

当代新科学扫描
Contemporary New Sciences

刘洪
(中国新学科研究会副秘书长, 副研究员)

提 要 作者力图站在大科学的高峰, 对当代新科学及其与社会、经济的关系作一鸟瞰。文章归纳了当代新学科的演化轨迹, 揭示了其综合手段, 描述了其角逐内容, 总结了其代表人物及学科自身的个性和共性, 提出了我国新科学研究中“抓中间(应用), 带两头(基础、开发)的战略方针。

60年代以来, 国际科技、产业、资金、市场的大转移、大调整, 使国力之争成为经济角逐, 而高技术经济的背后, 高技术之母——高科学在“垂帘听政”。工业发达国家不会忘记使其发迹的瓦特, 瓦特自然应当感谢牛顿, 因为没有认识世界能力之飞跃——科学革命, 改造世界能力之飞跃——技术革命, 随之而生的产业革命便成了无源之水、无本之木。

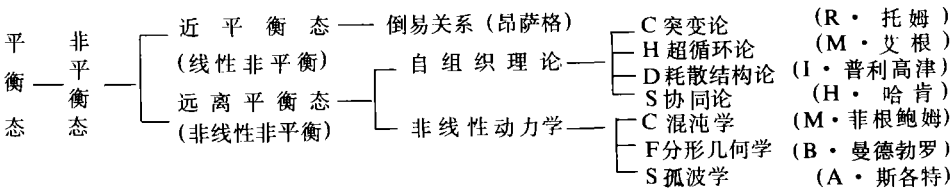
20年代末, 海森堡对魏茨塞克说:“没有丰富的当代物理学知识, 是不能理解哲学的。你要是不愿成为最落后的人, 就应该马上去学物理。”自然科学主要划分为物理科学和生命科学。在以物理学革命为代表的科学革命赛场上, 人类精英以接力跑的形式与自然进行着有始无终的较量。跑第一棒的是日心说, 牛顿力学为第二棒, 第三棒传给了相对论, 第四棒乃量子力学。目前, 作为当代新科学之冠的非线性科学正在跑着光辉的第五棒。在40年代的热身赛中, 以CIS(C控制论、I信息论, S一般系统论)为代表的组织理论首次出场; 60年代, 以C(H)DS(C突变论、H超循环论、D耗散结构论、S协同论)为代表的自组织理论一马当先; 从70年代至今, 以CFS(C混沌学、F分形几何学、S孤波学)为代表的非线性动力学后来居上, 方兴未艾。正如普利高津所言:“自然用一千种声音讲话, 而我们

刚开始去听。”认识和掌握第五棒, 认识和关注第五棒正在成为现代科学意识的重要标志。

一、“想入非非”的时代

自古希腊以来, 人们笃信和向往世界的稳定性、规则性、和谐性、有序性、因果性以及本质上的简单性。然而, 在通往真、善、美的所有途径中, 大自然只“喜爱”其中的几条。随着解析水平、实验技术、计算能力和图示(视象)方法的不断提高, 人们发现, 这个以不稳定动力系统为特征的大千世界却由一个“非”姓家族主宰着, 以至人类的理智跨进了“想入非非”的时代。在这个家族中可以看到: 非平衡、非线性、非稳定、非均匀、非结构、非确定、非可积、非可逆、非晶态、非规则、非连续、非光滑、非周期、非对称, 以及非标准分析和非冯·诺伊曼计算机……

沿着时间之河倒溯, 不难发现, 热力学对不可逆性的研究是当代新科学的产婆。各种不可逆过程都具有相应的热力学“力”和由其引起的热力学“流”。如温度梯度引起热流, 电压引起电流等等。按照“力”和“流”的关系, 可将热力学领域一分为三:“死”的平衡态,“半死不活”并趋于“死亡”的近平衡态, 以及“活”的、生机勃勃的远离平衡态。与之对应的新科学也应运而生:



自组织理论关注的是宏观行为的一致和组织,其相互作用属于长程特性。在这支部队中,哈肯因把自组织机制由非平衡态扩展到平衡态而棋高一着。非线性动力学着眼的是微观运动的不稳和分叉,其相互作用属于短程特性。在这支大军中,菲根鲍姆因发现了由倍周期分叉走向混沌的两个常数:相邻分叉的间距比 $\delta=4.6692\cdots$ 和分叉宽度缩小因子 $\alpha=2.5029\cdots$ 而出类拔萃。自组织部队重点解决系统无序→有序的机制,而非线性大军还要攻克无序→混沌、有序→混沌的堡垒,显然技高一筹。最近,钱学森教授在谈到混沌和有序的辩证关系时指出:“这是普里高津和哈肯都未说清的:在一个层次上的混沌是紧接着上一个层次有序的基础。所以,没有混沌就死水一潭,不会出现有结构的有序化,也就没有‘生命’。”

平衡与非平衡是一个物理概念,线性与非线性则是一个数学概念。所谓线性,是指两个量之间的依存关系成比例,可用一条直线加以表示。在线性系统中,整体的行为或性质是部分之和,复杂性因叠加产生,只要知道初始条件,就可了解过去,预测未来。而在非线性系统中,整体的行为或性质与其组分的行为或性质的总和有着本质上的区别。我国著名科学家徐京华有一妙喻:对还原论来说,是研究三个皮匠是如何工作的;对系统论或整体论来说,是研究诸葛亮是如何处理事情的;但非线性研究却试图解决三个皮匠是怎样变成诸葛亮的。人们进而发现,世界的“庐山真面目”乃是平衡、非线性。平衡只是非平衡之特例,线性只是非线性之特例而已。庞加莱的“三体”问题可算是非线性研究之滥觞。

经典的数学理论在解决线性方程所支配的科技问题中获得了极大的成功。但它只能近似地描述世界,在解释和预测叠加原理失效的非线性现象时便显得力不从心了。近30年来,各门以非线性为特征的子学科研究突飞猛进,尤其是近10年来更是石破天惊,以至非线性科学一跃而成国际科研的大热门。令人激动的是,已经发现在简单的确定性系统中产生了内在的随机性。通过分叉,非线性过程进入混沌——由有序演化而来的混沌,它具有奇怪吸引子、分数维数、无穷嵌套的自相似结构等特性。混沌不是无序,而是包含着更复杂、更精细、更高级的秩序。非线性科学覆盖着自然、社会、思维的几乎所有领域,导致了对有序和无序、整体和局部、量变和质变、偶然性和必然性、简单性和复杂性、确定性和随机性等一系列哲学范畴与概念的重新认识,一种新的科学自然观正在经典科学的废墟上矗立起来。

二、综合和困惑

在经典科学的殿堂里,作为第二棒的牛顿力学俨然“圣经”。但自20世纪以来,以少得可怜

的可积系统为研究对象的牛顿力学受到三次有力的挑战:相对论把人类的认识引向无穷大的宇宙,排除了对绝对时空的牛顿幻觉;量子力学将其引向无穷小的粒子,搅碎了可控测量过程的牛顿迷梦;今天,CFS又将其引向了有序性与无序性之间的复杂性领域,推翻了拉普拉斯确定性的可预测性独裁。

然而,牛顿定律毕竟以“天上”的运动与“地面”运动的统一,实现了科学史上的第一次大综合。古代科学中的“合”是宏观的、直观的、朦胧的。文艺复兴以来的近代科学逐渐“分”出了2000多门学科,它们追求化繁为简、化整为零。在现代科学中,“合”又螺旋式地占了上风。一些原有的学科纵向下分为边缘学科,横向贯通为横断学科,纵向上合为综合学科,纵横交叉为交叉学科。爱因斯坦跑了第三棒,其狭义相对论体现了时间和空间的统一,其广义相对论体现了四维时空和物质的统一。量子色动力学算是第四棒,它体现了强作用和弱、电磁作用的统一。

