

高等工程力学

(上)

伊·萨博 著

海洋出版社

高等工程力学

上册

伊·萨博 著

雷有常 张人钦 译校
汪金晖 陆宗游

海洋出版社

1985年·北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了工程力学的重要原理和应用。全书分上下两册译出。上册包括力学原理和弹性理论，主要讨论了虚功原理、达兰贝尔原理、哈密顿原理、拉格朗日运动方程、变分计算和赫兹接触碰撞理论、板壳理论、杆的扭转及不稳定问题。下册包括塑性理论和液体、气体理论，集中研讨了塑性力学基本理论及其弯曲和扭转的应用、涡流定理、势流及其函数理论、相似图象法、粘性液体的运动及压缩波理论等。各专题后都附有实例和习题，有助于读者掌握运用所涉及到的内容。

本书可供工科高等院校的教师、高年级学生、研究生和工业、交通及建筑等部门的工程技术人员和科研工作者参考。

I. Szabó

Höhere Technische Mechanik

高等工程力学

上册

伊·萨博 著

雷有常 张人秋 汪全暉 陆宗游 译校

海洋出版社出版 (北京复兴门外海贸大楼)

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

※

1985年1月第1版 1985年1月第1次印刷

开本: 787×1092¹/₃₂ 印张: 24²/₃

字数: 500,000 印数: 1—10,000

统一书号: 13193·0185 定价: 3.75元

译 者 的 话

本书是根据柏林工业大学伊斯特万·萨博教授所著《高等工程力学》(Höhere Technische Mechanik) 第五版修订版译出的。原书是柏林工业大学的力学教材, 为该校学生继学完《工程力学导论》(Einführung in die Technische Mechanik) 之后, 进一步深入学习力学之用。

原书自1956年问世以来, 萨博教授又五次修订和增补了书中的内容。本书层次清楚, 深入浅出, 说理简明, 富于启发性, 且广泛联系工程实际, 例题、习题较多, 便于读者深入掌握运用。著者还着重阐述了工程近似解法, 这对于工程设计人员会有很大的帮助。

我们以学习外国的先进科学技术为祖国四化建设服务为目的, 译完了《高等工程力学》。本书的翻译工作由四位同志合作完成, 其中第一篇由陆宗游、张人钦、雷有常翻译, 第二篇由汪金晖、张人钦、雷有常翻译, 第三篇由雷有常翻译, 汪金晖校阅, 第四篇由张人钦、雷有常翻译, 最后由张人钦同志对全书作了总校。全书插图由张芷育绘制。此外, 邱永寿同志曾对第四篇译稿提出了许多宝贵意见, 在此, 我们表示衷心地感谢。

由于时间仓促, 我们水平有限, 难免会有错误与不当之处, 恳请读者批评指正。

译 者

1982. 6. 21.

关于早几版的前言

这本书就其内容而言，基本上包括了我所讲授的工程力学四个学期课程的后一半和所属习题资料的一部分。它开始采用一个完整的力学体系，也就是包括了可变形体和刚体力学。众所周知，这样的体系是以静力学为基础的；它首先将虚功原理作为普遍的基本定理来描述，接着借助达兰贝尔 (D'Alembert, 1717—1783) 原理，使人们对静力学和动力学的理解统一起来。这些原理的效能表现在从虚位移原理获得里兹 (Ritz, 1878—1907) 法，以及从达兰贝尔原理导出拉格朗日 (Lagrange, 1736—1813) 运动方程和哈密顿 (Hamilton, 1805—1865) 原理。特别是对哈密顿原理的叙述有所改进，我认为这是衡量一本书的内容是否先进的尺度。

这里，象在《导论》中一样*)，我也试图增加一些必要的数学知识，因此形成了变分计算概要，并由此再次阐述了里兹法、推导了瑞利 (Rayleigh, 1842—1919) 商，这样做就给读者提供了计算特征值的一个有效方法。凡是不需精确解的那些问题，原则上我都指明了取得近似解的途径，使每一个从事实际工作的工程师懂得了用这样方法能进行估算。

