

卓越工程师教育培养计划
——现代力学精品教材

工程力学学习指导 及习题解答

章向明 王安稳 施华民 主编



科学出版社

卓越工程师教育培养计划——现代力学精品教材

工程力学学习指导及习题解答

章向明 王安稳 施华民 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为《工程力学》的配套辅导教材,全书共分 17 章,包括以下内容:静力学的基本概念、受力图;基本力系;平面任意力系;运动学基础;点的合成运动;刚体平面运动;动量定理与动量矩定理;动能定理;简单应力;截面几何性质;圆轴的扭转;弯曲内力;弯曲应力;弯曲变形;应力状态和强度理论及其应用;动载荷及交变应力;压杆稳定。每章分为基本要求、知识要点、解题指导和习题解答。

本书基于作者多年的教学实践,突出应用能力的培养。基本要求概括该章需要掌握的内容和基本概念、理论和方法的主线;解题指导给出该章典型例题的详细求解过程,分析归纳理论、重点、难点、技巧和不同解法的优缺点及容易出现错误;习题解答给出典型习题的最优解答。

本书可作为高等院校机械类、力学类专业本科生工程力学课程的辅导教材,也可作为相关专业考研参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学学习指导及习题解答/章向明,王安稳,施华民主编. —北京:科学出版社, 2015.1

卓越工程师教育培养计划现代力学精品教材

ISBN 978-7-03-042990-2

I. ①工… II. ①章… ②王… ③施… III. ①工程力学—高等学校—教学参考资料 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 005996 号

责任编辑:高 嵘 孔晓慧/责任校对:鲁 素

责任印制:高 嵘/封面设计:苏 波

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市首壹印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 1 月第一次印刷 印张:23 1/2

字数:585 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

卓越工程师教育培养计划——现代力学精品教材

《工程力学学习指导及习题解答》编委会

主 编 章向明 王安稳 施华民

副主编 胡明勇 刘 燕 杨少红 郑 波

编 委 （按姓氏拼音排序）

胡明勇 黄 方 李竹影 刘 燕

施华民 王安稳 吴 菁 杨少红

章向明 郑 波

前 言

工程力学是工科院校大多数工程专业的一门重要的技术基础课。它既是专业课的基础,又直接服务于工程实际,对于培养学生解决工程问题的能力以及对后续课程的教学具有不可忽视的重要作用。

为落实高等教育实用性人才的培养目标,优化课程结构,提高专业基础课的针对性、实用性,建设军地院校工程力学精品课程,提高教学质量,结合工程力学课程教学改革实际情况,在编写《工程力学教程》的基础上,根据多年的教学经验,吸取同类教材的优点,编写了配套辅导教材,供学习工程力学课程的大学生,报考工程力学、理论力学和材料力学等硕士研究生的考生,或从事基础力学课程教学的青年教师参考。本书具有以下特点:

(1)基本要求,简要描述需要掌握的内容和对学习的要求;知识要点,以力学的基本概念和原理为主线,描绘课程的理论体系和教学内容的整体脉络,使读者理解和掌握工程力学的基本理论、基本原理和基本算法。

(2)解题指导给出精选典型例题的详细求解过程,演示运用课程基本原理解题的方法、技巧,分析归纳解题所应用的理论,解题的重点、难点、技巧以及不同解法的优缺点和容易出现错误等;力求清晰简练,注意问题的分类和工程背景及分析问题的基本思路和方法;注重培养学生分析、解决问题的能力,特别是应用数学工具解决力学问题的能力。

(3)习题解答给出教材习题的最佳解答。解题指导和习题解答都给出学生解题时需要遵循的规范步骤,通过演算过程及步骤体现解题的思路,每个等式都体现一个思维过程,或是对概念、原理、方法理解的提示,通过解题过程强化对基本概念、公式和方法的理解,培养正确利用基本概念、基本理论和基本方法进行逻辑思维的能力和计算能力。

(4)贯彻“实用为主,够用为度”的原则,既注重理论阐述的科学性和系统性,又注重理论联系实际,强化学生的工程意识。

全书由章向明、王安稳、施华民任主编,胡明勇、刘燕、杨少红、郑波任副主编。学习指导部分:胡明勇编写第1~3章;施华民编写第4、5章;李竹影编写第6章;杨少红编写第7、8、15、17章;郑波编写第9、11章;章向明编写第10、12~14章;黄方编写第16章。习题解答部分:章向明、吴菁编写第1~5章;刘燕编写第6、10章;施华民编写第7、8章;胡明勇编写第9、14章;杨少红编写第11、16、17章;章向明、黄方编写第12、13章;王安稳编写第15章。第1~8章由施华民统稿和改编,第9~17章由章向明统稿和改编。

