

5年制、3年制高等教育机械制造专业系列教材

工程力学

(修订本)

中国机械工业教育协会高职与中专教育分会组编

党锡康 主编

东南大学出版社

5 年制、3 年制高等职业教育机械制造专业系列教材

工 程 力 学

(修订本)

中国机械工业教育协会高职与中专教育分会组编

党锡康 主编

党锡康 张根劳 吉 梅 编

李培根 主审

东南大学出版社

·南 京·

内 容 提 要

本书是依据国家教育部最新制定的高职、中专机械类专业力学课程基本要求,由中国机械工业教育协会高职与中专教育分会组织编写而成。

全书分四篇。第一篇静力学,内容包括力的基本性质、平面汇交力系、力矩、力偶系、平面任意力系、摩擦、空间力系;第二篇材料力学,内容包括轴向拉压、剪切、扭转、直梁的平面弯曲、组合变形的强度计算、压杆稳定、交变应力简介;第三篇运动学,内容包括点的平面曲线运动、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动;第四篇动力学,内容包括质点动力学基础、刚体动力学基础、动静法、质点系的动能和动能定理。

本书适用于做机械类、近机类5年制高职、3年制高职120学时左右的工程力学课程的教学用书。略去本书中带“*”的章节后,亦可作为中专80~90学时课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/党锡康主编.—2版(修订本).—南京:
东南大学出版社,2002.1
五年制、三年制高等职业教育机械制造专业系列教材
ISBN 7-81050-026-0

I.工… II.党… 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(2001)第085384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 南航飞达印刷厂印刷

开本:787×1092毫米 1/16 印张:19.75 字数:561千

2002年1月修订本第9次印刷

印数:33701-37700册 定价:24.00元

中国机械工业教育协会高职与中专教育分会
机械制造专业教材编审委员会

主任委员	程益良		
副主任委员	王希平		
委 员	刘际远	李铁尧	陈行毅
	高文征	聂建武	黄剑滕
	司徒渝	翟 轰	储克森
	苏群荣		

修订说明

由中国机械工业教育协会高职与中专教育分会组织编写的这套由 12 门课程组成的机械制造专业教材,自出版后得到行业内外不少学校的赏识,使用后反响不凡。为使这套教材更能适应职业教育的改革,适应培养 21 世纪机械制造专业人才的需要,编委会征求了使用学校的意见后召开了教材主编研讨会,拟定了修订本套教材的指导思想和修订原则,并用一年多的时间对本套教材进行了修订。修订后的教材更能体现职业教育的特色,且面向 21 世纪增添了新技术内容,贯彻了“必须、实用、够用”的原则,突出应用,多举实例,力求做到“简明、易懂、适度、能用”,便于教学与自学,并注意到对学生素质的全面培养。

随着教育体制和招生制度的改革,高等职业教育发展十分迅速,这为这套系列教材的改革和编写提供了新的契机。修订后的系列教材主要适用于 5 年制、3 年制高等职业教育机械制造专业,为兼顾部分中等专业的教学需要,只要略去教材中带“*”号的章节后,也完全适用。

在修订过程中得到了陕西工业职业技术学院、福建职业技术学院、四川省工程职业技术学院、湖南工业职业技术学院、浙江机电职业技术学院、无锡职业技术学院、西安机电职业技术学院、上海市机电工业学校、常州机械学校、西安仪表工业学校、芜湖机械学校、东风汽车公司汽车工业学校、靖江市工业学校、廊坊市工业学校、邯郸市工业学校、嘉兴市中等专业学校、成都市工业学校、辽宁仪器仪表学校和东南大学出版社等单位的大力支持,谨致诚挚的谢意。衷心希望广大教师和学生在使用中提出宝贵意见,以便再次修订时改进,使之日臻完善。

