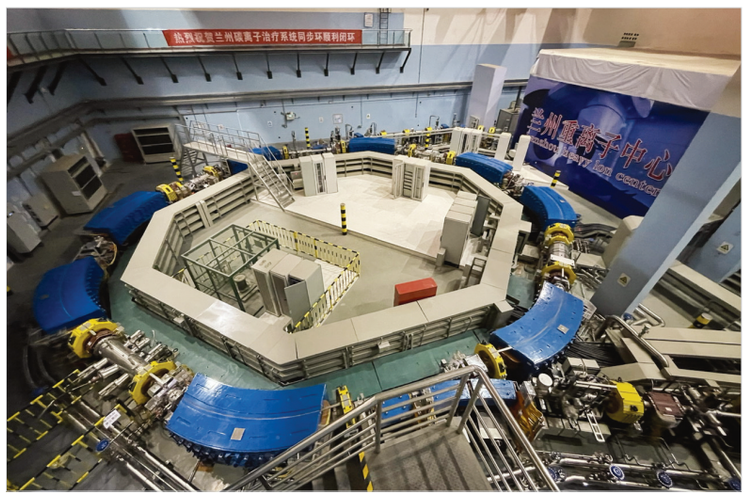
□本报记者 杨金伟

“重器”探秘



坐落在兰州重离子医院内的重离子加速器。 本报记者**张丹**摄

经过多年建设，甘肃省武威肿瘤医院（武威重离子中心）装配了我国首台自主知识产权的重离子治疗系统。整套治疗系统由中国科学院近代物理研究所及其产业化公司研制，由甘肃省武威肿瘤医院负责临床运营。项目的成功完成，实现了世界最大型医疗器械的国产化，使我国成为继美国、德国、日本后，第四个拥有自主研发重离子治疗系统和临床应用能力的国家。

武威肿瘤医院（武威重离子中心）内，我国首台自主知识产权“重离子治疗系统”已经进入临床应用。 本报记者**张丹**摄

庞然大物

由于武威重离子中心的重离子治疗系统正在使用，无法参观，记者只得来到同样拥有重离子治疗系统的兰州重离子医院一探究竟。

兰州重离子医院内的一座三层小楼外观显得平平无奇，但当记者进入小楼后才发现别有洞天。原来，小楼里地上、地下各有三层，重离子加速器正“横躺”在地下。二极磁铁有序地排列在一起，这些钢铁组成的大块头根据自身的功能被排列成一字型或者圆形。走在其中，仿佛穿梭于梅花桩之间。

“我们从源头来看吧。”工作人员看出了记者的惊讶，领着记者来到了一个橙色的“大块头”跟前。重离子的源头正是从这里开始，它使用的原料是甲烷。甲烷含有碳离子，经初步处理剥离掉外圈的电子，形成重离子，随后会进入加速轨道。

那么，重离子又是如何被加速的？记者一边听着工作人员的讲解，一边穿行于各种设备之间，一个个巨大的黄色、蓝色的铁方块被管道所连接，周围充斥着各种线圈和监测设备，冷风机不时呼呼地吹来冷风进行散热。

眼前的蓝色巨块是重达20余吨的二极磁铁，它在电流的作用下产生磁场，让直线穿行的离子“拐弯”，在8块二极磁铁连续偏转下，离子拐成了一个圆形的轨迹，一次次循环被加速，直至加速到光速的70%时才算达标。“离子一秒内要跑300多万圈，每一圈都在加速，所受到的阻力可想而知，因此离子所在的轨道内必须完全真空，让离子加速起来没有阻力，才能够达到预想的速度。”

记者爬上楼梯向下俯视，更加直观地看到了重离子加速器的全貌，重离子加速器宛若一条“巨龙”盘踞在地上，盘踞的“龙身”直径达到20米，周长有50多米。“龙尾”是电子回旋共振离子源，回旋加速器、同步加速器、束流传输线共同组成了绵延的“龙身”，而终端应用则是“龙头”。离子材料甲烷进入“龙尾”后，蜕化为碳离子，再经过“龙身”的不断加速，达到光速的70%后形成离子束流，从“龙头”喷薄而出，进入到各个治疗室，在患者身体上完成重离子放疗。

