

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

(第2版)

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

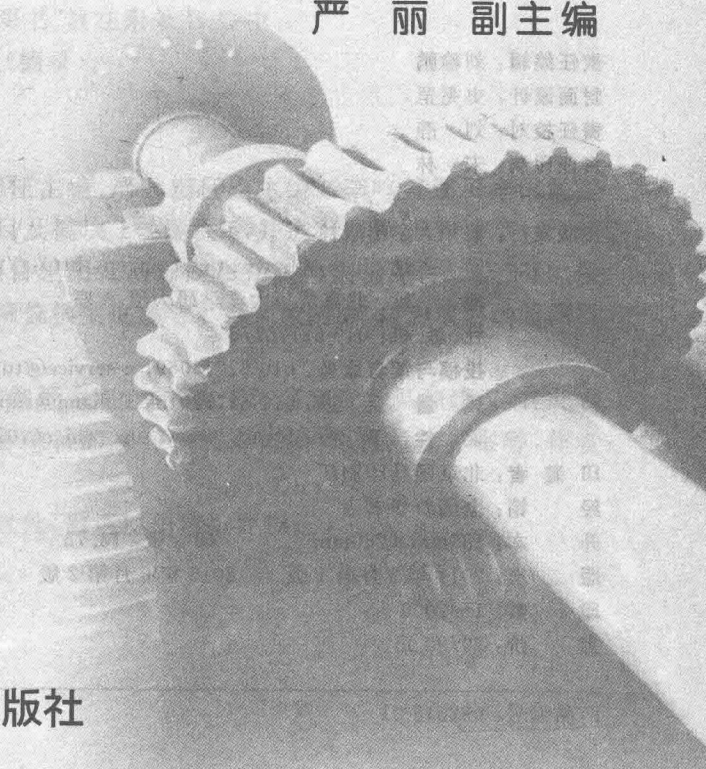
机电专业系列

工程力学

(第2版)

李 鸣 主 编
严 丽 副主编

清华大学出版社
北 京



内 容 简 介

本书按照“项目导向、双线并行、模块化”教学模式编写,共分为两个示范项目,6个模块。通过示范项目1学习杆梁类构件静力平衡及承载力:模块1为基础知识学习和基本技能训练,模块2为构件静力问题的分析和解决,模块3为杆类构件承载力的分析与计算,模块4为梁类构件承载力的分析与计算;通过示范项目2学习轮轴类构件静力平衡及承载力:模块5为轮轴类构件承载力的分析与计算;模块6为专题,是知识及能力拓展部分。

本书适用于高职高专院校工科类各专业的教学,也可作为成人高校、电大及其他培训学校等的工科类各专业的教学用书,并可供从事相关专业的人员参考。

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.--2版.--北京:清华大学出版社,2015

国家示范性高职院校建设项目成果.机电专业系列

ISBN 978-7-302-38087-0

I. ①工… II. ①李… 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 221089 号

责任编辑:刘翰鹏

封面设计:史宪罡

责任校对:刘 静

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:13.75

字 数:329千字

版 次:2011年3月第1版

2015年6月第2版

印 次:2015年6月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.00元

产品编号:062018-01

教育部在教高[2006]16号文件中指出:“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”。

本书按照“项目导向、双线并行、模块化”的教学模式编写,在教学中教师带领和帮助学生共同完成两个“示范项目”,学生们分组另外再各自独立完成至少两个“实践项目”(教师可在附录 A、C 中指导学生选择 2~4 个)。“示范项目”和“实践项目”两者是“双线并行”的。

学生除了分组完成若干个“实践项目”外,教师还可布置适量的课后训练任务给学生。

学生们在完成具体项目的过程中学会完成相应工作任务,构建相关理论知识,训练学生们观察分析和解决工程实际问题的能力,培养学生们从工程力学角度出发进行机械设计及制作并提高创新能力,培育同学们的职业岗位能力和职业素养。

根据各自院校的不同情况,使用本书时也可抛开所有项目按照通常(传统)的教学模式组织教学。

本书第 2 版充分保留了第 1 版的特色和基本框架,主要改进如下。

- (1) 大幅增加了实践项目,由原来的 6 个增加到 15 个,使得师生有更大的选择余地。
- (2) 更换了示范项目 1,使数学计算量简化,更加突出分析计算的方法及思路。把分散的示范项目解答合并整理为“机构设计说明书”放在附录 B、D 中。
- (3) 删减了部分内容。增加了型钢表(摘录)。
- (4) 重新编写了各模块的小结。
- (5) 增加了部分习题答案。

