

# 理性力学

曾春华 郭康民 (中国科学院力学研究所)

理性力学是本世纪四十年代中期,随着科学和生产发展的需要,逐渐形成的一门新兴学科.它是介于数学和力学之间的一门学科,又是连续统力学的基础.

## 理性力学的产生

任何一种理论,它都是对客观世界观察和实验的归纳、总结及抽象的结果.然而,任何一种新理论的诞生,都要经历艰难曲折的道路和严峻的考验.理性力学的产生也是这样,在本世纪四十年代中期,当人们试图把以经验规律建立起来的力学理论加以公理化,并对力学的基本问题进行严格的数学论证时,就有不少人指责做这种公理化是在作数学游戏,而且把严格化说成是吹毛求疵.

早期人们对于经典理论还是很满意的,并用经典理论解决了不少实际问题.例如,将近一百年来,人们对线性理论进行过广泛的探讨,充分发挥了它解释力学现象的能力,并使它的数学也发展到相当完善的地步.但是随着科学技术的发展,人们逐渐认识到经典理论有它的局限性,并且发现在许多情况下,线性理论是完全不对的.例如柱体扭转时为什么会伸长,射流在刚离管口处为什么出现径向膨胀现象,油漆为什么总是积聚在搅拌器轴杆周围致使搅拌效率不高,象车胎那样的橡皮制品怎样计算等等,面对这些问题,经典理论无法回答.

从小变形理论到有限变形理论,人们还可以在经典理论的框架内进行讨论.本构关系从线性到非线性,由于问题相当复杂,促使大家不得不回过头来看看理论的基础.之后,人们在新的材料和结构中必须考虑有极的介质,非协调的介质,甚至要考虑非局部的内部作用,这些内容都已无法再在经典力学的框架内加以讨论了.而且科学在日新月异地向前发展,各传统学科在互相渗透,在力学中又提出了许多新的问题,如力学与热、电磁的耦合作用,混合物的理论,这些新的问题只能在更深入地处理力学的基础上才能加以解决.

1940年穆尼(Mooney)通过大量实验证实了某些类似橡皮的力学性能可用弹性势来描述,从而把非线性弹性理论中最困难的问题之一,即弹性势的函数形

式问题具体向前推进了一步,同时证明橡皮是几乎不可压缩材料.1948年起,里夫林(Rivlin)等利用这个不可压缩条件用半逆法获得了一系列简单而重要问题(如圆柱体扭转,立方体弯曲等)的精确解,把这些解与橡皮的实验作比较得到了弹性势的形式,用这些结果预报橡皮制品的性能,即使它的伸长为原长的两三倍,精度仍然达到百分之几,只要想到,伸长度为1%时小变形理论的误差就很大,就马上能体会到有限变形理论获得成功的份量了.这一成功,极大地鼓舞了人们研究这种理论勇气,从而开始了对有限变形弹性论的新攻势.理性力学就在这种形势下诞生并得到了蓬勃的发展.

## 理性力学的特点

理性力学是一门数学学科,又是一门具有横贯性的力学学科.它用数学的基本概念和严格的逻辑推理,一方面对各传统变形体力学分支用统一的观点进行了综合性的、更深入的基本规律的探索,另一方面又根据生产斗争和科学实验的需要,对经典理论无法解决或解决不好的问题,力图从物理原型出发,经过综合过程,由感性认识上升到理性认识,建立和发展新的力学模型和理论.

理性力学中的“理性”两字就是“合理”的意思,所以人们又把理性力学称为“合理的力学”.那么是否就可把经典力学称为“不合理的力学”呢?事实上,理性力学和经典力学之间的关系可以这样认为,理性力学是经典力学的合理推广,经典力学则可作为理性力学的特殊情况.

理性力学研究的一个重要特点是,它力图建立各种理论的公理体系,并对自然现象间的辩证联系和一般本构关系的研究也给予相当的注意.因此,理性力学的研究对象是力学的理论基础部分,是各分支的共性部分,但理性力学并不代替力学的各传统分支.

