

高等学校教材

专科适用

理论力学

江苏水利工程专科学校 周良治 合 编
山东水利专科学校 侯国华

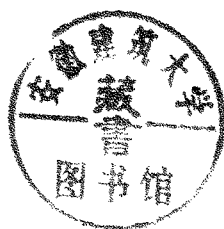


高等学校教材

===== 专 科 适 用 =====

理 论 力 学

江苏水利工程专科学校 周良治
山东水利专科学校 侯国华 合编



中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书共分三篇计十六章,三篇依次为静力学、运动学和动力学。

按照高等工程专科理论力学(多学时类)的教学基本要求,本书与本科相应教材相比,其特点是在保证基本理论完整性的前提下,内容上作了适当的删减,对某些数学论证力求从简。本书还编入了较多的例题,以加强对基本概念的理解和分析能力方面的培养。各章对解题的要点与技巧问题均作了简明的总结,并联系简单的工程实际问题,为学习后继课程打下必要的基础。每章还附有一定数量的思考题和习题。

本教材适用于高等学校三年制专科水利水电及其它土建类各专业,也可作函大、职大相应专业的教材,并可供工程技术人员作为学习参考之用。

高等工程专科教材

理论力学

力学

江苏水利专科学校 刘良治 合编
山东水利专科学校 侯国华

中国水利水电出版社
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路6号 100044)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市密云县印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 21.5印张 490千字

1992年6月第一版 1998年10月北京第三次印刷

印数 7791—11790册

ISBN 7-80124-624-1/TV·340

(原 ISBN 7-120-01511-7/TV·541)

定价 20.90元

前 言

近年来我国高等工程专科教育随着社会主义建设的要求发展较快。为了培养能坚持社会主义方向,德智体全面发展,适应社会主义建设需要的高级工程技术应用型人才,针对目前能适合专科层次、突出专科特色的教材比较缺乏,所以专科教材建设是当务之急。本书是根据水利电力出版社1989年1月制订的“1990~1995年高等学校水利水电类专业专科教材选题和编审出版规划”,由江苏水利工程专科学校周良治、山东水利专科学校侯国华合编,并由河北水利专科学校田清云、南昌水利水电专科学校梁敦永参编而写成的。全书分静力学、运动学和动力学三篇共十六章,其中由周良治编写了绪论、静力学绪言、运动学绪言、第一、二、三、四、七、九章;侯国华编写了动力学绪言、第十、十二、十三、十四章;田清云编写了第六、十五、十六章;梁敦永编写了第五、八、十一章。周良治负责全书的统稿及整理等工作。

在编写中,力求符合高等工程专科培养应用型人才的要求。全书的特点是:在保证基本理论完整性的前提下,对部分内容作了删减和调整,对应用矢量分析的数学推演则力求从简;各章均编入较多的例题,并用一定篇幅简明总结解题的要点及技巧,以此来加强对基本概念的分析 and 深化,突出解题能力的培养和提高;并注意联系简单的工程实际问题,为学习后继课程打下必要的基础。

本书适用于高等工程专科水利水电专业及其它土建类各专业(70~80学时)。

浙江水利水电专科学校葛永寿担任全书的审稿,对本书提出了许多宝贵的修改意见,编者在此表示衷心感谢。由于编者水平所限,书中一定存在不少缺点和错误,恳请广大读者和同行批评指正。

编者

1990年11月

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学的基本定律和物体的受力分析	4
第一节 力的概念	4
第二节 静力学基本定律	5
第三节 约束与约束反力	8
第四节 物体的受力分析与受力图	11
思考题	14
习题	15
第二章 平面汇交力系	18
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	18
第二节 力在轴上的投影 力沿直角坐标轴的分解	21
第三节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	23
思考题	27
习题	28
第三章 力矩 平面力偶系	33
第一节 力对点的矩	33
第二节 力偶及其性质	34
第三节 平面力偶系的合成与平衡	35
思考题	38
习题	38
第四章 平面任意力系	41
第一节 力的平移定理	42
第二节 平面任意力系的简化及其解析计算	43
第三节 平面任意力系的平衡	50
第四节 静定与超静定问题	56
第五节 物体系统的平衡	56
第六节 平面桁架及其计算方法	66
思考题	72
习题	73
第五章 摩擦	80
第一节 滑动摩擦	81
第二节 考虑摩擦时物体的平衡问题	83
第三节 滚动摩擦的概念	88
思考题	89

习题	90
第六章 空间力系	94
第一节 空间汇交力系的合成与平衡	94
第二节 力对点之矩及力偶矩的矢量表示法	97
第三节 力对轴之矩 力对点之矩与力对过该点的轴之矩的关系	99
第四节 空间任意力系向任一点的简化	101
第五节 空间任意力系的平衡	104
第六节 物体的重心	109
思考题	113
习题	113

