

教育部规划中等职业学校教材

汽车机械基础

汽车运用与维修专业

(含岗位培训行业中级技术工人等级考核)

崔振民 张让莘 钟宝华 编

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教育部规划教材之一,是汽车运用与维修专业必修的技术基础课教材。本书按照教育部 2000 年 8 月颁布的中等职业学校机械基础教学大纲的要求,结合汽车运用与维修专业的特点编写而成。

本书内容分为 4 篇 24 章,分别讲述学习本专业所必需的工程力学知识、简单实用的机械零件和液压传动知识、极具专业特色的汽车材料知识。

本书可作为 3、4 年制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。

责任编辑 李新宇 封面设计 李卫青 责任绘图 朱 静
版式设计 马静如 责任校对 陈 荣 责任印制

汽车机械基础

崔振民 张让莘 钟宝华 编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010 - 64054588

传 真 010 - 64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷

开 本 787×1092 1/16

版 次 年 月第 版

印 张 17

印 次 年 月第 次印刷

字 数 410 000

定 价 21.50 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

出版说明

随着国民经济的迅速发展和改革开放的不断深入,对交通运输的需求也在急剧增长,汽车作为一种重要的交通运输工具逐步进入了千家万户,随之而来,汽车修理业也遍布全国城乡。近几年来,全国很多职业学校也相继开设了汽车修理专业,为满足职业学校教学的需要,培养具有修理基本理论和一定修理技能的汽车维修人员,我社组织专业老师和有关工程技术人员编写了《汽车机械基础》、《汽车机械制图》、《汽车修理基础知识》、《汽车发动机构造与修理》、《汽车底盘车身构造与修理》、《汽车驾驶与维护》、《现代汽车电子装置结构原理与维修》、《轿车车身结构与维修》、《捷达轿车构造与维修》、《富康轿车构造与维修》、《桑塔纳轿车构造与维修》、《汽车电气设备原理与维修》等职业学校汽车修理专业系列教材。

本系列教材以职业学校学生为主要读者对象,坚持学用结合,突出技能训练,使学生通过理论学习和技能培训,逐步具有独立维修汽车的能力。

本系列教材以“解放”、“东风”、“夏利”、“奥迪”、“桑塔纳”、“捷达”、“富康”等国产汽车车型为主,兼顾进口汽车车型,把汽车的构造与修理有机地结合起来,排除了教学中不必要的重复,使知识更加系统化、科学化。教材的编写力求简明实用、重点突出、通俗易懂,具有职业教育的特色。

参加本系列教材编写的有北京市职业技术教育中心、武汉汽车工业大学、北京吉普车有限公司、辽宁教育学院、威海市交通学校、山东省交通工程学校、包头职业技术学院等单位的教学研究人员、工程技术人员及老师。这些同志有的多年从事教学工作,具有较丰富的教学经验;有的在汽车修理厂从事技术工作,具有较丰富的实践经验。

本系列教材已陆续出版发行,欢迎广大读者选用,并恳请提出宝贵意见。

高等教育出版社

2001年4月

前 言

本书是参照 2000 年 8 月教育部颁发的中等职业学校“机械基础教学大纲”,结合中等职业学校汽车运用与维修专业的教学实际编写的。本书适用于中等职业学校汽车运用与维修及相关专业的教学,也可供汽车行业从业人员岗位培训使用和有关工程技术人员参考。

本书编写中,不但遵循了新的机械基础教学大纲的原则,注重为培养高素质的劳动者服务,而且针对汽车运用与维修专业的特点,在液压传动和材料两篇中内容有所侧重。为能更好地与汽车运用与维修专业后续专业课衔接,本书使用的零件图、示意图、表、例题等都尽可能地与汽车相联系,有利于学生专业素质的培养。在内容上尽可能地降低理论论述,减少不必要的计算,注重学生实际能力的培养。

本书采用我国法定计量单位和最新国家标准。

书中带 * 号的部分为选学内容,供不同学校根据自身情况酌情取舍。

编写本教材时,我们力求语言简练、文字通俗易懂、图文并茂,并注重了教材内容的实用性。

本教材共需要安排 100 学时,课时分配如下:

内 容	课时
第一篇 工程力学	24
第一章 静力学基础	3
* 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	3
第六章 刚体定轴转动	3
第七章 材料力学基础	9
第二篇 液压传动	22
第八章 基本概念	1
第九章 液压泵	2
第十章 液压缸	1
第十一章 控制阀	4
第十二章 辅助元件	1
第十三章 基本液压回路	5
第十四章 典型液压传动系统实例	7
第十五章 液压系统的维护和常见故障	1
第三篇 汽车材料	20

续表

内 容	课时
第十六章 金属材料	12
第十七章 汽车运行材料	8
第四篇 机械零件	34
第十八章 平面连杆机构	4
第十九章 凸轮机构	2
第二十章 联接	6
第二十一章 带传动和链传动	4
第二十二章 齿轮传动和蜗杆传动	8
第二十三章 轴和轴承	8
第二十四章 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讲授内容进行适当调整。

