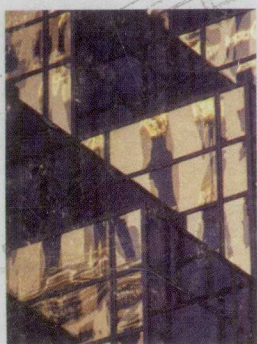


高等职业技术学校房屋建筑工程专业系列教材

WUTP



工程力学

苏 炜 主 编

GCLX

武汉工业大学出版社



工程力学

GCLX

高等职业技术学校房屋建筑工程专业系列教材

工 程 力 学

苏 炜 主 编

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/苏炜主编. —武汉:武汉工业大学出版社, 2000. 9
高等职业技术学校房屋建筑工程专业系列教材
ISBN 7-5629-1551-2

I. 工…

II. 苏…

III. 建筑工程-理论力学-材料力学-高等职业技术学校-教材

IV. TU45

武汉工业大学出版社出版发行
(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮政编码: 430070)
各地新华书店经销
核工业中南三〇九印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.875 字数: 400 千字
2000 年 9 月第 1 版 2002 年 7 月第 3 次印刷
印数: 7001—9000 册 定价: 20.00 元
(本书如有印装质量问题, 请向承印厂调换)

前 言

本教材是根据高等职业学校房屋建筑工程专业工程力学的要求编写的,包括静力学与材料力学两部分。

为适应高等职业教育改革,满足实用型人才培养的要求,根据专业课程改革的现状,我们突出了以下几个方面特点:① 在满足基本理论必需、够用的基础上,更注重实用性;② 教材结构简单,前后内容连贯流畅,重点突出;③ 对一些难点问题进行了简化处理,增大了例题数量,例题难度适当,有利于读者对内容的掌握;④ 教材文字力求做到少而精,能通俗易懂。

全书共十章,分别为静力学基础,平面汇交力系,力矩、平面力偶系,平面一般力系,材料力学的一般概念,轴向拉伸与压缩,扭转,弯曲,应力状态和强度理论,组合变形、压杆稳定。

《工程力学》教材的课时分配与教学进度(参考)

授课内容	授课学时数	习题课、实验课学时数
第1章 静力学基础	4	习题课 16 学时 实验课 6 学时
第2章 平面汇交力系	4	
第3章 力矩 平面力偶系	4	
第4章 平面一般力系	8	
第5章 材料力学的一般概念	4	
第6章 轴向拉伸与压缩	6	
第7章 扭转	6	
第8章 弯曲	20	
第9章 应力状态和强度理论	6	
第10章 组合变形 压杆稳定	8	
合 计	70	22

参加本书编写的人员:

中州大学 张伟红(第1、2章)

洛阳大学 张保善(第4章3、4、5、6节)

中州大学 苏 炜(第5、6章)

开封大学 何世玲(第3、7章)

开封大学 张文胜(第8章)

安阳大学 李进舜(第9章,第4章1、2节)

平原大学 尚彩霞(第10章)

本书由苏炜主编。在编写过程中参考了《理论力学》、《材料力学》、《工程力学》、《建筑力学》等书籍,在此,特表示衷心的感谢!并对为本书付出辛勤劳动的编辑同志表示衷心的感谢!

由于我们的水平有限,并且时间仓促,教材中一定存在错误,我们恳切地希望广大读者批评指正,并表示衷心的感谢!

编 者

2000年5月

目 录

第一篇 静 力 学

1 静力学基础	(1)
1.1 力 刚体	(1)
1.1.1 力的概念	(1)
1.1.2 刚体的概念	(2)
1.2 静力学基本公理	(2)
1.2.1 力的平行四边形法则	(2)
1.2.2 二力平衡公理	(3)
1.2.3 加减平衡力系公理	(3)
1.2.4 三力平衡汇交定理	(4)
1.2.5 作用和反作用定律	(5)
1.3 约束与约束反力	(5)
1.3.1 约束与约束反力的概念	(5)
1.3.2 常见的约束类型和确定其约束反力的方法	(5)
1.4 物体的受力分析和受力图	(8)
思考题	(10)
习 题	(11)
2 平面汇交力系	(13)
2.1 平面汇交力系合成的几何法及平衡的几何条件	(13)
2.1.1 平面汇交力系合成的几何法	(13)
2.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件	(15)
2.2 力的分解	(16)
2.3 力在轴上的投影 合力投影定理	(17)
2.3.1 力在轴上的投影	(17)
2.3.2 合力投影定理	(18)
2.4 平面汇交力系合成的解析法及其平衡的解析条件	(18)
2.4.1 平面汇交力系合成的解析法	(18)
2.4.2 平面汇交力系平衡的解析条件	(20)
思考题	(22)
习 题	(23)
3 力矩 平面力偶系	(26)
3.1 力对点的矩	(26)
3.1.1 力矩的概念	(26)

