

普通高等学校公共基础课

助学·助教·助考 丛书



理论力学

学习指导

焦群英 主编



中国农业大学出版社
ZHONGGUONONGYEDAXUECHUBANSHE

LILUNLIXUE XUEXIZHIDAO

图书在版编目(CIP)数据

理论力学学习指导/焦群英主编. —北京:中国农业大学出版社,2006.2

(助学·助教·助考丛书)

ISBN 7-81066-981-8

I. 理… II. 焦… III. 理论力学-高等学校-教学参考资料 IV. O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005891 号

书 名 理论力学学习指导

作 者 焦群英 主编

策划编辑 刘 军

责任编辑 张苏明 吴沛涛

封面设计 郑 川

责任校对 张苏明

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100094

电 话 发行部 010-62731190,2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail: caup @ public. bta. net. cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2006年2月第1版 2006年2月第1次印刷

规 格 787×980 16开本 20.25印张 369千字

印 数 1~4 000

定 价 23.50元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

内容提要

本书是大学工科理论力学课程的学习辅导书。全书共分 3 篇 14 章,包含了理论力学课程的主要内容。每章分为主要内容、例题、思考题、习题、习题答案与提示五部分。主要内容部分帮助读者概括和总结;例题部分,编者精心选择了一些典型的例题并在例题的最后给出了提示和分析,对重要的步骤和读者容易出错的地方进行了总结,以达到举一反三的目的;思考题部分针对读者容易混淆的内容进行分析,帮助读者掌握基本概念;对每个习题的解题方法给出了必要的提示。在每一篇的最后提供了测验题和 2 套模拟试题,给出了其中一套模拟试题的详细解答和评分标准,并从考核的重点和概念方面对每套模拟试题进行了点评,以帮助读者建立正确的解题方法和步骤,分析学习中存在的不足。

本书可作为高等工科院校本科教学和考研者的学习和复习指导书,也很适合作为函授、电大和职大学生的指导书,以及青年教师的教学参考书。

序

理论力学是高等工科院校开设的一门重要的技术基础课程,课程的目的是指导学生利用力学的基本理论和方法分析工程实际结构的运动规律和受力特点。理论力学是一门理论性、逻辑性和实践性都很强的课程,学习理论力学课程对学生建立力学模型能力、分析问题能力的培养和学习后续课程非常重要。由于理论力学的理论和方法在解题和应用时比较灵活,同学们普遍反映,理论力学听懂不难做题难,做题时往往不知如何下手和分析。为了帮助读者学好理论力学,我们根据多年的教学经验编写了这本学习辅导书。

学好理论力学需要深入透彻地掌握该课程的基本概念、理论和分析方法,并且必须要做一定数量的习题,通过做题加强对基本方法的理解,纠正在理解上的错误,达到巩固知识、提高能力的目的。

本书与哈尔滨工业大学编写的《理论力学(I)》(第六版)教材配套,但章节按教学安排进行了调整,共分3篇14章。其中将静力学部分的第四章和第五章合并,运动学部分的第六章和第七章合并,并增加了机械振动部分的内容。

本书每章大体分为5个部分:主要内容、例题、思考题与提示、习题、习题答案与提示。第一部分对该章的主要内容给予扼要叙述,强调重点和难点,以帮助读者概括和总结。第二部分精心选择了一些典型例题并给出了详细的解答,最后有提示和分析,对重要的步骤和读者容易出错的地方进行了总结,以达到举一反三的目的。第三部分针对读者容易混淆的内容进行分析,帮助读者掌握基本概念。第四部分主要参考了主教材中的习题。为了帮助读者独立完成习题,编者将答案和提示另列一部分,先给出答案,然后给出了每个习题的提示。编者的目的是鼓励读者独立思考,然后再参考答案和提示。

在每一篇的最后编写了测验题和2套模拟试题,以帮助读者检查掌握的情况,发现学习中存在的不足。给出了其中一套模拟试题的详细解答和评分标准,并从考核的重点和概念两方面对每套模拟试题进行了点评,希望以此帮助读者建立正确的解题方法,找出学习中需要改进和提高的地方。测验题和另一套模拟试题供教师在教学中使用。考虑到学时和教学要求的不同,本书将第三篇分为基本定理和其他两部分内容,测验题和模拟试题分别列出,以便教学中选择使用。

