



2019年4月13日，笔者在深圳南山区深圳人才公园做了题为《数学推动现代科技——从华为重视数学谈起》的公众演讲，人才公园的大讲堂里座无虚席，网络也做了全程线上直播。一个月后的5月15日，美国总统特朗普签署行政命令，将华为加入“出口禁运”实体清单（即美国企业需要获得特别许可才能向华为出口软硬件产品）。美国总统公开封杀华为，使华为更放异彩。华为掌舵人任正非先生2012年与实验室专家座谈时讲的名言：“我认为用物理方法来解决问题已趋近饱和，要重视数学方法的突起”，重新被人们热议。他在另一个场合公开表示：“其实我们真正的突破是数学，手机、系统设备是以数学为中心”，道出了华为成功的一个秘诀：那就是重视数学的应用！



事实上华为多年来持续在数学上投资，从1995年起，华为就一直在招聘数学相关的博士和专家，每年都从各大院校招聘一批运筹学、控制论、数理统计、概率论、计算数学的博士，从事分布式计算、密码学、网络安全、数据库、通信协议算法、通讯网络优化等方向的高精尖工作，待遇也明显高于普通员工，目前50-70万年薪是正常水平。1999年，华为在俄罗斯建立了专门的算法研究所，招聘了数十名全球顶级的数学家，创造性地用非线性数学多维空间逆函数解决了GSM多载波干扰问题，使华为在全球第一个实现了GSM多载波合并，进而实现了2G、3G、LTE的单基站Single RAN设计。2016年，华为宣布其法国数学研究所成立，这是继俄罗斯之后华为在全球设立的第二个数学研究所，成员超80人，全部为拥有博士学位的中高级研究人员。

华为最出彩的一招就是和土耳其数学家埃达尔·阿勒坎（Erdal Arıkan）的合作。在土耳其的毕尔肯大学（Bilkent University），阿勒坎十年磨一剑，终于在2008年发表了主要用于5G通信编码的极化码（polar code）技术方案。他2008年发表在IEEE期刊上的文章一共二十多页，独立完成。这篇文章发表后，就被华为的科学家们注意到了，他们评估了阿勒坎的论文，敏锐地意识到这篇论文至关重要，感觉其中的技术可以用于5G编码。

阿勒坎教授的论文发表两个月后，华为就开始以它为中心研究各种专利，逐步分解，投入了数千人和大量科研资金促进研发。十年间，华为把土耳其数学家的数学论文变成技术和标准，积极和阿勒坎教授团队合作，出资支持他的实验室，助其扩大研究团队，拥有更多的博士生、博士后。这一切努力的结果是，华为拥有了世界上超过四分之一的5G专利，雄踞世界第一。

在过去的几个月，数学推动华为5G成为热点话题。本文将在作者今年四月深圳大讲堂演讲的基础上，谈谈华为5G与现代数学。





## 1. 数学重要是因它能解决产业和实际问题

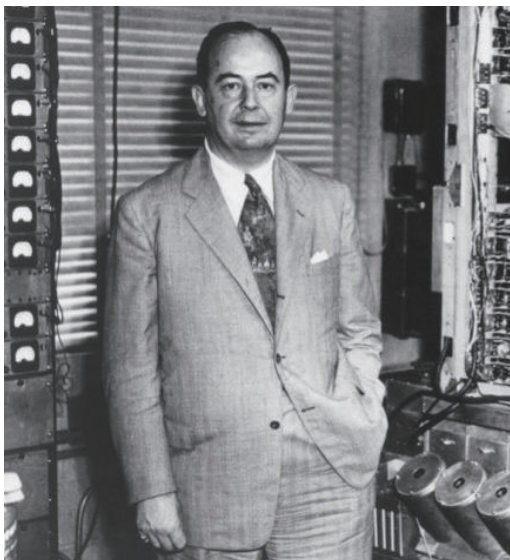
对一个大国来说，必须拥有理论家，同时要有能文能武、能理论能应用的大数学家。后者多了，这个国家的科技、国防、经济才可以真正强大，才可以拥有像波音、华为、微软、空客这样的超级技术公司。

