



国内贸易部部编中等专业学校教材

机械基础

王里义 主编

JIJIE JICHU

中国财政经济出版社

国内贸易部部编中等专业学校教材

机 械 基 础

王里义 主 编

郝增林 副主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国财政经济出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/王里义主编. - 北京: 中国财政经济出版社,
1998

国内贸易部部编中等专业学校教材

ISBN 7-5005-3782-4

I. 机… II. 王… III. 机械学-基础理论-专业学校-教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 10442 号

中国财政经济出版社 出版

URL: <http://www.cfeph.com>

e-mail: cfeph@dre. go. cn. net

(版权所有 翻印必究)

社址: 北京东城大佛寺东街 8 号 邮政编码: 100010

发行处电话: 64033095 财经书店电话: 64033436

清华大学印刷厂印刷 各地新华书店经销

787 × 1092 毫米 16 开 30.50 印张 750 000 字

1998 年 9 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 2 次印刷

印数: 3 056—4 570 定价: 36.00 元

ISBN 7-5005-3782-4/TH·0001(课)

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

编 审 说 明

为适应建立社会主义市场经济新体制的要求，我部于 1994 年颁发了财经管理类 5 个专业和理工类 7 个专业教学计划。1996 年初印发了以上 12 个专业的教学大纲。《机械基础》一书是根据新编制冷与空调、机电一体化、粮食饲料加工与储检 3 个专业教学计划和教学大纲的要求，结合我国科技进步和财税、金融等体制改革的情况重新编写的。经审定，现予出版。它是国内贸易部中等专业学校必用教材，也可供职业中专、职工中专、电视中专等选用，还可以作为业务岗位培训和广大企业职工自学读物。

本书由王里义主编，郝增林任副主编。参加本书编写的有：江西省粮食学校艾兰青（第一章～第四章），河南省经济贸易学校崔松华（第五章～第八章），江苏省淮海工业贸易学校郝增林（第九章～第十三章），江苏省商业学校王里义（第十四章～第十九章），安徽省合肥粮食学校程振东（第二十章、二十一章、二十四章、二十五章、二十六章），黑龙江省粮食学校王慧（第二十二章，二十三章、二十七章、二十八章、二十九章）。由北京市经济管理学院赵惠莲主审。

由于编写时间仓促，编写水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请广大读者不吝赐教，以便于修订，使之日臻完善。

国内贸易部教育司

1998 年 2 月

目 录

第一篇 理 论 力 学

第一章 静力学基础	(2)
第一节 静力学基本概念	(2)
第二节 静力学公理	(3)
第三节 约束与约束反力	(6)
第四节 受力图	(9)
第二章 平面汇交力系	(17)
第一节 平面汇交力系的合成	(17)
第二节 平面汇交力系的平衡条件	(20)
第三章 平面任意力系	(26)
第一节 力对点之矩	(26)
第二节 力偶	(28)
第三节 平面任意力系的简化	(31)
第四节 平面任意力系的平衡方程及应用	(35)
第五节 物体系统的平衡问题	(40)
第四章 摩擦	(52)
第一节 滑动摩擦	(52)
第二节 有摩擦时的平衡问题	(54)
第三节 摩擦角和自锁现象	(58)
第五章 空间力系和重心	(64)
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影	(64)
第二节 力对轴之矩	(66)
第三节 空间力系的平衡方程	(69)
第四节 物体的重心	(72)
第六章 点的运动	(81)
第一节 用自然法求点的速度和加速度	(81)
第二节 用直角坐标法求点的速度和加速度	(87)
第七章 刚体的基本运动	(92)
第一节 刚体的平动	(92)
第二节 刚体绕定轴转动	(93)

