



机电类**新技师**培养规划教材

工程力学

GONGCHENG LIXUE

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

组编

喻勋良 主编

赠送电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机电类新技师培养规划教材

工程力学

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组编

喻勋良 主编



机械工业出版社

本教材是根据中国机械工业教育协会全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制定的技师教学计划和教学大纲编写的。本教材的主要内容包括：静力学基础、力系、运动学基础、动力学基础、材料力学和结构力学。本教材的教学计划和大纲是根据《国家职业标准》中对技师的要求制定的，内容立足岗位，以必需、够用为度，符合职业教育的特点和规律。本教材配有电子教案，包括教学计划和大纲等，可供高级技校、技师学院、高等职业院校使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/喻勋良主编. —北京：机械工业出版社，2008.1

机电类新技师培养规划教材

ISBN 978-7-111-23060-1

I. 工… II. 喻… III. 工程力学-技术培训-教材
IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 193599 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：王英杰 郎 峰

责任编辑：赵磊磊 版式设计：霍永明 责任校对：姚培新

封面设计：王伟光 责任印制：邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 3 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11.75 印张 · 285 千字

0 001—4 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-23060-1

定价：20.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：(010) 68326294

购书热线电话：(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010) 88379083

封面无防伪标均为盗版

机电类新技师培养规划教材 编审委员会

主 任 郝广发 季连海

副主任 刘亚琴 徐 彤 周学奎 何阳春 林爱平 李长江

付志达 李晓庆 刘大力 张跃英 董桂桥

委 员 于正明 王 军 王 德 王兆山 王英杰 付志达

冯小平 李 涛 李全利 许炳鑫 张正明 杨君伟

何月秋 何秉戌 周冠生 孟广斌 赵杰士 郝晶卉

贾恒旦 徐卫东 凌爱林 奚 蒙 章振周 梁文侠

喻勋良 曾燕燕

策 划 组 王英杰 徐 彤 何月秋 荆宏智

本书主编 喻勋良

本书参编 陶维友 周天红 杨 华

本书主审 李 煜

前言

随着全球知识经济的快速发展,我国工业化建设也呈现迅猛发展之势,因而技术工人十分缺乏。为了顺应形势的发展要求,我国出台了一系列大力发展职业教育的政策:劳动和社会保障部颁布了最新《国家职业标准》,继续实行职业准入制度,并将国家职业资格由三级(初、中、高)改为五级(初、中、高、技师、高级技师),对技术工人的工作内容、技能要求和相关知识进行了重新界定。教育部根据国务院“大力开展职业教育”的精神进行了职业教育的改革,高职院校、中职学校相应地改制、扩招,以培养更多的技术工人。

经过几年的努力,技术工人在数量上的矛盾在一定程度上得到缓解,但在结构比例上的矛盾突显出来。高级工、技师、高级技师等高技能人才在技术工人中的比重远远低于发达国家,而且他们年龄普遍偏大,文化程度偏低,学习高新技能比较困难。为打破这一局面,加快数量充足、结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识技能型高技能人才的培养,劳动和社会保障部提出的“新技师培养带动计划”,即在完成“3年50万”新技师培养计划的基础上,力争“十一五”期间在全国培养技师和高级技师190万名,培养高级技工700万名,使我国从“世界制造业大国”逐步转变为“世界制造业强国”。为此,劳动和社会保障部决定:除在企业中培养和评聘技师外,要探索出一条在技师学院中培养技师的道路来。中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会经研究决定,制定机电行业的技师培养方案。

在上述原则的指导下,中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织30多所高级技校、技师学院和企业培训中心等单位,经过广泛的调研论证,决定首批选定五个工种(职业)——模具工、机修钳工、电气维修工、焊工、数控机床操作工作为在技师学院培养技师的试点。对学制、培养目标、教学原则、专业设置、教学计划、教学大纲、课程设置、学时安排、教材定位、编写方式等,参照《国家职业标准》中相关工种对技师和高级技师的要求,结合各校、各地区企业的实际,经过历时三年的充分论证,完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作,并明确了教材编写的思想。

使用本套“机电类新技师培养规划教材”在技师学院培养技师,招收的学员必须符合的条件是:已取得高级职业资格(国家职业资格三级)的高级技校的毕业生,或具有高级职业资格证书的本职业或相近职业的人员。本套教材的编写充分体现“教、学、做”合一的职教办学原则,其特点如下:

(1) 教材内容新,贴合岗位实际,满足职业鉴定要求。当今国际经济大格局的进程加快了各类型企业的先进加工技术、先进设备和新材料的使用,作为技师必须适应这种要求,教材中也相应增加了新知识、新技术、新工艺、新设备等方面的内容。另外,教材的内容以《国家职业标准》中对技师和高级技师的知识要求为基础,设置的实训项目或实例从岗位的