众所周知，半个多世纪以前，力学和数学紧密联系在一起，有的还完全在大学同一个系里面。比如上个世纪五十年代，北京大学数学系就叫做数学力学系。出自同一师门的钱学森、林家翘，博士论文研究的问题很接近，毕业后一个去了麻省理工的航空工程系，另一个就去了数学系。在这个意义上，在中国近代科技史上，能理论能应用的数学家有华罗庚、钱学森、郭永怀、王选、冯康等。他们不光有强大的理论功底，还有卓越的应用能力，为新中国的发展和强盛做出了巨大的贡献。

美国近代史上能文能武的数学家很多，包括担任过美国数学会理事长的冯·诺依曼（John von Neumann, 1951-52 年理事长）、拉克斯（Peter Lax, 1979-80 年理事长）、格里姆（James Glimm, 2007-08 理事长）。拉克斯在基础数学的偏微分方程、泛函分析做出了重要的工作，并且是计算数学、激波计算的奠基人；格里姆在基础数学的  $C^*$ -代数、量子场理论、偏微分方程领域成就卓著，同时在流体力学、科学计算等应用数学领域做出了杰出贡献。

把基础数学、应用数学做得炉火纯青的是大名鼎鼎的冯·诺依曼。他是 20 世纪最重要的数学家之一，早期以算子理论、量子理论、集合论等方面的研究闻名，开创了冯·诺依曼代数。

同时，他在现代计算机、博弈论、科学计算等领域做出了伟大的贡献，被后人称为“计算机之父”和“博弈论之父”。2014 年 4 月 30 日，笔者在美国曾经听过年近九旬的拉克斯的晚宴主旨演讲<sup>1</sup>，题目是“冯·诺伊曼的早期生涯、洛斯阿拉莫斯时光以及计算之路”<sup>2</sup>，听到他对冯·诺依曼崇拜式的评价：如果冯·诺依曼活得长一点，他肯定可以获得数学的阿贝尔奖、诺贝尔经济奖，计算机的大奖，以及一个关于量子力学的诺贝尔物理奖。



冯·诺依曼

<sup>1</sup> [http://www.ki-net.umd.edu/tn60/2014\\_04\\_30\\_Lax\\_Banquet\\_talk.pdf](http://www.ki-net.umd.edu/tn60/2014_04_30_Lax_Banquet_talk.pdf)

<sup>2</sup> John von Neumann: The Early Years, The Years at Los Alamos and Road to Computing

关键是这些数学家为其国家的建设出了大力，有着显著的效果，真正体现了数学重要是因它能解决产业和实际问题。1957年2月8日，冯·诺依曼在华盛顿陆军医院去世，终年53岁。弥留之际，美国国防部正副部长，陆海空三军总长以及其他军政要员齐聚在病榻前，聆听他最后的建议和非凡的洞见，由此可见这位数学家对美国国防的重要性<sup>3</sup>。

原子弹不能通过试错的办法来制造，每个设计方案都必须有理论上的测试。冯·诺依曼意识到解决链式反应问题的唯一途径就是离散方程并求出数值解；而拉克斯奠定了激波计算理论，大大推进了核武器设计、数字风洞等尖端研究。这些都是对实际问题做出了实质性的贡献。

今日的美国，能文能武的数学家还是很多，数学家成为两院院士的至少有十几个，包括做计算数学的 Carl de Boor, Gene Golub, Stanley Osher, James Sethian, Leslie Greengard, Ingrid Daubechies, Vladimir Rokhlin, James Demmel, Marsha Berger, Margaret Wright。在中国，目前还没有一个数学家是两院院士。

