



关于力学史的分期问题的初探



武际可¹⁾

(北京大学, 北京 100871)

引言

迄今我们看到的中国古代的历史书, 一般有三种写法。纪传体, 以人物的传记为主要线索展开叙述历史, 如司马迁的《史记》; 编年体, 按照逐年发生的大事来叙述历史, 如司马光的《资治通鉴》; 纪事本末体, 围绕一个时代发生的重大事件来叙述历史, 如袁枢的《通鉴纪事本末》。

力学史作为一种历史, 也有一般历史书的特点。我们看到的力学史著作, 也不外乎采用以上的三种写法。René Dugas 著的《力学史(A History of Mechanics)》类似纪传体, 他是从历史上著名力学家的贡献为中心来展开叙述的, 从阿基米德开始一直到亥姆霍兹的能量守恒, 最后还写到量子力学。铁摩辛柯著的《材料力学史》类似编年史的写法, 他从 17 世纪开始写起, 把 18 世纪分为三段来写, 写得比较详细, 有时还兼顾著名力学家的传记和重要事件, 如专门介绍 18 世纪与铁路发展有关的材料力学。戴念祖先生写的《中国力学史》在写法上则类似纪事本末, 他将中国历史上有关力学的研究归类, 分为“力”“重心”“运动”“简单机械”“材料与结构”等课题, 然后逐一叙述它们的历史发展。

历史在发展, 人们写历史的方式也在变化。人们开始注意人类历史发展的社会形态的变化, 根据社会发展形态, 把历史分为若干阶段, 如封建社会、资本主义社会, 还例如文艺复兴以后社会、产业革命之后的社会等。这显然是历史观点的一种进步。它不再是形式地按人物、时间、事件来叙述, 而是深入到社会结构内部来揭发社会结构的变化与飞跃。当然, 也有从人类社会发展的某个方面来写历史的, 如用人类使用的材料把历史分为石器时代、陶器时代、青铜

时代、铁器时代、钢铁时代等, 还有从文明发展来写, 如蒙昧时代、文艺复兴时代等。

有一些作者体味到历史的这种变化, 于是完全根据通史的写法来叙述力学史, 按照通史的发展来展开力学史的叙述, 例如“古代力学”“中世纪力学”等。其着重点还是从力学外部和社会发展中去寻找动力。力学的发展当然受整个社会发展的制约和影响, 不过, 要是从力学学科本身的内容方法和特点来看, 力学学科有着它自身的特点。所以还需要从力学学科自身发展的特点来组织力学史的叙述。

同样, 我们在观察力学史的时候也需要深入到力学发展的内部, 看它的研究内容起了什么变化, 有什么飞跃式的进步, 力学自身的发展为它后面的发展提出了些什么问题, 从而根据发展中主要特征的变化, 把力学的发展历史分为若干阶段来叙述。

1 力学与数学的亲密关系

力学作为科学的一个分支, 最大的特点之一, 就是它同数学的亲密关系。

力学同数学的发展是同步的, 或者说, 有什么样的数学就有什么样的力学, 反过来, 在一定的程度上也可以说有什么样的力学就有什么样的数学。力学的研究经常是要了解客观事物的质和量两个侧面, 而质和量是不可分的, 所以力学同数学自古便有紧密联系的传统。1627 年, 我国出版了最早的力学著作, 由传教士邓玉函(瑞士人)口授、王徵笔录的《远西奇器图说》。该书在谈到力学与数学的关系时说: “造物主之生物, 有数、有度、有重, 物物皆然。数即算学, 度乃测量学, 重则此力艺之重学也。重有重之性。以此重较彼重之多寡, 则资算学; 以此重之形体较彼重之形体之大小, 则资测量学。故数学、度学、重学之

本文于 2019-09-03 收到。

1) E-mail: wu_jike@sina.com

引用格式: 武际可. 关于力学史的分期问题的初探. 力学与实践, 2019, 41(5): 624-627

Wu Jike. On development stages of the history of mechanics. *Mechanics in Engineering*, 2019, 41(5): 624-627

