

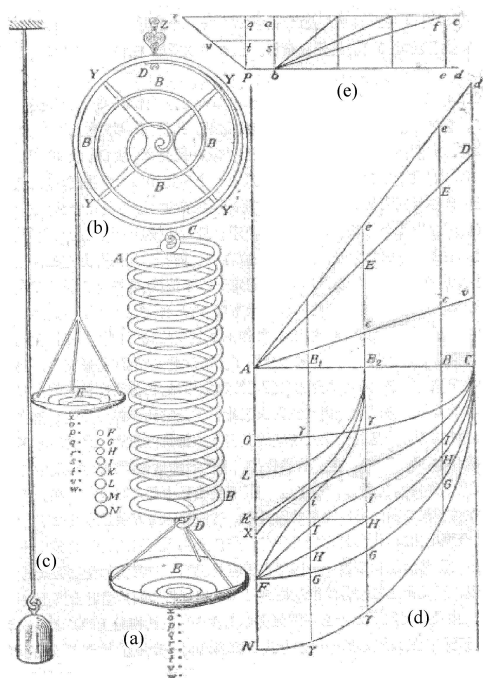


图 5 胡克《弹簧》的插图

波义耳是对气体的. 在 1660 年前后, 胡克那时还在玻义耳手下作助手. 玻义耳发现了气体的弹性性质, 胡克是否会联想到固体的弹性性质, 也未可知, 所以他说是在 18 年以前就发现了这个定律, 还是合理的.

胡克得到他的弹性定律后, 曾经认为“如金属、木料、石块、干土、毛发、兽角、蚕丝、骨骼、肌肉、玻璃等等, 都是

这样.” 德国的著名学者莱布尼兹 (Gottfried Wilhelm von Leibniz, 1646~1716) 知道胡克的实验后, 曾经对这个结果产生怀疑, 他写信给荷兰的惠更斯 (Christiaan Huygens, 1629~1695), 惠更斯回信说仅当弹簧轻微伸长时, 他的实验才和胡克的结果一致.

应当提到的是, 惠更斯是钟表的发明者. 为了改进钟表, 他采用了利用弹簧储能的性质的发条, 还利用弹性游丝的摆轮取代单摆. 为了争夺游丝的发明权, 胡克和惠更斯之间曾经有过不愉快的经历, 而且在二人过世后, 后人还争吵了有一个世纪之久.

惠更斯的实验说明弹性性质只能是某些固体性质的一种近似. 后来的研究表明对一般的固体来说, 受力和变形的关系是十分复杂的. 它迄今仍然是一个研究的重要方向. 不过, 力和变形的线性关系毕竟是一种重要的近似. 18 世纪有法国的纳维和柯西发展弹性力学, 就是基于这种线性关系的基础上发展起来的, 在工程技术中得到了广泛的应用. 不过, 胡克当时的受力和变形, 或即引申力和伸长的关系, 被柯西推广到应力和应变的关系上, 开始称为广义胡克定律.

我国的郑玄对于弓的鉴定发现的力和变形的线性规律, 虽然早在胡克之前 1500 多年就已经通过验弓发现了物体的弹性性质, 但是在后来近两千年间没有能再前进一步. 而西方在胡克的基础上, 后来不但逐步将它精确化、开拓它的应用范围, 从而形成庞大的近代科学的一个分支——固体力学体系. 回想这段相关的历史, 不能不引起我们深刻的反思, 促使我们思考我们科学技术落后的根源.

※※※※※※※※
※ 力学家 ※
※※※※※※※※

钱伟长先生一生的主要学术活动和贡献

程昌钧¹⁾

(上海市应用数学和力学研究所, 上海大学力学系, 上海 200072)

摘要 简洁地回顾了钱伟长先生一生的主要学术活动, 并简要地介绍了先生的主要学术贡献, 包括板壳统一内禀理论, 弹性圆薄板大挠度问题的求解—摄动法和奇异摄动法, 环壳方程的一般解, 广义变分原理及其应用, 以及先生对于理性力学和流体力学的贡献等.

关键词 钱伟长, 主要学术活动, 主要学术贡献

今年 10 月是我国近代力学的奠基人之一, 著名的科学家, 教育家, 杰出的社会活动家钱伟长先生诞辰 100 周年, 笔者怀着崇敬的心情再次阅读了他的部分著作和自述, 写成了这篇纪念文章, 拟借《力学与实践》发表, 以此表达对先生

的缅怀之情. 写作中也参考了黄黔教授所写的一些资料和笔者以前的文章^[1]. 限于篇幅, 本文只从一个侧面介绍先生的学术生涯和主要学术成就, 重复和疏漏之处在所难免, 敬请批评指正.

