
理论力学学习辅导

哈尔滨工业大学理论力学教研室编
程 靳 程燕平 主编

高等教育出版社

策划编辑	黄 毅
责任编辑	李 澈
封面设计	李卫青
责任绘图	朱 静
版式设计	王艳红
责任校对	王 超
责任印制	

内容提要

本书是哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的《理论力学()》(第六版) (“十五”国家级规划教材,2002年7月出版)的配套教材之一。全书按主教材的章节顺序编排,每章分为主要内容、例题、思考题提示或答案、习题提示与答案四部分。“主要内容”部分把主教材相应章节的主要内容予以概括总结,叙述简明扼要,突出重点、难点;“例题”部分举了一些典型例题;“思考题提示或答案”部分对主教材中的每个思考题给出提示或答案;“习题提示与答案”部分对配套教材中的每个习题均给出提示与答案,并只给解题思路,以便给读者留有一定的思考余地。

本书虽为配套教材,但也可以单独使用。

本书可作为高等工科院校本科、高职高专学生和考研者的学习参考书和复习指导书,也很适合于函授、职大、电大的学生使用,对青年教师也是一本很好的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学学习辅导 程靳,程燕平主编. —北京:高等教育出版社,2003.7

ISBN 7 - 04 - 011850 - 5

.理... .程... 程... .理论力学 - 高等学校 - 教学参考资料 .031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 038035 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http: www . hep . edu . cn
总 机	010 - 82028899		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 × 960 1 16	版 次	年 月第 版
印 张	21.5	印 次	年 月第 次印刷
字 数	390 000	定 价	26.90 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

序 言

理论力学是高等工科院校开设的一门重要的技术基础课,是一门理论性、逻辑性、实践性都很强的课程。要想学好理论力学,需要深入透彻地理解该课程的基本概念和理论,并且要做一定数量的习题。由于理论力学知识在解题与应用时灵活多变,素有“理论易懂掌握(做题)难”之说,为了帮助读者学好理论力学,我们编写了这本学习辅导书。

本书与哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的普通高等教育“十五”国家级规划教材《理论力学()》(第六版)教材配套,按主教材的章节顺序编排,分为15章。本辅导书每章(第13章除外)分为主要内容、例题、思考题提示或答案(解答)、习题提示与答案四部分。“主要内容”部分尽量以简明扼要的叙述,突出重点、难点,把主教材相应章节的主要内容予以概括总结其相对所占篇幅较小。“例题”部分举了一些典型例题,且大部分不和教材中的例题、习题重复,基本上每道例题均先给出解题分析与解题思路,然后再正式求解。“思考题提示或答案”部分对教材中的每一道思考题均给出提示或答案,因为主教材中思考题篇幅相对较小,所以与主要内容、例题、习题提示与答案三节相比篇幅也相应较小。“习题提示与答案”部分对教材中的每一道习题均给出提示与答案,并只给出解题思路而不给出求解过程。思考题与习题均有提示,但仍给读者留有一定的思考空间或余地。习题中的提示只是给出了解题思路,要想具体求解还必须自己动手做。

本书以相对较大的篇幅对读者在理论力学学习中易出现的问题、重点、难点等,均以“提示”、“注意”、“建议”、“提问”等形式给出,并用不同的字体表示。

本书虽是配套教材,但也可以单独使用。

本书是在哈尔滨工业大学理论力学教研室主任、长期在理论力学教学第一线的博士生导师程靳教授倡议下编写的,哈尔滨工业大学国家力学基地也给予了很大的支持。本书由哈尔滨工业大学理论力学教研室集体编写,程靳、程燕平担任主编,其中第10~13章由程靳负责编写,第1~9章及第14,15章由程燕平负责编写。

本书由清华大学贾书惠教授主审,并提出了很多宝贵的意见和建议,特此致谢。

由于时间比较仓促和编者水平所限,如有错误、疏漏之处,望读者不吝指正。

编者

2002年12月

目 录

静 力 学

第一章 静力学公理和物体的受力分析	3
1-1 主要内容	3
1-2 例题	6
1-3 思考题提示或解答	11
1-4 习题提示	13
第二章 平面汇交力系与平面力偶系	17
2-1 主要内容	17
2-2 例题	20
2-3 思考题提示或解答	23
2-4 习题提示与答案	26
第三章 平面任意力系	32
3-1 主要内容	32
3-2 例题	36
3-3 思考题提示或答案	41
3-4 习题提示与答案	44
第四章 空间力系	59
4-1 主要内容	59
4-2 例题	63
4-3 思考题提示或答案	67
4-4 习题提示与答案	69
第五章 摩擦	81
5-1 主要内容	81
5-2 例题	84
5-3 思考题提示或答案	90
5-4 习题提示与答案	92

