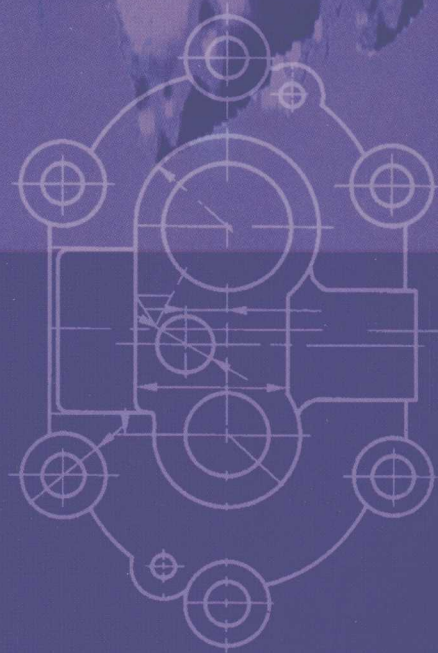
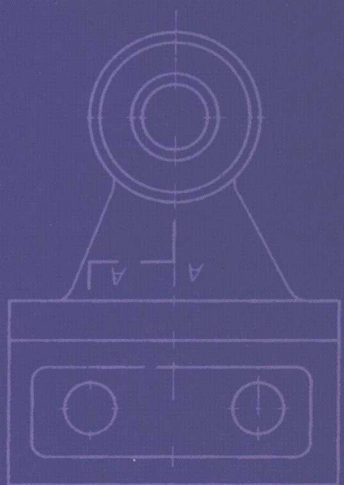


21 世纪高职高专系列教材

G 工程力学

李 鸣 主 编



华南理工大学出版社

21 世纪高职高专系列教材

工 程 力 学

李 鸣 主编

华南理工大学出版社
· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/李鸣主编. —广州:华南理工大学出版社, 2005. 2(2007. 9 重印)
(21 世纪高职高专系列教材)

ISBN 978-7-5623-2159-0

I. 工… II. 李… III. 工程力学-高校教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 129028 号

总发行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

营销部电话:020-87113487 22236386 87111048(传真)

E-mail:scutcl3@scut.edu.cn

<http://www.scutpress.com.cn>

责任编辑:吴兆强

印刷者:广州市穗彩印厂

开本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:335 千

版次:2005 年 2 月第 1 版 2007 年 9 月第 2 次印刷

印数:300 1~4 500 册

定价:22.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

为了适应我国高等职业技术教育快速发展的需要,根据国家教育部对高等职业技术教育工程力学课程教学的基本要求、高等职业技术人才培养目标的主要精神和新世纪科学技术发展的趋势,以及对高等职业技术人才素质的要求编写了本书。本书适用于高职高专院校、成人高等院校等的机械类、近机械类各专业,也可供其他专业技术人员参考。

本书编写的设想与目标是力图贯彻高等职业技术教育“以应用为目的”和“以必需、够用为度”的原则,尽力体现高等职业技术教育的“高等性”和“职业性”的特色;对课程体系适度重组,对教材内容精选精编;注重基本知识和基本理论的阐述,把掌握基本概念、强化应用作为重点;以满足培养国家和社会对高等应用型、技能型职业技术人才的广泛和迫切需要。

本书在编写过程中,试图把编者长期在教学一线所累积的心得体会融入其中。

本教材具有如下特点:

(1)中学物理的力学知识为本课程奠定了必备的基础,为使工程力学与中学物理的力学知识顺利衔接、过渡并避免重复,本教材独创性地设置了“温故而知新”的模块,简要编排了与本教材相关的中学物理的力学知识(9个知识点),这有利于展开工程力学的新内容,也可节省课时和篇幅。该模块教师可讲可不讲,主要供学生自我复习。

(2)在第一篇静力学中,突破原来的按照力系分章的编写体系,根据静力学所研究的两大问题“力系的合成(简化)”、“力系的平衡”,将静力学分为三个模块:静力学基础;平面力系的合成;力系的平衡条件及应用。

