

高等学校教材

工程力学

Engineering mechanics

陈卫增 主编

ENGINEERING
MECHANICS

中国物资出版社

高等学校教材

工 程 力 学

主 编 陈卫增

副主编 汪红波

参 编 应鸿烈 方 虹 史红艳

虞付进 丁金福

中国物资出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/陈卫增主编.—北京:中国物资出版社,2005.6

ISBN 7-5047-2328-2/F·3044

I.工… II.陈… III. 工程力学 IV.TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 019890 号

责任编辑 沈兴龙

责任印制 沈兴龙

责任校对 韩 丹

中国物资出版社出版发行

网址: <http://www.clph.cn>

社址:北京市西城区月坛北街 25 号

电话: (010)68589540 邮政编码: 100834

全国新华书店经销

金华市迅达实业有限公司印刷厂印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 22 字数: 527 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7-5047-2328-2/F·0034

印数: 0001—2000 册

定价: 38.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书是以培养工程应用型和技术应用型人才为目标,根据培养此目标汽车类专业、机电类专业及近机类工程力学课程的教学基本要求,本着突出“应用性”兼顾“系统性”的原则编写的。本书适合培养应用型人才本科汽车类专业、机电类专业及近机类专业工程力学(110学时)课程的教学用书,也可作为高职专业汽车类、机电类专业工程力学(*号部分不讲)课程的教学用书。

在本书编写过程中,借鉴了普通高校工科本科工程力学规划教材内容,同时充分吸取高职教育力学课程改革的成果,又渗透了作者长期力学教学积累的经验与体会。体现应用型本科或专科力学课程教育的特色。在内容选取中,以应用型本科或专科专业课程所需的力学知识为重点,兼顾工程实际中对力学知识的需要。理论公式推导从简,加强与工程实际的联系,以利于提高学生认识问题、分析问题和解决问题的能力。本书还尽力做到条理清晰、重点突出、文字简明、内容精炼、规范解题、注重实用性和教学的可操作性。适应了当前培养应用型人才理论课时减少,实践环节增强的教学趋势。

本书编写提纲由主编拟出,主编、副主编共同讨论确定,分章编写,最后由主编统稿。编写分工为:第一章至第四章由陈卫增、虞付进编写,第五章至第八章由方虹编写,第九章至第十四章由应鸿烈、丁金福编写,第十五章至第十七章由陈卫增、史红艳编写,第十八章至第二十三章由汪红波编写。

本书由倪樵教授及郑文街副教授主审。二位专家认真细致地审阅了全书,提出了许多宝贵意见,在此谨致以深切的谢意。本书的编写也得到了浙江师范大学各级领导的关心和支持,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,书中定有不少缺点和错误,诚恳希望读者提出批评指正。

编 者

2005年5月

目 录

第一篇 理论力学

第一章 静力学基础	2
第一节 静力学的基本概念	2
第二节 静力学公理及其推论	3
第三节 约束与约束反力	7
第四节 物体的受力分析及受力图	9
习题	12
第二章 平面力系	14
第一节 力在轴上的投影和力对点之矩	14
第二节 力偶的概念及其运算法规	17
第三节 平面任意力系的概念、简化及简化结果的讨论	20
第四节 平面任意力系的平衡方程及其应用	23
第五节 静定与静不定问题及物体系统的平衡	29
习题	35
第三章 空间力系	39
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影	39
第二节 空间汇交力系的合成与平衡	41
第三节 力对轴之矩	42
第四节 空间任意力系的平衡方程	44
第五节 重心	48
习题	52
第四章 摩擦	55
第一节 滑动摩擦	55
第二节 考虑滑动摩擦时的平衡问题	58
第三节 滚动摩擦简介	61
习题	64
第五章 点的运动	67
第一节 矢量法	67
第二节 直角坐标法	68
第三节 自然坐标法	70
习题	76
第六章 刚体的简单运动	79
第一节 刚体的平行移动	79
第二节 刚体绕定轴转动	80

