

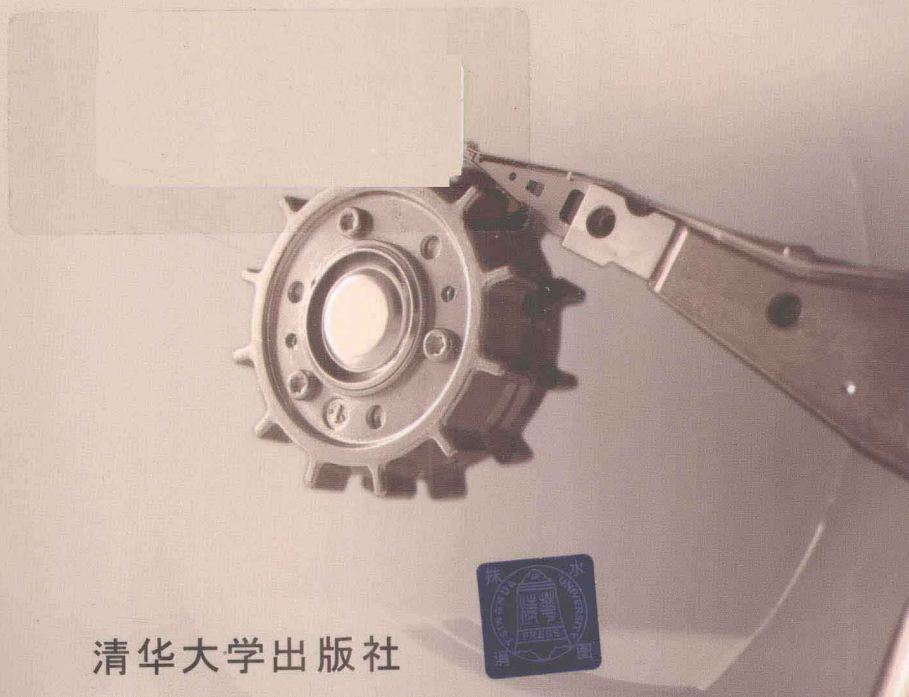
GUO JIA SHI FAN XING GAO ZHI YUAN XIAO JIAN SHE XIANG MU CHENG GUO

国家示范性高职院校建设项目成果

机电专业系列

工程 力学

李鸣 主 编
严丽 副主编



清华大学出版社



GUO JIA SHI FAN XING GAO ZHI YUAN XIAO JIAN SHE XIANG MU CHENG GUO

国家示范性高职院校建设项目成果

机电专业系列

工程 力学

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

全书分3篇共6章,主要包括:工程力学基础知识和基本技能的学习与训练,构件静力问题的分析与解决,杆类构件承载能力的分析与计算,梁类构件承载能力的分析与计算,轮轴类构件承载能力的分析与计算,工程力学专题(构件重心与形心、动载荷与交变应力、应力集中、接触应力、应力状态和强度理论简介)。

本书适用于高职高专院校工科类各专业工程力学课程的教学用书,也可供相关专业技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/李鸣主编. —北京:清华大学出版社,2011.3

(国家示范性高职院校建设项目成果. 机电专业系列)

ISBN 978-7-302-24726-5

I. ①工… II. ①李… III. ①工程力学—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第013748号

责任编辑:朱怀永

责任校对:刘 静

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13.25 字 数:296千字

版 次:2011年3月第1版 印 次:2011年3月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:24.00元

产品编号:037939-01



教育部在教高[2006]16号文件中指出：“把工学结合作为高等职业教育人才培养模式改革的重要切入点”；“课程建设与改革是提高教学质量的核心，也是教学改革的重点和难点”；“要重视学生校内学习与实际工作的一致性”；“探索工学交替、任务驱动、项目导向、顶岗实习等有利于增强学生能力的教学模式”。

项目导向教学法将传统学科体系中的知识内容转化为若干个典型的教学项目，围绕着项目组织和展开教学，每个项目又分解为若干个任务，教学项目以工作任务的形式出现，师生以团队的形式共同实施项目内容而进行教学活动，以完成项目/任务为中心，用项目/任务来带动知识点的学习，整个课程的学习需要1~3个大项目。以教师为主导、学生为主体，将“教、学、做”融合为一体，使学生积极地参与学习、自觉地进行知识建构。