(3)在静力学中独创性地提出了“三项基本技能”、“力系平衡总则”的概念,并将静力学概括为:“二大目标、三项基本技能、一个平衡总则”。

(4)简化(或略去)不必要的理论推导,以简明为宗旨,注意密切联系工程实际,引入了大量工程实例,选材及例题、习题都注意了与工程实际的联系,建立和强化学生的工程观念。

(5)注意为后续课程(如机械原理与机械零件或机械设计基础)打基础、做铺垫。

本书在编写过程中,参考了不少教材,学习汲取了同行们改革的成果,并从中引用了一些例题、习题和图表,在此表示衷心的感谢。

参加本书编写的有广东轻工职业技术学院的李鸣老师和广东机电职业技术学院的石岚老师。其中石岚编写第五、六、七、八章以及第十二章第一节,其余的部分由李鸣编写,并由李鸣任主编。广东轻工职业技术学院汪利群老师协助做了文字编辑工作,在此表示衷心的感谢。

本书由电子科技大学中山学院教授顾晓勤博士担任主审,顾教授提出了不少宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免有不当或错漏之处,敬请读者批评指正。

编 者
2004 年 8 月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一篇 静力学

第一章 静力学基础	(8)
第一节 两个基本概念	(8)
第二节 力的正交分解与力的投影	(9)
第三节 力矩	(12)
第四节 力偶	(16)
第五节 力的滑移与平移	(19)
第六节 约束与约束反力	(21)
第七节 受力分析和受力图	(29)
小结	(33)
思考题和习题	(34)
第二章 平面力系的合成	(41)
小结	(46)
思考题和习题	(46)
第三章 力系的平衡条件及其应用	(48)
第一节 平面力系的平衡条件	(48)
第二节 物体系统的平衡	(56)
第三节 考虑摩擦时的平衡问题	(59)
第四节 轮轴类构件的平面解法	(66)
小结	(69)
思考题和习题	(70)
第四章 重心和形心	(79)
第一节 重心与形心的概念	(79)
第二节 工程上求重心(形心)的方法	(82)
小结	(84)
思考题和习题	(84)

第二篇 材料力学

第五章 材料力学概述	(87)
第一节 材料力学的基本任务	(87)
第二节 材料力学的基本概念	(89)

小结	(92)
思考题和习题	(93)
第六章 拉伸和压缩	(94)
第一节 轴向拉伸、压缩的概念	(94)
第二节 轴力、横截面上的应力	(95)
第三节 拉、压杆的强度计算	(98)
第四节 拉、压杆的变形,虎克定律	(100)
第五节 材料拉伸、压缩时的力学性能	(102)
第六节 许用应力	(107)
小结	(108)
思考题和习题	(109)
第七章 剪切和挤压	(112)
第一节 剪切及其实用计算	(112)
第二节 挤压及其实用计算	(114)
小结	(119)
思考题和习题	(120)
第八章 圆轴扭转	(122)
第一节 扭转的概念	(122)
第二节 扭矩、扭矩图、剪切虎克定律	(123)
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力	(127)
第四节 圆轴扭转时的强度计算	(131)
第五节 圆轴扭转时的刚度计算	(133)
小结	(136)
思考题和习题	(137)
第九章 弯曲	(140)
第一节 剪力与弯矩	(141)
第二节 弯曲正应力与强度	(147)
第三节 弯曲变形与刚度	(154)
小结	(160)
思考题和习题	(161)
第十章 复杂变形	(165)
第一节 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	(166)
第二节 圆轴弯曲与扭转的组合变形	(170)
* 第三节 复杂应力状态下的强度理论简介	(174)
小结	(178)
思考题和习题	(179)
第十一章 压杆稳定	(182)
第一节 压杆稳定的概念	(182)
第二节 临界力和临界应力	(184)

第三节 压杆的稳定校核	(188)
第四节 提高压杆稳定性的措施	(190)
小结	(192)
思考题和习题	(193)
第十二章 动载荷与交变应力	(195)
第一节 动载荷与动应力的概念	(195)
第二节 交变应力与疲劳破坏	(195)
小结	(200)
思考题和习题	(200)
附录 型钢规格表	(201)
参考文献	(211)

绪 论

一、工程力学在工程技术领域中的地位与作用

工程力学是一门与工程技术领域联系极为密切的学科,它的形成与发展,始终都与科学技术及生产力的发展进步密切相关。它既是一门基础性的学科,也是一门能直接应用于工程技术领域、直接为生产力服务的学科。