本书的出版得到了海军工程大学装备处和理学院的热情帮助,在此一并表示谢意。本书采用我国法定计量单位,有关量、单位及符号均执行国家标准的一系列新规定。限于编者的水平,书中不妥之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2014年12月

目 录

前言

第一章 静力学的基本概念、受力图	1
一、基本要求	1
二、知识要点	1
三、典型例题解析	3
四、习题解答	6
第二章 基本力系	11
一、基本要求	11
二、知识要点	11
三、典型例题解析	13
四、习题解答	16
第三章 平面任意力系	22
一、基本要求	22
二、知识要点	22
三、解题指导	24
四、典型例题解析	24
五、习题解答	31
第四章 运动学基础	46
一、基本要求	46
二、知识要点	46
三、解题指导	49
四、典型例题解析	50
五、习题解答	54
第五章 点的合成运动	60
一、基本要求	60
二、知识要点	60
三、解题指导	61
四、典型例题解析	63
五、习题解答	74
第六章 刚体平面运动	89
一、基本要求	89
二、知识要点	89
三、解题指导	91

四、典型例题解析	92
五、习题解答	103
第七章 动量定理与动量矩定理	117
一、基本要求	117
二、知识要点	117
三、典型例题解析	122
四、习题解答	134
第八章 动能定理	150
一、基本要求	150
二、知识要点	150
三、解题指导	153
四、典型例题解析	155
五、习题解答	167
第九章 简单应力	190
一、基本要求	190
二、知识要点	190
三、解题指导	193
四、习题解答	197
第十章 截面几何性质	213
一、基本要求	213
二、知识要点	213
三、解题指导	215
四、习题解答	216
第十一章 圆轴的扭转	220
一、基本要求	220
二、知识要点	220
三、解题指导	222
四、习题解答	227
第十二章 弯曲内力	239
一、基本要求	239
二、知识要点	239
三、解题指导	241
四、习题解答	248
第十三章 弯曲应力	271
一、基本要求	271
二、知识要点	271
三、解题指导	274
四、习题解答	281

第十四章 弯曲变形	296
一、基本要求	296
二、知识要点	296
三、解题指导	297
四、习题解答	301
第十五章 应力状态和强度理论及其应用	310
一、基本要求	310
二、知识要点	310
三、解题指导	313
四、习题解答	318
第十六章 动载荷及交变应力	339
一、基本要求	339
二、知识要点	339
三、解题指导	342
四、习题解答	344
第十七章 压杆稳定	350
一、基本要求	350
二、知识要点	350
三、解题指导	353
四、习题解答	356
参考文献	366

第一章 静力学的基本概念、受力图

一、基本要求

- (1) 正确理解静力学的基本概念和静力学公理。
- (2) 掌握各种常见约束类型约束反力的确定方法。
- (3) 熟练掌握物体受力分析的基本方法，正确画出研究对象的受力图。

二、知识要点

(一) 静力学基本概念

(1) 刚体：在力的作用下，其体内任意两点之间的距离始终保持不变的物体，也就是不发生变形的物体。

(2) 力：物体间的相互作用。力的作用效果是使物体的运动状态发生改变(力的外效应)，或使物体发生变形(内效应)。

(3) 平衡：物体相对于惯性参考系静止或做匀速直线运动。

(4) 约束和约束反力：

限制非自由体(被约束物体)运动的周围物体，称为约束。约束物体作用于被约束物体上的力，称为约束反力。

约束反力的方向始终与非自由体被约束所限制的位移方向相反，包括线位移和角位移。约束反力的大小和方向与约束类型有关。

(二) 静力学公理

(1) 二力平衡公理：作用在刚体上的两个力使物体处于平衡的充分和必要条件是：这两个力大小相等、方向相反，并作用在同一直线上。

(2) 加减平衡力系公理：在作用于刚体上的任何一个力系上添加或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。

(3) 力的平行四边形法则：作用在刚体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向是以这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线来表示。

