



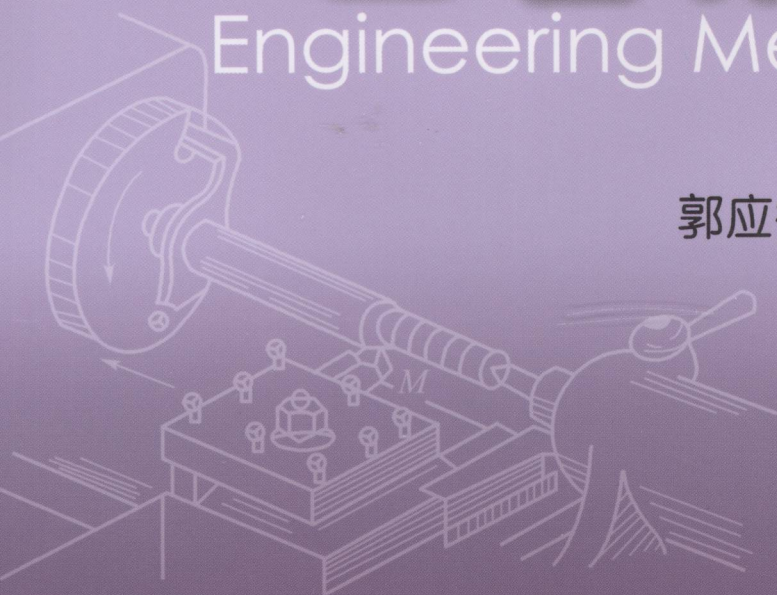
东南大学简明力学系列教材

普通高等教育规划教材

工程力学

Engineering Mechanics

郭应征 周志红 主 编



人民交通出版社
China Communications Press



东南大学简明力学系列教材
普通高等教育规划教材

工程力学

Engineering Mechanics

郭应征 周志红 主 编



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书是江苏省“工程力学系列课程教学内容课程体系改革的研究与实践”项目的研究成果之一。本书的主要特色是:理论阐述简明,文字简洁。突出工程观念的培养和力学在工程设计中的应用,删除一些偏深和偏难的内容。编入了许多密切联系工程实际的例题与习题,以便于教师选用和学生练习之用。通过对工程实例的简化和比较,培养学生建立力学模型和解决实际问题的能力。力求进行启发式教学,在正文中用楷体编入一些思考题,尝试用提问的方式进行教学,给学生留下思考的空间。全书共十四章,编写中考虑到便于使用者取舍,采用了模块式结构,可根据需要拼装成不同学时类型的工程力学教材。

本书可作为普通高等院校土木、机械、动力和电力等专业的工程力学课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 郭应征, 周志红主编. —北京:人民交通出版社, 2009. 8

(东南大学简明力学系列教材)

ISBN 978 - 7 - 114 - 07370 - 0

I. 工… II. ①郭…②周… III. 工程力学 - 高等学校 - 教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 137384 号

东南大学简明力学系列教材

书 名: 工程力学

著 作 者: 郭应征 周志红

责任编辑: 吴有铭 (wym@ccpress.com.cn)

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 廊坊市长虹印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 18

字 数: 446 千

版 次: 2009 年 8 月第 1 版

印 次: 2009 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 114 - 07370 - 0

定 价: 29.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

本书是江苏省“工程力学系列课程教学内容课程体系改革的研究与实践”项目的研究成果之一,是为新世纪的工科大学生编写的工程力学课程的更新教材。主要特色如下:

1. 删除了与物理学重复的内容,增加了反映现代科学技术的有关内容。同时注意精选内容,以减少教学学时。

2. 全书按照“静力学”和“材料力学”编排,突出工程观念的培养和力学在工程设计中的应用,删除了一些偏深和偏难的内容。编入了许多密切联系工程实际的例题与习题,以便于教师选用和学生练习之用。在编写过程中,注意通过对工程实例的简化和比较,培养学生建立力学模型和解决实际问题的能力。

3. 全书体系合理,理论阐述简明,概念叙述准确,文字简洁。注意将难点分解,力求易教易学,便于学生真正理解和掌握工程力学的基本概念和方法。

4. 按照最新的工程力学教学基本要求,对非基本内容均加上星号予以区别,以便于使用者根据需要选用。加星号的内容属于加深和加宽部分,叙述力求简练,内容力求精练。

5. 进行启发式教学,在正文中用楷体编入一些思考题,尝试用提问的方式进行教学,从而将对重要概念的理解引向深入,给学生留下思考的空间。

本书为工程力学的基础部分,适用于工科各专业。全书共分两篇:静力学和材料力学。编写中考虑到便于使用者取舍,采用了模块式结构,可根据需要拼装成不同学时类型的工程力学教材。