中国机械工业教育协会高职与中专教育分会
机 械 制 造 专 业 教 材 编 审 委 员 会
2001 年 12 月

前 言

本书由中国机械工业教育协会高职与中专教育分会组织编写。自出版发行以来已重印多次,受到了广大教师和学生的好评。随着职业技术教育的迅猛发展,依据教育部最新制定的高职、中专机械类专业力学课程基本要求,对本书在原有基础上作了进一步修订。修订后的教材充分吸收了各校近几年来力学课程改革的教学经验,力求进一步充分体现高等职业教育力学课程的特色,注意加强与工程实际的联系。简化理论推导,突出实用,并采用了最新国家标准,尽力做到图文并茂,便于教学与自学。

本书适合作为机械类、近机类5年制高职、3年制高职120学时左右的工程力学课程的教学用书。删减本书中带“*”号的章节后,亦可作为中专机械类80~90学时工程力学课程的教学用书。

参加本书编写的有:张根劳、党锡康(第1~6章),吉梅(第7~9章、第12~13章),党锡康(第10~11章、第14~21章)。全书由党锡康任主编,李培根担任主审。

本书在编写中参考了:胡仰馨主编的《理论力学》、程嘉佩主编的《材料力学》、李龙堂主编的《工程力学》、苏翼林主编的《材料力学》、北京钢铁学院、东北工学院编的《工程力学》、范钦珊主编的《工程力学》、徐灏主编的《机械设计手册》第1卷、张维与张淑英等译的《机械工程手册》第1卷等书籍资料,在此一并致谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,错误与不足之处在所难免,敬请不吝赐教,以便修订时改正。

编 者

2001年11月

绪 论

一、工程力学的任务和内容

力学的发展历史,是从为工程技术服务而发展起来的。力学应用于工程技术,直接为发展生产力服务,与机械、土建、船舶、航空、航天、生物等工程领域有广泛紧密的联系,成为大工业的基础。“工程力学”的研究对象正是各种工程实际问题,因此,人们亦称此为工业力学,包含着极其广泛的内容。本书所论之“工程力学”的任务则主要是为机械工程中简单构件的设计提供力学的基础性理论,即提供有坚实理论基础的力学模型、准确有效的计算方法和实验技术。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构件所组成。当机械工作时,这些构件将受到力的作用。因此,对机械的设计、制造和使用都是以力学理论为基础的。如果分析构件的受力情况,就需要了解力的基本性质、力系的简化方法,对构件进行科学简化建立力学模型的技能,掌握构件的平衡条件和运动规律,以及构件运动状态变化和其上作用力之间的关系。构件由于受力作用,还可能产生破坏或产生过大变形,以致构件不能正常工作。为了保证机械及其构件具有足够的承载能力,就要根据构件受力情况,选择合适的材料和合理的截面形状尺寸以使构件安全可靠地工作。这些都是本门课程所要研究的问题。

本教程共分四篇。分别为静力学、材料力学、运动学和动力学。包括构件平衡时力的分析与计算,构件强度、刚度、压杆稳定性的基本概念和计算的基本公式,构件的运动分析,构件的动力分析等共 21 章。

二、工程力学的研究方法和学习方法

(一) 工程力学的研究方法

纵观工程力学发展史,乃是一个理论与实际紧密相连的发展过程,在此发展长河中,工程力学建立了一套完整的科学研究方法,具有经典性和广泛地指导的意义。其研究方法可概括为:

1. 通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行多次的科学实验,经过分析、综合和归纳,总结出力学的最基本规律。

远在古代,人们为了提水,制造了辘轳;为了搬动重物,使用了杠杆、斜面和滑轮;为了长距离运输,制造了简单的运输机械等等。制造和使用这些生产和生活工具,使人类对于机械运动有了初步认识,并积累了丰富的力学经验,经过分析、综合和归纳,逐渐形成了如“力”和“力矩”等基本概念,以及如“二力平衡”、“杠杆原理”、“力的平行四边形法则”等力学的基本规律,成为这门科学的基础。