(4) 作用与反作用公理：作用力与反作用力总是同时存在，两力的大小相等、方向相反、作用线为同一条直线，且分别作用在两个相互作用的物体上。公理适用于刚体和变形体。

(三) 典型约束类型和约束反力的确定

(1) 光滑面约束：其约束反力为压力。方向已知，沿公法线且指向被约束物体。

(2) 柔索约束：其约束反力为拉力。方向已知，沿柔索且背离被约束物体。

(3) 固定铰链支座：其约束反力方向未知，用一对正交分力 X_A 、 Y_A 表示。中间铰链连接和向心轴承约束力的确定方法与固定铰链支座相同。

(4) 活动铰链支座：其约束反力同光滑面接触类似，为压力。方位已知且沿公法线，方向待定。

(5) 固定端约束：其约束反力为三个分量，包括一对正交分力 X_A 、 Y_A 和一个附加力偶 M_A 。

(6) 二力杆(双铰链杠杆连接)：其约束反力方位已知，沿杆两端铰链中心连线，可为压力或拉力。

不同的约束类型，其约束反力是不同的，正确画出不同约束的约束反力，是求解力学问题的基础。典型约束类型和约束反力的确定如表 1-1 所示。

表 1-1 典型约束类型和约束反力的确定

约束类型	约束及约束反力	约束反力方向	
		方位	指向
柔索		沿柔索	背离物体 (拉力)
光滑接触		沿公法线	指向物体 (压力)
固定铰链支座		未定	用一对正交分力 X_A 、 Y_A 表示
活动铰链支座		垂直支承面	未定(压力或拉力)
固定端		未定	用一对正交分力 X_A 、 Y_A 和一个附加力偶 M_A 表示(方向可以假设)
二力杆		已知	沿杆两端铰链中心 连线

(四) 物体受力分析

1. 画受力图的步骤

- (1) 根据所研究的问题确定研究对象，取分离体。
- (2) 在分离体上画主动力。
- (3) 解除约束，根据约束类型在解除约束的地方画约束反力。

2. 说明

(1) 明确研究对象后，应将研究对象周围的约束一一解除，严格根据约束类型，正确地画出约束反力。切不可按主动力的方向去主观臆测约束反力的方向。

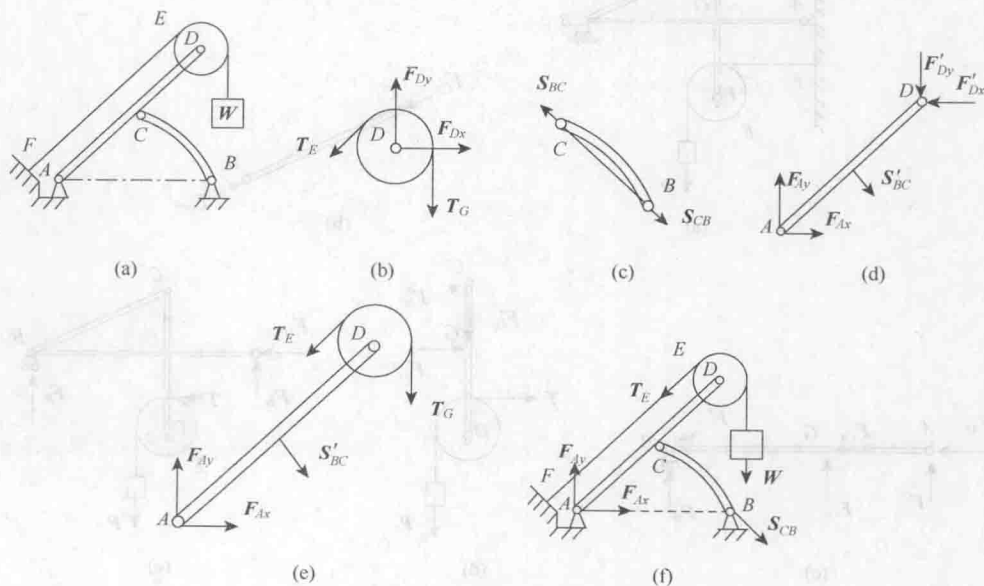
(2) 分析两物体间的作用力时，应遵守作用与反作用公理。作用力的方向一旦确定，则反作用力的方向与之相反。

(3) 在以整体或部分系统为研究对象时，仅画外部物体对研究对象的作用力(外力)。研究对象内部刚体之间的作用力为内力，满足作用与反作用公理，不必画出。

(4) 不同研究对象受力图中，同一个约束反力的方向以及力的符号必须要一致。

三、典型例题解析

例 1-1 例图 1-1 (a) 所示结构中，杆 ACD 、杆 BC 与滑轮 D 铰接，重为 W 的重物用绳子悬挂在滑轮 D 上。不计杆、滑轮和绳子质量。试分别画出滑轮 D 、杆 BC 、杆 ACD 、杆 ACD (带滑轮) 以及系统的受力图。



例图 1-1

解 (1) 研究滑轮 D ，画出其简图。 D 处为光滑铰链约束，其约束力为两个相互垂直的正交力 F_{Dx} 、 F_{Dy} 。 E 、 G 处有绳索拉力 T_E 、 T_G ，如例图 1-1 (b) 所示。

