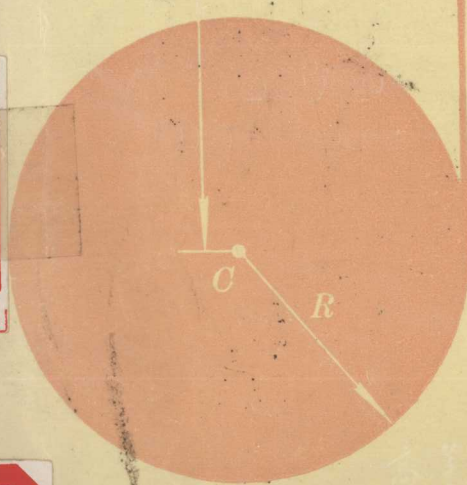
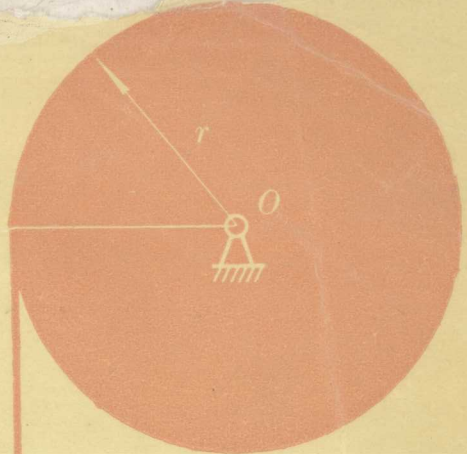


太原煤炭工业学校



中等专业学校试用教材

理论力学

高等教育出版社

中等专业学校试用教材

理论力学

辽源煤炭工业学校

冯云兰 佟玉清 李龙堂 合编

李龙堂 主编

高等教育出版社

(京) 112 号

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/李龙堂主编; 冯云兰等编. —北京: 高等教育出版社, 1985.5 (1995 重印)

中等专业学校试用教材

ISBN 7-04-001884-5

I. 五 I. ①李… ②冯… 理论力学—中等专业学校—教材 IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 22648 号

高等教育出版社出版
新华书店上海发行所发行
复旦大学印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 11.125 字数 266 000

1985 年 5 月第 1 版 1996 年 3 月第 12 次印刷

印数 206802—225809

定价 9.50 元

前 言

本书是根据一九八二年十二月教育部审订的中等专业学校工科非机械类专业通用的《理论力学教学大纲》(试行草案)编写的,可作为教学大纲规定为70—90学时的工科中等专业学校非机械类专业理论力学课程的试用教材。

为了满足不同专业的需要,书中编入了一些选学内容(带*号的部分)。另外,将物体系的平衡、空间力系和重心、刚体的平面运动以及动量定理等内容,都独立成章成节,以便某些学时少的专业教学时舍去不学。

本书采用国际单位制。每章有小结、思考题、习题,题后附有答案。

本书由辽源煤炭工业学校冯云兰(第十一、十三、十五、十六等四章)、佟玉清(第七、八、九、十等四章)、李龙堂(绪论及第一至六、十二、十四等八章)合编,由李龙堂主编。

本书由陕西煤矿学校刘文阁、牛新民审稿,刘文阁主审。参加审稿会议的有马秀英、刘连久、祁国臣、邹励书、周饮濂、赵云龙等同志。此外,苏州铁路技术学校过沛渊、长沙冶金工业学校朱传清、成都纺织工业学校曹昌仁、重庆石油学校俞潞珠、长春地质学校陈学椿等同志提出了宝贵的书面意见,在此一并表示感谢。