1 各个时期的主要学术活动

钱伟长的一生经历了不同的历史时期, 有顺境, 也有逆境, 但是不管在什么情况下, 他总是根据国家的需要, 以饱满的热情投入到不同的学术活动中, 解决了当时迫切需要解决的一些问题, 同时铸就了他辉煌的人生. 他的主要学术活动包括:

(1) 1934~1935 年, 在清华研究院期间参与测定北京地

本文于 2012-07-29 收到.

1) E-mail: chjcheng@mail.shu.edu.cn

区大气电,写了平生第1篇科学论文. 1935~1937年,正值“一二·九”运动时期,大量精力参加抗日救亡运动和民族解放宣传活动,同时在吴有训和黄子卿教授指导下进行X射线的衍射和有关溶液理论的物理化学研究. 1938~1939年在西南联大物理系工作,从事光谱学和弹性板壳内禀理论研究.

(2) 1940~1941年,在多伦多大学应用数学系学习,研究板壳内禀理论,取得重要成果,完成论文5篇. 在纪念 von Kármán 60岁祝寿文集中与导师 J. L. Synge 联合发表成名作, 1941年11月获博士学位. 这是他学术上的成名岁月.

(3) 1941~1942年,参加加拿大雷达波导管内各种天线的电阻电抗研究,并研究固定板的振动和储油罐的强度.

(4) 1943~1946年,在美国加州理工学院航空系进行博士后研究,主要在 von Kármán 领导的喷射推进研究所工作. 从事固体和液体燃料的火箭研究,包括火箭的弹道计算,误差估计和弹道修正,火箭的空气动力学设计,弹型设计,高空气象火箭研究,地球人造卫星的轨道计算以及气阻损失,降落伞运动设计,火箭飞行的稳定性,以及变扭率的扭转,超音速对称锥流等. 发表包括他与 von Kármán 的论文《变扭率的扭转》(被 von Kármán 认为是他一生所写的最富经典气息的文章,受到国际学术界的重视) 和研究报告 40 余篇,是他科研工作的青年黄金时代和学术多产的岁月.

(5) 1946~1949年,抗战胜利后回国到北京解放,在清华大学机械系任教. 在担任繁重教学任务的同时,又参加大量革命活动,仍然从事圆板大挠度问题的研究,创立了摄动法和奇异摄动法,并率先研究润滑理论的变分法,解决了有限宽度滑动轴承的计算问题.

(6) 1949年解放到1957年前,承担大量社会活动和繁重的教学行政工作,如担任数学所力学研究室的领导,参与组建力学所,自动化所等,但他仍进行压延加工,连续梁,柱体的扭转,扁壳的跳跃,薄板大挠度问题的研究,他的兴趣甚至延伸到建筑史等领域.

(7) 1957~1977年,错划为“右派”,被迫停止科学研究20年. 但他在“下放劳动”过程中,仍承担一些重要设计任务,包括飞机颤振,潜艇龙骨,化工管板,氧气顶吹的转炉炉盖,大型电机零件以及高能电池等,并从事广义变分原理研究,推导三角级数求和公式等.

(8) 1978“四人帮”被打倒到1987年,古稀之年的他,奋起直追,夜以继日地工作,先后发表论文50余篇,内容涉及环壳理论,广义变分原理,有限元,薄板大挠度,管板,断裂力学,加肋壳,穿甲力学,三角级数求和以及中文信息处理等. 这是他学术大丰收的10年.

(9) 1987年之后,耄耋之年的他,校长工作繁重,科研工作亦未放松,进行广义变分原理的推广,论拉氏乘法及其唯一性问题,动力学分区变分原理及其广义变分原理和有限元方法,大挠度理论的推广,复合材料板理论及应用,不用克希霍夫-拉夫假设的弹性圆板理论,旋转壳的变形,层合板和层合圆柱壳的亚谱分叉等研究,发表论文40余篇. 2002

年,他还独著“宁波甬江大桥的大挠度非线性计算问题”文章^[2]. 2004年在上海大学出版社出版《钱伟长文集》第1~5卷. 2007年,已经95岁高龄的他组织了第5届国际非线性力学会议,担任主席.

可见,钱伟长的一生是爱国的一生,奋斗的一生,奉献的一生,也是取得丰硕成果,为科学和技术的发展做出了重要贡献的一生.

2 主要学术成就与贡献

虽然由于历史原因,钱伟长在不同时期涉及了许多不同的科学技术领域,但是他研究工作的重心仍然在力学和应用数学,他对力学和应用数学的贡献也是举世闻名的. 下面是对他相关学术成就的简介.

2.1 成名之作——板壳统一内禀理论

板壳是科学技术中应用广泛的结构元件. 但是之前的一些相关理论是很混乱的,不仅板和壳是分开来考虑的,而且不同形状的壳体有不同形式的理论,为了克服这些不足,建立一个比较完善的板壳统一理论,钱伟长在西南联大期间就开始了板壳精确理论的研究,希望以三维弹性力学的应力平衡微分方程为基础,来导出应变分量表示的壳体统一平衡理论.