本书通过例题、思考题和习题对读者在学习理论力学中容易出现的问题、重点

和难点给出提示,以不同字体给出,希望帮助读者熟练掌握理论力学的基本概念、分析问题的方法和解题的思路。

本书由中国农业大学理论力学教研组编写,第1~4章由焦群英教授负责编写,第5~7章由王永岗副教授负责编写,第8~11章由张平副教授负责编写,第12~14章由林文惠老师负责编写,焦群英教授负责全书统稿。插图由邹秋爽、梁允海协助完成。

由于时间仓促和编者水平所限,如有错误及疏漏之处,请读者不吝指正。

编 者

2005年8月

目 录

第一篇 静力学

第一章 静力学公理和物体的受力分析	(2)
一、主要内容	(2)
二、例题	(4)
三、思考题与提示	(9)
四、习题.....	(11)
第二章 平面汇交力系与平面力偶系	(13)
一、主要内容.....	(13)
二、例题.....	(15)
三、思考题与提示.....	(18)
四、习题.....	(19)
五、习题答案与提示.....	(22)
第三章 平面任意力系	(24)
一、主要内容.....	(24)
二、例题.....	(26)
三、思考题与提示.....	(34)
四、习题.....	(37)
五、习题答案与提示.....	(43)
第四章 空间力系与有摩擦的平衡问题	(47)
一、主要内容.....	(47)
二、例题.....	(52)
三、思考题与提示.....	(62)
四、习题.....	(64)
五、习题答案与提示.....	(69)
静力学测验题和模拟试题	(72)
测试题	(72)
模拟试题(1).....	(74)

模拟试题(1)解答与点评·····	(76)
模拟试题(2)·····	(82)

第二篇 运动学

第五章 运动学基础 ·····	(86)
一、主要内容·····	(86)
二、例题·····	(91)
三、思考题与提示·····	(97)
四、习题·····	(99)
五、习题答案与提示·····	(101)
第六章 点的合成运动 ·····	(104)
一、主要内容·····	(104)
二、例题·····	(106)
三、思考题与提示·····	(121)
四、习题·····	(125)
五、习题答案与提示·····	(130)
第七章 刚体的平面运动 ·····	(134)
一、主要内容·····	(134)
二、例题·····	(139)
三、思考题与提示·····	(158)
四、习题·····	(162)
五、习题答案与提示·····	(168)
运动学测验题和模拟试题 ·····	(172)
测验题·····	(172)
模拟试题(1)·····	(174)
模拟试题(1)解答与点评·····	(176)
模拟试题(2)·····	(182)

第三篇 动力学

第八章 质点动力学基本方程 ·····	(186)
一、主要内容·····	(186)

二、例题	(187)
三、思考题与提示	(190)
四、习题	(191)
五、习题答案与提示	(192)
第九章 动量定理	(194)
一、主要内容	(194)
二、例题	(196)
三、思考题与提示	(200)
四、习题	(202)
五、习题答案与提示	(203)
第十章 动量矩定理	(206)
一、主要内容	(206)
二、例题	(209)
三、思考题与提示	(216)
四、习题	(218)
五、习题答案与提示	(221)
第十一章 动能定理	(223)
一、主要内容	(223)
二、例题	(226)
三、思考题与提示	(237)
四、习题	(240)
五、习题答案与提示	(246)
第十二章 达朗贝尔原理	(251)
一、主要内容	(251)
二、例题	(253)
三、思考题与提示	(261)
四、习题	(261)
五、习题答案与提示	(264)
第十三章 虚位移原理	(268)
一、主要内容	(268)
二、例题	(269)
三、思考题与提示	(274)
四、习题	(275)

五、习题答案与提示	(277)
第十四章 机械振动基础	(279)
一、主要内容	(279)
二、例题	(281)
三、思考题与提示	(284)
四、习题	(285)
五、习题答案与提示	(287)
动力学测验题与模拟试题	(290)
动力学(一)测验题	(290)
动力学(一)模拟试题(1)	(292)
动力学(一)模拟试题(1)解答与点评	(294)
动力学(一)模拟试题(2)	(298)
动力学(二)测验题	(301)
动力学(二)模拟试题(1)	(303)
动力学(二)模拟试题(1)解答与点评	(305)
动力学(二)模拟试题(2)	(308)