另有一些发达国家，比如加拿大、澳大利亚，还是基础数学独霸天下，几乎没有应用数学家的舞台，当然他们的科技就只能原地踏步了。

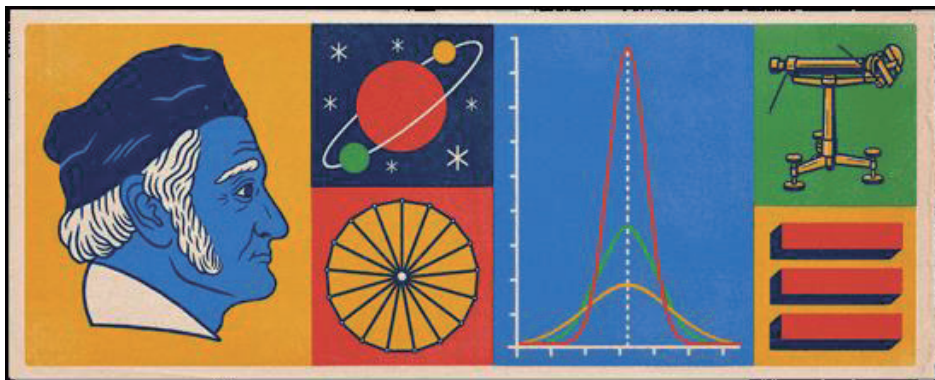
## 2. 一些伟大的数学家研究问题驱动的数学

应用数学很强的国家是美国、法国、德国、英国、俄国，这也是科技原动力最强的国家。

### 17 世纪到 19 世纪

17 世纪到 19 世纪的三百年间，应用数学强盛的第一梯队是英国、德国、法国和俄国，其代表人物分别有牛顿、高斯、拉普拉斯、欧拉。

牛顿的贡献家喻户晓，在 16、17 世纪科学技术处于攻坚阶段，当时的物



高斯诞辰 241 周年谷歌网站作图致敬

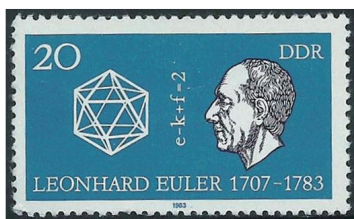
<sup>3</sup> 蔡天新，《冯·诺伊曼：因为他世界更加美好》，数学文化，1 (2010)，pp. 26-44.

理学家在研究力学、流体力学的问题中，提出了很多新课题，这些问题使用当时的数学方法是无法解决的，于是牛顿和莱布尼茨发明了微积分理论。

高斯除了数论、代数、微分几何等基础学科的伟大贡献外，还在天文、物理、大地测量、电磁学方面做出了奠基性的工作。他提出的最小二乘法、正态分布、高斯消去法都具有永恒的应用价值。1818年至1826年间，高斯主导了汉诺威公国的大地测量工作，这项大地测量史上的巨大工程，如果没有高斯在理论上的仔细推敲，在观测上力图合理和精确，在数据处理上尽量周密和细致，就不可能圆满的完成。为了采用椭圆在球面上的正形投影理论解决大地测量中出现的问题，高斯开展了曲面和投影的理论，因此奠定了微分几何的理论基础，同时也给出了非欧几何的雏形。

拉普拉斯是法国数学家和天文学家，他一生在科学上的贡献被很多人认为仅次于牛顿。拉普拉斯是天体力学的主要奠基人，是天体演化学的创立者之一，是分析概率论的创始人，是应用数学的先驱。从有记载的人类历史开始，赌博就已经是一种极为盛行的娱乐活动。人们用抽签、抓阄的方法解决彼此间的争端，这可能是概率最早的应用。到16世纪时，随着扑克牌的风靡，欧洲人开始陶醉于这种赌博游戏，但很少有人去思考其中的组合、统计、概率等问题。进入公元17世纪后，随着世界保险业的发展，有人惊奇地发现：虽然赌博的输赢是偶然的，但赌博的次数增多的时候就会出现一定的规律。拉普拉斯对此产生了浓厚的兴趣，把精力投入到各种纸牌、骰子、铜币的实验和计算中。这个应用驱动的研究使他于1812年出版了《概率分析理论》一书，此书第一次明确提出了概率的概念，系统地叙述了概率论的基本理论，论述了概率在选举、审判、调查、气象等方面的应用，导入“拉普拉斯变换”等极具生命力的方法。

欧拉虽然是瑞士人，但是早期与晚期的数学生涯是在俄国度过的，对俄国的数学发展产生过巨大的影响。众所周知微积分是牛顿和莱布尼茨发明的，但



反映欧拉生平 and 发明的邮票



欧拉是把微积分从婴儿抚育为英俊少年的重要人物。欧拉是拓扑学、组合数学、分析学、几何学、变分法研究的开创性人物，同时是一个伟大的应用数学家，其研究涉及建筑学、弹道学、航海学等领域。流体力学主要研究流体本身的静止状态和运动状态，是一门很有实用性的科学，在航空、航海、医学以及其他很多领域都离不开流体力学。没有流体力学的支撑，万吨级轮船不可能安然航行于大海，飞机不可能翱翔于蓝天。对分析学得心应手的欧拉，缔造了一个流芳百世的“欧拉方程”，它是对无粘流体应用牛顿第二定律得到的运动微分方程，至今仍应用于空气动力学和水波等理论。欧拉方程的建立奠定了流体力学作为一门学科的基石，直到今天无数大型计算机都在数值计算欧拉方程的数值解。

