打印

中国科学院 CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

【科技日报】兰州重离子加速器：探秘宇宙惠及民生的“巨龙”

2021-06-07 来源：科技日报 刘垠



兰州重离子加速器冷却储存环（CSR）主环隧道南侧一角

近日，我国首台自主知识产权碳离子治疗系统投入临床应用迎来“周岁”，兰州重离子加速器治癌也亮出了成绩单：300多名患者在甘肃武威重离子中心接受治疗，治疗结束的患者疗效显著,耐受性良好。

“兰州重离子研究装置是目前亚洲能量最高、国内唯一的中低能重离子加速器。但这一大国重器从基础研究走向民生应用，整整用了28年。”中国科学院院士、中国科学院近代物理研究所（以下简称近代物理所）党委书记赵红卫说，这些重大科研成果的取得，离不开65年来几代科学家的接力建设。

“如果把科研人员比作匠人，兰州重离子加速器提供的束流就是我们手中的‘金刚钻’。”近代物理所核物理中心首席科学家张玉虎研究员说，随着重离子加速器的不断“进化”，科学家们可以源源不断地产出重离子治癌装置、精确测量短寿命原子核质量、合成新核素、培育更优品种的农作物等系列成果。

“我们一定能建成自己的回旋加速器”

如果将重离子加速器比作一条巨龙，电子回旋共振离子源是龙头即是发射炮弹的地方，1.7米扇聚焦回旋加速器、大型分离扇回旋加速器、冷却储存环主环和实验环、放射性束流线共同组成了绵延的龙身，各种实验终端应用则是灵活的龙尾。

走进兰州重离子加速器国家实验室，偌大的展厅中，中国重离子事业奠基人杨澄中院士的雕像居中伫立。对于近代物理所人来说，他们更愿意尊称杨澄中为“杨先生”。

“‘一五’期间，以杨澄中先生为代表的一批科学家，从北京中关村来到条件非常艰苦的兰州，怀着笃定的信念和创新开拓的决心，建设1.5米回旋加速器。”赵红卫告诉科技日报记者，彼时经历了三年自然灾害以及苏联政府毁合同、撤专家的困境。

正是杨澄中带领全体工程技术人员，自力更生、攻坚克难，终于在1964年5月，1.5米回旋加速器正式运转，供科学研究使用，为我国原子核物理研究创造了重要的实验条件。

为使中国重离子物理研究尽快走向国际核物理研究前沿，1972年，时任研究所所长杨澄中等人提出，在兰州建造一台大型分离扇重离子回旋加速器(SSC)。

“当时国际上重离子物理研究才刚起步，老一辈科学家的前瞻思维和战略眼光为此后发展打开了全新的视角。”赵红卫说。

时光的脚步来到“七五”，后来成为中科院院士、近代物理所所长的魏宝文，追随老师杨澄中的脚步投身重离子加速器研制中。

在一穷二白的基础上搞研究，难度可想而知。1975年底，加速器建造方案讨论会召开，魏宝文根据研究结果抛出了令人振奋的结论：“理论基础是可靠的，我们一定能建成自己的回旋加速器。”

1976年11月，原国家计委批准兰州重离子加速器的建造计划。历经十二载寒暑，老、中、青三代人的努力，终于在1988年岁末建成了我国第一台大型重离子加速器。遗憾的是，杨澄中没有等到这一刻。

兰州重离子加速器的成功出束，宣告中国建成了继法国、日本之后的第三台大型重离子回旋加速器。1992年，这一重大成果摘得国家科技进步奖一等奖。作为目前国际上运行的三大常温重离子回旋加速器之一，兰州重离子加速器至今已运行30年。

“到了上世纪90年代中期，魏宝文老师提出在兰州重离子加速器上续建冷却存储环的设想。”身为学生的赵红卫说，老师当时并没有十足把握，只是意识到必须让重离子加速再往前走一步，提高束流强度和能量，拓展束流品种。

于是，魏宝文带领三个研究生，包括后来成为院士的夏佳文、赵红卫等做预研，并证明了项目的可行性。2000年，兰州重离子加速器冷却储存环（CSR）建设被列为国家“九五”大科学工程之一。

时任所长，后来成为中科院院士、中科院副院长的詹文龙担任工程经理，从魏宝文手中接过棒，带领一批优秀的年轻人，开启了十年的接续奋斗。

2008年，兰州重离子加速器冷却储存环建成并投入运行，它实现了从氢到铀的全离子加速，完成了从低中能向高能的跨越，成为世界级的大型核物理实验装置、国际一流的重离子科研平台。

令人振奋的是，兰州重离子加速器冷却储存环能让上亿个重离子同步运行，自主研制率逾90%。

敲开原子核，探寻宇宙奥秘

历经“1.5米经典回旋加速器”“兰州重离子研究装置”和“兰州重离子加速器冷却储存环”三代国家大科学工程建设，兰州重离子研究装置在国内外声名鹊起，也培养了一批本领过硬、潜心科研的人才。

人类探索星空的脚步从未停歇，好奇心驱使着人类一次次仰望星空，一步步接近宇宙和科学的奥义。然而，我们对浩瀚的宇宙还知之甚浅，比如，比铁更重（包括铁在内）的元素的起源、产生的途径缺乏科学数据的支撑，所以，宇宙天体演化形成过程虽然绚烂，但却扑朔迷离，依然存在大量未知。

