

A MODERN COURSE IN AEROELASTICITY

FOURTH REVISED AND ENLARGED EDITION

气动弹性力学现代教程

(第4版)

艾尔·H. 道威尔(Earl H. Dowell) 罗伯特·克拉克(Robert Clark)

戴维·考克斯(David Cox) 霍华德·C. 小柯蒂斯(Howard C. Curtiss Jr.)

(美) 约翰·W. 爱德华兹(John W. Edwards) 肯尼斯·C. 赫尔(Kenneth C. Hall)

编著

戴维·A. 彼特斯(David A. Peters) 罗伯特·斯坎兰(Robert Scanlan)

埃米尔·斯缪(Emil Simiu) 费尔南多·西斯托(Fernando Sisto)

托马斯·W. 斯特噶纳克(Thomas W. Strganac)

杨智春 叶正寅 李 斌 张伟伟 谷迎松 王 巍 李 毅 王 乐 译

杨智春 审校

航空工业出版社

014040788

0343
108

气动弹性力学现代教程

(第4版)

艾尔·H. 道威尔 (Earl H. Dowell) 罗伯特·克拉克 (Robert Clark)

戴维·考克斯 (David Cox) 霍华德·C. 小柯蒂斯 (Howard C. Curtiss Jr.)

约翰·W. 爱德华兹 (John W. Edwards) 肯尼斯·C. 赫尔 (Kenneth C. Hall)

(美) 戴维·A. 彼特斯 (David A. Peters) 罗伯特·斯坎兰 (Robert Scanlan) 编著

埃米尔·斯缪 (Emil Simiu) 费尔南多·西斯托 (Fernando Sisto)

托马斯·W. 斯特噶纳克 (Thomas W. Strganac)

杨智春 叶正寅 李 斌 张伟伟 谷迎松 王 巍 李 毅 王 乐 译

杨智春 审校



航空工业出版社

北 京



北航

C1728114

0343
108

内 容 提 要

本书系统地介绍了航空航天飞行器、土木工程结构和涡轮机械中气动弹性问题的相关概念及其分析方法。对固定翼飞行器,详细介绍了发散、操纵面效率等气动弹性静力学问题,颤振、阵风响应等气动弹性动力学问题,特别是对与气动弹性动力学分析密切相关的机翼非定常空气动力计算理论和数值方法进行了详细论述;对失速颤振问题专门进行了介绍;对旋翼机,介绍了单一桨叶的气动弹性问题以及与桨叶-机身耦合有关的气动弹性问题;对土木工程结构,主要集中介绍了非流线体的驰振、悬跨桥的发散、漩涡脱落诱导振动、颤振及抖振问题;对涡轮机的气动弹性问题,主要介绍了涡轮叶片的失速颤振和阻塞颤振问题。最后几章分别对流固耦合建模方法、气动弹性试验技术、非线性气动弹性力学、气动弹性控制、涡轮机中复杂和非线性非定常流的现代分析方法等专题进行了广泛论述,并在附录中附有随机脉动压力作用下结构响应的初步分析和第2~第4章的参考算例。

本书可作为航空航天工程、土木工程和机械工程领域的工程技术人员进行气动弹性设计时的参考书,也可作为高等院校相关专业研究生的教科书或课外阅读教材。

图书在版编目(CIP)数据

气动弹性力学现代教程:第4版/(美)道威尔(Dowell, E.), (美)克拉克(Clark, R.), (美)考克斯(Cox, D.)编著;杨智春等译. --北京:航空工业出版社, 2014.3

书名原文: A modern course in aeroelasticity,
fourth revised and enlarged edition

ISBN 978-7-5165-0452-9

I. ①气… II. ①道… ②克… ③考… ④杨… III.
①气动弹性动力学-教材 IV. ①0343

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第046816号

北京市版权局著作权合同登记

图字: 01-2012-1571

Translation from English language edition: *A Modern Course in Aeroelasticity* by Earl H. Dowell, Robert Clark, David Cox, Howard C. Curtiss Jr., John W. Edwards, Kenneth C. Hall, David A. Peters, Robert Scanlan, Emil Simiu, Fernando Sisto and Thomas W. Strganac

