

国家工科基础课程力学教学基地系列教材、教辅

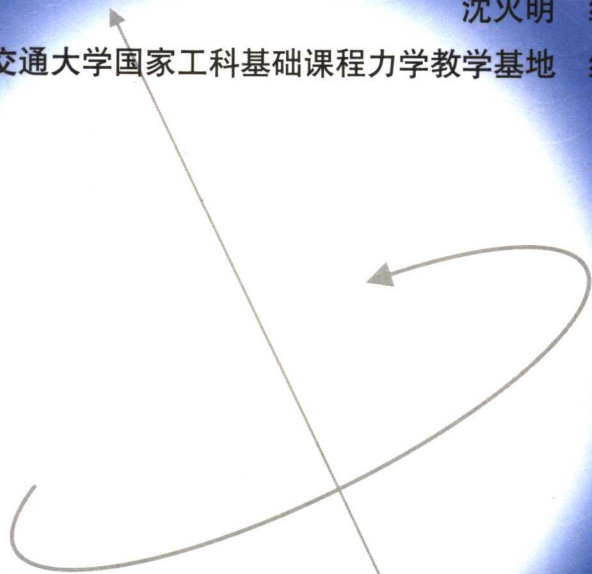
理论力学

学习指导与能力训练

LILUN LIXUE XUEXI ZHIDAO YU NENGLI XUNLIAN

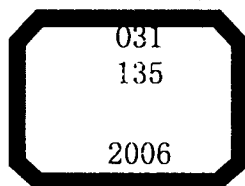
沈火明 编著

西南交通大学国家工科基础课程力学教学基地 组编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

国家工科基础课程力学教学基地系列教材、教辅



理 论 力 学

学习指导与能力训练

沈火明 编著

西南交通大学国家工科基础课程力学教学基地 组编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 提 要

本书是根据教育部“高等学校工科本科理论力学课程教学基本要求”编写而成的与理论力学主教材相配套的学习指导书。全书共分两部分：第一部分为典型题解析，共十八章，每章均设计了内容提要、典型题精解、自测题三个板块；第二部分为综合自测题，共十套。

本书可作为高等工科院校土建、机械、材料、航空航天、水利等专业学生学习理论力学的辅导用书，也可作为相关专业研究生入学考试、注册结构工程师资格考试理论力学复习参考书和青年教师的教学参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

理论力学学习指导与能力训练 / 沈火明编著. —成都:
西南交通大学出版社, 2006.12
ISBN 7-81104-283-5

I. 理... II. 沈... III. 理论力学—高等学校—教
学参考资料 IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 050217 号

理论力学学习指导与能力训练

沈火明 编著

*

责任编辑 刘莉东

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 170 mm × 230 mm 印张: 16.375

字数: 302 千字 印数: 1—3 000 册

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-283-5

定价: 22.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是与理论力学主教材相配套的学习指导书,旨在帮助学生理解和掌握理论力学的基本内容、基本概念和基本方法及解题技巧,培养学生用科学的思想方法来分析问题和解决问题的能力。

全书共分两部分。第一部分为典型题解析,共十八章,包括静力学基本概念和物体的受力分析、平面基本力系、平面任意力系、空间力系、摩擦、点的运动学、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动、质点的运动微分方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理(动静法)、虚位移原理、动力学普遍方程和拉格朗日方程、碰撞、机械振动基础。每章均设计了三个板块,即:

内容提要 对每章的主要内容进行了归纳和总结,对重点和难点内容进行了较为详细和深入的阐述和讨论。理出基本概念、重点公式、重要定理和主要内容,突出必须掌握的核心知识。

典型题精解 精选了具有代表性的例题进行较详细的分析和解答。这些例题涉及内容广、类型多、技巧性强,旨在提高学生的分析能力,进而掌握基本概念和理论,开拓解题思路。

自测题 自测旨在进一步强化解题训练,反映学习的重点、难点,培养学生的综合能力和应用能力,巩固和提高复习效果。

第二部分为综合自测题,共十套。这些题反映了近年来理论力学命题的特点和趋向,有较广泛的代表性,学生可在学完理论力学后进行自我检测。

本书可作为高等工科院校土建、机械、材料、航空航天、水利等专业学生学习理论力学的辅导用书,也可作为相关专业研究生入学考试、注册结构工程师资格考试理论力学复习参考书和青年教师的教学参考书。

