2015年度中国科学院杰出科技成就奖系列报道④

程代展:

在历史的沙滩上留下自己的足迹

■本报记者 韩天琪

无论寒暑，中国科学院基础科学园区的思源楼每天清晨都会迎来一位古稀老人——中国科学院数学与系统科学研究院研究员程代展。虽然年到七十，但程代展看上去依然精神矍铄。对于痴迷一生的数学，他依然保持着强烈的好奇心和旺盛的创造力。

程代展主要从事非线性控制系统、哈密顿系统、复杂系统、逻辑动态系统与博弈论等研究。2016 年 1 月 14 日，程代展从中国科学院院长白春礼手中接过 2015 年度中国科学院杰出科技成就奖。这是中国科学院数学与系统科学研究院时隔 12 年之后第二次获此殊荣。

走向数学研究的道路

程代展生于 1946 年，高中时期在福建省福州一中度过。虽然少年时期的他对数学和写作都很感兴趣，但在当时重理轻文的社会风气影响下，程代展还是选择了理科。

“我们那时流行一句话，‘学好数理化、走遍天下都不怕。’”程代展告诉《中国科学报》记者，虽然选择理科多多少少带有时代背景的因素，但他对数学的兴趣和热爱的确是在高中时期就萌发了种子。

“当时的福州一中数学教研组主任给了我很多帮助，我在她的影响下开始接触数学竞赛。”

虽然高考成绩非常出色，但由于政治及个人原因，程代展的录取遇到了麻烦。经福州一中校长陈君实及时任福建省教育厅长强力推荐，由时任中共福建省委第一书记叶飞将军和教育部长兼清华大学校长蒋南翔联系，程代展最终被清华大学冶金系录取。

误打误撞进了冶金系的程代展 1964 年入学，只上了 1 年零 8 个月的课便赶上了“文化大革命”。虽然只是学了一点基础课，但程代展对数学的兴趣不减反增。1970 年毕业后，程代展在清华大学数学教研组工作过一段时间，时值中国科学院研究生院开始招生，清华大学的孙念增教授向中国科学院的关肇直研究员推荐了程代展。

“中国科学院研究生院是中国‘文革’后第一家招收研究生的学术机构，所以当时的招生信息都是登在《人民日报》上的。”在清华大学数学教研组一些老教师的鼓励下，程代展报考了关肇直的研究生，从此走进了他躬耕一生的控制论领域。

中国人原创的理论

程代展此次获得 2015 年度中国科学院杰出科技成就奖，是因其耕耘了近 20 年的一项原创理论——矩阵半张量积方法及其在逻辑动态系统控制中的应用。

逻辑动态系统在自然界中大量存在，但不同于连续动力系统，前者缺少有效的分析工具，使其分析与控制的研究难以突破，成为发展的瓶颈。而程代展以矩阵半张量积为工具，发展了一套逻辑动态系统的代数状态空间方法，解决了“如何分析逻辑网络的动态行为”及“如何设计逻辑网络的有效控制”这两个基础性科学问题，从而创立了逻辑动态系统的控制理论。相关工作不仅获得国家奖和国际奖，而且引发了国内外大量后续研究，使逻辑动态系统的研究成为国际控制领域具有显著影响力的新方向。

这是由中国科学家独立开辟的新方向，并在国际上引领了该方向的发展潮流。用程代展自己的话来说：“矩阵半张量积就是在离散型数学和连续型数学之间架起了一座桥梁。”

但这个新方向的发现多多少少带有灵光一现的“偶然性”。

2005 年前后，程代展在瑞典学术访问期间买了一本数学手册，这本手册的第一页即是逻辑问题。程代展猛然想到逻辑公式是否可以用半张量积来表示，琢磨之后，随即着手用半张量积来证明书上的一些公式。

“我当时并未预计到其理论及应用前景，只是发现用矩阵半张量积来证明逻辑问题挺好证明。”程代展说，当时这个发现就像是玩数学游戏一样。

2008 年 1 月，程代展在香港第三次中瑞双边控制会议上听到清华大学赵千川教授关于从离散事件推导到布尔网络的学术报告。“赵千川当时的观点是布尔网络实际上就是一个逻辑演化过程，而要把不动点和极限环的一般公式找出来是很困难的。”