习题	85
第七章 点的合成运动	87
第一节 点的合成运动的概念	87
第二节 点的速度合成定理	88
第三节 点的加速度合成定理	91
习题	93
第八章 刚体的平面运动	95
第一节 刚体平面运动的运动方程	95
第二节 求平面图形上各点速度的基点法与速度投影法	97
第三节 用瞬心法求平面图形上各点的速度	100
第三节 用基点法求平面图形上各点的加速度	103
习题	105
第九章 质点动力学的基本方程	108
第一节 动力学的基本定律	108
第二节 质点的运动微分方程	109
第三节 质点动力学的两类基本问题	110
习题	114
第十章 动量定理	116
第一节 动量和冲量	116
第二节 动量定理	117
第三节 质心运动定理	120
习题	125
第十一章 动量矩定理	128
第一节 质点和质点系的动量矩	128
第二节 动量矩定理	129
第三节 刚体绕定轴的转动微分方程	131
第四节 刚体对轴的转动惯量	133
第五节 刚体的平面运动微分方程	137
习题	141
第十二章 动能定理	144
第一节 力的功	144
第二节 质点和质点系的动能	147
第三节 动能定理	149
第四节 功率与功率方程 机械效率	152
第五节 普遍定理的综合应用	154
习题	159
第十三章 达朗贝尔原理(动静法)	164
第一节 惯性力 质点的达朗贝尔原理	164

第二节 质点系的达朗贝尔原理	165
第三节 刚体惯性力系的简化	166
习题	172
第十四章 *机械振动基础	175
第一节 单自由度系统的自由振动	175
第二节 单自由度系统的有阻尼振动	181
第三节 单自由度系统的无阻尼受迫振动	185
第四节 单自由度系统的有阻尼受迫振动	189
第五节 转子的临界转速	192
习题	194

第二篇 材料力学

第十五章 杆件的内力分析	199
第一节 轴向拉伸或压缩杆件的内力	199
第二节 直杆扭转时的内力及内力图	201
第三节 梁弯曲时的内力及内力图	203
第四节 弯曲梁的内力图——剪力图和弯矩图	209
习题	213
第十六章 杆件横截面上的应力、应变分析	217
第一节 应力、应变及其相互关系	217
第二节 轴向拉压杆件的应力	219
第三节 扭转圆轴的应力	221
第四节 弯曲梁的正应力	224
第五节 弯曲梁的切应力	227
第六节 组合变形时横截面上的应力	228
习题	232
第十七章 杆件的变形计算	234
第一节 拉(压)杆的轴向变形	234
第二节 圆轴的扭转变形与相对扭转角	236
第三节 梁的弯曲变形、挠曲线近似微分方程	237
第四节 用积分法求梁的弯曲变形	238
第五节 用叠加法求梁的变形	239
习题	242
第十八章 应力状态和应变状态分析	245
第一节 应力状态的概念	245
第二节 平面应力状态分析(应力圆)	246
第三节 三向应力圆及最大切应力	251

第四节 广义胡克定律	252
第五节 强度理论简介	253
习题	258
第十九章 材料力学性能及实验应力的分析基础	260
第一节 材料拉伸时的力学性能	260
第二节 材料压缩时的力学性能	263
第三节 电测应力分析	264
第四节 电测法的应用介绍	267
第二十章 压杆稳定	272
第一节 压杆稳定的概念	272
第二节 细长杆的临界压力	273
第三节 欧拉公式的应用范围及经验公式简介	275
第四节 提高压杆稳定性的措施	278
习题	279
第二十一章 杆类构件静力学设计	281
第一节 失效和失效依据	281
第二节 基本变形状态下杆件强度计算	282
第三节 基本变形下杆件刚度计算	292
第四节 压杆稳定性计算	294
第五节 组合变形状态下的强度计算	297
第六节 提高杆件承载能力的措施	304
习题	306
第二十二章 简单静不定问题	313
第一节 拉压静不定问题	313
第二节 静不定梁	315
习题	316
第二十三章 动载荷	318
第一节 构件作匀速直线运动或匀速转动时的应力计算	318
第二节 冲击载荷	321
第三节 交变应力及其循环特征	323
第四节 疲劳破坏和持久极限	324
第五节 影响持久极限的因素及强度计算简介	326
习题	328
附录 A 型钢表	330
附录 B 习题答案	334
参考文献	341

第一篇 理论力学

一、理论力学的研究对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门科学。

所谓机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。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，从简单的位置变化，到各种物理现象、化学现象、直至人的思维与人们的社会活动。

机械运动是物质运动的最简单、最初级的一种形式，是人们在生产和生活中经常遇到的。如车船的行驶，机器的运转，河水的流动，日月的运行及物体的平衡等等。所谓物体的平衡，一般是指物体相对于地面静止或作匀速直线运动。

