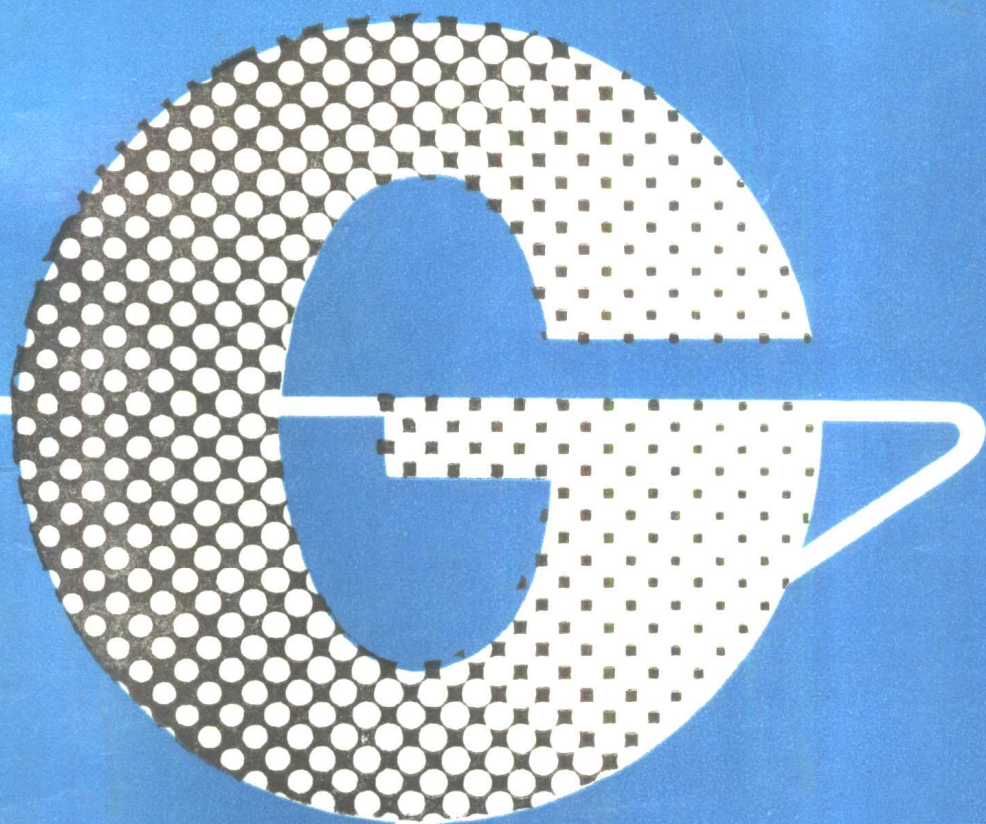


高等专科学校试用教材

理论力学



南京机械专科学校
沙洲职业工学院

张秉荣 主编
张定华
机械工业出版社

932736

031
1224

031
1224

高等专科学校试用教材

理 论 力 学

南京机械专科学校 张秉荣
沙洲职业工学院 张定华 主编

机械工业出版社

(京)新登字054号

本书系根据1990年8月国家教委审定之三年制专科机械、土建类专业理论力学课程教学基本要求72~81学时编写的。

全书内容包括：静力学基础、平面力系的简化、平面力系的平衡、摩擦、空间力系、点的运动、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动、质点运动微分方程、动量与质心运动定理、动量矩定理、动能定理、动静法与虚位移原理等15章，每章均有小结、思考题与习题，最后还有贯穿全书内容之理论力学大型综合练习。

本书适用于各类高等专科学校，包括：职业大学、职工大学、成人教育学院、夜大、函授大学等院校机械土建类专业理论力学课程教学，同时也可供初、中级工程技术人员参考。

理 论 力 学

南京机械专科学校 张秉荣 主编
沙洲职业工学院 张定华

责任编辑：檀庆华 责任校对：贾立萍
责任印制：卢子辉 版式设计：霍永明

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)
机械工业出版社京丰印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $17^{1/2}$ ·字数 427 千字
1991年10月北京第一版·1991年10月北京第一次印刷
印数 0,001—8,700·定价：4.95元

ISBN 7-111-02856-2/TB·135(课)

前 言

本书由全国高等专科学校机械专业协会力学课程组组织编写,并由协会推荐为全国高等专科学校机械、土建类专业71~81学时理论力学课程的试用教材。

该书初稿成于1986年,由当时机械工业部专科力学课程组组织编写,经几年试用后,再根据1990年8月国家教委制定之三年制专科机械土建类专业理论力学课程教学基本要求,在原书基础上重新组织编写。

本书力求内容简明、联系实际、加强工程应用技能的培养以及顺应大专层次的教学规律。所选内容悉与基本要求相符,但考虑到个别专业后继课程的需要,在个别章节,如哥氏加速度的计算等略有增添。为加强培养学生的应用技能,全书选编了例题136题、思考题90题、习题320题以及贯穿全书内容、联系工程实际中力学问题分析的综合性大型练习。

本书由张秉荣、张定华主编,各章编写分工如下:张定华第一、二、三章,张秉荣第四、五、八、十五章,李永年第六、七、九章,万杰第十、十一、十二章,杨盛功第十三、十四章。

本书由杭州高等专科学校顾玉林与长沙大学韦世钊主审。参加审稿工作的还有华北航天工业学院王宣、邱克,承德石油高等专科学校刘江、范黎光,北京机械工业学院左鹤声与江汉大学华生国等同志主审与参加审稿的同志们对本书提出了许多宝贵意见,特向他们表示衷心的感谢。

本书还特邀沙洲职业工学院郑新贤同志担任书稿责任校审,并提出了不少建设性意见,对本书作了有益的贡献。南京机械专科学校封世新、刘士俊、王祖伟、曹有光等同志担任了本书的插图设计工作,谨在此一并致以谢意。

