

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

Gongcheng

Lixue

工程力学

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

于 英 主编



中国建筑工业出版社

China Architecture & Building Press

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

工 程 力 学

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

于 英 主 编

张立柱 副主编

王孟武 主 审

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/于英主编. —北京: 中国建筑工业出版社,
2004

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推
荐教材. 供热通风与空调工程技术专业适用

ISBN 7-112-06924-6

I. 工... II. 于... 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 (2004) 第 121422 号

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

工 程 力 学

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

于 英 主 编

张立柱 副主编

王孟武 主 审

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 13 $\frac{1}{4}$ 字数: 320 千字

2005 年 1 月第一版 2006 年 8 月第二次印刷

印数: 3,001 — 4,500 册 定价: 19.00 元

ISBN 7-112-06924-6

TU · 6170 (12878)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书是根据高等职业教育供热通风与空调工程技术专业教学大纲编写的。全书力求体现高等职业教育教学改革的特点,突出实用性和应用性,内容简明扼要,通俗易懂。

全书共分十五章,内容包括绪论、静力学基本概念、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面一般力系、材料力学的基本概念、轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、平面图形的几何性质、梁的内力、梁的应力及强度条件、梁的变形及刚度条件、应力状态和强度理论、组合变形、压杆稳定。每章后有思考题与习题。

本书可作为土建学科高职高专院校、各类成人院校供热通风与空调工程技术、建筑水电技术专业及其他相关专业的教学用书,也可作为有关教师、工程技术人员的参考书。

* * *

责任编辑:齐庆梅 朱首明

责任设计:崔兰萍

责任校对:李志瑛 张虹

本教材编审委员会名单

主 任：贺俊杰

副主任：刘春泽 张 健

委 员：陈思仿 范柳先 孙景芝 刘 玲 蔡可键

蒋志良 贾永康 王青山 余 宁 白 桦

杨 婉 吴耀伟 王 丽 马志彪 刘成毅

程广振 丁春静 胡伯书 尚久明 于 英

崔吉福

序 言

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会（原名高等学校土建学科教学指导委员会高等职业教育专业委员会水暖电类专业指导小组）是建设部受教育部委托，并由建设部聘任和管理的专家机构。其主要工作任务是，研究建筑设备类高职高专教育的专业发展方向、专业设置和教育教学改革，按照以能力为本位的教学指导思想，围绕职业岗位范围、知识结构、能力结构、业务规格和素质要求，组织制定并及时修订各专业培养目标、专业教育标准和专业培养方案；组织编写主干课程的教学大纲，以指导全国高职高专院校规范建筑设备类专业办学，达到专业基本标准要求；研究建筑设备类高职高专教材建设，组织教材编审工作；制定专业教育评估标准，协调配合专业教育评估工作的开展；组织开展教学研究活动，构建理论与实践紧密结合的教学内容体系，构筑“校企合作、产学研结合”的人才培养模式，为我国建设事业的健康发展提供智力支持。

在建设部人事教育司和全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的领导下，2002年以来，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会的工作取得了多项成果，编制了建筑设备类高职高专教育指导性专业目录；制定了“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”等专业的教育标准、人才培养方案、主干课程教学大纲、教材编审原则，深入研究了建筑设备类专业人才培养模式。

为适应高职高专教育人才培养模式，使毕业生成为具备本专业必需的文化基础、专业理论知识和专业技能、能胜任建筑设备类专业设计、施工、监理、运行及物业设施管理的高等技术应用性人才，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会，在总结近几年高职高专教育教学改革与实践经验的基础上，通过开发新课程，整合原有课程，更新课程内容，构建了新的课程体系，并于2004年启动了“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业主干课程的教材编写工作。

这套教材的编写坚持贯彻以全面素质为基础，以能力为本位，以实用为主导的指导思想。注意反映国内外最新技术和研究成果，突出高等职业教育的特点，并及时与我国最新技术标准 and 行业规范相结合，充分体现其先进性、创新性、适用性。它是我国近年来工程技术应用研究和教学工作实践的科学总结，本套教材的使用将会进一步推动建筑设备类专业的建设与发展。