运 动 学

第六章 点的运动学	103
6-1 主要内容	103

目 录

6 - 2 例题	105
6 - 3 思考题提示或答案	108
6 - 4 习题提示与答案	111
第七章 刚体的简单运动	119
7 - 1 主要内容	119
7 - 2 例题	121
7 - 3 思考题提示或答案	124
7 - 4 习题提示与答案	125
第八章 点的合成运动	131
8 - 1 主要内容	131
8 - 2 例题	133
8 - 3 思考题提示或答案	144
8 - 4 习题提示与答案	147
第九章 刚体的平面运动	159
9 - 1 主要内容	159
9 - 2 例题与运动学综合应用举例	165
9 - 3 思考题提示与答案	179
9 - 4 习题提示与答案	184
<hr/> 动 力 学 <hr/>	
第十章 质点动力学的基本方程	205
10 - 1 主要内容	205
10 - 2 例题	206
10 - 3 思考题提示或解答	209
10 - 4 习题提示与答案	210
第十一章 动量定理	215
11 - 1 主要内容	215
11 - 2 例题	217
11 - 3 思考题提示或解答	222
11 - 4 习题提示与答案	224
第十二章 动量矩定理	230
12 - 1 主要内容	230
12 - 2 例题	233
12 - 3 思考题提示或解答	237
12 - 4 习题提示与答案	239
第十三章 动能定理	250
13 - 1 主要内容	250
13 - 2 例题	253

13 - 3	普遍定理的综合应用举例	261
13 - 4	思考题提示或解答	272
13 - 5	习题提示与答案	276
13 - 6	综合问题提示与答案	283
第十四章	达朗贝尔原理(动静法)	295
14 - 1	主要内容	295
14 - 2	例题	298
14 - 3	思考题提示或答案	305
14 - 4	习题提示与答案	306
第十五章	虚位移原理	315
15 - 1	主要内容	315
15 - 2	例题	317
15 - 3	思考题提示与答案	325
15 - 4	习题提示与答案	327

静力学

第一章

静力学公理和物体的受力分析

概述 本章讲了一些基本概念,静力学五条公理(包括两条推论,有的公理对动力学也适用),引进了约束与约束力的概念,并介绍了几种最常见最基本的约束,最后归结到物体的受力分析与画受力图上。理论力学课程“理论易懂掌握(做题)难”的特点在画物体受力图时有所体现。

1-1 主要内容

一、基本概念

力:物体之间的相互机械作用,其作用效果使物体的机械运动状态发生改变或者使物体产生变形。

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

力系:作用于物体上的一群力。按作用线所处位置分,有平面共点、汇交、平行、力偶、任意力系,空间共点、汇交、平行、力偶、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。

刚体:绝对不变形的物体,是略去微小变形抽象出的理想化力学模型。

建议 一般读者在学理论力学课程前,这些概念大都已经接触过,所以在这些概念上不必花多少时间,也不用死记硬背,作为一般了解即可。

二、静力学公理

公理 1 力的平行四边形公理(法则) 作用在同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力的大小和方向,由这两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。

建议与注意 此公理一般读者已相当熟悉,学习时只作为复习即可。此公理一般用于力系的简化,平时做作业时一般用不上。在后面求解出正交的约束力时,有的读者习惯或乐意再用平行四边形公理求出其合力,实际不用这么做。

公理 2 二力平衡公理 作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充要条件是:这两个力等值、反向、共线。

提示与注意 这是一个最简单的平衡力系(不受力除外)。此公理是判断二力构件(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,所以此公理在做作业时有时要用到。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,此公理不是充要条件。

在公理 1 与公理 2 的基础上,可得推论 2:

三力平衡汇交定理:刚体在三个力作用下平衡,若其中两个力的作用线交于一点,则第三个力必定通过此汇交点,且三个力共面。

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

提示与注意 此公理是一些理论推导(如力系等效替换)的重要依据,在做作业时一般用不上。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,可得推论 1:

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 作用与反作用公理(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两个物体上。

注意 要注意和二力平衡公理的区别,在画物体的受力图时,一定要注意作用反作用公理的应用,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(看做)为刚体,其平衡状态不变。

提示与注意 此公理把在刚体条件下推得的平衡条件推广至处于平衡的变形体,在理论上有用,在做理论力学作业时,此公理用不上。要注意,变形体在一力系作用下平衡,此力系为平衡力系,若变形体在一平衡力系作用下,则变形体未必平衡。

三、约束和约束力

约束:限制物体位移的物体。

约束力:约束给被约束物体的力。

约束的分类

1. 光滑(面、线、点)接触约束

两物体接触处可为面、线、点接触,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。

注意 对这类约束,要理解好法线、公法线的概念。面接触的法线、公法线好理解,何为线、点接触处的法线与公法线?一般情况下,容易确定公法线,但是不是任何情况下都可确定公法线?这时应该怎么办?