限于水平,难免存在许多缺点与不妥之处,敬请使用本书的读者和教师提出批评指正。

编 者

1990. 11. 30

EAB38101

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基础	3
§1-1 力的概念	3
§1-2 静力学公理	4
§1-3 约束与约束反力	6
§1-4 受力图	9
小结	12
思考题	12
习题	14
第二章 平面力系的简化	16
§2-1 平面汇交力系的简化	6
§2-2 平面力偶系的简化	19
§2-3 平面任意力系的简化	23
小结	28
思考题	28
习题	30
第三章 平面力系的平衡	34
§3-1 平面任意力系的平衡方程	34
§3-2 物体系统的平衡。静定与静不定 问题的概念	42
§3-3 简单平面静定桁架的内力计算	48
小结	52
思考题	53
习题	54
第四章 摩擦	61
§4-1 滑动摩擦	61
§4-2 有摩擦平衡问题的解法—— 解析法	63
§4-3 有摩擦平衡问题的解法—— 几何法	64
§4-4 滚动摩擦简介	70
小结	72
思考题	72
习题	73
第五章 空间力系	78
§5-1 力在空间直角坐标轴上的投影	78

§5-2 空间汇交力系的合成与平衡	80
§5-3 力对轴之矩	82
§5-4 空间力系的简化、主矢与主矩	85
§5-5 空间任意力系的平衡方程	86
§5-6 空间平行力系中心与重心	91
小结	96
思考题	96
习题	96

第二篇 运 动 学

第六章 点的运动	106
§6-1 用矢径法表示点的位置、速度和 加速度	106
§6-2 直角坐标法表示点的位置、速度 和加速度	107
§6-3 弧坐标、自然坐标法表示点的 速度和加速度	111
小结	117
思考题	118
习题	119
第七章 刚体的基本运动	122
§7-1 刚体的平行移动	122
§7-2 刚体的定轴转动	124
§7-3 定轴转动刚体上各点的 速度和加速度	127
§7-4 定轴轮系传动比的计算	130
小结	132
思考题	132
习题	133
第八章 点的合成运动	136
§8-1 绝对运动、相对运动和牵连运动	136
§8-2 速度合成定理	138
§8-3 加速度合成定理	140
小结	146
思考题	147
习题	147
第九章 刚体的平面运动	153
§9-1 刚体平面运动的简化	

平面运动方程	153
§9-2 求平面图形上各点速度的 基点法	154
§9-3 求平面图形上各点速度的 瞬心法	157
§9-4 用基点法求平面图形上各点的 加速度	161
小结	164
思考题	164
习题	165

第三篇 动力学

第十章 质点运动微分方程	171
§10-1 动力学基本定律	171
§10-2 质点运动微分方程	172
§10-3 质点动力学的两类问题	173
小结	177
思考题	178
习题	178
第十一章 质心运动定理 动量定理	181
§11-1 质心运动定理	181
§11-2 动量与冲量	184
§11-3 动量定理	185
小结	188
思考题	189
习题	190
第十二章 动量矩定理	193
§12-1 动量矩的概念和计算	193
§12-2 转动惯量	195
§12-3 动量矩定理	198
§12-4 刚体定轴转动微分方程	202
小结	205

思考题	206
习题	207
第十三章 达朗伯原理	211
§13-1 达朗伯原理	211
§13-2 刚体惯性力系的简化	213
§13-3 定轴转动刚体的静平衡与 动平衡	220
小结	221
思考题	222
习题	222

第十四章 动能定理	227
§14-1 力的功	227
§14-2 动能	232
§14-3 动能定理	234
§14-4 功率与功率方程	239
§14-5 势力场、势能、机械能守恒 定律	241
小结	243
思考题	244
习题	244

第十五章 虚位移原理	249
§15-1 基本概念	249
§15-2 虚位移原理	253
§15-3 虚位移原理的应用	254
小结	258
思考题	258
习题	258

附录 I 理论力学综合练习	261
附录 II 习题答案	263
参考文献	273

绪 论

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门科学。

就一般意义来说，运动是物质存在的形式，是物质的固有属性，它包括了宇宙中发生的一切变化与过程。因此物质的运动形式是多种多样的，从简单的物体位置的变化，到各种物理、化学现象，直至人的思维与人们的社会活动。

所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间的变化，如日月的运行、车船的行驶、机器的运转、河水的流动及物体的平衡等等。工程中平衡一般是指物体相对于地球的运动保持不变，即相对于地球静止或作匀速直线运动，它是机械运动的一种特例而且总是相对地、暂时地而且是有条件地存在的。

机械运动不仅广泛地出现在我们的周围，存在于人类的一切劳动生产过程之中，也普遍地存在于研究其他运动形式的各门学科之中。因此，研究机械运动，不仅可以解释周围许多现象，为研究许多其他学科提供条件，更重要的还在于它是现代工程技术的重要理论基础，其中有些问题，还可以直接运用力学知识来解决。

理论力学属于古典力学范畴，它的内容是以17世纪牛顿所总结的几条基本定律为基础的，故有时亦称牛顿力学，它适用于研究速度远小于光速的宏观物体的机械运动。当物体的速度接近光速时，其运动必须用相对论力学来研究。当物体的大小接近微观粒子时，其运动应当用量子力学来研究。但在一般工程问题中，应用古典力学的理论来解决问题，不仅方便，而且具有足够的精确度，古典力学在应用中仍不断有所发展。

理论力学的内容通常包含以下三个部分：

- 1) 静力学 研究力系的简化与物体在力系作用下的平衡规律。
- 2) 运动学 从几何学的角度来研究物体的运动规律。
- 3) 动力学 研究作用于物体上的力与物体运动变化的关系。

理论力学的研究方法离不开人们认识客观世界的共同规律，即“实践—理论—实践”的认识过程，通过实践而发现真理，又通过实践去检验真理，这是任何科学发展的正确途径。理论力学也是这样，具体地说，就是从实践出发，经过抽象化、综合和归纳，总结出力学的基本规律，用数学演绎和逻辑推理形成理论，然后，再通过实践来验证理论。

