

目 录

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念	2
第一节 力的概念	2
第二节 静力学公理	5
第三节 荷载	11
第四节 约束与约束反力	14
第五节 受力图	20
学习指导	24
思考题	24
习题	25
第二章 平面汇交力系	27
第一节 平面汇交力系合成的几何法	27
第二节 平面汇交力系平衡的几何条件	30
第三节 力在坐标轴上的投影 合力投影定理	32
第四节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	35
学习指导	40
思考题	41
习题	41
第三章 平面力偶系	43
第一节 力对点的矩	43
第二节 合力矩定理	45
第三节 力偶及其基本性质	46
第四节 平面力偶系的合成与平衡	50

学习指导	53
思考题	53
习题	54
第四章 平面一般力系	56
第一节 平面一般力系	56
第二节 力的平移定理	57
第三节 平面一般力系向一点的简化	59
第四节 平面一般力系的平衡条件	61
第五节 重心和形心	68
第六节 平面静定桁架的内力分析	72
学习指导	78
思考题	79
习题	80
第五章 滑动摩擦	83
第一节 滑动摩擦力的性质 摩擦定律	83
第二节 考虑滑动摩擦的平衡问题	87
学习指导	89
思考题	90
习题	91
第六章 空间力系	92
第一节 空间力系	92
第二节 力在空间坐标轴上的投影	92
第三节 力对轴的矩	95
第四节 空间力系的平衡条件	98
学习指导	102
思考题	102
习题	103

第二篇 材料力学

第七章 轴向拉伸和压缩	107
--------------------------	------------

第一节	拉伸和压缩的概念	107
第二节	拉伸和压缩时的内力计算	107
第三节	拉伸和压缩时的应力	112
第四节	拉伸和压缩时的强度计算	116
第五节	杆件自重对应力的影响	120
第六节	拉伸和压缩时的变形	121
学习指导	.....	125
思考题	.....	126
习题	.....	127
第八章	材料的力学性质	129
第一节	钢与其他金属材料的力学性质	129
第二节	混凝土的力学性质	135
第三节	容许应力和安全系数	136
学习指导	.....	138
思考题	.....	138
第九章	剪切和挤压	139
第一节	剪切和挤压的概念	139
第二节	剪切和挤压的强度计算	140
学习指导	.....	147
思考题	.....	147
习题	.....	148
第十章	扭转	149
第一节	扭转的概念	149
第二节	圆轴扭转时的内力与应力	150
第三节	圆轴扭转时的强度计算	154
第四节	非圆截面构件的扭转问题	159
学习指导	.....	160
思考题	.....	161
习题	.....	161
第十一章	梁的内力	163

第一节 梁和梁的基本类型	163
第二节 梁的内力	164
第三节 剪力图和弯矩图	168
第四节 用叠加法作梁的剪力图和弯矩图	174
学习指导	176
思考题	176
习题	177
第十二章 梁的强度计算	179
第一节 梁的正应力	179
第二节 梁的正应力强度条件	184
第三节 梁的合理截面	188
第四节 梁的剪应力强度条件	191
第五节 平面图形的惯性矩	193
学习指导	197
思考题	198
习题	198
第十三章 梁的刚度计算	200
第一节 梁的变形	200
第二节 梁的刚度条件	207
学习指导	209
思考题	210
习题	210
第十四章 压弯组合变形的强度计算	211
第一节 组合变形的概念	211
第二节 压弯组合变形的强度计算	212
第三节 偏心压缩的强度计算	215
学习指导	221
思考题	221
习题	221
第十五章 压杆稳定	224

第一节	压杆稳定的概念	224
第二节	临界力的确定	225
第三节	压杆的稳定条件	227
第四节	提高受压杆件稳定性的措施	234
学习指导	.....	235
思考题	.....	235
习题	.....	238

第三篇 结构的受力分析

第十六章	结构计算简图和结构组成分析	240
第一节	结构计算简图	240
第二节	结构的几何组成分析	243
学习指导	.....	249
思考题	.....	249
习题	.....	249
第十七章	静定结构的内力分析	251
第一节	杆件结构的分类	251
第二节	静定结构的特性和内力计算的基本方法	253
第三节	静定刚架的内力计算	258
第四节	三铰拱的内力计算	259
学习指导	.....	265
思考题	.....	265
习题	.....	265
第十八章	超静定结构内力分析的基础知识	267
第一节	超静定结构的特性	267
第二节	超静定结构内力计算的基本方法	268
学习指导	.....	273
思考题	.....	273
习题	.....	273