本书第一章至第五章由周志红编写,第六章至第十四章由郭应征编写。东南大学的诸关炯教授和胡增强教授等对本书的编写提出了宝贵的意见。本书的编者谨向他们表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,主要参考了郭应征和周志红编写的《理论力学》,梁治明和邱侃编写的《材料力学》,郭应征和李兆霞主编的《应用力学基础》,同时还参考了国内外一些优秀教材,在此也向这些教材的编著者们深表感谢。

编 者

2009年3月18日

于东南大学

目 录

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基本概念和物体受力分析	1
§ 1.1 力和刚体的概念	1
§ 1.2 静力学公理	2
§ 1.3 约束与约束力	4
§ 1.4 物体的受力分析与受力图	7
本章小结	10
习题	11
第二章 平面汇交力系和平面力偶系	13
§ 2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	13
§ 2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	15
§ 2.3 平面内力对点的矩	17
§ 2.4 平面力偶理论	18
§ 2.5 平面力偶系的合成和平衡条件	20
本章小结	21
习题	22
第三章 平面任意力系	25
§ 3.1 力线平移定理	25
§ 3.2 平面力系向一点的简化	26
§ 3.3 平面任意力系的平衡方程	29
§ 3.4 物体系统的平衡	31
§ 3.5 平面简单桁架的内力计算	35
本章小结	37
习题	38
第四章 摩擦	43
§ 4.1 滑动摩擦	43
§ 4.2 摩擦角和自锁现象	45
§ 4.3 考虑摩擦的平衡问题	47
§ 4.4 滚动摩阻	50

本章小结	52
习题	52
第五章 空间力系	55
§ 5.1 空间汇交力系	55
§ 5.2 力对点之矩矢和力对轴之矩	57
§ 5.3 空间力偶	60
§ 5.4 空间任意力系向一点简化	61
§ 5.5 空间任意力系的平衡	62
§ 5.6 重心	66
本章小结	70
习题	70

第二篇 材料力学

第六章 材料力学绪论	75
§ 6.1 材料力学的任务和研究方法	75
§ 6.2 变形固体及其基本假设	76
§ 6.3 杆件变形的基本形式	76
第七章 拉伸与压缩	78
§ 7.1 轴向拉伸与压缩的概念及实例	78
§ 7.2 内力 轴力与轴力图	79
§ 7.3 应力 拉伸或压缩杆的应力	82
§ 7.4 拉伸或压缩杆的变形	85
§ 7.5 拉伸或压缩杆的应变能	90
§ 7.6 拉伸或压缩时材料的力学性能	91
§ 7.7 拉伸或压缩杆的强度计算	97
§ 7.8 拉压超静定问题	100
本章小结	102
习题	104
第八章 扭转	109
§ 8.1 扭转的概念及实例	109
§ 8.2 外力偶矩 扭矩与扭矩图	110
§ 8.3 切应力与切应变	113
§ 8.4 扭转圆轴的应力 强度计算	115
§ 8.5 扭转圆轴的变形 刚度计算	119
§ 8.6 扭转圆轴的应变能	124
§ 8.7 矩形截面轴扭转的概念	125
本章小结	127
习题	129

第九章 弯曲内力	133
§ 9.1 弯曲的概念及梁的计算简图	133
§ 9.2 剪力与弯矩 剪力图与弯矩图	138
§ 9.3 分布荷载集度、剪力及弯矩之间的关系	144
本章小结	148
习题	149
第十章 弯曲应力	155
§ 10.1 弯曲正应力	155
§ 10.2 惯性矩 平行轴定理	159
§ 10.3 弯曲切应力	161
§ 10.4 梁的强度计算	162
§ 10.5 两互垂平面内的弯曲	166
§ 10.6 提高梁弯曲强度的措施	168
* § 10.7 非对称弯曲正应力	169
* § 10.8 弯曲中心	171
本章小结	172
习题	173
第十一章 弯曲变形	178
§ 11.1 梁的挠度和转角	178
§ 11.2 用积分法求梁的变形	179
§ 11.3 用叠加法求梁的变形	185
§ 11.4 梁的刚度计算 提高弯曲刚度的措施	189
§ 11.5 简单超静定梁	191
本章小结	195
习题	196
第十二章 应力状态 强度理论	200
§ 12.1 应力状态的概念	200
§ 12.2 平面应力状态分析	201
§ 12.3 空间应力状态简介	206
§ 12.4 广义胡克定律	208
§ 12.5 复杂应力状态下的应变能密度	209
§ 12.6 强度理论的概念	211
§ 12.7 工程中常用的强度理论	212
本章小结	217
习题	218
第十三章 组合变形及连接件的计算	223
§ 13.1 组合变形的概念	223
§ 13.2 拉伸或压缩与弯曲的组合	224
§ 13.3 偏心压缩 截面核心	229

§ 13.4 弯曲与扭转的组合·····	231
§ 13.5 连接件的实用计算·····	235
本章小结·····	239
习题·····	240
第十四章 压杆稳定 ·····	245
§ 14.1 稳定性的概念·····	245
§ 14.2 压杆的临界荷载·····	247
§ 14.3 压杆的稳定计算·····	254
§ 14.4 提高压杆稳定性的措施·····	255
本章小结·····	257
习题·····	257
附录 型钢表 ·····	262
习题答案 ·····	271
参考文献 ·····	279