本教材由山东省交通工程学校崔振民主编,张让莘、钟宝华编写,其中钟宝华编写第一篇、第二篇,张让莘编写第三篇、第四篇。本书由郭庆德主审。

由于作者水平有限,教材中难免有所疏漏,恳请广大读者批评指正。

编者

2001 3

目 录

第一篇 工程力学

第一章 静力学基础	1	第一节 滑动摩擦	21
第一节 静力学的基本概念	1	第二节 摩擦角与自锁	22
第二节 静力学基本公理	2	第三节 滚动摩擦	23
第三节 约束和约束反力	3	第六章 刚体定轴转动	25
第四节 物体的受力分析和受力图	6	第一节 转速和线速度	25
* 第二章 平面汇交力系	8	第二节 转动惯量	25
第一节 平面汇交力系合成	8	第三节 刚体变速转动和转动动力学 方程	27
第二节 平面汇交力系平衡的解析法	12	第四节 功率及机械效率	28
第三章 力矩与平面力偶系	14	第七章 材料力学基础	30
第一节 力矩、力偶和力偶矩	14	第一节 材料力学的基本概念	30
* 第二节 平面力偶系的合成与平衡条件	16	第二节 拉伸和压缩	32
第三节 力的平移定理	17	第三节 剪切和挤压	39
* 第四章 平面任意力系	19	第四节 圆轴的扭转	42
第一节 平面任意力系向一点简化	19	第五节 直梁的弯曲	46
第二节 平面任意力系平衡条件和平衡 方程	19	第六节 材料力学其他常用知识简介	53
第五章 摩擦	21		

第二篇 液压传动

第八章 基本概念	57	第二节 压力控制阀	79
第一节 概述	57	第三节 流量控制阀	83
第二节 液压传动的几个基本概念	59	第十二章 辅助元件	85
第九章 液压泵	62	第一节 油管 and 管接头	85
第一节 概述	62	第二节 滤油器	86
第二节 液压泵	62	第三节 油箱	87
第三节 液压泵的选用	66	第四节 蓄能器	88
第十章 液压缸	68	第十三章 基本液压回路	89
第一节 液压缸的种类及典型液压缸 简介	68	第一节 压力控制回路	89
第二节 液压缸的密封与缓冲	72	第二节 速度控制回路	91
第十一章 控制阀	75	第三节 方向控制回路	93
第一节 方向控制阀	75	第十四章 典型液压传动系统实例	96
		第一节 汽车起重机液压系统	96

第二节 汽车及保修机具液压系统 99

第十五章 液压系统的维护和常见故障 103

第三篇 汽车材料

第十六章 金属材料 107

第一节 金属的性能 107

第二节 碳素钢 112

第三节 钢的热处理 120

第四节 合金钢 126

第五节 铸铁 134

第六节 有色金属 138

第十七章 汽车运行材料 143

第一节 汽车用燃料 143

第二节 汽车用润滑材料 149

第三节 汽车制动液、液压油、减振器油、防冻液 163

第四节 塑料、橡胶及粘接剂、制冷剂 167

第四篇 机械零件

第十八章 平面连杆机构 171

第一节 机构的组成 171

第二节 机构的运动简图 174

第三节 平面连杆机构的类型及应用 175

第十九章 凸轮机构 181

第一节 凸轮机构的组成、应用和分类 181

第二节 从动件的常用运动规律 183

第二十章 联接 187

第一节 螺纹联接 187

第二节 键、花键和销联接 192

第二十一章 带传动和链传动 198

第一节 带传动 198

第二节 链传动 205

第二十二章 齿轮传动和蜗杆传动 210

第一节 齿轮传动 210

第二节 蜗杆传动 229

第三节 齿轮系 235

第二十三章 轴和轴承 239

第一节 轴 239

第二节 滑动轴承 243

第三节 滚动轴承 245

第二十四章 联轴器和离合器 253

第一节 联轴器及离合器的类型和应用 253

第二节 联轴器 254

第三节 离合器 258

附录 261

参考文献 264

第一篇 工程力学

第一章 静力学基础

第一节 静力学的基本概念

一、力的概念

1. 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从事生产劳动中。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。在研究物体受力时,必须分清哪是受力物体,哪是施力物体。

2. 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

它是指物体间机械作用的强弱。它的单位用牛顿(N)或千牛(kN)表示。

(2) 力的方向

它包含方位和指向两个方面,如谈到某钢索拉力垂直向上,垂直是指该力的方位,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

它是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。

3. 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,都是标量。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。文字符号用黑体字如 F 代表力矢