附录 I 工程常用量的单位换算表	276
附录 II 型钢表	277
表 II-1 热轧等边角钢	277
表 II-2 热轧不等边角钢	284
表 II-3 热轧普通工字钢	290
表 II-4 热轧普通槽钢	293

第一篇 静力学

静力学的主要任务是研究物体在力作用下的平衡规律及其应用。

平衡通常是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动状态。例如，房屋、桥梁等建筑物，以及匀速提升的电梯等都是平衡的实例。由于地球本身在运动，因此，所谓平衡是相对于地球而言的。

静力学中要研究的基本问题是：

1. 力系的简化。作用在物体上的力的合成、分解和简化的方法。所谓简化就是将作用在物体上的一群力（力系）简化为最简单的形式。

2. 力系的平衡条件。就是要研究物体平衡时作用在它上面的力系必须满足的条件。

力系的平衡问题的研究在工程实践中有广泛的应用，在建筑结构的设计与施工中都需要这方面的知识。例如，设计一个结构，都要先经过静力分析，运用平衡条件计算出所受到的力，然后根据材料的性质再考虑选择什么材料和确定截面的大小。另外，静力学所涉及的一些力的基本性质和力所遵循的某些规律、静力分析的一般方法与步骤又是研究材料力学，结构力学的基础。

静力学的重点是静力学公理，受力分析的一般方法与步骤、力系的简化和物体的平衡规律。

第一章 静力学的基本概念

第一节 力的概念

力的概念是人们在长期生产劳动和生活实践中逐渐形成的。在建筑工地劳动，我们拉车，弯钢筋，拧螺丝帽时，由于肌肉紧张，我们感到用了力。同样，起重机吊起构件，牵引车拉大平板车，打夯机夯实地面等等也都是力的作用。

力作用在车子上可以使车由静到动，或使车的运动速度变快，与此同时也感觉到车在推人；力作用在钢筋上可以使直的钢筋弯曲或使弯曲的钢筋变直，同时钢筋有力作用在施力物体上。无数事例说明：力是物体间的一种相互作用，这种相互作用的效果使物体的运动状态发生变化，或者使物体产生变形。这里所说的运动状态的改变，是指物体运动快慢或运动方向的改变；所说的变形、是指物体的大小或形状发生变化。力的作用方式是多种多样的。物体间互相接触时，可以产生相互的推、拉、挤压等作用力；物体间不接触时，也能产生相互间的吸引力或排斥力。例如，地球对悬挂的小球有吸引力作用于小球的重心，即我们常说的重力，而小球对地球的吸引力作用于地球的中心。总而言之，力是物体之间的相互作用。因此，力不可能脱离物体而单独存在，有受力物体总有施力物体。

在自然界中，任何物体在力的作用下，都将发生变形。

但是，工程实际中许多物体（例如建筑结构中的梁、柱、受压的桥梁等）的变形相对于物体本身尺寸而言常常非常微小，在研究物体的平衡问题时，这些微小变形的影响不大，可以忽略不计，因而可以将物体看成是不变形的。在任何外力作用下，大小和形状始终保持不变的物体，我们称它为刚体。刚体是真实物体的抽象化模型，在研究平衡问题时，一幢房子，一台塔吊，一条钢丝绳都可视为刚体。但当进一步研究物体在力作用下变形和强度问题时，变形将成为主要因素而不能忽略，也就不能再把物体当作刚体，而要视为变形体。

在大量的实践中证明，力对物体的作用效果取决于力的三要素：

（1）力的大小

力是有大小的。力的大小表明物体间相互作用的强弱程度。

力的度量单位是牛顿N，或千牛顿 kN。

（2）力的方向

力不但有大小，而且还有方向。力的作用效果与力的方向有关。以撬杠起道钉为例，

如图1-1所示，如果力 F 不是向下压而是向上抬，无论力 F 如何增加，道钉也起不出。

（3）力的作用点

力对物体的作用效果还与力的作用点有关。在图 1-1 中如果力 F 离支点O距离很近，则道钉也不容易起出。

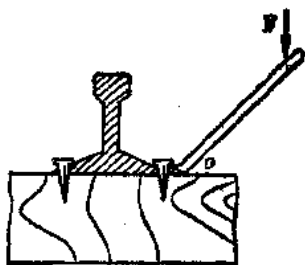


图 1-1

力的作用点表示物体相互作用的位置。它实际上是一块面积。当这作用面积较大时，就形成分布力，如水坝所受水压力，屋顶所受的积雪的压力。当力的作用面积很小时，就可以近似地看成作用在一个点上，这种力称为集中力，该点称为力的作用点。