对实践的观察是力学研究的起点，只有通过对生活与生产实践活动的仔细观察，才能发现力学现象，提出力学的研究课题。

实验是力学研究的重要手段，通过实验，可以从复杂的自然现象中，找出事物变化的主要因素。找出其中的规律性的内容。例如，伽利略对自由落体和物体在斜面上的运动做了大量实验而引出加速度的概念；库仑通过实验得出滑动摩擦定律；牛顿三定律也是建立在大量实验的基础之上，近代力学的研究，实验更是重要手段之一。

抽象化的方法是寻求真理的重要方法，事物总是复杂而且多样的，对大量来自实践的材料必须经过“去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里”的制作与改造，舍去次要的、偶然的、局部的因素，抓住现象的本质，这就是抽象化的过程。例如，研究物体的机械运动时，

撇开物体受力时的变形而获得刚体的概念,略去摩擦而得到光滑约束的概念,研究弹道轨迹时,不计物体的尺寸而得到质点的概念等等,这些理想化的力学模型都是事物抽象化的结果,抽象可以使问题简化,但任何抽象化模型都是有条件地、相对地存在的。当研究问题的条件改变后,原来的模型也就不再适用了。例如在研究物体受力作用下平衡时,将物体视为刚体,但当讨论物体内部受力情况和它的变形时,则刚体模型不再适用,在材料力学中将建立另一种理想的弹性体模型。

数学演绎与逻辑推理则是扩展理论的主要方法,对由观察实验所得之材料加以分析、综合、归纳,形成基本概念与基本定律,再通过数学演绎和逻辑推理,扩展成本课程的理论体系,将工程实际问题抽象为力学模型,运用力学理论和数学工具进行求解,再通过实践检验这些成果,这就是研究与应用理论力学的主要途径。

理论力学是一门理论性较强,在工程技术领域中有着广泛应用的技术基础课,它是近代工程技术的重要理论基础之一,同时,它又为工科院校中一系列后继课程如:材料力学、机械原理、机械设计等等提供必要的基础知识。

理论力学的分析和研究方法在科学研究中有一定的典型性,通过对本课程的学习,有助于培养辩证唯物主义的世界观,也有助于培养分析和解决实际问题的能力,为今后从事生产实践、从事科学研究打下良好的基础。

随着科学技术的发展,力学的研究内容已经渗入到其他科学领域,例如用力学理论来研究人体骨骼的强度、血流的规律、脉搏的传输等等,形成生物力学,此外还有地质力学、爆炸力学、电磁流体力学等等,都是力学与其他学科结合而成的边缘学科,为探索新的科学领域,力学也就成为从事这些科学领域的工程技术与研究人员所必备的理论基础。

第一篇 静 力 学

静力学主要研究作用于物体上力系的等效替换和简化的规律,以及物体处于平衡状态时力系所应满足的条件。

作用于物体上的一群力称力系。如两个力系对物体的作用效应相同,则此两力系互为等效力系,彼此间可相互替换。如一力与一个力系等效,则此力即为该力系的合力。用一个力或一个简单的力系等效地代替复杂力系的方法称为力系的简化。力系简化的方法不仅为学习动力学作好准备,而且在后继课程中常要用到。如一力系对物体的作用是使物体处于平衡状态,则此力系称为平衡力系。一个力系必须满足一定的条件才能构成平衡力系,此条件即为力系的平衡条件。力系的平衡条件在工程问题的静力分析中有着广泛的应用。

严格地说,物体在外力的作用下都会产生一定的变形。在大量的工程实际问题中,物体的变形都是微小的。在对工程问题的静力分析中,忽略它们的变形不仅被工程实践证明是允许的,而且也使问题的研究得以简化。因此,在静力学中将物体视为刚体。所谓刚体是指受力后不变形的物体,这是一个在研究物体运动和平衡规律时被抽象化了的理想模型。由若干个刚体组成的系统称为刚体系统,或简称物系。但不应将刚体的概念绝对化,当物体的变形成为研究问题的主要因素时,就不能再视物体为刚体了。

因为静力学的研究是以刚体为理想模型,所以又称为刚体静力学。

关于变形体的力学问题,将在材料力学等学科中研究。但是,只要变形体受力后变形已经终止,并已处于平衡状态,就可以将刚体静力学的结论延伸应用到变形体上,这就是刚化原理。

第一章 静力学基础

本章将介绍力的概念、静力学公理、约束的基本类型和受力图的画法。静力学公理是静力学的理论基础。对物体进行正确的受力分析,画出受力图又是解决静力学问题的前提。可见,无论从理论或从实践两个方面,本章都是静力学最基本的内容。

§1-1 力的概念

力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的运动状态发生变化,或使物体产生变形。

使物体的运动状态发生变化的效应称为力的外效应(或运动效应)。使物体产生变形的效应称为力的内效应(或变形效应)。理论力学中将物体视为刚体,因此,理论力学只研究力的外效应,而力的内效应将在材料力学等一些学科中去讨论。

物体间的相互机械作用大致有两种形式:一种是通过场起作用的,如重力;另一种是通

过物体间的相互接触而产生的，如压力、摩擦力、切削力等等。

实践证明，力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点，这三者称为力的三要素。

本书采用我国法定计量单位。力的单位采用牛顿（N）或千牛顿（kN）。

力的作用点是指力在刚体上的作用部位。当两物体相互接触产生力的作用时，接触处总占有一定的面积。只有当接触面相对较小时，才可以抽象为一个点，这时的作用力称为集中力；不能看成集中力的称为分布力（或称分布载荷）。若单位面积上（或单位长度上）力的分布是均匀的，则称为均布载荷。