### 上世纪前 80 年

这个时代是计算机出现前后的年代；很多顶级数学家都来参与计算机的设计和应。其代表性人物是冯·诺依曼、图灵、香农，还有中国的冯康。

冯·诺依曼的事迹前面已经谈过了。为了计算更快，他参与了计算机的研发，1945年6月，冯·诺依曼与戈德斯坦等人，联名发表了一篇长达101页纸洋洋万言的报告，这份报告奠定了现代电脑体系结构坚实的根基，直到今天，仍然被认为是现代电脑科学发展里程碑式的文献。蒙特卡洛(Monte Carlo)方法，是以概率论和数理统计为理论基础、使用随机数解决实际问题的一种随机抽样统计方法，这是乌拉姆(Stanislaw M. Ulam)与冯·诺依曼等人在阿拉莫斯国家实验室为核武器计划工作时发明的分析中子在核反应堆中传输过程的方法，而用这座世界闻名的赌城来命名，更加具有一丝神秘莫测的气息。这个应用驱动的计算方法，直到今天仍然非常有生命力。蒙特卡洛方法体现了计算机处理大量随机数据的能力，是计算机时代新型算法的先锋。它在解决实际问题时需

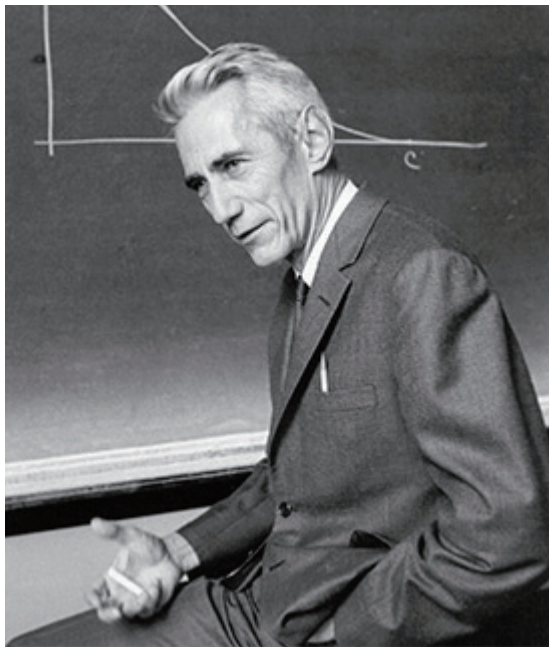


图灵的头像即将出现在英国 50 英镑纸币上

要分两步：模拟产生各种概率分布的随机变量；用统计方法把模型的数字特征估计出来，从而得到实际问题的数值解。这一方法在金融工程学、宏观经济学、生物医学、计算物理学（如粒子输运计算、量子热力学计算、空气动力学计算）等领域应用广泛。

图灵是计算机逻辑的奠基者，他在 24 岁时提出了图灵机理论，31 岁参与了英国破解德国通讯密码的计算机的研制，33 岁时构思了仿真系统，35 岁提出自动程序设计概念，后来还创造了一门新学科：非线性力学，也是生物数学的开创者。二战后，图灵被英国国家物理实验室邀请参加计算机的设计工作，正是这一应用驱动的研究，产生了他的里程碑式的论文《机器能思考吗？》，为人类带来了一个新学科——人工智能。看到了老虎和斑马的条纹、猎豹的斑点、鳄鱼牙齿排列的间距，具有非凡观察力的图灵就思考如何用数学解释这些现象。在 1952 年发表的最后一篇论文中，他创造性地使用反应 - 扩散系统的数学模型来描述自然界中的斑图，比如虎纹、豹斑。这类可以用反应 - 扩散方程描述的斑图，被后人称为图灵斑图（Turing Pattern）。

香农（Claude Shannon, 1916-2001）是美国数学家、信息论创始人。他于 1948 年发表了著名的文章“通信的数学理论”（A Mathematical Theory of Communication）创建了信息时代的理论基础——信息论，香农因而被称为“信息论之父”。他提出了信息熵的概念，为信息论和数字通信奠定了基础。香农从理论上证明了，只要通信速率低于信道容量  $C$ ，总可以找到一种编码方式，使得误差概率接近于 0。当今 2G-3G-4G 甚至到 5G 的通信