Copyright © 2004, Springer Netherlands

Springer Netherlands is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

气动弹性力学现代教程(第4版)

Qidong Tanxing Lixue Xiandai Jiaocheng (Di 4 Ban)

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑2号院 100012)

发行部电话: 010-84934379 010-84936343

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2014年3月第1版

2014年3月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 32.5 字数: 832千字

印数: 1—1500

定价: 128.00元

第1版前言

读者只要对本书的内容有实质性的掌握,就能够看懂气动弹性力学领域的大部分文献。除非是这一学科的某些特殊问题,比如板壳气动弹性力学或利用电反馈控制来改善气动弹性力学行为的问题。对于前一个问题,本书第一作者在另外一本著作中有专门研究。

本书第一部分探讨了飞行器的发散、操纵面效率、颤振和阵风响应等基本物理现象。为了说明这个领域扩展的范围,本书从非航空类文献中选取了一些代表性的实例。为了对初学者有所帮助,对每一种现象都从简单的物理模型入手,然后用更复杂的模型和更高深的数学公式,对这些问题系统地重新考虑。

除了绪论部分以外,本书具有教科书的几个特色。一个是对非定常空气动力的处理。气动弹性力学这一关键部分,不仅对学生,而且对富有经验的专业人员来说,通常也是最难的。对非定常空气动力的讨论是从构成升力面数值分析基础的基本理论开始的。不仅覆盖了已知的亚声速和超声速流的结果,而且包含了跨声速流的最新研究进展,这些进展可望为这个重要领域带来有效的求解技术。

西斯托教授撰写的“失速颤振”一章是这个重要课题的权威性论述。作为一个难于且尚未完全理解的现象,仅从失速颤振的基本方面及其应用的重要性进行了讨论。这一章对于读者入门这个复杂课题是很有帮助的。

本书的另外一个特色,是用一系列章节论述了气动弹性力学基本原理在三个领域中的先进应用。首先是斯坎兰教授撰写的关于土木工程结构气动弹性问题的讨论;然后是柯蒂斯教授撰写的关于直升机和垂直起降飞机气动弹性力学的讨论;最后是西斯托教授撰写的涡轮机气动弹性力学。这些内容在气动弹性力学文献中是非常独特的。能够得到这些著名专家的撰稿,本书第一作者感到非常荣幸。

本书的重点放在气动弹性力学的基本原理上,因为不可能期望在一本书中就包含其所有的应用。然而,上述这三章可以使读者对气动弹性力学的理论与实践之间的关系有一个了解。气动弹性力学的持续魅力之一就在于这种理论与实践之间密切的相互作用。要成功地处理气动弹性力学的应用问题,必须牢固地掌握其基本原理和理论。

对一年级学生来说,作为初级课程,可以选取第1~第3章以及第4章中部分内容。其余各章适合作为中级课程以及供高年级学生或研究人员学习。在本书的后面给出了更全面的参考文献,以便读者阅览相关文献。

对于熟悉由斯坎兰(Scanlan)和卢森堡(Rosenbaum)、冯(Fung)、毕斯普林霍夫(Bisplinghoff)、阿西里(Ashley)和哈夫曼(Halfman)以及由毕斯普林霍夫和阿西

里分别撰写的标准教材的读者，可以容易意识到本书作者对这些作者所欠的情谊。也应该提到最近由皮特和伏欣分别撰写的两本书^①，尽管这两本书对英语读者来说不容易接触到。希望读者能感觉到本书也是继上述著作之后的一本有价值的气动弹性力学专著。

^① 皮特 (Petre), 《气动弹性力学理论》(Theory of Aeroelasticity), 第1卷: 静力学, 第2卷: 动力学. 布加勒斯特: 罗马尼亚社会主义共和国科学院出版社, 1966. 伏欣 (Forsching), 《气动弹性力学原理》(Fundamentals of Aeroelasticity), 柏林: 斯普林格出版社, 1974 (译者注: 本书有中译本, 由沈克扬翻译, 上海科学技术文献出版社出版).