第三节 转动刚体内各点的速度和加速度	(96)
--------------------------	--------

第二篇 材 料 力 学

第八章 轴向拉伸和压缩	(104)
第一节 轴向拉伸和压缩的概念	(104)
第二节 轴向拉、压时横截面上的内力	(104)
第三节 轴向拉、压时的应力	(106)
第四节 轴向拉、压时的变形 虎克定律	(110)
第五节 材料的拉、压机械性质	(113)
第六节 许用应力和安全系数	(117)
第七节 轴向拉、压时的强度计算	(118)
第九章 剪切	(124)
第一节 剪切和挤压的概念	(124)
第二节 剪切和挤压的实用计算	(125)
第三节 剪切虎克定律	(128)
第十章 圆轴扭转	(132)
第一节 扭转的概念	(132)
第二节 圆轴扭转时横截面上的内力	(133)
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力	(135)
第四节 圆轴扭转时的变形	(138)
第五节 圆轴扭转时的强度和刚度计算	(139)
第十一章 弯曲	(146)
第一节 弯曲的概念	(146)
第二节 梁的内力	(147)
第三节 剪力图和弯矩图	(150)
第四节 梁弯曲时横截面上的正应力	(155)
第五节 梁的正应力强度计算	(159)
第六节 提高梁抗弯能力的措施	(162)
第十二章 组合变形的强度计算	(168)
第一节 组合变形的概念	(168)
第二节 拉伸（压缩）与弯曲组合变形的强度计算	(168)
第三节 扭转与弯曲组合变形的强度计算	(173)
第十三章 压杆稳定	(178)
第一节 压杆稳定的概念	(178)
第二节 临界力和临界应力	(179)
第三节 压杆的稳定计算	(183)
第四节 提高压杆稳定性的措施	(185)

第三篇 工程材料和热处理基础

第十四章 材料的机械性能	(190)
第一节 硬度	(190)
第二节 冲击韧性	(192)
第三节 疲劳和蠕变	(194)
第十五章 金属的晶体结构与结晶过程	(197)
第一节 金属的晶体结构	(197)
第二节 实际金属的晶体结构	(199)
第三节 金属的结晶	(201)
第十六章 铁碳合金	(205)
第一节 合金的基本概念	(205)
第二节 铁碳合金的基本组织	(207)
第三节 Fe—Fe ₃ C 状态图	(209)
第四节 碳素钢	(215)
第十七章 钢的热处理	(221)
第一节 热处理的基本原理	(221)
第二节 退火与正火	(227)
第三节 淬火与回火	(229)
第四节 表面热处理	(234)
第十八章 合金钢	(238)
第一节 概述	(238)
第二节 合金结构钢	(241)
第三节 合金工具钢	(248)
第四节 特殊用途钢	(250)
第十九章 铸铁	(254)
第一节 铸铁的分类和石墨化	(254)
第二节 灰铸铁	(256)
第三节 球墨铸铁	(258)
第四节 其它铸铁简介	(262)
第二十章 有色金属与非金属材料	(266)
第一节 铝及铝合金	(266)
第二节 铜及铜合金	(269)
第三节 轴承合金与硬质合金	(271)
第四节 常用的非金属材料	(273)
第二十一章 金属的热加工与冷加工基础	(278)
第一节 铸造	(278)
第二节 压力加工	(285)

第三节	焊接·····	(292)
第四节	钳工加工·····	(300)
第五节	金属切削加工基本知识·····	(303)

第四篇 机械传动与常用机构

第二十二章	机械传动与机械零件设计概论·····	(312)
第一节	机械传动概述·····	(312)
第二节	机械零件设计概论·····	(317)
第二十三章	常用机构·····	(322)
第一节	平面连杆机构·····	(322)
第二节	凸轮机构·····	(327)
第三节	间歇运动机构·····	(335)
第二十四章	螺纹联接与螺旋传动·····	(338)
第一节	螺纹的种类及联接形式·····	(338)
第二节	螺旋副的受力分析、自锁和效率·····	(347)
第三节	螺栓联接的强度计算·····	(349)
第四节	螺旋传动·····	(355)
第二十五章	带传动和链传动·····	(359)
第一节	概述·····	(359)
第二节	平皮带传动·····	(360)
第三节	V带传动·····	(362)
第四节	同步带传动简介·····	(374)
第五节	链传动·····	(376)
第二十六章	齿轮传动·····	(382)
第一节	概述·····	(382)
第二节	直齿圆柱齿轮各部分名称、主要参数及几何尺寸的计算·····	(384)
第三节	渐开线齿轮的啮合特性·····	(386)
第四节	齿轮轮齿的失效形式·····	(389)
第五节	直齿圆柱齿轮的强度计算·····	(390)
第六节	齿轮的根切、最少齿数、精度·····	(397)
第七节	其他齿轮传动·····	(405)
第八节	蜗轮蜗杆传动·····	(410)
第二十七章	轮系和减速器·····	(420)
第一节	轮系的应用与分类·····	(420)
第二节	定轴轮系·····	(421)
第三节	周转轮系简介·····	(423)
第四节	减速器·····	(424)
第二十八章	轴系零件·····	(430)

