



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等职业院校机械设计制造类专业任务驱动型教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写



中国劳动社会保障出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等职业院校机械设计制造类专业任务驱动型教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

主编 丁步温 张丽



中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/丁步温、张丽主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2009
高等职业技术学院机械设计制造类专业任务驱动型教材
ISBN 978-7-5045-6630-0

I. 机… II. ①丁…②张… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 146990 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

新华书店经销

北京地质印刷厂印刷 三河市华东印刷装订厂装订
787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 481 千字
2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

定价: 35.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

前 言

为贯彻落实《中共中央办公厅国务院办公厅关于进一步加强高技能人才工作的意见》(中办发[2006]15号),满足高等职业技术学院教学改革的需求,人力资源和社会保障部教材办公室组织一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师与行业、企业一线专家,对高等职业技术学院的机械设计制造类专业(包括数控技术、模具设计与制造)的课程设置和教学大纲进行了充分的研究和探讨,提出了改革方案,并承担了部分课程“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”的编写工作。

在教材的编写过程中,我们贯彻了以下编写原则:

一是充分汲取高等职业技术学院在探索培养高等技术应用型人才方面取得的成功经验和教学成果,从职业(岗位)分析入手,以就业为导向确定相关课程的教学目标;二是以国家职业标准为依据,使内容分别涵盖数控铣工、加工中心操作工等国家职业标准的相关要求,推动双证书制度的贯彻;三是倡导先进的教学理念,以技能训练为主线、相关知识为支撑,较好地处理了理论教学与技能训练的关系,切实体现了“管用、够用、适用”的教学指导思想;四是突出教材的先进性,较多地编入新技术、新设备、新材料、新工艺的内容,以期缩短学校教育与企业需要的距离,更好地满足企业用人的需要;五是改进教材呈现形式,以图代文、以表代文,使学生易于理解,以提高他们的学习兴趣。

在上述教材的编写过程中,得到有关省市教育部门、人力资源和社会保障部门以及一些高等职业技术学院的大力支持,教材的诸位主编、参编、主审等做了大量的工作,在此我们表示衷心的感谢!同时,恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议,以便修订时加以完善。

人力资源和社会保障部教材办公室

2008年12月

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。根据高等职业技术学院教学实践，由人力资源和社会保障部教材办公室组织编写。主要内容有：静力学、材料力学、螺纹连接与螺旋传动、带传动与链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、轴系零部件、轴承、回转体的平衡、平面连杆机构、凸轮机构、步进运动机构。

本书为高等职业技术学院机械设计制造类专业教材，也可作为成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的机械设计制造类专业教材，或作为自学用书。

本书由丁步温、张丽主编，王敏涛、贾利敏副主编，由曹振法、徐明地、燕洪钊、赵龙阳、王金明参加编写。由陈海魁主审，邵峰参审。

目 录

《普通高等教育“十一五”国家级规划教材》 CONTENTS

第一篇 工 程 力 学

模块一 静力学	1
课题一 构件的受力分析、画受力图	2
课题二 平面汇交力系	13
课题三 平面力偶系	18
课题四 平面任意力系	25
课题五 空间力系	31
模块二 材料力学	40
课题一 拉伸与压缩	40
课题二 剪切与挤压	46
课题三 圆轴扭转	52
课题四 弯曲变形	60

第二篇 机械传动及机械零件

模块三 螺纹连接与螺旋传动	77
课题一 螺纹连接	78

课题二 螺旋传动	96
模块四 带传动与链传动	106
课题一 平带传动	106
课题二 V 带传动	111
课题三 链传动	130
模块五 齿轮传动	146
课题一 设计直齿圆柱齿轮传动	146
课题二 设计斜齿圆柱齿轮传动	160
模块六 蜗杆传动	173
课题一 设计蜗杆传动	174
课题二 蜗杆传动的维护	191
模块七 轮系	196
课题一 定轴轮系	197
课题二 周转轮系	206
模块八 轴系零部件	212
课题一 轴	213
课题二 键连接	224
课题三 联轴器和离合器	232
模块九 轴承	242
课题一 滑动轴承	243
课题二 滚动轴承	253
模块十 回转体的平衡	272
课题一 回转体的静平衡	272
课题二 回转体的动平衡	277
模块十一 平面连杆机构	284
课题一 认识铰链四杆机构	285

