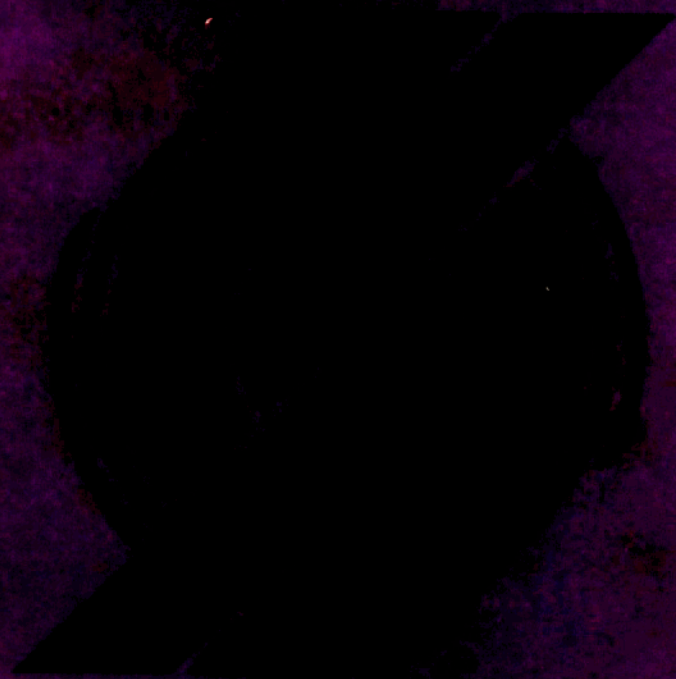


技工学校工程力学课 教学参考书



李书一 李书一 编

说 明

为了适应技工学校教学的需要，我们根据劳动人事部培训就业局一九八五年一月颁发的技工学校统编教材教学大纲，组织编写了语文、数学、物理、化学、工程力学、机械基础、机械制图、金属材料与热处理、电工学等课的教学参考书，供技工学校有关教师使用。

《工程力学教学参考书》是按工程力学教材结构体系的顺序逐章编写的。每章均以教学要求、内容提要、教材分析和教法建议、解题方法分析四部分内容进行叙述。

本书由于编写时间匆促，缺点和错误在所难免，希望使用此书的同志批评指正。

本书是技工学校有关教师的应备用书，也可作为培训青工时教师的参考书。

本书由徐克家编写。

劳动人事出版社

一九八六年三月

目 录

第一篇 理论力学

第一部分 静力学

第一章 静力学基础	(2)
I. 教学要求	(2)
II. 内容提要	(2)
III. 教材分析和教法建议	(3)
IV. 解题方法分析	(8)
第二章 平面汇交力系	(12)
I. 教学要求	(12)
II. 内容提要	(13)
III. 教材分析和教法建议	(14)
IV. 解题方法分析	(16)
第三章 力矩和力偶	(27)
I. 教学要求	(27)
II. 内容提要	(27)
III. 教材分析及教法建议	(29)
IV. 解题方法分析	(32)
第四章 平面任意力系	(39)
I. 教学要求	(39)
II. 内容提要	(39)
III. 教材分析和教法建议	(41)

IV. 解题方法分析	(49)
第五章 摩擦	(67)
I. 教学要求	(67)
II. 内容提要	(67)
III. 教材分析和教法建议	(69)
IV. 解题方法分析	(74)
第六章 空间力系基础	(83)
I. 教学要求	(83)
II. 内容提要	(83)
III. 教材分析和教法建议	(85)
IV. 解题方法分析	(87)

第二部分 刚体运动学和动力学基础

第七章 刚体的平动和定轴转动	(91)
I. 教学要求	(91)
II. 内容提要	(91)
III. 教材分析和教法建议	(92)
IV. 解题方法分析	(94)
第八章 刚体动力学基础	(100)
I. 教学要求	(100)
II. 内容提要	(100)
III. 教材分析和教法建议	(101)
IV. 解题方法分析	(108)