3.1.2 合力矩定理	(27)
3.2 力偶与力偶矩	(27)
3.3 平面力偶系的合成与平衡	(29)
3.3.1 平面力偶系的合成	(29)
3.3.2 平面力偶系的平衡条件	(30)
思考题	(31)
习 题	(32)
4 平面一般力系	(35)
4.1 平面一般力系的简化	(35)
4.1.1 力的平移定理	(35)
4.1.2 平面一般力系向平面内已知点的简化	(36)
4.2 平面一般力系的简化结果讨论	(38)
4.2.1 平面一般力系的简化及简化结果讨论	(38)
4.2.2 合力矩定理	(39)
4.3 平面一般力系的平衡条件、平衡方程	(40)
4.4 物体系统的平衡	(47)
4.5 静定与超静定的概念	(54)
4.6 空间力系简介	(54)
4.6.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(55)
4.6.2 力对轴的矩	(55)
4.6.3 力对点的矩及其与力对轴的矩之间的关系	(56)
思考题	(58)
习 题	(60)

第二篇 材料力学

5 材料力学的一般概念	(65)
5.1 材料力学的研究对象	(65)
5.1.1 结构与构件	(65)
5.1.2 计算简图的概念	(65)
5.2 荷载的分类	(66)
5.3 变形固体及基本假定	(67)
5.4 内力与应力	(68)
5.4.1 内力	(68)
5.4.2 截面法	(68)
5.4.3 应力	(69)
5.5 变形与位移	(69)
5.5.1 变形	(69)
5.5.2 位移	(70)
5.6 杆件变形的基本形式	(71)

5.6.1	杆件	(71)
5.6.2	杆件变形的基本形式	(71)
5.7	材料力学的基本任务	(72)
	思考题	(73)
6	轴向拉伸和压缩	(74)
6.1	常见的轴向受拉杆和轴向受压杆	(74)
6.2	轴力与轴力图	(75)
6.2.1	轴力	(75)
6.2.2	轴力图	(76)
6.3	轴向拉杆和压杆的应力	(79)
6.3.1	横截面上的应力	(79)
6.3.2	斜截面上的应力	(80)
6.4	轴向拉伸和压缩时的变形 虎克定律	(82)
6.4.1	轴向拉伸和压缩时的变形	(82)
6.4.2	横向变形系数	(83)
6.4.3	虎克定律	(84)
6.5	材料在拉伸和压缩时的力学性质	(85)
6.5.1	材料的拉伸和压缩试验	(85)
6.5.2	低碳钢在拉伸时的力学性质	(86)
6.5.3	其它金属材料在拉伸时的力学性质	(90)
6.5.4	材料在压缩时的力学性质	(90)
6.5.5	常用材料的力学性质比较	(92)
6.6	容许应力与安全系数	(92)
6.7	拉、压杆的强度计算	(93)
6.7.1	强度条件	(93)
6.7.2	强度计算	(93)
6.8	应力集中的概念与圣维南原理	(98)
6.8.1	应力集中的概念	(98)
6.8.2	圣维南原理	(98)
6.9	简单的拉、压超静定问题	(99)
	思考题	(102)
	习题	(103)
7	扭转	(107)
7.1	扭矩与扭矩图	(107)
7.1.1	外力偶矩计算	(107)
7.1.2	扭矩与扭矩图	(107)
7.2	薄壁圆筒的扭转	(109)
7.2.1	薄壁圆筒扭转时的应力与应变	(109)
7.2.2	剪应力互等定理	(110)