(2) 分析杆 BC 受力, 如例图 1-1(c) 所示。因杆 BC 两端铰接, 中间不受任何外力作用, 因此杆 BC 为二力杆, 两端受力为 S_{BC} 、 S_{CB} , $S_{BC} = -S_{CB}$ 。

(3) 分析杆 ACD 受力, 其受力如例图 1-1(d) 所示。 A 处为固定铰链支座, 约束反力为一对正交力 F_{Ax} 、 F_{Ay} , D 处作用有一对正交力 F'_{Dx} 和 F'_{Dy} , 与正交力 F_{Dx} 、 F_{Dy} 构成作用力与反作用力的关系。 S'_{BC} 与 S_{BC} 满足作用力与反作用力关系。

(4) 研究杆 ACD (带滑轮 D), 其受力如例图 1-1(e) 所示。

(5) 分析系统受力, 如例图 1-1(f) 所示。系统所受主动力有重力 W 。约束反力包括: A 处的约束力为 F_{Ax} 、 F_{Ay} , E 处有绳索拉力 T_E , B 处为二力杆的约束力 S_{CB} 。

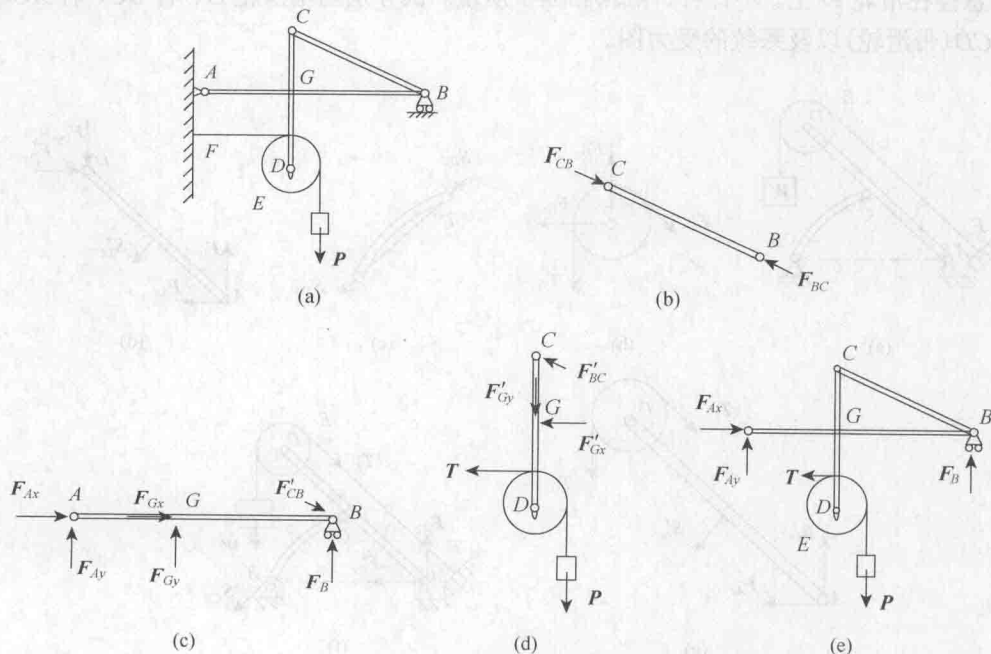
说明:

(1) 画系统各物体受力图时, 一定要取分离体, 先画出分离体的结构简图, 再画受力图, 切不可在原图上画分离体的受力图。

(2) 注意各受力图中物体之间的作用与反作用关系。如 F_{Dx} 、 F_{Dy} 和 F'_{Dx} 、 F'_{Dy} 互为作用力和反作用力, 其方向必须相反。

(3) 研究对象确定后, 其受力仅需分析其所受的外力。内力不需画在受力图上。

例 1-2 在例图 1-2(a) 所示结构中, A 处为固定铰链支座, B 处为活动铰链支座, 在圆盘 E 缠绕绳索, 一端悬挂着重为 P 的重物, 另一端与墙面相连。不计各构件和绳索的质量, 并忽略各处摩擦。试分别画出各物体与整体的受力图。



