附件目录

成果名称：先进机器人研究生创新能力培养

成果完成人：谭民、程龙、侯增广、王硕、吴正兴、徐德、景奉水、曹志强、王宗、王双翌

成果完成单位：中国科学院大学、中国科学院自动化研究所

一、 成果总结

二、 支撑材料目录

(1) 中国科学院优秀导师奖(2021)

(2) 中国自动化学会优博导师奖(2024)

(3) 《机器人学》校级优秀课程

(4) 《现代控制理论》校级优秀课程

(5) 李佩优秀教师奖

(6) 8 部教材封面（先进机器人控制、机器人控制、水下仿生智能机器人、高机动仿生机器鱼设计与控制技术、机器人视觉策略与控制、多机器人系统、Bionic Gliding Underwater Robots、Motion Control of Biomimetic Swimming Robots）

(7) 中国科学院优秀导师奖(2022)

(8) 中国科学院优秀导师奖(2024)

(9) 中国自动化学会优博导师奖(2018)

(10) 中国科学院优秀导师奖(2019)

(11) 中国额科学院朱李月华优秀教师奖

(12) 《机器人系统设计》研究生优秀课程

(13) 中国科学院大学首届青年教师教学基本功大赛一等奖

(14) 国科大首届青年教师教学基本功大赛最佳教学演示奖

(15) 中关村仿生机器人大赛创新优胜奖

(16) Grand Challenge ON Indoor robot learning First Prize(intel)

(17) 第 7 届中国（国际）传感器创新创业大赛特等奖

(18) 国际会议 IEEE ROBIO Best Paper in Biomimetics

(19) 国际会议 IEEE CYBER Best Conference Paper Award

(20) 国际会议 IEEE RCAR Best Conference Paper Award

本教学成果依托中国科学院大学人工智能学院/中国科学院自动化研究所在先进机器人研究生教学育人方面20余年的实践获得。项目组始终秉持国科大“科教融合、育人为本、协同创新、服务国家”的办学理念。项目组聚焦机器人领域的核心科学与关键技术，瞄准国际学科前沿趋势以及社会发展的实际需求，致力于构建科研、教育、产业深度融合的创新生态，实现创新型人才培养与技术应用型人才培养的优势互补。通过不断探索与实践，成功探索出机器人创新实践教育以及交叉学科创新人才培养的内在规律，并形成了一系列行之有效的方法与途径。

一、成果主要内容

（1）构建了“学科知识-科研前沿-产业需求-价值塑造”的先进机器人学科教学理念。以机器人领域前沿学术成果与行业发展趋势为导向，系统性建立了机器人学科课程体系，编写了《先进机器人控制》、《多机器人系统》等8部教材，创新性地实现了基础理论、工程实践、专业应用的三维知识映射，有效解决了传统机器人教育中理论与实践脱节、知识碎片化问题，同时秉持立德树人理念，坚持以实际案例培养学生爱国情怀与探索精神，协同推进知识传授与价值塑造。

（2）构筑了“科教融通-自主研制-动态迭代”的先进机器人研究生“科教-实践”育人体系。通过深入调研研究生在机器人实践学习中的多元需求，自主研发了可扩展性强的机器人实践教学平台，采用模块化系统设计理念，以水下仿生机器人与医疗康复机器人为双核心载体，搭建了覆盖“机构-感知-决策-执行”全链路的工程实践环境，以满足实践教学的动态变化需求，切实提升了研究生对复杂机器人系统的开发能力与创新素养。

（3）打造了“学科交叉-多元赋能-协同育人”的先进机器人研究生创新培养育人模式。构建了以多学科深度融合为核心的交叉创新人才培养体系，着力培育适应机器人领域多元需求的复合型创新人才。将仿生学与材料学、

力学、生物学、医学、机器人学、模式识别、人工智能等学科有机整合，通过构建跨学科协同培养体系，举办跨学科交流活动，长期入驻医院实践等创新举措，促使不同学科的思维方式和研究方法相互碰撞，激发研究生的创新思维，助力研究生构建多元且扎实的知识体系。