课题二 设计平面连杆机构.....	291
模块十二 凸轮机构	299
课题一 认识凸轮机构.....	299
课题二 设计凸轮轮廓曲线.....	304
模块十三 步进运动机构	314
课题一 棘轮机构.....	314
课题二 槽轮机构.....	320

第一篇 工程力学

模块一

静力学

静力学主要研究两个基本问题：一是力系的简化；二是物体在力系作用下的平衡条件及其应用。

物体的平衡是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。物体若处于平衡状态，则作用于物体上的力系（指作用于同一物体上的一组力）必须满足一定的条件，这些条件称为力系的平衡条件。平衡时的力系称为平衡力系。图 1—1 所示吊环 A 在吊起工字梁时受 F_1 、 F_2 和 F 三力作用并处于平衡状态。

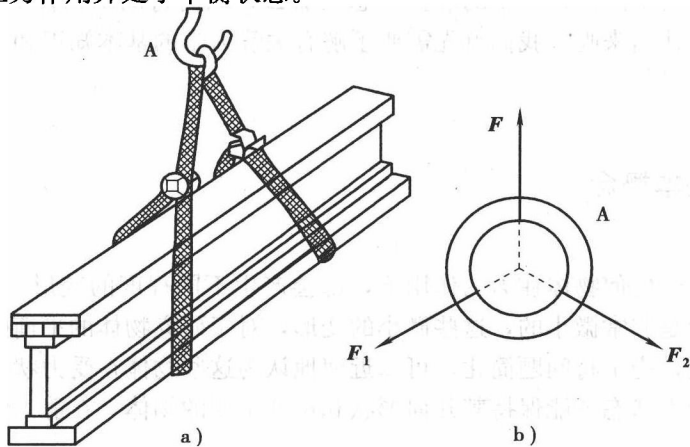


图 1—1 吊环在力系作用下平衡

课题一 构件的受力分析、画受力图

任务1 分析梯子的受力并画受力图

能力点

- ◎ 掌握平衡状态下物体的受力分析方法
- ◎ 能够准确画出物体的受力图

知识点

- ◎ 明确力、刚体、平衡和约束的概念
- ◎ 掌握静力学公理
- ◎ 熟悉柔性约束、光滑面约束的性质及相应约束反力的特征

任务引入

所受重力为 G 的梯子 AB ，一端放置在光滑的水平地面上，另一端靠在铅直墙上，在 D 点通过一根水平绳索与墙相连，如图 1—2 所示。试分析梯子的受力情况并画出受力图。

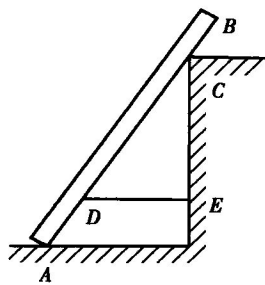


图 1—2 平衡状态下的梯子

任务分析

确定梯子为研究对象，从图 1—2 中可以看出梯子受到重力（地球引力）作用，有向下运动的趋势，但由于受到光滑地面和墙的支撑，不能向下移动，同时又受到水平绳索的作用，不能沿水平方向滑动。显然，地面、墙和绳索都对梯子的运动有限制作用，但它们的作用形式和效果有所不同。失去了地面、墙和绳索的限制作用，梯子将不能保持原来的静止状态。那么，如何将周围物体对梯子的这些作用，通过图形清楚地表达出来呢？我们首先需要了解有关静力学的基本知识和受力图的画法。

