



4月24日拍摄的清华大学校园景色。新华社记者 邢广利摄

4月19日，习近平总书记来到清华大学考察。在清华大学成像与智能技术实验室，习近平总书记察看实验室开展计算光学、脑科学与人工智能交叉科学实验研究和开发新科技应用场景情况，听取实验室理论研究、技术攻关、成果转化应用等情况介绍。习近平总书记指出，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，大学在这两方面具有天然优势。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。

清华大学成像与智能技术实验室成立于2001年。实验室负责人戴琼海是中国工程院院士、清华大学信息科学技术学院院长。多年来，该实验室提出了多维多尺度光场智能成像理论，并通过原始创新，研制出了“光电芯片”“成像芯片”“显微仪器”，站在本领域的国际前沿。

被称为“超级显微镜”的高分辨率智能成像显微仪器正是实验室前沿研究成果之一。这台领先世界的仪器有何神奇之处？未来又将如何实现成果转化落地？近日，记者走进清华大学成像与智能技术实验室，探访了这里的创新故事。

学科交叉融合，勇于开拓创新，清华大学成像与智能技术实验室前沿研究成果——

“超级显微镜”助力脑科学探索

本报记者 李贞

领先国际的介观显微仪器

从清华大学东南门走进校园，一路绿树成荫。蓝天白云下，喷泉的水柱有节奏地跳跃着，闪烁着晶莹的光芒。就是在这样静谧的校园里，诞生着一项又一项顶尖的创新科研成果。高分辨光场智能成像显微仪器（英文简称RUSH）正是其中一个。

仪器是科学研究的“先行官”。自从显微镜发明以来，人类才逐渐看到了更微观的世界，比如微生物、细胞组织，推动了生命科学的发展。而在21世纪，揭示大脑的奥秘成为生命科学研究的金字塔尖。RUSH仪器的研制目标正是剑指脑科学研究。

戴琼海说，近100年有120多项获诺贝尔奖的研究与脑科学有关，说明全球科学界对脑科学研究特别青睐。一般成人脑中有860亿到1000亿个神经元，每个神经元还包含1000多个突触，与其他神经元互相连接，并且连接关系处在动态变化中。研究大脑的运作机制，对发展人工智能、治疗如阿尔茨海默症等疾病都有重要意义。但因为人类的大脑是极为复杂的网络，我们至今对脑的科学研究还属于初步探索阶段。

“从2013年开始，美国、欧盟、日本、韩国等都启动了‘脑计划’研究。这当中的研究方向有很多，我们专注的是揭示神经环路的活动规律。”研发团队负责人、清华大学自动化系副研究员范静涛向记者讲解道：

“我们可以把神经元理解为一个一个路由，它们不断在收发信号，构成了人的思想、意识等。神经元之间先连接成小的神经环路，在此基础上再形成全脑神经网络。要直接看到神经环路里神经元是如何工作的，就是我们要突破的难题。”

在过去，脑观测仪器主要有两个方向：微观仪器能看清神经元，但看不到全脑；宏观仪器能看到全脑，但无法分辨神经元。

“所以我们需要新的介观尺度仪器，在清晰度上尽量向微观靠近，分辨率越高越好；在视场上尽量向宏观靠近，观测范围越大越好。”范静涛说，世界上很多科研团队都在研制类似的仪器，包括加州理工学院、麻省理工学院、霍华德·休斯医学研究所等。但此前的成果都没有做到尽善尽美，在视场、分辨率、成像速度三个衡量尺度上，能提高两个已经很不错，要再提升第三个非常之难。

戴琼海团队偏偏迎难而上，2012年开始计划研制观测脑皮层神经成像的仪器；2013年，申请国家自然科学基金重大仪器专项并获得支持。

2017年，第一代RUSH仪器诞生，视场大小为1厘米×1.2厘米，分辨率0.8微米，成像帧率30帧/秒，每帧图像达到1.69亿像素。这是什么概念？相当于RUSH拍一帧图像是24个4k显示器的数据总量。它的英文名称“RUSH”，正是取自三个能够描述其特性的英文词组首字母缩写，实时的（Real-time）、极大范围的（Ultra-large-Scale）、高分辨率的（High-resolution）。

2018年，经过优化的第二代RUSH仪器，分辨率提高到了0.396微米，数据吞吐量也达到了惊人的100.8亿像素/秒。范静涛告诉记者：“当其他国家研制的仪器每秒拍到千万像素的时候，我们达到了百亿像素。RUSH在介观尺度显微仪器中，视场、分辨率、帧率、数据吞吐量等综合指标上全面位居国际领先水平。”

2019年，科学杂志《自然》（Nature）及其子刊报道并肯定了RUSH的成果，认为RUSH“克服了显微镜上视场与分辨率之间的约束瓶颈”，“仅单次成像就可分辨出小鼠全脑表面的亚细胞显微结构”。

研发彰显学科交叉融合优势

正如戴琼海所说：“掌握了工具就等于掌握了武器，工具的突破可能带来一系列连锁反应。”RUSH仪器作为目前国际上首次能实现小鼠全脑皮层范围神经活动高分辨率成像的仪器，已经完成许多创新性的实验。

