

秦山核电实现碳-14供应全面国产化

首次采用商用核电机组辐照生产碳-14,带动医用同位素产业链发展

◆本报见习记者程小雨

“碳-14辐照生产靶件开始出堆。”4月20日13时48分,随着一声令下,碳-14靶件从秦山核电重水堆机组中被成功卸出。

在靶件出堆的现场,已随项目奋战5年之久的秦山核电正高级工程师樊中并未流露出过于激动的情绪,他向记者坦言:“同样的操作已重复了成百上千遍,对于靶件出堆,我们有绝对的底气和信心。”

十足的底气背后,是秦山核电为打破碳-14国外同位素生产垄断,开辟的一条从无到有的路。至此,我国首次利用商用堆批量生产碳-14同位素,实现碳-14供应全面国产化。多年来碳-14同位素高度依赖进口的局面彻底成为历史。

同位素碳-14与我们日常生活究竟有何关联?碳-14出堆有何意义?在碳-14生产过程中,秦山核电如何切实保障安全?记者近日跟随中国核工业集团有限公司(以下简称中核集团)媒体行,探寻秦山核电从“零”开始研发,到成功商用批量生产碳-14同位素的轨迹。

种下“健康中国”的种子

幽门螺杆菌检测和核电站,两者看似没关系,却在同一种元素——“碳-14”上汇成交点。

吃下一粒碳-14尿素胶囊,静坐25分钟后,在集气卡里用力吸气再吐出。一呼一吸之间,患者可以通过检测结果及时发现是否感染幽门螺杆菌。作为一种有效、方便且无创的检测方法,碳-14呼气试验是一个医院里日常的检查项目。

为人所不知的是,这个常规呼气试验的体检项目与核反应堆息息相关。

“现代工业中,碳-14的生产主要通过核反应堆中的中子辐照或高能加速器产生的中子束与含氮物质反应来制备。此次秦山核电依托其重水堆机组生产碳-14,科研人员将专门研制的含有氮元素靶件装入核反应堆堆芯,在反应堆中发生核反应,吸收一个中子,释放一个质子,形成有6个质子,8个中子的新元素,这就是“碳-14”。”樊中向记者介绍碳-14的制备原理。

目前,我国每年的幽门螺杆菌检测需求超过3000万人次。不止于医学,碳-14同位素的应用延伸至农业、化学、生物学等领域,包括β射线环境监测系统、化学反应动力学等。

虽然有庞大的科研需求与医疗市场,但碳-14的供给一度面临受制于人的状况。“此前,我国碳-14供应几乎全部依赖进口,价格昂贵且供应

得不到保障,供应紧缺已经严重制约下游产业发展。实现放射性药物的国产化及医用同位素的自主稳定供应,迫在眉睫,任重道远。”秦山核电总经理尚宪和表示。

“健康中国”的战略擘画,为医用同位素国产化道路指明方向。2021年6月,国家原子能机构、科技部、生态环境部等8部门联合发布《医用同位素中长期发展规划(2021—2035年)》,吹响了建立稳定自主的医用同位素供应保障体系、推动医用同位素技术研发和产业发展的号角。

“碳-14的生产应用是一个长链条,秦山核电在其中的角色是播种者,通过生产靶件将‘种子’变成‘小麦’。中核秦山同位素有限公司负责把靶件中的碳-14转化为稳定的碳酸钡化合物,也就是将‘小麦’磨成‘面粉’。制药公司则像面包坊,把‘面粉’加工成‘面包’。最后由医院把‘面包’送达客户,即将同位素产品应用到患者身上。”秦山核电党群工作处处长李旭宁向记者解释道,“没有源头稳定的‘小麦’供给,稳定的医用同位素产业链就难以建立。”

秦山核电决定做播种“小麦”的人。2019年,秦山核电联合上海核工业院、中核北方等单位启动碳-14同位素自主研发生产项目的可行性论证。2020年12月,项目正式启动,一场摸着石头过河的探索,就此起步。

从0到1“啃”硬骨头

与目前主要依靠研究堆生产碳-14的方式相比,秦山核电将碳-14的生产装置瞄准全国仅有的两台商用堆,这也是国际上首次采用商用堆批量辐照生产碳-14。

“重水堆中子通量是压水堆的6-7倍,靶件辐照同样的时间,重水堆的同位素产量能达到压水堆的6-7倍,这是无可比拟的优势。”樊中告诉记者,“同时,重水堆机组长期保持高功率稳定运行,可靠性高,低温常压慢化剂提供充足的辐照空间,空孔道为在线辐照装置提供安装条件,不停堆换料提供灵活的辐照条件。”

