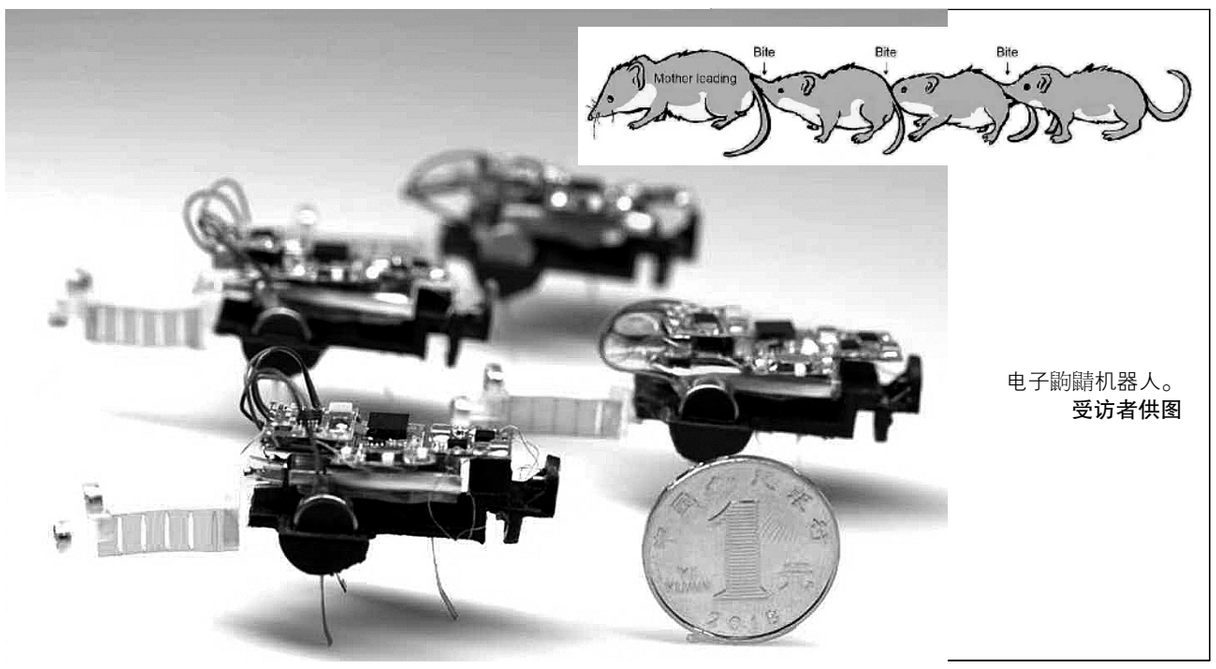
《黑猫警长》里的配角变身“微型特工队”

■本报记者 杨晨

经典国产动画片《黑猫警长》第一集“痛击搬仓鼠”中，曾出现这样一幕。粮食仓库被盗，前来抓鼠贼的猫警官，把鼩鼱错认成老鼠，误会了只是在地缝里捉虫吃的鼩鼱一家。后来才发现，鼩鼱虽形似老鼠，但实属食虫目，和啮齿目动物的老鼠并不是“一家人”。

这一集突出刻画了鼩鼱独特的行为习性：集体行动时，妈妈领头，幼崽依次衔住前方成员的尾巴，连成一串。鼩鼱这一“咬尾成串”的特征，为专门做昆虫仿生机器人的科研团队带来了灵感。

近日，电子科技大学副教授吴一川团队设计研发了一款与鼩鼱大小相近的微型机器人。它们同样可“咬尾”相连，也能快速分离，以实现轻松越障、功能集成和协同作战，未来有望在紧急救援、管网检测等场景扮演“微型特工队”的角色。相关成果近日发表于《设备》。



电子鼩鼱机器人。受访者供图

最大集成“轻装”上阵

吴一川团队的主要研究方向是昆虫尺度仿生机器人，设计灵感往往来源于自然界中能进行高效协作或拥有特殊“技能”的生物。

“我们受蚂蚁相互协作、搬运食物的启发，曾希望做一类与其形似，且可以在狭小空间里集群协作的机器人。”吴一川回忆，由于蚂蚁体形过小导致机器人制作困难，团队只得寻找更合适的仿生模型。

这时，一种名为鼩鼱的小型哺乳动物进入了研究视野。鼩鼱身体呈纺锤形，吻部细长，体长只有 50 至 62 毫米，与团队预设的机器人尺寸基本吻合。

据了解，此次设计的单个机器人长度为 4 厘米，重量仅 6 克，主体部分不过一枚一元硬币大小。狭小机身内，团队集成了振动电机、控制电路、无线通信模块、微型电池、磁铁、加热线圈及胶腔等多个组件，尽量实现功能、重量与尺寸的平衡。

