



世纪高等教育规划教材——学习指导与考研系列

理论力学 辅导与训练

唐晓雯 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等教育规划教材——学习指导与考研系列

理论力学辅导与训练

主 编 唐晓雯

副主编 石 萍 任艳荣



机械工业出版社

本书是以教育部高等学校力学基础课程教学指导分委员会最新制定的《理论力学课程教学基本要求》(A类)的内容为主,包括理论力学课程中的静力学、运动学和动力学,共分为十一章。每章均分为“基本内容及基本要求”、“典型例题及解题方法”和“课外训练习题”等三部分。“基本内容及基本要求”包括“内容提要”、“基本要求”、“重点难点”与“基本公式”等四个方面,它对复习和总结所学内容,把握重点难点有一定的帮助。“典型例题及解题方法”则精选了各类有代表性的典型例题,给出了思路分析、解题方法、步骤、过程及要点,并附有“讨论”——突出解题的重点、难点、技巧,对比不同解法的优缺点,对常见错误进行剖析,以利于读者融会贯通所学知识,开阔思路,提高分析、解题与应用能力,从而达到举一反三之目的。“课外训练习题”部分,则是从近期国内外较优秀的教材、习题集和部分院校的考试试题中精选了包括主观题和客观题在内的各种习题,既反映了教学基本要求的水平,又突出了概念性与综合性;有利于训练读者的是非判断、公式记忆、逻辑思维和计算能力。附录中附有四套模拟试题,其中两套为72学时,两套为44学时。

本书主要为学习理论力学课程的本科(或高职)学生做课外练习或准备考研复习而编写的,也可供夜大(或参加自学考试)的学生以及参加注册工程师执业资格考试的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学辅导与训练/唐晓雯主编. —北京:机械工业出版社, 2010.8
21世纪高等教育规划教材·学习指导与考研系列
ISBN 978-7-111-31350-2

I. ①理… II. ①唐… III. ①理论力学-高等学校-教学参考资料
IV. ①O31

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第138264号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:姜凤 责任编辑:姜凤 责任校对:吴美英
封面设计:路恩中 责任印制:杨曦
北京京丰印刷厂印刷
2010年11月第1版第1次印刷
169mm×239mm·15.75印张·304千字
标准书号:ISBN 978-7-111-31350-2
定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

理论力学是土木、机械、交通、水利、航空等工科专业的一门十分重要的技术基础课。它不仅是专业课程的基础，同时还在实际工程中有着广泛地应用。因此，学好理论力学这门课程，对于工科院校的学生以及有关的工程技术人员来说是很重要的。理论力学的理论严谨、逻辑缜密，而且研究问题和解决问题的方法又灵活多变。为了帮助读者学好理论力学，透彻领会其基本概念和理论、掌握基本解题方法，我们特编写了这本课外辅导教材，其目的在于通过归纳、总结本课程的基本内容、基本理论和基本方法，同时精选典型例题分析并详解，使读者加深对基本概念的理解，加强对基本理论和基本技能的掌握，提高分析问题与解决问题的综合能力。

本书是以教育部高等学校力学基础课程教学指导分委员会最新制定的《理论力学课程教学基本要求》(A类)的内容为主，并参照哈尔滨工业大学理论力学教研室编著的《理论力学》(第7版)(I)的内容，包括理论力学课程中的静力学、运动学和动力学，共分为十一章。每章均分为“基本内容及基本要求”、“典型例题及解题方法”和“课外训练习题”等三部分。“基本内容及基本要求”包括“内容提要”、“基本要求”、“重点难点”与“基本公式”等四个方面，它对复习和总结所学内容，把握重点难点有一定的帮助。“典型例题及解题方法”则精选了各类有代表性的典型例题，并给出了思路分析、解题方法、步骤、过程及要点，并附有“讨论”——突出解题的重点、难点、技巧，对比不同解法的优缺点，分析容易出现的错误和原因。通过这部分内容的学习，可以帮助读者融会贯通所学知识，开阔思路，提高分析、解题与应用能力，从而达到举一反三之目的。“课外训练习题”部分精选了包括是非题、选择题、填空题、计算题和证明题在内的各类型的习题，既反映了教学基本要求的水平，又突出了概念性与综合性；有利于训练读者的是非判断、公式记忆、逻辑思维和计算能力。某些带“*”号的习题可供学有余力的读者参考。本书的例题与习题主要选自近期国内外较优秀的教材、习题集和部分院校的考试试题，习题难度以中等和中等偏上水平为主，各章习题均附有答案。附录中附有四套模拟试题，其中两套为72学时，两套为44学时。