叙述的方式和范围要和教科书的特点相适应，为此目的，对特有的研究先给出基础知识。我相信，提供了这些基础知识会使探索者和研究者缩短找专门资料的过程。学习这

*) 《导论》是指著者 1975 年编写的第八版《工程力学导论》。——译者

本书不仅是用于查阅（我希望对此也适合），而且要完全象在学习《导论》时那样，必须同时进行大量计算。因为推导不够充分，为了深化，还给出了九十六个习题。

由于八年中有三次重版的机会，这样，一方面修正了已发现的印刷缺点和错误，另一方面通过较小的变动和补充改进了本书（相对于第一版）。值此第四版出版之际，我对我的同事们：教授、哲学自然科学博士W. Haack先生以及特约讲师、工学博士K. Reckling先生，特约讲师、工学博士R. Trostel先生，工学博士G. Rumpel，数学学士K. André，工学博士H. Sander先生等，开业工程师H. Sondershausen, W. Zander, F. Baumgart, W. Racck, K. Stamm先生等和应届毕业工程师W. Jonas先生，对他们的建议、帮助和支持表示感谢。对Springer出版社的密切合作和较好地装饰本书致以谢意。

柏林，1956，1958，1960，1964。

伊·萨博 (István Szabó)

第五版前言

除了按惯例去掉印刷错误之外，这次新版还做了大量补充和改进。虚力原理完全是新写的，并在“附录”中列出两例。关于平面应力状态部分以及借助艾里（Airy）应力函数的处理作了重要的补充和改进。对气体动力学的稳定流管理论也作了明确的补充。对§18—23的重要题目12作了必要的校正。

在这本书的编印中，我曾得到工学博士K. Stamm，开

业工程师 W. Jonas 及 W. Zander 等先生大力支持。为此，我对他们，也对 Springer 出版社令人高兴的合作，致以衷心的感谢。

柏林，1972年春。

伊·萨博 (István Szabó)

修 订 版 前 言

除了消除发现的印刷错误以及插入小的校正之外，这次重版重新布置和改进了运用于可变形体的有关工作原理。在此，我要感谢开业工程师 U. Schmoch 先生对最后促成这项工作的贡献。

这样的改进，需要对涉及到的其余内容作妥善安排。我乐意指出：在撰写这些部分时，我的同事 W. Zander 教授给予我巨大的帮助。开业工程师 K. Holzemer 先生也做了其余部分的校正工作，我对他和他们的有效支持和协助，表示衷心的感谢。

柏林，1977年7月。

伊·萨博 (István Szabó)

《高等工程力学》内容提要

《高等工程力学》虽是著者《工程力学导论》一书的继续，但对每个了解力学简单概念和公式的人来说，也是一本自学的专著。第一篇以虚功原理和达兰贝尔原理作为整个力学的基础，从这里引出哈密顿原理和拉格朗日运动方程，并借助于它们处理了大量刚体和弹性体的静力学与动力学的应用问题（卡氏定理，里兹法，弦线、薄膜和杆的振动，刚体的空间运动，陀螺）。对于变分计算概要，在这里也给出了必需的范围（瑞利商）。第二篇包括了高等弹性理论的重要问题。它是按一般应力方程和变形方程的次序论述的：平面的和轴对称的应力状态〔艾里和洛夫（Love）应力函数，赫兹（Hertz, 1857—1894）的接触和碰撞理论，温度应力〕，板和壳的理论，杆的扭转，不稳定问题（纵向弯曲、弯扭挠曲和杆的失稳，板和壳的翘曲）。第三篇给出了从发展上看越来越重要的塑性理论概要：按照普遍定律〔牛顿（Newton），开尔文（Kelvin），麦克斯韦（Maxwell），亨肯（Hencky），圣维南（Saint-Venant），列维（Levy）-密赛斯（Mises），普朗特（Prandtl）-罗伊斯（Reuss）〕的指导，探讨了塑性弯曲和扭转的应用，并阐述了恩格泽尔（Engesser）-卡门（Kármán）和香利（Shanley）的纵向弯曲理论。以塑性流动问题和作为工艺成形法的轧制过程而告结束。最后一篇（IV）包含液体和气体理论，从理想液体动力学〔赫尔姆霍茨（Helmholtz）涡流定理，势流及其函数理论的讨论，相似图象法，机翼断面〕开始，在此基础上加上