第五棒也是合的硕果。耗散结构论成功地地将各执一端的克劳修斯热寂说和达尔文的进化论合二为一;协同学研究慢快参量的竞争(分)和协同(合);超循环论把奥巴林的化学进化论、木村资生的中性突变和达尔文进化论揉成一团,插足其中创立了拟种进化论;分形几何学揭示的跨尺度对称性——自相似性意味着递归,它是将棉价、电子传输噪声,尼罗河水位图图形综合的结果;孤波论则将量子反射方法与统计物理中一批严格可解的模型加以联系,取得了进展;混沌学更是将争吵了数百年的有序与无序、确定性与随机性统一麾下。

除了“统一场论”(GUTS)美梦难圆之外,爱因斯坦今天将产生更多的困惑。他追求自然规律的简单性,但动力系统的行为却存在不稳定性,自然日益显示出演化、多样化、不稳定性和由非线性导致的复杂性;他否定了牛顿的绝对时间,却并未指出时间之矢的不可逆性,而演化世界的三个条件是不可逆性、概率与相干性机制;他笃信“熵理论对于整个科学来说是第一法则”,但“熵”实在太多了:有克劳修斯热力熵、玻尔兹曼统计物理熵、香农信息熵、薛定谔的负熵等等,令人莫衷一是。甚至,连提出“熵流”名噪一时的普利高津1989年也不得不承认,“熵是一个很奇怪的概念,不可能作一个完备的描述”,它“常常是产生有序的一种机制”。哈肯也直接指出普氏熵流原则“并非普遍有效”;爱因斯坦不相信上帝在掷骰子,但自然现象却顽强地表现出以随机性、模糊性为代表的非确定性和严格因果性、确定性的互补。在分支点的涨落和可能性空间是确定性的,但系统的行为跟随哪一个分支则是随机的。难怪普利高津要引用利特赫尔的检讨:“我必须以广大的全球力学工作者同行的名义来说,我们愿意集体道歉,向接受教育的广大公众散布

了满足牛顿运动定律的系统的决定论思想。”

第五棒先后经过了四次加速：1.发现了经过非线性相互作用后仍能保持个性不变的“孤立子”；2.在更为广泛的许多类确定论的非线性系统中，发现了对初始条件极其敏感的随机行为，即混沌现象；3.非线性系统按其共性分类，形成了普适类的概念；4.多数非线性问题有非整数维的表示。国际学术界正围绕着诸如孤立波和可积系统理论，混沌动力学，流动不稳定性湍流，耗散结构与协同学，分叉与突变，从时间序列恢复动力学，化学、生物系统的非线性行为等重大问题，从多角度揭示非线性系统的基本规律。

三、“明星”与“赛程”

争夺第五棒选手资格的拼搏从60年代就开始了。参加的新学科“明星”有：菲根鲍姆的混沌学，曼德勃罗的分形几何学，普利高津的耗散结构论，哈肯的协同论，艾根的超循环论，托姆的突变论，米勒的生命系统论，拜弗凯欣与萨丁戈等的分叉理论，斯各特与达维诺夫等的孤波论，福雷斯特的系统动力学，廖山涛的微分动力体系论等。此外，还有拉兹洛的广义综合进化论，施瓦茨和斯凯尔的超弦论，霍尔的量子霍尔效应，江崎和朱肇祥的超晶格量子阱等等。

为了抢占制高点，不少国家的非线性（科学）研究中心如雨后春笋般突起。这些明星的摇篮有：美国的洛斯·阿拉莫斯国家实验室、加州大学、德克萨斯大学、休斯敦大学，英国的里兹大学、瓦尔维克大学，法国的萨克雷，以及意大利的复杂系统分部，德国斯图加特复杂动力学中心等。苏联以解析为主，日本是解析与计算机模拟并重。我国中科院理论物理所等研究所及部分高校也积极参赛，正在取得一定的成果。

