中国科学报

CHINA SCIENCE DAILY

中国科学院主管　中国科学报社出版　国内统一连续出版物号 CN 11－0084　代号 1－82

扫二维码 看科学报　扫二维码 看科学网

主办：中国科学院　中国工程院　国家自然科学基金委员会　中国科学技术协会

总第 8858 期　2025 年 10 月 23 日　星期四　今日 4 版

新浪微博 http://weibo.com/kexuebao　科学网 www.sciencenet.cn

追求极致，“大而精”成就“科学之眼”

■本报记者 张双虎

对活细胞进行纳米尺度高分辨成像，探究细胞功能的动态机制，掌握细胞应对病毒侵染的免疫反应，服务人民生命健康；支撑以光刻为代表的国家重大需求，解决下一代光刻技术中光源、光学系统和光刻胶的关键技术问题，揭示量子材料中新奇现象的形成机理，服务国家重大科技战略……

上海软 X 射线自由电子激光（以下简称上海软线）是我国首台 X 射线波段的自由电子激光装置，也是国际上最先进的光子大科学设施之一。它的建成出光，极大提升了我国科学家探索微观世界超快过程的能力——很多以前看不见的现象如今得以观测了，以前做不了的实验现在可以开展研究了。

“30 年筚路蓝缕、接力奋斗，我们已经从‘跟跑’‘并跑’开始向‘领跑’冲刺。”中国科学院上海高等研究院（以下简称上海高研院）研究员、上海软线装置运行总负责人冯超告诉《中国科学报》。

在此过程中，上海高研院软线团队以敢啃“硬骨头”的勇气、追求极致的精神和凝心聚力的胸怀，诠释了“上海光源精神”的新时代内涵。该团队“十年破壁”，在飞秒时间、纳米空间尺度打造敏锐的“科学之眼”，在冲击光源装置制高点的同时，也为依托光源进行前沿研究、抢占科技制高点的科学家提供了“利器”。

团队自主研发的自由电子激光放大器（部分）。　受访者供图

勇蹚新路啃下“硬骨头”

大科学装置建设具有工程和科研的双重属性，由于投资体量巨大，我国以往大科学装置采用跟随国际主流方案的策略。在这种情况下，很多“从 0 到 1”的成果会被国外率先取得。

“光源大科学装置像一台超级显微镜，能让微观世界‘纤毫毕现’。”冯超说，“如果把同步辐射光源看作分子相机，自由电子激光就像高速摄像机，能拍摄分子电影。”

自由电子激光可根据光谱覆盖范围分为软 X 射线自由电子激光和硬 X 射线自由电子激光。作为新一代光源，自由电子激光的脉冲长度极短，能捕捉飞秒甚至亚飞秒量级（1 秒＝10^{15} 飞秒）的分子动态变化。借助它，人类有望看到化学键断裂、病毒侵染活细胞的过程，或分析微观物质结构动态变化细节。因此，要支撑我国科学家取得突破性、原创性成果，引领新一代光源的建设和发展十分重要。

20 世纪 80 年代，我国开始建设大型加速器装置，从北京正负电子对撞机（BEPC）、合肥同步辐射装置（HLS）到上海光源（SSRF），中国大科学装置建设之路走得艰辛但笃定。“现在，我们已经到了冲击‘领跑’阶段。”谈及光源建设，冯超语气自豪，“冲击‘领跑’必须自主创新，必须啃‘硬骨头’。”

2014 年，上海软线启动建设。在中国工程院院士赵振堂的领导下，团队决定探索新机制，用全新技术路径做全相干光源。

“那绝对是块‘硬骨头’。”冯超说，“当时国际主流方案是自放大自发辐射型自由电子激光，它的相干性（单色性）不理想。我们的目标是产生 X 射线波段的激光，因而采用自主提出的 EE-HG-HGHG（回声高次谐波放大和高增益高次谐波放大）混合级联机制。它比传统方案复杂得多，技术挑战也大很多，且国际上没有成熟案例可参考，我们必须蹚出条新路，找到自己的技术路径。”

2018 年，在理论推演可行后，团队开始在实验上探索这一新技术路径。和主流方案相比，新方案有望实现真正意义上的“X 射线激光”，从而看清原来看不到、看不清的物理化学现象，做原来做不了的前沿科学实验，但建设、维护和运行难度随之增加。