人们为了认识客观规律,不仅在生活和生产实践中进行了观察和分析,而且还进行了实验。实验是科学研究的重要手段,实验可以从复杂的自然现象中,人为地创造一些条件来突

出影响事物发展的主要因素,并且能够定量地测定各个因素间的关系,因此实验也是形成理论的重要基础,例如“加速度”概念的提出,摩擦定律、动力学三定律,材料力学中的平面假设等都是建立在大量实验的基础上的。从近代力学的研究发展来看,实验更是重要的研究方法之一。

2. 在对事物观察和实验的基础上,经过抽象化建立力学模型

抽象化的方法就是在研究复杂的客观事物的过程中,抓住起决定作用的主要因素,舍弃次要的因素,从而抓住所研究事物的本质。例如,在研究构件的运动时,忽略构件受力要变形的性质,得到刚体的模型;忽略构件几何尺寸,得到质点的模型;忽略摩擦对物体运动的影响,得到理想约束的模型等等。但是,任何抽象化的模型都是有条件的、相对的,当研究问题的条件改变了,原来的模型就不一定适用,必须再考虑影响问题的新的因素,建立新的模型。例如在研究物体内部的受力情况和它的变形时,刚体的模型就不再适用,这时就应做为变形固体模型;当进一步忽略材料内部晶粒的间隙等次要因素时,又可将变形固体材料简化为均匀连续、各向同性的理想的材料模型。

3. 在建立力学模型的基础上,从基本规律出发,用数学演绎和逻辑推理的方法,得出正确的具有物理意义和实用价值的定理和结论。应当注意的是,我们在学习本课程时,不可仅仅满足于了解演绎,而忽视对力学规律本质的了解。

工程力学是前人经过无数次“实践——理论——实践”的循环反复过程,每一循环都在原来的基础上提高一步。像所有的科学一样,工程力学也是沿着这条道路不断向前发展的。

(二) 工程力学的学习方法

工程力学是一门理论性、方法性、应用性都很强的学科。各部门内容之间存在着内在的联系,学习中应注意类比,在类比中了解共性、区别个性,掌握规律,从而加深理解、增强记忆。在学习中要注意抓两头:开始问题的提出及最后得出的结论,由此带动一章内容的学习。学习时还应抓住内容的基本线索,如本章要解决什么问题;这些问题是如何提出的;它与前面内容有什么关系;解决这些问题的依据或出发点是什么;解决这些问题的方法与过程怎样;最后得出一些什么结论;这些结论又如何用来指导解决工程实际问题;它们的应用范围如何等。本书每章后有思考题和习题,对思考题应深入思考,同时必须独立完成一定数量的练习题。只要学者刻苦勤奋,掌握正确的学习方法,一定能够学好工程力学这门课程。

三、学习工程力学的目的

工程力学是一门重要的技术基础课,在工科各专业的教学计划中有重要的地位。学习工程力学的目的有:

1. 研究各种工程实际问题无疑需要工程力学知识,但又不单纯属于工程力学,而是与不同的工程设计都有关系,但是,工程力学可以为分析和解决这些工程实际问题打下必要的基础。同时,工程力学这门课程又是后继的机械原理、机械零件等技术基础课和专业课的重要基础。

2. 工程力学的研究方法具有典型性。充分理解其研究方法,不仅可以深入掌握这门学科,而且在开发学生智力、培养学生的观察力、丰富想象力和思维能力以及创新能力方面起着极为重要的作用;同时有助于培养辩证唯物主义世界观以及分析问题和解决问题的能力。为今后解决生产实际问题,从事科学研究打下基础。