第2版前言

在此首先感谢所有为本书第1版写了评论和勘误的读者。这些都编入本书第2版中。同时也要感谢斯坦福大学的霍尔特·阿西里 (Holt Ashley) 教授, 他帮助我们确认和改正了书中各种各样的印刷错误。

本书第2版的出版给了我们一个机会, 对书中部分章节加入最新内容, 同时增加了关于非定常跨声速空气动力和气动弹性力学一章。对第2、第5、第6和第8章进行了充分修订。这些章节分别涵盖了气动弹性静力学、失速颤振、土木工程结构的气动弹性力学和涡轮机的气动弹性力学等问题。第9章, 非定常跨声速空气动力学和气动弹性力学是新增的章节, 与第1版相比, 更加有广度和深度地涵盖了这个迅速发展的主题。而且重点放在基本概念而不是诸如计算机程序的编制上。遗憾的是, 由于某些原因, 未能对第7章进行修订。然而, 在本书所附的简要书目^①中, 与其他主题一样, 也为这一主题进行了扩充。希望本书第1版的读者和新的读者会发现第2版对他们的研究是有价值的。

^① 简要书目见随后附页。

第3版前言

感谢所有为本书第1版和第2版写了评论和建议的读者。在本书第3版中，我们有机会对第1章到第9章进行了修订和更新。此外，增加了3章新的内容，即：第10章，气动弹性试验；第11章，非线性气动弹性力学；第12章，气动弹性控制。第10章是对一个广泛主题的简要介绍；第11章是对一个研究前沿的纵览；第12章是第一次涉及并权威性地论述了气动弹性系统的反馈控制问题。第12章满足了对文献的一个重要需求。在第1版和第2版的作者中加入了两位新的作者，戴维·彼特斯（David Peters），他对第7章进行了重要的修订；爱德华·克劳利（Edward Crawley），他撰写了第12章关于气动弹性控制的内容。他们两位的加入令我们感到十分荣幸，也是一件令人高兴的事情。第10章的作者感谢他的同事——维尔莫·H. “比尔”·瑞德三世（Wilmer H. “Bill” Reed III）一年来在研究实验气动弹性力学中给予的极大帮助，提供了第10章中的插图。第12章的作者要感谢查瑞莎·林（Charrissa Lin）和肯·卡拉鲁斯（Ken Kazarus）在准备气动弹性控制这一章时做出的重要贡献。最后，第1版和第2版的读者会注意到作者索引和主题索引在这一版中被略去了。如果读者感到不方便，请与编辑联系，我们会在下一版中考虑这件事情。

第4版前言

在这一版中，增加了几章新的内容，对其他章节也进行了充分的修订和编辑。原作者为罗伯特·斯坎兰（Robert Scanlan）的第6章，由他亲密的同事，埃米尔·斯缪（Emil Simiu）进行了充分的修订。由艾尔·道威尔（Earl Dowell）和肯尼斯·赫尔（Kenneth Hall）撰写的第9章，是全新的内容，它讨论了基于计算流体力学模型及其求解来处理线性和非线性非定常空气动力的问题。由艾尔·道威尔、约翰·爱德华兹（John Edwards）和托马斯·斯特噶纳克（Thomas Strganac）撰写的关于非线性气动弹性力学的第11章，也是新增的内容，它提供了对近年来研究结果的一个述评。由罗伯特·克拉克（Robert Clark）和戴维·考克斯（David Cox）撰写的关于气动弹性控制的第12章，也是新增的内容，对近年来的发展作了权威性的论述。最后，由肯尼斯·赫尔撰写的第13章，涡轮机中复杂和非线性非定常流的现代分析方法，也是新增的内容，它对这一重要课题进行了深入、独特的论述。对其他许多章节也进行了编辑，以便叙述更加清楚。