本书由沈火明编著。在策划、编写等方面得到了西南交通大学教务处、西南交通大学国家工科基础课程力学教学基地、西南交通大学应用力学与工程系领导和老师的关心和支持。邱秉权教授审阅了全部书稿,并提出了很多宝贵意见。在此一并表示衷心的感谢。

限于编者的水平,书中不足及错漏之处,恳请同行和读者批评指正。

编 者
2006年8月

目 录

第一章 静力学基本概念和物体的受力分析.....	1
内容提要.....	1
典型题精解.....	2
自测题.....	6
第二章 平面基本力系.....	8
内容提要.....	8
典型题精解	11
自测题	15
第三章 平面任意力系	18
内容提要	18
典型题精解	21
自测题	25
第四章 空间力系	28
内容提要	28
典型题精解	34
自测题	39
第五章 摩 擦	42
内容提要	42
典型题精解	44
自测题	49
第六章 点的运动学	52
内容提要	52

典型题精解	54
自测题	56
第七章 刚体的基本运动	59
内容提要	59
典型题精解	61
自测题	64
第八章 点的合成运动	66
内容提要	66
典型题精解	68
自测题	73
第九章 刚体的平面运动	76
内容提要	76
典型题精解	79
自测题	85
第十章 质点的运动微分方程	89
内容提要	89
典型题精解	91
自测题	95
第十一章 动量定理	97
内容提要	97
典型题精解	100
自测题	103
第十二章 动量矩定理	106
内容提要	106
典型题精解	109
自测题	112

第十三章 动能定理	116
内容提要.....	116
典型题精解.....	121
自测题.....	126
第十四章 达朗贝尔原理(动静法)	129
内容提要.....	129
典型题精解.....	132
自测题.....	136
第十五章 虚位移原理	139
内容提要.....	139
典型题精解.....	142
自测题.....	146
第十六章 动力学普遍方程和拉格朗日方程	149
内容提要.....	149
典型题精解.....	151
自测题.....	157
第十七章 碰 撞	159
内容提要.....	159
典型题精解.....	162
自测题.....	165
第十八章 机械振动基础	167
内容提要.....	167
典型题精解.....	170
自测题.....	175
第十九章 理论力学综合自测题	177
自测题(一).....	177
自测题(二).....	180

自测题(三).....	183
自测题(四).....	185
自测题(五).....	189
自测题(六).....	193
自测题(七).....	196
自测题(八).....	199
自测题(九).....	201
自测题(十).....	205
参考答案.....	209
参考文献.....	253

第一章 静力学基本概念和物体的受力分析

内 容 提 要

一、基本概念

(1) 力 物体间相互的机械作用，这种作用使物体的形状和运动状态发生改变。

(2) 刚体 在力作用下不发生变形的物体。而它是力学中的一种理想化的模型。

(3) 平衡 物体相对于惯性参考系保持静止或作匀速直线运动。

(4) 等效力系 作用于物体且效应相同的力系。

二、静力学公理

(1) 二力平衡公理 作用于刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的充分与必要条件是：这两个力大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。

(2) 加减平衡力系公理 在作用于刚体上的已知力系中，加上或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。

(3) 力的平行四边形法则 作用于物体上同一点的两个力，其合力也作用在该点上。至于合力的大小和方向则由以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示，而这两个力称为合力的分力。

(4) 作用与反作用定律 两物体间相互作用的力总是等值、反向、共线且分别作用在这两个物体上。

(5) 刚化公理 变形体在某一力系作用下处于平衡，如将此变形体置换为刚体，则平衡状态保持不变。

三、两个推论

(1) 力的可传性原理 作用于刚体上的力，其作用点可以沿作用线移动而不改变它对该刚体的作用。

(2) 三力平衡汇交定理 当刚体受三个力作用而处于平衡，若其中两个力

的作用线汇交于一点，则此三力必处于同一平面内，且第三个力的作用线也必定通过汇交点。

四、约束、约束力及常见的约束类型

- (1) 约束 限制物体运动的条件。
- (2) 约束力 约束给予被约束物体上的力。
- (3) 常见的约束类型 柔体约束；光滑的点、线、面约束；光滑铰链约束；轴承约束；固定端约束。

