

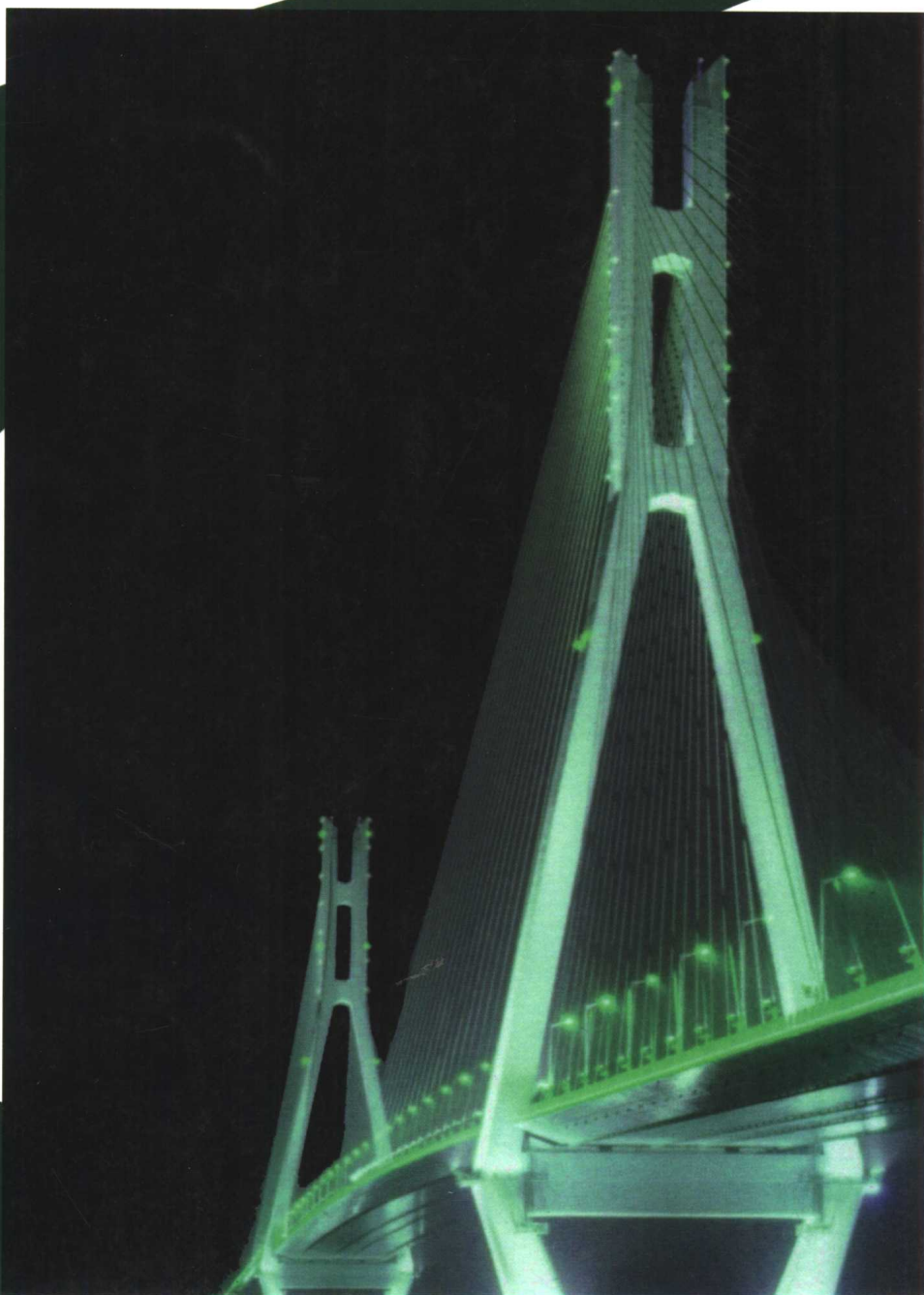
高等学校教材

工程力学

马功勋 主编

何玉梅 梁晓媛 陈 晔 编

GONGCHENG
LIXUE 东南大学出版社



高等学校教材

工程力学

马功勋 主编

何玉梅 梁晓璠 陈晔 编

东南大学出版社

·南京·

内 容 提 要

本书按照教学改革和专业要求编写,其主要特色是:将理论力学和材料力学课程内容进行贯通和协调,适当引进新的内容;力图进行启发式教学,留给学生思考空间;有足够的例题,理论内容和习题难度配合适当,有利于学生学习;通过工程实例的简化和分析,培养学生建立力学模型的能力和解决实际问题的能力。

