

理 論 力 学

第 一 冊

理論力学教授会編

中国人民解放军軍事工程学院

一九五八年四月

理 論 力 学

第 一 册

理論力学教授会編

•
中国人民解放军军事工程学院出版
军事工程学院印刷厂印刷

•
0050590. 开本: 787 × 1092 1/25 字数155,904字
1958年4月第一版 印数1—2,492册
成本费: 0.72元

目 錄

第一編 靜力學

第一章 基本概念及公理

§ 1.1 靜力學的基本概念	5
§ 1.2 靜力學的基本公理	8
§ 1.3 約束及約束反力，示力圖	13
§ 1.4 力系的類型	20

第二章 共面共點力系

§ 2.1 共點二力的合成	23
§ 2.2 力的分解	24
§ 2.3 共面共點力系合成的幾何法（圖解法），力多邊形	25
§ 2.4 力在軸上的投影，投影定理	26
§ 2.5 共面共點力系合成的投影法（解析法）	27
§ 2.6 共面共點力系的平衡條件和平衡方程	29
§ 2.7 三力平衡定理	32
§ 2.8 共線力系的合成與平衡方程	34

第三章 共面力偶系

§ 3.1 兩個同向平行力的合成	36
§ 3.2 兩個反向不等值的平行力的合成	38
§ 3.3 兩個反向等值的平行力的合成，力偶，力偶矩	39
§ 3.4 共面二力偶的等效定理，力偶的性質	40
§ 3.5 共面力偶系的合成	43
§ 3.6 共面力偶系的平衡條件	45

第四章 共面任意力系

§ 4.1 力对于一点的矩	47
§ 4.2 方向其作用线外一点搬移（力分解为一力和一力偶）	48
§ 4.3 共面任意力系向一点简化，力系的主矢量及主矩	49
§ 4.4 共面任意力系合成为一力偶的情形	50
§ 4.5 共面任意力系合成为一合力的情形，力矩定理及其应用	51
§ 4.6 共面任意力系成平衡的情形，平衡方程	54
§ 4.7 静定与超静定（静不定）问题	57
§ 4.8 平衡方程的应用举例	58
§ 4.9 共面平行力系的合成与平衡	64

第五章 图解静力学的基本知识——索多边形法

§ 5.1 共面任意力系合成为一合力的情形	70
§ 5.2 共面任意力系合成为一力偶的情形	73
§ 5.3 共面任意力系成平衡的情形，平衡的图解条件及其应用	76

第六章 桁架

§ 6.1 概论	82
§ 6.2 桁架内力的解析法——节点法和截面法（李特尔法）	83
§ 6.3 桁架内力的图解法，克雷蒙纳——马克斯维尔图	92

第七章 摩擦

§ 7.1 概论	96
§ 7.2 滑动摩擦力的性质	98
§ 7.3 关于最大摩擦力的库伦定律，摩擦系数及摩擦角	99
§ 7.4 解有摩擦力的平衡问题	102
§ 7.5 滚动摩擦	108

第八章 空間共点力系

- § 8.1 力多边形, 力平行六面体…………… 111
 § 8.2 投影法, 平衡方程…………… 113

第九章 空間力偶系

- § 9.1 力偶的等效条件…………… 117
 § 9.2 力偶矩作为矢量…………… 119
 § 9.3 空間力偶系的合成及平衡条件…………… 120

第十章 空間任意力系

- § 10.1 力对于一点的矩作为矢量…………… 126
 § 10.2 力对于一轴的矩…………… 127
 § 10.3 力对于一点的矩与对于一轴的矩之間的关系…………… 128
 § 10.4 力对于坐标轴的矩的表达式…………… 129
 § 10.5 力系对于一点的主矩与对于一轴的主矩及二者之間的关系…………… 130
 § 10.6 方向其作用綫外一点搬移(力分解为一力和一力偶)…………… 132
 § 10.7 空間任意力系向一点簡化, 力系的主矢量及主矩…………… 133
 § 10.8 空間任意力系合成为一力偶的情形…………… 135
 § 10.9 空間任意力系合成为一合力的情形, 力矩定理…………… 136
 § 10.10 空間任意力系合成为一力螺旋的情形…………… 141
 § 10.11 空間任意力系成平衡的情形, 平衡条件及平衡方程…………… 145
 § 10.12 空間平行力系的合成及平衡方程…………… 149
 § 10.13 用漸次合成法求空間平行力系的合成…………… 152
 § 10.14 平行力系的中心…………… 154
- ## 第十一章 重心
- § 11.1 剛体的重心, 体积的重心…………… 157
 § 11.2 面积的重心, 綫段的重心…………… 159

