



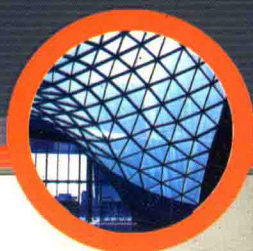
“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

工程力学

第3版

GONGCHENG LIXUE

◎ 韩向东 张小亮 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

工 程 力 学

第3版

主 编 韩向东 张小亮
副主编 马 峻 张福顺
参 编 杨 岩 佟永山 陈继荣 耿 昕



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是经全国职业教育教材审定委员会审定的“十二五”职业教育国家规划教材,是根据《教育部关于“十二五”职业教育教材的若干意见》及教育部新颁布的《高等职业学校专业教学标准(试行)》,在第2版的基础上修订而成的。本书主要介绍了工程力学的基础知识、基本理论和基本研究方法。内容包括两部分:第一部分为基础篇,包括构件的静力分析,平面力系的简化、平衡,杆件基本变形时的内力、应力分析和强(刚)度计算,压杆稳定性计算;第二部分为综合篇,包括轮轴类构件的平衡、组合变形强度计算、动载荷与交变应力,以及刚体的基本运动分析。本书编写模式新颖,体系合理;突出工程性,理论联系实际,实用性强;注意激发学生的学习兴趣;增加了“讨论与交流”,供教师组织学生讨论,促进师生互动。

本书可作为高等职业院校汽车类、机电类相关专业教材,也可以作为有关技术人员岗位培训教材。

为便于教学,本书配套有电子教案,选择本书作为教材的教师可来电(010-88379865)索取,或登录 www.cmpedu.com 网站注册,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/韩向东,张小亮主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2014.8

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-111-48035-8

I. ①工… II. ①韩…②张… III. ①工程力学-高等职业教育-教材
IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第230306号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:曹新宇 责任编辑:刘思海

责任校对:肖琳 封面设计:张静

责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2015年1月第3版第1次印刷

184mm×260mm·13.75印张·329千字

0 001—2 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-48035-8

定价:34.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

本书是按照教育部《关于开展“十二五”职业教育国家规划教材选题立项工作的通知》，经过出版社初评、申报，由教育部专家组评审确定的“十二五”职业教育国家规划教材，是根据《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》及教育部新颁布的《高等职业学校专业教学标准(试行)》，在第2版的基础上修订而成的。

相比第2版，本书增加了动摩擦、滚动摩擦、焊接、强度理论概念及动载荷等内容，删减了过难、过时的内容，以期更加贴近职业教育的教学。主要特色如下：

1) 编写模式新颖，体系合理。全书分两篇，按“单元—课题”模式编写，基础篇为工程力学中最基本、最简单的静载荷问题的平面力系简化、平衡，杆件基本变形的受力分析、计算与压杆稳定；综合篇则为较复杂的空间力系问题、组合变形及动载荷问题等。

2) 突出工程性，理论联系实际，尤其联系行业实际，如曲柄连杆机构、凸轮机构、传动轴、制动踏板、千斤顶等的受力分析和变形问题都在本书中有所介绍。

3) 增强实用性。本书删减了不必要的公式推导，如平面任意力系的简化过程、圆周扭转切应力、弯曲正应力、圆轴弯扭组合变形强度条件的公式推导，只介绍了推导依据、结论和应用条件，强化了应用。

4) 注意激发学生的学习兴趣。本书中四种基本变形均从工程或生活中的实际问题(如铆钉连接、传动轴、双杠等)引入，提出问题，逐步展开、深入，最终解决问题，以激发学生的学习兴趣。

5) 增加了“讨论与交流”，供教师组织学生讨论，促进师生互动。

本书建议总学时为70~80学时，教学中安排一定学时组织学生完成材料力学性能测定、纯弯曲时梁的正应力的测定实验，组织学生讨论交流，讨论内容为本书中内容及学生作业中的共性问题，在教学中应注意实物模型和多媒体等现代化教学手段的应用。

