

核技术利用建设项目

靶研究实验室项目
环境影响报告表



环境保护部监制

核技术利用项目

靶研究实验室项目 环境影响报告表

建设单位名称：散裂中子源科学中心

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：广东生东莞市大朗镇中子源路 1 号

邮政编码：523800

电子邮箱：yuchen@ihep.ac.cn



联系人：陈宇

联系电话：18024719947

编制单位和编制人员情况表

项目编号	mlihdp		
建设项目名称	靶研究实验室项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)			
统一社会信用代码	124419006614719858		
法定代表人 (签章)			
主要负责人 (签字)	陈宇 		
直接负责的主管人员 (签字)	马应林 		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)			
统一社会信用代码	121000004009028982		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
王璐璐	2016035110350000003511210025	BH015435	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
王璐璐	表1, 表12, 表13	BH015435	
彭建亮	审核	BH009560	
梁婧	表5, 表6, 表9, 表10, 表11, 附图 附件	BH048310	
熊强	表2, 表3, 表4, 表7, 表8	BH048086	

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	10
表 3	非密封放射性物质	10
表 4	射线装置	12
表 5	废弃物(重点是放射性废弃物)	13
表 6	评价依据	14
表 7	保护目标与评价标准	17
表 8	环境质量和辐射现状	24
表 9	项目工程分析与源项	27
表 10	辐射安全与防护	40
表 11	环境影响分析	49
表 12	辐射安全管理	59
表 13	结论与建议	62
表 14	审批	65

表 1 项目基本情况

建设项目名称		靶研究实验室项目			
建设单位		散裂中子源科学中心			
法人代表	王生	联系人	陈宇	联系电话	18024719947
注册地址		广东省东莞市大朗镇中子源路 1 号			
项目建设地点		广东省东莞市大朗镇中子源路 1 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资(万元)	60.5	项目环保投资(万元)	19.5	投资比例(环保投资/总投资)	32%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m ²)	67
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	/		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他				
	<p>1.1 单位概况</p> <p>散裂中子源科学中心是国家重大科技基础设施中国散裂中子源的地方事业法人机构，位处广东省东莞市松山湖科学城，其前身为 2007 年 4 月挂牌成立的东莞中子科学中心。2019 年 5 月，东莞中子科学中心更名为散裂中子源科学中心。</p> <p>散裂中子源科学中心主要承担中国散裂中子源（CSNS）的建设和运行，制定中长期发展规划和战略，围绕“四个面向”，立足推动散裂中子源及相关技术的发展，为建成我国中子、质子多学科研究和应用中心、国际一流的大型多学科研究平台，发展相关优势学科领域提供保障。</p> <p>散裂中子源科学中心（以下简称为“中心”）下设 4 个研究机构（加速器技术部、中子科学部、科研发展部、技术支持部）和相关职能部门。</p>				

中国科学院高能物理研究所于 2013 年 2 月在东莞成立“中国科学院高能物理研究所东莞分部”。东莞分部于 2016 年 1 月取得环境保护部（现生态环境部）颁发的辐射安全许可证。2021 年 2 月东莞分部更名为“中国科学院高能物理研究所东莞研究部”（以下简称为“研究部”）。散裂中子源科学中心与东莞研究部为同一机构，两个牌子。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状

散裂中子源科学中心本次为首次申领辐射安全许可证。

1.2.2 辐射安全管理现状

1.2.2.1 辐射安全管理机构

为了加强辐射安全和防护管理工作，促进放射性同位素和射线装置的安全使用，中心拟成立专门的辐射安全管理机构“辐射安全与环境保护小组”，小组成员由中心领导、技术安全办公室等相关领导和工作人员组成。组长由中心副主任童欣担任，全面负责散裂中子源科学中心的辐射安全管理工作，辐射安全管理专职人员由马应林担任，专职负责辐射安全与防护相关工作。辐射安全与环境保护成员名单见表 1-1。

表 1-1 中心辐射安全与环境保护小组成员名单

职位	姓名	职务或职称	专业	工作部门	专/兼职
组长	童欣	研究员	中子物理	党政办	兼
委员	马应林	高级工程师	辐射防护	辐射防护组	专
	张翔	高级工程师	工程力学	技术安全办公室	兼
	李论	工程师	辐射防护	辐射防护组	兼
	王宇飞	实验师	辐射防护	辐射防护组	兼

1.2.2.2 规章制度建设及落实

为加强对非密封放射性物质的辐射安全管理，确保工作人员和环境安全，中心拟组织制定相关辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账管理、人员培训计划、个人剂量监测与管理、工作场所辐射监测等内容，基本能够满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法规要求。

1.2.2.3 工作人员培训

中心拟制定辐射工作人员培训计划和培训考核计划。今后将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告、2021 年第 9 号公告要求，及时组织新增辐射工作人员到生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核，考核合格方可上岗。

1.2.2.4 个人剂量监测

中心拟委托天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司对从事辐射工作的人员开展个人剂量监测，每季度一次，按照《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环境保护部令 18 号)要求建立了个人剂量档案，并计划于每年 5 月 31 日前将上一年度全体辐射工作人员的个人剂量监测数据上报至全国核技术利用辐射安全申报系统中。

中心拟设置专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告辐射安全与环境保护小组。今后将继续加强个人受照剂量监测工作，保障辐射工作人员的健康。

1.2.2.5 工作场所及辐射环境监测

中心拟针对辐射工作场所制定监测方案，监测方案包含工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测内容，以及实施部门、监测项目、点位及频次、监测部门等。

中心拟建立辐射环境自行监测记录档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。监测记录记载监测数据、测量条件、测量方法和仪器、测量时间和测量人员等信息，辐射工作单位的辐射环境自行监测记录，随本单位辐射安全和防护年度评估报告一并提交生态环境管理部门。中心拟每年委托有 CMA 资质的单位对辐射工作场所和环境进行监测。

1.2.2.6 辐射事故应急管理

中心拟制定《辐射应急预案》，预案中应明确应急指挥机构、人员组成及分工、应急部门及人员职责、应急器材，发生辐射事故时的报告、通讯联络方式、应急处置方式等，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，即能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或

可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

1.3 本项目概况

1.3.1 建设项目背景

目前，靶向 α 核素治疗在临床癌症治疗中显示出巨大潜力。 α 粒子能量高、射程短、耐乏氧、易防护，极少量穿过细胞核的 α 粒子即可杀死肿瘤细胞，在恶性肿瘤治疗方面具有独特的优势。镭-225 是一种极具应用价值的 α 放射性同位素，其半衰期为 10 天，同时由于其发射的 α 粒子具有较高的线性能量传递值，能够有效打断 DNA 双链，在杀死癌细胞的同时对周围健康组织损伤极小，因此广泛应用于靶向 α 治疗（TAT），如前列腺癌、神经内分泌肿瘤等，在小体积肿瘤和多位点转移性癌症等临床治疗中取得非常显著的效果。尽管 Ac-225、Ra-223 等在靶向 α 粒子治疗领域潜力巨大，但当前研究仍聚焦于三个核心方向：优化其生产方法、改进剂量测定技术以及拓展其应用范围。随着相关技术的持续进步，在不断发展的核医学领域中，Ac-225、Ra-223 已成为一种极具吸引力的放射性核素，有望为癌症及其他难治性疾病的治疗提供创新性解决方案。但是目前国际上 Ac-225、Ra-223 等核素产能严重不足。

目前新开发的高能质子引起的散裂反应是生产靶向医用同位素 Ac-225、Ra-223 等的有效技术途径之一。中心依托散裂中子源，利用高能强流质子束流轰击钍靶，通过 $^{232}\text{Th}(\text{p}, \text{x})^{225}\text{Ac}/^{223}\text{Ra}$ 核反应产生 ^{225}Ac 和 ^{223}Ra 等核素。散裂中子源高能质子打靶生产要求采用均匀、致密和高纯的金属钍靶，为了实现全流程自主可控并掌握制备金属靶的关键技术，需要在园区内建设小型的实验室，开展靶片制备技术的实验研究。

本项目的目的是掌握金属钍靶制备的关键技术，并开展靶片机械性能分析及高温条件下靶片的目标核素检测分析研究。本项目是小剂量实验，主要建设内容为使用手套箱、冷压机、真空热压烧结炉、真空管式炉、靶片机械性能研究系统等开展钍靶制备试验、靶片机械性能分析及目标核素检测分析。

1.3.2 本次核技术利用建设内容

中心拟在东莞研究部 1 号测试厅内东南角闲置区域新建 1 处靶研究实验室，开展金属钍靶制备的关键技术研究，并开展靶片机械性能分析及高温条件下靶片

的目标核素检测分析研究。靶研究实验室面积约 68 平方米，拟配备冷压机、手套箱、真空热压烧结炉、真空管式炉、靶片机械性能测试系统等，配套建设各项辐射安全与防护措施，包括通风系统、场所剂量监测系统、放射性三废处理措施等。

本项目建成后，拟配备 3 名辐射工作人员，均为中心原有工作人员。金属钽靶日最大制备数量不超过 10 片，年最大制备数量不超过 50 片；靶片机械性能分析实验日开展次数不超过 2 次，年开展次数不超过 10 次；目标核素检测分析研究实验日开展次数不超过 1 次，年开展次数不超过 20 次。

靶研究实验室项目放射性同位素的量较少，仅涉及同位素的制备、使用和研发，不开展销售等其他活动。靶研究实验室日等效操作量不超过 $1.22E+07Bq$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所。

1.3.3 任务由来及评价目的

根据本项目核技术利用建设情况，本项目的评价内容为：新建 1 处丙级非密封放射性物质工作场所。

本项目属于新建丙级非密封放射性物质工作场所项目，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》，应该编制环境影响报告表。

根据生态环境部《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(2019 年生态环境部令 第 9 号)要求，国家卫生健康委职业安全卫生研究中心符合第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位。单位有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受散裂中子源科学中心的委托，评价机构环评人员在现场踏勘、监测、收集资料的基础上，对该项目建设和运行对环境的辐射影响进行了分析评价，编制环境影响报告表。

环境影响评价主要目的包括：

(1)对项目周边的辐射环境进行现场调查和监测，以掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量水平，为项目竣工验收提供基础数据。

(2)通过环境影响评价，预测建设项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染控制对策，为建设项目的工程设计和环境管理提供科学依据。

(3)在对该项目进行全面分析和评价的基础上，对不利影响和存在的问题提出

相应的辐射防护措施，把辐射防护最优化达到“可合理达到尽量低水平”。

(4)给出明确的环评结论，为管理部门的辐射环境管理提供科学依据。

1.3.4 实践正当性分析

本项目通过建设靶研究实验室，以开展金属钚靶制备的关键技术研究和靶片机械性能分析及高温条件下靶片的目标核素检测分析研究，为实现全流程自主可控并掌握制备金属钚靶的关键技术奠定基础，对满足国家战略需求、探索前沿科学问题、攻克产业关键核心技术、解决瓶颈问题具有重要意义，从经济和防护等角度考虑具有正当性。本项目的建设所带来的利益远高于代价，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

1.3.5 产业政策符合性

本项目使用放射性核素开展相关科学研究，对照《产业结构调整指导目录(2024年本)》，本项目属于鼓励类中“六、核能”第4条“核技术应用”类别，符合产业政策。

1.3.6 已有建设情况及本项目依托内容

本项目依托东莞研究部的1号测试厅建设。1号测试厅内已安装有硼中子俘获治疗装置。硼中子俘获治疗装置自投入运行以来，未发生过辐射事故或辐射异常事件，运行良好。

为掌握制备金属钚靶的关键技术，本次在1号测试厅内空地新建靶研究实验室，并配套建设各项辐射安全防护设施。本次新建项目对已有项目主要依托情况如下：

(1) 人员

本次申请项目建成后，散裂中子源科学中心拟派现有3名辐射工作人员到新辐射工作场所工作。

(2) 辐射安全防护设施

本次申请项目运行后，各项辐射安全设施均为新建，辐射监测仪器和防护用

品均为新购。

(3) 辐射安全管理制度

散裂中子源科学中心拟针对非密封放射性物质制定辐射安全管理制度,如《非密封工作场所安全与防护管理规定》《放射性“三废”管理制度》《安全防护设施维护维修制度》《辐射工作人员培训制度》等,确保全部辐射工作有章可循。同时,组织相关人员进行学习,确保依照规定安全使用放射性同位素。

1.3.8 人员配置及工作制度

为保证已有项目和本项目顺利运行,散裂中子源科学中心为本项目配置3名辐射工作人员。因本项目为科学研究,本项目辐射工作人员每天在本实验室最多工作8h,年工作时间不超过150天。

本项目人员配置及分工情况详见表1-2。拟配备的辐射工作人员均已通过核技术利用辐射安全与防护考核,并开展了个人剂量监测。

表 1-2 本项目辐射工作人员拟配置情况一览表

工作场所	姓名	拟从事工作	环保培训证书	备注
靶研究实验室	李样	钽靶制备、靶机	FS21GD2300535	原有
	郭宇航	械性能分析、目	FS22GD2300288	原有
	曹菁	标核素检测分析	FS21GD2300599	原有

1.3.9 项目选址与周围环境

本项目位于东莞市大朗镇水平村东莞研究部1号测试厅内。1号测试厅为一层独立建筑,北侧为中子源路,西侧为变电站和测试试验厅2(C2),其他方位主要为空地,本项目不新增用地。地理位置详见图1-1,周边关系见图1-2。本项目所在1号测试厅一层平面布置图见图1-3,项目所在位置现状见图1-4。

靶研究实验室为本次新建的场所,位于1号测试厅东南角,改造前仅存放少量杂物,此前没有涉及到辐射相关的工作。

本项目所在区域周边主要为绿化带、道路及同类型科研项目,评价范围内无居民区、学校等敏感目标,条件较好;项目布局辐射场所功能合理,便于辐射工作场所的辐射防护和安全管理。从辐射防护与环境保护的角度,项目的选址可行,平面布局合理。



