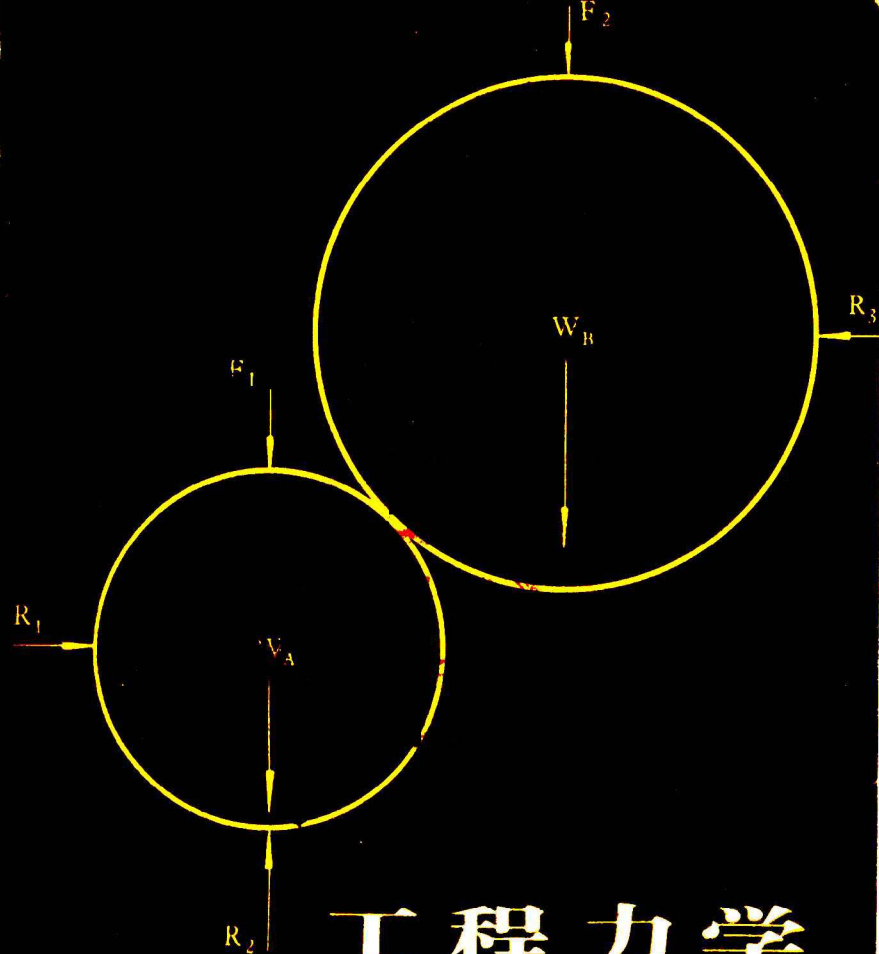




工程力学

工 程 力 学

上 册

静 力 学

黄子春 著

陈桂彬 邹丛青 乌国华 译

吕茂烈 张承煦 校

科 学 出 版 社

1 9 8 3

内 容 简 介

本书系统地讲述了静力学的基本概念、基本公式，书中附有大量的例题和习题，书末附有部分习题答案。

本书用矢量讲述，每章开头有体系表，读者对象为高等工科院校的力学教师、学生和有关的工程技术人员。

T. C. Huang

ENGINEERING MECHANICS

(Volume 1, Statics)

Addison-Wesley Publishing Company, 1969

工 程 力 学

上 册

静 力 学

黄子春 著

陈桂彬 邹丛青 乌国华 译

吕茂烈 张承煦 校

责任编辑 李成晋

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年3月第一版 开本：787×1092 1/32

1983年3月第一次印刷 印张：18 1/2

印数：0001—12,750 字数：424,000

统一书号：13031·2195

本社书号：3001·13—2

定价：2.85 元

序 言

在过去十年里,工程力学已改用全新的方法讲授. 现在的趋势是,在合理组织题材的同时,还重视加强基本概念的建立和普遍公式的表达. 本书就是这种新教学法实践的具体化. 书中还收集了大量经过系统编排的例题和多种类型的理论联系实际习题. 在上册专讲静力学的五章里共有 200 个例题和 875 个习题. 本书的其他特点包括:采用按矢量的讲法,在每章开头都有体系图表和目录. 其中有些是作者在多年教学经验中认为有益的新想法.