在这个理论中,他率先采用一种全新的坐标系,即以中面为基础的拖带坐标系 (comoving coordinates) (x^0, x^1, x^2) , 在变形中,坐标系随板壳一起变形,而物体各点的坐标是不变的. 与传统用位移定义应变的方法不同,他率先定义应变张量 e_{ij} 为变形后与变形前坐标系的基本张量的差的一半,并由微分几何中平坦空间曲率张量 $\hat{R}_{jkl} = \hat{R}'_{jkl} = 0$ 的条件导出 e_{ij} 满足的协调方程. 之后,他引进两个新的张量: 中面拉伸变形张量和弯曲变形张量 $p_{\alpha\beta}, q_{\alpha\beta}, \alpha, \beta = 1, 2$, 它们分别为 e_{ij} 及其对 x^0 的导数在中面 $x^0 = 0$ 上的值,并将这6个量 $p_{\alpha\beta}, q_{\alpha\beta}$ 作为内禀理论的基本未知量,根据条件 $\hat{R}_{jkl} = \hat{R}'_{jkl} = 0$ 和平衡微分方程得到 $p_{\alpha\beta}, q_{\alpha\beta}$ 满足的张量方程. 这就是钱伟长板壳统一内禀理论的核心和精髓. 与通常的板壳理论不同,内禀理论的基本未知量和方程均是在拖带坐标系中用与中曲面有关的内在张量 $p_{\alpha\beta}, q_{\alpha\beta}$ 表示的,而不是用位移表示的,所以内禀理论适合于不同的坐标系及不同形状的薄壳和薄板问题.

在统一内禀理论的基础上,钱伟长又率先提出统一的简化和分类方法,把薄板视为薄壳的特殊情况,将 $p_{\alpha\beta}, q_{\alpha\beta}$ 展成 x^0 的 Taylor 级数,将其代入协调方程和平衡微分方程,按照不同的幂次分类,得到12类薄板问题和35类壳体问题. 在12类薄板问题中除了熟知的广义平面问题, Kirchhoff 小挠度理论, von Kármán 大挠度理论,薄膜问题外,还发现一大类新的有意义的有限挠度薄板问题. 在35类壳体问题中也发现一些新的壳体问题,尤以应用广泛的浅壳 SS12 型方程为最重要. von Kármán 和钱学森在1939年和1941年所研究的柱壳受轴压作用及球壳受外压作用时的局部失稳

均可看成这类浅壳大挠度问题. 把这些方程应用于圆柱浅壳和浅球壳时, 可得到相应的非线性方程组. 冯元桢和 F. F. Sechler 等称浅壳方程为“钱伟长一般方程”, 而称浅圆柱壳方程为“钱伟长方程”.

板壳统一内禀理论由他的 5 篇论文和 219 页的博士学位论文组成, 但其核心和精髓是他与导师 J. L. Synge 联合发表在纪念 von Kármán 教授 60 岁祝寿文集集中的论文. 值得一提的是, 这个祝寿文集包括 26 篇论文, 其中的作者都是赫赫有名的科学家, 例如 A. Einstein, S. Timoshenko, R. Courant, R. von Mises, Hans Reissner, A. Nadai, A. Weinstein, P. S. Epstein, H. Bateman 等. 钱伟长这个默默无闻年仅 30 岁的唯一一名的中国留学生竟跻身于国际科学大师之间, 实在是他所始料未及的, 因此, 引起 von Kármán 教授的注意. 这篇论文的发表也极大地鼓励了钱伟长, 为他树立了信心. 从此, 不论他处于顺境还是逆境, 他都能够以执著的精神投入科研工作, 数十年如一日.

钱伟长博士论文及相关系列论文的发表将板壳理论引入了一个新的阶段, 引起弹性力学, 应用数学及纯数学界的广泛重视, 他先后应邀在加拿大及美国各地高等学校和有关学术会议上作学术报告. 在 1945~1955 年间, 美国, 苏联, 澳大利亚等国在相关论文的基础上出版了多部专著, 称浅圆柱壳方程为“钱伟长方程”. 许多著名学者, 如 R. L. Reiss, X. M. Муштар, A. C. Вольмир 等都曾在 20 世纪 50~60 年代研究和引用过钱伟长的论文. 在 60 年代 A. E. Green, E. Reissner, E. L. Reiss, P. Cicala 等人受其影响, 发表了有关三维理论的边界效应的文章. 1977 年, 荷兰科学家出版的《板壳渐近解》专著中将钱伟长的系列工作誉为“划时代的工作”. 时至今日, 人们对弹性板壳内禀理论的评价仍然很高. 1982 年 8 月在上海召开的国际有限元分析会议上, 执行主席 R. H. Gallagher 教授在向大会介绍钱伟长时说:“钱教授有关板壳统一内禀理论的论文, 曾是美国应用力学研究生在 40~50 年代的必读材料, 他的贡献对以后的工作很有影响.”