本书主要为学习理论力学课程的本科(或高职)学生做课外练习或准备考研复习而编写的，也可供夜大(或参加自学考试)的学生以及参加注册工程师执业资格考试的工程技术人员参考。

本书由唐晓雯、石萍、任艳荣、刘燕、赵燕湘共同编写。唐晓雯任主编，石萍、任艳荣任副主编。石萍编写第1章、第2章（平面基本力系）和第4章，任艳荣编写第2章（平面任意力系）和第3章，赵燕湘编写第6章和第8章，刘燕编写第9章、第10章，唐晓雯负责全书的结构设计和全部稿件的统稿工作，并编写第5章、第7章、第11章以及附录。

本书主审尚新春教授仔细审阅了全部书稿，并提出了许多宝贵意见，在此谨表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬望同行专家和热心读者批评指正。

编 者

2010 年 10 月

目 录

前言

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	1
1.1 基本内容及基本要求	1
1.2 典型例题及解题方法	3
1.3 课外训练习题	10
第 2 章 平面力系	13
2.1 基本内容及基本要求	13
2.2 典型例题及解题方法	16
2.3 课外训练习题	35
第 3 章 空间力系	45
3.1 基本内容及基本要求	45
3.2 典型例题及解题方法	48
3.3 课外训练习题	54
第 4 章 摩擦	58
4.1 基本内容及基本要求	58
4.2 典型例题及解题方法	59
4.3 课外训练习题	67
第 5 章 点的运动学	72
5.1 基本内容及基本要求	72
5.2 典型例题及解题方法	74
5.3 课外训练习题	80
第 6 章 刚体的简单运动	86
6.1 基本内容及基本要求	86
6.2 典型例题及解题方法	88
6.3 课外训练习题	94
第 7 章 点的合成运动	99
7.1 基本内容及基本要求	99
7.2 典型例题及解题方法	101
7.3 课外训练习题	117
第 8 章 刚体的平面运动	125

8.1 基本内容及基本要求	125
8.2 典型例题及解题方法	126
8.3 课外训练习题	138
第9章 动力学普遍定理及综合应用	145
9.1 基本内容及基本要求	145
9.2 典型例题及解题方法	149
9.3 课外训练习题	166
第10章 达朗贝尔原理	180
10.1 基本内容及基本要求	180
10.2 典型例题及解题方法	181
10.3 课外训练习题	191
第11章 虚位移原理	198
11.1 基本内容及基本要求	198
11.2 典型例题及解题方法	201
11.3 课外训练习题	214
附录	219
附录 A 理论力学课程模拟试题	219
附录 B 部分参考答案	233
参考文献	244

第1章 静力学公理和物体的受力分析

1.1 基本内容及基本要求

1.1.1 内容提要

本章介绍静力学的基本概念（力、力系、刚体、力系等效及平衡等）、静力学公理（详见表1-1）、约束和约束力（详见表1-2）及物体的受力分析和受力图的绘制。

1.1.2 基本要求

深入理解并掌握平衡、刚体、力和约束等基本概念和静力学公理；掌握各种约束的特征及其约束力的画法；能熟练地对单个物体及物体系统进行受力分析，正确地画出受力图。

1.1.3 重点难点

重点：平衡、刚体、力等基本概念和静力学公理；约束类型及约束力的确定；物体的受力分析和受力图。

难点：准确理解静力学公理，常见约束的特征和约束力的正确画法。

1.1.4 基本定理和约束

（1）基本公理以及适用条件（见表1-1）。

表1-1 静力学公理理解应用一览表

公理名称	公理内容	适用对象	适用条件
力的平行四边形法则	作用在同一物体上的两个力,可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点,合力的大小和方向,由以这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定。	刚体, 变形体	力系简化的基础;力的分解。
二力平衡条件	作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要和充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。	刚体	二力平衡的判断依据,通常可用来确定二力构件两点受力的方向。
加减平衡力系原理	在作用于刚体的力系中,加上或减去任意个平衡力系,不改变原力系对刚体的作用效应,称为加减平衡力系原理。	刚体	研究力系等效替换的重要依据。



(续)

