

工业专科学校試用教科書



工 程 力 学

GONGCHENG LIXUE

第一部分 理論力学

(机械电机类型各专业用)

湖北省三年制工业专科学校
工程力学教材选编组选编

湖北人民出版社

工业专科学校試用教科書



工 程 力 学

第一部分 理論力学

(机械电机类型各专业用)

湖北省三年制工业专科学校

工程力学教材选編組选編



湖北人民出版社

内 容 提 要

本書包括理論力學及材料力學兩部分，並分為兩冊出版。第一部分理論力學包括：靜力學、運動學、動力學等三篇二十章。第二部分材料力學包括：緒論、結論以及基本概念、拉 伸 及 壓 縮、拉 伸 和 壓 縮 的 超 靜 定 問 題、扭 轉 及 剪 切、應 力 狀 態 理 論、強 度 理 論、彎 曲 時 的 內 力、彎 曲 時 的 應 力、彎 曲 時 的 變 形、超 靜 定 梁、組 合 變 形 時 杆 的 強 度 計 算、壓 杆 的 穩 定、重 複 應 力 作 用 下 構 件 的 強 度 計 算、動 載 荷 等 十 四 章。實 驗 應 力 分 析 一 章 列 為 附 錄。

本書的主要讀者是三年制工業專科學校機械、電機類型各專業的学生，也可作為二年制專科同類型專業的教材。

工業專科學校試用教科書

工 程 力 學

第一部分 理論力學

(機械電機類型各專業用)

湖北省三年制工業專科學校

工程力學教材選編組選編

*

湖北人民出版社出版(武漢解放大道332號)

武漢市書刊出版業營業許可證新出字第1號

湖北省新华書店發行

湖北省新华印刷廠印刷

*

787×1092毫米 $\frac{1}{32}$ ·9 $\frac{1}{2}$ 印張·220,000字

1961年7月第1版

1961年7月第1次印刷

印數：1—5,150

統一書號：15106·109

定 价：1.20 元

序

为解决工业专科学校基础課和各类专业共同的基础技术課的教材問題。中央教育部責成我們：組織选編高等数学、普通物理、普通化学、俄語、工程力学、画法几何及制图、机械原理及机械零件、电工学、热机学及金屬工艺学等10門課程的19种教材；同时要求在四月全部脫稿，并在質量上比現有教材有所提高。

对于我們的力量來說，这个任务是艰巨的。但我們也認識到，这是貫徹“調整、巩固、充实、提高”的八字方針和提高教學質量的重要措施之一；从当前工业专科学校教材缺乏的严重情况来看，是一項政治任务。應該尽我們最大的努力去完成。为此，我們一面紧紧依靠中央教育部和中共湖北省委宣傳部的領導，一面从我省24所高等院校中抽出91位教师集中力量进行选編工作；并承广东省高等教育局的协助，选派了四位教师参加。这就使我們的工作既有明确的方向，又有比較可靠的力量，保證了任务的完成。

在选編过程中，我們特別注意了如下几个問題。首先是从工业专科学校的实际出发。由于時間緊迫，而又沒有現成的工业专科学校的教材作为选編基础，我們只好从本科教材中选择一些适当的藍本进行加工。根据这种客观情况，我們一再强调选編教材的分量与質量要从工业专科学校的教學要求出发；要注意到专科和本科的培养目标、每門課程的具体任务和学时数都是不同的。

其次，由于目前专科学校的教學条件（比如教师和学生的水准、教學仪器設備等等）还比較差，学生負担也比較重，因此我

們特別強調貫徹“少而精”的原則，吸收几年来各校对課程內容精簡、加深、更新的經驗，反对不适当地“求多、求全、求深、求新”的思想。

第三，由于我們选編的是通用的基础課和基础技术課的教材，为了使學生获得比較广博和巩固的基础理論知識，对于基础課，我們特別注意了貫徹“在保持科学系統性和基本內容的前提下，密切联系实际和适当結合专业”的原則。对于基础技术課，虽然具体課程都經過具体分析，但基本上也都是根据上述原則进行选編的。

为达到上述目的，参加选編工作的教师同志們曾进行多次調查訪問，对原稿进行反复討論、修改和审查。但由于任务重，時間紧，特別是經驗不足，水平有限，我們这次选編的教材，只是解决了“有无”的問題。缺点和錯誤是在所难免的。恳切希望使用这些教材的全体师生同志們，多多給我們提供意見，以便今后进行修改，使这些教材的質量逐步得到提高。

