

成人教育自学丛书

亮
郑新贤
朱生祥

主编

理论力学 解题指南

河海大学出版社

理论力学解题指南

张 亮 郑新贤 朱生祥 金慰霞 袁 萍 合编

张 亮 郑新贤 朱生祥 主编

河海大学出版社

责任编辑 王国仪
理论力学解题指南

张 亮 郑新贤 朱生祥 主编

河海大学出版社 出版
江苏省新华书店 经销
南京三角洲电子科技有限公司照排
陆军指挥学院印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 13.5 字数 366 千字

1991 年 10 月第 1 版 1991 年 10 月第 1 次印刷

印数 0001~5000 册

ISBN7-5630-0217-0/G45

定价 5.90 元

内 容 提 要

本书系参照国家教委于1987年审定的中等专业学校工科力学课程教学大纲与1990年审定的高等专科学校理论力学课程教学基本要求而编写的。可作为工科各类中等专业学校及高等专科学校教学参考之用，亦可作为函授、广播及各类成人高等学校理论力学课程的自学指导书。

前 言

本书是参照 1987 年国家教委审定的中等专业学校力学课程教学大纲与 1990 年国家教委颁发的高等专科学校理论力学课程教学基本要求而编写的。

编辑此书的目的是向中等专业学校、高等专科学校及各类成人高校的学生提供参考资料,引导学生明确理论力学教程中各部分的学习与解题要求,帮助理解教材的基本内容,开拓思路以及提高分析与解决实际问题的能力。

因此,本书不仅可以作为理论力学课程的教学参考书,也可兼作函授、广播及各类成人教育中理论力学课程教学的自学指导书。

参加本书编写的有张亮、郑新贤、朱生祥、金慰霞、袁萍等同志。最后由 9318 厂张亮、沙洲工学院郑新贤与南京机专朱生祥定稿。

限于水平,本书的缺点与错误在所难免,衷心希望读者批评指正。

编 者

1991 年 5 月

目 录

第一篇 静 力 学

第一章	静力学基础·····	(1)
第二章	平面汇交力系·····	(16)
第三章	力矩与平面力偶系·····	(40)
第四章	平面任意力系·····	(56)
第五章	摩擦·····	(98)
第六章	空间力系·····	(132)
第七章	重心·····	(164)

第二篇 运 动 学

第八章	点的运动·····	(173)
✓第九章	刚体的基本运动·····	(203)
第十章	点的合成运动·····	(224)
✓第十一章	刚体的平面运动·····	(258)

第三篇 动 力 学

第十二章	质点动力学基本方程·····	(292)
✓第十三章	刚体绕定轴转动的动力学基本方程·····	(322)
第十四章	动能定理·····	(348)
第十五章	动静法·····	(373)
第十六章	振动基础·····	(406)
附 录	自测作业答案·····	(421)

第一篇 静力学

本篇的基本要求为：

1. 建立能从简单工程实际问题中找出理论力学问题，并抽象为理论力学模型的初步能力。
2. 能根据问题的条件及要求，从简单物系中恰当地选取研究对象（取分离体）并能熟练正确地画出这些分离体的受力图。
3. 对力、力偶的性质及其作用效应有正确的理解，能熟练地计算力的投影与力矩，熟练地运用平面力系的平衡条件求解物体的平面平衡问题（包括摩擦）。
4. 熟练掌握轮轴类零件平衡问题的平面解法。

静力学是本课程的重要内容，是后继课程的基础。在静力学中平面力系是重点，空间力系是难点，而对分离体画受力图则是学好本课程的关键。

第一章 静力学基础

一、内容提要

1. 本章主要概念是力、刚体、平衡与约束

(1) 力

力是物体间相互的机械作用，它对物体的外效应是使物体的

机械运动状态发生变化。

对力的概念应当注意：

a. 力是矢量，力的作用效应是由力的大小、方向与作用位置，简称为力的三要素来决定的。

力的运算是一种几何量的运算。

b. 力是物体间的相互作用，因此特别要分清受力物体与施力物体。力的相互作用概念在作用与反作用公理中进一步得到阐明。

c. 力对物体的作用效应有两种，外效应是使物体的机械运动发生变化，内效应则是使物体产生变形。

(2) 刚体

在对物体平衡问题的研究中，物体变形所产生的影响极小，可忽略不计。这种认为在受力状态下不变形的物体就是真实物体的力学模型，称之为刚体。

(3) 平衡

平衡是机械运动的一种特殊状态，即当物体相对于地球作匀速直线运动或处于静止，则称物体处于平衡状态。在此状态下物体所受各力的作用效应应当相互抵消，对物体的机械运动不产生任何影响，此即所谓之物体的平衡条件。

