

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

工程力学与机械设计基础

主 编 李翠梅 张学铭

副主编 张胜民



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

工程力学与机械设计基础

主 编 李翠梅 张学铭

副主编 张胜民



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学与机械设计基础/李翠梅, 张学铭编著. 北京:
北京师范大学出版社, 2005. 12 (2009. 3 重印)

(21 世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978 - 7 - 303 - 07816 - 5

I. 工… II. ①李…②张… III. ①工程力学—高等学校:
技术学校—教材②机械设计—高等学校: 技术学校—
教材 IV. ①TB12②TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 142145 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 北京东方圣雅印刷有限公司

装 订: 三河文成装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 184 mm×260 mm

印 张: 21.25

字 数: 442 千字

印 数: 3 001~6 000 册

版 次: 2009 年 3 月第 2 版

印 次: 2009 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

责任编辑: 周光明

装帧设计: 孙 琳

责任校对: 李 菡

责任印制: 马鸿麟

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010 - 58800697

北京读者服务部电话: 010 - 58808104

外埠邮购电话: 010 - 58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010 - 58800825

出版说明

随着我国经济建设的发展,社会对技术型应用人才的需求日趋紧迫,这也促进了我国职业教育的迅猛发展,我国职业教育已经进入了平稳、持续、有序的发展阶段。为了适应社会对技术型应用人才的需求和职业教育的发展,教育部对职业教育进行了卓有成效的改革,职业教育与成人教育司、高等教育司分别颁布了调整后的中等职业教育、高等职业教育专业设置目录,为职业院校专业设置提供了依据。教育部连同其他五部委共同确定数控技术应用、计算机应用与软件技术、汽车运用与维修、护理为紧缺人才培养专业,选择了上千家高职、中职学校和企业作为示范培养单位,拨出专款进行扶持,力争培养一批具有较高实践能力的紧缺人才。

职业教育的快速发展,也为职业教材的出版发行迎来了新的春天和新的挑战。教材出版发行为职业教育的发展服务,必须体现新的理念、新的要求,进行必要的改革。为此,在教育部高等教育司、职业教育与成人教育司、北京师范大学等的大力支持下,北京师范大学出版社在全国范围内筹建了“全国职业教育教材改革与出版领导小组”,集全国各地上百位专家、教授于一体,对中等高等职业院校的文化基础课、专业基础课、专业课教材的改革与出版工作进行深入的研究与指导。2004年8月,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”召开了“全国有特色高职教材改革研讨会”,来自全国20多个省、市、区的近百位高职院校的院校长、系主任、教研室主任和一线骨干教师参加了此次会议。围绕如何编写出版好适应新形势发展的高等职业教育教材,与会代表进行了热烈的研讨,为新一轮教材的出版献计献策。这次会议共组织高职教材50余种,包括文化基础课、电工电子、数控、计算机教材。2005年~2006年期间,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”先后在昆明、哈尔滨、天津召开高职高专教材研讨会,对当前高职高专教材的改革与发展、高职院校教学、师资培养等进行了深入的探讨,同时推出了一批公共素质教育、商贸、财会、旅游类高职教材。这些教材的特点如下。

1. 紧紧围绕教育改革,适应新的教学要求。过渡时期具有新的教学要

求，这批教材是在教育部的指导下，针对过渡时期教学的特点，以3年制为基础，兼顾2年制，以“实用、够用”为度，淡化理论，注重实践，消减过时、用不上的知识，内容体系更趋合理。

2. 教材配套齐全。将逐步完善各类专业课、专业基础课、文化基础课教材，所出版的教材都配有电子教案，部分教材配有电子课件和实验、习题指导。

3. 教材编写力求语言通俗简练，讲解深入浅出，使学生在理解的基础上学习，不囫圇吞枣，死记硬背。

4. 教材配有大量的例题、习题、实训，通过例题讲解、习题练习、实验实训，加强学生对理论的理解以及动手能力的培养。

5. 反映行业新的发展，教材编写注重吸收新知识、新技术、新工艺。

北京师范大学出版社是教育部职业教育教材出版基地之一，有着近20年的职业教育教材出版历史，具有丰富的编辑出版经验。这批高职教材的编写得到了教育部相关部门的大力支持，部分教材通过教育部审核，被列入职业教育与成人教育司高职推荐教材，并有25种教材列为“十一五”国家级规划教材。我们还将开发电子信息类的通信、机电、电气、计算机、工商管理等专业教材，希望广大师生积极选用。

