



职业教育**汽车专业**课程改革创新教材

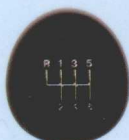
汽车 机械基础

Fundamentals of Automobile
Mechanism

徐咏良 王晖 ◎ 主编

曾小山 黎宴林 陈淑玲 张胜 ◎ 副主编

黄存足 ◎ 主审



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



013050764

职业教育汽车专业课程改革创新教材

U463

105

汽车 机械基础

Fundamentals of Automobile
Mechanism

徐咏良 王晖 ◎ 主编

曾小山 黎宴林 陈淑玲 张胜 ◎ 副主编

黄存足 ◎ 主审



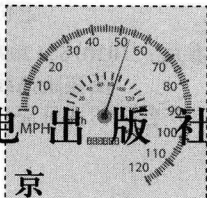
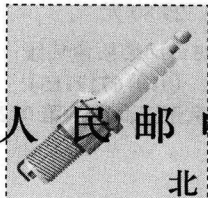
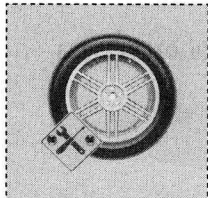
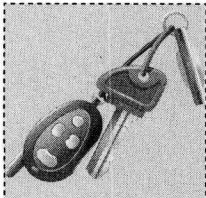
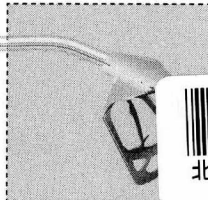
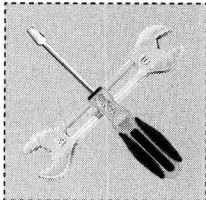
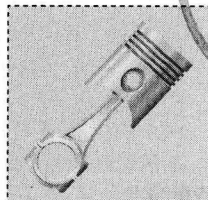
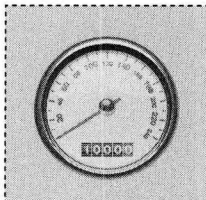
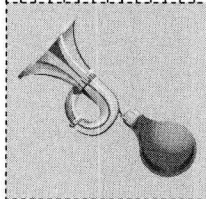
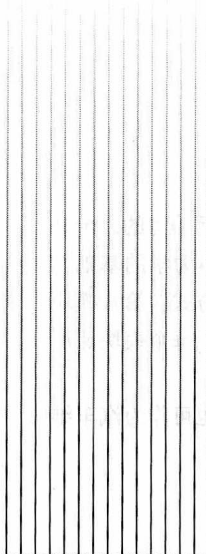
北航

C1657488

U463
105

人民邮电出版社

北京



图书在版编目 (CIP) 数据

汽车机械基础 / 徐咏良, 王晖主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2013.7

职业教育汽车专业课程改革创新教材
ISBN 978-7-115-31399-7

I. ①汽… II. ①徐… ②王… III. ①汽车—机械学—职业教育—教材 IV. ①U463

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第089783号

内 容 提 要

本书是根据职业院校和技工学校汽车类相关专业的教学实际, 结合汽车领域的职业要求而编写的。全书共8个模块, 大致包含三大部分: 第一模块、第二模块为力学基础, 主要介绍理论力学和材料力学的基础知识; 第三模块至第七模块为机械基础内容, 主要介绍汽车常用的零件结构、传动机构和连接方式; 第八模块为液压与气压传动, 主要介绍液压与气动基本知识和汽车部件中液压、气压两类传动的应用。每个模块课后均附有练习题, 可帮助学生系统、全面地掌握各模块所介绍的内容及重点。

本书可作为各类职业院校和技工学校汽车类相关专业学生的教材和教师的阅读参考书, 也可作为汽车维修专业技术人员参考、学习、培训用书。

-
- ◆ 主 编 徐咏良 王 晖
副 主 编 曾小山 黎宴林 陈淑玲 张 胜
主 审 黄存足
责任编辑 刘盛平
责任印制 沈 蓉 杨林杰
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.25 2013年7月第1版
字数: 313千字 2013年7月北京第1次印刷
-

定价: 29.80 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号



本书是根据职业院校和技工学校汽车专业的培养目标要求,以培养学生对汽车结构组成、传动部件的理解认知能力,训练学生严谨求实、一丝不苟的学习态度为指导思想,按照学生学习能力的渐进规律进行编写的,具有较好的实用性和合理性。本书合理地把汽车零件结构和传动部件的知识与传统机械基础的知识结合起来,是为汽车类相关专业学生量身编写的,具有鲜明的针对性和专业性。本书内容主要有三大部分:模块一、模块二为理论力学和材料力学的基础知识,模块三至模块七为汽车常用的零件结构、传动机构和连接方式等机械基础内容,模块八主要介绍汽车部件中液压、气压两类传动的应用。教师可根据自己学校的专业设置情况取舍教学内容,安排教学。教材具有普遍的适用性。

本书章节编排合理,思路清晰,重点突出,符合专业培养要求。配套练习题数量适中,重点突出,与教材内容相得益彰。

本书可作为各类职业院校、技工院校等汽车类相关专业机械基础课程的教材,也可作为汽车维修专业技术人员参考、学习、培训用书。

学时分配表

章 节	课 程 内 容	学 时
模块一	理论力学	10
模块二	材料力学	12
模块三	轴系零件	12
模块四	常用机构	8
模块五	齿轮传动	12
模块六	带传动和链传动	6
模块七	连接	8
模块八	液压与气压传动	12
课时总计		80