“我当时灵光一现，感到矩阵半张量积，特别是逻辑的矩阵表示，可能成为分析布尔网络的拓扑结构的有效工具。”程代展接着说，“因为逻辑本身的运算，尤其是连续运算还是比较困难的，但如果将其变为代数形式，经典的矩阵理论就可以用上了，其证明过程也变得更加简洁。”程代展顺着这样的思路找到了不动点和极限环的一般公式。

此后两年多，半张量积在布尔网络的研究中取得成功，初步形成了确定型布尔网络控制理论的完整框架，相应结果发表于多篇相关国际期刊论文，并形成专著。这方面的工作得到国际同行很高的评价，获得国际自动控制联合会颁发的最佳理论 / 方法论文奖，同时引发了一系列后继研究。

“将矩阵半张量积作为工具，用代数状态空间方法来作结构分析、控制设计等都可以做下去。”程代展不无骄傲地表示，这是我们中国的一项原创理论。

这项理论在控制论领域发展得十分迅速。目前，该理论已被应用于众多领域的研究，并在电力系统及混合动力汽车控制等工程项目中得到初步应用，显示了其广阔的应用前景。

只有兴趣才能带来创造性发现

2012 年，程代展曾经在科学网上发表了一篇名为《昨夜无眠》的文章，探讨关于青年科研人员培养的问题。这篇文章当时曾经引发热烈的讨论。

在采访中，当记者提到这篇著名的博文时，程代展依然认为，年轻人要有对理想的追求和为科学献身的精神，并再次强调：“年轻人如果想在自然科学领域做一点有意义的工作，恐怕还是需要兴趣的。”

“像我这么大岁数了，既没有人管，也没有人逼。但只要我在北京，每周七天都会在办公室里研究问题，只因我自己觉得有意思。”程代展说，只有真正发自内心的好奇和兴趣才有可能支撑一个科研人员作出真正创造性的发现，从而在历史的沙滩上留下自己的足迹。

实验室

在冻土上描绘科学图画

——记中科院寒旱所冻土工程国家重点实验室

■本报见习记者 马卓敏 通讯员 岳晓

久负盛名的青藏铁路，让天堑变通途，高原不再遥远。乘车的人们在一路为美景惊叹时，却不知道这天路背后的技术力量与科研人员辛勤的汗水。

青藏铁路是高温冻土工程建设方法发展史上的重要里程碑。在多年冻土区修建这样一条铁路，难度可想而知。之所以能取得令人瞩目的成就，与中科院寒旱所冻土工程国家重点实验室有着密不可分的关系，与实验室始终秉承的“以冻土科学与技术创新为理念，从冻土科学和冻土工程两个角度来开展冻土研究”有着紧密的联系。

解决青藏铁路筑路核心难题

走进冻土工程国家重点实验室，走廊两旁的展板记载了实验室这些年取得的一系列骄人成绩。“来自 17 个国家的 56 位冻土学家在实地考察后一致认为，青藏铁路工程建设所采用的以冷却路基为主、积极保护冻土的设计；用块石路基、碎石护坡、热棒与保温材料做桥梁跨越，完全体现出当代冻土区铁路工程建设的先进水平。”实验室主任吴青柏告诉《中国科学报》记者，冻土工程国家重点实验室如今已参与到多项国内外多年冻土区重大冻土工程项目的科研实践中，如广为人知的青藏公路、青藏铁路、中俄输油管道工程、哈大高速铁路工程、青藏直流联网工程等特大型工程。

加拿大著名冻土学家哈里斯评价说，青藏铁路工程让全世界得到了在多年冻土区建设铁路的成功经验，会对在极端环境下各国工程设计人员在工程设计和施工的开展上产生深远影响。“密歇根理工大学项目团队在开展横跨北美大铁路项目可行性研究中，评估了全世界深季节冻结和多年冻土区铁路工程领域最新和最好的研究，就曾大量引用过实验室在青藏铁路冻土工程筑路技术上发表的论文。”吴青柏说。

在青藏铁路建设上，冻土工程国家重点实验室在国际上首次提出了冷却路基、降低冻土温度的创新性设计思路，揭示了冷却路基调控原理。通过这些工程，使国家取得了显著的经济效益和社会效益，为国家冻土区重大工程建设提供了重要的技术支持。“通过完善以调控热传导、辐射和对流为理论基础的冷却路基筑路技术体系，从根本上解决了青藏铁路多年冻土筑路技术核心难题，解决了高温高含冰量多年冻土路基稳定性的世界难题。”实验室程国栋院士告诉记者。