“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业教材的编写工作得到了教育部、建设部相关部门的支持，在全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的领导下，聘请全国高职高专院校本专业享有盛誉、多年从事“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”专业教学、科研、设计的

副教授以上的专家担任主编和主审，同时吸收工程一线具有丰富实践经验的高级工程师及优秀中青年教师参加编写。可以说，该系列教材的出版凝聚了全国各高职高专院校“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业同行的心血，也是他们多年来教学工作的结晶和精诚协作的体现。

各门教材的主编和主审在教材编写过程中认真负责，工作严谨，值此教材出版之际，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会谨向他们致以崇高的敬意。此外，对大力支持这套教材出版的中国建筑工业出版社表示衷心的感谢，向在编写、审稿、出版过程中给予关心和帮助的单位 and 同仁致以诚挚的谢意。衷心希望“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”这三个专业教材的面世，能够受到各高职高专院校和从事本专业工程技术人员的欢迎，能够对高职高专教学改革以及高职高专教育的发展起到积极的推动作用。

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会
建筑设备类专业指导分委员会
2004年9月

前 言

本书是全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材之一。本教材符合高等职业教育供热通风与空调工程技术专业教学大纲的要求。它可作为高职高专院校、各类成人教育院校土建学科中的供热通风与空调工程技术、建筑水电技术及其他相关专业的教学用书,也可作为有关教师、工程技术人员的参考书。

在编写过程中,编者结合长期教学实践的经验,以培养技术应用能力为主线,应用为目的,够用为原则,注意了体现高等职业教育教学改革的特点,突出实用性和应用性,内容简明扼要,通俗易懂,注重基本概念和基本方法,并尽力做到与工程实际相结合。书中编入了适量的例题和习题供教学中选用,书后附有习题答案供学生参考。

本书参考课时为75学时左右,各院校可根据实际情况进行取舍。

参加本书编写工作的有:黑龙江建筑职业技术学院于英(绪论、第五、七、八、九、十、十一、十二、十三章)、内蒙古建筑职业技术学院张海平(第一章)、新疆建设职业技术学院张巨虹(第二、三章)、沈阳建筑大学职业技术学院张立柱(第四、六章)、四川建设职业技术学院郭丽(第十四、十五章)。全书由于英担任主编、张立柱担任副主编。

本书由新疆建设职业技术学院王孟武主审。

编者对审稿人、各位组织者以及给予支持的相关人员,表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者和同行专家予以批评指正,以期今后改进。

目 录

绪论	1
第一章 静力学的基本概念	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	4
第四节 受力图	8
思考题与习题	10
第二章 平面汇交力系	12
第一节 平面汇交力系合成的几何法	12
第二节 平面汇交力系平衡的几何条件及其应用	14
第三节 平面汇交力系合成的解析法	15
第四节 平面汇交力系平衡的解析条件及其应用	19
思考题与习题	20
第三章 力矩 平面力偶系	24
第一节 力对点之矩、合力矩定理	24
第二节 力偶及力偶的性质	27
第三节 平面力偶系的合成和平衡条件	29
思考题与习题	31
第四章 平面一般力系	34
第一节 力的平移定理	34
第二节 平面一般力系向作用面内任一点的简化	35
第三节 平面一般力系的平衡条件及其应用	40
第四节 物体系统的平衡	45
第五节 简单静定平面桁架的内力计算	48
思考题与习题	52
第五章 材料力学的基本概念	61
第一节 变形固体的概念及其基本假设	61
第二节 杆件变形的基本形式	61
第三节 内力、截面法、应力	62
第四节 变形和应变	64
第六章 轴向拉伸和压缩	65
第一节 轴向拉伸和压缩的概念	65
第二节 轴力和轴力图	65

