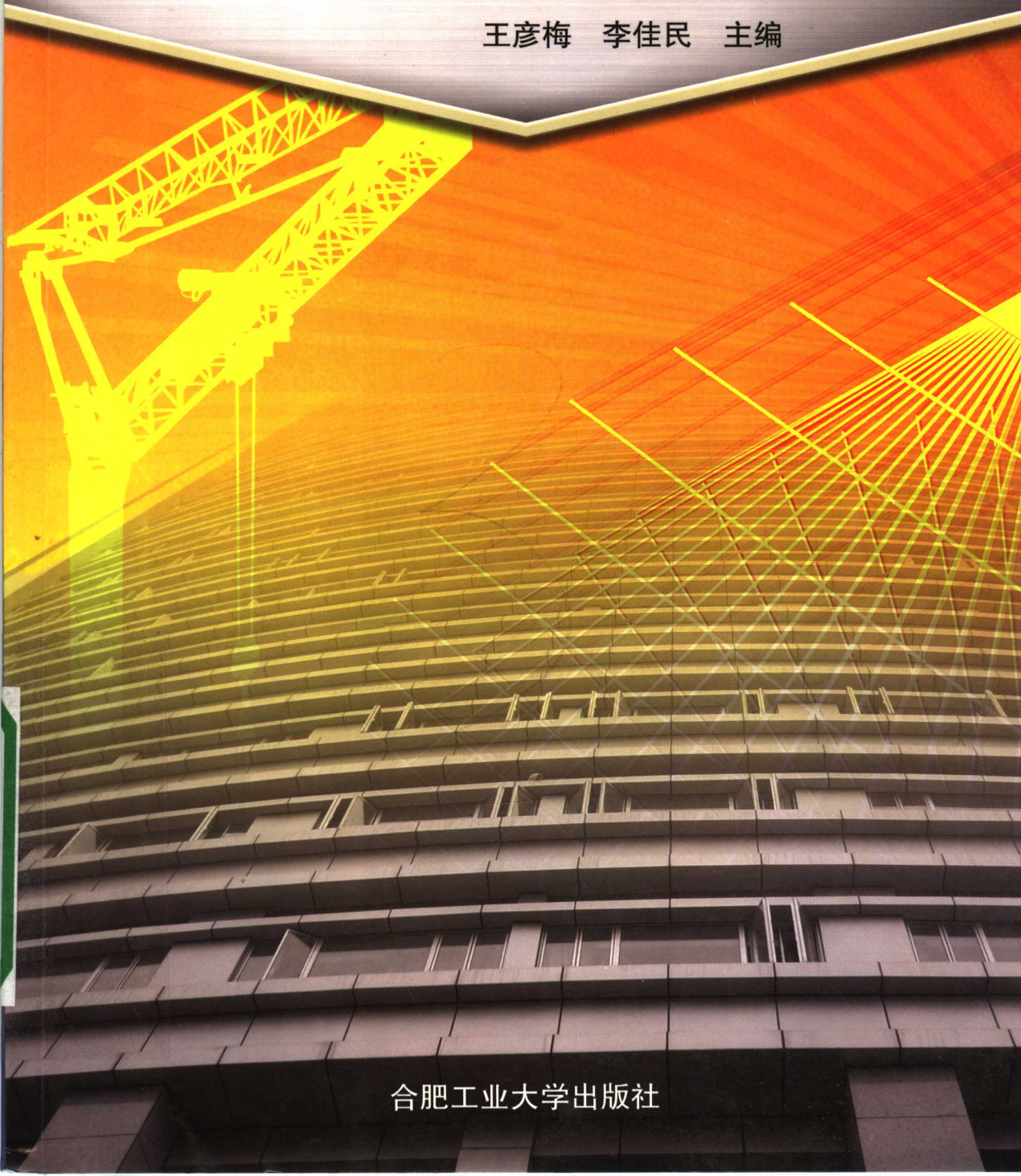


工程力学

G O N G C H E N G L I X U E

王彦梅 李佳民 主编



合肥工业大学出版社

TB12/120

2007

工 程 力 学

主编 王彦梅 李佳民

主审 李志伟

合肥工业大学出版社

内 容 简 介

全书共分四篇:第一篇静力学,主要包括静力学的基础知识、平面力系、空间力系和重心;第二篇材料力学,主要包括拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲和组合变形;第三篇运动学,主要研究刚体的定轴转动;第四篇材料力学实验,主要包括拉伸实验、压缩实验、剪切实验、扭转实验和弯曲正应力测定等。本书本着高等职业教育的特色和“必需够用”的原则,以应用为目的,以讲清概念、强化能力为重点。每章前面有导学,指出本章的重点、难点;章后有小结,总结重点;有习题,供学生练习用。本书可供高职高专机电专业及相关工程专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/王彦梅,李佳民主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-81093-623-1

I. 工… II. ①王… ②李… III. 工程力学—高等学校:技术学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 105843 号

工 程 力 学

王彦梅 李佳民 主编

责任编辑 方立松

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2007 年 8 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2007 年 8 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	710×1000 1/16
电 话	总编室:0551-2903038 发行部:0551-2903198	印 张	13.5
网 址	www.hfutpress.com.cn	字 数	252 千字
E-mail	press@hfutpress.com.cn	印 刷	安徽省瑞隆印务有限公司
		发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-81093-623-1

定价:22.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

序

发展高等职业技术教育,是实施科教兴国战略、贯彻《高等教育法》与《职业教育法》、实现《中国教育改革与发展纲要》及其《实施意见》所确定的目标和任务的重要环节,也是建立健全职业教育体系、调整高等教育结构的重要举措。