为了便于各队交流，国际上有着一年一度的洛斯·阿拉莫斯非线性科学国际会议和两年一届的苏联非线性物理力学国际会议，以及由他们举办的不定期国内或国际专题会议。同时，还新创刊了西欧出版的《Physica D》杂志和美国出版的《复杂系统》杂志，今年还将创刊由Pergamon Press出版的《混沌，孤波和分形》杂志。

1990年5月在洛斯·阿拉莫斯举行的“非线性科学：下一个十年”研讨会上，有32位专家讨论了今后的5个参赛项目：图象形成和辨识、湍流、动力学、孤波和生命系统。我国学者郝柏林作了“符号动力学和复杂性之特征”的报告。

在我国，“非线性科学”作为国家自然科学基金基础研究重大项目，已于1989年通过“八五”计划评审立项，国家自然科学基金会每年支持100万元经费。国内赛程包括：1、可积系统理论和孤波研究，2、非线性系统混沌现象的深入研究，3、分形、临界现象及其机制的研究，4、随机力对非线性系统作用的研究，5、数学物理方程中的

若干非线性问题，6、流体运动的非线性失稳、分叉、混沌和完全发展湍流研究，7、复杂系统的模拟研究，8、若干典型非线性系统的研究（生物及生命系统、等离子体、固态物质）。根据我国的国情，选择耗资少、智能优势多、发展速度快的重要学科突破项目是可取的，如非线性数学和非线性科学、凝聚态物理、生命化学、生物大分子结构和功能、神经网络、全球气候变化等，力求在不长的时间内争占一席之地。

新学科是科学，不是玄学，有着广阔的应用前景。从某种意义上说，发展高科技最关键的是强化应用开发。正如杨振宁所说，要象美国西部的开发者那样，“卷起袖子坐上马车就到西部去干。”例如，混沌学揭示了白血球、天气和道·琼斯指数的共同规律。它可用来研究物理、天文、生物、气象、生态以及众多的经济社会问题。美国哈佛医学院戈德伯格博士发现，正常人的心律是不齐的，只有垂死者的心率才完全一致，因此，现在盛行的心律调整器反而可能对患者不利。美国1987年的黑色星期一找不出替罪羊，原来这是不可抗拒的非线性效应。又如，分形几何学研究处处连续、无处光滑的非规则图形，其揭示的分数维数无穷嵌套的自相似原理被天体学家用来找出银河系的分布，化学家探明蛋白质分子的构造，物理学家认识噪声、流体和腐蚀的本质，经济学家则企图找到股票价格的吸引子，医学家寻找艾滋病、白血病、心脏病的救世良药，地质学家借此探测石油，城市专家安排地下管道。再如，孤波理论研究历远不散的“孤波”，可用于发现超导原理，并使光纤网络信息载荷增加100倍，将来可从每秒转载17亿位增至1000亿位。至于CDS的应用大众早已耳熟能详了。总之，有了合适的“孵化器”，新学科对技术经济社会发展的巨大作用怎样估计也不会过高。

四、英雄所为略同

“大江东去，浪淘尽千古风流人物。”前四棒的选手个个都是英雄，第五棒的选手条条都是好汉，尽管其中不乏具有光辉而怪僻经历的“怪人”。

这些好汉有着不少发人启迪的共性：1.广阔的视野。哈肯、普利高津、曼德勃罗都是带着多学科广角镜的多面手，不但兴趣广泛而且博学多才，数理化、天地生，无不熟悉，社会、经济、思维莫不关心。2.哲学的指导。爱因斯坦受到马赫哲学的启示，普利高津受到伯格森哲学的熏陶，他与哈肯、托姆等都不约而同地表示，其思想的形成受到中国古代哲学的深刻影响。3.综合的方法。他们不但沿袭了注重实验、定量描述的西方传统，而且汲取了强调有机整体的东方智慧，同时还大量使用新兴的计算机图示技术。哈肯还具有杰出的由物理→数学的“翻译”能力。4.