第二篇 材料力学

第九章 材料力学基础	(117)
I. 教学要求	(117)
II. 内容提要	(117)

Ⅲ. 教材分析和教法建议·····	(118)
第十章 拉伸与压缩·····	(121)
I. 教学要求·····	(121)
II. 内容提要·····	(121)
Ⅲ. 教材分析和教法建议·····	(124)
IV. 解题方法分析·····	(130)
第十一章 剪切与挤压·····	(143)
I. 教学要求·····	(143)
II. 内容提要·····	(143)
Ⅲ. 教材分析和教法建议·····	(144)
IV. 解题方法分析·····	(149)
第十二章 圆轴扭转·····	(156)
I. 教学要求·····	(156)
II. 内容提要·····	(156)
Ⅲ. 教材分析和教法建议·····	(159)
IV. 解题方法分析·····	(166)
第十三章 直梁弯曲·····	(175)
I. 教学要求·····	(175)
II. 内容提要·····	(176)
Ⅲ. 教材分析和教法建议·····	(178)
IV. 解题方法分析·····	(187)
第十四章 组合变形·····	(206)
I. 教学要求·····	(206)
II. 内容提要·····	(206)
Ⅲ. 教材分析和教法建议·····	(207)
IV. 解题方法分析·····	(212)
第十五章 补充知识·····	(219)

I. 教学要求	(219)
II. 内容提要	(219)
III. 教材分析和教法建议	(220)
附录 材料力学实验	(224)
I. 概述	(224)
II. 基本实验	(225)

第一篇 理论力学

第一部分 静力学

基本要求

1. 能将简单的工程实际问题抽象为静力学模型。
2. 掌握物体受力分析的方法，熟练地选取研究对象，并能正确地画出受力图。
3. 对力和力偶的性质及其作用效应有清晰的理解，并能正确地计算力的投影和力对点的矩。
4. 能正确运用平衡条件求解简单的静力学平衡问题（包括考虑摩擦时的平衡问题）。

重点内容

1. 力、刚体、平衡、约束、等效、力矩、力偶、力偶矩、滑动摩擦力。
2. 静力学公理，合力投影定理，合力矩定理（不推证），滑动摩擦定理。
3. 物体受力分析方法，平面力系的平衡条件及平衡方程，物体平衡问题（包括考虑摩擦的平衡问题）的解法。