该教材根据高等职业教育发展与改革的新形势,以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想而编写的。本教材在编写过程中,充分考虑到教学对象的要求,对教材内容和结构进行了相应的调整,做到了精简内容,降低难度,减少理论,加强应用,侧重基本概念和基本方法的阐述。本教材充分体现了下列特点:以培养综合素质为基础,以能力为本位,把提高学生的职业能力放在突出位置,加强实践性教学环节,使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者;以企业需求为基本依据,以就业为导向,增强针对性,又兼顾适应性。

高等职业教育本身具有鲜明的职业特征,这就要求我们在改革课程体系的基础上,认真研究和改革课程教学内容及教学方法,努力加强教材建设。希望编写组人员要结合高职教育的特点,随着教学改革的深入,在以后的教学过程中不断加以充实、修改,使之日臻完善。

李志伟

2007年4月10日

前 言

本书是为高等职业教育工程力学课程编写的教材。可供高职高专机电专业及相关工程专业使用,也可供相关专业教师、学生及工程技术人员参考。

工程力学是一门理论性、实践性较强的专业基础课,是工程设计中最基本的知识,在现代工程中应用十分广泛。本书重点介绍了工程力学的基本概念和基本原理,并突出了工程力学的分析和研究方法,内容力求简明、系统。使学生在获取知识的同时,学到科学的思考方法,培养创新能力。

全书共分四篇:第一篇静力学,主要包括静力学的基础知识、平面力系、空间力系和重心;第二篇材料力学,主要包括拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲和组合变形;第三篇运动学,主要研究刚体的定轴转动;第四篇材料力学实验,主要包括拉伸实验、压缩实验、剪切实验、扭转实验和弯曲正应力测定等。

本教材第1、2、3章由罗定职业技术学院王瑞、李仁锁编写,第4、5、6章由罗定职业技术学院刘海庆编写,第7、8、9章由罗定职业技术学院王彦梅、黄英超编写,第10、11章由罗定职业技术学院李佳民编写。全书由王彦梅、李佳民任主编,由华南农业大学李志伟教授主审。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编 者

2007年3月

目 录

第一篇 静力学	(1)
第 1 章 静力学的基础知识	(3)
1.1 静力学的基本概念	(3)
1.2 静力学公理	(5)
1.3 约束和约束反力	(7)
1.4 物体的受力图	(11)
小 结	(15)
思考题	(15)
习 题	(15)
第 2 章 平面力系	(18)
2.1 平面汇交力系合成与平衡的解析法	(18)
2.2 力矩和力偶	(25)
2.3 平面力偶系的合成与平衡	(31)
2.4 力的平移定理	(33)
2.5 平面任意力系的简化	(34)
2.6 平面力系平衡条件的应用——物体系统的平衡	(43)
小 结	(47)
思考题	(50)
习 题	(50)
第 3 章 空间力系重心	(54)
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(54)
3.2 力对轴之矩	(56)
3.3 空间力系的平衡方程及其应用	(58)
3.4 重心	(61)
小 结	(67)
思考题	(68)
习 题	(68)

