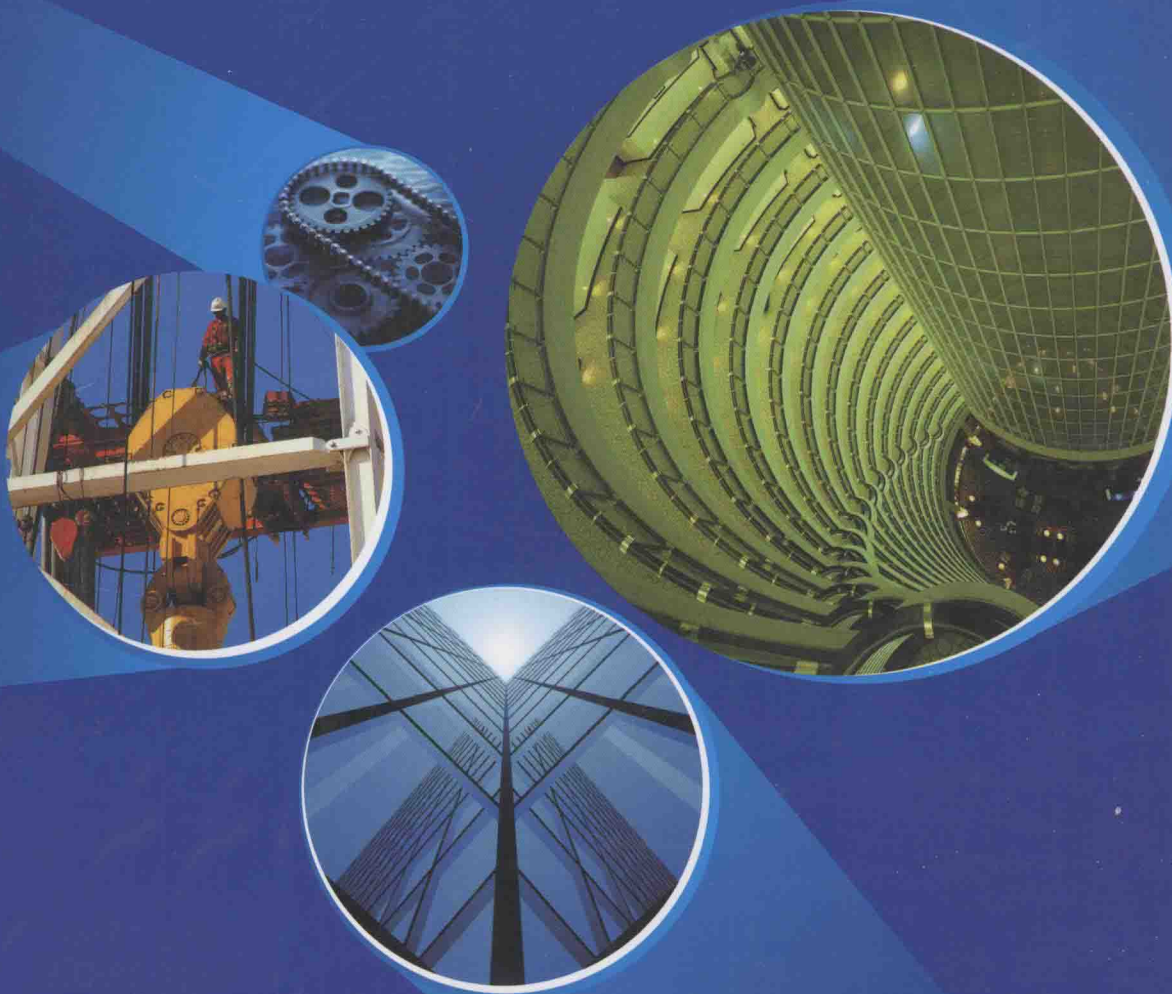




高职高专“十一五”规划标准化教材

工程力学

主 编 张信群
副主编 龚厚仙 张宝霞
参 编 贾会星 范丽丽



北京航空航天大学出版社



高职高专“十一五”规划标准化教材

工程力学

主 编 张信群
副主编 龚厚仙 张宝霞
参 编 贾会星 范丽丽

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书结合高职高专的教学特点编写而成,克服了一些同类教材面面俱到的缺陷,从高职学生的实际需要出发,主要介绍静力学和材料力学两部分内容。全书共分2篇12章,主要内容包括:静力学的基本概念,平面汇交力系;力矩和平面力偶系;平面任意力系;空间力系与重心;拉伸与压缩;剪切与挤压;圆轴扭转;平面弯曲内力;平面弯曲梁的强度与刚度计算;应力状态及强度理论;组合变形时杆件的强度计算。