五、物体的受力图及受力分析的步骤

(1) 物体的受力图 表示物体所受全部外力(包括主动力和约束力)的简图。受力图是求解静力学问题的依据。

(2) 受力分析的步骤和注意事项 ① 明确研究对象，将研究对象从它周围物体的约束中分离出来，单独画出其简图；② 画出研究对象所受的一切主动力和约束力；③ 约束力要符合约束的类型及其性质；④ 在分别画两个相互作用物体的受力图时，要注意作用力和反作用力的关系；⑤ 通常应先找出二力构件，画出它的受力图，然后再画其他物体的受力图。

典型题精解

【例 1.1】 如图 1.1(a)所示。梯子 AB 重 P ，在 D 处用绳 CD 拉住， A 、 B 处分别搁在光滑的墙及地面上。试画出梯子的受力图。

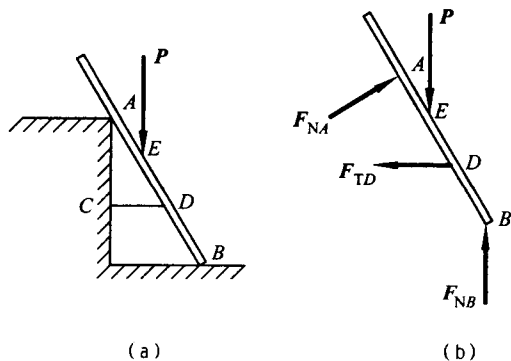


图 1.1

解 取 AB 杆为研究对象, 作分离体图。A 处为光滑接触, 故 F_{NA} 方向沿杆上 A 点法线方向, B 处也类似。D 处受柔索约束, 约束力 F_{TD} 应背离被约束物体。其受力图如图 1.1(b) 所示。

【例 1.2】一受力体系如图 1.2(a) 所示。 AB 梁上作用一分布力 q (单位: kN/m), CD 梁上作用一集中力 F , A 端为固定端, 自重均不计。试作出梁 AB 、 CD 的受力图。

解 分别取 AB 、 CD 为研究对象, 作分离体图。在 AB 梁上, 因 A 端为固定端约束, 故有 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 M_A 三个约束力; 由于 BC 杆为二力杆, 故 F_{BC} 为二力杆 BC 对 AB 梁的约束力。在 CD 梁上, F_{CB} 为 BC 杆对 CD 梁的约束力, 它的指向与 F_{BC} 相呼应, 为作用与反作用关系。由于 CD 梁上为 C 、 E 、 D 三点受力, 平衡时, 三力 F_{CB} 、 F 、 F_{ND} 必满足三力汇交定理, 汇交点为 O 点。受力图如图 1.2(b)、(c)、(d) 所示。