对光滑面接触,在理论力学里考虑其总体效果,用一个力表示,而不用单位面积的力表示。

对这类约束,要强调(或要记住)约束力一定沿着接触处的公法线。最好不要凭直观感觉与臆断。

2. 柔性体(绳索、链条、胶带等)约束

视各种绳索、链条、胶(皮)带为绝对柔软,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。

注意 此类约束的约束力实质为一个力。当用二力平衡公理、三力平衡汇交定理或其他知识能确定其作用线时,最好画成一个力;当力的作用线不能确定或能够确定但为了求解方便时,一般画为相互正交的两个力。

4. 其他约束

(1) 滚(可)动支座

注意 在可以看作是滚动支座的情况下,和光滑接触面相似,用一个力表示其总体效果。也要注意图 1-1a 中三种表示方式具有同样的效果,最后一图中的小杆件为二力杆,可承受压力,也可承受拉力,同样,滚动支座的约束力可以向上,也可以向下,见图 1-1b,在此种情况下,应把滚动支座理解为双侧约束(工程中,可采用各种措施,把滚动支座做成双侧约束)。

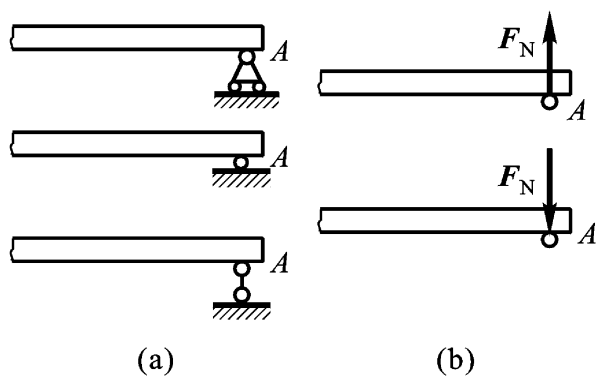


图 1-1

(2) 球铰链

注意 球铰链约束和铰链约束有相同之处又有不同之处,相同之处为其约束力均为一个力,不同之处为铰链一般用两个正交分力表示,而球铰链一般用三个正交分力表示。还要注意许多情况下球铰链不用球铰链符号表示,而用铰链

符号表示,但在文字中说明是球铰链。

(3) 止推轴承

注意 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。

四、物体的受力和受力图

对所关心的物体,把它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几个力,包括主动力与约束(被动)力,各力的作用点(线)如何,称此过程为物体的受力分析。把对该物体的受力分析结果画在该物体上,称为该物体的受力图。

注意与建议 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,统称之为物体,以后也如此。在实际做题时,可以说画物体的受力图,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,相对来说,也比较难。因此,读者要给以足够的重视,一定要动手做一定量的练习。

1 - 2 例 题

提示与建议 教材上的例题一般都写得比较详细,所以,对教材中的例题,本书一般不讲或少讲,而另选其他题目作为例题。本书一般都这样做,且以后不再说明。但作为学生,不管老师讲不讲例题,例题都应该看,且要看懂与掌握。

例 1 - 1 不计图 1 - 2a 所示构架各构件的重量,在构件 ABC 上作用有力 F_1 ,画出构件 ABC 与构件 CD 的受力图;若在构件 CD 上 E 点作用铅直向下的力 F_2 ,画出构件 ABC 与构件 CD 的受力图。

解 先分析杆 CD,先画出其简图,由于不计其自重,其只在 D, C 两点受力而平衡,故杆 CD 为二力杆,作用线沿着 CD,假设其方向如图 1 - 2b 所示,则杆 CD 的受力图如图 1 - 2b 所示。

再分析杆 ABC,先画出其简图,若认为 A 处约束力的作用线不能确定,则画为正交的两个力,注意 C 处的力与 CD 杆 C 处的力应为作用与反作用力,则杆 ABC 的受力图如图 1 - 2c 所示。若注意到杆 ABC 在三个力作用下平衡,而 F_1 与 F_C 又交于一点,则 F_A 的作用线必通过此点,按三力汇交画,则杆 ABC 的受力图如图 1 - 2d 所示。

注意 在画物体的受力图时,若题目中存在二力杆(或二力构件)且能判断出来,将给解题带来方便。在判断出二力杆(或二力构件)且确定出其作用线后,若力的方向不能确定,则可任意假定一方向。如此处杆 CD 到底是受拉还是受压?若判断不出来,则画为图 1 - 2b、b 均可。再有,如图 1 - 2c 所示,构件

ABC 水平方向受力均向右, 有的读者说, 这样画构件 ABC 的受力图, 构件将不平衡, 但在画受力图时, 这样做是允许的。

若构件 CD 上 E 点作用有铅直向下的力 F_2 , 则杆 CD 不是二力杆, 且 C, D 两点力的作用线难以确定, 虽然构件 CD 在三个力作用下平衡, 但不能画出其汇交点, 则 C, D 处分别画为正交的两个力, 且 C, D 两处的水平力均可以画为向右, 构件 CD 的受力图如图 1 - 2e 所示。构件 ABC 的受力图如图 1 - 2f 所示。

