

---

中国科学院近代物理研究所  
甘肃省同位素实验室（一期）变更项目  
（第二次信息公开文本）

中国科学院近代物理研究所  
二零二六年五月

---

## 说明

中国原子能科学研究院受中国科学院近代物理研究所（以下简称“近物所”）委托开展“甘肃省同位素实验室（一期）变更项目”的环境影响评价。现根据国家及本市法规及规定，并经近物所同意向公众进行第二次信息发布，公开环评内容。

本文本内容为现阶段环评成果。下一阶段，将在听取公众、专家等各方面意见的基础上，进一步修改完善。

---

## 目录

1. 建设项目概况.....	1
1.1. 项目名称、地点.....	1
1.2. 项目背景.....	1
1.3. 建设单位概况.....	1
1.4. 本次环评内容.....	2
1.5. 产业政策和规划符合性分析.....	3
1.6. 建设地点.....	3
1.7. 编制依据.....	3
1.7.1. 法律法规.....	3
1.7.2. 技术导则、标准.....	4
1.7.3. 其他.....	5
1.8. 评价标准.....	5
1.8.1. 剂量限值和剂量约束值.....	5
1.8.2. 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平.....	6
1.8.3. 非密封放射性物质工作场所分级.....	7
1.8.4. 表面污染水平.....	7
1.8.5. 放射性污染物排放限值.....	7
1.9. 评价范围和保护目标.....	10
1.9.1. 评价范围.....	10
1.9.2. 保护目标.....	11
2. 自然环境与社会环境状况.....	14
2.1. 自然环境状况.....	14
2.1.1. 地形地貌.....	14
2.1.2. 地震.....	14
2.1.3. 气候气象.....	14
2.1.4. 水文地质概况.....	15
2.2. 社会经济概况.....	16

---

2.2.1. 社会发展状况.....	16
2.2.2. 经济发展状况.....	16
2.2.3. 文化、教育和科技.....	16
3. 建设项目环境影响预测及拟采取的主要措施及效果.....	17
3.1. 项目概况.....	17
3.2. 工作原理及工艺流程.....	18
3.2.1. 基于质子加速器的同位素应用研发.....	18
3.2.2. 超重乙级实验室.....	51
3.2.3. 辐射管理中心.....	65
3.3. 辐射污染源.....	66
3.3.1. 加速器装置区域.....	66
3.3.2. 非密封放射性物质工作场所.....	66
3.4. 主要环境影响及其预测评价结果.....	67
3.5. 辐射防护与环境保护措施分析.....	67
3.5.1. 辐射工作场所分区.....	67
3.5.2. 本项目工作场所分级.....	68
3.5.3. 辐射屏蔽.....	69
3.5.4. 辐射安全联锁.....	69
3.5.5. 工作场所辐射监测.....	70
3.5.6. 非密封放射性物质辐射工作场所防护措施.....	70
3.5.7. 放射性三废的处理.....	70
3.6. 风险防范措施及应急预案.....	71
3.7. 建设项目对环境影响的利益代价分析结果.....	72
3.8. 建设单位拟采取的辐射监测计划和安全管理工作.....	72
3.8.1. 辐射监测计划.....	72
3.8.2. 辐射安全管理.....	73
4. 环境影响评价.....	73
5. 联系方式.....	74

---

## 1. 建设项目概况

### 1.1. 项目名称、地点

项目名称：中国科学院近代物理研究所甘肃省同位素实验室（一期）变更项目

建设地点：甘肃省兰州市兰州新区中国科学院近代物理研究所大科学装置科技创新创业园东北角

建设性质：新建

建设单位：中国科学院近代物理研究所

### 1.2. 项目背景

中国科学院近代物理研究所（以下简称“近物所”）在甘肃省兰州市兰州新区中国科学院近代物理研究所大科学装置科技创新创业园内开展甘肃省同位素实验室项目（一期）（以下简称“一期项目”），一期项目旨在创新我国同位素关键技术，解决我国基本依赖进口医用同位素关键技术的瓶颈问题，实现先进放疗技术产业的创新和突破。

2021年3月，一期项目首次取得甘肃省生态环境厅的批复（甘环核发[2021]4号），2022年项目因涉及重大变动重新进行了环境影响评价，2022年11月取得《兰州新区生态环境局关于甘肃省同位素实验室（一期）项目变更环境影响报告书的批复》（新环审发[2022]24号）。现阶段项目对工作场所布局以及场所内靶站数量等内容进行优化调整，调整后辐射工作场所布局、辐射源项和放射性三废处理方式等内容涉及重大变动，对项目重新开展环境影响评价。

### 1.3. 建设单位概况

中国科学院近代物理研究所（以下简称“近物所”）是根据1956年周总理指示设立的原子核科学研究基地，前身为1957年成立的中国科学院兰州物理研究室，1962年正式使用现名。近代物理所是一个依托大科学装置，开展重离子科学与技术、加速器驱动的先进核能系统研究的基地型研究所。战略定位是建成国

---

际一流的重离子科学与技术、加速器驱动的先进核能技术研究基地。主要研究方向有：原子核物理、原子分子物理、放射生物学、核材料与工艺技术、乏燃料后处理技术、核技术相关材料科学、粒子加速器研究等。

近代物理所先后建成了 1.5 米回旋加速器（SFC，“一五”大科学工程）、大型分离扇回旋加速器（SSC，“七五”大科学工程）、兰州放射性次级束分离器（RIBLL）、兰州重离子加速器冷却储存环（CSR，“九五”大科学工程）等大科学装置，在加速器研制方面拥有雄厚的技术和人才储备。1991 年 8 月，原国家计委批准成立兰州重离子加速器国家实验室，依托近代物理所管理，面向国内外开放。近代物理所还建有甘肃省同位素实验室、甘肃省重离子束辐射医学应用基础重点实验室、甘肃省空间辐射生物学重点实验室、甘肃省重离子创新中心、中国科学院重离子束辐射生物医学重点实验室、中国科学院高精度核谱学重点实验室、中国科学院离子加速器及质量检验检测工程实验室等，拥有 320kV 高电荷态综合研究平台、大功率电子加速器等重要科研设施及装置，在实验平台方面拥有不可替代的优势。

#### 1.4. 本次环评内容

本次环评内容包括基于质子加速器的同位素应用研发、超重乙级实验室以及辐射管理中心：

##### （1）基于质子加速器的同位素应用研发

利用质子加速器的质子束轰击钍靶发生散裂反应产生 Ac-225、Ra-223 等一系列核素，接着通过分离纯化去除杂质核素，最终得到 Ac-225、Ra-223 产品。组成部分包括质子加速器、靶站和分离系统。质子加速器产生并加速质子束，质子束在靶站轰击钍靶，发生核反应产生 Ac-225、Ra-223 目标核素及杂质核素，辐照后靶件从靶站转移至分离系统，在分离系统区域开展辐照后靶件的分离、纯化等操作去除杂质核素，最终形成 Ac-225、Ra-223 放射性同位素产品。

本项内容涉及 1 台 I 类射线装置的使用，新增 1 处甲级非密封放射性物质工作场所，包括 Ac-225、Ra-223 放射性同位素的生产、销售和使用活动。

---

## (2) 超重乙级实验室

超重乙级实验室包括放射性同位素制靶、放射性同位素的回收与提纯、超重化学研究与微流体萃取实验研究，主要操作的放射性同位素包括 Am-243、Am-241、Cf-252、Cf-251、Cf-249、Cm-248、Cm-244、Pu-244、Pu-240、Ta-182、Ta-179、Nb-95。其中 Am-243、Am-241、Cf-252、Cf-251、Cf-249、Cm-248、Cm-244、Pu-244、Pu-240 主要用于制靶及回取，Ta-182、Ta-179、Nb-95 主要用于微流体溶剂萃取实验。

本项内新增 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，包括 Am-243、Am-241、Cf-252、Cf-251、Cf-249、Cm-248、Cm-244、Pu-244、Pu-240、Ta-182、Ta-179、Nb-95。其中 Am-243、Am-241、Cf-252、Cf-251、Cf-249、Cm-248、Cm-244、Pu-244、Pu-240 放射性同位素的使用活动。

## (3) 辐射管理中心

辐射管理中心为整个场所的放射性三废管理中心，各辐射工作场所放射性废气输送至辐射管理中心排风机房经过滤后经排风塔排放，各辐射工作场所放射性废液在场所内分类暂存一段时间后输送至辐射管理中心废液暂存场所进行暂存，各辐射工作场所放射性固体废物在场所内分类暂存一段时间后转移至辐射管理中心放射性固体废物暂存场所进行暂存处理。

## 1.5. 产业政策和规划符合性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本），本项目属于其中鼓励类第六项“核能”第 4 条“同位素、加速器及辐射应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目，因此，本项目符合国家产业政策。

## 1.6. 建设地点

本项目建设地点位于兰州市兰州新区中国科学院近代物理研究所大科学装置科技创新创业园东北角，地理位置见图 1-1，大科学装置科技创新创业园位于兰州新区洮河街（纬五路）南侧、鸣沙山路（经六路）东侧、渭河街（纬七路）北侧、祁连山大道（经七路）西侧区域。

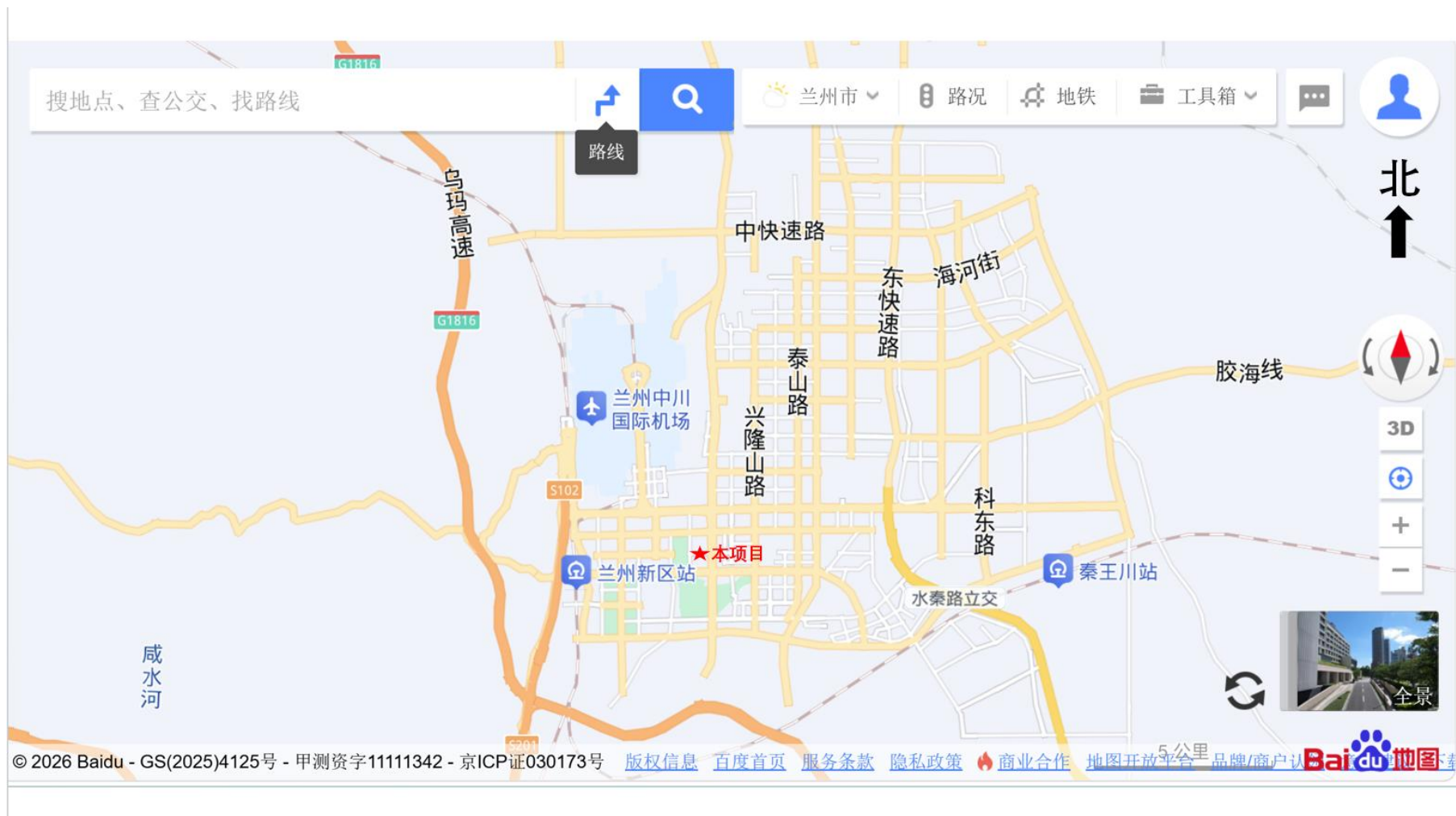
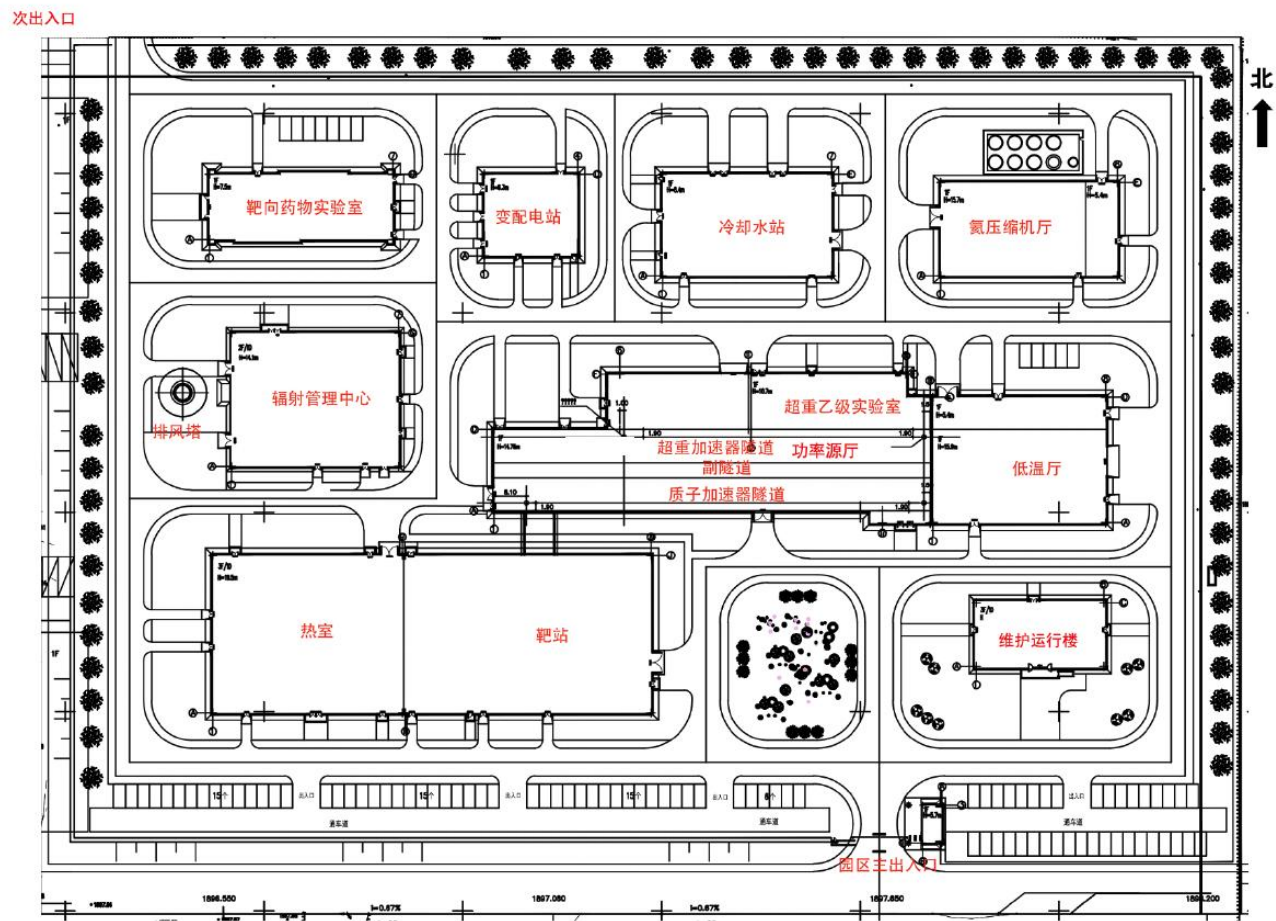


图 1-1 本项目地理位置图



## 1.7. 编制依据

### 1.7.1. 法律法规

(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日施行)；

(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(全国人民代表大会常务委员会, 2018年12月29日施行)；

(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)；

(4) 《中华人民共和国噪声污染防治法》(全国人民代表大会常务委员会, 2022年6月5日施行)；

(5) 《中华人民共和国水污染防治法》(2017年6月27日修订, 2018年1月1日施行)；

(6) 《中华人民共和国大气污染防治法》(2018年10月26日修订并实施)；

(7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020年9月1日实施)；

(8) 《中华人民共和国土壤污染防治法》(2019年1月1日起施行)；

(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第709号, 2019年3月2日修正版)；

(10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(生态环境部令第20号, 2021年1月4日修订版)；

(11) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第18号, 2011年5月1日施行)；

(12) 《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 5 日）；

(13) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行）；

(14) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）；

(15) 《产业结构调整指导目录》（2024 年本）；

(16) 《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）；

(17) 《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）；

(18) 《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 11 月 22 日起施行）；

(19) 《甘肃省辐射污染防治条例》，甘肃省人民代表大会常务委员会公告第 50 号，2020 年 12 月 3 日。

### **1.7.2. 技术导则、标准**

(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）；

(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；

(4) 《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；

(5) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）；

(6) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989，1989 年 10 月 1 日起实施）；

- (7) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；
- (8) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- (9) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）；
- (10) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）；
- (11) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；
- (12) 《职业性内照射个人监测规范》（GBZ 129-2016）；
- (13) 《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）。

### 1.7.3. 其他

(1) 已批复的《中国科学院近代物理研究所甘肃省同位素实验室（一期）变更项目环境影响报告书》（2022年）；

(2) NCRP. Report NO.144. Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities. NCRP,2005；

(3) IAEA. Safety Reports Series NO.19. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. IAEA,2001；

(4) （美）帕特森（H.W.Patterson），（美）托马斯（R.H.Thomas）著；刁会昌等译. 加速器保健物理[M].北京，原子能出版社.1983。

## 1.8. 评价标准

### 1.8.1. 剂量限值和剂量约束值

#### 1.8.1.1. 剂量限值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定，工作人员的照射和公众照射的剂量限值如下：

### (1) 职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

审管部门决定连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），  
20mSv。

### (2) 公众照射

实践使公众中关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

年有效剂量，1mSv。

#### 1.8.1.2. 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本次评价以职业照射剂量限值的 1/4 即 5mSv/a 作为职业人员的年剂量约束值，以公众照射剂量限值的 1/10 即 0.1mSv/a 作为公众人员的年剂量约束值。

#### 1.8.2. 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

##### (1) 射线装置

根据本项目的辐射防护设计资料，射线装置所在辐射工作场所屏蔽墙体外剂量率控制水平按表 1-1 执行。

此外，根据文献《恒健质子治疗装置的辐射与屏蔽设计》（吴青彪等，南方能源建设，2016 年第 3 卷第 3 期），同时参考日本 J-PARC 以及中国散裂中子源的辐射防护设计，当混凝土与土壤边界处瞬发辐射剂量率低于 5.5mSv/h 时，可忽略土壤和地下水的感生放射性。因此，本次评价以“5mSv/h”作为各辐射工作场所地板外表面与土壤交界处的剂量率控制水平，具体见表 1-1。

表 1-1 本项目射线装置辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

工作场所	功能区域	位置描述（居留因子）	剂量率控制水平
本项目射线装置辐射工作场所屏蔽墙体外	四侧墙体外、屋顶外、防护门外	居留因子 $T \geq 1/2$	2.5 $\mu$ Sv/h
		居留因子 $T < 1/2$	10 $\mu$ Sv/h
	地板外表面与	射线装置辐射工作场所地板外表面与土壤	5mSv/h

	土壤交界处	交界处	
--	-------	-----	--

## (2) 非密封放射性物质工作场所

参考《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989），非密封放射性物质工作场所工作箱室人员操作区域周围剂量当量率小于 7.5  $\mu\text{Sv/h}$ ，工作箱室后区周围剂量当量率小于 25  $\mu\text{Sv/h}$ ，

### 1.8.3. 非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性物质工作场所按日等效最大操作量的大小进行分级，见表 1-2。

表 1-2 非密封放射性物质工作场所分级

分级	日等效最大操作量, Bq
甲级	$>4 \times 10^9$
乙级	$2 \times 10^7 - 4 \times 10^9$
丙级	豁免活度值以上- $2 \times 10^7$

### 1.8.4. 表面污染水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B 表 B11 所规定的限制要求。详见表 1-3。

表 1-3 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		$\alpha$ 放射性物质, Bq/cm <sup>2</sup>		$\beta$ 放射性物质, Bq/cm <sup>2</sup>
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区和监督区	0.4	0.4	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4

### 1.8.5. 放射性污染物排放限值

#### 1.8.5.1. 放射性废气

参照《开放性放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）：

“10.1 从事开放性放射性物质工作的各类设备和装置，设计上应采用密封技术。根据其工作特性分别提出密封要求，防止放射性液体泄漏和放射性气体及气溶胶逸出；

10.2 操作易挥发的高毒、极毒放射性物质及产生大量放射性气体和气溶胶的工作，应尽可能把污染源局限于较小的工作容积内并高度密封，限制可能被污染的体积和表面；

10.3 气流流向应是从放射性污染可能性小的方向流向污染可能性大的方向(从白区流向红区)，各区之间维持一定的压差。”