第三节	轴向拉压杆的应力	68
第四节	轴向拉压杆的变形、虎克定律	71
第五节	材料在拉伸和压缩时的力学性能	74
第六节	轴向拉压杆的强度条件及强度计算	82
思考题与习题		84
第七章	剪切	88
第一节	剪切与挤压的概念	88
第二节	剪切与挤压的实用计算	89
思考题与习题		91
第八章	扭转	93
第一节	扭转的概念	93
第二节	圆轴扭转时横截面上的内力	93
第三节	薄壁圆筒扭转时的应力及剪切虎克定律	96
第四节	圆轴扭转时横截面上的切应力	97
第五节	圆轴扭转时的强度条件及强度计算	99
第六节	圆轴扭转时的变形及刚度条件	101
思考题与习题		101
第九章	平面图形的几何性质	103
第一节	重心和形心	103
第二节	静矩	105
第三节	惯性矩、惯性积、惯性半径	106
第四节	惯性矩的平行移轴公式	108
第五节	形心主惯性轴和形心主惯性矩的概念	109
思考题与习题		109
第十章	梁的内力	111
第一节	梁弯曲变形的概念	111
第二节	梁弯曲时的内力——剪力和弯矩	112
第三节	梁的内力图	115
第四节	荷载集度、剪力和弯矩之间的微分关系	120
第五节	用叠加法画弯矩图	123
思考题与习题		128
第十一章	梁的应力及强度条件	130
第一节	梁弯曲时横截面上的正应力	130
第二节	梁横截面上的切应力计算公式	132
第三节	梁的强度条件及强度计算	134
思考题与习题		138
第十二章	梁的变形及刚度条件	140
第一节	挠度与转角	140
第二节	用叠加法求梁的变形	142

第三节 梁的刚度条件及刚度计算	143
第四节 提高梁刚度的措施	144
思考题与习题	145
第十三章 应力状态和强度理论	146
第一节 应力状态的概念	146
第二节 平面应力状态分析	146
第三节 强度理论	152
思考题与习题	155
第十四章 组合变形	157
第一节 组合变形的概念	157
第二节 斜弯曲变形的应力及强度计算	158
第三节 偏心压缩(拉伸)杆件的应力及强度计算	163
第四节 截面核心的概念	166
思考题与习题	167
第十五章 压杆稳定	170
第一节 压杆稳定的概念	170
第二节 细长压杆临界力计算的欧拉公式	171
第三节 临界应力与柔度	172
第四节 超过比例极限时临界应力计算——经验公式、临界应力总图	173
第五节 压杆的稳定计算——折减因数法	175
第六节 提高压杆稳定性的措施	179
思考题与习题	180
附录 型钢规格表	183
习题答案	194
参考文献	200

绪 论

工程力学是研究物体机械运动规律的科学。机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。固体的运动和变形, 气体和液体的流动都属于机械运动。

一、工程力学的研究对象和任务

工程力学的研究对象是由固体材料制成的构件。例如, 建筑结构中的梁、柱、楼板, 机械中的传动轴、连杆, 供暖系统中管道及管道支架等。这些构件在正常工作情况下, 都要承受各种各样的力。如重力、风力、摩擦力等。工程中将构件上承受的主动动力(主动引起物体运动或使物体有运动趋势的力), 称为荷载。

要使构件在施工和使用过程中, 能够安全可靠地工作, 就必须具有足够的承载能力, 也就必须满足以下三个方面的基本要求:

- (1) 构件应具有足够的强度, 即不能发生破坏;
- (2) 构件应具有足够的刚度, 即不能发生过大的变形;
- (3) 构件应具有足够的稳定性, 即不丧失原有形状下的平衡状态。

为保证上述的承载能力, 就需要构件具有较大的截面尺寸和较好的材料。但是, 构件又必须符合经济的要求, 即所用的材料尽可能地少、造价尽可能地低。显然, 安全性和经济性是矛盾的。

工程力学的任务就是: 为构件提供受力和静力计算的方法; 研究构件的强度、刚度、稳定性和材料的力学性质, 在保证构件的安全可靠及经济合理的前提下, 为构件选择合适的材料、确定合理的截面形状和尺寸提供计算方法和试验方法。