▲白春礼(左一)参观冻土工程国家重点实验室。

▲实验室主任吴青柏(左一)介绍地质雷达在冻土工程勘测中的应用。

探寻一种非常规高效清洁能源

“这是我们从昆仑山垭口盆地开展探索性研究工作时获得的，通过 450 米深孔钻探和地球物理测井，我们研究了岩芯气体成分、多年冻土特征、地球化学特征和地球物理测井资料，发现了昆仑山垭口盆地天然气水合物的赋存证据。”当记者询问放在固定容器中的各种岩石样品时，吴青柏如是说。

研究发现，在昆仑山垭口 250 米以下多个深度上岩层存在大量气体释放异常，具有天然气水合物分解间歇性释放的特征。同时多个深度上发现了与水合物分解产生甲烷密切相关的碳酸盐和黄铁矿等自生矿物。

“青藏高原多年冻土区可燃冰一直是学界广为关注的热点问题。天然气水合物多发育于多年冻土区和海洋沉积物，是一种非常规高效清洁能源。”吴青柏认为，天然气水合物性质不稳定且极易分解，冻土退化极易引起天然气水合物分解释放甲烷，将加剧气候转暖和生态环境灾变。因此，寻找和发现青藏高原多年冻土区天然气水合物，探讨多年冻土与天然气水合物的关系，对于青藏高原天然气水合物的开发和利用以及气候和环境效应具有重要的科学意义。

如今，实验室在资源环境等方面也开展了重要的科学研究。冻土与气候、生态之间的相互作用关系、冻土退化的水文和灾害效应、多年冻土区“可燃冰”研究等，均是紧密结合国家重大需求的项目。

新技术为青藏高速公路建设带来契机

青藏铁路工程是一项最为典型的将寒区工程技术研究成果和专利技术应用到冻土工程的案例。如今获得国家发明技术奖二等奖的冻土路基地温调控技术及冻融灾害防治新技术，正在北麓河野外台站针对宽幅沥青路面开展复合冷却路基调控冻土热稳定性新技术试验示范。

北麓河台站站长陈继告诉《中国科学报》记者，他们工作的地区地处荒郊野外，海拔高度 4650 米，工作需要沿青藏公路展开，路况差，每年要跑 4 万公里青藏线。全年每月两次的观测，没有班车，必须开车，还要进入危险四伏的无人区。而就是在这样艰苦的条件下，科研人员取得了非常重要而有价值的研究成果，新技术将为多年冻土的青藏高速公路建设发挥重要作用。

在实验室，记者还看到了国际上首台冻土静动空心圆柱仪，“这台设备可以开展主应力轴旋转的静态试验、动态试验，为进一步研究较为真实应力路径条件下冻土的力学性质提供技术保证。”寒旱所所长马巍告诉记者，在哈大高速铁路建设中，实验室正是通过引进这样的先进技术仪器并开展长期的寒区工程的基础研究，才很好地揭示出高速铁路微弱冻胀形成机制及其影响特征，突破了微弱冻胀对冻土区高速铁路影响较弱的传统认识，为我国首条严寒地区高速铁路的成功建设和安全运营做出突出贡献。

此外，在中俄输油管道建设中，实验室建立了针对管道—冻土热、力相互作用的计算新模型，提出了中俄输油管道油温和冻融圈新的预报方法。在国际上首次提出了冻土区“基于应变的管道设计”原创性设计新思路，显著提高了变形预报精度和管基工程可靠性；在青藏直流联网工程方面，提出“强化冻结、防治融沉”新的设计原则，突破原有以“抗冻拔”的设计原则，更改和完善了工程设计，破解了原有多周期工程建设原则，为输电线路基础施工、组塔、架线和投运的工程转序和科学决策提供直接支撑。

转化

让技术变成财富

■本报记者 沈春蕾

近日，2015 年度中科院科技促进发展奖正式公布，过程工程所科技开发处被授予 2015 年度中科院科技促进发展奖管理贡献奖。

2015 年，中科院过程工程研究所(以下简称过程工程所)科技开发处组织科研骨干赴企业考察 75 次，接待政府企业来访 145 次；与全国 200 余个地级市建立联系，使过程工程所的科技创新成果有效扩散。