板壳统一内禀理论是钱伟长的成名作, 由此奠定了他在国际力学界的学术地位.

2.2 “钱伟长方法”——弹性圆薄板大挠度问题的求解

1910 年 von Kármán 提出圆薄板大挠度问题的非线性微分方程组, 但到 1942 年, 只研究过两个问题, 即 1934 年由 S. Way 给出的圆板大挠度弯曲问题的幂级数解, 和 1942 年由 S. Levy 给出的矩形板大挠度弯曲问题的三角级数解. 这两个解都需要用数值方法求解无限多个系数的非线性方程组, 收敛速度很慢, 不能直接被工程师运用. 1947 年钱伟长在求解受均匀压力作用的固定圆薄板大挠度问题时, 用中心挠度作摄动参数进行展开, 得到了问题的摄动解. von Kármán 认为这是能够被工程师直接运用的方法. 与 Way 的幂级数解相比具有更简单的形式, 还可以推广到其他边界条件, 并与 1942 年 A. Mcpherson 等人的实验结果相吻合. 因此这也是第一个与实验接近的解析解. 钱伟长创建的以中心挠度

为摄动参数作摄动展开的方法, 被国际力学界称为“钱伟长方法”.

1948 年, 在挠度很大的情况下, 钱伟长研究了受均匀压力作用的固定圆板的渐近特性, 提出了 60 年代被 A. H. Nayfeh 等摄动理论专家称为的“合成展开法”. 通常, 人们把 1915 年 H. Hencky 给出的圆薄膜解看成是挠度很大时, 固定圆板大挠度问题的一级近似解, 这个解满足方程和边界挠度为零的条件, 但不满足边界转角为零的条件. 钱伟长认为这里存在边界层效应, 即在边界附近区域内, 挠度很大, 它与转角不再是同一数量级, 因此, 不能采用正则摄动法求解, 而应该采用另外的方法. 钱伟长的做法是: 首先, 他以 Hencky 薄膜解为基础, 称为外场解; 其次, 他采用“放大镜”, 把边界法向尺度放大, 设立边界内层坐标, 以无量纲中心挠度为尺度参数进行摄动展开, 称之为内层解. 最后, 把不同尺度的外场解和内层解联合在一起, 来逐级满足固定边界条件, 以此研究边界层效应. 因此, 钱伟长修正和发展了 Hencky 薄膜解, 解决了边界层效应. 这就是国际上最早提出的用内外层解合成地进行摄动展开的思路, 而在 8 年之后的 1956 年, 国际上 E. Bromberg 等学者才用类似方法解决了同样的问题.

后来, 钱伟长和叶开沅等又计算了多种载荷和边界条件下圆薄板和矩形薄板的大挠度问题, 并在 1956 年布鲁塞尔举行的第 9 届国际应用力学大会上报告. 1954 年由科学出版社出版的《弹性圆薄板大挠度问题》论文集于 1957 年由莫斯科译文出版社译成俄文. 1980 年他和黄黔用均方根挠角作摄动参数进一步求解了圆薄板大挠度问题, 克服了用中心挠度作摄动参数可能出现中心挠度为零的困难. 1985 年, 他和陈山林采用中心最大无量纲位移为摄动参数, 发表了“合成展开法求解圆薄板大挠度问题”的文章, 使所有边界条件都在各级近似中跨级满足, 提高了收敛速度, 改进和完善了圆薄板大挠度问题的研究工作.

关于弹性圆薄板大挠度问题的研究是钱伟长最重要的学术成果之一, 于 1955 年获得国家自然科学二等奖, 并有钱伟长法、合成展开法流传于世.

2.3 仪表弹性元件的新理论 —— 环壳方程的一般解

圆环壳方程非常复杂, 难以求解. H. Reissner 和 E. Meissner 分别于 1912 年和 1915 年从轴对称壳体一般方程出发, 把圆环壳方程化为两个变量的二阶常微分方程, 简化了环壳方程. F. Tolke, R. A. Clark 和 B. B. Новожилов 采用不同的简化过程, 得到不同形式的复变量环壳方程, 为求解提供了可能性, 同时 Clark 和 Новожилов 分别给出了渐近解和非齐次解.