力这种既有大小又有方向的物理量称为矢量，可以用一带箭头的线段来表示。如图1-2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（与水平线所夹的角）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；通过力的作用点沿力的方向画出的直线如图1-2中的KL，称为力的作用线。图1-2中选定1单位长度表示100kN，按比例量出P的大小是200kN，力的方向与水平线成 30° 角，指向右上方，作用在物体的A点上。

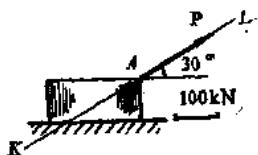


图 1-2

用字母符号表示力矢量时，常用黑体字 F 、 P 表示，而 F 、 P 、只表示该矢量的大小。

为了便于研究和叙述，我们还要给出下面一些定义。

(1) 作用在指定物体上的一群力称为力系。

(2) 物体相对于地球静止或作匀速直线运动时，我们说物体处于平衡状态。

(3) 如果物体在某一力系作用下保持平衡，则该力系称为平衡力系。

第二节 静力学公理

力的基本性质由静力学公理所概括。这些公理是人们在长期的生产和生活实践中，经过反复观察和实验总结出来的，又经过实践的检验证明它们是符合客观实际的普遍规律。

公理 1 二力平衡条件

作用在同一刚体上的两个力，使刚体平衡的充分和必要条件是，这两个力大小相等，方向相反，作用在同一条直线上，如图1-3所示。

上述的二力平衡条件对于刚体是充分的也是必要的，而对于变形体只是必要的，不是充分的。如图1-4所示的柔绳的两端若受到一对大小相等、方向相反的拉力可以平衡；但若是压力就不能平衡。

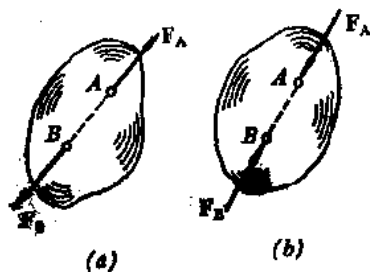


图 1-3

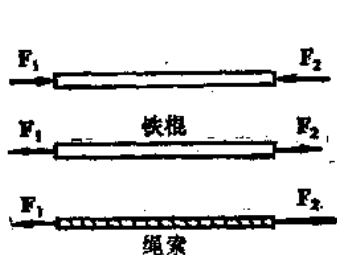


图 1-4

二力平衡表明了作用于物体上的最简单的平衡力系，它为以后研究一般力系的平衡条件提供了基础。

公理 2 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任意力系中，加上或去掉任何一个平

衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。也就是说相差一个平衡力系的两个力系作用效果相同，也可以互换。

这个公理可以这样粗略的理解：因为平衡力系不会改变刚体原来的运动状态（静止或作匀速直线运动），也就是说，平衡力系对刚体的运动效果为零。所以在刚体上加上或去掉一个平衡力系，是不会改变刚体原来的运动状态的。

推论 力的可传性原理

作用于刚体上的力可沿其作用线移动到刚体内任意一点，而不会改变该力对刚体的作用。

证明：设力 F 作用在刚体 A 点，如图1-5a所示。根据加减平衡力系公理，可在力的作用线上任取一 B 点，加上等值、反向、共线的 F_1 、 F_2 两个力，并让 $F_1 = -F_2 = F$ ，如图1-5b所示。于是 F_1 、 F_2 、 F 三个力组成的力系与一个力 F 等效。但 F 和 F_2 是一个平衡力系，可以去掉，故只剩下作用在 B 点的一个力 F_1 ，如图1-5c所示。于是力 F_1 与原力 F 等效。这样就把作用在 A 点的力 F 沿其作用线移到了 B 点。

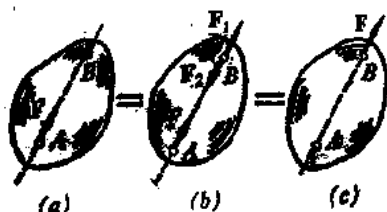


图 1-5

上述力的可传性原理很易为实践所验证。

例如，用绳拉车，或者沿绳子同一方向，以同样大小的力用手推车，对车产生的运动效果相同。

力的可传性原理告诉我们，力对刚体的作用效果与力的作用点在作用线上的位置无关。换句话说，力在同一刚体上可沿其作用线任意移动。这样，对于刚体来说，力的作用点在作用线上的位置已不是决定其作用效果的要素，力的三要