本《工程力学》由静力学和动力学上、下两册组成. 每册五章,分两卷,说明如下:

《工程力学》 (上册) 静力学	I. 基础	第一章, 基本概念
		第二章, 矢量基础
		第三章, 力
	II. 静力学	第四章, 力系的平衡: 力法
		第五章, 力系的平衡: 功-能法
《工程力学》 (下册) (运)动力学	III. 运动学	第六章, 质点运动学
		第七章, 刚体运动学
	IV. 动力学	第八章, 质点动力学
		第九章, 质点系动力学
		第十章, 刚体动力学

第一章论述基本概念. 这些概念分别在三节内讲述: 基本模型; 基本量以及基本定律和原理.

第二章是独立的一章, 讲述矢量. 这是本书所用的基本

数学工具。

力的概念在力学以及物理学的所有领域内都是十分重要的，它是第三章的主题。我们首先在A部分定义各种力系的分量，然后在B部分论述力的种类及其识别。证明力和力偶都可以在自由体图上用矢量符号和标量形式来表示。在C部分详细推导力系的等效量和合量，并且指出静力学和动力学区分为两个不同学科的分叉点。最后在D部分论述一些有关的问题，诸如质心、平面图形的性质等。

第四章有三部分。在A部分建立平衡的必要和充分条件，由两个矢量方程来确定。这些方程可用以导出平衡的标分量方程，其形式对不同力系各不相同。这些推导在B部分进行，那里指出所谓矢量力学和标量力学是相互有关的，各有其适用范围。此外，B部分给出大量有关各种力系平衡的例题和习题，其中包含力偶、内力、分布力和摩擦力等问题。本章末的C部分论述平衡的性质。

第五章继续讲述力系平衡的问题，详细论述虚功原理和势能原理，以及这些原理在平衡问题和稳定性问题中的应用。

黄子春 1966.7.

目 录

第一章 基本概念	1
1-1 历史背景	1
1-2 力学的研究范围	4
1-3 基本模型	5
1-4 基本量: 质量、力、长度和时间	6
1-5 派生量	8
1-6 参考系	8
1-7 基本单位和导出单位	9
1-8 量纲理论	11
1-9 矢量和标量	14
1-10 力学基本定律和原理	14
第二章 矢量基础	18
A 部分 矢量表示.....	20
2-1 矢量的符号和图示	20
2-2 矢量的分类	20
2-3 矢量的等阶和等效	21
B 部分 矢量运算.....	22
2-4 矢量加法	22
2-5 矢量减法	25
2-6 矢量和标量因子的相乘	26
2-7 矢量分解成分量	27
2-8 矢量分解成矢量因子和标量因子。单位矢	32
2-9 用单位坐标矢表示分量形式时的矢量代数	37
2-10 两个矢量的标积或点积	40
2-11 两个矢量的矢积或叉积	44

2-12	三个矢量的乘积	50
2-13	矢量对标量的微分	50
2-14	矢量对标量的积分	53
第三章	力	66
A 部分	力和力偶	68
3-1	力	68
3-2	力对点的矩	69
3-3	力对轴的矩	80
3-4	力偶矩	86
B 部分	力的种类及其识别	105
3-5	离散力和分布力	105
3-6	外力和内力	108
3-7	力的配置	111
3-8	恒定力和可变力	113
3-9	摩擦力	113
3-10	力的识别	118
3-11	自由体图(FBD)	120
C 部分	力系的等效	151
3-12	力系的等效: 必要和充分条件	151
3-13	力系的等效量及合量	156
3-14	不同形式离散力系的合量	168
3-15	包含力偶的力系的合量	182
3-16	分布力系的合量	184
D 部分	有关问题	239
3-17	线条(曲线), 面积以及体积的一次矩和形心	239
3-18	平面面积的惯性矩和惯性积: 平面图形的特性 ...	251
3-19	质量的惯性矩和惯性积: 刚体的动力学特性	268
第四章	力系的平衡: 力法	282
A 部分	平衡的必要和充分条件	283
4-1	质点的平衡	283

4-2	质点系的平衡	285
4-3	刚体的平衡	287
B 部分	平衡方程	290
4-4	各种力系的平衡	290
4-5	其它形式的独立平衡方程	295
4-6	包含力偶时的平衡	355
4-7	包含内力时的平衡	363
4-8	包含分布力时的平衡	410
4-9	包含摩擦力时的平衡	437
C 部分	平衡的性质	472
4-10	自由度数和约束	472
4-11	平衡的稳定性	484
4-12	静定性	486
第五章	力系的平衡: 功法和能量法	499
A 部分	功及虚功原理	500
5-1	功	500
5-2	应用于平衡的虚功原理	508
5-3	应用于平衡稳定性的虚功原理	522
B 部分	保守系及势能原理	538
5-4	保守系, 势和势能	538
5-5	应用于保守系平衡的势能驻值原理	541
5-6	应用于保守系平衡稳定性的最小势能原理	544
例题和习题索引		558
部分习题答案		563

