

〔美〕 R. C. 希伯勒 著

工程力学

静力学

仇仲翼 黄维扬 吴 森 译 高永寿 校

人民教育出版社

工 程 力 学

静 力 学

〔美〕 R. C. 希伯勒 著
仇仲翼 黄维扬 吴 森 译
高永寿 校

人 民 教 育 出 版 社

内 容 简 介

R. C. 希伯勒著《工程力学》第二版(1978年)是美国工科大学近年来广泛采用的工程力学课程的教材。本书除包括传统的工程力学内容外,还增加了许多与近代科学技术有关的新内容。为了培养学生能够独立地处理工程技术中出现的力学问题,在解题步骤的阐述,收入例题和习题的丰富,以及国际单位制的应用等方面都是本书具有的特点。全书分为两册,一册为静力学,另一册为动力学。译本也按两册出版。

本书可用作我国高等工科院校工程力学课程的教学参考书,也可供工程技术人员参考。

本册静力学由仇仲翼、黄维扬、吴森、高永寿共同翻译。其中仇仲翼译前言、一、二、三、四章;黄维扬译五、六、七章;吴森译八、九、十章;高永寿译十一章。全部译稿由高永寿校订,吴森整理。

工 程 力 学

静 力 学

〔美〕R. C. 希伯勒 著

仇仲翼 黄维扬 吴 森 译

高永寿 校

人民教育出版社 出版

新华书店北京发行所 发行

人民教育出版社印刷厂 印装

开本 787×1092 1/16 印张 25.25 字数 573,000

1980年4月第1版 1982年5年第1次印刷

印数 00,001—11,500

书号 15012·0248 定价 3.20 元

前 言

本书的目的是要清晰而全面地向学生介绍工程力学的理论和原理的应用。重点在于培养学生分析问题的能力——工程技术人员最主要的技能。此外,在计算中,采用了国际单位制(SI),因为这种单位制将来要成为全世界度量的标准。

每章的内容分为若干节。这些节的内容包括专门问题的推演和阐述,例题和一套习题。这些习题是为检验学生应用理论的能力而拟定的。其中许多描述实际情况的习题都会在工程实际中碰到。这样做的目的,希望能提高学生对工程力学的兴趣,同时又培养学生运用力学原理,把任何这类问题从物理描述化为计算模型或符号表达式的能力,提供一种方法。各章中的习题都是按由浅入深的顺序安排的。此外,每章的习题除了每隔三题(都标有“*”号)外,都有答案列在书末。所有数字计算的例题和习题都采用国际单位制;但是,为了某些教员的方便,每隔四题列出了两种单位制,一种是国际单位制,再一种是英制(FPS)。

除了把英制改为国际单位制和增加了许多新习题之外,本书与作者的第一版工程力学的静力学相比有许多方面是不同的。书中的大部分材料全部作了重写,每节分成若干段,每段的标题用黑体字表示,其目的是为了提供一种组织方法以导出每一个新的定义或概念,同时也便于以后的查考和复习。另一个特点是全书应用了“分析步骤”。这种解题的指南在第一版第9-3节中作过初步介绍,实际上它是一种循序渐进的教学方式,给学生提供了一种在应用理论时可遵循的合理和有规则的步骤。象第一版一样,为了阐明这种步骤的应用,解例题时采用了上述步骤。

由于数学为应用力学原理提供了系统的工具,所以要求学生具有代数、几何、三角的先修知识,为了掌握本书的全部内容,还需要一些微积分的知识。有些非常适合的地方采用了矢量分析。采用矢量分析常为理论的简明推导提供了方便的工具,使许多复杂的三维问题得到合理的简单而有系统的解。有时有些例题用几种不同的分析方法求解,这样可以提高学生运用数学工具的能力,从而使任何问题有可能以最直接和有效的方法解决。

本书共分十一章,每章所引入的原理首先应用于简单的情况。特别是每一原理首先应用于质点,然后应用于承受平面力系的刚体,最后应用于作用在刚体上的空间力系的最一般情况。

内容摘要如下:第一章,介绍力学的一般原理和单位制的讨论。第二章,介绍矢量的概念和汇交力系的特点。然后,在第三章中,把上述理论应用于质点的平衡。第四章,包括集中力系和分布力系的一般讨论以及简化这些力系的方法。第五章,建立刚体平衡的原理。第六章,把这些原理应用于包括桁架、框架和机构的平衡的特殊问题。第七章,用这些原理分析梁和绳索的内力。第八章,讨论涉及摩擦力问题的应用。第九章,讨论形心和重心的有关问题。假如时间允许,可以讲授包括标有“*”号的有关更深一些的内容。第十章(“面积惯性矩”)和第十