实际需要出发,是生产实践中的综合性、典型性的技术问题,既最大限度地体现学以致用目的,又满足学生毕业考工取得职业资格证书的需要。

(2) 针对某些工种(职业),编写一本《相关工种技能训练》。随着全球化进程的加快,我国的生产力发展水平和职业资格体系应与国际相适应,因此,技师应该是具有高超操作技能的复合型人才。例如,模具工技师不应仅是模具工方面的行家里手,还应懂得车、铣、数控、磨、刨、镗和线切割、电火花等加工,以适应现代制造业的发展趋势,故此《相关工种技能训练(模具工)》中,就包含上述内容。其他工种与此类似。

(3) 理论和技能有机结合。劳动和社会保障部颁布的“新技师培养劳动计划”中明确指出“建立校企合作培养高技能人才”的制度,现在许多技师学院从企业中聘请具有丰富实践经验的工程技术人员作为技能课教师,各专题理论与实践融合在一起的编写方式,更适于这种教学制度。

(4) 单独编写了两本公共课教材——《实用数学》和《应用文写作》。新时代对技师的要求不仅是技术技能型人才,还应是知识技能型甚至是复合技能型的高技能人才,有一定的数学理论基础和写作能力是新技师必备的素质。《实用数学》运用微积分知识分析解决生产中的实际问题,少推理,重应用;《应用文写作》除介绍普通事务文书、经济文书、法律文书、日常事务文书的写法外,还教授科技文书的写法,其中科技论文的写法对于技师论文的写作会有很大裨益。

(5) 本套教材配有电子教案。电子教案包括教学计划、教学大纲、每章的培训目标、内容简介、重点难点,教师上课的板书,本章小结、配套习题及答案等等。

(6) 练习题是国家题库及各地鉴定考题的综合归纳和提升。

本套教材的编写得到了各技师学院、高级技工学校领导的高度重视和大力支持,编写人员都是职业教育教学一线的优秀教师,保障了这套教材的质量。在此,对为这套教材出版给予帮助和支持的所有学校、领导、老师表示衷心的感谢!

本书由喻勋良统稿并任主编,陶维友、周天红、杨华参加编写,李煜任主审。

由于编写时间和编者水平所限,书中难免存在不足或错误,敬请广大读者不吝赐教!

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会

机电专业委员会

目 录

前言		四、平面平行力系的平衡方程	33
第一章 静力学基础	1	第四节 物体系统的平衡问题	36
第一节 静力学的基本概念	1	第五节 摩擦及有摩擦的平衡问题	38
一、力的概念	1	一、滑动摩擦	39
二、质点的概念	2	二、滚动摩擦	43
三、刚体的概念	2	第六节 空间力系简介	45
四、力系的概念	2	一、空间任意力系向一点简化	45
第二节 静力学的基本原理	3	二、空间任意力系的平衡	46
一、静力学公理	3	第七节 物体的重心	49
二、力的正交分解	5	一、物体的重心	49
第三节 力矩与力偶	6	二、确定物体重心的几种方法	51
一、力矩	6	复习思考题	54
二、力偶	7	第三章 运动学基础	57
第四节 约束与约束力	8	第一节 点的运动	57
一、柔索约束	9	一、运动学研究对象	57
二、光滑接触面约束	9	二、构件运动形式	58
三、光滑圆柱铰链约束	10	三、点的运动规律	58
四、滚动铰链支座约束	11	四、点在直线运动中的速度和加速度	60
五、轴承约束	12	五、直角坐标法求点的速度和加速度	61
六、光滑球铰链约束	13	第二节 刚体的运动	63
七、连杆约束	13	一、刚体的平动	63
八、固定端约束	14	二、刚体绕定轴转动	64
九、滑移支座约束	15	三、转动刚体上各点的速度和加速度	66
十、固定支座与固定连接	15	第三节 刚体的平面运动	68
第五节 受力分析与受力图	16	一、平面运动的概念	68
一、画受力图	16	二、平面运动的分解	68
二、画受力图的注意事项	18	三、用速度合成法求刚体上各点的速度	70
复习思考题	18	四、用瞬心法求刚体上各点的速度	71
第二章 力系	20	复习思考题	73
第一节 平面汇交力系	21	第四章 动力学基础	76
一、几何法	21	第一节 质点动力学	76
二、解析法	23	一、动力学的内容与基本定律	76
第二节 平面力偶系	25	二、力学单位制	78
第三节 平面一般力系	27	三、质点运动方程	79
一、力的平移定理	27	四、惯性力的概念	81
二、一般力系向一点简化	28	五、转动零件惯性力的平衡	82
三、平面一般力系的平衡方程	30		