其中，“电子鼩鼱”的运动系统摒弃了传统的旋转电机，转而采用振动电机驱动。因为前者会占用过多空间，使整体显得“笨重”，后者则更为精简轻便。

“电机振动时会带动下方的不锈钢‘腿’，使机器人‘行走’。”团队成员陆国彬介绍，启动左电机时机体向右转动，启动右电机时向左转动，双电机同时工作则向前直线运动。在实际测试中，机器人直线速度可达每秒 16 厘米，旋转速度可达每秒一圈（360 度）。

尽管目前“电子鼩鼱”仍处于实验室研究阶段，但应用前景较为广阔。吴一川预想，在未来应急救援或城市管网检测中，它可携带相应的探测设备，进入人员难以触及的狭小空间，扮演“微型特工队”或精准救援的角色。

“咬尾成串”更好越障

鼩鼱群体在集体移动时展现出独特的“咬尾成串”行为，为团队设计“可重构、可协作”的微型机器人带来重要启发。

鼩鼱视力不好，所以会一个接一个咬住前面伙伴的尾巴，连成“小火车”以在复杂的环境中安全行动。

“同样的，单个微型机器人能力有限，在复杂地形中容易被障碍卡住。如果多个机器人首尾相连，整体长度增加，可跨越比单机长度更宽的沟壑。”团队成员彭毅解释，不同“电子鼩鼱”未来还可分别携带摄像头、温度传感器、声音探测器等设备，当整体移动至目标区域后，又能分开执行各自的探测任务。

为了实现机器人之间可靠且可控的连接与分离，团队动用了不少巧思。每个机器人的“嘴巴”装有两枚磁体，与其对应的“尾巴”设有两个电磁线圈。当两个机器人靠近时，前面机器人的电磁线圈和后方机器人的磁体会快速对准并吸附。

“仅靠磁力吸附强度不足，尤其是在越障或负载时容易脱落。”吴一川表示，为此，团队在连接界面加入了热响应型黏合胶。“该胶体在常温下为固态，通电加热后熔化为液态，冷却后重新固化。”

这样一来，两只“电子鼩鼱”之间先通过磁力对齐，再加热其中一个线圈使附着的胶体熔化，待冷却后便加固了黏结。分离时，再次加热使胶体软化，同时另一线圈产生反向磁场，使得连接的两端轻松脱开。这一机制使机器人群体既能快速组队，又能随时分开作业，还可灵活按需重组，以适应不同任务场景。

目前，机器人的连接、分离与运动需通过手机 App 进行远程控制，因此智能化自主协作仍是未来的重点发展方向。同时，团队将持续向自然界里的小动物“取经”，研究蟑螂、蜘蛛及蝴蝶的运动机制，探索更多灵活轻便且功能多元的微型仿生机器人。

相关论文信息：https://doi.org/10.1016/j.device.2025.101045

多维度刷新“亲吻数纪录”，300 年数学难题获系统性突破

本报讯（见习记者江庆龄）近日，上海科学智能研究院联合北京大学、复旦大学的研究团队，设计多智能体强化学习系统 PackingStar，在 12、13、14、17、20、21、25 至 31 维等多个维度刷新了亲吻数与广义亲吻数纪录，实现数学结构领域罕见的多维度、系统性突破。

同时，PackingStar 的系统化学习揭示了不同维度之间潜藏的几何关联与内在脉络。原本分散在各个维度中的结构成果，被逐步纳入同一幅结构图景之中，呈现出内在关联与演化脉络，使各维度构造不再彼此封闭，而是形成可迁移、可比较、可演化的关系网络。这种系统性的重构，使研究者得以从整体视角重新审视这一经典难题，为未来持续推进奠定了方法基础。

作为希尔伯特第十八问题（球体堆积）的局部形式，“亲吻数问题”关联格子理论、球面码、群论等多个数学分支；在工程领域，球体最优排列与通信信号在高维空间中的最优分布本质相同，涉及卫星通信、量子编码、数据压缩等关键技术问题。

“亲吻数问题”最早可追溯至 1694 年。牛顿和格雷戈里在一次讨论中提出一个问题：在一颗中心球周围，最多能紧贴放置多少颗相同的球。牛顿认为是 12，格雷戈里则认为可能是 13。直到 1953 年，数学家才彻底证实了牛顿的猜测。当维度升高，问题迅速进入“无人区”。过去 50 年，亲吻数构造仅有 7 次实质性进展，且每次依赖完全不同的方法，仅作用于临近维度，难以迁移与复用。