二、工程力学研究的内容

工程力学研究的内容分为静力学和材料力学两部分。

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律及其在工程中的应用。

材料力学是研究构件在外力作用后发生变形时的承载能力问题, 对实际工程中的构件做强度、刚度和稳定性等方面的计算。

本书第一至第四章为静力学内容, 第五至第十五章为材料力学内容。

三、工程力学与其他课程的关系

工程力学是一门实用性很强的专业技术基础课。它以数学作为计算基础。通过本课程的学习, 可为后继专业课程(如流体力学、机械基础、管道材料、锅炉及施工等)的学习打下必要的基础。同时, 也能解决一些简单的工程实际问题, 培养我们正确分析问题和解决问题的能力。当今工程力学已渗透到工程技术的各个领域并发挥着重要作用。应用力学知识可以避免或减少工程事故的发生。所以, 学好工程力学这门课程, 对我们今后的学习和工作都有着十分重要的意义。

第一章 静力学的基本概念

第一节 静力学基本概念

静力学是研究物体在力系的作用下处于平衡的规律。

平衡是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态。例如，房屋、桥梁、在直线轨道上匀速行驶火车、沿直线匀速起吊的构件等，都是平衡的实例。

一、力的概念

力是指物体之间相互的机械作用。这种机械作用可使物体的运动状态或形状发生改变。力能使物体的运动状态发生改变，称为力的外效应或运动效应；力能使物体的形状发生改变，称为力的内效应。前者是静力学所研究的内容，而后者是材料力学所研究的内容。

实践表明，力对物体的作用效应取决于力的三要素：力的大小、方向和作用点。如这三个要素之一发生改变，力的作用效果也就会改变。

力的大小表示物体间相互作用的强弱程度。国际单位制中，以“N 或 kN”作为力的单位。力的方向通常包含力的方位和力的指向两个含义。力的作用点表示力作用在物体上的位置。

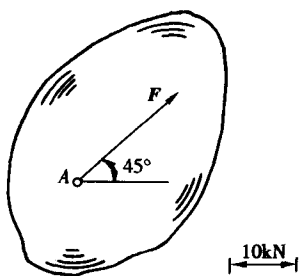


图 1-1 力的矢量表示法

根据力的三要素可知，力是定位矢量。我们可用图示法表示力的矢量，即用一带箭头的有向线段表示力的三要素。有向线段的长度按选定比例尺表示力的大小，线段的方位（与某定直线的夹角）和箭头的指向表示力的方向，线段的起点或终点表示力的作用点。如图 1-1 所示。

本书中用黑体字母如 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{P}$ 等表示力的矢量，而用对应的细体字母如 F 、 P 等表示力矢量的大小。我们手写时，用上方加一横线的细体字母如 $\overline{F}$ 、 $\overline{P}$ 等表示力的矢量。

二、刚体的概念

所谓刚体，是指在任何外力的作用下，其几何形状和尺寸始终保持不变的物体。实际上，任何物体在外力的作用下都要发生几何形状的改变。但是，在一般情况下所发生的变形与物体的几何尺寸相比较都很微小，我们在研究物体的平衡或运动时，就可忽略微小变形，即认为物体是不发生变形的。静力学中所研究的物体均视为刚体。

三、力系、等效力系、平衡力系、平衡条件

(1) 力系：作用在物体上的一群力称为力系。

(2) 等效力系：如果作用于物体上的一个力系，可以用另外一个力系所代替，而不改变原力系对物体所产生的运动效应，则这两个力系互为等效力系。

(3) 平衡力系：作用在物体上，使物体处于平衡状态的力系，称为平衡力系。

(4) 平衡条件：是指力系作用在物体上，并使物体处于平衡状态时，该力系所必须满足的条件。

第二节 静力学公理

静力学公理是人们在长期的生活和生产实践中总结和概括出来的普遍规律，它们是静力学的基础。是分析问题和解决问题的重要依据。

公理一 二力平衡条件

作用在同一刚体上的两个力，使刚体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，作用在同一条直线上。如图 1-2 所示。