7.2.3	剪切虎克定律	(110)
7.3	圆杆扭转时的应力与强度计算	(110)
7.3.1	圆杆扭转时的应力	(110)
7.3.2	I_p 与 W_p 的计算	(113)
7.3.3	扭转强度条件	(113)
7.4	圆杆扭转时的变形与刚度计算	(115)
7.4.1	圆杆的扭转变形	(115)
7.4.2	圆轴扭转时的刚度条件	(115)
7.5	矩形截面构件的扭转简介	(116)
	思考题	(117)
	习 题	(118)
8	弯曲	(121)
8.1	剪力与弯矩	(122)
8.1.1	用截面法求梁的内力、剪力与弯矩	(122)
8.1.2	剪力、弯矩的正负规定	(123)
8.1.3	用观察法求剪力、弯矩	(123)
8.2	剪力图 弯矩图	(125)
8.2.1	由剪力方程、弯矩方程逐点描述绘制剪力图、弯矩图	(126)
8.2.2	弯矩、剪力、荷载集度间的微分关系及其应用	(131)
8.2.3	用观察法作剪力图、弯矩图	(132)
8.3	平面图形的几何性质	(137)
8.3.1	形心和静矩	(137)
8.3.2	极惯性矩	(140)
8.3.3	惯性矩 惯性矩的平行移轴公式	(141)
8.4	梁的应力及强度计算	(147)
8.4.1	弯曲正应力	(148)
8.4.2	弯曲剪应力	(150)
8.4.3	梁的强度计算	(153)
8.5	提高梁的承载能力的措施	(156)
8.5.1	合理地选择梁横截面	(156)
8.5.2	改变梁的承载方式	(157)
8.5.3	改变梁的支承	(158)
8.6	梁的变形	(159)
8.6.1	梁的挠曲线方程	(160)
8.6.2	梁的变形计算	(161)
8.6.3	梁的刚度计算	(168)
8.6.4	简单超静定梁的计算	(169)
	思考题	(171)
	习 题	(173)

9 应力状态和强度理论	(180)
9.1 平面应力状态的概念	(180)
9.2 平面应力状态分析	(181)
9.2.1 解析法	(181)
9.2.2 图解法——摩尔圆法	(182)
9.2.3 主应力的数值和主平面的位置	(183)
9.3 三向应力状态的最大应力、广义虎克定律	(185)
9.3.1 三向应力状态的最大应力	(185)
9.3.2 广义虎克定律	(186)
9.4 强度理论	(187)
9.4.1 四个常用的强度理论	(188)
9.4.2 强度理论的适用范围	(190)
9.4.3 强度理论的应用	(191)
思考题	(195)
习 题	(196)
10 组合变形 压杆稳定	(200)
10.1 组合变形的概念与实例	(200)
10.2 拉伸(压缩)与弯曲的组合	(200)
10.2.1 在轴向力和横向力共同作用下的杆	(200)
10.2.2 偏心拉伸(压缩)	(202)
10.3 扭转与弯曲的组合	(207)
10.3.1 外力分析	(207)
10.3.2 内力分析	(208)
10.3.3 应力分析	(208)
10.3.4 强度条件	(209)
10.4 压杆稳定的概念	(212)
10.4.1 稳定性的概念	(212)
10.4.2 临界力的概念	(212)
10.4.3 中心受压直杆与实际压杆	(212)
10.5 不同杆端约束下压杆临界力的计算公式	(213)
10.5.1 柔度的概念	(213)
10.5.2 不同杆端约束下压杆临界力的计算公式、临界应力总图	(213)
10.6 压杆的稳定计算	(215)
10.6.1 压杆的稳定条件、折减系数	(215)
10.6.2 压杆横截面的设计步骤	(215)
思考题	(219)
习 题	(220)
习题答案	(224)
型钢表	(230)

第一篇 静 力 学

1 静力学基础

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学。

其中“力系”是指作用于物体上的一群力;“平衡”在静力学中是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动。平衡是物体运动的一种特殊形式。

静力学主要研究两个问题:

(1) 力系的简化

若作用在物体上的一个力系用另一个力系代替而不改变它对物体的作用效应,则称这两个力系为等效力系。所谓“力系的简化”,是用一个简单力系等效地替换一个复杂力系。

研究力系简化的目的,就是要简化物体的受力情况,以便进一步分析和研究。

(2) 力系的平衡条件

所谓“力系的平衡条件”是指物体平衡时,作用于物体上的各力所需满足的条件,满足平衡条件的力系又称为平衡力系。

力系的平衡条件是设计构件、结构和机械零件时进行静力计算的基础,可见,它在工程实际中有着十分重要的意义。

1.1 力 刚体

1.1.1 力的概念

力是物体间相互的机械作用,这种作用的结果使物体的机械运动状态发生变化(力的运动效应或外效应),或使物体发生变形(力的变形效应或内效应)。

力的概念是从劳动中产生的。人们在生活和生产中,由于肌肉紧张收缩的感觉,逐步形成了对力的感性认识。以后,随着生产的发展和科技的进步,人们又逐步认识到:若物体被其它物体施加力以后,其作用结果将导致该物体的机械运动状态发生变化或者发生变形。两物体间力的作用既可以是互相接触的,例如:塔吊吊装楼板,放在梁上的设备使梁发生弯曲等等;也可以是互不接触的(即“场”对物体的作用),例如:地球引力场对物体的引力,电场对电荷的引力和斥力等等。尽管力的来源和物理本质不同,但是在研究物体的平衡时,可以撇开这些非本质的因素,将它们加以抽象和概括就形成了“力”的概念。人们的认识也从感性上升到了理性。

实践表明,力对物体的作用效果取决于力的大小、力的方向和力的作用点三个要素。显然,当三要素中的任何一个要素发生了改变,力的作用效果将随之改变。因此,要准确表达一个力,就要把力的三要素均表示出来。

力是既有大小又有方向的矢量。我们用一个矢量来表示力的三个要素,如图 1.1 所示。其

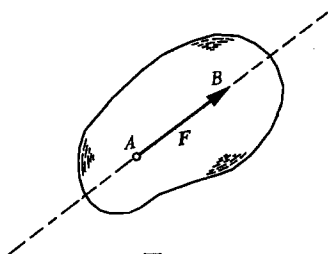


图 1.1

中矢量的长度(AB)按一定的比例尺表示力的大小;矢量的方向表示力的方向;矢量的始端(点 A)表示力的作用点。矢量 AB 所沿着的直线(图 1.1 上的虚线)称为力的作用线。我们用黑体字母 F 表示力的矢量,用普通字母 F 或 $|F|$ 表示力矢的大小(模)。

为了表示力的大小,必须确定力的单位。在国际单位制中,力的单位用牛顿(N)或千牛顿(kN)。其换算关系为:

$$1 \text{ kN} = 1000 \text{ N}$$

在工程单位制中,力的单位用公斤力(kgf)或千公斤力即吨力(tf)。其换算关系为:

$$1 \text{ tf} = 1000 \text{ kgf}$$

牛顿和公斤力的换算关系为:

$$1 \text{ kgf} \approx 9.8 \text{ N}$$

本书采用国际单位制。

1.1.2 刚体的概念

刚体是指在力的作用下不发生变形的物体。

这是一个理想化的力学模型,实际上物体在力的作用下,都会产生不同程度的变形。但是,这些微小的变形,对研究物体的平衡问题不是主要因素,可以忽略不计,这样就使问题的研究大为简化,即忽略物体的变形,将原物体用“刚体”这一理想化的模型来代替。长期的实践证明,引用“刚体”这一概念在许多情况下得到的结果是足够精确的。但是,采用刚体这一模型时,要注意研究问题的条件和范围。例如,同一根钢管,若两人抬起,计算每人所受压力时,我们可以把钢管看作刚体;但是若三人抬起,同样计算每人所受压力时,尽管钢管的变形很小,但却成为问题的主要因素,所以只能以另一模型——变形体来代替。

本篇主要以刚体为研究对象,故又称刚体静力学。

1.2 静力学基本公理

静力学基本公理是人们在长期的生产活动和生活实践中,经过反复观察和实践检验总结出来的客观规律,它是研究力系简化和平衡条件等问题的最基本的力学规律。

1.2.1 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力可以合成为作用于该点的一个合力,合力的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确定。如图 1.2(a)所示。或者说,合力矢等于这两个力矢的几何和,即:

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

力的平行四边形也可以简化为力的三角

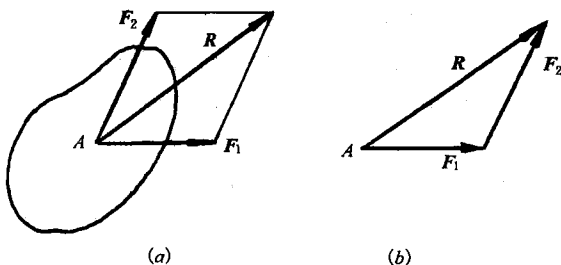


图 1.2

形,如图 1.2(b)所示。在力矢 F_1 (或力矢 F_2)的末端接绘力矢 F_2 (或 F_1),再自力矢 F_1 (或 F_2)的始端向力矢 F_2 (或 F_1)的末端作一力矢,即得合力矢 R 。此法也称为力的三角形法则。

力三角形只表示各力的大小和方向,并不表示各力作用线的位置。因此,力三角形只是一种矢量运算方法,不能完全表示力系的真实作用情况。

这个公理总结了最简单的力系简化的规律。

1.2.2 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体平衡的必要与充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且在同一直线上。如图 1.3 所示,即:

$$F_1 = -F_2 \quad (1.2)$$

这个公理总结了作用于刚体上的最简单力系的平衡条件。对于刚体来说,这个条件是既必要又充分的;而对于非刚体,这个条件虽然必要但不充分。例如:软绳受到两个等值反向的拉力作用时可以平衡,而受到两个等值反向的压力作用时就不能平衡。

工程上常见到如图 1.4 所示的一类构件,其特点是:构件只受到两个力作用而保持平衡。这类构件被称之为二力构件。根据二力平衡公理可以断定:这两个力必定沿着二力作用点的连线,且等值、反向。

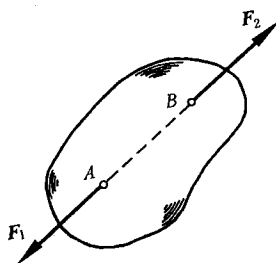


图 1.3

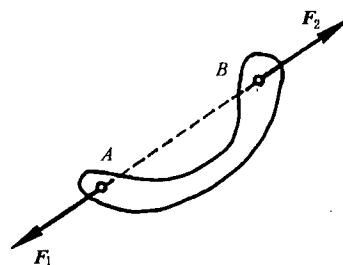


图 1.4

1.2.3 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任一力系上加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。也就是说,如果两个力系只相差一个或几个平衡力系,那么它们对刚体的作用效果完全相同,因此可以互相等效替换。

这个公理对于研究力系的简化很重要。

应用这个公理可以得到一个重要的推论:力的可传性原理。即:作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点,并且不改变该力对刚体的作用效果。

现证明如下:

设力 F 作用于刚体上 A 点,如图 1.5(a)所示,沿该力作用线任取一点 B ,在 B 点加一对平衡力 F_1 和 F_2 ,且使 $F = F_2 = -F_1$,如图 1.5(b)所示。由加减平衡力系公理可知,这并不改变力 F 对刚体的作用效果。由于 F_1 和 F 也是一对平衡力,根据加减平衡力系公理,可将它们从力系中除去,同样不改变原力系即 F 对刚体的作用效果。于是,刚体上只剩下力 F_2 ,如图 1.5(c)所示。由上述分析可知,力 F 与力系 (F, F_1, F_2) 以及力 F_2 互为等效力系。由此可见,把原来作用在 A 点上的力 F 沿其作用线移到 B 点后,并不改变该力对刚体的作用效果。

