

# 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，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

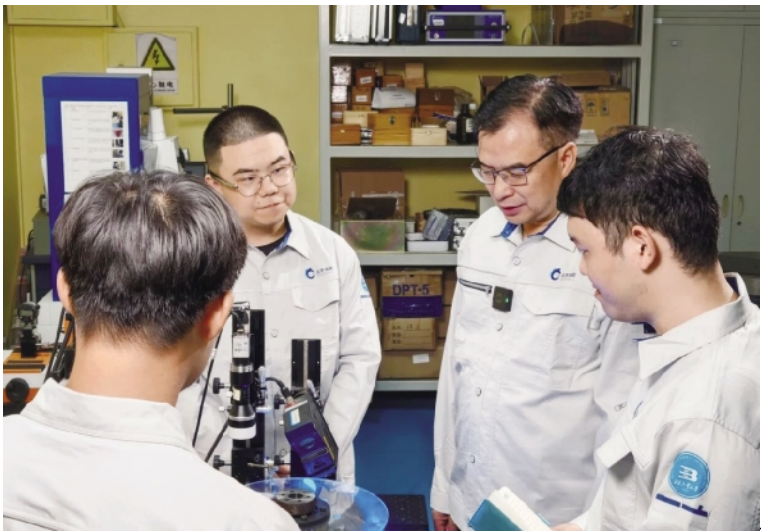
石照耀的科研之路可以用“与时俱进”来形容。

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，我发现齿轮传动初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展，已入职北京工业大学的石照耀开始将研究重点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微小传动系统。“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，机器人时代快到来了。”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，走访了上百家企业，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，还要把理论转化成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”的新工艺路径，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。

有了理论和产品，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，当时国内尚属空白，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测试设备，并形成系列化产品，其中微小型测试台可测试直径 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——石照耀团队的研究贯

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。

# 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前的关键步骤。”刘冰告诉《中国科学报》，“我们计划在 2026 年完成注册型检，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，视觉缺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，将能惠及不同病因致盲的盲人群体。

“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，让他将自己感知到的‘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双眼，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，也传不到脑子里。”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

频处理单元，这也是整个系统的“智能大脑”。刘冰解释道，“‘智能大脑’就像一位高超的翻译官，可以瞬间识别出图像中最关键的信息，比如桌子边缘、杯子轮廓、门口位置，然后将这些信息翻译成一套精确的指令并告诉大脑。

第三步工作是“显像”，直接向大脑写入图像。这时，前面翻译好的指令会通过无线信号穿过头皮，发送到植入在大脑视觉皮层表面的柔软且分布着微小触点的电极阵列。不同触点再根据指令，用极其微弱的电流，精准地刺激特定位置的视觉皮层神经元，让患者“看到”一个个光点。通过控制不同电极的开关，这些光点就能组合成简单的形状、轮廓，甚至不同的颜色。

刘冰指出：“从‘光点’到‘颜色图形’，是视觉重建技术一项质的飞跃。我们证明了，脑机接口在视觉皮层重建有意义的视觉信息是可行的。下一步，我们将全力推进技术的临床转化。”

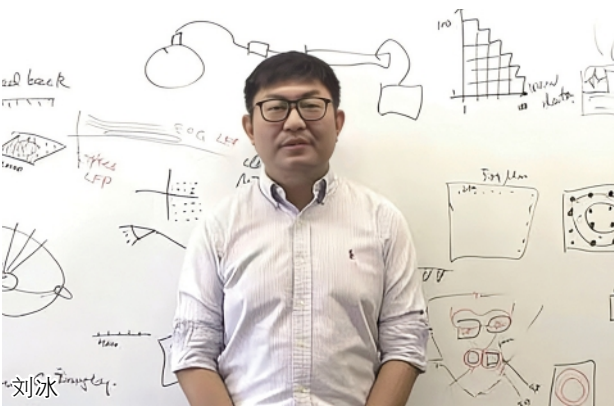
## 用创业来完成夙愿

谈及为什么要创办明视脑机，刘冰告诉《中国科学报》：“既是‘初心使然’，也是‘使命驱动’。”

明视脑机首席科学家张立是刘冰在中国科学院生物物理研究所读博时的同学，后来他俩在海外不同实验室做博士后研究——刘冰在美国加州大学伯克利分校和杜克大学进行植入式脑机接口方面的研究，张立在美国索尔克研究所开展灵长类视觉系统的结构和功能、视觉信息的神经信号编解码研究。

“虽然我们接触的是脑机接口领域的不同研究方向，但都希望利用各自掌握的技术知识，去解决单一学科无法解决的重大临床问题。”在刘冰看来，“明视脑机的初创成员在海外相识多年，然后又抱着科技报国的初心和使命感陆续回国，用创业来完成这个夙愿也是必然的选择。”

张立则告诉记者：“我们希望通过创业，做出能真正改变患者生活的产品，并且遵循



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，刘冰和张立等一群“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。”

## 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钨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。



制氢加氢一体机。大连化物所供图

### 2025 高校科技成果交易会在广州召开

**本报讯(记者朱汉斌)**近日，2025 高校科技成果交易会(以下简称 2025 科交会)在广州召开。2025 科交会以“校企携手、融合创新：助力发展新质生产力”为主题，由教育部高等学校科学研究发展中心与全国高校区域技术转移转化中心(粤港澳大湾区)联合主办。

在展会首日，生物医药、人工智能、新一代信息技术及智能装备领域的 7 个项目成功签约，总金额达 1.22 亿元，集中展现了中国高校科研创新成果向现实生产力转化的强劲势头。

2025 科交会采取一系列举措，搭建高校硬成果与企业需求对接的“高速公路”，集中展示新一代信息技术、新能源、生物医药、低空经济等战略性新兴产业领域的前沿科技成果。其中，“高校成果超市区”集中推介高价值专利，“港澳高校成果推介区”深化湾区资源互通，“大学生创业示范区”挖掘新生代科创潜力。

会上，413 所高校提交成果 3332 项，其中路演项目 270 个、重点推介项目 414 个、实物展品 1597 个、模型 318 个、大学生创业项目 262 个。针对转化难题，2025 科交会不仅设立“一站式”服务区提供全流程支持，还推广“先使用后付费”的全新交易模式，降低企业试错成本。

### 百家全国重点实验室走进大湾区结对百家企业

**本报讯(记者朱汉斌)**日前，以“全重汇湾区 产创深融合”为主题的 2025 粤港澳大湾区峰会·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 家全国重点实验室大湾区倡议。同时，广东院士联合会分别与深圳证交所科技成果与知识产权交易中心、广州南沙经济证交所技术开发区签约全国重点实验室大湾区技术转移转化中心线上线下平台。

今年 10 月以来，广东院士联合会联动广东省科协、省科技厅、省国资委、省工商联等部门单位，推送 100 家优质实验室信息，征集近 400 家企业需求，筛选 118 家条件成熟企业开展线上匹配，102 家完成精准研判，18 家实现高效对接。大会现场，已经配对的 102 组企业与全国重点实验室结伴而坐，充分对接。

记者获悉，大会设置了前沿新材料、人工智能、生物医药与健康等 7 场产业科技创新交流对接会，深地深海深空、未来生命健康、未来电子信息等 10 场前沿技术与产业发展研讨会，以及大湾区科创之夜、未来城市与城乡规划暨河源市、湛江市城乡融合高质量发展项目研讨会等配套活动。大会同时印发了《全国重点实验室科技成果汇编》，收录了 150 项前沿成果，覆盖新能源、人工智能等关键领域，对应 300 个应用场景。