

雷震教授：在关键问题上挥洒青春

编者按：正值不惑之年的雷震，已经在数学界大放异彩：他是复旦大学数学科学学院的院长，也是国家自然科学奖二等奖获得者、陈省身数学奖得主等等。这些都是他在 Navier-Stokes 方程上十年如一日的思考与研究的结果，也应证了他对于自己的要求：“在关键问题上挥洒青春”。

自从雷震第一次进入复旦大学数学科学学院已经过去了 23 年。二十三年之前雷震还是一位刚进入科研道路的年轻人，二十三年之后他已经成为了不可压流体力学方程领域的专家。“人们都知道数学很难，但我觉得我们做数学不能仅仅追求难，而是要追求有意义的问题。”在被问到他的数学理念时，雷震这样回答。

在过去的这些年里，每当雷震向其他人讲述方程之美时，他的眼睛永远炯炯有神，充满幸福感和成就感。

奋楫笃行：享受“冲浪”的快乐

在复旦读博阶段，雷震进入了非线性波动方程的研究领域，弹性力学方程组是其典型代表之一，对理解多种物理现象至关重要。雷震在研究生第一年便面临了一个严峻的挑战：二维弹性力学方程组平衡态附近经典解的整体适定性问题，这是一个关键且难以攻克的堡垒。直至博士毕业，雷震也未能攻克这一堡垒。

博士毕业后，雷震持续深耕于不可压情形的流体力学方程组解的数学理论，尤其关注二维情形的弹性力学方程组和三维情形的 Navier-Stokes 方程组解的整体适定性。他在研究中发现，不可压流体存在一种非线性的内蕴强退化结构，该结构显著增强了非线性项的稳定性。基于这一发现，雷震提出了“强零条件”的概念，把这种新发现的非线性内蕴强退化结构数学化，解决了长期困扰学界的多个关键难题，并最终建立了二维情形弹性力学方程组平衡态附近经典解的整体适定性理论。继此成就之后，雷震与其博士生蔡圆以及合作者林芳华、Masmoudi 合作，又建立了粘弹性流

体力学方程组关于时间整体成立的粘性消失理论。

在千禧奖问题之一的 Navier-Stokes 方程组 (NS) 解的整体适定性研究领域中, 雷震与侯一钊合作建立了首个满足能量等式的三维模型并揭示了 NS 中对流项具有出人意料的安全性机制, 并与张旗合作建立了轴对称情形的解产生有限时间奇性的判别法, 进而刻画了潜在奇性解破裂的速度。而后, 雷震又与他的学生任潇及张旗合作, 进一步得到了关于轴变量周期的古代解的刘维尔定理。

雷震在不可压流体力学方程组研究领域的长期努力, 使他收获了丰富的学术成果, 更赢得了同行的广泛认可和高度评价, 他发表的八篇代表性论文累计被引用三百余次。世界不会辜负每一个努力的人, 2021 年, 雷震与周忆一同获得国家自然科学奖二等奖; 2023 年, 雷震被授予第二十届陈省身奖。

然而, 研究之路从不是一片坦途。雷震坦言: “经历的失败远多于成功。” 他将自己的人生比作解方程组, 成功则在于解出它们: “这个方程组我已经思考了十余年。每天面对它, 都在寻找正确破解之路。” 与其说是失败, 他更愿意将科研比作冲浪, 认为它是一种起伏不定的状态, 但也是一种可以享受的生活方式: “你会感到无路可走, 但转瞬间又豁然开朗。激动得整夜难眠, 却可能在早晨发现自己又走错了路。极度绝望时, 又能看到曙光, 就这样周而复始。” 他笑言: “科研之路充满了各种困难, 因此, 做数学需要勇气。” 科研不总是一个可预期的行为, 研究时常起起伏伏, 正如冲浪一般, 而雷震则是浪尖上勇敢的弄潮儿, 不畏艰难, 开拓创新。

