

转化金额1396万元！他们为机器人打造“中国关节”

■本报记者 陈彬

时值年末，北京工业大学精密工程研究所教授石照耀团队好消息不断：先是他们申报的机器人智能关节北京市重点实验室，得到了北京市科委、中关村管委会的认定获批；再是他们凭借“机器人关节性能测试与提升技术及装备”项目，获2025年机械工业科学技术奖技术发明一等奖。

第三则喜讯来自一个月前，石照耀团队完成了“机器人智能关节成套技术”的成果转化，转化金额为1396万元，是北京工业大学近期金额最大的一笔成果转化交易。

提到机器人，特别是人形机器人，大多数人会联想到人工智能、人机协同等“高大上”的词汇，很少有人会注意到，机器人能够灵活运动离不开一个个精密可靠、精准可控的关节。

“这个研究领域不大，但至关重要，市场广阔。”石照耀接受《中国科学报》采访时表示，机器人关节的性能在很大程度上决定了其运动精度与整体能力，而之前的系统研究并不多见。

石照耀团队却在这个领域一干就是十余年。“我们既研究机器人关节本身，也研发关节检测设备。据我所知，同时在两个方向深入耕耘的团队为数不多。”石照耀说。

一条“与时俱进”的科研路

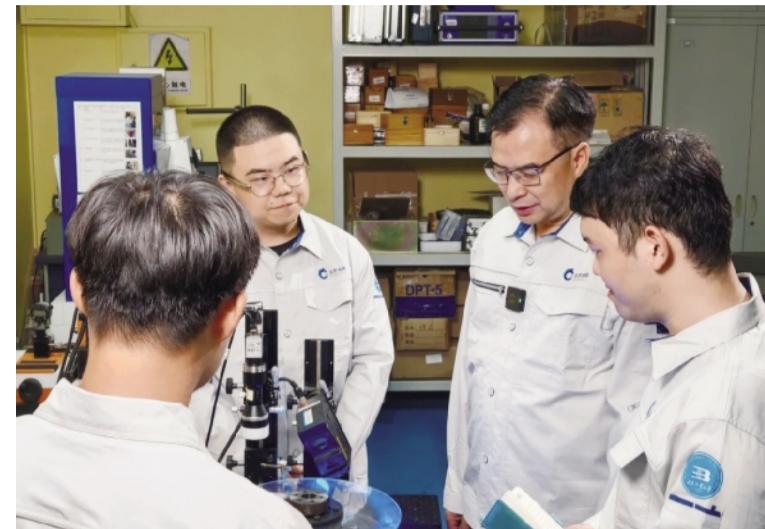
石照耀的科研之路可以用“与时俱进”来形容。

2002年入职北京工业大学前，石照耀在千里之外的成都工具研究所工作，从事与机器人关节看似毫不相干的齿轮测量仪器研发。

“在做齿轮精密测量研究中，我发现齿轮传动领域有很多值得探索的问题。”随着21世纪初我国在高铁领域的持续发力，已入职北京工业大学的石照耀开始将研究重心转到了高铁齿轮领域。这项研究持续10余年，并于2017年获得国家科技进步奖二等奖。

齿轮并非该团队唯一关注的领域。进入21世纪的第二个十年，物联网悄然兴起，石照耀敏锐地察觉到这一新兴领域与齿轮传动的潜在关联。

“互联网是传递信息的，物联网需要传递动作，这就涉及末端执行器，也就是齿轮、电机与减速器的协同配合。”石照耀指出，随着物联网技术走进家庭，齿轮传动系统的微



石照耀
(右二)给学生
讲解仪器。
北京工业
大学供图

型化与“民生化”成为必然趋势。

石照耀团队抓住这一方向，与多家企业合作研发相关小微传动系统。“借助我们的技术，几家企业成功上市。”而就在他们从事这项研究后不久，机器人研发又开始驶入快车道。

“我有种感觉，机器人时代快到了。”石照耀带领团队，同时开启了机器人的精密减速器与关节的研究工作。

“这些年来，虽然研究领域在不断拓展，但我们始终围绕齿轮精密传动这条主线。如果说有什么特别之处，那就是我们幸运地抓住了时代赋予的机遇，将研究与国家重大需求紧密结合。”石照耀感慨道。

“摸着石头过河”

