



高职高专规划教材

G O N G C H E N G L I X U E

工程力学

主 编 胡如夫

副主编 周梅芳 叶振弘

浙江大学出版社

高职高专规划教材

工程力学

主 编 胡如夫
副主编 周梅芳 叶振弘

浙江大學出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学 / 胡如夫主编. —杭州: 浙江大学出版社,
2004. 9

高职高专机电类规划教材

ISBN 7-308-03860-2

I. 工... II. 胡... 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 (2004) 第 089253 号

丛书策划 樊晓燕

封面设计 刘依群

责任编辑 樊晓燕

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 千岛湖环球印务有限公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 20

字 数 402 千

版 次 2004 年 9 月第 1 版 2006 年 1 月第 3 次印刷

印 数 5001—9000

书 号 ISBN 7-308-03860-2/TB·032

定 价 26.00 元

内容简介

本书的应用为目的,以理论适度、讲清概念、突出应用为重点。全书除绪论外,共十四章,内容包括静力学基础、力矩和力偶理论、力系的合成和平衡、摩擦、杆件轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴扭转、梁的平面弯曲、应力状态分析和强度理论、组合变形强度计算、压杆稳定、运动学基础、动力学基础、动静法。

本书可作为高职高专院校机类专业、近机类专业的工程力学课程的教材。还可供有关专业师生及工程技术人员参考。

高职高专机电类规划教材

参编学校(排名不分先后)

浙江机电职业技术学院

杭州职业技术学院

宁波工程学院

宁波职业技术学院

嘉兴职业技术学院

金华职业技术学院

温州职业技术学院

浙江工贸职业技术学院

台州职业技术学院

浙江水利水电高等专科学校

浙江轻纺职业技术学院

浙江工业职业技术学院

丽水职业技术学院

湖州职业技术学院

前 言

为更好地适应高职高专院校机械类、近机类、土建类专业工程力学课程的教学需要,根据高职高专应用人才培养对工程力学课程基本要求,在总结多年来教学经验基础上,我们编写本教材。

本书内容以静力学和材料力学为主,为满足不同专业的需要,还编入了运动学和动力学的有关内容。

在编写中注意吸收其他教材的优点,并结合专业特点,力求做到基本概念、基本理论论述严谨,内容精练。在内容安排、例题和习题的选取等方面,尽量做到符合高职学生的认知特点和教学规律,并强化应用,突出实用。

本书中的力学术语、物理量名称及符号等,均执行了最新发布的国家标准的有关规定。

本书共14章,参加本书编写工作的有:胡如夫(第1章),倪占东(第2,3章),叶宏武(第4章),叶振弘(第5,6章),刘文耀(第7章),周梅芳(第8,9,10章),李旭平(第11章),毛志伟(第12章),周志宏(第13章),迟军(第14章)。

全书由胡如夫主编,周梅芳、叶振弘任副主编。

本书在编写过程中,得到了宁波工程学院吕全忠副教授的指点,编者在此表示真诚的谢意。

限于水平和时间,书中缺点和错误在所难免,请广大读者批评指正。

编者

2004年3月

目 录

绪 论	1
第 1 章 静力学基础	2
1.1 静力学的基本概念	2
1.1.1 刚体	2
1.1.2 力	3
1.2 静力学公理	3
1.3 载荷与约束	6
1.3.1 载荷的分类	6
1.3.2 约束与约束反力	8
1.4 物体的受力分析和受力图	13
1.5 平面汇交力系	17
1.5.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	17
1.5.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	18
习 题	22
第 2 章 力矩和力偶理论	24
2.1 力矩	24
2.1.1 力对点之矩	24
2.1.2 合力矩定理	25
2.1.3 力对轴之矩	26
2.2 力偶系	27
2.2.1 力偶及其性质	27
2.2.2 平面力偶系的合成	29
习 题	32
第 3 章 力系的合成和平衡	34
3.1 平面一般力系的简化	34