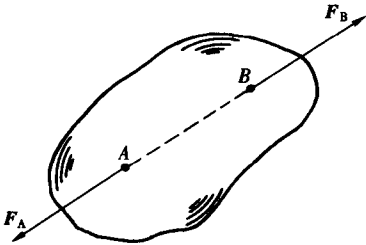


图 1-2 二力平衡条件

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任意力系中，加上或去掉任何一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。因为平衡力系不会改变物体的运动状态。

公理三 力的平行四边形法则

作用于刚体上同一点的两个力，可以合成为一个合力，合力也作用在该点，合力的大小和方向可由以这两个分力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。如图 1-3 所示。即

$$R = F_1 + F_2$$

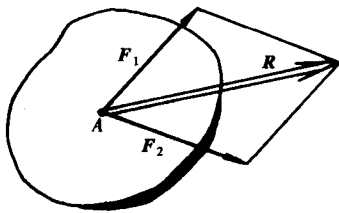


图 1-3 力的平行四边形法则

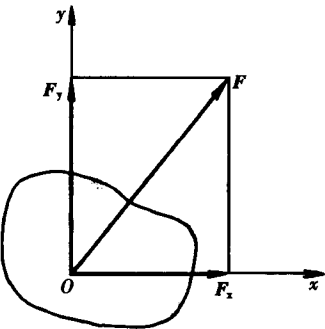


图 1-4 力的分解

在力学计算中，经常将一个已知力分解为两个互相垂直的分力，如图 1-4 所示。

公理四 作用与反作用定律

两个物体间的作用力和反作用力，总是大小相等，方向相反，沿同一直线，并分别作用在这两个物体上。特别强调的是不能将作用与反作用定律与二力平衡条件混淆起来。

推理一 力的可传性原理

作用于刚体上的力，可沿其作用线移动到同一刚体内的任意一点，而不改变原力对刚体的作用效应。

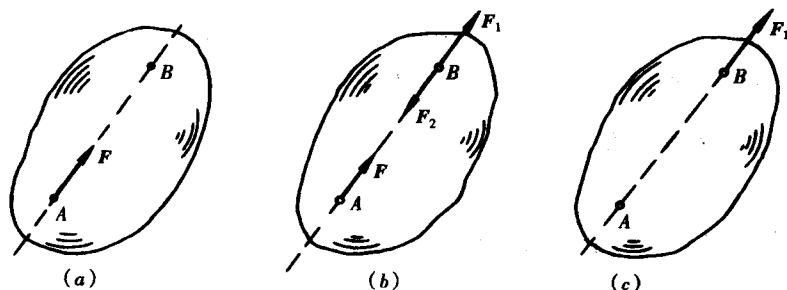


图 1-5 力的可传性原理

证明：设力 F 作用于刚体上的 A 点（图 1-5 (a)）。根据加减平衡力系公理，在力 F 的作用线上任一点 B 加上一对平衡力 F_1 与 F_2 ，且使 $F_1 = F = -F_2$ ，如图 1-5 (b) 所示。由于 F 和 F_2 是一个平衡力系，可以去掉，所以只剩下作用在 B 点的力 F_1 （图 1-5 (c)）。