第二节 刚体动力学	83	三、扭转与弯曲的组合	132
一、刚体转动动力学基本方程	83	四、强度理论概念	134
二、转动惯量	83	第七节 压杆稳定	136
第三节 功和功率	87	一、压杆稳定的概念	136
一、功	87	二、欧拉公式	137
二、功率	89	三、提高压杆稳定的主要措施	138
三、质点和刚体的动能	90	第八节 动载荷与交变应力	139
第四节 动能定理	92	一、动载荷	139
一、质点的动能定理	92	二、构件受冲击载荷作用时的动应 力计算	139
二、质点系的动能定理	92	三、交变应力	140
复习思考题	94	复习思考题	143
第五章 材料力学	97	第六章 结构力学的基本知识	148
第一节 材料力学基础	97	第一节 结构力学的研究对象和 研究内容	148
一、材料力学的任务	97	一、研究对象	148
二、材料力学的研究对象	98	二、研究内容	148
三、杆件变形的基本形式	99	三、结构力学的主要任务	149
第二节 拉伸与压缩	100	四、各力学课程的比较	149
一、拉伸与压缩的概念	100	第二节 结构的计算简图及其简化要点	150
二、横截面上的内力和应力	101	一、结构体系的简化	150
三、拉压变形和胡克定律	103	二、计算简图的简化	152
四、拉伸与压缩时材料的力学性能	104	第三节 结构的分类	154
五、许用应力和安全系数	108	第四节 荷载的分类	156
六、拉伸与压缩的强度计算	108	一、按作用时间的长短分类	156
第三节 剪切与挤压	110	二、按作用在结构上可变荷载变化 的特点分类	156
一、剪切的概念	110	三、按作用是否会使结构产生明显 的运动分类	156
二、挤压的概念	111	四、按结构与荷载接触的情况分类	156
三、剪切和挤压的强度计算	111	第五节 体系的几何组成分析	157
第四节 圆轴扭转	114	一、几何不变体系、几何可变体系	157
一、圆轴扭矩概念	114	二、自由度	158
二、扭矩和扭矩图	114	三、约束	158
三、圆轴扭转时横截面上的应力	115	四、必要约束、多余约束	159
四、圆轴扭转时的强度条件和刚 度条件	117	第六节 无多余约束几何不变体系 的组成规则	159
第五节 直梁弯曲	119	一、平面刚片体系的自由度	159
一、弯曲的概念	119	二、基本规则	161
二、剪力和弯矩	120	三、基本规律灵活应用的几个方面	161
三、弯曲正应力	123	第七节 静定结构受力分析	162
四、弯曲强度计算	124	一、杆系结构的分类及静定结构的 分析方法	162
五、提高弯曲强度的措施	127		
六、弯曲刚度概念	129		
第六节 组合变形	130		
一、组合变形的概念	130		
二、拉伸或压缩与弯曲的组合	130		

复习思考题	174
附录 常用物理量符号及单位	176
参考文献	177
18	第三版
58	卷一
68	卷二
98	第三卷
98	第四卷
98	第五卷
98	第六卷
98	第七卷
98	第八卷
98	第九卷
98	第十卷
98	第十一卷
98	第十二卷
98	第十三卷
98	第十四卷
98	第十五卷
98	第十六卷
98	第十七卷
98	第十八卷
98	第十九卷
98	第二十卷
98	第二十一卷
98	第二十二卷
98	第二十三卷
98	第二十四卷
98	第二十五卷
98	第二十六卷
98	第二十七卷
98	第二十八卷
98	第二十九卷
98	第三十卷
98	第三十一卷
98	第三十二卷
98	第三十三卷
98	第三十四卷
98	第三十五卷
98	第三十六卷
98	第三十七卷
98	第三十八卷
98	第三十九卷
98	第四十卷
98	第四十一卷
98	第四十二卷
98	第四十三卷
98	第四十四卷
98	第四十五卷
98	第四十六卷
98	第四十七卷
98	第四十八卷
98	第四十九卷
98	第五十卷
98	第五十一卷
98	第五十二卷
98	第五十三卷
98	第五十四卷
98	第五十五卷
98	第五十六卷
98	第五十七卷
98	第五十八卷
98	第五十九卷
98	第六十卷
98	第六十一卷
98	第六十二卷
98	第六十三卷
98	第六十四卷
98	第六十五卷
98	第六十六卷
98	第六十七卷
98	第六十八卷
98	第六十九卷
98	第七十卷
98	第七十一卷
98	第七十二卷
98	第七十三卷
98	第七十四卷
98	第七十五卷
98	第七十六卷
98	第七十七卷
98	第七十八卷
98	第七十九卷
98	第八十卷
98	第八十一卷
98	第八十二卷
98	第八十三卷
98	第八十四卷
98	第八十五卷
98	第八十六卷
98	第八十七卷
98	第八十八卷
98	第八十九卷
98	第九十卷
98	第九十一卷
98	第九十二卷
98	第九十三卷
98	第九十四卷
98	第九十五卷
98	第九十六卷
98	第九十七卷
98	第九十八卷
98	第九十九卷
98	第一百卷