“如果采用传统方案，差不多两个月就能实现饱和出光。但我们要蹚新路，这条新路是否行得通，我们心里没底。”冯超说。

在此后一年多的实验中，团队看不到一丝希望。最艰难的时候，团队成员一度产生过放弃的念头。这时，赵振堂不断给团队打气，鼓励大家坚持下去，让大家相信“这个‘东西’一旦做出来，就是独一无二、世界一流的成果”。

使命感和对自己所做工作的期待，让团队在煎熬中坚持了下来。经过反复尝试、不断改进，2020 年，团队终于实现了国际上首个 EE-HG-HGHG 混合级联型自由电子激光出光放大，并通过国家验收。

追求极致实现“大而精”

“上海软线的特点是‘大而精’。”上海高研院研究员、加速器物理与激光技术部直线加速器物理组组长谷端解释说，“上海软线由上千台套设备、数以万计的零部件组成。尽管它是个大家伙，却极其精密，任何一处细小差错都可能导致状态不稳，甚至拖累光源装置宕机。”

调试开始时，研究人员发现一个规律：每天早上 5 点，当上海市从沉睡中醒来，上海软线监测系统的屏幕上，参数曲线的抖动明显加剧，直到 23 点后曲线才趋向平稳。

很快，团队意识到这是人类活动对仪器的影响。对这样精密的科学设施来说，数公里外的汽车、地铁、电网等各种人类活动都会影响系统参数。因此，在参数优化阶段，研究人员会选择深夜至凌晨的“黄金时段”工作。

2020 年 12 月，直线加速器部分的主要工作完成。团队似乎看到了一线曙光，准备邀请专家到现场进行测试和指导。

测试前一天深夜，上海高研院研究员、加速器物理与激光技术部直线加速器物理组副组长王震正在优化参数，忽然看到反馈系统提示“冷却系统异常”。“那是光源装置的温控设备，上面有一处轻微的水管滴漏。尽管只是很小的问题，但光源是一个整体，不允许出现任何差错。”

王震当即拨通温控设备负责人的电话，要求迅速处理问题。滴漏解决后，研究人员重启装置，又经过 30 多个小时连续奋战，终于将加速器恢复到最佳状态。

“上海软线有上千台套设备、数万个零部件，涉及几千种参数。”王震说，“通常一台机器的可靠性达到 99%就很好了，但对这样复杂的装置来说，每个部分 99%，组合起来一定会出问题。因此，我们要求各种设备、部件的可靠性达到 99.99%。”

“‘大而精’要求我们紧密协作、集智攻坚，把所有环节都做到极致。”谷端补充说，“首先是硬件团队把所有硬件做到最好，然后所有系统紧密配合，再逐步优化。也就是说，各环节做到极致，才能支撑整体的最佳状态。”

上海软线装置分加速器、自由电子激光放大器、实验线站等部分。加速器产生的高能电子束，要精确控制其在波荡器系统中的轨道和聚焦，才能产生 X 射线自由电子激光。在 50 米长的磁场中，要使磁铁的磁中心、电子束中心和辐射光中心在微米尺度精确重合并保持稳定。如果将比例放大到子弹大小，难度堪比在数万米外，3 把手枪同时射出子弹并一致命中。

为保持系统稳定，团队多个专业组携手开发出一套基于束流的反馈系统。它能监测并调控多种参数，一旦受到外界干扰就会自动调整，保持关键参数稳定。反馈系统投入使用后，装置稳定性明显提升。

“多走一步”聚力克难关

上海软线稳定运行涉及的变量极多，要在浩瀚的数据中达到最好状态，难度可想而知。为保证调参进度，团队采取逐节优化策略，从加速器结构设计到线圈补偿优化，每个环节都仔细打磨、反复调试。

“在此基础上，我们才开始继续向后优化，一步步将直线加速器光路、传输、测量、诊断等方面的稳定性、可靠性提升至最优状态。”冯超说。

2022 年 3 月，上海软线用户装置调试进入关键期。为抢抓进度，团队成员长时间坚守岗位。恰在此时，上海市突发新冠疫情，多数成员被“封”在工作现场。

“城市突然静下来，外界对设备参数的干扰也随之减小，这反而成了一个难得的‘窗口期’。”上海高研院副研究员刘涛回忆道，“大家集中在一起，正好全力攻关。”经过 70 多天的实验室奋战，上海软线团队终于攻克了数项重要技术指标。“我们相信，每个环节比别人多走一步，才能完成看似不可能的任务。”刘涛说。