教材建设是一项任重道远的工作，需要教师、专家、学校、出版社、教育行政部门的共同努力才能逐步获得发展。我们衷心希望更多的学校、更多的专家加入到我们的教材改革出版工作中来，北京师范大学出版社职业教育与教师教育分社全体人员也将备加努力，为职业教育的改革与发展服务。

全国职业教育教材改革与出版领导小组
北京师范大学出版社

参加教材编写的单位名单

(排名不分先后)

沈阳工程学院
山东劳动职业技术学院
济宁职业技术学院
辽宁省交通高等专科学校
浙江机电职业技术学院
杭州职业技术学院
西安科技大学电子信息学院
西安科技大学机械学院
天津渤海职业技术学院
天津渤海集团公司教育中心
连云港职业技术学院
景德镇高等专科学校
徐州工业职业技术学院
广州大学科技贸易技术学院
江西信息应用职业技术学院
浙江商业职业技术学院
内蒙古电子信息职业技术学院
济源职业技术学院
河南科技学院
苏州经贸职业技术学院
浙江工商职业技术学院
温州大学
四川工商职业技术学院

常州轻工职业技术学院
河北工业职业技术学院
太原理工大学轻纺学院
浙江交通职业技术学院
保定职业技术学院
绵阳职业技术学院
北岳职业技术学院
天津职业大学
北京轻工职工职业技术学院
石家庄信息工程职业学院
襄樊职业技术学院
九江职业技术学院
青岛远洋船员学院
无锡科技职业学院
广东白云职业技术学院
三峡大学职业技术学院
西安欧亚学院实验中心
天津机电职业技术学院
漯河职业技术学院
济南市高级技工学校
沈阳职业技术学院
江西新余高等专科学校
赣南师范学院

前 言

随着我国高等教育体制改革的深入,高等职业教育已进入快速发展的新阶段。为了适应高职高专以社会需求为目标、以就业为导向,培养更多的技术应用型人才,本书是根据教育部制定的《高职高专教育机械设计基础教学基本要求》并结合编者多年从事教学的经验编写而成的。可供机械类、近机类专业使用,参考学时为 120~150 学时。

本书的特点如下:

- (1)将工程力学、机械原理与机械零件三部分内容有机地结合在一起。
- (2)以培养技术人才为目标,贯彻基本理论以“必需、够用”为度的原则,删减了理论性较强的内容,而突出了应用性较强的教学内容。
- (3)尽量采用国际单位制和最新的国家标准。
- (4)书中插图多采用立体图、结构示意图,简明易懂。
- (5)章前有要点、章后有小结,便于学生掌握重点和复习总结。

参加本书编写的有:大同北岳职业技术学院张胜民(第 1~4 章);河南科技学院张学铭(第 5~8 章);大同北岳职业技术学院李翠梅(第 9~15 章),李翠梅、张学铭担任主编,李翠梅负责全书的统稿,张胜民担任副主编。

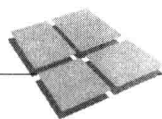
由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2005 年 6 月