3.1.1 平面一般力系向一点简化	34
3.1.2 力系的主矢	35
3.1.3 力的平移定理	36
3.2 平面力系的平衡问题	38
3.2.1 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	38
3.2.2 平面平行力系的平衡方程	41
3.3 静定与静不定问题及物体系统的平衡	42
3.3.1 静定和超静定的概念	42
3.3.2 物体系统的平衡	43
3.4 空间力系的平衡问题	46
3.4.1 力在直角坐标轴上的投影	46
3.4.2 空间汇交力系的合成与平衡	46
3.5 平面力系的重心和形心	48
3.5.1 重心的概念及其坐标公式	48
3.5.2 确定物体重心的方法	50
习 题	53
第4章 摩 擦	58
4.1 滑动摩擦	58
4.1.1 静滑动摩擦	58
4.1.2 动滑动摩擦	60
4.1.3 摩擦角与自锁	60
4.2 考虑摩擦时物体的平衡	62
4.3 滚动摩擦简介	65
习 题	66
第5章 杆件轴向拉伸与压缩	68
5.1 轴向拉伸(压缩)的概念和内力分析	68
5.1.1 内力	68
5.1.2 轴力	68
5.1.3 轴力图	69
5.2 杆件轴向拉伸与压缩时的变形及虎克定律	72
5.2.1 虎克定律	72
5.2.2 应变	73
5.3 轴向拉伸(压缩)时的应力分析	74

5.4 材料拉伸(压缩)时的力学性能	75
5.4.1 试验说明	75
5.4.2 低碳钢拉伸时的力学性能	76
5.4.3 其他塑性材料拉伸时的力学性能	79
5.4.4 脆性材料拉伸时的力学性能	79
5.4.5 材料压缩时的力学性能	80
5.4.6 温度和时间对材料力学性能的影响	82
5.5 拉(压)杆的强度计算	83
5.5.1 极限应力、许用应力、安全系数	83
5.5.2 拉(压)杆的强度条件及应用	84
5.6 拉压静不定问题	87
5.6.1 静不定概念及其解法	87
5.6.2 装配应力	88
5.6.3 温度应力	89
5.7 应力集中的概念	91
习 题	92
第6章 剪切与挤压	95
6.1 剪 切	95
6.1.1 基本概念	95
6.1.2 剪切强度条件	98
6.1.3 剪切的实用计算	98
6.2 挤 压	101
6.2.1 挤压的基本概念	101
6.2.2 挤压强度条件	102
6.2.3 挤压的实用计算	102
习 题	104
第7章 圆轴扭转	107
7.1 扭转的概念和内力分析	107
7.1.1 扭转的概念	107
7.1.2 外力偶矩	108
7.1.3 扭矩	108
7.1.4 扭矩图	109
7.2 圆轴扭转的应力与强度计算	111

7.2.1 圆轴扭转的应力公式	111
7.2.2 极惯性矩及抗扭截面模量的计算	114
7.2.3 圆轴扭转时的强度计算	115
7.3 圆轴扭转时的变形与刚度	117
7.3.1 圆轴扭转时的变形计算	117
7.3.2 圆轴扭转时的刚度计算	118
习 题	120
第8章 梁的平面弯曲	123
8.1 基本概念	123
8.1.1 梁的分类	123
8.1.2 平面弯曲	124
8.1.3 纯弯曲	125
8.2 利用平衡微分方程作梁的内力图	125
8.2.1 梁的内力、剪力与弯矩计算	125
8.2.2 梁的平衡微分方程	128
8.2.3 弯矩、剪力与分布载荷集度间的几何关系	129
8.2.4 梁剪力图与弯矩图的绘制	130
8.3 平面弯曲梁的正应力	135
8.3.1 变形几何分析	135
8.3.2 材料的物理关系	137
8.3.3 静力平衡条件	137
8.3.4 平面弯曲正应力公式与强度计算	138
8.4 梁的变形	142
8.4.1 挠度与转角	142
8.4.2 挠曲线微分方程	143
8.4.3 用积分法求梁的变形	144
8.4.4 用叠加法计算梁的变形	146
8.4.5 弯曲刚度条件及其应用	150
习 题	152
第9章 应力状态分析和强度理论	156
9.1 应力状态的概念	156
9.2 平面应力状态分析	158
9.2.1 斜截面上的应力	159

