

■ 高等学校理工科化学化工类规划教材配套用书

工程力学学习指导

INSTRUCTION FOR ENGINEERING MECHANICS

银建中 夏远景 刘学武 编著



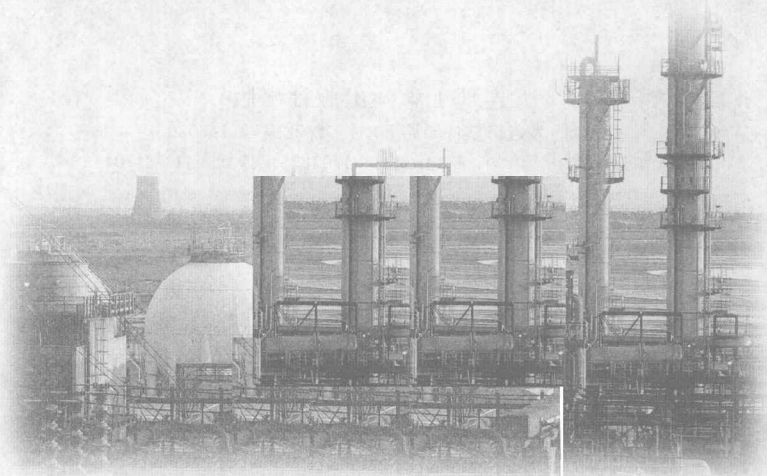
大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

■ 高等学校理工科化学化工类规划教材配套用书

工程力学学习指导

INSTRUCTION FOR ENGINEERING MECHANICS

银建中 夏远景 刘学武 编著



7B12
Y6-1



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

工程力学学习指导 / 银建中, 夏远景, 刘学武编著.
大连: 大连理工大学出版社, 2008. 4
ISBN 978-7-5611-4068-0

I. 工… II. ①银…②夏…③刘… 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(2008)第 055172 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84703636 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连天正华延彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 140mm×203mm	印张: 8.375	字数: 250 千字
2008 年 4 月第 1 版	2008 年 4 月第 1 次印刷	

责任编辑: 梁 锋 王 伟

责任校对: 婊 琳

封面设计: 宋 蕾

ISBN 978-7-5611-4068-0

定 价: 18.00 元

前 言

为了适应化学工程与工艺、制药工程、食品工程、环境工程、生物工程、轻化工等各专业本科生学习《工程力学》以及《化工设备机械基础》等课程的教学需要,作者编著并由大连理工大学出版社出版了《工程力学》教材。该教材由于突出了工艺类各专业的专业特点,精心设计教学内容并合理安排学时数,因此一经出版便深受高校工艺类各专业师生和化工、石化等企业工程技术人员的欢迎。由于学时数所限,书中所编辑的例题和习题数量只能满足课堂教学的基本要求,尚不能满足读者自学的需要。为了很好地贯彻学以致用教学理念,更好地配合教材教学,应大连理工大学出版社之约编写了该学习指导。

本书的编写得益于作者多年来从事工程力学课程教学的经验与积累。书中收集整理编者多年来在该课程教学中使用的典型例题和精选习题,并认真归纳了各章节的主要内容和学习要点。同时还参考了国内出版的许多同类书籍,这对于本书的编写很有助益,在此特表示感谢。

本书由银建中担任主编。各章节具体分工如下:夏远景,第1、2章;刘学武,第3、6章;银建中,前言、第4、5章、附录。对例题,均有详细思路分析和解题步骤;对习题,附有参考答案和必要的提示。相信通过本书,将极大地方便读者进一步深入学习和理解工程力学的知识点,加深对力学基本概念的认知,提高运用基本力学计算方法解决实际工程问题的能力。