教材内容由静力学、材料力学和运动力学等三篇组成。第Ⅰ篇静力学包括:物体受力分析、力系简化和力系的平衡条件;第Ⅱ篇材料力学包括:杆件内力、应力、变形、强度、刚度、稳定性和能量法以及混凝土材料的力学性能和断裂力学等方面扩大知识面的内容;第Ⅲ篇运动力学包括:点的简单运动和合成运动、刚体基本运动和平面运动、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理和振动。本书采用模块化结构,根据专业要求能拼装成适用于中、少学时类型的工程力学课程教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/马功勋主编. —南京:东南大学出版社,
2003.1
ISBN 7-81089-192-8

I. 工... II. 马... 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(2003)第 00630 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 南京京新印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:19.25 字数:480千字

2003年1月第1版 2003年1月第1次印刷

印数:1—4500册 定价:28.00元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换 联系电话:025—3795802)

前 言

随着教学改革深入展开,为减少总学时,我校原为本科生开设的《材料力学》、《理论力学》和《工程力学》等课程改为开设工程力学(A)~工程力学(D)等四门课程。其共同部分的内容是静力学和材料力学。从专业特色和学时大幅度缩减考虑,教材建设势在必行。为此,我们编写了这本《工程力学》教材。

教材内容可分为静力学、材料力学和运动力学三篇,共有十三章。在编写时抓住了静力学中的三个问题、二个基本概念、一条线索。材料力学是从杆件内力、应力以及杆件强度、刚度和稳定性计算进行编写。运动学、动力学和单自由度系统振动组成了运动力学。

教材概念清楚、说理透彻、贯彻“少而精”原则,适应学时数减少的要求。力图启发式教学,提出较深入问题,留给学生思考空间。

教材前十章适用于材料、热工、安全工程、工程管理等专业 48~72 学时的《工程力学》教学。全书适用于机电和控制过程专业约 120 学时的《工程力学》教学。

参加教材编写工作的有马功勋、何玉梅、梁晓璠、陈晔等,具体分工如下:第一、二、三、四、五、六、七、九、十二、十三章由马功勋编写;第八、十、十一章由何玉梅编写;各章习题及其参考答案由梁晓璠、陈晔编写。全书由马功勋主编。

在编写教材的过程中,得到了南京工业大学沈复中教授和周小儒副教授以及教务处和机械工程学院领导的支持,特此表示衷心的感谢。

教材内容如有错误,欢迎读者不吝指正。

编 者

2002年7月2日于南京工业大学

目 录

第 I 篇 静力学

第一章 物体受力分析	(1)
§ 1.1 力和力系	(1)
1.1.1 力的概念	(1)
1.1.2 力的投影	(1)
1.1.3 力系	(2)
1.1.4 力的可传性原理	(2)
§ 1.2 约束和约束力	(3)
1.2.1 自由体和非自由体	(3)
1.2.2 约束和约束力	(3)
1.2.3 根据约束本身物理属性或构造分析约束力	(3)
§ 1.3 受力图	(5)
习题	(7)
第二章 力系简化	(10)
§ 2.1 力矩 合力矩定理 力偶	(10)
2.1.1 力对点之矩(力矩)	(10)
2.1.2 力对轴之矩	(11)
2.1.3 力对点之矩和力对轴之矩的关系	(11)
2.1.4 力偶及其特性	(11)
§ 2.2 力系向一点简化 主矢和主矩	(12)
2.2.1 力线平行移动定理	(12)
2.2.2 力系向一点简化 主矢和主矩	(12)
习题	(14)

第三章 力系平衡条件	(16)
§ 3.1 力系平衡条件 静定和静不定概念	(16)
3.1.1 空间力系平衡条件	(16)
3.1.2 平面力系平衡条件	(16)
3.1.3 静定和静不定概念	(17)
§ 3.2 力系平衡条件应用	(17)
§ 3.3 物体系统的平衡问题	(19)
§ 3.4 带摩擦时的平衡问题	(23)
3.4.1 滑动摩擦力	(23)
3.4.2 带摩擦时的平衡问题	(23)
§ 3.5 重心 形心 静矩	(25)
习题	(27)

第 II 篇 材料力学

第四章 杆件内力	(31)
§ 4.1 材料力学的基本概念和基本假定	(31)
§ 4.2 截面法 内力分量	(34)
4.2.1 截面法	(34)
4.2.2 内力分量	(34)
§ 4.3 内力方程 内力图	(38)
§ 4.4 剪力 F_s 、弯矩 M 和载荷集度 q 间的微分关系	(43)
习题	(46)
第五章 杆件应力	(50)
§ 5.1 轴向拉(压)应力	(50)
5.1.1 横截面上应力	(50)
5.1.2 应力集中现象	(50)
5.1.3 轴向拉(压)杆件斜截面上应力	(52)
§ 5.2 纯弯曲梁正应力公式	(53)
5.2.1 纯弯曲梁	(53)
5.2.2 纯弯曲梁正应力公式	(54)
5.2.3 截面惯性矩 平行移轴公式	(56)
§ 5.3 对称截面梁应力	(57)
5.3.1 对称截面梁弯曲正应力	(57)
5.3.2 对称截面梁弯曲剪应力	(58)
§ 5.4 非对称截面梁弯曲 弯曲中心	(62)