“工程力学”是工科类专业一门必修的专业基础课，它与工程实际有着十分紧密的联系，对培养学生的工程素质有着非常重要的作用，许多工科院系都单独开设这门课（至少也包含在机械基础课程里面）。

如何适应高职教育人才培养模式的改革要求，在教学过程中如何应用任务驱动、项目导向教学法，相应的教材如何与教学配套，这是摆在我们面前的课题，我们试图编写一本适应项目导向教学模式的教材。

本书在编写时采用了“双项目（双线）并行模式”，并为此分别精心设计了两个课堂上用的教学示范项目和7个课后用的学生实践项目（见附录A）。学生实践项目，前4个项目属于杆梁类机构，主要涉及本教材第1篇知识和技能的学习与训练，达到本教材第1篇的教学目的；后两个项目属于轮轴类机构，主要涉及本教材第2篇知识和技能的学习与训练，达到本教材第2篇的教学目的。教学示范项目和学生实践项目两者是“双线并行”的。

教师可在6个学生实践项目中为学生布置2~3个项目。同时，教师还可补充适量的其他案例和小任务给学生，从而开拓视野、实现综合能力和单项能力的有效训练。课程考核以“能力检验”为主，同时考核“知识迁移”能力。

课堂上两个教学示范项目的完成也意味着本课程的基本结束，应该制作得到看得见、摸得着、具有实际应用价值的实物：两本书（设计说明书）、两张图（机构设计图）、两台模型（设计制作的机构）。

本书由广东轻工职业技术学院李鸣担任主编,严丽担任副主编,吴峥强参编。李鸣创意并策划了本书的编写思路 and 方向,创编了教学示范项目和学生实践项目并给出了解算思路及要点,编写了第1章至第5章。严丽编写了第6章及所有章节的小结和习题,并进行了教学示范项目和学生实践项目的解算。吴峥强负责项目的绘图(包括动画制作)及制作电子课件。

本书由广东轻工职业技术学院戚长政教授主审,戚教授提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心感谢!

限于编者水平,加之时间仓促,因此难免有不当或错漏之处,敬请使用者批评指正。

编 者

2010 年 12 月



第 1 篇 杆梁类构件的平衡及承载能力

教学示范项目 1	3
第 1 章 工程力学基础知识和基本技能的学习与训练	6
1.1 工程力学基础知识	6
1.1.1 力系与载荷	6
1.1.2 构件与刚体	7
1.1.3 平衡、平衡力系及平衡条件	7
1.1.4 二力平衡与二力构件	7
1.1.5 三力平衡汇交与三力构件	8
1.2 力投影的学习和训练	9
1.2.1 平面力的分解与投影	9
1.2.2 空间力的分解与投影	10
1.3 力矩和力偶矩的学习与训练	12
1.3.1 对点力矩的实例和概念	12
1.3.2 平面力矩的分析计算	13
1.3.3 对轴力矩的分析计算	14
1.3.4 力偶的实例和概念	15
1.3.5 力偶的性质	16
1.3.6 平面力偶系的合成与平衡	17
1.4 力的滑移性和平移性的分析与应用	18
1.4.1 力的滑移性(力的可传性原理)	18
1.4.2 力的平移性(力的平移定理)	19
1.5 受力分析及画受力图的学习和训练	20
1.5.1 自由体、非自由体和自由度	20
1.5.2 主动力与约束力	21
1.5.3 常见约束类型及约束反力特点	21
1.5.4 构件的受力分析和受力图绘制	28
小结	33
课后训练任务	35

第 2 章 构件静力问题的分析与解决	41
2.1 构件平面力系的合成	41
2.1.1 平面汇交力系的合成	41
2.1.2 平面力偶系的合成	43
2.1.3 平面任意力系的合成	43
2.2 构件平衡问题的分析与解决	46
2.2.1 力系平衡总则	46
2.2.2 构件平衡问题的分析与解决	47
2.2.3 静定与静不定问题的实例和概念	55
2.3 摩擦平衡问题的分析与解决	55
2.3.1 摩擦平衡问题的分析与解决	55
2.3.2 摩擦角与自锁及其工程应用	58
小结	61
课后训练任务	62
第 3 章 杆类构件承载能力的分析与计算	67
3.1 构件承载能力的预备知识	68
3.1.1 变形体及变形形式	68
3.1.2 变形固体及其基本假设	69
3.1.3 构件的承载能力	69
3.2 杆件拉伸/压缩的强度和变形	71
3.2.1 杆件拉伸/压缩构件的受力特点和变形特点	71
3.2.2 内力与截面法	71
3.2.3 拉伸/压缩构件的轴力与轴力图	72
3.2.4 正应力分布图及计算式	73
3.2.5 拉伸/压缩构件强度条件的应用	75
3.2.6 拉伸/压缩构件变形的分析与计算	79
3.3 金属材料拉伸/压缩的力学性能及测定	82
3.3.1 低碳钢拉伸时的力学性能	82
3.3.2 铸铁拉伸时的力学性能	84
3.3.3 材料压缩时的力学性能	85
3.4 轴向压杆稳定性的分析与计算	85
3.4.1 压杆稳定性的实例与概念	85
3.4.2 临界力的概念	86
3.4.3 临界应力的分析计算	86
3.4.4 提高压杆稳定性的实用措施	88
3.4.5 其他形式构件的失稳现象	89