由于时间仓促,加之编者学识所限,书中不妥之处还望读者给予批评、指正。

编 者

2008年4月于大连

目 录

第 1 章 物体的受力分析与平衡条件	1
知识点归纳	1
典型例题分析	10
精选习题	27
精选习题参考答案	35
第 2 章 轴向拉伸与压缩	38
知识点归纳	38
典型例题分析	43
精选习题	62
精选习题参考答案	69
第 3 章 剪切与圆轴扭转	71
3.1 剪切与挤压	71
知识点归纳	71
典型例题分析	73
3.2 圆轴扭转	83
知识点归纳	83
典型例题分析	89
精选习题	102
精选习题参考答案	110
第 4 章 梁的弯曲	112
知识点归纳	112
典型例题分析	118
精选习题	140

精选习题参考答案	151
第 5 章 强度理论与组合变形	154
知识点归纳	154
典型例题分析	159
精选习题	193
精选习题参考答案	203
第 6 章 压杆稳定	205
知识点归纳	205
典型例题分析	209
精选习题	230
精选习题参考答案	237
附 录	239
附录 I 常用材料的机械性质	239
附录 II 常用材料的弹性常数	240
附录 III 矩形截面杆扭转系数	241
附录 IV 梁的挠度与转角公式	242
附录 V 型钢表	247

第1章 物体的受力分析与平衡条件

● 知识点归纳 ●

一、学习要点

1. 深入理解力、力平衡和刚体的基本概念,正确掌握静力学公理及其推论的内容和应用范围,掌握二力平衡与三力平衡的条件,能够正确判断二力杆或二力构件;
2. 正确分析各种常见的约束,并能根据约束的性质确定约束反力;
3. 熟练掌握物体受力分析的基本方法,学会确定研究对象、取分离体、画受力图;
4. 熟练掌握力在坐标轴上的投影以及合力投影定理的应用,掌握平面汇交力系合成的几何法、解析法;
5. 熟练掌握平面汇交力系平衡的几何条件和解析条件,熟练掌握求解平面汇交力系平衡问题的几何法和解析法;
6. 正确掌握力对点之矩、合力矩定理及其应用、力偶及其性质、平面力偶系的简化与平衡、力的平移定理;
7. 正确掌握平面一般力系的简化与平衡条件,熟练掌握平面一般力系平衡问题的求解方法,正确理解主矢、主矩的概念。

二、内容提要

1. 基本概念

(1) 力的概念

一个物体对另一个物体的作用,若其结果是使物体的运动状态发生变化或使物体产生变形,则这种作用在力学上称为“力”。两个物体的相互作用可

以是直接接触的(如人推小车使小车由静止开始运动),也可以是非直接接触的(如重力、电磁力等)。

一般情况下,力作用在物体上,将同时产生两种效果:一是使物体的运动状态发生改变,即力的外效应或运动效应;二是使物体产生变形,即力的内效应或变形效应。

(2) 刚体的概念

刚体是指在力的作用下形状和大小都始终保持不变的物体。换句话说,刚体内任意两点间的距离保持不变。物体在力的作用下变形是绝对的,所以刚体在实际中并不存在,它只是实际物体的抽象力学模型。在一定条件下我们把物体视为刚体可以使许多力学问题的研究得以简化。

(3) 平衡的概念

平衡是指物体相对于某个惯性参考系(如地球)处于静止或作匀速直线运动,它是机械运动的特殊情况。在静力学中,如不特别指明,所谓平衡是相对于地球而言的。

(4) 约束和约束反力的概念

约束是限制或阻碍非自由体运动的物体,约束反力是约束作用在非自由体上的力。约束反力的方向总是和该约束所能限制的运动方向相反,这是确定约束反力方向或方位的基本原则。

除了约束反力外,作用于建筑结构或机器零部件的各种载荷,如设备重量、风载荷、冲压力、油压、电磁力等统称为“主动力”。一般情况下,由于主动力的作用才引起约束反力,所以约束反力也称为“被动力”。

2. 静力学公理

静力学公理概括了力的基本性质,是静力学的理论基础。

公理 1(二力平衡公理)

刚体上仅受两个力作用而平衡的必要与充分条件是:两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上(简称等值、反向、共线)。

公理 2(加减平衡力系公理)

在作用于刚体的任一力系中,加上或减去任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。

推论 1(力的可传性原理)

