

---

# 微观世界的“超级显微镜”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/39015.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

## 微观世界的“超级显微镜”

。燕山南麓，雁栖湖畔，一座银灰色的巨型环形装置——高能同步辐射光源静卧在连绵群山间。从空中俯瞰，它如同一个架在大地上的放大镜。

日前，科技日报记者跟随中国科学院高能物理研究所科研人员，来到北京怀柔科学城，探秘这台被誉为“超级显微镜”的国家重大科技基础设施。

“这是我国首台高能量同步辐射光源，也是亚洲首个第四代同步辐射光源。”进入实验大厅，高能同步辐射光源工程总指挥、中国科学院高能物理研究所研究员潘卫民热情地介绍，它的建成，标志着我国在同步辐射光源领域实现了从第三代到第四代的代际跨越。



高能同步辐射光源航拍图。（中国科学院高能物理研究所供图）

“亮度可达太阳光1万亿倍”

“高能同步辐射光源能干啥？它是怎么工作的？”

面对记者的提问，潘卫民形象地比喻道：“它就像科学家手中的大号‘显微镜’，能够帮助我们看清实验样品，解析物质的微观结构及其演变过程。”

比如，它能看清金属材料在极端条件下的原子排列变化，帮助科学家设计出更坚硬的合金；也能检查芯片里比头发丝细千倍的电路有没有瑕疵，保障手机电脑运转更高效。

在高能同步辐射光源的储存环里，电子以接近光速飞驰，当经过弯转磁铁时，会沿着轨道切线方向释放出极其明亮的同步辐射光。这些光被引到光束线站，就能像探照灯一样“照亮”实验样品，让科研人员看清微观世界的秘密。

“这个过程就像下雨天我们快速转动雨伞，沿伞边切线方向，会飞出一簇簇水珠。光源的加速器就好比这把雨伞，飞出的水珠就是X光，也就是我们所说的同步辐射光。”潘卫民说，这种同步辐射光，能覆盖从太赫兹、红外线到硬X射线的宽广波段，脉冲宽度仅为纳秒甚至皮秒量级。

其实，我国此前已经建成多台同步辐射装置，比如北京同步辐射装置、合肥光源、上海光源等。“为什么还要建设这台高能同步辐射光源？它与其他同步辐射装置有什么不同？”记者追问道。

---

“该装置定位为高能量光源，全面实现同步辐射光源的代际跨越。”潘卫民解释，与第三代相比，第四代同步辐射光源看样品更清晰的同时，所用时间也更短。“高能同步辐射光源的能量很高，电子束流能量达到60亿电子伏特，可以发射300千电子伏特及以上的X光，能看清更厚重的样品；同时，它的亮度可达太阳光1万亿倍，能够捕捉百亿分之一秒的分子运动。”潘卫民说。

“这台装置并非对原有设施的简单替代。”高能同步辐射光源工程常务副总指挥、中国科学院高能物理研究所研究员董宇辉说，“这些同步辐射光源各有所长、互补共存，共同构成了我国同步辐射光源的完整体系。”

“核心设备国产化率超95%”

说话间，记者随科研人员穿过重重屏蔽门，来到储存环加速器隧道。眼前整齐排列的磁铁、高频腔和真空室，如同一条精密的金属巨龙蜿蜒伸展。

“这里就是高能同步辐射光源的‘心脏’。它周长1.36公里，环内占地面积堪比20个足球场。”董宇辉指着装置结构图介绍，“被加速到60亿电子伏特的高能电子束，就在这个环里以近光速运行，发射同步辐射光，为光束线站提供光源。”

储存环中，1776块磁铁精密排列，引导着电子束的运行轨迹。电子束绕环一圈仅需4.5微秒，相当于一秒内要飞驰20多万圈。在这极速的往复中，任何微小的偏差，都会导致电子撞上管壁而瞬间丢失。

为了让电子束跑得更稳、产生的光更亮，项目团队攻克了一系列世界级技术难题。比如，他们在国际上首创并采用回注型在轴置换注入方案，实现单束团高电荷量稳定运行，并创新采用48周期混合七弯铁消色散磁聚焦结构。“通过增加弯转磁铁的数量并优化布局，我们将电子束的自然发射度降低至60皮米·弧度以内。”董宇辉说。

“皮米是电子束横向粗细尺寸，弧度是电子束运行时发散角度，二者相乘的数值越小，说明电子束在高速飞奔时越聚拢、发散越少。该数值意味着，电子在飞奔过程中始终能保持紧凑的‘队形’，发散程度仅有几微米。”董宇辉补充道，这让装置能够清晰捕捉微观世界里原子、分子的精细结构与超快运动。

同时，团队还攻克了多项关键核心技术，实现了多个核心设备的国产化。比如，小孔径磁铁技术将磁铁孔径缩小到25毫米左右，使得磁场梯度达到第三代光源的4倍，从而实现对电子束的更精准控制；真空室内壁镀膜技术解决了狭小空间内的真空维持难题；自主研发的芒果型扭摆器、四阵列AK型波荡器等插入件技术，实现了国际上视场面积最大、高相干等更高品质X射线稳定输出。

“得益于全面推进自主创新，高能同步辐射光源核心设备国产化率超95%，综合性能达到国际同类装置领先水平，光源亮度比第三代装置高出近百倍，能够源源不断地产生高品质的X射线。”董宇辉说。

“试用效果远超预期”

走出储存环隧道，记者来到高能同步辐射光源硬X射线成像线站控制室。刚一进门，电脑屏幕上猕猴脑神经元连接网络的大视场介观三维图便映入眼帘。

---

“这是我们线站正在进行的猕猴脑样品成像实验。”中国科学院高能物理研究所研究员黎刚介绍，硬X射线成像线站能产生高相干的高能X射线，具备强穿透、高灵敏、大视场、高分辨的成像能力，将推动航空航天材料研究、全脑介观3D成像等前沿领域发展。

作为这台高能光源的特色线站之一，硬X射线成像线站只是“大家庭”的一员。高能同步辐射光源首期建成了14条用户光束线站和1条测试线站。这些线站能为工程材料、芯片微电子、生物医学等领域的研发提供关键支撑。

2025年10月29日，高能同步辐射光源通过中国科学院组织的工艺验收，之后开展了数轮用户试用课题征集。目前，该装置采取“用户试用实验+性能优化”交替运行模式，研究内容涵盖航空航天器件缺陷和疲劳评估、动力电池充放电原位研究、3D打印超快过程、脑及器官成像、半导体检测等前沿领域。

在航空航天领域，该装置通过高穿透能力，更深层次表征航空航天器件缺陷探测，助力航空航天安全；在生命科学领域，通过表征灵长类动物脑部神经网络，推动脑科学研究的发展；在新能源领域，通过高时空分辨原位表征动力电池充放电过程，助力开发高性能电池。

“用户反馈试用效果远超预期，有些此前在其他光源上无法看清的样品，如今在高能同步辐射光源上能够清晰分辨。”黎刚说，目前，项目团队在推进装置达标验收的基础上，正积极对接科研院所和龙头企业的重大需求，力争早出成果、多出成果、出大成果。

面向未来，高能同步辐射光源还将持续迭代，向着更低发射度、更短脉冲、更高亮度迈进。“我们已启动后续线站建设的规划，计划新增多条光束线站及配套加速器设备，进一步提升用户服务能力。”潘卫民透露，下一代光源有望将束流发射度降低至衍射极限，真正实现“看见每一个原子”。

作者：陆成宽 来源：科技日报

更多科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发