

编者按 在党的坚强领导下,我国科技事业栉风沐雨、砥砺前行,取得了举世瞩目的成就。“嫦娥”“北斗”等“国之重器”纷纷亮相;量子信息、移动通信等前沿领域实现重大突破;杂交水稻、高速铁路等高新技术惠及社会民生改善……诸多领域涌现出标志性原创成果,科技与经济深度融合,支撑引领高质量发展。在中国共产党迎来百年华诞之际,本报推出“奋斗百年路 启航新征程·大国重器”系列专版,回顾一代代科技工作者艰苦奋斗、勇攀高峰的创新故事,展现科技领域取得的标志性成就和宝贵经验。从新的历史起点再出发,我国科技事业定能乘势而上,书写更加恢弘的科技自立自强新篇章。

上海同步辐射光源：十二年光辉熠熠，大装置衍射小世界



视觉中国供图

◎侯树文 本报记者 王春

坐落于上海张江科学城,外形酷似鹦鹉螺的上海同步辐射光源(以下简称上海光源),历时11年预研优化,5年技术攻关建设,如今已稳定高效运行了12年。

从亿年前的琥珀古鸟羽毛结构,到埃博拉病毒入侵机制、新冠病毒蛋白质结构,再到外尔费米子世界重大物理实验发现,上海光源为科学家探索微观世界照亮前行之路。12年来,上海光源不仅支撑产出了大批学科前沿研究成果,而且在国家战略需求与重大应用方面发挥着越来越重要的作用。

作为我国第三代同步辐射光源,上海光源的建设以及稳定运行凝聚了几代科学家对我国粒子加速器建设跻身世界先进行列的梦想,体现了我国基础科研领域面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康的重要历史使命。

艰难起步,我国粒子加速器从跟随到赶超

上世纪80年代,北京正负电子对撞机、合肥同步辐射装置、兰州重离子加速器工程的建设奠定了我国建造大型粒子加速器的基础。1993年,世界上第一台第三代同步辐射光源开始用户实验。

方守贤、丁大钊和洗鼎昌三位院士敏锐地意识到光源大科学装置在未来国家基础科研中即将发挥的重要作用,于1993年11月向国家提出“在我国建设第三代同步辐射光源”的建议。1995年3月,中国科学院和上海市决定共同向国家建议,由国家和地方联合出资在上海建设我国第三代同步辐射光源。

作为国之重器,大科学装置耗资不菲,而且难以在短时期内看到实际经济效益。在上海光源项目预研阶段,国家层面的决策也十分慎重。2001年,团队成员完成了预研研究,上海光源项目却没有成功立项。

此时,国际上第三代同步辐射装置处于快速发展阶段。“我们充分利用这段时间,将世界上加速器、光束线等领域新发展的先进技术和设计思想及时融入优化设计方案。到了真正建设的时候,上海光源的设计性能得到了新的提升,保证了建成时步入世界先进行列并达到一流水平。”中国科学院上海高等研究院党委书记、副院长,中国工程院院士赵振堂表示。20多年来,他参与了上海光源的预研、建设、开放运行和二期工程建设。

“老一辈科学家及中科院、上海政府领导非常坚定,因为国家的创新发展需要这样的关键大科学装置,他们鼓励我们要对未来充满信心。”赵振堂回忆,他的博士后工作合作

导师方守贤院士也多次鼓励他坚定信心。2004年11月,国务院常务会议终于批准了上海光源工程建议书,该工程于同年12月正式动工。

填补空白,大科学装置前沿技术集成攻关

2001年完成预研,2004年破土动工,2009年开放运行……上海光源工程的不同阶段,赵振堂的团队面临着不同的难题:最先直面的是在投入和经验积累都不足的情况下,如何建成一座世界一流水平的同步辐射光源。其次是有了光源后,作为公共性平台设施,能不能保证国际先进水平的运行性能。

在工程预研阶段,根据国际第三代同步辐射装置的技术特点,工程指挥部主持研制了41项单元技术,其中22项为国内首次研制,有26项设备的技术指标达到国际先进水平。随后,科研人员又开展了物理方案优化和100MeV直线加速器研制等设计和预研工作。

据介绍,上海光源由一台150MeV的直线加速器、全能量增强器和一台3.5GeV电子储存环组成,其中储存环周长432米,直径超过160米。这样一个大型粒子加速器是集高科技、多专业、多门类的综合性复杂系统,需要把世界先进技术设备有机结合,这势必会带来集成创新难度。

