

报告编号：WKFHP-25099

核技术利用建设项目

加速器生产、使用、销售及同位素使用、销售项目  
环境影响报告表  
(报批稿)

嘉兴耀核速康科技有限公司

2026年6月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

加速器生产、使用、销售及同位素使用、销售项目  
环境影响报告表

建设单位名称：嘉兴耀核速康科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：孟磊

通讯地址：浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金禾路1号1幢319-A室

邮政编码：314303

联系人：

电子邮箱：/

联系电话：



# 营业执照

(副本)

统一社会信用代码  
91330108MA2AXDJASX (1/1)

扫描二维码登录“国家企业信用信息公示系统”了解更多登记、备案、许可、监管信息



名称 卫康环保科技有限公司(浙江)有限公司

类型 有限责任公司(自然人投资或控股)

法定代表人 陆浩楠

经营范围

一般项目：技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；环境保护监测；环境保护监测；教学用模型及教具销售；第一类医疗器械销售；环境监测专用仪器仪表销售(除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动)；环境检测；辐射监测；放射性污染监测；建设工程设计；建设工程监理(依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动，具体经营项目以备案信息为准)。

注册资本 壹仟零壹拾捌万元整

成立日期 2017年10月12日

住所 浙江省杭州市滨江区浦沿街道东冠路611号7幢5层504室

登记机关



2025年07月24日

市场主体应当于每年1月1日至6月30日通过  
国家信用信息公示系统报送公示年度报告。

国家企业信用信息公示系统网址：<http://www.gsxt.gov.cn>

国家市场监督管理总局监制

打印编号: 1779417480000

## 编制单位和编制人员情况表

|               |                              |          |    |
|---------------|------------------------------|----------|----|
| 项目编号          | g22kok                       |          |    |
| 建设项目名称        | 加速器生产、使用、销售及同位素使用、销售项目       |          |    |
| 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）      | 嘉兴耀核速康科技有限公司                 |          |    |
| 统一社会信用代码      | 91330424MAK09576XU           |          |    |
| 法定代表人（签章）     | 孟磊                           |          |    |
| 主要负责人（签字）     | 谷胜栋                          |          |    |
| 直接负责的主管人员（签字） | 谷胜栋                          |          |    |
| 二、编制单位情况      |                              |          |    |
| 单位名称（盖章）      | 卫康环保科技（浙江）有限公司               |          |    |
| 统一社会信用代码      | 91330108MA2AXDJA8X           |          |    |
| 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 |
| 李昭龙           | 2015035430352013439901000596 | BH007840 |    |
| 2. 主要编制人员     |                              |          |    |
| 姓名            | 主要编写内容                       | 信用编号     | 签字 |
| 李昭龙           | 表10~表13                      | BH007840 |    |
| 唐芸芸           | 表1~表9                        | BH078652 |    |

# 编制主持人职业资格证书（复印件）

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security  
The People's Republic of China



编号: HP 00017214  
No.



持证人签名:  
Signature of the Bearer

姓名: 李昭龙  
Full Name  
性别: 男  
Sex  
出生年月: 1974年7月  
Date of Birth  
专业类别: \_\_\_\_\_  
Professional Type  
批准日期: 2015年5月23日  
Approval Date

签发单位盖章:  
Issued by  
签发日期: 2015 年 10 月 30 日  
Issued on

管理号: 2015035430352013439901000596  
File No.

04040217

# 目录

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 表 1 项目基本情况.....         | 1   |
| 表 2 放射源.....            | 12  |
| 表 3 非密封放射性物质.....       | 12  |
| 表 4 射线装置.....           | 13  |
| 表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）..... | 14  |
| 表 6 评价依据.....           | 16  |
| 表 7 保护目标与评价标准.....      | 20  |
| 表 8 环境质量和辐射现状.....      | 34  |
| 表 9 项目工程分析与源项.....      | 39  |
| 表 10 辐射安全与防护.....       | 94  |
| 表 11 环境影响分析.....        | 136 |
| 表 12 辐射安全管理.....        | 168 |
| 表 13 结论与建议.....         | 176 |
| 表 14 审批.....            | 183 |

## 附图

- 附图 1 本项目地理位置示意图
- 附图 2 周围环境及评价范围示意图
- 附图 3 项目周围环境实景图
- 附图 4 本项目 1 层平面布置图
- 附图 5 夹层平面布置图
- 附图 6 海盐县声环境功能区区划图
- 附图 7 本项目两区划分布置示意图
- 附图 8 一层辐射安全平面布置图
- 附图 9 夹层辐射安全平面布置图
- 附图 10 本项目监测点位图
- 附图 11 废水线走向示意图
- 附图 12 海盐县生态环境管控单元分类图
- 附图 13 嘉兴市三区三线图

## 附件

- 附件 1 环评委托书
- 附件 2 备案（赋码）信息表
- 附件 3 营业执照
- 附件 4 法定代表人身份证件
- 附件 5 土地使用证明文件
- 附件 6 关于本项目 40MeV 加速器用途的承诺函
- 附件 7 辐射环境本底监测报告
- 附件 8 专家函审意见
- 附件 9 专家函审意见的修改清单

### 表 1 项目基本情况

|  |  |  |   |                       |      |
|--|--|--|---|-----------------------|------|
| 建设项目名称   | 加速器生产、使用、销售及同位素使用、销售项目   |  |   |                       |      |
| 建设单位   | 嘉兴耀核速康科技有限公司   |  |   |                       |      |
| 法人代表   |  | 联系人                                    |   | 联系电话                  |      |
| 注册地址   | 浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金禾路 1 号 1 幢 319-A 室   |  |   |                       |      |
| 项目建设地点   | 嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢厂房一层南侧  |  |   |                       |      |
| 立项审批部门   | 海盐县发展和改革局  | 批准文号                                   | 2602-330424-04-01-699583  |                       |      |
| 建设项目总投资（万元）  | 11000  | 项目环保投资（万元）                             | 616   | 投资比例（环保投资/总投资）        | 5.6% |
| 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（迁建） |  |   | 占地面积（m <sup>2</sup> ） | 7056 |
| 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 type="checkbox"/> V类 |                       |      |
|  | 非密封放射性物质   | <input type="checkbox"/> 生产            | <input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物  |                       |      |
|  |  | <input checked="" type="checkbox"/> 销售 | <sup>225</sup> Ac、 <sup>226</sup> Ra、 <sup>67</sup> Cu、 <sup>99</sup> Mo、 <sup>47</sup> Sc  |                       |      |
|  |  | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙  |                       |      |
|  | 射线装置   | <input checked="" type="checkbox"/> 生产 | <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类   |                       |      |
|  |  | <input checked="" type="checkbox"/> 销售 | <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类   |                       |      |
|  |  | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类   |                       |      |
|  | 其他   | /                                      |   |                       |      |
| <b>1.1 项目建设单位情况</b>  |  |  |   |                       |      |
| <p>嘉兴耀核速康科技有限公司（简称“公司”）成立于 2025 年 11 月 04 日，注册地位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金禾路 1 号 1 幢 319-A 室。公司营业执照经营范围涵盖一般项目（工程和技术研究、设备制造销售、专用化学品产销等）与许可项目（放射源销售、射线装置生产销售、民用核材料生产等），本项目属于公司技术研发与试验发展业务范畴，开展电子加速器调试及同位素分离纯化实验工作，公司营业执照详见附件 3。公司为首次开展辐射相关活动，尚不具备《辐射安全许可证》。</p> <p>公司租赁海盐秦山核电产业共享开发有限公司位于海盐县秦山街道金源东路 388 号同创一期的厂房，开展核素分离纯化及电子加速器相关应用项目，相关土地使用证明文件见附件 5。</p> |  |  |   |                       |      |

## 1.2 项目建设目的和任务由来

嘉兴耀核速康科技有限公司主要聚焦高能电子加速器及相关核素的开发。国家发改委、科技部于 2021 年联合发布的《医用同位素中长期发展规划（2021-2035 年）》中提出，计划到 2030 年建成覆盖研发、生产、应用的完整产业链， $^{225}\text{Ac}$  被列为重点突破方向之一，支持通过加速器技术实现本土化生产。

为积极响应国家产业政策与发展规划，公司启动高能电子加速器、同位素分离纯化相关项目建设。目前海盐县秦山街道规划的甲级放射性工作厂房尚未开工，该地块计划 2026 年 7 月开工，预计 2027 年底竣工交付，现阶段尚不具备规模化生产条件。为此，公司先行租赁秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园乙级厂房，开展电子加速器调试、同位素分离纯化试验等前期工作，为后续甲级厂房规模化生产积累工艺、设备及运行管理经验。公司已与秦山街道签订甲级厂房购置协议；待甲级厂房建成投产后，本厂区将保留工业辐照、小型同位素实验、加速器调试等功能，形成试验先行、分期建设、功能分区的整体发展布局。

本项目是企业打造核技术全产业链的关键前置试验项目。当前国内 $^{225}\text{Ac}$ 等高端医用同位素、高能电子加速器国产化供给不足，对外依存度较高。本项目通过开展 10MeV、40MeV 电子加速器整机性能测试与工艺优化，突破设备核心调试技术；同时完成多种放射性同位素分离纯化试验，积累辐射作业、废物管控、安全运维等实操经验，为后续量产项目平稳运行筑牢基础。项目实施不仅助力企业实现产业升级，还能补齐区域核技术应用配套短板，完善秦山地区核产业生态。项目未来可向医疗、工业辐照、科学研究等领域提供国产化加速器设备与高纯度医用同位素产品，有效缓解国内高端核技术产品供给压力，推进核技术领域自主可控，对区域及国内核技术应用产业健康发展具有重要支撑作用。

对照《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（原环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），本项目电子加速器属于 II 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目”。本项目同时涉及乙级非密封放射性物质工作场所，II 类射线装置的生产、使用，以及 II 类射线装置的销售，其中乙级非密封放射性物质工作场所，II 类射线装置的生产、使用需编制环境影响报告表，销售 II 类射线装置和销售放射性同位素需填报环境影响登记表。按照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）

第四条“建设内容涉及名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定”的规定，编制环境影响报告表的要求高于填报环境影响登记表，综上，本项目环境影响评价文件形式确定为编制环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，嘉兴耀核速康科技有限公司委托卫康环保科技（浙江）有限公司对本项目进行辐射环境影响评价，环评委托书见附件1。评价单位接受委托后，通过现场踏勘和收集有关资料等工作，结合本项目特点，依据《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》（HJ 10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目的环境影响报告表，供企业上报审批。

### 1.3 项目建设内容和规模

本项目租赁现有厂房，建设电子加速器工作区与核素实验室，开展加速器组装生产、自用测试、对外销售，以及外购同位素分离纯化、成品销售等业务。项目分本期（乙级厂房）和远期（规划甲级厂房）两大阶段，本期仅开展试验、调试、辐照、同位素纯化与销售，不建设、不运行同位素生产设施，不开展同位素研发及规模化生产；同位素生产相关内容统一规划至后期甲级厂房实施，两阶段场地、功能严格区分。

#### 1.3.1 电子加速器

本项目租用海盐秦山核电产业共享开发有限公司现有厂房新建电子加速器工作场所，分为生产销售和设备使用两部分。

##### 1、电子加速器的生产与销售

本项目电子加速器生产组装依托厂房内独立设置的加速器生产用房开展，功能分区与生产流程如下：

##### （1）生产规模与产品类型

①组装1台40MeV/10MeV双能量档位电子加速器，供本厂区自用，用于设备性能验证、功率打靶及辐照加工；

②年产5台10MeV的II类电子加速器对外销售，产品出厂前仅完成机械、电气与控制系统的非辐射类调试，辐射调试及现场安装在客户场地完成。

##### （2）生产用房功能分区

原材料区（长5700mm×宽4000mm）：存放电子枪、加速管、控制系统等非放射性元器件，物料分区存放、台账可追溯。

检验区（长4000mm×宽4000mm）：开展设备机械、电气性能出厂检验。

成品区（长 5700mm×宽 4000mm）：封闭式存放组装完成的加速器成品，仅作无放射性成品暂存。

其中，自用的双能量档位电子加速器（40MeV 和 10MeV）在生产用房内完成组装与非辐射检验后，转运至辐射工作区开展辐射类工况作业。

## 2、电子加速器的使用

建设包含有主机室、测试机房、辐照机房、功率靶室等核心辐射工作区，同时配套建设中控室（操作台）、水冷机房等辅助用房，开展电子加速器功率打靶、加速器测试和辐照加工等业务。

本项目自用的双能量档位电子加速器，核心采用高频电场加速技术，设置 40MeV/10MeV 两个能量档位（本项目 10 MeV 工况执行《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）；40 MeV 高能工况超出上述标准适用范围，辐射安全全项要求执行《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）），束流路径通过第一根加速管出束口的偏转磁铁实现切换，同一时间仅能选择一个端口出束作业，各工况呈互斥运行状态，避免运行冲突，具体参数与用途如下：

### （1）40MeV 功率打靶工况

核心参数：电子束能量 40MeV，束流功率 120kW（额定电流 3mA）；

运行区域：电子束经第一根加速管加速至 10MeV 后，通过偏转磁铁切换束流路径，使电子束继续进入后续第 2~4 根加速管逐级加速至 40MeV，沿北向主射束方向导入功率靶室；

用途：开展加速器系统性能验证，通过检测打靶产生的 X 射线强度、能谱分布等关键参数，验证加速器束流稳定性、加速管能量增益准确性及功率靶热工设计合理性，确保设备整体运行性能符合预设设计标准。

目前国内现行标准暂无“功率打靶”专属定义，本项目所称功率打靶为高能电子加速器行业通用叫法，本质是设备满功率束流调试工况。本工况仅使用纯钨调试靶，不配套同位素生产管线、专用生产靶及生产工艺，全程不进行同位素制备与生产。

### ①作用、用途及建设意义

本台 40MeV 加速器是公司整体发展规划的重要组成部分，本次功率打靶调试核心用途为完成设备装配、束流功率与能量全项测试，验证整机性能与屏蔽系统可靠性。本次调试工作直接关系企业后续项目推进进度；远期公司将采用多台 40MeV 加速器分布

式布局开展医用同位素规模化生产，本次调试成功可为远期量产项目积累技术、运维经验，对企业整体战略布局具备重大意义。

## ②40MeV 加速器建设代价与利益分析

### A、投入代价

经济代价：40MeV 高能加速器本体、专用钨靶、高等级屏蔽体、大功率冷却系统、在线辐射监测及多重安全联锁装置购置、安装、调试投入较高；设备日常维保、辐射仪表定期校准、持证人员职业健康体检及专项培训产生常态化运维成本；功率靶室按高能射线防护标准建设，防护工程投入高于常规机房。

环境与安全代价：设备运行产生 X 射线、少量臭氧及微量感生放射性物质；调试后会产生活化废靶、废过滤件等放射性废物，需按规范分类收集、委托有资质单位处置；该区域划为辐射严格管控区，执行双人巡检、出入登记等管理制度，现场安全管控要求更高。

其他代价：高能设备满功率调试需分阶段逐步升负荷，整体调试周期较长，阶段性占用场地与人力。

### B、综合收益

技术收益：掌握 40MeV 高能电子加速器全工况调试、运行核心技术，填补企业高能设备技术空白，为外销加速器产品迭代升级提供实测数据支撑。

产业与战略收益：响应国家医用同位素本土化发展政策，为本企业远期甲级厂房同位素规模化生产项目完成前置技术、人员、工艺储备，完善企业全产业链布局。

经济收益：成熟的高能加速器产品、调试技术可对外销售与提供技术服务，同时依托 10MeV 辐照业务拓展营收渠道，丰富盈利结构。

社会收益：推动区域高能核技术装备国产化，带动本地专业技术就业，项目各项污染物、辐射水平均满足国家限值要求，环境影响可控。

### C、综合判定

本项目各项风险均通过屏蔽、联锁、废物规范化处置、人员持证管理等措施有效管控，项目投入代价可控，技术、产业、经济及综合收益显著，收益远大于潜在风险，符合辐射防护实践正当性要求。

## (2) 10MeV 设备测试工况

核心参数：电子束能量 10MeV，束流功率 30kW（额定电流 3mA）；

运行区域：电子束经第一根加速管加速至 10MeV 后，通过偏转磁铁控制束流向西偏转，导入测试机房；

用途：开展设备性能验证测试，验证加速器控制系统响应性、束流传输稳定性、安全联锁系统可靠性等关键指标，为设备定型与后续生产优化提供数据支撑。

### （3）10MeV 辐照加工工况

核心参数：电子束能量 10MeV，束流功率 30kW（额定电流 3mA）；

运行区域：电子束经第一根加速管加速至 10MeV 后，通过偏转磁铁控制束流向东偏转，导入辐照机房；

本项目辐照加工采用全自动传送带作业模式，辐照品类明确，主要分为三类：

①食品及宠物食品类：休闲食品、食用香料、各类宠物粮食，利用电子束实现灭菌、除虫、保鲜，无化学残留；

②农林种子类：粮油、蔬菜、花卉等农作物种子，开展辐照灭菌、诱变处理，提升种子品质；

③珠宝玉石类：各类珠宝饰品，进行辐照改色、品相优化加工。

**嘉兴及周边区域辐照加工市场可行性分析：**嘉兴及长三角地区食品、宠物用品、种业、珠宝加工产业集聚度高，对辐照灭菌、保鲜、品相优化等服务需求旺盛。现阶段海盐本地专业化电子束辐照站点较少，区域辐照产能存在缺口，当地企业普遍存在外协加工距离远、物流成本高、周转慢的问题，本地化辐照服务诉求强烈。本项目地处海盐秦山街道，交通便捷，辐射范围可覆盖嘉兴全域及沪杭苏等周边城市；项目采用 10MeV 电子束辐照工艺，剂量精准、无化学残留、运行灵活，适配区域多品类、中小批量的加工需求。结合区域市场供需现状与项目自身优势分析，本辐照加工业务目标客户明确、市场空间充足，具备良好的运营可行性。

上述三类工况均通过中控室（操作台）实现集中控制、参数监测与数据记录。

### 1.3.2 核素实验室

本项目核素实验室仅开展外购放射性核素的分离纯化、暂存及成品销售，本期同样不涉及放射性同位素生产活动；同位素规模化生产业务全部规划至远期甲级厂房实施。

本项目租用海盐秦山核电产业共享开发有限公司现有厂房，按功能划分为非放射性区域与放射性区域。其中，非放区设置制备间，用于开展核素分离纯化前的溶液配制等预处理工作；放射性区域建设包含分离纯化间、储源室、放射性暂存间、衰变池等核心

功能区。各核素日等效最大操作量叠加值  $3.92\text{E}+09\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质场所。项目对外购的核素 ( $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{67}\text{Cu}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{47}\text{Sc}$ ) 进行分离纯化，通过系列分离纯化工艺，提纯得到高纯度核素产品并对外销售，核素成品严格按放射性等级分区存放，具体存放要求及位置如下：

### 1、核素成品存放区域及分类管理

核素成品存放于储源室暂存，长半衰期核素  $^{226}\text{Ra}$  与其他短半衰期核素严格分区存放，配套完善的放射性屏蔽防护设施（采用铅屏蔽结构），防止放射性泄漏。

根据核素物理状态、放射性活度及危险等级，成品分区存放，具体如下：

(1) 液态核素成品 ( $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{67}\text{Cu}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{47}\text{Sc}$ )：存放于储源室专用铅罐内，每个铅罐对应标识核素名称、活度、纯化日期、成品等级，分类码放，避免混淆。

(2) 粉末核素成品 ( $^{226}\text{Ra}$ )：存放于储源室专用密封铅罐内，由专人负责管理，储存区域保持干燥、通风，防止粉末泄漏或吸潮变质。

### 2、核素使用规模

本项目放射性核素使用规模见表 1-1。

表 1-1 各核素操作量及操作时间一览表

| 序号 | 核素名称              | 物理状态 | 日最大操作量 (Bq)    | 日等效最大操作量 (Bq)  | 年最大操作量 (Bq)       | 年总采购量 (Bq)        | 成品年对外销售量 (Bq)     | 来源 |
|----|-------------------|------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|----|
| 1  | $^{225}\text{Ac}$ | 液态   | $8\text{E}+05$ | $8\text{E}+08$ | $2.08\text{E}+08$ | $2.24\text{E}+08$ | $1.87\text{E}+08$ | 外购 |
| 2  | $^{226}\text{Ra}$ | 粉末   | $3\text{E}+05$ | $3\text{E}+09$ | $7.80\text{E}+07$ | $8.00\text{E}+07$ | $7.02\text{E}+07$ | 外购 |
| 3  | $^{67}\text{Cu}$  | 液态   | $4\text{E}+06$ | $4\text{E}+07$ | $1.04\text{E}+9$  | $1.12\text{E}+09$ | $8.32\text{E}+08$ | 外购 |
| 4  | $^{99}\text{Mo}$  | 液态   | $4\text{E}+06$ | $4\text{E}+07$ | $1.04\text{E}+9$  | $1.12\text{E}+09$ | $8.32\text{E}+08$ | 外购 |
| 5  | $^{47}\text{Sc}$  | 液态   | $4\text{E}+06$ | $4\text{E}+07$ | $1.04\text{E}+9$  | $1.12\text{E}+09$ | $8.32\text{E}+08$ | 外购 |

## 1.4 项目选址及周边环境保护目标

### 1.4.1 项目地理位置

本项目地址为嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢（地上 4 层，无地下层）一层南侧，四周情况如下：东侧为浙江景融核科技有限公司；南侧紧邻海盐加美五金科技有限公司，再往南为金湾路；西侧紧邻金禄路，隔路为嘉兴星辰汽车零部件有限公司、嘉兴凯鑫五金科技股份有限公司、海盐县庆丰化工有限公司等企业工业；北侧为施工场地。

项目地理位置见附图 1，周围环境关系及评价范围见附图 2。

### 1.4.2 本项目设备周边环境概况

(1) 电子加速器

本项目地址为嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢南侧，加速器工作场所四周情况如下：东侧为紧邻电梯间，再往东为园区内通道；南侧为园区内道路，再往南隔墙紧邻海盐加美五金科技有限公司；西侧紧邻核素实验室工作场所，再往西为园区内道路；北侧为内天井、厕所、办公区域，再往北为园区内道路。

## (2) 核素实验室

本项目地址为嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢南侧，核素实验室工作场所四周情况如下：东侧紧邻加速器工作场所，再往东为电梯间；南侧为园区内道路，再往南隔墙紧邻海盐加美五金科技有限公司；西侧为园区内道路，再往西为金禄路；北侧为厂房内闲置区域，再往北为园区内道路。

## 1.5 相关规划符合性分析

### 1.5.1 用地规划符合性分析

本项目地址为嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢南侧，根据公司提供的土地使用证明文件（附件 5），本项目用地性质为工业用地，符合土地利用规划。

### 1.5.2 “三区三线”符合性分析

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2080 号）要求，“三区三线”划定成果作为建设项目用地用海报批的依据。其中“三区”具体指城镇空间、农业空间、生态空间三种类型的国土空间，“三线”分别对应城镇空间、农业空间、生态空间划定的城镇开发边界、永久基本农田、生态保护红线三条控制线。

根据嘉兴市“三区三线”最新划定成果（附图 13），本项目位于嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢南侧，项目场址属于城镇开发边界范围内，用地及评价范围均不涉及永久基本农田、生态保护红线。因此，本项目建设符合浙江省“三区三线”要求。

### 1.5.3 与海盐县生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

根据《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》（浙环发〔2024〕18 号），“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单”，项目建设应强化“三线一单”约束作用。本项目海盐县生态环境分区管控符合性判定情况如下：

### (1) 生态保护红线

根据《海盐县生态环境分区管控动态更新方案》，本项目位于“浙江省嘉兴市海盐县秦山街道产业集聚重点管控单元（ZH33042420002）”（附图 12）。根据嘉兴市“三区三线”最新划定成果，本项目位于城镇集中建设区，本项目选址不在生态保护红线范围之内，建设符合生态保护红线要求。

### (2) 环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场所周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率属于正常本底范围。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。

### (3) 资源利用上线

本项目运行过程中会消耗一定量的电力资源，资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线的要求。

### (4) 生态环境准入清单

根据《海盐县生态环境分区管控动态更新方案》，项目所在区块属于“浙江省嘉兴市海盐县秦山街道产业集聚重点管控单元（ZH33042420002）”，该管控单元生态环境准入清单见表 1-2。

表1-2 本项目所在管控单元分类准入清单

| 内容      |   | 符合性分析   | 是否符合 |
|---------|---|---|------|
| 空间布局约束  | 1.根据产业集聚区块的功能定位，实施分区差别化的产业准入条件。<br>2.优化产业布局和结构，合理规划布局三类工业项目，控制三类工业项目布局范围和总体规模，鼓励对现有三类工业项目进行淘汰和提升改造。<br>3.提高电力、化工、印染、造纸、化纤等重点行业环保准入门槛，控制新增污染物排放量。<br>4.新建涉 VOCs 排放的工业企业全部进入工业功能区，严格执行相关污染物排放量削减替代管理要求。<br>5.合理规划布局居住、医疗卫生、文化教育等功能区块，与工业区块、工业企业之间设置防护绿地、生态绿地等隔离带。 | 本项目主要为核技术利用项目，不属于电力、化工、印染、造纸、化纤等重点行业，满足产业集聚区功能定位和分区差别化产业准入条件。项目选址位于规划的工业功能区内，不涉及居住、医疗卫生、文化教育等功能区块，与工业企业之间已设置防护绿地、生态绿地等隔离带，符合空间布局约束要求。 | 是    |
| 污染物排放管控 | 1.严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。<br>2.新建二类、三类工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平，推动企业绿色低碳技术改造。   | 项目运行过程中污染物简单，排放量较小，在落实本报告提出的各项污染防治措施基础上，  | 是    |

|                      |  |  |   |
|----------------------|--|--|---|
|                      | 3、新建、改建、扩建高耗能、高排放项目须符合生态环境保护法律法规和相关法定规划，强化“两高”行业排污许可证管理，推进减污降碳协同控制。<br>4、加快落实污水处理厂建设及提升改造项目，深化工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。<br>5、加强土壤和地下水污染防治与修复。<br>6、重点行业按照规范要求开展建设项目碳排放评价。 | “三废”污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。                    |   |
| 环境<br>风险<br>防控       | 1.定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境和健康风险。<br>2.强化工业集聚区企业环境风险防范设施建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制；加强风险防控体系建设。  | 本项目建立企业辐射事故应急体系。运营期间，加强环境监管。采取上述措施并加强管理的情况下，可避免辐射事故发生。 | 是 |
| 资源<br>开发<br>效率<br>要求 | 推进工业集聚区生态化改造，强化企业清洁生产改造，推进节水型企业、节水型工业园区建设，落实煤炭消费减量替代要求，提高资源能源利用效率。   | 本项目水资源能够有效利用，不新增煤炭资源消耗。                                | 是 |

综上所述，本项目建设能够符合海盐县生态环境分区管控动态更新方案的要求。

## 1.6 选址合理性分析

本项目位于嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢南侧，租用海盐秦山核电产业共享开发有限公司现有厂房，不新增用地，用地性质为工业用地，且周围无环境制约因素。本项目 50m 评价范围内主要为内部建筑及道路等，不涉及生态保护红线，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。经辐射环境影响预测，本项目运行过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施对周围环境和公众成员的辐射影响是可接受的。因此，本项目的选址合理可行。

## 1.7 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在工业领域内的运用，主要涉及电子加速器（10MeV 档位用于辐照、测试，40MeV 档位用于功率打靶）及核素分离纯化相关业务，符合国家核技术应用产业高质量发展导向。根据中华人民共和国国家发展和改革委员会第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》相关规定，该目录明确将“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”列入第六项“核能”第 4 条，属于国家鼓励类产业。本项目所涉电子加速器应用、核素分离纯化相关工作，均贴合上述鼓励类产业范畴，未涉及限制类、淘汰类项目。综上，本项目建设符合国家当前产业政策要求。

## 1.8 实践正当性分析

本项目属于核技术应用类项目，主要开展电子加速器生产销售、设备调试、辐照加工，以及外购放射性核素分离纯化与成品销售业务。

本项目年产 5 台 10MeV II类电子加速器对外销售；配套 1 台 10MeV/40MeV 双档位电子加速器，其中 10MeV 档位用于设备性能测试与商业化辐照加工，可满足区域工业辐照市场需求，助力国产加速器推广应用。40MeV 档位主要开展满功率打靶调试工作，用于验证束流参数、设备及靶室屏蔽结构性能，同步积累高能加速器运行、核技术应用相关技术经验，为企业远期医用同位素规模化生产储备技术条件。项目同时对外购核素开展分离纯化，产出高纯度核素产品对外销售，补充区域及行业高纯核素供给。

项目建成运营后，可实现设备、核技术产品市场化供给，产生合理经济效益；同时助力完善区域核技术产业链，推动相关技术落地应用。项目运行过程会产生电离辐射、少量放射性废物等潜在影响，但本项目按照国家规范设置辐射屏蔽、安全联锁、分区管控及放射性废物处置体系，辐射防护措施完善。结合辐射环境影响预测结果，工作人员及周边公众所受年有效剂量均满足国家剂量限值要求，辐射风险可得到有效管控。

综上，本项目的建设与运行具有明确的正当理由，核心聚焦核素分离纯化及电子加速器应用，其带来的经济、社会效益显著大于潜在的辐射风险，且辐射风险可通过科学防控实现有效管控，完全符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

## **1.9 原有核技术利用情况**

本项目为新建项目，企业无原有核技术利用许可情况。

**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 |
|--------|------|-------------------------|----|------|----|------|---------|----|
| 本项目不涉及 |      |                         |    |      |    |      |         |    |

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  | <sup>225</sup> Ac | 半衰期10.0d, 液态, 极毒  | 使用、销售 | 8.00E+05      | 8.00E+08      | 2.08E+08   | 分离纯化 | 有特别危险的操作 | 核素实验工作场所 | 储源室     |
| 2  | <sup>226</sup> Ra | 半衰期约1602a, 粉末, 极毒 | 使用、销售 | 3.00E+05      | 3.00E+09      | 7.80E+07   | 分离纯化 | 有特别危险的操作 | 核素实验工作场所 | 储源室     |
| 3  | <sup>67</sup> Cu  | 半衰期61.7h, 液态, 中毒  | 使用、销售 | 4.00E+06      | 4.00E+07      | 1.04E+9    | 分离纯化 | 有特别危险的操作 | 核素实验工作场所 | 储源室     |
| 4  | <sup>99</sup> Mo  | 半衰期66.02h, 液态, 中毒 | 使用、销售 | 4.00E+06      | 4.00E+07      | 1.04E+9    | 分离纯化 | 有特别危险的操作 | 核素实验工作场所 | 储源室     |
| 5  | <sup>47</sup> Sc  | 半衰期3.41d, 液态, 中毒  | 使用、销售 | 4.00E+06      | 4.00E+07      | 1.04E+9    | 分离纯化 | 有特别危险的操作 | 核素实验工作场所 | 储源室     |

注：日等效最大操作量和操作方式见《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 | 装置名称  |          | 类别  | 数量  | 型号   | 加速粒子 | 最大能量 (MeV) | 活动种类  | 额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h) | 用途       | 工作场所                 | 备注                  |
|----|-------|----------|-----|-----|------|------|------------|-------|------------------------|----------|----------------------|---------------------|
| 1  | 电子加速器 | 10MeV 档位 | II类 | 1 台 | 型号未定 | 电子   | 10         | 生产、使用 | 3mA                    | 辐照、科研测试  | 秦山同创产业园 A 幢南侧加速器工作场所 | /                   |
|    |       | 40MeV 档位 |     |     |      |      | 40         |       |                        | 功率打靶     |                      | /                   |
| 2  | 电子加速器 |          | II类 | 5 台 | 型号未定 | 电子   | 10         | 生产、销售 | 3mA                    | 加速器生产、销售 | 加速器工作场所              | 加速器销售设备出厂前仅完成非辐射类调试 |

**(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     | 装置名称 | 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 |
|--------|------|----|----|----|------------|------------|----|------|----|
| 本项目不涉及 |      |    |    |    |            |            |    |      |    |

**(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 |    |
| 本项目不涉及 |    |    |    |    |            |            |            |    |      |         |      |    |    |

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   |
|-----------------|----|---|----|------|----------------------|--|---|--|
| <b>核素实验工作场所</b> |    |   |    |      |                      |  |   |  |
| 放射性废水           | 液态 | $^{225}\text{Ac}/^{67}\text{Cu}/^{99}\text{Mo}/^{47}\text{Sc}$                                | /  | /    | 0.1m <sup>3</sup>    | 总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、<br>总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ | 暂存于 3 个相同体积的并联衰变池内，每个衰变池有效容积 1.26m <sup>3</sup> ，总有效容积 3.78m <sup>3</sup> 。                             | 经衰变至少 100 天后，经检测达标并经监管部门确认后，通过专用管道排入市政污水管网。（注：含 $^{226}\text{Ra}$ 废水严禁排入衰变池，需单独收集后按放射性废液处置。）   |
| 放射性废液           | 液态 | $^{225}\text{Ac}/^{67}\text{Cu}/^{99}\text{Mo}/^{47}\text{Sc}$ 、<br>$^{226}\text{Ra}$ （长寿命核素） | /  | /    | 0.2997m <sup>3</sup> | 总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、<br>总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ | ①不含 $^{226}\text{Ra}$ 的废液：集中收集于铅屏蔽废液桶暂存。<br>②含 $^{226}\text{Ra}$ 的废液： $^{226}\text{Ra}$ 废液单独收集于专用铅屏蔽容器。 | ①不含 $^{226}\text{Ra}$ 的废液：转移至放射性废物库贮存，衰变至少 100 天后，经监测达标并由生态环境主管部门批准后，按危险废物交由资质单位处置。<br>②含 $^{226}\text{Ra}$ 的废液：单独封装、单独标识、单独贮存，建立独立台账闭环管理，最终按长寿命高毒性放射性废物交由具备相应资质的单位进行处置。         |
| 放射性废气           | 气态 | $^{225}\text{Ac}/^{226}\text{Ra}/^{67}\text{Cu}/^{99}\text{Mo}/^{47}\text{Sc}$                | /  | /    | /                    | /  | 不暂存   | 采用“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”组合工艺处理，楼顶高空排气筒达标排放。   |
| 放射性固体废物         | 固态 | $^{225}\text{Ac}/^{67}\text{Cu}/^{99}\text{Mo}/^{47}\text{Sc}$ 、<br>$^{226}\text{Ra}$ （长寿命核素） | /  | /    | 180.678kg            | /  | ①不含 $^{226}\text{Ra}$ 的固体废物：集中收集于铅屏蔽放射性废物桶内。<br>②含 $^{226}\text{Ra}$ 的固体废物：单独收集于专用固体废物桶。                | ①不含 $^{226}\text{Ra}$ 的固体废物转移至放射性废物库贮存衰变至少 100 天后，经监测符合清洁解控要求并由生态环境主管部门批准后，按危险废物交由资质的单位处置。<br>②含 $^{226}\text{Ra}$ 的固体废物单独封装、单独标识、单独贮存，建立独立台账闭环管理，最终按长寿命高毒性放射性废物交由具备相应资质的单位进行处置。 |

| 加速器工作场所        |    |   |   |    |                   |  |   |   |
|----------------|----|---|---|----|-------------------|--|---|---|
| 放射性废水<br>(冷却水) | 液态 | $^3\text{H}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  | / | /  | 0.5m <sup>3</sup> | 总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、<br>总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ | 暂存于 2 个相同体积的并<br>联衰变池内，每个衰变池<br>有效容积 1m <sup>3</sup> ，总有效容<br>积 2m <sup>3</sup> | 排入两级衰变池密闭暂存，攒量后整体<br>委托具备放射性废水处理资质的单位统<br>一收运处置，全程不外排。  |
| 放射性废气          | 气态 | $^3\text{H}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{14}\text{C}$ 和 $^{41}\text{Ar}$   | / | /  | /                 | /  | 不暂存   | 采用“初效过滤+中效过滤+活性炭吸附”<br>组合工艺处理，楼顶高空排气筒达标排<br>放，吸附饱和的废活性炭按放射性固废<br>统一处置。  |
| 功率靶废靶          | 固态 | $^{178}\text{Ta}$ 、 $^{178\text{m}}\text{Ta}$ 、 $^{182\text{m}}\text{Ta}$ 、<br>$^{178}\text{W}$ 、 $^{181}\text{W}$ 、 $^{185}\text{W}$ 等 | / | /  | 50kg              | /  | 暂存于专用铅屏蔽容器<br>内，存放于放射性废物库   | 根据《辐射环境监测技术规范》<br>(HJ61-2021)，应对废靶外表面进行辐<br>射剂量率监测，符合解控水平后由设备<br>厂家回收利用；若未达解控水平，按按<br>中水平放射性固体废物，交由具备相应<br>资质的单位处置。 |
| 废过滤器与<br>废活性炭  | 固态 | $^3\text{H}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{14}\text{C}$ 和 $^{41}\text{Ar}$   | / | /  | 726 kg            | /  | 暂存于专用铅屏蔽容器<br>内，存放于放射性废物库   | 暂存于专用铅屏蔽容器内，存放于放射<br>性废物库，定期监测；饱和废活性炭、<br>过滤器按低水平放射性固体废物，交由<br>具备相应资质的单位统一处置。                                       |
| 臭氧和氮氧<br>化物    | 气态 | /   | / | 少量 | 少量                | 少量   | 不暂存   | 经通风装置排入大气中，臭氧短时间内<br>可自动分解为氧气   |

注：1、常见废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/m<sup>3</sup>，气态为 mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用 kg；

2、含有放射性的废弃物要标明其排放浓度、年排放总量，单位分别为 Bq/L (kg、m<sup>3</sup>) 和活度 (Bq)。

**表 6 评价依据**

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <p>法<br/>规<br/>文<br/>件</p> | <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法（2014 年修订）》（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（2018 年修订）》（中华人民共和国主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日起施行）；</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) 《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）；</p> <p>(5) 《中华人民共和国水污染防治法（2017 年修订）》，中华人民共和国主席令第七十号，2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《中华人民共和国大气污染防治法（2018 年修订）》，中华人民共和国主席令第十六号，2018 年 10 月 26 日起施行；</p> <p>(7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法（2020 年修订）》，中华人民共和国主席令第四十三号，2020 年 9 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法（2021 年修订）》，中华人民共和国主席令第一〇四号，2022 年 6 月 5 日起施行；</p> <p>(9) 《中华人民共和国药品管理法》（2019 年修订），中华人民共和国主席令第 31 号，2019 年 12 月 1 日起施行；</p> <p>(10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(11) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 709 号修订，2019 年 3 月 2 日）；</p> <p>(12) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发[2006]145 号，原国家环境保护总局，2006 年 9 月 26 日起施行；</p> <p>(13) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修正本）》（生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行）；</p> <p>(14) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行）；</p> |
|----------------------------|--|

- (15) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部国家卫生和计划生育委员会 2017 年第 66 号，自 2017 年 12 月 5 日起施行）；
- (16) 《国家危险废物名录（2025 年版）》，生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 36 号公布，2025 年 1 月 1 日起施行；
- (17) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，生态环境部公告 2021 年第 9 号，2021 年 3 月 15 日起施行；
- (18) 《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 日施行；
- (19) 《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 10 月 24 日施行；
- (20) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日施行；
- (21) 《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 24 日施行；
- (22) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（国家环保总局，环发[2006]145 号）；
- (23) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中华人民共和国国家发展和改革委员会第 7 号令，2024 年 2 月 1 日起施行；
- (24) 《关于做好放射性废物（源）收贮工作的通知》，环办辐射函〔2017〕609 号，原环境保护部办公厅，2017 年 4 月 21 日起施行；
- (25) 《放射性物品运输安全管理条例》，国务院令第 562 号，2010 年 1 月 1 日起施行；
- (26) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；
- (27) 《放射性物品运输安全许可管理办法（2021 年修改）》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；
- (28) 《放射性物品道路运输管理规定（2016 年修改）》，交通运输部令 2016 年第 71 号，2016 年 9 月 2 日起施行；
- (29) 《放射性废物分类》，原环境保护部、工业和信息化部与国防科工局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行；

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
|                                   | <p>(30) 《危险废物转移管理办法》，生态环境部令第23号，2022年1月1日起施行。</p> <p>(31) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2021年省政府令第388号修订），2021年2月10日施行；</p> <p>(32) 《浙江省辐射环境管理办法》（2021年省政府令第388号修订），2021年2月10日施行；</p> <p>(33) 《关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》，浙政办发[2018]92号，浙江省人民政府办公厅，2018年9月28日印发；</p> <p>(34) 《浙江省生态环境保护条例》，浙江省人民代表大会常务委员会第71号公告，自2022年8月1日施行；</p> <p>(35) 关于发布《浙江省生态环境厅关于发布&lt;省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2024年本）&gt;的通知》，浙江省生态环境厅，浙环发〔2024〕67号，2025年2月2日起施行；</p> <p>(36) 关于印发《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》的通知，浙江省生态环境厅，浙环发〔2024〕18号，2024年3月28日印发；</p> <p>(37) 《海盐县人民政府办公室关于印发海盐县生态环境分区管控动态更新方案的通知》，海盐县人民政府办公室，盐政办发〔2024〕22号，2024年10月22日印发。</p> |
| <p><b>技<br/>术<br/>标<br/>准</b></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》（HJ 10.1-2016）国家核安全局；</p> <p>(2) 《建设项目环境影响报告表编制技术指南（污染影响类）》（试行）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(4) 《粒子加速器辐射安全与防护规定》(GB5172-2025)；</p> <p>(5) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）；</p> <p>(6) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；</p> <p>(7) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）。</p> <p>(8) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>(9) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；</p> <p>(10) 《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）及第1号修改单；</p>  |

|    |   |
|----|---|
|    | <p>(11) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ 380-1989）；</p> <p>(12) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(13) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）；</p> <p>(14) 《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）；</p> <p>(15) 《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）；</p> <p>(16) 《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T 15219-2009）；</p> <p>(17) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）；</p> <p>(18) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(19) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(20) 《辐射事故应急监测技术规范》（HJ 1155-2020）；</p> <p>(21) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；</p> <p>(22) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）；</p> <p>(23) 《危险废物识别标志设置技术规范》（HJ 1276-2022）；</p> <p>(24) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）；</p> <p>(25) 《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）；</p> <p>(26) 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）；</p> <p>(27) 《恶臭污染物排放标准》（GB 14554-93）；</p> <p>(28) 《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）；</p> <p>(29) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；</p> <p>(30) 《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）；</p> <p>(31) 《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）；</p> |
| 其他 | <p>(1) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编；</p> <p>(2) 《简明放射性同位素应用手册》，卢玉楷主编；</p> <p>(3) 《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫；</p> <p>(4) 《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》；</p> <p>(5) 环评委托书；</p> <p>(6) 建设单位提供的其他资料。</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》（HJ 10.1-2016）的规定：“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”、“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”，并结合本项目的实际情况，确定本项目辐射环境评价范围取核技术利用工作场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。

本项目为报告表项目，参照《建设项目环境影响报告表编制技术指南(污染影响类)》（试行），大气环境影响评价范围取项目边界外 500m 范围，声影响评价范围取边界外 50m 范围，评价范围示意图见附图 2。

### 7.2 保护目标

#### 7.2.1 辐射环境保护目标

本项目辐射评价范围为辐射工作场所边界外 50m 区域，根据现场踏勘情况，评价范围内主要为项目厂房、内部道路及绿化、外部道路、海盐加美五金科技有限公司，无居民区等环境敏感保护目标，本项目环境保护目标为本项目辐射工作人员以及评价范围内园区内其他非辐射工作人员等。

表 7-1 本项目评价范围内环境保护目标情况一览表

| 环境保护目标 |                | 规模      | 方位  | 最近距离(m) | 剂量约束值(mSv/a) |
|--------|----------------|---------|-----|---------|--------------|
| 电子加速器  |                |         |     |         |              |
| 辐射工作人员 | 核素实验区          | 3 人     | 西侧  | 紧邻      | 5            |
|        | 辐照机房拟建址上方夹层中控室 | 4 人     | 正上方 | 8       |              |
| 公众人员   | 东侧电梯间          | 45 人次/d | 东侧  | 1       | 0.1          |
|        | 东侧园区内通道        | 流动人员    | 东侧  | 3       |              |
|        | 南侧园区内道路        | 流动人员    | 南侧  | 2       |              |
|        | 海盐加美五金科技有限公司   | 200 人/d |     | 30      |              |
|        | 加速器工作场所西侧电梯间   | 45 人次/d | 西侧  | 8       |              |
|        | 西侧园区内道路        | 流动人员    |     | 17      |              |
|        | 金禄路            | 流动人员    |     | 47      |              |
|        | 内天井            | 20 人次/d | 北侧  | 1       |              |
|        | 内天井北侧厕所        | 45 人次/d |     | 8       |              |
|        | 北侧厂房内闲置区域      | 50 人次/d |     | 1       |              |

|   |              |         |             |      |     |
|---|--------------|---------|-------------|------|-----|
|   | 办公区          | 9 人/d   |             | 16   |     |
|   | 北侧园区内道路      | 流动人员    |             | 25   |     |
|   | 二层闲置区域（夹层上方） | 2 人次/d  | 正上方         | 13   |     |
| 核素实验室   |              |         |             |      |     |
| 辐射工作人员  | 核素实验区        | 3 人     | /           | /    | 5   |
|   | 电子加速器工作场所    | 4 人     | 东侧          | 紧邻   |     |
| 公众人员  | 东侧电梯间        | 45 人次/d | 东侧          | 30   | 0.1 |
|   | 东侧园区内道路      | 流动人员    |             | 40   |     |
|   | 核素实验区南侧电梯间   | 45 人次/d | 南侧          | 2    |     |
|   | 南侧园区内道路      | 流动人员    |             | 6    |     |
|   | 海盐加美五金科技有限公司 | 200 人/d |             | 30   |     |
|   | 西侧园区内道路      | 流动人员    | 西侧          | 2    |     |
|   | 金禄路          | 流动人员    |             | 40   |     |
|   | 项目北侧厂房内闲置区域  | 50 人次/d | 北侧          | 1    |     |
|   | 内天井          | 20 人次/d |             | 4    |     |
|   | 内天井北侧厕所      | 45 人次/d |             | 8    |     |
|   | 办公区          | 9 人/d   |             | 16   |     |
|   | 北侧园区内道路      | 流动人员    |             | 25   |     |
|   | 二层闲置区域       | 2 人次/d  |             | 正上方  |     |
| 衰变池   |              |         |             |      |     |
| 公众人员  | 南侧园区内道路      | 流动人员    | 南侧          | 1    | 0.1 |
|   | 海盐加美五金科技有限公司 | 200 人/d | 南侧          | 26   |     |
|   | 东侧停车位        | 10 人次/d | 东侧          | 2    |     |
|   | 西侧停车位        | 10 人次/d | 西侧          | 2    |     |
| 注：1、本项目拟建址在厂房一层，此建筑共地上四层，建筑总高度 23.6m，无地下建筑。<br>2、加速器机房上方为本项目新增钢筋混凝土夹层，非原有二层；厂房二层及以上均为建筑原有闲置楼层，与本项目区域物理分隔。<br>3、新增夹层仅设置在加速器机房的上方，核素实验室上方为隔空设计，不具备人员进入条件。 |              |         |             |      |     |
| <b>7.2.2 地表水、大气、声环境保护目标</b>   |              |         |             |      |     |
| <p>本项目废水纳管，不涉及饮用水水源保护区，无地表水环境保护目标。项目周围 50m 范围建筑物为建设单位租赁的厂房和园区内道路，无声环境保护目标；主要环境空气环境保护目标见表 7-2。</p>   |              |         |             |      |     |
| <b>表 7-2 主要环境空气环境保护目标</b>   |              |         |             |      |     |
| 保护目标名称  | 相对位置         | 最近距离（m） | 规模          | 保护级别 |     |
| 首荡村   | 西北           | 297     | 16 户，约 50 人 | 大气二级 |     |
| <b>7.2.3 地下水、生态环境保护目标</b>   |              |         |             |      |     |
| <p>本项目边界外 500m 范围内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。项目利用现有租赁厂房开展建设，不新增建设用地，因此无需另行调查</p>  |              |         |             |      |     |

生态环境保护目标。

## 7.3 评价标准

### 7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定，工作人员的\*\*职业照射\*\*和\*\*公众照射\*\*的剂量限值如下：

#### （1）职业照射

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证除本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

#### B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的\*\*职业照射\*\*水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 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

#### B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关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：

a) 年有效剂量，1mSv；

### 7.3.2 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）中 11.4.3.2 条款：“剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内”，遵循辐射防护最优化的原则，结合项目实际情况，本次评价取\*\*职业照射\*\*剂量限值的 25%、\*\*公众照射\*\*剂量限值的 10%分别作为本项目剂量约束值管理目标，具体见表 7-3。

表 7-3 本项目剂量约束值

| 适用范围     | 剂量约束值    |
|----------|----------|
| 职业照射有效剂量 | 5.0mSv/a |
| 公众照射有效剂量 | 0.1mSv/a |

### 7.3.3 场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）相关规定，本项

目辐射工作场所的分区应满足以下要求：

#### 6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

##### 6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

##### 6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中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。

### 7.3.4 电子加速器工作场所评价标准

#### 7.3.4.1 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）

##### 4.1.2 辐射工作场所的分区

按照GB 18871的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：

控制区，如主机室和辐照室及各自出入口以内的区域；

监督区，如设备操作室，未被划入控制区的电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

##### 4.2.1 辐射防护原则

###### (3) 个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足GB 18871的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

- a) 辐射工作人员个人年有效剂量为5mSv；
- b) 公众成员个人年有效剂量为0.1mSv。

##### 4.2.2 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置的屏蔽设计必须以加速器的最高能量和最大束流强度为依据。

电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5 $\mu$ Sv/h。如屏蔽体外为社会公众区域，屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

本标准适用的能量不高于10MeV的电子束和能量不高于5MeV的X射线，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。

## 6 电子加速器辐照装置的安全设计

### 6.1 联锁要求

在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能安全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

### 6.2 安全设施

(1) 钥匙控制。加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器应自动停机。该钥匙必须与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。如在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

(2) 门机联锁。辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室或主机室门打开时，加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器应自动停机。

(3) 束下装置联锁。电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常状态或停止运行时，加速器应自动停机。

(4) 信号警示装置。在控制区出入口处及内部应设置灯光和音响警示信号，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示。主机室和辐照室出入口设置工作状态指示装置，并与电子加速器辐照装置联锁。

(5) 巡检按钮。主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。

(6) 防人误入装置。在主机室和辐照室的人员出入口通道内设置三道防人误入的安全联锁装置（一般可采用光电装置），并与加速器的开、停机联锁。

(7) 急停装置。在控制台上和主机室、辐照室内设置紧急停机装置（一般为拉线开关或按钮），使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应采用拉线开关并覆盖全部区域。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区。

(8) 剂量联锁。在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和

主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室门无法打开。

(9) 通风联锁。主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。

(10) 烟雾报警。辐照室应设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。

### 6.3.3 通风系统

(1) 主机室和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足GBZ 2.1的规定。有害气体的排放应满足GB 3095的规定。

(2) 臭氧的产生和排放，其计算模式和参数见附录B。

(3) 辐照室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置，例如扫描窗下方的位置。

(4) 排风口的高度应根据GB 3095的规定、有害气体排出量和辐照装置附近环境与气象资料计算确定。

### 7.3.4.2 《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）

本规定适用于不低于1 MeV的粒子加速器的辐射安全与防护。

4.2 职业照射和公众照射的年剂量限值应符合GB 18871中剂量限值的相关规定。

4.3 应结合粒子加速器特点和应用场景合理确定剂量约束值，一般情况下，职业照射剂量约束值不超过5 mSv/a，公众照射剂量约束值不超过0.1 mSv/a。

5.6.1 可能产生感生放射性气体或臭氧等有害气体的粒子加速器工作场所应设置通风系统，通风系统的设计应确保气流方向由低污染区流向高污染区，并根据放射性气体或臭氧等有害气体的产生量和工作需要确定换气次数。

5.6.2 应合理布置粒子加速器工作场所内进风口和排风口的位置，室外进风口应避免受到排风的污染。

排风口的位置和高度应结合放射性气体或有害气体排放量、周围建筑的高度、当地气象条件等综合考虑后确定，避免设置在门、窗和人流较大的过道等位置。

5.7.1 对于可能产生活化冷却水的粒子加速器，应考虑循环冷却水系统中位于屏蔽体外的冷却水管、热交换器等对人员的照射，对冷却水管和其他部件进行合理布局或附加屏蔽体，必要时应将其所在区域作为控制区管理。

5.7.2 可能产生活化冷却水的粒子加速器冷却水系统设计时，应考虑活化冷却水收

集、暂存和排放措施。

#### 7.3.4.3 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）

本标准适用于γ射线和能量小于或等于10MeV的电子加速器辐照装置。

##### 5.1.4 II、IV类γ射线辐照装置和II类电子束辐照装置辐照室外的辐射水平检测

5.1.4.1 空气比释动能率的测量位置如下：距辐照室各屏蔽墙和出入口外30cm处。

5.1.4.2 运行中的定期测量应选定固定的检测点，它们必须包括：贮源水井表面、辐照室各入口、出口，穿过辐照室的通风、管线外口，各屏蔽墙和屏蔽顶外，操作室及与辐照室直接相邻的各房间等。

#### 7.3.4.4 工作场所臭氧和氮氧化物的控制水平

根据《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）表1中规定工作场所空气中O<sub>3</sub>容许浓度为0.3mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub>容许浓度为5mg/m<sup>3</sup>，确定本次评价项目加速器停机后，工作人员进入辐照室时，辐照室内的O<sub>3</sub>浓度应不大于0.3mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub>浓度应不大于5mg/m<sup>3</sup>。

#### 7.3.4.5 电子加速器项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）与《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）等评价标准，结合本电子加速器项目实际情况，明确以下管理目标，确保项目辐射安全与防护符合各项规范要求：

①周围环境辐射剂量率控制水平：电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5μSv/h。加速器机房上部设置建筑夹层，无人进入，二层为预留区域，测试机房、功率靶室与主机室上方二层地面均按照2.5μSv/h执行辐射剂量率控制要求，辐照机房上方夹层为控制室，则辐照机房顶棚30cm按2.5μSv/h执行辐射剂量率控制要求。

②个人剂量约束值：辐射工作人员个人年有效剂量不超过5mSv/a；公众成员个人年有效剂量不超过0.1mSv。

③有害气体控制目标：加速器停机后，工作人员进入辐照室时，室内臭氧（O<sub>3</sub>）浓度不大于0.3mg/m<sup>3</sup>，氮氧化物（NO<sub>x</sub>）浓度不大于5mg/m<sup>3</sup>。

### 7.3.5 非密封放射性物质工作场所（核素实验室工作场所）评价标准

#### (1) 非密封源工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB 18871-2002）附录 C 中的相关规定，非密封放射性物质工作场所的分级见表 7-4。

表 7-4 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 $\sim 2 \times 10^7$       |

#### (2) 辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20号)中相关规定，本项目辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见表 7-5。

表 7-5 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

| 场所      | 位置  | 剂量率控制水平( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|---------|---|-----------------------------|
| 辐射学工作场所 | 控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处(人员居留因子 $>1/2$ )      | $<2.5$                      |
|         | 控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子 $<1/2$ )            | $<10$                       |
|         | 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处<br>人员操作位     | $<2.5$                      |
|         | 放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面 30cm 处                   | $<25$                       |
|         | 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外表面 30cm 处 | $<2.5$                      |

#### (3) 表面污染控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB 18871-2002）表 B11，对于辐射工作场所的放射性表面污染控制水平详见表 7-6。

表 7-6 辐射工作场所的放射性表面污染控制水平 单位： $\text{Bq/cm}^2$

| 表面类型             |                   | $\alpha$ 放射性物质     |                    | $\beta$ 放射性物质      |
|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                  |                   | 极毒性                | 其他                 |                    |
| 工作台、设备、墙壁、<br>地面 | 控制区 <sup>1)</sup> | 4                  | $4 \times 10$      | $4 \times 10$      |
|                  | 监督区               | $4 \times 10^{-1}$ | 4                  | 4                  |
| 工作服、手套、工作<br>鞋   | 控制区 <sup>1)</sup> | $4 \times 10^{-1}$ | $4 \times 10^{-1}$ | 4                  |
|                  | 监督区               | $4 \times 10^{-1}$ | $4 \times 10^{-1}$ | 4                  |
| 手、皮肤、内衣、工作袜      |                   | $4 \times 10^{-2}$ | $4 \times 10^{-2}$ | $4 \times 10^{-1}$ |

<sup>1)</sup>该区内的高污染子区除外。

#### (4) 放射性物品安全运输要求

根据《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019），本项目放射性物品安全运输要求应满足以下要求：

### 5.3 辐射水平限值

5.3.1 货包或集合包装的外表面任一点的最高辐射水平应不超过 2mSv/h。

### 5.4 表面污染水平限值

应使任何货包外表面的非固定污染保持在实际可行的尽量低的水平，在常规运输条件下，这种污染不得超过下述限值：

a) 对β或γ发射体以及低毒性α发射体为 4Bq/cm<sup>2</sup>；

b) 对所有其他α发射体为 0.4Bq/cm<sup>2</sup>。

### 5.5 运输指数和临界安全指数限值

任何货包或集合包装的运输系数应不超过 10，任何货包或集合包装的临界安全指数应不超过 50，按独家使用方式运输的拖运货物除外。

### 7.1 货包分类

根据放射性内容物的特性、活度水平、比活度和运输方式对货包进行分类。具体分为：例外货包、工业货包、A 型货包、B（U）型货包、B（M）型货包、C 型货包。此外还有易裂变材料货包和六氟化铀货包。

7.1.1.2 例外货包外表面任一点的辐射水平不得超过 5μSv/h。

8.4.2.3 应按下述要求控制货物集装箱的装载及货包、集合包装和货物集装箱的存放：

b) 在常规运输条件下，运输工具外表面上任一点的辐射水平应不超过 2mSv/h，在距运输工具外表面 2m 处的辐射水平应不超过 0.1mSv/h。

8.5.1 货包、集合包装和货物集装箱应按照表 7-7 中规定的条件并按下述要求划分为 I 级（白）、II 级（黄）或 III 级（黄）。

表 7-7 货包、集合包和货物集装箱的分级

| 运输指数 (TI)           | 外表面上任一点的最高辐射水平 H (mSv/h) | 分级                    |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| 0 <sup>a</sup>      | H≤0.005                  | I 级（白）                |
| 0<TI≤1 <sup>a</sup> | 0.005<H≤0.5              | II 级（黄）               |
| 1<TI≤10             | 0.5<H≤2                  | III 级（黄）              |
| 10≤TI               | 2<H≤10                   | III 级（黄） <sup>b</sup> |

注：a 若测得的 TI 值不大于 0.05，此数值可取为零。

b 除集合包装外，需按独家使用方式运输。

### (5) 放射性废液清洁解控要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20号)中相关规定,结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况放射性废水排放满足以下要求:

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放;

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期(含碘-131 核素的暂存超过 180 天),监测结果经审管部门认可后,按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 $\alpha$ 不大于 1Bq/L、总 $\beta$ 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

### (6) 放射性固废清洁解控要求

参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中相关规定,固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求:

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的,经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, $\alpha$ 表面污染小于 0.08Bq/cm<sup>2</sup>、 $\beta$ 表面污染小于 0.8Bq/cm<sup>2</sup>的,可对废物清洁解控并作为医疗废物处理:

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天;

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍;

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备,并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h,表面污染水平对 $\beta$ 和 $\gamma$ 发射体以及低毒性 $\alpha$ 发射体应小于 4Bq/cm<sup>2</sup>、其他 $\alpha$ 发射体应小于 0.4Bq/cm<sup>2</sup>。

### (7) 辐射工作场所通风要求

参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中相关规定,核医学工作场所通风要求如下:

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风,工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计,保持工作场所的负压和各区之间的压差,以防止放射性

气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7.4.1 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。

7.4.2 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。

参考《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）：

### 三、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。

## （8）核素实验室工作场所项目管理目标

综合《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）等相关标准规范，结合本项目核素实验室工作场所建设及运行实际，确定本项目辐射防护及安全管理目标如下：

①周围环境辐射剂量率控制水平：核素实验室工作场所外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu$ Sv/h。

②个人剂量约束值：辐射工作人员职业年有效剂量约束值 $\leq$ 5mSv/a；公众成员年有效剂量约束值 $\leq$ 0.1mSv/a。

### ③放射性废物管理与排放控制目标

放射性废液排放：不含  $^{226}\text{Ra}$  的废液暂存 100d 后，经监测达标并经审管部门认可后

排放，排放口总 $\alpha\leq 1$  Bq/L、总 $\beta\leq 10$  Bq/L； $^{226}\text{Ra}$  废液单独收集于专用铅屏蔽容器，与其他短半衰期废液分容器暂存，最终按长寿命高毒性放射性废物交由具备相应资质的单位进行处置。

放射性固废：不含 $^{226}\text{Ra}$  的固体废物转移至放射性废物库贮存衰变至少 100 天后，经监测符合清洁解控要求并由生态环境主管部门批准后，按危险废物交有资质的单位处置；含 $^{226}\text{Ra}$  的固体废物单独贮存，最终按长寿命高毒性放射性废物交由具备相应资质的单位进行处置。

#### ④放射性物品运输控制目标

放射性物品运输严格遵循 GB 11806-2019 要求，货包外表面辐射水平、表面污染水平、运输指数及临界安全指数均符合规范限值；运输工具外表面及距外表面 2m 处辐射水平达标，货包分级、标识及装载存放规范。

#### ⑤通风与气流组织控制目标

工作场所气流流向遵循“清洁区→监督区→控制区”，保持各区合理负压差；放射性操作设备（通风橱、手套箱等）设置独立排风系统，配备有效过滤装置，排气口高于建筑物屋顶；定期检查更换过滤器，确保室内臭氧等有害气体不逸出、无交叉污染，通风系统运行符合规范。

### 7.3.6 非放射性污染物排放标准

#### (1) 废水排放

本项目非放射性废水经预处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准及《工业企业废水氮、磷污染物间接排放标准》（DB33/887—2025）限值后纳入市政污水管网，最终由海盐县城乡污水处理厂处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准，主要污染物满足《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）表 1 排放限值要求后排入杭州湾，具体标准限值见表 7-8 和表 7-9。

表 7-8 污水综合排放标准 单位：mg/L，pH 除外

| 污染物名称                      | 三级标准            |
|----------------------------|-----------------|
| pH 值                       | 6~9             |
| 化学需氧量（COD <sub>Cr</sub> ）  | 500             |
| 五日生化需氧量（BOD <sub>5</sub> ） | 300             |
| 悬浮物（SS）                    | 400             |
| 氨氮（以 N 计）                  | 35 <sup>①</sup> |

①执行《工业企业废水氮、磷污染物间接排放标准》（DB33/887—2025）

表 7-9 城镇污水处理厂污染物排放标准 单位：除 pH 值外，mg/L

| 污染物名称                       | 一级 A 标准 | 执行标准           |
|-----------------------------|---------|----------------|
| pH 值                        | 6~9     | GB18918-2002   |
| 悬浮物(SS)                     | 10      |                |
| 五日生化需氧量 (BOD <sub>5</sub> ) | 10      |                |
| 化学需氧量 (COD <sub>Cr</sub> )  | 40      | DB33/2169-2018 |
| 氨氮                          | 2(4)*   |                |

\*注：(\*)内数值为每年 11 月 1 日至次年 3 月 31 日执行。

## (2) 废气排放

项目废气主要为实验室无机酸性废气（硝酸雾、盐酸雾等），及有机废气（以非甲烷总烃计）。实验室废气经通风橱收集后，统一引入屋顶废气处理系统处理：无机酸性废气经碱液喷淋塔中和去除，有机废气经活性炭吸附装置净化，处理后废气经 50m 高排气筒高空排放。

氯化氢和有机废气（以非甲烷总烃计）的有组织排放标准参考执行《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）表 1 和表 2 中规定的排放限值，氮氧化物有组织排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 中规定的排放限值，详见表 7-10。

表 7-10 废气污染物排放标准限值(有组织)

| 污染物项目 | 标准值                  | 污染物排放监控位置  | 排放标准来源                                |
|-------|----------------------|------------|---------------------------------------|
| 非甲烷总烃 | 60mg/m <sup>3</sup>  | 车间或生产设施排气筒 | 《制药工业大气污染物排放标准》<br>(DB33/310005-2021) |
| 氯化氢   | 10mg/m <sup>3</sup>  |            |                                       |
| 氮氧化物  | 240mg/m <sup>3</sup> | 排气筒        | 《大气污染物综合排放标准》<br>(GB16297-1996)       |

氯化氢无组织排放执行《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）中规定的排放限值，氮氧化物无组织排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中表 2 的无组织排放监控浓度限值，详见表 7-11。

表 7-11 废气污染物排放标准限值(无组织)

| 污染物项目 | 无组织排放监控限值             | 监控点      | 排放标准来源                                |
|-------|-----------------------|----------|---------------------------------------|
| 氯化氢   | 0.2mg/m <sup>3</sup>  | 周界外浓度最高点 | 《制药工业大气污染物排放标准》<br>(DB33/310005-2021) |
| 氮氧化物  | 0.12mg/m <sup>3</sup> |          | 《大气污染物综合排放标准》<br>(GB16297-1996)       |

企业厂区内非甲烷总烃（实验室有机废气）无组织排放监控点浓度执行《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）表 6 规定的排放限值，详见表 7-12。

**表 7-12 厂区内非甲烷总烃无组织排放限值 (mg/m<sup>3</sup>)**

| 污染物项目 | 监控点限值 | 限值含义          | 无组织排放监测位置 |
|-------|-------|---------------|-----------|
| NMHC  | 6     | 监控点处 1h 平均浓度值 | 在厂房外设置监控点 |
|       | 20    | 监控点处任意一次浓度值   |           |

**(3) 噪声**

①施工期

本项目施工期噪声执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025），具体指标详见表7-13。

**表7-13 建筑施工场界环境噪声排放限值**

| 昼间      | 夜间      |
|---------|---------|
| 70dB(A) | 55dB(A) |

②运营期

本项目位于海盐县秦山街道同创产业园内，根据《海盐县声环境功能区划分方案》，项目所在区域属于3类声环境功能区（附图6），因此运营期厂界噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中3类标准，具体指标参见表7-14。

**表7-14 厂界环境噪声排放限值**

| 标准名称                                | 标准类别 | 标准限值    |         |
|-------------------------------------|------|---------|---------|
|                                     |      | 昼间      | 夜间      |
| 《工业企业厂界环境噪声排放标准》<br>(GB 12348-2008) | 3 类  | 65dB(A) | 55dB(A) |

**(4) 固废**

本项目一般固体废物贮存、处置参照执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）要求进行处理处置。危险废物的贮存执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）有关规定。

## 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 项目地理位置

本项目地址为嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢南侧，四周情况如下：东侧为浙江景融核科技有限公司；南侧紧邻海盐加美五金科技有限公司，再往南为金湾路；西侧紧邻金禄路，隔路为嘉兴星辰汽车零部件有限公司、嘉兴凯鑫五金科技股份有限公司、海盐县庆丰化工有限公司等企业工业；北侧为施工场地。

#### 8.1.2 本项目设备周边环境概况

##### (1) 电子加速器

本项目地址为嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢南侧，加速器工作场所四周情况如下：东侧为紧邻电梯间，再往东为园区内通道；南侧为园区内道路，再往南隔墙紧邻海盐加美五金科技有限公司；西侧紧邻核素实验室工作场所，再往西为园区内道路；北侧为内天井、厕所、办公区域，再往北为园区内道路。

##### (2) 核素实验室

本项目地址为嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢南侧，核素实验室工作场所四周情况如下：东侧紧邻加速器工作场所，再往东为电梯间；南侧为园区内道路，再往南隔墙紧邻海盐加美五金科技有限公司；西侧为园区内道路，再往西为金禄路；北侧为厂房内闲置区域，再往北为园区内道路。

### 8.2 辐射环境质量现状评价

#### 8.2.1 监测目的

通过现场检测的方式掌握项目区域环境质量和辐射水平现状，为分析及预测本项目运行时对职业人员、公众成员及周围环境的影响提供基础数据。

本项目环评现状监测仅布设 $\gamma$ 空气吸收剂量率监测因子； $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染、土壤放射性核素、地下水放射性等因子未开展现场实测，原因：项目依托已建成现有厂房改造，场地全硬化，无既往放射性活动，无土壤地下水污染隐患，因此不开展土壤、地下水放射性现状监测；项目现状为空置厂房，未进场设备、未购入任何放射性核素，无放射性物料存放、无历史放射性作业痕迹，场地无表面污染本底来源，无实测 $\alpha/\beta$ 表面污染必要。

#### 8.2.2 环境现状评价对象

本项目辐射工作场所及周边环境。

### 8.2.3 监测因子

根据项目污染因子特征，环境监测因子为 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率。

### 8.2.4 监测点位

根据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）等要求，结合现场条件，对本项目各辐射工作场所及周围环境进行监测布点。本项目共布设 16 个监测点位，布点情况见附图 10，监测报告及监测资质见附件 7。

### 8.2.5 监测方案

- (1) 监测单位：浙江亿达检测技术有限公司（资质证书编号：211112051235）；
- (2) 监测时间：2026年2月27日；
- (3) 监测方式：现场检测；
- (4) 监测依据：《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）等；
- (5) 监测方法：即时测量，每个监测点在仪器读数稳定后 10 秒间隔读取 10 个数；
- (6) 监测工况：辐射环境本底；
- (7) 天气环境条件：天气：多云；室内温度：10°C；室外温度：10°C；相对湿度：94%；
- (8) 监测仪器：该仪器在检定有效期内，相关设备参数见表 8-1。

表 8-1 监测设备参数

|            |   |
|------------|---|
| 仪器名称       | X、 $\gamma$ 辐射周围剂量当量率仪                                  |
| 仪器型号       | 6150 AD 6/H<br>(主机：6150 AD-6/H，外置探头：6150 AD-b/H)        |
| 仪器编号       | 165455+167510   |
| 生产厂家       | Automess  |
| 量程         | 外置探头：10nSv/h~99.99 $\mu$ Sv/h；主机：0.1 $\mu$ Sv/h~10mSv/h |
| 能量范围       | 外置探头：20keV-7MeV；主机：60keV-1.3MeV                         |
| 检定证书编号     | 2025H21-20-5773017001                                   |
| 检定有效期      | 2025年2月28日~2026年2月27日                                   |
| 检定单位       | 上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心                                  |
| 校准因子 $C_f$ | 1.06  |
| 探测限        | 10nSv/h   |

### 8.2.6 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，检测人员经考核并持合格证书上岗。
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

(5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

(6) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术负责人审定。

### 8.2.7 监测结果及评价

监测结果见表 8-2。

表 8-2 本项目辐射场所拟建址周围辐射环境监测结果

| 点位编号 | 点位描述            | γ辐射空气吸收剂量率(nGy/h) |     | 位置 |
|------|-----------------|-------------------|-----|----|
|      |                 | 平均值               | 标准差 |    |
| 1#   | 加速器机房拟建址        | 163               | 3   | 室内 |
| 2#   | 核素实验室拟建址        | 170               | 4   | 室内 |
| 3#   | 本项目拟建址东侧（园区内通道） | 135               | 3   | 室内 |
| 4#   | 东南侧电梯间          | 159               | 1   | 室内 |
| 5#   | 本项目拟建址南侧（园区内道路） | 100               | 2   | 室外 |
| 6#   | 西南侧电梯间          | 163               | 2   | 室内 |
| 7#   | 本项目拟建址西侧（园区内道路） | 104               | 4   | 室外 |
| 8#   | 内天井             | 166               | 2   | 室内 |
| 9#   | 内天井北侧厕所         | 151               | 3   | 室内 |
| 10#  | 办公区             | 159               | 4   | 室内 |
| 11#  | 衰变池拟建址          | 102               | 3   | 室外 |
| 12#  | 海盐加美五金科技有限公司    | 104               | 3   | 室外 |
| 13#  | 本项目拟建址西侧（金祿路）   | 97                | 1   | 室外 |
| 14#  | 本项目拟建址北侧（园区内道路） | 98                | 2   | 室外 |
| 15#  | 加速器机房上方拟建址      | 175               | 1   | 室内 |
| 16#  | 核素实验区二楼上方       | 175               | 1   | 室内 |

注：1、根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中第5.4条款，本次测量时，测量时仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为1m，仪器读数稳定后，以10s为间隔读取10个数据；

2、根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中第5.5条款，本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照JJG393，使用<sup>137</sup>Cs作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取1.20Sv/Gy；

3、γ辐射空气吸收剂量率均已扣除测点处宇宙射线响应值25.5nGy/h，本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，5#、7#、11#~14#点位取1；其余点位取0.8。

由表 8-2 监测结果可知，本项目拟建场所各监测点位室内γ辐射空气吸收剂量率在 135nGy/h~175nGy/h 之间，室外γ辐射空气吸收剂量率在 97nGy/h~104nGy/h 之间。根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知：浙江省嘉兴市室内的γ辐射空气吸收剂量率在 76nGy/h~271nGy/h 之间，嘉兴市道路的γ辐射空气吸收剂量率在 28nGy/h~117nGy/h 之间，可见项目所在地的γ辐射本底水平在正常波动范围内。

综上所述，本项目拟建场址及周围γ辐射空气吸收剂量率处于当地一般本底水平，未见异常。

### 8.3 环境空气质量现状

#### (1) 空气质量达标区判定

根据嘉兴市生态环境局海盐分局发布的《2024 年海盐县环境状况白皮书》，海盐县 2024 年海盐县全年二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、一氧化碳（CO）两项指标日达标率为 100%，

二氧化氮（NO<sub>2</sub>）指标日达标率为 99.5%，符合《环境空气质量标准》（GB 3095-2026）一级浓度限值要求；细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）日达标率为 95.0%、可吸入颗粒物（PM<sub>10</sub>）日达标率为 98.3%、臭氧（O<sub>3</sub>）日达标率为 94.8%，符合二级浓度限值要求。因此，海盐县 2024 年环境空气质量属于达标区。

## （2）基本污染物环境质量现状

为了解评价区域内基本污染物环境质量现状，本环评收集了海盐县环境空气常规监测站 2024 年基本污染物的全年监测数据。具体见表 8-3。

**表 8-3 海盐县基本污染物环境质量现状**

| 污染物               | 年评价指标             | 过渡阶段二级浓度限值(μg/m <sup>3</sup> ) | 现状浓度/(μg/m <sup>3</sup> ) | 占标率/% | 超标倍数 | 达标情况 |
|-------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------------|-------|------|------|
| SO <sub>2</sub>   | 年平均质量浓度           | 60                             | 6                         | 10    | 0    | 达标   |
|                   | 百分位(98%)日平均质量浓度   | 150                            | 8                         | 5.3   | 0    |      |
| NO <sub>2</sub>   | 年平均质量浓度           | 40                             | 25                        | 62.5  | 0    | 达标   |
|                   | 百分位(98%)日平均质量浓度   | 80                             | 63                        | 78.8  | 0    |      |
| PM <sub>10</sub>  | 年平均质量浓度           | 60                             | 46                        | 65.7  | 0    | 达标   |
|                   | 百分位(95%)日平均质量浓度   | 120                            | 115                       | 76.7  | 0    |      |
| PM <sub>2.5</sub> | 年平均质量浓度           | 30                             | 28                        | 80    | 0    | 年均达标 |
|                   | 百分位(95%)日平均质量浓度   | 60                             | 73                        | 121.7 | 0.22 |      |
| CO                | 百分位(95%)日平均质量浓度   | 4000                           | 1000                      | 25    | 0    | 达标   |
| O <sub>3</sub>    | 百分位(90%)8h 平均质量浓度 | 160                            | 148                       | 92.5  | 0    | 达标   |

由表 8-3 可知，海盐县区域 2024 年 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO、O<sub>3</sub> 的年评价指标均可以达到环境空气质量二类功能区要求，因此，本项目所在区域环境空气质量较好。

## 8.4 地表水环境质量现状

本项目附近地表水体为白洋河（海盐段）。根据《浙江省人民政府关于浙江省水功能区水环境功能区划分方案（2015）的批复》（浙政函（2015）71 号），该河段起始断面为长秦桥，终止断面为柴子头桥上 250 米，水环境质量执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV 类标准。根据《2024 年海盐县环境状况白皮书》，2024 年，12 个监测断面水质全部达标且符合水环境功能区要求。其中，II 类水质 2 个，占 16.7%；III 类水质 10 个，占 83.3%。项目所在区域白洋河（海盐段）盐平塘断面水质达到水环境

功能区要求，即《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV类标准。

### **8.5 声环境质量现状**

项目厂区周边50m范围均为已建成工业厂房、园区道路，无居民住宅、学校、医院等噪声敏感建筑物；周边企业以五金、机械加工类工厂为主，现状噪声来源主要为园区车辆通行、厂区设备运转。区域执行3类声环境标准，依托海盐年度环境公报区域噪声数据佐证区域声环境质量达标，本项目无需单独布设噪声现状监测。

本项目边界外周边50米范围内无声环境保护目标，因此不进行声环境质量现状的评价。

### **8.6 生态环境现状**

本项目位于嘉兴耀核速康科技有限公司租赁的厂房内，未新增用地，且场地内部全部水泥硬化，无原生植被、耕地、水域分布；项目占地范围及周边无自然保护区、风景名胜、基本农田、林地、湿地等生态敏感区，周边均为工业建设用地，区域以人工建成园区生态为主，无珍稀动植物分布。项目不新征土地、无土建开挖，无生态扰动环节，故不开展生态现状监测。

### **8.7 电磁辐射环境现状**

本项目不涉及。

### **8.8 地下水、土壤环境现状**

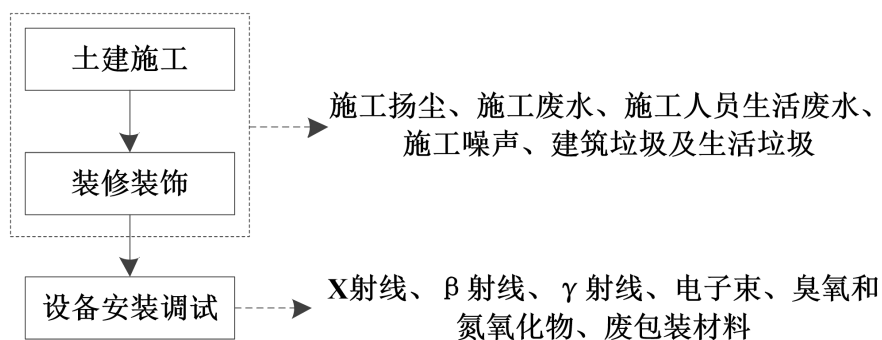
项目整体在现有已建厂房内部实施，地面全混凝土防渗硬化，无露天原料堆放、无地下管线埋设开挖施工；地块为工业用地，所在产业园建成投产多年，周边均为工业企业，场地无地下水出露、无浅层裸露土壤。本项目放射性废液全部密闭收集入衰变池/专用贮罐，无渗滤污染土壤地下水途径，因此无需土壤、地下水采样监测。