第二篇 材料力学	(71)
第4章 轴向拉伸与压缩	(75)
4.1 轴向拉伸与压缩的概念	(75)
4.2 截面法、轴力与轴力图	(76)
4.3 截面上的应力	(79)
4.4 轴向拉压杆的变形和胡克定律	(81)
4.5 材料在拉伸与压缩时的力学性能	(84)
4.6 轴向拉压杆的强度计算	(89)
4.7 静不定问题	(91)
小 结	(94)
思考题	(94)
习题	(95)
第5章 剪切与挤压	(98)
5.1 剪切的概念与实用计算	(98)
5.2 挤压的概念与实用计算	(99)
小 结	(103)
思考题	(103)
习题	(103)
第6章 圆轴的扭转	(105)
6.1 扭转的概念、扭矩和扭矩图	(105)
6.2 圆轴扭转时的应力与强度条件	(108)
6.3 圆轴扭转时的强度和刚度计算	(111)
小 结	(114)
思考题	(115)
习题	(115)
第7章 平面弯曲	(117)
7.1 概述	(117)
7.2 梁的简化及其典型形式	(118)
7.3 平面弯曲的内力——剪力和弯矩	(119)
7.4 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	(122)
7.5 纯弯曲横截面上的正应力	(127)
7.6 惯性矩和抗弯截面模量、平行移轴公式	(130)
7.7 弯曲正应力强度计算	(133)
7.8 梁的弯曲变形概述	(135)

7.9 梁的刚度条件	(139)
7.10 提高梁强度的措施	(140)
小 结	(141)
思考题	(142)
习题	(142)
第8章 组合变形的强度计算	(147)
8.1 工程中的组合变形问题	(147)
8.2 弯曲与拉伸(压缩)的组合变形	(148)
8.3 弯曲与扭转的组合变形	(150)
小 结	(152)
思考题	(152)
习 题	(153)
第三篇 运动学	(155)
第9章 刚体定轴转动	(157)
9.1 转动方程、角速度和线速度	(157)
9.2 功率、转速与转矩间的关系	(161)
小 结	(161)
思考题	(162)
习题	(162)
第四篇 材料力学实验	(165)
第10章 材料力学试验设备介绍	(167)
10.1 微机控制电子万能试验机	(167)
10.2 微机控制扭转试验机	(170)
10.3 电阻应变测量仪器	(171)
10.4 其他仪器	(172)
第11章 材料力学性能试验	(174)
11.1 拉伸试验	(174)
11.2 压缩试验	(181)
11.3 剪切试验	(183)
11.4 扭转试验	(184)
11.5 弯曲正应力的测定	(190)
附录	(193)
参考文献	(205)

第一篇 静 力 学

引言

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学,它的主要任务是解决两类问题:一是将作用在物体上的力系进行简化,即用一个简单的力系,等效地替换一个复杂的力系,这类问题称为“力系的简化问题”或称为力系的合成问题;二是建立物体在各种力系作用下的平衡条件,这类问题称为“力系的平衡问题”。

静力学是机械学的基础部分,它在工程实际中有着非常广泛的应用。静力学所研究的两类问题,即力系的简化和力系的平衡,无论是对于研究物体的运动,还是对于研究物体的变形,都具有十分重要的意义。因为研究物体的运动和变形时都需要分析力系对物体的总的作用效果,都需要知道作用在物体上的各种力(包括未知力)的大小和方向。例如塔式吊车,它是由塔架、超重臂、平衡块、吊钩和钢丝绳等组成的一个整体。为了保证吊车能够正常地进行工作,在设计时就必须首先分析各构件的受力情况,并根据平衡条件计算出这些力的大小,然后才能按照材料的性能,确定各构件所需的几何尺寸。此外,各种工程结构(如桥梁、房屋、水闸等)和机器的设计,也都需要静力学的知识。