目 录

绪 论

第一篇 静力学

1 静力学基础	(1)
1.1 力及力的基本性质	(1)
1.2 约束和约束反力	(5)
1.3 物体的受力分析和受力图	(8)
2 平面汇交力系	(16)
2.1 平面汇交力系的合成	(16)
2.2 平面汇交力系的平衡条件	(20)
3 力矩和平面力偶系	(28)
3.1 力对点之矩	(28)
3.2 力偶及其基本性质	(30)
3.3 平面力偶系的合成与平衡条件	(33)
3.4 力的平移定理	(35)
4 平面任意力系	(41)
4.1 平面任意力系向作用面内任一点的简化	(41)
4.2 平面任意力系的平衡条件及其应用	(43)
4.3 刚体系统的平衡问题	(48)
5 摩擦	(60)
5.1 滑动摩擦	(60)
5.2 摩擦角 自锁	(61)
5.3 考虑摩擦时的平衡问题	(63)
* 5.4 滚动摩擦简介	(67)
6 空间力系 重心	(72)
6.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(72)
6.2 力对轴的矩	(75)
6.3 空间任意力系的平衡条件	(77)
6.4 轮轴类零件平衡问题的平面解法	(78)
6.5 重心和形心	(84)

第二篇 材料力学

7 轴向拉伸和压缩	(95)
7.1 轴向拉伸和压缩的概念	(95)
7.2 内力的概念 截面法和轴力	(96)
7.3 拉(压)杆横截面上的应力	(98)
7.4 材料在拉伸和压缩时的力学性能	(99)
7.5 拉(压)杆的强度条件及其应用	(103)
7.6 拉(压)杆斜截面上的应力	(106)
7.7 拉(压)杆的变形 虎克定律	(108)
8 剪切	(115)
8.1 剪切的实用计算	(115)
8.2 挤压的实用计算	(118)
9 圆轴扭转	(123)
9.1 圆轴扭转的概念和实例	(123)
9.2 外力偶矩 扭矩和扭矩图	(123)
9.3 圆轴扭转时横截面上的应力	(126)
9.4 圆轴扭转时的变形计算	(129)
9.5 圆轴扭转时的强度条件和刚度条件	(130)
10 直梁的平面弯曲	(136)
10.1 直梁的平面弯曲概念及梁的计算简图	(136)
10.2 梁的内力——切力与弯矩	(137)
10.3 切力、弯矩方程和切力、弯矩图	(140)
10.4 弯曲时梁横截面上的正应力	(148)
10.5 截面的轴惯性矩、平行移轴公式	(152)
10.6 弯曲正应力强度条件及其应用	(155)
* 10.7 弯曲切应力简介	(159)
10.8 提高梁弯曲强度的主要措施	(160)
10.9 梁的变形和刚度条件	(164)
* 10.10 简单静不定梁	(173)
11 组合变形的强度计算	(181)
11.1 组合变形的概述	(181)
11.2 拉(压)、弯组合变形的强度计算	(181)
11.3 圆轴弯、扭组合变形时的应力分析	(183)
* 11.4 应力状态简介	(184)
11.5 强度理论简介	(188)

11.6	圆轴弯、扭组合变形的强度计算	(189)
12	压杆稳定	(195)
12.1	压杆稳定的概念	(195)
12.2	细长压杆的临界力	(196)
12.3	压杆的临界应力	(197)
12.4	压杆的稳定校核	(201)
12.5	提高压杆稳定性的主要措施	(202)
13	交变应力简介	(205)
13.1	交变应力的概念	(205)
13.2	材料的疲劳极限及其测定	(207)
13.3	影响构件疲劳极限的主要因素	(208)

第三篇 运动学

14	点的平面曲线运动	(211)
14.1	自然法	(212)
14.2	直角坐标法	(216)
15	刚体的基本运动	(220)
15.1	刚体的平动	(220)
15.2	刚体绕定轴转动	(221)
15.3	绕定轴转动刚体内各点的速度和加速度	(224)
16	点的合成运动	(229)
16.1	点的合成运动的概念	(229)
16.2	点的速度合成定理	(230)
16.3	点的速度合成定理的应用	(232)
17	刚体的平面运动	(237)
17.1	刚体平面运动及其简化	(237)
17.2	平面图形上各点的速度	(238)

第四篇 动力学

18	质点动力学基础	(246)
18.1	动力学基本定律	(246)
18.2	质点的运动微分方程	(247)
18.3	质点动力学的两类问题	(248)
19	刚体动力学基础	(253)
19.1	刚体平动的动力学方程	(253)