第一节	概述.....	(430)
第二节	轴的结构.....	(433)
第三节	轴的设计计算.....	(437)
第四节	键与销.....	(442)
第五节	联轴器和离合器.....	(447)
第六节	轴承.....	(452)
第二十九章	机械的平衡	(472)
第一节	刚性回转件的平衡.....	(472)
第二节	机械速度波动的调节.....	(476)
附录一	热轧工字钢规格表.....	(479)
附录二	洛氏、布氏硬度对照表.....	(480)

第一篇 理 论 力 学

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门科学。

机械运动是宇宙间最简单的运动形式，是指物体在空间的位置随时间的变化而发生的变化。

理论力学的内容包括静力学、运动学和动力学三部分。

静力学：研究物体平衡的一般规律；

运动学：研究物体运动的几何性质；

动力学：研究作用于物体上的力与物体运动之间的关系。

理论力学的理论性较强，是学习有关工程机械技术理论的基础，又是接触工程实际的入门。

根据本课程理论体系的需要，本篇在重点研究静力学的基础上，简单介绍部分运动学的内容。

第一章 静力学基础

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学，主要研究两类基本问题：

1. 力系的简化；
2. 力系的平衡条件及其应用。

通过长期的生产实践，人们总结出一套比较完整的静力学理论，而其中静力学基本概念、静力学公理、约束反力及受力图等内容又是研究物体静力简化及平衡的基础。

第一节 静力学基本概念

一、刚体的概念

静力学研究的对象是刚体。

所谓刚体，是指在任何外力作用下，大小和形状始终保持不变的物体。在实际工程问题中，受力而不发生变形的物体是不存在的。若物体所发生的变形相对于物体的几何尺寸非常微小，忽略之后并不影响计算结果的精确度，此类物体可理想化为刚体。所以，刚体是一个抽象化的概念。这样的抽象，不仅是解决实际工程问题所允许的，也是认识力学规律所必须的。其撇开了研究问题的次要因素而抓住了主要因素，既可使所研究的问题相对简单化，又不影响计算结果的准确性。

静力学是以这种理想化的刚体为研究对象的，所以又称刚体静力学。

二、力的概念

力的概念是人们通过长期的实践观察而抽象出来的。比如：当我们用手推车、用脚踢球时，由于手对车的作用、脚对球的作用，使物体的运动状态发生变化。当冲床冲压零件、汽车车体压迫轮胎时，由于机器对零件的作用、汽车重力对轮胎的作用，使物体发生变形。上述物体所发生的变化，是由于物体间的相互作用而产生的，这种作用称为机械作用。所以力的概念可概括为：力是物体相互间的机械作用，其结果使物体运动状态发生变化，或使物体发生变形。前者称为力的外效应，后者称为力的内效应。理论力学主要研究力的外效应。

物体相互机械作用的形式可分为两大类：一类是物体间直接接触的相互作用。比如：弹力、摩擦力等；还有一类相互作用并不需要物体直接接触，而是通过“力场”产生的。比如：万有引力、电磁力等。

实践证明，力对物体的作用效果，取决于力的大小、方向和作用点三个要素，其中任何

一个要素发生改变时，力的作用效果就会改变。

力属于矢量，力的三要素可以用有向线段来表示，称为力矢。力矢量的始端或末端表示力的作用点；沿力矢顺着箭头的指向表示力的方向；按一定比例所画的力矢长度表示力的大小。如图 1-1a、b 所示力矢分别表示小车受到 500N 的推力和小球受到 45N 的地球引力。