香农，信息论之父

变更，基本都是延续了香农定理的思路：提升信噪比和提高带宽。除了信息论，香农对密码学的贡献也非常大。在二战期间，战争的需求需要提高密码的保密性，需要在语音加密装备中做出创新。1945 年，香农向贝尔实验室提交了一份机密文件，题目是“密码术的数学理论”（A Mathematical Theory of Cryptography）。这一成果在二战结束后的 1949 年以“Communication Theory of Secrecy Systems”（保密系统的通信理论）为题目正式发表，香农也因此被聘为美国政府密码事务顾问。这篇论文为对称密码系统的研究建立了一套数学理论，从此密码术成为了密码学，由一门艺术成为一门真正的科学。



冯康 (1920-1993), 有限元理论创始人

随着电子计算机的问世, 现代意义上的科学计算迎来了飞速发展。新中国成立之前, 中国大地上现代化的科学计算几乎是一片空白, 像天气预测、核武器模拟、飞行器设计等大规模的计算研究绝对是空白。随着国防和民用的需要, 科学计算的研究从 1950 年代末蓬勃开展起来。在那个年代被全世界科学家重点开发的一个方法叫有限元方法, 这个

方法可以快速、准确地模拟很多大型工程、科学问题。对于这个方法的数学理论, 如何理解有限元方法的优势和局限, 激起了很多世界一流数学家的激情, 包括前面提到的曾任美国数学会理事长的拉克斯、法国科学院院长利翁斯 (J. L. Lions, 1928-2001)。而正是中国数学家冯康用高深的数学理论, 在极其广泛的条件下证明了有限元方法的收敛性和稳定性, 建立了有限元方法严格的数学理论框架, 为有限元方法的实际应用提供了可靠的理论基础, 这一点被拉克斯、利翁斯等同行认为极具“原创”贡献。

2008 年, 由菲尔兹奖得主高尔斯 (Timothy Gowers) 主编的《普林斯顿数学指南》由普林斯顿大学出版社出版, 133 位著名数学家共同参与撰写, 其中由世界著名数学家专门编写的近 200 多词条, 介绍了基本的数学工具和词汇, 解释了关键性术语和概念。“数值分析”词条由牛津大学教授、英国皇家学会院士特列菲森 (Lloyd N. Trefethen) 撰写, 他列出了从公元 263 年到 1991 年人类历史上的 29 个重大算法, 其中第一项是线性方程组求解 (刘徽、高斯、拉格朗日、雅可比), 第二项是牛顿迭代法, …… , 第九项是有限元方法 (柯朗、冯康、阿吉里斯、克劳夫)。1955 年出生的特列菲森院士, 前几年刚卸任美国工业与应用数学学会 (SIAM) 主席的位置, 是一个很有国际影响的应用数学家。他在《普林斯顿数学指南》这本极有影响的书里面, 给了冯康有限元发展史上重要的历史地位, 这是会载入史册的肯定!

在横跨一千多年、上百名主要数值算法的发明者中, 只出现了刘徽、冯康两个东方人的名字。而西方人的名字除了上面列的高斯、牛顿, 还有冯·诺依曼、拉克斯、图灵等伟大数学家的名字。这些人类历史上伟大算法的贡献中, 按出生时间顺序, 第一位是刘徽, 大约出生于公元 225 年 (提出算法是公元 263 年), 第二位就要走到一千四百多年后的牛顿, 1643 年出生, 第三位是 1707 年出生的欧拉。

2002 年吴文俊先生在媒体访谈中坦言: “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。20 世纪 80 年代以后, 从事计算