§ 11.3	对称物体重心的位置	161
§ 11.4	簡單物体与图形的重心	162
§ 11.5	复合物体与图形的重心求法	164
§ 11.6	求复合图形面积重心的索多边形法	168
§ 11.7	平行分布力	170

緒 論

一、理論力学的概述

(一) 理論力学的对象和范围：

理論力学是研究物体机械运动規律的科学。

在自然辯証法中，恩格斯写道：“就最一般的意义來說，运动是物質存在的形式，物質的固有屬性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程，从简单的位置变动起直到思維止”（註一）。

由此可見，按广义的理解，运动是物質存在的形式，指一切变化的过程，不仅包括物体位置的变动，而且也包括物体內所发生的热、电磁、化学等变化过程；最后还包括人类的思維活动——物質运动的最高級的形式。自然科学研究的結果指出，自然界中一切物質客体——在我們的行星地球上和在宇宙空間远处的宏观物体和微觀粒子——都处在不断的变化过程中。因此，辯証唯物主义認為运动是物質的固有屬性，运动与物質是不可分割的。正如恩格斯所說的：“沒有物質的运动，正象沒有运动的物質，同样不可思議的”（註二）。如果脱离了物質来談运动就会使我們陷入唯心主义。

如上所述，物質的运动具有机械的、物理的、化学的、生物的、和社会生活的等等不同的形式。这些不同的运动形式具有質的特殊性，不能把一种形式归結为另一种形式。但这些不同形式的运动又是互相联系着的，在一定的条件下可以由一种形式轉变为另一种形式。和物質一样，运动也是永恆的，既不可創造也不会消灭。因此，这种运动形式的轉变过程不应理解为某种运动消灭了而另一种运动产生了出来。

对物質不同形式的运动，需要用不同的方法去研究。这就是每一門科学的任务。每一門科学研究物質某一种运动形态的特殊規律，及这种运动形态与其他运动形态間的相互联系。

理論力学研究物質最簡單的运动形式——机械运动的規律。机械运动指物体在空間的相对位置随時間而發生的变化（其中也包括物体內各部分相对位置的变化，即物体的变形）。因为物体的平衡状态是机械运动的特殊情形，所以在理論力学中也研究物体平衡的問題。理論力学不研究机械运动的物理实質，而是从量的方面研究机械运动的規律。

物質的任何一种較高級的运动形式必定包含其他較低級的运动形式。任何物理現象中都包含有机械运动，就是以机械运动为主的現象中也常伴随着其他形态的运动。因此，在研究机械运动时，我們必須进行抽象化的工作，把机械运动形态和其他形态的运动隔离，只研究物体对机械运动有重要影响的特性而忽略那些次要的特性。在理論力学中，我們只研究物質两种最重要的特性：广延性（不可入性）和物質性，也就是說，物体具有一定的几何形状以及具有分布在一定体积內的質量，而不考虑其他的特性（如光、热、电磁屬性）对机械运动的影响。在大多数力学問題中这样做是可以的。如研究在空中飞行的炮彈的运动，可以忽略由空气摩擦而产生的发热作用。但对高速运动的物体（如速度达到20—30公里/秒）就不能不考虑这种效应。例如：研究洲际彈道導彈，必須考虑用什么样的材料制創彈壳，導彈由真空以高速进入大气层时不致被燒毀。

既然各种較高級的物質的运动形式中都包含着簡單的机械运动，机械运动是自然界中最常遇到的，最普遍的运动形式。由此可以看出理論力学在研究一切其他自然科学和技术中所起的作用。恩格斯曾指出：研究机械运动是自然科学的第一任务，它是最簡單的；同时，从邏輯上說又是最自然的。但，我們又必須注意机械运动只是物質运动最簡單的形式，不能把自然界全部的現象归結为机械运动；不能企图以理論力学代替一切自然科学。在

