

高等学校函授教材

理 論 力 学

LILUN LIXUE

上 册

东北工学院 函授部 工程力学教研室 合編

人民教育出版社

高等学校函授教材

理 論 力 学

LILUN LIXUE

上 册

东北工学院函授部
工程力学教研室合编

人 民 教 育 出 版 社

本书是东北工学院函授部与工程力学教研室合编写的理论力学函授教材，可作为高等工业函授学校及夜大学工科各专业理论力学的教材或参考书，也可作为厂矿一般工程技术人员自修理论力学的参考资料。

本书分两册出版，上册包括静力学、运动学，下册包括动力学。

参加本书编写者有王德楙、郭殿奎、毛本超、程家树等同志。

簡 裝 本 說 明

目前 850×1168 公厘規格紙張較少，本書暫以 787×1092 公厘規格紙張印刷，定價相應減少20%。希鑒諒。

理 論 力 学

上 册

东北工学院函授部
工程力学教研室 合編

人民教育出版社出版 高等學校教學用書編輯部
北京宣武門外大街24號
(北京市書刊出版業營業許可證出字第2號)

中央民族印刷厂印裝
北京科技發行所發行
各地新华书店經售

統一書號 13010·837 開本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印張 $10 \frac{5}{16}$
字數 258,000 印數 00001—35,000 定價 (8) 40.85
1960年10月第1版 1960年10月北京第1次印刷

序

在党的领导下，在总路线、大跃进、人民公社三面红旗的光辉照耀下，我国人民正以冲天的革命干劲，以历史上从未有过的速度进行着轰轰烈烈的社会主义建设。随着社会主义建设的大跃进，文教战线上也出现了大跃进的局面。党的一整套两条腿走路的方针在文教战线上的体现之一，就是全日制学校教育与业余教育并举。为了工农群众的知识化，为了能不脱产大量的培养社会主义建设干部，在全国已呈现出各级各类的业余教育蓬勃发展的局面。为了适应函授以及其他业余教育大发展的需要，决定编写理论力学函授教材。在编写中以毛泽东思想为指导，并贯彻了辩证唯物主义以及理论联系实际的原则。当然，由于我们的水平所限，在这方面还做得十分不够。

这次编写是以四结合的方式，即在党的领导下，教师、函授生以及现场工程技术人员相结合的方式，在矿山现场进行编写的。参加这次编写的有教师两名及函授生两名。

本教材系参照已有的理论力学大纲而编写的，内容较多，可作为学时较多的各专业（例如机械类各专业）的理论力学函授教材；也可作为学时较少的各专业的教材，这时只须根据各专业的具体需要作适当的删减。

编写本教材时，曾参考了各兄弟院校所编写的理论力学教材，并吸取了它们的部分内容。

为了便于函授生自学，采取了讲义、自学方法指导及习题等几部分合一的教材形式。全书分上、下两册。

如前所述，本教材系在原有理论力学大纲的基础上编写的，对原有理论力学体系并没有作彻底改变，在目前教育大革命中，各课程特别是

一些基础课程的内容体系将有彻底变革的情况下,本教材并没有能充分反映出在这教育大革命中各方面的丰富成果。由于需用紧急,时间匆促,对于在现场所编写的初稿没有能进行细致的加工整理,又由于水平所限,因此教材内容的错误与不当之处一定很多,希望读者广泛提出批评与指正。

一般学习方法指导

理论力学是现代工程技术的重要基础之一。从本课程在专业教育计划中的地位与作用来看,它和技术基础课相似;但从研究对象与方法来看,它还具有基础课的特征。学习理论力学,一方面要求对理论有融会贯通的透彻理解,这样才能运用自如;另一方面要具有解决实际问题的能力。这样,一方面为顺利地学习后续课程打下良好的基础,另一方面为进行技术革新与技术革命准备了足够的力学知识,为社会主义建设的持续大跃进服务。学习理论力学必须以毛泽东思想为指导,并要贯彻辩证唯物主义的观点。对学习总的要求是理论结合实际。我们的原则是“学以致用,边学边用”,即学到那里,就用那里的理论去研究解决你们厂矿和工程实际中的有关问题。这样做不但能加深并巩固对理论的理解,同时也提高了解决实际问题的能力。下面提出几点自学时注意之点以供参考:

1. 自学时应抓住每章、每节的系统以及主要内容,要抓住公式及定理的推导或证明的整个线索。要注意:问题是如何提出的?提出问题的根据以及解决问题的方法是什么?所得的结论或定理说明了什么?应用这些结论或定理时要注意些什么?值得提出的是必须确切的理解定义、定律或定理等每字每句的意义。

2. 自学时要注意前后章节的联系,要善于将前后内容对照比较,反

复思索与体会,务求透彻的理解。

3. 自学时最好作閱讀筆記,記下自学的心得、体会内容要点或自学时的疑难問題以备答疑。在自学告一段落后(例如学完一章)最好能作一个簡短的总结或内容提要,这样作能加深对教材内容的理解。

4. 学习理論力学除了学好理論以外,更重要的是必須具有解决实际問題的能力。教材內的例题及习题是实际問題經過簡化后的模型,解题(作練習)能培养解决实际問題的能力(虽然解题不是解决一个实际問題的全部工作,但这是重要的一步)。解题必須是在已經細心地閱讀、钻研教材并充分掌握理論以后进行,解题前还必须仔細地分析有关例题,从中归納出解题的方法及步驟。解题时首先要看清题意,机构的构造及其运动情况,要搞清楚已知的条件是什么?要求的是什么?然后再确定应用什么公式或定理去解题?解一个題要分几个步驟?先求什么,再求什么?总之,在解题前必須对所給題作通盤的思考,确定解题的整个方法及步驟,有目的、有步驟、有根据的一步一步往下解,才能得到正确的結果。千万不要既不根据理論,也不遵循一定的解题步驟,单凭直观臆测盲目的去解题,因为这样做,将不会得出正确的解答,而且徒然浪費時間,即使偶然碰巧做对了,也不知道究竟为什么應該这样作?这样学习是不会深入而且收获也是不大的。必須指出,即使钻研了理論,分析了例题,已經通盤的考虑了所要解的題并且是按照一定的步驟去解题,仍然会遇到困难,有时甚至是很大的困难,这时千万不要灰心气馁,而要更深入的钻研有关理論,更仔細的分析有关例题,再对自己的解题方法及步驟进行仔細的檢查,看看是不是存在問題,只有这样反复的钻研体会,理論与实际(解题)密切的結合,才能对理論有深刻的理解与領会,同时也培养了解决实际問題的能力。最后必須指出,解题是培养运算能力的一个重要环节,一定要將习题从头至尾作完,不要只把題大致的考虑一下就認為已經会做了而不去作具体的运算。事实上,只有通过实地的操作,在具体的运算过程中才会发现問題,出現疑难,并暴