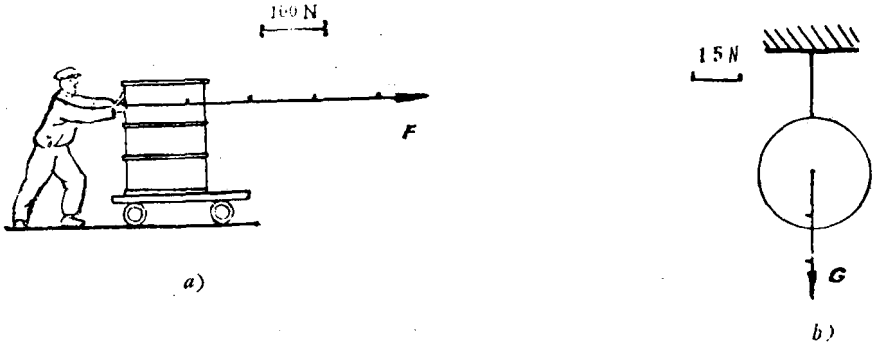


图 1-1

在理论力学中，我们将采用粗黑体字母表示力矢量，例如 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{G}$ 等。而用普通字母 F 表示力 $\mathbf{F}$ 矢量的模。

本书采用国际单位制 (SI)。在国际单位制中，力的单位用牛顿 (N) 或千牛 (KN)。在工程单位制中，力的单位用公斤力 (kg f)。两种单位存在以下关系： $1\text{kgf}=9.8\text{N}$ 。

作用在物体上的一群力称为力系。

一个力系作用于物体上而不改变物体的运动状态，该力系称作平衡力系。

若两个力系分别作用于同一物体，所产生的效果相同，这两个力系互为等效力系。

若一个力与一个力系等效，则这个力称为这个力系的合力。而这个力系中的每一个力称作这个合力的分力。

由一个力系求其合力的过程，叫做力的合成。反之，由一个力求其几个分力的过程，叫做力的分解。

对一个比较复杂的力系，求与它等效的简单力系的过程称为力系的简化。力系的简化是静力学最基本的内容。

三、平衡的概念

平衡，是物体机械运动的一种特殊状态。是指物体相对于惯性参照系静止或作匀速直线平动的状态。应当注意，绝对平衡是不存在的，平衡是有条件的。工程上所指的物体平衡，一般是相对于地球而言。所以，常将固连于地球或相对于地球作匀速直线运动的参照系视为惯性参照系。

第二节 静力学公理

在长期的生活及生产实践中，人们通过对客观现象的观察、分析、抽象、归纳，逐渐较系统地认识了力的基本性质及所遵循的基本规律，总结出静力学公理。这些公理是静力学全

部理论及解题的基础。

公理一：二力平衡公理 作用于刚体的两个力，使刚体保持平衡的充分和必要条件是：这两个力大小相等，方向相反且作用在同一直线上。

如图 1-2 所示，物体处于平衡状态，必须满足 $F_1 = F_2$ 。 F_1 和 F_2 称为作用在同一物体上的一对平衡力。

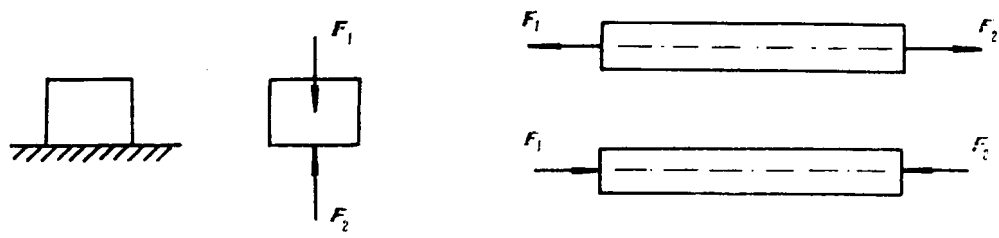


图 1-2

需要强调的是，二力平衡公理只适用于刚体，对于变形体来说，公理所给出的条件仅是必要的，但不充分。比如图 1-3a，欲使软索处于平衡状态，除满足 $F_1 = F_2$ 外，还需满足： F_1 、 F_2 为背离软索的拉力。反之，若软索受到一对等值反向指向软索的压力 F_1 和 F_2 的作用，如图 1-3b 所示，软索并不平衡。

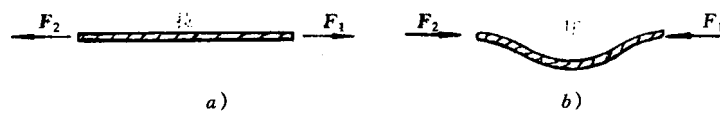


图 1-3

仅受二个力而处于平衡状态的构件称为二力构件，也称二力杆。如图 1-4a 所示三角立架中的 AB 杆及图 1-4b 所示三铰刚架中的 BC 部分都属二力杆（自重不计）。利用二力杆受二力平衡的特点，可以较方便地判断结构中某些构件的受力方向。