过力的作用点，沿力的方位的一条直线，称为力的作用线。力的方向包括力的作用线在空间的方位和指向。

如上所述，力是具有大小与方向的物理量，且两力相加符合平行四边形法则（见§1-2公理四），所以力是矢量，可用带有箭头的有向线段来表示。图1-1中用有向线段 AB 表示力 F ：线段的方位和箭头指向表示力的方向；线段的起点或终点表示力的作用点；线段 AB 的长度按一定比例表示力的大小。本书中，用黑斜体字如 F 表示力矢量，并以同一字母的非黑斜体字代表力矢的大小。

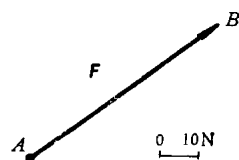


图1-1 力矢

§1-2 静力学公理

静力学公理是人类在自身的历史长河中，通过长期的观察、实验、实践再加以抽象、归纳、总结而建立的，并经过无数事实所验证，是公认的客观真理。它概括了力的一些基本性质，是静力学全部理论的基础。

公理一 作用与反作用公理

一物体对另一物体有一作用力的同时，另一物体对此物体必有一反作用力，此两力等值、反向、共线，且分别作用于两个相互作用的物体上。

例如用起重支架吊起一重物（图1-2a）。重物因受地球吸引而有重力，地球亦受到重物的吸引，重物与地球的相互吸引就是一对作用与反作用力。又如，绳 EF 吊住重物，重物对 EF 产生拉力 F_F ，绳 EF 亦以等值、反向的力 F'_F 作用于重物，这是另一对作用与反作用力。

再看力在物体之间的传递过程，在

图1-2中，重物的重力，就是通过重物与绳 EF 、绳 EF 与挂钩 E 等一连串作用与反作用而传至起重机的横梁上。

由此可见，力总是成对地以作用与反作用的形式存在于物体之间，并通过作用与反作用而传递。各种自然现象与机械受力分析都遵循这条规律。

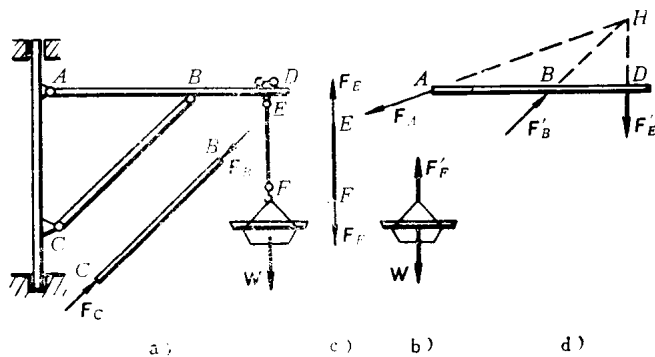


图1-2 起重支架

公理二 二力平衡公理

刚体受力作用，处于平衡的必要和充分条件是：此二力必须等值、反向，且作用于同一直线上。

公理二阐明了作用于刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。图1-2a所示三角支架中的撑杆CB，若不计自重，它只在C铰和B铰处各受一个力的作用。因撑杆静止，按公理二，撑杆两端所受的两力 F_C 和 F_B 必等值、反向、且共线。当刚体只受两力作用而处于平衡时，此刚体即被称为二力构件。如图1-3三铰拱桥架中的右半拱BC，当不计自重时，是二力构件；图1-4棘轮机构中的棘爪BC，当自重不计时，也是二力构件。

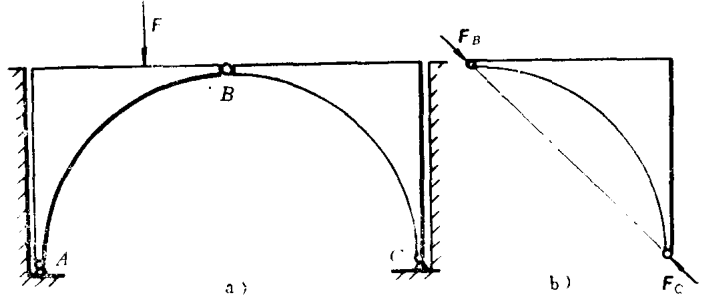


图1-3 三铰拱桥

二力构件的受力特点是两力必沿两作用点的连线，大小相等，指向相反。具体指向由平衡条件决定。

公理三 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系中加上或减去任意一个平衡力系，并不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，可沿其作用线在刚体内任意移动而不改变此力对刚体的作用效应。

这个推论可由经验证实，如人用同样的力在车后A点推车和在车前B点拉车，效果是一样的（见图1-5）。应用公理二、公理三即可证明推论1：在小车B点

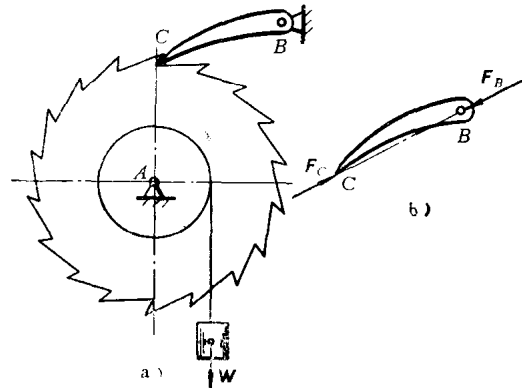


图1-4 棘轮

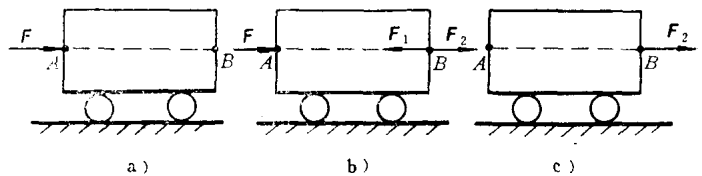


图1-5 力的可传性

加上一对平衡力 F_1 与 F_2 ，令 $-F_1=F_2=F$ （见图1-5），由于 F_1 与 F 也是等值、反向、共线，按公理二组成了另一个平衡力系，又按公理三可以除去。于是，小车上只剩下 F_2 。因为 $F_2=F$ ，相当于将力 F 从A点沿作用线搬移到了B点（见图1-5C）。以上过程均是等效替换，故未改变力对小车的的作用。