**表 9 项目工程分析与源项**

**9.1 建设阶段工程分析**

**9.1.1 建设阶段工艺流程及产污环节**

本项目建设阶段主要为拟建辐射工作场所的土建施工以及设备安装调试阶段，具体工艺流程及产污环节如下：



**图 9.1-1 建设阶段工艺流程及产污环节示意图**

**9.1.2 建设阶段污染源项**

本项目建设阶段污染源项为主要污染因子为施工扬尘、施工废水、施工人员生活污水、施工噪声、建筑垃圾及生活垃圾。设备安装调试阶段主要污染因子为 X 射线、β射线、γ射线、电子束、感生放射性、臭氧和氮氧化物及包装废弃物。本项目施工作业范围有限，施工期较短，因此其对周围环境的影响是短暂的。随着施工期的结束，其环境影响也将不复存在。

**9.2 营运期工程分析**

**9.2.1 电子加速器**

**1、设备参数**

根据建设单位提供的资料，本项目电子加速器机房主要性能参数详见表9.2-1。

**表9.2-1 电子加速器主要性能参数**

| 项目      | 参数          |
|---------|-------------|
| 名称型号    | /           |
| 加速粒子    | 电子          |
| 电子束最大能量 | 10MeV/40MeV |
| 最大束流功率  | 30kW/120kW  |
| 额定束流强度  | 3mA         |

|                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| 电子束扫描最大宽度      | 960mm/50mm                  |
| 主射束方向          | 定向，功率靶机房向北侧、测试机房向西侧、辐照机房向东侧 |
| 扫描盒钛窗到束下传输线的距离 | 80cm                        |
| 束下传输线与地面的距离    | 60cm                        |

## 2、设备组成

本项目电子加速器的外观图见图 9.2-1，加速器主要由束流系统、电子枪系统、真空系统、聚焦与导向系统、控制系统等组成。加速器在进行工作时由电子枪发射电子，电子经过加速管进入扫描盒，在扫描磁场作用下形成扇形束，透过钛膜打到物品上，完成相关工作。

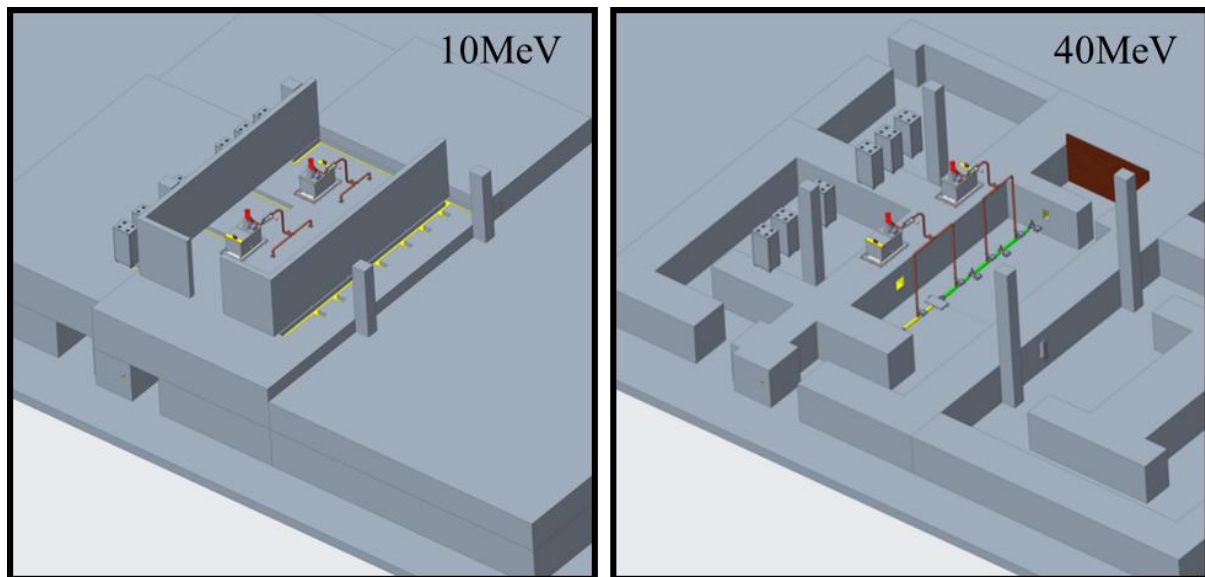


图 9.2-1 电子加速器设备外观图

### (1) 束流系统概述

束流系统为 40MeV、120kW 的束流功率，共需 4 根 S 波段驻波加速管：第 1 根长 1.9 米，兼具聚束（变相速段）与加速（光速段）功能，输入端直接连接电子枪，总能量增益不低于 10MeV；第一段出束口设置有偏转线圈，可通过控制偏转线圈引出 10MeV 能量电子束用于辐照或电子束能量标定等其他研究适用；第 2-4 根各长 1.7 米，能量增益均不低于 10MeV。功率源采用峰值功率 5MW 的速调管及配套固态调制器。

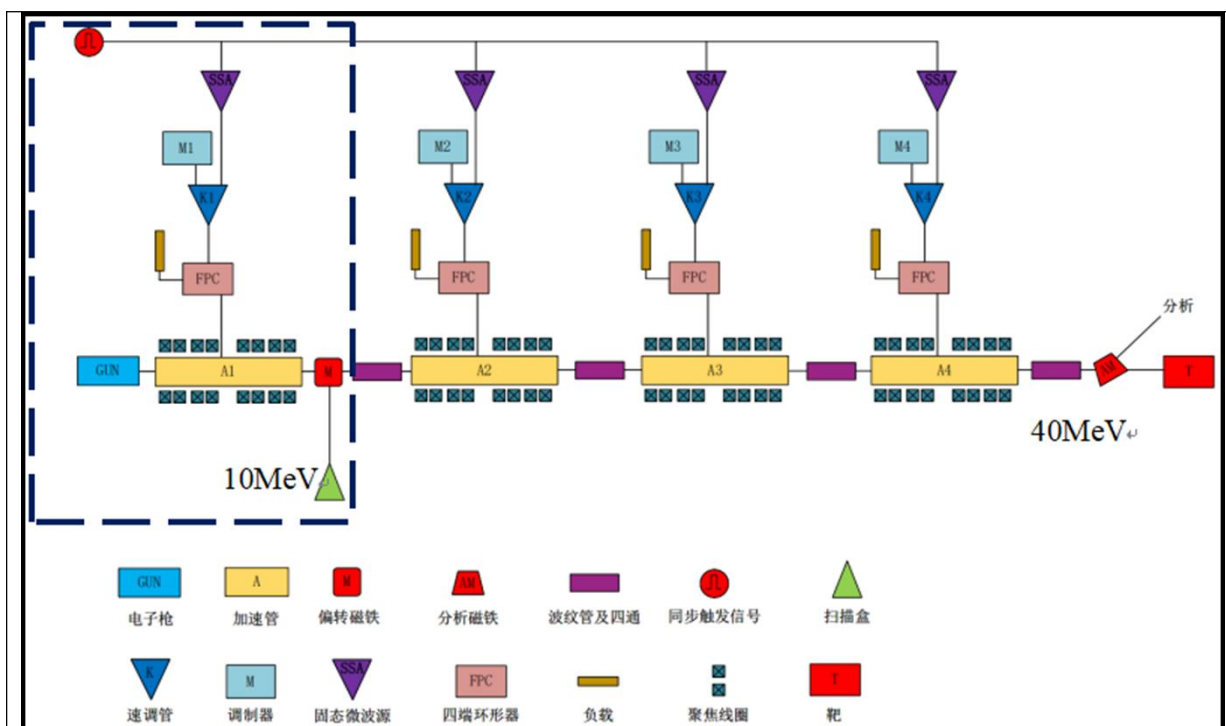


图 9.2-2 束流系统布局图

## (2) 电子枪系统

电子枪是加速器的电子源，负责产生定向且聚焦的电子束。40MeV 加速器通常采用二极管枪，阴极材料多为钨钨钨钨式阴极，具备约 1100℃ 的较低工作温度与较高的发射效率。

电子枪的主要组成部分包括：阴极（电子发射体）、聚焦极（形成电子光学系统）、阳极（加速电子）和栅极（控制电子发射）。灯丝电压通常在 6-8V 之间，每个电子枪均有最佳工作电压以延长使用寿命。

## (3) 真空系统

加速器需在高真空条件下工作，主要原因有三：一是减少电子与气体分子的碰撞损失；二是避免高功率微波打火；三是保护电子枪阴极，防止其中毒。

真空系统通常采用溅射离子泵作为主泵，配合分子泵机组进行预抽。电子枪区真空度要求最高（优于  $10^{-7}$  托），加速管区和束下区真空度要求优于  $10^{-5}$  托。真空系统设有连锁保护，真空度不足时自动切断高压，保护设备安全。

## (4) 聚焦与导向系统

聚焦系统用于约束电子束，避免其横向扩散。40MeV 加速器通过螺线管线圈产生轴向磁场，电子在磁场中做螺旋运动，进而被约束于加速管轴线附近。聚焦磁场强度通常在 1000 高斯左右。

导向系统用于校正电子束轨迹，确保其准确通过加速管并到达靶心。导向线圈产生横向磁场，使电子束在水平或垂直方向偏转；扫描系统则使电子束在靶面上均匀分布，提高辐照均匀性。

### **(5) 控制系统**

控制系统是加速器的“大脑”，承担着协调各子系统工作、实现加速器启动、运行、监控与保护的核心任务。现代 40MeV 加速器采用可编程逻辑控制器（PLC）与触摸屏人机界面，具备自动化程度高、操作简便的优势。

控制系统主要功能包括：时序控制（协调各系统工作时序）、参数监测（实时显示各系统运行参数）、故障诊断（自动检测并显示故障信息）、安全联锁（确保人员与设备安全）。

### **3、工作原理**

本项目电子加速器核心采用高频电场（微波）加速技术，分为 40MeV 和 10MeV 两个能量档位，两者工作原理基于同一核心逻辑，仅在加速程度、应用场景及靶体选择上存在差异，具体详细原理如下：

40MeV 电子加速器以 S 波段（2856MHz）高频电磁场为加速核心，其工作过程可分为电子发射、高频加速、束流约束、靶体作用四个关键阶段。首先，由电子枪阴极在高温下发射初速度较低电子，电子经电子枪聚焦极、阳极的作用，形成定向、密集的初始电子束，随后进入第 1 根驻波加速管。加速管内部被设计为特定的驻波结构，可将外部输入的高频微波能量（由峰值功率 5MW 的速调管及配套固态调制器提供）转化为沿加速管轴线方向分布的周期性高频电场，该电场的方向与电子运动方向保持同步，能够持续对电子施加向前的电场力。

电子在高频电场的持续作用下，不断吸收电场能量，速度和能量逐步提升，依次经过 4 根 S 波段驻波加速管逐级加速，最终使电子能量达到 40MeV、束流功率达到 120kW（额定电流 3mA）。此能量级别的电子束主要用于功率打靶作业，采用钨靶轰击方式，当高速运动的 40MeV 电子束轰击钨靶时，高速电子与钨靶原子核的库伦场相互作用会产生连续 X 射线（韧致辐射）；高速电子击脱钨原子内层轨道电子后，外层电子跃迁填充空位时会释放特征 X 线，从而产生高强度 X 射线。该 X 射线主要用于加速器系统性能验证，通过检测 X 射线的强度、能谱分布等参数，验证加速器束流稳定性、加速管能量增益准确性及功率靶的热工设计合理性，确保设备整体运行符合设计标准。

10MeV 电子束的加速原理与 40MeV 电子束一致，均依赖 S 波段高频电磁场的加速作用，区别在于加速行程仅为第 1 根驻波加速管（无需经过后续 3 根加速管）。电子枪发射的电子经第 1 根加速管（兼具聚束与加速功能）加速后，能量提升至 10MeV、束流功率达到 30kW（额定电流 3mA），该能量级别的电子束主要应用于辐照加工与设备性能测试两大场景，且可根据具体用途选择不同的作用方式。

当用于科研测试时，10MeV 电子束通过测试端口引出后，轰击透射水靶，电子束与水靶中的水分子发生相互作用，产生的 X 射线强度适中、能谱稳定，可通过水模及专用探测器进行精准的剂量分析，用于电子束能量标定、剂量率测试等科研相关工作，为设备性能优化及相关技术研究提供数据支撑；当用于辐照加工（货物杀菌消毒）时，10MeV 电子束无需轰击靶体，直接穿过钛膜，经扫描磁铁展宽为大截面均匀束流，从真空环境引出至大气环境后轰击待辐照货物，电子束的能量沉积于物料内部，破坏微生物（细菌、病毒等）的细胞结构和遗传物质，从而实现高效、无残留的杀菌消毒效果，且不会对货物本身的物理、化学性质造成影响。

此外，无论是 40MeV 还是 10MeV 电子束的加速过程，均需在高真空环境（电子枪区优于  $10^{-7}$ 托，加速管区优于  $10^{-5}$ 托）下进行，以减少电子与气体分子的碰撞损失，避免高频微波打火，同时保护电子枪阴极不受污染，确保电子束的加速效率和稳定性；聚焦与导向系统则通过螺线管线圈产生的轴向磁场约束电子束，防止其横向扩散，并通过导向线圈校正电子束轨迹，确保电子束精准抵达靶体或辐照区域，保障作业效果。

#### 4、加速器使用工艺流程及产污环节

本项目电子加速器设置 40MeV 功率打靶、10MeV 设备测试、10MeV 辐照加工 3 种运行工况，三者共用电子枪与第 1 段加速管，通过第 1 段加速管出束口的偏转磁铁实现束流路径切换，同一时间仅能选择一个端口出束作业，互斥运行。具体分步说明如下：

（1）开机准备：辐射工作人员完成设备开机前安全检查，确认加速器主机、输运线、辐射防护装置、安全联锁系统等状态正常；搬运工人完成待辐照货物（仅辐照工况）的装卸准备。针对功率打靶工况，重点核查靶冷却系统运行状态，验证电子束打靶散热性能是否符合设备设计指标；靶件更换在加速器停机、束流关闭、设备断电、场所辐射水平监测合格后，由持证辐射工作人员在专用操作区完成；更换过程中产生的活化靶件作为放射性固废，按本项目放射性废物管理要求分类收集、暂存，定期交由有资质单位处置。

(2) 巡检清场：对主机室、辐照室、测试机房、功率靶室等涉辐射区域进行全面巡检，本项目加速器配置“巡检按钮联锁系统”，辐射工作人员进入主机室、辐照室、测试机房、功率靶室，按预定路线依次按动分布在关键位置的巡检按钮；全部按钮按动完成后，控制室系统才会确认巡检完成；若任何区域未完成巡检、门联锁断开或辐射监测异常，加速器无法启动高压和束流；巡检完成后，所有人员撤离控制区，关闭并锁定防护门，完成清场闭锁。

(3) 设置参数：辐射工作人员在夹层控制台，根据作业需求（功率打靶/设备测试/辐照加工）设置加速器运行参数、输运线传输速度（仅辐照工况），并通过控制第1段加速管出束口的偏转磁铁切换对应束流路径，确认联锁、监控、剂量监测系统均处于正常工作状态后，方可进入下一步操作。

#### (4) 分工况出束作业流程

##### ①40MeV档位加速器功率靶室工艺流程

本工况用于加速器系统性能验证，仅在设备调试、性能验证阶段开展：完成通用前置流程后，通过偏转磁铁切换束流路径，使电子束进入后续3段加速管。电子枪发射电子束，经4段驻波加速管逐级加速，最终达到40MeV（束流功率120kW，额定电流3mA），高速电子束轰击钨靶产生X射线。通过专用检测设备对X射线相关参数进行检测，验证加速器整体运行稳定性与功率靶热工设计合理性，确保设备达到设计标准。

##### ②10MeV档位加速器测试环节工艺流程

本工况用于加速器性能标定与稳定性验证，为研发测试类作业：

完成通用前置流程后，通过偏转磁铁切换束流路径，使电子束引出至10MeV测试端口。电子枪发射电子束，仅经第1段加速管加速，能量达到10MeV，通过测试端口引出并轰击透射水靶。

按表9.2-2分6个阶段开展测试，层层递进验证设备关键性能：

**表 9.2-2 测试环节工艺流程**

| 阶段    | 测试项目      |
|-------|-----------|
| 单元测试  | 电子枪发射特性   |
|       | 速调管功率/谱   |
|       | 加速管频率一致性  |
| 分系统联调 | 微波锁相与 AFC |
|       | 真空漏率      |

|       |                 |
|-------|-----------------|
| 集成预安装 | 水冷温升试验          |
| 带束热测  | 束流能量标定          |
|       | 束斑/扫描均匀性        |
|       | 韧致辐射剂量率         |
| 可靠性验证 | 8h 连续可靠性        |
| 型式试验  | EMC 电磁兼容、安全型式试验 |

通过水模及专用探测器进行剂量分析，精确测量 X 射线剂量，验证加速器的运行稳定性与剂量率达标情况，保障设备后续安全、稳定运行。

### ③10MeV 档位加速器辐照加工工艺流程

本工况用于货物杀菌消毒，为常态化运行工况：完成通用前置流程后，通过偏转磁铁切换束流路径，使电子束引出至 10MeV 辐照端口；处于一层辐照室外上货区的搬运工人往输运线上搬运待辐照货物。电子枪发射电子束，仅经第 1 段加速管加速至 10MeV（束流功率 30kW，额定电流 3mA），电子束穿过钛膜后，由扫描磁铁展宽为大截面均匀束流，从真空环境引出至大气环境。

夹层控制台的辐射工作人员启动传送带并启动加速器辐照装置，待辐照货物通过输运线自动输送至辐照室束流中心区域，电子束轰击待辐照货物，将电子能量沉积于物料中，通过破坏微生物的细胞结构，实现杀菌消毒效果。辐照后的货物由传送带自动传送至辐照室外，由下货区的搬运工人从传送带上卸货。

整个辐照灭菌加工过程，正常情况下搬运工人无需进入辐照室和主机室，仅在辐照室外一定距离外的上下货区进行货品装卸，所有待辐照货物均通过输运线输送至束流中心辐射区完成辐照加工，避免人员受照。

（5）束流关闭：对应工况作业完成后，立即关闭加速器束流，停止出束。

（6）辐射水平确认与安全巡检：待辐照室、主机室等涉辐射区域环境辐射水平恢复至本底水平、确认无辐射残留风险后，开展辐射剂量巡检，完成安全确认。

（7）作业结束：完成设备停机、现场整理，流程闭环。

需特别说明的是，三个出束端口共用 1 个电子枪和第 1 段加速管，在第 1 段加速管末端设置偏转磁铁，通过控制偏转磁铁的工作状态，实现电子束的路径切换——可选择引出至辐照端口进行辐照加工、引出至测试端口开展研发测试，或继续进入后续 3 段加速管加速至 40MeV，用于打功率靶作业。同一时间，电子束仅能选择一个端口出束并开展对应工作，确保设备运行安全、作业有序。

本项目加速器辐照加工的工艺流程见图9.2-3。

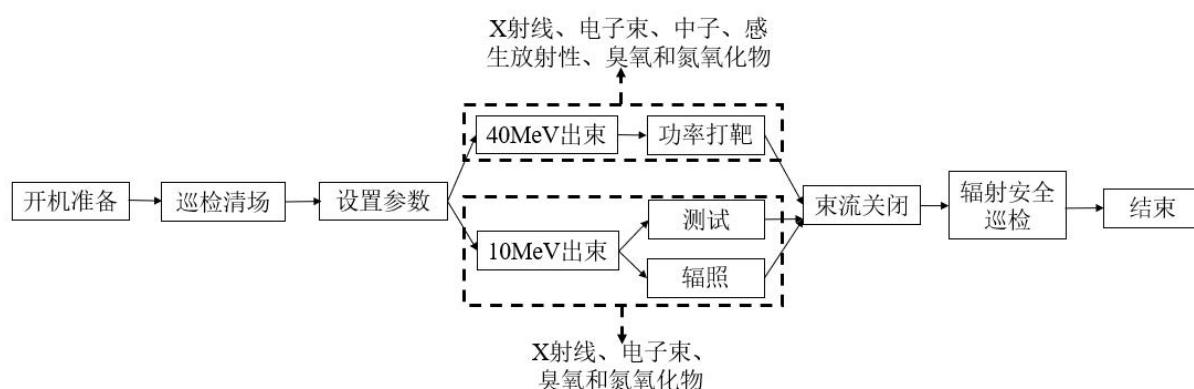


图 9.2-3 加速器工艺流程及产污环节示意图

## 5、加速器生产工艺流程及产污环节

电子加速器设备的组装与调试工艺流程如下：

(1) 部件验收入库：预封装加速管组件、微波功率源、真空泵组、电源、控制柜等核心设备运至作业场地后，开展开箱检验、技术文件核对工作，检验合格的设备搬运就位至预设基础或支架，暂存于零部件仓库。

(2) 机械安装与系统连接：将加速管组件精确固定，然后连接真空系统（包括分子泵、离子泵及相关管道阀门），连接微波功率传输系统（包括波导、环流器等），并完成所有电气线路、冷却水管路以及控制信号线的敷设与连接。

(3) 子系统测试：启动真空系统，将加速管抽至高真空状态。在确保冷却系统正常后，对微波功率系统进行低功率测试，检查功率传输是否正常。同时，测试各电源模块和控制系统的远程启停、安全联锁等基本功能。

(4) 系统联合调试：在真空达标的前提下，逐步提升微波功率并启动电子枪，通过精细调节，在束流诊断设备上首次观测到稳定的束流信号，即成功“出束”。随后对束流的能量、强度、横向尺寸等关键参数进行测量，并通过调节微波与磁铁参数进行优化，使其达到设计指标。

(5) 出束优化与老练：系统在引出束流的满负载状态下，进行长时间（通常数天）的连续运行。通过阶梯式增加负载和持续监测，使系统内部状态进一步稳定，提升长期运行的可靠性。

(6) 最终检验：按照技术协议执行完整的性能测试，验证所有指标。全面测试安全保护系统。

(7) 包装入库：按照要求对加速器部件进行包装并如成品库准备发货。

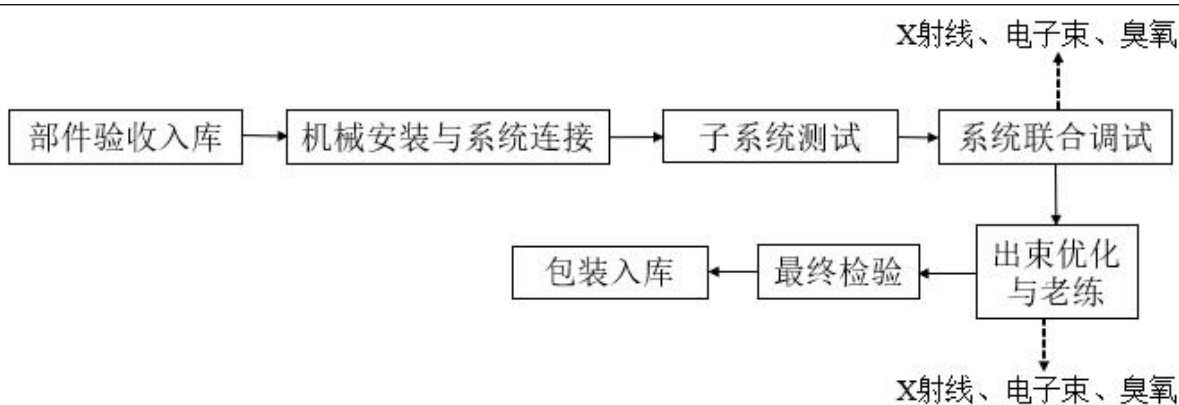


图 9.2-4 加速器生产组装工艺流程示意图

## 6、加速器检修工艺流程及产污环节

加速器检修分为日常检修、定期检修和故障检修，均在设备停机、断电、场所辐射剂量率降至本底水平后开展，工艺流程如下：

(1) 停机降辐：关闭加速器束流及高压电源，切断设备供电，待辐射水平降至环境本底。

(2) 通风置换：启动机房通风系统，确保臭氧、氮氧化物浓度满足人员进入要求。

(3) 检修作业：由持证辐射工作人员进入控制区，对电气、真空、水冷、安全联锁、屏蔽等系统进行检查、维护及部件更换；作业人员全程佩戴个人剂量计和剂量报警仪。

(4) 废物收集：检修产生的废过滤器、废活性炭、废旧元器件等按危险废物收集；涉及活化部件更换的，按放射性固体废物收集至专用铅屏蔽容器。

(5) 监测清场：①若本次检修仅涉及电气系统、水冷系统、真空管路等未受束流辐照的普通零部件维护，无活化部件拆解作业，检修完成后仅监测场所 $\gamma$ 辐射剂量率恢复至本底水平即可，无需开展表面污染监测；②若本次检修涉及活化靶件、受照元器件、束流腔体等被辐照活化部件的拆除更换，则需额外对检修部件、作业地面、工具同步开展 $\alpha/\beta$ 表面污染监测，确认无放射性沾染后，方可解除区域管控。

(6) 记录归档：将检修内容、监测结果、废物处置情况记入台账。

(7) 检修期间设备停机、无出束，不产生 X 射线、电子束；主要产污为危险废物、放射性固体废物，无持续废水、废气排放。

## 7、加速器销售工艺流程

加速器设备的销售工艺流程如下：

(1) 成品入库：加速器设备完成生产组装后，首先开展辐射安全性能检测，重点

核查设备屏蔽性能、联锁装置有效性、漏射线水平等指标，确保符合辐射防护相关标准；检测合格后完成出厂验收，确认设备性能、配置及技术参数满足设计要求。验收合格的设备按管理要求存入成品库，建立设备台账，并做好防护与维护工作。

(2) 订单核对：根据客户订单，核对设备型号、配置、技术参数及交付要求，确保与订单信息一致。

(3) 资质审核：对客户单位的资质、项目审批文件及使用条件进行审核，确认其具备合法使用加速器设备的条件与辐射安全管理能力。

(4) 包装：按照设备运输要求，对加速器主机、配套系统及易损部件进行防振、防潮、防辐射包装，粘贴设备标识及安全警示标志。

(5) 委托有资质单位运输：委托具备大件设备运输资质的单位，采用专用运输车辆，按照指定路线，将加速器设备安全运抵客户现场。

(6) 现场安装调试：设备运抵现场后，由本公司持证技术人员配合客户完成设备安装、系统联调、束流测试及辐射安全检测，确保设备性能及防护指标符合要求；调试过程严格遵守客户现场辐射安全管理规定，产生的少量臭氧通过现场通风系统处理。

(7) 交接与技术交底：安装调试合格后，与客户共同完成设备交接、开箱检验及辐射安全技术交底，签署交接记录，完成交付流程。后续维修服务由本公司持证人员在客户现场按辐射安全管理要求开展。

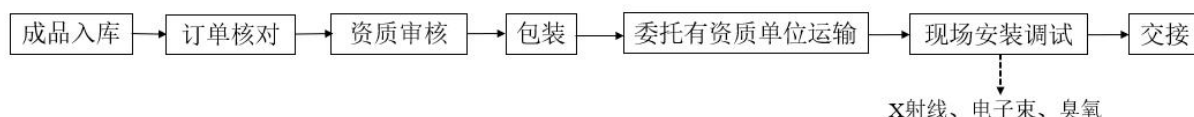


图 9.2-5 加速器销售工艺流程示意图

## 9.2.2 核素分离纯化工艺流程

### 1、主要材料与设备

#### (1) 主要设备

表9.2-3 主要设备

| 序号 | 设备    | 设备位置  | 备注   |
|----|-------|-------|------|
| 1  | 蠕动泵   | 核素实验室 | 流动控制 |
| 2  | 阀门    | 核素实验室 | 流动控制 |
| 3  | 流量计   | 核素实验室 | 控量控制 |
| 4  | 压力表   | 核素实验室 | 压力监测 |
| 5  | 热电偶   | 核素实验室 | 温度监测 |
| 6  | 离心机   | 核素实验室 | 固液分离 |
| 7  | 超声清洗器 | 核素实验室 | 清洗   |
| 8  | 烘干机   | 核素实验室 | 烘干   |
| 9  | 纯水机   | 核素实验室 | 纯水生产 |

|    |                             |       |        |
|----|-----------------------------|-------|--------|
| 10 | 移液枪                         | 核素实验室 | 液体转移   |
| 11 | 手套箱                         | 核素实验室 | 提供惰性环境 |
| 12 | 马弗炉                         | 核素实验室 | 提供高温环境 |
| 13 | 电化学工作站                      | 核素实验室 | 电解信号监测 |
| 14 | 电解装置                        | 核素实验室 | 电解控制   |
| 15 | 冷水机                         | 核素实验室 | 冷水制备   |
| 16 | 工作站                         | 核素实验室 | 计算     |
| 17 | 通风柜                         | 核素实验室 | 操作间    |
| 18 | 液相色谱仪                       | 核素实验室 | 分离     |
| 19 | 馏分收集器                       | 核素实验室 | 收集     |
| 20 | 旋蒸仪                         | 核素实验室 | 浓缩     |
| 21 | 冷冻干燥机                       | 核素实验室 | 干燥     |
| 22 | $\gamma$ 谱仪 (HPGe)          | 核素实验室 | 测量     |
| 23 | 液闪计数器                       | 核素实验室 | 测量     |
| 24 | 放射性 TLC 扫描仪                 | 核素实验室 | 测量     |
| 25 | pH 计                        | 核素实验室 | 测量     |
| 26 | $\alpha/\beta/\gamma$ 表面污染仪 | 核素实验室 | 测量     |
| 27 | 区域 $\gamma$ 监测仪             | 核素实验室 | 测量     |
| 28 | 个人剂量计                       | 核素实验室 | 测量     |
| 29 | 气溶胶连续监测系统                   | 核素实验室 | 测量     |
| 30 | 放射性废液收集罐                    | 核素实验室 | 废液收集   |
| 31 | 固体废物屏蔽桶                     | 核素实验室 | 废物收集   |
| 32 | 应急洗眼器/淋浴                    | 核素实验室 | 应急     |
| 33 | 手套箱                         | 核素实验室 | 分离操作   |
| 34 | 电子天平                        | 核素实验室 | 称量     |
| 35 | 恒温水浴                        | 核素实验室 | 恒温     |
| 36 | 磁力搅拌器                       | 核素实验室 | 搅拌     |

## (2) 主要原辅材料

表9.2-4 主要原辅材料

| 序号 | 药品 | 规格型号                   | 预计年用量  | 临时储存量  | 包装形式 | 用途说明                      | 使用区域       |
|----|----|------------------------|--------|--------|------|---------------------------|------------|
| 1  | 盐酸 | 优级纯, 36%-38%           | 9 L    | 2 L    | 瓶装   | 溶解靶材、调节溶液酸度、用于离子交换/萃取分离   | 制备间        |
| 2  | 硝酸 | 优级纯, 65%-68%           | 7 L    | 2 L    | 瓶装   | 溶解金属靶材、调节酸度、用于洗脱或破坏树脂/有机相 | 制备间        |
| 3  | 甲醇 | 色谱纯/分析纯, $\geq 99.9\%$ | 2 L    | 1 L    | 瓶装   | 有机溶剂清洗、用于树脂再生或某些萃取体系      | 放射性工作区     |
| 4  | 乙醇 | 分析纯, 95%               | 87 L   | 2 L    | 瓶装   | 基底材料清洗、树脂预处理、器皿洗涤         | 制备间/放射性工作区 |
| 5  | 丙酮 | 分析纯, $\geq 99.5\%$     | 500 mL | 100 mL | 瓶装   | 清洗有机残留、用于树脂预处理            | 放射性工作区     |

|    |                             |                                     |            |           |    |   |        |
|----|-----------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|----|---|--------|
| 6  | 草酸铵                         | 分析纯,<br>≥99%                        | 2 kg       | 500 g     | 瓶装 | 用于沉淀分离(如镭系元素)、配制特定淋洗液                         | 制备间    |
| 7  | 过氧化氢                        | 优级纯, 30%                            | 500 mL     | 500 mL    | 瓶装 | 氧化剂, 用于消解有机质、调节金属离子价态                         | 制备间    |
| 8  | 异丙醇                         | 优级纯                                 | 1.5 L      | 500 mL    | 瓶装 | 配制 0.05mol/L 硝酸-异丙醇电沉积体系, 用于各核素同位素靶制备         | 制备间    |
| 9  | 乙酸铵                         | 分析纯 ≥ 99%                           | 500 g      | 500 g     | 瓶装 | 作为缓冲盐稳定体系 pH                                  | 制备间    |
| 10 | 氩气                          | 高纯,<br>≥99.999%                     | 400 L      | 5 瓶(40 L) | 钢瓶 | 惰性气氛保护, 防止溶液氧化或用于蒸发浓缩时的保护气                    | 气瓶间    |
| 11 | 氨水                          | 优级纯                                 | 5 L        | 1 L       | 瓶装 | 调节 <sup>226</sup> Ra 分离体系 pH ≥ 10, 满足螯合树脂吸附工况 | 放射性工作区 |
| 12 | DGA 树脂                      | 50-100 μm,<br>支载型                   | 6 kg       | 1 kg      | 袋装 | 萃取色谱树脂, 用于分离三价锕系与镭系                           | 放射性工作区 |
| 13 | 氧化铝                         | 中性, 层析用, 100-200 目                  | 3 kg       | 1 kg      | 袋装 | 用于色层柱分离、净化淋洗液或吸附杂质                            | 放射性工作区 |
| 14 | 阴离子交换树脂 AG 1-X8             | 100-200 目, 氯型                       | 21 kg      | 1 kg      | 袋装 | 阴离子交换分离, 用于从高酸度介质中分离金属配合阴离子                   | 放射性工作区 |
| 15 | 阳离子交换树脂 AG 50W-X8           | 100-200 目, 氢型                       | 500 g      | 500 g     | 袋装 | 阳离子交换分离, 用于富集或分离金属阳离子                         | 放射性工作区 |
| 16 | LN 树脂                       | 100-150 μm,<br>支载型, 容量 0.16 mmol/ml | 3 kg       | 1 kg      | 袋装 | 萃取色谱树脂, 用于镭系与锕系元素分离                           | 放射性工作区 |
| 17 | Chelex-100 树脂柱              | /                                   | 2 kg       | 1 kg      | 袋装 | 特异性吸附 <sup>226</sup> Ra                       | 放射性工作区 |
| 18 | Monosphere 阴离子交换树脂柱         | /                                   | 5 kg       | 1 kg      | 袋装 | 脱盐和去除阴离子杂质                                    | 放射性工作区 |
| 19 | 高纯铝箔                        | ≥99.99%                             | 1 kg       | 500 g     | 袋装 | <sup>225</sup> Ac/ <sup>226</sup> Ra 同位素靶基底   | 放射性工作区 |
| 20 | 高纯不锈钢片                      | ≥99.99%                             | 2 kg       | 1 kg      | 袋装 | <sup>67</sup> Cu、 <sup>99</sup> Mo 同位素靶基底     | 放射性工作区 |
| 21 | 高纯钛片                        | ≥99.99%                             | 2 kg       | 1 kg      | 袋装 | <sup>99</sup> Mo、 <sup>47</sup> Sc 同位素靶基底     | 放射性工作区 |
| 22 | 放射性原料:<br><sup>225</sup> Ac | /                                   | 2.08E+08Bq | 8.00E+06  | 铅罐 | 作为 <sup>225</sup> Ac 分离纯化工艺的原料                | 放射性工作区 |

|    |                             |   |            |          |    |                                |        |
|----|-----------------------------|---|------------|----------|----|--------------------------------|--------|
| 23 | 放射性原料:<br>$^{226}\text{Ra}$ | / | 7.80E+07Bq | 3.00E+06 | 铅罐 | 作为 $^{226}\text{Ra}$ 分离纯化工艺的原料 | 放射性工作区 |
| 24 | 放射性原<br>$^{67}\text{Cu}$    | / | 1.04E+09Bq | 4.00E+07 | 铅罐 | 作为 $^{67}\text{Cu}$ 分离纯化工艺的原料  | 放射性工作区 |
| 25 | 放射性原<br>$^{99}\text{Mo}$    | / | 1.04E+09Bq | 4.00E+07 | 铅罐 | 作为 $^{99}\text{Mo}$ 分离纯化工艺的原料  | 放射性工作区 |
| 26 | 放射性原<br>$^{47}\text{Sc}$    | / | 1.04E+09Bq | 4.00E+07 | 铅罐 | 作为 $^{47}\text{Sc}$ 分离纯化工艺的原料  | 放射性工作区 |

表 9.2-5 原辅材料理化性质一览表

| 原辅料名称 | 理化性质  |
|-------|---|
| 硝酸    | 无色透明液体，易挥发，有刺激性气味，见光或受热易分解产生 $\text{NO}_2$ 而变黄。具有强氧化性和腐蚀性，能与水任意混溶，稀释放热。可与还原剂、有机物发生剧烈反应，甚至引起燃烧爆炸。储存于阴凉、通风、避光库房，远离火种、热源，严禁与还原剂、碱类、易燃物混存。                        |
| 盐酸    | 盐酸是无色液体（工业用盐酸会因有杂质三价铁盐而略显黄色），为氯化氢的水溶液，具有刺激性气味。由于浓盐酸具有挥发性，挥发出的氯化氢气体与空气中的水蒸气作用形成盐酸小液滴，所以会看到白雾。盐酸与水、乙醇任意混溶，氯化氢能溶于许多有机溶剂。浓盐酸稀释有热量放出。                              |
| 甲醇    | 无色澄清液体，有刺激性气味。溶于水，可混溶于醇、醚等多数有机溶剂。易燃，其蒸气与空气可形成爆炸性混合物，遇明火、高热可引起燃烧爆炸，与氧化剂接触发生化学反应或引起燃烧。在火场中，受热的容器有爆炸危险。其蒸气比空气重，能在较低处扩散到相当远的地方，遇明火会引着回燃。主要用于制甲醛、香精、染料、医药、火药、防冻剂等。 |
| 乙醇    | 无色透明液体，易挥发，易燃，蒸气与空气可形成爆炸性混合物。能与水、乙醚、氯仿等混溶，常用作溶剂和清洗剂。储存于阴凉、通风库房，远离火种、热源，严禁与氧化剂混存。  |
| 丙酮    | 无色透明易挥发液体，有刺激性气味，易燃，蒸气与空气可形成爆炸性混合物，与氧化剂接触易发生剧烈反应，常用作有机溶剂和清洗剂，储存于阴凉通风库房，远离火种热源，严禁与氧化剂混存。   |
| 过氧化氢  | 无色透明液体，具有强氧化性，受热或遇杂质易分解产生氧气和水，放出热量，遇易燃物可引起燃烧。本工艺中用于辅助洗脱金属离子。储存于阴凉、通风库房，避光保存，远离火种、热源，严禁与易燃物、还原剂混存。   |

## 2、组成

本项目拟使用和销售  $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{67}\text{Cu}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{47}\text{Sc}$  五种核素，开展核素分离提纯相关工作。具体实施方式为：所有核素原料均从具备放射性同位素生产/销售资质的单位合法采购，通过专业的分离提纯工艺进行精细化处理，大幅提升核素纯度，使其达到市场应用标准后，再对外进行销售，确保产品质量满足客户需求。

本项目放射性同位素使用规模见表 9.2-6。

表 9.2-6 各核素操作量及操作时间一览表

| 序号 | 核素名称              | 物理状态 | 日最大操作量 (Bq) | 年最大操作量 (Bq) | 单次购买量 (Bq) | 年采购批次(次) | 年总采购量(Bq) | 年最大使用天数 (d) | 来源 |
|----|-------------------|------|-------------|-------------|------------|----------|-----------|-------------|----|
| 1  | <sup>225</sup> Ac | 液态   | 8.00E+05    | 2.08E+08    | 1.60E+07   | 14       | 2.24E+08  | 260         | 外购 |
| 2  | <sup>226</sup> Ra | 粉末   | 3.00E+05    | 7.80E+07    | 8.00E+07   | 1        | 8.00E+07  | 260         | 外购 |
| 3  | <sup>67</sup> Cu  | 液态   | 4.00E+06    | 1.04E+9     | 1.60E+08   | 7        | 1.12E+09  | 260         | 外购 |
| 4  | <sup>99</sup> Mo  | 液态   | 4.00E+06    | 1.04E+9     | 1.60E+08   | 7        | 1.12E+09  | 260         | 外购 |
| 5  | <sup>47</sup> Sc  | 液态   | 4.00E+06    | 1.04E+9     | 1.60E+08   | 7        | 1.12E+09  | 260         | 外购 |

### 3、工艺流程及产污环节分析

本项目核素处理工艺分为非放射性预处理与放射性分离纯化两个阶段：非放区制备间负责完成核素分离纯化前的溶液配制、试剂准备等无放射性前置工作，后续在放射性区分离纯化间开展核素的分离纯化操作。

项目实验周期为每批次 3 天，年工作时间 260 天，经核算全年可安排实验约 87 批次。

本项目热室隶属于核素实验室，属于乙级非密封放射性控制区，紧邻 40MeV 加速器功率靶室布置。

①热室主要用途：热室主要用于同位素靶的制备及溶解相关工艺操作。

②位置与通道关系：热室东侧与 40MeV 功率靶室相邻，无人员通行通道；加速器工作人员、核素实验室工作人员分区作业，人流完全隔离，互不互通。

③工艺衔接关系：40MeV 加速器与热室无工艺关联。

④管控属性：热室整体按乙级非密封放射性物质工作场所管理，配套独立辐射监测、门机联锁、负压通风系统。

工艺流程：

#### (1) 电解制靶

①准备电解液：配制同位素的硝酸盐或硫酸盐溶液，加入适当添加剂改善镀层质量

#### ②安装电极

阴极：选用高纯金属片 Al、Ni 等作为靶基体

阳极：金属网惰性电极

#### ③电解沉积

设定电流密度和温度

远程启动电源，控制沉积时间以达到所需靶层厚度

后处理：取出阴极，用去离子水冲洗、乙醇脱水，真空干燥

## (2) 靶焊接

- ①组装靶件：将镀有靶材料的阴极片放入靶罐
- ②激光焊接：远程控制激光头，对靶罐盖环缝密封
- ③检漏测试：焊接后通过氦质谱检漏仪
- ④表面去污：用擦拭法去除表面微量放射性污染

## (3) 溶靶操作

①靶件切割：将靶件置于热室切割工位，使用电动旋转切管刀，沿焊缝切开靶罐盖，取出内靶片。

②溶靶准备：将靶片放入溶解器，配备尾气吸收装置。

③溶解条件控制：远程搅拌或磁力加热。

④监控反应：若剧烈放气，暂停加热，完全溶解后，停止加热，冷却至室温。

⑤过滤与洗涤：滤除不溶基材及杂质，滤液收集至产品瓶，并用稀酸洗涤溶解器及残渣三次，合并滤液。

## 1) $^{225}\text{Ac}$ 分离纯化流程

$^{225}\text{Ac}$  采用色谱方式进行分离提纯，分离材料为实验室自主开发的吸附树脂，预期可以达到 99.9% 以上纯度的  $^{225}\text{Ac}$  产品。

### (1) $^{225}\text{Ac}/^{226}\text{Ra}$ 同位素靶的制备

采用电沉积法制备  $^{225}\text{Ac}/^{226}\text{Ra}$  同位素靶：以高纯铝为基底，将  $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  溶液配制成硝酸介质混合溶液，调节为 0.05 M  $\text{HNO}_3$ -异丙醇体系，控制 pH 4~5，在恒定电流条件下进行电沉积，使 Ac、Ra 均匀沉积于铝箔表面形成同位素靶层。沉积结束后将靶材取出，经去离子水轻洗、红外灯干燥，得到  $^{225}\text{Ac}/^{226}\text{Ra}$  同位素靶材。

(2) 将制备的  $^{225}\text{Ac}/^{226}\text{Ra}$  同位素靶材溶解于 100 mL 的 0.7 M  $\text{HNO}_3$  中，将溶液通过 20 g 的 DGA 树脂柱，利用 DGA 树脂对锕系元素的选择性吸附特性， $^{225}\text{Ac}$  被 DGA 树脂柱吸附， $^{226}\text{Ra}$  随淋洗液进入尾液。为进一步提升  $^{225}\text{Ac}$  的柱上保留率及  $^{226}\text{Ra}$  的淋出效率，将溶解液重复过柱操作三次。

(3) 用 100 mL 的 0.7 M  $\text{HNO}_3$  淋洗 DGA 树脂柱，进一步去除吸附柱中残留的  $^{226}\text{Ra}$  杂质，降低柱上  $^{226}\text{Ra}$  残留量。

(4) 将 100 mL 的 5 mM  $\text{HNO}_3$  洗脱 DGA 树脂柱，收集洗脱液，获得一级纯化  $^{225}\text{Ac}$

溶液。

(5) 将一级纯化的  $^{225}\text{Ac}$  溶液通过 LN 树脂柱， $^{225}\text{Ac}$  与微量残留  $^{226}\text{Ra}$  被树脂同步吸附；随后用 100 mL 的 50 mM  $\text{HNO}_3$  淋洗 LN 树脂柱，去除柱内微量  $^{226}\text{Ra}$  杂质；最后用 100 mL 的 0.7 M  $\text{HNO}_3$  100 mL 洗脱 LN 树脂柱，收集洗脱液，获得二级纯化  $^{225}\text{Ac}$  溶液。

(6) 重复步骤 (2) - (5) 的分离程序，对二级纯化  $^{225}\text{Ac}$  溶液进行再次分离提纯，进一步降低  $^{226}\text{Ra}$  杂质含量。

(7) 获得高纯  $^{225}\text{Ac}$  硝酸溶液（体积约 100 mL），以及含  $^{226}\text{Ra}$  尾液（体积约 1 L）。硝酸铯溶液（ $^{225}\text{Ac}$ ），硝酸镭溶液（Ra）1 L， $^{225}\text{Ac}$  纯度 99.9% 以上。

(8) 采用阴离子交换树脂（100g）将  $^{225}\text{Ac}$  硝酸溶液进行处理，将  $\text{NO}_3^-$  阴离子与  $\text{Cl}^-$  交换，再通过蒸发除去过量  $\text{HCl}$ ，获得最终产物  $^{225}\text{AcCl}_3$ 。

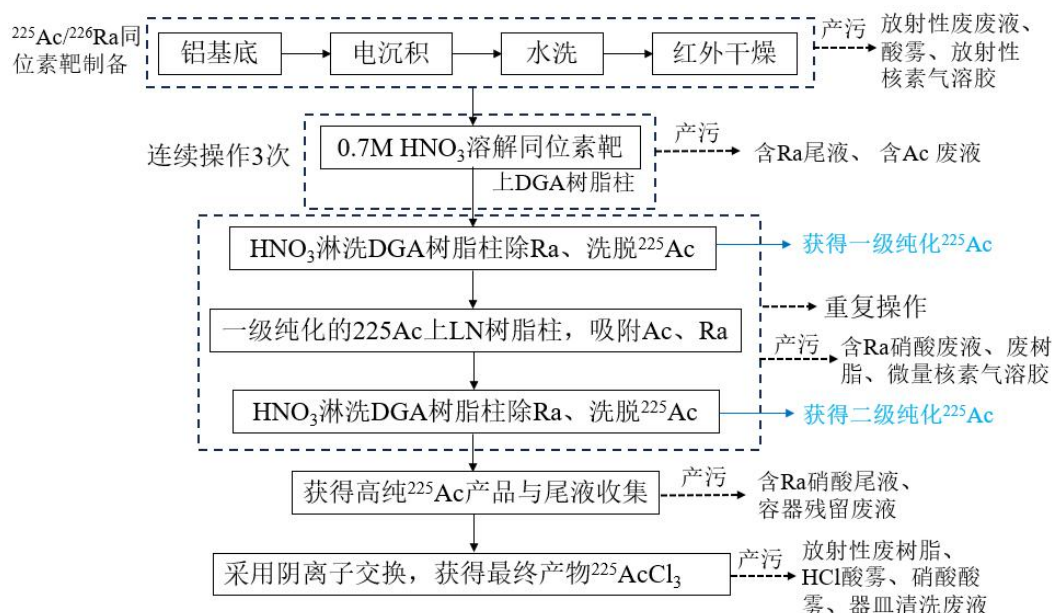


图 9.2-6  $^{225}\text{Ac}$  分离纯化工艺

## 2) 采用色谱方法分离尾液中的 $^{226}\text{Ra}$

采用色谱方法分离尾液中的  $^{226}\text{Ra}$ ，分离工艺如图所示，工艺流程为：

(1) 浓缩处理：取 1 L 硝酸镭（ $^{226}\text{Ra}$ ）尾液，通过蒸发浓缩至 50 mL，提高  $^{226}\text{Ra}$  浓度，为后续分离做准备。

(2) pH 调节：向浓缩后的  $^{226}\text{Ra}$  尾液中，缓慢加入 50 mL 氨水（ $\text{NH}_3$ ），调节溶液  $\text{pH} \geq 10$ ，使体系达到  $^{226}\text{Ra}$  分离的适宜酸碱度。

(3) 树脂分离：将调节好 pH 的尾液通过 Chelex-100 树脂柱（20 g），利用树脂

对  $^{226}\text{Ra}$  的特异性吸附作用，实现  $^{226}\text{Ra}$  与其他杂质的初步分离。

(4) 洗脱与脱盐：先用 500 mL 纯水洗涤树脂柱，彻底去除柱内残留的杂质及游离离子；再用 100 mL 1 mol/L 盐酸 (HCl) 洗脱树脂柱上吸附的  $^{226}\text{Ra}$ ，将洗脱液通入 Monosphere 阴离子交换树脂柱 (50 g)，完成洗脱液的脱盐处理。向 Monosphere 阴离子交换树脂柱中加入 500 mL 纯水，冲洗柱体，去除树脂中残留的  $^{226}\text{Ra}$ ，提高分离回收率。

(5) 提纯干燥：将脱盐、清洗后的洗脱液进行蒸发干燥处理，得到氢氧化物形式的高纯度  $^{226}\text{Ra}$ 。

(6) 靶材电解质制备：向干燥后的  $^{226}\text{Ra}$  氢氧化物中，加入 20 mL 的 0.1 mol/L HCl 和 5 mL 0.5 mol/L 乙酸铵，搅拌溶解均匀，制备成靶材电镀电解质，用于后续电镀制备镭靶件。

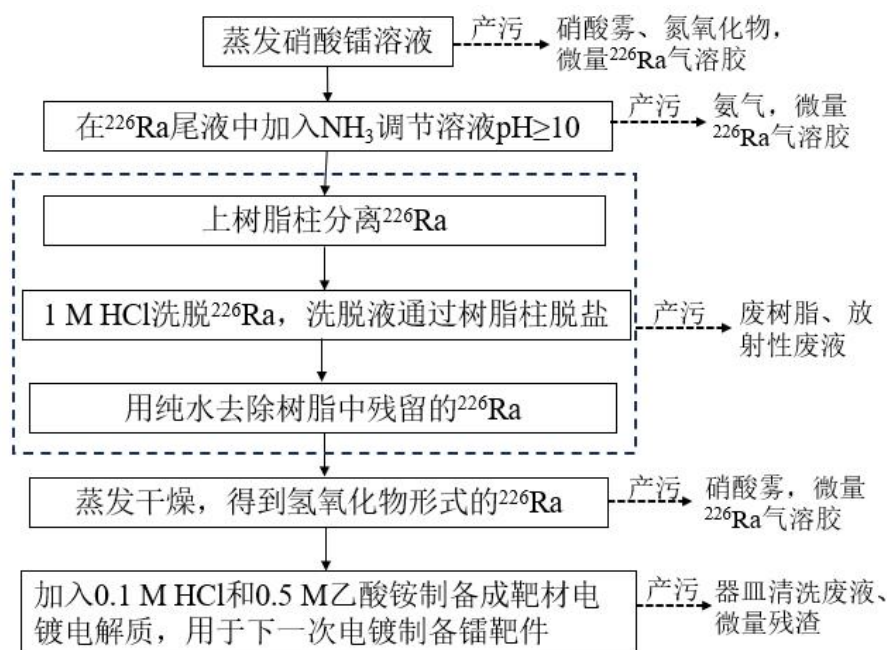


图 9.2-7  $^{226}\text{Ra}$  分离纯化工艺

### 3) $^{67}\text{Cu}$ 分离纯化流程

#### (1) $^{68}\text{Zn}/^{67}\text{Cu}$ 同位素靶制备

采用电沉积法制备同位素靶，为后续  $^{67}\text{Cu}$  分离纯化工艺验证提供样品。以高纯不锈钢为基底，先用稀硝酸和去离子水依次清洗基底表面，干燥后备用。将  $^{68}\text{Zn}$  和  $^{67}\text{Cu}$  标准溶液配制为硝酸介质混合溶液，调节为 0.05 M  $\text{HNO}_3$ -异丙醇体系，控制 pH 4~5，在恒定电流条件下进行电沉积，使 Zn、Cu 均匀沉积于基底表面，形成  $^{68}\text{Zn}/^{67}\text{Cu}$  同位

素靶层。沉积结束后将靶材取出，经去离子水清洗并在红外灯下干燥，得到  $^{68}\text{Zn}/^{67}\text{Cu}$  同位素靶材。

(2) 制备的  $^{68}\text{Zn}/^{67}\text{Cu}$  同位素靶材溶解于 100 mL 的 4M HCl 溶液中，使靶材中  $^{68}\text{Zn}$ 、 $^{67}\text{Cu}$  完全溶解，形成  $\text{Zn}^{2+}/\text{Cu}^{2+}$  混合溶液，为后续分离纯化做准备。

(3) 将溶解液通过 DGA 树脂柱 (30 g)， $^{67}\text{Cu}$  与 Zn 被吸附在树脂上。 $^{67}\text{Cu}$  回收率大于 95%。

(4) 使用 150 mL 的 2M HCl 溶液洗脱 Zn，将 Zn 杂质彻底去除，避免其干扰后续  $^{67}\text{Cu}$  的纯化。

(5) 使用 100 mL 的 0.5 M  $\text{HNO}_3$  溶液洗脱  $^{67}\text{Cu}$ 。 $^{67}\text{Cu}$  纯度 85% 以上。

(6) 将洗脱液调节至 8M HCl (50 mL) 体系，通过 AG 1-X8 阴离子交换树脂柱 (20 g) 二次纯化吸附  $^{67}\text{Cu}$ 。

(7) 使用 50 mL 的 0.5 M HCl 溶液二次洗脱  $^{67}\text{Cu}$ 。 $^{67}\text{Cu}$  纯度 95% 以上。

(8) 将洗脱液调节至 0.1M HCl，通过 LN 树脂柱 (15 g)，吸附  $^{67}\text{Cu}$ 。

(9) 采用 50mL 的 0.5M  $\text{HNO}_3$  溶液从 LN 树脂中洗脱  $^{67}\text{Cu}$ 。

(10) 将洗脱液蒸发至近干，用 5 mL 的 0.1M HCl 溶解。 $^{67}\text{Cu}$  纯度大于 99.9%。

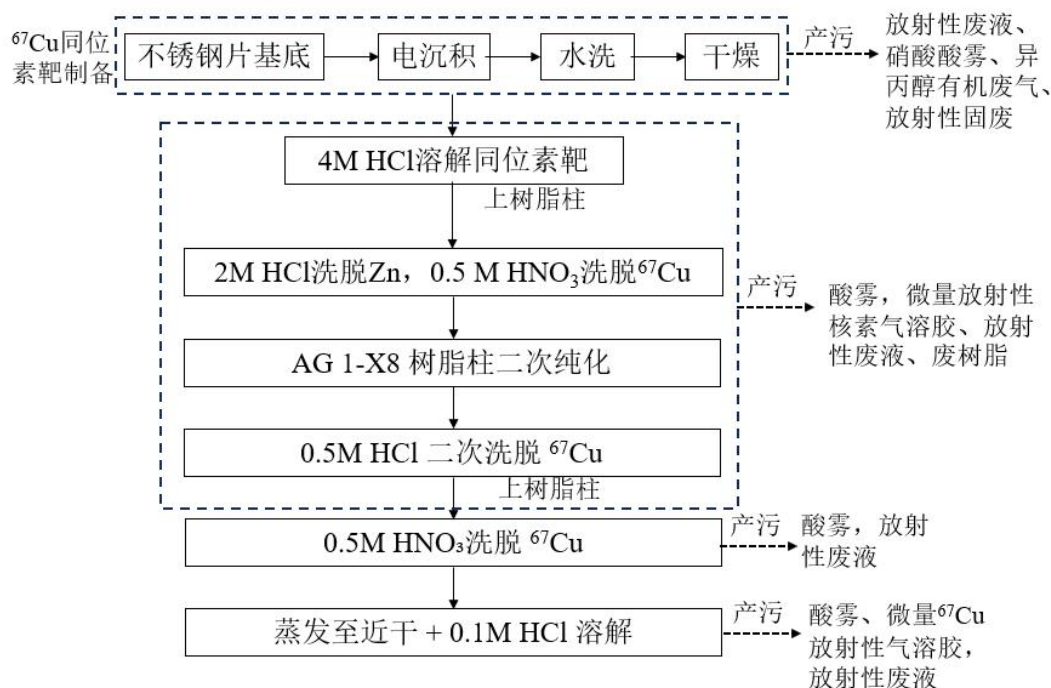


图 9.2-8  $^{67}\text{Cu}$  分离纯化工艺

#### 4) $^{99}\text{Mo}$ 分离纯化流程

(1)  $^{99}\text{Mo}$ 、Nb、Fe、Co 同位素靶制备：采用电沉积法制备同位素靶，为后续  $^{99}\text{Mo}$

分离纯化工艺验证提供样品。以高纯不锈钢片或高纯钛片作为沉积基底，先用稀硝酸、去离子水、乙醇依次清洗基底表面，去除表面油污、氧化层及杂质，干燥后备用；将  $^{99}\text{Mo}$  标准溶液与 Nb、Fe、Co 的硝酸盐标准溶液混合，配制为硝酸介质混合液，调节体系为  $0.05 \text{ mol/L HNO}_3$ -异丙醇体系，控制 pH 在 4~5 之间，在恒定电流条件下进行电沉积，使 Mo、Nb、Fe、Co 均匀沉积于基底表面，形成致密的同位素靶层；沉积完成后，取出靶材，用去离子水清洗表面残留电解液，置于红外灯下干燥，得到  $^{99}\text{Mo}$ 、Nb、Fe、Co 同位素靶材。

(2) 同位素靶溶解：将制备好的  $^{99}\text{Mo}$  同位素靶材放入 200 mL 的  $6 \text{ mol/L HNO}_3$  溶液中，加热至  $80^\circ\text{C}$ ，使靶材中  $^{99}\text{Mo}$  及杂质 (Nb、Fe、Co) 完全溶解，得到含  $^{99}\text{Mo}$  的硝酸溶解液。

(3) 初步分离除杂：将 200 mL 上述溶解液缓慢通过 AG 1-X8 阴离子交换树脂柱 (50 g)，利用树脂对  $^{99}\text{Mo}$  的特异性吸附作用，使  $^{99}\text{Mo}$  吸附于树脂柱上，大部分阳离子杂质 (Nb、Fe、Co) 随流出液排出，此步骤  $^{99}\text{Mo}$  吸附留存率约为 95%。

(4)  $^{99}\text{Mo}$  洗脱：采用  $150 \text{ mL } 0.1 \text{ mol/L HNO}_3 + 0.01 \text{ mol/L H}_2\text{O}_2$  混合溶液作为洗脱剂，对树脂柱上吸附的  $^{99}\text{Mo}$  进行洗脱，确保  $^{99}\text{Mo}$  充分脱附，此步骤  $^{99}\text{Mo}$  洗脱解吸率约为 90%。

(5) 深度除杂：将洗脱得到的含  $^{99}\text{Mo}$  溶液调节 pH 至 4~5，缓慢通过中性氧化铝柱 (30 g)，进一步去除溶液中残留的微量杂质。经此步骤处理后，洗脱液中  $^{99}\text{Mo}$  纯度大于 90%。

(6) 重复纯化：重复步骤 2~4 的操作，进一步提高  $^{99}\text{Mo}$  的纯度，减少杂质残留。

(7) 最终纯化：将重复洗脱后的含  $^{99}\text{Mo}$  溶液蒸发至近干，加入  $100 \text{ mL } 0.1 \text{ mol/L NH}_4\text{OH}$  溶液溶解残留物，将溶解液通过小型 AG 1-X4 树脂柱 (50 g) 进行最终纯化，确保杂质彻底去除，经此步骤后  $^{99}\text{Mo}$  纯度可达 99.9% 以上。

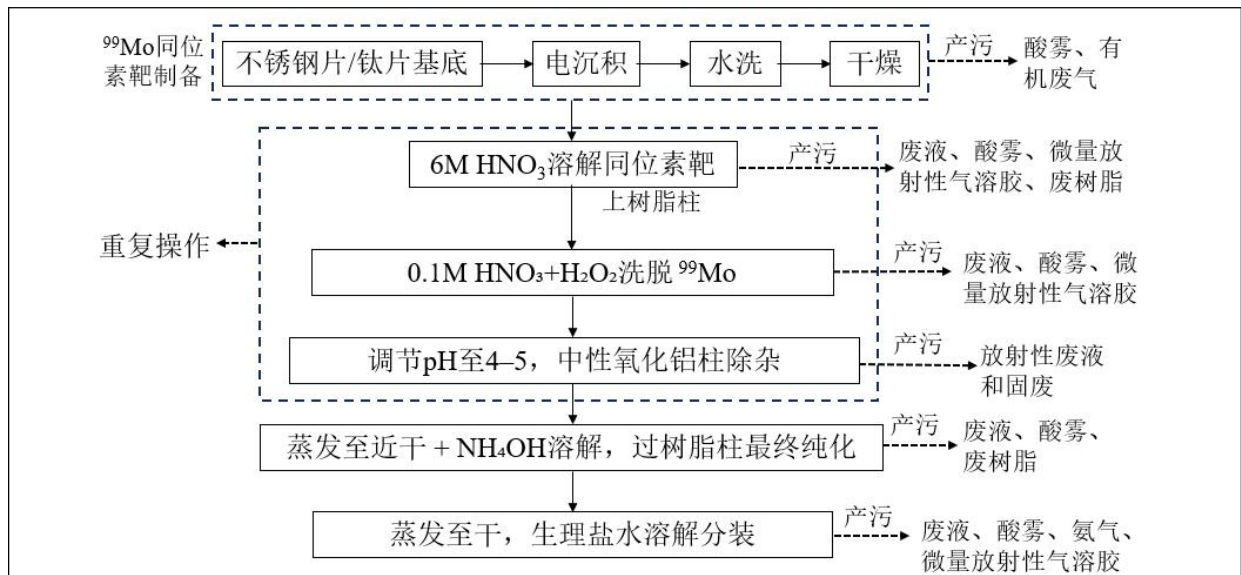


图 9.2-9  $^{99}\text{Mo}$  分离纯化工艺

### 5) $^{47}\text{Sc}$ 分离纯化流程

(1) 采用表面沉积法制备  $^{48}\text{Ti}/^{47}\text{Sc}$  同位素靶。以高纯  $^{48}\text{Ti}$  金属箔为基底，先用乙醇和去离子水依次清洗基底表面，干燥后备用。将  $^{47}\text{Sc}$  标准溶液配制为稀盐酸或稀硝酸介质溶液，分次均匀滴加于  $^{48}\text{Ti}$  箔表面，在红外灯或  $60\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$  条件下缓慢蒸干，使  $^{47}\text{Sc}$  均匀附着于  $^{48}\text{Ti}$  基底表面，形成同位素靶层。沉积结束后将靶材进一步低温干燥，得到  $^{48}\text{Ti}/^{47}\text{Sc}$  同位素靶材。

(2) 用王水溶解  $\text{Ti}/^{47}\text{Sc}$  同位素靶材，Ti 转化为  $\text{Ti}^{4+}$ ，Sc 转化为  $\text{Sc}^{3+}$ 。得到 50 mL 溶解液为后续分离纯化奠定基础。

(3) 将溶解液蒸发至近干，用 20 mL 的 9M HCl 溶液复溶。将复溶后的溶液通过 AG1-X8 阴离子交换树脂 (20 g) 吸附 Ti， $^{47}\text{Sc}$  随流出液排出，实现 Ti 与  $^{47}\text{Sc}$  的初步分离，此步骤  $^{47}\text{Sc}$  回收率达 95% 以上。

(4) 将上述含  $^{47}\text{Sc}$  的流出液蒸发浓缩至 1mL，调节酸度并定容至 15 mL 2M HCl 溶液，通过 DGA 树脂柱 (15 g)，利用树脂对  $^{47}\text{Sc}$  的吸附作用，使  $^{47}\text{Sc}$  吸附于树脂柱上，进一步去除溶液中残留的微量杂质，此步骤  $^{47}\text{Sc}$  回收率达 95% 以上。

(5) 使用 30 mL 的 0.05M HCl 溶液洗脱吸附在 DGA 树脂上的  $^{47}\text{Sc}$ ，确保  $^{47}\text{Sc}$  充分脱附。洗脱液中  $^{47}\text{Sc}$  纯度 95% 以上。

(6) 将初步纯化的  $^{47}\text{Sc}$  溶液蒸发至近干，复溶于 10mL 的 0.1M  $\text{HNO}_3$  溶液中，并通过 AG50W-X8 阳离子交换树脂柱 (5g) 吸附  $^{47}\text{Sc}$ ，进行二次纯化，深度去除残留的微量杂质，经此步骤后  $^{47}\text{Sc}$  纯度达 99% 以上。

(7) 采用 100mL 的 0.1M 草酸铵洗脱树脂中的  $^{47}\text{Sc}$ 。经此步骤处理后，洗脱液中  $^{47}\text{Sc}$  纯度达 99.9%以上。

(8) 将含  $^{47}\text{Sc}$  的洗脱液蒸发处理，除去溶液中的有机络合剂（草酸铵），加入 5 mL 0.1 mol/L HCl 溶液溶解残留物，形成  $\text{ScCl}_3$  溶液；最终成品中  $^{47}\text{Sc}$  纯度达 99.9%以上。

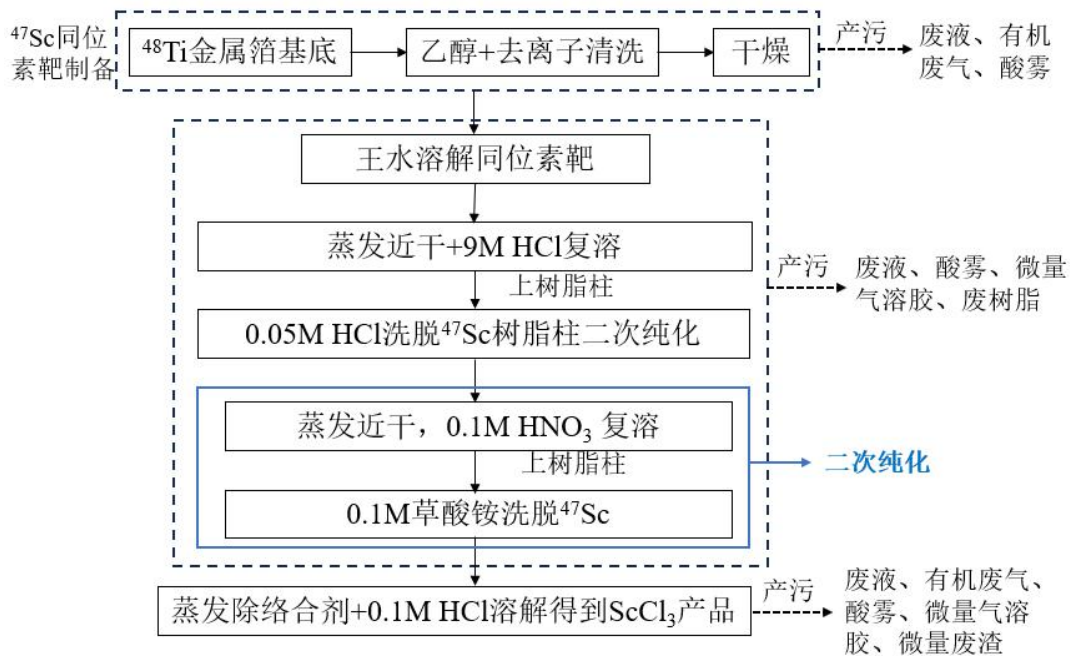


图 9.2-10  $^{47}\text{Sc}$  分离纯化工艺

### 9.2.3 核素销售

本项目仅对经分离纯化、质检合格的放射性核素成品开展密闭封装、分类暂存及合规销售工作，销售全过程不开展放射性核素二次配制、分装、开放性操作，无额外放射性污染物产生。

#### 1、销售工艺流程

核素成品经放射化学纯度等指标质控检测合格后，由持证辐射工作人员在屏蔽防护条件下，将成品装入专用铅屏蔽容器完成密闭封装，张贴电离辐射警示标识、产品及活度标签；随后转运至厂区专用放射性物品暂存库，按照核素种类、理化性质分区分类存放，落实双人双锁、出入登记管理制度。接到客户订单后，工作人员核对产品信息、客户资质，确认无误后办理出库手续，委托具备放射性货物运输资质的单位承接运输业务，完成产品交接。全流程建立完整台账，详细记录核素名称、活度、数量、出入库时间、接收单位、运输信息等，做到来源可查、去向可追。

#### 2、相关单位辐射安全责任划分

本项目放射性核素从原料采购、场内贮存、销售出库至外部运输、终端使用各环节，明确各方辐射安全责任，具体划分详见下表。

**表 9.2-7 使用、销售过程中相关单位责任划分表**

| 相关单位         | 职责   |
|--------------|--|
| 放射性核素原料生产商   | 负责将非密封放射性物质运输至嘉兴耀核速康科技有限公司指定地方，并办理相关非密封放射性物质运输的相关审批手续，承担非密封放射性物质运输过程中的辐射安全责任。  |
| 嘉兴耀核速康科技有限公司 | A、负责非密封放射性物质销售的商务谈判，与购买方签订合同。<br>B、负责审查购买方是否具有相应非密封放射性物质的使用资质，确保非密封放射性物质销售到具有相应使用资质的单位。<br>C、负责委托有资质单位将非密封放射性物质运输至购买方（或使用方）指定地方。<br>D、负责非密封放射性物质在项目场所内贮存安全、使用安全。 |
| 接受委托的运输单位    | 负责安全运输非密封放射性物质到客户指定地方，并办理相关非密封放射性物质运输的相关审批手续，承担非密封放射性物质运输过程中的辐射安全责任。   |
| 购买方          | A、负责向嘉兴耀核速康科技有限公司提供真实的非密封放射性物质许可使用资质。<br>B、并办理相关放射性同位素转让审批手续。<br>C、负责非密封放射性物质的日常安全使用。<br>D、对于未使用完的非密封放射性物质，由购买方负责安全处理处置。   |

### 3、核素销售及暂存规模

结合浙江省区域放射性药物、科研用核素市场需求，以及单台货包活度设计限值，本项目核素单日、年度最大销售规模详见下表。

**表 9.2-8 本项目销售、暂存核素情况一览表**

| 序号 | 核素名称              | 单个货包的核素最大活度 (Bq) | 每日最大销售货包数量 (个) | 日最大销售量 (Bq) | 每年最大销售货包数量 (个) | 年最大销售量 (Bq) |
|----|-------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| 1  | <sup>225</sup> Ac | 8.00E+06         | 1              | 8.00E+06    | 80             | 6.40E+08    |
| 2  | <sup>226</sup> Ra | 1.00E+06         | 1              | 1.00E+06    | 50             | 5.00E+07    |
| 3  | <sup>67</sup> Cu  | 1.00E+07         | 1              | 1.00E+07    | 100            | 1.00E+09    |
| 4  | <sup>99</sup> Mo  | 1.00E+07         | 1              | 1.00E+07    | 100            | 1.00E+09    |
| 5  | <sup>47</sup> Sc  | 1.00E+07         | 1              | 1.00E+07    | 100            | 1.00E+09    |

注：1、日最大销售量=单个货包最大活度×每日最大销售货包数量；年最大销售量=单个货包最大活度×每年最大销售货包数量；

2、所有核素成品均采用铅屏蔽容器密闭暂存、运输，场内暂存执行分区存放、双人管理、出入登记制度；

3、本项目待销售放射性核素货包采用密封内容器+铅屏蔽罐+外防护箱三层防护包装，符合《放射性物品安全运输规程》（GB11806—2019）要求。单个货包限值：货包外表面≤2 mSv/h，距货包外表面 1 m 处≤0.1 mSv/h（TI≤10）；本项目遵循合理可行尽量低（ALARA）原则从严控制，内控指标：货包外表面≤5 μSv/h，距货包外表面 1 m 处≤1 μSv/h。所有成品货包出库前均完成辐射剂量检测，检测资料存档；场内暂存及转运全程落实辐射安全管控措施。

## 9.2.4 人流和物流的路径分析

### 9.2.4.1 加速器人流和物流的路径分析

#### (1) 人流路径规划

本项目电子加速器主机室、辐照机房、测试机房、功率靶室布置在一层，中控室布置在夹层。

加速器机房各出入口均设置巡检按钮，辐射工作人员进入加速器机房开展巡检、维护等作业时，统一由夹层下至一层，分路径完成全区域巡检，全程严格执行辐射防护与安全联锁要求：

①辐照机房巡检路径：从辐照厅入口进入，沿迷道入口→迷道出口的行走线路，依次按下沿途巡检按钮，完成辐照机房区域巡检；

②主机室或测试机房等区域巡检路径：从一层非辐照区入口进入，依次完成主机室、测试机房、功率靶室等区域的巡检按钮确认，巡检完成后返回进入控制室。

#### (2) 加速器物流路线

根据建设单位设计，辐照室设置专用货物传送带，待辐照货物在来货堆放区存放，开展辐照工作前再由工作人员分别转移至辐照室外上货区，由人工搬运至传输带上，货物经传送带自动沿迷道入口进入辐照室，完成辐照后，由辐照室另一侧迷道出口传出；辐照完成后，人工将货物从传输带卸下，转移至辐照室外下货区，再由工作人员转运至成品堆放区，待装车运出厂外。

辐射工作人员巡检路径和货物输送路径详见图9.2-11。

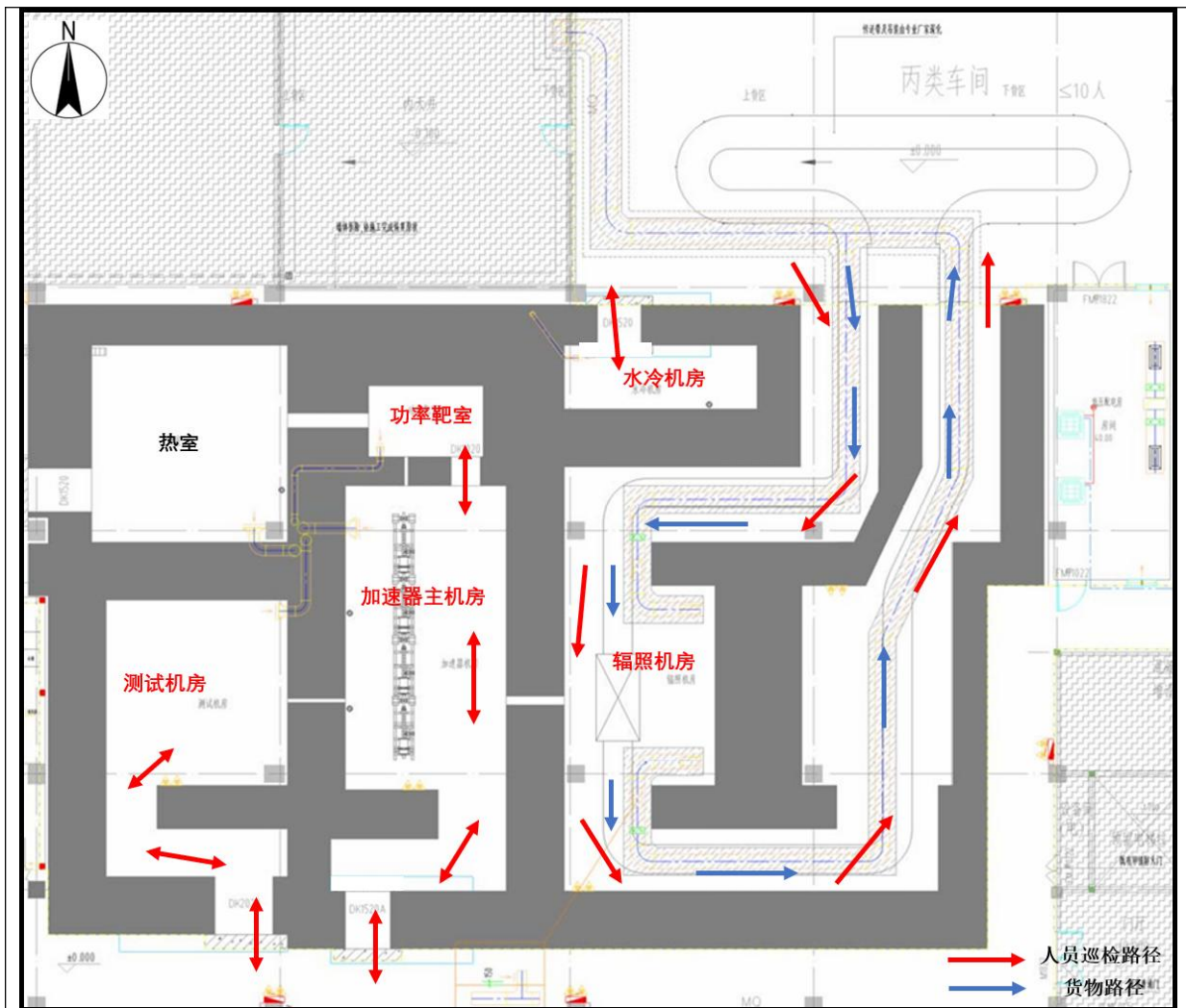


图 9.2-11 加速器人流和物流路径图

#### 9.2.4.2 核素实验室人流和物流的路径分析

##### (1) 人员路径

核素实验室的人员路径：辐射工作人员通过走廊进入→先至换鞋区更换专用防护鞋→进入更衣间更换辐射防护服→核素实验室工作场所进行实验操作（注：热室无人员直接进入操作，所有操作通过远程机械手完成，人员仅在热室外操作间监控）→工作结束后→在检测间、去污间进行污染监测（有污染需进行去污）→退至更衣间更换个人衣物→退至换鞋区换回个人鞋→离开工作区域。