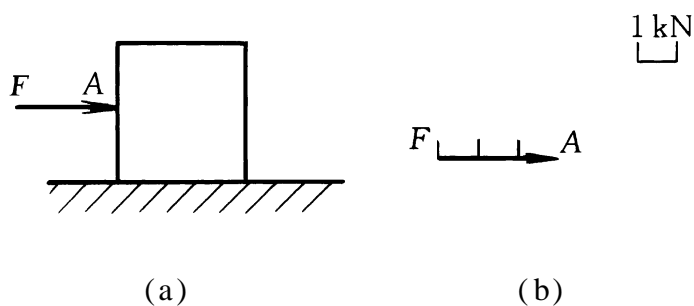


图 1 - 1 力示意图

量。当使用白体字母 F 代表力的大小时,则在字母上加一箭头,如 \vec{F} 表示力矢量。

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。刚体是一抽象化的力学模型,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

物体的平衡状态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 静力学基本公理

公理就是人类经过长期的观察和实践积累起来的经验,加以概括和总结得到的结论,它的正确性在实践中得到了验证,已被人们公认为符合客观现实的真理。静力学公理概括了力的一些基本性质,是建立静力学理论的基础。

公理 1: 二力平衡公理 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、且沿着同一直线(简称二力等值、反向、共线)。如图 1 - 2 所示,用矢量式表示 $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ 。

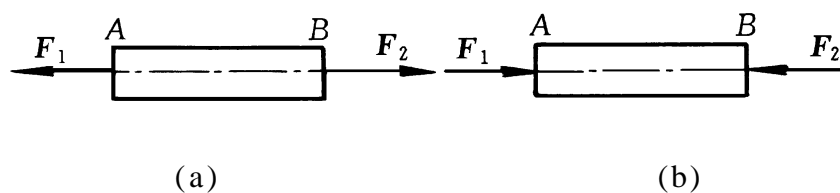


图 1 - 2

公理 2: 作用与反作用公理 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。

这个公理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,此公理与二力平衡公理是有差别的,此公理叙述了两个物体之间的相互作用的关系,而二力平衡公理叙述了作用于同一刚体上的二力平衡条件。

公理 3: 加减平衡力系公理 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,不会改变该力对该刚体作用效果。

证明: 设力 \vec{F} 作用在刚体上 A 点(图 1 - 3),依公理 3 可在力 \vec{F} 作用线上任一点 B 加一对平衡力 \vec{F}_1 、 \vec{F}_2 ,使 $\vec{F} = \vec{F}_2 = -\vec{F}_1$ (图 1 - 3b),而力系(\vec{F} 、 \vec{F}_1 、 \vec{F}_2)与力 \vec{F} 是等效的。除去 \vec{F} 与 \vec{F}_1 所组成的一对平衡力,刚体只剩 \vec{F}_2 且 $\vec{F}_2 = \vec{F}$ 。依公理 3 可知,物体仍维持原来运动状态,但 B

点的力 F_2 是力 F 沿其作用线滑移的结果,这就证明了力的可传递性。

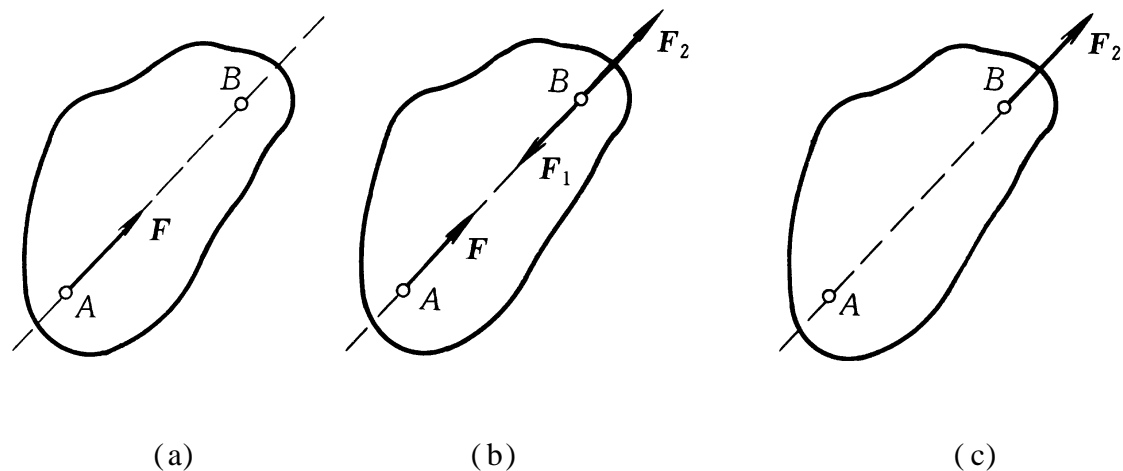


图 1 - 3 力的平移

注意:力的可传递性原理只适用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。

公理 4:力的平行四边形公理 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平行四边形的对角线来确定。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

