



清华大学成像与智能技术实验室团队： “要敢于做颠覆性的科学研究”

□任欢



清华大学成像与智能技术实验室团队

迈入清华大学主楼三层的成像与智能技术实验室，走廊深处的一面墙上贴满了科学公式，公式下面写着四个字：欢迎指正。这是中国工程院院士、清华大学成像与智能技术实验室主任戴琼海特意让学生打印、贴上的。

“做基础研究，就是要有敢于做颠覆性科研的勇气。”戴琼海说。

成立于2001年的清华大学成像与智能技术实验室，主要开展计算摄像、脑科学与人工智能等国际前沿交叉科学的基础理论与关键技术研究。20多年来，在戴琼海的带领下，团队成员始终坚持“理学思维融合工科实践，交叉领域践行原始创新”的科研理念，在科研“无人区”不断探索。

2021年4月19日，习近平总书记考察清华大学时，曾来到这里。“要保持对基础研究的持续投入，鼓励自由探索，敢于质疑现有理论，勇于开拓新的方向。”习近平总书记的殷殷嘱托，是戴琼海团队最大的奋进动力。

既敢想，又敢为。如今，一公里外看清蚂蚁、十亿像素动态视频采集、活体全脑神经成像……这些“疯狂的想法”，正在戴琼海团队手中逐步成为现实。

“从0到1”，能打硬仗

清华大学主楼三层，展示了团队近年来交叉科研创新重点成果，有些技术对相关领域变革产生了巨大的推动作用。

2005年，《科学》杂志发布全世界最前沿的125个科学问题，其中第40个问题是：能否制造完美的光学透镜？光线经过不完美的光学透镜会产生像差，导致成像模糊变形。近百年来，科学家们不断设计出更多更复杂的镜头，但像差始终存在。”戴琼海说。

“戴老师带领我们逆向思考，跳出‘完美成像’依赖‘完美镜头’的原有思路，提出了元成像原理，建立了数字自适应光学架构，即使经过不完美的光学透镜与复杂的成像环境，也能实现完美的三维光学成像。”团队中负责光场成像研究的清华大学自动化系助理教授吴嘉敏介绍，经过无数次实验，团队研制了“时一空一角”自适应融合元成像芯片。这一成果为解决光学像差这一百年难题开辟了

一条新路径，颠覆了传统成像模式，可广泛应用于天文观测、生物成像、医疗诊断等领域。

一直以来，活体脑观测仪器的研制始终受困于视场与分辨率之间的矛盾：微观仪器可以分辨神经元，但看不清全脑；宏观仪器能看清全脑，但无法分辨神经元。这一性能瓶颈，极大限制了脑科学、免疫学等前沿学科的突破。2012年，戴琼海团队决定迎接这一挑战。此后的6年间，团队成员披星戴月，几乎住在了实验室。“我们这个团队最大的特点是能打硬仗，说几个晚上不睡觉就几个晚上不睡觉，经常第二天脸一洗就直上上班了。”团队中负责智能成像研究的清华大学自动化系助理教授乔晖说。

功夫不负有心人，2018年，团队成功研制了全球视场最大、数据吞吐量最高的显微仪器——高分辨率光场智能成像显微仪器（“RUSH”）。

“与其他国家研制的仪器相比，‘RUSH’每秒能拍到百亿像素，是国际上首个能实现小鼠全脑皮

层范围神经活动高分辨率成像的仪器。”乔晖说，“RUSH”对推进生命科学和医学科学发展，提升我国大型精密生物观测科学仪器的研究和应用水平，具有重大战略意义。

“要做出别人想不到的事”

吴嘉敏还记得自己2013年加入戴琼海团队后的感觉：“可谓如沐春风。团队成员都有一个共同的特质——对科研有一种特别的热爱。但最吸引我的，则是戴老师‘要敢于做颠覆性的科学研究’的理念。”

“我认为，做学问的人分三个层次：做研究做到极致，那是牛人；做别人做不到的事，那是高人；做别人想不到的事，那是神人。”戴琼海笑着说，“我要求团队的青年教师和学生们，选题必须去想‘图诺问题’——图灵奖和诺贝尔奖级别的问题，致力于成为‘神人’。”

我们小时候大都观察过蚂蚁搬家，但如果隔着几公里远去看蚂

蚁搬家，该如何实现？

镜头的成本和尺寸，会随着有效像素的增加迅速增长。而一旦隔着很远的距离，成像过程中就会出现各种各样的环境干扰，如同雾里看花。“一公里外看蚂蚁”就是一项典型挑战，以传统技术手段很难实现。

