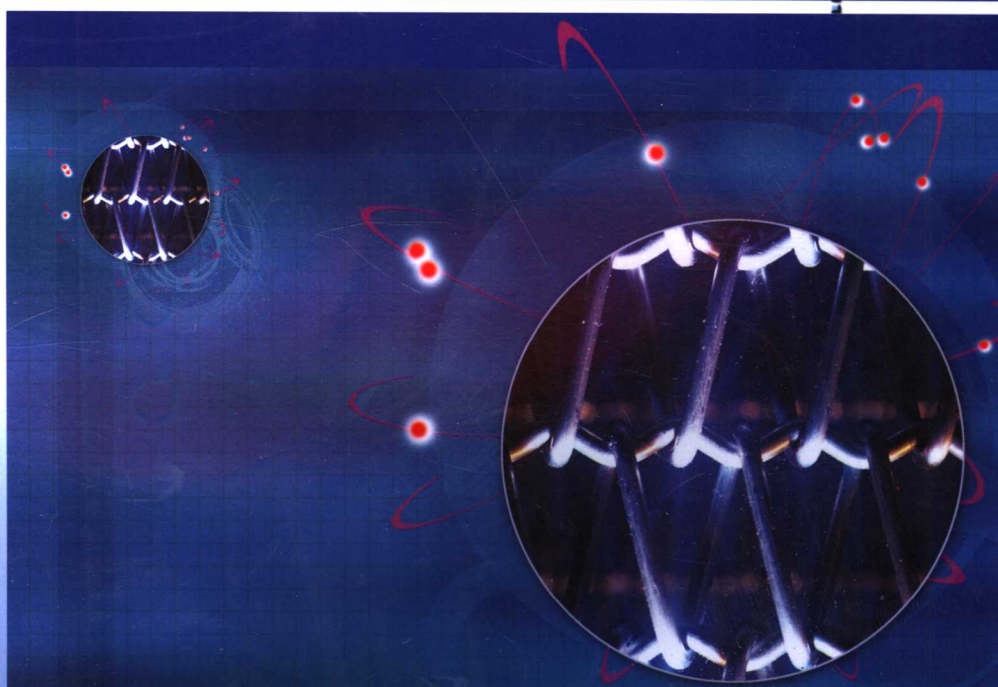


ENGINEERING LIXUE

工程力学

◎ 主 编 姜明灿



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

21 世纪高职高专机电系列规划教材

工 程 力 学

主 编 姜明灿

副主编 南建平 张正祥 周金元

主 审 严有为

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/姜明灿 主编

武汉:华中科技大学出版社,2006年3月

ISBN 7-5609-3661-X

I.工…

II.姜…

III.工程力学-高等学校-教材

IV.TB12

工程力学

姜明灿 主编

责任编辑:刘 飞

封面设计:刘 卉

责任校对:朱 霞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉万卷鸿图科技有限公司

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:11.75

字数:270 000

版次:2006年3月第1版

印次:2006年3月第1次印刷

定价:20.00元

ISBN 7-5609-3661-X/TB·83

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

为了适应当前教学改革形势，贯彻“理论联系实际”的方针和“少而精”的原则，全书分为理论力学和材料力学两大块。理论力学部分主要讲述静力学，包括静力学基础、平面力系和空间力系三章；材料力学部分分为拉伸与压缩、剪切与挤压、扭转、弯曲、组合变形及压杆的稳定性六章。本书旨在培养学生的辩证思维能力和处理问题能力，能进行常用的强度计算和校核，为学习机械设计课程打下良好基础。

参加本书编写的人员有姜明灿、南建平、张正祥、周金元，由华中科技大学严有为教授主审。本书是编写高职高专机电类工程力学课程少学时教材的一次尝试，适用学时数为70学时，因时间较紧，加之编者水平有限，难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者
2005年11月

内 容 简 介

本书是根据国家教育部有关要求,结合当前高职高专工程力学教学课程的改革需要而编写的。

本书内容包括静力学基础:平面力系、空间力系的平衡问题;杆件的拉伸与压缩、材料的剪切与挤压、圆轴的扭转、梁的弯曲及组合变形等强度计算问题。全书内容精简,力求通俗易懂,例题、习题紧密结合实际,目的是为了启发学生思维和提高学生解决实际问题的能力。