执着的追求。混沌学鼻祖之一的洛伦兹，整天伴着一架老式计算机，乐此不疲。费根堡姆曾经以26小时为“一日”发狂般地编程，每天只睡两小时，仅靠咖啡、香烟和牛羊肉度日，以致医生发出警告，他经常在夜半散步又被警方列为“可疑分子”。5.敏锐的感觉。曼德勃罗的得力助手是统计图表，他在以不同时间尺度分析通讯噪声、水位和棉价曲线时，抓住了共同的灵魂——无标度性、自相似性。非根鲍姆的有功之臣是 HP-65 手持计算器，由于速度较慢，所以在等待运算结果时发现了倍周期分叉的收敛速率 4.6692。洛伦兹的依靠对象是每周“罢工”一次的旧计算机，在等结果喝咖啡的瞬间，发现了输入“差之毫厘”，输出“失之千里”的对初始状态的敏感依赖。6.宽松的环境。洛伦兹在参军时偶然当上了气象兵，自此与气象预报结下不解之缘，复员后选择了这个枯燥而心爱的职业。曼德勃罗是一个犹太“流浪汉”，在哈佛教过经济，在耶鲁教过工程，在爱因斯坦医学院教过生物。他创立了蔑视传统的布尔巴基，又叛离了轻视图象的布尔巴基，终于在 IBM 公司搞纯数学研究的瓦特逊研究中心找到了庇护所。非根鲍姆获得物理学博士后的 4 年内只发表过 1 篇论文，但其恩师卡鲁瑟在辞退 5 名高级科学家的同时把他请进了洛斯·阿拉莫斯，让他笃悠悠地“想入非非”。第二年，他果然不负众望取得突破。7.曲折的经历。普利高津在 1946 年作关于不可逆热力学报告时，有一位物理学家当场抨击：“您对不可逆现象如此感兴趣，使我深感震惊，这些不可逆现象与其说它演变的结果是平衡，倒不如说它们在本质上是稍瞬即逝的。”哈肯在发现独特的激光原理后向专家请教，结果遭到种种非议，认为他的理论是“错误的”。曼德勃罗的分形曾被认为是荒谬的，同行漫骂他威胁别人赞扬自己。茹勒发现的奇怪吸引子被指责为异端邪说。非根鲍姆的首批报告引起的是惊奇、激动和不信任，只能靠演讲和预印本流传，退稿信塞满了抽屉。8.有力的传播。普利高津、哈肯等人都有自己的出版阵地，普利高津主编《化学物理进展》，哈肯主编《斯普林格协同学丛书》。他们不但频繁地演讲、交流，而且亲自撰写科普读物、寄发预印本，为了节省时间，不惜与他人合作著书立说。

第五棒自身也有着若干共同之处：1.观念革命化。不是小打小闹，而是着眼于从理论上取得重大突破，引起科学革命。2.视野多角化。扫描科学、技术、社会的多个方向，关注全球性问题。3.内容综合化。学科跨度大，高度综合，界面模糊化。如管理大师 H·西蒙融计算机科学、行为科学、系统理论、运筹学、心理学知识于一身。4.追求普适化。指望寻找一种无所不包的普适法则和定律。5.形式多极化。天各一方，八仙过海，各显神通。6.组织正规化。有中心，有刊物，有活动。7.攻关协同化。第一、二、三棒都

是一个人跑，第四棒就是几个人跑了，第五棒是一批人在跑。一篇论文往往署名者有一串，不仅自家人，也有外单位的、甚至外国的同行。美国是政府与民间协攻半导体，日本几家对手公司合攻第五代计算机，欧洲则发展跨国合作。8.交流频繁化。艾根与普利高津常来常往，专家学者不断书信联系，哈肯刚写好一篇新论文就寄给有关人士，笔者也曾收到过他的新作。9.方法多样化。如采用数学手段以及图示视象技术（计算机图象及处理技术）。曼德勃罗就是借此取得突破的。10.竞争白热化。现在大家都知己知彼，就看谁跑得快。艾根的超循环论，我国有的学者尚不甚了了，但他却已改弦更张，从病毒水平转向基因水平研究其拟种进化论了。差不多与非根鲍姆同时，意大利莫迪拿大学的 V·弗兰西斯尼在研究湍流时也不断冒出了 4.6692……