这种“多走一步”的精神成为团队协作的核心动力。30 多个专业组在攻坚过程中实现了无缝衔接。冯超表示：“正是每个人主动向前、彼此支撑，才形成了我们强大的凝聚力和驱动力。”

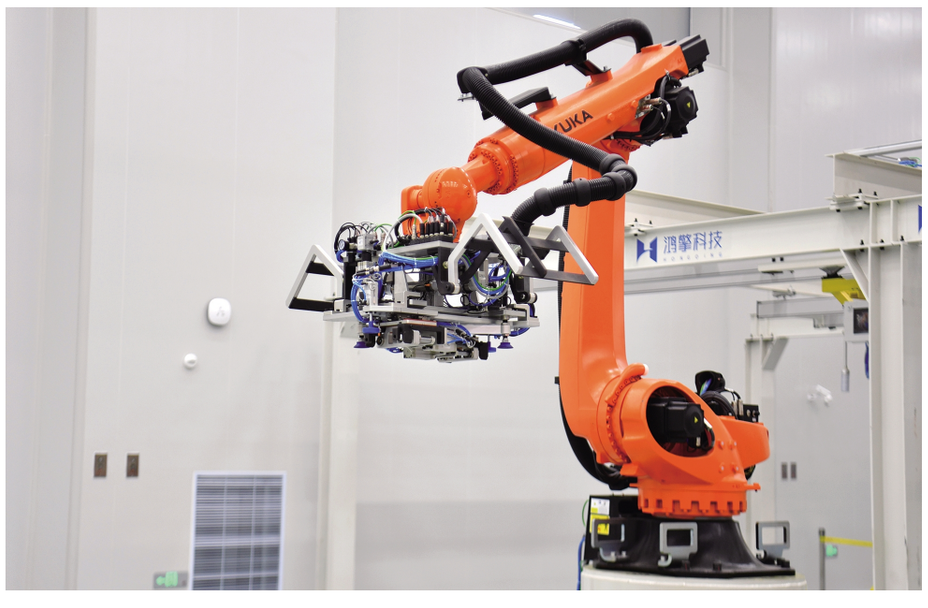
他举了一个例子。因为需要不断自主探索路径，团队成员常常提出一些看似“奇葩”的需求。然而，负责基础硬件设计的工程师俞成却从未拒绝过这些要求。冯超感慨道：“我们那些奇怪的想法，如果找外部供应商加工，肯定会遭到拒绝。但俞老师从来不会说‘不’，他总会再向前多走一步。”

正是凭借这股“不懂拒绝”的劲头，团队成功研制出多项特殊设备，其中包括世界第一台种子型自由电子激光“诊断波荡器”和目前国内最长的太赫兹电磁扭摆器。它们成功应用于大科学装置的建设、调试和运行中。

2021 年，上海高研院工程师张展飞加入软线团队，负责设备运维和升级。其间，一台日产压弯件出现故障，日本技术人员耗时两个多月仍未能解决。团队深刻意识到，必须实现核心零部件的自主可控。

（下转第 2 版）

攻坚｜弘扬新时代科学家精神



10 月 22 日，蓝箭鸿擎（雄安）空间科技有限公司卫星智能制造中试基地正式落成。首颗“雄安造”卫星——“雄安一号”（鸿鹄技术验证星）完成生产下线。

“雄安一号”（鸿鹄技术验证星）是首颗在雄安新区完成生产下线的卫星，标志着雄安新区空天信息产业智能制造能力实现“从 0 到 1”的重大跨越，进一步推动卫星互联网产业链企业加速聚集。

图为蓝箭鸿擎（雄安）空间科技有限公司卫星智能制造中试基地内的生产线。

图片来源：韩冰 / 中新社 / 视觉中国

4 名科学家获颁 2025 年度邵逸夫奖

据新华社电 2025 年度邵逸夫奖颁奖典礼 10 月 21 日在香港会展中心举行。4 位科学家分获天文学、生命科学与医学、数学科学 3 个奖项，每项奖金 120 万美元。

香港特区行政长官李家超在颁奖典礼上祝贺获奖者，赞扬他们在科学与文明领域作出的卓越且持续的贡献。他说，邵逸夫奖的愿景是通过科学与研究推崇教育与知识的追求，这正是香港特区政府施政重点与政策的核心。特区政府致力在创新与科技方面进行重大投资，推动相关研究与发展。