由此可知，对刚体而言，力的作用点可以扩展为力的作用线。作用于刚体上力的三要素也可改为：力的大小、方向和作用线。力就不再是定位矢量，而是滑动矢量了。

公理四 力的平行四边形法则

作用于刚体上同一点的两个力的合力也作用于该点，其大小和方向由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示(见图1-6)。

公理四用矢量加法公式可表示为

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

推论2 三力平衡汇交定理

刚体受三力作用而处于平衡，若其中两力相交，则此三力必汇交于一点，且共面。

证明：刚体受三力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 和 $\mathbf{F}_3$ 作用而平衡。设 $\mathbf{F}_1$ 与 $\mathbf{F}_2$ 两力作用线的交点为 O (见图1-7)，按力的可传性原理，将 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 移至交点 O ，并按公理四合成得合力 $\mathbf{F}_{12}$ 。现刚体上只有二力 $\mathbf{F}_3$ 和 $\mathbf{F}_{12}$ 作用而平衡，按公理二， $\mathbf{F}_3$ 与 $\mathbf{F}_{12}$ 必共线。所以， $\mathbf{F}_3$ 必过交点 O ，且与 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 共面。

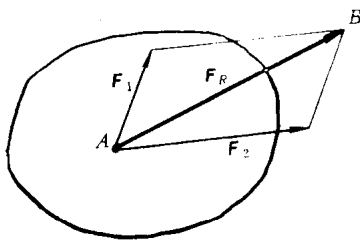


图1-6 力的平行四边形

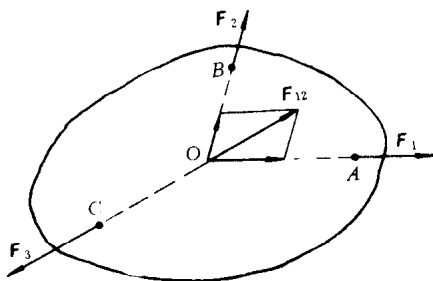


图1-7 三力平衡汇交

刚体仅受三力作用而平衡，称三力构件。若三力中两力的作用线有交点，运用三力平衡汇交定理就可以确定第三个力作用线的方位。

例如图1-2所示起重支架的横梁 ABD ，若不计自重，则横梁只在 A 、 B 、 D 三点受力而成为三力构件(见图1-2d)：横梁上 D 点受力 $\mathbf{F}'_D$ 的作用，而 B 点则受二力杆 BC 支撑力 $\mathbf{F}'_B$ 的作用， $\mathbf{F}'_D$ 与 $\mathbf{F}'_B$ 二力交于 H 点，则依三力平衡原理，作用于 A 点的约束反力 $\mathbf{F}_A$ 也必通过 H 点，而在 A 、 H 的连线上

§1-3 约束与约束反力

自然界的一切事物总是以各种形式与周围事物互相联系而又互相制约的。在机械中，任何构件的运动都受到与它相联系的其他构件的限制。如机车受到钢轨的限制，只能沿钢轨行驶；电机转子受到轴承的限制，只能在轴承内转动。一个物体的运动受到周围物体的限制，这种限制称为约束。周围物体就称为约束体。如钢轨对机车来说就是一种约束，轴承是对电机转子的约束。据前所述，力的作用是使刚体的运动状态发生变化，而约束的存在是限制了物体的运动，于是，约束一定有一个力作用于被约束的物体上。在静力学中常将力分为两类，一类是使物体产生运动趋势的力称为主动力，如重力、水压力、切削力等；另一类为当物体受到约束时，约束作用于该物体上的限制其运动趋势的力，称为约束力。这类力又可以视为由主动力引起之反作用力，故全称应为约束反作用力，简称约束反力。综上所述，约束反力的三要素中：约束反力的大小是未知的，它与主动力之值有关，在静力学中将通过刚体的平衡条件求得；约束反力的指向总是与约束所能阻碍的运动方向相反；约束反力的作用点在

约束与被约束物体的接触处。

下面介绍几种工程上常见的约束类型及其可能存在的约束反力的表示方法。

一、柔性约束

工程上视不计自重的绳索、链条、皮带等为柔索。柔索本身只能承受拉力(张力),而不能承受压力。因此,柔性约束只能限制物体沿柔索伸长方向的运动,故其约束反力 F_T 的方位沿柔索,其指向背离物体,如图1-8b所示。

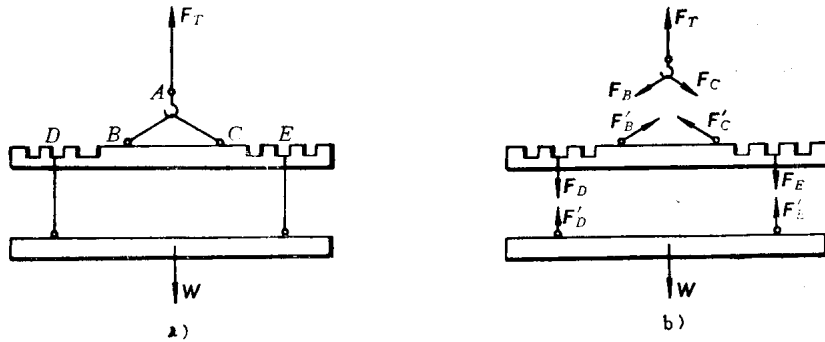


图1-8 吊架

图1-9a所示为皮带传动或链条传动。取与轮接触的皮带和轮为分离体,张力 F_T 沿轮缘切线。一般皮带轮两边的皮带张力 F_1 和 F_2 并不相等,但静止滑轮两边绳索的拉力相等。