本书由徐咏良、王晖任主编,曾小山、黎宴林、陈淑玲和张胜任副主编,黄存足主审。徐咏良编写了模块一、模块二,并完成了全书的统稿工作;王晖主要编写了模块三、模块四;张胜编写了模块五;曾小山编写了模块六;黎宴林编写了模块七和各章练习题内容;陈淑玲编写了模块八,并对书中的插图做了处理工作。

由于时间仓促,编者水平和经验有限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者
2013年1月



目录

CONTENTS

模块一 理论力学.....1

课题一 静力分析基础.....1

一、基本概念.....1

二、静力学公理.....2

三、常见约束类型及其约束反力.....4

四、受力图.....7

课题二 平面汇交力系.....9

一、平面汇交力系合成与平衡的

几何法——力多边形法则.....9

二、平面汇交力系合成与平衡的解析法.....10

课题三 力矩与平面力偶系.....13

一、力矩的概念.....13

二、合力矩定理.....14

三、力偶和力偶矩.....15

四、平面力偶系的合成与平衡.....17

课题四 平面任意力系.....17

一、平面任意力系的概念.....17

二、平面任意力系的平衡条件.....18

三、平面任意力系的解题步骤.....18

练习题.....20

模块二 材料力学.....24

课题一 材料力学基础.....24

一、构件的承载能力.....24

二、杆件变形的四种基本形式.....25

课题二 轴向拉伸与压缩.....26

一、拉伸与压缩的概念.....26

二、内力与截面法.....27

三、拉伸与压缩时的应力.....28

四、拉伸与压缩时的变形.....29

五、许用应力.....30

六、拉伸、压缩时的强度条件.....31

课题三 剪切与挤压.....32

一、剪切.....32

二、挤压.....34

课题四 圆轴扭转.....36

一、扭转的概念.....36

二、圆轴扭转时横截面上的内力——

扭矩 T36

三、圆轴扭转时横截面上的切应力.....38

课题五 平面弯曲.....40

一、弯曲概述.....40

二、梁弯曲时横截面上的内力——剪力和

弯矩.....42

三、弯矩图.....43

四、平面弯曲时梁横截面上的正应力.....44

五、梁弯曲时的强度计算.....46

练习题.....47

模块三 轴系零件.....53

课题一 轴.....53

一、轴的概述.....53

二、轴的结构.....56

课题二 滑动轴承.....59

一、滑动轴承概述.....59

二、滑动轴承的润滑.....62

三、滑动轴承的特点.....63

课题三 滚动轴承.....63

一、滚动轴承概述.....63

二、滚动轴承的代号及类型选择.....66

课题四 联轴器.....69

一、联轴器概述.....69

二、几种常见联轴器的结构.....70

课题五 离合器	73	二、轮齿常用的材料	124
一、离合器的功用、组成和分类	73	练习题	124
二、牙嵌式离合器	74	模块六 带传动和链传动	127
三、摩擦式离合器	74	课题一 带传动	127
四、超越离合器	76	一、带传动概述	127
课题六 制动器	77	二、V带传动	130
一、制动器概述	77	课题二 链传动	135
二、制动器的分类	77	一、链传动及其传动比	135
练习题	79	二、链传动的常用类型	135
模块四 常用机构	81	三、链传动的应用特点	138
课题一 平面连杆机构	81	练习题	139
一、铰链四杆机构	82	模块七 连接	141
二、平面四杆机构的性质	85	课题一 键连接	141
三、平面四杆机构的演化和应用	87	一、键连接概述	141
课题二 凸轮机构	89	二、普通平键的选用	144
一、凸轮机构概述	89	三、普通平键的强度校核	146
二、凸轮机构的工作原理	91	四、花键连接的强度计算	146
三、凸轮机构基本尺寸的确定	95	课题二 销连接	147
练习题	97	一、销连接概述	147
模块五 齿轮传动	100	二、销连接的主要类型	148
课题一 直齿圆柱齿轮传动	100	课题三 螺纹连接	149
一、齿轮传动概述	100	一、螺纹连接概述	149
二、直齿圆柱齿轮	102	二、螺纹代号与标记	152
课题二 其他齿轮传动	104	三、螺旋传动的应用形式	154
一、斜齿圆柱齿轮传动	104	练习题	156
二、锥齿轮传动	106	模块八 液压与气压传动	158
三、双曲面齿轮	108	课题一 液压传动	158
四、齿轮齿条传动	109	一、液压传动概述	158
课题三 蜗杆传动	110	二、汽车典型液压元件	164
一、蜗杆、蜗轮传动概述	110	三、汽车液压基本回路	170
二、蜗杆传动的基本参数	113	四、液压系统的使用与维护	173
三、蜗杆传动的正确啮合条件	115	课题二 气压传动	176
课题四 轮系	115	一、气压传动概述	176
一、轮系概述	116	二、气动基本回路	183
二、轮系传动比的计算	117	练习题	188
课题五 轮齿失效形式及其材料选择	121	参考文献	190
一、轮齿的失效形式	122		



课题一

静力分析基础

一、基本概念

1. 力的概念

力是物体间的相互机械作用。力不能脱离物体而存在。例如，用汽锤锻打工件，汽锤和工件间有了相互作用，工件的形状和尺寸发生了改变。如图 1-1 中所示，小球 O 受到本身重力 G 作用（作用于球心，铅直向下），有向下运动的趋势，绳索和斜面都限制了小球的运动，对小球都有力的作用。