理性力学的每项研究,从建立模型、理论到解决实际问题的方法,都牵涉到数学的应用问题,所以理性力学的近代发展是和数学的新概念和新成果分不开的.但应该意识到,用数学不是理性力学的目的,数学是理性力学的必备工具,应用了数学,理性力学

就能更深刻更确切地描述自然、了解自然和征服自然。

理论虽然是对客观世界观察和实验的归纳、总结和抽象的结果，但在建立理论的过程中，必须抓住对象的主要矛盾，并以之为依据引进一些假设和使其理想化，即建立所谓的数学模型。所以，任何理论都只是在不同程度上对自然界某些方面的近似，都有一定的、由自然界本身的实验来确定的有效范围，也就是看这理论所预言的结果与实验结果符合得怎样。因此，我们在数学上总是力求严格，只有这样才能检验所建立的数学模型的正确性。理性力学的任何工作都具有这两个鲜明的特点，即新概念和严格的数学证明。

### 理性力学的任务

理性力学的主要任务是提供和研究数学模型，因此可以想象它所涉及的范围是非常广泛的。一方面，理性力学要对自然界中现实物质和现象加以概括，使之抽象化，对有些含糊不清的概念和原理加以澄清，使之严密化；对某些具体的理论和模型加以分析，使之普遍化；对有关的观点和方法加以统一，使之系统化，最后达到象数学科学，特别是象几何学那样抽象、严密和系统，使自己也成为数学学科的一个领域。另一方面，理性力学要回到原来的有关学科中去，为之提供理论基础，最后使自己和该学科成为不可分割的一个整体。

理性力学的产生和发展总是和当代科学技术发展总趋势相呼应的。为了更好地说明理性力学的任务，有必要首先看看理性力学是怎样发展而又有所区别于其他传统力学分支的。从小变形理论到有限变形，对变形大小已没有任何限制了，应变位移关系也由线性到非线性，而且平衡方程是建立在已变形物体上的，从物体的线性理论到非线性本构理论，不仅理想材料的数目大大增加，成为系谱，而且还建立了对整类材料进行描述和分析的有效方法；从经典物体模型到微结构理论，理性力学除了对把物体看成是三个自由度的质点的集合，物体的运动就是这质点集合在不同时刻到  $R^3$  的映射的经典模型，特别是对单纯物体作了深入的研究以外，还进一步开展了物体质点具有微结构的研究，建立了微结构理论，有了微结构理论，就可以建立严格的杆、板、壳理论，可以研究颗粒固体、骨骼、复合材料和液晶的运动；从协调理论到非协调的连续统理论，因为经典理论都要求满足协调方程，它对离散的晶体位错，经典理论仍可适用，但对有位错和内应力存在的物体，已不满足协调方程，所以对于连续位错，必须建立不协调的概念，理性力学就解决了这一问题；从局部理论到非局部理论，理性力学对一维情况算得的色散曲线与用点阵原子理论算得的结

果非常吻合，用非局部理论还能解释表面张力、表面粘性、表面应力等现象，非局部理论虽然仍用唯象方法，但它已考虑了微观性质引起的效应，因此有希望在古典唯象理论与原子分子理论间架起桥梁，有可能揭示许多经典场论之外的力学现象；从单一物体理论到混合物理论时，已探讨了若干种物质的共同运动，有了混合物理论，就能对扩散现象、多种流体、多孔介质、化学反应介质等进行研究；从单纯力学理论到与热、电磁的耦合理论，理性力学已跳出了单纯力学的研究范围，考虑到耦合效应，因为自然界中各种现象总是相互联系的，理性力学与其他传统力学分支的关系，国内已有人有过较全面的综述[《力学情报》，2(1978)]。

从上面的分析可以知道，对于理性力学，不能只是狭义地理解为传统力学所涉及的范围，实际上，从理性力学的发展历程及其趋势看，它已经跟其他基础学科的许多分支有了密切的联系，今后必将产生更密切的联系。从1945年以来，理性力学在发展初期，主要致力于恢复和发扬曾被丢掉很久的数学与力学的密切联系的传统，发掘和复兴曾被忽视多年的数学模型和经典理论，并且提出要重视力学基础理论的研究。从1958年以来，理性力学的任务更明确了，它已发展成为对复杂的物质进行科学的抽象和对有关的学科进行辩证的综合的一门新兴学科。

