

谈谈非线性科学

钱伟长

非线性科学实际上自古以来就有，只是人们没有认识到而已。在牛顿之前，人们就可以看到很多现象和问题，尤其是天体力学的问题，物质和行星的运动都是可以看得见的。但是要描述这种运动，就需要统一的理论基础，这就产生了牛顿力学。而牛顿力学中，运动方程是线性的，即力与加速度成正比，可是实际上力与速度之间的关系是非线性的。还有一些解决问题必须要补充的关系是非线性的，即宇宙引力定律。合在一起就产生了牛顿力学的基本关系并很快见了实效，解决了天体运行问题。从此，牛顿定律得到了公认，它本身是线性的，但实质上力与速度的关系是非线性的。

可是在17、18、19世纪，人们集中力量在解决线性问题。不管是物理问题还是化学问题都把它线性化。因为那时数学家们只能解决线性问题，还解决不了非线性问题。动能、运动速度、力的大小等等都正好属于这种领域，在初步近似下可以当作线性的，而且都取得了成功。这一成功形成了第一次产业革命。可也的确遗留了很多问题。本质上不属于线性的问题，无法把它线性化，而解决非线性问题的数学方法还很不成熟，尤其是非线性的微分方程能够求解的很少，只有很有限的一批方程可以求解。到了20世纪以后发生了巨大的变化，人们认识的面广了，对宇宙的观测积累多了，就发现很多问题不是线性模型可以解决的。随着对物质规律观测的深入，从分子之间的关系到原子之间的关系，又深入到量子力学的范畴，发现很多关系都是非线性的，物理和化学中很多非线性的问题就出来了。第二次世界大战以后，人们进入了高速飞行的时代，也发现必须用非线性的办法来解决高速空气动力学问题。原子能时代之后是计算机时代，计算机又为解决非线性问题提供了一个强有力的手段。现在已经到了这么一个时代，我们可以说，任何科学发展，包括社会科学在内，它的前沿问题都是非线性问题。

最近我在报纸上就看到几个非线性问题。3个月前，香港的股票市场发生了很大的波动，先是飞涨，涨到一定的程度一下子跌下来。这个股票变化的曲线就是非线性的，搞电学的人一看就会想到放电曲线的趋

势和这个完全一样。还有一件事，济南要盖一栋楼，那里地基不大好，打了许多桩。打完桩后为了施工，又挖掉了半米，过了两天，这些桩都斜了。桩打入地下60米，总不能挖出来再打，施工单位没有办法，只好登报救援，谁有办法解决愿意出资500万。结果来了一个人，只用3个人，在桩旁边再挖下去一米，一个星期以后所有的桩都站直了。我看这个人懂得非线性，非线性问题不光是奇妙的数学问题。

50年代以后人们开始认识到所谓突变、分叉、混沌等非线性的特殊问题，也开始认识到非线性振动的工业价值，已可以用非线性振动的方法来测量振动频率，并且测得很准。还有控制领域，很多非线性问题正在得到解决，要不然我们的先进武器也不大可能获得成功。不仅如此，还认识到大量的社会问题都是非线性的，如果用线性的眼光来看待市场将不能得到很好的预期结果。当前这个时代，很多问题都是非线性问题，可是我们的脑子一二百年都停留在线性阶段，所以这个问题值得讨论。

还有一个新的因素，使非线性问题更难解决。这就是任何一个作用都有反作用，而反作用在时间上总是落后于作用。任何事情都是这样，社会问题落后得更长一些，当时不反应，到时候爆发。而我们的数学反应又是即时反应，函数与自变量是同一时间、瞬时的。而现在大批问题都不是同时进行的，不同步，反应都落后于影响，控制里最关键的就是这个问题。比如说一棵树往这边长，你看见了自然想要往那边拉，你拉的时候它已经回来了，那么拉得更大，一下子就拉垮了。这是因为它的反应落后于外界主动的作用。我们现在宏观调控经常发生这类问题，宏观社会的反应是不容易得到的，宏观调控难就难在这里。

所以我们当前就遇到这两大难题：一大难题是反应关系是非线性的，另一大难题是反应与作用有时差，这使得数学碰到很大的困难。在力学方面已经接触过许多这样的题目了，我们的办法就是用奇异摄动理论。所谓奇异摄动理论，就是正规的办法行不通了用不正规的办法来搞，可是数学上是不承认的，也不知道是不

是唯一的,也不知道是不是收敛的,更不知道是不是稳定的。奇异摄动理论已经发展了40年,其中好几位中国学者作出了很大贡献,它专门处理非线性 and 有时间差的这类问题。