5.4.1 非对称截面梁弯曲	(62)
5.4.2 开口薄壁杆件弯曲中心	(63)
§ 5.5 扭转剪应力	(64)
5.5.1 圆截面杆件扭转变形描述	(64)
5.5.2 扭转剪应力	(65)
5.5.3 极惯性矩和抗扭模量	(66)
* 5.5.4 非圆截面杆件扭转的概念	(68)
§ 5.6 组合变形杆件的应力分析	(69)
5.6.1 轴向拉(压)和弯曲组合变形的应力	(69)
5.6.2 两个平面弯曲时的应力	(70)
5.6.3 弯扭组合时的应力 危险点应力描述	(72)
5.6.4 轴向拉(压)和扭转组合时的应力	(73)
5.6.5 轴向拉(压)、弯曲和扭转组合时的应力	(73)
习题	(74)
第六章 材料在轴向拉(压)时的力学性能	(78)
§ 6.1 材料在拉伸(压缩)时的力学性能	(78)
6.1.1 低碳钢在轴向拉伸时的力学性能	(78)
6.1.2 铸铁在轴向拉伸时的力学性能	(81)
6.1.3 强度指标和塑性指标	(81)
6.1.4 低碳钢和铸铁在轴向压缩时的力学性能	(82)
6.1.5 非金属材料在轴向拉(压)时的力学性能	(82)
§ 6.2 材料在高温和动载荷时的力学性能	(84)
6.2.1 材料在高温、短期加载时的力学性能	(84)
6.2.2 高温蠕变和应力松弛	(85)
6.2.3 在动载荷下应变速率对材料力学性能的影响	(85)
§ 6.3 安全系数 许用应力	(86)
习题	(87)
第七章 应力状态分析和强度理论	(88)
§ 7.1 点的应力状态概述	(88)
§ 7.2 平面应力状态分析	(89)
7.2.1 任一斜截面上的应力	(89)
7.2.2 主应力和主方向	(90)
§ 7.3 应力莫尔圆——图解法	(94)
§ 7.4 三向应力状态简介	(96)
* § 7.5 平面应变状态分析	(98)
7.5.1 位移和应变	(98)
7.5.2 应变的坐标变换	(98)

7.5.3 主应变和主应变方向	(99)
§ 7.6 广义胡克定律	(100)
7.6.1 广义胡克定律	(100)
7.6.2 体积应变 体积应力	(101)
7.6.3 应变比能 形状改变比能	(102)
§ 7.7 强度理论	(104)
7.7.1 破坏方式	(104)
7.7.2 无裂纹体的脆性断裂理论	(105)
7.7.3 塑性流动理论	(105)
7.7.4 莫尔强度理论	(107)
7.7.5 含裂纹体脆性断裂判据	(108)
§ 7.8 杆件的强度计算	(109)
7.8.1 基本变形的强度条件	(109)
7.8.2 拉(压)弯、偏心拉(压)杆件的强度条件	(110)
7.8.3 圆轴拉扭或弯扭强度条件	(110)
§ 7.9 剪切的实用计算	(115)
7.9.1 铆钉的实用计算	(116)
7.9.2 键的实用计算	(117)
7.9.3 连接结构的强度计算	(117)
§ 7.10 提高杆件强度的一些措施	(118)
习题	(120)
第八章 杆件变形分析与刚度设计	(127)
§ 8.1 杆件的拉压变形	(127)
8.1.1 纵向变形与横向变形	(127)
8.1.2 节点位移	(127)
§ 8.2 圆轴的扭转变形	(129)
§ 8.3 梁的弯曲变形	(131)
8.3.1 挠度与转角	(131)
8.3.2 挠曲线近似微分方程	(131)
8.3.3 积分法求梁的变形	(131)
§ 8.4 求杆件变形的叠加法	(133)
§ 8.5 杆件的刚度设计 提高杆件刚度的措施	(135)
8.5.1 杆件的刚度设计	(135)
8.5.2 提高杆件刚度的措施	(137)
习题	(138)
第九章 能量法	(141)
§ 9.1 功 应变能 应变能密度	(141)

9.1.1 功	(141)
9.1.2 应变能和应变能密度	(142)
§ 9.2 卡氏定理	(146)
§ 9.3 莫尔积分	(149)
§ 9.4 能量法解冲击问题	(153)
9.4.1 冲击问题基本假定	(153)
9.4.2 冲击的动位移方程和动荷系数	(153)
§ 9.5 静不定结构	(156)
9.5.1 静不定结构概述	(156)
9.5.2 解静不定结构	(159)
9.5.3 正则方程	(163)
习题	(164)
第十章 压杆稳定	(169)
§ 10.1 压杆稳定性的概念	(169)
§ 10.2 临界载荷——欧拉公式	(169)
10.2.1 两端铰支细长压杆的临界力	(169)
10.2.2 不同杆端约束下细长压杆的临界力	(170)
§ 10.3 临界应力与柔度 欧拉公式的适用范围	(172)
10.3.1 临界应力与柔度	(172)
10.3.2 欧拉公式的适用范围	(172)
10.3.3 经验公式	(173)
10.3.4 临界应力总图	(173)
§ 10.4 压杆的稳定性设计	(175)
10.4.1 压杆的稳定性设计准则	(175)
10.4.2 提高压杆稳定性措施	(176)
习题	(177)