图 1-1 地理位置图



图 1-2 项目周边关系图

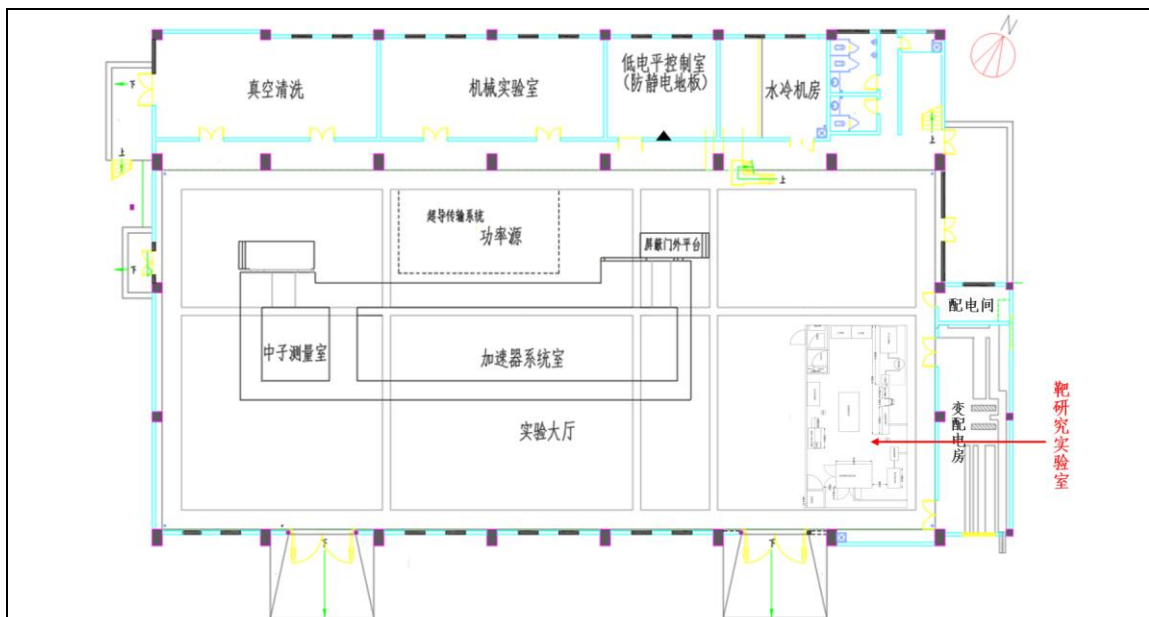


图 1-3 1 号测试厅一层平面布局图



图 1-4 现状图

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	Th-232	固态粉末； 半衰期 1.40E+10a； 低毒	使用	4.07E+06	4.07E+06	2.04E+07	科学研究	简单操作	靶研究实验室	手套箱内钨合金 防护罐
2	Th-天然	固态粉末； 半衰期 1.40E+10a； 低毒	使用	4.07E+06	4.07E+06	2.04E+07	科学研究	简单操作	靶研究实验室	手套箱内钨合金 防护罐

3	Ac-225	固态; 半衰期 10.0d; 极毒	使用	2.67E+03	2.67E+05	5.34E+06	科学研究	很简单操作	靶研究实验室	钨合金防护罐
4	Ra-223	固态; 半衰期 11.4d; 极毒	使用	2.16E+04	2.16E+06	4.32E+07	科学研究	很简单操作	靶研究实验室	钨合金防护罐
5	Pb-212	固态; 半衰期 10.6h; 中毒	使用	3.46E+03	3.46E+03	6.92E+04	科学研究	很简单操作	靶研究实验室	钨合金防护罐

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大 能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大靶电 流 (μA)	中子强 度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/					
/	/	/	/	/	/	/	/	/					

表 5 废弃物(重点是放射性废弃物)

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
手套、称量纸、擦拭纸等一次性耗材	固体	微量 Th-232	/	/	4kg	不排放	暂存于废间内	暂存一段时间后，经有资质的第三方检测合格，经审管部门同意清洁解控后，解控为普通废物处置。
手套箱、真空热压烧结炉、靶片机械性能分析系统产生的放射性废气	气体	微量 Th-232	/	/	少量，可忽略	/	过滤后排放	废气经高效过滤装置过滤后在 1 号测试厅楼顶排放。
真空管式炉产生的放射性废气	气体	微量 I-131、 Xe-133 等	/	/	2.72E+06 Bq	/	过滤后排放	废气经高效过滤装置过滤后在 1 号测试厅楼顶排放。
废靶、更换下来的过滤装置	固体	Th-232、 Ra-223、 Ac-225 等	/	/	2.4 kg	不排放	暂存于废间中	暂存 5 年后交由有资质单位进行处理
洗涤废水	液体	微量 Th-232	/	/	约 40L	总 $\alpha < 1$ Bq/L, 总 $\beta < 10$ Bq/L	收集于洗手池下废水收集桶	暂存一段时间后，经有资质的第三方检测合格，经审管部门同意清洁解控后，解控为普通废物处置。

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³)和活度(Bq)。

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第 9 号, 2015 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2002 年 10 月 28 日通过, 自 2003 年 9 月 1 日起施行; 2016 年 7 月 2 日第一次修正; 2018 年 12 月 29 日第二次修正);</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2005 年 9 月 14 日经国务院令 449 号公布; 2014 年 7 月 29 日经国务院令 653 号修改; 2019 年 3 月 2 日经国务院令 709 号修改);</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006 年 1 月 18 日, 国家环境保护总局令 31 号公布; 2008 年 12 月 6 日经环境保护部令 3 号修改; 2017 年 12 月 20 日经环境保护部令 47 号修改; 2019 年 8 月 22 日经生态环境部令 7 号修改);</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(中华人民共和国环境保护部令 18 号, 2011 年 5 月 1 日起施行);</p> <p>(7) 《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 6 日起施行);</p> <p>(8) 《建设项目环境保护管理条例》(1998 年 11 月 29 日国务院令 253 号发布施行; 2017 年 7 月 16 日国务院令 682 号修订, 2017 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》, 自 2021 年 1 月 1 日施行;</p> <p>(10) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(国家发展和改革委员会令 第 7 号, 2024 年 2 月 1 日起施行);</p> <p>(11) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告, 2019 年第 57 号, 2019 年 12 月 23 日);</p>
------------------	--

	<p>(12)《关于进一步优化辐射安全考核的公告》(生态环境部公告, 2021 第 9 号, 2021 年 3 月 15 日起实施);</p> <p>(13)《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》(国环规环评〔2017〕4 号, 2017 年 12 月 1 日起施行);</p> <p>(14)《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(生态环境部令第 9 号), 2019 年 11 月 1 日起施行);</p> <p>(15)《广东省环境保护条例》, 2022 年 11 月 30 日第三次修订;</p> <p>(16)《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》, 粤府〔2020〕71 号;</p> <p>(17)《关于发布广东省生态环境厅审批环境影响报告书(表)的建设项目名录(2021 年本)的通知》, 粤环办〔2021〕27 号。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016);</p> <p>(2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(3)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);</p> <p>(4)《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);</p> <p>(5)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021);</p> <p>(6)《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010);</p> <p>(7)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</p> <p>(8)《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</p> <p>(9)《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》(核安全导则 HAD 401/16-2023);</p> <p>(10)《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996);</p> <p>(11)《环境空气质量标准》(GB3095-2012);</p> <p>(12)《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023);</p> <p>(13)《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)。</p>

其他	<p>(1)建设单位提供的与本项目相关的管理制度和技术资料等材料；</p> <p>(2)《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护总局 1995 年）；</p> <p>(3)《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》(第三版)；</p> <p>(4) 王崇琳. 扩散方程解和烧结材料中合金元素的分布[J]. 粉末冶金材料科学与工程, 2006, 2:(79-84)；</p> <p>(5) Jordan H, Gordon D J, Whicker J J, et al. Predicting Worker Exposure from a Glovebox Leak[R]；</p> <p>(6) External exposure to radionuclides in air, water and soil. EPA FEDERAL GUIDANCE REPORT NO.15。</p>
----	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)中的“以项目实体边界为中心，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”的规定，本项目评价范围为辐射工作场所实体屏蔽边界外半径 50m 范围。本项目所在区域为单层，无地下室，无楼上。本项目外环境关系及评价范围包络线示意图见图 7-1。

7.2 保护目标

本项目评价范围包络线内北部为园区绿地，西部为变电站、南部及东部均为园区空地。评价范围内的环境保护目标以本项目相关工作人员、相关场所周围其他非辐射工作人员以及在相关场所周围活动的公众。

本项目评价范围见图 7-1 所示，主要保护目标主要是工作人员，以及周围公众。本项目 50m 评价范围内的保护目标见表 7-1。

本项目各工作场所 50m 评价范围内环境保护目标见表 7-1，1 号测试厅平面布局图见图 7-2。

表 7-1 环境保护目标

辐射工作场所	位置	方位	距离(m)	常居留人数	周围环境情况	保护目标	年剂量约束值
靶研究实验室	靶研究实验室	/	紧邻	3	过渡间、去污间、放废间、实验室内部	职业人员	5mSv
	1 号测试厅内	N	0~15	约 4 人	水冷机房、过道，配电箱	公众	0.1mSv
		W	3~50	约 5 人	BNCT 加速器系统室、中子测量室、走道	公众	0.1mSv
	园区内，1 号测试厅外	N	15~50	约 30 人	园区绿地	公众	0.1mSv
		S	0~50	约 30 人	园区空地	公众	0.1mSv
		E	0~50	约 30 人	变配电房、配电间、走道	公众	0.1mSv



图 7-1 评价范围示意图

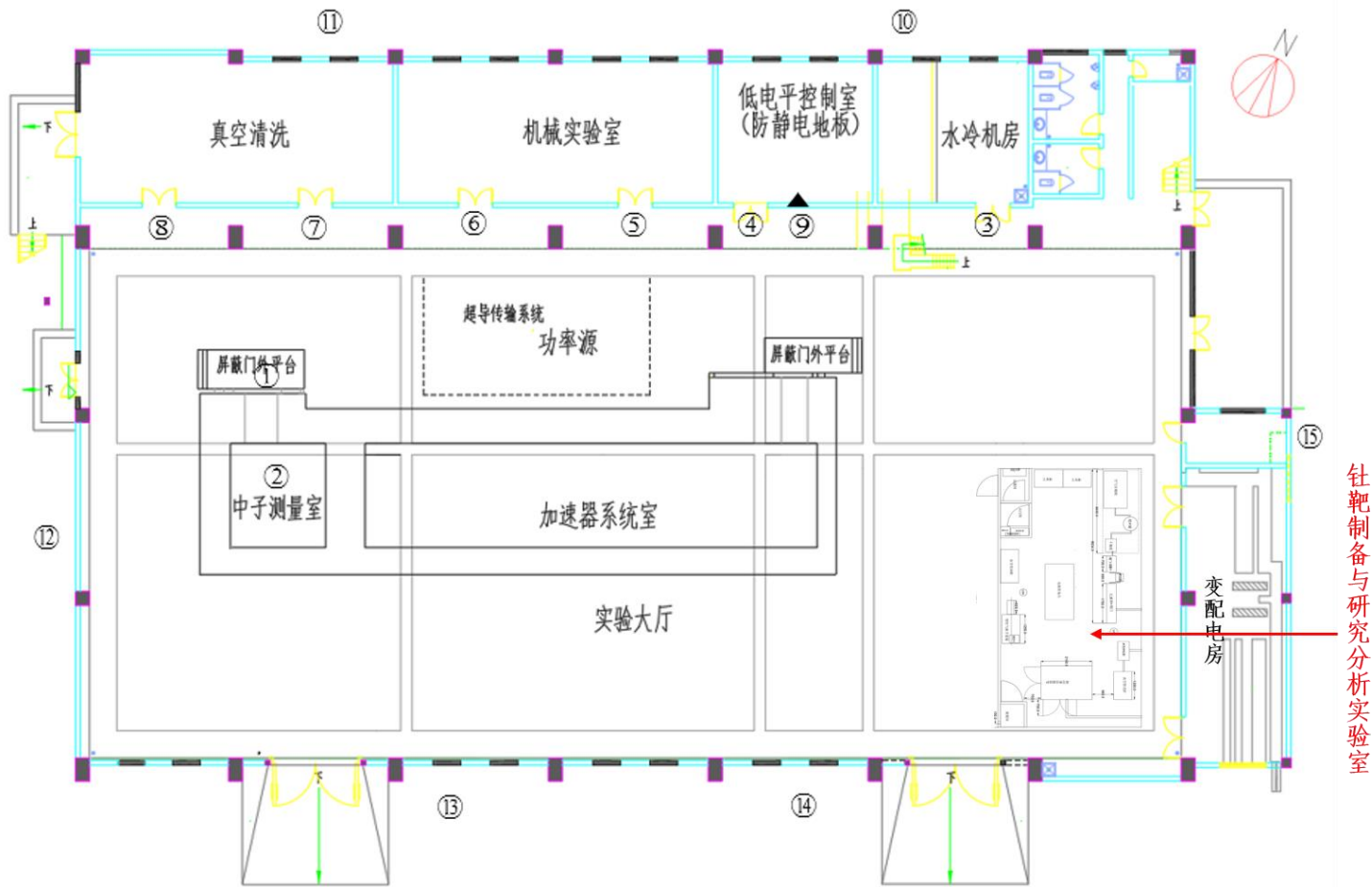


图 7-2 1号测试厅平面布局图

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的剂量限值列于表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值(GB18871-2002)

职业工作人员	公众
连续五年平均有效剂量 20mSv, 且任何一年有效剂量 50mSv	年有效剂量 1mSv; 但连续五年平均值不超过 1mSv 时, 某一单一年可为 5mSv
眼晶体的当量剂量 150mSv/a 四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a	眼晶体的当量剂量 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定了剂量约束值: 对于职业照射, 剂量约束是一种与源相关的个人剂量值, 用于限制最优化过程所考虑的选择范围。对于公众照射, 剂量约束是公众成员从一个受控源的计划运行中接受的年剂量的上界。

7.3.2 剂量约束值

依据防护与安全最优化原则, 以及中国散裂中子源辐射安全管理的相关要求, 本项目年剂量约束值如下:

本项目的辐射影响保护目标为辐射工作人员(职业照射)、中心内其他工作人员、评价范围内的其他人员(视为普通公众)。本项目工作场所辐射工作人员年有效剂量约束值均取 5mSv, 公众年有效剂量约束值取 0.1mSv。

7.3.2 辐射剂量率控制水平

参照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021), 本项目辐射工作场所剂量率水平按以下要求控制:

(1)控制区外人员可达处, 距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应小于 2.5 μ Sv/h; 控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子 $\geq 1/2$), 周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h。

(2)非密封放射性物质分装的箱体、通风柜等设备应设有屏蔽结构, 以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。

(3)固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集

罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。

7.3.5 放射性三废管理

7.3.5.1 放射性废液

(1) 水污染物排放标准

广东省地方标准《水污染物综合排放标准》(DB44/26-2001)给出了排入公共污水处理系统的水污染物排放限值：总 α 放射性为 1 Bq/L，总 β 放射性为 10 Bq/L。本项目废水收集桶总 α 、总 β 放射性采用该数值进行控制。

(2) 放射性废水排放管理要求

本项目使用的核素有一部分为短半衰期核素，放射性废水暂存一段时间后，经有资质的第三方检测合格，申请清洁解控确认。中心将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

7.3.5.2 放射性固体废物

参照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求，产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋(桶)，不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，

详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

本项目拟建放废间，放废间设置有屏蔽能力并有电离辐射警示标志的废物桶。实验室废物桶内应使用不易破损的塑料袋对固体废物进行收集，密封袋口后转移至放废间废物箱中，并在塑料袋外表面注明废物类别、重量（或体积）、所含核素名称、暂存起始日期等信息。废物桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h。

本项目放射性固体废物在放废间内暂存 5 年后交由有资质的单位统一进行处理。详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染测试结果、辐射剂量率测量结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

7.3.5.3 放射性废气

参照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求，产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

7.4 放射性工作场所分级

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级见表 7-3。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times 10^9$
乙	$2\times 10^7\sim 4\times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2\times 10^7$

7.5 工作场所放射性表面污染控制水平

(1)参照《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)的要求，本项目工作场所的放

射性表面污染控制水平见表 7-4。

表 7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平(Bq/cm²)

类别		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒组	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10	4×10	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

7.6 操作放射性同位素通风橱及排风口设置要求

参照《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(国家核安全局, 辐射函〔2023〕20号, 2023.09.13), 关于独立通风要求:

核医学标准第 6.3.4 节规定, 手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分, 应独立设置, 防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

本项目手套箱通风管道独立设置, 排风口设在 1 号测试厅顶部, 总排风口设置过滤装置。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 地理位置

本项目位于广东生东莞市大朗镇中子源路 1 号，散裂中子源科学中心现有园区内。“四至”范围：北侧为中子源路，南侧和东侧为园区空地，西侧为变电站，西南侧为测试实验厅 2。

8.1.2 场所位置

靶研究实验室位于 1 号测试厅东南角闲置区域，东侧为测试厅楼外的配电间和变配电房，西侧为硼中子治疗俘获装置加速器室和离子源机柜布置区，南侧为测试厅楼外及园区道路，北侧为配电箱和水冷机房。

8.2 辐射环境现状监测与评价

8.2.1 辐射环境现状监测

(1)监测目的

掌握该项目辐射工作场所的辐射环境质量现状水平，为评价提供基础数据。

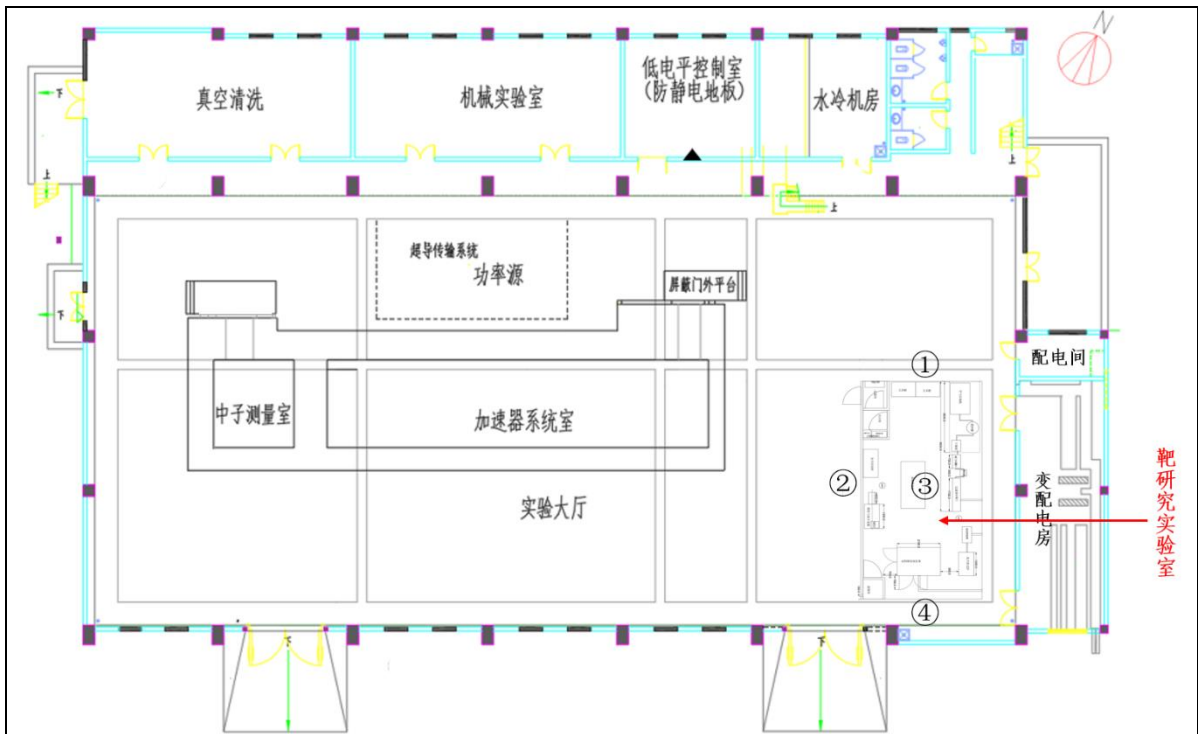
(2)监测内容

根据污染因子分析，监测的内容主要有：

γ 空气吸收剂量率。

(3)监测点位

选取本项目工作场所及周围进行监测，详见图 8-1。



注：①~④表示检测位点。

图 8-1 1 号测试厅检测位点示意图

(4) 本次调查所采用的采样与分析测量方法，均按照国家有关的规定执行，其主要内容见表 X。

表 8-1 测量仪器及分析测量方法

监测项目	测量仪器	测量(分析)方法	主要技术性能指标
γ 辐射剂量率	X、γ 剂量率仪	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)	最小探测下限：10nGy/h 能量范围：25keV~3MeV； 相对相应之差：<±15%。

(5) 质量保证

在执行环境放射性监测中，严格执行国家或主管部门颁发的监测方法标准与技术规范，执行本监测单位《质量管理手册》中所规定的质量保证措施，保证监测数据准确完整、真实可靠。量值可追溯性是测量保证措施中最重要一环，为了保证测量结果的量值可追溯至国家计量标准，参加调查的仪器，除出厂时刻度外，在以后使用期间每年至少重新刻度一次。主要质量控制措施如下：

- ① 监测单位具备所监测项目的资质；

- ②合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；
- ③监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；
- ④监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- ⑤每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；
- ⑥由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- ⑦监测报告严格实行三级审核制度，经过校验、审核，最后由技术总负责审定；
- ⑧实验室的仪器定期会用标准源进行能量和效率刻度，以保证样品分析结果的准确性。

8.2.2 辐射环境现状监测结果及评价

2025年7月24日评价单位对本项目所在地进行了检测，检测时1号测试厅内BNCT处于停机状态，监测结果见表8-2。BNCT运行时工作场所剂量率水平见

表 8-2 拟建场所辐射水平监测结果

序号	检测位置	检测结果(nGy/h)	备注
1	拟建靶研究实验室北侧①	131	/
2	拟建靶研究实验室西侧②	138	/
3	拟建靶研究实验室中央③	135	/
4	拟建靶研究实验室南侧④	133	/

注：环境空气吸收剂量率检测结果均扣除宇宙射线响应值（21.7 nGy/h）。

根据《广东省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，广东省室内 γ 辐射剂量率水平为35.3~338.3nGy/h，道路 γ 辐射剂量率水平为26.9~178.8nGy/h。由表8-2中检测结果可知，本项目场址周围环境 γ 辐射现状监测值均处于广东省室内辐射本底范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 金属钍靶制备

9.1.1 设备组成

包括手套箱、冷压机和真空热压烧结炉。其中，手套箱用于金属钍粉末的称量和储存，防止金属钍材料氧化；冷压机置于手套箱内，用于轻压金属粉末使其成型；真空热压烧结炉用于成型粉末模块的热压烧结，使得样品均匀致密。

该制备系统使用 Th-232 金属粉末，制成厚度 0.5-1mm、直径 30 mm 圆形或 25mm*25mm 的方形薄片；密度为 11.899 g/cm³，总重不大于 8.4 g，活度不大于 4.07E+05Bq，单日最大制备 10 块钍靶。



图 9-1 手套箱示意图



图 9-2 冷压机示意图

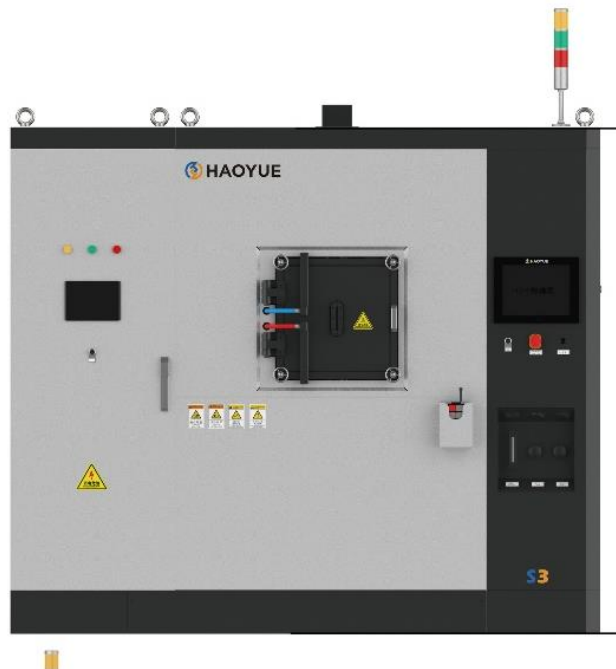


图 9-3 真空热压烧结炉示意图

9.1.2 工艺流程

工艺流程：

1. 在手套箱中采用天平称量一定量的金属钽粉末；
2. 将金属钽粉末转移压片模具中，将模具放置于冷压机中冷压成型；
3. 将成型钽片转移到高温热压模具中，使用转运盒转运至真空热压烧结炉中、抽真空、加压释放空气，然后逐渐提升靶区温度到 1000 度附近，保温 30 分

钟到 2 小时；

4. 降温冷却到室温，充气开启高温炉，取出成型靶片。
5. 将靶片放置于手套箱内的钨合金罐中存储。

9.1.3 靶片转运

1. 利用钨合金罐将靶片转移至伴生质子束实验厅进行辐照。
2. 将辐照后冷却 10 天的靶片放入钨合金转运罐。
3. 测量罐体表面剂量，确认罐体表面剂量小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。
4. 通知技术安全办公室和行政办公室确认后启动转运。
5. 按照既定路线，将钨合金转运罐送至靶研究实验室。

转运路线见图 9-4。



- A1、A2: 综合实验楼
- A4: 综合服务楼
- B1: 直线设备楼
- B2: LRBT设备楼
- B3: RCS设备楼
- B4: RTBT设备楼
- B7: 靶站谱仪大厅
- C1: 测试实验大厅1 (靶研究实验室所在位置)
- C2: 测试实验厅2
- C4: 维修站
- C5: 冷冻站
- C6: 排风中心
- C8: 辐射防护楼

- 散裂中子源科学中心厂界
- 辐照冷却后转移路线
- 伴生质子束实验厅

图 9-4 靶片辐照后转运路线示意图

9.2 靶片机械性能分析

9.2.1 设备组成

主要设备为吹扫试验空压机、干燥机、靶容器，用途为高速气流冲击下钽靶的机械性能分析。



图 9-5 靶片机械性能分析系统示意图

9.2.2 工艺流程

工艺流程：

1. 在将制备好的钽靶放入机械性能分析装置的靶容器，并连接好密封的气路管道；
2. 打开空气压缩机及干燥机，用经干燥的高速气流吹扫靶片；
3. 记录实验参数；
4. 关闭空气压缩机及干燥机，取出靶片。

9.3 目标核素检测分析系统

9.3.1 设备组成

主要设备为真空管式炉及 γ 核素分析系统，用途为高温下目标核素的析出检测分析。

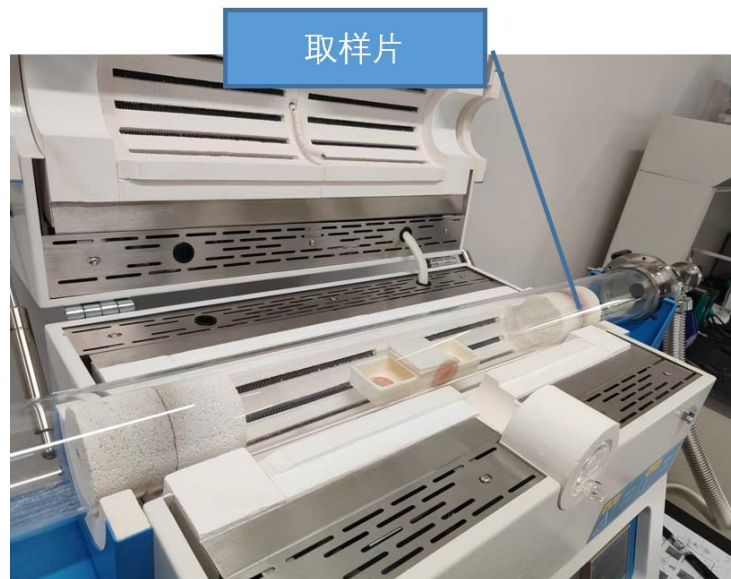


图 9-6 真空管式炉示意图

9.3.2 工艺流程

工艺流程：

1. 经伴生质子束实验厅内辐照后的低剂量靶片转运到靶研究实验室；
2. 打开真空管式炉左端，装入靶片；
3. 打开真空管式炉右端，在抽气口安装取样片；
4. 密封管式炉，抽真空；
5. 提升靶区温度到特定温度（600~800℃），保温特定时间（30 分钟到 1 小时）；
6. 停止加热，等待炉膛冷却到室温；
7. 取出靶片，存放于放废间；
8. 取出取样片，放入钨合金罐转移至辐射防护楼通过特征 γ 谱分析高温环境下目标核素的析出情况。