第一章 基本概念

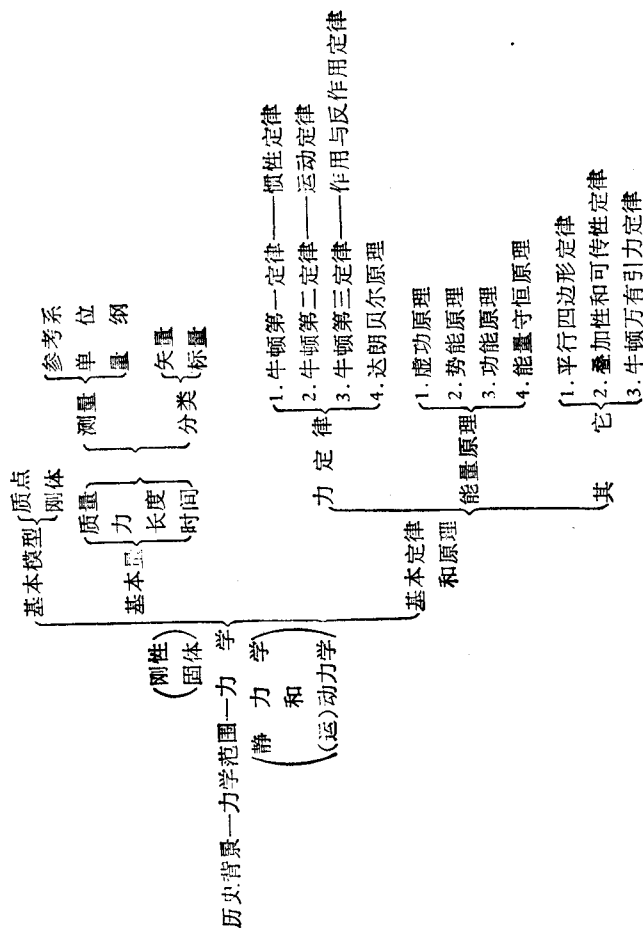
- 1-1 历史背景
- 1-2 力学的研究范围
- 1-3 基本模型
- 1-4 基本量：质量、力、长度和时间
- 1-5 派生量
- 1-6 参考系
- 1-7 基本单位和导出单位
- 1-8 量纲理论
- 1-9 矢量和标量
- 1-10 力学基本定律和原理

力学的科学基础是关于物体在力的作用下处于静止或运动状态的知识。因为在一切工程问题中都出现静力学或动力学现象，所以过去和现在力学都一直是工程研究和实践中最基本的课题。

在第一章里，介绍力学发展历史上最重要的事件，并略述力学的研究范围。作为力学科学基础的基本模型、基本量以及基本定律和原理等组成这一章的主体。质点和刚体这两个基本模型是作为理想化的结果而得到的。在叙述了关于基本量的基本概念之后，接着讨论基本量以及派生量的测量及其分类。本章的结尾描述力学中的基本定律和原理。

1-1 历史背景

力学是所有自然科学中最古老的。历史发展的一些情况可概述如下：



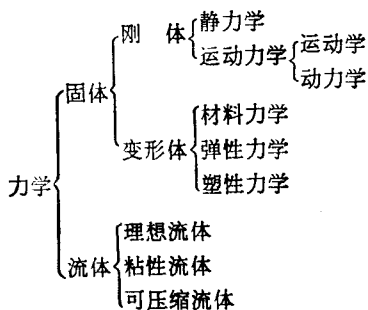
公元前 2000 年以前	古埃及建筑者建造金字塔的一些力学原理
公元前 287—212 年	塞拉丘岛的阿基米德杠杆上力的平衡原理 流体静力学的浮力原理
公元 1548—1620 年	S. 斯蒂芬 斜面原理 力平行四边形原理
1564—1642	G. 伽利略 由实验验证自由落体定律
1642—1727	I. 牛顿 万有引力定律 运动定律
1667—1748	J. 伯努利 虚功原理
1698—1759	P. L. M. 得莫培督 最小作用原理
1707—1783	L. 欧拉 刚体的角坐标 刚体运动学基本理论 刚体运动微分方程
1717—1783	J. Le R. 达朗贝尔 达朗贝尔原理
1736—1813	J. L. 拉格朗日 拉格朗日方程
1805—1865	W. R. 哈密顿 哈密顿原理