十七、十八世紀時，機械唯物主義就是企圖以力學定律解釋一切自然現象，把自然界中各種不同質的過程與現象都看成是機械的。這種觀點已徹底地為自然科學的成就所粉碎；它的局限性已完全為辯證唯物主義所克服。

本課程所研究的是所謂經典力學，它所根據的定律首先由伽利略與牛頓正確地寫成完備的形式。經典力學中採用了“絕對時間”和“絕對空間”的概念。認為存在着“與外界物體都無關的”，不動的空間。它的性質完全由歐幾里得幾何學說明。也就是說，空間被認為是在各方面都是均勻的、各向同性的、並服從歐幾里得幾何學的公理的三度空間。時間也是絕對的。根據牛頓的話，它“自己在度過，與它之外的任何東西都沒有關係”；而且對空間所有的點來說，它是同一的。在經典力學中，時、空間被看做是不以人們的觀念為轉移的客觀存在着的。就這一點來說，牛頓的時空觀是唯物主義的。但它具有歷史的局限性，表現在認為空間與時間是彼此分開，而且和運動着的物質也是分開的。這種將空間、時間與運動着的物質割裂開來的觀點在實質上是形而上學的观点，而且被唯心論所利用。

馬克思主義哲學唯物主義教導我們：空間與時間是物質存在的客觀形式，是物質運動和發展的根本條件。空間關係說明物質客體在運動中距離和相互位置的關係；而時間關係說明物質世界現象發展變化的次序關係。一切過程都是在空間與時間中進行的。既然運動和物質不可分離，那末時間，空間與運動着的物質同樣是不可分離的。

自然科學進一步的發展克服了牛頓時空觀的歷史局限性，証實了辯證唯物主義時空觀的觀點。在十九世紀末和廿世紀初發現了一系列經典力學所不能解釋的現象，產生了相對論力學。在相對論力學中，從對不同的慣性參考系，光的速度在各方向都等於同一常數的事實出發，得出結論：一個觀察者觀察到的一個物體的大小和物體的運動有關，而兩件事件的時間間隔，對

不同參考系內的時計，得到的結果是不同的。例如：每一個觀察者都看到對他運動着的時計變慢了，物體縮短了。在廣義相對論中更証實了我們周圍空間不是歐几里得的，空間各點的性質與重力場有關，因而與物質的分布有關。這些証實了時間、空間與運動着的物質是不可分割的。

相對論力學區別於經典力學的地方是在於它建立了空間與時間之間，以及能量與質量之間的聯繫，可以適用於速度接近光速的微观粒子的運動，能給出更為準確的結果。但對於由大量分子構成的，速度與光速相比十分微小的宏觀物體的運動，經典力學與相對論力學得到的結果，差別小到可以忽略，對於在地球上我們遇到的日常生活及工程技術中的力學問題，經典力學能給出足夠準確的解答，同時，它的理論較相對論簡單得多。因此，我們仍然運用經典力學的定律並學習這門課程。

在本課程中，我們仍然適用牛頓絕對時間及歐几里得空間的概念。認為時間的標示值對於空間一切點，對於任意運動物體都是普適的，並且與觀測者所在物體的運動狀況無關。但是，我們不認為存在着“絕對靜止”的空間和物體，在確定物體在空間的位置時，不能採用一與絕對靜止空間相固連的參考系。由於一切物體都在運動着，任何物體的位置都只能相對地確定，相對於選定的另一個不變形的物體，即所謂參考體或參考系。在經典力學中運用的是所謂慣性參考系，即作為經典力學基礎的牛頓定律成立的參考系。在大多數工程問題中，可以取地球作為近似的慣性參考系。在學習經典力學時，不能認為在經典力學中可以運用形而上學的觀點，而應認識到這些時空間概念只是客觀地觀察到的物質運動過程的第一次近似。

(二) 理論力學的內容：

理論力學分為三個部分。

1. 靜力學 靜力學是研究物體受力作用處於平衡狀態的學

問。主要研究以下兩個問題：a) 作用於物體各種力系合成的問題。即：將作用於物體上一已知力系代替以另一與之等效的較簡單的力系。b) 作用於物體各種力系的平衡條件。即：物體平衡時，作用在它上面的力系必須滿足的條件。研究力系合成問題的目的，在於設法以最簡單的力系代替各種力系，從而找出力系平衡的條件。