第二篇 运 动 学

第七章 点的运动	122
第一节 点的运动的矢量表示法	122
第二节 点的运动的直角坐标表示法	124
第三节 点的运动的自然表示法	130
思考题	135
习题	135
第八章 刚体的基本运动	137
第一节 刚体的平行移动	137
第二节 刚体的定轴转动	138
第三节 转动刚体内各点的速度和加速度	139
第四节 轮系的传动	145
思考题	148
习题	149
第九章 点的合成运动	153
第一节 绝对运动、相对运动和牵连运动	154
第二节 点的速度合成定理	156
第三节 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	161
第四节 牵连运动为转动时点的加速度合成定理	163
思考题	167
习题	168
第十章 刚体的平面运动	173
第一节 刚体平面运动概述和运动的分解	173
第二节 平面图形内各点的速度	175
第三节 平面图形内各点的加速度	184
思考题	188
习题	190

第三篇 动 力 学

第十一章 质点运动微分方程	196
第一节 动力学的基本定律	196

第二节	质点的运动微分方程	197
第三节	质点动力学的两类问题	198
思考题		204
习题		205
第十二章	动量定理	209
第一节	质点的动量定理	209
第二节	质点系的动量定理	211
第三节	质心运动定理	218
思考题		222
习题		224
第十三章	动量矩定理	229
第一节	质点的动量矩定理	229
第二节	质点系的动量矩定理	231
第三节	转动惯量	238
第四节	刚体定轴转动和平面运动微分方程	244
思考题		249
习题		250
第十四章	动能定理	257
第一节	力的功 功率	257
第二节	质点的动能定理	263
第三节	质点系的动能定理	266
第四节	势力场 势能 机械能守恒定理	274
第五节	普遍定理的综合应用	277
思考题		281
习题		282
第十五章	达兰贝尔原理	289
第一节	惯性力	289
第二节	达兰贝尔原理	290
第三节	刚体惯性力系的简化	293
思考题		301
习题		302
第十六章	虚位移原理	307
第一节	约束的概念	307
第二节	自由度和广义坐标	309
第三节	虚位移与理想约束	311
第四节	虚位移原理	314
思考题		321
习题		322

绪 论

(一) 理论力学的研究对象

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门学科。

机械运动是指宏观物体在空间的相对位置随时间而变化的一种运动，它是人们生活及生产实践中最常见的运动形式。物体的平衡则是机械运动的特殊形式。

根据辩证唯物主义观点，在客观世界中，运动是物质存在的方式，是物质的固有属性。物质的运动形式是多种多样的，例如，物理变化、化学变化乃至人的大脑思维活动等都是运动，其中机械运动是诸多物质运动中的最简单的一种形式。从车辆的行驶、河水的流动、机器的运转以及航天飞机和宇宙飞船的运行等都是机械运动。不仅如此，而且在一些高级和复杂的运动形式中，有时也包含着简单的机械运动。由此可见，对机械运动的研究，具有广泛的实际意义。

理论力学是以伽里略（1564年~1642年）和牛顿（1643年~1727年）所总结的基本定律为基础，研究的是速度远小于光速的宏观物体的机械运动，属于古典力学的范畴。至于速度近于光速（30万千米/秒）的物体的运动以及微观粒子的运动，则属于本世纪初才发展的相对论力学和量子力学的范畴。由于在一般工程技术甚至涉及一些近代尖端科学技术领域中，多数问题都属于速度远小于光速的宏观物体的运动，所以相对论力学和量子力学的建立，并没有降低或减少古典力学的重要价值。古典力学仍然在许多科学技术问题中被广泛应用，并且还在继续不断地发展。

理论力学包括静力学、运动学和动力学三部分。

静力学是研究力系的简化和物体受力分析的方法；物体在力系作用下平衡的规律及其应用。

运动学是从几何观点来研究物体机械运动的规律及任一瞬时物体的运动状态，如轨迹、速度、加速度等。不涉及使物体运动状态发生变化的原因，即不考虑作用于物体上的力及物体的质量等物理因素。

动力学是研究物体的运动与物体上所受的力之间的关系。

(二) 学习理论力学的目的

1) 理论力学是工程技术人员必不可少的基础知识。由于机械运动现象的普遍存在，因此，学习理论力学掌握机械运动的规律，为解决各种工程实际问题提供了必要的理论基础。当然，有些工程技术问题可以直接应用理论力学的基本知识加以解决；而对某些较为复杂的问题，则需将理论力学知识与其它有关专业的知识结合在一起共同解决。所以，工程技术人员必须掌握一定的理论力学知识，才能顺利地解决有关的工程技术问题。在水利、土建类工程技术问题中，理论力学在许多方面同样也提供了重要的基础知识，并得到了广泛的应用。

