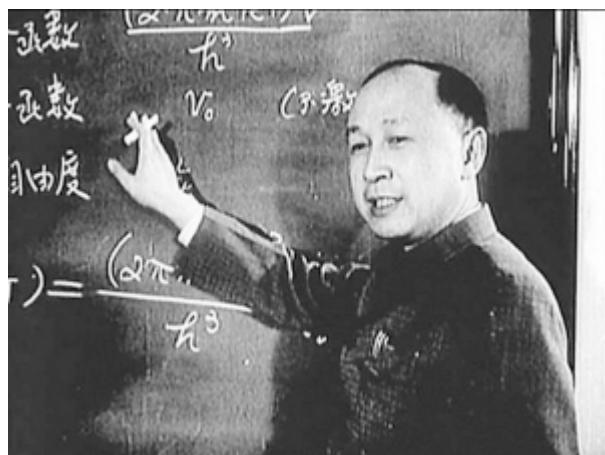




钱学森的数学观

保继光 魏炜

(《数学通报》2011年第11期)

钱学森 (Tsien Hsue-Shen, 1911 年 12 月 11 日--2009 年 10 月 31 日) 是举世公认的人类航天科技的重要开创者和主要奠基人之一, 是工程控制论的创始人, 是 20 世纪应用数学和应用力学领域的领袖人物。

本文谨以介绍钱学森与数学的密切关系纪念他的百年诞辰。

1. 钱学森与他的数学优势

钱学森出生在杭州。母亲章兰娟的计算能力和记忆能力极强, 具有数学天赋。钱学森继承了母亲的特殊禀赋, 3 岁时就有非凡的记忆力, 可以心算加减乘除。

大学毕业后, 钱学森考取了赴美留学预备班。1936 年至 1939 年钱学森在美国加州理工学院航空与数学系学习。这所学校强调理工结合, 培养目标是科学家和工程师的结合体。钱学森学习了当时数学的前沿复变函数论、物理的前沿量子力学与相对论, 以及化学、生物学的一些课程, 打下了坚实广阔的数理化基础。在博士论文《Problems in motion of compressible fluids and reaction propulsion》中, 钱学森用一种新的“切线气体近似”法精确地计算出飞机受到空气阻力所产生的热效应, 解决了飞机在高速飞行时产生的“热障”问题, 获得了机翼表面压力的分布状况, 建立了二维无粘性定常亚声速流动中估算压缩性对物体表面压力系数影响的公式

$$C_p = \frac{2(1 + \sqrt{1 - Ma_\infty^2})C'_p}{2\sqrt{1 - Ma_p^2} + (C'_p - 2)Ma_\infty^2 + 2}。$$

这就是著名的“卡门—钱学森（Karman-Tsien）公式”。上述结果解决了当时航空工程面临的重大难题。1939 年钱学森获得加州理工学院航空与数学博士学位。

钱学森的导师西奥多·冯·卡门（Theodore von Karman）是 20 世纪最伟大的美国工程学家，开创了数学和基础科学在航空航天和其他技术领域的应用，被誉为“航空航天时代的科学奇才”。我国著名科学家钱伟长、郭永怀、林家翘都是他的亲传弟子。冯·卡门把数学看作是打开自然界秘密的得力工具和基础技能，非常注重数学功底。而钱学森恰恰具有扎实的数学基础，并具有潜在的数学优势和天赋。他对于钱学森的数学才能和丰富的想象力作了这样的评述：“钱学森在许多数学问题上和我一起工作。我发现他非常富有想象力，具有天赋的数学才智，能成功地把数学与准确洞察的物理图象非凡地结合在一起。作为一个青年学生，他帮助我提炼了某些思想，使一些艰深的命题变得豁然开朗。这种天资是我所不常遇到的”。冯·卡门在 1967 年出版的自传中特辟一章“钱学森与红色中国”，对钱学森的评价是：“美国火箭领域中最伟大的天才之一，我的杰出门生”。