我们可以看到所有的前沿问题都是非线性的问题,而科学研究转到非线性实际是很不自觉的,我们应该更自觉一些。

非线性科学到底是应用科学还是理论科学,我认为既是理论又是应用。理论达不到水平,应用解决不了,可是当实际问题提出来以后又逼着理论要上去。问题都是实际中提出来的,所以它既是理论又是应用。我们这里数学家很多,数学家擅长于把一个问题变成数学问题,再用数学的方法求解,这是我们所需要的。可是问题还有一方面,我想借用几位老先生的话来讲。40年前我认识几位老先生,其中包括我和钱学森的老师冯·卡门,还有我的博士导师辛祺教授。他们两个人都给我讲过,做一番事情,我们用的工具要恰到好处,目的在于解决问题。我们应该是解决问题的屠夫,屠夫需要很好的刀,杀猪杀牛,一刀下去恰到好处立刻就死了,没有什么挣扎。这把刀不要超过需要,刚好就行了。还有一批人是专门做刀,整天在磨刀,是刀匠。刀匠是需要的,可是如果整天地欣赏,我这把刀磨得多好啊,而不去用就不好了。一个是著名数学家,一个是在科学上卓有成就的工程师,他们都反对科技工作者轻视实用,这个思想非常明确。换句话说,不要作刀匠,要作

屠夫。我们非线性科学的发展,这句话也很关键。希望大家能去找最好的刀,去杀最难的问题。一刀下去正好,不要迷恋于不断改进刀。还有一种说法是发明电子计算机的冯·诺依曼讲的,他讲得更明白,他说我们为了解决问题,必须从所有的方面来找解决问题的办法,去找出这个工具来解决问题。要捏着鼻子跳海,跳海很危险。因为不会游泳就会被淹死。所以要学会游泳,会在数学的海洋里寻找工具,可是一定要懂得找到了工具就算了,不要老待在里头,这个海太大,你一辈子也游不完。当然也有人就一直海里游,数学家就是这样的。可是其他的科学工作者,应该找到工具用完就跳出来。不要你也去搞数学,我也去搞数学,将来数学家越来越多对社会也不合适,社会需要更多的实际工程人员。现在非线性科学也是这样的,你真是对这一问题有兴趣,这个数学问题可以无边无底地搞下去。可是切记,我们是为了解决问题,问题解决了赶紧找更大的问题。我们国家有很多问题没有人去搞,人手不够,也因为我们没有很自觉地去找问题。有一把杀猪刀,可是没有猪杀,如果有牛需要杀,拿这把刀来砍牛也应该能杀得掉。我们培养人也不要太专门化、太产品化。

总而言之,这个学科既是应用科学又是理论科学。我们是需要理论,同时更重要的是向我们国家建设工作中发生的问题进军,去解决它。外国人不能解决的,我们照样可以解决。

(上接 21 页)可能是使二氧化碳进入再循环、与氢化合成甲烷或甲醇之类的烃燃料。研究人员试图提高促进这些反应的催化性能。

以仙台为基地的 Tohoku 电力公司最近宣布了应用铈-锰催化剂的进展情况。用 1:4 的比例混合二氧化碳和氢,加热和加压,然后使之通过催化剂。电力公司的科学家们声称,实际上与氢分子结合的全部碳都形成了甲烷。该公司相信这种技术可以按比例扩大。可是该公司的副总经理说:“我们仍处于实验阶段。”氢和铈都是昂贵的商品。而且二氧化碳的分离和转化过程也需要能量,这将导致发电厂效率的全面降低。

横滨东芝公司实验室的一个小组试图跳过二氧化碳的分离步骤。把诸如乙炔之类的废气和氢基气体限制在一个盒子内,然后用电子束或激光光束碰撞它们。用光束能量激发这些气体分子,就可使它们分裂,重新形成各种结合体。迄今为止,这种方法已经产生了甲醇和一氧化碳,并被用作制造更多甲醇的原料。

科学家们还发现了诸如由气体形成的聚苯乙烯沉

淀物之类的固态有机聚合物。供气化学物质含量的变化可能导致甲烷和丙烷之类其他产物的出现。

东芝公司高级工程师 Takataro Hamajima 说,这种方法的主要好处之一是它非常简单。用激光光束和电子束激发气体的基本技术也是众所周知的。可是直到现在有用产品的产量仍然不高。Hamajima 说:“我们认为未来突破的可能性是存在的,但我们必须把它看作一个极长期的计划。”

在该领域内工作的一位科学家预见到一种快速固定法。最近 MITI 咨询小组断定固碳计划不到进入下世纪很久不会对二氧化碳散发产生显著影响。同时,这个小组说能源保护只能达到这一步。

MITI 地球环境部前副部长 Yoriko Kawaguchi 视察现有环境计划时说:“只有能源保护不可能阻止地球变暖趋势。”她说:“我们需要技术突破。”MITI 承认要想完成那样的突破决非易事。Kawaguchi 说:“我们必须尽早开始研究与开发。成果不久就会出现。”

[Popular Science, 1994 年 2 月]