一章(“虚功原理”)中的一些内容在基本课程中可以不讲。然而,注意这些更深的材料可以为更深的课程中讨论基本原理时作为合适的参考。

书中有些章节,在不影响本书的连续性的情况下,教员可自行安排不同的顺序。例如,在介绍力的概念和所有必要的矢量分析方法之前,可以首先介绍第二章和§4-2及§4-11。然后,在介绍第四章其余部分(力和力矩系)之后,可以讨论第三章和第五章中的平衡规律。此外,第九章可以在§4-10(分布力系)之后介绍,因为理解这一章的内容用不着平衡规律的知识。

作者力求写好这本书,以引起学生和教员的兴趣。这样做时,必须承认,本书的形成得到了很多人的帮助。关于这一点,我要感谢北卡罗来纳州立大学的 M. H. 克莱顿(Clayton);芝加哥塞克耳的伊利诺斯大学的 D. 克拉计西诺维克(Krajcinovic);美国海军学院的 W. 李(Lee);扬斯敦州立大学的 G. 马弗里勤(Mavrigian);图勒(Tulane)大学的 W. C. 范巴斯柯克(Van Buskirk)和伊利诺斯理工学院的 P. K. 马利克(Mallick)等人所提出的宝贵的建议和意见。也应该感谢我的全体学生和给我提出过建议和意见的专业工作者们。由于篇幅所限,在此不一一列举,谨致以诚挚的谢意。最后,应该同样的感谢我的夫人科妮莉(Cornelie)的有力的帮助,她为帮我准备出版的底稿花了大量的时间和精力。

R. C. 希伯勒(Hibbeler)

目 录

第一章 概述	1	\$5-2 平衡方程	136
§1-1 力学	1	\$5-3 二力构件和三力构件	145
§1-2 计量单位	2	作用在刚体上的空间力系	154
§1-3 国际单位制	3	\$5-4 支座反力	154
§1-4 量纲	5	\$5-5 平衡方程	157
§1-5 一般分析步骤	6	\$5-6 平衡的充分条件	158
第二章 力和位置矢量	8	第六章 结构分析	174
§2-1 标量和矢量	8	§6-1 简单桁架	174
§2-2 矢量的加法和减法	9	§6-2 节点法	176
§2-3 矢量与标量的乘法和除法	10	§6-3 截面法	185
§2-4 力矢量	11	*§6-4 空间桁架	192
§2-5 直角坐标矢量	19	§6-5 构架和机械	196
§2-6 直角坐标矢量的加法和减法	23	第七章 内力	215
§2-7 直角坐标位置矢量	32	§7-1 结构构件中的内力	215
§2-8 直角坐标力矢量	33	*§7-2 梁的剪力图和弯矩图	221
第三章 质点的平衡	42	*§7-3 分布载荷、剪力和弯矩之间的关系	228
§3-1 质点平衡的条件	42	*§7-4 绳索	234
§3-2 受力图	42	第八章 摩擦	242
§3-3 质点平面力系	45	§8-1 干摩擦的性质	242
§3-4 作用在质点上的空间力系	55	§8-2 与干摩擦有关的问题	245
第四章 等效力系	68	*§8-3 螺旋上的摩擦力	262
§4-1 力对刚体的作用	68	*§8-4 环轴承、枢轴承和圆盘上的摩擦力	264
§4-2 矢积	68	*§8-5 轴颈轴承上的摩擦力	267
§4-3 力矩	71	*§8-6 平皮带上的摩擦力	272
§4-4 伐里农定理	76	*§8-7 滚动摩擦	275
§4-5 力偶矩	83	第九章 重心和形心	280
§4-6 可传性原理	88	§9-1 质点系的重心和质心	280
§4-7 分解一个力为一个力和一个力偶	88	§9-2 物体的重心和形心	283
§4-8 力和力偶系的简化	94	§9-3 组合体	297
§4-9 力和力偶系的进一步简化	97	*§9-4 巴布斯和古尔丁努斯定理	304
§4-10 简单分布载荷的简化	108	*§9-5 作用在被流体浸没的表面上 流体压强	309
§4-11 点积	118	第十章 面积惯性矩	319
§4-12 力对指定轴的力矩	121	§10-1 面积惯性矩的定义	319
第五章 刚体的平衡	128	§10-2 面积的平行轴定理	320
作用在刚体上的平面力系	128	§10-3 面积的回转半径	321
§5-1 受力图和支座反力	128		

§10-4 用积分法确定面积惯性矩	321	§11-4 互相联结刚体系的虚功原理	350
§10-5 组合面积的惯性矩	327	*§11-5 保守力	363
*§10-6 面积惯性积	333	*§11-6 势能	364
*§10-7 面积对斜轴的惯性矩	336	*§11-7 平衡的势能判据	365
*§10-8 惯性矩的莫尔圆	339	*§11-8 平衡的稳定性	366
第十一章 虚功	347	附录 A 数学公式	376
§11-1 功与虚功的定义	347	附录 B 线、面和体单元的几何性质	379
§11-2 质点的虚功原理	349	习题答案	382
§11-3 刚体的虚功原理	349	英汉名词对照	392

