



高等院校力学学习辅导丛书
Exercise Series in Mechanics for Higher Education

工程力学精要 与典型例题讲解

(静力学·材料力学)

Learning Guide to Engineering Mechanics

蔡乾煌

Cai Qianhuang

编

庄茁

Zhuang Zhuo



清华大学出版社

 Springer



高等院校力学学习辅导丛书
Exercise Series in Mechanics for Higher Education

工程力学精要 与典型例题讲解

(静力学·材料力学)

Learning Guide to Engineering Mechanics

蔡乾煌

Cai Qianhuang

编

庄茁

Zhuang Zhuo



清华大学出版社

 Springer

内 容 简 介

本书为《工程力学》(静力学·材料力学)教学辅导书。根据高等院校该课程现行教学要求,参考目前我国选用面较广的几种工程力学和材料力学教材,以基本要求为主并辅以少量提高要求编写而成。

全书共分12章,每章设有“基本理论与方法”、“典型例题讲解”、“自练习题选编”和“自测试题选编”4个部分。典型例题的选题充分注意体现基本理论与方法、题型的代表性与涵盖面以及答疑与解惑的针对性。自测试题均附有关键提示与答案。本书共选编例题129题,习题160题,试题269题(是非题、选择题、填空题共150题,计算题共119题)。

本书可作为高等院校工科各专业工程力学课程的课外复习与自学指导书。本科生,参加函授、远程教育和高等教育自学考试的学生,均可通过本书相应内容得到帮助。本书也可作为相关教师和科技工作者的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

工程力学精要与典型例题讲解/蔡乾煌,庄茁编.—北京:清华大学出版社,2005.10

(高等院校力学学习辅导丛书)

ISBN 7-302-11407-2

I. 工… II. ①蔡… ②庄… III. 工程力学—高等学校—教学参考资料 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 080929 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

责任编辑: 陈朝晖

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市金元装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 175×245 印张: 23.75 字数: 493 千字

版 次: 2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11407-2/TB·94

印 数: 1~5000

定 价: 29.00 元

编者说明

各国在“工程力学”名下所界定的学科内容会有一定差别。根据我国工科院校“工程力学”课程教学大纲,目前我国所开设的“工程力学”课程及同名教科书大多为“静力学”加上“材料力学”(中、少学时)。本书作为该课程的课外自学辅导书,也按此学科框架设定相关章节。

随着高新科学技术的迅速发展,新学科新课程的不断增设,教育形式呈现多层次、多样化态势。为留给学生更多自主钻研的时间、提高学习主动性,不少原来设置“理论力学”和“材料力学”(多学时)的专业也都改为设置“工程力学”。目前,“工程力学”仍是一门大多数大专院校工程专业学生必须按教学计划要求获得学分的技术基础课。为了更好地帮助和指导学生学习利用有限时间高效扎实地达到本课程的规定要求,能通过自我钻研达到较为满意的复习与备考效果,我们编写了这本指导书,现作如下说明:

1. 本指导书参考我国当前采用面较广、专业涵盖面较宽的几种工程力学和材料力学教科书,突出技术基础课的特点,使其具有简明性与较强的通用性。为开拓思路、提高兴趣,本书在突出基本要求的同时也选编少量提高要求(标以*号)。在校各工程专业的本科生与大专生,高等教育自学考试与远程教育学生,青年教师及有关工程技术人员均可从本书获得辅导与助益。

2. 本指导书对学生在课堂上、自学中、解算习题时常常遇到的疑点、要点与难点问题有针对性地进行指导与答疑,帮助学生提高学习效率:在较短时间内正确深入地理解基本概念,掌握本课程基本理论与基本方法,提高分析与解答各类典型问题的能力。全书除“总论”外各章都设有以下4个部分:

(1) 基本理论与方法 简要叙述与解题及练习有关的重要概念、基本理论与解

题方法,并附有“基本要求与重点”,其中少量有*号者为难题或提高要求。

(2) 典型例题讲解 紧扣上述基本要求,选解各类有代表性的应用题,并对容易出现错误概念与解法有针对性地进行简要讨论。本书所选的典型例题针对性强,涵盖面广。

(3) 自练习题选编 与(2)相对应,精选有代表性的各类习题供读者自练习与自我检查(各题均附有答案),以期用较少时间达到较全面的训练。

(4) 自测试题选编 挑选的试题以基本要求题为主,少数属提高要求的试题、难题以*号标出;自测试题以应用题为主并配有是非题、选择题和填空题;按章选编;大多数试题附有关键提示;每题另附答案(希望不要边解题边看关键提示与答案)。

3. 根据当前大多数工程专业课堂教学的实际执行情况,本书的静力学部分暂不编入“摩擦”一章。个别专业如有要求请参看有关“工程力学”课程。

4. 本书由蔡乾煌教授主编,庄苗教授参编。

书中难免有疏漏之处,恳望广大读者提出批评和建议,作者深表谢忱。

编 者
于清华园

目 录

编者说明	I
第 I 篇 静力学	1
总论	1
第 1 章 静力学的基本概念和受力图	3
1.1 基本理论与方法	3
1.2 典型例题讲解	8
1.3 自练习题选编	14
1.4 自测试题选编	17
第 2 章 平面力系的简化与平衡问题	20
2.1 基本理论与方法	20
2.2 典型例题讲解	27
2.3 自练习题选编	55
2.4 自测试题选编	60
第 3 章 空间力系的简化与平衡问题	69
3.1 基本理论与方法	69
3.2 典型例题讲解	77
3.3 自练习题选编	87

3.4 自测试题选编	92
第Ⅱ篇 材料力学	99
总论	99
第4章 拉伸与压缩	107
4.1 基本理论与方法	107
4.2 典型例题讲解	117
4.3 自练习题选编	133
4.4 自测试题选编	136
第5章 扭转与剪切	141
5.1 基本理论与方法	141
5.2 典型例题讲解	149
5.3 自练习题选编	163
5.4 自测试题选编	166
第6章 弯曲内力与强度问题	173
6.1 基本理论与方法	173
6.2 典型例题讲解	185
6.3 自练习题选编	210
6.4 自测试题选编	214
第7章 弯曲变形与静不定问题	221
7.1 基本理论与方法	221
7.2 典型例题讲解	229
7.3 自练习题选编	246
7.4 自测试题选编	250
第8章 应力、应变分析	256
8.1 基本理论与方法	256
8.2 典型例题讲解	263
8.3 自练习题选编	274
8.4 自测试题选编	276

第 9 章 强度理论	280
9.1 基本理论与方法	280
9.2 典型例题讲解	284
9.3 自练习题选编	290
9.4 自测试题选编	292
第 10 章 组合变形	296
10.1 基本理论与方法	296
10.2 典型例题讲解	300
10.3 自练习题选编	309
10.4 自测试题选编	312
第 11 章 压杆稳定	317
11.1 基本理论与方法	317
11.2 典型例题讲解	324
11.3 自练习题选编	336
11.4 自测试题选编	339
第 12 章 疲劳与冲击	344
12.1 基本理论与方法	344
12.2 典型例题讲解	351
12.3 自练习题选编	354
12.4 自测试题选编	355
附录 A 自测试题答案	359
参考文献	372

第 I 篇

静 力 学

总 论

1. 力作用的机械效应

外效应 导致物体占有空间位置的相对变化,即产生运动。理论力学(包括静力学、运动学和动力学)将它作为自己的研究任务。

内效应 导致物体内部各材料微单元间相对位置的变化,即产生变形。变形固体力学(包括材料力学、弹性力学等)将它作为自己的研究任务。

2. 物体的平衡状态

参照体(参照坐标系) 物体在力作用下运动是绝对的。描写运动必须选取**参照体**,建立**参照坐标系**。

平衡状态 物体相对指定的参照体(如地球的表面)保持静止或作等速直线运动,这时物体处于一种特殊的运动状态,即**平衡状态**,保证物体处于此状态的受力条件称**平衡条件**。