“最困难的地方,是要尽可能把先进的设计思想和技术融入设施建设方案中,还要对先进技术方案的性价比方面进行综合取舍,掌握装置所需加工周期、材料和制造费用,使其在可控的时间、经费内完成。”赵振堂说。

第三代同步辐射光源的特点是光束高亮度,而且光的位置和发射角要高稳定,光斑的抖动要控制在零点几个微米的水平上,这必须综合考虑设施的地基、支撑、冷却水温度、隧道温度和冷却水温度稳定性、环境振源以及周边交通等各种因素带来的振动影响。

为保证装置性能处于世界领先水平,上海光源团队进行了长期技术攻关探索。例如,不断进行低发射度的储存环优化设计,分析研判各种设备性能要达到的技术指标,同时还要进行关键核心元器件的技术研发。波荡器是第三代同步辐射光源及自由电子激光的关键设备,束流要通过波荡器内部交替排列的磁块才能发出高光度的光。上海光源建设期间不仅自主研发成功了椭圆极化波荡器,而且还攻克了真空波荡器难关,这些工作均填补了国内空白。

团队不断开展高强度技术攻关,在我国首次研制出一台满足第三代同步辐射光源要求的波荡器、双椭圆极化波荡器、特种电子轨迹椭圆极化波荡器、多种自由电子激光波

荡器等,使得我国加速器光源的波荡器技术处于国际先进水平。

引领未来,凝聚和培养青年科技力量

2009年5月6日,刚刚竣工的上海光源迎来了第一批用户,首批用户包括中科院长春应用化学研究所、上海交通大学、中科院高能物理研究所等单位的近20位用户。

“用户的问题始终是伴随上海光源建设运行的最大问题。”令赵振堂难以忘怀的是上海光源运行开放后面临的三大挑战:上海光源能否长期稳定可靠运行,运行性能处于什么水平?是否有足够的用户,用户分布是否合理?可否产出足够多的成果,成果水平和影响力如何?

让赵振堂和他的团队深受鼓舞的是,上海光源开放运行一年后,光源用户第一篇《科学》文章就发表了。开放运行12年后,上海光源用户在《科学》《自然》《细胞》三大国际顶级刊物上发表的论文达到130篇。

如今,上海光源已经成为科学家聚焦基础前沿领域、解决重大科学问题的重要支撑,更成为上海建设具有全球影响力科创中心的一张靓丽名片。上海光源的定位也从自身建设运行、性能提升,转变为科学家解决科学问题的科学研究高地。

上海光源的稳定高效运行与科研产出,让人们看到了大科学装置对科技成果的促进作用。随着国家对基础科学原创成果的重视,张江科学城迎来了建造大科学装置集群的高潮。在上海光源的周围,上海软X射线自由电子激光装置、上海硬X射线自由电子激光装置等大科学装置集群形成了具有重要国际影响力的光子科学中心。

可喜的是,一批活跃在世界前沿科学领域的青年科学家正在向这里集聚,上海光源正在成为凝聚和培养科学家人才的摇篮。

目前,上海光源线站工程正在加紧进行,预计到2025年,上海光源将有35条光束线约50个实验站投入运行。与此同时,世界范围内同步辐射光源大科学装置建设依然势头不减,第四代同步辐射光源已经开启。面对新的机遇挑战,赵振堂表示:“下一个十年将是上海光源黄金运行开放时段,上海光源将持续产出重大成果,培养同步辐射骨干人才,研究新原理研发新技术,发展新一代同步辐射光源。”



扫一扫
探秘占地300亩的“超级显微镜”

赵振堂：世界光子研究中心是“鹦鹉螺”的目标

亲历者说

◎侯树文 本报记者 王春

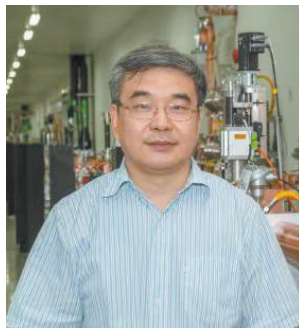
“中国的科技发展是经过几代科学家矢志不渝努力所取得的结果,上海光源就是一个例证。”坐在上海光源2楼中央控制室里接受我们采访的,是中国科学院上海高等研究院党委书记、副院长,中国工程院院士赵振堂。他刚刚进入耳顺之年,头发有些花白。