##### (2) 核素转移路径

放射性同位素转移路径：订购的放射性同位素由供药公司运至放射性工作场所的南侧物流出入口处→在摄像头下与同位素实验室管理人员办理“点对点”交接手续，并记录活度、批次、数量以及收货时间等信息并登记到台账中→将放射性同位素转移至源库内→如需在热室开展高活度制备工序，由源库经核素转移路径转运至热室，在溶解槽、

电沉积仪中完成制备→制备完成的物料转回核素实验室或存入源库。

如果不能立即开展实验，将放射性物质转移至源库暂存。

### (3) 放射性废物转移路径

普通放射性废物路径：实验室产生的普通放射性废物，收集到房间内废物桶中→转移到放射性废物库→废物暂存 100d 后→监测→报审管部门批准→从南侧物流出口离开→解控为危险废物送有资质单位处置并详细记录处置台账。

### (4) 非放射性物流路径

产生的非放射性废物收集到房间内废物桶中→转移至一般固废库或危险废物库→从南侧物流出口离开。

热室产生的非放射性废物需先在去污间监测、去污确认无放射性后，按一般或危险废物处置。

本项目核素实验区的人流和物流路径见图 9.2-12。

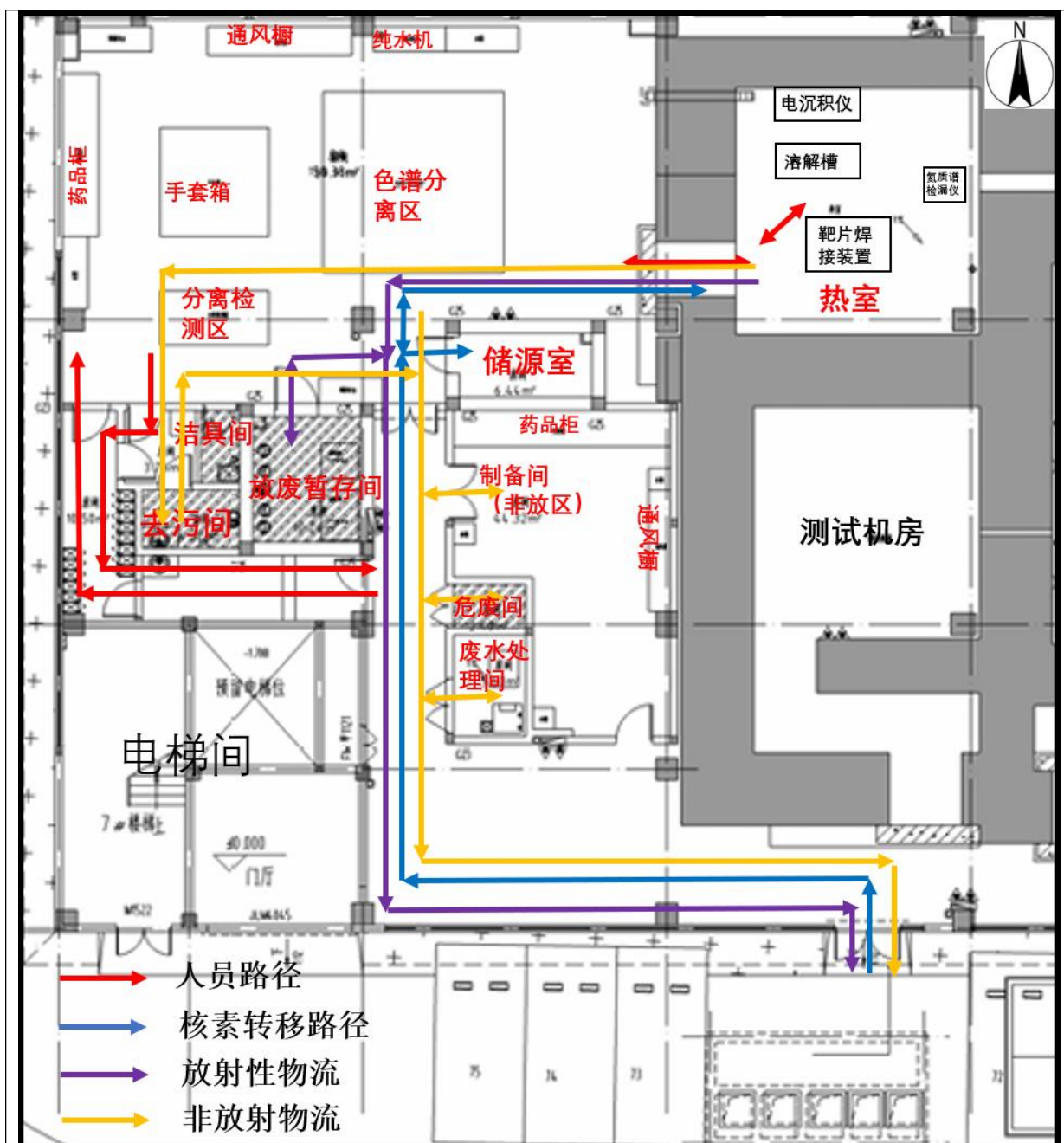


图 9.2-12 核素实验区人流和物流路径图

### 9.2.5 辐射工作人员及工作负荷

本项目拟配备辐射工作人员及工作负荷见表 9.2-9。

表 9.2-9 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

| 工作区域      | 工艺操作内容    | 操作时间                     | 辐射工作人员数量 |
|-----------|-----------|--------------------------|----------|
| 电子加速器工作场所 | 功率靶机房打靶   | 120h/次，全年12次，年工作时间约1440h | 4名辐射工作人员 |
|           | 辐照机房辐照操作  | 240h/次，全年12次，年工作时间约2880h |          |
|           | 辐照上货、下货作业 | 年工作时间约2880h              |          |
|           | 测试机房测试操作  | 2h/次，全年12次，年工作时间约24h     |          |

|                |                |                               |              |
|----------------|----------------|-------------------------------|--------------|
|                | 废靶转运           | 5min/次，全年12次，<br>年工作时间约1h     |              |
| 核素实验室<br>工作场所  | 热室             | 1.4h/班，年工作260天，<br>年工作时间约416h | 3名辐射<br>工作人员 |
|                | 通风橱操作位         | 1.4h/班，年工作260天，<br>年工作时间约416h |              |
|                | 手套箱操作位         | 1.4h/班，年工作260天，<br>年工作时间约416h |              |
|                | 色谱分离纯化操作位      | 1.4h/班，年工作260天，<br>年工作时间约416h |              |
|                | 分离检测操作位        | 1.4h/班，年工作260天，<br>年工作时间约416h |              |
|                | 原料转运位          | 0.5h/班，年工作260天，<br>年工作时间约260h |              |
|                | 固废转运位          | 0.5h/班，年工作260天，<br>年工作时间约260h |              |
| 电子加速器<br>生产及销售 | 电子加速器<br>生产及销售 | 调试2h/次，全年5次，<br>年工作时间约10h     | 2名辐射工作人员     |

### 9.3 污染源项描述

#### 9.3.1 电子加速器

##### 9.3.1.1 放射性污染源项分析

本项目电子加速器共分为两档，主机位于主机室，主机室产生的电子束通过加速管道分别连至三个机房。其中一档为 10MeV 档位的电子加速器，一档为 40MeV 档位的电子加速器。10MeV 档位的电子加速器主要放射性污染源项为电子束、X 射线和废靶件；40MeV 档位的电子加速器主要放射性污染源项为电子束、X 射线、中子、感生放射性和废靶件。

本项目电子加速器工作场所的源项采用蒙卡预测，本次蒙卡预测采用模拟粒子数  $1.6 \times 10^{10}$  个，共  $8 \times 10^6$  个网格数量，计算不确定度小于 10%；预测采用模拟数据，所得模型图是在持续稳态下得到。

##### (1) 预测模型

本项目蒙卡预测模型图见9.3-1。

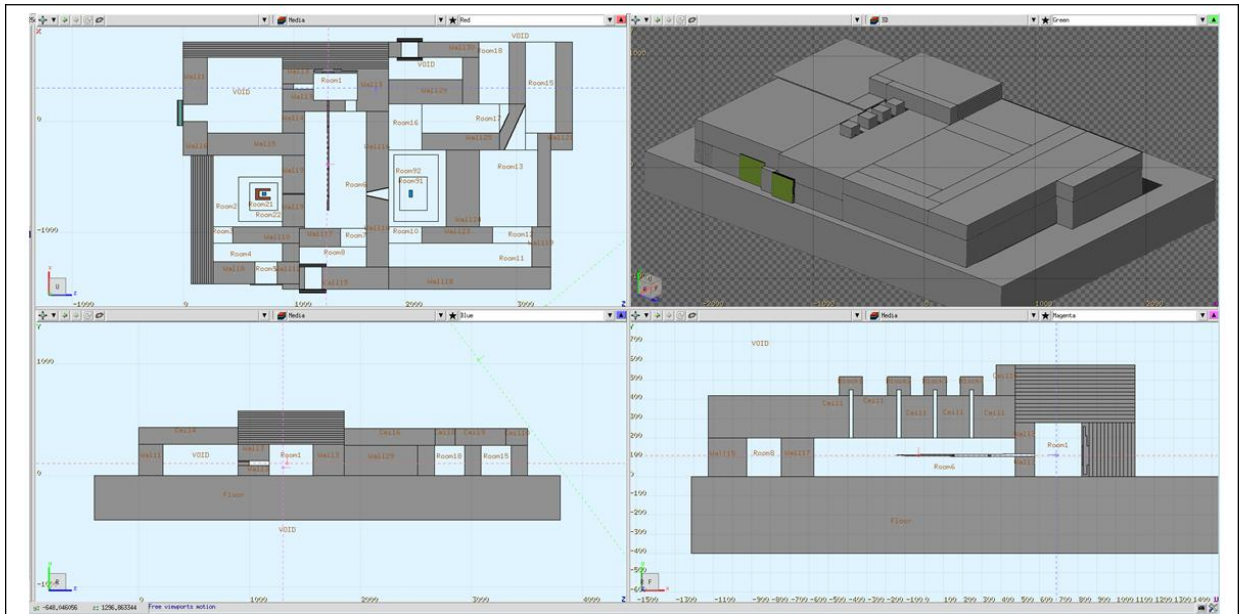


图9.3-1 本项目蒙卡预测模型图

## (2) 40MeV档位机房剂量率源项

电子加速器在40MeV档位运行时，主机室产生能量为40MeV、束流为3mA的电子束传输至功率靶室打靶，束流在传输过程中会发生束流损失，相应的束流损失点有四处，相应的能量和功率见表9.3-1。

表 9.3-1 束流损失的能量和功率一览表

| 位置 | 能量 (MeV) | 功率 (W) |
|----|----------|--------|
| 1  | 10       | 300    |
| 2  | 20       | 300    |
| 3  | 30       | 300    |
| 4  | 40       | 300    |

在FLUKA里面同时定义上述束流，然后开展相应的模拟，40MeV档位运行时电子加速器工作场所剂量率平面分布见图9.3-2，电子加速器工作场所剂量率剖面分布见图9.3-3，40MeV档位运行时机房典型位置剂量率一维分布见图9.3-4。

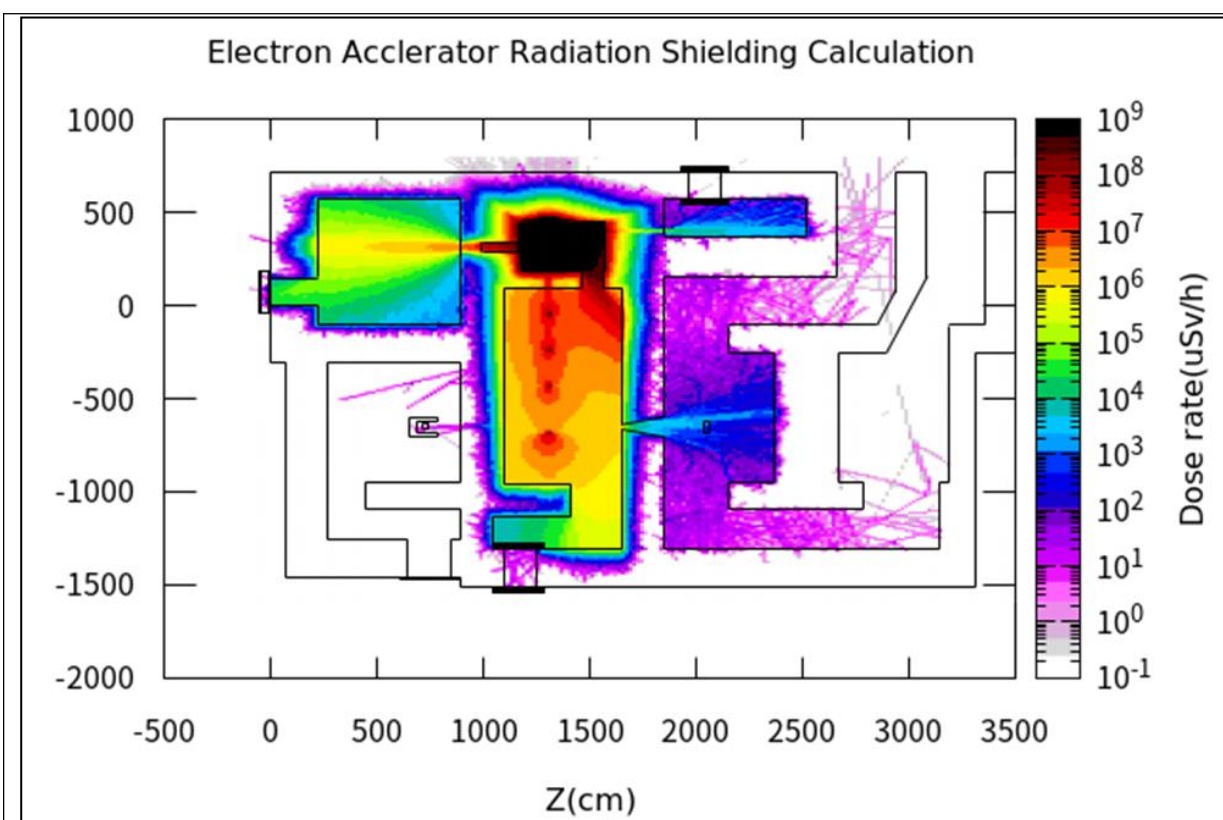


图9.3-2 40MeV档位运行时电子加速器工作场所剂量率平面分布图

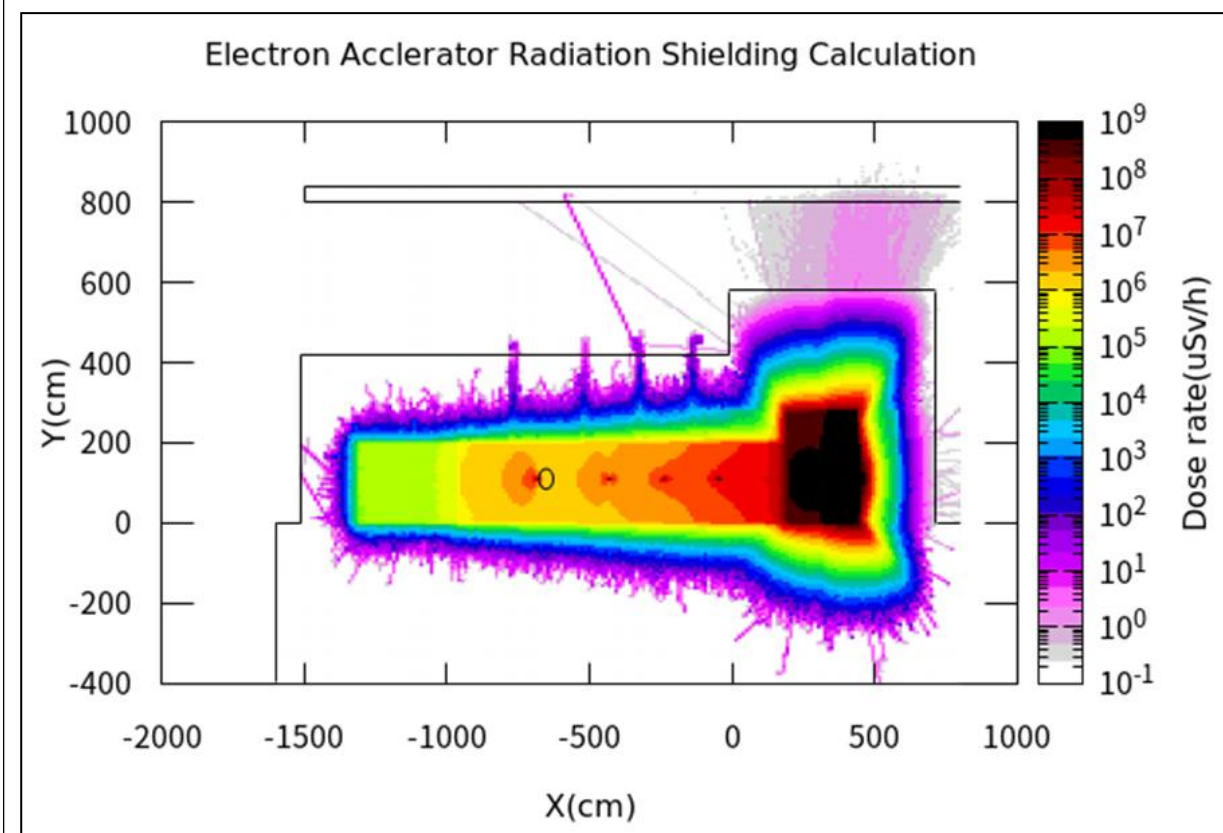
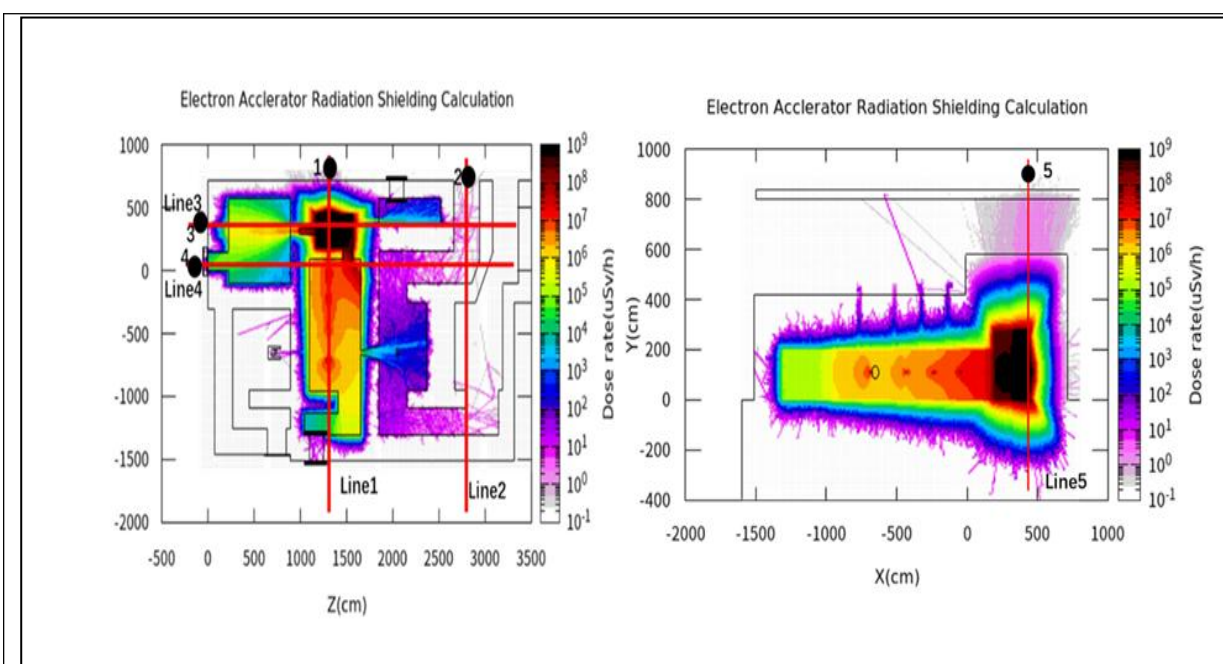
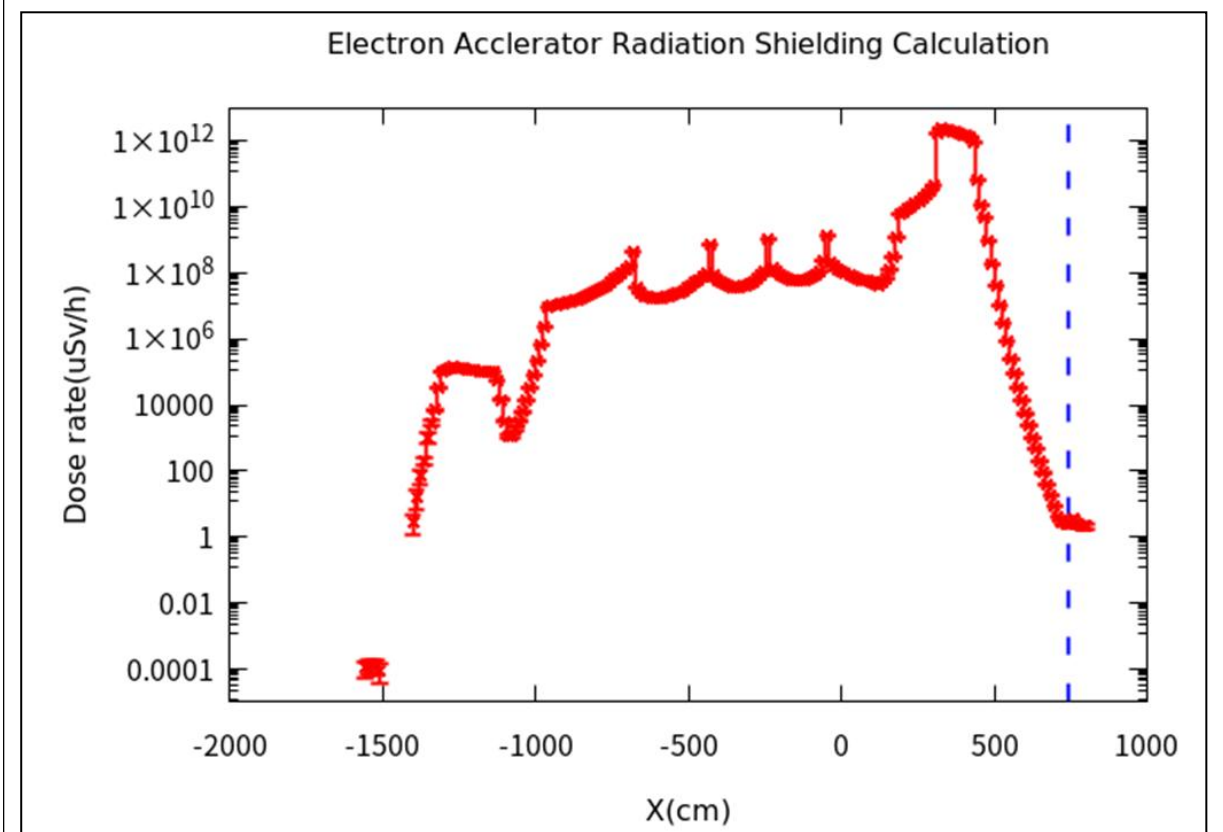


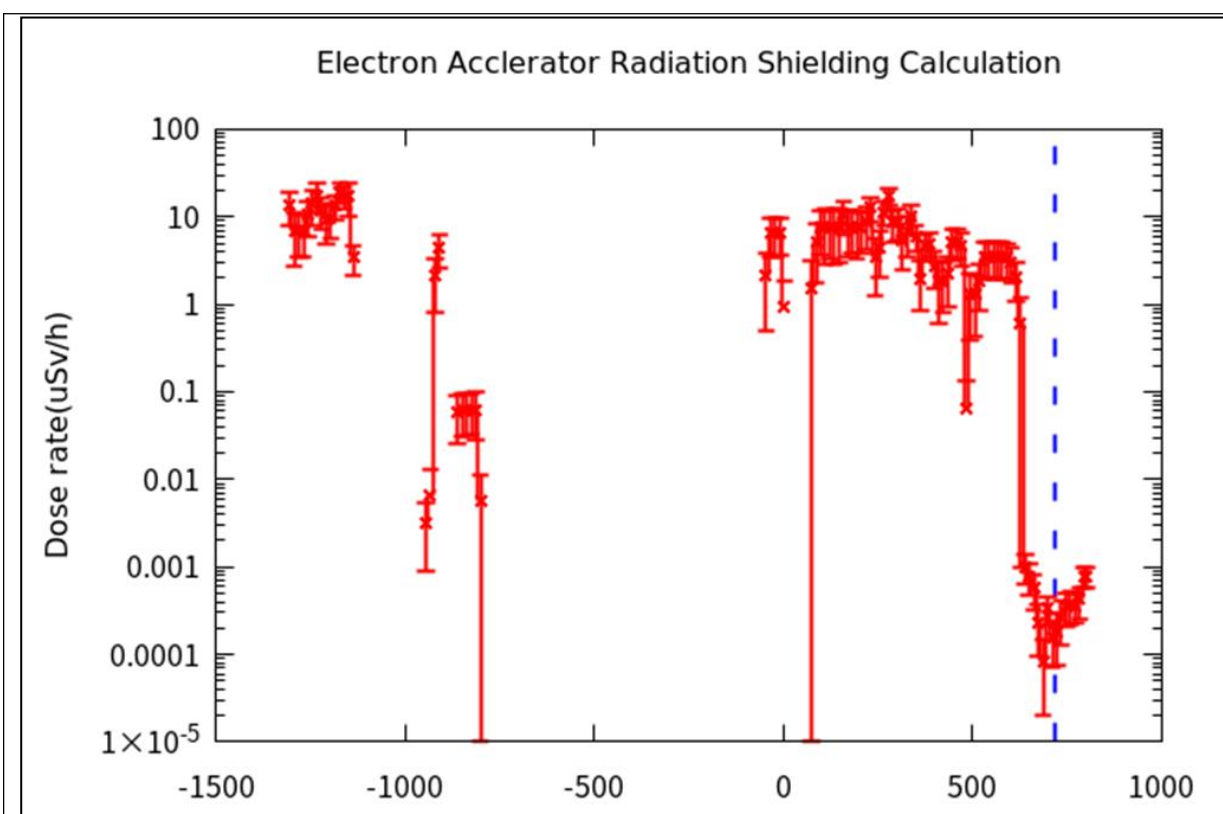
图9.3-3 40MeV档位运行时电子加速器工作场所剂量率剖面分布图



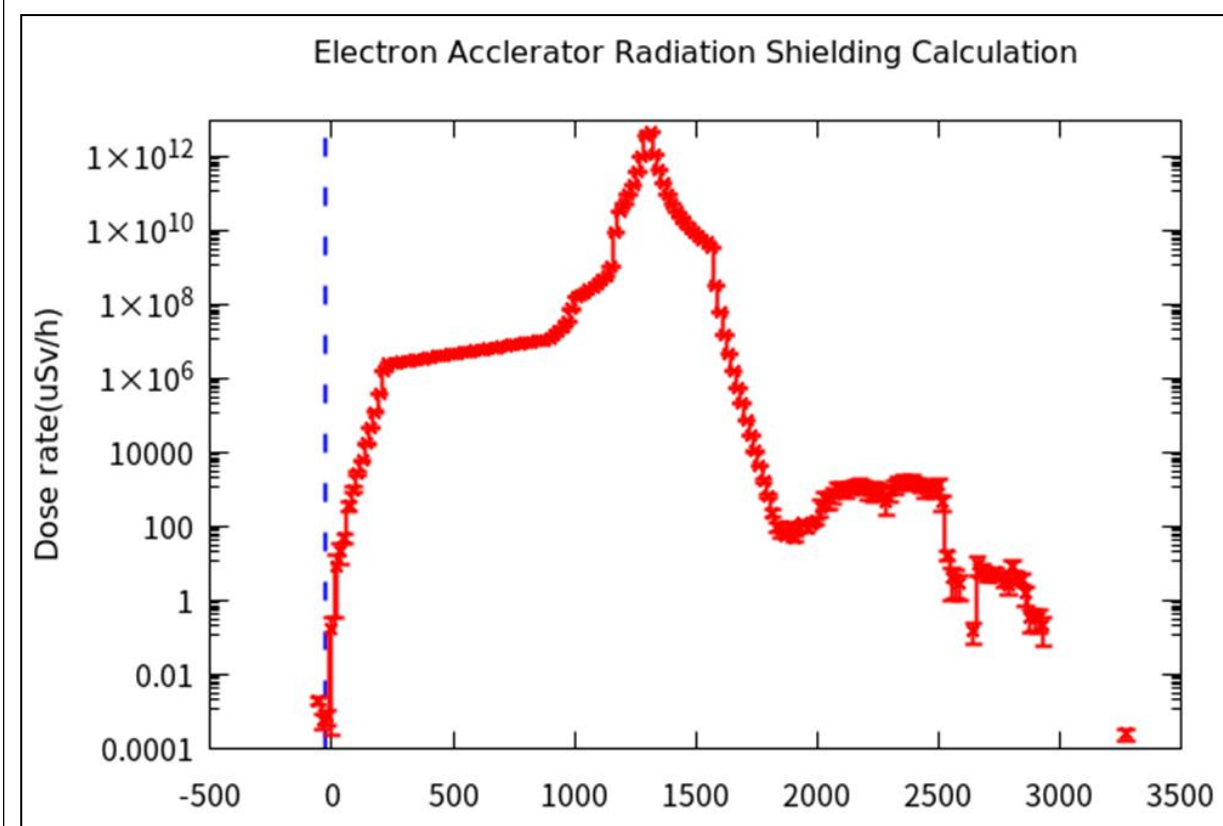
(1) 位置的选取



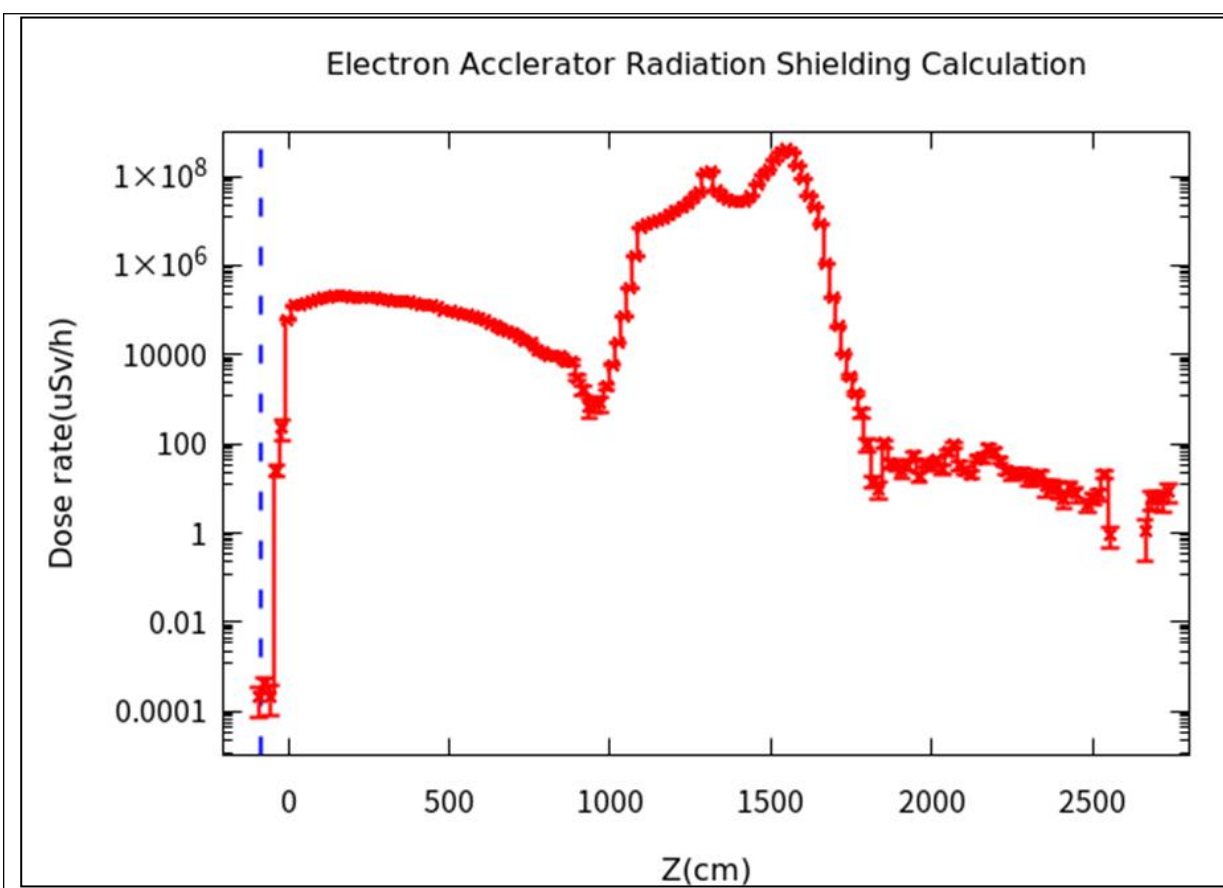
(2) 位置1 (40MeV档位运行时主机室-功率靶室南北侧) 的一维剂量率分布图



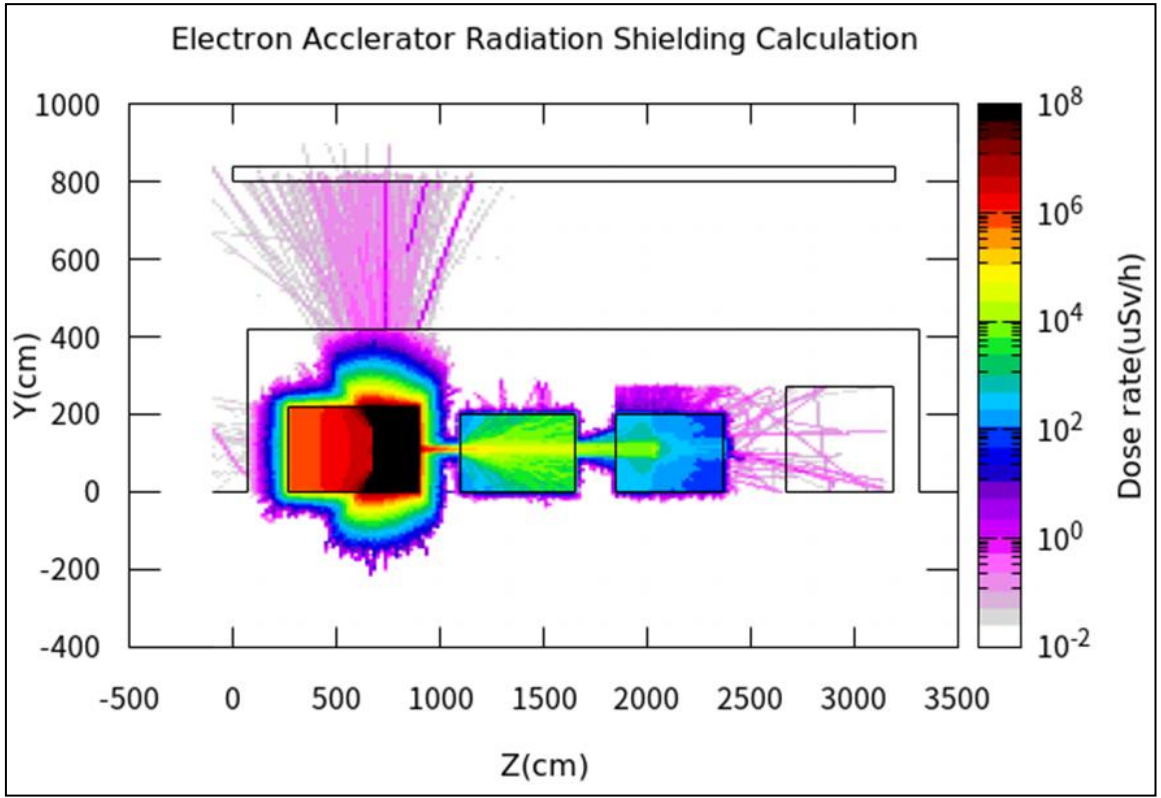
(3) 位置2 (40MeV档位运行时辐照机房南北侧) 的一维剂量率分布图



(4) 位置3 (40MeV档位运行时热室-功率靶室-辐照机房东西侧) 的一维剂量率分布图



(5) 位置 4 (40MeV 档位运行时热室-主机室-辐照机房东西侧) 的一维剂量率分布图



(6) 位置 5 (40MeV 档位运行时功率靶室顶棚) 的一维剂量率分布图

图 9.3-4 40MeV 档位运行时机房典型位置剂量率一维分布图

## (2) 10MeV档位机房剂量率源项

辐照机房与测试机房均采用 10MeV 档位进行辐照作业与测试操作，相应的束流能量为 10MeV、束流功率为 30kW，束流强度为 3mA。辐照机房运行时电子加速器工作场所剂量率平面分布见图 9.3-5，电子加速器工作场所剂量率剖面分布见图 9.3-6，辐照机房运行时机房典型位置剂量率一维分布见图 9.3-7；测试机房运行时电子加速器工作场所剂量率平面分布见图 9.3-8，电子加速器工作场所剂量率剖面分布见图 9.3-9，测试机房运行时机房典型位置剂量率一维分布见图 9.3-10。

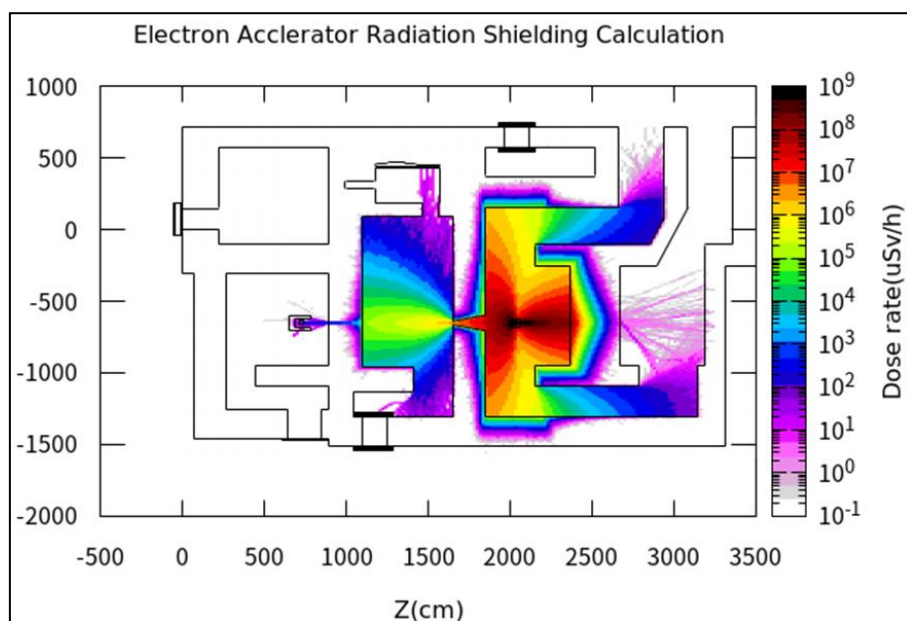


图 9.3-5 辐照机房运行时电子加速器工作场所剂量率平面分布图

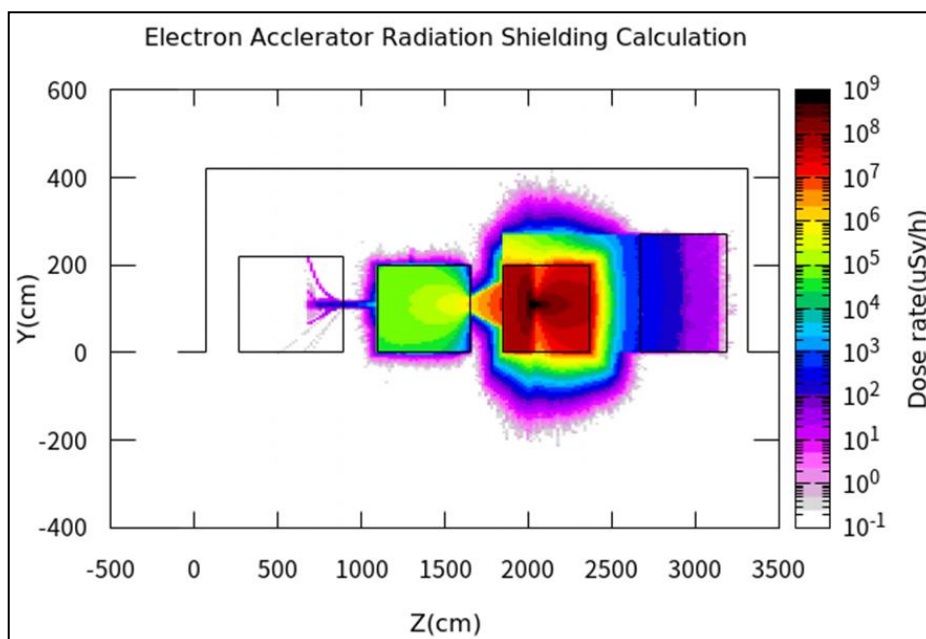
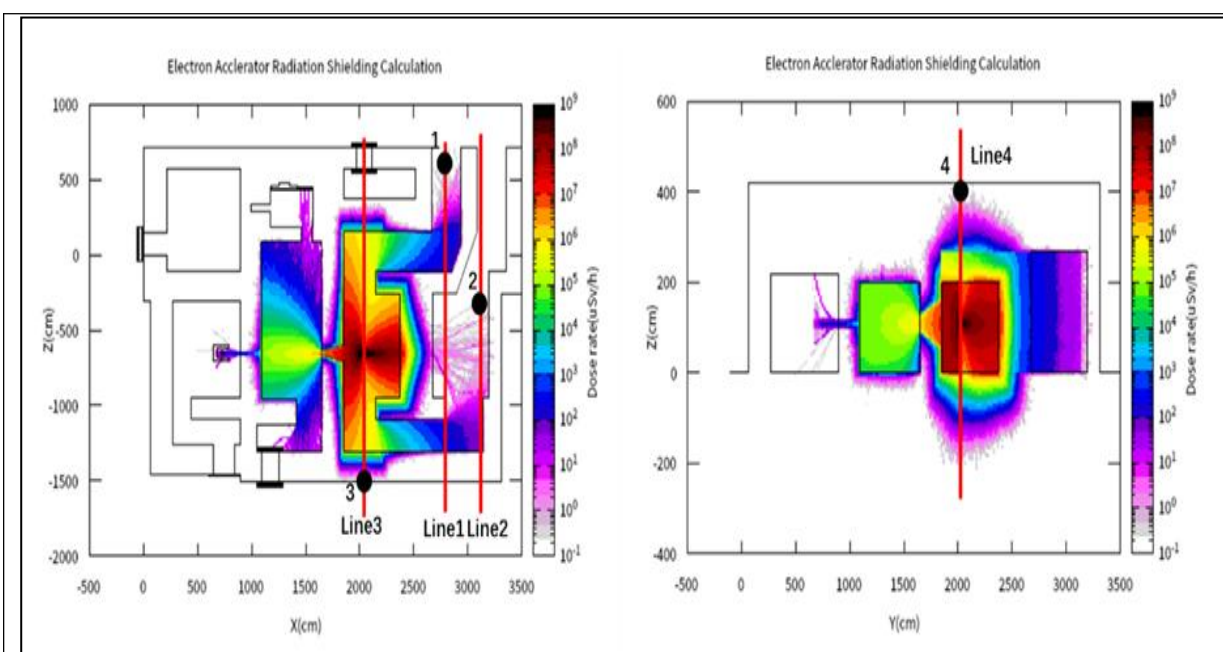
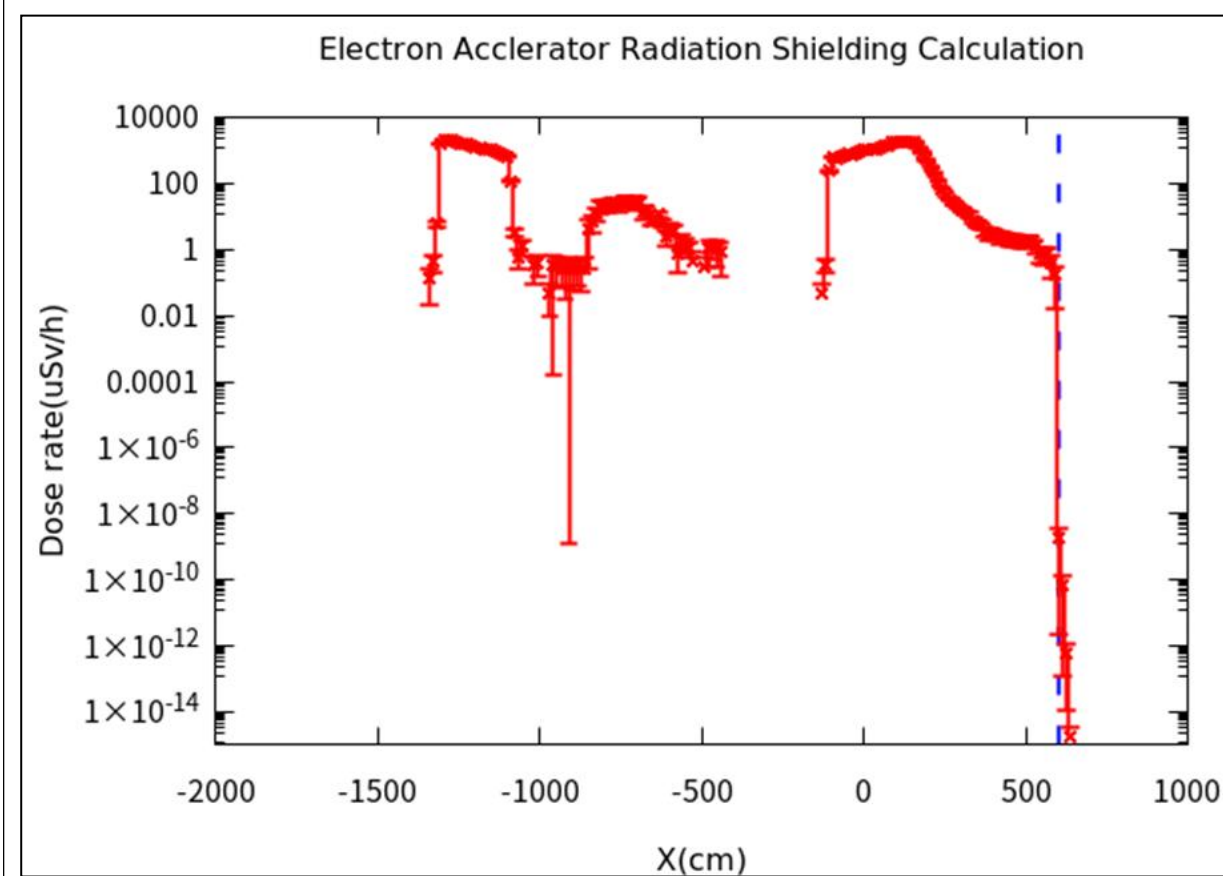


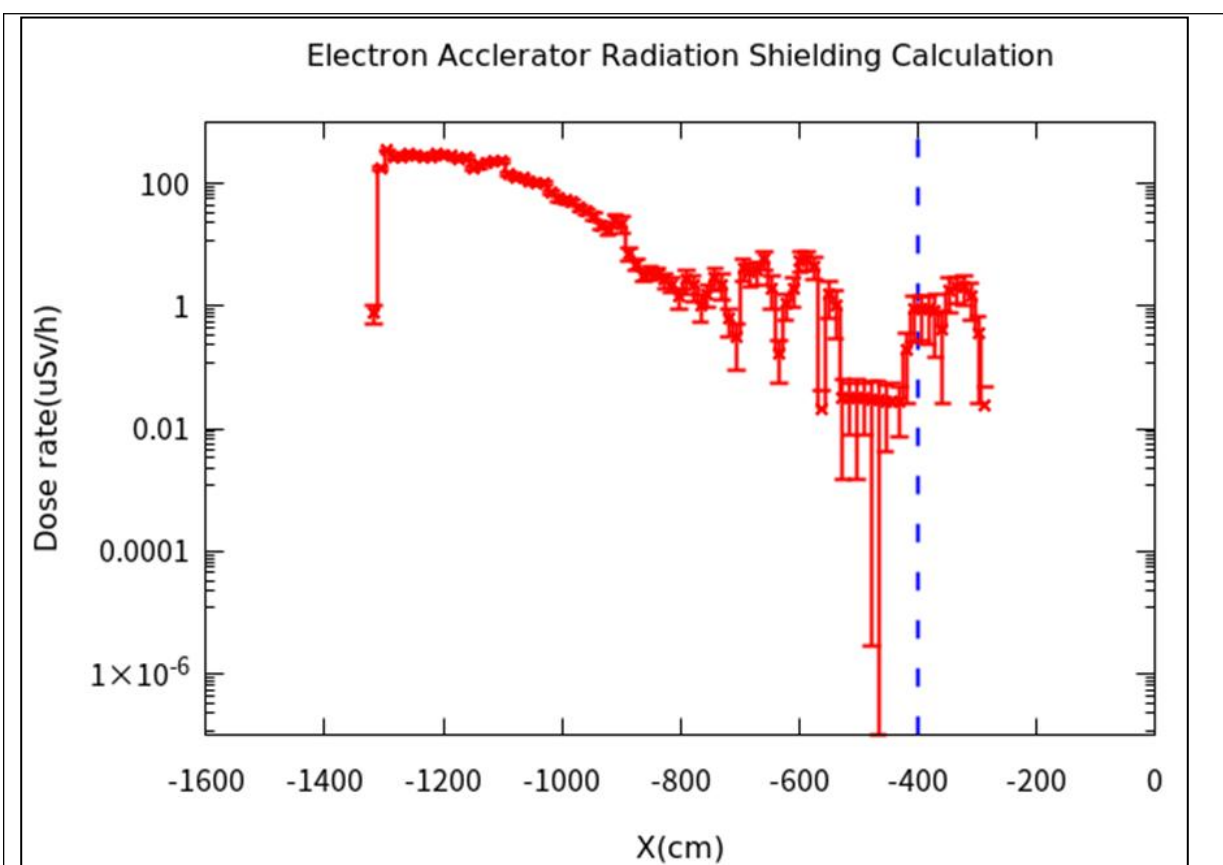
图 9.3-6 辐照机房运行时工作场所剂量率剖面分布图



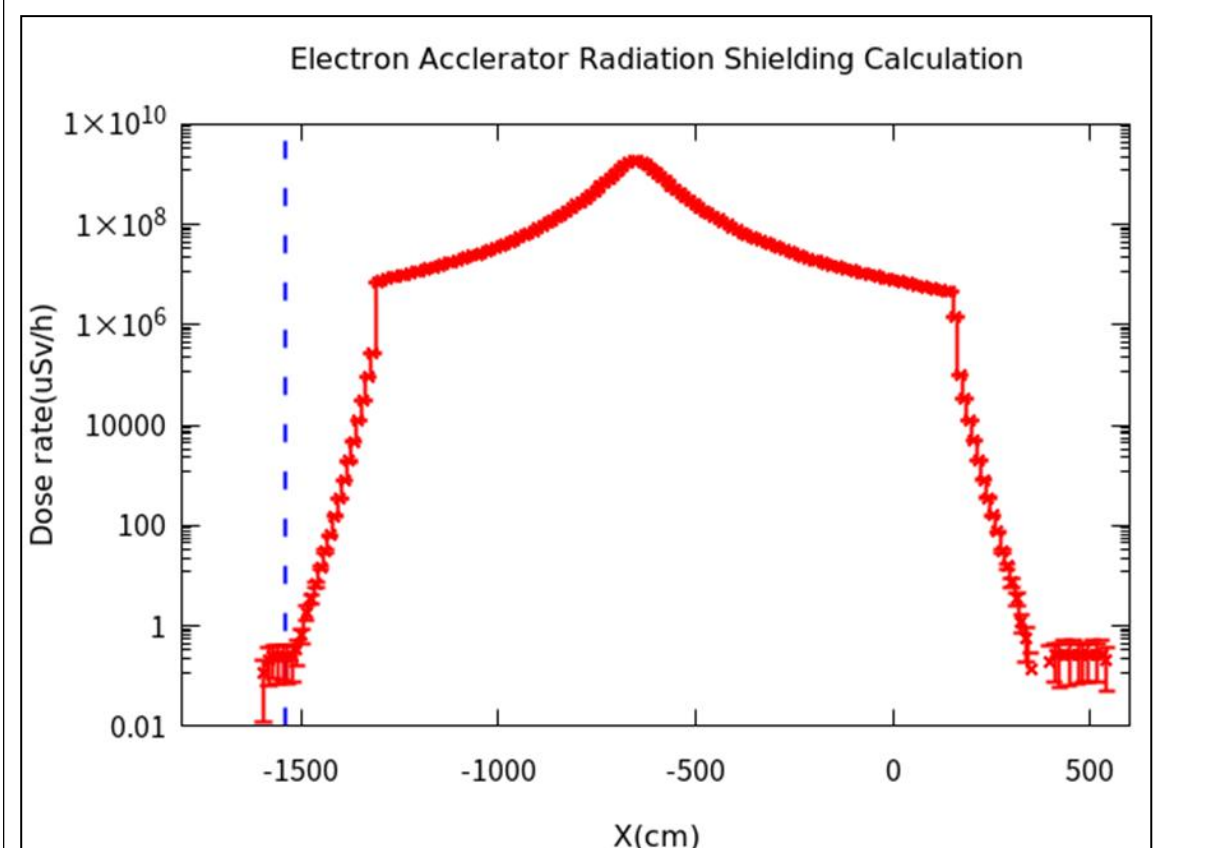
(1) 位置的选取



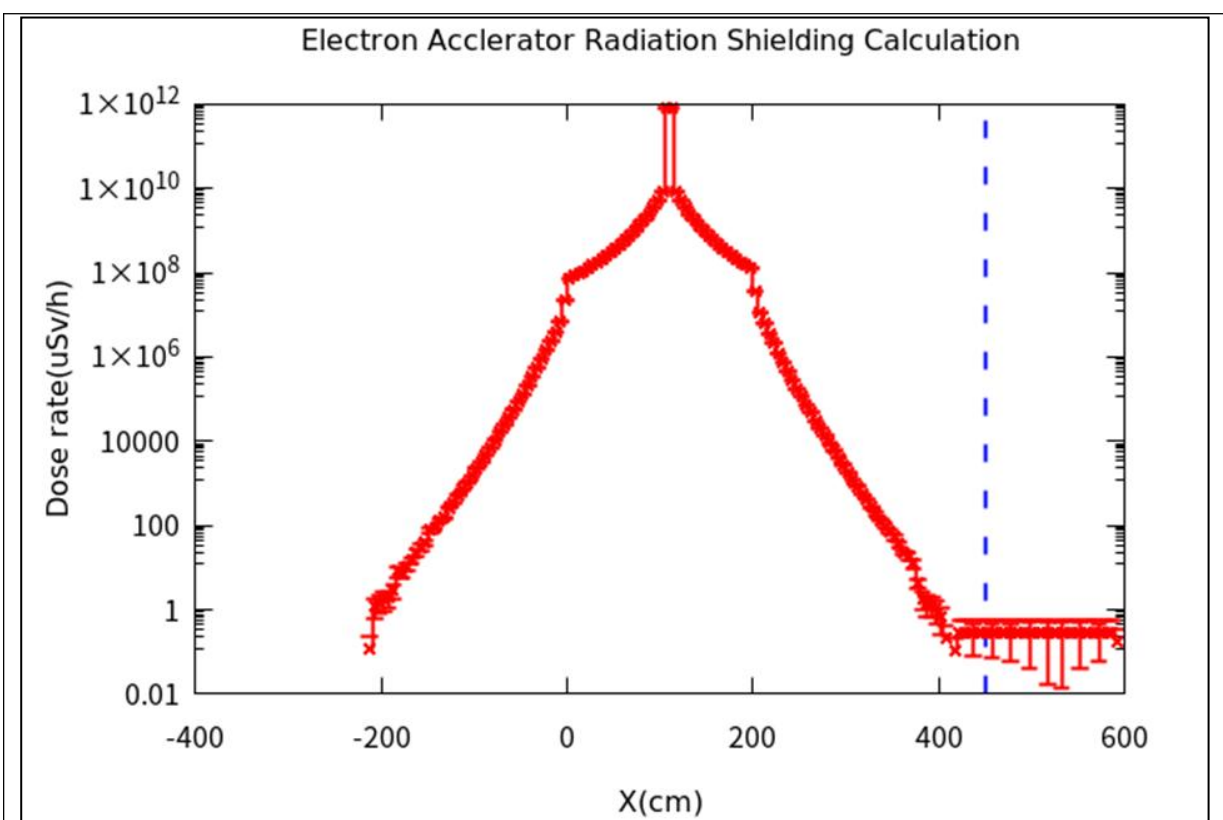
(2) 位置1 (10MeV档位辐照机房运行时辐照机房南北侧1) 的一维剂量率分布图



(3) 位置2 (10MeV档位辐照机房运行时辐照机房南北侧2) 的一维剂量率分布图



(4) 位置3 (10MeV 档位辐照机房运行时辐照机房南北侧3) 的一维剂量率分布图



(5) 位置 4 (10MeV 档位辐照机房运行时辐照机房顶棚) 的一维剂量率分布图

图 9.3-7 辐照机房运行时机房典型位置剂量率一维分布图

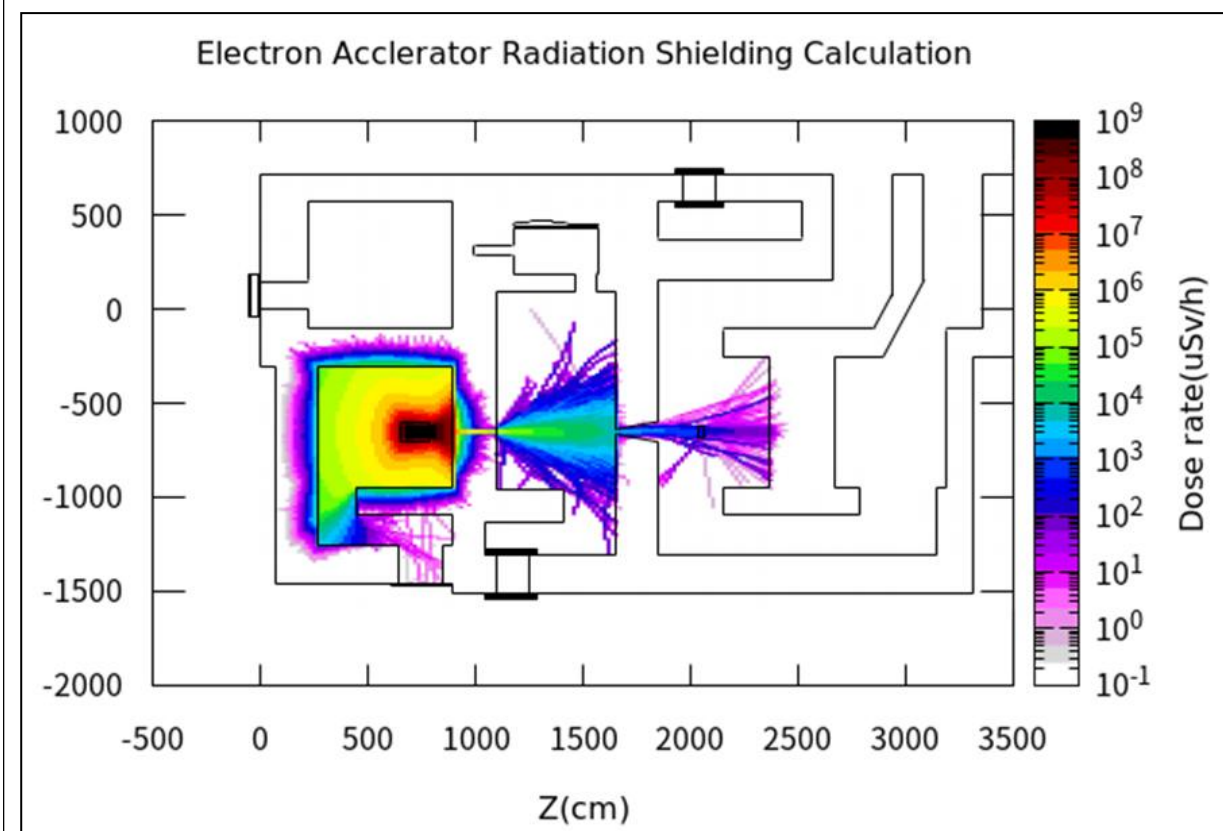


图 9.3-8 测试机房运行时电子加速器工作场所剂量率平面分布图

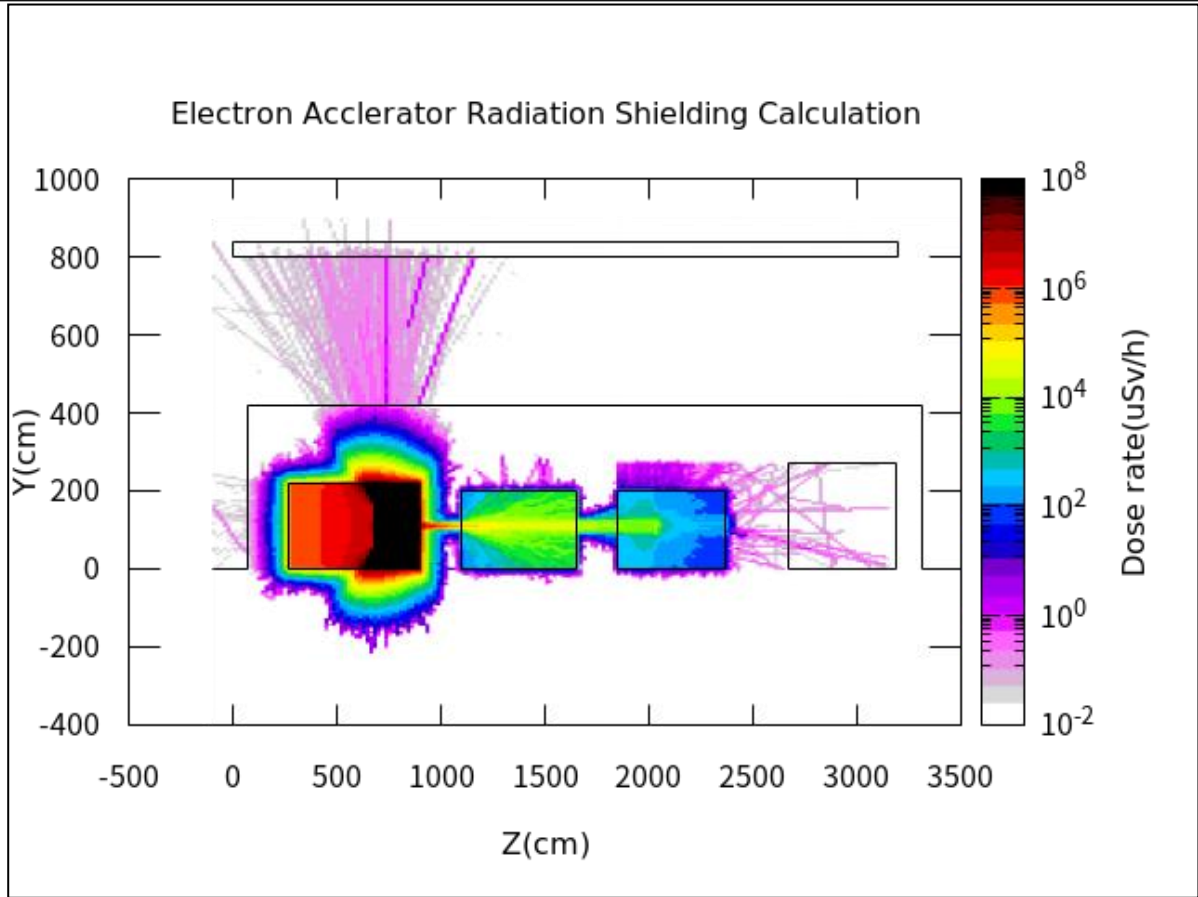
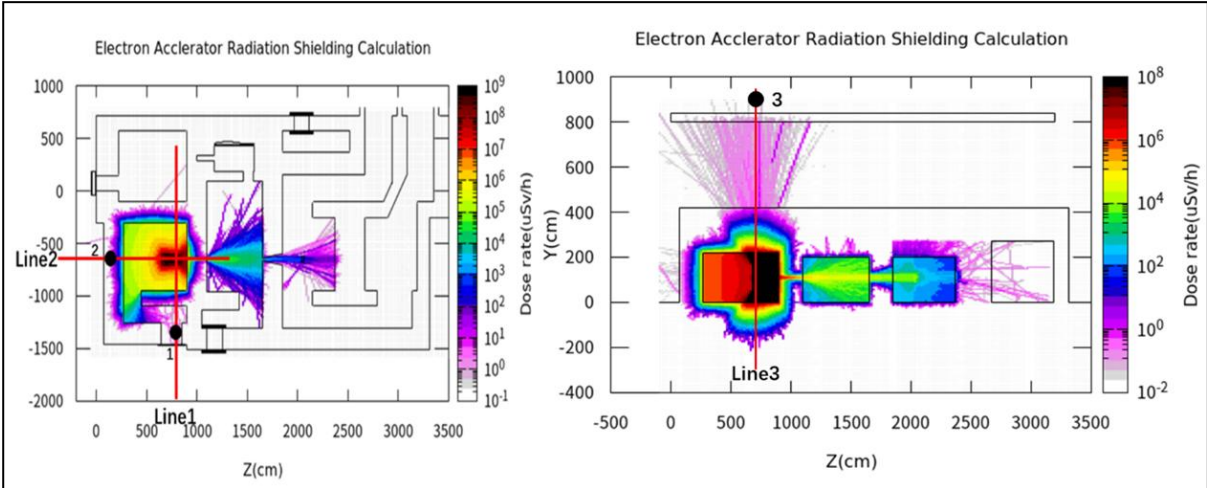
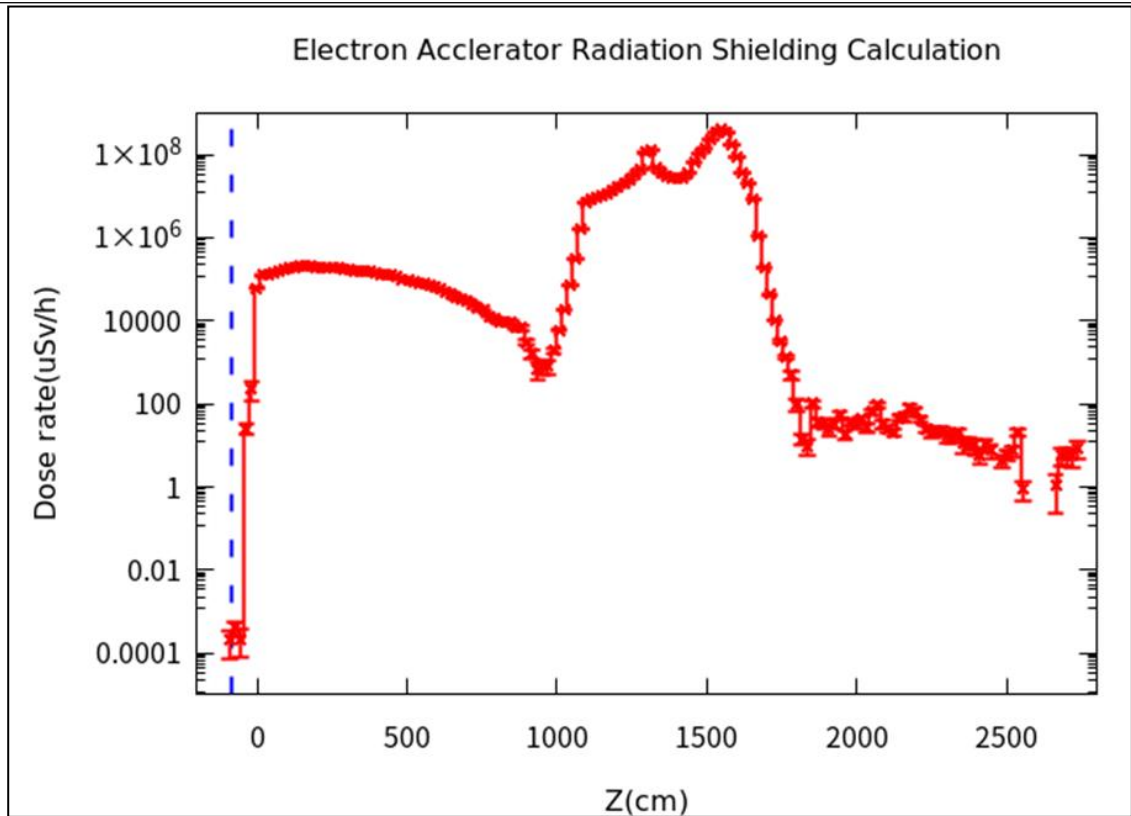


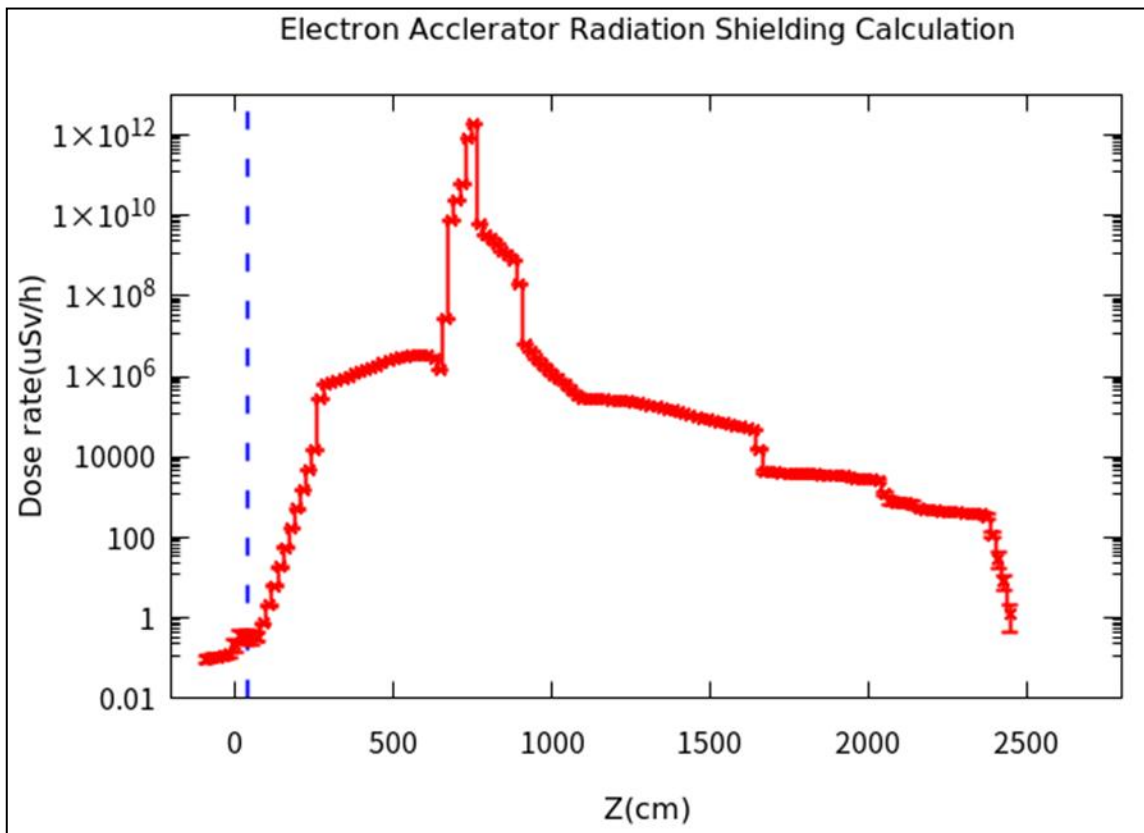
图 9.3-9 测试机房运行时电子加速器工作场所剂量率剖面分布图



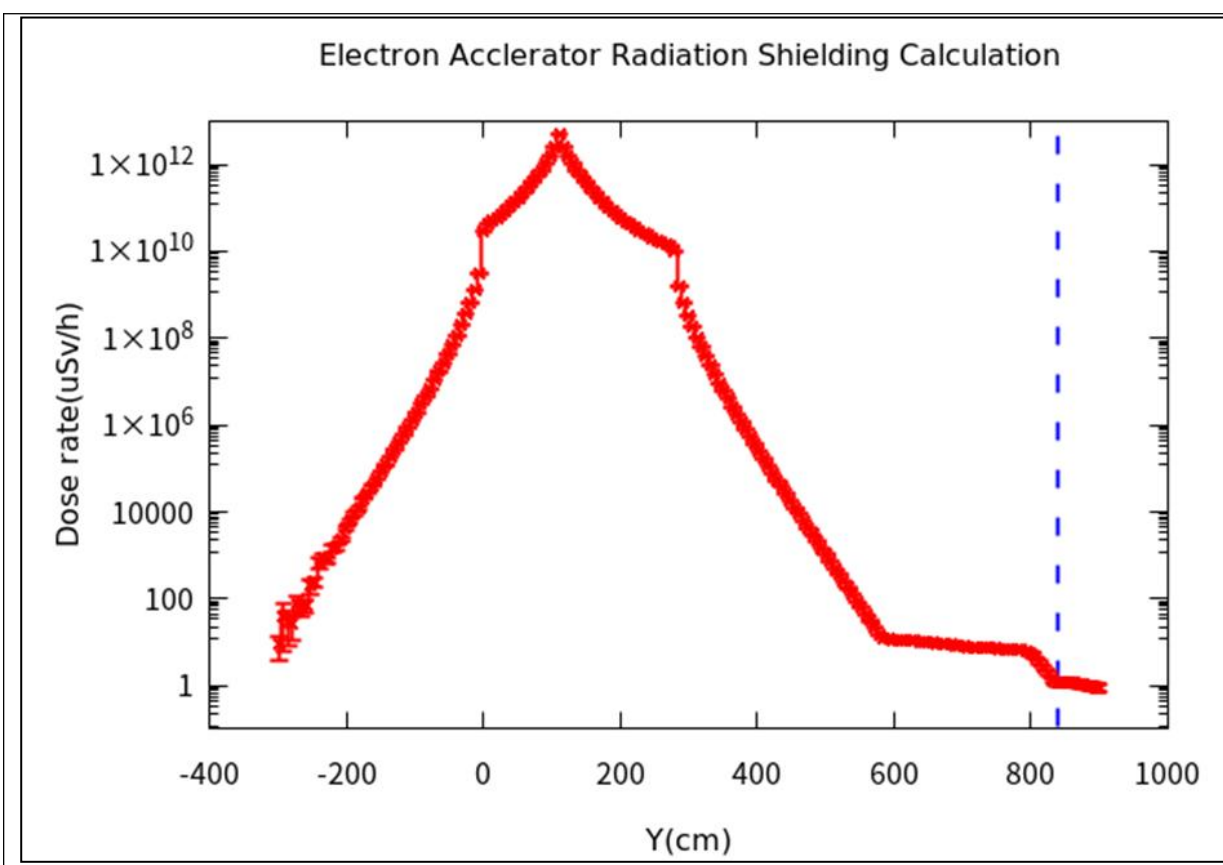
(1) 位置的选取



(2) 位置1 (10MeV档位测试机房运行时测试机房-主机室-辐照机房东西测) 的一维剂量率分布图



(3) 位置2 (10MeV档位测试机房运行时测试机房-热室南北测) 的一维剂量率分布图



(4) 位置 3 (10MeV 档位测试机房运行时测试机房顶棚) 的一维剂量率分布图

图 9.3-10 测试机房运行时典型位置剂量率一维分布图

(3) 波导孔洞剂量率分布

波导孔洞的二维剂量率分布见图 9.3-11, 波导孔洞的一维剂量率分布见图 9.3-12。

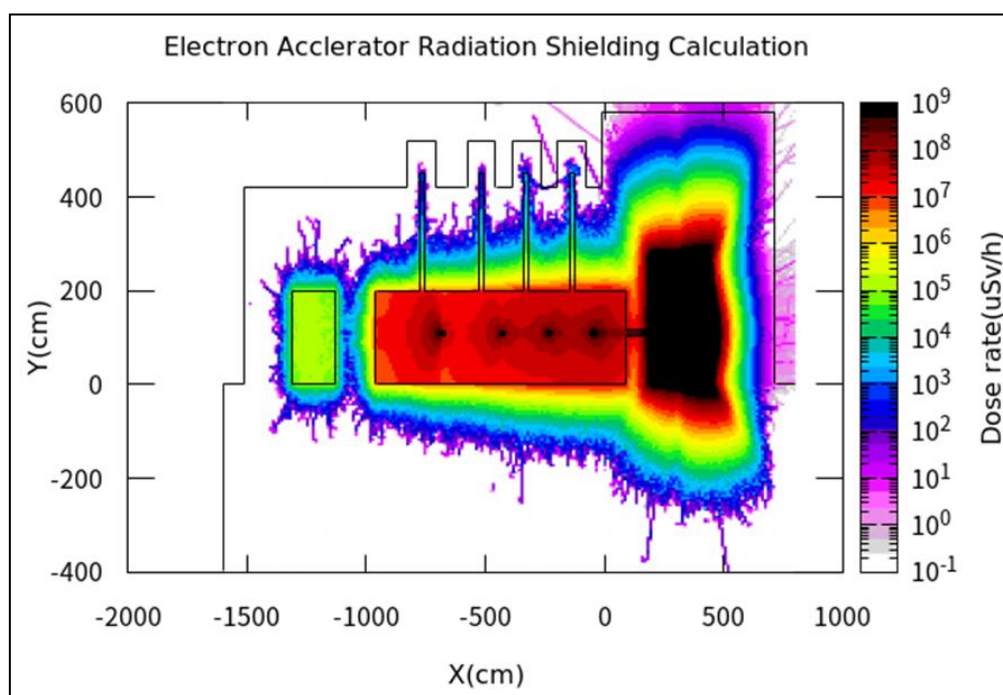


图 9.3-11 波导孔洞的二维剂量率分布图

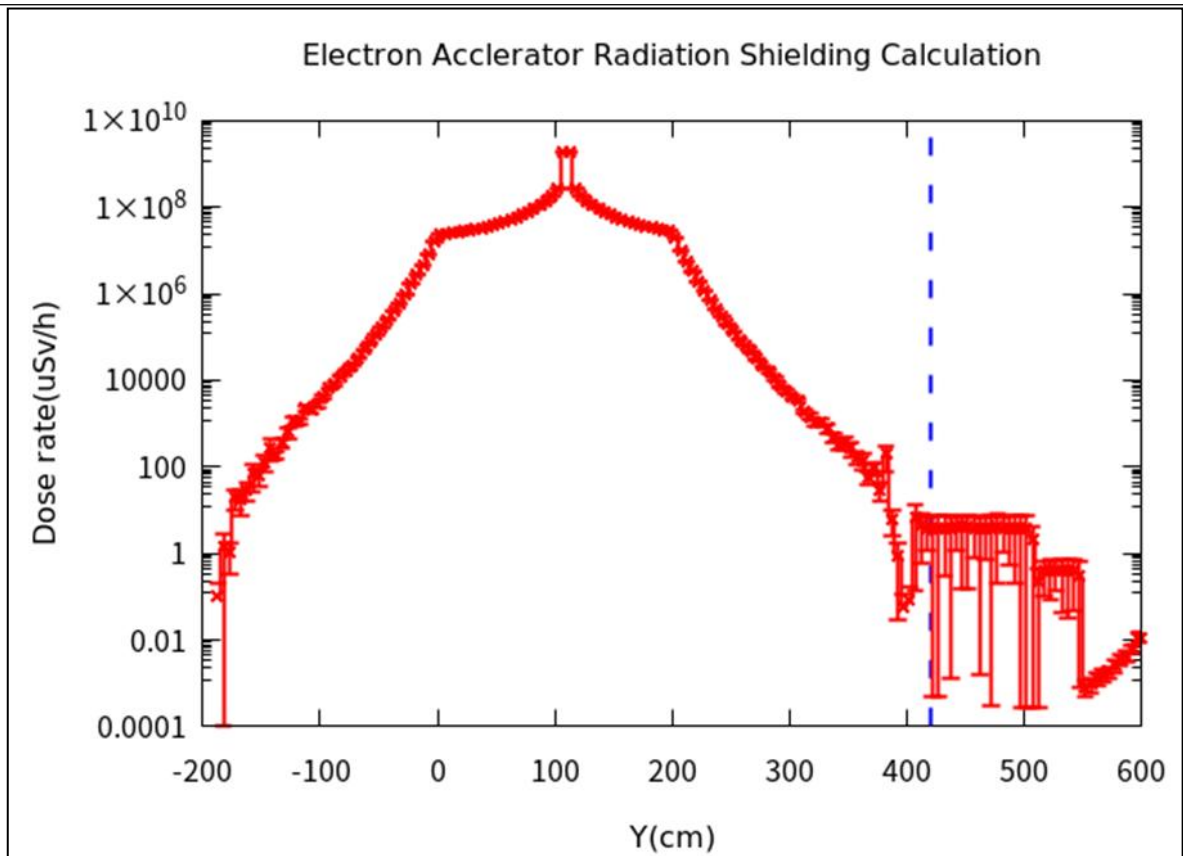


图 9.3-12 波导孔洞的一维剂量率分布图

#### (4) 感生放射性

40MeV档运行时，需要考虑感生放射性。

##### ①空气感生放射性

40MeV 档运行时，由于热中子俘获、光活化等会产生感生放射性气体，主要产生的核素种类包括 <sup>3</sup>H、<sup>13</sup>N、<sup>14</sup>C 和 <sup>41</sup>Ar 等。40MeV 档连续运行 10 天停机 10min 空气感生放射性水平见图 9.3-13，40MeV 档连续运行 10 天停机 30min 空气感生放射性水平见图 9.3-14，40MeV 档连续运行 10 天停机 60min 空气感生放射性水平见图 9.3-15。