9.2.2 应力圆	160
9.2.3 主应力和最大剪应力的确定	161
9.3 广义虎克定律	166
9.4 强度理论	168
9.4.1 强度理论概述	168
9.4.2 四种常用的强度理论	169
9.4.3 强度理论的选用	171
习 题	175
第 10 章 组合变形强度计算	177
10.1 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	178
10.2 弯曲与扭转组合变形	181
习 题	186
第 11 章 压杆稳定	189
11.1 压杆稳定的概念	189
11.2 细长杆的临界压力	190
11.2.1 两端铰支细长压杆的临界压力	190
11.2.2 其他支座条件下细长压杆的临界压力	192
11.2.3 压杆的临界应力	194
11.3 压杆的稳定性计算	196
11.4 提高压杆稳定性的措施	199
习 题	200
第 12 章 运动学基础	203
12.1 点的运动和刚体的基本运动	203
12.1.1 点的运动的描述方法	203
12.1.2 点的速度和加速度	206
12.1.3 刚体的平行移动和定轴转动	214
12.2 点的合成运动	222
12.2.1 基本概念	222
12.2.2 点的速度合成定理	224
12.2.3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	226
12.3 刚体的平面运动	228
12.3.1 运动方程及平面运动的分解	228
12.3.2 平面图形内各点的速度	230

12.3.3 平面图形内各点的加速度·····	238
习 题·····	241
第 13 章 动力学基础 ·····	244
13.1 概 述·····	244
13.2 动量定理、质心运动定理 ·····	245
13.2.1 质心、动量的概念 ·····	245
13.2.2 动量定理·····	248
13.2.3 质心运动定理·····	250
13.3 动量矩定理·····	252
13.3.1 动量矩·····	252
13.3.2 转动惯量·····	253
13.3.3 动量矩定理·····	255
13.4 刚体定轴转动微分方程·····	258
13.5 动能定理·····	260
13.5.1 动能·····	260
13.5.2 力的功·····	261
13.5.3 动能定理·····	264
13.5.4 动力学普遍定理的综合应用实例·····	267
习 题·····	270
第 14 章 动静法 ·····	274
14.1 惯性力·····	274
14.1.1 质点动力学的动静法·····	274
14.1.2 平动刚体的惯性力·····	276
14.2 惯性力偶矩与定轴转动的刚体·····	277
14.3 动静法在平面运动的刚体动力学中的应用·····	279
习 题·····	283
参考答案 ·····	285
附 录 ·····	291
参考文献 ·····	307

绪 论

工程力学是研究物体机械运动一般规律和工程构件的强度、刚度、稳定性的计算原理及方法的科学。它综合了理论力学和材料力学两门课程中的有关内容,是一门理论性和实践性都较强的技术基础课程。

理论力学研究物体机械运动的一般规律。它包括静力学、运动学和动力学三方面的内容。静力学研究物体在力的作用下的平衡规律,研究的对象是体积形状永不变化的刚体;运动学研究物体机械运动的几何规律,研究的对象是速度远小于光速的宏观物体;动力学以牛顿定律为基础,研究物体运动状态变化与作用力之间的关系。

材料力学研究工程构件的强度、刚度和稳定性问题,即研究构件的变形和破坏规律。因此必须把构件看作可变形的固体。研究构件的强度、刚度和稳定性时,为简化计算,略去材料的一些次要性质,并根据与问题有关的主要因素对变形固体作出一些假设,将其抽象成理想模型。材料力学中对变形固体采用了下列基本假设:

1. 连续性假设。认为组成固体的物体不留空隙地充满了固体的体积。固体内即使存在空隙,与构件的尺寸相比也极其微小,可以忽略不计,于是认为固体在其整个体积内是连续的。

2. 均匀性假设。认为在固体内各处有相同的力学性能,即可以认为各部分的力学性能是均匀的,从固体中取出一部分,不论大小,也不论从何处取出,力学性能总是相同的。

3. 各向同性假设。认为无论沿任何方向,固体的力学性能都相同。沿各个方向的力学性能相同的材料称为各向同性材料。

4. 小变形假设。材料力学研究的主要问题是微小的弹性变形问题。这种小变形与构件的原始尺寸相比是微不足道的,在分析和推导中许多简化和近似处理都是以小变形条件为前提的。

学习工程力学要注意观察实际工程设备的工作情况,对力学理论要勤于思考。学习本课程既可以直接解决一些简单的工程实际问题,又可以为后续有关课程的学习打好基础。同时,掌握工程力学的研究方法,将有助于其他科学技术理论的学习,有助于提高分析问题和解决问题的能力,为今后从事科研工作的解决生产实际问题打下基础。