(4) 约束与约束力

宇宙间一切物体总是以一定的形式与其它物体相联系的。当物体的机械运动受到相联系（或联接）的物体阻碍与限制时，这种限制就称为约束。约束改变了物体本来可能产生的某种运动，根据力的概念，约束物体一定有力施于被约束物体，这种力就称为约束力。

另外考虑到这种力总是在物体有运动趋势后被动地反作用于物体，故称之为约束反作用力。简称为约束反力。

综上所述，约束反力的三要素为：

方向，应当与物体被限制的运动趋势方向相反；

作用位置，就在物体与约束的接触或联接处。

大小，可根据物体的平衡条件求出。

在静力学中，约束主要是指几何条件的限制。一般可分为：

a. 柔性约束

绳索、皮带、链条对被系物体形成定距离的限制。因此它对物体只有沿绳索方向的拉力。

b. 光滑面约束

约束对物体形成面的限制，它允许物体沿约束面滑动而限制物体朝向约束面的运动，故代表这种约束作用的约束反力作用于接触点，并沿物体与约束面的公法线方向。

c. 铰链约束

约束对物体形成定点的限制。它限定了物体某点的位置，而允许物体上其它点运动，即允许物体绕该点的转动。一般，在未能判定物体的运动趋向时，对约束反力，只能确定它通过定点而不能确定其方向，习惯上用一组正交分力来代替这种力，其指向可任意假定。若在某些特定条件下，如对两力构件，按平衡法则，铰链约束力就应在两力的作用点连线上。对活动铰链，铰链约束力就应与支承面相垂直。

2. 本章主要理论是静力学公理

静力学公理是本篇的理论基础，也是力的概念的延伸。

a. 力的平行四边形法则说明了力的矢量运算法则；

b. 两力平衡公理是最基本的力系平衡条件；

c. 加减平衡力系公理是力系等效代换与简化的理论基础；

d. 作用与反作用公理则进一步阐明了力是物体间相互的机械作用，揭示了力的存在形式与力在物系中的传递方式。

对物系而言，物系内部各物体之间相互作用的作用与反作用力，称为内力。与之对应，就将物系外物体对物系的作用力称为

外力。当然，随着所取对象的不同，内外力是可以互相转化的。从物系来看，内力总是以成对的、大小相等的、方向相反且在同一直线的形式出现，故物系的内力总是一组平衡力系。根据公理，物系的内力在讨论物系的平衡问题中，应不予考虑。

全部静力学就是在这些公理的基础上，经推理、演绎而建立起来的。

3. 本章必须掌握的技能是画受力图

画受力图是学好静力学乃至动力学的关键。

除去研究对象上的约束，添上代表约束作用的约束反力，称为约束解除原理。解除约束之后的自由物体称为分离体。在分离体上画上它所受的全部主动力与约束反力，就称为该物体的受力图。它将作为分析该对象力学问题的一项首要依据。

二、解题指导

画受力图，看去简单，实为静力学中难点与重点，它是分析力学问题所必不可少的首要步骤，将来在此图基础上进行思考、分析与计算，因此它是解决静力学问题的关键所在。此处稍一不慎，立即会导致全题皆错的结局。初学必须通过大量练习，才能达到熟练掌握的目的。

1. 画受力图步骤

(1) 按题目要求，选择研究对象，画出分离体图。它可以是单一物体，也可以是几个物体所组成的物系；

(2) 在分离体图上画出该物体所受到的全部主动力；

(3) 在解除约束的位置，根据约束的不同类型，画上代表约束作用的、可能存在的约束反作用力。

2. 画受力图的注意事项

(1) 只画分离体所受到的力，不画它施于其它物体的力；

(2) 在解除约束处,按约束类型画上可能存在的约束反力。这些力可简单记为:“绳受拉,面受压,铰链分成两力画”。画后再绕分离体检查一周。

(3) 对物系只画外力,不画内力;