李家超在致辞时也向邵逸夫奖创始成员、已故诺贝尔物理学奖得主杨振宁致敬。李家超表示，杨振宁始终致力于科学与教育发展，他对促进人类知识进步的坚定奉献值得被铭记。

2025 年度邵逸夫天文学奖颁予加拿大理论天体物理研究所教授兼多伦多大学教授约翰·理查德·邦德，以及英国剑桥大学天体物理学教授乔治·埃夫斯塔西奥乌，以表彰他们在宇宙学方面的开创性工作，尤其是他们对宇宙微波背景辐射涨落的研究，精确测定出宇宙的年龄、几何结构和质能含量。

生命科学与医学奖颁予德国马克斯·普朗克生物化学研究所荣休所长暨科学会员沃尔夫冈·鲍迈斯特，以表彰他对冷冻电子断层成像技术的开创性研发和应用，使蛋白质、大分子复合物和细胞间隙等生物样本在自然细胞环境中的存在状态得以呈现。

数学科学奖颁予中国北京雁栖湖应用数学研究院兼清华大学丘成桐数学科学中心教授深谷贤治，以表彰他在辛几何学领域的开创性工作，特别是预见到如今被称为深谷范畴的存在，该范畴由辛流形上的拉格朗日子流形组成。

邵逸夫奖于 2002 年创立，2004 年首次颁发，由邵逸夫奖基金会管理及执行。该奖设有 3 个奖项，分别为天文学、生命科学与医学、数学科学，每年颁发一次。　（张雅诗）

研究实现常温下合成亚纳米级高熵合金

本报讯（记者王敏 通讯员田超）近日，安徽师范大学校长、教授熊宇杰带领中国科学技术大学和安徽师范大学的联合团队，利用激光辐照激发的等离激元光热效应和热电子效应，创制了亚纳米级高熵合金。该方法具有广泛的普适性，可制备含有多达 10 种金属元素的亚纳米级高熵合金。相关研究成果发表于《自然－材料》。

将 5 种甚至更多不同种类的金属“融合”成一种结构均匀的新型合金，就是“高熵合金”，一直以来都是极具挑战的科学难题。如果把它们做到亚纳米级别，由于尺寸极小，难度就更大。熊宇杰打了个比方：“就像把 5 个以上性格、喜好各不相同的人聚在一起，让他们和睦相处，显然需要花大力气。”现实中，不同金属常常“合不来”，因此传统的高熵合金合成通常需要在高温下进行，且对元素种类有限制，合成的合金尺寸偏大。

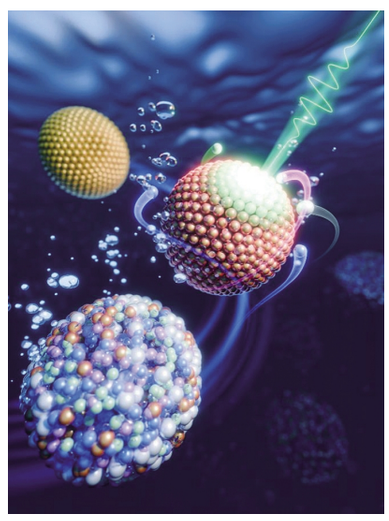
研究团队创新性利用激光辐照技术，在温和条件下实现了多种金属的均匀混合，并成功制备出亚纳米级别的高熵合金颗粒。纳秒脉冲激光可以在极短时间内将颗粒表面温度迅速提升至 2000 摄氏度以上，再以每秒超过 10 亿摄氏度的速度迅速冷却。这一快热快冷的过程突破了传统合成方法的限制，不仅让不同金属元素均匀分散并合金化，还可以实现颗粒尺寸的微小化。

高熵合金在多个领域，尤其是新能源方面展现出广阔的应用前景，是一种极具潜力的催化剂材料。研究团队制备的由金、铂、钌、铑、铱 5 种金属组成的亚纳米高熵合金，作为电解水催化剂，表现出优异的产氢、产氧活性和稳定性。在质子交换膜电解槽中，其性能明显优于目前商用的铂碳催化剂和二氧化钌催化剂。

这种新型激光合成方法大大拓宽了高熵合金的材料选择范围，有望推动其在更多关键领域的实际应用。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41563-025-02358-9