为国攀登：追求“有用”的问题

雷震曾在美国加州理工学院从事博士后研究, 并曾为普林斯顿高等研究院 member 及哈佛大学访问学者。他当时有机会留美工作, 但却毅然决然选择了回国。“中国人是有大国情怀的。我们天生就应该有一些超出自己研究领域的梦想与追求。” 他坚定地表示: “作为数学人, 当然, 我们要为中国的数学事业做尽可能大的贡献。” 这种爱国情怀激励着雷震在科研领域不断向高峰攀登。

“责任感”这个词，经常出现在雷震口中，贯穿于他的个人发展道路，也贯穿于他的教书育人的全过程。他重视培养学生的家国情怀，要求学生做世界一流的研究。“什么研究该做、什么文章该写，你们需要好好考虑。你们可以发很漂亮的文章、找很好的工作，但作为复旦大学毕业的偏微分方程学者，你们对中国偏微分方程的发展是负有责任的。”

雷震的教学不仅限于数学，他经常与学生们探讨学术问题，也会讨论生活和社会现象。面对学生的发展困惑，他指导他们不应局限于个人得失，而应将为国家和社会作出贡献视为一项崇高的追求。雷震认为，即便是数学理论研究，也应紧密围绕生产和生活中的实际问题进行，扎根于中国的现实，服务于国家和社会的发展。他一直强调追求那些不仅有趣但同时也“有用”的问题。对于他而言，那些可能在一百年后才显现其价值的数学问题或许超越了时代的理解，他更关注的是那些能够直接应用并有助于解决实际问题、国家战略以及经济发展需求的数学问题，以及能够推动物理、天文、技术等科学领域发展的数学研究。

雷震深知，数学领域的问题数不胜数，但个人的精力毕竟有限。因此，他强调：“我们要追求有意义的问题，要找到那些即使花费五年、八年、甚至十年解决之后，也会让我们感到这一生值得的问题。”他认为，盲目地投入精力去解决一些极端困难的问题，如果最终发现这些问题并无实际意义，那无异于浪费了宝贵的时间。“我们数学的研究不能仅仅追求难度，更应追求那些有意义的问题。”雷震如是说道，“人的一生并不漫长，所以我们要将青春投入到那些关键的问题上。”

青衿之志，笃行致远。雷震觉得每一位做研究的青年人都应该树立志向，在时代洪流中找到自己的坐标。同时，要不畏艰险，翻山越岭地追寻梦想，为中国的科学事业发展做尽可能大的贡献。即使荆棘载途，仍需踔厉奋发。

桃李不言：培养“顶尖”的人才

在多次荣获奖项的辉煌履历中，雷震特别重视“卓越青年研究生导师奖励基金”。

他认为,这一奖项的含金量在于它象征着自己成功培养出了一批又一批卓越的学生。

每当谈到他的博士导师,同时也是和他一同获得国家自然科学奖二等奖的周忆教授的时候,雷震总是充满了感激,他表示:“周老师是一个真正的学者,为人谦虚大度,我的很多思想和技术都是从周老师那里学过来的。其中我学到的一个最大的本事就是看问题,或者说当你思考一个问题的时候,你怎么去看清问题的实质,真正懂这个问题。”

而这种传承也激励着雷震对于人才培养的极端重视。他常说:“一名教授如果能培养出两个比自己强的学生,那他对社会的贡献就算很大了。”这份使命感和责任感,才是作为导师最真实的价值。雷震最大的心愿,就是把优秀人才培养好,培养三至五名优秀接班人,活跃在中国乃至国际舞台的最前沿,引领偏微分方程研究。

在指导学生时,雷震有着自己独到的方法。他喜欢将科研比作武侠世界,自己不是孤身一人的数学侠客,更希望引领学生们探索知识的无人之境。他认为导师应该像武侠小说中的大侠一样,不仅要有自己的江湖历练,还要引领学生走向更具挑战性的前沿。正如在复旦期间对他帮助很大的洪家兴院士所说的那样,“我们要关心大问题、做重要的工作。因为做研究如果任何小问题都去做,精力是不够的,而且也会逐渐拉低自己的档次。”

然而,培养学生面对挑战并在“江湖”中生存需要导师付出巨大的心力。他指出,不能让学生迷失于无休止的文献阅读,导致忘记了自己的研究的出发点。他认为导师的角色之一是“指路明灯”,在把知识讲授清楚的同时,指导学生清晰地思考问题,而后继续前行。