第Ⅲ篇 运动力学

第十一章 运动学	(180)
§ 11.1 点的运动学	(180)
11.1.1 矢量法	(180)
11.1.2 直角坐标法	(181)
11.1.3 自然坐标法	(181)
§ 11.2 刚体的基本运动	(183)
11.2.1 刚体的平动	(183)
11.2.2 刚体的定轴转动	(184)

§ 11.3	分析法	(186)
11.3.1	约束与自由度	(186)
11.3.2	平面机构运动的分析法	(187)
§ 11.4	合成法	(189)
11.4.1	运动的合成	(189)
11.4.2	速度的合成	(190)
11.4.3	加速度的合成	(191)
§ 11.5	刚体的平面运动	(194)
11.5.1	平面运动的分解	(194)
11.5.2	平面图形上各点的速度	(195)
11.5.3	平面图形上各点的加速度	(199)
	习题	(203)
第十二章	动力学	(210)
§ 12.1	质点动力学	(211)
12.1.1	质点运动微分方程	(211)
12.1.2	质点动力学两类基本问题	(211)
§ 12.2	动量定理 质心运动定理	(214)
12.2.1	质点动量定理	(214)
12.2.2	质心 质点系动量	(214)
12.2.3	质点系动量定理 动量守恒	(215)
12.2.4	质心运动定理 质心运动守恒	(216)
§ 12.3	质点系动量矩定理	(219)
12.3.1	质点动量矩定理	(219)
12.3.2	质点系动量矩 转动惯量	(219)
12.3.3	质点系动量矩定理 动量矩守恒	(221)
12.3.4	定轴转动刚体动力学方程	(222)
§ 12.4	质点系相对质心动量矩定理 平面运动刚体动力学方程	(225)
12.4.1	相对质心动量矩定理	(225)
12.4.2	平面运动刚体动力学方程	(226)
§ 12.5	质点系动能定理	(228)
12.5.1	力的功 势力功和势能	(229)
12.5.2	质点系动能	(231)
12.5.3	质点系动能定理	(232)
12.5.4	机械能守恒定律	(234)
§ 12.6	动力学基本定理综合应用	(237)
§ 12.7	达朗贝尔原理 动静法	(240)
12.7.1	质点达朗贝尔原理 惯性力	(241)
12.7.2	质点系达朗贝尔原理	(241)

12.7.3 惯性力系主矢和主矩	(242)
* 12.7.4 定轴转动刚体轴承的动约束力	(245)
习题	(247)
第十三章 单自由度系统机械振动	(257)
§ 13.1 单自由度系统自由振动	(257)
13.1.1 单自由度系统无阻尼自由振动	(257)
13.1.2 阻尼对自由振动的影响——衰减振动	(260)
§ 13.2 单自由度系统强迫振动	(263)
13.2.1 正弦外干扰力激振的强迫振动	(263)
13.2.2 基础或支座运动时的强迫振动	(265)
* § 13.3 隔振理论简介	(267)
13.3.1 主动隔振	(267)
13.3.2 被动隔振	(268)
习题	(269)
参考文献	(271)
习题参考答案	(272)
附录 型钢表	(281)

第 I 篇 静力学

静力学中有两个基本概念:力和力偶;一条基本线索:等效。

静力学所研究的问题是物体受力分析、力系的简化和力系的平衡条件。我们要正确地掌握物体受力分析,根据约束类型分析约束力;在对物体进行受力分析的基础上,正确地画出物体的受力图;借助力线平移定理和等效概念对力系进行简化,讨论简化结果,导出力系的平衡条件;应用平衡条件熟练地求解平衡问题。

第一章 物体受力分析

§ 1.1 力和力系

1.1.1 力的概念

力是物体间的相互机械作用,其效果使物体运动状态发生变化或使物体产生变形。

力对物体作用效果取决于力的大小、方向和作用点,且力又满足平行四边形法则,故力可抽象为矢量。矢量的模表示力的大小,矢量方向表示力的方向,矢量的起端或终端表示力的作用点。力矢量用黑体 F_A 表示,下标 A 表示力的作用点。由于力具有大小、方向和作用点,故力是固定矢量。力的国际单位:牛[顿](N)。

