追光逐电 重塑视觉

“超高速脉冲相机”研发与转化之路

■本报记者 郑金武

在近日举行的“十三五”科技成果展上，北京大学计算机科学技术系教授、北京智源人工智能研究院院长黄铁军团队的“超高速脉冲相机”项目，作为“学科交叉促进重大原始创新”成果展出，引起公众广泛关注。

“这项成果的研发，得益于 2015 年北京市科委推动的‘脑科学研究’专项。在专项的连续资助、学校的支持下，我们最终在探索视觉信息处理新路径方面取得了进展。”谈及项目的研发，黄铁军感慨良多。

近期，北京大学、智源研究院等积极支持超高速脉冲相机的产业化，与北大科技成果转化基金合作成立产业化公司，推动成果转化。黄铁军希望，超高速脉冲相机能“形成高速相机自主技术知识产权和标准体系，促进我国引领视频和视觉产业发展方向”。

超高速脉冲相机拍摄演示。 郑金武摄

不彻底的“伪革命”

2015 年 9 月，北京市科委宣布启动“脑科学研究”专项工作，汇集北京大学、清华大学、北京师范大学、军事医学科学院等十多家单位参与，并确定从脑认知与脑医学、脑认知与类脑计算两个方向重点开展。

黄铁军团队正是北京市“脑科学研究”专项的重要参与力量之一。自 2015 年以来，“我们团队得到了北京市科委每两年 1 期、连续 3 期的资助”。黄铁军介绍。

相机是对人类生活和生产影响最大的发明之一。自照相技术发明以来，相机历经胶片、数码等阶段的变革，至今已然成为手机的标配。有人因此认为，相机已经完成了数字革命。

“实际上，这只是一场不彻底的‘伪革命’。”黄铁军介绍，“传统相机是工业革命时代化学技术的产物，数码相机虽然抛弃了胶片，但仍然采用图像和视频记录光学信息，观念上还停留在化学时代，不能有效表达光的高速变化过程。这已成为数字时代和智能时代束缚视觉技术创新的最大瓶颈。”

例如，传统的照相机在拍照时，存在曝光时间两难问题。要想增加图像的细节层次、动态范围，则相机必须增加曝光时间，而要抓拍高速运动的物体、场景，又要减少曝光时间。再如，电影的视频帧率（每秒的图像数）是 24、电视是 30，因此要显示频率超过 24 赫兹或 30 赫兹的运动现象，电影和电视是不能做到的。

在生活中也不乏这样的例子，如向前行驶的车轮，在电影里可能会出现倒转现象。人看电影电视可以忍受这种错误，但机器视觉采用视频作为“眼睛”，就不仅“看不清”高速过程，还可能发生致命错误。以自动驾驶为例，目前采用的摄像头帧率最高不超过 100 赫兹，因此就看不清快过 100 赫兹的高速过程，可能对从遮挡物后突然出现的人“视而不见”。

超高速脉冲相机从视觉表示模型层面颠覆了图像和视频概念。黄铁军介绍，在超高速脉冲相机中，图像的每个像素独立工作，将物体反射的高速光子流转换成高速比特流，完整记录了光的变化过程，从而彻底打破了化学时代形成的视频概念藩篱，实现追光逐电，重构出高速连续影像，是真正的“数字相机”。

学科交叉促进协同创新

在超高速脉冲相机研发过程中，为探索视觉信息处理新路径，黄铁军团队和北大生命学院、医学部等深度合作，借鉴生物视觉原理，发明了脉冲视觉模型，研制出比影视视频快千倍的超高速脉冲视觉芯片，实现了超高速连续成像和目标跟踪识别。

推动脑科学与计算机科学、信息科学交叉融合和协同创新，是北京“脑科学研究”专项的重要特色。“北京在脑科学研究方面，拥有全国最完整的学科布局。”北京市科委、中关村管委会主任许强表示。

据悉，在脑认知领域，北京师范大学和中科院生物物理研究所拥有国家级脑科学重点实验室，北大、清华也分别成立了研究机构；在脑医学研究方面，北京拥有中国医学科学院及北京协和医院、解放军总医院、首都医科大学附属天坛医院等一批脑医学研究和脑疾病研究的优势机构；在类脑计算方面，包括北大、清华、中科院自动化研究所、中科院计算技术研究所等在内的全国骨干研究单位都在北京聚集。