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，还可以直接利用力学知识来解决。

理论力学的内容通常包括以下三个部分：

静力学 研究力系的简化与物体的力系作用下的平衡规律。

运动学 从几何学的角度来研究物体的运动规律。

动力学 研究作用于物体上的力与物体运动变化的关系。

理论力学将研究对象抽象为刚体与质点。撇开物体受力时的变形而获得刚体的概念，不计物体的尺寸而得到质点的概念，这些理想化的力学模型，可以使问题简化。但当研究物体的条件改变后，原来的模型就不再适用了。例如，在讨论物体内部受力的情况和它的变形时，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。

二、理论力学的学习目的

学习理论力学是为学习一系列后续课程打基础。如材料力学、机械原理、机械设计等等，提供必要的基础知识。

理论力学是解决工程实际问题的重要基础理论。有些工程问题可以直接应用理论力学的一些定理和结论去解决，有些则需要用理论力学与其他专业知识共同来解决。因此学习理论力学是为解决工程实际问题打下一定基础。

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，有助于提高分析和解决实际问题的能力，为今后从事生产实践、科学研究打下良好的基础。

第一章 静力学基础

静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是研究静力学的基础。本章着重介绍力的概念以及静力学公理，阐述工程中常见的约束及约束反力的分析，最后，介绍物体的受力分析及画受力图的方法。

第一节 静力学的基本概念

一、力的概念

力的概念产生于人类从事的生产劳动之中。当人们用手握、拉、掷及举起物体时，由于肌肉紧张而感受到力的作用，这种作用广泛存在于人与物及物与物之间。例如，奔腾的水流能推动水轮旋转，锤子的敲打会使烧红的铁块变形等等。可见，力作用于物体将产生两种效果：一种是使机械运动状态发生变化，称为力的外效应；另一种是使物体产生变形，称为力的内效应。由于静力学以刚体为研究对象，故本篇只讨论力的外效应。至于力的内效应将在下篇材料力学部分中介绍。

1. 力的三要素

实践证明，力对物体的作用效应，是由力的大小、方向和作用点的位置所决定的，这三个因素称为力的三要素。

2. 力的单位

本书采用国际单位制(SI)，力的单位用牛[顿](N)或千牛[顿](kN)，1千牛=1000牛。

3. 力的矢量表示

力是矢量，图示时，常用一个带箭头的线段表示(图1-1)，线段长度 AB 按一定比例代表力的大小，线段的方位和箭头表示力的方向，其起点或终点表示力的作用点。此线段的延伸称为力的作用线。用黑体字(如 $\boldsymbol{F}$)代表力矢，并以明体字母 F 代表力的大小。

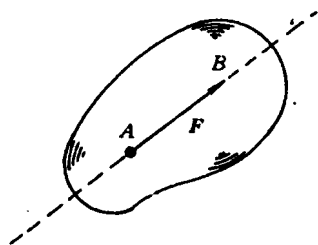


图 1-1 力的图示

二、力系

同时作用在物体上力的集合称为力系。物体的平衡状态是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动。物体处于平衡状态时，作用于该物体上的力系称为平衡力系。

对同一物体作用效应相同的两力系，彼此称为等效力系。若一个力与一个力系等效，则此力称为该力系的合力。静力学建立力系平衡条件的主要方法是力系的简化，所谓力系的简化就是用简单的力系代替复杂的力系，当然，这种代替必须在两力系对物体的作用效应完全

相同的条件下进行。

工程中常见的力系，按其作用线所在的位置，可以分为平面力系和空间力系；又可以按其作用线的相互关系，分为共线力系、平行力系、汇交力系和任意力系等等。

静力学研究的主要问题是：力系的简化；建立物体在各种力系作用下的平衡条件。

第二节 静力学公理及其推论

人们在长期的生活和实践中，对力的基本性质进行了概括和归纳，得出了一些显而易见的、能深刻反映力的本质的一般规律，这些规律的正确性已为长期的实践反复证明，从而为人们所公认，称为静力学公理。静力学的全部推论都可借助于数学论证，从这些公理推导出来，因此，它们是静力学的理论基础。

公理 1 二力平衡公理

作用于同一刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的必要与充分条件是：此两力必须等值、反向、共线。

二力平衡公理是刚体受最简单的力系作用时的平衡条件，如一物体仅受两力作用而平衡，则两力的作用线必定沿此二力作用点的连线，如图 1-2a 所示，这类构件常被称为二力构件。由公理 1 可知，二力体无论其形状如何，所受两个力必沿两个力作用点的连线。