1979 年钱伟长和郑思梁从 Reissner-Meissner 轴对称壳体方程出发, 用统一的复变量化过程, 得到轴对称圆环壳统一的复变量方程, 并导出了 Tolke, Clark 和 Новожилов 等的圆环壳复变量方程, 证明了这些理论的差异都在薄壳的基本假设范围之内. 如果在方程中引入细度参数 $\alpha = a/R$, 则

当 $\alpha \ll 1$ 时, 环壳被称为环细壳, 其中 a 和 R 分别为环壳截面的半径和环壳的整体半径. 他们得到了环细壳方程的一个全新的处处连续的一般齐次解, 证明了解的收敛性. 把这个解与 Новожилов 给出的非齐次解组合在一起, 可以得到满足环细壳方程和定结解条件的一般解. 1980 年, 钱伟长等放弃 $\alpha \ll 1$ 的假设, 将研究环细壳的方法推广到求解一般的圆环壳方程, 给出了轴对称圆环壳在 $0 \ll \alpha < 1$ 范围内的一般解, 这个解也是前人没有得到过的.

环细壳和圆环壳方程的一般解的真正价值是它们对于仪器仪表工业的广泛应用, 它们可用于波纹管, 波纹壳, 热膨胀器, 以及高压容器的过渡部分和波登管等的计算. 应用圆环壳的一般解, 钱伟长获得了半圆形波纹管在轴向力作用下的变形和应力分布, 与 Turner 和 Ford 的实验结果非常接近, 即使在细度 $a \approx 0.3$ 时, 由环细壳极限方程得到的解与实验结果也是很接近的.

钱伟长给出的圆环壳的一般解, 不但解决了几十年来求解圆环壳方程的难题, 而且他把所获得的理论成果直接应用于波纹壳和波纹管等工程技术领域, 解决了这些领域中长期未能很好解决的关键技术问题, 提供了仪表弹性元件和波纹管补偿器的壳体理论设计的新方法, 成为相关技术领域的新起点, 因此, 被认为是钱伟长的一个重要贡献.

2.4 享誉世界的成就——广义变分原理及其应用

钱伟长对广义变分原理的研究是享誉世界的成就, 于 1982 年获得国家自然科学二等奖. 以钱伟长和胡海昌为代表的中国学者被认为是国际上研究变分原理的两个学术群体中的一个, 另一个是 E. Reissner, K. Washizu 和 卞学鐸等外国学者.

众所周知, 弹性力学的边值问题归结为求位移, 应变和应力等 15 个未知量满足的几何方程, 平衡微分方程, 本构方程以及适当的边界条件. 建立弹性力学边值问题有两类方法: 一类是微元体的分析方法, 另一类是基于能量原理的变分方法. 前者比较直观, 容易被接受, 而后者却是更为一般和有效的方法, 受到广泛的重视. 在弹性力学中最基本的变分原理是最小势能原理和最小余能原理. 其中, 首先需要根据物理意义或类比的方法建立自变函数的适当泛函, 而这些自变函数事先必须满足某些约束条件, 即 3 类方程和边界条件的一部分; 其次, 使相应的泛函取最小值; 最后, 通过变分, 得到自变函数满足的 Euler 方程和自然边界条件. 自变函数事先满足的约束条件加上 Euler 方程和自然边界条件一起构成求解弹性力学问题的全部方程和边界条件.

1964 年钱伟长建立的弹性力学广义变分原理虽是两个最小能量原理的推广, 但却开辟了建立广义变分原理的新途径, 其中他将函数求极值的拉格朗日乘子法创造性地推广到广义变分原理中. 具体的过程是: 第一步, 根据问题的需要直接从自变函数满足的方程和条件出发建立自变函数的适当泛函 (这种途径更一般, 利于在流体力学等学科中推广). 第二步, 引入待定拉氏乘子以解除约束条件, 构造一个新泛函, 在

新泛函中既包括原来的自变函数, 也包括拉氏乘子, 这样, 把原来有约束条件的变分极值原理化为无条件的变分驻值原理. 第三步, 通过对新泛函取驻值的变分过程, 识别拉氏乘子. 第四步, 把所识别的拉氏乘子代入到最初的泛函中, 得到无约束条件的广义变分原理的泛函, 再对泛函取极值, 便得到需要的全部方程和边界条件. 因此, 钱伟长建立广义变分原理的过程是非常一般的程式化过程, 完全改变了以往人们建立变分原理泛函时“凑”的方法.

