

我国自主研制的首台第三代同步辐射装置上海光源

「鹦鹉螺」里照见微观世界

本报记者 黄晓慧

R瞰前沿·大国重器

核心阅读

作为科研利器，我国自主研制的首台第三代同步辐射装置，上海光源服务了众多科研团队、产出了大量的前沿成果。

实验站里，同步辐射光让微观世界“纤毫毕现”，在生命科学、凝聚态物理、材料科学、能源与环境科学等多个学科前沿基础研究和高新技术研发领域产生了一批具有国际影响力的研究成果，也照亮了众多科学家的科研之路。

蓝天白云下，外观酷似“鹦鹉螺”的银白色建筑矗立。这是上海光源，既是张江科学城的地标，也是起点。

作为科研利器，上海光源是我国自主研制的第一台第三代同步辐射装置。2009年开放至今，近800家单位、4.5万用户借助上海光源的科研慧眼，探究物质的微观世界。

在上海光源，总能听到科研服务团队报

这束光，让物质“纤毫毕现”

方位——“我现在在环上”。环在哪里？走进“鹦鹉螺”壳内，站在实验大厅，犹如置身四壁回声的螺旋，映入眼帘的是大厅里一个硕大的环形装置，像一只蜷成圈的蜈蚣，装置外侧分布着一个个用户实验站，就像蜈蚣的脚。这就是科研人员口中的“环”，其实是同步辐射光源的核心部件电子储能环，又名环形加速器，里面大约有2.2万亿个电子昼夜不停地高速旋转。环形加速器的性能优劣，直接决定同步辐射光源性能的优劣。

“在这个周长432米的环形加速器中，能量为35亿电子伏特的电子束以接近光的速度飞行，在拐弯时放射出高强度电磁波。这些电磁波经过‘条分缕析’，形成不同波长的、高品质的同步辐射光，波段从远红外到硬X射线，传送到实验站的待测样品上。”上海光源科学中心主任、中国工程院院士赵振堂说。

在实验站里，同步辐射光照射在细胞、生物体、物理和化工材料等实验样品时，会产生衍射、散射、折射、吸收等现象，引起样品的激发、电离和碎裂等，科学仪器同步记录下它们的各种反应信息或变化，经处理后以一条条曲线、一幅幅图像呈现。科研人员聚精会神，等待着那一串串揭示自然奥秘的密码。

多亮的光才能让微观世界“纤毫毕现”？医院里使用的X光能拍摄出肉眼看不见的器官和组织，而上海光源同步辐射装置释放的光，亮度是普通X光的百亿倍、千亿倍，使人们能够在原子和分子尺度上观察物质。比如大自然中结构未知的蛋白质多达数十万种，同步辐射光能让实验测量蛋白质结构的时间，从过去的按天算缩短到数小时、几分钟。“鹦鹉螺”就像一台多用户的“超级显微镜”，病毒的结构、古生物化石的演变、飞机发动机叶片金属疲劳测试、化妆品效果分析，都逃不过它的“火眼金睛”。

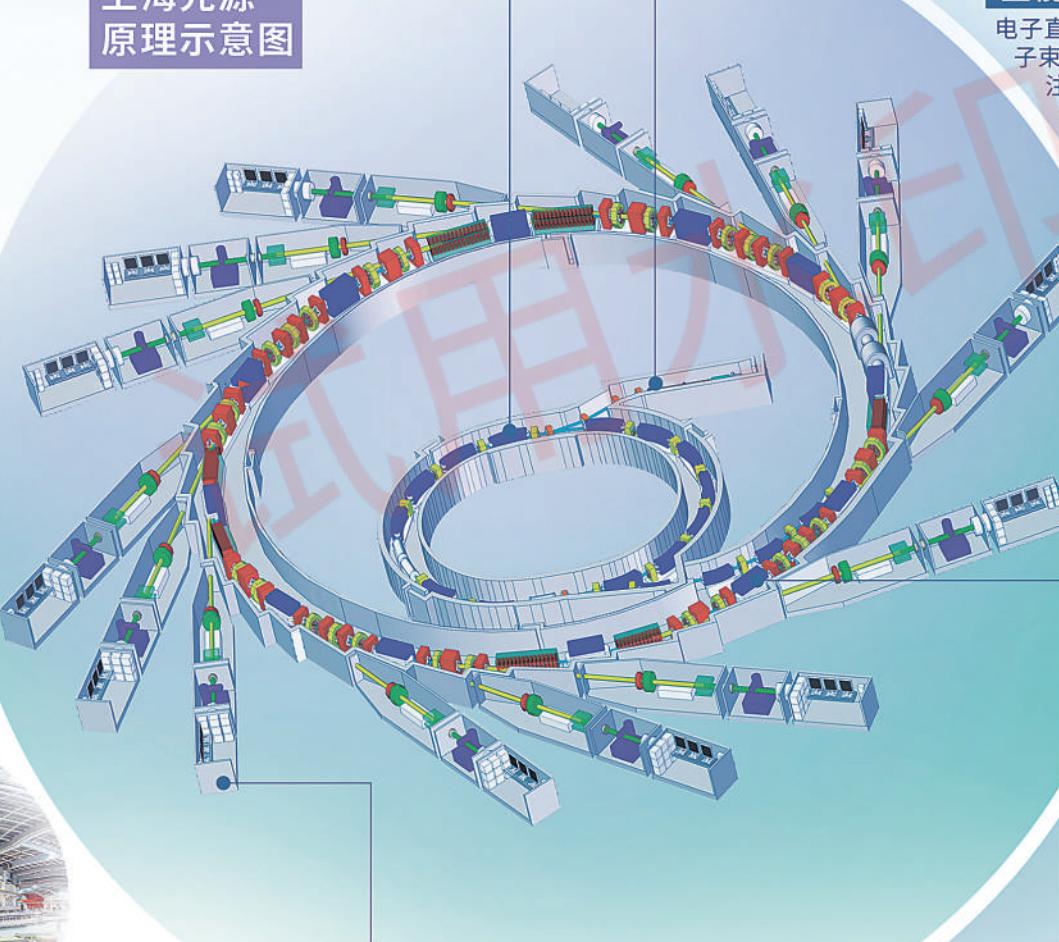
在“鹦鹉螺”的“光速”助攻下，上海光源用户有“氢气低温制备和存储”和“二氧化碳人工合成葡萄糖和脂肪酸”等15项成果入选“中国科学十大进展”“中国十大科技进展”，还有入选国际学术期刊《科学》“十大科学突破”、美国化学会“十大科研成果”、欧洲《物理世界》“十大科学突破”等跻身国际一流的标志性成果。