目 录

上篇 工程力学

绪论	(1)	2.3 拉(压)杆的应力	(43)
第1章 静力学	(2)	2.4 拉(压)杆的变形、虎克定律	(47)
1.1 静力学的基本概念	(2)	2.5 材料在拉伸和压缩时的力学性能	(51)
1.2 静力学基本公理	(3)	2.6 拉(压)杆的强度条件及其应用	(56)
1.3 约束与约束的反力; 受力图	(4)	2.7 剪切和挤压的实用计算	(59)
1.4 平面汇交力系:几何法 ...	(7)	本章小结	(64)
1.5 力的分解和力的投影	(10)	习题2	(64)
1.6 平面汇交力系合力与平衡的解析法	(12)	第3章 扭转	(68)
1.7 平面力偶系	(15)	3.1 扭转的概念	(68)
1.8 平面任意力系的简化	(21)	3.2 外力偶矩、扭矩和扭矩图	(68)
1.9 平面任意力系的平衡方程及应用	(23)	3.3 圆轴扭转时横截面上的应力和强度条件	(72)
1.10 物体系统的平衡问题	(27)	3.4 圆轴扭转时的变形和刚度条件	(77)
本章小结	(31)	本章小结	(79)
习题1	(31)	习题3	(80)
第2章 拉伸和压缩	(39)	第4章 弯曲	(83)
2.1 概述	(39)	4.1 平面弯曲的概念;梁的计算简图	(83)
2.2 轴向拉伸(压缩)杆件横截面上的内力——轴力、轴力图	(40)	4.2 梁的内力——剪力;	



弯矩	(85)
4.3 剪力方程与弯矩方程;剪力图 与弯矩图	(86)
4.4 纯弯曲正应力	(95)
4.5 常见截面惯性矩的 计算	(98)
4.6 弯曲切应力	(102)
4.7 强度条件及其应用	(106)
4.8 弯曲变形的概念	(111)
4.9 挠曲线的近似微分	

方程	(112)
4.10 用积分法计算梁的 变形	(113)
4.11 用叠加法计算梁的 变形	(115)
4.12 弯曲刚度条件及其 应用	(118)
4.13 梁的合理设计	(121)
本章小结	(124)
习题 4	(125)

下篇 机械设计基础

绪论	(133)
----------	-------

第 5 章 平面机构运动简图与自由度

5.1 机构及其组成	(134)
5.2 运动副及其分类	(136)
5.3 机构运动简图及其 绘制	(137)
5.4 平面机构的自由度	(140)
本章小结	(144)
习题 5	(144)

第 6 章 平面连杆机构

6.1 概述	(145)
6.2 平面四杆机构的基本 类型	(145)
6.3 四杆机构的运动 特性	(149)
本章小结	(154)
习题 6	(154)

第 7 章 凸轮机构

7.1 凸轮机构的应用和 分类	(156)
7.2 从动件的常用运动	

规律	(158)
7.3 凸轮轮廓的设计	(160)
7.4 凸轮设计中应注意的 问题	(163)
本章小结	(164)
习题 7	(165)

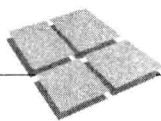
第 8 章 其他常用机构

8.1 棘轮机构	(166)
8.2 槽轮机构	(171)
8.3 螺旋机构	(173)
本章小结	(177)
习题 8	(178)

第 9 章 齿轮传动

9.1 齿轮传动的特点和 类型	(179)
9.2 渐开线齿廓	(181)
9.3 渐开线齿轮各部分名称及 标准圆柱齿轮基本尺 寸计算	(184)
9.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮 合传动	(187)
9.5 渐开线齿轮的切齿原理和根切	