1964 年, 他把拉氏乘子法应用到弹性壳体, 用变分原理导出壳体的非线性方程组, 1978 年他发表了“弹性理论中广义变分原理的研究及其在有限元计算中的应用”, 受到力学界的普遍关注. 之后, 他又把广义变分原理推广到大位移和非线性弹性体中. 为了解决变分中拉氏乘子为零的临界变分的困难, 他提出高阶拉氏乘子的概念, 进一步推广和发展了拉氏乘子法. 他发表在美国《应用力学进展》等重要杂志上的论文, 把拉氏乘子法应用于非协调元中, 减少了自由度, 被公认为是一项国际上重要的进展和贡献. 他还将广义变分原理推广应用于流体力学、传热学、电磁学、振动、断裂力学以及一般力学的理论和实践问题. 从 1964 年起直到 15 年之后的 1977 年, O. C. Zienkiewicz 在《有限元法》一书中才把 R. Courant 和 D. Hilbert 经典著作中有关变分约束条件的待定拉氏乘子法加以明确地讲解和应用到弹性力学变分原理中.

为了推动变分原理和有限元法的研究, 促进拉氏乘子法在变分原理中的应用, 推动协调元、杂交元和混合元的发展和应用, 钱伟长将广义变分原理应用于有限元计算, 奠定了有限元法的理论基础. 并于 1979 年在清华大学开设了《变分法与有限元》的讲座, 写了专门的讲义.

2.5 开创性的工作——奇异摄动方法

钱伟长对奇异摄动理论进行过开创性和奠基性的工作. 1945 年在美国加州理工大学航空系召开的超音速动力学研究会上, 他报告了“超音速之对称圆锥型流动的渐近解法”, 采用的就是当时未被公认的奇异摄动法, 之后受到 J. Lighthill 教授的重视. 1948 年, 钱伟长在研究挠度很大情况下, 受均匀压力作用的固定圆板渐近特性时, 最早发现了边界层效应, 即在边界附近挠度与转角为不同量级的情况, 致使 Hencky 薄膜解不能满足转角为零的边界条件. 为了解决这个问题, 他以 Hencky 薄膜解为外场解, 然后, 把边界法向尺度放大, 设立边界内层坐标, 以无量纲中心挠度为尺度参数, 进行摄动展开, 并称为内层解. 再将外场解和内层解联合起来以便满足边界转角为零的条件, 解决边界层效应. 这种联合外场解和内层解来解决边界层效应的摄动方法, 奠定了“合成展开法”的基础. 相应的工作比国际上同类工作领先 8 年, 是国际上有关奇异摄动理论的最早的少数著作之一.

20 世纪 50 年代, 郭永怀把 Poincaré-Lighthill 方法成功推广应用于有边界效应的黏性流问题, 林家翘在 1954 年对双曲型微分方程问题提出了通常称为解析特征线法的奇异

摄动理论, 钱学森在 1956 年深入地阐释了这个方法的重要性, 并称之为 PLK 方法. 之后, 奇异摄动理论受到重视, 被认为是摄动法的新领域, 成为求解非线性问题的重要途径. 1979 年, 钱伟长在上海主持了以奇异摄动理论为主题的“理性力学讲学讨论会”, 由他主编的《奇异摄动理论及其在力学中的应用》文集, 于 1981 年由科学出版社出版, 他撰写了序言. 他认为: 广义变分原理和奇异摄动理论是自第二次世界大战以来, 力学分析方法的两个重要发展. 他还在清华大学和重庆等地开设“奇异摄动理论”讲座, 推动奇异摄动理论在我国的应用和发展.

2.6 我国理性力学的推动者

钱伟长是我国理性力学的开拓者和推动者, 理性力学与力学中的数学方法专业委员会的奠基人.

20 世纪 30~40 年代, 他率先应用微分几何和张量分析工具, 在拖带坐标系中建立了以度量张量的改变量表示的板壳统一内禀理论, 对固体力学和理性力学的发展有着重大影响. 1948 年, 他在研究“固定圆板在均匀压力作用下的渐进特性”时首先发现了边界层效应, 并采用合成展开法有效解决了问题, 成为国际上有关奇异摄动理论的最早著作之一. 他于 1948 年和 1956 年研究了扁球壳的跳跃问题, 最早发现了扁球壳失稳时的“模态跃迁现象”. 20 世纪 50 年代前后, 钱伟长发表的圆板大挠度问题的相关论文, 以及他与林鸿荪等合著的《弹性圆板大挠度问题》都是非线性力学的最早的代表作. 钱伟长是我国最早涉足于理性力学, 非线性力学, 用近代数学的工具来获得非线性问题的解的奠基人之一.

钱伟长也是最早倡导在我国开展理性力学研究的人. 1977 年, 他和谈镐生、陈宗基等发起在我国开展理性力学的研究, 并建议成立一个专业组或专业委员会, 以便推动理性力学在我国的传播和发展, 推动非线性力学的发展, 推动边缘学科的发展, 促进力学和其他学科的交叉, 促进现代数学和力学的结合, 使我国的非线性科学达到世界先进水平. 1979 年中国力学学会成立理性力学与力学中的数学方法专业组, 钱伟长任首任组长. 1985 年改为专业委员会.