公理名称	公理内容	适用对象	适用条件
作用和反作用定律	作用力和反作用力总是同时存在,两力的大小相等、方向相反,沿着同一直线,分别作用在两个相互作用的物体上。	变形体,刚体	确定物体之间的相互作用。
刚化原理	变形体在某一力系作用下处于平衡,如将此变形体刚化为刚体,其平衡状态保持不变。	变形体	变形体平衡可转化为刚体平衡来分析。

(2) 约束和约束力 (见表 1-2)

表 1-2 常见约束类型及约束力确定一览表

约束类型	力学简图	约束特性	约束力确定原则	约束力符号	约束力画法
光滑接触面约束		限制被约束物体沿接触面公法线向约束内部的运动。	作用点: 接触点。 方向: 沿接触面公法线指向物体。(压力)	F_{NA} 下标 A: 表示接触点	
柔索约束		限制被约束物体沿柔索方向离开柔索的运动。	作用点: 物体与柔索的连接点。 方向: 沿柔索背离物体。(拉力)	F_{TA} 下标 A: 表示接触点	
光滑铰链约束	固定铰支座 	限制被约束物体在接触点处平面任意方向的移动,但不限制转动。	作用点: 接触点。 方向: 一个约束力,但约束力的作用线不能预先定出,通常用两个过接触点的正交分量表示。	F_A (F_{Ax}, F_{Ay}) 下标 A: 表示接触点	
	圆柱形销钉 (中间铰) 	限制被约束物体在接触点处平面任意方向的移动,但不限制转动			
	滑动铰支座 	限制被约束物体沿支承面法线方向的移动。	作用点: 接触点。 方向: 垂直支承面。	F_A 下标 A: 表示接触点	



(续)

约束类型	力学简图	约束特性	约束力确定原则	约束力符号	约束力画法
滑道约束		限制被约束物体在垂直滑道方向的移动。	作用点: 接触点 方向: 垂直滑道。	F_A 下标 A: 表示接触点	
球形铰支		限制被约束物体在接触点处空间任意方向的移动, 但不限制转动。	作用点: 接触点 方向: 一个约束力, 但约束力的作用线不能预先定出, 通常用三个过接触点的正交分量表示。	$F_A (F_{Ax}, F_{Ay}, F_{Az})$ 下标 A: 表示接触点	

1.2 典型例题及解题方法

1.2.1 解题步骤与要点

1. 画受力图的一般步骤

- (1) 明确研究对象, 画出其分离体图。
- (2) 在分离体上画出所有的主动力 (一般皆为已知力)。
- (3) 在每个约束处, 根据约束的特征画出其约束力。

2. 初学者在画受力图时易犯的错误

- (1) 画约束力时不考虑约束类型。
- (2) 多画、错画或漏画力。
- (3) 作受力分析时不知如何选取研究对象。

3. 注意事项

(1) 若取若干个物体组成的系统为研究对象时, 其研究对象的内力不能在受力图中画出。

(2) 物体系统的整体、部分及单个物体的受力图中, 作用于物体上的力的符号、方向要彼此协调, 注意作用力与反作用力的画法。

1.2.2 典型例题分析

例 1-1 分析图 1-1a 中物体的受力图 (图 1-1b) 是否有错误? 如何改正?