必须,盖三学皆从性理而生,为兄弟内亲,不可相离者也。”这里说的数学就是计算,度学就是几何,而重学即是力学。

意大利文艺复兴时代的大师达·芬奇(Leonardo da Vinci, 1452—1519)说过:“力学是数学科学的天堂,因为,我们在这里获得数学的成果。”牛顿在他1687年出版的《自然哲学的数学原理》的绪言中则把几何学看作力学的一部分,他说:“几何学是建立在力学的实践之上的,它无非是普通力学的一部分,能精确地提出并论证测量的方法。”

力学是研究物质在空间运动的学科。所以力学尤其是和几何学有着不可分割的联系。我们可以把从阿基米德开始的有限自由度力学与数学的关系的特点归纳如下:

从阿基米德到哥白尼、斯梯芬时代,力学的研究内容主要是静力学和天体的圆运动。在几何方面的主要工具是欧氏几何。相应的计算工具是常量的代数运算。

从伽利略、惠更斯到牛顿、莱布尼兹的时代,力学研究的主要内容是自由质点的运动,特别是解决在引力作用下的自由质点的运动。在几何方面的主要工具是解析几何,特别是有关圆锥曲线的解析几何。在计算方面的主要工具则是引进了变量,发明了微积分,而且微积分的发明人牛顿与莱布尼兹自己也是著名的力学家,是那个时期的力学学科的开拓者。

在柯西、纳维与斯托克斯建立连续介质的过程中,也就是多元微积分走向成熟的时候,同时也是偏微分方程快速发展的时期。

从拉格朗日到哈密尔顿和雅科比时代,力学主要的研究内容是约束运动。在几何方面的主要工具是引进了 n 维空间的概念,后来经过黎曼的严格化,就是流形或黎曼几何。而在分析方面的主要工具则是引进了泛函的概念,并且发展了求泛函极值的方法,也就是变分法,拉格朗日自己就是早期开拓变分法的主将。

在19世纪末,力学又进入了一个重要的新阶段,这就是以庞卡莱与李亚普诺夫为代表的发展动力系统的定性理论时代。定性理论与运动稳定性的研究本来是从天体力学中提出来的一个理论课题,之后

发现在一切力学系统中,甚至在由一切非线性常微分方程决定的系统中都有普遍理论与应用意义。简单说,定性理论是研究系统解的性质随参数而变化的方向,例如有没有周期解的变化、有没有极限环的变化、解稳定与不稳定的变化等等。相应的几何方面的主要工具就是拓扑学和微分拓扑学,而相应的计算工具是同伦与外微分等,力学中的定性理论的开拓者庞加莱本人也是拓扑学的奠基人之一。至今经过了100多年的发展,它仍然是世界上都很关心的研究领域。

这些力学历史发展的事实说明,在力学发展的每一个关键时期,总是要同从前没有研究过的空间和数量模型打交道,力学家并不是坐等数学家去解决好了才动手工作,而是自己深入到数学中去发明新的数学工具,或者在与数学家的合作中加以解决。因此,在整个力学史上,许多开拓新领域的大力学家也同时是大数学家。即使是沿着他们开拓的路子前进的后继力学家,也必须熟悉前人发明的这些数学工具。

特别应当注意的是,在20世纪之前,力学与数学的发展大致上来说同步的。而进入20世纪,数学的发展却超前了许多。例如30年代在数学上引进的外微分,到大约50年代才向物理和力学界普及推广。在19世纪末在数学中发展的连续群理论,也是到20世纪中叶才在力学界普及。之所以是这样,是由于20世纪在数学界有一个由数学内部的逻辑必要性而不是纯粹由外部需求刺激的发展,例如在数论、数理逻辑、抽象代数、拓扑、微分几何等方向都出现里程碑性质的成果。