牛顿根据他从大量实验中获得的验证，系统地制订了力

学的几个基本定律，即质点运动定律。这些定律后来由欧拉推广到刚体动力学，并由达朗贝尔、拉格朗日和哈密顿等人发展成改进的形式。对于涉及微观现象（例如亚原子粒子）和宏观现象（例如速度趋近光速——186000 英里/秒的天体）的问题，发现牛顿公式是不精确的。在这些情形下应该用量子力学和相对论。然而牛顿力学还是适用于几乎所有工程问题的，并且仍是现代工程力学的基础。

1-2 力学的研究范围

力学往往被分成三部分：刚体力学、变形体力学和流体力学。更进一步划分如下：



本书主要论述刚体力学。书中对基本概念的建立、题材的合理安排和普遍的表达，以及它们在基本工程问题上的应用，都予同等重视。偶而也介绍一些有关变形体和流体的力学知识。

本书分上下两册，上册论述静力学，下册论述运动力学。这些术语定义如下：

- (1) **静力学**是研究物体在力的作用下平衡的学科；
- (2) **运动力学**是从运动学和动力学的角度研究物体运动

的学科。其中包括:

(a) 运动学是研究运动的几何学,不考虑运动的原因.它论述位置、位移、速度、加速度和时间等物理量. 这些量被称为运动学量.

(b) 动力学是研究力和受力作用物体的运动之间关系的学科.

因为在研究动力学时总要涉及运动学里的那些关系,所以动力学这个名词也经常用来代替运动力学,本书就是这样理解的¹⁾.

1-3 基本模型

在大多数情况下,我们可以采用一些理想化的概念,来建立简化的基本模型,以使用数学说明物理现象. 这些模型也就被称为理想数学模型,简称数学模型或理想模型. 我们能依靠这种方法解决许多问题,否则这些问题将是很难解决或者不可能解决的. 如果理论解与实验、观察的结果符合,那么进行这样的理想化和采用这些模型都是合适的.

试以一块金属,例如一个钢球,作为具体物体. 物理工作者会把它看作一个由许多空隙隔开的钢分子离散系统. 然而,在力学中我们可以认为它是一个连续体. 连续体就是理想化了的的概念. 我们还可以作进一步的理想化,即认为这块金属中任意两点之间的距离是常量,而不考虑作用在其上的力的影响. 这个假定意味着作了这样的理想化: 物体不发生变形,力的方向都不改变,因而力对物体的影响也不改变. 到此,我们已认为这块金属是一个连续刚体. 如果现在在研究

1) 应该记住,运动力学和动力学是同义词,在文献中两者常常是混用的. 只在必要时才区分它们.——译者

这个物体的运动时可以忽略它的尺寸，那么我们可以作更进一步的理想化而把它看成一个质点。图 1-1 中示出了按这样的办法把一个物质实体理想化的例子。这样，按照我们所学的术语：

(1) 质点是集中质量的数学模型，它没有大小，但具有质量；它的位置可在空间予以规定。

(2) 刚体是物体或质点系的一种数学模型，在这个物体或质点系里，任意两个质点之间的距离都是常量。换句话说，刚体是这样的系统，其中的任何两个质点间不发生距离的变化，即不发生变形。

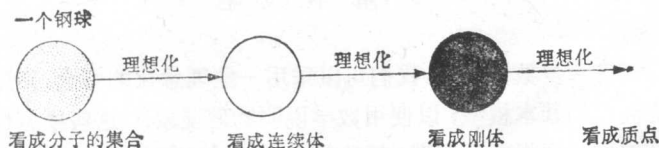


图 1-1

除了把物质实体理想化以外，还可以把物质作用理想化。例如，当我们谈到集中力时，是把它简化为一个作用在无穷小面积(或点)上的有限力。在这个理想化中还用到了不发生变形的刚体的概念。这样的方法有另外一个优点，即它避免了一个很小的面积上去确定作用力具体分布情况的困难。在力学的研究中，我们还将利用理想化的其它许多形式。

1-4 基本量：质量、力、长度和时间

在开始研究力学以前，我们必须接受一些在直观和经验的基础上建立起来的基本概念：质量、力、长度和时间。可以采用质量-长度-时间或者力-长度-时间作为基本量。

质量是物质的一种特性，它由某些基本实验结果来确定，能用来规定物体或者比较物体。例如，质量相等的两个物体，以同样方式被地球吸引；它们还能对平移运动的变化显示同样的阻抗。通过如下事实可说明前半句话的正确性：把两个同样质量的物体分别挂在完全相同的两个弹簧上，就可以看出这两个弹簧的伸长量是相同的(图 1-2)。后半句话的正确性可以这样来证明：把这两个物体拉下相等的距离后释放，就能观察到它们产生同样的振动。

