

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基础	3
第一节 力的概念	4
第二节 静力学公理	5
第三节 平面汇交力系的合成运算	10
第四节 力对点之矩	15
第五节 力偶的概念及其运算法则	19
第六节 力的平移定理	23
第七节 约束与约束反力	25
第八节 受力图	32
小结	37
思考题	39
习题	41
第二章 平面力系	49
第一节 平面力系的概念	49
第二节 平面任意力系的简化及其结果的讨论	49
第三节 平面任意力系的平衡方程及其应用	52
第四节 物体系统的平衡、静定和静不定概念	59
第五节 平面静定桁架的内力计算	65
小结	69
思考题	72

VI

习题	74
第三章 摩擦	84
第一节 滑动摩擦	84
第二节 考虑摩擦时的平衡问题	91
第三节 滚动摩擦的概念	98
小结	99
习题	101
第四章 空间力系 重心	105
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影	106
第二节 空间汇交力系的合成与平衡	109
第三节 力对轴之矩	111
第四节 空间任意力系的平衡方程	113
第五节 重心的概念	120
第六节 重心坐标公式	121
第七节 重心及形心位置的求法	124
小结	129
思考题	130
习题	130

第二篇 材料力学

第五章 杆件的内力分析	140
第一节 内力、截面法、应力和应变的概念	140
第二节 杆件轴向拉伸或压缩时横截面上的内力	144
第三节 杆件扭转时横截面上的内力	148
第四节 杆件弯曲时横截面上的内力	151
小结	168
思考题	169
习题	169
第六章 材料的力学性能	173

第一节	低碳钢拉伸时的力学性能	173
第二节	其它材料在拉伸时的力学性能	177
第三节	材料在压缩时的力学性能	179
第四节	应力集中的概念	180
第五节	许用应力和安全系数	182
小结		183
思考题		183
第七章	基本变形杆件的强度和刚度	185
第一节	杆件在轴向拉伸与压缩时的强度	185
第二节	轴向拉(压)杆的变形——虎克定律	193
第三节	联接的实用计算	198
第四节	圆轴扭转时的强度与刚度	206
第五节	梁弯曲时的应力和强度条件	218
第六节	梁的变形和刚度条件	236
第七节	静不定问题的解法	248
小结		258
思考题		260
习题		263
第八章	杆件组合变形的强度计算	281
第一节	应力状态分析	281
第二节	强度理论	290
第三节	组合变形	296
小结		310
思考题		313
习题		314
第九章	压杆稳定	323
第一节	压杆稳定的概念	323
第二节	细长压杆的临界压力 欧拉公式	324
第三节	欧拉公式的适用范围 超过比例极限的临界应力	328

第四节 压杆稳定校核	330
第五节 提高压杆稳定性的措施	333
小结	335
思考题	336
习题	336
第十章 动载荷	341
第一节 构件作匀加速运动时的动应力	341
第二节 冲击载荷	346
第三节 交变应力	349
第四节 材料的持久极限	353
小结	356
思考题	357
习题	358

第三篇 运动力学

第十一章 点的运动	364
第一节 决定点的运动的方法	364
第二节 求点的速度、加速度的矢径法	368
第三节 求点的速度、加速度的直角坐标法	370
第四节 求点的速度、加速度的自然坐标法	375
小结	382
思考题	382
习题	382
第十二章 刚体的基本运动	387
第一节 刚体的平行移动	387
第二节 刚体的定轴转动	390
第三节 定轴转动刚体内各点的速度和加速度	393
第四节 定轴转动刚体传动比的计算	398
小结	401

思考题	402
习题	403
第十三章 点的合成运动	409
第一节 点的合成运动概念	409
第二节 点的速度合成定理	411
第三节 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	416
小结	419
思考题	420
习题	420
第十四章 刚体的平面运动	425
第一节 刚体平面运动的运动方程	425
第二节 平面图形内各点的速度	428
*第三节 平面图形内各点的加速度	436
小结	439
思考题	441
习题	442
第十五章 动力学基本方程 动量定理 动量矩定理	449
第一节 动力学基本方程	449
第二节 动量定理	453
第三节 质心运动定理	459
第四节 动量矩定理	464
第五节 刚体定轴转动微分方程	473
小结	475
思考题	477
习题	478
第十六章 动能定理	486
第一节 力的功	486
第二节 质点的动能定理	492
第三节 质点系的动能定理	496