对照力学,特别是我国的力学,由于力学界过于关注力学的外部需求,特别是工程技术的需求,而对于力学自身逻辑连续性的要求注重不够,所以在力学理论方面进展相对缓慢。因此,从力学史的角度,关注力学学科内在发展的连续性的研究应当受到一定的重视。特别应当关注国际上力学基础理论的进展。

因此,在叙述力学发展历史的时候不可能不联系到力学发展与数学具有某种同步发展的特点。同时尤其应当关注数学学科追求完善内部逻辑发展的特点。

2 力学史的大略分期

我们大致可以把整个力学的发展分为如下的几块:

(1) 静力学理论奠基时期。从古代直到斯蒂文1586年出版的《静力学原理》,静力学的基础才算建立。这个时期包含17世纪以前的漫长的历史。

(2) 自由质点动力学原理的奠基时期。从伽利略1638年出版的《关于两门新科学的对话》开始,到牛顿1687年出版的《自然哲学的数学原理》为自由质点动力学奠定了基础,并且最早在天体运动上取得了成功。大致上说,这个时期基本处于17世纪之中。

(3) 约束体系的动力学时期。最早的约束运动是惠更斯1673年发表关于单摆与圆周运动的研究,拉格朗日1788年出版的《分析力学》集其大成。刚体也可以看作一类特别约束的质点体系,欧拉的工作为刚体的一般运动奠定了基础。大致说来,18世纪是这个阶段发展的主要时期。

(4) 连续介质力学时期。连续介质力学的个别问题人们研究得比较早,例如伽利略、伯努利研究梁,例如丹尼尔·伯努利提出流体运动的伯努利定律。不过直到19世纪中叶才从一般观点搞清楚它们的运动方程,这就是柯西的弹性力学理论,纳维-斯托克斯对于流体的纳维-斯托克斯方程。其后,利用所提出的控制方程,求解出了许多有意义的问题,并且得到实验的验证。大致上说,可以把19世纪看作是连续介质力学发展的黄金时期。

如果把连续介质力学中的本构关系看作一种依赖于受力状态的质点之间的约束,那么这个时期和上一时期可以合并为约束运动与连续介质力学奠基时期。

(5) 平衡与运动的不同型态之间的转变与转变的条件时期。也许意大利的托里拆里是最早把物体的平衡分为好坏两种,就是现在的稳定和不稳定平衡,后来通过实验发现和理论探寻,这类问题越提越多。李雅普诺夫的《运动稳定性》将运动分为稳定和不安定,雷诺将流动分为层流与湍流。进入20世纪,人们需要判断的不同类型的平衡与运动型更多,流动涡旋的产生与消失、固体的平衡与断裂、裂纹的维持与扩展、混沌的产生与消失、运动的可控与失控。后来发现,这类不同平衡与运动类型的转化是与

控制方程的非线性有关,更进一步,研究介质非线性本构、固体力学的大变形等问题。可以说,20世纪之后,力学的研究有两大特点,一是和物理学有了比较明确的分工,力学专注于宏观现象的研究,物理专注于微观现象的研究;二是力学中非线性问题的重要性凸显出来,有更多的非线性问题被提出和解决。

关于以上的分期,有两点需要说明。一是,没有将运动学考虑进去,原因是,从实质来说,运动学应当是属于数学中的几何学范畴内的。正如力学处处用到微积分,但微积分并不应当属于力学而应当属于数学,这是因为运动学中没有力。二是所指的时期过后,涉及的学科内容还在发展而不是停止。例如即使进入20世纪,静力学也还有研究的题目,并没有停止,但它毕竟不是力学关注的中心问题了。

3 什么是现代力学

近年来,人们口头上常说“现代力学”这个词。虽然说的是一个词,但不同人所指不同、内涵不同。

有人指现代力学就是航空力学,认为20世纪航空事业对力学提出了许多问题,围绕解决这些问题大大推进了力学的发展。不错,航空事业是推进了力学发展,但它仅仅是一个方面,甚至不是主要的方面。20世纪力学最重要的发展——计算力学的发展首先是从土木工程开始和普及的。20世纪重要的混沌的发现是从气象研究发现的,也与航空无关。所以这种看法有一点片面。