本书由韩向东、张小亮任主编，马峻、张福顺任副主编，杨岩、佟永山、陈继荣、耿昕参加编写。

本书经全国职业教育教材委员会审定，教育部专家在评审过程中对本书提出了宝贵的建议，在此对他们表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

目 录

前 言

绪 论	1
-----------	---

基 础 篇

单元一 静力分析基础	5
------------------	---

课题一 力的概念	5
课题二 力的基本性质	6
课题三 约束与约束力	7
课题四 物体的受力分析 受力图	11
小结	14
讨论与交流	14
习题	15

单元二 平面力系的简化与合成	18
----------------------	----

课题一 平面汇交力系的合成	18
课题二 力对点之矩	21
课题三 力偶 平面力偶系的合成	23
课题四 平面任意力系的简化	24
小结	26
讨论与交流	27
习题	28

单元三 平面力系的平衡	31
-------------------	----

课题一 平面任意力系的平衡	31
课题二 平面特殊力系的平衡	34
课题三 物体系统的平衡	36
课题四 考虑摩擦时物体的平衡	39
小结	45
讨论与交流	46
习题	47



单元四 构件的承载能力分析基础	50
课题一 承载能力分析概述	50
课题二 内力与截面法	52
课题三 应力	53
小结	53
讨论与交流	54

单元五 轴向拉伸和压缩	55
课题一 轴向拉伸和压缩的概念	55
课题二 轴向拉伸和压缩时横截面上的内力	56
课题三 轴向拉伸和压缩时横截面上的应力	58
课题四 轴向拉伸和压缩时的变形	59
课题五 材料在拉伸和压缩时的力学性能	61
课题六 轴向拉伸和压缩时的强度计算	67
小结	70
讨论与交流	70
习题	71

单元六 剪切	74
课题一 剪切的概念及其实用计算	74
课题二 挤压的概念及其实用计算	76
课题三 切应变 剪切胡克定律及切应力互等定理	81
小结	82
讨论与交流	83
习题	83

单元七 圆轴扭转	85
课题一 扭转的概念	85
课题二 圆轴扭转时横截面上的内力	85
课题三 圆轴扭转时横截面上的应力	88
课题四 圆轴扭转时的变形	90
课题五 圆轴扭转时的强度和刚度计算	91
小结	94
讨论与交流	95
习题	96

单元八 弯曲	98
---------------	----

课题一 平面弯曲梁的计算简图	98
课题二 平面弯曲时横截面上的内力	100
课题三 剪力图 弯矩图	103
课题四 纯弯曲时横截面上的应力	109
课题五 梁的正应力强度计算	110
课题六 提高弯曲强度的主要措施	115
课题七 梁的变形及计算	119
课题八 梁的刚度计算及提高弯曲刚度的主要措施	124
小结	126
讨论与交流	127
习题	127

单元九 压杆稳定	132
课题一 压杆稳定的概念	132
课题二 临界力和临界应力	134
课题三 压杆稳定校核与提高压杆稳定性的措施	137
小结	140
讨论与交流	141
习题	142

综 合 篇

单元十 轮轴类构件的平衡	147
课题一 空间力系的概念	147
课题二 力在空间直角坐标轴上的投影及力对轴之矩	148
课题三 轮轴类构件的平衡问题	150
课题四 重心和形心	153
小结	158
讨论与交流	159
习题	159

单元十一 组合变形	162
课题一 组合变形的概念	162
课题二 弯曲与拉伸(压缩)组合变形的强度计算	163
课题三 圆轴弯曲与扭转组合变形的强度计算	166
小结	170
讨论与交流	170
习题	171



单元十二 动载荷与疲劳破坏	173
课题一 动载荷的概念	173
课题二 加速度引起的动载荷问题	173
课题三 冲击载荷问题	176
课题四 交变应力与疲劳破坏	179
小结	185
讨论与交流	185
习题	186
单元十三 刚体的基本运动	187
课题一 刚体的平行移动	187
课题二 刚体绕定轴转动	190
课题三 定轴转动刚体内各点的速度和加速度	192
小结	196
讨论与交流	197
习题	198
附 录	199
附录 A 热轧等边角钢截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性(GB/T 706—2008)	199
附录 B 热轧槽钢截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性(GB/T 706—2008)	205
附录 C 热轧工字钢截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性(GB/T 706—2008)	208
参考文献	211