建设创客空间

随着我国资源环境约束日益强化，要素的规模驱动力逐步减弱，传统的高投入、高消耗、粗放式发展模式难以为继，尤其是过程工程产业，亟须培育和催生行业发展新动力。

近年来，过程工程所一直在科学技术前沿领域和产业技术共性问题上寻求突破，形成了符合过程工程学科发展规律的科研创新体系。

面对国家创新驱动发展战略，响应“大众创新，万众创业”的号召，过程工程所在科技创新上“率先行动”，过程工程创客吧应运而生。

过程工程所所长业务助理谭强强告诉《中国科学报》记者：“过程工程创客吧致力于科学技术与‘双创’相结合，致力于把责任使命与国家战略相结合，把科技成果转化为现实生产力。”

据谭强强介绍，过程工程创客吧由过程工程所发起，太库科技创业发展有限公司(创业孵化机构)提供投资、路演、交流、推广、培训等关键支撑，是过程工程所在科技与经济结合过程中洞察市场、开放思想、汇聚资源、创新模式的重要平台。

去年年中，过程工程创客吧举办了第一期活动，活动期间，来自高校院所、民营企业和外资企业的代表们全面介绍了各自的创新历程和创业心路。过程工程所的青年科研骨干们也针对如何把高精尖技术融入产业链、如何把废弃资源高值化、如何把技术转化成产品、如何让科技服务双创等问题各抒己见。

今后，过程工程所将依托过程工程创客吧，与太库全球孵化网络、华夏幸福产业城进行深度合作，吸收产业资源、探索模式创新，激发科技人员持久的创新活力，与各类市场主体密切合作。

成立至今，“过程工程创客吧”已组织 7 次活动，内容涉及创业经验分享、创业法律知识培训、创业基地考察等。

倾听产业声音

为推动研究所科技创新活动迅速融入市场竞争环境，过程工程所还创新技术转移模式，引入评估诊断机制，已与 15 个行业协会，20 个地级市，7 家投资公司合作发起评估诊断会。

谭强强说：“利用评估诊断机制，我们将在科技创新活动的前、中、后期全面提高产业合作水平，推动科研技术在产业应用上的持续突破。”

过程工程所发起评估诊断会的目的是要倾听来自市场各主体的声音，获取政府、企业、行业和市场对于研究所创新活动和成果的宝贵意见，结合产业变局与市场需求，共同探讨研究所的学科发展方向、科技研发模式以及人才培养方式。

目前，过程工程所已组织了两期“过程工程产业技术评估诊断会”，邀请了来自行业协会、高校、政府、企业的专家对研究所材料、环保等适合京津冀区域产业化的项目进行了评估诊断，“我们收到了很好的建议和成效。”谭强强表示。

比如，在首次评估诊断会上，对于氨氮废水资源化处理技术和工业应用及废动力电池及含钴废料的资源循环利用技术，目前已有相关项目落地衢州，参评专家就如何在产业聚集区进行辐射推广进行了探讨。

未来，过程工程所将持续完善和举办系列评估诊断会。谭强强说：“我们将整合所内外高端智库资源，倾听来自社会各界的声音，以社会力量为主构建成果转化空间，促进科技创新与市场需求和社会资本有效对接。”

探索科技金融

为探索科技金融与创新发展新模式，充分借助中关村区域内金融机构资金雄厚的优势，解决技术转移转化项目融资困难的问题，

2015 年，围绕过程工程所在京津冀的技术成果孵化和科技成果转化，过程工程所及廊坊分部，与中国建设银行北京中关村分行、北京银行中关村分行签署了战略合作协议。

谭强强告诉《中国科学报》记者：“我们是中科院在京第一家与银行建立全面科技金融合作的研究所，协议的签署创新了银行与研究所合作的体制机制，打造一个更有利于创新创业的发展平台。”

在双方合作协议中，还设立了“科技成果产业孵化基金”，由两家银行为研究所设立的产业基金提供 10 亿元配套授信，为产业基金投资项目、中试及产业基地孵化项目，提供包括贷款、投资银行、贸易融资等融资服务，为研究所科技成果项目的孵化提供必要的信贷支持。

随着过程工程所与金融机构各项业务的深入推进，将逐步形成信息共享、优势互补、互利双赢、共同发展的科技金融合作新机制、新平台和新模式。

谭强强表示，过程工程所将持续推进与中关村金融机构的深度合作，发挥各自优势，搭建银所联动、多方参与的科技金融服务平台，支持过程工程所的重点科研领域、创业企业和创新项目，促进学术带头人创新创业体系的建设，推动科研成果的转移转化。