本书加强了例题分析,以培养学生解决实际问题的能力,所选例题和习题力求结合工程实际。

本书可作为高职高专及成人院校的机械类、近机械类专业教材,也可作为自学参考书或技能培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/张信群主编. — 北京:北京航空航天大学出版社, 2009. 9

ISBN 978 - 7 - 81124 - 829 - 6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 116190 号

工程力学

主 编 张信群

副主编 龚厚仙 张宝霞

参 编 贾会星 范丽丽

责任编辑 潘晓丽 张雯佳 刘秀清

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpress@263.net

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:13.25 字数:339 千字

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978 - 7 - 81124 - 829 - 6 定价:22.00 元

前言

“工程力学”是高职高专机械类及近机械类各专业的重要技术基础课程,在基础课程和专业课程之间起着桥梁作用,为专业设备的机械运动分析和强度分析提供必要的理论基础。

本书是编者在总结了多年来教学改革实践经验的基础上,并结合高职高专的教学特点编写的。全书共分2篇12章,主要内容有:静力学的基本概念;平面汇交力系;力矩和平面力偶系;平面任意力系;空间力系与重心;拉伸与压缩;剪切与挤压;圆轴扭转;平面弯曲内力;平面弯曲梁的强度与刚度计算;应力状态及强度理论;组合变形时杆件的强度计算。

本书主要有以下特点:

1. 文字精练,语言通俗。在文字叙述和理论推导时,既注意到语言规范,又力求删繁就简、简明扼要。

2. 克服了一些同类教材面面俱到的缺陷,从高职学生的实际需要出发,主要介绍静力学和材料力学两部分内容。

3. 在章节的编排上,既考虑到内容的系统性,又兼顾了教学的便利;在内容的选取上,尽可能从专业性、技术性和应用性上加以考虑;在理论知识的深度上力求符合高职高专“必需、够用”的教学要求。

4. 加强了例题分析,以培养学生解决实际问题的能力,所选例题和习题力求结合工程实际。

本书由张信群主编。其中绪论和第3章由张信群编写;第1、11、12章由范丽丽编写;第2、4、5章由张宝霞编写;第6~8章由龚厚仙编写;第9、10章由贾会星编写。全书由张信群统稿。

本书可作为高职高专及成人院校的机械类、近机械类专业的教材,也可作为自学参考书或技能培训教材。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,敬请专家和广大读者批评指正。

作者
2009年5月

目 录

绪 论	1
-----	---

第 1 篇 静力学

第 1 章 静力学的基本概念	4
1.1 力的概念	4
1.1.1 力的定义	4
1.1.2 力的三要素	4
1.1.3 力的表示方法	5
1.2 力的性质	5
1.3 约束与约束反力	7
1.3.1 柔性约束	8
1.3.2 光滑面接触约束	8
1.3.3 光滑铰链约束	9
1.4 物体的受力分析与受力图	10
1.4.1 单个物体的受力图	10
1.4.2 物体系统的受力图	11
1.5 思考题与习题	12
1.5.1 思考题	12
1.5.2 习 题	13
第 2 章 平面汇交力系	15
2.1 平面汇交力系的合成	15
2.1.1 平面汇交力系合成的几何法	15
2.1.2 力在直角坐标轴上的投影和沿直角坐标轴的分解	17
2.1.3 合力投影定理	18
2.1.4 平面汇交力系合成的解析法	19
2.2 平面汇交力系的平衡	20
2.2.1 平面汇交力系平衡的几何条件	20
2.2.2 三力平衡汇交定理	21
2.2.3 平面汇交力系平衡的解析条件和平衡方程	22
2.3 思考题与习题	25
2.3.1 思考题	25
2.3.2 习 题	26