绪 论

一、工程力学的研究对象及主要内容

工程力学是一门研究物体机械运动一般规律以及构件强度、刚度和稳定性的科学，包括静力分析、运动及动力分析、构件承载能力分析三部分。

机械运动是指物体在空间的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，在一些较高级、较复杂的运动中，也包含或伴随着机械运动。天体的运动、车辆的运行、水的流动、机器的转动等，都是机械运动。

静力分析主要研究物体在力的作用下的平衡规律。

在工程实际中，经常要用到静力分析知识。例如，图 0-1 所示的曲柄连杆机构，为了合理地确定曲轴、连杆等零件的尺寸，就必须分析它们在工作时的受力情况。又如图 0-2 所示单拉系统，修理碰撞的汽车时使用的单拉系统，首先要对塔座、立柱、液压梁等构件进行受力分析，再运用力系的平衡条件，求出这些力中的未知量，这些都属于静力分析问题。

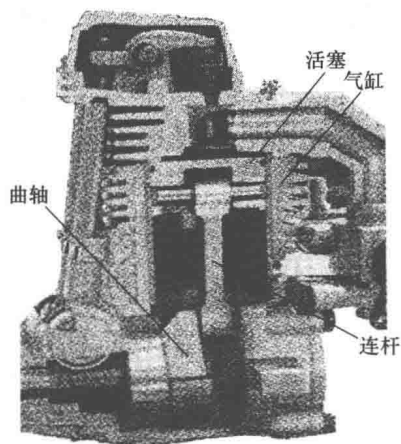


图 0-1

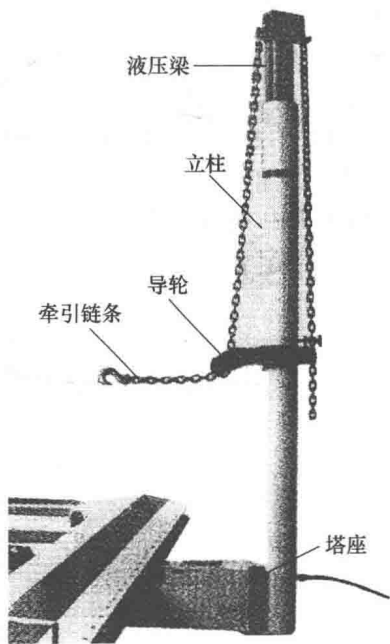


图 0-2

运动及动力分析是从几何的角度来研究物体运动的规律,以及物体的运动与其所受力之间的关系。

在机械传动设计时,要分析各部分之间的运动传递与转换,研究某些点的轨迹、速度和加速度。例如,在汽车运行时(图 0-3),已知发动机的转速,求汽车的行驶速度,这就属于运动分析问题。



图 0-3

建筑物、设备和机器等都是由构件组成的。构件在工作时,总要受到外力的作用。为了使构件在外力的作用下能正常工作而不损坏,也不发生过度的变形,不丧失稳定,这就要求构件具有一定的强度(外力作用下构件抵抗破坏的能力)、刚度(构件抵抗变形的能力)和稳定性(保持原有平衡状态的能力)。

构件的承载能力分析就是研究构件在外力作用下的强度、刚度和稳定性等基本理论和计算方法,以保证构件安全、正常工作。

二、工程力学在工程技术中的地位和作用

工程力学是工科各类专业中一门重要的技术基础课程,在基础课及专业课中起桥梁作用,是后继课程(如机械原理、机械零件、结构力学、建筑结构等)的重要基础。

在进行课程设计时,首先要运用静力分析知识对机构整体及各零部件进行受力分析;然后运用运动分析知识进行转速和轴的转矩与转速、功率的计算;最后在选择材料、确定截面形状及尺寸时,则需要运用构件的承载能力分析知识。