限于编者水平,书中谬误在所难免,热诚希望读者批评指正。

编 者

一九八四年十月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基础	5
-----------	---

§1-1 静力学基本概念	5
--------------	---

§1-2 静力学公理	6
------------	---

§1-3 约束与约束反力	10
--------------	----

§1-4 受力图	14
----------	----

小结	19
----	----

思考题	20
-----	----

习题	21
----	----

第二章 平面汇交力系	25
------------	----

§2-1 平面汇交力系合成的几何法	26
-------------------	----

§2-2 平面汇交力系平衡的几何条件	29
--------------------	----

§2-3 平面汇交力系合成的解析法	30
-------------------	----

§2-4 平面汇交力系平衡的解析条件	33
--------------------	----

小结	37
----	----

思考题	38
-----	----

习题	39
----	----

第三章 力矩和平面力偶系	44
--------------	----

§3-1 力对点之矩 合力矩定理	44
------------------	----

§3-2 杠杆的平衡条件	47
--------------	----

§3-3 力偶的概念	48
------------	----

§3-4 力偶的等效条件	50
--------------	----

§3-5 平面力偶系的合成与平衡	51
------------------	----

§3—6 力的平移定理	54
小结	56
思考题	57
习题	57
第四章 平面任意力系	61
§4—1 平面任意力系向一点简化	61
§4—2 简化结果的分析 合力矩定理	64
§4—3 分布载荷	66
§4—4 平面任意力系的平衡条件	68
§4—5 平面任意力系平衡方程的其他形式	71
§4—6 平面平行力系的平衡方程	73
§4—7 物体系统的平衡 静定与静不定问题的概念	74
*§4—8 平面力系平衡方程的应用——平面桁架杆件内力的计算	80
小结	84
思考题	86
习题	87
第五章 摩擦	93
§5—1 滑动摩擦	98
§5—2 考虑摩擦时的平衡问题	101
§5—3 摩擦角与自锁现象	106
*§5—4 滚动摩擦的概念	108
小结	111
思考题	112
习题	113
第六章 空间力系和重心	118
§6—1 力在空间直角坐标轴上的投影	119
§6—2 力沿空间直角坐标轴的分解	121
§6—3 力对轴之矩	122
§6—4 空间任意力系的平衡方程	125

§6—5 空间汇交力系及空间平行力系的平衡方程	129
§6—6 空间力系的平衡问题转化为平面问题的解法	130
§6—7 重心	132
§6—8 物体重心的求法	134
小结	140
思考题	141
习题	141

第二篇 运 动 学

第七章 点的曲线运动	150
§7—1 点的运动规律	150
§7—2 用自然法求点的速度、加速度	155
§7—3 用直角坐标法求点的速度、加速度	162
小结	167
思考题	168
习题	169
第八章 刚体的基本运动	174
§8—1 刚体的平动	174
§8—2 刚体绕定轴转动	176
§8—3 转动刚体内各点的速度和加速度	180
小结	184
思考题	185
习题	185
第九章 点的合成运动	189
§9—1 绝对运动、相对运动和牵连运动	189
§9—2 速度合成定理	193
*§9—3 牵连运动为平动时的加速度合成定理	197
*§9—4 牵连运动为转动时的加速度合成定理	200
小结	205

思考题	206
习题	206
第十章 刚体的平面运动	214
§10—1 平面运动的概念	214
§10—2 平面运动分解为平动与转动	215
§10—3 平面图形内各点的速度	217
小结	226
思考题	227
习题	228

第三篇 动 力 学

第十一章 质点动力学基本方程	233
§11—1 动力学基本定律	233
§11—2 质点运动微分方程	236
§11—3 质点动力学的两类问题	238
小结	243
思考题	244
习题	244
第十二章 动量定理	248
§12—1 动量定理	248
*§12—2 质心运动定理	255
小结	259
思考题	260
习题	261
第十三章 动量矩定理	265
§13—1 质点的动量矩定理	265
§13—2 质点系动量矩定理	267
§13—3 刚体绕定轴转动的动力学基本方程	268
§13—4 转动惯量	270

§13—5 定轴转动微分方程的应用	275
小结	276
思考题	277
习题	278
第十四章 动能定理	284
§14—1 力的功	284
§14—2 质点的动能定理	289
§14—3 质点系的动能定理	293
§14—4 功率	298
小结	301
思考题	303
习题	303
第十五章 动静法	310
§15—1 惯性力的概念	310
§15—2 动静法(达朗伯原理)	311
*§15—3 刚体惯性力系的简化	316
小结	322
思考题	323
习题	324
*第十六章 机械振动基础	328
§16—1 质点的自由振动	329
§16—2 质点的受迫振动	335
§16—3 隔振与减振的概念	341
小结	342
思考题	343
习题	344