工程力学可应用的工程技术领域极其广泛,如机械、电力、轻工、化工、建筑、交通、纺织、水利、冶金、煤炭、石油、国防等行业,都要用到工程力学的理论和设计、计算方法以及试验技术。

工程力学是工科类各专业必不可少的一门重要技术课程。工程力学知识不仅是对后续其他课程学习的基础,而且对从事制造、安装、运行、施工、维护、检修等一线应用方面的实际工作也是完全必需的。它还对培养学生的观察力、想像力、思维力、创造力,以及解决生产实际问题的能力将会有积极影响。因此,工程力学在高等职业技术教育中有着极其重要的地位和作用。

二、工程力学(本教材)的内容

根据高等职业技术教育的特点和需求,本着“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则,本教材编排了两部分内容。

第一篇 静力学:研究物体在力系作用下平衡规律的科学,它要解决两大问题,一是力系的合成(简化)问题,二是力系的平衡问题。

第二篇 材料力学:研究构件(零件)承载能力的科学,它要解决三大问题,一是强度问题,二是刚度问题,三是稳定性问题。

三、怎样学习工程力学

(1)中学物理的力学知识为工程力学奠定了必备的基础,为了顺利衔接并避免重复,本教材设置了[温故而知新]的模块,编排了与本教材相关的中学物理的力学知识,供同学们事先自我阅读、复习。

(2)工程力学来源于实践又服务于实践。在学习本课程时,要多观察工程实际和生活中的力学现象,要学会用力学的基本知识去分析解释这些现象;要利用我们原有的直接经验与感性认识对所学的力学理论进行对照、检验。这是认识力学规律的重要的环节。

(3)工程力学有较明显的科学系统性,各部分内容之间有较强的关联性,学习中要一步一个脚印,步步为营;要认真理解和掌握基本概念、基本理论和基本方法;要注意分析问题的思路和解决问题的方法。

(4)在学习中,一定要勤于思考、独立完成一定数量的思考题和习题,以巩固和加深对所

学概念理论、公式的理解、记忆和应用。不能只满足于课堂上“听懂”，还要课后“会做”，因为“听懂”还不等于“会做”。要注意培养分析问题、解决问题的能力，不断提高“动手能力”。

工程力学的奠基人、科学巨人伽利略曾经说过：“力学是一门美丽而有用的科学。”转换成中国式的说法，即工程力学是“既中看又中用”的科学。让我们携手共进，学好这门“美丽而有用的”科学，在建设中国特色的社会主义的宏伟事业中，做出我们应有的贡献。

第一篇 静 力 学

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。它有两大目标,一是研究并进行力系的合成(简化),二是研究平衡规律并解决平衡问题。

“力投影的计算”、“力矩的计算”和“画受力图”是静力学的三项基本技能。

可将静力学概括为:

“二大目标,三项基本技能,一个平衡总则”。

读者朋友们:如果把“静力学”比作一座大山,把“两大目标”看作是太山中的猎物,那你们就是上山打猎的猎人,“平衡总则”就是你们手中的猎枪,而“三项基本技能”就是你们的枪法了。

猎枪在手,枪法过硬,你们就可以手持猎枪在崇山峻岭中无所畏惧,尽情地获取猎物了。

世上无难事,只要肯登攀,我们脚踏实地、勤奋努力地学习钻研,就一定能登上并征服“静力学”和“工程力学”之山。

【温故而知新】

在初、高中的物理课中已经学习了不少力学方面的知识,这些力学知识为本课程——“工程力学”奠定了必要的基础,但只有这些力学知识是远远不能满足工程和专业需要的,为了更好地学习“工程力学”这门课程,把与“工程力学”有关的中学力学知识进行简要复习,并作必要的延伸和扩展。

1. 机械运动

在中学物理中,把“物体位置的变化”叫做机械运动。确切地讲,机械运动的意义是“物体在空间的位置随时间的变化”,即物体的运动是在“空间”和“时间”里进行的。

机械运动是物质运动形式中最简单的一种形式,机械运动也是自然界和工程技术中最常遇到的运动形式,但机械运动不仅仅是指机器的运转,如星球的运行、水的流动、车船的行驶、人的走动等,都是机械运动的实例。在地球上静止的物体,如建筑物、机器的机架支座、树木、山岭等等,都是机械运动的特例。