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。李鸣策划了本书的编写思路 and 方向,编写了示范项目和实践项目及模块 1~模块 5,并进行了解析和计算。严丽编写了模块 6 及课后习题。吴峥强负责项目绘图及动画制作并制作电子课件。李玉红、段晓敏参与了第 2 版的编写。陈宇、陈健铭两位学生也参与了第 2 版的编写,为项目的绘图及动画制作做了大量工作。

本书由广东轻工职业技术学院戚长政教授主审,并提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心感谢!本书可提供 PPT 课件及所有项目的解答和机构动画、课程考核方案等,作者联系方式:791521520@qq.com。

限于编者水平,本书会有不当或疏漏之处,敬请使用者批评指正。

编 者

2015 年 2 月

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章及所有各章的小结和习题，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

示范项目 1 “双杠杆手动式冲压机机构的设计与制作项目”任务书	1
模块 1 基础知识学习与基本技能训练	3
任务 1.1 基础知识学习	3
任务 1.2 “力投影计算”的学习和训练	6
任务 1.3 “力矩/力偶矩计算”的学习和训练	7
1.3.1 力矩的实例和概念	7
1.3.2 力矩计算	8
1.3.3 力偶的实例和概念	9
1.3.4 力偶的性质	9
1.3.5 力偶系的合成与平衡	11
任务 1.4 力的滑移性与平移性的分析和应用	12
1.4.1 力的滑移性(力的可传性原理)	12
1.4.2 力的平移性(力的平移定理)	13
任务 1.5 “画受力图”的学习和训练	14
1.5.1 自由体、非自由体和自由度	14
1.5.2 主动力与约束力	14
1.5.3 常见约束类型及约束反力特点	15
1.5.4 画受力图	21
小结	25
习题	26
模块 2 构件静力问题的分析与解决	31
任务 2.1 构件平面力系的合成	31
2.1.1 平面汇交力系的合成	31
2.1.2 平面力偶系的合成	33
2.1.3 平面一般(任意)力系的合成	33
任务 2.2 构件平衡问题的分析与解决	36
2.2.1 力系平衡总则	36
2.2.2 构件平衡问题的分析与解决	37
2.2.3 静定与静不定问题的实例和概念	44

任务 2.3 摩擦平衡问题的分析与解决	44
2.3.1 对摩擦平衡问题的分析与解决	44
2.3.2 摩擦角与自锁及其工程应用	47
小结	50
习题	51
模块 3 杆类构件承载力的分析与计算	55
任务 3.1 构件承载力的基础知识	56
3.1.1 变形体及变形形式	56
3.1.2 变形固体及其基本假设	57
3.1.3 构件的承载力	57
任务 3.2 杆件拉伸/压缩的强度条件应用和变形分析计算	58
3.2.1 杆件拉伸/压缩的受力特点和变形特点	58
3.2.2 内力与截面法	59
3.2.3 杆件拉伸/压缩的轴力与轴力图	60
3.2.4 正应力的分布图及计算式	61
3.2.5 杆件拉伸/压缩强度条件的应用	63
3.2.6 杆件拉伸/压缩变形的分析与计算	66
任务 3.3 金属材料拉伸/压缩的力学性能及测定	69
3.3.1 低碳钢拉伸	69
3.3.2 铸铁拉伸	71
3.3.3 材料压缩	72
任务 3.4 压杆稳定性的分析与计算	73
3.4.1 压杆稳定性的实例与概念	73
3.4.2 临界力的概念	73
3.4.3 临界应力的分析计算	74
3.4.4 提高压杆稳定性的实用措施	75
3.4.5 其他形式构件的失稳现象	77
任务 3.5 连接件的剪切和挤压强度条件应用	77
3.5.1 连接件的受力特点和变形特点	77
3.5.2 连接件的剪切和挤压实用计算	78
3.5.3 剪切虎克定律	82
小结	83
习题	84
模块 4 梁类构件承载力的分析与计算	88
任务 4.1 梁弯曲的内力及内力图	89
4.1.1 梁弯曲的实例和概念	89
4.1.2 剪力和弯矩的分析计算	90