第一章 静力学基础

本章应知

1. 静力学的基本概念、基本原理。
2. 力矩、力偶的概念以及它们的基本性质。
3. 约束与约束力的性质以及种类。

本章应会

1. 对物体进行受力分析。
2. 利用基本原理作受力分析图和解题。

物体受到力的作用时,其机械运动状态将发生变化,同时物体的形状也会发生改变。

平衡是物体运动状态的一种特殊情况,在一般工程问题中,平衡是指物体相对于地球的静止。研究平衡问题时,如果同时考虑物体变形引起的形状改变和力的作用位置的改变对平衡的影响,则会使问题变得十分复杂。事实上,大多数结构物在正常工作状态下变形很小,如果忽略其变形,将物体看作是不变形的“刚体”考虑其平衡,得到的结果完全能够满足工程精度要求。因此,在研究这类物体的平衡时,可采用刚体的假设来建立力学模型。本章的内容就是研究刚体在力的作用下的平衡规律,故称为刚体静力学,也简称为静力学。

力与力偶是力学中两个基本物理量,力与力偶使物体产生的运动效应和变形效应是力学分析的基础知识。静力学研究物体在主动力和约束力作用下的平衡问题,通常主动力是已知的,而约束力是要求的,因此,研究工程中常见的约束及产生的约束力、研究如何将工程实际问题简化成为便于分析计算的力学模型是本章的重要内容。

第一节 静力学的基本概念

静力学是研究物体在力系的作用下处于平衡状态的规律。

平衡状态就是指物体相对地球来说处于匀速直线运动或者静止的状态。例如,房屋、桥梁、在直线轨道上匀速行驶的火车、沿直线匀速起吊的构件等等,都是处于平衡状态。

一、力的概念

力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的运动状态发生改变,或使物体产生变形。力使物体改变运动状态的效应称为力的运动效应。使物体产生变形的效应称为力的变形效应。力对物体作用的效应取决于力的三要素,即力的大小、方向、作用点。

度量力的大小通常采用国际单位制(SI),力的单位用N或kN。 $1\text{kN}=1000\text{N}$ 。

我们注意到,力是物体与物体之间的相互作用,所以研究力的问题时必然要考虑施力物体和受力物体。

力的方向包含方位和指向两个意思,如铅直向下,水平向右等。作用点指的是力在物体上的作用位置。一般说来,力的作用位置并不是一个点而是一定的面积。但是,当作用面积小到可以不计其大小时,就抽象成为一个点,这个点就是力的作用点;而这种作用于一点的力则称为集中力。过力的作用点作一直线,使直线的方位代表力的方位,则该直线称为力的作用线。力既具有大小和方向,而又服从矢量的平行四边形法则(下面即将讲到),所以力是矢量(也称向量)。如图 1-1 所示,矢量 $\overrightarrow{AB}$ 表示力 $\boldsymbol{F}$, F 代表 $\boldsymbol{F}$ 的大小,黑斜体字母均表示矢量,对应的白体字母表示该矢量的模。而 A 是 $\boldsymbol{F}$ 的作用点, KL 则是 $\boldsymbol{F}$ 的作用线。

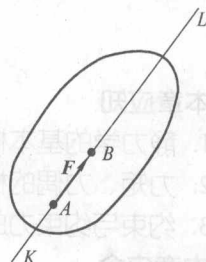


图 1-1 力的作用线

二、质点的概念

在某些问题中,物体的形状和大小与研究的问题无关或者起的作用很小,是次要因素。为了首先抓住主要因素和掌握它的基本运动规律,我们有必要忽略物体的形状和大小。这样,在研究问题中,不计物体形状、大小,只考虑质量并将物体视为一个点,即质点。在静力学中被视为质点的物体其大小是相对的,例如在研究太阳系中各星球运动时,把行星视为质点。而在研究行星自转时,就不可以把行星当作质点了。

三、刚体的概念

所谓刚体,是指在任何外力作用下,其形状和大小都不发生变化的物体。实际上任何物体在外力作用下其形状和大小都会发生变化。但是,在一般情况下所发生的形状大小变化的尺寸都很小,我们在研究物体的平衡或运动时,可以忽略这种微小的变化。即认为这时物体的形状和大小都是不发生改变,这种物体被称为刚体。静力学中所研究的物体均被视为刚体。

四、力系的概念

力系是指作用在物体上的一组力。如果物体在某一力系的作用下处于平衡状态,则该力系被称为平衡力系。在平衡力系中,各力对物体的作用效果刚好相互抵消,合力为零,所以物体的状态不发生变化(即物体相对参照系保持静止或匀速直线运动状态)。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。

把一个比较复杂的力系简化为一个作用效果完全相同的简单力系或一个力,这个过程称为力系的简化(合成)。如果一个力和一个力系的作用效果完全相同,则称这个力为这个力系的合力,而力系中的各个力称为合力的分力。

按力系中各个力的作用线的分布情况,可以将力系分为:

平面力系——各力的作用线均处在一个平面内。

空间力系——各力的作用线不在同一个平面内。

在平面力系和空间力系中又可以将力系分为:

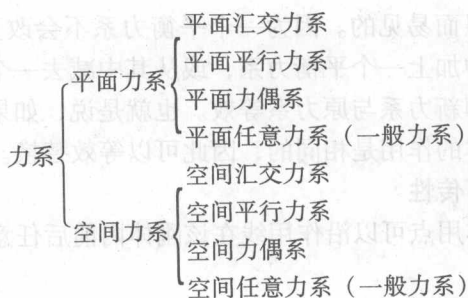
平面(空间)汇交力系——各力的作用线汇交于一点。

平面(空间)平行力系——各力的作用线互相平行。

平面(空间)任意力系(一般力系)——各力的作用线任意分布。

平面(空间)力偶系——力系中全部是力偶。

概括如下:



第二节 静力学的基本原理

我们知道，牛顿运动定律是研究物体机械运动一般规律的基础，自然也是研究机械运动的特殊情形——平衡问题的基础。但在这里，我们将不全面讲述牛顿运动定律，而只提出静力学中用到的几个原理。这几个原理，有的就是牛顿定律本身的内容；有的则是可由牛顿定律导出的结论，不过我们在这里将不加证明，而只作为由实践验证的原理提出来。下面就讲述这几个原理。

一、静力学公理

静力学公理，是解决静力学问题的基础，是对力的性质的具体概括和总结。它也是人类长期研究的结果，是通过在劳动和社会实践中积累而得到的结论。因此，学习和掌握好静力学公理，对于学习和掌握力学的内涵，掌握工程问题的解决方法，学会科学的创新意识和创新精神都具有重要作用。

公理1 二力平衡公理

要使刚体在两个力作用下维持平衡状态，必须也只需这两个力大小相等、方向相反、沿同一直线作用。

公理1揭示了作用于物体上最简单的力系平衡时所必需满足的条件。对于给定的刚体来说，这个条件是必要和充分的。

例如，在一根静止的刚杆的两端沿着同一直线 AB 施加两个拉力（图1-2a）或压力（图1-2b） F_1 及 F_2 ，使 $F_1 = -F_2$ ，由经验可知，刚杆将保持静止，既不会移动，也不会转动，所以 F_1 与 F_2 两个力能平衡。反之，如果 F_1 与 F_2 不满足上述条件，即或者它们的作用线不同，或者 $F_1 \neq -F_2$ ，则刚体将从静止开始运动，即两个力不能平衡。

需要说明的是，公理1只适用于刚体。对于刚体，等值、反向、共线作为二力平衡条件是必要的，也是充分的；但对于变形体来说，

这个条件是不充分的。这样的例子在生活和生产实践中很多，例如，一个具有弹性的物体，当受到两个等值反向的拉力时，物体处于平衡状态；反之当受两个等值、反向压力时，物体不一定能平衡。

公理2 加减平衡力系公理

在任一力系中加上一个平衡力系，或从其中减去一个平衡力系，所得新力系与原力系对于刚体的运动效应相同。

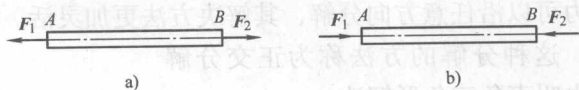


图1-2 二力平衡杆件

这个原理的正确性是显而易见的。因为一个平衡力系不会改变刚体的运动状态，所以，在原来作用于刚体的力系中加上一个平衡力系，或从其中减去一个平衡力系，不致使刚体运动状态发生附加的改变，即新力系与原力系等效。也就是说，如果两个力系只相差一个或几个平衡力系，则它们对刚体的作用是相同的，因此可以等效替换。

推论：力在刚体上的可传性

作用于刚体的力，其作用点可以沿作用线在该刚体内前后任意移动，而不改变它对该刚体的作用。如图 1-3 所示。

公理 3 力平行四边形公理

作用于物体上任一点的两个力可合成为作用于同一点的一个力，即合力。合力的矢由原两力的矢为邻边而作出的力平行四边形的对角矢来表示。如图 1-4a 所示。即合力为原两力的矢量和。