2. 運動學 從幾何的觀點來研究物體的運動，不考慮引起運動與改變運動的原因，也就是說，只研究物體的空間關係以及它們隨時間的改變。運動學研究物體各種類型運動的性質，確定物體上各點的坐標、速度和加速度時間的關係。

3. 動力學 研究在力作用下物體的運動，研究物體的運動和引起運動改變的原因——物體間作用力之間的關係。動力學問題可以分成兩大類：a) 已知物體所受的力，求其運動。b) 已知物體的運動，求其所受力。在動力學中，我們將建立說明物體所受的力，描寫物體運動的物理量（如速度、加速度）及描寫物體物理性質的量（如質量及其分布）間數量關係的定律，研究作幾種類型運動的物體的動力學問題，建立一些解動力學問題的普遍定理和方法，並學會如何根據已知條件運用這些定理或方法解具體的動力學問題。

（三）理論力學的研究方法

任何一門科學，都按照它所研究的對象和範圍，有自己的專門的研究方法。和其他自然科學一樣，理論力學研究的出發點是觀察、實驗和實踐。

但當觀察任何一種現象時，我們不能一下便抓住這現象的所有各方面。如前所述，實際對象有些性質對我們所研究的機械運動有根本的影響，而別的性質則起着次要的作用。在對力學現象進行理論分析時，我們必須撇開次要的、局部的、偶然的性質，而抽出主要的特徵，這樣才能發現這些現象的內在聯繫，建立普

遍規律。同時，在研究較複雜的問題時，我們往往必須採用從簡單到複雜的研究方法。即先對研究對象的性質作某些簡化，當問題在所用簡化條件下得到初步解決後，再進一步考慮未考慮計入的因素，解決更複雜的問題。因此，在研究力學問題時，我們常常僅能近似地表示實際對象性質的簡化的理想模型來代替實際對象。例如，撇開實際物體變形的性質，我們便得到剛體的模型。前面說過，對機械運動有重要影響的物質的特性是具有一定的形狀大小和一定的質量。剛體正是只具有這樣兩種特性的理論力學的簡化模型。質點和理想液體也同樣屬於這類簡化模型。這樣，在研究與觀察各個現象與對象時，撇開次要的與局部的特征，以簡化的理想模型代替實際對象來進行理論分析的方法，便是所謂抽象化的方法。抽象化的方法在理論力學中占有非常重要的地位。

應用抽象化的方法，把人們許多世紀以來的經驗，直接觀察以及生產活動中所得到的結果加以整理綜合，一方面形成了描寫力學現象或性質的一些基本概念，另一方面建立起一些簡單的普遍原理或公理，作為整個力學的基础。這樣的過程稱為公理化。從這些公理出發。應用數學演繹法，就可以導出經典力學的全部理論和結果。力學所探討的主要是數量上的關係，由此可見，數學分析在力學中具有巨大的作用。在學習理論力學的過程中，我們將會熟悉這樣的方法。

總之，將人類直接觀察、日常生活經驗與實驗的結果歸納成為公理。由公理出發，應用簡化的模型，通過數學分析的方法，導出一系列的定律或定理。將所得結果和實踐的結果比較，利用新的實驗和觀察的數據，採用新的模型和新的數學工具，進一步豐富它的理論。這樣的方法便是研究理論力學的研究方法。由此可見，理論力學發展的道路正是列寧所指出的人類科學知識發展的道路：“從生動的直觀到抽象的思維，從思維到實踐，……就是認識真理、認識客觀實在的辯證道路，”（註三）。必須在辯證

唯物主义指导下才能正确运用理論力学的研究方法解决复杂的力学問題。

在学习与应用力学的研究方法时，应注意以下两个問題。

1. 由于我們採用了理想的模型，我們所用的抽象观念不能表达出实际对象的全部的性質，只是实际对象近似的描写。但不能由此認為在理論力学中得到的結論并没有反映物体的运动的客观性質。首先，沒有表达的那些性質对所研究的对象只有次要的作用。就我們所研究的問題來說，这些抽象观念仍能正确反映客观的实在性質。其次，只有抽象化的結果才能帮助我們認識到更为本質的內在的运动規律。正如列宁所說的：“从具体到抽象的思維，假如它是正确的，不离开真理，而是接近真理。……一切科学的抽象……，都是更深刻、更正确、更完全的反映着自然”（註四）。