$$F = F_1 + F_2$$

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。

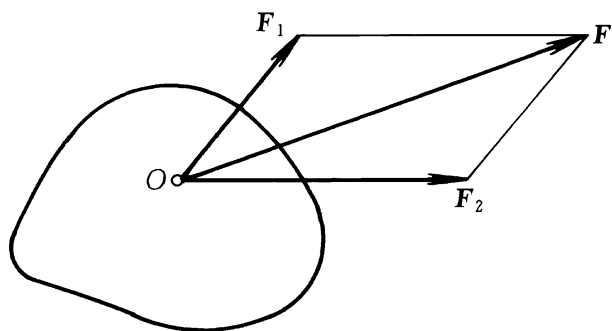


图 1 - 4 力的合成

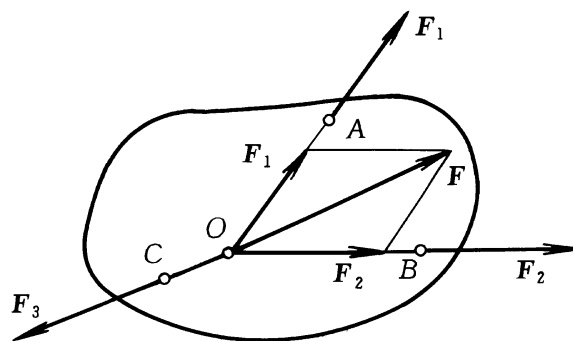


图 1 - 5 三平衡力共面

证明:如图 1 - 5 所示,在刚体上 A 、 B 、 C 三点作用有相互平衡的三个力 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 ,并用公理 4 求出其合力 F ,则力 F_3 必然与合力 F 平衡。据公理 1,此两力必共线,所以 F_1 、 F_2 、 F_3 必共面,且通过 O 点。

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,其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,作用在接触点,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。

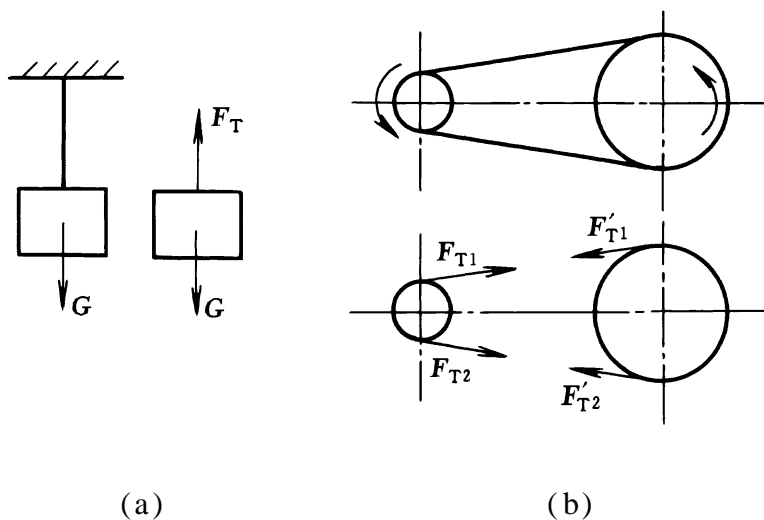


图 1 - 6 柔索约束

二、光滑接触面约束

当两物体直接接触,并忽略接触处的摩擦时,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,故约束反力必然过接触点的法向,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 - 7c 为线和面接触,图 1 - 7b 为面和面接触。

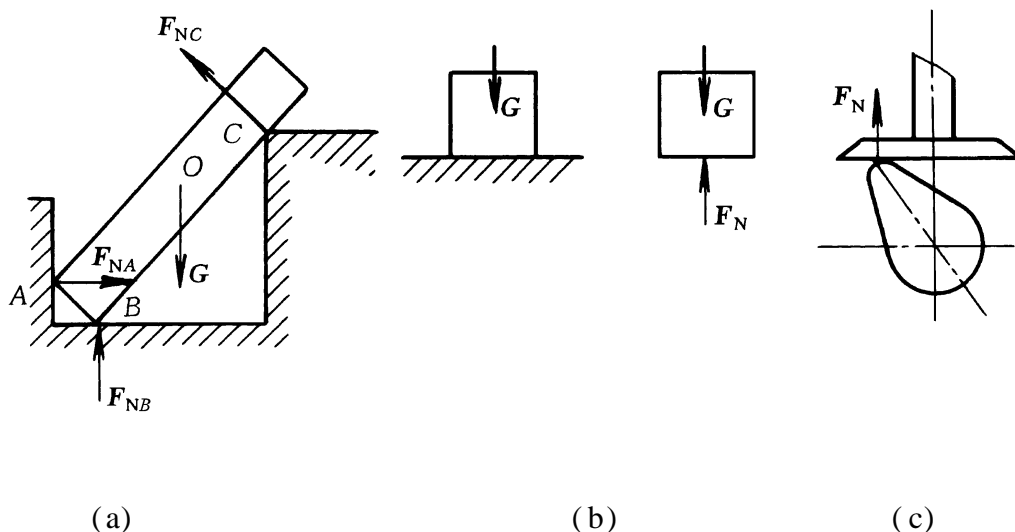


图 1 - 7 光滑面约束

三、光滑铰链约束

如图 1 - 8a 所示,两个带有圆孔的物体,用圆柱销联接,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钉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。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不同,接触点 K 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。