之后的 30 年, 他为推动我国理性力学和非线性力学的发展, 促进现代数学和力学的结合不遗余力地进行了艰苦卓越的工作. 他多次亲自举办“全国理性力学讲习班”等学术会议, 并在会议上系统讲授张量分析, 奇异摄动理论等现代数学方法; 他和叶开沅邀请国际知名专家 A. C. Eringen 教授等来华讲学, 传授理性力学的知识; 他组织翻译出版了德冈辰雄著“理性连续介质力学入门 (连载)”和 A. C. Eringen 著“连续统力学”, 并主编翻译了“现代连续统物理系列丛书”(17 分册), 其中第 1 分册《张量分析》为他亲自翻译出版; 他倡导和组织召开了国内外富有盛名的系列学术会议, 即全国现代数学和力学 (MMM) 会议和国际非线性力学会议 (ICNM), 等等. 在钱伟长艰辛而卓越的推动下, 理性力学在我国得到了很大的发展, 取得了举世瞩目的成就^[3]!

2.7 流体力学的成功之作

钱先生对流体力学的研究也有一些成功之作流传于世. 20 世纪 40 年代中期, 他巧妙地采用幂级数-对数函数的混合序列的摄动展开法给出了高速空气动力学超音速锥流的渐近解, 改进了 von Kármán 和 N. B. Moore 给出的线性近似解, 与 G. L. Taylor 和 J. W. Maccoll 的数值结果相吻合, 是对摄动法的重大突破. 1949 年基于滑板间黏性流体层很薄的特点, 他以流体特征厚度为小参数摄动展开, 用 3 个简化假设, 从流体力学的 N-S 方程出发导出了润滑问题的高阶雷诺型方程, 建立相应的变分表达式, 是润滑流体力学早期的成功之作. 1984 年, 他从流体力学的基本方程出发, 对内流、外流等一般的黏性流动建立了更为普遍的变分原理, 以及最大功率消耗原理. 他将拉氏乘子法应用于流体力学中, 建立了无约束条件的广义变分原理. 从而把固体力学中变分原理方法推广到黏性流体力学, 奠定了流体力学中有限元方法的基础.

除了上面提到的一些最重要方面之外, 还有一些重要工作, 对世人有着重要的影响. 他与叶开沅等合作出版的《弹性柱体的扭转理论》、《弹性力学》以及他的《变分原理及有限元》(上册)、《广义变分原理》等著作, 对我国力学界和工程界有着深远的影响.

3 战略科学家的眼光

钱伟长先生不仅著书立说留给世人丰富的财富, 而且他具有战略科学家的眼光, 为我国科学技术的发展, 人才的培养做出了重大贡献. 列举几件事情以飨读者. (1) 1951 年创建了我国第一个力学研究室, 为首任室主任; (2) 1952 年积极支持创建我国第一个力学专业——北京大学力学专业; (3) 1954~1956 年间, 参加了由周恩来亲自领导的制定我国自然科学 12 年发展规划工作. 这是我国第一个科学发展战略规划, 规划结束时被周总理誉为三钱 (钱学森、钱伟长、钱三强) 之一; (4) 1956 年他和钱学森创办了我国第一个力学研究所和自动化所, 并任副所长; (5) 1957 年创办了我国第一个高层次人才培养基地, 即“力学班”, 担任班主任; (6) 1957 年参与创办中国力学学会, 任副理事长; (7) 1979 年组建理性力学与力学中的数学方法专业组, 任组长; 创办了 MMM 和 ICNM 两个重要系列学术会议; (8) 1980 年创办《应用数学和力学》杂志, 任主编; (9) 1984 年创建上海市应用数学与力学研究所, 任所长; (10) 为了提高我国科技人才的水平, 20 世纪 70 年代开始, 他在全国举办了 50 多期应用数学和力学讲座和讲习班, 广泛而系统地传播力学和应用数学的重要理论和科学进展, 内容涉及“张量分析”、“变分法与有限元”、“奇异摄动理论”、“广义变分原理”、“穿甲力学”、“格林函数和变分法在电磁波计算中的应用”等等, 听讲者数千人次; (11) 为了提高全民的科学素质, 在 1978~1990 的 12 年间, 他去过除青海、西藏、台湾之外的 160 个省、市、区、县, 宣讲“为实现四个现代化而奋斗”达 200 余场, 听众约 40 万人次. 期间他还为各地科技人员, 教师和学生等开了无数次

座谈会, 并受聘为多个高等学校的名誉教授。

4 笔者感言

记得 1977 年 8 月在兰州举办的《理性力学讲习班》上, 笔者聆听了钱先生讲授的张量分析, 之后有幸跟随先生在理性力学和非线性力学领域学习和研究, 1996 年调入上海大学在先生的指导下创办力学系, 更是三生有幸。这次写这篇文章, 再次被他的精神所感动, 肺腑之言愿与读者分享。