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力系作用下平衡问题的科学。在静力学中所研究的物体都简化为刚体,这是物体的理想化的力学模型。

静力学主要分为以下 3 个内容:

1. 物体的受力分析

分析某个物体所受的所有力,以及每个力的作用位置和方向。

2. 力系的简化

将作用在物体上的所有力(称为力系)用另一个与它等效的简单力系代替。如果某力系与一个力等效,则此力称为该力系的合力,而该力系的各个力称为合力的分力。

3. 各种力系的平衡条件

研究作用在物体上的各种力系所满足的平衡条件(平衡方程),以及利用平衡方程求解未知力的方法。

第一章 静力学公理和物体的受力分析

本章重点讨论约束的概念、类型和特点,讨论物体受力图的分析方法。约束分析是静力学的重点之一,是物体受力分析的核心,也是一个新的概念。请读者注意,画受力图时一定要按照约束的特点表示出在约束处的每一个约束力,并标注每个约束力的名称。约束力一般根据作用点的位置命名。

一、主要内容

1. 基本概念

力:物体间的相互机械作用,是矢量。其作用效果有 2 个方面:使物体的机械运动状态发生改变或使物体产生变形。理论力学中只考虑其运动效果。

力的三要素:对刚体为力的大小、方向、作用线,力矢是滑移矢量;对变形体为力的大小、方向、作用点,力矢是定位矢量。

力系:作用于物体上的一群力。按作用线所处位置分类,分为平面力系和空间力系。在每种力系中又可以分为共点力系、汇交力系、平行力系、力偶系和任意力系。

平衡:物体相对于惯性参考系(如地面)保持静止或作匀速直线运动的状态。

刚体:绝对不变形的物体,是略去物体的微小变形后抽象出的理想化的力学模型。

2. 静力学公理

公理 1 力的平行四边形法则 作用在同一点的 2 个力,可以合成为一个合力,合力的大小和方向由这 2 个力为邻边构成的平行四边形的对角线确定,合力的作用点仍在该点。

此公理一般用于力系的简化。

公理 2 二力平衡条件 作用在刚体上的 2 个力,使刚体保持平衡的充分必要条件是:这 2 个力等值、反向、共线。

公理 2 是判断二力构件(杆)的依据。在画物体受力图时,若能把存在的二力构件(杆)判断出来,将给解题带来方便。所以此公理在进行物体的受力分析时经常会用到。当然,在一些理论推导中,也要用到此公理。同时要注意,对变形体,此公理不成立。

在公理 1 与公理 2 的基础上,得到如下推论:

三力平衡汇交定理 刚体在 3 个力作用下平衡,若其中 2 个力的作用线交于一点,则第 3 个力必定通过此汇交点,且 3 个力共面。

三力平衡的汇交定理在理论分析中要会使用,在某些情况下也能帮助确定约束力的方向。

公理 3 加减平衡力系公理 在作用于物体上的力系中,加上或减去任意的平衡力系,对刚体的作用效果不变。

此公理是一些理论推导(如力系等效替换)的重要依据,在解题时一般用不上。此公理只适用于刚体,对变形体一般不能用。

在公理 2 与公理 3 的基础上,得到如下推论:

力的可传性 作用于刚体上某点的力,可沿其作用线移到刚体内任意一点,对刚体的作用效果不变。此时,力的三要素变为力的大小、方向、作用线,这种矢量称为滑动(移)矢量。

公理 4 作用与反作用定律 作用力与反作用力总是同时存在,且两力等值、反向、共线,分别作用在相互作用的 2 个物体上。

要注意作用与反作用定律和二力平衡条件的区别,在分析物体的受力和画受力图时,一定要注意作用与反作用定律的应用,在作用力的方向假定以后,反作用力的方向一定与之反向。

公理 5 刚化公理 若变形体在某力系作用下平衡,则将此变形体刚化(看作)为刚体,其平衡状态不变。

3. 约束与约束力

约束:限制物体位移的条件。

约束力:约束施加在被约束物体的作用力。

约束的分类 光滑约束、柔性体约束、光滑铰链约束、固定端约束和其他约束。

(1)光滑约束 两物体接触处,在可以忽略摩擦的前提下,约束力沿着接触处的公法线,一般指向被约束的物体。

(2)柔性体约束 将各种绳索、链条、胶(皮)带视为绝对柔软物体,称这类约束为柔性体约束。这类约束对被约束物体的约束力只能是拉力,而绝不能为压力。

(3)光滑铰链(径向轴承、圆柱形销钉、固定铰支座等)约束 此类约束虽然构成形式不同,但约束性质相同,所以归为一类。此类约束的约束力实质为一个力。当用二力平衡条件、三力平衡汇交定理或其他知识能确定其作用线时,最好表示成一个力;当力的作用线不能确定或能够确定但为了求解方便时,一般表示为相互正交的 2 个力。