注意 为以后求解方便, 作用力与反作用力的方向在图中一定要反向画, 而不要用式子表示。以后不管在静力学中画受力图, 还是在动力学中画受力图, 都要这样做。

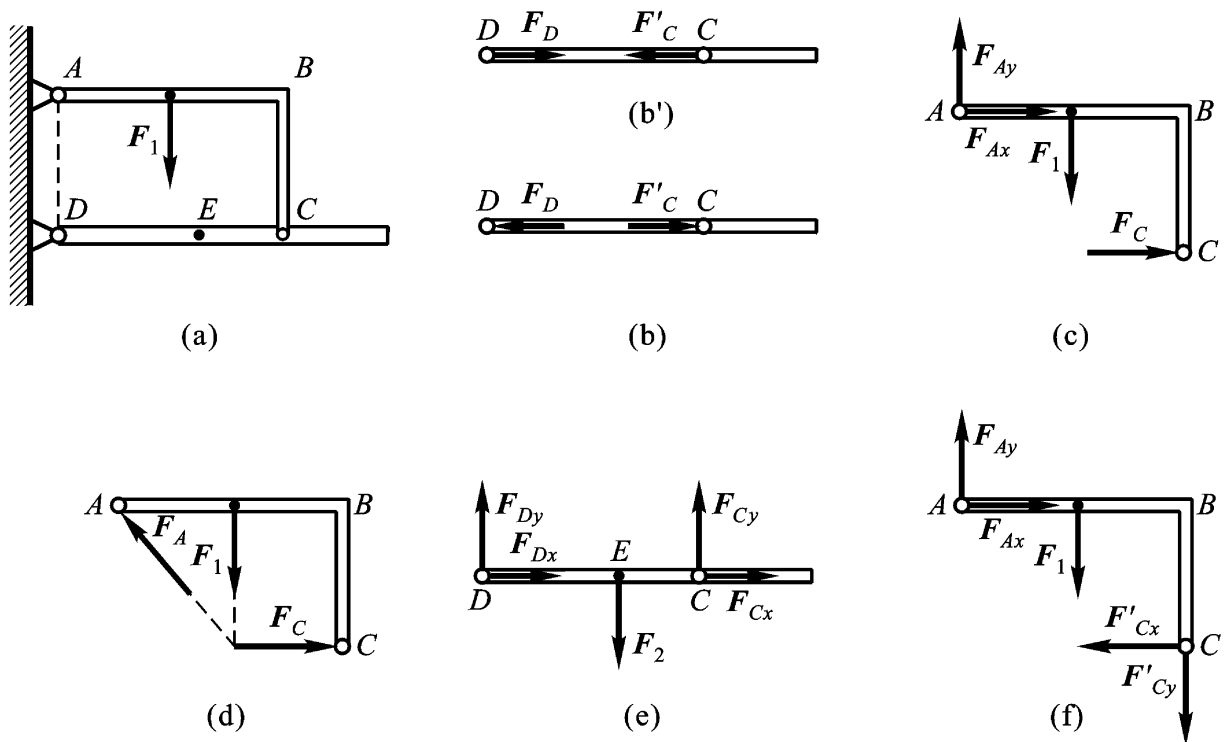


图 1 - 2

例 1 - 2 图 1 - 3a 所示构架中, 杆 AC, BC 分别重为 P_1 与 P_2 , 绳子拴在销钉 C 上, 要求画出系统整体与杆件 AC, BC 及销钉 C 的受力图。

解 由于杆 AC, BC 的重量不能忽略不计, 杆 AC, BC 已不是二力杆, 且难以找出三力汇交点, 所以杆 AC, 销钉 C 与杆 BC 的受力图分别如图 1 - 3b, c, d 所示。系统整体受力图如图 1 - 3e 所示。

注意 在图 b, d 中, 杆 AC 与 BC 在 C 处的力已不是作用与反作用力。对整体受力图, 有的读者认为, 主动力均铅直向下, 则整体受力图如图 1 - 3f 所示。这种直观感觉是不对的, 若把此系统的约束情况改为图 1 - 3g 所示, 此系统的整体受力图如何? 此时系统能否平衡? 而图 1 - 3a 所示系统则可以平衡。在画物体受力图时, 最好按约束性质来画, 而不要凭直观感觉与主观臆断。在画受力图

时,在多数情况下,按直观感觉与主观臆断得到的结果往往是错误的,初学者对此一定要注意。

再者,有的同学认为杆 AC 与 BC 在 C 处有力作用,在画整体受力图时,画为图 1 - 3h 的情况,这是不允许的。一定要分清内力与外力,内力一概不能出现在受力图中。或者有的同学为了图省事,在画杆 AC 与杆 BC 的受力图时,不取分离体,而画为图 1 - 3h 的情况,这也是不允许的。对这两点,画受力图时,也一定要注意。