第3章 力矩和平面力偶系	29
3.1 力矩和力偶	29
3.1.1 力矩	29
3.1.2 合力矩定理	30
3.1.3 力矩平衡条件	32
3.1.4 力偶和力偶矩	33
3.1.5 力偶的等效性	34
3.2 平面力偶系的合成和平衡	35
3.2.1 平面力偶系的合成	35
3.2.2 平面力偶系的平衡	36
3.3 力的平移定理	37
3.4 思考题与习题	38
3.4.1 思考题	38
3.4.2 习题	39
第4章 平面任意力系	42
4.1 平面任意力系的简化	42
4.1.1 平面任意力系向任意一点简化	42
4.1.2 简化结果分析	44
4.2 平面任意力系的平衡方程及其应用	45
4.2.1 平面任意力系的平衡条件	45
4.2.2 平面任意力系的平衡方程	46
4.2.3 平面任意力系的解题步骤	46
4.3 物系的平衡	49
4.3.1 静定与静不定问题的概述	49
4.3.2 物系的平衡问题及求解	49
4.4 考虑摩擦时的平衡问题	53
4.4.1 滑动摩擦	53
4.4.2 摩擦角与自锁现象	54
4.4.3 考虑摩擦时物体的平衡问题及求解	55
4.4.4 滚动摩擦简介	58
4.5 思考题与习题	59
4.5.1 思考题	59
4.5.2 习题	60
第5章 空间力系与重心	63
5.1 力沿空间直角坐标轴的分解与投影	64
5.1.1 力沿空间直角坐标轴的分解	64
5.1.2 力沿空间直角坐标轴的投影	64
5.2 力对轴之矩	66



5.2.1 力对轴之矩的概念	66
5.2.2 空间力系的合力矩定理	67
5.3 空间力系的平衡方程及其应用	68
5.3.1 空间力系的平衡条件与平衡方程	68
5.3.2 空间约束简介	68
5.3.3 空间力系的平面图解法	71
5.4 重 心	72
5.4.1 平行力系的中心	72
5.4.2 重心位置的计算及确定	75
5.4.3 重心位置的其他确定法	76
5.5 思考题与习题	78
5.5.1 思考题	78
5.5.2 习 题	79

第 2 篇 材料力学

第 6 章 拉伸与压缩	84
6.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例	84
6.2 轴力与轴力图	85
6.2.1 内力与截面法	85
6.2.2 轴力与轴力图	86
6.3 轴向拉(压)时横截面上的应力	88
6.3.1 应力的概念	88
6.3.2 轴向拉(压)时横截面上的应力分布规律及计算	89
6.4 轴向拉(压)时的变形	91
6.4.1 绝对变形和相对变形	91
6.4.2 泊松比	91
6.4.3 胡克定律	92
6.5 金属材料在拉伸与压缩时的力学性能	93
6.5.1 拉伸试验和应力-应变曲线	93
6.5.2 低碳钢拉伸时的力学性能	94
6.5.3 铸铁拉伸时的力学性能	96
6.5.4 材料压缩时的力学性能	96
6.6 轴向拉(压)时的强度计算	97
6.6.1 极限应力和许用应力	97
6.6.2 轴向拉(压)时的强度计算	97
6.7 杆件系统超静定问题简介	100
6.7.1 超静定问题的概念与解法	100
6.7.2 装配应力和温度应力	101



6.8 思考题与习题	102
6.8.1 思考题	102
6.8.2 习 题	102
第 7 章 剪切与挤压	106
7.1 剪切与挤压的概念与实例	106
7.1.1 剪切的概念与实例	106
7.1.2 挤压的概念与实例	107
7.1.3 剪切变形与剪切胡克定律	107
7.2 剪切与挤压的实用计算	108
7.2.1 剪切的实用计算	108
7.2.2 挤压的实用计算	109
7.2.3 剪切和挤压的综合应用	110
7.3 思考题与习题	112
7.3.1 思考题	112
7.3.2 习 题	113
第 8 章 圆轴扭转	115
8.1 圆轴扭转的概念与实例	115
8.2 外力偶矩与扭矩	115
8.2.1 外力偶矩的计算	116
8.2.2 扭矩的计算	116
8.2.3 扭矩图	116
8.3 圆轴扭转的切应力与强度计算	118
8.3.1 变形几何关系	118
8.3.2 横截面上的剪应力	119
8.3.3 强度计算	121
8.4 圆轴扭转变形与刚度计算	123
8.4.1 扭转变形	123
8.4.2 刚度条件	123
8.5 思考题与习题	125
8.5.1 思考题	125
8.5.2 习 题	125
第 9 章 平面弯曲内力	128
9.1 平面弯曲的概念与实例	128
9.1.1 弯曲的概念与实例	128
9.1.2 梁的类型	129
9.2 平面弯曲梁的内力与内力图	129
9.2.1 剪力与弯矩	130
9.2.2 剪力图与弯矩图	132