力学理论的建立是以对自然现象的观察和生产实践的经验为主要依据的,它来源于实践,经过科学的抽象和归纳又回到实践,服务于实践。因此,工程力学对于我们今后研究问题、分析问题和解决问题有很大帮助。

基 础 篇

本篇包括构件的静力分析，平面力系的简化、平衡，杆件基本变形时的内力、应力分析和强(刚)度计算，压杆稳定性计算。

单元一 静力分析基础

静力分析是工程力学的基础,工程实际中存在着大量的静力分析问题。例如图 1-1 所示的油压夹紧装置,为了使压板始终压紧而不松脱,就必须分析压板的受力情况。又如桥式起重机(图 1-2),它由桥架、横梁、起重机和钢丝绳等构件所组成。为了保证起重机能正常工作,设计时必须分析各构件所受的力。

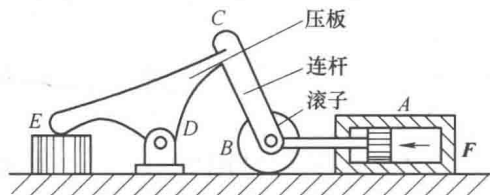


图 1-1

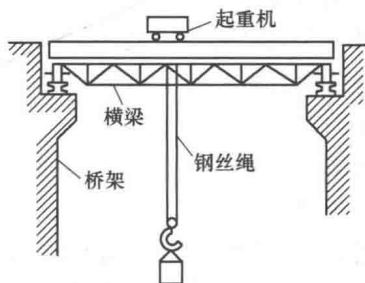


图 1-2

静力分析主要研究物体在力的作用下的平衡规律。

所谓平衡,是指物体相对于地面处于静止或匀速直线运动的状态。

在静力分析时,我们忽略物体的变形,将所研究的物体看成是刚体。刚体是指在外力作用下几何尺寸和形状都不发生变化的物体。刚体在现实中是不存在的,是理想化的模型。

在构件的承载能力分析中,讨论物体受力时的变形以及破坏情况时,变形成为一个主要的因素,因此必须将物体看成是变形体。而研究刚体平衡条件所运用的静力分析,对于变形体来说也是必要的。

课题一 力的概念

一、力

力是物体间相互的机械作用。这种作用使物体的运动状态和形状尺寸发生改变。力使物体的运动状态发生变化,称为力的外效应。例如,物体加速下落、汽车制动等都属运动状态发生变化。力使物体的几何尺寸和形状发生变化,称为力的内效应。例如,弹簧伸长、机器的轴变弯、混凝土被压碎等都属于力的内效应。

力对物体的作用效果取决于三个要素:力的大小、力的方向和力的作用点。这三个要素中,有任何一个要素改变,力的作用效果就会改变。

力是矢量,用有向线段表示。有向线段(按一定比例尺)的长度表示力的大小,箭头指

向表示力的方向,矢量的始端或终端表示力的作用点,如图 1-3 所示。本书中用黑体字母表示矢量,如 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{G}$;用明体字母表示该矢量的大小,如 F 、 G ;书写时则可在符号上加个箭头表示矢量,如 $\vec{F}$ 、 $\vec{G}$ 。

力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN), $1\text{kN} = 1000\text{N}$ 。

二、力偶

力学中,把作用在同一物体上,大小相等、方向相反,作用线平行但不共线的一对力称为力偶,它使物体转动。例如,用两个手指拧动水龙头、开门锁所施加的都是力偶。有关内容将在单元二详述。

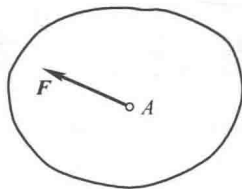


图 1-3

三、力系

作用在物体上的一组力称为力系。

如果一个力系的作用能用另一个力系来代替,而不改变对物体的作用效果,则称这两个力系是等效的,它们互为等效力系。如果一个力的作用等效于一个力系的作用,则这个力称为该力系的合力。力系中的每一个力都是其合力的分力。