但利用商用堆辐照生产碳-14,是一片未曾有国内外技术团队踏足的“无人区”。

“商用核电机组辐照生产碳-14同位素技术属于国内首创,这意味着

我们几乎没有任何借鉴经验,必须从‘零’开始,慎之又慎。从项目前期设计、生产方案论证、过程监管到后续的科技攻关,坚决保障‘核安全绝无一丝一毫’是一切工作开展的前提。”秦山核电工程处高级工程师李厚文向记者强调。

在实现碳-14辐照生产的同时,秦山核电并未落下铀-177、铯-89、钇-90等常用医用短寿命同位素的生产,这需要开发一套可以在反应堆高功率运行时装卸靶件的装置。“严、慎、细、实”的工作作风,在同位素生产装置安装环节有了清晰而具体的画像。

为确保靶件顺利进出堆芯,验证堆内辐照同位素生产装置安全性的实验次数是多少?

对于秦山核电副总工程师、专项工程处处长李世生来说,问题的答案



图为工作人员在进行碳-14出堆前准备工作。

资料图片

以千次为计量单位。“我们在其中一个通道上连续做了1200次实验,另一个通道上连续做了1000次实验,期间不能出现任何故障。一旦失败,一切都要从头再来。”

李世生将同位素生产装置保护套管的安装过程比喻为“抛螺丝”,他说:“反应堆上方安全操作平台与反应堆底部的距离是13米。能想象将一根6米长的‘螺丝’,准确‘抛’在距离操作平台下方13米处螺丝孔的难度吗?在操作过程中要克服反应堆内核燃料和重水的流体阻碍,严禁与管壁产生碰撞,保证螺距距离底部定位的偏差不超过一毫米。并且,操作平台以下的地方看不见、摸不着,一切设备安装测量都处于‘盲装’。”

中核集团首席技师何少华和他的工作室团队,从0到1把这块硬骨头“啃”了下来。凭借高超的工作技能及丰富的工程经验,何少华短时间内自主开发设计了一套装置平台及智能化数字系统组成的工具,专门用于现场勘测。从前期现场勘测VP1观察孔,到保护套管的研发设计,再到套管及生产通道的安装,无数次模拟演练在期间一遍遍上演。最后的项目实施过程中,风险管控、质量控制、进度均符合管理期望。

把“不可能”变成“可能”在秦山时有发生。秦山核电专项工程处和堆芯燃料处的孟智良、牟小川、胡威曾针对碳-14

靶件入堆后的新堆芯布置,完全依靠核电站自己的技术力量,展开756次堆芯状况的堆芯功率、老化后的堆芯CCP等一系列计算,最终验证靶件入堆不会影响反应堆安全;在进行核安全审评时,项目组樊中、赵晓玲与设计人员一道,每天工作到凌晨,从多个国内外文献的只言片语中找支撑材料,最终以翔实的辐照方案成熟性报告说明靶件入堆的安全性与成熟性……

最终,2024年4月20日13时48分,秦山核电同位素项目研发团队在现场见证靶件出堆,同位素辐照生产装置也已经完成各项准备工作,正在秦山核电2号重水堆机组上安装。一个事关“健康中国”的构想,前后历时5年,终于从一张张原始的设计图纸,落地成为现实。

“强核报国、为民谋福”的初心始终未曾改变。“未来,我们将积极带动同位素应用产业链发展,进一步建立健全产学研合作开展商用堆辐照生产同位素的研发体系,助推和牵引下游医疗企业高新核药和核医疗产业研发。把中国核能的发源地——秦山核电,建设成为同位素自主供应、核产业医学产业蓬勃发展的出发地,为健康中国、为满足人民日益增长的美好生活需要作出新的贡献。”尚宪和表示。

碳-14同位素小知识

一、什么是碳-14?

碳-14是碳元素的一种具有放射性的同位素,我们通常说的“碳”,比如常见的石墨、钻石等,一般指碳-12,包含6个质子和6个中子,而碳-14的原子核中含有6个质子和8个中子,与常见的稳定同位素碳-12和碳-13不同。

碳-14作为示踪剂,具有方法简单、易于追踪、毒性小、准确性和灵敏性高等特点,在研究物质分布、揭示反应机理、阐明迁移过程、医学临床诊断等方面扮演着重要的角色,已广泛应用于疾病诊断、新药开发、工业、农业等诸多领域。

二、碳-14有哪些应用?