钱学森创建了工程控制论，于 1954 年在美国出版了《Engineering Cybernetics》，1958 年被翻译成《工程控制论》。钱学森在修订版序里说，工程控制论是一门技术科学，而技术科学的目的是把工程实际中所应用到的许多设计原则加以整理与总结，使之成为理论，因而也就把不同领域的共同性显示出来，而且也有有力地说明了一些基本概念的重大作用。简单地说，理论分析是技术科学的主要内容，而且它常常用到比较高深的数学工具。因此关于工程控制论的讨论，应该合理地包括科学中对于工程实践可能有用的所有方面。尤其是不应该仅仅由于数学的困难而逃避任何一个问题。其实深入地考察一下会发现，任何一个问题在数学上的困难常常带有很大的为人性质。只要把问题的提法稍微加以改变，往往可以使问题的数学困难减轻到工程师可以深入进行研究的程度。关于《工程控制论》，一位美国专栏作家是这样评论的：“工程师偏重于实践，解决具体问题，不善于上升到理论高度；数学家则擅长理论分析，却不善于从一般到个别去解决实际问题。钱学森则集两个优势于一身，高超地将两只轮子装到一辆战车上，碾出了工程控制论研究的一条新途径”。

钱学森认为数学科学是从质和量的对立统一、质量互变的角度去研究整个客观世界，并将现代科学技术分为：自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、文艺理论、军事科学、行为科学、地理科学，突现了数学学科的地位。钱学森是中国科学院数学物理学部委员，曾担任数学所学术委员会委员。1961 年在他的亲自倡导下，中国科学院数学所成立控制论研究室。

2. 钱学森与创新人才的数学素养

“为什么我们的学校总是培养不出杰出人才”？这是著名的“钱学森之问”。钱学森本人的答案是：要用现代科学技术体系结构培养和教育学生；让大学生懂得系统科学；让科学和艺术“联姻”；改革数学课程。钱学森明确提出，理工科数学课的课时数应作一定的调整，将数学课讲授的重点转移到让学生学会让计算机去求解，学会理解计算机给出的答案，知其所以然。理工科大学一二年级的解析几何、微积分、微分方程、复变函数论、偏微分方程等数学课的改革要面对人机结合这种科研方式。钱学森曾对王元院士说：“我对数学是外行，但数学很重要，不能每个人守着‘两亩地’，要注意交叉”。

钱学森在担任中国科技大学近代力学系（力学和力学工程系）主任时明确提出要培养技术科学工作者（介于科学家与工程师之间的人），要能够灵活地把理论和实际结合起来，创造出有科学根据的工程理论，把自然科学理论应用到工程技术上去。因此，他聘请著名数学家吴文俊主讲高等数学。钱学森曾给学生出过一道开卷考试题“从地球上发射一枚火箭，绕过太阳再返回到地球上，请列出方程并求解。”结果全班只有几个学生及格，表明学生数学基础不牢。钱学森决定，毕业生延迟半年毕业，专门补习数学，打好数学基础。所用教材就是加州理工学院的《工程数学》。在半年时间里，每个学生仅数学题就做了 3000 多道。由于打下了坚实的数学基础，学生们受益匪浅，在后来的工作中成为同龄人中的佼佼者，有的在“两弹一星”工作中担当重任，仅力学和力学工程系前 3 届学生中就有 7 名同学成为中国科学院或中国工程院的院士。

美国著名华裔作家张纯如曾在《中国飞弹之父·钱学森之谜》中表示，也许正是当年他受益的教学模式，引发了耄耋之年的钱学森对中国现行教育的思考和发问。上世纪三十年代后期到四十年代初钱学森在冯·卡门直接指导下工作，逐渐确立了关于力学的观点。而冯·卡门的观点是十九世纪末在哥廷根大学执教期间形成的。当时，他有机会与科学大家、应用数学的倡导者菲利克斯·克莱因（Felix Klein）和纯粹数学的巨匠大卫·希尔伯特（David Hilbert）切磋讨论。克莱因强烈主张数学与实际工程要结合起来，并认为所有伟大的数学家都应知道如何运用数学去解决实际问题，而这种观点又是希尔伯特和其他数学家所反对的。为了确保自己的这种想法能够实施，克莱因在哥廷根大学设立了应用数学和应用力学讲座职位。克莱因的观点对冯·卡门产生了重要影响，并成为他后来在亚琛工学院和加州理工学院致力于科学与技术相结合的动力源泉。正当冯·卡门在美国大力宣传应用数学和应用力学观点的时候，钱学森来到了加州理工学院，成为了冯·卡门的“学徒”，从而形成了他的应用数学和应用力学的观点。

