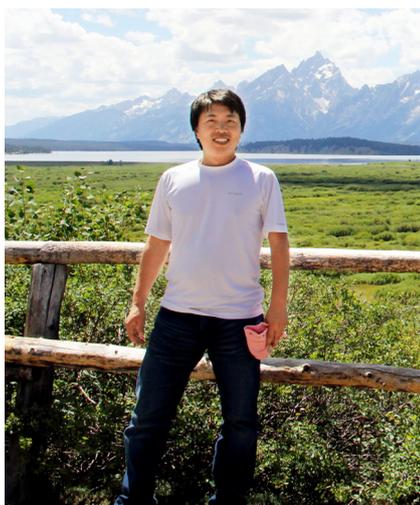


静心做科研 追逐数理的风景

——记北京大学数学科学学院特聘研究员蔡云峰

本刊记者 范国轩



在美国大蒂顿国家公园

若仔细算来，我国“算学”的概念由来已久。《九章算术》中的方程术、正负术，刘徽的割圆术，以及《数书九章》中的大衍求一术等，古人较早地将这些算法隔页而立，任凭它们在岁月的洪流中翻滚、冲荡。

与中国古代“算法”“算术”的兴起和含义有所不同，现代计算数学是在1946年世界第一台电子计算机问世之后，建立在冯·诺依曼和他的同事起草并向美国海军部递交的一份报告《高阶线性方程组的解》之上。正是这份报告，标志了计算数学或者叫数值分析作为一门独立的学科正式诞生。

“计算数学属于一个比较传统、

基础的方向，同时也是很重要的发展方向。”北京大学数学科学学院特聘研究员蔡云峰的观点是，“初入计算数学这道门，有一定的数学功底就能够读懂一些，但若深入其中就会发现它的博大精深，需要多方面的基础作为研究保障。”

数据时代，计算必不可少

历经半个世纪的打磨，伴随着现代科技发展迭起的数据喷薄现象，计算数学作为行之有效的研究问题的方法论，在工业、农业、交通运输业以及医疗卫生、文化教育等行业有着广泛且实用的价值前景。

“在大数据时代，传统的将数据转化为向量或矩阵的方式限制了人们处理数据的能力，人们亟需更多处理数据的工具。当前，越来越多的学者在以相反的方式来处理数据——将数据张量化，进而利用张量分解工具来处理数据。”据蔡云峰介绍，在过去的20年里，张量分解被成功应用到各个领域，多种基于优化的方法被提出，多个软件被开发。当然在发展过程中，基于优化的方法也遇到了不容忽视的各类问题，例如没有好的初解，方法可能会收敛缓慢，甚至是收敛到退化解。

代数方法作为一种证明方法，是

把证明过程转换为代数式之间的推导和计算。它可以完全克服优化类方法所遇到的上述问题，并且可以深入挖掘张量的更多特性。蔡云峰对于张量分解代数方法积累了丰富的研究经验，在矩阵联合块对角化（简称JBD，是三阶张量的一种分解）的研究中，他针对JBD/盲JBD问题在盲源信号分离、独立成分分析中的应用，结合传统求解方法（即要么将盲JBD问题当作联合对角化问题来求解，利用重排矩阵恢复块对角矩阵结构；要么基于 C^* 代数，求解盲JBD问题的正交解），提出了新的代数方法。

新方法解决了传统方法中缺乏理论保证和问题范围受限的难点。基于所建立理论而导出的PEAR算法，不但简单、易于编程，还在实际数值模拟中表现出高效、稳定等优点。基于矩阵的某种可交换性，蔡云峰开创性、严格地给出了盲JBD问题解的存在性、唯一性的充分必要条件。在该条件的基础上对JBD问题进行扰动分析，得出全新的、富有启发性的结论，对实际应用中的噪声高抗性研究意义重大。

因为喜欢，所以不会放弃

“知之者不如好知者，好知者不如乐知者。”凭借着对数学与生俱来的兴趣，蔡云峰于2004年被保送至北京大学

数学科学学院攻读博士学位，徐树方教授成为他的授业导师。徐教授曾这样评价他，“善于发现问题，能沉下心来钻进去。”受益于此，加上素来勤快的习惯，蔡云峰积极思考导师抛出的问题，累积大量阅读经验，很快便是适应了研究内容、研究方式的转变。