二、成果解决教学问题的方法

（1）以学科前沿与行业发展趋势为导向，全面梳理、重构机器人课程与教材体系；秉持立德树人理念，协同推进知识传授与价值塑造教育。

项目组深耕机器人教学领域 20 余载，精准把握机器人领域前沿动态，坚守新知识传授理念，率先将最新科研成果融入课程体系。**系统开设了《机器人学》、《现代控制理论》、《机器人实践》、《医疗与康复机器人》等核心课程，其中两门课程被选为中国科学院大学校级优秀课程，一门课程选为院级优秀课程。编写了《先进机器人控制》、《多机器人系统》等 8 部教材**，以机器人运动学、动力学与控制理论为学科基石，向上延伸构建包含机械设计、传感控制、智能决策、多提协同等核心要素的机器人系统架构知识层，向下拓展覆盖服务、医疗康复、特种仿生等典型场景的应用知识域，创新性实现了基础理论、工程实践、专业应用的三维知识映射，有效解决了传统机器人教育中理论与实践脱节、知识碎片化问题。同时，秉持立德树人理念，坚持以实际案例培养学生爱国情怀与探索精神，例如，讲述蒋新松院士创办新松机器人公司，展现老一辈科学家推动产业发展的不懈努力，激发学生爱国热情与投身行业的决心；介绍韩晶清研究员创建 ADRC 控制理论方法的故事，激励学生坚守科研初心、勇于创新突破，**核心课授课教师获得中国科学院大学首届青年教师教学基本功大赛一等奖和最佳演示奖。**

图 1 项目组编写的部分教材

（2）深入调研研究生在机器人实践学习中的多元需求，自主研发可扩展性强的机器人实践教学平台，以满足实践教学的动态变化需求。

针对机器人学科教学中长期存在的“理论-实践”二元对立问题，构建了具有自主知识产权的可重构机器人实践教学平台。**采用模块化系统设计理念，以水下仿生机器人与医疗康复机器人为双核心载体，搭建了覆盖“机构-感知-决策-执行”全链路的工程实践环境。**水下仿生系统采用仿鱼柔性推进机构与先进控制算法，支持流体动力学建模、智能控制及定位导航等实验研究；医疗康复系统搭载了多自由度力反馈主从操作器与肌电信号驱动的阻抗控制模块，可开展手术训练、康复策略优化及人机交互安全研究。机器人实践平台采用开放式硬件接口与标准化通信架构，实现了机器人形态重构及控制算法迭代。依托虚实融合实验环境，研究生能够完成从需求分析、系统建模、算法开发到实验测试的完整工程实践流程。该解决方式突破了传统实验设备功能固化限制，构建了“基础验证-系统设计-创新研发”

三级实践体系，切实提升了研究生的复杂机器人系统开发能力与创新素养。**通过提升实践教学，研究生在国内外科技竞赛中屡获佳绩，如获得中国（国际）传感器创新创业大赛中斩获特等奖、国家自然基金委水下机器人目标抓取比赛中勇夺一等奖等。**