第1章 静力学的基础知识

导学:

1. 理解并掌握力、力系、刚体、平衡的概念。
2. 理解并掌握四个公理(二力平衡公理、加减平衡力系公理、力的平行四边形公理、作用力和反作用力公理),两个推论(力的可传性原理、三力平衡汇交定理)。
3. 掌握约束和约束反力的概念以及常见的几种约束特性和表示方法。
4. 掌握画受力图的步骤,并能正确地画出物体的受力图。

本章将讨论静力学中的一些基本概念、静力学公理、工程上常见的典型约束和约束反力以及物体的受力分析。由于静力学公理是静力学理论的基础,物体的受力分析是力学中的重要基本技能,所以无论从理论或是从实践方面来说,都应该认真学习,深刻领会,牢固掌握并灵活运用本章的内容。

1.1 静力学的基本概念

1.1.1 力的概念

人们在长期的生活和生产实践中逐步形成了力的概念,用手推小车,由于手臂肌肉紧张而感觉到“力”,小车受到了力也由静止开始了运动;物体受地球引力作用而自由下落时,速度将愈来愈大;用汽锤锻打工件,工件在锻打打击力作用下会发生变形等。人们就从这样大量的实践中,由感性认识上升到理性认识,形成了力的科学概念:力是物体间相互的机械作用。这种作用使物体的运动状态发生变化,同时使物体发生变形。因此,力不能脱离实际物体而存在。

力使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应;力使物体产生变形的效应称为力的内效应。静力学只研究力的外效应,材料力学研究力的内效应。

1.1.2 力的三要素

实践表明,力对于物体作用的效应取决于力的大小、方向和作用点,这三个因

素称为力的三要素。三个要素中有一个改变时,力的作用效应也随之改变。

1.1.3 力的单位

在国际单位制中,力的单位用牛顿或千牛顿表示,简写为牛(N)或千牛(kN)。

1.1.4 力的表示方法

力是矢量。图示时,力可用一有向线段来表示,如图1-1所示。线段的长度按一定的比例表示力的大小(图中力 F 的大小为15kN);线段的方位和箭头的指向表示力的方向;线段的起点(或终点)表示力的作用点。过力的作用点沿力矢方位引出的直线称为力的作用线。

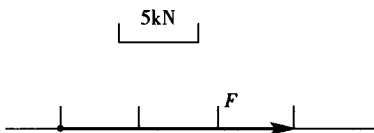


图 1-1

力是一个既有大小又有方向的物理量,所以力是矢量。矢量力通常用黑体字母(如 $\mathbf{F}$)或带有箭头的字母(如 $\vec{F}$)来表示,其大小则用不带箭头的字母(如 F)来表示。本书中,在图中表示力矢量的有向线段旁标注力时,也用不带箭头的字母。

1.1.5 刚体的概念

任何物体在力的作用下,都会产生不同程度的变形。但是,工程实际中的机械零件和结构构件在正常工作情况下所产生的变形,一般都是非常微小的。这样微小的变形,对于研究物体的平衡问题来说,并不起主要作用,是可以忽略不计的。例如,当一根梁受力而弯曲时,由于变形微小,支点之间的距离(跨度)的变化也很小,故在求支座反力时仍可按跨度不变的情况(即把梁视作刚体)来考虑。

所谓刚体,是指在力的作用下保持其几何形状和尺寸不变的物体,即受力后其中任意两点之间的距离保持不变的物体。显然,这是一个理想化了的模型,实际上并不存在这样的物体。用这种抽象简化得到理想模型的方法,虽在许多问题的研究探讨上是必要的,并且也是许可的,但其应用还是有条件的。以后我们将会看到,在研究物体内部各点之间相互的作用力时,即使是变形很微小,也必须考虑物体的变形情况,即把物体视为变形体而不能再看作刚体。