9.4 工作场所划分和等级

(1) 工作场所等级

1) 同位素操作量

本项目实验室核素使用情况如下：

表 9-1 使用核素情况一览表

序号	场所名称	使用核素	使用点	用途	使用方式

1	靶研究 实验室	Th-232/Th-天然	手套箱、冷压机、真空热压烧结炉	制作 Th-232 靶片	钍粉末称量后转移入压片模具、在冷压机冷压成型后转移入高温热压模具压制成钍靶片
2		Th-232/Th-天然	靶片机械性能分析系统	高速气流冲击下钍靶片机械性能分析	钍靶片经高速气流冲扫
3		Ac-225、Ra-223、Pb-212 等	真空管式炉	高温下钍靶蒸发情况分析	将辐照后的靶片放入真空管式炉，开展目标核素析出实验

钍靶制备系统使用 Th-232 金属粉末，活度为 4.07E+05Bq，单日最大制备 10 块钍靶。靶片机械性能分析系统使用制备好的钍靶开展，单次使用靶片不超过 5 片，单日实验不超过 2 次。

制备好的钍靶转移至伴生质子束平台使用质子辐照钍靶，生产 α 放射性同位素 ^{225}Ac ，预期冷却 10 天后靶上总活度为 1E+06 Bq。

束流与靶的参数：束流：80 MeV/p， $1\text{E}+10\text{p/s/cm}^2$ （所需辐照时长随冷却时间变化）。高能束流质子轰击 Th 靶，其反应过程中母核会产生多个子核碎片，会产生多种核素，各放射性核素自身发生衰变，衰变过程中伴随产生的 α 粒子、 β 粒子、 γ 射线。经模拟计算，辐照时间 16500s 后冷却 0 天、10 天后的剂量率见表 9-2，基于核素活度大于总活度 1/10000 筛选原则，辐照后冷却 10 天后的关键核素相关参数见表 9-3，除 Xe-133（日最大操作量 $5.19\text{E}+04 >$ 豁免活度 $1.00\text{E}+04$ ）、Th-227（日最大操作量 $3.94\text{E}+04 >$ 豁免活度 $1.00\text{E}+04$ ）外，其余核素活度均低于 GB18871-2002 表 A1 及国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 3 号表 I.1 中的豁免水平。

表 9-2 冷却不同时间剂量率

冷却时间	靶表面剂量率， $\mu\text{Sv/h}$	10cm 处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$	30cm 处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$
0 天	3.608E+06	5.985E+04	7.208E+03
10 天	3.071E+02	3.773	0.432

表 9-3 辐照后冷却 10 天后的关键核素相关参数

序号	核素	冷却 10d 后活度(Bq)*	半衰期	真空下沸点(°C)	序号	核素	冷却 10d 后活度(Bq)*	半衰期	真空下沸点(°C)
1	Ag-111	1.13E+05	7.45d	715	46	Sb-122	2.76E+03	2.7d	85
2	Xe-133	5.19E+04	5.24d	-218	47	Pb-209	2.72E+03	3.25h	465
3	I-131	4.18E+04	8.04d	-168	48	Bi-213	2.68E+03	0.761h	393
4	Th-227	3.94E+04	18.7d	1787	49	Fr-221	2.67E+03	4.9min	12
5	Cd-115	3.66E+04	2.23d	128	50	Ac-225	2.67E+03	10.0d	1235
6	Ru-103	3.35E+04	39.3d	1766	51	At-217	2.67E+03	32.6ms	-101

7	Mo-99	3.24E+04	2.75d	1905	52	Po-213	2.62E+03	3.72 μ s	154
8	La-140	3.16E+04	1.68d	1265	53	Ce-143	2.48E+03	1.38d	1129
9	Pr-143	2.74E+04	13.6d	1069	54	Po-212	2.21E+03	0.299 μ s	154
10	Sb-127	2.72E+04	3.85d	85	55	Sn-121	2.20E+03	1.13d	868
11	Ba-140	2.71E+04	12.7d	367	56	Pa-229	2.10E+03	1.5d	1512
12	Te-127	2.69E+04	9.35h	-22	57	Sn-123	1.83E+03	129d	868
13	Po-215	2.16E+04	1.78ms	154	58	As-77	1.71E+03	1.62d	352
14	Rn-219	2.16E+04	3.96S	-200	59	Ce-144	1.67E+03	284d	1129
15	Ra-223	2.16E+04	11.4d	307	60	Pr-144	1.67E+03	0.288h	1069
16	Pb-211	2.16E+04	0.601h	465	61	Cs-132	1.32E+03	6.48d	20
17	Bi-211	2.16E+04	2.14min	393	62	Tl-208	1.24E+03	3.053min	393
18	Tl-207	2.15E+04	4.77min	393	63	Eu-156	1.20E+03	15.2d	426
19	Sr-89	1.81E+04	50.5d	307	64	Rb-86	1.07E+03	18.6d	42
20	Ce-141	1.69E+04	32.5d	1129	65	Sm-153	1.03E+03	1.95d	464
21	Y-91	1.62E+04	58.5d	1197	66	Ag-112	9.42E+02	3.12h	715
22	Nd-147	1.54E+04	11.0d	926	67	Sb-125	8.77E+02	2.77a	85
23	Zr-95	1.47E+04	64.0d	1820	68	Pd-112	8.02E+02	21.04h	1131
24	Sn-125	1.25E+04	9.64d	868	69	Ga-72	7.35E+02	14.1h	725
25	Rh-105	1.23E+04	1.47d	1507	70	I-126	7.28E+02	13.0d	-168
26	I-132	1.11E+04	2.3h	-168	71	Y-90	5.50E+02	2.67d	1197
27	Cs-136	1.09E+04	13.1d	20	72	Cs-131	5.46E+02	9.69d	20
28	Te-132	1.08E+04	3.26d	-22	73	Zn-72	5.12E+02	46.5h	-272
29	Sb-126	7.62E+03	12.4d	85	74	Pa-232	4.72E+02	1.32d	1512
30	Pa-233	5.33E+03	27.0d	1512	75	Po-210	4.02E+02	22.3a	154
31	Ru-106	4.97E+03	1.01a	1766	76	Pm-151	3.05E+02	1.18d	926
32	Rh-106	4.97E+03	30.07S	1507	77	Po-214	2.83E+02	164.3 μ s	154
33	Pa-230	4.26E+03	17.4d	1512	78	Rn-218	2.83E+02	35ms	-200
34	Pm-149	4.16E+03	2.21d	926	79	Ra-222	2.83E+02	38s	307
35	Bi-210	3.85E+03	5.01d	393	80	Th-226	2.83E+02	30.57min	1787
36	Th-228	3.79E+03	1.91a	1787	81	I-133	2.08E+02	20.8h	-168
37	Sb-124	3.74E+03	60.2d	85	82	Br-82	2.00E+02	1.47d	-26
38	Po-216	3.50E+03	0.146s	154	83	Ac-226	1.88E+02	29.37h	1235
39	Rn-220	3.50E+03	55.6s	-200	84	Pb-210	1.79E+02	22.3a	465
40	Ra-224	3.50E+03	3.66d	307	85	Cs-134	1.71E+02	2.06a	20
41	Pb-212	3.46E+03	10.6h	465	86	Pm-147	1.59E+02	2.62a	926
42	Bi-212	3.45E+03	1.01h	393	87	Tb-161	1.49E+02	6.91d	969
43	Nb-95	3.45E+03	35.1d	2100	88	U-230	1.25E+02	20.8d	1381
44	Th-231	3.36E+03	1.06d	1787	89	Cu-67	1.13E+02	2.58d	941
45	Te-129	3.12E+03	1.16h	-22	90	Sr-90	1.01E+02	29.1a	307

目标核素析出实验中，各元素蒸发速率计算见式9-1：

$$J = \alpha \times P_v \times \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}} \quad (9-1)$$

其中,

α —不同核素在靶内的摩尔分数;

P —压强因子;

M —摩尔质量;

R —气体常数;

T —开尔文温度。

饱和蒸汽压 P_v 由式9-2给出:

$$P_v = 10^{A - \frac{B}{T} + 2} \quad (9-2)$$

其中, A、B为随元素变化的蒸发参数,通过查询《CRC物理化学手册》以及Wagner方程得到。

经计算, 1000°C真空环境下, 以靶内所有核素原子均可接触真空自由蒸发为条件, 高温蒸发靶片一小时总蒸发量为7.31E+05Bq。

鉴于实际情况为固体靶, 考虑靶片在高温及表面蒸发带来的物系浓度差, 驱动原子随之移动, 这个过程由菲克第二定律描述。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla C) - \lambda C \quad (9-3)$$

其中,

C —元素浓度分布,

D —与温度有关的扩散系数。

参考“粉末冶金材料科学与工程”2006年《扩散方程解和烧结材料中合金元素的分布》王崇琳中的结论“Co等元素在1150°C下一小时最大迁移距离小于20微米”, 假设元素在靶内一小时最大迁移率为100微米, 可以得出: 高温蒸发实验一小时内, 活度析出峰值不超过辐照后靶片活度总数值的27%(表层扩散并蒸发)。

2) 操作方式

钚粉末在手套箱称量后转移入压片模具、在冷压机冷压成型后转入真空热压炉, 视为“简单操作”。

辐照后的靶片将其从转运罐取出后置入真空管式炉开展目标核素检测分析, 视为“很简单操作”。

金属制靶、靶片机械性能分析和目标核素检测实验不会在同一天内进行, 本评价从

单日最大操作量的角度进行，按所有实验均在 1 天内完成进行评价。

辐照后的靶片从伴生质子束实验厅转移入靶研究实验室至少需要15 min，因此进行工作场所等级核算时基于核素半衰期大于0.2h 进行筛选。

场所等级的估算根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》附录C，放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商，核素毒性组别修正因子参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》附录D，操作方式有关的修正因子参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》附表C3，场所等级评估结果见表 9-4，场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

表 9-4 非密封放射性物质工作场所等级核算

序号	核素	日最大操作量 (Bq)*	半衰期	毒性组别修正因子		操作方式与放射源状态修正因子	日等效操作量(Bq)	年最大操作量,Bq
1	Th-232 或 Th-天然	4.07E+06	1.40E+10a	低毒	0.01	0.01	4.07E+06	4.07E+07
2	Ag-111	1.13E+05	7.45d	中毒	0.1	0.1	1.13E+05	2.26E+06
3	Xe-133	5.19E+04	5.24d	低毒	0.01	0.1	5.19E+03	1.04E+05
4	I-131	4.18E+04	8.04d	中毒	0.1	0.1	4.18E+04	8.36E+05
5	Th-227	3.94E+04	18.7d	极毒	10	0.1	3.94E+06	7.88E+07
6	Cd-115	3.66E+04	2.23d	中毒	0.1	0.1	3.66E+04	7.32E+05
7	Ru-103	3.35E+04	39.3d	中毒	0.1	0.1	3.35E+04	6.70E+05
8	Mo-99	3.24E+04	2.75d	中毒	0.1	0.1	3.24E+04	6.48E+05
9	La-140	3.16E+04	1.68d	中毒	0.1	0.1	3.16E+04	6.32E+05
10	Pr-143	2.74E+04	13.6d	中毒	0.1	0.1	2.74E+04	5.48E+05
11	Sb-127	2.72E+04	3.85d	中毒	0.1	0.1	2.72E+04	5.44E+05
12	Ba-140	2.71E+04	12.7d	中毒	0.1	0.1	2.71E+04	5.42E+05
13	Te-127	2.69E+04	9.35h	低毒	0.01	0.1	2.69E+03	5.38E+04
14	Ra-223	2.16E+04	11.4d	极毒	10	0.1	2.16E+06	4.32E+07
15	Pb-211	2.16E+04	0.601h	中毒	0.1	0.1	2.16E+04	4.32E+05
16	Sr-89	1.81E+04	50.5d	中毒	0.1	0.1	1.81E+04	3.62E+05
17	Ce-141	1.69E+04	32.5d	中毒	0.1	0.1	1.69E+04	3.38E+05
18	Y-91	1.62E+04	58.5d	中毒	0.1	0.1	1.62E+04	3.24E+05
19	Nd-147	1.54E+04	11.0d	中毒	0.1	0.1	1.54E+04	3.08E+05
20	Zr-95	1.47E+04	64.0d	中毒	0.1	0.1	1.47E+04	2.94E+05
21	Sn-25	1.25E+04	9.64d	中毒	0.1	0.1	1.25E+04	2.50E+05
22	Rh-105	1.23E+04	1.47d	中毒	0.1	0.1	1.23E+04	2.46E+05
23	I-132	1.11E+04	2.3h	中毒	0.1	0.1	1.11E+04	2.22E+05
24	Cs-136	1.09E+04	13.1d	中毒	0.1	0.1	1.09E+04	2.18E+05
25	Te-132	1.08E+04	3.26d	中毒	0.1	0.1	1.08E+04	2.16E+05