解 错误。

分析: 分布荷载也是力, 所以图示构件不是受三个力作用而平衡, 不满足

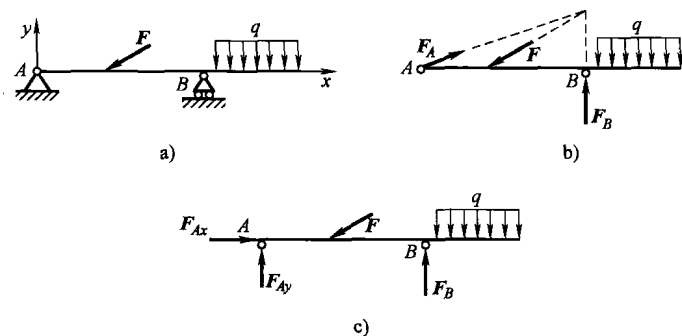


图 1-1

三力平衡汇交，A 点的约束力是一个大小和方向都未知的力，所以应用两个正交分量表示（图 1-1c）。

例 1-2 图 1-2a 所示结构中各物体的受力图（图 1-2b）是否正确？如有错误，如何改正？

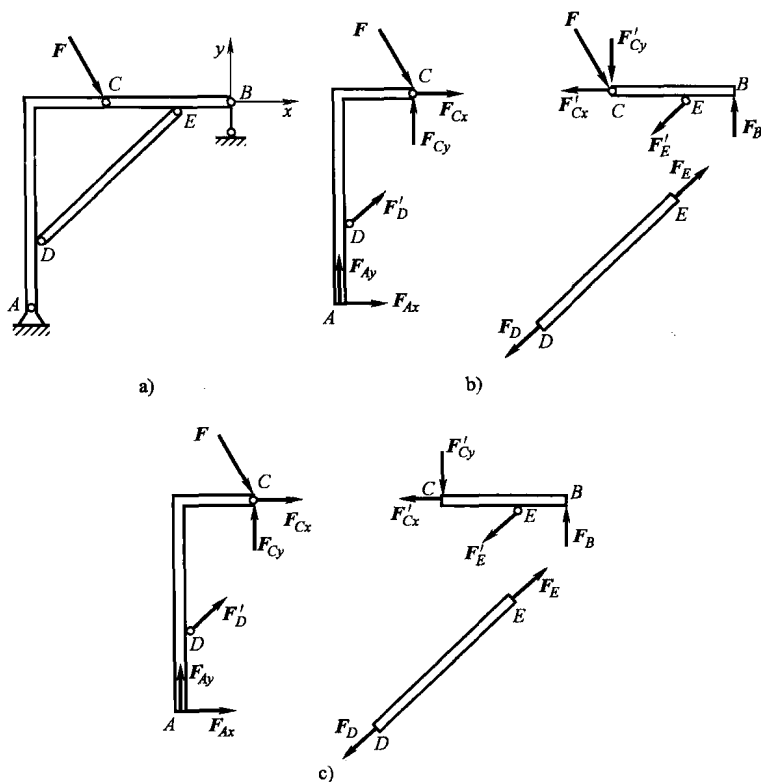


图 1-2



解 BC 杆 C 点的受力不对。

分析： C 点为中间铰链，若其上受一集中力，则认为集中力是作用在销钉上的，若在 C 点拆开，可认为销钉是固连在某一个物体上的（例如固连在折杆 AC 上），则另一物体就不能带销钉了（如 BC 杆），这样， C 点的主动力只能画在 AC 上， BC 杆上 C 点不带销钉，就不能画销钉上的受力 F 了，只能画销钉 C 给予 BC 的作用力。

改正后的受力图如图 1-2c 所示。

例 1-3 平面承重支架如图 1-3a 所示，在 C 点上作用荷载 F_P ，若不计各杆件的重力，试分别画出杆 AC 和 BD 的受力图。

解 选坐标系如图所示。该承重构架由 AC 、 BD 两杆组成， A 、 B 处为固定铰链支座， D 处为一圆柱铰链。主动力只有一个 F_P ，严格按约束的类型，解除约束代之以相应的约束力。

(1) 先取杆 BD 为研究对象。在不计自重的情况下， BD 杆仅在 B 、 D 两处受力， BD 杆又处于平衡状态，因此， BD 杆为二力构件（即二力杆），所以 B 、 D 两端的受力一定沿着 B 、 D 的连线方向。受力分析结果如图 1-3b 所示。而且 B 点和 D 点的约束力 F_D 和 F_B 满足以下关系： $F_D = -F_B$

(2) 再取杆 AC 为研究对象。

方法一：因为 AC 杆上点 D 的约束力与 BD 杆上点 D 的约束力是一对作用与反作用力，所以大小相等、方向相反且沿同一作用线。用 F'_D 表示 F_D 的反作用力。 AC 杆上的 A 处约束是固定铰支座，其约束力用一对正交分量来表示。受力分析结果如图 1-3c 所示。