汤德满（Deman Tang）博士为本书的成文提供了不可估价的贡献，本书所有作者十分感谢他为本书所做的工作。

十分感谢约翰霍普金森大学怀廷工学院的那喀纳斯·P. 琼斯（Nicholas P. Jones）教授对第6章提出的有益意见。

图6-4、图6-24、图6-28、图6-33、图6-34、图6-35、图6-36和图6-37的复制获得了爱思唯尔（Elsevier）公司的允许。

艾尔·道威尔

简 要 书 目^①

图书

- [1] Bolotin V. V. Nonconservative Problems of the Elastic Theory of Stability [M], Pregamon Press, 1963.
- [2] Bisplinghoff R L, Ashley H and Halfman R L. Aeroelasticity [M], Cambridge. Mass: Addison - Wesley Publishing Company, 1955. (BAH)
- [3] Bisplinghoff R L, Ashley H. Principle of Aeroelasticity, John Wiley and Sons, Inc., New York, N. Y., 1962, Also available in Dover Edition. (BA)
- [4] Fung, Y. C., An Introduction to the Theory of Aeroelasticity, John Wiley and Sons, Inc., New York, N. Y., 1955. Also available in Dover Edition.
- [5] Scanlan, R. H. and Rosenbaum, R., Introduction to the Study of Aircraft Vibration and Flutter, The Macmillan Company, New York, N. Y., 1951. Also available in Dover Edition.
- [6] AGARD Manual on Aeroelasticity, Vols. I - VII, Beginning 1959 with Continual Updating. (AGARD)
- [7] Ashley, H., Dugundji, J. and Rainey, A. G., Notebook for Aeroelasticity, AIAA Professional Seminar Series, 1969.
- [8] Dowell, E. H., Aeroelasticity of Plates and Shells, Noordhoff International Publishing, Leyden, 1975.
- [9] Simiu, E., and Scanlan, R. H., Wind Effects on Structures - An Introduction to Wind Engineering, John Wiley and Sons, 1978.
- [10] John, W., Helicopter Theory, Princeton University Press, 1980.
- [11] Dowell, E. H., and Ilgamov, M., Studies in Nonlinear Aeroelasticity, Springer - Verlag, 1988.
- [12] Paidoussis, M. P., Fluid - Structure Interactions: Slender Structures and Axial Flow, Volume 1, Academic Press, 1988.

综述文章

- [1] Garrick, I. E., "Aeroelasticity - Frontiers and Beyond", 13th Von Karman Lecture, Journal of Aircraft, Vol. 13, No. 9, 1976, pp. 641 - 657.
- [2] Several Authors, "Unsteady Aerodynamics. Contribution of the Structures and Materials Panel to the Fluid Dynamics Panel Round Table Discussion on Unsteady Aerodynamics", Goettingen, May 1975, AGARD Report R - 645, March 1976.