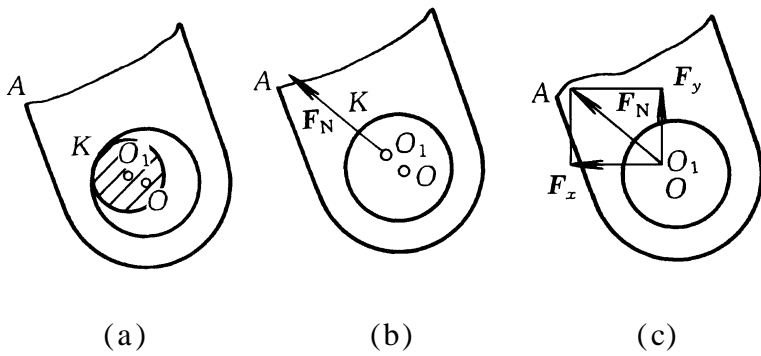


图 1 - 8 光滑铰链约束

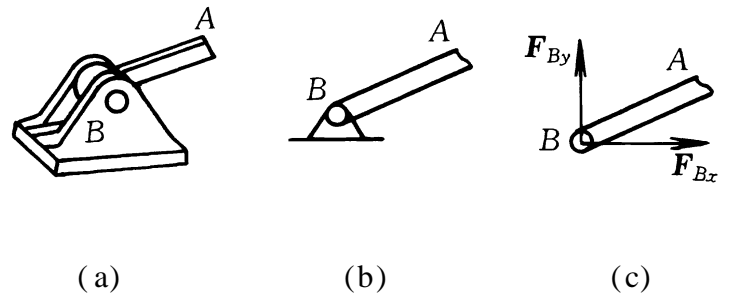


图 1 - 9 固定铰链支座

工程上常见的铰链支座约束有：

1. 固定铰链支座

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

但若用铰链联接一个二力构件，则铰链约束反力必须按公理 1 画在两个力作用点的连线上(如图 1 - 10)。

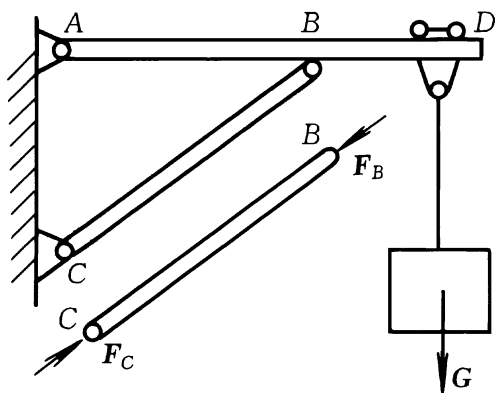
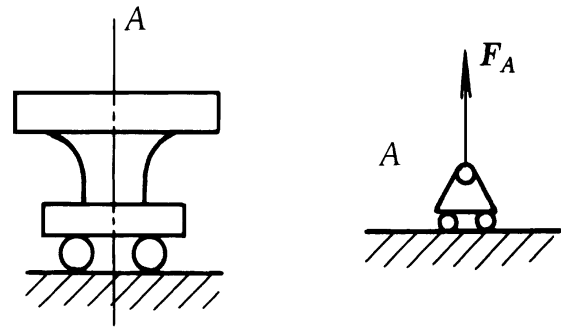


图 1 - 10 铰链联接



(a) (b)
图 1 - 11 活动铰链支座

2. 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、另一端自由的支座称为固定端约束，它是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)，又不能移动的支座。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_{Ax} 、 F_{Ay} 和一个阻止转动的反力矩 M_A ，如图 1 - 12c 所示。显然， F_{Ax} 、 F_{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。