2009年开放运行时，上海光源只有7条光束线、不到10个实验站，如今已经延展出34条光束线、46个实验站。尽管“鹦鹉螺”已是世界上最繁忙的大科学装置，每年开机时长达7000个小时，其中实验供光约为5500小时，但也仅能满足1/4的机时申请。



上海光源用户大厅

上海光源原理示意图



光束线和实验站

通过特定的精密光学系统，按科研需要筛选和处理同步辐射光，输送到实验站

全能量注入器

电子直线加速器加速电子束，经低能输运线注入增强器，提高电子束能量，经高能输运线注入电子储存环



直线加速器全景



增强器隧道

电子储存环

用以储存3.5GeV电子束并发出高品质的同步辐射光



电子储存环

资料来源：中国科学院上海高等研究院

粒子世界里的“追光人”

从2004年底动工开建，到如今成为我国用户最多、用户产出成果最多的大科学装置，上海光源凝聚着我国几代科学家的心血。

早在1993年，方守贤、丁大钊、沈鼎昌3位院士根据国际发展趋势和我国科学的研究需求，提出建设第三代同步辐射光源的建议，并很快得到了中国科学院和上海市的支持。历经10年立项和52个月紧张建设，上海光源以世界同类装置最少的投资和最快的建设速度，成为当时国际上性能指标领先的第三代同步辐射光源之一，是我国大科学装置建设的一个成功范例。

那时的上海张衡路周边还是农田，中国科学院从高能

物理所、中国科技大学等单位抽调骨干，组建了一支约140人的预研队伍。中国科学院高能物理所加速器物理学家陈森玉院士任上海光源工程总顾问，负责组建上海同步辐射光源工程研制队伍，现任上海光源科学中心主任赵振堂也在这批援建骨干之中。他们通过不断研究掌握了建设第三代同步辐射装置的重大关键技术，成功研制出重要部件的样机等，为建设上海光源奠定了坚实基础。

上海光源2004年12月正式破土动工，2006年主体建筑结构封顶，2007年2月完成全部建设任务，2007年12月储存环成功实现束流储存并出光……提到首次“出光”的场景，许多上海光源的科研人员仍历历在目，在场的所有人都聚集在中控室欢呼，我国自此拥有了自主研发的第三代同步辐射光源。

“业界有个说法，光源建成之时就是改造启动之日，‘追光之路’永不止步。”赵振堂说。这些年，上海光源不断改进、迭代、拓展，从学习者跃升为可以和国际同行坐在一起探讨的分享者。建设中国的先进光源、支撑国家科技发展，是我国几代科学家锲而不舍的追求。

通过上海光源线站工程的建设，项目团队攻克了一系列核心关键技术，研制了一批具有国际一流水平的关键设备，建成了一批关键性能指标位居国际前列或独有的光束线站，使得上海光源的实验研究能力实现了跨越式提升。

建好仅是开始，用好才是关键。上海光源第一批用户包信和院士团队，利用上海光源同步辐射X射线吸收(XAFS)原位分析技术优势，产出“纳米限域催化”领域一系列重磅成果，并获得2020年度国

家自然科学奖一等奖；中国科学院物理所丁洪团队，利用上海光源在国际上首次发现了外尔费米子……运行开放16年来，上海光源围绕科学前沿、国家重大需求与产业核心问题支撑用户开展创新研究，提供了一个跨学科、综合性、多功能的大科学研究平台，在生命科学、凝聚态物理、材料科学、化学、能源与环境科学等多个学科前沿基础研究和高新技术研发领域产生了一批具有国际影响力的研究成果，照亮了众多科学家的科研之路。

“2016年前，张江只有上海光源一个大科学装置，目前上海已建、在建和规划的设施已达20个，我们从一个追赶者变成了局部领跑者。未来，张江科学城的光子科学设施将构成一个集群，建成世界三大光子科学中心之一。”中国科学院院士李儒新说。