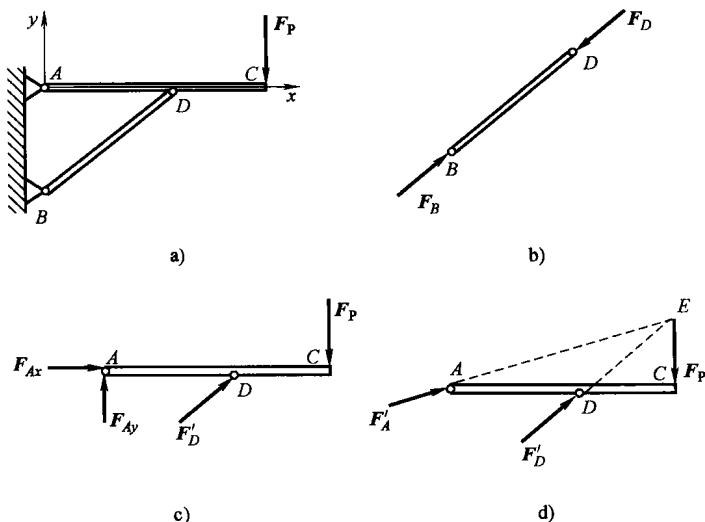


图 1-3



方法二：在不计重力的情况下， AC 杆仅在 A 、 D 、 C 三处受力， AC 杆又处于平衡状态，而 D 、 C 处的作用力的方向已知，其作用线交于一点 E 。由三力平衡汇交定理可知， A 处约束力的作用线必过 E 点。受力分析结果如图 1-3d 所示。

讨论：

(1) 比较两种解法可知，在第二种解法中，绘制受力图是考虑了二力平衡条件（二力杆）和三力平衡定理，从而使受力图更为简洁、准确，也便于用几何法求解平衡问题。但是，若用解析法求解平衡问题，第二种受力分析的结果并不能带来方便。

(2) 在不计自重的情况下，凡满足仅在两处受力且处于平衡状态的构件，不论其形状如何都是二力杆。所以该题中的 BD 杆可以是曲杆或直角折杆。正确分析二力杆是解决物体系统平衡的关键。

例 1-4 平面支架如图 1-4a 所示，若不计各杆件的重力，试绘制各杆的受力图。

解 当结构有中间铰时，受力图有两种画法：

(1) 中间铰单独取出，可将结构分为三部分： AC 拱、 C 铰、 BC 拱，其中 AC 、 BC 拱都是二力杆，其受力分析结果如图 1-4b 所示。

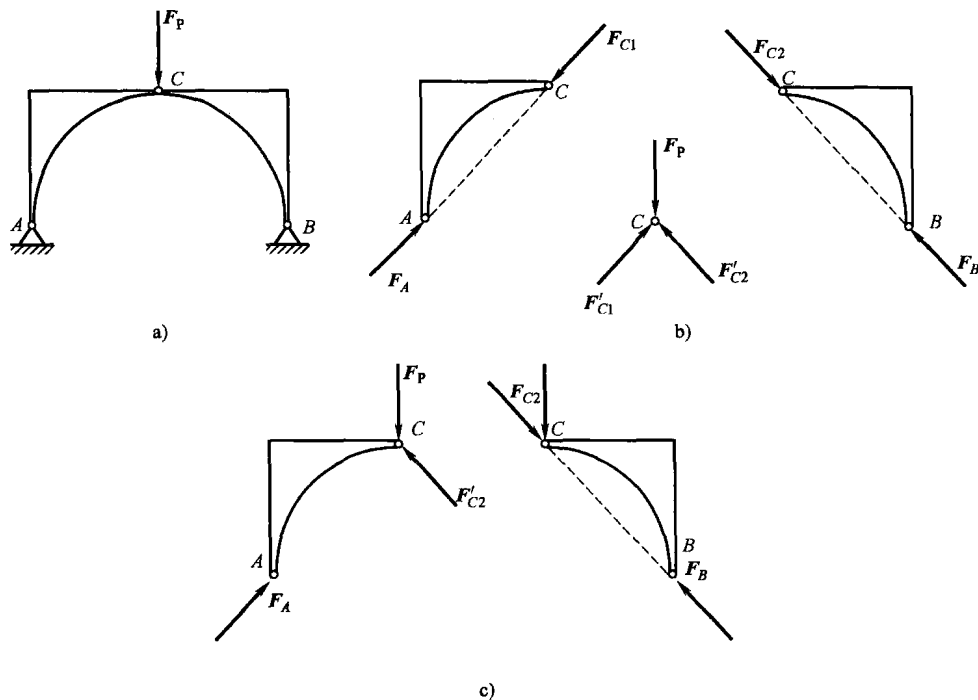


图 1-4



(2) 可将中间铰 C 放在任意拱上, 在这里, 把中间铰 C 固连在 AC 杆上, 结构分为 AC 拱 (带铰 C)、 BC 拱两部分, 受力分析结果如图 1-4c 所示。

