# 彪炳史册的计算数学大师冯康

### 朱亚宗

(国防科技大学 文理学院,湖南 长沙 410073)

摘 要: 蜚声中外的冯康院士,有悲喜交加的成才经历,有独辟蹊径的两大原创,同时也是研发"两弹"的幕后英雄。冯康,充分展示了创新才华与高尚品格合一的中国典范的科学家精神。

关键词: 冯康; 计算数学; 科技原创; 科学家精神

中图分类号: G640 文献标识码: A 文章编号: 1672 - 8874 (2021) 01 - 0030 - 09

### Feng Kang, a Great Master of Computational Mathematics

ZHU Ya-zong

(College of Liberal Arts and Sciences, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** World-famous academician Feng Kang, who did original work in two fields in his own unique way and was an unsung hero in developing Hydrogen bombs and atomic bombs, had mixed experience before becoming successful. He was an example of the spirit of a Chinese model scientist with innovative talent and noble character.

Key words: Feng Kang; computational mathematics; original technology; spirit of scientists

# 一、引言

冯康生活于电子计算机发明并深刻影响社会的时代,伴随着计算方法的现代化与巨变,计算作为一种科学方法,从依附于实验方法与理论方法,而跃升为三足鼎立的三大现代科学方法之一。在中国重大国家需求与科学计算酝酿重大突破相交汇的历史时代,凭借深厚的学养与超常的努力,冯康不仅成为中国计算数学的主要创始人与奠基者,而且成为世界计算数学界公认的学术领袖。其学术思想与成果,曾长期遥遥领先于中国与世界的同行。1982年,冯康创立的有限元方法仅获国家自然科学二等奖,这是由于当时学界对计算数学重要性与冯康世界领先水平成果的认识普遍不足,致使这一奖项留下了历史的遗憾。1997年,

在冯康去世4年以后,冯康的另一重大算法独创 "哈密尔顿系统的辛几何算法", 荣获国家自然科 学一等奖,这是中国九十年代仅有的两项自然科 学一等奖之一,而且此后23年间,数学领域再未 有重大成果获此殊荣。而在国防科技领域, 冯康 以先进算法协同解决"两弹一星"计算难题的不 朽功勋已载入史册, 冯康是当之无愧的"两弹一 星"幕后英雄。冯康在生前已赢得崇高的国际声 誉,曾罕见地先后两次获得国际数学家大会邀请 报告的学术待遇。冯康身后的学术声誉也不断攀 升,2008年,由菲尔兹奖得主高尔斯主编的权威 著作《数学指南》出版,有限元方法作为人类科 技史上29项重大算法之一, 所列创始者仅2名数 学家与2名工程师, 冯康与柯朗作为数学大师而名 垂史册[1]149。在冯康去世的1993年,中国开始设 立"冯康科学计算奖", 迄今已有数十位获奖者。

作为享誉世界的数学大师, 冯康的科学精神 与人格魅力影响深广。1993年冯康刚逝世,美国 前科学院院长 P·拉克斯即发表《悼念冯康》的文 章,深情地表达对冯康的怀念:"他瘦削的身影, 闪烁着智慧的眼神, 以及永远充满活力的面孔, 将会被数学领域的学者与他无数的朋友所怀 念。"[1]90冯康的胞弟、著名物理学家冯端院士曾专 门追述冯康的科学生涯,并以"一个大写的人" 盛赞其兄的精神品格[2]508-510。而冯康的学生与合 作者黄鸿慈教授, 以独特的视角表达了对冯康超 凡品格与情操的理解与敬仰:"每次去八宝山扫墓 ……当我看着碑石那熟识的脸孔,就产生跳跃的 联想:按世俗的观点,身有残疾,缺少家庭温暖, 无丰盛物质享受, 怎能有快乐人生呢? 但我相信, 这个陶醉于学术探讨, 驰骋于知识天空的人, 当 他经过深度思考,解决了难题的时候,那种深沉 的快乐,不是常人能够体会和享有的。用辛勤劳 动换来的奖励以至国际学术界的认同, 当然也给 这种人长远的荣誉感……"[1]44-45

2002年,北京世界数学家大会举行期间,大 会主席吴文俊发表访谈录《中国数学不仅要振兴 更要复兴》,谈到有国际影响力的独创性科技成果 时坦言: "我们独创的东西不够。开创一个领域, 让全世界的人跟着你, 这类东西不够。从华罗庚 到陈景润,我国数学家做出了很多出色工作。20 世纪80年代以后,从事计算数学的冯康在数学领 域取得了世界公认的成就。冯康先生这样的创造, 不仅要有一个、两个,还要有很多,才称得上世 界数学大国。"[1]149-150年逾八旬的世界级数学大师 吴文俊高屋建瓴的殷殷之言,充满了自信,也深 怀着期待。在中国呼唤原始创新与渴求科技拔尖 人才的新时代, 值此冯康先生诞辰 100 周年之际, 本文通过回顾伟大数学家冯康的学术生涯与探究 创造奇迹的深层原因, 以期对我国的原始创新与 人才培养有所裨益。

二、超凡学子: 兴趣引领、跨界博学

冯康 1920 年出身于书香门第,经历了风云多变的青少年时代。6岁随家迁居苏州后,就读于苏州中学的附属实验小学与苏州中学。虽然就读全国名校,也并非事事顺利,冯康所以能在早年打好扎实的基础,主要靠高度的学习自觉性与追求