湖北省教育厅

1961年5月10日

选編說明

本書的主要藍本是西安交通大学理論力学教研組編的“理論力学”(人民教育出版社1960年版)。

为了适应三年制工业专科学校的具体情况，在选編时对藍本作了如下的一些变动：

(1)刪节了部分的章节。例如靜力学中的图解靜力学，桁架；运动学中的点的直綫运动，布安索定理，剛体繞定点轉动及剛体的一般运动等；动力学中的質点相对运动，回轉現象的近似理論，剛体对于相交軸的轉动慣量，拉格倫日方程式，等。

(2)將質点动力学与質点系动力学进行了合并。

(3)更換了下列章节的整个內容：

i)緒論。

ii)§6-6 重心与平行力系中心及运动学导言(选自西北工业大学理論力学教研組編的“理論力学教程”，人民教育出版社1960年版)。

(4)对下列章节作了較大的变动与精簡：

动力学基本定律，質点的运动微分方程式，質点与質点系的动能定理，振动的基本理論，虛位移原理，碰撞。

(5)刪节和增加了部分例題。例如在靜力学中由于刪节了桁架計算理論的叙述部分，使用增加的桁架計算例題来代替。

本書由湖北工学院卢靜芬(靜力学与运动学部分)、武汉工学院刘树琛(动力学部分)选編，华中工学院李灝审訂，并由武汉水利电力学院栗一凡負責主持。

湖北省三年制工业专科学校工程力学教材选編組

目 录

緒論	1
----------	---

靜 力 学

第一章 靜力学基本概念及公理	7
----------------------	---

§1-1 靜力学研究对象·刚体及平衡的概念	7
§1-2 力的概念·力系	8
§1-3 靜力学基本公理	9
§1-4 約束及約束力·受力图	13

第二章 共点力系	19
----------------	----

§2-1 共点力系合成的几何法	19
§2-2 共点力系平衡的几何条件	22
§2-3 力的分解	28
§2-4 共点力系合成的分析法	29
§2-5 共点力系平衡的分析条件	30

第三章 力偶理論	34
----------------	----

§3-1 两平行力的合成	34
§3-2 力偶·力偶矩·等效力偶	39
§3-3 力偶矩的矢量表示法·相交平面内力偶矩的合成	42
§3-4 力偶系的平衡条件	45

第四章 平面力系	46
----------------	----

§4-1 力对点之矩	46
§4-2 平面力系向已知点簡化·主矢量和主矩	48
§4-3 平面力系合成为合力·伐里农定理	52
§4-4 平面力系合成为力偶	54

§ 4-5 平面力系的平衡条件	54
§ 4-6 平面平行力系的平衡条件	61
§ 4-7 几个物体组成的系统的平衡	62
§ 4-8 静不定问题的概念	67
第五章 摩擦	69
§ 5-1 滑动摩擦·库伦摩擦的近似定律	69
§ 5-2 摩擦锥·自锁现象	72
§ 5-3 滚动摩擦	76
第六章 空间力系	82
§ 6-1 力对点之矩的矢量表示法	82
§ 6-2 力对轴之矩	84
§ 6-3 力对已知点之矩与对通过此点的轴之矩间的关系	86
§ 6-4 空间力系向已知中心简化·主矢量与主矩	87
§ 6-5 空间力系的平衡条件	91
§ 6-6 重心与平行力系中心	97

运 动 学

第七章 运动学导言	105
第八章 点的曲线运动	108
§ 8-1 点的位置决定法·运动方程式	108
§ 8-2 点的速度	110
§ 8-3 点的加速度	115
§ 8-4 加速度沿自然坐标轴分解	117
第九章 刚体运动的基本形式	125
§ 9-1 平行移动	125
§ 9-2 刚体绕定轴的转动	127
§ 9-3 绕定轴转动的刚体内各点速度和加速度的分布	131
§ 9-4 角速度是矢量、用矢积表示线速度、切向加速度和法向加速度	132
第十章 点的复合运动	136
§ 9-1 点的复合运动的概念	136

§ 9-2 速度合成定理	139
§ 9-3 牵连运动为平动时加速度合成定理	142
§ 9-4 牵连运动为定轴转动时加速度合成定理 (科里奥利定理)	143
第十一章 刚体的平面运动	151
§ 11-1 刚体平面运动方程式	151
§ 11-2 平面运动分解为平动与转动	152
§ 11-3 平面图形内各点的速度	155
§ 11-4 速度图解	160
§ 11-5 绕平行轴转动的合成	163
§ 11-6 平面图形内各点的加速度	167