1.1.6 平衡的概念

所谓物体的平衡,一般是指物体相对于地面保持静止或匀速直线运动的状态。作用于物体上的一群力称为力系。如果物体在任意力系作用下处于平衡状态,这样的力系就称为平衡力系。若物体处于平衡状态,那么作用于物体上的力系就必须满足一定的条件,这样的条件称为力系的平衡条件。静力学研究物体的平衡问题,实

际上就是研究作用于物体上的力系的平衡条件,并利用平衡条件来解决具体问题。

1.2 静力学公理

静力学公理指的是有关力的一些基本性质。这些性质是人们在长期的生活和生产实践中,通过对力学现象的观察和实验再加以概括和总结而得出的,已被大量的实践所反复证明,为大家所公认,所以称为静力学公理。

1.2.1 二力平衡公理

当一个刚体受两个力作用而平衡时,其充分与必要条件是:这两个力大小相等,方向相反,作用线共线(图 1-2)。

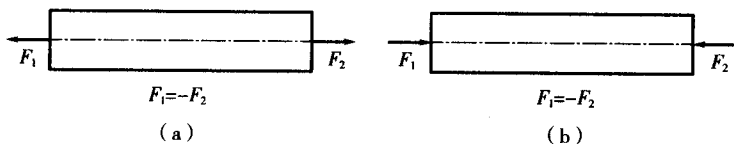


图 1-2

这个公理揭示了作用于刚体上的最简单的力系在平衡时所必须满足的条件,它是静力学中最基本的平衡条件。

工程上将只受两个力作用而处于平衡的物体称为二力体,如图 1-3 所示。机械和建筑结构中的二力体常常统称为二力构件。二力构件的受力特点是:两个力的方向必在二力作用点的连线上。如果物体是一不计自重的杆件,则称为二力杆。

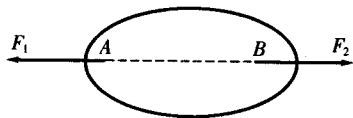


图 1-3

1.2.2 加减平衡力系公理

在刚体的原有力系中,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的任一点,而不改变原力对刚体的作用效应。这称为力的可传性原理。

这一原理的推证,可借助于图 1-4 来说明。已知小车 A 点受推力 F 作用(图 1-4a);在 F 力的作用线上任取一点 B,并在 B 点添加一对平衡力 F_1 、 F_2 ,且使它们的大小与 F 力的大小相等,如图 1-4b 所示;再从图 1-4b 中去掉一对平衡力 F_1 、 F_2 ,只保留力 F 作用在 B 点,如图 1-4c 所示。此时,力 F 的作用线没有改变,因此,力 F 对刚体的作用效应没有改变。

F_2 (图 1-4c); 显然三种情况都是等效的。这相当于将原来作用于 A 点的力 F 沿作用线移到了 B 点。经验也告诉我们, 在 A 点推车与用相同的力在 B 点拉车, 两者的外效应是相同的。由力的可传递性原理可知, 力对刚体的作用取决于力的大小、方向和作用点三要素。

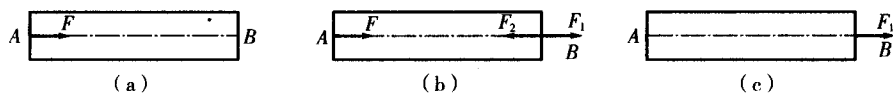


图 1-4

必须指出, 力的可传性原理仅适用于刚体。对于需要考虑变形的物体, 力不能沿其作用线移动, 因为移动后将改变物体内部的受力和变形情况。

1.2.3 力的平行四边形公理

作用于物体上某点的两力的合力也作用于该点, 其大小和方向可用此两力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示 (图 1-5)。

力是矢量, 其运算也按矢量运算法则进行, 其矢量合成式为

$$F_R = F_1 + F_2$$

反之, 一个力也可以分成两个分力, 分解也按力的平行四边形公理来进行。显然, 由于以已知力为对角线可作无穷多个平行四边形 (图 1-6), 故必须附加条件得到确切的结果。附加条件可能为: (1) 规定两个分力的方向; (2) 规定其中一个分力的大小和方向等。

