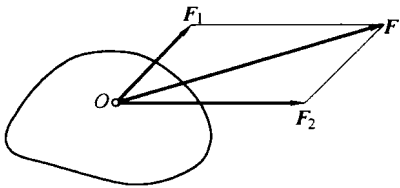


图 1-4 力的合成

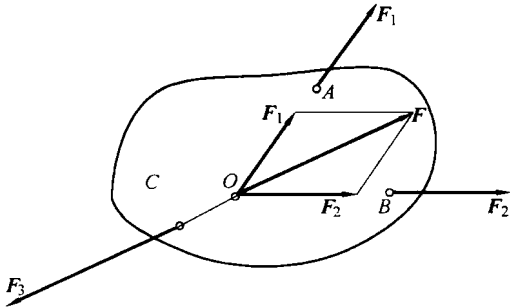


图 1-5 三平衡力共面

第三节 约束和约束反力

位移不受限制的物体称为自由体，位移受到限制的物体称为非自由体。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束，约束限制物体运动的力称为该物体的约束反力。例如发动机轴承给曲轴的力，柔索给重物的力，都是约束反力。约束反力一般是未知力，往往正是要求的。一般情况下约束反力的方向可以根据约束的类型来决定，其大小则需要用平衡条件来计算。

下面介绍工程上常见的约束类型及其反力方向的确定方法。

一、柔索约束

工程上常见的钢丝绳、传动带、链条等都可以简化为柔索，柔索只能承受拉力。所以，柔索对物体的约束反力的作用点在接触处，方向沿柔索背离物体，恒为拉力(图 1-6)。通常用 F_T 表示这类约束反力。

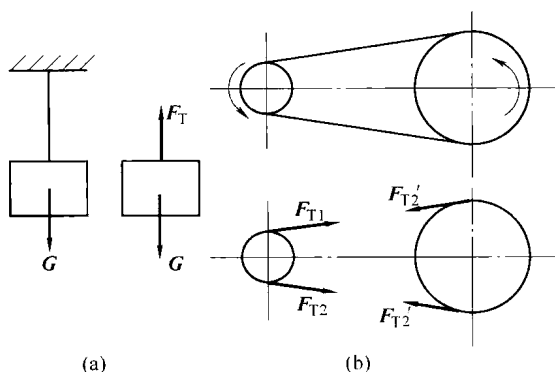


图 1-6 柔索约束

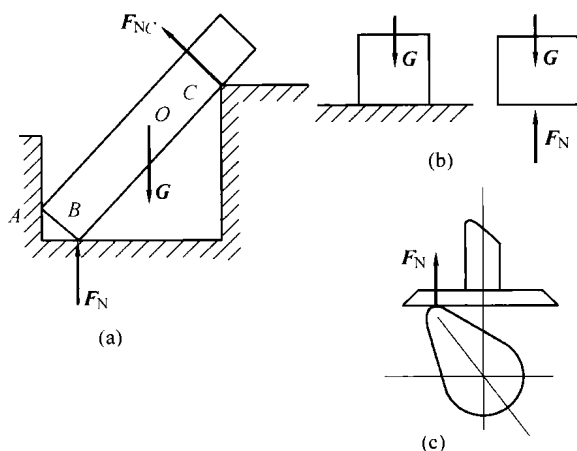


图 1-7 光滑面约束

二、光滑接触面约束

当两物体直接接触，并忽略接触面(点,线)的摩擦时，约束只能限制物体过接触点沿接触面公法线指向约束物体的运动，而不能限制物体在接触面的切线方向的运动，故约束反力必然沿接触点的法向，并指向被约束的物体，称为法向反力。通常用 F_N 表示此类约束反力。图 1-7a 为点和面接触，图 1-7b 为面和面接触，图 1-7c 为线和面接触。

三、光滑铰链约束

如图 1-8a 所示，两个带有圆孔的物体，用圆柱销连接，就构成了典型的铰链约束。所谓光滑铰链是略去了销与孔壁间的摩擦。光滑铰链约束的性质只能限制物体在垂直于销轴线平面内任意方向的移动，不能限制物体绕销轴线的转动和沿销轴线的移动。其实质为光滑面的约束。因此，约束反力应过接触点 K 沿接触面公法线方向，即沿过销中心 O_1 和 K 点的连线方向，如图 1-8b 所示。但随着物体受力情况的不同，接触点 K 的位置也不同。所以约束反力的方向不能预先确定，通常用过销中心的两个正交分力 F_x 和 F_y 表示(图 1-8c)，指向可任意假定，其正确性可由计算结果的正负确定。