激光诱导等离激元效应制备亚纳米级高熵合金艺术图。　安徽师范大学供图

便携水消毒系统 1 分钟灭活 99.9999%霍乱弧菌

本报讯（记者杨晨）近日，电子科技大学基础与前沿研究院教授邓旭与四川大学教授郭俊凌、华中科技大学同济医学院教授李岩合作，提出一种低机械能输入驱动的便携式水消毒系统，能够在 1 分钟内灭活 99.9999%的霍乱弧菌，且对细菌、真菌、寄生虫和病毒均表现出广谱消毒能力。相关研究成果发表于《自然－纳米技术》。

该系统通过氨基修饰的二氧化硅（SiO_2）纳米颗粒负载金纳米颗粒，捕获水合电子并在电介质表面形成局部微区电场，在实验测试中表现出优异的消毒效果。在涡旋混合条件下，经 SiO_2@NF_3 处理的样品仅需 1 分钟即可实现对大肠杆菌的完全杀灭，其消毒速率相较于未经修饰的 SiO_2 材料提升了 3 个数量级。该体系在高温条件下依然保持高活性，如在 50 摄氏度并辅以机械振动时，可在 15 秒内完成对细菌数量 6 个数量级的杀灭。

此外，系统对包括霍乱弧菌在内的 16 种典型病原体均展现出快速杀菌能力，尤其对霍乱弧菌可在 1 分钟内达到 99.9999%的灭活水平。扫描及透射电子显微镜图像进一步证实，经该系统处理后的各类微生物均出现细胞膜破损及内部结构瓦解等严重损伤。除高效灭菌外，该系统还具备自分离功能。借助疏水界面设计，消毒结束后的颗粒材料能在静置 1 分钟内快速从水体中析出，无需借助过滤或离心等辅助操作，显著增强了其在实际应用中的便捷性。基因表达分析结果表明，该系统主要通过破坏细菌细胞膜完整性并干扰氨基酸代谢途径造成微生物死亡。

这一基于界面电场增强型手动驱动水消毒技术，通过有效捕获水合电子并构建局部纳米级强电场，实现了广谱、迅速且可自分离的微生物灭活，兼具高效杀菌与操作便捷的特点，有望为缺电地区和灾害应急情境提供可行的饮用水安全解决方案。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41565-025-02033-9

美批准阿尔茨海默病血液检测新方法

寰球眼

本报讯 日前，美国食品药品监督管理局（FDA）批准了一种有助于诊断阿尔茨海默病的血液检测方法 Elecsys pTau181。它是首个获准在初级保健机构使用的血液检测法，但并非首个用于阿尔茨海默病的检测手段。

Elecsys pTau181 由瑞士罗氏公司和美国礼来公司开发，可以测量血浆中一种特定磷酸化 tau 蛋白，即 pTau181。这种检测量化了人体内有多少 tau 蛋白因阿尔茨海默病而发生了改变。该病是由淀粉样蛋白－β 斑块和 tau 蛋白缠结在大脑组织中造成的。

近日，罗氏公司报告称，在一项涉及 312 名参与者的临床试验中，Elecsys pTau181 的准确率达到 97.9%。不过，英国伦敦大学学院的 Ashvini Keshavan 表示，在没有完全获得试验数据的情况下，很难全面评估检测的准确性。“了解敏感性、特异性和阳性预测值对于评估其准确性非常重要。”

此前已有一种阿尔茨海默病血液检测方法获得 FDA 批准，即日本生物技术公司 Fujirebio 今年 5 月开发的检测方法 Lumipulse。Lumipulse 测量两种蛋白质的比例——pTau217 和淀粉样蛋白－β（1－42）。

美国梅奥诊所的 Alicia Algeciras-Schimnich 表示，这两种方法的工作方式略有不同，Lumipulse 既能进行阳性检测，也能排除阿尔茨海默病病理的存在。

目前，大约 92%患有轻度认知障碍的成年人可能没有得到确诊。神经学家对这种血液检测新方法表示欢迎，因为它可以测量阿尔茨海默病的生物标志物，这是诊断该病并将其与其他导致认知能力下降的疾病区分开的一个关键点。

以前，检测这些生物标志物需要进行腰椎穿刺提取脑脊液样本，或者通过正电子发射断层扫描（PET）。另外，医生还需对患者的痴呆样行为进行临床评估，并参考患者个人及家庭成员的报告。Algeciras-Schimnich 说，将新的阿尔茨海默病血液检测方法与上述方法结合使用，可为探寻认知及记忆问题的根本原因提供一个初步解决方案。　（李木子）