2. 由于力学的研究方法是从公理出发广泛应用数学演譯法，就容易产生錯覺，認為力学中一切定律不是从实际中归納出来的，而是凭空定义与用数学方法推演出来的。这是一种唯心的观点。必須記住，力学中所有公理与基本概念都是从人类长期实践，观察得来的。所用的模型是否正确，抽象化所得到的理論是否正确，仍然要以从理論計算的結果与实验或实践的結果是否符合为依据。

（四）学习理論力学的意义与作用

作为一个工程技术干部，特别是軍事工程技术干部，为什么必須学习理論力学这门基础課程？可由以下几方面來說明。

1. 理論力学有着重要的普遍常識的教育意义

既然理論力学所研究的机械运动是最普遍存在的运动形态，任何一种高級的运动都伴随有机械运动，学习机械运动的一般規律可以使我們理解周圍許多力学現象。这些常識是一个工程师所必須具备的。

2. 理論力學是各種工程技術科學的理論基礎。

一個工程師的任務是設計、施工與維護。但是，無論設計或維護，都須以理論力學的規律為基礎。它是我們以後將學習的某些基礎課程和各種技術課程的基礎。例如：材料力學是在考慮了物體變形的性質後，運用理論力學的規律而建立起來的。流體力學，水力學與空氣動力學也是這樣。機械原理則需運動學的知識。此外，很多軍事技術問題都和力學分不開。例如：要設計火箭，無人操縱飛機、遠距離導彈；研究炮彈飛行的軌道；設計許多軍事工程上的儀器要用到的回轉儀等等都離不開理論力學的知識。

3. 理論力學的研究方法是創造性地解決各種複雜的技術問題的強有力的工具。

理論力學的研究方法以及與之有關的高深的數學分析方法被廣泛地應用於自然科學的領域，而且愈來愈多的貫徹到技術中。作為一個能創造性地解決工程中發生的各種技術問題的工程技術幹部必須熟練地掌握這種方法。在我國社會主義建設的時期，技術在高度發展中，經常有新的技術問題發生。就我們軍隊來說，軍事技術的發展也在突飛猛進着，將來新的軍事技術問題將愈來愈多而且複雜。特別是在蘇聯製成了洲際彈道導彈，兩個人造衛星上了天以後，正如毛主席所指出的，現在已是“東風壓倒西風”，蘇聯的軍事技術的成就已超出最強大的帝國主義——美國。按着毛主席的教導，把蘇聯先進的軍事技術和經驗學到手，是刻不容緩的任務。因此，要掌握我們社會主義陣營軍事技術最新成就，解決軍事工程中發生的技術問題，在軍事技術科學研究方面超過敵人，對於一個軍事工程技術幹部來說，掌握力學的研究方法有着很重要的意義。

4. 學習理論力學可以培養獨立分析與解決工程問題的能力。

(五) 如何学好理論力学

学习理論力学，要注意以下几个問題。

1. 掌握理論系統

理論力学是一門理論系統很強的課程，掌握了它的理論系統，就很容易掌握它的全部內容。为此，应注意以下兩点：

1) 要根据研究理論力学的方法来学习理論力学。要注意到从公理出发，引进新的概念，用数学分析得出結果的方法。学习时注意每一公理解决什么問題，那些地方用到这些公理，这些公理如何成为理論的基础。引进了那些概念，这些概念是如何从实际中概括出来的，为什么引进这些概念。用数学方法推导公式时，注意推导的出发点，已知那些条件，运用什么方法，推导的思路，得到的結果的物理意义等等。

2) 要注意由簡至繁的內容的前后联系。理論力学每一部分都是从最簡單的情况研究起，然后逐渐复杂，得出普遍情况的結論。如靜力学由共面共点力系开始，进而研究共面力系，空間力系。要注意复杂的部分与簡單的部分間的區別和联系。如增加了那些新的条件，因而引进了些什么新的概念，所得的結果又有何不同。前面簡單的部分的內容如何成为后面复杂部分的基础而又是一个特例。