3. 刚体与变形体

变形体 物体在外力作用下或多或少要发生形状与尺寸的变化,故称**变形体**。但固体,特别是工程上的构件受力后的变形一般都很微小,尺寸变化往往只有构件本身原有尺寸的千分或万分之几,它对外力的作用点与作用方向的影响可略去不计,此变形称**小变形**。

刚体 在力的作用下不发生变形的物体称为**刚体**。静力学将它作为物体的抽象化模型,故也称**刚体静力学**。

刚化原理 材料力学虽然是研究变形体的内部效应,但对构件所受外力进行分

析时,可在小变形条件下将变形体视为刚体,这时仍可利用刚体静力学的平衡条件。此为刚化原理。本书前 3 章提到的物体、构件、杆件均视为刚体。

4. 杆件

工程上相当一部分构件可简化为杆件。杆件的几何特征是轴向(或纵向)尺寸比横向(截面)尺寸大得多,如图 I -1 中的直杆和曲杆。常见的杆件有杆、轴、梁、柱等。

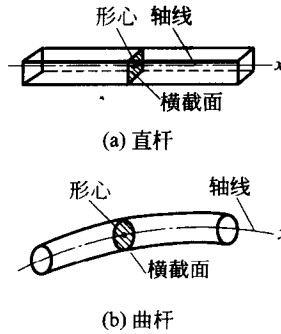


图 I -1

第 1 章

静力学的基本概念和受力图

1.1 基本理论与方法

1. 力

1) 力的概念

力是物体间相互的机械作用,作用效应是使物体产生运动与变形。

力可分为接触作用力(如摩擦力、挤压力、冲击力等)和超距作用力(如重力、电磁力等)两类。

2) 力矢量的三要素

力对物体的作用效应取决于三要素:大小、方向、作用点。力矢量(或称力向量)可用带箭头的线段表示(如图 1-1 所示)。

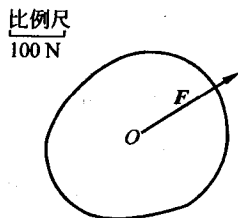


图 1-1

3) 力平行四边形法则

当两个力 F_1 、 F_2 作用于同一物体且其作用线汇交于一点时,则合力 R 通过汇交点,大小与方向可用力矢量 F_1 、 F_2

为边的平行四边形对角边或力三角形第三边表示(图 1-2(a)中的 $\overrightarrow{OC} = R$)。

矢量表达式

$$R = F_1 + F_2 \quad (1-1a)$$

逆运算之一: 已知分力的方向分别为 x 与 y 轴方向(图 1-2(b)),则分力的大小有

$$R_x = R \cos \alpha, \quad R_y = R \sin \alpha \quad (1-1b)$$

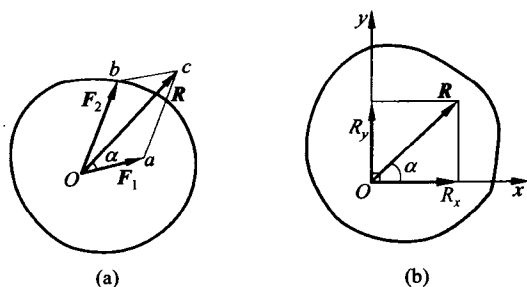


图 1-2

4) 二力平衡条件

作用于同一物体上的两个力,若使物体处于平衡状态,则此二力必须大小相等,方向相反,且作用于同一条直线上。

二力杆 在二力作用下处于平衡状态的杆件(如图 1-3 所示)。

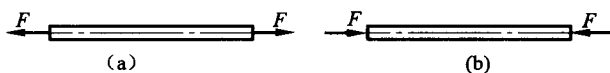


图 1-3

[推理] **三力平衡汇交定理** 若刚体在三个力作用下处于平衡状态,只要其中二力有交点,则第三力的作用线必与其他二力合力共线,且通过同一交点。

5) 加减平衡力系公理、力可传性原理

力系 作用于同一物体上的一组力。

平衡力系 使物体处于平衡状态的力系,即满足平衡条件的力系。

加减平衡力系公理 在刚体上增加或减去平衡力系,则原有作用力系对刚体的作用效应不会因此而改变。

[推理] **力可传性原理** 作用于刚体上的力可沿其作用线移动而不改变该力对刚体的作用效应。

6) 作用与反作用定律(或牛顿第三定律)