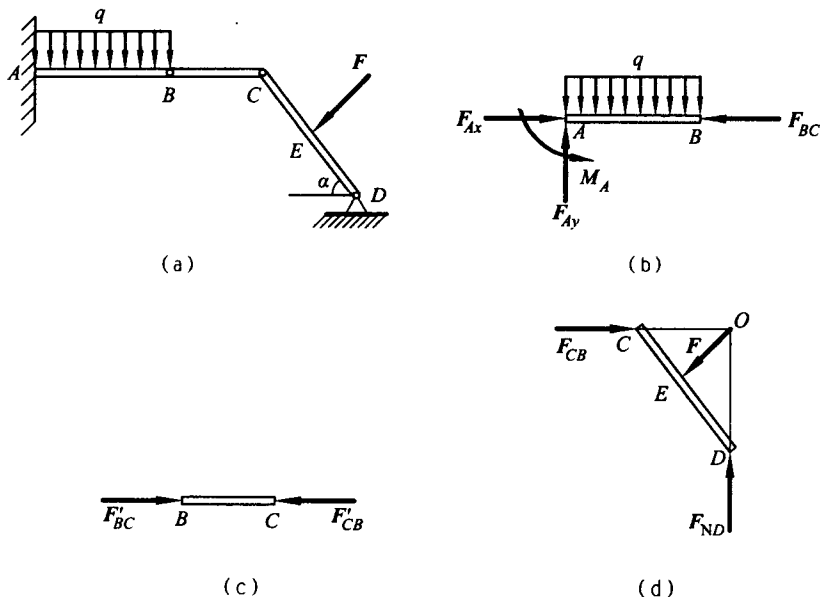


图 1.2

【例 1.3】图 1.3(a) 所示机构中, BC 杆的轮上绳子处于水平位置。不计摩擦, 画出轮 C 、杆 BC 、杆 AD 及整体的受力图。

解 取轮 C 为研究对象, 作出轮 C 的分离体图。绳子是柔性约束, 反力方向沿绳子中心线, 为拉力。由三力汇交定理可画出轮 C 的受力图, 如图 1.3(b) 所示。其余受力图如图 1.3(c)、(d)、(e) 所示。

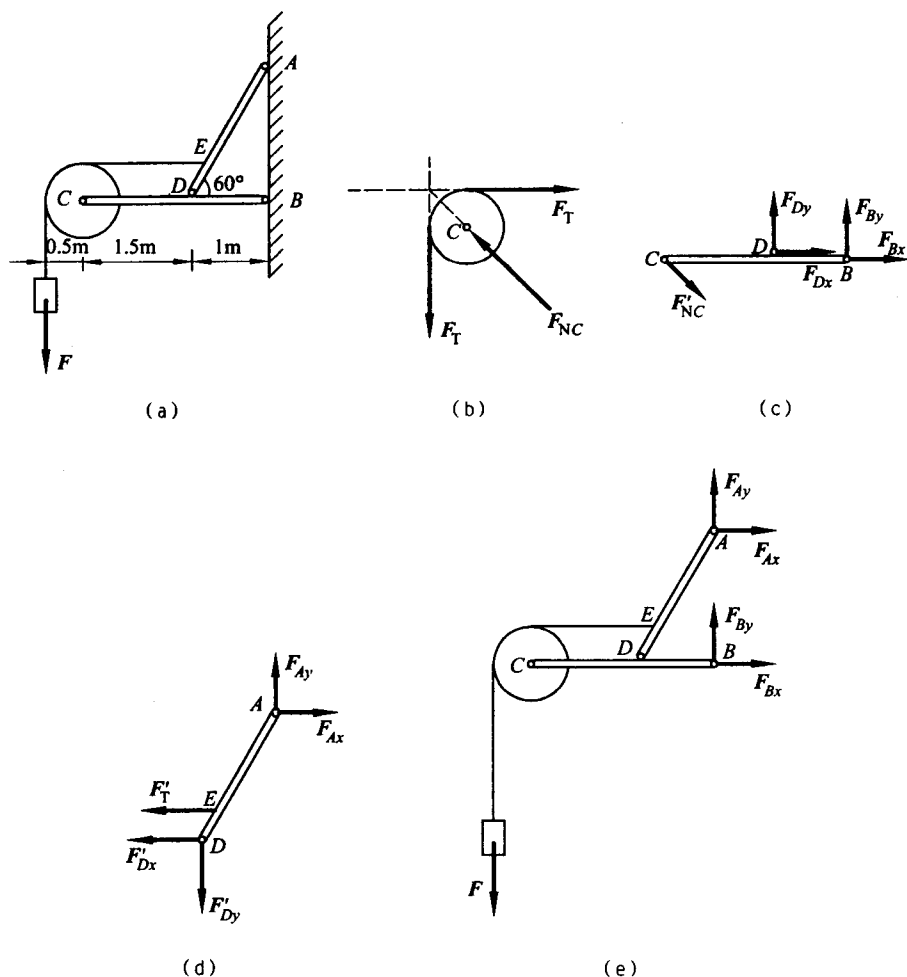


图 1.3

【例 1.4】如图 1.4(a)所示的构架由杆 AB 、 CD 、 EN 和滑轮、绳索等组成， H 、 G 、 E 处为铰链连接，固连在杆 EN 上的销钉 K 放在杆 CD 的光滑直槽内。图中未画重力的各物体的自重不计。试作杆 AB 、杆 CD 、杆 EN (包括定滑轮 E) 的受力图。