雷震的直博生,获得过“学术之星特等奖”的陈可还记得第一次科研经历中,特殊的方程结构让方法的应用产生了本质困难,一卡就卡壳了3个月。在没有丝毫进展时,雷震鼓励她“不着急,慢慢来,但做研究千万不可以囫囵吞枣”。最终,在与雷震

和其他同学经过密集讨论、观点碰撞后，他们抓住了可行方法的思维火花，一举攻破了难题。

披荆斩棘：助力学生的登峰

在探索数学的崎岖之路上，导师的角色至关重要。雷震认为科研如同攀登高山。“学生得知道路在哪才能往上爬，如果根本就不知道路，他有可能永远在山脚下走，”他强调，作为指路人，导师不仅要为学生提供方向，更要避免越俎代庖，代替学生攀登，要保障他们独立思考的空间。雷震提倡学生独自面对挑战，“只有将大大小小的危险的山，自己去爬，学生才会有化茧成蝶的机会”，他坚信这样的经历有助于学生毕业后继续保持优秀的科研能力。

雷震善于捕捉为学生“指点武功”的关键时刻，同时也自觉在帮助与干预之间维持平衡。他认为，对于导师而言，控制自己的言语和行动是一项挑战：“你好像什么都看清楚了，但是你不能讲”。即便是在导师眼中的死路，他仍旧鼓励学生自行探索，因为这样的过程至关重要。“也许他会找到一条跟你不同的路，但最终也能做出来”。雷震坚信，导师的职责在于引导而非直接解答问题。

谈起自己的学生，雷震总是如数家珍：“我现在越来越习惯每个人的节奏了，比较慢热，但创造性十足”，“他们有些想法很怪，但是你可以听出其中专业性、启发性”，“真是越做越好，大大超出我的想象”。

雷震始终鼓励学生做世界一流的研究。在雷老师课题组五年的学习，让同样获得过“学术之星特等奖”的直博生任潇深刻体会到“提出好问题和解决问题一样重要”。在导师的带领下，他解决了诸多难题，将提出有价值研究方向作为未来努力的方向之一。雷震期待培养出的，正是这样“具有独立的学术人格的人才”。

因材施教：找好人生的赛道

当被问到自己的育人理念的时候，雷震笑称自己对于学生“没有期待”。他说任何

他接收的学生到这里来，都会有一个比较好的前途，但这不是他的期待，而是个自然而然的过程。

雷震鼓励学生们树立伟大目标、追求卓越。他总说“我的学生都是非常优秀的”，“要去做研究领域内最顶尖的专家，成为时代进展突破的参与者、引领者”。为此，要进行日积月累的学术锻炼。他说，“数学科研创新，在于抽丝剥茧，凝练出问题的关键模型”，直到像武林高手那样“内功深厚”，自然能够穿梭刀光剑影中，寻得“神功至宝”。

然而，雷震也清醒地意识到，想要每个学生都符合你期望的那个样子是不可能的。“每个学生都是独一无二的，兴趣和长处各异，作为导师，我们的职责是激发学生的主观能动性，无论是通过批评还是表扬，让学生意识到要发挥自己的智慧，不浪费天赋。”他倡导的是个性化教学，“最理想的情况是百花齐放，百家争鸣，每个人都以自己的方式绽放光彩”。

对于那些数学潜力有限的学生，雷震有着开明的态度，他认为不是每个人都适合同一条道路。在这种情况下，导师应当帮助学生转换赛道，让他们解决更适合自己的简单问题，找到自己的兴趣所在，并将时间投资于他们真正热爱的领域。他强调导师的角色是引导学生感受生活中的“幸福感”，而非强迫他们走上特定的道路。

雷震对自己学生的特点和成就了然于心，并基于每个学生的特长规划培养方向。在毕业后的生涯发展上，他也不吝给出诚挚的建议与帮助，只为每名学生都能收获最大的成长。

重视基础：深入教学的一线

自参加工作以来，雷震一直身处教学的最前线，尤其注重于本科基础课程的讲授。雷震坚定地表示：“作为教师，我们的教学出发点，一定是要想好学生学完这门课会变成什么样子。”