相关知识

一、静力学的基本概念

1. 刚体

在工程实际中，任何物体在力的作用下，都会产生不同程度的变形，如图 1—2 中的梯子，但通常变形量是非常微小的，这些微小的变形，对于研究物体的平衡问题影响极小，可以忽略不计。因此，为了将问题简化，可以近似地认为这些物体在受力状态下是不变形的刚体。刚体是指在受力状态下能保持其几何形状和尺寸不变的物体。在静力学中，我们所研究的对象仅限于刚体。

2. 力

力的概念产生于人类生活和生产实践当中。当人们用手握、拉、掷及举起物体时，会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，水流能推动水轮机旋转，锤子的敲打会使烧红的铁块变形等。

(1) 力的定义

从图 1—2 中可以看出，梯子受到地球引力作用，有向下运动的趋势。地面、墙以及绳索对梯子的作用，限制了梯子的运动，使其保持静止状态。地面、墙和绳索对梯子都有力的作用。由此得出：力是物体间的相互机械作用。这种作用使物体的机械运动状态发生变化，或者使物体产生变形。前者称为力的外效应，后者称为力的内效应。由于静力学以刚体为研究对象，因此，只研究力的外效应。

(2) 力的三要素

实践证明，力对物体的作用效应，取决于力的大小、方向（包括方位和指向）和作用点的位置，这三个因素称为力的三要素。在这三个要素中，如果改变其中任何一个，也就改变了力对物体的作用效应。

(3) 力是矢量

既有大小，又有方向的物理量称为矢量。力既有大小，又有方向，因此力是矢量。

矢量用一个带箭头的线段来表示（见图 1—3），线段 AB 的长度按一定比例代表力的大小，线段的方位和箭头指向表示力的方向，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。黑体字 F 、 P 等，代表力矢，并以同一字母的非黑体字 F 、 P 等，代表该矢量的大小。

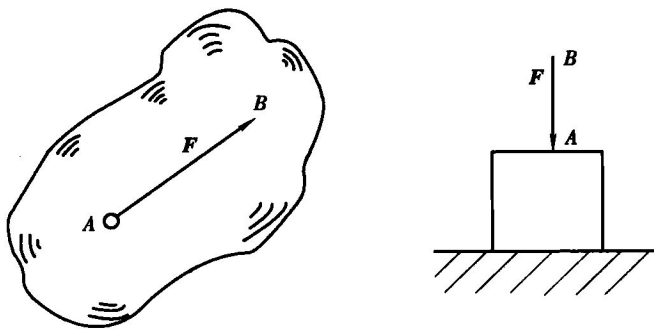


图 1—3 力的矢量表示

(4) 力的单位

力的国际制单位是牛顿或千牛顿，其符号为 N 和 kN 。

3. 平衡

如图 1—2 所示的梯子在重力、绳子的拉力、地面的支撑力、墙面的支撑力的作用下不会沿地面滑动，不会摆动而保持静止状态，即处于平衡。所谓物体的平衡是指物体相对地球保持静止或作匀速直线运动的状态。事实上，任何物体皆处于永恒的运动中，即运动是绝对的、无条件的。如在地面上看来是静止的房屋，实际上仍随着地球的自转和公转而运动。因

此，静止总是相对地球而言的。

4. 受力图

在工程实际中，为了清晰地表示物体的受力情况，常需把所研究的物体（称为研究对象）从限制其运动的周围物体中分离出来，单独画出它的简图，然后上面画出物体所受的力。这样的图称为物体的受力图。画受力图是解决工程力学问题的基本能力，必须熟练掌握。

二、静力学公理

人们在长期的生活和生产实践中，发现和总结出一些最基本的力学规律，又经过实践的反复检验，证明是符合客观实际的普遍规律，于是就把这些规律作为力学研究的基本出发点。这些规律称为静力学公理。