### 理性力学的进展

一个力学理论的建立，它不但要在数学分析上是成功的，更重要的要在物理上是合理的。理性力学正是实现了上面这两点，所以近30年来，理性力学得到了蓬勃的发展，无论在深度和广度方面都取得了丰硕的成果，已成为力学中的一门新兴学科。

首先，理性力学对经典力学问题进行了深入研究和补充。例如，理性力学对1823年考奇(Cauchy)提出的连续统力学定理进行了追究，考奇认为经典物理学的平衡方程是

$$\int_{\partial B} f(x, n(x)) dA_x + \int_B b(x) dV_x = 0,$$

其中  $n(x)$  为物体  $B$  边界  $\partial B$  上的单位外法线， $f$  表示  $\partial B$  上作用在单位面积上的力， $b$  为作用在单位体积上的体力。以后的研究表明，经典物理学的平衡定理中的基本概念不应是密度  $f$ ，应该是在任意有向表面  $S$  上的总力  $F(S) = \int_S f(x, n(x)) dA_x$ 。1976年格廷

(Gurtin)和马丁斯(Martins)还十分简略地回答了有没有物理上合理的假设能利用  $F$  得到  $f$  的连续性以及从一般平衡定理出发，可否不作另外假设使  $f$  至少到

处是线性这两个问题,从而使人们对格廷定理有了更进一步的认识。又如1855年菲克(Fick)提出了一个扩散理论,他认为对于一个无限长管,设在开始时只在管中点 $x=0$ 处浓差不为零,则扩散方程具有 $x=0$ 处浓差极沿全管无限快传播的性质,这显然是欠妥的。1977年马勒(Müller)以理性热动力学观点系统地研究了混合物热动力学理论,给出了无限长管的具体解,认为浓差极是以速度 $V$ 向左和向右急剧衰减的,从而解除了菲克扩散理论中的佯谬。

其次,理性力学还积极寻求在现实可能条件下固体和流体非线性问题的精确解,并努力寻找普遍适用的解答。在这方面卡法达(Kafadar)做了很多工作,并且已找到了一部分固体和流体的准确解。1972年内格希(Naghi)对板和壳的直接理论和三维弹性理论作了系统的阐述。1971年克罗斯(Cross)提出了物质上均匀的光滑的弹性薄膜的数学模型,第二年王(C. C. Wang)就把它推广到壳的数学模型上。最近王和克罗斯应用诺尔(Noll)和王的方法,把克罗斯弹性薄膜模型又加以推广,给出了弹性壳的场方程。1977年马里斯(Marris)和阿斯瓦尼(Aswani)研究了普适轴对称纳维尔(Navier)-斯托克斯(Stokes)运动问题,证明了一个定理,即唯一的普适旋转轴对称纳维尔-斯托克斯运动是 $\omega/P$ 为空间常数(式中 $\omega$ 为涡度大小, $P$ 为表现点到轴对称的距离),而且它们的流线是平行的直线的运动。

在单纯物质体理论的创立和发展上,理性力学也取得了可喜的进展。继1958年诺尔提出的第一单纯物质体数学理论后,王又提出了广义单纯物质理论,欧文(Owen)提出了具有弹性范围物质的数学理论,比泰(Beathy)和利(Leigh)提出表面力和在连续统中单纯物质体运动的本构关系的数学理论,1972年诺尔还提出了一个新的单纯物质体理论,比第一个理论大大前进了一步。1974年王和布卢姆(Bloom)基于物质同构的概念研究了滞弹性体的物体的物质均匀性和不均匀性问题。科利曼(Coleman)和欧文系统地阐述了热动力学的数学基础问题。1975年摩根(Morgan)建立了新的概念结构,这种结构包括了由诺尔的单纯和阶度 $n$ 的粒子、格林(Green)和里夫林(Rivlin)的多极粒子、托平(Toupin)的极性粒子和埃林根(Eringen)微极粒子等组成的不均匀物质体,把诺尔的概念加以推广,引进了非完整的、半完整的和完整的 $r$ 阶粒子新概念。最近西尔黑维(Silhavy)和克拉托维(Kratovich)在诺尔新的单纯物质体理论的基础上系统地提出了非弹性物质的力学理论,从而使物质体理论的研究范围更加开阔。

