

工程力学

上海机械专科学校编



上海科学技术文献出版社

工 程 力 学

上海机械专科学校 编

上海科学技术文献出版社

前 言

为了适应当前教学的需要,我们按 85~110 学时的教学要求编写了本书。它可供工科类学时数相近的有关专业教学使用,也可用于职工业余教育,并可供有关工程技术人员参考。

全书分成静力学、运动学与动力学、材料力学三篇。为了适应各类专业的不同要求,该书部分内容的理论分析与推导编排成小字,各校可根据教学要求取舍。

配合教学内容,各章编有一定数量的必做习题。此外,各篇还编有复习题,一方面可供阶段复习之用,另一方面也可作为平时习题的补充。书后附有习题的答案。

本书采用国际单位制,同时也介绍工程单位制及两种单位制的换算关系。书后附录中,列有一些物理量的常用单位以及部分型钢表,以备查用。

本书与《机械设计基础》(上海机械专科学校编)内容安排紧密配合,使用的物理量符号及单位基本一致,可配套使用。

本书由上海机械专科学校(原名上海机器制造学校)曹力同志主编,祝延泽同志副主编;参加编写工作的还有杨筱芳、高翠云、李泽培、马永林等同志。最后由马永林同志审稿。

限于水平,以及编写时间仓促,书中不妥之处,恳请批评指正。

编 者

目 录

第一篇 静 力 学

引言.....	1
第一章 静力学的基本概念 受力图	
§ 1-1 基本概念	3
§ 1-2 力的基本性质	4
习题.....	9
§ 1-3 受力图	11
习题.....	18
第二章 平面汇交力系	
§ 2-1 平面汇交力系合成的几何法	21
§ 2-2 平面汇交力系平衡的几何条件	22
§ 2-3 三力平衡汇交定理	26
习题.....	27
§ 2-4 平面汇交力系合成的解析法	29
§ 2-5 平面汇交力系平衡的解析条件	32
习题.....	36
第三章 力矩 力偶	
§ 3-1 力对点之矩	38
习题.....	41
§ 3-2 力偶与力偶矩	41
§ 3-3 平面力偶系的合成与平衡	45
习题.....	48

第四章 平面一般力系

§ 4-1 力线平移定理	50
§ 4-2 平面一般力系的简化	51
§ 4-3 平面一般力系的平衡方程及其应用	53
习题	59
§ 4-4 平面平行力系	60
§ 4-5 物体系统的平衡	64
习题	69

第五章 摩擦

§ 5-1 滑动摩擦	72
§ 5-2 考虑摩擦的平衡问题	76
习题	79
§ 5-3 自锁	80
习题	85

第六章 空间力系 重心

§ 6-1 力在空间坐标轴上的投影	87
§ 6-2 力对轴之矩	88
§ 6-3 空间力系的平衡	89
习题	95
§ 6-4 重心及其坐标公式	96
§ 6-5 组合图形的重心	101
习题	103

静力学复习题	104
--------------	-----

第二篇 运动学与动力学

引言	109
----------	-----

第七章 点的运动

§ 7-1 点的直线运动	111
习题	117
§ 7-2 点的平面曲线运动	118
习题	126

第八章 刚体的基本运动

§ 8-1 刚体的平行移动	127
§ 8-2 刚体的定轴转动	128
习题	133
§ 8-3 转动刚体上各点的速度和加速度	134
习题	138

第九章 点的合成运动

§ 9-1 点的合成运动概念	140
§ 9-2 点的速度合成定理	142
习题	147

第十章 质点动力学基础

§ 10-1 质点动力学基本方程	150
习题	156
§ 10-2 惯性力	157
§ 10-3 动静法	159
习题	162

第十一章 刚体动力学基础

§ 11-1 刚体平动动力学问题	164
§ 11-2 刚体转动动力学基本方程	165
§ 11-3 转动惯量	168
§ 11-4 刚体转动动力学基本方程的应用	172
习题	175

第十二章 动能定理

§ 12-1 力的功	177
习题	182
§ 12-2 动能定理	183
§ 12-3 功率	188
习题	190
运动学与动力学复习题	191

第三篇 材料力学

引言	197
----------	-----

第十三章 拉伸和压缩

§ 13-1 拉伸和压缩的概念	200
§ 13-2 抗伸和压缩时的内力 截面法	201
§ 13-3 横截面上的正应力	204
§ 13-4 轴向变形和虎克定律 横向变形	205
习题	210
§ 13-5 拉伸和压缩时材料的机械性质	212
§ 13-6 拉伸和压缩的强度计算	220
习题	226

第十四章 剪切 挤压

§ 14-1 剪切的观念 剪应力	228
§ 14-2 挤压的观念 挤压应力	230
§ 14-3 剪切与挤压的实用计算	231
§ 14-4 剪切变形 剪切虎克定律	237
习题	238