碳-14在科学研究中有着广泛的应用,包括:

医学诊断方面,应用于幽门螺杆菌检测、药代动力学研究。

环境监测方面,用于测量空气中的颗粒物浓度,如PM₁₀、PM_{2.5}。

科学研究方面,在农业、化学、生物学等领域作为示踪剂,用于研究药代动力学、化学反应动力学、农药残留等。

三、什么是碳-14呼气试验?

碳-14呼气试验是一种用于检测幽门螺杆菌感染的诊断方法。试验的原理基于幽门螺杆菌在胃组织黏膜内产生的尿素酶,能够将被碳-14标记的尿素分解成氨和含有碳-14的二氧化碳。

通过收集并测定含有碳-14标记的二氧化碳量,可以判断是否存在幽门螺杆菌感染,从而维护人们的胃部健康。

以“工装模块化、施工集约化”优化工艺 陆丰核电5号机组完成穹顶吊装

本报讯 中广核陆丰核电5号机组穹顶高质量完成吊装,标志着这台“华龙一号”核电机组从土建施工阶段全面转入设备安装阶段。

穹顶位于核岛顶部,是保障反应堆厂房完整性和密封性的重要组成部分。陆丰核电5号机组穹顶由预埋件、钢板及焊接在外侧的角钢等部分构成,重量达238.5吨,面积相当于4个标准篮球场的大小,是核岛钢衬里施工中整体吊装就位最大钢构件。

“吊装时,我们用1600吨履带式吊车将穹顶提升到近20层楼的高空,与仅有6毫米的核岛钢衬里筒体对接,偏差需要控制到毫米级。”中广核陆丰核电有限公司党委书记、董事长上官斌表示。

此次吊装通过先决条件梳理、三维激光扫描建模、有限元分析、风速实时监测、吊装模拟演练等举措,有效确保穹顶吊装过程

安全、有序、可控。最终,耗时1小时8分钟,陆丰核电5号机组穹顶高精度一次吊装成功。

据介绍,本次穹顶吊装项目团队在吸取和借鉴同行项目经验的基础上,以“工装模块化、施工集约化”的思路,优化穹顶拼装施工工艺,采用穹顶拼装胎架支撑系统、激光智能跟踪高效MAG自动焊(熔核活性气体保护电弧焊)等先进建造技术,实施焊接数字化、BIM(建筑信息模型)可视化、MAG焊接RT(射线检测)合格率达100%,穹顶整体尺寸一次验收合格,推进核电施工高端化、智能化、绿色化发展。

据悉,中广核广东陆丰核电项目规划建设6台百万千瓦级核电机组,全部建成后年发电量约520亿千瓦时,每年可减少标准煤消耗1570.4万吨,减少二氧化碳排放量4284.8万吨,相当于植树造林约12万公顷。

程小雨

陕西部署今年辐射环境监测及质保工作

比去年增加一个电磁污染源国控点

本报讯 为做好2024年全省辐射环境质量监测工作,确保监测数据准确、可靠,陕西省核与辐射安全监管处近日制定2024年陕西省辐射环境监测、采样与质量保证方案。

与2023年相比,2024年监测方案增加1个电磁污染源国控点开展研究性监测,频次为一年一次;增加322个省控网γ辐射空气吸收剂量率自动监测站连续监测,γ辐射空气吸收剂量率瞬时/累积监测,气溶胶、沉降物、气碘、水体、土壤及环境电磁辐射等监测项目;调整7个国控点自动站气溶胶采样量。

同时,2024年陕西省质保方案调整国控点宝鸡市胜利桥水体

铍、铯-90及核预警点碳-14核素监测质控方法;增加“市级生态环境辐射环境监测机构对省控网监测数据进行有效性审核后,每季度在规定时间内,以监测报告的形式按时报送”的要求。

陕西省核与辐射安全监管处严格落实2024年全国生态环境监测工作会议精神,持之以恒地把监测数据质量作为开展辐射环境质量监测工作的生命线,通过优化监测方案及质保方案、调整实验分析比对等措施,不断提升省、市两级生态环境管理部门辐射环境监测能力,有效保证陕西省辐射环境监测数据“真、准、全、快、新”,更加客观地反映全省辐射环境质量状况。

肖成 侯佳明

华北监督站压实辖区内核技术利用单位责任 开展辐射安全和防灾减灾综合检查

本报讯 为压实辖区内核技术利用单位核与辐射安全全面责任,生态环境部华北核与辐射安全监管处(以下简称华北监督站)近日对原子高科股份有限公司(以下简称原子高科)等重点核技术利用单位开展辐射安全和防灾减灾综合检查。