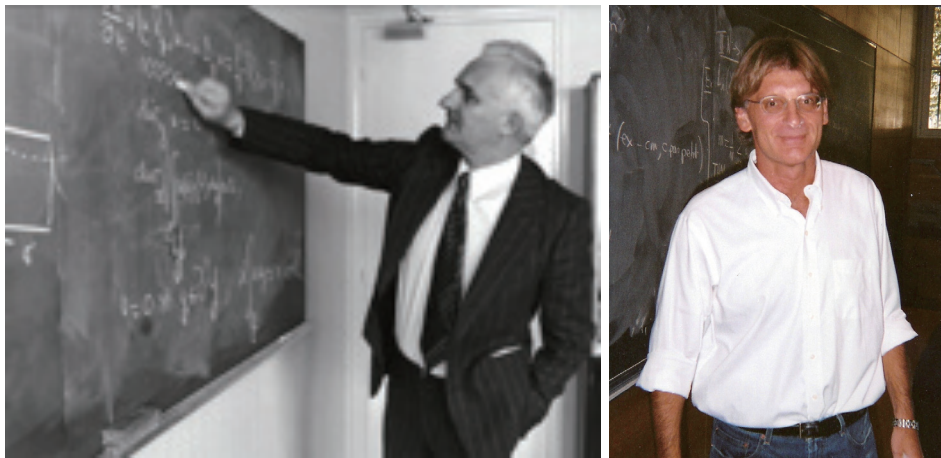
数学的冯康在数学领域取得了世界公认的成就。冯康先生这样的创造，不仅要有一个、两个，还要有很多，才称得上世界数学大国。”

吴先生上面这段话是很有深意的。刘徽、冯康的名字能如此名垂青史，经得起历史的考验，而不是靠某个大师“点石成金”，主要是其研究成果有实用价值。

### 过去的半个世纪 .....

在过去的五十年，数学真正体现了可以推动科技，带来巨大经济效益。

法国的应用数学队伍非常强大。50年前的领袖人物就是利翁斯。他本人是偏微分方程、控制论专家，也是有限元方法理论的世界级人物。不光如此，他还培养了很多学生，其中有近十位法国科学院院士。有趣的是利翁斯的学生 Haïm Brezis 把导师的儿子 P. L. Lions 培养成了菲尔兹奖获得者，小利翁斯把自己的学生维拉尼 (Cédric Villani) 培养成了菲尔兹奖得主，去年维拉尼的学生菲加利 (Alessio Figalli) 又获得了菲尔兹奖。法国人拿菲尔兹奖似乎和闹着玩一样。



利翁斯父 (曾任法国科学院院长) 子 (菲尔兹奖得主)

有限元方法 1950 年代起源于波音公司，波音因此有一个强大的数学、力学计算队伍。但是 1970 年代，法国的有限元研究在世界上居于领先地位，利翁斯的有限元学派在法国受到极大重视，其数学方法极大推动了法国空客 (Airbus) 的发展。由于有了强大的数学和计算，空客的三维复杂结构空气动力学模拟非常成功，帮助法国飞机制造业和波音并驾齐驱，远远领先于其它飞机制造公司。

数学带动美国科技龙头企业的一个典型例子是谷歌。谷歌两位创始人，拉里·佩奇的父亲是计算机教授，谢尔盖·布林的父亲是数学教授。这两位子承父业，一个大学读的是计算机，另一个是数学。

在谷歌诞生之前那段时间，流行的网页排名算法都很类似，它们都使用了一个非常简单的思想：越是重要的网页，访问量就会越大。许多大公司就通过

统计网页的访问量来进行网页排名。但是这种排名算法有两个很显著的问题：一是因为只能够抽样统计，所以统计数据不一定准确；二是访问量并不一定能体现网页的“重要程度”。当时还是斯坦福大学研究生的佩奇和布林开始了对网页排序问题的研究。1999年，一篇以佩奇为第一作者的论文发表了，论文中介绍了一种叫做 PageRank 的算法，这种算法的主要思想是：越“重要”的网页，页面上的链接质量也越高，同时越容易被其它“重要”的网页链接。于是，算法完全利用网页之间互相链接的关系来计算网页的重要程度，形成一个随机矩阵，然后通过快速求解矩阵的左特征向量，将网页排序彻底变成一个数学问题，终于摆脱了访问量统计的框框。



谷歌创始人佩奇（右）和布林

2004年，31岁的佩奇被选为美国工程院院士，5年后，36岁的布林也当选了工程院院士。他们的当选风平浪静，没有人联名抗议。

当然美国数学推动的大型公司不止谷歌一家，微软、文艺复兴科技都是需要很多数学家的公司。不同的是，在中国，数学推动大型科技企业唯一的例子就是华为。华为非常聪明地采用全球数学力量，有效地和俄罗斯、法国、土耳其数学家合作，利用二十年时间，打造了一个含金量极高的科技公司。任正非先生的伟大，并不是那些纸上谈兵的人可以理解的。