有关粘性液体的论述〔纳维 (Navier)-斯托克斯(Stokes)方程, 附面层理论〕, 并以理想气体动力学(马赫数, 压缩波, 围绕细长断面的超音速流, 最小阻力的回转体)作结束。本书中除引入的许多例子外, 各章节还有一百个习题用于说明和加深理论, 并处理了大量重要的实际问题。

(译自原书勒口处的内容提要)

目 录

I. 力 学 原 理

§ 1. 作为静力学普遍的、基本定律的虚功原理	(3)
1. 引言和虚位移的概念	(3)
2. 物体系的虚位移原理	(4)
3. 应用举例	(10)
a) 双斜面	(10)
b) 倾转式吊桥	(11)
c) 牵引式吊桥	(13)
d) 托里拆利原理	(14)
4. 平衡的类型(稳定平衡和不稳定平衡)	(17)
§ 2. 虚功原理在弹性理论上的应用(弹性力学的能量法)	(24)
1. 弹性桁架	(24)
2. 线弹性系统的虚位移原理	(28)
3. 由服从胡克定律的材料所组成的弹性系统	(34)
4. 虚力原理	(38)
5. 在特殊负荷下直杆的变形功	(41)
a) 纯拉伸或压缩	(41)
b) 纯弯曲负荷	(43)
c) 由剪力引起的剪应力状态	(45)
d) 由扭转引起的剪应力状态	(49)
6. 卡氏定理	(51)
a) 定理推导	(51)

b) 例:	(55)
a) 受力矩载荷作用的悬臂梁	(55)
b) 受集中载荷作用的简支梁	(55)
c) 附注	(56)
d) 运用卡氏第一定理确定静不定系统中的反作用力 和截面负荷	(58)
7. 里兹法	(61)
§ 1 和 § 2 的练习	(73)
§ 3. 达兰贝尔原理	(111)
1. 概论 振动中心问题及其惠更斯解	(111)
2. J. 贝努利问题	(113)
3. 达兰贝尔原理	(114)
4. 例	(119)
a) 刚体绕定轴转动	(119)
b) 料罐	(120)
c) 斜面上的滚子	(121)
d) 双斜面上的运动	(121)
§ 4. 哈密顿原理	(122)
1. 概论	(122)
2. 拉格朗日中心方程	(123)
3. 哈密顿原理	(124)
4. 貌柏吐伊斯、高斯和赫兹原理	(126)
§ 5. 弦(索)、薄膜和杆的振动	(127)
1. 弦的运动方程	(127)
2. 可延伸线索的一般运动方程	(142)
3. 薄膜的运动	(146)

• II •

a) 矩形薄膜	(148)
b) 圆形薄膜	(152)
4. 杆的振动	(157)
a) 纵向振动	(157)
b) 扭转振动	(161)
c) 杆的横向振动	(164)
d) 杆的强迫横向振动	(171)
5. 按瑞利近似法求弦、薄膜和杆的第一固有角	
频率	(173)
a) 振动的弦	(175)
b) 集中质量作用的弦	(176)
c) 具有集中质量的横向振动杆	(177)
d) 圆形薄膜	(179)
§ 6. 拉格朗日运动方程	(181)
1. 前言	(181)
2. 运动方程	(183)
3. 例 双摆	(185)
§ 7. 刚体的空间(回转)运动	(190)
1. 刚体绕固定点的转动 欧拉方程	(190)
2. 动能 惯性椭球	(194)
3. 无力运动 陀螺	(197)
a) 物体以等角速绕惯量主轴转动	(198)
b) 陀螺	(199)
4. 陀螺效应矩 偏移阻力	(203)
5. 重力陀螺 欧拉角	(206)
§ 8. 变分计算在力学上的应用	(209)

1. 引言和历史概述	(209)
2. 欧拉微分方程	(212)
3. 例	(219)
a) 短程线	(219)
b) 最小表面的回轉体	(220)
c) 一根均匀重绳的形状	(222)
d) 费尔马原理	(223)
e) 变分问题和拉普拉斯电位方程	(224)
4. 变分问题和微分方程	(224)
5. 按里兹法确定特征值 瑞利商	(228)
a) 二阶微分方程	(228)
b) 四阶微分方程	(238)
§ 3 至 § 8 的练习	(241)