公理 2 加减平衡力系公理

在已知力系上，加上或减去任意的平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效应。

此公理为研究力系的等效替换与力系的简化提供了重要的理论依据，它同样也只适用于刚体而不适用于变形体。

推论 1 力的可传性原理

作用于刚体上的力，可沿其作用线滑移到该刚体的任何位置而不会改变此力对刚体的作用效应。

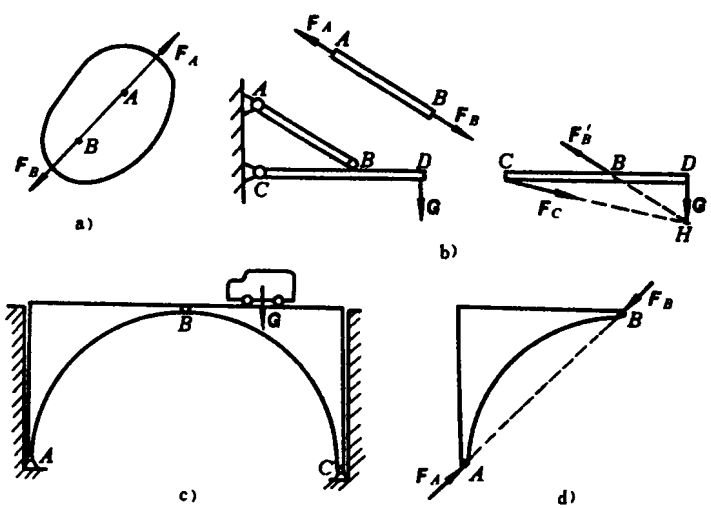


图 1-2 两力杆与三力杆

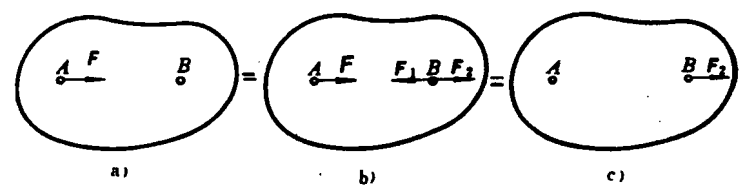


图 1-3 力的可传性

此原理证明如：

1. 设力 F 作用于刚体上 A 点 (图 1-3a)。

2. 在力 F 的作用线上任选一点 B ，并在 B 点加一组沿 AB 线的平衡力 F_1 和 F_2 ，且使 $F_2 = F = -F_1$ (图 1-3b)。

3. 除去 F 与 F_1 所组成的一对平衡力，刚体上只剩 F_2 ，且 $F_2 = F$ (图 1-3c)。

此原理说明，力是滑移矢量，它可以沿其作用线滑移，但不能任意移至作用线以外的位置。

必须指出，力的可传性原理不适应于研究物体的内效应。例如，一根直杆受一对平衡力 F 、 F' 作用时，杆件受压 (图 1-4a)；若将两力互沿作用线移动而易位，则杆变为受拉作用 (图 1-4b)，但拉伸和压缩是两种不同的内效应。因此，研究物体的内效应时，力应作固定矢量处理。

公理 3 力的平行四边形法则

作用于物体上某点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)。

力的矢量，其运算也应按矢量运算法则进行，其矢量合成式为：

$$F_R = F_1 + F_2$$

反之，一个力也可以分解为两个分力，分解也按力的平行四边形法则来进行。显然，由

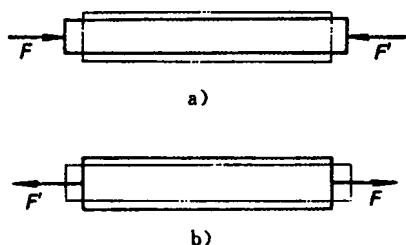


图 1-4 拉杆与压杆

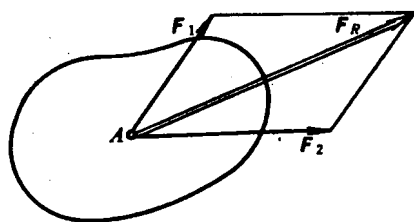


图 1-5 力的平行四边形法则

已知力为对角线可作无穷多个平行四边形 (图 1-6)，故必须附加一定条件，才可能得到确切的结果。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。