### 3. 数学加固了华为这个伟大的公司

有位国企的老板问任正非，华为为什么二十多年就能成长为国际化企业？是不是靠的低价战略？任正非说你错了，我们是高价。对方又问，那你凭什么打进了欧洲？回答是靠技术领先和产品领先，重要因素之一就是数学研究在产品研发中起到的重要作用。

有人说数学能力是中兴与华为的唯一区别。看看华为这些年的做法，可以认为此话一点不假。

- 1999年，华为在俄罗斯建立了算法研究所，招聘了数十名顶级的数学家。
- 2008年，华为和土耳其数学家阿勒坎做出了富有成效的合作。
- 2016年，华为宣布在法国设立数学研究所。
- 2017年，华为与西安交大签约共建“数学与信息技术联合研究中心”。
- 2019年，任正非在接受法国《观点》周刊专访时透露，华为有五个数学研究所在法国。



2013年，任正非接受法国媒体联合采访时说：“我们在法国的发展，未来将新增三个研究所：第一个是美学，研究所关注于色彩学，法国在色彩学上的积淀可以帮助华为的产品改变形象；第二个是数学研究所，未来的数字世界流的数据大的不可想象，我们不知道如何应对这样大的流量的。自来水在管道里面分子是一样的，从这个支路到那个支路流动的都是水。巴黎的自来水管网就非常复杂了。而在信息管道里面流的每一个分子都不一样，而且每个分子必须准确流到它想去的地方。如果，这个信息流比自来水大千亿倍，信息管道比太平洋还粗，如何办。我们就打算在数学领域加大投资，用数学的办法来解决这样一个大流量下的管理办法。”

华为和数学结合最精彩的一笔是和土耳其数学家埃达尔·阿勒坎的合作。阿勒坎1958年出生在土耳其首都安卡拉，1981年获得加州理工学院本科学位，1985年获得麻省理工学院电子信息工程专业的博士学位。阿勒坎的博士生导师是美国人罗伯特·加拉格（Robert Gallager），而后的成长深受信息论之父香农的影响。博士毕业后，阿勒坎在美国短暂工作一两年后回到故乡土耳其的毕尔肯大学工作。在这里，阿勒坎十年磨一剑，终于在2008年大功告成，发表了极化码技术方案。