(4) 检查所画每一力的来源,根据力是物体间的相互机械作用概念,每一力都应明确指出是周围那一个物体所给予的。切勿揣摩分离体的运动趋势而主观臆想地增添一些力。同时,也要检查所取对象与其它物体的联系,不要遗漏任何一个其它物体可能给予的主动力与约束反力。

三、例题分析

本节例题中,凡不标注重力者,不考虑重量,接触点、面及铰链一律不考虑摩擦。

例1 房顶 A 处用绳悬挂一球 G_1 及重锤 G_2 (图 1-1a),试画出重锤、球及球与重锤的受力图。

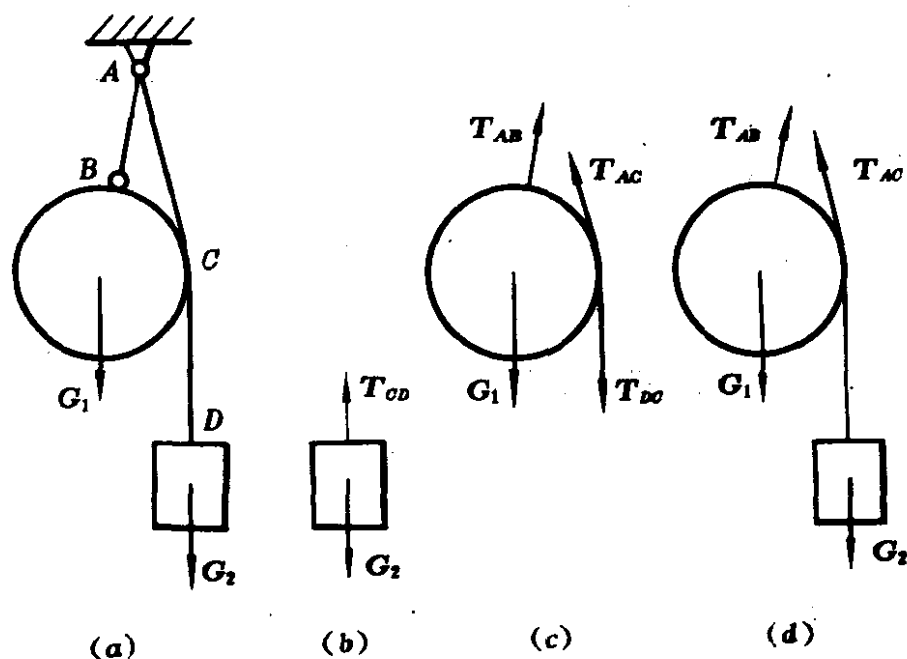


图 1-1

解：

受力图如图 1-1 (b)、(c)、(d) 所示。图中除主动力 G_1 、 G_2 外，切断绳索 AB ，在切断处画出沿 AB 绳索方向的拉力。与球相切的 ACD 绳，在 C 处一个微段与球一起取为分离体，绳与球之接触压力就成为内力而不予表示，故只画出 C 段绳子两端被割断处沿 C 点切线 AC 及 CD 方向所受之拉力。

例 2 有一差动滑轮组 (图 1-2a)。试画出定滑轮 A 、重物 G 、动滑轮 B 、动滑轮 C 、动滑轮架 BC 及动滑轮组 (包括滑轮及重物) BC 的受力图。

