

★ 职工高等工业专科学校教材

理论力学

★ 张黎伟 唐积文 张尧勋 宋家贤 编

★ 张黎伟 主编



高等教育出版社

职工高等工业专科学校教材

理论力学

张黎伟 唐积文 张尧勋 宋家贤 编

张黎伟 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据一九八三年十一月原教育部审定的职工高等工业专科学校机械类专业试用的《理论力学教学大纲》(草案)编写的。

考虑到职工高等工业专科学校的特点,本书强调综合分析,注意结合工程实际问题,分析问题。为培养学生的正确思维方法,提高分析问题和解决问题的能力,本书在论证中注意力学现象的物理概念及其内在联系,随时指出在教学实践中经常遇到的学生容易混淆的问题,并加以说明。

本书包括静力学、运动学、动力学三部分。各章后面都附有启发性的思考题,重要篇章之后有小结,每章后都由浅入深地编排了相当数量的习题。

本书可作为职工高等工业专科学校、业余职工高等工业专科学校机械类理论力学课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

职工高等工业专科学校教材

理 论 力 学

张黎伟 唐积文 张尧勋 宋家贤 编

张黎伟 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

开本 850×1168 1/32 印张15.875 字数398 000

1986年10月第1版 1988年8月第3次印刷

印数 16 811—23 320

ISBN 7-04-000427-5/TB·10

定价 3.80元

序

本书是根据一九八三年十一月原教育部审定的职工高等工业专科学校机械类专业试用的《理论力学教学大纲》(草案)编写的,可作为职工高等工业专科学校、业余职工高等工业专科学校机械类专业(92—100学时)理论力学课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

考虑到职工高等工业专科学校的特点,本书以“精选内容,保证基础,加强实践,讲究教法”为编写原则。为此,在教材内容方面我们采取了如下作法:

(1) 根据职工高等工业专科学校机械类专业的需要,本书以静力学的物体受力分析和平面力系、运动学的点的合成运动和刚体的平面运动、动力学的动能定理和达朗伯原理等作为主要章节,加以详细论述,并加强综合分析。

(2) 为贯彻理论联系实际的原则,本书注意结合工程实际提出问题、分析问题。许多新编例题和习题都取材于职工学员比较熟悉的工程实际。

(3) 为培养学生的正确思维方法,提高分析问题和解决问题的能力,本书在论证中,注意力学现象的物理概念及其内在的联系,在例题分析中,注意把分析问题着眼于所求和解决问题着手于所知的过程全面加以阐述。随时指出在教学实践中常遇到的学员容易混淆的问题,并加以说明。

(4) 为了便于教师选用和学生自学,本书由浅入深地编排了相当数量的例题和习题,习题均附有答案以便校核。每章后面都附有启发性的思考题,重要篇章之后有小结。

(5) 对职工高等工业专科学校机械类专业试用的《理论力学

教学大纲》(草案)中带“*”号的章节内容,本书已作了适当的精简,书中不再另加“*”号,至于这些内容是否需要讲授,各校可根据具体情况灵活掌握。

本书由张黎伟主编,各章分别由宋家贤(第一章至第六章)、张黎伟(第七章至第十章)、张尧勋(第十一章至第十五章)、唐积文(绪论、附录和第十六章至第十八章)执笔。

本书由南京工学院鲍恩湛主审,参加审稿会的还有华北石油职工大学贾福绵和上海轻工业机械公司职工大学刘曦,审者对教材初稿提出了许多宝贵意见。初稿完成后曾在北京二七机车工厂职工大学、上海机电一局职工大学、哈尔滨伟建职工工学院等院校试用过一次,各校同志也提出了不少改进意见,在此一并致谢。

本书虽经几次修改,但限于编者水平,还会有不少缺点和错误,我们诚恳希望广大读者,特别是使用本书作为教材的师生多加批评和指正,使本书质量得以提高。

编 者

一九八五年十二月

致 读 者

对工科一般专业而言,理论力学是一门理论性较强而且与工程实际密切联系的重要的技术基础课。许多学生感到这门课程不易掌握,尤其是在解题时往往感到无从下手,不得要领。为此,在这里就学习本门课程需要注意的问题谈几点意见:

(1) 目前我们沿用的理论力学的研究体系是公理体系,这种体系的知识结构非常完整、紧凑,逻辑思路非常严密,知识像链条一样,一环紧扣一环,如果中断了一环,就会影响到整体,会给后面的学习带来意想不到的困难,因为隔断的不仅仅是知识结构,更为重要的是将研究问题的思路隔断了,如果思路不通就会感到学不进去,入不了“门”。

经验说明,理论力学的这个特点虽然很鲜明,但在学习的过程中往往容易被人忽视。有些学生开始学习理论力学时觉得内容并不生疏,有些内容在普通物理课中已经接触过,学习上就放松了要求。可是,等到要分析综合性问题时,就会发现独立解题困难了,究其原因,不少人是受受力分析的内容还没能掌握。学习上若不及时接受这个经验教训,将会影响到这门课程的整个学习。因此,我们应该注意平时学习,循序渐进,要独立思考,及时解决不清楚的问题。

(2) 职工大学的学生来自生产第一线,大都有一定的生产实践经验,对工程问题具有感性认识,易于领受从生产中提出的问题,这是职工学员自身的长处,也是学好这门课程很有利的条件。由于理论力学是工科院校学生接触工程问题的第一门课程,学生能运用所学知识分析并解决简单的工程实际中的力学问题是本课程的任务之一。因此,学习中应该注意理论联系实际。尽量利用

原有的直接经验,根据感性认识对所学的理论进行对照、检验、分析。更要发挥自身的优势,经常回到生产实际中去寻找力学问题,学会从一般工程实际问题中抽象出力学问题并进行理论分析,不断地提高自己分析问题和解决问题的能力。

(3) 要注意深入理解和掌握课程的基本概念和基本理论。注意有关概念的建立、含义、用途及其物理意义;注意有关公式推导的根据、推理中的分析方法及其物理意义、应用范围和应用条件。

(4) 做习题是使学生深入掌握所学知识和进一步培养学生独立分析问题、解决问题能力的重要一环。因此,要求独立完成足够数量的课外习题。做题前应先复习有关的理论,要注意应用理论先分析问题,再计算问题,计算时切不可盲目地套用公式。每做一题都应找到收获之处,自己又明确了哪些问题,哪些概念或理论的理解又深化了一步。计算时要细心、认真,计算的结果应保证准确到工程上所要求的三位有效数字。通过做题可以进一步培养我们的工程技术观点和处理工程问题的方法。

(5) 要熟练掌握分析问题的方法。经验说明,理论力学的理论并不难懂,但如何应用理论分析具体问题则比较难。为此,应该注意前后章节之间在分析问题的方法上有什么区别和联系。特别是对静力学、运动学和动力学三个部分的综合问题,要善于总结,要善于抓住分析综合问题的关键。

总之,我们应该不断地改进自己的学习方法,早些认识课程的特点,早些获得开启知识之门的钥匙。这样,在学习上就能收到事半功倍之效。

目 录

序	1
致读者	3
绪论	1
(一)理论力学的研究对象和内容	1
(二)理论力学的研究方法	2
(三)学习理论力学的目的	3
第一篇 静 力 学	
引言	4
(一)静力学的任务	4
(二)结构简图与计算简图	4
第一章 静力学的基本概念和公理	6
§ 1-1 静力学的基本概念	6
§ 1-2 静力学公理	8
§ 1-3 约束和约束反力	10
§ 1-4 物体受力分析和受力图	15
小结	20
思考题	22
习题	23
第二章 平面汇交力系	27
§ 2-1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	27
§ 2-2 力在轴上的投影·合力投影定理	32
§ 2-3 平面汇交力系合成与平衡的解析法	35
思考题	41
习题	42
第三章 力矩和平面力偶理论	47