3.5 连接件的剪切和挤压强度	90
3.5.1 连接件的受力特点和变形特点	90
3.5.2 连接件的剪切和挤压实用计算	91
3.5.3 剪切虎克定律	96
小结	96
课后训练任务	98
第4章 梁类构件承载能力的分析与计算	103
4.1 梁弯曲的内力及内力图	104
4.1.1 梁弯曲的实例和概念	104
4.1.2 剪力与弯矩的分析计算	105
4.1.3 绘制剪力图和弯矩图	108
4.2 梁弯曲强度条件及应用	112
4.2.1 纯弯曲梁的变形分析	112
4.2.2 梁弯曲时正应力分布及计算	113
4.3 梁弯曲刚度条件及应用	120
4.3.1 梁弯曲变形的实例和概念	120
4.3.2 用叠加法求梁的变形	121
4.3.3 梁弯曲刚度条件及应用	122
4.4 提高梁弯曲强度和刚度的实用措施	122
4.5 构件拉伸/压缩与弯曲组合变形的强度条件应用	126
小结	131
课后训练任务	132

第2篇 轮轴类构件的平衡及承载能力

教学示范项目2	139
第5章 轮轴类构件承载能力的分析与计算	142
5.1 轮轴类构件的平面解法	143
5.2 圆轴扭转的强度和刚度	148
5.2.1 圆轴扭转的实例和概念	148
5.2.2 外力偶矩的计算	149
5.2.3 扭矩与扭矩图	149
5.2.4 圆轴扭转的变形分析	150
5.2.5 圆轴扭转剪应力分布及计算	151
5.2.6 横截面的极惯性矩及抗扭截面系数	152
5.2.7 圆轴扭转强度条件及应用	152

5.2.8 圆轴扭转刚度条件及应用	154
5.3 圆轴弯曲与扭转组合变形的强度条件应用	156
5.3.1 圆轴弯扭组合变形的实例和概念	156
5.3.2 圆轴弯扭组合变形的强度条件应用	157
小结	165
课后训练任务	166

第3篇 专 题

第6章 工程力学专题	173
6.1 构件重心与形心的分析和确定	173
6.1.1 重心和形心	173
6.1.2 重心的求法	174
6.2 构件动载荷与交变应力的疲劳破坏	176
6.2.1 动荷应力	176
6.2.2 交变应力	178
6.3 构件的应力集中现象	180
6.4 构件的接触应力与接触强度条件	181
6.5 应力状态和强度理论简介	182
6.5.1 应力状态	182
6.5.2 强度理论简介	185
小结	187
课后训练任务	188
附录 A 学生实践项目	190
附录 B 课程考核方案	201
参考文献	202

第1篇

杆梁类构件的平衡及承载能力



教学示范项目1

引言

为使同学们更好地学习“工程力学”课程,掌握机械/工程构件在承载平衡状态下的载荷分析和计算的基本知识、理论和基本方法、能力;掌握机械/工程构件在承载平衡状态下承载能力的分析和计算的基本知识、理论和基本方法、能力。本教材将采用“项目导向、任务驱动”的新型教学模式,以项目/任务为主线来展开教学内容,教师为主导、学生为主体,让同学们在完成具体项目的过程中构建相关理论知识,训练同学们观察分析和解决工程实际问题的能力,培养同学们从工程力学角度出发的机械设计能力、制作能力及创新能力,培养同学们的职业岗位能力和职业素养。