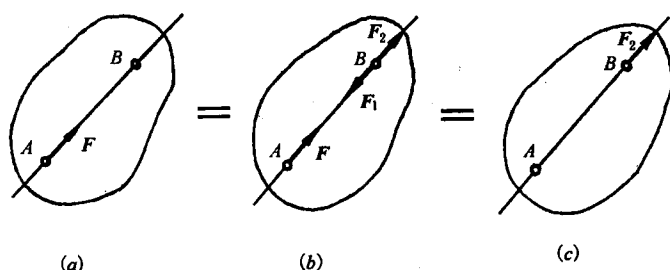


图 1.5

由力的可传性原理可知,力在刚体上的作用点这一要素可由力的作用线来代替。因此,作用于刚体上的力的三要素也表示为:力的大小、方向和作用线。

值得注意的是:在研究力对物体的运动效应时,物体可看作刚体,则力的可传性有效,力矢可沿其作用线滑动,故可将力视为滑动矢量;而在研究力对物体的变形效应时,物体只能看作变形体,则力的可传性失效,力的作用点仍是决定力的作用效果的三要素之一,故必须将力视为固定矢量。例如,研究力对物体的变形效应时,一根直杆受到一对平衡轴向拉力 F 和 F' 作用,它将沿轴向伸长,如图 1.6(a) 所示,若将两力沿其作用线(轴线)滑动直至互相易位,则杆将受压力作用而沿轴向缩短,如图 1.6(b) 所示。显然,伸长和缩短是两种完全不同的效应。在这种情况下,力必须是固定矢量。现在若改为研究力对物体的运动效应,显然在力矢滑动前后,直杆均处于平衡状态,即力矢的滑动不影响力对物体的运动效应。因此这时力可被视为滑动矢量。

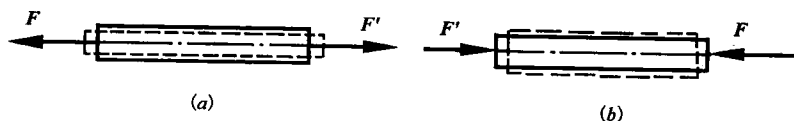


图 1.6

1.2.4 三力平衡汇交定理

作用于刚体上的三个使其平衡的力,若其中两个力的作用线汇交于一点,则这三力必在同一平面内,且第三个力的作用线通过汇交点。

现证明如下:

如图 1.7 所示,在刚体的 A 、 B 、 C 三点上分别作用着 F_1 、 F_2 、 F_3 三个力矢,且在力系(F_1 、 F_2 、 F_3)的作用下,刚体平衡,其中 F_1 、 F_2 的作用线汇交于一点 O 。根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 的作用点移至汇交点 O 处,然后根据力的平行四边形法则,可得合力矢 R_{12} 。又因力系(F_1 、 F_2 、 F_3)为平衡力系,则力 F_3 应与 R_{12} 平衡。再根据二力平衡公理,显然 F_3 与 R_{12} 一定共线,所以力 F_3 必与力 F_1 和 F_2 共面,且其作用线通过汇交点 O 。即定理得证。

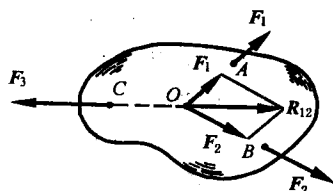


图 1.7

由以上证明过程可以看出,该定理实际上是前述三大公理的推理。

1.2.5 作用和反作用定律

作用力和反作用力总是同时存在的,并且两力的大小相等、方向相反、沿着同一直线,分别作用在两个相互作用的物体上。

这个定律概括了自然界中物体间相互作用的关系。普遍适用于任何相互作用的物体,即作用力与反作用力总是成对出现,成对消失。

如图 1.8(a)所示,将两弹簧秤钩在一起,若施以一对拉力,则两弹簧秤的读数相等,这表示右弹簧秤施于左弹簧秤的作用力 F ,与左弹簧秤施于右弹簧秤的反作用力 F' 大小相等,并且方向相反,沿着同一直线,如图 1.8(b)所示。

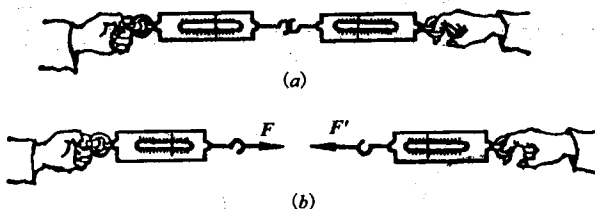


图 1.8

值得注意的是,虽然作用力与反作用力大小相等,方向相反,沿着同一直线,但是它们是分别作用在两个物体上的。因此,不能与二力平衡公理混淆,不能认为作用力与反作用力相互平衡,组成平衡力系。