(4)其他约束

①滚(可)动支座:在可以看作是滚动支座的情况下,约束特点和光滑接触面相

似,用一个力表示其总体效果。

②球铰链:球铰链一般用3个正交分力表示。

③止推轴承:止推轴承在实际中有多种形式,不只是书上所示的一种。止推轴承和径向轴承的区别是,止推轴承能限制轴沿轴向的位移,能起到止推的作用。

4. 分离体、受力图和物体的受力分析

将所关心的物体从周围的物体中分离出来,单独画出它的简图,称为取研究对象或取分(隔)离体。分析与确定该物体受到的力,包括主动力与约束(被动)力及各力的作用点(线)的过程称为物体的受力分析。把对该物体的受力分析结果画在该物体上形成的图,称为该物体的受力图。

注意此处所说的物体包括单个物体,也包括由几个物体组成的物体系,统称之为研究对象。在实际解题时,画研究对象的受力图是解决静(动)力学问题的第一步,而且是相当重要的一步,这是本章的重点。因此,读者要给予足够的重视,一定要动手做一定量的练习。

二、例题

例 1-1 图 1-1(a)所示为三角支架 ABC,其上作用铅垂力 F ,各杆自重略去不计,试分析杆 BC、AB 的受力。

解:(1)画杆 BC 的受力图:选杆 BC 为研究对象,由于其自重不计,这样只在杆的两端分别受光滑铰链约束反力 F_C 和 F_B 作用,因此,BC 杆为二力构件,根据二力构件的特点,两约束反力的作用线沿着 B、C 两点的连线,如图 1-1(b)所示。

(2)画杆 AB 的受力图:选 AB 为研究对象,它受有主动力 F 的作用。AB 杆在 B 处受 BC 杆给它的约束反力 F'_B 的作用,根据作用力与反作用力定律, $F'_B = -F_B$; AB 在 A 处受有固定铰链支座给它的约束反力的作用;根据固定铰链支座的约束特点,其约束反力方向未定,因此,用 2 个大小未知的正交的分量 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示。杆 AB 的受力如图 1-1(c)所示。

再进一步分析,杆 AB 受三力作用而平衡,由三力平衡汇交定理可知,如果作出力 F 、 F'_B 的作用线的交点 D,则 A 处的约束反力 F_A 的作用线必过 D 点,由此可确定 F_A 作用线的方位,如图 1-1(d)所示。若将图 1-1(d)中的 F_A 正交分解,所得二分力与图 1-1(c)中的 F_{Ax} 、 F_{Ay} 方向不完全一致,但这两种画法都是正确的,这是因为它们的真实方向可用后面学到的平衡方程的计算结果的正负来校正的缘故。

[注意] 物体 AB 和物体 BC 在 B 处的约束力是作用和反作用, F'_B 和 F_B 分别作用在 BC 和 AB 上,方向相反。在受力图上,一旦一个力的方向设定,另一个力必须表示为与其反向。