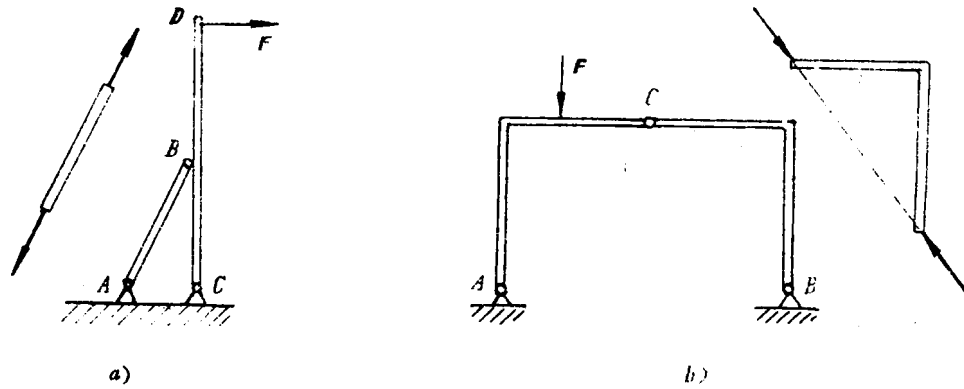


图 1-4

公理二：加减平衡力系公理 在已知力系上增加或减去一组平衡力系，不会改变原力系对物体的作用效果。

此公理也只适用于刚体。

由上面两个公理，可以导出一个重要的推论。

推论：力的可传性原理 作用在刚体上的力，其作用点可沿着作用线在刚体上任意移

动，而不改变它对刚体的作用效果。

证明：设力 F 作用在刚体 A 点（图 1-5a），在 F 作用线上的任一点 B 处，加上一平衡力系 F_1 、 F_2 （图 1-5b），且使 $F_1 = F_2 = F$ 。再减去一对平衡力 F 、 F_1 后，刚体仅受 F_2 作用（图 1-5c）。由公理二可知图 1-5a、b、c 三个图中的力系是互为等效的。即作用于刚体 A 点上的力，沿作用线 AB 移到了 B 点，且对刚体的作用效果未变。

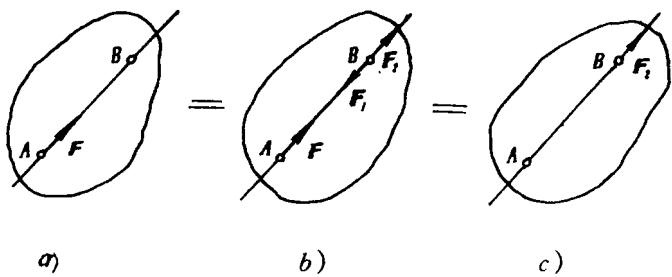


图 1-5

可以沿作用线移动而不改变其性质的矢量称为滑动矢量。又称滑移矢量。作用于刚体上的力是滑动矢量。可见，由于力的可传性原理，力的作用点已被力的作用线所替代。对刚体而言，力的三要素应该是大小、方向、作用线。

公理三：力的平行四边形公理 作用于物体某一点的两个力的合力，其作用线必过该点，其大小和方向可由以此二力的力矢为邻边所作的平行四边形的对角线矢量表示（图 1-6a）。用矢量式表示为