知识的浓厚兴趣。据胞弟冯端院士回忆,"冯康刚 进初中时,学习英语遇到困难,由于他在小学一 点英语也未学过,而其他同学大都学过英语。问 题之解决完全靠他自己的努力。他的英语成绩很 快就跟上了班, 不仅如此, 还跃居班上的前 列。"[2]501 冯康中学时代英语学习的成效,发人深 省。主要经验是主动地深入钻研,标准远超学校 的要求。冯康常将《高中英语选》上的文学作品 译成中文,有一篇幽默文章《闺训》曾发表于 《逸经》杂志。"抗战期间,苏州中学的图书馆被 炸, 冯康曾在断瓦残垣之间、灰烬之中拾得一本 英语残书《世界伟大的中篇小说集》,就津津有味 地阅读其中的一些篇章。这是他阅读英文书刊的 开始。英文报纸和电影也成为他学习英语的辅助 手段。"[2]501 冯康从未受过正规的英语口语训练,依 靠中学时代的深入钻研与后来的多看多用, 最终 英语水平达到惊人的地步。"冯康科学计算奖"得 主许振超回忆说,"1987年左右,我的导师 Bramble 邀请冯先生来康乃尔大学访问, 他们就有限元的 很多问题进行了深入探讨,我也有幸参与交流。 让我印象深刻的是冯先生说一口流利的英语,因 早听说冯先生年轻时出国交流的地点是苏联而非 英语国家。我不禁对他刮目相看。之后冯先生在 和 Bramble 等教授交流时所展现的渊博的学识以及 举手投足间流露出的兼具中国学者谦和与西方学 者自信的风度更是让我心生敬佩。"[1]129冯康一生通 晓英、俄、法、德、意、日等六种外语,包括中 文共掌握七种语言[3]。发人深省的是, 冯康早年 只在苏联待过一年多, 俄语以外的 5 种外语均无良 好的学习环境,全靠自学,无师自通。冯康超常 的外语能力,印证了华罗庚"聪明在于勤奋,天 才在于积累"的名言。早年打下扎实基石后来臻 于完善的外语能力,为冯康深厚的学养开辟了捷 径, 胞弟冯端见证了二者的联系: "他的外语素养 是非常突出的,不仅能看狭义的科学文献,而且 可以在广泛的领域来阅读与科学有关联的著作, 涉猎极广, 如科学家的回忆录、传记、史料与评 述等, 使他广阅世面, 眼界开阔, 因而对科学的 见解也高超过人。另一方面,外文作品中的文化 的滋润也给他坎坷的生活带来了慰藉和乐趣。"[2]501

冯康早年学习训练最精彩之笔是大学时代。

冯康高中未毕业时,苏州中学因遭到日机轰炸而解散。此后冯康随家庭迁徙躲避日寇,于 1938年8月到达福建永安。冯康在永安自学了半 年,不仅补上了高三的课程,而且还学习了萨本 栋教授的大学《普通物理学》。1939年2月,考入 福建协和大学数理系,同年9月又以第一名的成绩 考入重庆国立中央大学电机系。二战以前,现代 物理与原子能还未成为大学最热门的学科, 电机 专业竞争最激烈,毕业后前景也最好。但是,年 轻的冯康没有世俗的利害观念,而是智力渴求至 上,学习兴趣第一。因学习电机难以满足对知识 广阔深邃的追求, 冯康想从工科转学理科。冯康 在高中时期, 受朱公瑾教授科普著作的深刻影响, 阅读了朱公瑾先生在《光华学报》发表的"数理 丛谈"系列文章,这令他眼界大开,首次窥见了 现代数学的神奇世界,并深深为之着迷[1]117。朱公 瑾先生于20世纪20年代留学德国哥廷根大学,师 从数学大师希尔伯特,并获得博士学位。当时冯 康想从电机转学物理,但是转系并不顺利,到二 年级时,形成两系并读的局面,虽是出于兴趣主 动选择的结果, 但在奇重的课业与艰苦的生活双 重压力下,1941年,21岁的冯康终于罹患脊椎结 核病。然而冯康依然沉迷于知识的追求之中,并 摸索着走向更抽象的数学王国。这是一段悲壮卓 绝而心怀希望的人生历程:

"脊椎结核病开始发作时,冯康还在同时修读 电机系和物理系的课程……而在经济拮据的困境 下. 冯康又没钱看病, 又值抗战时期, 只能任由 病情日益加剧。此后冯康的脊椎明显出现了弯曲, 但是毫无办法。毫无办法便索性不管, 冯康反倒 产生了一种决绝的'豪气'。因此尽管病魔在一天 天侵蚀,尽管身体在一天天弯曲,但冯康还是以 惊人的意志力坚持学习。事实上,学习反倒成了 冯康的精神支撑……在种种困厄中, 冯康以惊人 的毅力不仅在不到两年的时间里修完了所有物理 系的课程,还修读了许多数学课程……冯康的病 情还在继续恶化,到 1944 年的一天已无法行走 ……冯康在床上躺了一年多时间,基本上不能动, 身上的一个口子在不断地流脓。尽管身体受病魔 恣意折磨,尽管终日卧床……冯康执着于自己所 感兴趣的数学王国,同时大量阅读外文作品,一 方面提高外语能力,一方面也在阅读中提升了文 学艺术修养。正是在身心最绝望的时期, 冯康却 同时感觉数学在自己的内心闪光, 确立了当数学 家的志向。精神与肉体如此分离,那时冯康第一 次体会到了这种神奇,精神几乎可以独立 存在。"[4]82-85

1943 年,冯康读完大学课程,于中央大学物理系毕业,实际上冯康的知识结构跨越电机、物理、数学三个领域。最终,上苍眷顾,冯康的伤口,在1945 年全世界反法西斯战争胜利之时,奇迹般地自愈,并能站立起来。与此同时,冯康又通过自学豪斯多夫《集合论基础》、范德瓦尔登《近世代数学》、外尔《典型群》、庞特里亚金《拓扑群》等世界数学大师的经典名著,坚定了当数学家的远大志向,而且奠定了纯粹数学的扎实基础。这时的冯康,犹如大地上一枝破土而出的茁壮新苗,但还需要适宜的环境与成长的时间。