作用力和反作用力分别作用于两个相互作用的物体上,它们大小相等,方向相反,且沿同一直线作用。

2. 力矩

力对作用点之矩 力的作用可以使物体移动与转动。力的转动效应可用力对点之矩来度量。力 F 对点 O 之矩记为 $m_O(F)$,它是一个矢量(图 1-4),三要素为:

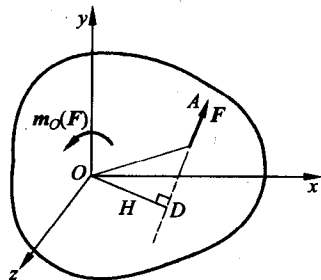


图 1-4

(1) 作用面 力作用线与力矩中心 O 构成的平面,图中为 $x-y$ 平面,或用通过 O 点垂直于 $x-y$ 平面的法线(z 轴)方向表示。

(2) 大小 记为标量 $m_o(F) = \pm FH$, F 为力 F 的大小, H 为力臂,即矩心 O 到力作用线的垂直距离。

(3) 转向 力 F 绕矩心 O 转动的方向,逆时针为正,反之为负(图 1-4 中为正)。

3. 力偶

1) 力偶

它是只产生转动效应不产生移动效应的特殊力系:由一对大小相等、方向相反,作用线相互平行且不共线的两个力(偶力)组成的力系。它的转动效应由力偶矩度量,记为 m ,也是一个矢量。

2) 力偶矩

与力矩相似,也有三要素(图 1-5):

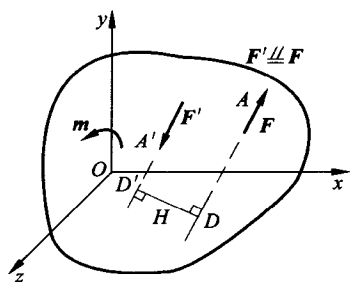


图 1-5

(1) 作用面 两平行力作用线构成的平面(图中 $x-y$ 面)

(2) 大小 记为标量 $m = \pm FH$. F 为偶力 F 的大小,力偶臂 H 为两平行力作用线间的垂直距离。区别于力矩,力偶矩大小与计算时所取力矩中心无关。

(3) 转向 两力构成的转动方向,正负号规定与力矩相同。

3) 二力偶平衡条件

力偶不能由单个力来平衡。作用于同一构件上两力偶的平衡条件是:作用于同一平面内,其力偶矩大小相等,转向相反。

4. 约束与约束力

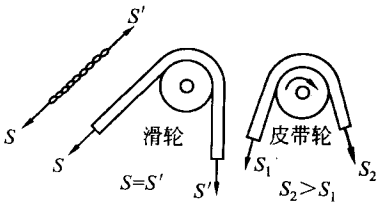
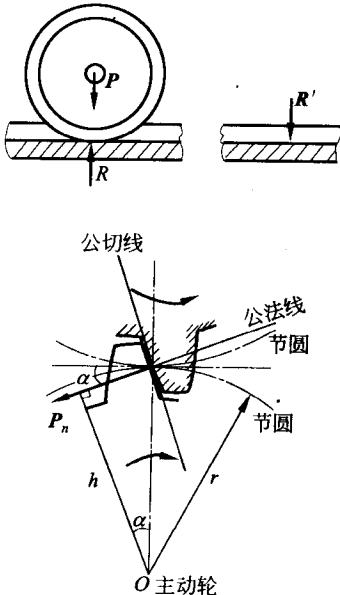
1) 约束