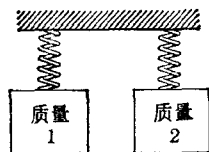


图 1-2

力是一物体对另一物体的作用，借以影响被作用物体的静止或运动状态。可以通过实际接触来施加力，譬如直接推或拉。或者也可以隔着一段距离通过物质场来施加力，譬如万有引力和磁力。力完全由它的大小、作用点，以及方位和指向来规定。力的概念意味着两个物体相互间的作用。换句话说，力永远按相等、相反的关系成对地出现。

长度是定量地描述物体大小的概念，为此要通过和其它已知大小的物体作比较。长度的概念还和某一个事件出现在何处的观念相联系。一点 P 的位置可由三个长度来确定，这些长度以某一基准点(原点 O)出发按相互成正交的三个方向

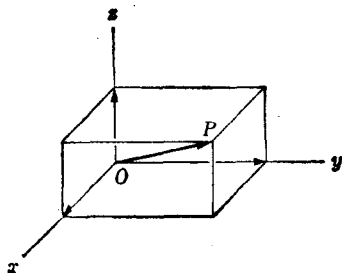


图 1-3

而量取，如图 1-3 所示。把某一长度和标准长度作比较，数出它占有该标准长度的整倍数和多余的分

数，就能确定这个长度。

时间是把一些事件的进程排成序列所用的概念，它和事件发生在何时

的概念相联系，数出某种周期性重复作用的次数和多余的分
数，就能够排出时间先后的序列。

1-5 派 生 量

当采用质量(或力)、长度、时间为基本量时，所有其他的
量都是派生量或导出量，他们可由这些基本量来表达。例如，
速度可以用每单位时间中的长度来表示；体积可由长度的三
次方来表示；密度可由单位体积中的质量来表示，等等。

1-6 参 考 系

在说明物理量时，我们假定存在一个可相对于它作度量的
参考基架。所谓的“惯性参考基架”是指固定在空间某个恒
星上的坐标系。任何一个相对于该恒星作匀速平动而不转动
的坐标系都可作为惯性参考基架。然而，在大多数工程问题
中坐标系是固定在地球表面上的。这是由于地球的转动和绕
太阳转动中的变化所引起的误差非常小。熟知的直角笛卡儿
坐标系、柱和极坐标系是两种最常用的坐标系，它们分别表示
在图 1-4 和图 1-5 中。

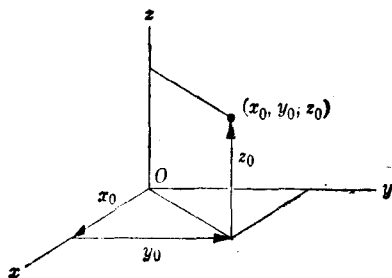


图 1-4

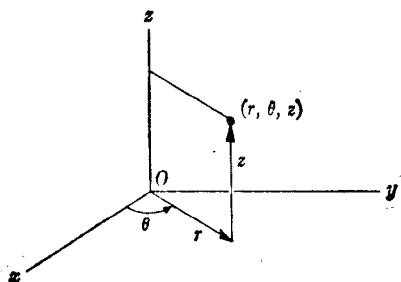


图 1-5

1-7 基本单位和导出单位

一个物理量可用它的样本与已知标准作比较来加以量度。比较时所参考的已知量称为单位。当规定任何一个物理量时，需要说明所用单位的种类和样本中含有的该标准单位的数目。

米制和英制是两种最常用的单位制，每种又分成(1)基本单位是质量、长度、时间的绝对制和(2)基本单位是力、长度、时间的重力制。在绝对制里，力、速度、体积等等是导出单位；在重力制里，质量、速度、体积等等是导出单位。

美国的工程技术人员用英制的重力制，它也称作英尺-磅-秒重力制。在这里英尺是长度单位，磅是力的单位，秒是时间的单位。简短说明如下：

力 在工程上，力的单位是磅。标准磅是保存在伦敦塔的一个白金圆柱的重量，被称为帝国标准磅。

长度 长度的国际标准是标准米。它定义为国际度量衡委员会所拥有的一根铂-铱杆上两条刻线在 0°C 的间距。美国码由国会命令法定为标准米的 $3600/3967$ 。英尺是码的 $1/3$ 。