显然力 F_1 和原力 F 是等效的，这就相当于把作用于 A 点的力 F 沿其作用线移到 B 点。值得注意的是，该推理只适用于同一刚体，不适用于变形体。

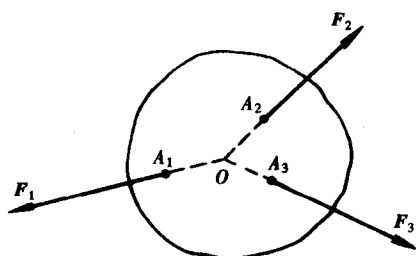


图 1-6 三力平衡汇交定理

推理二 三力平衡汇交定理

一刚体受共面不平行的三个力作用而处于平衡状态时，此三个力的作用线必汇交于一点。如图 1-6 所示，证明略。通常用三力平衡汇交定理来确定未知力的方向。

第三节 约束与约束反力

一、约束与约束反力的概念

(1) 自由体 物体在空间的运动没有受到任何方向的限制，称此物体为自由体。如空中飞行的飞机。

(2) 非自由体 如果物体在空间某些方向的运动受到限制，称此物体为非自由体。如房屋、桥梁、火车等。

(3) 约束 当研究对象为非自由体时，我们把限制其运动的周围物体称为约束。

(4) 约束反力 约束作用在被约束物体上且阻碍物体运动的力称约束反力。简称反力。约束反力的方向总是与物体的运动或运动趋势方向相反；约束反力的大小由平衡条件确定；约束反力的作用点总是作用在接触点上。约束反力为未知力。

二、主动力与荷载

1. 主动力与荷载

凡能主动使物体产生运动或运动趋势的力，称为主动力；主动力为已知力，在工程上也称为荷载。如构件的自重，设备的重量，风压力等都是主动力。

2. 荷载的分类

荷载按其作用范围可分为集中荷载和分布荷载。力的作用位置实际上是有一定面积的。当力的作用面积相对于物体而言很小，可近似地看作一个点，我们就将作用于一点的力，称为集中力或集中荷载，如火车的轮压、设备的自重等都可看作是集中力。如果力的作用面积较大，就称为分布力或分布荷载，例如梁的自重，就可以简化为均匀分布的线荷载。我们将单位长度上的分布荷载称为线荷载集度，通常用 q 表示，单位为“N/m 或 kN/m”，如图 1-7 所示。

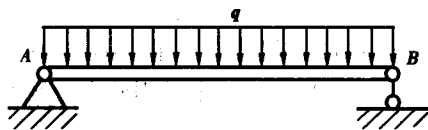


图 1-7 均匀分布线荷载

三、几种常见的约束及其反力

一般情况下约束和约束反力较为复杂。我们在研究力学问题时，通常将各种约束按照一定的假设条件简化成理想模型。实践证明，由理想模型计算的结果符合工程设计要求。下面介绍工程中常见的几种约束及其约束反力。

1. 柔性约束

柔绳、胶带、链条等用于阻碍物体运动时，就构成柔性约束（图 1-8 (a)）。其约束功能是，只能限制物体沿着柔体的中心线离开柔体方向的运动，而不能限制其他方向的运动。所以柔性约束的约束反力是，通过接触点，沿着柔体的中心线方向，背离所约束的物体，即为拉力。通常用字母 T 表示，如图 1-8 (b) 所示。

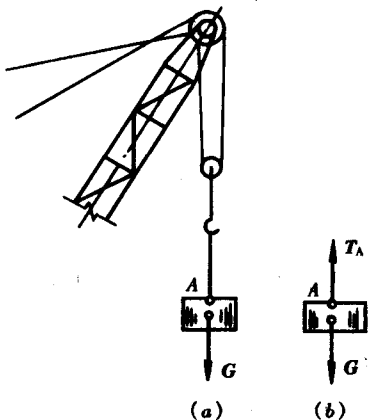


图 1-8 柔性约束及其反力

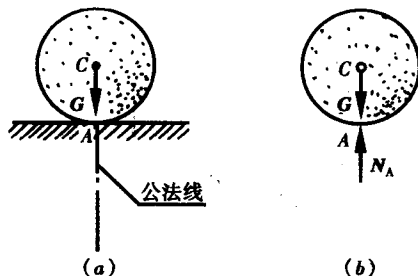


图 1-9 光滑接触面约束及其反力

2. 光滑接触面约束

当两物体相互接触处的摩擦力很小，可以忽略不计时，就构成光滑接触面约束（图 1-9 (a)）。其约束功能是，只能限制物体沿着接触面的公法线且指向接触面方向的运动，而不能限制物体沿着接触面的公切线或离开接触面方向的运动。所以光滑接触面约束的约束反力是，通过接触点，沿着接触面的公法线方向指向被约束的物体。通常用字母 N 表示，如图 1-9 (b) 所示。