9.3 弯矩、剪力和载荷集度·····	136
9.3.1 弯矩、剪力和载荷集度之间的关系·····	136
9.3.2 利用弯矩、剪力和载荷集度之间的关系画 剪力图和弯矩图·····	138
9.4 思考题与习题·····	140
9.4.1 思考题·····	140
9.4.2 习 题·····	140
第 10 章 平面弯曲梁的强度与刚度计算 ·····	143
10.1 纯弯曲时梁的正应力·····	143
10.1.1 纯弯曲的概念·····	143
10.1.2 梁横截面上的正应力分布·····	144
10.1.3 梁的正应力计算·····	145
10.2 常用截面二次矩和平行移轴公式·····	147
10.2.1 常用截面二次矩·····	147
10.2.2 组合截面二次矩和平行移轴公式·····	148
10.3 弯曲正应力强度计算·····	149
10.4 弯曲剪应力简介·····	152
10.5 梁的弯曲变形概述·····	154
10.5.1 挠曲线方程·····	155
10.5.2 挠度与转角·····	155
10.6 用叠加法求梁的变形·····	156
10.6.1 梁的挠曲线近似微分方程·····	156
10.6.2 用叠加法求梁的变形·····	156
10.6.3 梁的刚度条件·····	157
10.7 提高梁承载能力的措施·····	158
10.8 思考题与习题·····	161
10.8.1 思考题·····	161
10.8.2 习 题·····	161
第 11 章 应力状态及强度理论 ·····	165
11.1 轴向拉压杆斜截面上的应力·····	165
11.2 应力状态的概念·····	166
11.2.1 点的应力状态·····	166
11.2.2 应力状态的分类·····	167
11.3 应力状态分析简介·····	168
11.3.1 任意截面上的应力·····	168
11.3.2 平面应力状态主应力的大小和方向·····	169
11.3.3 最大剪应力·····	170
11.4 强度理论·····	171



11.4.1 强度理论的概念.....	171
11.4.2 四种常见的强度理论.....	172
11.5 思考题与习题.....	174
11.5.1 思考题.....	174
11.5.2 习 题.....	174
第 12 章 组合变形时杆件的强度计算	175
12.1 组合变形的概念.....	175
12.2 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形.....	176
12.3 扭转与弯曲的组合变形.....	178
12.4 思考题与习题.....	181
12.4.1 思考题.....	181
12.4.2 习 题.....	181
附录 型钢规格表.....	183
参考文献.....	199

绪 论

1. 工程力学的研究内容

工程力学是一门研究物体机械运动一般规律和有关构件强度、刚度、稳定性理论的学科,包括静力学、材料力学、运动学和动力学相关内容。本书讲述工程力学最基础的内容,即静力学和材料力学两部分。

静力学主要研究物体的平衡问题。平衡是指物体处于静止或匀速直线运动状态,是机械运动的特殊形式。在工程力学中首先研究物体受力后的平衡条件及其在工程中的应用,静力学是研究和学习材料力学、运动学和动力学的基础。

工程上的机械、设备和结构都是由构件组成的,构件在工作时要受到外力(通常称为载荷)的作用。材料力学的主要任务就是研究构件在外力作用下变形、受力和破坏的规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度和稳定性分析的基本理论和方法。