静力学基础

静力学研究的是刚体在力系作用下的平衡规律。它包括确定研究对象、进行受力分析、简化力系、建立平衡条件求解未知量等内容。刚体是指在力的作用下不变形的物体。在工程中,平衡是指物体相对于地球处于静止状态或匀速直线运动状态,是物体机械运动中的一种特殊状态。

力系是指作用在物体上的一群力。在保持力系对物体作用效果不变的条件下,用另一个力系代替原力系,称为力系的等效替换。这两个力系互为等效力系。若一个力系与一个力等效,则称此力为该力系的合力。

用一个简单力系等效替换一个复杂力系,称为力系的简化。通过力系的简化可以容易地了解力系对物体总的作用效果。在一般情况下,物体在力系的作用下未必处于平衡状态,只有当作用在物体上的力系满足一定的条件时,物体才能平衡。物体平衡时作用在物体上的力系所满足的条件,称为力系的平衡条件。满足平衡条件的力系称为平衡力系。力系的简化是建立平衡条件的基础。平衡力系可以简化,非平衡力系亦可以简化。因此,力系简化方法在动力学中也得到应用。

凡对牛顿运动定律成立的参考系称为惯性参考系,工程中一般可以把固结在地球上或相对地球作匀速直线运动的参考系看作惯性参考系。

1.1 静力学的基本概念

1.1.1 刚体

所谓刚体是指在力的作用下不变形的物体。其特点表现为其内部任意两点的距离都保持不变。它是一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下,均会产生程度不同的变形。但是,许多物体的变形十分微小,对研究物体的平衡问题不起主要作用,可以略去不计,这样可使问题大为简化。在静力学中,所研究的物体只限于刚体和刚体系

统,故又称之为刚体静力学。

1.1.2 力

力是人们在劳动和实践活动中逐渐形成的概念。力是物体之间的相互机械作用。这种作用对物体产生两种效应,即引起物体机械运动状态的变化和使物体产生变形,前者称为力的外效应或运动效应,后者称为力的内效应或变形效应,力对物体的施力方式有两种:一种是通过物体间的直接接触而施力,另一种是通过力场对物体施力。

实践表明,力对物体的作用效果决定于三个要素,简称为力的三要素。当这三个要素中有任何一个改变时,力的作用效应也将改变。

1. 力的大小

它表示物体之间机械作用的强度。在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

2. 力的方向

它表示物体的机械作用具有方向性。力的方向包括力的作用线在空间的方位和力沿作用线的指向。

3. 力的作用点

它是物体间机械作用位置的抽象化。物体相互接触发生机械作用时力总是分布地作用在一定的面上。如果力作用的面积较大,这种力称为分布力。如果力作用的面积很小,可以近似地看成作用在一个点上,这种力称为集中力,此点称为力的作用点。用力的作用点表示力的方位的直线称为力的作用线。

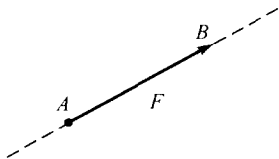


图 1-1

力的三要素表明力是矢量,且为定位矢量。它可以用具有方向的线段表示。如图 1-1 所示,线段的长度按一定的比例尺表示力的大小,线段的方位和箭头的指向表示力的方向,线段的起点(或终点)表示力的作用点,而与线段重合的直线表示力的作用线。书上表示矢量的符号用黑体字(如 $\mathbf{F}$),该矢量的大小(又叫模)用同字母的白体字表示(如 F)。

1.2 静力学公理

静力学公理是人们关于力的基本性质的概括和总结,它们是静力学全部理论的基础。公理是人们在生活和生产活动中长期积累的经验总结,又经过实践的反复检验,证明是符合客观实际的普遍规律。它不能用更简单的原理去代替,也无需证明而为大家所公认,并可作为证明的论据。

公理一(二力平衡公理) 作用在同一刚体上的两个力使刚体平衡的必要与充分条件

是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一条直线上。即如图 1-2 所示, $F_1 = -F_2$ 。