工程上常见的铰链支座约束有：

(一) 固定铰链支座

支座固定在支承面上，支座与物体的连接采用铰链连接(图 1-9a)，其简图及约束反力的表示方法如图 1-9b、c 所示。

但若用铰链连接一个二力构件，则铰链约束反力可以根据原理 1 画在两个力作用点的连线上(图 1-10)。

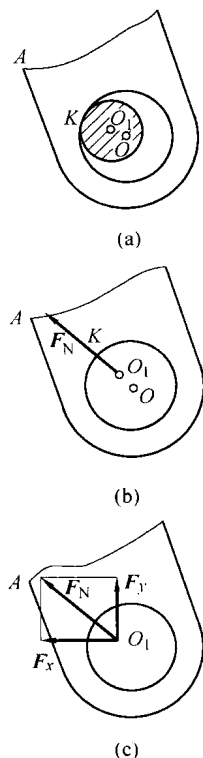


图 1-8 光滑铰链约束

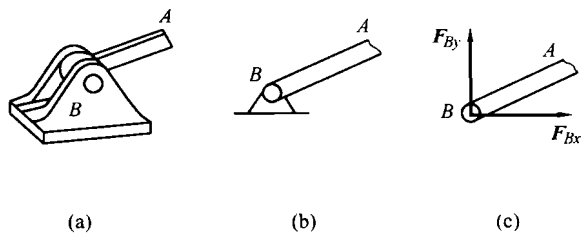


图 1-9 固定铰链支座

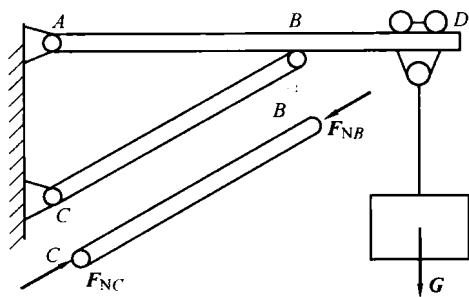


图 1-10 铰链连接

(二) 活动铰链支座

在铰链支座下面装上几个滚轴，使它在支承面上能任意移动，称为活动铰链支座(图 1-11a)，其简化表示及约束反力如图 1-11b 所示。

四、固定端约束

一端固定、另一端为自由的支座称为固定端约束，它可以使构件的某截面既不能转动(绕垂直于载荷作用面的轴转动)，又不能移动。如图 1-12 所示车床上的刀架，夹紧工件的三爪卡盘，均可简化为固定端。因此，它的约束反力是两个相互垂直的分力 $F_{N_{Ax}}$ 、 $F_{N_{Ay}}$ 和一个阻止转动的反力矩 M_A ，如图 1-12c 所示。显然， $F_{N_{Ax}}$ 、 $F_{N_{Ay}}$ 代表了约束对杆件左右、上下移动的限制作用， M_A 表示约束对杆件转动的限制作用。

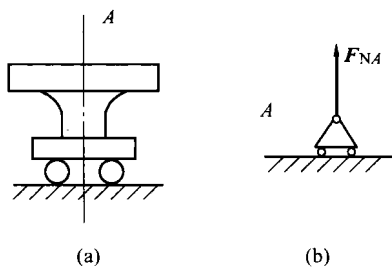


图 1-11 活动铰链支座

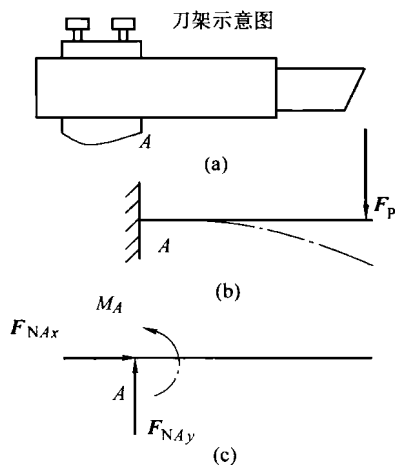


图 1-12 刀架示意图

第四节 物体的受力分析和受力图

在工程实际中，为了求出未知的约束反力，需要根据已知力，应用平衡条件求解。为此，首先要确定构件受了几个力，每个力的作用位置和力的作用方向，这个分析过程称为物体的受

力分析。

为了清晰地表示物体的受力情况,人们把需要研究的物体(称为受力体)从周围的物体(称为施力体)中分离出来,单独画出它的简图,这个步骤叫做取研究对象或取分离体。画出分离体上所有作用力的图,称为物体的受力图。

画受力图的一般步骤:

- (1) 画出分析对象的分离体简图;
- (2) 在简图上标上已知力;
- (3) 在简图上解除约束处画上约束反力。

下面举例说明。

例 1-1 如图 1-13a 所示内燃机的曲柄连杆机构,曲柄 AB 的重力为 G , 连杆 BC 不计自重, 活塞 C 受力 F , 系统平衡。试画出各零件及机构整体的受力图。