① 下列书目中除个别拼写错误已做修改处, 其余均保持原书样式。译者注。

- [3] Rodden, W. P. , A Comparison of Methods Used in the Interfering Lifting Surface Theory, AGARD Report R - 643, March 1976.
- [4] Ashley, H. , "Aeroelasticity", Applied Mechanics Reviews, February 1970.
- [5] Abrmson, H. N. , "Hydroelasticity: A review of Hydrofoil Flutter", Applied Mechanics Reviews, February 1969.
- [6] Many Authors, "Aeroelastic Effects from a Flight Mechanics Standpoint", AGARD, Conference Proceedings No. 46, 1969.
- [7] Landhal, M. T. , and Stark, V. J. E. , "Numerical Lifting Surface Theory - Problems and Progress", AIAA Journal, Vol. 6, No. 11, November 1968, pp. 2049 - 2060.
- [8] Many Authors, "Symposium on Fluid - Solid Interactions" ASME Annual Winter Meeting, November 1967.
- [9] Kaza, K. R. V. , "Development of Aeroelastic Analysis Methods for Turborotors and Propfans - Including Mistuning", in Lewis Structure Technology, Vol. 1, Proceedings, NASA Lewis Research Center, 1988.
- [10] Ericsson, L. E. and Reading, J. P. , "Fluid Mechanics of Dynamic Stall. Part I, Unsteady Flow Concepts and Part II, Prediction of Full Scale Characteristics", J. Fluids and Structures, Vol. 2, No. 1 and 2, 1988, pp. 1 - 33 and 113 - 143, Respectively.
- [11] Mabey, D. G. , "Some Aspects of Aircraft Dynamic Loads Due to Flow Separation", AGARD - R - 750, February, 1998.
- [12] Yates, E. C. , Jr. and Whitlow W. , Jr. , "Development of Computational Methods for Unsteady Aerodynamics at the NASA Langley Research Center", in AGARD - R - 749, Future Research on Transonic Unsteady Aerodynamics and its Aeroelastic Applications, August 1987.
- [13] Gad - el - Hak, M. , "Unsteady Separation on Lifting Surfaces", Applied Mechanics Reviews, Vol. 40, No. 4, 1987, pp. 441 - 453.
- [14] Hajela, P. (Ed.) , "Recent Trends in Aeroelasticity, Structures and Structural Dynamics", University of Florida Press, Gainesville, 1987.
- [15] Jameson, A. , "The Evolution of Computational Methods in Aerodynamics", J. Applied Mechanics, Vol. 50, No. 4, 1983, pp. 1052 - 1070.
- [16] Seebass, R. , "Advances in the Understanding and Computation of Transonic Flows", in Recent Advances on Aerodynamics, Edited by A. Krothapalli and C. Smith, Springer - Verlag, 1984.
- [17] McCroskey, W. J. , "Unsteady Airfoils", in Annual Reviews of Fluid Mechanics, 1982, Vol. 14, pp. 285 - 311.
- [18] Tijdeman, H. and Seebass, R. , "Transonic Flow Past Oscillating Airfoils", in Annual Reviews of Fluid Mechanics, 1980, Vol. 12, pp. 181 - 222.
- [19] Ormiston, R. , Warmbrodt, W. , Hodges, D. , and Peters, D. , "Survey of Army/ NASA Rotocraft Aeroelastic Stability Research", NASA TM 101026 and USAASCOM TR 88 - A - 005, 1988.

[20] Dowell, E. H. and Hall, K. C., “Modeling of Fluid – Structure Interaction,” Annual Reviews of Fluid Mechanics, Vol. 33, 2001, pp. 445 – 490.

[21] Eastep, Franklin E. (Editor), “Flight Vehicle Aeroelasticity”, a Series of Invited Articles by Several Authors in the Journal of Aircraft, Vol. 40, No. 5, 2003, pp. 809 – 874.
期刊