讨论:

分析 AB 拱 (带铰 B), 中间铰 B 固连在 AB 拱上, 铰 B 与 AB 拱组成一子系统, 铰 B 与 AB 的相互作用力 F_{B1} 、 F'_{B1} 成为系统内力, 不用画出, 在 B 点要画出的是主动力 F_P 和 BC 拱对铰 B 的作用力 F'_{B2} (即系统外力)。若中间铰 B 固连在 BC 拱上, 请读者自己分析其受力。

例 1-5 如图 1-5a 所示构架由三根直杆和一个滑轮铰接而成, 跨过滑轮的绳索上挂一重量为 P 的物块。不计摩擦及各物体的重力, 试绘制构架中各物体及整体的受力图。

解 本题有四种约束: 固定铰支座 A 、中间铰 C 、 E 、可动铰支座 B 和绳索, 绘制受力图时, 要注意各局部受力图之间的作用与反作用力的方向。局部受力图之间一定要相互照应。并且:

(1) BC 是二力杆, 如图 1-5d 所示。

(2) 绳子只能受拉力。

(3) 滑轮和绳子一起分析。

分别取滑轮、杆 CD 、 AB 、 BC 和重物为研究对象, 受力分析如图 1-5b、c、d、e、f 所示。

讨论:

B 点的受力较复杂, 在此处是由销钉 B 连接了杆 AB 、 BC 和滑动支座 B 三个构件, 若把销钉 B 拿掉, 则杆 AB 、 BC 和滑动支座 B 三个构件之间没有相互作用, 三个构件都是和销钉 B 之间有相互作用, 图 1-5d、e 中 B 点的受力是销钉给予的, 图 1-5f 中 B 点的受力则是滑动支座 B 给予销钉的, 在图 1-5f 中 B 点与杆 AB 、 BC 以及销钉 B 之间相互作用成为了系统内力 (受力图中无内力)。

销钉受力分析技巧:

分析销钉的受力是读者感觉困难的一个难题。当销钉连接两个构件时, 销钉不必单独拆出, 可把销钉固连在其中一个构件上, 这样处理容易区分作用与反作用, 受力分析简单、明确, 如图 1-5 中的销钉 D 和 E 。若销钉连接三个或以上构件, 销钉最好单独拆出来, 读者要做到心中有数, 每个构件都是和销钉有相互作用的, 而拆出销钉后的各构件之间在铰接点处是没有相互作用的。弄清楚销钉与各构件之间的作用, 再分析销钉固连在某个构件上的组合受力图也就比较容易了。但这里一定要注意内力和外力, 如图 1-5 中的销钉 B 。

例 1-6 图 1-6a 所示组合结构由三个构件 AB 、 BC 、 CD 组成, A 为固定端约束, B 、 C 处为光滑铰链, D 端为一固定铰支座。不计各构件的重力和摩擦, 试画出各物体及整体的受力图。