笔者认为认识一个历史造就的科学家, 科学伟人, 不能脱离历史, 不能脱离当时的环境。学习科学家不但学习他们的宝贵著作, 更要学习他们的精神。钱伟长精神的伟大之处在于他不仅在顺境能够孜孜不倦地工作, 在逆境也同样以拳拳之心报效国家。

钱伟长在学术上成名的岁月是在多伦多大学攻读博士学位期间, 而在美国加州理工学院航空系工作间, 则是他科研工作的青年黄金时代, 学术兴旺多产的岁月, 而在“文革”之后的 10 年是他学术大丰收的 10 年。这些时段的共同之处是: 生活安定, 科研环境良好, 学术氛围和谐, 自由民主的学术讨论等。特别是加州理工学院优越的科研和工作条件, 大师 von Kármán 的指点, 以及与钱学森, 林家翘, 郭永怀等精英们共同切磋, 造就了钱伟长等一代精英。

爱国、求实和拼搏是先生一生的真实写照。他在顺境中兢兢业业, 在逆境中任劳任怨, 绝不放弃对科学的执著追求, 绝不放弃对祖国的忠诚。因此, 在不同的时期和不同的环境, 他都竭尽全力为国家的科技事业努力奋斗, 他在留学期

间涉及固体和液体燃料的火箭研究与设计工作, 被错划为“右派”之后也从事飞机颤振等方面的设计工作, 他同时涉猎数学, 力学, 物理, 计算机, 中文信息等许多领域。然而在他的一生中, 始终重视力学和应用数学基础性的奠基工作, 他最重要的学术贡献也是应用数学和力学。他以战略科学家的眼光, 参与制定国家自然科学发展规划, 组建各种学术组织, 为我国的科技事业和人才培养做出了重要的贡献。因此, 作为我国近代力学的一位奠基人, 著名力学家、应用数学家、中国科学院资深院士, 钱伟长连同他的学术贡献将永远载入史册。

致谢 写作过程中得到周哲玮, 刘宇陆, 叶志明, 戴世强, 郭兴明等教授的宝贵意见和建议, 表示衷心感谢!

注: 由于篇幅所限, 本文略去钱伟长学术论文, 专著以及主编的会议文集等目录, 需要的读者可以从《力学进展》2010 年 40 卷 5 期, 或者 2012 年 9 月上海大学出版社出版的《钱伟长学术论文集》(1~4 卷) 中查找。

参考文献

- 1 程昌钧. 钱伟长先生对力学和应用数学的贡献. 力学进展, 2010, 40(5): 480-494
- 2 钱伟长. 宁波甬江大桥的大挠度非线性计算问题. 应用数学和力学, 2002, 23(5): 441-451
- 3 程昌钧. 理性力学在中国的传播与发展. 力学与实践, 2008, 30(1): 10-17

钱伟长与上海市应用数学和力学研究所

陈 然¹⁾ 郭兴明 戴世强

(上海大学, 上海市应用数学和力学研究所, 上海 200072)

摘要 回顾了上海市应用数学和力学研究所的建所历程, 探讨了钱伟长领导下该所的建所之道, 以及建所过程中钱伟长科学精神和学术思想的具体实践。

关键词 钱伟长, 上海市应用数学和力学研究所

经钱伟长先生倡议, 并经国家科委批准, 上海市应用数学和力学研究所于 1984 年 5 月成立, 归属上海市科委领导, 由上海工业大学 (1994 年与上海科技大学、上海大学、上海科技高等专科学校合并, 组建成立新的上海大学) 负责日常管理, 钱伟长校长兼任所长。如今, 上海市应用数学和力学研究所已经走过 28 个年头, 在首任所长钱伟长先生的领导下, 上海市应用数学和力学研究所 (以下简称力学所) 的建设和发展取得了长足的进步, 成为国内外有一定影响的

力学和应用数学研究基地。

1 历程艰辛、成果斐然

力学所创所之初, 我国科技发展正处在百废待兴之时, 钱伟长先生期待在上海建成一片力学和应用数学研究的沃土, 进一步推动我国力学和应用数学在国民经济和国防建设中的作用, 并实践他的教育理念和学术思想。

1984 年上海的冬天特别寒冷, 而研究所师生的心特别热, 加班加点、挑灯夜战成了家常便饭。钱先生经常在处理校务、授课和讲座之余, 踱着方步来到实验室、办公室, 与还在工作的年青人聊天, 询问工作、生活的情况。简陋的平房里有了稍有模样的实验室、计算中心和资料室; 举办了首届国际非线性力学会议; 迎来了 36 位各国来访问、讲学的专家……

本文于 2012-07-29 收到。

1) E-mail: chen@shu.edu.cn