现象	(190)	本章小结	(248)
9.6 齿轮的失效形式和常用材料	(192)	习题 11	(249)
9.7 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(195)	第 12 章 轴	(251)
9.8 斜齿圆柱齿轮传动	(199)	12.1 概述	(251)
9.9 圆锥齿轮传动	(201)	12.2 轴的结构设计	(253)
9.10 齿轮的结构设计	(205)	12.3 轴的强度计算	(258)
9.11 蜗杆传动	(206)	12.4 轴刚度的计算和临界转速的概念	(263)
本章小结	(211)	本章小结	(264)
习题 9	(213)	习题 12	(265)
第 10 章 轮系	(216)	第 13 章 轴承	(267)
10.1 轮系的分类和作用	(216)	13.1 轴承的功用和分类	(267)
10.2 定轴轮系传动比的计算	(218)	13.2 滑动轴承	(268)
10.3 行星轮系传动比的计算	(220)	13.3 滚动轴承的类型、代号及选用	(277)
本章小结	(222)	13.4 滚动轴承的失效形式和设计准则	(283)
习题 10	(223)	13.5 滚动轴承的寿命计算	(285)
第 11 章 带传动和链传动	(225)	13.6 滚动轴承的组合设计	(291)
11.1 带传动概述	(225)	本章小结	(298)
11.2 V 带的结构和标准	(227)	习题 13	(299)
11.3 带传动的工作情况分析和设计计算	(229)	第 14 章 联接	(301)
11.4 V 带轮的材料和结构	(239)	14.1 键联接	(302)
11.5 V 带传动的张紧、安装和维护	(241)	14.2 花键联接	(306)
11.6 链传动概述	(243)	14.3 销联接	(307)
11.7 链传动的类型和套筒滚子链的结构与规格	(244)	14.4 螺纹联接的基本类型及螺纹联接件	(307)
11.8 链传动的失效形式与许用功率	(247)	14.5 螺栓联接的预紧和防松	(310)
11.9 链传动的布置、张紧和润滑	(248)	14.6 螺栓联接的强度计算	(312)
		14.7 螺栓联接结构设计的要点	(317)



本章小结	(320)	15.2 离合器	(327)
习题 14	(322)	本章小结	(329)
第 15 章 联轴器与离合器	(324)	习题 15	(330)
15.1 联轴器	(324)		

上篇 工程力学

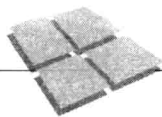
绪 论

工程力学是一门与工程技术联系极为广泛的技术基础学科,它是工程技术的重要理论基础之一。

工程力学既研究物体机械运动的一般规律,又研究物体的强度、刚度和稳定性等内容。工程力学的研究对象往往相当复杂,在实际力学问题中,常须抓住一些带有本质性的主要因素,略去次要因素,从而抽象成力学模型作为研究对象。当物体运动范围比它本身的尺寸要大得多时,可把物体当作只有一定质量而其形状和大小均可忽略不计的一个点——质点。物体在力的作用下还要变形,在研究物体的机械运动时,变形可以暂时不考虑,即把物体看成不变形的物体——刚体。质点和刚体是力学中的理想模型。

工程力学研究对象为质点、刚体、质点系和变形体。本书内容有:第1章,静力学研究质点和刚体的平衡规律,主要讨论静力分析、平衡条件及其在工程上的应用;第2章至第4章研究变形体的强度、刚度和稳定性问题。

工程实际中的许多问题,常常需要运用工程力学的知识去解决。因此工程技术人员需要掌握一定的工程力学知识,在学习中要准确理解基本概念,熟悉基本定理与公式,以及分析和应用的基本方法。



第1章 静力学

主要内容

介绍静力学公理和基本概念, 物体的受力分析、受力图以及如何解决刚体的平衡类问题。

1.1 静力学的基本概念

静力学主要研究物体在力系作用下的平衡条件及应用。

1.1.1 刚体

静力学研究的对象是刚体。所谓刚体是指在力的作用下不变形的物体, 即刚体内任意两点间的距离保持不变。实际生活中的刚体是不存在的, 刚体是一种理想模型。如果物体的变形微小, 不影响对平衡力的研究, 即可把物体看成是刚体。

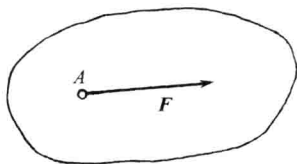
1.1.2 平衡

物体若相对于地球静止或做匀速直线运动, 则物体处于平衡状态。平衡是物体机械运动的一种特殊状态。

1.1.3 力; 力系

力是物体间的相互作用。力具有两种作用效果: 一是使物体的运动状态发生改变, 二是使物体产生变形。

力对物体的作用效果取决于力的三要素: 力的大小、力的方向、力的作用点。力的单位是牛顿(N)。



力是矢量, 可以用一个带箭头的线段表示, 如图 1.1 线段的起点(或终点)表示力的作用点; 线段的方位和箭头指向表示力的方向; 线段的长度(按一定的比例画)表示力的大小。本书中用黑斜体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示矢量, 普通字母 F 表示大小。