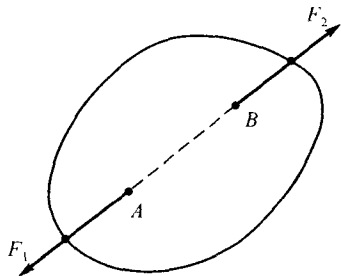


图 1-2

这个公理总结了作用在刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。它是以后推证平衡条件的基础。对于刚体来说这个条件是必要与充分的;但对变形体这个条件只是必要的,而不是充分的。

在工程上把只受两个力作用而平衡的构件,称为二力构件;如果是不考虑自身重力只在两端受力而平衡的杆,称为二力杆。根据公理一,这两力必作用在它们作用点的连线上,并且大小相等,方向相反。

公理二(加减平衡力系公理) 对于作用在刚体上的任何一个力系,可以增加或去掉任一平衡力系,这并不会改变原力系对于刚体的作用效应。

这个公理是力系简化的重要理论依据。

推论一(力的可传性原理) 作用在刚体上的力,可沿其作用线移到刚体内任意一点,不改变该力对刚体的作用。

证明 设力作用在刚体上的 A 点,如图 1-3(a)所示。在刚体上力的作用线上任意一点 B 加上一对平衡力 F_1 与 F_2 ,且使 $F_1 = F = -F_2$,如图 1-3(b)所示。由公理二知,这并不改变原力 F 对刚体的作用。根据公理一, F 与 F_2 构成平衡力系,再由公理二,这个平衡力系可以去掉。最后剩下作用于点 B 的力 F_1 ,如图 1-3(c)所示。可见 F_1 与 F 等效。又因 $F_1 = F$,因此可将力 F_1 看作是力 F 从点 A 滑移至点 B 的结果,而点 B 是 F 作用线上任意一点。推论证毕。

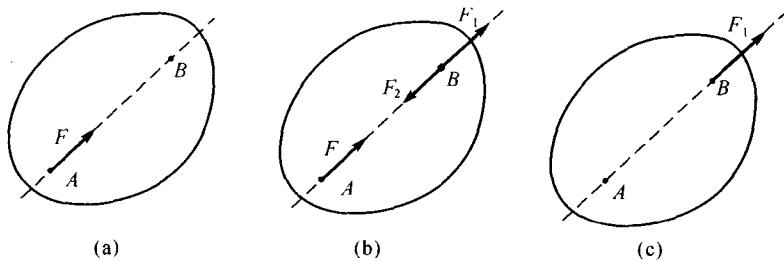


图 1-3

由此可见,对刚体来说。力的作用效果与力的作用点在作用线上的具体位置无关。因此,作用在刚体上的力的三要素为力的大小、方向和作用线。

力的可传性说明,对刚体而言,力是滑动矢量,它可沿其作用线移至刚体上的任一位置。需要指出的是,此原理只适用于刚体而不适用于变形体。

公理三(力的平行四边形法则) 作用于物体某一点的两个力的合力,作用点也在

该点,其大小和方向可由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来确定。

如图 1-4(a)所示,设在物体的 A 点作用有力 F_1 和 F_2 ,如 F_R 表示它们的合力,则合力等于两个分力 F_1 和 F_2 的矢量和。

$$\text{即 } F_R = F_1 + F_2$$

这个公理总结了最简单力系简化的规律,是复杂力系简化的基础。

因为合力 F_R 的作用点亦为 A 点,求合力的大小及方向时无需作出整个平行四边形。

如图 1-4(b)所示,在图外任一点 a 开始先画

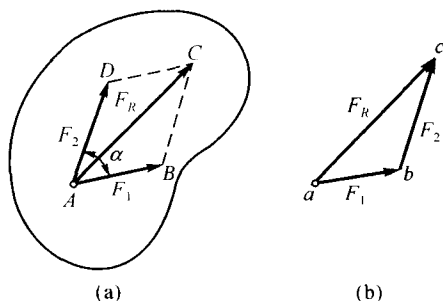


图 1-4

矢量 $\vec{ab} = F_1$,再从点 b 画矢量 $\vec{bc} = F_2$ 。连接起点 a 与终点 c 得到矢量 $\vec{ac}$,矢量 $\vec{ac}$ 表示合力 F_R 的大小和方向,而合力 F_R 仍作用于 A 点。此 $\triangle abc$ 称为力三角形。这一求合力的方法称为力三角形法则。如果改变分力相加的先后次序作力三角形,并不改变合力 F_R 的大小和方向。