素可表示为：力的大小、方向和作用线。

应当指出，力的可传性只适用于一个刚体，不适用于两个刚体（不能将作用于一个刚体上的力随意沿作用线移至另一个刚体上）。如图1-6a，两平衡力 F_1 、 F_2 分别作用在二物体 A、B 上，能使物体保持平衡（此时物体之间有压力），

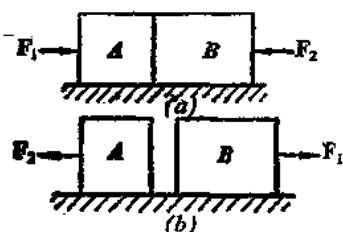


图 1-6

但是，如果将 F_1 、 F_2 各沿其作用线移动成为图 1-6b 所示的情况，则二物体各受一个拉力而将被拆散失去平衡。力的可传性也不适用于变形体。如一个变形体受 F_1 与 F_2 的拉力作用将产生伸长变形，如图1-7a所示；若将 F_1

与 F_2 沿其作用线移动到另一端如图 1-7b，物体将产生压缩变形，变形形式发生变化，即作用效果发生改变。

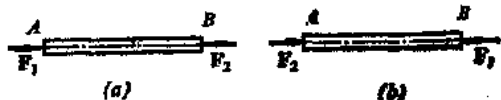


图 1-7

公理 3 力的平行四边形法则

作用在物体上的一个力系，如果可用另一个力系来代替，而不改变原力系对物体的作用，则这两个力系称为等效力系。如果一个力与一个力系等效，则该力称为此力系的合力，而力系中的各个力称为这个力的分力。如图 1-8 中，重量为 G 的小球，用一根绳悬挂，小球处于平衡状态。如用两根绳悬挂，两根绳的角度各有不同时也可以达到使小球平衡的同样效果。也就是说，两个力 F_1 、 F_2 对小球的作用效果，与一个力 R 对小球的作用效果完全相同。于是我们说， R 是

F_1 、 F_2 的合力, F_1 、 F_2 是 R 的两个分力。

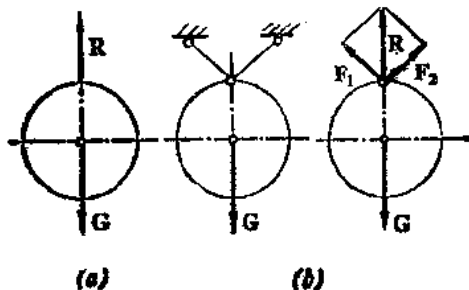


图 1-8

作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个合力, 合力的作用点也在该点上, 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确定, 如图 1-9 所示。这称为力的平行四边形法则。

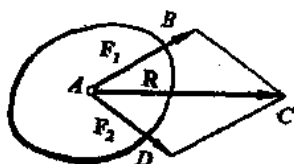


图 1-9

根据这个法则作出的平行四边形, 叫力的平行四边形。

力的平行四边形法则是力系合成或简化的基础。

例 1-1 图 1-10a 所示的柱

子, 柱顶受有屋架传来的压力 $N = 15000\text{N}$, 还有水平力 $H = 5000\text{N}$ 。试求这两个力对柱子的组合作用, 即求 N 和 H 的合力。

解: N 和 H 的合力可利用力的平行四边形法则, 按以下步骤得出,

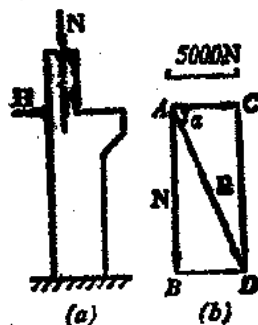


图 1-10

(1) 选定比例尺, 如图1-10b。

$$1\text{cm} = 5000\text{N}$$

(2) 用力的图示法: 在垂直方向作 N , 画出线段 $AB = 3\text{cm}$; 在水平方向作 H , 画出线段 $AC = 1\text{cm}$ 。

(3) 过 B 点作 AC 的平行线 BD , 过 C 点作 AB 的平行线 CD , 得到平行四边形(此题为一矩形) $ACDB$ 。

(4) 对角线 AD 即代表合力 R 的大小和方向。量得 $AD = 3.2\text{cm}$, 即 $R = 5000 \times 3.2 = 16000\text{N}$, 同时量得合力方向与水平方向成 $\angle \alpha = 71^\circ 30'$ 。