图 1.1

作用于物体上某个点上的力称为集中力。如果力的作用面积较大, 不能抽象为点时, 则将作用于这个面积上的力称为分布力。作用于单位面积上的力称为载荷集度, 用 $q(\text{N}/\text{cm}^2 \text{ 或 } \text{N}/\text{m}^2)$ 表示。

力系: 作用于物体上一群力。如果一个力系对物体的作用是使物体处于平衡状态, 则此力系称为平衡力系。一个力系只有在满足一定条件的情况下才能成为平衡力系, 此条件称为力系的平衡条件, 若两个力系分别作用于一个物体上时其作用效果相

同,则这两个力系是等效力系。

如果一个力与一个力系等效,则称这个力是力系的合力,而将力系中的各个力称为合力的分力。

力系的分类:力作用线共面的力系称为平面力系,否则称为空间力系,各力汇交于一点的称为汇交力系。

1.2 静力学基本公理

静力学公理是对力的基本性质的概括和总结,是静力学全部的理论的基础。

公理一 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力,使刚体处于平衡状态的充要条件是: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,即

$$\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2$$

本公理只适用于刚体。

公理二 加减平衡力系公理

在刚体上加上或减去一个任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

推论 I 力的可传性原理

作用于刚体上的力,可沿其作用线任意移动而不改变其对刚体的作用效应。

证明:如图 1.3 所示,(a) 中力 $\boldsymbol{F}$ 作用在 A 点,沿 $\boldsymbol{F}$ 的作用线上有一点 B ,在 B 处加一对平衡力 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ [图(b)] 使其大小与 $\boldsymbol{F}$ 相等,则 $\boldsymbol{F}$ 与 $\boldsymbol{F}_1$ 也是一对平衡力,再去掉 $\boldsymbol{F}$ 和 $\boldsymbol{F}_1$ 一对平衡力,如图(c) 所示。根据公理一和公理二知(a) 和(c) 两图中的力 $\boldsymbol{F}$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 对刚体的作用效果是相同的。

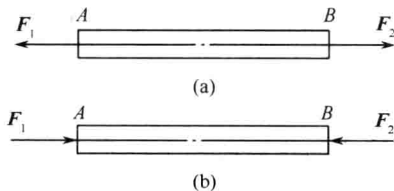


图 1.2

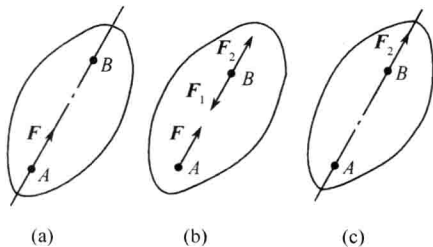


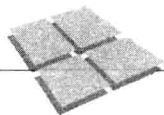
图 1.3

可见,对于刚体来说,力的三个要素是:力的大小、方向和作用线。

公理三 力的平行四边形定则

作用于物体同一点上的两个力可以合成为一个力,合力的作用点也在该点,合力的大小和方向可用这两个力为邻边所作的平行四边形的对角线来表示,矢量表达式为

$$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2$$



显然,利用平行四边形定则求合力,对于变形体来说,二力要有共同的作用点;对于刚体来说,二力作用线只要相交就可以合成。公理三不仅适用于刚体,也适用于变形体。

为简化也可用图 1.4 中(b) 的力的三角形法。

利用力和平行四边形则也可将一个力分解成作用在同一点的两个分力。在工程问题中,常将力沿互相垂直的两个方向分解。这种分解称为正交分解。

推论 II 三力平衡汇交定理

刚体在三个力的作用下平衡,若其中二力作用线相交则第三个力的作用线必过该交点,且三力共面。

证明:如图 1.5 所示,刚体上 A、B、C 三点分别作用有力 F_1 、 F_2 、 F_3 ,其中 F_1 和 F_2 交于 O 点。刚体在三力作用下处于平衡状态。根据力的可传性原理,将 F_1 和 F_2 移到 O 点,再根据公理三将 F_1 和 F_2 合成,则合力 F 必通过 O 点,由二力平衡公理知 F 和 F_3 应在一条线上。