第四节 功率和功率方程	504
小结	508
思考题	509
习题	511
第十七章 动静法	520
第一节 惯性力的概念	520
第二节 动静法	521
第三节 刚体惯性力系的简化	528
小结	536
思考题	538
习题	539
附录	551
附录 A 综合练习	551
附录 B 型钢表	556
附录 C 习题答案	572
参考文献	588

绪 论

一、工程力学的内容

工程力学是一门技术基础课,它可分为静力学、材料力学与运动力学三个相对独立的部分。静力学是研究力系的简化与物体在力系作用下的平衡规律。材料力学是研究杆件的强度、刚度与稳定性问题。运动力学是研究物体的运动与其所受力之间的关系。

从上述内容可以看出:工程力学是工程师必备的知识。当设计或制造各种建筑与各类机械时,必须先初步确定结构与机械的雏形并对它进行受力分析,进而选用满足力学要求的适当的材料与合理的形状和尺寸之后,才画出图样并将它按要求建造或制造出来。

本课程不仅可直接应用于工程实践,同时也为一系列后继课程提供必要的理论基础。因此,不论是后继课程的需要,还是它在工程实践中的直接应用,工程力学课程都是工程师培训过程中的一门重要的技术基础课。

二、工程力学的学习方法

1. 联系实际

工程力学来源于人类长期的生活实践、生产实践与科学实验,并且广泛应用于各类工程实践中。因此,在实践中学习工程力学是一个重要的学习方法。

广泛联系与分析生活及生产中的各种力学现象,是培养未来的工程师对工程力学发生兴趣的一条重要途径,而对工

程力学的兴趣乃是获得成果的一个重要起点。联系实际还是从获得理论知识到养成分析与解决问题能力之间的一座桥梁。初学工程力学的通病就是感到“理论好学、解题难”，这就是缺少各种实践过程（包括大量的课内外练习），没有完成理论到能力之间转化的一种反映。

2. 善于总结

总结是学好工程力学的另一个重要方法。一个章节乃至一本书，读后要将它的主要内容总结成1~2页材料。这样，你才能抓住中心、融会贯通、联系实际并真正成为你自己的知识。

理论要总结，解题的技巧与方法亦要总结。本书例题中常有一题多解与多题一解的现象，其目的就在于传授方法，培养举一反三的能力。

3. 相互切磋

经常讨论与辩论是获得知识的一种重要手段。正确的观点要尽量作更充分、更全面的发挥，即使错误的也要等搞清错误的各个方面之后才放弃自己的观点，唯其如此，才能使自己不断得到锻炼与提高。

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。力系是指作用于同一物体上的一组力，物体的平衡状态是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动。物体处于平衡状态时，作用于该物体上的力系称为平衡力系。

静力学所研究的主要内容之一就是建立力系的平衡条件，并借此对物体进行受力分析。静力学建立力系平衡条件的主要方法是力系的简化，所谓力系的简化就是用简单的力系来代替复杂的力系，当然，这种代替必须在两力系对物体的作用效应完全相同的条件下进行。对同一物体作用效应相同的两力系，彼此称为等效力系。若一个力与一力系等效，则此力就称为该力系的合力。

综上所述，静力学将研究的主要问题是：

- 1) 力系的简化。
- 2) 建立物体在各种力系作用下的平衡条件。

第一章 静力学基础

本章将讨论静力学的一些基本概念、一些基本量的运算以及物体受力图的绘制方法。

静力学主要研究物体的平衡问题，物体是指工程及生活

实践中所接触的具体对象的统称，例如机械的零部件，建筑中的梁、柱等等。在大多数情况中，物体的变形对所研究平衡问题的影响可忽略不计，而近似地认为物体在受力状态下是不变形的，这种假想的物体就称为刚体。由若干个刚体组成的系统称为刚体系或物系。

静力学是以刚体为研究对象的。

第一节 力的概念

力的概念产生于人类从事的生产劳动之中。当人们用手握、拉、掷及举物体时，由于肌肉张紧而感受到力的作用，这种作用广泛地存在于人与物及物与物之间。例如奔腾的水流能推动水轮机旋转，锤子的敲打会使烧红的铁块变形等等。可见，力作用于物体将产生两种效果：一是使机械运动状态发生变化，称为力的外效应；另一是使物体产生变形，称为物体的内效应。由于静力学以刚体为研究对象，故本篇只讨论力的外效应。