本书可以作为高职高专机械类、近机械类各专业教学用书,也可供一般工程技术人员参考。

目 录

绪论.....	(1)
---------	-----

第一篇 静力学部分

第 1 章 静力学基本概念和物体的受力分析.....	(5)
1.1 静力学基本概念.....	(5)
1.1.1 力	(5)
1.1.2 刚体	(6)
1.2 静力学公理.....	(6)
1.3 约束与约束反作用力.....	(8)
1.3.1 柔性约束	(9)
1.3.2 光滑接触面约束	(9)
1.3.3 光滑铰链约束	(10)
1.3.4 固定端约束	(11)
1.4 物体的受力分析及受力图.....	(11)
习题.....	(14)
第 2 章 平面力系的平衡	(17)
2.1 平面汇交力系.....	(17)
2.1.1 平面汇交力系合成的几何法	(17)
2.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件	(19)
2.1.3 平面汇交力系合成的解析法	(20)
2.1.4 平面汇交力系平衡的解析条件	(22)
2.2 力矩及平面力偶理论.....	(24)
2.2.1 力矩及合力矩定理	(24)
2.2.2 平面力偶理论	(26)
2.2.3 力的平移定理	(29)
2.3 平面任意力系.....	(30)
2.3.1 平面任意力系向作用面内一点简化.....	(30)
2.3.2 平面任意力系的平衡	(32)
2.3.3 平面平行力系的平衡	(33)
2.4 物体系统的平衡.....	(36)
2.4.1 静定与静不定问题	(36)
2.4.2 物体系统的平衡问题	(37)
2.5 考虑摩擦时的平衡问题.....	(39)
2.5.1 滑动摩擦	(39)

2.5.2 考虑摩擦时的平衡问题	(41)
2.5.3 滚动摩擦	(43)
习题	(44)
第3章 空间力系的平衡	(53)
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(53)
3.2 力对轴的矩	(55)
3.2.1 力对轴的矩	(55)
3.2.2 合力矩定理	(56)
3.3 空间任意力系的平衡条件	(57)
3.4 空间任意力系问题的平面解法	(60)
3.5 物体重心和平面图形形心	(62)
3.5.1 物体重心概念	(62)
3.5.2 物体重心的坐标公式	(63)
3.5.3 平面图形的形心	(64)
3.5.4 定重心位置的实验法	(67)
习题	(68)

第二篇 材料力学部分

第4章 轴向拉伸与压缩	(73)
4.1 轴向拉伸与压缩的概念	(73)
4.2 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力	(73)
4.2.1 内力的概念	(73)
4.2.2 内力的求法——截面法	(74)
4.3 轴向拉伸与压缩时横截面上的应力	(76)
4.3.1 应力的概念	(76)
4.3.2 拉(压)杆横截面上的应力	(76)
4.4 轴向拉伸与压缩的强度计算	(77)
4.5 轴向拉伸与压缩的变形计算	(81)
4.5.1 纵向变形和虎克定律	(81)
4.5.2 横向变形和泊松比	(82)
4.6 材料在拉伸或压缩时的力学性能	(84)
4.6.1 材料在拉伸时的力学性能	(84)
4.6.2 材料在压缩时的力学性能	(87)
4.6.3 许用应力与安全系数	(88)
4.7 应力集中的概念	(88)
习题	(89)
第5章 剪切与挤压	(93)
5.1 剪切与挤压的概念	(93)
5.2 剪切与挤压的实用计算	(94)