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基本概念和物体受力分析

教学要求:

1. 介绍力、刚体等几个基本概念及静力学五个公理;
2. 熟悉常见约束的性质;
3. 熟练掌握物体的受力分析。

本章首先介绍力、刚体等几个基本概念,然后讨论作为静力学基础的五个公理,最后介绍约束、约束类型和物体的受力分析。这些内容是研究静力学的基础。

§ 1.1 力和刚体的概念

1. 力的概念

力是物体之间的机械作用,这种相互作用使物体的运动状态和形状发生变化。力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应,而力使物体形状发生改变(即变形)的效应称为力的内效应。理论力学主要研究力的外效应,而力的内效应则留待材料力学研究。在静力学中,如果不特别指明,则力对物体的效应都是指外效应。

实践证明,力对物体的效应(包括内、外效应)取决于三个要素:大小、方向和作用点。在国际单位制中,力的单位是牛(N)或千牛(kN)。

在力学中要区别两类量:标量和矢量。在确定某种量时,只需一个数就能确定的量称为标量。例如长度、时间、质量都是标量。在确定某种量时,不但要考虑它的大小,而且要考虑它的方向,这类量称为矢量。矢量有两方面的含义:第一,它具有大小和方向,可以用一个“矢”来表示;第二,要按特定的运算规则进行运算,其中最基本的就是矢量的加法规则——平行四边形法则。

力对物体的效应不仅决定于它的大小,而且还决定于它的方向和作用点,所以是矢量。

2. 刚体的概念

一般情况下,工程上的机械零件和结构构件在力的作用下产生的变形是很微小的,在很多

工程问题中,这种微小的变形对于研究物体的平衡问题影响极小,可以略去不计。忽略了物体微小的变形后便可把物体看成刚体。刚体是指在力的作用下保持其形状和大小不变的物体,或者说,在力的作用下其内任意两点之间的距离保持不变的物体。刚体是对物体加以抽象后得到的一种理想模型。在研究平衡问题时,将物体看成刚体能大大简化问题的研究。然而也应当注意,当研究另一类性质的问题时,例如研究物体内力分布规律时,即使变形很小,也不能把物体视为刚体,而必须作为变形体来处理。所以,一个物体能否看作刚体,不仅取决于物体变形的大小,而且与要解决问题的要求有关。

§ 1.2 静力学公理

静力学的全部理论,就建立在以下五个公理的基础上。

公理一 二力平衡原理

受两力作用的刚体,其平衡的必要和充分条件是:此两力的大小相等,方向相反,并且作用在同一直线上(简称此两力等值、反向、共线)。

这是最简单的平衡力系。例如不计重力的拉杆AB,其两端分别受到两个力 F_A 和 F_B 的作用(图1.1a),由经验知道,要使拉杆平衡,这两个力必须而且只需大小相等、方向相反、且作用在同一直线上。

再如钢丝绳提升重物(图1.1b),重物受到钢丝绳拉力 F_T 和重力 G 的作用,这两个力方向相反,作用在同一直线上。

实践证明,要使重物匀速上升、匀速下降或静止(即处于平衡状态),必须且只须使 $F_T = G$ 。

二力平衡原理只适用于刚体。它是论证刚体平衡条件的基础。

在两个力作用下且处于平衡的刚体称为二力体。如果物体是某种杆件或构件,则称为二力杆件或二力构件。

公理二 加减平衡力系原理

在作用于刚体上的任意一个力系上,加上或减去任意个平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。

此公理只是对刚体而言的,是研究力系等效代换的基础。它不适用于变形体,因为加减平衡力系会影响到物体的变形。

应用本公理可以得出如下重要推论。

推论1 (力的可传性)

作用在刚体上的一个力,可沿其作用线任意移动作用点而不改变此力对刚体的效应。

必须指出,力的可传性只适用于刚体而不适用于变形体。

根据力的可传性,对于作用于刚体上的力来说,力的三要素成为大小、方向和作用线,这样,力矢就可以沿其作用线滑动。因此,作用于刚体上的力是滑动矢量。

公理三 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的的两个力可以合成为一个合力,合力也作用于该点,其大小和方向由以两分力为邻边所构成的平行四边形的对角线表示。

力的平行四边形法则指出,两个力相加(合成)要用平行四边形法则求几何和,即矢量和。

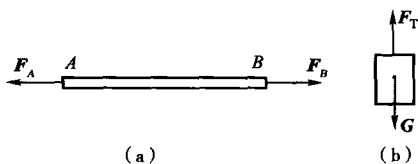


图 1.1

合力可用下列矢量等式来表示(图 1.2a):