26	Sb-126	7.62E+03	12.4d	中毒	0.1	0.1	7.62E+03	1.52E+05
27	Pa-233	5.33E+03	27.0d	中毒	0.1	0.1	5.33E+03	1.07E+05
28	Ru-106	4.97E+03	1.01a	高毒	1	0.1	4.97E+04	9.94E+05
29	Pa-230	4.26E+03	17.4d	高毒	1	0.1	4.26E+04	8.52E+05
30	Pm-149	4.16E+03	2.21d	中毒	0.1	0.1	4.16E+03	8.32E+04
31	Bi-210	3.85E+03	5.01d	高毒	1	0.1	3.85E+04	7.70E+05
32	Th-228	3.79E+03	1.91a	极毒	10	0.1	3.79E+05	7.58E+06
33	Sb-124	3.74E+03	60.2d	中毒	0.1	0.1	3.74E+03	7.48E+04
34	Ra-224	3.50E+03	3.66d	极毒	10	0.1	3.50E+05	7.00E+06
35	Pb-212	3.46E+03	10.6h	中毒	0.1	0.1	3.46E+03	6.92E+04
36	Bi-212	3.45E+03	1.01h	高毒	1	0.1	3.45E+04	6.90E+05
37	Nb-95	3.45E+03	35.1d	中毒	0.1	0.1	3.45E+03	6.90E+04
38	Th-231	3.36E+03	1.06d	中毒	0.1	0.1	3.36E+03	6.72E+04
39	Te-129	3.12E+03	1.16h	低毒	0.01	0.1	3.12E+02	6.24E+03
40	Sb-122	2.76E+03	2.7d	中毒	0.1	0.1	2.76E+03	5.52E+04
41	Pb-209	2.72E+03	3.25h	低毒	0.01	0.1	2.72E+02	5.44E+03
42	Bi-213	2.68E+03	0.761h	高毒	1	0.1	2.68E+04	5.36E+05
43	Ac-225	2.67E+03	10.0d	极毒	10	0.1	2.67E+05	5.34E+06
44	Ce-143	2.48E+03	1.38d	中毒	0.1	0.1	2.48E+03	4.96E+04
45	Sn-121	2.20E+03	1.13d	低毒	0.01	0.1	2.20E+02	4.40E+03
46	Sn-123	1.83E+03	129d	中毒	0.1	0.1	1.83E+03	3.66E+04
47	As-77	1.71E+03	1.62d	中毒	0.1	0.1	1.71E+03	3.42E+04
48	Ce-144	1.67E+03	284d	高毒	1	0.1	1.67E+04	3.34E+05
49	Pr-144	1.67E+03	0.288h	低毒	0.01	0.1	1.67E+02	3.34E+03
50	Cs-132	1.32E+03	6.48d	中毒	0.1	0.1	1.32E+03	2.64E+04
51	Eu-156	1.20E+03	15.2d	中毒	0.1	0.1	1.20E+03	2.40E+04
52	Rb-86	1.07E+03	18.6d	中毒	0.1	0.1	1.07E+03	2.14E+04
53	Sm-153	1.03E+03	1.95d	中毒	0.1	0.1	1.03E+03	2.06E+04
54	Ag-112	9.42E+02	3.12h	低毒	0.01	0.1	9.42E+01	1.88E+03
55	Sb-125	8.77E+02	2.77a	中毒	0.1	0.1	8.77E+02	1.75E+04
56	Pd-112	8.02E+02	21.04h	极毒	10	0.1	8.02E+04	1.60E+06
57	Ga-72	7.35E+02	14.1h	中毒	0.1	0.1	7.35E+02	1.47E+04
58	I-126	7.28E+02	13.0d	中毒	0.1	0.1	7.28E+02	1.46E+04
59	Y-90	5.50E+02	2.67d	中毒	0.1	0.1	5.50E+02	1.10E+04
60	Cs-131	5.46E+02	9.69d	低毒	0.01	0.1	5.46E+01	1.09E+03
61	Zn-72*	5.12E+02	46.5h	极毒	10	0.1	5.12E+04	1.02E+06
62	Pa-232*	4.72E+02	1.32d	极毒	10	0.1	4.72E+04	9.44E+05
63	Po-210	4.02E+02	22.3a	极毒	10	0.1	4.02E+04	8.04E+05
64	Pm-151	3.05E+02	1.18d	中毒	0.1	0.1	3.05E+02	6.10E+03
65	I-133	2.08E+02	20.8h	中毒	0.1	0.1	2.08E+02	4.16E+03
66	Br-82	2.00E+02	1.47d	中毒	0.1	0.1	2.00E+02	4.00E+03
67	Ac-226*	1.88E+02	29.37h	极毒	10	0.1	1.88E+04	3.76E+05
68	Pb-210	1.79E+02	22.3a	高毒	1	0.1	1.79E+03	3.58E+04
69	Cs-134	1.71E+02	2.06a	中毒	0.1	0.1	1.71E+02	3.42E+03
70	Pm-147	1.59E+02	2.62a	中毒	0.1	0.1	1.59E+02	3.18E+03
71	Tb-161	1.49E+02	6.91d	中毒	0.1	0.1	1.49E+02	2.98E+03

72	U-230	1.25E+02	20.8d	极毒	10	0.1	1.25E+04	2.50E+05
73	Cu-67	1.13E+02	2.58d	中毒	0.1	0.1	1.13E+02	2.26E+03
74	Sr-90	1.01E+02	29.1a	高毒	1	0.1	1.01E+03	2.02E+04
总计							1.22E+07	
场所分级							丙级	

表 9-4 为非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量的核算，可见，本项目建成后，靶研究实验室作为一个场所，日等效最大操作量为 1.22E+07Bq，为丙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 物质来源

金属钽粉末根据科研计划，提前确定外购数量，存放于手套箱储存罐中。

辐照后的金属钽靶根据计划，辐照冷却 10 天后由伴生质子束实验厅转入。

9.6 污染源分析

1. 正常工况下的污染源分析

- 1) α 表面污染：金属钽靶片制作过程中，Th-232 为 α 辐射体，本项目的辐射工作人员在实验过程中对工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成 α 局部放射性表面污染。
- 2) γ 射线辐射：钽靶片辐照后产生多种放射性核素，详见表 9-3，各放射性核素自身发生衰变，衰变过程中伴随产生 α 粒子、 β 粒子、 γ 射线，会对局部环境产生 γ 射线外照射。
- 3) 固体废物：实验过程中使用的称量纸、擦拭纸，以及手套、口罩等，分类收集于放射性废物桶中，暂存在放废间。热压及靶片机械性能分析后的金属钽靶、辐照后目标核素检测分析后的废靶，更换下来的过滤装置，均按照放射性固体废物处理，暂存在放废间。
- 4) 放射性废气：靶片在真空管式炉加热过程中，会有少量放射性蒸汽产生，本项目真空管式炉配套活性炭过滤器，放射性废气经活性炭吸附后汇入总排风管道，经过滤后排放。
- 5) 放射性废液：放射性废液主要为人员去污废水。辐射工作人员产生的去污废水收集至废水收集桶，经暂存、监测合格后受控排放至市政污水官网。

实验的总体流程及产污环节示意图见图 9-6。

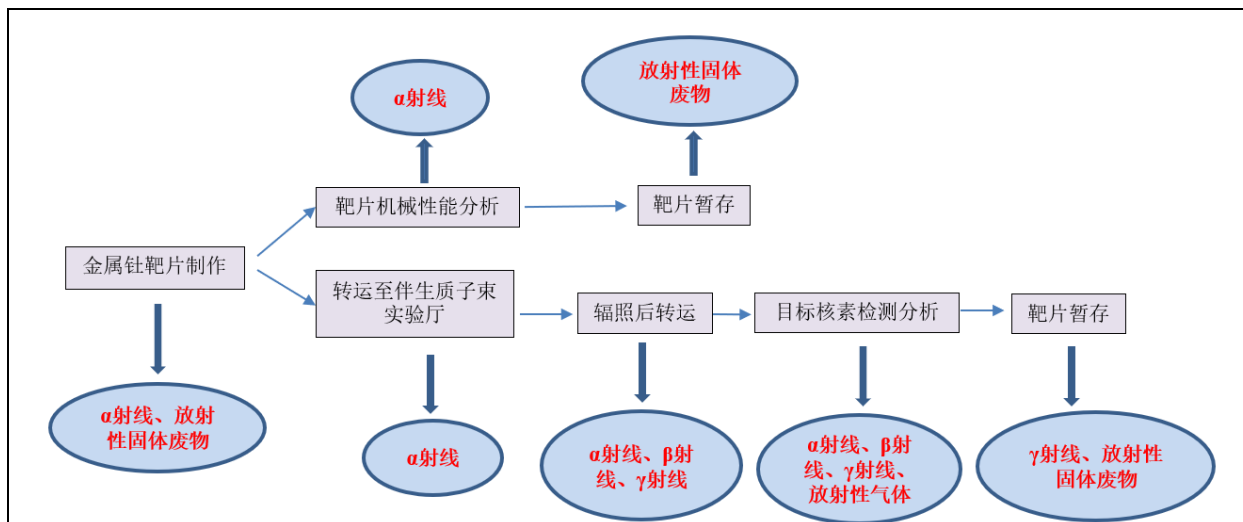


图 9-6 实验的总体流程及产污环节示意图

2. 非正常工况的污染途径

操作放射性物质时发生放射性污染：如发生容器破碎等意外事件，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

放射性物质保管不当，发生遗失或被盜：放射性物质失控可能造成环境放射性污染。设置门禁系统等安保措施，能有效防止放射性物质被盜和丢失事件的发生。

放射性废物处置不当：放射性废物（废水或固体废物）处置或管理不当，造成环境放射性污染。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 选址与合理性分析

散裂中子源科学中心本次项目建设地点位于东莞市大朗镇中子源路 1 号，散裂中子源科学中心园区内。本项目评价范围包络线内东西南北部均为园区内部。评价范围内的环境保护目标为本项目相关工作人员、相关场所周围其他非辐射工作人员以及在相关场所周围活动的公众。本项目评价范围内无国家重点保护文物、古迹，无风景名胜区、自然保护区，无地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源。

靶研究实验室采用钢结构，墙体及屋顶为 100 mm 厚玻岩棉彩钢板，与 1 号测试厅内其他区域分开。实验室入口处设置门禁，控制无关人员进入。辐射工作场所不毗邻食堂等部门及人员密集区，有明确的分界隔离；场所有单独出、入口。满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)和《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)的选址要求。因此，本项目选址合理。

10.1.2 工作场所布局和分区

(1)场所平面布局

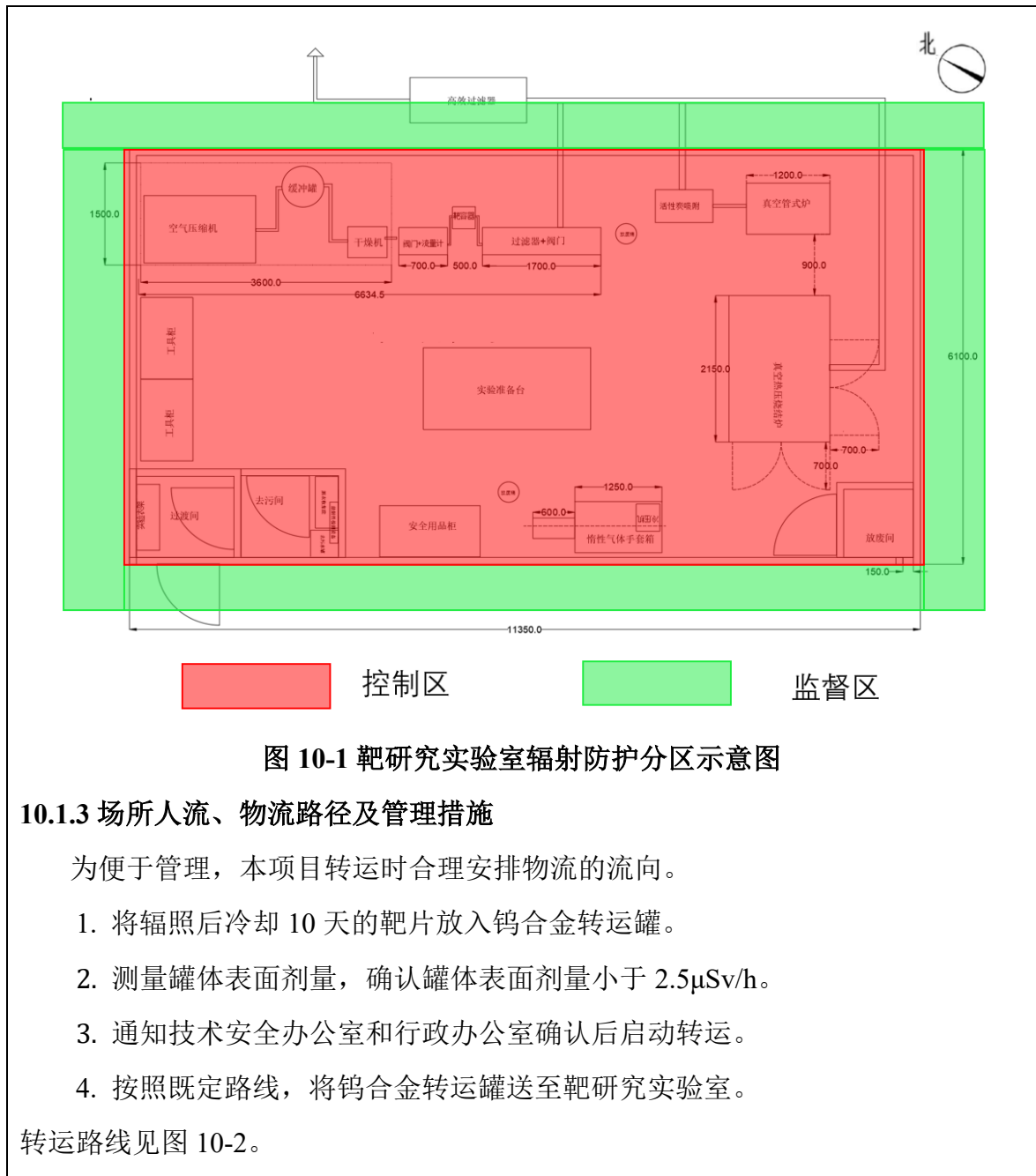
实验室位于 1 号测试厅一层，设有卫生出入口、放废间，合理规划布置各设备位置，同时场所布局考虑了不同放射性操作或污染水平的工作场所分开，尽可能的避免了人员受辐射影响，平面布局合理。

(2)场所分区

本项目的辐射分区如下，平面布局及辐射分区(控制区、监督区)见图 10-1 所示。

控制区：靶研究实验室。

监督区：靶研究实验室四周相邻区域。





- A1、A2: 综合实验楼
- A4: 综合服务楼
- B1: 直线设备楼
- B2: LRBT设备楼
- B3: RCS设备楼
- B4: RTBT设备楼
- B7: 靶站谱仪大厅
- C1: 测试实验大厅1 (靶研究实验室所在位置)
- C2: 测试实验厅2
- C4: 维修站
- C5: 冷冻站
- C6: 排风中心
- C8: 辐射防护楼