§ 3-1 力矩的概念及其计算	47
§ 3-2 力偶的概念及其性质	50
§ 3-3 平面力偶系的合成与平衡	53
§ 3-4 力的平移定理	56
思考题	57
习题	58
第四章 平面任意力系	61
§ 4-1 平面任意力系向一点简化	62
§ 4-2 平面任意力系的简化结果	65
§ 4-3 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	66
§ 4-4 平面平行力系的平衡方程	71
§ 4-5 刚体系的平衡·静定与静不定问题	73
小结	86
思考题	87
习题	88
第五章 摩擦	99
§ 5-1 摩擦的概念	99
§ 5-2 滑动摩擦	100
§ 5-3 考虑滑动摩擦的平衡问题	103
§ 5-4 滚动摩擦概念	113
思考题	116
习题	117
第六章 空间力系和重心	122
§ 6-1 空间汇交力系的合成与平衡	122
§ 6-2 空间力偶系的合成与平衡	127
§ 6-3 力对轴的矩与力对点的矩	129
§ 6-4 空间力系向一点的简化·主矢与主矩	133
§ 6-5 空间任意力系的平衡方程	137
§ 6-6 平行力系中心和重心	143
思考题	149

习题	149
----	-----

第二篇 运 动 学

引言	157
----	-----

(一)运动学的任务	157
-----------	-----

(二)机构运动简图	158
-----------	-----

(三)运动的相对性·参考坐标系	159
-----------------	-----

第七章 点的运动	160
----------	-----

§ 7-1 点的运动的矢量表示法	160
------------------	-----

§ 7-2 点的运动的直角坐标表示法	162
--------------------	-----

§ 7-3 点的运动的自然表示法	169
------------------	-----

思考题	184
-----	-----

习题	186
----	-----

第八章 刚体的基本运动	191
-------------	-----

§ 8-1 刚体的平动	191
-------------	-----

§ 8-2 刚体的定轴转动	193
---------------	-----

思考题	203
-----	-----

习题	205
----	-----

第九章 点的合成运动	209
------------	-----

§ 9-1 点的合成运动的概念	209
-----------------	-----

§ 9-2 绝对运动、相对运动和牵连运动的速度和加速度	211
-----------------------------	-----

§ 9-3 点的速度合成定理	213
----------------	-----

§ 9-4 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	219
-------------------------	-----

§ 9-5 牵连运动为转动时点的加速度合成定理	224
-------------------------	-----

小结	229
----	-----

思考题	230
-----	-----

习题	231
----	-----

第十章 刚体的平面运动	239
-------------	-----

§ 10-1 刚体平面运动的概述	239
------------------	-----

§ 10-2 平面运动分解为平动和转动	241
---------------------	-----

§ 10-3 平面图形上各点的速度	243
§ 10-4 平面图形的瞬时速度中心	252
§ 10-5 平面图形上各点的加速度	262
§ 10-6 刚体绕平行轴转动的合成	266
小结	269
思考题	271
习题	275

第三篇 动 力 学

引言	285
第十一章 动力学的基本定律和基本方程	286
§ 11-1 动力学基本定律	286
§ 11-2 质点运动微分方程	289
思考题	299
习题	299
第十二章 动量定理	304
§ 12-1 动量与冲量	304
§ 12-2 动量定理	309
§ 12-3 质心运动定理	313
思考题	318
习题	318
第十三章 动量矩定理	324
§ 13-1 动量矩的概念及其计算	324
§ 13-2 转动惯量	327
§ 13-3 动量矩定理	331
§ 13-4 刚体定轴转动的微分方程	335
思考题	342
习题	343
第十四章 动能定理	349
§ 14-1 动能的概念及其计算	349