推论二(三力平衡汇交定理) 当刚体在三个力作用下处于平衡时,若其中任何两个力的作用线相交于一点,则第三个力的作用线亦必交于同一点,且三个力的作用线共面。

证明 如图 1-5 所示,在刚体的 A, B, C 三点上分别作用三个力 F_1, F_2, F_3 ,刚体处于平衡。根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 移至汇交点 O,然后根据力的平行四边形法则,得合力 R_{12} 。则力 F_3 应与 R_{12} 平衡。由于两个力平衡必须共线,所以力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 的合力 R_{12} 共线,且通过力 F_1 和 F_2 的交点。证毕。

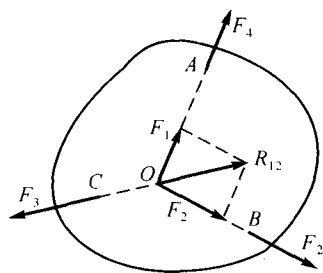


图 1-5

三力平衡汇交定理说明了不平行的三个力平衡的必要条件。若已知两个力的作用线,可用此定理来确定第三个力的作用线方位。但是,三力汇交时,刚体也未必一定平衡。

公理四(作用与反作用公理) 两物体间相互作用的作用力和反作用力总是同时存在,大小相等,方向相反,沿同一直线,分别作用在两个相互作用的物体上。由于作用力和反作用力分别作用在两个不同的物体上,这两个力并不能构成平衡力系,所以必须把作用与反作用公理和二力平衡公理严格区别开来。

这个公理概括了自然界物体间相互作用的关系。它表明作用力反作用力总是成对出现。它是物体受力分析必须遵循的原则,为从一个物体的受力分析过渡到物体系统

的受力分析提供了基础。

公理五(刚化原理) 变形体在某一力系作用下处于平衡,如把此变形体刚化为刚体,则平衡状态保持不变。

这个原理提供了把变形体抽象成刚体的条件,建立了刚体力学与变形体力学的联系。刚体的平衡条件对变形体来说只是必要的,而不是充分的。例如,如图 1-6、1-7 所示,一段绳子(弹簧)在两个等值反向的拉力作用下处于平衡。若将其变为刚性体,则平衡状态不受影响;但对刚性杆受两个等值反向压力作用而平衡时,如果将该刚性杆变为绳索(弹簧),则平衡状态不能保持。

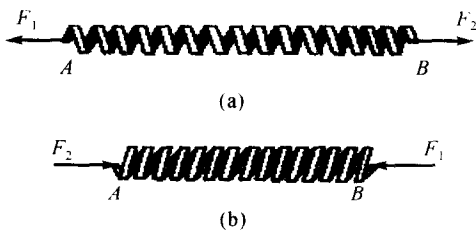


图 1-6

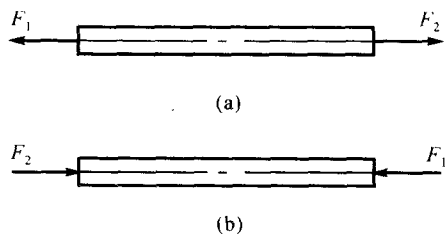


图 1-7

1.3 载荷与约束

物体所受的力可分为两大类,即外力和内力。外力是指物体所受其他物体对它作用的力,内力是指物体各部分之间的相互作用力。

外力包括载荷和约束反力。一般地说,载荷属于主动力,约束力属于被动力。约束力是约束阻止物体因载荷作用产生的运动趋势所起的反作用力,其性质、方向由约束的类型决定,下面将作详细介绍。

1.3.1 载荷的分类

在工程实际中,构件受到的载荷是多种多样的。为便于分析,可分类如下。

1. 集中载荷与分布载荷

根据作用在构件上的范围,载荷可分为集中载荷与分布载荷。

(1)集中载荷又称集中力。若载荷作用在构件上的面积远小于构件的表面积,可把载荷看作是集中地作用在一“点”上,这种载荷称为集中载荷。例如火车车轮作用在钢轨上的压力、面积较小的柱体传递到面积较大的基础上的压力等,都可看作是集中载荷。

(2)分布载荷又称分布力。若载荷连续作用于整个物体的体积上,则称其为体载荷,例如物体的重力。若载荷连续作用在物体表面的较大面积上,则称其为面载荷,例