力对物体的作用效果是由力的大小、方向和作用点所决定的，称为力的三要素。力的三要素中，如果有一个要素发生变化，力对物体的作用效果也将发生变化。

力是一个既有大小又有方向的量，所以力是矢量。为了直观地表示物体的受力情况，可以用一根带箭头的线段表示一个力。如图 1-2 所示，线段 AB 长度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。用黑斜体字 $\boldsymbol{F}$ 代表力矢，并以同一字母的白斜体字 F 代表该矢量的大小。力的国际制单位是牛顿或千牛顿，其符号分别为 N 和 kN 。

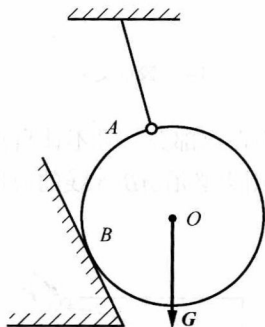


图 1-1 匀质球

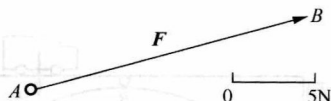


图 1-2 力的图示

2. 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,就不能把物体看作是刚体,否则会导致错误的结果,甚至无法进行研究。

3. 平衡的概念

如果一个刚体受到几个力的作用而处于静止或匀速直线运动状态,那么称这个物体处于平衡状态。如图 1-1 所示的匀质球受到重力、绳子的拉力、斜面的支撑力等 3 个力的作用而保持静止状态,即处于平衡状态。事实上,任何物体皆处于永恒的运动中,即运动是绝对的、无条件的。如在地面上看来是静止的房屋,实际上仍随着地球的自转和公转而运动。因此,一般来说,静止或平衡总是相对地球而言的。

二、静力学公理

静力学公理是人类经过长期经验积累和实践验证总结出来的最基本的力学规律,是静力学的基础。

1. 公理一 二力平衡公理

在两个力作用下处于平衡状态的构件称为二力构件,如图 1-3 所示。当构件呈杆状时,则称为二力杆。二力构件的受力特点是:所受的两力必然是等值、反向、共线的。

工程实际中,一些构件的自重和它所承受的载荷比较起来很小,可以忽略不计。如图 1-4 所示的支架中,如不计自重,杆 AB 就是一个二力杆,在 A 、 B 两端所受的力必等值、反向,作用线为沿两力作用点的连线。

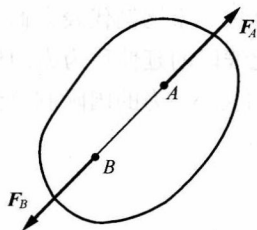


图 1-3 二力平衡

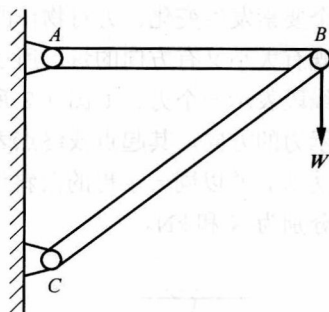


图 1-4 铰链支架

图 1-5 所示为三铰拱中 AB 部分的受力情况。当车辆不在该部分上且不计自重时,它只可能通过 A 、 B 两点受力,是一个二力构件,故 A 、 B 两点的作用力必沿 AB 连线的方向。

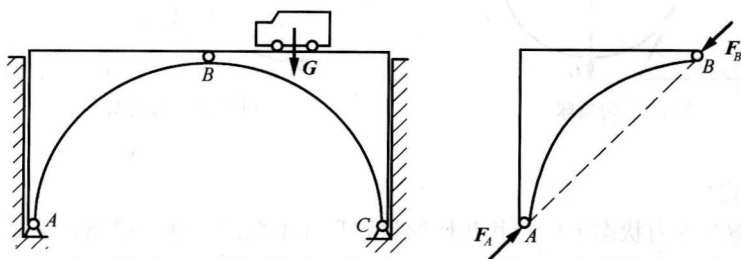


图 1-5 二力构件

2. 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。

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状态的。这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。例如, 图 1-6 中, 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。

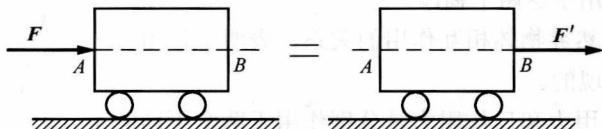


图 1-6 力的可传性

应当指出, 力的可传性原理只适用于刚体, 对变形体不适用。

3. 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, 如图 1-7 所示。其矢量表达式为

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

从图 1-7 可以看出, 在求合力时, 实际上只须作出力的平行四边形的一半, 即一个三角形就行了。为了使图形清晰起见, 通常把这个三角形画在力所作用的物体之外, 如图 1-8 所示。其方法是自任意点 O 先画出一力矢 $\mathbf{F}_1$, 然后再由 $\mathbf{F}_1$ 的终点画一力矢 $\mathbf{F}_2$, 最后由 O 点至力矢 $\mathbf{F}_2$ 的终点作一矢量 $\mathbf{F}_R$, 它就代表 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的合力。合力的作用点仍为汇交点 A 。这种作图方法称为力的三角形法则。在作力三角形时, 必须遵循这样一个原则, 即分力力矢首尾相接, 但次序可变, 合力力矢与最后分力箭头相接。此外还应注意, 力三角形只表示力的大小和方向, 而不表示力的作用点或作用线。