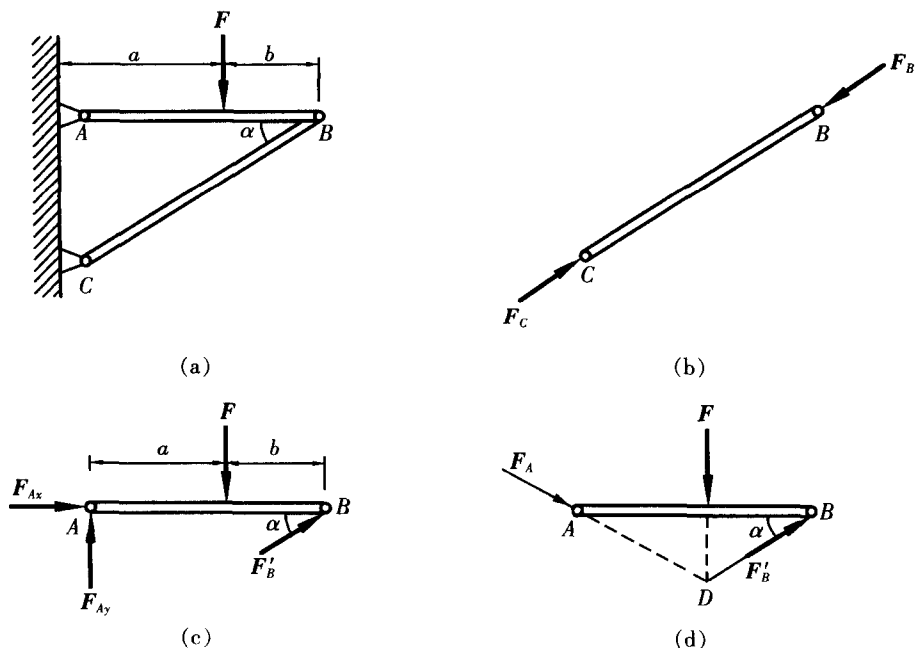


图 1-1

例 1-2 如图 1-2(a) 所示的三铰拱桥, 由左、右两拱铰接而成。设各拱自重不计, 在拱 AC 上作用有载荷 F_1 , 在拱 BC 上作用有载荷 F_2 , 试分别画出拱 AC 和 BC 以及三铰拱 ABC 的受力图。

解: (1) 画拱 AC 的受力图: 选取拱 AC 为研究对象, 其上有主动力 F_1 。A 处为固定铰链支座, 约束反力用两正交的分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示。C 处为中间铰, 约束反力用两正交的分力 F_{Cx} 和 F_{Cy} 表示。拱 AC 的受力图如图 1-2(b) 所示。

(2) 画拱 BC 的受力图: 选取拱 BC 为研究对象, 其上有主动力 F_2 。B 处为固定铰链支座, 约束反力用两正交的分力 F_{Bx} 和 F_{By} 表示。拱 BC 在铰 C 处受到 AC 部分对它的作用力 F'_{Cx} 和 F'_{Cy} 的作用, F'_{Cx} 和 F'_{Cy} 分别与 F_{Cx} 和 F_{Cy} 互为作用力与反作用力。拱 BC 的受力图如图 1-2(c) 所示。

(3) 画三铰拱 ABC 的受力图: 选三铰拱 ABC 整体为研究对象, 其上有主动力 F_1 和 F_2 , 约束反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Bx} 和 F_{By} 。C 处的约束反力 F'_{Cx} 和 F'_{Cy} 分别与 F_{Cx} 和 F_{Cy} 互为作用力与反作用力, 它们成对地作用在整个系统内, 是系统的内力, 内力对系统的作用效果相互抵消, 因此可以除去。三铰拱 ABC 的受力图如图 1-2(d) 所示。

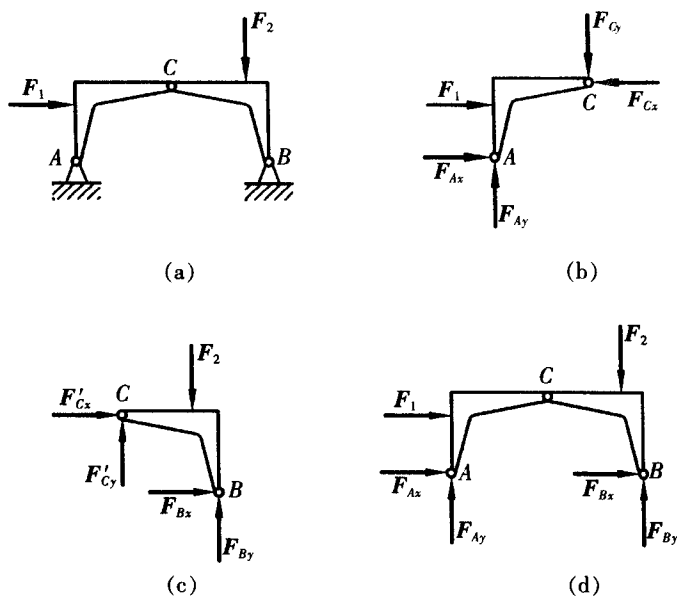


图 1-2

〔注意〕受力图上只表示所选择的研究对象受到的外力。当以整体为研究对象时, C 处的约束反力是内力。内力成对出现、相互抵消, 因此不出现在受力图上。

例 1-3 组合梁由 AC 和 CD 两部分组成, 它们在 C 处用铰链相连。起重机放在梁上, 如图 1-3(a) 所示。已知起重机重 Q , 重心在铅直线 EC 上, 起重机电荷为 P 。如不计梁重, 试分别画出起重机、梁 AC 和 CD 及整个系统的受力图。