难点内容

1. 约束和约束反力，等效力系，力偶的性质和力偶的等效条件，摩擦角及自锁的概念。
2. 最简单的物体平衡问题的分析方法，考虑摩擦时平衡问题的解法，轴的受力分析。

第一章 静力学基础

I. 教学要求

一、明确力的概念、刚体概念和平衡概念。

二、掌握力的基本性质——静力学公理及其推论。

三、熟悉常见几种基本类型约束的构造和特征，掌握约束反力的方向。

四、掌握物体受力的分析方法。

II. 内容提要

一、静力学基本概念

静力学主要研究两类基本问题：物体受力的分析方法和物体在力系作用下的平衡条件。力、刚体和平衡是静力学中的基本概念。

1. 力 力是物体之间相互的机械作用。这种作用的效果是使物体的运动状态发生变化，或者使物体变形。力的三要素是大小、方向、作用点。

2. 刚体 在力的作用下，形状和大小都不会改变的物体。它是一个抽象化的力学模型。

3. 平衡 物体相对于地面处于静止或匀速直线运动的状态。

二、静力学公理

静力学公理概括了力的基本性质，构成了静力学的理论基础。静力学四个公理和两个推论如下：

1. 力的平行四边形公理

2. 二力平衡公理

3. 作用与反作用公理

4. 加减平衡力系公理

推论 1：力的可传性原理

推论 2：三力平衡汇交定理

三、约束与约束反作用力（简称约束反力）

1. 约束 限制某物体运动的其它物体。工程中常见的约束有柔性约束、光滑面约束和铰链约束。此外，还有一种固定端约束，将在第四章中介绍。

2. 约束反力 约束对被约束物体的反作用力。约束反力的方向与约束所能限制的运动方向相反。

四、物体的受力和受力图

受力图是表示物体受力情况的计算简图。将我们所要研究的物体（即研究对象），从与它相关联的周围物体（约束）中分离出来，将它所受到的主动力和约束反力一个不漏地、准确无误地画出来，这样所得到的简图，称为研究对象的受力图。受力图显示了研究对象受力状况的全貌，它是物体进行静力计算的基础和依据。在工程中常常需要对机械零件或工程结构进行受力分析，应用平衡条件求出未知的约束反力，作为强度、刚度计算的依据。因此，不论在静力学或材料力学中，画受力图都是非常重要的问题。

III. 教材分析和教法建议

一、必须使学生正确理解力的概念。在前面关于力的概念的两句话中，第一句话：“力是物体之间相互的机械作用”说明力的本质；第二句话：“这种作用的效果是使物体的运动状态发生变化，或者使物体变形”说明力的外效应和内效应。

理解力的概念应注意以下几点

1. 力不能脱离物体单独产生或存在。既有力存在，就

必定有施力物体和受力物体。

2. 力总是成对出现的，既有作用力，就必有其反作用力存在。必须注意“相互”这两个字的含义。

3. 力有两种效应，即外效应和内效应。这两种效应通常是同时发生的。在理论力学中，我们只研究力的外效应。

关于刚体的概念，要理解在自然界中，绝对的刚体事实上是不存在的。如果一个物体在力的作用下变形很小，其变形并不影响我们所要研究的问题的实质，这时就可以略去变形，而把它看作是一个刚体。

关于平衡的概念，要理解平衡只是物体机械运动的特殊形式。必须注意，运动是绝对的，而平衡、静止则是相对的。所谓相对就是暂时的、有条件的。例如固定于基础上的机床床身，只是相对于地球处于静止状态，实际上床身随着地球在宇宙空间以极高的速度运行着。如果作用于物体上的力系满足一定条件，物体可以处于平衡状态。一旦物体所受的力发生变化，平衡的条件被破坏，物体就由平衡状态转化为不平衡状态。

二、静力学的四个公理是静力学的理论基础，每一个公理都有其独立性，但它们之间又是互相关联和互相补充的。

公理 1（力的平行四边形公理）表明了静力学最基本的力系简化规律，阐述了在最简单情况下，合力与分力之间的关系，是力系合成和分解的基础。

公理 2（二力平衡公理）阐明了静力学最简单力系平衡的必要和充分条件，是研究力系平衡的基础。

公理 3（作用与反作用公理）揭示了静力学最基本的矛盾，阐明了力是两个物体之间的相互作用，以及力在物体之间的转移关系，是研究由若干个物体所组成的物体系统平衡

问题的基础。必须注意公理 2 和公理 3 的区别。

公理 4（加减平衡力系公理）阐明了任意力系等效代换的条件，以达到将原力系简化的目的。它是力系简化的基础。

利用二力平衡公理和加减平衡力系公理可以方便地得到一个推论——力的可传性原理。必须注意，运用力的可传性时不会改变力对物体的外效应，但会改变力对物体的内效应。例如直杆 AB 的两端分别受等值、反向、共线的二力 F_1 和 F_2 作用而处于平衡（图 1-1a）。将这两个力沿作用线分别移到杆的另一端（图 1-1b），显然直杆 AB 仍处于平衡。这说明力沿作用线移动并不改变力的外效应。

但是在图 1-1a 的情况下，直杆产生拉伸变形，而在图 1-1b 的情况下，直杆产生压缩变形。

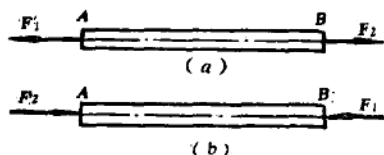


图 1-1

可见力对直杆的内效应由于力沿作用线移动，直杆变形的情况发生了截然不同的改变。换句话说，力的可传性原理只适用于刚体而不适用于变形体。

利用力的平行四边形公理和二力平衡公理，可以方便地得到另一个推论——三力平衡汇交定理。三力平衡汇交定理阐明了三力平衡条件：它们作用于同一平面且汇交于一点（必要条件），它们的力线应首尾相接，组成一封闭的力三角形（充分条件）。这里要注意两点：如果三力中有两力是互相平行的（作用线交于无限远处），则第三力必与此二力平行并且共面才能平衡，详见工程力学教材（以下简称教材）§4·3。如果三力中有两力是空间互相交错的（作用线既不