2. 力

通过中学物理的学习,我们已经懂得,力是物体对物体的作用,并且物体之间力的作用是相互的。确切地说,力是物体之间的相互(机械)作用。它有两种作用效应,其一是使物体的运动状态发生变化,就是使物体的运动速度或运动方向(或两者兼有)发生变化,如一个抛射体在重力的作用下,它的运动速度和方向都在不断地发生变化,这称为力的外效应,也称为力的运动效应。这是本书的第一篇静力学所研究的范围。其二是使物体本身的形状发生变化,如用力拉弹簧时,弹簧会发生拉伸变形。跳水运动员站在跳板上弹跳时,跳板会发生弯曲变形,这称为力的内效应,也称为力的变形效应。这是本书的第二篇材料力学所研究的范围。

应当注意,既然力是物体之间的相互机械作用,所以力是不能脱离施力物体和受力物体而存在的。在分析物体受力时,必须明确每个力是由该物体(受力物体)的周围另外某个物体(施力物体)所施加的。

我们还知道,力是具有大小和方向的矢量,力的三要素是:力的大小、力的方向、力的作用点(可简述为:力值、力向、力点)。其中任一要素改变,都会使力的作用效果改变。但在本书的后面,力的三要素将改为:力的大小、力的方向、力的作用线(可简述为:力值、力向、力线)。

在国际单位制中,力的单位是牛(N)和千牛(kN), $1\text{kN}=1\,000\text{N}$ 。

3. 力的分解与合成

求一个已知力的分力叫做力的分解;求几个已知力的合力叫做力的合成。求共点并互成角度的两个力的合力用平行四边形法则,反之,把一个已知力分解为两个力,也可用平行四边形法则。在工程问题中,最常见的是把一个已知力分解为相互垂直的两个分力,称为力的正交分解,下面还将深入讨论。

4. 力的平行四边形法则

求共点并互成角度的两个力的合力,可以用表示这两个力的线段作邻边,作出平行四边形,它的对角线表示合力的大小和方向,如图 1-1 所示(平行四边形法则可以简化为三角形法则)。

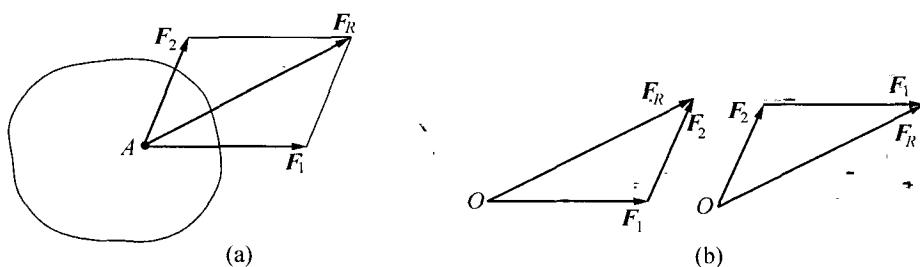


图 1-1 平行四边形法则

5. 平衡

在中学物理中,把物体处于静止或匀速直线运动的状态叫做“平衡状态”,如各类建筑物、在直线轨道上匀速行驶的火车、吊车匀速起吊货物等,都是处于平衡状态的例子。

当物体受到几个力的作用并且处于静止或匀速直线运动的状态,就说这几个力是互相平衡的。物体在共点力作用下的平衡条件是合力为零。

在本课程中,这几个互相平衡的力称为“平衡力系”。在一般的工程问题中,平衡是相对地球而言的,即以地球为参照物,物体的平衡状态是机械运动的一种特殊状态。本书的第一篇静力学主要是研究“平衡力系和平衡条件”的。

6. 二力平衡

作用于同一物体上的两个力,如果大小相等,方向相反,且作用于同一直线上,这两个力就彼此平衡,即这两个力对该物体的作用效果是相互抵消的,这两个力的合力为零,该物体保持原来的静止或匀速直线运动的状态。