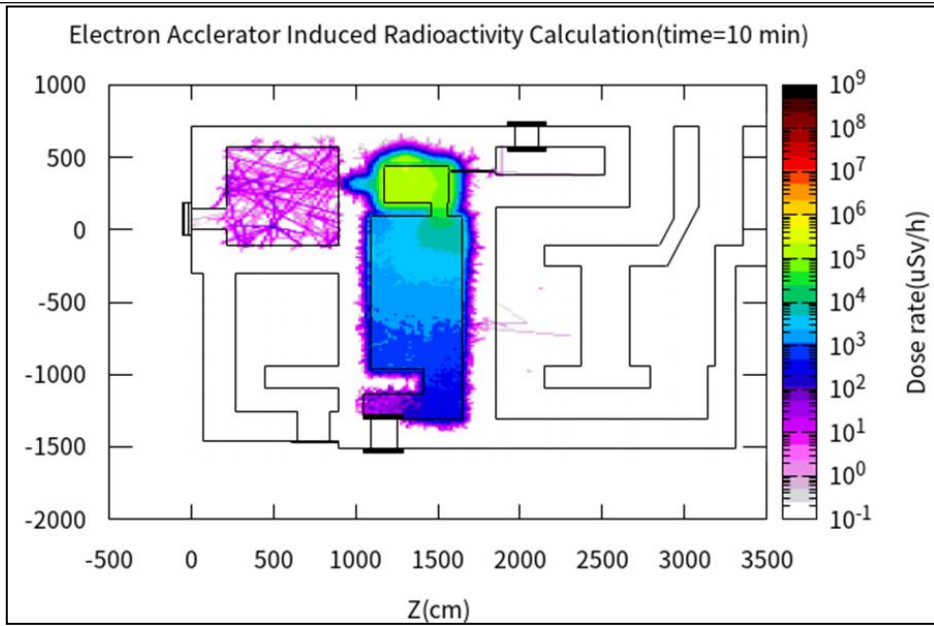


图9.3-13 40MeV档连续运行10天停机10min空气感生放射性水平

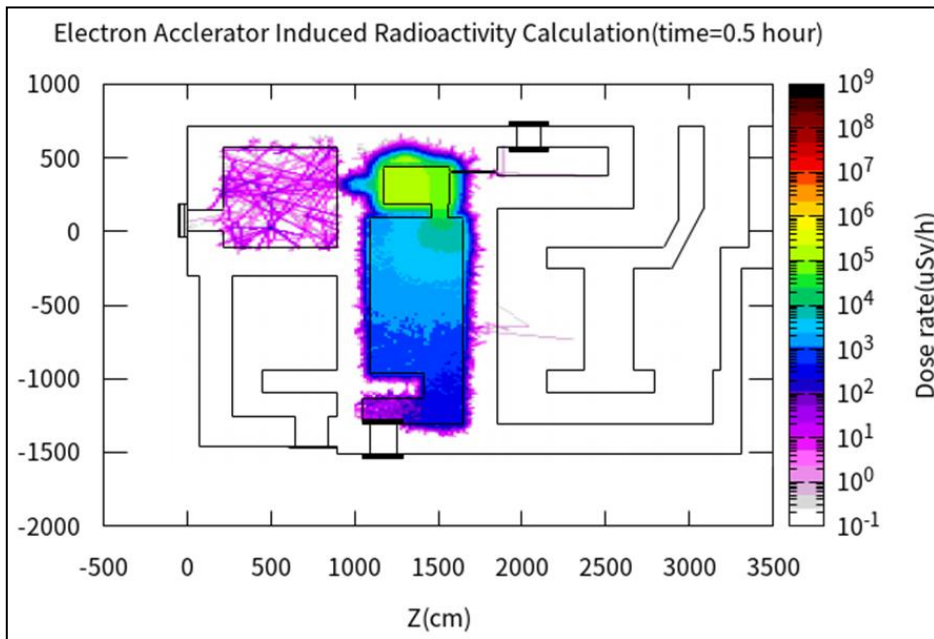
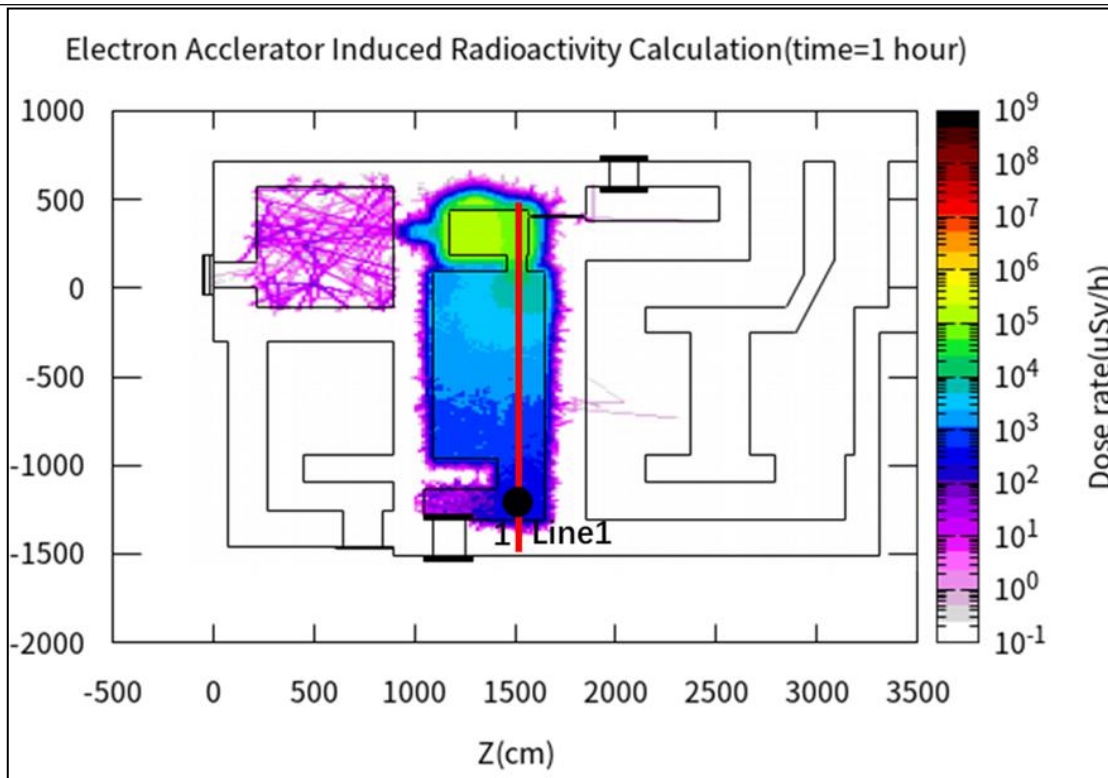
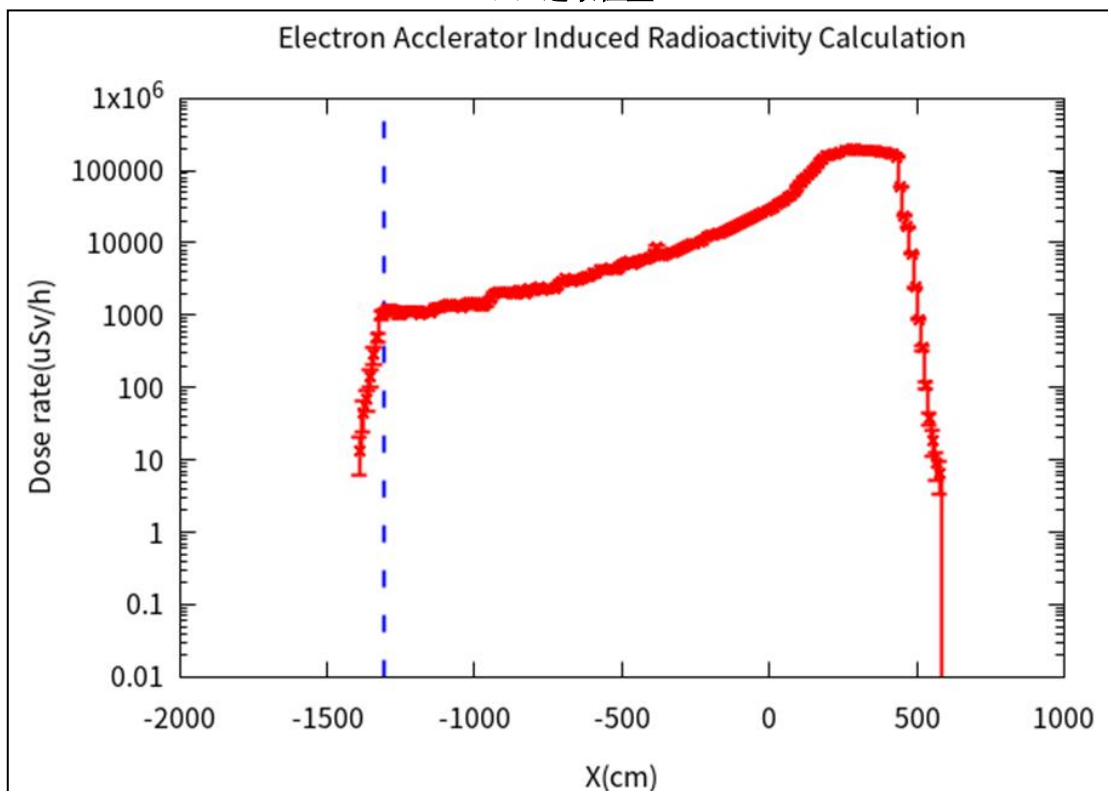


图9.3-14 40MeV档连续运行10天停机30min空气感生放射性水平



(1) 选取位置



(2) 位置1剂量率水平分布图

图 9.3-15 40MeV 档连续运行 10 天停机 60min 空气感生放射性水平

### ②冷却水感生放射性

本项目加速器功率靶冷却水一般情况循环使用不外排，仅在设备检修时排放，每年按检修10次考虑，则排放冷却水0.5m<sup>3</sup>/a。

本项目功率靶为中空，靶里实时充满冷却水进行冷却。根据功率靶的结构建模，冷却水中核素的种类及活度见表9.3-2。

表 9.3-2 水冷间冷却水中核素的种类及活度

| 核素名称 | 半衰期      | 活度 (Bq)               |
|------|----------|-----------------------|
| H-3  | 12.32 年  | 2.31×10 <sup>6</sup>  |
| C-11 | 20.38min | 3.75×10 <sup>8</sup>  |
| C-14 | 5730 年   | 4.97×10 <sup>3</sup>  |
| N-13 | 9.965min | 1.50×10 <sup>9</sup>  |
| O-15 | 122.24s  | 1.98×10 <sup>10</sup> |

### ③结构部件感生放射性

结构部件感生放射性主要考虑废靶。本项目功率靶运行10天需更换一次，采用机械臂换靶。功率靶每年运行12次，每年则需要更换12次功率靶，废靶总重量约50kg/年。根据蒙卡计算结果，功率靶活化产物的放射性核素种类及活度见表9.3-3。

表 9.3-3 功率靶活化部件活化产物的放射性核素种类及活度

| 放射性核素   | 半衰期    | 活度 (Bq)               |
|---------|--------|-----------------------|
| Ta-178  | 9.3min | 2.57×10 <sup>9</sup>  |
| Ta-182  | 115天   | 5.51×10 <sup>8</sup>  |
| Ta-182M | 1.3s   | 3.4×10 <sup>9</sup>   |
| W-178   | 21.6天  | 2.58×10 <sup>9</sup>  |
| W-179M  | 6.4min | 2.11×10 <sup>10</sup> |
| W-181   | 121.2天 | 2.18×10 <sup>11</sup> |
| W-185   | 75.1天  | 2.79×10 <sup>11</sup> |
| W-185M  | 1.7min | 1.57×10 <sup>12</sup> |

对于钨靶来说，W-178、W-181、W-185等放射性核素主要为β衰变，产生β射线，影响较小。基于半衰期的长短，主要考虑放射性核素Ta-182的影响，相应的γ射线能量保守考虑1.22MeV，废靶采用5cm厚的铅箱进行屏蔽，铅箱外二维剂量率分布见图9.3-16，铅箱外一维剂量率分布见图9.3-17。

### ④放射性固废

本项目加速器主机室和功率靶室各设置一套废气处理系统，废气排放管道设置有初效+中效过滤器+活性炭吸附单元，单套系统配套过滤器重量为1.5kg，每半年更换1次，则年废滤材总量为0.006t/a；根据《浙江省分散吸附-集中再生活性炭法挥发性有机物治理体系建设技术指南》中“风量10000≤Q<20000Nm<sup>3</sup>/h的活性炭最少装填量参照附录A废气收集参数和最少活性炭装填量表进行估算”，单套单次活性炭装填量为60kg/次，按

500 小时使用周期计年更换约 6 次，年废活性炭产生量为 0.72t/a。废过滤器与废活性炭属于放射性固废，经收集后委托有资质单位处置。

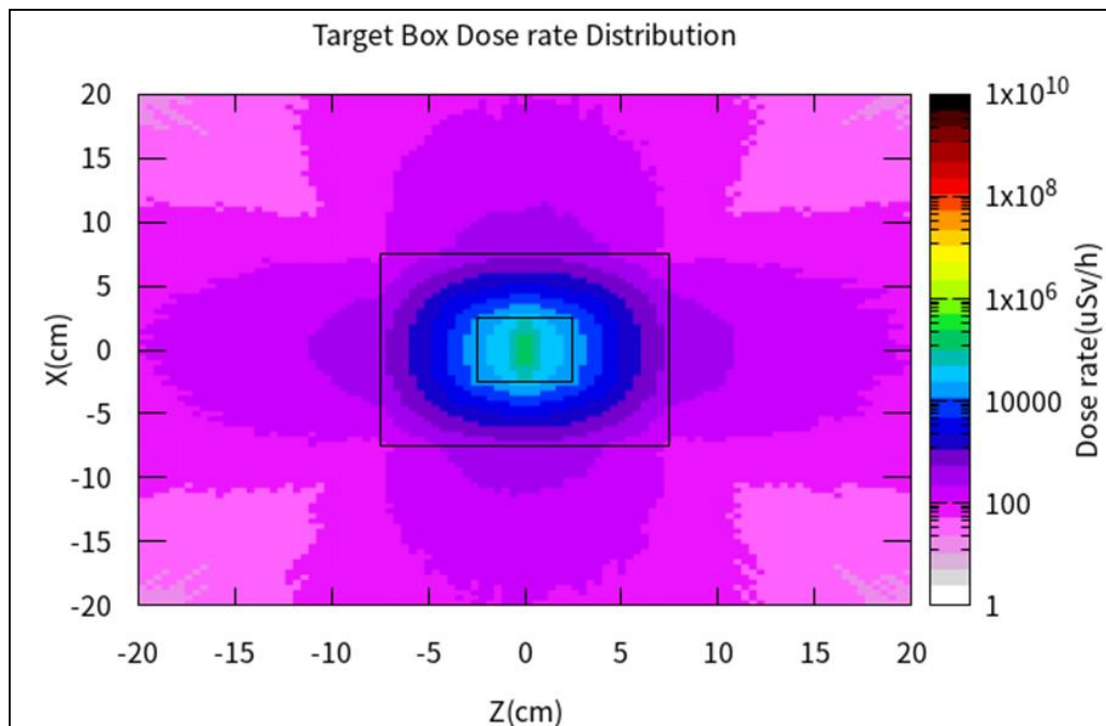


图 9.3-16 铅箱外二维剂量率分布图

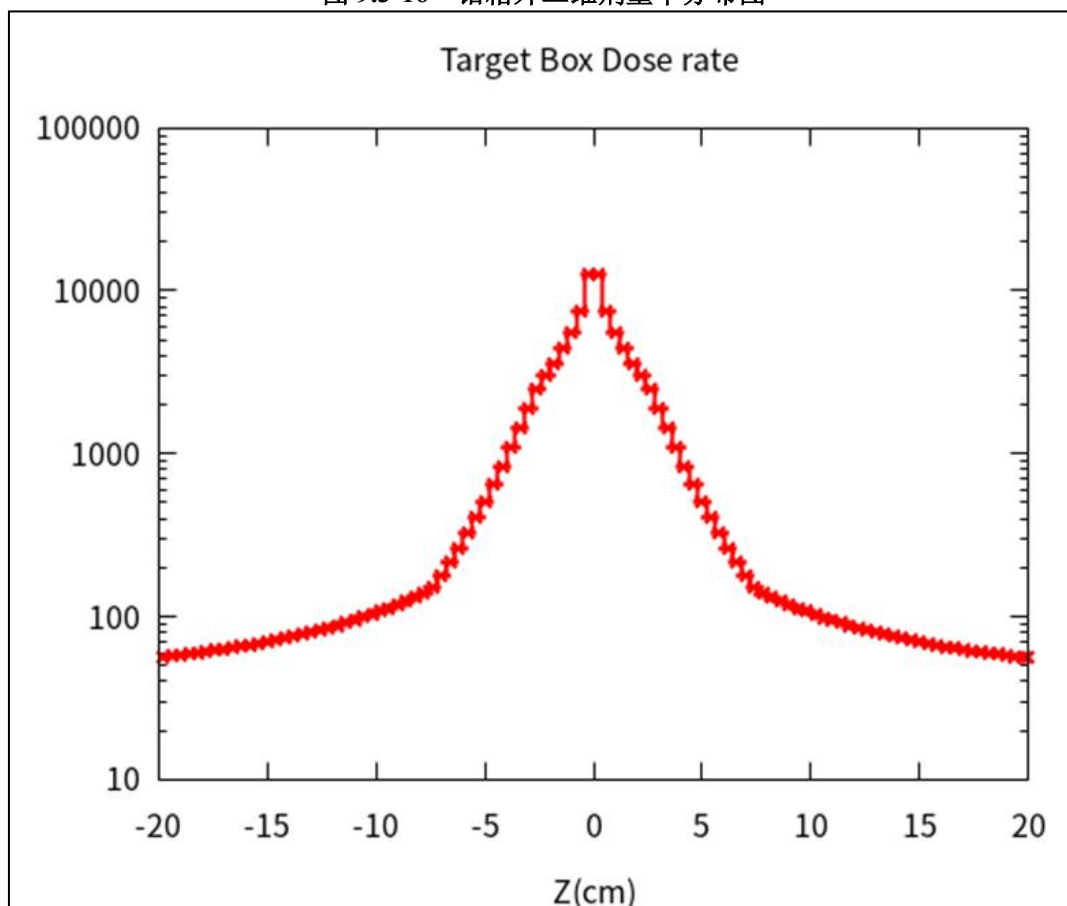


图 9.3-17 铅箱外一维剂量率分布图

### 9.3.1.2 非放射性污染源项

#### (1) 废气

加速器运行过程中，电离辐射使空气电离产生的少量 O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> 废气，其中，臭氧的危害大，产额高，毒性大，而氮氧化物的产率仅为臭氧产率的三分之一，且国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物，因此，在考虑有害气体的影响时仅考虑臭氧的影响。

#### (2) 生活污水

加速器劳动定员约为 6 人，年工作约 260 天，不设食堂和宿舍。根据《建筑给水排水设计规范》，不住宿员工日用水量按 50L/d 计算，项目生活污水产生及排放量见表 9.3-4。

表 9.3-4 项目生活污水产生及排放量统计

| 内容                | 人数  | 年工作天数 | 用水系数    | 用水量    | 排水系数 | 日排水量   | 年排水量    |
|-------------------|-----|-------|---------|--------|------|--------|---------|
| 加速器生产、使用、销售人员日常生活 | 6 人 | 260   | 50L/人·天 | 0.3t/d | 0.9  | 0.3t/d | 70.2t/a |

本项目生活污水产生量约 0.3t/d (70.2t/a)，排水水质类比城市生活污水水质监测结果，COD<sub>Cr</sub> 浓度约 350mg/L，BOD<sub>5</sub> 浓度约 200mg/L，SS 浓度约 200mg/L，NH<sub>3</sub>-N 浓度约 35mg/L，则各污染物的产生量 COD<sub>Cr</sub> 为 0.025t/a，BOD<sub>5</sub> 为 0.014t/a，SS 为 0.014t/a，氨氮为 0.003t/a。

### 9.3.2 核素实验室

#### 9.3.2.1 放射性污染源项分析

本项目主要放射性污染源项是射线、表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固废等，具体如下。

各放射性核素特征表见表 9.3-5。

表 9.3-5 放射性同位素特征表

| 核素名称              | 物理状态 | 毒性类别 | 半衰期    | 衰变类型           | α最大能量 (MeV) | β最大能量 (MeV) | γ最大能量 (MeV) |
|-------------------|------|------|--------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| <sup>225</sup> Ac | 液态   | 极毒   | 10.0d  | α              | 5.83        | /           | /           |
| <sup>226</sup> Ra | 固态   | 极毒   | 1602a  | α              | 4.78        | /           | /           |
| <sup>67</sup> Cu  | 液态   | 中毒   | 61.7h  | β <sup>-</sup> | /           | 0.57        | 0.18        |
| <sup>99</sup> Mo  | 液态   | 中毒   | 66.02h | β <sup>-</sup> | /           | 1.23        | 0.74        |
| <sup>47</sup> Sc  | 液态   | 中毒   | 3.41d  | β <sup>-</sup> | /           | 0.44        | 0.16        |

注：放射性核素参数数据来源于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《辐射防护手册》、《辐射防护导论》、《辐射安全手册》等。

#### 1、射线

本项目使用的放射性核素衰变过程中会产生α粒子、β射线、γ射线，以及β射线被其

他物质阻止时会产生韧致辐射。

## 2、表面污染

放射性核素使用和操作过程中，会造成工作台、实验设备、墙壁、地面、防护服、手套等物品的表面沾污，形成 $\alpha$ 表面污染和 $\beta$ 表面污染。污染环节主要包括核素的分离纯化操作、器具清洗等步骤，污染物为上述 5 种放射性核素。

## 3、内照射

放射性核素经摄入、吸入或经皮肤、伤口等渗入可能进入人体，进而产生内照射。本项目使用核素状态为液态和固态，所有涉及放射性核素操作的分离纯化实验均在负压手套箱内进行，工作人员操作过程全程均穿戴个人防护用品，如穿工作服、口罩和防护眼镜等，进入污染区须戴过滤型呼吸器或活性炭口罩，可有效防止职业人员的内照射，在规范操作的情况下，辐射工作人员产生的内照射影响很小。

## 4、放射性废水

本项目放射性废水仅在突发人员沾污应急场景下产生，实验室控制区内不设下水，无日常性放射性废水排放，根据污染核素种类分类收集、分类处置，具体产生与处置情况如下：

(1) 产生场景：仅突发人员沾污时，在淋洗间紧急清洁去污的应急喷淋洗废水，常规营运期无此类废水产生；

(2) 产生量预估：按年最大应急淋洗 2 次测算，年产生应急淋洗去污废水不超过 100L；

(3) 分类收集与处置规则：本项目将应急淋洗废水划分为不含 $^{226}\text{Ra}$ 短半衰期核素废水、含 $^{226}\text{Ra}$ 废水两类，实行完全独立的收集、暂存、处置体系，含 $^{226}\text{Ra}$ 废水全程严禁接入实验室废水管网、严禁排入衰变池。

### ①不含 $^{226}\text{Ra}$ 废水

不含 $^{226}\text{Ra}$ 废水经专用排水管道收集至衰变池，经衰变至少 100d 后，委托具备资质的监测单位开展活度浓度检测，检测达标并经监管部门确认后，通过专用管道排入市政污水管网。

### ②含 $^{226}\text{Ra}$ 废水

因 $^{226}\text{Ra}$ 属于长寿命高毒性放射性废水，实行单独封装、单独标识、单独贮存管理，采用专用铅屏蔽容器单独收集，最终按长寿命高毒性放射性废物相关管理规定，交由具

备对应资质的专业单位进行安全处置。

辐射工作人员操作时均穿戴实验工作服、工作鞋及乳胶手套，离开工作场所前需对防护用品及手部进行表面污染监测，污染手套按放射性固体废物收集暂存；工作人员经表面污染检查确认无污染后方可离开，一般情况下无洗手、淋浴废水产生。

实验室日常清洁（源库、放射性废物库除外）由辐射工作人员在当日实验结束后进行，且需经实验室工作人员完成场所表面污染检测并确认达标后开展；若存在污染，先由辐射工作人员去污，再进行清洁。因保洁时无核素操作且场所污染水平达标，保洁产生的少量清洁废水不作为放射性废水管理。

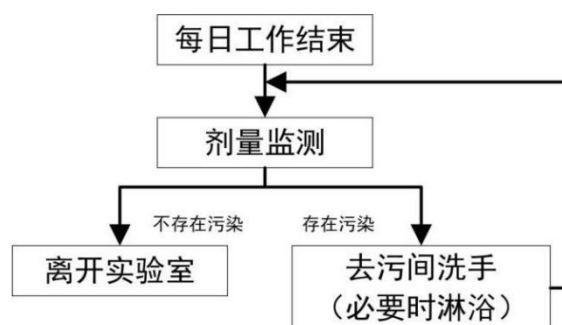


图 9.3-18 去污流程图

## 5、放射性废液

本项目营运期产生的放射性废液主要来自核素分离纯化工艺环节，其每次实验废液产生量如下：核素分离纯化过程中反应废液（含离子交换淋洗废液）、未反应试剂残液、器皿首次清洗废液（清洗方式为采用乙醇/甲醇/丙酮进行清洗）。

(1)  $^{225}\text{Ac}$  每次实验的反应废液、未反应试剂残液产生量约 1L，清洗废液产生量约 0.1L，器皿首次清洗废液总量约 1.1L。

(2)  $^{226}\text{Ra}$  每次实验的反应废液、未反应试剂残液产生量约 1L，清洗废液产生量约 0.1L，器皿首次清洗废液总量约 1.1L。

(3)  $^{67}\text{Cu}$  每次实验的反应废液、未反应试剂残液产生量约 0.35L，器皿首次清洗废液产生量约 0.1L，废液总量约 0.45L。

(4)  $^{99}\text{Mo}$  每次实验的反应废液、未反应试剂残液产生量约 0.5L，清洗废液产生量约 0.1L，器皿首次清洗废液总量约 0.6L。

(5)  $^{47}\text{Sc}$  每次实验的反应废液、未反应试剂残液产生量约 0.095L，清洗废液产生量约 0.1L，器皿首次清洗废液总量约 0.195L。

综上，本项目实施后放射性废液的产生情况详见下表。

表 9.3-6 实验过程中产生的放射性废液汇总表

| 涉及核素              | 每次产生量 (L/次) | 年工作批次(次) | 年废液产生量 (L/a)   | 年废液产生量 (m <sup>3</sup> /a) |
|-------------------|-------------|----------|----------------|----------------------------|
| <sup>225</sup> Ac | 1.1         | 87       | 95.7           | 0.0957                     |
| <sup>226</sup> Ra | 1.1         | 87       | 95.7           | 0.0957                     |
| <sup>67</sup> Cu  | 0.45        | 87       | 39.15          | 0.03915                    |
| <sup>99</sup> Mo  | 0.6         | 87       | 52.2           | 0.0522                     |
| <sup>47</sup> Sc  | 0.195       | 87       | 16.965         | 0.0170                     |
| 小计                |             |          | <b>299.715</b> | <b>0.2997</b>              |

## 6、放射性废气

本项目涉及 <sup>225</sup>Ac、<sup>226</sup>Ra、<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc 共 5 种放射性核素的分离纯化，核素的分离纯化、溶液转移、蒸发过程中产生放射性气溶胶，属放射性废气。

## 7、放射性固废

本项目营运期产生的放射性固废主要来自放射性核素分离纯化工艺环节，其每批次实验固废产生量如下：

### (1) <sup>225</sup>Ac 分离纯化实验

溶液转移、色谱分离等操作，产生的废树脂、废滤材、废移液枪头、污染手套、滤纸、沉淀残渣等；每次实验的废污染耗材约 0.03kg，废沉淀残渣约 0.001kg，废树脂约 0.135kg，固废总量约 0.161kg。

### (2) <sup>226</sup>Ra 实验

实验操作过程中，产生的废树脂、废滤材、废移液枪头、污染手套、滤纸等；每次实验的废污染耗材约 0.03kg，废树脂约 0.07kg，固废总量约 0.1kg。

### (3) <sup>67</sup>Cu 分离纯化实验

溶液转移、色谱分离等操作，产生的废树脂、废滤材、废移液枪头、污染手套、滤纸、沉淀残渣等；每次实验的废污染耗材约 0.03kg，废沉淀残渣约 0.001kg，废树脂约 0.065kg，固废总量约 0.096kg。

### (4) <sup>99</sup>Mo 分离纯化实验

溶液转移、色谱分离等操作，产生的废树脂、废滤材、废移液枪头、污染手套、滤纸、沉淀残渣等；每次实验的废污染耗材约 0.03kg，废沉淀残渣约 0.001kg，废树脂约 0.13kg，固废总量约 0.161kg。

### (5) <sup>47</sup>Sc 分离纯化实验

溶液转移、色谱分离等操作，产生的废树脂、废滤材、废移液枪头、污染手套、滤纸、沉淀残渣等；每次实验的废污染耗材约 0.03kg，废沉淀残渣约 0.001kg，废树脂约

0.04kg，固废总量约 0.071kg。

#### (6) 通风及废气处理系统

本项目核素实验室每支排放管道均设置有高效过滤器+活性炭吸附单元，每套活性炭装置活性炭填装量为 20kg，共 3 套（通风橱与手套箱、热室及其他放射性工作场所各一套），每半年更换一次，则年废活性炭总量为 120kg；每套过滤器重量为 1.5kg，每半年更换 1 次，共 3 套，则年废滤材总量为 9kg。更换下来的滤芯和活性炭用塑料袋密封后转移到放射性废物库暂存衰变，至少暂存 100d 后，经检测并经生态环境主管部门批准后解控为危险废物处置。

综上，本项目实施后放射性固废的产生情况详见下表。

**表 9.3-7 实验过程中产生的放射性固废汇总表**

| 固废类型     | 涉及核素   | 每次产生量(kg/次) | 年实验批次(次) | 年固废产生量(kg/a)   |
|----------|--|-------------|----------|----------------|
| 废污染耗材    | <sup>225</sup> Ac  | 0.03        | 87       | 2.61           |
| 废沉淀残渣    |  | 0.001       |          | 0.087          |
| 废树脂      |  | 0.135       |          | 11.745         |
| 废污染耗材    | <sup>226</sup> Ra  | 0.03        | 87       | 2.61           |
| 废树脂      |  | 0.07        |          | 6.09           |
| 废污染耗材    | <sup>67</sup> Cu   | 0.03        | 87       | 2.61           |
| 废沉淀残渣    |  | 0.001       |          | 0.087          |
| 废树脂      |  | 0.065       |          | 5.655          |
| 废污染耗材    | <sup>99</sup> Mo   | 0.03        | 87       | 2.61           |
| 废沉淀残渣    |  | 0.001       |          | 0.087          |
| 废树脂      |  | 0.13        |          | 11.31          |
| 废污染耗材    | <sup>47</sup> Sc   | 0.03        | 87       | 2.61           |
| 废沉淀残渣    |  | 0.001       |          | 0.087          |
| 废树脂      |  | 0.04        |          | 3.48           |
| 废滤材、废活性炭 | <sup>225</sup> Ac、 <sup>226</sup> Ra、 <sup>67</sup> Cu、 <sup>99</sup> Mo、 <sup>47</sup> Sc | /           | /        | 129            |
| 小计       |  |             |          | <b>180.678</b> |

### 8、核素平衡

本次核素物料平衡核算不考虑放射性核素自身衰变，仅按核素活度投入与产出的物料流向进行守恒计算，遵循“总投入量=分离纯化使用量=高纯成品产出量+放射性废物产生量（放射性废液+放射性固废）”的物料平衡原则，不包含衰变损失项。

本项目涉及 <sup>225</sup>Ac、<sup>226</sup>Ra、<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc 共 5 种放射性核素，全部用于核素分离纯化工艺，产出为高纯核素成品与放射性三废，纯化后得到的高纯成品全部对外销售，分离纯化过程产生的放射性废物全部收集暂存、衰变后交由有资质单位处置。项目形成原料投入→分离纯化→成品销售→废物闭环处置的完整物料平衡，无核素流失、无泄漏、

无直接外排。

核素物料平衡见表 9.3-8，各核素物料平衡图见图 9.3-19。

表 9.3-8 放射性核素物料平衡表

| 核素名称              | 日核素投入量(Bq) | 成品日产出量(Bq) | 放射性废液产生量(Bq) | 放射性固废产生量(Bq) |
|-------------------|------------|------------|--------------|--------------|
| $^{225}\text{Ac}$ | 8.0E+05    | 7.2E+05    | 6.0E+04      | 2.0E+04      |
| $^{226}\text{Ra}$ | 3.0E+05    | 2.7E+05    | 2.1E+04      | 9.0E+03      |
| $^{67}\text{Cu}$  | 4.0E+06    | 3.2E+06    | 6.4E+05      | 1.6E+05      |
| $^{99}\text{Mo}$  | 4.0E+06    | 3.2E+06    | 5.6E+05      | 2.4E+05      |
| $^{47}\text{Sc}$  | 4.0E+06    | 3.2E+06    | 4.4E+05      | 3.6E+05      |

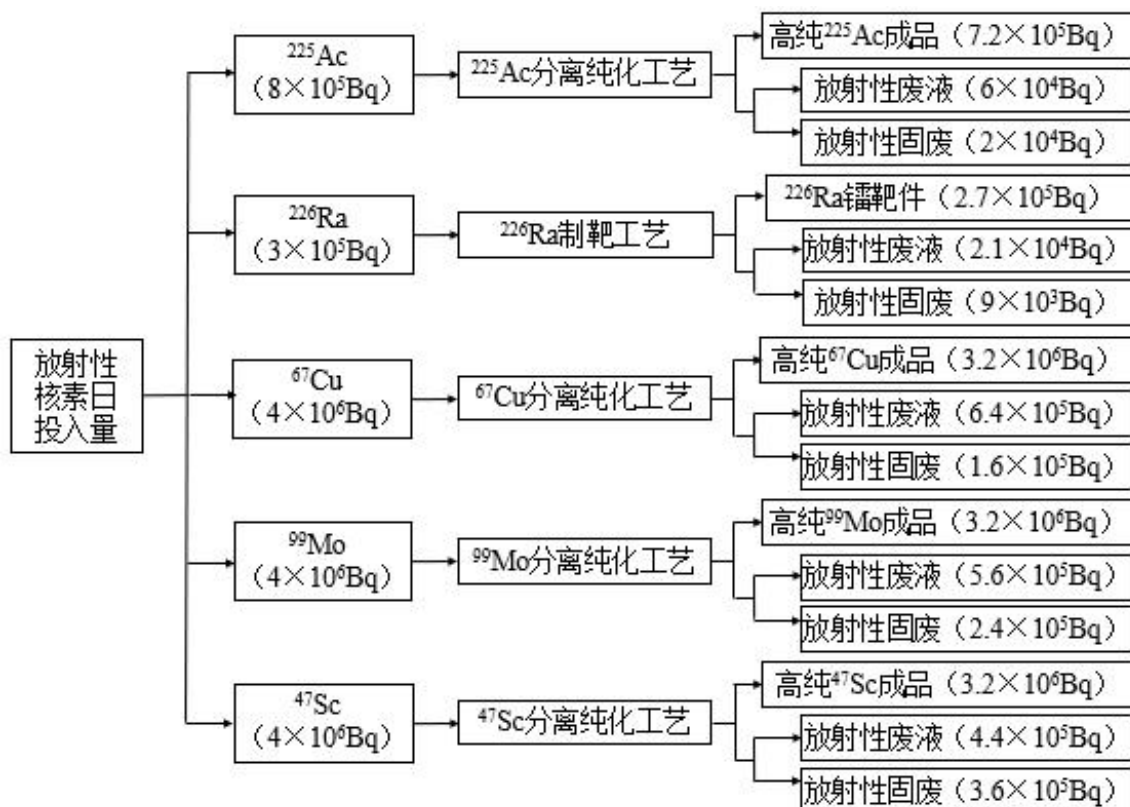


图 9.3-19 本项目核素平衡图

### 9.3.3.2 非放射性污染源项

本项目主要非放射性污染源项是废水、废气、固废、噪声等，具体如下。

#### 1、废水

本项目实验过程产生的废液收集后均作为危废处理，废水主要为纯水制备浓水、仪器等器皿的后道清洗废水、实验室台面和地面擦洗废水、废气处理设施碳液喷淋塔定期更换废水，以及职工生活污水。

##### (1) 纯水制备浓水

项目所用纯水由自购的纯水机制取，纯水用量需求约 140t/a，产水率约为 70%，则

自来水用水量为 200t/a，产生的浓水水量为 0.2t/d，52t/a。纯水制备浓水污染物浓度较低，主要是少量盐分，预计 COD<sub>Cr</sub> 的浓度≤50mg/L，则 COD<sub>Cr</sub> 产生量为 0.003t/a。水质简单，可直接排入园区污水管网。

#### (2) 器皿清洗废水

本项目酸碱试剂配制完成后需对仪器设备及容器等进行分阶段清洗：

器皿内壁残留高浓度酸碱试剂、盐类杂质，单次实验前两道清洗废液产生量约 0.1L（按 5 种实验工艺的前置准备工作计，合计产生量为 0.5L/次），按年实验批次 87 次计，年产生量为 43.5L，该部分废液污染物浓度高，具有强腐蚀性，作为危废处置，收集后委托有资质单位处理。

后道清洗废水（第三道及以后）水量约 600t/a，污染物浓度降低，pH 在 6-9 左右，COD<sub>Cr</sub> 浓度约 500mg/L，BOD<sub>5</sub> 浓度约 300mg/L，SS 浓度约 100mg/L，NH<sub>3</sub>-N 约为 35mg/L，可送至污水处理设施处理。经核算，后道清洗废水 COD<sub>Cr</sub> 产生量约为 0.3t/a，BOD<sub>5</sub> 产生量约为 0.18t/a，SS 产生量约为 0.06t/a，NH<sub>3</sub>-N 产生量约为 0.021t/a。

#### (3) 实验室台面和地面清洗废水

本项目实验室台面及地面需要保证洁净环境定期清洗，实验室台面和地面清洗废水预计产生量约 0.2t/d(52t/a)，类比同类项目实验室台面和地面清洗废水，COD<sub>Cr</sub> 浓度约 500mg/L，SS 浓度约 200mg/L，氨氮浓度约 30mg/L，则各污染物的产生量 COD<sub>Cr</sub> 为 0.03t/a，SS 为 0.0104t/a，NH<sub>3</sub>-N 为 0.002t/a。

#### (4) 碳液喷淋塔更换废水

本项目废气处理设施中碳液喷淋塔需定期更换循环液，更换周期按每季度 1 次计，单次更换量约 0.5t，年更换量 2t/a。废水中主要含少量酸碱、盐类及微量有机污染物，类比同类项目，COD<sub>Cr</sub> 约 400mg/L，SS 浓度约 150mg/L，COD<sub>Cr</sub> 产生量 0.0008t/a，SS 产生量为 0.0003t/a。

#### (5) 生活污水

核素实验室劳动定员约为 3 人，3 名核素实验室工作人员年工作约 260 天，不设食堂和宿舍。根据《建筑给水排水设计规范》，不住宿员工日用水量按 50L/d 计算，项目生活污水产生及排放量见表 9.3-9。

表 9.3-9 项目生活污水产生及排放量统计

| 内容            | 人数  | 年工作天数 | 用水系数    | 用水量     | 排水系数 | 日排水量     | 年排水量    |
|---------------|-----|-------|---------|---------|------|----------|---------|
| 核素实验室工作人员日常生活 | 3 人 | 260   | 50L/人·天 | 0.15t/d | 0.9  | 0.135t/d | 35.1t/a |

本项目生活污水产生量约 0.135t/d (35.1t/a)，排水水质类比城市生活污水水质监测结果，COD<sub>Cr</sub> 浓度约 350mg/L，BOD<sub>5</sub> 浓度约 200mg/L，SS 浓度约 200mg/L，NH<sub>3</sub>-N 浓度约 35mg/L，则各污染物的产生量 COD<sub>Cr</sub> 为 0.012t/a，BOD<sub>5</sub> 为 0.00702t/a，SS 为 0.00702t/a，氨氮为 0.0012t/a。

综上，本项目实施后废水的产生情况详见下表。

**表 9.3-10 废水产生情况汇总**

| 类别                   | 排水量<br>t/a | COD <sub>Cr</sub> |        | BOD <sub>5</sub> |         | SS   |         | 氨氮   |        |
|----------------------|------------|-------------------|--------|------------------|---------|------|---------|------|--------|
|                      |            | mg/L              | t/a    | mg/L             | t/a     | mg/L | t/a     | mg/L | t/a    |
| 纯水制备浓<br>水           | 52         | 50                | 0.003  | /                | /       | /    | /       | /    | /      |
| 器皿清洗废<br>水           | 600        | 500               | 0.3    | 300              | 0.18    | 100  | 0.06    | 35   | 0.021  |
| 实验室台面<br>和地面清洗<br>废水 | 52         | 500               | 0.03   | /                | /       | 200  | 0.0104  | 30   | 0.002  |
| 碳液喷淋塔<br>更换废水        | 2          | 400               | 0.0008 | /                | /       | 150  | 0.0003  | /    | /      |
| 生活污水                 | 35.1       | 350               | 0.012  | 200              | 0.00702 | 1200 | 0.00702 | 35   | 0.0012 |
| 小计                   | 741.1      | —                 | 0.3458 | —                | 0.18702 | —    | 0.07772 | —    | 0.0242 |

## 2、废气

项目废气主要为实验室无机酸性废气（硝酸雾、盐酸雾），及有机废气（以非甲烷总烃计）。

### (1) 酸性废气

项目在实验过程中使用硝酸、盐酸，产生的酸性废气主要为硝酸雾、盐酸雾。项目所有产生酸性废气的工序均在通风橱内密闭收集，收集后的酸性废气引入碱液喷淋塔经酸碱中和净化处理，处理达标后通过屋顶排气筒高空排放。

**表 9.3-11 主要溶剂使用情况一览表**

| 序号 | 名称 | 形态 | 年用量L | 密度g/cm <sup>3</sup> | 年用量kg |
|----|----|----|------|---------------------|-------|
| 1  | 硝酸 | 液态 | 7    | 1.4                 | 9.80  |
| 2  | 盐酸 | 液态 | 9    | 1.18                | 10.62 |
| 合计 |    |    |      |                     | 20.42 |

### (2) 有机废气

乙醇清洗容器产生的废液，有机溶剂挥发产生有机废气，统一以非甲烷总烃（NMHC）表征。本项目主要有机溶剂使用情况详见下表。

**表 9.3-12 主要溶剂使用情况一览表**

| 名称 | 形态 | 年用量L | 密度g/cm <sup>3</sup> | 年用量kg |
|----|----|------|---------------------|-------|
| 乙醇 | 液态 | 43.5 | 0.789               | 34.32 |

本项目实验过程中产生的无机酸性废气约 20.42kg（硝酸雾 9.80kg，氯化氢 10.62kg），参考同类实验室酸雾排放的常规经验值，挥发量按酸试剂年用量的 5%估算，无机酸性废气产生量约 1.02kg/a（硝酸雾 0.49kg/a，氯化氢 0.531kg/a）；挥发性有机溶剂的年总用量约为 34.32kg，根据《空气污染物排放和控制手册工业污染源调查与研究第二辑》，实验中挥发性有机物的最大可能挥发量参照使用量（含溶剂）的 10%计算，则有机废气（以非甲烷总烃计）产生量为 3.432kg/a。

根据设计，非放制备间布设通风橱集气设施，产生无机酸性废气、有机废气的实验工序均在通风橱内密闭负压操作，实验过程保持通风橱玻璃门关闭，废气密闭收集效果较好，废气收集率可达 90%以上，本次评价取收集率 90%。

非放制备间排风管道设计总风量为 1000m<sup>3</sup>/h，收集的混合废气先引入碱液喷淋塔对硝酸雾、盐酸雾等无机酸性废气进行酸碱中和净化，再经高效过滤+活性炭吸附装置深度处理有机废气，废气经整套处理设施净化后由屋顶高空排气筒达标排放。本次评价无机酸性废气碱液喷淋塔处理效率取值 85%，有机废气活性炭吸附处理效率取值 80%，排放浓度满足相关标准要求，对环境影响较小。

非放制备间废气源强计算如下：

**表 9.3-13 非放制备间有组织废气排放源强**

| 产污环节                   |                           | 非放制备间废气               |                       |                       |
|------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 污染因子                   |                           | 硝酸雾                   | 氯化氢                   | NMHC                  |
| 产生情况                   | 产生量(kg/a)                 | 0.49                  | 0.531                 | 3.432                 |
|                        | 产生速率(kg/h)                | $2.36 \times 10^{-4}$ | $2.55 \times 10^{-4}$ | $1.65 \times 10^{-3}$ |
| 废气收集方式                 |                           | 通风橱                   |                       |                       |
| 风量 (m <sup>3</sup> /h) |                           | 1000/套，共 1 套          |                       |                       |
| 收集效率 (%)               |                           | 90%                   |                       |                       |
| 废气治理措施                 |                           | 碱液喷淋塔                 |                       | 高效过滤+活性炭吸             |
| 处理效率 (%)               |                           | 85%                   | 85%                   | 80%                   |
| 削减量 (kg/a)             |                           | 0.375                 | 0.406                 | 2.471                 |
| 有组织                    | 排放量(kg/a)                 | 0.066                 | 0.072                 | 0.618                 |
|                        | 排放速率(kg/h)                | $3.17 \times 10^{-5}$ | $3.46 \times 10^{-5}$ | $2.97 \times 10^{-4}$ |
|                        | 排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> ) | 0.03                  | 0.03                  | 0.30                  |
| 工作时长(h/a)              |                           | 2080                  |                       |                       |

**表 9.3-14 非放制备间无组织废气排放源强**

| 产污环节                   |            | 非放制备间废气               |                       |                       |
|------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 污染因子                   |            | 硝酸雾                   | 氯化氢                   | NMHC                  |
| 产生量(kg/a)              |            | 0.49                  | 0.531                 | 3.432                 |
| 废气收集方式                 |            | 通风橱                   |                       |                       |
| 风量 (m <sup>3</sup> /h) |            | 1000/套，共 1 套          |                       |                       |
| 收集效率 (%)               |            | 90%                   |                       |                       |
| 无组织                    | 排放量(kg/a)  | 0.049                 | 0.053                 | 0.343                 |
|                        | 排放速率(kg/h) | $2.36 \times 10^{-5}$ | $2.55 \times 10^{-5}$ | $1.65 \times 10^{-4}$ |

### 3、固废

#### (1) 实验废液

本项目化学试剂使用、溶液配制、实验器皿前两道清洗过程中均会产生废液，每次实验产生试剂残液、废溶液约 3.5L，年实验批次 87 批次，则试剂残液与废溶液年产生量为 304.5L/a；器皿前两道清洗废液约 0.5L，年产生量为 43.5L/a。以上废液合计产生量约 348L/a（约 0.35t/a），经妥善收集后委托有相应资质的危废处置单位进行处置。

#### (2) 废包装材料（含试剂瓶）

本项目化学试剂使用后会产生废包装材料，主要为沾染了化学试剂的玻璃瓶和塑料瓶等，化学试剂废包装材料（含试剂瓶）产生量预计约为 2.5t/a，经妥善收集后委托有相应资质的危废处置单位进行处置。

#### (3) 废样品

实验过程中，会出现不确定因素导致最终样品质量不达标，样品经检测不达标后即收集作为废样品；样品保存过程样品变质也会产生废样品，废样品的产生量预计约为 1.0t/a，经妥善收集后委托有相应资质的危废处置单位进行处置。

#### (4) 废实验耗材

本项目操作过程中使用的离心管、移液枪头、口罩、手套等均为一次性耗材，因此会产废，使用后不清洗，直接作为危废处理。本项目废实验耗材产生量约为 0.5t/a，经妥善收集后委托有相应资质的危废处置单位进行处置。

#### (5) 废过滤器

本项目设 1 套非放射性废气处理系统，非放射性废气排放管道设置有高效过滤器+活性炭吸附单元，单套系统配套过滤器重量为 1.5kg，每半年更换 1 次，则年废滤材总量为 0.003t/a。废过滤器属于危险废物（HW49/900-039-49），经收集后委托有资质单位处置。

#### (6) 废活性炭

根据《浙江省分散吸附-集中再生活性炭法挥发性有机物治理体系建设技术指南》中“风量  $10000 \leq Q < 20000 \text{Nm}^3/\text{h}$  的活性炭最少装填量参照附录 A 废气收集参数和最少活性炭装填量表进行估算”，本项目共设 1 套非放射性废气处理系统，单套单次活性炭装填量为 60kg/次，按 500 小时使用周期计年更换约 5 次，年废活性炭产生量为 0.3t/a。

废活性炭属于危险废物（HW49/900-039-49），经收集后委托有资质单位处置。

#### （7）废反渗透膜

项目纯水机运行一段时间后，因反渗透膜老化或膜破损等原因，制备的纯水水质无法满足生产需求，因此反渗透膜需定期更换，废反渗透膜产生量约为 0.03t/a，替换下来的废反渗透膜为一般固废，由园区统一收集，当地环卫部门定期清运处置。

#### （8）一般废包装材料

本项目一般物料拆包产生的未沾染有毒性、感染性危险废物的包装材料为一般固废，主要为废纸箱、废塑料等。一般废包装材料产生量约为 1.5t/a，收集后综合利用。

#### （9）生活垃圾

本项目核素实验室工作人员约 3 人，按人均生活垃圾发生量 0.5kg/d·人计，则产生生活垃圾约为 0.39t/a，由环卫部门收集处理。

根据《固体废物鉴别标准通则》（GB34330-2017）、《国家危险废物名录》（2025 年版）及《危险废物鉴别标准》，判定上述固体废物判定结果如下表，本项目固体废物分析情况汇总如表 9.3-15。

表 9.3-15 固体废物分析结果汇总表

| 序号 | 副产物名称   | 产生工序   | 形态 | 属性   | 废物类别 | 废物代码       | 预计产生量    |
|----|---------|--------|----|------|------|------------|----------|
| 1  | 实验室废液   | 分离纯化过程 | 液态 | 危险废物 | HW49 | 900-047-49 | 0.35t/a  |
| 2  | 废包装材料   | 试剂拆包   | 固态 | 危险废物 | HW49 | 900-041-49 | 2.5t/a   |
| 3  | 废样品     | 分离纯化过程 | 固态 | 危险废物 | HW02 | 271-005-02 | 1.0t/a   |
| 4  | 废实验耗材   | 分离纯化过程 | 固态 | 危险废物 | HW49 | 900-047-49 | 0.5t/a   |
| 5  | 废过滤器    | 废气处理   | 固态 | 危险废物 | HW49 | 900-041-49 | 0.003t/a |
| 6  | 废活性炭    | 废气吸附   | 固态 | 危险废物 | HW49 | 900-041-49 | 0.3t/a   |
| 7  | 废反渗透膜   | 纯水制备   | 固态 | 一般固废 | /    | /          | 0.03t/a  |
| 8  | 一般废包装材料 | 物料拆包   | 固态 | 一般固废 | /    | /          | 1.5t/a   |
| 9  | 生活垃圾    | 员工生活   | 固态 | 一般固废 | /    | /          | 0.39t/a  |

#### 4、噪声

噪声来源于实验设备运行过程，包括冻干机、烘干机、离心机、超声清洗器等设备运行时产生的中低频噪声，设备运行时噪声强度为 60~75dB(A)，单台设备日均运行时长约 4~6h，多台设备不同时运行，实验室内部噪声叠加后峰值不超过 80dB(A)，年运行时长约 1040~1560h。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 加速器辐射工作场所分区防护

#### 10.1.1 加速器机房工作场所布局及合理性分析

本项目加速器机房拟建于秦山同创产业园 A 幢厂房一层南侧，所属建筑的结构为地上 4 层，无地下层。加速器机房布置在一层，主要有主机室、测试机房、辐照机房、功率靶室、水冷机房等核心辐射工作区，中控室布置在夹层，人员操作在夹层区域。

加速器运行时，操作人员在夹层的中控室内设置机器参数并监控加速器运行情况；装卸货物的工人位于一层辐照室外上货区、下货区装卸货物。本项目原料区、成品区及检验区布置在厂房一层东北侧办公区附近，与辐照机房相邻，通过专用通道与上货区、下货区相连，货物运输不穿过加速器控制区，人员无需进入辐射工作区，无额外辐射风险。在出束状态下，测试机房、辐照机房、功率靶室及主机室内均无人员停留。加速器整体为独立可控的建筑，与办公、仓储区域通过实体墙有效隔开，既便于产品的输送，又能限制非相关人员的流动，便于辐射防护与安全管理。从辐射管理和安全生产的角度来看，该布局合理可行。

本项目加速器机房（主机室、测试机房、辐照机房、功率靶室）全部位于建筑一层，加速器控制室（中控室）设置于机房正上方的建筑夹层内；夹层与一层加速器机房通过建筑楼板完全分隔，楼板同步设置辐射屏蔽结构。夹层空间为人员常态化操作的中控室（监督区）。一层机房与上方夹层空间功能分区明确、物理隔离，辐射分区与建筑布局匹配，布局合理。

#### 10.1.2 分区原则及两区划分

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，本项目辐射工作场所划分为控制区、监督区，实行分级管控：

**控制区：**将加速器机房及迷道区域划分为控制区，在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常工作过程中，区内不得有人员滞留。

**监督区：**将辐射工作场所外 1m 区域、上下货区、中控室内及相邻的房间划为监督区，在监督区边界的地面上划警戒线，加速器工作过程中，除辐射工作人员，禁止其他人员进入监督区区域，定期检测监督区的辐射剂量。加速器机房两区划分示意图见附图 7。

### 10.1.3 辐射屏蔽设计

加速器机房由机房和迷道组成，本项目机房与中控室（操作间）分离，中控室在上方夹层区域；机房北侧为不规则迷道，上下货位置在迷道出入口侧以外布置，直射经多道强屏蔽，减小对上下货人员的辐射影响。加速器机房的屏蔽防护设计详见表 10-1，加速器平面布置图见图 10-1。

表 10-1 加速器机房工作场所辐射屏蔽设计

| 区域                             | 墙面                   | 屏蔽方案   |
|--------------------------------|----------------------|--|
| 辐照室机房<br>(14600mm×<br>16650mm) | 顶棚                   | 3.0m 混凝土   |
|                                | 地板                   | 2.5m 混凝土   |
|                                | 束流两侧墙                | 2.0m 混凝土   |
|                                | 束流正面墙                | 3.0m 混凝土   |
|                                | 内嵌于正面墙内局部<br>(第一层铅墙) | 左右到墙角，束流中心下 100cm 混凝土，上<br>150cm 混凝土，设 10cm 厚铅墙  |
|                                | 内嵌于正面墙内局部<br>(第二层铅墙) | 束流中心左右侧 120cm 混凝土，上下 100cm 混<br>凝土，设 10cm 厚铅墙  |
|                                | 内嵌于正面墙内局部<br>(第三层铅墙) | 束流中心左右侧 50cm 混凝土，上下 50cm 混<br>凝土，设 10cm 厚铅墙  |
| 加速器主机房<br>(5550mm×<br>10500mm) | 顶棚                   | 2.2m 混凝土   |
|                                | 两侧墙                  | 2.0m 混凝土   |
|                                | 束流正对墙                | 3.0m 混凝土   |
| 测试机房<br>(6250mm×<br>9550mm)    | 顶棚、地板                | 2.0m 混凝土   |
|                                | 两侧墙                  | 2.0m 混凝土   |
|                                | 束流正对墙                | 2.0m 混凝土   |
| 水冷机房<br>(6650mm×<br>2200mm)    | 顶棚、地板                | 1.0m 混凝土   |
|                                | 门所在侧墙                | 1.4m 混凝土   |
|                                | 门入口左侧墙               | 1.5m 混凝土   |
|                                | 门入口正对面墙              | 2.0m 混凝土   |
|                                | 屏蔽移门，内外两扇规格一致        | 屏蔽门板幅：230cm 宽×250cm 高  |
|                                | 入口：150cm 宽×200cm 高   | 厚度约 30cm，含 8cm 铅板+10cm 含硼 5%聚乙<br>烯板+8cm 铅板，其余钢结构；屏蔽门门体左右<br>两侧超出门洞不低于 40cm，屏蔽门门体顶部超<br>出门洞不低于 30cm，下沉地下不低于 20cm |
| 功率靶室<br>(3950mm×<br>2450mm)    | 顶棚                   | 3.4m 混凝土   |
|                                | 束流两侧/正面墙             | 2.8m 混凝土   |
|                                | 地板                   | 2.5m 混凝土   |
| 辐照机房内迷道                        | 入口结构                 | 入口尺寸 1.55m 宽×2m 高；迷道长拐 1.8m 宽，<br>短拐 2.35m 宽；入口屏蔽墙 2.0m，第二屏蔽墙<br>1.7m 混凝土  |
| 主机房内迷道                         | 封堵构造（长 4.5m）         | 1.5m 厚混凝土  |
| 测试机房内迷道                        | 封堵构造（长 3.2m）         | 1.7m 厚混凝土  |
| 主机房、测试<br>机房内迷道屏               | 屏蔽移门，内外两扇规格一致        | 屏蔽门板幅(cm)：235(宽)×250(高)  |
|                                | 入口：155cm 宽×200cm 高   | 厚度约 30cm，含 8cm 铅板+10cm 含硼 5%聚乙   |

|   |  |                 |
|---|--|-----------------|
| 蔽门  |  | 烯板+8cm 铅板，其余钢结构 |
| 通风设施  | 排风走迷道顶部/技术夹层，靶室/辐照机房排风经气体过滤和衰减室处理；通风开孔经模拟计算，辐射散射影响可忽略。   |                 |
| 线管穿墙  | 顶部波导开孔 200mm×200mm，出孔后折弯；开孔顶部 80cm 厚混凝土屏蔽，周围 50cm 厚混凝土屏蔽，折弯方向 55~60cm 厚混凝土屏蔽；所有穿墙孔均做局部铅板屏蔽+混凝土封堵，经模拟计算辐射影响符合要求 |                 |
| 注：混凝土密度不低于 2.35g/cm <sup>3</sup> ，聚乙烯板密度不低于 1.05 g/cm <sup>3</sup> ，铅板密度不低于 11.34g/cm <sup>3</sup> ，钢板材料密度不低于 7.8 g/cm <sup>3</sup> 。 |  |                 |

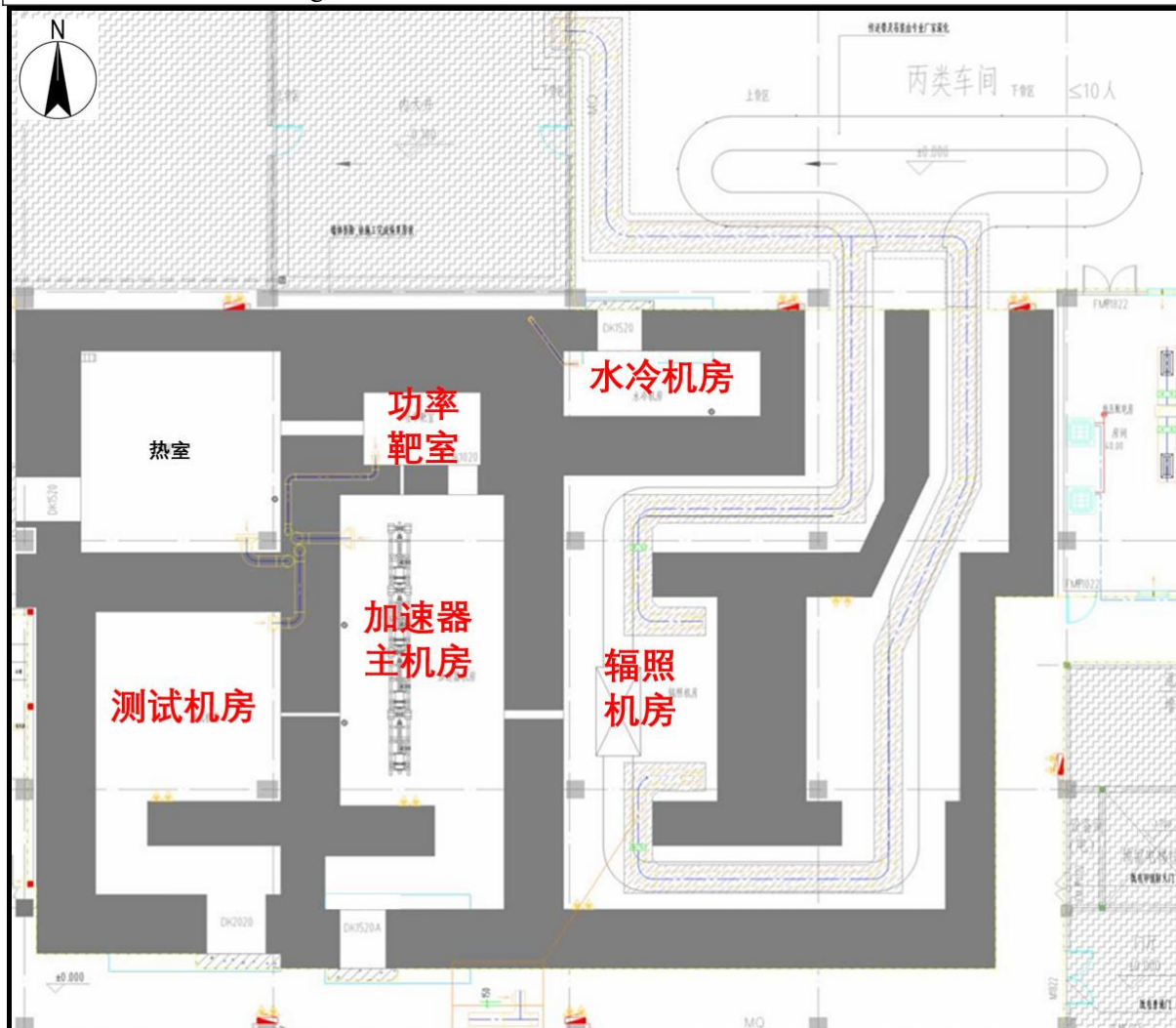


图 10-1 加速器平面布置图

### 10.1.4 辐射安全防护措施

为保障电子加速器安全运行，避免在加速器辐照期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，本项目拟设置如下辐射安全和防护设施及措施，主要有：

#### (1) 联锁要求

在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置

置。对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置系统等进行有效联锁和监控。

安全联锁装置引发加速器停机时必须自动切断高压。安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状，并记录存档。

## **(2) 安全设施**

### **① 钥匙控制**

控制室主控台上配备钥匙开关，钥匙开关控制加速器系统的运行，钥匙开关为未闭合状态时加速器无法开机；加速器的主控钥匙开关与辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机；钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连，在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

### **② 门机联锁**

辐照室门、测试机房门、功率靶室门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门、测试机房门、功率靶室门打开时，加速器不能加高压且束流装置不能出束流；加速器运行中门被打开则加速器自动停机。

门机联锁装置必须性能可靠，其引发加速器停机时必须自动切断高压，门机联锁装置发生故障时，加速器不能运行。门机联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

### **③ 束下装置联锁**

电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制进行联锁，用于将辐照货物送至辐射束下的传输系统若发生故障，将通过 PLC 反馈至主机，主机束流将自动停止、加速器自动停机。

### **④ 信号警示装置**

本项目在辐照室、测试机房、功率靶室和主机室内设有警示灯和警铃，用于开机前对机房内人员警示。本项目在货物进出口上方设置警示灯及提示语句“射线危险、严禁入内”，并与电子加速器辐照装置联锁。

### **⑤ 巡检撤离**

在热室、功率靶室、水冷机房墙上均设置1个巡检按钮，在测试机房、主机室的墙上均设置2个巡检按钮，在辐照室和迷道的墙上设置5个巡检按钮，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机内按序按动巡检按钮，巡查有无人员误留，完成巡检流程后，加速器才能开启高压。

### **⑥ 防人误入装置**

在辐照室的迷道内口和货物进口均设置一套防人误入装置，每套防人误入装置均由三道防人误入的光电联锁装置组成。将防人误入装置与加速器的开、停机联锁，并建议从不同的厂家购买，确保其不会因同一机械故障导致光电联锁装置全部失灵。

#### ⑦急停装置

在中控室主控台、辐照室、主机室、测试机房、功率靶室、水冷机房、热室设置紧急停机按钮。在机房内的墙上设计急停拉线开关并覆盖室内全部区域，紧急状态下，拉下急停拉线开关或按下急停按钮，即终止加速器的运行，拉线开关拉动后或急停按钮按下后需要手动复位。

急停按钮和急停拉线开关必须性能可靠，并有中文标识和使用说明。辐照室迷道外口处的急停按钮带有紧急开门功能，以便在事故工况下人员离开控制区。

#### ⑧剂量联锁

在控制室、主机房、测试机房、功率靶室、水冷机房、辐照室的迷道入口、货物进出口处、热室安装固定式辐射监测探头，系统数字显示装置安装在控制台，以监测电子加速器运行时周围环境辐射剂量；固定式辐射剂量监测系统与辐照室门联锁，当任一监测点处的辐射剂量率超过设定的阈值时，固定式辐射剂量监测系统会报警，并将信号传送到控制系统，辐照室门无法从外部打开。

#### ⑨通风联锁

本项目机房的通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。

#### ⑩烟雾报警

本项目机房内拟设置烟雾报警装置，烟雾报警系统为建筑配置，不与加速器系统联锁。当遇到火险时报警装置及时发出警报，工作人员收到警报后立即关停加速器并停止通风。

本项目机房全区域布设独立烟雾探测报警装置，火灾报警信号接入加速器PLC控制系统，火警触发后自动切断加速器高压、停止出束，同步联锁机房通风设备停机；主控操作台同步声光报警，设备无法远程/就地强行开机；建筑原有消防报警系统同步联动喷淋等消防设施。

### **(3) 机房出入门安全设施**

本项目各个机房每一道防护门均设置限位开关，本项目辐照室门拟设置1个电磁锁，

可以有效实现防护门的安全开启和关闭。

#### **(4) 监控、通讯安全设施**

本项目在一层共设置 14 个摄像头，其中在辐照室拟设置 7 个枪式摄像头，主机室设置 3 个枪式摄像头，功率靶室、水冷机房各设置 1 个枪式摄像头，测试机房设置 2 个枪式摄像头，实时监控内部情况。同时，在辐照室墙上拟安装 2 个挂壁式广播，在主机房、水冷机房、测试机房的墙上各安装 1 个挂壁式广播，每次加速器出束前进行广播提醒现场人员。

同时在夹层禁入区域、检修口周边增设监控点位，实时巡查，防范人员误入。

#### **(5) 应急照明系统**

本项目在各机房室内拟设置应急照明系统。

#### **(6) 防火系统**

本项目各机房耐火等级不低于二级，全机房配套火灾探测报警系统及配套灭火器材；加速器束下区域增设消防喷淋装置。火灾报警系统预留联动接线，报警信号接入加速器主控系统，实现火警联锁停机、同步关停通风系统的安全控制逻辑。

#### **(7) 水冷系统**

本项目电子加速器采用自备水箱和水管闭路循环的蒸馏水冷却系统来降低热能,系统内循环水量约50L（0.05m<sup>3</sup>），正常运行时冷却水为密闭循环，不外排。为保障冷却效果及设备检修需要，冷却水每年更换10次，单次更换量约0.05m<sup>3</sup>，年更换废水量约0.5m<sup>3</sup>/a。

本项目衰变池仅作为放射性冷却水的密闭临时暂存设施，不设置衰变排放流程。检修产生的放射性冷却水通过检修水管排入配套衰变池（有效容积2m<sup>3</sup>）密闭暂存，同步记录进水时间、水量、核素监测数据。该部分废水全程不向外环境、市政管网排放，暂存至一定体量后完成整体封装，委托具备放射性废液收集、处置资质的单位统一收运并开展最终处置。转运全过程严格执行放射性物品运输管理规定，完整留存监测数据、转移联单、处置凭证，落实全流程溯源管理。

#### **(8) 通风系统**

##### **①通风系统设计**

本项目各机房拟设置通风系统，具体见表10-2。

表 10-2 加速器机房排风系统布置一览表

| 机房     | 排风口位置                     | 数量/个 | 尺寸/mm   | 排风量<br>m <sup>3</sup> /h | 机房容积<br>/m <sup>3</sup> | 穿墙<br>方式 |
|--------|---------------------------|------|---------|--------------------------|-------------------------|----------|
| 加速器主机房 | 西侧墙体, 距离地面<br>150mm       | 1    | 700×320 | 1800                     | 约 116.55                | 斜穿       |
| 辐照机房   | 辐照室内, 风管走地<br>沟, 距地 150mm | 4    | 700×320 | 1750×4<br>(总 7000)       | 约 658.31                | /        |
| 测试机房   | 东侧墙体, 距离地面<br>150mm       | 1    | 600×320 | 1500                     | 约 131.31                | L型       |
| 功率靶室   | 南侧墙体, 距离地面<br>150mm       | 1    | 250×250 | 380                      | 约 27.10                 | Z型       |
| 水冷机房   | 西侧墙体, 距离地面<br>150mm       | 1    | 200×200 | 250                      | 约 39.50                 | L型       |

各机房排风管道汇总后接入总排风系统, 风管沿竖井敷设上至屋面。排风机前设初效+中效过滤器+活性炭过滤器, 处理达标后通过屋面排气筒高排。风管剖面图见图 10-2、图 10-3。

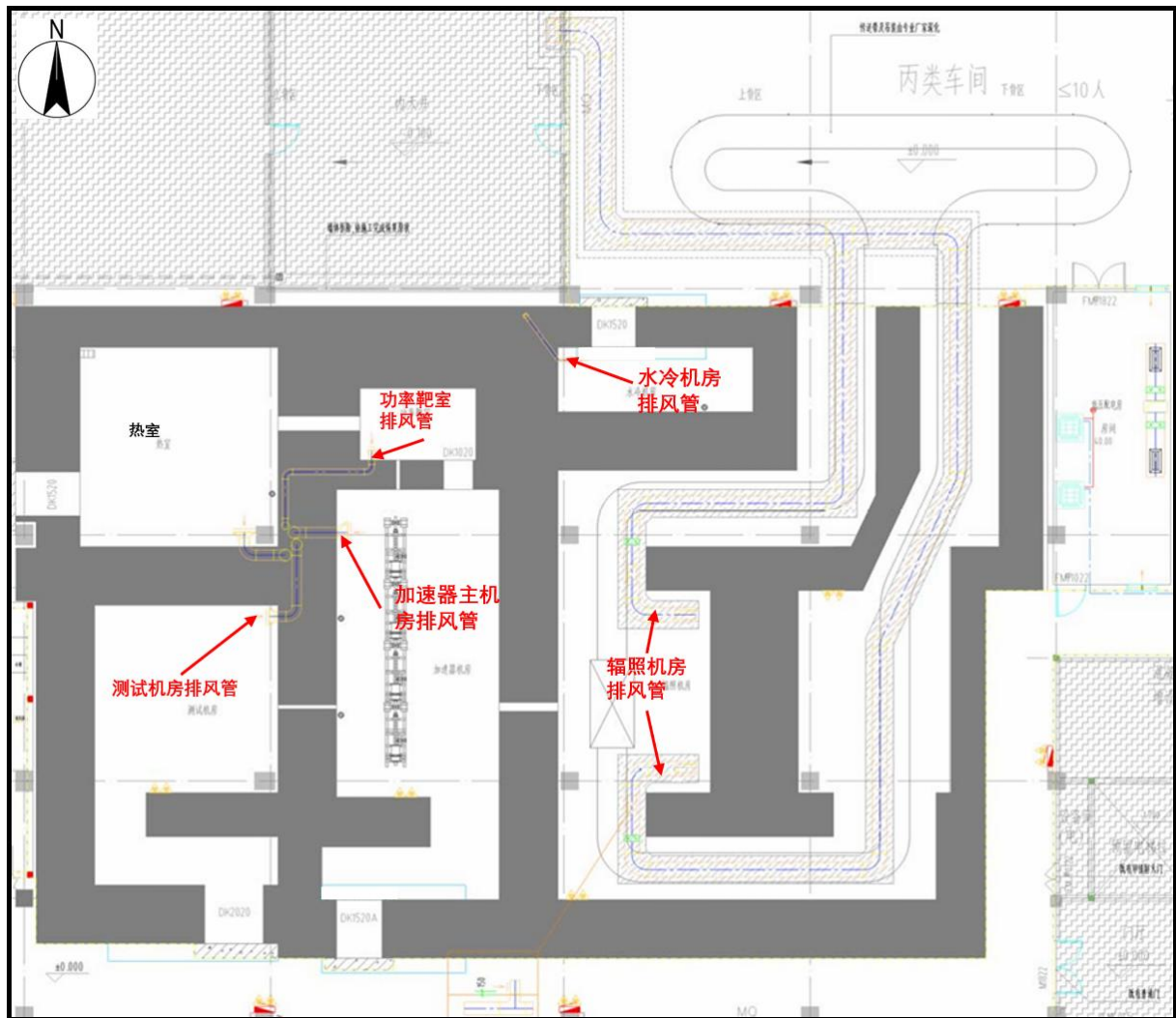


图 10-2 加速器拟建址风管图

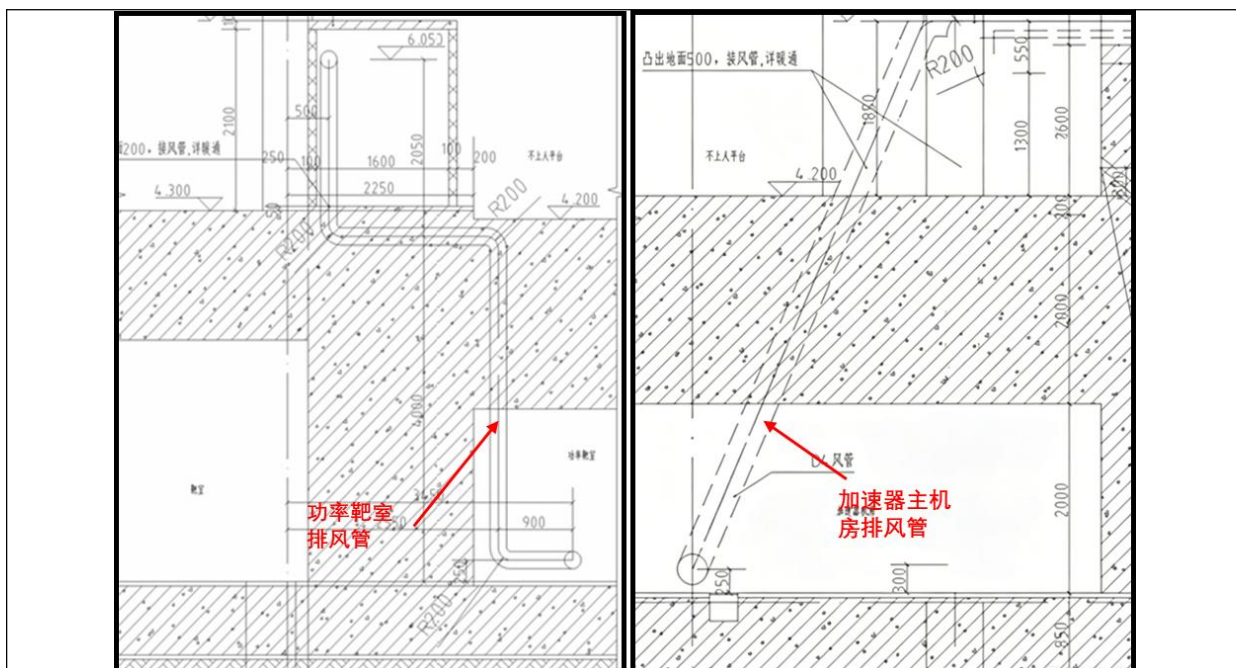


图 10-3 风管剖面图 (a)