综上所述，在静力学范畴内，力可定义为：力是物体间的相互作用，这种作用将引起物体机械运动的状态发生变化。

1. 力的三要素

实践证明，力对物体的作用效应，是由力的大小、方向和作用点的位置所决定的，这三个因素称为力的三要素。例如，用手拧螺母时（图1-1a），作用在扳手上的力，因大小不同，或方向不同，或作用点位置不同，它们产生的效果就不同。

2. 力的单位

本书采用我国法定计量单位，力的单位用牛顿（N）或

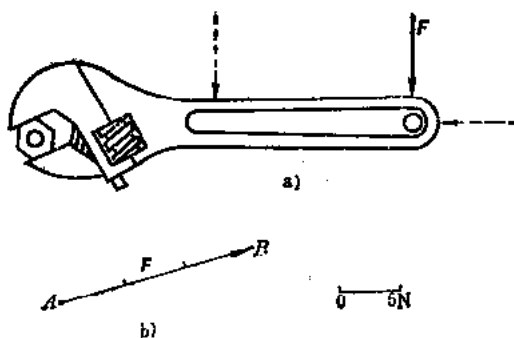


图1-1 力的图示

千牛顿 (kN)。

3. 力的矢量表示

力是一个具有大小和方向的矢量。图示时，常用一个带箭头的线段表示（图1-1 b），线段长度 AB 按一定比例代表力的大小，线段的方位和箭头表示力的方向，其起点或终点表示力的作用点。文字符号用黑体字如 $\boldsymbol{F}$ 代表力矢，并以一字母非黑体字 F 代表力的大小。

第二节 静力学公理

静力学公理是根据大量客观事实，经过长期总结和概括，并为实践所验证的一些基本力学规律，它是静力学的基础。

公理 1 (两力平衡公理) 作用于同一刚体上的两个力, 使刚体处于平衡的必要与充分条件是: 此两力必须等值、反向、共线。

两力平衡公理是刚体受最简单的力系作用时的平衡条件, 如一物体仅受两力作用而平衡。按本公理, 两力的作用线必定沿此两力作用点的连线, 如图1-2 d, 这类构件常被称为两力构件。

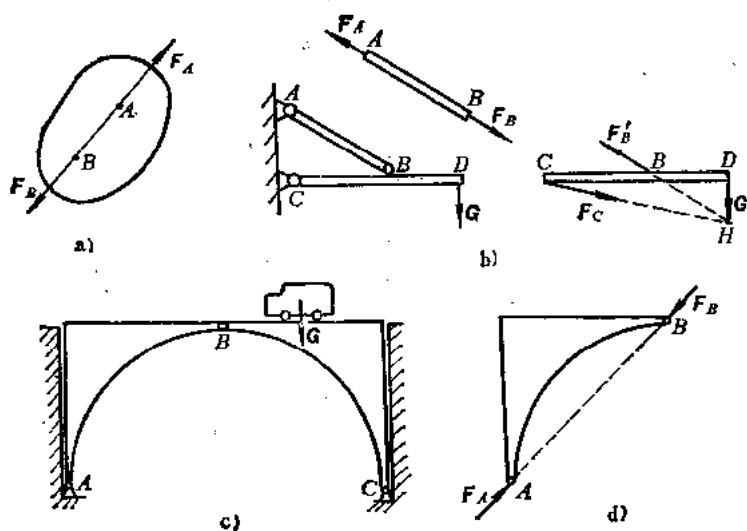


图1-2 两力杆与三力杆

公理 2 (加减平衡力系公理) 在已知力系上, 加上或减去任一平衡力系, 不会改变原力系对物体的作用效应。

推理 1 (力的可传性原理) 作用于刚体上的力, 可沿其作用线滑移到该刚体的任何位置, 不会改变此力对刚体的作用效应。

此原理证明如下:

1) 设力 F 作用于刚体上 A 点 (图1-3 a)。

2) 在力 F 的作用线上任选一点 B , 并在 B 点加一组沿 AB 线的平衡力 F_1 和 F_2 , 且使 $F_2 = F = -F_1$ (图1-3 b)。