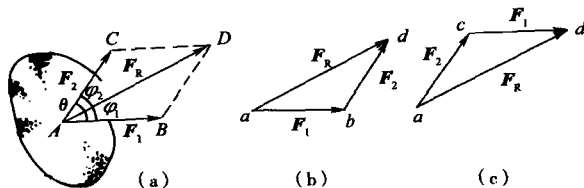


图 1.2

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1.1)$$

为了求出合力 $\mathbf{F}_R$ 的大小和方向,可以用几何作图法,或利用三角公式计算。用几何作图法时,可选取适当的力比例尺作平行四边形,然后直接从图上量取对角线的长度,它按比例表示合力 $\mathbf{F}_R$ 的大小,对角线与分力间的夹角表示合力的方向,可用量角器量出。利用三角公式计算时,若已知 F_1, F_2 和它们的夹角 θ ,则由余弦定理可得

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta} \quad (1.2)$$

为了求合力 $\mathbf{F}_R$ 与分力 $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2$ 之间的夹角,可由正弦定理求得

$$\sin\varphi_1 = \frac{F_2\sin\theta}{F_R}, \sin\varphi_2 = \frac{F_1\sin\theta}{F_R} \quad (1.3)$$

由图 1.2b,也可以用力三角形法则求合力 $\mathbf{F}_R$,从任意点 a 作力矢 $\mathbf{F}_1$,再以力矢 $\mathbf{F}_1$ 的末端 b 作为力矢 $\mathbf{F}_2$ 的始端画出力矢 $\mathbf{F}_2$ (即两分力首尾相连),那么矢量 $\vec{ad}$ 就代表合力矢 $\mathbf{F}_R$ 。分力矢和合力矢所构成的三角形 abd 称为力三角形。如果先画 $\mathbf{F}_2$,后画 $\mathbf{F}_1$ (图 1.2c),也能得到相同的合力矢 $\mathbf{F}_R$ 。可见力满足矢量的加法法则,即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_1$$

根据以上三个公理,可以得出如下推论:

推论 2 (三力平衡汇交定理)

当刚体受三个力作用而处于平衡时,若其中二个力的作用线相交于一点,则此三力必共面和共点。

公理四 作用和反作用定律

这个定律就是牛顿第三定律。两个物体间相互作用的一对力,总是大小相等,方向相反,作用线相同,且分别作用于这两个物体上。

必须把作用和反作用定律与二力平衡原理严格地区别开来。作用和反作用定律是表明两个物体相互作用的力学性质,而二力平衡原理则说明一个刚体在两个力作用下处于平衡时两力应满足的条件。

公理五 刚化原理

变形体在力系作用下处于平衡状态时,如假想将变形后的物体换成刚体(刚化),则此刚化后的物体在原力系作用下处于平衡。

例如绳 AB 在等值、反向、共线的两个拉力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 作用下处于平衡(图 1.3a),则按刚化原理可知,假想 AB 为刚杆,则此刚杆在原力系作用下仍然处于平衡。这就是说,变形体平衡时力系必须满足刚体平衡时所需满足的平衡条件。但应注意,满足了刚体平衡条件,对变形体来说并不一定平衡。如图 1.3b,刚体 AB 在等值、反向、共线的两个压力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 作用下处于

平衡,但若把刚杆 AB 换成为柔软的绳索,则就不可能处于平衡了。由此得出结论,刚体平衡的必要与充分条件对变形体的平衡来说,仅是必要条件而不是充分条件。

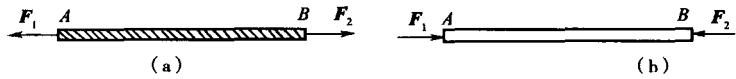


图 1.3

刚化原理建立了刚体静力学和变形体静力学之间的联系,它对于研究变形体静力学具有重要的意义。

§ 1.3 约束与约束力

限制物体运动的条件称为约束。在静力学中所遇到的约束,往往都是由研究对象周围与其直接接触的物体所构成的。例如桌面就是桌面上物体的约束,机床床身导轨就是工作台的约束等等。

既然约束能够限制物体沿某些方向的位移,因而当物体沿着约束所限制方向有运动趋势时,约束就与物体之间互相存在着作用力。约束对被约束物体的作用力称为约束力。约束力以外的其他力统称为主动力。主动力往往是给定的或可测定的,例如地球引力、电磁力、气体的压力等等。而约束力往往是未知的,需要应用静力学的力系平衡条件求得。

工程中大量平衡问题是作用于物体上的主动力与约束力的平衡,因此研究约束及其约束力的特征对于解决静力平衡问题具有十分重要的意义。下面介绍工程中常见的几种基本约束类型,并对其约束力进行分析。

1. 柔索

工程中的钢丝绳、皮带、链条都可以简化为柔索。其特点是不计自重,不可伸长,只能承受拉力。柔索限制物体上与柔索联结的一点沿着柔索方向离开柔索,而不限制这一点沿其他方向的运动(图 1.4)。因此,柔索给被约束物体的约束力 F_T ,作用在接触点上,方位一定沿着柔索,其指向则背离物体。