2. 工程力学的研究方法

工程力学和其他学科一样,其研究方法离不开认识过程的客观规律。工程力学的研究方法是:从实践中发现问题,经过抽象、综合和归纳,建立公理或提出合理的假设,再用数学演绎和逻辑推理的方法获得定理和结论,然后再通过实践来验证理论的正确性。

观察和实验是认识力学规律的重要实践环节。人们通过观察生活及生产实践中的各种现象,并通过实验抓住主要因素,忽略次要因素,经过分析、综合和归纳,总结出力学的最基本规律。例如力矩和力偶的概念、二力平衡公理、力的平行四边形法则等。

在观察和实验的基础上,用抽象化的方法来建立理想的力学模型。抽象化的方法就是在客观事物的复杂现象中,抓住主要因素,忽略次要的、偶然的因素,深入事物本质,明确事物间的内在联系。例如,在静力学分析中,忽略物体受力产生的变形,将物体抽象化为刚体;在材料力学分析中,即使微小的变形也必须加以考虑,此时刚体模型就不再适用,而必须用变形体来代表真实的物体。

在建立力学模型的基础上,根据公理、定律和基本假设,借助数学的方法,通过演绎、推理,得到各种形式正确的具有物理意义和实用价值的定理和推论。

工程力学是前人经过无数次“实践—理论—实践”的循环反复过程,使认识不断深化和提高,逐步总结和归纳出一整套关于物体机械运动的一般规律及构件强度、刚度和稳定性计算的合理方法。因此,作为学生,学习并接受工程力学知识是完全必要的,并且还要在生产实践中应用、验证和发展工程力学。

3. 学习工程力学的目的和任务

工程力学是现代工程技术的重要基本理论之一,无论是工程结构、机械与电气设备、控制与自动化,还是生产工艺等科学技术都需要工程力学。因此,学习工程力学的目的就是理解和



掌握一定的工程力学的基本规律和原理,以便在生产实践中应用这些知识,探索与专业结合的技术改革的途径,促进科学技术的发展。

学习本课程的主要任务是:运用工程力学的基本理论来解决工程技术中的实际问题,为学习其他专业课程提供必要的理论基础;通过工程力学的学习,培养正确的分析问题和解决问题的能力。

4. 工程力学发展简介

静力学从公元前 3 世纪开始发展,至公元 17 世纪由意大利科学家伽利略奠定了动力学的基础。由于农业和建筑业的要求,以及同贸易发展有关的精密测量的需要,推动了动力学的发展。人们在使用简单的工具和机械的基础上,逐渐总结出力学的概念和公理。例如,由滑轮和杠杆得出力矩的概念,由斜面得出力的平行四边形法则等。

阿基米德是使静力学成为一门真正学科的奠基者。他创立了杠杆理论,也创立了静力学的一些主要原理,他第一个使用严密的推理求出了平行四边形、三角形和梯形的重心位置,并近似求出了封闭抛物线的重心。

在古代,虽然还没有严格的科学理论,但人们在长期的生产实践中得到的一些粗浅认识已经体现在一些古代建筑中,大体上也符合现代材料力学的基本原理。随着工业的发展,在车辆、船舶、机械和大型建筑工程的建造中所碰到的问题日益复杂,单凭经验已无法解决。因此,在对构件强度和刚度长期定量研究的基础上,逐渐形成了材料力学。

伽利略通过一系列实验,于 1638 年首次提出了梁的强度计算公式,但由于当时对材料受力后会发生变形这一规律缺乏认识,他采用了刚体力学的方法进行计算,以至于得到的结论不完全正确。后来,英国科学家胡克在 1678 年发表了根据弹簧实验所得到的胡克定律——力与变形成正比,奠定了材料力学的基础。直到 17 世纪,牛顿创立了古典力学,才实现了人类对自然界认识的巨大飞跃。

以牛顿三大运动定律为基础的经典力学体系,决定了 300 多年的力学发展方向与范畴。长期的实践证明,现代一般工程中所遇到的大量力学问题,用经典力学来解决,不仅方便简捷,而且具有足够的精度,所以经典力学至今仍有很大的实用意义,并且还在不断地发展。

第1篇 静力学

静力学是关于物体平衡的学科,研究物体在力系作用下的平衡问题。

平衡是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态,是物体机械运动的一种特殊状态。绝对的平衡是不存在的,物体的平衡总是暂时的、相对的、有条件的。工程问题中所遇到的平衡问题,绝大部分相对于地球是静止的。