- 散裂中子源科学中心厂界
- 辐照冷却后转移路线
- 伴生质子束实验厅

图 10-2 靶片辐照后转运路线示意图

10.1.4 辐射安全与防护措施

1. 外照射防护：靶片从伴生质子束实验厅转运入靶研究实验室过程中置于钨合金防护罐。实验过程中，使用长柄工具移入或移出真空管式炉。

2. 内照射的防护：实验室配备 1 个手套箱，用于金属钷粉末称量及转移入冷压模具中，手套箱内置 4 个 20 mm 钨合金罐，用于金属钷粉末暂存。冷压机也置于手套箱，钷粉末冷压成型后再从手套箱转移至真空热压炉。

3. 通风设施：手套箱设置一套排风系统，负压值为不小于-50Pa，其排风汇入主管道经 1 号测试厅东侧墙体外升至屋顶。

真空管式炉放射性废气经设备顶部活性炭吸附后汇入主排风管道经 1 号测试厅东侧墙体外升至屋顶。

真空热压烧结炉、机械性能分析装置、放废间各设置排风管道，汇总至总排风管后经南侧墙体外升至屋顶。

屋顶排风口设置高效过滤器，放射性废气经过滤后排出。

4. 放射性表面污染控制措施：实验室地面铺装防水环氧地坪，易于擦拭便于去污。使用过程中，每次使用后监测，确保控制区、监督区 α 、 β 放射性物质表面污染控制水平分别不大于 40 Bq/cm²、4 Bq/cm²。

手套箱工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料。采用易去污材料（如不锈钢板），配置托盘、吸水纸等物品。

辐射工作人员经过卫生通过间进入实验室，在卫生通过间穿戴个人防护用品后，在实验室开展实验，完成工作后经人员出入口处的表面污染监测设备进行检测，本项目涉及 α 核素，表面污染水平控制水平为 4.0E-02 Bq/cm²，若检测不合格先干法去污，如若再无法满足要求则进行冲洗去污，监测合格后方可离开场所。

5. 放射性废水收集处置设施：去污间洗手池下设废水收集桶，总容积为 50 L，废水检测满足清洁解控要求，经审管部门解控确认后，排入市政污水管网，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”，清晰记录放射性废水的暂存、检测、解控、排放等信息。此外，去污间下设集水坑以防事故情况下废水外溢。

6. 妥善收集固体放射性废物：拟配置 4 个废物桶。具体如下：

手套箱内放置 50 mm 不锈钢废物桶（2 L），废弃的称量纸、擦拭纸等物品放入该废物桶；放废间设置 1 个 50 mm 不锈钢废物桶（容积 50 L）；实验室准备台旁放置 1

个 50mm 不锈钢废物桶（容积 30 L），实验过程中产生的放射性废物放入该废物桶；去污间放置 1 个 50mm 不锈钢废物桶（容积 30 L），手套、口罩等一次性物品放入该废物桶。

产生的放射性废物暂存一年后交由有资质的单位处理；详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、转运等信息。

7. 实验室拟配置 1 台辐射剂量率仪和 1 台表面污染监测仪，分别用于剂量率水平和表面污染的检测。

根据生态环境部《辐射安全与防护监督检查技术程序》（2020 年发布版）中对于工作场所的要求，本项目设计落实情况见表 10-1 所示。

表 10-1 实验室辐射安全防护设施设计落实表

序号	检查项目		设计	本项目具体情况
1	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	√	按照实验流程进行布局和分区
2		场所分区的管控措施及标识	√	拟设置控制区和监督区，并设置明显的分区标识
3		电离辐射警告标志	√	场所出入口、放废间等门口设置
4		通风柜	√	设置手套箱
5		防止放射性液体操作造成污染的措施	√	钚粉称取在托盘内进行，防止沾染台面造成污染
6		放射性废水处理系统及标识	√	设废水收集桶。粘贴明显文字标识。
7		放射性物料与成品暂存场所或设施	√	设置钨合金罐用于暂存钚粉
8		放射性固体废物暂存场所或设施	√	设置放废间、废物桶等贮存设施
9		安保设施	√	设置门禁系统，经授权后方可进入。
10	B 监测设备	便携式辐射水平监测仪	√	拟配置 1 台 X-γ 剂量率检测仪及 1 台表面污染仪，可以满足日常工作需要。
11		个人剂量计	√	所有工作人员配备个人剂量计。
12	C 放射性废物和废液	个人防护用品	√	配备一次性医用口罩和手套。
13	D 应急物资	去污用品和应急物资	√	配备洗涤灵、酒精和棉球等去污用品。配置去污剂、警戒带等应急物资。

10.2 放射性三废

10.2.1 放射性固体废物

手套箱内配置 1 个不锈钢废物桶（容积 2 L），对废弃的称量纸、擦拭纸等进行收集。

实验准备台配置 1 个不锈钢废物桶（容积 30 L）。

去污间配置 1 个不锈钢废物桶（容积 30 L），对手套、口罩等一次性用品进行收集。

放废间内设置 1 个 50L 的废物桶。

另外，每年更换通风系统的活性炭过滤器，预计额外产生 1kg 活性炭滤材。拆卸下的废弃滤材将妥善收集，密封包装暂存于放废间。

实验后的靶托暂存于放废间。

10.2.2 放射性废水

放射性废液主要为人员去污废水，每次产生量约为2L，保守估计每年约20次，年产量为40L。辐射工作人员离开工作场所前需检测，若检测不合格进行冲洗去污，去污废水由专用污水桶收集。人员去污废水的暂存和处理安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录体积、废液产生起始日期、负责人员、排放时间和检测结果等信息。

10.2.3 放射性废气

本项目金属钍靶制备使用 Th-232 粉末，为非密封放射性物质，非密封放射性物质工作场所在进行称量、分装、冷压过程中，在空气中散逸造成人员吸入的内照射。目标核素检测分析过程中，高温状态下靶片中部分核素呈气态，散逸造成人员吸入的内照射。建设单位根据本项目各设备布局，进行了整体的新风和排风系统设计，手套箱设置排风管道，排风汇入主管道后实现放射性废气的室外高空排放；真空管式炉设置排风管道，并加装活性炭过滤装置，放射性气体经过滤后汇入主管道，室外高空排放。此外，靶片机械性能分析系统、真空热压烧结炉、放废间均设置排风管道，排风汇入主管道后经高效过滤装置过滤后室外高空排放。

实验室排风管道走向见图 10-3。

2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	已制定了辐射工作人员培训计划。本项目3名辐射工作人员均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，持证上岗。	已符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	实验室手套箱内仅暂存钷粉，有门禁系统，可满足辐射防护和实体保卫要求。	已符合
4	放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	实验室出入口显著位置处设置放射性警告标识和中文警示说明，可防止误操作、防止工作人员和公众受照意外照射。	能够符合
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	将配备相应的防护用品、1台X-γ剂量率检测仪及1台表面污染仪。	能够符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案。	已制定有较为齐全、比较严格的辐射防护规章制度，有人员辐射安全培训制度、各项操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度、放射性废物管理制度、辐射事故应急预案。新场所投入使用前，将进一步完善人员岗位职责、操作规程、设备维修和维护、辐射监测方案等制定。	能够符合
7	有完善的辐射事故应急措施。	已制定有辐射事故应急处理预案。	能够符合
8	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	产生的放射性废气经通风系统的过滤器过滤后在1号测试厅屋顶排放。放射性废水汇入废水收集桶暂存和处置。放射性固体废物暂存5年后交由有资质的单位处理。	能够符合

2011年原环保部令第18号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18号令”要求的对照评估如表10-6所示。

表 10-6 安全和防护能力对照评估情况

安全和防护管理办法要求	单位情况	符合情况
第六条 生产、使用放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定采取有效措施，防止运行故障，并避免故障导致次生危害。	实验室出入口显著位置处设置放射性警告标识和中文警示说明，并设置门禁系统、手套箱等，可防止误操作、防止工作人员和公众受照意外照射。	能够符合
第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境	中心已委托具有辐射水平监测能力的单位每年对环境和场所周围的辐射水平以及表面污染情况进行一次监测。	符合

监测机构进行监测。		
第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	承诺每年 1 月 31 日前向所属区生态环境局提交年度评估报告。	符合
第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	已制定了辐射工作人员培训计划。本项目 3 名辐射工作人员，均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，持证上岗。	符合
第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	已为所有辐射工作人员配备了个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度 1 次）。	符合

10.4 环保投资

本项目总投资 60.5 万元，其中环保投资 19.5 万元，占总投资的 32%，环保投资分项估算列表见详见表 10-15。

表 10-15 本项目环保投资估算列表

项目名称	环保设施	数量	总价(万元)
工作场所防护工程	实体分隔、防水环氧地坪	1	7.5
场所安全措施和监测设备	门禁系统	1 套	0.5
	电离辐射警示标志、警示灯	若干	0.4
	便携式剂量率仪	1 台	1
	表面污染监测仪	1 台	0.5
放射性废物三废防治	放射性废水收集桶及集水坑	1 套	1
	放射性固废收集桶	4 个	0.2
	放射性废气通风系统(风机及管路系统)	1 套	6
防护设备	手套箱	1 套	2
	钨合金罐	4 个	0.25
	长柄钳、托盘	若干	0.05
去污用品	放射性污染防护服、乳胶手套、口罩、去污用品、去污试剂	若干	0.1
合计			19.5

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响分析

本次评价内容为中心拟开展的靶研究实验室项目运行期对环境的辐射影响,本项目涉及的非密封性放射性物质使用的辐射工作场所建设过程主要为非辐射类影响,具体防护屏蔽方面的工程量较少,项目建设阶段主要的污染因子有:噪声、废水、固体废弃物,无辐射影响,亦无放射性废气、废水及固体废弃物产生。建设阶段按照施工管理要求进行建设施工,对环境的影响能够满足标准要求,并且施工期的影响时短期和暂时的,随着施工的结束而消失。因此对于建设或安装过程的环境影响不再进行详细评价。

11.2 场所运行后环境影响分析

11.2.1 工作人员受照剂量

(1) 外照射

工作人员因外照射所受辐射剂量可由下式计算,

$$H = D \times t \times T \quad (11-1)$$

式中: H 为工作人员年受照剂量, mSv/a, D 为工作人员所在区域剂量率, mSv/h, t 为工作人员年受照时间, h/a;

因 Th-232 本身主要产生 α 射线,其穿透能力非常弱,工作人员所受的外照射主要为经辐照后的靶片,靶片转运时钨合金防护罐外 30 cm 处剂量约为 0.293 μ Sv/h,转运时间单次 15 min,年最大操作次数 20 次,单次目标核素检测分析实验靶片放入取出所需时间约为 6 min,根据表 9-2,靶片 30cm 处剂量率为 0.432 μ Sv/h,根据公式 11-1,工作人员所受外照射剂量为 2.33E-3 mSv。

(2) 内照射

在实验过程中,工作人员受内照射的途径主要为实验期间吸入由高温弥散至室内的气体和放射性气溶胶。

$$D_{inh,i} = C \times DF_{inh,i} \times R \times t \times \eta \quad (11-2)$$

$D_{inh,i}$ 为吸入放射性同位素 i 造成的吸入内照射, mSv/a;

C 为空气中核素的浓度, Bq/m³,室内的核素浓度源自表 9-4。另参考《Jordan H, Gordon D J, Whicker J J, et al. Predicting Worker Exposure from a Glovebox

Leak[R]》P17，对于负压场所的泄露率保守取 1.0E-06；

$DF_{inh,i}$ 为核素 i 的吸入内照射剂量转换因子，Sv/Bq，取自 GB18871—2002 表 B3；

R 为呼吸率，取 $1.2\text{m}^3/\text{h}$ ；

t 为操作时间；年操作次数 20 次，单次操作时间保守按 8h 估算；

η 为口罩过滤效率，保守取 0.1。

Th-232 真空下的沸点为 1787°C ，真空热压炉和真空管式炉最高温度为 1000°C ，所以此处计算内照射仅考虑辐照后靶片中真空下沸点低于 1000°C 的核素。

表 11-1 工作人员所受内照射相关信息表

序号	核素	日最大操作量(Bq)	浓度 Bq/m ³	真空下沸点(°C)	$DF_{inh,i}$ (工作人员)Sv/Bq	受照剂量 mSv/a
1	Ag-111	1.13E+05	5.62E-04	715	1.60E-09	1.73E-08
2	Xe-133	5.19E+04	2.58E-04	-218	2.19E-06	1.09E-05
3	I-131	4.18E+04	2.08E-04	-168	1.10E-08	4.39E-08
4	Cd-115	3.66E+04	1.82E-04	128	1.30E-09	4.54E-09
5	Sb-127	2.72E+04	1.35E-04	85	1.70E-09	4.42E-09
6	Ba-140	2.71E+04	1.35E-04	367	1.60E-09	4.14E-09
7	Te-127	2.69E+04	1.34E-04	-22	1.80E-10	4.63E-10
8	Ra-223	2.16E+04	1.07E-04	307	5.70E-06	1.18E-05
9	Pb-211	2.16E+04	1.07E-04	465	5.60E-09	1.16E-08
10	Sr-89	1.81E+04	9.00E-05	307	5.60E-09	9.68E-09
11	Nd-147	1.54E+04	7.66E-05	926	2.10E-09	3.09E-09
12	Sn-125	1.25E+04	6.22E-05	868	2.80E-09	3.34E-09
13	I-132	1.11E+04	5.52E-05	-168	2.00E-10	2.12E-10
14	Cs-136	1.09E+04	5.42E-05	20	1.90E-09	1.98E-09
15	Te-132	1.08E+04	5.37E-05	-22	3.00E-09	3.09E-09
16	Sb-126	7.62E+03	3.79E-05	85	3.20E-09	2.33E-09
17	Pm-149	4.16E+03	2.07E-05	926	8.20E-10	3.26E-10
18	Bi-210	3.85E+03	1.92E-05	393	6.00E-08	2.21E-08
19	Sb-124	3.74E+03	1.86E-05	85	4.70E-09	1.68E-09
20	Ra-224	3.50E+03	1.74E-05	307	2.40E-06	8.02E-07
21	Pb-212	3.46E+03	1.72E-05	465	3.30E-08	1.09E-08
22	Bi-212	3.45E+03	1.72E-05	393	3.90E-08	1.29E-08
23	Te-129	3.12E+03	1.55E-05	-22	5.70E-11	1.70E-11
24	Sb-122	2.76E+03	1.37E-05	85	1.20E-09	3.16E-10
25	Pb-209	2.72E+03	1.35E-05	465	3.20E-11	8.31E-12
26	Bi-213	2.68E+03	1.33E-05	393	4.10E-08	1.05E-08
27	Sn-121	2.20E+03	1.09E-05	868	2.80E-10	5.88E-11
28	Sn-123	1.83E+03	9.10E-06	868	5.60E-09	9.79E-10

