

连续介质力学导论

(第三版)

[美] 冯元桢 著 吴云鹏 等 译

重庆大学出版社

连续介质力学导论

(第三版)

[美]冯元桢 著

吴云鹏 等译

重庆大学出版社

连续介质力学导论

(第三版)

[美]冯元桢 著

吴云鹏 等译

责任编辑 傅昌余 李长惠

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

四川外语学院印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:12.125 插页2 字数:326千

1997年10月第1版 1997年10月第1次印刷

印数:1—3000

ISBN 7-5624-1447-5/O·150 定价:22.00元

BAH/8/25

冯元桢教授传略

1941年，冯元桢(YUAN-CHENG BERTRAM FUNG)于中国国立中央大学获学士学位。1948年获美国加利福尼亚理工学院博士学位(California, Pasadena)。冯氏早年学术贡献在不定常流体力学、弹性结构稳定性、颤振、动力学等。其成果在他的著作《空气弹性力学》(1956, 1969, 1993, 冯钟越译成中文)、《固体力学基础》(1965, 马文华、王开福译成中文)和《连续介质力学导论》(1969, 1976再版, 1993三版, 由李松年、马中和译成中文)中有所记载。

1960年以来,冯元桢博士开创了生物力学的研究。他研究了循环、血管、血细胞、心脏、肺脏以及生长和应力之间的关系。他的意图是对生理学作理性的探索。他有此方面的三部著作:《生物力学:活组织的力学特性》(1981, 1993再版, 由戴克刚译成中文)、《生物动力学:循环》(1984, 戴克刚译成中文)和《生物力学:运动,流动,应力和生长》(1990年,邓善熙译成中文)。并著有中文《生物力学》于1983年由科学出版社出版。

冯元桢博士曾荣获微循环学会颁发的 EUGENE LANDIS 奖(1975)、美国土木工程师学会颁发的

THEODORE VON KARMAN 奖(1976)、美国机械工程师学会颁发的生物工程 LISSNER 奖、永恒文献突出贡献 WORCESTER WARNER 奖、应用力学的 TIMOSHENKO 奖、ASME 学会百年纪念奖(1981)、最佳生物工程论文奖(1993),以及最佳永恒学术原著奖(1994)。他也获得了国际流变学会的 POISEUILLE 奖。他是 GUGGENHEIM 研究员、美国航空航天研究院评议员、美国机械工程师学会评议员、美国国家科学院院士、美国医学科学院高级院士、美国工程院院士、美国生物医学工程院院士及中国科学院外籍院士。他也是中国八个大学及研究院的荣誉教授,他又是台湾中央研究院院士。此外,他先后担任不少专业杂志的主编并发表 297 篇为主要作者的论文。

冯元桢教授一生治学严谨,乐于助人,淡泊名利,勤奋研究,热爱中华,热爱祖国,集东西方优秀文化及优秀个人品质于一身,赢得了海内外学者的广泛尊敬与爱戴。

(冯元桢教授荣获的学术荣誉、发表的论文及著作见附录)

译者的话

1979年,我国刚改革开放不久,为了发展新兴学科,应本书作者冯元桢教授之邀,由重庆大学、华中理工大学及中国科学院力学研究所派出学者赴美国圣·迭戈加州大学生物工程中心学习研究。当我们一踏上大洋彼岸异国国土上,就受到冯教授的盛情接待和耐心帮助指导。同年冬,在作者的主讲下,一个全国性的生物力学及生物流变学讲习班就成功地办起来了。这也意味着,作为生命科学的重要组成部分——生物力学与生物流变学这一新兴交叉学科,在我国开始蓬蓬勃勃地发展起来了。

时光荏苒,17年瞬息驰过。而今,我国的生物力学与生物流变学无论在研究或教学诸方面,不仅已有相当的发展,并且在研究水平及数量上,成就辉煌,令人瞩目。忆昔抚今,我们难以忘怀作者的一贯帮助和学术贡献。

三年前,当我在亚特兰大参加中—日—美生物力学大会后,重返冯教授和钱煦教授所领导的圣·迭戈加州大学生物工程实验室时,冯教授再次将此书的英文原稿慷慨惠予,拜读之后,深感作者不仅系统地而又富有启发性地阐述了连续介质力学的理论和分析方法,而且首次创造性地用于生命现象,启迪读者对生命现象,特别是生

命体现象予以量化分析。的确,本书对于从事生命科学、力学、医学、生物医学工程、定量生理学、……领域内的教学和研究工作者,实在是一部必读的基础科学之作。

我译了序言和第一章,并负责书稿的统稿工作,杨瑞芳译第二、三章,蔡绍哲译第四、五章,王伯初译第六、七章,龙勉译第八、九章,卢晓译第十、十一章,王公瑞译第十二、十三章,此外,蒋稼欢在后期协助我与杨瑞芳参与了部分的翻译与校稿工作。在诸位同仁的努力下,《连续介质力学导论》第三版的中文本已出版。我相信,本书的问世,作者、译者和海内外的广大读者都会为此而欢欣鼓舞。