公理一 二力平衡公理

刚体仅受两力作用而平衡的充分必要条件是：两个力大小相等，方向相反，并作用在同一条直线上，即 $F_A = -F_B$ （见图 1—4）。

这个公理揭示了作用于物体上的最简单的力系在平衡时所必须满足的条件，它是静力学中最基本的平衡条件。

只受两个力作用而平衡的物体称为二力体。机械和建筑结构中的二力体常常统称为“二力构件”。它们的受力特点是：两个力的方向必在二力作用点的连线上。应用二力体的概念，可以很方便地判定结构中某些构件的受力方向。如图 1—5 所示三铰拱中的 AB 部分，当车辆不在该部分上且不计自重时，它只可能通过 A、B 两点受力，是一个二力构件，故 A、B 两点的作用力必沿 AB 连线的方向。

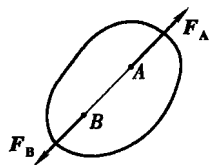


图 1—4 二力平衡

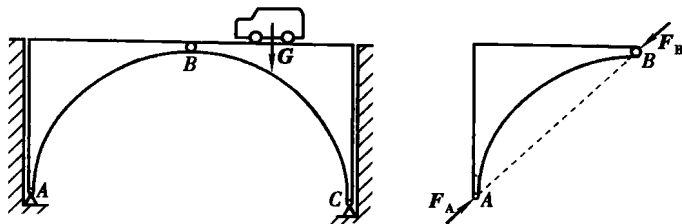


图 1—5 二力体

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系上，加上或减去任一平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效应。

这个公理常被用来简化某一已知力系。依据这一公理，可以得出一个重要推论：作用于刚体上的力可以沿其作用线移至刚体内任一点，而不改变该力对刚体的作用效应。这个推论被称为力的可传性原理。

例如，图 1—6 中在车后 A 点加一水平力推车，与在车前 B 点加一水平力拉车，其效果是一样的。

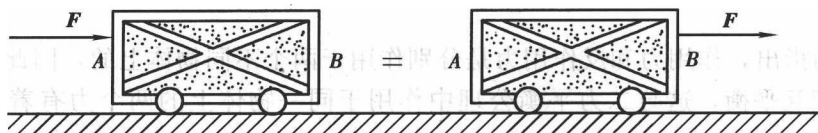


图 1—6 力的可传性原理示意图

力的可传性原理只适用于刚体，对变形体不适用。

公理三 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个合力，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确定。即合力矢等于这两个分力矢的矢量和。如图 1—7 所示，其矢量表达式为：

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

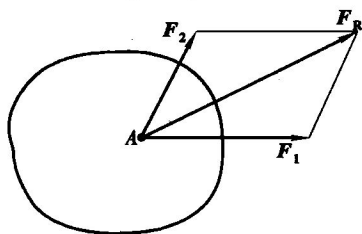


图 1—7 力的平行四边形法则

从图 1—7 可以看出，在求合力时，实际上只需作出力的平行四边形的一半，即一个三角形就行了。为了使图形清晰，通常把这个三角形画在力所作用的物体之外。如图 1—8a 所示，其方法是自任意点 O 先画出一力矢 $\mathbf{F}_1$ ，然后再由 $\mathbf{F}_1$ 的终点画一力矢 $\mathbf{F}_2$ ，最后自 O 点至力矢 $\mathbf{F}_2$ 的终点作一矢量 $\mathbf{F}_R$ ，它就代表 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的合力。合力的作用点仍为汇交点 A 。这种作图方法称为力的三角形法则。在作力三角形时，必须遵循这样一个原则，即分力力矢首尾相接，但次序可变（见图 1—8b），合力力矢与最后分力箭头相接。此外还应注意，力三角形只表示力的大小和方向，而不表示力的作用点或作用线。

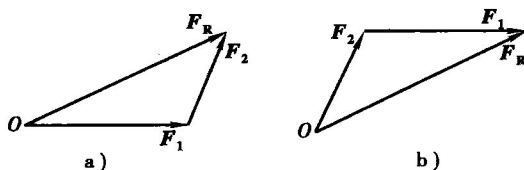


图 1—8 力的三角形法则

力的平行四边形法则总结了最简单的力系简化规律，它是较复杂力系合成的主要依据。

公理四 作用与反作用公理

当一个物体对另一个物体有作用力时，必然同时引起另一物体对它的反作用力，此作用力与反作用力，总是大小相等，方向相反，作用线相同，并分别作用在这两个相互作用的物体上。