2) 理论力学是土建、水利、路桥、机械等专业许多后继课程的必备基础。理论力学所研究的机械运动的基本理论及其普遍规律,是学习流体力学、材料力学、结构力学、弹性力学等学科的基础。

3) 学习理论力学,有助于树立唯物主义的世界观与培养逻辑思维的能力。理论力学来源于实践,经过科学的提炼和抽象,又服务于实践。它从机械运动这一个侧面深入地揭示了物质世界中运动的绝对性和静止的相对性;揭示了唯物辩证法的基本规律。它的抽象性正是其实践性的高度概括。因此,理论力学的基本理论既抽象又紧密联系实际,具有完整的系统性与严密的逻辑性。在理论力学的全部内容中,把深刻的物理涵义与严谨的数学演绎方法溶融于一体。所有这些,都为培养辩证唯物主义世界观和逻辑思维能力起着一定的作用。

(三) 如何学习理论力学

1) 深刻理解本课程的基本概念,对各个定理和公式,要掌握它们的物理意义及内在的联系,抓住其实质,切不可死记硬背或生搬硬套。

2) 在学习基本理论的同时,要认真学习各章中所总结的解题要点,并通过对例题的学习加以领会。此外,还需解算一定数量的习题,使之融会贯通。

3) 掌握本课程应用的各种数学分析方法,特别对矢量运算方法要熟练,并初步了解有关矢量分析的特点。

4) 在每学完一个阶段后,要结合思考题进行前后联系和总结回顾。学会从特殊到一般,再由一般回到特殊的分析方法;学会分析各部分理论在物理概念和数学方法上存在着哪些共性及其各自的特性。

理论力学的基本理论来源于生产实践,经过分析、综合和归纳而建立起来的,然后再回到生产实践中加以检验。所以,理论力学也和其它自然科学一样,遵循着“实践——理论——实践”这一辩证唯物主义认识论的规律。理论力学中一些理想的“力学模型”就是通过大量实践和观察,抓住事物的主要因素,撇开其次要因素,通过抽象而建立起来的。在理想的“力学模型”基础上,根据观察、实践、总结,建立起一些基本公理或定律,作为本课程最基本的理论基础。然后,再通过数学演绎和推理,从而得出各种形式的定理和结论。所以,理论力学的特点是具有高度的抽象性和概括性,理论性强,并需广泛使用数学分析方法。在学习理论力学时,必须注意本课程的特点,做到深入理解,反复练习,不断总结。

第一篇 静 力 学

静力学研究物体机械运动的特殊形式——平衡，准确地说，它是研究物体在力作用下的平衡规律的一门学科。

在一般工程问题中，物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。例如，在地面上静止的闸、坝、挡土墙和房屋等建筑物以及沿直线轨道匀速行驶的火车等，都处于平衡状态。在静力学中，一般是以相对于地球处于静止状态的物体作为研究对象。

通常，作用于物体的力不止一个而是若干个，若干个力总称为力系。能使物体保持平衡的力系称为平衡力系；平衡力系所需满足的条件称为力系的平衡条件。

由于作用于物体上的力系往往比较复杂，要研究物体受力后的平衡规律，首先必须对力系进行简化。因此，静力学主要解决以下两个问题：

- 1) 力系的简化；
- 2) 力系的平衡条件及其应用。

为了抓住主要矛盾，忽略次要因素，在静力学中，总是将物体抽象为刚体。所谓刚体，是指受力后其形状和尺寸始终保持不变的物体，即受力物体内部任意两点之间的距离保持不变。事实上，任何物体受力后都会或多或少地产生变形，真正的“刚体”实际上是不存在的。但是，在研究物体的平衡问题中，由于实际变形一般都十分微小，而且在大多数情况下，物体的这种微小变形对于平衡问题的研究影响极小，因此可忽略不计。将物体抽象化为刚体，则可使静力学问题的研究大大简化。所以，本篇研究的是刚体静力学。但须指明，即使研究变形体，不论其变形情况如何，只要它处于平衡状态，作用在该变形体上的力仍必须满足刚体静力学中的平衡条件。因此，刚体静力学理论为研究变形体力学的诸学科，例如材料力学、结构力学、弹性力学等，提供了必备的基础。当然，许多变形体的平衡问题，除应用静力学中的平衡条件外，还得涉及变形条件才能求得解答。

静力学理论在生产实践中有着广泛的应用。例如，在水利、土建工程中，对于组成建筑物的各个构件及结构的设计，必须先分析它们的受力情况，再应用平衡条件算出各未知力，最后才能按照材料力学的有关理论确定几何尺寸或选择适当的材料品种，以便得出既安全又经济的设计方案。