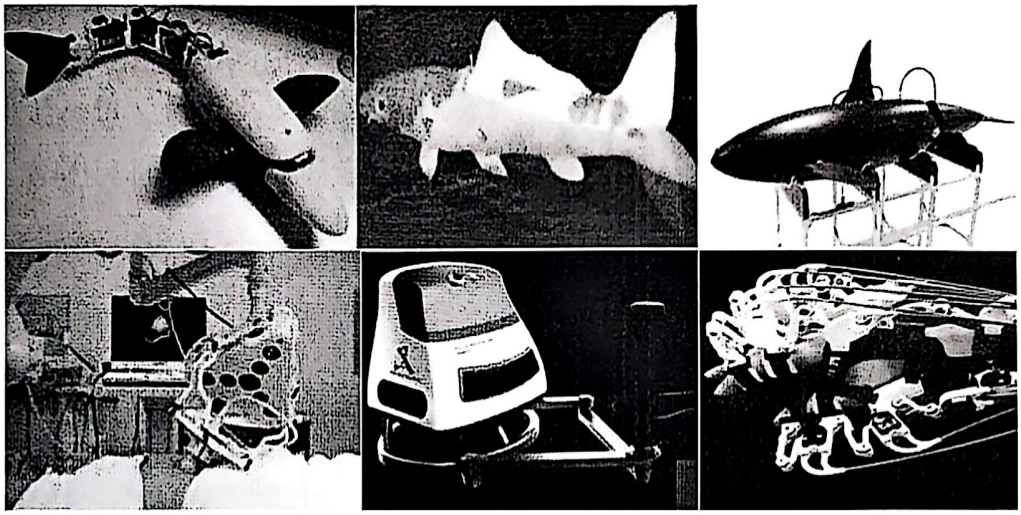

图 2 项目组研发的部分教学实践平台（仿生机器人、超声机器人、康复机器人）

（3）精心构建以多学科深度融合为核心的交叉创新人才培养体系，着力培育适应机器人领域复杂需求的复合型创新人才。

为了解决机器人教学过程中研究生学科背景受限、学科交叉性欠缺等关键难题，项目组通过深度剖析现状，精准洞察教学环节中的痛点，全力推进多学科之间的深度融合。在具体的教学实践进程中，**项目组创新性地将仿生学、材料学、力学、天文学、生物学、医学、机器人学、模式识别、人工智能等多学科进行有机整合，搭建起完备且高效的跨学科协同培养体系。**通过定期举办跨学科交流论坛以及前沿学术研讨会，为研究生营造出知识交流活跃、思想激烈碰撞的良好学术生态，有力促进不同学科知识的交互流通，进而拓宽研究生的知识视野边界。与此同时，项目组创新性地实施研究生长期入驻 FAST 天文台和医疗机构开展实践培训的专项计划。

该计划旨在让研究生深度融入交叉应用场景，将课堂所学的理论知识切实应用于实际操作之中，深度挖掘机器人技术在交叉领域的潜在应用价值，有效弥补传统教学中理论与实践相脱节的固有短板，全方位提升研究生解决复杂实际问题的综合能力，助力其构建起多元且坚实的知识体系架构，以满足机器人学科及相关产业对复合型人才的迫切需求。**博士生陶锐通过在贵州“中国天眼”的交叉创新培养，服务国家重大需求，也得到了新华社和央视报道。**

图 3 项目组多学科交叉培养与实践

三、成果创新点

（1）教育理念创新：构建了“学科知识-科研前沿-产业需求-价值塑造”的机器人学科教学理念

该教学理念锚定全面育人目标，从传统孤立课程教学向全方位、一体化且重品德培育的体系化模式转型，突破了传统机器人学科教学局限。授课时将最新科研成果嵌入课程，更新机器人教材知识，增加先进机器人控制方法、定位导航、多机器人系统等前沿方向和知识内容。在知识架构层面，开设的《机器人学》、《现代控制理论》、《机器人系统设计》、《医疗康复机器人》等课程，分别对应学科基础知识、系统架构知识、场景应用知识，以机器人学核心理论为根基，贯通基础理论、系统架构、应用场景知识，破解传统教学理论与实践分离难题。尤为关键的是，教学全程融入德育元素，秉持立德树人理念，借实际案例激发学生爱国情怀与探索精神。同时，运

用全贯通式教学法，打通理论、实践、产业应用间的壁垒，全方位培养契合时代需求的高素质机器人专业人才。如在医疗与康复机器人课程中，研究生依托基础理论与系统架构知识，设计出贴合临床需求的康复机器人，实现知识高效转化应用，在此过程中厚植关爱生命、服务社会的价值理念，提升研究生知识综合运用与创新实践能力。

（2）科教实践创新：构筑了“科教融通-自主研制-动态迭代”的先进机器人研究生“科教-实践”育人体系

该科教实践体系打破了传统研究生教学中科研与教学的隔阂，开创了科教深度融合的全新人才培养范式，改变以往科研成果难以融入教学的局面，实现从传统单一教学向科研教学协同共进的重大转变，为研究生接触前沿知识技术营造良好环境。项目组基于国家战略需求，独立自主研制了仿生机器鱼、机器海豚、机器水母等在内的30多款水下仿生机器人以及上肢康复、下肢康复、手术机器人等多种医疗康复机器人等专业化教学平台，实现技术自主可控，填补教学领域空白，保障人才培养自主性与安全性，为国家关键领域人才培育筑牢技术根基。该体系构建了动态迭代机制，依据国家任务调整及教学实践反馈实时迭代优化教学平台，精准适配不同教学阶段、课程内容与特定教学目标，为机器人实践教学注入强劲动力，持续提供坚实有力的前沿支撑，稳步提升人才培养质量，助力培养契合行业前沿需求的高素质人才。