平行也不相交)，则无论第三力处于什么位置，此三力一定不能平衡。

三力平衡汇交定理在分析平衡物体受力情况时，有着广泛的应用。

三、适当地选择研究对象，并正确地画出它的受力图是求解静力学问题的第一步，必须给予极大的重视，要求多作练习，牢固掌握。在讲解如何画受力图时，应注意以下一些问题：

1. 一张正确的受力图，应该画出研究对象所受的全部外力。它们既包括那些已知力（常称为主动力），也包括所受外界物体约束处的约束反力。因为约束的作用已经用相应的约束反力表示出来，所以受力图上就不必再把约束物体画上去。这一点，初学者往往容易疏忽。

2. 约束反力应根据约束的不同类型（柔性约束、光滑面约束、铰链约束等）画出。约束反力不能多画、少画或错画。若受力图画错了，则以后的分析和计算都将是错误的。

3. 受力图上各力的力矢，要明确表示出它们的作用点和方向，一般来说，力矢应画在它的实际作用点处，不要把应用力的可传性移到其它地方（见教材例1.1、例1.2中的各力）。

4. 如果物体是受三力作用而平衡时，则可根据三力平衡汇交定理，直接判断出约束反力的方向。不过为了计算方便，对于铰链约束的约束反力，一般总是把它分解为水平方向与铅垂方向的两个分力（见教材例1.5中杆AC）。

如果物体是二力构件，则约束反力应在两个受力点的连线上。这种约束反力的方向一般应能正确画出（见教材例1.4中杆CD、例1.5中杆CD）。

5. 若研究对象由几个物体（物体系）组成，物体之间的相互作用力为内力，可以不画出来。但若画物体系中某一个物体的受力图时，则物体之间的相互作用力转化为约束反力，应该画出来（见教材图1.16b、c中D点处及图1.17b、c中C点和D点处）。

6. 教师应严格要求学生正确地画出受力图，注意纠正某些不正规的习惯。

四、课外作业是使学生深入掌握所学知识，提高独立分析问题、解决问题能力的重要一环。学生每次课后必须独立完成一定数量（一般为2—4道）课外作业。本课程课外作业习题宜在160~180道左右，其中要有一定数量的基本运算题。综合分析和较难习题不宜过多。习题不宜过分强调工种专业，但可有所侧重。

五、思考题可以帮助学生检查对所学基本内容的掌握程度。学生应当对本章的所有思考题都能进行分析和讨论，但教师不必要求学生思考题都作出书面解答。可在课堂讲授或答疑时进行启发式教学、提问和引导，使学生掌握正确结论，加深对基本内容的理解。

六、为了更好地提高本课程的教学质量，建议在教学过程中某些内容可以采用教具、模型、挂图、演示、实验，以及采用电化教学手段等。在条件许可的情况下，还可进行现场参观教学，使学生能将简单的实际问题与本课程抽象模型相联系。例如本章中在讲述铰链约束时，最好利用模型和教具进行演示，以增加学生的感性认识。

七、本章是静力学重点之一。本章重要的基本概念较多，在以后各章中将要反复运用。使学生逐步加深理解。本章的重点是：力、刚体、平衡和约束等概念；静力学公理；

各种约束的特征及约束反力的画法；物体的受力分析。本章难点是：约束的概念，光滑铰链约束的特征；物体（包括简单的物体系统）的受力分析及正确地画出受力图。对于以上重点和难点内容，教师和学生都应该充分重视。本章至少安排2学时习题课，以熟练掌握受力图画法。