任务 4.2 梁弯曲强度条件及应用	97
4.2.1 纯弯曲梁的变形和应力分析	97
4.2.2 梁弯曲时正应力分布及计算	99
任务 4.3 梁弯曲刚度条件应用	105
4.3.1 梁弯曲变形的实例和概念	105
4.3.2 用叠加法求梁的变形	106
4.3.3 梁弯曲刚度条件应用	107
任务 4.4 提高梁弯曲强度/刚度的实用措施	107
任务 4.5 杆梁类构件拉伸/压缩与弯曲组合变形的强度条件应用	110
小结	113
习题	114
示范项目 2 “手摇绞车机构的设计与制作项目”任务书	119
模块 5 轮轴类构件承载力的分析与计算	121
任务 5.1 轮轴类构件的平面解法	122
任务 5.2 圆轴扭转的强度和刚度条件应用	125
5.2.1 圆轴扭转的实例和概念	125
5.2.2 外力偶矩的计算	126
5.2.3 扭矩与扭矩图	126
5.2.4 圆轴扭转的变形分析	128
5.2.5 圆轴扭转剪应力分布及计算	128
5.2.6 横截面的极惯性矩及抗扭截面系数	129
5.2.7 圆轴扭转强度条件应用	130
5.2.8 圆轴扭转刚度条件应用	132
任务 5.3 圆轴弯曲与扭转组合变形的强度条件应用	134
5.3.1 圆轴弯扭组合变形的实例和概念	134
5.3.2 圆轴弯扭组合变形的强度条件应用	134
小结	138
习题	139
模块 6 专题	144
任务 6.1 重心与形心	144
6.1.1 重心和形心	144
6.1.2 重心的求法	145
任务 6.2 动载荷与交变应力	147
6.2.1 动荷应力	147
6.2.2 交变应力	149
任务 6.3 应力集中	152

任务 6.4 接触应力	152
任务 6.5 强度理论简介	153
6.5.1 应力状态	153
6.5.2 强度理论简介	155
小结	157
习题	157
附录 A 杆梁类实践项目	159
附录 B “双杠杆手动式冲压机机构的设计与制作项目”设计说明书	176
附录 C 轮轴类实践项目	182
附录 D “手摇绞车机构的设计与制作项目”设计说明书	191
附录 E 常用型钢规格表	198
附录 F 常用金属材料及其主要力学性能	202
附录 G 课后部分习题参考答案	204
参考文献	208

【引言】

本书采用“项目导向、双线并行、模块化”的教学模式,以示范项目1为主线来展开模块1~模块4的教学内容,通过四个模块的学习和训练,加之完成附录A中的若干“实践项目”,主要掌握和具备“杆梁类构件静力平衡分析计算”及“杆梁类构件承载力分析计算”的知识和能力。

示范项目1

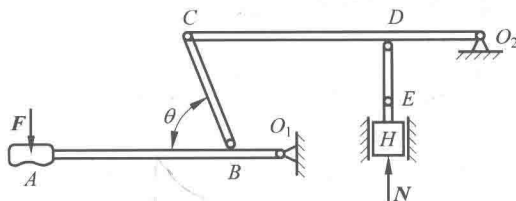
“双杠杆手动式冲压机机构的设计与制作项目”任务书

1. 项目目的

通过完成“双杠杆手动式冲压机机构的设计与制作项目”,进而完成本书模块1~模块4的学习任务。

2. 机构原理

如双杠杆手动式冲压机机构示意图所示,当施工者在A点对手柄(杠杆) ABO_1 施加力 F (垂直于手柄并且向下)时,拉动连杆 BC 带动另一杠杆 CDO_2 ,进而通过连杆 DE 推动滑块 H 对工件块产生向下冲压力 N 。



双杠杆手动式冲压机机构示意图

3. 项目目标

(1) 实现使用功能

设施工者的作用力为 F ,所设计的机构能够产生的最小冲压力为 N 。

为了培养独立思考 and 创新能力,把全班分为若干小组,每组4~6人为宜,各组参数(人力 F ;最小冲压力 N)如下:

$F=100\text{N}$ 时: $N=1000\text{N}$ 、 1200N 、 1600N 、 2000N 。

$F=150\text{N}$ 时: $N=1300\text{N}$ 、 1500N 、 1800N 、 2200N 。

$F=200\text{N}$ 时: $N=1400\text{N}$ 、 1900N 、 2300N 、 2500N 。

(2) 满足安全性和经济性

机构中各构件既具备足够的承载力,以保证能够安全可靠地使用机构,同时又满足经济性原则。

4. 工作任务

(1) 写出一份正式设计说明书。

(2) 用 4 号图纸画出一张正式图。

(3) 制作出一台机构模型,并检验能否达到预定的目标。

5. 工作步骤

(1) 观察机构示意图并将整个机构拆开,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) 在受力图上,选取手柄(杠杆) ABO_1 和杠杆 CDO_2 进行力投影和力矩分析计算能力的训练。续写设计说明书(草稿)。