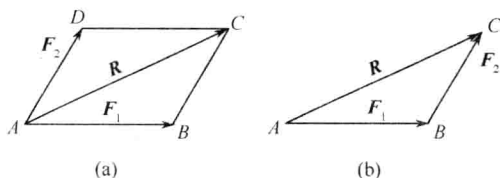


图 1.4

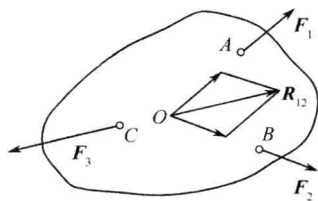


图 1.5

公理四 作用与反作用公理

两物体间的作用力与反作用力总是同时存在,两力的大小相等,方向相反,沿着同一直线,分别作用在相互作用的两个物体上。

1.3 约束与约束的反力;受力图

1.3.1 约束及类型

限制物体运动的其他物体称为约束。约束对物体的作用实质上就是力对物体的作用,约束对物体的力称为约束力或约束反力。约束反力的作用点在约束与物体的接触点处,方向总是与该约束所能限制的运动方向相反。以下介绍约束类型。

(1) 柔性约束

由柔软的绳索、链条、皮带等构成的约束统称为柔性约束。这类约束的特点是:柔软易变形,只能受拉不能受压,不能抵抗弯曲。柔性约束只能限制物体的沿约束伸长方向的运动而不能限制其他方向的运动。因此,柔性约束的约束反力只能是拉力,作用在与物体的连接点上,作用线沿着柔索,指向背离物体。如图 1.6(b) 所示。

(2) 光滑接触面约束

两个互相接触的物体,如果不计接触面间的摩擦,相互间的约束即为光滑接触面约束。这类约束的特点是:只能受压,只能限制物体沿接触面法线方向的运动。因此,光滑接触面的约束反力只能是压力,作用在接触点处,作用线沿法线方向指向物体。如图 1.7 所示,(a) 图表示重力为 G 的圆轴搁在 V 形架上;(b) 图表示 V 形架圆轴的约束反力;(c) 图表示圆轴对 V 形架的约束反力。

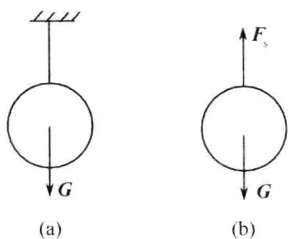


图 1.6

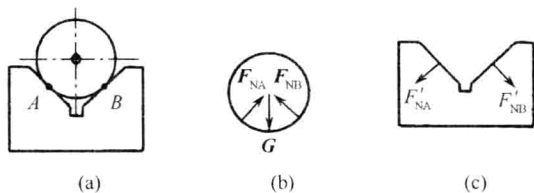


图 1.7

(3) 光滑圆柱铰链约束

这类约束包括圆柱铰链和固定铰链支座。

① 圆柱铰链。在机器中,经常用圆柱形钢钉将两个带孔的零件连接在一起[如图 1.8(a)、(b) 所示],如果销钉和销孔是光滑的,那么两零件间可以相对转动,但不能相对移动,这样的约束称为圆柱铰链约束。图(c) 是(b) 的简化形式。如图(d) 所示,光滑圆柱铰链也属于光滑接触面约束,但由于接触点位置不能确定,约束反力方向也就不能确定。因此,圆柱铰链约束反力通常用通过铰链销钉中心的两个垂直分力 F_x 和 F_y 表示,如图(e) 所示。