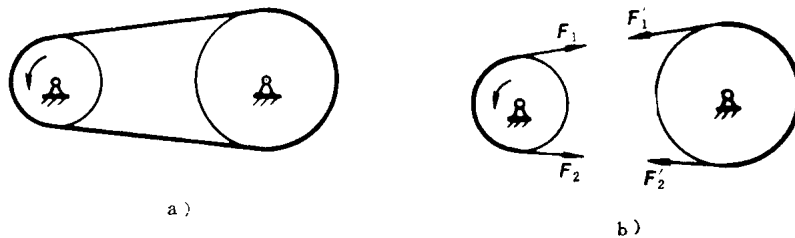


图1-9 带轮

二、光滑接触面约束

当两物体接触面上的摩擦力很小可以略去不计时,即构成光滑接触面约束。如固定平面或轨道对车轮的约束(见图1-10),机床导轨对平台的约束(见图1-11),齿轮传动中齿面啮合的约束(见图1-12)等等。这类约束只能限制物体沿接触面的公法线指向接触面的运动,而不能限制物体沿接触面切线方向的运动。因此,光滑接触面的约束反力 F_N 沿接触点的公法线,指向被约束的物体,恒为压力。又称法向反力。

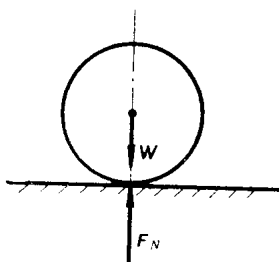


图1-10 光滑面约束

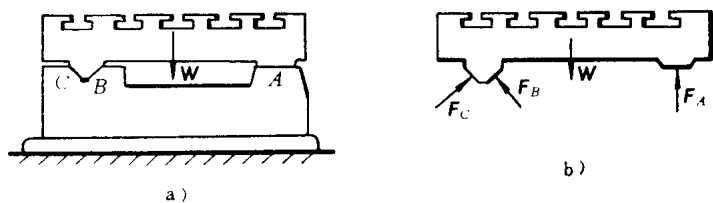


图1-11 机床工作台

三、光滑圆柱形铰链约束

将一个光滑圆柱形销钉插入两个物体的光滑圆柱形孔中。构成圆柱形铰链约束，简称铰链约束（见图1-13）。铰链约束只能限制两物体在垂直于销钉轴线平面内的任何方向上的相对移动，而不能限制两物体绕销钉中心的相对转动。若取其中一个物体A来分析，如图1-14a所示，因销钉和圆柱孔都是光滑的，本质上属于光滑接触面约束。销钉对物体A的约束反力 F 必在垂直于轴线的平面内，过接触点 D ，且过圆柱孔的中心。但由于接触点 D 的位置不能事先确定，所以铰链约束反力 F 的方向未定。为便于计算，通常将约束反力 F 分解为两个大小未知的正交分力 F_x 和 F_y （见图1-14b）。

以上铰链约束又称中间铰链，其结构简图如图1-13c所示。

若将图1-13a中的物体B作为底座并固定于地面或机架上，即成固定铰链支座约束。具体结构见图1-15，其中，图c为结构简图，图d为计算简图。

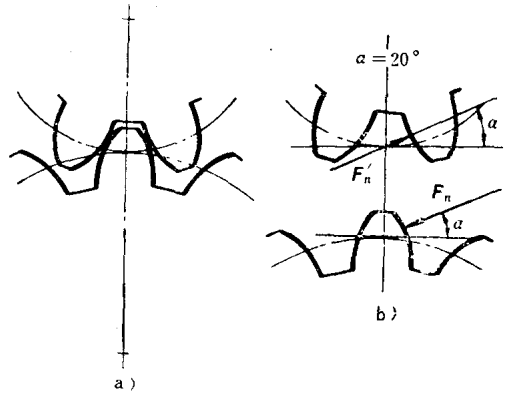


图1-12 齿轮传动

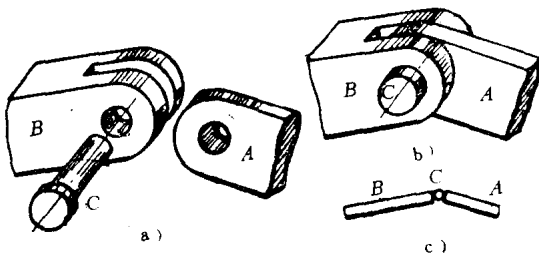


图1-13 铰链

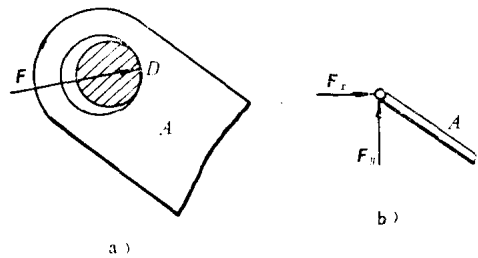


图1-14 铰链约束

若将图1-13a中的物体B作为底座搁在几个圆柱形的滚子上，并支承于光滑平面上，则构成活动铰链支座，又称辊轴支座（见图1-16a）。显然，因不计摩擦，活动铰链支座只能限制物体A沿支承面垂直方向的运动。因此，活动铰链支座的约束反力 F 必垂直于支承面，且过铰链中心。图1-16中b和c为结构简图，图d为计算简图。该约束在桥梁、屋架等结构中常被采用，由于支座可在滚子上左右移动，从而允许温度变化时引起支座间距离的少量变化。