有准备的冯康顺利地进入顶尖的科学殿堂工 作与深造。1945年9月, 抗战刚结束, 年仅25岁 且无海外留学背景的冯康, 凭借扎实的数理基础, 任复旦大学物理系助教,次年随学校迁回上海。 1946年9月,到北京任清华大学物理系助教,一 年半后转任清华大学数学系助教。已是世界著名 数学家的陈省身当时虽是中央研究院数学研究所 代理所长,"一度到清华大学主持数学讨论班,培 养了一批青年数学家,包括冯康·····"[4]921952年 1月,中国科学院数学研究所成立,华罗庚任所 长, 当年, 32 岁的冯康从清华大学选调到数学研 究所任助理研究员后,又作为建国后第一批公派 留学生赴苏留学,导师是国际数学大师庞德里亚 金。但是不到一年, 冯康的脊椎结核病复发, 在 莫斯科第一结核病院治愈后于1953年底提前归国。 冯康在苏联留学的时间只有一年多,期间还因病 住院治疗, 但是敏锐的领悟力, 使冯康对莫斯科 大学讨论班导师、苏联数学家盖尔范德的成果与 思想心领神会,特别关注其关于广义函数方面的 论文。回到数学研究所后, 冯康又"得到华罗庚 教授的启发指导,开展了当时国际上刚刚兴起的 广义函数研究, 先后完成了'广义函数论''广义 函数的泛函对偶关系'和'广义 Mellin 变换'三 篇论文。他所建立的广义函数空间的对偶定理和 广义梅林变换,对于微分方程和解析函数论均有 应用,现已成为经典"[5]316。冯康关于广义函数的 3 篇经典论文发表于 1955—1957 年期间, 这标志 着 35 岁左右的冯康,已成长为能在国际数学前沿 探索创新的成熟数学家,虽然比起30岁以前即已 成名的陈省身、华罗庚晚了七、八年, 但是考虑 到冯康的遭遇与苦难,已是令人惊赞的奇迹。

冯康通向优秀数学家的成长道路启人深思。

首先, 兴趣引领的专业选择。对于自然科学

人才而言,成长训练时期的专业选择,兴趣是极 其重要的考虑因素。首先,从理论上说,每条专 业路径都可能作出重大贡献; 其次, 浓烈的兴趣 背后,常常有相应的天赋异禀作支撑。因此,兴 趣导向的专业选择,最有可能将一个人蕴藉深藏 的内在潜力开发出来。诚如杨振宁所言: "高等教 育的成功在于使每个人的最大能力和创造性得到 充分的开发。在学校里,学生要念什么专业,应 该兼顾到两方面的因素:外在因素(如国家需要 和学校的条件)和内在因素(本人的兴趣和才 能)。但目前的体制对内在的因素考虑不够, 这是 不利于科技的发展的。不注意个人的兴趣和才能, 不容易培养出有创造性,有独立见解,有做开拓 工作的能力的人才。"[6]中外科技界坚持兴趣导向 并毅然转换专业而有大作为的科技大师不乏其人。 电子计算机之父冯・诺伊曼入大学时, 按家庭要 求学化学工程,但冯·诺伊曼坚持自己的兴趣, 同时学数学,以致在两个专业、三所大学、三个 城市(柏林、苏黎世、布达佩斯)并读,最终在 22 岁几乎同时获得两个含金量不同的学位: 化学 工程学士与数学博士学位[7]。大学4年期间,勉 强就学与主动攻读, 差距已如此之大, 未来的冯 ·诺伊曼更从数学衍生发展, 在纯粹数学、量子 力学与计算机、国防科技等方面作出巨大贡献。

中国一流科学家中,冯康以外,还有从机械 专业转向物理学的"中国氢弹之父"于敏,从人 文专业转向物理学的力学大家钱伟长,从经济学 转向物理学的统计物理学大家郝柏林,等等。

其次,有所不为而有所为。冯康天赋异禀, 超常勤奋,成绩拔尖,但是经过十多年探索积累, 进入数学之门后, 面对浩瀚无际的数学领域, 还 不得不作出进一步的专业方向选择。在成为数学 家的最后阶段, 冯康除受数学大师庞德里亚金直 接指导外, 又广泛学习盖尔范德等大师的研究成 果,最终结合自己的知识结构、专业兴趣与应用 前景, 选择了广义函数论这一紧密联系物理学的 专业方向。冯康"留苏回来后……将注意力集中 在广义函数理论上,因为物理学家习用德尔塔函 数, 电机工程师习用运算微积分, 虽然行之有效, 但缺乏数学基础。史瓦兹的分布论一出, 就弥补 了这一缺陷, 广义函数论应运而生。史瓦兹的工 作得到冯康的赞赏, 他随即写出长篇综述文章, 并开始在这一领域的研究工作"[2]504-505。冯康在浩 如烟海的纯粹数学领域中选择了广义函数论,

"1955 年在《数学进展》上发表了题为'广义函数论'的长篇综述性文章,系统介绍了广义函数论。文中也包含了他自己的部分最新研究成果。这一论文大大推动了我国学者对广义函数论的研究及应用……1957 年冯康发表了'广义函数的泛函对偶关系'一文,建立了广义函数中离散型函数(德尔塔函数及其导函数)与连续型函数之间的对偶定理……同年……建立了广义梅林变换理论,发表了'广义梅林变换'一文"[5]327。而广义函数论研究中建立的离散型函数与连续型函数之间的关系,正是"冯康日后成名作的重要理论工具"[4]94。

有所不为而有所为,是必要而明智的,同时也是无奈的,必然引出有得有失的结果。冯康的胞弟冯端院士鉴于冯康当年选择接近实际应用的方向,而不得不放弃更基本的纯粹数学研究,不无遗憾地指出,"应当承认,在纯粹数学中冯康尚未充分发挥其所长,成果尚不够丰富和突出。"[2]505 这样的结果,当然并不完全因冯康的主观选择,也因研究工作的调动。冯康于 1957 年受命调入中国科学院计算技术研究所,既玉成了冯康辉煌的事业,也限制了其在纯粹数学领域的发挥。像冯康这样在早年科学入门处有所不为而有所为的选择,年青的科技工作者都必然要面对。晚年爱因斯坦,关于自己大学时代深钻物理而忽视数学及其后果的思考,可以为后来的大学生与研究生提供深刻的启示:

"我大部分时间是在物理实验室里工作,迷恋 于同经验直接接触。其余时间,则主要用于在家 里阅读基尔霍夫、亥姆霍兹、赫兹等人的著作。 我一定程度上忽视了数学, 其原因不仅在于我对 自然科学的兴趣超过对数学的兴趣, 而且还在于 下述奇特的经验。我看到数学分成许多专门领域, 每一个领域都能费去我们所能有的短暂的一生。 因此, 我觉得自己的处境像布里丹的驴子一样, 它不能决定究竟该吃哪一捆干草。这显然是由于 我在数学领域里的直觉能力不够强, 以致不能把 真正带有根本性的最重要的东西同其余那些多少 是可有可无的广博知识可靠地区分开来……而且 作为一个学生, 我还不清楚, 在物理学中, 通向 更深入的基本知识的道路是同最精密的数学方法 联系着的。只是在几年独立的科学研究工作以后, 我才逐渐地明白了这一点。诚然, 物理学也分成 了各个领域,其中每一个领域都能吞噬短暂的一 生,而且还没有满足对更深邃知识的渴望……可是,在这个领域里,我不久就学会了识别出那种能导致深邃知识的东西,而把其他许多东西撇开不管,把许多充塞脑袋,并使它偏离主要目标的东西撇开不管。当然,这里的问题在于,人们为了考试,不论愿意与否,都将把所有这些废物统统塞进自己的脑袋"<sup>[8]</sup>。

三、算法大师:两大原创、蜚声中外

大胆跨入科学的无人区而创立控制论的维纳 有一句名言: "在科学发展上可以得到最大收获的 领域是各种已经建立起来的部门之间的被忽视的 无人区"[9]。杨振宁未从学科专业交叉视角,而从 科技人才知识结构视角说出了同样的哲理:"没有 什么人能什么都懂……你有几种不同的选择。你 可以说, 我要倾全力于某个狭窄的领域, 因为想 要什么都懂是不可能的, 想要什么都懂必然是浪 费时间。但你也可能持另外一种不同的看法,说, 我要扩大知识面,有广泛的兴趣。我认为后者一 般来说更容易成功……我想强调……如果一个人 年轻的时候就已经对几个学科领域感兴趣, 那么 他以后就会更有发展前途。"[6]106杨振宁还列举了两 个重大创新案例: 一是荣获 1979 年诺贝尔生理学 与医学奖的 CT 扫描仪(亦称 CAT)发明者。 "CAT 扫描仪就是一个很好的例子。那位理论物理 学教授(指科马克教授----引者)不仅对物理感 兴趣,对计算技术也感兴趣,他还对医学感兴趣, 因此他就产生了那种设想。一旦这种想法产生了, 我想大家会说自己太笨了,以前怎么就没想到过。 但是, 他之所以有这种设想并不一定是他比别人 更聪明, 而是因为他比别人的知识面广, 他通晓 几种学科, 因此当所学的东西成熟时, 就会正确 地利用他们。"[6]106另一个案例是图灵奖得主费根鲍 姆的重大基础研究创新——湍流理论的突破。流 体"怎样从平稳的层流变成一个湍流",这是一百 多年以来, 物理学家非常注意的问题, 可是一直 没有完全解决。在七十年代的初期,麻省理工学 院有一个年青的研究生,叫做费根鲍姆 (Feigenbaum) ······我曾问过他的老师, 费根鲍姆 在念书的时候,是不是一个杰出的学生?他说不 是,他念书还可以,不过没有人觉得他后来会做 出这惊人的贡献。费根鲍姆的特点是什么呢?就 是他喜欢玩计算机。他口袋里整天带着一部小的 计算机,整天都弄着……费根鲍姆的工作是介乎 计算机、物理学和数学之间,假如一个人只做这 三样中的一样,那么很难想象他会得出费根鲍姆 的发展<sup>[10]</sup>。

人类科技史长河中,各色各样的交叉创新汇 成一条极重要的支流,其中多有数学家跨界创新 的贡献。远的不说,20世纪以来精密自然科学领 域最重大科技创新,多赖杰出数学家的参与。1908 年,大数学家闵可夫斯基以新的数学形式重新表 达狭义相对论,将爱因斯坦关于时空统一性的物 理思想化为简单优美的数学公式,不仅更好地揭 示狭义相对论的深刻内涵, 而且使狭义相对论传 播更为广泛。创立广义相对论的过程, 更是尽显 数学家出神入化而不可替代的作用。爱因斯坦若 不是数学家格罗斯曼的引领,永远也不可能找到 广义相对论的数学工具——黎曼几何,而且接近 最终完成阶段时,还产生了一段令数学家自豪, 而爱因斯坦由忧转喜的科学趣话: "正在爱因斯坦 欢欣鼓舞之时, 出现了一件让爱因斯坦感到十分 烦恼的事情:希尔伯特在11月20日,也就是比爱 因斯坦早5天,给哥廷根科学院呈交了一篇论文, 论文中推出了爱因斯坦历经8年时间的奋斗才推出 的场方程。希尔伯特对物理学有深厚的兴趣,他 还半开玩笑半认真地说:'物理学对物理学家来说 太困难了''我们已经改造了数学,下一步是改造 物理学,再往下就是化学'。在爱因斯坦通过他那 条艰难的试错路线来研究引力场的微分形式时, 希尔伯特在波罗的海的陆根岛度假时, 却走了一 条优美而简捷的数学路线,将古斯塔夫·密的纯 粹场论和爱因斯坦的引力理论结合起来, 早5天推 出了爱因斯坦的场方程……不过乌云很快飘走 ……希尔伯特坦率地承认,广义相对论的伟大思 想应该归功于爱因斯坦。"[11]20世纪另一项深刻影响 人类社会面貌和生活方式的量子力学理论,同样 出于物理学家与数学家的协同创新。首创量子力 学的海森伯,深谙哲学而数学一般,于1925年7 月发表了物理思想卓越而数学表达笨拙的"一个 人的论文";两个月后,物理学家玻恩与数学家约 尔旦合作发表"二个人的论文", 引进数学家多年 以前创造的矩阵数学, 使量子力学成为矩阵力学; 1926年, 玻恩、海森伯、约尔旦合作发表"三个 人的论文",进一步引进希尔伯特的线性积分方程 数学理论,将矩阵力学推广到任意多个自由度系