当结构中某构件的运动(或位移)由于相邻构件的存在而受到限制时,便把以一定规律限制该构件运动(或位移)的相邻构件称为该构件的约束。

2) 约束力

约束在给被约束构件以某种方式的运动限制的同时,必然给以作用力,此力即被约束构件所受的约束力。结构中各构件间联接方式或约束形式不同,对构件运动(或位移)限制的规律也不同,可能提供的约束力也不同。读者可按此思路正确分析与掌握表 1-1 中典型约束及其理想化的约束力。

表 1-1 典型约束及其理想化约束力

	柔索 只能产生沿柔索长度方向的约束力,只能产生拉力,不能产生压力。例:钢缆;皮带轮上的传动皮带;链轮上的链条等。
	光滑接触面约束 只能产生一个沿接触表面公法线方向的压力。例:支撑钢轮的钢轨;润滑条件下啮合齿轮的齿面;连杆-滑块结构中的滑轨(导轨)(见例 1-3(a)图)等。

续表

中间铰链 固定铰链	光滑铰链约束(中间铰及固定铰链) 只能产生一个通过铰链中心的约束力,不产生阻止相互转动的约束力偶。(图中 R_{AB} 与 R'_{AB}、R_{AC} 与 R'_{AC} 分别互为作用力与反作用力)例: 销轴、销钉、铰链、轴承等。 固定铰链即具有固定支座的光滑铰链。
	辊轴约束 只能产生一个通过铰链中心并垂直于支承面的约束力,不产生平行于支承面的约束力及阻止转动的约束力偶。 安装于梁、轴等构件的一端,辊子沿光滑支承面可以微小移动。

5. 受力分析与受力图

对工程结构中的构件进行受力分析,画出受力图是利用平衡条件求解构件所受全部外力(通常约束力为未知力)的重要环节与前提,其步骤为:

1) 根据问题的要求从结构中选取合适的构件作为研究对象,卸去结构中相邻构件对此研究对象的约束,将其从结构中分离出来,此即分离体,一般要另行画出分离体简图;

2) 在分离体图上用力矢量画上作用于该分离体的主动力(如载荷),并根据约束的性质画上施于该分离体的可能约束力。

基本要求与重点

1) 力的基本概念和基本性质: 力矢量三要素, 力的平行四边形(或三角形)法则, 力的作用与反作用定律。

2) 力系与平衡力系概念: 二力平衡条件和三力平衡汇交定理, 加减平衡力系公理和力可传性原理等力的基本规律。注意二力杆的识别与三力平衡汇交定理的应用, 力可传性原理的应用条件。

3) 力对点之矩, 力矩三要素; 力偶矢量与力偶矩, 二力偶平衡条件。

4) 约束与约束力概念, 工程上几种典型约束(柔索, 光滑接触面约束, 固定铰链, 中间铰链与辊轴等光滑铰链约束)的约束规律与约束力。

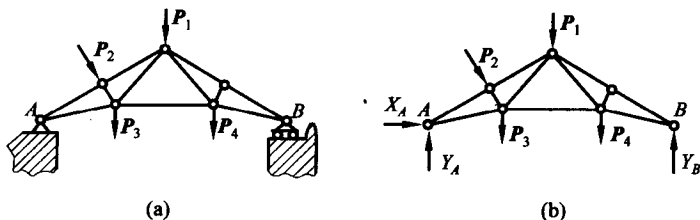
5) 对构件或简单结构(构件系统)进行受力和作受力图的正确步骤与方法。对选定研究对象画隔离体受力图时应注意:

(1) 研究对象与外界相接触构件之间存在的作用力和反作用力关系。受力图上每画出一个力必须有明确的外界施力者。

(2) 识别二力杆与三力汇交平衡构件, 以使后续的求解未知约束力问题得以简化。

1.2 典型例题讲解

例 1-1 厂房桁架结构如图(a)所示。 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 为桁架节点上所受的力(载荷)。墙柱 A 处的约束为固定铰链, B 处为辊轴。试作此桁架结构的受力图。