5.2.1 剪切的实用计算	(94)
5.2.2 挤压的实用计算	(95)
5.2.3 剪切虎克定律	(99)
习题	(100)
第6章 圆轴扭转	(103)
6.1 扭转的概念	(103)
6.2 扭矩和扭矩图	(104)
6.2.1 外力偶矩的计算	(104)
6.2.2 扭矩	(104)
6.2.3 扭矩图	(105)
6.3 扭转时的应力与强度计算	(106)
6.3.1 圆轴扭转时横截面上的应力	(106)
6.3.2 圆轴扭转时的强度计算	(108)
6.4 扭转变形	(110)
习题	(110)
第7章 弯曲	(113)
7.1 弯曲的概念	(113)
7.1.1 基本概念	(113)
7.1.2 梁的类型	(114)
7.2 梁的内力	(114)
7.2.1 剪力与弯矩	(114)
7.2.2 剪力、弯矩正负号规则	(115)
7.2.3 指定截面上剪力和弯矩的确定	(115)
7.2.4 任意截面上的剪力和弯矩表达式——剪力方程和弯矩方程	(120)
7.2.5 剪力图和弯矩图	(125)
7.3 剪力、弯矩与分布载荷集度之间的微分关系及应用	(128)
7.4 用叠加法作梁的剪力图和弯矩图	(130)
7.5 弯曲正应力	(131)
7.5.1 弯曲正应力公式	(131)
7.5.2 惯性矩	(133)
7.5.3 弯曲正应力公式的应用	(136)
7.6 弯曲正应力强度条件及应用	(138)
7.6.1 抗弯截面模量与最大弯曲正应力	(138)
7.6.2 弯曲正应力的强度条件	(139)
7.6.3 弯曲正应力强度计算步骤	(139)
7.7 弯曲剪应力	(142)
7.8 提高梁的弯曲强度的主要措施	(145)
7.8.1 合理安排梁的支座和载荷	(145)
7.8.2 采用合理的截面形状	(146)

7.8.3 采用变截面梁	(147)
7.9 梁的变形与刚度条件	(147)
7.9.1 梁弯曲变形的度量——挠度与转角	(148)
7.9.2 挠曲线近似微分方程	(149)
7.9.3 用叠加法求梁的变形	(151)
7.9.4 弯曲刚度条件	(152)
习题	(153)
第 8 章 组合变形的强度计算	(158)
8.1 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	(158)
8.2 弯曲与扭转组合变形的强度计算	(160)
8.2.1 弯曲与扭转组合变形的概念	(160)
8.2.2 应力分析与强度条件	(161)
8.2.3 强度计算实例	(162)
习题	(167)
第 9 章 构件的疲劳与压杆稳定性的概念	(169)
9.1 交变应力及构件的疲劳破坏	(169)
9.2 循环特征和持久极限	(170)
9.2.1 循环特征	(170)
9.2.2 材料的持久极限	(171)
9.3 压杆稳定性的概念	(172)
附录	(174)
参考文献	(179)

绪 论

1. 为什么要学工程力学

工程力学是一门与工程实际密切联系的技术基础课。在现代生产的各个部门中,没有哪一项工程技术能离开工程力学。例如,机床、内燃机、起重机等各种各样的机械,它们都是由许多不同的构件组成的,当机械工作时,这些构件将受到外力(通常称为载荷)的作用。因此对机械的研究、制造和使用都是以力学理论为基础的,例如需要分析构件受力情况,必须了解力系的简化方法,掌握构件运动和平衡的规律等。由于受到力的作用,构件还可能遭到破坏或产生过大的变形,致使机械不能正常工作。为了保证机械及其构件具有足够的承受载荷的能力,就要根据构件受力情况,合理地设计或选用构件截面尺寸,使机械安全、可靠地工作。这些都是工程力学课程要研究的主要问题。

工程力学所阐述的是力学中最基本、最普遍的规律,这些基础知识具有很大的实用性。作为一名高职高专的学生,在工作中必然会遇到很多与力学有关的问题。掌握一定的工程力学基础知识,可以帮助我们正确地使用、操作、安装、维护和革新机械,提高操作技术水平和生产技术上的应变能力,分析和解决生产实际中有关力学的简单问题。工程力学知识还为学习其他课程(例如机械原理、机械设计)打好基础。此外,学习工程力学还有助于培养正确的思维方法。

2. 工程力学包含哪些内容

工程力学共分两大部分。第一篇为理论力学,重点学习静力学,即学习物体受力分析方法和物体平衡的一般规律;第二篇为材料力学,主要研究工程构件在载荷作用下变形和破坏的规律,在保证构件既安全又经济的前提下,选用合适的材料,确定合理的截面形状和尺寸,提供有关的基础知识和基本计算方法。

3. 如何学好工程力学

要想学好工程力学,一定要注意理论联系实际。力学与其他学科一样,是人类认识和改造自然的结晶。力学的基本规律,是人们通过长期生产实践和无数次科学实验,经过综合、分析和归纳而总结出来的。力学的产生和发展,从一开始就与生产实践密切结合,深深根植于人类生产活动的许多领域。生产的需要促进了力学的发展,同时力学理论又反过来推动生产不断发展,所以学习工程力学时必须注意理论联系实际。