统,并发展出一个量子力学微扰理论以及角动量的新表述形式<sup>[12]</sup>。得益于数学家的跨界合作,海森伯创立的量子力学终能完成其开路先驱的使命。20世纪信息科学的重要奠基之作——《控制论》(1948年),则由神童出身的杰出数学家维纳跨界创立。数学家跨界作出重大科技创新的方式,到21世纪势头依然强劲,2020年宇宙黑洞研究首次被授予诺贝尔物理学奖,得主即有英国牛津大学的杰出数学家彭罗斯。

上述科技史表明, 数学家, 包括超凡脱俗的 纯粹数学家的才华与创新能力绝对不可小觑。1957 年, 冯康被调入中国科学院计算技术研究所时, 尽管只是一名中级研究人员,也没有显赫的重大 成果,但是冯康已是学养深厚的成熟数学家。不 久, 冯康便在算法领域作出两大原创——创立有 限元法与哈密尔顿系统的辛几何算法。更为可贵 的是,它们并非瓜熟蒂落、应运而生的创新。冯 康克服了当时中国计算机设备及应用大大落后于 西方的不利条件,摆脱了世界计算数学理论研究 普遍落后于实际应用的巨大束缚,早于西方3年完 成了有限元方法的理论分析研究,并在国际上首 次系统提出哈密尔顿系统的辛几何算法, 开辟出 融计算物理、计算力学与计算数学于一体的新方 向。北京大学教授应隆安在《回忆冯康先生》的 文章中, 生动记述了冯康的有限元算法创新, 如 何远远超越当时科技界的认知水平: "1971年…… 我们开始作一些调研。我和黄禄平到了中国科学 院数学研究所, 所里请了几位还在作研究的专家 和我们座谈。在座谈中我们得知, 现在国外有一 种新的计算方法,叫做有限单元方法,能够处理 很复杂的问题,是航空工程师首先提出来的。在 计算机翼时, 把机翼分成小片, 在小片上列方程, 然后把小片拼起来,就得到了整个机翼的计算结 果。听了这个介绍,我们感到这个有限元方法很 重要,要仔细了解和掌握。当时大家都不知道, 其实在1965年,冯康先生发表了一篇文章,即 《基于变分原理的差分格式》,已经提出了有限元 方法,只是没有用有限元这个名称。"[1]103事实上, 整整11年以后,人们对冯康有限元法创新价值的 认识,仍有巨大的差距。1982年,改革开放后首 次全国科技成果评奖时,在国际科技界独领风骚 具有巨大应用价值的有限元方法, 仅获国家自然 科学奖二等奖,足证冯康的创新成果与非凡能力, 远远超越当时科技界同侪的认识, 对其科学意义 与应用价值作出正确判断,不得不耐心等待岁月的淘洗。其实,人类科技史上,因成果产生太早,发表时机未到,而长时间不受重视的现象并不少见。只是在中西科技差距很大的 20 世纪 60 年代,中国科学家在本国作出这样引领世界的重大创新,格外令人惊赞。

冯康创立有限元方法的工程契机是刘家峡水 电站水坝应力计算问题。刘家峡水电站是中国第 一座超百万千瓦级的大型水电站,由中国人第一 次设计、施工超过百米的大型水坝。由于建设过 程中遇到一系列计算难题, 冯康担任学术带头人 的中国科学院计算技术研究所三室承担了解决这 些难题的重大任务。"在冯康的筹划部署下……水 坝计算组分成三个小组,从三个不同方向对水坝 计算进行系统研究……用应力函数的方法进行计 算……从平衡方程出发,把应力与应变关系代进 拉梅方程进行计算……从变分原理出发,直接用 位移差商代替位移导数进行计算。三个小组像交 响乐或史诗, 要定期交流、排演, 向冯康汇报, 冯康像卡拉扬一样, 指挥着所有的配器、音色、 音调……终于在 1964 年春天来临的时候算出了一 组新的结果——采用积分守恒格式得出的计算结 果……得到了当时认为是最好的差分格式……到 了1964年的五一节……对于大坝的应力分析,用 户完全满意。至此冯康指挥下的'有限元'第一 交响曲演奏大获成功"[4]145-146。

破解大坝计算难题,满足国家重大需求,任 务导向的应用性科研工作至此似乎可以完满结束。 然而中国科学院计算技术研究所的科学家们并不 满足于此。黄鸿慈、王荩贤、崔俊芝等人于 1963 年、1964年与1966年发表了系列论文,以期将实 际工程计算方法升华为计算科学理论, 其中黄鸿 慈 1963 年的论文《关于重调和方程最小特征值的 数值计算及界的估计》,被认为是"中国最早一篇 包含有限元思想的文章"[4]152。但是,数学功力不 足的黄鸿慈不得不承认冯康的理论提升工作后来 居上: "冯先生最重要的工作是在 1965 年提出有 限元方法并在最一般的条件下证明了方法的收敛 性,我同样有一篇文章也证明了收敛性而且给出 了误差估计, 但我的数学工具比较差, 是在一个 加强条件下,即假设解有二阶连续导数,实际上 解不一定有二阶光滑的性质。冯先生精通广义函 数,他是在极其广泛的条件下给出了收敛性证明, 这在世界上是最早的……这只有在高深的数学基 础上才能做到,因而也具有更高层次的开创性。 西方在1969 年以后才做出了类似的结果"<sup>[4]152</sup>。冯 康的高水平科学原创,不仅使国内同行折服,而 且赢得了世界一流数学家高度赞赏。美国数学学 会前会长、美国总统前科学顾问、纽约大学柯朗 研究所所长拉克斯指出,冯康"独立于西方国家 在应用数学方面的发展,创造了有限元方法理论 ……在方法的实现及理论基础的创立两方面都做 出了重要贡献"。法国科学院前院长、国际数学家 联盟前主席利翁斯评价说,"有限元方法意义重 大,中国学者……独立创始了有限元方法,在世 界上属于最早之列。今天这一贡献已为全人类所 共享。"<sup>[4]154</sup>