例图 1-2

解 (1) 取杆 CB 为研究对象。杆 CB 为二力杆, 其受力如例图 1-2(b) 所示。

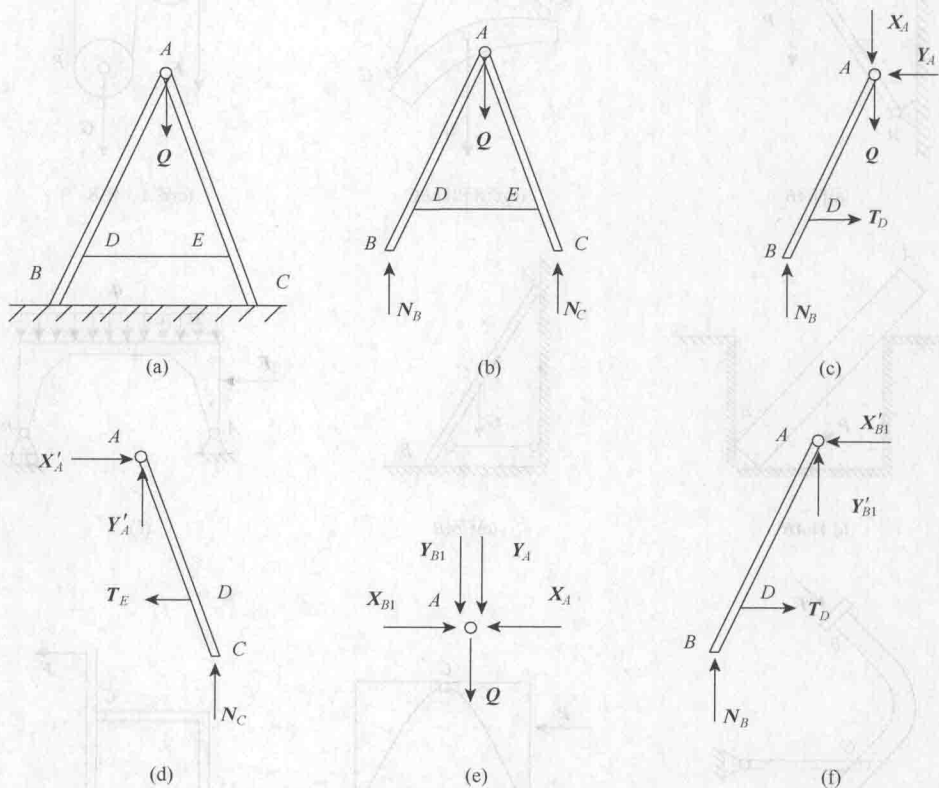
(2) 取 AB (含销钉 B) 为研究对象, 受力如例图 1-2(c) 所示。注意 B 处解除的约束包

括：二力杆 CB 和活动铰链支座。 A 、 G 处分别为固定铰链支座和铰链连接。

(3) 取杆 CD 为研究对象，受力如例图 1-2(d) 所示。一般情况下，杆件和滑轮不必拆开。

(4) 取整体为研究对象，受力如例图 1-2(e) 所示。注意整体受力图与分离体之间的关系，相同点的力的方向以及力符号要一致，且不要画出内部杆之间的约束力。

例 1-3 如例图 1-3(a) 所示的结构， A 为铰链， DE 为绳索，受主动力 Q 作用。不计杆 AB 、杆 AC 自重及各处摩擦，试画出整体及各构件的受力图。