$$R = F_1 + F_2$$

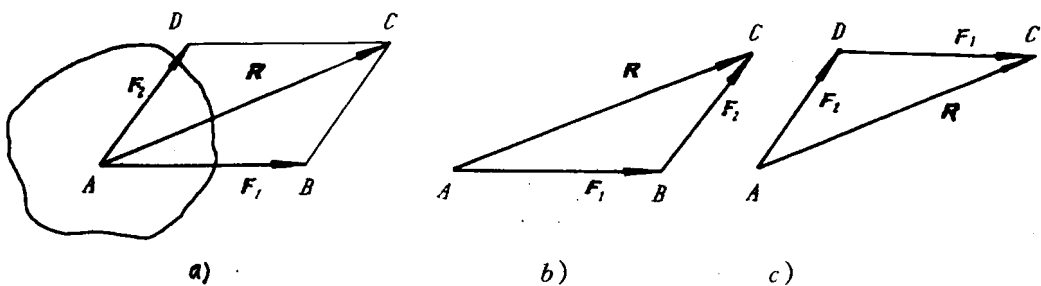


图 1-6

这种求合力的方法称为矢量加法。实际上，一切矢量的合成和分解都遵循平行四边形法则。为了方便，在用此法求合力时，可不必画出整个平行四边形；参考图 1-6a，可从汇交点 A 作一力矢 $\vec{AB}$ 与 F_1 相等，再过 B 点作一力矢 $\vec{BC}$ 与 F_2 相等，则矢量 $\vec{AC}$ 就是 F_1 、 F_2 的合力 R 。如图 1-6b 所示。这种求合力的方法称为力矢三角形法则。其中 F_1 、 F_2 的作图顺序不影响合力 R （图 1-6c）。

由公理三，可得出一个重要的推论。

推论：三力平衡汇交定理 当刚体受到同平面内互不平行的三个力作用而平衡时，此三力的作用线必汇交于一点。

证明：设有三个互不平行的力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用在刚体同一

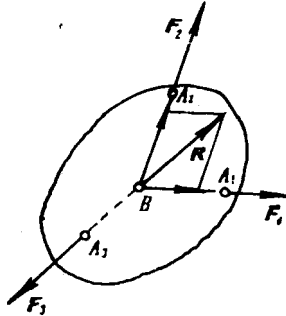


图 1-7

平面的 A_1 、 A_2 、 A_3 三点上 (图 1-7), 且为平衡力系。根据力的可传性, F_1 、 F_2 可分别从 A_1 、 A_2 点移至其汇交点 B 。由公理三可求出 F_1 、 F_2 的合力 R 。显然 R 与 F_3 又属一对平衡力。由公理一可知, R 、 F_3 必共线, 即证明 F_3 的作用线也通过 F_1 、 F_2 的汇交点 B 。

利用三力平衡汇交定理, 可以较方便地判断某些待求未知力 (约束反力) 的方向。

公理四: 作用与反作用公理 两物体相互作用的作用力和反作用力大小相等, 方向相反, 作用线相同, 且分别作用在这两个物体上。

作用与反作用公理向我们揭示了一个最普遍的自然规律: 物体间的作用是相互的, 作用力与反作用力必成对且同时出现。单方面的作用是不存在的。

应该注意, 作用力与反作用力不能与二力平衡公理中的一对平衡力相混淆。

此公理为我们分析物系中各物体的受力情况提供了便利。

例如三铰刚架 ABC, 受一水平力 F 作用而处于平衡状态 (图 1-8a), 试分析 A、B 铰处的反力方向。

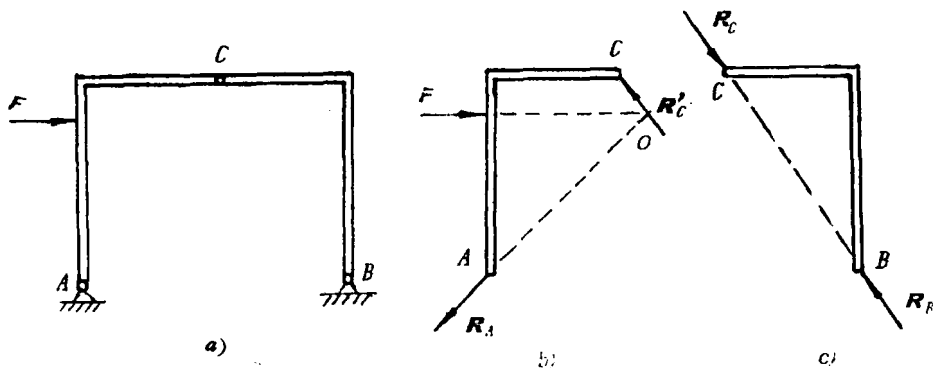


图 1-8

可先取 BC 部分来分析。因 BC 属二力构件, 根据二力平衡公理, 可以确定 B、C 两处所受反力方向沿 B、C 两点的连线 (图 1-8c)。再取 AC 部分来分析: 其 C 处所受 BC 杆作用的力 R'_C 与 BC 杆上的 R_C 属一对作用力和反作用力, R'_C 的方向通过 R_C 确定, 如图 1-8b 所示, R'_C 与已知力 F 相交于 O 点。因为 AB 受同一平面上三个力作用而平衡, 应满足三力平衡汇交定理, 所以 A 处的约束反力 R_A 的方向也必然通过 O 点。