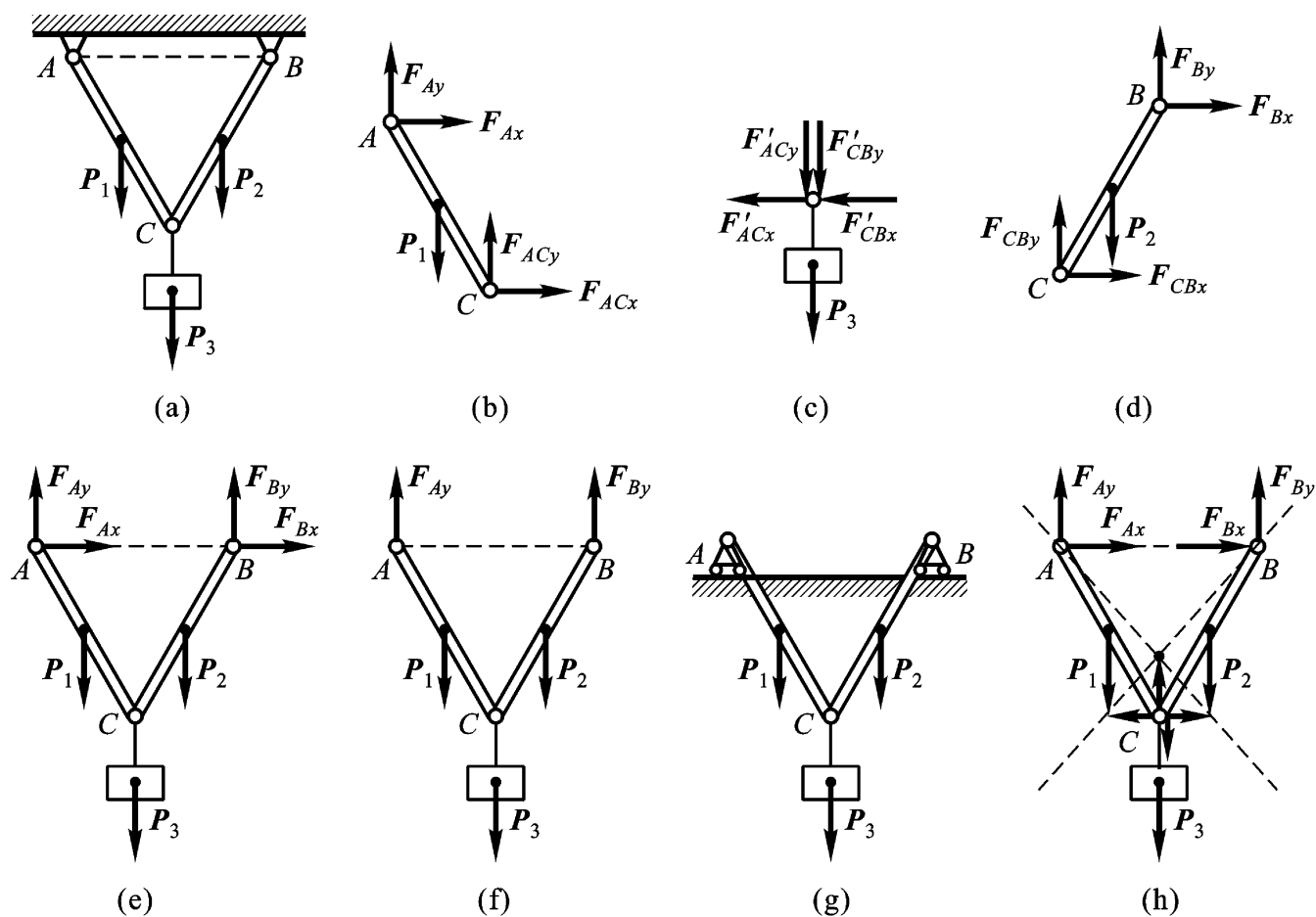


图 1 - 3

例 1 - 3 图 1 - 4a 所示系统中,各构件自重不计,画出各构件与整体受力图。

解 注意到杆 BE 为二力杆,系统整体受力图如 1 - 4b 所示。构件 AE, BE, DH, DC 受力图分别如图 1 - 4c, d, e, f 所示。

注意 均布载荷的合力确为 $2qa$,且作用在 H 处,但在画受力图时,不能把它先合成再均分到与其相连的两构件上,如图 1 - 4g, h 所示。先合成再均分或不均分均不对,构件 AE, DH 正确的受力图为图 1 - 4c, e 所示。