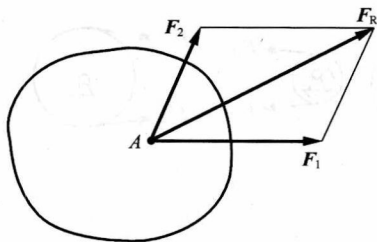


图 1-7 力的平行四边形法则

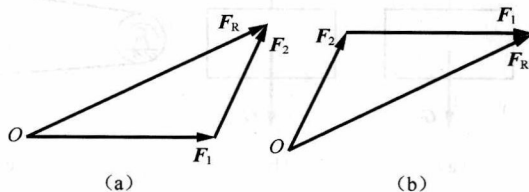


图 1-8 力的三角形法则

力的平行四边形法则总结了最简单的力系简化规律, 它是较复杂力系合成的主要依据。

力的分解是力的合成的逆运算, 因此也是按平行四边形法则来进行的, 但为不定解。在工程实际中, 通常是分解为方向互相垂直的两个分力。例如, 在进行直齿圆柱齿轮的受力分析时, 常将齿面的法向正压力 $\mathbf{F}_n$ 分解为推动齿轮旋转的即沿齿轮分度圆圆周切线方向的分力——圆周力 $\mathbf{F}_t$ 和指向轴心的压力——径向力 $\mathbf{F}_r$, 如图 1-9 所示。若已知 $\mathbf{F}_n$ 与分度圆圆周切向所夹的压力角为

α , 则有

$$F_t = F_n \cos \alpha \quad F_r = F_n \sin \alpha \quad (1-2)$$

运用公理二、公理三可以得到下面的推论。

物体受 3 个力作用而平衡时, 此 3 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。

4. 公理四 作用与反作用公理

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。

必须强调指出, 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。

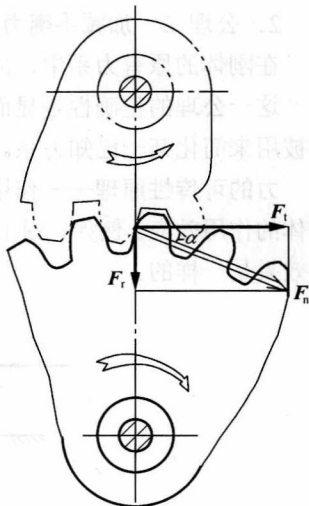


图 1-9 力的分解

三、常见约束类型及其约束反力

对物体运动起阻碍作用的周围物体, 称为约束。而这个受到约束的物体称为被约束物体。如图 1-1 所示, 小球受到绳索和斜面的限制不能下落, 绳索和斜面分别构成了对小球的约束。

物体所受的力一般可分为主动力和约束反力。能够促使物体产生运动或运动趋势的力称为主动力。这类力有重力或一些作用载荷。主动力通常是已知的。当物体沿某一方向的运动受到约束限制时, 约束必然对该物体有力的作用, 这种力称为约束反作用力, 简称约束反力。约束反力的方向与它所限制物体的运动或运动趋势的方向相反, 是一个未知力。

1. 柔体约束

由绳索、链条、传动带等形成的约束称为柔体约束。这类约束只能承受拉力, 不能承受压力。其约束反力作用于连接点, 方向沿着绳索而背离物体, 如图 1-10 所示。

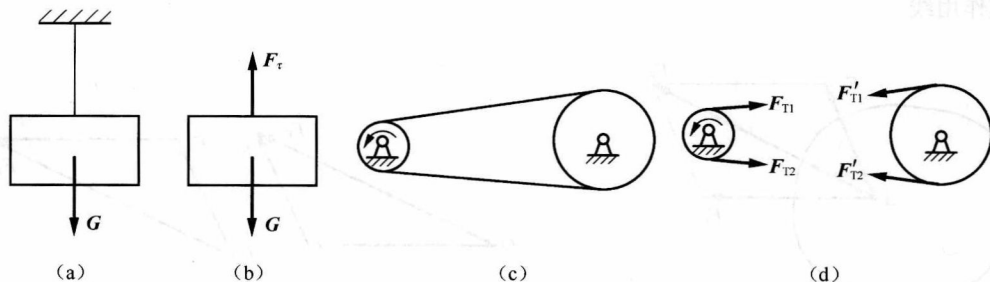


图 1-10 柔体约束

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指向被约束体, 简称法向压力, 通常用 F_N 表示。图 1-11 (a) 和图 1-11 (b) 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 1-12 所示为直杆与方槽在 A 、 B 、 C 三点接触，3 处的约束反力沿二者接触点的公法线方向作用。

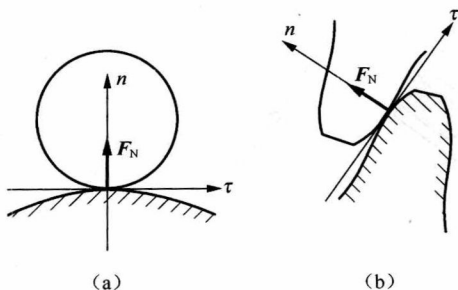


图 1-11 光滑面约束

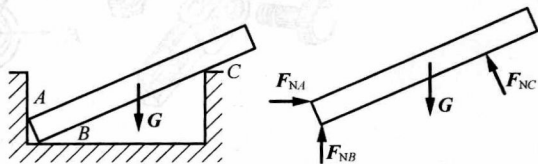


图 1-12 光滑面约束

3. 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连接，如图 1-13 所示。门所用的合叶、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。

