

理論力学学习指导书

罗远祥 何衍宗 刘荣暄編

高等教育出版社



理論力学学习指导书

罗远祥 何衍宗 刘荣暄編

高等教育出版社

本书是根据清华大学附設夜大学的教學情况而编写的一本
課外复习指导书,适用于指导夜大学學員自学,也可供其他同級
学校学生學習理論力学时参考。

执笔人: 精 論——罗远群

靜力学——刘荣喧

运动学——罗远群

动力学——何衍宗(第一章至第四章,第六章)

罗远群(第五章和第七章)

理論力学学习指导书

罗远群 何衍宗 刘荣喧編

高等教育出版社出版(北京宣武門內承恩寺7号)

(北京市书刊出版业登記許可証出字第054号)

人民教育印刷厂印装 新华书店发行

統一书号 13010·702 开本 350×1163 $\frac{1}{2}$ 印张 4 $\frac{1}{16}$

字数 100,000 印数 11,900—17,990 定价 (5) 半0.41

1959年11月第1版 1960年3月北京第2次印刷

序

在清华大学夜大学的理論力学的教学中，我們迫切感到需要一本輔助性的教材。去年在苏联专家符·阿·季諾維也夫同志的建議下，組織了一部分参加夜大学教学的教师集体編写了一本理論力学学习指导书，希望能結合清华大学夜大学教学的特点，帮助学员进行自学。一年来的教学实践，使我們深切感到在夜大学的教学中必須貫徹党提出的教育为无产階級政治服务，教育与生产劳动相結合的方針。虽然我們对党的教育方針体会还很肤淺，但却想努力貫徹，因此，我們就在原有指导书的基础上，重新編写了这一本学习指导书，希望能帮助学员在自学时候，自覺地注意这些方面。

这本书仅是一本輔助性的教材，不可能用它来代替讲义或教科书。因此，我們在每章末指出了参考书的章节，建議学员选讀。但是，由于希望它能帮助学员进行自学，起一定指导作用，故书中仍然指出了每一章的主要內容，简单地讲述了它的系統、基本概念和基本方法。同时，希望能够从物理本質上来闡明力学的原理及方法，因而将一些教学上的推演略去，所略去的部分，讀者不难从参考书中找到。此外，我們也希望能够闡明力学理論在工程技术上的应用及分析力学問題的方法。

編写本书时是以清华大学夜大学机械、电机、土木及水利各专业的教学大綱为依据。因此，本书一般适用于上述各专业的夜大学教学。此外，本书每章末附有建議做的习题，题目号数是指密歇尔斯基著的“理論力学学习題集”（中譯本，高等教育出版社出版）上的題目，附有*号者可选做。

本书是由清华大学理論力学教研組部分教师集体編写。由于我們經驗不足(在夜大学中只有一年教学的經驗),水平很差,編写時間又非常匆忙,缺点和錯誤一定很多。这本书是否能起指导学习的作用?是否能帮助学員进行自学?是否正确地(那怕是非常肤淺地)貫徹了党的教育方針?这些問題都需要在實踐中去檢驗并加以改进。在这些方面,我們恳切希望全国各兄弟院校力学教学工作同志們及广大讀者們多多批評,共同来改进夜大学的教学,为日益重要、日益扩大的技术业余教育貢獻我們集体的力量,来迎接祖国偉大的技术革命及文化革命高潮!

北京清华大学

理論力学教研組

罗远祥、何衍宗、刘荣暄

1959年4月

目 录

序	V
理論力学緒論	1
第一篇 靜力学	5
第一章 靜力学的基本概念和公理	5
第二章 平面汇交力系	8
第三章 平面力偶系	14
第四章 平面力系	16
第五章 图解靜力学基础	23
第六章 桁架	28
第七章 摩擦	30
第八章 空間力系	38
第九章 重心	46
第二篇 运动学	51
第一章 运动学的基本概念	51
第二章 点的运动学	54
第三章 刚体运动的基本形式	62
第四章 点的复合运动	66
第五章 刚体的平面运动	73
第三篇 动力学	83
第一章 动力学基本定律	83
第二章 质点动力学	85
第三章 质系普遍定理	90
第四章 动态靜力学	108
第五章 可能位移原理	113
第六章 微幅振动	120
第七章 碰撞理論	128

理論力学緒論

(一) 主要內容:

緒論介紹理論力学研究的对象及其在工程技术中的意义。理論力学是工程技术的重要基础之一，同时也是自然科学的基础之一。理論力学的研究方法是以辯証唯物主义为指导，遵循着实践——理論——实践的道路的。