如果说石照耀的研究生涯是“与时俱进”的话，他针对机器人关节的研究则可说是“摸着石头过河”。刚进入该领域时，他们发现当时产业界的相关实践严重缺乏理论支撑。

“那时候，机器人关节的研发大多是‘组合’模式。说白了，就是把一个电机和一个减速器拼装在一起。”石照耀说，但好电机加上好减速器，就一定能构成一个高性能关节吗？

答案显然是否定的。

作为高校教师，石照耀非常明白理论的重要性。为解决上述问题，他带领团队“走出

去”，与国家机器人检测与评定中心合作，走访了上百家企事业单位，并参与了20多场深度技术交流。在一次次思维碰撞中，“关节动态精度理论”逐渐成型。

“该理论首次从系统工程角度给出关节的设计原理、准则和方法。”石照耀说，但仅有理论是不够的，要让理论真正发挥作用，还要把理论转化为能做出产品的技术。

于是，以相关理论为指导，该团队开发出“机械+控制联合调控回差”的新工艺路线，同时研发出关节动态性能提升技术。

“这些技术的核心思路就是将机械和电控结合在一起。”团队成员、石照耀的博士生程慧明介绍说，比如某些关节的控制精度单靠机械设计难以达到，但如果辅助某些软件算法，则可以轻松实现。

有了理论和技术，产品也就水到渠成。但是，这样的产品能否达到标准？这涉及机器人关节的检测技术和设备。在这方面，当国内尚属空白，这自然又成了石照耀团队的一个攻关目标。

经过持续攻关，他们率先研发了世界上第一台机器人关节综合性能测试设备，并形成系列化产品，其中微型测试台可测试直径仅4毫米的行星减速器关节，覆盖传动误差、回差、效率等34项关键指标。

更重要的是，这些关键指标经过实践检验，正逐渐被纳入国家标准。

从理论到技术，从关节产品到检测设备，再到国家标准——石照耀团队的研究贵

穿了机器人关节研发的全链条。然而，创新之链并没有终结，要完成“投入市场”的最后一环，还需要与企业的深度合作。

校企合作的长久之道

近年来，随着机器人产业蓬勃发展，企业对先进技术的需求日益迫切。事实上，除了此前斥资千万元获得技术转让的企业外，几乎每天都有企业联系石照耀团队。

“有些看重我们的关节成套技术，有些则关注我们的检测设备，还有许多创投机构就机器人关节相关事项向我们咨询。”石照耀说。

凭借扎实的技术，团队获得企业青睐似乎顺理成章，但石照耀认为“技术好”并非唯一优势。

“多年来，我们始终与企业保持密切沟通，这让我们对企业真正的需求了然于胸。只有针对这些问题开展研究，我们的工作才有价值。”他说。

在石照耀团队，发表论文当然是被鼓励的，但他们更看重的是出版专著。事实上，该团队已经针对机器人关节的研发出版了多本专著。

“论文与专著的区别在于，论文通常只针对某个单一问题，而专著则要系统性地解决某方面的问题。对于企业来说，后者显然更具参考价值。”石照耀说。

值得一提的是，他们与企业的合作并不仅限于技术支持层面。

“必须承认，在某些方面，企业的科研走在了高校前面。”石照耀告诉《中国科学报》，高校团队与企业合作，不应局限于技术转让，应发挥自身优势，助力企业提升“无形资产”。

比如在合作中，石照耀团队会与企业联合建设各级研究平台，如工程中心或重点实验室，为企业的技术研发提供更好的平台支持；再比如，他们会与企业联合申报国家标准，帮助企业获得更大的行业话语权。目前，由石照耀团队领衔制定的国家标准已达8项。

“这些工作本质上是在提升企业的核心竞争力。”石照耀分析，许多校企合作难以持久，正是因为局限于技术层面，一旦技术转让完成，合作便无以为继。

“校企合作的重要目标，是要帮助企业实现持续增值。这不仅仅是技术层面的问题，而且涉及企业核心竞争力的提升——这才是合作的长久之道。”石照耀总结道。

|| 资讯

神经保护剂创新药项目转让签约

本报讯(记者李晨)近日，南京医科大学与湖南九典制药股份有限公司在湖南浏阳举行了神经保护剂创新药项目转让签约仪式，交易总金额近4亿元。此次合作将以神经保护剂创新药YJ-2301项目为起点，构建从基础研究到产业化落地的协同创新体系，为校地校企深度融合、科技成果转化注入新动能。

据悉，YJ-2301作为一款小分子镇痛创新药，其核心优势在于采用全新作用机制，针对性解决现有镇痛药物普遍存在的嗜睡、多次给药耐受等副作用问题，具备广阔的市场应用空间。相关专利已完成校内转化并获全国高校生物医药区域技术转移转化中心(江苏苏州)、苏州南医大创新中心全流程赋能。

南京医科大学党委书记兰青说，此次合作是该校深化产学研融合、加速科技成果转化的重要实践。学校将以此次合作为纽带，整合科研优势、人才资源与企业产业化能力、市场渠道，携手破解新药研发与转化中的关键难题，实现校企共赢发展。