(4) 应用力系平衡总则,各组按照不同的参数(人力 F ;最小冲压力 N),初步设计确定各构件长度尺寸和其他参数。续写设计说明书(草稿),并用 4 号图纸画出机构简图(草图)。

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

(6) 为两条连杆 BC 和 DE 选择合适的钢材,按照轴向拉压强度条件(注意压杆的稳定性)设计并确定连杆的横截面尺寸。分析说明及计算两连杆的拉伸/压缩变形。续写设计说明书(草稿)。

(7) 按照剪切和挤压强度条件分别设计确定 B 、 C 、 D 、 E 、 O_1 、 O_2 六处连接螺栓(销钉)的直径。续写设计说明书(草稿)。

(8) 为手柄(杠杆) ABO_1 和杠杆 CDO_2 选择合适的钢材,按照合适的强度条件设计确定横截面尺寸。完成设计说明书(草稿)。

(9) 全面检查修改设计说明书(草稿),之后重新写成正式的设计说明书。

(10) 全面检查修改机构简图(草图),之后重新用 4 号图纸画出正式的简图。

(11) 用合适的材料按照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。

6. 学习要求

严肃认真完成本项目的各个步骤及本课程学习,要个人积极思考及行动、同学间互动及师生间互动相结合,既动脑也动手,周密细致、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。

基础知识学习与基本技能训练

【引言】

在模块1中,主要进行工程力学三项基本技能“力投影计算”、“力矩/力偶矩计算”和“画受力图”的学习和训练。之后即可完成“示范项目1”中“5.工作步骤”的(1)、(2)、(3)。

【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。

【能力训练目标】

- (1) 能熟练计算平面力的投影。
- (2) 能熟练计算平面力矩/力偶矩。
- (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。

任务 1.1 基础知识学习

1. 力系与载荷

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的力(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。

力系的分类如图 1-1 所示。

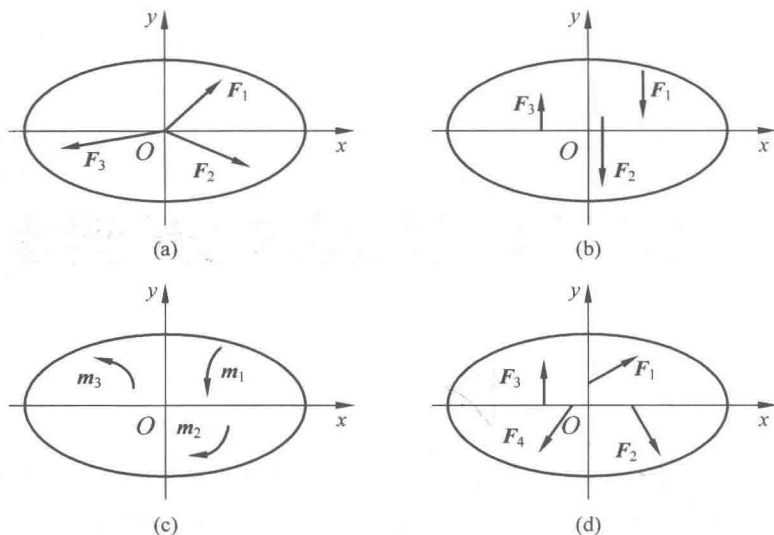


图 1-1 平面力系分类

(a) 平面汇交力系; (b) 平面平行力系; (c) 平面力偶系; (d) 平面任意力系

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(本书以后通称构件)。

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)的作用而使构件发生的变形,把这种构件称为刚体。

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。

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。

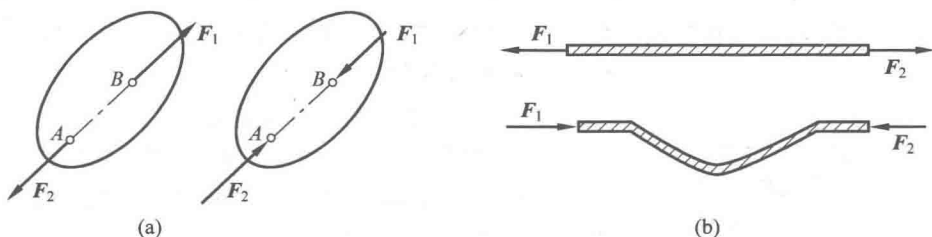


图 1-2 二力平衡示意图

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:二力的作用线必定是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。

