

它是你体检时测幽门螺杆菌的“这口气”

也是考古查文物年龄的神器

曾多年依赖进口

如今在秦山核电

我国首次实现碳-14批量生产

本报记者 曾杨希 薛昊悦

背靠秦山,面朝东海,蓝天白云下,秦山核电两台商用重水堆机组静静伫立。几天前,完成辐照的碳-14靶件从这里成功出堆,标志着我国首次实现核电商用堆批量生产碳-14同位素。

碳-14、重水堆、靶件、同位素……晦涩的专业术语背后,是一场耗时近五年的技术攻坚战。批量生产的碳-14,不仅能让我国彻底摆脱进口依赖,还能成为医药、生物等产业发展带来更大的想象空间。

日前,记者走进秦山核电,探究这看不见摸不着的碳-14是怎么生产出来的,又将如何振动隐形的翅膀,搅动更广阔的市场,触达我们平凡的日常。

出堆后的碳-14靶件存放在水池中,散发出辐射的蓝光。秦山核电 供图

## 放射性同位素碳-14 就像微观世界的“北斗导航”

吃下一颗碳-14尿素胶囊,用一支吹气管朝一小瓶紫红色的药水吹气,仅仅通过这样简单的方式,你就可以确定自己是否感染了幽门螺杆菌。

这是一项应用广泛的基础体检项目,碳-14是其中的关键。多年来,用来测定这一口“气”的碳-14,都依赖进口。

煤炭、金刚石、石墨烯等,本质上都由碳原子构成。在原子结构层面,碳元素有着多个同位素“兄弟”,它们质子数相同、中子数不同。例如,构成石墨、钻石等物质的碳-12与碳-14都有着6个质子,但前者中子数为6个,后者的中子数则为8个。

微观结构的不同,决定了它们性能的差异。如碳-12结构稳定、自然界中含量最多,碳-14则具有微弱的放射性,且半衰期为5730年。这意味着,一旦碳-14产生,5730年之后,它的放射性强度才会衰减一半。

利用碳-14的放射性及半衰期长等特性,人类可以把它广泛作为示踪剂使用,就像微观世界的“北斗导航”

在新药开发过程中,当碳-14“标记”到新药化合物中,通过追踪它的踪迹,科研人员就可以了解新药物的吸收、分布、代谢等情况,从而完成药代动力学研究。

在考古领域,科研人员可以利用碳化文物上碳-14半衰期特性,计算出文物的“年龄”。在备受关注的三星堆遗址,通过碳-14测定发现,多个祭祀坑形成年代处于商代晚期,并且形成时间大致相当。

“除了以上,碳-14还可以用于测量空气中的颗粒物浓度、确定农药残留等,国内市场现实需求和应用潜力都很大。”秦山核电专项工程处重水堆研发科副科长樊申说。

樊申介绍,以幽门螺杆菌检测为例,目前,中国每年对这项检测中使用的碳-14需求量约为40居里(居里,是物质的放射性强度的单位,指元素单位时间内发生衰变的原子核数)。但此前,我国碳-14仅仅在实验堆上生产过几个居里。

“如果能啃下自主生产这块‘硬骨头’,对核能综合利用、产业发展和我国核医疗事业进步都将是强劲推力。”在樊申眼中,这就是他们选择“破壁”的原动力。

## “对新技术很谨慎”的核电 从零开始种下碳-14的种子

碳-14实现自主量产,可以追溯到2019年。彼时的秦山核电,已有9台稳定运行的机组,年发电量约520亿千瓦时。产能逼近天花板的同时,秦山如何继续发展,进一步拉动地方经济,成为了摆在秦山核电、秦山核电和浙江海盐地方领导面前的一道开放题。

碳-14,被圈进了答案范围。2019年9月,量产放射性同位素的可行性研究启动,樊申是项目组成员之一。

在核电站,安全二字压倒一切,“从安全层面来讲,核电站是对新技术很谨慎的。”樊申说,正因为此,生产方案的前期论证和安全分析至关重要。

形象一点解释,碳-14的生产过程是这样的——你可以将碳-14靶件想象成一支细长的笔,坚硬的外壳紧密包裹着装载了生产原料的“笔芯”。外壳作为靶料与反应堆的界限,允许中子穿透后与“笔芯”发生核反应,但隔绝其他任何物质的迁移。

生产过程中,只需将这支笔插入核反应堆里即可。在反应堆的辐照之下,生产原料的微观结构不再稳定,质子和中子在笔芯里“游离”,一番“动荡”之后,就转变成了碳-14。

“怎么论证‘笔芯’插入核反应堆里是安全的,是最大的难题。”樊申解释,核反应堆运行的时候,有经过严密测算设定好的堆形功率分布,“按照这个状态来运行是绝对安全的,但是如果再加东西进去,它可能就受到扰动了。”

此前,评估堆芯功率分布情况并确定重要安全参数的工作都由国外完成。碳-14靶件装入堆芯后,这个事关反应堆安全的参数必须重新计算和评价。由于碳-14生产项目时间紧迫,专项组决定自己算!

那段时间,凌晨灯火通明的计算机房、彻夜加班后的天边微光和无数的数据文件是碳-14项目科研团队的记忆碎片,在对碳-14靶件入堆后可能出现的700多种堆芯状态进行计算,并对700多组数据进行综合评估后,专项组最终确定,“插入一支笔”,不会影响反应堆安全稳定运行。根据这个计算结果以及其他的论证工作,专项组编写了一份数据翔实、论证充分的报告,申请在重水堆核电站机组上生产碳-14。

2022年4月11日,项目组提交的核安全审评申请报告获得国家核安全局批准。4月26日14时55分,全球首根商用堆碳-14靶件顺利入堆,为如今的碳-14量产实现,埋下了成熟、健康的种子。

## 年底开始向市场供货 将带动我国同位素应用产业发展

碳-14靶件出堆之后,未来的路怎么走?

根据秦山核电公开的计划,本次碳-14靶件出堆后,相关产品将于2024年底开始向市场供货。

“接下来,靶件内碳-14要经过工艺复杂的生产流程,最终转化为稳定的碳酸钡化合物,才能供应市场,供后端制药、科研等使用。”樊申说。

“目前,碳-14产线的设备已经到位,正处于调试安装阶段,很快将迈入正式的生产环节,届时将为产业园内下游企业提供稳定的碳-14原料供应。”该负责人表示。

早在2021年6月,国家八部委就联合发布了《医用同位素中长期发展规划(2021-2035年)》,对我国建立稳定自主的医用同位素供应保障体系,加快医用同位素及产业发展提出具体要求。2023年2月,浙江省印发《关于培育发展未来产业的指导意见》,也将核技术应用(同位素)产业列入其中。

顶层设计、政策支持促进了浙江发展这一产业。

据了解,目前,占地1900亩的海盐核技术应用(同位素)产业园已全面启动建设,未来将集聚同位素生产基地、核药生产基地以及核技术创新中心、核医疗中心等。

九层之台,起于累土。樊申表示,在产量上,秦山核电预计每年可以生产100居里以上的碳-14同位素,产量可充分满足国内需求,将有力带动我国同位素应用产业链集聚发展。



秦山核电厂区 秦山核电 供图

(浙江省科协、海盐县科协对本文亦有贡献)