为促进脑科学研究成果转化，实现研究成果服务经济社会发展，北京市科委积极整合优势资源力量，建立以新型研发机构为核心的工作组织模式，不仅鼓励研究机构内部整合力量，更支持在北京地区用新体制、新机制整体构建跨部门的脑科学协同创新研究中心。

在北京“脑科学研究”专项推动下，北京大学成立了由生命科学学院、信息科学学院、工学院、心理学系、基础医学部等开展学科交叉研究的“脑科学与类脑研究中心”。彼时，黄铁军团队启动了“大脑初级视觉系统解析仿真”课题，联合生命、医学等学科团队开展了生物视网膜精细仿真、超高速运动对象监测跟踪与识别、超高速视觉系统等方面的研究。

“一直以来，北京市科委都在努力推进创新主体间协同创新，建立产学研用协同创新的工作模式，鼓励企业早期进入。”北京市科委相关负责人表示。

创新机制推动成果转化

推动超高速脉冲相机成果的转化应用，是黄铁军团队的期盼。

“事实上，今天广泛普及的 CMOS 感光器件，时间灵敏度已经达到数十纳秒，采用我们的超高速脉冲相机这种新模型，可以达到‘化腐朽为神奇’的效果，实现数万赫兹乃至更高的时域采样，记录极快的物理过程。”黄铁军表示。

超高速脉冲相机解放了被传统视频束缚的机器视觉。在工业领域如高铁安全、电力巡检、高速轮机不停机监测、智能制造中的机器视觉等，民用领域如智能交通、辅助驾驶、司法取证、体育判罚等，消费电子领域如相机、影视媒体等，超高速脉冲相机都具有巨大应用潜力。

“超高速脉冲相机在视觉领域的作用，类似于移动通信领域 CDMA 颠覆了 GSM，将引发视频和视觉产业的重新洗牌，重塑视觉信息处理技术体系。”黄铁军表示，超高速脉冲相机有望不断创造新的应用场景，上下游相关产业也将受带动效应影响，迎来多轮增长。

2018 年 11 月，北京智源人工智能研究院成立，黄铁军出任智源研究院院长。按照规划部署，智源研究院将支持科学家勇闯人工智能科技前沿“无人区”，引领人工智能学科前沿和技术创新方向，支撑人工智能产业发展，促进人工智能深度应用。

为推动超高速脉冲相机项目的转化应用，智源研究院创新组织方式，成立了“视网膜芯片技术创新中心”，专门负责推动超高速脉冲相机的应用研发。

按照国家加快成果转化相关政策，北京大学也积极支持脉冲视觉芯片产业化，与北大科技成果转化基金合作，成立了脉冲视觉（北京）科技有限公司，开展成果产业化工作。该公司专注于脉冲视觉芯片、模组和系统产品研发，针对超高速、高灵敏等视觉应用场景，提供芯片、模组及解决方案。

目前，黄铁军团队开发的第一款超高速脉冲视觉芯片设定的采样频率达 4 万赫兹，比人类视觉和普通相机快 1000 倍。实际测试表明，脉冲相机能够对相对速度 700 公里 / 小时的对侧高铁清晰成像；在北大 6 马赫高超声速风洞实验现场，脉冲相机也能够清晰观测高超声速气流激波形成和变化过程。

今年 7 月召开的国务院常务会议在“部署进一步改革完善中央财政科研经费管理，给予科研人员更大经费管理自主权”时提出，要“支持新型研发机构实行‘预算 + 负面清单’管理模式，除特殊规定外，财政资金支持产生的科技成果及知识产权由新型研发机构依法取得、自主决定转化及推广应用”。

“我们根据国家的有关政策精神，按照新型研发机构建设的要求，在智源研究院设立了智能信息处理、认知知识图谱、安全人工智能等十多个创新中心，以推动 AI 原创成果转化及产业发展。”智源研究院产业发展总监李军介绍。