第一章 概 述

§ 1-1 力 学

一般地说来,力学是物理科学的一个分支,它研究受力物体的静止和运动状态。为了进一步研究物理科学,包括结构工程、机械设计、流体流动、电器仪表,甚至元素的分子和原子的特性,就需要对本学科有一个彻底的了解。

力学分类 按所研究问题的性质,力学一般分为三个分支:刚体力学或经典力学,变形体力学和流体力学。本书只研究刚体力学,因为本学科为设计和分析许多工程问题奠定适当的基础,并为研究变形体力学和流体力学提供必要的预备知识。

刚体力学一般又分为两部分:静力学和动力学。静力学研究处于静止或等速运动的物体的平衡;而动力学则涉及到物体的加速运动。虽然,可以把静力学看作加速度为零的动力学的特殊情况,但是在工程教育中,应该把静力学单独划分出来讨论,因为人们设计的大部分结构都以处于平衡状态为目的。

发展史 静力学在历史上很早就出现了,这是由于它只要用几何和力的测量结果就可以获得力学关系式。例如,阿基米德(Archimedes)(公元前287~212年)的著作解释了杠杆的平衡。古代著作中也记载了滑轮、斜面和扳手的研 究,那时工程技术主要局限于建筑方面。

因为动力学的原理取决于精确的时间测量,所以它很晚才发展起来。伽利略·加利莱(Galileo Galilei)(1564~1642年)是这个领域的主要创始人之一。他的工作包括用钟摆和落体所做的实验。然而,在动力学方面最重要的贡献是由艾萨克·牛顿(Isaac Newton)(1642~1727年)作出的,他的三大运动定律和万有引力定律是众所周知的。这些定律提出后不久,欧拉(Euler)、达朗伯(D'Alembert)、拉格朗日(Lagrange)和其他学者提出了应用这些定律的重要方法。

牛顿运动三定律 整个的刚体力学或经典力学的阐述是以牛顿运动三定律为基础的。这些定律用于质点运动,可以简要叙述如下:

第一定律 最初处于静止或匀速直线运动状态的质点,只要不受不平衡力的作用,它将继续保持原来的状态。

第二定律 质点受不平衡力 F 的作用,在力的方向上得到一个加速度 a ;其大小与力成正比,与质点的质量 m 成反比。此定律通常以数学表达式表示为

$$F = ma \quad (1-1)$$

第三定律 对于作用在质点上的每一个力,该质点产生一个大小相等、方向相反和共线的反作用力。

牛顿万有引力定律 牛顿提出质点运动三大定律后不久,又提出了一个确定任意两个质点之间相互作用的引力的定律。这个定律可以用数学式表示为

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1-2)$$

式中：F为两质点间的引力；

G为万有引力系数；根据实验测得，

$$G = 6.673(10^{-11}) \text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$$

m_1, m_2 分别为两个质点的质量

r 为两质点中心之间的距离。

任何两个质点或物体之间存在着一个相互吸引的力(万有引力)。位于地球表面或靠近地球表面的质点,不管怎样,总具有不同大小的地球的引力。因此,这个力称为重量,就是只考虑重力。

§ 1-2 计 量 单 位

力学中常用的四个基本量为长度、时间、力和质量。一般,每个量的大小用一个任意选择的单位或“标准”来定义。

长度 长度的概念是确定点在空间的位置所需要的,并从而描述物理系统的尺寸。测量长度的标准单位是米(m),它是氪-86元素光谱中的橙-红光波长的1,650,763.73倍。所有其它的长度单位都是以它为标准定义的。例如,1英尺(ft)等于0.3048 m。

时间 时间的概念是用过程的延续来表达的。计时所用的标准单位是秒(s),它是同位素铯-133振动9,192,631,770个周期的延续时间。

力 一般认为力是一个物体对另一个物体的推拉作用。两个物体之间直接接触,如人推墙,就可以产生相互作用力;或者物体间虽然有一距离,也可以产生相互作用力,例如引力、电力和磁力。不管什么情况,力都可以用其大小、方向和作用点完全表示出来。工程中最常用的标准单位是牛顿(N)或磅(lb)。这两种单位都可以用弹簧秤测定,以确定地球作用在物体上的引力。这种力称为物体的重量,它是随着地球中心到物体的距离 r 而变化的,见公式(1-2),所以测量重量要注意纬度和海拔高度。

质量 物体的质量是用来衡量物质阻止速度变化的度量。它与重量不同,不管处于什么位置,质量都是不变的。因此,常常用杠杆秤来进行质量比较。质量的标准单位是公斤(kg),它是保存在法国塞佛尔(Sèvres)国际度量衡局的铂铱合金棒的质量。