作用于刚体上的力可沿其作用线移至刚体内任一点,而不改变该力对刚体的效应。

公理 3(力的平行四边形公理)

作用在物体上同一点上的两个力可以合成为一个合力,合力也作用于该点,其大小和方向可由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

推论 2(三力平衡汇交定理)

当刚体受三个力作用而平衡时,若其中任何两个力的作用线相交于一点,则此三力必在同一平面内,且第三个力的作用线通过汇交点。

公理 4(作用与反作用定律)

两物体之间的相互作用力总是等值、反向、共线,分别作用在两个相互作用的物体上。

公理 5(刚化原理)

变形体在某一力系作用下处于平衡状态,如果将此变形体视为刚体,其平衡状态保持不变。

3. 几种基本约束类型及其约束反力

(1) 柔性体约束

柔软的绳索(链条或胶带等)构成的约束称为柔性体约束。约束反力只能是拉力,作用在接触点,其方向沿着绳索而背离被约束的物体,如图 1-1 所示。

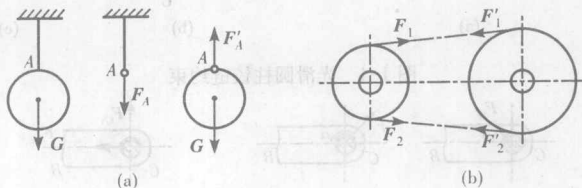


图 1-1

(2) 光滑面约束

光滑的接触表面构成光滑面约束。约束反力作用在接触处,方向沿接触

表面的公法线,并指向被约束的物体,如图 1-2 和图 1-3 所示。

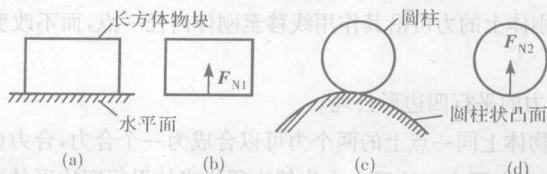


图 1-2

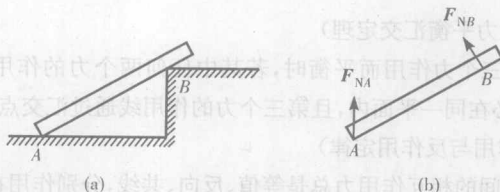


图 1-3

(3) 光滑圆柱铰链约束

圆柱铰链结构是将两个构件各钻圆孔,中间用圆柱形销钉联接起来,如图 1-4 所示。如果忽略摩擦,销钉和圆孔成为光滑接触,于是便构成了光滑圆柱铰链约束。

约束反力的作用线必在垂直于圆柱轴线的平面内并通过圆心,而方向不能预先确定,可用通过圆心而大小未知的两个正交分力表示,如图 1-5 所示。

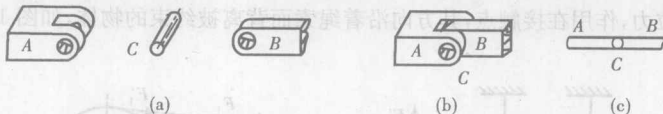


图 1-4 光滑圆柱铰链约束

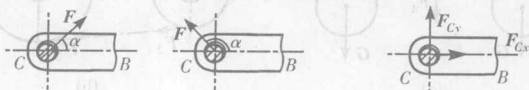


图 1-5

工程上常见的两种以铰链约束构成的支座:

① 固定铰链支座

用圆柱形销钉联接的两个构件,若其中一个固定于地面或机器上,则该支座称为固定铰链支座,如图1-6(a)所示。其简化示意图和约束反力的简化表示法分别如图1-6(b)、(c)所示。

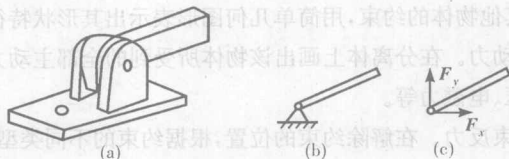


图1-6 固定铰链支座

②可动铰链支座

在铰链支座底部和支承面之间装上辊轴,就构成了辊轴支座,也称为可动铰链支座,如图1-7(a)所示。可动铰链支座的几种简化表示法分别示于图1-7(b)、(c)、(d)。可动铰链支座的约束反力通过销孔中心,垂直于支承面并指向被约束的非自由体,如图1-7(e)所示。