1.3 约束与约束反力

1.3.1 约束与约束反力的概念

有些物体,例如,在空中飞行的飞机、炮弹等,它们在空间的位移不受任何限制。这种位移不受限制的物体称为自由体。相反地,位移受到限制的物体称为非自由体。例如,机车、吊车钢索上悬挂的构件等,它们在空间的位移都受到了一定的限制。如铁轨限制机车必须沿轨道行驶;钢索限制构件不能下落等。这种限制非自由体某些位移的周围物体称为约束。例如,铁轨对于机车,钢索对于构件等,都是约束。

既然约束限制了物体的位移或者说阻碍了物体的运动,也就是约束能够改变物体的运动状态。因此,约束对物体的作用实际上就是力,这种力被称为约束反力,简称反力。从约束对物体的作用可以看出,约束反力的方向必与该约束所能阻碍的运动方向相反。应用这个准则,可以确定约束反力的方向和作用线的位置,但反力的大小却是未知的。在静力学问题中,需要综合分析物体所受的约束反力和其它主动力(能主动引起物体运动状态改变或使物体有运动状态改变趋势的力,例如,重力、风力、推力、拉力等),利用平衡条件确定约束反力的大小。

1.3.2 常见的约束类型和确定其约束反力的方法

1.3.2.1 柔性约束

由柔软的绳索、链条或皮带等构成的约束都属于柔性约束。由于柔性约束本身只能承受拉

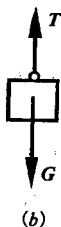
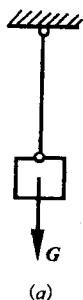


图 1.9

力,所以它对物体的约束反力也只可能是拉力。以绳索悬挂一物体为例,如图 1.9(a)所示。显然,绳索对物体的约束反力,作用在接触点,方向沿着绳索背离物体,如图 1.9(b)所示。这种约束反力通常用 T 表示。

1.3.2.2 光滑接触面约束

当支持物体的支承面非常光滑,可以忽略其摩擦时,这类支承面就属于光滑接触面约束。由于不论支承面的形状如何,光滑支承面只能限制物体沿着接触表面公法线,指向约束内部的运动,而不能限制物体沿着接触面切线方向或沿公法线指向约束外部的运动,所以它对物体的约束反力必通过接触点,方向沿着接触表面的公法线指向受力物体。这种约束反力也称为法向反力,通常用 N 表示,如图 1.10 中的 N 和图 1.11 中的 N_A 、 N_B 。

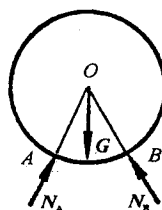
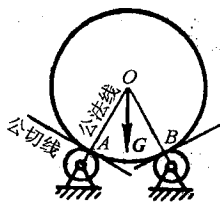
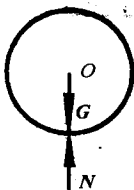
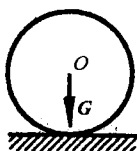


图 1.10

图 1.11

一般可将物体与光滑接触面的接触形式分为三种类型:

(1) 面与面接触

反力方面垂直于公切面,如图 1.10 中的 N 和图 1.11 中的 N_A 、 N_B 。

(2) 点与面的接触

反力方向垂直于面在该点处的切线,如图 1.12 中的 N_A 、 N'_A 。

(3) 点与线接触

反力方向垂直于线,如图 1.12 中的 N_B 。

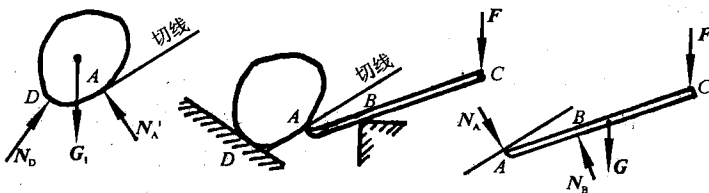


图 1.12

1.3.2.3 平面铰链约束

这类约束有圆柱形铰链和固定铰链支座等。

如图 1.13(a)所示的拱形桥,它是由左、右两拱通过圆柱铰链 C 以及固定铰链支座 A 和 B 连接而成。圆柱铰链简称铰链,其主要结构是将两个构件各钻同样大小圆孔,中间用圆柱形销钉 C 连接起来,如图 1.13(b)所示,其简图如图 1.13(a)所示的铰链 C 。如果组成铰链的两个构