1.1.2 力的投影

力矢量 F 在空间直角坐标系 $O-xyz$ 中的投影有两种表示方法。

① 设已知力矢量 F 与 x 、 y 和 z 轴的夹角分别为 α 、 β 和 γ ,则其在 x 、 y 和 z 轴上的投影可用其方向余弦表示为:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \cos \beta \\ F_z &= F \cos \gamma \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

② 设力矢量 F 与 z 轴夹角为 γ ,且其在 xy 平面内的分力与 x 轴夹角为 θ ,则其在 x 、 y 和 z 轴上的投影可表示为(图 1-1):

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \sin \gamma \cos \theta \\ F_y &= F \sin \gamma \sin \theta \\ F_z &= F \cos \gamma \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

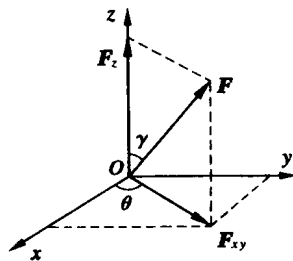


图 1-1 力的二次投影

1.1.3 力系

作用在物体上的一群力称为力系,记作 $\{F_i\}(i=1,2,\dots,n)$ 。按力系中各力作用线是否同处于一平面内,将力系分为空间力系和平面力系。各力作用线同处于一平面内的力系称为平面力系,否则称为空间力系。也可按力系各力作用线皆平行或相交于一点将力系分类为平行力系或汇交力系。因此,按其组合有平面汇交力系、平面平行力系和平面一般力系以及空间汇交力系、空间平行力系和空间一般力系。

若两个力系对物体作用效果相同,则称两力系等效。为今后叙述方便,若力系 $\{F_i\}(i=1,2,\dots,n)$ 和力系 $\{Q_j\}(j=1,2,\dots,m)$ 等效,则表示为 $\{F_i\} \sim \{Q_j\}$ 。

若力系和一力等效,则该力称为力系的合力。这时,力系中各力称为该力的分力。若力系和零力系等效,则该力系称为平衡力系。

1.1.4 力的可传性原理

形变可以忽略的物体称为刚体。刚体是一种模型,在研究机械运动时可以将物体视为刚体,但在研究破坏问题时,即使形变很小也不能将物体视为刚体。

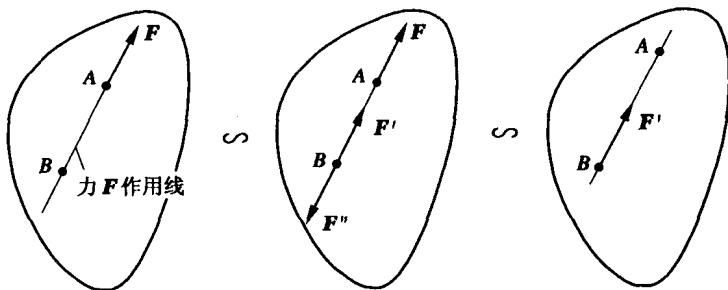


图 1-2 力的可传性原理证明($F = F' = -F''$)

对刚体而言,加减一平衡力系并不改变对刚体的作用效果(加减平衡力系公理),据此可得一推论:力可沿其作用线搬移到刚体上任何一点,并不改变对刚体的作用效果,称作力的可传性原理。现证明如下(图 1-2):

AB 是力 F 作用线的延长线,在 B 点加 F' 和 F'' ,满足 $F = F' = -F''$,即在 B 点加一平衡力系 $\{F', F''\}$,根据加减平衡力系公理,对于刚体,加一平衡力系并不改变对刚体的作用效果,即有作用在 A 点的力 $F \sim \{F; F', F''\}$ 。

在力系 $\{F; F', F''\}$ 中, F 和 F'' 又构成一平衡力系。根据加减平衡力系公理,减少这一平衡力系不会改变力系 $\{F; F', F''\}$ 对刚体的作用效果,则有 $F \sim \{F; F', F''\} \sim F'$ 。换言之, $F \sim F'$ 。这表明,作用在刚体 A 点上的力 F 已沿其作用线搬到了 B 点。由于在证明中,对 B 点在力 F 作用线的延长线上的位置未加任何限制,故力的可传性原理得证。

对于刚体,因为力可沿其作用线搬移到刚体上任意点,所以,作用于刚体上的力可抽象为滑动矢量。

应该强调,力的可传性原理仅适用于刚体。对于变形体,力的可传性原理是不适用的。例如一弹性直杆,若在其二端面上沿杆件轴线作用一对拉力,则杆件产生拉伸变形。这时,倘若对该弹性直杆应用力的可传性原理,则杆件将产生压缩变形。造成上述结果,是应用了力的可传性原理而引起的。