简单介绍力学发展历史，从而看到：正是生产的发展决定了力学的发展，力学的发展反过来也促进了生产的发展，从力学科学与生产的辯証关系，看到力学今后的发展的正确道路是密切結合生产、理論联系实际的道路。

在我国偉大社会主义建設工农业大跃进形势下，力学的发展是有寬广的前途的。

(二) 学习指导:

I. 理論力学是研究机械运动的普遍規律的学科。机械运动是物質运动最簡單的形式。它在工程技术中有着重要的意义。在不同技术領域中，工程师或多或少都遇到一系列有关物体平衡和运动的問題，例如机床、房屋或起重机結構的靜力計算；設計机器傳动部分有关运动的分析及动力計算；在运轉、安裝或施工过程中有关力学的一些問題（如金属切削机床切削时振动的問題，汽輪机运轉时的均衡的問題等等）。因此，理論力学是工程技术的重要基础之一。作为高等工业技术学校的一門基础課程來說，理論力学不仅是許多专业課技术課的基础，同时也是一系列力学理論課程（例如材料力学，彈性力学，流体力学等等）的基础。

根据理論力学的研究对象，可將它进一步分成三个部分：

(一)靜力學：研究物體平衡的規律及力的合成的規律。

(二)運動學：從幾何的觀點研究物體運動的性質，而不考慮物體間相互的機械作用。

(三)動力學：研究物體(或機械系統)相互的機械作用與運動的關係。

I. 理論力學的研究方法是以客觀實踐為基礎，在人類的生活活動和試驗的基礎上總結出普遍的、簡單的力學規律，稱之為力學定律或公理。在建立這些基本定律或公理的同時，建立了研究物體的抽象化模型及基本概念。從這些基本定律或公理出發運用數學演繹方法得出一系列有關平衡及運動的一般規律(如力學定理等等)。應用這些規律可以研究工程技術中的實際問題，根據得到的結果，在實踐中，來考驗我們抽象化的正確性。正是在理論力學中採用了抽象化的方法，我們所研究的問題只是在理論力學研究的範圍內才反映了客觀實際中的主要方面，當研究的問題超出了這個範圍時，我們的抽象化模型就不再正確了，而我們得到的這些力學規律也就顯出它的局限性。由此可知，作為一門科學，理論力學的研究方法是遵循着實踐——理論——實踐的道路，在學習力學或研究這門科學時就必須自覺地注意以辯證唯物主義為指導。同時，作為自然科學的一部分，通過理論力學的學習有助於建立正確的辯證唯物主義世界觀。

II. 力學的發展和其他科學一樣是決定於社會生產的發展，決定於生產水平和技術水平。自然，力學的發展也不是孤立地，它與數學、天文學以及物理學的發展有密切聯繫。同時，力學的進一步發展也推動了生產的發展，也促進了其他有關科學的發展。

在古代由於建築及農業生產的需要，應用了簡單的工具及機械，相應地發展了靜力學。十五世紀以後，歐洲新興的資產階級致力於手工業，貿易的發展，因之興起了由於手工場工業和採礦業迅

速发展而发展的机器制造业,由于貿易兴起了航海,造船及对天文学的研究,由于資本主义的掠夺殖民地,兴起了军事技术的研究。所有这一些都推动了运动学及动力学的发展。“如馬克思所說:‘从十六世紀到十八世紀中叶这个时期内,即从手工业发展为大工业工場手工业这个时期内,在工場手工业内部向机器工业过渡的准备工作是建立在两个物质基础上的,这就是鐘表和磨坊’。接着馬克思又指出,在研究为了实际目的而应用的第一个自动机器——鐘表的基础上,发展了产生等速运动的整套理論。正是在磨坊本身中,包括了机器构造的一切重要因素:机械的动力及它所驅动的原动机、傳动装置等等。在研究磨坊机构作用的基础上,产生了关于摩擦、关于测定产生运动的力的量、关于傳动装置形式的学說。十七世紀理論力学的蓬勃发展,首先应当归功于与应用机器有关的技术需要。”(奥·弗·特拉赫坦堡:资产階級革命初期唯物主义的发展及其反对唯心主义的斗争。第7頁。)

十八世紀中叶以后,由于机器工业的发展,剛体力学的研究发展起来,同时由于数学分析方法的采用,力学中的分析方法也发展起来。正是由于机器力学的需要及分析方法的引入,发展了成为近代力学的基础的分析力学。