据钱学森本人及他的同事的介绍，他相对同行的优势是出色的数学功底。钱学森在力学所的办公室里有一块大黑板，这是用来研究和讨论问题的，上边写满

了数学公式。因为钱学森数学水平很高，一遇到力学问题，就用数学模型加以解决。

3. 钱学森与北京师范大学数学系

钱学森 1929 年毕业于北京师范大学附属中学（原北京高等师范学院附中）。他一直情系母校，每次路过附中老校址，都会说“这是我最熟悉的地方”。1955 年钱学森在回忆中学时代的生活时说：“我对师大附中很有感情。在我一生的道路上，有两个高潮，一个是在师大附中，一个是在美国读研究生的时候。6 年师大附中的学习生活对我的教育很深，对我的一生，对我的知识和人生观起了很大作用。”

在北京师范大学附属中学钱学森事迹展览中，陈列着一页他晚年在思考“教育理论、思维科学与脑科学”问题时列出的 17 位老师的手记。在 7 位中学老师中最赞不绝口的是傅种孙教授。傅种孙是北京师范大学数学系（原数理部）1920 届毕业生，一级教授，中国数理逻辑、几何基础、现代数学教育的先驱。钱学森说：“傅种孙教授是我当年的几何老师，他使我爱上了几何。傅老师是一位博学多才的数学家，都知道数学是最枯燥的，然而他的数学课别有风韵。第一次上课便被他那独特的授课方式吸引住了，原来傅先生不仅有扎实的数学功底，对课程内容剖析深刻，比喻生动清楚，而且古文造诣很深，他用有名的桐城派古文自编了几何讲义，上课时拉着读古文的腔调讲解几何，特别有风趣。傅先生在课堂上讲过一段很精彩的话，他说‘有了公理之后，定理是根据公理逻辑推断必然结果，只要承认了公理，根据公理推出的定理只能有一个，没有第二个，不但在教室里如此，在全中国也是如此，在全世界也是如此，就是在火星上也是如此。’”钱学森认为，傅先生的这个讲法彻底极了。正是在初三年级听了傅先生的几何课，才使得他第一次得知什么是严谨的科学。傅老师为了强调几何理论的正确，还诙谐地说，不但人相信，鬼也得相信，连鬼的儿子都得相信。钱学森的兴趣广泛与他在北京师范大学附属中学受到的教育息息相关。他曾说：“当时实行德、智、体、美全面发展的师大附中，是我人生的基石”。

20 世纪 80 年代，钱学森积极支持北京师范大学数学系汪培庄教授开展模糊数学的研究。他听过汪培庄的学术报告，和他单独讨论问题，并指导他的科学研究。钱学森对他的论文逐条进行修改，并写信指出：“写文章要老老实实，什么是清楚的，就说清楚；什么还不那么清楚，就说还有什么要待今后的研究搞清楚。不要吞吞吐吐”。当汪培庄最后写好论文，提出共同署名时，钱学森在回信中说：“把我的名字放在文章的作者中是不对的，我决不同意。这不是什么客气，科学论文只能署干实活的人。要说我曾向您提过一两点有用的参考意见，那也只能在文章末尾讲上一句。这是科学论文中的惯例，好学风，我们务必遵守！至要、至

要!!! ”

钱学森是世界顶尖的科学家。1999 年他被国际媒体选为“影响 20 世纪科技发展的 20 位世界级科技巨人”之一。这 20 位巨人的前 4 位依次是爱因斯坦(Albert Einstein)、玻尔 (Niels Bohr)、海森堡 (Werner Heisenberg)、薛定谔 (Erwin Schrödinger)。钱学森排名第 18，是 20 位巨人中唯一的亚洲人。2008 年度国家科技最高奖得主、北京大学教授徐光宪院士谈到“国人不必为没有诺贝尔奖自卑”时举例，“钱学森是十年一遇的世界伟大科学家，超过一年一遇的一般诺贝尔奖得主”。