在做作业画受力图时,不必像书上例题那样,受力分析过程用文字写出,只要按要求画出受力图即可。

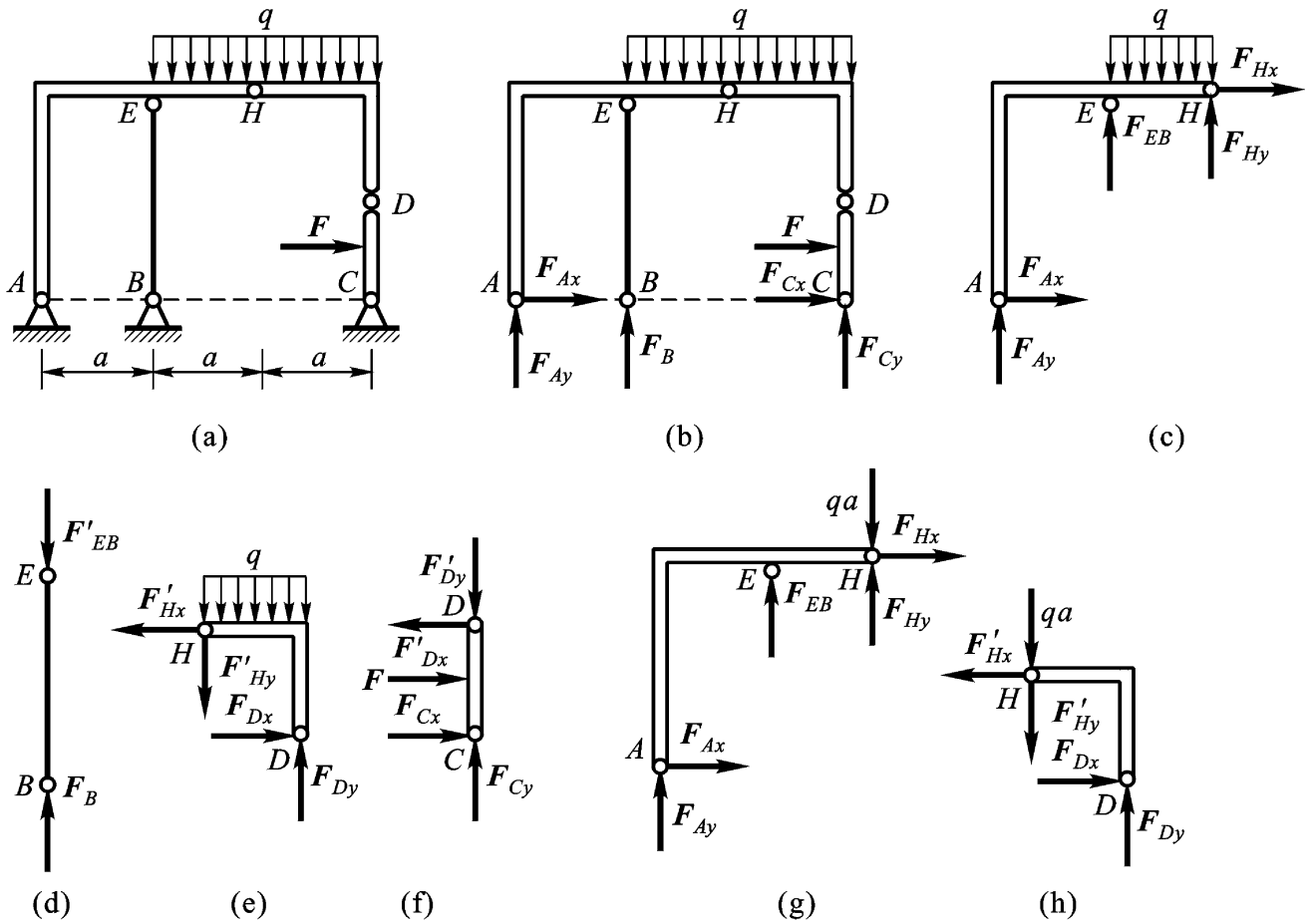


图 1 - 4

例 1 - 4 图 1 - 5a 所示构架中, 悬挂的重物重为 P , 各杆与滑轮的自重不计, 销钉 B 穿透相关各构件, 绳子一端拴在销钉 B 上。求: (1) 分别画出各杆、各滑轮、销钉 B 及整体受力图; (2) 画出销钉 B 与滑轮 一起的受力图; (3) 画出杆 AB 、滑轮 及绳子作为一个系统时的受力图。

解 要求所画的各受力图均如图 1 - 5 各图所示。其中图 b 中杆 BD 、图 c 中杆 AB 、图 e 中滑轮 在 B 处均不包含销钉 B (为没有销钉的孔)。

注意 在题目中没有要求或不用画销钉受力图时, 可把销钉认为归属于与之相连的任一构件上, 不用单独取出, 如图 b 中 BD 杆 D 处、图 d 中 DE 杆 D 处。在要求分析或必须分析销钉受力时, 则需把销钉单独取出, 画出销钉受力图, 如图 g 销钉 B 受力图。