绪 论

一、理论力学的研究对象与内容

我们知道,物质运动的形式是多种多样的,诸如物理现象、化学变化、生物的新陈代谢以至人们的思维活动等等。人们对不同运动形式的研究,形成了不同的学科。

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

所谓机械运动是指物体在空间的相对位置随时间而发生的改变。机械运动是物质运动形式中最简单、最初级的一种形式,在自然界和工程实际中随时都能遇到。星球的运动,车辆船只的行驶以及各种机器的运动等,都是机械运动的实例。

平衡是机械运动的特殊形式(一般是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动),所以在理论力学中也要研究物体平衡的规律。

理论力学的内容通常包括静力学、运动学和动力学三部分。

静力学——主要研究物体在外力作用下的平衡规律。

运动学——只从几何观点来研究物体的运动,不考虑引起物体运动变化的原因。

动力学——研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系。

理论力学所研究的内容属于以伽利略、牛顿所总结的基本定律为基础的古典力学的范畴。相对论力学和量子力学的问世,说明了古典力学应用范围的局限性。古典力学的定律不适用于微观粒子的运动,也不适用于速度接近光速的物体的运动。但是,古典力学是随着生产与科学技术的发展而不断发展起来的,在研究宏观物体且速度远远小于光速的运动时,它具有足够的精确性。所

以, 古典力学仍然具有巨大的实用意义。当前对一般的工程技术乃至以宇宙速度进行的航天技术中的力学问题的研究, 仍然是以古典力学的定律为依据的。

二、理论力学的任务

在日常生活和工程技术中, 处处都会碰到机械运动, 理论力学的定律、定理与结论广泛地运用于各种工程技术之中, 冶金、煤炭、石油、化工、轻工、纺织以及航海、地震科学等等, 都要用到理论力学知识, 所以它是解决工程实际问题的重要基础。工程技术人员, 必须具备一定的理论力学知识, 才能适应社会主义现代化建设的需要。

理论力学是工科非机械类专业的一门理论性较强的技术基础课。它的任务是较系统地了解机械运动的基本规律及其研究方法, 初步学会运用这些规律和方法去分析、解决工程实际中简单的力学问题, 并为学习后继课程和有关的科学技术打下必要的基础。此外, 理论力学的研究方法在科学研究中有一定的典型性, 有助于培养辩证唯物主义观点以及分析问题和解决问题的能力。

三、理论力学的研究方法

理论力学和其他任何一门科学一样, 就其研究方法而言, 都不可能离开认识过程的客观规律。理论力学的研究方法是: 从实践出发, 经过抽象化、综合、归纳, 建立公理, 再用数学演绎和逻辑推理而得到定理和结论, 然后再通过实践来证实理论的正确性。

观察和实验是理论发展的基础。理论体系的建立和形成, 与人类在生产劳动中的观察和实验是分不开的, 观察中得到的材料必须经过加工才能上升为理论。因为这些材料是复杂多样的, 不易从中抓住事物的本质; 必须在各种现象中抓住起决定性作用的主要因素, 撇开次要的、局部的、偶然性的因素, 这样才能深入现象的本质, 明确事物间的内在联系, 这样的过程就是力学中的抽象化

方法。经过抽象化,就可以把所研究的物体简化为理想模型也称为力学模型。本课程中的质点、刚体等都是把真实物体加以抽象化的结果。

通过抽象化,将长期以来从生产活动中观察、实验所积累的经验加以分析、综合和归纳,建立最基本的公理或定律作为本课程最基本的理论基础;根据公理、定律,借助数学工具通过演绎推理的方法,考虑到问题的具体条件,从而得到各种形式的定理和结论。从实践到理论是认识过程的一个飞跃,而由理论到实践则是更重要的一个飞跃。实践是检验真理的唯一标准。任何科学理论,包括力学,都必须在它指导实践时加以验证。只有当它足够精确地符合客观实际时,才能被认为正确可靠,也只有这样的理论才有实际意义。

理论力学是前人经过无数次的“实践——理论——实践”的循环反复过程,使认识不断提高和深化,逐步总结和归纳出的物体机械运动的一般规律。因此,我们学习并接受这样的书本知识是完全必要的;同时在接受这种书本知识以后,还必须在生产实践中去应用它、验证它、发展它。