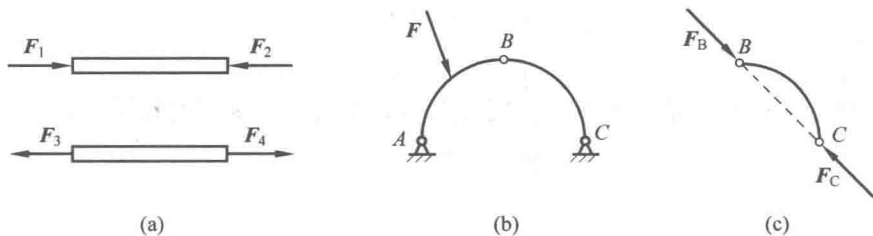


图 1-3 二力构件(二力杆)

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。

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。

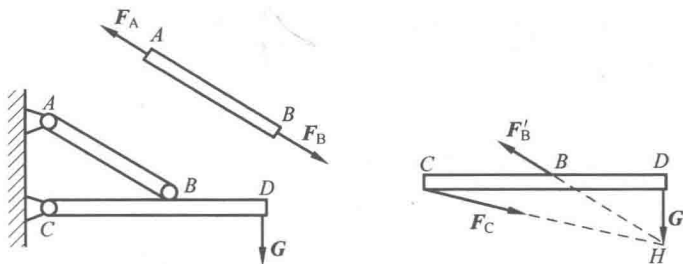


图 1-4 三力平衡汇交与三力构件

注:以下将进行“力投影计算”、“力矩/力偶矩计算”和“画受力图”的学习和训练,这是工程力学的三项基本技能,应当充分理解和熟练掌握。

任务 1.2 “力投影计算”的学习和训练

本书只进行“平面力投影计算”的学习和训练,有关空间力投影计算可参阅其他教材。

图 1-5 所示,对于处在平面直角坐标系 Oxy 之内的力 F ,可将其沿 x 轴、 y 轴分解得到

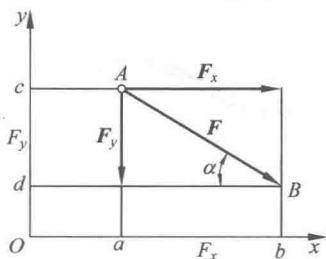


图 1-5 平面力的正交分解与投影

两个互相垂直的分力 F_x 与 F_y 。

分力也是矢量,有大小有方向。

反之,两个互相垂直的分力 F_x 与 F_y 可合成为合力 F 。

对于力 F ,从力的两端点 A 和 B 分别向 x 轴作垂线,得垂足 a 和 b ,线段 ab 称为力 F 在 x 轴上的投影,用 F_x 表示;同理,从力的两端点 A 和 B 分别向 y 轴作垂线,得垂足 c 和 d ,线段 cd 称为力 F 在 y 轴上的投影,用 F_y 表示,如图 1-5 所示。

力在轴上的投影是代数量,有大小和正负,其正负号的规定如下。

若 $a \rightarrow b$ (或 $c \rightarrow d$) 与 x 轴 (或 y 轴) 的正向相同时,则投影 F_x (或 F_y) 取正号,反之取负号。

若已知力 F 与 x 轴的夹角为 α (α 取锐角),则力的投影可按下式计算为

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \pm F \cos \alpha \\ F_y &= \pm F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

反之,若已知力 F 的两个投影 F_x 和 F_y ,则其大小 F 及其与 x 轴所夹的锐角 α 分别为

$$\left. \begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \alpha &= \tan^{-1} \left| \frac{F_y}{F_x} \right| \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$



能力训练——力投影计算示例

例 1-1 求如图 1-6 所示的各力在坐标轴上的投影。已知各力的大小为: $F_1 = 300\text{N}$, $F_2 = 650\text{N}$, $F_3 = 200\text{N}$, $F_4 = 350\text{N}$, $F_5 = 400\text{N}$,各力的方向及各力与坐标轴的夹角如图 1-6 所示。