由于平衡是物体机械运动的一种特殊状态，所以，静力学的基本概念和基本理论也是学习动力学的必备基础。

第一章 静力学的基本定律和物体的受力分析

第一节 力的概念

力是静力学中最基本的概念。人们在长期的生产实践和日常生活中，对力积累了大量的感性认识，经过归纳、概括和科学的抽象，形成了力的概念。即力是物体之间的机械作用，这种作用将使物体的运动状态发生改变，或使物体产生变形。

物体间相互机械作用的形式是多种多样的。有的是通过场的作用，如天体间的引力、带电的或磁化了的粒子之间的电磁力等；有的是物体间相互接触而产生的，如水压力、土压力、摩擦力等等。这些力是由各种不同的物理因素所产生的，但是在力学中，不研究力的物理本质，而只研究力对于物体产生的效果，或者说力对物体的效应。力对物体的效应有两个方面：一是使物体的运动状态发生改变，称为力的运动效应；二是使物体产生变形，称为力的变形效应。实际上，变形也是物体内部各部分运动状态变化的结果，但因有其特殊性，所以将它与通常所说的运动状态的改变区别开来。理论力学只研究力的运动效应，力的变形效应将在变形体力学的诸学科中讨论。

经验证明，力对物体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。

量度力的大小的单位名称为牛顿（简称为牛，单位符号为N）或千牛顿（简称为千牛，单位符号为kN）。

力的方向包含方位与指向两种涵义。例如重力的方向是“铅垂向下”。“铅垂”是指重力的方位；“向下”则是指重力的指向。

力的作用点是指力在物体上的作用位置。一般说来，力的作用位置不是一个“点”，而是具有一定大小的一块面积。但是，当作用面积很小时，就可将它抽象为一个“点”，而认为力集中作用于这一“点”。这种力称为集中力；这个“点”，则称为力的作用点。

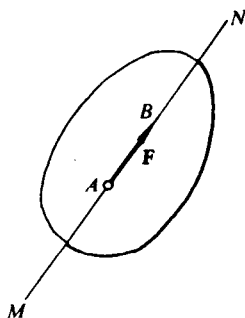


图 1-1

力既然有大小，又有方向，且又服从下面将说明的矢量平行四边形法则，所以力是矢量。本书中，凡是矢量，在图上都用带箭头的粗直线段表示。按一定的比例尺所表示的线段长度可表明矢量的大小，即矢量的模；而线段的方位、指向则表示矢量的方向。用字母表示的矢量，在印刷体中，用黑体字（如 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{P}$ 、 $\mathbf{W}$ 等）表示；在书写体中，则在字母上方加一横线（如 $\overline{F}$ 、 $\overline{P}$ 、 $\overline{W}$ 等）表示。图1-1中，带箭头的线段 $\overline{AB}$ 表示力 $\mathbf{F}$ ， F 代表力 $\mathbf{F}$ 的大小， A 是力 $\mathbf{F}$ 的作用点， MN 是力 $\mathbf{F}$ 的作用线。

第二节 静力学基本定律

静力学中的基本定律是学习静力学的重要基础。它是人们在长期的生产和生活实践中,经过反复观察、归纳和深化,而得出的客观规律。它正确地反映出作用于物体上力的基本性质。静力学基本定律只能由实践来验证它的正确性,是推证静力学全部理论的依据。

在阐述静力学基本定律之前,先简要叙述有关力系简化的几个定义。

若作用于物体上的一个力系,能用另一个力系来代替,而不改变原力系对物体的运动效应,则称这两个力系为等效力系。

若作用于物体上的一个力系,能用一个力来代替,而不改变原力系对物体的运动效应,则称该力为此力系的合力。这种代替称为力的合成。反之,若一个力系能等效地代替一个力,则该力系的各力称为这个力的分力。这种代替称为力的分解。

(一) 二力平衡定律

作用于同一刚体的两个力成平衡的必要与充分条件是:这两个力的作用线相同,大小相等,方向相反。

二力平衡定律给出了由两个力所构成的最简单力系的平衡条件。必须指出,这个定律所指出的条件,对刚体是必要和充分的,但对于变形体就不是充分的。例如,在软绳的两端,如果受的是两个大小相等、方向相反的拉力,则软绳可以保持平衡;如果是压力,则不能平衡。

在图1-2中给出了几种刚性杆,都是在两个共线力作用下,满足 $F_1 = -F_2$,因此,它们都处于平衡状态。这种受二力作用而处于平衡状态的杆件或构件称为二力杆件或二力构件。其中图1-2(a)所示的两个力将使杆有拉伸的趋势,称为拉力;而图1-2(b)所示的两个力有使杆压缩的趋势,称为压力。