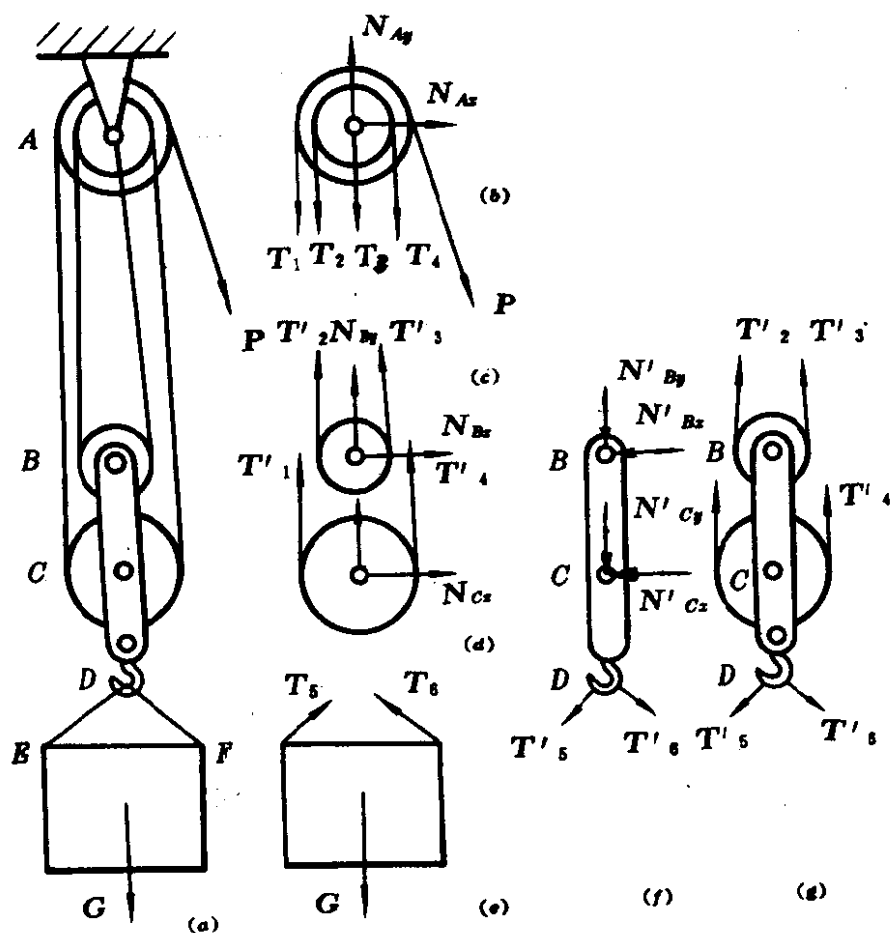


图 1-2

解：

受力图如图 1-2 (b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g) 所示。将各处绳索剪断，在剪断处全部沿绳索方向对所取分离体画拉力。 A 为

固定铰， B 、 C 为中间铰，其约束反力皆为过铰心而方向为未知的力，为便于计算，即以它的两个正交分力代之。这些正交分约束力的指向可任意假设，真实指向则可通过计算求得，若答案为正值，说明假设正确，若为负，则反之。在图 (c)、(d) 中之 B 、 C 铰上的正交反力与 (f) 图的 B 、 C 铰上正交反力为作用与反作用关系，指向虽可任意假设，但两者必须反向。当将 B 、 C 轮与支架一起取为分离体时，如图 (g)，这些就转化为内力而消失。