19.2	刚体绕定轴转动的动力学方程	(253)
19.3	转动惯量	(254)
19.4	刚体绕定轴转动动力学方程的应用	(257)
* 20	动静法	(261)
20.1	质点惯性力、质点的动静法	(261)
20.2	质点系的动静法	(263)
20.3	刚体惯性力系的简化	(264)
20.4	构件作匀加速平动和匀速转动时的动应力计算	(268)
21	质点系的动能和动能定理	(274)
21.1	力的功	(274)
21.2	功率和机械效率	(278)
* 21.3	质点系的动能	(280)
* 21.4	质点系的动能定理	(282)
附 录		(288)
附表 1	热轧工字钢(GB706—88)	(288)
附表 2	热轧槽钢(GB707—88)	(289)
附表 3	热轧等边角钢(GB9787—88)	(290)
附表 4	热轧不等边角钢(GB9788—88)	(292)
习题答案		(293)

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。力系是指作用在物体上的一群力或一组力。平衡是物体运动的一种特殊状态。若物体相对于地面处于静止或作匀速直线运动,则称此物体处于平衡状态。

物体受力后实际上都会产生不同程度的变形,但在工程上的机械零件和结构构件在力的作用下发生的变形是很微小的。因此,当分析物体的运动和平衡规律时,这种微小变形的影响很小,可以忽略不计,这样就可把物体看作是不变形的,从而使问题的研究大为简化。这种在受力情况下保持形状和大小不变的物体称为刚体。如果在研究的问题中,物体的变形成为主要因素时(例如在本书第二篇材料力学中),就不能将物体看成刚体。

在本篇中,我们主要研究以下两个基本问题:

1. 力系的简化

如果一个力系对刚体的作用效果与另一个力系对该刚体的作用效果相同,这两个力系互为等效力系。若一个力和一个力系等效,则称这个力是该力系的合力,该力系中的各力是其合力的分力。在工程上,有时作用于刚体上的力系比较复杂,为便于讨论,常需将一个比较复杂的力系用一个简单的等效力系来代替,这就是力系的简化。

2. 刚体在各种力系作用下的平衡条件及其应用

刚体不是在任何力系作用下都能处于平衡状态。只有构成力系的所有力满足一定的条件时,刚体才能处于平衡状态,这种条件,称为平衡条件。平衡条件建立了已知力与未知力之间的关系,进而可求得未知力。

如果刚体在力系作用下处于平衡状态,这种力系称为平衡力系。

1 静力学基础

1.1 力及力的基本性质

1.1.1 力的概念

力是人们在长期的生活和生产实践中逐渐形成的抽象概念。所谓力,是物体之间相互的机械作用,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;前者称为运动效

应,后者称为变形效应。静力学和动力学只研究力的运动效应,材料力学将研究力的变形效应。

实践表明,力对物体的效应决定于三个要素:(1) 力的大小;(2) 力的方向;(3) 力的作用点。这三个要素中有任何一个改变时,力对物体的效应也随之改变。

在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

力是一个既有大小又有方向的量,所以力是矢量。在图上可用一个带箭头的线段把力的三要素表示出来,如图 1.1 所示。线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小;线段的起点或终点表示力的作用点。我们把通过力的作用点沿力的方向的直线称为力的作用线。力的方向包括力的作用线在空间的方位(与坐标轴的夹角)和力沿作用线的指向,在图上用线段的方位和箭头的指向表示力的方向。本书中用黑体字母表示力矢量,例如 $\mathbf{F}$;而以普通字母表示这力矢量的模(即大小),如 F 。

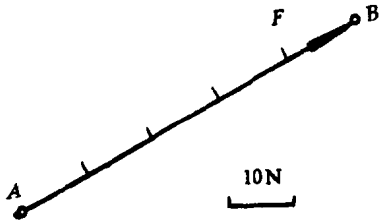


图 1.1

1.1.2 力的基本性质

人类经过长期的生产实践和科学实验,不仅建立了力的概念,而且还概括出力的各种性质。这些性质反映了力所遵循的客观规律,下面着重介绍力的四种基本性质亦即最基本的力学规律。静力学的全部理论就是以此为依据建立起来的,所以它是静力学的基础。