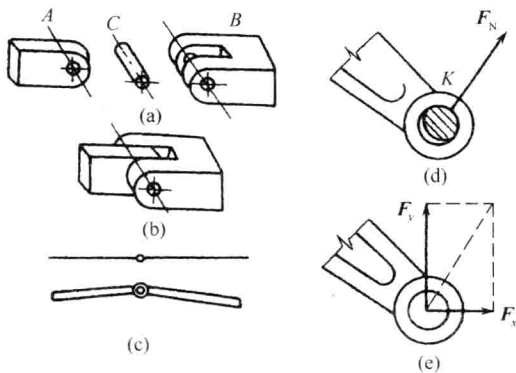


图 1.8

② 固定铰链支座

在圆柱铰链中,如果有一个被连接件是固定件则称之为固定铰链支座,简称固定铰。其简图和约束反力如图 1.9(c) 所示。

③ 可动铰链支座

如果在固定铰链支座的底部安装一排滚轮(如图 1.10 所示),就可使支座沿固定支承面移动。这类约束称为可动铰链约束。其简图和约束反力如图 1.10(b) 所示。

1.3.2 受力分析;受力图

解决工程实际问题时,常需根据已知力,利用平衡条件,求出未知的力。为此需要有选择地研究某个物体或物体系统,对其进行受力分析并画出受力简图。以下举例说明。

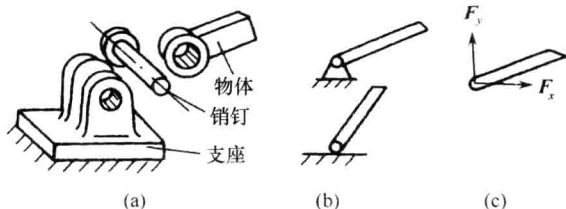
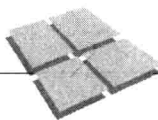


图 1.9

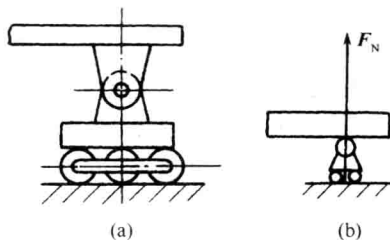


图 1.10

例 1.1 如图 1.11 所示, 梁的 A、B 两端用固定铰支座和可动铰支座支承, 梁 C 处作用一集中力 F , 梁自重不计, 试画 A、B 的受力图。

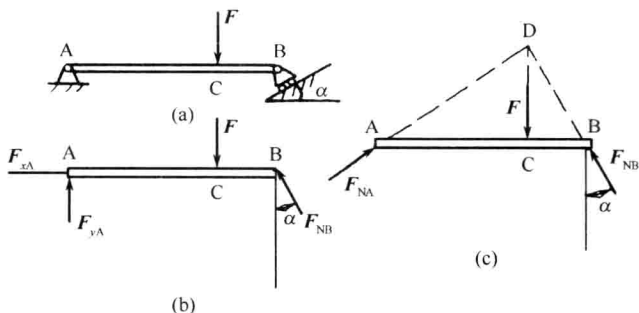


图 1.11

解: (1) 取 A、B 为研究对象, 解除约束, 画出其简图。

(2) 画出主动力 F 作用于 C 点。

(3) 根据约束的性质, 画出约束反力。

其受力图如图 1.11 (b) 所示。

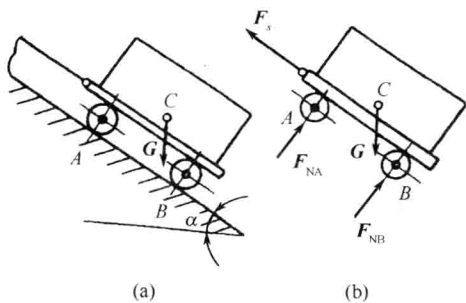


图 1.12

其图如 1.12(b) 所示。

例 1.2 如图 1.12 所示, 铰车通过钢丝绳牵引重力为 G 的矿车沿倾斜轨道匀速上升, 试画出矿车的受力图。

解: (1) 取矿车为研究对象, 将矿车从钢丝绳和轨道的约束中分离出来, 画出其简图。

(2) 画出主动力。矿车所受主动力只有重力 G , 作用于重心 C 处, 竖直向下。

(3) 画出约束反力。