解: (1) 画起重机的受力图: 取起重机为研究对象, 其上有主动力 P 和 Q , 大小、方向、作用线均为已知。起重机的 2 个轮子与梁 AC 和 CD 为光滑接触, 梁对起重机的约束反力为 F_F 、 F_G , 起重机的受力图如图 1-3(b) 所示。

(2) 画梁 AC 的受力图: 取梁 AC 为研究对象, A 处是固定铰链支座, 约束反力用两正交的分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示; B 处是滚动支座, 约束反力垂直于支承面, 用 F_B 表示; 在 F 处受起重机轮子的压力 F'_F 的作用; C 处为中间铰, 约束反力用两正交的分力 F_{Cx} 和 F_{Cy} 表示。梁 AC 的受力图如图 1-3(c) 所示。

(3) 画梁 CD 的受力图: 取梁 CD 为研究对象, 梁 CD 在铰 C 处受到 AC 部分对它的作用力 F'_{Cx} 和 F'_{Cy} 的作用, F'_{Cx} 和 F'_{Cy} 分别与 F_{Cx} 和 F_{Cy} 互为作用力与反作用力; 在 G 处受起重机轮子的压力 F'_G 的作用; D 处为滚动支座, 约束反力垂直于支承面, 用 F_D 表示。梁 CD 的受力图如图 1-3(d)。

(4) 画整个系统的受力图: 取整个系统为研究对象, 其上有主动力 P 和 Q ,

约束反力有 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_B 和 F_D ，这些都是作用于整个系统上的外力； F 、 G 和 C 点处的约束反力是内力，不必画出。整个系统的受力图如图 1-3(e) 所示。

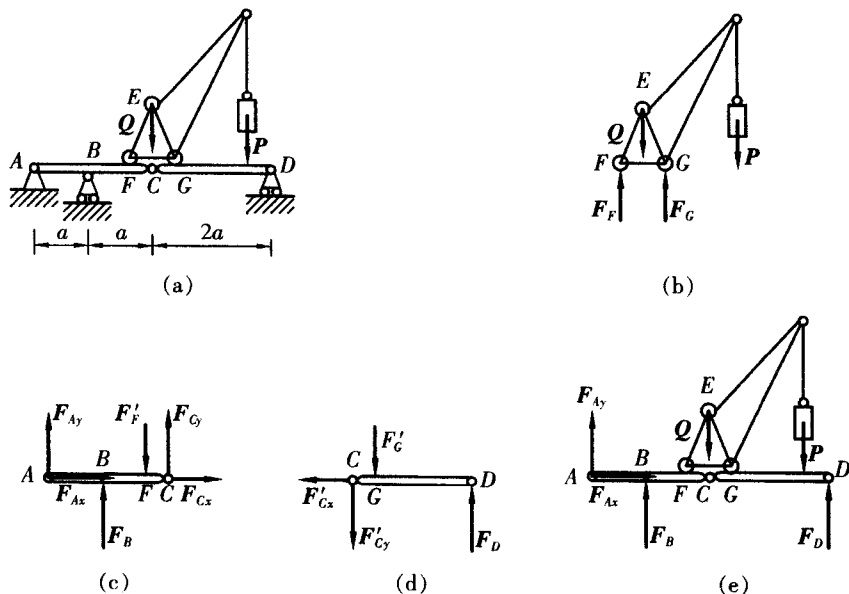


图 1-3

[注意] 受力图表示的是研究对象实际受到的力。本题中，起重机和所吊起的重物的重力，不能直接传递到下面的梁上，而是通过两个轮子的接触传递给下面的梁。因此，受力图上的每一个力都有其施力者，不能凭空想像。画 AC 和 DC 的受力时，只有起重机的轮子在 F 和 G 处的接触力。