#### **1.8.5.2. 放射性废水**

本项目产生的放射性废水主要包括加速器活化冷却水、冲洗废液和工艺废液等，上述放射性废液需在暂存场所进行暂存，满足暂存时长后，经检测满足要求[根据《污水综合排放标准》（GB8978-1996），车间或者车间处理设施排放口处总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 排放限值分别为1 Bq/L和10Bq/L。]，关键放射性核素活度浓度低于豁免水平，并经审管部门认可后的废液可排放。对于不可解控的放射性废液，暂存后委托有资质单位进行处置。

放射性废液的排放参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的8.6.2条对放射性废液排放做出的规定如下：

不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于10倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录；

a) 每月排放的总活度不超过10ALImin（ALImin是相应于职业照射的食入和吸入ALI值中的较小者，其具体数值可按B1.3.4和B1.3.5条的规定获得）；

b) 每一次排放的活度不超过1ALImin，并且每次排放后不少于3倍排放量的水进行冲洗。

#### **1.8.5.3. 放射性固体废物**

### (1) 射线装置

加速器调试和运行期间可能产生的放射性固体废物主要为结构部件。

本项目放射性固体废物清洁解控参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 A 中 A2.1 的规定“任何时间段内在进行实践的场所存在的给定核素的总活度或在实践中使用的给定核素的活度浓度不超过表 A1 所给出的或审管部门所规定的豁免水平”执行。

GB18871-2002 附录 A 表 A1 中给出的与本项目相关的放射性核素的豁免活度浓度和活度如表 1-4 所示。对于存在一种以上放射性核素的情况,仅当各放射性核素的活度或活度浓度与其相应的豁免总活度或豁免活度浓度之比的小于 1 时,方可给予豁免。放射性固体废物经监测后低于豁免水平的方可作为一般固体废物处理。

表 1-4 放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度

核素	活度浓度, Bq/g	活度, Bq	核素	活度浓度, Bq/g	活度, Bq
<sup>3</sup> H	1E+06	1E+09	<sup>56</sup> Mn	1E+01	1E+05
<sup>7</sup> Be	1E+03	1E+07	<sup>52</sup> Fe	1E+01	1E+06
<sup>35</sup> S	1E+05	1E+08	<sup>55</sup> Fe	1E+04	1E+06
<sup>37</sup> Ar	1E+06	1E+08	<sup>59</sup> Fe	1E+01	1E+06
<sup>42</sup> K	1E+02	1E+06	<sup>55</sup> Co	1E+01	1E+06
<sup>43</sup> K	1E+01	1E+06	<sup>56</sup> Co	1E+01	1E+05
<sup>45</sup> Ca	1E+04	1E+07	<sup>57</sup> Co	1E+02	1E+06
<sup>47</sup> Ca	1E+01	1E+06	<sup>58</sup> Co	1E+01	1E+06
<sup>46</sup> Sc	1E+01	1E+06	<sup>60</sup> Co	1E+01	1E+05
<sup>47</sup> Sc	1E+02	1E+06	<sup>61</sup> Co	1E+02	1E+06
<sup>48</sup> Sc	1E+01	1E+05	<sup>59</sup> Ni	1E+04	1E+08
<sup>48</sup> V	1E+01	1E+05	<sup>63</sup> Ni	1E+05	1E+08
<sup>51</sup> Cr	1E+03	1E+07	<sup>65</sup> Ni	1E+01	1E+06
<sup>52</sup> Mn	1E+01	1E+05	<sup>64</sup> Cu	1E+02	1E+06
<sup>54</sup> Mn	1E+01	1E+06	<sup>65</sup> Zn	1E+01	1E+06

### (2) 非密封放射性物质工作场所

放射性固体废物主要包括废靶件结构件、废交换柱、通风过滤器芯、一次性耗材及劳保用品等，暂存于固体废物暂存间，建设单位定期监测，根据监测结果开展以下活动：

对于可解控的放射性固体废物，参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关规定：经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  的，可对废物进行清洁解控并作为一般固体废物进行处理。

对于不可解控的放射性固体废物，暂存后委托有资质单位进行处置。

## **1.9. 评价范围和保护目标**

### **1.9.1. 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）“1.5 节评价范围和保护目标”中的相关规定“放射性同位素生产项目（放射性药物生产除外）的评价范围半径不小于 3km，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，射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在实体屏蔽物边界外 50m 的范围，对于 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”，本项目的定位为利用加速器开展多种放射性同位素的研发、生产和应用，且使用 I 类射线装置，确定本项目评价范围为本项目辐射工作场所所在建筑四周边界向外 3km 范围内的区域，见图 1-3。

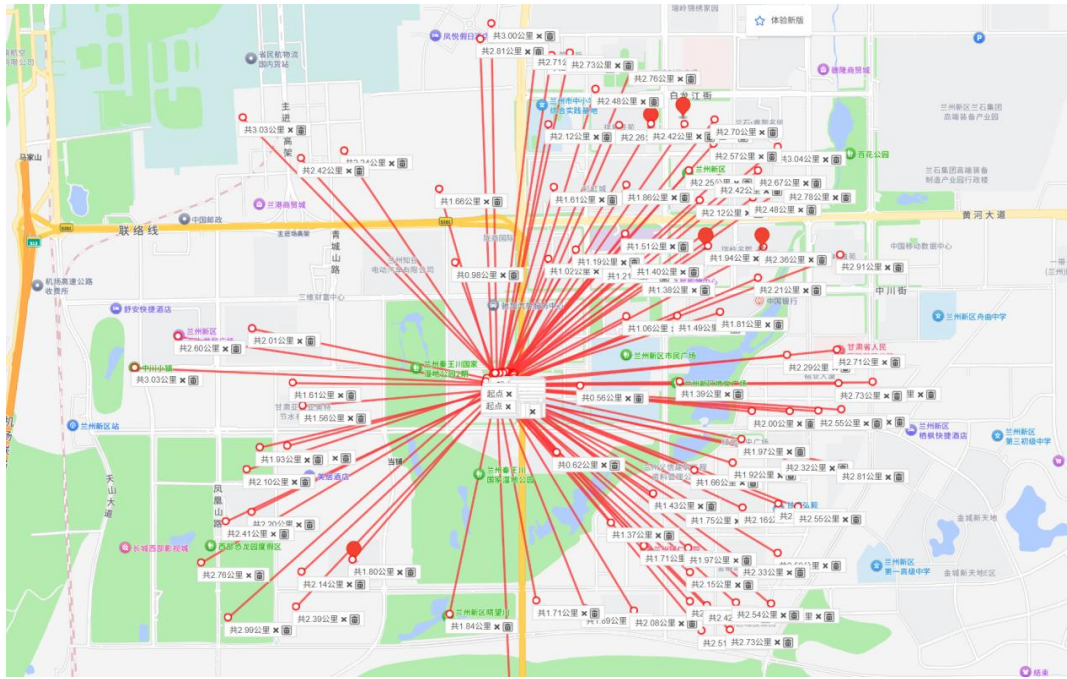


图 1-3 辐射环境影响评价范围 and 环境保护目标示意图

### 1.9.2. 保护目标

本项目评价范围内的环境保护目标以本项目相关工作人员、周边相关场所周围其他工作人员以及在相关场所周围活动的公众成员为主，具体见表 1-5。

表 1-5 本项目辐射评价范围内环境保护目标情况

方位	周围环境情况	与项目边界最短距离	照射类型	规模	照射途径
本项目边界北侧	国家创业孵化基地	420m	公众照射	约 1200 人	感生放射性
本项目边界北侧	汇丰科技园	430m	公众照射	约 3300 人	感生放射性
本项目边界北侧	吉利家苑	980m	公众照射	约 860 人	感生放射性
本项目边界北侧	云尚华庭	1020m	公众照射	约 5000 人	感生放射性
本项目边界北侧	东航金城映象	1190m	公众照射	约 3200 人	感生放射性
本项目边界北侧	引大家园	1210m	公众照射	约 180 人	感生放射性
本项目边界北侧	建投·时光	1400m	公众照射	约 2200 人	感生放射性
本项目边界北侧	兰州瑞岭国际商业广场	1510m	公众照射	流动人群	感生放射性
本项目边界北侧	彩虹城	1620m	公众照射	约 2000 人	感生放射性
本项目边界北侧	红玉新村	1660m	公众照射	约 1900 人	感生放射性
本项目边界北侧	兰州新区中川商务中心	2120m	公众照射	流动人群	感生放射性
本项目边界北侧	兰州市第十一中学新区分校	2120m	公众照射	约 1500 人	感生放射性
本项目边界北侧	民航甘肃空管分局空管小区	2240m	公众照射	约 1100 人	感生放射性
本项目边界北侧	祥和景苑	2260m	公众照射	约 5700 人	感生放射性
本项目边界北侧	甘肃省计量研究院	2420m	公众照射	约 50 人	感生放射性

方位	周围环境情况	与项目边界最短距离	照射类型	规模	照射途径
本项目边界北侧	兰州新区公安消防支队	2480m	公众照射	约 160 人	感生放射性
本项目边界北侧	兰州新区第九小学	2570m	公众照射	约 2000 人	感生放射性
本项目边界北侧	甘肃煤矿安全监察局安全技术中心	2670m	公众照射	约 150 人	感生放射性
本项目边界北侧	瑞岭雍和郡	2700m	公众照射	约 1400 人	感生放射性
本项目边界北侧	国家电网(新区供电公司)	2710m	公众照射	约 190 人	感生放射性
本项目边界北侧	甘肃昆仑燃气(兰州新区分公司)	2730m	公众照射	约 40 人	感生放射性
本项目边界北侧	甘肃省消防救援总队训练和战勤保障支队	2760m	公众照射	约 65 人	感生放射性
本项目边界东北侧	兰州兰园	220m	公众照射	约 7500 人	感生放射性
本项目边界东侧	甘肃国际会展中心	170m	公众照射	流动人群	感生放射性
本项目边界东侧	甘肃省经济社会发展展览馆	569m	公众照射	流动人群	感生放射性
本项目边界东侧	兰州新区产业孵化大厦	1060m	公众照射	约 2000 人	感生放射性
本项目边界东侧	璀璨时代	1430m	公众照射	约 2800 人	感生放射性
本项目边界东侧	亚太·清湖湾	1490m	公众照射	约 1900 人	感生放射性
本项目边界东侧	瑞岭翠苑	1810m	公众照射	约 2300 人	感生放射性
本项目边界东侧	瑞岭名郡	1940m	公众照射	约 9000 人	感生放射性
本项目边界东侧	兰州新区瑞岭名郡学校	2210m	公众照射	约 3500 人	感生放射性
本项目边界东侧	绿地智慧金融城	2290m	公众照射	约 3500 人	感生放射性
本项目边界东侧	甘肃弘毅绿地实验学校	2410m	公众照射	约 1800 人	感生放射性
本项目边界东侧	状元尊府	2550m	公众照射	约 1200 人	感生放射性
本项目边界东侧	兰州新区第十小学校	2550m	公众照射	约 1500 人	感生放射性
本项目边界东侧	琨宇·书香名府	2670m	公众照射	约 3500 人	感生放射性
本项目边界东侧	甘肃省人民医院新区分院	2710m	公众照射	约 650 人	感生放射性
本项目边界东侧	兰州新区实验小学	2730m	公众照射	约 3400 人	感生放射性
本项目边界东侧	兰州市第六十一中学新区分校	2780m	公众照射	约 1600 人	感生放射性
本项目边界东侧	瑞岭雅苑	2910m	公众照射	约 6700 人	感生放射性
本项目边界南侧	检测中心	120m	公众照射	约 50 人	感生放射性
本项目边界南侧	朱雀湖别墅区	415m	公众照射	约 2500 人	感生放射性
本项目边界南侧	朱雀湖	620m	公众照射	约 4500 人	感生放射性
本项目边界南侧	翡翠园	1370m	公众照射	约 150 人	感生放射性
本项目边界南侧	兰州市公安局交通管理支队 兰州新区大队	1710m	公众照射	约 180 人	感生放射性
本项目边界南侧	兰州辅仁医院	1710m	公众照射	约 100 人	感生放射性
本项目边界南侧	瑞岭御景苑	1800m	公众照射	约 7500 人	感生放射性
本项目边界南侧	兰州新区晴望川民俗文化村	1840m	公众照射	流动人群	感生放射性

方位	周围环境情况	与项目边界最短距离	照射类型	规模	照射途径
本项目边界南侧	碧桂园	1890m	公众照射	约 6000 人	感生放射性
本项目边界南侧	方家坡社区	1970m	公众照射	约 4000 人	感生放射性
本项目边界南侧	宗家梁学校	2140m	公众照射	约 1350 人	感生放射性
本项目边界南侧	湖南名苑	2150m	公众照射	约 4500 人	感生放射性
本项目边界南侧	云锦华府	2280m	公众照射	约 4000 人	感生放射性
本项目边界南侧	海亮·时光印	2390m	公众照射	约 2800 人	感生放射性
本项目边界南侧	兰州新区第十二小学	2420m	公众照射	约 1800 人	感生放射性
本项目边界南侧	瑞辰·金悦府	2510m	公众照射	约 4000 人	感生放射性
本项目边界南侧	七号御景	2540m	公众照射	约 1000 人	感生放射性
本项目边界南侧	方家坡	2730m	公众照射	约 4000 人	感生放射性
本项目边界西侧	秦王川国家湿地公园二期	390m	公众照射	流动人群	感生放射性
本项目边界西侧	甘肃亚盛亚美特节水有限公司	1560m	公众照射	约 100 人	感生放射性
本项目边界西侧	甘肃新西北碳素科技有限公司	1610m	公众照射	约 100 人	感生放射性
本项目边界西侧	新中花园	1720m	公众照射	约 800 人	感生放射性
本项目边界西侧	金润嘉苑	1930m	公众照射	约 1800 人	感生放射性
本项目边界西侧	中国铁建大桥局	2010m	公众照射	约 100 人	感生放射性
本项目边界西侧	瑞岭悦府	2100m	公众照射	约 4300 人	感生放射性
本项目边界西侧	宗家梁小区	2200m	公众照射	约 8000 人	感生放射性
本项目边界西侧	兰州新区第一人民医院	2410m	公众照射	约 800 人	感生放射性

## 2. 自然环境与社会环境状况

### 2.1. 自然环境状况

#### 2.1.1. 地形地貌

项目建设场地处于兰州新区秦王川盆地，秦王川盆地形成于第三纪，在中更新世晚期由于受东西两侧边界断裂挤压逆冲活动的影响而成为一个封闭式的断陷盆地。中更新世晚期~晚更新世早期金强河及黑马圈河沿盆地两侧古河道穿过秦王川盆地，注入黄河，从而使盆地内堆积了较厚的冲洪积砂砾石层。晚更新世晚期~全新世早期由于坪城盆地的持续抬升，河流改道，使秦王川盆成为一个干旱盆地。兰州新区也是祁连山脉东延之余脉插入陇西盆地的交错地带，属典型的黄土高原丘陵地貌类型，平川、梁峁、沟壑及河谷地貌发育。整个地域宽阔，地势由西北向东南倾斜，东西两面是低矮黄土山丘，南北长约60km，东西最宽处约20km，平均海拔高度1910m。兰州新区地势由NE向SW倾斜，北部为低山，东西南三面为低缓的黄土丘陵，相对高差为40~60m。盆地基底为上第三系（N）河湖相及山麓相的碎屑堆积物，厚约400~500m，以淡紫红色、桔红色泥岩、泥质砂岩、砂砾岩为主。其上为冲洪积砾石层，砾石层厚5~30m，砾石的分选性和磨圆度较好。上覆次生黄土，土质多为黄绵土，表土层平均厚度在0.5~3m之间，自然植被稀疏。

#### 2.1.2. 地震

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2016）有关规定，该场地抗震设防烈度为7度，设计基本地震加速度值为0.15g，设计地震分组为第三组，设计特征周期为0.45s，建筑场地类别属II类，场地属对建筑抗震一般地段。拟建场地位于断陷盆地边缘的黄土丘陵地带，20m深度范围内无地下水，无饱和土分布。

#### 2.1.3. 气候气象

场地处于兰州市秦王川盆地，水文区划属兰州北部干旱区，大陆性季风气候特征显著。兰州新区深居内陆，远离海洋，受地形和大气环流影响，气候具

有明显的温带大陆性季风气候特征，冬季寒冷干燥，春季多风少雨，夏无酷暑，秋季温凉。根据甘肃省气象局《关于兰州新区建设应重视气象灾害风险防范的意见》甘气发（2011）206号文件提出的兰州新区的主要气象特征为：兰州新区年平均降水量 218.7mm；年平均气温为 6.9℃，年平均相对湿度 54.9%，年平均风速 1.9m/s，风向偏北，约占 32%。另外，根据《兰州新区近地层风场时空特征分析》中 4 个测风塔布设位置，本项目拟建场所距离该文献中兰州新区东南角测风塔位置最近，由文献资料可知，新区东南角，春夏两季以东北风为主，出现频率为 11%~12%，秋冬两季以东风为主，出现频率分别为 10.8% 和 11.5%。夏季东南风明显增加，出现频率接近 10%。

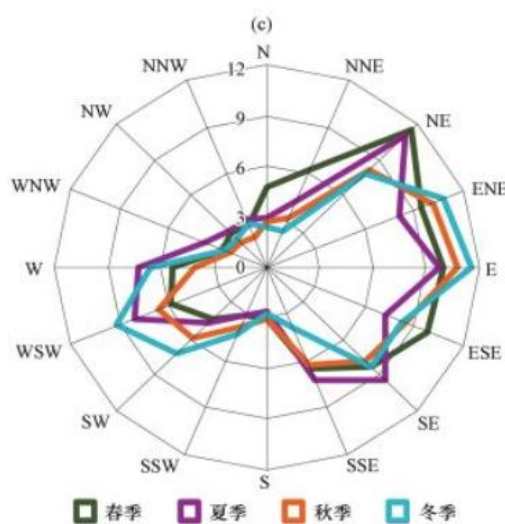


图 2-1 兰州新区东南角 2017 年 70m 高度四季风向玫瑰图

#### 2.1.4. 水文地质概况

兰州新区属黄河流域，庄浪河、大通河、咸水河、李麻沙沟、大沙沟、倒水沟、牛可沟等七条独立流出县境的河（沟）中，只有大通河和庄浪河属常年性河流，其他为泉水排泄或季节性洪水河。根据甘肃省建筑设计研究院有限公司 2020 年 7 月完成的《兰州新区大装置科创园甘肃省同位素实验室项目勘察》（详细勘察、工程号 2020-109），场地内稳定地下水埋深 1.4~6.9m，层面高程为 1891.44~1892.62m 之间。地下水位埋藏较浅，主要赋存于透水性较强的粗颗粒砾砂层和透水性弱的粉土层中；粉质粘土层具有一定的隔水性，其下的地下水具有一定的承压性；泥岩在不扰动情况下为相对隔水层。粉土中渗透系数

$K=0.01\text{m/d}$ ，砾砂层中渗透系数  $K=25\text{m/d}$ ，属潜水类型。场地地下水主要接受地下径流、大气降水等补给，排泄方式主要以径流排泄、人工开采和蒸发消耗为主。

## **2.2. 社会经济概况**

### **2.2.1. 社会发展状况**

兰州新区辖彩虹城、栖霞、文曲、小横路等 4 个中心社区 18 个社区、72 个行政村。2025 年底，实有人口突破 76 万人。

### **2.2.2. 经济发展状况**

2025 年，兰州新区完成地区生产总值 500.5 亿元、增长 14.5%，一二三产增加值分别增长 5.2%、20.8%、9%，三次产业结构为 1.58：47.78：50.64。规模以上工业增加值增长 23.9%。一般公共预算收入完成 33.9 亿元、增长 5%。社会消费品零售总额完成 84.3 亿元、增长 10.2%。城乡居民人均可支配收入分别为 46304 元、19332 元，增长 4.7%、6.5%。

### **2.2.3. 文化、教育和科技**

兰州新区内有全国最大的“工匠摇篮”—兰州新区科教园区，已入驻院校 19 所、师生 16.5 万人。获批创建国家绿色金融改革创新试验区、普惠金融示范区，赋能产业转型升级和实体经济发展。现有中科院大科学装置检验检测中心、同位素实验室、新型裂变核燃料实验室等各类创新平台 193 个，创新型企业超 200 家，高新技术企业累计达到 184 户，全社会研发投入强度达 3.8%。区域科创综合服务平台“甘智汇”建成投运，1.5 万米超深海洋钻机、3.5 微米极薄铜箔、医用同位素等 22 项技术达到国际领先，稀土配合物发光材料、动物疫苗等 180 项技术实现国内领跑。入选第二批“科创中国”试点城市。

### 3. 建设项目环境影响预测及拟采取的主要措施及效果

#### 3.1. 项目概况

本次环评内容包括基于质子加速器的同位素应用研发、超重乙级实验室以及辐射管理中心：

##### (1) 基于质子加速器的同位素应用研发

利用质子加速器的质子束轰击钍靶发生散裂反应产生 Ac-225、Ra-223 等一些列核素，接着通过分离纯化去除杂质核素，最终得到 Ac-225、Ra-223 产品。组成部分包括质子加速器、靶站和分离系统。质子加速器产生并加速质子束，质子束在靶站轰击钍靶，发生核反应产生 Ac-225、Ra-223 目标核素及杂质核素，辐照后靶件从靶站转移至分离系统，在分离系统区域开展辐照后靶件的分离、纯化等操作去除杂质核素，最终形成 Ac-225、Ra-223 放射性同位素产品。