本教材将采用“双项目(双线)并行”的模式,即,课堂内教师带领同学们共同完成至少两个“教学示范项目”,在课外全班同学分组各自独立完成至少两个“学生实践项目”,并以“学生实践项目”的完成情况进行考核。

下面是教师带领同学们共同完成的第一个“教学示范项目”的任务书,同学们课外独立完成的第一个“学生实践项目”可在教师指导下从书后附录 A 中选取。

【教学示范项目1的导入】

“凸轮剪切机构的设计与制作项目”任务书

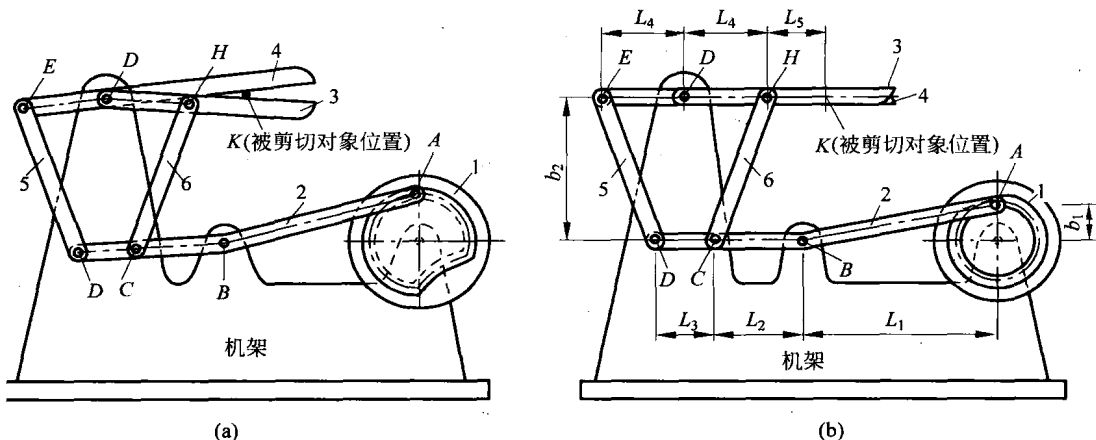
一、项目目的

通过师生共同完成“凸轮剪切机构的设计与制作项目”,进而完成本教材第1篇的学习任务(知识和技能的学习与训练),达到本教材第1篇

的教学目的。

二、机构原理

如教学示范项目 1 图所示,当主动构件槽凸轮 1 绕定轴 O_1 转动时,带动杠杆 2 绕定轴 B 上下摆动,通过连杆 5 和 6 推拉上下刀刃 3 和 4 张开及闭合,进而剪切钢筋。



教学示范项目 1 图 凸轮剪切机构示意图

三、项目目标

1. 实现使用功能

设槽凸轮 1 对杠杆 2 的作用力 $F_A = 4\text{kN}$, 被剪切钢筋的极限剪应力 $\tau_b = 250\text{MPa}$ 。要求所设计的凸轮剪切机构能够切断最大直径为 d 的钢筋。

为了有利于培养同学们的独立思考和创新能力,建议把全班分为若干小组,每组 4~6 人为宜,分别取钢筋直径 $d = 3, 5, 7, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 22\text{mm}$ 等。

2. 满足安全性和经济性

机构中各构件既具备足够的承载能力(即满足强度、刚度和稳定性要求),以保证机构能够安全可靠地使用,同时又满足经济性原则。

四、工作任务

- (1) 写出一份正式设计说明书。
- (2) 画出一张正式 4 号图纸。
- (3) 制作出一台凸轮剪切机构模型(可用钢材、铝材或塑料),并检验能否达到预定的目标。

五、工作步骤

- (1) 观察整个机构示意图并拆卸开来,对各构件间的连接(接触)进行观察分析,说明

整个机构的构件组成,并说明各处连接(接触)可归纳简化为何种常见的约束类型。开始书写设计说明书(草稿)。

(2) 对机构中各构件进行受力分析并画出受力图。续写设计说明书(草稿)。

(3) 在机构的受力图上,选取杠杆 2 进行力投影和力矩分析计算的能力训练。

(4) 应用力系平衡总则,各组按不同的钢筋直径 d ,初步设计确定各构件长度尺寸和其他尺寸。续写设计说明书(草稿),并画出一张 4 号图纸(草图)。

(5) 分析说明各构件的变形形式及应具备何种承载能力。续写设计说明书(草稿)。

(6) 分别为构件 5(连杆 DE)和构件 6(连杆 CH)选择合适的钢材,按轴向拉压强度条件(注意压杆的稳定性)设计确定两杆的横截面尺寸,分析说明及计算两杆的拉伸/压缩变形。续写设计说明书(草稿)。