五、更高、更快、更强

在热火朝天的科学奥林匹克竞赛中，我们已经看见了、听到了、学会了不少有意义的工作。那末，下一步该如何动作呢？

昨天，往事不堪回首；今天，我国的发展指数排行第 66（据世界银行 1990 年“世界发展报告”）；明天，如果 21 世纪成为和平发展的世纪，世界大国的科技和经济均按目前的势头发展，就综合国力而论，到 21 世纪中叶，美国的霸主地位将会丧失，取而代之将是美、苏、中、日、德五强并立的时代。到 2050 年，我国的经济实力将跃居世界第三。为了达到每年 6.3% 的平均增长速率，应当使我国选手在赛场上更高、更快、更强，在第五棒中建立殊勋。

首先，要认准方向，树立信心。我们东方民族的智力是优秀的。在学术论文中最先使用 chaos（混沌）一词的是美国的华裔学者李天岩（当时是研究生）和约克。其名作《周期 3 蕴含混沌》直到名家梅得知后才得以宣扬。60 年代一位日本研究生上田皖亮发现了奇怪吸引子，但大家却认为他计算有误，直到法国名家茹勒访日回国才得到公认。然而，两位东方人为时晚矣！头彩已被洛伦兹抢去了。那位至今一本专著也没有的“狂人怪客”非根鲍姆，由于方向对头，已被《幸福》杂志提名为 2000 年最有希望获得诺贝尔奖金的 10 名候选人之一。

其次，要提高素质，掌握方法。对于一位跑第五棒的选手来说，至少应该具备以下能力：1.信息获取能力。能在信息的大海快速捞针。2.符号转换能力。这包括外语翻译能力、其他专业语言的“翻译”能力和计算机语言的驾驭能力。3.数学图示能力。许多突破者开发右脑，善于捕捉对图形与曲线产生的直觉和灵感。同是管理学大师，西蒙为什么比德鲁克高出一筹呢？无非是西蒙多几手而已。曼德勃罗的成功原因之一在于他

比别的老资格名家高手能更自由地摆弄计算机。牛顿、爱因斯坦早年都遇到过数学障碍，混沌理论的进展则得力于三位数学家的成果 KAM 定理和洛伦兹的数值计算。4. 方法实践能力。世界第一台电子计算机的发明者美国的阿坦纳索夫（并非图林或摩彻利等）在突破之前久思未解，心情不悦，于是自觉地猛开飞车以松弛神经。当他在 200 公里外的一家小店喝了两杯饮料后，症结便奇迹般地迎刃而解了。5. 综合创造能力。

再次，要优化环境，加强管理。茹勒说：“新事物总是被非专家发现的。”非根鲍姆的恩师卡鲁瑟则说：“科学工作往往不出自计划”。我们要寻求一种宽容的政策，造就一个宽松的环境，有意识地构筑和扩大非急功近利型的科学“庇护所”，让那些第五棒选手想入非非。如不养兵千日，岂能用兵一时？日本政府最近决定在今后 7 年内拨款 5.8 亿日元，支持富有个性和想象力的科学家个人自由地从事研究，以期出现诺贝尔奖级别的科研成果。同时，还得讲究目标与人员的最佳组合。硅谷曾是世界高科技的摇篮，谁是头号功臣呢？是教育家特曼。这位当时的斯坦福大学电气工程系主任高瞻远瞩，鼓动只有 1% 成功希望的风险投资，从而成为公认的硅谷“教父”。相反，半导体三级管的发明者肖克利经营的公司却失败了，因为他是一流的发明家，却未必是合格的企业家，而苹果电脑公司前总裁乔布斯就有自知之明，前百事可乐公司二把手斯卡利自然抵挡不住他的诱惑：“你难道愿意将生命都花在把糖水卖给小孩上面吗？”