在本课程中,应当特别注意,这个结论只适用于不变形的物体(刚体)。对于可变形体,例如软绳(或钢丝绳、链条)之类,显然,它们根本不能承受压力。当承受两个等值反向的拉力作用时,它们可以平衡,但承受两个等值反向的压力作用时就不能平衡,如图 1-2 所示。

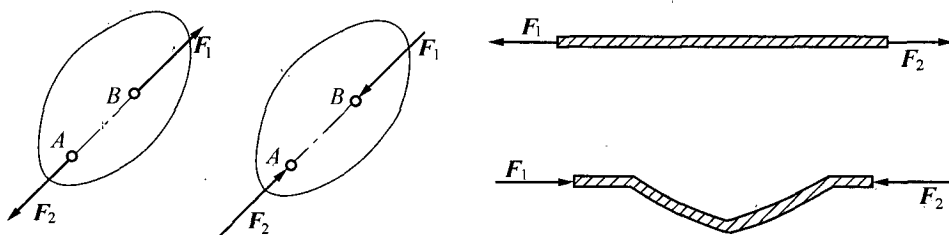


图 1-2 二力平衡

反之,如果一个物体受到两个力的作用并处于平衡状态,则这两个力一定大小相等,方向相反,且作用于同一直线上。

在本课程中,可将上述结论概括为:作用于刚体上的两个力,使刚体处于平衡状态的必要和充分条件是:这两个力等值、反向、共线。如图 1-3 所示。

上述的两个力也是“平衡力系”,显然是最简单的平衡力系,有时也称之为“一对平衡力”。

在工程结构或机械设备中,常常有只受两个力作用而平衡的构件,这种构件称为“二力

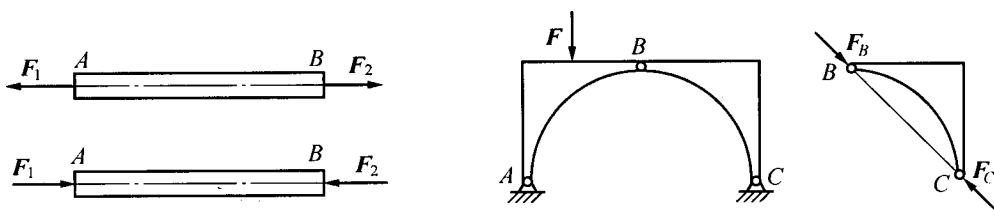


图 1-3 二力平衡力系

构件”(非杆状)或“二力杆”(呈杆状)。二力构件的受力特点是:两个力的作用线必定沿两力作用点之连线。对于“二力杆”来说,当两个力作用的方向相背时,二力杆受拉力,称为拉杆;当两个力作用的方向相对时,二力杆受压力,称为压杆,见图 1-4。

“二力构件”或“二力杆”在本课程中是一个重要的概念,下面还将深入讨论,务求掌握好。

7. 作用力和反作用力定律

两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等,方向相反,作用在同一条直线上,这就是牛顿第三定律。可以把这个定律简述为:两物体间的作用力和反作用力总是等值、反向、共线。

这个定律概括了自然界物体之间相互作用力的关系,表明了力总是成对地以作用与反作用的形式存在于物体之间,有作用力必有反作用力,两者总是同时产生又共同消失,但由于分别作用在两个物体上,所以作用力与反作用力不能相互抵消、平衡,如图 1-5 所示。

应当注意,切不可把上述的“一对平衡力”与“作用力与反作用力”这两个概念混为一谈,它们两者有本质的区别。如图 1-5 所示,起重机匀速吊起重物时, G 是重物的重力, T 是钢丝绳对重物的拉力,它们都作用在重物上并使重物处于平衡状态,因而构成二力平衡。钢丝绳对重物产生拉力 T 的同时,重物也必对钢丝绳产生拉力 T' ,它们两者是作用力与反作用力的关系。地球对重物产生引力 G 的同时,重物也必对地球产生引力 G' ,它们两者也是作用力与反作用力的关系。