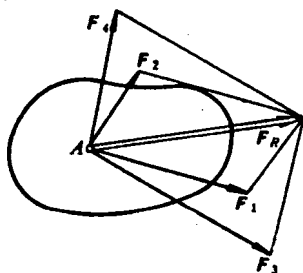


图 1-6 力的分解

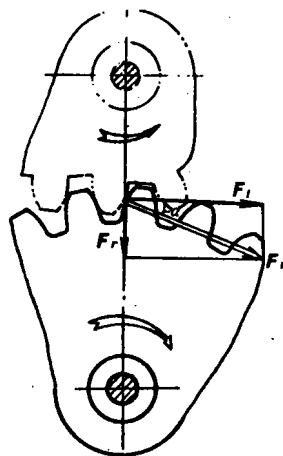


图 1-7 齿轮的受力分析

例如,在进行直齿圆柱齿轮的受力分析时,常将齿面的法向正压力 F_n 分解为推动齿轮旋转的即沿齿轮分度圆圆周切线方向的分力——圆周力 F_t (图 1-7)。若已知 F_n 与分度圆圆周切向所夹的压力角为 α , 则有

$$F_t = F_n \cos \alpha \quad F_r = F_n \sin \alpha$$

推论 2 三力平衡定理

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, 则此三力必须汇交于一点。

证明:

1) 设刚体上 A 、 B 、 C 三点有共面力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用, 按力的可传性原理将 F_1 、 F_2 移至 F_1 、 F_2 作用线交点 O , 并根据公理 3, 将 F_1 与 F_2 合成为 F_R 。

2) 现刚体上只有两力 F_3 与 F_R 作用, 根据公理 1, F_R 与 F_3 必须在同一直线上, 所以 F_3 必通过 O 点, 于是 F_1 、 F_2 、 F_3 均通过 O 点。

刚体只受同一平面三个力作用而平衡, 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。例如, 图 1-2b 所示的起重机架, 其中撑杆 AB 为二力构件, 若不计横梁 CBD 的自重, 则横梁只可以 C 、 B 、 D 三点受力而成为三力构件。又如图 1-2b 所示, 横梁上 B 、 D 两点作用力的方向为已知, D 点受重力 G 的作用, 而 B 点则受杆 AB 的拉力 F'_B , G 与 F'_B 二力交于 H 点, 则据三力平衡定理, 作用于 C 点的约束反力 F_C 也必通过 H 点, 在 CH 的连线上。

推论 3 力的三角形法则——用几何法求两汇交力的合力

设力 F_1 与 F_2 作用于某刚体上的 A 点, 则由前述可知, 以 F_1 、 F_2 为邻边作平行四边形, 其对角线即为它们的合力 F_R , 并记作 $F_R = F_1 + F_2$, 如图 1-8a 所示。

为简便起见, 作图时可省略 AC 与 DC , 直接将 F_2 连在 F_1 的末端, 则其封闭边 AD 即为所求合力 F_R , 如图 1-8b 所示。此法就称为求两汇交力合力的三角形法则。按一定比例作图, 可直接量得合力 F_R 的近似值。

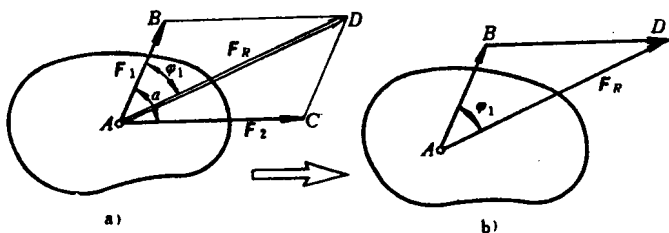


图 1-8 力三角形法则

推论 4 力的多边形法则——用几何法求平面汇交力系的合力

设在刚体某平面上有一汇交力系 F_1 , F_2 , ..., F_n 作用, 力系作用线汇交于 O 点, 其合力 F_R 即可连续使用上述力三角形法则来求得 (图 1-9)。其矢量表式为

$$F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum F \quad (1-1)$$

由图 1-9 可见, 为求合力 F_R , 只需将各力 F_1 ..., F_n 首尾相接, 形成一条折线, 最后连接封闭边, 从首力 F_1 的始端 O 点向末力 F_n 的终端所形成的矢量, 即为合力 F_R 的大小与方向。此法称为力多边形法则。