吴云鹏

于山城重庆

1996年阳春三月

作者序言

我很感谢重庆大学吴云鹏校长及杨瑞芳、王公瑞、蔡绍哲等诸位教授及他们的合作者的努力,使这本书能以中文和大家相见,完成了我从头就有的愿望。

连续体力学是一门发展得相当完整的数学理论,它模拟宇宙间某些物体,用数学概念简化和净化后,得到了一套很美丽的结果,和一套很简洁的方法,可以用来做研究理化及生命科学的工具,并充任工程技术设计的基础,在很多复杂的问题中,把有关力学和变形的一部分弄清楚,其重要性是显而易见的。但是,科学与工程所接触的绝大多数物体的结构,并不符合连续体的数学定义,所以,如何应用连续体力学于科学与工程,是一个重要的实际问题,现在市上所有的别的著作,都不谈这个问题,本书则正视这个问题,着重讨论。

这本书是为了教学而写的,我想借这本书来转移些当前大学生学习的风气,我想鼓励学生们多思考,多发明,多欣赏;少死啃,少背书,不要太忙,要留出时间来独自想想,有许多好学生做很多习题,却没有给自己提出好问题的习惯,没有把自己的问题数学化变成理论,或计划某些实验来寻求解答,我想在教学中改变教师和学生的

习惯,因此,写了这一本简短的力学教本,引读者向自发的路上走,用普通的方法,和较广阔的视野,鼓励学生经常自己出题,自己解答,自己设计实验,养成设计和发明的习惯,特别是让学生养成一种心态、敏感地观察周围事物、寻找发明的机会,以发明为乐,日积月累,水到渠成。

这是我的心意,这心意如能引起教师和同学们一点共鸣,我就很快乐了。

冯元桢

1995年8月

第三版序言

本版的目的同前版一样,是为了加强力学基础,减少在数学确切描述中的模糊概念,在科学和工程方面提出问题、分析问题以及设计发明的习惯。我很强调应用,在本版更为强调。因此,一开始连续介质即以真实材料定义。通览全书,并无与生物材料相悖之处。生物学为科学,生物工程为工程。力学也不限于物理学之范畴。

在本书中,我常要求读者明确阐明问题、姑不论他们能否解决问题。不少学生曾作了无数作业,但他们自己并不能明确阐明问题的实质。我希望他们能另辟它径来学习,希望由他们自己提出问题、发现问题、解决问题和探求解的准确性。鼓励学生去观察自然,思考工程和科学中的问题,进而作为第一步,写下可能的约束方程和边界条件,得到控制方程,乃本书的首要目的。

本书按如下内容组织。首先解释连续介质的概念,然后就是应力和应变的透彻处理,以及决定主应力和应变的实用技术,相容性的概念在此两章内都予以强调。在第7章中,对理想化的流体和固体予以详细说明。第8章详细阐述了各向同性这一重要概念。第9章则讨论了真实

流体及固体的力学特性,第10章给出了基本的力学守恒定理。第11、12章分别阐述了理想和粘性流体的某些特征,边界层理论,线性弹性理论,弯曲和扭转理论以及弹性波理论。最后一章(第13章)的内容较新,阐述了材料承受应力后的长期改变,以及生物材料的生长和自主重建,这些问题与应力-生长定律有密切联系。

同传统的流体和固体力学教科书中对材料的介绍相比较,第9~13章所介绍的材料在某些方面似乎是标新立异的,然而其罕有的特性表明并非标新立异,诸如血液和油漆这类流体、心脏、肺、肌肉这类固体。而橡胶堪称为既普通而又优越的材料,同时这与学习材料的本构关系并不相悖。

书中很多问题已有叙述,本版又增加了不少新内容,很多内容均涉及问题的阐述、设计和发现、创造。在第2章、第10章,一些特殊部分为训练读者在推导公式诸方面应用的练习。

如果读者能够在本书中得到有关应力、应变和本构方程等方面的明确概念,并且知道如何在描述科学和工程有关问题时去应用它们,则作者将不胜欣慰。



冯元桢教授

目 录

1	导论	1
1.1	本教程的目的	1
1.2	科学技术中的应用	2
1.3	什么是力学	2
1.4	连续介质的模型:经典定义.....	2
1.5	我们对连续介质的定义	4
1.6	在我们的连续介质定义中的应力概念	5
1.7	真实连续介质的抽象复制	6
1.8	什么是连续介质力学	7
1.9	连续介质力学定理	8
1.10	连续体的体系取决于科学探究中对象尺寸的一个生物学例子.....	8
1.11	表述基本概念的基础论题	11
	习题1.....	31
2	向量和张量.....	41
2.1	向量.....	41
2.2	向量方程.....	43
2.3	求和约定.....	44
2.4	坐标的平移和旋转.....	48
2.5	一般坐标变换.....	52