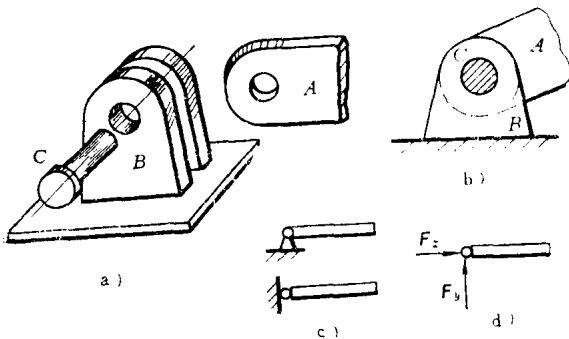


图1-15 固定铰链

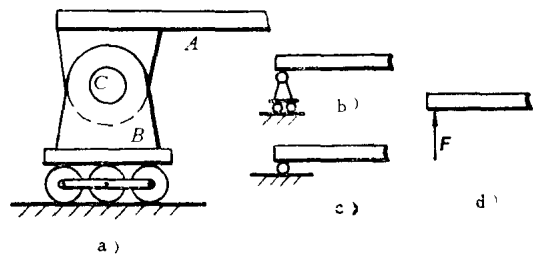


图1-16 活动铰链

工程结构和机械中, 常见两端用铰链与其它物体相连接的**连杆**。当连杆自重不计, 中间也不受任何载荷作用时, 按光滑铰链的约束特点和公理二, 连杆为二力杆或二力构件。图1-17所示曲柄连杆滑块机构中, 当连杆AB自重不计时, 是二力杆。图1-18所示平衡构架中, 当曲杆BC自重不计时, 是二力构件。

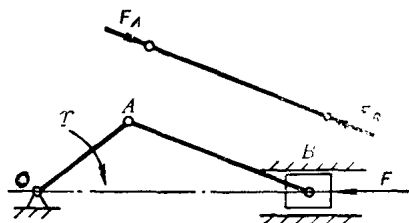


图1-17 二力杆

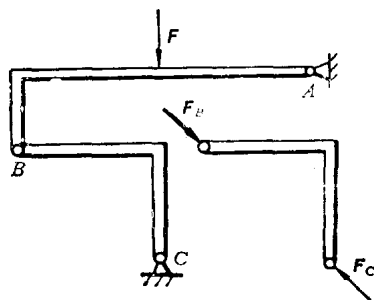


图1-18 曲杆支架

以上介绍的只是几种典型的约束形式。实际工程问题中的约束比较复杂, 它们的简化要考虑到构件的尺寸、载荷作用的情况、接触面的材料及制造等种种因素, 但一般均可近似地归纳为包括上述在内的几类典型约束。

§1-4 受力图

在处理具体工程中的静力学问题时, 首先要明确研究对象, 再考虑它的受力情况, 然后应用相应的理论求解。

工程中的结构与机构十分复杂。对物体进行受力分析时, 与物体外形有关的只是载荷的作用位置, 约束的位置和类型, 而与物体其它部分的外形无关。因此在能显示受载位置、约束位置及类型的条件下, 常常用由简单线条组成的简图来表示复杂的结构与机构, 这类图就称为**简图**。本书一般直接给出结构和机构的简图。

为了清楚地表达出某个物体的受力情况, 必须将它从与它相联系的周围物体中分离出来。分离的过程也就是解除约束的过程。在解除约束的地方约束作用采用相应的约束反力来代替。被解除约束后的物体叫**分离体**, 这种受力分析的方法叫**分离体法**。在分离体上画上主动力和约束反力, 此图就称为研究对象的**分离体受力图**。

画受力图的一般步骤为:

(1) 确定研究对象, 画出简图。研究对象随具体问题而定, 可以是单个物体, 也可以是由若干个物体组成的物体系统。

(2) 在研究对象的分离体简图上先画上题给的主动力。

(3) 在解除约束处按约束的类型、约束反力的特点, 逐一正确地画上相应的约束反力。如研究对象是物体系统, 还必须注意区分外力和内力。物体系统以外的周围物体对系统的作用力称为系统的**外力**; 系统内部各物体之间的相互作用力称为系统的**内力**。随着系统所取范围的变动, 某些内力与外力也会相互转化。由于系统的内力总是成对出现的, 且等值、共线、反向, 在系统内自成平衡力系, 不影响系统总体的平衡, 因此, 当研究对象是物体系统时, 只画作用于系统上的外力, 不画系统的内力。

下面举例说明如何画受力图。

例1-1 均质梯子重力为 W ，如图1-19a搁置，并用绳索支持。设接触处均为光滑的，试画出梯子的受力图。

解 取梯子为研究对象。解除 B 、 F 处支承面和 D 处绳索的约束，画出梯子 AB 的简图。先标上主动力：重力 W ，铅垂向下，作用在 C 点。再画上约束反力： B 、 F 处是光滑接触面约束，有法向反力 F_B 和 F_F ，沿接触处的公法线，指向梯子； D 处是柔性约束，有张力 F ，背离物体。

例1-2 图1-20a所示是曲柄滑块机构，图1-20c所示是凸轮机构，试画出滑块及推杆的受力图，并进行比较。

解 分别取滑块和推杆为研究对象，画出简图。在曲柄滑块机构中连杆 AB 的自重不计，是二力杆。滑块 B 受到连杆的约束反力 F_B 沿 AB 两点连线，设为压力，它与滑块 B 上的作用力 F 交于 B 点。按三力平衡汇交定理，滑道对滑块的约束反力 F_N 必过 B 点（见图1-20b）。在凸轮机构中，凸轮对推杆的法向压力 F_N 与推杆上主动力 F 汇交于滑道接触段外，使推杆发生倾斜，与滑道在 B 、 D 点接触。滑道给推杆的约束反力 F_B 和 F_D 如图1-20d所示。