[1] AHS Journal

[2] AIAA Journal

[3] ASCE Transactions, Engineering Mechanics Division

[4] ASME Transactions, Journal of Applied Mechanics

[5] International Journal of Solids and Structures

[6] Journal of Aircraft

[7] Journal of Fluids and Structures

[8] Journal of Sound and Vibration

当然，其他期刊上也会有气动弹性力学的论文，但是上述这些期刊是与气动弹性力学主题的研究范围最一致的期刊。

气动弹性力学对设计的影响在本书中未进行详细的讨论。为了认识这一重要的领域，读者可以参阅美国国家航空航天局（NASA）的《航天器设计标准》。尽管这些文件关注的是航天器应用，但其中大量的资料也与飞行器有关。其所覆盖的深度和广度在各册之间也是变化的，但是每一册至少包含一个关于其课题最高发展水平的简短述评，以及对“推荐的设计实践”的讨论。同时还包括了本书中完全没有涉及的一些重要主题。例如板壳的气动弹性力学（壁板颤振）（NASA SP – 8004）和控制系统动力学的气动弹性效应（NASA – 8016, NASA SP – 8036, NASA SP – 8079）以及结构对与时间相关分离流的响应（抖振）（NASA SP – 8001）、弹性容器中的流体运动（燃料晃动）（NASA SP – 8009, NASA SP – 8031）和结构 – 推进耦合的不稳定性（POGO）（NASA SP – 8055）。

曾经打算定期修订这些书籍以使其反映最新的成果，遗憾的是至今未能实现。

[1] NASA SP – 8001 1970

Buffeting During Atmospheric Ascent（在大气中上升时的抖振）

[2] NASA SP – 8002 1964

Flight Loads Measurements During Launch and Exit（从发射到离开大气层阶段的飞行载荷测试）

[3] NASA SP – 8003 1964

Flutter, Buzz and Divergence（颤振、嗡鸣和发散）

[4] NASA SP – 8004 1972

Panel Flutter（壁板颤振）

[5] NASA SP – 8006 1965

Local Steady Aerodynamic Loads During Launch and Exit（从发射到离开大气层阶段的局部定常气动载荷）

[6] NASA SP – 8008 1965

Prelaunch Ground Wind Loads（发射前地面风载荷）

- [7] NASA SP - 8012 1968
Natural Vibration Modal^① Analysis (固有振动模态分析)
- [8] NASA SP - 8016 1969
Effect of Structural Flexibility on Spacecraft Control Systems^② (结构柔性对航天器控制系
统的影响)
- [9] NASA SP - 8009 1968
Propellant Slosh Loads (推进剂晃动载荷)
- [10] NASA SP - 8031 1969
Slosh Suppression (晃动抑制)
- [11] NASA SP - 8035 1970
Wind Loads During Ascent (上升阶段的风载荷)
- [12] NASA SP - 8036 1970
Effect of Structural Flexibility on Launch Vehicle Control System (结构柔性对运载火箭
控制系统的影响)
- [13] NASA SP - 8050 1970
Structuarl Vibration Prediction (结构振动预测)
- [14] NASA SP - 8055 1970
Prevention of Coupled Structure - Propulsion Instability (POGO) (结构 - 推进系统耦合
不稳定性 (POGO) 的预防)
- [15] NASA SP - 8079 1971
Structural Interaction with Control Systems (结构与控制系统的耦合)

① 原文 Modal 误为 Wind。译者注。

② 原文将 Systems 误为 System。译者注。

译者序

气动弹性力学是固体力学的一个分支,固体力学中的基本问题都可以归结为“为什么”“怎么样”以及“是多少”这样三类问题。该书是克鲁威尔学术出版社出版的《固体力学及其应用》丛书的第116卷,这套丛书的目标就是由权威的研究人员撰写一个明晰的报告,然后对这些固体力学相关问题进行回答,以扩大读者的视野并获得深刻的见解。

顾名思义,气动弹性力学是研究弹性体在气流作用下的力学行为的一门学科。弹性结构在气动载荷的作用下会发生变形或振动,弹性结构的变形或振动改变了结构的气动构型,进而又会影响作用在弹性结构上的气动载荷的大小和分布。正是由于这种气流与弹性结构的交互作用,使得弹性结构在气流中产生各种各样的气动弹性现象。在工程领域,除了航空航天工程中的飞行器结构外,民用工程领域的桥梁(主要是悬索桥)以及烟囱、高塔、高楼等高耸结构和机械工程领域的涡轮机械、电力工程领域的输电缆等,都会产生气动弹性问题。可以说,弹性结构的气动弹性力学行为,越来越成为现代飞行器、桥梁、高耸建筑等工程结构进行安全设计和优化设计的制约因素。