3) 除去 F 与 F_1 所组成的一对平衡力, 刚体上只剩 F_2 , 且 $F_2 = F$ (图1-3 c)。

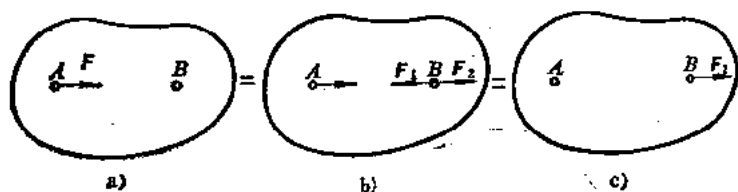


图1-3 力的可传性

此原理说明力是滑移矢量, 它只能沿其作用线滑移而不能任意移至作用线以外的位置。

必须指出, 力的可传性原理不适用于研究物体的内效应。例如, 一根直杆受一对平衡力 F 、 F' 作用时, 杆件受压 (图1-4 a); 若将两力互相沿作用线移动而易位, 则杆件

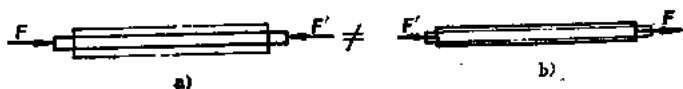


图1-4 压杆与拉杆

变为受拉作用 (图1-4 b), 拉伸和压缩是两种不同的内效应。因此, 研究力对物体的内效应时, 力仍应作固定矢量处理。

公理 3 (力的平行四边形法则) 作用于物体上某点 两力的合力也作用于该点, 其大小与方向可用此两力为边所构成的平行四边形的对角线来表示 (图1-5)。

力是矢量, 其运算也应按照矢量运算法则来进行, 其矢量合成式为:

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

反之, 一个力也可以分解为两个分力, 分解也按力的平行四边形法则来进行。显然, 由已知力为对角线可作无穷多个平行四边形 (图 1-6), 因此, 必须附加一定条件, 才能得到确切的结果。附加条件可能为: ①规定两个分力的方向;

②规定其中一个分力的大小与方向; 等等。

例如, 在进行直齿圆柱齿轮的受力分析时, 常将齿面的法向正压力 F 分解为推动齿轮旋转的和沿齿轮分度圆 周

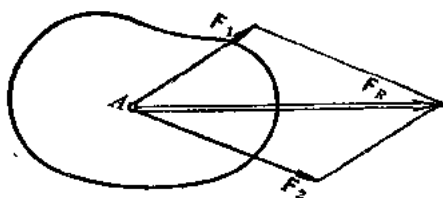


图1-5 力的平行四边形法则

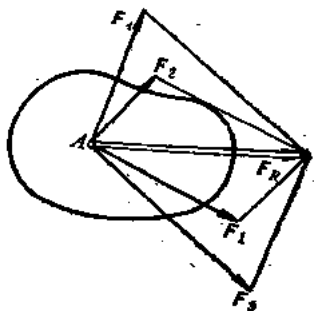


图1-6 力的分解

切线方向的分力——圆周力 F_t 与指向轴心的压力——径向力 F_r (图1-7)。若已知 F_n 与 F_t 与分度圆周切向所夹的压力角 α , 则:

$$F_t = F_n \cos \alpha \quad F_r = F_n \sin \alpha$$

推理 2 (三力平衡原理)

若物体在三个共面而又互不平行的力作用下处于平衡状态, 则此三力必汇交于一点。

证明:

1) 设刚体上 A 、 B 、 C 三点有共面力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用, 按力的可传性原理将 F_1 、 F_2 移至交点 O , 并根据公理 3, 将 F_1 与 F_2 合成为 F_R 。

2) 现刚体上只有两力

F_3 与 F_R 作用, 根据公理 2, F_R 与 F_3 必在同一直线上, 所以 F_3 必通过 O 点, 于是, F_1 、 F_2 、 F_3 均通过 O 点。

刚体只受同平面三个力作用而平衡, 称为三力构件。若三个力中已知两个力的交点及第三个力的作用点, 即可判断出第三个力作用线的方位。例如, 图1-2 b 所示的起重机架, 其中撑杆 AB 为二力构件, 若不计横梁 CBD 的自重, 则横梁只可能在 C 、 B 、 D 三点受力而成为三力构件。如图1-2b 所示, 横梁上 B 、 D 两点作用力的方向为已知, D 点受重力 G 的作用, 而 B 点则受杆 AB 拉力 F'_B 的作用, G 与 F'_B 二力交于 H 点, 则依三力平衡原理, 作用于 C 点的约束反力 F_C 也必须通过 H 点, 在 CH 的连线上。