(二) 加减平衡力系定律

在作用于刚体的任一力系中,加上或去掉一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的运动效应。

这个定律的成立,是由于平衡力系中各力对刚体作用的总效应为零,因而平衡力系就不能改变刚体的运动状态。所以,在原来作用于刚体的力系中加上一个平衡力系,或者去掉一个平衡力系,刚体的运动状态不会改变。

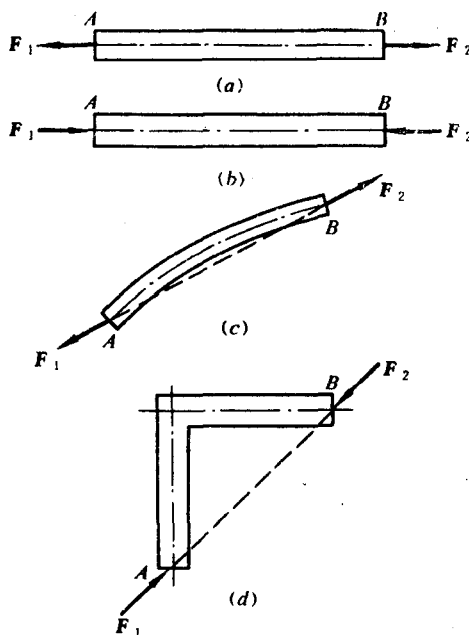


图 1-2

推论 力的可传性原理

作用于刚体的力可沿其作用线移动，而不会改变力对刚体的运动效应。

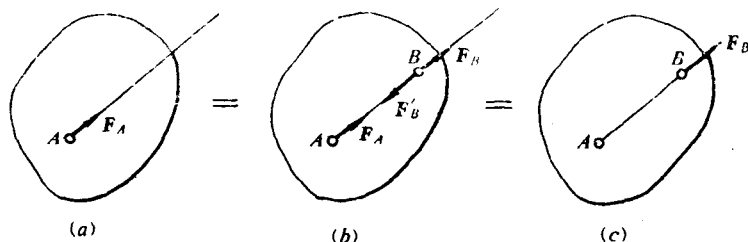


图 1-3

证明 已知在刚体上点 A 处作用一力 F_A ，如图1-3 (a) 所示。根据加减平衡力系定律，可在 F_A 的作用线上任一点 B 处，加上一对平衡力 F_B 和 F'_B ，使 $F_B = F'_B = F_A$ ，见图1-3(b)，则 (a)、(b) 两图所示的情况是等效的。再根据加减平衡力系定律，在图 (b) 中去掉一对平衡力 F_A 和 F'_B ，得到图1-3 (c)。于是图1-3中的 (a)、(b)、(c) 三种受力情况完全等效。这样，就由图 (a) 变成为图 (c)，也就相当于刚体上在 A 点处所受的力 F_A 沿其作用线移至 B 点，且不改变对刚体的运动效应。

由力的可传性原理可知，力矢量是滑动矢量。力在刚体上的作用点已为它的作用线所代替，所以，作用于刚体上力的三要素又可表示为力的大小、方向和作用线。

必须注意，加减平衡力系定律及力的可传性原理只适用于刚体，而不能用于变形体。例如图1-4(a) 中两平衡力 F_1 及 F_2 ，根据力的可传性原理，可将图 (a) 变成为图 (b) 的情况，即将 AB 杆由原来的拉伸变成为压缩。显然，这样做对研究变形体的内力与变形来说是错误的。

(三) 力的平行四边形定律

作用于物体上同一点的两个力，可以合成为仍作用于该点的一个合力。它的大小和方向由这两个力的矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

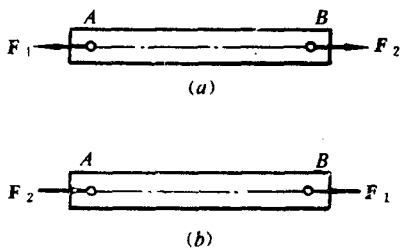


图 1-4

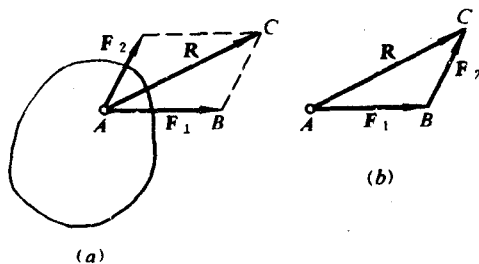


图 1-5

本定律又可称为力的平行四边形法则，是力系简化的重要基础。由图1-5(a) 可见，由于共点的两个力的合成，符合两个矢量相加的平行四边形法则，因此力是矢量。以 R 表示 F_1 和 F_2 的合力，于是力的平行四边形定律可表示为