单位制 四个基本量——长度、时间、力和质量——不都是相互独立的;而这些量由牛顿第二运动定律联系起来——力与质量和加速度的乘积成比例,即 $F = ma$ 。因此,用来确定力、质量、长度和时间的单位都不能任意选择。等式 $F = ma$ 假如只含有任意确定的四个基本单位中的三个基本单位,则第四个单位可由方程导出。

绝对单位制 以长度、时间和质量为基本量规定的单位制称为绝对单位制,因为这三个量都可以在任何地点测量。如表1-1所示,国际单位制(SI)为绝对单位制,因为它用米(m)作长度单位,秒(s)作时间单位,公斤(kg)作质量单位。力的单位称为牛顿(N),是由 $F = ma$ 导出。因此,1牛顿等于使1公斤质量产生1米/秒²加速度的力($N = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$)。

重力单位制 以长度、时间和力为基本量规定的单位制为重力单位制。这是因为力是在

表 1-1 单 位 制

单位制类别	单位制名称	长 度	时 间	质 量	力
绝 对 制	国际单位制 (SI)	米 (m)	秒 (s)	公 斤 (kg)	牛 顿* (N) $\left(\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2}\right)$
重 力 制	英国重力单位制 (FPS)	英尺 (ft)	秒 (s)	斯勒格* $\left(\frac{\text{lb}\cdot\text{s}^2}{\text{ft}}\right)$	磅 (lb)

* 导出单位

重力场中测量的,所以其大小取决于测量的地点。在英制(FPS 单位制)中,见表 1-1,长度用英尺(ft),时间用秒(s),力用磅(lb)。其质量单位,称为斯勒格(slug),是由 $F = ma$ 导出的。1 斯勒格为物体上作用 1 lb 力,使之产生 1 ft/s^2 加速度时该物体的质量($\text{slug} = \text{lb}\cdot\text{s}^2/\text{ft}$)。

§ 1-3 国际单位制

国际单位制,根据法文“Système International d’Unités”简写为 SI,它是在 1960 年召开的第 11 届国际计量大会上通过的一种新型米制,并在世界范围内广泛采用。本书采用国际单位制,因为它将成为世界公认的计量单位。

基本单位和导出单位 国际单位制只有七个任意确定的基本单位,如表 1-2 所示。所有其它单位都是从此些基本单位导出的。如前所述,力的单位牛顿(N)是由牛顿运动定律导出的($N = \text{kg}\cdot\text{m/s}^2$)。在静力学中所用的另一个导出单位是帕斯卡(Pascal),简写为帕(Pa),它定义为在 1 平方米面积上作用 1 牛顿力所产生的压力($\text{Pa} = \text{N/m}^2$)。

表 1-2 主要国际单位制

名 称	基 本 单 位	国际单位代号
长 度	米	m
质 量	千克(公斤)	kg
时 间	秒	s
电 流	安 培	A
物 质 的 量	摩 尔	mol
温 度	开尔文(kelvin)	K
光 强 度	坎德拉(烛光)	cd

词冠 因为通常单位计量的数值大小变化很大,所以常常用表示倍数或约数的词冠来调整单位*。在国际单位制中,词冠是按三位数递增的,如表 1-3 中所示。把词冠置于某一单位之前,事实上就变成了一个新的单位。因此,如果一个带倍数或约数的单位增加一次幂,那末这次幂就用作这个新的单位,不能只把幂数加在不带倍数或约数的原始单位上。例如, $(2 \text{ kN})^2 = (2000 \text{ N})^2 = 4(10^3 \text{ N})^2$, $1 \text{ mm}^2 = 1(\text{mm})^2$,而不等于 $1 \text{ m}(\text{m})^2$ 。注意,国际单位制不包括十倍或百分之一倍(0.01),它们是老米制单位的组成部分。除了一些体积和面积计量外,在科学和工程中要避免采用这两种词冠。

* 公斤(kg)是带词冠的唯一基本单位。

表 1-3 词 冠

倍 数	指 数 形 式	词 冠	国际制代号
1 000 000 000	10^9	吉咖(giga)	G
1 000 000	10^6	兆(mega)	M
1 000	10^3	千(kilo)	k
约 数			
0.001	10^{-3}	毫(milli)	m
0.000 001	10^{-6}	微(micro)	μ
0.000 000 001	10^{-9}	纳诺(nano)	n

使用规则 为了正确地使用国际单位制代号,给出下列使用规则:

1. 代号后决不能加“s”表示多数,因为它可能和秒的单位“s”混淆。
2. 代号要用小写字母,但下列两种情况除外,即表 1-3 中的两个最大词冠吉咖和兆分别用大写字母 G 和 M;以人名命名的符号也用大写字母,如 N 和 Pa。
3. 用若干个单位相乘来定义的量要用黑圆点隔开,以避免与词冠混淆,如 $N = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。同样, $\text{m} \cdot \text{s}$ 表示米-秒,而 ms 表示毫秒。
4. 小数点前后有若干位的物理常数或数字,应每三位留一空隙,这比用逗点隔开好,例如, 73 569.213 427。当小数两边是四位数时,空隙可有可无,例如, 8537 或 8 537 皆可。而且数字要写成小数形式,不用分数;即写成 15.25,不写作 $15\frac{1}{4}$ 。
5. 不采用复合词冠,例如,不能写成 k μ s(千-微-秒),而应写成 ms(毫-秒)。最好使数字保持在 0.1 与 1000 之间。另外,应选择合适的词冠。例如,一个 50000 N 的力应当写成 50 kN。
6. 除了基本单位 kg 外,一般在复合单位的分母中避免用带词冠的单位。例如,不应写作 N/mm,而应写作 kN/m。
7. 分、小时等虽不是十进制的,但在实际应用上仍予以保留,作为秒的倍数。另外平面角用弧度(rad)表示。度在本书中有时也用, $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$ 。然而不足一度应该用小数形式表示,而不用“分”表示,例如 10.4° 不应写为 $10^\circ 24'$ 。
8. 进行运算时,数以它的基本单位或导出单位冠以 10 的幂的词冠表示。最后结果应该用单一的词冠表示。例如:

$$\begin{aligned}(50\text{kN})(60\text{nm}) &= [50(10^3)\text{N}][60(10^{-9})\text{m}] \\ &= 3000(10^{-6})\text{N} \cdot \text{m} = 3\text{mN} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

重量 在国际单位制中经常混淆的两个术语是重量和质量。重量是作用在物体质量上的地心引力。当物体自由下落时,重量是使物体产生一个重力加速度的不平衡力。因此,假如物体的质量为 $m\text{kg}$,它位于重力加速度 $a = g \text{ m/s}^2$ 的点上,根据 $F = ma$,则重量 W 用牛顿($\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$)度量为

$$W = mg \quad (1-3)$$

特别是在位于纬度 45° 的海平面上(认为是标准位置),自由落体的重力加速度为 $g =$

9.80665 m/s²。计算时可采用 $g=9.81\text{ m/s}^2$ ；因此，根据公式(1-3)，1 kg 质量产生 9.81 N 的力或重量，2 kg 重量则为 19.62 N 等等。

学习使用国际单位制时，最好直接用国际单位制来计算；一般不要用单位制之间的换算系数来运算。要熟悉国际单位制，只有通过练习才能解决，例如，研究本书习题中的几何条件以及作用于结构和机械上的载荷。可以这样帮助记忆，一个标准手电池或一个小苹果的重量约为 1 牛顿。对于小距离，人的身体可以作合适的参考。例如，运用图 1-1 中的毫米比例尺以三四个指头并拢的宽度来量约为 50 mm，或者说一个小指甲的宽度约为 10 mm。对大多数人来说，迈一大步的距离约为 1 米长。

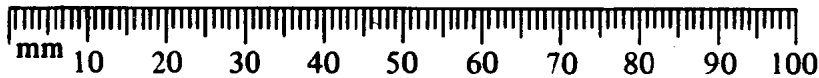


图 1-1 毫米比例尺

§ 1-4 量 纲

量纲一致 用来描述某一物理过程的方程式每一项的量纲必须一致；即每一项必须用相同的单位表示。倘若单位相同，用数值代替变量，那么方程式中的所有项可以合并。例如，方程 $s=vt+1/2at^2$ ，采用国际单位制，其中的距离 s 用米(m)表示，时间 t 用秒(s)表示，速度 v 用米/秒(m/s)表示，加速度 a 用米/秒² (m/s²)表示。不管如何计算此方程式的值，必须保持量纲一致。因此，上述方程的各项的量纲都是米(m)[m, (m/s)s, (m/s²)s²]，如果从上式解出加速度 a ，那么 $a=2s/t^2-2v/t$ ，则每项的量纲是米/秒² (m/s²)[m/s², m/s², (m/s)1/s]。

因为力学问题总是解量纲一致的方程式，方程式各项都有相同量纲，这一点可以用来检查方程式的代数运算是否正确的方法之一。

单位换算 在某些情况下，需要把一种单位制换算成另一种单位制。表 1-4 列出了在静

表 1-4 换算系数

量的名称	英制单位	由英制换算成国际单位的 换算系数	国际单位
力	磅(lb)	4.4482	牛顿(N)
质 量	磅质量(lbm _{mass})	0.4536	公斤(kg)
长 度	英尺(ft)	0.3048	米(m)
面 积	英尺²(ft²)	0.09290	米²(m²)
体 积	英尺³(ft³)	0.02832	米³(m³)
面积惯性矩	英尺⁴(ft⁴)	0.008631	米⁴(m⁴)
力 矩	磅·英尺(lb·ft)	1.3558	牛顿·米(N·m)
力 偶			
扭 矩			
线载荷集度	磅/英尺(lb/ft)	14.5938	牛顿/米(N/m)
面载荷集度	磅/英尺² (lb/ft²)	47.8800	帕斯卡(Pa)
压 强			
密 度	磅质量/英尺³(lbm _{mass} /ft³)	16.0187	公斤/米³(kg/m³)