第三节 约束与约束反力

一、约束与约束反力的概念

既然力是物体间相互的机械作用, 当我们对物体进行受力分析时, 必然要了解它与周围物体的联系方式及力的作用形式。有一类物体, 它们在空间的位移不受任何限制, 可以在空间任意方向运动, 这类物体称为自由体。比如航行的飞机、空中的气球、抛出的铁饼等。还有另一类物体, 它们在空间某些方向的运动要受到周围物体的限制, 这类物体称为非自由体。比如桌上的小球, 因受到桌面的限制而不能垂直向下运动, 而只能沿桌面滚动。机器上

转动的轴因受到轴承的限制，不能产生任何方向的移动，而只能绕自身轴线转动。钉在墙上的钉子，因受到墙体的限制，不能作任何方向的运动，等等。

凡阻碍物体运动的周围其它物体统称为约束。比如阻碍球垂直向下运动的桌面是球的约束；限制轴移动的轴承是轴的约束；限制钉子运动的墙体是钉子的约束，等等。

约束对被约束物体的限制实质上是通过力起作用的。约束作用在被约束物体上的力称为约束反力，简称反力。约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反。

物体所受的力可以分为两类：一类是使物体产生运动或运动趋势的力，称为主动力。比如重力、风力、机车牵引力等。另一类就是上面介绍的限制、阻碍物体运动的约束反力。

主动力的方向和大小通常是已知的。约束反力的大小和方向一般是未知的，它受主动力的方向和大小影响。求约束反力是力学中的一个重要而基本的内容。因此，正确地分析约束反力是对物体进行力学计算的关键。

二、常见的约束类型

约束反力除受主动力影响之外，还受约束的类型及约束方式的影响。要正确分析约束反力，必须先了解约束的基本类型及其特点。下面介绍工程上几种常见的约束和确定其约束反力方向的方法。

(一) 柔体约束 由柔软的绳索、皮带、链条等构成的约束称为柔体约束。由于柔体约束自身的特点：只能承受拉力而不能承受压力，所以柔体约束对物体的约束反力的方向总是沿着柔体背离被约束的物体（图 1-9）。

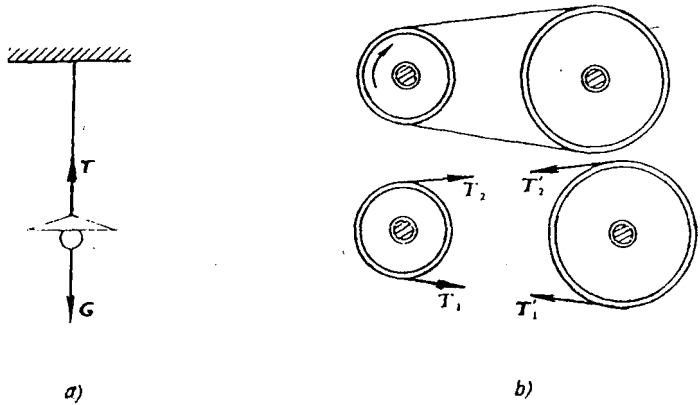


图 1-9

柔体约束的约束反力一般用字母 T 表示。

(二) 刚性光滑面约束 由完全光滑且刚性的表面所构成的约束称为刚性光滑面约束。因光滑表面与被约束物体间的摩擦力可忽略，支承面不能限制物体沿支承面切线方向滑动，而仅能阻止物体沿支承面法线向着支承面内部运动，所以光滑面约束对物体的约束反力的方向总是通过接触点，沿着支承面的法线指向被约束物体（图 1-10）。

刚性光滑面约束的约束反力一般用字母 N 表示。

(三) 铰链约束 两个物体通过圆柱形销钉相互连接，接触处摩擦忽略不计，这种只能限制两连接体相对移动，而不能限制它们相对转动的约束，统称为光滑铰链约束。简称铰链约束。工程中常用的铰链一般有以下三种形式：