本项内容涉及 1 台 I 类射线装置的使用，新增 1 处甲级非密封放射性物质工作场所，包括 Ac-225、Ra-223 放射性同位素的生产、销售和使用活动。

##### (2) 超重乙级实验室

超重乙级实验室包括放射性同位素制靶、放射性同位素的回收与提纯、超重化学研究与微流体萃取实验研究，主要操作的放射性同位素包括 Am-243、Am-241、Cf-252、Cf-251、Cf-249、Cm-248、Cm-244、Pu-244、Pu-240、Ta-182、Ta-179、Nb-95。其中 Am-243、Am-241、Cf-252、Cf-251、Cf-249、Cm-248、Cm-244、Pu-244、Pu-240 主要用于制靶及回取，Ta-182、Ta-179、Nb-95 主要用于微流体溶剂萃取实验。

本项内新增 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，包括 Am-243、Am-241、Cf-252、Cf-251、Cf-249、Cm-248、Cm-244、Pu-244、Pu-240、Ta-182、Ta-179、Nb-95。其中 Am-243、Am-241、Cf-252、Cf-251、Cf-249、Cm-248、Cm-244、Pu-244、Pu-240 放射性同位素的使用活动。

### (3) 辐射管理中心

辐射管理中心为整个场所的放射性三废管理中心，各辐射工作场所放射性废气输送至辐射管理中心排风机房经过滤后经排风塔排放，各辐射工作场所放射性废液在场所内分类暂存一段时间后输送至辐射管理中心废液暂存场所进行暂存，各辐射工作场所放射性固体废物在场所内分类暂存一段时间后转移至辐射管理中心放射性固体废物暂存场所进行暂存处理。

## 3.2. 工作原理及工艺流程

### 3.2.1. 基于质子加速器的同位素应用研发

本项目利用加速器的带电粒子作为入射粒子，轰击靶核引起相应的核反应生成放射性同位素，放射性同位素经分离、纯化和质检等操作，最终得到放射性同位素。

主工艺流程为：

(1) 外购靶件；

(2) 靶件辐照前准备工作：靶站工作人员在维护热室前区远程操作热室内设备完成靶件抓取与紧固并将靶体推送到打靶位；加速器工作人员确认符合加速器出束条件；新的靶件经过进料手套箱送入维护热室；靶及其结构件通过维护热室的维护拖车送入辐照室；

(3) 靶件辐照：辐射工作人员控质子加速器出束，束流在靶站系统辐照室内打靶；

(4) 靶件传输：辐照后靶件通过维护拖车将靶件从辐照室退回至维护热室；

(5) 放射性同位素制备：在维护热室实现靶件的拆解和封装，并将封装好的靶件从维护热室底部通过底部传输小车送至对应的分离系统区域，在各层箱室中通过分离纯化实现放射性同位素的提取。

#### 3.2.1.1. 外购靶件

本项目使用的靶件均外购。

### 3.2.1.2. 靶件辐照前准备工作

靶站工作人员在维护热室前区远程操作热室内设备完成靶件抓取与紧固并将靶体推送到打靶位；加速器工作人员确认符合加速器出束条件；新的靶件经过进料手套箱送入维护热室；靶及其结构件通过维护热室的维护拖车送入辐照室。

### 3.2.1.3. 靶件辐照

辐射工作人员在质子加速器控制室控制质子加速器出束，实现束流在同位素生产靶系统辐照室内轰击靶件产生目标同位素。该阶段主要包质子加速器和同位素生产靶系统。

#### 3.2.1.3.1. 质子加速器

该装置的质子加速器由离子源、低能传输线、RFQ 加速器、中能传输线、超导加速段以及高能传输线组成。加速器束流设计参数如表 3-1 所示。

表 3-1 医用同位素生产研究加速器束流设计参数

离子	能量	流强
H <sup>+</sup>	115MeV	1mA

#### (1) 离子源

离子源用于产生稳定的质子束流，拟采用 2.45GHz ECR（电子回旋共振）离子源，主要由微波馈入系统、源体及引出系统三部分组成。由于 ECR 离子源属于无极放电，能够产生高流强和高电荷态的离子束，可在较大范围气压下长期稳定工作、重复性好、引出束的能散和发射度低、离子种类广，没有寿命限制，也不会带来束流的污染，可以提供较纯净的离子束。

#### (2) 低能传输段

低能传输段 LEBT 的主要作用是为了实现 ECRIS 与 RFQ 之间的束流匹配,同时肩负着主加速离子筛选、机器保护、束流诊断的作用。具体功能如下: 1) 将离子源引出的束流匹配传输至 RFQ 加速器中; 2) 分离杂质离子, 获得纯净的质子束, 并且对束流强度进行连续调节; 3) 根据超导加速器注入时将束流进行脉冲化切割, 在微秒时间内偏转束流并进行设备快保护。LEBT 的布局结构为: 两个螺线管之间放置一个真空室, 真空室内有法拉第筒和单丝探测器, 第二个螺线管与 RFQ 之间放置静电切束器、束流接收锥和 ACCT 探测器。切束器在束流占空比 1% 至 90% 之间连续可调, 以配合 RFQ 和直线加速器的调试。

### (3) 射频四极加速器

RFQ 采用了 162.5MHz 的谐振频率, 并在动力学设计时考虑使用较低的极间电压, 从这两个方面来尽量降低腔体单位面积的高频热功耗。RFQ 的动力学设计采用不变孔径不变电压的设计方案。为了避免损失的粒子打在真空管道、磁体、高频腔体等元件上引起铜材料的活化辐射, RFQ 的输出能量选择在 2.1 MeV。

### (4) 中能传输段

中能传输段 MEBT 主要用于束流从 RFQ 到超导段的横向和纵向匹配。结合目前在运行加速器的调试运行经验, 在中能传输段对束流的横纵向参数的准确测量, 是实现超导段束流调试匹配的关键所在, 因此, MEBT 的设计考虑了束流诊断相关功能。MEBT 的束流能量为 2.1MeV, 注入器 MEBT 全长约 2.796m, 主要由 6 个四极磁透镜和 2 个 162.5MHz 常温聚束腔 QWR 以及一系列的束诊元件组成, 分别用于横向和纵向的束流匹配和测量。RFQ 出口束流为不对称束, 而超导段入口要求为对称束, 因此 MEBT 段选用四极磁铁作为横向聚焦元件。为了实现束流横、纵向匹配, 以结构紧凑为设计原则, MEBT 段采用双四极磁铁及双聚束器结构进行匹配设计。利用前一段四极磁铁对束流包络进行控制, 再将束流传输到第一个聚束器进行聚束, 此聚束器后长漂移段用于束诊元件布置, 束流将通过第二个四极磁铁以及第二台聚束器到达超导段入口。

### (5) 超导加速段

同位素直线加速器运行模式为连续波模式，超导加速段是整个加速器的主要加速部分。超导加速段是以低温恒温器为基本物理单元的集成，以及与之相匹配的超导腔体、固态功率源、超导螺线管、超导磁铁电源、束诊元件等。根据束流能量需求，超导加速段采用四种类型的腔体，分别为频率为 162.5MHz， $\beta$  值为 0.10 和 0.15 的二分之一波长腔（HWR），以及频率为 325MHz， $\beta$  值为 0.40 的 HWR 腔体。

### (6) 高能传输段

高能传输线（HEBT）将束流匹配和传输至终端，共包括 4 段：①D1 段：超导加速段出口的束流经一组 Doublet（双组合四极磁铁组）与 Triplet（三组合四极磁铁组）后进入低功率束流收集器 DUMP1，用于束流流强、能量、横向剖面与发射度测量；②T1 段：在 Triplet 之后向左偏转 90°，再经一组 Doublet、一组 Triplet、6 台扫描磁铁后将束流传输至靶 1；③D2 段：将束流向左两次偏转 90°后，用一组 Triplet 约束束斑在高功率束流收集器 DUMP2 处的尺寸，用于高功率束流稳定性测试；④T2 段，将束流向左两次偏转 90°后在向右偏转 90°，用一组 Triplet 和 2 台扫描磁铁将束流传输至靶 2。

低功率束流收集器 DUMP1 本体为铜，用于最高 115 MeV，质子束流收集，最高束流功率 20 W，利用冷却水进行热移除，外围利用聚乙烯屏蔽。

高功率束流收集器 DUMP2 本体为铜，用于最高 115 MeV，质子束流收集，最高束流功率 500 W，利用冷却水进行热移除，外围利用碳钢屏蔽。

### (7) 束流调试终端

基于实验终端束流参数需求，束流调试终端主要进行加速器的无损束流传输调试及供给实验终端的束流流强、能量等参数测量，目的是调出稳定束流。针对不同粒子种类，超重加速器束流调试终端进行脉冲束束流调试，束流能量

范围为 4-7 MeV/u，最大流强为 10  $\mu\text{A}$ ，束流占空比小于 0.2%，最大束流功率为 20W。

### 3.2.1.3.2. 同位素生产靶系统

同位素生产靶系统在同位素生产中起着承上启下的作用，上耦合加速器实现多种同位素高效的产生，下连接化学分离使其能够有效的分离出目标同位素，是同位素生产中的关键组成部分，本项目同位素生产靶系统包括靶 1 系统和靶 2 系统。

本项目靶站系统共有 2 个互相独立，不同时运行的靶站系统。每个靶站系统主要包括靶辐照系统、靶遥控维护系统、靶冷却系统等。

靶站布局俯视图见图 3-1，质子束线以 1.5 米的中心高度水平进入靶站 1。为了满足加速器束流调试的需求，在靶站东北区域设置束流垃圾桶 (DUMP2)，与靶站共用天车。HEBT 束线在靶站内分为三支：一支偏转 90 度接入 DUMP2 上，第二分支和第三分支分别接入靶 1 和靶 2 辐照室，用于同位素的生产。

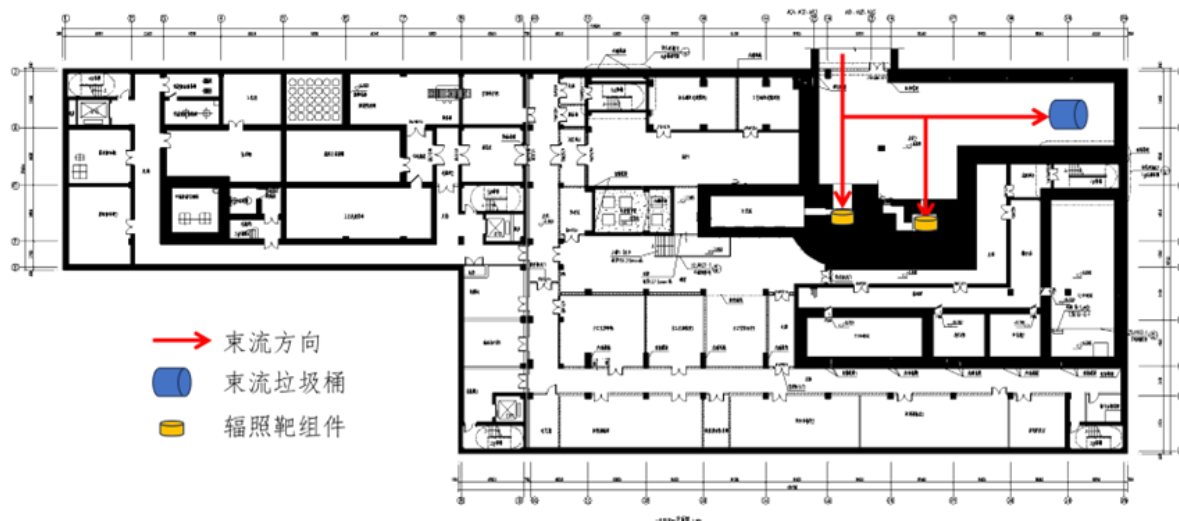


图 3-1 靶站布局俯视图（地下一层）

靶站大厅主体位于地下一层，如图 3-13 所示，其中靶站中心大厅区域为靶主要设施区（主要包括靶 1 辐照室、靶 1 操作热室、靶 2 辐照室）。

靶 1 热室包含操作热室和辐照室。其中操作热室内部净尺寸为 9.8m×3.3m×5.6m（宽×深×高，下同），操作热室前墙厚度为 1000mm（重混，密度 4.2g/cm<sup>3</sup>），侧墙厚度为 1300mm（普混，密度 2.4g/cm<sup>3</sup>），后墙厚度为 1200mm（普混，密度 2.4g/cm<sup>3</sup>），顶部厚度为 1000mm（普混，密度 2.4g/cm<sup>3</sup>）；辐照室内部净尺寸为 2m×1.6m×2m，辐照室前墙厚度为 4750mm（重混，密度 4.2g/cm<sup>3</sup>），后墙屏蔽活动盖板厚度为 5500mm（普混，密度 2.4g/cm<sup>3</sup>），顶部厚度为 4400mm（普混，密度 2.4g/cm<sup>3</sup>）。操作热室和辐照室内衬采用不锈钢覆面，按二级密封标准设计。靶 1 热室底面标高 0.5m。操作热室设有 4 个工位，每个工位配备 1 个窥视窗、操作热室共配备 5 个主从机械手。辐照室未设有工位。

操作热室内顶部配备动力机械手（包含 1 台 2t 电葫芦），用于抓取转移靶组件靶容器、拆卸靶容器密封盖和启闭靶容器暂存坑等操作。操作热室顶部设置有设备吊装孔（净通行尺寸为 2000mm×1500mm）用于大型设备的进出，吊装检修孔（净通行尺寸为 φ1100mm，对接尺寸为 φ1080 mm），用于用于动力机械手的检修和废靶容器的转出。操作热室侧墙设有进料手套箱和水平转运孔道，用于接收新靶片。热室底部设有靶容器暂存坑和靶组件暂存坑，分别用于废靶容器和的靶组件的暂存。

靶 1 热室按 2 级密封标准设计，设计寿命为 50 年，热室布置图见图 3-2~图 3-4。

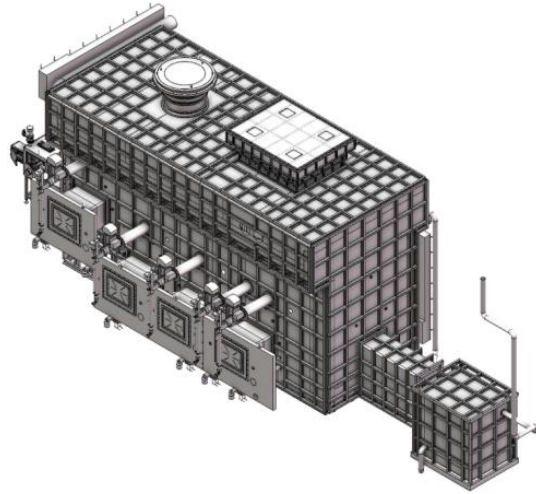


图 3-2 热室等轴测三维简图

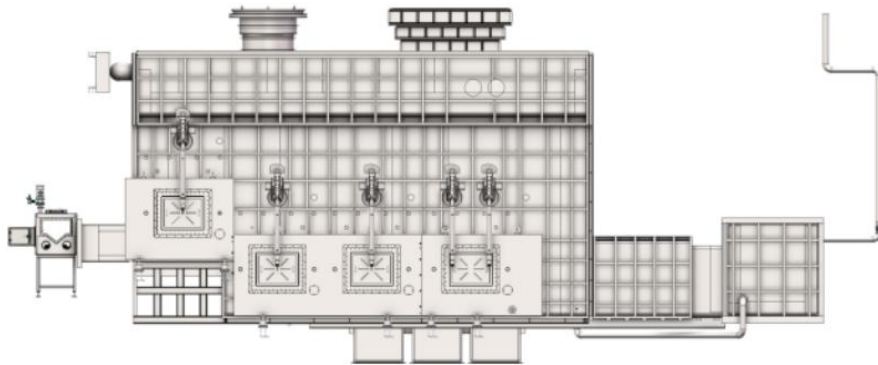


图 3-3 热室前向三维简图

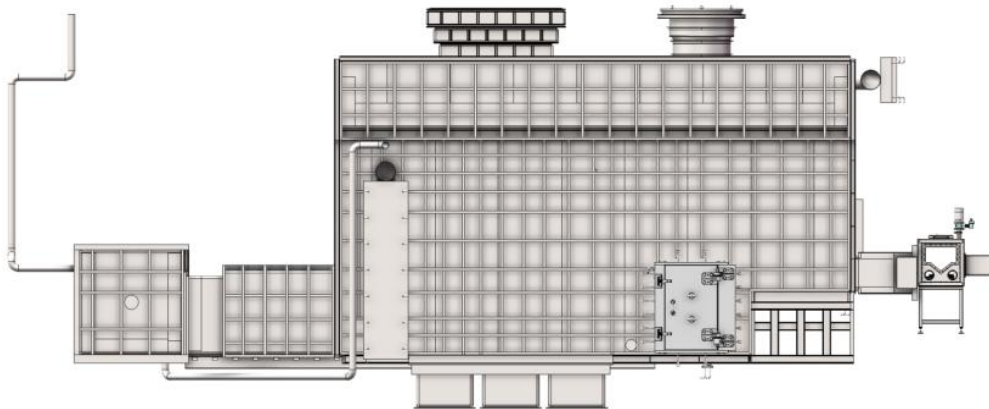


图 3-4 热室后向三维简图

靶站区域主要变更项为：在原来单辐照室的基础上，增加一个低功率辐照室靶站 2（见图 3-5），该辐照室与原辐照室不同时启动运行，即当其中一个辐照室工作时，另外一个辐照室不启用。同时新增辐照室为低功率辐照室，设计最高能量为 115MeV，最高流强不超过 0.25mA。新增辐照室在原辐照室区域及

地基上建设，变更后平面图如图 3-1 所示，其中原辐照室右侧圆形标记区域为新增辐照室。辐照室尺寸为 2500×1800×2500mm（长×宽×高）。同时，为了实现辐照室和操作热室高低剂量分区，提高系统运行可靠性和安全性，新增辐照室及维护热室为垂直布局，中间通过内部充水的管道连接。其中辐照室位于地下一层，维护热室位于地上一层。辐照室前区增加重混屏蔽，从而实现辐照过程中射线屏蔽，北侧区域为设施区，区域内为低功率束流束线传输及诊断装置。

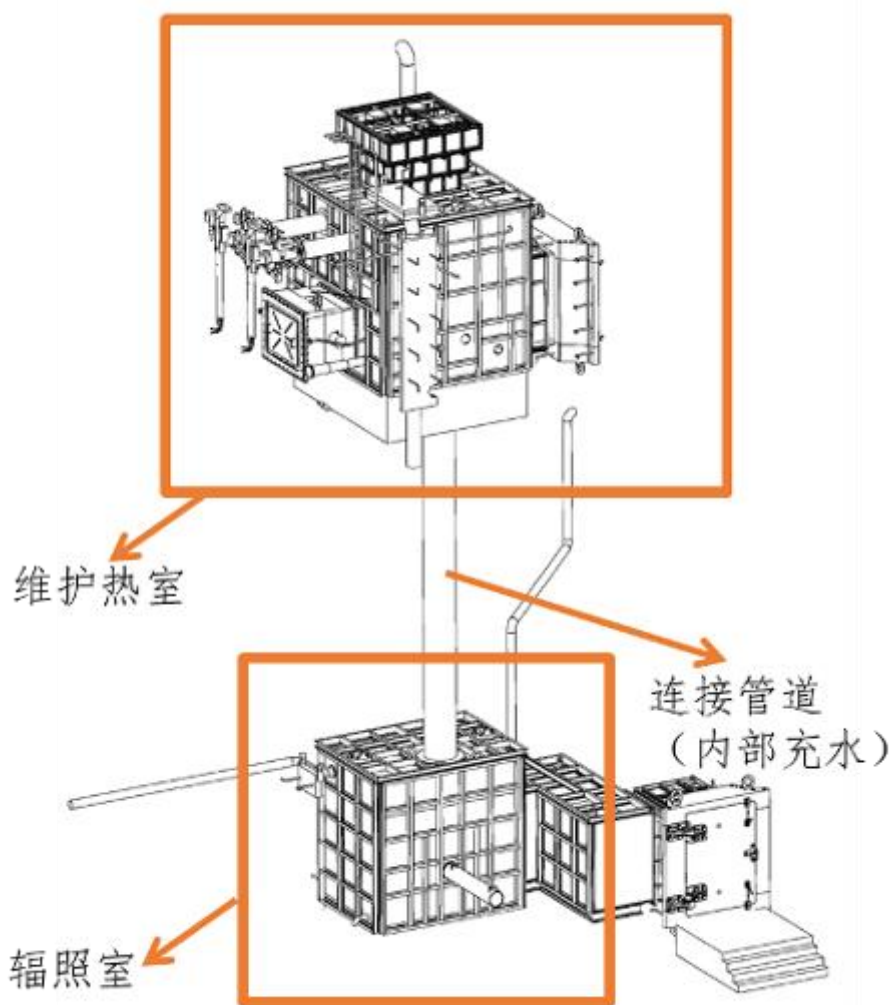


图 3-5 新增靶站 2 等轴测三维示意图

靶站地上一层主要为吊装大厅和辅助配套设施，吊装大厅设置一台 32t 吊车，用于靶站大型、重型设备的吊装；配电室及送风机房辅助配套设施布置于

靶站 1 层大厅南边界墙向北 9 米的范围内。本层主要功能间包括：汽车门斗、吊装大厅、配电室、送风机房等。另外靶站与同位素分离工作人员共用的卫生通道，位于靶站西侧分离热室区。在新增辐照室顶部，增加维护热室，用于新增辐照室靶片上下基座操作，该维护热室由 1.0~1.2m 厚的混凝土屏蔽靶组件受照活化后的剂量。维护热室尺寸为：3000×2500×2500mm（长宽高）。同时，在该维护热室西侧区域，布置检修间和过渡区，用于对维护热室内设备进行定期检修及保养等操作；在该维护室东侧区域，布置有操作间，用于放置电气柜等设备。相关布局图如图 3-6 所示。