IV. 在我国社会主义建設工农业大跃进中,生产迅速发展,因而也迅速的推进了力学的发展。也只有社会主义制度下,力学才能得到充分的发展,力学研究的成果才能充分地为人民服务,为人民造福。生产向力学提出了各式各样的問題,有許多問題是理論上尚未完全解决的,有許多是如何將理論上的成果运用到生产上去。这些方面都有无数实例,不胜枚举。有时甚至是一个简单的力学規律,如果創造性地运用,会給生产带来很好的效果,例如长春第一汽車制造厂在日产300輛的运动中,工人創造的隨意平衡鉄水包就是利用重心低而稳定的原理,結果提高澆鑄产量

600%，提高生產效率150%，大大降低工人勞動強度。例如目前機械工業的大型、重型、精密及尖端的四大關中，向力學提出了不少新的問題，如機器振動的隔離和消除，高速轉子的均衡，加工和自動輸送綫中振動原理的利用等等。所有這些，都需要工程師熟練地、深入地掌握力學的理論，並且學會聯繫實際創造性地運用理論。

(三)參考文獻：

尼古拉依：“理論力學”，下冊第二分冊，499頁，H. Д. 莫依謝耶夫：理論力學發展簡史（高等教育出版社，1954年）。

伏龍科夫：“理論力學教程”，上冊，緒論（高等教育出版社，1958年）。

毛澤東：“實踐論”（見“毛澤東選集”，第一卷，人民出版社，1951年）。

恩格斯：“自然辯證法”，導言（人民出版社，1955年）。

第一篇 靜力学

第一章 靜力学的基本概念和公理

(一) 主要内容:

靜力学主要研究两个基本問題: 作用在剛体上的力系的簡化和平衡。力剛体和平衡的概念是靜力学中最基本的概念。注意用辯証唯物主义观点来了解它們。靜力学公理說明了作用在剛体上力的基本性質是研究靜力学的基础。約束反力的決定在靜力学中有重要的意义, 因之必須了解約束的性質。

(二) 学习指导:

靜力学研究剛体在力系作用下平衡的問題。所以力、剛体和平衡的概念是靜力学中最基本的概念。

剛体是指在力的作用下形状不发生任何变化的物体。实际上任何物体在力的作用下; 都要发生或多或少的变形, 絕对的剛体是沒有的。但是在工程問題中, 有許多材料(如鋼、木材和磚等)在力的作用下变形极其微小。在理論力学中, 忽略了这些变形, 并不影响所研究的結果。所以, 我們就把变形很小的物体, 看作理想化的剛体。不能認為在一切情况下, 都可以把变形很小的物体看作剛体, 当条件变化时, 变形在所研究的問題中占主要地位, 这种抽象化就不成立。例如在滾动摩擦等問題中, 物体的微小变形在所研究的問題中起着主要作用, 如果忽略物体的变形就不可能对上述問題有正确的了解。

在力学中, 力是指物体間相互的机械作用。在自然界中, 一切物体都不是孤立存在的, 物体之間存在着各式各样的相互联系, 表

现为各式各样的物理现象。其中，引起物体間或物体部分間机械运动的变化或阻碍这种变化的作用称为机械作用。地球吸引周围的物体，使其有下落的趋势，这种作用就表现为地球对物体有一吸引力，通常称为重力。两个互相接触的物体，如有互相阻碍其运动的作用，也表现为物体間相互作用的力。力是物体間相互的机械作用，因而力不能脱离物体而存在，任何力都是成对出现的。我们在分析物体受力时，必须要清楚地了解每个力系由那个物体对该物体的作用。經驗証明，力对刚体的作用效果，决定于：(1)力的大小，(2)力的方向，(3)力的作用綫；通常称为力的三要素。

某物体相对于周圍物体作慣性运动或处于靜止状态，則称此物体相对于周圍物体是平衡的。平衡总是相对的和暫时的。工程問題中所遇到的平衡問題，絕大部分是指相对于地球是靜止的。

靜力学主要研究作用在刚体上力系的簡化和平衡条件这两个基本問題。研究这两个問題时是以靜力学公理为依据。靜力学公理是数千年来人类在生产劳动中积累的关于力的知識的总结，它反映了作用在刚体上的力的最簡單最基本的性質。公理的正确性是可以随时通过实践加以驗証的。各种教科书中对于靜力学公理的叙述各不相同，但是实质上都说明了下述力的基本性質：

(1)力的可加性：經驗証明作用于物体上一点的二力，可以按照平行四边形的法則相加。这就是“平行四边形公理”。它是簡化力系的依据。

(2)刚体平衡的最簡單情形：即作用在刚体上只有两个力而平衡时，这两个力必大小相等、方向相反、作用綫相同。这就是“二力平衡公理”。这个公理是推証各种力系平衡条件的依据。