使物体处于平衡状态的力系称为平衡力系。物体处于平衡状态必须满足的条件,称为力系的平衡条件。

依据力的作用线是否共面可将力系分为空间力系与平面力系。力的作用线在一个平面上的力系为平面力系;力的作用线不共面,则为空间力系。按力的作用线是否相交可将力系分为汇交力系、平行力系与任意力系。作用线相互平行的力系为平行力系,如屋面板所受重力即为平行力系;力的作用线相互汇交于一点的力系是汇交力系,如起吊重物时吊钩的受力;力的作用线既不相互汇交于一点也不相互平行的力系叫做任意力系,如行驶中列车的受力和机器转动中轴的受力。

按力的作用范围可将力系分为集中力(集中载荷)、分布力(分布载荷)。当力的作用范围相对于结构或构件的尺寸很小时,可以将其简化为作用在结构或构件某一点上,即集中力。而连续分布在物体上的力叫做分布力。分布在整个构件内部各点上的力是体分布力,如重力;分布在构件表面上的力是面分布力,如土、水、风雪压力等。有些分布载荷是均匀分布的,称为均布载荷,如工字梁自重(图 1-4)。

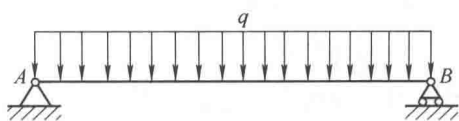


图 1-4

分布力的大小用载荷集度 q 来表示。体分布力的单位为牛顿/米³(N/m^3)或千牛顿/米³(kN/m^3),面分布力的单位为牛顿/米²(N/m^2)或千牛顿/米²(kN/m^2)。

工程设计中,常常需要将体、面分布力简化为连续分布在某一段长度(如杆件轴线)上的力,称为线分布力,单位为牛顿/米(N/m)或千牛顿/米(kN/m)。

课题二 力的基本性质

性质一 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相



等、方向相反，且作用在同一直线上。

凡是不计自重只在两点受力而处于平衡状态的构件，称为二力构件。二力构件的形状可以是直杆也可以是曲杆或折杆，因只有两个受力点，故力的方向必在两受力点连线上。在结构中找到二力构件，对物体的受力分析至关重要。

性质二 力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力，其合力也作用在该点上，合力的大小和方向由这两个力为邻边所作的平行四边形的对角线确定。由矢量合成法，有

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

如图 1-5 所示， $\mathbf{F}_R$ 即为 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的合力。

由两个力求合力，解是唯一的；反过来由合力求两个分力，有无穷多个解。通常将合力沿两个互相正交的方向分解为两个分力，即合力的正交分解。如图 1-6 所示，常将力 $\mathbf{F}$ 沿水平方向及垂直方向分解为 $\mathbf{F}_x$ 、 $\mathbf{F}_y$ 两个分力， $F_x = F \cos \alpha$ 、 $F_y = F \sin \alpha$ 。

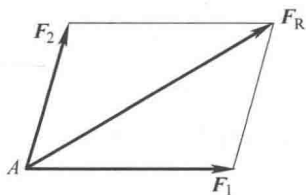


图 1-5

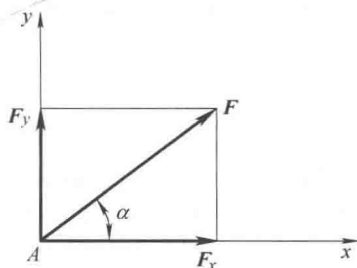


图 1-6

性质三 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效应。

力的可传性原理：作用在刚体上某点的力，沿其作用线移到刚体内任一点，不改变它对刚体的作用。例如，实践中用力 $\mathbf{F}$ 拉车及用等量的力去推车，效果是一样的。