一个力分解为两个力是两个力合成为一个力的逆运算。但是, 将一个已知力分解为两个分力可得无数的解答。因为以一个矢量为对角线的平行四边形, 可以作无数个。要得到唯一的解答, 必须给以附加的条件。常常遇到的是将一个力分解为方向已知的两个分力。

设有一作用于 A 点的力 F , 如图1-11a所示。今欲将此力沿直线 AK 和 AL 方向分解。应用力的平行四边形法则, 过 F 的终点 B 作两直线分别平行于 AK 和 AL , 并得交点 C 和 D , 则 F_1 和 F_2 即为所求分力, 它们的作用点仍是原力 F 的作用点。

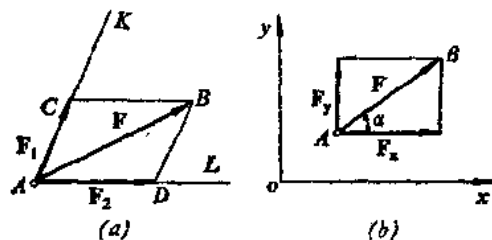


图 1-11

将一个已知力分解为两个分力时, 如果其中一个分力的大小和方向为已知, 也可以用力的平行四边形法则去求出另

一个分力的大小和方向。

在工程实际中常将一个力 F 沿直角坐标轴 x 、 y 分解，得出互相垂直的两个分力 F_x 和 F_y ，如图1-11b所示。这样可以用简单的三角函数关系求得每个分力的大小。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中 α 为 F 与 x 轴之间的夹角。

公理 4 作用与反作用定律

作用力与反作用力大小相等；方向相反，沿同一直线且分别作用在两个相互作用的物体上。

这个定律说明了两物体间相互作用力的关系。力总是成对出现的，有作用力必有一反作用力，且总是同时产生又同时消失的。根据这个定律，当我们知道物体 A 对物体 B 作用力的大小和方向时，就可以知道物体 B 对物体 A 的反作用力。例如，图1-12a中物体 A 放置在物体 B 上， N 是物体 A 对物体 B 的作用力，作用在物体 B 上， N' 是物体 B 对物体 A 的反作用力，作用在物体 A 上。 N 和 N' 是作用力和反作用力关系，即大小相等 $N = N'$ ，方向相反，沿同一直线 KL 如图1-12b所示。

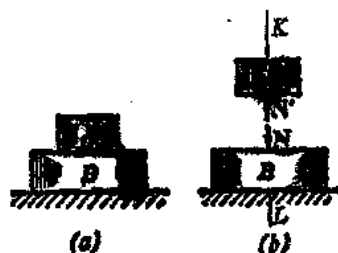


图 1-12

要特别注意，不能把作用与反作用定律与二力平衡条件混淆起来。作用力与反

作用力是分别作用在相互作用的两个物体上的，所以，它们不能互相平衡。

第三节 荷 载

结构或构件承受的主动动力在工程上习惯地称为荷载

一、荷载的分类

1. 按荷载作用时间的长短可分为“恒载”和“活荷载”。

恒载是指长期作用在结构上的不变荷载。例如屋架、楼板、墙体、基础等构件的自重或土压力等。

活荷载是指作用在结构上的可变荷载。例如风荷载、雪荷载，施工机械和人群对结构的作用力等。所谓“活”是说这种荷载有时存在，有时不存在，荷载的作用位置在结构中也可以移动。

2. 按荷载的作用范围可分为“集中荷载”和“分布荷载”。

如果荷载作用范围很小，可以看成全部作用力集中于一点加在受力结构上，叫做“集中荷载”或“集中力”。例如，车轮对轨道的压力，屋架或梁的端部对柱子或墙的压力等等。集中荷载的单位一般用N或kN。

如果荷载是连续地作用在受力结构上，叫作“分布荷载”，例如自重、风荷载、雪荷载等。

有些荷载分布在结构体积内，叫体荷载，如重力等。体荷载的单位常用的是牛顿/米³(N/m³)或千牛顿/米³(kN/m³)。

有些荷载分布在结构的表面，叫面荷载。如水坝上受到的水压力，楼面受到的风荷载等。面荷载的单位常用的是牛顿/米²(N/m²)或千牛顿/米²(kN/m²)。

在工程结构计算中，如果荷载是分布在一个狭长面积上