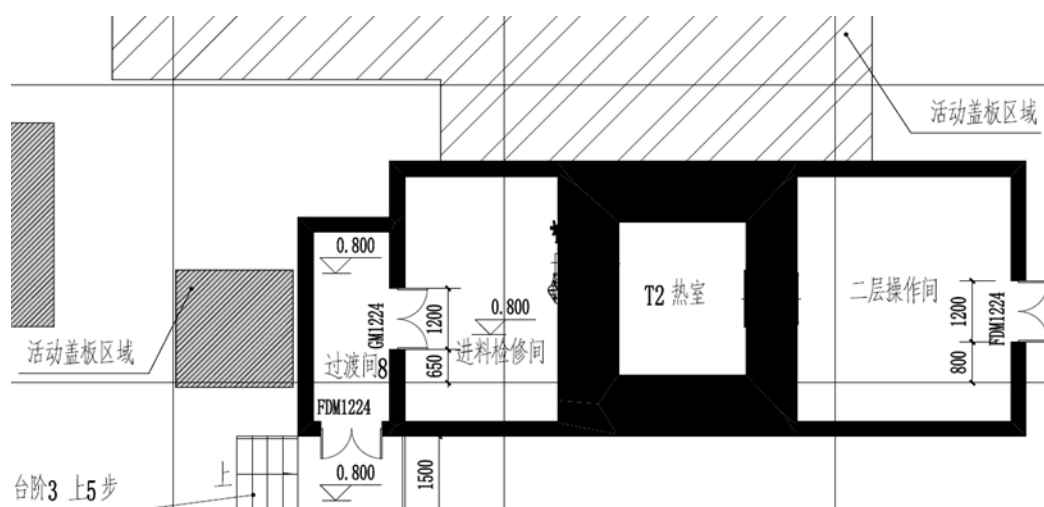


图 3-6 新增靶站 2 维护热室布局图（地上一层局部）

靶站局部地上二层南边界墙向北 9 米的范围主要布置非放实验室、会议室及靶站控制室，便于靶站系统的独立控制和运行。

靶站系统设计及运行参数见下表。

表 3-2 靶站打靶参数

辐照室	目标核素	粒子	靶材	打靶参数(最大参数)	打靶时间/批次	年最大束流打靶批次	年打靶时间, h/年
靶站 1	Ac-225	质子	Th-232	115MeV/1mA	10d	20	4800h
靶站 2	Ac-225	质子	Th-232	115MeV/0.25mA	10d	12	2880h

### 3.2.1.3.2.1. 靶 1 系统

#### (1) 设备组成

靶站系统的核心工艺是将新靶片由外部转入操作热室内，在操作热室内进行靶组件装配，并转移至靶容器内，再将靶容器整体推入辐照热室，进行质子打靶。辐照完成后，退出靶容器，提取靶组件、拆卸靶片，并将辐照后靶片通过出料系统转出热室。

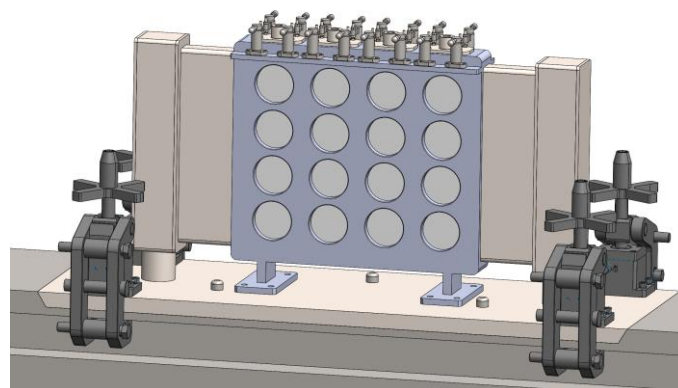


图 3-7 靶装置示意图

#### 1) 靶站 1 辐照热室设备

靶站 1 辐照热室位于靶站 1 操作热室和靶站 2 中间，内部设备主要为用于同位素生产的靶装置，在生产放射性同位素的同时为周围环境及其他设备提供了一道安全屏障，加速器束流管道从北向南水平入射到同位素生产的靶装置上。辐照热室内部面积规划为 2 米×1.6 米区域，围绕辐照热室以重混凝土屏蔽构筑生物屏蔽体，屏蔽瞬发辐射中子和光子，该区域的屏蔽效果应达到辐射防护规范要求。辐照热室上设有管道及法兰接口 C 与上游加速器束线相连，束流从靶窗穿过射入靶容器内的靶组件上，完成同位素的生产。

#### 2) 靶站 1 操作热室设备

靶站 1 操作热室容纳维护靶车一部，用于在较长周期内对靶靶装置进行维护和更换、完成靶片及靶组件的进料、出料，同时用于紧急维护情况下靶组件的更换和维护，人员可通过动力机械手和/或主从式机械手对靶车上的设备进行维护。维护室顶部设置有吊装口，便于大件设备与材料转移，底部设置转运口实现紧急维护情况下辐照后靶组件的转出。

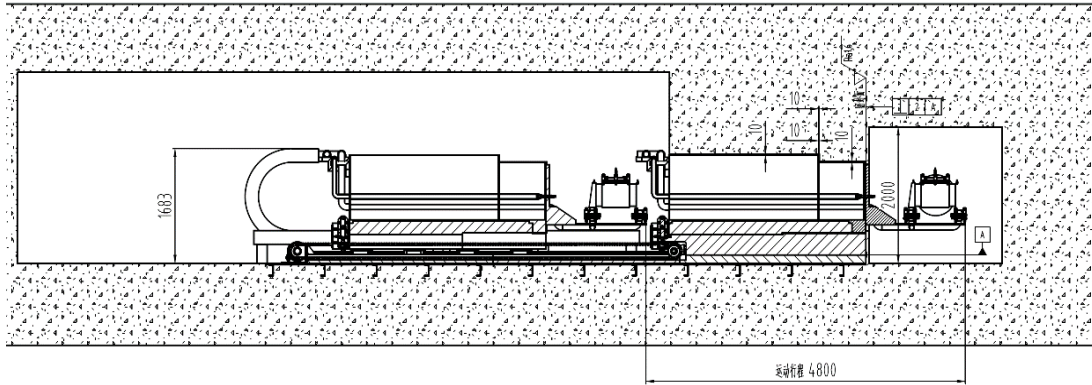


图 3-8 靶拖车示意图

#### a. 维护靶车

维护靶车主要由基座、移动小车、屏蔽块等组成，靶装置安装在靶车上。靶站运行时，安装有靶装置的靶车由操作热室向辐照热室移动，将靶装置整个送入操作热室中进行辐照。辐照完成后，靶车拖着靶装置反向运动进入操作热室，进行维护及更换操作。

#### b. 动力机械手系统

动力机械手系统主要由大车、小车、伸缩套筒和动力机械臂等组成。动力机械手系统布置在操作热室顶部，通过大小车和伸缩套筒可实现动力机械手在操作热室内的空间移动。动力机械手主要用于实现热室内上下靶及设备维护操作。

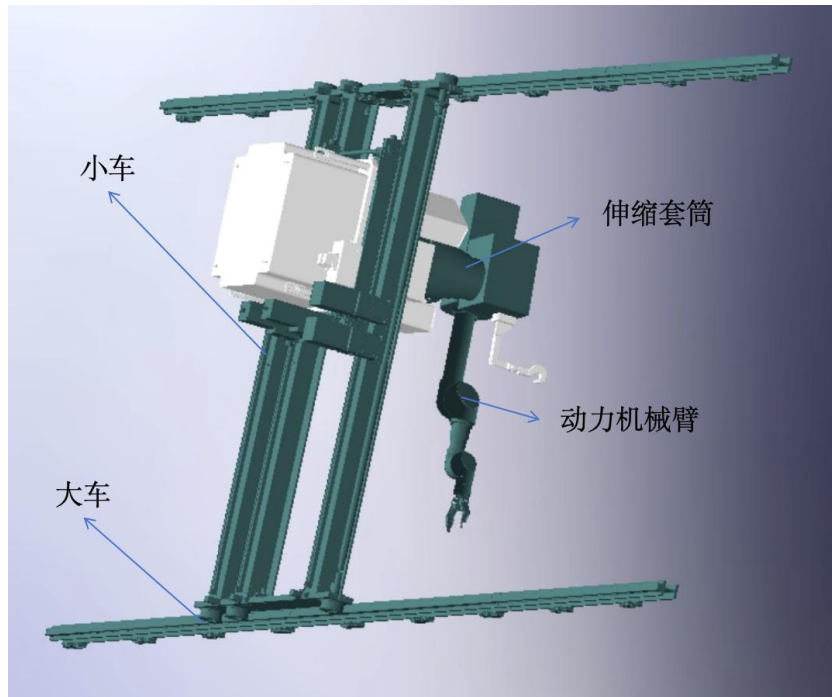


图 3-9 动力手系统

#### b. 进出料系统设备

靶站 1 进出料系统主要由手套箱（热室外）、水平转运通道、进料轨道、ER 机械手、靶组件挂架、开罐装置、双盖装置、屏蔽转运容器（热室外）、运输辊道（热室外）、滑动补偿屏蔽（热室外）和后区屏蔽门（热室外）等设备组成。该系统总体布局位于热室的左侧，通过增大与辐照热室侧的距离，以距离防护方式确保台面设备的稳定运行。进出料系统承担以下两项核心工艺流程：1) 新靶片由热室外向热室内的转运及靶组件装配；2) 辐照后靶组件的靶片拆解及热室外转运。

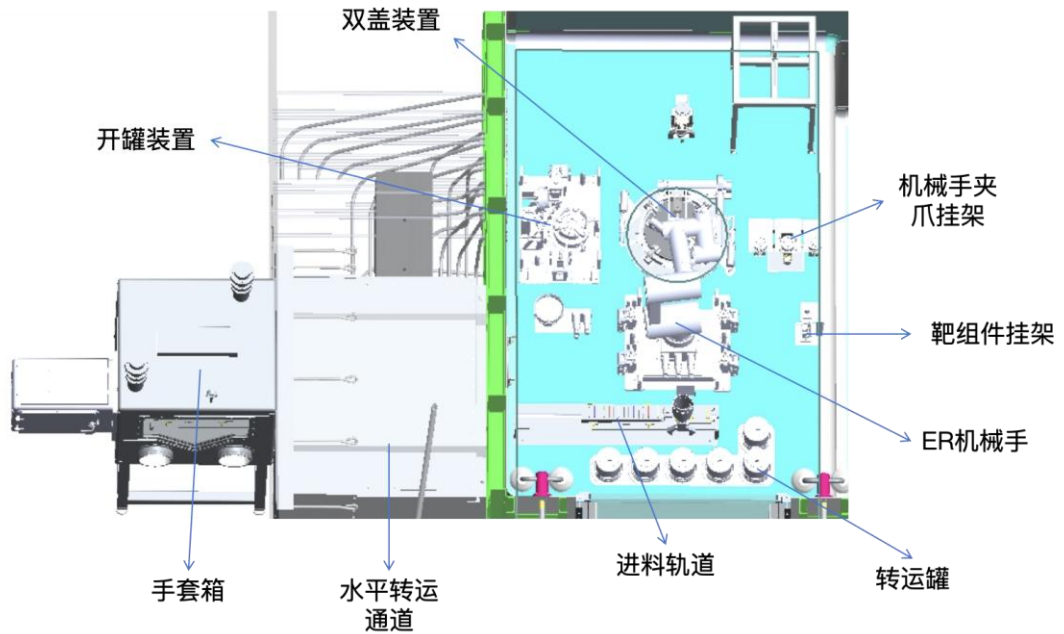


图 3-10 进料及操作台面系统设备组成

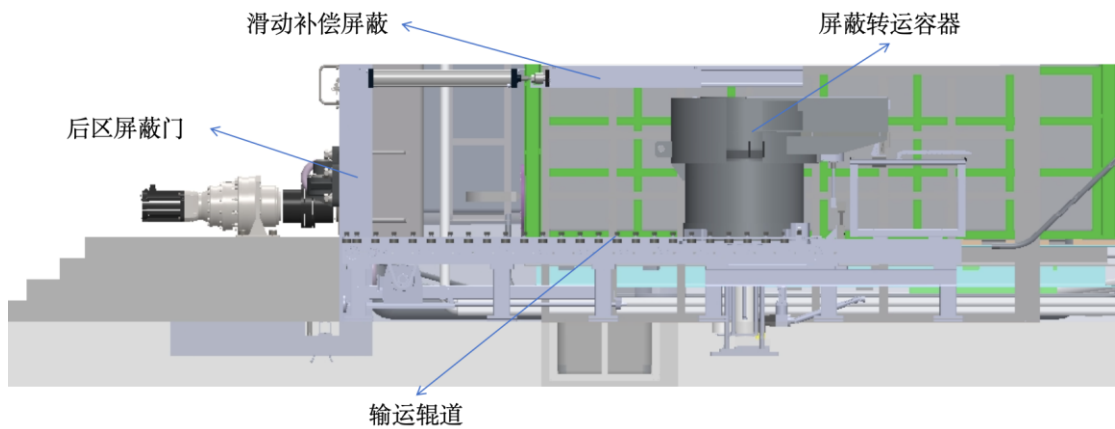


图 3-11 热室外出料系统设备

## (2) 靶片转运

靶片为常规工艺流程热室转出的最小单元。下图所示为辐照后靶片由辐照热室经操作热室转出路线。辐照完成后，通过步骤①靶车退出，将靶容器（含靶片）由辐照热室转移至操作热室，步骤②为靶组件拆卸、转移并暂存至 1#暂存坑流程，再经过步骤③将靶组件转移至操作台面，由台面操作系统进行靶片拆卸、装罐、转出至屏蔽转运容器（步骤④），最后步骤⑤实现 AGV 小车对接，运输屏蔽转运容器。

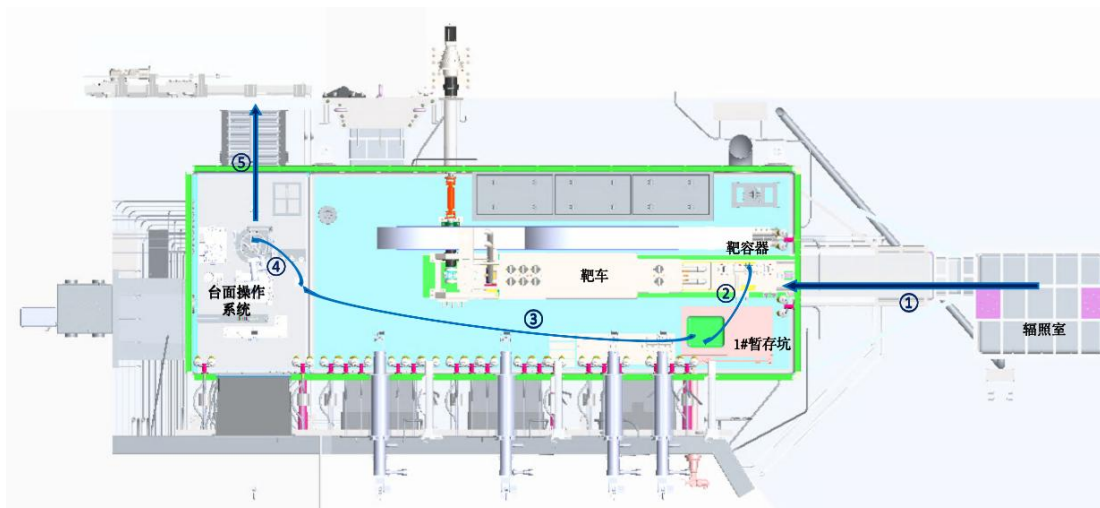


图 3-10 辐照后靶片由辐照热室经操作热室再转出路径



图 3-11 操作热室外屏蔽转运容器（含辐照完靶片）转运路线

靶件从靶站运输到分离热室采用机械化远程操作。靶件通过自动化分拣设备完成分拣并封装在密闭容器中，通过双盖屏蔽转运容器将密封容器从过渡室转出至过渡室后区，再通过转运小车水平转运至负一层分离热室区的吊装平台下，接着通过吊车垂直转运至一层分离热室区接收热室中。

### (3) 靶站 1 束窗更换及暂存

靶站 1 束窗设在靶站 1 辐照热室的北侧，其布局如图 3-12 所示，位于强流超导直线加速器和辐照热室的交接处，确保将加速器产生的高功率束流高效

传输至靶装置上，并承担着隔离加速器高真空环境与辐照热室低真空环境的重要职责。

束窗由束窗组件、刮束组件、充气波纹管组件、局部屏蔽体及管路组成一个整体吊装组件，安装在位于辐照室北侧的导向定位盒中，束窗结构如图 3-13 所示。束窗就位后，如图 3-14 所示，其上游管道和顶部均设有混凝土屏蔽体，上游管道混凝土屏蔽体整体尺寸为 3.5m×4.5m×4.2m，顶部混凝土屏蔽体整体尺寸为 4m×3.5m×4.7m。由于长期受束流的辐照，束窗需要定期更换，更换时，先吊移开束窗顶部混凝土屏蔽块，再将束窗专用转运容器吊至束窗顶部，坐于束窗安装区域顶部混凝土墙体上，调整到位后可通过转运容器内部设有的吊具将束窗从导向定位盒中吊起至转运容器内，如图 3-15 所示；拆除后的束窗需要通过转运容器吊至位于靶站 1 西侧的束窗暂存井中，暂存井布局如图 3-16 和图 3-17 所示，待其辐照剂量降至人员可安全操作时再吊出至废物存放间。