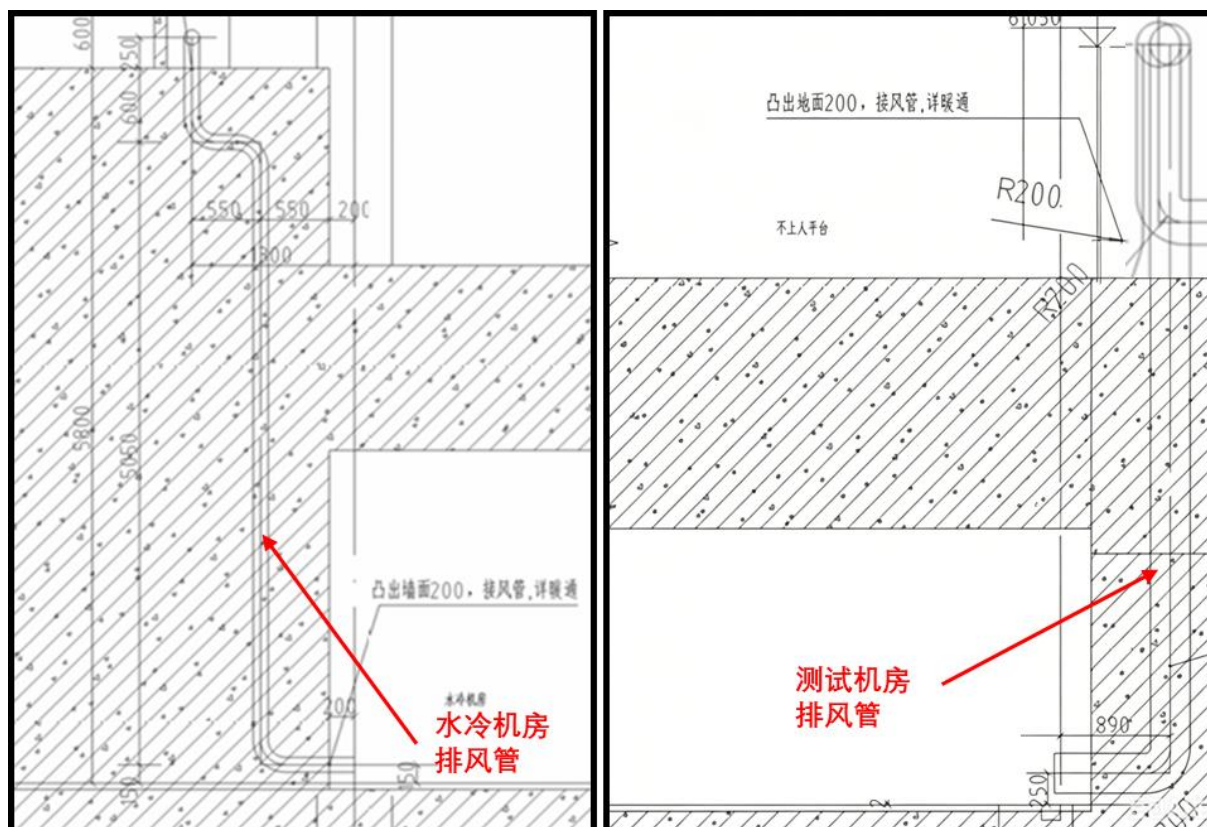


图 10-3 风管剖面图 (b)

## ② 电缆管线设计

本项目电子加速器工作场所电缆管线地坪采用 5mm 厚镀锌角钢通长埋设, 电缆沟盖板采用 10mm 厚不锈钢活动盖板。管线地沟大样图见图 10-4、图 10-5。

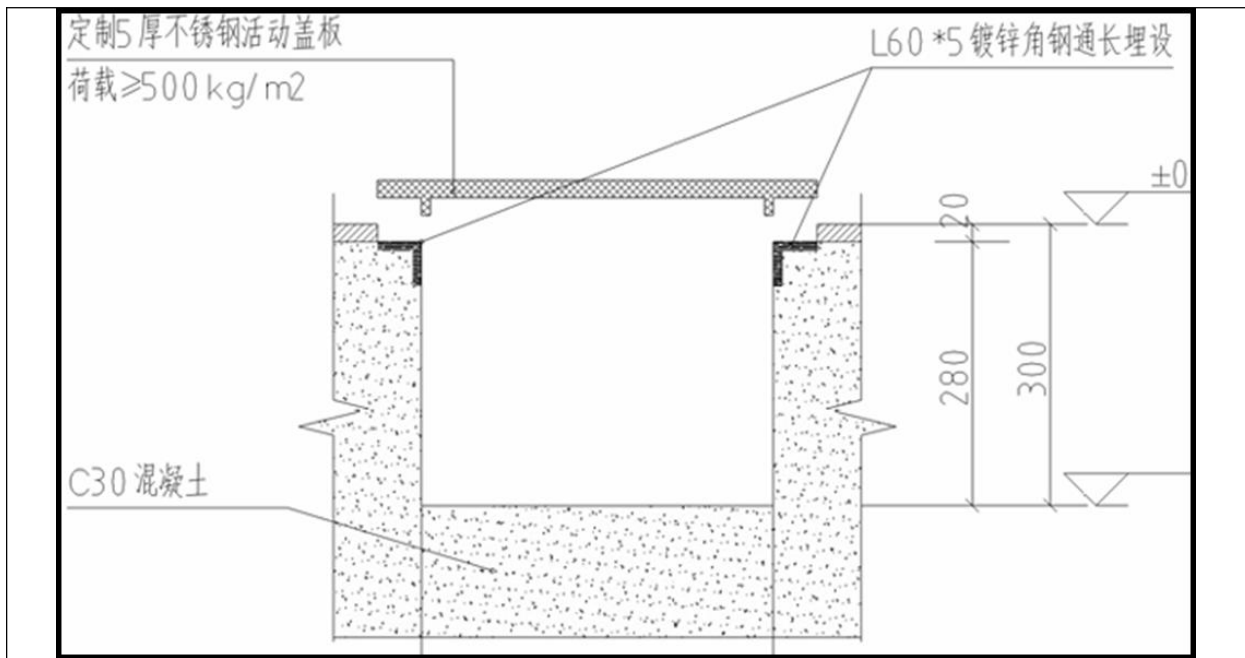


图 10-4 主机室、设备间线缆沟图

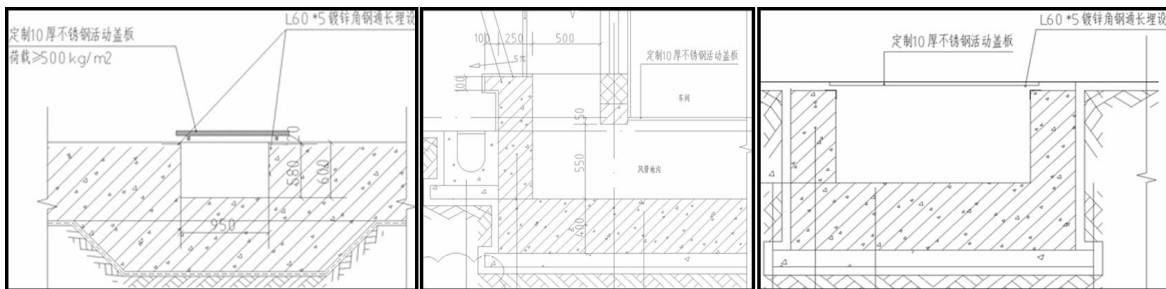


图 10-5 地沟大样图

### (9) 放射性固体废物专项处置措施

本项目产生的放射性固体废物主要为功率靶废靶、废过滤器、废活性炭等，实行分类管控与合规处置：

①功率靶废靶：年产生量约50kg，含多种感生放射性核素，属于低、中水平放射性固体废物。废靶拆卸后立即装入专用铅屏蔽容器密封，存放于厂区独立放射性废物库分区暂存，定期开展辐射剂量监测。监测达到清洁解控标准的废靶，经主管部门确认后由设备原厂回收再利用；未达解控标准的废靶，禁止随意处置，最终委托持有放射性固体废物处置资质的单位，按照低中水平放射性固体废物近地表处置要求完成最终处置。

②废过滤器、废活性炭放射性固废：废过滤器、废活性炭等分类收集在专用屏蔽容器内，分区暂存衰变，经监测后分类处理，无法解控的固废统一委托有资质单位最终处置。

③管理要求：所有放射性固体废物落实专人管理、分区存放、标识清晰要求，转运

必须使用合规运输工具，承运单位、人员均具备对应资质，完整留存转移联单、监测报告、处置凭证，接受生态环境部门监督。

#### **(10) 生产过程安全要求**

加速器装配、调试在加速器机房内进行，执行与使用电子加速器相同的联锁、屏蔽、巡检制度；调试出束必须由持证辐射工作人员操作；每台成品出厂前完成辐射剂量检测，合格方可销售。

#### **(11) 销售过程安全要求**

核验购买方《辐射安全许可证》范围，确保其具备II类射线装置使用资质；建立加速器生产、销售台账，做到一机一档、全程可追溯；销售合同明确购买方辐射安全责任，本单位不承担购买方使用过程安全责任。

#### **(12) 加速器装置退役**

加速器停止运行或拆除前，需完成设备停机、冷却与感生放射性监测，待设备及周边部件感生放射性水平降至本底后，方可开展拆除作业；拆除过程中产生的活化部件，按放射性固体废物相关要求暂存、处置。退役过程应确保所有场所表面污染水平满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)限值要求，经验收合格后，方可无限制开放使用。

#### **(13) 其他防护措施**

①辐射工作场所出入口门外划定1m黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

②本项目加速器工作场所拟配备10台固定式 $\gamma$ 辐射剂量率监测仪、3台固定式中子辐射监测仪、2台便携式X- $\gamma$ 辐射巡测仪和2台个人剂量报警仪，当辐射水平超过预设阈值时能发出警示声。

③所有辐射工作人员均须配备个人剂量计，并定期进行个人剂量检测。同时，铅衣、铅手套和铅眼镜等基本防护用品应各配备1套，作为辐射应急使用。

④电子加速器检修须委托有资质单位进行，维修时，工作人员进入辐照室均需携带剂量报警仪进入。

⑤各项辐射环境管理规章制度应张贴于控制室内。

⑥加速器机房上部建筑夹层分区管控，其中夹层中控区域设置2套电控锁及电锁按钮，采用权限准入方式管理；夹层除中控室外的所有区域均划定为禁入区，全面设置电离辐射警示标志与“辐射危险、禁止入内”警示标语，无常规通行路径，仅保留密闭检修

口并加锁管理。如需进入禁入区开展检修、监测工作，必须履行审批手续，由持证辐射工作人员佩戴辐射防护装备短时作业，作业结束后即刻封闭。

#### (14) 监测设备与防护用品

表10-3 本项目加速器工作场所监测设备与防护用品配置计划表

| 序号 | 名称                    | 拟配置数量 |
|----|-----------------------|-------|
| 1  | 固定式 $\gamma$ 辐射剂量率监测仪 | 10台   |
| 2  | 固定式中子辐射监测仪            | 3台    |
| 3  | 便携式X- $\gamma$ 辐射巡测仪  | 2台    |
| 4  | 个人剂量报警仪               | 2台    |
| 5  | 个人剂量计                 | 6支    |
| 6  | 铅防护服/铅围裙/铅手套          | 6套    |
| 7  | 一次性防护衣/手套/口罩          | 若干    |
| 8  | 防护眼镜、面屏               | 1套    |

上述用于放射防护检测的仪器，应按规定进行定期检定，并取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。

除日常标配防护用具外，库房单独存放应急防护备品：备用铅衣、应急去污耗材、急救用品，用于发生意外沾染、设备故障时应急处置，所有防护及应急用品建立领用、定期更换台账，破损过期及时更新。

综上所述，建设单位在落实上述辐射安全和防护措施的基础上，可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的标准要求。本项目辐射安全和设施布置图见附图8、附图9。

#### 10.1.5 辐射安全原则符合性分析

##### (1) 纵深防御

本项目辐照室的人员出入口的安全联锁分别采用了门机联锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁、防误入安全联锁装置，且设置了急停按钮、开门开关等急停装置；以上措施均可确保当某一层次的防御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正。

##### (2) 冗余性

本项目在辐照室的人员出入口通道内设置多道防人误入的安全联锁装置，并与加速器的开、停机联锁；在运行过程中某一道防人误入安全装置失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能。

##### (3) 多元性

辐照室的人员出入口的安全联锁分别采用了门机联锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁及在辐照室的人员出入口通道内设置多道防人误入的安全联锁装置。防护措施的多元性能够提高装置的安全可靠性，可以降低共因故障。

#### (4) 独立性

本项目保证多道联锁之间的独立性、各部件之间的独立性、纵深防御各部件之间的独立性，从而保证某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用。

因此，本项目辐射安全设施的设计满足辐射安全原则的要求。

### 10.1.6 人员的安全与防护

本项目涉及的人员主要为辐射工作人员和评价范围内的公众成员。

#### (1) 辐射工作人员的安全防护

针对加速器机房的高能X射线装置，本项目通过多种防护策略，严格控制职业照射剂量，确保辐射工作人员的职业照射水平符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等相关标准限值要求。

为减少辐射工作人员的照射剂量，本项目综合运用屏蔽防护、时间防护和距离防护三种基本防护方法，并结合全流程管理措施，实现多维度安全保障：

##### ①屏蔽防护与隔室操作

加速器机房采用厚墙混凝土屏蔽结构，并设置不规则型迷道，利用多次散射有效衰减射线；辐射工作人员采取隔室操作方式，操作台设置于机房上方夹层的屏蔽控制室内，与辐射源保持足够距离，从物理上实现有效防护。

##### ②时间防护

加速器运行时，在满足检测参数要求的前提下，优化束流强度与曝光时间，减少不必要的出束时长，从源头降低工作人员受照时间。

##### ③距离防护

严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，在机房人员通道等醒目位置张贴电离辐射警告标志，并安装工作状态指示灯，监督区限制无关人员进入，避免受到不必要的照射。

##### ④检测仪器与个人防护用品配备

为辐射工作人员配备了必要的辐射防护设备与检测仪器，主要包括：个人剂量计，

用于个人累积剂量监测；个人剂量报警仪，实时监测环境剂量率，超过设定阈值时自动报警；场所辐射监测仪，定期检测机房及周边区域的辐射水平；配套的防护用品。

#### ⑤全流程辐射安全管理（含销售、安装调试阶段）

a、销售阶段：供应商提供设备辐射安全性能检测报告及配套防护设计文件，明确设备在不同工况下的辐射输出水平与安全操作边界；

b、安装调试阶段：设备安装、调试过程严格按照操作规程进行，设置临时辐射警示标识与控制区，限制无关人员进入；调试人员全程佩戴个人剂量计与剂量报警仪，调试期间进行场所辐射水平实时监测，确保调试过程安全可控；

c、运行阶段：制定辐射安全管理制度与操作规程，明确岗位职责，定期开展辐射安全培训与应急演练，确保工作人员规范操作。

#### （2）机房周围公众的安全防护

周边公众主要依托加速器机房的屏蔽墙体、地板、顶棚、迷道等均采用混凝土屏蔽结构，配合铅防护门设计，确保X射线在各个方向的泄漏剂量率符合国家标准。在加速器机房迷道入口、各控制区边界等醒目位置，张贴符合GB 18871规定的电离辐射警告标志和工作状态指示灯。加速器机房设置门机联锁装置，防护门未完全关闭时设备无法出束。辐射工作场所禁止无关人员进入，以增加公众与射线源之间的防护距离，避免受到不必要的照射。

### 10.1.7 日常维修（管理）及记录

#### 1、装置的维护与维修

嘉兴耀核速康科技有限公司必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查（检验）加速器的主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。

安全设施的变更，需经设计单位认可，并经监管部门同意后才能进行。

##### （1）日检查

电子加速器辐照装置上的常用安全设备应每天进行检查，发现异常情况时必须及时修复。常规日检查项目应至少包括下列内容：

- ①工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯；
- ②辐照装置安全联锁控制显示状况；
- ③个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状况。

##### （2）月检查

电子加速器辐照装置上的重要安全设备或安全程序应每月定期进行检查，发现异常情况必须及时修复或改正。月检查项目至少应包括：

- ①辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况；
- ②控制台及其他所有紧急停止按钮；
- ③通风系统的有效性；
- ④验证安全联锁功能的有效性；
- ⑤烟雾报警器功能正常。

### （3）半年检查

电子加速器辐照装置的安全状况应每6个月定期进行检查，发现异常情况时必须及时采取改正措施。其检查范围至少应包括：

- ①配合年检修的检测；
- ②全部安全设备和控制系统运行状况。

## 2、记录

公司必须建立严格的运行及维修维护记录制度，运行及维修维护期间应按规定完成运行日志的记录，记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录事项一般不少于下列内容：

- ①运行工况；
- ②辐照产品的情况；
- ③发生的故障及排除方法；
- ④外来人员进入控制区情况；
- ⑤个人剂量计佩戴情况；
- ⑥个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测结果；
- ⑦检查及维修维护的内容与结果；
- ⑧其他。

### 10.1.8 加速器工作场所“三废”处理措施

#### 1、放射性“三废”处理措施

40 MeV 功率打工况会产生微量感生放射性物质及活化废物，该类污染物收集、暂存、处置要求执行《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）；10 MeV 工况污染物治理同步遵循《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）要求。

本项目电子加速器循环冷却水系统内循环水量约 50L (0.05m<sup>3</sup>)，正常运行时冷却水为密闭循环，不外排。仅在设备检修维护时，需对冷却水进行排空更换。冷却水每年检修更换 10 次，单次更换量约 0.05m<sup>3</sup>，年更换废水量约 0.5m<sup>3</sup>/a。更换时冷却水通过检修水管排入配套衰变池（有效容积 2m<sup>3</sup>）暂存，定期交由具备相应资质的单位进行处置。本项目废水线走向示意图见附图 11。

本项目正常运行时不产生放射性固体废物，仅在设备运行过程中可能产生废靶，应依照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）要求，对废靶外表面进行辐射剂量率监测，确认符合解控水平后，由设备厂家回收处置，避免二次污染。

本项目40MeV档位电子加速器产生的X射线最大能量为40MeV，需考虑光中子与感生放射性影响，具体防护处理措施如下：

光中子防护：40MeV电子束轰击重核靶材时，通过光核反应产生光中子，中子能量范围为0.025eV~10MeV，主要存在于加速器靶区周边，需通过中子屏蔽材料专项防护。在加速器靶区周边设置硼聚乙烯中子屏蔽层，屏蔽层表面涂刷防辐射涂层；定期对屏蔽层进行巡检，检查是否存在破损、脱落等情况。

感生放射性防护：高能X射线与中子照射加速器结构材料、靶材及周边部件时，激活产生感生放射性核素，其活度随辐照时间、束流强度增加而升高，设备停机后需经衰变冷却，再进行检修或处置。冷却期间严禁进入机房开展检修作业，维修前，建设单位对设备及周边部件进行感生放射性活度监测，确认达标后，由专业人员穿戴防护装备开展检修；检修产生的废旧部件，按放射性固体废物相关要求暂存、回收处置，严禁随意丢弃。

放射性固体废物防护与处置：本项目加速器主机室和功率靶室各设置一套废气处理系统，废气处理设施配置初效+中效过滤器+活性炭吸附单元。单套系统配套过滤器重量为1.5kg，每半年更换1次，年产生废滤材总量为0.006t/a；单套单次活性炭装填量为60kg/次，按500小时使用周期计年更换约6次，年产生废活性炭总量为0.72t/a。

上述废过滤器、废活性炭均属于放射性固体废物，暂存于专用铅屏蔽容器内，存放于放射性废物库，定期委托具有资质单位处置，不对环境造成污染影响。

## 2、非放射性“三废”处理措施

### (1) 废气

加速器运行时，电子束在空气中穿行过程与空气相互作用而产生臭氧和氮氧化物等

气体。电子束流越大，臭氧和氮氧化物产生量越高。其中臭氧产额大于氮氧化物，且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本节主要考虑辐照室臭氧的产生和排放影响。

本项目加速器工作场所拟设 5 套机械排风系统，各机房排风量分别为：加速器主机房的排风量为 1800m<sup>3</sup>/h，辐照机房总排风量为 7000m<sup>3</sup>/h，测试机房排风量为 1500m<sup>3</sup>/h，功率靶室排风量为 380m<sup>3</sup>/h，水冷机房排风量为 250m<sup>3</sup>/h。

其中辐照机房、测试机房、功率靶室为电子束作业区域，是臭氧主要产生单元；加速器主机房束流损失小、水冷机房仅为设备配套用房，两处基本不产生臭氧及氮氧化物。

各区域废气经密闭收集后，统一通过排风管道引至楼顶 25m 高排气筒高空排放。臭氧化学性质不稳定，常温下可自行分解，外加大气稀释、扩散作用，外排污染物浓度可快速降低，对周围环境影响轻微。

## （2）生活废水

本项目加速器营运期产生非放射性废水主要为职工生活污水，经园区专用污水管网收集后，送至现有化粪池预处理，达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后，纳入市政污水管网，最终由海盐县城乡污水处理厂处理至《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准及《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）要求后排入杭州湾，不会对周边水环境造成明显影响。

## 10.2 核素实验室辐射工作场所分区防护

### 10.2.1 辐射工作场所布局及合理性

本项目核素实验室位于加速器机房西侧，与测试机房等辐射工作区相邻，同时与非辐射工作区（更衣间、换鞋间、危废间、废水处理间、走廊等）通过物理隔离和卫生通过区进行分隔。控制区包括热室、分离纯化区、储源室、放射性暂存间等核心功能区，严格限定放射性物质操作与储存范围，避免污染扩散；监督区包括卫生通过间（更衣间、换鞋间、去污间、洁具间等）、危废间、废水处理间、走廊等，设置有防护门、通风橱、手套箱和表面污染监测设备，防止放射性污染扩散。

热室为核素实验室乙级非密封放射性控制区，热室东侧为 40MeV 加速器功率靶室，两区人流物理隔离、分区管控，无交叉污染风险，布局符合辐射安全规范。

核素实验室与加速器机房、产品存放区等区域相对独立。控制区出入口设置门禁和警示标识，卫生通过区配备个人剂量监测仪、淋浴设施和污染监测设备，确保工作人员

离开辐射区前完成去污和剂量监测，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求。

综上，核素实验室的功能分区、物理隔离及防护措施，在满足辐射防护与安全生产的前提下，兼顾了操作便利性与管理可控性，布局合理。

### 10.2.2 分区原则和两区划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），为了便于辐射防护管理和职业照射控制，应把辐射工作场所分为控制区和监督区。

#### （1）分区原则

根据 GB 18871-2002 的要求，“两区”划分原则与依据如下：

#### A、控制区

①注册者许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

②确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围。

③对于范围比较大的控制区，如果其中的照射或污染水平在不同的局部变化较大，需要实施不同的专门防护手段或安全措施，则可根据需要再划分出不同的子区，以方便管理。

#### B、监督区

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中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。

#### （2）本项目分区管理情况

本项目辐射工作场所分区情况见表 10-4，分区示意图见附图 7。

表 10-4 本项目核素实验辐射工作场所控制区与监督区划分情况

| 控制区                       | 监督区   |
|---------------------------|---|
| 热室、分离纯化间、储源室、放射性暂存间、衰变池区域 | 卫生通过间（更衣间、换鞋间、去污间、洁具间等）、非放制备间、危废间、废水处理间、走廊等 |

#### （3）本项目“两区”管控要求

##### ①控制区防护手段与安全措施

- a.在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合图 10-6 规定的电离辐射警告标志；
- b.制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序；
- c.运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区；限制的严格程度应与预计的照射水平和可能性相适应；
- d.定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

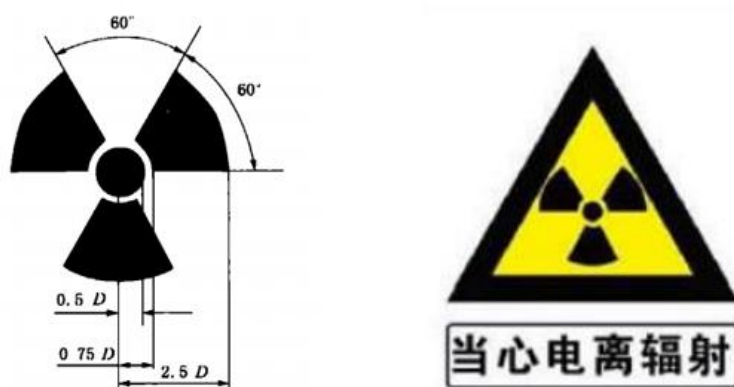


图 10-6 电离辐射的标志（左）与电离辐射警告标志（右）

## ② 监督防护手段与安全措施

- a.采用适当的手段划出监督区的边界；
- b.在监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌；
- c.定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

### 10.2.3 辐射工作场所的分级

#### (1) 日等效最大操作量计算方法

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，可以计算出各核素的日等效最大操作量。

日等效最大操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (10-1)$$

#### (2) 操作方式修正因子选取

操作方式修正因子依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附

录表 C3 选取。

表 10-5 操作方式与放射源状态修正因子

| 操作方式    | 放射源状态           |                 |          |                             |
|---------|-----------------|-----------------|----------|-----------------------------|
|         | 表面污染水平较<br>低的固体 | 液体, 溶<br>液, 悬浮液 | 表面有污染的固体 | 气体, 蒸汽, 粉末, 压<br>力很高的液体, 固体 |
| 源的贮存    | 1000            | 100             | 10       | 1                           |
| 很简单的操作  | 100             | 10              | 1        | 0.1                         |
| 简单操作    | 10              | 1               | 0.1      | 0.01                        |
| 特别危险的操作 | 1               | 0.1             | 0.01     | 0.001                       |

根据《辐射防护册第三分册》第 143-144 页, 各种操作类型的具体方式可以举例如下:

①贮存: 把盛装在容器内的放射性溶液、样品和废液等密封后存放于工作场所的通风柜、手套箱、样品架、工作台和专用贮存柜内等属贮存操作。这类操作可能的危害最小。

②很简单的操作: 例如少量稀溶液的合并、分装或稀释, 污染不严重的器皿和工具等的洗涤等。这类操作, 会有少量的放射性物质散布开来, 主要是要防止洒漏。

③简单的操作: 例如溶液的取样、转移、沉淀、过滤或离心分离, 萃取或反萃取, 离子交换, 色层分离, 吸移或滴定放射性溶液等。这类操作, 可能会有较多的放射性物质散布开来, 除了会有表面污染外, 还会有空气污染出现。

④有特别危险的操作: 例如对溶液加热蒸馏或蒸发, 热烤烘干, 强放溶液的取样或转移, 粉末料样的称重、溶解、干沉淀物的收集与转移等。操作过程中均会产生少量气体或气溶胶。更危险的操作还有干式操作和发尘操作, 例如破碎研磨样品, 粉末物质剧烈混合或包装等。因此这类操作, 不发生意外时并不一定有较多的放射性物质散布开来, 但发生事故的几率较多, 而且后果较严重。

### (3) 核素日等效操作量计算与工作场所分级

建设单位提供的保守规划的实际日最大操作量见表 3。根据 GB18871-2002 附录 C 中表 C2、C3、附录 D 查得的各核素的毒性因子和操作方式与放射源状态修正因子及其毒性分组, 根据式 (10-1) 计算得到的本项目核素日等效操作量结果, 对照非密封源工作场所分级标准确定的分级结果, 具体见表 10-6。

表 10-6 非密封源工作场所分级

| 核素名称              | 毒性组别 | 毒性组别<br>修正因子 | 操作方式与放射<br>源状态修正因子 | 日最大操作<br>量 (Bq) | 日等效最大操<br>作量 (Bq) | 工作场所分级          |
|-------------------|------|--------------|--------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| <sup>225</sup> Ac | 极毒   | 10           | 0.01               | 8E+05           | 8E+08             | 日等效最大操<br>作量叠加值 |
| <sup>226</sup> Ra | 极毒   | 10           | 0.001              | 3E+05           | 3E+09             |                 |

|                  |    |     |      |       |       |                   |
|------------------|----|-----|------|-------|-------|-------------------|
| <sup>67</sup> Cu | 中毒 | 0.1 | 0.01 | 4E+06 | 4E+07 | 3.92E+09Bq,<br>乙级 |
| <sup>99</sup> Mo | 中毒 | 0.1 | 0.01 | 4E+06 | 4E+07 |                   |
| <sup>47</sup> Sc | 中毒 | 0.1 | 0.01 | 4E+06 | 4E+07 |                   |

本项目外购的 <sup>225</sup>Ac、<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc 均为液态放射性核素，运营过程中需采用表面沉积法制备同位素靶，且工序包含蒸发操作。从保守评价角度，不按原液态源取值，统一按表面有污染的固体判定源项状态，同时蒸发归类为有特别危险的操作，对应操作方式修正因子取 0.01；<sup>226</sup>Ra 以粉末形态外购，涉及粉末样品称重、溶解等操作，归类为有特别危险的操作，且源项状态按粉末类判定，对应操作方式修正因子取 0.001。

从表 10-6 可见，根据使用放射性核素的类型和用量，可得到工作场所各核素日等效最大操作量叠加值 3.92E+09Bq，对照非密封源工作场所分级标准，本项目工作场所应按照乙级工作场所进行管理。

#### 10.2.4 工作场所分类情况

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三类，见表 10-7。

表 10-7 辐射工作场所分类一览表

| 分类  | 日操作最大量放射性核素的加权活度，MBq |
|-----|----------------------|
| I   | >50000               |
| II  | 50~50000             |
| III | <50                  |

注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10-8 和 10-9。

表 10-8 本项目放射性核素毒性权重因子

| 类别 | 放射性核素  | 核素的毒性权重因子 |
|----|--|-----------|
| A  | <sup>225</sup> Ac、 <sup>226</sup> Ra                 | 10        |
| C  | <sup>67</sup> Cu、 <sup>99</sup> Mo、 <sup>47</sup> Sc | 0.1       |

表 10-9 不同操作性质的修正因子

| 操作方式和地区                    | 操作性质修正因子 |
|----------------------------|----------|
| 贮存                         | 100      |
| 废物处理；闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区    | 10       |
| 配药、分装以及施给药；简单放射性药物制备；治疗病床区 | 1        |
| 复杂放射性药物配置                  | 0.1      |

表 10-10 非密封放射性物质（核素）加权活度

| 场所       | 核素                | 毒性权重因子 | 操作性质修正因子 | 日最大操作量（Bq） | 放射性核素加权活度（Bq） | 场所分类 |
|----------|-------------------|--------|----------|------------|---------------|------|
| 热室、分离纯化间 | <sup>225</sup> Ac | 10     | 0.1      | 8.0E+05    | 1.22E+08      | II   |
|          | <sup>226</sup> Ra | 10     | 0.1      | 3.0E+05    |               |      |
|          | <sup>67</sup> Cu  | 0.1    | 0.1      | 4.0E+06    |               |      |
|          | <sup>99</sup> Mo  | 0.1    | 0.1      | 4.0E+06    |               |      |
|          | <sup>47</sup> Sc  | 0.1    | 0.1      | 4.0E+06    |               |      |
| 储源室      | <sup>225</sup> Ac | 10     | 100      | 8.0E+05    | 1.22E+05      | III  |
|          | <sup>226</sup> Ra | 10     | 100      | 3.0E+05    |               |      |

|                  |                   |     |         |         |       |          |     |
|------------------|-------------------|-----|---------|---------|-------|----------|-----|
| 放废暂存间            | <sup>67</sup> Cu  | 0.1 | 100     | 4.0E+06 | 4E+03 | 1.22E+06 | III |
|                  | <sup>99</sup> Mo  | 0.1 | 100     | 4.0E+06 | 4E+03 |          |     |
|                  | <sup>47</sup> Sc  | 0.1 | 100     | 4.0E+06 | 4E+03 |          |     |
|                  | <sup>225</sup> Ac | 10  | 10      | 8.0E+05 | 8E+05 |          |     |
|                  | <sup>226</sup> Ra | 10  | 10      | 3.0E+05 | 3E+05 |          |     |
|                  | <sup>67</sup> Cu  | 0.1 | 10      | 4.0E+06 | 4E+04 |          |     |
|                  | <sup>99</sup> Mo  | 0.1 | 10      | 4.0E+06 | 4E+04 |          |     |
|                  | <sup>47</sup> Sc  | 0.1 | 10      | 4.0E+06 | 4E+04 |          |     |
|                  | <sup>226</sup> Ra | 10  | 10      | 3.0E+05 | 3E+05 |          |     |
| <sup>67</sup> Cu | 0.1               | 10  | 4.0E+06 | 4E+04   |       |          |     |
| <sup>99</sup> Mo | 0.1               | 10  | 4.0E+06 | 4E+04   |       |          |     |
| <sup>47</sup> Sc | 0.1               | 10  | 4.0E+06 | 4E+04   |       |          |     |

\*注：源库放射性同位素源活度按日最大操作量计，放射性废物库按日最大操作量 5%计。

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见下表。

**表 10-11 不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求**

| 种类    | 分类                     |                        |                  |
|-------|------------------------|------------------------|------------------|
|       | I                      | II                     | III              |
| 结构屏蔽  | 需要                     | 需要                     | 不需要              |
| 地面    | 与墙壁接缝无缝隙               | 与墙壁接缝无缝隙               | 易清洗              |
| 表面    | 易清洗                    | 易清洗                    | 易清洗              |
| 分装柜   | 需要                     | 需要                     | 不必须              |
| 通风    | 特殊的强制通风                | 良好通风                   | 一般自然通风           |
| 管道    | 特殊的管道 <sup>a</sup>     | 普通管道                   | 普通管道             |
| 盥洗与去污 | 洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备 | 洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备 | 洗手盆 <sup>b</sup> |

a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。  
b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

通过计算分析，项目各类辐射工作场所均为II类、III类场所。嘉兴耀核速康科技有限公司应按表 10-11 的要求，按II类工作场所用房建设，在辐射工作场所的地面采取易清洁、不易渗透的材料，与墙壁接缝无缝隙；墙面采取易清洁不易渗透的材质；工作台表面采用易清洗材料；实验室内控制区不设下水，淋浴间内设置有洗手盆和淋浴，排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。

### 10.2.5 核素实验室屏蔽防护设计

根据建设单位提供的资料，本项目核素实验室辐射工作场所拟采取的辐射屏蔽防护设计方案具体见表 10-12。

**表 10-12 核素实验室工作场所辐射屏蔽设计**

| 区域                | 墙面   | 屏蔽方案                   |
|-------------------|------|------------------------|
| 热室（6750mm×6800mm） | 东侧墙体 | 2800mm 混凝土             |
|                   | 南侧墙体 | 2000mm 混凝土             |
|                   | 西侧墙体 | 2200mm 混凝土             |
|                   | 北侧墙体 | 1400mm 混凝土             |
|                   | 防护门  | 20cm 铅板+30cm 含硼 5%聚乙烯板 |

|                           |            |                              |
|---------------------------|------------|------------------------------|
|                           | 顶棚         | 1500mm 混凝土                   |
|                           | 地面         | 850mm 混凝土                    |
| 分离纯化间<br>(8400mm×16800mm) | 南、西、北侧墙体   | 200mm 混凝土                    |
|                           | 防护门        | 5cm 铅板+30cm 含硼 5%聚乙烯板+5cm 铅板 |
|                           | 通风橱        | 3mm 铅                        |
|                           | 手套箱        | 5mm 铅                        |
|                           | 色谱分离纯化区    | 5mm 铅                        |
|                           | 分离检测区      | 10mm 铅                       |
|                           | 顶棚         | 200mm 混凝土                    |
|                           | 地面         | 100mm 混凝土                    |
| 储源室<br>(3660mm×1760mm)    | 东、南、西、北侧墙体 | 370mm 混凝土                    |
|                           | 防护门        | 10mm 铅                       |
|                           | 顶棚         | 200mm 混凝土                    |
|                           | 地面         | 100mm 混凝土                    |
| 放废暂存间<br>(3030mm×3460mm)  | 东、南、西、北侧墙体 | 370mm 混凝土                    |
|                           | 顶棚         | 200mm 混凝土                    |
|                           | 地面         | 100mm 混凝土                    |
|                           | 防护门        | 10mm 铅                       |

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm<sup>3</sup>，聚乙烯板密度不低于 1.05 g/cm<sup>3</sup>，铅板密度不低于 11.34g/cm<sup>3</sup>。

### 10.2.6 核素产品包装屏蔽设计

建设单位外购、内部使用、对外销售的核素产品，其产品货包按照《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的II级 A 型货包（货包外表面任一点的辐射水平不超过 2mSv/h，β表面污染不超过 4Bq/cm<sup>2</sup>，α发射体为 0.4Bq/cm<sup>2</sup>）进行包装和管理。核素铅罐容器的屏蔽防护及产品规格见下表。

表 10-13 核素产品外包铅罐屏蔽设计参数

| 核素   | 屏蔽防护            |
|--|-----------------|
| <sup>225</sup> Ac、 <sup>226</sup> Ra、 <sup>67</sup> Cu、 <sup>99</sup> Mo、 <sup>47</sup> Sc | 外包 50mmPb 铅圆柱体罐 |

经下文计算，铅罐的屏蔽设计使核素在转运过程中，对转运工作人员及涉及的公众的辐射水平满足辐射防护要求。

### 10.2.7 辐射安全与防护措施

#### (1) 气流组织

本项目为满足放射性物质操作区域负压气流组织要求，放射性核素工作场所以邻近缓冲间为最高压力区，压差往两边邻近连通房间逐级递减，可保证放射性废气局部流动方向为：屏蔽箱→排风管道，避免放射性废气扩散。

为保持局部区域的负压环境，各控制区内采用不锈钢全焊接密封圆管，并设置独立排风管道，放射性排风管道设置有止回阀，防止外界气流倒灌。各房间和手套箱压差是通过控制送、排风风量差实现，各排风支管设置定风量阀，恒定风量实现压差的稳定性。

本项目各房间采取局部的独立排风，涉及放射性房间采取全排措施排风。

## (2) 个人防护措施

①核素实验室工作场所辐射工作人员上岗前均进行辐射安全与防护知识培训，并在学习考核合格后上岗，同时各实验室制定严格的操作制度，所有辐射工作人员在上岗均先进行冷试验操作，并熟悉操作流程后才能正式开展放射性物质的操作生产，并尽可能缩短操作时间。

②所有辐射工作人员进入放射性工作场所均需佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，并按要求定期进行辐射工作人员个人剂量进行检测。

③辐射工作人员进入控制区需按流程：换鞋→更衣→控制区，离开控制区需按流程：表面沾污监测→更衣→换鞋→离开，若表面污染水平监测超过控制水平，应进行去污后监测达标后再离开。控制区出入口卫生通过间拟配备辐射监测设备和去污设施。公司拟为辐射工作人员配备口罩、橡胶手套和实验工作服以及应急使用的呼吸性面罩等防护用品。工作服、工作手套、工作鞋的 $\alpha$ 放射性污染水平超过  $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$ 放射性污染水平超过  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，手部、皮肤、内衣、工作袜的 $\alpha$ 放射性污染水平超过  $0.04\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$ 放射性污染水平超过  $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，则应采取去污措施，视污染情况不同，采取去污措施或作为放射性废物处置；工作人员手部或身体受到放射性污染，应洗手去污(必要时淋浴去污)。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

④对于放射性核素的操作过程均在便于去污的通风橱、手套箱内台面进行，操作和转移核素均采用搪瓷托盘，并铺以吸水性的内垫吸水纸，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。保持工作台面清洁，定期对工作台面采用湿法擦拭清洁，防止放射性核素沉降经伤口或皮肤渗透转移至体内，且严禁工作人员在辐射工作场所内进食、饮水和吸烟。

⑤每天进行操作结束后，对场所内易接触的部位进行表面沾污监测，若出现超标情况，应及时按制定的去污操作规程开展去污操作，去污废水和擦拭纸等均需按放射性废物管理。

⑥对于辐射剂量率高值区应根据实际情况采取必要的屏蔽措施或采取轮换操作减少受照时间。

## (3) 视频监控系统

本项目核素实验工作场所在一层共设置 8 个摄像头，在热室设置 1 个枪式摄像头，在分离纯化间设置 4 个半球彩色摄像头，在储源室设置 1 个半球彩色摄像头，在放射性暂存间设置 1 个半球彩色摄像头，在检测去污间设置 1 个半球彩色摄像头，实时监控内部情况，实现场所治安防控“全覆盖、无死角”，便于及时观察和了解实验室的情况。控制区进出口及内部防护门、通风橱、手套箱等设备表面应张贴醒目的且符合 GB18871-2002 标准规定电离辐射警告标志；控制区和监督区设置有醒目标识。

#### (4) 剂量率检测报警装置

本项目核素实验工作场所拟配备 5 台固定式  $\gamma$  辐射剂量率监测仪，当辐射水平超过预设阈值时能发出警示声。

#### (5) 人员出入控制

为限制无关人员进入辐射工作场所，在人流出入口设置门禁系统，防止非工作人员进入，并对进入厂房的工作人员进行统计和管理。把所有工作人员的姓名、岗位信息等个人资料输入电脑，同时设置不同工作人员门禁的级别，不同级别的工作人员可进入场所不同。辐射工作场所门禁点位设置：辐射工作场所的人流、物流总出入口设置门禁。

#### (6) 清场记录

本项目所有核素均在核素实验工作场所内进行，每次实验结束后必须执行严格的清场程序，确保设备和工作场所内未遗留与本次放射性实验有关的物料，确认无误后方可进行下一场实验。同时，建设单位应保存详细的清场记录。

### 10.2.8 表面污染控制措施

本项目工作人员在对放射性药物的各种操作中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等发生放射性沾污，造成放射性表面污染。为控制表面污染，需采取的措施如下：

①对操作人员进行岗前培训，使其具备熟练的操作技能及丰富的防护知识；

②操作放射性物质在易去污的工作台面上进行，标记、合成、分装等操作在手套箱内进行；

③如有洒落等操作，工作人员戴护膝型面罩或活性炭口罩，和一次性手套用棉球、滤纸将其擦拭处理，擦拭后产生的废棉球、滤纸、手套按固体放射性废物收集至放射性废物桶内暂存；

④工作人员进出工作场所需更衣，放射性操作之后对工作台面、设备、地面及个人

防护用品等进行表面污染检查，若监测结果超出控制水平，则需去污，直至监测合格后才能离开。

在严格落实以上措施的情况下，可有效避免表面污染带来的辐射影响。

### 10.2.9 放射性核素外购、包装、运输、销售

本项目实验室使用的放射性同位素原料和销售的标记放射性药物均由有资质的放射性物品运输单位负责运输，放射性物品运输应满足《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)的要求，确保运输安全。

#### ①建立台账

建立放射性同位素销售台账，销售给客户时，建设单位应详细核对对方《辐射安全许可证》的有效性和合法性，购买单位拟购买的非密封放射性物质的种类和活度应在其《辐射安全许可证》的许可范围内。在销售过程中，公司应按《辐射安全许可证》许可的种类和范围从事销售活动，并按销售台账记录表格进行记录，记载标记的放射性药物的出库时间、名称、活度、类别、购销数量、采购商名称、采购商的《辐射安全许可证》编号、记录人、记录时间、审核人、审核日期等事项，接受生态环境主管部门的检查。

#### ②放射性核素的包装

本项目核素产品拟采用A型货包屏蔽容器，一般出厂货包分为四层包装结构，第一层为与放射性物料直接接触的储液瓶，储液瓶口有密封胶塞并压有铝盖，在搬运过程中不会发生液体倾洒，第二层包装结构为屏蔽辐射照射的屏蔽铅罐或铅套，第三层包装结构为缓冲泡沫塑料，第四层为铁皮外桶或纸箱，起到保护屏蔽铅罐或铅套不受外力破坏的作用。货包准备好以后在装车前需对每个货包表面 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\alpha/\beta$ 表面沾污进行监测，并经监测达标后才进行装车，同时根据货包分级在外包装张贴标识。运输过程委托第三方有资质单位根据国家相关法律法规要求运输至客户单位，由第三方单位负责运输过程中的辐射安全。

建设单位拟从有资质的单位购买核素原料，核素原料均使用符合上述辐射安全要求的运输容器进行运输至建设单位。

#### ③放射性核素包装后监测

经包装后的容器，采用表面污染监测仪和巡检仪对放射性核素包装表面污染和辐射水平实施监测，记录监测结果，编制监测报告，达到运输规范要求后才能外包运输。

#### ④其他

建设单位将委托有资质的运输单位进行放射性核素的运输。根据《放射性物品运输安全管理条例》，运送前需编制并向运输人员提交运输说明书、表面剂量辐射监测报告、核与辐射事故应急响应指南、装卸作业方法、安全防护指南等。运输说明书应当包括放射性物品的品名、数量、物理化学形态、危害风险等内容。

### 10.2.10 非密封放射性物质存放场所管理

本项目非密封放射性原料、中间产物及成品统一存放于核素实验室内储源室（放射源库），该场所为乙级非密封放射性物质专用贮存区域，不设置露天存放点位。结合各类核素的理化性质、毒性、半衰期及辐射风险，从场所基础条件、分区存放、日常管控、储源室专项安全等方面落实全流程管理要求，严格执行放射性物质贮存相关法规标准。

#### （1）存放场所基础条件

##### ①建筑与防渗要求

储源室为独立封闭房间，与实验操作区、办公区、通道实现实体物理隔离；室内地面、墙面、顶棚均采用耐酸碱、防渗透、易擦拭的防护材质，地面做防滑、防渗处理，防止放射性液体渗漏；房间密闭性良好，无孔洞、缝隙，避免放射性气溶胶外逸。

##### ②通风与环境控制

室内设置独立负压通风系统，气流遵循“外区→贮存区”流向，防止污染扩散；针对<sup>226</sup>Ra粉末状核素易吸潮的特性，配备恒温除湿设备，室内温湿度保持稳定，满足粉末核素贮存环境要求。

##### ③屏蔽基础

房间墙体、门窗均按乙级非密封源贮存标准做辐射屏蔽设计，所有放射性物料均采用专用铅罐封装，贮存区域外表面30cm处周围剂量当量率控制在2.5μSv/h以内，符合辐射防护限值。

##### ④配套设施

室内布置固定式γ辐射监测仪、α/β表面污染监测设备，24小时实时在线监测；全域安装高清视频监控，配套独立门禁系统，仅授权持证辐射工作人员进入。

#### （2）分区存放管理

本项目涉及<sup>225</sup>Ac、<sup>226</sup>Ra、<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc共5种非密封放射性物质，<sup>225</sup>Ac、<sup>226</sup>Ra为极毒组核素，<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc为中毒组核素。现场严格按照核素种类、物理形态、毒性、半衰期分区、分类、分柜存放，严禁混存。

### ①分区原则

执行长半衰期与短半衰期分离、固态与液态分离、极毒与中毒核素分离原则，划分独立贮存区域，区域之间设置物理隔断。

### ②分区细则

a、极毒核素专属贮存区：单独划分独立区域，分为两个子区域：

$^{226}\text{Ra}$ ：粉末状极毒核素，半衰期约 1602a（长半衰期），采用加厚密封铅罐单独贮存；

$^{225}\text{Ac}$ ：液态极毒核素，半衰期约 10.0d， $\alpha$ 衰变特性显著，内照射风险极高，使用专用加厚铅罐存放，与 $^{226}\text{Ra}$ 分区布置，不混放。

b、中毒核素区域：集中存放液态的 $^{67}\text{Cu}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{47}\text{Sc}$ ，不同核素分架摆放，罐间预留安全防护距离，防止倾倒、交叉污染；

c、物料划分：原料、纯化中间品、外销成品分区存放，实验剩余残料单独归集，禁止与合格成品混放。

### ③容器与标识管理

所有放射性物料均使用匹配活度的标准铅屏蔽容器盛装，每个铅罐、贮存架外侧一物一标签，清晰标注核素名称、活度、理化性质、入库时间、责任人、辐射警示标识；标签防水、耐磨，保证信息长期清晰可辨。

## (3) 通用日常管理要求

### ①出入库与台账管理

实行双人双锁管理制度，储源室钥匙由两名辐射安全管理人员分别保管，两人同时到场方可开门。放射性原料入库、实验领用、剩余物料回库、成品出库全流程双人核对、签字确认，建立专用电子+纸质双重台账，详细记录核素名称、活度、数量、流转时间、领用人员、用途、去向等信息，做到账物相符、全程可追溯。台账长期存档，接受生态环境主管部门核查。

### ②日常巡检制度

制定每日巡检、每月全面排查制度。每日检查房间密闭性、通风、温湿度、辐射监测设备、容器完整性；每月开展全面排查，核对物料数量、检查铅罐有无破损渗漏、墙面地面有无表面污染，巡检记录逐项填写存档。

### ③行为管控

严禁在储源室内开展核素分装、稀释、转移、取样等开放性放射性操作；严禁堆放易燃易爆、强腐蚀性、挥发性杂物；无关人员一律禁止进入。

#### ④存量管控

核素最大贮存总量严格按照环评批复及辐射安全许可规模执行，严禁超量存放。

### (4) 储源室（放射源库）专项安全管理

结合《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性废物安全管理条例》要求，针对储源室（放射源库）落实防盗、防火、防水、防泄漏、防辐射、防破坏六项专项安全管理要求：

#### ①安防与门禁安全

房门采用甲级防盗安全门，搭配电子门禁+机械双人双锁双重管控，门禁系统自动记录所有人员进出时间、人员信息，记录留存不少于 90 天；室内及出入口设置规范电离辐射警示标志、“非工作人员禁止入内”警示牌，警示标识清晰醒目；视频监控全覆盖，无监控死角，长期留存。

#### ②辐射安全管理

室内固定式辐射监测设备 24 小时不间断运行，一旦剂量率、表面污染超出阈值，立即触发声光报警，工作人员第一时间排查隐患；定期对贮存容器、室内墙面、地面开展 $\alpha/\beta$ 表面污染监测，发现污染立即采用专用去污剂开展去污作业，监测及去污记录存档；转运放射性物料必须使用专用屏蔽转运容器，规划固定转运路线，由两名持证人员共同完成，禁止单人转运。

#### ③消防安全管理

储源室内配备干粉灭火器、防火沙、灭火毯等专用消防器材，定点摆放、每月检查；室内电气线路做防火、防爆、防老化处理，严禁使用明火、高温设备。若发生火情，优先转移放射性物料，再开展灭火作业，禁止用水直接扑救放射性粉末、液态物料。

#### ④防泄漏与防水管理

室内地面设置防渗收集沟槽与应急收集托盘，一旦铅罐破损、液态核素泄漏，可及时收集废液，防止扩散；房间做好防雨、防水措施，杜绝积水浸泡贮存容器。若发生物料泄漏，立即划定临时控制区，穿戴防护用品开展处置，全程记录。

#### ⑤防盗与丢失应急管理

严格执行月度盘存制度，每月对库内所有放射性物料逐一盘点核对。一旦发现核素

丢失、被盗，现场立即封锁，第一时间启动辐射事故应急预案，按规定时限向生态环境、公安、卫生健康主管部门上报，并配合调查。

#### ⑥人员管理

仅经培训考核、取得辐射工作人员资质的人员方可进入储源室；进入室内必须佩戴个人剂量计、便携式辐射报警仪，穿戴全套个人防护用品；外来人员严禁入内，因检查等特殊情况确需进入的，需经单位辐射负责人批准，并由专人全程陪同。

#### 10.2.10 辐射工作场所退役

本项目非密封放射性物质工作场所作其他用途使用前，建设单位应按照《核技术利用设施退役》(HAD401/14-2021)的要求实施场所退役活动，并根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》的规定，及时办理相应的退役环境影响评价手续，确保退役场所满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中限值要求，方可无限制开放使用。

#### 10.2.11 其他防护设施、个人防护用品和监测仪器

参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中的相关要求，本项目工作场所配置相应的防护设施、个人防护用品和监测仪器，主要配置情况见表 10-14。

表 10-14 核素工作场所拟配置的防护设施、个人防护用品和监测仪器一览

| 类别      | 设备/用品名称                  | 数量   | 用途   |
|---------|--------------------------|------|--|
| 防护设施    | 手套箱                      | 1 台  | 中低活度核素操作   |
|         | 铅罐                       | 10 个 | 放射性核素的储存、安全转运                                      |
|         | 铅制废物桶                    | 2 个  | 放射性废液、固废分类收集与暂存                                    |
|         | 衰变池                      | 1 套  | 放射性废水的收集与衰变储存                                      |
|         | 铅罐                       | 1 个  | <sup>226</sup> Ra 废水暂存                             |
| 个人防护用品  | 个人剂量计                    | 3 支  | 职业照射剂量监测   |
|         | 个人剂量报警仪                  | 2 台  | 现场照射剂量实时报警   |
|         | 铅防护服/铅围裙/铅手套             | 3 套  | 操作人员外照射防护  |
|         | 一次性防护衣/手套/口罩             | 若干   | 防止污染及内照射   |
|         | 防护眼镜/面屏                  | 1 套  | 眼部辐射防护   |
| 监测仪器    | 固定式γ辐射剂量率监测仪             | 5 台  | 场所实时剂量监测   |
|         | 固定式中子辐射剂量率监测仪            | 1 台  | 场所实时剂量监测   |
|         | 便携式 X-γ辐射巡检仪             | 2 台  | 现场巡检、设备检测  |
|         | 表面污染监测仪                  | 2 台  | 表面污染监测、人员离厂监测                                      |
| 应急类物品清单 | 核素泄漏应急处理包（吸附垫、专用收集袋、去污剂） | 1 个  | 发生 <sup>226</sup> Ra 等放射性液体/粉末泼洒时，现场吸附收集污染物、人员体表去污 |
|         | 便携式洗眼瓶                   | 2 个  | 眼部不慎沾染放射性试剂时，现场紧急冲淋去污                              |
|         | 应急呼吸防毒面罩                 | 2 副  | 处理放射性气溶胶、粉末泄漏事故                                    |

|  |     |     |                             |
|--|-----|-----|-----------------------------|
|  |     |     | 时，防护吸入内照射                   |
|  | 急救箱 | 1 个 | 存放消毒用品、止血敷料，处理磕碰、化学品灼伤等意外伤害 |

上述用于放射防护检测的仪器，应按规定进行定期检定，并取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。

配套配备放射性泄漏应急处置包、便携洗眼设备、等应急物资，针对<sup>226</sup>Ra等极毒粉末泄漏场景专项备用，定期盘点维保，更换过期耗材，保障突发污染时快速处置。

综上所述，建设单位在落实上述辐射安全和防护措施的基础上，能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的标准要求。

### 10.2.12 核素实验工作场所“三废”的治理

#### 1、放射性“三废”的治理

##### (1) 放射性废水

废水处理采用分类收集+衰变池暂存衰变的处理工艺：项目配套建设 1 套槽式衰变池，其中衰变池 1~3 连接放射性废水管，实行交替贮存、衰变和排放模式，3 座衰变池总有效容积为 3.78 m<sup>3</sup>，废水依次在三级衰变池内暂存衰变，废水先流入第一个衰变池、第一个衰变池满后流入第二个衰变池，第二个衰变池满后流入第三个衰变池，等第三个衰变池满后经检测达标排空第一个衰变池的水，依此循环。容积充分考虑核素半衰期、日常废水量及应急清洗需求。衰变池池体设计为坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。具体如下表：

表 10-15 衰变池屏蔽防护一览表

| 部位  |                   | 结构与材料                   | 构造层次  | 屏蔽作用  |
|-----|-------------------|-------------------------|---|---|
| 衰变池 | 衰变池底板屏蔽（D1 一级防水）  | 采用抗渗（P8）钢筋混凝土底板，并做原浆收光。 | 100mm 厚 C20 混凝土，随捣随抹平，1.5mm 厚纤维增强高分子膜基自粘改性沥青防水卷材，1.5mm 厚背粘型高分子自粘胶膜防水卷材（塑料类），无纺布一层（200g/m <sup>2</sup> ），50mm 厚 C20 细石混凝土保护层，抗渗（P8）钢筋混凝土底板（屏蔽主体） | 利用加厚钢筋混凝土作为主要辐射屏蔽层，同时通过多层防水卷材防止放射性废液渗漏。           |
|     | 衰变池侧墙屏蔽（WD1 一级防水） | 侧墙采用抗渗（P8）钢筋混凝土，并做原浆收光。 | 120mm 厚实心砖保护层，20mm 厚 1:3 水泥砂浆保护层，1.5mm 厚纤维增强高分子膜基自粘改性沥青防水卷材，1.5mm 厚高抗渗水性橡胶沥青防水涂料，抗渗（P8）钢筋混凝土侧墙（屏蔽主体）  | 侧墙混凝土厚度满足γ射线屏蔽要求，转角处等特殊部位增设 500mm 宽同材料加强层，防止射线泄漏。 |
|     | 衰变池顶              | 采用抗渗                    | 抗渗（P8）钢筋混凝土顶板（屏蔽主   | 顶板混凝土与等效材料  |

|                      |                             |   |   |
|----------------------|-----------------------------|---|---|
| 板屏蔽<br>(R1 一级<br>防水) | (P8) 钢筋混<br>凝土顶板, 原<br>浆收光。 | 体), 1.5mm 厚水泥基渗透结晶型防<br>水涂料 (用量 $\geq 1.5\text{kg/m}^2$ ), 2.0mm 厚<br>非固化橡胶沥青防水涂料, 4mm 厚<br>自粘聚合物改性沥青耐根穿刺防水<br>卷材一道, 20mm 厚 1:4 石灰砂浆隔<br>离层, 155mm 厚碎石基层, 80mm 厚<br>粗粒式沥青混凝土, 40mm 厚 (细)<br>粒式沥青混凝土面层 | 共同屏蔽, 确保衰变池<br>外辐射水平满足《电离<br>辐射防护与辐射源安全<br>基本标准》(GB<br>18871-2002)对辐射工作<br>场所的剂量控制要求。 |
| 衰变池内<br>壁防水与<br>辅助屏蔽 | /                           | 抗渗 (P8) 钢筋混凝土水池内壁, 原<br>浆收光, 1.5mm 厚水泥基渗透结晶型<br>防水涂料一道 (用量 $\geq 1.5\text{kg/m}^2$ ),<br>20mm 厚 1:2 防水砂浆抹面 (掺水泥<br>用量 5%的防水剂)   | 防止放射性废液渗透,<br>同时增强结构密实度,<br>辅助提升屏蔽效果。   |

本项目放射性废水主要来源于突发人员沾污时, 在淋洗间紧急清洁去污的应急喷淋淋洗废水。

本项目放射性核素日操作量小, 按年最大应急淋洗2次测算, 年产生应急淋洗去污废水不超过100L; 项目衰变池有效容积为 $2.52\text{ m}^3$  (2520L), 可贮存天数远大于100天, 可满足项目的淋洗废水收集需求。

本项目放射性废水按所含核素分两类实施差异化管控:

#### 1) 不含 $^{226}\text{Ra}$ 放射性废水

废水经专用排水管道收集至衰变池, 经衰变至少100d后, 委托具备资质的监测单位开展活度浓度检测, 执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《污水综合排放标准》(GB 8978-1996), 控制限值为总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 。

检测达标后, 提前向属地生态环境主管部门报备排放计划, 经核查确认, 方可通过专用管道排入市政污水管网; 若指标不达标, 则继续延长衰变周期, 严禁违规外排。

项目建立衰变池运行、取样检测、废水排放专项台账, 由专人负责管理, 如实记录贮存时长、检测数据、排放时间、排放量、审批信息等内容, 台账长期存档备查。该部分废水经规范处置后, 对周边水环境、土壤及生态系统辐射影响极小, 符合相关标准要求。

#### 2) 含 $^{226}\text{Ra}$ 放射性废水

$^{226}\text{Ra}$ 属于极毒类长半衰期核素 (半衰期1602a), 无自然衰变解控条件, 全程严禁接入污水管网、严禁排入衰变池、不得自行外排, 采用专用容器独立收集、分区隔离暂存、专项台账管理、单独委托处置的闭环管控模式, 具体要求如下:

##### ①专用收集设施

统一采用HDPE耐腐蚀内桶+铅屏蔽外容器+二次防漏周转箱成套设备收集。所有容

器实行唯一编号、专桶专用，仅用于收集含<sup>226</sup>Ra废水，严禁盛放其他废水、废液。容器装液量严格控制在额定容积的80%以内，规避转运、存放过程中液体溢漏风险；容器外表面统一张贴标准放射性警示标识及核素信息标签。现场配套1L台面临时收集瓶、5L专用废液桶、匹配规格铅屏蔽罐及不锈钢防漏周转箱，全部定点摆放于专属收集区域。

### ②独立收集方式

单独设置含<sup>226</sup>Ra废水收集点位，不接入短半衰期核素废水收集管网。收集所用漏斗、导流软管等辅助器具均为专用设备，不与其他废液器具混用，彻底杜绝交叉污染。单次收集作业完成后，立即密封容器，并同步填写《含<sup>226</sup>Ra废水收集台账》，做到来源可追溯。

### ③分区隔离暂存

收集完成后，先检查容器密封性、外观完整性，确认无渗漏、无表面污染后，转运至放射性废物暂存间内含<sup>226</sup>Ra废水专用隔离暂存区。

暂存区采用实体围挡+警示警戒线划分边界，地面做防渗、防腐、易清洗处理，并配套二次防漏设施；区域与短半衰期废液、放射性固体废物暂存区物理分隔，实行授权准入、专人管理。区内常备应急吸附材料、渗漏收集器具、去污用品及辐射监测设备，管理人员定期开展辐射剂量率、表面污染巡检，发现异常第一时间处置。

### ④内部转运与全流程台账管理

废水场内转运使用专用转运车辆及配套周转箱，严格按照既定路线行驶，转运全过程不途经其他放射性作业区域。货物交接执行双人核对签字制度，如实填写《含<sup>226</sup>Ra废水内部转运交接记录》。

本项目为含<sup>226</sup>Ra废水建立独立完整台账体系，涵盖产生收集、现场巡检、场内转运、出库审批、委托处置、容器管理等全部环节，台账由专人专职保管。管理人员定期开展账物核对，确保容器编号、数量、装液量、存放位置与记录完全一致，记录修改需留存原始痕迹并签字确认。

### ⑤最终处置

当暂存废物达到处置条件时，由辐射安全管理人员发起出库审批。出库前逐台检测容器外表面污染水平、周边辐射剂量率，同时核验受托单位资质，确认其具备长寿命放射性废物处置能力。

转运及交接环节做到单独装箱、单独运输、单独签单，全程不与短半衰期放射性废

物混装、混运、混存。处置完成后，及时在专项台账中完成销账，并将转运联单、处置证明等资料归档留存。

废水解控法定标准：本项目短半衰期放射性废水清洁解控严格依据《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB 27742-2011）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）执行。废水经足够时长衰变后，核素活度浓度低于国标豁免活度浓度限值、辐射水平满足清洁解控要求，经检测、报备后可解除放射性管理；含 $^{226}\text{Ra}$ 长寿命废水无自然衰变解控条件，全程按放射性废物严格管控、专项委托处置，不解控。

本项目放射性废水经合规处置后，对周边水环境、土壤环境及生态系统的辐射影响极小，可满足相关标准要求。

## （2）放射性废液

核素分离纯化实验过程会产生少量放射性废液。本项目产生的废液含有放射性核素为 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{67}\text{Cu}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{47}\text{Sc}$ 共5种。主要来源于核素分离纯化工艺环节。

根据估算， $^{225}\text{Ac}$ 废液年产生量约95.7 L， $^{226}\text{Ra}$ 废液年产生量约95.7 L， $^{67}\text{Cu}$ 废液年产生量约39.15 L， $^{99}\text{Mo}$ 废液年产生量约52.2 L， $^{47}\text{Sc}$ 废液年产生量约16.965 L，总放射性废液年产生量约299.7L/年。

项目对放射性废液实行分类收集、分区暂存、差异化处置管理：

### ①不含 $^{226}\text{Ra}$ 废液

采用专用塑料废液桶收集，外套 50mmPb 铅桶防护，整体置于不锈钢铅防护箱内密闭存放，防止容器破损、废液渗漏；统一暂存于放射性废物库，静置衰变不少于 100d，经取样监测满足解控及相关标准要求、报生态环境主管部门批准后，按危险废物规范委托有资质单位收运处置。

### ②含 $^{226}\text{Ra}$ 废液

$^{226}\text{Ra}$  为极毒类长半衰期核素，无法通过自然衰变实现解控，该类废液严禁接入废水管网、严禁排入衰变池，采用专用容器收集、独立点位收集、分区隔离暂存、专项台账管理、单独委托处置的全流程闭环管控模式，具体要求如下：

#### A、专用收集容器

本项目含 $^{226}\text{Ra}$ 废液采用专用收集容器进行收集，容器只用于 $^{226}\text{Ra}$ 废液收集，不得用于其他核素废液、普通实验废水或其他危险废液。含 $^{226}\text{Ra}$ 废液容器实行唯一编号管理，

从源头上防止与短半衰期核素废液淆。

结合<sup>226</sup>Ra废液产生量小、半衰期长、需长期管控的特点，收集及暂存容器采用HDPE耐腐蚀内桶+铅屏蔽外容器+二次防漏周转箱/托盘组合形式：内桶选用HDPE材质，耐酸碱、防渗漏；外部配置铅屏蔽容器/铅罐，有效降低外照射风险；底部配套二次防漏设施，防止容器破损、倾倒造成废液外泄。容器装液量严格控制在额定容积的80%以内，避免转运、存放过程中因晃动、热胀冷缩引发溢漏。

项目配置专用铅罐1套，内置HDPE/PP耐腐蚀废液桶，外部为铅屏蔽结构，固定放置于放射性废物暂存间<sup>226</sup>Ra废液专用暂存区，不与短半衰期核素废液容器混用。所有专用容器外表面均张贴标准放射性警示标识及核素专项标签。

### B、独立收集方式

含<sup>226</sup>Ra废液采用人工定点独立收集模式，不接入短半衰期核素废液收集管网、不进入衰变池系统。实验区域设置专属收集点位，点位内仅摆放<sup>226</sup>Ra废液专用容器，容器置于铅屏蔽防护及二次防漏托盘内。

实验、分离纯化、器具清洗作业完成后，操作人员将含<sup>226</sup>Ra废液直接装入专用容器，严禁倒入其他废液桶、水槽、地漏及普通容器。收集使用的漏斗、移液器具、软管、托盘等辅具全部专器专用，不与其他废液器具共用。单次收集完成后立即密封容器，并同步填写《含<sup>226</sup>Ra废液收集记录》。当容器液位达到额定容积80%或满足内部转运条件时，停止收集，经密封检查、登记造册后，转运至放射性废物暂存间专用区域。

本项目明确划分管理路径：短半衰期核素废液可通过专用容器或管道进入衰变系统；含<sup>226</sup>Ra废液全程执行容器化收集—容器化暂存—专项委托处置的独立管理体系。

### C、分区隔离暂存

收集完成的<sup>226</sup>Ra废液，经密封、编号、外观检查后，转运至放射性废物暂存间<sup>226</sup>Ra废液专用暂存区。该区域与短半衰期废液区、放射性固废区、待检废物区物理分隔，实行分区管控、专人专职负责。

暂存区采用实体围挡+黄色或红色警戒线划定边界，悬挂“含<sup>226</sup>Ra废液专用暂存区”醒目标识。区内废液容器单独摆放于防渗托盘/围堰内，不与其他废液共用货架、托盘、周转设施，杜绝混放。暂存区执行授权准入制度，非授权人员禁止入内、挪动容器；容器摆放保证标签朝外，方便日常巡检核对编号、核素种类、液位及存放状态。

暂存区地面做防渗、防腐、易清洗处理，配套二次防漏设施、放射性警示标识与屏

蔽装置；区内常备吸附材料、应急收集桶、去污用品及辐射监测设备。管理人员定期采用表面污染监测仪、便携式X-γ剂量率仪开展监测，并落实常态化巡检制度，发现渗漏、破损、污染等异常立即启动应急处置。区域保持通风良好，严禁堆放无关杂物。

#### D、专项台账管理

针对含<sup>226</sup>Ra废液单独建立专用台账体系，包括《含<sup>226</sup>Ra废液产生与收集台账》、《含<sup>226</sup>Ra废液暂存检查记录》、《含<sup>226</sup>Ra废液内部转运交接记录》、《含<sup>226</sup>Ra废液出库审批记录》《含<sup>226</sup>Ra废液委托处置交接记录》和《含<sup>226</sup>Ra废液容器管理记录》等。上述记录不与短半衰期核素废液台账混用。

含<sup>226</sup>Ra废液台账实行专人管理，记录不得随意涂改。如确需修改，应保留原记录痕迹，并由修改人和复核人签字确认。暂存间管理员定期开展账物核对，核对内容包括现场容器编号、容器数量、装液量、标签信息、暂存位置和台账记录是否一致。发现账物不符、标签缺失、记录不完整等情况时，应立即暂停相关操作并进行核查整改。

#### E、场内转运、交接及出库处置流程

##### a、内部转运与交接

废液从实验区域转运至暂存间前，先核对废液类别、检查容器密封性、标签完整性及表面清洁度，确认无泄漏、无污染后，将容器装入专用二次防漏周转箱。场内转运使用专属转运车辆，严格按照指定路线行驶。

废液送达暂存间后，管理人员逐项核对容器编号、核素、体积、标签及相关记录，核对无误后放入专用暂存区，移交、接收双方在《内部转运交接记录》签字确认。转运全程不与短半衰期废液同步作业、不共用转运设施、不在其他废液区域中转停留。

暂存期间，巡检人员定期检查容器有无破损、鼓胀、渗漏，桶盖密封、标签完好情况，二次托盘积液、区域辐射剂量率、表面污染及账物匹配情况，出现异常第一时间处置。

##### b、出库与外部处置

当废液存量达到处置要求时，由辐射安全管理人员发起出库申请，核对台账信息（容器编号、数量、体积、核素、估算活度等），同步对接并核验处置单位资质，确认对方具备长寿命放射性废物处置能力。

出库前按接收单位要求完成包装、封装、标识，开展容器表面污染及周边辐射剂量率检测，检测合格后填写《出库交接单》，办理内部审批手续。外部转运、现场交接环

节，含<sup>226</sup>Ra废液单独装箱、单独运输、单独签单，不与其他放射性废物同批混装、混记。

处置完成后，妥善留存转运联单、接收证明、处置凭证等资料，并在专项台账中完成销账、归档，形成全流程闭环管理。

本项目短半衰期放射性废液清洁解控严格执行《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB 27742-2011）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）相关要求，经静置衰变、检测核素活度浓度满足豁免限值后，按规定完成审批可实施清洁解控；含<sup>226</sup>Ra废液为长寿命极毒类废物，无法通过自然衰变达标解控，全程按放射性废物闭环管控、专项委托处置。

### (3) 放射性废气

由污染源分析可知本项目运营期产生的放射性废气主要来自核素的分离纯化工艺中，放射性核素的气溶胶挥发、酸雾、有机废气。

本项目热室、通风橱、手套箱、去污间、检测间、洁具间、储源库、放射暂存间等均设置有排风过滤系统，该系统由排风口、风管、过滤器和风机组成，各管道放射性废气经吸附处理后汇总至总排风口在楼顶排入大气。本项目排风管线走向示意图10-7。

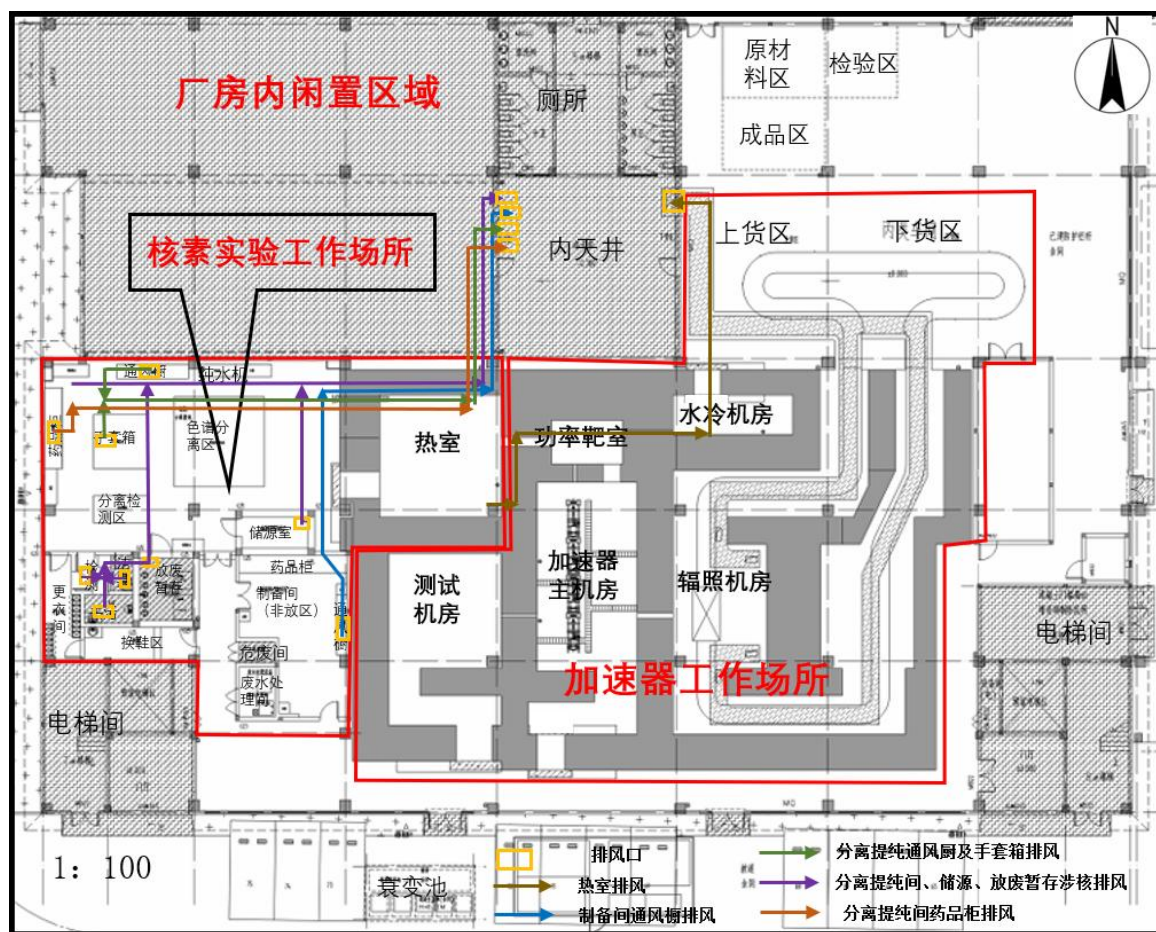


图 10-7 核素实验区排风图

本项目放射性废气治理核心为密闭收集+“中效+高效过滤器+活性炭吸附处”处理，处理流程为：局部密闭收集→专用排风管道→中效+高效过滤器→活性炭吸附→高空排放。经处理后的废气，对周围环境的影响非常小。

为确保放射性废气处理系统的有效运行，建设单位应落实以下废气防治措施：

a.过滤器的更换应根据不同季节和气候、温湿度条件下的过滤效率变化，结合生产厂家设计的高效滤材规格及实际使用情况，确定合理的更换周期，更换下来的废滤材应作为放射性固废进行管理和处置。本次评价建议在排风管道内设置压差计，可根据管道内的压差情况判断过滤器是否需要更换。

b.为保证过滤效率满足要求，建设单位需委托设备厂家定期根据设备特性进行过滤器检查维护，定期对过滤器的过滤效率进行校核，确保过滤效率满足设计要求。更换滤材操作时执行辐射监测制度，并采取个人防护措施等。

#### (4) 放射性固废

本项目营运期放射性固体废物主要来源于核素分离纯化实验及废气处理系统，包括沾染放射性核素的废树脂、废滤材、移液枪头、污染手套、滤纸、实验沉淀残渣、废气处理废滤芯及废活性炭等。

结合核素半衰期、毒性及衰变特性，本项目严格按照短半衰期核素固废、含<sup>226</sup>Ra长寿命极毒固废实行分类收集、分区暂存、差异化处置，具体治理措施如下：

##### ①不含<sup>226</sup>Ra 放射性固废

包含<sup>225</sup>Ac、<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc 核素实验产生的废污染耗材、废沉淀残渣、废树脂，以及废气系统废滤材、废活性炭。

a、收集措施：实验区域设置带铅屏蔽专用放射性废物桶，按实验品类分类密闭收集，每批次废物单独封装、张贴产生日期、核素种类标签，杜绝混装、散落、交叉污染。

b、暂存措施：封装完毕后转运至放射性废物库统一分区暂存，静置衰变不少于 100d。

c、处置措施：衰变期满后，委托具备 CMA 资质第三方机构开展表面污染、辐射剂量检测，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）清洁解控标准、经生态环境主管部门批准解控后，按**危险废物**委托资质单位规范处置。