最后，要注重教育，强化传播。第五棒选手十分重视普及，温伯格写了《最初 3 分钟》，朗道写了《大众物理学》，哈肯写了《自然成功的奥秘——协同学》，《纽约时报》科技部主任 J·格莱克写的《混沌：开创新科学》竟在美国畅销三年至今不衰。普及是宣传的有力武器，如布鲁

诺之于哥白尼、伏尔泰之于牛顿、赫胥黎之于达尔文、齐曼之于托姆。德国在这方面干得不错，最近不但推出一套几十册名家撰写的新学科通俗读物《五彩缤纷的科学》，而且歌德学院出资在全球主要国家进行“分形之美”巡回图片展览。哈肯是个幸运儿，他的那套协同学丛书得到了大众汽车公司基金会的支持。想当初，牛顿的《原理》全靠哈雷私人掏腰包呢！普及的功能还在于引导。据《美国科学家》“使你成为科学家的原因是什么”调查结果表明，由于受学校、家庭和社会科普宣传影响的占 60%，出自对科学的兴趣占 43%，出自对科学意义认识的占 17%，后两者也离不开传播。许多优秀科学家在青少年时就通过参观博物馆，展览会、电影、幻灯、录象和阅读科学家传记、科普小说踏上了成功的跑道。我们今夏主办的“当代著名新学科研讨会”恰逢上海百年不遇的高温，参加者竟也高达百人；由笔者担任特约编辑、郝柏林先生译校的《混沌：开创新科学》在今年 9 月全国第三届书市上荣获畅销书亚军。这不又是春天般的信息吗？看来，关键还在于政策、组织和宣传。

科学革命过去是伟大的，现在是动人的，未来是辉煌的。目前，争夺第五棒的角逐仍在激烈地进行着。我们看到的只是浮在海面上的冰山。尽管“大吸引者”、“星系长城”此类天外之天令人震惊，尽管电脑生物的人造生命“活化”之谜尚未解开，尽管人类社会是一个高度非线性、巨大状态维，而且具有时变参数、时滞环节、不确定因素和随机干扰的复杂系统，但是，人类从必然王国走向自由王国的步伐是不可阻挡的！上帝究竟是不是在和宇宙掷骰子？混沌学家福特说得妙：“上帝在同宇宙掷骰子。但它是灌了铅的骰子。”我们的目的就是“找出它们是按什么规则灌铅的，然后为我所用”。

（责任编辑 孙立明）

（上接第 50 页）

MSA—计算机在数学课程方面的最低要求将是微积分、高等微积分、线性代数、实变函数、积分理论以及另外两门高等数学课目；在计算科学系中，一般可分软件系统、资讯系统、计算机工程及计算理论等专业。假定集中于软件系统这一专业，课程的要求将有：计算程序、计算机结构、数据结构、程序语言及编译、计算机图象、软件工程、微机软件设计、计算机网络及通讯等以及另外一二门计算机科学的课程。

这是一个日新月异的世界。今日，一位大学毕业生，在他未来的一生中，应该准备会有一次

甚至多次职业的转变。只靠一门专业终其一生的时代已经过去了。要应付这些转变，就需要坚实的基础学识。什么是最重要的基础学识？数学。但是从另一方面看，一位应用数学家必须深入地触及某一应用的专业才能真正理解、赏识应用数学的真谛，才能真正将抽象的数学概念与实际世界联结起来。在未来的岁月中，每一学术领域都将触及愈来愈多的数学，所以就某种意义上言，每一位有学术修养的人都是一位应用数学工作者。

（责任编辑 朱世南）