综上所述, 平面汇交力系合成的一般结果为一合力 F_R , 合力 F_R 的大小和方向与各力合成的顺序无关。

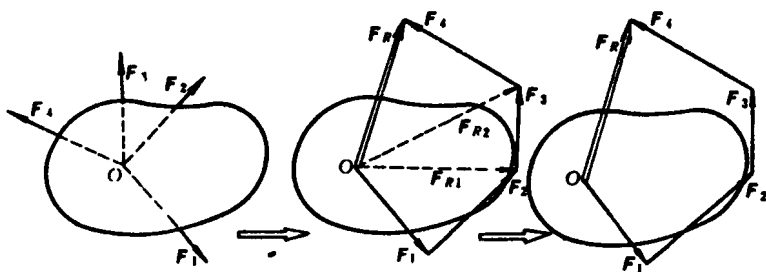


图 1-9 力多边形法则

例 1-1 一固定于房顶的吊钩上有三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 ，其数值与方向如图 1-10 所示。试用几何法求此三力的合力。

解 1) 选取以某一长度代表 200N 的力的大小。

2) 相同比例首尾相接画 F_1 、 F_2 、 F_3 ，连其封闭边即可得到合力 F_R 。

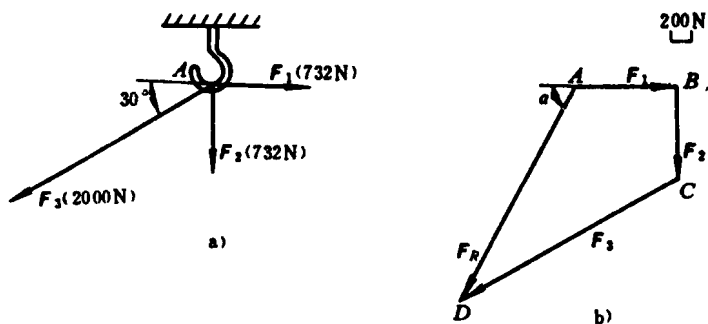


图 1-10 吊钩合力

3) 量出代表合力 F_R 的长度 AD ，通过比例换算，得 $F_R = 2000\text{N}$ 。

4) 用量角器量得 $\alpha = 60^\circ$ ，合力 F_R 的方向可定。

若某一平面汇交力系是平衡力系，其合力为零，则此力系组成之力多边形自行封闭。

公理 4 作用与反作用公理

若将两物体间相互作用之一称为作用力，则另一个就称为反作用力，两物体间的作用力与反作用力必定等值、反向、共线，分别同时作用于两个相互作用的物体上。

本公理阐明了力是物体间的相互作用，作用与反作用的称呼是相对的，力总是以作用与反作用的形式存在的，且以作用与反作用的方式进行传递。

这里应该注意两力平衡公理与作用与反作用公理之间的区别，前者叙述了作用在同一物体上两个力的平衡条件，后者却是描述两物体间相互作用的关系。

有时我们考察的对象是物系，物系外的物体与物系间的作用力称为外力，而物系内部物体间的相互作用力称为内力。内力总是成对出现且等值、反向、共线，所以对物系而言，内力的合力总是为零。因此，内力不会改变物系的运动状态。但内力与外力的划分又与所取物系的范围有关，随着所取对象范围的不同，内力与外力是可以互相转化的。

公理 5 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡，如将此变形体刚化为刚体，其平衡状态保持不变。

该原理提供了把变形体抽象为刚体的条件，例如，变形体绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡，若将绳索刚化为刚杆，其平衡状态不变。

由此可见，变形体已处于平衡状态，则作用于其上的力系一定满足刚体的平衡条件，即

刚体的平衡条件对于变形体来讲也是必要的。但反过来，只满足刚体的平衡条件，变形体却不一定是平衡的。对于变形体的平衡，除了应满足刚体的平衡条件外，还必须满足于变形体有关的某些附加条件。故该原理也给出了刚体力学与变形体力学的关系。

第三节 约束与约束反力

在各类工程中，构件总是一定的形式与周围其他构件相互联结的，例如房梁受立柱的限制，使其在空间得到稳定的平衡；转轴受到轴承的限制，使其只能产生绕轴心的转动；小车受到地面的限制，使其只能沿路面运动等等。

一物体的运动受到周围物体的限制时，这种限制就称为约束，约束限制了物体本来可能产生的某种运动，因此约束有力作用于物体，这种力称为约束力。

于是，就可以将物体所受的力分为两类：一类是使物体产生可能运动的力，称为主动力；另一类则是约束限制某种可能运动的力，称为约束力，又因为它是由主动力引起的反作用力，故其全称就是约束反作用力，简称约束反力。