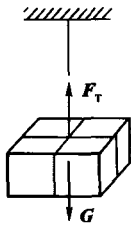


图 1.4

2. 光滑接触面

若两物体接触面之间的摩擦力很小,可以略去不计时,则认为接触面是“光滑”的。如物体搁置在光滑支承面上(图 1.5a),支承面只能限制接触点沿过该点的接触面公法线的向下的位移,而不能限制该点离开支承面或沿其他方向的运动。因此,光滑接触面对被

约束物体的约束力,作用在接触点上,作用线过接触点的接触面公法线,并指向被约束的物体,即物体受压力。如图 1.5b 中直杆搁置在凹槽中, A 、 B 、 C 三点受到约束。假定接触面是光滑的,则其约束力分别为 F_{NA} 、 F_{NB} 、 F_{NC} ,而方向垂直相应的接触面。

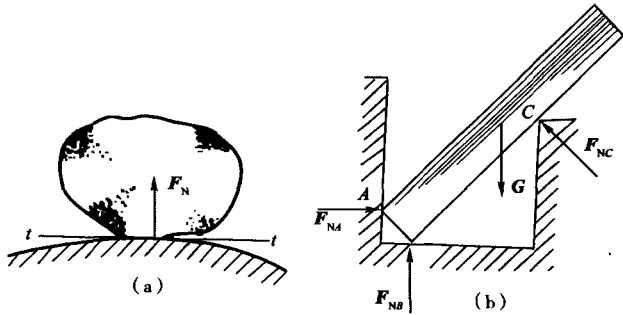


图 1.5

3. 光滑铰链约束

光滑铰链约束是由两个带有圆孔的构件并由圆柱销钉连接构成。它在工程中有多种具体形式。

(1) 圆柱铰链

在机器中常用圆柱销钉将两个带销钉孔的构件连接在一起(图 1.6a、b),并且假定销钉和孔是光滑的,构成圆柱铰链。这样被约束的两个构件只能绕销钉的轴线作相对转动。

图 1.7 是垂直于销钉轴线的结构对称面图。由图可见,如果摩擦较小,可以略去,销钉与构件实际上是以两个光滑圆柱相接触的。按照光滑接触约束力的特点,销钉给构件的约束力 F_A 应沿圆柱在接触点的公法线(图 1.7a),即在通过 K 点的半径方向而过圆心。但因接触点 K 不能预先确定,所以约束力 F_A 的方向也不能预先确定。因此,在受力分析中,通常将圆柱铰链的约束力用两个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示(图 1.7b)。

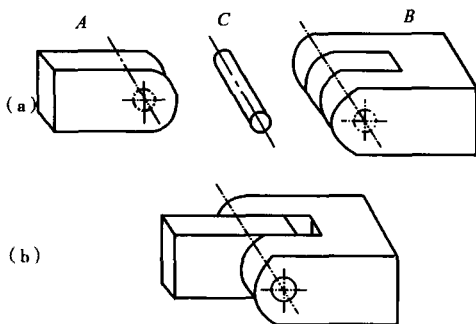


图 1.6

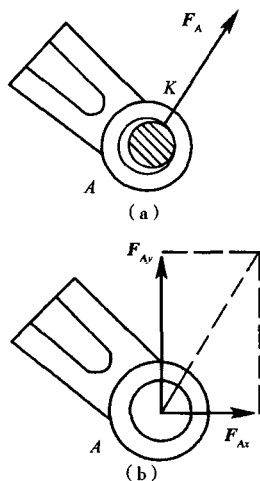


图 1.7

(2) 固定铰链支座

工程上常用铰链将桥梁钢架、起重机的起重臂等构件同支座或机架等连接起来,构成固定铰链支座。图 1.8a 表示桥架 A 端用固定铰链支座支承。固定铰链支座的构造如图 1.8b 所示,它用圆柱销钉把桥梁钢架同固定支座连接起来。在力学上用图 1.8c 所示的简化图来表示固定铰链支座。固定铰链支座的约束力方向往往不能预先确定,因此可以用两个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 来表示。

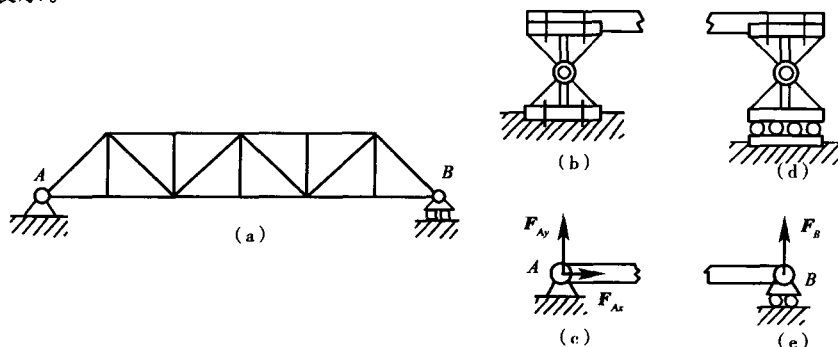


图 1.8

(3)滚动铰链支座(辊轴支座)