目前，治疗肿瘤的方式主要有手术、化疗和放疗。射线能够以波或者粒子的形式穿过空间或物质释放能量，人类在医学上运用射线消灭肿瘤已有百年历史，包括伽马射线和X射线的光子放疗、质子射线的质子放疗，还有碳离子的重离子放疗。碳离子直抵病灶后会集中释放能量，从而达到消灭癌细胞的目的。而且，碳离子对癌细胞DNA实施双链断裂的概率更高，更能防止癌细胞的残留和复发。碳离子放射的副作用小，可有效缓解患者放疗的痛楚，因此重离子放疗是目前国际上公认的较先进的放疗方法。

事实上，我国关于重离子加速器的技术研究已有60余年。中科院近代所研究员、国科离子医疗科技有限公司董事长马力祯介绍，从“一五”期间该所建设1.5米回旋加速器为核物理研究夯实基础，到1988年建成我国第一台大型重离子研究装置“兰州重离子加速器”，再到“九五”期间研制出兰州重离子加速器冷却储存环。1993年，科研人员将目光投向重离子治癌，从动物试验到初试人体表层肿瘤，再到人体深层肿瘤。2020年3月，我国首台自主知识产权“重离子治疗系统”在武威重离子中心投入临床应用。

创业维艰

让这条“巨龙”腾飞并非易事，许多人为此付出了心血。

武威重离子中心坐落于距离甘肃省武威市中心约10公里的地方。这里绿柳成荫，还有一些休闲娱乐设施，供肿瘤患者休憩。

时间倒转回2012年，当时呈现在甘肃省武威肿瘤医院院长叶延程眼前的是一片荒漠，周围荒无人烟。项目开建之初，基建成为摆在叶延程面前的第一道难关。

“当时把荒漠变绿洲用了一些土办法，现在回想起来有些可笑。”叶延程说，承载这样一套高科技设备装置，需要充分的辐射防护、高精尖的医疗技术和操作规范流程，国内基本没有可以参考的地方，但可借鉴的资料少之又少。

“项目建设之初，我们就遇到了意想不到的事。”叶延程说，盖一座楼，首先需要打稳地基。复杂的地形就先让所有人大吃了一惊，满眼沙土下面竟埋藏了许多“秘密”。有些地方挖出来全是沙子，而相隔几十米之外，却挖出了一段河床，河床内既有卵石又有淤泥。这样复杂的地质结构会造成机房不均匀沉降，迟早会导致设备使用故障和其他事故。经过广泛求教、反复论证，他们向设计师提出了高密度井桩加1.5米以上厚度筏板的想法，这能够充分发挥地基承载力，不会造成机房地坪倾斜。“在沙漠底下还能看见河滩，感慨沧海桑田变化之余，也给我们出了一道难题。”

难题一道接着一道。虽然楼是能盖了，但常规降阻设计达不到设备使用要求。武威当地干旱地区的平均年降雨量仅200毫米，而蒸发量近2000毫米，次生沙漠地带土地中的电阻严重超标，接地的难题接踵而来，叶延程又犯了愁。某次，他发现工地附近个别村民房子上面安有避雷针，他脑海中灵光一闪，有了主意。

“附近的老百姓既然可以安装避雷针，说明有办法可以将电流引入大地。”打听之下，叶延程了解了其中原委，原来村民利用矿物质导电的原理，用盐巴混入地下的土办法增加土地的电导率，达到引流的作用。叶延程受到启发，采取了加深接地井桩，回填常规降阻剂，加配高盐矿物质土的办法，使得问题迎刃而解。

由于重离子加速器涉及放射性，按照国家环保相关要求，对于系统内部使用过的放射性废水的排放需要检测。但地下没有排水管网，经过无害化处理的水也无处排放。叶延程带领团队自创了“三级衰变、一级沉淀过滤、凉水塔回用”技术，将经过无害化处理的水抽进冷却系统水池循环使用，实现了放射性污水零排放。

“办法都是逼出来的，只要是想干成的事，办法总比困难多，总不能因为一个坎儿就把项目搁浅吧。”8年来，叶延程和协作团队像钉子一样，扎在项目上，克服了许多常人难以想象的困难。

“人才培养是大事，即便资金特别紧张，也要把人送出去深造。”在攻克技术难题的同时，叶延程最看重的是人才培养。项目建设初期，国内尚无重离子放疗的设备，该领域的研究基本处于空白。从2013年开始，一批又一批人员被派往美国、德国、日本等重离子放疗技术成熟的国家。随着上海市质子重离子医院的开诊，人才又被送往上海市学习，再到后来干脆邀请国外专家到武威常年现场培训。