解: 由式(1-1)可得

$$F_{1x} = F_1 \cos 45^\circ = 300 \times 0.707 = 212.1(\text{N})$$

$$F_{1y} = F_1 \sin 45^\circ = 300 \times 0.707 = 212.1(\text{N})$$

$$F_{2x} = -F_2 = -650(\text{N})$$

$$F_{2y} = 0$$

$$F_{3x} = -F_3 \cos 60^\circ = -200 \times 0.5 = -100(\text{N})$$

$$F_{3y} = -F_3 \sin 60^\circ = -200 \times 0.866 = -173.2(\text{N})$$

$$F_{4x} = 0$$

$$F_{4y} = F_4 = 350(\text{N})$$

$$F_{5x} = F_5 \cos 30^\circ = 400 \times 0.866 = 346.4(\text{N})$$

$$F_{5y} = -F_5 \sin 30^\circ = -400 \times 0.5 = -200(\text{N})$$

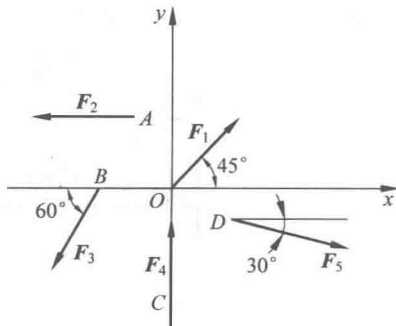


图 1-6 求解力投影

任务 1.3 “力矩/力偶矩计算”的学习和训练

力对刚体的运动效应可分为移动和转动两种,力的移动效应取决于力的投影,力的转动效应则用力矩/力偶矩来度量。

1.3.1 力矩的实例和概念

本书只进行“平面力矩/力偶矩计算”的学习和训练,有关空间力矩/力偶矩计算可参阅其他教材。

图 1-7 所示,作用力 F 与扳手、螺母处在同一平面上,力 F 可通过扳手使螺母产生绕 O 点转动的效果,其转动效果取决于力 F 的大小和力臂 d 的长短,力 F 越大,力臂 d 越长,力矩 M 就越大,所以力 F 和力臂 d 的乘积 $F \cdot d$ 称为力对 O 点之矩,简称为对点力矩或力矩,用 $M_O(F)$ 表示:

$$M_O(F) = \pm F \cdot d \quad (1-3)$$

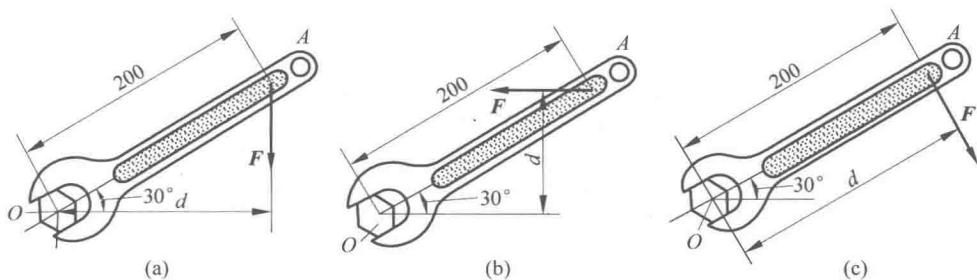


图 1-7 扳手拧螺母三种施力

点 O 是刚体的转动中心,称为力矩中心或简称矩心。

矩心 O 到力 F 作用线的垂直距离 d 称为力臂。

由于扳手和螺母只能在平面上顺时针或逆时针转动,所以平面力矩可用正、负号表示转向,通常规定:逆时针转向取正号,顺时针转向取负号。所以,平面力矩是代数量,有大小,有正、负号,如图 1-8 所示。

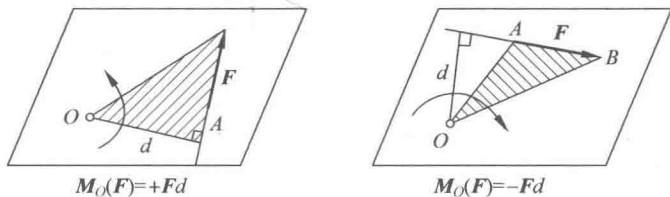


图 1-8 平面力矩正负号表示

力矩的单位取决于力和力臂的单位,其常用单位为牛顿·米($N \cdot m$)、牛顿·毫米($N \cdot mm$)或千牛·米($kN \cdot m$)。