##### ②含<sup>226</sup>Ra 放射性固废

<sup>226</sup>Ra 为超长半衰期、极毒类核素，无法通过短期衰变实现清洁解控。本类固废包含实验产生的含<sup>226</sup>Ra 废树脂、废滤材、污染实验耗材，以及沾染<sup>226</sup>Ra 核素的废滤芯、废

活性炭。

a、收集措施：含<sup>226</sup>Ra 各类固废（含废滤芯、废活性炭）采用专属屏蔽废物桶独立收集、专桶专用，废滤芯、废活性炭单独密封包装，张贴长寿命镭废物专属标识，严禁与短半衰期放射性固废混装混存。

b、暂存措施：收集后单独转运至放射性废物暂存间长寿命放射性废物专用隔离区，采取物理隔离、分区存放、专人授权管理，建立独立专项台账，不参与 100d 衰变解控流程。

c、处置措施：该类含<sup>226</sup>Ra 放射性固废无自然衰变解控条件，积存至一定量后，单独委托具备长寿命放射性废物处置资质的单位专项收贮处置。

综上，本项目放射性固体废物分类清晰、收集密闭、分区暂存、台账完整、处置路径明确，短半衰期废物可合规解控处置，长寿命镭废物专项管控、专业收贮，全过程环境风险可控。

综上，本项目放射性固体废物分类清晰、收集密闭规范、分区暂存明确、台账全程可追溯。短半衰期实验固废经衰变检测合格后可合规解控处置；含<sup>226</sup>Ra长寿命放射性固废实行独立闭环专项管控、专业收贮，项目放射性固废处置全过程合规可控，对周边环境影响极小。

本项目放射性固体废物清洁解控依据《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB 27742-2011）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《放射性废物分类》（生态环境部2017年第65号公告）执行。短半衰期固废衰变后经检测，活度浓度及辐射水平满足豁免要求方可解控；含<sup>226</sup>Ra长寿命固废不具备衰变解控条件，永久按放射性废物管理。

## 2、非放射性“三废”的治理

本项目核素实验操作过程中会产生非放射性废水、废气及固废，建设单位拟采取以下三废的治理措施。

### （1）废水处理措施

由污染源分析可知本项目营运期产生非放射性废水主要为浓水、仪器等器皿的后道清洗废水、实验室台面和地面擦洗废水和职工生活污水。

#### ①实验室非放射性废水

实验操作过程中产生的浓水、仪器器皿后道清洗废水、实验室台面及地面擦洗废水，

经专用管网收集后，进入废水处理间处理。

该设施采用“pH调节+混凝+臭氧氧化+复合吸附过滤+紫外光氧化”工艺，设计处理规模为0.5t/8h，处理流程如下：

首先进行pH值调节，然后加入混凝剂和助凝剂去除胶体污染物及其他悬浮物，加入氧化剂后进入臭氧氧化单元，降解有机污染除色、除臭等，之后经复合吸附过滤系统除臭、除色及残余有机物等，然后经新型膜滤处理装置去除溶解有机物及残余污染物，最后经紫外光氧化降解残余溶解性有机污染物及微生物的灭菌消毒，确保出水水质达标排放。

处理设施出水水质满足《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准及《工业企业废水氮、磷污染物间接排放标准》（DB33/887—2025）的排放标准要求。出水水质满足市政管网接入要求后，排入市政污水管网，最终由海盐县城乡污水处理厂处理至《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级A标准及《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）限值要求，排入杭州湾。

## ②职工生活污水

职工生活污水经化粪池预处理后，直接排入市政污水管网，最终由海盐县城乡污水处理厂处理达标后排放。

## （2）废气处理措施

由污染源分析可知，本项目营运期非放射性废气主要来自非放区制备间的溶液配置、实验操作等工序，主要污染物为无机酸性废气（硝酸雾、盐酸雾），及有机废气（以非甲烷总烃计）。

针对酸性无机废气，采用碱液喷淋中和处理，酸性废气在喷淋塔内与碱液充分接触，发生酸碱中和反应，实现酸雾的去除。经喷淋塔处理后的废气，进入高效过滤器去除颗粒物和液滴，再进入活性炭吸附装置，通过物理吸附作用去除非甲烷总烃。

活性炭吸附设备属于较为成熟的污染治理措施，活性炭吸附对非甲烷总烃有良好的吸附能力，吸附速率快，处理程度高，效果稳定，是目前物理吸附中最为常用的吸附剂之一。本项目产生的有机废气（以非甲烷总烃计）采用“高效过滤+活性炭吸附”组合工艺，根据《排污许可证申请与核发技术规范总则》（HJ942-2018），项目采用活性炭吸附为可行的处理工艺。根据《2020年挥发性有机物治理攻坚方案》，“采用活性炭吸附技术的，应选择碘值不低于800毫克/克的活性炭，并按设计要求足量添加、及时更换。”

要求企业采用碘值不低于 800 毫克/克的活性炭,并按设计周期进行更换,确保吸附效果。本项目废气治理设施见表 10-17。

**表 10-17 项目废气主要治理措施一览表**

| 产污环节       | 污染物   | 治理措施       | 收集率 | 处理率 | 是否为可行技术 |
|------------|-------|------------|-----|-----|---------|
| 非放制备间的有机废气 | 非甲烷总烃 | 高效过滤+活性炭吸附 | 90% | 80% | 可行      |
| 非放制备间的无机废气 | 酸雾    | 碱液喷淋塔      |     | 85% | 可行      |

由上表,废气经上述治理设施处理后,有组织排放浓度满足《制药工业大气污染物排放标准》(DB33/310005-2021)要求;无组织排放浓度满足《制药工业大气污染物排放标准》(DB33/310005-2021)表 6、表 7 及《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)表 2 要求,对周边大气环境影响较小。

### (3) 固废处理措施

由污染源分析可知,本项目营运期产生的非放射性固废包括一般工业固废、危险废物和生活垃圾,各类固废均分类收集、分区暂存,落实防雨、防渗、防流失措施,具体如下:

#### ①一般工业固废

项目一般工业固废主要包括一般废包装材料、废反渗透膜,以及未沾染放射性、未沾染危化品的清洁杂物等。按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020),一般工业固废不得露天堆放,暂存点做好防雨防渗防风防漏措施。一般废包装材料定期交由物资回收单位回收利用,减少固废产生量,无二次污染;废反渗透膜由园区统一收集,当地环卫部门定期清运处置。

#### ②生活垃圾

本项目工作人员产生的生活垃圾,由园区统一收集,当地环卫部门定期清运处置。

#### ③危险废物

主要包括非放制备间产生的实验废液、废包装材料(含试剂瓶)、废样品、废实验耗材、废过滤器、废活性炭等,统一收集后分类存放。本项目危险废物暂存于危废暂存间,设置于废水处理间北侧,建筑面积约 2.4m<sup>2</sup>。企业按照《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)相关要求设计、建设密闭式危废暂存场所,做到防渗、防风、防雨、防晒要求。危险废物暂存间位于控制区之外,总体上位置相对合理。

根据工程分析,项目危险废物产生量约 4.96t/a,每四个月清理一次,四个月产量约

为 1.65t。企业危废暂存间总面积约 2.4m<sup>2</sup>，贮存能力为 2t/a，可满足本项目危险废物的暂存需求。

固体废物执行《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》和《浙江省固体废物污染环境防治条例》中的有关规定。危险废物贮存、转运、处置执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的要求。

要求企业履行申报的登记制度、建立台账管理制度。根据《危险废物转移管理办法》的规定，企业应与有资质单位签订危险废物运输、处置合同，并约定相关责任，填写、运行危险废物转移联单，危险废物电子转移联单数据应在当地信息系统中至少保存十年。

危险废物暂存间应按《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）执行，主要用于堆放危险废物等。本项目新建危险废物暂存间须做到以下几点：

a、危险废物要根据其成分，用符合国家标准的专门容器分类收集。

b、存放危险废物的容器应根据危险废物的不同特性而设计，不易破损、变形、老化，能有效地防止渗漏、扩散。装有危险废物的容器必须贴有标签，在标签上详细标明危险废物的名称、重量、成分、特性以及发生泄漏、扩散污染事故时的应急措施和补救方法。

c、禁止将不相容（相互反应）的危险废物在同一容器内混装。无法装入常用容器的危险废物可用防漏胶袋等盛装。

d、危险废物暂存间地面必须进行硬化处理，四周设截污沟收集可能的渗滤液，地面与裙脚用坚固、防渗的材料建造。危废仓库建议采用密封设计，并设置抽风设施，设施中应装填一定量的活性炭，起到保护作用，防止意外发生时，有机废气外泄。该排气筒为保护措施，不作为固定源排气筒考虑。设立危险废物标志，做好危险废物的入库、存放、出库记录，不得随意堆置。

#### **（4）噪声的治理**

由污染源分析可知本项目营运期产生的噪声主要来源于冻干机、离心机等设备运行时产生的中低频噪声，设备运行噪声 60~75dB(A)，采取以下降噪措施，确保厂界噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类标准：

①设备降噪：选用低噪声型设备，对高噪声设备（如离心机、冻干机）加装减振垫、消声器，降低设备振动和空气动力性噪声；

②布局降噪：将高噪声设备集中布置于设备间，与办公区分隔，利用墙体进行隔声；  
 ③管理降噪：合理安排设备运行时间，避免多台高噪声设备同时运行，降低噪声叠加效应；定期对设备进行维护保养，确保设备正常运行，避免因设备故障产生异常噪声。

本项目主要声源在经过上述隔声降噪措施及距离衰减后，对周边声环境影响较小。

### 10.3 投资概算一览表

本项目总投资约11000万元，估算环保投资616万元，占总投资额的5.6%。项目环保投资估算见表10-18。

表 10-18 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

| 序号 | 项目               | 环境保护（辐射防护）措施   | 预计投资(万元) |
|----|------------------|--|----------|
| 1  | 辐射安全管理           | 辐射安全管理机构：成立辐射安全管理领导小组  | 8        |
|    |                  | 辐射安全管理制度：制定操作规程，岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，设备检修维护制度，人员培训计划，监测方案，辐射事故应急预案等  |          |
| 2  | 人员培训与考核          | 辐射工作人员参加辐射安全与防护考核，及后续每 5 年一次的再培训、再考核                             | 3        |
| 3  | 监测仪器与防护用品        | 固定式辐射监测仪、环境辐射巡测仪、便携式表面沾污仪、个人剂量计和个人剂量报警仪等                         | 35       |
|    |                  | 工作服、口罩、手套等   |          |
| 4  | 三废处理设施设备         | 放射性废水与衰变处理系统、放射性固体废物暂存设施、放射性废气过滤装置、非放射性三废处理措施等                   | 200      |
| 5  | 辐射防护设施工程         | 加速器：加速器主机室、测试机房、辐照机房、功率靶室的屏蔽结构、视频监控系统、门机连锁/辐射安全连锁装置、通风过滤系统、应急照明等 | 340      |
|    |                  | 核素实验室：储源室、分离纯化间等的铅屏蔽结构、实验室防泄漏设施、分区隔离防护、专用通风系统等                   |          |
| 6  | 环境影响评价、验收监测和环境监理 |  | 30       |
| 总计 |                  |  | 616      |

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

#### 11.1.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工期涉及厂房内核素实验室、加速器机房及操作间等配套用房的施工建设和装修装饰，通过对施工时段的控制以及施工现场严格管理等手段，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。

施工期污染物主要为废水、噪声、扬尘及固体废弃物等。

##### (1) 装修扬尘

施工时产生少量的建筑扬尘，可进行现场洒水来抑制并设置围护设施，采取措施后，对周围环境的影响很小。

##### (2) 废水

项目施工期施工人员产生的生活污水，依托建设单位生活污水临时处理设施进行处理。污水产生量很少，对环境的影响很小。

##### (3) 固废

本项目固废主要为装修垃圾和建筑工人产生的生活垃圾。装修垃圾由施工方统一清运至住建部门指定堆放点。装修垃圾应及时清运，清运过程中应进行加盖防护，并适时清理运输路线，避免泥土洒落造成环境影响。在施工场地出入口设置临时收集桶，施工期产生的生活垃圾经统一收集后依托环卫部门定期清运。

通过严格执行国家环保法律法规以及当地政府的管理规定，科学管理、文明施工，本项目施工期产生的固体废物对周围环境影响较小。

##### (4) 噪声

针对本项目而言，施工期噪声污染防治措施具体有：

①合理安排施工机械安放位置，施工机械应尽可能放置于场界外造成影响最小的地点，并优先选用低噪声设备，以减少施工噪声。

②对高噪声设备采取隔声、隔振或消声措施，如在声源周围设置掩蔽物、加隔振垫、安装消声器等，可降低噪声源强 30~50dB(A)。

③日常应注意对施工设备的维修、保养，使各种施工机械保持良好的运行状态。

经采取上述有效措施后，可大大降低本项目施工过程中噪声对周围声环境的影响。

#### 11.1.2 设备安装与调试期影响分析

本环评要求射线装置的安装与调试应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理。在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，防止辐射事故的发生。由于加速器的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，建设单位需及时回收包装材料及其它固体废物作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

## **11.2 运行阶段对环境的影响**

### **11.2.1 加速器工作场所辐射环境影响分析**

#### **11.2.1.1 预测思路**

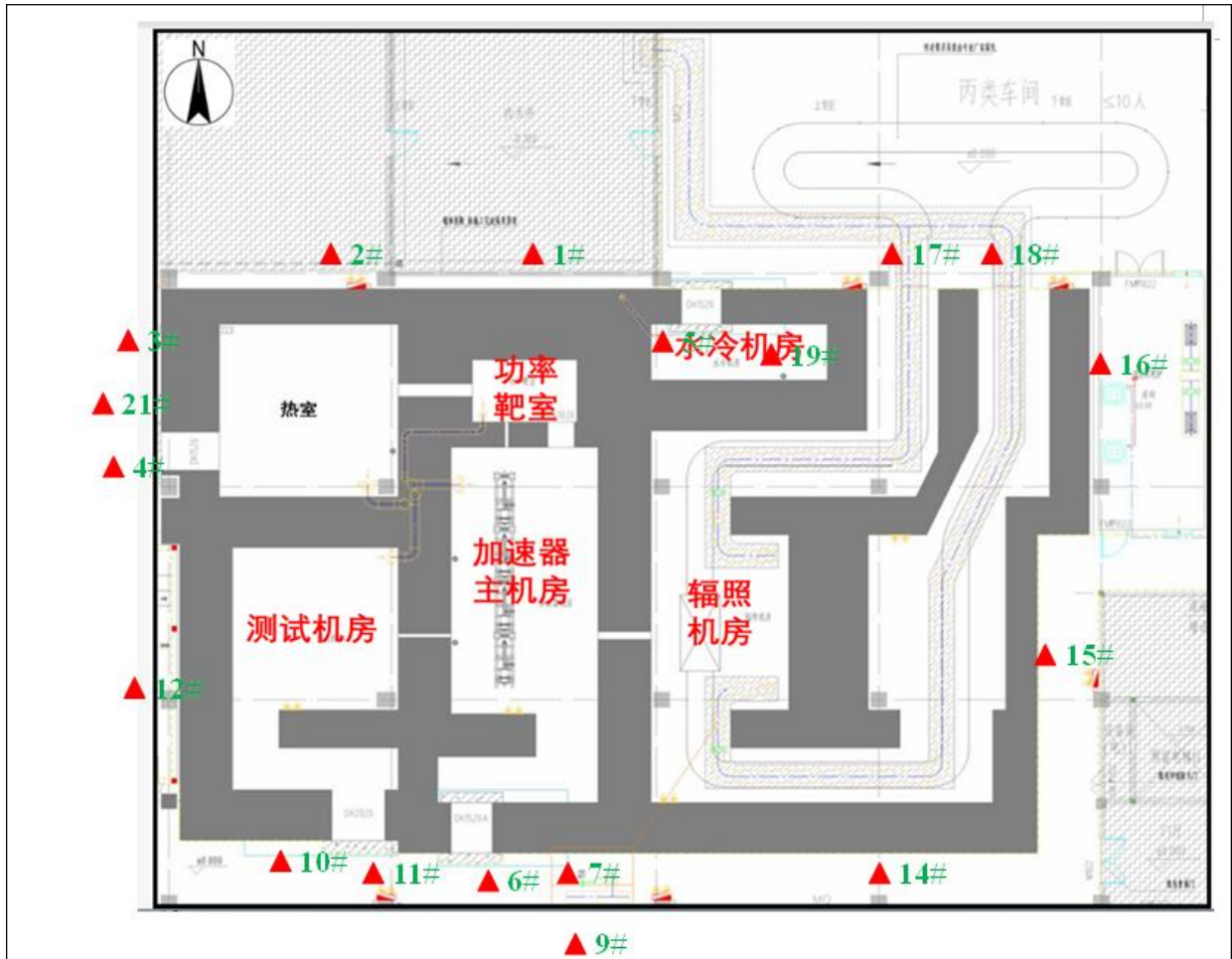
本项目电子加速器工作场所的源项采用蒙卡的FLUKA系统来预测，FLUKA是由欧洲核子研究组织（CERN）与意大利国家核物理研究所(INFN)实验室开发的模拟粒子输运及与物质相互作用过程的大型通用蒙特卡罗程序。FLUKA的数据库主要采用了美国核数据中心NNDC的数据，对于低能中子，它使用了国际公认的评价核数据库JEFF-3.3。其中可供用户选择进行输入文件书写的选项超过70个，其不仅可以计算瞬发辐射，还可以计算感生放射性。因此，对于本项目采用蒙卡的FLUKA系统来预测是比较合理的。

本项目根据加速器运行过程中各运行模式下束流损失参数，分别在相应的束流损失点处设置粒子源项，包括粒子方向、能量、束流大小，同时设置束流损失位置处靶的材料，来计算在不同运行模式下面相应的屏蔽墙是否满足相应的防护要求，以及屏蔽墙外的剂量率是否满足标准的要求。

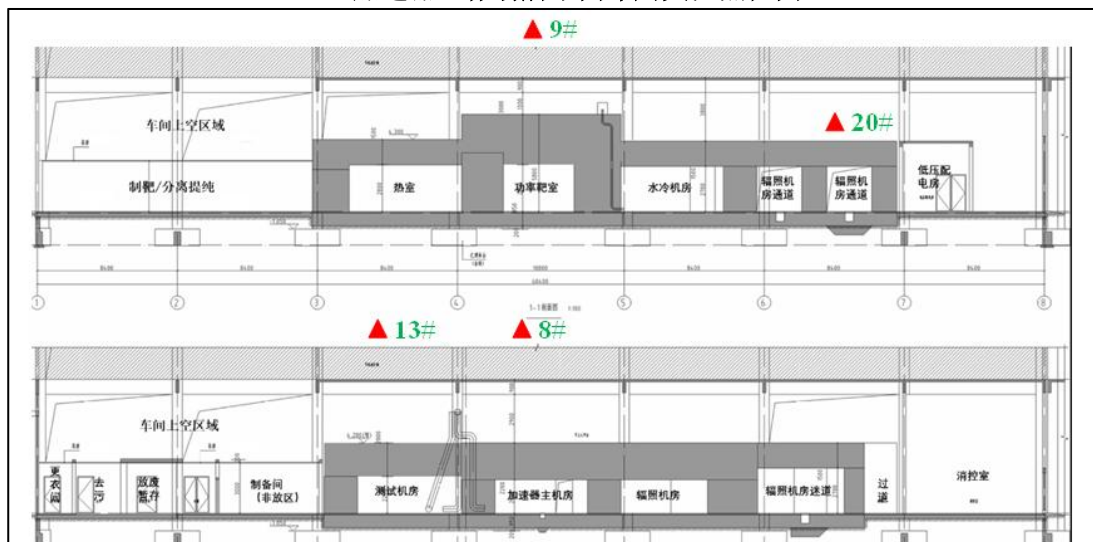
#### **11.2.1.2 预测模型**

本项目电子加速器工作场所的源项采用蒙卡预测，本次蒙卡预测采用模拟粒子数 $1.6 \times 10^{10}$ 个，共 $8 \times 10^6$ 个网格数量，计算不确定度小于10%；预测采用模拟数据，所得模型图是在持续稳态下得到，预测本项目加速器在3种不同运行模式下的剂量率分布与感生放射性。预测模型图见图9.3-1，加速器运行模式示意图见图11.2-1，加速器不同运行模式次下参数一览表见表11.2-1。





(1) 加速器工作场所平面布局关注点位图



(2) 加速器工作场所剖面布局关注点位图

图 11.2-2 电子加速器工作场所关注点位图

根据表 9 的源项分析，40MeV 档位运行时各关注点的辐射剂量率预测结果见表 11.2-2，辐照机房运行时各关注点的辐射剂量率预测结果见表 11.2-3，测试机房运行时各关注点的辐射剂量率预测结果见表 11.2-4，其中 40MeV 档位运行时各关注点的辐射

剂量率为中子当量剂量率和 $\gamma$ 剂量率之和。

**表 11.2-2 40MeV 档位运行时各关注点的辐射剂量率预测结果**

| 场所名称     | 序号  | 关注点             | 预测结果<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 标准限值<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 符合性<br>评价 |
|----------|-----|-----------------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| 主机室、功率靶室 | 1#  | 功率靶室北侧墙外 30cm   | 1.20                         | 2.5                          | 符合        |
|          | 2#  | 热室北侧墙外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 3#  | 热室西侧墙外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 4#  | 热室西侧防护门外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 5#  | 功率靶室东侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 6#  | 主机室南侧防护门外 30cm  | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 7#  | 主机室南墙外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 8#  | 主机室顶棚外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 9#  | 功率靶室顶棚外 30cm    | 0.19                         | 2.5                          | 符合        |
| 测试机房     | 10# | 测试机房南侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 11# | 测试机房南侧防护门外 30cm | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 12# | 测试机房西侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 13# | 测试机房顶棚外 30cm    | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
| 辐照机房     | 14# | 辐照机房南侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 15# | 辐照机房东侧墙外 30cm1  | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 16# | 辐照机房东侧墙外 30cm2  | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 17# | 辐照机房货物入口        | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 18# | 辐照机房货物出口        | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 19# | 辐照机房北侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 20# | 辐照机房顶棚外 30cm    | <0.01                        | 100                          | 符合        |
| /        | 21# | 废靶转运铅箱表面 30cm   | 140                          | /                            | /         |

注：主机室、功率靶室顶棚为无人到达夹层，顶棚关注点取二层楼板地面。

**表 11.2-3 辐照机房运行时各关注点的辐射剂量率预测结果**

| 场所名称     | 序号  | 关注点             | 预测结果<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 标准限值<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 符合性<br>评价 |
|----------|-----|-----------------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| 主机室、功率靶室 | 1#  | 功率靶室北侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 2#  | 热室北侧墙外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 3#  | 热室西侧墙外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 4#  | 热室西侧防护门外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 5#  | 功率靶室东侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 6#  | 主机室南侧防护门外 30cm  | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 7#  | 主机室南墙外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 8#  | 主机室顶棚外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 9#  | 功率靶室顶棚外 30cm    | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
| 测试机房     | 10# | 测试机房南侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 11# | 测试机房南侧防护门外 30cm | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 12# | 测试机房西侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 13# | 测试机房顶棚外 30cm    | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
| 辐照机房     | 14# | 辐照机房南侧墙外 30cm   | 0.27                         | 2.5                          | 符合        |
|          | 15# | 辐照机房东侧墙外 30cm1  | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 16# | 辐照机房东侧墙外 30cm2  | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 17# | 辐照机房货物入口        | 0.12                         | 2.5                          | 符合        |
|          | 18# | 辐照机房货物出口        | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|          | 19# | 辐照机房北侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |

|                                       | 20# | 辐照机房顶棚外 30cm    | 0.26                         | 100                          | 符合        |
|---------------------------------------|-----|-----------------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| /                                     | 21# | 废靶转运铅箱表面 30cm   | 140                          | /                            | /         |
| 注：控制室位于夹层，辐照机房迷道上方，取辐照机房顶棚辐射剂量率。      |     |                 |                              |                              |           |
| <b>表 11.2-4 测试机房运行时各关注点的辐射剂量率预测结果</b> |     |                 |                              |                              |           |
| 场所名称                                  | 序号  | 关注点             | 预测结果<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 标准限值<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 符合性<br>评价 |
| 主机室、功率靶室                              | 1#  | 功率靶室北侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 2#  | 热室北侧墙外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 3#  | 热室西侧墙外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 4#  | 热室西侧防护门外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 5#  | 功率靶室东侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 6#  | 主机室南侧防护门外 30cm  | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 7#  | 主机室南墙外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 8#  | 主机室顶棚外 30cm     | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 9#  | 功率靶室顶棚外 30cm    | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
| 测试机房                                  | 10# | 测试机房南侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 11# | 测试机房南侧防护门外 30cm | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 12# | 测试机房西侧墙外 30cm   | 0.36                         | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 13# | 测试机房顶棚外 30cm    | 1.18                         | 2.5                          | 符合        |
| 辐照机房                                  | 14# | 辐照机房南侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 15# | 辐照机房东侧墙外 30cm1  | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 16# | 辐照机房东侧墙外 30cm2  | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 17# | 辐照机房货物入口        | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 18# | 辐照机房货物出口        | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 19# | 辐照机房北侧墙外 30cm   | <0.01                        | 2.5                          | 符合        |
|                                       | 20# | 辐照机房顶棚外 30cm    | <0.01                        | 100                          | 符合        |
| /                                     | 21# | 废靶转运铅箱表面 30cm   | 140                          | /                            | /         |
| 注：控制室位于夹层，辐照机房迷道上方，取辐照机房顶棚辐射剂量率。      |     |                 |                              |                              |           |

由上表可知，本项目电子加速器工作场所各机房屏蔽体外辐射剂量率均小于标准限值，满足相关标准的要求。

### 11.2.2 人员受照剂量预测

#### (1) 公式的选取

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{\text{Eff}} = D_r \times t \times T \times U$$

式中：

$D_{\text{Eff}}$ ：辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

$D_r$ ：辐射剂量率，mSv/h；

$t$ ：年工作时间，h；

$T$ ：居留因子；居留因子参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、

《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）的要求选取。

U：使用因子，本项目U取1。

### (2) 有效剂量计算

根据建设单位提供的资料，功率靶机房打靶前要进行巡检，每次巡检时距上次功率靶机房打靶已经有20天，巡检的感生放射性可以忽略。根据表9.2-9和表11.2-2~表11.2-4，本项目电子加速器工作场所辐射工作人员和周围公众的年有效剂量估算见表11.2-5。

**表 11.2-5 本项目电子加速器工作场所辐射工作人员及周围公众年有效剂量估算**

| 关注对象或操作环节       |              | 参考点  | 辐射剂量<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 受照时间<br>(h) | 居留因子     | 人员年有效剂量<br>( $\text{mSv/a}$ ) |      |
|-----------------|--------------|------|------------------------------|-------------|----------|-------------------------------|------|
| 电子加速器工作场所辐射工作人员 | 功率靶机房打靶      | 20#  | 0.01                         | 1440        | 1        | $1.44 \times 10^{-2}$         | 1.28 |
|                 | 辐照机房辐照操作     | 20#  | 0.26                         | 2880        | 1        | 0.75                          |      |
|                 | 测试机房测试操作     | 20#  | 0.01                         | 24          | 1        | $2.4 \times 10^{-4}$          |      |
|                 | 废靶转运         | 21#  | 140                          | 1           | 1        | 0.14                          |      |
|                 | 辐照上货作业       | 17#  | 0.12                         | 2880        | 1        | 0.35                          |      |
|                 | 辐照下货作业       | 18#  | 0.01                         | 2880        | 1        | 0.03                          |      |
| 电子加速器销售工作人员     | 客户工作场所调试     | /    | 2.5                          | 10          | 1        | $2.5 \times 10^{-2}$          |      |
| 公众人员            | 东侧电梯间        | 15#  | 0.01                         | 2880        | 1/16     | 1.80E-03                      |      |
|                 | 东侧园区内通道      | 15#  | 1.11E-03                     | 2880        | 1/16     | 1.80E-03                      |      |
|                 | 南侧园区内道路      | 14#  | 6.75E-02                     | 2880        | 1/16     | 4.86E-02                      |      |
|                 | 海盐加美五金科技有限公司 | 14#  | 3.00E-04                     | 2880        | 1        | 8.64E-04                      |      |
|                 | 加速器工作场所西侧电梯间 | 12#  | 5.63E-03                     | 24          | 1/16     | 1.01E-03                      |      |
|                 | 西侧园区内道路      | 12#  | 1.25E-03                     | 24          | 1/16     | 2.24E-04                      |      |
|                 | 金禄路          | 12#  | 1.63E-04                     | 24          | 1/16     | 2.93E-05                      |      |
|                 | 项目北侧厂房内闲置区域  | 1#   | 1.2                          | 2880        | 1/40     | 8.64E-02                      |      |
|                 | 内天井          | 1#   | 1.2                          | 2880        | 1/40     | 8.64E-02                      |      |
|                 | 内天井北侧厕所      | 1#   | 1.88E-02                     | 2880        | 1/40     | 8.64E-02                      |      |
|                 | 办公区          | 1#   | 4.69E-03                     | 2880        | 1        | 1.35E-02                      |      |
|                 | 北侧园区内道路      | 1#   | 1.92E-03                     | 2880        | 1/16     | 3.46E-04                      |      |
|                 | 二层闲置区域 1     | 9#   | 0.19                         | 1440        | 1/3      | 9.12E-02                      |      |
|                 | 二层闲置区域 2     | 13#  | 1.18                         | 24          | 1/3      | 9.33E-03                      |      |
| 二层闲置区域 3        | 20#          | 0.26 | 2880                         | 1/3         | 4.80E-02 |                               |      |

注：1、办公区等保护目标的剂量率根据剂量率与距离平方成反比的特性推导出，保守均按最大出束时间来计算。

2、电子加速器销售工作人员在客户已建成并验收合格的加速器机房内完成设备安装调试；单台设备调试开机出束时长 $\leq 2\text{h}$ ，仅进行参数校验与性能测试，非长期辐照工况；调试期间严格执行分区管理，划定控制区与监督区，落实门机联锁、警示标识、辐射监测等安全措施。项目年度最大调试设备数量为5台，全年累计开机出束总时长 $\leq 10\text{h}$ 。本次估算按机房边界监督区剂量率限值 $2.5\mu\text{Sv/h}$

保守取值，符合GB 18871-2002相关要求。

根据估算结果可知，本项目电子加速器工作场所所致辐射工作人员受照年有效剂量最大为 1.28mSv，满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求；本所致公众人员受照年有效剂量最大为 9.12E-02mSv，满足本项目公众人员剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求。

根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系，距离本项目工作场所越远，辐射剂量率越低，工作场所附近公众受照剂量满足要求，因此 50m 评价范围内环境保护目标公众受照剂量也能满足本项目剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

### 11.2.1.2 “三废”处置措施影响分析

#### 1、放射性“三废”处置措施影响分析

40 MeV 功率打工况会产生微量感生放射性物质及活化废物，该类污染物收集、暂存、处置要求执行《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）；10 MeV 工况污染物治理同步遵循《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）要求。

本项目电子加速器循环冷却水系统排水采用接入方式，冷却水分别接入 2 座 1m<sup>3</sup> 衰变池，冷却废水暂存于衰变池，定期交由具备相应资质的单位进行处置。

本项目正常运行时不产生放射性固体废物，仅在设备运行过程中可能产生废靶，应按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）要求，对废靶外表面进行辐射剂量率监测，确认符合解控水平后，由设备厂家回收处置，避免二次污染。

本项目40MeV档位电子加速器产生的X射线最大能量为40MeV，需考虑光中子与感生放射性影响，具体防护处理措施如下：

##### （1）光中子防护措施

40MeV电子束轰击重核靶材时，通过光核反应产生光中子，主要分布于加速器靶区周边。项目在靶区周边设置硼聚乙烯中子屏蔽层，屏蔽层表面涂刷防辐射涂层；定期对屏蔽层进行巡检，检查是否存在破损、脱落等情况。

##### （2）感生放射性防护措施

高能X射线及中子可使加速器结构材料、靶材及周边部件被激活，产生感生放射性核素。设备停机后需经过足够时间衰变冷却，方可开展检修或部件更换作业，冷却期间严禁人员进入机房。

检修前，建设单位对设备及周边部件进行感生放射性活度监测，达标后方可由专业人员穿戴防护装备实施检修；检修产生的废旧部件按放射性固体废物要求暂存、回收处

置，严禁随意丢弃。

废过滤器、废活性炭等采用专用铅屏蔽密闭容器收集，在放射性废物暂存间规范暂存，定期委托具备放射性废物处置资质的单位处置。

综上，项目落实各项放射性污染防治与辐射安全防护措施后，放射性“三废”均可得到有效控制，不会对周围环境造成不良影响。

## 2、非放射性“三废”处置措施影响分析

### (1) 非放射性气体污染分析

电子加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O<sub>3</sub>)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)。氮氧化物的产率约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物。因此，本报告在考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

#### ①预测模式

本次评价选用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 B 中推荐的预测模式进行有害性气体的产生和排放计算。根据该标准 B.4 条款，在辐照加工中，只有仅用 X 射线的厂房，需要考虑 X 射线产生的臭氧。而电子束和 X 射线同时使用的厂房，只计算电子束产生臭氧就足够了。结合本项目加速器利用电子束的工作原理，本次评价仅计算电子束产生的臭氧。

#### A、臭氧的产生

平行电子束所致 O<sub>3</sub> 的产生率可以用以下公式进行保守的计算：

$$P = 45dIG$$

式中：P—单位时间电子束产生 O<sub>3</sub> 的质量，mg/h；

I—电子束流的强度，mA，本项目取值 3mA；

d—电子在空气中的行程，cm；根据生产厂家提供的加速器设备参数，本次评价保守按束下装置与扫描盒下部钛窗的距离取值为 80cm；

G—空气吸收 40MeV 辐射能量产生的 O<sub>3</sub> 分子数，参考辐射化学产额及同类高能加速器环评案例，保守取值 10 个/100eV。

经计算可知：P=1.08×10<sup>5</sup>mg/h。

#### B、加速器机房臭氧的平衡浓度

在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，考虑到室内连续通风和臭氧自身的化学分

解(有效化学分解时间约为 40min), 加速器机房空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间 t 的变化为:

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right)$$

式中: C(t)—辐照室空气中在 t 时刻臭氧的浓度, mg/m<sup>3</sup>;

P—单位时间电子束产生 O<sub>3</sub> 的质量, mg/h;

T<sub>e</sub>—对臭氧的有效清除时间, h;

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d}$$

其中: T<sub>v</sub>—加速器机房换气一次所需时间, h; 本项目辐照机房总排风量为 7000m<sup>3</sup>/h, 测试机房排风量为 1500m<sup>3</sup>/h, 功率靶室排风量为 380m<sup>3</sup>/h; 辐照机房净体积(含迷道)约 486m<sup>3</sup>, 测试机房净体积约 120m<sup>3</sup>, 功率靶室净体积约 27m<sup>3</sup>, 则 T<sub>v</sub>(辐照) ≈ 0.07h, T<sub>v</sub>(测试) = 0.08h, T<sub>v</sub>(功率靶室) ≈ 0.07h;

T<sub>d</sub>—臭氧的有效化学分解时间, 约为 40min, 即 0.67h;

此种情况下, T<sub>v</sub> << T<sub>d</sub>, 因而 T<sub>e</sub> ≈ T<sub>v</sub>。当长时间辐照时, 则加速器机房内臭氧平衡浓度为:

$$C_s = \frac{PT_e}{V}$$

式中: V—加速器机房的体积, m<sup>3</sup>; 本项目辐照机房净体积(含迷道)约 486m<sup>3</sup>, 测试机房净体积约 120m<sup>3</sup>, 功率靶室净体积约 27m<sup>3</sup>。

则本项目辐照机房内臭氧平衡浓度为 15.56mg/m<sup>3</sup>, 测试机房内臭氧平衡浓度为 72mg/m<sup>3</sup>, 功率靶室内臭氧平衡浓度为 280mg/m<sup>3</sup>。

### C、臭氧的排放

加速器长期正常运行期间, 室内臭氧达到饱和平衡浓度, 通常情况下, 该浓度大大高于 GBZ2.1-2019 所规定的工作场所最高允许浓度。因此, 当加速器停止运行时, 人员不能直接进入机房内, 风机必须继续运行, 室内臭氧浓度随时间急剧下降, 浓度变化的平衡方程为:

$$d_c/d_t = -C/T_e$$

当 t=0 时, C=C<sub>s</sub>, 得到浓度随时间的变化公式为:

$$C = C_s e^{-\frac{t}{T_e}}$$

由此可得，关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s}$$

式中：T—为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间，h。

C<sub>0</sub>—GBZ2.1 规定的臭氧的最高允许浓度，取值 0.3mg/m<sup>3</sup>。

## ②预测结果

加速器开机状态下，机房产生的非放射性废气集中收集后，通过排风管道引至楼顶通过排气筒排放，排气筒高度为 25m。由于加速器机房产生臭氧的位置主要为辐照机房、测试机房、功率靶室，主机室束流损失导致的臭氧产生量极低，故本次评价仅预测辐照机房、测试机房、功率靶室的臭氧的产生和排放情况。根据上述公式，本项目加速器停止运行后，辐照机房、测试机房、功率靶室需要持续通风的时间预测结果如下。

表 11.2-6 持续通风时间计算

| 场所名称 | I (mA) | d (cm) | V (m <sup>3</sup> ) | T <sub>v</sub> (h) | T <sub>d</sub> (h) | T <sub>e</sub> (h) | C <sub>s</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) | T (h)         |
|------|--------|--------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------|
| 辐照机房 | 3      | 80     | 486                 | 0.07               | 0.67               | 0.07               | 15.56                               | 0.28(约 17min) |
| 测试机房 | 3      | 80     | 120                 | 0.08               | 0.67               | 0.08               | 72                                  | 0.44(约 26min) |
| 功率靶室 | 3      | 80     | 27                  | 0.07               | 0.67               | 0.07               | 280                                 | 0.48(约 29min) |

因此，本次评价建议本项目电子加速器停机后，辐照机房、测试机房、功率靶室应分别持续排风不低于 17min、26min、29min，确保室内臭氧浓度降至《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中的限值要求（臭氧最高允许浓度≤0.3mg/m<sup>3</sup>），保障工作人员进入前的室内环境空气质量达标。综合安全冗余考虑，加速器与排风系统联锁延时设置时间不应低于 29min。

项目产生的臭氧和氮氧化物通过排风管道引至楼顶后高空排放，经大气稀释扩散后，污染物浓度可满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2026）二级标准要求。

综上，本项目电子加速器运行产生的臭氧及氮氧化物对工作人员和周边大气环境影响较小，环境风险可控。

## （2）生活废水

本项目加速器营运期产生非放射性废水主要为职工生活污水，经园区专用污水管网收集后，送至现有化粪池预处理，达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后，纳入市政污水管网，最终由海盐县城乡污水处理厂处理至《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准及《城镇污水处理厂主要水污染物排放标

准》(DB33/2169-2018)要求后排入杭州湾,不会对周边水环境造成明显影响。

## 11.2.2 核素实验室辐射环境影响分析

### (1) α射线辐射环境影响分析

在本项目涉及放射性核素中  $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  核素主要衰变方式为α衰变,衰变过程中会产生α粒子。由于α粒子的体积比较大、射程较短、带两个正电荷,同位素位暂存、操作过程中有各种材料的屏蔽物质阻挡。因此,它的能量亦散失得较快,穿透能力在众多电离辐射中是最弱的,人类的皮肤或一张纸已能隔阻α粒子。因此,不考虑其对人体外照射的影响。

当  $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  核素不慎吸入,可对人体造成内照射影响。建设单位拟通过管理措施禁止人员在辐射工作场所内饮食,工作人员工作期间穿戴防护服及防护口罩,涉及核素的操作均在通风橱/手套箱内进行,各操作单元设置独立排风系统,通风需在操作前30分钟启动,确认负压状态及换气次数达标后,方可开始操作;操作结束后持续通风30分钟,再关闭通风系统。工作场所设置良好的通风,避免放射性核素的累积。通过以上措施,可有效避免放射性核素内照射影响。

### (2) β射线辐射环境影响分析

本项目使用的放射性核素衰变过程中会有β射线产生。根据《放射防护实用手册》(主编:赵兰才、张丹枫),β射线在空气中的射程按如下公式计算,计算结果见表 11.2-4

$$d = \frac{1}{2\rho} \cdot E_{MAX}$$

式中: d—β射线在介质中射程, cm;

ρ—介质的密度, g/cm<sup>3</sup>; 空气密度取  $1.29 \times 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup>, 混凝土密度取 2.35 g/cm<sup>3</sup>, 聚乙烯板密度取 1.05 g/cm<sup>3</sup>, 铅板密度取 11.34 g/cm<sup>3</sup>。

$E_{MAX}$ —β射线的最大能量, MeV。

表 11.2-7 核素衰变产生的β射线在各介质中的理论最大射程

| 核素            | $^{67}\text{Cu}$ | $^{99}\text{Mo}$ | $^{47}\text{Sc}$ |
|---------------|------------------|------------------|------------------|
| β射线能量 (MeV)   | 0.57             | 1.23             | 0.44             |
| 空气中的射程 (cm)   | 220.9            | 476.7            | 170.5            |
| 混凝土中的射程 (cm)  | 0.121            | 0.262            | 0.094            |
| 聚乙烯板中的射程 (cm) | 0.271            | 0.586            | 0.210            |
| 铅板中的射程 (cm)   | 0.025            | 0.054            | 0.019            |

由上表可知,由于β粒子能量均较低,穿透能力较弱,β射线经各介质及墙体阻挡后,对周围外环境影响较小,且职业人员与铅屏蔽手套箱之间还采取了屏蔽防护和距离隔离

措施，因此β射线对职业人员和公众辐射影响可忽略不计。

### (3) 表面污染环境的影响分析

本项目在放射性核素操作过程中，可能导致工作台、设备、墙壁、地面及个人防护用品等发生放射性沾污，形成α、β表面污染。鉴于α粒子电离能力强、穿透能力弱，主要通过内照射产生危害；β射线穿透能力较弱，主要通过外照射产生危害，通过完善的防护措施与及时的去污处理，可有效控制污染水平，保障职业人员与公众的辐射安全。

α、β表面污染主要源于放射性物质在操作过程中的逸出或飞散，污染对象包括操作台、地面、墙壁、工作服及手套等，可能对职业人员和周边公众造成外照射危害。为确保非密封放射性物质工作场所的污染水平符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)要求，拟采取以下防护与管理措施：

- ①操作放射性核素的辐射工作人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②所有涉及放射性核素的操作须在手套箱内进行；
- ③质控时吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；
- ④禁止用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；
- ⑤放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污，工作人员如有污染应进行淋浴，检测合格后方可离开工作场所。
- ⑥放射性核素用后及时存放在储源库内，需防盗、防水、防火、应有电离辐射标志。

### (4) 韧致辐射环境影响分析

#### ①公式选取

根据《辐射防护导论》(主编：方杰)中相关公式，剂量率估算采用下式计算。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} \times A \times Z_e \times \left( \frac{E_b}{r} \right)^2 \times (\mu_{em} / \rho) \times q \times \eta$$

式中： $H_r$ —距离韧致辐射源  $r$  米处的空气比释动能率，Gy/h；

$A$ —放射源活度，Bq；

$Z_e$ —电子屏蔽材料的有效原子序数，混凝土取 18，聚乙烯板取 5.5，铅板取 82；

$E_b$ —韧致辐射的平均能量  $E_b$  是入射β粒子的最大能量的 1/3，即  $E_b = E_{max}/3$ ，MeV；

$\mu_{em}/\rho$ ：平均能量为  $E_b$  的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， $m^2/kg$ ，由《辐射防护导论》附表 1 查得， $^{67}Cu$ 、 $^{99}Mo$ 、 $^{47}Sc$  空气质量能量吸收系数分别为  $3.0 \times 10^{-3} m^2/kg$ 、 $2.9 \times 10^{-3} m^2/kg$ 、 $3.1 \times 10^{-3} m^2/kg$ ；

$q$ —关注点所在区域相应的居留因子，均取 1；

$\eta$ —透射比，通风橱前透射比根据公式 $\eta=10^{-(d/TVL)}$ 得出（其中 TVL 屏蔽层在 $\beta$ 粒子平均能量下的半值层厚度，cm，各核素在不同屏蔽材料中的半值层见表 11.2-8。

表 11.2-8 各核素在不同屏蔽材料中的半值层

| 核素               | $E_b$ (MeV) | 在混凝土中的半值层 (cm) | 在聚乙烯板中的半值层 (cm) | 在铅中的半值层 (cm) |
|------------------|-------------|----------------|-----------------|--------------|
| $^{67}\text{Cu}$ | 0.19        | 3.2            | 4.5             | 0.18         |
| $^{99}\text{Mo}$ | 0.41        | 7.8            | 11.2            | 0.65         |
| $^{47}\text{Sc}$ | 0.147       | 2.5            | 3.6             | 0.12         |

注：半值层根据核素的平均能量由 NCRP REPORT No.151 P158 页 Fig.A1a.查得。

### ②关注点位

本次评价主要关注操作位处、储源室及 $\beta$ 废物间外辐射环境水平，考虑到本项目实验用核素活度较低，经过实验室墙体的屏蔽，对周围环境的辐射更弱。因此，本项目不考虑各实验室对周围环境的辐射影响。核素实验室的楼下为土层，无地下层，故不设预测点位。实验室关注点位见图 11.2-2。



图 11.2-2 实验室关注点位图

### ③韧致辐射剂量率计算

根据上述公式，本项目各实验室关注点位辐射剂量率计算结果见表 11.2-9~表 11.2-12。

表 11.2-9 1#热室关注点韧致辐射剂量估算结果

| 关注点位 | 屏蔽层    | 屏蔽物质原子序数 $Z_e$ | 核素               | 源活度 $A$ (Bq)   | $E_b$ (MeV) | $\mu_{em}/\rho$ ( $\text{m}^2/\text{kg}$ ) | 距离 $R$ (m) | 剂量率 ( $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ) | 目标剂量率 ( $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ) |
|------|--------|----------------|------------------|----------------|-------------|--|------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 东侧墙  | 2800mm | 混凝土            | $^{67}\text{Cu}$ | $4\text{E}+06$ | 0.19        | $3.0\text{E}-03$                           | 0.6        | $<0.01$                         | 2.5                               |

|                     |                                       |                         |                  |       |         |         |       |       |
|---------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|-------|---------|---------|-------|-------|
| 体外<br>30cm 处        | 混凝土                                   | 取 18, 聚乙烯板取 5.5, 铅板取 82 | <sup>99</sup> Mo | 4E+06 | 0.41    | 2.9E-03 | 0.6   | <0.01 |
|                     |                                       |                         | <sup>47</sup> Sc | 4E+06 | 0.147   | 3.1E-03 | 0.6   | <0.01 |
|                     |                                       |                         | 小计               |       |         |         |       |       |
| 南侧墙<br>体外<br>30cm 处 | 2000mm<br>混凝土                         |                         | <sup>67</sup> Cu | 4E+06 | 0.19    | 3.0E-03 | 0.6   | <0.01 |
|                     |                                       |                         | <sup>99</sup> Mo | 4E+06 | 0.41    | 2.9E-03 | 0.6   | <0.01 |
|                     |                                       |                         | <sup>47</sup> Sc | 4E+06 | 0.147   | 3.1E-03 | 0.6   | <0.01 |
| 小计                  |                                       |                         |                  |       |         | <0.01   |       |       |
| 西侧墙<br>体外<br>30cm 处 | 2200mm<br>混凝土                         |                         | <sup>67</sup> Cu | 4E+06 | 0.19    | 3.0E-03 | 0.6   | <0.01 |
|                     |                                       |                         | <sup>99</sup> Mo | 4E+06 | 0.41    | 2.9E-03 | 0.6   | <0.01 |
|                     |                                       |                         | <sup>47</sup> Sc | 4E+06 | 0.147   | 3.1E-03 | 0.6   | <0.01 |
| 小计                  |                                       |                         |                  |       |         | <0.01   |       |       |
| 北侧墙<br>体外<br>30cm 处 | 1400mm<br>混凝土                         |                         | <sup>67</sup> Cu | 4E+06 | 0.19    | 3.0E-03 | 0.6   | <0.01 |
|                     |                                       |                         | <sup>99</sup> Mo | 4E+06 | 0.41    | 2.9E-03 | 0.6   | <0.01 |
|                     |                                       |                         | <sup>47</sup> Sc | 4E+06 | 0.147   | 3.1E-03 | 0.6   | <0.01 |
| 小计                  |                                       |                         |                  |       |         | <0.01   |       |       |
| 防护门<br>外 30cm<br>处  | 20cm 铅<br>板+30cm<br>含硼 5%<br>聚乙烯<br>板 | <sup>67</sup> Cu        | 4E+06            | 0.19  | 3.0E-03 | 2.8     | <0.01 |       |
|                     |                                       | <sup>99</sup> Mo        | 4E+06            | 0.41  | 2.9E-03 | 2.8     | <0.01 |       |
|                     |                                       | <sup>47</sup> Sc        | 4E+06            | 0.147 | 3.1E-03 | 2.8     | <0.01 |       |
| 小计                  |                                       |                         |                  |       |         | <0.01   |       |       |
| 顶棚外<br>30cm 处       | 1500mm<br>混凝土                         | <sup>67</sup> Cu        | 4E+06            | 0.19  | 3.0E-03 | 4.6     | <0.01 |       |
|                     |                                       | <sup>99</sup> Mo        | 4E+06            | 0.41  | 2.9E-03 | 4.6     | <0.01 |       |
|                     |                                       | <sup>47</sup> Sc        | 4E+06            | 0.147 | 3.1E-03 | 4.6     | <0.01 |       |
| 小计                  |                                       |                         |                  |       |         | <0.01   |       |       |

表 11.2-10 2#分离纯化间辐射工作区域关注点韧致辐射剂量估算结果

| 关注点位                       | 屏蔽层                               | 屏蔽物质原子序数 Ze                      | 核素               | 源活度 A (Bq) | E <sub>b</sub> (MeV) | μ <sub>em</sub> /ρ (m <sup>2</sup> /kg) | 距离 R(m) | 剂量率 (μGy/h) | 目标剂量率 μGy/h |
|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------|------------|----------------------|---|---------|-------------|-------------|
| 东侧墙外<br>30cm 处<br>(热室西侧墙体) | 2200mm<br>混凝土                     | 混凝土<br>18, 聚乙烯板<br>5.5, 铅板<br>82 | <sup>67</sup> Cu | 4E+06      | 0.19                 | 3.0E-03                                 | 4.2     | <0.01       | 2.5         |
|                            |                                   |                                  | <sup>99</sup> Mo | 4E+06      | 0.41                 | 2.9E-03                                 | 4.2     | <0.01       |             |
|                            |                                   |                                  | <sup>47</sup> Sc | 4E+06      | 0.147                | 3.1E-03                                 | 4.2     | <0.01       |             |
|                            |                                   |                                  | 小计               |            |                      |   |         |             |             |
| 南侧墙外<br>30cm 处             | 200mm 混凝土                         |                                  | <sup>67</sup> Cu | 4E+06      | 0.19                 | 3.0E-03                                 | 1       | <0.01       |             |
|                            |                                   |                                  | <sup>99</sup> Mo | 4E+06      | 0.41                 | 2.9E-03                                 | 1       | <0.01       |             |
|                            |                                   |                                  | <sup>47</sup> Sc | 4E+06      | 0.147                | 3.1E-03                                 | 1       | <0.01       |             |
| 小计                         |                                   |                                  |                  |            |                      | <0.01                                   |         |             |             |
| 西侧墙外<br>30cm 处             | 200mm 混凝土                         |                                  | <sup>67</sup> Cu | 4E+06      | 0.19                 | 3.0E-03                                 | 2.8     | <0.01       |             |
|                            |                                   |                                  | <sup>99</sup> Mo | 4E+06      | 0.41                 | 2.9E-03                                 | 2.8     | <0.01       |             |
|                            |                                   |                                  | <sup>47</sup> Sc | 4E+06      | 0.147                | 3.1E-03                                 | 2.8     | <0.01       |             |
| 小计                         |                                   |                                  |                  |            |                      | <0.01                                   |         |             |             |
| 北侧墙外<br>30cm 处             | 200mm 混凝土                         |                                  | <sup>67</sup> Cu | 4E+06      | 0.19                 | 3.0E-03                                 | 0.6     | <0.01       |             |
|                            |                                   |                                  | <sup>99</sup> Mo | 4E+06      | 0.41                 | 2.9E-03                                 | 0.6     | <0.01       |             |
|                            |                                   |                                  | <sup>47</sup> Sc | 4E+06      | 0.147                | 3.1E-03                                 | 0.6     | <0.01       |             |
| 小计                         |                                   |                                  |                  |            |                      | <0.01                                   |         |             |             |
| 防护门外<br>30cm 处             | 10mm 铅<br>板+30mm<br>含硼 5%<br>聚乙烯板 | <sup>67</sup> Cu                 | 4E+06            | 0.19       | 3.0E-03              | 2                                       | <0.01   |             |             |
|                            |                                   | <sup>99</sup> Mo                 | 4E+06            | 0.41       | 2.9E-03              | 2                                       | <0.01   |             |             |
|                            |                                   | <sup>47</sup> Sc                 | 4E+06            | 0.147      | 3.1E-03              | 2                                       | <0.01   |             |             |
| 小计                         |                                   |                                  |                  |            |                      | <0.01                                   |         |             |             |

|                        |               |                  |       |       |         |     |       |
|------------------------|---------------|------------------|-------|-------|---------|-----|-------|
| 通风橱外<br>30cm 处         | 3mm 铅         | <sup>67</sup> Cu | 4E+06 | 0.19  | 3.0E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | <sup>99</sup> Mo | 4E+06 | 0.41  | 2.9E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | <sup>47</sup> Sc | 4E+06 | 0.147 | 3.1E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | 小计               |       |       |         |     |       |
| 手套箱外<br>30cm 处         | 5mm 铅         | <sup>67</sup> Cu | 4E+06 | 0.19  | 3.0E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | <sup>99</sup> Mo | 4E+06 | 0.41  | 2.9E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | <sup>47</sup> Sc | 4E+06 | 0.147 | 3.1E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | 小计               |       |       |         |     |       |
| 色谱分离<br>纯化区外<br>30cm 处 | 5mm 铅         | <sup>67</sup> Cu | 4E+06 | 0.19  | 3.0E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | <sup>99</sup> Mo | 4E+06 | 0.41  | 2.9E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | <sup>47</sup> Sc | 4E+06 | 0.147 | 3.1E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | 小计               |       |       |         |     |       |
| 分离检测<br>区外<br>30cm 处   | 5mm 铅         | <sup>67</sup> Cu | 4E+06 | 0.19  | 3.0E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | <sup>99</sup> Mo | 4E+06 | 0.41  | 2.9E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | <sup>47</sup> Sc | 4E+06 | 0.147 | 3.1E-03 | 0.6 | <0.01 |
|                        |               | 小计               |       |       |         |     |       |
| 顶棚<br>30cm 处           | 200mm 混<br>凝土 | <sup>67</sup> Cu | 4E+06 | 0.19  | 3.0E-03 | 3.3 | <0.01 |
|                        |               | <sup>99</sup> Mo | 4E+06 | 0.41  | 2.9E-03 | 3.3 | <0.01 |
|                        |               | <sup>47</sup> Sc | 4E+06 | 0.147 | 3.1E-03 | 3.3 | <0.01 |
|                        |               | 小计               |       |       |         |     |       |

表 11.2-11 3#储源室关注点韧致辐射剂量估算结果

| 关注点<br>位            | 屏蔽层          | 屏蔽物<br>质原子<br>序数 Ze | 核素               | 源活度<br>A (Bq) | E <sub>b</sub><br>(MeV) | μ <sub>em</sub> /ρ<br>(m <sup>2</sup> /kg) | 距离<br>R(m) | 剂量率<br>(μGy/h) | 目标剂<br>量率<br>(μGy/h) |
|---------------------|--------------|---------------------|------------------|---------------|-------------------------|--|------------|----------------|----------------------|
| 四周墙<br>体外<br>30cm 处 | 370mm<br>混凝土 | 混凝土<br>18, 铅板<br>82 | <sup>67</sup> Cu | 4E+06         | 0.19                    | 3.0E-03                                    | 0.6        | <0.01          | 2.5                  |
|                     |              |                     | <sup>99</sup> Mo | 4E+06         | 0.41                    | 2.9E-03                                    | 0.6        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | <sup>47</sup> Sc | 4E+06         | 0.147                   | 3.1E-03                                    | 0.6        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | 小计               |               |                         |  |            |                |                      |
| 防护门<br>外 30cm<br>处  | 10mm<br>铅    |                     | <sup>67</sup> Cu | 4E+06         | 0.19                    | 3.0E-03                                    | 1.3        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | <sup>99</sup> Mo | 4E+06         | 0.41                    | 2.9E-03                                    | 1.3        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | <sup>47</sup> Sc | 4E+06         | 0.147                   | 3.1E-03                                    | 1.3        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | 小计               |               |                         |  |            |                |                      |
| 顶棚外<br>30cm 处       | 200mm<br>混凝土 |                     | <sup>67</sup> Cu | 4E+06         | 0.19                    | 3.0E-03                                    | 3.3        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | <sup>99</sup> Mo | 4E+06         | 0.41                    | 2.9E-03                                    | 3.3        | <0.01          |                      |
|                     |              | <sup>47</sup> Sc    | 4E+06            | 0.147         | 3.1E-03                 | 3.3  | <0.01      |                |                      |
|                     |              | 小计                  |                  |               |                         |  |            | <0.01          |                      |

表 11.2-12 4#放废暂存间关注点韧致辐射剂量估算结果

| 关注点<br>位            | 屏蔽层          | 屏蔽物<br>质原子<br>序数 Ze | 核素               | 源活度<br>A (Bq) | E <sub>b</sub><br>(MeV) | μ <sub>em</sub> /ρ<br>(m <sup>2</sup> /kg) | 距离<br>R(m) | 剂量率<br>(μGy/h) | 目标剂<br>量率<br>(μGy/h) |
|---------------------|--------------|---------------------|------------------|---------------|-------------------------|--|------------|----------------|----------------------|
| 四周墙<br>体外<br>30cm 处 | 370mm<br>混凝土 | 混凝土<br>18, 铅板<br>82 | <sup>67</sup> Cu | 4E+06         | 0.19                    | 3.0E-03                                    | 0.6        | <0.01          | 2.5                  |
|                     |              |                     | <sup>99</sup> Mo | 4E+06         | 0.41                    | 2.9E-03                                    | 0.6        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | <sup>47</sup> Sc | 4E+06         | 0.147                   | 3.1E-03                                    | 0.6        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | 小计               |               |                         |  |            |                |                      |
| 防护门<br>外 30cm<br>处  | 10mm<br>铅    |                     | <sup>67</sup> Cu | 4E+06         | 0.19                    | 3.0E-03                                    | 1.5        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | <sup>99</sup> Mo | 4E+06         | 0.41                    | 2.9E-03                                    | 1.5        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | <sup>47</sup> Sc | 4E+06         | 0.147                   | 3.1E-03                                    | 1.5        | <0.01          |                      |
|                     |              |                     | 小计               |               |                         |  |            |                |                      |

|               |              |  |                  |       |       |         |     |                 |
|---------------|--------------|--|------------------|-------|-------|---------|-----|-----------------|
|               |              |  |                  |       |       |         |     | <b>&lt;0.01</b> |
| 顶棚外<br>30cm 处 | 200mm<br>混凝土 |  | <sup>67</sup> Cu | 4E+06 | 0.19  | 3.0E-03 | 3.3 | <0.01           |
|               |              |  | <sup>99</sup> Mo | 4E+06 | 0.41  | 2.9E-03 | 3.3 | <0.01           |
|               |              |  | <sup>47</sup> Sc | 4E+06 | 0.147 | 3.1E-03 | 3.3 | <0.01           |
|               |              |  | 小计               |       |       |         |     | <b>&lt;0.01</b> |

根据表 11.2-6~表 11.2-9，操作不同活度核素时，热室、分离纯化间、储源室、放废暂存间外 30cm 操作位处辐射剂量率最大均不超过 0.01μSv/h，均低于 2.5μSv/h 的控制目标值，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对工作场所的防护水平要求。

### (5) γ 射线影响分析

在本项目涉及放射性核素中 <sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc 衰变过程中会产生γ射线。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I，有屏蔽体情况下，参考点处γ射线点源辐射剂量率估算公式如下

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2$$

式中：H—屏蔽体外关注点剂量率，单位为μSv/h；

X—屏蔽体厚度，单位为 mm；

TVL—γ射线的什值层厚度，mm；

A—放射性核素的最大活度，单位为 Bq；

Γ—周围剂量当量率常数，单位为μSv·m<sup>2</sup>/(h·Bq)；

R—距放射源间的距离，m。

根据上述公式，γ操作间各关注点位的辐射剂量率估算结果见表 11.2-13。

表 11.2-13 本项目同位素实验室周围环境 γ 射线辐射剂量率估算结果

| 场所名称 | 关注点位置          | 核素               | 源强 A(Bq) | 周围剂量当量率常数 <sup>①</sup><br>μSv·m <sup>2</sup> /(h·Bq) | 距离 R(m) | TVL <sup>②</sup><br>(mm) | 屏蔽层           | 关注点剂量率<br>(μSv/h) |
|------|----------------|------------------|----------|--|---------|--------------------------|---------------|-------------------|
| 1#热室 | 东侧墙外<br>30cm 处 | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06  | 1.23E-08   | 0.6     | 32                       | 2800mm<br>混凝土 | <0.01             |
|      |                | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06  | 2.08E-08   | 0.6     | 78                       |               | <0.01             |
|      |                | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06  | 1.35E-08   | 0.6     | 25                       |               | <0.01             |
|      |                | 小计               |          |  |         |                          |               | <b>&lt;0.01</b>   |
|      | 南侧墙外<br>30cm 处 | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06  | 1.23E-08   | 0.6     | 32                       | 2000mm<br>混凝土 | <0.01             |
|      |                | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06  | 2.08E-08   | 0.6     | 78                       |               | <0.01             |
|      |                | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06  | 1.35E-08   | 0.6     | 25                       |               | <0.01             |
|      |                | 小计               |          |  |         |                          |               | <b>&lt;0.01</b>   |
|      | 西侧墙外<br>30cm 处 | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06  | 1.23E-08   | 0.6     | 32                       | 2200mm<br>混凝土 | <0.01             |
|      |                | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06  | 2.08E-08   | 0.6     | 78                       |               | <0.01             |
|      |                | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06  | 1.35E-08   | 0.6     | 25                       |               | <0.01             |

|                        |                                |                  |          |          |     |                                   |                                   |                 |
|------------------------|--------------------------------|------------------|----------|----------|-----|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 2#分离纯化                 |                                | 小计               |          |          |     |                                   |                                   | <b>&lt;0.01</b> |
|                        | 北侧墙外<br>30cm 处                 | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06  | 1.23E-08 | 0.6 | 32                                | 1400mm<br>混凝土                     | <0.01           |
|                        |                                | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06  | 2.08E-08 | 0.6 | 78                                |                                   | <0.01           |
|                        |                                | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06  | 1.35E-08 | 0.6 | 25                                |                                   | <0.01           |
|                        |                                | 小计               |          |          |     |                                   |                                   | <b>&lt;0.01</b> |
|                        | 防护门外<br>30cm 处                 | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06  | 1.23E-08 | 2.8 | 1.8                               | 20cm 铅<br>板+30cm<br>含硼 5%<br>聚乙烯板 | <0.01           |
|                        |                                | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06  | 2.08E-08 | 2.8 | 6.5                               |                                   | <0.01           |
|                        |                                | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06  | 1.35E-08 | 2.8 | 1.2                               |                                   | <0.01           |
|                        |                                | 小计               |          |          |     |                                   |                                   | <b>&lt;0.01</b> |
|                        | 顶棚<br>30cm 处                   | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06  | 1.23E-08 | 4.6 | 32                                | 1500mm<br>混凝土                     | <0.01           |
|                        |                                | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06  | 2.08E-08 | 4.6 | 78                                |                                   | <0.01           |
|                        |                                | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06  | 1.35E-08 | 4.6 | 25                                |                                   | <0.01           |
|                        |                                | 小计               |          |          |     |                                   |                                   | <b>&lt;0.01</b> |
|                        | 东侧墙外<br>30cm 处<br>(热室西<br>侧墙体) | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06  | 1.23E-08 | 4.2 | 32                                | 2200mm<br>混凝土                     | <0.01           |
|                        |                                | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06  | 2.08E-08 | 4.2 | 78                                |                                   | <0.01           |
|                        |                                | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06  | 1.35E-08 | 4.2 | 25                                |                                   | <0.01           |
|                        |                                | 小计               |          |          |     |                                   |                                   | <b>&lt;0.01</b> |
|                        | 南墙外<br>30cm 处                  | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06  | 1.23E-08 | 1   | 32                                | 200mm 混<br>凝土                     | 2.77E-08        |
|                        |                                | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06  | 2.08E-08 | 1   | 78                                |                                   | 2.27E-04        |
|                        |                                | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06  | 1.35E-08 | 1   | 25                                |                                   | 5.40E-10        |
|                        |                                | 小计               |          |          |     |                                   |                                   | <b>2.27E-04</b> |
|                        | 西墙外<br>30cm 处                  | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06  | 1.23E-08 | 2.8 | 32                                | 200mm 混<br>凝土                     | 3.53E-09        |
|                        |                                | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06  | 2.08E-08 | 2.8 | 78                                |                                   | 2.90E-05        |
|                        |                                | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06  | 1.35E-08 | 2.8 | 25                                |                                   | 6.89E-11        |
|                        | 小计                             |                  |          |          |     |                                   | <b>2.90E-05</b>                   |                 |
| 北墙外<br>30cm 处          | <sup>67</sup> Cu               | 4.0E+06          | 1.23E-08 | 0.6      | 32  | 200mm 混<br>凝土                     | 7.69E-08                          |                 |
|                        | <sup>99</sup> Mo               | 4.0E+06          | 2.08E-08 | 0.6      | 78  |                                   | 6.31E-04                          |                 |
|                        | <sup>47</sup> Sc               | 4.0E+06          | 1.35E-08 | 0.6      | 25  |                                   | 1.50E-09                          |                 |
|                        | 小计                             |                  |          |          |     |                                   | <b>6.31E-04</b>                   |                 |
| 防护门外<br>30cm 处         | <sup>67</sup> Cu               | 4.0E+06          | 1.23E-08 | 2        | 32  | 10mm 铅<br>板+30mm<br>含硼 5%<br>聚乙烯板 | 3.42E-08                          |                 |
|                        | <sup>99</sup> Mo               | 4.0E+06          | 2.08E-08 | 2        | 78  |                                   | 6.02E-04                          |                 |
|                        | <sup>47</sup> Sc               | 4.0E+06          | 1.35E-08 | 2        | 25  |                                   | 6.27E-11                          |                 |
|                        | 小计                             |                  |          |          |     |                                   | <b>6.02E-04</b>                   |                 |
| 通风橱外<br>30cm 处         | <sup>67</sup> Cu               | 4.0E+06          | 1.23E-08 | 0.6      | 32  | 3mm 铅                             | 2.94E-03                          |                 |
|                        | <sup>99</sup> Mo               | 4.0E+06          | 2.08E-08 | 0.6      | 78  |                                   | 7.99E-02                          |                 |
|                        | <sup>47</sup> Sc               | 4.0E+06          | 1.35E-08 | 0.6      | 25  |                                   | 4.74E-04                          |                 |
|                        | 小计                             |                  |          |          |     |                                   | <b>8.33E-02</b>                   |                 |
| 手套箱外<br>30cm 处         | <sup>67</sup> Cu               | 4.0E+06          | 1.23E-08 | 0.6      | 32  | 5mm 铅                             | 2.28E-04                          |                 |
|                        | <sup>99</sup> Mo               | 4.0E+06          | 2.08E-08 | 0.6      | 78  |                                   | 3.93E-02                          |                 |
|                        | <sup>47</sup> Sc               | 4.0E+06          | 1.35E-08 | 0.6      | 25  |                                   | 1.02E-05                          |                 |
|                        | 小计                             |                  |          |          |     |                                   | <b>3.96E-02</b>                   |                 |
| 色谱分离<br>纯化区外<br>30cm 处 | <sup>67</sup> Cu               | 4.0E+06          | 1.23E-08 | 0.6      | 32  | 5mm 铅                             | 2.28E-04                          |                 |
|                        | <sup>99</sup> Mo               | 4.0E+06          | 2.08E-08 | 0.6      | 78  |                                   | 3.93E-02                          |                 |
|                        | <sup>47</sup> Sc               | 4.0E+06          | 1.35E-08 | 0.6      | 25  |                                   | 1.02E-05                          |                 |
|                        | 小计                             |                  |          |          |     |                                   | <b>3.96E-02</b>                   |                 |
| 分离检测<br>区外<br>30cm 处   | <sup>67</sup> Cu               | 4.0E+06          | 1.23E-08 | 0.6      | 32  | 5mm 铅                             | 2.28E-04                          |                 |
|                        | <sup>99</sup> Mo               | 4.0E+06          | 2.08E-08 | 0.6      | 78  |                                   | 3.93E-02                          |                 |
|                        | <sup>47</sup> Sc               | 4.0E+06          | 1.35E-08 | 0.6      | 25  |                                   | 1.02E-05                          |                 |
|                        | 小计                             |                  |          |          |     |                                   | <b>3.96E-02</b>                   |                 |

|                 |                     |                  |         |          |     |    |               |          |
|-----------------|---------------------|------------------|---------|----------|-----|----|---------------|----------|
|                 | 顶棚外<br>30cm 处       | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06 | 1.23E-08 | 3.3 | 32 | 200mm 混<br>凝土 | 2.54E-09 |
|                 |                     | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06 | 2.08E-08 | 3.3 | 78 |               | 2.08E-05 |
|                 |                     | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06 | 1.35E-08 | 3.3 | 25 |               | 4.96E-11 |
|                 |                     | 小计               |         |          |     |    |               |          |
| 3#储<br>源室       | 四周墙体<br>外 30cm<br>处 | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06 | 1.23E-08 | 0.6 | 32 | 370mm 混<br>凝土 | 3.74E-13 |
|                 |                     | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06 | 2.08E-08 | 0.6 | 78 |               | 4.17E-06 |
|                 |                     | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06 | 1.35E-08 | 0.6 | 25 |               | 2.38E-16 |
|                 |                     | 小计               |         |          |     |    |               |          |
|                 | 防护门外<br>30cm 处      | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06 | 1.23E-08 | 1.3 | 32 | 10mm 铅        | 8.10E-08 |
|                 |                     | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06 | 2.08E-08 | 1.3 | 78 |               | 1.42E-03 |
|                 |                     | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06 | 1.35E-08 | 1.3 | 25 |               | 1.48E-10 |
|                 |                     | 小计               |         |          |     |    |               |          |
|                 | 顶棚外<br>30cm 处       | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06 | 1.23E-08 | 3.3 | 32 | 200mm 混<br>凝土 | 2.54E-09 |
|                 |                     | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06 | 2.08E-08 | 3.3 | 78 |               | 2.08E-05 |
|                 |                     | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06 | 1.35E-08 | 3.3 | 25 |               | 4.96E-11 |
|                 |                     | 小计               |         |          |     |    |               |          |
| 4#放<br>废暂<br>存间 | 四周墙体<br>外 30cm<br>处 | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06 | 1.23E-08 | 0.6 | 32 | 370mm 混<br>凝土 | 3.74E-13 |
|                 |                     | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06 | 2.08E-08 | 0.6 | 78 |               | 4.17E-06 |
|                 |                     | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06 | 1.35E-08 | 0.6 | 25 |               | 2.38E-16 |
|                 |                     | 小计               |         |          |     |    |               |          |
|                 | 防护门外<br>30cm 处      | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06 | 1.23E-08 | 1.5 | 32 | 10mm 铅        | 6.08E-08 |
|                 |                     | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06 | 2.08E-08 | 1.5 | 78 |               | 1.07E-03 |
|                 |                     | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06 | 1.35E-08 | 1.5 | 25 |               | 1.11E-10 |
|                 |                     | 小计               |         |          |     |    |               |          |
|                 | 顶棚外<br>30cm 处       | <sup>67</sup> Cu | 4.0E+06 | 1.23E-08 | 3.3 | 32 | 200mm 混<br>凝土 | 2.54E-09 |
|                 |                     | <sup>99</sup> Mo | 4.0E+06 | 2.08E-08 | 3.3 | 78 |               | 2.08E-05 |
|                 |                     | <sup>47</sup> Sc | 4.0E+06 | 1.35E-08 | 3.3 | 25 |               | 4.96E-11 |
|                 |                     | 小计               |         |          |     |    |               |          |

注：①取自 IAEA 核素数据库；②取自《辐射防护手册》。

由上表可知，热室外 30cm 处的辐射剂量率最大不超过 0.01 $\mu$ Sv/h，分离纯化间外 30cm 处的辐射剂量率最大为 8.33E-02 $\mu$ Sv/h，储源室外 30cm 处辐射剂量率最大为 1.42E-03 $\mu$ Sv/h，放废暂存间外 30cm 处辐射剂量率最大为 1.07E-03 $\mu$ Sv/h，均低于 2.5 $\mu$ Sv/h 的控制目标值，能满足不大于 2.5 $\mu$ Sv/h 的要求，不会对周围环境产生明显影响。

### (5) 叠加影响

韧致辐射与 $\gamma$ 射线辐射的叠加影响见表 11.2-14。

表 11.2-14 韧致辐射与 $\gamma$ 射线辐射的叠加影响

| 场所名称    | 关注点位置       | 韧致辐射剂量率( $\mu$ Sv/h) | $\gamma$ 射线点源辐射剂量率( $\mu$ Sv/h) | 叠加剂量率( $\mu$ Sv/h) |
|---------|-------------|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| 1#热室    | 东侧墙外 30cm 处 | <0.01                | <0.01                           | <0.01              |
|         | 南侧墙外 30cm 处 | <0.01                | <0.01                           | <0.01              |
|         | 西侧墙外 30cm 处 | <0.01                | <0.01                           | <0.01              |
|         | 北侧墙外 30cm 处 | <0.01                | <0.01                           | <0.01              |
|         | 防护门外 30cm 处 | <0.01                | <0.01                           | <0.01              |
|         | 顶棚外 30cm 处  | <0.01                | <0.01                           | <0.01              |
| 2#分离纯化间 | 东侧墙外 30cm 处 | <0.01                | <0.01                           | <0.01              |
|         | 南侧墙外 30cm 处 | <0.01                | 2.27E-04                        | 2.27E-04           |
|         | 西侧墙外 30cm 处 | <0.01                | 2.90E-05                        | 2.90E-05           |

|         |                 |       |          |          |
|---------|-----------------|-------|----------|----------|
|         | 北侧墙外 30cm 处     | <0.01 | 6.31E-04 | 6.31E-04 |
|         | 防护门外 30cm 处     | <0.01 | 6.02E-04 | 6.02E-04 |
|         | 通风橱外 30cm 处     | <0.01 | 8.33E-02 | 8.33E-02 |
|         | 手套箱外 30cm 处     | <0.01 | 3.96E-02 | 3.96E-02 |
|         | 色谱分离纯化区外 30cm 处 | <0.01 | 3.96E-02 | 3.96E-02 |
|         | 分离检测区外 30cm 处   | <0.01 | 3.96E-02 | 3.96E-02 |
|         | 顶棚外 30cm 处      | <0.01 | 2.08E-05 | 2.08E-05 |
| 3#储源室   | 四周墙体外 30cm 处    | <0.01 | 4.17E-06 | 4.17E-06 |
|         | 防护门外 30cm 处     | <0.01 | 1.42E-03 | 1.42E-03 |
|         | 顶棚外 30cm 处      | <0.01 | 2.08E-05 | 2.08E-05 |
| 4#放废暂存间 | 四周墙体外 30cm 处    | <0.01 | 4.17E-06 | 4.17E-06 |
|         | 防护门外 30cm 处     | <0.01 | 1.07E-03 | 1.42E-03 |
|         | 顶棚外 30cm 处      | <0.01 | 2.08E-05 | 2.08E-05 |

由上表可知，叠加影响各关注点的辐射剂量率均低于 2.5 $\mu$ Sv/h 的控制目标值，能满足不大于 2.5 $\mu$ Sv/h 的要求，不会对周围环境产生明显影响。

### 11.2.3 核素实验场所个人剂量估算

#### (1) 计算公式

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中公式计算，计算公式如下：

$$H_{E-r} = D_r \times t \times T \times 10^{-3}$$

式中： $H_{E-r}$ ：外照射人均年有效剂量，mSv；

$D_r$ ：周围剂量当量率， $\mu$ Sv/h；

t：照射时间，h；

T：居留因子，保守取 1。

#### (2) 辐射工作人员工作负荷

本项目3名辐射工作人员，工作时长8h，年工作260天。

#### (3) 年有效剂量计算

##### ①职业人员

根据建设单位各实验操作频次及实验时间，辐射工作人员的年有效剂量计算结果见表 11.2-15。

表 11.2-15 本项目所致工作人员有效剂量

| 场所名称    | 关注点位置     | 关注点辐射剂量率( $\mu$ Sv/h) | 年受照时间(h) | 居留因子 | 人员年有效剂量(mSv/a) |
|---------|-----------|-----------------------|----------|------|----------------|
| 1#热室    | 热室操作      | 2.60E-19              | 416      | 1    | 1.08E-19       |
| 2#分离纯化间 | 通风橱操作位    | 8.33E-02              | 416      | 1    | 3.47E-02       |
|         | 手套箱操作位    | 3.96E-02              | 416      | 1    | 1.65E-02       |
|         | 色谱分离纯化操作位 | 3.96E-02              | 416      | 1    | 1.65E-02       |
|         | 分离检测操作位   | 3.96E-02              | 416      | 1    | 1.65E-02       |
| 3#储源室   | 原料转运位     | 1.42E-03              | 260      | 1    | 3.69E-04       |

|         |       |          |     |   |          |
|---------|-------|----------|-----|---|----------|
| 4#放废暂存间 | 固废转运位 | 1.42E-03 | 260 | 1 | 3.69E-04 |
|---------|-------|----------|-----|---|----------|