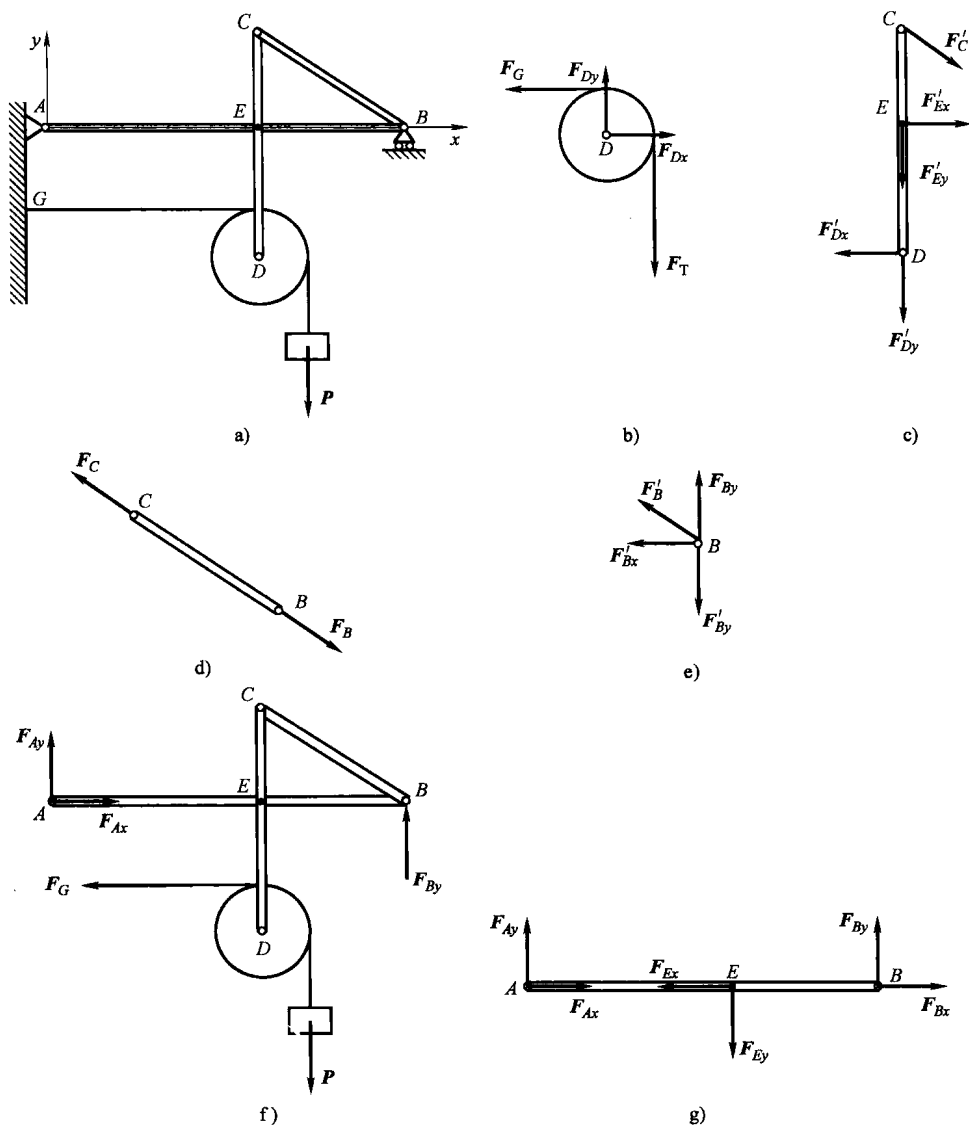


图 1-5

解 选坐标系如图所示。思路：认清约束类型，A 为固定端约束，CD 为二力杆，B、C 处为光滑铰链，D 处为一固定铰支座。系统及各个物体的受力分析如图 1-6b、c、d、e 所示。