约束反力总是作用在被约束物体与约束物体的接触处，其方向也总是与该约束所能限制的运动或运动趋势的方向相反。

据此，即可确定约束反力的位置及方向。

一、柔性约束

由柔索、胶带、链条等所形成的约束为柔性约束。这类约束只能限制物体沿柔索伸长方向的运动，因此它对物体只有沿柔索方向的拉力，如图 1-11 所示，常用代号为 F_T 。

当柔索绕过轮子时，常假想在柔索的直线部分处截开柔索，将与轮接触的柔索和轮子一起作为考察对象。这样处理，就可以不考虑柔索与轮子间的内力，此时作用于轮子的柔索拉力即沿轮缘的切线方向。

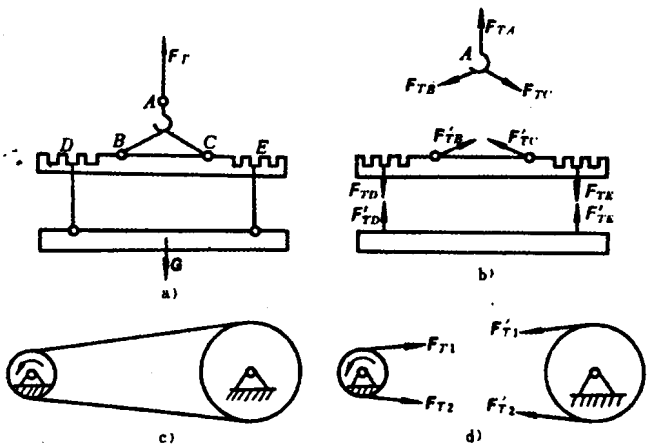


图 1-11 柔性约束

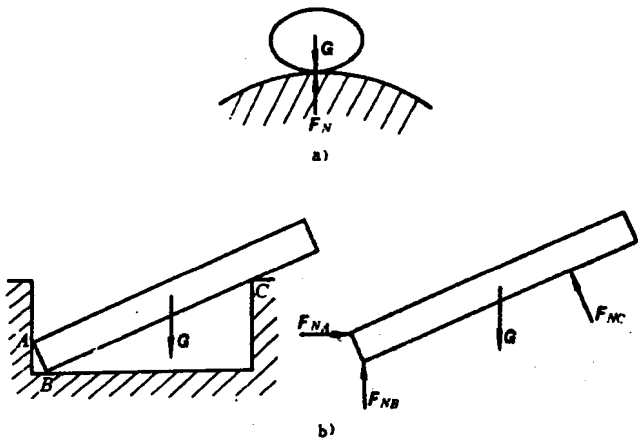


图 1-12 光滑面约束

二、光滑面约束

当两物体直接接触，并可忽略接触处的磨擦时，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 1-12a），通常用符号 F_N 表示此类约束反力。

图 1-12b 为直杆与方槽在 A 、 B 、 C 三点接触，三处的约束反力沿二者接触点的公法线方向作用。

例 1-2 如图 1-13 所示，木棍在水沟中挑起一重量为 G 的球。试分别用图表示木棍、球的受力情况。

解 1) 图 1-13a 表示球的受力情况。作用于球的力有：球的重量 G ， B 点处木板的约束反力 F_{NB} ， A 点沟壁的约束反力 F_{NA} 。 F_{NB} 、 F_{NA} 均垂直于接触表面并指向球心。

2) 图 1-13b 表示木棍的受力情况。

作用于木棍的力有： B 点处球的压力 F'_{NB} ，沟边棱角 C 点处的约束反力 F_{NC} ，主动力 F 及 F'_{NB} 、 F_{NC} 均垂直于木棍接触表面。