此次签约标志着双方围绕YJ-2301项目的合作迈入实质性阶段，将加速该项目后续开发与临床转化。未来，合作双方将通过优势互补、资源共享，推动创新药物早日惠及患者，为拓展多领域合作奠定坚实基础。

“制氢加氢一体机”亮相科技成果对接会

本报讯(记者孙丹宁)日前，第二届“中国科学院—广东省科技成果对接会”在广州举办。中国科学院大连化学物理研究所研究员邓德会、副研究员刘艳廷团队研发的“制氢加氢一体机”在活动中亮相。邓德会作为科技成果推介嘉宾，系统介绍了制氢加氢一体机的创新设计理念、技术原理与核心性能。

当前，低空经济作为国家战略性新兴产业之一，正迎来重要发展机遇。氢能低空飞行器凭借其突出的续航能力与循环寿命优势，有重要的应用前景。为满足此类飞行器对高效便捷供氢的需求，邓德会团队基于其在国际上提出的“铠甲催化”概念，开发出高性能电解水非贵金属铠甲催化剂整体式电极，并结合高安全动态智能控制技术，与国科绿氢(大连)科技有限公司合作，研制出适用于氢能低空飞行器的制氢加氢一体机。

据介绍，该设备核心电解槽的制氢能耗小于4.3千瓦时/标准立方米，制氢能力达2标准立方米/小时，系统最高输出压力达35兆帕，具有响应速度快、占地面积小、便于移动等优势。目前，团队已完成10千瓦级设备的研制，可实现实时现场制氢加氢，并在氢能无人机、氢电动车等多元场景开展了示范应用，系统运行的稳定性与可靠性得到了验证。

未来，该技术有望为氢燃料电池汽车、低空经济、智能机器人及分布式供氢等场景提供便捷、低碳的氢源解决方案，助力我国新兴氢能、低空经济等产业高质量发展。



大连化物所供图

攀登脑机接口“珠峰”，这群“海归”希望为盲人带来光明

■本报记者 沈春蕾

未来，盲人朋友能够感知前方障碍物的轮廓，判断门框的位置，避开脚下的台阶；能够“看到”并拿起桌上的水杯，感知家人的大致方位；能够“看到”人行横道的条纹，自信地走出家门……这是明视脑机创始人、中国科学院自动化研究所副研究员刘冰脑海中最经常浮现的画面。

近日，明视脑机宣布在全球范围内首次实现复杂图形与颜色的视觉重建。刘冰解释道，对于长期生活在黑暗中的人而言，特别是曾经有过正常视觉而因后天因素导致的失明患者，这种“像素级”视觉的恢复是从“无”到“有”的质变，是看到光明的希望。

该研究正处于研究者发起的临床试验(IIT)阶段，这也是正式医疗器械注册临床试验的关键步骤。”刘冰告诉《中国科学报》，“我们计划在2026年完成注册型腔，在2028年进入针对盲人患者的注册临床试验阶段，争取早日惠及盲人群体。”

挑战“视觉重建”

当前，脑机接口技术有着众多应用场景，如运动控制、意念打字、治疗抑郁症等。明视脑机团队却选择了视觉重建这块难“啃”的硬骨头，因为视觉重建被视为脑机接口领域的“珠穆朗玛峰”。

据悉，全球有超过4000万盲人群体，其中相当比例的群体因视网膜色素变性、青光眼、视神经损伤等疾病导致传统治疗手段失效。

“与运动控制等特定病症相比，视觉失对生活质量的影响更为全面，且视觉皮层作为信息处理的最终通路，其干预效果具有更广泛的适用性。”刘冰指出，这意味着一旦在视觉重建领域取得突破，将能惠及不同病致盲的盲人群体。

“在当前全球脑机接口竞争格局中，大部分技术路径还停留在信号采集、解码等应用。”刘冰认为，视觉重建领域需要的不只是“解码”，还需要“刺激”，把信息编码后进行刺激，并做功能重建。

研究发现，视觉系统具有明确的拓扑映射规律，为脑机接口的编码策略提供了清晰的理论基础。与其他脑功能相比，视觉皮层的空间对应关系更为直接和明确，这为精准刺激和信号解码创造了有利条件。

明视脑机最新的研究对象是一位因枕

叶癫痫而需要进行临床手术的患者。在其治疗性电极植入后的窗口期内，团队同步进行了IIT研究。

“患者本身并非全盲，其视觉通路基本完好。这为我们提供了一个独一无二的窗口。”刘冰介绍，“我们可以在刺激其视觉皮层后，让他自己感知到的‘人工视觉’与真实的视觉体验进行直接、准确的对照和描述。这是获得高质量、可验证数据的关键。”