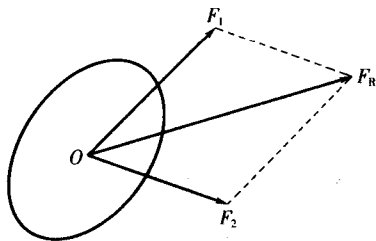


图 1-5

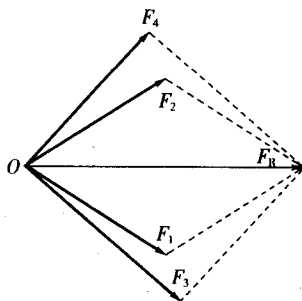


图 1-6

当平面内有汇交于一点的几个力时, 可以通过两两合成的办法, 得到求合力的矢量表达式

$$F_R = F_1 + F_2 + \cdots + F_n = \sum F$$

推理 2: 三力平衡汇交定理

若刚体在三个共面而又互不平行的力作用下处于平衡状态, 则此三力的作用线必汇交于一点。这称为三力平衡汇交定理。

证明: 设刚体上 A 、 B 、 C 三点有共面力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用(图 1-7), 按力的可传性原理将力 F_1 、 F_2 移到 F_1 、 F_2 作用线交点 O , 并根据平行四边形公理, 将 F_1 、 F_2 合成为 F_R 。现刚体上只有两力 F_3 与 F_R 作用, 根据二力平衡公理, F_R 与 F_3 必在同一直线上, 所以 F_3 必通过 O 点, 于是 F_1 、 F_2 、 F_3 均通过 O 点。

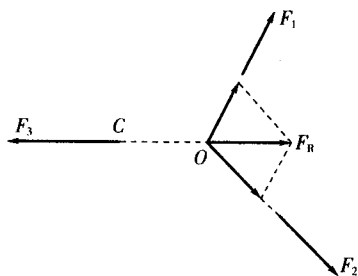


图 1-7

刚体只受同一平面三个力作用而平衡, 则该刚体称为三力构件。若三个力中已知两个力的交点及第三个力的作用点, 即可判断出第三个力作用线的方位。

1.2.4 作用与反作用公理

两物体之间相互作用时的作用力和反作用力, 分别作用在两个物体上, 两力大小相等、方向相反、作用线共线。

这个公理概括了自然界的物体相互作用的关系, 表明了作用力和反作用力总是成对出现的。

必须强调指出: 大小相等、方向相反, 且沿同一直线的作用力和反作用力, 它们是分别作用于两个不同的物体上。因此, 绝不可认为这两个力相互平衡。这与二力平衡公理中所说的两个力有着本质的区别。

1.3 约束和约束反力

1.3.1 约束的概念

1.3.1.1 自由体与非自由体

在空间能向任何方向自由运动的物体, 称为自由体。如空中的飞鸟, 航行中的飞机和飞行的炮弹和火箭等。当物体受到了其他物体的限制, 而不能沿某些方向运

动时,这样的物体称之为非自由体。如悬挂在绳索上的灯泡,支承于墙上的梁,安装在轴承中的电机转子,沿钢轨行驶的火车等,都是非自由体。

1.3.1.2 约束

在各种机械及工程结构中,每一构件都根据工作要求以一定的方式与周围的其他构件相联系,因而它们的运动都被与其相联系的其他构件所限制。这种由周围物体构成的对非自由体运动的限制条件,称为该非自由体的约束。

从广义上来说,一切物体与周围的其他物体都有联系,而物体的运动又总是会受到周围其他物体的限制。所以我们把物体间相互联系的方式,总称为约束。

前面说过,限制物体自由运动的条件称为约束,而这个条件,往往就是由被约束物体周围的其他物体构成的。所以,构成约束的物体也称为约束。例如,绳索是对重球的约束,钢轨是对火车的约束等。

1.3.1.3 约束反力

约束既然限制了物体的自由运动,就必然要受到物体对它的作用力,与此同时,也给予该物体反作用力。例如,既然绳索阻止了重球的下落,它就必定受到重球对它的向下的作用力;同时它也给重球以向上的反作用力。这种由约束作用在被约束物体上的力称为约束反力,简称反力。图 1-8 中的力 T 就是绳索对重球的约束反力。