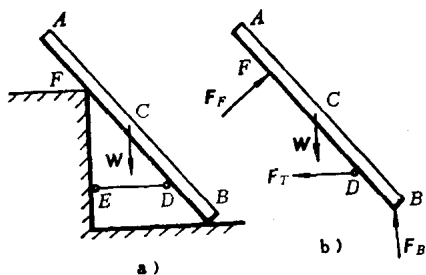


图1-19 梯子受力图

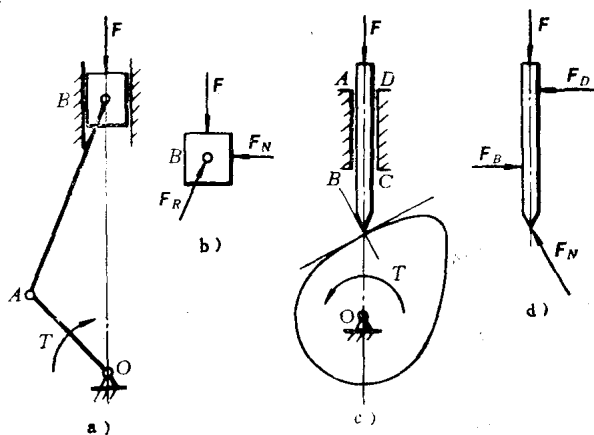


图1-20 滑道受力分析

例1-3 简支梁受集中力 F 和均布载荷 q (N/m) 的作用，如图1-21a所示，试画出简支梁的受力图。

解 取 AB 梁为研究对象。画出简图后，标上主动力 F 和 q ， A 端为固定铰链支座，约束反力通常以两个正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示，并假设其指向如图1-21所示。 B 端为活动铰链支座，只有一个垂直于支承面受压的约束反力 F_B 。

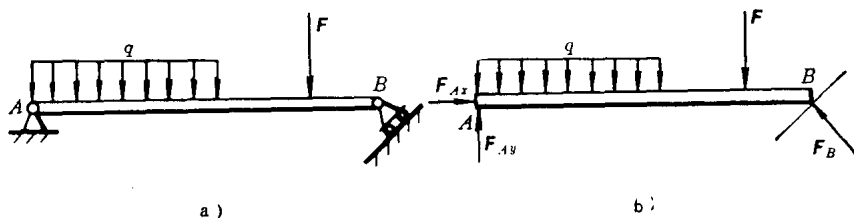


图1-21 简支梁

例1-4 图1-22a所示组合梁，试画出曲梁 AB ，直梁 BC 和系统的受力图，

解 曲梁 AB ，因自重不计，是二力构件。 F_A 和 F_B 必沿 AB 方向，指向是假设的（见图1-22b）。

直梁BC中,中间铰链的约束反力 F_B' 与 F_B 是作用与反作用,故指向相反。 C 端为固定铰链支座,通常可用二个正交分力 F_{Cx} 和 F_{Cy} 表示(见图1-22c)。若考虑直梁BC仅受三个力作用,且 F_B' 和 F 又相交,也可按三力平衡汇交定理定出 F_C 的作用线方位(见图1-22d)。

取系统为研究对象时,中间铰 B 处的约束反力是内力,不需画出。系统的受力图如图1-22e所示。

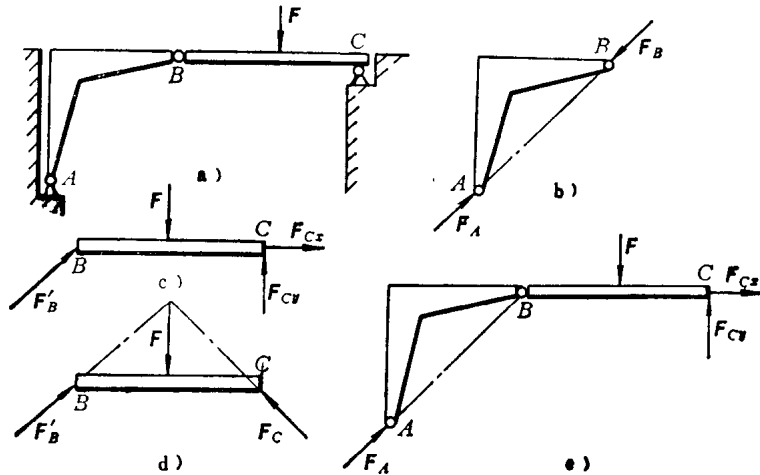


图1-22 组合梁

例1-5 画出图1-23a所示滑轮支架整体及各部分的受力图,自重不计。

解 取整体为研究对象。解除支承面约束,画出 A 和 C 两支座的约束反力。其它 B 、 D 、 E 、 O 铰链处的约束反力及绳索张力为系统的内力,不必画出。整体的受力图可画在题目图上,如图1-23a所示。

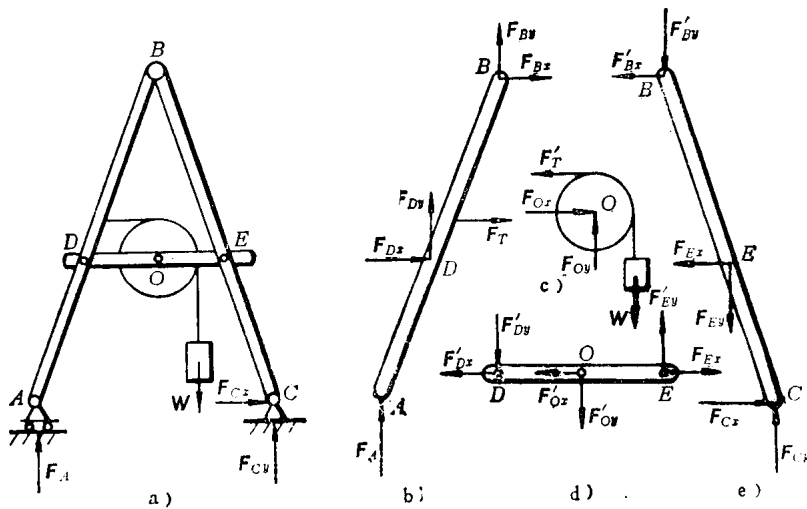


图1-23 滑轮支架

分别取各构件为研究对象,画出分离体受力图。特别要注意的是各构件之间的相互作用力要符合公理一。一旦设定了某作用力的方向,那末,反作用力方向应与它相反。如先定了杆