如果在支座和支承面之间有辊轴,就称为滚动铰链支座或称辊轴支座。图 1.8a 桥架的 B 端为滚动铰链支座。其构造如图 1.8d 所示。图 1.8e 是滚动铰链支座的简化图。因为有了辊轴,且支承面可以看作是光滑的,支座对结构沿支承面的运动没有限制,因此,滚动铰链支座的约束力垂直于支承面。当桥梁因热胀冷缩而长度稍有变化时,滚动铰链支座相应地能沿支承面移动,从而避免桥梁产生温度应力。

4.光滑球铰链

球铰链是固连于物体的球嵌入另一物体上的球窝内而构成的一种约束(图 1.9a)。这种铰链在空间问题中用途比较广。例如机床上照明灯具的固定,汽车上变速操纵杆的固定以及照相机与三角架之间的接头等等均是。在不计摩擦的情况下,构成球铰链的两个物体之间是光滑球面接触,物体只能绕球心相对转动,因而约束力必通过球心且垂直于球面(即沿半径方向)。由于预先不能确定接触点的位置,故约束力在空间的方位未能确定。图 1.9b 是球铰链简图的表示方法。约束力一般以三个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Az} 来表示。

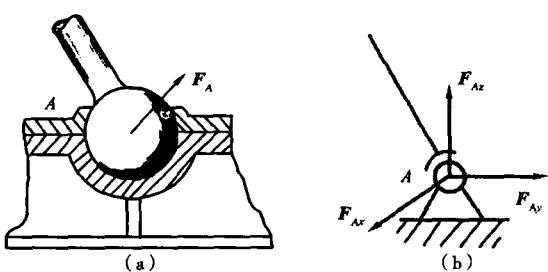


图 1.9

5.轴承

(1)向心轴承(径向轴承)

向心轴承的转轴的轴颈由向心滑动轴承所支承(图 1.10)时,若略去摩擦,则轴颈与轴承

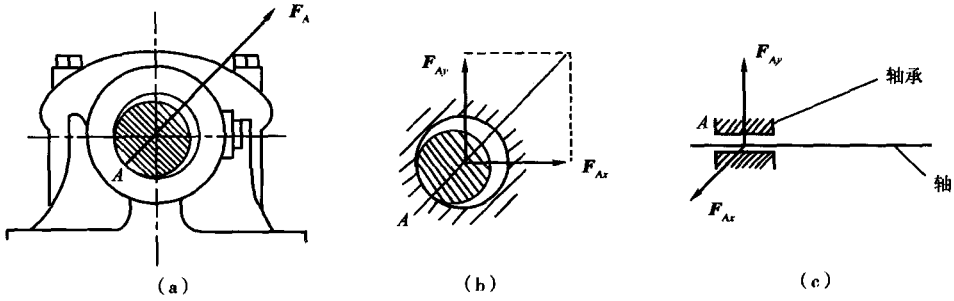


图 1.10

以两个光滑圆柱面相接触。在受力分析上与光滑圆柱销钉连接是相同的。径向轴承的约束力的作用线在垂直于轴线的对称平面内,其方向不能预先确定,故可用两个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示。

(2)止推轴承

止推轴承与向心轴承不同,它除了限制轴的径向位移外,还限制轴沿轴向的位移,即比向心轴承多一个沿轴向的约束力。因此其约束力有三个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Az} ,如图 1.11 所示。

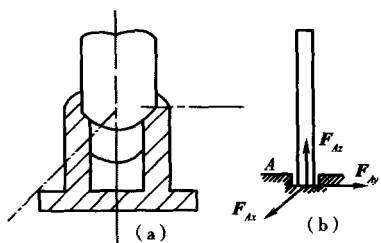


图 1.11

6. 链杆

两端用光滑铰链连接且不计自重的刚杆称为链杆,常用于拉杆或撑杆。由于链杆为二力杆,既能受拉又能受压,故链杆的约束力沿两端铰链的连线,指向不能事先确定,如图 1.12 所示。

因此,固定铰链支座可以用两根不相平行的链杆来代替(图 1.13a),而滚动铰链支座可以用垂直于支承面的一根链杆来代替(图 1.13b)。它们是这两种支座的另一种计算简图。