由力的可传性原理可以看出，作用于刚体上的力的三要素为：力的大小、方向和力的作用线位置，不再强调力的作用点。

需要说明的是，公理一、三及推论，只对刚体适用，而不适用于变形体。

性质四 作用力与反作用力公理

当甲物体给乙物体一作用力时，甲物体也同时受到乙物体的反作用力，且两个力大小相等、方向相反、作用在一直线上。

课题三 约束与约束力

自然界中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。在工程结构中，每一构件都根据工作要求以一定方式和周围其他构件联系着，它的运动因而受到一定的限制。例如，梁由于墙的支承而不致下落，列车只能沿轨道行驶，门、窗由于合页的限制只能绕固定轴转动等。

一、约束及约束力

凡是对一个物体的运动(或运动趋势)起限制作用的其他物体,就称为这个物体的约束。

能使物体运动或有运动趋势的力称为主动力。主动力往往是给定的或已知的,例如物体的重力、电磁力、水压力、土压力、风压力等。

约束既然限制物体的运动,也就给予该物体以作用力。约束作用在被约束物体上的作用力称为约束力。例如,梁压在墙上,给墙以压力,墙阻止梁下落而反作用于梁一向上的支承力,即墙给梁的约束力。约束力的方向总是与约束所限制的物体运动趋势方向相反。

约束力的方向与约束的性质有关,下面介绍几种工程中常见的约束类型。

二、工程上常见的约束

1. 柔性约束

绳索、链、带等柔性物体所形成的约束即为柔性约束。作为约束,它只能限制被约束物体沿其中心线伸长方向的运动,而无法阻止物体沿其他方向的运动。因此,柔性约束产生的约束力,总是通过接触点沿着柔体中心线背离被约束物体,一般用 F_T 表示。例如,图 1-7a 所示的一重物,用链、钢丝绳悬吊。重物的受力情况如图 1-7b 所示,链的约束力 F_{TA} 、 F_{TB} 应分别沿着链 AC 、 BC ; 吊钩 C (看作一个点) 的受力情况如图 1-7c 所示,链拉力 F'_{TA} 、 F'_{TB} 应分别沿 CA 、 CB , 背离 C 点, 钢丝绳的约束力 F_T 应沿钢丝绳, 向上。

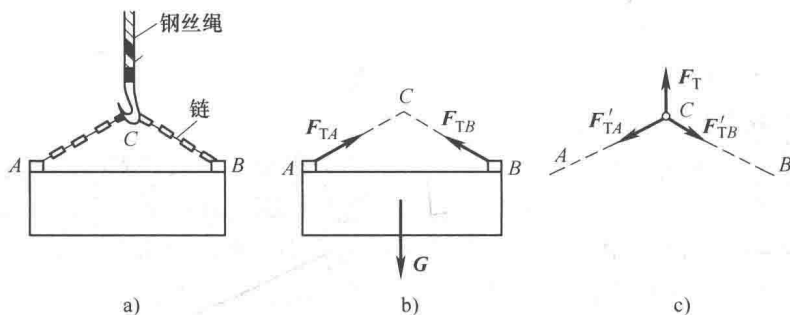


图 1-7

当柔软的绳、链或带绕过轮子时,它们给轮子的力只能沿柔索的中心线,背离轮子。图 1-8a 所示为一差动滑轮,图 1-8b 画出了各段链分别给轮 I 和轮 II 的力 F 、 F'_{T1} 、 F'_{T2} 和 F_{T1} 、 F_{T2} 。

2. 光滑面约束

这种约束与被约束物体的接触处是光滑的。它只能限制物体沿接触处公法线方向的运动,而不能阻止物体沿光滑接触面切线方向的运动,因此,光滑面约束的约束力总是通过接触点沿接触面的公法线而指向被约束物体,一般用 F_N 表示。

如图 1-9a 所示,二曲面接触, $\tau-\tau$ 为公切面(线),约束仅能限制球体沿接触处公法线 $n-n$ 向约束体内的运动,所以,光滑面约束对球体产生的约束力为作用于 A 点的压力 F_{NA} 。

图 1-9b 为一矩形构件搁置在槽中的情况,直杆有 A 、 B 、 C 三个点与固定的槽壁相接触,三处的约束力 F_{NA} 、 F_{NB} 、 F_{NC} 均为公法线方向,并且指向矩形直杆的压力。