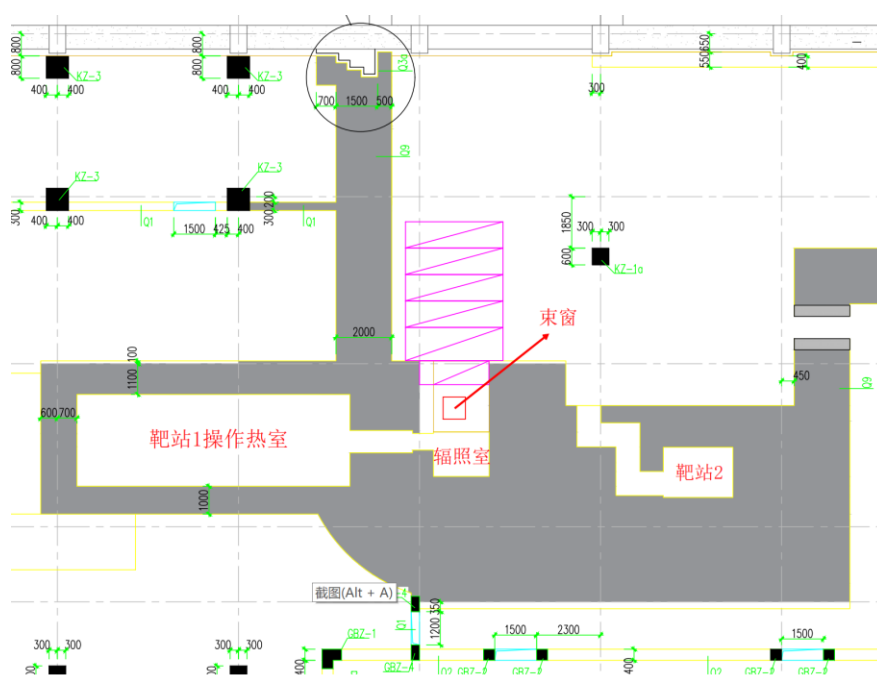


图 3-12 束窗布局图



图 3-13 束窗结构图

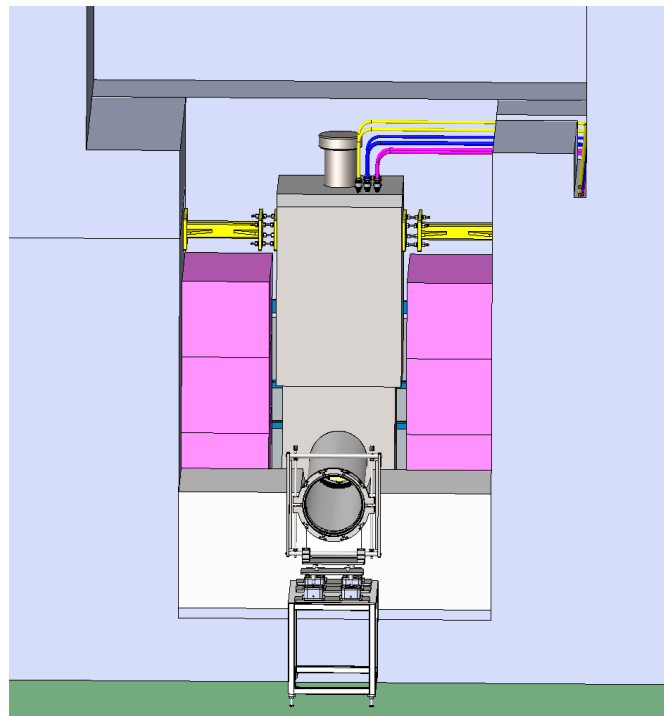


图 3-14 束窗就位图

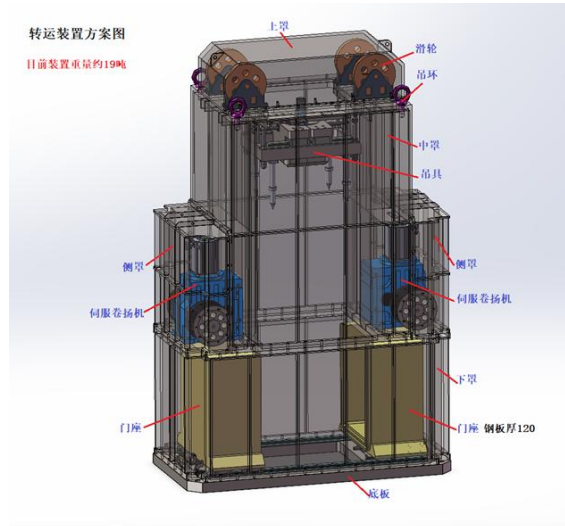


图 3-15 束窗转运容器结构图

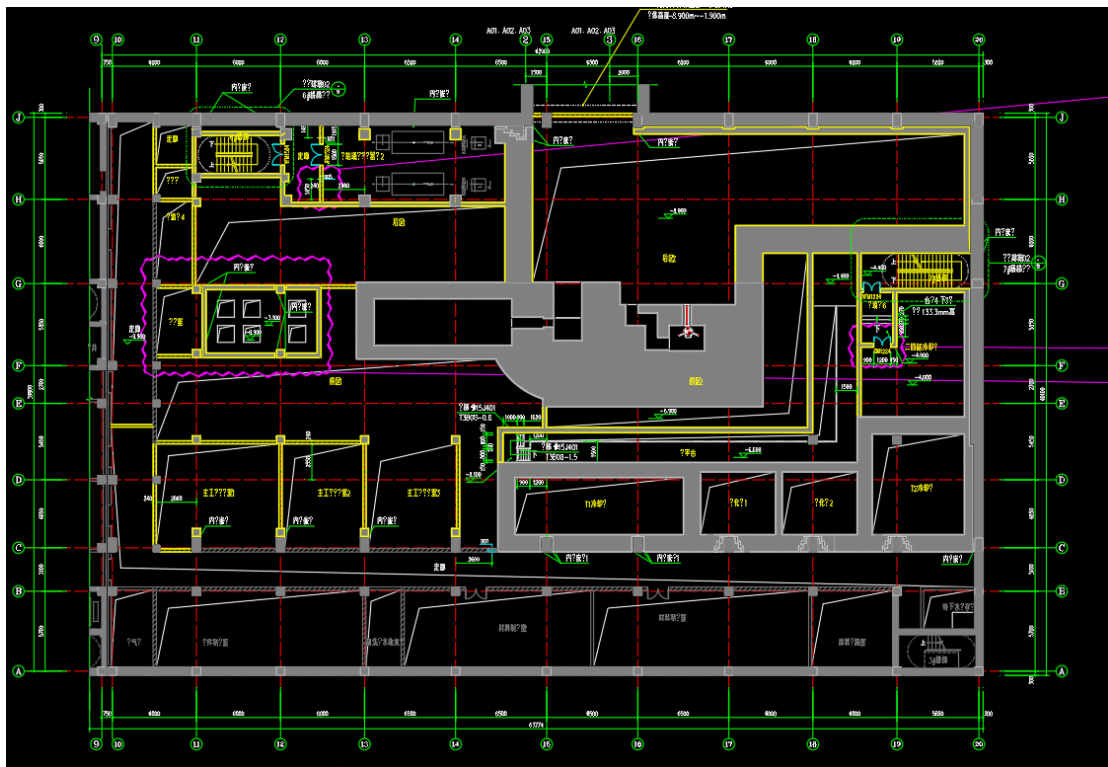


图 3-16 束窗暂存井平面布局图（图中西侧玫红色框线内）

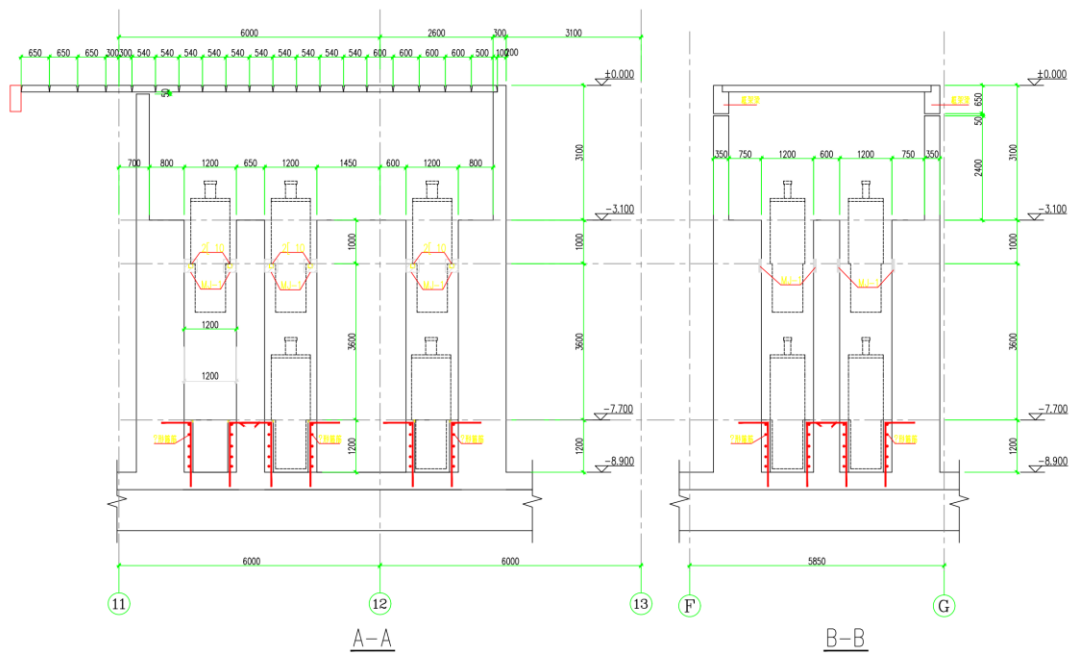


图 3-17 束窗暂存井 A 和 B 立面布局图

#### (4) 工作流程

70-115MeV@1-2mA 质子束连续辐照靶材和结构材料小于等于 10 天后，靶组件的放射性活度高、剂量大，人员无法靠近进行有效的操作和维护。需要通过操作热室内装置设备遥控操作维护系统，用远程控制的方式完成靶容器及靶组件的安装与拆卸、靶组件在操作热室内的转运和分拣、靶容器与冷却结构的装配与拆卸，并在操作过程中保证各转运和操作系统与操作热室对接时良好的屏蔽和密封效果，避免放射性物质的泄漏。正常运行工况下靶辐照和转运的主要工艺流程如图 3-20 所示。

核心工艺流程包含上靶、辐照、下靶及出料四个环节，详细流程描述如下：

##### 1) 上靶

a. 通过进料手套箱及水平进料通道，将装有 16 个靶片的托盘送入操作热室的靶片操作台上。

b.动力机械手从暂存坑抓取一个空靶组件，转移至靶片操作台上方，放入靶组件挂架中的限位孔，依靠挂架顶部和底部实现水平限位。

c.台面机械臂夹爪从靶片托盘逐一夹取新靶片，按顺序插入靶组件中的靶片插槽，插入 1/2 深度后，松开并后撤夹爪，闭合后，对准靶片窄边，推入靶片至完全到位。

d.完成 16 片靶片的安装后，动力手抓取靶组件，转移至靶容器上方，根据编号插入对应的靶组件插槽。

e.循环操作，完成 4 个靶组件靶片装填后，动力手抓取靶容器盖板，利用动力手套筒末端的电动旋拧工具，完成靶容器盖锁紧密封。

f.推入靶车，完成上靶。

## 2) 辐照

a. 水、电、气及通风及热室系统准备工作就绪后，开始束流照射。

b.束流照射时间达到单次辐照生产要求，停束，保持靶容器内水路循环进行余热排出。

## 3) 下靶

a. 冷却一段时间后，停止水循环，退出靶车，压空靶容器内部水位至要求高度。

b. 利用动力手上的旋拧工具，拧松靶容器盖螺丝，抓取靶容器盖放于靶车一侧。

c. 逐一提取靶组件存入组件暂存坑内插槽，完成全部 4 个靶组件提取后，下靶结束。

## 4) 出料

a. 从靶组件暂存坑提取满装靶组件放置操作台面挂架。

- b. 台面机械臂夹爪，按顺序进行取靶片操作。首先将靶片推出插槽至 1/3，调整夹爪夹住靶片露头部分，取出靶片放于双盖内固定位置。
- c. 取出单组件全部靶片后（也可特定数目为一组），通过双盖出料系统转出。
- d. 通过动力手，将空组件存入靶组件暂存坑，循环完成 4 个靶组件的出料。

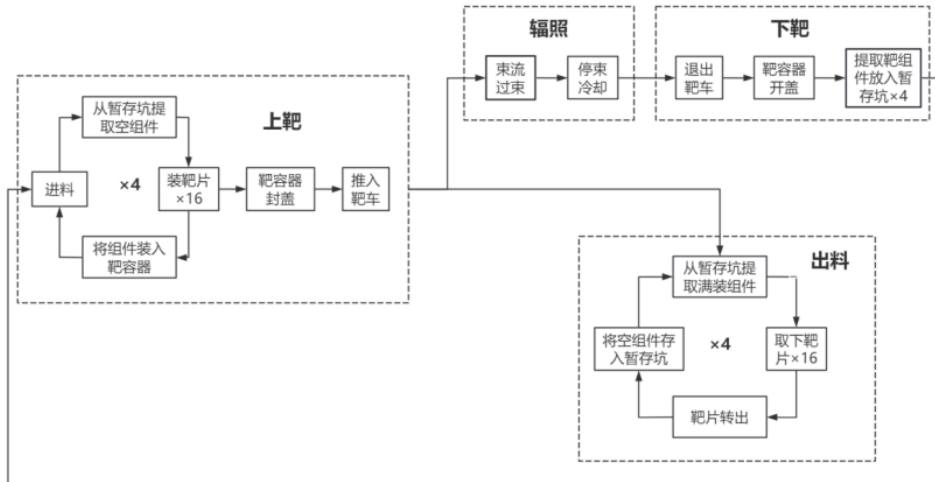


图 3-18 靶 1 运行工艺流程

### 3.2.1.3.2.2. 靶 2 系统

#### (1) 设备组成

靶站 2 系统的核心工艺与靶站 1 类似，同样是将靶组件由外部转入维护热室，再转入辐照室。靶件经过质子束照射后，将靶组件原路返回，经由靶组件、封装容器操作装置完成靶件的封装工作，之后利用屏蔽转运装置将封装容器转出。

靶站 2 由于束流辐照功率小，因此内部转运及部分设备有一定区别，具体如下。

#### 1) 靶组件

靶站 2 靶组件采用单组叠片式靶件设计，总共由 3~4 片靶片及 3~4 片束流挡板组成，具体结构下图所示。其中靶体材质为  $^{232}\text{Th}$ ，外层覆膜为镍基合金，框架为不锈钢组成，镍基合金与外层不锈钢框架密封焊接，实现内部  $^{232}\text{Th}$  的严密封装，避免后续放射性气体产物的释放。

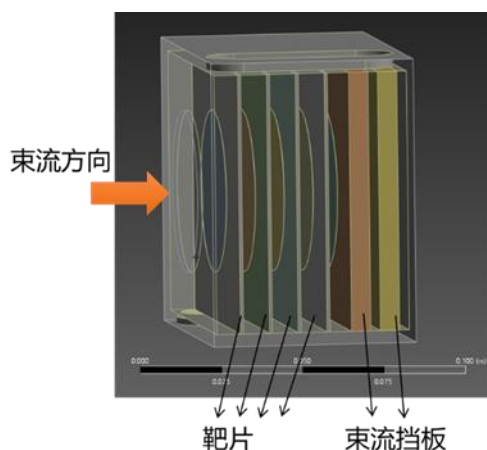


图 3-21 靶组件示意图

## 2) 辐照室设备

低功率靶站辐照室尺寸约为  $2.5 \times 1.8 \times 2.5$  米（长宽高），该室内设备主要包括冷却钢桶，用于靶组件冷却及辐照时定位。束流方向从下图右侧向左，穿过屏蔽墙内预埋管道辐照到靶组件上，束流管道端面带有金属密封装置，可以实现与辐照室壳体的密封，避免辐照时管道内的冷却水泄露。

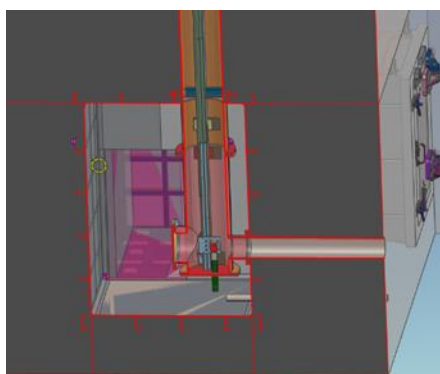


图 3-19 靶站 2 辐照室设备示意图

## 3) 维护热室设备

低功率靶站维护热室区域尺寸约为  $3 \times 2.5 \times 2.5$  米（长宽高），布局如下图所示。内部主要设备包括管道传输装置，用于靶件底座安装及靶组件从地上一层到地下一层的转运；AGV 进料通道主要用于载有屏蔽罐的 AGV 经由滑动屏蔽门进入维护热室前的进出料操作，其中热室内有密封盖板，用于热室的密封；同时，维护热室内还布置有靶件装卸装置，用于从 AGV 屏蔽罐及管道传输装置上取、放靶片。

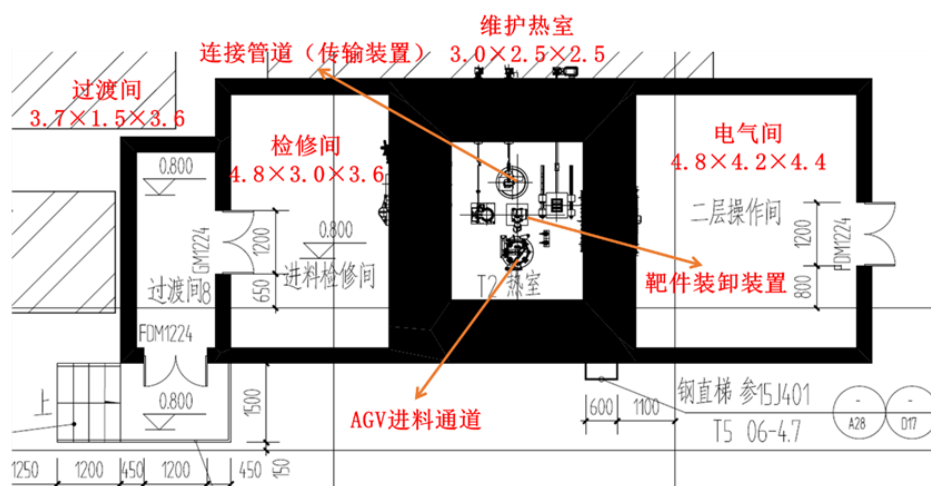


图 3-203 低功率维护热室设备示意图

#### 4) 检修间及过渡间

检修间及过渡间用于维护热室内设备的定期保养和维护所用，与维护热室通过壁厚为 1.2 米的混凝土屏蔽墙及密封门隔离。检修间内部布置有常用的检修工具。

检修间尺寸： $4.8 \times 3.0 \times 3.6$  米（长宽高）。

过渡间尺寸： $3.7 \times 1.5 \times 3.6$  米（长宽高）。

#### 5) 电气间

电气间与维护热室通过厚度为 1.0 米的屏蔽墙屏蔽，内部主要用于放置维护热室内靶件装卸装置、管道传输装置等的操作台和电气柜。

电气间尺寸： $4.8 \times 4.2 \times 4.4$  米（长宽高）。

## (2) 靶件运输

靶站 2 靶件运输主要采用机械化自动操作，示意路径如下图所示，其中双向箭头为靶站 2 靶片转入转出路线，虚线部分为从负一层往顶部维护热室垂直转运路线。靶件运输主要由自动导航 AGV 及其上载有的屏蔽罐完成靶件在分离热室、维护热室及三废区域等的转运和传输。由于分离热室、维护热室等部分需要转运的房间不在同一层，因此涉及上下楼层的区域布置有自动升降装置，用于 AGV 的升降操作。

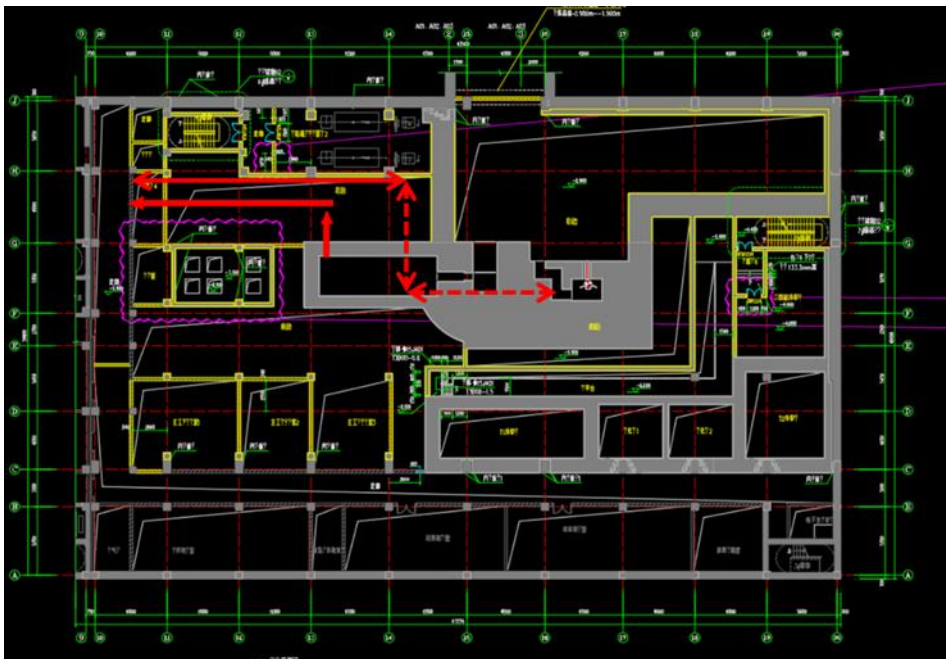


图 3-214 靶站 2 靶件转运路线示意

## (3) 靶站 2 固废转运

靶站 2 固废主要包括辐照过程中由于束流扫描系统或者冷却系统失效等原因意外损伤且无法进行分离处理的靶片，以及需要每半年更换一次的靶窗管道。

对于意外损伤的靶片，在通过管道传输装置从辐照室转移到维护热室，维护热室下靶后传入废靶件处理罐体，该罐体与转运系统内双盖系统匹配。由双盖系统转出热室后，全程密封，并经 AGV 运往固废处理中心。转运路径与靶件转运路径一致。

对于辐照过后需要更换靶窗管道，处理流程如下图所示。

辐照后的靶窗管道由于窗体等发生活化，因此在转运过程中全程装在屏蔽容器内进行转运，屏蔽容器由一定厚度的铅层外覆不锈钢包壳组成。

新靶窗管道及辐照后靶窗管道更换作业流程主要由自动化机构实现。当辐照后管道被自动装入屏蔽容器后，由操作人员短暂从负一层通过安全吊钩吊装到一层倒罐区临时存储，最后由倒罐区吊装到汽车门斗区域，随后由自动化小车转运到三废处理中心，示意图见图 3-22，该过程的三维示意图见图 3-23，倒罐区位置，以及靶窗管道在一层的移动路线见图 3-24。

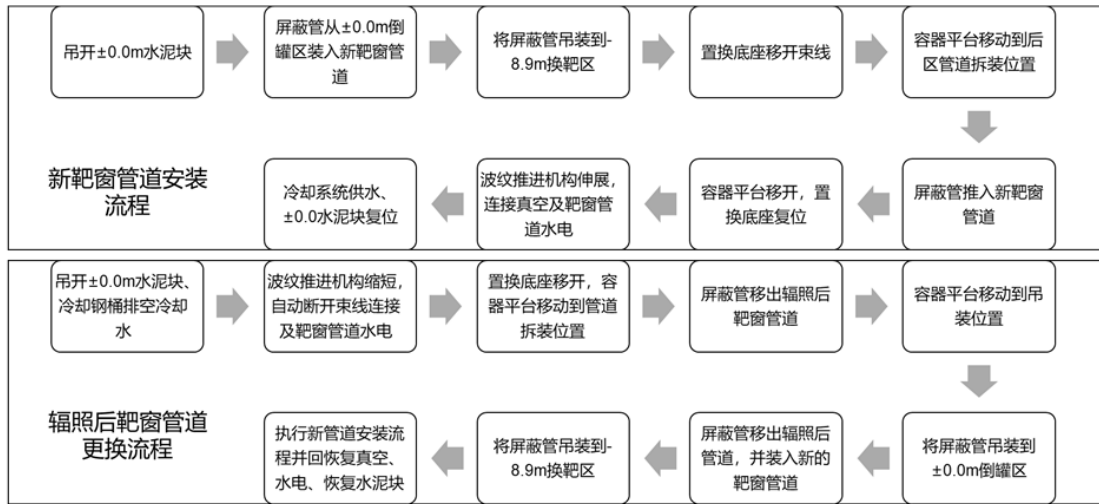


图 3-225 新靶窗管道安装及辐照后靶窗管道更换作业流程

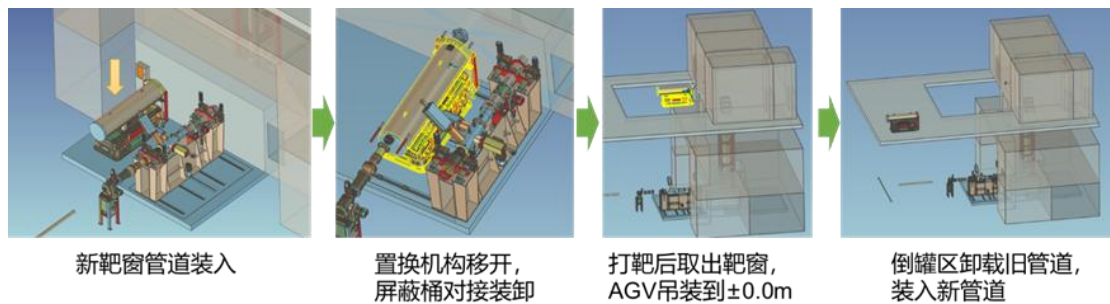


图 3-236 靶窗管道转移三维示意图

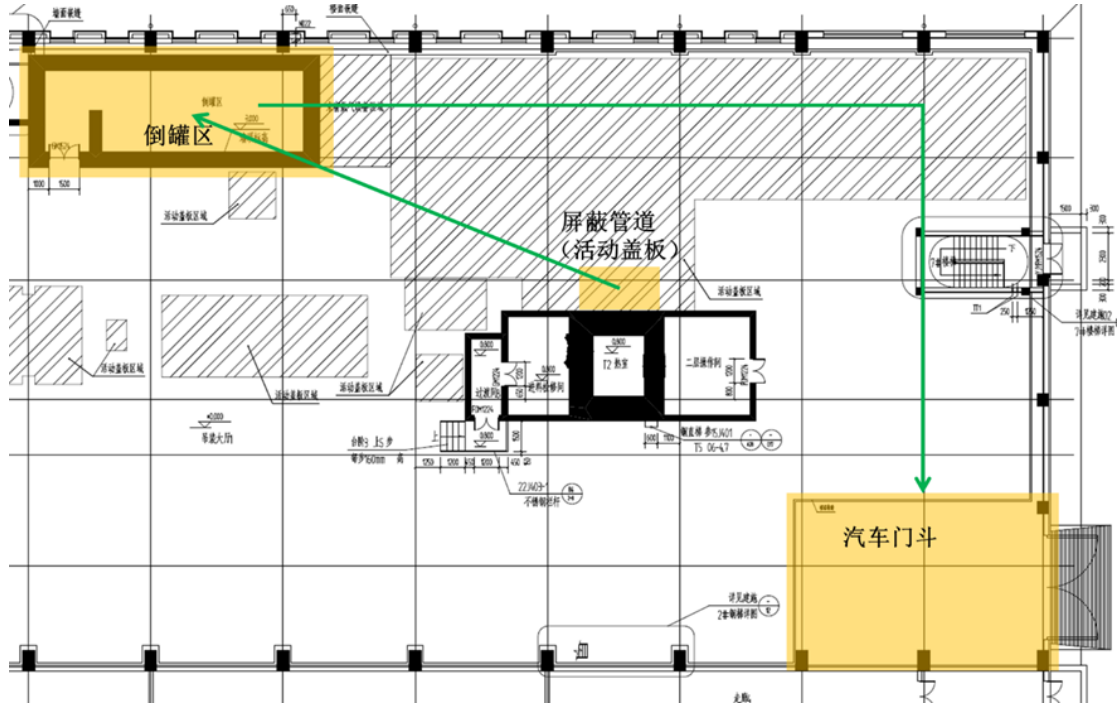


图 3-247 靶窗管道倒罐及临时储存区

#### (4) 工作流程

低功率辐照室设计指标为  $70\sim 115\text{MeV}@0.25\text{mA}$  质子束连续辐照靶材，辐照时间小于等于 10 天，采用远程操作方式实现靶件与靶座的装卸、转运等操作。操作流程如下图所示：