解 取杆 CD 为研究对象， K 处为销钉作用在光滑的直槽上，故 F_K 垂直于光滑直槽。而 C 处为固定铰支座， G 为铰链约束，均用两个大小待定的正交分力表示。杆 CD 的受力图如图 1.4(b) 所示。

取杆 EN (包括定滑轮 E) 为研究对象。 K 处为反作用力 F'_K ， H 处为铰链

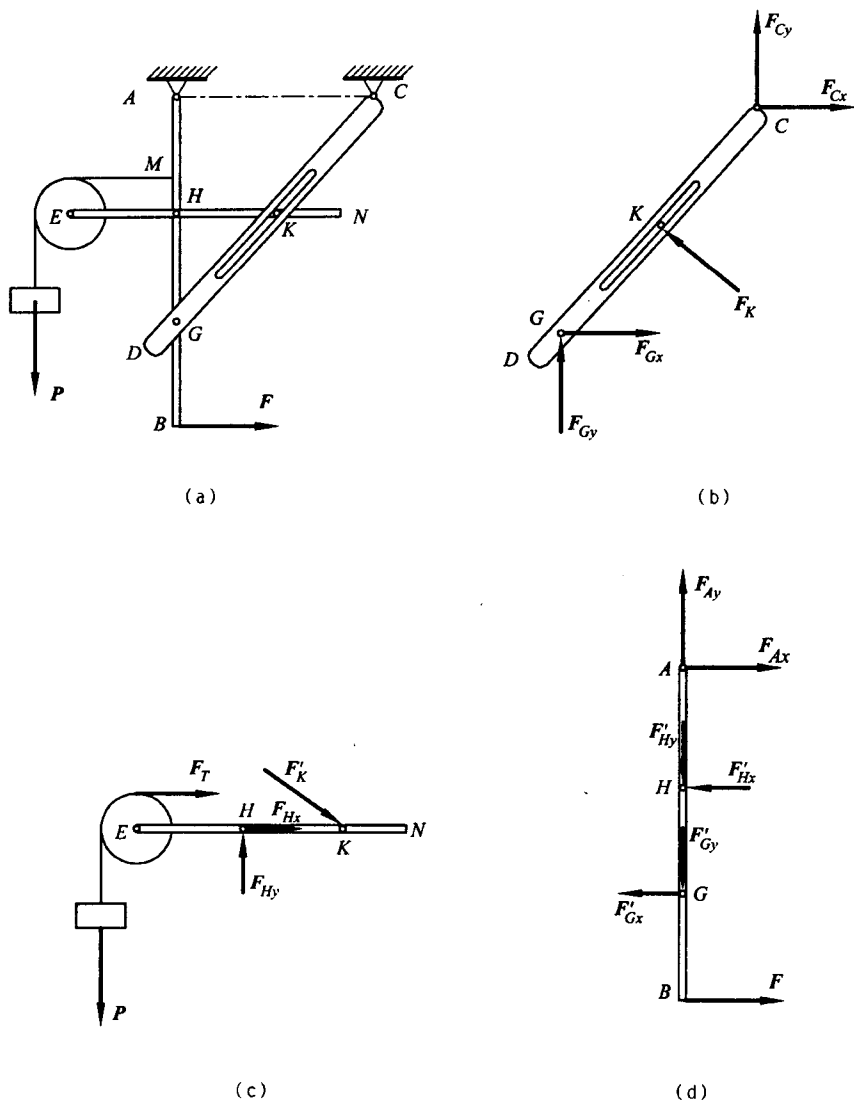


图 1.4

约束，用两个大小待定的正交分力表示。M 处为绳子的拉力 F_T 。杆 EN (包括定滑轮 E) 的受力图如图 1.4(c) 所示。

取杆 AB 为研究对象。H、G 处为铰链约束，分别按杆 EN、杆 CD 上 H、G 处的反作用力画出。A 处为固定铰支座，用两个大小待定的正交分力表示。杆 AB 的受力图如图 1.4(d) 所示。