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

即作用于物体上同一点两个力的合力，等于这两个力的矢量和。

用力的平行四边形法则求合力又可简化为用力的三角形法则求合力〔图1-5 (b)〕。即首先作力 $\mathbf{F}_1$ 的矢量 $\overline{AB}$ ，从其末端 B 再接上力 $\mathbf{F}_2$ 的矢量 $\overline{BC}$ ，连结 A 、 C 两点，即得合力 $\mathbf{R}$ 的矢量 $\overline{AC}$ 。由此得出的三角形 ABC 称为力矢三角形。由力矢三角形只能决定合力的大小和方向，至于合力作用线的位置则必须通过两分力作用线的交点。显然，在画力矢三角形的两个分力时，如果所取两分力先后次序不相同，这并不会改变合力 $\mathbf{R}$ 的大小和方向。关于这一点，读者可自行验证。

推论 三力平衡汇交定理

当刚体受共面而不平行的三个力作用成平衡时，则此三力的作用线必汇交于一点。

证明 如图1-6所示，设刚体上分别在 A 、 B 、 C 三点作用有 $\mathbf{F}_A$ 、 $\mathbf{F}_B$ 和 $\mathbf{F}_C$ 三个共面的力，且成平衡。其中 $\mathbf{F}_A$ 、 $\mathbf{F}_B$ 可由力的可传性原理使之汇交于 O 点，再根据力的平行四边形法则求出 $\mathbf{F}_A$ 与 $\mathbf{F}_B$ 的合力 $\mathbf{R}_1$ 。 $\mathbf{R}_1 = \mathbf{F}_A + \mathbf{F}_B$ 。这样，作用线过 O 点的 $\mathbf{R}_1$ 等效代替了 $\mathbf{F}_A$ 与 $\mathbf{F}_B$ 两个力。由二力平衡定律可知：过 C 点的力 $\mathbf{F}_C$ 必与 $\mathbf{R}_1$ 等值、反向、共线。所以， $\mathbf{F}_A$ 、 $\mathbf{F}_B$ 与 $\mathbf{F}_C$ 三个力必汇交于同一点。

注意，三共面力汇交于一点，不是刚体处于平衡的充分条件。也就是说，当刚体受三个共面且汇交于一点的力系作用时，并不能保证这个刚体一定处于平衡状态（为什么？请读者思考）。

（四）作用与反作用定律

两物体间相互作用的力，即作用力与反作用力，它们总是同时存在，大小相等，作用线相同而指向相反，并分别作用于这两个物体上。

这个定律概括了任何两物体间相互作用的关系。不论物体是处于平衡状态还是处于不平衡状态；也不论物体是刚体还是变形体，定律都普遍适用。有作用力，必定有反作用力；没有作用力，必定也没有反作用力。两者总是同时存在，又同时消失。所以，力总是成对地出现在两相互作用的物体上。

这个定律的重要意义是，能使研究一个物体的平衡或运动，推广到研究由多个物体所组成的物体系统的平衡或运动。

注意，不要将作用力和反作用力与二力平衡定律中一对互为平衡的力相混淆，虽然它们都是大小相等，作用线相同而指向相反。二力平衡定律中的两个力是作用在同一物体上的一对互为平衡的力；而作用力与反作用力则是分别作用在两个不同的物体上，它们并不互成平衡，不是一对平衡力。

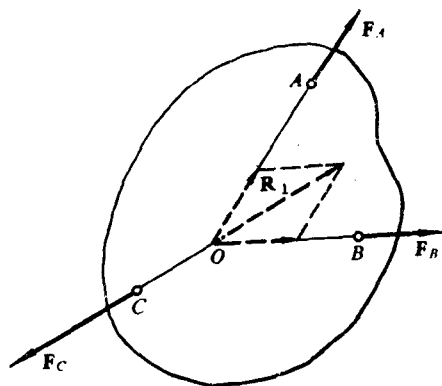


图 1-6

第三节 约束与约束反力

凡在空间能自由运动, 位移不受任何限制的物体称为自由体。例如, 在空中飞行的飞机和炮弹等都是自由体。反之, 当物体的某些位移受到周围物体的限制, 使之不可能沿某方向或某几个方向运动, 这种物体称为非自由体。例如, 用绳索悬挂而使之不能下落的重物或支承于墙上的梁等都是非自由体。阻碍物体运动的限制条件称为约束, 而这些约束条件通常是与其接触的周围物体而构成的, 因而, 习惯上把这些周围物体也称为约束。例如, 上述的绳索和墙分别是重物 and 梁的约束。