3. 圆柱铰链约束

圆柱铰链简称为铰链。门窗的合页就是铰链的实例。理想的圆柱铰链约束是由一个圆柱形销钉插入两个物体的圆孔中所构成(图 1-10 (a)、(b)), 且认为圆孔与销钉的表面都是光滑的。圆柱铰链约束的力学简图如图 1-10 (c) 所示。其约束功能是, 不能限制物体绕销钉的相对转动和沿其轴线的移动, 而只能限制物体在垂直于销钉轴线平面内沿任意方向的相对移动。圆柱铰链约束的约束反力是, 在垂直于销钉轴线的平面内, 通过接触点和销钉中心, 但方向不定(图 1-10 (d))。通常约束反力可用一个方向不定的力 R_C 来表示(图 1-10 (e)), 也可用两个互相垂直的分力 X_C 、 Y_C 来表示(图 1-10 (f))。

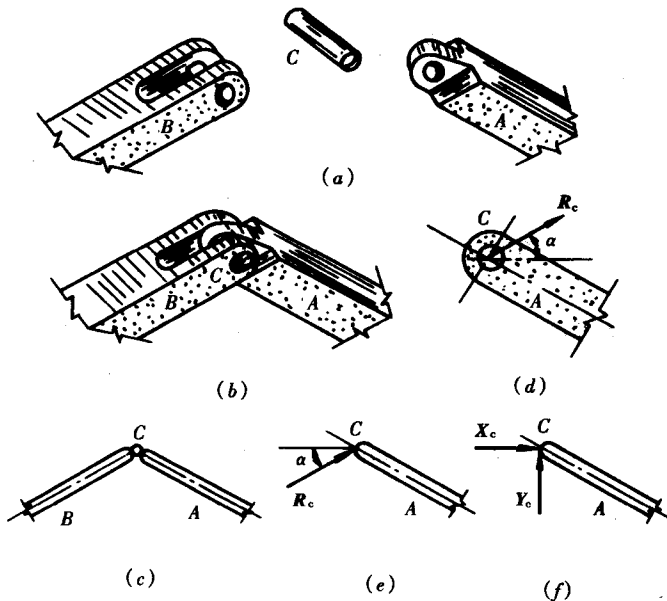


图 1-10 圆柱铰链约束及其反力

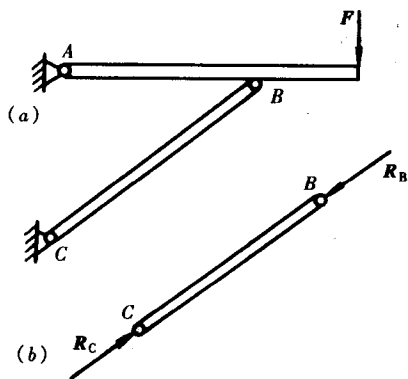


图 1-11 链杆约束及其反力

4. 链杆约束

链杆约束是两端用光滑铰链与其他物体相连而中间不受任何外力(不考虑自重)的直杆, 如图 1-11 (a) 所示。其约束功能是, 只能限制物体沿着链杆轴线方向的运动, 而不能限制其他方向的运动。所以链杆的约束反力是沿着链杆的轴线方向, 但指向不定, 通常用 R_C 和 R_B 来表示, 如图 1-11 (b) 所示。

5. 固定铰支座

工程上将构件连接在墙、柱、基础、机器的机身等支承物上的装置称为支座。用光滑圆柱铰链将构件与支承底板连接, 并将底板固定在支承物上而构成的支座, 称为固定铰支座。图 1-12 所示是固定铰支座的构造简图, 图 1-13 (a)、(b) 所示是其力学计算简图。固定铰支座的约束功能