吴嘉敏表示，团队采用的元成像技术，能通过对高维光信号的精确感知，突破这一难题。“简而言之，我们建立了数字自适应光学架构，通过多角度信息实现大视场多区域的快速像差估计与矫正，进而在后处理过程中实现完美聚焦，即使在动态复杂的成像环境中仍能保持高分辨率。目前，我们已经能够隔着几公里远的距离看清毫米尺度的一个蚂蚁，有望极大提升我国的遥感观测能力。”

针对复杂大场景动态感知难题，团队成员、清华大学工程系副教授方璐提出了非结构光场感知新原理，突破了宽视场—高分辨固有矛盾，研制了十亿像素级动态光场成像装备，应用于北京冬奥会上。

“就像戴老师强调的，做科研一定要致力于原始创新。”方璐说。为此，她经常鼓励学生们多看科幻电影，“科幻电影的想象力更丰富，我希望大家能够从中获得更多灵感。如果把科幻电影里最有可能实现的东西做出来，就是很原创的东西。”

如今，方璐正带领同学们攻关非结构光场智能成像的理论与技术，期望为观测天体和遥感成像带来新契机。

在这里，青年人才茁壮成长

重大原始创新成果往往萌发于深厚的基础研究，产生于学科交叉领域。

戴琼海想得很清楚，过去100余年，有20多项诺贝尔奖的奖与脑科学有关，而在医学影像界，仅核磁共振技术就催生了多位诺贝尔奖得主。在这些领域，有太多“颠覆性研究”值得探索。

“所谓‘颠覆性研究’有三个标准：是否改变了科学研究的路径，是否改变了产业发展的方向，是否可以写进教科书。我常常告诉团队成员，你们的科研成果不能只是昙花一现。因此，我鼓励他们通过学科交叉成为复合型科技人才。”戴琼海说。

“记得做‘RUSH’的时候，我们不仅要开展对病毒遗传、神经元损伤机理、药物筛选的研究，还要建立和完善多种肿瘤侵袭转移、神经环路响应的体内外研究模型，更要构建多维多尺度计算摄像仪器的基础数据库。”乔晖说，虽然辛苦，但大家斗志满满。不久前，“RUSH”被美国科学院院士、美国脑计划发起人之一马克·施内策（Mark Schnitzer）教授在《细胞》上



清华大学成像与智能技术实验室主任戴琼海

称赞：“这一精心杰作是未来更广泛普及的介观观测仪器的先驱。”

在做光场元成像这个课题时，为实现地对月的高质量成像，团队的博士生郭钰铎有一段时间夜夜值守在中国科学院国家天文台兴隆观测基地地对月观测。“那是2021年3月，温度在夜里已经降到零下二三十摄氏度，我常常一待就是三四个小时，为了保暖穿三件羽绒服。”郭钰铎说。

“元成像系统突破了大气湍流像差影响，成功拍到了月亮高清图！”有一天夜里一点钟，方璐接到了郭钰铎打来的电话。电话那头的郭钰铎兴奋地说：“方老师，我现在感觉零下二三十摄氏度也没那么冷了！”

能在团队实现自身价值，始终激励团队成员奋力前行。

2021年8月，以团队成员、博士生李欣阳为第一作者的论文在《自然·方法学》发表，于国际上首次提出高效实现钙成像去噪的方法。欧洲分子生物学实验室显微技术专家阿尔瓦罗·克雷文纳评价其“有望改变游戏规则”。对此，李欣阳直言：“一些人绕过问题，我想去解决问题。”

同是2021年，团队成员、博士生周天颀作为第一作者的论文在《自然·光子学》发表，提出并构建了光电智能衍射计算处理器，这一成果得到瑞士洛桑联邦理工大学工学院院长德米特里·赛提斯教授充分肯定，认为其“证明了光子神经网络能够与类似电子神经网络竞争”。

根本固者，华实必茂。2021年，戴琼海团队获得了“全国高校黄大年式教师团队”称号。团队培养的90后甚至00后们，正不断创造出具有国际影响力的科技成果，以国家需求为重，扛起历史重任。

（据《光明日报》，有删节）

科技大观

柔性单晶硅太阳能电池来了

□张晴丹

在“双碳”背景下，将太阳能转化为电能的光伏产业高速发展。其中，单晶硅太阳能电池是主力军。在光伏市场的占有率已上升至95%以上。

之所以热门，是因为单晶硅有太多优点。其一，硅元素是地球上含量最多的半导体元素，材料不缺；其二，成本较低；其三，硅片、单晶硅、太阳能电池等很多工艺在传统半导体领域已非常成熟，可直接借鉴。

然而，事无完美。单晶硅太阳能电池有一个严重缺陷——它很“脆弱”。在力学上，稍微给它一个弯曲的应力，或者运输过程中有震动，都可能导致其直接碎裂。这限制了单晶硅太阳能电池的应用场景。