比如，研究者通过RUSH，可以在1平方厘米的范围内观察活体小鼠的大脑，研究大脑功能信号和脑血管舒张是否存在关系；可以观察小鼠脑部免疫细胞迁移的过程，来帮助医生研究人体的免疫病理反应；可以分析研究癫痫病人病变区域产生的癫痫波，从而帮助揭示病理发生机制。利用RUSH观测神经环路，研究神经网络机制研究，未来也为人工智能跨

域发展提供新途径。

从研发、制造RUSH仪器，到利用仪器产出观测成果，学科交叉合作起了非常大的作用。

RUSH仪器的研制单位包括清华大学、浙江大学和中科院上海光学精密机械研究所；验证单位包括中国人民解放军第三军医大学、华中科技大学同济医学院和中科院上海生命科学研究院。不同背景的科研人员不断碰撞思维、共同合作，才推出了这一创新成果。

不仅是不同单位的科研人员互相学习，在清华大学范围内，戴琼海团队也吸纳了不同学科背景的人才。团队里所有人的学术背景都不一样，有学习计算机的、有学光电信息技术的、有学脑科学的。在实验室从事仪器研究的博士生，也要考生物实验的资格证，因为可能会需要用小鼠做实验。范静涛笑称：“团队氛围特别好，大家都很谦虚。因为大家聚在一起，都是发挥自己的专业特长在全新的领域开始探索。”

直到2016年10月20日，RUSH仪器在浙江大学安装调试后初见成果。范静涛特意发了一条朋友圈：“此时此地，值得记住。仪器样机从光学成像到标定拼接，第一次走通！”他说那时才感觉实验前景“透亮了，确实是可行的”。

多年研发过程中，每一批参与过团队工作的博士生、硕士生都在一个名为“不忘记为仪器流的每一滴汗”的微信群里。尽管很多人已经毕业，但大家仍常常保持联系，并为自己曾对研制国际一流仪器贡献过一份力量而骄傲。

“我们觉得自己的工作很有价值，并且都对手里的研究兴趣浓厚。”在团队成员、清华大学脑与认知科学研究院博士吴嘉敏看来，能够和一群知己齐心开拓，组成志趣共同体十分幸运。“不管是老师还是学生，大家做事，会把国家在这个环节是否有需求、有短板放在非常重要的位置考虑，都想要通过自己的努力争得一份民族自豪感。”

当第二代RUSH仪器研制成功后，许多国际同行开始前来寻求交流合作。来自斯坦福大学的研究者认为RUSH仪器是世界一流成果，4次到清华来讨论合作事宜。最让他们惊讶的是，一个项目竟然能同时调动自动化系、电子工程系、精密仪器系、医学院、药学院、生命科学学院的研究者共同参与，“这样密切的单位间合作，简直是不可想象的”。

成果转化带动产业链升级

如今，一台第二代RUSH仪器就布置在清华大学主楼内的成像与智能技术实验室里。

2.5米长的台子上，黑色的金属外架有一人多高，占据了实验室的大半空间。在仪器侧面，能看到由28个相机组成的相机矩阵。这一独创设计正是RUSH仪器能兼顾“看得宽”与“分得清”的关键。相机矩阵背后连着密密麻麻的线路和降温散热的管线。其中的光纤线，为了服务RUSH的数据传输，速度快到1秒钟

能下载完成7部3GB大的电影。在隔壁，一整间隔音玻璃房里，排列着配套的计算机计算存储设备集群，可存储11000TB的图像信息，以支持RUSH惊人的数据吞吐量。

最让设计团队自豪的是，RUSH所用的光学、机械、电子部件全部是自主设计、在国内生产加工的，带动了多家光学生产企业在超高精度加工和检测领域的技术进步。通过承担高标准严格要求的RUSH器件加工任务，厂家更有底气去承接高端显微、光谱仪、望远镜、经纬仪等项目。

第二代RUSH仪器研制成功后，推动创新成果转化，将仪器批量化生产投入市场，让技术成果直接转化为生产力和经济效益，是团队下一步的计划。

这离不开清华大学重视创新成果转化的氛围。近年来，通过持续推动科技成果转化体制机制改革，组建技术转移机构，完善运行与决策机制，优化激励政策，清华大学科技成果转化成效显著。2015年至2020年间，清华大学通过许可、转让、投资等方式转化科技成果520余项，合同额超过30亿元，年平均增长率超过50%，2020年比2015年合同额增加了7.78倍。

RUSH仪器研制团队在清华大学的支持下，通过知识产权转移等方式，已经在浙江牵头筹建了高潮科技有限公司，致力于高端显微仪器的生产。范静涛认为：“过去，中国是显微镜生产大国，但利润率低，主要原因就在于缺少高端的拳头产品。而未来，具有自主知识产权和国际竞争力的高端仪器能够出口，将会带动国内光电行业上下游产业链的全面发展。”



▲清华大学RUSH仪器外观图。

资料图片

▲2016年11月，团队成员在清华大学进行第一代RUSH仪器系统集成测试。

资料图片

▼小鼠全脑皮层神经活动动态成像结果图。

资料图片