露出自己在学习上的不足。只有克服了这些疑难，将问题胜利地解决了，才能使学习提高一步，所以学习上的懒汉是要不得的。在演算时要养成应用计算尺的习惯。

5. 学完一章以后，如果不看书而能讲出这一章的主要内容及整个系统，并且能独立地解决该章指定的习题，就可认为基本上掌握了这一章。

6. 每章后面的总结及自学方法指导，扼要地归纳总结出该章的主要内容及系统，并指出自学注意之点，对自学有一定的参考作用。

7. 每章后面所附的思考题能启发读者进一步思考，在学完一章后应该能很好的回答这些问题。每章后面指定的习题一定要及时完成。

8. 参考书：伏龙科夫著：“理论力学教程”上、下册，尼古拉依著：“理论力学”上册，下册第一、二分册，密歇尔斯基：“理论力学学习题集”。

上册目录

序	ix
---	----

一般学习方法指导	x
----------	---

绪论	1
----	---

第一篇 静力学

第一章 静力学基本概念及公理	9
----------------	---

§1-1. 静力学的任务	9
--------------	---

§1-2. 刚体和质点的概念	9
----------------	---

§1-3. 力的概念	11
------------	----

§1-4. 静力学公理	13
-------------	----

§1-5. 力对于一点的矩	19
---------------	----

§1-6. 力对于一点的矩	22
---------------	----

§1-7. 力对于一点的矩与力对于通过该点的一任意轴的矩两者间的关系·力对于 任意轴的矩的公式	24
--	----

§1-8. 约束反作用力·受力图	26
------------------	----

总结及自学指导	35
---------	----

思考题	35
-----	----

习题	36
----	----

第二章 汇交力系	39
----------	----

§2-1. 引言	39
----------	----

§2-2. 汇交力系的合成——几何法	41
--------------------	----

§2-3. 汇交力系的合成——解析法	43
--------------------	----

§2-4. 汇交力系的平衡	45
---------------	----

§2-5. 汇交力系的平衡问题举例	47
-------------------	----

总结及自学指导	52
---------	----

思考题	53
-----	----

习题	53
----	----

第三章 力偶	5
--------	---

§3-1. 二平行力的合成及将一力分解为二平行力	55
--------------------------	----

§3-2. 力偶·力偶矩	57
--------------	----

§3-3. 力偶的性质	59
-------------	----

§3-4. 力偶的三要素·力偶矩是矢量	61
§3-5. 力偶系的合成及平衡条件	63
总结及自学指导	66
思考题	66
习题	67
第四章 平面任意力系	68
§4-1. 引言	68
§4-2. 平面任意力系的合成	69
§4-3. 力的平移定理	70
§4-4. 平面任意力系向已知点简化·主矢量与主矩	71
§4-5. 平面任意力系合成为一力·合力矩定理	74
§4-6. 平面任意力系合成为一力偶	77
§4-7. 平面任意力系的平衡条件	78
§4-8. 平面任意力系的平衡问题举例	80
§4-9. 平面平行力系的合成及其平衡条件	83
§4-10. 静定与静不定问题的概念	86
§4-11. 几个物体组成的物体系统的平衡问题	88
总结及自学指导	95
思考题	96
习题	96
第五章 平面任意力系的图解法	101
§5-1. 平面任意力系合成为一力的情形	101
§5-2. 平面任意力系合成为一力偶的情形	104
§5-3. 平面任意力系平衡的图解条件及其应用	106
总结及自学指导	108
思考题	109
习题	109
第六章 摩擦	111
§6-1. 引言	111
§6-2. 滑动摩擦概念	112
§6-3. 滑动摩擦定律·摩擦系数·摩擦角	112
§6-4. 存在摩擦力的静力学问题举例	116
§6-5. 摩擦圆和柔体的摩擦	121
§6-6. 滚动摩擦	127
总结及自学指导	130
思考题	130
习题	131

第七章 桁架	132
§ 7-1. 桁架的概念	133
§ 7-2. 桁架的构成 静定与静不定桁架	135
§ 7-3. 节点截割法	138
§ 7-4. 克林豪那-马克斯威尔法	142
§ 7-5. 李特尔法	146
总结及自学指导	148
思考题	149
习题	149
第八章 空间任意力系	151
§ 8-1. 引言	151
§ 8-2. 空间任意力系向已知点简化·主矢量与主矩	152
§ 8-3. 空间任意力系合成结果的几种情形·合力矩定理	156
§ 8-4. 空间任意力系的平衡条件	158
§ 8-5. 空间平行力系的合成及其平衡条件	166
总结及自学指导	168
思考题	168
习题	169
第九章 重心	172
§ 9-1. 平行力系中心	172
§ 9-2. 重心·均质物体的重心坐标的普遍公式	174
§ 9-3. 均质对称物体重心的位置	177
§ 9-4. 几种简单几何图形与物体的重心	178
§ 9-5. 复杂形状物体和图形重心的求法	184
§ 9-6. 用图解法求重心	187
§ 9-7. 实验法求重心	190
总结及自学指导	191
思考题	191
习题	191

第二篇 运动学

第十章 点的运动	193
§ 10-1. 引言	193
§ 10-2. 描述点运动的几个要素	194
§ 10-3. 用自然法求点的速度和加速度	197
§ 10-4. 用直角坐标法求点的速度和加速度	203
§ 10-5. 运动图, 速度图和加速度图	208