华北监督站抽调核技术利用监督处、监测应急与督查处精干人员组成检查组,通过听取汇报、查阅档案、现场检查等方式对原子高科辐射安全防护设施运行维护、放射源清点盘存、放射性流出物管控监测、防火防汛设施设置维护、应急物资储备与演练等方面的工作进

行了全面摸底排查。

针对检查中发现的防水挡板高度不足、流出物监测记录不完善等问题和薄弱环节,检查组要求原子高科制定整改措施,落实整改责任,认真做好隐患整改后半篇文章。

检查组强调,原子高科要进一步压实主体责任,履行好自身安全主体责任,坚持把安全隐患发现在前,解决在先,有效防范化解各类重大事故风险。

后续,华北监督站将继续紧绷“安全弦”,牢固树立安全发展理念,以如履薄冰的态度持续推动各持证单位压实安全责任、守住安全底线。

宋翔翔

以辐射“零事故”为目标

潍坊昌乐分局排查辐射环境安全隐患

本报讯 山东省潍坊市生态环境局昌乐分局近年来以辐射“零事故”为目标,抓实辐射环境安全隐患排查,堵住辐射监管薄弱点,确保区域辐射环境安全。

昌乐分局充分利用省、市、县三级辐射安全监管体系,加强昌乐分局内部辐射安全监管系统业务指导与培训,建立系统日常巡查制度,实行每周巡查、问题闭环处置。推进放射源联网监控,全县31枚放射源都安装了视频监控,并与省、市生态环境部门联网。

聚焦提升辐射管理水平,昌乐分局以上线、线下相结合的方式,全面开展辐射企业帮扶指导工作,提升企业辐射安全水平。

昌乐分局联合县公安局、县卫健局今年以来相继对全县39家核技术利用单位开展两次隐患排查行动,发现并整改问题20个,整改完成率100%。

开展辐射环境保护意识。开展辐射安全应急演练两次,设置实验室、办公室、监控室、查找现场等多个场景,模拟发现问题、预警上报、应急准备、应急行动和后期处置全过程,锻炼应急救援队伍,积累应急处置经验。

昌乐分局坚持“科室主建、中队主战”的工作思路,进一步畅通业务管理和综合执法双向通道,细化辐射监管职责分工,将双随机放射源联网监控,全县31枚放射源都安装了视频监控,并与省、市生态环境部门联网。

昌乐分局联合县公安局、县卫健局今年以来相继对全县39家核技术利用单位开展两次隐患排查行动,发现并整改问题20个,整改完成率100%。

董若义 赵珊珊 张小琴

规范标准 监督实务 现场实操

华南监督站举办辐射环境监测专题系列培训

本报讯 为进一步提升辐射环境监测能力和专业水平,保障辐射环境安全,华南核与辐射安全监管处(以下简称华南监督站)近日紧密结合辖区监管对象的特点,从“全参与、强基础、补短板”出发,在规范标准、监督实务、现场实操三方面精心组织开展辐射监测专题系列培训,华南监督站全体监督人员参加。

华南监督站邀请辐射环境监测技术中心、国家电投集团海南电力有限公司专家,全面详细介绍了我国核电厂流出物监测标准体系及辐射环境监测和流出物排放管理情况。结合相关案例和统计数据,展示核电厂流出物监测取样过程,深入浅出地讲解了核电厂流出物监测取样操作流程和注

意事项。专家们就监测报告数据要点解读进行示范,解答监督人员工作中遇到的疑难问题。

华南监督站精心拍摄操作视频,分批次开展了表面污染测量仪和环境γ辐射监测仪的实操培训,确保全体监督人员熟练掌握相关监测仪器的使用方法,为规范有效开展相关监测工作打下坚实基础。

按照核与辐射安全监管人员业务培训“共享培训资源和课程”精神,此次系列培训首次在监管系统内共享。来自各地区监督站、核与辐射安全中心、国家海洋环境监测中心等相关部门的70多名工作人员在线上同步参加培训,共同提升履职能力。

赵昌怡



刘小俊摄

江西省抚州市南城生态环境局日前结合辖区医疗机构实际情况,开展医用射线装置辐射安全专项检查,确保辖区辐射环境安全。图为执法人员在南城县委才仙口腔诊所查阅台账记录,检查III类射线装置使用情况。