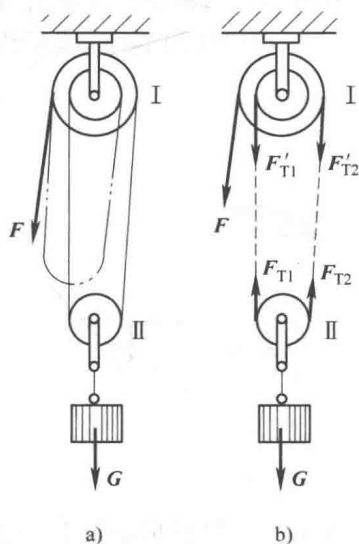


图 1-8

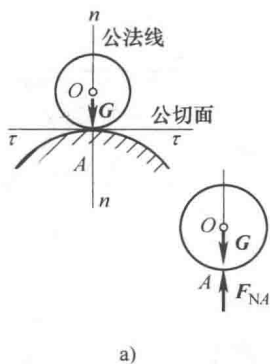


图 1-9

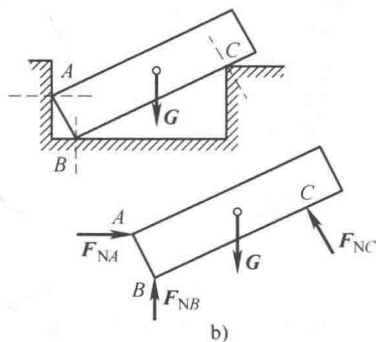


图 1-10 为机械夹具中 V 形块的受力情况，各接触处均为光滑接触。

3. 光滑圆柱铰链约束

圆柱铰链是用一圆柱形销钉将两个构件联接在一起(图 1-11a)，联接方式为用销钉插入两构件的圆孔中，且认为销钉与圆孔的表面都是完全光滑的。门、窗用的合页，起重机动臂与机座的连接等都是铰链约束的实例。

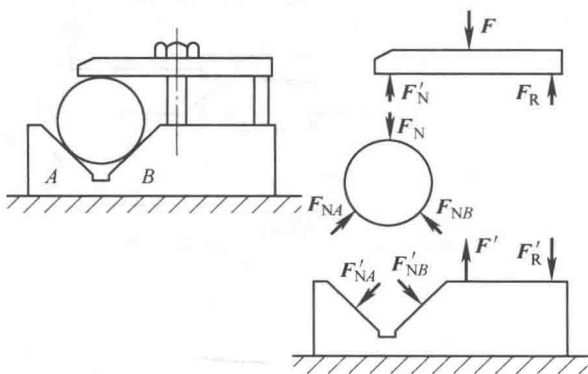


图 1-10

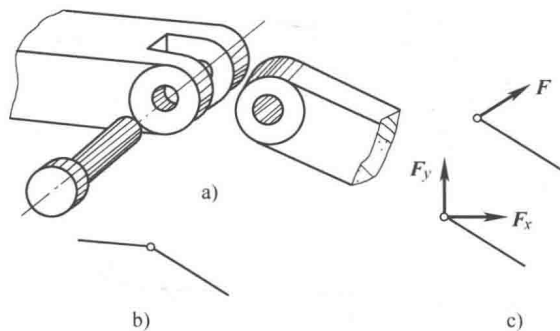


图 1-11

铰链简图如图 1-11b 所示。铰链连接中销钉只能阻止被约束的两构件的相对移动，但不能限制构件绕圆孔中心的相对转动。其约束力 F 应沿接触点处的公法线，通过铰链中心(销钉中心)，如图 1-11c 所示。但接触处的位置与被约束构件的受力情况有关，不能判定，因此 F 的方向未定，常常用过销钉中心沿 x 、 y 轴正向的两个约束力 F_x 、 F_y 表示。

4. 支座

固定于基础或静止的支承面上的铰链支座称作固定铰支座。如图 1-12 所示的弧形闸门，在 A 处将腿架末端与固定构件用圆柱销钉连接，就是一个固定铰支座的实例。