通过将高维几何难题转化为人工智能（AI）模型擅长的代数计算问题，研究团队设计了强化学习系统 PackingStar，在多智能体协作框架下探索远超人类直觉的复杂空间。系统由填充智能体与修剪智能体协同博弈，在“生成－筛选－优化”的循环中持续逼近最优结构。

在研究过程中，团队逐步形成稳定的人机协作模式，即研究者提出直觉与边界，AI 进行高速构造与搜索，再由人类对结果进行验证与抽象。AI 在缺乏可反向合成数据、缺乏先验结构约束的条件下，仍能够实现可持续的结构生成与探索。而人机协同的机制，则使高维几何探索从单点尝试走向系统推进。

最终，PackingStar 实现了跨维度连续突破：在 25 至 31 维刷新人类已知最佳结构；打破 14 维与 17 维长期保持的“两球亲吻数”纪录，以及 12 维、20 维、21 维“三球亲吻数”纪录；在 13 维发现优于 1971 年以来所有有理构造的新结构，并在多个维度发现 6000 余个新构型。

广义亲吻数将研究从“一个单位球面周围能放置多少个与之相切的单位球”扩展到“多个单位球面周围能放置多少个与之相切的单位球”。团队在此方向上取得了多项突破。例如，在 14 维与 17 维情况下，打破了“两球亲吻数”的最佳构造纪录；在 12 维、20 维与 21 维情况下，打破了“三球亲吻数”的最佳构造纪录。

值得注意的是，这些由 AI 生成的结构，数学多样性极为丰富，包含着数学家未曾设想的构造方式：有些是低维结构的巧妙拼装，有些是基于特殊规则的张量积，有些则对应于已知结构的新的分解方式。这不仅丰富了广义亲吻数研究，还可为数学家提供全新思路。

据了解，PackingStar 项目通过系统性工程优化，使计算效率显著提升，同时构建稳定的容错机制，为大规模、长周期计算提供可靠支撑。上海科学智能研究院工程团队自研底层算子，在图形处理器（GPU）上直接完成核心计算并原位写入数据，减少显存拷贝与冗余读写，大幅提升吞吐效率；同时建立自动 Checkpoint 机制，实现千卡规模任务的断点续传与故障恢复。该研究整体搜索速度提升数倍，累计节省超过 10 万 GPU 卡时，使高维结构探索从“偶发尝试”转向“系统推进”。

一引三融五驱动 守正创新育英才

——河北大学财政学科研究生培养模式的实践探索

■宋凤轩 杨文杰 谷彦芳

财政是国家治理的基础和重要支柱。新时代背景下，财经类研究生培养亟须突破传统模式，培育兼具扎实专业功底、公共价值素养、战略思维能力与实践创新本领的复合型人才。

作为深耕财政学科建设 50 余年的高校，河北大学立足地方综合性院校定位，紧扣国家治理现代化与新质生产力发展需求，创新构建并实践“一引三融五驱动”研究生培养模式，以名师引领为核心引擎，以思政融通、学科融合、科教融汇为育人主线，以教学、科研、平台、竞赛、实践五大驱动为实施路径，实现了价值塑造、知识传授与能力培养的有机统一，为地方高校财政学科高质量发展打造了可复制、可推广的实践范式，培养出一大批扎根燕赵、服务全国的高素质财政治理型人才。

薪火相传

名师领航筑根基 团队接力续华章

师资是学科发展的第一资源，研究生培养的质量归根结底取决于师资队伍的水平。河北大学财政学科自建设之初，便确立了“育人为本、师资为先”的发展理念，将名师队伍建设与教学团队培育摆在学科发展的核心位置，历经多年探索，构建起“国家级教学名师－省级名师－校级名师”的阶梯式名师培育体系，形成了“名师引领、骨干支撑、青年接力”的师资建设格局。

如今，河北大学财政学科已形成一支结构合理、实力雄厚、师德高尚、富有活力的师资队伍。学科教师中教授、副教授占比超七成，具有博士学位的教师占比达九成以上，拥有教育部国家级教学名师、“万人计划”教学名师、享受国务院政府特殊津贴专家、教育部新世纪人才等一批高层次人才。省级教学名师、优秀社科青年专家、青年拔尖人才成为学科发展的中坚力量。