力学中常用的重要物理量的英制(FPS)和国际单位制(SI)之间的换算系数。

当换算导出单位时,如果没有现成的换算系数,那么应该用一般的消去法来进行换算。例如,假定需要把速度 2 km/h 换算成以 m/s 为单位的值;那么,因为 $1\text{ km}=1000\text{ m}$, $1\text{ h}=3600\text{ s}$,所以其换算系数可根据消去法得到:

$$\begin{aligned} 2\text{ km/h} &= \frac{2\text{ km}}{\text{h}} \left(\frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}} \right) \left(\frac{1000\text{ m}}{1\text{ km}} \right) \\ &= \frac{2000\text{ m}}{3600\text{ s}} = 0.556\text{ m/s} \end{aligned}$$

为了尽量减少错误,在所有需要换算单位的问题中都应采用这种方法。

精度 在实际工作中,测量力的精度约为 90%,物体的质量及其测量也往往是近似的。所以,问题答案的精度一般决不会比问题给出的原始数据的精度高。当然,这是预料到的;但是计算机或手算工具在答案中所取的位数看来要比原始数据的位数多一些。因为,当两个差不多大小的数字相减时,精度是要降低的,所以在解题过程中,数字计算应尽量地精确,最后答案要化整成与原始数据精度相应的数值。

§ 1-5 一般分析步骤

学习工程力学最有效的方法之一是做习题。如果只学习有关工程力学理论的一些概念或一般原理,而不联系实际,那么收效是不大的。

解题时,按一定的思路进行工作是很重要的。因此,应该按照下列步骤进行:

1. 仔细看清题意。列出已知的数据,明确要求的结果。
2. 绘出解题所必需的示意图。
3. 列出所有有关的原理,这些原理一般是用数学形式表示的。
4. 按实际的物理情况考虑问题。并且把这些知识与列出的每一个数学表达式联系起来。
5. 尽可能用代数求解这些必须的方程,然后完成数字解。
6. 校核整个问题,保证方程的量纲一致,解题中所用数据的单位要统一。
7. 用技术知识和一般常识来判断答案是否合理。
8. 求出答案后,要回顾一下这个问题,考虑是否可以用其他的方法来获得同样的答案。

使用上述一般步骤时,应尽量简练。一般说来,简练有助于有条理的思考,有条理的思考也有利于简练。

习 题

- 1-1. 求长 0.12 km , 宽 200 mm 的长方形的面积。
- 1-2. 用带适当词冠的单位表示下列各数: (a) 6540 m ; (b) 5200 kN ; (c) 0.0621 ms 。
- 1-3. 计算并用带适当词冠单位表示下列各数: (a) $(4\text{ kN})^2$; (b) $(0.03\text{ mm})^2$; (c) $(200\text{ s})^3$ 。
- *1-4. 质量为: (a) 8 kg ; (b) 200 g ; (c) 2560 kg 的物体,其重量各为多少牛顿?
- 1-5. $\text{m}\cdot\text{kg}$ 和 mkg 是否有区别? 试说明之。
- 1-6. 用国际制的基本单位说明公式(1-2)是一个量纲一致的方程式,其中力 F 的单位为牛顿。计算两个球相互接触时的引力,每个球的质量为 100 kg ,半径为 150 mm 。

1-7. 用正确的国际制单位表示下列各复合单位: (a) μMN ; (b) $\text{k}\mu\text{m}/\text{Ms}$; (c) MN/ks^2 。

*1-8. 用表 1-4, 以公斤确定你的质量, 以牛顿确定你的重量, 以米来确定你的高度。

1-9. 帕斯卡(Pa)实际上是一个很小的压强单位。为了了解这一点, 把 1 Pa 换算成多少 lb/ft^2 。海平面的大气压强为 $14.7\text{lb}/\text{in}^2$, 是多少帕?