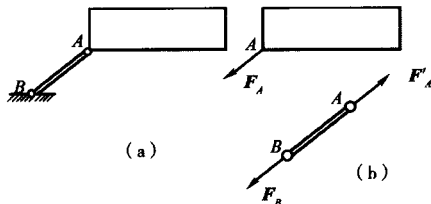


图 1.12

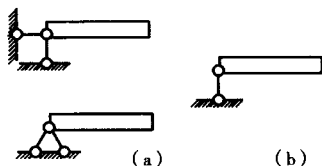


图 1.13

除以上几种常见的约束外,我们会不断地遇到新的约束,但只要掌握了“约束力的方向与所阻碍的运动方向相反”,是不难掌握各种约束的特性的,并给约束力以适当的表达方式。

§ 1.4 物体的受力分析与受力图

在研究静力平衡问题时,首先要确定研究对象,然后要对研究对象进行受力分析。设想把研究对象所受到的约束予以解除,即把所要研究的物体从周围物体的约束中分离出来,单独画出。这样被分离出来的物体称为分离体。然后用约束力代替约束对分离体的作用,并画出其上的所有主动力,这种包括分离体所受的全部作用力(包括约束力和主动力)的图称为受力图。

在静力学的研究中,正确地选择研究对象,进行受力分析和作出完整的受力图是解决问题的关键。

下面举例说明受力分析的步骤和受力图的作法。

例 1.1 冲天炉的加料斗由钢丝绳牵引沿倾斜轨道匀速提升,料斗连同所装炉料共重 G , 重心在点 C (图 1.14a)。略去料斗小轮与钢轨之间的摩擦,试画出料斗的受力图。

解: 取料斗为研究对象,把料斗从与周围物体的联系中分离出来,单独画出(图 1.14b)。

料斗所受的力有:重力 G ,作用在重心 C 上;钢丝绳拉力 F_T ,根据柔索约束力的特性,其方向沿钢丝绳,且为拉力;铁轨对车轮的约束力 F_{NA} 、 F_{NB} ,根据光滑接触面约束力的特性,它们应垂直于钢轨,且指向车轮。料斗的受力图如图 1.14b 所示。

对于单个物体和物体系统,也可将受力分析直接画在原图上。

例 1.2 梁 AB 的 B 端安装着重量为 P 的电动机,并用直杆 CD 支撑,如图 1.15a 所示,若 A 、 C 、 D 三处均为光滑圆柱铰链连接,不计梁和直杆的重量,试画出梁 AB (连电动机)的受

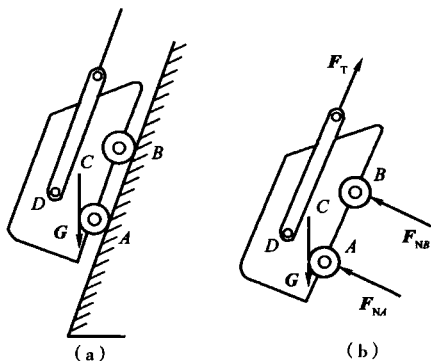


图 1.14 例 1.1 图

力图。

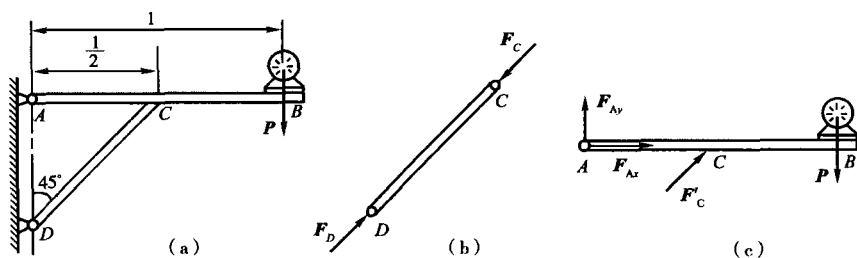


图 1.15 例 1.2 图

解:(1)杆 CD

因不计 CD 杆的自重,所以杆上只受到两端铰链的约束力 F_C, F_D 作用,是二力杆。因此约束力 F_C 与 F_D 等值、反向、共线,其指向可任意假设。根据本题中加载情况,可判断出杆 CD 受压力作用,其受力图如图 1.15b 所示。

(2)梁 AB (连电动机)

将梁 AB 和电动机看成一个整体作为研究对象,解除约束后将其单独画出(图 1.15c)。B 端电动机所受重力用 P 表示。A 端受到固定铰支座施加的约束力,因方向未知,用两个正交分力 F_{Ax}, F_{Ay} 表示。梁在铰链 C 处受到二力杆 CD 施加的约束力 F'_C 的作用,由作用与反作用定律可知, F'_C 与 F_C 等值、反向、共线。

如果对梁 AB 用三力平衡汇交定理,则受力图应怎样画?