可见,“一对平衡力”中的两个力是同时作用在一个物体上的,因而可以相互抵消、平衡;而“作用力与反作用力”中的两个力是分别作用在两个物体上,因而不能相互抵消、平衡。

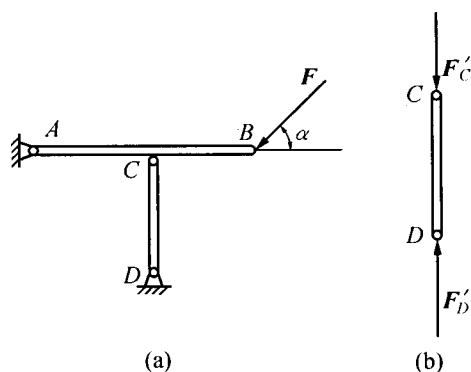


图 1-4 二力杆

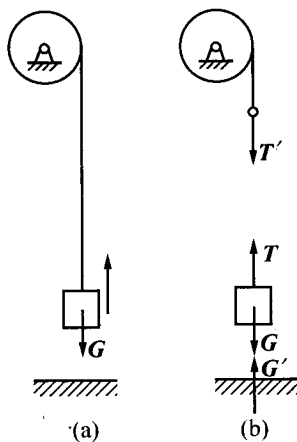


图 1-5 匀速起吊重物

但是,“一对平衡力”与“作用力与反作用力”这两个概念的相同点是两个力都具有“等值、反向、共线”的特征。

8. 滑动摩擦力

两个互相接触的物体,当它们要发生或已经发生相对滑动时,在接触面上产生的阻碍相对滑动的力叫做滑动摩擦力。

发生在两个相互接触、相对静止(但有相对滑动趋势)的物体之间的力,称为静滑动摩擦力。当物体已经滑动起来以后,物体受到的摩擦力称为动(滑动)摩擦力。动(滑动)摩擦力的方向与物体相对运动的方向相反。

我们还知道,滑动摩擦力 F 的大小与两物体间的压力 N 成正比,即:

$$F = N \cdot f$$

式中, f 是摩擦系数,它与两个相互接触的物体的材料有关,也与接触面的状况(如粗糙程度)有关,它是无量纲的。

两个互相接触的物体,它们在接触面上产生的滑动摩擦力可在零和最大值之间变化,即 $0 \leq F \leq F_{\max}$ 。

9. 力矩

如前所述,力有两种作用效应,其一是使物体的运动状态发生变化,这称为力的外效应,也称力的运动效应。力的运动效应又可分为两种:移动效应和转动效应。即力可使物体产生移动,也可使物体产生转动。如用力推门,门就绕门轴转动;用扳手拧螺母,螺母就绕螺杆转动,见图 1-6。

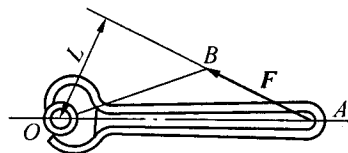


图 1-6 扳手拧螺母

力使物体产生转动的效应取决于力 F 的大小和力臂 L (从转轴到力线的距离)的长短,力 F 越大,力臂 L 越长,力矩 M 就越大,所以力 F 和力臂 L 的乘积 $F \cdot L$ 称为力对转轴的力矩 M ,即:

$$M_O(F) = \pm F \cdot L$$

力的单位常用 N 或 kN 表示,力臂的单位常用 m 表示,因而力矩的单位就是 $N \cdot m$ 或 $kN \cdot m$ 。

一个有固定转轴的物体,如果在力的作用下保持静止(或匀速转动),则称该物体处于“转动平衡”状态,该物体的平衡条件是力矩的代数和为零,即合力矩为零:

$$M_1 + M_2 + M_3 + \cdots = \sum M = 0$$

关于力矩的概念和计算在本课程中是很重要的,下面还将深入讨论。

上面把与本课程静力学有关的中学力学知识进行了简要复习,下面开始学习“静力学”。

第一章 静力学基础

【本章要点】

力投影计算;力矩计算;力偶;力的滑移与平移;约束与约束反力;受力分析和受力图。

第一节 两个基本概念

一、刚体的概念

在本书的第一篇静力学中,不研究力使物体的形状所发生的变化,即不研究力的变形效应。所以在静力学中假定:物体在任何外力作用下,其大小和形状都不发生变化,这种物体就称为刚体。即使在第三篇材料力学中,由于一般情况下工程构件和机械零件的变形都很微小,所以当处理平衡问题时,仍然可将工程构件和机械零件视为刚体。所以,刚体是对物体进行抽象简化后得到的一种理想化的力学模型。