件中有一个固定在地面或机架上,则这种约束称为固定铰链支座,简称固定铰支。如图1.13(b)所示的支座B,其简图如图1.13(a)所示的固定铰支A和B。

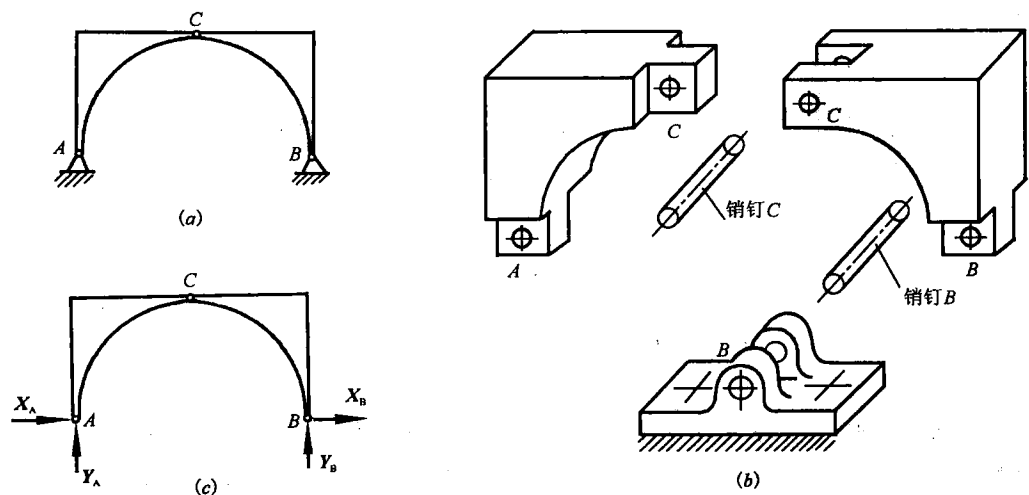


图 1.13

在一般情况下,可认为销钉与圆孔的接触面是光滑的,即构件可以绕销钉的轴线任意转动,但是由于销钉的约束作用,构件不能有径向的相对移动。因此,平面铰链可以产生通过铰链中心,沿任意方向的约束反力 N 。显然,当主动力尚未确定时,约束反力的大小和方向不能预先确定,但无论约束反力朝向何方,它的作用线必垂直于销钉轴线并通过销钉中心。通常我们把它分解为沿 x 方向和 y 方向的两个互相垂直、大小未知的约束反力,用 X_A 和 Y_A 、 X_B 和 Y_B 来表示,如图1.13(c)所示。其指向一般随主动力的作用而定。

1.3.2.4 辊轴支座约束

工程上为了适应某些结构物的变形需要,经常采用可以滚动的辊轴支座。如图1.14(a)所示桥梁上采用的辊轴支座,是在固定铰链支座下装上几个辊轴构成的,它可以沿支承面滚动,以便当温度变化而引起桥梁跨度伸长或缩短时,允许两支座间的距离有微小的变化。显然,辊轴支座能限制物体沿着支承面法线趋向和离开支承面的运动,但不能限制物体沿着支承面切线运动,也不能限制物体绕销钉A的轴线转动。其简图如图1.14(b)所示。它对物体的约束反力与支承面垂直,如图1.14(c)所示。

在梁的支承中常用的可动铰链支座,也是辊轴支座的一种,其简图如图1.15所示。

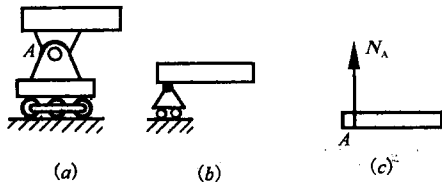


图 1.14

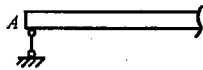


图 1.15

1.3.2.5 固定端支座约束

如图1.16(a)所示的梁,其一端插入墙内,使梁固定,墙既能限制梁的移动,又能限制梁的