例 3 用撬棒撬板及圆桶，如图 1-3 (a) 所示。试画出撬棒、板、桶的受力图。

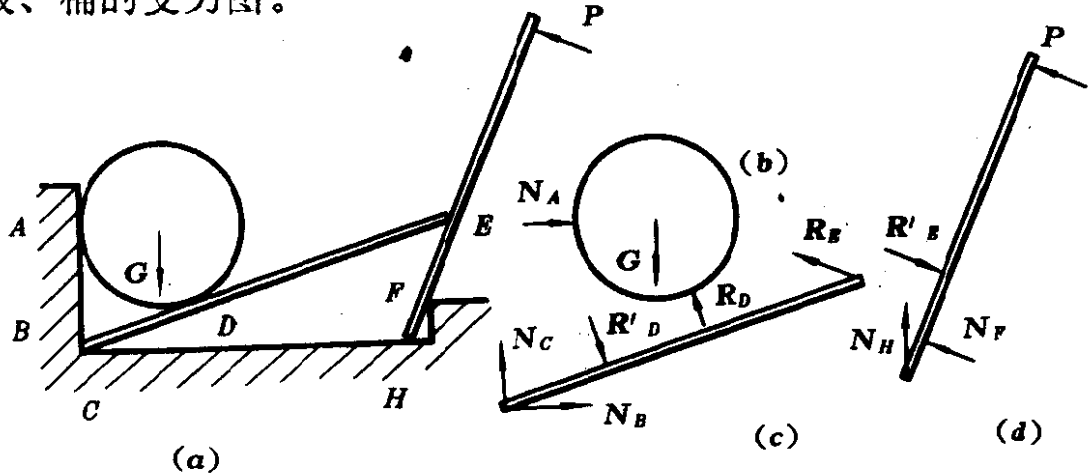


图 1-3

解：桶、板、撬棒等受力图如图 1-3 (b)、(c)、(d) 所示。此题约束全为光滑面约束，在各接触处均画沿接触面公法线，朝向分离体的法向压力。

例 4 有一曲梁，一端为固定铰链支座，另一端为垂直约束面的活动铰链支座。试画出在已知力 P 作用下，曲梁的受力图。

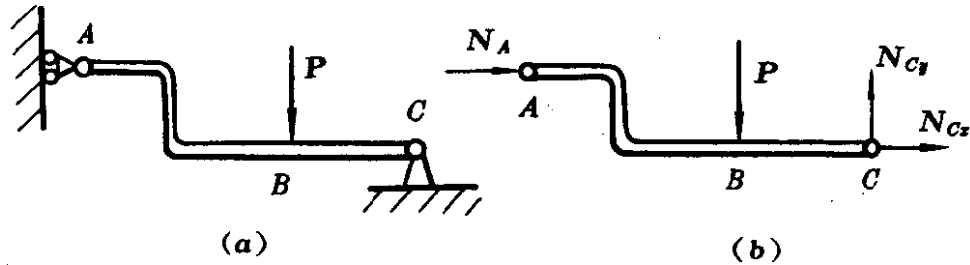


图 1-4

解：

A 端为活动铰链支座，其约束力 N_A 应与约束面垂直而水平向右。 C 为固定铰链支座，其约束反力为通过铰心 C 的一组正交分力。此两正交力的指向可任意设定。

例 5 图 1-5 (a) 示为一电车接触杆简图。若已知弹簧拉力为 F ，试画出曲杆 ABC 、滚轮 C 及曲杆滚轮联合体的受力图。

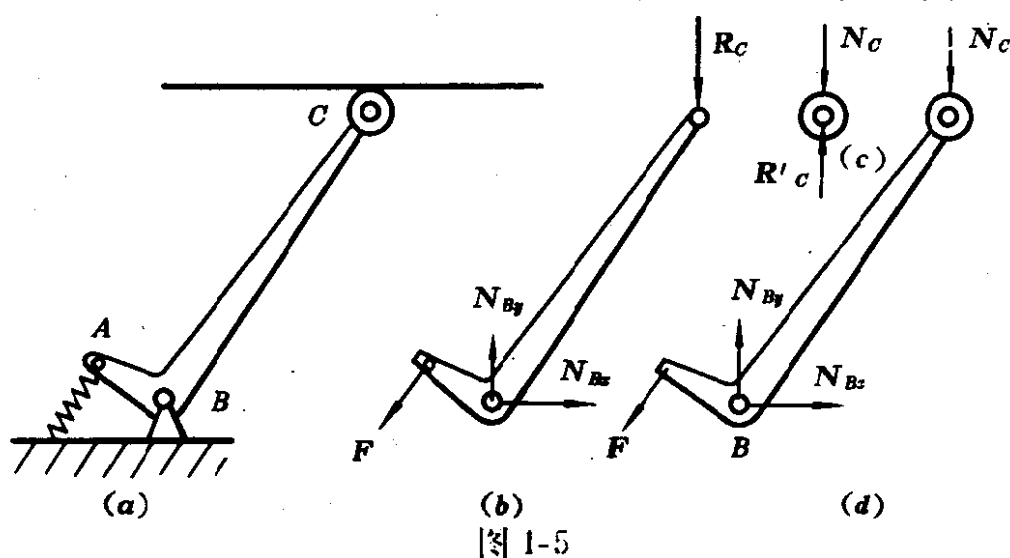


图 1-5

B 为固定铰，在解除约束之后，画上一组正交的约束反力 N_{Bx} 与 N_{By} 。

滚轮部分既可看成是活动铰链支座，也可视为两力杆件，其约束力总应经过接触点而通过圆心。

例 6 试画出图 1-6 (a) 所示结构中，导轮 B 、横梁 ABC 及横梁、导轮、重物三者联合体之受力图。

解：

所求各受力图分别如图 1-6 (b)、(c)、(d)、(e) 等所示。其中图 (c) 中 DC 杆为两力杆，由两力平衡公理知， DC 两端铰链之约束力 S_c 与 S_d 必在同一直线上，故只能在 DC 连线上。指向可由两力杆受拉或受压来判定。若受拉，两力离杆，如受压，则两力朝向杆件。