图 3-258 操作流程图

1) 进料：未辐照靶片通过 AGV 上的转运屏蔽罐转运到靶站，经滑动屏蔽门送入地上一层维护热室；

2) 上靶：维护热室内设备将靶件装入管道运输装置上的底座内，完成后通过运输装置从地上一层送入地下一层辐照室；

3) 辐照及下靶：辐照室打靶，完成后再由管道运输装置将辐照后靶件送入地上一层维护热室；

4) 出料：地上一层维护热室内设备将靶件从底座内取下，装入 AGV 上转运屏蔽罐；

5) 转运：AGV 经滑动屏蔽门将辐照后靶片送到分解热室；

6) 分解处理：分解热室分解完成后，将目标材料转入放化分离接收热室进行后处理。

#### 3.2.1.4. 分离系统

分离热室大厅建设两排热室，量排热室共用前区。两排热室操作源项一致，操作工序流程相同。两排热室的物料转运路径基本一致（见人流、物流图），因此，在实际操作运行中，无论是辐照后靶件转入、产品转出、固废转出，都分别在不同时间段完成，因此，任意热室线的任意两种转运物料不会在同一时段出现在同一区域内。

以单条热室线为例，分离系统（接收、切割、溶解、分离、纯化、分装）整体工艺耗时约 5 天，工艺操作全部在分离热室大厅的热室及屏蔽分装工作箱中进行，热室内箱体一直处于负压状态，为主工艺设备运行提供必要条件。整套热室工艺设备为全自动装置，操作人员能够在控制室通过计算机远程控制或热室前区机柜控制的两种操作方式，自动完成靶件的接收、切割、溶解、同位素分离、纯化、分装等整套分离工艺流程，完成分装后的放射性同位素溶液还需进行质量检验。分离系统工艺流程及产污示意图见图 3-26，流程具体如下：

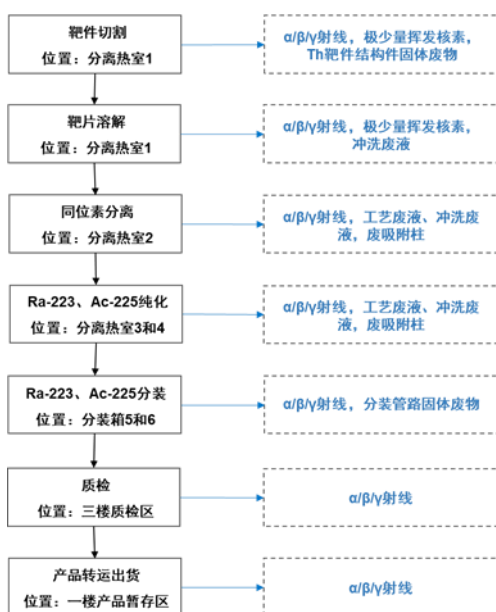


图 3-269 分离系统工艺流程及产污示意图

### (1) 靶件的接收

靶站辐照后的钍靶胶囊靶件在靶站热室中进行拆解放置于转运内罐中，然后在工作人员监管下，利用双盖密封屏蔽罐和 AGV 操作转运小车，运送至分离热室后区后，通过双盖机构进入 1#热室。每次转运 1-2 个靶件，每条分离热室线每日最大操作靶件数为 2 个。该过程无三废产生。

### (2) 辐照靶片切割和溶解

在 1#热室中，工作人员通过计算机控制将钍靶件从转运内罐放置切割台上完成切割，靶片转至溶解罐中，在酸作用下完成靶片溶解，最终获得澄清溶液。

其中靶件结构件作为固废放在热室内固废桶中，在系统流程运行结束后通过密封双盖机构转出热室，送至负一层固废暂存间。而在切割和溶解过程产生了极少量的挥发核素，通过热室工艺排风系统过滤排放。该运行过程无工艺废液产生。在非运行状态下产生的极少量的管路冲洗液通过低放废液管路排入负一层低放废液罐。

1#热室中主工艺操作耗时约 1 天。

### (3) 粗产品分离

1#热室的溶解液通过液体管路输送到 2#热室，即分离热室。工作人员通过计算机控制利用自动化分离系统，在一定工艺条件下，分离得到钷粗组分、镭粗组分、铀粗组分。

其中分离柱作为固废放在热室内固废桶中，在系统流程运行结束后先通过热室底部通道送至 1#热室，然后通过密封双盖机构转出热室，送至负一层固废暂存间。在分离过程产生了工艺废液，在系统流程运行结束后，通过废液管路，排入负一层中放废液罐中。该运行过程无工艺废气产生。热室工艺排风系统过滤排放。在非运行状态下产生的极少量的管路冲洗液通过低放废液管路排入负一层低放废液罐。

分离操作耗时约 1 天。

#### (4) 粗产品中 Ra-223 的纯化

同位素粗产品溶液通过液体管路传输至 3#热室，即纯化热室 1。工作人员通过计算机控制自动化色谱纯化装置，在一定工艺条件下，从粗产品中纯化得到  $^{223}\text{Ra}$  溶液。

其中色谱柱作为固废放在热室内固废桶中，在系统流程运行结束后先通过热室底部通道送至 1#热室，然后通过密封双盖机构转出热室，送至负一层固废暂存间。在纯化过程产生了工艺废液，在系统流程运行结束后，通过废液管路，排入负一层中放废液罐中。该运行过程无工艺废气产生。热室排风通过热室工艺排风系统过滤排放。在非运行状态下产生的极少量的管路冲洗液通过低放废液管路排入负一层低放废液罐。

纯化操作耗时约 2 天。

#### (5) 粗产品中 Ac-225 的纯化

同位素粗产品溶液通过液体管路传输至 4#热室，即纯化热室 2。工作人员通过计算机控制自动化色谱纯化装置，在一定工艺条件下，从粗产品中纯化得到  $^{225}\text{Ac}$  溶液。

其中色谱柱作为固废放在热室内固废桶中，在系统流程运行结束后先通过热室底部通道送至 1#热室，然后通过密封双盖机构转出热室，送至负一层固废暂存间。在纯化过程产生了工艺废液，在系统流程运行结束后，通过废液管路，排入负一层中放废液罐中。该运行过程无工艺废气产生。热室排风通过热室工艺排风系统过滤排放。在非运行状态下产生的极少量的管路冲洗液通过低放废液管路排入负一层低放废液罐。

纯化操作耗时约 2 天。

#### (6) 纯化后 Ra-223 的分装

纯化热室产生的  $^{223}\text{Ra}$  溶液，通过管路传输至分装箱 5#。工作人员通过计算机控制分装装置将  $^{223}\text{Ra}$  溶液样品自动分装入多个西林瓶中，完成一批次分装后，每个同位素产品西林瓶被机械臂放置于贴标出料舱，贴好标签装入铅罐后，由工作人员从前区工作箱的贴标出料舱中将包装好的放射性产品移出，并送至一层产品存储间进行暂存。同时，分装过程中分装少量产品溶液作为质检样品，通过铅罐包装，工作人员送至质检区进行产品检测。

其中分装管路作为固废放在工作箱内固废桶中，在分装流程运行结束后将固废桶通过分装工作箱底部的废物仓转出，送至固废暂存间存放解控。在分装过程无工艺废气和工业废液产生。分装箱室排风通过热室工艺排风过滤排放。在非运行状态下产生的极少量的管路冲洗液通过低放废液管路排入负一层低放废液罐。

操作耗时约 1 天。

#### (7) 纯化后 Ac-225 的分装

纯化热室产生的  $^{225}\text{Ac}$  溶液，通过管路传输至分装箱 6#。工作人员通过计算机控制分装装置将  $^{225}\text{Ac}$  溶液样品自动分装入多个西林瓶中，完成一批次分装后，每个同位素产品西林瓶被机械臂放置于贴标出料舱，贴好标签装入铅罐后，由工作人员从前区工作箱的贴标出料舱中将包装好的放射性产品移出，并

送至一层产品存储间进行暂存。同时，分装过程中分装少量产品溶液作为质检样品，通过铅罐包装，工作人员送至质检区进行产品检测。

其中分装管路作为固废放在工作箱内固废桶中，在分装流程运行结束后将固废桶通过分装工作箱底部的废物仓转出，送至固废暂存间存放解控。在分装过程无工艺废气和工业废液产生。分装箱室排风通过热室工艺排风过滤排放。在非运行状态下产生的极少量的管路冲洗液通过低放废液管路排入负一层低放废液罐。

操作耗时约 1 天。

#### (8) 质量检验

质检样品由工作人员从热室前区出料仓取出后，送至三楼质检区检测。其中  $^{225}\text{Ac}$  和  $^{223}\text{Ra}$  质检样品活度均不超过  $3.7\times 10^7\text{Bq}$ 。

$^{225}\text{Ac}$  和  $^{223}\text{Ra}$  产品的质检内容基本一致，下面以  $^{225}\text{Ac}$  展开描述。质量检验主要包括同位素产品、原料的物理化学性质检测和生物检测的测定。物理化学检测包括：产品性状、PH 值、化学纯度、放射性核纯度、放射化学纯度，生物检测包括：无菌检测、内毒素检测、微生物检查、阳性对照等。。

##### 1) 放射化学纯度的测定

工作人员在三层质检区域制样间对 1 个质检样品进行分样，一部分分装样品在高效液相间内使用放射性薄层扫描仪和高效液相色谱仪进行样品的放射化学纯度的测定。每种放射性同位素质检样品，质检人员进行放射化学纯度检测过程所需的时间约 2 小时/次。

##### 2) 化学纯度的测定

上述制备的另一部分分装样品送至三层光谱仪间和质谱仪间，使用电感耦合等离子质谱仪 (ICP-MS) 和电感耦合等离子光谱仪 (ICP-OES) 进行杂

质元素的测定，计算产品的化学纯度。每种放射性同位素质检样品，每台设备操作时间需要 1 小时/次，总计约 2 小时。

### 3) 放射性核纯度的测定

工作人员在质检区样品前处理室通风橱中对质检样品在利用电化学沉积法完成  $^{225}\text{Ac}$  和  $^{223}\text{Ra}$  溶液样品的  $\alpha$  面源制备，之后将面源送至物理测量实验室，使用  $\alpha$  谱仪进行杂质核素的测定。每种放射性同位素质检样品，工作人员从制样到开始  $\alpha$  测量该过程所需时间约 1 小时/次。

对质检样品在物理测量实验室，放置样品在低本底铅室，利用高纯锗  $\gamma$  系统进行放射性测量，通过分析谱图获得产品放射性核纯度。开始  $\gamma$  测量该过程所需的时间约 2 小时/次。

分离热室最终的目标核素产物通过一部分用于靶向药物实验室的各项实验，剩余核素现阶段在热室内进行暂存，待其衰变一段时间后作为废液处理。

### 4) 阳性对照

验证试验体系（培养基、环境、操作）有效，排除假阴性验证试验体系（培养基、环境、操作）有效。在阳性培养间，将样品接入阳性标准菌种，按规定温度、时间培养；通过阳性对照实验观察菌种生长情况，确认对照验证试验有效性。

### 5) 内毒素检查

在内毒素检查间，利用鲎试剂法，在衰变一段时间的放射性样品中加鲎试剂，经过恒温孵育，观察凝胶或读数，分析得到内毒素限值，进行同位素产品和原料样品的细菌毒素（热原）的检查。

### 6) 无菌检查

在培养间，将衰变一段时间的放射性样品接入培养基，按规定温度、时间培养；观察培养基菌种生长变化情况，完成阳性镜检鉴定。判定整批产品是否符合无菌要求。

#### 7) 微生物限度检查

在微生物限度检查间，进行微生物数量检测，在规定的温度下培养后进行菌落数检测，完成微生物限度检查。

同位素产品和原料通过以上各项检测，完成放行检测。放射性同位素成品、原辅料、包材、中间产品留样，专门存放于留样间，实行双人双锁、分区存放，满足 GMP、辐射安全和药典留样管理要求。

### 3.2.1.5. 成品运输以及销售

#### 3.2.1.5.1. 产品运输

本项目销售的成品由建设单位委托有资质单位进行运输，运输期间的辐射安全管理由运输单位负责。

建设单位应开展辐射工作人员可能遭受的辐射危害以及应采取的防护措施进行培训，确保限值辐射工作人员的职业照射。本项目从事放射性药品分类、包装、标记、贴标签的人员应开展熟悉《放射性物品安全运输规程》

（GB11806-2019）一般规定的培训，并接收与其履行职责有关的详细培训，并开展货包操作设备的正确使用和放射性物品恰当贮存办法的培训，并明确现有的应急响应信息，并培训工作人员防护服和防护设备的使用。

建设单位生产和销售的产品，按照《放射性物品安全运输规程》

（GB11806-2019）等相关法律法规要求，采用专用包装容器，放射性药物产品在出厂运输前必须进行表面剂量率及表面污染水平监测，需满足放射性药物货包外表面任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h， $\beta$  和  $\gamma$  发射体及低毒性  $\alpha$  发射体的表面污染水平不超过 4Bq/cm<sup>2</sup>，对所有其他  $\alpha$  发射体不超过 0.4Bq/cm<sup>2</sup>。

运输工作由建设单位委托有资质的专业公司，遵守《放射性物品运输安全管理条例》、《放射性物品运输安全监督管理办法》和《放射性物品安全运输规程》等法律法规的要求，确保放射性物品的运输安全。

### 3.2.1.5.2. 销售

公司针对产品的销售签发、运输、意外退回签收等各个环节制定相应的规程制度来确保销售过程的安全管理，销售模式采用以销定产形式，即产即销，根据销售订单，将包装好的货包从成品仓库中取出，委托有资质单位外运，销售给需求单位。外运前对运输容器、货包表面污染和辐射水平进行检测，满足运输要求方可发货。货包外黏贴、填写签收单，内容包括：品名、批号、放射性活度、体积、标定时间、发货时间、订购单位以及订购剂量。

在销售放射性药物的过程中，将严格按照相关法律法规的要求，严格按照销售流程进行销售：

(1) 用户与公司签订放射性药物销售合同；

(2) 审查用户具有辐射安全许可证，确认该用户的许可证的有效期和许可的种类和范围可以满足相关要求；

(3) 与用户签订《非密封放射性物质转让协议》；

(4) 由用户在国家核技术利用辐射安全监管系统中填写转让核素名称和数量，提交审批表申请并打印；

(5) 将协议、转让审批表，或审批时要求提供的其他材料连同公司《辐射安全许可证》正副本复印件加盖公司公章后交用户单位，由用户单位去当地省级环保部门办理非密封放射性物质转让审批；

(6) 全部手续办理完成后，与用户确定送药的时间地点。公司依照用户提前预订告知的放射性药品种类、剂量和数量，制备放射性药物，并配备专门的运输车辆进行配送；

(7) 公司在进行放射性药物转移前，需进行在《非密封放射性物质销售台账》上进行登记确认，做到账物相符；

放射性药物运输到用户单位后，填写药品交接单。每次的转让活动，双方人员应履行交接手续，并在交接单上签字确认。

### 3.2.2. 超重乙级实验室

超重乙级实验室主要用于制靶以及靶装配、相关的化学研究、数据获取等。超重乙级实验室南侧毗邻功率源厅，西侧毗邻加速器隧道，东侧毗邻低温厅，为地上一层、局部二层建筑。

超重乙级实验室包括放射性同位素制靶、放射性同位素的回收与提纯、超重化学研究与微流体萃取实验研究，主要操作的放射性同位素包括 Am-243、Am-241、Cf-252、Cf-251、Cf-249、Cm-248、Cm-244、Pu-244、Pu-240、Ta-182、Ta-179、Nb-95。其中 Am-243、Am-241、Cf-252、Cf-251、Cf-249、Cm-248、Cm-244、Pu-244、Pu-240 主要用于制靶及回取，Ta-182、Ta-179、Nb-95 主要用于微流体溶剂萃取实验。超重乙级实验室涉及的核素特性见表 3-3，核素操作量见表 3-4。

表 3-3 超重乙级实验室涉及的核素特性一览表

核素	半衰期	$\alpha$ 、 $\beta$ 粒子能量, MeV	$\gamma$ 能量, MeV
Am-243	7370a	5.27 ( $\alpha$ )	0.07264
Am-241	432.2a	5.486 ( $\alpha$ )	0.0595
Cf-252	2.645a	6.118 ( $\alpha$ )	-
Cf-251	898a	5.68 ( $\alpha$ )	-
Cf-249	351a	5.81 ( $\alpha$ )	-
Cm-248	348000a	5.078 ( $\alpha$ )	-
Cm-244	18.1a	5.763 ( $\alpha$ )	-
Pu-244	81300000a	4.666 ( $\alpha$ )	-
Pu-240	6561a	5.168 ( $\alpha$ )	-
Nb-95	34.9d	0.04345 ( $\beta^-$ )	0.7656
Ta-182	114d	0.1265 ( $\beta^-$ )	0.6614
Ta-179	1.82a	EC 衰变	-

表 3-4 超重乙级实验室涉及核素操作量一览表

核素	物理、化学性状	日最大操作量, Bq	年操作量, Bq
Am-243	液体	2.66E+07	2.66E+09

Am-241	液体	1.00E+07	1.00E+09
Cf-252	固体	1.00E+06	1.00E+09
Cf-251	固体	1.00E+06	1.00E+09
Cf-249	固体	1.00E+06	1.00E+09
Cm-248	液体	1.00E+07	1.00E+09
Cm-244	液体	1.00E+07	1.00E+09
Pu-244	液体	1.00E+07	1.00E+09
Pu-240	液体	1.00E+07	1.00E+09
Nb-95	粉末	3.70E+06	3.70E+08
Ta-182	粉末	3.70E+06	3.70E+08
Ta-179	粉末	3.70E+06	3.70E+08