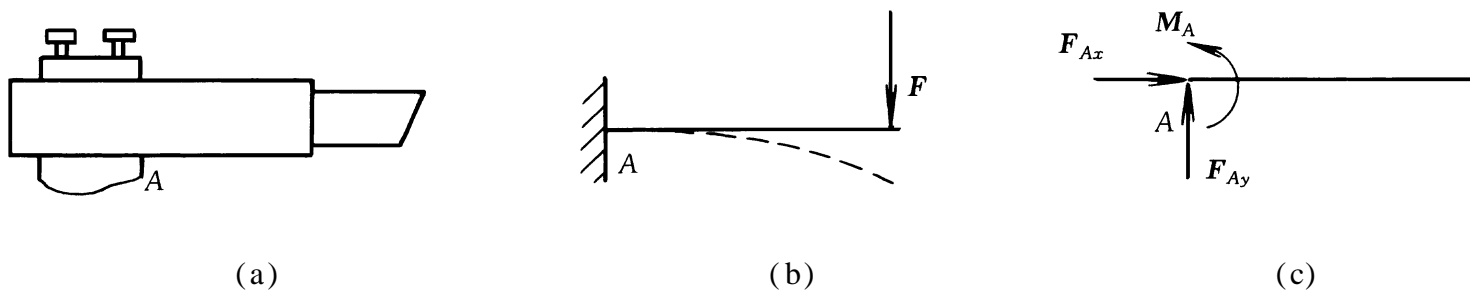


图 1 - 12 刀架示意图

第四节 物体的受力和受力图

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,我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为:

- (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 如图 1 - 13 所示曲柄连杆机构,曲柄 AB 的重力为 G ,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。

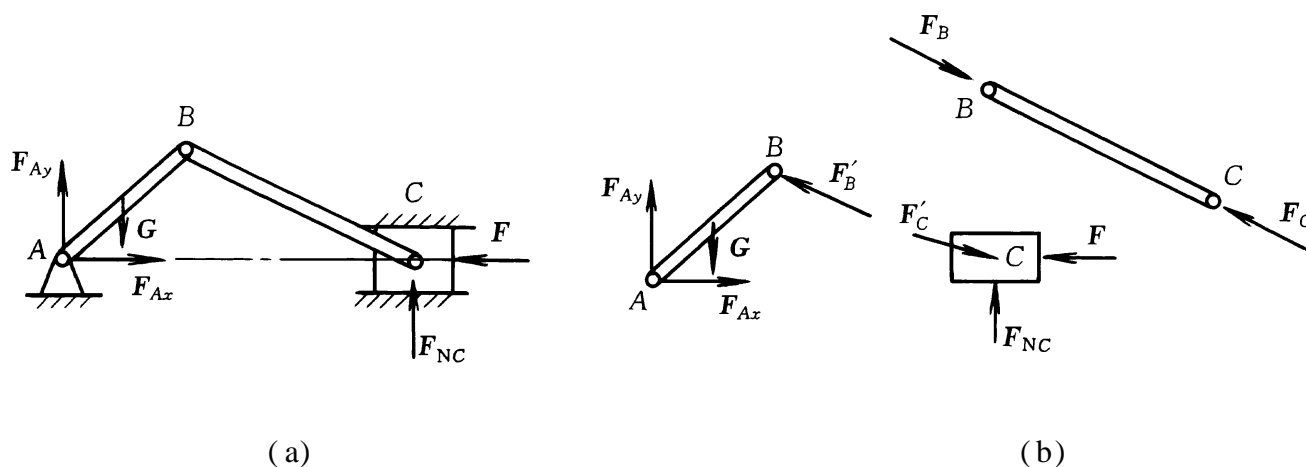


图 1 - 13 物体受力图

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,连杆对活塞的约束反力,依作用与反作用公理有 $F_c = -F_C$ (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 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} 的合力必过力 G 与 F_B 的交点(图 1 - 13b)。

(4) 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, 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。这样就为我们分析和解决力学问题提供了依据。因此, 应该熟练地、牢固地掌握这种科学抽象方法。

* 第二章 平面汇交力系

凡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 平面汇交力系合成

一、力的合成

1. 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

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (2 - 1)$$

为简便,作图时可直接将 F_1 平移连在 F_2 的末端,通过 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。

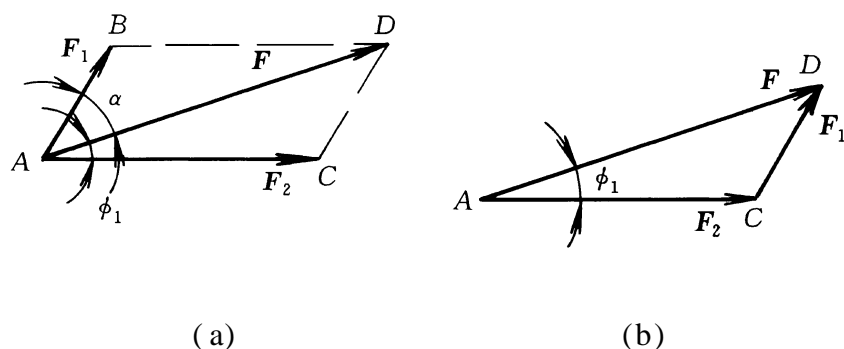


图 2 - 1 三角形法则示意图

2. 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合成法则来求得,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:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4 \quad (2 - 2)$$

