

科技自立自强之路

“杨主任，我现在能正常饮食，下地行走也没问题，身体感觉很好，感谢你们。今天，我终于可以安心出院了。”在甘肃省武威重离子中心，69岁的黄大爷正在向副主任医师杨乾滋描述自己的状态。

黄大爷患有晚期肺癌，因肺部肿瘤太大，且紧贴胃脘，手术无法切除。2023年9月28日，经过微创手术置入隔

离子束(纱垫)分开肿瘤和胃脘，再给予一次大剂量重离子治疗，他成功得到救治。

当高速离子在物体中进行停止时释放能量的布拉格峰被发现以来，人类一直在探索利用质子和重离子治疗癌症的可能性。从1946年美国物理学家罗伯特·威尔逊首次提出用质子束治疗肿瘤的想法，到1994年日本千叶建成世界上第

一个重离子治疗中心，一系列进展引发全球高度关注。

在这一领域，中国毫不逊色，自主研发的重离子治疗装置已落户多个城市。这一国之重器不仅展示了我国在重离子治疗领域的领先实力，更代表着癌症治疗技术的巨大飞跃。重离子以其独特的优势，在癌症放射治疗领域独树一帜，被誉为当今最先进、最科学、最有效的疗法之一。

重离子治癌：国之重器点亮生命之光

■本报见习记者 叶满山

2 突破瓶颈，攻克难题

2006年3月1日，我国第一个浅层肿瘤重离子治疗装置通过专家组的鉴定验收。这意味着具备了浅层肿瘤重离子治疗临床试验的条件。

同年11月，研究团队首次利用重离子治疗技术对4例癌症患者进行了前期临床试验。临床试验的顺利开展，使我国成为世界上第四个成功开展重离子临床治疗的国家。

随后一年里，研究团队与医院紧密合作，利用碳离子束对第二批9例患者和第三批14例患者进行了肿瘤治疗。这27例患者涉及12种不同癌症类型，均取得显著疗效。大多数患者的肿瘤完全消失，其余患者的肿瘤有了不同程度的缩小。

更令人欣喜的是，在整个治疗过程中，所有患者未出现任何局部或全身的不良副作用。这一成果充分展示了碳离子放射治疗在多种癌症治疗中的巨大潜力和安全性。2006年至2009年，近代物理所共进行了103例体表肿瘤前期临床试验研究。

2007年1月24日，为推动重离子治癌的研究与应

用，中国科学院兰州分院、近代物理所、相关政府部门、医疗单位，以及国内放疗专家、加速器技术和核物理专家齐聚一堂，共同组建了重离子治癌协调小组。

同时，近代物理所挂牌成立了“甘肃省重离子束治疗肿瘤临床研究中心”，重离子治癌技术研究与应用翻开新的篇章。

2008年7月，兰州重离子加速器冷却储存环通过国家验收。得益于中国科学院部署的重大项目，近代物理所完成了深层治疗实验终端建设，并实现了关键技术的重要突破。

2009年，科研人员决定利用新建的兰州重离子加速器冷却储存环提供的高能碳离子，开展深部肿瘤前期临床试验研究。

“2009年至2013年，一共有110例深部肿瘤患者入组，勇敢地参与了前期临床试验研究。与此同时，我们也紧锣密鼓地进行产业化工作，致力于研发一台真正意义上的医用重离子加速器大型医疗器械。”肖国青说。

4 艰难起步，初具雏形

武威位于甘肃省中部，地处河西走廊东端。它是丝绸之路经济带甘肃段的重要节点城市，也是国家历史文化名城。

然而，2012年武威重离子中心刚开始建设时，还只是一座孤零零矗立在荒漠中的大楼。除了黄沙，四周就是无尽的旷野。在武威城东、腾格里沙漠南缘这片不毛之地，建设者们面临着环境恶劣、经费紧张、团队力量薄弱等诸多挑战。然而，坚韧的他们却像钉子一样，深深扎进这片荒凉的土地，用毅力和智慧克服了一个又一个困难。

他们自创了“三级衰变凉水塔回用”技术，成功实现了放射性污水零排放，解决了次生沙漠地接地电阻严重超标问题，还妥善解决了风沙大、洁净度超标的难题。

对于近代物理所副所长杨建成来说，那段日子刻骨铭心。“最初的工作环境异常艰苦，我们只能挤在泡沫板上勉强休息。”

安装调试重离子治癌装置的团队里有几十位科研人员。调试初期，进展不尽如人意，而装置精度要求很高，每个细节都考验着他们的耐心和智慧。

以磁场精度为例，磁体参数要达到万分之二的均匀度，而当时研究团队只能达到万分之三。离子在加速器中一秒大约跑300万圈，如果精度不符合要求，离子束每一圈都会跑偏，在300万圈之后，离子束就不能击中靶心。