近期，中国科学院上海微系统与信息技术研究所（以下简称上海微系统所）的科研团队成功开发出柔性单晶硅太阳能电池，实现了里程碑式的跨越。

从“V”到“U”，实现力学性能的蜕变

把单晶硅太阳能电池变成柔性的，实现“哪里需要贴哪里”，是业内许多人的理想。

在学生时期，上海微系统所副研究员刘文柱就考虑过这个问题。后来，在多次学术会议上，他总能听到一种声音：“薄膜电池可以非常柔，而单晶硅太阳能电池难以实现。”这刺激他下定决心开发柔性单晶硅太阳能电池。

为把不可能变为可能，刘文柱和合作者开启了漫漫实验路。

硅太阳能电池原本是一个平面，反光严重，要提升其发电效率，就必须减少光反射。常用做法是把硅片放在化学溶液里处理，其表面会出现很多金字塔状的微米结构，光在这些结构中来回反射，使得大多数光进入硅片中，进而对发电做贡献。

“我们发现，金字塔与金字

塔的结合处有非常尖锐的‘V’字形沟槽，在这个地方稍加一个力，就会产生裂痕。从此处着手，或许能改变硅片脆弱的‘灵魂’。”刘文柱介绍说。研究团队将硅片进行了简单的化学处理，通过各项同性化学腐蚀或等离子体处理，把“V”字形沟槽变成了“U”字形。“这种做法能让弯曲应变有效分散，从而抑制应变断裂行为，提升硅片的柔韧性。”上海微系统所研究员狄增峰介绍说。

这样的处理虽然优化了硅片的力学性能，但反光也有所增加，发电效率大打折扣。如何让力学性能与发电效率两者兼得？大家为此十分苦恼。

研究团队选择从硅片碎裂的全部细节中寻找突破口。这就需要一台一秒可以连续拍摄100万张照片的超高速相机。刘文柱把样品寄给了曾经在沙特阿拉伯阿卜杜拉国王科技大学流体力学团队的师弟杨自强。杨自强用超高速相机将硅片在弯曲应力下断裂的过程全部呈现了出来。

“我们发现，所有硅片在弯曲应力下的断裂都是从边缘开始。这说明，边缘区域是硅片的‘力学短板’。”刘文柱说，“那么，只要处理整个硅片边缘很小的区域，问题就可以迎刃而解。”

由此，研究团队创新开发了边缘圆滑处理技术。他们将几十个、几百个甚至更多的硅片摞在一起，结合等离子体腐蚀法，将硅片边缘表面和侧面尖锐的“V”字形沟槽处理成平滑的“U”字形沟槽。

该方案显著提升了硅片的柔韧性。60微米厚的单晶硅太阳能电池可以像A4纸一样进行折叠，最小弯曲半径达5毫米以下，也可以重复弯曲，弯曲角度超过360度。

“由于圆滑处理技术仅在硅片边缘实施，基本不影响太阳电

池的光电转化效率，同时还能显著提升太阳能电池的柔性，未来在空间应用、绿色建筑、便携式电源等领域具有广阔的应用前景。”刘文柱介绍说。

撬动巨大的柔性光伏市场

一项技术是否可靠，需要多方验证。研究团队不仅做出了单晶硅太阳能电池，还将单晶硅太阳能电池柔性组件送至第三方进行测试。

“江苏有一个公司专门做高铁外壳振动测试，我们把1平方米左右的柔性组件送去了。组件四周固定在底板上，中间悬空，振动测试开始后，组件会像帘子一样上下抖动。”刘文柱说。

他们测试了1.8万个周期，柔性组件的功率分毫未损。

除了这个测试外，研究团队还进行了更“狠”的操作。光伏的国际标准是IEC标准，也就是说，光伏材料必须达到在零下40℃到85℃间运行20年或25年，性能衰减不超过15%的要求。

“我们做的实验比国际标准还严苛，让单晶硅太阳能电池在零下70℃到85℃间连续循环120个小时，结果发现功率衰减很少。”刘文柱说。

“现在，我们做出了柔性单晶硅太阳能电池，无论如何弯曲，整个大硅片都能恢复如初，它没有晶界、没有摩擦，哪怕折叠1000次，功率也没有丝毫衰减，使用寿命很长。而这些都是多晶电池很难实现的。”刘文柱说。