例图 1-3

解 (1) 取系统为研究对象，受力如例图 1-3(b) 所示。系统所受主动力有重力 Q 。约束反力包括： N_B 、 N_C 为光滑面约束的法向反力。

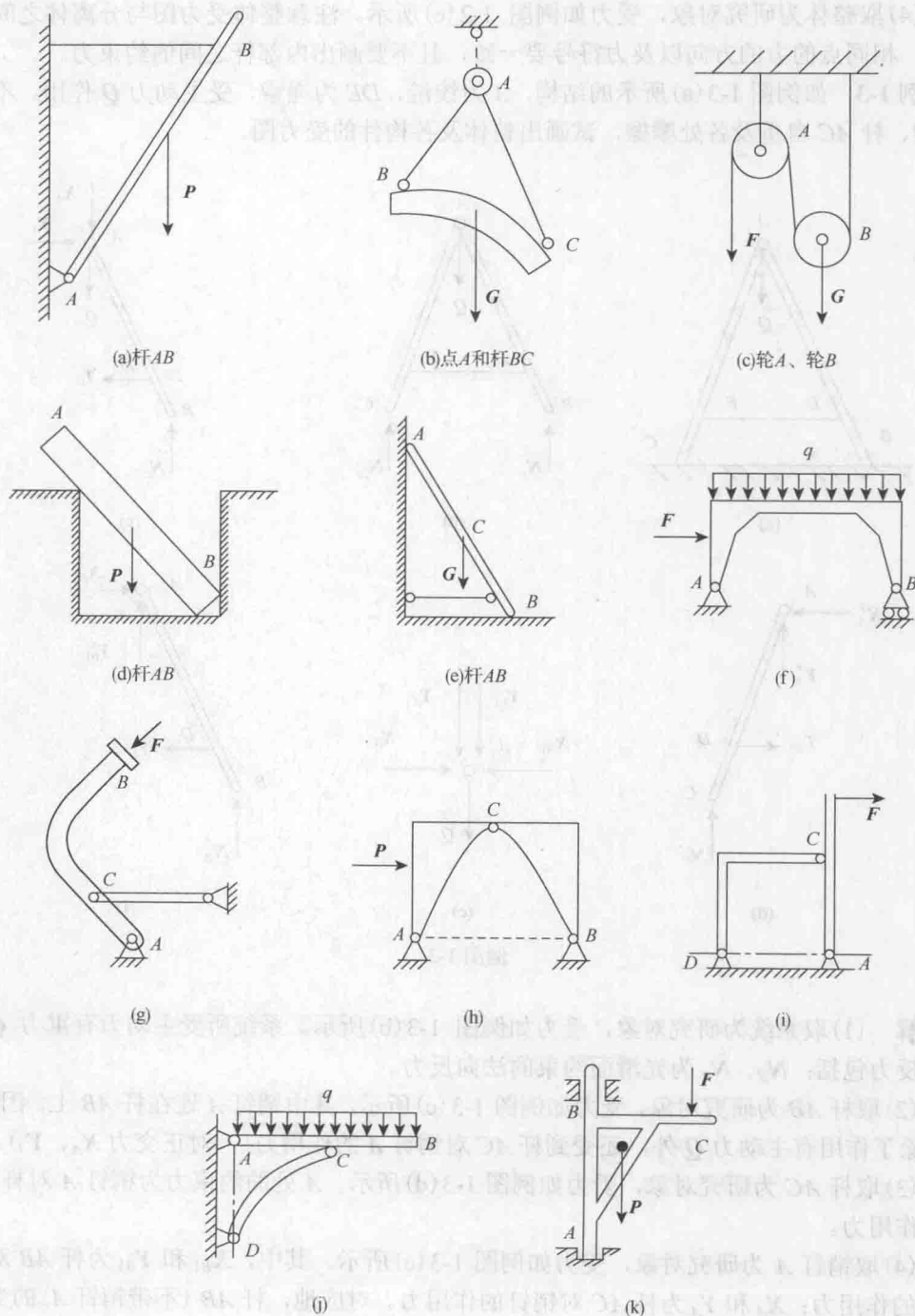
(2) 取杆 AB 为研究对象，受力如例图 1-3(c) 所示，其中销钉 A 连在杆 AB 上。因此， A 处除了作用有主动力 Q 外，还受到杆 AC 对销钉 A 的作用力（一对正交力 X_A 、 Y_A ）。

(3) 取杆 AC 为研究对象，受力如例图 1-3(d) 所示。 A 处的约束力为销钉 A 对杆 AC 的反作用力。

(4) 取销钉 A 为研究对象，受力如例图 1-3(e) 所示。其中， X_{B1} 和 Y_{B1} 为杆 AB 对销钉 A 的作用力； X_A 和 Y_A 为杆 AC 对销钉的作用力。对应地，杆 AB （不带销钉 A ）的受力如例图 1-3(f) 所示。

四、习题解答

题 1-1 画出题图 1-1 中各个物体的受力图(图中未画重力的物体均不计自重)。



题图 1-1

解 (1) 取杆 AB 为研究对象, 受力如题图 1-1'(a) 所示。其中, B 处受绳索约束, 而 A 处为固定铰链约束。

(2) 取杆 BC 为研究对象, 受力如题图 1-1'(b) 所示。均为绳索约束。

(3) 分别选取轮 A 和轮 B 为研究对象, 受力如题图 1-1'(c) 所示。均受绳索约束。

(4) 取杆 AB 为研究对象, 受力如题图 1-1'(d) 所示。三接触点均为光滑面约束, 注意约束反力必须沿公法线方向。

(5) 取杆 AB 为研究对象, 受力如题图 1-1'(e) 所示。

(6) 取系统为研究对象, 受力如题图 1-1'(f) 所示。其中, A 为固定铰链约束; B 为活动铰链约束。

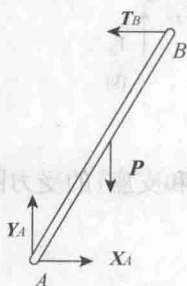
(7) 取杆 AB 为研究对象, 受力如题图 1-1'(g) 所示。其中, 杆 CD 为二力杆; A 为固定铰链约束。