对理性力学发展起着积极推动和指导作用的是三

部场论专著的诞生,即1960年特鲁斯德尔(Truesdell)和托平合著的《经典场论》(*The Classical Field Theories*),1965年特鲁斯德尔和诺尔合著的《力学的非线性场论》(*The Non-Linear Field Theories of Mechanics*),1975年埃林根、卡法达和埃德林(Edelen)合著的《极性和非局部场论》(*Polar and Non-Local Field Theories*)。这三部场论系统性很强,概括性很高,对当时理性力学的研究成果作了全面总结和系统阐述,对理性力学的研究具有十分重要的意义,从此理性力学作为数学力学的一个重要方面和作为力学理论的基础不仅得到了承认,而且坚实地站稳了脚跟。

此外,理性力学还不断地对新理论和新模型进行探索。1972年古德曼(Goodman)和科温(Cowin)提出了一个以质量分布概念为基本前提的粒状物质理论,认为质量分布必定与颗粒的体积分布相关,为此他们利用体积分布函数作为独立的运动学变量。1974年帕斯曼(Passman)进一步开展有关颗粒物质的研究,推广了古德曼理论。1971和1972年贝德福德(Bedford)和斯特恩(Stern)提出应用互穿连续统作为复合物质的模型,最近蒂尔斯坦(Tiersten)和杰哈米(Jahamir)系统地提出以互穿固体连续统作为复合物质模型的理论,他们给出的非线性微分方程组和边界条件适用于纤维增强和其他一些类似材料的复合物质。1974~1975年奥斯特(Oster)和佩雷尔森(Perelson)提出一个研究化学反应动力系统的解析结构,他们利用近代动力系统和控制理论的概念去处理化学反应动力学问题。

值得提起注意的是,近年来,理性力学的几个重要方面,如理性连续统力学、理性热动力学、理性非线性力学等都取得较大的进展,已有几本专著出版。

关于理性力学的作用和进展,国内也有一些学者作过评述[《力学进展》,1(1979)]。

### 理性力学的展望

由于在当代科学技术高速发展中出现了许多引人注目的特点,各传统学科都在摆脱原来分科的约束,互相渗透,互相促进,不断出现各种边缘学科和新兴学科,同时传统的学科本身也正经历着不断向深度和广度发展,进行着辩证的综合,而且数学的基本概念日益广泛地被应用来描述物理现象,使能用合适的语言简洁地建立自然界的普遍法则,发现自然科学理论的基本数学结构,从而更深刻地了解现象的本质。在这种形势逼迫下,理性力学显得更加重要了。

由于理性力学解决了许多经典力学无法解决的实际问题,所以得到科学和技术界的极大重视。美、

(下转712页)

多难题尚有待解决。

[徐亦力]

## 性行为与H-Y抗原水平无关

艾克尔 (Eicher) 和恩格尔 (Engel) 等 (1979, 1980) 观察到某些男向女转性者没有H-Y抗原, 而某些女向男转性者却有 H-Y 抗原。这引起一些研究者的深思, 是否 H-Y 抗原与人在出生前的性行为特征分化有关? 这一观点使许多转性者笃信 H-Y 抗原测定, 并以此作为变更性别状态的根据。

我们共测试了 9 例转性者的 H-Y 抗原。经男向女转性者的外周淋巴细胞吸收后, 大鼠特异性 H-Y 抗血清的剩余毒性与经正常男性外周淋巴细胞吸收后的相同; 女向男转性者的淋巴细胞完全不能削减抗血清的专一毒性。结果见表 1。

每一病例的 H-Y 抗原水平均与其核型性别、解剖性别、激素性别相一致, 但与性行为特征不相干。

表1 9例转性者的核型及H-Y抗原测定

| 例数 | 类型  | 核型     | H-Y 抗原测定 |
|----|-----|--------|----------|
| 6  | 男向女 | 46, XY | +        |
| 3  | 女向男 | 46, XX | -        |