§ 10-6. 点的直线运动举例	211
总结及自学指导	214
思考题	216
习题	217
第十一章 刚体的两种基本运动	219
§ 11-1. 刚体的平动	219
§ 11-2. 刚体绕固定轴的转动	221
§ 11-3. 刚体绕定轴转动时, 体内各点的速度与加速度	224
§ 11-4. 角速度是矢量, 用矢积表示线速度, 切向加速度与法向加速度	230
总结及自学指导	232
思考题	232
习题	233
第十二章 点的复合运动	235
§ 12-1. 点的相对运动, 牵连运动与绝对运动	235
§ 12-2. 点的相对、牵连与绝对速度及加速度	237
§ 12-3. 速度合成定理	240
§ 12-4. 速度合成定理的应用	242
§ 12-5. 牵连运动为平动时加速度合成定理	245
§ 12-6. 牵连运动为转动时的加速度合成定理·哥氏加速度	247
总结及自学指导	258
思考题	258
习题	258
第十三章 刚体的平面平行运动	261
§ 13-1. 刚体平面平行运动的简化·平面运动方程式	261
§ 13-2. 平面运动分解为平动和转动	262
§ 13-3. 平面图形上各点速度的求法	264
§ 13-4. 沙尔定理·瞬时速度中心	266
§ 13-5. 速度图解	271
§ 13-6. 平面图形上各点的加速度	274
§ 13-7. 瞬时加速度中心	278
§ 13-8. 两个绕平行轴转动的合成	281
总结及自学指导	288
思考题	289
习题	290
第十四章 刚体绕固定点的转动·自由刚体的任意运动	291
14-1. 引言	291

§ 14-2. 刚体繞定点轉动問題的簡化	291
§ 14-3. 达倫培尔-欧拉定理·瞬时軸	292
§ 14-4. 定点轉动剛体的角速度及剛体内各点的速度	294
§ 14-5. 定点轉动剛体的角加速度及剛体内各点的加速度	296
§ 14-6. 欧拉角·剛体定点轉动方程式	303
§ 14-7. 两个繞相交軸轉动的合成·角速度合成定理	304
§ 14-8. 角速度及剛体内各点速度在与剛体固連的各坐标軸上的投影	309
§ 14-9. 剛体的任意运动分解为平动和繞等点的轉动·剛体任意运动的方程式	311
§ 14-10. 剛体任意运动时体内各点的速度与加速度	314
总结及自学指导	315
思考題	316
习题	316

緒 論

理論力學是研究物體運動規律的一門科學。所以我們首先要了解什麼是運動。

在自然辯證法中，恩格斯寫道：“就最一般的意義來說，運動是物質的存在形式、物質的固有屬性，它包括宇宙中所發生的一切變化和過程，從簡單的位置變動起直到思維止”（恩格斯：“自然辯證法”，人民出版社，1955年版，第46頁）。

由此可見，按廣義來講“物質運動”是極其多樣與複雜的，應該理解為一般的變化，因為所有的物質都在不斷地發生變化，所以“運動”是物質不可分割的屬性，它包羅了宇宙間發生的一切現象。比如，物體在空間位置的變化、熱（分子運動）、化學變化（原子與電子運動）、電磁現象，甚至包括我們意識與思維等。物質永遠處於這些不同形式的運動中。由於這些物質運動的形式之間存着本質上的差別，因此，研究它們的方法上也就有很大的不同，這就形成了不同的科學，如理論力學、物理學、化學、生物學及社會科學等。

可是物質運動這些形式都是互相聯系着的，在適當的條件下，運動的一種形式可以轉變為另一種形式。但必須強調，和物質一樣，運動也是永恆的，即不可創造，也不可消滅。因此運動形式的轉化過程，不應該理解為某種運動消滅了，而另一種運動產生了出來。運動之所以成為物質的固有屬性，是因為它和物質是不可分割的。正如恩格斯所說：“沒有運動的物質是和沒有物質的運動同樣不可思議的”（恩格斯：“反杜林論”，人民出版社，1956年版，第61頁）。