例 1-4 起重机架由 AB 和 AC 组成， A 为滑轮，在 A 处通过光滑销轴将 AB 、 AC 和滑轮连接，如图 1-4(a) 所示。试分别画出 AB 和 AC 及滑轮的受力图。

解：不计杆重， AB 和 AC 分别为二力构件，钢丝绳为柔性约束。因此， A 、 B 铰链处的约束力沿 AB 连线方向，而 A 、 C 铰链处的约束力沿 AC 连线方向，受力如图 1-4(b) 所示。

以滑轮和连接的销轴 2 个物体为研究对象，它受到 AB 和 AC 杆的约束力以及钢丝绳的作用力，受力如图 1-4(c) 所示。

[注意] 在画受力图时，如果遇到需要将物体从联结的销轴拆开的情况，通常可以将销轴与其中的一个物体组成的系统为研究对象，销轴与这个物体（本例题中是滑轮）的相互作用力为内力。另一个物体对销轴的作用力为研究对象受到的约束

力。没有特别的说明,不必单独取销轴为研究对象。本例题中,如果单独以滑轮为研究对象,则滑轮受到的力与图 1-4(c)所表示的受力图不同。这个问题留给读者思考和练习。

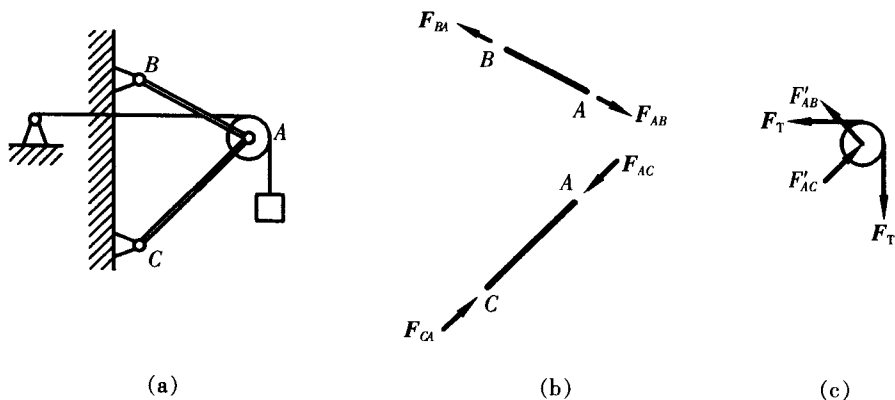


图 1-4

例 1-5 图 1-5(a)所示结构,不计各构件自重,试画出构件 AEB 和 CED 的受力图。

解:以 AEB 为研究对象,根据它所受的约束特点,A、E 和 B 都是光滑铰链约束,各用 2 个约束力表示,如图 1-5(b)所示。

再以 CED 为研究对象,注意 D 为光滑接触约束,如图 1-5(c)所示。

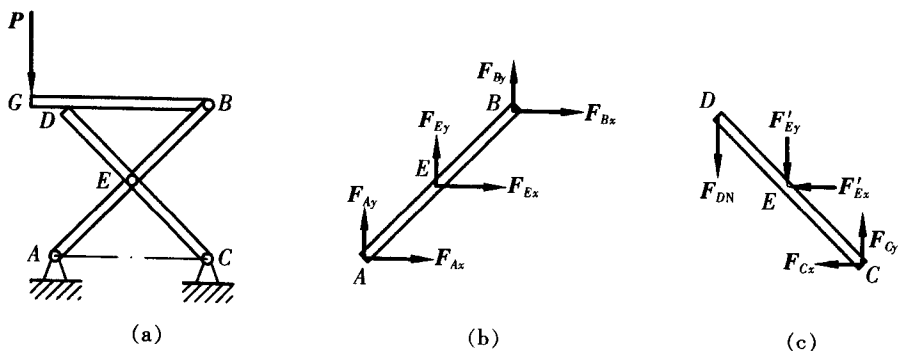


图 1-5

[注意]在画受力图时,一定要注意作用和反作用的规律。在此例题中 E 处的约束力在两个受力图中必须符合作用与反作用的关系。

通过这几道例题讲解了画受力图的正确方法和注意的问题。应该特别指出:画受力图是对物体进行力学分析、计算的重要步骤,必须认真对待,熟练掌握。如果受力图画错了,必将导致分析和计算的错误,故务必遵循正确的方法练习。