IV. 解题方法分析

【习题1.2a】画出杆 AB 的受力图。（设杆自重 G ，各接触面均为光滑面。如图1-2a所示）。

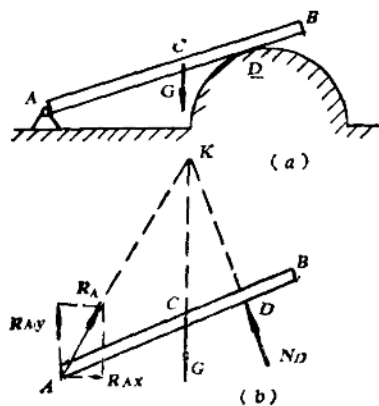


图 1-2

解：取杆 AB 为研究对象。为了显示并弄清其受力情况，应将杆 AB 从周围物体（约束）中分离出来。首先画出它所受的主动力——重力 G ，然后分析约束反力；根据约束性质， D 点处为光滑面约束，约束反力 N_D 应通过接触点 D 并垂直于杆 AB 。 A 处为固定铰链约束，约束反力 R_A 的方位，本来是不能预先确定的，需要

用两个正交分力 R_{Ax} 、 R_{Ay} 表示（图1-2b），但由于杆 AB 是在三个力的作用下处于平衡，根据三力平衡汇交定理， R_A 必须通过 N_D 和 G 的交点 K （即应沿 AK 的方向），从而确定了约束反力 R_A 的方位。不过在以后各章中，为了计算方便，一般仍把 R_A 分解为 R_{Ax} 、 R_{Ay} 两个分力。

【习题1.8】图1-3a所示杆 AB 和 BC 用铰链联接上 B

点，杆的另一端 A 和 C 分别用固定铰链支座联接于墙上。在铰链 B 的销钉上挂一重量为 Q 的物体，如不计各杆自重，试分别画出杆 AB 、 BC 及销钉 B 的受力图。

解： 1) 取杆 AB 为研究对象。当杆自重不计时，杆 AB 是只受两个力作用的平衡物体（即二力杆件）。由二力平衡条件可知，铰链 A 和铰链 B 的约束反力 R_A 、 S_{AB} 等值、反向，沿着两个铰链中心的连线。

杆 AB 受力图，如图 1-3 b 所示。

2) 取杆 BC 为研究对象。杆自重不计时，杆 BC 也为二力杆件，故铰链 B 、 C 的约束反力 S_{BC} 、 R_C 必然等值、反向、共线。

杆 BC 受力图，如图 1-3 c 所示。

3) 取销钉 B 为研究对象。销钉在三力 Q 、 S'_{AB} 、 S'_{BC} 作用下平衡。力 S'_{AB} 为力 S_{AB} 的反作用力；力 S'_{BC} 为力 S_{BC} 的反作用力，如图 1-3 d 所示。一般将作用力与反作用力用同一字符表示，对其中一个加撇，以示区别。