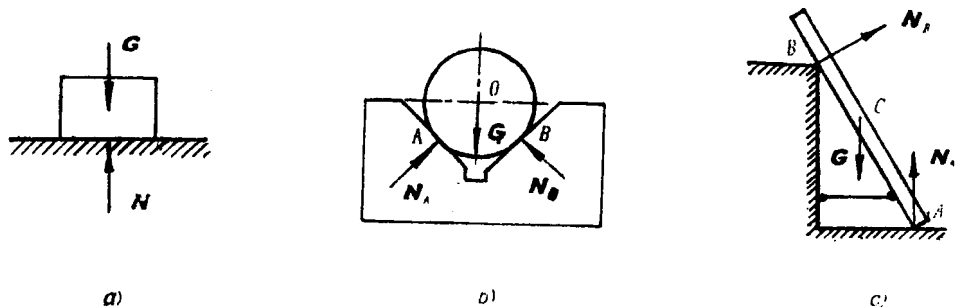


图 1-10

固定铰链约束 用销钉将物体（多数为杆件）与固定支承物连接起来的约束，称为固定铰链约束，也称固定铰链支座。如图 1-11 所示。由其结构可知，固定支承物 1 通过销钉 3 限制了杆件 2 沿销钉半径任何方向的移动，而无法限制杆件 2 绕销钉轴线转动。又由于接触面都视为光滑的，所以反力的方向应该是通过销钉圆截面中心沿某半径方向。由于约束反力受主动力影响，其准确方向在计算之前无法确定，所以在画受力图时，常以两个正交分力 R_x 、 R_y 表示。图 1-11d 表示固定铰链支座约束及其受力简图。

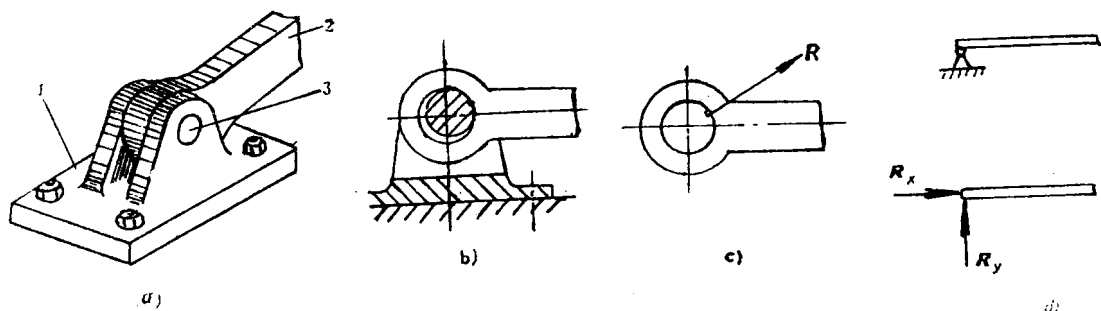


图 1-11

中间铰链约束 销钉将两个物体（一般都为杆件）连接起来的约束，称为中间铰链约束。如图 1-12 所示。由其结构特点可知，中间铰链约束与固定铰链约束相类似，所以反力的方向也只能通过销钉圆截面中心，且方向不定，一般以两个正交分力 R_x 、 R_y 表示。图 1-12c 表示中间铰链约束及其受力简图。

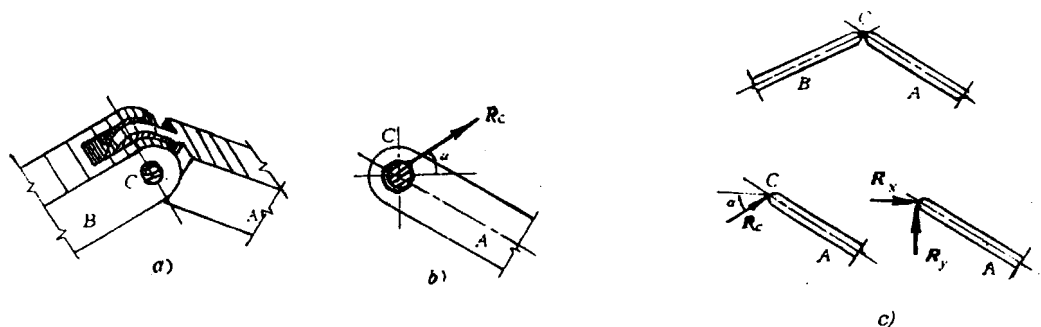


图 1-12

活动铰链约束 若将固定铰链支座座体与支承面间加装滚轮，就成为活动铰链约束。如