二、力系的概念

力系是指作用于物体上的一组力。若物体在某力系作用下处于平衡状态,则称该力系为平衡力系。在平衡力系中,各力对物体的作用效应恰好互相抵消,合力为零,所以物体的运动状态不会变化(即物体相对于地球保持静止或匀速直线运动状态)。一个力系必须满足一定的条件才能成为平衡力系,这种条件称为力系的平衡条件。

把一个比较复杂的力系简化为作用效应完全相同的一个简单力系或一个力,这个过程称为力系的简化(合成)。如果一个力和一个力系的作用效应完全相同,则称该力是这个力系的合力,而将力系中的各个力称为合力的分力。

按力系中各个力的作用线的分布情况,可将力系分为:

平面力系——各力的作用线均处在同一平面内;

空间力系——各力的作用线不在同一平面内。

在平面力系和空间力系中又可将力系分为:

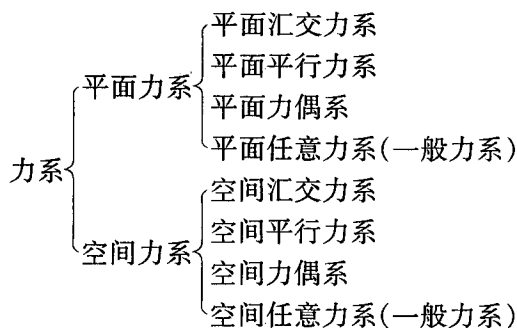
平面(空间)汇交力系——各力的作用线均汇交于一点;

平面(空间)平行力系——各力的作用线互相平行;

平面(空间)任意力系(一般力系)——各力的作用线任意分布;

平面(空间)力偶系——力系中全部是力偶。

概括如下:



第二节 力的正交分解与力的投影

一、力的正交分解

前面已经简要复习了力的分解,并指出在工程问题中,最常用的是把一个已知力分解为相互垂直的两个分力,称为力的正交分解。

对于一个平面力 F ,可建立一个平面直角坐标系 Oxy ,把力 F 沿 x 轴、 y 轴方向正交分解得两个互相垂直的分力 F_x 、 F_y 。两个分力 F_x 、 F_y 也是矢量,有大小和方向,见图 1-7。

力 F 与两个分力 F_x 、 F_y 的矢量关系可写为如下的表达式:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y \quad (1-1)$$

对于一个空间力 F ,可建立一个空间直角坐标系 $Oxyz$,以力矢 $F(OA)$ 为对角线,以平行于坐标轴的直线为棱边,作空间平行六面体,其三条棱边分别代表三个分力,见图 1-7。

力 F 与三个分力 F_x 、 F_y 、 F_z 的矢量关系可写为如下的表达式:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y + \mathbf{F}_z \quad (1-2)$$

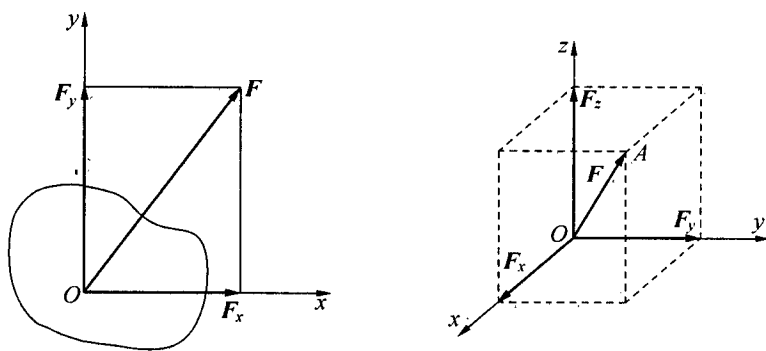


图 1-7 力的正交分解

二、力在直角坐标轴上的投影

力投影的计算是静力学的第一项基本技能,务求熟练掌握,达到迅速正确。

对于一个平面力 F ,可建立一个平面直角坐标系 xOy ,从力的两端点 A 和 B 分别向 x