“没有额外拨款，培养的还是十年后才用得上的人，医院内部当然意见很大。”叶延程坦言，当时，很多员工甚至称医院建设重离子治癌项目是“用屁股做出来的决策”。有一天早上，在老医院家属楼通往业务院区的路上，有些人准备了一米多厚的传单打算给每位来往的行人发放。叶延程叫人去拿了两张，留存了下来，至今都没有打开看过一眼。“不用想，内容肯定是不好的。重离子治癌从原理上是可行的，中科院搞了这么多年研究，国外都能做得成，为什么我们不行？我就是要排除一切杂念，坚定干下去。”

攻克难关

马力祯在加速器技术领域差不多“浸”了一辈子。尤其是这些年来，他把大量精力投入到重离子治癌设备的研发上，深切体会到其中的艰辛。“之前对医学没有太多了解，没想到自己还会跟医学结缘。”马力祯笑了笑说，医用重离子加速器是“集大成者”，是包括物理、核物理、信息、电子、医学、图像处理等学科的结合，技术体系精密复杂，研发难度极大。

在武威重离子加速器项目开工之前，日本、德国、美国在医用重离子加速器方面已经进行了相关知识产权的布局，所以我国首先要做的就是突破知识产权的限制。中科院近代所加速器总体室研究员、国科离子医疗科技有限公司副总经理石健举例，日本的重离子加速器使用了18块二极磁铁；德国有两种方案，一种使用了6块二极磁铁，另一种则是12块。石健说，“最难的就是拿出设计方案，既要避开知识产权的限制，又要尽量做得小而精巧。团队花了很大功夫，决定使用8块二极磁铁的架构。数量不同，直接决定了整体系统的结构，就像盖房子一样，有的是砖混结构，有的是钢混结构。”

“科研人员追求的是设备的最高性能，只要够得着预定的指标即可。但医疗器械是一个产品，医用重离子加速器各部件要保证最安全可靠。医院在使用时，设备要长期稳定。”马力祯说，此外还有众多条条框框，比如强电模块和弱电模块的隔离标准、如何布地线、电线的颜色，就连螺丝拧几圈都有严格规定。“只有将国家关于电磁兼容、电器安全等医疗器械的标准贯彻到产品设计、研发、制造和检测全过程中，才有可能用于医疗，否则就是一堆废铜烂铁。”

“精度怎么可能达到？”“这个指标能否降低一个级别？”“能否用其他零件替代？”在研发过程中，这样的争论时刻上演。马力祯告诉记者，设计方案完成后，磁铁、电源等各系统会根据预定的参数去完成对应系统的硬件研制。这些参数经常难以达到，引得不同学科的科研人员为之争论。以磁场精度为例，磁铁的参数要达到万分之二均匀度，而当时只能达到万分之三。离子在一秒内大约会跑300万圈，如果精度不合适，每走一圈都偏离一点，300万圈之后早已不知所终，差之毫厘失之千里。“为了万分之一，我们都快打起来了。达不到就一次一次进行修正，直到达标为止。其他系统也一样，都要达到极限状态才能保证重离子加速器制造成功。”

边吵边修，边改边调，武威重离子加速器2015年进入到现场调试的阶段。由于科研和医疗的试验要求各有侧重，想做出一台真正的医疗器械，就要重新调整工艺细节。“理论上，束流到达治疗终端说明重离子加速器可以使用了，但就像汽车，能否收放自如，想加速就加速，想刹车就能刹车，定速巡航、座椅加热等功能是否满足要求，还需要慢慢去调试。”石健说。

看似小问题，但往往需要花好几天甚至几个月去排查。马力祯介绍，重离子“打”在肿瘤上，要求稳定性不能超过0.5毫米误差，这要求电源系统和整个控制系统必须更细更精密。再比如，须保证仪器运转的稳定与可靠，要想尽办法降低故障率。

“这套医用重离子加速器所有部件设备都是定制化的，国产率达到99%，无论从性能指标还是临床反馈，都毫不逊色于进口设备，但装置的成本只有国外的一半。”马力祯告诉记者，以开机率为例，这套重离子加速器第一年开机率到达97.4%，也就是说，如果一天24小时开机，约有37分钟是故障时间。“放眼国际，德国的设备运行10年的开机率为92%～98%，而我们第一年就可以达到97.4%。”