2.6	标量、向量和笛卡儿张量的解析定义	53
2.7	张量方程的意义	55
2.8	向量和张量的符号用黑体字还是用指标	56
2.9	商法则	56
2.10	偏导数	57
	习题2	58
3	应力	66
3.1	应力的符号	66
3.2	运动定律	69
3.3	柯西公式	71
3.4	平衡方程式	74
3.5	在坐标变换中应力分量的变换	78
3.6	正交曲线坐标中的应力分量	80
3.7	应力边界条件	81
	习题3	84
4	主应力与主轴	93
4.1	引言	93
4.2	平面应力状态	94
4.3	平面应力莫尔圆	97
4.4	三维应力状态的莫尔圆	99
4.5	主应力	100
4.6	剪应力	103
4.7	应力偏斜张量	105
4.8	拉梅(Lamé)应力椭球	108
	习题4	109
5	变形分析	119
5.1	变形	119
5.2	应变	123
5.3	通过位移来表示的应变分量	125
5.4	无限小应变分量的几何解释	127

5.5	无限小旋转	128
5.6	有限应变分量	130
5.7	主应变、莫尔圆.....	132
5.8	极坐标中的无限小应变分量	133
5.9	极坐标中应变位移关系的直接推导	136
5.10	其他应变度量.....	139
	习题5	140
6	速度场和协调条件	154
6.1	速度场	154
6.2	所谓的协调条件	155
6.3	三维应变分量的协调性	157
	习题6	159
7	本构方程	164
7.1	物质性质的说明	164
7.2	无粘性流体	165
7.3	牛顿流体	166
7.4	虎克弹性固体	167
7.5	温度影响	172
7.6	具有更复杂力学性能的物质	172
	习题7	173
8	各向同性	177
8.1	材料各向同性的概念	177
8.2	各向同性张量	178
8.3	3阶各向同性张量	181
8.4	4阶各向同性张量	182
8.5	各向同性材料	185
8.6	应力和应变主轴的一致性	186
8.7	表征各向同性的其他方法	186
8.8	能否由材料的微结构确定其各向同性	187
	习题8	191

9	真实流体和固体的力学性质	195
9.1	流体	195
9.2	粘性	198
9.3	金属的塑性	201
9.4	非线性弹性材料	203
9.5	橡胶和生物组织的非线性应力—应变关系	207
9.6	线性粘弹性体	209
9.7	生物组织的准线性粘弹性	213
9.8	非牛顿流体	217
9.9	粘塑性材料	218
9.10	溶胶—胶体转换和搅溶性	220
习题9	221
10	场方程的推导	225
10.1	高斯定理	225
10.2	连续介质运动的物质描述	228
10.3	连续介质运动的空间描述	230
10.4	体积分的物质导数	232
10.5	连续性方程	233
10.6	运动方程	234
10.7	动量矩	235
10.8	能量平衡	237
10.9	极坐标系中的运动方程和连续性方程	240
习题10	244
11	流体力学的场方程和边界条件	248
11.1	纳维叶-斯托克斯(Navier-Stokes)方程	248
11.2	固体—流体交界面处的边界条件	251
11.3	两种流体交界面上的表面张力和边界条件	253
11.4	动力相似性和雷诺数	256
11.5	水平槽或管内的层流流动	258
11.6	边界层	261

11.7	平板上的层流边界层	264
11.8	无粘性流体	267
11.9	旋度和环量	269
11.10	无旋流	271
11.11	可压缩的无粘性流体	272
11.12	亚音速流与超音速流	275
11.13	在生物学中的应用	284
	习题11	285
12	弹性力学的一些简单问题	289
12.1	均匀各向同性体的弹性力学基本方程	289
12.2	平面弹性波	291
12.3	简化	293
12.4	圆柱形轴的扭转	294
12.5	梁	297
12.6	生物力学	300
	习题12	301
13	应力、应变和结构的自主重建	304
13.1	概述	304
13.2	如何发现固体材料的零应力状态	305
13.3	结构在零应力状态下的重建:由于应力变化而发生自主重建的一个生物学实例	308
13.4	零应力状态随温度而变化:形状“记忆”材料	310
13.5	由于血压改变血管的形态和结构的重建	313
13.6	力学特性的重建	315
13.7	考虑零应力状态的应力分析	316
13.8	应力与生长的关系	320
	习题13	320
	附录	322
	参考文献	371