（3）培养模式创新：打造了“学科交叉-多元赋能-协同育人”的先进机器人研究生创新培养育人模式

该培养模式打破了传统学科壁垒，不再局限于单一学科知识传授，而是强调多学科知识的融合与渗透，从多元学科视角全方位赋能研究生创新能力的培养。通过构建跨学科协同培养体系，促使不同学科的思维方式和研究方法相互碰撞，激发研究生的创新思维。举办跨学科交流活动，邀请流

体力学、生物学、人工智能、先进材料等多学科的专家学者开展讲座，为研究生搭建起知识交融的桥梁，让研究生在交流中开拓视野、启迪智慧。研究生长期入驻医院实践的创新举措，更是将理论与实践紧密相连，使研究生在真实场景中提升专业技能与综合素养。这种培养模式能够为机器人领域定向输送具备跨学科思维与创新实践能力的复合型人才，高度契合行业对高端人才的多元需求，对推动机器人学科发展和行业进步具有重要的引领作用。

四、成果推广应用效果

该成果历经二十余年持续迭代优化，**构建起“知识传授-能力培养-价值塑造”的全链条育人模式，**累计培养机器人领域专业人才百余名，打造出具有鲜明特色的“教育链-人才链-产业链”深度融合创新模式，形成系统化、全方位的机器人领域教育解决方案，为我国机器人学科建设和产业发展提供重要人才支撑。

在课程体系建设和教学方法层面，凭借前沿的教育理念，创新性地变革教学模式，打造了机器人学科课程体系，**编写了 8 部机器人相关的教材，构建起基础理论、工程实践与专业应用有机衔接的三维知识体系，**有力推动课程教学质量实现质的飞跃。历经 20 余年教学实践的沉淀，凭借卓越的教学内容与多元化教学手段，**课程深受学生赞誉，满意度高达 100%，《机器人学》、《现代控制理论》等获评中国科学院大学优秀课程，青年教师获得教学基本功大赛一等奖。**

在教学实践平台推广方面，**自主研制的多种仿生机器鱼系统，作为优质的教学实践平台，已被澳大利亚 Deakin 大学、英国 Essex 大学、Glamorgan 大学、德国汉堡大学、香港中文大学、中科院深圳先研院、青海大学等国内外知名高校及科研机构采用，取得了显著教学推广效益。**此外，科教平台成功下沉至中学教育领域，北京市牛栏山第一中学引入机器鱼系统后，

在促进学生科学思想培育、丰富科学知识储备方面成效显著，大幅提升了现代化高中教育的科技含量与教学质量。

在科普教育服务方面，充分发挥自主研制的仿生机器鱼系统，开展了形式丰富、类型多样的科教活动，极大地激发了青年学生的创新创造潜能。多次亮相世界机器人大会、国家“十三五”科技创新成就展等具有权威性和广泛影响力的科技展览，并**连续15年参与中国科学院开放日活动、连续5届参加中国科学院科学节活动。中央电视台、湖南卫视等多次对机器鱼相关成果进行报道与节目录制**，有效激发了公众对科学的热情，产生了良好的社会反响。

通过20余年的研究生培养实践，培育出**1位中国工程院外籍院士（孙钰），7位入选国家级人才计划的杰出人才，其中包含2位国家杰青（喻俊志、程龙）、4位优青（程龙、吴正兴、王宇、周小虎）、2位“万人计划”领军人才（喻俊志、张正涛）。博士生荣获5项中国科学院院长特别奖（程龙、王云鹏、王宇、周小虎、王健）**、9项优秀奖，10人入选中科院青促会，2名入选中科院关键支撑人才，**荣获全国百篇优秀博士论文提名1篇（程龙），中国科学院优秀博士论文4篇（程龙、王宇、闫帅铮、王健），**北京市优秀博士论文1篇（程龙），国家一级学会博士论文7篇。同时，**培养出多名复合型领军人才，2人创立仿生机器人公司（张正涛、范永），1人创立医疗机器人公司（彭亮）。**依托先进教学模式，学生高质量学术成果呈爆发式增长，荣获12项国际学术会议最佳论文奖。此外，独特的教学体系赋予学生强大的动手能力与丰富的实操经验，在国家级竞赛活动中屡创佳绩，例如，中国（国际）传感器创新创业大赛中斩获特等奖、国家自然基金委水下机器人目标抓取比赛中勇夺一等奖、Intel室内机器人学习挑战赛一等奖、中关村仿生机器人大赛创新优胜奖、首届医疗装备创新大赛二等奖。