在工程中, 可归属为销钉连接的方式有多种, 若教材或考试中要求进行销钉的受力分析, 则一般指的是理想的销钉连接。

同时要注意, 在轮子上绕有绳子的情况下, 在理论力学里, 不必把绳子与轮子拆开, 因为绳子与轮子间的作用力比较复杂, 拆开后难以分析, 若不拆开, 则绳子与轮子间的力为内力, 可以不考虑, 只需在绳子与轮子离开处断开, 考虑其总体效果, 即对轮子表现为拉力即可。

另外, 若读者对销钉受力分析有兴趣, 此处留有三个有对销钉进行受力分析要求的附加题:

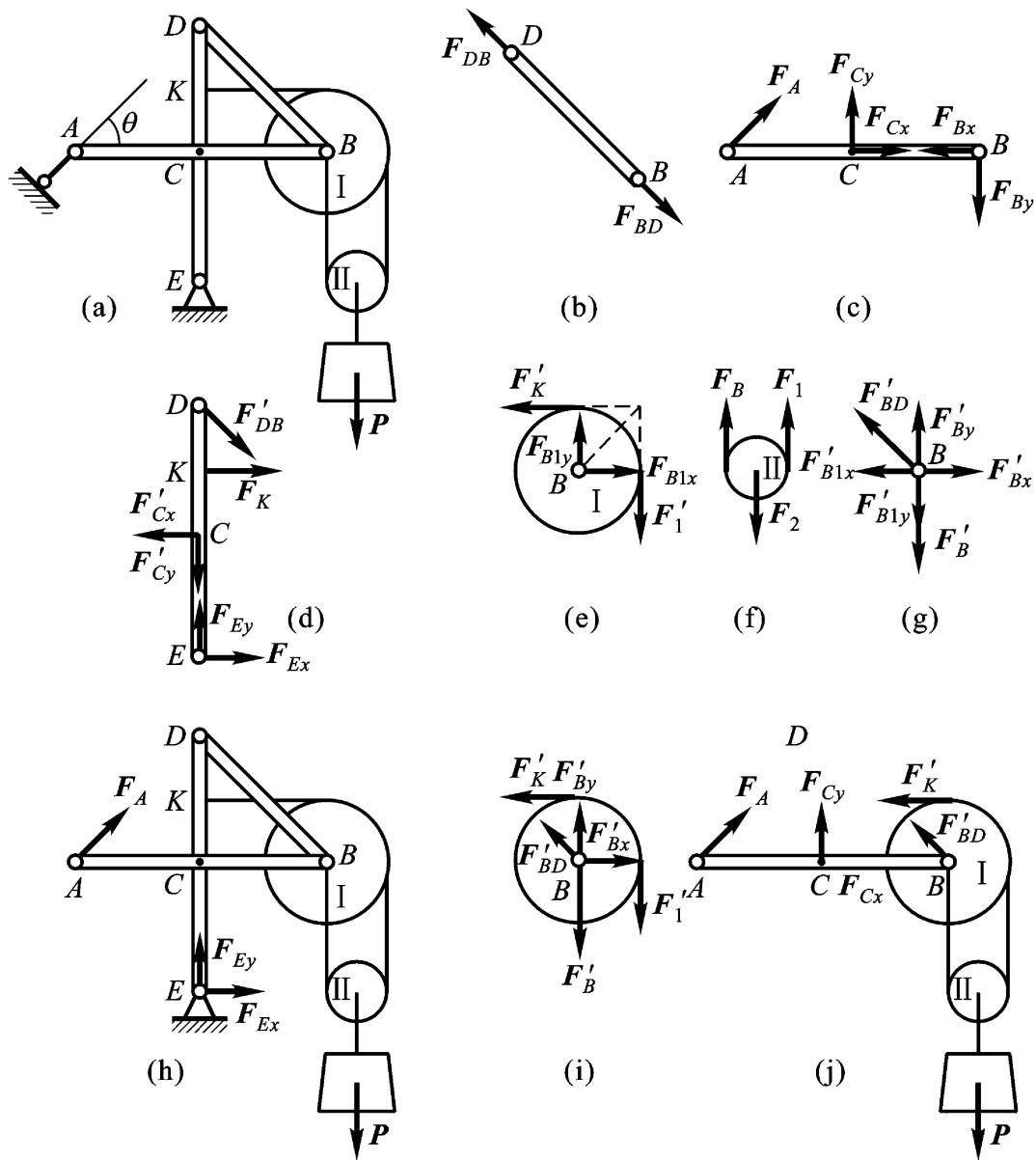


图 1 - 5

附加题 画出图 1 - 6a, b, c 中各构件及整体的受力图, 销钉 A (销钉 A 穿透

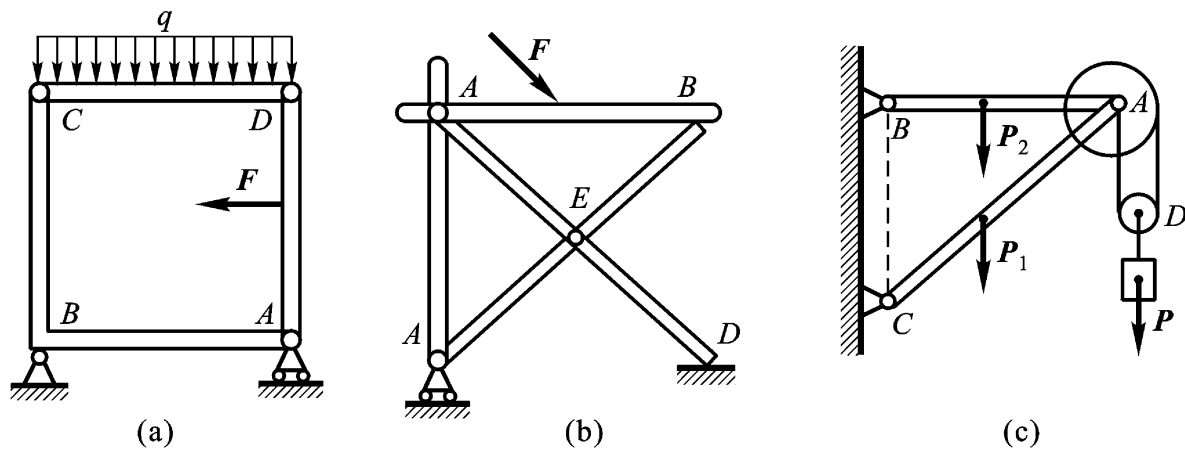


图 1 - 6

相关各构件)的受力图。未画重力的物体的重量均不计, 图 b 中 B, D 处为光滑接触。

1 - 3 思考题提示或解答

1 - 1 说明下列式子和文字的意义和区别:

(1) $F_1 = F_2$, (2) $F_1 = F_2$, (3) 力 F_1 等效于力 F_2 。

解答:(1) 若 F_1 与 F_2 表示力, 此式表示两个力大小相等, 方向相同, 但不能表示出两力的作用点(线)是否相同, 因此不能说两力一定等效。

(2) 若 F_1 与 F_2 表示力, 此式只表示两个力的大小相等。

(3) 说明两个力的大小相等, 方向和作用线均相同。

1 - 2 为什么说二力平衡条件、加减平衡力系原理和力的可传性等只能适用于刚体?