矢量表达式： $F_R = F_1 + F_2$

应用此定理求两个汇交合力的大小和方向（即合力矢）时，可由任意一点起作一力的三角形，这样解决问题就容易得多。如图 1-4b、c。

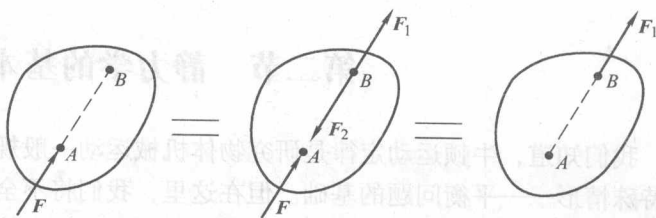


图 1-3

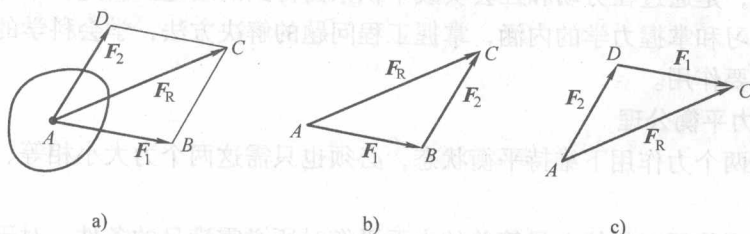


图 1-4

利用平行四边形法则求合力，对于形变体来说，二力要有共同的作用点；对于给定的刚体来说，二力的作用线只要相交就可以合成了。因此，平行四边形法则不仅适合于刚体，也适合于形变体。也可利用平行四边形法则将一个力分解成作用于同一点的两个分力。显然，一个力可以沿任意方向分解，其解决方法更加灵活。在工程上，常将力沿两个垂直方向进行分解，这种分解的方法称为正交分解法，也叫直角三角形解法。

推论：三力汇交定理

当刚体在三个力作用下平衡时，设其中两个力的作用线相交于某点，则第三个力的作用线必定也通过这个点。如图 1-5 所示。

公理 4 作用和反作用定律

作用力和反作用力总是同时存在，

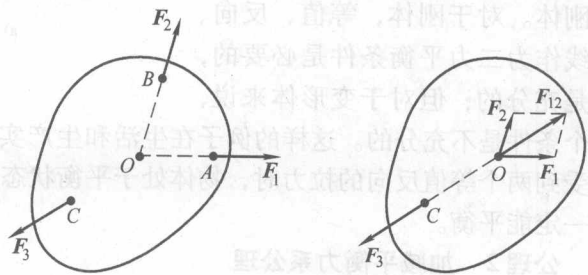


图 1-5

两力的大小相等、方向相反,沿着同一直线,分别作用在两个相互作用的物体上。

如果将相互作用的一个力视为作用力,那么另一个力一定是反作用力。这一定律就是牛顿第三定律,不论物体是静止的或运动着的,这一定律都成立。

应用公理4时,应当特别注意作用力和反作用力是分别作用在两个物体上的。力总是成对出现的,决不能与二力平衡相混淆。分析具体问题时也要分清受力物体和施力物体,找准构成作用力和反作用力的根源。

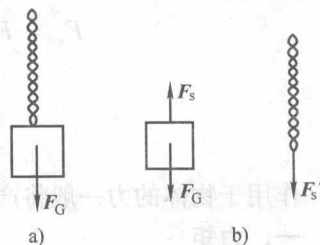


图 1-6

一个起重机通过钢丝绳吊起一重物,它的受力情况分析如图1-6所示,试讨论各个力的反作用力分别是哪个力?

公理5 刚化公理

设变形体在已知力系作用下维持平衡状态,则如将这个已变形但平衡的物体变成刚体(刚化),其平衡不受影响。

例如,如图1-7a所示,弹簧AB在力 F_1 、 F_2 的作用下保持平衡。若将弹簧刚化成为如图1-7b所示的刚杆,其平衡状态不改变。

此原理建立了刚体的平衡条件和变形体的平衡条件之间的联系,它说明了变形体平衡时,作用在其上的力系必须满足把变形体刚化为刚体后刚体的平衡条件。这样,我们就能把刚体的平衡条件应用到变形体的平衡问题中去,从而扩大了刚体静力学的应用范围,这在弹性体静力学和流体静力学中有重要的意义。

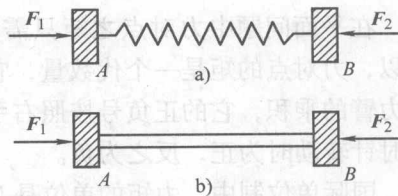


图 1-7

应该指出,刚体的平衡条件对于变形体来说只是必要的,而非充分的。因此,要研究变形体是否平衡,仅有刚体平衡条件是不够的,还需另外附加条件。

二、力的正交分解

1. 力的分解

由前面分析知道,两个共点力可以合成一个合力,反过来,一个已知力可以分解为两个力。

在力的平行四边形法则中,每一个矢量都包含有大小和方向两个要素,两个力的合成中就包含6个要素,也就是说必须已知4个要素,才能确定另外两个要素。在已知合力大小和方向的条件下,还必须规定另外两个条件。例如,规定两个分力的方向;或两个分力的大小;或一个分力的大小和方向;或一个分力的大小,另一个分力的方向等。所以,在两个共点力的合成时,合力是确定的;而在把一个已知力分解成两个分力时,在已知力的大小和方向确定的情况下,还必须确定两个分力的大小、方向四个要素中的两个要素,才能使两个分力成为确定的。否则将无法确定。