(8) 分别取杆 AC 和杆 BC 为研究对象, 受力如题图 1-1'(h) 所示。其中, 杆 BC 为二力杆; A 为固定铰链约束; C 为光滑铰链连接。

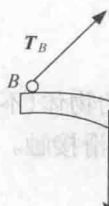
(9) 分别取杆 AC 和杆 BC 为研究对象, 受力如题图 1-1'(i) 所示。其中, 杆 CD 为二力杆; A 为固定铰链约束。

(10) 分别取杆 CD 和杆 AB 为研究对象, 受力如题图 1-1'(j) 所示。其中, 杆 CD 为二力杆; A 为固定铰链支座。

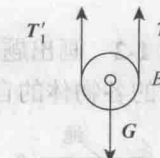
(11) 取杆 AB 为研究对象, 受力如题图 1-1'(k) 所示。其中, A 为止推轴承, 相当于固定铰链约束; B 为向心轴承。



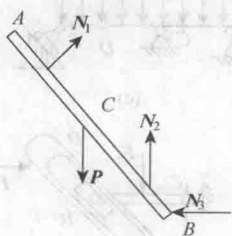
(a)



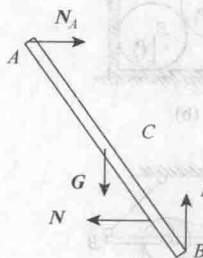
(b)



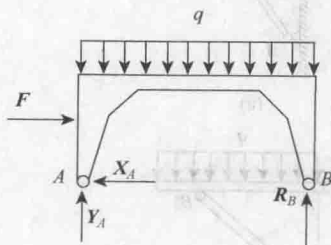
(c)



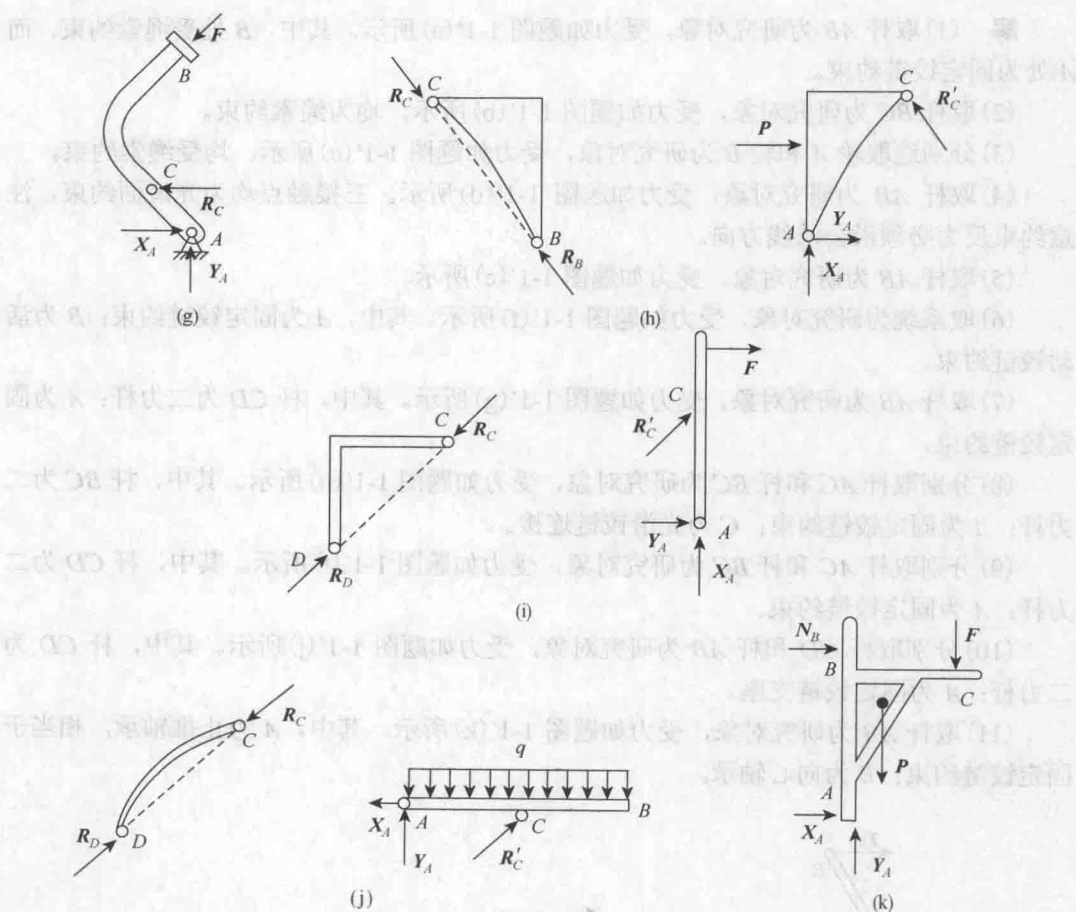
(d)