在研究过程中，研究人员会蒙住患者的眼睛，确保其所有视觉感知完全来自电刺激。“当他报告‘看到’了特定颜色、特定形状的光点或图形，并且这些描述与刺激的参数高度一致时，代表我们成功地‘写入’了有意义的视觉信息。”刘冰提到，这位患者们为他们验证编码模型的准确性提供了无可替代的反馈。

一套精密的“生物相机”

“对于盲人朋友来说，失明就好比是相机的某个关键部件坏了。”刘冰把人类视觉系统比作一套精密的“生物相机”。

其中，眼球相当于相机镜头组，负责采

集光线、对焦；视网膜相当于相机的图像传感器，负责将光信号转换成电信号；视神经相当于连接相机和电脑的数据线，负责把电

信号从眼睛传输出去；大脑视觉皮层相当

于处理图像的超级电脑主机，负责接收信

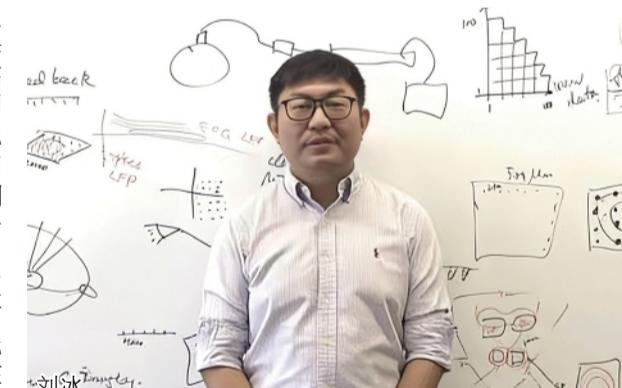
号并最终让人“看到”图像。

“假如视网膜色素变性、感光细胞死亡，就好比相机传感器失效，再好的镜头也没用；青光眼或视神经损伤，就像数据线被剪断了，传感器信号再好，也传不到电脑里。”刘冰说，“既然镜头或数据线修起来太困难，甚至无法修复，那我们就绕过它们，直接和最终的电脑主机——大脑视觉皮层对话，并开发出一套人工视觉系统。”

明视脑机开发人工视觉系统第一步工作是“拍照”，用外部摄像头代替眼睛。患者会佩戴一副看起来很像普通眼镜的智能眼镜，镜框上集成了一个微型摄像头。刘冰介绍，这副眼镜充当了眼睛的角色，负责替患者观看前方的世界。

第二步工作是“翻译”，把图像翻译成大脑能懂的语言。摄像头拍到的画面会立

刻发送到一个随身携带的、手机大小的视



受访者供图

医疗产品开发的客观规律，满足安全性、有效性和可及性的要求。”

2023年，刘冰回国加入中国科学院自动

化研究所。2024年，刘冰和张立等一批“海归”创办了明视脑机。

“在现阶段，我们更像一个专科医生，希

望为盲人重建视觉。”刘冰说，“对于失明患

者而言，一个能够安全、可靠地提供基础视

觉功能、帮助他们独立生活的系统，其现实

意义更为重大。我们选择了一条临床转化路

径更清晰、风险更可控的道路。”

“不用传统的硬质材料，我们采用了超

薄柔软的电极，让它能温和地贴合在大脑表

面，最大限度地减少对脑组织的刺激和损伤。”张立解释道，“我们的首要原则就是安

全，只有大脑和植入体能够长期‘和平共处’，这项技术才能真正造福患者。”

任何植入式医疗技术，如心脏起搏器、

人工耳蜗，都经历了从让人疑虑到被广泛接

受的过程。明视脑机创始团队希望通过柔性

材料、微创手术方案和长期生物相容性测

试，既考虑到最终手术成本，又能降低未来

临床应用的门槛。

当前，明视脑机已经在北京和上海与相

关医院合作，筹备脑机接口视觉重建临床

医学研究中心。“未来，脑机接口技术一定

会向更微创、甚至非侵入式的方向演进，但

现阶段，对于实现有意义的视觉功能而

言，皮层植入是经过科学验证的最有效路

径。”刘冰告诉记者，“我们会稳步推进技

术落地转化，通过可靠、安全的数据和临

床效果建立医患信任。”

百家全国重点实验室走进大湾区结对百家企

本报讯(记者朱汉斌)日前，以“全重汇湾区产创深融会”为主题的2025粤港澳院士峰会·全国重点实验室技术成果大湾区对接大会(以下简称大湾区对接大会)在深圳举行。近百位科学家及116家全国重点实验室的138位负责人或代表参与相