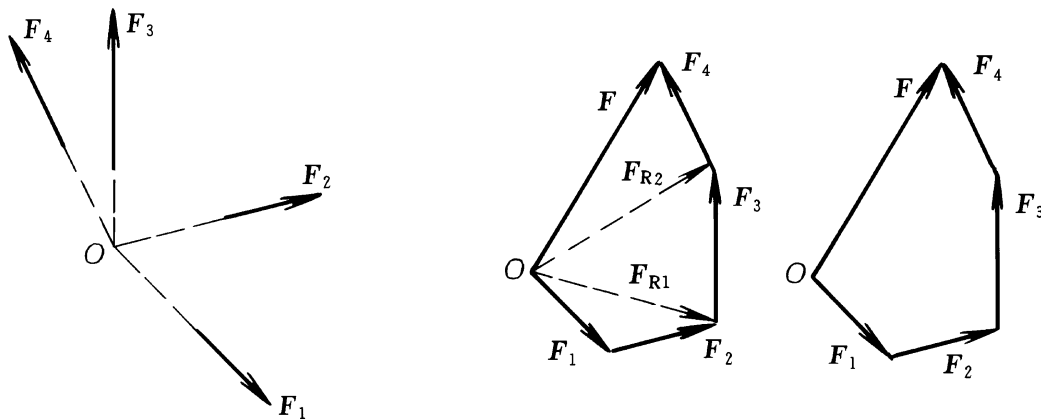


图 2 - 2 力多边形法则示意图

由图 2 - 2 可知, \mathbf{F}_{R1} 、 \mathbf{F}_{R2} 亦可省略, 故求合力 \mathbf{F} , 只需将各力 \mathbf{F}_1 、 \mathbf{F}_2 、 \mathbf{F}_3 、 \mathbf{F}_4 首尾相接, 形成一条折线, 最后连其封闭边, 从共同的始端 O 指向 \mathbf{F}_4 的末端所形成的矢量即为合力 \mathbf{F} 。此法称为力的多边形法则。力多边形法则的封闭边即为力系的合力。

由此得如下结论: 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的汇交点。设平面汇交力系为 \mathbf{F}_1 、 \mathbf{F}_2 、...、 \mathbf{F}_n , 以 \mathbf{F} 代表它们的合力, 则可用矢量式表示为

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n = \mathbf{F}_i$$

由力多边形法则求合力 \mathbf{F} 时, 只要将各分力首尾相接, 连成折线, 则起点到终点的连线便是合力。合力大小和方向与各力相加次序无关。

例 1 固定环受三绳拉力作用(图 2 - 3a), 已知 $\mathbf{F}_1 = 100 \text{ N}$, $\mathbf{F}_2 = 200 \text{ N}$, $\mathbf{F}_3 = 150 \text{ N}$, 若用一绳拉力 \mathbf{F} 来等效代替, 试求 \mathbf{F} 的大小与方向。

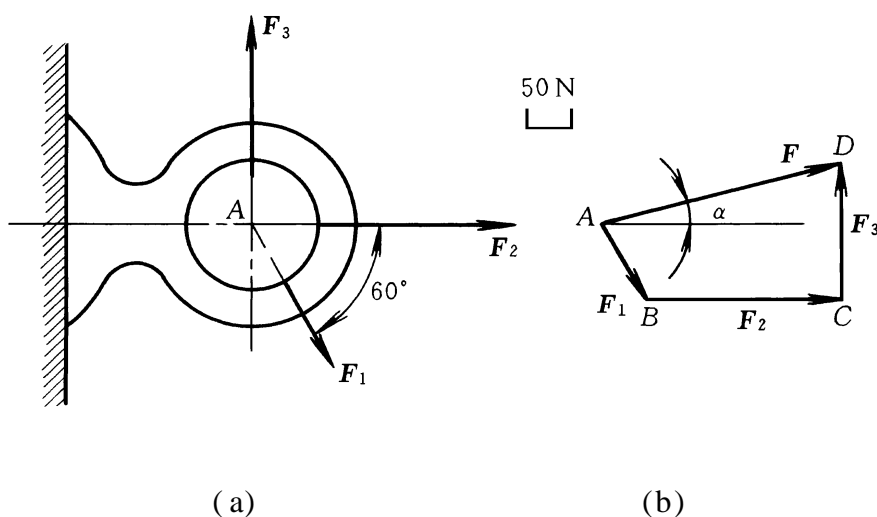


图 2 - 3 例 11 图

- 解: (1) 选取以某长度代表 50 N 的力的比例尺;
 (2) 按相同的比例首尾相连地画出 \mathbf{F}_1 、 \mathbf{F}_2 、 \mathbf{F}_3 , 连其封闭边即为合力 \mathbf{F} (图 2 - 3b);
 (3) 量出代表合力 \mathbf{F} 的长度 AD , 通过比例换算, 故有 $\mathbf{F} = 260 \text{ N}$;
 (4) 用量角器量得合力 \mathbf{F} 与水平线之夹角 $\alpha = 14^\circ$ 。