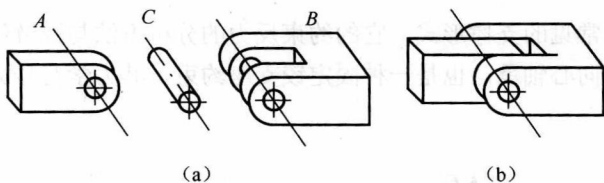


图 1-13 光滑铰链约束

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 1-14 (a) 所示。但实际上很难确定 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 1-14 (b) 所示。

这种约束在工程上应用广泛，可分为以下 3 种类型。

(1) 固定铰支座。这种约束常用以将构件和基础连接，如桥梁的一端与桥墩连接时，如图 1-15 (a) 所示。图 1-15 (b) 所示为这种约束的简图。

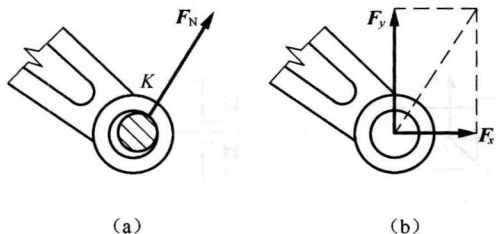


图 1-14 约束反力

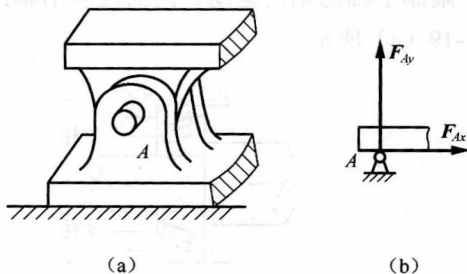


图 1-15 固定铰支座

(2) 中间铰链。用来连接两个可以相对转动但不能移动的构件，如曲柄连杆机构中曲柄与连杆、连杆与滑块的连接。通常在两个构件连接处用一个小圆圈表示铰链，如图 1-16 (c) 所示。

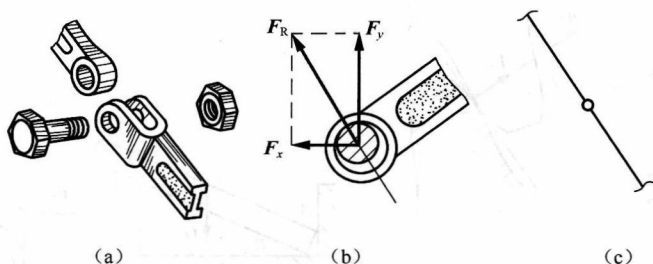


图 1-16 中间铰链

(3) 滚动铰支座。在桥梁、屋架等结构中，除了使用固定铰支座外，还常使用一种放在几个圆柱形滚子上的铰链支座，这种支座称为滚动铰支座，也称为辊轴支座，它的构造如图 1-17 所示。由于辊轴的作用，被支撑构件可沿支撑面的切线方向移动，故其约束反力的方向只能在滚子与地面接触面的公法线方向。

4. 轴承约束

轴承约束是工程中常见的支撑形式，它的约束反力的分析方法与铰链约束相同。

(1) 支撑传动轴的向心轴承，也是一种固定铰支座约束，其力学符号如图 1-18 所示。

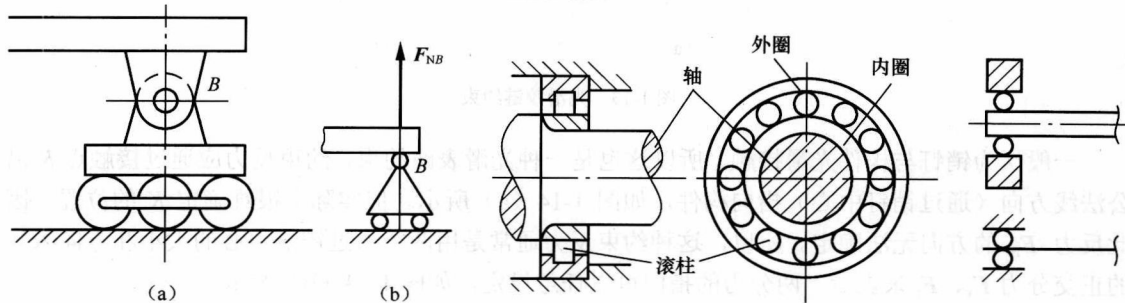


图 1-17 滚动铰支座

图 1-18 轴承约束

(2) 推力轴承约束，除了与向心轴承一样具有作用线不定的径向约束力外（见图 1-19 (a)），由于限制了轴的轴向运动，因而还有沿轴线方向的约束反力（见图 1-19 (b)）。其力学符号如图 1-19 (c) 所示。