理论力学的研究方法具有典型性,它为我们提供了科学研究的基本方法。在学习本课程的过程中,不仅要掌握其科学内容,也要逐步领会其研究方法。

第一篇 静 力 学

静力学是研究物体机械运动的特殊情况,即物体的平衡问题。物体的平衡总是暂时的、相对的。例如,在直线轨道上运动的列车,当其牵引力和摩擦力相等时列车作匀速直线运动,因这种受力关系很难时刻维持,所以平衡是暂时的。又如,地面上的建筑物看来是静止的,但它随着地球的自转和公转确又不断地运动着,所以平衡是相对的。我们所说的平衡一般都是相对于地球而言。

作用于物体上的一群力称为力系。物体在力系作用下处于平衡状态,则称该力系为平衡力系。作用于物体上的力系,若使物体处于平衡状态,必须满足一定的条件,这些条件称为力系的平衡条件。

在研究物体的平衡条件或计算工程实际问题时,须将一些比较复杂的力系用作用效果完全相同的简单力系或一个力来代替,这种方法称为力系的简化。

静力学主要研究两个基本问题:

1. 力系的简化;
2. 力系的平衡条件及其应用。

静力学不仅为动力学和许多后继课准备条件,而且在工程技术中广泛地直接应用,所以学好静力学是非常必要的。

第一章 静力学基础

§1—1 静力学基本概念

一、力的概念

人用手去拉悬挂着的静止弹簧，人手和弹簧之间有了相互作用，这种作用引起弹簧运动和变形。人们在生活和生产实践中，经过长期地观察和分析，逐步形成和建立了力的科学概念：力是物体之间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态和形状发生改变。物体运动状态的改变是力的外效应，物体形状的改变是力的内效应。理论力学只研究力的外效应。

应当指出，上述机械作用是指物体在机械运动中的相互作用，而不是物体在其他物质运动形式中的相互作用（如热的、电磁的、化学的作用）。力既然是物体间相互的机械作用，所以力不能脱离物体而存在。

力对物体的效应，决定于三个因素：力的大小、方向和作用点。这三个因素称为力的三要素。当这三个要素中任何一个有所改变时，力的作用效果就会改变。

为了量度力的大小必须选择单位，本书采用国际单位制(SI)。力的单位用牛顿(N)或千牛(kN)。在工程单位制中，力的单位用公斤力(kgf)。二者的换算关系为 $1\text{kgf}=9.8\text{N}$ 。

在力学中有两类量：标量和矢量。只考虑大小的量称为标量，长度、时间、质量都是标量。既考虑大小又考虑方向的量称为矢量，力和速度都是矢量。

矢量可用一具有方向的线段来表示。如图 1-1 所示。线段的

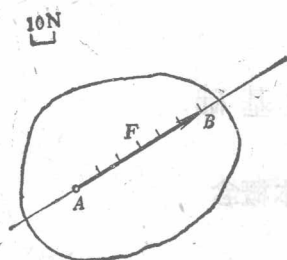


图 1-1

起点A(或终点B)表示力的作用点;沿
力矢顺着箭头的指向表示力的方向;
线段的长度(按一定的比例尺)表示力
的大小。通过力的作用点沿力的方向
的直线,称为力的作用线。本书中用
粗体字母表示矢量。而以普通字母表
示该矢量的模(即大小)。图 1-1 中 $\vec{F}$

表示力的矢量, F 表示该力的大小($F = 60\text{N}$)。手写时可在字母上加一横线以 $\overline{F}$ 或 $\overline{AB}$ 来表示矢量。

如果一个力系对物体的作用,能用另一个力系来代替而不改变它对物体作用的效果时,这两个力系互为等效力系。若一个力和一个力系等效,则称这个力是该力系的合力,而力系中的各个力都是其合力的分力。把各分力代换成合力的过程,称为力系的合成。把合力代换成几个分力的过程,称为力的分解。