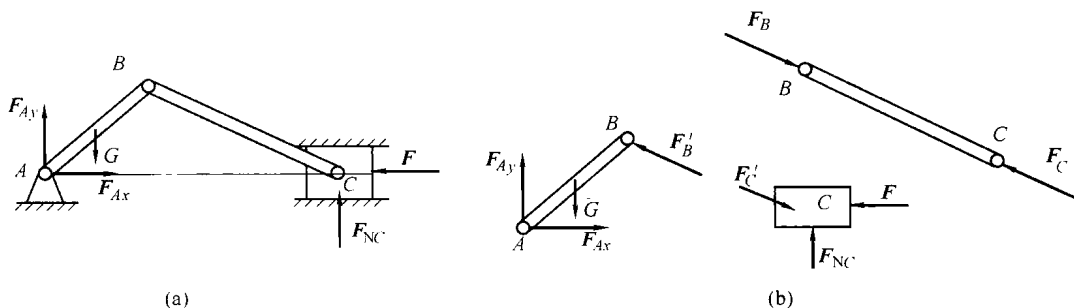


图 1-13 物体受力图

解 分别取曲柄 AB 、连杆 BC 、活塞 C 为分离体,并画出其简图。

(1) 连杆 BC 因不计自重, BC 为二力杆,其约束反力沿两铰链 B 、 C 中心连线,且 $F_B = -F_C$, 设为压力(图 1-13b)。

(2) 活塞 C 除受主动力 F 外,还受到气缸对活塞的约束,因系双向光滑面约束,可假设法向反力 F_{Nc} 向上,连杆对活塞的约束力,依作用与反作用定律有 $F'_c = -F_c$ (图 1-13b)。

(3) 曲柄 AB 计自重 G ,不是二力杆, B 处受连杆的约束,依作用与反作用公理为 $F'_B = -F_B$, A 铰处约束反力为 F_{Ax} 、 F_{Ay} 。若应用三力平衡汇交定理,则可肯定 A 处的约束反力即 F_{Ax} 与 F_{Ay} 的合力 F_{R_A} 必过力 G 与 F'_B 的交点。

(4) 对于曲柄连杆机构整体, B 、 C 二铰链处所受力均为内力,只画所受外力,则曲柄连杆机构整体的受力图如图 1-13a 所示。

通过取分离体和画受力图,就把物体之间的联系转化为力的联系。这样就为分析和解决力学问题提供了依据,因此应该熟练、牢固地掌握这种科学抽象方法。

第二章

平面汇交力系

各力作用线均在同一平面内的力系称为平面力系。

在平面力系中，若各力的作用线全部汇交于一点，则称为平面汇交力系。研究平面汇交力系，一方面可以解决一些简单的工程实际问题，另外也为研究更复杂的力系打下一定基础。

本章将采用几何法与解析法来讨论平面汇交力系的合成与平衡问题。

第一节 平面汇交力系的合成

一、力的合成

(一) 汇交二力合成的三角形法则

由平行四边形公理可知，作用在物体上同一点 A 的两个力 F_1 、 F_2 可以合成，合力 F 也作用在该点，它的大小和方向是以此两力为邻边所作的平行四边形的对角线(图 2-1a)表示，其矢量式为

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

为简便计，作图时可直接将 F_1 平移连在 F_2 的末端，通过 $\triangle ACD$ 即可求得合力 F 如图 2-1b 所示。此法称为求二汇交力合成的三角形法则。按一定比例作图，可直接求得合力的近似值；也可以由正弦定理、余弦定理计算合力的大小。

(二) 多个汇交力合成的力多边形法则

在一些实际问题中，汇交于一点的力往往不是两个，而是多个，现讨论汇交于一点的多个力的合成问题。

设在刚体平面上有一汇交力系 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 作用并汇交于 O 点(图 2-2)，其合力 F 可以连续使用上述力三角形法则来求得，即先求 F_1 与 F_2 合力 F_{R1} ，再将 F_{R1} 与 F_3 合成为 F_{R2} ，最后求出 F_{R2} 与 F_4 的合力 F 。可用矢量表示为

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \quad (2-2)$$

由图 2-2 可见， F_{R1} 、 F_{R2} 亦可省略，故求合力 F ，只需将各力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 首尾相接，形成一条折线，最后连接其封闭边，从共同的始端 O 指向 F_4 的末端所形成的矢量即为合力 F 。此法称为力的多边形法则。力多边形的封闭边即为力系的合力。

由此得出如下结论：平面汇交力系的合力等于力系各力的矢量和，合力的作用线通过力系

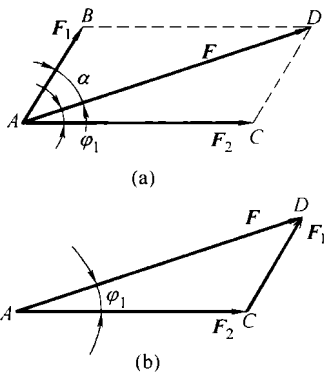


图 2-1 三角形法则示意图