在雷震看来，例子在学习方程时至关重要。以他讲授的《偏微分方程》课程为例，他期望学生不仅能够记住各式各样的特殊解，还能掌握相应的结论。他强调：“学生应将结论与实例并行理解，不论结论是正面的还是反面的，都应有相应的实例加以佐证。”这是雷震非常希望学生达到的一个状态。”雷震明确指出：“有的学生只能背下来抽象的定理，但问他一个具体到 **Laplace** 算子上的应用时，他却搞不清楚，这样是无法学好数学的。”

在“拔尖计划”成员任潇的记忆中，雷老师授课风格既严谨又幽默，经常举一些生动形象的例子帮助学生理解，同时不拘泥于课本，会补充很多学术前沿的研究思想和方法。“他会告诉我们真正学好一门课的方法是什么，既进行有效的学术指导，也有意培养学生的自主探索能力。”任潇说。

雷震提到了方程理论中的一个经典定理——强极值原理。他认为要想熟练应用该原理，不应只记忆条件和结论。雷震阐述：“例如，要使结论成立，通常需要假设区域满足内球条件。如果不满足这一条件，学生应能提出反例；如果条件稍微减弱，结论是否立即不再成立？或许结论也相应减弱。”他继续说明：“学生需要这种逻辑思维模式，并以实例加以佐证。这样虽然看似只学习了一个定理，实际上已经理解得非常深刻了。”雷震比喻说：“学习数学就像玩玩具，能够深入玩透，说明你掌握得非常好。同理，数学也必须彻底‘玩’透彻。”

许多本科生反映在学习证明过程中遇到困难，常常一看就忘，最终只能背诵结论。对此，雷震总是耐心地强调数学的思想性和逻辑性。他向学生说明：“对于每一个证明，我们必须弄清楚，为了推导出这个结论，我们需要哪些条件；为了满足这些条件，我们又应该如何做。”他指出：“对于一些基础定理，如果按照这种逻辑思维方式，通常倒退两步就足够了。”

雷震认为，学生的数学能力不是短时间内可以培养出来的。他强调：“在本科阶段，就应该培养学生具备这种思维素质。因为本科阶段的结论相对简单，在简单的例子

中更容易培养这种素质。”他补充说：“进入研究生阶段，阅读论文时也应该采取类似的方法，逐步培养学生的能力。”

担任院长：成为坚实的后盾

在担任数学学院院长的岗位上，雷震为学院的教学和科研工作注入了新的活力，推动学院在学术上不断取得新的成就。雷震在职责上的自我定位清晰且朴实无华：“一个院长并不是简单的‘保姆’，而应当是学院发展的坚实后盾，能够在自己的专业领域里为学院服务。”

面对国际学术界的竞争与合作，雷震展现了坚定的自信与开放的态度。他认为，随着中国学者学术水平的迅速提升，国际交流中的对等性和有效性日益增强。“在探讨共同关心的问题时，很难分辨谁的贡献更大。”雷震鼓励复旦的学生们，要对自己的学校充满信心，相信每个人和每个国家都有独特的优势。就像习总书记说的那样，首先要有自信，然后才是和别人学习、竞争。

雷震及其学生们积极与国际领域的专家们合作，分享知识与经验。他指出，尽管现今科研交流条件便利，但关键仍在于专注于自己的研究，并不断追求突破与创新。“当你找到了简单而有效的解决方案，那么整个学术领域的视线都将聚焦于你。”

结束语

雷震的办公室安静而空旷，空荡荡的书桌、沙发和书橱。唯一引人注目的，是办公桌对面黑板中央的那个一般人看不懂的轴对称 **Navier-Stokes** 方程组。这个困难而又令人着迷的方程，几十年来见证着雷震在那片抽象深奥而又人迹罕至的数学高原上，征服过的许许多多矗立着的高峰。当然，雷震永远不会停下脚步，悄无声息之间，一场数学思维的新风暴已在激荡。

陈猛供稿