科研人员反复对部件进行调整，经过长达半年的努力，终于达标。团队成员所有的疲惫和煎熬在那一刻都烟消云散。平时并不喜欢拍照的杨建成，当即用照片记录下了这个历史性的突破瞬间。

我国第一台拥有自主知识产权的医用重离子加速器装置正式诞生，科技力量在这片荒凉的土地上生根发芽。

5 布局全国，走向市场

2018年11月6日，医疗团队负责人轻轻按下按钮，首台国产医用重离子加速器装置正式开始治疗第一例患者。

“我们避开了国外设备的技术专利，设计了一套独特的回旋加速器与同步加速器组合结构。这种结构将整个加速器的周长缩短至56米，而同一级别的欧洲医用加速器周长长达75米，日本加速器的周长也有62米。”杨建成告诉记者，细节决定成败，在大型医疗器械建造中更是如此。

2015年12月底，武威重离子治疗装置建成出束。这台装置超过95%的零部件都是国产的，不仅性能、品质与进口设备不相上下，而且价格仅为进口设备的1/3，还省去了每年高昂的维护费用。

2019年9月29日，我国首台具有完全自主知识产权的国产医用重离子加速器装置“碳离子治疗系统”正式获批并投入运营。截至2024年2月24日，武威重离子治疗装置已治疗患者1133例，效果显著。数据显示，46例临床试验受试者的3年局部控制率达到84%。

与进口设备相比，国产重离子治疗设备不仅技术先进、维护费用低、性价比高，还能提供持续的技术升级服务。当下，自主创新的重要性日益凸显。“团队不仅要做出医用重离子加速器，还要做得更好，走在世界前列。”李强说。

如今，医用重离子加速器正在多地如火如荼地建设。福建莆田的项目装置整机调试已达到设计指标，正准备进行设备注册检测；湖北武汉的项目装置主设备已安装完毕，即将开始调试；浙江杭州的项目装置主设备也已经入场安装。

重离子治疗对许多实体肿瘤都有显著疗效，尤其是那些不宜手术、对常规射线不敏感或治疗后复发的肿瘤。随着技术的不断进步和研究的深入，其适应症范围将进一步扩大。

现有的设备数量已远远不能满足我国庞大的癌症患者群体的需求。因此，医用重离子加速器的未来发展方向是小型化、低成本。

杨建成透露，他们正在研发的第二代医用重离子加速器占地面积、耗电量都将大幅减少，价格也会更加便宜。他们的目标是，第二代产品的占地面积仅为第一代的1/3，耗电量减少到1/4，并融入20多项国产关键专利技术。

“下一步，我们可能采用超导方案，将医用重离子加速器缩小到一个几百平方米的房间内。”肖国青期待，未来有更多医院配备重离子加速器，实现设备造价和患者治疗费用“双低”。

李强拥有更远的梦想：“希望我国能成为继日本、德国之后第三个重离子治疗技术研发中心，并在这个领域制定更多国际标准。”

展望未来，他们希望持续攻关重离子治疗核心技术，在国际癌症放射治疗领域扎根根基，行稳致远。

1 从零开始，研发装置

1988年，中国科学院近代物理研究所(以下简称近代物理所)建成了我国第一台大型重离子研究装置——兰州重离子加速器(HIRFL)，不仅为我国中能重离子物理基础研究提供了重要的实验条件，而且标志着我国回旋加速器技术进入国际先进行列。1991年，兰州重离子加速器国家实验室成立。1992年，该装置获得国家科技进步一等奖。

正是利用该装置提供的多种不同种类和不同能量的重离子束流，科研人员完成了许多科学实验，取得了以核素合成和研究为代表的具有国际先进水平的重要成果，也为接下来的重离子治癌奠定了基础。

1993年11月的一天，寒风呼啸，但在近代物理所会议室里，气氛却异常火热，因为一场关于重离子大科学装置未来如何应用的研讨会正在这里举行。针对如何利用大科学装置并激发出它最大价值的问题，每位与会人士都提出了不同的看法。

此时，时任重离子束应用二室主任卫增泉站上了讲台。他的报告题目是《生命科学研究》，其中详细阐述了他关于开展重离子治癌研究的设想。

卫增泉的发言犹如星星之火，瞬间点燃了在场科研人员的热情。他们怀揣着发掘重离子生物学效应巨大潜力的梦想，纷纷提出了开展相关基础研究的构想。

作为卫增泉的学生，近代物理所生物医学中心主任李强仍然记得这项研究最初带来的意义。“我们之所以决心研制重离子治癌装置，是因为重离子在加速器的赋能下，就如同精准的手术刀，能够直击病灶，释放出巨大能量，将癌细胞一举歼灭。”