在美国,杜克大学的道威尔教授、约翰霍普金森大学已故的斯坎兰教授、斯蒂文斯理工学院的西斯托教授、普林斯顿大学的柯蒂斯教授等气动弹性力学界的权威,合作编著的这本《气动弹性力学现代教程》,其第1版于1978年出版,并于1986年由陈文俊、尹传家翻译成中文,由宇航出版社出版。其后35年中,该书经过了作者的三次修订,本书是第四次修订和增补版。与早期版本相比,几位气动弹性领域著名学者的加盟及部分章节全新内容的增加,使得这本早期的气动弹性力学专著又散发出“现代”的气息。其中,流固耦合问题的建模、非线性气动弹性力学、气动弹性控制、涡轮机中复杂和非线性非定常流现代分析方法等新内容,都是第一次出现在气动弹性力学专著中。虽然本书的章节涵盖了航空航天、土木工程、旋转机械等工程领域的气动弹性问题,内容众多,但是仍然保持了示例模型简明扼要、概念清晰、由浅入深、循序渐进的特点。

目前,对气动弹性力学的研究日益受到我国各工程领域研究人员和工程技术人员的重视,气动弹性力学的研究工作也得到了越来越深入的发展。由气动弹性力学领域的权威撰写的这本专著对提高我国气动弹性力学研究水平无疑具有极大的参考价值和推动作用,这也是我们翻译此书的推动力。

在翻译此书的过程中,译者对原书中文字的明显笔误和公式的打印错误做了更正,并以页下注的形式加以说明。书中的人名、专业名词则尽量按习惯翻译成中文,已经习惯的缩写词,如CFD等,则保持原文。

参加本书翻译的人员包括杨智春(前言、第1章、第5章、第11章)、叶正寅(第4章)、李斌(第9章、附录)、张伟伟(第7章、第13章)、谷迎松(第3章3.4~3.8

节)、王巍(第8章8.1~8.5节、第10章、第12章)、王乐(第2章、第3章3.1~3.3节)、李毅(第6章、第8章)。全书由杨智春负责统稿和审校。在审校本书的过程中,航空工业出版社李燕编辑提出了很多宝贵的意见,译者在此表示深切的谢意。

由于译者的水平有限,缺点和错误在所难免,敬请读者和专家批评指正。

译者

2013年11月于西安

目 录

第1版前言	(1)
第2版前言	(3)
第3版前言	(5)
第4版前言	(7)
简要书目	(9)
译者序	(13)
第1章 绪论	(1)
第2章 气动弹性静力学	(3)
2.1 典型翼剖面模型	(3)
2.1.1 带操纵面的典型翼剖面模型	(6)
2.1.2 典型翼剖面模型——非线性效应	(11)
2.2 机翼的一维气动弹性模型	(13)
2.2.1 大展弦比机翼的梁-杆模型	(13)
2.2.2 特征值和特征函数方法	(15)
2.2.3 伽辽金方法	(17)
2.3 直机翼的滚转	(18)
2.3.1 平衡积分方程	(19)
2.3.2 平衡方程的推导	(20)
2.3.3 C^{ad} 的计算	(20)
2.3.4 函数 $S(\gamma_1 \eta)$ 的示意图	(21)
2.3.5 空气动力 (包括展向诱导)	(22)
2.3.6 气动弹性平衡方程及集中元素求解方法	(23)
2.3.7 发散	(25)
2.3.8 反效和滚转效率	(26)
2.3.9 积分方程特征值问题和影响函数的实验测定	(27)
2.4 升力面二维气动弹性模型	(30)
2.4.1 二维结构——积分表示	(30)
2.4.2 二维气动面——积分表示	(31)
2.4.3 用矩阵-集中元素法求解	(31)
2.5 其他物理现象	(32)
2.5.1 柔性管内的流体流动	(32)
2.5.2 柔性壁面上的 (低速) 流体流动	(34)
2.6 后掠翼的发散	(35)
参考文献	(38)