第十五章 扭转

§ 15-1	扭转的概念	240
§ 15-2	扭转时的内力——扭矩和扭矩图	241
§ 15-3	圆轴扭转时的应力	244
§ 15-4	极惯性矩和抗扭截面模量	249
§ 15-5	圆轴扭转时的变形	251
习题		252
§ 15-6	圆轴扭转时的强度和刚度计算	254
习题		259
第十六章 弯曲		
§ 16-1	平面弯曲的概念	260
§ 16-2	梁弯曲时的内力	262
§ 16-3	弯矩图	265
习题		273
§ 16-4	纯弯曲时横截面上的正应力	274
§ 16-5	截面的轴惯性矩和抗弯截面模量	280
§ 16-6	梁的弯曲强度计算	283
习题		291
§ 16-7	弯曲变形	292
习题		303
§ 16-8	提高梁的弯曲强度与刚度的措施	304
习题		310
第十七章 组合变形的强度计算		
§ 17-1	拉(压)、弯组合时的强度计算	313
习题		316
§ 17-2	弯、扭组合时的应力分析	317
§ 17-3	弯、扭组合时的强度计算	321
习题		327

第十八章 压杆稳定

§ 18-1 压杆稳定的概念	328
§ 18-2 细长压杆的临界力	330
§ 18-3 欧拉公式的适用范围 非细长杆临界应力的 经验公式	332
§ 18-4 压杆的稳定校核	335
§ 18-5 提高压杆稳定性的途径	337
习题	339

第十九章 交变应力

§ 19-1 交变应力的概念及其循环特征	341
§ 19-2 疲劳破坏	344
§ 19-3 材料的持久极限及其测定	346
§ 19-4 影响持久极限的主要因素	348
习题	350

材料力学复习题	351
---------------	-----

附录 I 一些物理量的常用单位	357
-----------------------	-----

附录 II 型钢规格表	359
-------------------	-----

习题答案	372
------------	-----

第一篇 静 力 学

引 言

日常生活和生产实践中，人们最常见的一种运动是机械运动。所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间的变化。静力学则是研究物体机械运动的特殊情形——物体在力的作用下处于平衡时的规律。平衡一般是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。事实上，任何物体都在永恒地运动着，平衡只是相对的。例如在地面上看来是静止的建筑物，实际上仍随着地球的自转和公转在太阳系中运动。

在工程实际中，广泛地应用着静力学知识，经常遇到物体处于平衡状态下的受力分析问题。例如图 I-1 所示的简易吊车，为了保证它能正常工作，需要合理地确定各构件的尺寸，为此必须首先分析和计算各构件所受的力；又如图 I-2 所示的斜楔夹

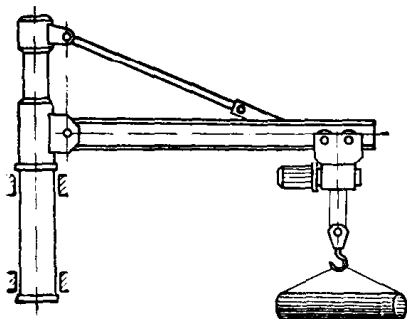


图 I-1

第一章 静力学的基本概念 受力图

§1-1 基 本 概 念

一、力的概念

力的概念是人们在长期的生活和生产实践中逐步形成的。例如用手推小车,由于手臂肌肉的紧张而感觉到用了“力”,小车受了“力”也由静止开始了运动;物体受地球引力作用而自由下落时,速度将愈来愈大;用汽锤锻打工件,工件受锻锤打击力作用而发生变形,等等。人们就是从这样大量的实践中,由感性认识上升到理性认识,形成了力的科学概念,即: 力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态发生变化,亦可使物体发生变形。因此,力不能脱离实际物体而存在。

力使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应,而力使物体产生变形的效应称为力的内效应。静力学只研究力的外效应,材料力学将研究力的内效应。

由经验可知,力对于物体作用的效应,决定于力的大小、方向和作用点三个要素。这三个要素中有任何一个改变时,力的作用效应也随之改变。

在国际单位制中,力的单位用牛顿,或千牛顿,简写为牛(N),或千牛(kN)。目前工程中,有的仍沿用工程单位制,以公斤力(kgf)或吨力(tf)作为力的单位,习惯上又将这两个单位简写为公斤(kg)和吨(t)。牛顿和公斤力的换算关系为

$$1 \text{ 公斤力(kgf)} = 9.8 \text{ 牛顿(N)}$$

力是一个既有大小又有方向的量,所以力是矢量。它可用一有向线段来表示,如图 1-1 所示。线段的长度(按一定的比例

10N
└───┘

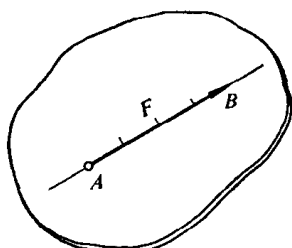


图 1-1

尺)表示力的大小(图中 F 力的大小为 40 N);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。过力的作用点沿力的矢量方位画出的直线,称为力的作用线。