### 3.2.2.1. 工艺设备

超重乙级室工艺设备（通风橱/热室/手套箱，或其他屏蔽设备）参数见表 3-5。

表 3-5 超重乙级实验室工艺设备参数一览表

区域	设备名称	规格参数（长×宽×高，mm）	屏蔽参数（材质+厚度）	数量
靶件制备室 2	通风橱	拟定 1500 长标准通风橱	/	1

备注：工作人员在通风橱进行操作期间采用定制的 L 型 2mm Pb 屏进行屏蔽

### 3.2.2.2. 工作原理及工作流程

超重元素合成研究的总体工作流程如下：如图 3-所示，在超重乙级实验室靶件制备室进行制靶—靶件溶解靶回收。

超重元素合成研究的工作流程示意图见图 3-。

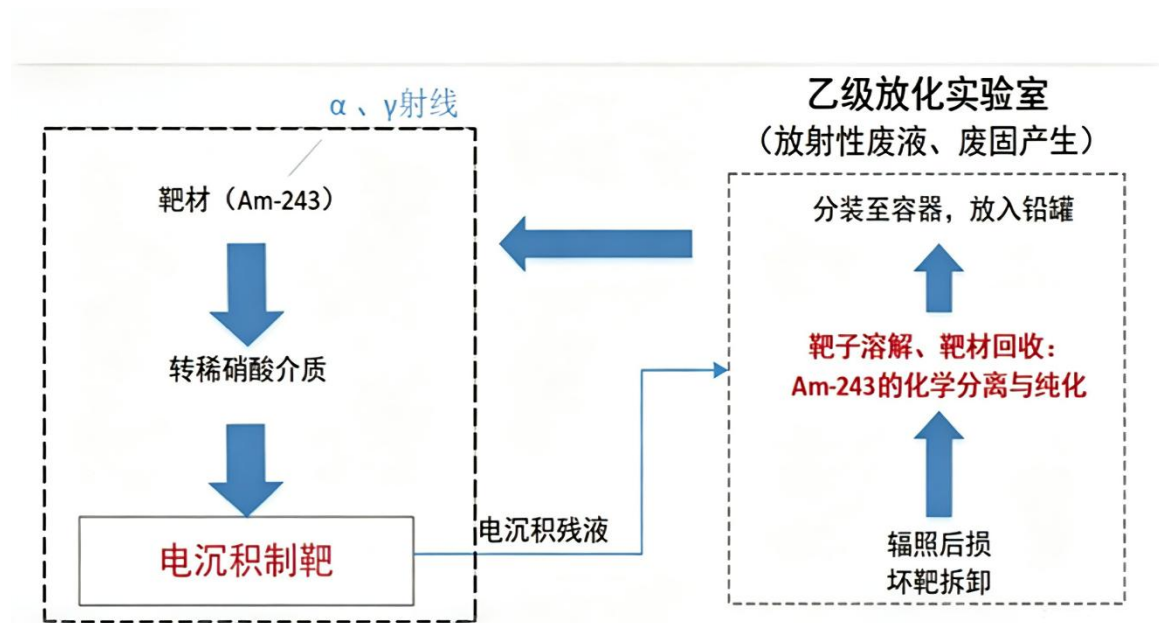


图 3-30 超重元素合成研究工作流程及产物示意图

### 3.2.2.2.1. 超重元素合成实验制靶及放射性同位素回取

该实验主要目的是为超重元素合成实验进行制靶。针对不同核素的化学性质、辐射类型、毒性等级、沉积行为差异，采用基准工艺+分级差异化操作，其中 $^{241}\text{Am}$ 、 $^{243}\text{Am}$  共用通用分子镀基准工艺（ $^{241}\text{Am}$  高活度场景仅升级屏蔽与剂量管控，核心电沉积、纯化工艺参数不变）， $^{240}\text{Pu}/^{244}\text{Pu}$ 、 $^{244}\text{Cm}/^{248}\text{Cm}$ 、 $^{249}\text{Cf}/^{251}\text{Cf}/^{252}\text{Cf}$  分别执行对应分级流程，严禁交叉操作与混批处理。超重元素合成实验制靶以及放射性同位素回取实验流程及产物图见图 3-27 和图 3-28。

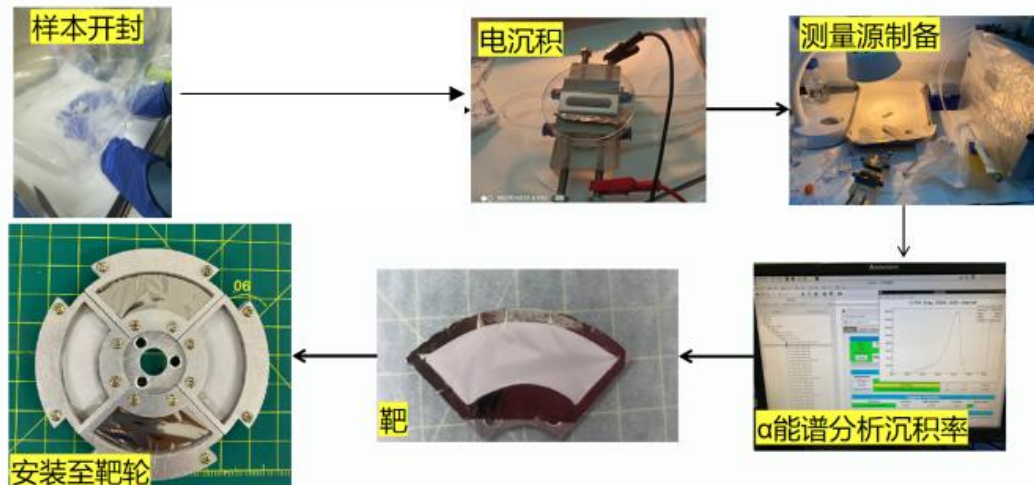


图 3-27 超重元素合成实验制靶实验流程及产物示意图

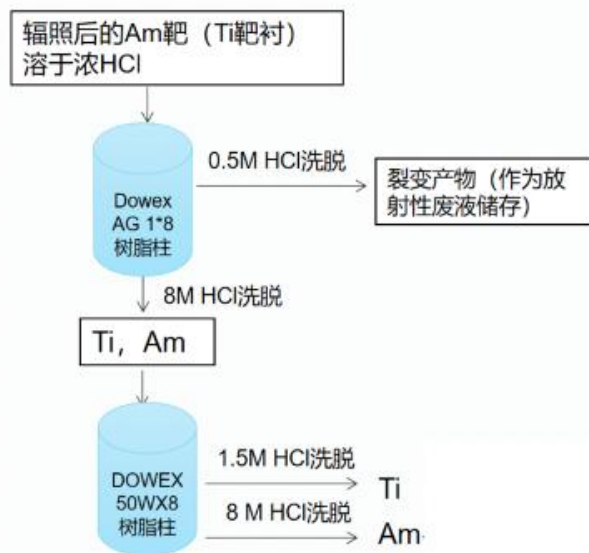


图 3-282 超重元素合成实验放射性同位素回取实验流程及产物示意图

(1) 分核素制靶工艺 (9 种核素分级独立流程)

按辐射风险等级与化学特性分为四类独立流程：①基准流程： $^{241}\text{Am}$ 、 $^{2243}\text{Am}$ ；②Pu 系列流程： $^{240}\text{Pu}$ 、 $^{244}\text{Pu}$ ；③Cm 系列流程： $^{244}\text{Cm}$ 、 $^{248}\text{Cm}$ ；④高风险 Cf 系列流程： $^{249}\text{Cf}$ 、 $^{251}\text{Cf}$ 、 $^{252}\text{Cf}$ ，所有流程均在靶件制备室 2 通风橱内完成，独立器具、独立工位、独立废液收集。

①基准流程： $^{241}\text{Am}$ 、 $^{243}\text{Am}$  分子镀制靶

## 原料外购、储存

以 $^{241}\text{AmO}_2$ 、 $^{243}\text{AmO}_2$ 为原料，以液体形式密封于铅罐中，转运至近物所超重乙级实验室靶件制备室 2 保险柜。

## 电沉积制靶

电沉积制靶位于靶件制备室 2 通风橱，取少量原液，加入 20mL 的异丁醇以及少量异丙醇，连通高压直流电源，进行分子镀制靶，沉积持续时间 2 小时。沉积过程中采用定制的 L 型 2mm Pb 屏对沉积槽进行屏蔽（高活度 $^{241}\text{Am}$ 升级为 3mm Pb 全包围屏蔽），沉积完毕分析沉积残液的  $\alpha$  能谱，计算 Am 沉积率，分析时间约 10 分钟。制靶完成后，靶样本检测分析在靶件检测室通风橱中进行。

## 本流程产生三废

放射性废气产生源：Am 放射性原液开盖分装、移液操作产生放射性气溶胶；异丁醇、异丙醇有机溶剂挥发酸雾/有机废气；电沉积过程扰动产生微量气溶胶。收集治理：经通风橱负压收集→高效过滤净化→屋面高空达标排放。

放射性废液产生源：① $\alpha$  能谱分析测试洗涤废液；②配制电解液器皿、电解池清洗废水。暂存方式：单独收集、专桶存放，存入实验室放射性废水间（备用间），等待三废中心回收。

放射性固体废物产生源：①沾染 Am 核素的一次性移液管、枪头、离心管、实验耗材；②操作过程污染擦拭布、纸巾、防护手套、防护服；③废弃电解池配件、污染包装、废屏蔽耗材等。暂存方式：分类装入固废垃圾袋扎带封口后装入专用屏蔽固废桶，存入放射性固废贮藏间，等待三废中心回收。

## 本流程核素最终处理方式

合格 Am 靶件：后续退役靶件进入回收纯化工序，提纯后重复回用于后续制靶。

电沉积残液、不合格靶材：废液及废料中含可回收 $^{241}\text{Am}$ 、 $^{243}\text{Am}$ ，收集后进入回收纯化流程，提纯制备制靶母液循环利用。

多次循环后纯度/活度不达标、极低浓度残余废液和固废：无再利用价值，不再回收，在靶件制备室 2 通风橱内分批次转入聚四氟乙烯蒸发皿中用电热恒温板  $80\sim 110^\circ\text{C}$  低温缓慢蒸干，全程 L 型 3mm Pb 屏蔽围护，控制微沸、防止飞溅；挥发水分、异丁醇、异丙醇及酸组分，最终在皿底形成含 Am 薄膜状固体残渣；冷却后将片状残渣刮出，收集封装后装入屏蔽放射性固废专用桶；蒸发皿一并作为放射性固废收纳封装后装入屏蔽放射性固废专用桶，分类存入固废贮藏间，后期委托处置。

实验一次性污染耗材：直接按放射性固废处置，不回收复用。

②Pu 系列独立流程： $^{240}\text{Pu}$ 、 $^{244}\text{Pu}$  分子镀制靶

原料外购、储存

以 $^{240}\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 、 $^{244}\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 硝酸溶液为原料，属于极毒  $\alpha$  核素、低  $\gamma$ ，无中子辐射，单独密封于 2.5mm Pb 罐，与 Am/Cm/Cf 核素分区存放，专用保险柜双人双锁管理，严禁与其他核素混放。

电沉积制靶

专用电解池、专用器具，一次性耗材不交叉使用。取定量 Pu 原液，采用 18mL 异丁醇+3mL 异丙醇+微量 0.1mol/L  $\text{HNO}_3$  调节酸度体系（适配  $\text{Pu}^{4+}$  价态稳定性，抑制水解与价态波动），高压直流电源恒压沉积，沉积时长 1.5h。全程采用 L 型 2.5mm Pb 屏封闭屏蔽，操作窗开度 $\leq 15\text{cm}$ ，严禁目视直触沉积槽。沉积完成后单独收集 Pu 残液，单样分析时长 10min。靶件均匀性、表面污染检测在独立检测通风橱完成，合格靶件单独封装。

本流程产生三废

放射性废气产生源：Pu 放射性原液开盖、移液分装产生放射性  $\alpha$  气溶胶；异丁醇、异丙醇有机溶剂挥发废气；硝酸酸雾；电沉积液面扰动产生微量放射性气溶胶。收集处理：全程在负压通风橱内操作，废气经初效+高效过滤器过滤后屋面高空达标排放。

放射性废液产生源：①能谱分析测试洗涤废液；②配制电解液器皿、电解池清洗废水。暂存方式：单独收集、专桶存放，存入实验室放射性废水间（备用间），等待三废中心回收。

放射性固体废物产生源：①沾染 Pu 核素的一次性移液管、枪头、离心管、实验耗材；②操作过程污染擦拭布、纸巾、防护手套、防护服；③废弃电解池配件、污染包装、废屏蔽耗材等。暂存方式：分类装入专用固废垃圾袋扎带封口后装入专用屏蔽固废桶，存入放射性固废贮藏间，等待三废中心回收。

#### 本流程核素最终处理方式

合格 Pu 靶件：后续退役靶件进入回收纯化工序，提纯后重复回用于后续制靶。

电沉积残液、不合格靶材：废液及废料中含可回收<sup>240</sup>Pu、<sup>244</sup>Pu，收集后进入回收纯化流程，提纯制备制靶母液循环利用。

多次循环后纯度/活度不达标、极低浓度残余废液和固废：无再利用价值，不再回收，在靶件制备室 2 通风橱内分批次转入聚四氟乙烯蒸发皿中用电热恒温板 80~110°C 低温缓慢蒸干，全程 L 型 3mm Pb 屏蔽围护，控制微沸、防止飞溅；挥发水分、异丁醇、异丙醇及酸组分，最终在皿底形成含 Pu 薄膜状固体残渣；冷却后将片状残渣刮出，收集封装后装入屏蔽放射性固废专用桶；蒸发皿一并作为放射性固废收纳封装后装入屏蔽放射性固废专用桶，分类存入固废贮藏间，后期委托处置。

实验一次性污染耗材：直接按放射性固废处置，不回收复用。

③Cm 系列独立流程：<sup>244</sup>Cm、<sup>248</sup>Cm 分子镀制靶

## 原料外购、储存

以 $^{244}\text{Cm}(\text{NO}_3)_3$ 、 $^{248}\text{Cm}(\text{NO}_3)_3$ 硝酸溶液为原料，属于强 $\alpha$ 放射性、中 $\gamma$ 辐射、半衰期差异大，单独密封于3mm Pb罐，专用保险柜存放，与Pu、Am分区存放，与Cf中子核素严格隔离。

## 电沉积制靶

通风橱负压风量提升15%，降低气溶胶吸入风险，独立电解池体系，全程一次性耗材。取定量Cm原液，采用20mL异丁醇+少量异丙醇+0.05mol/L醋酸铵缓冲体系，恒压分子镀沉积，沉积时长2h，电流密度略低于Am体系，避免镀层起泡脱落。全程采用L型3mm Pb屏蔽板全包围屏蔽，操作全程远程镊子操作，禁止近距离直视。沉积残液单独收集、专用 $\alpha$ 能谱分析沉积率，制靶完成后独立检测均匀性与表面污染，合格靶件单独屏蔽封装。

## 本流程产生三废

放射性废气产生源：Cm放射性原液开盖、移液分装产生放射性 $\alpha$ 气溶胶；异丁醇、异丙醇有机溶剂挥发废气；醋酸铵缓冲体系挥发性雾气；电沉积液面扰动产生微量放射性气溶胶。收集处理：全程在负压通风橱内操作，废气经初效+高效过滤器过滤后屋面高空达标排放。

放射性废液产生源：①能谱分析测试洗涤废液；②配制电解液器皿、电解池清洗废水。暂存方式：单独收集、专桶存放，存入实验室放射性废水间（备用间），等待三废中心回收。

放射性固体废物产生源：①沾染Cm核素的一次性移液管、枪头、离心管、实验耗材；②操作过程污染擦拭布、纸巾、防护手套、防护服；③废弃电解池配件、污染包装、废屏蔽耗材等。暂存方式：分类装入专用固废垃圾袋扎带封口后装入专用屏蔽固废桶，存入放射性固废贮藏间，等待三废中心回收。

## 本流程核素最终处理方式

合格 Cm 靶件：后续退役靶件进入回收纯化工序，提纯后重复回用于后续制靶。

电沉积残液、不合格靶材：废液及废料中含可回收<sup>244</sup>Cm、<sup>248</sup>Cm，收集后进入回收纯化流程，提纯制备制靶母液循环利用。

多次循环后纯度/活度不达标、极低浓度残余废液和固废：无再利用价值，不再回收，在靶件制备室 2 通风橱内分批次转入聚四氟乙烯蒸发皿中用电热恒温板 80~110°C 低温缓慢蒸干，全程 L 型 3mm Pb 屏蔽围护，控制微沸、防止飞溅；挥发水分、异丁醇、异丙醇及醋酸铵缓冲体系，最终在皿底形成含 Cm 薄膜状固体残渣；冷却后将片状残渣刮出，收集封装后装入屏蔽放射性固废专用桶；蒸发皿一并作为放射性固废收纳封装后装入屏蔽放射性固废专用桶，分类存入固废贮藏间，后期委托处置。

实验一次性污染耗材：直接按放射性固废处置，不回收复用。

④高风险 Cf 系列独立流程：<sup>249</sup>Cf、<sup>251</sup>Cf、<sup>252</sup>Cf 分子镀制靶

本流程为最高风险等级，与 Am、Pu、Cm 流程完全区分，严禁共用器具、废液管路，其中<sup>252</sup>Cf 为强中子、强  $\gamma$ 、极毒  $\alpha$  核素，防护与屏蔽等级全面升级。

原料外购、储存

以<sup>249</sup>Cf(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>、<sup>251</sup>Cf(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>、<sup>252</sup>Cf(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>硝酸溶液为原料，其中：

●<sup>249</sup>Cf、<sup>251</sup>Cf：强  $\alpha$ 、强  $\gamma$  核素，密封于 5mm Pb+2cm 含硼聚乙烯复合屏蔽罐

●<sup>252</sup>Cf：强中子、强  $\gamma$ 、极毒  $\alpha$  核素，密封于 10mm Pb+5cm 含硼聚乙烯专用中子屏蔽罐

所有 Cf 核素单独存放于超重乙级实验室专用高活度保险柜，与其他所有核素物理隔离，双人双锁、取用登记、剂量全程监测。

电沉积（分子镀）制靶（与其他核素完全差异化流程）

操作场所：独立 HEPA 过滤、独立废液管路，仅限微量制靶、单次操作时长严控。

电解液体系（Cf 专用，不兼容其他钢系）：取定量 Cf 原液，采用 15mL 异丁醇+5mL 异丙醇+严格控酸无水体系，高压直流电源恒压沉积，沉积时长 1.5h。

辐射屏蔽（核心差异项，不与其他核素通用）：

- <sup>249</sup>Cf、<sup>251</sup>Cf：L 型 5mm Pb 全封闭屏蔽，铅玻璃观察

- <sup>252</sup>Cf：L 型 10mm Pb+5cm 含硼聚乙烯复合中子屏蔽舱，全程屏蔽中子与  $\gamma$  辐射，禁止无屏蔽直触

操作要求：全程机械手/长柄镊子操作，人员不直面沉积槽，通风橱开度 $\leq 10\text{cm}$ ，严格负压。

沉积完成后，残液单独密闭收集、绝不与其他核素残液混放，专用屏蔽式  $\alpha/\gamma$  谱仪分析沉积率，单样分析时长 15min。靶件均匀性、表面污染、活度标定在独立高活度检测通风橱完成，合格靶件采用对应等级复合屏蔽罐封装。

本流程产生三废

放射性废气产生源：Cf 放射性源开盖、移液分装产生强放射性  $\alpha$  气溶胶；异丁醇、异丙醇有机溶剂挥发废气；醋酸铵缓冲体系挥发性雾气；无水控酸体系微量酸雾扰动；电沉积液面扰动、密闭空间操作扰动，易产生带中子、 $\gamma$  本底的微量放射性气溶胶。收集处理：全程在负压通风橱内操作，废气经初效+高效过滤器过滤后屋面高空达标排放。

放射性废液产生源：①屏蔽式能谱分析、器皿润洗产生含 Cf 洗涤废液；②专用电解池、配液器具清洗产生含 Cf 高放清洗废水。暂存方式：全程专用密闭废液桶单独收集，专桶专用，分区存放于高放专用放射性废水暂存间，严禁与 Am、Pu、Cm 废液混储，由三废中心定期收运处置。

放射性固体废物产生源：①沾染 Cf 核素的一次性移液管、枪头、离心管、实验耗材；②操作过程污染擦拭布、纸巾、防护手套、防护服；③废弃电解池配件、污染包装、废屏蔽耗材等。暂存方式：分类装入专用固废垃圾袋扎带封口后装入专用屏蔽固废桶，存入放射性固废贮藏间，等待三废中心回收。

本流程核素最终处理方式

合格 Cf 靶件：后续退役靶件进入回收纯化工序，提纯后重复回用于后续制靶。

电沉积残液、不合格靶材：废液及废料中含可回收<sup>249</sup>Cf、<sup>251</sup>Cf、<sup>252</sup>Cf，收集后进入回收纯化流程，提纯制备制靶母液循环利用。

无再利用价值极低浓度 Cf 残液、老化失效废料因活度过低、杂质超标、中子本底过高失去回收价值，不再进入分离纯化流程。采用吸附固化：多孔惰性吸附包容法在高负压的通风橱内，将无回收价值 Cf 残液分次滴加到活性炭惰性吸附填料中，自然浸润完全吸附；吸附饱和后，装入专用防渗屏蔽容器，直接作为高放含中子放射性固废密封暂存，后期委托处置。

实验一次性污染耗材：直接按放射性固废处置，不回收复用。

## （2）分核素靶材回收与纯化

回收纯化严格执行一核素一流程、废液固废分类收集，全程冷操作、分批次、屏蔽值守。

### ①Am 系列独立流程：<sup>241</sup>Am、<sup>243</sup>Am 辐照靶与废液回收纯化

辐照靶中 Am 核素回收纯化

将辐照过的 Am 靶从靶框上切割剥离，装入铅罐运送至超重乙级实验室靶件制备室 2 通风橱内，全程为冷操作，且分批次操作，操作全程采用 L 型 2mm Pb 屏进行屏蔽（高活度<sup>241</sup>Am 全程 3mm Pb 屏蔽、严控单次操作时长）。首先用 HNO<sub>3</sub>+HF 溶解至 Teflon 烧杯中，采用 CaF<sub>2</sub> 共沉淀法将微量的 AmF<sub>3</sub> 载带为

沉淀，离心后 Am 与水相中 Ti 分离，经过离心、分离操作后，最终获得制靶溶液待用。

该过程操作时间约 4~6 小时。

电沉积废液中 Am 回收与纯化：

电沉积制靶过程中会产生一定量的电镀废液，废液中目标核素的含量极少，约 1%，通过红外灯烘干废液后向废液烧杯中加入 HCl+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 后蒸干。加入 HCl+MeOH（Methanol）制成溶液流经阳离子 Dowex 树脂柱，用浓 HCl 将 Am 洗脱，洗脱液烘干后制成粉色的 Am 氧化物，然后加浓 HNO<sub>3</sub> 后蒸干，再过一次 Dowex 阴离子树脂后得纯化产物，下柱液蒸干，转化为硝酸盐介质作为制靶母液，留待下一次制靶。