理論力學是研究物質運動中最簡單的一種運動形態——機械運動。所謂機械運動，就是物體彼此間相對位置隨時間的變化（包括各質

点相对位置的变化,即物体的变形)。因此,理論力学是研究物体机械运动規律的科学。因为物体的平衡状态是机械运动的一种特殊形态,所以在理論力学中,也研究物体的平衡。但是宇宙中没有绝对的平衡,“一切平衡都只是相对的和暫时的”(恩格斯:“自然辯証法”,人民出版社,1955年版,第206頁)。

按照运动的形式来講,机械运动虽是最简单的运动形式,但却是最常見的而且是很重要的。例如,在自然界中,星球的运轉,人造卫星的运行,水的流动等都是机械运动;工程中各种机械的运动,也都是机械运动。当然我們不应說这些物体只作机械运动,事实上,物体的机械运动是經常和其他形式的运动同时存在的,例如人造卫星可以发射信号,可以发热,这些都不属于机械运动。但是为了便于研究,我們抽出机械运动来单独的研究它,这就是理論力学所要完成的任务。

既然机械运动是我們在自然界和工程中随时随地所遇到的,因而,不难理解,理論力学对現代自然科学和工程技术应该起着何等重要的作用。我們掌握了物体机械运动的規律,就可以解决在工程上所遇到的有关的問題。因为在各种建筑工程中,在机械設計中,以及其他的工程計算都是以理論力学的規律为基础,所以理論力学是自然科学和工程技术的基础科学。

理論力学的发生与发展是和工程技术密切联系着的。工程实际經常向力学提出問題,这些問題促使着力学向前发展。反过来,力学也推动工程技术的向前发展。当前我国的社会主义建設在总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下,突飞猛进,真是“万馬奔騰,一日千里”。社会主义建設的跃进不仅要求我們有冲天的干劲,而且要求我們掌握越来越多的复杂技术。特别是自从苏联成功的发射了世界上第一个宇宙火箭以后,人类已开始进入星际航行的新紀元,大量复杂的新技术問題提出来了。这些問題只有依靠精确的实驗和深入的理論研究才能解决。所以对我国工程技术人員来說,必須掌握作为現代工程技术

基礎理論力學知識才能更好的進行技術革新與技術革命，因為科學的任務不僅在於解釋世界，而更重要的在於改造世界。

現在來敘述力學發展的幾個主要階段。

在力學發展史里可以很清楚的看出，力學的发生與發展，是與工程技術實踐最密切地聯繫着的。

力學誕生於上古時代，古時建造巨大的建築物時，建築者已經使用了某些由經驗得來的力學知識創造一些最簡單的機械：如杠桿、滑輪、斜面等來提升和搬移重物。

由於這些簡單機械普遍的应用，於是研究簡單機械為主要對象的靜力學開始發展起來了。例如，為什麼利用杠桿就可以用較小的力來舉起很大的重物呢？其中研究最有成效的為希臘科學家阿基米德（公元前 287—212）。他解決了杠桿平衡問題及一些其他問題，並且在自己的力學方面著作中，總結了古代在靜力學方面的知識，奠定了靜力學這門學問的基礎。

中世紀力學的發展和其他科學一樣幾乎是停頓了，這是由於封建社會的特性，生產力停滯不前，哲學和科學受到神權統治，對力學的發展同樣起了阻礙的作用。可見，社會制度對科學的發展有巨大的影響。

從十五世紀文藝復興時代起，西歐資本主義開始萌芽，隨著商品的迅速發展，必須擴大生產，因此一系列的技术問題需要解決，才能提高生產力，這就給科學首先是力學的發展提出了要求，例如商品生產由手工業逐漸過渡到工場手工業，商品的內陸和遠洋運輸要解決交通工具、造船和航海技術上的問題。後來各國由於經濟利益的衝突，又常常引起戰爭，這時候中國發明的火藥已傳至歐洲，因此由於大炮的应用，就需要解決拋射體運動等問題。總的來說這個時期的特點，是生產工具與軍用武器開始使用機器，於是小機器工業發展起來了，所以引起了動力學的研究。