要掌握工程力学课程中的基本概念、基础理论和基本运算方法。学习时应该注意掌握和应用合理的假定,准确的概括与抽象、严密的推理等科学方法。还应注意静力学部分与材料力学部分之间的内在联系等。

每章末尾的习题有助于复习、深入思考和掌握这一章所学的内容。独立按时地完成一定数量的练习题,可以巩固基础知识并能提高学用结合的技能,培养综合分析及解决问题的能力,这也是取得较好学习效果的有效途径。

第一篇 静力学部分

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学，它是材料力学的基础。所谓力系，是指作用于物体上的一群力，满足平衡条件的力系称为平衡力系。

静力学中的“平衡”是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动。如桥梁、机床的床身、作匀速直线飞行的飞机等，都是处于平衡状态。平衡是指物体运动的一种特殊形式。

在静力学中，我们主要讨论三个问题。

1. 物体的受力分析

物体的受力分析即分析某个物体共受几个力，以及每个力的作用线位置、大小和方向。

2. 力系的等效替换

力系的等效替换即将作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替，这两个力系互为等效力系。如果用一个简单力系等效地替换一个复杂力系，则称为力系的简化。

3. 建立各种力系的平衡条件

研究物体平衡时，作用在物体上的各种力系所需满足的条件，称为力系的平衡条件。在设计建筑物的构件、工程结构和作匀速运动的机械零件时，需要先分析物体的受力情况，再应用平衡条件计算所受的未知力，最后按照材料的性能确定几何尺寸，并选择合适的材料品种。因此，力系的平衡条件在工程实际中有着举足轻重的意义。

第 1 章 静力学基本概念和 物体的受力分析

1.1 静力学基本概念

1.1.1 力

力的概念是人们在长期生产劳动和生活实践中逐步建立起来的。例如挑担、推车、抛物、拧螺母都要用力。同样，机车牵引列车由静止到运动，拉伸实验机将试件拉长等，也都是力的作用。这些都说明，“力”是物体间的相互机械作用。

力对物体的作用会产生两种效应。一种是外效应，指物体的运动状态发生变化，如由静止到运动、由快到慢、由直线运动到曲线运动等；一种是内效应，指物体的外形和尺寸发生改变。静力学只研究力的外效应，材料力学将研究力的内效应。

1. 力的三要素

实践表明，力对物体的作用效应取决于力的三要素：力的大小、方向和作用点。这三个要素中有任何一个改变时，力对物体作用的效果也随之改变。

2. 力的表示方法

力的三要素表明力是一个矢量(既有大小又有方向的量)。它可以用一个具有方向的线段来表示，如图 1-1 所示，用线段的方位和箭头的指向表示力的方向，用线段的长度(按一定的比例尺)来表示力的大小。通过力的作用点沿着力的方向的直线，称为力的作用线。力的矢量用 $\boldsymbol{F}$ 或 $\vec{F}$ 表示。

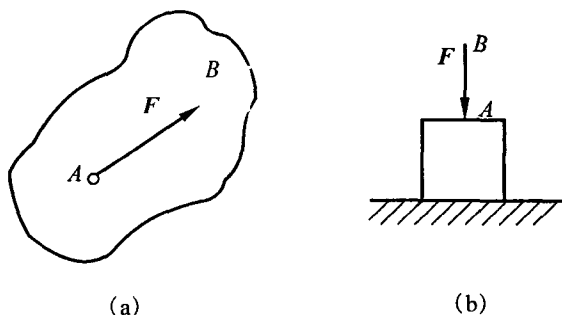


图1-1

图中力 $\boldsymbol{F}$ 的始端 A 或末端 B 表示力的作用点。

本书用黑体字母表示矢量；用白体字母表示矢量的大小，称为矢量的模。

3. 力的单位

按照国际单位制的规定，力的单位为牛顿，符号为 N。常用的单位还有千牛 (kN)。

1.1.2 刚体

在力作用下形状和大小都保持不变的物体称为刚体。在静力学中，常把研究的对象称为刚体。实际上，任何物体受力后都将产生程度不同的变形，不过工程实际中构件的变形有的很微小，略去变形不会对静力分析的结果产生显著影响，但却使研究问题大大简化。如吊车的横梁，在最大载荷作用下，允许垂直向下的变形不超过横梁跨度的 $1/700 \sim 1/400$ 。在平衡计算时，微小的变形对平衡不起主要作用，为使问题简化，可把横梁看成不变形的构件。这种撇开次要矛盾，抓住主要矛盾的做法是科学的抽象。