由于约束限制了物体的运动, 所以, 当物体朝着约束所限制的方向运动或有运动趋势时, 约束就必然对物体施加力的作用, 这样才能阻碍物体的运动。这种力, 称为约束反力或简称为约束力。约束反力的方向总是与约束所能阻止的物体的运动或运动趋势方向相反。约束反力的作用点就在约束与被约束物体的接触点处。由于约束反力是在被称之为约束的物体的作用下而产生的, 所以它是一种被动力。至于能主动引起物体运动或使物体有运动趋势的力, 称为主动力。例如重力、风力、水压力、土压力等等, 都是主动力。工程中通常将主动力称做荷载。主动力一般是已知的, 而约束反力是未知的。

由于约束的类型不同, 约束反力的作用方式也各不相同。下面介绍的是平面问题里常见的几种约束的实例、简化记号及对应的约束反力表示法。对于指向不定的约束反力, 图中的指向是假设的。

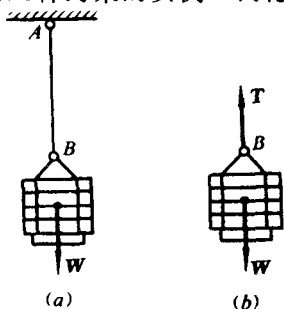


图 1-7

(一) 柔索约束

绳索、皮带、链条等柔性物体称为柔索, 如图1-7(a)中的绳AB就是一种柔索。作为约束, 它只能阻止物体沿柔索中心线伸长方向的运动, 而不能阻止其它方向的运动。因此, 柔索的约束反力沿着柔索中心线, 并为拉力(指向物体外部)。如图1-7(b)中的 T 就是拉力。

(二) 光滑面约束

当物体搁置在摩擦力很小以至可略去不计的支承面上时, 这种支承面称作光滑面约束。这时, 不论支承面的形状如何, 物体与支承面接触的点可以沿支承面自由滑动, 也可以朝脱离支承面的任何方向运动, 但不能沿着接触面的公法线而指向支承面的运动。因此, 光滑面约束的约束反力通过接触点, 沿接触面在该点的公法线, 并为压力(指向物体内部)。如图1-8(a)中的 N_A 及图1-8(b)中的 N_B 和 N_C 为光滑面约束的约束反力。 N_C 作用线过C点且与AB保持垂直; N_B 作用线同时过B点及半球形槽的中心O。图1-8(b)中AB杆自重 G 与 N_B 、 N_C 三力应汇交于一点。

(三) 铰链支座与铰链约束

工程上常用一种被称为支座的部件, 将一个构件支承于基础或另一静止的构件上。

图1-9(a)所示的支座称作铰链支座, 或称固定铰支座。它是将构件连接在圆柱形光滑销钉上再与固定支座相连。销钉不能阻止构件绕销钉中心转动; 也不能阻止构件沿销钉轴

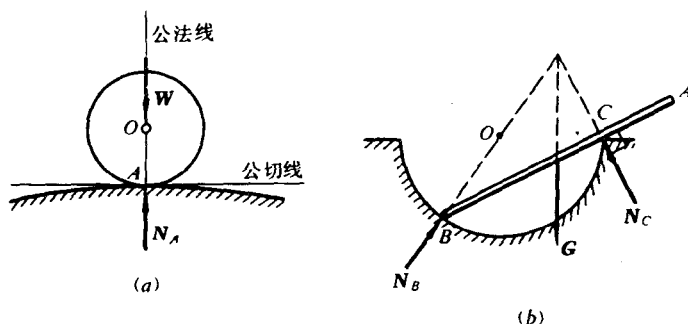


图 1-8

线移动;而只能阻止构件在垂直于销钉轴线的平面内移动。又由图1-9(a)及(b)可见,构件和销钉实际上是与两光滑圆柱面相接触。按照光滑面约束力的特点,销钉的约束力 R_A 必通过销钉中心 A 。所以,铰链支座的约束反力(或称支座反力),在垂直于销钉轴线的平面内,通过销钉中心,方向待定。图1-9(b)是构件与铰链支座连接的示意图,其约束反力 R_A 的作用线通过销钉中心 A 点,但 R_A 的方向未知,需通过静力平衡条件确定。图1-9(c)与图1-9(d)是铰链支座的两种简化表示方法。铰链支座的约束反力通常可用两个互相垂直的力来表示,如图1-9(e)所示;也可用一个未知角度和一个未知大小的力表示,如图1-9(f)所示。