学科始终秉持“名师不仅是知识的传授者，更是治学精神、育人理念与职业品格的传承者”的理念，将名师的示范辐射作用融入师资培养、课堂教学、科研指导、研究生培养的全过程。经过数十年的老中青教师的薪火相传，河北大学财政学科已形成了“修身律己、甘于奉献、潜心治学、躬身育人”的优良作风，不仅为研究生培养筑牢了思想与学术根基，更让学科的发展活力持续迸发，为财政学科的可持续发展注入了不竭动力。

三融贯通

多维协同构范式 守正创新育素养

学科围绕“培养什么人、怎样培养人、为谁培养人”这一根本问题进行深度探索，形成了“思政融通、学科融合、科教融汇”为育人主线的“三融贯通”育人体系。

思政融通：厚植家国情怀，彰显财政学科底色。财政与国家政治、社会民生、经济发展紧密相连，财政学科天生具有鲜明的思政特性，“财为政服务”是财政学科的核心底色。河北大学财政学科深刻把握这一学科特质，将思政融通贯穿研究生培养全过程，确立了“价值塑造为先，专业素养为基”的育人思路，构建起“课程思政＋科研思政＋实践思政”三位一体的思政育人体系，让思政教育与专业培养同频共振。

学科融合：打破学科壁垒，培育跨学科复合能力。新时代的财政理论研究与实践工作，既需要扎实的经济学理论基础，又需要跨学科的思维与能力支撑。河北大学财政学科立足综合性高校的多学科优势，于 2000 年创新性地将财政学专业置于管理学院发展，打破传统经济学单一学科属性，构建起“财政＋管理”深度融合的学科发展范式，这一探索在全国高校中独树一帜。这一学科发展范式以国家治理现代化需求为导向，依托管理学院公共管理、工商管理、管理科学与工程等多学科交叉优势，将财政学与管理学科有机结合，推动财政学研究从传统的经济资源配置视角，向公共治理效能提升的多元视角转型，形成了独具特色的“财政＋”交叉融合发展模式。

科教融汇：科研反哺教学，教学助推科研双向赋能。学科始终坚持科教融汇育人理念，着力破除教学与科研相互割裂的壁垒，系统构建“科研项目进课堂、科研方法进教学、科研成果进教材”的教学科研融合机制，推动形成科研反哺教学、教学赋能科研的良性循环与双向提升。学科围绕财政、税收、社会保障三大核心研究领域，主持省部级以上科研项目 30 余个，所有科研项目向研究生开放，让研究生深度参与项目的选题设计、实地调研、数据分析、报告撰写全过程。同时，取得的科研成果还推动了教材体系的持续更新与完善，学科依托最新科研成果，出版了财政学、国家税收、税收理论与实务、税法、资产评估、社会保障等系列教材。这些教材将学科最新的科研成果与财政实践中的典型案例融入其中，既注重理论体系的完整性，又注重实践应用的针对性，实现了教材内容的与时俱进。

五轮驱动

多措并举提质效 全维培育强能力

河北大学财政学科将“教学驱动、科研驱动、平台驱动、竞赛驱动、实践驱动”五大驱动贯穿研究生培养的全流程，从基础夯实到创新激发，从视野拓展到能力锤炼，从成效检验到价值实现，构建起多环节协同育人的联动贯通机制，让研究生在层层递进、多维培养中实现全面发展，成长为适应新时代需求的财政创新人才。

教学驱动：深耕教学改革，夯实专业知识基础。教学是人才培养的中心环节，抓好教学改革，是筑牢研究生专业基础的根本保障。学科高度重视教学研究与教学改革，先后主持 10 余个高校教学改革研究项目，围绕研究生培养模式、课程体系、教学方法等核心问题开展深入研究，在《学位与研究生教育》《研究生教育研究》《中国教育报》等报刊发表 30 余篇教改论文，部分论文被人大复印报刊资料《高等教育》全文转载，这些研究成果为研究生教学改革提供了坚实的理论指导。

科研驱动：激发创新活力，培育科研能力。培育科研创新能力，是研究生培养的核心目标之一，也是为财政学科发展和社会进步输送高素质研究型人才的关键。学科以科研驱动为重要抓手，构建起“科研项目引领、科研方法训练、科研成果激励”的研究生科研创新培养体系，全方位激发研究生的创新活力，系统性提升研究生的科研能力。学科除了让研究生深度参与导师的国家级、省部级科研项目外，还积极鼓励研究生申报校级、省级及国家级研究生创新项目、科研竞赛项目，为研究生开展独立科研工作提供充足的资金支持和专业的指导保障。