注：辐射工作人员年有效剂量保守按 1 人完成所有工作计算。

本项目职业人员最大受照剂量为 8.49E-02mSv/a，满足本项目 5mSv/a 剂量约束限值要求。在后期实际过程中，建设单位需根据实际情况进行人员工作时间和调配，同时在必要条件下新增辐射工作人员进行轮换工作，以达到受照剂量最优化及尽可能小的原则，确保职业人员年受照剂量不超过 5mSv/a 剂量约束值。

## ②公众人员

公众人员年有效剂量计算见表11.2-16。

表11.2-16 本项目核素实验场所公众人员有效剂量

| 环境保护目标       | 辐射剂量率( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 年照射时间(h) | 居留因子 | 年有效剂量(mSv/a) |
|--------------|---------------------------|----------|------|--------------|
| 东侧电梯间        | 1.58E-06                  | 2080     | 1/16 | 2.05E-07     |
| 东侧园区内通道      | 8.88E-07                  | 2080     | 1/16 | 1.15E-07     |
| 核素实验区南侧电梯间   | 3.55E-04                  | 2080     | 1/16 | 4.62E-05     |
| 南侧园区内道路      | 3.94E-05                  | 2080     | 1/16 | 5.13E-06     |
| 海盐加美五金科技有限公司 | 1.58E-06                  | 2080     | 1    | 3.28E-06     |
| 西侧园区内道路      | 3.55E-04                  | 2080     | 1/16 | 4.62E-05     |
| 金禄路          | 8.88E-07                  | 2080     | 1/16 | 1.15E-07     |
| 项目北侧厂房内闲置区域  | 8.33E-02                  | 2080     | 1/40 | 4.33E-03     |
| 内天井          | 5.21E-03                  | 2080     | 1/40 | 2.71E-04     |
| 内天井北侧厕所      | 1.30E-03                  | 2080     | 1/40 | 6.77E-05     |
| 办公区          | 3.25E-04                  | 2080     | 1    | 6.77E-04     |
| 北侧园区内道路      | 1.33E-04                  | 2080     | 1/16 | 1.73E-05     |
| 二层闲置区域       | 1.23E-07                  | 2080     | 1    | 2.56E-07     |

注：办公区等保护目标的剂量率根据剂量率与距离平方成反比的特性推导出。

由表11.2-13可知，本项目后公众外照射所致最大年有效剂量为6.50E-03mSv/a，满足本项目0.1mSv/a 剂量约束限值要求。因此本项目运行不会对周围公众人员产生额外的外照射剂量。

根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系，距离本项目工作场所越远，辐射剂量率越低，工作场所附近公众受照剂量满足要求，因此 50m 评价范围内环境保护目标公众受照剂量也能满足本项目剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

### 11.2.4 人员年有效剂量叠加分析

本项目电子加速器工作场所与核素实验室位于同一幢厂房、辐射评价范围完全重

叠，辐射工作人员、周边公众会同时受到两处辐射源的联合照射。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求，需对两类辐射源产生的年有效剂量进行叠加核算，综合判定人员受照水平。

### 1、辐射工作人员剂量叠加

电子加速器岗位工作人员单源最大年有效剂量为 0.82mSv/a，核素实验室岗位工作人员单源最大年有效剂量为0.0871mSv/a。叠加为0.82mSv/a+0.0871mSv/a=0.9071mSv/a。

本项目辐射工作人员受加速器+核素实验室叠加后的年有效剂量为 0.9071mSv/a，远低于职业人员年有效剂量约束值 5mSv/a。项目通过岗位轮换、分区作业等管理措施，可进一步优化人员受照水平，满足辐射防护最优化原则，职业辐射风险可控。

注：加速器、核素实验室分班组作业，人员不交叉，实际单人仅承受单一源剂量，叠加值为极端保守核算结果。

### 2、公众人员剂量叠加

结合两处场所周边相同公众点位，逐点位叠加（取同一点位两处剂量求和），选取各点位最大值作为公众总控制值。

**表11.2-17 本项目辐射工作场所公众人员有效剂量叠加一览表**

| 公众点位         | 加速器所致剂量(mSv/a) | 核素实验室所致剂量(mSv/a) | 叠加总剂量(mSv/a) |
|--------------|----------------|------------------|--------------|
| 东侧电梯间        | 1.80E-03       | 2.05E-07         | 1.80E-03     |
| 东侧园区内通道      | 1.80E-03       | 1.15E-07         | 1.80E-03     |
| 南侧园区内道路      | 4.86E-02       | 5.13E-06         | 4.86E-02     |
| 海盐加美五金科技有限公司 | 8.64E-04       | 3.28E-06         | 8.67E-04     |
| 本项目西侧电梯间     | 1.01E-03       | 4.62E-05         | 1.06E-03     |
| 西侧园区内道路      | 2.24E-04       | 4.62E-05         | 2.70E-04     |
| 金祿路          | 2.93E-05       | 1.15E-07         | 2.94E-05     |
| 项目北侧厂房内闲置区域  | 8.64E-02       | 4.33E-03         | 9.07E-02     |
| 内天井          | 8.64E-02       | 2.71E-04         | 8.67E-02     |
| 内天井北侧厕所      | 8.64E-02       | 6.77E-05         | 8.65E-02     |
| 办公区          | 1.35E-02       | 6.77E-04         | 1.42E-02     |
| 北侧园区内道路      | 3.46E-04       | 1.73E-05         | 3.63E-04     |
| 二层闲置区域       | 9.12E-02       | 2.56E-07         | 9.12E-02     |

由表 11.2-14 可知，在评价范围内，公众人员叠加后最大年有效剂量为 9.12E-02mSv/a，该数值小于项目公众年有效剂量约束值 0.1mSv/a，同时远低于 GB 18871-2002 规定的 1 mSv 公众剂量限值。

结合辐射剂量随距离平方衰减规律，项目 50m 评价范围外辐射水平进一步降低，因此本项目全评价范围内公众人员受照剂量均满足国家辐射防护标准，两类辐射源叠加

后对周边公众影响在可接受范围内。

#### 11.2.4 内照射影响

本项目辐射工作人员在对放射性核素的操作中，放射性核素可能经摄入、吸入或经皮肤、伤口等渗入而进入人体内部，进而产生内照射。本项目所有涉及放射性核素操作的实验环节均在通风橱内进行，废气经专用排风管道引至楼顶排放，排放口设置活性炭吸附处理装置。建设单位应制定乙级非密封放射性实验室操作规程，辐射工作人员操作过程均穿戴个人防护用品，可有效防止职业人员的内照射，在规范操作的情况下，辐射工作人员产生内照射影响可忽略不计。

#### 11.2.5 核素实验工作场所放射性“三废”影响分析

##### (1) 放射性废水

本项目放射性废水主要来源于突发人员沾污时，在淋洗间紧急清洁去污的应急喷淋洗废水，按年最大应急淋洗2次测算，项目放射性废水年最大产生量不超过100L，产生量极小。项目严格根据废水沾染核素特性，实行分类收集、分区管控、差异化处置的闭环管理模式，全程无乱排、渗漏、混存及无组织排放风险，各环节辐射风险可控。

对于不含<sup>226</sup>Ra短半衰期放射性废水，项目依托专用屏蔽排水管道统一收集至三级衰变池暂存衰变，衰变静置时长不少于100d。项目衰变池有效容积2.52m<sup>3</sup>（2520L），贮水能力充足，可完全满足项目应急废水贮存及衰变周期要求。衰变期满后，委托具备CMA资质的监测单位开展活度浓度检测，严格执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《污水综合排放标准》（GB 8978-1996），待满足总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 限值要求，且报属地生态环境主管部门核查确认后，通过专用管道规范排入市政污水管网；检测未达标废水继续延长衰变周期，严禁违规外排。项目建立衰变池运行、取样检测、废水排放专项管理台账，专人负责、全程追溯，确保废水排放合规可控。

对于含<sup>226</sup>Ra长寿命极毒放射性废水，因<sup>226</sup>Ra核素半衰期极长、无法通过自然衰变实现清洁解控，项目实行完全独立的专项闭环管控体系。该类废水全程严禁接入实验室污水管网、严禁排入衰变池，采用HDPE耐腐蚀内桶+铅屏蔽外容器+二次防漏周转箱专用成套设备独立收集，容器唯一编号、专桶专用、张贴专属放射性警示标识，装液量严格控制在额定容积80%以内。作业区域设置专属收集点位与专用辅具，彻底杜绝交叉污染与混存风险。

含<sup>226</sup>Ra废水收集完成后，经密封检查、登记造册，通过专用转运设备、固定路线密闭转运至放射性废物暂存间含<sup>226</sup>Ra废水专用隔离暂存区。暂存区域与短半衰期废水、放射性固废暂存区物理隔离，实行分区存放、授权准入、专人巡检制度，区域配套防渗防腐、二次防漏、应急去污及辐射监测设施，常态化开展辐射剂量与表面污染监测。项目针对该类废水建立独立完整台账体系，覆盖收集、暂存、巡检、转运、出库、处置全流程，账物定期核对、记录可追溯。

待废水达到处置条件后，经内部出库审批、辐射检测及处置单位资质核验，单独委托具备长寿命放射性废物处置资质的单位专项收贮处置，转运、交接、归档全程独立作业，不与短半衰期放射性废物混装、混运、混记，无辐射遗留风险。

综上，本项目放射性废水产生量极小，通过源头分类、密闭收集、分区暂存、差异化衰变处置、专项台账追溯的全过程规范化管控模式，所有放射性废水均得到合规消纳，无外排污染、无渗漏泄漏风险，对周边地表水、地下水、土壤及生态环境的辐射影响极小，完全满足辐射防护及固体废物污染防治相关规范要求。

## **(2) 放射性废液态**

本项目营运期放射性废液主要产生于核素分离纯化工艺过程，包括反应废液、未反应试剂残液、器皿首次清洗废液，涉及核素包含<sup>225</sup>Ac、<sup>226</sup>Ra、<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc。

项目严格按照核素特性差异实行分类收集、分区暂存、差异化处置的管控模式，全过程专人管理、密闭收集、规范转运、台账追溯，无废液乱排、混排、泄漏及无组织排放风险。

对于不含<sup>226</sup>Ra的短半衰期放射性废液（<sup>225</sup>Ac、<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc），采用专用废液桶收集、外配50mmPb铅桶屏蔽防护、整体置于不锈钢防护箱密闭存放，统一转运至放射性废物库静置衰变不少于100d。衰变期满后，委托具备CMA资质的第三方机构开展活度浓度监测，满足清洁解控标准并经生态环境主管部门核查批准后，解除放射性管控属性，按危险废物委托资质单位规范收运处置。

对于含<sup>226</sup>Ra长寿命极毒放射性废液，由于<sup>226</sup>Ra核素半衰期极长、无法通过短期衰变实现解控，项目实行完全独立的专项管控体系。该类废液严禁接入废水管网、严禁进入衰变池，全程采用HDPE耐腐蚀内桶+铅屏蔽外容器+二次防漏周转箱专用成套容器独立收集、专桶专用、唯一编号管理；实验区域设置专属收集点位与专用辅具，杜绝与短半衰期废液交叉污染。

收集后的含<sup>226</sup>Ra废液经密封检查、登记造册后，通过专用转运设备、固定路线密闭转运至放射性废物暂存间长寿命废液专属隔离暂存区，实行物理隔离、分区存放、授权准入、专人巡检，配套防渗防腐、二次防漏及应急处置设施，并建立覆盖收集、暂存、巡检、转运、出库、处置、容器管理的独立专项台账，实现全生命周期可追溯管理。

废液存至处置条件后，经内部出库审批、表面污染及辐射剂量检测、核验资质单位能力后，单独转运、单独交接、单独收贮，全程不与短半衰期放射性废液混装、混运、混处置，交由具备长寿命放射性废物处置资质的单位专项收贮处置。

综上，本项目放射性废液从源头收集、场内转运、库区暂存到最终处置均实现规范化、闭环化、差异化管控，所有放射性废液均得到合规消纳，无外排、无渗漏、无辐射遗留风险，对周边水体、土壤、地下水及生态环境的辐射影响极小，满足辐射防护及固体废物污染环境防治相关标准要求。

### **(3) 放射性废气**

本项目放射性废气为各工艺环节产生的含<sup>225</sup>Ac、<sup>226</sup>Ra、<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc核素的气溶胶，均通过局部密闭收集进入专用排风管线，无组织逸散量极低。每支排风管线风机前端均设置“中效+高效过滤器+活性炭吸附”装置，手套箱顶层有活性炭吸附装置，可高效截留废气中的放射性气溶胶颗粒，过滤后的废气经高空排放，气溶胶去除效率满足放射性废气治理相关要求。

项目拟制定完善的过滤器运维管理制度，通过管道压差计实时监测过滤效果，结合温湿度变化及厂家要求确定更换周期，每半年校核过滤效率，更换的废滤材作为放射性固废规范处置，确保废气处理系统长期稳定运行。经处理后的放射性废气，气溶胶活度浓度大幅降低，高空排放后经大气扩散、稀释，对项目周边大气环境的辐射剂量贡献极低，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的公众剂量限值，对周边居民及生态环境的辐射影响可忽略不计。

### **(4) 放射性固废**

本项目营运期产生的放射性固体废物主要来自核素分离纯化实验工序及废气处理系统，主要包括沾染放射性核素的废树脂、废滤材、实验耗材、污染防护用品、实验沉淀残渣以及废气处理更换的废滤芯、废活性炭等。项目对放射性固体废物严格实行按核素特性分类、密闭收集、分区暂存、差异化处置的全过程管控模式，全程无无序堆放、无随意丢弃、无无组织外排现象。

项目实验区域、废气处理区域均配置50mmPb铅屏蔽专用放射性废物桶，所有放射性固废源头分类收集、批次单独封装、张贴核素类型、产生日期及放射性警示标识，杜绝不同核素固废混装及交叉污染。固废由专人采用铅屏蔽转运设备、按固定路线密闭转运至放射性废物库分区存放，转运过程密闭可控，无洒落、无辐射泄漏风险。

项目针对不同核素固废实施差异化管控：

①对于不含<sup>226</sup>Ra（沾染<sup>225</sup>Ac、<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc短半衰期核素）的放射性固废，统一在放射性废物库静置衰变不少于100d，衰变期满后委托CMA资质单位开展表面污染及辐射剂量检测，满足清洁解控标准并经生态环境主管部门核查批准后，解除放射性管控属性，按危险废物规范处置。

②对于沾染<sup>226</sup>Ra长寿命极毒核素的实验固废及对应废滤芯、废活性炭，因其核素半衰期极长、无法通过短期衰变实现解控，项目实行独立容器收集、专属区域隔离暂存、专项台账管理，不参与衰变解控流程，积存至一定量后单独委托具备长寿命放射性废物处置资质的单位专项收贮处置，全程不与短半衰期放射性固废混存、混运、混处置。

项目放射性废物库配套完善的屏蔽、防渗、防流失、辐射监测及门禁管理制度，建立覆盖产生、收集、转运、暂存、检测、出库、处置的全生命周期台账记录，全过程可追溯、可监管。

综上，本项目放射性固体废物从源头收集、场内转运、库区暂存到最终处置均实现规范化、闭环化管理，各类放射性固废均得到合规消纳，无外排、无遗留辐射污染风险，对区域大气、土壤、地下水及周边公众辐射影响极小，满足辐射防护及固体废物环境管理相关规范要求。

### 11.2.6 非放射性“三废”影响分析

#### (1) 水环境影响分析

由污染源分析可知本项目营运期非放射性废水主要为纯水制备浓水、实验器皿的后道清洗废水、实验室台面和地面擦洗废水以及职工生活污水。

其中，纯水制备浓水、器皿后道清洗废水、实验室台面和地面擦洗废水经专用管道收集后，进入废水处理间统一处理。处理工艺采用“pH调节+混凝+臭氧氧化+复合吸附过滤+紫外光氧化”工艺，设计处理规模为0.5t/8h。

处理设施出水水质满足《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准及《工业企业废水氮、磷污染物间接排放标准》（DB33/887—2025）的排放标准要求。达标后

纳入市政污水管网，最终由海盐县城乡污水处理厂处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准及《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）后，排入杭州湾。

职工生活污水经化粪池预处理后，直接排入市政污水管网，最终由海盐县城乡污水处理厂处理达标后排放。

本项目实验过程产生的非放射性废液不进入废水系统，全部作为危险废物分类收集、密闭暂存，定期委托有资质单位处置，避免了有毒有害物质进入水环境。

化粪池与废水处理设施可有效降低悬浮物、有机物等污染物浓度，减轻污水处理厂负荷；废水经多级处理后排放浓度远低于标准限值，对市政管网、污水处理厂运行及杭州湾水环境均无明显不利影响，不改变区域水环境功能类别。

综上，本项目非放射性废水经分类收集、分质处理、达标纳管，对周边水环境影响较小，环境影响可接受。

## （2）大气环境影响分析

由污染源分析可知，本项目营运期非放射性废气主要来自制备间溶液配置工序，废气主要为实验室无机酸性废气（硝酸雾、盐酸雾），及有机废气（以非甲烷总烃计）。

针对酸性无机废气，采用碱液喷淋中和处理，酸性废气在喷淋塔内与碱液充分接触，发生酸碱中和反应，实现酸雾的去除。经喷淋塔处理后的废气，进入高效过滤器去除颗粒物，再进入活性炭吸附装置，通过物理吸附作用去除非甲烷总烃，处理后的废气通过高空排气筒达标排放。活性炭吸附设备属于较为成熟的有机废气治理技术，对非甲烷总烃具有良好的吸附能力，吸附速率快、处理程度高、效果稳定，是目前应用最广泛的有机废气治理措施之一。

废气经上述治理设施处理后，各污染物能满足《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）、《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）相关要求：

非甲烷总烃有组织排放浓度小于  $60\text{mg}/\text{m}^3$ ，无组织排放监控点浓度小于为  $6.0\text{mg}/\text{m}^3$ ，满足《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）的要求；氯化氢有组织排放浓度小于  $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，无组织排放监控点浓度小于为  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ，满足《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）的要求；氮氧化物有组织排放浓度小于  $240\text{mg}/\text{m}^3$ ，无组织排放监控点浓度小于为  $0.12\text{mg}/\text{m}^3$ ，满足《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）的要求。

在确保废气治理设施稳定运行、排气筒高度满足规范要求的前提下，项目废气对周边大气环境影响较小，环境影响可接受。

### (3) 固体废物影响分析

本项目非放射性固废主要为一般工业固废、危险废物、生活垃圾等，分类收集、规范处置，实现固废减量化、无害化、资源化，无固废外排污染。

①一般工业固废：主要包括一般废包装材料、废反渗透膜，一般废包装材料定期交由物资回收单位回收利用，减少固废产生量，无二次污染；废反渗透膜由园区统一收集，当地环卫部门定期清运处置。

②生活垃圾：由厂区统一收集后交由环卫部门清运，符合城市生活垃圾处置管理要求，无随意堆放现象。

#### ③危险废物

##### A、危险废物贮存场所（设施）影响分析

危险废物暂存库位于于废水处理间北侧，建筑面积约 2.4m<sup>2</sup>，总贮存能力约为 2t。按《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）相关要求设计、建设密闭式危废堆场，做到防渗、防风、防雨、防晒要求，并根据危废产生量、种类及暂存周期分区规划。项目危废产生量约 4.96t/a，每 4 个月清运一次，单次暂存量约 1.65t，小于暂存间 2t 的设计能力，可满足项目危废暂存需求，对周边环境无不利影响。

危险废物暂存库为永久建筑，密闭设计，地面经防腐防渗处理，符合“防风、防雨、防晒、防渗漏”要求。危险固废暂存库的危险固废分质收集、分类存放。危废暂存间内用于存放危险废物的容器必须与所存放的危废具有良好的相容性，暂存间地面设置良好的防渗漏处理，使得暂存过程中万一泄漏出来的废液能得到有效收集，不会经地面渗入地面下，污染土壤和地下水环境，不会对周边地表水、地下水以及土壤环境产生影响。

##### B、危险废物运输过程环境影响分析

本项目危废均采用包装桶密封包装，委托有危废资质的机构进行运输及处置，运输车辆为专用车辆。危废运输车辆均按照规定计划路线行驶，正常情况下，危废运输过程不会对周边环境敏感点产生影响。

##### C、危险废物委托利用或处置的环境影响分析

本项目危险废物产生量不大，危废类别为 HW49，且区域内设置小微企业危废收集单位及嘉兴市固体废物处置中心等危废收集、处置单位，完全有能力处置本项目的危

废，因此项目危废委托处置具有环境可行性。

#### D、危险废物台账管理与申报

建立危险废物台账，是危险废物管理计划制度的基础性内容，是危险废物申报登记制度的基础。规范危险废物的贮存，按照《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)的要求，规范危险废物贮存容器、贮存设施、标识等。建设单位应当充分结合自身的实际情况，与生产记录相衔接，建立内部危险废物管理机制和流程，明确各部门职责，真实记录危险废物的产生、贮存、利用、处置等信息，保证建立危险废物台帐制度的良好运行。特别是要确保所有原始单据或凭证应当交由专人（如台帐管理员）汇总。危险废物台帐应当分类装订成册，由专人管理，防止遗失。有条件的单位应当采用信息软件辅助管理危险废物台账，危险废物台账保存期限至少为5年。

运营单位应通过国家危险废物信息管理系统向嘉兴市生态环境主管部门备案危险废物管理计划，申报危险废物有关资料。

综上所述，本项目固废处置符合“减量化、资源化、无害化”为基本原则，在自身加强利用的基础上，按照规定进行合理处置的前提下，本项目的固体废弃物不会对周围环境产生明显不利影响。

#### (4) 噪声影响分析

本项目营运期噪声主要来源于冻干机、离心机风机等设备，设备运行噪声值为60~75dB(A)，均为中低频噪声，项目通过设备降噪、布局降噪、管理降噪等措施进行噪声治理，降噪效果显著。

首先，选用低噪声型设备，对离心机、冻干机等高噪声设备加装减振垫、消声器，有效降低设备振动噪声和空气动力性噪声，从源头减少噪声产生；其次，将所有高噪声设备集中布置于设备间，与办公区物理分隔，利用墙体、楼板的隔声作用，阻断噪声传播；最后，合理安排设备运行时间，避免多台高噪声设备同时运行，降低噪声叠加效应，并定期对设备进行维护保养，防止设备故障产生异常噪声。

经上述降噪措施处理后，设备噪声经墙体隔声、距离衰减后，厂界噪声值可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)3类标准要求，项目周边无噪声敏感点，设备运行噪声对厂区工作人员及周边声环境无明显不利影响，不会改变周边声环境功能类别。

### 11.3 辐射事故影响分析

### 11.3.1 电子加速器可能发生的辐射事故

本项目电子加速器的安装、检修由设备厂家负责，建设单位只负责日常安全使用及管理。由于机房的屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的极小，可能发生的辐射事故主要包括：电子加速器正在运行时，人员误入治疗机房；工作人员还未全部撤离机房，中控室人员启动设备，造成有关人员被误照射。

#### 1、直线加速器辐射事故应急措施

(1) 事故发生后，应立即切断电源并通知同工作场所的工作人员离开，通知医院辐射事故应急处理领导小组；

(2) 应急处理领导小组启动应急处理预案，小组讨论及确定隔离区，疏散人群，保护好现场。同时，检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查；

(3) 及时报告生态环境、卫生主管部门；

(4) 配合上级有关部门对现场进行勘查以及环保安全技术处理，检测等工作，查找事故发生原因，进行调查处理和责任追究；

(5) 当发生故障的射线装置修复后，必须经有资质的放射卫生技术服务机构进行检测合格并报生态环境主管部门、卫生等行政主管部门批准后方可解除应急状态；

(6) 恢复正常的工作秩序，召集相关人员总结事故的经验教训，及时修订相关的管理体系和文件，杜绝同类事故再次发生。

#### 2、预防措施

一旦发现有人误入电子加速器机房，工作人员应立即利用最近的急停开关切断设备电源，启动企业辐射事故应急预案。为防止电子加速器辐射事故发生，应采取多种防范措施：

(1) 控制台上有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

(2) 条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定。

(3) 剂量控制联锁：安装有剂量监测系统，当吸收剂量未达到预选值时，照射终止。

(4) 控制台上配置有独立于其他任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐

照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

(5) 有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

(6) 有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

(7) 有全部安全联锁设施检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好运行状态。

(8) 有门机安全联锁，机房门关闭后设备才能开机，被打开时会自动关机。

(9) 有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

(10) 控制台和治疗室内均安有急停开关。

(11) 机房门外设置有声音警示作用的工作状态指示灯和电离辐射警示标志。

### 11.3.2 核素实验室可能发生的辐射事故

本项目核素实验室主要风险物质为放射性核素和实验中使用的危险化学品。由于用量不大，暂存量很小，不构成重大风险源。主要风险事故类型如下。

(1) 装有放射性核素物品的货包未按预定的时间到达时的事故。

(2) 由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。

(3) 由于操作不慎，有少量的液态危险化学品溅洒。

(4) 由于操作不慎，有少量的液态放射性同位素溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。如果 $\alpha$ 表面污染大于  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 或 $\beta$ 表面污染大于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 $\alpha$ 表面污染小于  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$ 表面污染小于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

### 11.3.3 事故防范措施

为了杜绝上述辐射事故的发生，建设单位应严格执行以下风险预防措施：

(1) 建设单位应定期对加速器机房、核素实验室屏蔽防护设计进行检查。工作开始前，应检查机房安全联锁装置、照射信号指示灯、声音提示装置与报警装置等防护安全措施是否正常运行；且要求工作人员每次上班时首先要检查各防护设施是否正常。如果发生防护设施故障失灵等现象，应立即修理，恢复正常，并严格按照各设备操作程序进行操作作业。定期认真地对本单位探伤装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行

整改，避免事故的发生。

(2) 凡涉及对探伤装置进行操作，必须按操作规程执行，探伤作业时操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置。

(3) 定期对使用射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期进行更换。

(4) 操作人员进行专业培训，加强管理，禁止未经培训的操作人员操作探伤装置。

(5) 建设单位应按相关规定要求，完善和加强管理，使放射性同位素始终处于监控状态。

#### **11.3.4 安全保卫措施**

为确保项目各辐射工作场所的安全，建设单位拟采用的安全保卫措施如下：

(1) 防火措施：辐射工作场所四周为实体结构墙体隔断，周围均没有易燃、易爆、腐蚀性等其他一切物品。

(2) 防水措施：辐射工作场所四周墙体防水性强，防水设计施工由专业施工队伍进行施工，对容易造成局部损坏的薄弱部位设置增强层。

(3) 防盗措施：各辐射工作场所拟安装摄像头。

(4) 防射线泄漏措施：本项目辐射工作场所由具有资质的单位设计、经计算满足环保要求。

综上，本项目各辐射工作场所的防火、防水、防盗以及防射线泄漏六防措施可行。

#### **11.3.5 应急处置预案**

(1) 发生辐射事故时事故单位应当立即切断电源、保护现场，并立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填报《辐射事故初始报告表》。

(2) 对于发生的误照射事故，应首先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。人为故意引起的或失窃引起的辐射照射，还应该及时向公安部门报告。

(3) 对在事故中受到照射的人员及时送到医院进行及时的医学检查和治疗。

(4) 分析确定发生事故的原因，记录发生事故时探伤装置的工作状态，以便及时确定事故时受到照射个体所接受的剂量。

## 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

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用Ⅱ类射线装置的单位应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科及以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；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。

#### 12.1.1 机构设置

本项目为公司首次开展核技术利用建设项目，目前处于筹建阶段。公司对乙级非密封放射性物质场所及Ⅱ类射线装置的放射防护安全应负主体责任，须尽快发文明确《辐射防护安全管理机构及职责》，应包括如下内容：

(1) 公司应确认本单位辐射工作安全责任人，设置以行政主管领导为组长的辐射防护领导机构，并指定专人负责射线装置运行时的安全和防护工作；

(2) 辐射防护领导机构应规定各成员的职责，做到分工明确、职责分明；

(3) 辐射防护领导机构应加强监督管理，建立并切实保证各项规章制度的实施。

(4) 本项目建成后，公司部门、人员均会有一定调整，要求企业根据人事变动情况及时调整，明确人员职责，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并应以文件形式明确各成员管理职责。

(5) 建设单位应指定专人担任辐射安全负责人，该负责人须按《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）要求，参加核技术利用辐射安全考核，专业类别选定“辐射安全管理”，考核合格后方可履行管理职责，并按规定参加每五年一次的再培训与再考核。

#### 12.1.2 辐射人员管理

##### 1、辐射工作人员培训

根据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853 号）和《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》（2019 年，第 57 号）文件，所有辐射工作人员必须通过生态环境部举办的辐射安全和防护专业知识培训及相关法律法规的培训和考核，尤其是新进的、转岗的人员，必须到生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）自主培训并参

加电子加速器辐照专业考核取得成绩单，经考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

公司拟新增 9 名持证辐射工作人员，其中：加速器相关岗位 6 名（含 4 名加速器操作人员、2 名加速器生产/销售人员）；核素相关岗位 3 名人员。

上述人员均由公司现有人员参加生态环境部组织的辐射安全与防护平台培训与考核，其中：加速器操作人员，报考“电子加速器辐照”，加速器销售人员需在客户场所安装调试，报考“电子加速器辐照”；核素实验室操作人员，报考“科研、生产及其他”。

所有人员考核合格后方可持证上岗，并按《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）要求，参加每五年一次的再培训与再考核。

## **2、个人剂量检测**

公司拟为新增辐射工作人员配置个人剂量计和个人剂量报警仪。使用个人剂量报警仪可及时知道自身所处环境的辐射水平，避免在不知情的情况下长时间在高辐射剂量率水平的工作场所滞留。个人剂量计需定期送检有资质单位（常规监测周期一般为一个月，最长不应超过三个月），并建立个人剂量档案。

## **3、职业健康体检**

新增辐射工作人员上岗前，应进行上岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准方可参加相应的辐射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离辐射工作岗位时，应进行离岗前的职业健康检查。公司应为辐射工作人员建立并长期保存职业健康档案。

公司拟组织 9 名新增辐射工作人员到有资质的医院进行上岗前体检，建立个人健康档案，并终生保存，并每 2 年进行在岗期间体检，离岗前进行离岗体检。

公司还应做到以下几个方面：本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人监测剂量档案应终生保存。

### **12.1.3 辐射安全和防护状况年度评估报告**

公司核技术利用项目正式开展后，应对开展的核技术利用项目辐射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辐射安全与防护状况年度评估报告。辐射安全与防护状况年度评估报告应包括辐射安全和防护设施的运行与

维护情况；辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；核素使用及电子加速器台账；场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；辐射事故及应急响应情况；存在的安全隐患及其整改情况；其他有关法律、法规规定的落实情况等方面的内容。

## 12.2 辐射安全管理规章制度

本项目为新建项目，建设单位应严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，建立健全操作规程、岗位职责、辐射安全和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、放射性“三废”管理方案、辐射事故应急预案等。具体管理要求如下：

**(1) 操作规程：**针对本项目电子加速器设备制定相应的操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及操作程序等，操作人员工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪，严禁无证上岗、违规操作。

针对项目使用放射性核素特性，明确各环节详细操作步骤与防护措施，重点如下：  
①严格按照规定流程操作，防止放射事故发生。②辐射工作人员必须佩戴个人剂量计与个人剂量报警仪，正确使用与穿戴个人防护用品。③外照射操作严格执行时间防护、距离防护、屏蔽防护原则。④液体放射性核素分离纯化等操作，在铺有吸水纸的易去污台面内进行。⑤严禁裸手直接操作非密封放射性物质与去污作业；开放性工作场所严禁吸烟、进食、饮水、化妆。⑥放射性“三废”严格按《放射性废物管理规程》执行。放射性操作在手套箱/通风橱内进行，操作前提前 40 分钟启动排风，确认负压与换气次数达标后方可操作；操作结束后继续通风 40 分钟再关闭系统。放射性废物铅桶粘贴耐辐射专用标签，注明核素类型、产生日期、活度估算值、废物类别（固/液）。

**(2) 岗位职责：**明确管理人员、辐射工作人员的岗位责任，使每个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

**(3) 辐射防护和安全保卫制度：**项目将根据射线装置与非密封放射性物质使用特点，建立专项辐射防护与安保制度：放射性核素实行专人管理、专库贮存、定期盘点，确保账物相符；定期对辐射监测仪器、安全联锁、通风系统、屏蔽设施等进行检查维护，发现故障立即停用检修；为工作人员配备合格防护用品，规范佩戴使用；按规定开展个人剂量监测与职业健康检查，建立并长期保存个人剂量档案与健康档案；放射性工作场所严格实行控制区、监督区分区管理，设置明显辐射警示标志与区域边界，严控人员准

入。

**(4) 电子加速器使用登记和台账管理制度：**记载设备名称、型号、序列号、安装日期、运行时间、检修记录、操作人员、任务名称等事项；同时对电子加速器说明书等资料建档保存；明确台账管理人员及职责，建立台账交接登记制度，制定电子加速器使用前审批及使用后注销制度，确保全流程可追溯。

**(5) 放射性核素使用、外销登记制度：**建立所有购入核素及外销的使用登记台账，从购入到使用到销售均有据可查，并有专人管理，确保正确无误，账物相符。

**(6) 放射性药物的销售管理制度：**公司需明确对销售对象的辐射安全许可证查验要求，不得将放射性核素销售给未许可单位。外销的放射性核素需根据核素种类、活度选择合适的包装容器，确保包装满足 GB11806-2019 的要求。销售的放射性核素运输委托有资质单位运输。公司对托运货包的表面污染和辐射水平检测负责，委托有资质的单位监测并编制辐射监测报告。同时向承运单位提交运输说明书、辐射监测报告、核与辐射事故应急响应指南、装卸作业方法、安全防护指南。

**(7) 设备检修维护制度：**分别明确非密封放射性物质使用设备、II类电子加速器及辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保射线装置及剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。具体要求：①每月对电子加速器的联锁系统、急停装置、冷却系统、屏蔽部件，非密封核素使用设备的密封性、通风橱风速，辐射监测仪器的功能有效性进行检查维护；②每年委托有资质单位对电子加速器的辐射输出剂量、屏蔽效果，非密封核素工作场所的表面污染水平、通风系统性能进行全面检测与维护；③设备发生故障时，立即停止使用并设置警示标识，非密封核素相关设备故障需先进行放射性污染排查，电子加速器故障需切断电源并确认无辐射泄漏后，再组织维修；维修全过程做好记录，故障未排除、验收合格前不得投入使用。

**(8) 人员培训计划：**明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

**(9) 辐射事故应急预案：**根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号文）及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，公司应成立以单位负责人为领导的辐射事故应急小组，明确小组职责及成员分工。针对项目可能发生的辐射事故类型，制定专项应急处置程序，有效控制

事故，及时制止事故的恶化，并按规定时限向当地生态环境部门、卫生健康部门报告，保证及时上报渠道畅通；且附上应急联系部门及内部联系人、设备厂家维修人员的联系方式。根据本单位实际情况，每年至少开展一次综合或单项应急演练，演练前编制演习计划，演练后进行总结评估并完善应急预案。

**(10) 自行检查和年度评估制度：**建立定期自行检查机制：①每月对核素贮存容器密封性、电子加速器安全联锁、辐射防护设施、监测仪器状态进行检查；②每季度对各项管理制度的执行情况进行核查；对发现的安全隐患，立即下达整改通知，明确整改责任人、整改时限，整改完成后验收闭环，避免事故发生。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求，每年对本单位的非密封放射性物质工作场所安全状况、II类电子加速器安全和防护状态进行全面年度评估，评估内容包括设备运行状况、防护措施有效性、制度执行情况、人员资质合规性、隐患整改情况等，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。

**(11) 辐射安全档案管理制度：**公司须建立个人剂量档案，辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。辐射工作人员如调离辐射工作岗位，公司应当将个人剂量档案终生保存；新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每两年委托相关资质单位对放射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康监护档案且终生保存。公司应在非密封放射性物质操作间、电子加速器机房入口处显著位置，张贴《操作规程》、《岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射事故应急预案》及辐射警示标识，并做好使用登记和台账记录工作。在日后的工作实践中，公司应根据核技术利用具体情况以及在工作中遇到的实际问题，并根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求及时进行更新、完善，提高制度的可操作性，严格按照制度进行。

## 12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，公司需制定辐射监测方案，包括个人剂量监测和辐射环境监测。

### 12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用II类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的监测设备。本项目拟配备的主要监测设备包括

固定式辐射监测仪、表面污染监测仪、环境辐射巡测仪、个人剂量计和个人剂量报警仪。具体见表 12-1。

**表 12-1 拟配备监测仪器设备与防护用品一览表**

| 序号 | 设备/用品名称                  | 数量   |
|----|--------------------------|------|
| 1  | 个人剂量计                    | 9 支  |
| 2  | 个人剂量报警仪                  | 4 台  |
| 3  | 固定式 $\gamma$ 辐射剂量率监测仪    | 15 台 |
| 4  | 固定式中子辐射监测仪               | 4 台  |
| 5  | 便携式 X- $\gamma$ 辐射巡检仪    | 4 台  |
| 6  | 表面污染监测仪                  | 2 台  |
| 7  | 铅防护服/铅围裙/铅手套             | 9套   |
| 8  | 一次性防护衣/手套/口罩             | 若干   |
| 9  | 防护眼镜、面屏                  | 2套   |
| 10 | 核素泄漏应急处理包（吸附垫、专用收集袋、去污剂） | 1 个  |
| 11 | 便携式洗眼瓶                   | 2 个  |
| 12 | 应急呼吸防毒面罩                 | 2 副  |
| 13 | 急救箱                      | 1 个  |

以上监测仪器按要求配备后，本次评价认为能够满足本项目的仪器配备要求。同时，本次评价建议公司每年准备相应资金采购更新辐射安全防护设施和设备，定期对相关检测设备进行校正和维护。

### 12.3.2 个人剂量监测

公司应严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理规定，为辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪，并根据每年的工作人员的变化增加个人剂量计。公司应落实个人剂量监测（常规监测周期一般为 1 个月，最长不超过 3 个月）和职业健康检查（不少于 1 次/2 年），对受到超剂量约束值的进行评价，跟踪分析高剂量的原因，优化实践行为，并指定专职辐射管理人员负责对个人剂量检测结果统一管理，建立档案，个人剂量档案将终生保存。

### 12.3.3 工作场所监测

公司可委托有资质的单位，定期对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向生态环境主管部门上报备案。

依据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），项目在运行前及运营期间应按规范要求开展辐射监测，并将每次监测结果记录存档备查。

**表 12-2 项目运行前监测计划**

| 工作场所   | 监测对象        | 监测范围               | 监测项目               | 委托监测 |
|--------|-------------|--------------------|--------------------|------|
| 辐射工作场所 | $\gamma$ 辐射 | 以工作场所为中心，半径 50m 以内 | $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率 | 1 次  |
|        | 土壤          | 以工作场所为中心，半径 50m 以内 | 总放                 | 1 次  |

根据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）等标准要求，本项目电子加速器辐射工作场所监测计划建议如下：

**表12-3 电子加速器辐射工作场所监测计划建议**

| 监测对象        | 监测方式 | 监测范围  | 监测项目    | 监测频率 | 监测依据   |
|-------------|------|---|---------|------|--|
| 电子加速器辐射工作场所 | 验收监测 | 加速器主机房、辐照室、测试机房、功率靶室、水冷机房四周屏蔽墙外30cm处、防护门门缝、防护门外30cm处、工作人员控制室等区域 | 周围剂量当量率 | 竣工验收 | 《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）等。 |
|             | 自主监测 |   |         | 1次/季 |  |
|             | 年度监测 |   |         | 1次/年 |  |

**表 12-4 本项目核素实验辐射工作场所运行期间辐射监测计划**

| 工作场所       | 监测对象        | 监测范围   | 监测项目  | 自行监测                     | 委托监测        |
|------------|-------------|--|---|--------------------------|-------------|
| 核素实验辐射工作场所 | $\gamma$ 辐射 | 控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面                  | $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率  | 1次/月                     | 1次/年        |
|            | 表面污染        | 控制区内地面、墙面、工作台面、通风橱表面、铅废物桶表面、各类设备仪器表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等 | $\beta$ 表面污染  | 每次工作结束（出现放射性核素洒落应及时进行监测） | 1次/年        |
|            | 土壤          | 以工作场所为中心，半径 50m 以内   | 总放  | /                        | 1次/年        |
|            | 废气          | 控制区各废气排放口  | 总放  | /                        | 1次/年        |
|            | 废水          | 衰变池  | 衰变池总 $\alpha$ 、总 $\beta$ ，如总 $\alpha > 0.5\text{Bq/L}$ ，总 $\beta > 1.0\text{Bq/L}$ ，应分析应用核素 | /                        | 如有应急废水产生处置前 |
|            | 放射性固体废物     | 铅废物桶表面   | $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率和 $\beta$ 表面污染  | /                        | 2次/年        |
| 个人剂量监测     | 个人剂量当量      | 每个辐射工作人员配备的个人剂量计   | $H_p(10)$   | /                        | 1次/季度       |

## 12.4 环保竣工验收

建设单位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设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或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。。

## **12.5 辐射事故应急预案**

### **12.5.1 应急预案制定要求**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》第四十一条规定，公司应根据可能产生的辐射事故风险，制定本单位的应急预案，做好应急准备。辐射事故应急预案主要包括以下内容：

- (1) 应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）。
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备。
- (3) 辐射事故分级与应急响应措施。
- (4) 辐射事故调查、报告和处理程序。
- (5) 生态环境、卫生和公安部门的联系部门和电话。
- (6) 编写事故总结报告，上报生态环境部门归档。

发生辐射事故时，事故单位需立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施并在2小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，首先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，并同时向当地卫生行政部门报告，当发生人为破坏行为时，及时向公安部门报备。

### **12.5.2 建设单位应急预案制定情况**

本项目投入运行后，公司应做好以下工作：

(1) 制定辐射事故应急培训计划方案，每年对与辐射事故应急有关的人员实施培训和演练，以验证该预案的有效性。演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，演习报告存盘。可提出将每年用于辐射应急工作的（包括应急装备、应急技术支持、培训及演习等）支出，纳入部门预算。

(2) 公司应根据实际情况定期组织修订放射事故应急预案，使其不断完善健全。

(3) 公司应定期开展隐患排查并及时消除隐患，防止发生事故。

### **12.5.3 辐射事故上报的要求**

一旦发生辐射事故，现场工作人员应立即停止工作同时报告公司辐射事故应急小组，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，且向嘉兴市生态环境局、嘉兴市生态环境局海盐分局报告。对于造成或可能造成人员超剂量照射的，还应向海盐县、嘉兴市公安局和卫生行政主管部门报告。

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 辐射安全与防护分析结论

##### 1、项目概况

###### (1) 电子加速器

本项目租用海盐泰山核电产业共享开发有限公司现有厂房新建电子加速器工作场所，开展II类电子加速器的研发、组装生产、自用测试与对外销售。

###### ①电子加速器的生产与销售

项目设置独立加速器生产用房，分区建设原材料区、检验区、成品区，完成加速器的机械、电气与控制系统组装及非辐射类出厂检验；计划年产并对外销售 5 台 10MeV II 类电子加速器，设备出厂前不涉及辐射类调试，相关调试工作在客户现场完成；同时生产 1 台双能量档位（40MeV/10MeV）电子加速器自用，设备完成组装与非辐射检验后，转运至辐射工作区开展后续辐射类工况。

###### ②电子加速器的使用

项目配套建设主机室、测试机房、辐照机房、功率靶室等辐射工作区，自用加速器可实现 40MeV/10MeV 双能量档位运行，通过偏转磁铁实现束流路径切换，各工况互斥运行，主要开展三类作业：40MeV 功率打靶工况：用于设备性能验证与系统稳定性测试；10MeV 设备测试工况：用于控制系统与安全联锁验证；10MeV 辐照加工工况：对外提供商业化辐照加工服务。

所有工况均通过中控室实现集中控制、参数监测与数据记录。

###### (2) 核素实验室

本项目核素实验室位于租用厂房内，分为非放射性区域与放射性区域。非放区设置制备间，用于核素分离纯化前的溶液配制等预处理工作；放射性区域包括热室、分离纯化间、储源室、放射性暂存间及衰变池等功能区。

项目各核素日等效最大操作量之和为  $3.92 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。主要对外购的<sup>225</sup>Ac、<sup>226</sup>Ra、<sup>67</sup>Cu、<sup>99</sup>Mo、<sup>47</sup>Sc 五种核素开展分离纯化，提纯后作为产品对外销售。

核素成品分区存放于储源室，其中长半衰期核素<sup>226</sup>Ra 与其他短半衰期核素分开贮存，均采用铅屏蔽容器密封保管，并按核素名称、活度、生产日期等规范标识，确保放

射性物品安全管理。

## 2、项目位置

本项目地址为嘉兴海盐秦山街道金源东路 388 号秦山同创产业园 A 幢南侧，四周情况如下：东侧为浙江景融核科技有限公司；南侧紧邻海盐加美五金科技有限公司，再往南为金湾路；西侧紧邻金禄路，隔路为嘉兴星辰汽车零部件有限公司、嘉兴凯鑫五金科技股份有限公司、海盐县庆丰化工有限公司等企业工业；北侧为施工场地。

## 3、项目分区及布局

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，本项目辐射工作场所划分为控制区、监督区，实行分级管控：

### ①电子加速器

控制区：将加速器机房及迷道区域划分为控制区，在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常工作过程中，区内不得有人员滞留。

监督区：将辐射工作场所外相邻区域区域、上下货区、中控室内及相邻的房间划为监督区，在监督区边界的地面上划警戒线，加速器工作过程中，除辐射工作人员，禁止其他人员进入监督区区域，定期检测监督区的辐射剂量。

### ②核素实验室

控制区：将热室、分离纯化间、储源室、放射性暂存间、衰变池区域划分为控制区，在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常工作过程中，区内不得有人员滞留。

监督区：将卫生通过间（更衣间、换鞋间、去污间、洁具间等）、非放制备间、危废间、废水处理间、走廊等划为监督区，在监督区边界的地面上划警戒线，加速器工作过程中，除辐射工作人员，禁止其他人员进入监督区区域，定期检测监督区的辐射剂量。

## 4、辐射安全防护措施结论

### ①电子加速器

本项目加速器机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：加速器机房由混凝土浇筑的机房和迷道组成，加速器机房与操作间（夹层）分离，辐照室内设为不规则型迷道，上下货位置在迷道出入口侧以外布置，直射经多道强屏蔽，减小对上下货

人员的辐射影响。机房内拟设置独立的多重联锁装置、警示装置、监控装置、急停按钮、固定式辐射监测装置等多项安全防护措施，机房防护门出入口拟设计电离辐射警告标志等安全管理措施。建设单位为辐射工作人员配备了个人剂量计，并配备了个人剂量报警仪，场所配备了 X-γ辐射监测仪。本项目辐射工作场所拟设置一套满足要求的并联衰变池组（接冷却水检修排水管）、放射性废气专用排风管线及“初效+中效过滤器+活性炭吸附”装置。

## ②核素实验室

辐射屏蔽防护设计：厂房内部根据各功能布局主要采用混凝土进行屏蔽。项目各辐射工作场所主要采用操作通风橱、手套箱、铅桶、铅罐等进行屏蔽，能够满足项目辐射防护要求。

辐射防护相关措施：对辐射工作场所进行分区管理，划分为监督区和控制区，控制区并设置相应的电离辐射警告标志，限制无关人员进入。建设单位拟制定针对性的操作规程，职业人员工作时穿戴相应的个人防护用品。为辐射工作人员配备了个人剂量计，并配备了个人剂量报警仪，场所配备 X-γ辐射监测仪、表面污染监测仪等；定期对辐射工作人员开展个人剂量监测和职业健康检查监护。在落实以上辐射安全措施后，本项目辐射工作场所辐射安全措施能够满足辐射安全防护的要求。本项目辐射工作场所拟设置电离辐射警告标志、建立台账、视频监控系统等；设置有一套满足要求的并联衰变池组（接放射性废水排水管）、铅桶、放射性废气专用排风管线及“高效过滤器+活性炭吸附”装置。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

## 5、辐射安全管理结论

建设单位应成立辐射安全防护管理机构，负责辐射安全与环境保护管理工作。建设单位应根据实际情况及本报告要求，尽快完善相应的辐射管理制度和操作规程，以适应当前环保的管理要求；建设单位拟对新增辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。嘉兴耀核速康科技有限公司在完善相应的辐射管理制度和操作规程后，能够具备从事辐射活动的能力。

### 13.1.2环境影响分析结论

#### 13.1.2.1 辐射环境影响分析结论

##### ①电子加速器

经理论预测，本项目电子加速器投入运行时，辐照加速器机房周围环境辐射剂量率均满足标准的相关要求。在做好辐射安全措施的基础上，本项目辐射工作人员和公众成员的年有效剂量均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众成员的年剂量限值要求以及本项目的年剂量约束值（职业人员 $\leq 5.0\text{mSv/a}$ 、公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ）的要求。

## ②核素实验室

经理论预测分析，本项目辐射工作场所运行时控制区实体边界外 30cm 处周围剂量当量率均小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，通风橱外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，各关注点位的周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，对周围辐射环境影响较小。

经理论估算，本项目辐射工作场所辐射工作人员和周围公众所受年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值要求。

### 13.1.2.2 “三废”环境影响分析结论

#### （1）电子加速器

①放射性三废：本项目电子加速器循环冷却水接入衰变池，冷却废水暂存于衰变池，定期交由具备相应资质的单位进行处置。项目正常运行时不产生放射性固体废物，仅在设备运行过程中可能产生废靶，应按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）要求，对废靶外表面进行辐射剂量率监测，确认符合解控水平后，由设备厂家回收处置，避免二次污染。本项目 40MeV 档位电子加速器产生的 X 射线最大能量为 40MeV，需考虑光中子与感生放射性影响：40MeV 电子束轰击重核靶材时，通过光核反应产生光中子，主要分布于加速器靶区周边。项目在靶区周边设置硼聚乙烯中子屏蔽层，屏蔽层表面涂刷防辐射涂层；定期对屏蔽层进行巡检，检查是否存在破损、脱落等情况，确保辐射剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求。高能 X 射线及中子可使加速器结构材料、靶材及周边部件被激活，产生感生放射性核素。设备停机后需经过足够时间衰变冷却，方可开展检修或部件更换作业，冷却期间严禁人员进入机房。检修前，建设单位对设备及周边部件进行感生放射性活度监测，达标后方可由专业人员穿戴防护装备实施检修；检修产生的废旧部件按放射性固体废物要求暂存、回收处置，严禁随意丢弃。综上，项目落实各项放射性污染防治与辐射安全防护措施后，放射

性“三废”均可得到有效控制，不会对周围环境造成不良影响。

②非放射性三废：加速器运行时，电子束在空气中穿行过程与空气相互作用而产生臭氧和氮氧化物等气体，非放射性废气经密闭收集、风机抽排后经高空排气筒达标排放，厂界污染物浓度远低于标准限值，无明显异味，对周边大气环境质量无不良影响。加速器营运期产生职工生活污水，经化粪池预处理达标后纳入市政污水管网，由海盐县城乡污水处理厂处理后排入杭州湾，不会对周边水环境造成明显影响。

## （2）核素实验室

本项目营运期产生的放射性三废、非放射性三废及噪声，均依托针对性的治理措施实现了规范化管控、无害化处理，各污染物经处理后排放/处置均满足国家及地方相关标准要求，对项目厂区及周边大气、水、土壤、声环境的影响极小，不会改变周边环境功能区划，辐射剂量贡献及污染物排放浓度均处于安全可控范围，具体结论如下：

①放射性三废：放射性废水经专用屏蔽管道收集后送入大容量衰变池暂存衰变，达标并经监管部门核准后排入市政污水管网，全程密闭监测、无泄漏风险，对水环境及生态系统辐射影响可忽略；放射性废液产生于核素分离纯化工艺，实行分类管控，不含<sup>226</sup>Ra等短半衰期核素的废液经铅屏蔽收集、衰变至少100天后，监测达标并经批准按危险废物处置，含<sup>226</sup>Ra的长寿命废液单独封装贮存，交由专业资质单位专项处置；放射性废气为含核素的气溶胶，经局部密闭收集后通过“高效过滤器+活性炭吸附”组合工艺处理后高空排放，过滤器运维管理完善，气溶胶去除效率高，大气扩散后对周边公众辐射剂量贡献远低于标准限值；放射性固废按“源头分类、密闭收集、衰变减容、解控处置”原则管控，短半衰期核素自然衰变达标后按普通危废处置，全流程可追溯、无外排污染，对厂区及周边环境无辐射危害。整体而言，项目放射性三废治理措施技术可行、管理到位，辐射环境影响处于安全可控水平。

②非放射性三废：项目生产废水经专用管道收集后，进入废水处理间统一处理，采用“pH调节+混凝+臭氧氧化+复合吸附过滤+紫外光氧化”工艺处理，出水满足市政纳管标准后排入污水管网，最终由海盐县城乡污水处理厂处理达标后排入杭州湾。生活污水经化粪池预处理后直接纳管。实验产生的非放射性废液全部按危险废物处置，不外排，对区域水环境无不利影响；非放射性无机废气、有机废气，经密闭收集后采用碱液喷淋塔中和处理，后经过“高效过滤+活性炭吸附”组合工艺处理，高空排气筒达标排放，污染物收集效率、处理效率高，厂界及敏感点污染物浓度远低于标准限值，无明显异味，

对周边大气环境质量无不良影响；非放射性固废严格按“一般工业固废、危险废物、生活垃圾”分类处置，一般工业固废统一清运、部分回收利用，危险废物规范暂存并委托有资质单位安全处置，生活垃圾由环卫部门清运，各类固废暂存区域做好防渗、防扬散处理，无二次污染，对土壤、地下水环境无不利影响。项目非放射性三废治理遵循分质分类、无害化处置原则，处置方式符合国标要求，污染物排放对周边环境影响极小。

噪声项目运营期噪声为设备运行产生的中低频噪声，通过选用低噪声设备、加装减振消声设施、高噪声设备集中布置、合理管控运行时间等多重降噪措施，有效降低了噪声产生与传播，经墙体隔声、距离衰减后，厂界噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准要求，且项目周边无噪声敏感保护目标，设备运行噪声对厂区工作人员及周边声环境无明显不利影响。

综上，本项目已针对运营期各类污染物制定了完善、可行的治理措施，各项防治措施可确保污染物达标排放/规范处置，污染物排放对周边大气、水、土壤、声环境的影响均处于安全可控范围，无明显环境风险，项目的建设运营在污染治理及环境影响方面均符合国家及地方生态环境保护相关要求。

### 13.1.3 可行性分析结论

#### （1）产业政策符合性分析结论

本项目属于核技术在工业领域内的运用，根据中华人民共和国国家发展和改革委员会第7号令《产业结构调整指导目录（2024年本）》相关规定，本项目属于第六项“核能”中第4条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目，为国家鼓励类产业，本项目不属于限制类、淘汰类项目，符合国家当前的产业政策。

#### （2）实践正当性分析结论

本项目核心建设内容及应用方向明确：其中电子加速器的10MeV档位将用于产品开发、对外技术服务及研发测试；电子加速器的40MeV强流将搭建医用同位素生产关键技术平台，值得强调的是，40MeV强流电子束源在医用核素生产领域具有不可替代性，缺乏该核心技术支撑，将无法进入相关高价值同位素的批量生产赛道，而同位素化学分离与纯化能力是保障批量生产的关键配套技术。本项目产生的经济利益和社会效益足以弥补其可能引起的辐射危害，经辐射屏蔽防护和安全管理后，其运行所致辐射工作人员和周围公众成员的年有效剂量符合剂量约束值的要求，也符合《电离辐射防护与

辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。因而，按照规范正当操作，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

### （3）选址合理性分析

本项目建设地点用地性质为工业用地，周围无环境制约因素。本项目 50m 评价范围内主要为内部建筑及道路等，不涉及生态保护红线，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。经辐射环境影响预测，本项目运行过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施对周围环境和公众成员的辐射影响是可接受的。因此，本项目的选址合理可行。

### （4）项目可行性

综上所述，本项目选址合理，符合国家产业政策，符合海盐县生态环境分区管控动态更新方案的要求，具有实践正当性，该项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，建设单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

## 13.2 建议与承诺

### 13.2.1 建议

建设单位应加强辐射安全教育培训，提高辐射工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

### 13.2.2 承诺

（1）建设单位在本项目报批后，承诺及时向生态环境部门申请辐射安全许可证。

（2）建设单位承诺在本项目正式运行前按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）的相关要求，在规定的验收期限内（一般不超过 3 个月），对配套建设的环境保护设施进行验收，编制竣工验收报告。

## 表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见:

经办人: 公章  
年 月 日

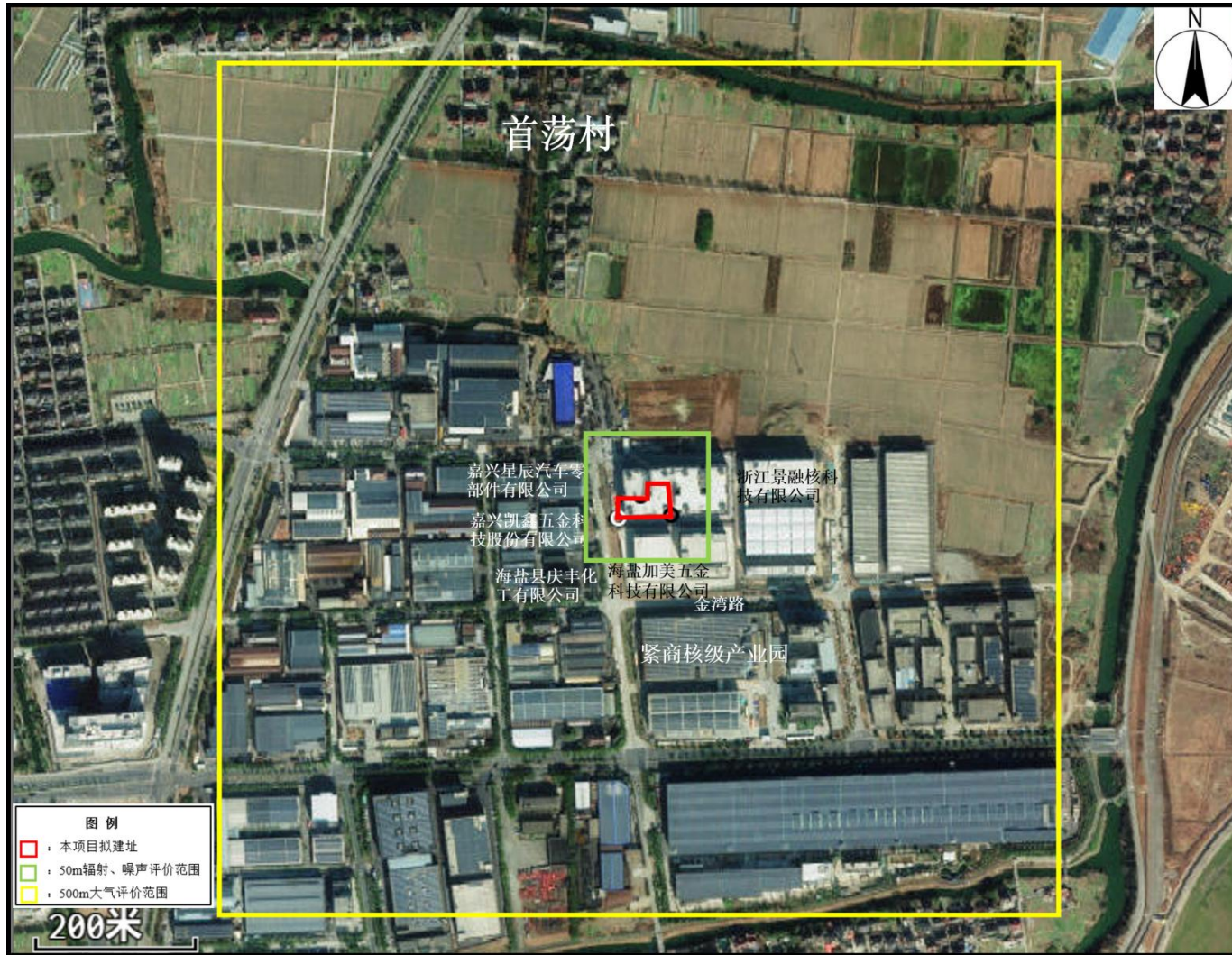
审批意见:

经办人: 公章  
年 月 日

附图 1 本项目地理位置示意图



附图 2 周边环境及评价范围示意图



附图 3 项目周围环境实景图



项目拟建址



园区内道路（东侧）



浙江景融核科技有限公司（东侧）



衰变池拟建址（项目南侧）



海盐加美五金科技有限公司（南侧）



金禄路（西侧）



嘉兴星辰汽车零部件有限公司（西侧）



嘉兴凯鑫五金科技股份有限公司（西侧）



园区内道路（北侧）



项目拟建址北侧



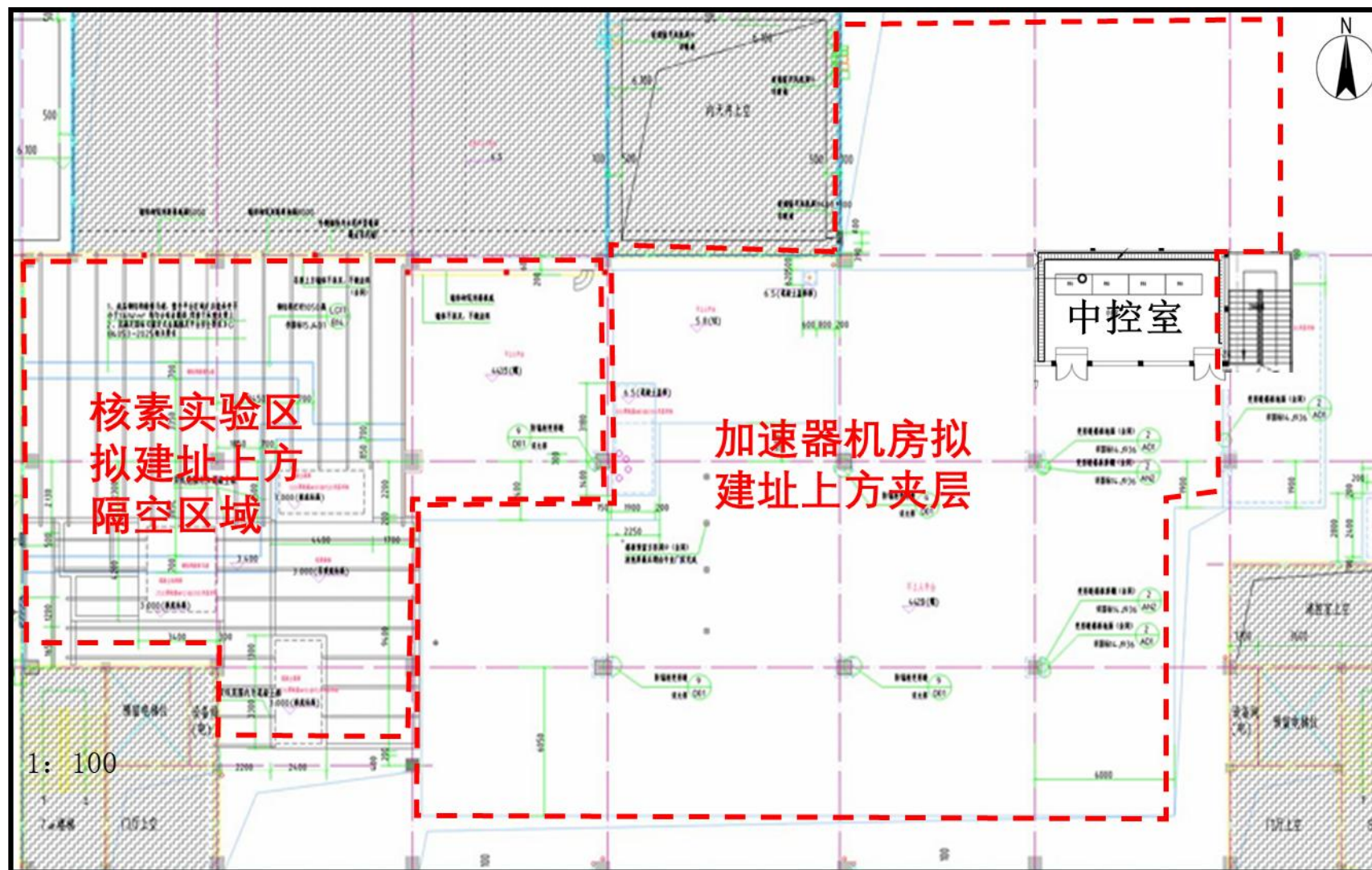
项目拟建址正上方



首荡村



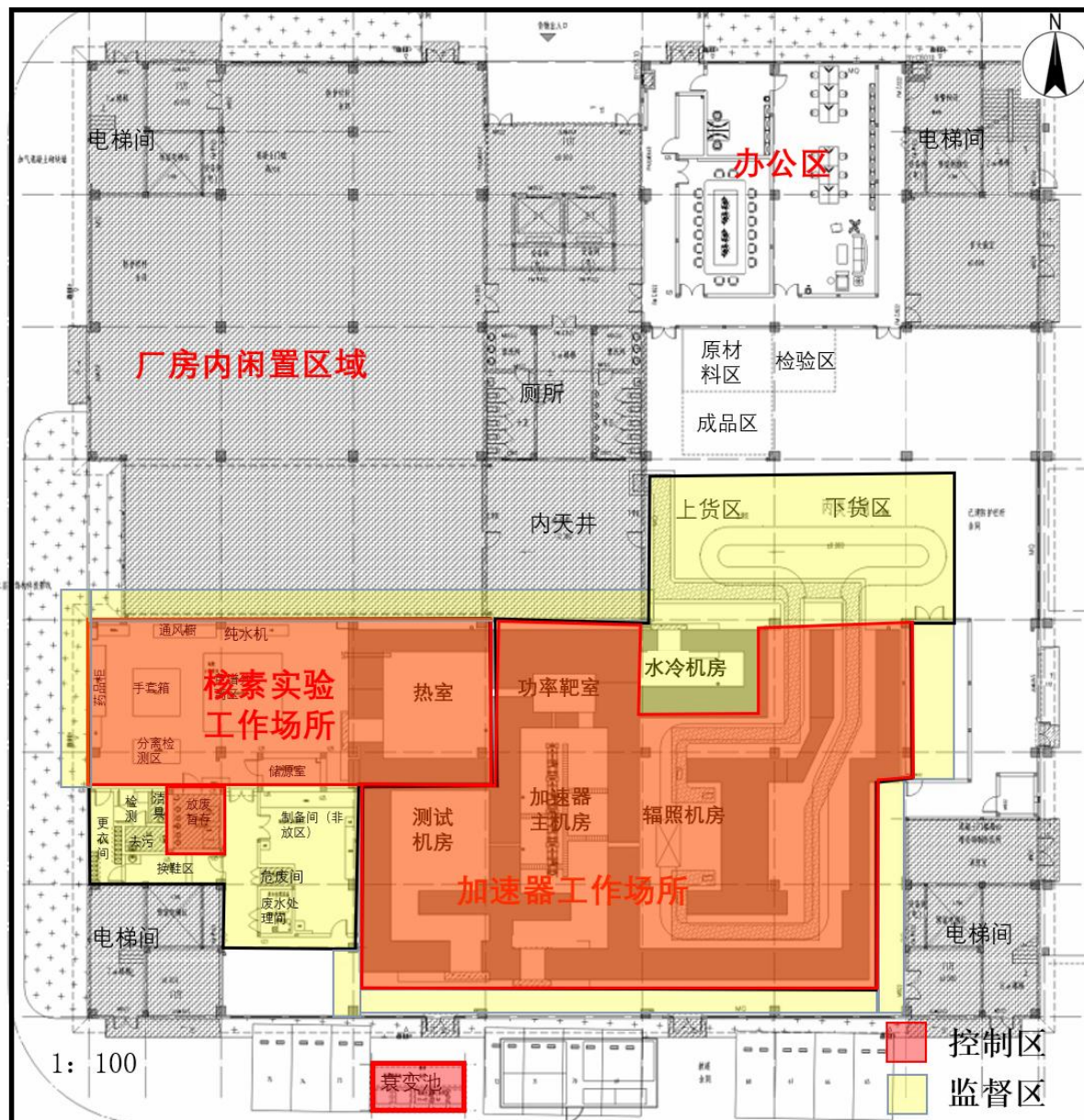
附图 5 夹层平面布置图

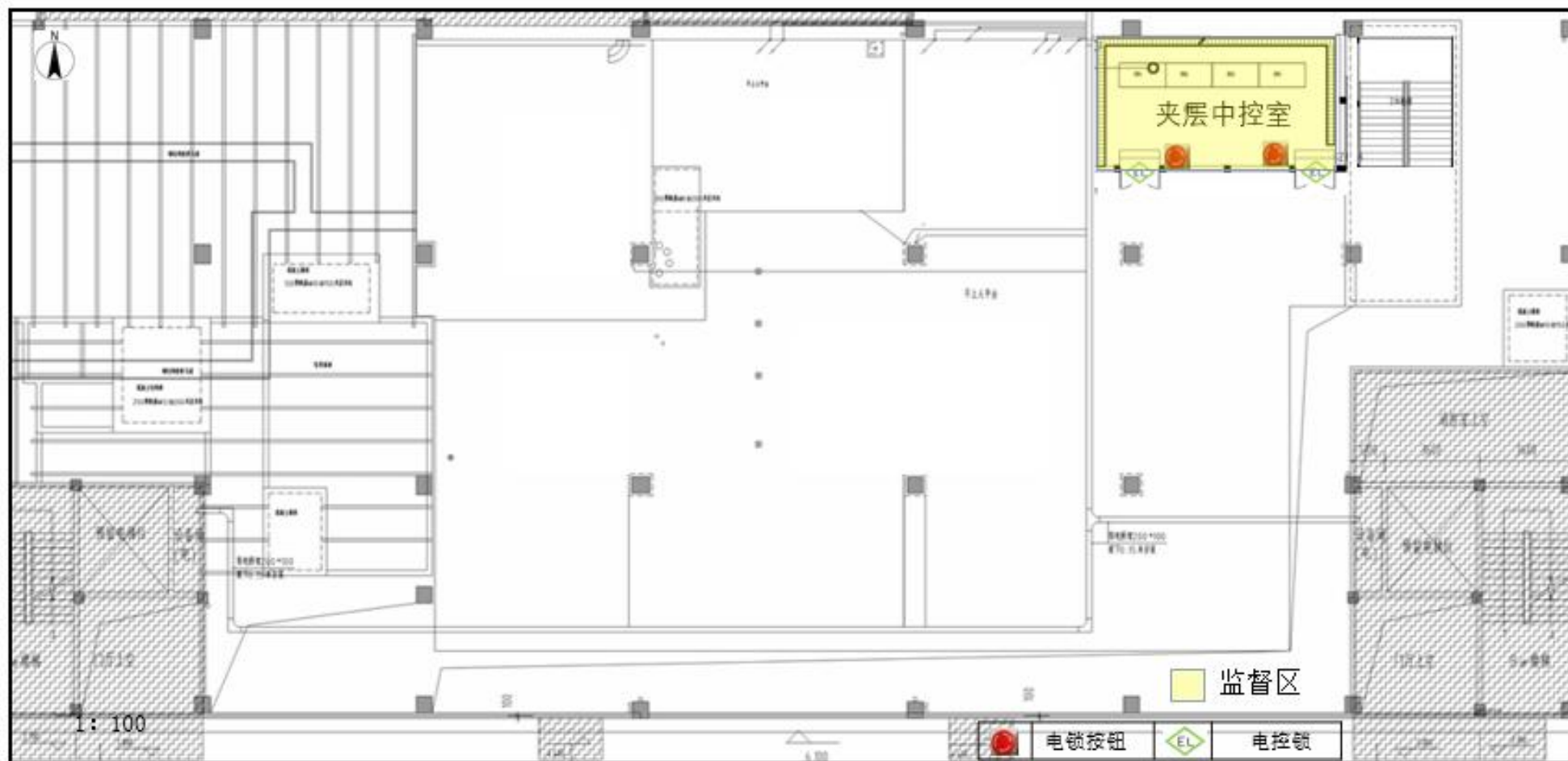


附图 6 海盐县声环境功能区区划图

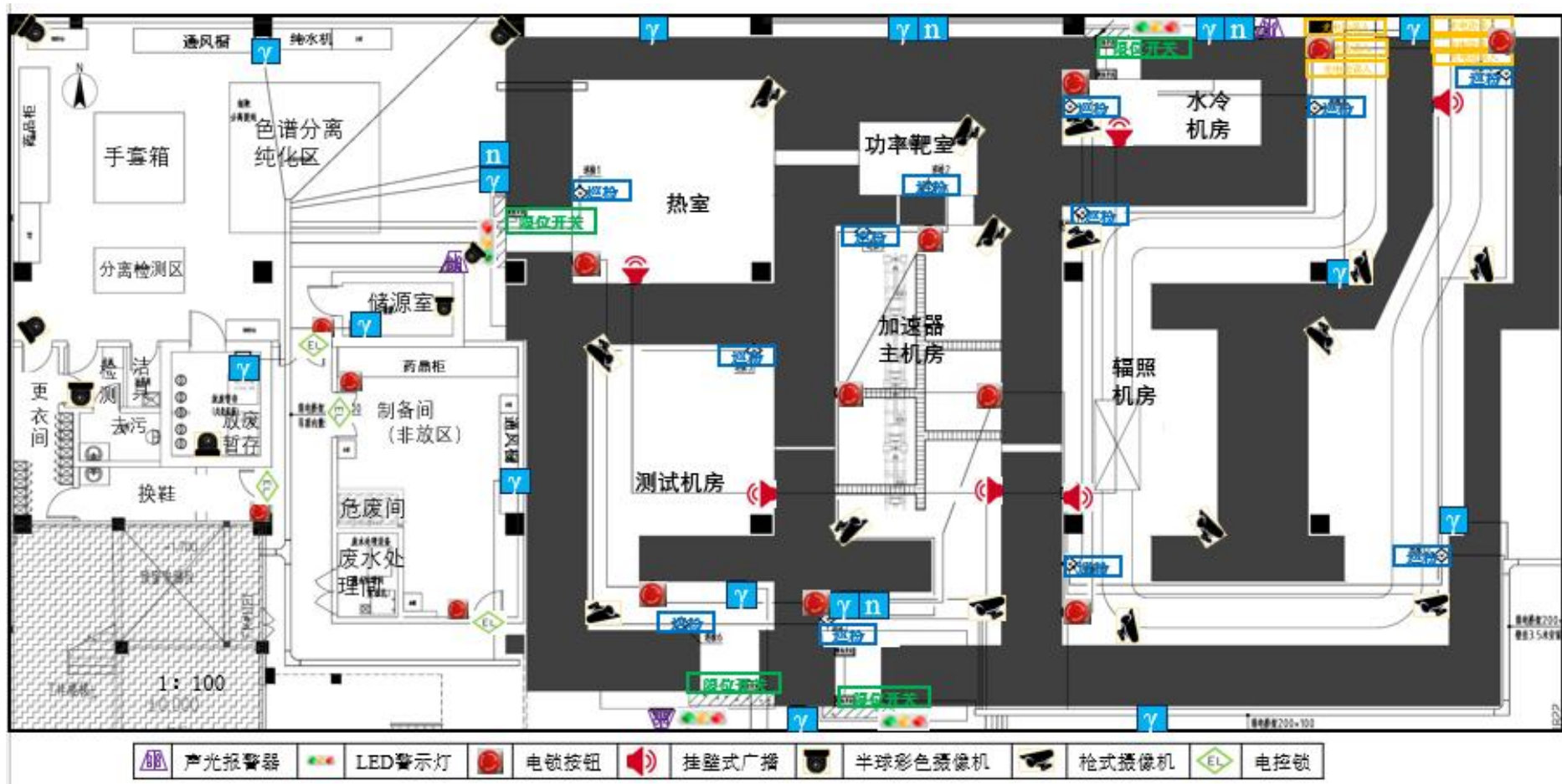


附图 7 本项目两区划分布置示意图

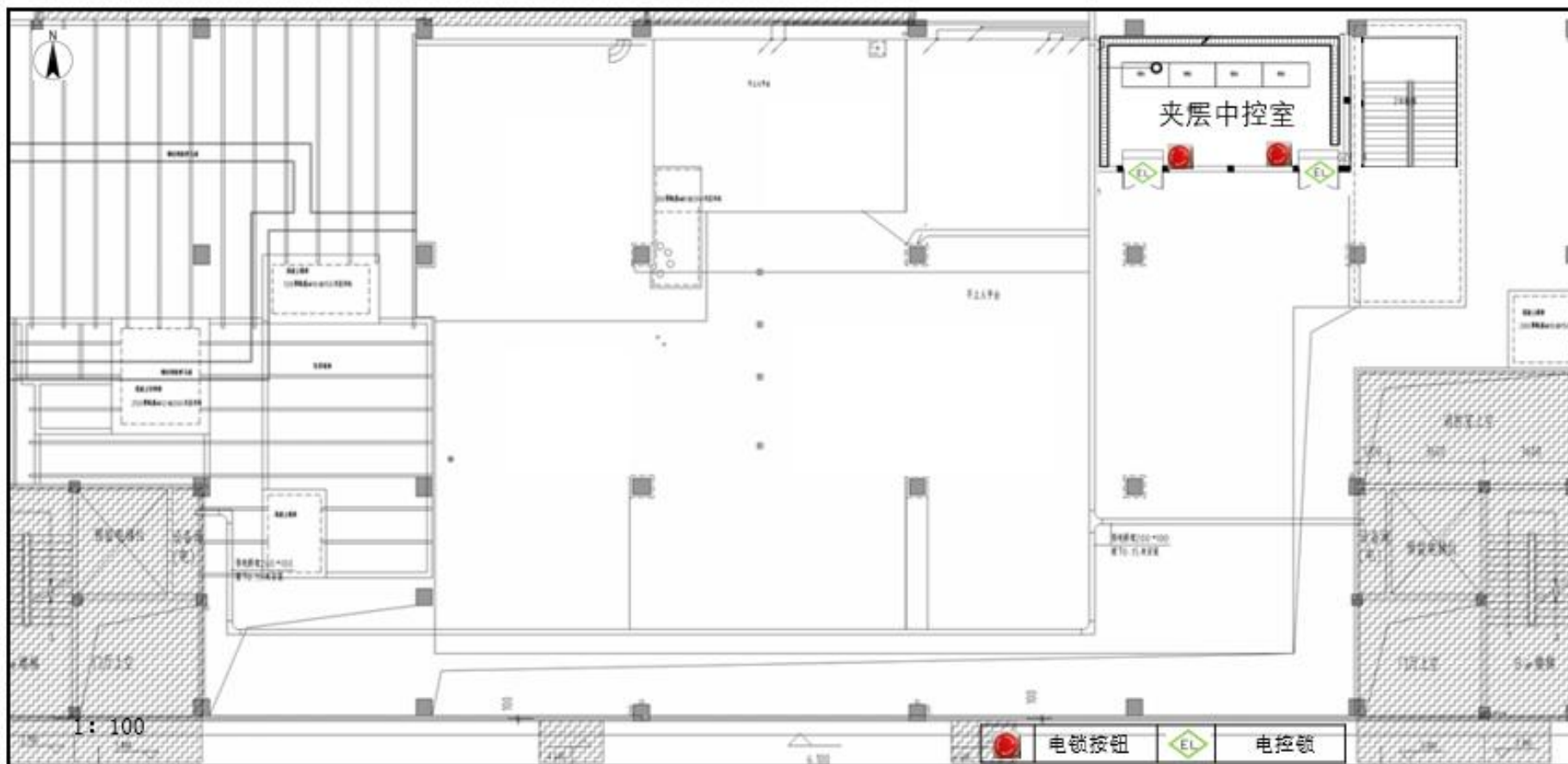




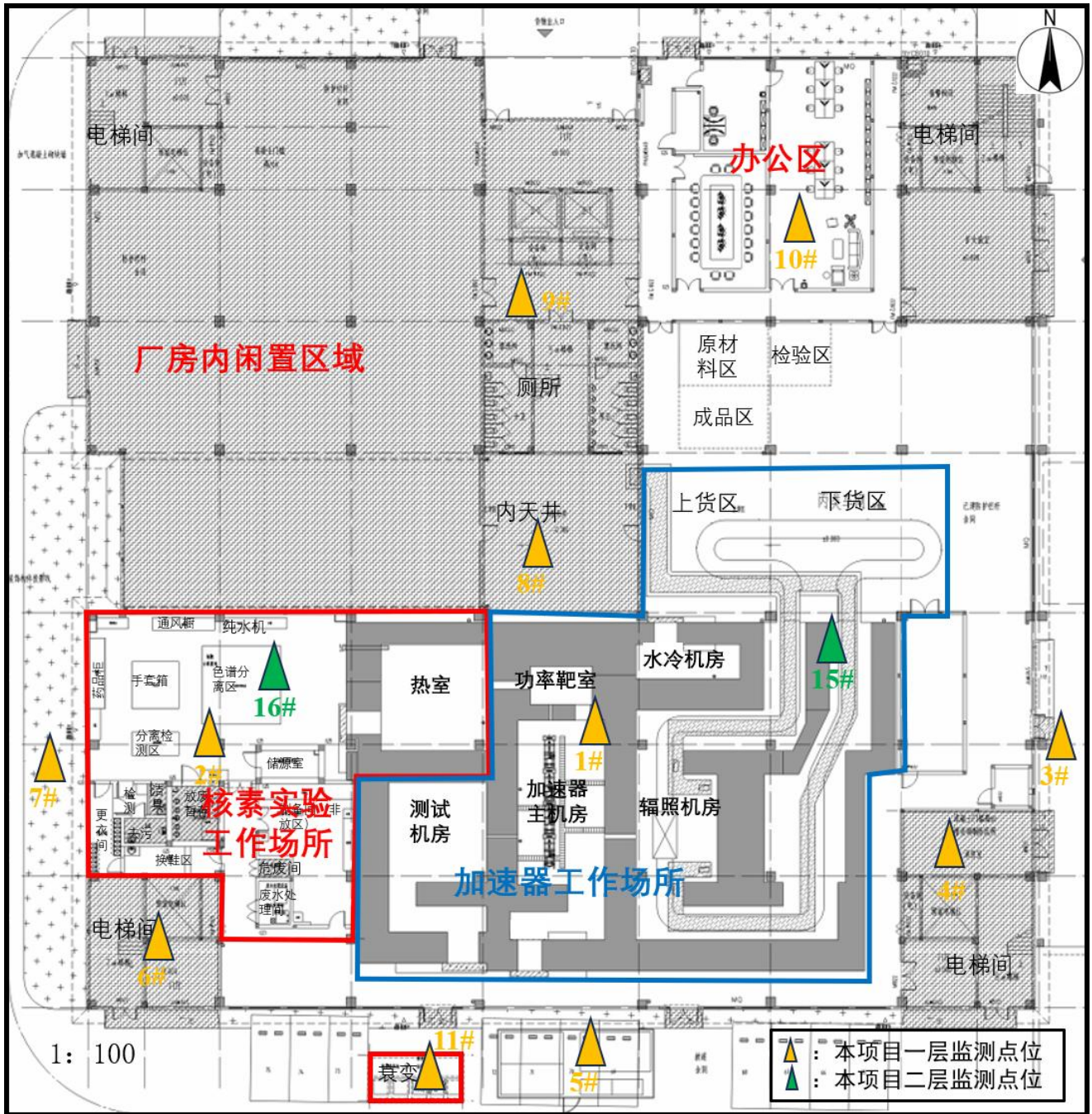
附图 8 一层辐射安全平面布置图



附图9 夹层辐射安全平面布置图



附图 10 本项目监测点位图

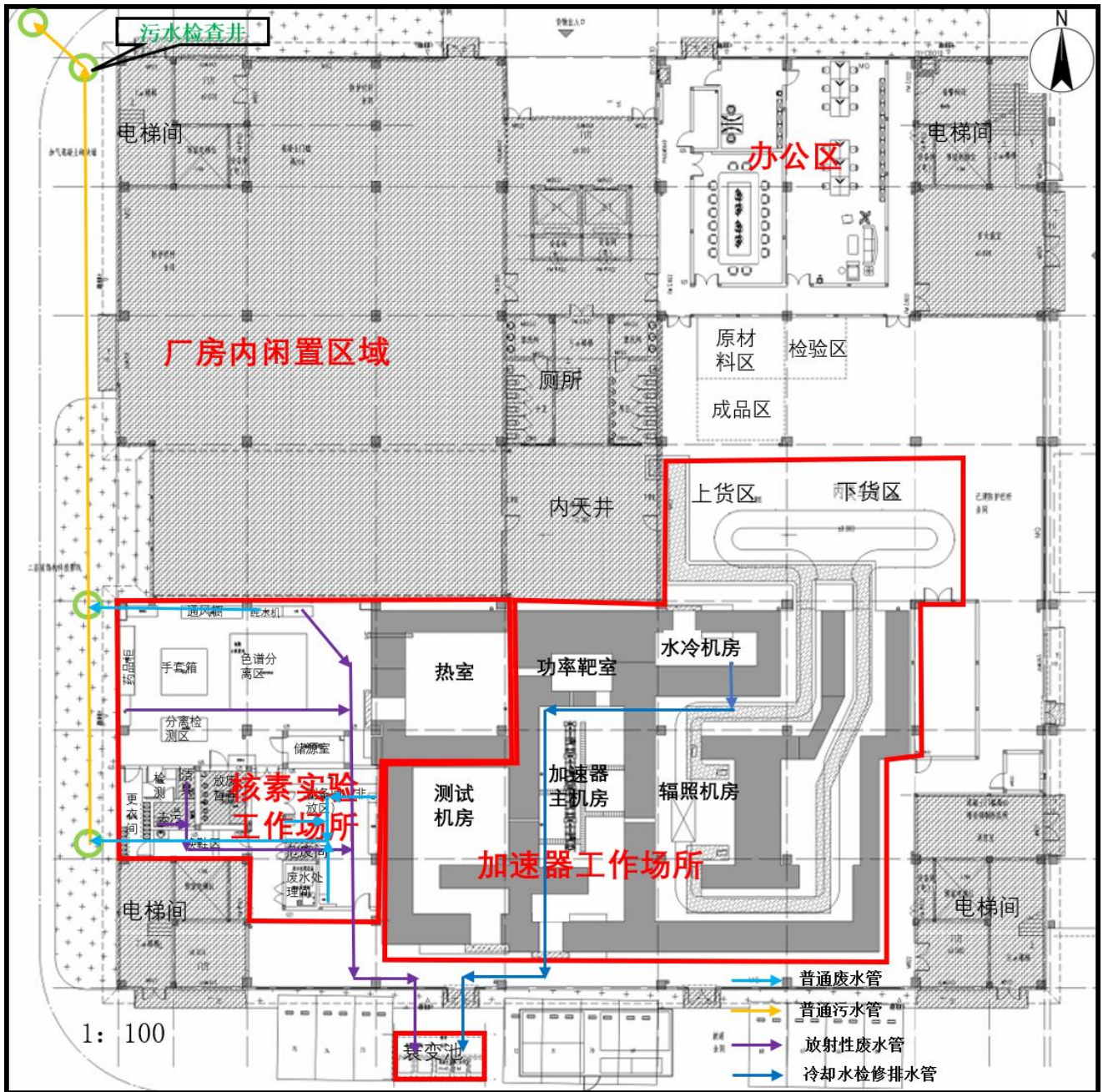


附图 10 (a) 本项目拟建址及周围辐射环境质量现状监测点位图

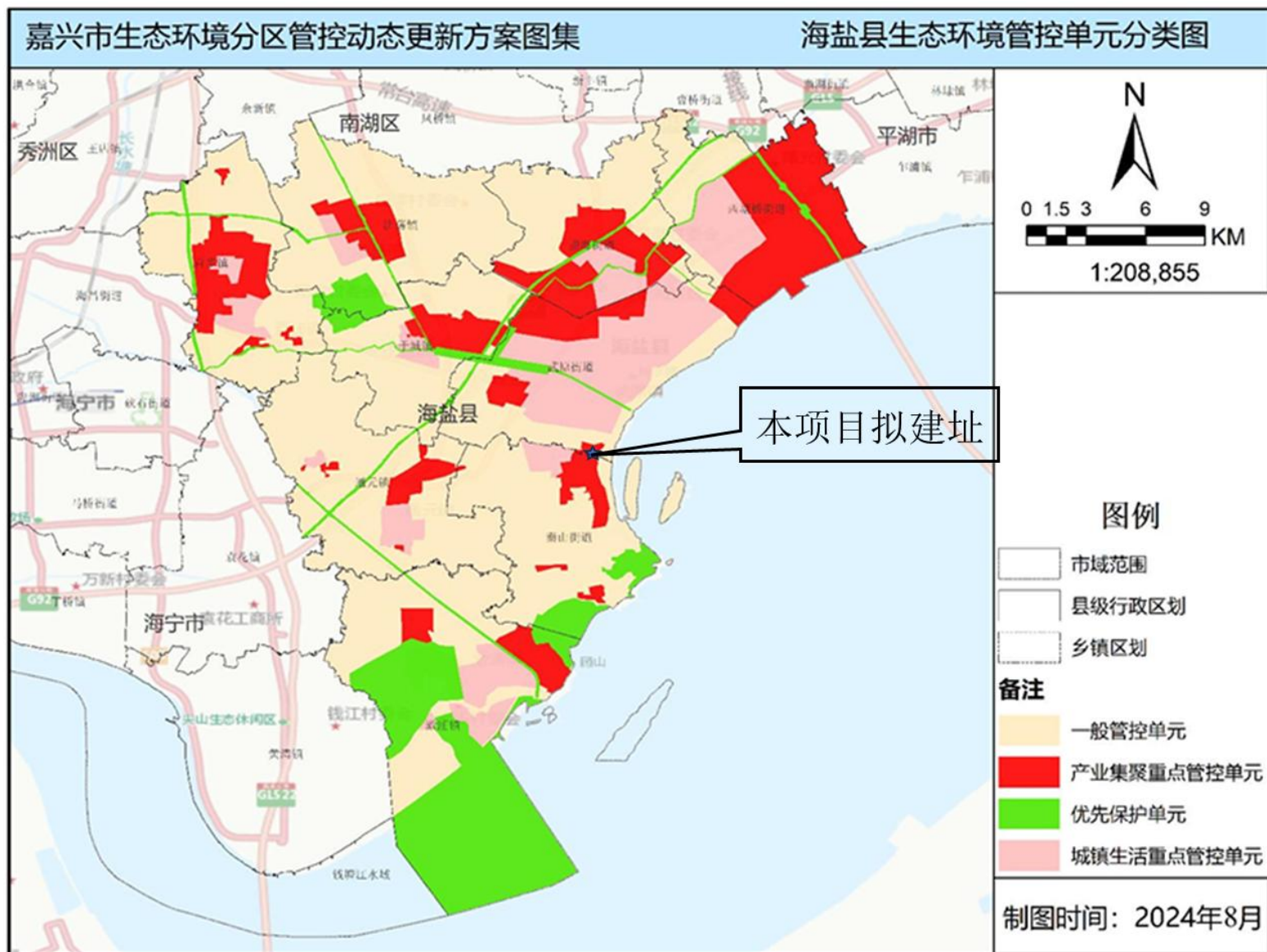


附图 10 (b) 本项目拟建址及周围辐射环境质量现状监测点位图

附图 11 废水线走向示意图

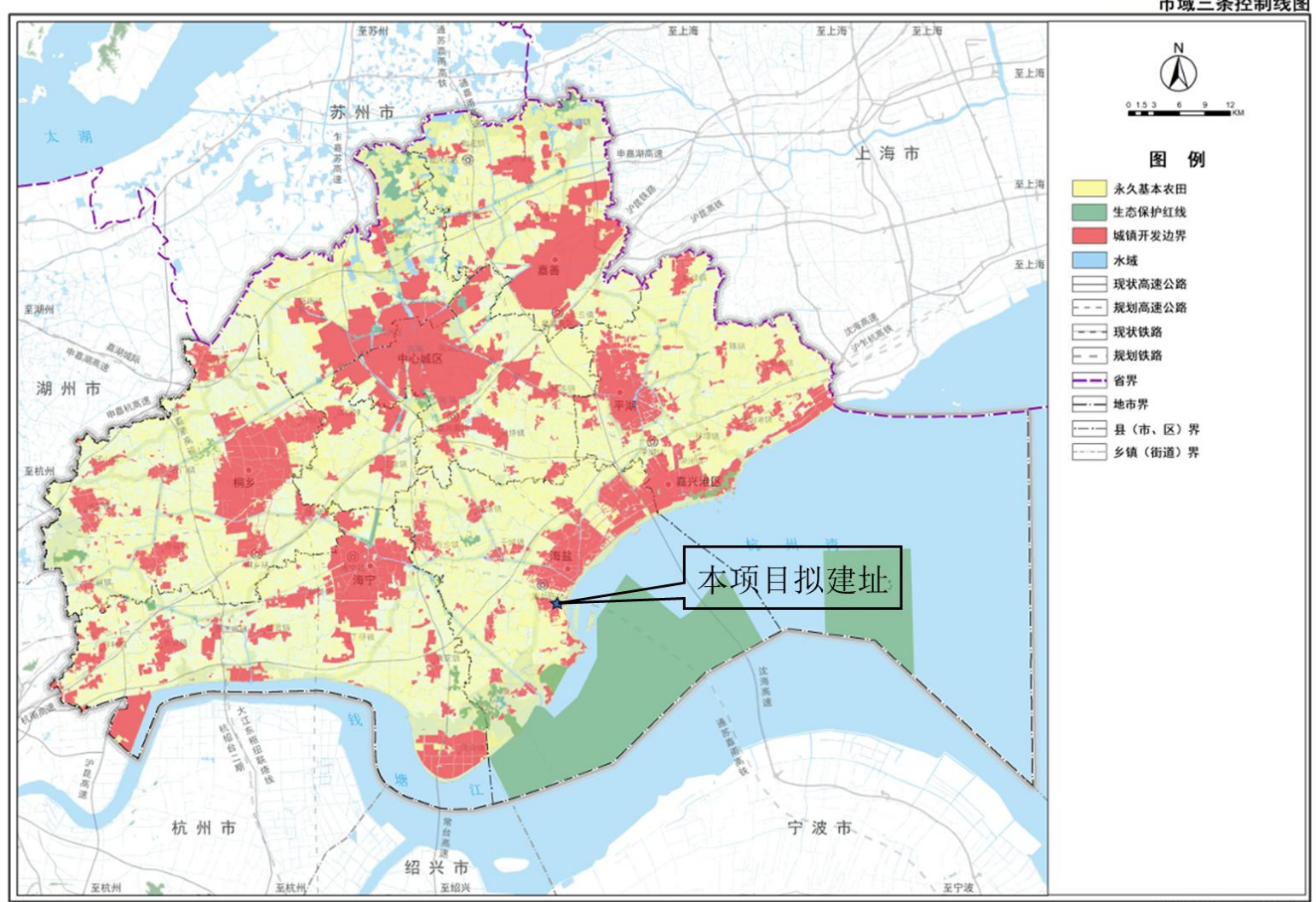


附图 12 海盐县生态环境管控单元分类图



附图 13 嘉兴市三区三线图

嘉兴市国土空间总体规划（2021-2035年）



## 附件 1 环评委托书

### 环评委托书

卫康环保科技（浙江）有限公司：

根据《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》的有关规定，我单位加速器生产、使用、销售及同位素使用、销售项目需要进行环境影响评价，现正式委托贵公司承担该项目环境影响评价工作，请接受委托后尽快开展工作。

特此委托！



委托单位（盖章）：嘉兴希捷卫康科技有限公司

2026年2月25日

附件2 备案（赋码）信息表

浙江省企业投资项目备案（赋码）信息表

备案机关：海盐县发展和改革局

备案日期：2026年02月03日

|            |                     |  |                |        |             |           |        |           |
|------------|---------------------|--|----------------|--------|-------------|-----------|--------|-----------|
| 项目基本情况     | 项目代码                | 2602-330424-04-01-699583   |                |        |             |           |        |           |
|            | 项目名称                | 加速器生产、使用、销售及同位素使用、销售项目   |                |        |             |           |        |           |
|            | 项目类型                | 备案类（内资基本建设项目）  |                |        |             |           |        |           |
|            | 建设性质                | 新建   | 建设地点           |        | 浙江省嘉兴市海盐县   |           |        |           |
|            | 详细地址                | 浙江省嘉兴市海盐县泰山街道金城三路泰山同创产业园   |                |        |             |           |        |           |
|            | 国标行业                | 医学研究和试验发展（7340）  | 所属行业           |        | 医药          |           |        |           |
|            | 产业结构调整指导项目          | 允许类  |                |        |             |           |        |           |
|            | 拟开工时间               | 2026年04月   | 拟建成时间          |        | 2026年08月    |           |        |           |
|            | 是否包含新增建设用地          | 否  |                |        |             |           |        |           |
|            | 总用地面积（亩）            | 10.58  | 新增建筑面积（平方米）    |        | 7056        |           |        |           |
|            | 总建筑面积（平方米）          | 7056   | 其中：地上建筑面积（平方米） |        | 7056        |           |        |           |
|            | 建设规模与建设内容（生产能力）     | 项目以嘉兴耀核速康科技有限公司为投资主体，拟在浙江省嘉兴市海盐县泰山街道金城三路泰山同创产业园建设一放射性核素研发基地（乙级非密封放射性物质工作场所）。通过购置高能电子直线加速管、速调管、电子枪等部件自主开发并生产40MeV高能直线电子加速器及其他应用加速器，同时采购两套电化学工作站，一套ICP机，双工位手套箱，电解炉等设备，配合自主开发的离子交换树脂及若干吸附树脂柱用于放射性同位素的分离纯化。本项目涉及的放射性核素包括226Ra、225Ac、99Mo、67Cu、47Sc共计5种放射性核素。同时建立加速器生产基地辐照加速器（11类射线装置）的生产及辐照加工服务。 |                |        |             |           |        |           |
|            | 项目联系人姓名             | 孟磊   | 项目联系人手机        |        | 18621622342 |           |        |           |
| 接收批文邮寄地址   | 上海市嘉定区临泽路600弄18-601 |  |                |        |             |           |        |           |
| 项目投资情况     | 总投资（万元）             |  |                |        |             |           |        |           |
|            | 合计                  | 固定资产投资9800.0000万元  |                |        |             |           | 建设期利息  | 铺底流动资金    |
|            |                     | 土建工程   | 设备购置费          | 安装工程   | 工程建设其他费用    | 预备费       |        |           |
|            | 11000.0000          | 1500.0000  | 6500.0000      | 0.0000 | 0.0000      | 1800.0000 | 0.0000 | 1200.0000 |
|            | 资金来源（万元）            |  |                |        |             |           |        |           |
|            | 合计                  | 财政性资金  | 自有资金（非财政性资金）   |        |             | 银行贷款      | 其它     |           |
| 11000.0000 | 0.0000              | 8000.0000  |                |        | 3000.0000   | 0.0000    |        |           |
| 项          | 项目（法人）单位            | 嘉兴耀核速康科技有限公司   |                | 法人类型   | 其他有限责任公司    |           |        |           |

|                                 |  |   |             |                        |
|---------------------------------|--|---|-------------|------------------------|
| 目<br>单<br>位<br>基<br>本<br>情<br>况 | 项目法人证照类型   | 统一社会信用代码  | 项目法人证照号码    | 91330424MAK09576<br>XU |
|                                 | 单位地址   | 浙江省嘉兴市海盐<br>县泰山街道金禾路<br>1号1幢319-A室  | 成立日期        | 2025年11月               |
|                                 | 注册资金(万)  | 100.000000  | 币种          | 人民币                    |
|                                 | 经营范围   | 一般项目：工程和技术研究和试验发展；技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；科技推广和应用服务；气体、液体分离及纯净设备制造；气体、液体分离及纯净设备销售；实验分析仪器销售；专用化学产品制造（不含危险化学品）；专用化学产品销售（不含危险化学品）；电子真空器件制造；电子真空器件销售；光电子器件制造；光电子器件销售；机械设备销售；信息咨询服务（不含许可类信息咨询服务）（除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动）。 |             |                        |
| 法定代表人                           | 孟磊   | 法定代表人手机号码   | 18621622342 |                        |
| 项<br>目<br>变<br>更<br>情<br>况      | 登记赋码日期   | 2026年02月03日   |             |                        |
|                                 | 备案日期   | 2026年02月03日   |             |                        |
|                                 | 第1次变更日期  | 2026年02月28日   |             |                        |
|                                 | 第2次变更日期  | 2026年03月11日   |             |                        |
| 第3次变更日期                         | 2026年03月31日  |   |             |                        |
| 项<br>目<br>单<br>位<br>声<br>明      | <p>1. 我单位已确认知悉国家产业政策和准入标准，确认本项目不属于产业政策禁止投资建设的项目或实行核准制管理的项目。</p> <p>2. 我单位对录入的项目备案信息的真实性、合法性、完整性负责。</p> |   |             |                        |

说明：

- 项目代码是项目整个建设周期唯一身份标识，项目申报、办理、审批、监管、延期、调整等信息，均需统一关联至项目代码。项目代码是各级政府有关部门办理审批事项、下达资金、开展审计监督等必要条件，项目单位要将项目代码标注在申报文件的显著位置。项目审批监管部门要将代码印制在审批文件的显著位置。项目业主单位提交申报材料时，相关审批监管部门必须核验项目代码，对未提供项目代码的，审批监管部门不得受理并应引导项目单位通过在线平台获取代码。
- 项目备案后，项目法人发生变化，项目拟建地址、建设规模、建设内容发生重大变更，或者放弃项目建设的，项目单位应当通过在线平台及时告知备案机关，并修改相关信息。
- 项目备案后，项目单位应当通过在线平台如实报送项目开工建设、建设进度、竣工等基本信息。项目开工前，项目单位应当登陆在线平台报备项目开工基本信息。项目开工后，项目单位应当按有关项目管理规定定期在线报备项目建设动态进度基本信息。项目竣工后，项目单位应当在线报备项目竣工基本信息。

附件3 营业执照



**营 业 执 照**

统一社会信用代码  
91330424MAK19576XU

 电子营业执照文件仅供信息参考，具体信息请登录公示系统查验或用手机扫描二维码软件扫码查验。

|           |   |         |                            |
|-----------|---|---------|----------------------------|
| 名 称       | 嘉兴耀核速康科技有限公司  | 注册 资本   | 壹佰万元整                      |
| 类 型       | 有限责任公司(自然人投资或控股的法人独资)   | 成 立 日 期 | 2025年11月04日                |
| 法 定 代 表 人 | 孟磊  | 住 所     | 浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金禾路1号1幢319-A室 |
| 经 营 范 围   | 一般项目：工程和技术研究和试验发展；技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；气体、液体分离及纯净设备制造；气体、液体分离及纯净设备销售；实验分析仪器销售；专用化学产品制造（不含危险化学品）；专用化学产品销售（不含危险化学品）；电子真空器件制造；电子真空器件销售；光电子器件制造；光电子器件销售；机械设备销售；信息咨询服务（不含许可类信息咨询服务）；专业保洁、清洗、消毒服务；新材料技术研发（除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动）。许可项目：Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类放射源销售；Ⅱ、Ⅲ类射线装置生产；Ⅱ、Ⅲ类射线装置销售；民用核材料生产（依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动，具体经营项目以审批结果为准）。 |         |                            |

登记机关 海盐县市场监督管理局

2026 年 05 月 28 日

说 明：  
1、本营业执照于2026年06月05日16时45分05秒由孟磊(法定代表人)领取(打印)  
2、数字签名：ADBFA2BA7PYVP3ZMJ82YAQ+Ejx+owDWAkK+IDtastbY1ABAHPVYV1kQIQDVtEGAss+Y4FF9rIqIlnDcQBYRn5ICEaDIM

国家企业信用信息公示系统网址：<http://www.gsxt.gov.cn>

国家市场监督管理总局监制

附件 4 法定代表人身份证件



## 附件 5 土地使用证明文件

### 不动产权证书



浙 ( 2025 ) 海盐县 不动产权第 0026566 号

|        |   |
|--------|---|
| 权利人    | 海盐泰山核电产业共享开发有限公司  |
| 共有情况   | 单独所有  |
| 坐落     | 海盐县泰山街道金源东路 388 号   |
| 不动产单元号 | 3304240040076B00774F00010001 等 2 个                                |
| 权利类型   | 国有建设用地使用权/房屋所有权   |
| 权利性质   | 出让 / 自建房  |
| 用途     | 工业用地 / 工业   |
| 面积     | 土地使用权面积:14482.00 m <sup>2</sup> / 房屋建筑面积:39053.27 m <sup>2</sup>  |
| 使用期限   | 国有建设用地使用权 2023 年 10 月 24 日 起 2073 年 10 月 23 日 止                   |
| 权利其他状况 | 宗地面积:14482.00 m <sup>2</sup><br>独用土地使用权面积:14482.00 m <sup>2</sup> |

附 记

标准地\*\*

2 幢地下泵房 202.45 平方米\*\*

| 幢号 | 所在层/总层数 | 建筑面积                    | 房屋结构 | 规划用途   |
|----|---------|-------------------------|------|--------|
| 1  | 1/1     | 29.29 m <sup>2</sup>    | 钢混   | 工业(门卫) |
| 2  | 1-4/4   | 39023.98 m <sup>2</sup> | 钢混   | 工业(车间) |

本地块按照盐政办发【2021】46号文件管理\*\*

浙江省编号: BDC330424120259056178776



## 租赁合同

出租方：海盐泰山核电产业共享开发有限公司（下称甲方）

承租方：嘉兴耀核速康科技有限公司（下称乙方）

甲、乙双方就房屋及相关设施租赁事宜，经充分协商，达成以下合约：

### 第一条 房屋位置、面积、功能及用途

1.1 甲方将位于海盐县泰山街道金源东路 388 号同创一期的房屋及相关设施（以下简称租赁物）租赁于乙方使用。租赁物面积经甲、乙双方认可确定为2079平方米。

1.2 本租赁物只用于生产、仓储用房。如乙方需转变使用功能，须经甲方书面同意，因转变功能所需办理的全部手续由乙方按政府的有关规定申报，因改变使用功能所应交纳的全部费用由乙方自行承担。

1.3 本租赁物采取包租的方式，乙方负责承租期间的管理、维护并承担全部费用。

### 第二条 租赁期限

2.1 租赁期限3年，即自2026年2月1日起至2029年4月30日止。其中2026年2月1日至2026年4月30日为装修期，租金减免，物业费按合同约定收取。

2.2 在本出租合同生效之日起7日内，甲方将租赁物按现状交付乙方使用，且乙方同意按租赁物及相关设施的现状承租。

### 第三条 租赁费用

#### 3.1 履约保证金

本出租合同的履约保证金为人民币83160元整。

#### 3.2 租金及物业费

该房屋年租金：498960元整（20元/平方米/月），物业管理费：57380.4元整（2.3元/平方米/月），合计556340.4元整（人民币大写，伍拾伍万陆仟叁佰肆拾元肆角整）。

3.3 租赁物的水费、电费及其他燃料费和电话费、卫生费、物业管理费等均由乙方承担。

#### 3.4 供电增容费

供电增容的手续由甲方负责申办，因办理供电增容所需缴纳的全部费用由乙方承担。

#### 第四条 租赁费用的支付

4.1 乙方应于本合同签订之前，向甲方支付履约保证金人民币 5560 元整。租赁期限届满，在乙方已向甲方交清了全部应付的租金、物业管理费及因本租赁行为所产生的一切费用，按本合同规定向甲方交还承租的租赁物等，并承担本合同所约定的各项责任后 30 日内，甲方将向乙方退还履约保证金。

4.2 租金计收周期为 12 个月，乙方在收到甲方开出租金票据 7 天内须将相关款项汇至甲方指定的下列账号，或按双方书面同意的其他支付方式支付。

开户行：中国农业银行海盐秦山核电支行

户号：海盐秦山核电产业共享开发有限公司

账号：19361601040006494

乙方逾期壹个月支付租金或相关水电费用的，应向甲方支付滞纳金，滞纳金金额为：拖欠天数乘以欠缴租金总额或水电费用的 0.05%；如逾期三个月则视为放弃租赁权，提前终止合同。

#### 第五条 租赁物的转让

5.1 在租赁期限内，若遇甲方转让租赁物的部分或全部产权，甲方应确保受让人继续履行本合同。在同等受让条件下，乙方对本租赁物享有优先购买权。

#### 第六条 专用设施、场地的维修、保养

6.1 乙方在租赁期间享有租赁物的专用权。乙方应负责租赁物内专用设施的维护、保养、年审，并保证在本合同终止时专用设施以可靠运行状态随同租赁物归还甲方。甲方对此有检查监督权。

6.2 乙方对租赁物附属物负有妥善使用及维护之责任，对各种可能出现的故障和危险应及时消除，以避免一切可能发生的隐患。

6.3 乙方在租赁期限内应爱护租赁物，因乙方使用不当造成租赁物损坏，乙方应负责维修，费用由乙方承担。

#### 第七条 防火、防水、防盗等安全

7.1 乙方在租赁期间须严格遵守《中华人民共和国消防条例》以及有关制度，积极做好消防工作，否则，由此产生的一切责任及损失由乙方承担。

7.2 乙方应在租赁物内按有关规定配置灭火器等，严禁将楼宇内消防设施用作其它用途。

7.3 租赁物内确因维修等事务需进行一级临时动火作业时（含电焊、风焊等明火作业），须报经消防主管部门批准。

7.4 乙方应按消防部门有关规定全面负责租赁物内的防火安全，甲方有权于双方同意的合理时间内检查租赁物的防火安全。乙方不得无理拒绝。

7.5 乙方在租赁期间须严格自查避免渗水漏水事故发生，及做好相应防盗安全；如疏于管理而造成事故责任自负。

7.6 乙方在租赁期间须定期对租赁物的电路进行检查，如发现问题乙方应及时自行维修。

#### 第八条 保险责任

8.1 在租赁期限内，甲方负责购买租赁物的相关保险，费用由甲方承担。

8.2 乙方负责购买租赁物内乙方的财产及其它必要的保险（包括责任险）。

8.3 若甲、乙双方未购买上述保险，由此而产生的所有赔偿及责任分别由甲方或乙方各自承担。

#### 第九条 物业管理

9.1 乙方在租赁期满或合同提前终止时，应于租赁期满之日或提前终止之日将租赁物清扫干净，搬迁完毕，并将租赁物交还给甲方。如乙方归还租赁物时不清理杂物，则甲方因清理该杂物所产生的费用由乙方承担。

9.2 乙方在使用租赁物时必须遵守中华人民共和国的法律、法规以及甲方有关租赁物物业管理的有关规定，如有违反，应承担相应责任。

9.3 由于乙方违反上述规定影响租赁物周围其他用户的正常生产、生活，所



造成损失由乙方赔偿。

#### 第十条 装修条款

10.1 在租赁期限内如乙方须对租赁物进行装修、改建，须事先向甲方提交装修、改建设计方案，并经甲方书面同意且需缴纳相应数额装修保证金。如需报批的，还须向政府有关部门申报同意；装修保证金在装修完工，验收完毕后7个工作日内无息退还。

10.2 如装修、改建方案可能对公用部分及其它相邻用户影响的，甲方可对该部分方案提出异议，乙方应予以修改。改建、装修费用由乙方承担。

10.3 如乙方的装修、改建方案可能对租赁物主结构造成影响的，则应经甲方及原设计单位书面同意后方可进行。由于乙方的装修、改建造成租赁物损坏的，由乙方负责赔偿。

10.4 本合同有效期届满，甲、乙双方未达成续租协议的，甲方对乙方的装修不做任何补偿或赔偿，且甲方有权视情况要求乙方恢复原状，否则乙方将承担相应违约责任。

第十一条 租赁物的转租，甲方不允许乙方转租，若发现乙方有私自转租行为，甲方有权视其违约，转租无效，并按违约条款予以收回，造成损失的，全部由乙方承担；甲方并有权提前解除本租赁合同。

#### 第十二条 提前终止合同

12.1 在租赁期限内，若遇乙方欠交租金或水、电、煤气、电话、卫生、物业管理费超过1个月，甲方在书面通知乙方交纳欠款之日起5日内，乙方未支付有关款项，甲方有权停止乙方使用租赁物内的有关设施，由此造成的一切损失（包括但不限于乙方及其他第三人的损失）由乙方全部承担。

12.2 若遇乙方欠交租金或水、电、煤气、电话、卫生、物业管理费超过3个月，甲方有权提前解除本合同。在甲方以传真或信函等书面方式通知乙方（包括转承租人）之日起，本合同自动终止。甲方有权留置乙方租赁物内的财产（包括承租人的财产）并在解除合同的书面通知发出之日起15日后，甲方将申请拍卖留置的财产用于抵偿乙方应支付的因租赁行为所产生的全部费用。

12.3 未经甲方书面同意乙方不得提前终止本合同。如乙方确需提前解约，须提前1个月书面通知甲方，且履行完毕以下手续，方可提前解约：a. 向甲方交回租赁物；b. 交清承租期的租金及其他因本合同所产生的费用；甲方在乙方履行完毕上述义务并签订《房屋退租交接协议》后30日内将乙方的租赁保证金无息退还乙方。

### 第十三条 免责条款

13.1 因国家有关租赁行为的法律、法规及政策的变动等导致甲方无法继续履行本合同时。

13.2 因城市规划等原因引起对租赁房屋动迁拆除或政府征用，甲方有权提前解除租赁合同，且乙方应在合同解除后30天内主动腾空租房（甲方除向乙方返还未履行的租赁期限所对应的租金外，不向乙方承担违约责任，也不向乙方作任何补偿）。

13.3 因发生严重自然灾害、战争或其他不能预见的、其发生和后果不能防止或避免的不可抗力致使任何一方不能履行本合同时，遇有上述不可抗力的一方，应立即用邮递或传真通知对方，并应在30日内，提供不可抗力的详情，及合同不能履行，或不能部分履行，或需延期履行理由的证明文件。该项证明文件应由不可抗力发生地区的公证机关出具，如无法获得公证出具的证明文件，则提供其他有力证明。遭受不可抗力的一方由此而免责。

### 第十四条 合同的终止

14.1 本合同提前终止或有效期届满，甲方将无条件收回乙方所租赁的房屋；如向社会公开招租，在同等条件下，乙方享有优先权。

14.2 乙方逾期不迁离或不退还租赁物的，在甲方重新向社会公开招租后，且原租赁户未中标的，甲方有权收回租赁物，强行将租赁场地内的物品搬离租赁物，且不负保管责任。

### 第十五条 广告

15.1 若乙方需在租赁物建筑物的本体设立广告牌，须按政府的有关规定完成相关的报批手续并报甲方备案。

15.2 若乙方需在租赁物建筑物的周围设立广告牌，需经甲方书面同意并按政府有关规定执行。

#### 第十六条 有关税费

按国家有关规定，因本合同缴纳的印花税、登记费、公证费及其他有关的税项及费用，均由乙方承担。有关登记手续由甲方负责办理。

#### 第十七条 通知

根据本合同需要发出的全部通知以及甲方与乙方的文件往来及与本合同有关的通知和要求等，应以书面形式进行；甲方给予乙方或乙方给予甲方的信件或传真一经发出，挂号邮件或快递以本合同载明的地址并以对方为收件人付邮7日后或以专人送至前述地址，均视为已经送达。

#### 第十八条 适用法律

18.1 本合同在履行中发生争议，应由双方协商解决，若协商不成，则通过诉讼程序解决，双方一致同意由租赁物所在地人民法院管辖。

18.2 本合同受中华人民共和国法律的管辖，并按中华人民共和国法律解释。

#### 第十九条 其它条款

19.1 本合同未尽事宜，经双方协商一致后，可另行签订补充协议。

19.2 本合同一式贰份，甲、乙双方各执壹份。

#### 第二十条 合同效力

本合同经双方签字盖章，乙方交纳租赁保证金后生效。

甲方（印章）：

授权代表（签字）：



乙方（印章）：

授权代表（签字）：



合同签订日期：2026年2月1日

## 附件 6 关于本项目 40MeV 加速器用途的承诺函

### 关于本项目 40MeV 加速器用途的承诺函

为规范我单位 40MeV 加速器项目的建设与管理，严格遵守国家核安全、辐射防护及设备使用相关法律法规，保障设备安全合规运行，维护公共安全与生态环境利益，我单位就本项目 40MeV 加速器设备用途及使用事宜，郑重作出如下承诺：

我单位投运的 40MeV 加速器仅使用功率靶，不使用同位素靶用于放射性同位素生产。

我单位充分知悉并认可本承诺全部内容，若出现擅自变更设备用途、违规使用、违反管理制度及相关法律法规的行为，愿承担全部法律责任、行政责任，接受主管部门处罚并按期完成整改。

本承诺函内容真实有效，自出具之日起长期有效。

  
嘉兴核康科技有限公司  
2026年6月5日

附件 7 辐射环境本底监测报告



浙江亿达检测技术有限公司

检测报告

报告编号：浙亿检（环）字 HJ 2026 第 0156 号

委托单位：\_\_\_\_\_ 卫康环保科技（浙江）有限公司 \_\_\_\_\_  
受检单位：\_\_\_\_\_ 嘉兴耀核速康科技有限公司 \_\_\_\_\_  
检测类别：\_\_\_\_\_ 委托检测 \_\_\_\_\_  
项目名称：\_\_\_\_\_ 加速器生产、使用、销售及同位素使用、销售项目 \_\_\_\_\_




浙江亿达检测技术有限公司

2026 年 05 月 编制



## 声 明

1. 本报告依据国家有关法规、标准、协议和技术文件进行。本机构保证检测工作的公正性、独立性和可靠性，对检测的数据负责；不对部分摘录或引用本报告的有关数据造成的后果负责。
2. 本报告无检测人（或编制人）、审核人、签发人签名无效；报告中有涂改或未盖本公司红色检验检测专用章、无骑缝章和无  章无效。
3. 对本检测报告有异议者，请于收到报告书之日起十五日内向本单位提出复核申请，逾期不予受理。
4. 委托现场检测对委托单位现场实际状况负责。
5. 未经本单位书面允许，对本报告的任何局部复制、使用和引用均为无效，本单位不承担任何法律责任。
6. 本报告一式贰份，客户方壹份，本公司留存壹份。
7. 本报告未经浙江亿达检测技术有限公司同意，不得以任何形式用于广告及商品宣传。

检测单位：浙江亿达检测技术有限公司

技术档案存放处：浙江亿达检测技术有限公司档案室

联系地址：浙江省杭州市滨江区浦沿街道东冠路 611 号 7 幢 5 层 503 室

邮政编码：310053 联系电话：0571-85028656-转分机号

传 真：0571-85086601

联 系 人：翁肖佳 意见反馈：186 0653 2581

网址： [www.yidatest.com](http://www.yidatest.com)

邮箱：[yidajiance@foxmail.com](mailto:yidajiance@foxmail.com)

---

浙江亿达检测技术有限公司 网址：[www.yidatest.com](http://www.yidatest.com) 电子邮件：[yidajiance@foxmail.com](mailto:yidajiance@foxmail.com) 电话 0571-85028656  
单位地址：浙江省杭州市滨江区浦沿街道东冠路 611 号 7 幢 5 层 503 室 邮政编码：310053 传真：0571-85086601

## 浙江亿达检测技术有限公司 检测报告

### (一) 项目基本情况

|        |                                    |      |             |
|--------|------------------------------------|------|-------------|
| 检测项目   | X-γ辐射剂量率                           |      |             |
| 委托单位名称 | 卫康环保科技(浙江)有限公司                     |      |             |
| 受检单位名称 | 嘉兴耀核速康科技有限公司                       |      |             |
| 联系人    | 孟磊                                 | 电话   | 18621622342 |
| 检测日期   | 2026年02月27日                        | 检测性质 | 委托检测        |
| 检测类型   | 现状监测                               | 检测方式 | 现场检测        |
| 监测环境条件 | 天气:多云;室外温度:10°C,室内温度:10°C;相对湿度:94% |      |             |
| 检测依据   | 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)     |      |             |

### (二) 检测仪器基本情况

|                    |   |
|--------------------|---|
| 检测仪器               | x、γ辐射周围剂量当量率仪                               |
| 仪器型号               | 6150AD 6/H+6150AD-b/H                       |
| 仪器编号               | 165455+167510                               |
| 生产厂家               | Automess                                    |
| 量程                 | 外置探头:10nSv/h~99.99μSv/h;主机:0.1μSv/h~10mSv/h |
| 能量范围               | 外置探头:20keV~7MeV;主机:60keV~1.3MeV             |
| 检定证书编号             | 2025H21-20-5773017001                       |
| 检定证书有效期            | 2025年2月28日~2026年2月27日                       |
| 检定单位               | 上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心                      |
| 校准因子C <sub>r</sub> | 1.06μSv/h                                   |
| 探测限                | ≥10nSv/h                                    |

浙江亿达检测技术有限公司 网址: www.yidatest.com 电子邮件: yidajiance@foxmail.com 电话 0571-85028656  
单位地址: 浙江省杭州市滨江区浦沿街道东冠路611号7幢5层503室 邮政编码: 310051 传真: 0571-85086601

## 浙江亿达检测技术有限公司 检测报告

### (三) 监测结果:

(1) 样品编号: HJ260130-1

表1 本项目辐射场所拟建址及周围辐射环境质量现状监测结果

| 点位编号 | 点位描述            | γ辐射空气吸收剂量(nGy/h) |     |
|------|-----------------|------------------|-----|
|      |                 | 平均值              | 标准差 |
| 1#   | 加速器机房拟建址        | 163              | 3   |
| 2#   | 核素实验室拟建址        | 170              | 4   |
| 3#   | 项目拟建址东侧(园区内通道)  | 135              | 3   |
| 4#   | 东南侧电梯间          | 159              | 1   |
| 5#   | 项目拟建址南侧(园区内道路)  | 100              | 2   |
| 6#   | 西南侧电梯间          | 163              | 2   |
| 7#   | 项目拟建址西侧(园区内道路)  | 104              | 4   |
| 8#   | 内天井             | 166              | 2   |
| 9#   | 内天井北侧厕所         | 151              | 3   |
| 10#  | 办公区             | 159              | 4   |
| 11#  | 衰变池拟建址          | 102              | 3   |
| 12#  | 海盐加美五金科技有限公司    | 104              | 3   |
| 13#  | 本项目拟建址西侧(金禄路)   | 97               | 1   |
| 14#  | 本项目拟建址北侧(园区内道路) | 98               | 2   |
| 15#  | 加速器机房拟建址上方      | 175              | 1   |
| 16#  | 核素实验区上方二楼       | 175              | 1   |

注: 1、根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)中第5.4条款,本次测量时,测量时仪器探头垂直向下,距地面的参考高度为1m,仪器读数稳定后,以10s为间隔读取10个数据;

2、根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)中第5.5条款,本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照JJG393,使用<sup>137</sup>Cs作为检定/校准参考辐射源时,换算系数取1.20Sv/Gy;

3、γ辐射空气吸收剂量率均已扣除测点处宇宙射线响应值25.5nGy/h,本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子,5#、7#、11#-14#点位取1;其余点位取0.8;

4、监测点位见图1(a)、图1(b)。

浙江亿达检测技术有限公司 网址: www.yidatest.com 电子邮件: yidajiance@foxmail.com 电话 0571-85028656  
单位地址: 浙江省杭州市滨江区浦沿街道东冠路611号7幢5层503室 邮政编码: 310053 传真: 0571-85086601

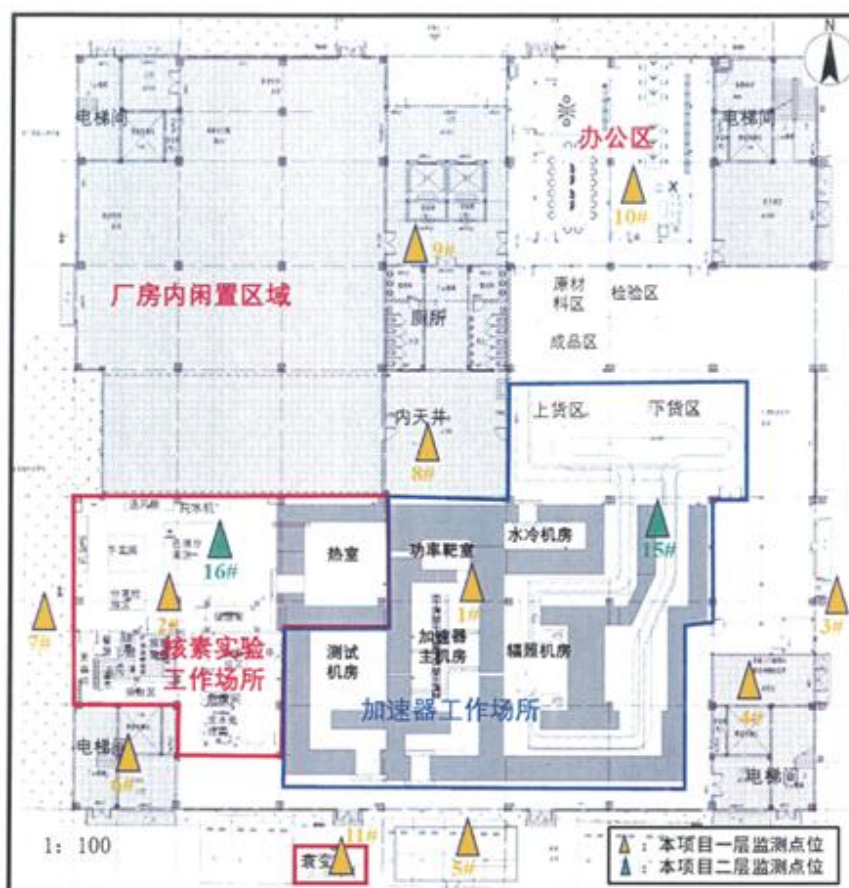


图1(a) 本项目拟建址及周围辐射环境质量现状监测点位图



图1(b) 本项目拟建址及周围辐射环境质量现状监测点位图

报告编制人 张佳 审核人 俞吉倩 签发人 魏晓华  
 编制日期 2026.5.18 审核日期 2026.5.18 签发日期 2026.5.18





## 检验检测机构 资质认定证书

证书编号：211112051235

名称：浙江亿达检测技术有限公司

地址：浙江省杭州市滨江区浦沿街道东冠路611号7幢5层503室

经审查，你机构已具备国家有关法律、行政法规规定的基本条件和能力，现予批准，可以向社会出具具有证明作用的数据和结果，特发此证。资质认定包括检验检测机构计量认证。

检验检测能力及授权证书见证书附表。

你机构对外出具检验检测报告或证书的法律责任由浙江亿达检测技术有限公司承担。



许可使用标志



211112051235

发证日期：2021年09月27日

有效日期：2027年09月26日

发证机关：



本证书由国家认证认可监督管理委员会监制，在中华人民共和国境内有效。

浙江亿达检测技术有限公司 网址：[www.yidatest.com](http://www.yidatest.com) 电子邮件：[yidajiance@foxmail.com](mailto:yidajiance@foxmail.com) 电话：0571-85028656  
单位地址：浙江省杭州市滨江区浦沿街道东冠路611号7幢5层503室 邮政编码：310053 传真：0571-85086601

## 附件 8 专家函审意见

### 加速器生产、使用、销售及同位素使用、销售项目 环境影响报告表专家组评审意见

受嘉兴市生态环境局海盐分局委托，杭州师范大学于 2026 年 5 月 27 日在海盐县组织召开了《加速器生产、使用、销售及同位素使用、销售项目环境影响报告表》（以下简称《报告表》）技术评估会议，参加会议的有海盐县发展和改革局、嘉兴市生态环境局海盐分局、秦山街道、嘉兴耀核速康科技有限公司（建设单位）、医创规划设计（四川）有限公司（设计单位）、卫康环保科技（浙江）有限公司（环评单位）等单位代表，以及特邀的 3 位专家（名单附后）。

会前与会代表和专家踏勘了现场，会上听取了建设单位对项目基本情况介绍，以及环评单位对报告表编制内容的汇报，经认真讨论，形成专家审查意见如下：

#### 一、报告表总体评价

该环境影响报告表内容较全面，重点突出，编制规范，评价标准引用恰当，采用的评价方法合理，评价结论可信。经修改补充完善后可上报。

#### 二、报告表主要修改完善意见

1、补充完善项目由来和关联项目的说明，细化项目的代价利益以及对产业的支撑意义分析。

2、完善环境质量现状监测中的监测因子，对未开展的因子补充说明原因；核实项目评价范围内环境保护目标的分布情况。

3、完善项目生产工艺流程，明确加速器辅助“热室”的用途以及与 40MeV 加速器之间的关系，细化污染因子分析和加速器源项描述；完善热室内的设备布置以及物流规划路径图、安全防护措施布置示意图及两区划

分图。

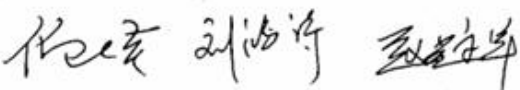
4、细化项目所在建筑的分层设计情况说明，完善加速器辐射屏蔽预测，给出的预测点位应有剖面图，预测结果应分两种工况，补充中子剂量率预测结果。

5、核实加速器机房房顶、放射性药物合成和分装箱体表面等关注点位的剂量率控制值、各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷，完善辐射工作人员及公众的年有效剂量估算。

6、完善便携式 X-γ 辐射巡测仪和个人剂量报警仪等防护用品及应急用品的配备要求，细化辐照机房烟雾报警连锁、光电防人误入装置等辐射安全防护措施的设置说明。

7、完善项目产生的放射性和危险固废、废液（水）的分类、收集和处置情况说明，细化对“含  $^{226}\text{Ra}$  废水严禁排入衰变池”的具体收集、贮存、处置流程作进一步说明。

8、专家的其他个人意见。

专家组签名： 

2026年5月27日

**建设项目环评文件  
日常考核表**

项目名称： 嘉兴耀核速康科技有限公司加速器生产、使用、  
销售及同位素使用、销售项目环境影响报告表

建设单位： 嘉兴耀核速康科技有限公司

编制单位： 卫康环保科技（浙江）有限公司

编制主持人： 李昭龙

评审考核人： 倪士英

职务/职称： 教授级高工

所在单位： 浙江省生态环境与辐射防治协会

评审日期：2026年5月27日

### 建设项目环评文件日常考核表

| 考核内容  | 满分  | 评分 |
|---|-----|----|
| 1. 确定的评价等级是否恰当, 评价标准是否正确, 评价范围是否符合要求              | 10  | 8  |
| 2. 项目工程概况描述是否全面、准确, 生态环境保护目标及与项目位置关系描述是否清楚        | 10  | 8  |
| 3. 生态环境影响因素分析(含污染源强核算)是否全面、准确, 改扩建项目现有污染问题是否查明    | 10  | 7  |
| 4. 环境现状评价是否符合实际, 主要环境问题是否阐明                       | 10  | 8  |
| 5. 生态环境要素、环境风险预测与评价是否全面, 影响预测与评价方法、结果是否准确         | 15  | 13 |
| 6. 生态环境保护措施针对性、有效性、可行性, 环境监测、环境管理措施的针对性, 环保投资的合理性 | 15  | 13 |
| 7. 评价结论的综合性、客观性和可信性                               | 10  | 8  |
| 8. 重点专题和关键问题回答是否清楚、正确                             | 5   | 4  |
| 9. 附件、图表、化物计量单位是否规范, 篇幅文字是否简练                     | 5   | 3  |
| 10. 环评工作是否有特色                                     | 5   | 3  |
| 11. 环评工作的复杂程度                                     | 5   | 3  |
| 总 分   | 100 | 78 |

## 评审考核人对环评文件是否具备审批条件的具体意见

### 主要评审意见：

1、细化说明 40MeV 加速器用于功率打靶的作用、意义、用途及建造该加速器的代价利益分析，若将来计划用于放射性同位素的研究、生产，建议说清楚本期工程的建设内容以及后期的计划建设内容。行业内并没有“加速器功率靶”的标准定义，需要细化说明，并作为附件给出承诺：本项目仅使用钨靶，不用于放射性同位素的生产；辐照加工也需要细化说明，辐照什么产品？补充嘉兴地区的辐照加工市场调研情况，以确定项目的可行性。

2、细化说明项目所在厂房的建筑物结构，包括楼层层数、楼层高度、夹层的情况，夹层上方的情况，以及夹层上加速器控制室与加速器机房之间的关系，补充说明加速器机房房顶剂量率控制值采用 100 $\mu$ Sv/h 的合理性，补充说明该区域上方是否为人可达区域，以及相应的管理措施（如禁止进入、设置警示）。

3、在表 7-5 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平中，补充说明放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面 30cm 处的剂量率控制值为什么采用 2.5 $\mu$ Sv/h？

4、P.40，“电子会与钨靶原子的原子核及核外电子发生剧烈相互作用，电子的动能快速转化为电磁辐射能”，建议改为“高速电子与钨靶原子核的库伦场相互作用会产生连续 X 射线（轫致辐射）；高速电子击脱钨原子内层轨道电子后，外层电子跃迁填充空位时会释放特征 X 线”。

5、P.45，在 6、加速器检修工艺流程及产污环节章节中，核实加速器检修后需要进行“表面污染监测”么？

6、核实表 9.2-6 各核素操作量及操作时间一览表中操作量，可能是笔误。

7、在图 9.2-13 核素实验区人流和物流路径图中，完善热室内的设备布置以及物流规划路径图。

8、根据项目实际情况，核实表 9.2-8 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表中，各设备及其操作时间的计算，尤其是辐照中心，难道不是每天都进行辐照加工么？

9、在 10.1.4 辐射安全防护措施章节中，在辐照机房内补充设置烟雾报警联锁功能。

10、核实本项目加速器机房、核素实验室便携式 X-γ 辐射巡测仪和个人剂量报警仪的配置数量。

11、明确剂量率预测计算所采用的软件、模型、源项参数（如束流强度、运行时间等）及假设条件，剂量率理论计算结果特别小的全部标注为  $< 0.01\mu\text{Sv/h}$ ，对于“电子加速器销售工作人员”的剂量估算（客户现场调试），应说明该场景的假设条件（如调试时长、场所屏蔽情况）。

12、加速器销售人员，要进行设备的调试和维修维护，应该参加“电子加速器辐照”考核类别的考核，而不是考“辐射安全管理”类别。

13、在附图 7 本项目两区划分布置示意图中，卫生通过间的监测间、去污间、洁具间应该为“监督区”；加速器主机房、水冷机房的为什么有两扇防护门？这样的设计不利于人员从机房内紧急撤离。

14、在附图 8 一层辐射安全平面布置图的辐照中心图中，补充辐照机房出入口的三道光电防人误入装置。

15、在表 4 射线装置“备注”中简要说明加速器销售设备出厂前仅完成非辐射类调试。

16、建议核对《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）是否适用于本项目 40MeV 的电子加速器（该标准适用于能量不高于 10MeV 的电子束）。对于 40MeV 部分，应主要依据《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）。需在文中明确不同标准对不同能量加速器的适用性。

专家签字：张英

2026 年 5 月 27 日

**建设项目环评文件  
日常考核表**

项目名称：嘉兴耀核速康科技有限公司加速器生产、使用、  
销售及同位素使用、销售项目环境影响报告表

建设单位：嘉兴耀核速康科技有限公司

编制单位：卫康环保科技（浙江）有限公司

编制主持人：李昭龙

评审考核人：刘鸿诗

职务/职称：正高级工程师

所在单位：生态环境部辐射环境监测技术中心

评审日期：2026年5月27日

### 建设项目环评文件日常考核表

| 考核内容  | 满分  | 评分 |
|---|-----|----|
| 1. 确定的评价等级是否恰当, 评价标准是否正确, 评价范围是否符合要求              | 10  | 7  |
| 2. 项目工程概况描述是否全面、准确, 生态环境保护目标及与项目位置关系描述是否清楚        | 10  | 7  |
| 3. 生态环境影响因素分析(含污染源强核算)是否全面、准确, 改扩建项目现有污染问题是否查明    | 10  | 6  |
| 4. 环境现状评价是否符合实际, 主要环境问题是否阐明                       | 10  | 7  |
| 5. 生态环境要素、环境风险预测与评价是否全面, 影响预测与评价方法、结果是否准确         | 15  | 10 |
| 6. 生态环境保护措施针对性、有效性、可行性, 环境监测、环境管理措施的针对性, 环保投资的合理性 | 15  | 11 |
| 7. 评价结论的综合性、客观性和可信性                               | 10  | 7  |
| 8. 重点专题和关键问题回答是否清楚、正确                             | 5   | 3  |
| 9. 附件、图表、化物计量单位是否规范, 篇幅文字是否简练                     | 5   | 3  |
| 10. 环评工作是否有特色                                     | 5   | 3  |
| 11. 环评工作的复杂程度                                     | 5   | 3  |
| 总 分   | 100 | 67 |

### 评审考核人对环评文件是否具备审批条件的具体意见

该项目环境影响报告表评价内容较全面，评价标准引用恰当，污染因子筛选正确，环境现状调查清楚，采用模式预测的评价方法可行，编制符合《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》的要求，评价结论基本可信，经修改完善后可上报审批。

建议报告表作如下的修改和完善：

- 1、完善项目由来，概括项目对产业的支撑意义。
- 2、完善环境质量现状监测中的监测因子，对未开展的因子补充说明原因。
- 3、完善项目生产工艺流程，细化污染因子分析。
- 4、细化加速器源项描述，给出1—5号位置说明。
- 5、完善项目安全防护措施布置示意图及两区划分。
- 6、完善加速器辐射屏蔽预测，给出的预测点位应有剖面图，预测结果应分2种工况，预测结果也未见中子的剂量率等。
- 7、完善辐射工作人员及公众的年有效剂量估算。
- 8、完善项目个人防护用品及应急用品的配备。
- 9、完善包括化学试剂瓶在内的危险固废调查。

专家签字：刘 涛 涛

2026年5月27日

**建设项目环评文件  
日常考核表**

项目名称： 嘉兴耀核速康科技有限公司加速器生产、使用、  
销售及同位素使用、销售项目环境影响报告表

建设单位： 嘉兴耀核速康科技有限公司

编制单位： 卫康环保科技（浙江）有限公司

编制主持人： 李昭龙

评审考核人： 赵冠军

职务/职称： 高级工程师

所在单位： 浙江省电力设计院

评审日期：2026年5月27日

### 建设项目环评文件日常考核表

| 考核内容  | 满分  | 评分 |
|---|-----|----|
| 1. 确定的评价等级是否恰当, 评价标准是否正确, 评价范围是否符合要求              | 10  | 7  |
| 2. 项目工程概况描述是否全面、准确, 生态环境保护目标及与项目位置关系描述是否清楚        | 10  | 7  |
| 3. 生态环境影响因素分析(含污染源强核算)是否全面、准确, 改扩建项目现有污染问题是否查明    | 10  | 7  |
| 4. 环境现状评价是否符合实际, 主要环境问题是否阐明                       | 10  | 7  |
| 5. 生态环境要素、环境风险预测与评价是否全面, 影响预测与评价方法、结果是否准确         | 15  | 11 |
| 6. 生态环境保护措施针对性、有效性、可行性, 环境监测、环境管理措施的针对性, 环保投资的合理性 | 15  | 11 |
| 7. 评价结论的综合性、客观性和可信性                               | 10  | 7  |
| 8. 重点专题和关键问题回答是否清楚、正确                             | 5   | 3  |
| 9. 附件、图表、化物计量单位是否规范, 篇幅文字是否简练                     | 5   | 3  |
| 10. 环评工作是否有特色                                     | 5   | 3  |
| 11. 环评工作的复杂程度                                     | 5   | 3  |
| 总 分   | 100 | 69 |

评审考核人对环评文件是否具备审批条件的具体意见

- 1、补充说明各核素原材料的状态及年购买使用量；
- 2、补充说明放射性废水（冷却水）和功率靶废靶等固废的最终处置方式和处置要求；
- 3、完善项目周围的环境现状调查内容；
- 4、补充活化水靶的产生量、活化水中的核素成分及其暂存和处置情况说明；
- 5、补充公司待销售货包的包装及表面剂量等基本情况说明；
- 6、补充公司非密封放射性物质存放场所的管理情况说明；
- 7、补充本项目使用蒙卡预测软件适用性的说明；
- 8、明确放射性废水、固废的解控的管理标准；
- 9、补充辐照上货工作区域人员剂量影响分析；
- 10、补充项目运行期的臭氧的产生和排放影响分析；
- 11、明确放射源库的安全管理要求；
- 12、补充事故应急用品的配置要求；
- 13、完善公司平面图监督区和控制区的划分说明；
- 14、核实项目评价范围内环境保护目标的分布情况。

专家签字：



2026年5月27日

## 附件 9 专家函审意见的修改清单

| 修改清单  |  |  | 修改位置   |
|-------|--|--|--|
| 序号    | 函审意见   | 修改情况   |  |
| 专家组意见 |  |  |  |
| 1     | 补充完善项目由来和关联项目的说明，细化项目的代价利益以及对产业的支撑意义分析。  | 已在报告表 P2 完善了项目由来，在 P3 完善了关联项目的说明，在 P4-5 细化了项目的代价利益以及对产业的支撑意义分析。  | 详见 P1-2, P5, P10-11                                  |
| 2     | 完善环境质量现状监测中的监测因子，对未开展的因子补充说明原因；核实项目评价范围内环境保护目标的分布情况。   | 已在 P34 完善了环境质量现状监测中的监测因子，对未开展的因子补充了说明；已在 P20 核实了项目评价范围内环境保护目标的分布情况。  | 详见 P20-21, P34, P38                                  |
| 3     | 完善项目生产工艺流程，明确加速器辅助“热室”的用途以及与 40MeV 加速器之间的关系，细化污染因子分析和加速器源项描述；完善热室内的设备布置以及物流规划路径图、安全防护措施布置示意图及两区划分图 | 已在报告 P46 完善了项目生产工艺流程，已在 P52-53 明确了加速器辅助“热室”的用途以及与 40MeV 加速器之间的关系，已在 P65-82、P88-90 细化污染因子分析，完善了加速器源项描述，已在 P62-63 完善了热室内的设备布置以及物流规划路径图，在附图 7~附图 9 修改了安全防护措施布置示意图及两区划分图 | 详见 P46-47、P52-53、P62-63、P65-82、P88-90 附图 7、附图 8、附图 9 |
| 4     | 细化项目所在建筑的分层设计情况说明，完善加速器辐射屏蔽预测，给出的预测点位应有剖面图，预测结果应分两种工况，补充中子剂量率预测结果。                                 | 已在 P21 细化了项目所在建筑的分层设计情况说明，已在报告表 P139 补充了加速器工作场所剖面布局关注点位图，已在 P138-141 明确了剂量率预测分为 3 种情形进行预测，且明确 40MeV 档位运行时各关注点的辐射剂量率为中子当量剂量率和 $\gamma$ 剂量率之和                          | 详见 P21、P138-141                                      |
| 5     | 核实加速器机房房顶、放射性药物合成和分装箱体表面等关注点位的剂量率控制值、各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷，完善辐射工作人员及公众的年有效剂量估算。                      | 已在 P27 修改了加速器机房房顶、放射性药物合成和分装箱体表面等关注点位的剂量率控制值，已在 P64-65 核实各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷，已在 P141-143、P155-157 完善了辐射工作人员及公众的年有效剂量估算。  | 详见 P27, P64-65, P141-143, P155-157                   |
| 6     | 完善便携式 X- $\gamma$ 辐射巡测仪和个人剂量报警仪等防护用品及应急用品的配备要求，细化辐照机房烟雾报警联锁、光电防人误入装置等辐射安全防护措施的设置说明。                | 已在 P104、P122-123、P173 完善了便携式 X- $\gamma$ 辐射巡测仪和个人剂量报警仪等防护用品及应急用品的配备要求，已在 P98 细化了辐照机房烟雾报警联锁辐射安全防护措施，已在附图 8 补充了光电防人误入装置等辐射安全防护措施。                                      | 详见 P98、P104、P122-123、P173、附图 8                       |
| 7     | 完善项目产生的放射性和危险固废、废液(水)的分类、收集和处置   | 已在 P84、P123-131、P158-161 完善了项目产生的放射性和危险固废  | 详见 P84、P123-131、P158-161, 表 5                        |

|          |  |  |                               |
|----------|--|--|-------------------------------|
|          | 情况说明，细化对“含 226Ra 废水严禁排入衰变池”的具体收集、贮存、处置流程做进一步说明。  | 废、废液(水)的分类、收集和处置情况说明，且细化了对“含 226Ra 废水严禁排入衰变池”的具体收集、贮存、处置流程的说明。   |                               |
| 8        | 专家的其他个人意见。   | 已根据意见进行相关修改  | 详见下文                          |
| 个人意见：倪士英 |  |  |                               |
| 1        | 细化说明 40MeV 加速器用于功率打靶的作用、意义、用途及建造该加速器的代价利益分析，若将来计划用于放射性同位素的研究、生产，建议说清楚本期工程的建设内容以及后期的计划建设内容。行业内并没有“加速器功率靶”的标准定义，需要细化说明，并作为附件给出承诺：本项目仅使用钨靶，不用于放射性同位素的生产；辐照加工也需要细化说明，辐照什么产品？补充嘉兴地区的辐照加工市场调研情况，以确定项目的可行性。 | 已在 P4-5 细化说明了 40MeV 加速器用于功率打靶的作用、意义、用途及建造该加速器的代价利益分析，已在 P3 说清楚了本期工程的建设内容以及后期的计划建设内容。已对加速器功率打靶进行细化说明，补充了附件 6 承诺本项目仅使用钨靶，不用于放射性同位素的生产。已在 P6 细化说明了辐照产品类型，已补充说明嘉兴地区的辐照加工市场调研情况。        | 详见 P1-6、附件 6                  |
| 2        | 细化说明项目所在厂房的建筑结构，包括楼层层数、楼层高度、夹层的情况，夹层上方的情况，以及夹层上加速器控制室与加速器机房之间的关系，补充说明加速器机房房顶剂量率控制值采用 100 $\mu$ Sv/h 的合理性，补充说明该区域上方是否是否为人员可达区域，以及相应的管理措施（如禁止进入、设置警示）  | 已在表 7-1 中细化说明了项目所在厂房的建筑结构，楼层为 4 层、楼层高度为 23.6m，补充了夹层情况，夹层上方的情况，已在 P26 补充了夹层上加速器控制室与加速器机房之间的关系，加速器机房房顶剂量率控制值采用 2.5 $\mu$ Sv/h，说明了夹层中控区为人员可达区域，在 P103 补充了除中控室外所有区域均划定为禁入区，并采取相应的管理措施。 | 详见 P20-21, P26, P94, P103-104 |
| 3        | 在表 7-5 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平中，补充说明放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面 30cm 处的剂量率控制值为什么采用 2.5 $\mu$ Sv/h？  | 已在表 7-5 中，补充说明了放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面 30cm 处的剂量率控制值采用 25 $\mu$ Sv/h。   | 详见 P27                        |
| 4        | P.40, “电子会与钨靶原子的原子核及核外电子发生剧烈相互作用，电子的动能快速转化为电磁辐射能”，建议改为“高速电子与钨靶原子核的库伦场相互作用会产生连续 X 射线（轫致辐射）；高速电子击脱钨原子内层轨道电子后，外层电子跃迁填充空位时会释放特征 X 线”。  | 已在 P42 将“电子会与钨靶原子的原子核及核外电子发生剧烈相互作用，电子的动能快速转化为电磁辐射能”，改为“高速电子与钨靶原子核的库伦场相互作用会产生连续 X 射线（轫致辐射）；高速电子击脱钨原子内层轨道电子后，外层电子跃迁填充空位时会释放特征 X 线”。  | 详见 P42                        |
| 5        | P.45, 在 6、加速器检修工艺流程及产污环节章节中，核实加速器检修后需要进行“表面污染监测”么？   | 已在原文 P47 核实并修改了加速器检修的情况。   | 详见 P47                        |
| 6        | 核实表 9.2-6 各核素操作量及操作  | 已核实表 9.2-6 中操作量，并进行修   | 详见表 9.2-6                     |

|    |  |  |                       |
|----|--|--|-----------------------|
|    | 时间一览表中操作量,可能是笔误。   | 改。   |                       |
| 7  | 在图 9.2-13 核素实验区人流和物流路径图中,完善热室内的设备布置以及物流规划路径图。  | 已在图 9.2-12 中完善了热室内的设备布置以及物流规划路径图。  | 详见 P62-63、图 9.2-13    |
| 8  | 根据项目实际情况,核实表 9.2-8 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表中,各设备及其操作时间的计算,尤其是辐照中心,难道不是每天都进行辐照加工么?  | 已在 P64-65 核实各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表,核实并修改了各设备及其操作时间的计算。   | 详见 P64-65             |
| 9  | 在 10.1.4 辐射安全防护措施章节中,在辐照机房内补充设置烟雾报警联锁功能。   | 已在章节 10.1.4 补充了烟雾报警联锁功能。   | 详见 P98                |
| 10 | 核实本项目加速器机房、核素实验室便携式 X-γ辐射巡测仪和个人剂量报警仪的配置数量。   | 已在报告 P104、P122-123、P173 核实了本项目加速器机房、核素实验室便携式 X-γ辐射巡测仪和个人剂量报警仪的配置数量。  | 详见 P104、P122-123、P173 |
| 11 | 明确剂量率预测计算所采用的软件、模型、源项参数(如束流强度、运行时间等)及假设条件,剂量率理论计算结果特别小的全部标注为 <math>0.01\mu\text{Sv/h}</math>,对于“电子加速器销售工作人员”的剂量估算(客户现场调试),应说明该场景的假设条件(如调试时长、场所屏蔽情况)。 | 已在 P140-141、P149-155 将剂量率理论计算结果特别小的全部标注为 <math>0.01\mu\text{Sv/h}</math>,已在 P142 补充了加速器销售工作人员剂量估算(客户现场调试),且说明了在客户现场的调试时长、场所屏蔽情况。 | 详见 P140-142, P149-155 |
| 12 | 加速器销售人员,要进行设备的调试和维修维护,应该参加“电子加速器辐照”考核类别的考核,而不是考“辐射安全管理”类别。   | 已在 P169 中修改,加速器销售人员,要进行设备的安装调试,应该参加“电子加速器辐照”考核类别。  | 详见 P169               |
| 13 | 在附图 7 本项目两区划分布置示意图中,卫生通过间的监测间、去污间、洁具间应该为“监督区”;加速器主机房、水冷机房的为什么有两扇防护门?这样的设计不利于人员从机房内紧急撤离。  | 已在附图 7 两区划分中将检测间、去污间、洁具间划为“监督区”;已将加速器主机房、水冷机房原设计的两扇防护门改为一扇防护门。   | 详见附图 7,附图 8           |
| 14 | 在附图 8 一层辐射安全平面布置图的辐照中心图中,补充辐照机房出入口的三道光电防人误入装置。   | 已在附图 8 中补充了辐照机房出入口的三道光电防人误入装置。   | 详见附图 8                |
| 15 | 在表 4 射线装置“备注”中简要说明加速器销售设备出厂前仅完成非辐射类调试。   | 已在表 4 射线装置“备注”中说明加速器销售设备出厂前仅完成非辐射类调试。  | 详见表 4 射线装置            |
| 16 | 建议核对《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)是否适用于本项目 40MeV 的电子加速器(该标准适用于能量不高于 10MeV 的电子束)。对于 40MeV 部分,应主要依据《粒子加速器辐   | 已在 P4 和 P107 明确了 40 MeV 工况执行《粒子加速器辐射安全与防护规定》(GB 5172-2025);10 MeV 工况遵循《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)。                           | 详见 P4、P107            |

|          |   |  |                           |
|----------|---|--|---------------------------|
|          | 射安全与防护规定》(GB 5172-2025)。需在文中明确不同标准对不同能量加速器的适用性。       |  |                           |
| 个人意见：刘鸿诗 |   |  |                           |
| 1        | 完善项目由来，概括项目对产业的支撑意义。                                  | 已在 P2 完善了项目由来说明，概括了项目对产业的支撑意义。   | 详见 P1-2, P11              |
| 2        | 完善环境质量现状监测中的监测因子,对未开展的因子补充说明原因。                       | 已在 P34 完善了环境质量现状监测中的监测因子,并对未开展的因子补充说明了原因。  | 详见 P34、P38                |
| 3        | 完善项目生产工艺流程,细化污染因子分析。                                  | 已在报告 P46 完善了项目生产工艺流程,已在 P65-83、P88-90 细化了污染因子分析。   | 详见 P46-47, P65-83, P88-90 |
| 4        | 细化加速器源项描述,给出 1—5 号位置说明。                               | 已在报告表 P67-77 补充了相关位置的说明。   | 详见 P66-67                 |
| 5        | 完善项目安全防护措施布置示意图及两区划分。                                 | 已在附图 7、附图 8 完善了项目安全防护措施布置示意图及两区划分  | 详见附图 7、附图 8               |
| 6        | 完善加速器辐射屏蔽预测,给出的预测点位应有剖面图,预测结果应分 2 种工况,预测结果也未见中子的剂量率等。 | 已在报告表 P139 补充了加速器工作场所剖面布局关注点位图,已在 P138-141 明确了剂量率预测分为 3 种情形进行预测,且明确 40MeV 档位运行时各关注点的辐射剂量率为中子当量剂量率和 $\gamma$ 剂量率之和。 | 详见 P138-141               |
| 7        | 完善辐射工作人员及公众的年有效剂量估算。                                  | 已在 P141-143、P155-157 完善了辐射工作人员及公众的年有效剂量估算。   | 详见 P141-143、P155-157      |
| 8        | 完善项目个人防护用品及应急用品的配备。                                   | 已在 P104、P122-123、P173 完善了项目个人防护用品及应急用品的配备。   | 详见 P104、P122-123、P173     |
| 9        | 完善包括化学试剂瓶在内的危险固废调查。                                   | 已在报告表 P92 完善了包括化学试剂瓶在内的危险固废调查。   | 详见 P92                    |
| 个人意见：赵冠军 |   |  |                           |
| 1        | 补充说明各核素原材料的状态及年购买使用量                                  | 已在 P7、P52 补充说明了各核素原材料的状态及年购买使用量。   | 详见 P7、P52                 |
| 2        | 补充说明放射性废水(冷却水)和功率靶废靶等固废的最终处置方式和处置要求                   | 已在 P143 补充说明了放射性废水(冷却水)和功率靶废靶等固废的最终处置方式和处置要求。  | 详见表 5、P143                |
| 3        | 完善项目周围的环境现状调查内容                                       | 已在 P38 完善了项目周围的环境现状调查内容。   | 详见 P38                    |
| 4        | 补充活化水靶的产生量、活化水中的核素成分及其暂存和处置情况说明                       | 已在 P99、表 5 补充了活化水靶的产生量、活化水中的核素成分及其暂存和处置情况说明  | 详见表 5、P99、P143            |
| 5        | 补充公司待销售货包的包装及表面剂量等基本情况说明                              | 已在 P59-60 补充了公司待销售货包的包装及表面剂量等基本情况说明  | 详见 P59-60                 |
| 6        | 补充公司非密封放射性物质存放场所的管理情况说明                               | 已在 P119 补充了非密封放射性物质存放场所的管理情况   | 详见 P119-122               |

|    |                      |  |                   |
|----|----------------------|--|-------------------|
| 7  | 补充本项目使用蒙卡预测软件适用性的说明  | 已在报告表 P137 补充了项目采用蒙卡 FLUKA 系统来预测的适用性   | 详见 P137           |
| 8  | 明确放射性废水、固废的解控的管理标准。  | 已在 P126、P129、P131 补充了放射性废水、固废的解控的管理标准。 | 详见 P126、P129、P131 |
| 9  | 补充辐照上货工作区域人员剂量影响分析   | 已在 P142 补充了辐照上货工作区域人员剂量影响              | 详见 P142           |
| 10 | 补充项目运行期的臭氧的产生和排放影响分析 | 已在 P144-146 补充了项目运行期的臭氧的产生和排放影响的分析     | 详见 P144-146       |
| 11 | 明确放射源库的安全管理要求        | 已在报告表 P121 补充了放射源库的安全管理要求。             | 详见 P121-122       |
| 12 | 补充事故应急用品的配置要求        | 已在 P104、P122-123 补充了事故应急用品的配置要求。       | 详见 P104、P122-123  |
| 13 | 完善公司平面图监督区和控制区的划分说明  | 已在附图 7 完善了监督区和控制区的划分说明                 | 详见附图 7            |
| 14 | 核实项目评价范围内环境保护目标的分布情况 | 已在表 7 完善了项目评价范围内环境保护目标的分布情况            | 详见表 7             |