这个公理概括了自然界物体间相互作用的关系，表明了作用力和反作用力总是成对出现的。

必须强调指出，作用力和反作用力是分别作用于两个不同物体上的，因此，决不能认为这两个力相互平衡，这与二力平衡公理中作用于同一物体上的两个力有着本质上的区别。

三、约束和约束反力

1. 约束和约束反力的概念

从图 1—2 中可以看出，梯子受到地面、墙和绳索的限制不能下落，地面、墙和绳索分别构成了对梯子的约束。又如门受到铰链限制，只能绕铰链轴线转动，铰链构成了对门的约束。我们把这种对物体运动起限制作用的周围物体称为约束，受到约束作用的物体称为被约束物体。

物体所受的力一般可分为主动力和约束反力。能够促使物体产生运动或运动趋势的力称为主动力。这类力包括重力和一些作用载荷，主动力通常是已知的。当物体沿某一方向的运动受到约束限制时，约束必然对该物体有力的作用，这种力称为约束反作用力，简称约束反力。约束反力的方向与它所限制物体的运动或运动趋势的方向相反，一般情况下是未知力。

2. 柔性约束

由柔软的绳索、传动带、链条等柔性物体所构成的约束称为柔性约束。柔性约束只能承受拉力，而不能承受压力，只能限制被约束物体沿柔性约束的中心线离开约束的运动，而不能限制被约束物体向其他方向的运动。因此柔性约束反力作用于连接点，方向沿着柔性件的中心线背离被约束物体，通常用符号 T 表示，如图 1—9 所示。

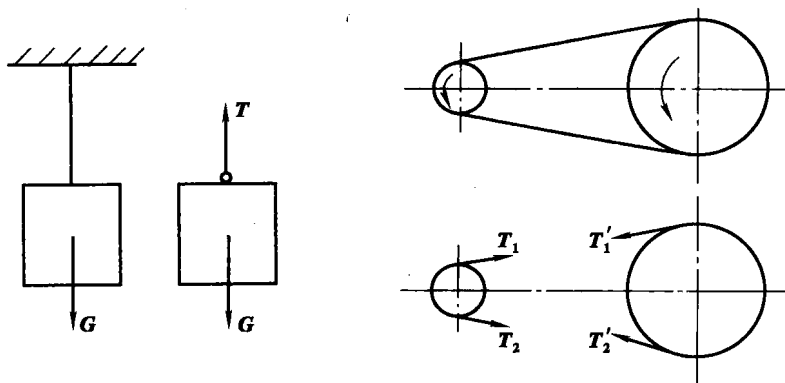


图 1—9 柔性约束

3. 光滑面约束

两个相互接触的物体，不计摩擦，它们之间的约束称为光滑面约束。受此类约束的物体可在光滑的支撑面上自由滑动，也可向离开支撑面的方向运动。光滑面约束反作用力通过接触点，方向总是沿接触面公法线而指向受力物体，通常用符号 N 或 F_N 表示此类约束反力，如图 1—10 所示。