性质一 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力的作用点也在该点,合力的大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示(图 1.2a),这就是力的平行四边形法则。图中 $\mathbf{R}$ 表示合力, $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 表示分力。

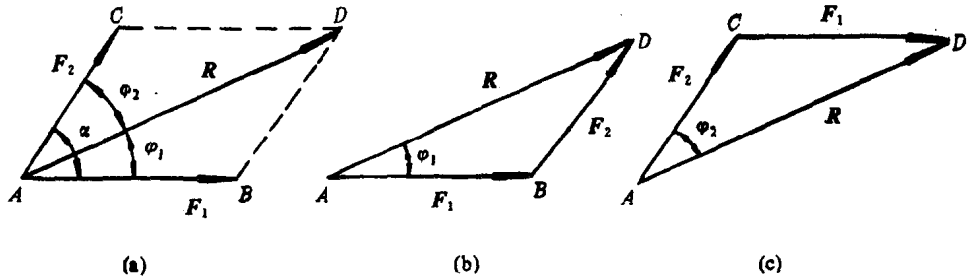


图 1.2

上述法则说明,两个相交力的合成不能简单地求算术和,而必须用平行四边形法则求几何和,即矢量和。此性质可简述为:合力矢 $\mathbf{R}$ 等于两个分力矢 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的矢量和。写成矢量等式为

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \tag{1.1}$$

根据力的这个性质作出的平行四边形,称为力的平行四边形。在求合力时,也可以不画出整个力的平行四边形,而是从 A 点作一个与力 $\mathbf{F}_1$ 大小相等、方向相同的矢量 $\vec{AB}$,过 B 点作一个与力 $\mathbf{F}_2$ 大小相等、方向相同的矢量 $\vec{BD}$,则 $\vec{AD}$ 就是力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的合力 $\mathbf{R}$ (图 1.2b)。这种

求合力的方法,称为力三角形法则。如果先画 F_2 ,后画 F_1 (图 1.2c),也能得到相同的合力 R 。可见画分力的先后次序不同,并不影响合力 R 的大小和方向。

力的平行四边形法则是研究力系简化问题的重要依据。

性质二 作用与反作用定律

两物体间相互作用的力总是大小相等,方向相反,沿同一作用线,并分别作用在这两个物体上。

以一对相互啮合的齿轮为例(图 1.3),主动轮 1 的轮齿齿面给从动轮 2 的轮齿齿面一个作用力 P_n ,推动齿轮 2 绕 O_2 轴转动,同时从动轮 2 的轮齿齿面也必定给主动轮 1 的轮齿齿面一个反作用力 P'_n ,这两个力是等值、反向、共线,但分别作用在这两个齿轮的齿面上。图中 α 表示啮合力与节圆切线间的夹角,称为压力角,标准齿轮的压力角 $\alpha = 20^\circ$ 。

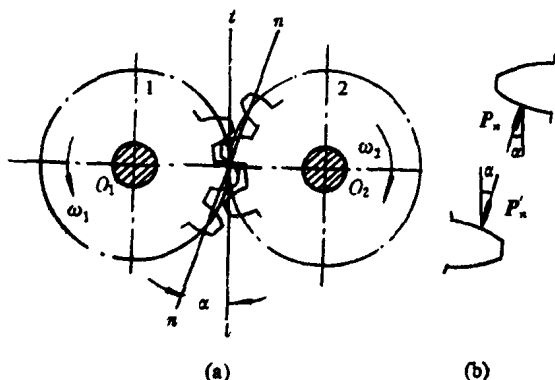


图 1.3

这个定律表明,力总是成对出现的,有作用力必定有一反作用力,且同时存在,同时消失。

必须注意,作用力和反作用力不是作用在同一物体上,而是分别作用在相互作用的两个物体上。因此,对于每一个物体进行受力分析时,不能把作用力和反作用力说成是一对平衡力。

机械中力的传递,都是通过机械零、构件之间的作用与反作用关系来实现的,借助于这个定律,我们才能从机械中的一个零、构件的受力分析过渡到另一个零、构件的受力分析。

性质三 二力平衡条件

刚体受两个力的作用处于平衡的必要和充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且在同一直线上(图 1.4),这就是二力平衡条件。