(7) 按剪切和挤压强度条件分别设计确定 B 、 C 、 D 、 E 、 O 、 H 六处连接销轴的直径。续写设计说明书(草稿)。

(8) 分别为杠杆 2($ABCD$)、上刀刃 3(EOK)、下刀刃 4(OHK)选择合适的钢材,按弯曲强度条件(或按拉/压弯组合强度条件)设计确定横截面尺寸。完成设计说明书(草稿)。

(9) 检查、修改设计及草图。

(10) 将设计说明书草稿修改、整理成正式的设计说明书。

(11) 对机构简图草图进行修改、整理画成正式的 4 号图纸。

(12) 用钢材、铝材或塑料按本人设计的技术参数制作出一台机构模型,并检验是否达到预定的目标。

六、学习要求

全班同学要严肃认真对待整个学期的项目设计与制作及课程学习,个人积极思考及行动,学生间互动与师生间互动相结合,既动脑也动手,细致认真、一丝不苟地计算、画图和制作,按照进度要求高质量地完成每一个步骤,直至整个项目及课程的完成。

根据教学示范项目 1 设定的目标,为了使设计制作的凸轮剪切机构实现使用功能,应首先按照“五、工作步骤”中的(1)、(2)、(3)步进行,为此展开“第 1 章 工程力学基础知识和基本技能的学习与训练”和“第 2 章 构件静力问题的分析与解决”。



第1章

CHAPTER 1

工程力学基础知识和基本技能的学习与训练

【本章知识学习目标】

1. 理解力系、载荷、构件、刚体、平衡等概念。
2. 充分理解力投影的概念。
3. 充分理解力矩、力偶矩的概念及其性质。
4. 理解力的滑移性和平移性并了解其应用。
5. 充分理解约束及约束力的概念,熟知五类常见约束类型及其约束力的特性。
6. 熟知构件(物系)受力分析及画受力图的方法、要点及过程。

【本章能力训练目标】

1. 能熟练计算平面力的投影,也会计算空间力的投影。
2. 能熟练计算平面力矩/力偶矩,也基本会计算对轴的力矩。
3. 能把构件间常见的实际连接(接触)归纳简化为五类常见约束类型,并会画出来。
4. 能分析简化构件的实际受力状况,并画出相应的受力图。

1.1 工程力学基础知识

【知识要点学习】

1.1.1 力系与载荷

对于多种多样的机械设备和工程结构,在工作时往往承受各式各样力(亦称为载荷)的作用。在力(载荷)的作用下,构件(物体)必然产生变形——形状和大小的变化,并可能发生破坏(断裂),导致机械设备和工程结构不能正常工作,甚至发生危险事故。