二、刚体的概念

所谓刚体,就是在任何情况下,物体内任意两点间的距离都保持不变。或者说,在任何外力作用下,大小和形状始终保持不变的物体称为刚体。事实上,刚体是不存在的。任何物体受力后,都将或多或少的改变它的形状,即发生变形。但在多数情况下,变形都很微小,在研究物体的平衡问题时将它略去不计不会影响计算结果的准确性。因此,在理论力学中把真实的物体当作理想的刚体,可见刚体是理论力学中对物体进行抽象简化后的一种理想模型。这样的抽象化,将使静力学问题的研究大为简化。

§1-2 静力学公理

所谓公理,就是符合客观现实的真理。静力学公理就是从人类对客观现实长期的观察、分析、抽象、归纳、总结而得出的结论。

它的正确性只能用实验方法证实,而不能用更基本的原理来证明。静力学的全部理论,就是以静力学公理为依据推导而来的,所以它是静力学的基础。

公理一(二力平衡公理) 作用于刚体的两个力,使刚体保持平衡的充分和必要条件是:这两个力大小相等,方向相反并且作用在同一直线上。

对于变形体来说,公理一给出的条件是必要的,但不充分。例如,软绳受两个等值、反向的拉力可以平衡,当受两个等值、反向的压力时,就不能平衡了(图1-2)。

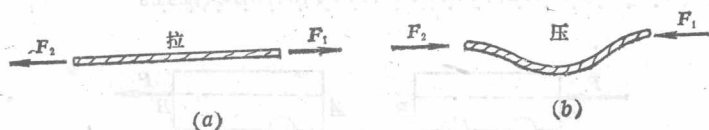


图 1-2

在两个力作用下处于平衡的物体称为二力构件,也称二力杆件。图1-3a为一棘轮机构,棘爪AB的A端用圆柱形销钉连接,B端被卡在棘轮的槽中,棘爪若不计自重则为二力构件。根据二力平衡公理可以确定销钉给爪的力 F_A 和棘轮给爪的力 F_B 一定

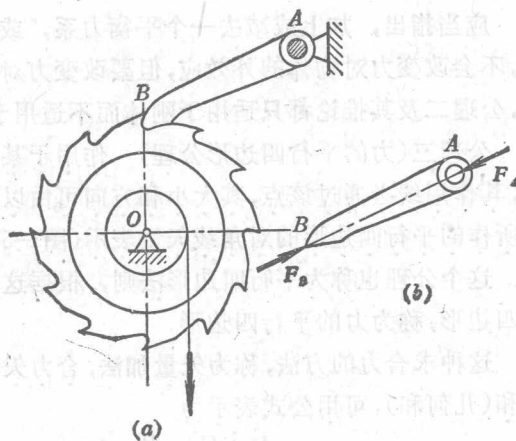


图 1-3

是等值、反向、共线的(图 1-3b)。由此可见,二力杆件所受二力的作用线一定是沿着此二力作用点的连线。

公理二(加减平衡力系公理) 在已知力系上加上或者减去任意一个平衡力系,不会改变原力系对物体的外效应。

推论(力的可传性原理) 作用在刚体上的力,可以沿其作用线任意移动而不改变它对刚体的作用。在实践中,人们有这样的体会,以等量的力在车后 A 点推和在车前 B 点拉,效果是一样的(图 1-4)。由力的可传性原理可以看出,对刚体来说力的作用点已不再是决定其效应的要素之一,而是由作用线取代。因此,作用于刚体上的力的三要素是:力的大小、方向和作用线位置。

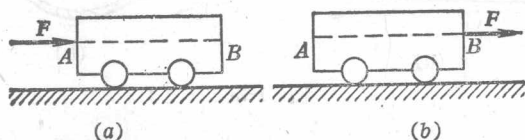


图 1-4

应当指出,加上或减去一个平衡力系,或使力沿着作用线移动,不会改变力对物体的外效应,但要改变力对物体的内效应。所以,公理二及其推论都只适用于刚体而不适用于变形体。

公理三(力的平行四边形公理) 作用于某一点的两个力的合力,其作用线必通过该点,其大小和方向可由以此二力的力矢为邻边所作的平行四边形的对角线矢量表示(图1-5a)。

这个公理也称为平行四边形法则,根据这个公理所作出的平行四边形,称为力的平行四边形。

这种求合力的方法,称为矢量加法,合力矢等于原来两力的矢量和(几何和),可用公式表示为

$$R = F_1 + F_2$$