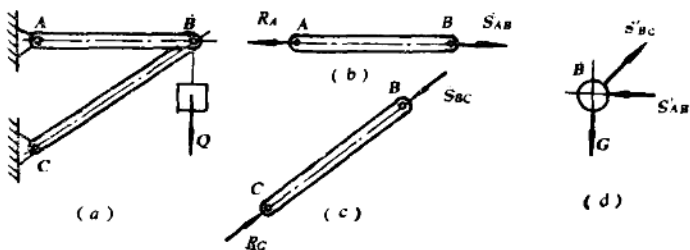


图 1-3

【习题 1.9 b 】 杆 AD 和 BC 用铰链联接成一三角架(图 1-4 a)，在 D 点有一作用力 Q ，如不计各杆自重，试分别

画出杆 AD 和杆 BC 的受力图。

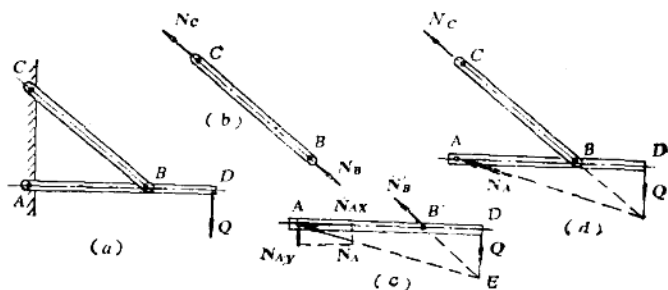


图 1-4

解：首先取杆 BC 为研究对象，画出其受力图。杆 BC 的两端分别与杆 AD 及固定铰链支座 C 联接，受到杆 AD 及支座 C 的约束反力。所以，杆 BC 是一个二力杆件， N_B 与 N_C 等值、反向、共线，其受力图如图1-4 b 所示。这样，约束反力 N_B 、 N_C 的方位就被确定了（沿 BC 连线方向）。根据本题的条件，杆 BC 所受的力显然是拉力。

其次，再取杆 AD 为研究对象，画出其受力图。作用于杆 AD 上的外力有 Q （作用于 D 点）、杆 BC 的约束反力 N'_B 和铰链 A 的约束反力 N_A 。力 N'_B 为力 N_B 的反作用力，方向已知（与 N_B 等值、反向）。由于杆 AD 是在三个力作用下处于平衡，根据三力平衡汇交定理， N_A 必须通过 N'_B 和 Q 的交点 E （即沿 AE 方向）。在以后的计算中，也可将 N_A 分解为 N_{Ax} 和 N_{Ay} ，其受力图如图1-4 c 所示。

如果以杆 AD 和杆 BC 整体为研究对象，由于杆 AD 和杆 BC 在铰链 B 处未拆开，其约束反力为内力，在受力

图中不应画出，其受力图如图1-4 d 所示。

* 【习题1.11】图1-5 a 为一气动夹具，当气缸的右侧通入压力为 P 的压缩空气时，机构通过活塞杆、连杆和杠杆而压紧工件。设 A 、 B 处为铰链联接， O 为固定铰链支座， C 、 E 处为光滑接触面，各杆自重不计。试画活塞杆 AD 、连杆 AB 、杠杆 BOC 及滚轮 A 的受力图。

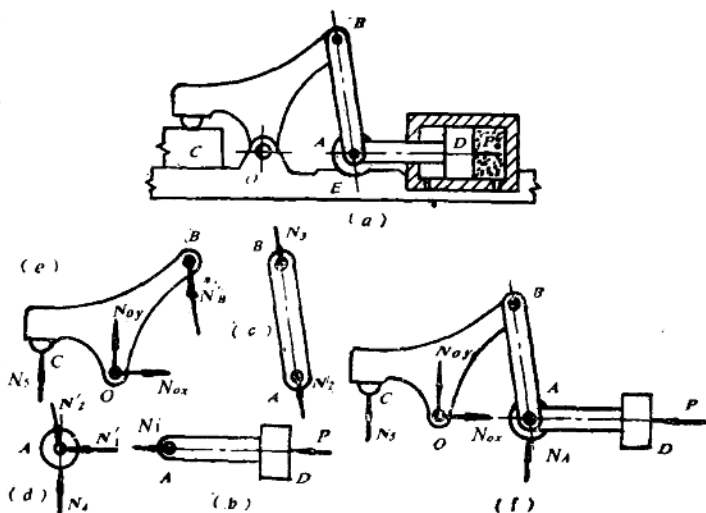


图 1-5

解：1) 活塞杆 AD 杆 在 D 端受到油压力 P ，在另一端 A 与圆柱形销钉连接，受到销钉对它的反力 N_1 。因杆 AD 自重不计，所以杆只在 A 、 D 两点受力，即杆 AD 是二力杆件。因此，反力 N_1 一定与 P 等值、反向、共线（图 1-5 b），而不必用两个正交分力来表示。

2) 连杆 AB 连杆 AB 的两端分别同圆柱形销钉 A 、