§ 1.2 约束和约束力

1.2.1 自由体和非自由体

运动或位移不受任何限制的物体称为自由体,否则称为非自由体。飞机在空间可自由地飞行,飞机是自由体。火车一定要在铁轨上运行,火车是非自由体。

1.2.2 约束和约束力

对物体运动或位移起到限制作用的物体称为约束。铁轨对火车是约束,而火车是被约束的物体。约束物体对被约束物体的作用力称为约束力。约束力起到阻碍物体运动或位移的作用,正是这个原因,约束力的方向始终与阻碍被约束物体运动或位移的方向相反。

工程上还存在另一种类型的力,即能促使物体运动的力,例如重力或蒸汽压力。能促使物体运动的力称为主动力。主动力的大小、方向和作用点一般是已知的。约束力的大小总是未知的,在静力学中需用平衡条件加以确定,而在动力学中则需用动力学基本定理或原理加以确定。需用平衡条件或动力学基本定理或原理加以确定的我们称为“事后”确定。至于约束力的方向和作用点,在有些情况下是可以根据约束本身物理属性或构造加以确定,我们称为“事前”确定。

1.2.3 根据约束本身物理属性或构造分析约束力

(1) 柔性体约束

钢索、绳索、皮带和链条属于柔性体约束。柔性体只有在呈现拉力状态时才能起到约束的作用。图 1-3 所示的绳索 AB 在 A 点的力 T' 是小球对它的作用力,根据作用与反作用定律,作用于小球上的约束力 T ,即柔性体约束的约束力 T 的方向沿着柔性体背离被约束的物体。因此,柔性体约束力的方向可“事前”确定。

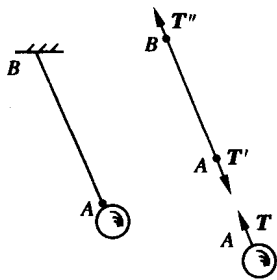


图 1-3 柔性体约束力分析

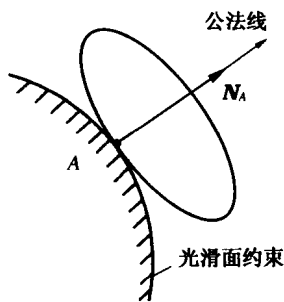


图 1-4 光滑面约束力分析

(2) 光滑面约束

根据约束特性可知,约束力的方向始终与阻碍物体运动或位移的方向相反。据此,可确定光滑面约束力的方向,现分析如下:考虑一般情况,约束物体和被约束物体的表面皆是曲面,且为点接触(图 1-4)。设接触点为 A ,过 A 点可作两曲面的公切面和公法线。由于光滑接触,被约束物体在公切面内的运动或位移不受任何限制,故不存在公切面内的约束力。沿公法线离开约束物体方向的运动或位移也不受限制,故不存在沿公法线向约束面方向的约束力。然而,沿公法线向着约束物体方向的运动或位移受到了限制,故光滑面约束力的方向是沿着接触面的公

法线指向被约束物体,而其作用点就是接触点 A 。因此,光滑面约束力的方向可“事前”确定。光滑面约束力用 N_A 表示,下标 A 表示约束力的作用点。

柔性约束和光滑面约束是基本约束,属理想约束。

(3) 轴承、固定铰支座和中间铰链

轴承对轴的约束是通过轴承上的圆孔加以实现(图 1-5)。工程上要求轴在圆孔内自由转动,为保证之,轴承上的圆孔和轴应精加工,且轴的直径应略小于圆孔直径。若将轴承上的圆孔和轴都视为刚体,则它们之间是点接触。由于圆孔对轴的约束实属光滑面约束,故知约束力应是过接触点的一个力。根据圆孔和轴的结构,无法“事前”确定接触点的确切位置。因此,轴承对轴的约束力是一个大小和方向都不能确定的力。图 1-5 上用带折的矢量 R_A 表示之。根据力的可传性原理,约束力的作用点可置于轴心上。一个大小和方向都不能确定的力,在平面情况下,可以用沿 x 轴和 y 轴的分量 R_{Ax} 和 R_{Ay} 表示。这时,力 R_A 的大小和方向与其投影 R_{Ax} 和 R_{Ay} 的关系为:

$$\left. \begin{aligned} R_A &= \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2} \\ \tan\alpha &= \frac{R_{Ay}}{R_{Ax}} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中: α 是 R_A 与 x 轴夹角。