重离子治癌装置不仅能有效防止癌细胞残留和复发，而且对正常组织的毒副作用较小，能减轻放疗给患者带来的痛苦。因此，重离子治癌被称为国际前沿的放疗技术。

然而，挑战与机遇并存。由于相关国际标准缺失、国内研究基础薄弱，近代物理所的科研人员面临着从零开始、追赶国际研究步伐并实现国产化的艰巨任务。

“那时候，我们虽然知道重离子治癌的巨大潜力，但作为一家科研单位研发大型医疗器械还是头一遭。”近代物理所原所长、医用重离子加速器产业化项目负责人肖国青回忆道。即便困难重重，但为了实现国产技术零的突破，所有科研人员都憋着一股劲儿，誓要啃下这块“硬骨头”。

1995年6月，重离子治癌技术研究项目“核医学和放射治疗中先进技术的基础研究”入选国家攀登计划B，得到了国家和地方的支持与配合。相关部门为研究提供了各种人体肿瘤标本，使近代物理所能够建设配备尖端仪器设备的实验室，全面开展放射生物学、医学物理实验研究以及动物实验。

在前期探索中，一个核心问题是如何根据肿瘤深度与大小精确匹配所需要的能量。这就是一场精准的导弹打击，既要确保能量深入肿瘤，又要避免伤害健康组织。

卫增泉带领科研团队首先探究了不同的肿瘤深度所需要的不同离子束能量。同时，为了解决离子束照射形状须等同于肿瘤形状的问题，他们调整光阑、调制束流，创造出符合肿瘤形状的立体剂量球。由此，人为控制重离子束能量和束流形状的方法诞生了。

经费受限让科研人员只能建造一个用于动物实验的局部屏蔽小室，满足基本实验需求。

“在诸多重离子中，哪种实验效果最好，是碳离子、氮离子还是氩离子？”卫增泉团队选择动物肿瘤细胞作为实验对象，并在兰州大学生物系的支持和配合下，经过多次实验、多次总结、逐步改进，最终发现在所有重离子中碳离子效果最好。

此刻的成功让卫增泉十分激动。这意味着，他在1993年提出的设想终于变为现实，同时也让团队信心倍增。

随后一系列令人振奋的实验结果证实，重离子治疗对人体肿瘤细胞同样有效。这些基础研究为重离子治癌临床研究积累了宝贵的基础数据，为后续治疗技术的研发奠定了坚实基础。



▲医用重离子加速器-同步加速器。袁海波/摄
▶模拟重离子照射肿瘤形状的立体剂量球。近代物理所供图

3 初遇挫折，落地甘肃

2009年3月，近代物理所所长办公室，肖国青心里有些着急。他紧盯着墙上的一幅地图，指着地图上画圈的地方说：“好几年了，现在重离子治癌中心仍未落地，一切计划都还处于纸上谈兵的阶段。”

技术上的信心如何变成现实中的治疗中心呢？肖国青想得很清楚：“近代物理所只是一家研究单位，不可能自己投资建设一个治癌中心，这种事还是要交给企业来做。”

于是，各地闻风而动。厦门、广州、福州等城市不断与近代物理所接触，争建国内首家重离子治癌中心。

“我们的研发基地、加工基地、人才基地都在兰州，从感情上讲，我们更希望这家中心能落户甘肃。”肖国青明白，眼下最重要的事还是将重离子治癌装置市场转化落到实处。不过，一台专用装置造价不菲，有些城市因此打起了退堂鼓。

更何况，科研装置与临床应用的大型医疗器械之间存在鸿沟，不仅需要技术突破及资金与人才双重保障，更需要医疗系统的充分信任。

“大型医疗设备不仅需要得到国家卫生健康主管部

门的配置许可，还需要考量医院资质等多方面因素。同时，这些设备必须获得国家药品监督管理局的医疗器械注册证，才能正式投入临床治疗。为了获得这些许可，我们只能不断探索，走出属于自己的一条路。”李强说。

重离子治疗设备审批要求极为严格，再加上此前并无同等体量的国产医疗器械报批先例，使得从样机调试、设备检测到临床试验、审批注册，每一步都如履薄冰，稍有不慎就可能功亏一篑。

基于多方面原因，没有找到一线城市的大医院做“第一个吃螃蟹的人”。团队成员眼看耗费十几年心血的研究成果无法落地，那种失落和迷茫几乎让人窒息。每个人都在心里默默地问自己：做这件事到底有没有意义？

为了让首台国产医用重离子加速器成功落地，研发团队决定转换思路。

2012年5月2日，投资16亿元的重离子肿瘤治疗中心终于在甘肃省武威市荣华化工工业园区开工建设。这标志着恶性肿瘤治疗中心正式落户甘肃武威，重离子治癌技术研发也从基础研究向民生应用迈出了实质性的一步。



医用重离子加速器研发及产业化团队。袁海波/摄