然而眼看着身边的同学、朋友陆续地工作，这让还身处学校的蔡云峰有些着急。“我觉得是不是自己也应该选择和多数同学一样，干脆就找一份工作算了”。导师的劝导让蔡云峰有了动摇，而真正让他放弃这个念头的，还是如他自己说的那样，“打小就喜欢数学，凭着这份喜欢走到今天，感觉到肩头更有了一种责任和义务。”

这番小插曲过后，蔡云峰的科研道路颇为顺畅。2009年博士毕业后，他进入中国科学院数学所开展博士后研究，后赴美国加州大学戴维思分校继续深造。当时他的主攻研究方向是电子结构计算中的病态特征值问题的高效算法。

在传统方法（planewave、有限差分、有限元等）中，离散方程得到的特征值问题往往规模大，数值求解困难。特征值问题的求解成为了利用第一原理进行电子结构计算的一大瓶颈。介于这样的境况，蔡云峰所在的研发团队利用单位有限元方法（partition of unity finite element method—PUFEM）对方程进行离散，极大降低了需要求解问题的规模。同时，他们研究了求解此类问题的梯度类方法，发现其中的关键问题是预处理的选择与实现。对此一种局部加速最速下降方法应运而生。“在这种方法中，预处理矩阵是动态的，不定的，大大加速了算法收敛。但是与此同时，也带来了困难——预处理方程的求解会很耗时。于是，我们采用了一种混合预处理策略，最大程度节省了运算量。在我们的数值模拟当中，以往我们单

模拟的时间往往需要一周，而现在我们只需要两小时。”

聚沙成塔，每天都要有所收获

2012年8月，在北大“百人计划”人才引进的召唤下，蔡云峰入职北京大学数学科学学院，任特聘研究员。即便人言国外的月亮如何圆，在他眼里似乎总少了份明亮。

选择北京大学的原因很简单。蔡云峰说，北京大学本身是中国最为优质学术资源平台的代表，自己从这里走出去，如今有机会回母校任职，他感到很骄傲。

职业生涯翻开崭新的一页，蔡云峰刻苦钻研的脚步从未停歇。立足矩阵联合块对角化问题，在原有基础上拓宽、推广，将张量分解的理论、算法与应用作为新一轮的挑战。通过蔡云峰的解读，记者了解到张量分解现阶段最著名的方法分为3种：CP分解、高阶奇异值分解（HOSVD）及BTD。其中，BTD可以可看作为CP分解和HOSVD的一种自然推广，是两者的综合，也成为目前涵盖范围最广的分解方法。

针对BTD，蔡云峰带领学生团队展开深入探讨，从BTD及其变种——耦合的BTD、盲BTD、特殊张量的特殊BTD，到BTD的存在性、唯一性及扰动理论，



观看NBA比赛

再到实现分解的计算方法、软件开发的应用。“研究BTD的方案其实与我们研究盲BTD问题的基本框架是一致的，但是由于处理对象更加复杂，在研究过程中，每个步骤所需要考虑的因素、处理的细节也更多。特别是计算方法在高阶张量规模很大时，算法的具体实现将是巨大的挑战。”大胆猜想，小心论证；理论与实验相结合，以期取得好的研究成果，这是蔡云峰对项目推进的希望，也是他科研多年的一贯作风。

所谓“如切如磋，如琢如磨”，在蔡云峰看来，搞研究、做学问，往往需要的是细致耐心，踏实诚恳以及绝不满足的进取精神。所以，他每天坚持工作12小时，全身心地投入到治学当中。蔡云峰坦言，有时甚至会因为思考一个问题忘记吃中饭，直到晚上饿得胃疼才想起来。而且每天工作结束后，他都会扪心自问“今天我做了哪些工作，取得了哪些进展？”他希望能够有这样的总结中自省，亦在自省中自勉。

这样一种严谨自律的治学态度同样体现在他的教学之中。在交谈中他强调，学生是中国的希望，对于学生的学习，结果固然重要，但求学过程中的态度也需着重培养。因此，在他的课堂上，首先要杜绝一切抄袭、投机取巧的行为，“第一堂课，我就会和学生点明独立完成作业是最基本的要求，这是态度问题也是素养问题。”同时，每堂课前，他都会花时间，精心设计本节课的教学目标，思考学生可能存在的难点，在课堂上重点突破，希望自己的每一节都能使学生有所收获。5年时间，两名博士生，两名硕士生，这是他为祖国注入新鲜血液交出的一份答卷。

他热爱这份工作，并尽心竭力地在领域内开疆扩土。静心追逐，细水长流，在计算数学的学术道路上，蔡云峰渐行渐远。科