未来憧憬

彭阿姨眼部患有多形性腺瘤，并与它抗争了26年，手术、化疗、放疗等治疗手段全已试遍，可终究没能阻止肿瘤的生长，右眼部的肿瘤已经长到拳头大小。如今，彭阿姨右眼已经失明，其实她也不奢求什么，只想阻止肿瘤的野蛮生长。今年7月，彭阿姨感受到右眼隐隐的胀痛，晚上睡觉一旦翻身到右侧就会疼痛，到了不得不治疗的地步。“晚上睡不着，每分每秒都在煎熬。”

在彭阿姨四处求医的过程中，武威重离子中心走进了她的视线。彭阿姨告诉记者，她将病例和影像学资料传给武威重离子中心，经过评估后住进了医院。而后，全面检查、专家会诊、方案制订按部就班。“目前，我做了两次重离子放疗，也是在无意间体会到了效果。晚上睡觉，可以随便翻身了，胀痛也减轻了。对后续的治疗，我充满信心。”

“根据患者病种的不同，重离子治疗的时间和次数也不同。从目前完成治疗的患者临床随访结果来看，疗效显著，患者的病情得到有效控制。”甘肃省武威肿瘤医院副院长、武威重离子中心主任张雁山说，重离子治疗对大部分实体肿瘤有较好的疗效，适合不宜手术、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。比如，中枢神经系统肿瘤、头颈部和颅底肿瘤、胸腹部肿瘤、盆腔肿瘤、四肢脊柱肿瘤等。该院从去年3月开始收治患者，随着技术的不断成熟和研究的不断深入，相关适应证范围也随之扩大，目的就是让更多人受益。

叶延程没有想到荒漠能变成治病救人的绿洲。

张雁山没有想到重离子加速器能够建得成、用得上。

马力祯没有想到自己能与治癌扯上关系。

不光是他们没有想到，很多人都没有想到我国能够自主研发出医用重离子加速器，并成功应用于临床。毕竟，这在业内可比拟发射卫星的难度。未来，他们对医用重离子加速器有着各自憧憬。

“让医用重离子加速器小型化、智能化、产业化是我们正在研究的方向。”马力祯说，未来会考虑采用超导的方案，届时设备占地面积将会大幅度缩小，整体空间会缩小1/3；通过研发更智能化的设备，提高周转率和使用效率；还要与医学专家更加深入地合作，调整放疗剂量，减少放疗频次，制订出更优的放疗方案。

“中国的重离子放疗技术会逐渐成熟，一定要科学严谨地做出中国重离子放疗标准。我能推动多少就推动多少，直到自己干不动。即使贡献不出太多能量，我能治病救人也就足够了。”张雁山说。

叶延程用医院院歌的一句歌词回答了记者的问题，“播种希望、救死扶伤，用真情抚慰心灵的沧桑……”这也是他一生的追求。

《大众健康》杂志与您一起呵护家人健康

2021年11期杂志 目录精选

共同关注
行动起来，直面呼吸之“重”
呼吸系统，你的生命线
肺好不好，自测一下就知道
警惕“沉默的杀手”慢慢靠近

遇见
在沉默的世界 他们学会了另一种表达

求真证伪
扒一扒流感的“老底儿”

妈咪宝贝
真假斜视，这样分辨
给孩子吃粗粮，好吗
吃豆腐会性早熟吗

偶尔治愈
小小的身躯，托起大大的梦想

求医向导
注射胰岛素 讲究多多
老年人缺牙，缺掉的是健康
怎么才算椎间盘突出症
警惕“狼出没”的十大危险信号

百姓药房
对乙酰氨基酚，你真的了解吗
牙痛别忍 应选对用好止痛药
药品储存的干货请收好

中医养生
学做茯苓美食，助您健脾安神
过食寒凉，会让咳嗽停不下来

运动美容
拯救枯草样的头发

每月杂谈
睡觉时，大脑竟在做这些事

性学内参
痔疮术后，多久才能重拾性生活
同房后出血要不要紧

2022年《大众健康》杂志订阅中

主办单位:健康报社有限公司 出版单位:健康报社有限公司 社长:邓海华 总编辑:孙伟 社址:北京市东直门外小街甲6号 邮编:100027 电话:010-64672395 新闻热线:xwrx@jkb.com.cn 广告业务:010-64622318 发行业务:010-64622910 周一至周五对开八版 年价:456元 零售价:1.9元 中青印刷厂印刷(地址:北京市东直门海运仓2号)