冯康创立有限元方法,是中国近现代原创性 基础研究的精彩案例,深入分析其成功的关键因 素与内在规律,对提升中国科技的原创水平与拔 尖人才的培养选拔,具有重要的意义。但是,研 究的难度也是不言而喻的,诚如恩格斯所言,"即 使只是在一个单独的历史实例上发展唯物主义的 观点, 也是一项要求多年冷静钻研的科学工 作。"[13] 迄今为止,最好的研究出于冯康的胞弟冯 端院士,其《冯康的科学生涯》一文,不仅是关 于冯康成长、业绩、才华与精神的力作, 而且有 望成为科学家素质研究的经典文献。同时, 冯端 先生也谦逊地表示,"当前,科学上的创新问题成 为议论的焦点,不妨以冯康的这两次突破作为科 学上创新的案例……对之进行认真的案例分析, 尚有待于行家来进行。我只能围绕这一课题,说 些外行话。"[2]505-506关于冯康原创性突破的分析, 冯端先生认为,"突破之所以能实现,不仅得力于 冯康的数学造诣,还和他精通经典物理和通晓工 程技术学密切相关。科学上的突破常具有跨学科 的特征。"[2]506冯端的知识结构分析是客观而深刻 的,这一真知灼见已为冯康研究者普遍接受,成 为分析冯康原创性成果与能力的共识。但是,细 读冯端先生的力作,深感剩义尚多,有待进一步 阐发。本文以下尝试从学术思想视角来探讨冯康 的原创性突破, 以与知识结构视角的探讨互相 支撑。

冯康的学术思想非常深厚,且能自出机杼, 屡出新见,并对具体的计算数学研究发挥引领指 导作用。

计算数学一头连着社会需求,一头连着计算 理论与方法,计算数学的创新工作不可能依托脱 离实际的纯粹数学, 而必须以理论联系实际的哲 学观念与学术思想为指导。余德浩是冯康先生的 第一个博士, 在计算数学领域颇有建树, 对冯康 先生先进的学术思想有真切的领会: "冯康特别推 崇本世纪初的数学大师希尔伯特。他要求学生认 真研读名著《数学物理方法》,体会该书序言中的 这样一段话:'物理的直观对于数学问题和方法是 富有生命力的根源。然而近年来的趋向和时尚已 将数学与物理学间的联系减弱了,这种分裂无疑 对于整个学科是一个严重的威胁'。冯康继承了前 辈大师的深刻思想,身体力行,发扬光大,并不 遗余力地把这些思想传授给年轻一代。他多次强 调:'数学,特别是计算数学,一定要理论与实际 相结合'。"[5]336对 20 世纪中叶的世界数学潮流, 冯康不赞赏过分形式化的法国布尔巴基学派,而 特别欣赏苏联数学大师阿诺德的学术思想。1985 年, 冯康给西安交通大学李开泰教授的信中写道, "阿诺德……是我遇见的唯一的纯粹数学家而同时 对应用真的重视而感兴趣者,而且认为数学必须 与物理、力学科学相联系,是个反对布尔巴基化, 反对纯公理化,强调数学与自然科学结合,恢复 历史上起了显著作用的优良传统的新倾向的主要 发言人。他对我最近提出的用辛几何方法研究动 力系统的计算方法这一新方向很感兴趣, 并表示 支持。此人思想活跃开阔、洒脱……知识渊博, 学贯古今,确实是当代杰出的大家。"[1]121

正因为有理论联系实际与强调应用的数学学 术思想, 冯康主持中国科学院计算技术研究所业 务工作时,能高屋建瓴地纠正过分偏向某一方面 的研究风气。研究所成立初期,大多数成员数学 理论水平不高,大家着眼于完成具体的计算任务, 盛行任务导向的学风。针对这一倾向, 冯康进行 了理论引导。崔俊芝院士回忆说, "在 1962 年底 和 1963 年春, 冯先生以龙贝格积分和变分格式为 题分别作过两个报告, 那是我第一次聆听到精彩 的学术报告……讲述如何构造更合理的差分格式, 实际是在播种有限元方法的种子。冯先生的报告 ……不仅使我了解了计算数学的发展动态,增长 了知识, 更重要的是为未来有限元方法的研究奠 定了基础。冯先生的报告由浅入深,不仅讲模型、 推理和结论; 更讲学术思想、出发点、目标和前 景: 既传授科学前沿知识, 又传递学术思想和研 究路线; 前者应深入掌握会用, 后者须活学活 用。"[1]28 计算数学界还存在另一种忽视实际的研究

倾向, 冯康便运用自己的学术影响力制止这一倾 向的蔓延, 在其担任主编的《计算数学》刊物编 委会上,冯康果断地发表意见说:"没有计算实例 的文章就不要发表。"[1]104对于计算数学的理论与方 法两个方面, 冯康认为计算方法更贴近实际应用, 提出了"方法是第一位的"论断。有一个重大研 究项目, 策划时取名"大规模科学与工程计算的 理论和方法",冯康将"理论"与"方法"的顺序 倒过来,变为"大规模科学与工程计算的方法和 理论"[1]104。可以毫不夸张地说,如果没有全面而 先进的计算数学学术思想的指导,即令有工程、 物理与数学的复合型知识结构, 当事人或者不愿 意全身心地投入到任务导向的刘家峡大坝具体计 算方法的研究中去,或者具体计算方法找到后, 不会继续将具体计算方法提升为理论性与普适性 的有限元方法。如若这样,带领的年轻学术团队 的综合素质与学术站位也必然会大打折扣。

冯康既重视结合实际需求研究具体算法,又 重视计算数学的基础理论研究,善于从学科内部 发现重要问题,在这种全面而深刻的计算数学学 术思想指导下, 冯康的研究路径非常宽广。这里 仅说两大原创,研究路径就很不相同,各适其所 而皆登高峰。有限元法是任务导向, 从具体走向 抽象:另一项重大原创——哈密尔顿系统的辛几 何算法则从学科内部的理论问题出发: 从经典物 理学的故纸堆中发现重大科学问题。经典力学自 牛顿开始,发展出三种等价的形式数学体系:牛 顿体系、拉格朗日体系与哈密尔顿体系。在表达 同一物理现象及其规律时,可以采用不同的形式 体系,它们在物理学上是等价的,从理论上说, 各种物理系统应有各自对应的计算方法。但是, 敏锐的冯康发现, 有对应于牛顿系统与拉格朗日 体系的计算方法, 唯独没有对应于哈密尔顿体系 的算法。冯康在上世纪80年代中期,抓住这一学 科体系内在的重大科学问题, 组建了小巧精悍的 研究团队。在总结研究成果时, 冯康以舍我其谁 的气概写道:

"提出了哈密尔顿系统的计算方法研究主题, 光是这一条就是有分量的,因为这一有丰富内涵、 应用极广的对象,过去竟然被所有计算数学家忽 视,从未见任何自觉的系统的研究,连零星的偶 发的研究亦属罕见……这是不应有的奇怪的现象 ……前人未能系统地提出辛几何方法是令人费解 的,因为哈氏系统与辛几何本是一码子事,辛方 法是自然的……我未看到哪一本经典书或论文,明文给出哪怕是一个类型的相场流生成函数的公式,这是不应有的怪现象。一切都很自然,有了系统性辛格式构造方法,也就开创了辛差分格式的理论。"<sup>[4]244-246</sup>

冯康带领团队创立的哈密尔顿系统的辛几何算法,解决了经典物理学体系内部物理系统与计算方法不相匹配的重大基础理论问题,填补了一百多年来物理学与数学交叉领域的一大空白。与此同时,在实际应用方面,解决了久悬未决的动力学长期预测的难题,在天体力学、分子动力学、大气与海洋数值模拟等领域的应用获得了巨大成功,并直接促成了我国东部最大气田——大庆徐深1井的重大发现<sup>[4]250</sup>。1997年,在冯康去世以后4年,"哈密尔顿系统的辛几何算法"荣获国家自然科学奖一等奖。冯康开辟的这一方向的研究,引发了国内外一股研究潮流,名家辈出,成果卓著,在基础研究领域树起了殊不多见的中国学派旗帜。

四、幕后英雄:"两弹"任务、倚托妙算

冯康一生, 两次大跨度转行, 知识结构涵盖 工程、物理、数学三大学科,并多次接受国家重 大任务, 涉及军工项目、地方建设、学科建设、 学术培训等方面,还有自己主动作为的许多工作 (学术论文、科研项目、创办刊物、战略咨询等)。 令人钦佩的是,无论在哪一个行业,从事哪一项 工作, 也不管是顺风顺水, 还是身处逆境, 冯康 都倾心尽责, 出色完成, 且创造性业绩层出不穷。 这固然因冯康天赋异禀、基础雄厚, 但也不能不 看到冯康非凡的人文品格: 怀国系民的情怀, 超 越常规的勤奋与坚忍不拔的斗志。没有这些超越 专业的品格与修养, 冯康不可能全身心投入到那 些充当配角的任务导向型的艰巨工作中去, 更不 可能在逆境中,依然抱有强烈的社会责任感和创 新精神,将各项工作做到极致。在"两弹"计算 与 1019 任务两项国防科技创新工作中, 冯康充分 展现了创新才华与优秀品格合一的中国典范的科 学家精神。

1960年,冯康担任业务指导的中国科学院计算所三室,成立了单列的"123"任务组,下面又分设三个小组:流体力学、空气动力学与冲击波数值计算。当时中国仅有的两台电子计算机——

103 机与 104 机,也都安置在计算所。这是在苏联专家撤走后,中国决定自力更生研制两弹的一个具体部署。大的框架是"原子弹和氢弹是二机部负责,导弹是国防部五院(后来的七机部)负责。毛主席对原子弹研制有一个批示:'要大力协同做好这件工作。'中国科学院就是按照中央确定的'大力协同'和'三家拧成一股绳'的精神,主要承担原子弹和导弹研制中一系列关键性的科学和技术任务,包括理论分析、科学试验、方案设计、研制以至批量制造所需的各种特殊新型材料、元件、仪器、设备等"[14]。计算所承担的"两弹"研制中的计算工作,谁都没有干过,作为指导老师的冯康也只能边干边学,更不用说任务组里绝大多数刚出校门不久的年轻人。

当时任"123"任务组一个分小组组长的敖超,曾回忆记述白手起家、边干边学过程中,冯康不可替代的业务领导作用:"冯康老师自己先查了,然后组织讨论班,让我们学习与讨论。讨论班上他指导我们看文章资料,哪些文章资料你去看看,哪些文章资料他去看看,谁去看这个,谁去看那个,真是白手起家。那时要是没他抓这件事,谁也抓不起来,我这个小组长是不行的,因为我也什么都不知道。他视野广,不仅是数学家,还懂物理、机械,又会英语、俄语、法语、德语。他因为外语好,看得快,而且不一定要从头到尾看,了解重要性即可,浏览一下要点就可以了。知道这个说的是什么,哪个地方有特色,哪个有些新东西,创造性在什么地方。讨论班上做报告,然后分头交给我们跟进。"[4]124

冯康不仅要带领计算所的科研工作和年轻科技人员,而且还直接指导国防科工委试验基地年轻科技人员的培训工作。"1960年3月的一天早晨,一队由大学毕业生组成的解放军士兵穿着厚厚的冬装,来到中关村南街中国科学院计算所……冯康带着士兵上到5楼自己专用的办公室"[15]。"冯康带着士兵看了机房,将七个士兵分配到了三个小组。三个小组分别与导弹、原子弹、卫星相关。来自'二十一基地'的士兵也不是普通士兵,脱了军装与五楼刚分配来的大学生也没什么不同,他们也都是毕业不久的大学生,都来自一流学校,北大的,清华的,哈军工的"[4]116。中国的"两弹"研制,在一无图纸,二无资料的条件下艰难起步,二机部、七机部交给计算所的计算任务,多须从头摸索做起,原子弹圆爆的冲

击波、流场结构等问题的计算皆是世界级计算难 题,美国当年的同类计算曾依托冯·诺依曼、柯 朗、弗里德里希斯、拉克斯等一批世界顶级数学 大师。现在,同类难题中许多问题需要冯康带领 计算所来解决。