3) 若取图 1-13c 球与棍为一个物系，则 A 、 C 处为外约束，而 B 点处为内约束，故内力 F_{NB} 、 F'_{NB} 不予画出。

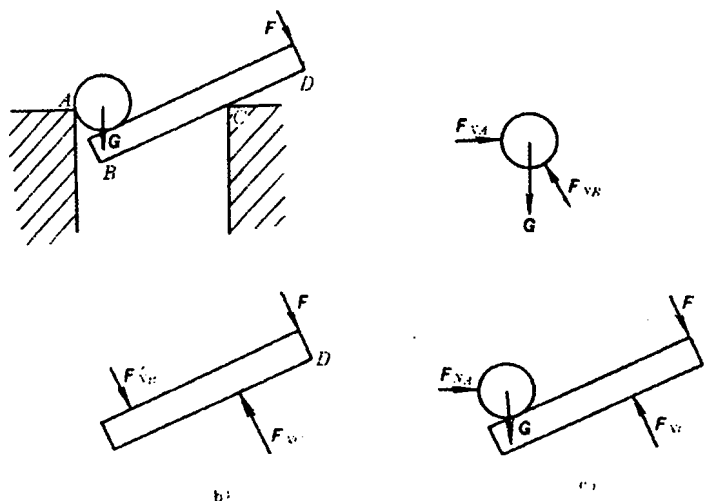


图 1-13 棍挑球

三、铰链约束

两构件采用圆柱销所形成的联接为铰链联接。其结构为一圆柱销插入一构件和另一个构件插孔（图 1-14a、c）。若相联的构件有一个固定，则称为固定铰链；若均不固定，则称为中间铰链，铰链简称为铰。

这类约束的本质即为光滑面约束，因其接触点位置未定，故只能确定铰链的约束反力为一通过圆销中心的大小、方向均未定的力。通常此力就用两个大小未知的正交分力来表示（图

1-14d)。

如属于下列情况，固定铰链及中间铰链的约束反力方向可确定为：

1. 铰链所联接的构件中，有一个是二力构件，如图 1-2b 所示，力 F_A 必与构件 AB 共线。

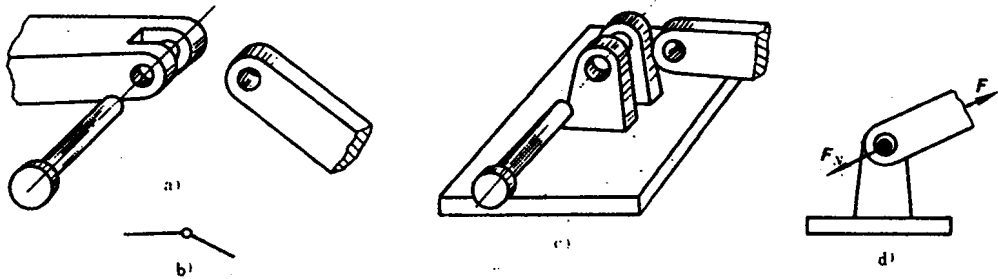


图 1-14 中间铰与固定铰

2. 活动铰链支座。铰链支座常用于桥梁、屋架等结构中，支座在滚子上可任意左右移动的铰链支座，称为活动铰链支座，如图 1-15 所示。支座只能限制构件沿支承面垂直方向的运动，故活动铰链支座的约束反力必定通过铰链中心，并垂直于支承面。

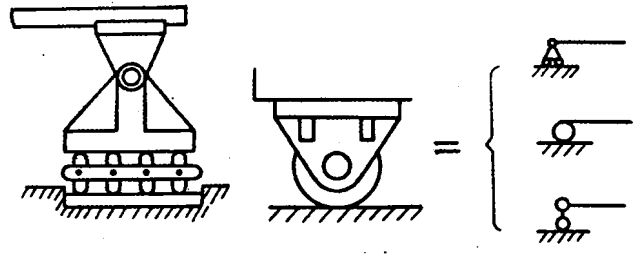


图 1-15 活动铰

第四节 物体的受力分析及受力图

在静力学中，画研究对象时，只需显示出力的作用位置与约束类型，构件可用简单线条组成的简图来表示。

在简图上除去约束，使对象成为自由体，添上代表约束作用的约束反力，称为解除约束原理。解除约束后的自由体称为分离体，在分离体上画上它所受的全部主动力与约束反力，就称为该物体的受力图。画受力图的一般步骤为：①画出分析对象的分离体简图；②在简图上标上已知的主动力；③在简图上解除约束处画上约束反力。

例 1-3 图 1-16 所示为一起重机支架，已知支架重量 W 、吊重 G 。试画出支架、滑车、吊钩与重物以及物系整体的受力图（滑车、吊钩、绳索之重量均不计）。

解 重物上作用有重量 G 和吊钩绳索的拉力 F_{T1} 、 F_{T2} （图 1-16d）。

吊钩受绳索约束，沿各绳上画拉力 F'_{T1} 、 F'_{T2} 、 F'_{T3} ，（图 1-16c）滚轮上有钢梁的约束反力 F_{R1} 、 F_{R2} （图 1-16f）。

支架上有 A 点的约束反力 F_{NAx} 、 F_{NAy} ， B 点水平方向的约束反力 F_{NB} 及滑车滚轮的压力 F'_{R1} 、 F'_{R2} ，支架自重 W （图 1-16e）。