平台驱动：整合优质资源，拓宽学术研究视野。科研平台是研究生培养的重要支撑，能够为研究生提供优质的科研资源、先进的研究方法和广泛的学术交流机会。河北大学财政学科确立了“平台赋能育人”的理念，将研究生培养全面纳入省级以上科研基地（中心），构建起“科研基地＋智库平台＋品牌论坛”三位一体的平台支撑体系，让研究生在高水平平台中拓宽学术视野、增强创新能力。目前，学科拥有“政府管理与公共政策研究中心”“共同富裕研究中心”两个省级人文社科重点研究基地和“现代财税制度与民生保障”“乡村振兴”两个省级智库。这些平台成为研究生培养的核心载体，为研究生提供了完善的科研设施、丰富的文献资料和专业的研究指导。研究生可以依托基地开展实地调研、数据分析和政策研究。

竞赛驱动：以赛促学以赛促练，锤炼综合实践能力。学科竞赛是锤炼研究生综合能力、激发创新活力的重要抓手，能够让研究生在竞赛中检验学习成果、提升实践能力、培养团队协作精神。河北大学财政学科将竞赛驱动纳入研究生培养体系，紧扣国家战略需求和财政学科特点，确立了“以赛促学、以赛促练、以赛促创”的竞赛育人理念，组织研究生参加各类高水平学科竞赛，让研究生在竞赛中成长成才。

实践驱动：扎根社会实际，检验育人成果实效。河北大学财政学科始终坚持“知行合一”的育人理念，以实践驱动为检验育人成效的最终抓手，构建起“社会调查＋咨政建言＋社会服务”三位一体的实践育人体系，让研究生在深入基层、服务社会的过程中提升实践能力、彰显价值担当。学科围绕财政改革、社会保障、乡村振兴、基层治理等主题，组织研究生开展实地社会调查。学科鼓励师生合作开展政策研究，围绕地方经济社会发展中的重大问题撰写政策建议、研究报告，为地方政府和相关部门提供决策参考。此外，学科积极组织研究生参与各类横向社会服务项目，尤其是在脱贫第三方评估、乡村振兴规划、地方财政绩效评价等领域，充分发挥专业优势，为地方政府和企业提供专业服务。

守正创新

育人成果结硕果 学科担当显初心

数十载栉风沐雨，数十载薪火相传。河北大学财政学科始终坚守“为党育人、为国育才”的初心使命，以“一引三融五驱动”培养模式为核心，不断探索研究生培养创新路径，实现了学科发展与人才培养的双向赋能，收获了丰硕的育人成果，彰显了地方高校财政学科的责任与担当。

学科建设水平持续提升，成为地方高校财政学科的标杆。学科构建的“财政＋管理”交叉融合发展范式，在支持理论经济学、工商管理学、公共管理学相关学位点发展基础上，成功建设了财政学、税务专硕、资产评估专硕学位点，并有效支撑了应用经济学、管理科学与工程两个一级学科博士点建设，形成了本－硕－博贯通式培养格局，实现了学术型人才与专业型人才培养的协同发展，为财政学科的可持续发展提供了可参考借鉴的实践范式。

教学科研成果丰硕，学科影响力持续扩大。学科先后获得包括省级研究生教学成果特等奖在内的 6 项省级教学成果奖及 26 项省级以上社科成果奖，彰显了教学科研融合发展的显著成效。教师主持国家级科研项目 10 个，形成了以直接税改革、地方税收体系建设、数字税收治理、财政与社会保障融合发展为特色的研究方向，在全国财政学科领域形成了较高的学术影响力。

研究生培养质量显著提升，优秀人才层出不穷。学科培养的研究生兼具扎实的专业知识、较强的创新能力、深厚的家国情怀和良好的综合素养，成为各行各业的中坚力量。近年来，学科研究生陆续荣获思政品德奖 32 项，其中国家奖 17 项；各类科技创新大赛奖 28 项，其中国家奖 13 项。

站在新的历史起点，面对国家治理现代化与新质生产力发展对财政人才培养的新要求、新挑战，河北大学财政学科将继续坚守初心、守正创新，不断深化“一引三融五驱动”研究生培养模式改革，进一步加强名师团队建设、深化三融贯通育人范式、完善五轮驱动实施路径，持续提升研究生培养质量，努力培养更多堪当民族复兴大任的高素质财政创新人才，为加快建设教育强国、科技强国、人才强国，为推进国家治理体系和治理能力现代化，贡献更多河大智慧和河大力量。