“高速、实时、智能”是视觉行业高端应用的难点和痛点。黄铁军表示，超高速脉冲相机芯片和系统在行业高端应用上具有领先优势。“希望超高速脉冲相机能广泛应用于高铁、电力、制造等工业监测场景，自动驾驶、车路协同等领域，以及高速手机摄像头等消费电子领域，从而全面替代传统视频系统。”

中科院理化所：

系统设计让『专利』更有用

■本报记者 沈春蕾

今年上半年，中国科学院理化技术研究所（以下简称理化所）在新材料、高端装备和生物医药领域进行了 20 项成果专利布局，至 2022 年布局完成后将形成超过 200 项专利的专利池。

这些专利能否顺利转化？日前，理化所产业策划部部长张彦奇在接受《中国科学报》采访时表示，能否转化不是一个人（专利拥有人）决定的，而是由专业的团队对专利技术、研发团队和市场前景等方面开展评审后决定的。

近年来，理化所每年都会在全所遴选有产业化前景的项目，通过专家评审会的方式论证项目可行性，将有价值的专利纳入布局范围，从源头上提高科技成果的质量和价值。

“包装”也很重要

“科研院所不缺乏高质量的技术，但从技术到专利，需要落到纸面上，技术的创新性、实用性和完整度是一方面，另一方面还需要考量申请专利的文本质量。”张彦奇说，“对专利而言，技术是内容，文本是形式，不重视‘包装’，好的技术也会吃亏。”

他认为，一些科研人员申请专利时往往不重视专利的撰写，更多关注技术内容，导致形式与内容不匹配，效果大打折扣。一些专利代理机构的专业水平参差不齐，恶意压价带来恶性竞争，不利于提升专利文本质量。

让专业的人干专业的事。2014 年前后，理化所率先提出知识产权专项审核计划，希望将专利和科研专项等同对待，实施过程和质量管理，设置时间节点，引入社会上专业的知识产权机构，与所里申请专利的科研团队一对一“结对子”，从源头上解决专利文本质量不高的问题。

具体操作上，知识产权申请人填写理化所统一的申请书和答辩提纲，内容包括技术介绍（含其可延展应用领域）、对标技术及竞争对手分析、全产业链分析、市场态势分析、技术及知识产权工作基础及知识产权布局等。之后，由产业策划部牵头成立评判小组，在技术、市场、知识产权工作方案和内外部团队四个维度上评判是否予以立项。

2019 年，理化所通过发布实施《理化所知识产权专项工作立项课题管理办法》，在所内搭建了完整的工作体系，形成知识产权管理的常态化机制，构建知识产权贯穿科研全过程的新型管理体制。

“这是一个系统性的设计。”张彦奇表示，专业机构抓文本，科研团队抓技术，双方经过一段时间的磨合后初见成效，科研人员从被动申请专利转向主动谋划专利，并希望自己团队的科研成果早日实现转化。

专利贵在“有用”

理化所采取的分类征集、立项制度会不会降低专利申请数量呢？对由此带来的影响，张彦奇自己也有点意外：“如今，理化所专利数量不减反增，而且专利授权比例迅速提升，专利的初审通过率可以达到 80% ~ 90%。”

专利的转化也在高质量地进行中。以低温制冷领域为例，理化所通过委托社会专业化知识产权机构盘点了大型低温制冷设备的全球专利情况，分阶段建立了 7 个系统级子项目和 6 个部件级子项目的专题专利数据库，对以上各个级别的子项目进行了专利分析，给出专利布局建议，形成了冷压缩机、高速透平膨胀机、大型冷箱、油分离系统等 6 大专利包，低温制冷领域专利集中度达到 70%。

2016 年，理化所将 14 项 20K 以下温区大型制冷专利集合作价 5000 万元成立北京中科富海低温科技有限公司（以下简称中科富海），发起阶段公司注册资本 1.31 亿元，目标是实现大型低温制冷装备总体集成及应用。这项大型低温制冷装备成果转化的成功范例也荣获中国科学院北京分院“科技成果转化特等奖”。

从解决“卡脖子”技术到成果顺利落地转化，理化所在低温制冷领域的专利布局的价值已经不能用一次性的价格来衡量。张彦奇称：“专利贵在‘有用’。”