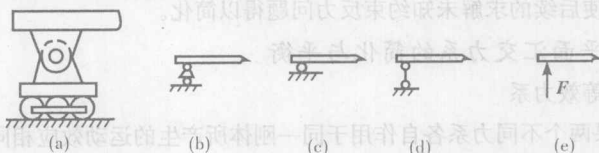


图1-7 可动铰链支座

(4)固定端约束

当物体的一端受到另一物体的固结作用,不允许它们在约束处发生任何相对移动或转动时,称这种约束为固定端约束。固定端约束反力可以用两个正交分力和一个约束反力偶表示,如图1-8所示。

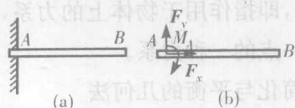


图1-8 固定端约束

4. 物体的受力分析和受力图

对工程结构中构件进行受力分析,画出受力图是利用平衡条件求解构件

所受全部外力(通常约束反力为未知力)的重要环节与前提,其步骤为:

(1)确定研究对象,取分离体。按问题的条件和要求,确定所研究的对象(它可以是一个物体,也可以是几个物体的组合或整个系统),解除与研究对象相连接的其他物体的约束,用简单几何图形表示出其形状特征。

(2)画主动力。在分离体上画出该物体所受到的全部主动力,如重力、风载、水压、油压、电磁力等。

(3)画约束反力。在解除约束的位置,根据约束的不同类型,画出作用的全部约束反力。

取分离体、画受力图时要特别注意:

(1)要根据约束的性质确定约束反力;

(2)要注意分清施力体和受力体,受力图上每画出一个力必须有明确的外界施力者,在物体接触处要正确应用作用与反作用定律;

(3)要善于应用二力平衡与三力平衡原理,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反力问题得以简化。

5. 平面汇交力系的简化与平衡

(1)等效力系

如果两个不同力系各自作用于同一刚体所产生的运动效应相同,则称这两个力系为等效力系。

(2)合力

如果一个力对物体作用的运动效应与一个力系作用的运动效应相同,则称此力为该力系的合力。

(3)平面汇交力系

所谓平面汇交力系,即指作用于物体上的力系,所有各力的作用线都在同一平面内,且汇交于一点的一种力系。

(4)平面汇交力系简化与平衡的几何法

采用力的多边形法。已知平面汇交力系各分力 $F_i (i=1, 2, \dots, n)$, 可画出相应的平面力多边形,如图 1-9 所示(图中 $n=3$),封闭边(从第一个力矢量的始端指向末一个力矢量的末端)即代表合力 F_R 。

平衡的几何条件为力多边形自行封闭。

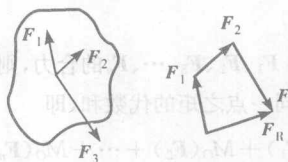


图 1-9

(5) 平面汇交力系简化与平衡的解析法

合力投影定理:合力在任一轴上的投影,等于力系中各分力在同一轴上投影的代数和。

利用合力投影定理,平面汇交力系可以简化为一个合力,作用线通过汇交点,其大小为:

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2}$$

X_i, Y_i 分别为 F_i 在 x, y 轴上的投影。

合力 F_R 的方向可由合力矢量与 x 轴的夹角 α 确定

$$\tan \alpha = \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i}$$

平面汇交力系平衡的解析条件是:力系中所有各力在两个坐标轴上投影的代数和分别都等于零。其平衡方程为

$$\begin{aligned}\sum X &= 0 \\ \sum Y &= 0\end{aligned}$$

6. 力对点之矩

用力的大小与力臂的乘积并加上适当的正负号表示力对点之矩,简称为力矩。力矩是力使物体绕矩心转动效应的度量,其值与矩心的位置及力的大小有关。

力矩可以用两种方法求得:

(1) 用定义式求 $M_O(F) = \pm Fd$

(2) 用合力矩定理求 $M_O(F_R) = \sum M_O(F_i)$

7. 合力矩定理

若力 F_R 是平面力系 $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ 的合力, 则合力 F_R 对平面内任一点 O 之矩等于诸分力对同一点之矩的代数和, 即

$$M_O(F_R) = M_O(F_1) + M_O(F_2) + \dots + M_O(F_n) = \sum M_O(F_i)$$

8. 平面力偶系的简化与平衡

(1) 力偶与力偶矩

所谓力偶就是作用在物体上大小相等、方向相反、作用线相互平行且不共线的两个力组成的特殊力系。力偶对物体只有转动效应而无移动效应。

力偶中力的大小与力偶臂的乘积并加上适当的正负号称为力偶矩, 它是力偶对物体转动效应的度量, 其大小与矩心的位置无关。

作用于同一刚体上的两个力偶等效的条件是两力偶的力偶矩相等。

力偶对任意方向坐标轴之投影恒为零, 即分析有力偶作用的刚体平衡问题时, 将不考虑力偶对轴的投影。

(2) 平面力偶系的简化与平衡

平面力偶系简化的结果为一合力偶, 合力偶矩等于各分力偶矩的代数和

$$M = M_1 + M_2 + \dots + M_n = \sum M_i$$

平面力偶系平衡的充要条件是所有各分力偶矩的代数和等于零, 即

$$\sum M_i = 0$$

9. 力的平移定理

作用在刚体上的力, 可以平移到刚体内任意指定点, 要使原力对刚体的作用效果不变, 必须同时附加一个力偶, 此附加力偶的力偶矩等于原力对指定点之矩。

利用力的平移定理不仅可以解决力系简化和平衡问题, 而且在材料力学中讨论平衡问题时, 还可以将变形体视为刚体, 从而可以应用上述结果使问题简化。

10. 平面一般力系的简化与平衡

平面一般力系向其作用面内任意一点简化, 可得到一个主矢和一个主矩。主矢等于原力系中各力的矢量和, 作用线通过简化中心, 其大小、方向与

简化中心的位置无关。主矩等于原力系中各力对简化中心之矩的代数和,其取值与简化中心的位置有关。需要指出的是,平面力系的主矢是一不变量,它不随简化中心的不同而改变,但主矩却与简化中心有关。

平面一般力系的平衡方程

基本形式(也称为一矩式):

$$\sum X = 0$$

$$\sum Y = 0$$

$$\sum M_O(\mathbf{F}) = 0$$

二矩式:

$$\sum X = 0$$

$$\sum M_A(\mathbf{F}) = 0$$

$$\sum M_B(\mathbf{F}) = 0 \text{ (坐标轴 } x \text{ 不能与 } A、B \text{ 两点的连线垂直)}$$

三矩式:

$$\sum M_A(\mathbf{F}) = 0$$

$$\sum M_B(\mathbf{F}) = 0$$

$$\sum M_C(\mathbf{F}) = 0 \text{ (} A、B、C \text{ 为力系作用面内不共线的三点)}$$

在求解平面力系平衡问题时,其重点仍然是受力分析的基本方法,也就是要注意选择合适的研究对象,并将其从系统中分离出来,根据约束的性质、作用与反作用定律,分析作用在研究对象上的力,画出受力图,然后根据平衡方程求解未知力。求解物体在平面力系作用下的平衡问题时需要注意以下几个方面:

(1) 无论是求投影还是求力对点之矩的代数和,都不要忘记“所有的力”这一前提,不要遗漏参与平衡的力;

(2) 应用平衡方程时,要特别注意力的投影及力对点之矩的正负号;

(3) 应用力矩平衡方程时,最好将力矩中心选为两个未知力作用线的交点。这样,在这一力矩方程中将不包含这两个未知力,而只包含另一个未知

力,即可以通过一个方程求解一个未知力,不用解联立方程;

(4) 根据不同问题的具体情况,可以灵活应用上述三种形式的平衡方程,但要保证所用方程是相互独立的;