2. 力的正交分解

通常力的分解是把一个力分解成相互垂直的两个分力,这种方法被称为力的正交分解。而且往往是在力 F 作用线所在平

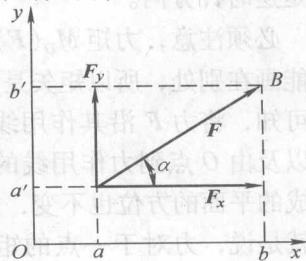


图 1-8

面内建立 Oxy 坐标系, 而把 F 分解成 F_x 、 F_y 两个分力。如图 1-8 所示。

由图 1-8 可知

$$F_x = F \cos \alpha \quad F_y = F \sin \alpha \quad F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

第三节 力矩与力偶

作用于物体的力一般将产生转动效应。力的转动效应是用力矩来度量的。

一、力矩

1. 力矩的概念

设有一力 F 作用于刚体上的某一平面内, 在该平面内任取一点 O , 如图 1-9 所示。当力 F 的作用线不通过固定支点 O 时, 则物体产生转动效应, 其转动效应与力 F 的大小和 O 点到力 F 的作用线的垂直距离 d 有关, 现将 O 称为矩心, 点 O 到力 F 的作用线的垂直距离 d 称为力臂, 把它们的乘积用来度量平面力 F 对点 O 之矩, 简称力矩, 用记号 $M_O(F)$ 表示, 其计算公式为

$$M_O(F) = \pm Fd$$

在平面问题中力对点之矩只需考虑力矩的大小和转向, 所以, 力对点的矩是一个代数量, 它的绝对值等于力的大小与力臂的乘积, 它的正负号按照右手规则: 力使物体绕矩心逆时针转动时为正, 反之则为负。

国际单位制中, 力矩的单位是 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$

在空间力系问题里, 力对一点的矩应作为矢量。因为在空间力系问题里, 各个力分别和矩心构成不同的平面, 各力对于物体绕矩心的转动的效应, 不仅与各力矩的大小及其在各自平面内的转向有关, 而且与各力和矩心所构成的平面的方位有关。也就是说, 为了表明力对于物体绕矩心的转动的效应, 需要表示出三个因素: 力矩的大小; 力和矩心所构成的平面; 在该平面内力矩的转向。这三个因素不可能用一个代数量表示出来, 而需用一个矢量来表示。如图 1-10 所示, 自矩心 O 作矢量 $M_O(F)$ 表示力 F 对于 O 点的矩。矩矢 $M_O(F)$ 的模 (即力矩的大小) 已知为 $M_O(F) = Fa$; $M_O(F)$ 垂直于 O 点与力 F 所决定的平面; 至于 $M_O(F)$ 的指向, 则按右手螺旋法则决定: 如以力矩的转向为右手螺旋的转向, 则螺旋前进的方向就代表矩矢 $M_O(F)$ 的指向, 或者说, 从矩矢 $M_O(F)$ 的末端向其始端看去, 力矩的转向是逆时针方向。

必须注意, 力矩 $M_O(F)$ 既然与矩心位置有关, 因而矩矢 $M_O(F)$ 只能画在矩心 O 处, 而不能画在别处, 所以矩矢是定位矢。由力对一点的矩的定义可知, 将力 F 沿其作用线移动时, 由于 F 的大小、方向以及由 O 点到力作用线的距离都不变, 力 F 与矩心 O 构成的平面的方位也不变, 因而力对于 O 点的矩也不变。也就是说, 力对于一点的矩不因为沿其作用线移动而改变。

2. 力矩的性质

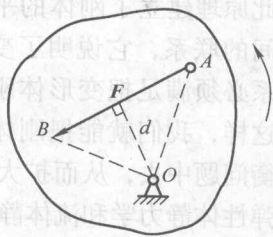


图 1-9



图 1-10

由力矩的概念可知力矩具有以下性质：

- 1) 力 F 对点 O 的矩，不仅决定于力的大小，同时与矩心选择的位置有关，矩心位置不同，力矩随之而异。
- 2) 力的大小等于零或力的作用线通过矩心（即 $d=0$ ），则力矩等于零。
- 3) 力 F 对刚体内任一点的矩，不因为 F 沿其作用线滑移而改变。
- 4) 相互平衡的力对同一点之矩的代数和等于零。

二、力偶

1. 力偶的概念

在生活和生产实践中，常见到某些物体同时受到大小相等、方向相反、作用力互相平行的两个力作用的情况。例如，驾驶员用双手操纵方向盘的作用力 F 和 F' （图 1-11）；钳工用双手转动扳手和丝锥攻螺纹的作用力 F 和 F' （图 1-12）等。