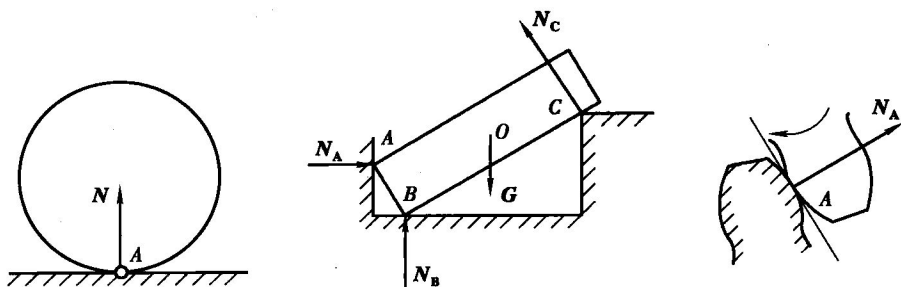


图 1—10 光滑面约束

任务实施

1. 取梯子 AB 为研究对象，把梯子从周围环境中分离出来。

2. 梯子的受力分析

(1) 梯子 AB 受到本身重力 G 的作用（作用于梯子中心 O 点，铅直向下）。

(2) 在 A 点，地面支撑梯子，属于光滑面约束。

梯子在 A 点受到地面的约束反力 F_{NA} ，作用于接触点 A ，垂直于地面向上。

(3) 在 D 点，梯子受到绳子的拉力，属于柔性约束。

梯子在 D 点受到的约束反力即绳索的拉力，作用于 D 点，沿着绳索方向，用 F_T 表示。

(4) 在 C 点，墙支撑梯子，同样属于光滑面约束。

梯子在 C 点受到墙面的约束反力 F_{NC} ，作用于接触点 C ，垂直于梯子。

3. 画出梯子所受的各力，准确标注作用点字母、各力矢符号，即得梯子的受力图，如图 1—11 所示。

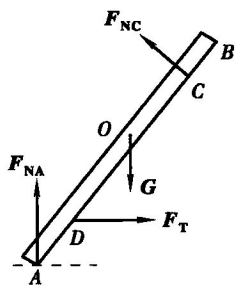


图 1—11 梯子的受力图

任务2 分析简支梁的受力并画受力图

能力点

- ◎ 熟练掌握物体受力分析的方法
- ◎ 能够准确画出物体的受力图

知识点

- ◎ 掌握铰链约束性质及其约束反力的特点
- ◎ 掌握三力平衡汇交定理

任务引入

如图 1—12 所示的简支梁 AB , A 端为固定铰支座, B 端为活动铰支座。在 C 处受到已知力 F 的作用, 如果梁的自重不计, 要求对梁进行受力分析, 并画出梁 AB 的受力图。

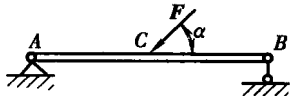


图 1—12 平衡状态下的简支梁

任务分析

确定梁 AB (其自重忽略不计) 为研究对象, 从图 1—12 中可以看出, 梁 AB 在 C 处受到外力 F 的作用, 使得梁有沿着力的方向产生运动的趋势。由于受到 A 、 B 两端铰链支座的限制, 使得梁保持平衡。由于 B 端铰链支座是活动的, 不能限制梁在外力下沿 B 端支撑面水平方向的移动, 只能限制梁在垂直于支撑面方向的运动。 A 端铰链支座是固定的, 既能限制梁水平方向的移动, 也能限制梁竖直方向的运动, 但不能限制梁在外力下绕 A 端铰链中心转动。由此可见, A 、 B 两端铰链支座对梁的约束限制作用, 与我们已讨论的柔性约束和光滑面约束有所不同。那么这种约束具有哪些特点? 其约束反力如何表示? 下面我们就讨论铰链约束的性质及其约束反力的特点, 以进一步掌握对物体进行受力分析、画受力图的基本方法和步骤。

相关知识

一、铰链约束

如图 1—12 所示, 梁 AB 通过铰链与支撑面连接起来, 这种由铰链构成的约束, 称为铰链约束。这种约束采用圆柱销将两构件连接在一起, 如图 1—13 所示, 构件 A 、 B 只能绕圆柱销 C 转动, 不能相对移动。图 1—13c 所示为铰链约束结构简图。铰链约束应用广泛, 例如门和门框的连接即为铰链约束。常见的铰链约束有固定铰链支座约束和活动铰链支座约束。