据悉，研究团队开发的大面积柔性光伏组件已经成功应用于临近空间飞行器、建筑光伏一体化和车载光伏等领域。

刘文柱表示，柔性单晶硅太阳能电池将应用于更多场景，比如可穿戴电子设备、移动通信、航空航天等领域，可能会撬动巨大的柔性光伏市场。

（据《中国科学报》，有删节）

“新芽肌理细，映日莹如空；恰似匀妆指，柔尖带浅红”，这是宋代诗人刘子翥的一首《咏姜诗》。在诗人的笔下，生姜的芽端一如少女的纤纤玉指，均匀晶莹，柔美凝脂。

据传，生姜是古代神农氏发现并命名的。神农氏一次上山采药，误食了一种毒蘑菇，肚子痛得像刀割一样。吃什么药都无法止痛，结果晕倒在一棵树下。等他慢慢苏醒过来时，发现自己躺的地方有一丛尖叶子发出浓浓的青草香，闻一闻，头不晕，胸也不闷了。原来是它的气味使自己苏醒过来的。于是，神农氏顺手拔了一兜，擦干净，取其中的一块根放在嘴里，又香又辣又清凉。过了一会儿，肚子里咕咕噜噜地响，排泄过后身体就好了。他想：“这种草能起死回生，我要给它取个好名字。”因为神农氏姓姜，就把这尖叶草取名“生姜”。

生姜，又名姜根、百辣云、因地辛、姜母等。姜、葱、蒜、醋四宝，生姜居其首。生姜的老家在中国和东南亚地区。我们的祖先很早就知道了生姜的好处。《论语·乡党》中有：“食不厌精，脍不厌细。……不撤姜食，不多食。”可见，生姜在春秋战国时期已普遍食用，已是人们日常生活中不可或缺

的佐食佳品。到了汉代，就大面积种植生姜。司马迁在《史记·货殖列传》中说“若千亩苴[zhī]茜，千畦姜韭；此其人皆与千户侯等”，就是例证。

生姜有子姜、老姜、干姜之分。立秋前为子姜，水分足，可作蔬菜食。姜嫩，味鲜美。王祯的《农桑通诀》说：“秋社前，新芽顿生，分采之，即紫姜。芽色微紫，故名。最宜糟食，亦可代蔬。”白露后为老姜，味辣，可作烹调佐料，以除腥驱邪调味；切片晒干为干姜。清代吴其浚在《植物名实图考》中有：“姜为和、为流、为果、为药，用芽、用汁，其用甚广。”

我在一家饭馆，亲见一位大厨，手提一把切菜刀，将厚厚几块生姜切成薄片，继而码齐，转瞬间刀刃起处，姜片被切成又细又长的丝状，黄黄的姜丝，迅疾放入冒烟的油锅，鸡鸭鱼肉、蟹螺虾仁，各式大菜，因了生姜的辅佐，灵魂苏醒，活色生香。

生姜不仅可以增添美味，也有很好的食疗功效。几千年来，炎黄子孙世代，早已体验到了生姜对强身健体、防病治病、益寿延年的作用。民间自古就有“常吃姜，寿而康”“上床萝卜下床姜，不用医生开药方”“冬吃萝卜，夏吃姜”“早

晨一片姜，胜似服参汤”等谚语流传。无怪王安石在其《字说》中称：“姜能驱邪百邪。”

相传，秦朝末年，汉高祖刘邦与楚霸王项羽逐鹿中原，转战到河南鲁山时，不幸得了汗病（即一种瘟疫），久治不愈。当地百姓拥戴刘邦，便献上发汗、灭瘟的土方“张良姜”。刘邦服用后，“茶到病除”，欣喜之余，便厚赏了献方人。从那以后，刘邦每年都要鲁山官吏朝贡张良姜若干。张良姜遂扬名中原。

苏东坡善烹调，曾用芽姜和红醋烧太湖银鱼，使得鱼味尤佳，胜过名产松江鲈鱼。他在诗中写道：“芽姜紫醋炙银鱼，雪碗擎来二尺余。尚有桃花春气在，此中风味胜鲈鱼。”他在《东坡杂记》里，还记载一则趣闻，他游览钱塘净慈寺时，看见不少80高龄的老和尚面色红润，颜如童子，不胜惊讶。探其缘由，说是：“服生姜四十年，故不老。”这话，可视作生姜有益于人体健康的一个佐证。为此他写了首

姜是老的辣

□徐廷华



回来，冷得簌簌发抖，母亲见状，立即放下手中杂事，到厨房，切了几片生姜，放点红糖，熬出热气腾腾的姜汤让我喝，一碗下肚，顿觉周身暖气氤氲，这才知道，生姜还有驱寒的作用。汪曾祺在他的《板桥家书》中说：“天寒冰冻时暮，穷亲戚朋友到门，先泡一大碗炒米送手中，佐以酱姜一小碟，最是暖老温贫之具。”他还说：“我的煮干丝里下了干贝，上桌前要放细切的姜丝，要嫩姜。”

中国人爱姜、喜姜，也便有了姜引出的语言文化，如“姜是老的辣”这一俗语，常被用来比喻老年人有经验，办事老练，不好对付，或比喻一些人在某方面有资历有经验，办事稳重老练。