§ 14-2 功的概念及其计算	353
§ 14-3 动能定理	360
§ 14-4 功率·功率方程	369
§ 14-5 势力场·势能·机械能守恒定律	372
小结	376
思考题	378
习题	379
第十五章 达朗伯原理	386
§ 15-1 惯性力·质点的达朗伯原理	386
§ 15-2 质点系的达朗伯原理	390
§ 15-3 刚体惯性力系的简化	391
§ 15-4 刚体的平面运动微分方程	398
§ 15-5 定轴转动刚体对轴承的动压力·静平衡与动平衡的概念	403
小结	405
思考题	406
习题	407
第十六章 机械振动的基础	413
§ 16-1 概述	413
§ 16-2 单自由度系统的自由振动	415
§ 16-3 单自由度系统的受迫振动	425
§ 16-4 减振与隔振的概念	432
小结	433
思考题	434
习题	434
第十七章 碰撞	436
§ 17-1 碰撞现象及其特点	436
§ 17-2 碰撞的两个阶段及恢复系数	437
§ 17-3 碰撞的基本方程	439
§ 17-4 碰撞过程中的动能损失	443

§ 17-5 碰撞对定轴转动刚体的作用	447
小结	450
思考题	450
习题	451
第十八章 虚位移原理	452
§ 18-1 约束的分类和自由度	453
§ 18-2 虚位移及理想约束	455
§ 18-3 虚位移原理	459
小结	464
思考题	465
习题	465
附录一 矢量代数及矢量导数	467
§ 1 基本定义和运算法则	467
§ 2 矢量在轴上的投影和合成的解析法	468
§ 3 矢量乘法	470
§ 4 矢量导数初步	472
附录二 国际单位制	475
习题答案	478

绪 论

(一) 理论力学的研究对象和内容

工程实际中有许多理论力学问题。就以人们广泛使用的机器来说,各种机器通常可由工作装置、动力装置、机械传动装置和操纵装置等部分组成。在设计一台机器时,不仅要设计适于加工要求的工作装置,合理选用电动机,而且要精心设计传动装置和操纵装置,设计中就会遇到许许多多与力学有关的问题。以车床为例,首先,我们需要根据加工工件的工艺要求,选用某种合适的主轴转速和车刀进给量,以达到完成加工任务的目的,进而应用动力学的知识进行动力分析,可以确定电动机的输出功率,合理选定电动机的型号。再有,为了满足对不同材质,不同尺寸的工件的车削加工,需要主轴有多种转速,刀架有多种进给速度,因此,设计车床的传动系统时,就要应用运动学的知识进行运动分析,研究各传动件运动传递和转换的规律。又如车床工作时,由于受力的作用,车床的零、部件可能发生破坏或产生过大的变形,致使不能正常工作,或影响加工精度,为此,在设计时要应用静力学的知识,对零、部件进行受力分析和计算,研究零、部件的受力情况。此外,由于外界干扰,切削力的波动,传动件装配的不好,以及种种原因造成转动件质量偏心等,都可能引起机床的振动。为了消除或减小振动的影响,就必须应用动力学的理论研究机床的振动规律。总之,在研究机器的运动规律时,需要广泛地应用理论力学的知识。

机器的运动是生产实践中最常见的一种运动,如同汽车在路上行驶,飞机在空中飞行,轮船在海上航行一样,都是物质运动形式中最简单的形式,人们常把这种最基本、最简单的运动形式——物体在空间的位置随时间的变化 (包括物体对于其它物体的相对

静止——平衡)称为机械运动。

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门科学。

理论力学包括静力学、运动学和动力学三个部分。静力学研究物体受力的分析方法,力系简化的方法以及物体的平衡问题;运动学研究物体运动的几何性质而不涉及力的作用;动力学则研究物体的运动与作用力之间的关系。这些内容的研究,都是以伽利略和牛顿所归纳的基本定律为基础,属于古典力学的范围。实践证明,一般工程中所遇到的大量的力学问题,用古典力学的理论来解决,不仅方便,而且能够保证足够的精确度。因此,古典力学至今还在不断地发展。

(二) 理论力学的研究方法

任何一门科学的研究方法都离不开人类认识客观世界的共同规律,即符合“实践——理论——实践”的认识过程,理论力学也毫不例外。同时,也应看到,由于每门科学研究的对象不同,因此在研究方法上也各自具有不同的特点。

理论力学的研究方法,概括地说,就是从实践中的观察和实验出发,经过抽象化和归纳,建立概念和公理,再应用数学演绎法推导出定理和结论,然后又回到实践中去,解决实际问题并验证理论。