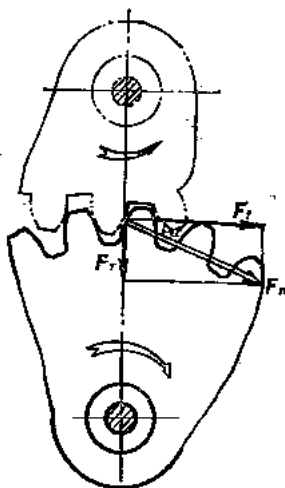


图1-7 齿轮受力分析

公理 4 (作用与反作用公理) 若将两物体间相互作用之一称为作用力, 则另一个就称为反作用力, 两物体间的作用力与反作用力必定等值、反向、共线, 分别同时作用于两个相互作用的物体上。

本公理阐明了力是物体间的相互作用, 作用与反作用的称呼是相对的, 力总是以作用与反作用的形式存在, 且以作用与反作用的方式进行传递。

这里应该注意两力平衡公理与作用与反作用定律之间的区别, 前者叙述了作用在同一物体上两力的平衡条件, 后者却是描述两个物体间相互作用的关系。

有时我们考察的对象是物系, 物系外的物体对物系的作用力称为外力, 而物系内部物体间相互的作用力称为内力。内力总是成对出现且等值、反向、共线, 所以对物系而言, 内力的合力总是为零。因此, 内力不会改变物系的运动状态。但内力与外力的划分又与所取物系的范围有关, 随着所取对象范围的不同, 内力与外力是可以互相转化的。

第三节 平面汇交力系的合成运算

为便于讨论, 将力系按各力作用线的分布状况进行分类, 凡力系中各力作用线在同一平面且汇交于一点者称平面汇交力系。

力是矢量, 故平面汇交力系的合成亦按矢量运算法则进行。

一、几何法

1. 两汇交力合成的三角形法则

设有 F_1 与 F_2 二力作用于某刚体上的 A 点, 则由前述可知, 以 F_1 、 F_2 为两边, 作平行四边形, 其对角线即为它们

的合力 F_R ，并记作 $F_R = F_1 + F_2$ ，如图1-8 a 所示。

为简便起见，作图时可省略 AC 与 DC ，直接将 F_2 联在 F_1 的末端，通过 $\triangle ABD$ 即可求得合力 F_R ，如图1-8 b 所示。此法就称为求两汇交力合力的三角形法则。按一定比例作图，可直接量得合力 F_R 的近似值。

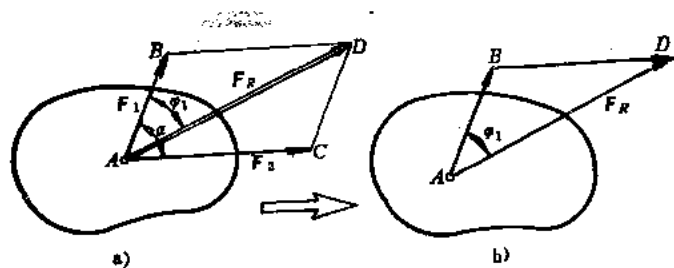


图1-8 力三角形法则

2. 多个汇交力合成的力多边形法则

设在刚体某平面上有一汇交力系 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 作用并汇交于 O 点，其合力 F_R 即可连续使用上述力三角形合成法则来求得。其矢量式表示为：

$$F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \Sigma F \quad (1-1)$$

由图1-9 可见，为求合力 F_R ，只需将各力 $F_1, \dots, F_n$ 首尾相接，形成一条折线，最后联其封闭边，从首力 F_1 的始端 O 指向末力 F_n 的终端所形成的矢量即为合力 F_R 的大小与方向。此法称为力多边形法则。

综上所述，平面汇交力系合成的一般结果为合一合力 F_R ，合力 F_R 为力系中各力的矢量和，其作用点仍为各力的汇交点，而且合力 F_R 的大小和方向与各力相加的次序无关。

例1-1 一固定于房顶的吊钩上有三个拉力 $F_1, F_2,$