虽然有关正常人 H-Y 抗原量变异范围的资料还很有限, 特别是在胎儿出生后其表达与性成熟的相关性方面的资料不足, 但迄今已见报道的正常男性测定结果均为阴性。性发育畸性的研究揭示, 不论睾丸发育程度如何, 都能在血清中找到 H-Y 抗原。这种协同也有例外: 一例罹患软骨发育不全的死产婴儿、二例男性假两性畸形都具有 46, XY 核型, 而没有 H-Y 抗原。恩格尔假设: 一种突变影响到 H-Y 抗原的血清学鉴定部分, 而不减其诱导睾丸发生的能力, 但令人难以信服, 而他提出的模型似乎更难以解释 H-Y<sup>+</sup> 的女转性者。按此模型应有三种特殊情况同时存在: ①调节片段与 H-Y 抗原分子上的受体结

合部位同时突变; ②纯合子; ③家族性。至今, 只报道过一例具正常 H-Y 抗原水平的 46, XX 女性。此外, 三位核型正常 (46, XX) 的母亲各有一个 46, XX 儿子, 在它们的血液和培养的皮肤细胞里都发现了 H-Y 抗原。

H-Y 抗原并非转性现象的病因, 最富说服力的证据是 Morris 综合征。受累者即称为“睾丸女性化”的妇女, 核型为 46, XY, H-Y 抗原阴性。这些人既无性行为特征紊乱, 也从不怀疑自己是地道的女人。她们体内的 H-Y 抗原诱导了睾丸分化, 新分化成的睾丸即分泌出正常水平的雄激素。然而, 由于细胞雄激素受体有缺陷, 使得除性腺以外的所有性征都朝向女性方面发育。可以说, 因这些病人未出生时就对雄激素失敏, 故丘脑下部主管性行为的中心便朝向女性变化, 尽管 H-Y 抗原呈阴性。

本文列举的实例以及 9 例转性者的 H-Y 抗原测定结果都说明: 性行为分化完全独立于 H-Y 抗原。

[王 炯]

(上接655页)

英、法、日、西德等国都竞相成立理性力学的专门研究机构和组织。例如在非线性和连续介质理论数值方法方面, 美国以奥登 (Oden) 为代表的一班人进行了一项庞大的五年研究计划 (1969~1974), 取得十分可观的成绩, 共发表 97 篇论文, 30 份研究报告, 4 篇博士论文, 30 篇硕士论文和 9 本书。国际上还多次召开专门会议对理性力学进行交流和讨论, 1967 年国际理论与应用力学协会 (IUTAM) 在弗罗伊登斯塔特-斯图加特 (Freudenstadt-Stuttgart) 举行了一次“广义连续统力学讨论会”, 并决定把会上的论文编辑出版。国际应用数学和力学协会 (GAMM) 也经常开展理性力学的讲座和年会活动。日本为了介绍和普及理性力学, 《机械の研究》在 1976~1977 年连续 18 期刊载德冈辰雄的《理性连续体力学入门》讲座。目前, 国际上理性力学的研究正处于持续高潮的局面。

理性力学的研究在我国还刚刚开始, 为了推动理性力学的研究, 1979 年中国力学学会举办了一次理

性力学讨论会, 1980 年又邀请理性力学的权威埃林根来我国讲学。我国科研和高等院校等单位不少学者正投身于理性力学的研究。

理性力学是一门具有生命力和广阔前途的学科, 我们已经看到了理性力学对于科学发展已经产生了深远的影响, 我们深信, 将来会有更多的学科引用它的观点和结果。但是, 也应看到, 理性力学目前尚处在发展阶段, 还有许多新的问题需要我们继续努力去探索。

自然科学 增刊

1980 诺贝尔演讲集

即将出版

## 编后

现代生物学的研究，当然是以分子生物学为中心而活跃于科学舞台上。然而近几年来，神经生物学的研究似乎正在崛起，而且其势头越来越大，并取得了辉煌的成就。1981年医学与生理学诺贝尔奖授予脑功能研究的斯佩瑞就是一个例证。本期刊登周绍慈副教授的《论大脑边缘系统与感觉机能的关系》一文，也是神经生物学方面的工作。以往已知大脑边缘系统跟呼吸、循环、内分泌、摄食、饮水、体温调节和性行为等生理功能有关，也跟学习、记忆、睡眠、情绪等有关。作者介绍的则是大脑边缘系统与感觉机能的关系，不仅介绍了国外研究的进展和展望，也报道了自己在这方面的工作。《从增进和抑制记忆药物的作用谈到记忆的分子机制》一文，也是根据目前一些药物的作用，提出关于记忆原理的一个假说。