II. 高等弹性理论选题

§ 9. 线弹性理论的一般应力状态和变形状态	(297)
1. 应力和平衡条件	(297)
2. 变形方程	(301)
3. 位移和应力的微分方程	(304)
§ 10. 平面应力状态	(308)
1. 引言	(308)
2. 莫尔应力圆	(310)
3. 应力的调谐条件和微分方程	(318)
4. 艾里应力函数	(319)
5. 艾里应力函数教例	(321)
6. 极坐标表示的平面应力状态	(330)

a) 径向压力作用下, 实心圆盘中的孔	(332)
b) 圆弧形梁的纯弯曲	(333)
§ 11. 轴对称应力状态	(337)
1. 平衡条件和变形方程	(337)
2. 有关圆柱和圆管的特殊情况	(340)
a) 在一个很长的圆柱和圆管的中心区域	(340)
α) 平面应变状态	(343)
β) 圆柱末端自由的情况	(343)
γ) 圆柱末端承载的情况	(344)
b) 平面应力状态	(345)
c) 例	(347)
α) 具有内、外载荷 p_i 和 p_o 的圆柱管	(347)
β) 回转实心圆柱	(348)
3. 一般轴对称情况下无体积力的位移微分方程	(349)
4. 承受集中力的半空间弹性体	(354)
5. 赫兹接触理论	(358)
6. 赫兹弹性体碰撞理论	(368)
§ 12. 小挠度薄板理论 (克希霍夫板理论)	(374)
1. 引言	(374)
2. 应力 截面载荷 平衡条件	(375)
3. 变形 板的方程	(378)
4. 边界条件和支承载荷	(382)
a) 固定边	(383)
b) 铰支边	(384)
c) 无力边	(387)
5. 板方程的简单应用	(388)

a) 板条	(388)
b) 不变载荷作用下板边固定的椭圆板	(390)
6. 四边简支的矩形板	(391)
7. 圆板	(396)
8. 圆板特殊的载荷情况和支承情况	(402)
a) 均匀载荷下的固定板	(402)
b) 均布载荷下的简支板	(402)
c) 中点有集中载荷作用的板	(403)
9. 板的振动	(404)
a) 简支矩形板	(405)
b) 固定圆平板	(406)
c) 按照能量法确定第一固有角频率	(409)
§ 13. 薄壳理论简介	(413)
1. 引言	(413)
2. 具有匀称载荷的轴对称薄壳的薄膜理论	(414)
3. 薄膜应力状态数例	(418)
a) 球形壳	(418)
a) 自重负载	(418)
β) 不变的内压力	(419)
γ) 流体静压力	(419)
b) 圆锥形壳	(419)
4. 轴对称薄壳的弯曲负荷	(421)
§ 9 至 § 13 的练习	(425)
§ 14. 杆的扭转	(579)
1. 概论	(579)
2. 圣维南理论	(581)

3. 例	(591)
a) 椭圆截面杆	(591)
b) 窄矩形截面杆	(596)
c) 矩形截面杆	(600)
4. 薄膜模拟(皂膜法)和流体动力模拟	(617)
5. 截面翘曲受到阻碍时的扭转	(622)
a) 工字梁的翘力扭转	(623)
b) 矩形截面杆	(630)
§ 14的练习	(643)
§ 15. 不稳定性问题	(667)
1. 概论	(667)
2. 纵向弯曲压杆的挠度(弹性的)	(668)
a) 以迭代法求解	(668)
b) 借助扰动计算求解	(673)
3. 在弹性范围(欧拉理论)和非弹性范围内的 压杆屈曲	(677)
4. 弯曲负荷作用下狭窄矩形截面梁的倾覆	(680)
5. 圆环和圆筒在外压下的屈曲	(686)
a) 挠曲线的微分方程	(686)
b) 在均布外压下的屈曲	(689)
a) 圆形截面环的屈曲	(693)
b) 圆柱薄壳在外压下的翘曲	(693)
6. 板的翘曲	(694)
7. 薄壳翘曲的理论	(704)
8. 轴向受压杆的弯扭屈曲	(710)
§ 15的练习	(722)