至于杆件拉压的判断，可用切断法，即假想将 DC 杆切断，若

DC 距离增加, 则杆受拉。反之, 则杆受压。

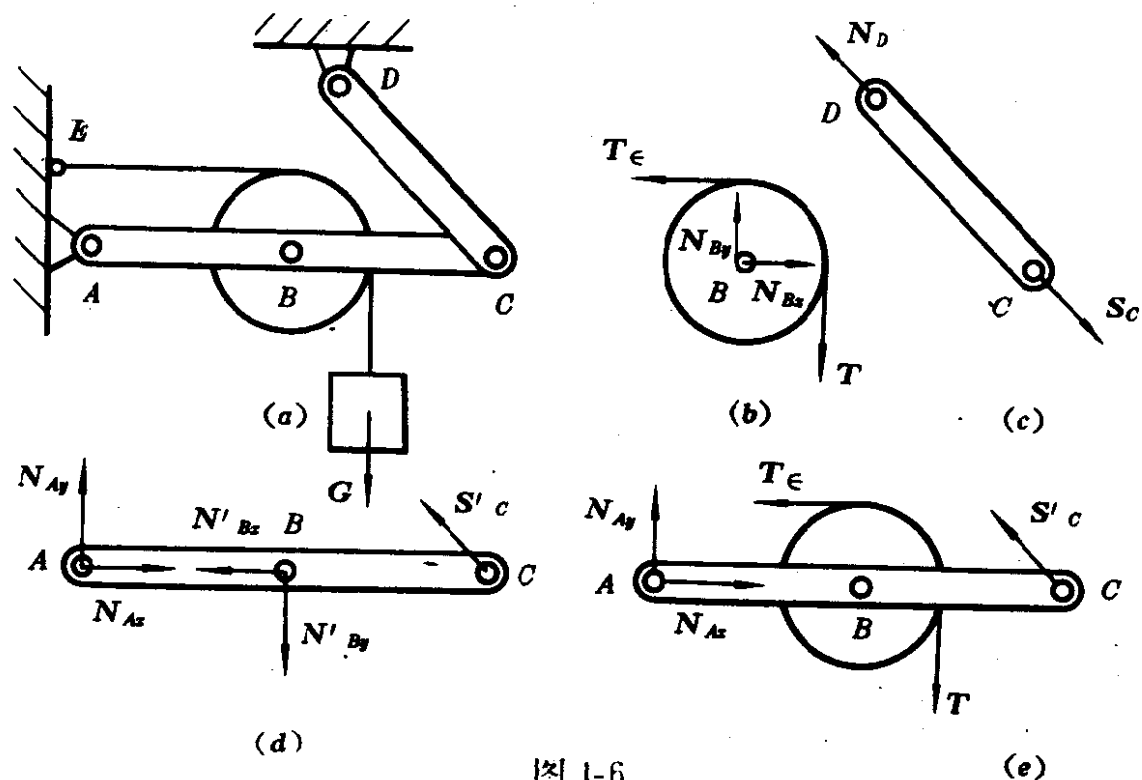


图 1-6

例 7 在图 1-7 (a) 所示组合梁 ACF 上, 力 P_1 、 P_2 与 P_3 分别作用于 B 、 C 、 E 各点。其中力 P_2 正好作用于中间铰 C 上。试画出 AC 、 CF 及 ACF 梁的受力图。

解

本题 C 处有作用力 P_2 , 一般都假定作用力作用于 C 铰的销子上, 在拆开时, 有下列三种情况:

(1) 销钉在 AC 梁上

画图时 P_2 力归于 AC , 因考虑到 AC

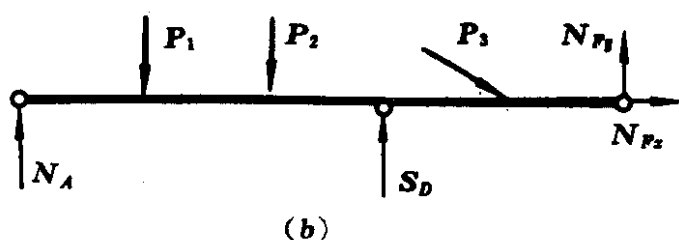
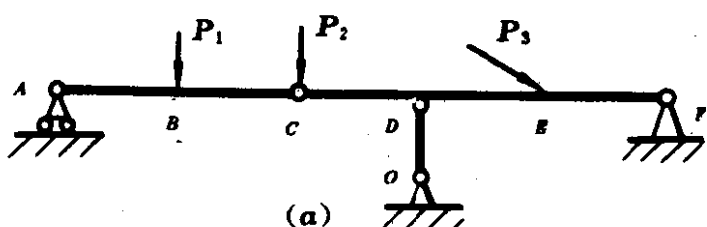


图 1-7

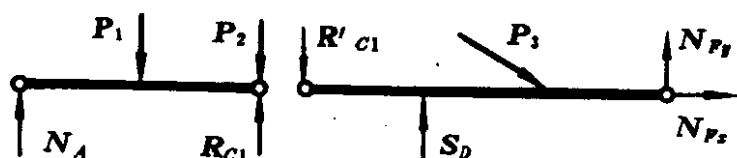


图 1-8

梁上所有力皆为铅垂方向，故中间铰 C 之约束反力也只画铅垂力。可以仍画一对正交力，但若经计算，水平约束力的大小也一定为零。其受力图如图 1-8 所示。

(2) 销钉在 CF 梁

上

其受力图如图 1-

9 所示。

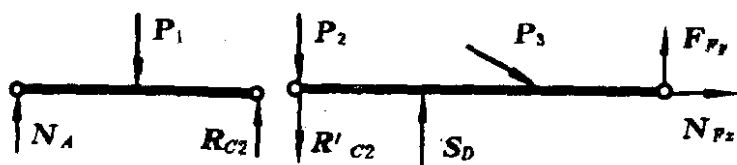


图 1-9

(3) 销钉单独拆开

其受力图如图 1-10 所示。

拆法不同， C 铰约束力可能不一样，但不论采取何种拆法，在组合梁 ACF 上 C 铰约束力成为内

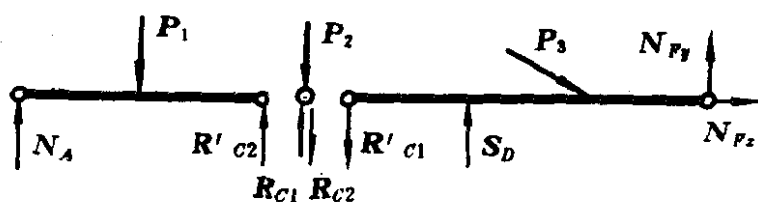


图 1-10

力，故组合梁 ACF 的受力图都如图 1-7 (b) 所示。

例 8 梁 ABC ，一端与墙用固定铰链相连，另一端装有滑轮

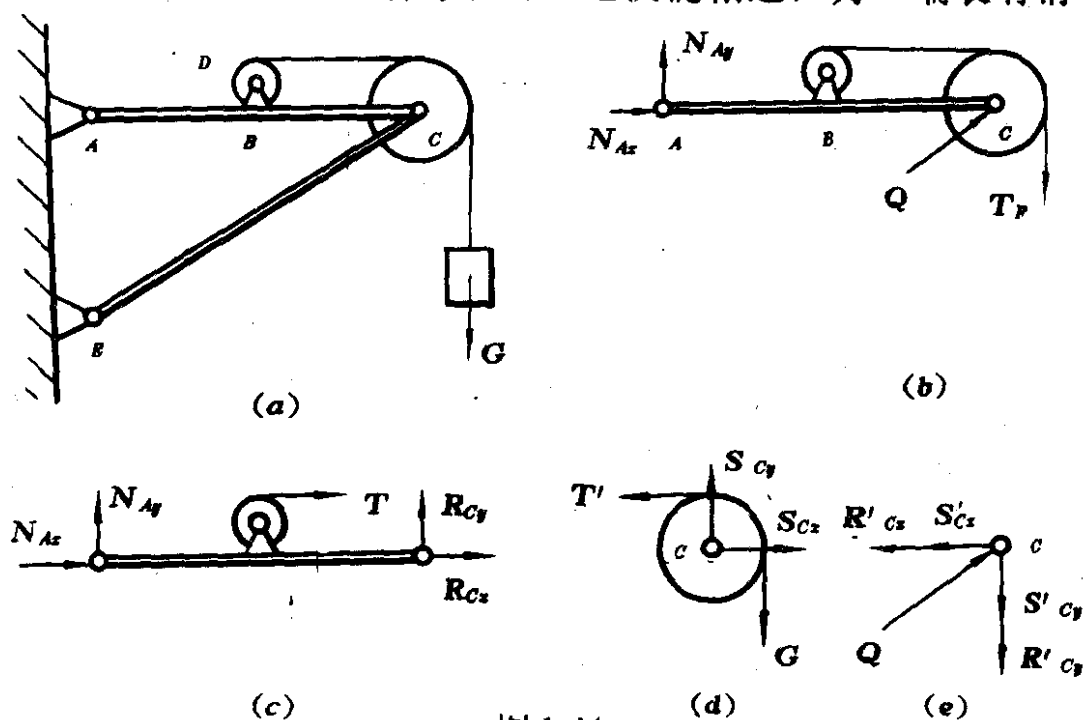


图 1-11

并用杆 EC 支撑, 梁上 B 处固定一电动卷筒 D , 钢索经定滑轮 C 吊起重物 G 。如图 1-11 所示。试画出横梁 ABC 、滑轮 C 及横梁滑轮组合体之受力图。