29	As-77	1.71E+03	8.51E-06	352	4.20E-10	6.86E-11
30	Cs-132	1.32E+03	6.57E-06	20	3.80E-10	4.79E-11
31	Eu-156	1.20E+03	5.97E-06	426	3.00E-09	3.44E-10
32	Rb-86	1.07E+03	5.32E-06	42	1.30E-09	1.33E-10
33	Sm-153	1.03E+03	5.12E-06	464	6.80E-10	6.69E-11
34	Ag-112	9.42E+02	4.69E-06	715	2.60E-10	2.34E-11
35	Sb-125	8.77E+02	4.36E-06	85	3.30E-09	2.76E-10
36	Ga-72	7.35E+02	3.66E-06	725	8.40E-10	5.90E-11
37	I-126	7.28E+02	3.62E-06	-168	1.40E-08	9.74E-10
38	Cs-131	5.46E+02	2.72E-06	20	4.50E-11	2.35E-12
39	Zn-72*	5.12E+02	2.55E-06	-272	1.30E-09	6.36E-11
40	Po-210	4.02E+02	2.00E-06	154	2.20E-06	8.45E-08
41	Pm-151	3.05E+02	1.52E-06	926	6.40E-10	1.86E-11
42	I-133	2.08E+02	1.03E-06	-168	2.10E-09	4.17E-11
43	Br-82	2.00E+02	9.95E-07	-26	8.80E-10	1.68E-11
44	Pb-210	1.79E+02	8.91E-07	465	1.10E-06	1.88E-08
45	Cs-134	1.71E+02	8.51E-07	20	9.60E-09	1.57E-10
46	Pm-147	1.59E+02	7.91E-07	926	3.50E-09	5.32E-11
47	Tb-161	1.49E+02	7.41E-07	969	1.20E-09	1.71E-11
48	Cu-67	1.13E+02	5.62E-07	941	5.80E-10	6.26E-12
49	Sr-90	1.01E+02	5.02E-07	307	7.70E-08	7.43E-10
受照剂量合计						2.37E-05

注：假设上述核素全部汽化，房间体积 201m³，真空管式炉泄露率 1E-6。

(3) 总受照剂量

表 11-2 辐射工作人员年受照剂量

年受照剂量, mSv/a		
外照射	内照射	总计
2.33E-03	2.37E-05	2.36E-03

11.2.2 公众受照剂量

本次评价范围内无农业种植基地，因此其对公众的照射途径主要是：空气浸没外照射、地表沉积物外照射、吸入内照射。

(1) 评价方法

本评价将采用 IAEA NO.19 号报告推荐的筛选模式进行评价。其中大气弥散模式评估方法、计算参数均源自该报告，评价指标为年最大个人有效剂量。

大气弥散模式

$$C_{a,i} = \frac{P_P F Q_i}{u_a} \quad (11-3)$$

$$F = \frac{12}{\sqrt{2\pi^3}} \times \frac{\exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]}{x\sigma_z} \quad (11-4)$$

$$\sigma_z = \frac{0.06x}{\sqrt{1+0.0015x}} \quad (11-5)$$

式中：

$C_{a,i}$ —为下风向 x (m) 距离处的核素 i 的地面空气浓度, Bq/m³;

P_p —一年中风吹向接收点所在扇区方位 p 的时间份额, 取 0.25;

Q_i —为放射性同位素 i 的排放率, Bq/s;

U_a —为排放口处的平均风速, 2 m/s;

H —排放源高度, 18 m;

F —下风向 x 处的释放高度 H 的高斯扩散因子, 1/m²;

σ_z —垂直扩散参数, m;

x —关注点与排放点的距离, m, 取评价范围 100 m。

(2) 空气浸没外照射

空气浸没外照射剂量由下式计算：

$$H_A = t \times S_f \times C_{a,i} \times G_A \quad (11-6)$$

式中：

H_A —为空气浸没照射所致总受照剂量, Sv;

t —为总受照时间, s/a;

S_f —为建筑物屏蔽因子, 对个人取 0.7;

$C_{a,i}$ —下风向 x (m) 距离处的核素 i 的地面空气浓度, Bq/m³;

G_A —为各放射性同位素的空气浸没外照射剂量转换因子, 取值来自 EPA

FEDERAL GUIDANCE REPORT NO.15。

(3) 地面沉积外照射

地面沉积外照射计算公式如下：

$$H_{b,i} = 3600 \times G_{g,i} \times K_{b,i} \times g_{b,i} \times b \quad (11-7)$$

$$G_{g,i} = (V_d + V_w) \times C_{a,i} \quad (11-8)$$

$$K_{b,i} = \frac{1 - \exp[-(\lambda_i + \lambda_w)t_{b,i}]}{\lambda_i + \lambda_w} \quad (11-9)$$

式中：

$H_{b,i}$ —为沉积在地面上的放射性同位素 i 产生的外照射有效剂量, Sv;
 $G_{g,i}$ —为核素 i 在地面上的年均沉积率, Bq/(m²·s);
 $G_{b,i}$ —为放射性同位素 i 的地面辐射产生的外照射有效剂量转换因子, (Sv/a) / (Bq/m²), 取值来自 EPA FEDERAL GUIDANCE REPORT NO.15;
 b —为考虑地面粗糙度和渗透到深层土壤的校正因子, 取值 1;
 V_d —为干沉降速度, m/s;
 V_w —为湿沉降速度, m/s;
 $C_{a,i}$ —为地面空气浓度, Bq/m³;
 λ_i —为放射性同位素 i 的衰变常数, 1/h;
 $\lambda_{w,i}$ —为放射性同位素 i 在陆地环境中的去除常数, 1/h; 根据 IAEA NO.19 报告 P64 表 8, λ_w 取值为 5.00E-02 d⁻¹, 即 2.08E-03 h⁻¹;
 $t_{b,i}$ —为放射性同位素 i 在地面上的沉积时间, h, 取 $t_b=30$ a。
 根据 IAEA NO.19 报告 P27, 对气溶胶而言, (V_d+V_w) 可保守取值 1000 m/d, 即 1.16E-02 m/s。

(4) 吸入内照射

吸入放射性同位素 i 产生的内照射有效剂量由下式计算:

$$H_{h,i} = T \times C_{a,i} \times u \times g_{h,i} \quad (11-10)$$

式中:

$H_{h,i}$ —核素 i 产生的吸入内照射有效剂量, Sv/a;

T —为吸入时间, 20 h/a;

u —为公众个人正常情况下的呼吸率, m³/h, 成人: 1.2 m³/h;

$C_{a,i}$ —为评价点的核素的地面空气浓度, Bq/m³;

$g_{h,i}$ —为吸入放射性同位素 i 产生的待积有效剂量转换因子, Sv/Bq。

根据 9.1.3 中的分析, 加热 1h 总蒸发量不超过 1.9E+05 Bq, 按比例得出各核素的析出量后计算公众受照剂量, 见表 11-3。

表 11-3 公众年受照剂量

核素	日最大操作量(Bq)	加热 1h 理论析出量(Bq)	$G_{A,i}$ (Sv/s)/(Bq/m ³)	$g_{b,i}$ (Sv/s)/(Bq/m ²)	$g_{h,i}$ (Sv/Bq)	公众受照剂量		
						空气浸没外照射(mSv)	地面沉积外照射(mSv)	吸入内照射(mSv)
1 Ag-111	1.13E+05	3.05E+04	1.37E-15	4.42E-17	1.70E-09	7.31E-08	2.55E-10	1.08E-05
2 Xe-133	5.19E+04	1.40E+04	1.39E-15	1.85E-17	2.19E-06	3.41E-08	3.75E-11	6.39E-03

3	I-131	4.18E+04	1.13E+04	1.68E-14	3.76E-16	7.40E-09	3.32E-07	8.47E-10	1.74E-05
4	Cd-115	3.66E+04	9.88E+03	8.69E-15	1.44E-16	1.10E-09	1.50E-07	9.94E-11	2.26E-06
5	Sb-127	2.72E+04	7.34E+03	3.13E-14	4.59E-16	1.90E-09	4.02E-07	3.79E-10	2.91E-06
6	Ba-140	2.71E+04	7.32E+03	8.01E-15	1.31E-16	5.80E-09	1.03E-07	2.59E-10	8.84E-06
7	Te-127	2.69E+04	7.26E+03	3.33E-16	8.75E-18	1.40E-10	4.23E-09	8.45E-13	2.12E-07
8	Ra-223	2.16E+04	5.83E+03	5.56E-15	8.12E-17	8.70E-06	5.67E-08	1.20E-10	1.06E-02
9	Pb-211	2.16E+04	5.83E+03	3.20E-15	8.68E-17	1.20E-08	3.27E-08	4.41E-13	1.46E-05
10	Sr-89	1.81E+04	4.89E+03	4.37E-16	6.80E-17	7.90E-09	3.74E-09	1.66E-10	8.04E-06
11	Nd-147	1.54E+04	4.16E+03	5.61E-15	8.93E-17	2.40E-09	4.08E-08	9.18E-11	2.08E-06
12	Sn-125	1.25E+04	3.38E+03	1.64E-14	2.97E-16	3.10E-09	9.69E-08	2.27E-10	2.18E-06
13	I-132	1.11E+04	3.00E+03	1.04E-13	2.21E-15	1.10E-10	5.45E-07	2.20E-11	6.87E-08
14	Cs-136	1.09E+04	2.94E+03	9.79E-14	1.33E-15	1.20E-09	5.04E-07	1.08E-09	7.36E-07
15	Te-132	1.08E+04	2.92E+03	9.10E-15	1.32E-16	2.00E-10	4.64E-08	3.76E-11	1.22E-07
16	Sb-126	7.62E+03	2.06E+03	1.25E-13	1.77E-15	3.20E-09	4.50E-07	9.80E-10	1.37E-06
17	Pm-149	4.16E+03	1.12E+03	7.52E-16	3.73E-17	7.30E-10	1.48E-09	2.90E-12	1.71E-07
18	Bi-210	3.85E+03	1.04E+03	2.57E-16	3.48E-17	9.30E-08	4.68E-10	5.05E-12	2.01E-05
19	Sb-124	3.74E+03	1.01E+03	8.80E-14	1.17E-15	8.60E-09	1.56E-07	6.18E-10	1.81E-06
20	Ra-224	3.50E+03	9.45E+02	4.42E-16	6.38E-18	3.40E-06	7.31E-10	6.49E-13	6.69E-04
21	Pb-212	3.46E+03	9.34E+02	5.91E-15	8.57E-17	1.70E-07	9.66E-09	1.20E-12	3.31E-05
22	Bi-212	3.45E+03	9.32E+02	5.17E-15	1.21E-16	3.10E-08	8.43E-09	1.65E-13	6.02E-06
23	Te-129	3.12E+03	8.42E+02	2.96E-15	9.42E-17	3.90E-11	4.36E-09	1.33E-13	6.84E-09
24	Sb-122	2.76E+03	7.45E+02	2.03E-14	3.45E-16	1.10E-09	2.65E-08	2.13E-11	1.71E-07
25	Pb-209	2.72E+03	7.34E+02	9.99E-17	3.05E-18	6.10E-11	1.28E-10	1.05E-14	9.33E-09
26	Bi-213	2.68E+03	7.24E+02	5.89E-15	1.22E-16	3.00E-08	7.46E-09	9.73E-14	4.52E-06
27	Sn-121	2.20E+03	5.94E+02	3.96E-17	3.64E-20	2.30E-10	4.12E-11	8.05E-16	2.85E-08
28	Sn-123	1.83E+03	4.94E+02	7.00E-16	6.27E-17	8.10E-09	6.05E-10	1.87E-11	8.34E-07
29	As-77	1.71E+03	4.62E+02	4.81E-16	1.05E-17	3.90E-10	3.89E-10	2.53E-13	3.75E-08
30	Cs-132	1.32E+03	3.56E+02	3.14E-14	4.42E-16	3.00E-10	1.96E-08	2.68E-11	2.23E-08
31	Eu-156	1.20E+03	3.24E+02	5.94E-14	7.88E-16	3.40E-09	3.37E-08	7.68E-11	2.30E-07
32	Rb-86	1.07E+03	2.89E+02	4.88E-15	1.36E-16	9.30E-10	2.47E-09	1.32E-11	5.60E-08
33	Sm-153	1.03E+03	2.78E+02	1.98E-15	3.46E-17	6.30E-10	9.64E-10	5.95E-13	3.65E-08
34	Ag-112	9.42E+02	2.54E+02	3.39E-14	5.59E-16	1.70E-10	1.51E-08	6.39E-13	9.01E-09
35	Sb-125	8.77E+02	2.37E+02	1.88E-14	2.70E-16	1.20E-08	7.79E-09	4.37E-11	5.92E-07
36	Ga-72	7.35E+02	1.98E+02	1.31E-13	1.68E-15	5.30E-10	4.55E-08	6.62E-12	2.19E-08
37	I-126	7.28E+02	1.97E+02	1.91E-14	2.81E-16	9.80E-09	6.57E-09	1.52E-11	4.01E-07
38	Cs-131	5.46E+02	1.47E+02	1.86E-16	3.07E-18	4.70E-11	4.80E-11	1.03E-13	1.44E-09
39	Zn-72	5.12E+02	1.38E+02	6.06E-15	8.78E-17	1.30E-09	1.47E-09	7.46E-13	3.74E-08
40	Po-210	4.02E+02	1.09E+02	4.44E-19	6.16E-21	4.30E-06	8.43E-14	4.65E-16	9.72E-05
41	Pm-151	3.05E+02	8.24E+01	1.44E-14	2.18E-16	4.60E-10	2.08E-09	6.96E-13	7.89E-09
42	I-133	2.08E+02	5.62E+01	2.77E-14	5.97E-16	1.50E-09	2.72E-09	9.69E-13	1.76E-08
43	Br-82	2.00E+02	5.40E+01	1.22E-13	1.66E-15	6.30E-10	1.15E-08	3.45E-12	7.09E-09
44	Pb-210	1.79E+02	4.83E+01	3.98E-17	6.67E-19	5.60E-06	3.37E-12	2.24E-14	5.64E-05
45	Cs-134	1.71E+02	4.62E+01	7.06E-14	9.87E-16	2.00E-08	5.70E-09	3.09E-11	1.92E-07
46	Pm-147	1.59E+02	4.29E+01	8.61E-18	9.55E-21	5.00E-09	6.47E-13	2.80E-16	4.47E-08
47	Tb-161	1.49E+02	4.02E+01	7.95E-16	1.23E-17	1.30E-09	5.60E-11	8.85E-14	1.09E-08
48	Cu-67	1.13E+02	3.05E+01	4.80E-15	6.94E-17	6.10E-10	2.56E-10	1.68E-13	3.88E-09
49	Sr-90	1.01E+02	2.73E+01	9.79E-17	1.50E-18	1.60E-07	4.67E-12	2.85E-14	9.09E-07
							3.25E-06	5.49E-09	1.79E-02