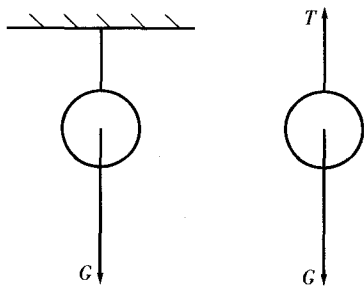


图 1-8

在一般的情况下,约束反力是由物体具有运动趋势的所谓主动力引起的,所以,约束反力也称为被动力,它将随主动力的改变而改变。

在静力学中,主动力往往是给定的,而约束反力则是未知的。因此,对约束反力的分析就成为对物体进行受力分析的首要问题。

应当指出,将力分为主动力和约束反力,只不过是对于物体进行受力分析时使用的一种分类方法,它们作用在同一物体上,并不是作用力与反作用力的关系。在图 1-8 中,约束反力 T 与主动力 G 虽然等值、反向、共线,但约束反力 T 并不是主动力 G 的反作用力。因为约束反力 T 是约束(即绳索)给被约束物体的力,而主动力 G 却是另一物体(指地球)给被约束物体的力。这两个力是由不同的物体分别作用在同一个物体上的。

1.3.1.4 约束反力的方向

由于约束反力起着限制被约束物体运动的作用,所以它的作用点应在约束与被约束物体的相互接触之处。它的方向应与约束所能限制的运动方向相反。这是确定约束反力方向的准则,至于约束力的大小,则由平衡条件求出。

1.3.2 工程中常见的几种约束

1.3.2.1 柔性约束

构成柔性约束的物体有不计自重的绳索、链条、传动皮带等。这一类物体的特点是：只能承受拉力，不能承受压力。柔性约束的特点是：限制物体沿柔索伸长方向运动，相应的约束反力是沿柔索背离物体，作用在连接点或假想截割处。柔性约束反力常用符号 T 表示，如图 1-9 所示。

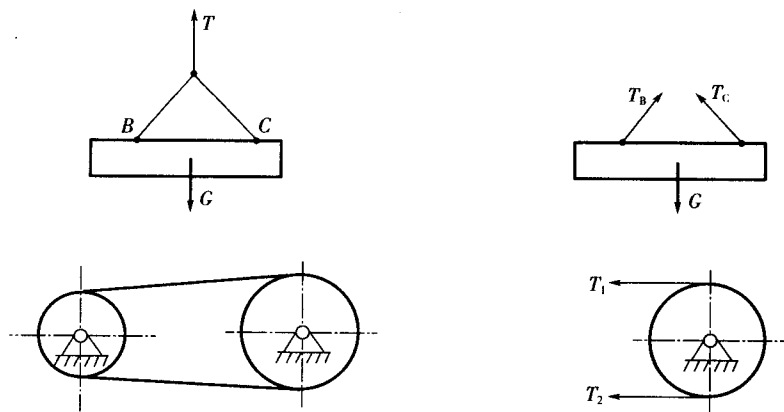


图 1-9

1.3.2.2 光滑接触面约束

当两物体直接接触，并可忽略接触处的摩擦时，约束只能限制物体在接触点沿接触面的公法线指向约束物体的运动，不能限制物体沿接触面切线方向的运动，故约束反力必过接触点沿接触面法向并指向被约束物体，简称法向压力（图 1-10a），通常用符号 N 表示此类约束力反力。

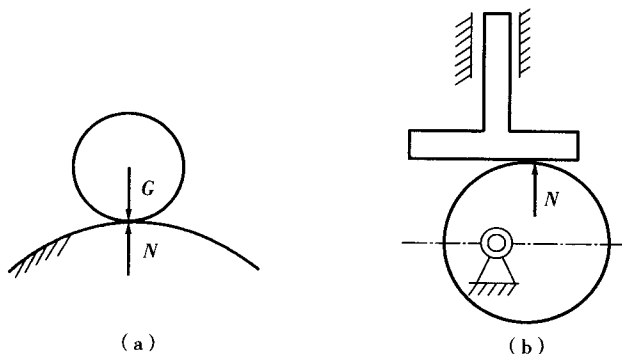


图 1-10