由於航海等方面的需要，促進了天文的研究，偉大的波蘭學者尼古

拉·哥白尼(1473年—1543年)創立了宇宙的太陽中心說，這個學說推翻了托勒密的地球中心說，引起了當時科學宇宙觀的變革。按恩格斯的話說，“從此便開始了自然科學之從神學中的解放，……”(恩格斯：“自然辯證法”，人民出版社，1955年版，第6頁)。德國的天文學家約翰·開普勒(1571年—1630年)根據哥白尼的學說以及許多次天文觀察，建立了行星運行的三大定律，這些定律是牛頓後來發現萬有引力定律的基礎。

偉大的意大利學者伽利略(1564年—1642年)的工作，开辟了力學發展史的新时代，奠定了動力學的基礎。

伽利略反對那些脫離實際的見解，他認識到實驗作為力學與物理學論證基礎的必要性，並且在他自己的科學研究中，始終貫徹了這個觀點。伽利略是力學的最重要部分——動力學的奠基者，他第一個在變速直線移動中引入了運動物體的速度的加速度的概念；並且建立了動力學基本定律之一——慣性定律。

荷蘭學者惠更斯(1629年—1695年)繼承了伽利略在動力學方面的工作，他創立了物理擺的理論，並且把伽利略所引入的加速度概念推廣到點的曲線運動中去。

動力學的奠基工作是由偉大的英國學者牛頓所完成的。

牛頓在他的名著“自然哲學的數學原理”(1687年出版，已由鄭太朴譯成中文，商務印書館出版)里完備地建立了古典力學的基本定律，並從這些定律出發，把力學作了有系統的敘述。牛頓在自然科學方面的見解是形而上學的观点。他的形而上學的观点，首先表現在他建立力學基本定律時引入了“絕對空間”與“絕對時間”的概念，認為它們與物質和物質的運動無關。

十八世紀以後開始的工業與技術的蓬勃發展，向科學提出了許多新的問題，同時由於微積分的發明，更促進了力學進一步的發展。

十八世紀的標志是：力學的一些普遍原理制定了，如可能位移原

理,达朗貝尔原理,前者闡述机械系統平衡的必要与充分的条件,后者是用靜力学方法来解决动力学問題。拉格朗日(1736年—1813年),將可能位移原理与达朗貝尔原理結合起来获得了动力学最普遍的方程式,于是以动力学普遍方程式为基础的分析力学发展起来了。另外,在剛体力学,流体力学,天体力学等方面也有許多重要的成就。

十九世紀中叶以后,一直到现在,适合于工程需要的工程力学开始发展起来了,如彈性力学、流体力学和气体力学等方面全有巨大的成就。这一成就发展主要的是由于航空工业的发展,但是另一方面則是由于工业建設的发展。这一时期,俄国和苏联科学家有巨大的貢獻“俄罗斯航空之父”茹可夫斯基(1847年—1921年)以及查普雷金(1869年—1942年)等在空气动力学方面是举世聞名的。李亚普諾夫(1857年—1918年)开辟了研究运动稳定性的新方向,并且創立了新的研究方法。此外,理論力学新的重要領域——变质量力学的首創地位,亦属于苏联学者密歇尔斯基(1859年—1935年)。

十九世紀末二十世紀初,由于物理学的光輝成就,发现許多現象不能用古典力学的定律来解釋,因而产生了相对論力学。它否定了古典力学的一些基本概念(絕對空間,絕對時間,质量与速度无关等概念)。給古典力学带来了根本的改变。这正好論証了辯証唯物主义的观点;事物是发展的,我們对客觀的認識是逐漸接近于真实的,一切定律,定理只在一定条件下才适用。誰也不能說力学的发展已經到了头,誰也不能說它的領域已經沒有发展的必要及沒有采取新的观点的可能。

必須指出,古典力学与相对論力学的差別只有在物体的速度接近于光速(三十万公里/秒)时才显示出来。在一般工程中古典力学的定律的正确性已經为實踐所証实。以古典力学定律为基础的理論力学不仅沒有失掉它的实用价值,而且繼續发展,二十世紀理論力学的发展主要在应用方面。这方面光輝的成就主要在社会主义国家的苏联,苏联科学的特点是与生产密切关联的。自动控制,运动稳定性,振动,变质量