自 测 题

一、是非题

- 1.1 凡是合力都比分力要大。()
- 1.2 力是滑动矢量,可沿作用线移动。()
- 1.3 若作用在刚体上的三个力的作用线汇交于同一点,则该刚体必处于平衡状态。()

二、选择题

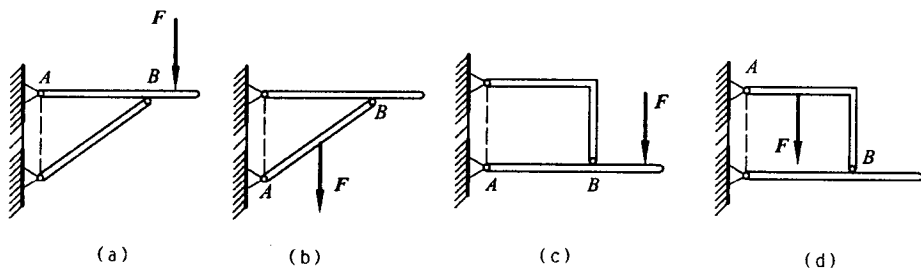
- 1.4 二力平衡条件的适用范围是()。
- A. 刚体 B. 刚体系统 C. 变形体 D. 任何物体或物体系统
- 1.5 作用和反作用定律的适用范围是()。
- A. 只适用于刚体 B. 只适用于变形体
- C. 只适用于处于平衡状态的物体 D. 对任何物体均适用
- 1.6 如果力 F_R 是两力的合力,用矢量方程表示为 $F_R = F_1 + F_2$,其大小之间的关系()。
- A. 必有 $F_R = F_1 + F_2$ B. 不可能有 $F_R = F_1 + F_2$
- C. 必有 $F_R > F_1, F_R > F_2$ D. 可能有 $F_R < F_1, F_R < F_2$
- 1.7 一物体能否视为刚体,取决于()。
- A. 物体是否坚硬 B. 变形是否微小
- C. 变形不起决定因素 D. 是否研究物体的变形

三、问答题

- 1.8 $F_R = F_1 + F_2$ 和 $F_R = F_1 + F_2$ 意义是否相同?

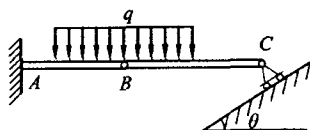
四、受力分析

- 1.9 图所示各结构中,不计各构件自重,各连接处均为铰链,画出 AB 杆的受力图。

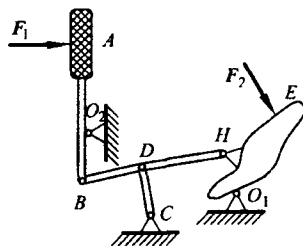


题图 1.9

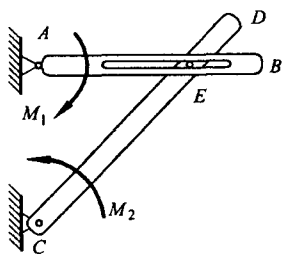
- 1.10 画出图所示结构中指定杆件的受力图。设接触处均为光滑的,除注明者外,各物体自重不计。