高能正负电子物理实验是通过高能正负电子对撞产生的各种物理现象的研究，来揭示物质的微观结构和相互作用规律的。唐孝威同志撰写的《高能正负电子物理实验进展》一文，评述了在高能正负电子对撞机上所取得的实验成果，并作了展望。

经典物理的发展，曾经对科学起了巨大的推动作用。然而，在科学发展的历史过程中，经典物理越来越显示出它的局限性。这没有其他办法，只有发展新的理论来补充和取代它。数学和力学结合的理性力学，就是从经典力学中发展出来的新学科，它解决了许多经典力学解决不了的问题。它应用数学的基本概念和严格的逻辑推理，再从物理原型出发，建立并发展新的力学模型和理论。而经典力学则只是理性力学的特殊情况。《理性力学》一文对此作了介绍。在经典物理学中，拉普拉斯的决定论曾经长期统治着人们的思

想。然而，本世纪二十年代诞生了以哥本哈根学派为代表的量子力学理论。从本质上讲，描述微观世界过程的量子力学是一种概率的描述，和决定论是水火不相容的。这就引起了一些大物理学家的不满，认为可能存在定域性的决定论的隐变数，引起了长时期的争论。《量子力学中的隐变数》一文，就是对自1972年以来进行了九个物理实验来验证到底是量子力学理论正确还是隐变数理论正确的情况作了介绍。围绕着量子力学，科学家们争论了半个多世纪，还要继续争论下去，而科学也就是在这样的争论中发展着。拉普拉斯的决定论，在微观世界如此，在宏观世界也是一样。通过对各种复杂的非线性运动的准确估计，发现不论天上、地下还是人间，到处存在着混沌运动。诸如在旋涡星系引力场中运动的星体，地磁场方向的变换运动，流体力学中的热对流花样，生物群体中个体的数目随时代变化情况，以及量子力学与广义相对论中都存在着混沌运动。《一维映象和混沌运动》一文，介绍了将复杂的混沌运动化成简单的一维映象的研究方法。这些新方向的发展，都反映着人们对客观世界运动的复杂性有了更进一步的了解。形而上学的认识论，终将被丰富多采的物质世界的运动冲破。

本期学科介绍中，介绍了对策论和细胞地理学两门学科。“对策论”又名“博弈论”或“竞赛论”，是运筹学的重要分支。四十年代以来，由于战争和生产的需要，发展迅速。《对策论简介》一文以深入浅出的形式介绍了这门学科的基本概念和方法。细胞地理学是细胞学与植物地理学交叉、渗透而出现的一门新兴学科。在物种进化的研究领域中，它可与形态学观察的研究相互补充，而且在某种强度上更为可靠。《细胞地理学简介》就染色体特性及其与植物地理分布之间的关系作了介绍。

## 简讯

由中国科学院数理学部、中国核物理学会和吉林大学联合举办的国际核子-核子相互作用和核多体问题暑期讲习班于1983年7月25日至31日在长春南湖宾馆举行。

这次讲习班是中国核物理学界举办的第一次国际性的讲习班。除了特邀的讲座外，还有当前大家感兴趣的特邀的专题报告，以及经过选择的研究成果报告。与会代表150余名，其中包括来自加拿大、德意志联邦共和国、芬兰、希腊、日本、挪威、英国和美国等8个国家的26名核物理学家，他们大多是活跃在核物理研究前沿领域的有成就的科学家。国内部分

核物理专业研究生也列席了讲习班。

这次讲习班涉及的内容很广，除核物理中的两个基本问题——核力和核多体问题外，还涉及到重离子、天体物理等方面的课题。有关核力和核多体问题，探讨的主要内容有：核力夸克模型、核力的介子交换理论、核子-反核子、超核、 $\pi$ 核物理和各种多体方法等。有的作了系统的讲演，有的介绍了最新的理论研究进展，有的也介绍了最新的有关实验。

这次讲习班的正式用语是英语，有的虽然是第一次在国际性的会议上用英语作报告，但都获得了良好的效果。会议安排紧凑，会上会下广泛交流，对促进我国核物理学的进一步发展起了一定的推动作用。

(本刊记者 李顺祺)