例 1.3 如图 1.16a 所示的三铰拱 ABC ,在拱 AC 上作用荷载 F ,不计拱的自重。试分别画出拱 AC 、 CB 以及整个系统的受力图。

解:(1)拱 CB 。

判断拱 CB 为二力构件,则 $F_B = -F_C$ 。其受力图由图 1.16b 所示。

(2)拱 AC

根据作用和反作用定律,在铰链 C 处受有拱 CB 给它的约束力 F'_C ,且 $F'_C = -F_C$ 。在 A 处受有固定铰链支座给它的约束力,由于方向未定,可用两个大小未知的正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示。其受力图如图 1.16c 所示。

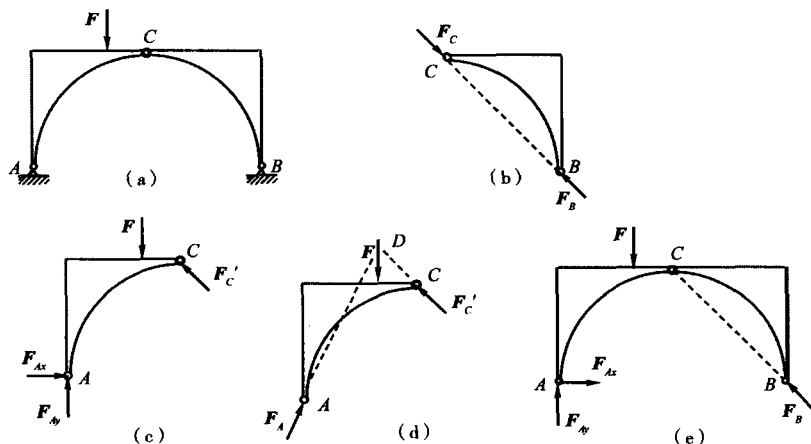


图 1.16 例 1.3 图

进一步分析,由于拱 AC 在 F 、 F'_C 和 F_A 三个力作用下平衡,故可根据三力平衡汇交定理,确定铰链 A 处约束力 F_A 的方位。其受力图如图 1.16d 所示。

(3) 整个系统

由于中间铰链 C 处所受的力是内力,它们成对出现,不影响系统的平衡,因而受力图上只要画出系统以外的物体施加于系统的外力。画出荷载 F ,根据二力平衡条件确定 F_B 的作用线, A 处约束力用两个正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示(亦可由三力平衡汇交定理确定 F_A 的方位)。其受力图如图 1.16e 所示。

若考虑左右两拱的自重时,各受力图该如何来画?

例 1.4 杆 AB 和 BC 在 B 处用铰链连接,在 B 处作用一力 F_1 ,在 H 处作用一力 F_2 。 DE 杆分别用铰链与杆 AB 和 BC 相连。不计各杆自重和摩擦力,如图 1.17a 所示,试分别画出杆 AB 和 BC 的受力图。

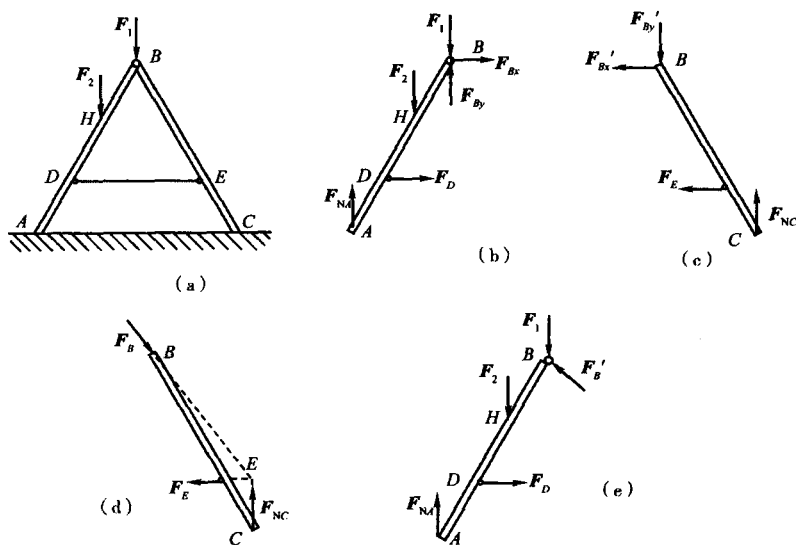


图 1.17 例 1.4 图

解:(1) 杆 AB

设 F_1 直接作用在铰链 B 的销钉上,且销钉 B 与杆 AB 连接。 A 处为光滑接触面,受到 F_{NA} 的作用;杆 DE 是二力杆,受到沿杆轴线方向的力 F_D ; B 处受到中间铰链施加的约束力,因方向未知,用两个正交分力 F_{Bx} , F_{By} 表示。其受力图如图 1.17b 所示。

(2) 杆 BC

取杆 BC 为研究对象, C 处受到光滑接触面约束力 F_{NC} 的作用; E 处受到沿二力杆 DE 轴线方向的力 F_E ; B 处的正交分力 F'_{Bx} , F'_{By} 是连接杆 AB 的销钉上 F_{Bx} , F_{By} 的反作用力。其受力图如图 1.17c 所示。

若考虑对 BC 部分应用三力平衡汇交定理,则 BC 和 AB 的受力图分别如图 1.17d、e 所示。

请读者考虑,若 F_1 仍作用在销钉 B 上,但销钉与杆 BC 连接;或分别取 AB 、 BC 和销钉 B 为研究对象,其受力图又应如何画?

由以上例子可以看出,在研究静力学平衡问题时,首先要正确地选择研究对象,并对研究