矢量通常要用黑体字母或带箭头的字母来表示,例如 $\vec{F}$ 或 $\vec{F}$ 。其大小则用不带箭头的字母来表示,如 F 。但是,为了方便起见,在一般情况下,当矢量已在图上表示出它的方向时,我们只用字母来表示这个矢量。在矢量运算等需要着重表明是矢量的场合,我们才用黑体字母或带箭头的字母来表示矢量,以示区别。

二、刚体的概念

任何物体在力的作用下都将发生不同程度的变形。但是工程实际中构件的变形,通常都极为微小。这种微小的变形对研究力的外效应影响很小,因而可忽略不计。这样物体就被看成是不变形的,从而能使研究的问题大为简化。这种受力后形状和大小都保持不变的物体称为刚体。

如果研究的问题中,物体的变形成为主要因素时(例如在材料力学中),就不能再将物体看成刚体。

§ 1-2 力的基本性质

人们通过长期的生活和生产实践,由感性到理性认识,不仅

建立了力的概念,而且还认识了力的各种性质。这些性质反映了力所遵循的客观规律,其中最基本的性质有以下四条。

一、两力平衡条件

刚体受两力的作用处于平衡的必要和充分条件是: 两力大小相等,方向相反,作用在同一直线上(图 1-2)。

对于象绳索一类的柔性体,只有在受拉的情况下,才能应用两力平衡条件。

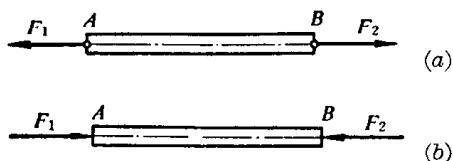


图 1-2

只受两力作用而处于平衡的构件,称为二力构件。当构件的形状为杆状时,则称二力杆。二力构件的受力特点是,所受的两力必定沿作用点的连线。工程上常根据这一特点来定出二力构件所受力的方向。例如图 1-3a 所示的棘轮机构中的棘爪 AB,当不计其自重时,就可看成是二力杆。 F_A 、 F_B 两力必定沿 A、B 两点的连线(图 1-3b)。

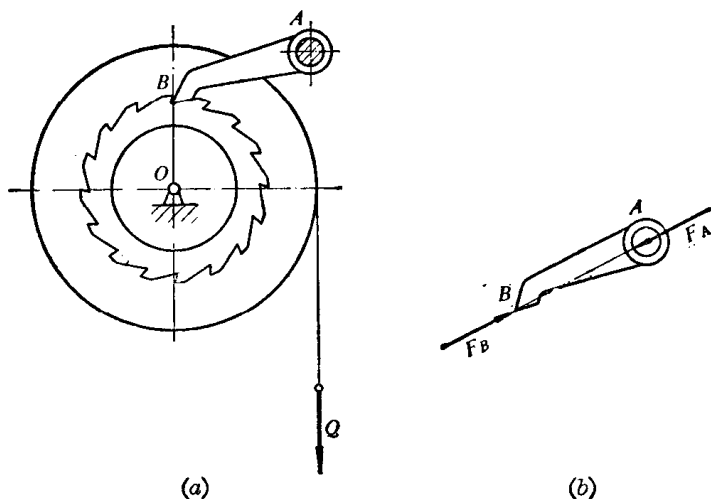


图 1-3

二、加减平衡力系原理

作用在同一物体上的两个或两个以上的力称为力系。如果物体在力系作用下处于平衡状态,这样的力系就称为平衡力系。

由于平衡力系中各力对刚体作用的外效应彼此抵消,因而有加减平衡力系原理:在作用于刚体上的任一力系中,加上或除去任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。

应用两力平衡条件和加减平衡力系原理,可得到下面的推论。

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上的任意一点,而不改变此力对刚体的作用。

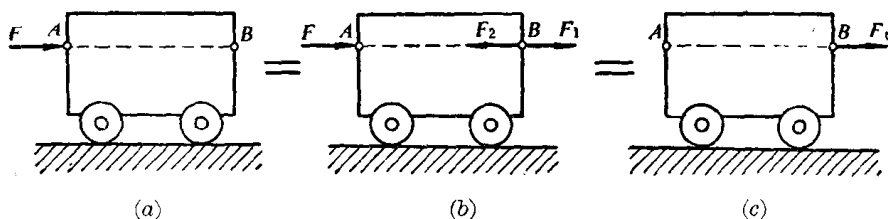


图 1-4

这一原理的推证,可借助图 1-4 来说明。已知小车在 A 点受推力 F 的作用(图 1-4a);在 F 力作用线上的任一点 B ,沿 F 作用线加一对相互平衡的力 F_1 、 F_2 ,并使它们的大小与 F 力的大小相等,如图 1-4b 所示;再从图 1-4b 中除去一对相互平衡的力 F 、 F_2 (图 1-4c);显然,三种情况都是等效的。这样就将原来作用在 A 点的力 F ,沿着作用线移到了 B 点。经验也告诉我们,在 A 点推车与在 B 点拉车两者的外效应是相同的。