动 力 学

第十二章 动力学基本定律	171
§ 12-1 动力学的研究对象和两大基本问题	171
§ 12-2 动力学基本定律和基本概念	172
§ 12-3 惯性坐标系和经典力学的适用范围	176
§ 12-4 单位制和量纲	177
第十三章 质点和质点系的运动微分方程式	180
§ 13-1 质点运动微分方程式	180
§ 13-2 质点动力学第一类问题——已知运动求力	181
§ 13-3 质点动力学第二类问题——已知力求运动	183
§ 13-4 质点系运动微分方程式	190
第十四章 动量定理	194
§ 14-1 动量 力的冲量	194
§ 14-2 质点的动量定理	197
§ 14-3 质点系的动量定理	200
§ 14-4 质点系的质心运动定理	208
第十五章 动量矩定理	216
§ 15-1 动量矩	216
§ 15-2 质点的动量矩定理	218

§ 15-3 質点系の動量矩定理	222
§ 15-4 剛体繞定軸轉动的微分方程式 轉动慣量的概念	226
§ 15-5 轉动慣量的普遍公式	229
第十六章 动能定理	234
§ 16-1 功和功率	234
§ 16-2 动能	241
§ 16-3 質点的动能定理	243
§ 16-4 理想約束	245
§ 16-5 質点系的动能定理	246
§ 16-6 势場与势能的概念 机械能守恒定律	250
第十七章 达朗伯原理	254
§ 17-1 慣性力	254
§ 17-2 达朗伯原理	255
第十八章 虚位移原理	260
§ 18-1 虚位移	260
§ 18-2 虚位移原理	261
§ 18-3 动力学的普遍方程式	266
第十九章 振动的基本理論	268
§ 19-1 質点的自由振动	268
§ 19-2 阻尼对自由振动的影响 (衰减振动)	275
§ 19-3 質点的受迫振动	276
§ 19-4 阻尼对受迫振动的影响	282
第二十章 撞碰	283
§ 20-1 質点的撞碰	285
§ 20-2 两个物体的对心正撞碰·恢复系数	288
§ 20-3 撞碰时动能的损失	292

緒 論

一、理論力学的研究对象与本課程的任务

理論力学的研究对象是物体机械运动的一般規律。

物体在空間的位置随時間所发生的改变称为机械运动，它是物質运动的最簡單、最初級的一种形式。

物体机械运动規律的运用，在现代工程技术中起着重要作用。本課程的任务就是要使学生了解和掌握物体机械运动的基本規律，并能运用这些規律解决实际問題，为学习一系列后继課程（如材料力学、机械原理、机械零件以及有关力学的专业課程），进一步掌握最新技术成就与科学研究准备条件。

力学研究的是物質体系在相互作用下运动的客观規律。在理論力学里，假定：（一）所涉及的物質体系比較大，无須考虑質量和角动量的最小单位；（二）其运动較緩慢，无須顧到极限速度的存在。

如果物質体系很小，在原子的大小范围里，就要用量子力学；如果其速度接近光速的范围，那就要用到相对論力学。在很强的引力場作用下，还得考虑广义相对論的效应。可見理論力学的应用范围是有一定限制的。

但是另一方面，工程技术中常見的宏观物体，和原子相比較，是很大的；其速度也远不及光速。所以在研究一般物体的力学問題时，理論力学提供了足夠精確的定律和基本公式。

理論力学的发生与发展是和生产技术紧密相結合的。生产实践經常向力学提出新的問題，这些問題的解决，不仅促进了生

产，同时也推动着力学不断向前发展。理論力学是现代工程技术的理論基础，它的定律和結論被广泛地运用于各种工程技术中，建筑物、机器的設計，飞行器、火箭的运动原理的研究等等，都以理論力学的定律为基础。現代技术正在越来越多地向力学提出新的极其复杂的問題。在今天为了适应社会主义建設日益增长的需要，每个工程技术人员有必要掌握足够深广的理論力学知識。由此可以看到本課程的重要性。

本課程分作三个部分叙述：靜力学、运动学、动力学。这种叙述系統考虑到从简单到复杂的認識过程，同时也便于与其他課程配合。

靜力学 研究物体上力系的簡化和物体在相互作用下的平衡問題。

运动学 撇开了运动的物理原因，不涉及引起物体运动变化的相互机械作用，而专门研究物体运动的过程以及路程、速度、加速度等运动学要素間的关系。

动力学 研究物体相互間的机械作用与运动量的傳遞問題。这里要建立物体的运动变化与作用力之間的量的关系。

二、理論力学的研究方法

理論力学所研究的是物体机械运动的客观規律。要正确地認識这种客观規律，必須有正确的观点和方法。辯証唯物主义的世界觀，是正确認識自然的基础。唯物辯証法是認識自然的唯一正确的方法。因此，在研究理論力学时，必須运用馬列主义的观点和方法。