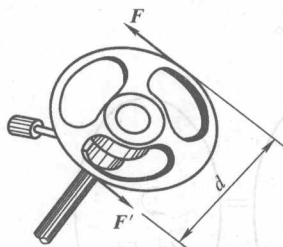


图 1-11

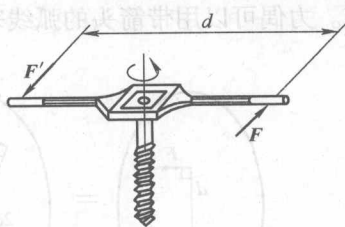


图 1-12

这一对等值、反向、不共线的平行力组成的特殊力系，称为力偶，记作 (F, F') 。力偶的两力之间的垂直距离 d 称为力偶臂，力偶所在的平面称为力偶作用面。由于力偶中两个力不共线，所以力偶不是平衡力系。它对刚体只产生转动效应，而不产生移动效应。力偶对刚体产生的转动效应以力偶矩来度量，记作 $M(F, F')$ ，简记为 M 。可以用下式表示为

$$M(F, F') = M = \pm Fd$$

力偶矩是一个代数量，其绝对值等于力的大小与力臂的乘积；正负规定是按照右手规则：使物体逆时针方向转动的力偶，其力偶矩为正，反之则为负。力偶矩的单位与力矩相同，也是 $N \cdot m$ 或 $kN \cdot m$ 。

衡量力偶转动效应的三要素是：力偶矩的大小、力偶的转向、力偶的作用面。

2. 力偶的性质

1) 力偶在任一轴上投影的代数和为零（图 1-13），故力偶无合力；力偶对刚体的移动不产生影响，即力偶不能与一个力等效，也不能简化为一个力。

2) 力偶对其作用面内任一点之矩与该点（矩心）的位置无关，它恒等于力偶矩。如图 1-14 所示，已知力偶 (F, F') 的力偶矩为 $M = Fd$ ，在其作用面内任意取点 O 作为矩心，设点 O 到力 F' 的垂直距离为 x ，则力偶 (F, F') 对点 O 之矩为

$$M_O(F) + M_O(F') = F(x + d) - F'x = Fd$$

与矩心的位置无关。

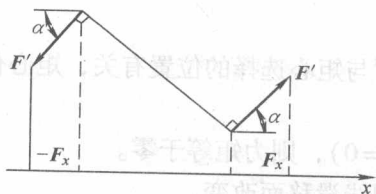


图 1-13

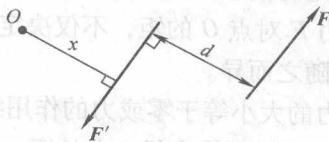


图 1-14

3. 力偶的等效

由力偶的性质可得出下列推论：

- 1) 只要保持力偶矩不变，力偶可以在它的作用面内任意转移，而不改变对刚体效应。因此，力偶对刚体的作用与力偶在其作用面内的位置无关。
- 2) 只要保持力偶矩不变，可以同时改变力偶中力的大小和力偶臂的长短，而不改变其作用效应。力偶可以用带箭头的弧线表示，如图 1-15 所示。

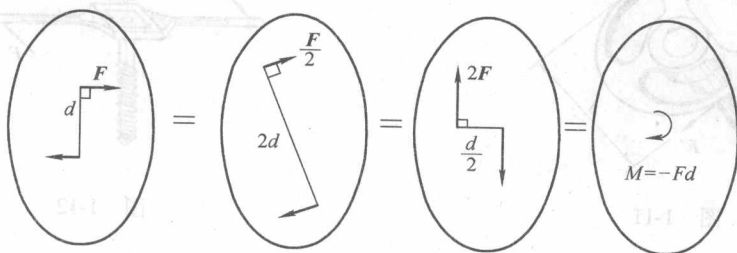


图 1-15

必须指出，上述力偶等效替换的性质只适用于刚体，不能够无条件地应用到弹性体上。

由于一个力偶对物体的作用效应完全取决于其力偶矩，所以有以下的结论：

- 1) 两个在同一平面内的力偶，如果力偶矩相等，则两个力矩彼此等效。
- 2) 力偶可在其作用面内任意移动和转动，而不会改变它对物体的作用。
- 3) 在保持力偶矩大小和转向不变的条件下，可以同时改变力和力偶臂的大小，而不会改变力偶对物体的作用。

第四节 约束与约束力

凡能在空间不受限制自由运动的物体称为自由体。如空中自由飞行的小鸟、飞机、导弹等，它们的运动位移不受任何限制。凡因受到周围物体的阻碍、限制而不能自由运动的物体称为非自由体。它们的运动位移受到了预先给定条件的限制。如蒸汽机中的活塞，受到汽缸的限制，只能在汽缸中做往复运动；起重机钢索上悬挂的重物不能随意落下；火车只能在轨道上行驶等。在静力学中，把对于物体运动所加的限制条件称为约束。如汽缸、钢索、轨道就是活塞、重物、火车的约束。

约束限制物体的运动，因此，约束一定有“力”作用于被约束的物体上，这种力称为