二力平衡条件总结了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件,它是研究各种力系平衡条件的重要依据。

必须注意,对于某些变形体来说,二力平衡条件只是必要条件,而非充分条件。例如绳索的两端受到等值、反向、共线的两个拉力时处于平衡,但受到等值、反向、共线的两个压力时,就不能平衡了。同时不要把二力平衡条件和作用与反作用定律相互混淆。对二力平衡条件来说,两个力作用在同一物体上,而作用力和反作用力则是分别作用在两个不同的物体上。

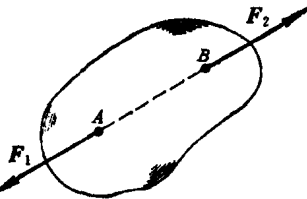


图 1.4

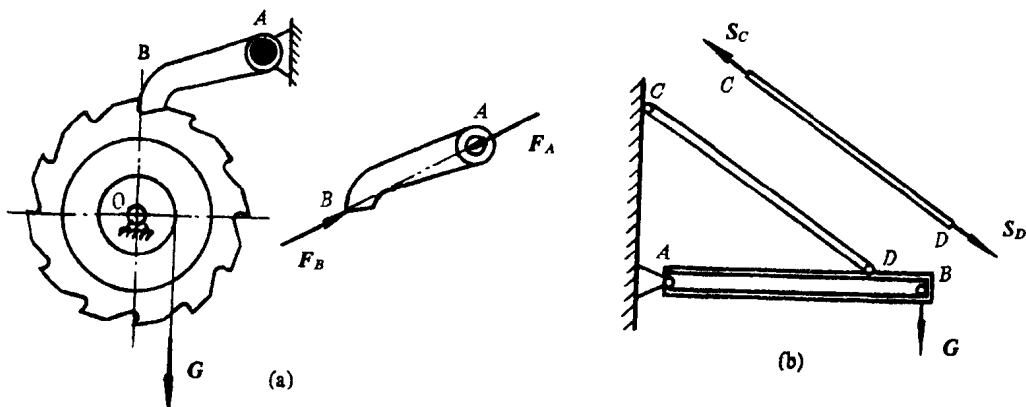


图 1.5

只受两个力而处于平衡状态的构件,称为二力构件。当构件的形状为杆状时,则称为二力杆。二力构件在工程实际中经常遇到。二力构件的受力特点是构件的两个力的作用线必定沿两个力作用点的连线,且等值、反向。工程上常根据这一特点来设定出二力构件所受两个力的方向。例如图 1.5(a) 所示的棘轮机构中棘爪 AB ,在 A 处受到圆柱形销钉所给的力 F_A ,在爪尖 B 点受到棘轮所给的力 F_B ,棘爪自重很轻可略去不计,所以棘爪是个二力构件。根据二力构件的受力特点,可知 F_A 和 F_B 必定沿两力作用点 A 、 B 两点的连线上,且等值、反向。至于二力的指向,可由经验判断或先设定为一对受拉或受压的二力构件,实际指向待由平衡条件确定。同理可分析图 1.5(b) 所示起重支架中的 CD 杆,若不计其自重时,它只可能在 C 、 D 两点受力,故为二力杆。两个力 S_C 和 S_D 必定沿两力作用点 C 、 D 两点的连线上,且等值、反向。

性质四 加减平衡力系原理

在作用着已知力系的刚体上,加上或减去任何平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果,这就是加减平衡力系原理。