1-10. 假如一个人的重量在地球上为 100lb, 求: (a) 质量为多少斯勒格; (b) 质量为多少公斤; (c) 重量为多少牛顿。假如这个人在月球上, 月球上的重力加速度 $g_m = 5.30\text{ft}/\text{s}^2$, 求: (d) 他的质量为多少公斤; (e) 重量为多少牛顿。

1-11. 用正确的国际单位表示下列各复合单位: (a) g/ms ; (b) N/nm ; (c) $\text{mm}/(\text{kg}\cdot\mu\text{s})$ 。

*1-12. 换算: (a) $200\text{lb}\cdot\text{ft}$ 为 $\text{N}\cdot\text{m}$; (b) $300\text{lb}/\text{ft}^3$ 为 Mg/m^3 ; (c) $6\text{ft}/\text{h}$ 为 $\mu\text{m}/\text{s}$ 。

第二章 力和位置矢量

§ 2-1 标量和矢量

力学中的许多物理量可以用标量和矢量表示成数学形式。

标量 仅仅具有大小的量称为标量。质量、体积和长度是静力学中常用的标量。在本书中标量用斜体英文字母表示,如标量 A 。标量的数学运算和初等代数的运算一样。

矢量 矢量是一个既有大小又有方向的量,其“加”法按照平行四边形法则进行。这个法

则是同时描述矢量的大小和方向的一种结构形式。在静力学中常用的矢量有位置矢量、力矢量和力矩矢量。

在分析中,矢量用一个带箭头的字母表示,如 $\vec{A}$ 。大小用 $|\vec{A}|$ 表示,或简单地用 A 表示。在本书中矢量用黑体字表示,例如用 $\mathbf{A}$ 表示矢量 $\vec{A}$,其大小用斜体字 A 表示。

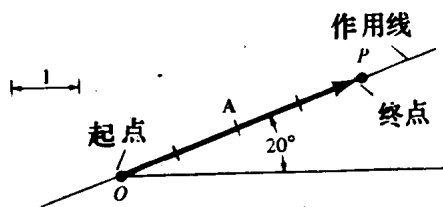


图 2-1

矢量的大小用箭的长度表示,方向用箭头表示。例如,图 2-1 中的矢量 $\mathbf{A}$ 的大小为 4 个单位,

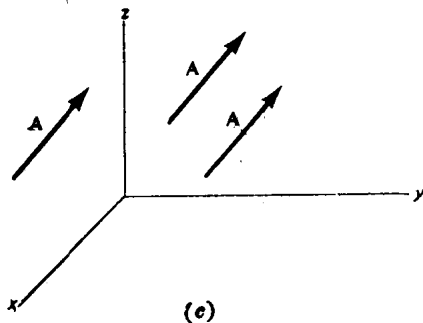
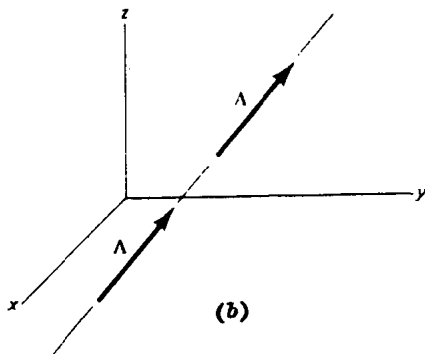
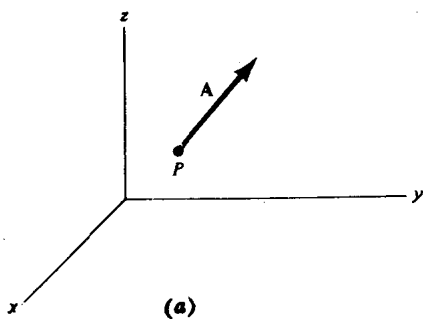


图 2-2

方向沿作用线向上,与水平线的夹角为 20° 。点 O 称为矢量的原点或起点, 点 P 称为终点或末点。

矢量种类 静力学中所用的各种矢量有:

1. 固定矢量,它是作用在空间特定点 P 上的一个矢量,见图 2-2a。
2. 滑动矢量,它可以沿着作用线作用在线上的任一点,见图 2-2b。
3. 自由矢量,它可以作用在空间任意一点,只需保持大小和方向不变,见图 2-2c。
4. 共面矢量,它们位于同一平面内,见图 2-6。
5. 共线矢量,它们有相同的方向和相同的作用线,见图 2-7。
6. 共点矢量,它们的作用线通过同一点,见图 2-6。
7. 等矢量,它们有相同的大小和相同的方向。虽然它们不必从同一原点出发,但其测得的大小必需具有相同的单位。借用标量代数中的等号“=”,我们可以把图 2-3 中的两个矢量 A 和 B 写成等式 $A = B$ 。
8. 负矢量,它的方向和正矢量相反,但大小相等,见图 2-4。
9. 零矢量,它的大小为零,因而没有特定的方向。它可以表示为 $A = 0$ 。



$A = B$
图 2-3

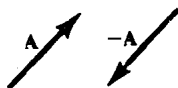


图 2-4

§ 2-2 矢量的加法和减法

矢量加法 图 2-5a 中的两个矢量 A 和 B , 可以用“平行四边形”法则或“三角形”法则相加而成第三个矢量 $R = A + B$, 其中矢量 R 称为合矢量, 矢量 A 和 B 称为分矢量。