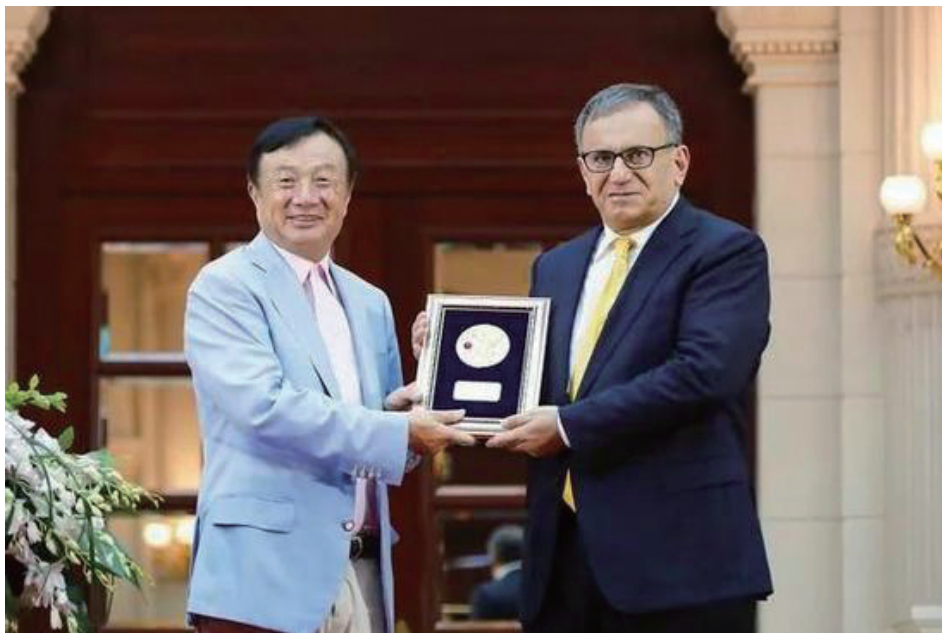
徐宗本院士（右）与华为签订共建“华为—西安交大数学与信息技术联合研究中心”协议

1948年，香农提出了通信领域非常重要的香农定理，揭示了信道信息传送速率的上限（比特每秒）和信道信噪比及带宽的关系，而且存在一个上限问题，还可以通过信道编码的方式来实现更可靠通信。随着我们对于网速要求越来越高，人们不断在探索更加接近香农极限的信道编码。而在极化码还没有进入5G标准之前，全球公认的编码标准只有Turbo码和LDPC码。Turbo码是3G和4G时代使用的标准，阵营代表是Orange和爱立信，由于4G最大速率不过1Gbps，Turbo码还能应付，但遇到更高速率5G时就遇到了瓶颈，所以在5G标准上，Turbo码获得的支持很少，5G基本就成了LDPC码和极化码的战争。而LDPC码的提出者，正是阿勒坎的导师加拉格。所以，在这场5G通信标准之争的背后，是一对师徒的技术之争。

直到华为在极化码的基础上开发出5G通信技术后，迎来了至关重要的5G标准投票——若能取胜，就能掌握5G通信网络的话语权。在去年的5G标准投票中，华为推崇的极化码，受到了美国高通公司的阻击，高通推崇的是低密度奇偶校验（LDPC）码。当然，表面上是技术之争，背后也有国家利益之争。

LDPC利用校验矩阵的稀疏性，使得译码复杂度只与码长成线性关系，在长码长的情况下仍然可以有效的进行译码，因而具有更简单的译码算法。由于LDPC可以使用高效的并行译码构架，其译码器在硬件实现复杂度和功耗方面均优于Turbo码，在利用计算机找到最优秀的LDPC码，其极限性能距香农理论限已经缩小到0.0045dB水平。

极化码构造的核心是当码长持续增加时，部分信道将趋向于容量近于1的完美信道（无误码），另一部分信道趋向于容量接近于0的纯噪声信道，选择在容量接近于1的信道上直接传输信息以逼近信道容量，是首个被证明能够达



到香农极限的方法。编码过程是用矩阵来表示信道极化组合与分解的过程，编码过程最重要的是求得生成矩阵。

相比 LDPC 码和 Turbo 码等成熟编码技术，极化码虽有理论优势，但付诸实践需要冒很大风险。从 2010 年起，华为投入巨额资源研发极化码的落地应用，终于在 2016 年 11 月使之成为 5G 控制信道编码方案，这也是中国厂商第一次在国际移动通信标准制定中掌握技术方面的话语权。

2018 年 7 月 26 日下午，极化码之父阿勒坎在深圳华为总部享受了隆重的欢迎场面，包括任正非在内的华为最高领导层和华为数百名员工肃立十余分钟等候他的到来。任正非向其颁发由巴黎造币厂设计制造的奖牌。奖牌正面雕刻胜利女神形象，嵌入巴卡拉红水晶，寓意新的通信技术引领时代发展。

#### 结束语 .....

阿勒坎获奖后，他在答记者问时的回答很有意思，读后很受启发。谨以此作为本文的结尾。

**问：**“作为一名科学家，您认为需要怎样的机制和氛围来保障基础科研？”

**答：**“我非常幸运，回国后加入了一个私立大学，这个学校的主管部门非常好，支持和鼓励我的研究。现在的教授发表论文的压力越来越大，而我当时不需要发表那么多论文。我发表论文只要最低的额度，只要够保住我的工作。当时学校的管理层很有耐心，能理解我的做法。我并不是想要说教，但教授不应该承担那么多发表论文的压力，我觉得这两者之间要找到很好的平衡点。我从事的这种基础研究，不太需要很多的资金支持，所需要的是安

全的环境，能有稳定的工作，养家糊口的工资就够了。”

**问：**“您曾在美国学习、教学了近十年时间。如果做一个对比，美国的大学体制和土耳其有哪些异同？”

**答：**“我看到这样的现象，学术界现在每隔两到三年就会出现一个热门话题，例如有很多人在追逐机器学习、AR/VR 等热门研究方向，但它们也许转瞬即逝。根据我的经验和倾向，你应该有你自己的研究日程或研究计划。这个研究计划应该是有规矩可寻、合理的，但最终不一定会取得预期的成功，但我的理解就是，基础研究就是要去研究、理解最基本的问题。”

华为觅到了一个不追求物质、不追求时髦的数学家，是一大幸事。华为和这位数学家相得益彰，精诚合作，也是人类技术史上的一段佳话。



作者简介：

汤涛，中国科学院院士，北京大学数学学士，英国利兹大学博士，本刊联合主编。