第3章 气动弹性动力学	(39)
3.1 哈密尔顿原理	(39)
3.1.1 单个质点	(39)
3.1.2 多个质点	(41)
3.1.3 连续体	(41)
3.1.4 势能	(41)
3.1.5 非势力	(43)
3.2 拉格朗日方程	(44)
3.2.1 典型翼剖面的运动方程	(44)
3.3 典型翼剖面模型的动力学	(47)
3.3.1 正弦运动	(47)
3.3.2 周期运动	(49)
3.3.3 任意运动	(49)
3.3.4 拉普拉斯变换	(50)
3.3.5 对任意运动的积分变换法	(51)
3.3.6 随机运动	(53)
3.3.7 颤振——气动弹性动不稳定性简介	(59)
3.3.8 准定常气动力理论	(62)
3.4 机翼上的空气动力——引论与小结	(64)
3.4.1 可用的气动力理论	(66)
3.4.2 活塞理论	(67)
3.4.3 气动力脉冲函数和气动力传递函数	(67)
3.4.4 一般的近似法	(69)
3.5 气动弹性运动方程的求解	(71)
3.5.1 时域法	(72)
3.5.2 频域法	(73)
3.6 代表性结果和计算中需要考虑的问题	(75)
3.6.1 时域分析结果	(75)
3.6.2 频域分析结果	(76)
3.6.3 颤振和阵风响应的分类及其参数变化趋势	(77)
3.6.3.1 实际的颤振计算	(80)
3.6.3.2 非线性颤振现象	(82)
3.6.3.3 颤振的参数变化趋势	(83)
3.6.3.4 阵风响应	(85)
3.7 复杂结构的广义运动方程	(89)
3.7.1 拉格朗日方程和模态方法 (瑞利-李兹法)	(89)
3.7.1.1 动能	(90)
3.7.1.2 应变能 (弹性势能)	(91)
3.7.1.3 求解 K_{mn} 的其他方法	(91)

3.7.1.4 例子	(93)
3.7.2 固有频率及模态特征值与特征向量	(94)
3.7.3 广义气动力的计算	(95)
3.7.4 运动方程及其解法	(96)
3.7.5 阵风激励的响应	(97)
3.7.6 平衡积分方程	(97)
3.7.7 固有频率和模态	(98)
3.7.8 正交性的证明	(100)
3.7.9 考虑气动力的受迫运动	(101)
3.7.10 例子	(103)
3.8 其他的流体-结构耦合现象	(109)
3.8.1 柔性管内的流体流动——消防水龙的颤振	(109)
3.8.2 柔性壁面上的(高速)流体流动——平板/壁板颤振的一类简单原型	(112)
参考文献	(115)
第4章 升力面与非升力面非定常空气动力学	(118)
4.1 流体力学基本方程	(118)
4.1.1 质量守恒	(118)
4.1.2 动量守恒	(119)
4.1.3 无旋流动、开尔文定律和伯努利方程	(120)
4.1.4 速势方程的推导	(122)
4.1.5 小扰动理论	(123)
4.1.6 经典声学的简化	(124)
4.1.7 边界条件	(125)
4.1.8 对称和反对称	(126)
4.2 超声速流动	(127)
4.2.1 二维流动	(127)
4.2.2 翼型的简谐运动	(128)
4.2.3 逆变换的讨论	(130)
4.2.4 关于结果物理意义的讨论	(131)
4.2.5 阵风响应	(133)
4.2.6 瞬态运动	(133)
4.2.7 机翼运动产生的升力	(134)
4.2.8 大气阵风导致的升力	(134)
4.2.9 三维流动	(137)
4.3 亚声速流动	(141)
4.3.1 积分方程的变换法推导和配置法求解	(141)
4.3.2 利用格林定理确定核函数	(143)
4.3.3 不可压三维流动	(145)
4.3.4 可压缩三维流动	(148)