提示 对变形体使用二力平衡条件、加减平衡力系原理和力的可传性等看看会产生什么效果。

1 - 3 试区别 $F_R = F_1 + F_2$ 和 $F_R = F_1 + F_2$ 两个等式代表的意义。

解答:前者表示两个矢量相加, 是矢量表达式; 后者表示两个代数量相加, 是代数表达式。矢量与代数量是不同的概念, 此式主要是针对读者在书写矢量式与代数式时不加区别而设, 此问题在大多数院校大多数同学中相当普遍地存在。在正式出版物中, 矢量字符用黑斜体字母表示, 代数量用白体表示, 在手书上矢量有多种表示方法, 在不产生混淆与歧义的情况下, 建议使用在字符上加“ $\vec{\quad}$ ”的写法, 即写为 \vec{F} , 欢迎大家使用。

1 - 4 什么叫二力构件? 分析二力构件受力时与构件的形状有无关系?

解答:只在两个力作用下平衡的构件称为二力构件, 二力构件与构件的形状无关。

提示 二力构件中的每一力, 也可以是多个汇交力的合力。图 1 - 7 所示杆件 AB, 不计其自重, 处于平衡状态, 图 1 - 7a 中 B 处有多个力汇交于 B 点, A 处作用一力, 图 1 - 7b 中, A, B 处均有一汇交力系作用, 读者可思考, 此两根杆是不是二力杆? 答案是此两根杆均为二力杆。通过此题目, 可解答读者在一些题目中对二力杆的疑问。

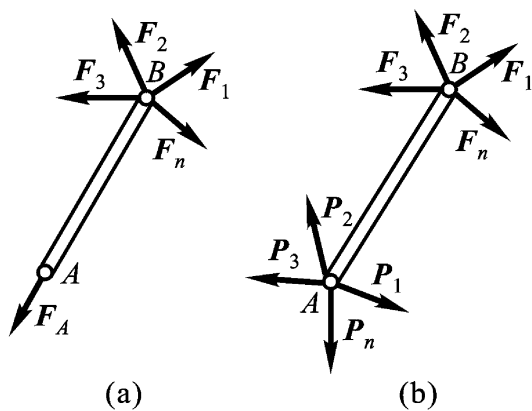


图 1 - 7

1 - 5 图 1 - 8 ~ 图 1 - 13 中各物体的受力图是否有错误? 如何改正?

提示 (只给出提示, 各正确受力图略)

建议读者在思考和做题遇到困难时, 再看提示与答案等。此提示适用于全书各章。