R_{Ax} 和 R_{Ay} 中的双下标,第一个下标表示力的作用点,第二个下标表示力矢量在某坐标轴上的投影。

根据作用与反作用定律,轴对轴承圆孔的作用力与 R_A 等值、反向并且在同一直线上。因此,轴对轴承圆孔的作用力也是大小、方向都不能“事前”确定的一个力。

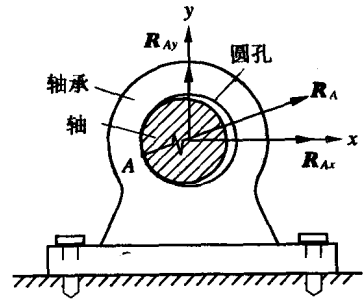


图 1-5 轴承约束力分析

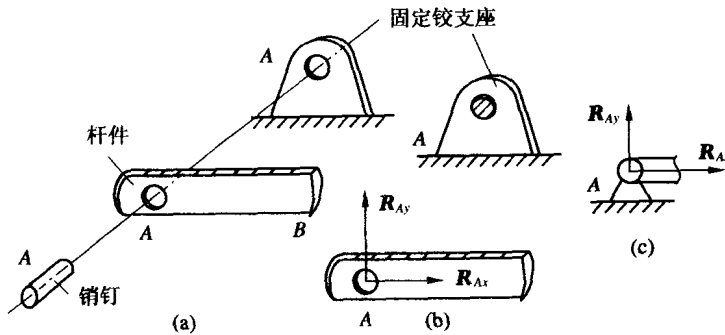


图 1-6 固定铰支座约束力分析

固定铰支座在构造上与轴承相似,固定铰支座对杆件约束是通过铰支座中的圆孔和销钉加以实现的(图 1-6),杆件上圆孔直接与销钉接触,其约束力也是一个大小和方向不确定的力(作用在杆件的圆孔上),工程上常用其正交分量 R_{Ax} 和 R_{Ay} 表示。图 1-6(c) 是固定铰支座的计算简图。

中间铰链约束,这种约束是将两杆各开一圆孔,然后将两圆孔对在一起,并在其内穿过一销钉,以实现两杆联接,这种联接允许两杆有相对转动,但不允许有相对移动。其约束力分析与固定铰约束相同,即只要将销钉放在一杆的圆孔上,则另一杆的圆孔上所受的是一个大小和方

向都不确定的力,其约束力用分量 R_{Ax} 和 R_{Ay} 表示。

[思考] 对中间铰链,若取销钉为研究对象应如何分析它的受力?

(4) 光滑球形铰链

固连于构件上的球嵌入另一构件上的球壳组成球铰链(图 1-7)。球壳和球间光滑接触,球在球壳内可自由转动,球壳对球的约束力是大小和方向都不能“事前”加以确定的(空间)一个力,可用在 x 、 y 和 z 轴的分量表示。图 1-7(a) 和 (b) 分别是球铰链的结构图和计算简图,图 1-7(c) 显示了杆件受到的约束力。光滑球形铰链约束是空间约束。

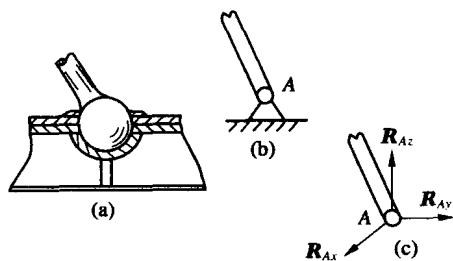


图 1-7 光滑球形铰链结构及其约束力

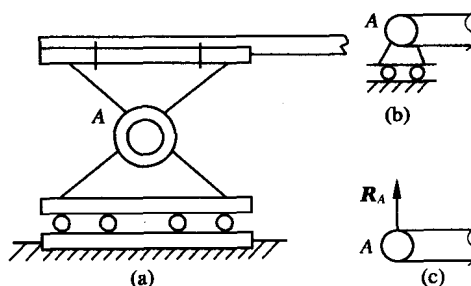


图 1-8 滚动支座结构及其计算简图

(5) 滚动支座

滚动支座约束力是垂直于支撑圆滚子的支承面,其指向可以离开支承面,也可以向着支承面,这取决于滚动支座的构造。图 1-8(a) 是滚动支座结构示意图。图 1-8(b) 和 (c) 分别显示了滚动支座的计算简图和约束力。

§ 1.3 受力图

在对物体受力分析的基础上,为了形象地表示物体所受到的全部力(主动力与约束力,内力与外力),首先画出物体的简单轮廓,然后标画出作用在其上的所有的力。如此画出的图形称为物体的受力图。要画受力图的物体或待分析受力的物体习惯上称为研究对象。在受力分析或画受力图时,必须要明确研究对象,而与其接触的一切物体都视为约束,解除约束,以相应的约束力替代。解除约束的物体称为分离体,对物体解除约束又称为取分离体。在分析约束力时应按 1.2 节所述的约束类型进行,一般不按直觉或力的分解进行物体的受力分析。

对物体进行受力分析和画受力图时,力可以按主动力和约束力进行分类,也可以按内力和外力进行分类。所谓内力是指系统内物体间的相互作用力,它们满足作用与反作用定律。内力和外力是相对的,与所取的研究系统有关。对整个系统,由于内力成对出现,对其平衡没有影响,故在整个系统(简称为整体)的受力图上无需画出内力。但是,在画系统内各个物体的受力图时,上述的内力却为外力,必须在受力图上画出。