2. 掌握基本概念

研究力学問題时必须应用各种概念。力学的定律不外乎是說明各物理量間的数量关系。对这些物理量沒有正确的概念，对于定律所反映的物理量間的联系沒有正确的理解，就不可能正确地理解与应用这些定律。因此，应注意掌握每一新学的概念和定义，了解它們的确切的意义，引进它們的目的，在推导某些定理与結論中起的作用，以及如何运用它們解題等等。

一般易犯两种毛病：一种是死背条文，最多記住教員講的例子，便以为已掌握概念，实际上并不理解。有时，定义与定律中

明明提到的条件和内容，在运用时，却未注意到，产生了所谓“视而不见”的毛病。例如有些公理只是对刚体才成立，学习公理时没有注意适用的条件，解题时便发生错误。另一种毛病是片面理解，或“另有体会”，也就是存在模糊概念。有时只从教员举的某一个别例子上去体会，有些属于例子本身所特有的、个别的、次要的性质也误以为是本质的，概念的内容，形成模糊概念。例如，研究两力平衡公理时，讲到“两力杆”是“只受二力作用而平衡的刚杆”。教员举的例子是一个直的刚杆。解题时，遇到只受二力而平衡，但形状弯曲的刚杆，便不敢判断是两力杆。以为杆的形状也是两力杆的条件。实际上是沒有真正理解。这些毛病说明学习方法中存在形式主义。不了解只有根据教材与教员讲授的具体材料，及所指出的分析方法，通过自己的独立思考，才能理解与自觉地掌握这些知识，形成概念。为了克服学习方法中的形式主义，必须反对死板硬记。一方面要确切理解定义和定律每一个字的含义，另一方面要把学到的概念具体化，形象化，和已有概念及感性经验联系起来。要了解这些概念是从那些力学现象抽象概括出来的，不仅能说出教员举的例子，而且能自己举例说明。

是否真正掌握了概念，是否真正理解一个定律，标志在于能否正确应用这些概念解决具体问题。理论力学难就难在这里。不要满足于表面上的文字上的了解，必须深入地钻研。正如过去许多学员反映：理论力学“掌握理论不难，但是解题非常困难。”其实，掌握理论未必不难，不会解题很重要的一个原因就是因为没有掌握住理论概念。

但是真正深入地掌握概念必须通过整个教学过程才能达到。我们往往以为只要听好大课，经过课后复习，便已掌握了理论概念。其实，经过课后复习，只能根据教员与教材所提供的具体材料以及对这些材料的分析、概括，初步形成概念。这时对概念的理解往往是不全面，不深刻，甚至有模糊之处，必须通过实际作业的过程来加深与巩固概念。毛泽东同志曾指出，科学的认识过程

是：“通过实践而发现真理，又通过实践而证实真理与发展真理。从感性认识而能动地发展到理性认识又从理性认识而能动地指导革命实践。……实践，认识，再实践，再认识，这种形式，循环往复，以至无穷，”（註五）。教学的認識过程和科学的認識过程在这方面是一样的。完成实际作业就是教学的認識过程中实践的重要方式之一。因此，在进行作业时，不要满足于算出题，答案正确，要深思熟虑，在解这题或这类问题时运用了什么概念和方法，为什么要运用这些概念和定律。如发现錯誤或走了弯路，就应分析，是否存在模糊概念并加以解决。这样才能深刻地掌握概念。

3. 掌握分析具体问题的方法步骤：

解题困难的另一个主要原因是独立工作能力弱，分析能力不强，没有掌握解题的方法步骤。因此，应注意掌握分析问题的方法步骤。

解理论力学题，大致应按以下的步骤（应灵活地掌握）：

1) 分析题意

a. 选取研究对象 明确研究对象很重要。如果把作用在别的物体上的力视为作用在对象上的力，结果一定全部錯誤。要学会如何选取对象，使已知条件与所求量間能找到联系。

b. 分析力 将对象画在图上，分析作用在对象上所有的力，在图上表示出，称为示力图。画示力图是解理论力学问题的第一步。分析力要研究对象和周围那些物体保持联系，联系的方式是什么？然后把把这些联系正确地用力代替。必须做到不遗漏、不多加、不画錯一个力。

B. 分析运动 分析研究对象的运动类型；运用描述这类运动的方法并找出描述这种运动必要的物理量。

判断解题方法往往是根据对象受力的情况及已知运动的类型。经过这样的分析，明确了已知条件与所求量后，便为解题打下基础。