根据力的可传性原理,力对刚体的作用决定于:力的大小、方向和作用线三个要素。

必须指出,力的可传性原理只适用于刚体。对于需要考虑

变形的物体,假如力沿其作用线移动,则将改变物体内部的受力和变形情况。例如图 1-5 所示的 AB 杆,原来受两拉力作用而伸长(图 1-5a);若将两力沿着作用线分别移至杆的另一端(图 1-5b),杆将受压而缩短。

三、力的平行四边

形法则

力的平行四边形法

则是: 作用于物体上同

一点的两个力,可以合成为一个合力。合力也作用于同一点,其大小和方向由以该两力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示(图 1-6a)。图中 F_1 、 F_2 两力称为合力 R 的分力。

上述法则说明,两个相交力的合成不能简单地将其数值大小相加,而必须按平行四边形法则相加。

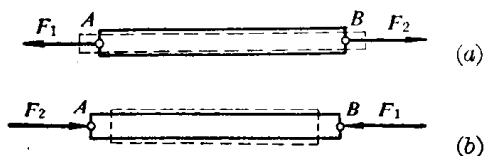


图 1-5

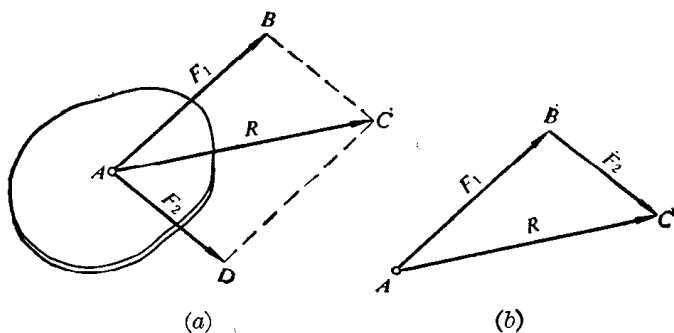


图 1-6

这种力的合成的方法称为矢量加法。合力等于两分力的矢量和,可用矢量式表示为

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

显然,上述矢量等式与代数等式 $R = F_1 + F_2$ 的含义不同。在 F_1 、 F_2 两力不共线的情况下, $R \neq F_1 + F_2$ 。

求合力 R 时, 也可以只作出力的平行四边形的一半(图 1-6b), 即从力 F_1 的终点 B , 作力 F_2 , 再连接 A 、 C 两点成矢量, 即得合力 R 。由此而构成的三角形 ABC 称为力三角形。合力与分力所遵循的这种力三角形关系称为力三角形法则。作图时通常将力三角形画在受力物体的外面, 这样求出的合力, 只表示其大小和方向, 至于合力的作用点, 仍通过物体上原来两力的汇交点。

应用力的平行四边形法则或力三角形法则, 也可以将一个力分解为两个力。一般是沿着两个已知方向分解为两个分力。

四、作用与反作用定律

两物体间相互作用的力总是大小相等, 方向相反, 沿同一作用线, 并分别作用在这两个物体上。

这个定律表明, 力总是成对出现的。有作用力, 必定有反作用力。两者同时存在, 同时消失。

要强调指出的是作用力与反作用力虽然大小相等, 方向相反, 沿同一作用线, 但并不作用在同一物体上。因此, 不能错误地认为这两个力互成平衡。这与两力平衡条件有本质的区别。下面举例进行分析。

例 1-1 绳索 AB 的一端固连在墙上, 另一端悬吊一重量为 P 的桶, 桶中放有一重量为 G 的小球(图 1-7a)。试分析绳索和小球所受的力以及这些力的反作用力。

解 绳索 AB 受到墙给的拉力 T_A 以及桶给的拉力 T_B 的作用(图 1-7b), 这是一对互成平衡的力。其中 T_A 的反作用力为 T'_A , 作用在墙上(图 1-7c); T_B 的反作用力为 T'_B , 作用在桶上(图 1-7d)。

小球受到重力 G 和桶底给的托力 N 的作用(图 1-7e), 这也是一对互成平衡的力。其中 G 为地球引力, 由地球和小球的