正如一切其他自然科学一样，理論力学研究的出发点是观察、实验和生产实践。在对物体机械运动規律的認識过程中，生产实践具有决定性的意义。通过生产实践、观察和实验，人們积累了大量

材料。这些材料是客观的物体机械运动的某些真实性的反映，但只是片面的和表面的。必須经过分析、概括、判断、推理等一系列的思维过程，运用抽象化的方法来建立概念、公理或定律，也就是建立理論。例如伽利略曾利用精密的实验，得出物体沿光滑斜面下降的速度仅决定于降落高度的結論，从而推出惯性运动定理。

所謂抽象化的方法，就是从生产实践、观察和实验所占有的大量材料中，根据我們所要研究的问题的性质，把现象中最本质的属性提炼出来，撇开那些次要的因素。例如略去物体的变形而得出刚体的概念，略去物体间的摩擦而得出光滑约束的概念。又如在研究自由落体时，由于撇开空气阻力这一次要因素，才获得匀加速降落的运动规律。这样就能得到问题的初步近似的解决。它对处理某些问题已具有足够的精确度。当然，为了解决某些比较复杂的问题，需要更进一步地接近实际时，就有必要考虑原来略去的某些因素的影响。例如当研究物体在外力作用下的平衡与运动的规律时，可以把物体看作刚体，但在考虑材料的强度和刚度问题时，就有必要估计到物体的变形，转入对更复杂的变形体力学的研究。这种从简单到复杂的研究过程，在力学里是常见的。由此可见，抽象化这一方法，在理論力学中起着十分重要的作用。在观察和研究各种现象时只有把握了现象中最本质的属性，我們才有可能观察到现象的实质，才有可能获得普遍的规律。因此正确地运用抽象化的方法，并不是脱离实际，而是更深刻地反映实际。列宁指出：“当思维从具体的东西上升到抽象的东西时，它不是离开——如果它是正确的——真理，而是接近真理。……那一切科学的（正确的、郑重的、不是荒唐的）抽象，都更深刻、更正确、更完全地反映着自然”。①

① 列宁：“哲学笔记”，人民出版社，1956年版，第155頁。

人們利用抽象化的方法，把大量觀察、實驗和長期生產實踐中所得的結果加以歸納綜合，得出一些基本定律或公理，作為力學理論的基礎。必須指出，基本定律或公理的出現，是人們對於物體機械運動規律的認識不斷提高的結果，而人們所以能從錯綜複雜的規律中找出共同的基礎，則是由於這些規律本身是相互聯繫着的。

從理論力學的基本定律和公理中，可以運用數學演繹法，得出對某些問題的具体結論。同在一切其他科學中一樣，歸納法和演繹法不是彼此排斥，而是互相補充，缺一不可的。由於理論力學中着重數量的關係，因此在推演時，廣泛地應用數學推導和計算。例如從普遍的萬有引力定律，就可以進行行星運動的計算。

但是無論是基本概念、定律和公理，或是以它們為基礎所得到的結果，所有這些理論的正確性的唯一標準是實踐。理論，只有當它們符合客觀實際，能夠精確地反映並解釋客觀世界中的有關現象，只有當應用它們去指導實踐能得到科學的預期結果時，才能認為是正確的。