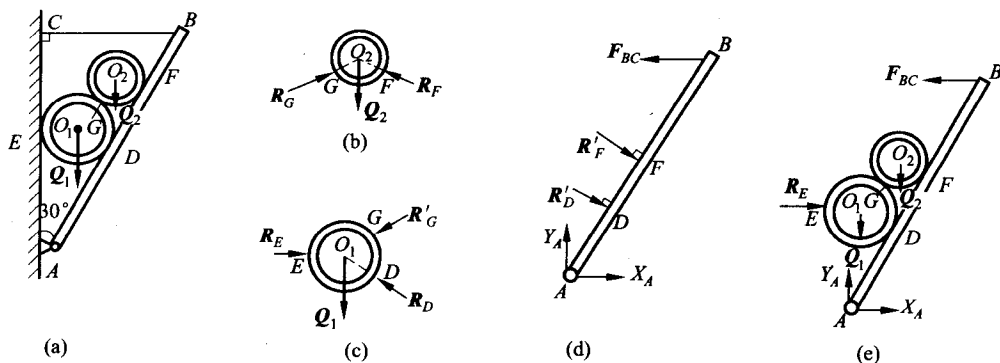


例 1-1 图

解 取桁架结构为研究对象, 如图(b)所示, 将它从固定铰链支座和辊轴支座处脱离。根据约束性质, A 处有通过铰链中心某一方向的约束力, 可用其两个分力 X_A 、 Y_A 表示; B 处有通过铰链中心并垂直于辊轴支承面的约束力 Y_B , 这样受力图就完成了。因本题只有桁架结构一个研究对象, 受力关系不会混淆, 所以也可在图(a)上直

接画上约束力作为受力图。

例 1-2 如图(a)所示,钢管 O_1 、 O_2 放置于墙壁与挡板 AB 之间, A 处为固定铰链, B 处由钢绳拴住。已知钢管重分别为 Q_1 、 Q_2 , 接触面均设为光滑接触, 试画出钢管与挡板的受力图。



例 1-2 图

解 取出钢管 O_2 如图(b), 画上重力 Q_2 , 接触点 G 处钢管 O_1 给它的约束力 R_G , F 处挡板给它的约束力 R_F 。注意到 R_G 、 R_F 为光滑接触面约束的约束力, 它们指向接触面公法线方向, 此处应通过管心 O_2 。

取出钢管 O_1 如图(c)。画上重力 Q_1 , 同理画上光滑接触面约束力 R_E (墙壁给它)、 R_D (挡板给它的)、 R'_G (钢管 O_2 给它的)。注意到 R'_G 与图(b)中 R_G 互为作用力和反作用力(大小相等、方向相反)。

取出挡板 AB 如图(d)。受力图中 R'_F 、 R'_D 分别为图(b)中 R_F 、图(c)中 R_D 的反作用力, 方向垂直 AB 板面; F_{BC} 为钢绳给它的拉力; 固定铰链 A 给它的约束力为通过铰链中心, 大小与方向待定的约束力 R_A , 通常用它的两个分力 X_A 、 Y_A 来表示。

讨论

如果需要取钢管 O_1 、 O_2 与挡板 AB 一起为研究对象, 如何画出受力图呢? 这时 R_G 与 R'_G 、 R_D 与 R'_D 、 R_F 与 R'_F 应该不应该画上去呢? 回答是, 不要画, 受力图如图(e)。因它们是研究对象内部物体间的相互作用力(大小相等、方向相反, 作用于同一直线上), 对研究对象的平衡无影响, 受力图上的外力只有 Q_1 、 Q_2 、 R_E 、 F_{BC} 、 X_A 、 Y_A 。综上分析, 画受力图应注意以下几点:

1) 研究对象要明确, 当结构中有两个以上的构件时, 要取出研究对象(隔离体)画受力图;

2) 当你在受力图上每画一个力时, 必须自问一下, 这个力是哪个相邻的物体对研究对象施加的力, 要有明确的施力者;

3) 你画的约束力符合不符合这个约束的约束性质。