(5) 要善于应用其他形式的平衡方程验证所得结果的正确性。

● 典型例题分析 ●

例 1-1 重量为 G_1 、 G_2 的两个钢球放在圆筒中,如图 1-10(a) 所示,试画出物体系统整体受力图及钢球 A、B 的受力图。已知所有接触均为光滑面接触。未画重力的物体,其自重均不计。

解 (1) 物体系统整体受力图

取物体系统整体为研究对象,首先画出整个物体系统的轮廓线,取整个物体系统作为分离体进行受力分析。

分析整个物体系统所承受的主动动力:由已知条件可知,整个物体系统所承受的主动动力为钢球 A、B 的自重 G_1 、 G_2 ,如图 1-10(b) 所示。

分析整个物体系统所承受的约束反力:约束反力的方向和作用位置一定要根据约束的特点确定。由于整个物体系统与支承面间为光滑面接触,所以整个物体系统所承受的约束反力 F_1 如图 1-10(b) 所示。

根据以上分析,可以画出物体系统整体受力图如图 1-10(b) 所示。

(2) 钢球 A、B 的受力图

取钢球 A 为研究对象,画出钢球 A 的轮廓线,取钢球 A 作为分离体进行受力分析。

分析钢球 A 所承受的主动动力:由已知条件可知,钢球 A 所承受的主动动力为钢球 A 的自重 G_1 ,如图 1-10(c) 所示。

分析钢球 A 所承受的约束反力:由于钢球 A 与周围物体间均为光滑面接触,所以钢球 A 所承受的约束反力 F_2 、 F_3 如图 1-10(c) 所示。

同理,取钢球 B 作为分离体,可以画出钢球 B 的受力图如图 1-10(d) 所示。

值得注意的是,图 1-10(c) 中的 F_3 与图 1-10(d) 中的 F'_3 互为作用力和反作用力,如果画出 A 和 B 组成的物体系统的受力图,则 F_3 与 F'_3 是该物体

系统的内力,在进行受力分析时不必画在物体系统上。由 A 和 B 组成的物体系统的受力图如图 1-10(e) 所示。

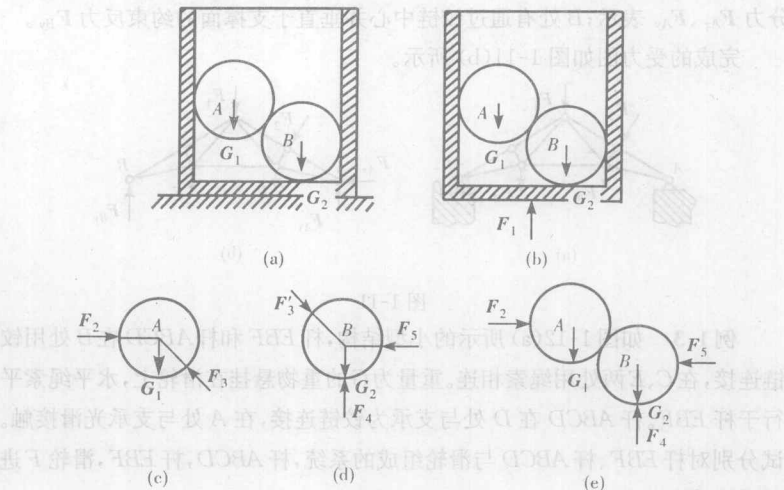


图 1-10

评注 画受力图时要注意以下几点:

- (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(分离体)画受力图;
- (2) 在受力图上每画一个力时,必须明确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) 约束反力要符合约束的性质;
- (4) 在分析相互接触或连接的物体受力时,要注意相互作用力和反作用力的关系。

例 1-2 厂房的桁架结构如图 1-11(a) 所示。 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_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支座, B 处为可动铰链支座。试作此桁架的受力图。

解 取桁架结构为研究对象,画出其轮廓线,如图 1-11(b) 所示。

分析桁架结构所承受的主动动力:由已知条件知,桁架所承受的主动动力有 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 ,如图 1-11(b) 所示;