(3)力的作用与反作用相等：两个物体間互相作用的力必定大小相等、方向相反、作用綫相同。要注意这二力分別作用在两个物体上，因而不能认为这两个力是平衡的。

(4) 加减平衡力系公理: 在剛体上, 加上或減去一組平衡力系, 剛体的运动或平衡状态不受影响。

(5) 硬化原理: 这个原理說明当变形体处于平衡状态时, 作用在变形体上的力系, 仍是一个平衡力系。因此也滿足剛体的平衡条件。这个原理把剛体力学的平衡条件, 推广到变形体力学中去。

在工程問題中, 絕大多數的物体都受到約束的限制, 因而都是不自由体。例如屋架中的各杆件都是按照一定方式焊接或鉚接起来的, 車床主軸只能在軸承中旋轉, 橋式吊車也只能沿着軌道行駛。杆件、主軸和吊車分別由于鉚釘、軸承和軌道的限制, 处于平衡状态或按一定的方式运动, 这些限制对于平衡或运动的物体來說称为約束。約束对物体的机械作用可用力来代替, 这种力称为約束反力。約束反力是被动力。此外, 如重力、蒸汽压力等, 这些作用在物体上使物体运动发生变化的力, 称为主动力。

約束的形式是多种多样的。在我們解决靜力学問題时, 首先遇到的問題就是如何正确的用約束反力来代替約束对物体的作用。这就要求我們对各种形式約束的性質有深入的了解。不仅要能够决定书上所讲解的几种基本約束形式——光滑接触、輻軸、繩索和鉸鏈——的約束反力的方向或作用綫, 而且, 特別重要的是要理解为什么这几种約束的約束反力的方向或作用綫可以这样决定。并且从日常生活和工作中找些具体例子, 进行分析。显然, 要确定約束反力的大小必須根据平衡条件, 这正是靜力学中所要研究的問題之一。

(三) 思考問題:

(1) 靜力学的研究对象是什么?

(2) 为什么說力不能脱离物体而存在?

(3) 为什么力对剛体的作用决定于力的大小、方向和作用綫?

举例說明。

(4)何謂主動力？何謂約束反力？举例說明。

(5)何謂約束？鉸鏈的約束反力如何決定？

(6)公理在靜力学中的地位怎樣？那些公理只能适用于剛体？
那些公理适用于彈性体？

(7)力的可傳性适用于變形体嗎？为什么？

(四)参考书：

伏龙科夫：“理論力学教程”，上册，第一章 § 1, § 2, § 3, § 4。

尼古拉依：“理論力学”，上册，第一章 § 6, § 7, § 8, § 9, § 10。

第二章 平面汇交力系

(一)主要内容：

本章主要研究平面汇交力系的簡化和平衡条件。平面汇交力系可以簡化为一个合力，合力的大小方向可用图解法或分析法求出。平面汇交力系的平衡条件是合力等于零。

(二)学习指导：

平面汇交力系是基本力系之一。在工程問題中，有很多机件和构件，可以近似地看成在平面汇交力系作用之下，例如，桁架的节点，蒸汽机中的十字头等都是。所以，平面汇交力系的研究，不仅在理論上，而且在工程实际上都有重要的意义。

本章主要研究平面汇交力系的簡化和平衡条件的推証及应用。我們用两种方法——图解法和分析法来进行研究。

(1)平面汇交力系的簡化：

1. 图解法：

图解法也就是力多边形法，力多边形法是平行四边形公理的

简化。用这种方法求合力时,只需按照一定的比例作出力多边形,它的封闭边就代表合力的大小和方向,合力的作用点仍在原力系的汇交点。

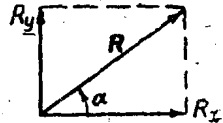
图解法是工程上常用的方法,其优点是简单、迅速、而且有一定的准确度,它可以避免繁重的数字计算,并易于检查错误。

2. 分析法:

分析法求合力是首先求出合力在任选的直角坐标轴上的二个投影,知道了合力的二个投影后;它的大小和方向即可确定。即:

$$R_x = \sum F_x; \quad R_y = \sum F_y.$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}; \quad \alpha = \lg^{-1} \frac{R_y}{R_x}.$$



其中 $\sum F_x$, $\sum F_y$ 表示力系中各个力

(图 1.1)

在 x, y 坐标上投影的代数和。用分析法求合力,可以得到较高的准确度,但需要进行较多的计算,对于比较复杂的力系,分析法是最有效的工具。

(2) 平面汇交力系的平衡条件:

显然,如作用于物体的平面汇交力系之合力为零,此物体必处于平衡状态。

合力为零这一平衡条件可用两种数学形式表示;第一种形式是力系中各力所组成的力多边形是封闭的。封闭多边形是指多边形中各个向量都是尾首相接的。这是平衡条件的图解形式。第二

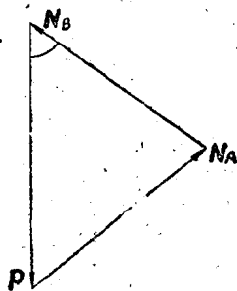
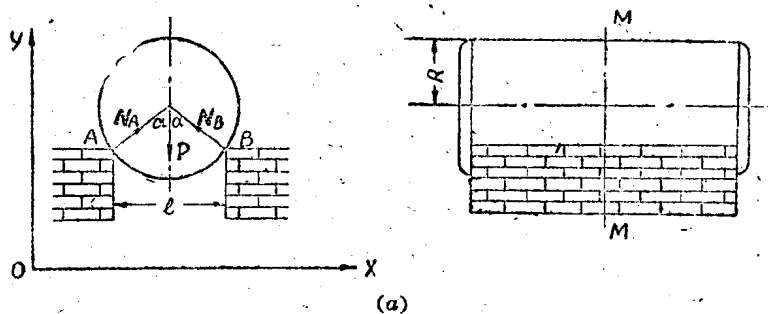
种形式是 $\begin{cases} R_x = \sum F_x = 0 \\ R_y = \sum F_y = 0 \end{cases}$ 这两个方程表示:力系中各个力在任选

的两互相垂直的坐标轴上的投影的代数和为零,这是力系平衡条件的分析形式。

作用在平衡物体上的主动力和约束反力如组成平面汇交力系, 当约束反力求知量不超过 2 个时应用上述的平衡条件, 即可求出约束反力的大小和方向。

本章中, 我们第一次用力系的平衡条件来求约束反力。这与我们在物理学中所习惯用的方法不同, 在那里常常是用力的分解的方法求约束反力, 而此处则从平衡条件出发。这种方法更具有有一般性, 便于解决比较复杂的问题。并且通过练习可以更清楚地了解力的概念及其基本性质。

[例 1] 汽锅搁置在砖砌的墙上, 其半径 $R=1$ 米重 $P=4$ 吨, 重量沿纵轴均匀分布。两墙间距离 $l=1.6$ 米。如摩擦略去不计, 求锅炉在 A 与 B 处对墙的压力。



(图 1. 2)

解：由于汽锅的重量和支持汽锅的约束反力对于 MM 平面对称的，所以，重力和约束反力都可认为作用在这个对称面内。又由于摩擦力可以略去不计，所以墙作用在汽锅上的约束反力 N_A 、 N_B 通过 O 点，与 P 组成一平面汇交力系。如图 1.2(a) 所示。现用二种方法——图解法和分析法求 N'_A 、 N'_B 。

(1) 图解法：由于汽锅是平衡的，所以 P 、 N_A 及 N_B 组成的力三角形应当封闭。选取 1 厘米代表 1 吨之比例尺，作出力三角形如图 1.2(b)。从图上量得 N_A 、 N_B 之长度各为 3.3 厘米，因而 $N_A = N_B = 3.3$ 吨。

(2) 分析法：选如图 1.2(a) 之直角坐标系 xOy ，写出平面汇交力系之平衡方程式：

$$\sum F_x = 0, \quad N_A \sin \alpha - N_B \sin \alpha = 0$$

$$\therefore N_A = N_B$$

$$\sum F_y = 0 \quad N_A \cos \alpha + N_B \cos \alpha - P = 0$$

$$\therefore N_A = N_B = \frac{P}{2 \cos \alpha} = 3.33 \text{ 吨}$$

汽锅对墙的压力 N'_A 、 N'_B 与 N_A 、 N_B 大小相等，方向相反。

从上面简单例子中可以看出：图解法较简单，分析法则较准确。

[例 2] 求图 1.3(a) 所示刚架由于作用在 B 点的水平力 P 所引起的支座反力 N_A 和 N_D 。刚架的重量略去不计。

解：以刚架为研究对象。刚架上作用三个力：主动力 P 、约束反力 N_A 和 N_D 。由于 D 点是一辊轴，所以 N_D 的作用线通过 D 点垂直于地平面。 A 处是一铰链，因此 N_A 通过 A 点，但方向不定。由于刚架上只有三个力作用，且其中二个力 P 和 N_D 交于 C 点，所以第三个力 N_A 亦必通过 C 点。因而，作用在刚架上的三个力组