因此,在理论力学研究中,有着极为重要的两个方面的工作:

一方面,由于客观事物总是错综复杂的,在科学研究中必须根据所研究的问题的性质,抓住起决定性作用的主要因素,舍去次要的因素,这就是力学中采用的抽象化方法。抽象化的力学现象也称为力学的理想模型。例如,理论力学中的力、刚体、质点等概念,都是经过抽象化而形成的理想模型。任何抽象化的模型都是有条件的、相对的,当所研究的问题条件有了改变时,原来的模型就不一定适用,必须再考虑影响问题的新的因素,建立新的模型。运用抽象化的方法,建立了模型和概念,在某些特殊规律的基础上加以分析、综合、归纳,找出事物的普遍性规律,从而建立起公理或定律,

这就是从特殊到一般的归纳法。

另一方面,从已经建立的基本概念和公理或定律出发,考虑所研究问题的具体条件,运用数学工具进行演绎推理,得到一些具有深刻物理意义和应用方便的定理或公式,这就是演绎法。运用数学演绎的方法,建立起以公理为基础的理论体系,可以进一步揭示各物理量间的内在联系及机械运动实质。当然,所建立的理论正确与否,还应通过实践来检验。

从实践到理论,再由理论回到实践,理论力学就是沿着这样的往复循环的道路不断向前发展的。

(三) 学习理论力学的目的

理论力学在机械类各专业的教学计划中是一门技术基础课。学习本课程的目的为了掌握机械运动的基本规律及其研究方法,不仅要求初学者会运用这些规律和知识去分析、解决工程实际中有关力学的问题,也要为学习材料力学、机械原理、机械零件等有关的后继课程准备条件,打好必要的力学理论基础。此外,由于理论力学本身的特点,学习理论力学还有助于培养辩证唯物主义的世界观,树立正确的思想方法,提高分析问题和解决问题的能力。

工程实际经常向力学提出各种新的问题,这些问题的解决,不仅推动了生产,而且也促进了力学的发展,随着现代科学技术的发展,力学的研究已不断地出现了大批的边缘科学,譬如生物力学、理性力学等等。在不断地深入探索力学现象的物理本质,进一步发掘事物的特征的基础上,进而建立起更多、更符合实际的新的理想模型及其力学规律,使力学的内容不断地丰富起来。特别是随着计算机的出现和发展,使得过去一些难以计算的力学问题得到了解决,扩大了应用范围,开辟了更为广阔的前景。可以预料,现代工程技术将会向力学提出大量的复杂的新问题。因此,工程技术人员应掌握一定的理论力学知识,以适应祖国社会主义建设日益增长的需要。

第一篇 静力学

引言

(一) 静力学的任务

理论力学的第一部分——静力学,是研究物体平衡的普遍规律。它将研究以下三个主要问题:(1)物体的受力分析,即分析物体上共受几个力的作用,以及每个力的作用线位置、大小和方向;(2)将作用在物体上的很多力(称为力系)进行简化,即用最简单的力系来代替较复杂的力系;(3)建立物体在各种力系作用下的平衡条件。本篇主要研究物体的受力分析以及应用平衡条件求解未知量。这两个问题的研究又称为静力分析。

在各种工程结构的构件或机械零部件的设计计算中,经常要用到静力学的知识。例如,厂房中常见的悬臂吊车(图1a),要使吊车在规定荷载下能够正常工作,在设计中就要合理地选择悬臂、拉杆以及立柱的几何尺寸,并且选择适当的材料品种,这些是后继课程材料力学等研究的内容,即所谓构件的强度和刚度计算。然而强度和刚度的计算是以静力分析的结果为依据的,可见,静力学在工程技术中有着广泛的应用。

(二) 结构简图与计算简图

为了对工程结构的构件或机械零部件作静力分析,首先应将所要研究的对象由工程实际问题中提取出来,画出它的结构简图,如悬臂吊车的结构简图(图1a)、内燃机曲柄连杆结构简图(图