(e)

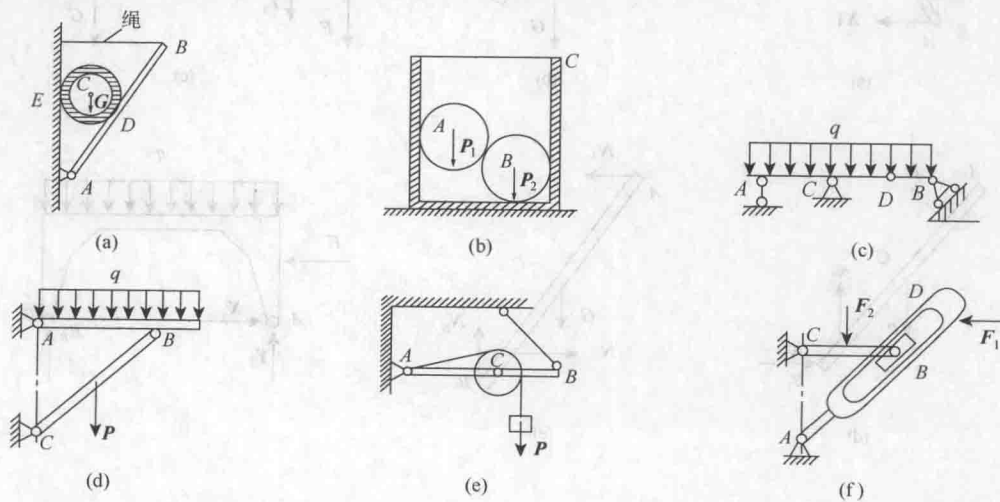


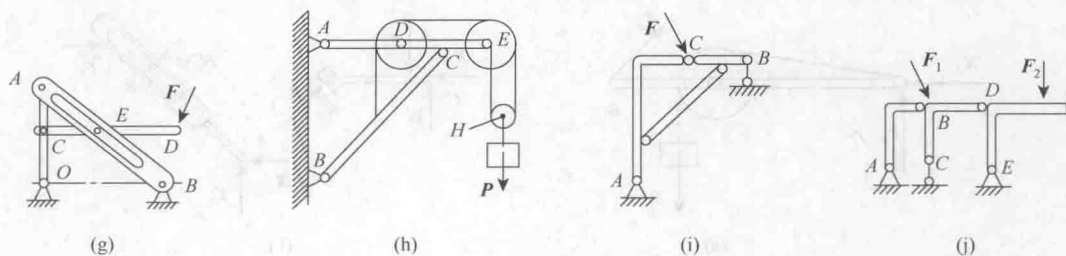
(f)



题图 1-1'

题 1-2 画出题图 1-2 各图中每个标注字符的物体(不包括销钉和支座)的受力图。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 1-2

解 (1) 分别取圆盘 C 和杆 AB 为研究对象, 受力如题图 1-2'(a) 所示。其中, E 、 D 为光滑面接触; A 为固定铰链约束。

(2) 分别取圆盘 A 和圆盘 B 为研究对象, 受力如题图 1-2'(b) 所示。其中所有约束均为光滑面接触。

(3) 分别取杆 CD 和杆 AB 为研究对象, 受力如题图 1-2'(c) 所示。其中, A 为活动铰链约束; C 为固定铰链约束; D 为中间铰链约束; B 为活动铰链支座。

(4) 分别取杆 AB 和杆 BC 为研究对象, 受力如题图 1-2'(d) 所示。其中, A 和 C 为固定铰链约束; B 为中间铰链约束。

(5) 取杆 AC 为研究对象, 受力如题图 1-2'(e) 所示。其中, A 为固定铰链约束; B 处为绳索约束。

(6) 分别取杆 BC 和杆 AB 为研究对象, 受力如题图 1-2'(f) 所示。其中, A 和 C 为固定铰链约束; 点 B 为光滑面约束。

(7) 分别取杆 OA 、杆 CD 和杆 AB 为研究对象, 受力如题图 1-2'(g) 所示。其中, O 、 B 为固定铰链约束; A 、 C 为中间铰链约束; E 为光滑面约束。

(8) 分别取杆 BC 和杆 AE 为研究对象, 受力如题图 1-2'(h) 所示。其中, A 、 B 为固定铰链约束; C 为中间铰链约束; D 为柔索约束。