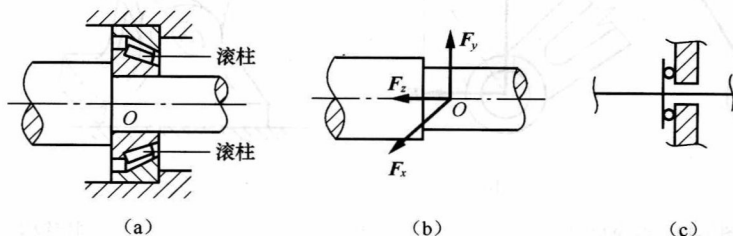


图 1-19 推力轴承约束

5. 固定端约束

物体的一部分嵌入另一物体所构成的约束,称为固定端约束。如车床刀架上的刀具(见图 1-20 (a))、卡盘上的工件(见图 1-20 (b))等都属于这种约束。

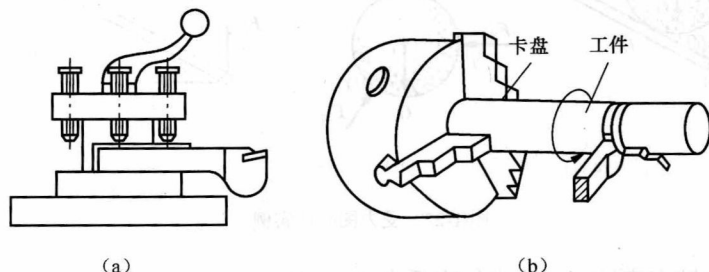


图 1-20 固定端约束

固定端约束的构件可以用一端插入刚体内的悬臂梁来表示(见图 1-21 (a))。这种约束限制物体沿任何方向的移动和转动,其约束作用包括限制移动的两个正交约束反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 和限制转动的约束反力偶 M_A (见图 1-21 (c))。

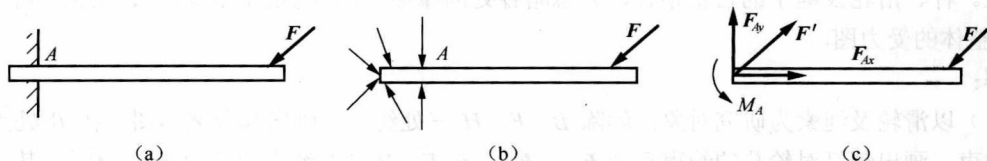


图 1-21 固定端约束反力

四、受力图

在对物体进行受力分析时,为了清楚地表示物体的受力情况,需将研究对象从周围的物体中分离出来,即解除全部约束,成为分离体。为了使分离体的受力情况与原来的受力情况一致,必须在分离体上画出所有主动力,在解除约束的地方画出相应的约束反力。这样所得到的画有分离体及其全部主动力和约束反力的简图称为受力图。

受力图是解决工程力学问题的关键,掌握画受力图对于静力分析非常重要。下面举例说明受力图的画法。

例 1-1 重力为 G 的均质圆球 O , 由杆 AB 、绳索 BC 与墙壁来支持,如图 1-22 所示。各处的摩擦与杆重不计,试分别画出球 O 和杆 AB 的受力图。

解:

(1) 以球为研究对象。

① 解除杆和墙的约束,画出其分离体图。

② 画出主动力:球受重力 G 。

③ 画出全部约束反力:杆对球的约束反力 F_{ND} 和墙对球的约束反力 F_{NE} (D 、 E 两处均为光滑面约束)。球 O 的受力图如图 1-22 (b) 所示。

(2) 以 AB 杆为研究对象。

① 解除绳子 C 、球 O 和固定铰支座 A 的约束,画出其分离体图。

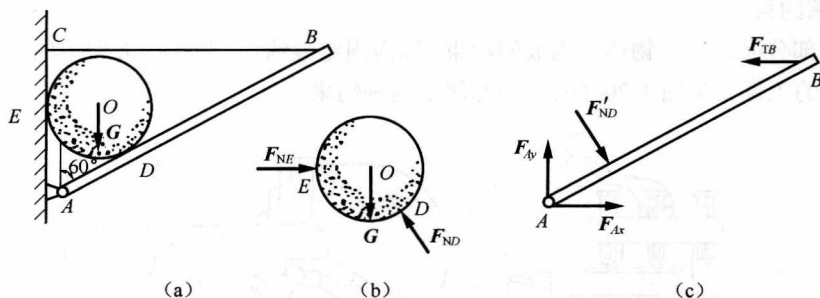


图 1-22 受力图画法实例一

② A 处为固定铰支座约束，画上约束反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 。

③ B 处受绳索约束，画上拉力 F_{TB} 。

④ D 处为光滑面约束，画上法向反力 F'_{ND} ，它与 F_{ND} 是作用与反作用的关系。 AB 杆的受力图如图 1-22 (c) 所示。

例 1-2 图 1-23 (a) 所示的结构，由杆 AC 、 CD 与滑轮 B 铰接组成。物重 G 、用绳子挂在滑轮上。杆、滑轮及绳子的自重不计，并忽略各处的摩擦。试分别画出滑轮 B 、重物、杆 AC 、 CD 及整体的受力图。

解：

(1) 以滑轮及绳索为研究对象。解除 B 、 E 、 H 三处约束，画出其分离体图。在 B 处为光滑铰链约束，画出销钉对轮孔的约束反力 F_{Bx} 、 F_{By} 。在 E 、 H 处有绳索的拉力 F_{TE} 、 F_{TH} 。其受力图如图 1-23 (b) 所示。