二、力在直角坐标轴上的投影

力 \mathbf{F} 在坐标轴上的投影定义为: 过力 \mathbf{F} 两端向坐标轴引垂线(图 2 - 4), 得垂足 a 、 b 和 a 、

b , 线段 ab 和 $a'b$ 分别为力 \mathbf{F} 在 x 轴和 y 轴上的投影的大小。投影的正负号规定为: 从 a 到 b (或 a' 到 b') 的指向与坐标轴的正向相同为正, 相反为负。力 \mathbf{F} 在 x 轴、 y 轴上投影分别用 F_x 、 F_y 表示。设力 \mathbf{F} 与 x 轴所夹锐角为 α , 则由图 2 - 4 知:

$$\begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= -F \sin \alpha \end{aligned} \quad (2 - 3)$$

如将力沿坐标轴方向分解, 所得的分力 \mathbf{F}_x 、 \mathbf{F}_y 的值与力 \mathbf{F} 在同轴的投影 F_x 、 F_y 大小的绝对值相等。

但应当注意: 投影是代数量, 它不存在惟一作用线的问题; 分力是矢量, 具有确定的大小、方向、作用点(线)。若已知 F_x 、 F_y 的值, 可求出力 \mathbf{F} 的大小及方向。

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \tan \alpha &= \left| \frac{F_y}{F_x} \right| \end{aligned} \quad (2 - 4)$$

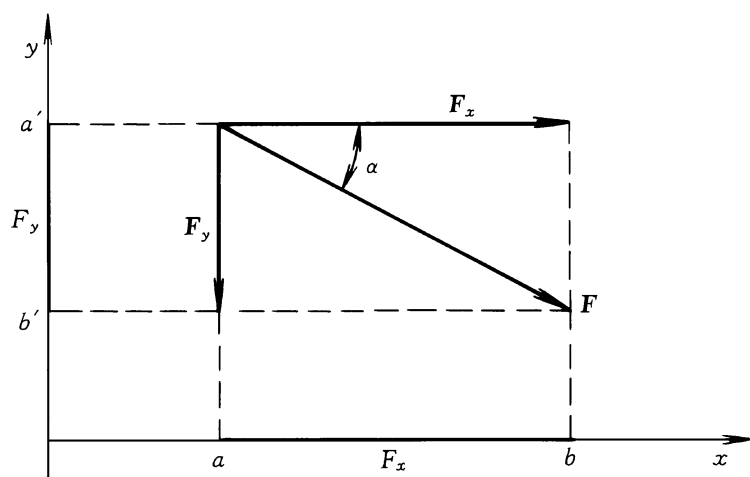


图 2 - 4 力的投影

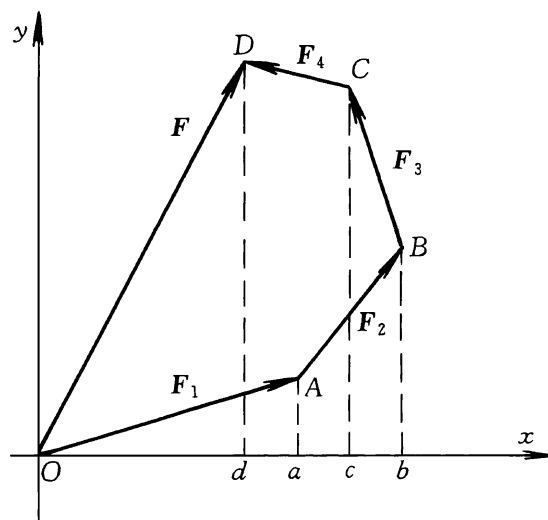


图 2 - 5 合力投影

三、合力投影定理

合力投影定理建立了合力投影与分力投影之间的关系。如图 2 - 5 表示的平面汇交力系 \mathbf{F}_1 、 \mathbf{F}_2 、 \mathbf{F}_3 、 \mathbf{F}_4 组成的力多边形, \mathbf{F} 为合力。将力多边形中各力投影到 x 轴上, 由图可见

$$Od = Oa + ab - bc - cd$$

显然上式左端 Od 为合力 \mathbf{F} 的投影, 右端为四个投影的代数和, 令 F_x 和 F_{x1} 、 F_{x2} 、 F_{x3} 、 F_{x4} 分别表示合力及各分力在 x 轴上的投影, 则

$$F_x = F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} + F_{x4}$$

上式可推广到任意多个力的情况, 即

$$F_x = F_{x1} + F_{x2} + \dots + F_{xn} = \sum F_{xi} \quad (2 - 5)$$

由此得到合力投影定理: 合力在任一轴上的投影, 等于各分力在同一轴上投影的代数和。

若进一步按式(2 - 4)可求出合力 \mathbf{F} 的大小与方向。