有人以人来划线,认为现代力学应当从德国的克莱因进入哥廷根开始,因为它主张理论联系实际,开创了力学的哥廷根学派。还有一个理由,似乎在此之前力学与实际是脱离的,在他之后力学进入了应用力学时代。对这种看法大有商榷的余地。首先世界上人们所说的哥廷根学派是指它的数学,它一度成为世界数学研究的一个中心。哥廷根不仅历史上出过像高斯、黎曼、克莱因、希尔伯特、诺特这样一流的数学大家,20世纪初,希尔伯特提出的23个数学问题,左右了世界基础数学研究大半个世纪。而在力学上并没有公认的如此殊荣。其次,克莱因是世界公认的著名数学家,在力学上的贡献并不突出。第三,说之前的力学与实际脱离,则更是不符合历史事实。力学自古就与工程实际有紧密的联系,这自阿基米德开始就是如此,牛顿在他的《原理》的序言中就将力

学区分为理论力学与应用力学。可见应用力学并不是克莱因的创造,也不是他之后才有的。不错,克莱因在哥廷根引进了力学家普朗特,之后还培养了一批著名的力学家。其中有冯卡门、铁摩辛柯等著名的力学家,不过要说哥廷根培养出来的这几位著名的力学家左右了 20 世纪力学的研究方向,未免有点过高估计。它远没有达到哥廷根数学方面的高度,不足以标志力学发展的一个时期的特点。

那么,什么是现代力学的本质特点呢?

首先,从时间上说,大致可以认为 20 世纪迄今是现代力学的时代。这个时代的最重要的特点是,现代物理把主要注意力放在微观世界,即原子内部的世界,力学将主要注意力放在宏观世界。物理与力学有了比较明确的分工。力学不再仅仅是物理的一部分,而发展成为一门独立的学科。

其次,非线性问题是这个时代研究问题的主要特征。开始时,从实验和理论发现到提出平衡和运动类型的转变问题,概括而论,这就是所谓的分岔问题。后来发现这些问题属于非线性问题的本质属性。因之在研究内容上,从一般观点研究力学的非线性问题引起人们的普遍关注,不管是几何非线性还是本构非线性。特别是 20 世纪 70 年代之后,反映在相应的数学问题,常微分方程的定性理论已经不能满足实际问题的需要,进而发展偏微分方程的定性理论。适应新的研究的需要,力学家必须熟悉流形、微分形、动力系统、变换群、微分方程新进展等新的

数学。

第三,力学与其他基础学科的交叉形成众多的交叉学科。力学是最早发展的学科,其他基础学科借助于力学的基础得到充分发展之后,形成了独立的基础学科,例如天文学、物理学、化学、地学等。进入 20 世纪,力学又与其他基础学科携手研究客观规律,取得丰硕的成果,形成一系列的交叉学科。如天体力学、人造天体力学、星际航行、地质力学、地球构造动力学、海洋动力学、大气动力学、生物力学、化学动力学、胶体动力学、岩体力学、物理力学、理性力学、等离子气体力学、宇宙气体力学、爆炸力学、化学流体力学等等。特别应当提到的是,力学和 20 世纪新生的计算机科学以及数学三门学科交叉形成的计算力学,它不仅给计算机的发展提出挑战性的课题,对数学的发展提出挑战性的课题,又反过来极大地推进了力学的发展。

第四,20 世纪力学在推进工程与新技术发展上仍然是起了并起着巨大的推动作用,它是人类第三次产业革命的主力之一。航空工程、宇航工程就是在力学指导下的新生技术领域,它还和计算机科学联手为发展机器人技术、无人驾驶技术做出了贡献。我们沐浴的现代技术的氛围,超大跨度的桥梁、超高大厦、高精密的加工技术、巨型轮船与潜水艇,高速铁路、巨型水坝与水利工程、产品的质量与效率的提高等等,无不凝聚着力学研究的成果。

这些,就是现代力学的本质特点。

(责任编辑:胡漫)