1998年,赵振堂被调任参与上海光源的建设。他和上海光源团队充分利用这段宝贵时间,将世界最新发展起来的先进技术和新思想融入进来并不断优化了设计方案。

自1998年参与上海光源的建设至今,20多年来,他被无数次问起上海光源预研、动工、建设等各个关键节点的种种细节。2004年12月25日,上海光源正式破土动工;2009年5月6日,上海光源建成并正式对用户开放;2014年10月,上海光源“梦之线”通过验收;2016年11月,上海光源二期工程开工建设……20多年来,上海光源的每一个重要时间节点他都历历在目。

目前,上海光源已运行20条光束线,26个实验站,正在建设中的还有15条束线,30个实验站,其应用范围涵盖了物理、化学、生物、材料、能源、环境、医学等多学科的基础研究、应用基础研究及产业研究。如今的“鹦鹉螺”更兼具了科技地标的象征符号,成为上海原始创新策源的一张靓丽“名片”。

“上海光源的工作重心由大科学装置的建设运行和性能提升,正向不断提升实验能力、多出重大成果转变。”赵振堂说,上海光源通过科学评审课题申请,聚焦国家重大需求和世界科技前沿,组织用户专家组遴选和评估实验的优先级,创新和发展各种试验方法,光源团队与用户科学家共同孕育科研成果,同时为国家培育、凝聚了一批青年科研人才,其目标是成为世界光子科学研究中心。



受访者供图

10年解析3598个蛋白质结构 上海光源技压百余国际“同行”

数说成果

◎侯树文 本报记者 王春

在上海光源运行开放前的十几年间,国内装置解析的蛋白质晶体结构只有99个,上海光源运行开放十年后,通过L17U解析的蛋白质晶体结构数达到了3598个,成为全球130个同类线站中每年解析蛋白结构最多的线站。

自2009年5月开放运行以来,12年间,上海光源每年供光约5500小时,用户发表的期刊论文超过5000篇,其中在《科学》《自然》《细胞》三大国际顶级刊物上发表论文130篇;用户人数超过3万,为用户提供机时超过45万小时;在结构生物学、凝聚态物理、化学、材料科学、环境和医学等学科领域取得重要研究成果,其中已有9项入选中国科学十大进展,5项入选中国十大科技进展新闻。

在结构生物学领域,上海光源一经投入使用即改变了我国结构生物学家以往主要依赖国外同步辐射装置开展前沿领域研究的局面,支撑用户在与禽流感、埃博拉、寨卡等流行病毒相关的蛋白质结构与功能研究中取得了一批具有国际影响的重要成果。

上海光源生物大分子晶体学光束站是这里的明星线站,在这条线站诞生的多项成果中就包括新冠病毒关键蛋白结构解析、老药晶体筛选和病毒抗体研究。

新冠病毒感染入侵人体细胞的过程中,最关键的步骤是通过其S蛋白与人受体血管紧张素转化酶ACE2蛋白的结合来完成的。科研人员利用上海光源生物大分子晶体学光束站解析了新冠病毒S蛋白受体结合区与人受体ACE2复合物结构,从而通过分子层面的相互作用揭示了该病毒的入侵机制。科研人员同样利用上海光源生物大分子晶体学光束站解析了新冠病毒主蛋白酶Mpro的高分辨率晶体结构,并开展了基于该结构的药物筛选。

目前已有70家企业利用上海光源进行技术开发,涉及行业包括制药、能源、日化、技术鉴定等。

在化工、冶金、汽车等产业领域,中国石化公司、上海宝钢集团、上汽集团等国内龙头企业借助上海光源平台开发新技术与新产品。突出的应用成果如高性能铜合金压铸凝固过程电磁调控技术已应用于京沪高铁接触线制造。

上海光源还长期支撑原子催化研究,为乙烯多相钨甲酰化及其加氢生产正醇技术装置投运可行性提供了有力的理论依据;助力高性能纤维加工过程中微观结构演变规律的研究,从而为优化生产工艺提供科学依据;支持全球首条单层氧化石墨烯生产线的建成,产品达到纺织精度级,单层率大于99%,质量及单层率为全球最高级别。