他解释道：“专利价值不完全用价格来判断，而是由市场和需求来定义的，体现在其商业价值上。”

对技术和企业负责

早在 2015 年，理化所启动重点领域知识产权专项行动时，就在重点产业化的方向和领域提前做好知识产权布局，将知识产权工作和研发工作相结合，与后端的产业化实现融合管理。

此前，张彦奇曾提出“嵌入式合作”的概念。他介绍，过去科研团队的横向开发或合作大多是企业主动找上门，科研人员被动接受。而嵌入式合作把过去被动参与转变成主动参与的合作模式，将科研活动和企业产品、技术创新相融合，既支撑了科研发展，又帮助企业提升了创新能力。

他表示，高质量的专利也应该遵循“嵌入式合作”的原则，对技术和企业负责，解决行业里的关键性技术难题。

这些年来，理化所在针对重点产业领域开展专利分析、知识产权前瞻布局的同时，积极培育成果，寻找技术突破路径，提高产业竞争优势，力争通过布局和培育形成有一定专利壁垒的技术组合，为后续专利成为无形资产在资本市场运作做好储备。

中科富海位于宁夏盐池的提氦装置示范项目。 中科富海供图

沙漠里的蔬菜“绿洲”

■本报见习记者 田瑞颖

“跟小时候的味道一样，特浓郁的番茄味儿！”在沙丘连绵的巴丹吉林沙漠，坐落着我国酒泉卫星发射中心，战士们吃到刚从基地蔬菜工厂采摘的番茄，嘴里甜着，心里乐着。

这里的蔬菜工厂，无需泥土、没有农药、品种多样，从播种到采摘只需 35 天。神舟十三号航天员出发前食用的蔬菜，正是来自这里。

为航天事业“加个菜”

巴丹吉林沙漠是我国八大沙漠之一。这里干旱少雨，风沙肆虐，冬季最低气温超过零下 30℃，夏季最高气温超过 40℃。

在这样的戈壁荒滩，要种蔬菜，还要保证种类丰富、口感美味又不使用农药，在过去是不敢想的。

实际上，新鲜蔬菜的供给，不仅是宇航员在空间站驻留的主要来源食物，也是高寒边防哨所、海岛、舰船以及科研人员极地科考等极端环境下，必须解决的后勤保障难题。

生长环境（温度、湿度、光照和营养条件等）全智能控制的植物高效生产系统“植物工厂”，生产不受气候环境影响，具有方便运输和稳定生产等特点，是解决极端环境下蔬菜生产难题的最佳途径。

2015 年，中国科学院植物研究所（以下简称中科院植物所）与三安集团合作共建福建省中科生物股份有限公司（以下简称中科生物）。2019 年，在中科院促进科技成果转移转化专项“弘光专项”支持下，中科生物加快了在国内外布局植物工厂的步伐。

2020 年 12 月，他们迎来了一项重要任务：4 个月内，完成酒泉卫星发射中心蔬菜工厂的建设，以保障航天员在基地期间的伙食。

在中科院植物所植物工厂研发中心主任、中科生物光生物产业研究院副院长李阳看来，未来航天员到太空工作可能是常态化的，必须时刻做好后勤保障工作，提供绿色健康、营养丰富的新鲜蔬菜。

虽然团队积累了多年的建设经验，并完成多个极端环境下的植物工厂项目，但要短时间内在巴丹吉林沙漠里平地打造一座“蔬菜王国”，也有不小的挑战。

李阳告诉《中国科学报》，建设期间，正值北方冬季，不仅风沙大，户外温度也低至零下 20℃，不利于施工。另一方面，项目团队成员大多来自福建，“北方这种天气，他们还是第一次体验”。

况且，航天员不同于其他“客户”，供给他们的蔬菜品种，不但要有传统的叶菜，还要有番茄、黄瓜、彩椒，甚至部分药材。

克服重重困难后，2021 年 3 月，725 平方米的人工光型蔬菜工厂如期建成投产。该蔬菜工厂利用高效的 LED 光谱技术和营养液栽培技术，在可控的洁净环境内完成高效优质的蔬菜生产。