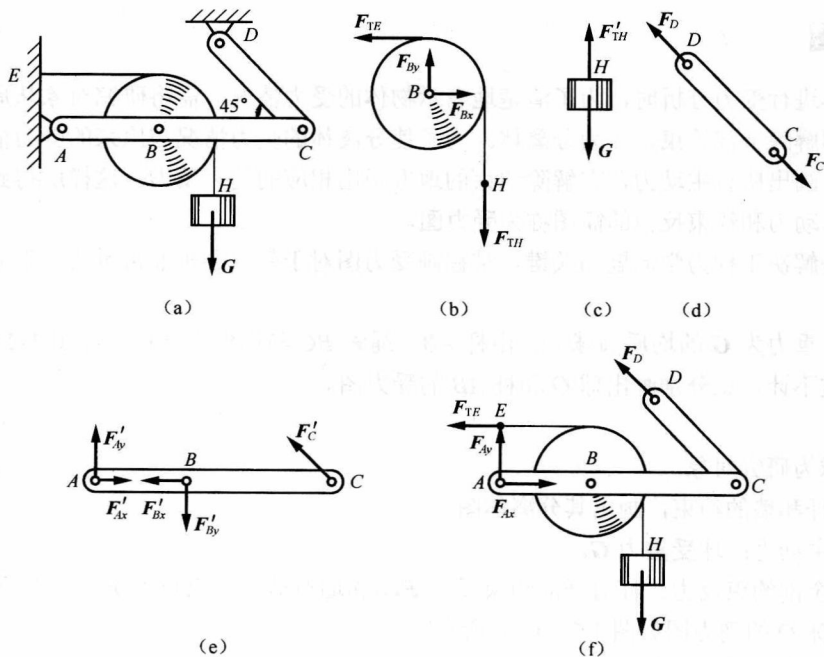


图 1-23 受力图画法实例二

(2) 以重物为研究对象。解除 H 处约束, 画出其分离体图。画出主动力重力 G 。在 H 还有绳索的拉力 F_{TH} , 它与 F_{TH} 是作用与反作用的关系。其受力图如图 1-23 (c) 所示。

(3) 以二力杆 CD 为研究对象 (在系统问题中, 先找出二力杆将有助于确定某些未知力的方位)。画出其分离体图。由于 CD 杆受拉 (当受力指向不明时, 可先假设一方向), 在 C 、 D 处画上拉力 F_C 与 F_D , 且 $F_C = -F_D$ 。其受力图如图 1-23 (d) 所示。

(4) 以 AC 杆为研究对象。解除 A 、 B 、 C 三处约束, 画出其分离体图。在 A 处为固定铰支座, 故画上约束反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 。在 B 处画上 F'_{Bx} 、 F'_{By} , 它们分别与 F_{Bx} 、 F_{By} 互为作用力与反作用力。在 C 处画上 F'_C , 它与 F_C 是作用与反作用的关系, 即 $F'_C = -F_C$ 。其受力图如图 1-23 (e) 所示。

(5) 以整体为研究对象。解除 A 、 E 、 D 处的约束, 画出其分离体图。画出主动力重力 G 。画出约束反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 。画出约束反力 F_D 、 F_{TE} 。其受力图如图 1-23 (f) 所示。

课题二

平面汇交力系

工程实际中, 往往有多个力同时作用在同一物体上。我们把作用在同一物体上的一组力, 称为力系。力系有各种不同的类型。按力系中各力的作用线是否在同一平面内来分, 力系可分为平面力系和空间力系; 按力系中各力的作用线是否相交来分, 力系又可分为汇交力系、平行力系和任意力系等。作用于同一平面内各力的作用线相交于一点的力系称为平面汇交力系。本课题主要研究平面汇交力系的合成与平衡问题。分析平面汇交力系一般有两种方法: 几何法与解析法。

一、平面汇交力系合成与平衡的几何法——力多边形法则

设刚体上作用有一平面汇交力系 F_1 、 F_2 和 F_3 , 如图 1-24 所示, 现求其合力。

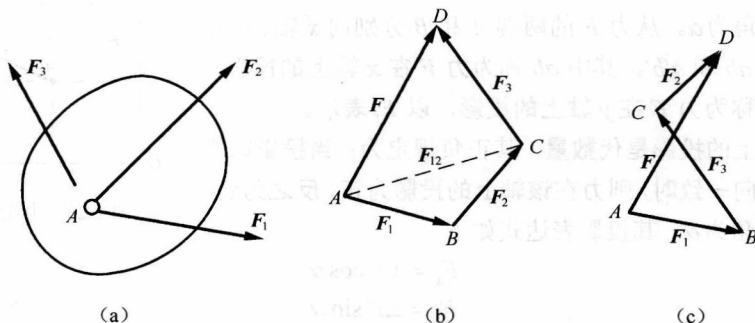


图 1-24 力合成的多边形法则

根据力的可传性原理, 将各力沿作用线移到 A 点, 然后连续应用力的三角形法则, 先将 F_1 和 F_2 合成为 F_{12} (见图 1-24 (b) 中的虚线), 再将 F_{12} 与 F_3 合成, 即得 F_1 、 F_2 和 F_3 的合力 F , 如图 1-24 (b) 所示。

实际作图时, 虚线 F_{12} 不必画出, 只要把各分力矢量首尾相接, 得到一开口的多边形 $ABCD$, 然后将第一个力矢量 F_1 的起点 A 和最后一个力矢量 F_3 的终点 D 相连, 作为多边形的封闭边, 所得矢量就代表该力系合力 F 的大小和方向。这种用力多边形求合力的方法称为力多边形法则。运

用力多边形求合力时,可以任意变换各分力矢量的次序,得到不同形状的力多边形,但求得的合力 F 不变,如图 1-24 (c) 所示。

显然,无论汇交力系中力的数目有多少,均可用此法来求出其合力。用矢量表示为

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \sum \mathbf{F}_i \quad (1-3)$$

从力多边形图形上看,当合力 $F=0$ 时,合力封闭边变为一点,即第一个矢量的起点与最后一个力矢量的终点重合,构成了一个自行封闭的力多边形,如图 1-25 所示。