冯康最终不负众望,带领计算所三室,"不仅 完成了一大批国家急需的重大任务,还写出了许 多篇高质量、高水平的学术论文……国防任务中 '无粘超音绕流数值计算和初边值问题差分方法研 究'工作,在理论和实践上都有所突破……为国 防部门计算出了大量有关数据。特别是为中国早 期的航空、航天事业做出了贡献,这一领域的数 值计算问题是当时国际上公认的难题。而在原子 能反应堆的物理计算需要求解玻尔兹曼方程,这 个问题的难度也很大。冯康颇具慧眼地提出从积 分守恒原理出发建立差分方程,具体指导'123' 任务组推导出解决玻尔兹曼方程的一系列守恒格 式, 在制造原子弹的实际计算中获得了成功, 并 且在理论分析方面也做了一些研究, 为我国早期 的原子弹试制和第一艘核潜艇上核反应堆的设计 提供了可靠数据"[4]124-125。

鉴于冯康对"两弹一星"工程的贡献,中国科学院"两弹一星"纪念馆的"名人殿堂",写下了彪炳史册的冯康业绩:"指导战略导弹与卫星气动力与气动热数值计算方法、中子输运方程的计算理论与计算方法、多层介质中冲击波扰动问题、地下核爆炸数值模拟等研究"[4]131。

此外,冯康完成了另一项重大国防科技任务——"1019任务",这是中苏关系紧张时代提出的"小天线电磁场计算"任务。冯康还出色完成了他人无法替代的一系列计算理论课题,使抽象复杂的麦克斯韦方程、亥姆霍兹方程的差分格式、边界条件等计算方面的问题迎刃而解<sup>[4]166-168</sup>。

# 五、结语

与冯康亦师亦友的中国科学院院士林群深情赞美老师说:"冯康先生煮了一锅饭,我只捡了其中一粒米,吃了一辈子。" [4]176 与卓越成就同样令人高山仰止的是冯康的精神。冯康具有完善的科学精神:彻底的实事求是与强烈的创新精神。加上怀国系民的博大情怀与坚忍不拔惊人斗志,冯康的科学家精神足称一代楷模,称之为冯康精神亦无(下转第50页)

## 四、在线教学反思

近年来,提升质量成为高等教育发展的基本动力。传统教学绵延至今已数千年,在线教学作为新兴事物,尚在发展之中。关于在线教学,实际上并无一个权威的标准化定义。目前,在线教学主要可以分为两种基本形式:一种是以资源为中心的在线课程资源辅助异步教学;另一种是以直播为中心的在线实时同步教学。第一种主要通过在线课程、教学资源库等已经生成的数字教育资源,包括视频资源、文本资源等实施教学。在教学过程中,以学生自学为主,教师则主要承担答疑解惑、作业辅导等辅助性工作。第二种通过直播系统,进行实时直播,其实质是线下教学的线上化。无论哪一种在线教学形式,其目的并不是要代替传统教学,而是传统教学的有益补充。

### 参考文献:

[1] 胡金焱. 关于加快推进新时代本科教育改革的思考

- [J]. 中国高教研究,2020(1):65-69.
- [2] 祝智庭,郭绍青,吴砥,等."停课不停学"政策解读、关键问题与应对举措[J].中国电化教育,2020(4):1
- [3] 教育部应对新型冠状病毒感染肺炎疫情工作领导小组办公室. 教育部应对新型冠状病毒感染肺炎疫情工作领导小组办公室关于在疫情防控期间做好普通高等学校在线教学组织与管理工作的指导意见[EB/OL].(2020-02-04)[2020-02-05].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202002/t20200205\_418138.html.
- [4] [法]皮埃尔布迪厄. 实践与反思——反思社会学导引 [M]. 李猛,李康,译. 北京:中央编译出版社,1998:19, 133,159.
- [5] 王一岩,张浩,杨华利.智能教育场域中的学习者建模研究趋向[J].远程教育杂志,2020(1):50-60.
- [6] 杜世纯,傅泽田. 混合式学习探究[J]. 中国高教研究, 2016(10):52-55,92.
- [7] 王妍莉,杨彦军,崔向平. 促进理解的在线同伴互评机制研究[J]. 现代教育技术,2018(12):48-54.

(责任编辑: 邢云燕)

#### (上接第38页)

不可。在人才是第一资源,创新是第一动力的新时代,它有如日之升,也必有如月之恒的历史穿透力。

#### 参考文献:

- [1] 袁亚湘. 冯康先生纪念文集[M]. 北京: 科学出版 社,2020.
- [2] 冯端. 零篇集存[M]. 南京:南京大学出版社,2003.
- [3] 宁肯. 无名英雄冯康[N]. 作家文摘, 2017 08 18 (6).
- [4] 宁肯,汤涛. 冯康传[M]. 杭州:浙江教育出版社,2019.
- [5] 程民德. 中国现代数学家传:第三卷[M]. 南京:江苏教育出版社,1998.
- [6] 宁平治,等. 杨振宁演讲集[M]. 天津:南开大学出版 社,1989:66.
- [7] 徐晓林. 巨匠兵魂[M]. 武汉:武汉出版社,2020:120-130.

- [8] 许良英,李宝恒,赵中立,等. 爱因斯坦文集:第一卷 [M].北京:商务印书馆,1977:7-8.
- [9] 维纳. 控制论[M]. 北京:科学出版社,1963:2.
- [10] 杨振宁. 读书教学四十年[M]. 北京:三联书店,1985: 105-106.
- [11] 杨建邺. 爱因斯坦传[M]. 海口:海南出版社,2003: 322-323.
- [12] ROWN L M, PARIS A, PIPPARD B. 20 世纪物理学:第 1 卷[M]. 刘寄星, 译. 北京: 科学出版社, 2014: 156 161
- [13] 黎澍. 马恩列斯论历史科学[M]. 北京:人民出版社, 1980:403-404.
- [14] 罗荣兴. 请历史记住他们[M]. 广州: 暨南大学出版 社,1999:21-22.
- [15] 宁肯. 无名英雄冯康[N]. 作家文摘,2017 08 18 (6).

(责任编辑:王新峰)