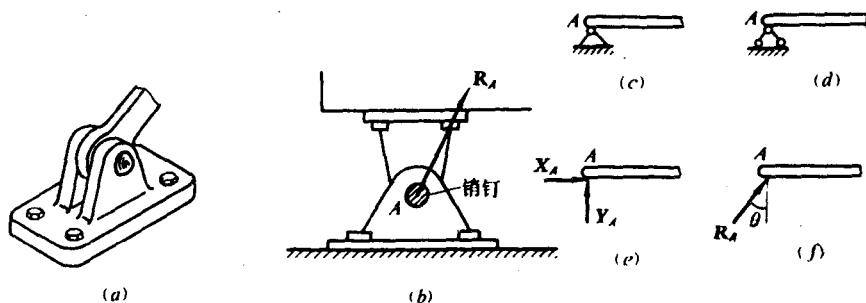


图 1-9

若两个构件用圆柱形光滑销钉连接,如图1-10(a)所示,则称为铰链约束(简称为铰)。图1-10(b)是铰的简化表示。铰的销钉对构件的约束与铰链支座的销钉对构件的约束相同,其约束反力通常也可用两个互相垂直的力来表示,如图1-10(c)所示。

(四) 辊轴支座

辊轴支座也是将构件用销钉与支座相连接,但支座不是固定的,而是可以沿着支承面运动。因此,辊轴支座又可称为活动铰支座。实际上,用几个辊轴将铰链支座支承在光滑的支承面上,就构成了辊轴支座,如图1-11(a)所示。图1-11(b)、(c)、(d)是辊轴支座的几种简化表示。这种支座既不能阻止构件绕销钉转动,也不能阻止构件沿支承面的运动,而只能阻止构件与支座连接处向着支承面或离开支承面的运动。所以,辊轴支座的约束反

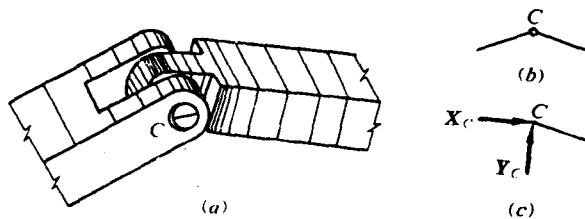


图 1-10

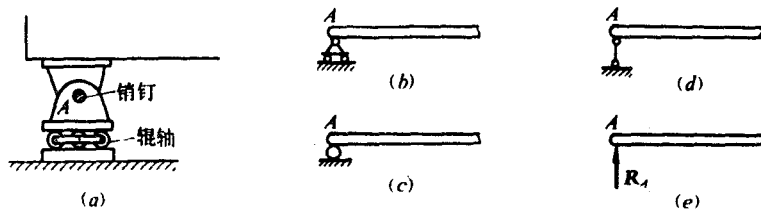


图 1-11

力通过销钉中心，垂直于支承面，而指向待定。图1-11 (e)是辊轴支座约束反力的表示法。

(五) 连杆约束

连杆是两端用光滑销钉分别与两个物体相连，自重不计，除杆端外，中间不受其它外力作用的直杆。连杆在结构中常被用作拉杆或支撑。例如图1-12 (a)所示的支架， AB 及 AC 两杆均为连杆。连杆约束只能阻止物体沿着连杆中心线方向运动，而不能阻止物体沿其它方向的运动。所以，连杆的约束反力沿着连杆中心线，其指向待定。图1-12 (b)所示 AB 杆两端受拉力；图1-12 (c)中 AC 杆两端则受压力。根据二力平衡原理： $S_A = -S_B$ ， $T_A = -T_B$ 。因此，连杆是二力杆件，通常可称为二力杆。

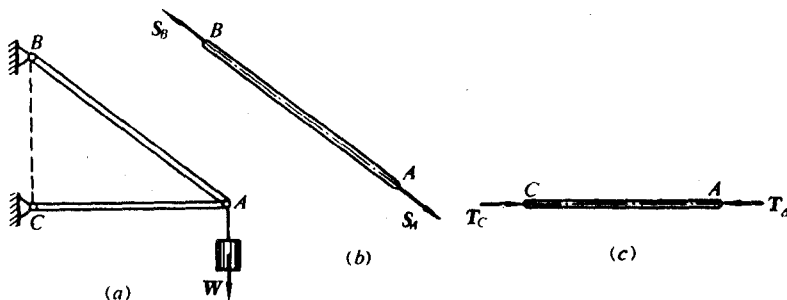


图 1-12

上述约束是几种比较典型的平面约束，还有些其它类型的约束，将在以后有关章节中分别介绍。在工程实际中，结构的约束不一定与上述理想的形式完全一致。但是，只要对实际约束的构造特点及其受力特征进行全面分析，抓住主要因素，略去次要因素，就可以将非典型的约束近似看作某种相应的典型约束。