根据上述计算结果，流出物对本项目 100 m 内公众造成的最大受照剂量为 1.79E-02 mSv，低于本项目公众人员的年剂量约束值 0.1 mSv。

11.3 放射性三废分析

11.3.1 放射性废液

放射性废液主要为人员去污废水，每次产生量约为2 L，年产量为40 L。辐射工作人员离开工作场所前需检测，若检测不合格进行冲洗去污，去污废水由专用收集桶收集。人员去污废水的暂存和处理安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，

详细记录体积、废液产生起始日期、负责人员、排放时间和检测结果等信息。

去污间的废水若发生意外泄漏,可通过地漏将废水及时导入去污间下设置的集水坑。

11.3.2 放射性废气

实验室目前设置独立通风系统,用于放射性废气有组织排放,由管道延伸至1号测试厅屋顶排放,高效过滤器设在吊顶内的主风管内,风机设在楼顶。具体如下:

1) 手套箱:手套箱通风→高效过滤器过滤→1号测试厅屋顶排放;

2) 放废间:通风→高效过滤器过滤→1号测试厅屋顶排放;

3) 真空热压烧结炉:真空热压烧结炉通风→高效过滤器过滤→1号测试厅屋顶排放;

4) 真空管式炉:真空管式炉通风→活性炭过滤器过滤→高效过滤器→1号测试厅屋顶排放;

5) 机械性能分析系统:设备通风→高效过滤器过滤→1号测试厅屋顶排放。

根据气载流出物所致周围公众的影响可知,气载流出物所致周围公众的辐射影响为 $1.79\text{E}-02\text{ mSv/a}$,低于本项目公众人员的年剂量约束值(0.1 mSv/a)。且放射性物质经大气扩散后浓度会更低,对周围公众的剂量贡献很小。

11.3.3 放射性固废

实验室有称量纸、擦拭纸、一次性手套、口罩等可能受放射性污染的物品,这部分的固体废物按做一次实验产生 200g 计,每年的产量不超过 4kg 。另外,本项目通风系统中真空管式炉活性炭过滤装置和排放口高效过滤器平均每年更换一次(排放口高效过滤每个不大于 1kg ,活性炭过滤每个不大于 1kg),由于该滤芯中吸附了一定的放射性气溶胶,所以滤芯也按放射性固废处理,年产生量约 2kg 。以及实验产生的废靶片,每年不超过 50 个,约 0.42kg ,以上放射性固体废物合计约 6.2kg/a ,收集后送放废间暂存,放废间放 1 个 50 mm 不锈钢废物桶(容积 50 L)。固废暂存一段时间后交由有资质的单位进行处理。固体放射性废物的存储和处理将安排专人负责,并建立废物存储和处理台账,详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

11.4 事故影响分析

11.4.1 可能发生的辐射事故或异常事件

1) 由于工作人员操作不熟练或其他原因造成放射性物质撒漏，使工作环境受到污染，工作人员受到外照射，以及身体受放射性物质表面沾污，可能进一步发生的内照射。

2) 保管不善，发生放射性核素、丢失被盗，流失到社会，对局部环境产生污染，并可能使部分公众受到照射。

3) 真空管式炉故障导致发生放射性气体泄漏，可能对环境造成污染和对人员造成不必要的照射。

11.4.2 事故预防措施及处理步骤

辐射工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求做好各种相应的辐射防护措施。同时，建设单位将定期检查辐射屏蔽和各项辐射安全措施的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，以此来避免发生辐射事故。

同时，中心拟在实验室配备事故应急处理设备，包括：长柄镊子、擦拭纸、密封袋、一次性橡胶手套等。

1) 处理预案：工作人员须熟练掌握放射性物质操作技能和辐射防护基本知识，正确处置意外情况。

2) 安保措施：实验室设置门禁，无关人员不得进入。

3) 表面污染控制措施：在手套箱内操作放射性物质。一旦发生撒漏导致台面和地面污染的情况，及时采取擦拭方法去污，并用表面污染监测仪检测，直至表面污染水平满足 GB18871—2002 要求。

4) 意外泄漏应对措施：真空管式炉带真空自检装置，若发生意外破裂，真空状态失效，设备将立即停止加热；工作人员实验时严格穿戴个人防护装备，防止口鼻吸入和皮肤污染；定期监测活性炭过滤装置过滤效率以及高效过滤器阻力，并按要求及时更换过滤器，确保其有效性。

5) 发现意外事件与事故的当场人员应当立即向部门负责人、上级各管理部门以及辐射安全与环境保护小组负责人和专职人员报告，启动辐射事故应急预案。辐射安全与环境保护小组等相关人员立刻到达现场，保卫科负责保护现场，控制范围。

发生该类事故后，应在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

11.5 项目环保验收内容建议

中心应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环保部公告 2018 年第 9 号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。分期建设、分期投入生产或者使用的建设项目，其相应的环境保护设施应当及时分期验收。根据项目建设和运行情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见表 11-29。

表 11-29 本项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 5mSv/a；放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 要求。
剂量当量率	控制区外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	在实验室门外设置放射性警告标识和中文警示说明。
布局和屏蔽设计	辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。
辐射安全设施	在实验室入口安装门禁系统，限制无关人员出入；采取放射性污染控制措施。满足生态环境部门和公安部门有关安全保卫的要求。
监测仪器	配备检测仪器：配备 1 台便携式剂量率仪和 1 台表面污染监测仪。辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。
“三废”处置设施	配置满足需要的放射性废物存贮设施，配备防辐射废物桶 4 个，放射性废水收集桶 1 个；排放口设置在所在建筑顶部高处，排风速率满足辐射安全需要。
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员参加生态环境部或市生态环境部门认可的培训机构的培训。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了应急处理组织机构

	及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用放射性同位素过程可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故(件)应急演练。
--	--

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全管理小组

散裂中子源科学中心拟设置辐射安全与环境保护小组作为专门管理机构，并指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-1 所示。

辐射安全与环境保护小组的职责：

1.在中心辐射安全与环境保护小组的领导下，负责本中心辐射安全防护的管理工作。

2.贯彻执行国家、广东省政府部门有关法律、法规、规章、相关标准及有关规定。负责对本中心相关部门和人员进行法律、法规及相关标准的培训、教育、指导和监督检查等工作。

3.制定、修订本中心辐射安全防护管理制度及仪器设备操作规程。

4.制定、修订辐射事故应急预案，配备相应的事故处理物资仪器、工具，一旦发生辐射意外事故或情况，在辐射安全防护组组长的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

5.负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

6.建立射线装置档案，组织中心有关部门和人员对使用的射线装置及剂量监测仪器进行检查和维护保养，保证正常使用。

7.对中心从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核，组织参加专业体检、培训并取得相应资格证。

8.组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测，做好个人剂量计定期检测工作，对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好中心年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

12.1.2 辐射工作人员

为保证本项目顺利运行，散裂中子源科学中心拟为本项目配置 3 名放射性工作人员。辐射工作人员均已通过核技术利用辐射安全与防护考核后上岗，且按期进行职业健康体检及岗前体检，同时按照国家相关规定进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案，并为工作人员保存职业照射

记录。

12.2 辐射安全管理规章制度

散裂中子源科学中心制定了多项辐射安全管理规章制度，包括《放射性同位素及射线装置安全与防护管理规定》《放射性“三废”管理制度》《辐射工作人员培训制度》《个人剂量监测管理制度》等，中心将针对本项目补充完善已制订的辐射防护管理制度，以满足实际工作需要。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

散裂中子源科学中心拟将辐射工作人员个人剂量监测工作作为全中心辐射监测计划体系的管理目标之一，要求全中心辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，并建立相应的个人剂量监测档案。

中心拟委托天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司开展个人剂量监测，监测频率为每 3 个月检测一次。中心严格要求辐射工作人员按照规范佩戴个人剂量计，规定在个人剂量计佩戴时间届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，中心严格按照国家法规和相关标准进行个人剂量监测和相关的防护管理工作。

本项目投入使用后，所涉及辐射工作人员将继续进行个人剂量监测。

12.3.2 工作场所和辐射环境监测

(1)委托监测

散裂中子源科学中心拟委托有 CMA 资质的单位对本项目开展监测，检测项目包括：靶研究实验室的 X、 γ 剂量率，表面污染水平。

(2)本项目自行监测方案

中心拟配备 1 台便携式剂量率仪、1 台表面污染监测仪，能够满足靶研究实验室辐射防护和环境保护的要求。对于已配备的和今后拟配置的防护监测设备，将定期送计量检定部门进行检定，保证仪器可靠的功能状态。拟建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。本项目实施后，工作人员使用拟配备的便携式剂量率仪、表面污染监测仪，对拟建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

(1)监测项目： γ 剂量率水平，表面污染水平

(2)检测设备：便携式剂量率仪，表面污染监测仪

(3)检测频次：剂量率水平每年不少于 1 次，表面污染每次实验后检测 1 次。

(4)工作场所 γ 、n 剂量率水平监测：点位包括控制区边界外 30cm 处，以及辐射场所四周。监测数据记录存档。

(5)表面污染水平监测点位设置：每次实验结束后，对实验室台面、地面，以及相关设备表面等进行表面污染监测，监测数据记录存档。

12.4 辐射事故应急管理

散裂中子源科学中心拟依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定辐射事故应急预案。一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在应急预案中进一步明确规定处理的组织机构及其职责分工、事故分级、应急措施、报告程序、联系方式等内容，能够满足中心实际辐射工作的需要。

发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。中心将每年至少组织一次应急演练。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

为掌握制备金属钷靶的关键技术及开展辐照后钷靶中目标核素的分析研究，本项目在 1 号测试厅内空地新建靶研究实验室，并配套建设各项辐射安全防护设施。

13.1.2 正当性分析

该项目建成后，用于掌握金属钷靶制备的关键技术，并开展靶片机械性能分析及高温条件下目标核素检测分析研究，对满足国家战略需求、探索前沿科学问题、解决 Ac-225、Ra-223 等目标核素制备瓶颈问题具有重要意义。经分析评价，本项目对工作人员和公众的辐射影响很小，满足国家相关标准要求。本项目对国家战略需求、探索前沿科学研究所带来的利益是大于可能引起的辐射危害的。故上述辐射工作场所的使用符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践正当性”的要求。

13.1.3 选址与布局合理性分析

本项目位于东莞市大朗镇中子源路 1 号，散裂中子源科学中心园区内。评价范围周围 50m 区域内东部为中心建设用地红线外场所，主要包括瑞德大道及排洪沟。包络线内西部、北部及南部均为中心内部。本项目场址环境辐射本底未见异常，选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，为相对独立区域，对公众影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是可行的。

本项目非密封放射性物质工作场所与 1 号测试厅其他设备有明显的实体分隔，设置了必要的卫生通过间，全面的考虑了不同放射性操作或污染水平的设备分开，尽可能的避免了人员受辐射影响，平面布局合理。

13.1.4 辐射安全与防护能力分析

(1)辐射工作场所分区合理性

本项目各非密封放射性物质工作场所分别划分控制区、监督区，划分明确，设置合理，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求。

(2)安全防护设施

本项目实验室入口设置电离辐射警告标志、门禁系统等安全设施，配备必要的辐射监测仪器、个人防护用品；墙面、地面均为光滑饰面，配有手套箱，通风设施、放射性废物收集桶、放废间，能有效实施放射性三废的管理，工作人员配备必要的个人防护用品及监测设备，满足安全防护需求。

13.1.5 辐射环境影响评价

(1)根据场所剂量估算结果可知，本项目运行后，预计工作人员和公众的年受照剂量分别不大于 $2.36\text{E-}03$ mSv 和 $1.79\text{E-}02$ mSv，低于本项目设定的年剂量约束值 5 mSv/a 和 0.1 mSv/a 要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位应该进行调查并报生态环境部门备案。

(2)放射性“三废”排放。预计本项目相关工作场所运行后，放射性废水暂存符合排放限值要求后进行排放；工作场所运行每年产生放射性固体废物约 6.2 kg(包含过滤器等)。将产生少量的放射性废气从楼顶排出，排放大气环境中会进一步稀释，远低于导出空气浓度限值。

(5)辐射安全防护管理：散裂中子源科学中心拟设置辐射安全与环境保护管理机构，负责全中心的辐射安全管理和监督工作。散裂中子源科学中心将根据本次所申请项目种类制定完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度等，以满足辐射安全管理的要求。

13.1.6 结论

综上所述，散裂中子源科学中心新建靶研究实验室项目，相应的辐射安全防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响可控，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，散裂中子源科学中心承诺：

(1)严格按照工程设计施工，保证工程建设质量。

(2)严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所和参与辐射工作的工作人员进

行监测，并将监测记录保存留档；

(3)项目竣工后按照生态环境主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并接受生态环境主管部门的监督检查。

(4)在辐射项目运行中决不容许违规操作和弄虚作假等现象发生，如若发现相关现象接受相关处理。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，中心进行调查并报生态环境主管部门备案。