该回收流程约 6~8 小时。

两个环节制得的 <sup>243</sup>Am 溶液均储存在靶件制备室 2 保险柜中。

②Pu 系列独立流程：辐照靶与废液<sup>240</sup>Pu、<sup>244</sup>Pu 回收纯化

辐照靶中 Pu 核素回收纯化

辐照后 Pu 靶件切割剥离后采用 2.5mm Pb 铅罐转运，独立屏蔽操作，严禁与 Am/Cm 废液接触。采用 HNO<sub>3</sub>+HF+微量 NaNO<sub>2</sub>价态调控体系溶解（稳定 Pu 为 Pu<sup>4+</sup>，保证沉淀行为一致），采用 CaF<sub>2</sub>共沉淀载带 PuF<sub>3</sub>沉淀，离心分离去除 Ti、Fe 等杂质，经氧化调价、酸洗纯化后得到高纯 Pu 硝酸母液，单批次操作时长 4.5~6.5h。

电沉积废液中 Pu 回收纯化

Pu 废液单独密闭收集，红外烘干后采用 HCl+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+价态稳定剂消解蒸干，采用专属酸度体系上样 Dowex 阳离子树脂，通过梯度 HCl 洗脱实现 Pu 与微量杂质分离，二次阴离子树脂纯化后转化为硝酸母液回用，流程时长 6.5~8.5h，母液单独分区储存。

### ③Cm 系列独立流程： $^{244}\text{Cm}$ 、 $^{248}\text{Cm}$ 回收纯化

#### 辐照靶中 Cm 核素回收纯化

辐照后 Cm 靶件采用 3mm Pb 铅罐转运，L 型 3mm Pb 全程屏蔽。采用  $\text{HNO}_3+\text{HF}$  体系溶解，利用三价镧氟化物沉淀稳定性差异优化共沉淀酸度， $\text{CaF}_2$  载带  $\text{CmF}_3$  沉淀，离心分离后经稀酸洗涤、消解、提纯，得到高纯 Cm 制靶母液，单批次操作时长 4~6h。

#### 电沉积废液中 Cm 回收纯化

废液单独收集，低温烘干消解后，采用适配三价镧系的阳离子树脂专属洗脱工艺，减少水解损失与杂质吸附，二次阴离子树脂深度去污，最终转化为硝酸介质母液，流程时长 6~8h，单独储存不与其他核素混放。

### ④Cf 系列独立流程： $^{249}\text{Cf}$ 、 $^{251}\text{Cf}$ 、 $^{252}\text{Cf}$ 回收纯化

本流程完全独立，专用树脂柱、专用废液管路， $^{252}\text{Cf}$  执行中子屏蔽专项操作。

#### 辐照靶中 Cf 回收纯化

辐照后 Cf 靶件切割剥离后，采用对应等级复合屏蔽罐转运， $^{252}\text{Cf}$  靶件全程中子屏蔽防护，人员不直面操作位。采用控温  $\text{HNO}_3+\text{HF}$  低泡溶解体系（避免气溶胶产生），严格控制酸度实现  $\text{Cf}^{3+}$  稳定存在， $\text{CaF}_2$  共沉淀载带  $\text{CfF}_3$  沉淀，离心分离去除基底杂质，全程屏蔽操作，单批次操作时长 5~7h（ $^{252}\text{Cf}$  延长至 6~7h，严控操作时长与辐射暴露）。

#### 电沉积废液中 Cf 回收纯化

Cf 废液全程密闭屏蔽收集，绝不与其他核素废液混同，红外低温烘干后，采用无水消解体系减少 Cf 水解损失， $\text{HCl}+$  甲醇体系上样专属阳离子树脂，采用高纯度浓  $\text{HCl}$  分步洗脱，避免 Pu/Cm/Am 交叉夹带，二次阴离子树脂深度纯化，蒸干后转化为硝酸介质高纯母液，流程时长 7~9h。

所有 Cf 系列纯化母液采用中子- $\gamma$  复合屏蔽容器密封，单独存放于高活度保险柜，与其他核素完全物理隔离。

### 3.2.2.2.2. 其他放射性同位素实验

超重乙级实验室除为超重元素合成实验进行制靶外，还进行其他放射性同位素实验。

微流体溶剂萃取实验的主要目的是测定多种核素在不同体系的分配系数、萃取效率，为超重元素化学分离、萃取工艺参数优化提供基础实验数据。该实验涉及  $^{95}\text{Nb}$ 、 $^{182}\text{Ta}$ 、 $^{179}\text{Ta}$ ，以  $^{95}\text{Nb}$  为例展开描述：

#### ①原料外购、储存

$^{95}\text{Nb}$  原料外购，原料转运至靶件制备室 2 保险柜中暂存。

#### ②萃取实验

实验日从保险柜中取出  $^{95}\text{Nb}$  溶液至靶件制备室 2 通风橱，在通风橱内进行当天所需放射性溶液的分装，实验日  $^{95}\text{Nb}$  的最大日操作量为  $3.70\text{E}+06\text{Bq}$ ，将含  $^{95}\text{Nb}$  示踪剂的  $\text{HF-H}_2\text{SO}_4$  溶液 2mL 与等体积的 TOA-甲苯有机相混合，两相震荡，离心分离，分别取 1mL 有机相与水相，用 HPGc 测量  $\gamma$  能谱，计算  $^{95}\text{Nb}$  分配系数 D。按照最佳萃取条件，将  $^{95}\text{Nb}$  示踪剂溶液用微注射泵注入玻璃微芯片混合器，每次注射体积约  $150\mu\text{L}$ ，调整泵流速，在微芯片通道内完成萃取后从各自出口两相分离，萃取液收集于塑料瓶，用  $\gamma$  能谱分析两相活度。计算分配系数 D 与萃取效率 E%。萃取流程约 1 小时。

#### ③本流程产生三废

放射性废气产生源：放射性溶液分装、 $\text{HF-H}_2\text{SO}_4$  酸雾挥发；甲苯有机试剂挥发废气；震荡、离心操作扰动产生微量放射性气溶胶。收集处理：全程在负压通风橱内密闭操作，废气经初效+高效过滤器过滤净化后，屋面高空达标排放。

放射性废液产生源：①微流体萃取后废弃水相、有机相废液；② $\gamma$ 能谱测试润洗、器皿清洗产生含核素清洗废液；③实验结束剩余未利用的微量放射性示踪废液。暂存方式：含 $^{95}\text{Nb}$ 、 $^{182}\text{Ta}$ 、 $^{179}\text{Ta}$ 废液单独专用桶收集，分区存入实验室放射性废水间，不得与铀系核素废液混存，等待三废处置中心统一收运。

放射性固体废物产生源：①沾染核素的一次性离心管、微量进样器针筒、微芯片耗材、塑料取样瓶；②实验操作污染防护手套、擦拭布、吸附耗材；③废弃实验管路、污染包装材料等。暂存方式：密封打包后装入专用屏蔽固废桶，存入放射性固废贮藏间，分区隔离存放，等待三废处置中心回收处置。

危险化学废物废甲苯、TOA 有机萃取废液、含氟含硫酸性废试剂，单独分类收集，按危险化学品废物规范处置。

#### ④本流程核素最终处理方式

对实验后含 $^{95}\text{Nb}$ 、 $^{182}\text{Ta}$ 、 $^{179}\text{Ta}$ 的微流体萃取废弃水相、有机相残液、器皿清洗废液收集，在靶件制备室 2 负压通风橱内，分少量多次盛入聚四氟乙烯蒸发皿，全程 L 型 3mm Pb 屏蔽围护，采用电热恒温板 80~110°C 低温缓慢蒸干，严控微沸、避免液体飞溅和气溶胶产生。逐步挥发水分、硫酸、氢氟酸挥发组分、甲苯及有机萃取剂，最终在蒸发皿底部形成含 Nb、Ta 核素硫酸盐/氟化物片状固体残渣。自然冷却后，用长柄专用工具将片状残渣刮出，收集封装后装入屏蔽放射性固废专用桶。分类存入固废贮藏间，后期委托处置。

实验一次性污染耗材：直接按放射性固废处置，不回收复用。

### (2) 超重化学实验

超重化学实验的主要目的是完成真空腔体能量刻度、铀系核素化学行为基础研究，支撑超重元素化学机理分析。该实验主要涉及 $^{243}\text{Am}$ ，超重化学实验均在靶件制备室 2 的通风橱内完成。在真空腔体中，利用硅探测器进行能量刻度。

### 3.2.3. 辐射管理中心

辐射管理中心为整个场所的放射性三废管理中心，各辐射工作场所放射性废气输送至辐射管理中心排风机房经过滤后经排风塔排放，各辐射工作场所放射性废液在场所内分类暂存一段时间后输送至辐射管理中心废液暂存场所进行暂存，各辐射工作场所放射性固体废物在场所内分类暂存一段时间后转移至辐射管理中心放射性固体废物暂存场所进行暂存处理。

### 3.3. 辐射污染源

#### 3.3.1. 加速器装置区域

加速器运行时产生的辐射场，包括加速器运行时产生的“瞬发辐射场”和加速器停机后依然存在的“残余辐射场”。瞬发辐射是加速器运行时损失束流与加速器部件和屏蔽体等发生核反应产生，特点是能量高、辐射强，但会随着加速器的停机而完全消失；残余放射性主要来自加速器部件、设备冷却水、机房内空气被主束或次级粒子轰击产生的活化产物，在加速器停机后依然存在。

#### 3.3.2. 非密封放射性物质工作场所

##### 3.3.2.1. 放射性核素衰变过程

上述辐射工作场所进行各类放射性核素制备过程中，各放射性核素自身发生衰变，衰变过程中伴随产生的 $\alpha$ 粒子、 $\beta$ 粒子、 $\gamma$ 射线。目标核素的主要衰变参数见表 3-6。

表 3-6 本项目目标核素主要性能参数

核素	半衰期	$\alpha$ 、 $\beta$ 粒子能量, MeV	$\gamma$ 能量, MeV
$^{225}\text{Ac}$	10d	0.099 (1.01)	5.83 (50.7)
$^{223}\text{Ra}$	11.44d	0.269 (13.7)	5.71 (52.6)
Am-243	7370a	5.27 ( $\alpha$ )	0.07264
Am-241	432.2a	5.486 ( $\alpha$ )	0.0595
Cf-252	2.645a	6.118 ( $\alpha$ )	-
Cf-251	898a	5.68 ( $\alpha$ )	-
Cf-249	351a	5.81 ( $\alpha$ )	-
Cm-248	348000a	5.078 ( $\alpha$ )	-
Cm-244	18.1a	5.763 ( $\alpha$ )	-
Pu-244	81300000a	4.666 ( $\alpha$ )	-
Pu-240	6561a	5.168 ( $\alpha$ )	-
Nb-95	34.9d	0.04345 ( $\beta$ -)	0.7656

Ta-182	114d	0.1265 ( $\beta^-$ )	0.6614
Ta-179	1.82a	EC 衰变	-

### 3.3.2.2. 表面污染

上述辐射工作场进行各类放射性同位素操作过程中，会产生  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染。

### 3.3.2.3. 放射性三废

本项目采用高能量束流质子轰击靶材，目标核素通过核反应产生，其反应过程中母核会产生多个子核碎片，会产生多种其他核素的杂质。基于各核素的半衰期、活度以及毒性，选取各生产线关键核素进行辐射源项分析，核素会以不同的比例进入气态、液相和固相。

## 3.4. 主要环境影响及其预测评价结果

### (1) 屏蔽体外剂量率控制水平

根据屏蔽计算结果，加速器屏蔽体外剂量率低于其剂量率控制水平，放射性同位素操作场所控制区内、外屏蔽体外剂量率满足其剂量率控制水平，热室和手套箱外剂量率满足其剂量率控制水平。

### (2) 工作人员

经分析计算，本项目各类辐射工作人员的年最大受照剂量均低于其剂量约束值 5mSv/a。

### (3) 公众

经分析计算，本项目运行所致周围公众的年最大受照剂量低于其剂量约束值 0.1mSv/a。

## 3.5. 辐射防护与环境保护措施分析

### 3.5.1. 辐射工作场所分区

#### 3.5.1.1. 加速器装置辐射工作场所分区

为便于辐射防护管理和职业照射控制，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的规定，应将辐射工作场所分为控制区和监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

控制区管理要求：控制区入口处明显位置粘贴电离辐射警告标志与工作状态指示灯，以及安全联锁、门禁等防止人员误入的控制措施，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射，机房门列入安全联锁系统，装置运行期间禁止进入，仅经授权并解除联锁后才能进入控制区内，进入控制区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

监督区管理要求：监督区入口处设标牌表明监督区，并设置门禁，需经授权方可进入，进入监督区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计。

#### **3.5.1.2. 非密封放射性物质工作场所分区原则**

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《开放性放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）进行辐射工作场所分区。

控制区管理要求：出入口处拟设置明显的电离辐射警告标志，出口设置门禁，各生产线生产过程中仅允许辐射工作人员进入，在此区工作的人员必须严格遵守辐射防护规定和安全操作规程，进入控制区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计；

监督区管理要求：监督区入口处适当位置设置明显的监督区标志。

#### **3.5.2. 本项目工作场所分级**

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，按最大工作负荷，计算出放射性同位素日等效最大操作量，靶站和分离系统场

所为甲级非密封放射性物质工作场所，超重乙级实验室为乙级非密封放射性物质工作场所。

### **3.5.3. 辐射屏蔽**

#### **3.5.3.1. 设计标准**

##### (1) 年剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，通常以职业照射剂量限值的 1/4 即 5mSv/a 作为职业人员的年剂量约束值，以公众照射剂量限值的 1/10 即 0.1mSv/a 作为公众的年剂量约束值。

##### (2) 屏蔽体外剂量率控制水平

各场所屏蔽体剂量率控制水平按小节 1.7.2 所列的标准执行。

#### **3.5.3.2. 屏蔽体外剂量率计算结果**

##### (1) 加速器

通过采用 FLUKA 程序模拟计算，本项目现有的辐射屏蔽设计方案能够确保加速器装置屏蔽体外辐射水平均满足其设计的控制水平。

##### (2) 放射性同位素操作区域

通过估算可知本项目各放射性同位素操作区域现有辐射屏蔽设计方案可确保各区域屏蔽体外辐射水平满足其设计的控制水平。

#### **3.5.4. 辐射安全联锁**

为保证控制区内部的人员免受辐射危害，加速器机房设计了完备的辐射安全联锁系统，严格按“最优切断”、“失效保护”及“冗余设计”等设计原则，通过门-机联锁、紧急停机、声光报警、清场搜索、视频监控等安全设施，确保当某一区域有束流时，该区域的门无法打开，工作人员不能进入该区域；当设备某

一区域有人时，束流也不能被传输到该区域。防止人员误操作，保障工作人员和公众的人身安全。

人身安全联锁系统采用可编程控制技术、门禁控制技术及自动门技术、集散式控制技术、计算机网络与通讯技术、探测与数据处理技术、设备自诊断与自恢复技术等，对各安全联锁部件进行实时监测，并将信号输入安全联锁系统，只有在联锁条件全部满足的情况下，才允许束流的产生和加速。任一联锁条件被破坏都将导致安全联锁系统被破坏，从而导致束流的切断，确保人员安全。

### **3.5.5. 工作场所辐射监测**

辐射工作场所安装有固定式辐射监测仪表，用于监测场所内部和屏蔽体外的辐射水平，在整个项目周围环境布置在线监测点位，监测数据实时显示，以验证屏蔽措施的可靠性，防止辐射泄漏，保证工作人员和公众的安全。

### **3.5.6. 非密封放射性物质辐射工作场所防护措施**

本项目辐射工作场所的醒目位置悬挂 (张贴)辐射警告标志，人员通行和放射性物质传递的路线应严格执行相关规定，防止发生交叉污染。应制定严格的辐射防护规程和操作规程。

非密封放射性物质及放射源的操作根据所操作的放射性物质的量和特性，在热室或手套箱内进行。操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前进行表面污染检测，如其污染水平超过规定值，应采取相应去污措施。从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过限值的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

### **3.5.7. 放射性三废的处理**

#### **3.5.7.1. 放射性固体废物**

放射性固体废物主要包括各工艺过程中产生的放射性固体废物，各辐射工作场所产生的放射性固体废物产生后先分类收集在场所内暂存，定期检测，对

其中放射性活度比较低的放射性废物（如劳保用品等），一般经贮存衰变后，可申请清洁解控处理。而对无法实施解控的放射性废物（如废靶体等），当其包装容器符合要求且满足接收方的接收标准后送有资质单位处理和处置。

### **3.5.7.2. 放射性废液**

放射性废液主要包括各工艺过程中的工艺废液以及其他放射性废液。各辐射工作场所产生的放射性废液产生后先分类收集，转移至废液暂存场所暂存。定期监测，检测结果满足污水排放标准则通过污水系统排放，对于无法满足排放标准的废液后续交由有资质单位进行处置。

### **3.5.7.3. 放射性废气**

各辐射工作场所均采用了独立的排风系统，放射性废气经过滤后统一经烟囱排放。

## **3.6. 风险防范措施及应急预案**

本项目可能发生的事故风险主要是工作人员在装置开机出束的情况下加速器机房内部造成的人身伤害，以及放射性同位素操作期间洒落、容器破碎、放射性同位素丢失等事故造成的伤害。

加速器机房有功能齐全，具有安全冗余的高安全等级的安全连锁系统，采用门机连锁、紧急停机、清场搜索、警报装置等设备和手段，确保当控制区内部有束流时，房间门无法打开，人员不能进入房间内部；当上述区域内部有人时，束流也不能被传输到该区域。能够保证工作人员的安全。

对于放射性同位素操作区域，设置严格的分区管理，控制区禁止无关人员进入，制定和完善放射性核素安全管理制度，在日常工作中，应设置专人负责放射性物质管理；放射性物质的入库和出库，都由专人进行登记，设立生产、分装、使用台账；建立放射性原料入库及领用台账，登记时注明使用人、使用数量和剩余数量。做好日常检查，防止放射性同位素被盗、丢失。制定完善的操作规范，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操

作,减少放射性同位素洒漏事故的发生。各操作场所配备防护面罩、吸水滤纸、纱布、酒精、便携式剂量监测仪等应急物资和灭火器材。

此外,建设单位已建立一系列辐射安全管理制度。建设单位已成立事故应急管理小组并制定了《辐射事故应急预案》,规定了事故上报、应急处理、应急装备保障等方面的内容。确保在发生辐射事故时,能有序、迅速地采取正确的处理措施,缓解事故后果,控制辐射事故的发展,将事故对人员、财产和环境的损失减少到最低限度。

### **3.7. 建设项目对环境影响的利益代价分析结果**

中国科学院近代物理研究所(以下简称“近物所”)在甘肃省兰州市兰州新区中国科学院近代物理研究所大科学装置科技创新创业园内开展甘肃省同位素实验室项目(一期)(以下简称“一期项目”),一期项目旨在创新我国同位素关键技术,解决我国基本依赖进口医用同位素关键技术的瓶颈问题,实现先进放疗技术产业的创新和突破。

本项目在创造很大的社会、经济效益的同时,也要付出一定的代价:工作人员和周围公众受到在国家标准范围内的少量辐射照射。根据前面章节的分析,项目运行期间对环境的影响均低于国家标准中规定的限值,其影响都是可以接受的。

因此,本项目的社会效益和环境效益能够得到很好的统一。

### **3.8. 建设单位拟采取的辐射监测计划和安全管理**

#### **3.8.1. 辐射监测计划**

本项目辐射监测总体包括环境监测、工作场所监测和个人剂量监测。环境监测采用巡测的方式;工作场所监测采用固定式在线区域辐射监测和巡测相结合的方式;个人剂量监测采取累积式个人剂量监测计监测为主,个人剂量报警仪为辅的方式进行。另公司每年委托有资质单位进行年度监测,年度监测数据于每年1月31日前报生态环境部门。

### 3.8.2. 辐射安全管理

#### (1) 辐射安全管理机构

辐射安全管理委员会是近物所辐射安全工作的管理机构，所长任委员会主任，主管所领导任委员会副主任，委员会委员由所技术安全办公室主任、所办公室负责安全保卫的副主任、辐射安全与防护室主任及其他相关部门负责人担任。

技术安全办公室是辐射安全管理委员会的执行部门，负责全所辐射安全工作的日常管理。

#### (2) 辐射工作人员管理

近物所已制定辐射工作人员培训计划，规定原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员、新上岗及调入的辐射工作人员在上岗前必须通过核技术利用辐射安全与防护考核后方可上岗。

#### (3) 辐射安全制度

近物所制定了《中国科学院近代物理研究所辐射安全管理规定》、《中科院近代物理研究所辐射事故应急预案》等，针对本项目拟制定和完善相应的操作规程、辐射防护、设备检修维护、监测方案、放射性废物处理等相关规章制度，确保本项目运行过程中的辐射安全。

## 4. 环境影响评价

近物所甘肃省同位素实验室（一期）变更项目的建设符合国家相关的法律规定和国家产业政策。建设项目目的明确、理由正当，同时具备了技术、人员和经费等条件。

环境影响预测结果表明，本项目运行时对周围环境的影响满足我国法规标准的要求。本项目在认真落实本报告书中的各项污染防治措施和管理措施后，将具备从事本次申请的核技术利用活动的技术能力和辐射安全防护能力，项目

建成投入运行后对环境影响符合环境保护的要求，故从环境保护角度考虑，本项目的建设是可行的。

## 5. 联系方式

### (1) 建设单位概要

建设单位名称：中国科学院近代物理研究所

建设地址：甘肃省兰州新区中国科学院近代物理研究所大科学装置科技创新创业园东北角

建设单位联系人：宋时雨

建设单位联系方式：13008788837

### (2) 环评机构概要

环评机构名称：中国原子能科学研究院

环评机构地址：北京市房山区新镇北坊

环评机构联系人：黄工

环评机构联系方式：010-69357939；huangjuanok@126.com