例 1.1 用力 F 拉动碾子以压平路面,碾子受到一石块的阻碍,如图 1-9(a) 所示。试画出碾子的受力图。

解: 取碾子为研究对象,并单独画出其简图(解除约束,取分离体)。其受力分析为

(1) 主动力:地球的引力 W (碾子重力)和杆对碾子中心的拉力 F 。

(2) 约束力: 碾子在 A 和 B 两处分别受到石块和地面的约束, 若不计摩擦, 则均为光滑面接触, 故在 A 处受石块的法向约束力 N_A 的作用, 在 B 处受地面法向约束力 N_B 的作用, 它们都沿碾子上接触点的公法线而指向圆心。碾子的受力图如图 1-9(b) 所示。今后, 为方便起见, 研究对象用符号 [] 表示之。

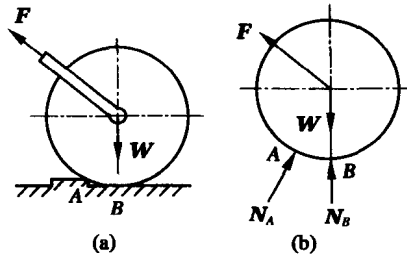


图 1-9 碾子受力图

例 1.2 画图 1-10(a) 所示物体系统、球和杆的受力图。设各接触面是光滑的。

解: 受力分析

[整体] 整体受力有: (1) 球的重力 Q ; (2) 解除固定铰支座 B , 其约束力大小和方向不能确定, 用两分量 R_{Bx}, R_{By} 表示; (3) 解除光滑面 AB , 约束力 N_D 垂直于 AB , 指向球心 O ; (4) 解除绳索约束 (剪断绳索), 约束力 T 沿绳索, 离开 BC 。整体受力图如图 1-10(b) 所示。

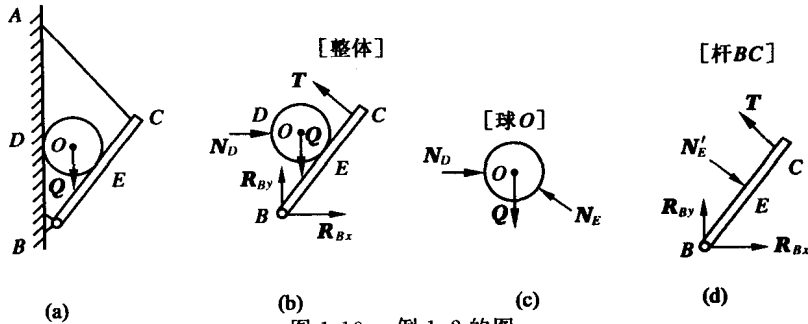


图 1-10 例 1.2 的图

[球] 球受力有: (1) 球的重力 Q ; (2) 光滑面 AB 的约束力 N_D , 其作用线垂直于 AB , 且指向球心 O ; (3) 因现取球为研究对象, 故将杆 BC 视为约束, 其约束力 N_E 垂直于 BC , 指向球心 O 。球的受力图如图 1-10(c) 所示。

[BC] BC 受力有: (1) 解除固定铰支座 B , 其约束力大小和方向不能确定, 用两分量 R_{Bx}, R_{By} 表示; (2) 解除绳索约束, 约束力 T 沿绳索, 其指向是离开 BC ; (3) 将球视为约束, 其约束力为 N'_E , 它与 N_E 构成作用和反作用。杆 BC 受力图如图 1-10(d) 所示。

例 1.3 一桥梁由两跨组成, 其计算简图和受载如图 1-11 所示。试画整体、 AB 跨和 BC 跨的受力图。已知 AB 跨和 BC 跨的重力 Q 以及载荷 P 。

解: 受力分析

[整体]

(1) 受重力 Q, Q 和载荷 P ; (2) 解除 A 和 C 处固定铰支座, 其约束力分别用 R_{Ax}, R_{Ay} 和 R_{Cx}, R_{Cy} 表示。整体受力图如图 1-11(b) 所示。

[BC] 受力分析

(1) 受重力 Q ; 固定铰支座 C 处的约束力用两分量 R_{Cx} 和 R_{Cy} 表示。

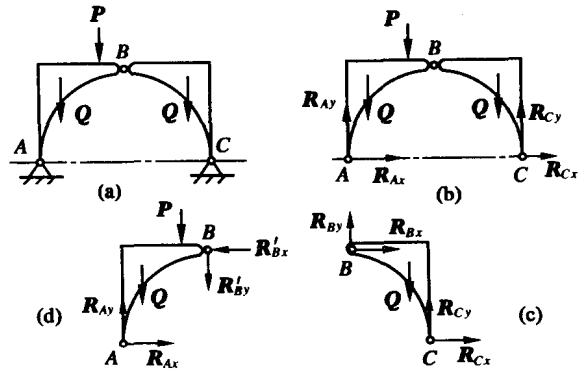


图 1-11 桥梁结构示意图及其受力图