讨论：

A 处的受力比较特殊，A 处属于固定端约束，其约束特征是既限制物体的移动，又限制物体的转动，因此在约束力中出现了约束力偶 M_A 。其原因在学习了

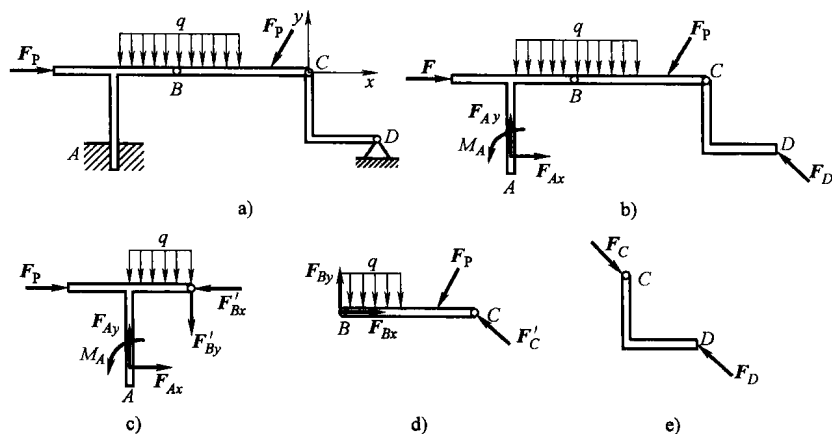


图 1-6

平面任意力系的简化后，读者自然会明白。这种约束很重要，在土木、机械工程中经常出现，初学者常犯的错误就是漏画固定端的约束力偶。

例 1-7 一支架如图 1-7a 所示，各构件的重力、接触面的摩擦不计，试绘制

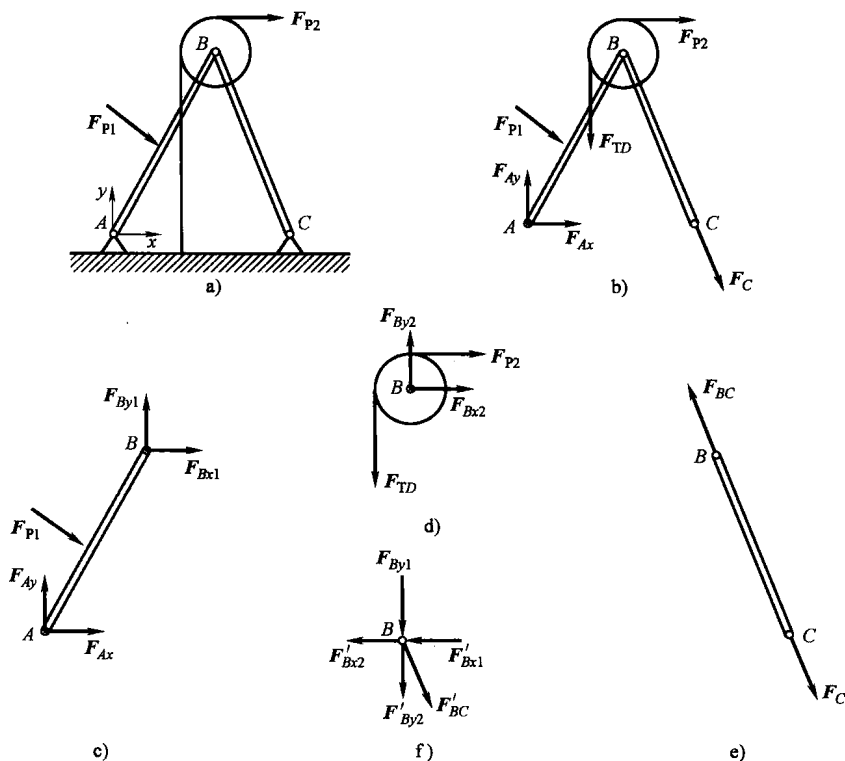


图 1-7

滑轮 B 、杆 AB 、杆 BC 、销钉 B 及整个系统的受力图。(注意: 滑轮 B 、杆 AB 、杆 BC 都不含销钉 B , 销钉 B 单独取出分析。)

解 选坐标系如图所示, 系统及各个物体的受力分析如图 1-7b、c、d、e、f 所示。

1.3 课外训练习题

1.3.1 选择题 (请将正确答案的序号填入括号内)

1-1 在下述原理、法则、定理中, 只适用刚体的有 ()。

- A. 二力平衡原理; B. 力的平行四边形法则;
C. 加减平衡力系原理; D. 力的可传性原理;
E. 作用力与反作用力原理。

1-2 如图 1-8 所示, 刚体受三力作用, 并且三力均不为零, 则 ()。

- A. 情况 a 刚体不可能平衡;
B. 情况 b 刚体不可能平衡;
C. 两种情况都不能平衡;
D. 两种情况都可能平衡。

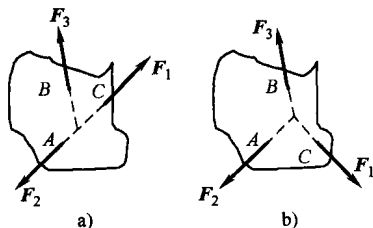


图 1-8

1-3 作用于刚体上的平衡力系, 如果作用在变形体上, 则变形体 ()。

- A. 平衡; B. 不平衡; C. 不一定平衡。

1-4 如图 1-9 所示, 力 F_P 沿其作用线由 D 滑移到 E 点, 则 A 、 B 、 C 三铰处的约束力 ()。

- A. 都不变;
B. 都改变;
C. 只有 C 铰约束力不变;
D. 只有 C 铰约束力改变。

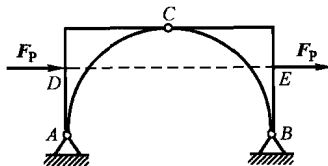


图 1-9

1-5 作用于刚体上的力是滑动矢量, 作用于物体上的力是定位矢量 ()。

- A. 正确; B. 错误。

1.3.2 作图题

1-6 画出图 1-10 所示系统中每个标注物体的受力图和系统整体的受力图, 未画重力的物体的自重不计, 各接触处均为光滑接触。