实际的研究对象往往是相当复杂的,为了简化分析,一般是抓住问题的主要因素,忽略一些影响不大的次要因素,从而抽象出理想的力学模型作为研究对象。例如,在研究物体的平衡规律及其运动特征时,可将物体视为刚体。所谓刚体,是指在任何外力作用下,其大小和形态始终保持不变的物体。而实际的物体在受力时总是要变形的。但是,如果所研究的物体变形很小,不影响所研究问题的实质,就可忽略其变形,视其为刚体。静力学部分所研究的物体仅限于刚体,所以又称之为刚体静力学。

静力学中主要研究两个问题:一是力系的简化,即将作用于刚体上的力系简化为与其等效的一个简单力系,研究的目的是简化刚体上的受力,便于对问题进行分析和讨论;二是力系的平衡,所谓力系的平衡即指刚体平衡时其所受力系应满足的条件,这也是静力学所研究的中心问题。

静力学在工程实践中有着广泛的应用,力系的简化理论和物体受力分析的方法是材料力学的理论基础,同时也是部分后续课程的重要基础。

第1章 静力学的基本概念

学习目标

- ▶ 正确建立刚体、力和平衡的概念,掌握力的基本性质和静力学公理。
- ▶ 正确建立约束和约束反力的概念,熟练掌握常见的典型约束的约束反力的画法。
- ▶ 掌握物体受力分析的基本方法,能正确地画物体的受力图。

本章将主要介绍静力学的一些基本概念和基本公理,以及如何建立工程实际的力学模型。其中对于约束及约束模型的深刻理解和正确应用是进行物体受力分析的关键,绘制物体的受力图是解决静力学问题的重要基础,也是本章的重点。

1.1 力的概念

1.1.1 力的定义

用手推门时,手指与门之间有了相互作用,这种作用使门产生了运动;用汽锤锻打工件时,汽锤与工件之间有了相互作用,工件的形状和尺寸发生了改变。人们在长期的生产实践活动中,经过不断观察和总结,形成了力的定义:力是物体间的相互机械作用。所谓机械作用是指物体间通过直接接触或是通过物质的另一种形式——场(例如重力场)而起的作用。在工程实践中,物体间机械作用的形式是多种多样的,例如:重力、压力、摩擦力等。

力将使物体发生两种效应:一种是运动效应,指力使物体的运动状态发生变化,也称为外效应;一种是变形效应,指力使物体的形状发生改变,也称为内效应。

1.1.2 力的三要素

力对物体的作用效应取决于力的三要素,即力的大小、力的方向和力的作用点。当这三个要素中有任何一个改变时,力的作用效应也将随之改变。

(1) 力的大小

力的大小用来表示机械作用的强弱,可以根据力的效应大小加以测定。在静力学中,常通过力的内效应大小来测定,例如用弹簧秤来测定。为了量度力的大小,必须确定力的单位。在国际单位制中,力的单位是牛,用符号 N 表示。有时也以千牛作为单位,符号为 kN , $1 kN = 10^3 N$ 。

(2) 力的方向

力的方向是指力作用的方位和指向。对于重力而言,其方向是竖直向下的,即力的方位是“竖直”,指向是“向下”。

(3) 力的作用点

力的作用点是指力作用的位置。实际上,当两个物体相互作用时,力总是分布地作用在一定的面积上。若力作用的面积较大,则称为分布力,例如,作用于烟囱上的风压力,水平桌面对



书本的支承力等。若力的作用面积很小,则可近似地看成作用于一个点上,这种力称为集中力,该点称为力的作用点,例如,静止停放的汽车通过轮胎作用于地面上的力。

通过力的作用点并沿着力方向的直线,称为力的作用线。

1.1.3 力的表示方法

力是一个既有大小又有方向的量,称为力矢量。本书中,用黑体字母表示矢量,例如力 $\mathbf{F}$,图示时,力用一个有向线段表示。线段的长度按一定的比例尺表示力的大小,并用白体 F 表示;线段箭头的指向表示力的方向;线段的始端 A 或末端 B 表示力的作用点,如图 1-1 所示。把物体间的一个机械作用表示成有方向和大小的线段,是力学研究中对物体间机械作用的简化约束。