应用加减平衡力系所得到的力系与原力系互为等效力系。这个原理对于研究力系的简化问题很重要,在推导许多定理时要用到它。

根据上述力的基本性质,可以得出以下关于力的性质的两个重要推论。

推论 1 力的可传性原理

作用在刚体上某点的力,可沿其作用线移到刚体内任一点,不会改变它对刚体的作用效果,这个性质称为力的可传性原理。

在实践中,人们有这样的体会,以等量的力在车后 A 点推和车前 B 点拉,效果是一样的(图 1.6)。由力的可传性可以看出,对刚体而言力的三要素中力的作用点,可由力的作用线取代。因此,作用于刚体上力的三要素为:力的大小、方向和作用线。如果把图 1.6 中的小车换成一条绳索,那么,就只能拉而不能推了。可见,力的可传性对变形体是不适用的,只能在其作用的刚体上沿作用线移动。

力的可传性原理也是研究力系简化的重要依据。

推论 2 三力平衡汇交定理

刚体受同一平面内互不平行的三个力作用而平衡时,这三个力的作用线必汇交于一点。

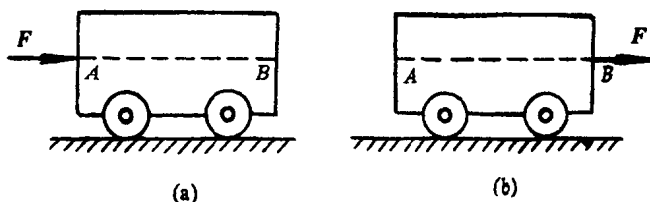


图 1.6

证明:设在同一平面内有三个互不平行的力 F_1 、 F_2 和 F_3 分别作用于刚体上 A 、 B 、 C 三点,并保持平衡(图 1.7a)。根据力的可传性,可将力 F_1 和 F_2 沿其作用线移至它们的交点 O ,根据力的平行四边形法则,此二力可合成为一合力 R , $R = F_1 + F_2$,这样刚体就可看成只受力 R 和 F_3 作用。再根据二力平衡条件,可知 R 和 F_3 共面且必须大小相等,作用线在同一直线上,指向相反,所以,力 F_3 的作用线亦必通过 F_1 、 F_2 的交点 O (图 1.7b),即此三个力的作用线汇交于一点。

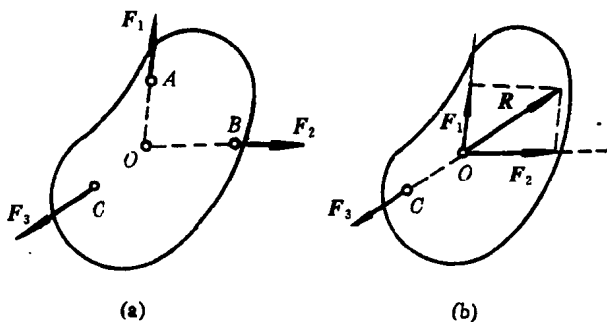


图 1.7

1.2 约束和约束反力

机械和结构中的每个零件和构件,总是以一定的形式相互联系而又相互制约的,它们使零、构件的运动受到某些限制。例如火车受到铁轨的限制,只能沿轨道运动;轴受到轴承的限制,只能绕其轴线转动。

工程上所遇到的物体通常分为两种:如果物体在空间沿任何方向的运动都不受限制,这种物体称为自由体。例如飞行的飞机、炮弹等;如果物体受到周围其他物体的限制,因而使物体在某些方向的运动成为不可能,则这种运动受到限制的物体称为非自由体。例如火车、轴等。工程上把对非自由体的某些运动起限制作用的周围物体,称为约束。例如,上述铁轨是火车的约束;轴承是轴的约束等。

既然约束限制着物体的某些运动,也就是说约束能够起着改变物体运动状态的作用,所以约束对物体的作用,实际上就是力。

当物体受到约束时,约束给被约束物体的力称为约束反作用力,简称为约束反力。例如,铁轨给火车的力,轴承给转轴的力都属于约束反力。因为约束反力是约束限制被约束物体某