1.2 静力学公理

公理 1 二力平衡公理：刚体只受两个力作用而处于平衡状态时，这两个力一定大小相等、方向相反，且作用在同一直线上(见图 1-2(a)、(b))。

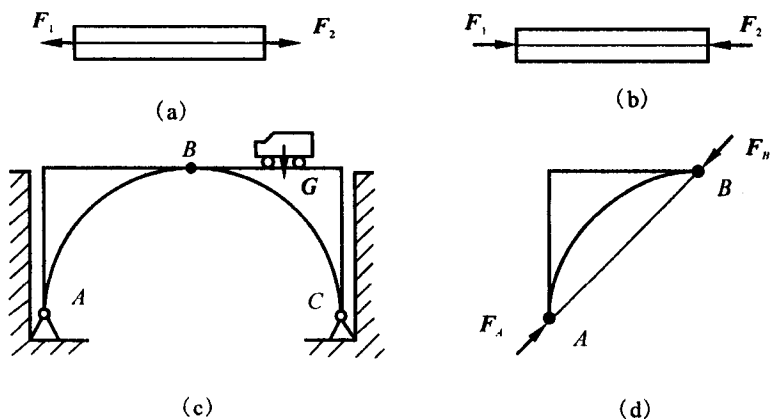


图1-2

需要强调的是，二力平衡公理只适用于刚体。二力等值、反向、共线是刚体平衡的必要与充分条件，对于非刚体，二力平衡条件只是必要的，而非充分的。例如绳索两端受等值、反向、共线的拉力可以平衡，而受等值、反向、共线的两个压力就不能平衡。

只有两个着力点而处于平衡的构件，称为二力构件。当构件呈杆状时，则称为二力杆。二力构件的受力特点是，所受二力必沿作用点的连线(见图 1-2(c)、(d))。

公理 2 加减平衡力系公理：在已知力系上，加上或减去任一平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效果。就是说，如果两个力系只相差一个或几个平衡力系，则它们对刚体的作用效果是相同的，因此可以等效替换。这个公理对于研究力系的简化问题很重要。

推论 1 力的可传性原理：作用于刚体上某点的力，可沿其作用线滑移到刚体上任意

一点, 而不改变该力对刚体的作用效应。如图 1-3 所示, 在 A 处以力 F 推车与在 B 处以等力拉车, 其效果相同。

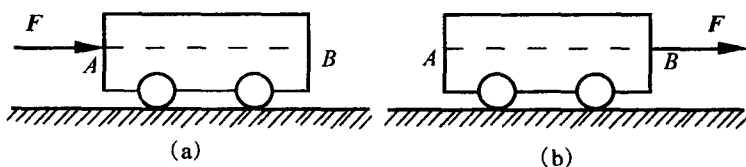


图1-3

由此可见, 对于刚体来说, 力的作用点已不是决定力的作用效果的要素, 它已被作用线所代替。因此, 作用于刚体上的力的三要素是: 力的大小、方向和作用线。

公理 3 平行四边形公理: 作用于刚体上同一点的两个力, 可以合成为一个合力。合力也作用于该点, 其大小和方向用以此两力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示 (见图 1-4(a))。

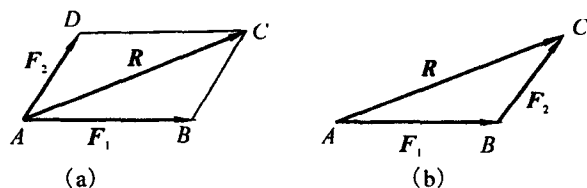


图1-4

在图 1-4(a) 中, $F_1 = AB$, $F_2 = AD$, 则 $R = AC$ 。

这种求合力的方法称为矢量加法, 合力矢量 R 等于原来两力矢量之和, 矢量式为

$$R = F_1 + F_2$$

四边形 $ABCD$ 称为力平行四边形; F_1 、 F_2 称为合力 R 的分力。

也可以用力三角形求合力。其方法是: 先作其中一力 (如 F_1) 矢量 AB , 过 B 点作与另一力 (F_2) 的大小相等、方向相同且平行的矢量 BC , AC 即是 AB 、 BC 的矢量和。此时, 合力 $R = AC$, 方向与 AC 相同, 如图 1-4(b) 所示, $\triangle ABC$ 或 $\triangle ADC$ 称为力三角形。