在工程力学中,两个力或多个力可称为力系。力系中既有主动力,也有约束力。

当对构件进行静力分析和计算时,通常用“力系”这一说法;当对构件进行变形和破坏(断裂)的分析和计算时,通常用“载荷”这一说法。

平面力系的分类如图 1-1 所示。

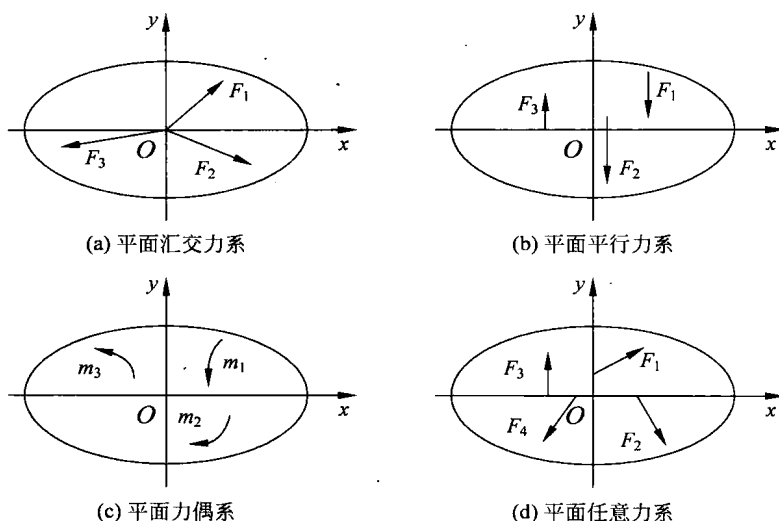


图 1-1 平面力系分类

1.1.2 构件与刚体

各种各样的机械设备和工程结构,都是由许许多多的构件或零件组成的,即构件或零件是组成机械设备和工程结构的基本元件,本书通称构件。

在工程力学中,当进行静力分析和计算时,通常不考虑由于力系(载荷)的作用而使构件所发生的变形,把这种构件称为刚体。

1.1.3 平衡、平衡力系及平衡条件

在物理学及本课程中,平衡是指构件(物体)相对于地球处于静止或做匀速直线运动。如各类建筑物、在水平直线轨道上匀速行驶的列车、起重机匀速提升的货物等,都是处于平衡状态的例子。

构件处于平衡状态,说明该构件一定受到平衡力系的作用;反之,若构件在某力系作用下处于平衡状态,则该力系一定是平衡力系。

在平衡力系中,各力对构件作用的运动效果恰好互相抵消,即合力为零,所以构件的运动状态不会变化。

一个力系必须满足一定的条件才能成为平衡力系,这种条件称为力系的平衡条件。

1.1.4 二力平衡与二力构件

显然,作用于同一刚体上的两力,如果大小相等,方向相反,且作用于同一直线上,这

两力就彼此平衡,即这两力对该构件的作用效果是相互抵消的,这两力的合力为零。反之,如果一个刚体受到两力的作用并处于平衡状态,则此两力一定大小相等,方向相反,且作用于同一直线上。

简而言之:二力作用于刚体并使其平衡的必要和充分条件是这二力等值、反向、共线。

该结论通常称为二力平衡公理。上述的二力显然是最简单的平衡力系,有时也称为“一对平衡力”,如图 1-2(a)所示。

应当注意,这个结论不适用于可变形体,例如软绳(或钢丝绳、链条)之类。显然,它们只能受拉力而不能受压力,如图 1-2(b)所示。

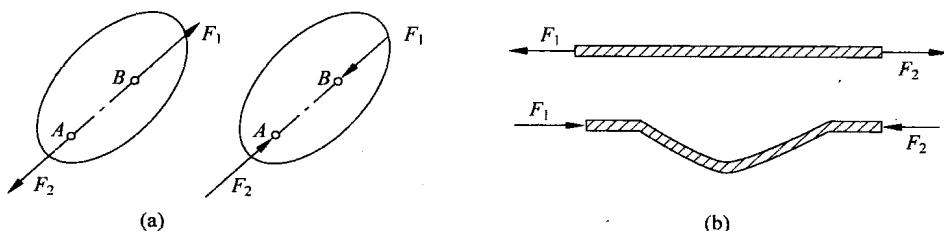


图 1-2 二力平衡

在机械设备和工程结构中,常常有只受二力作用而平衡的构件(不考虑自重),这种构件通常称为二力构件(非杆状)或二力杆(呈杆状)。

二力构件的受力特点是:二力的作用线必定沿二力作用点之连线。

当二力作用的方向相背时,二力杆受拉力,称为拉杆;当二力作用的方向相对时,二力杆受压力,称为压杆,如图 1-3 所示。

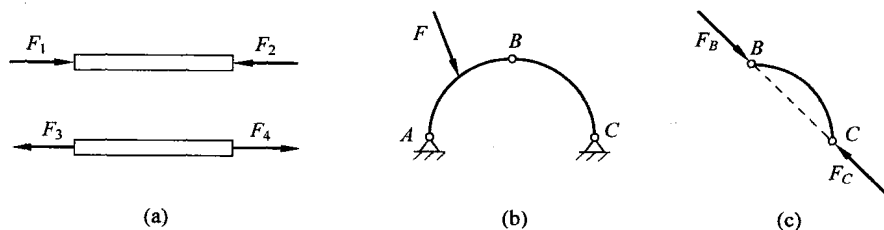


图 1-3 二力构件(二力杆)

二力构件(或二力杆)在本课程中是一个重要的概念,下面还将深入讨论,务求掌握好。

1.1.5 三力平衡汇交与三力构件

如果互不平行的平面三力作用于同一刚体并使其平衡,则此三力必汇交于一点。这种构件通常称为三力构件。根据这个结论,可以确定某个未知力的作用线,如图 1-4 所示。