因此,平面汇交力系平衡的几何条件是:力系中各力组成的力多边形自行封闭。

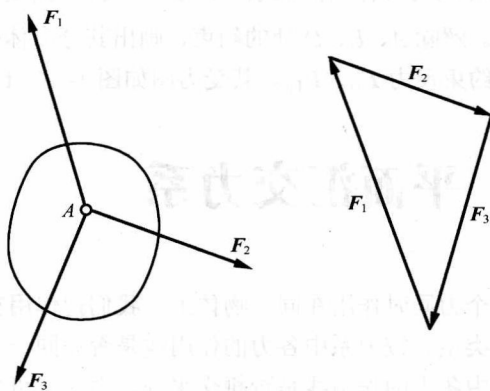


图 1-25 平面汇交力系平衡的几何条件

二、平面汇交力系合成与平衡的解析法

1. 力在坐标轴上的投影

如图 1-26 所示,在直角坐标系 Oxy 平面内有一力 F ,此力与 x 轴所夹的锐角为 α 。从力 F 的两端 A 和 B 分别向 x 轴、 y 轴作垂线,得线段 ab 和 $a'b'$ 。其中 ab 称为力 F 在 x 轴上的投影,以 F_x 表示; $a'b'$ 称为力 F 在 y 轴上的投影,以 F_y 表示。

力在坐标轴上的投影是代数量,其正负规定为:当投影的指向与坐标轴正方向一致时,则力在该轴上的投影为正,反之为负。若力 F 与 x 轴夹角为 α ,其投影表达式如下

$$\begin{aligned} F_x &= \pm F \cos \alpha \\ F_y &= \pm F \sin \alpha \end{aligned} \quad (1-4)$$

如果已知力 F 的投影 F_x 和 F_y ,则力 F 的大小和它与 x 轴所夹的锐角 α 可按下式计算

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \tan \alpha &= \left| \frac{F_y}{F_x} \right| \end{aligned} \quad (1-5)$$

式中, α ——力 F 与 x 轴所夹的锐角,力 F 的指向可根据其投影 F_x 和 F_y 的正负号决定。

当力与坐标轴垂直时,力在该轴上的投影为零;当力与坐标轴平行时,力在该轴上的投影的绝对值等于力本身的大小。

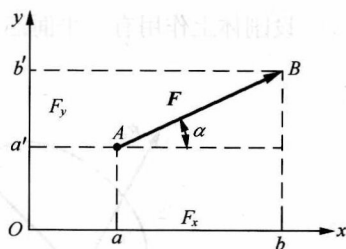


图 1-26 力在坐标轴上的投影



注意

力在坐标轴上的投影与分力是两个不同的概念。分力是矢量，而力的投影是标量，可直接叠加。

如图 1-27 所示，试分析 (a)、(b) 两种情况下，力 F 沿 x 、 y 轴方向的分力 F_1 、 F_2 与力 F 在 x 、 y 轴上的投影 F_x 、 F_y 是否相等？

分析：

(1) 力的分解采用平行四边形法则，以力 F 的作用线为对角线作平行四边形，两邻边即为力 F 的分力 F_1 和 F_2 。

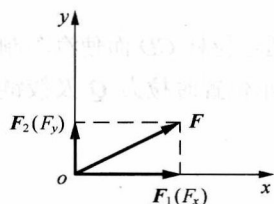
(2) 力的投影则通过从力 F 的作用线的两端分别向 x 轴、 y 轴作垂线，得到的线段分别力 F 在 x 轴和 y 轴上的投影，以 F_x 和 F_y 表示。

(3) 显然，图 1-27 (a) 所示力 F 的分力 F_1 、 F_2 和投影 F_x 、 F_y 大小分别相等，图 1-27 (b) 所示则明显不等。

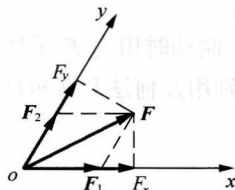
2. 合力投影定理

用力在直角坐标轴上投影的方法，观察分析图 1-28 的情况，可得到合力 F_R 的投影与分力 F_1 、 F_2 的投影之间的一般关系，即合力在任一坐标轴上的投影，等于各分力在同一轴上投影的代数和。此即为合力投影定理。其表达式如下

$$\begin{aligned} F_{Rx} &= F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx} = \sum F_x \\ F_{Ry} &= F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny} = \sum F_y \end{aligned} \quad (1-6)$$



(a)



(b)

图 1-27 力的投影与力的分力的关系

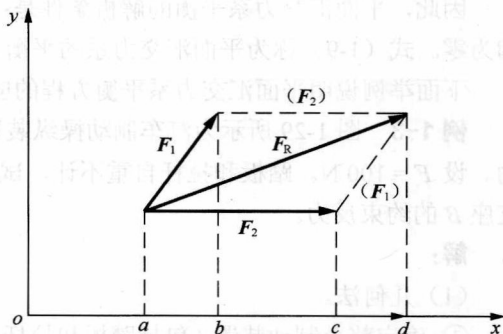


图 1-28 合力投影

则合力 F_R 的大小、方向分别为

$$\begin{aligned} F_R &= \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \\ \tan \alpha &= \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \end{aligned} \quad (1-7)$$

式中， F_{1x} 、 F_{2x} ... F_{nx} 、 F_{1y} 、 F_{2y} ... F_{ny} ——各分力在 x 轴、 y 轴上的投影；

F_{Rx} 、 F_{Ry} ——合力在 x 轴、 y 轴上的投影；

α ——合力 F_R 与 x 轴正方向间所夹的锐角，合力 F_R 的指向可根据其投影 F_{Rx} 和 F_{Ry} 的正负号决定。

3. 平面汇交力系的合成

平面汇交力系总可以合成为一个合力，可利用合力投影定理进行计算。其表达式如下：