注意, 力三角形、力平行四边形都是由矢量构成的。

平行四边形公理总结了最简单的力系简化规律, 它是较复杂力系简化的基础。

推论 2 三力平衡汇交定理: 若作用于刚体上的三个力共面但不平行, 且使刚体平衡, 此三力的作用线必交于一点。

证明 图 1-5 中, 设在刚体 A 、 B 、 C 三点上分别作用着三个力 F_1 、 F_2 和 F_3 。它们的作用线都在

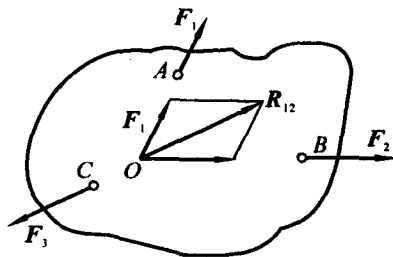


图1-5

图示平面内, 三个力互不平行, 但三力组成平衡力系(即刚体处于平衡状态)。

根据力的可传性原理, 令 F_1 、 F_2 沿其作用线滑移, 设两力的作用线交于 O 点。以滑移后的两力 F_1 、 F_2 为两邻边, 以交点 O 为一顶点, 作力的平行四边形, 求出合力 R 。此时, 刚体在 R 与 F_3 的作用下平衡。由二力平衡公理知, 此两力必在一直线上, 故 F_3 作用线必经过 R 的作用点 O , 即三力交于一点。

公理 4 作用与反作用公理: 两个物体间的作用力与反作用力, 总是成对出现、大小相等、方向相反、且沿着同一直线, 但分别作用在这两个物体上。

如手拉弹簧秤时, 手对弹簧秤有拉力, 同时手也感到了弹簧秤的拉力, 即弹簧秤给手的反作用力。必须强调指出, 虽然作用力与反作用力大小相等、方向相反、沿着同一直线, 但分别作用在两个物体上。因此, 不能认为作用力与反作用力相互平衡, 组成平衡力系。

1.3 约束与约束反作用力

在空间可以自由运动, 其位移不受任何限制的物体称为自由体, 例如, 飞行的飞机、炮弹和火箭等。在工程实际中, 大多数构件在某些方向的位移往往受到限制, 这样的物体称为非自由体。例如, 在钢轨上行驶的火车、安装在轴承中的转轴等都是非自由体。对非自由体在某些方向的运动起限制作用的周围物体称为约束。如钢轨是火车的约束, 轴承是转轴的约束等。当物体沿着约束所限制的方向有运动趋势时, 约束对物体必产生一作用力。

约束对被约束物体的作用力称为约束反力, 简称为反力。

如图 1-6 所示的悬挂吊车, 横梁 AB 受铰链 A 和拉杆 BC 的约束, 拉杆 BC 受销钉 B 和铰链 C 的约束, 小车受横梁约束, 只能沿梁 AB 运动。

约束反力的作用点位置和约束反力的方向一般是已知的, 其确定准则如下:

约束反力的作用点就是约束与被约束物体的相互接触点;

约束反力的方向总是与被约束物体被限制的运动方向相反。

至于约束反力的大小, 一般是未知的, 在静力学问题中, 主动力和约束反力组成平衡力系, 因此可利用平衡条件来定量计算约束反力。

物体间的约束形式多种多样。在工程上, 把一些常见的约束进行简化、分类, 使之成为力学

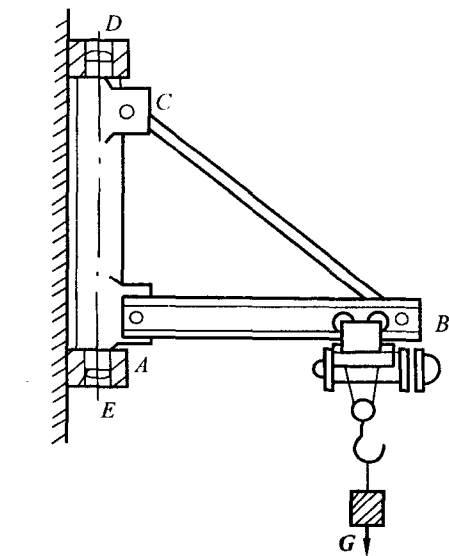


图 1-6

模型。下面先介绍几种约束及其反力的确定。