解:

本题与上题不同之处在于联接销上无主动力作用, 横梁 AC 、撑杆 EC 及滑轮 C 都套在销子 C 上, 故横梁 C 端、滑轮中心及两力撑杆 EC 之反作用力全部作用于销子 C 上, 见图 (e) 所示。由于 C 铰是三体联接, 横梁 C 端与滑轮 C 处所受之约束力不再是作用与反作用关系了, 故对比二者分别用力 R 及力 S 表示, 以资区别, 如图 (c), (d) 所示。

例 9 概念题解

1. 说明下列等式的意义和区别。(a) $F_1 = F_2$, F_1 、 F_2 两力大小、方向全等。(b) $F_1 = F_2$, F_1 、 F_2 两力仅大小相等。(c) $R = F_1 + F_2$ R 为 F_1 、 F_2 两力之合力。(d) $R = F_1 + F_2$ 无普遍性的确切含义, 仅指 R 力之大小为 F_1 与 F_2 两力大小之算术和。

2. 能不能在不计自重的曲柄 AB 上的 A 、 B 点各施一力, 使它处于平衡状态?

能够。按两力平衡公理, 可在沿 A 、 B 连线的方向上任施两个大小相等、方向相反的拉力或压力 (图 1-12)

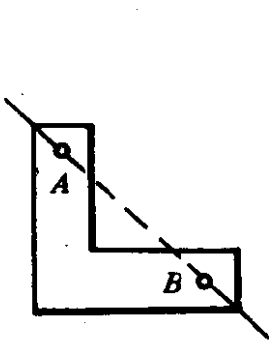


图 1-12

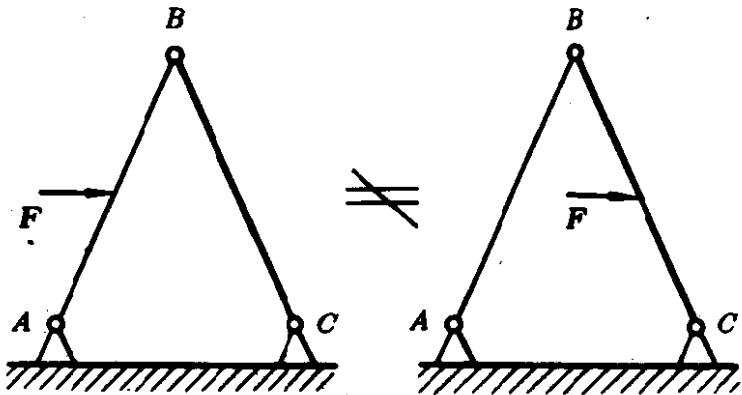


图 1-13

3. 作用于三角架 AB 中点的力 F (图 1-13), 能否沿其作用线