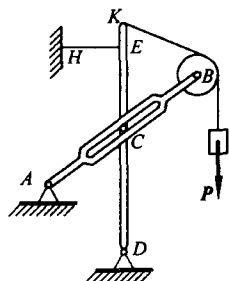
(a) 梁 AB、BC



(b) 操纵杆 AB、舵面 O_1E



(c) 杆 CD、AB

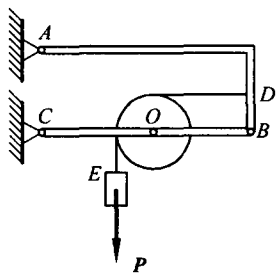


(d) 支架杆 AB(带滑轮)、直杆 DK

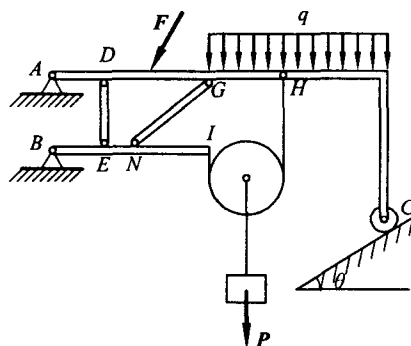
题图 1.10

1.11 试以杆 BC、轮 O、绳索及重物 E 作为一分离体，画其受力图，再画杆 AB 的受力图。

1.12 画出图所示结构中杆 AH、杆 BI、杆 HC 的受力图。图中未画重力的各物体的自重不计，所有接触处均为光滑接触。



题图 1.11



题图 1.12

第二章 平面基本力系

内 容 提 要

平面基本力系包括平面汇交力系和平面力偶系。

一、平面汇交力系的合成与平衡

(一) 力在坐标轴上的投影与力沿坐标轴的分解

(1) 力在坐标轴上的投影 力在坐标轴上的投影等于力的模乘以力与投影轴正向间夹角的余弦，它是一标量，即

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \theta \\ F_y &= F \cos \beta \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

如图 2.1(a)所示。

(2) 力沿坐标轴的分解 力沿坐标轴的分力是一矢量，其合力与分力之间应满足力的平行四边形法则。如图 2.1(b)所示。力沿坐标轴分解的分力的大小为

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \frac{F \sin \beta}{\sin(\theta + \beta)} \\ F_y &= \frac{F \sin \theta}{\sin(\theta + \beta)} \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

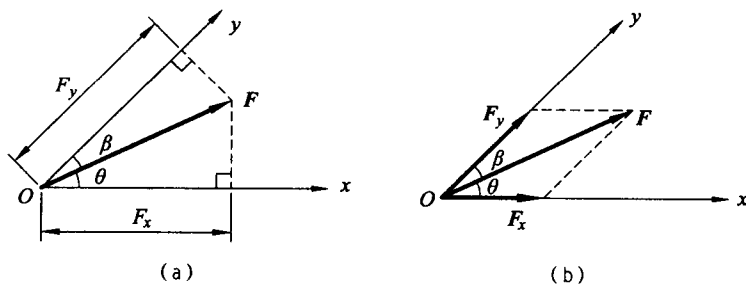


图 2.1

由此可见,在一般情况下,力沿两坐标轴分解的分力的大小不等于力在该坐标轴上投影的大小。

当 $\theta + \beta = \frac{\pi}{2}$ 时,如图 2.2(a)、(b)所示,即只有在直角坐标系中,力在轴上的投影才与力沿该轴上的分量大小相等,而投影的正负号表明该分量的指向。即

$$\mathbf{F} = F_x + F_y = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} \quad (2.3)$$

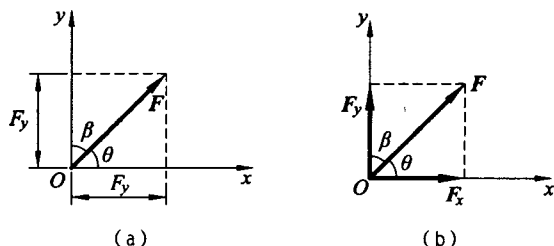


图 2.2

(3) 合力投影定理 合力在某轴上的投影等于各分力在同一轴上投影的代数和,即

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \sum_{i=1}^n F_{xi} \\ F_y &= \sum_{i=1}^n F_{yi} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

当投影轴 x 与 y 垂直时,其合力的大小与方向为

$$\left. \begin{aligned} F_R &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \cos(\mathbf{F}_R, \mathbf{i}) &= \frac{F_x}{F_R} \\ \cos(\mathbf{F}_R, \mathbf{j}) &= \frac{F_y}{F_R} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

(二) 平面汇交力系的合成

(1) 几何法 合力矢是力多边形的封闭边,合力作用线通过力系的汇交点。即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i \quad (2.6)$$