1. 固定铰链支座约束

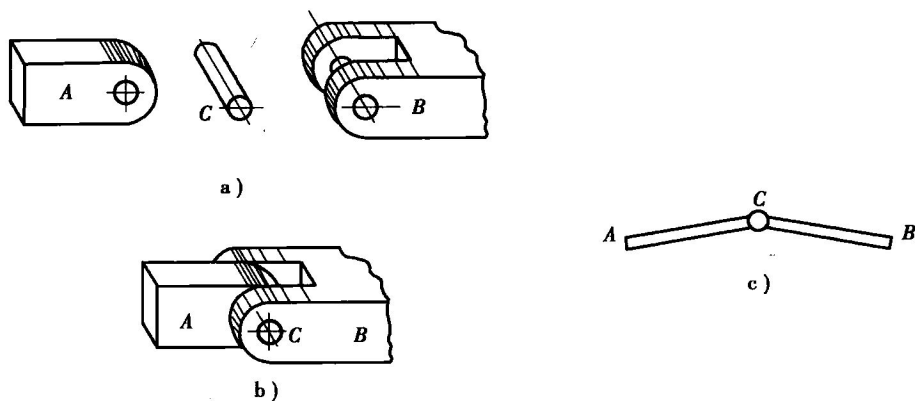


图 1—13 圆柱形铰链

在图 1—12 所示的机构中, 梁 A 端铰链支座与支撑面固定, 这种约束称为固定铰链支座约束, 如图 1—14a 所示。图 1—14b 所示为固定铰链支座约束的简化示意图。根据图 1—14a, 固定铰链支座约束能限制构件 A 沿圆柱销半径方向的移动, 但不限制其转动, 其约束反力必定通过圆柱销的中心, 但其大小及方向一般不能由约束本身的性质确定, 须根据构件受力情况才能确定。在画图 and 计算时, 这个方向未定的约束反力, 常用相互垂直的两个分力 F_{Rx} 和 F_{Ry} 来表示, 如图 1—14c 所示。

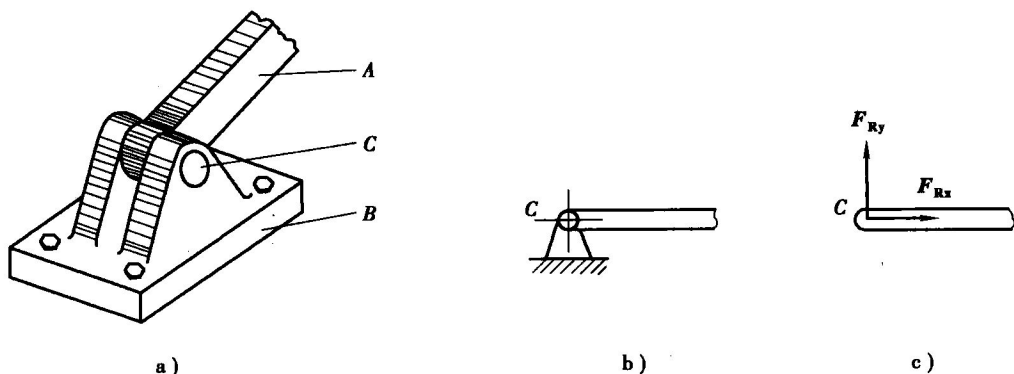


图 1—14 固定铰链支座约束及约束反力的表示

2. 活动铰链支座约束

在图 1—12 所示的简支梁中, 梁 B 端铰链支座下面装上辊轴, 使其能沿支撑面作水平方向的移动, 这种约束称为活动铰链支座约束, 如图 1—15a 所示。图 1—15b 为这种约束的简化示意图。由于这种支座通常还有特殊装置, 所以这种支座能够限制被连接件沿支撑面法线方向的上下运动, 所以它是一种双面约束。活动铰链支座的约束反力的作用线必通过铰链中心, 并垂直于支撑面, 其指向根据受到载荷的情况有两种可能, 如图 1—15c 所示, 用 F_R 表示。

工程中桥梁等结构, 一般是一端采用固定铰链连接, 而另一端采用活动铰链连接, 这样