力在直角坐标系中表示为

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k} \quad (1-1)$$

式中, F_x 、 F_y 、 F_z 分别为力矢量 $\mathbf{F}$ 在轴 x 、 y 、 z 上的投影,为代数量,如图 1-2 所示。

通常情况下,作用于物体上的力不止一个。将作用于物体上的一群力称为力系,而使物体保持平衡状态的力系称为平衡力系。若两力系分别作用于同一个物体上且所产生的效果相同,则这两力系为等效力系。若一力系与一力等效,则此力称为该力系的合力,而力系中的各个力,称为此合力的分力。将各分力代换成合力的过程,称为力系的合成;将合力代换成分力的过程,则称为力系的分解。

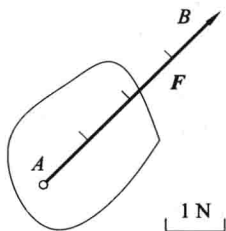


图 1-1 力的表示方法

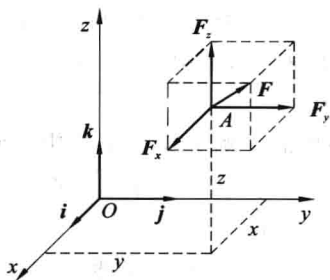


图 1-2 力的直角坐标表示

1.2 力的性质

在长期的生活与生产实践中,人们逐渐总结出了几条力的基本性质,由于其正确性已被实践反复证明,为大家所公认,所以也称为静力学公理。公理可以认为是真理而不需证明。

力的基本性质可以用 4 个静力学公理来表达。

性质 1 力的平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力可以合成为一个合力,且合力的作用点也在该点,其大小和方向可由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的主对角线确定。用矢量表示为

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

合力 $\mathbf{F}_R$ 等于两分力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的矢量和。其大小和方向可用几何作图法,或利用几何关系计算得到。



用几何作图法时,首先选取恰当的比例尺作出力的平行四边形,然后直接从图上量取对角线长度,乘以比例尺就是合力 F_R 的大小,量出对角线与两分力之间的夹角,便确定了合力 F_R 的方向。

利用几何关系计算时,如图 1-3 所示,由余弦定理可得合力的大小为

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha} \quad (1-2)$$

由正弦定理,可求出合力 F_R 分别与分力 F_1 、 F_2 间的夹角,即由

$$\frac{F_1}{\sin\varphi_2} = \frac{F_2}{\sin\varphi_1} = \frac{F_R}{\sin(180^\circ - \alpha)} \quad (1-3)$$

得

$$\sin\varphi_1 = \frac{F_2\sin\alpha}{F_R}, \quad \sin\varphi_2 = \frac{F_1\sin\alpha}{F_R} \quad (1-4)$$

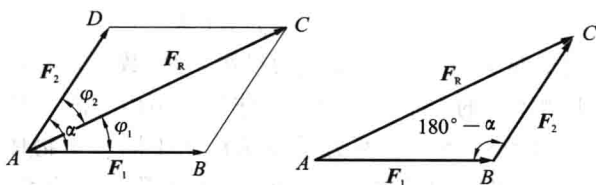


图 1-3 力的平行四边形公理

性质 2 二力平衡公理

作用在刚体上的两力平衡的必要与充分条件是:这两力的大小相等、方向相反,且作用在同一直线上,即 $F_1 = -F_2$,如图 1-4 所示。

这是最简单的平衡力系。工程中经常遇到只受两个力作用而平衡的构件,称为二力构件。如果二力构件的形状为杆状,则称之为二力杆。

在实际应用中,一些构件的重力与其所承受的载荷相比小得多,可以忽略不计;若它们只受两个外力作用而平衡,则也将其简化为二力构件。

性质 3 加减平衡力系公理

在给定的力系中,增加或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

由性质 3 可得两个推论:

推论 1 力的可传性

作用在刚体上的力可以沿其作用线移至刚体内任意点,而不改变它对刚体的作用效应。

证明: 设作用在刚体上点 A 的力为 F ,如图 1-5(a)所示。在力的作用线上任取一点 B,并在 B 点沿力的作用线加上一对大小均为 F 的平衡力 F_1 、 F_2 ,如图 1-5(b)所示。由性质 3 知,新力系(F, F_1, F_2)与原力系(只有一个力 F)等效。而 F 和 F_1 是平衡力系,故减去后不改变力系的作用效应,如图 1-5(c)所示。所以,剩下的力 F_2 与原力系 F 等效。力 F_2 与力 F 大小相等,作用线和指向相同,只是作用点由 A 变为了 B。

推论 1 表明,对于刚体而言,力的作用点已不是决定力的作用效应的一个要素,它应被力的作用线取代。因此,作用于刚体上的力的三要素是:力的大小、方向和作用线。

推论 2 三力平衡汇交定理

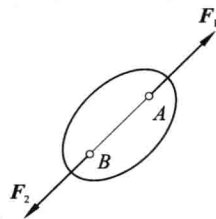


图 1-4 二力平衡公理

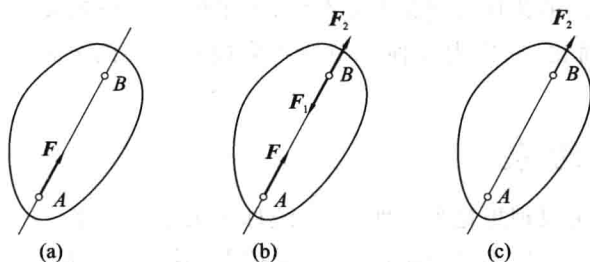


图 1-5 加减平衡力系公理

作用于刚体上的三个相互平衡的力,若其中两个力的作用线汇交于一点,则此三力必在同一平面内,且第三个力的作用线必通过汇交点。

证明:如图 1-6 所示,在刚体的 A、B、C 三点上,分别作用三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 。根据力的可传性原理,将力 F_1 、 F_2 移至汇交点,然后由性质 1 力的平行四边形法则求出它们的合力 F_{12} ,则力 F_3 应与 F_{12} 平衡。因两力平衡必共线,所以力 F_3 必定与 F_1 和 F_2 共面,且通过力 F_1 与力 F_2 的交点 O。

性质 4 作用和反作用公理

两物体之间存在作用力和反作用力,并且两者大小相等,方向相反,沿同一条直线,分别作用在两个物体上。

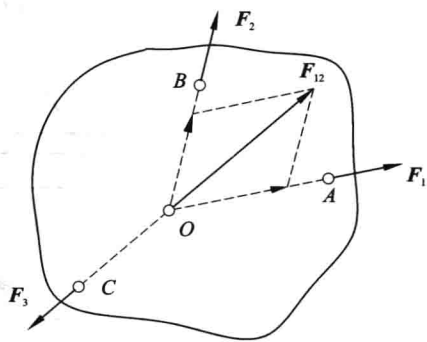


图 1-6 三力平衡汇交定理

这一定律是由牛顿提出的(即牛顿第三定律),它概括了自然界中物体间的相互作用关系,表明一切力总是成对出现的,揭示了力的存在形式及其在物体间的传递方式。

1.3 约束与约束反力

物体按运动是否受到限制可分为两类:自由体和非自由体。可以在空间任意运动的物体称为自由体,例如宇宙空间中的天体或航天器等;如果物体在某一方向的运动受到阻碍,该物体就称为非自由体。日常生活和工程实际中遇到的物体大多是非自由体。对物体的这种阻碍称为约束,也可以将约束看作是阻碍物体运动的周围物体。例如,地面限制了站立在地面上的人的向下运动;铰链限制了门的平移;蒸汽机中的活塞,受到汽缸的阻碍,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。

约束对物体的作用力称为约束反力,简称约束力,其方向总是与约束所阻碍的物体运动方向相反。

与约束的阻碍作用相反,那些主动引起物体运动改变的力称为主动力,例如重力、风力、水压力和驱动力等。在工程设计中将主动力称为载荷。

一般而言,主动力是根据设计要求给定的,往往是已知的力。而约束力属于被动力,含有未知因素,约束力的大小在静力学中将由平衡条件求出。