“科学家要拿极低截面——发生概率很低的实验数据去解释一些国际前沿科学问题，这就要发展更先进的实验技术和探测方法。”近代物理所加速器技术中心副主任孙良亭研究员解释说，为拿到更多的有用数据、提高实验精度与效率，发展高流强、高电荷态的重离子离子源迫在眉睫。

于是，近代物理所在2005年成功研制了国际上最先进的第三代超导高电荷态电子回旋共振（ECR）离子源装置。如今，在老师赵红卫院士的带领下，孙良亭正和所在团队攻关研发世界首台45GHz（吉赫）基于铌三锡超导磁体的高电荷态ECR离子源。

制造出新的原子核并精确测出质量，是科学家们的不懈追求和梦想，原子核的质量数据对核天体物理具有重要的应用价值。

“以钴-51为例，2万亿亿个钴-51比一粒小米还轻，寿命只有100毫秒。”张玉虎说，“眨一下眼睛的功夫，这个原子核已经死亡10次了。”

2009年起，近代物理所科研人员利用兰州重离子加速器冷却储存环，制造出了可以测量短寿命原子核质量的“秤”——等时性质量谱仪，其精确度可达10-7。

“10-7量级的精度，相当于在一架空客A380上可分辨出一个U盘的质量。“张玉虎笑着说，通过不断的技术和方法创新，当前，近代物理所保持着测量寿命最短和精度最高的世界纪录。

科学家把各种不同的原子核统称为核素。核理论家们预言核素约有8000多个，目前自然界存在的稳定的原子核只有280多种，科学家们利用加速器人工合成3000多种不稳定的放射性核素。

借助重离子加速器装置，近代物理所的科学家们合成研究了32个新核素，它们正逐渐在医学、材料研究、农业等领域得到应用。

加速科技进步，“重”在造福民生

“加速器加速科技进步，重离子重在造福人民。”中国科学院原院长白春礼的题词，陈列在近代物理所学术报告厅。大科学装置的应用要“顶天立地”，这也是几代近代物理所人建设发展重离子加速器的初心。

近年来，兰州重离子加速器在基础研究领域产出丰厚，相关成果应用也是多点开花，如开展航天元器件地面检测和评估工作，成为相关部门指定的检测基地。

“上天的卫星及其所携带的电子设备，不可避免会暴露在充满高能电子、质子和重离子等空间辐射环境中，高能宇宙射线会造成大多数半导体器件出现单粒子效应，严重威胁航天器在轨安全。”近代物理所材料中心主任刘杰研究员说，依托兰州重离子加速器大科学装置，科研人员建造了具有国际一流技术指标单粒子效应地面模拟装置，更好地为中国航天元器件保驾护航。

重离子技术用于治癌，成为基础研究促进科技发展、大科学装置造福社会的典范。1993年以来，近代物理所先后建成多代大型重离子加速器装置，通过先进加速器技术和核探测技术研发、重离子束治疗的相关生物学基础研究以及临床前期试验研究，使中国成为世界上第四个实现重离子束临床治疗的国家。

“国产重离子治疗系统的很多标准都是由我们起草的，从基础研究到技术研发，从产品示范再到临床应用，这个过程是自主创新的生动实践。”全国政协委员、近代物理所产业化总监蔡晓红研究员说。

走进计划于今年底投入运营的兰州重离子医院，占地长80米、宽50米、净高达18米的重离子治疗设备闯入眼帘。

“把重离子从离子源引出来，经过注入器预加速，然后在同步加速器中加速到最高能量——每核子400兆电子伏，它在人体里穿透的射程可达27厘米，能满足不同深度肿瘤的治疗。”蔡晓红介绍，重离子治疗的副作用小，疗程短、疗效好，特别适合于不宜手术、对常规射线不敏感、常规射线治疗后复发的部分实体肿瘤的治疗。

与常规放疗射线相比，重离子在人体中的剂量损失集中于射程末端，在剂量随射程分布曲线末端形成高剂量的布拉格峰。通过调节入射离子的能量和方向，可使布拉格峰精准轰击肿瘤靶区，精度达毫米量级，而对沿途和周围健康组织的损伤最小。

碳离子是适于治疗肿瘤的一种重离子。一年前在甘肃武威投入运营的我国首台自主研制的碳离子治疗系统，从2014年4月开始安装，直至获得国家药品监督管理局批准上市，历时5年多。

“从科研设备到医疗器械产品，完全是两个概念。”作为该项目的全程参与者，蔡晓红深有感触地说。她还通过政协提案的方式，及时反映了重离子技术研发和示范应用过程中急需解决的问题，国家药品监督管理局因此把重离子治疗设备的注册纳入创新医疗器械注册的绿色通道。

谈及重离子治癌未来的发展，蔡晓红的愿望是，让更多肿瘤患者能享受这一新技术带来的福利。同时，通过超导技术的应用，让治疗设备更加小型化、智能化，以减小占地面积、提高治疗效率。

大事记

1963年10月

1.5米回旋加速器安装调整结束

1988年12月

分离扇回旋加速器联调成功，引出能量为每核子50兆电子伏特的碳离子束

1992年10月

兰州重离子加速器获国家科技进步奖一等奖

2008年7月

兰州重离子加速器冷却储存环通过国家验收

2018年12月23日

强流重离子加速器装置HIAF项目开工建设，建设周期7年

2019年12月

自行设计研制的国内首台连续波高电荷态强流重离子直线加速器与分离扇回旋加速器联合调试

2020年3月

我国首台自主知识产权“碳离子治疗系统”在武威投入临床应用

（原载于《科技日报》 2021-06-07 05版）

地址：www.cas.cn
© 1996 - 2026 中国科学院