所以理論力學的方法，正如一切科學一樣，遵循着列寧所指出的道路：“從生動的直觀到抽象的思維，並從抽象的思維到實踐，這就是認識真理、認識客觀實在的辯證的途徑”。①

綜上所述，可見理論力學的研究，必須以馬克思列寧主義為指導思想，運用辯證唯物主義的觀點和方法，理論密切聯繫實際。

三、 力學發展簡史

遠在我國黃帝時代（距今四千多年前），勞動人民已開始制作舟車和耕作機械，建築宮室。到戰國時代，已經在機械製造和

① 列寧：“哲學筆記”，人民出版社，1954年版，155頁。

建筑結構上有着巨大的成就。同时代的墨子則在力学理論上也有了很大成就。

可見力学的产生在一开始就密切地依賴着生产实际，在后来的發展中也是一样。

在封建社会，因生产停滞不前，力学的进展也差不多陷于停顿。直到十五世紀西方文艺复兴，資本主义兴起，貿易、航海发展起来，建筑、航海等的发展向力学提出了新的刻不容緩的任务，实践要求更完整的理論来指导。因而，力学就随之有了空前的发展。哥白尼(1473—1543)創立了太阳中心說，在科学界引起了宇宙觀的大革命。刻卜勒(1571—1630)根据哥白尼的发现，并繼承了第谷·勃拉格(1546—1601)对行星繞日运动多年的观察研究，得出了著名的行星运行三大定律，这三大定律又成为牛頓发现万有引力定律的基础，此后伽利略(1564—1642)从观察落体运动中提出了加速度的概念，又在对物体沿斜面运动的研究中确立了慣性定律，从而奠定了动力学的初步基础。他在力学方面研究的重要意义，不仅在于他所获得的一些研究成果，而且也由于他在力学中有系統地引用了实验的方法。牛頓(1643—1727)总结了前人的成就，确立了若干基本定律，創立了現代的經典力学。但是必須指出，牛頓在自然科学方面还表现了形而上学与唯心主义的錯誤观点。他在古典力学的基础中引入了所謂“絕對空間”与“絕對時間”的概念，一方面承認時間与空間的客觀性，但却又認為它們与物体运动完全无关。

在十八世紀，为了适应机械工业发展的需要，力学便沿着数学分析的方向发展。俄国彼得堡科学院院士欧勒(1707—1783)創立了分析动力学。法国数学家及力学家拉格朗日(1736—1813)的著作“分析力学”达到了很高的成就。拉格朗日将虛位移原理与达朗伯原理結合起来，得到了动力学普遍方程式。

十九与二十世紀中，由于工业建設的发展与现代航空技术的发达，力学向着专门方向发展。如彈性力学，流体力学，气体动力学各方面都有了极大的进步。其中俄国与苏联的科学家們有着杰出的貢獻。

十月革命以后的四十年間，苏联的科学技术以前所未有的速度向前发展。1957年10月4日，苏联成功地发射了世界上第一个人造地球卫星，开辟了人类进入宇宙空間的新紀元。后来又发射了一系列的人造卫星和宇宙火箭，将科学技术研究事业推向新的阶段。1961年4月又成功地发射了世界上第一个载人宇宙飞船。苏联在征服宇宙空間上的偉大成就，不仅标志着苏联的力学居于世界前列，还标志着苏联在一系列科学技术部門已居于世界第一位。

在偉大的十月革命以后，苏联科学技术之所以得到空前的发展和巨大的成就，是由于苏联共产党的英明领导。只有共产党才能最正确地估計形势，掌握社会生产发展規律，从而在生产推动科学发展中指出正确的方向。党和政府在发展科学的各个方面給予大量的最有效的支持，使其获得一切必要的条件。

1949年我国解放以后，在共产党的领导下，我国也进入了新的历史阶段。在偉大的社会主义建設中，特别是1958年大跃进以来，科学技术获得了巨大的发展和卓越的成就。在力学方面，也有了突飞猛进的发展。力学工作者的队伍正在不断扩大、加强。此外，我国已建成武汉长江大桥，噴气式飞机，远洋輪船，功率巨大的汽輪机，佛子岭等大、中型水庫，人民大会堂等宏偉建筑。随着工农业生产的持續大跃进，不断地出现了新的力学課題，从而促使力学科学不断跃进。在社会主义建設总路綫的光輝照耀下，我国的力学，与其他科学一样，正以惊人的速度飞跃前进。可以断言，在中国共产党的领导下，在馬克思列宁主义思想的指导下，我国力学事业必将获得更大的成就。

靜 力 学

第一章 靜力学基本概念及公理

本章将介绍作为靜力学基础的几个公理,并阐述靜力学里首先要碰到的平衡、剛体和力等几个基本概念。

§ 1-1 靜力学研究对象·剛体及平衡的概念

我們知道:靜力学是研究作用在物体上的力之平衡的学問。在靜力学中,可以把物体处于平衡状态理解为所考虑的物体相对于地球保持静止或作匀速直綫运动。关于平衡的更完备的含义留在动力学中加以阐述。靜力学主要研究剛体受力平衡的問題,因此有时也称这一部分为剛体靜力学。为了便于找到各种力系的平衡条件和解决其他的力学問題,我們需要将作用于剛体上的力系簡化。所以在剛体靜力学中我們將研究两个主要問題:

(i)将作用于剛体上的力系代換为与它等效的另一較简单的力系,一般称为力系的簡化。

(ii)推証剛体受力作用而平衡时,力系的平衡条件。

上面所提到的剛体是指什么物体呢?由經驗知道,任何物体在受到力的作用时,都将发生不同程度的变形。例如列車駛过鉄桥,桥墩发生压缩变形,桥梁发生弯曲变形;等等。有时候变形非常微小,以致于只有用特殊的仪器才能察觉到,例如剛球受压的变形就是这样的。由于在很多情况下物体的变形对于研究平衡問題的影响甚小,成为次要因素。在研究这类物体的平衡問題时,