在这个沙漠“绿洲”中，生菜、冰菜、番茄、彩椒等应有尽有，栽培区、动力辅助区、工艺辅助区等分配合理。“根据航天员的食物需求，专门定制的品种和精准调控技术是未来更需要关注的。”李阳说。

此外，他还表示，要真正实现航天种菜，对于微重力、空间紧凑的航天器而言，水分、营养管理等种植装备和技术是目前需要解决的技术难题。

吃得好、吃得安全、吃得科学

据联合国发布的《世界人口前景》，预计 2050 年，世界人口将超过 90 亿。中国农业大学中国粮食与食物安全研究中心主任、北京大学中国战略中心执行主任王宏广曾在接受媒体采访时表示，目前世界粮食安全形势严峻，联合国《2030 年可持续发展议程》中提到的零饥饿目标难以实现。

对于我国而言，他认为，虽然目前“吃饱”的问题已解决，但吃得好、吃得安全、吃得科学依然是难题。

李阳告诉记者，由于植物工厂不受自然环境影响，可以周年连续生产，自动化程度高，单位面积产量可达传统大田农业生产的几十倍甚至上百倍，是实现农业工业化和现代化的重要途径。

以生菜生产为例，1000 平方米的大田年产量约为 3 吨，相同面积的温室生产量约 15 吨，而植物工厂生产量可达 100 吨。

发射中心的蔬菜工厂 中科生物供图

“植物工厂还可以建在边际土地甚至荒漠，能有效缓解人口增长与劳动力短缺和耕地不足的矛盾，是未来农业发展方向之一，特别是对于耕地缺乏的国家，更为重要。”李阳说。

除了对国家整体的粮食安全起到保障作用，植物工厂还能保障航空航天、边防海岛、极地高寒等特殊环境下作业的蔬菜供应，对满足特殊需求具有重要意义。

李阳向记者透露，目前，在我国海拔 4300 ~ 5200 米的地方，已经开始使用能源自供型集装箱式植物工厂，实现蔬菜生产保障。此外，远洋专用植物工厂也开始“服役”，“这不仅能让大家吃到新鲜蔬菜，还是一种缓解压力、保障身心健康的方式”。

在李阳看来，植物工厂还是缓解农业生产与水资源缺乏的矛盾，解决农产品农药残留和重金属超标等食品安全问题，避免传统农业生产对土壤和环境的污染，保护生态环境的重要方式。

不仅如此，植物工厂还可以加速育种，助力种业发展。“目前，作物育种加代工作都在海南完成，但只能针对夏季型作物，且一年最多实现 3 代繁育。而植物工厂对夏冬型作物均能加速育种周期，实现一年连续 4 ~ 8 代的种植与种子采收，成为育种加速器。”李阳说。

走向无人化生产

近年来，不少国家掀起了“植物工厂热”。虽然我国植物工厂比欧洲、美国、日本等起步晚，但发展势头强劲，竞争也非常激烈。

为了深耕市场，中科生物开发了适用不同场景的系列植物工厂类型，包括模块化植物工厂、家庭式植物工厂以及便于灵活运输和组装的集装箱式植物工厂等。

此外，他们还开展了植物工厂科普教育，让科学启蒙的“种子”播撒到青少年心中。

李阳告诉记者，虽然受新冠疫情影响，但公司植物工厂业务呈增长趋势，并出口到 29 个国家和地区，还出现了蔬菜供不应求的情况。

他表示，一方面，随着劳动力成本的增加，人们对智能化、自动化和无人化的植物工厂关注度越来越高；另一方面，由于集装箱式植物工厂的灵活性，其需求量和应用领域也在增加。“相比之下，国外的需求量更大。”

对于植物工厂而言，劳动力和用电是主要成本，提高机械化和智能化水平是发展的重要方向。

李阳告诉记者，目前，中科生物的一代 UPLift 自动化植物工厂已经在海南和陕西杨凌高新示范区推广，实现了采收前的全程无人化生产，“在国际植物工厂领域处于领先地位”。

面向未来全球市场，李阳表示，接下来，在装备技术研发方面，将重点关注智能化植物工厂，以提升生产效率、降低劳动成本和运行成本。“此外，我们还将集中优势研发力量，实现真正意义的植物工厂无人化生产。”