平行四边形法则 为了用平行四边形法则求得合矢量 $R = A + B$, 把分矢量 A 和 B 的起点画在一起, 构成平行四边形的两邻边, 如图 2-5b 所示。然后, 把箭从 A 和 B 的起点沿着平行四边形的对角线延长至对角点, 则这个箭为合矢量 R 。

三角形法则 矢量加法的三角形法则是平行四边形法则的特殊情况, 用这个法则把矢量 B 的起点置于矢量 A 的终点进行矢量 A 和 B 的相加, 如图 2-5c 所示。为了相加, 把 B 看作自由矢量。合矢量 R 从 A 的起点延伸到 B 的终点。同样, 也可以把 A 加到 B 上得到合矢量

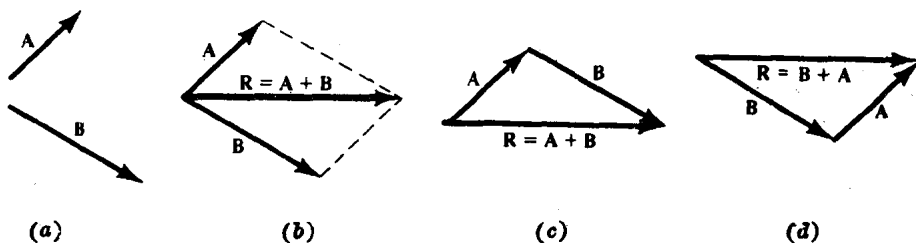


图 2-5

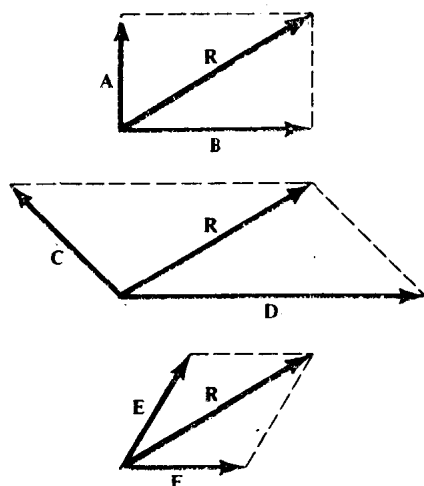


图2-6

R ,如图 2-5d 所示。此时,把 A 看作自由矢量。图 2-5c 和 2-5d,说明矢量加法适用于交换律,换句话说,矢量可以按任何顺序相加,即 $R = A + B = B + A$ 。

注意,矢量必须用平行四边形法则和三角形法则相加,正如所示的那样。另外,互相相加的矢量,其大小必须用单位相同的比例尺度量。

当使用矢量相加的方法时,应该看到相同的一个合矢量 R 可以由无限多组的两个分矢量所合成,如图 2-6 所示, $R = A + B = C + D = E + F$ 。若两个分矢量共线,那么平行四边形法则或三角形法则变成了两个分量的单一标量相加或代数相加,如图 2-7 所示。

矢量减法 当求矢量 A 和 B 的差时,我们可以

以写成

$$R = A - B = A + (-B)$$

这样就变成了矢量相加,见图 2-8。因此,可以把矢量相减看作矢量相加的特殊情况,这样可以把求矢量和的法则用于求矢量差。

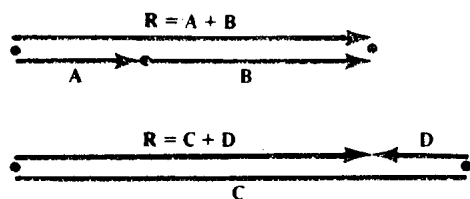


图2-7



图2-8

§ 2-3 矢量与标量的乘法和除法

矢量 A 和标量 m 的乘积为 mA ,它是一个大小为 $m|A|$ 的矢量。若 m 为正,则 mA 的方向和 A 同向;若 m 为负,则和 A 反向。所以,一个负的矢量可以用矢量乘以标量 (-1) 来定义。因为矢量的大小总是一个正量,所以矢量前面的负号简单地意味着它的方向相反。

矢量除以标量可以用乘法法则定义,因为

$$\frac{A}{m} = \frac{1}{m}A, \quad m \neq 0$$

矢量乘以标量和除以标量的图例见图 2-9。

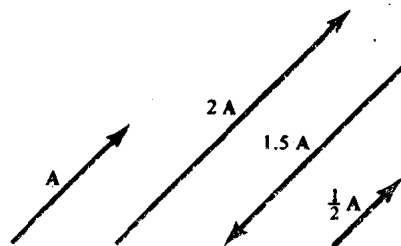


图2-9